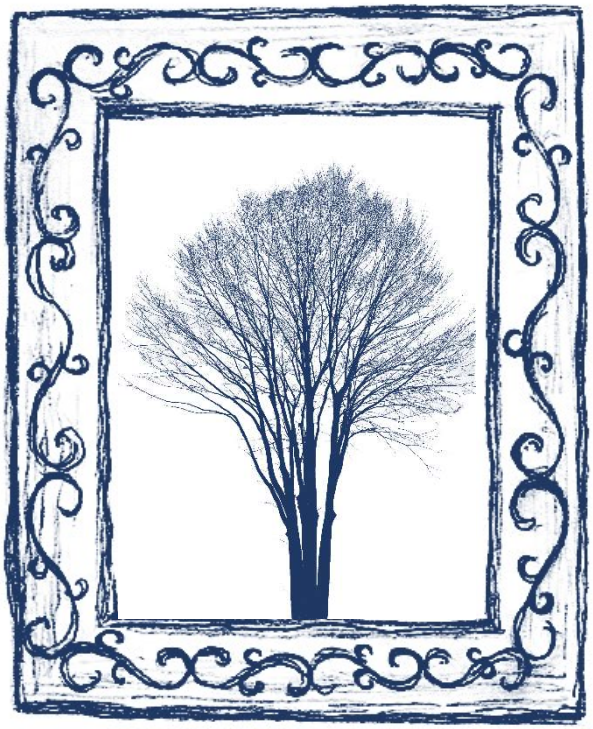
Deciduous tree

Through My Own Mind's Eye

KONDO Kunio



Deciduous tree

Through My Own Mind's Eye

KONDO Kunio

繋がり： Shake hands
Kenichi KONDO
2005

はじめに

1973 年から名古屋大学で教育補助、研究補助の仕事をはじめてから、46 年近く名古屋大学、東京工芸大学、埼玉大学、東京工科大学において研究と教育を行ってきました。この研究活動記録集はこれらの仕事をまとめた近藤邦雄の個人的な資料です。

名古屋大学教養部図学教室に運よく勤務でき、田嶋太郎先生はじめ図学教室の先生方にはとても親身になって仕事のこと、研究のことを応援していただきました。このときに、東京大学の穂坂衛先生にもご指導いただく機会があり、Bezier 曲線の作図方法やその応用なども研究しました。働きながら通っていた名古屋工業大学第 II 部機械工学科を卒業するときには、図学教室で続けて働くことを決めました。この希望を伝えたら、先生方から教育の手伝いだけでなく、研究もしたほうがいいといわれ、研究発表をするようになりました。研究をさらに進めるために、1980 年ごろ東京大学木村文彦先生を紹介いただき、本格的に学会発表をして博士論文の執筆を目指しました。大変お忙しい木村先生に毎月のようにお邪魔してご指導いただくことができたことは、私にとって貴重な時間であったと思いますが、今思えば、たいへんなご迷惑であったとも思います。ご指導いただく時には、カセットテープを回して記録し、ご指導内容を書き留め、ご指導内容と今後の研究内容を確認するために郵送していました。そのコピーはファイルにまとめて、今でもいつでも見ることができるようにしています。木村先生には EUROGRAPHICS‘85 で発表できることになったときに、ヨーロッパのいくつかの大学をご紹介いただき、私は 4 つの大学と 2 つの研究所を訪問することができました。このヨーロッパの大学訪問が研究活動をさらに推進するきっかけにもなり、ミラノ工科大学とデルフト工科大学はその後も訪問することができました。

名古屋大学の勤務は、一年ごとの契約でしたが、周りの先生方のご理解もあり、教育研究補助をしながら、田嶋先生のもとで研究をすることを認めていただいていました。1988 年までに研究成果をいくつかの学術論文にすることができ、博士論文をまとめることができました。それを東京大学に提出して、審査していただくことができました。主査は研究指導していただいていた木村文彦教授、副査は、吉川弘之教授, 鈴木賢次郎教授, 杉原厚吉教授, 大園成夫教授でした。この審査後も先生方には学会活動を通じて、ご指導いただくことができたことは大変幸運なことであったといえます。この間にも、情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会などをはじめとしていくつかの学会で、多くの先生から、私の将来のことを気にかけていただき、博士号を取得したらいい職場が見つかるといいねということを言っていただきました。そういうなかで、東京工芸大学を紹介いただき 1988 年に単身赴任しました。その年末に「埼玉大学の情報工学科が新設されたので名古屋を離れて関東に行ったのならいいだろう」と島田静雄先生に、声をかけていただきました。今思えば、ずいぶんとわがままなことですが、東京工芸大学には 1 年 1 か月の勤務と 11 か月の非常勤講師という形で 2 年間を過ごしました。

埼玉大学では、1989 年から学生らとともにさらにコンピュータグラフィックスの研究を展開して、CG の応用分野を広げてきました。研究は自分の興味あることを進めればよかったですが、講義はまだ設置されたばかりでしたので、少ない教員でやりくりするということで、情報数学、数値解析、ソフトウエア工学、オペレーティングシステム論、文書情報管理なども担当しました。研究に近い内容としては、CAD

工学を担当したりもしました。このような講義を担当することで、多くの勉強をすることができました。素人に近い教員が講義をするのですから、学生にとって良かったかどうかわかりません。ただ、当時のレポートを最近見直す機会がありましたが、力作ばかりでした。教員が出す課題に真摯に取り組んでくれた学生に感謝したいです。コンピュータグラフィックスの研究を進めるうちに、コンテンツ制作の専門家との連携も重要であるということが企業の研究者から言われるようになりました。そういう研究の方向に対して共感していただいた金子満先生と共同研究を行ってきたなかで、東京工科大学のコンテンツ制作関係の研究を一緒にしたいということで 2005 年からの 2 年間の非常勤講師を経て、2007 年から CG を利用したコンテンツ制作技術の研究を開始しました。

卒業研究プロジェクトは、「コンテンツプロダクションテクノロジー」と名付けて、金子先生と、2007 年に一緒にメディア学部の教員になった三上浩司先生と研究を開始しました。Creative Lab.の組織には 4 名の助教と数名のスタッフがおり、企業や大学との共同研究、学生へのコンテンツ制作の教育などを行っていました。CG 技術を研究してきた私にはめずらしいことばかりで、大変多くのことを勉強することになりました。ただ、研究テーマがごろごろ転がっているように見え、「ダイヤモンドの原石」がたくさんあると感じて、研究をすることが楽しくなりました。卒研生、大学院生らとともにスタッフの活躍もあり、学会発表や論文発表も多くなっていきました。博士を 5 名輩出できたことは特筆すべきことです。これまでの研究成果である論文、解説など、さらには、研究論文リストは、この資料に掲載しました。

また、アジア人財資金構想プロジェクトで多くの優秀な学生が大学院生としてメディアサイエンス専攻で学びました。これをきっかけにメディア学部の国際交流は拡大してきました。私もこの流れの中で提携大学の拡大、留学生の受け入れと指導などを積極的に行ってきました。その結果、世界中に研究者のなかまができました。これは今後の研究活動やメディア学部の発展に重要な役割を果たすと思います。この活動記録集には提携校の教員でお世話になった先生や学会活動で親しくしていただいている先生、大学教員になった留学生から 21 通のメッセージを掲載しています。

メディア学部は設立 20 周年という節目を迎えましたが、私の 15 年間の教育研究活動は大変やりがいがありました。コンピュータグラフィックスやデジタル技術を活用したコンテンツプロダクションテクノロジーの研究テーマはまだまだいっぱいあります。研究は一番でないと、新規性を認めてもらえないために、「競争」があります。私自身も競争を理解したうえで世界の研究者らと「共創」して研究をしたいと考えています。この研究活動記録集は、そのために過去を封じ込め、次の新しいことへの挑戦のためにまとめました。5 年後、10 年後にどういう活動記録を追加できるか自分自身が楽しみです。

また、このような楽しい研究生活を支えていただいた、ここに書ききれないほどの大変多くの皆様に感謝の気持ちでいっぱいでございます。本当にありがとうございました。

最後にこの活動記録集の取りまとめをしていただいた Creative Lab.の下田美由紀さんとメディア学部兼松祥央助教に深く感謝します。

2020 年 3 月 1 日

近藤 邦雄

目次

はじめに
1. 経歴と研究活動の概要 1
2. お祝いメッセージ 6
3. 業績紹介 41
3.1 情報処理学会フェロー推薦のための業績紹介 42
3.2 研究業績リスト 44
4. 研究概要と研究論文 70
4.1 コンピュータ図学からデジタルコンテンツ制作研究への展開 71
4.2 主な研究論文 94
5. 解説 308
6. 随想・巻頭言 357
7. メディア学部における研究グループ紹介 372
あとがき

Webpage: kondolab.org

1. 経歴と研究活動の概要

日本語と英語の履歴書と研究活動の概要を掲載します。学歴，職歴，学会活動，受賞歴などをまとめました。

2020 年 3 月 1 日

近藤邦雄

東京工科大学
教授, 工学博士

E-Mail:kondo@stf.teu.ac.jp
URL:http://kondolab.org
Facebook: kondo.kunio
Twitter: KunioKONDO
Instagram; kondokunio

■学歴

1978 年 名古屋工業大学第II部機械工学科卒業
1988 年 工学博士(東京大学)

■職歴

1973 年- 名古屋大学教養学部図学教室技術補佐員、教務補佐員
1988 年- 東京工芸大学電子工学科講師
1989 年- 埼玉大学工学部情報システム工学科 助教授
2007 年- 東京工科大学メディア学部 教授 現在に至る

■客員教授

2014 年- Management and Science University (Malaysia) 客員教授

■JICA 短期専門家

1996 年, 1998 年、2002 年 ポーランド日本情報工科大学

■非常勤講師

1989-1999 年 愛知県立芸術大学
1991 年 広島大学大学院工学研究科
1991-2007 年 東京大学教養学部
2005-2007 年 東京工科大学メディア学部
2002-2007 年 九州大学芸術工学部(旧:九州芸術工科大学)
2007-2012 年 九州大学芸術工学大学院(先導的デジタルコンテンツ創成支援ユニット)

■主な学会活動

●Japan Society on Graphic Science 日本図学会

1989- 日本図学会 理事(編集委員) (H1.4 - H11.4)
2001- 日本図学会 図学教育研究会委員長 (H13.5-19.5)
2002- 日本図学会 理事 H14.5-H17.5)
2005- 日本図学会 副会長 (H17.4 - H20.5)
2010- 日本図学会 デジタルモデリングコンテスト委員長 (H22.5 - H24.5)
2014- 日本図学会 デジタルモデリング研究会副委員長 (H26.5 -)
2015- 日本図学会 理事(H27.5 -H30.5)

●Information Processing Society of Japan 情報処理学会

1987- 情報処理学会 論文誌査読委員 (昭和 62. 4-)
1997- 情報処理学会 グラフィクスと CAD 研究会連絡委員 (H 9. 4 -H10.3)

1998- 情報処理学会 グラフィックスとCAD研究会主査 (H10. 4-H14.3)
2000- 情報処理学会 代表会員 (H12. 4 - H15.3)
2004- 情報処理学会 論文誌査読委員 (H16. 4-H24.3)
2012- 情報処理学会 論文誌 シニア査読委員 (H24. 4-H26.3)
2019 情報処理学会 フェロー 2018年度

●The Institute of Image Electronics Engineers of Japan 画像電子学会

1995- 画像電子学会 Visual Computing研究委員会幹事 (H 7. 4-H14.3)
2003- 画像電子学会 副会長 (H15. 6-H17.6)
2005- 画像電子学会 評議員 (H17. 6-H19.5)
2006- 画像電子学会 Visual Computing研究会委員長 (H18. 6-H21.5)
2006- 画像電子学会 論文特集編集委員長 (H18. 6-H19.5)
2012- 画像電子学会 次期会長 (H24. 6-H25.6)
2013- 画像電子学会 会長 (H25. 6-H26.6)
2015- 画像電子学会 フェロー、名誉会員

●The Society for Art and Science 芸術科学会

2004- 芸術科学会 理事 (H16. 4-H22.5)
2010- 芸術科学会 会長 (H22.6-H24.5)
2014- 芸術科学会 監事 (H24. 5-H26.5)
2016- 芸術科学会 顧問 (H26. 5-)

●Asia Digital Art and Design Association

2005- Asia Digital Art and Design Association, 理事
2016- Asia Digital Art and Design Association, 会長 President

●The Institute of Image Information and Television Engineers 映像情報メディア学会

1993- テレビジョン学会誌編集委員特別委員 (H5.4-H7.3)

●IEICE 電子情報通信学会

2004- 電子情報通信学会 論文誌査読委員 (H16. 4-)

●独立行政法人 大学評価・学位授与機構

2016- 2017 国立大学教育研究評価委員会専門委員 Activities & Memberships

■主な受賞歴

1985 IPSJ Anniversary Best Paper Award (Information Processing Society of Japan) 情報処理学会
1988 JSGS Research Award (Japan Society for Graphic Science) 日本図学会
2011 JSGS Best Paper Award (Japan Society for Graphic Science) 日本図学会
2013 Japanese Society for Engineering Education (JSEE) Engineering Education Awards
2014 IEVC Best Paper Award 画像電子学会
2014 IPSJ Specially Selected Paper Vol.55. (Information Processing Society of Japan) 情報処理学会
2015 IIEEJ Best Paper Award 画像電子学会
2015 Fellow of IIEEJ (The Institute of Image Electronics Engineers of Japan) 画像電子学会
2015 CG-JAPAN Award 芸術科学会
2019 The Yayasan MSU-ADADA Award of the Lifetime Achievement in Digital Art and Design
2019 Fellow of IPSJ (Information Processing Society of Japan、情報処理学会)

■研究業績： http://kondolab.org/publications/publications.html

March 1, 2020

KONDO Kunio

Professor, Ph.D. in Engineering
School of Media Science, Tokyo University of Technology
E-Mail:kondo@stf.teu.ac.jp
URL:http://kondolab.org
Facebook: kondo.kunio
Twitter: KunioKONDO
Instagram: kondokunio

Academic background

1978	Bachelor of Engineering, Nagoya Institute of Technology
1988	Ph.D. in Engineering, The University of Tokyo

Work experience

2015- 2019.3	Chair of Graduate School of Media Science, Tokyo University of Technology
2014-	Visiting professor, Management and Science University (Malaysia)
2009-2013	Vice Dean of School of Media Science, Tokyo University of Technology
2007-	Professor, School of Media Science, Tokyo University of Technology
1989-2007	Associate professor, Department of Information and Computer Sciences, Saitama University
1988-1989	Lecturer, Tokyo Polytechnic University
1973-1988	Technical staff, Nagoya University

Part-time lecturer

2002-2010	Kyushu Institute of Design (Kyushu University)
1997-2002	Short-term Expert, Japan International Cooperation Agency（JICA）
	Polish-Japanese Institute of Information Technology (1996,1998,2002)
1991-2007	The University of Tokyo
1989-1999	Aichi Prefectural University of Fine arts and Music

Activities & Memberships

2016-	President of ADADA International and ADADA Japan
2016-	Honorary Chair of ADADA conference 2016,2017,2018,2019
2013-2014	President of The Institute of Image Electronics Engineers of Japan
2013-2014	General Chair of International Workshop on Image Electronics and Visual Computing 2014
2011-2013	President of The Society for Art and Science
2006-2009	Director of International Society for Geometry and Graphics
2005-2009	Vice President of Japan Society of Graphic Science
2005-2016	Board member of Asia Digital Art and Design Association
1998-2002	Chair of SIG on Computer Graphics and CAD of Information Processing Society of Japan

Reviewer: SIGGRAPH, SIGGRAPH Asia, Eurographics, Pacific Graphics, CG International, NICOGRAPH International, International Workshop on Image Electronics and Visual Computing, Japan-China Joint Conference on Graphics Education, Asian Forum on Graphic Science, International Conference on Geometry and Graphics, ADADA

Research interests

Computer Graphics, Content Producing and Content Production Technology for animation, games, and interactive modeling.

Awards

2019 The Yayasan MSU-ADADA Award of the Lifetime Achievement in Digital Art and Design
2019 Fellow of IPSJ (Information Processing Society of Japan)
2015 IIEEJ Best Paper Award
2015 Fellow of IIEEJ (The Institute of Image Electronics Engineers of Japan)
2015 CG-JAPAN Award
2014 IEVC Best Paper Award
2014 IPSJ Specially Selected Paper Vol.55. (Information Processing Society of Japan)
2013 Japanese Society for Engineering Education (JSEE) Engineering Education Awards
2011 JSGS Best Paper Award (Japan Society for Graphic Science)
1988 JSGS Research Award (Japan Society for Graphic Science)
1985 IPSJ Anniversary Best Paper Award (Information Processing Society of Japan)

Publications

Publications page: http://kondolab.org/publications/publications.html
Paper list : https://kondolab.org/publications/paperlist.pdf

Publications page

Paper list pdf

Messages from my sincerely professors and friends

2. 海外からのメッセージ

メディア学部と提携活動をしているアメリカ，ヨーロッパ，アジアの大学の先生方，さらにはアフリカのモーリタニア，インドネシア出身の教え子から，私へのさまざまなメッセージを 21 件いただきました.

それぞれのメッセージに合わせて，交流活動をしている様子が分かる写真も数枚追加して、掲載しました。

1. **Abdul Jalil Ghazali**, Vice President, Professor Dr., Management & Science University, Malaysia
2. **Alfonzo Ronald Koapaha**, Professor, Bandung Institute of Technology, Indonesia
3. **Edi Noersasongko** - Rector, **Pulung Nurtantio Andono** - Vice Rector Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, Indonesia
4. **Friska Natalia**, Vice-Rector Academic Affairs. Universitas Multimedia Nusantara, Indonesia, President of ADADA Indonesia
5. **Hans Svensson**, Professor, The former Head of the Department of Game Design,Uppsala University, Sweden
6. **Hellmuth Stachel**, Emeritus professor, Vienna University of Technology, Austria Hororary president of the International Society for Geometry and Graphics
7. **Intan R. Mutiaz**, Professor, Bandung Institute of Technology (ITB), Indonesia
8. **LEUNG Hiu Ming, Eddie**, Senior Teaching Fellow, the City University of Hong Kong, Hong Kong
9. **Luigi Cocchiarella**, Associate Professor, Politecnico di Milano, Department of Architecture and Urban Studies, Italy
10. **Małgorzata Łuszcza**k, Professor, The former Dean of the Faculty of Art in Cieszyn, University of Silesia in Katowice, Poland
11. **Mauridhi Hery Purnomo**, Professor, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) , Indonesia
12. **Ming Turner,** Associate Professor, Institute of Creative Industries Design, National Cheng Kung University, Taiwan
13. **Mohd Shukri Ab. Yajid**, President, Professor, Dr., Management & Science University, Malaysia
14. **Paiboon Kiattikomol**, Associate Professor, Acting Deputy Head of Project Joint Program Management, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
15. **Pavadee Sompagdee**, Director of IDD & CDT International Program, Thammasat University, Thailand
16. **Pizzanu Kanongchaiyos**, Asst.Professor, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand
17. **Richard Weinberg**, Ph.D., Research Professor, Division of Animation and Digital Arts, USC, School of Cinematic Art, USA
    Matthew Steidl Visual Effects Artist, Deluxe Entertainment, Instructor, California State University at Long Beach
18. **Sidi O. SOUEINA**, President, Ph.D, MiFiTT Institute, Mauritania
19. **Sigit Kusumanugraha**, Art illustrator & Lecturer at Telkom University, Indonesia.
20. **Tanes Tanitteerapan**, Associate Professor. Dr., Dean, faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of technology Thonburi, Thailand
21. **Xavier Rousselle**, Founder & Director, ISART Digital, Paris, France

*Alphabetical order

Abdul Jalil Ghazali

Vice President, Professor Dr.
Industry Linkages & Entrepreneurship
Management & Science University, Malaysia

On his official retirement, it is my pleasure to write a few words on Prof. Kondo Kunio.

I have known Prof. Kondo way back to 2008. It was the time when Management & Science University (MSU) and Tokyo University of Technology (TUT) had its first initial collaboration. We were working together to initiate the signing of Memorandum of Understanding (MOU) with the School of Media Science and later the acceptance of MSU graduate scholar student under his supervision. Prof. Kondo further assist in the enhancement of the collaboration with the signing of the MOU at the university level in 2018.

Prof. Kondo has been MSU regular Visiting Professor and had made several lectures and workshops at MSU Campus in Malaysia. The faculty and students appreciate his deep knowledge in media science and his friendly and warm personality. Prof. Kondo had personally managed and supervised the internship program at TUT for MSU students under the MSU Global Internship Program and MSU Global Leadership Program to TUT since 2014 until today. I wish also to thank Prof Kondo for supporting the establishment of ADADA Malaysia and providing the leadership for a successful ADADA Conference at MSU in 2019.

Knowing that Prof Kondo is an avid photographer, we travel together to many places in Malaysia in search for unique designs, architectures, landscapes and memorable night shots that he beautifully captured and share in his social media.

We had regular meeting sessions whenever I am in Tokyo and irrespective of the weather and season, he always made the effort to travel all the way from Hachioji campus to discuss new programs between MSU and TUT.

On a personal basis I know that Prof Kondo is a loving and caring husband, a great father and grandfather to his children and granddaughters. I also greatly appreciate him for personally taking care of our students while they were undergoing their studies and internship at TUT.

Thank you very much Prof Kondo for your dedication and kindness and I wish you all the best on your retirement and may you always have good health and enjoyable retirement.

Prof.AJ and Faiz at TUT 2014

Prof.AJ, Kondo at MSU 2015

Lecture as visiting professor at MSU 2015

Prof.AJ, at C517,TUT 2016

Internship students from MSU at TUT 2017

Prof.AJ, at New Otani 2019.01

Prof.AJ and Aisha at Putrajaya 2019.03

With MSU professors 2019.03

Alfonzo Ronald Koapaha

Professor, Bandung Institute of Technology, Indonesia

The introduction between me and Professor Kondo Kunio Ph.D, was a gift to me, originally when I got a grand from JICA in 2015, for a short visit to Tokyo University of Technology for five weeks, in the Department of Media Science, to study matters relating to multimedia, such as: Games, Animation, Videography, Photography and various computer programs related to multimedia.

First impressions when meeting with Professor Kondo Kunio who was pleased to be my host while at Tokyo University of Technology, he was a person who was friendly, warm, fun and very clever in his field of work, namely computer graphics, which deals with Games and Animation. First meeting him, I was accepted into his spacious, clean and full workroom with the books he wrote. With a background of forests and dense green trees, it was clear from the large window beside his desk. It was great to be able to work in such an atmosphere, which then inspired me, and when I returned to the Bandung Institute of Technology, I planted a number of trees outside the window of my workspace, yes I tried to imitate it.

Professor Kondo Kunio as the Host had the opportunity and was pleased to take me around the Tokyo University of Technology campus in Hachioji and the open house on the Kamata Campus. At that time, I was introduced to the Dean of Media Science, and several of his colleagues, who warmly welcomed me with open arms. On another occasion I had the opportunity to discuss with them separately. An excellent opportunity to hear the various studies they have done, and almost all of them are related to Games and Animation.

On several occasions Professor Kondo Kunio accompanied me to visit several exhibitions and seminars including ADADA and CEDEC in Yokohama. From these visits I gained experience and conclusions about how serious and synergistic the Japanese government is, University Research, Game Developers, Designers and Users in developing research, and marketing in Game and Animation products. So that all works of Japanese Games and Anime have a very strong and worldwide identity.

This good relationship continues not only between institutions (Bandung Institute of Technology - Tokyo University of Technology) but also for both of us personally. In his four visits to the Bandung Institute of Technology in 2016-2019, Professor Kondo Kunio was accompanied by Mie Kondo, his wife took the time to visit my house in Bandung. Look at some of the ceramic crafts that we made and had a chance to discuss with young people from the drawing community.

On his visit to the Bandung Institute of Technology in early 2019, Professor Kondo Kunio accompanied by two colleagues, Professor Tomimatsu and Professor Mikami, had the opportunity to create a Summer School program participated by Japanese students from Tokyo University of Technology (Media Science) and students from the Bandung Institute of

Technology (Visual communication design). This is the meeting and estuary between engineering and design, which has produced several games that originate from traditional West Javanese games. This collaboration and hard work, made in just 6 days !.

Professor Kondo Kunio is a clever, determined, hardworking, polite and humble person. In his career he became chairman of various associations and events related to his profession including: President at the Asia Digital Art & Design Association (ADADA).

The end of Professor Kondo Kunio's career as a lecturer at Tokyo University of Technology, Japan in March 2020, is not the end of his profession and activities, it is only an oasis, a place to pause, breathe, then enter at a higher level. Smarter and wiser.

Like "KANREKI" for Japanese society is a period that marks the end of one time cycle and the start of another cycle. This is a process, a rebirth, a metamorphosis of life.

I know and believe Professor Kondo Kunio will be "Born Again" in the life cycle of his profession which is better, higher, and more professional such as:

"When a caterpillar turns into a cocoon and then turns again into a beautiful butterfly, and flies wherever it likes ..... "

Bandung 14 February 2020

Prof. Alfonzo at Tokyo. Aug.-Sept. 2015

2016

At ITB, 2019

Edi Noersasongko - Rector
Pulung Nurtantio Andono - Vice Rector
Universitas Dian Nuswantoro - Semarang - Indonesia

It is a pleasure to have these words for a great person like you. It is also an honored from us to have met you and to have created some innovative collaborations with you. You have been assisting us to associate the international collaboration and we are so grateful and satisfied of what you have done.
We hope you will enjoy your retirement day by still sharing your knowledge to us.
Good luck to you.

Graduation Ceremony at UDINUS Aug. 2019.

Edi, Pulung at TUT, June 2013

UDINUS 2016

Keynote speech of iSemantic 2017 at UDINUS

Friska Natalia

President of ADADA Indonesia.
Vice-Rector Academic Affairs.
Universitas Multimedia Nusantara, Indonesia

Prof Kondo, you will always be remembered for your accomplishments. Thank you for your hard work and dedication to our team ADADA Indonesia.

It has been such a pleasure working with you for the past five years. You've been a great co-worker, friend and its really my pleasure to have known you as President of ADADA International.

Congratulations from all of us ADADA Indonesia and Universitas Multimedia Nusantara on your retirement. Don't forget to keep in touch. Wishing you all the very best for your retirement, you deserve it Prof Kondo. I personally wish you a very pleasant retirement. Once again, thank you for being a mentor, a tireless professional, a helpful coworker, and a good friend.

Lecture at UMN 2017

Conmedia2017 in yogyakarta

At UMN 2017

ADADA2017 in Bali

ADADA2019 in MSU

Hans Svensson

Professor
The former Head of the Department of Game Design
Uppsala University, Sweden

UPPSALA UNIVERSITET

In my capacity as the former Head of the Department of Game Design at Uppsala University, I would like to express my gratitude and my warm appreciation for the work that Professor Kondo has devoted to initiating and developing cooperation between our universities. Through his generous personality and through his many visits to Campus Gotland, Professor Kondo has also contributed to strengthening contacts between Japan and Sweden. For me personally, contact with Professor Kondo has meant that I got to know a new country and a new culture, which has helped to broaden my views and make my life richer.

TUT 2015

GGC, Gotland, 2016

Uppsala Univ. Gotland, 2019

Hellmuth Stachel

Emeritus professor, Vienna University of Technology
Institute for Discrete Mathematics and Geometry
Honorary president of the International Society for Geometry and Graphics

It was a big surprise for me when I came to know that you are already close to retirement. For me this is a time to remember. I guess that we met first at a conference in the early nineties, and from this moment on, more or less regularly every second year at the International Conferences for Geometry and Graphics. I also remember how impressed my colleagues were by the great number of presentations given by yourself and other members of your group.

The begin of your retirement offers also a good opportunity for me as the recent Editor in Chief of the Journal for Geometry and Graphics (http://www.heldermann.de/JGG/) to express my thanks for your important contributions to our journal. With a series of 10 papers, you are one of the most productive JGG-authors, active in the fields of our common research, the Graphic Science. Since your first paper appeared already in JGG vol. 2 (1998), you can also be seen as one of the pioneers for the successful development of our journal and our organization, the International Society for Geometry and Graphics. Moreover, I have to thank you personally for your support as a frequent and most competent reviewer.

Let me conclude with my best wishes for you for the time coming. I'm sure you'll continue being an active member of our scientific community. In this sense, I wish you health and success your future.

ICGG2018, Milano Italy

ICGG2016 at Beijing, China

Slaby Award, ICGG2004

Intan R. Mutiaz

Professor
Visual Communication Design,Faculty of Art and Design
Bandung Institute of Technology (ITB), Indonesia

For me, Prof. Kondo is a mentor who is respected and admired for his attention, friendliness and humility. Starting, knowing him as a guest lecturer for my students, I began to recognize his figure as a media science expert professor. His research is very interesting and can inspire us all.

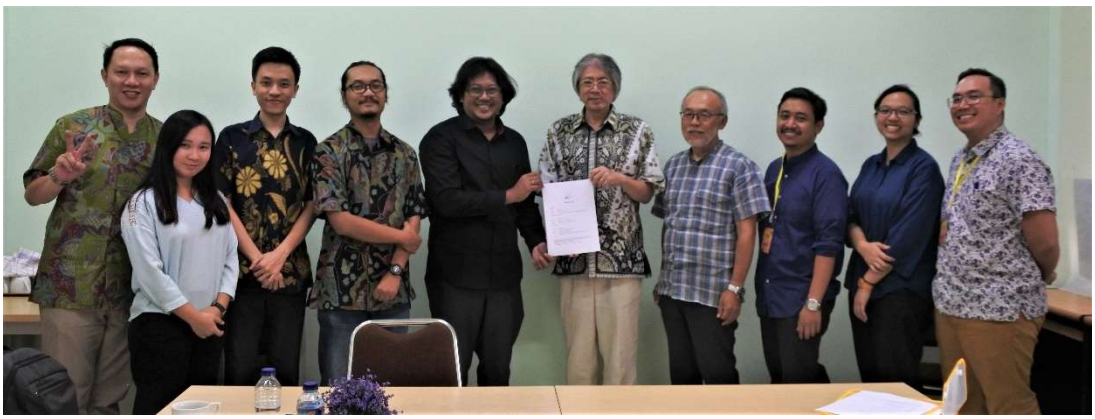
The first time was 5 years ago, I met him when he visited ITB for special occasion. Prof. Kondo gave a generale lecture and share his experiences with ITB students. We also had the chance discuss about animation, CG and others. We found many interesting things to make into cooperation with ITB and TUT. One of them was the formation of ADADA Indonesia and the Summer school Program at Visual Communication Design-ITB.

During ITB-Summer school, I know him even better. He is very friendly and easy to get along with anyone including with any other lecturers and students. This comfort feeling makes it easier for us to get gain more horizon from him. He was very patient and detailed in answering questions from students. His hobbies that I cannot forget is photographing various things, including the food to be eaten and the people he meets.

He is very concerned with us, for example he not only knows me, but he knows my wife and daughter. One form of attention is actively giving responses in posts social media me and my family. Friendliness was felt when we had dinner with my family. From my experience knowing him, I learned that we should not only learn about science, but good communication and make friends are also important. Because from there we get more than just science but learning about human life, its makes our life more beautiful.

Prof. Kondo has retired in teaching at the university, but for me, he remains a teacher to us, a source of inspiration and will always there in our hearts because of his attention, friendliness and humility during this time always live all the time. Thank you, Sensei.

ID.GAGA at ITB 2018 (Keynote speech)



ADADA Indonesia meeting at ITB 2018

Game workshop of ITB 2018

At TUT 2017

At Bandung 2019

Prof. Alfonzo, Prof.Intan, prof. Mia Prof. Tomimatsu, Prof. Mikami at Telkom University

LEUNG Hiu Ming, Eddie 梁曉明

Senior Teaching Fellow, the City University of Hong Kong

I have known Professor KONDO Kunio since 2013 while we were collaborating an overseas study tour to Tokyo University of Technology (TUT) with 20 undergraduates from the School of Creative Media, City University of Hong Kong.

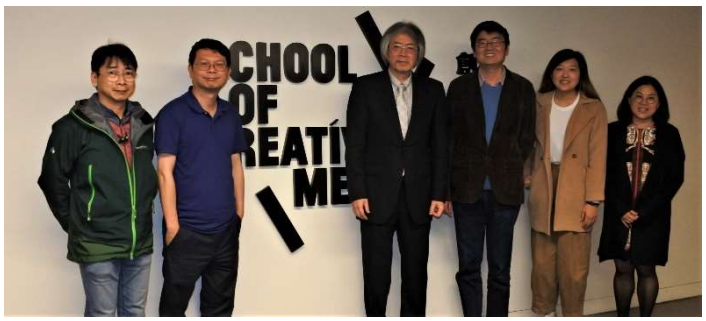
I want to take this opportunity to thank you for his passion, professionalism and efforts in neutering countless new generation of media art creators and make the fruitful connection with oversea higher education entities to help to foster the computer graphics industry and education system.

With his help, our students can have an eye-open exchange experience in learning and applying the advanced knowledge and skill in the programme. They are all enjoyed immensely, to learn in TUT with extremely intelligent people like Prof. KONDO. That was an invaluable and memorable experience for them. Like one of our exchange student students LAM Wing Kei, Hat, with the neutering from TUT, her animation work "DDID PV" has won the Student Awards, Live2D Creative Awards 2018 organised by Live2D Inc., Tokyo, JAPAN. This international competition has 165 entries from 12 countries. This achievement is priceless.

I want to specifically thank you for Prof. KONDO and his colleagues to take the time to discuss and collaborate with our school and share his professional options with us. Especially on the operation of our exchange programme and the feasibility of post-graduates' research matter. Those video meetings with us and interviewing individual candidates made our work very much easier.

Dear Prof. KONDO, thank you for your forgivingness to our student's non-proficiency in the Japanese language, giving the exceptional opportunities for them to learn and grow in TUT, and take care of them during their stay in Japan. I appreciate you everything you have done for us. You are one of the best people in TUT, congratulations on your retirement!

Best wishes on your next adventure!



Animation work "DDID PV"
at School of Creative Media 2019.Feb.

Luigi Cocchiarella

Associate Professor
Politecnico di Milano, Department of Architecture and Urban Studies, Italy

I know about professor Kunio Kondo's research activity since 1998, attending the 8th International Conference on Engineering Design Graphics and Descriptive Geometry (8th ICECGDG) in Austin (Texas), after this event I met professor Kunio Kondo in 2006 in Salvador De Bahia (Brazil), at the 12th International Conference on Geometry and Graphics (12th ICGG), then I met him again in 2008 in Dresden (Germany), congratulating him for the impressive plenary lecture he presented at the 13th International Conference on Geometry and Graphics (13th ICGG) on his software program sketch interpreter.

The speech fascinated me at the point that I invited him in Italy several years later, in 2013, to present the advancements of this research line during the celebrations of the 150th anniversary of the Politecnico di Milano, in a cycle of seminar titled The Visual Language of Technique: Heritage and Expectations in Research and Teaching, I had the opportunity to organize for the special event. As expected, he achieved a great success in the audience, and his contribution was also published in the Proceedings of the Seminar, published by Springer. In 2018 he participated in the 18th International Conference on Geometry and Graphics (18th ICGG), held in Milano and celebrating the 40th anniversary from the first edition, to which I served as the Executive Chairman. Again his contribution was recorded in the Proceedings, published by Springer and included in the SCOPUS records. But my memories about professor Kunio Kondo are far more rich. We both are members of the International Society for Geometry and Graphics (ISGG), the academic society organizing the ICGG conferences, where we met biannually in the various designated conference venues around the world.

A special indelible memory dates back to when I visited him at his home university, the Tokyo University of Technology, School of Media Science, during my visiting professorship period at The University of Tokyo, Komaba Campus, in 2013. He dedicated me the entire afternoon, telling me about his activities, answering my questions, and showing me the excellent advanced laboratories of digital media science established in his School. But what astonished me most, was the series of original wonderful and delicious manual drawings about horses, animals and other natural forms, drawn by him, and which for him were at the very roots of his interest in investigating Geometry and Graphics. Between 2008 and 2018 I met professor Kondo at the biannual ICGG conferences in Japan (2010) and in China (2016).

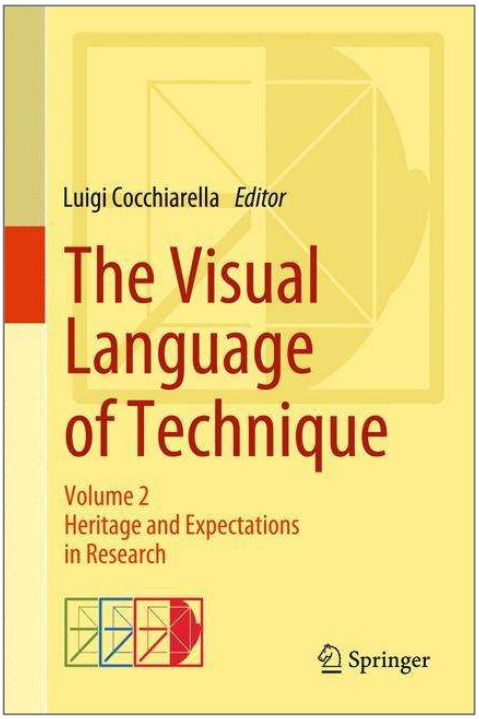
In these years I have also periodically received from him information about his academic work and invitations to participate in some of the important conferences he uses to attend around the world. However, apart from his brilliant academic profile, I also have dear memories of him as a person, as I discovered when he hosted me at his university, and when he came in

Italy with his kind wife Mrs. Mie. I and my wife Francesca had the pleasure to spend some free time with them, also discovering the talent inherited by their sons, especially in the field of design, and receiving refined gifts that we still keep in a position of honour at our home. Finally, he informed me about his retirement and the related celebrations at the School of Media Science, and his invitation to submit a message for that event was for me a great honor, and a great gift. I also enclose here my respectful compliments addressed to the Tokyo University of Technology, School of Media Science, for the innovative research and educational programs carried out, and the best wishes for the future activities, which professor Kunio Kondo contributed to prepare and fertilize.

Last, thanks, once more, professor Kunio Kondo for this honorable opportunity, or better, permit me to say, thoroughly thanks Kunio from Luigi, for the academic connection and for the sincere friendship, hoping to have new opportunities to meet, to discuss, to enjoy together, somewhere around the world in the future.

Feb. 2013.

June, 2013



Małgorzata Łuszczak

Professor
Graphic Artist, Ph.D. in Humanities, Art Professor, populariser of culture
University of Silesia in Katowice, Poland
From 2012 to 2019 Dean of the Faculty of Art in Cieszyn

Our cooperation with Kunio Kondo started in 2015, at the time when we were looking for good examples and partners for the newly opened university programme of Games and Virtual Reality Design - Computer Games Graphics at the Faculty of Art of the University of Silesia in Katowice. We are aware that any cooperation between academic centres is not an easy feat. There may be many institutions with great academic experience and numerous successes, yet lacking the right people willing to establish a fruitful dialogue. However, this time we have been lucky since Professor Kunio Kondo became our mentor while establishing our cooperation with Tokyo University of Technology.

On Prof. Kunio Kondo's initiative the Memorandum of Understanding between Faculty of Arts in Cieszyn Uniwersity of Silesia in Katowice, Poland and School of Media Science Tokyo University of Technology, Japan was signed in August 2017. The Polish institution was represented by Professor Małgorzata Łuszczak, Dean of the Faculty of Art, whereas the Japanese university was represented by Professor Masanori Kakimoto, Dean of School of Media Science.

I was delighted with the warm welcome we received from the Tokyo University authorities, especially from Professor Kunio Kondo, whom I had the pleasure to meet in person during my stay in Tokyo. The university impressed me as a place with incredible, beautifully designed interiors, abundant in greenery and the ubiquitous art, providing a wonderful learning environment.

The purpose of our visit in Japan was not only establishing cooperation with Tokyo University of Technology, but also attending the 11th Asia Forum on Graphic Science (AFGS) 2017, co-organized by the Tokyo university, where we were invited by Professor Kunio Kondo to present our programme.

Our participation in the conference gave us a chance to take a closer look at the activities of other Japanese academic centres and faculties as well as the subjects of research studies explored by scientists and academics from many countries.

We also enjoyed the opportunity to meet many outstanding researchers and artists seeking inspirations in science, applying such untypical solutions in their work as, for example, combination of mathematics and fashion design.

Between 2015 and 2019 I was the artistic director of the international Art and Independent Games LAG Festival, financed by Creative Europe Programme of the European Union, a

project realised in partnership with University of Ostrava (Czech Republic) and University of Ss. Cyril and Methodius in Trnava (Slovakia). The project was also based on the collaboration between the experts in games industry and the representatives of academic centres from many countries.

In 2018 Professor Kunio Kondo honoured the LAG EDU Conference with his presence as an expert. He acquainted the audience with his programme and students' works during his presentation. He was also a member of the jury during the annual poster competition, as we organized an international poster competition each year, with the subject related to video games.

Professor Kunio Kondo was also a member of the jury in LAG GAME Jam – a contest for the best games designed by students. The projects were realized during 5-day hackaton workshops. The jury consisted of experts in video games, professors from different universities that offer game design programmes.

During the 4-year programme we hosted professors from Mexico, USA, France, Germany, Cyprus, Austria, Belgium and Japan. In 2018 during the festival we had the pleasure to welcome two Japanese professors: Professor Kunio Kondo and Professor Kazuo Sasaki, as our experts, jury members and special guests.

Since international cooperation is a vital element of our didactics and research, it has enormous impact on the creative development of both our academic staff and the students.

GAME LAB - International Laboratory for Game Studies and Design, has been part of the programme at the University of Silesia in Katowice since 2019.

The GAME LAB project has been financed by the Polish National Agency for Academic Exchange. Within the academic partnership we cooperate with many leading universities from all over the world, such as Uppsala University-Campus Gotland, Harz University of Applied Sciences, University of Ostrava, LUCA School of Arts, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla and Tokyo University of Technology, School of Media Science.

Game design and research is a dynamically developing and unique field of academic activity. It combines the practical, result – oriented approach with social engagement, artistic and technical competences, modern digital technologies and humanist reflection on interaction, narration, identity and perception.

Therefore, the aim of this project: finding a constant formula of international lab dealing with this field of study - requires multifaceted approach. We have already received a huge support from Professor Kunio Kondo in succeeding in this complex enterprise and establishing new contacts.

We genuinely hope to stay in touch as we are currently aiming at establishing the International Research Centre in Game Lab in Katowice, whose purpose will be game design and research as well as development of a constant formula of international cooperation and seeking system solutions for the teachers and students exchange.

We hope that during the summer term of 2020 Professor Kunio Kondo will be able to visit Cieszyn. Since the presentation given by Professor Kunio Kondo during Art and Independent Games LAG festival many students have been looking forward to another meeting with the Professor. Myself and my colleagues are also eagerly awaiting our next encounter.

Apart from our admiration for Professor Kunio Kondo for him being an unquestionable expert, we are also delighted to have met a truly well-wishing and charismatic person, full of contagious positive energy. His great manners and open mindedness make all the cultural differences vanish in no time.

Dear Professor, I wish to congratulate you on your artistic achievements and your praiseworthy involvement in a wide range of activities in so many areas.

We would like to thank you for your engagement and cooperation with us – hoping for the forthcoming years of equally intense exchange of experiences.

At TUT, 2017

AFGS2017

LAG 2018 at Cieszyn

Mauridhi Hery Purnomo

Professor, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) , Indonesia

It is immense pleasure to congratulate you on your recognized retirement from Tokyo University of Technology (TUT). I am very happy that you will now enjoy leisure that you are going to spend with your family.

During your active time at TUT, I enjoyed our collaborations especially for your visits here in Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Indonesia. We have been collaborated greatly in numerous occasions with the guidance you provided in game related researches. I am really appreciate your warm acceptance and supervision on my students during several months of visiting your laboratory for Enhancing International Publication (EIP) Program of Indonesian ministry related to higher education in these last years. You have motivated and encouraged them to give their best.

Even in the last years before retirement you have prepared a research achievements book, which is a positive sign of dedications in your works. It has always been a pleasure and valuable moment for me and my colleagues to work with you.

We wish you the best for an enjoyable and happy retirement, Sincerely.

2013, September at TUT

2016 Feb at ITS

Surabaya, 2019. August

Ming Turner

Associate Professor, Institute of Creative Industries Design
Director of Visual Arts, NCKU Art Center
National Cheng Kung University, Taiwan

Professor Kunio Kondo is one of professors who I most admire, especially for his endless effort to lead ADADA, and its annual conferences and other relevant events. His great contribution in the discipline of art and technology creates an important impact in the field currently and in the future.

ADADA 2018 at NCKU Taiwan

ADADA 2019 at MSU Malaysia

Mohd Shukri Ab. Yajid

President, Professor, Dr.
Management & Science University, Malaysia

It is my pleasure to write a few words on Prof. Kondo Kunio for his official retirement. Prof. Kondo has played a significant role in the collaboration between Management & Science University (MSU) and Tokyo University of Technology (TUT).

The collaborative initiative started way back in 2008 when MSU was first introduced to TUT by Prof Kondo. The first program was the signing of Memorandum of Understanding (MOU) with the School of Media Science and the acceptance of MSU graduate scholar student under the supervision of Prof. Kondo. With his dedication towards the enhancement of the collaboration he then initiated the MOU at the university level in 2018.

Since then, Prof Kondo has been MSU regular Visiting Professor and had made several lectures and workshops at MSU Campus in Malaysia. His warm personality and deep knowledge in media science have always been appreciated by the faculty members and students at MSU.

Prof. Kondo had personally managed and supervised the internship program at TUT for MSU students under the MSU Global Internship Program in 2014 and 2017. He further facilitated MSU Global Leadership Program to TUT in 2018 and 2019

His passion in media science and digital art led to further collaboration by supporting MSU in the establishment of ADADA Malaysia and providing the leadership for a successful ADADA Conference at MSU in 2019. As a recognition for his exceptional achievements in the field of media art and design Prof Kondo was awarded the Yayasan MSU-ADADA Award for Lifetime Achievement in Digital Art and Design during the 17th International Conference for ADADA held at MSU.

On the personal side, Prof Kondo is an avid photographer. I can always see him looking for unique designs and architectures to capture and share in his social media.

While Prof Kondo may be officially retiring from TUT, he shall continue to be part of MSU Visiting Professor post-retirement as he can still share his vast knowledge in media science with our faculty and students. On behalf of MSU, we wish Prof Kondo good health and enjoyable retirement.

at TUT 2016.02

at MSU 2019.04

2019ADADA at MSU, 2019.11

msu management & science university

2019ADADA at MSU, 2019.11

Breakfast meeting at New Otani 2018.8

Paiboon Kiattikomol

Associate Professor,
Acting Deputy Head of Project Joint Program Management
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

I would like to personally congratulate you on your retirement.
We first met in August 2015 for your attendance to AFGS 2015 hosted by King Mongkut's University of Technology Thonburi. It was the first time you visited our department of Media Art & Media Technology. Since then, we are to collaborate, and our department's professors have visited each other for symposiums and conferences. I, myself have a chance to visit your beautiful campus in August 2017 along with attending AFGS2017 as well. Department of Media Art & Media Technology has developed a strong collaboration with TUT's Media Science Department after we signed MOU between departments. TUT's professor visited our department and gave an interesting lecture and workshop, which inspired our students very much.

Professor Kondo's initiation of this department collaboration has been valuable to professors and students in our department very much. I wish you the best in your future endeavors. I hope you have a fun and fruitful retirement!

AFGS 2015 at KMUTT Bangkok

At Kondo lab., TUT 2017

SIGGRAPH 2017 at Bangkok

Pavadee Sompagdee

Director of IDD & CDT International Program (Aug. 2017-Sept. 2019)
Thammasat University, Thailand

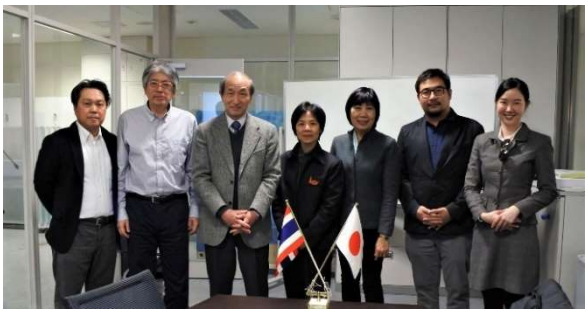
Congratulations on your retirement!

I will always remember the first day that we met at TUT. Your kindness is what I think about. Thank you for all the assistance you had provided me while I was acting Director of CDT and IDD program at Thammasat University and honored us by being a member of the curriculum committee. I appreciate the advice you gave. On behalf of the faculty representative, I thank you for giving our students opportunity to do research at TUT during Summer and to help contacting leading game and animation companies for students' industrial visit.

Your capability, responsibility, expertise and hard work have been my source of motivation and inspiration. Working with you over the past couple of years has been an immense pleasure.

Now you are retiring, we will miss your guidance, support, and positive attitude. But on the brighter side; we know that you'll have more time for yourself and that you can enjoy all those things you've wanted to do.

I personally thank you for responding to my messages regardless what time it was, so I never thought we were working in different countries. I have enjoyed our friendship and will delight in continuing it into your retirement. May the years of your retirement be no limit to beautiful adventures and happy moments with the ones you love. Hope we will have an opportunity to welcome you and your wife in Thailand soon. Let's go to Phuket together.



2017 at TUT

CU,KMUTT and TU students at TUT 2018

SIGGRAPH Asia 2017 at Bangkok

Meeting with TU professors at Phuket, July 2019

Pizzanu Kanongchaiyos

Asst. Professor
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand

Pedestral Tray

Thai people believe that any field of work cannot be succeeded without a teacher, CG people, starting from animators, programmers, engineers, artists to educators, we all have teachers. Therefore, we need to have a Wai Kru ceremony to worship or respect the teacher.

Teachers' Appreciation Day which is usually held shortly after the beginning of the first semester, on the very first Thursday of June, as Thursday is traditionally the day of wisdom and teachers.

All students help each other to arrange a flower tray for "Wai Kruu ceremony" (พิธีไหว้ครู) ; Then two representatives crawl up to the teachers on their knees, heads down, and presented them with flower tray with candles and incense (พานไหว้ครู).

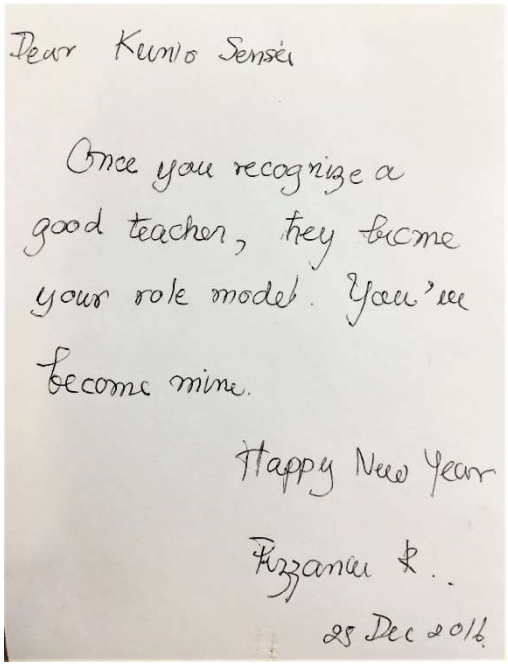
The Students also recite the wai kru chant (บทไหว้ครู) , which expresses respect for, and gratitude to the teachers, and asks for the teachers' blessing of their studies.

Kruu "ครู /kruu/" is used to call all kinds of educators. However, in Thailand students call teachers who teach in higher education from high school, college or University level "อาจารย์ /aa-jaan/", but many of those teachers teaching in higher education level still refer themselves with the word "ครู /kruu/".The origin of the word ครู/kruu/ comes from Pali word "ครุ /krú/" or Sanskrit " ครุ /kú-rú/" which means heavy (in duty or responsibility).There is a Thai saying ครูคือแม่พิมพ์ของชาติ /kruu kue mâe-pim kăwng châad/ which means 'teachers are the mold of the nation'.

Kondo Sensei

So on behalf of Thai students, and from me personally, I wish " Kondo Sensei" ,who is also the mold of Thai CG educations, all the best in retirement. We hope Sensei has a long and peaceful rest, spends some time with loved ones and does everything Sensei wants to do with his time off. All the best, from Thailand and thank you for the past memorable years of continuous hard work.

Keynote Speech by Prof.Pizzanu at IEVC2014



Message from Asst.prof.Pizzanu 2016

Professor Nishita of Pizzanu's supervisor , 2017

Internship student, Pizzanu, Kondo 2014

Internship students with Pizzanu, Kondo,Mikami at CU in 2014

Richard Weinberg, Ph.D.

USC University of Southern California

Research Professor,
Division of Animation and Digital Arts
Charles S. Swartz Endowed Chair in Entertainment Technology
USC School of Cinematic Art, USA

Congratulations on your retirement! It has indeed been a pleasure and an honor to know and work with you all these years. Over the years, I believe that we have accomplished quite a range of activities in our international collaboration, both in Hachioji and Los Angeles.

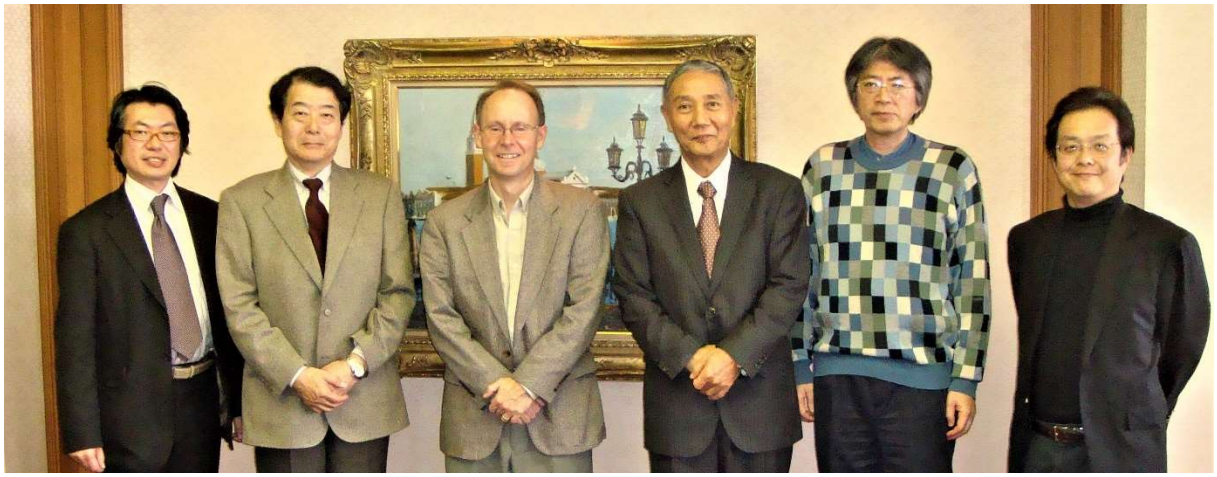
I have enjoyed giving lectures to your students as a Visiting Professor, and hosting USC-Katayanagi Institute workshops with and giving lectures to TUT students visiting USC. It was always a special event to meet you and see the continuous progress taking place at the School of Media Science, and all the amazing projects the students there have created.

Collaborative projects such as Yokai have been amazing experiences for everyone involved, and our students who had the opportunity to work with the faculty and students there were always thrilled to do so.

As you begin your retirement, let me add my thanks and appreciation for all you have done to foster our impactful collaboration. Let me also wish you a very happy, enjoyable and productive retirement, and every success in any endeavor that you may choose pursue in the future. Bon Voyage!

2010　20 floor of　New building at Kamata, Tokyo

Lecture by Professor Weinberg Richard at Tokyo University of Technology 2009



President Karube, Dean Iida, Professor Weinberg, prof.Sasaki, and prof.Yoshioka 2009

5th USC-KI workshop 2017 at USC

Matthew Steidl

Visual Effects Artist, Deluxe Entertainment,
Instructor, California State University at Long Beach, USA

It is an honor to be your friend and colleague during these last ten years. A former student once compared you to a father who wants only the best for his children and stops at nothing to inspire them to find their way. After all this time, I see how apt the comparison was.

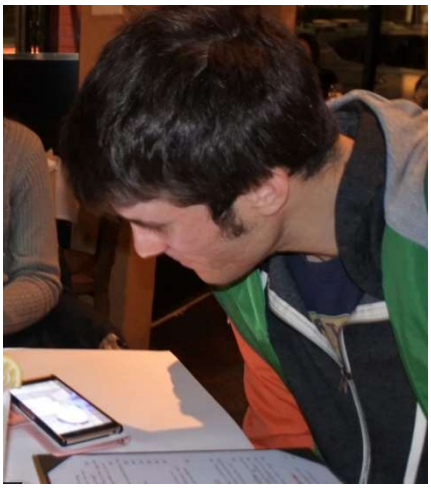
We first met in 2010 during an exchange program between TUT and the University of Southern California. Although I at first thought it was a special one-time "field trip" to visit your beautiful campus and meet your students, it developed into a longstanding relationship with much more back-and-forth than a vacation would normally entail. We made a short film together between our two schools, and I kept in touch with many of the students which helped me learn Japanese enough to get around Tokyo during internships and study abroad programs. After graduation when I was trying to find my footing in the US entertainment industry, I was unable to return to Japan for a number of years, though I really wanted to. During that time, you brought many more students from Los Angeles to Tokyo, where I got to see the amazing projects, they were developing under your guidance, and even offer feedback based on my limited industry experience. It was a good experience for them to interact and learn from a local, and it was a fantastic opportunity for me to maintain ties with Japan.

After casually meeting in restaurants around LA for several years, you suggested I go back to TUT and deliver a lecture about the entertainment industry in the US. It was exciting and nerve wracking at the same time, since I had taught plenty about film at my university in LA, but only in English! I stayed up for many late nights trying to think of what to say, and when I got off the plane in Tokyo, I was shocked to have forgotten so much that it was difficult even to order food at an izakaya. But with the help of friends like you, I was able to get up to speed and delivered a pretty good bilingual speech! It was one of the most memorable moments of all my time in Japan, and it was an opportunity that you created.

I have been fortunate to have a few good role models during my career, each of whom has had a unique style of mentoring those around them. It seemed to me that yours is a gentle mix of positive encouragement and leading by example. Always reaching for new friends and new ideas, you have shown your students that life is full of things to wonder at. We find our paths by finding things that inspire us, and contentment by following those paths wherever they lead. Thank you so much for the opportunities and the memories and may our paths cross again someday.

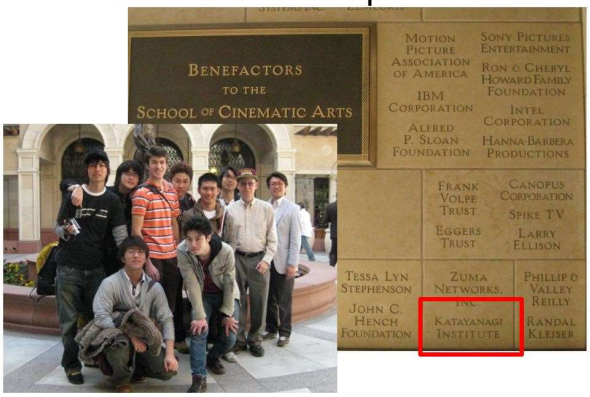
Tokyo International Anime Fair

USC students



2017

2nd USC-KI workshop 2010



Mr. Matthew from USC at TUT 2010.7.18

2017

Contents Technology Center, Tokyo University of Technology

Sidi O. SOUEINA

President, Ph.D, MiFiTT Institute, Mauritania

It is an honor and great pleasure to write this note to celebrate KONDO Sensei's achievements -- Please forgive me for always calling you Sensei. Even after 20 years. If someone teaches you one letter they becometh your lord, as goes the Mauritanian saying...

Time has passed. Much time, since my years at Saitama University. But it always somehow feels like yesterday. Some of the memories that have stayed with me are in-campus barbecues, playing soccer and tennis with friends from around the world but of course also those had with Professor KONDO. Coming to a new place that is very different from what I am used to (North African Mauritania) as an international student who spoke limited English and Japanese, what helped greatly was the support I had from KONDO Sensei as my teacher, then Masters and PhD co-supervisor from 1995 to 2000. I still can't put my hands on it even now. I think it is the supporter attitude from someone who will understand the challenges that you might face as a student, yet, he will not allow you to give up or present too many excuses. This rather fatherly combination significantly contributed to my confidence and perseverance for seven years till graduation. The value of education which I got in Japan and the role KONDO Sensei played in it, became clear to me as I travelled the world from Australia working as scientist at Motorola Laboratories and as a university professor in the United States of America and now as educational entrepreneur in Africa.

During my time as a master student at Saitama University I worked at SHIMADA-KONDO lab on computer graphics projects developing solutions which were much needed at the time. Such as placing foreign objects into a scanned or predefined media. This computer technology would become widely used afterwards especially when movies were popular due to Special Effects.

Professor KONDO also co-supervised my PhD work which titled: A Frame for Learning and Competition for Multi-Agent Systems". The research spawned a so called: MALL (A Multi Agent Learning Language). This was a Script which was designed to allow Intelligent Agents to execute strategies autonomously. Back in 2000 we had predicted that the entire economy would move online. This meant that buying and selling and gathering data and information would become the norm. Such tools we predicted were to become essential for business entities as they interacted with competition and clients alike. These predictions were accurate. We can now see how computer science developed to cater for such needs. I could mention data science, where E-commerce giants such as Amazon, Ebay and facebook gather big data and use data science and Artificial Intelligence to support decision making, and I would stray far from this vision of this research.

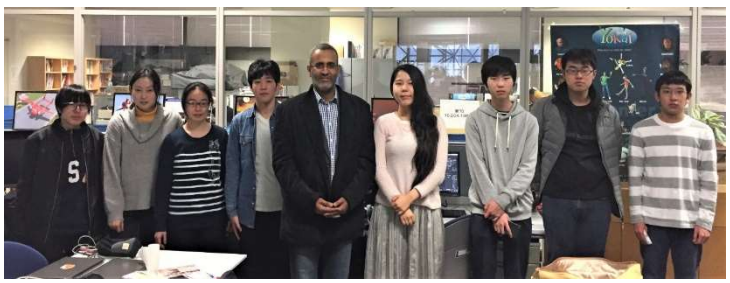
A message for Future activities

As a student from Africa, who studied and worked in four continents for more than 25 years and now as an educational executive, I can see many areas where professor Kondo can continue to give. For example, as China and India become saturated the world is now looking at Africa for its unexploited potential. It is true that the potential was always there. But only became accessible, in part, due to the growing Internet connection. As private and political stakeholders are now flocking to Africa, one of the main challenges which are facing Africans right now is the lack of education and skills. If African youth are not equipped with good skills that can help them become active parties of the new economies across Africa, development and growth will not have the positive effects on the masses which governments around the world would like to see take place here. I think Professor KONDO's experience in research and engineering education can be of tremendous value for places around the world such as South America and Africa. This can take place through many avenues, such as establishing and leading a body that mentors or collaborates with educational institutions remotely or in person. Bringing Japanese and African universities to collaborate further.

Whatever Professor KONDO decides to do, I sincerely which him great health and hope that he will enjoy his retirement days.

At Saitama University, May 1995.

At Tokyo University of Technology, Feb. 2020.



Sigit Kusumanugraha

Art illustrator & Lecturer at Telkom University, Indonesia.
Acquired Master degree for Media Science from Tokyo University of Technology.

Kondo sensei is my professor when I took the graduate school for Media Science in TUT, Japan. He is very kind and welcoming. Even though my Japanese language was not really good, he patiently listened and spoke clearly so I can understand the words.

We first met in Bandung Institute Technology, Indonesia, when he visited my campus for collaboration between Tokyo University of Technology (TUT) and Bandung Institute of Technology (ITB). Professor Kondo give lectures about "CG for creating video games" and "digital content creation" to ITB students from the art and design department. During the visits, Professor Kondo wears the Batik pattern shirt and enjoyed the local Javanese coffee beans, which makes us the locals happy.

Professor Kondo shows a lot of interest in art and culture from other countries. That's the first time when I learned that art can also be collaborated or even created through some algorithms. But above all of those, there are some things that are more important for someone who's so committed to his work like Professor Kondo: his hard work and sincerity.

I would like to congratulate Professor Kondo for his retirement. I believe Professor Kondo will continue to be active in the art and technology field even though he is retired. I hope I can continue to do researches about art and technology with Professor Kondo in the future. And maybe, it's my time to pursue the title "professor" myself since I'm also a teacher at a university in my own country.

Thank you, Kondo sensei for all these times, and for guiding me through a lot of things in the academic world. I am very grateful. Kondo sensei, otsukaresamadeshita.

Mr. Sigit Kusumanugraha at ITB August 2019.

Tanes Tanitteerapan

Associate Professor. Dr.
Dean, faculty of Industrial Education and Technology
King Mongkut's University of technology Thonburi, Thailand

This message is to thank to you, professor Kunio Kondo from Faculty of Media Science, Tokyo University of Technology, Japan who will get retirement on March 2020. The collaboration under signed MOU among Faculty of Media Science, Tokyo University of Technology (TUT), Japan and Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology (KMUTT), Thailand has been set for long time and It mostly was accomplished by your effort.

Under this collaboration, in many years, we have several academic activities to do together and last year (2019), on June, we set some symposium that was performed at Faculty of Media Science, TUT. It was my great chance to visit to TUT to renew signing our collaboration MOU and participated to our set symposium. You, professor Kondo and your team especially your dean faculty did many kinds of activity to keep our long time relation toward and help our young academic staffs and students to have chance to distribute their own research ideas and to learn much more your side ideas from TUT's professors and students by activity of paper presentation with very warm international climates. Although I just got position of dean faculty of Industrial Education and Technology in KMUTT and came to TUT for first time and stayed there for short time, I can see how deep relation we have among our academic staffs. Many professors of Faculty of Media Science in TUT including you gave us kindly discussion and provided us many ideas of research that may be extended to very good themes of research for us in the future.

I heard from my staffs, they often got warm welcome and your kindly assists in many times when they went to TUT. I think to myself although you got retirement from TUT, I really hope that you may join to do several academic activities together in the future such as co-research, co-publication, or be our visiting professor. Finally, no word is the best for now except "thank you very much" for longtime friendship between TUT and KMUTT that you did for us and for everything that you did for us KMUTT's staffs and students.

4th KTCIM2019 International Symposium of KMUTT and TUT

2nd KMUTT-TUT Joint Symposium 2013 at TUT

Internship Students from KMUTT 2019

1st KMUTT-TUT Joint Symposium 2012 at KMUTT

Signing Ceremony 2010 at TUT

Xavier Rousselle

Founder & Director, ISART Digital, Paris France

I remember my first meeting with Professor KONDO Kunio, it was in 2011, he had invited us and we were very, very well received. Professor KONDO is visionary man who understood that digital creation is a major axis that we must help to develop. He spent a lot of time with us to build a partnership between the Tokyo University of Technology and ISART, which is still developing today.

Thus, we have been able to establish a multitude of interactions, thanks to Professor KONDO, such as the Game Jam held over several summers between the students of our institutions, which gave rise to video game prototypes that were exhibited on the Tokyo University of Technology's stand at the prestigious Tokyo Game Show. It was also Professor KONDO who allowed ISART graduate students to come and do research in your laboratories, with your brilliant teams of researchers, and we are very grateful to you for that.

So, we are proud to have been able to welcome Professor KONDO in our Parisian establishment, to interact with our pedagogical teams and myself to work and reflect together on the contents of the pedagogical programs and future new interactions.

Dear Professor KONDO, we are happy to testify to your passion for the teaching profession and proud that we were able to share it together.

We congratulate you on your well-deserved retirement, and stay in touch.

You will always be welcome at ISART Digital Paris and ISART Digital Montreal.

Signing ceremony in 2015

ISART Web page https://www.isart.com/japan/

At ISART in 2018

Game Jam Poster at Tokyo Game show 2018

TUT-ISART Game Jam 2018

ISART Digital in Paris 2017

Lunch meeting at ISART Digital 2018

3. 研究業績紹介

2019 年 6 月に情報処理学会フェローの称号を授与されました。その時に、5 名の推薦者の皆さんにまとめていただいた研究教育の業績の紹介文をここに掲載します。

さらに、研究業績リストとして、著書（41 冊の共著)、研究論文（110 編)、国際会議論文（156 編)、国内研究発表（2 編ほか)、解説等（77 編)、主な講演や講義（44 件)、受賞（30 件）を掲載します。

東京工科大学メディア学部の 13 年間で学会誌論文 50 編、およそ 3 か月に 1 編を執筆していることになります。国際会議論文は 89 件であり、2 か月に 1 編執筆していることになります。

共同研究者の皆さんと学生さんには深く感謝します。

3.1 情報処理学会フェロー推薦のための業績紹介　2019 年 6 月

推薦者の 5 名の方々にまとめていただいた推薦文を抜粋して、一部を紹介します。

CG の非写実的表現とコンテンツ制作技術の研究およびその教育・普及に関する貢献

研究業績に関する紹介

近藤邦雄氏は，1970 年代初期から CG の研究を一貫して行ってきた．特に，非写実的表現(NPR)の研究，インタラクティブスケッチモデリング，感性情報処理の CG 応用などの研究を基礎にして，CG アニメーションやゲーム制作などの CG 技術開発に貢献してきた．これらの成果は学術論文と国際会議合わせて約 250 件の研究論文として公開されている．

コンピュータグラフィックスの研究を始めた 1973 年にはコンピュータ図学と名付けた書籍が発行されていた．図学は，図を介したインタラクションによって形状記述，分析を行う学問といえる．この学問における理論はユーザによる画像の理解という行為がないと成り立たない．このために，コンピュータを利用した描画手法も，人の理解を助けるために開発する必要があった．70 年代における CG 技術の研究は，写実的な表現を物理的な計算に基いて生成する表現技術に重点があり，生成された CG 画像に対する人の認識を強く意識した研究ではなかった．

近藤邦雄氏の研究は，3 次元形状の理解を助ける表現を試行しており，同氏が研究に着手した時期の CG の研究 テーマとしては独自性も高く，絵画やイラストレーションを分析して，人にとって理解しやすい表現とは何かを整理するところから研究を始めている．またその結果を CG 表現するために対話的なレンダリングシステムの開発も行っている．このインタラクティブレンダリングの研究は，1985 年に情報処理学会創立 25 周年記念論文賞を受賞し，いわゆるノンフォトリアリスティックレンダリング(Non-Photorealistic Rendering；NPR)の先駆的な研究として高く評価された．この研究をきっかけに国内で多くの NPR 研究が行われるようになり，CG 研究に新たな分野を切り開いたという独創的な研究であった．そして 1990 年の世界最大の CG の学会である SIGGRAPH ではじめて NPR という用語がセッション名としてはじめて使われるという大きな影響を与えた．

さらに近藤邦雄氏は，1988 年に発表した情報処理学会の論文をもとに，インタラクティブフリーハンドスケッチモデリングにも取り組んだ．CG 技術の発展のためにインタラクションが重要であるという考えから，2 次元的なインタラクションをもとにした 3 次元モデルの生成に関する研究を進め，対話型のモデリングにおいて，スケッチを利用するという，ユーザにとっても直感的な手法を提案した．このアイデアはその後多くの研究にも適用され，同様のモデリング手法に関する研究が多くみられるようになった．

また，研究開発した CG 技術をデジタルコンテンツ制作に応用する研究を進め，映像コンテンツ制作の重要な 3 つの分野であるシナリオ，キャラクター，演出に関係する研究において新しい視点の研究手法を確立している．経験や勘をもとにしていた暗黙知を形式知にしてエキスパートの知識の分析を行い，その情報を活用した制作手法を提案している．コンテンツ制作の高品質化と効率化のための新しい研究分野を開拓した．このような研究は世界的に見ても独自であり，映像産業振興機構などのセミナーで専門家に有用な手法として定着した．これらの貢献に対して，CG 分野において活躍した研究者を対象として毎年 1 名から 2 名の業績を称えるために制定された芸術科学会 CG-JAPAN Award(第 14 回，2015 年度)を受賞している．このことは，近藤邦雄氏の研究の価値の高さを表していることが分かる(http://art-science.org/event/award.html)．

特に優れた研究業績:

70 年代における CG 技術の研究は，写実的な表現に重点があり，CG 画像の生成に対する人の認識を強く意識した研究ではなかった．近藤邦雄氏は人の理解と図的表現の考え方を，「モダングラフィックス，コロナ社，1982 年」にまとめた．これは図と理解，表現とともに，コンピュータを利用した図的表現，つまりコンピュータグラフィックスについてまとめた独創的書籍といえる．

この発想をもとに，人の理解を助ける表現を研究して，インタラ クティブレンダリング手法を提案した．この研究は，1985 年の情報処理学会 25 周年記念論文として公開されるとともに「情報処理学会 50 年の歩み」のノンフォトリアリスティックレンダリングの解説において，先駆的な研究として紹介されている．この当時，非写実的表現という用語はなく，写実的表現に重点があった CG 研究にもう一つの非写実的表現の研究分野を示した重要な研究といえる．非写実的表現(Non-Photorealistic Rendering)という用語は 1990 年の SIGGRAPH で使われているが，近藤邦雄氏の研究はそれに先駆けたより先駆的な研究といえる．

この研究によって，CG 表現の拡大が進み，さまざまな CG 技術が開発されるようになった．またさらに，これらの CG 技術を用いて，アニメーションやゲーム制作に代表されるコンテンツ制作技術の研究が展開された．これによってコンテンツ制作の高品質化と効率化を実現している．このように近藤邦雄氏が提案してきた研究が日常的な生活の中で利用されていることは，近藤邦雄氏の研究業績の有用性，重要性を示しているといってよい．

書籍は共著で 40 冊執筆しており，コンテンツ制作関係の研究成果をまとめた教科書として「コンテンツ クリエーション」，「視聴覚メディア」，「メディア学入門」がある．CG-ARTS から出版したコンピュータグラフィックスに関する書籍は，標準的なテキストとして多くの人に読まれている．また CG 関係の教育論文も多数発表しており，1．NPR 用教育システム，2．CG ツール，3．アルゴリズミックデザイン，4，Java を利用した CG 教材，5．CG カリキュラム開発，6．モデリング教育など新しい教育のための教材開発を行ってきた．さらに，2013 年には，これらをもとにした「アニメやゲームなどのコンテンツ制作分野における実学的工学教育の創生と高度化」というテーマで関東工学教育協会賞(業績賞)を受賞している．

CG 教育や学会活動に関する業績

近藤邦雄氏は，コンピュータグラフィックスとコンテンツ制作技術を普及するために，多くの学会活動や書籍・教科書の執筆を行っており，それらは CG 技術や CG アニメ，ゲームなどのコンテンツ制作の高品質化に貢献をしてきた．

近藤邦雄氏は 1998 年から 2002 年にかけて情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会の主査を務めた．画像電子学会と連携してビジュアルコンピューティングシンポジウムの活性化を進め，国内で最も重要な CG のシンポジウムとして確立してきた．その後，画像電子学会会長，同ビジュアルコンピューティング研究会委員長，芸術科学会会長，日本図学会副会長などを務め，国内の学会の連携を図るとともに，CG 分野の技術開発のみならず，芸術分野の融合の重要性を認識して幅広い研究活動の場を構築した．さらに国際的な研究交流を推進するために，ADADA 会長となり，CG 技術をベースにしたアートやデザイン，メディアの研究活動の基盤を構築し，国内の研究活動を国際的に展開するための活動をしている．また公益財団法人画像情報教育振興協会(CG-ARTS)評議員として活動している． 2015 年に画像電子学会よりフェロー称号が授与されている．

一方，CG 教育に関する研究を生かすために，画像情報教育振興協会からコンピュータグラフィックスの標準テキストを編集，執筆してきた．さらに CG 検定試験の問題作成を中心的に行い，CG 技術を取得した人材育成を行ってきた．CG-ARTS の設立前である 1988 年から現在に至るまで 30 年にわたり，CG 教育の普及，産学の交流に貢献してきた．多くの合格者を関連業界に送り出し，ゲームやアニメーションをはじめとするコンテンツ業界の発展の原動力になった．さらに CG 技術やコンテンツ制作関係の教育論文，書籍を多数発表しており，情報工学分野のみならず芸術工学，メディア学分野の教育の充実および学問分野の体系化に多大な貢献をした．

2020 年3 月 14 日現在

近藤 邦雄

3.2 研究業績リスト

学位論文

論文名「インタラクティブレンダリングによる3次元形状の表現に関する研究」 1988年(昭和63年3月)
工学博士(東京大学):論文提出により取得
主査:木村文彦教授，副査:吉川弘之教授，鈴木賢次郎教授，杉原厚吉教授，大園成夫教授

著書

1. 近藤邦雄 (分担執筆): 自動作画の基礎技術，土木学会自動作画小委員会, 1981.3
2. 近藤 邦雄,田嶋 太郎(共著), モダングラフィックス,コロナ社,1982
3. Kondo, K., Kimura, F., and Tajima, T. An Interactive Rendering System with Shading. In Japan Annual Reviews in Electronics, Computers ~ Telecommunications 18, Computer Science and Technologies, Kitagawa, T. (Ed.), Ohmsha and North-Holland, Tokyo, pp. 255-271, 1988
4. 近藤邦雄(分担執筆):CG ハンドブック,日本図学会編 森北出版,1988.5
5. 近藤邦雄(分担執筆):CG 試験受験ガイドブック,画像情報教育振興協会,1991.10
6. 近藤邦雄(分担執筆):CG 試験 3 級受験ガイドブック,画像情報教育振興協会, 1992.9
7. 近藤邦雄(分担執筆)画像処理産業応用総覧(上巻基礎・システム技術編),フジテクノシステムズ,1994.1
8. 近藤邦雄(分担執筆):3 次元 CG (第2章レンダリングの基礎),オーム社,1994.2
9. 近藤邦雄(分担執筆):テクノカルチャー・マトリクス(コンピュータグラフィックスによる色彩構成と表現),NTT 出版 ,pp.176-177,1994.3
10. 近藤邦雄(分担執筆), CAD の基礎技術, 第 8 章 CG,日経 BP 社,1994.8
11. 近藤邦雄 編集委員 (分担執筆), コンピュータグラフィックス標準テキストブックス,画像情報教育振興協会,1995.3
12. 近藤邦雄(分担執筆(2-3)),情報処理ハンドブック,情報処理学会編 オーム社,1995.11
13. 近藤邦雄(分担執筆(2-3,2-4)), マルチメディアガイドブック,画像情報教育振興協会,1995.12
14. 近藤邦雄(編集委員,分担執筆):入門コンピュータグラフィックス 標準テキストブック:画像情報教育振興協会,1996.3
15. 近藤邦雄(分担執筆):デザインエンジニアリング総覧(第 6 節ユーザインタフェース),フジテクノシステムズ,1996.8
16. 近藤邦雄, 共著(日本図学会編,編集委員,第 3 章分担執筆),シンセティック CAD - コンピュータ支援による設計製図の実際 -,培風館,1997.4
17. 近藤邦雄,日本図学会編, マルチメディアコミュニケーション - 表現技術の基礎 -近藤邦雄(編集委員及び分担執

筆), 共立出版,1997.5

18. 近藤邦雄 （第 6 章 1 節分担執筆）,マルチメディア標準テキストブック（コミュニケーションデザイン編）, 画像情報教育振興協会 ,1997.10

19. 近藤邦雄(分担執筆):通信の百科辞典,郵政省通信総合研究所編、丸善,1998.7

20. 近藤邦雄(分担執筆):電子情報通信ハンドブック,電子情報通信学会編、オーム社,1998.11

21. 近藤邦雄, 画像情報教育振興協会編, コンピュータグラフィックス標準テキストブック改定版,編集委員,第 2 章分担執筆) , 1999

22. 大澤光編書, 近藤邦雄分担執筆, 印象の工学とはなにか,丸善プラネット,2000.1

23. 近藤邦雄,他監修, インターネット通信講座 CG 標準コース[技術編]Part1, CG-ARTS 協会, 2000.11

24. 今間俊博,近藤邦雄,稲蔭正彦,為ヶ谷秀一,内山博子, CGによるアニメーションと映像の基礎（メディア教材）制作: 文部科学省大学共同利用機関メディア教育開発センター,監修: CG アニメーション基礎教材開発研究会,2004.3

25. 近藤邦雄 , CG-ARTS 協会編（分担執筆）, コンピュータグラフィックス , CG-ARTS 協会,2004.9

26. 近藤邦雄(分担執筆)コンピュータグラフィックス:画像情報教育振興協会,2005.1

27. 近藤邦雄, 情報システムのための情報技術辞典, 情報システムと情報技術事典編集委員会編, 培風館, 分担執筆, 2006.6

28. 西田友是,近藤邦雄,藤代一成(監修,分担執筆) 画像電子学会編:ビジュアルコンピューティング -3 次元 CG による画像生成 ,東京電機大学出版,2006.9

29. 近藤邦雄,ほか分担執筆,デジタルスタイルデザイン,精密工学会編,海文堂出版,2008.12

30. 近藤邦雄(分担執筆),画像電子情報ハンドブック,画像電子学会編,東京電機大学出版局 ,2008.2

31. 日本図学会編:近藤邦雄,加藤道夫,ほか多数,図学用語辞典 Dictionary of Graphic Science, 森北出版, 2009.11

32. 金子満 ,近藤邦雄, キャラクターメイキングの黄金則,ボーンデジタル,2010.10

33. 近藤邦雄ほか多数, かたち・機能のデザイン辞典, 丸善株式会社, PP.346-347, 2011.1

34. 金子 満, 近藤 邦雄, 三上 浩司, 渡部 英雄,「映像ミザンセーヌの黄金則 -ヒットする映画の作り方-」, ボーンデジタル,2012.8

35. 飯田仁,近藤邦雄,稲葉竹俊,メディア学入門,メディア学大系第 1 巻, コロナ社, 2013.2

36. 近藤邦雄,三上浩司,コンテンツクリエーション, メディア学大系第 3 巻, コロナ社, 2014.10

37. Cocchiarella, Luigi (Ed.), Kunio Kondo, Taichi Watanabe, Interactive Sketch Interpreter for Geometric Modeling, The Visual Language of Technique, Volume 2, Heritage and Expectations in Research, Springer-Verlag, 2015.1

38. 近藤邦雄分担執筆, CG-ARTS 協会編, コンピュータグラフィックス(改訂新版), 第 6 章分担執筆, 2015.4

39. 近藤邦雄,相川清明, 竹島由里子, 視聴覚メディア , メディア学大系第 15 巻, コロナ社, 2017.5

40. メディア学部編, 相川, 近藤 監修, メディア学キーワードブック, コロナ社, 2018.2

41. 近藤邦雄, 田所淳 監修: Processing による CG とメディアアート, 講談社, 2018.12

研究論文

1. 近藤邦雄, 田嶋太郎, 写真と計算機によるフォト・モンタージュパースの実験, 日本図学会 図学研究 23 号 1978.9

2. 近藤邦雄, 田嶋太郎, セクション ユニット法によるフォト・モンタージュパース, 日本設計製図学会, 設計製図, Vol.14, №.69 1979.5

3. 近藤邦雄, 田嶋太郎,計算機による多面体の形成 ,日本図学会,図学研究 25 号, 1979

4. 近藤邦雄, 田嶋太郎,肉眼立体視の手引き,日本図学会 図学研究 27 号, 1980.9

5. 近藤邦雄, 田嶋太郎,肉眼立体視に関する実験, 日本図学会,図学研究 28 号 1981.3 田嶋太郎

6. 近藤邦雄,木村文彦, 曲面の形状感の表現 第 1 報, 第 1 報中間調を用いた図の作成,精機学会,精密機械, 第 49 巻,第 12 号 1983.12

7. 田嶋太郎, 近藤邦雄, 図学教育へのコンピュータグラフィクスの導入, 日本図学会, 図学研究 35 号,1984.9

8. 近藤邦雄,田嶋太郎,木村文彦,曲面の形状感の表現 第 2 報ペイントシステム CARP の作成,精密工学会,精密機械,Vol.51,No.61, 1985.6

9. 近藤邦雄, 田嶋太郎,木村文彦, インタラクティブレンダリングシステムによる 3 次元形状の表現, 情報処理学会,情報処理,Vol.26,No.11, 1985, (情報処理学会創立 25 周年記念論文賞)

10. 近藤邦雄, 田嶋太郎, 木村文彦, 曲面の形状感の表現 第 3 報手描き入力による図形作画法, 精密工学会, 精密工学会誌 53(4), pp.607-612, 1987.4.5

11. 近藤邦雄, 田嶋太郎, 木村文彦,レンダリングのための濃淡表現アルゴリズム,日本図学会, 図学研究,Vol.39, 1986.9

12. 近藤邦雄,木村文彦, 田嶋太郎,絵画における濃淡表現の分類と計算機による濃淡表現法,日本図学会,図学研究,Vol.40,1987.3

13. 近藤邦雄, 木村文彦,田嶋太郎,手描き透視図の視点推定とその応用,情報処理学会論文誌 29(7), pp.686-693, 1988.7.15

14. 近藤邦雄, 木村文彦,田嶋太郎, レンダリングのための対話型透視図作図手法,情報処理学会論文誌 29(8), pp.721-728, 1988.8.15

15. 近藤邦雄,島田静雄,佐藤尚,形状モデラ Geomap と NUCE-Basic を用いた形状処理教育, 図学研究, 第 51 号, pp. 71-74,1990

16. 石井史泰, 近藤邦雄:, パーソナルコンピュータによる三次元リアルタイムグラフィックスースプライトと走査線割り込みの利用ー, 日本図学会, 図学研究, 第 49 号. pp.1-8, 1990.3

17. 近藤 邦雄,神原 章, 佐藤 尚, 島田 静雄, 尚 鴬武, レンダリングのための対話型線画表現法, 日本図学会,図学研究第 55 号, pp.11-15, 1992

18. 神原章,近藤邦雄,佐藤尚,島田静雄, 3 次元形状表現のための白黒画像の描画法, 情報処理学会, 情報処理学会論文誌 Vol. l34,No. 8, pp. 1762—1769,1993

19. 島田静雄,近藤邦雄,佐藤尚,黒田章裕, 情報工学実験における形状モデリング, 情報処理学会, 情報処理学会論文誌 Vol. l34, No. 11, pp. 2313—2319, 1993

20. 諸原雄大,近藤邦雄,島田静雄,佐藤尚, テキスタイルデザイン画像におけるイメージ・カラーの選定法, 情報処理学会, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.2, pp.329-337, 1995

21. 佐藤修一,近藤邦雄,佐藤尚,島田静雄,金子満, アニメーション制作におけるキャラクタの動作強調手法 Motion Filter, テレビジョン学会, テレビジョン学会誌,Vol.49, No.10, pp.1280-1287, 1995

22. 石井真人,近藤邦雄,佐藤尚,島田静雄, 印象語によるチェック柄分類の試み,日本図学会, 図学研究 70 号, pp.3-11, 1995

23. 近藤邦雄,伊藤素子,猪原徹,佐藤尚,島田静雄, 感性検索のためのボロノイ図の応用, 図学研究,第 72 号, pp.19-26, 1996

24. 森田孝,佐藤尚,近藤邦雄,島田静雄, ラジオシティ法における相互反射光の並列処理, 画像電子学会,画像電子学会論文誌,第 25 巻,第 4 号, pp. 359—371,1996

25. 宮澤貴之,望月義典,近藤邦雄,佐藤尚,島田静雄, 3次元形状を誇張するための投影変換手法, テレビジョン学会, テレビジョン学会誌, Vol.50, No.10, pp.1543-1548,1996

26. 加藤陽一,岩崎謙次, 窪田宏,佐々木和也, 近藤邦雄,清水義雄, Bezier 曲面を用いた図形変形法, 日本図学会,図学研究, 第 74 号, pp.3-12,1996.12

27. 石井真人 近藤邦雄, 図形の構成要素と印象の抽出 -アパレルチェック柄を中心にして- ,日本図学会,図学研究,第 77 号, pp.9-16,1997

28. 中谷直司,金杉昭徳,近藤邦雄,任意形状ブロックを対象とした一配置手法,エレクトロニクス実装学会誌, Vol.1, No.6,pp.476-482,1997

29. 望月義典, 近藤邦雄,形状特徴表現のためのエッジ強調描画手法, 情報処理学会,情報処理学会論文誌, Vol.40, No.3, pp.1148-1155,1998

30. Masahiro TAKAHASHI, Hisashi SATO, Kunio KONDO, Shizuo SHIMADA,A Manual to Teach Computer Graphics by JAVA, Journal for Geometry and Graphics.(Heldermann Verlag) ,Volume 2(1998), Number 1. pp.101-108,1998.10

31. 松田浩一,近藤邦雄,手書き図形入力のための時系列情報を利用した逐次清書法, 情報処理学会,情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.594-601,1998

32. 石井真人, 近藤邦雄, アパレル図柄の感性情報抽出システム,日本図学会,図学研究,Vol.32,No.3,pp.27-34,1998

33. 中谷直司, 金杉昭徳, 近藤邦雄,任意形状ブロックを対象とした一配置手法 エレクトロニクス実装学会誌, Vol.1, No.6, pp.476-482, 1998. 11.

34. 望月義典,近藤邦雄, 細分割曲面の輪郭線描画手法,情報処理学会論文誌, Vol.41, No.3,pp.601-607,1999

35. 三浦 貴宏, 徐 崢, 近藤 邦雄, 細分割曲面のメッシュ数削減のための分割制御手法,日本図学会, 図学研究,Vol.33, No.2,pp.63-70,1999

36. 徐 崢, 近藤 邦雄, Fillet Operations with Recursive Subdivision Surfaces,画像電子学会, Vol.28, No.4, pp.329-338,1999

37. Zheng Xu, Kunio KONDO, Introducing Feature Values for Effective Specification of Polyhedral Networks, 情報処理学会, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.3,pp.742-749,1999

38. 松田浩一, 近藤邦雄, スケッチ情報を利用した手描きによる細分割曲面生成法, 情報処理学会,情報処理学会論文誌, Vol.41, No.3, pp.551-558,1999

39. 松田浩一,近藤邦雄, 手描き断面線を用いた細分割曲面生成手法,日本図学会, 図学研究, Vol.34, No.1, pp.17-22,1999

40. Hideki Yamazaki , Kunio Kondo, A Method of Changing a Color Scheme with Kansei Scales, Journal for

Geometry and Graphics, Vol.3, No.1, pp.77-84,(Selected paper of ICECGDG),1999

41. 石井真人 近藤邦雄,クラスター特性関数を用いた主観的評価差に対応する画像検索法, 日本図学会, 図学研究, Vol.33, No.3, pp.13-19, 1999

42. 朱 仲武,王 樵,近藤邦雄, ベルーズ・ファー, 汎用的なWebベース個人適応型学習支援環境構築ツール WWW-CALIST とその仕様について, 教育システム情報学会, 教育システム情報学会論文誌春号, Vol.16, No.1,pp.14-24,1999

43. 近藤邦雄,高橋雅博,松永政尚,山嵜秀樹, 画像データベースのためのイメージカラー検索手法, 映像情報メディア学会, 映像情報メディア学会誌, Vol.54,No.11, pp.1615-1622,2000

44. 中谷直司,金杉昭徳,近藤邦雄,ウイルス進化論に基づく進化型アルゴリズム, 情報処理学会,情報処理学会論文誌 Vol.40,No.5, pp.2346-2355,2000

45. 近藤邦雄,佐藤尚,町田芳明,増田伸二,星野 伸行,デジタルモデリングによる 3 次元立体の復元と複製,日本図学会, 図学研究,Vol.35,No.2, pp.7-11,2001.6

46. Zheng XU, Kunio KONDO, Fillet Operation with Recursive Subdivision Surfaces, Geometric Modelling, Theoretical and Computational Basis towards Advanced CAD Applications, IFIP —The International Federation for Information Processing Volume 75, pp 269-284 ,2001

47. 松田浩一,鈴木俊博,静春樹,近藤邦雄,スケッチインタプリタシステム:手描き陰影による3 次元形状制御法,情報処理学会,情報処理学会論文誌, Vol.44,No.11,pp.2547-2555, 2003.11,

48. Yusuke HAMASAKI, Kunio KONDO, Image Generation Method using Synthesis and Control of Rendering Region, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of ADADA, Vol.1, pp.31-36, 2004.4,

49. Hiroki IMAHASHI, Kunio KONDO, Yoshiaki MACHIDA ,Masahiro TAKAHASHI, Knowledge Based Color Coordinate System and its Application, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of ADADA, Vol.1, pp.37-42, 2004.4

50. Koichi Matsuda, Kunio Kondo, Keyframes Extraction Method for Motion Capture data, International Society for Geometry and Graphics, Journal for Geometry and Graphics, Volume 8, No.1, pp.81-90 ,2004,

51. 近藤邦雄,作品制作とプログラミングによるコンピュータグラフィックス教育,日本図学会,図学研究,近藤邦雄,2004,

52. Weizhong LIU, KONDO K, An Adaptive Scheme for Subdivision Surfaces based on Triangular Meshes subdivision, Journal for Geometry and Graphics Volume 8, No.1, pp.69-80, 2004.8

53. 近藤邦雄,立体復元 CAD による投影図を用いた 3 次元形状生成の教育,日本図学会,図学研究,2004,

54. 近藤邦雄,面出和子,鈴木賢次郎 ,図学および図的表現法に関する教育実状調査,日本図学会,図学研究,第 39 巻, 第 1 号,通巻 107 号,pp.3-8,2005.3,

55. 今間俊博,近藤邦雄,栗山仁,古家嘉之,モーションキャプチャデータを用いた加速度制御手法によるメンタルモーション生成,日本図学会,図学研究,第 39 巻第 2 号通巻 108 号,pp.3-10,2005.6

56. Kunio Kondo,Kazuko Mende ,Kenjiro Suzuki ,Present Status of Graphics Science and Graphics Representation Education in Japan, International Society for Geometry and Graphics, Journal for Geometry and Graphics, volume 9 ,No.1, pp.77-87,2005

57. K. Kondo, H. Shizuka, W. Liu, K. Matsuda,A Sketch Interpreter System with Shading and Cross Section Lines, Journal for Geometry and Graphics, Volume 9, No.2, pp.177-189, 2005

58. KONDO Kunio, IWABUCHI Eitaro, Non Photorealistic Rendering using Photon Brushes, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of Asia Digital Art and Design Association, Vol.4, 2006.3,

59. Wei Xin, Kunio Kondo, Kei Tateno, Toshihiro Konma, Key Pose Extraction Method from Motion Capture Data

for Making 2D Animation, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of Asia Digital Art and Design Association, Vol.5, 2006.12,

60. Yukiko UNAMI, Kunio KONDO, Area Segmentation and Color Exaggeration for Image Synthesis, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of Asia Digital Art and Design Association, Voi.5, pp.38-43, 2006.12

61. Shoichi OBAYASHI, Kunio KONDO, Toshihiro KOMMA, Ken-ichi IWAMOTO, Nonphotorealistic motion blur for 3D animation, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of Asia Digital Art and Design Association,2007.6

62. Xin Wei Kunio Kondo Kei Tateno Toshihiro Konma Tetsuya Shimamura, Discrete Wavelet based Keyframe Extraction Method from Motion Capture Data, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of Asia Digital Art and Design Association,2007.6

63. KONDO Kunio, NISHITA Tomoyuki, SATO Hisashi, MATSUDA Koichi, Educational Non-photorealistic rendering System using 2d Images by Java programming, Journal for Geometry and Graphics 11, No. 2, 237--247,2007

64. 近藤邦雄,鈴木和明,斉藤豪,単一オブジェクト写真からドット絵風のキャラクタ画像を生成する手法の提案, 電子情報通信学会,電子情報通信学会論文誌, 200812

65. 米山孝史,源田悦夫,近藤邦雄,視覚パラメータに基づく絵画風画像生成手法, 日本図学会,図学研究, Vol.43, No.4, pp.13-21,2009.12 （研究論文賞）

66. Takashi Yoneyama, Etsuo Genda, Kunio Kondo,Artistic Rendering of 3D Models with Levels of Abstraction, International Journal of ADADA,アジアデジタルアートアンドデザイン学会,Vol.9-10,pp.13-20,2009.12

67. KONDO Kunio, Interactive Geometric Modeling Using Freehand Sketches ,International Journal of Geometry and Graphics, International Society of Geometry and Graphics,Vol.13, No.2, pp.195-207 ,2010

68. 兼松 祥央, 三上 浩司, 近藤 邦雄, 金子 満 :映像分析に基づくライティング情報のディジタル化とその活用に関する研究, 芸術科学会,芸術科学会論文誌,第 9 巻, 第 2 号,pp.66-72, 2010

69. 兼松祥央,三上浩司,近藤邦雄,金子満,映像分析に基づくライティング情報のディジタル化とその活用に関する研究,芸術科学会,芸術科学会論文誌,Vol.9,No.2, pp.66-72,2010

70. 渡辺賢悟,伊藤和弥,近藤邦雄,宮岡伸一郎,Poisson Image Editingを用いたキャラクタコラージュシステムの開発,芸術科学会,芸術科学会論文誌,Vol.9, No.2,pp.58-65,2010.6

71. Koji Mikami, Taichi Watanabe, Katsunori Yamaji, Kenji Ozawa, Motonobu Kawashima, Akinori Ito, Ryota Takeuchi, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko ,Construction Trial of a Practical Education Curriculum for Game Development Through Industry- University Collaboration, Computer & Graphic Journal An International Journal of Systems & Applications in Computer Graphics ,34, pp.791-799, 2010.11,

72. 戀津魁,菅野太介,三上浩司,近藤邦雄,金子満, 映像制作支援のためのシナリオ記述・構造化システムの開発, 芸術科学会,芸術科学会論文誌,Vol.10,No.3,2011.9

73. 近藤邦雄,伊藤彰教,三上浩司,渡辺大地, Example Based Programming に基づく CG 制作の入門教育,日本図学会図学研究,第 45 巻, 第 3 号,pp.3-10,2011.9

74. 金 剛元,三上浩司,伊藤彰教,近藤邦雄,ストーリーマンガ制作のための段階的なネーム構成支援手法,日本図学会,図学研究,第 45 巻 4 号,pp.11-20,2011.12

75. 松尾隆志,三上浩司,渡辺大地,近藤邦雄,リアルタイム 3DCG における物体の形状を考慮した輪郭線の誇張表現手法の提案,芸術科学会, 芸術科学会論文誌,第 10 巻 ,第 4 号, pp.251-262,2011.12

76. Koji Mikami, Taichi Watanabe, Katsunori Yamaji, Kenji Ozawa, Motonobu Kawashima, Akinori Ito, Ryota Takeuchi, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, Construction Trial of a Practical Education Curriculum for Game

Development Through Industry-University Collaboration, Computer & Graphic Journal, An International Journal of Systems & Applications in Computer Graphics, Vol.34, pp. 791-799,2011.11

77. Ryota Takeuchi, Taichi Watanabe, Koji Mikami, Kunio Kondo, Proposal of digital sculpting with history management of strokes,芸術科学会論文誌,Vol.11, No.4, 2012.12

78. Kenneth Chan, Koji Mikami and Kunio Kondo, From Brain Waves to Game Design: A Study on Analyzing and Manipulating Player Interest Levels, Art and Science Society, The Journal of the Society for Art and Science, Vol.10,No,3,pp.59-68,2012.9

79. 田中希,岡本直樹,茂木龍太,近藤邦雄,三上浩司,デフォルメテンプレートを用いた飛行機キャラクター制作のためのデザイン原案作成支援手法, 日本図学会,図学研究,第 46 巻, 第 1 号,pp.11-20, 2012.3

80. Arif Muntasa, Mochammad Kautsar Sophan, Mauridhi Hery P., Kondo Kunio, The Hatching Facial Sketch Representation based on Mixture Model, International Journal of Advancements in Computing Technology,IJACT,4(3), pp.239-249, 2012

81. Arif Muntasa, Mochammad Kautsar Shopan, Mauridhi Hery Purnomo, Kondo Kunio, Enhancement of the Adaptive Shape Variants Average Values by Using Eight Movement Directions for Multi-Features Detection of Facial Sketch, Information and Communication Technology, Journal -ITB, 6C(1),pp.1-20,2012

82. 兼松祥央,三上浩司,近藤邦雄,照明設計支援システムのためのシナリオ情報を用いた登録・検索手法,日本図学会,図学研究,第 47 巻,2,3 合併号,2013.9

83. 小島 啓史,竹内亮太,三上 浩司,渡辺 大地,特徴的な動き方を考慮したオーロラのビジュアルシミュレーション,芸術科学会,芸術科学会論文誌,第 12 巻,1 号,2013.3

84. 松尾隆志,三上浩司,渡辺大地,近藤邦雄, 形状の特徴や動的な変形を考慮したリアルタイム 3DCG における輪郭線の誇張表現手法, 映像情報メディア学会,映像情報メディア学会誌, Vol.67, No.2, 2013.3

85. Takahiro Tsuchida, Ryuta Motegi, Naoki Okamoto, Koji Mikami, Kunio Kondo Mitsuru Kaneko, Character Development Support Tool for DREAM Process, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of Asia Digital Art and Design Association,Vol.16, pp.4-12, 2013.4

86. Pulung Nurtantio Andono, I Ketut Eddy Purnama, Mochamad Hariadi, Taichi Watanabe, and Kunio Kondo,3D Surfaces Reconstruction of Seafloor Images Using Multiview Camera Based on Image Registration, Information Engineering research Institute, Lecture Notes in Information Technology (ISSN: 2070-1918) Advanced in Information Technology, Volume 39,pp.227-235,2013.12

87. ARIF MUNTASA, MOCHAMMD KAUTSAR SOPHAN, MOCHAMAD HARIADI, MAURIDHI HERY PURNOMO, KUNIO KONDO, A NEW MODELING OF THE LANDMARK MOVEMENT BASED ON THE PREVIOUS MOVEMENT RESULTS TO DETECT THE FACIAL SKETCH FEATURES, Journal of Theoretical and Applied Information Technology,2013.1

88. Satoshi Nakajima, Mikio Shinya, Michio Shiraishi, Hidetsugu Katsuragawa, Motonobu Kawashima, Kunio Kondo, Practical CG-based Video Materials for Tai Chi Chuan Self-study, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing2(1),pp.59-66(IIEEJ The Institute of Image Electronics Engineers of Japan),2014.6

89. Rusmono Yulianto, Mochamad Hariadi, Mauridhi Hery Purnomo, Kunio Kondo, ITERATIVE FUNCTION SYSTEM ALGORITHM BASED A CONFORMAL FRACTAL TRANSFORMATION FOR BATIK MOTIVE DESIGN,JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED INFORMATION TECHNOLOGY (E-ISSN 1817-3195 / ISSN 1992-8645)62(1),2014.

90. Rusmono Yulianto, Mochamad Hariadi, Mauridhi Hery Purnomo, Kunio Kondo, BATIK ORNAMENT GENERATOR THROUGH BOX COUNTING BASED FRACTAL DIMENSION USING GAUSSIAN DISTRIBUTION,JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED INFORMATION TECHNOLOGY (E-ISSN 1817-3195 / ISSN 1992-8645),2014.8

91. 小島啓史, 竹内亮太, 石川知一, 三上浩司 , 渡辺大地 , 柿本正憲 , 近藤邦雄,分断と再統合現象を考慮したオーロラのビジュアルシミュレーション, 情報処理学会, 情報処理学会論文誌,55(8),2014.8

92. Endang Setyati, Surya Sumpeno, Mauridhi Hery Purnomo, Koji Mikami, Masanori Kakimoto, Kunio Kondo, Phoneme-Viseme Mapping for Indonesian Language Based on Blend Shape Animation, IAENG International Journal of Computer Science, Vol.42, No.3, pp.233-244, 2015.7

93. 李 磊, 石川 知一, 三上 浩司, 柿本 正憲, 近藤 邦雄:水墨画風 CG 画像生成のための多視点投影手法、日本図学会図学研究第 49 巻 2 号(通巻 146 号)、pp.13-20、2015.6

94. 戀津 魁, 三上 浩司, 近藤 邦雄, 香盤表作成のための構造化シナリオを用いたシーン情報抽出手法. 芸術科学会論文誌, Vol.14, No.5, pp.229-237, NICOGRAPH2015 (Journal Track), 2015.11

95. Tomokazu ISHIKAWA, Yonghao YUE, Taichi WATANABE, Kei IWASAKI, Yoshinori DOBASHI, Masanori KAKIMOTO, Kunio KONDO, Tomoyuki NISHITA, Visual Simulation of Glazed Frost Using Hybrid Heat Calculation, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol.5,No.2,2015.12

96. R. Motegi, Y. Kanematsu, T. Tsuchida, K. Mikami, K. Kondo, Color Scheme Scrapbook Using A Character Color Palette Template,Journal for Geometry and Graphics, Volume 20 (2016), No. 1, 101–112.2016.7

97. Koji Mikami1, Yosuke Nakamura, Akinori Ito, Motonobu Kawashima, Taichi Watanabe, Yoshihiro Kishimoto, Kunio Kondo: Effectiveness of Game Jam Based Iterative Program for Game Production in Japan Computers & Graphics, 2016.8

98. 兼松祥央,茂木龍太,三上浩司,近藤 邦雄,3DCG 映像制作のための演出支援ライティング教材の提案,日本図学会図学研究, 第 50 巻 3 号(通巻 151 巻), 2017.1

99. 菅野 太介,三ヶ尻 達哉,三上 浩司,近藤 邦雄,映画作品における試練要素分析に基づいたプロット制作支援,画像電子学誌 第 46 巻 第 1 号(通巻 239 号), 2017.1

100. 兼松 祥央,竹本 祐太,茂木 龍太,鶴田 直也,三上 浩司,近藤 邦雄,ロボットアニメーションにおけるポーズ制作支援システムの開発, 画像電子学誌 第 46 巻 第 1 号(通巻 239 号), ショートペーパー, 2017.1

101. Motegi Ryuta, Tsuji Shota, Kanematsu Yoshihisa, Mikami Koji, Kondo Kunio. ROBOT CHARACTER DESIGN SIMULATION SYSTEM USING 3D PARTS MODELS, International journal of Asia digital art and design, Vol.21, No.2, pp.81-86, 2017.11

102. Ryuta Motegi, Yoshihisa Kanematsu, Naoya Tsuruta, Koji Mikami, Kunio Kondo, Color Scheme Simulation for the Design of Character Groups, Journal for Geometry and Graphics Volume 21, No. 2, pp.253-262,2017.12

103. Henry Fernandez, Koji Mikami, Kunio Kondo, Perception of Difficulty in 2D Platformers Using Graph Grammars, International journal of Asia digital art and design, vol.22,no.2, pp.38-46, 2018

104. Hongyi XU, Yoshihisa KANEMATSU, Ryuta MOTEGI, Naoya TSURUTA, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, A SUPPORT SYSTEM FOR DESIGNING CAMERA BLOCKING OF BATTLE SCENES IN ROBOT ANIME, Journal of Graphic Science of Japan, Vol.52, No.4, 2018.12

105. Muhammad ARIEF, Hideki TODO, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, Region Control in Stylized Shading Using Radial Transformation within Texture Projection, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing Vol.7 No.1, 2019

106. RYUTA MOTEGI, KAZUKI SATO, YOSHIHISA KANEMATSU, NAOYA TSURUTA, KOJI MIKAMI, KUNIO KONDO,3D Drafting System based on Shape Analysis of Super Deformed Characters, International Journal of Asia Digital Art and Design Association, Volume 23 Issue 2 Pages 9-15,2019.7

107. Liselotte HEIMDAHL, Yoshihisa KANEMATSU, Naoya TSURUTA, Ryuta MOTEGI, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, ANALYSIS OF SCARE EFFECTS FOR TIMING OF REVEALING THREATS IN HORROR CONTENTS, Journal of Graphic Science of Japan, Vol.53,No.2,pp.3-9,2019.09.

108. YOSHIHISA KANEMATSU, CHIAKI ONO, RYUTA MOTEGI, NAOYA TSURUTA, KOJI MIKAMI, KUNIO KONDO, Plot writing support system for Ensemble cast based on analysing movies, International Journal of Asia Digital Art and Design Association, Volume 23, Issue 3, Pages 35-42, 2019.10

109. Henry Fernandez, Koji Mikami, Kunio Kondo, Difficulty Adjustment Using Player's Performance and Electroencephalographic Data, The Journal of the Society for Art and Science Vol. 18, No. 5, pp. 143-155,2019.12

110. Henry Fernandez, Koji Mikami, Kunio Kondo, Pressure Sensitivity Pattern Analysis Using Machine Learning Methods. The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan. (in press)

国際会議論文

1. Kunio KONDO, Fumihiko KIMURA, Taro TAJIMA , An Interactive Rendering Technique for 3-D Shapes, EUROGRAPHICS'85, pp.341-352,1985

2. Kunio Kondo, Fumihiko Kimura, Taro Tajima Interactive Rendering by Handwriting Input, International conference on CADDM'87, 1997

3. K. KONDO, K. OGATA, H. SATO, S. SHIMADA, Simple Graphic Tool Xgt on X-Window and Education of Computer Graphics for Beginners, Proc. China-Japan Joint Conf., on Graphics Education, pp.169—173,1993

4. S. SATO, K. KONDO, D. OJIRO, H. SATO, S. SHIMADA, M. KANEKO, Interactive Design of Animation with Knowledge Based Moving Controls, Proc. on Computer Animation'93, pp. 286, 1993

5. K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, A. KURODA, Education of CAD Engineering at the Department of Computer Science, Proc. China-Japan Joint Conf. on Graphics Education, pp. 208-213,1993

6. T. INOHARA, K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, Retrieval Method of Textile Pictures Database Using a Complexity Scale, ICDAR'93, pp.699-702, 1993

7. T. INOHARA, K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, Classification of Textile Pictures Using a Complexity Scale ACCV'93, pp.51-54, 1993

8. Y. MOROHARA, K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, Automatic Picking of Index Colors in Textile Pictures for Designer, Proc. of ICECGDG'94, pp.643-647, 1994

9. S. SHIMADA, K. KONDO, A. KANBARA, H. SATO, S. SHIMADA, Interactive Rendering Tool for Technical Illustration, Proc. of ICECGDG'94, pp.762-766, 1994

10. H. SATO, K. OGATA., A. KURAHASHI, K. KONDO, S. SHIMADA, A Distributed Object Oriented Environment ORCHESTRA, Proc. Int. Conf. MSI, pp.257-261, 1994

11. N. UTSUNO, T. INOHARA, Y. MOROHARA, K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, Analyses of Graphical Features of Textiles by Human Impressions, Proc. of IAPR Workshop on MVA, pp.307—310, 1994

12. S. SUGISHITA, K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, F. KIMURA, Interactive Freehand Sketch Interpreter for Geometric Modelling, Proc. of the 6th Inter. Conf. on Human-Computer Interaction,vol.1, pp.561-566, 1995

13. SUGISHITA S., KONDO K., SATO H., SHIMADA S. Sketch Interpreter System for Geometric Modelling, Proc. of ICCAGD, 1995

14. S. SHIMADA, K. KONDO, H. SATO, K. OSHIDA, Sensory retrieval to the bridge pictures database for

landscape design, Computing in Civil and Building Engineering, pp.867-872, 1995

15. XU Z.,S. SUGISHITA, K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, Free-form Surfaces Generation in Freehand Sketch Interpreter System, CADEM'95, Xi'an, pp. 267-272, 1995

16. Xiao H., K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, Analyses of Human Impressions On Features of 3D-Shapes, CADEM'95, Xi'an, pp. 273-278, 1995

17. Kunio KONDO, The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education, China-Japan Joint Conf. on Graphics Education, pp.131-136,1995.9, (Invited talk)

18. Tam Kok Yoong, H. SATO, K. KONDO, S. SHIMADA, Using Animation Databases Interactively on the Network, Proceedings of International Workshop on New Video Media Technology, pp.7-12, 1996.

19. S. SUGISHITA, K. KONDO, H. SATO, S.SHIMADA, Sketch Interpreter for geometric modelling, Annals of Numerical Mathematics 3, pp.361-372,1996

20. M.TAKAHASHI , H. SATO, K.KONDO, S.SHIMADA, A manual to teach computer graphics by Java, Proceedings of 7th International Conf. On Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry, pp.608-612, 1996.

21. A.. KANBARA, K.. KONDO, H.. SATO, S. SHIMADA, Interactive Rendering System for Line Drawing by Dot and Line Shading in M. Gigante and T L Kunii (eds.), INSIGHT THROUGH COMPUTER GRAPHICS, World Scientific, pp. 172-179, 1996.

22. K.MATSUDA,S.SUGISHITA, XU Z., K.KONDO, H.SATO, S.SHIMADA, Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling, Shape Modeling International, pp.55-62, 1997.3

23. Zheng XU, K.KONDO, H.SATO, S.SHIMADA, A 3D Interactive Interface for Geometric Modeling, International Technical Conference On Circuits/ Systems Computers & Communications, pp.711-714, 1997.7

24. C.Nakabasami, K.KONDO, S.Shimada, Language Learning System for Japanese Adjectives aided by Japanese-English Bilingual Thesaurus, Artificial Intelligence in Education, pp.641-643, 1997.8

25. Z.ZHU, K.KONDO, T.MISHIMA, H.SATO, S.SHIMADA, A Scheme and Development for a Distributed Open CAL System on the WWW ,Proc. of ITC-CSCC'97, pp.115-118,1997

26. Zhongwu ZHU, Kunio KONDO, Taketoshi MISHIMA, Hisashi SATO, and Shizuo SHIMADA A Trial Scheme and Development for a CAL System with Management for Study on the WWW, International Technical Conference On Circuits/Systems, Computers and Communications, pp.115-118, 1997

27. M.TAKAHASHI H.SATO K.Kondo,(d),A Remote Education System of Computer Graphics Education using Java, The 3rd China-Japan Joint Graphics Education, Kunming China, pp.228-233,1997

28. N.Nakaya, A.Kanasugi, K.Kondo, A Novel Genetic Algorithm Based on the Theory of Virus Evolution, Proc. of the Third International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.293-296,1997

29. N.Nakaya, K.Kondo, A Novel Coding Technique for Genetic Placement Method, Proc. of ITC-CSCC'97, pp.661-664,1997

30. Nakaya, N. Kanasugi, A. Kondo, K, A Reconfiguration Method of WSI circuits using Evolutionary Algorithm, Proc. of 5th Int. Conf. on Soft Computing, IIZUKA'98, pp.845-848,1997
31. Shouji Ozawa, Minako Miyama, Kunio Kondo, Estimation of Viewpoint and Light Source for a Montage Perspective of Electronic Catalogue, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.1, pp.49-53,1998

32. M.Kobayashi, K.Kondo, H. Sato, Emphasized Expressions Using Motion Filter in Creating Animation, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.2, pp.451-454,1998

33. Yoshinori Mochizuki, Kunio Kondo, Hisashi Sato , Enhanced Edge Rendering for Comprehensible Image, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.1, pp.194-199,1998

34. Nozomu Komori , Koichi Matsuda, Kunio Kondo, Pen Based Interface to Modify Geometric Models, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.2, pp.180-184,1998

35. Koichi Matsuda, Kunio Kondo, User Interface using Freehand Sketch for 3D Geometric Modeling, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.1, pp.185-189,1998

36. Zheng XU, Kunio KONDO, A Fillet Operation with Recursive Subdivision Surfaces, Sixth IFIP WG 52 International Workshop on Geometric Modeling -Fundamentals and Applications(GEO6), pp.244-252,1998

37. Hideki Yamazaki, Kunio Kondo, A Method of Changing a Color Scheme with Kansei Scales, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.1, pp.210-214,1998

38. Masato Ishii, Kunio Kondo, Extraction System of Kansei Information for Patterns, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.2, pp.405-410,1998

39. N.Nakaya, A.Kanasugi, K.Kondo, A Novel Placement Method Using Evolutionary Algorithm, Proc. of 1998 Int. Tech. Conf. on Circuits Systems, Computers and Communications, pp.1777-1780,1998

40. Zhongwu Zhu, Qiao Wang, Behrouz H. Far, Kunio Kondo, A Web-based Individualized Adaptive Computer Aided Learning System, WebNet 98--World Conference of the WWW, Internet, and Intranet,1998

41. Zhongwu Zhu, Qiao Wang, Behrouz H. Far, Kunio Kondo, WWW-CALIST: A General Purpose Tool for Constructing Web-based Individual Adaptive CAL Systems, WebNet 98--World Conference of the WWW, Internet, and Intranet, 1998

42. Zheng Xu, Kunio KONDO, Adaptive Refinements with Subdivision Surfaces, EUROGRAPHICS'99 Short Papers and Demos, pp.239-242,1999

43. KONDO Kunio, Song Genwang, Hisashi SATO, Yoshiaki Machida, Shinji Masuda, Nobuyuki Hoshino Digital Modeling in CAD Engineering Course at the Department of Computer Science Proceedings of the 5th Japan-China Joint Conference on Graphics Education, pp.116-121,2001.8

44. Takeshi HONGO, KONDO Kunio, Kansei Evaluation of Diagram and Developmental Stage of Children, Proceedings of the 5th Japan-China Joint Conference on Graphics Education, pp.272-277,2001.8

45. KONDO Kunio, Bai Lan, Motion Emphasis using Continuous Motion division Method, Proceedings of the 7th CAG/Graphics 2001, 2001.8

46. Wei-zhong LIU, Kunio KONDO, Fillet Operations with Loop Subdivision Surfaces, Proceedings of VRAI2002,2002.4,

47. Zheng Xu, KONDO K, Local Subdivision Process with Doo-Sabin Subdivision Surfaces, IEEE, Proceedings of International Conference on Shape Modeling and Applications, pp.7-12,2002.5,

48. Matsuda K., KONDO K., Doi A., Keyframes Extraction Method for Motion Capture Data, International Society for Geometry and Graphics, Proceeding of International Conference on Geometry and Graphics, Vol.1, pp.334-339,2002.8,

49. Nishita T., KONDO K., Ohno Y., Takahashi T, Development of a Web Based Training system and Courseware for Advanced Computer Graphics Courses Enhanced by Interactive Java Applets, International Society for Geometry and Graphics, Proceeding of International Conference on Geometry and Graphics, Vol.2,pp.123-128,2002.8

50. Yuya KAWAGISHI, Kazuhide HATUYAMA, Kunio KONDO, Cartoon Blur: Non-Photorealistic Motion Blur, Proceedings of Computer Graphics International 2003, pp.276-281,2003.6

51. Weizhong Liu, Kunio Kondo, Adaptive algorithm of automatic implementing fillet operations with loop subdivision surfaces, Proc. SPIE, Vol.4756, Third International Conference on Virtual Reality and Its Application in Industry, pp.87-97,2003.3

52. Yusuke HAMASAKI, Kunio KONDO, Image Generation Method using Synthesis and Control of Rendering Region, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 1st annual conference of Asia Digital Art and Design Association, pp.70-71,2003.9

53. Hiroki IMAHASHI, Kunio KONDO, Yoshiaki MACHIDA, and Masahiro TAKAHASHI, Knowledge Based Color Coordinate System and its Application, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 1st annual conference of Asia Digital Art and Design Association, pp.72-73,2003.9

54. Weizhong Liu, Kunio Kondo, Limei Zhang, An Approximating Subdivision Scheme by Cutting and Upheaving the Corner of Control Polygon, International Society for Geometry and Graphics, The 11th International Conference on Graphics and Geometry,pp.134-138,2004.8

55. Kunio Kondo, Kazuko Mende, Kenjiro Suzuki, Present Status of Graphic Science and Graphic Representation Education in Japan, International Society for Geometry and Graphics, Proceeding of International Conference on Geometry and Graphics, pp.191-197,2004.8

56. Haruki Shizuka, Weizhong Liu, Kunio Kondo, Koichi Matsuda, A Sketch Interpreter System with Shading and Cross Section Lines by Freehand Drawing, International Society for Geometry and Graphics, Proceeding of International Conference on Geometry and Graphics, pp.357-362 ,2004.8

57. Yoshiyuki KOIE, Toshihiro KONMA, Kunio KONDO, Motion Emphasis Filter for Making Mental Motion of 3D Characters, ACM, SIGGRAPH 2004 Sketches, 2004.8 (SIGGRAPH デビュー)

58. Kunio Kondo, Eitaro Iwabuchi, Non Photorealistic Rendering using Photon Brush, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 2nd annual conference of Asia Digital Art and Design Association, 2004.1

59. Weizhong Liu, Kunio Kondo, Jun Mitani,3D Geometric Modeling Using 2D Template Topology Library, The Society for Art and Science, Proceedings of NICOGRAPH International 2005, pp.95-100,2005.4

60. Weizhong Liu, Kunio Kondo, Jun Mitani, Geometric Modeling by Using Freehand Sketch Input with Template Topology Library, Applications of Digital Techniques in Industrial Design Engineering-CAID&CD'2005, Proceedings of the 6th international conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, pp. 135-140 ,2005.5

61. Weizhong Liu, Kunio Kondo, Jun Mitani, An Interactive Sketch-based Modeling System using a Topology Library and Subdivision Surfaces,Eurographics,2nd Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling (SBM2005), Eurographics Symposium Proceedings,pp.89-98,2005.8

62. Shoichi Obayashi, Kunio Kondo, Toshihiro Konma, Kenichi Iwamoto, Non-Photorealistic Motion Blur for 3D Animation ACM SIGGRAPH2005 Sketches 2005.8

63. Shoichi Obayashi, Kunio Kondo, Toshihiro Konma, Kenichi Iwamoto, Non-Photorealistic Motion Blur for 3D Animation, Asia Digital Art and Design Association, ADADA2005 Proceedings of the 3rd annual conference of Asia Digital Art and Design Assocation,pp.88-89,2005.12

64. Takashi Yoneyama, Kunio Kondo, Masaki Fujihata, Vision based Feature Analysis of Paintings and Parametric Transformation, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 3rd annual conference of Asia Digital Art and Design Association,pp.106-107,2005.12

65. Yukiko UNAMI, Kunio KONDO, Image Generation Method using Area Division and Color Exaggeration, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 3rd annual conference of Asia Digital Art and Design Association, pp.108-109,2005.12

66. Xin Wei, Kunio Kondo, Kei Tateno, Toshihiro Konma, Key pose Extraction Method from Motion Capture

data, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 3rd annual conference of Asia Digital Art and Design Association, pp.92-93,2005.12

67. Kazuaki Suzuki, Kunio Kondo, Binary Contour Image Down Scaling For Pixel Art, Proceeding of IWAIT 2006, S10-3, 2006.1
68. Hitoshi Kuriyama, Kunio Kondo, The classification technique using the composition of photographs for KANSEI retrieval,IWAIT2006 International Workshop on Advanced Image Technology 2006, 2006

69. KONDO Kunio, NISHITA Tomoyuki2, SATO Hisashi3, MATSUDA Koichi4,An Educational Non-photorealistic rendering System using 2d Images by Java programming,ISGG,12th International Conference on Geometry and Graphics ,2006.8

70. Kei Tateno, Kunio Kondo, Toshihiro Konma, Motion Stylization using a Timing Control Method, ACM,SIGGRAPH2006 Posters ,2006.8

71. Takashi Yoneyama, Kunio Kondo, Masaki Fujihata, Analysis of Paintings and Image Synthesis using 3D models, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 4th annual conference of Asia Digital Art and Design Association, pp.132-133,2006.12,

72. Shoichi OBAYASHI, Kunio KONDO, Toshihiro KOMMA, Cel-animation based shading for 3D animation, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 4th annual conference of Asia Digital Art and Design Association, pp.116-117,2006.12

73. Yukiko UNAMI, Kunio KONDO, Image Synthesis Method using Area Segmentation and Color Harmonization, Asia Digital Art and Design Association, Asia Digital Art and Design Association International Forum 2006, 2006.12

74. Xin Wei, Kunio Kondo, Kei Tateno, Toshihiro Konma Tetsuya Shimamura, Wavelet based Keyframe Extraction Method from Motion Capture Data, The Society for Art and Science, NICOGRAPH International 2007.2007.5

75. Kunio KONDO, Overview of Graphic Science Education in Japan, The 8th China-Japan Joint Conference on Graphics Education,2007.7 (Invited talk)

76. Kenjiro SUZUKI, Prof. FUKANO, Yurika YOKOYAMA, Michio KATO, Kunio KONDO, Emiko TSUTSUMI, Hiroyuki ADACHI, Takashi KANAI, Ichiro TANAKA, Tomoyuki KANEKO, Kenji KASHIWABARA Yasushi YAMAGUCHI, Development of Visual Literacy Courseware (2) -A Large Scale Test Run in 2006 at the University of Tokyo-,The 8th China-Japan Joint Conference on Graphics Education,2007.7

77. Hiroshi Watabe, Yutaka Ohtake, Takashi Kanai , Takashi Michikawa, Kunio Kondo, Shape representation for time-varying volumes using 4D implicit functions , IIEEJ Image Electronics and Visual Computing Workshop 2B-4,2007

78. Takashi Yoneyama, Etsuo Genda, Kunio Kondo ,Proposal of Image Generation Methods based on the Process of Visual Information Processing, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 5th annual conference of Asia Digital Art and Design Association, 2007.12

79. Motonobu Kawashima, Kunio Kondo, Kenji Ozawa, Mitsuru Kaneko ,Performance Database for Animation Content Production, Asia Digital Art and Design Association,ADADA2007, Proceedings of the 5th annual conference of Asia Digital Art and Design Association,2007.12

80. Kunio KONDO, Toshihiro KOMMA, Kei TATENO, OPTIMIZATION OF EXAGGRATTED MOTION GENERATION METHOD FOR COMPUTER ANIMATION, International Society for Geometry and Graphics,13th International Conference on Geometry and Graphics, 2008.8

81. Kenjiro SUZUKI, Akio FUKANO, Yurika YOKOYAMA, Michio KATO, Kunio KONDO, et.al, DEVELOPMENT OF GRAPHICS LITERACY EDUACTION (2) – FULL IMPLEMENTATION AT THE UNIVERSITY OF TOKYO IN 2007, International Society for Geometry and Graphics,13th International

Conference on Geometry and Graphics, 2008.8

82. Yoshie KAKINUMA, Emiko TSUTSUMI, Kunio KONDO,CUSTOMIZED GARMENT DESIGN SUPPORTING SYSTEM FOR AGED PEOPLE USING DIGITAL DRESS FORM MODEL, International Society for Geometry and Graphics,13th International Conference on Geometry and Graphics, 2008.8
83. Takashi Yoneyama, Etsuo Genda, Kunio Kondo, Artistic Rendering of Buildings with Levels of Detail, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the annual conference of Asia Digital Art and Design Association, 2008.11

84. Satoshi CHO, Toshihiro KOMMA, Hisashi SATO, Kunio KONDO, Kime Pose anime in Japanese style using action line control, ACM,SIGGRAPH Asia 2006 Posters, 2008.12

85. Yoshie KAKINUMA, Emiko TSUTSUMI, Kunio KONDO,CUSTOMIZED GARMENT DESIGN SUPPORTING SYSTEM FOR AGED PEOPLE USING DIGITAL DRESS FORM MODEL, International Society for Geometry and Graphics, 2008.8

86. Satoshi CHO, Toshihiro KOMMA, Hisashi SATO, Kunio Kondo, Kime Pose anime in Japanese style using action line control, ACM SIGGRAPH,2008.12

87. Takashi Yoneyama,Etsuo Genda,Kunio Kondo, Artistic Rendering of Buildings with Levels of Detail, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the annual conference of Asia Digital Art and Design Association, 2008.11

88. Mitsuru Kaneko, Kunio KONDO, Koji Mikami, Naoki Okamoto, Takahiro Tsuchida, Digital Character Making, Workshop, ACM SIGGRAPH Asia,2009.12

89. Shoichi Nakashima, Mitsuru Kaneko,Daisuke Kanno, ,Koji Mikai, Kunio Kondo, ,A Proposal on a Method of Designing Manga Comic Panels Based on Story Construction, NICOGRAPH International, DVD,2009.6

90. Koji Mikami, Taichi Watanabe, Katsunori Yamaji, Kenji Ozawa, Akinori Ito, Motonobu Kawashima, Ryota Takeuchi, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, Construction trial of a practical education curriculum for game development by industry/university collaboration, SIGGRAPH Asia, Educators Program, Education Papers, 2009, ACM SIGGRAPH, DVD,2009.12

91. Takashi Yoneyama, Etsuo Genda, Kunio Kondo, Painterly Renderings Using a Synthesis of Painting Styles Based on Visual Perception, proc. of VRCAI, ACM SIGGRAPH,DVD,2009.12

92. Kenneth Chan, Koji Mikami and Kunio Kondo,From Brain Waves to Game Design: A Study on Analyzing and Manipulating Player Interest Levels, NICOGRAPH International, The Society for Art and Science, 2011.6

93. Kenneth Chan, Koji Mikami, Kunio Kondo,Measuring Interest in Linear Single-Player FPS Games, Siggraph Asia 2010 sketches ,ACM SIGGRAPH,2010.12

94. Aisha Onizukawaki, Akinori Ito, Koji Mikami, Kunio Kondo,A RESEARCH ON SOUND DESIGN SUPPORT TOOLS IN PRE-PRODUCTION PHASE OF PRODUCING VISUAL CONTENT BASED ON ITS STORY STRUCTURE, proc. of International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) ,Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), Japan Institute of Image Information and Television Engineers (ITE), Japan ,DVD,2010.1

95. Liu Miao Miao, Ryuta Motegi, Naoki Okamoto,Akinori Ito, Koji Mikami,Kunio Kondo, Wang Han Qing,A Research on Collaborative Tool to Support Production of Anime Character's Facial Expression in Anime Production,proc. of International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) ,Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), Japan Institute of Image Information and Television Engineers (ITE), Japan ,DVD,2010.1

96. Koji Mikami, Taichi Watanabe, Katsunori Yamaji, Kenji Ozawa, Motonobu Kawashima, Akinori Ito, Ryota Takeuchi, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko,Construction Trial of a Practical Education Curriculum for Game Development Through Industry- University Collaboration, ACM SIGGRAPH Asia 2009, Educators program, DVD,2009.12

97. Toshihiro KOMMA, Kunio KONDO, Hisashi SATO, Satoshi CHO,THE ANALYSIS OF THE ANIMATION MOVEMENT, International Society for Geometry and Graphics, International Conference for Geometry and Graphics, pp.178-181,2010

98. Toshihiro KOMMA, Kunio KONDO, Hisashi SATO, How to make good animation movement, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 8th Annual Conference of Asia Digital Art and Design Association, pp.116-117,2010

99. Taegun Kim, Koji Mikami, Kenneth Chan, Kunio Kondo, Classifying games through the visualization of avatar action structure, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 8th Annual Conference of Asia Digital Art and Design Association,2010

100. Sigit Kusumanugraha, AKinori Ito, Koji Mikami, Kunio Kondo, An Analysis of Indonesian Tradisional Wayang Kulit Puppet 3D Shapes based on their Roles in The Theory, proceedings on Culture and Computing 2011, Second International conference on Culture and Computing, pp.147-148, 2011.10

101. Kenneth Chan, Koji Mikami, Kunio Kondo, Triggers: A Method of Controlling Player, Interest Levels in Single Player Linear FPS games, SIGGRAPH Asia 2011, posters, 2011.12

102. Takashi Matsuo, Koji Mikami, Taichi Watanabe, Kunio Kondo, Shape Oriented Line Drawing in Real-Time 3DCG, SIGGRAPH Asia 2011, posters, 2011.12

103. Satoshi Nakajima, Mikio Shinya, Michio Shiraishi, Hidetsugu Katsuragawa , YukoOgawa , Motonobu Kawashima, Kunio Kondo, Development and evaluation of a CG videotext for Tai Chi Chuan self-study,IEVC2012,2012

104. Kai Lenz, Akinori Ito, Koji Miakmi, Kunio Kondo Cast list generating system based on structured screenplay, NICOGRAPH International 2012 ,2012

105. Rianti Hidayat, Akinori Ito, Kengo Watanabe, Koji Mikami, Kunio Kondo, Find a meaning within character silhouette: Stylized character design support method using silhouette, NICOGRAPH International 2012, 2012

106. Ryota Takeuchi, Taichi Watanabe, Koji Mikami, Kunio Kondo, Proposal of digital sculpting with history management of strokes, NICOGRAPH International 2012, 2012

107. Satoshi NAKAJIMA, Mikio SHINYA, Michio SHIRAISHI, Hidetsugu KATSURAGAWA, Motonobu KAWASHIMA, Kunio KONDO, Development and Evaluation of a CG Videotext for Tai Chi Chuan using a Head Mounted Display, proceedings of International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) ,2013.1

108. Tomokazu Ishikawa, Yonghao Yue, Taichi Watanabe, Kei Iwasaki, Yoshinori Dobashi, Masanori Kakimoto, Kunio Kondo, Tomoyuki Nishita, Visual Simulation of Glazed Frost, ACM SIGGRAPH Posters, 2013.7

109. Kai LENZ, Kensho ANDO, Daiki KAMIYAMA, Shinichi HOSOKAWA, Yusuke HIOKI, Kengo WATANABE, Akinori ITO, Kunio KONDO,Books of Hanoi,2nd KMUTT-TUT Joint Symposium 2013,2013.6

110. Kai LENZ, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, Scenario Information Management System for Contents Production,2nd KMUTT-TUT Joint Symposium 2013,2013.6

111. Takafumi KOJIMA, Ryota TAKEUCHI, Tomokazu ISHIKAWA, Koji MIKAMI, Taichi WATANABE, Masanori KAKIMOTO, Kunio KONDO,Visual Simulation of Aurora based on Dynamic Characteristics of Disconnections and Reconnections,2nd KMUTT-TUT Joint Symposium 2013,2013.6

112. Punnavat Jongpanichkultorn, Pizzanu Kanongchaiyos, Kunio Kondo, Silhouette-assisted Human Character Designing and Modeling,IEEE SCAP2014,2014.3 **(**Best Student Paper Award Finalists Third Prize Award)

113. Takafumi Kojima, Yuka Sato, Taichi Watanabe, Koji Mikami and Kunio Kondo,V-Shaped Highlight in 2D Animated Character's Hair for Real-Time 3DCG,NICOGRAPH International 2014,2014.6

114. Ryuta MOTEGI, Yoshihisa KANEMATSU, Takahiro TSUCHIDA, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, COLOR SCHEME SCRAPBOOK USING A CHARACTER COLOR PALETTE TEMPLATE, International Society on Geometry and Graphics,2014.8

115. Tomokazu Ishikawa, Yonghao Yue, Taichi Watanabe, Kei Iwasaki, Yoshinori Dobashi, Masanori Kakimoto, Kunio Kondo, Tomoyuki Nishita, Visual Simulation of Glazed Frost Taking into Account Super cooled State, The Fourth IIEEJ International Workshop on Image Electronics and Visual Computing, 2014.10（Best paper 賞）

116. Ken Murase, Ryuta Motegi, Yoshihisa Kanematsu, Koji Mikami, Kunio Kondo,3D SUPER DEFORMED CHARACTER MAKING METHOD, The Fourth IIEEJ International Workshop on Image Electronics and Visual Computing, 2014.10

117. Pulung Nurtantio Andono, Ricardus Anggi Pramunendar, Catur Supriyanto , Mochamad Hariadi , Kunio Kondo,An Evaluation of Color Sift Descriptors for Underwater Images, The Fourth IIEEJ International Workshop on Image Electronics and Visual Computing, 2014.10

118. Taegun KIM, Sain JUNG, Mikami KOJI, Kunio KONDO:Intuitive game character voice recording direction method with character image scale,proceedings of ADADA2014,poster, 2014（Best Poster賞）

119. Takahiro TSUCHIDA, Ryuuta MOTEGI, Koji MIKAM, Kunio KONDO:Classification of Character Images by Index Color Extraction Method, proceedings of ADADA2014,poster, 2014

120. Genki KURODA, Kengo WATANABE, Akinori ITO, Ken'ichiro ITO, Kunio KONDO: Development an adaptive music environment on smartphone device, proceedings of ADADA2014, Demes, 2014

121. Muhammad Arief, Hideki Todo, Kunio Kondo, Koji Mikami, Yasushi Yamaguchi, Practical Region Control in Projective Texture for Stylized Shading, SIGGRAPH ASIA 2014 Poster, 2014.12

122. Moch Arief Soeleman, Mauridhy Hery Purnomo, Mochamad Hariadi,Kondo Kunio, Masanori Kakimoto,Mikami Koji,Semi-Automatic Moving Objects Segmentation and Tracking Base on Background Subtraction Using Fuzzy C-Means,2015 The 5th International Workshop on Computer Science and Engineering,pp.487-493,2015.4

123. Ryuta MOTEGI , Shota TSUJI , Yoshihisa KANEMATSU , Koji MIKAMI , Kunio KONDO:ROBOT CHARACTER DESIGN SIMULATION SYSTEM USING 3D PARTS MODELS, Asian Forum on graphic Scinece(AFGS2015), 2015.8

124. Naruki MATSUO, Akinori ITO, Kengo WATANABE, Kunio KONDO, AN APPROACH TO KINETIC DESIGN EXPERIMENTS FOCUS ON THE MOVEMENT OF DIFFERENT FLAT LAYOUT, Asian Forum on Graphic Science（AFGS2015), 2015.8（ポスター発表）

125. Genki Kuroda, Akinori Ito,Kengo Watanabe, Ken'ichiro Ito, Kunio Kondo, Generating Musical Phrases Including Non-Chord Tones on Mobile Debices, ADADA International 2015, pp.360-361,2015,10.17

126. Akinori Ito, Kengo Watanabe, Genki Kuroda, Ken'ichiro Ito, Kunio Kondo, FLOWTING TONALITY-DESIGNING THE ELEMENTS OF ADAPTIVE MUSIC ON KINETIC LAYOUTS,ADADA International 2015, pp.666-667, 2015,10.17

127. Muhammad Arief, Kunio Kondo, Koji Mikami, Hideki Todo, Yasushi Yamaguchi, Controllable Region via Texture Projection for Stylized Shading, Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI 2015),pp.34-38, 2015.10.31

128. Koji Mikami, Yosuke Nakamura, Akinori Ito, Motonobu Kawashima, Taichi Watanabe, Yoshihiro Kishimoto and Kunio Kondo, Game Jam Based Iterative Curriculum for Game Production in Japan, ACM SIGGRAPH, Symposium on Education, 2015.11

129. Liselotte Heimdahl,Yoshihisa Kanematsu,Naoya Tsuruta, Ryuta Motegi,Koji Mikami,Kunio Kondo, Analysis of

camera work in horror movies, SIGRAD2016,2016.5.23

130. Hongyi Xu, Yoshihisa Kanematsu, Ryuta Motegi, Naoya Tsuruta, Koji mikami, Kunio Kondo,A supporting system for creating camera blocking of the humanoid robot anime's battle scenes, NICOGRAPH International 2016, short paper, 2016.7

131. Henry Fernández Balda,Koji Mikami,Kunio Kondo,Adaptable Game Experience Through Procedural Content Generation and Brain-Computer Interface, SIGGRAPH 2016, Posters,2016.7

132. Ryuta MOTEGI, Miku IGARASHI, Naoya TSURUTA, Yoshihisa KANEMATSU, Koji MIKAMI and Kunio KONDO, COLOR SCHEME SIMULATION FOR DESIGN OF CHARACTER GROUPS,proceeding on 17th International Conference on Geometry and Graphics (ICGG 2016) , 2016.8

133. Akinori Ito, Kengo Watanabe, Genki Kuroda, Ken'ichiro Ito and Kunio Kondo, Development the Interactive Tonality Blending System and Artworks, ADADA International2016,5C-7, 2016

134. Muhammad Arief, Hideki Todo, Koji Mikami, Kunio Kondo, Textured Splat Based Rendering for Stylized Shading, ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, 2017.2 (poster)

135. Muhammad Arief, Hideki Todo, Koji Mikami, Kunio Kondo, SPLIGHT: LIGHTING FOR SPLAT BASED RENDERING, The 5th IIEEJ International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IEVC2017), 2017.3

136. Henry D. Fernandez B, Koji Mikami, Kunio Kondo, Adaptable Game Experience Based on Player's Performance and EEG, NICOGRAPH International2017, 2017

137. Ryuta Motegi1, Kazuki Sato, Yoshihisa Kanematsu, Naoya Tsuruta,Koji Mikami,Kunio Kondo,3D Drafting System based on Shape Analysis of Super Deformed Characters,HCII2017 Conference,2017.7

138. Andreas, Kunio KONDO, Mauridhi HERY PURNOMO, Mochamad HARIADI, AUTONOMOUS LIGHTING IN 3D SCENE BASED ON SCENARIO TRACKING AND DIRECTOR BEHAVIOR, 11th Asian Forum on Graphic Science(AFGS2017),F09, 2017.8

139. Liselotte HEIMDAHL, Yoshihisa KANEMATSU, Naoya TSURUTA, Ryuta MOTEGI, Koji MIKAMI, Kunio KONDO,EFFECTS FOR TIMING OF REVEALING THREATS IN HORROR CONTENTS,11th Asian Forum on Graphic Science(AFGS2017),F10,2017.8

140. Hongyi XU, Yoshihisa KANEMATSU, Ryuta MOTEGI,Naoya TSURUTA, Koji MIKAMI,Kunio KONDO,A SUPPORT SYSTEM FOR DESIGNING CUT SEGMENTATION AND COMPOSITION OF ROBOT ANIMATION'S BATTLE SCENES,11th Asian Forum on Graphic Science(AFGS2017),F12,2017.8

141. Ryuta MOTEGI, Yutaka YONEKURA, Yoshihisa KANEMATSU, Naoya TSURUTA,Koji MIKAMI, Kunio KONDO,FACIAL EXPRESSION SCRAPBOOK FOR CHARACTER MAKING BASED ON SHOT ANALYSIS,11th Asian Forum on Graphic Science(AFGS2017),F14,2017.8

142. Yoshihisa KANEMATSU, Chiaki ONO, Ryuta MOTEGI, Naoya TSURUTA,Koji MIKAMI, Kunio KONDO,PLOT WRITING SUPPORT SYSTEM FOR ENSEMBLE CAST BASED ON ANALYSING MOVIES,11th Asian Forum on Graphic Science(AFGS2017),F45,2017.8

143. Alaa ALHERZ, Naoya TSURUTA, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, MULTI CHARACTER ANIMATION SYSTEM BASED ON PATH FOLLOWING FOR KIDS,11th Asian Forum on Graphic Science(AFGS2017),P13, 2017.8 (Poster)

144. Endoh Masanobu, Fernández Henry D., Kondo Kunio, Mikami Koji, Intentional Stay -Japanese RPG player's unusual behavior-,ADADA International 2017, 2017.9.9

145. Henry Fernandez, Koji Mikami, Kunio Kondo, Perception of Difficulty in 2D Platformers Using Graph Grammars, ADADA International2017, 2017.9.9

146. Naoya Tsuruta, Takehiro Teraoka, Kunio Kondo, Masaki Hayashi, TV Show Template for Text Generated TV, IWAIT2018, 2018.1

147. Masaki Hayashi,Naoya Tsuruta, Takehiro Teraoka, Kazuo Sasaki, Wataru Usami, Koji Mikami, Tsukasa Kikuchi, Yuriko Takeshima, Kunio Kondo, Automatic Generation of TV Program from Blog Entry, ACM TVX2018,2018.6.26-28

148. Ryuta MOTEGI, Yoshihisa KANEMATSU, Naoya TSURUTA, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, CHARACTER MAKING EDUCATION BY DREAM PROCESS,18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMETRY AND GRAPHICS, 2018.8.3-7

149. Yoshihisa Kanematsu, Ryuta Motegi, Naoya Tsuruta, Koji Mikami and Kunio Kondo, DIRECTING SCHEME SUPPORT METHOD BASED ON ANALYSIS OF ANGRY CHARACTERS,18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMETRY AND GRAPHICS, 2018.8.3-7

150. Alaa Alherz, Naoya Tsuruta, Koji Mikami and Kunio Kondo, Multiple Characters Animation System for Kids Based on Waveform Following, The 16th International Conference of Asia Digital Art and Design (ADADA2018), Poster-2D-5,2018.11

151. Pitchaporn Lertariyasakchai, Ryuta Motegi, Naoya Tsuruta and Kunio Kondo, Color Scheme and Material Simulation for Robot Character Draft Design , The 16th International Conference of Asia Digital Art and Design (ADADA2018), Poster-2D-6, 2018.11

152. Masaki Hayashi, Steven Bachelder, Kazuo Sasaki, Naoya Tsuruta and Kunio Kondo, Wordpress-based Blog System with a Capability of Showing Entries by TV-program-like CG Animations , The 16th International Conference of Asia Digital Art and Design (ADADA2018), Poster-2D-8,2018.11

153. Henry Fernándezm, Koji Mikami, Kunio Kondo, Analyzing the Relationship Between Pressure Sensitivity and Player Experience,VRCAI2018, 2018.12.2,full paper

154. Xiaoran Cai,Yoshihisa Kanematsu, Kunio Kondo, Koji Mikami, The Research On Virtual Reality Sickness With Advancing Color And Receding Color,VRCAI2018, 2018.12.2, poster

155. Henry Fernandez,Koji Mikami,Kunio Kondo,PRESSURE SENSITIVITY PATTERN ANALYSIS USING MACHINE LEARNING METHODS, The 6th IIEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2019),2019.08 (Full Paper, reviewed)

156. Yoshihisa Kanematsu, Yurika Takamura, Ryuta Motegi, Naoya Tsuruta, Koji Mikami and Kunio Kondo. Composition design support system for shot of enemy character appearance in horror movies, 2019 ADADA+Cumulus, 2019.11.27

研究発表（国内）

1. 近藤 邦雄, 田嶋 太郎, 写真と計算機によるフォト・モンタージュ・パースの実験,日本図学会 1978 年度大会研究発表会(1978.5.21)

2. 近藤邦雄,田嶋太郎, 宮崎興二, 斎藤克己, Variable Skeleton による多面体の変形, 日本図学会,1979 年度大会研究発表会, 1979.5.19

(このほか、480 件ほどの発表)

解説等

1. 田嶋太郎, 近藤邦雄, コンピュータを用いた曲線の設計,マシンデザイン,工業調査会,1975.6

2. 近藤邦雄, 田嶋太郎, CADを用いた空間曲線の設計,マシンデザイン,工業調査会,1975.1

3. 田嶋太郎, 近藤邦雄, 穂坂 衛,あいまいな図わかりにくい図, 昭和54,55年度科学研究費報告書「幾何モデルとその応用に関する研究」,1980

4. 田嶋太郎, 近藤邦雄, 穂坂 衛,計算機による立体視図の作成, 昭和54,55年度科学研究費報告書「幾何モデルとその応用に関する研究」,1980

5. 近藤邦雄, 穂坂 衛, 田嶋太郎,形状の感じを表わす線画レンダリング, 昭和54,55年度科学研究費報告書「幾何モデルとその応用に関する研究」,1980

6. 近藤邦雄,中国における図学・コンピュータグラフィックスの研究と教育,日本図学会, 図学研究第 42 号 pp.55-59,1987.12

7. 加藤陽一, 近藤邦雄, コンピュータ・グラフィックスのアパレル産業への応用, 情報処理学会,情報処理, Vol.29 No.10 ,1988.10

8. 近藤邦雄, デザインと人間の感性,工芸品,感性製品のCAD/CAM小特集, 精密工学会, 55巻10号, pp.3-8,1989

9. 近藤邦雄,3次元世界を表現するコンピュータグラフィックス, Mu.alpha, pp.18-23, 1989.4

10. 加藤陽一, 岩崎謙次, 近藤邦雄, アパレル産業とコンピュータグラフィックス, 繊維学会, 繊維と工業, Vol.46, No.3, pp.10-17,1990

11. 近藤 邦雄, レンダリングの手法(1) : 濃淡付けとマッピング(最先端コンピュータグラフィックス : 3次元CGの手ほどき(第2回)テレビジョン学会誌 46(2), pp.183-188, 1992.2.20

12. 近藤 邦雄, 感性デザインのためのレンダリング技法とその実際, 技研情報センター,1992

13. 近藤 邦雄, 埼玉大学情報工学科におけるCG/CAD教育, PIXEL, pp.133-138,1992.7

14. 近藤邦雄,3次元グラフィックス入門(2)モデリングから座標変換まで,日経CG 11月号 pp.211-217 ,1992.11

15. 近藤 邦雄, 近藤邦雄,3 次元グラフィックス入門(3)陰面消去とフラットシェーディング,日経 CG 12 月号 pp.217-221,1992.12

16. 近藤邦雄, 3次元グラフィックス入門:リアルな画像を生成する各種のレンダリング手法, 日経 CG,1 月号,pp183-187,1993.1

17. 近藤邦雄, 3 次元グラフィックス入門:グラフィックスプログラムの作成を容易にするグラフィックスライブラリ, 日経CG,3月号,pp163-167, 1993.3

18. 近藤邦雄, 画像情報と感性, 感性工学研究フォーラム,シンポジウム講演論文集,1994

19. 近藤邦雄, 神原章,3次元形状のための白黒画像の強調描画法,画像ラボ,Vol5,No.6,1994.6

20. 近藤邦雄, 安生健一,TV年報(コンピュータグラフィックス),テレビジョン学会誌,Vol.50,No.7,pp.881-884,1994.7

21. 近藤邦雄(分担執筆), 埼玉県産学官共同研究技術開発推進事業研究報告5 デザイン画像データベースの構築, 1995.3

22. 小林信秀, 近藤邦雄,メタルガスケットの設計システムの分析, 埼玉大学地域共同研究センター共同研究成果報告書第2号,1995.3

23. 近藤邦雄,情報システムのためのヒューマンインタフェースとユニバーサルデザイン平成 8 年度埼玉県地域独自技術形成事業(LINK21)技術研究会報告書,埼玉県 工業技術研究所「ライフデザイン研究会」,1997. 3

24. 近藤邦雄,コンピュータグラフィックス教育−10 年の動向と展望−,日本図学会,創立 30 周年図学研究記念号,pp.73−74,1997

25. 近藤邦雄,図学国際会議講演論文の動向−コンピュータグラフィックス−,日本図学会,創立 30 周年図学研究記念号,pp.88−91,1997

26. 近藤邦雄,コミュニケーションのための図的表現法,日本図学会,創立 30 周年図学研究記念号, pp.155−156,1997

27. 近藤邦雄 分担執筆, 高付加価値意匠デザインのための 3 次元形状モデリングに関する調査研究報告書,マルチメディアコンテンツ振興協会編,9−F−2(2),1997

28. 近藤邦雄 分担執筆, 高付加価値意匠デザインのための 3 次元形状モデリングに関する調査研究報告書,マルチメディアコンテンツ振興協会編,10−R−10(2) ,1998

29. 近藤邦雄,人が注目するイメージカラーを見つけるコンピューター ,読売新聞社,読売 AD レポート OJO, Vol.6, pp.22−25,1998.9

30. 近藤邦雄, デザイナーの知識処理に基づく調和配色の決定,読売新聞社,読売 AD レポート OJO, Vol.7, pp.36−38,1998.10

31. 近藤邦雄,デザイン支援のための感性情報処理に基づく配色変換,読売新聞社,読売 AD レポート OJO, Vol.8, pp.36−38,1998.11

32. 近藤邦雄,情報伝達のためのマルチメディアとコンピュータグラフィックス,″日本図学会, 図学研究, Vol.32, No.4, pp.9−16, 1998.12

33. 近藤邦雄, 画像データベースのための感性検索と配色変換手法,中山隼雄科学技術文化財団レポート第 7 号,1999

34. 町田芳明,近藤邦雄,佐藤尚, 3 次元アニメーションを応用した形状デザイン手法に関する研究,埼玉県工業技術センター研究報告 第1巻, pp.85−90,1999

35. 近藤邦雄 分担執筆, 高付加価値意匠デザインのための 3 次元形状モデリングに関する調査研究報告書,マルチメディアコンテンツ振興協会編,10−R−10(2),1999.3

36. 埼玉県デザインネット研究会,近藤邦雄 他, インターネット利用のデザイン開発支援システムに関する研究, 平成 10 年度埼玉県映像技術導入研究報告書, 1999.3

37. 埼玉県デジタルメディア研究会,近藤邦雄 他, 映像技術を利用した鋳物製品デザイン開発手法の研究,平成 10 年度埼玉県映像技術導入研究報告書,1999.3

38. 近藤邦雄,知の創造,蓄積,発信のためのセンターの役割,埼玉大学総合情報処理センターニュース, Vol.8, 2000

39. 近藤邦雄 分担執筆, 高付加価値意匠デザインのための 3 次元形状モデリングに関する調査研究報告書,マルチメディアコンテンツ振興協会編,11−R−17,2000

40. 近藤邦雄, デジタルモデリング入門,デジタルデザインハッドブック,埼玉県工業技術センター南部研究所,2000.3

41. 近藤邦雄,高橋雅博, 画像データベースのためのイメージカラー検索手法, 画像ラボ, Vol.12,No.6, pp.39−43, 2001.6

42. 近藤邦雄 ,3 次元コンピュータアニメーションとラピッドプロトタイピング , 埼玉大学, 総合情報処理センターCAVE 研究会資料,2002.2

43. 近藤邦雄,佐藤尚, 立体プリクラ:顔の立体と複写と造形加工に関する研究 ,中山隼雄科学技術文化財団, 財団レポート第 10 号, pp.100−102, 2002.8

44. 近藤邦雄,デザイン支援のためのカラーコーディネイトシステム彩とその応用, 埼玉大学, 21 世紀総合研究機構プロ

ジェクト研究成果報告書, pp.105-107,2002.3

45. 近藤邦雄, 第 30 回図学教育研究会報告:図学教育のための模型の活用, 日本図学会,図学研究,第 37 巻,第 1 号, 通巻 99 号, pp.19-22,2003.3

46. 町田芳明,本多春樹,星野伸行,近藤邦雄, 感性工学を応用した設計支援システムの開発 , 埼玉県産業技術総合センター研究報告書第 1 巻, pp.275-279,2003.6

47. 近藤邦雄,図学教育のための模型の活用,日本図学会,図学研究,第 37 巻,第 1 号,通巻 99 号,pp.19-22,2003.3,

48. 近藤邦雄,「図学研究」の大衆化,日本図学会,図学研究,第 37 巻,第 2 号,通巻 100 号,p.25,2003.6,

49. 近藤邦雄,「図学研究」の将来 ,日本図学会,図学研究,第 37 巻,第 2 号通,巻 100 号,p.30,2003.6,

50. 近藤邦雄, デザイナの知識に基づく調和配色アルゴリズムの考案 ,第 12 回人工知能財団研究成果報告書,2003.11

51. 近藤邦雄, 学会の新たな展開－新産業の開拓と若手人材の育成 ,画像電子学会, 画像電子学会学会誌, 随想,2003.11

52. 斎藤隆文,近藤邦雄, 最新コンピュータグラフィックスー基礎から応用までー「NPR」, 画像電子学会誌第 33 巻第 4-B 号, pp.642-650,2004.9

53. 近藤邦雄, The Steven A. Coons Award 受賞を祝して,画像電子学会,画像電子学会誌, 第 34 巻第 5 号,2005

54. 近藤邦雄, 図学会への感謝と今後の展開,日本図学会,図学研究,第 39 巻, 第 1 号,通巻 107 号 ,pp.1-2,2005

55. 近藤邦雄,工業デザインのためのフリーハンドスケッチを用いたインタラクティブモデリング,日本設計工学会,設計工学,Vol.41,No.1 ,pp.11-21,2005.12

56. 近藤邦雄,刊行挨拶 図学会入会 30 年,日本図学会,日本図学会創立 40 周年記念号,2007.5

57. 近藤邦雄,「特集感性と車づくり」デザイナの感性を生かすスケッチモデリング,自動車技術, Vol.61, No.6, pp.72-78, 2007.6,

58. 近藤邦雄,CG モデリングからラピッドプロトタイピングへ―時空を超える投影,建築学会,建築雑誌,Journal of Architecture and Building Science,Vol.122, No.1565,pp.18-19, 2007.8,

59. 近藤邦雄,金子満,三上浩司, クリエイティブラボ紹介, 画像電子学会学会誌, 2008

60. 近藤邦雄, 査読者の眼, 近藤邦雄,画像電子学会,画像電子学会誌,2009.9

61. 近藤邦雄,芸術科学会の現状と今後の展望, 芸術科学会誌, DiVA (25,26 号), pp.17-20,2010.11

62. 近藤邦雄, CG におけるモデリングとユーザインタフェース, 情報処理学会,情報処理学会 50 年のあゆみ,pp. 248-250,2010

63. 近藤邦雄, 「仮想空間と現実空間」のモデリング, 日本図学会,図学研究,46(3),2011.9

64. 近藤邦雄,伊藤彰教,三上浩司, 平成22年度アジア人財資金構想 高度専門留学生育成事業,次世代のグローバルコンテンツブリッジ人財の実践教育,平成22年度アジア人財資金構想 高度専門留学生育成事業,2012.3

65. 近藤邦雄, 随想: 人をつなぐメディアコンピューティング, 画像電子学会, 画像電子学会誌, 2013

66. 近藤邦雄,太田高志,渡辺大地,三上浩司, ゲーム制作技術とインタラクティブコンテンツデザインの動向, 映像情報メディア学会,映像情報メディア学会誌,Vol. 68, No. 2, pp.121-124,2014.2

67. 近藤邦雄, 三上浩司, 柿本正憲, 渡辺大地, 菊池司,石川知一,グループ紹介:東京工科大学メディア学部 デジタルコンテンツ制作技術研究グループ, 画像電子学会,画像電子学会学会誌, Vol.43.No.3,pp.420-425 2014.7

68. 近藤邦雄、学会の連携とメディア学の役割、映像情報メディア学会誌「フォーカス」、2014.11

69. 近藤邦雄, 他:NICOGRAPH International報告, 芸術科学会誌 Diva 39号, 2015.12

70. 近藤邦雄, 見ること, 分かること, 魅せること, 可視化情報学会, 可視化情報Vol.36 No.140,pp.1-6, 2015.12

71. 近藤邦雄, 巻頭言:世界に目を向けよう, 日本図学会図学研究, 2017.1

72. 近藤邦雄, 日本図学会における図学関連教育の新たな挑戦, 日本図学会図学研究,50周年記念号, 2017.

73. 西井美佐子, 町田 芳明,佐藤 尚,近藤 邦雄,デジタルモデリング研究会報告―デジタルモデリングコンテスト設置の背景・コンテスト開催・研究会活動報告―, 日本図学会図学研究,第51巻,日本図学会創立50 周年記念号.2017.8

74. 近藤邦雄, アジアデジタルモデリングコンテスト(ADMC2017)実施報告, 日本図学会, 図学研究, 第51号, 第4号, 2017.12

75. 近藤邦雄, 随想:メディアの世紀に生きる, 画像電子学会創立 45 周年記念 随想特集号, 2018.1

76. 近藤邦雄, 250 号記念特集随想"地球に生きる", 画像電子学会誌、第 48 巻、4 号, 2019.10

77. 近藤邦雄, コンピュータグラフィックスの研究紹介, Academic meet Industry No.17, CGWORLD+digital video,vol.257,2020.01

主な招待講演、講義等

1. 近藤邦雄,インタラクティブレンダリング手法,情報処理学会,「コンピュータを用いた画像生成・表示の基礎技法」セミナー,1986.9

2. 近藤邦雄, コンピュータグラフィックス入門, CG 特別セミナー,画像情報教育振興協会, 1993.8

3. 近藤邦雄, 画像情報と感性, 第4回感性工学研究フォーラム,人間生活工学研究センター,1993.11

4. 近藤邦雄, 3次元コンピュータグラフィックス, 画像情報教育振興協会,コンピュータグラフィックス特別セミナー ,1994

5. Kunio KONDO, The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education, China-Japan Joint Conf. on Graphics Education, pp.131-136,1995.9, (Invited talk)

6. 近藤邦雄, マルチメディアコミュニケーション, 日立製作所日立研究所, 招待講演,1995.3

7. 近藤邦雄, 画像製作支援システムのための色彩・感性情報処理の応用, 日本オプトメカトロニクス協会デジタルイメージング技術部会講演, 2001.2

8. KONDO Kunio, History & Challenges: Non-Photorealistic Rendering, Special Lecture at Zhejiang University, HangZhou, CHINA, 2002.10 (Invited Talk)

9. 近藤邦雄,「身近な美」の理解を助ける図学とその教育 ,日本学術会議「科学教育研連・工学教育研連」合同シンポジウム2 世界をリードするこれからの戦略的な科学技術教育の推進ーその 2ー 「21 世紀の市民の科学・技術リテラシーの体系化」,2003.2

10. 近藤邦雄, ユニバーサルデザインのための思想と現状 ,埼玉県産業技術総合センター客員研究員講演会,2003.10.29

11. 近藤邦雄, CG と表現技術, 大日本印刷株式会社技術セミナー技術系専門コース講演,2005.9

12. 近藤邦雄, Non Photorealistic Rendering とスケッチモデリング, IAMAS,一般公開レクチャーCGI 特論講演,2005.11

13. 近藤邦雄, ビジュアルコミュニケーションを支援するコンピュータグラフィックス技術, SCAT 第 70 回テレコム,技術情報セミナー, 2006.6,

14. Kunio KONDO, Overview of Graphic Science Education in Japan, The 8th China-Japan Joint Conference on Graphics Education,2007.7 (Invited talk)

15. KONDO Kunio, Kansei Information Processing for Design Support System, KANSEI Seminar on Polish-Japanese Institute of Information Technology, 2008.6 (Invited talk)

16. KONDO Kunio, Interactive Geometric Modeling using Freehand Sketches, International Society for Geometry and Graphics, 2008.8 (Invited talk)

17. 近藤邦雄,見ること、描くこと、作ること,明治大学「芸術の中の数理」セミナー,2008.9.9

18. Kunio Kondo, Overview of Content Producing research at Tokyo University of Technology, The symposium and published research Direction of development of multimedia applications, KMUTT,Thailand,2012.3

19. KONDO Kunio, Research and Education of Game and Computer Graphics at Tokyo University of Technology, (Gotland University, Sweden),2012.9,

20. Kunio KONDO, INTERACTIVE SKETCH INTERPRETER FOR GEOMETRIC MODELING, The visual language of technique, between science and art: heritage and expectations in research and teaching (Politecnico di Milano, Italy),2013.6

21. KONDO Kunio, Research & Education of Computer Graphics, Content Producing at Tokyo University of Technology, Lecture for Study tour of Udinus, Tokyo University of Technology, 2014.3.10

22. KONDO Kunio , "Computer Graphics in Game Industry",マレーシア,Management & Science University (MSU)訪問, 講演, 2015, 8.10

23. KONDO Kunio , "Computer Graphics in Media Science", マレーシア,Management & Science University (MSU)訪問, 講演, 2015, 8.11

24. 近藤邦雄:「CG 研究の点・線・面, そして. 19-61」,CG-Japan Award 受賞特別講演, 2015.11

25. KONDO Kunio, Computer Graphics Research for Game and Anime Production, Invited lecture, Institut Teknologi Bandung(バンドン工科大学),2016.2.22 (芸術学部と電子情報学部の学部生向け)

26. KONDO Kunio, Computer Graphics Research for Game and Anime Production, Invited lecture, Universitas Dian Nuswantoro Semarang(Udinus),2016.2.23 (学部生, 大学院生向けの 2 回講義)
27. KONDO Kunio, Computer Graphics Research for Game and Anime Production, Invited lecture, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (スラバヤ工科大学), 2016.2.23, (Faculty of Industrial Technology の学生向け)

28. KONDO Kunio, Integrated Computer Aided Content Production System based on DREAM process, iSemantic2017 における招待講演, 2017.10.7 インドネシアの提携校 UDINUS 主催

29. KONDO Kunio, Character Making based on DREAM process, 提携校バンドン工科大学における招待講演, 2017.10.10

30. KONDO Kunio：Computer Graphics for Game and Animation, インドネシア, 提携校 UMN(マルチメディア大学)における招待講演, 2017.10.11

31. Kunio KONDO, Content Production Technology based on Media Science, Conmedia2017, Invited Keynote speaker, 2017.11,

32. KONDO Kunio, Character Making using Small Data of Experts Intelligence, ICOIACT2018,2018.3 (Keynote Speaker)

33. KONDO Kunio, Introduction to Tokyo University of Technology & Students work about Anime, Game, Indonesia AMIKOM, 2018.3 (Invited lecture)

34. KONDO Kunio, Introduction to Tokyo University of Technology & Research on Content Production Technology, Indonesia UDINUS, 2018.3 (Invited lecture)

35. Kunio KONDO, "Digital Character Making based on DREAM process" LAG, Cieszyn, Poland, 2018.6.12 (Invited talk)

36. KONDO Kunio, Research on Content Production Technology for Entertainment, バンドン工科大学サマーセミナー講演, 2018.9.5 (Invited lecture)

37. KONDO Kunio, Creative Technology for Game and Animation, Management & Science University, Special Lecture, 2019.3.27

38. KONDO Kunio, Introduction to Our Exchange Activities of KMUTT and TUT, 4th Joint Symposium of KMUTT and TUT, 2019.6.5

39. KONDO Kunio, Introduction to Creative Technology for Game and Animation, MSU Students at TUT, 2019.7.12

40. KONDO Kunio, Content Production Technology for Animation and Game, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ITS), Invited lecture , 2019.8.19

41. KONDO Kunio, Content Creation and Digital Character Making, Invited lecture, Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya (iSTTS), 2019.8.20

42. KONDO Kunio, Intellectual Property Creation about Game in Japan, IDGAGA, Indonesia, Keynote speech, 2019.8.26

43. KONDO Kunio, Implementation Academic Writing for International Journals, Telkom University、Invited lecture, 2019.8.27

44. KONDO Kunio, Greeting in the Convocation Graduation Ceremony. UDINUS (Dian Nuswantoro University), 2019.8.28

受賞等

1. 情報処理学会創立 25 周年記念論文賞
近藤邦雄, 田嶋太郎,木村文彦,インタラクティブレンダリングシステムによる 3 次元形状の表現, 情報処理学会,情報処理,Vol.26,No.11, 1985

2. 日本図学会賞
近藤邦雄,木村文彦, インタラクティブレンダリングシステムに関する研究, 1988

3. 第 8 回 NICOGRAPH 論文コンテスト奨励賞受賞論文
尾白 大介, 佐藤 修一, 近藤 邦雄, 金子 満, 佐藤 尚, 島田 静雄, アニメーション作成支援システムのユーザインタフェース, 第 8 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.18—25, 1992

4. 第 13 回 NICOGRAPH/MULTIMEDIA 論文コンテスト奨励賞
小澤庄次 宮間三奈子,近藤邦雄,電子カタログのための撮影条件の推定と画像合成への応用,第 13 回 NICOGRAPH/MULTI,MEDIA 論文集, pp.111-120,1997

5. 第 14 回 NICOGRAPH/MULTIMEDIA 論文コンテスト奨励賞
望月義典, 近藤邦雄, 宮澤貴之, 誇張表現制御のための投影変換,第 14 回 NICOGRAPH/ MULTIMEDIA 論文コンテスト論文集, pp.66-72,1998

6. 優秀研究発表賞受賞
大林 正一, 近藤 邦雄 , 今間 俊博,3D アニメーションのためのカトゥーンブラー,日本図学会,2005 年度大会学術講演論文集, 2005.5,

7. VC 賞 : ポスター
鈴木 和明,近藤 邦雄,ドット絵の調査とドット絵のための輪郭線描画・縮小・着色手法画像電子学会,情報処理学会,Visual Computing /グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2006, 2006.6,

8. 日本図学会第 2 回デジタルモデリングコンテスト入選
鈴木賢次郎,近藤邦雄,小林一也, エッシャーの滝, 2008

9. 日本図学会第 2 回デジタルモデリングコンテスト入選
近藤邦雄,黄檗雅也,大竹豊,金井崇,道川隆士,フリーハンドスケッチによる 3 次元形状モデリング, 2008

10. 日本図学会研究論文賞
米山孝史,源田悦夫,近藤邦雄,視覚パラメータに基づく絵画風画像生成手法, 日本図学会,図学研究, Vol.43, No.4, pp.13-21,2009.12

11. 優秀ポスター賞受賞
戸谷和明,兼松祥央,三上浩司,近藤邦雄,金子満,3DCG 映像制作のための演出支援ライティング教材 LighToya の提案, 芸術科学会, NICOGRAPH2009 春季大会ポスター発表, 2009.3,

12. CEDEC インタラクティブセッション賞受賞
ケネス・チャン,三上浩司,近藤邦雄,The Mystery of Player Experience −脳波分析を通じて更なる理解へ−,コンピュータエンタテインメントソフトウェア協会（CESA）,CEDEC2011,2011.9

13. 最優秀ポスター発表賞
中嶋 智,新谷幹夫, 白石路雄, 桂川秀嗣, 小川ゆう子, 川島基展, 近藤邦雄,太極拳独習用CG教材の開発と評価, 映像表現フォーラム,pp.27-30, 2012.3

14. 映像表現・芸術科学フォーラム 2013 ポスター発表部門　優秀賞
中井奏恵,川島基展,早川大地,石川知一,三上浩司,近藤邦雄,ネコの跳躍アニメーションの効率的な制作手法の提案, 画像電子学会,芸術科学会,映像情報メディア学会,映像表現・芸術科学フォーラム2013,2013.3

15. 映像表現・芸術科学フォーラム 2013 企業賞（Wacom）
中井奏恵,川島基展,早川大地,石川知一,三上浩司,近藤邦雄,ネコの跳躍アニメーションの効率的な制作手法の提案, 画

像電子学会,芸術科学会,映像情報メディア学会,映像表現・芸術科学フォーラム2013,2013.3

16. 関東工学教育協会賞(業績賞)
近藤邦雄,渡辺大地,三上浩司,
「アニメやゲームなどのコンテンツ制作分野における実学的工学教育の創生と高度化」

17. 映像表現・芸術科学フォーラム人材育成パートナー企業賞受賞
甘　霖,近藤邦雄,三上浩司,　3DCGのアニメーションのためのアクションラインの編集支援手法,映像情報メディア学会・画像電子学会・芸術科学会,映像表現・芸術科学フォーラム,2014.3

18. 映像表現・芸術科学フォーラム人材育成パートナー企業賞受賞
村瀬　健,茂木龍太,兼松祥央,三上浩司,近藤邦雄,　3次元デフォルメ手法を用いた2頭身キャラクターの制作, 映像情報メディア学会・画像電子学会・芸術科学会,映像表現・芸術科学フォーラム,2014.3

19. 映像表現・芸術科学フォーラム人材育成パートナー企業賞受賞
王　晨,兼松祥央,茂木龍太,三上浩司,近藤邦雄,　CGアニメーション制作のためのカメラワークスクラップブックの開発, 映像情報メディア学会・画像電子学会・芸術科学会,映像表現・芸術科学フォーラム,2014.3（人材育成パートナー企業賞受賞）

20. 情報処理学会論文誌ジャーナル/JIP特選論文（Specially Selected Paper）
小島 啓史、竹内 亮太、石川 知一、三上 浩司、渡辺 大地、柿本 正憲、近藤 邦雄,分断と再統合現象を考慮したオーロラのビジュアルシミュレーション,情報処理学会論文誌ジャーナル Vol.55 No.8

21. Best Paper Award
Tomokazu Ishikawa, Yonghao Yue, Taichi Watanabe, Kei Iwasaki, Yoshinori Dobashi, Masanori Kakimoto, Kunio Kondo, Tomoyuki Nishita, Visual Simulation of Glazed Frost Taking into Account Super cooled State, The Fourth IIEEJ International Workshop on Image Electronics and Visual Computing, 2014.10

22. ADADA Best Poster賞
Taegun KIM, Sain JUNG, Mikami KOJI, Kunio KONDO: Intuitive game character voice recording direction method with character image scale, proceedings of ADADA2014, poster, 2014.11

23. 画像電子学会よりフェロー称号の授与, 2015.6

24. CG-JAPAN Award 受賞（芸術科学会）, 2015.11

25. 画像電子学会優秀論文賞
Tomokazu ISHIKAWA, Yonghao YUE, Taichi WATANABE, Kei IWASAKI, Yoshinori DOBASHI, Masanori KAKIMOTO, Kunio KONDO, Tomoyuki NISHITA,　Visual Simulation of Glazed Frost Using Hybrid Heat Calculation,　IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol.5,No.2,2015.12

26. 人材育成パートナー企業賞受賞
橋本将伍・武田孝騎・山本聖樹・渡邊彪我・原 祐里子・渡邉賢悟・伊藤彰教・近藤邦雄:、Mondrian Puzzle ～ コン ポジションシリーズの特徴を考慮した配色構成パズルアプリケーション ～,映像表現・芸術科学フォーラム2017(Expressive Japan 2017),pp.257-260, 2017.3

27. Best Paper Award
Naoya Tsuruta, Takehiro Teraoka, Kunio Kondo, Masaki Hayashi, TV Show Template for Text Generated TV, IWAIT2018, 2018.1

28. CG-ARTS 人材育成パートナー企業賞,リブゼント・イノベーションズ株式会社
瀧野 翔,鶴田 直也,近藤 邦雄,作画に着せるジェネラティブアートによるアニメーション制作手法,映像表現・芸術科学フォーラム 2018(Expressive Japan),2018.3

29. 情報処理学会より2018年度フェロー称号の授与, 2019.6

30. Kondo Kunio: The Yayasan MSU-ADADA Award of the Lifetime Achievement in Digital Art and Design, 2019,11,27

4. 研究論文紹介

2020 年 1 月に CGWORLD に研究紹介の記事を掲載していただきました。この時に書いた原稿をもとに、記事に書くことができなかった内容を追加しました。その解説をまず掲載します。この解説を読んで研究活動全体を概観していただきたいです。

そして、取り組んできたいくつかの研究分野における研究論文などをピックアップして掲載します。研究論文を公開した後に、関連する研究が発展したような影響が大きいと思われる学会誌論文や国際会議論文を中心に国内の大会などの論文等も掲載します。

Academic meet Industry No.17　初稿追補改定版
CGWORLD+digital video,vol.257　2020 年 1 月号

コンピュータ図学からデジタルコンテンツ制作研究への展開

近藤邦雄　東京工科大学メディア学部
https://kondolab.org/

1. コンピュータ図学との出会いと研究の全体像:

1973 年に名古屋大学教養部に技術補佐員として教育研究の補助をするところから，私のコンピュータグラフィックスの研究が始まりました．名古屋工業大学の夜間に通学しながら，昼間は名古屋大学で教育と研究の補助をして過ごしていました．この時期に『コンピュータ図学』を提唱していた田嶋太郎教授のご指導のもとで，Bezier 曲線，透視図，モンタージュパース，立体視の研究を行ってきました．これらの成果はいくつかの研究論文となり，さらに『モダングラフィックス（コロナ社）,1982』として出版しました．この書籍では 1973 年から研究してきた主な研究内容をまとめました．この内容を見るとコンピュータグラフィクスといっても大変いろいろなテーマがあることが分かります．図 1.1 に主に大学を卒業した 1978 年ごろからの研究テーマを示します．大きくは 5 つの研究領域になっています．NPR(Non photorealistic rendering),スケッチモデリング，感性情報処理，アニメーション，コンテンツ制作支援技術に分けていますが，コンピュータグラフィックスを基盤技術として展開して，結果的にすべての領域がコンテンツ制作支援技術に発展しています．一つ一つの研究成果が繋がって一つの研究分野になり，その成果がヒントになって，次の研究分野に展開できました．本文では，紹介するいくつかの研究とそれらの研究の展開から新しい研究分野を開拓する道筋を知っていただきたいと思います．

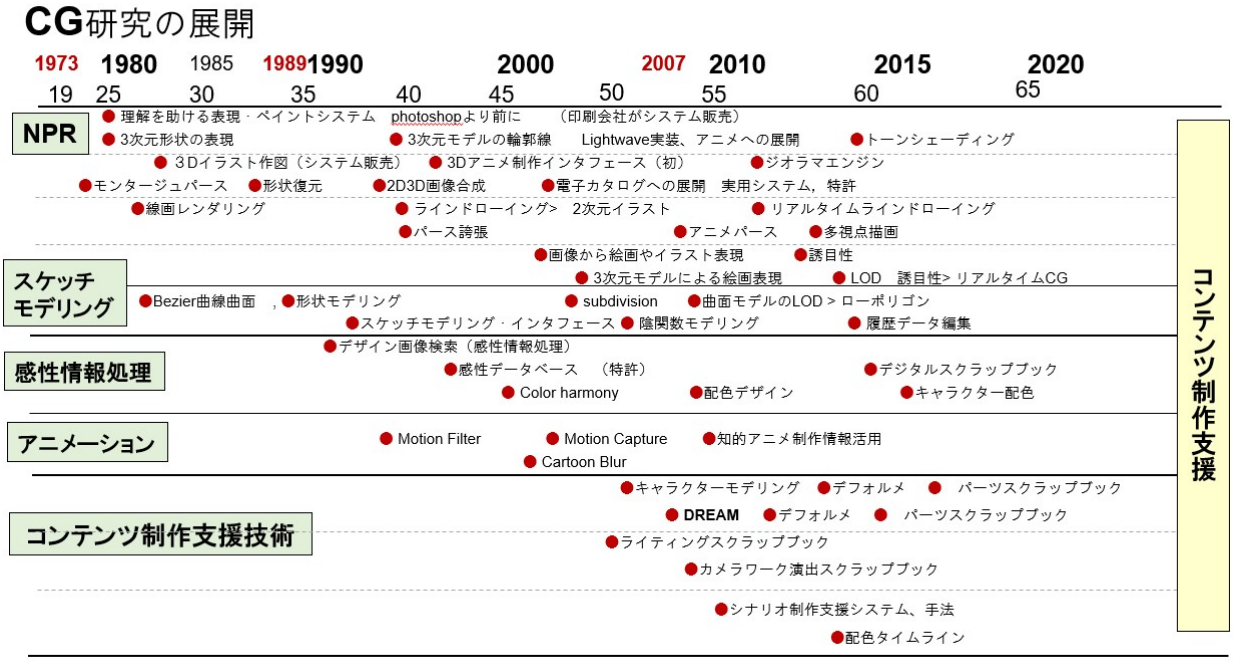


図 1.1　筆者らの CG 研究の展開（1973 年から 2020 年まで）

2. NPR:形状理解を助ける表現:

1975 年に，穂坂衛教授にご指導いただいた Bezier 曲線の研究をもとに線画のイラスト制作技術の開発をしたり，笹徳印刷工業株式会社と共同研究としてペイントシステムを開発したりしました．この開発には VAX-11/750(メモリ 3M バイト)でプログラミング言語 Fortran を使っていました．このペイントシステムの研究は，東京大学の木村文彦教授のご指導の下で進め，2.1 節から 2.4 節の 4 つの研究分野に展開しました．また、2.5 節では線画レンダリングによる形状表現について紹介します。

2.1 フォトレタッチソフトウエアの開発

一つ目は，高品質なソフトシェーディングやペイント機能の提案です（図 2.1）．この研究の特徴は，シェーディング機能のために絵画分析や専門家へのヒアリングによるシェーディングのパターン化，つまり専門家の暗黙的な知識や技能を整理して，描画アルゴリズム(1,2)を提案したことです（図 2.2）．この描画機能を高く評価した愛知県立芸術大学の野崎悠子教授によるさまざまな評価実験から専門家の意見を取り入れたシステムになりました．これらの研究から開発したペイントシステムは笹徳印刷工業株式会社から販売されました．この機能は 1990 年に Photoshop が発売される前である 1985 年に公開しました．

図 2.1　提案システムによる作画例（1985 年）

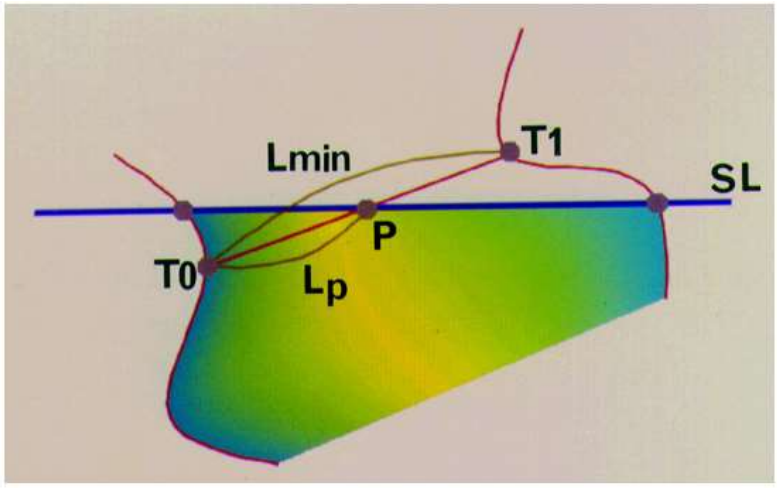


図 2.2　Bezier 曲線のスキャンライン処理によるシェーディング（1985 年）

2.2 形状理解を助ける表現

2 つ目は，図 2.3 に示すようなシェーディング手法を利用した 3 次元形状の理解を助ける表現の提案（1,2）です．この研究は 1985 年に情報処理学会 25 周年記念論文と EUROGRAPHICS 論文として公開されました．1990 年に SIGGRAPH ではじめて NPR(Non Photorealistic rendering)というセッションができ，CG 研究の主流であった写実的な表現の研究とは異なる新たな研究分野に発展しました．

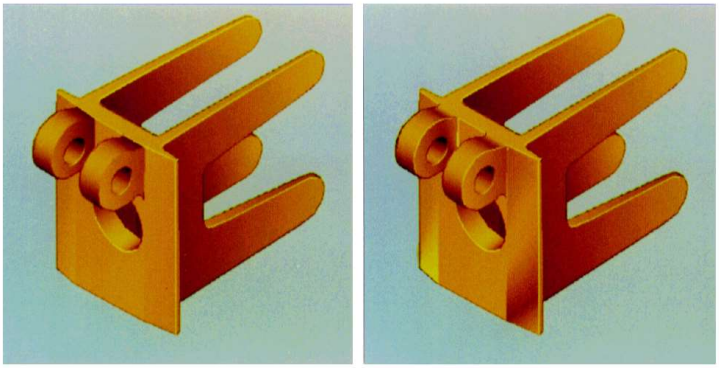


図 2.3　ペイント処理による 3 次元形状の理解を助けるレンダリング例
NPR のさきがけの画像例（1985 年）

2.3 3 次元モデルの輪郭線描画

さらに，この 3 次元形状表現の研究を進めて，1995 年に 3 次元モデルの輪郭線などの表現（3）を実現しました（図 2.4）．この研究をもとに金子満教授が，世界で初めてアニメーションの輪郭線描画へ適用しました．この成果は現在の日本アニメで使われているトゥーンレンダリングの一つの機能として広く普及することになりました．

図 2.4　3 次元モデルを利用した外形線，内形線の描画（1998 年）

2.4 視覚認知と絵画表現

4 つ目は，イラストの描画時の強調や省略のために誘目性を考慮した手法や，形態視，空間視，色彩視の視覚パラメータを用いた絵画分析と描画アルゴリズム（4）の研究です．図 2.5 のように

過去の有名な絵画の描き方の特徴を明らかにしたり，注目している部分を詳細に描くようにしたりする表現手法の研究に展開できました（日本図学会研究論文賞受賞）.

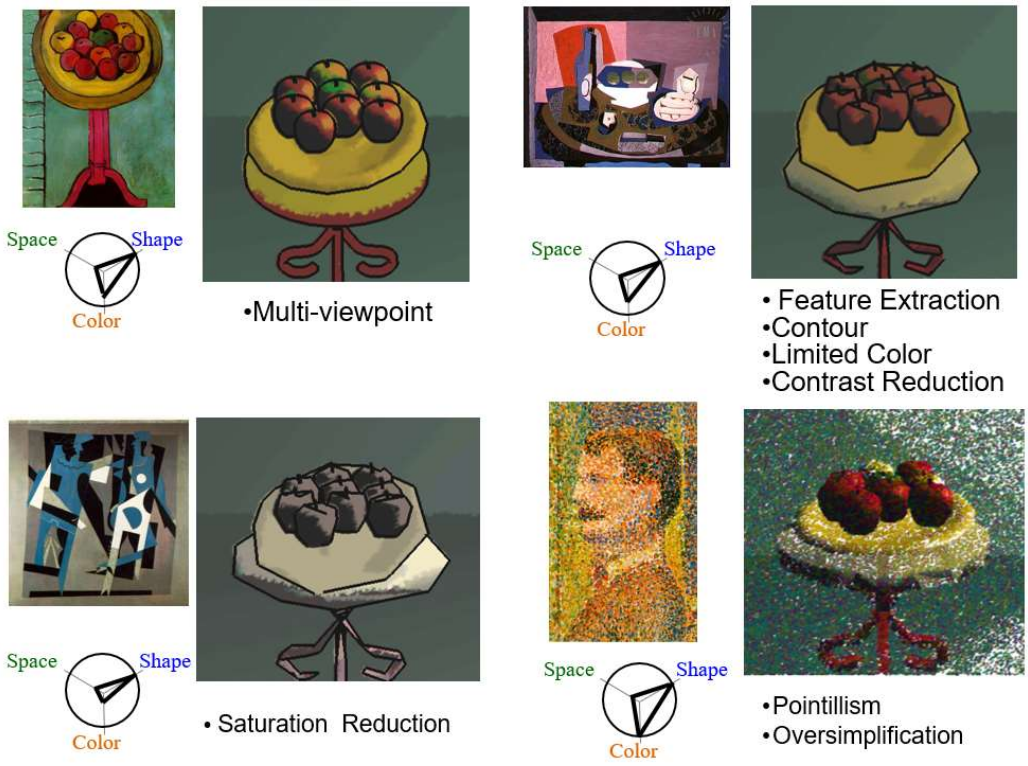


図 2.5 視覚パラメータを用いたさまざまな絵画表現（2009 年）

2.5 線画レンダリングの研究

1980 年代から研究してきた線画レンダリング（図 2.6）の研究（5）を進め，1991 年に図 2.7 に示すような白黒画像の生成手法を提案しました（6）．さらに，1993 年，1996 年には Bezier 曲線の太さ変化（図 2.8）やドット表現を提案し，手描き風のイラスト表現を確立しました(7, 8)．2007 年に東京工科大学に移ってから，図 2.9 に示すような輪郭線のリアルタイム表示や太さ変化のある線の描画の提案（9）をゲーム制作のための CG 技術開発の一つとして共同で行いました.

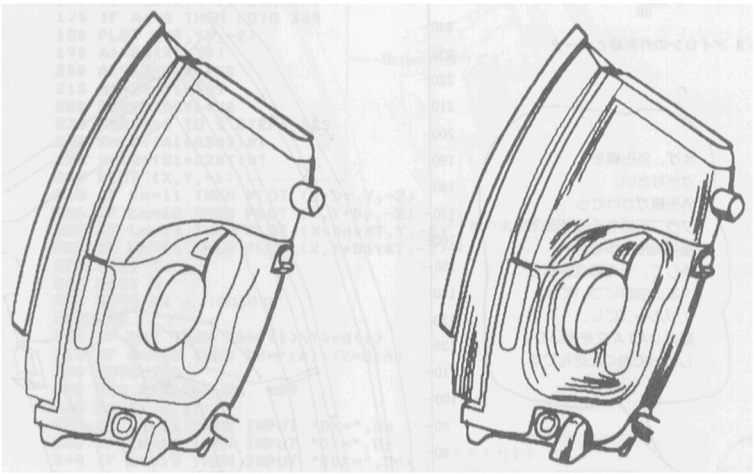


図 2.6　線の太さ変化のある線画レンダリング例（1980 年）

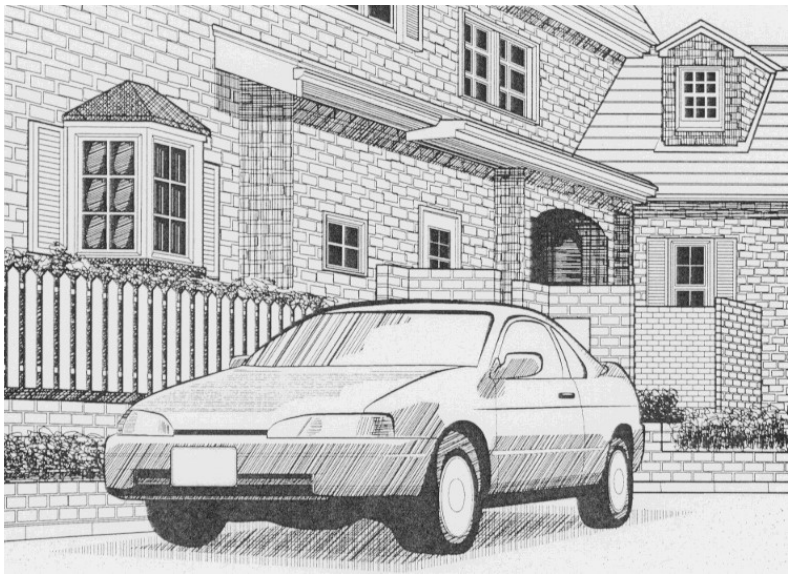


図 2.7　線画レンダリングの描画例（1991 年）

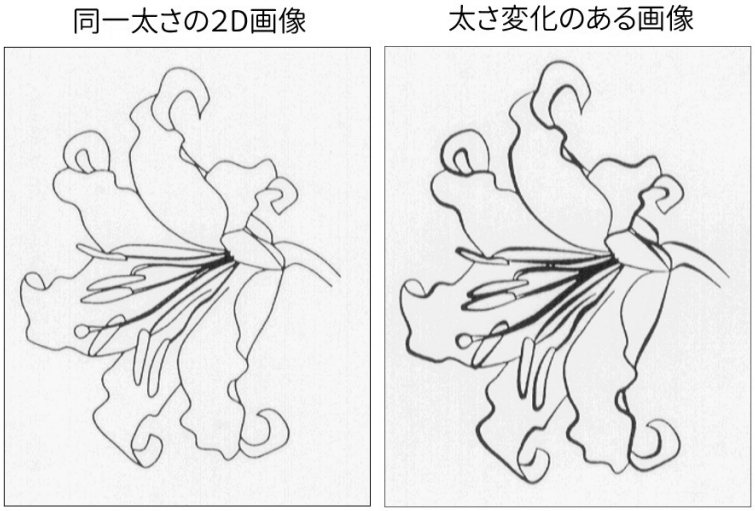


図 2.8　Bezier 曲線による線画レンダリングの描画例（1993 年）

図 2.9　リアルタイム 3DCG による輪郭線の描画（2011 年）

3. 図学の CG への応用と立体復元

3.1 図学の作図手法の活用と立体復元

3 次元形状を表現する研究を通じて，1985 年ごろから図学（図法幾何学）の作図手法をコンピュータ処理する研究に着手しました．図学には，定規とコンパスを利用して，さまざまな 3 次元形状を表現したり，解析したりする作図手法があります．私たちは計算幾何のアルゴリズムを利用して，定規とコンパスによる図学の作図手法のプログラムを開発し，対話型透視図作図手法(10)として発表しました．透視図を描くだけではなく，立方体，円柱などの基本的な立体の作図，立体の回転の作図，影の作図（図 3.1）なども表現することができます．CG の専門家は，図 3.2 の作画実験結果をみると，3 次元モデルのワイヤフレーム表示と見間違えることがよくありました．そのくらい CG の世界では，透視図の表現は 3 次元モデルを利用していることが前提となっていました．この図学を利用したイラストレーション作画システムも共同研究をしていた笹徳印刷工業（株）から販売されました．

また，人はこの作図結果から 3 次元形状を理解できるにもかかわらず，コンピュータは 3 次元モデルとは認識せず，単に 2 次元図形としてデータを保持しているのです．そこで，人が理解できることはコンピュータにも理解できるようになるのではないかと考えて 2 次元図形から立体復元の研究を進めました．

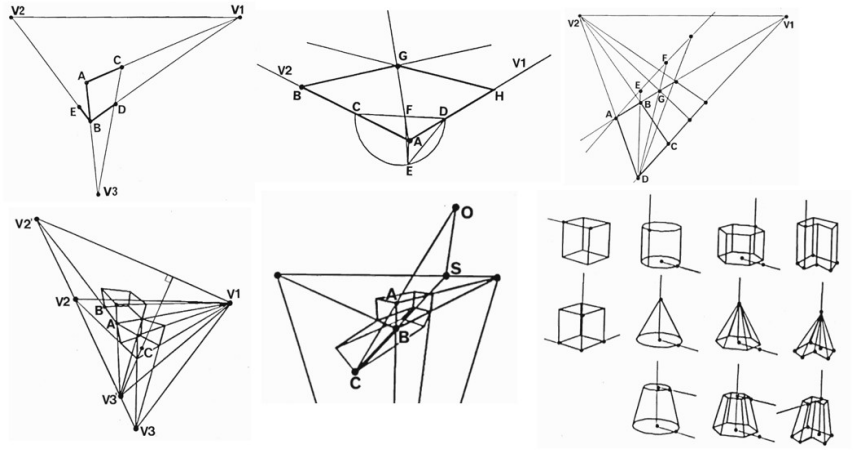


図 3.1 対話型透視図作図手法に基づく図形の作図と基本立体の作図例

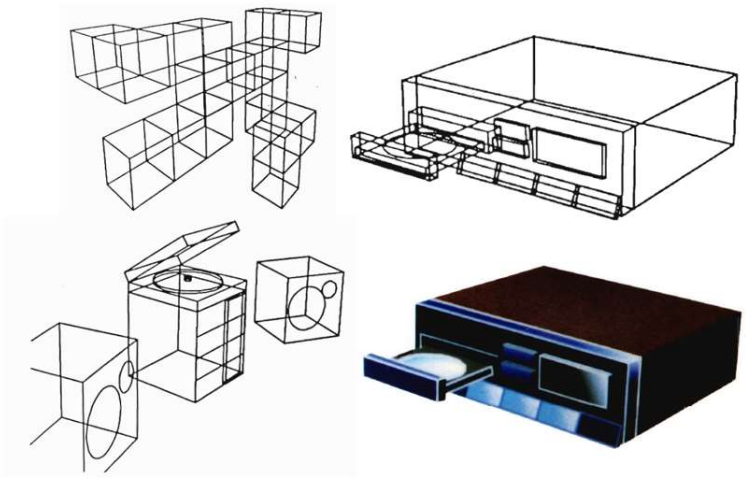


図 3.2　対話型透視図作図手法による 3 次元形状の作画例．（1988 年）

対話型透視図作図手法で描いた透視図の視点情報や，影の投影図から光源位置情報を求める手法をもとに，投影図を描く時の視点と立体図の比例計算によって，立体データを求める手法を提案しました（図 3.3，図 3.4）．1988 年に発表したこの投影図や画像を用いた立体復元手法（11）は，3 次元形状を画像にマッチさせて合成することもできます．1996 年に P. Debevec が発表した image-based modeling and rendering 手法に繋がっていることが分かります．私たちの立体復元手法は，次のアニメ制作，電子カタログのための画像合成，スケッチインタプリターの 3 つの新たな研究に発展しました．

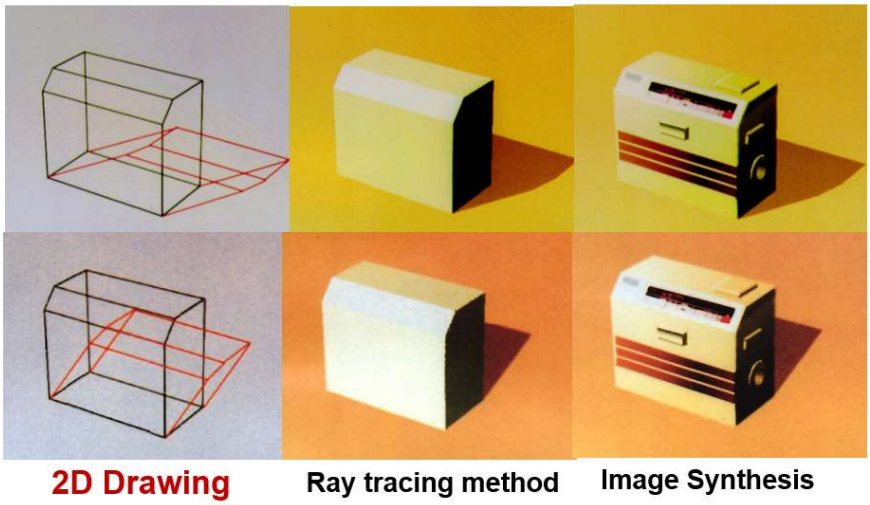


図 3.3　2 次元図形から 3 次元モデルデータを求め，光線追跡法でレンダリングした例とそれに画像合成した例（1988 年）

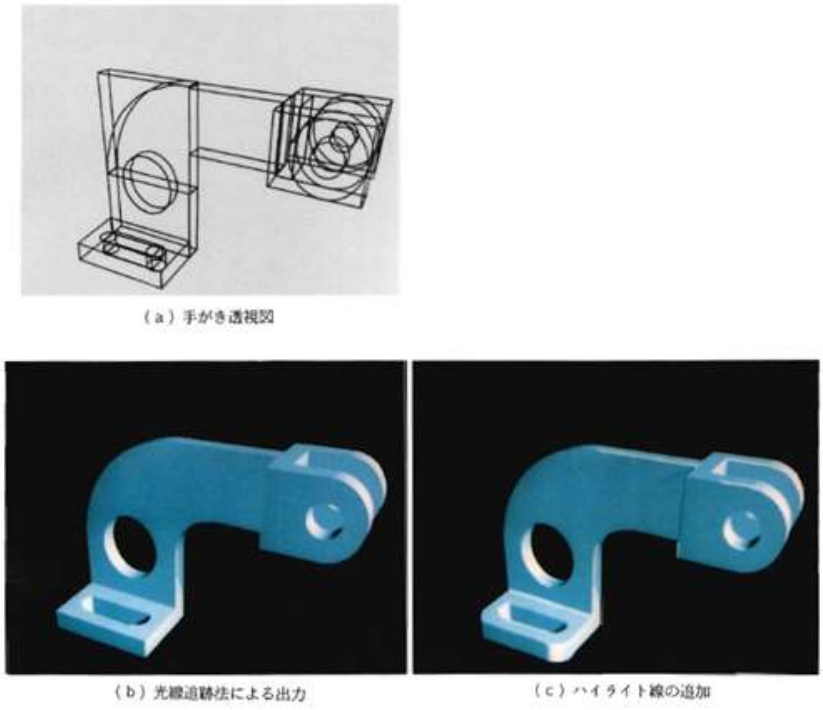


図 3.4　対話型透視図法で作画した透視図から立体復元し，稜線にペイント機能を用いてハイライト線を追加した画像例（1988 年）

3.2 アニメ制作支援

1992 年にアニメーション作成支援システムのユーザインタフェース（12）を発表しました．コンピュータ内部に立体環境を作り，その環境と動いている立体，視点の制御を組合せることで，アニメーションの下絵の作成を効率化する手法（図 3.5）を提案しました．これは「同形状の 3 次元形状オブジェクトを同一の透視図内に 2 つ以上描き，その間をベジエ曲線で補間することにより，オブジェクトの軌跡を制御するものである．セルアニメ制作におけるキーフレーム作画を容易にするため手法として，3DCG 技術を初めて利用したものである．」と金子教授は述べています．そして私たちの提案手法の考え方を参考にして，セルアニメタッチ映像の動きの表現法を提案し，その後のシーンシミュレーションシステム「ジオラマエンジン」の研究に発展していきました．

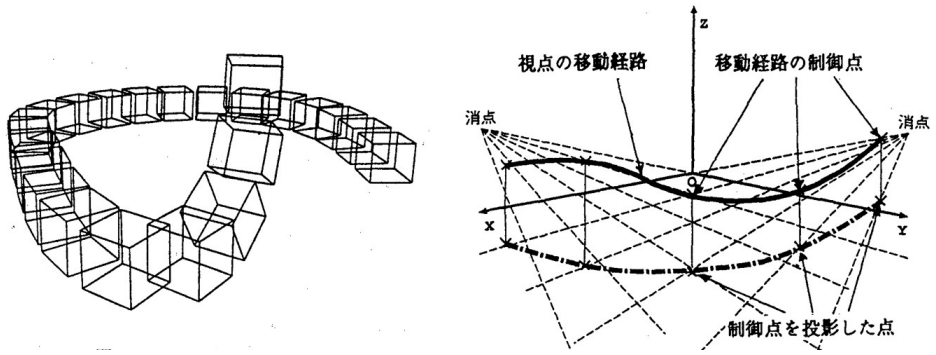


図 3.5　アニメーション作成支援システムのユーザインタフェース（1992 年）

3.3 電子カタログのための画像合成

電子カタログのための部屋を撮影した写真の撮影条件の推定と新たに追加する家具などの立体形状の合成（図 3.6）です．これは大日本印刷（株）との共同研究（13）となりました．立体復元の基本的アイデアをもとに配色やテクスチャ合成手法を新たに提案して，電子カタログに実用的に使えるシステムを開発し，特許も取得しました．これは 1999 年に「イメージシミュレーションシステム」として販売されました．

図 3.6　電子カタログのための撮影条件の推定と画像合成（1998 年）

3.4 スケッチインタプリター

3 つ目はスケッチインタプリターの研究です．これはフリーハンドスケッチを対話的に描きながら，3 次元モデルを生成する手法です．これは次の第 4 節で詳しく説明します．

4. スケッチ入力とスケッチインタプリター

イラストや 3 次元形状のスケッチ描画支援，そして対話的に描くスケッチ情報をもとに 3 次元モデルを生成する手法の研究に取り組みました．

4.1 スケッチ入力と図形認識

まず，現在広く活用されているタブレットのペン入力機能の基礎的手法と考えられる対話的な線図形に関する研究（14）は 1986 年ごろからはじめ，ペイントシステムの入力機能の開発を目的として始めました．人はフリーハンドで描いた正方形を見ると，ある程度のゆがみがあっても正方形が書いてあると理解できます．また円と楕円の場合は，直径の長軸と短軸の割合をみて，同じ程度であれば，円と認識し，その割合が変わってくると楕円と認識します（図 4. 1a）．そのような認識方法をもとにして手描きで描いた線図形の清書をする手法を考案しました．自由曲線の作画や修正も同じように，始点と終点を結ぶ直線と描いた手描き線分との差が小さい場合は直線と認識し，それが一定の割合以上の場合は，曲線とするというようにいくつかのルールをアルゴリズムとして実装しました．曲線の修正も制御点を指定することなく，線分の一部に修正のための線分を直接描くということにより，思い描いた線図形を得るための手法を提案しました（図 4. 1b）．

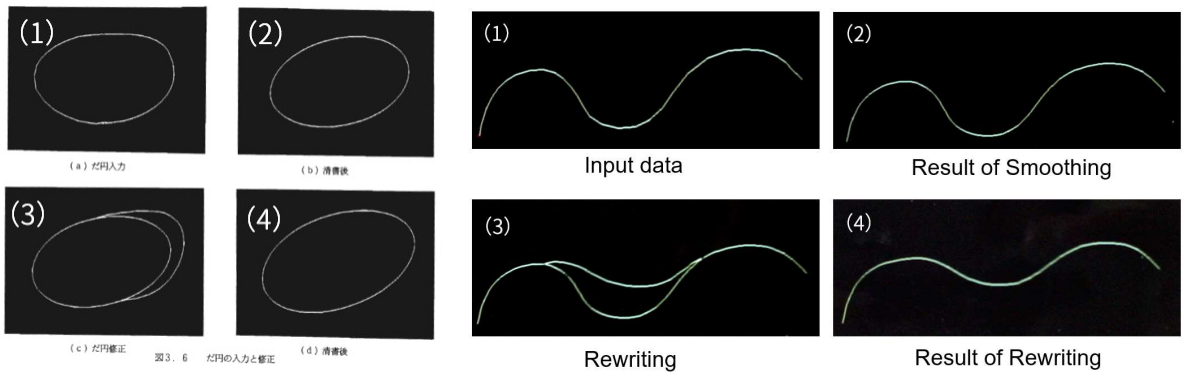


図 4. 1　楕円の清書(a)と手描き入力した線の清書，修正線の入力と修正結果（b）（1987 年）

4.2　3 次元形状モデル入力のためのスケッチインタプリター

3 次元形状の投影図を見たとき，「人は 3 次元形状をイメージすることができるので，それと同じようにコンピュータも投影図から 3 次元形状情報を求めることができるといいな」と 1998 年の立体復元の研究にヒントを得て，この研究がはじまりました（図 4. 2）．この立体復元の考えをもとに，1994 年にはインタラクティブにスケッチ入力しながら，その情報を利用して 3 次元モデルを生成する手法（図 4. 3）を提案しました．この研究は途中から国内の大手の家電メーカーや自動車メーカーのデザイナーとの共同研究に発展しました．プロダクトデザイナーに対するヒアリングでスケッチの手順やスケッチによる立体表現を分析しました．その結果を生かして，断面線，陰影による立体復元，さらには，復元立体を修正するためのスケッチ入力手法などの研究成果を得ることができました．これがスケッチインタプリター（15, 16）の研究です．

スケッチは，一本の線で表すだけではなく，短い線分をたくさん利用して図形を描く場合も多いです．この描画過程を時系列情報として扱い，線分を入力しつつ図形の再描画，清書をするというアルゴリズム（17）を 1998 年に提案しました（図 4. 4）．そしてこれらの研究内容を含んだサーベイ論文（図 4. 5）が国際学会誌（18）および（19）に掲載されました．

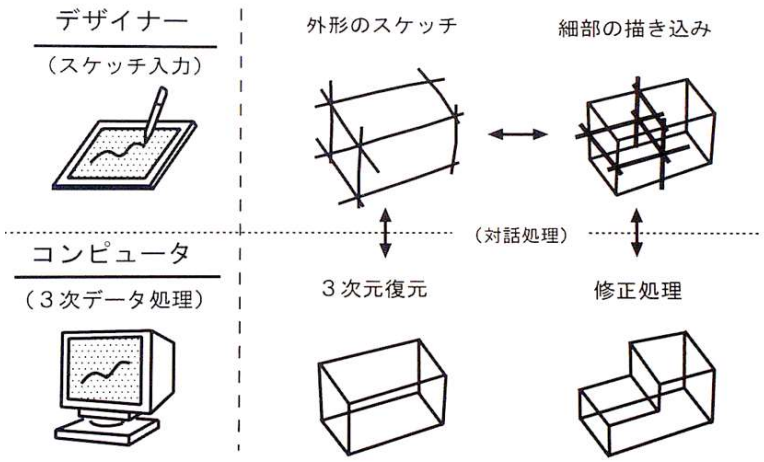


図 4.2 スケッチインタプリターの構想（1994 年）

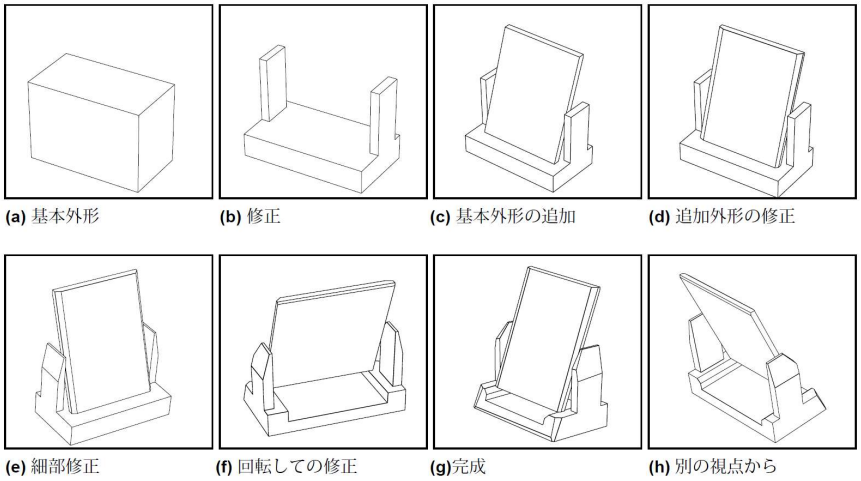


図 4.3 スケッチインタープリターによる形状生成（1994 年）

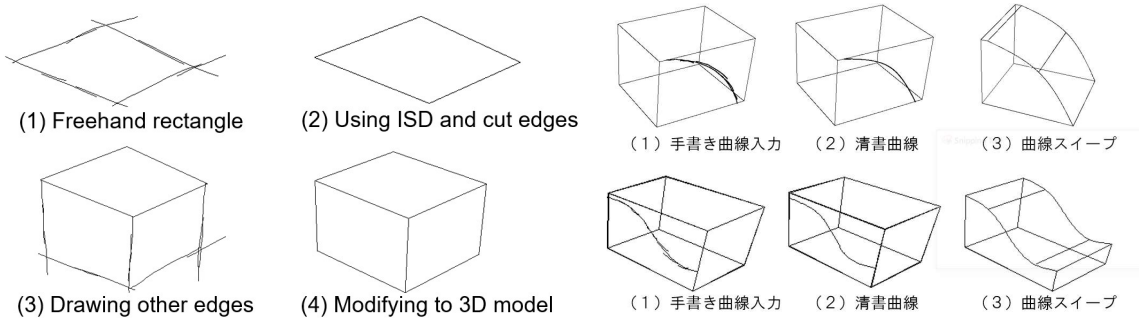


図 4.4 時系列情報を利用した逐次清書による直線や曲線生成と 3 次元モデル復元

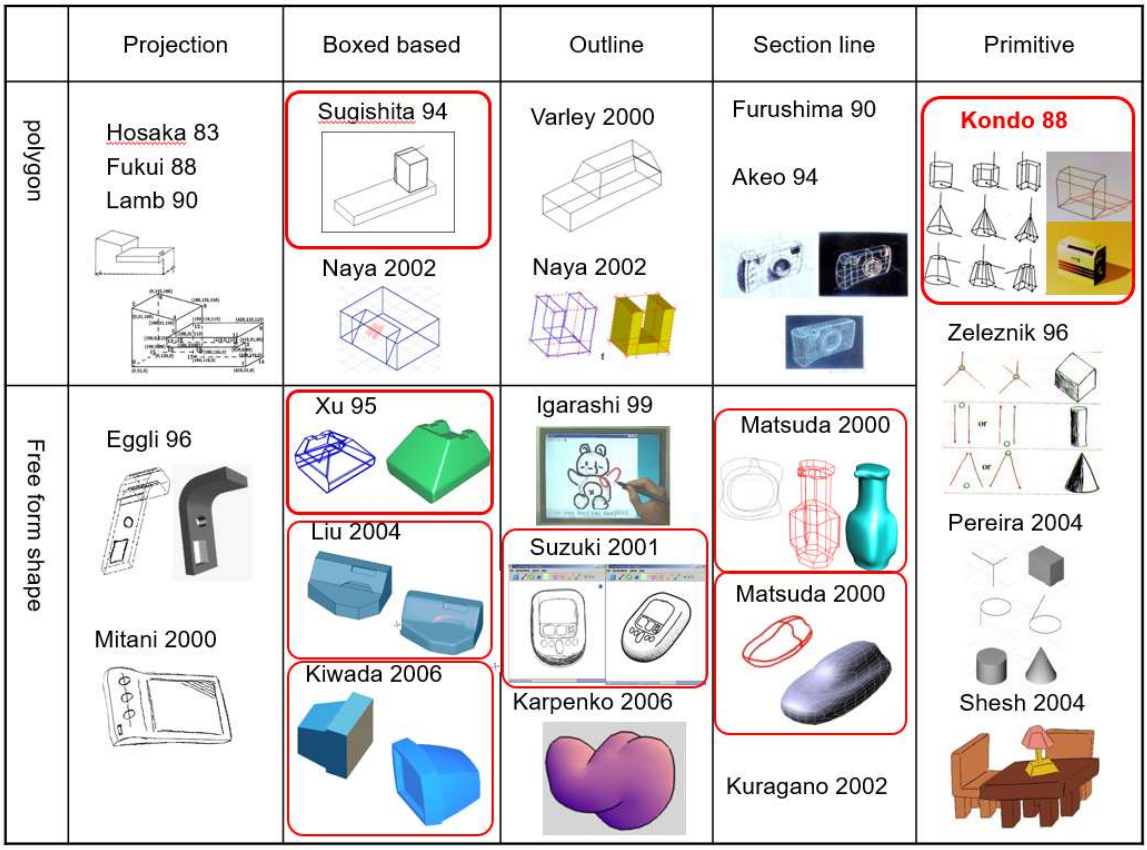


図 4.5 スケッチモデリングの研究一覧，赤枠が著者らの研究（2010 年，2015 年）

5. 感性情報処理と配色デザイン

1990 年には，埼玉県繊維工業試験場からの依頼でデザイン画像検索システムの研究を始めました．デザイナーが簡単な操作で印象や感性を表す言葉で検索することを要望されました．その成果は，1993 年に NICOGRAPH で感性検索とデザインのための統合システムとして発表しました(20)．この研究のポイントは，デザイン画と人の感性の対応関係を計算することです．そのためにデザイン画の配色とそれらの図形のさまざまな要素を分析して，人の感性との関係を分析しました．そして図形のさまざまな要素のうち，図形の複雑さ，直線や曲線の割合，図形の粗密と感性の関係式を求めました (21)．

さらに配色デザインや感性との関係も研究を進めました．図 6.1 に示すような色彩学に基づいた配色決定に加えて，デザイナーの暗黙知をもとにさまざまな配色を得るアルゴリズムを提案しました (22)．これによって，デザイナーの配色デザイン作業の支援が実現できました．

配色と感性の関係も研究しました．この研究では色相，色面積，隣り合う領域のコントラストなどを求めて，このような図形の要素や配色の分析と多数の人の感性アンケートをもとに，感性を表す形容詞対の対応関係を求める数式を提案しました．それによって，図 6.2 に示すように指定した感性を入力して配色変換することを可能にしました (23)．また，1998 年に発表した配色支援システム(図 6.3)をもとに調和配色を利用した画像の配色調和手法 (24) を発表しています．そして同じようなアイデアで Daniel Cohen-Or らは 2006 年の SIGGRAPH において Color Harmonization 法を提案しています。私たちの研究成果は，キャラクターデザインのための配色支援の研究に進展しました．

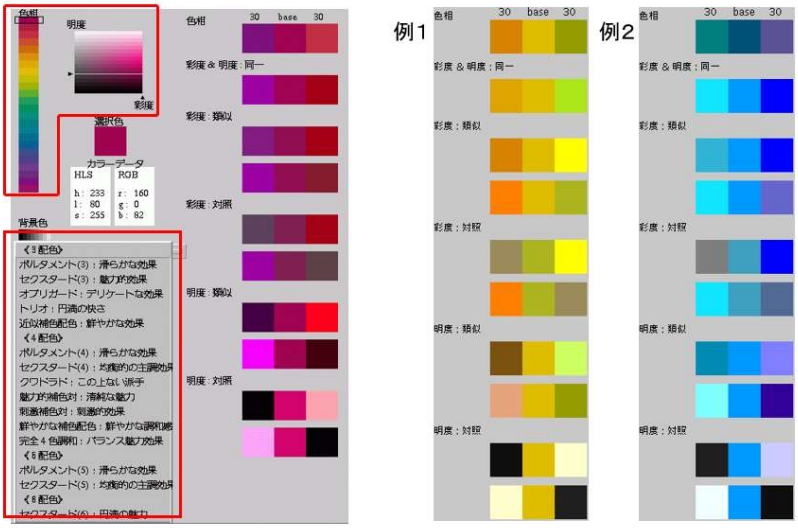


図 6.1 角度配色法による配色生成（1998 年）

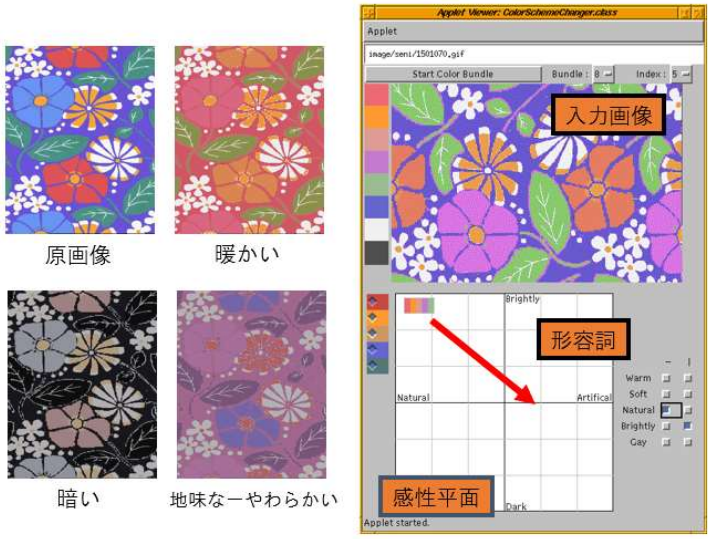


図 6.2 感性スケールによる配色変換（1999 年）

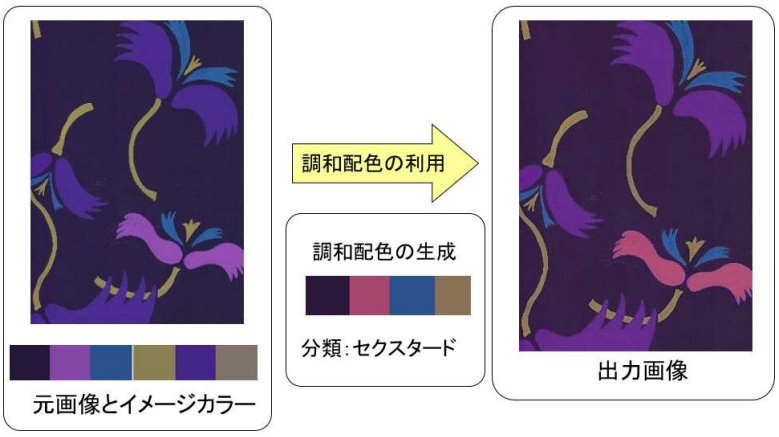


図 6.3 調和配色を利用した配色変換（2004 年）

6. アニメ誇張表現　Motion Filter と Cartoon Blur

6.1 Motion Filter

アニメのさまざまな動きの誇張表現は，キャラクターを生き生きと魅せるだけでなく，見る人に動きを分かりやすく伝えるための手法ともいえます．このような動きはリアルな動きと異なります．魅力的なアニメーションには通常の動きに対して，さまざまな誇張や省略表現が行われています．このようなアニメーションの動作に対して，1995 年に Motion Filter として，モーション誇張手法（25）を発表しました．また，モーションキャプチャのための演技者が誇張した動きをすることは困難な場合も多くあります．このためにモーションキャプチャデータからキーフレームを抽出し，その動きを誇張する手法（26，27）を提案しました（図 6.1，図 6.2）．また従来のアニメーション作品における動きを分析して，それらの制作知識を整理し，誇張表現アルゴリズムも提案しました．このような誇張表現の研究は，2006 年に Wang らも The Cartoon Animation Filter として発表しています．

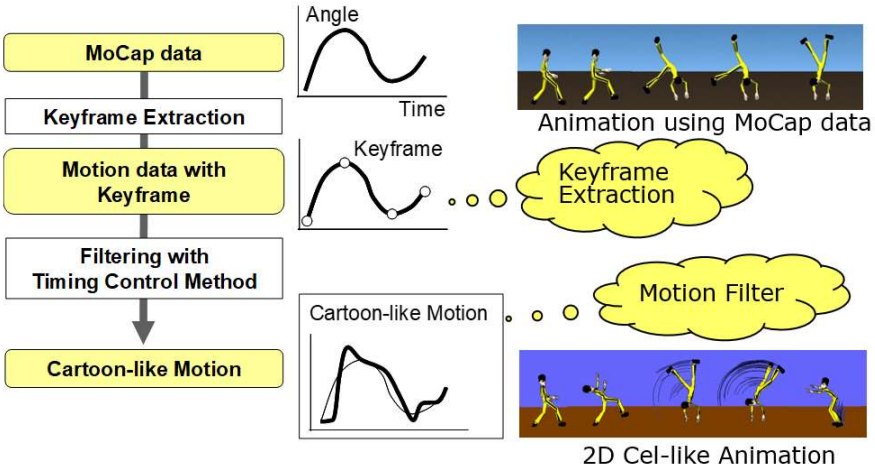


図 6.1 モーションキャプチャデータを用いたモーション誇張プロセス（2006 年）

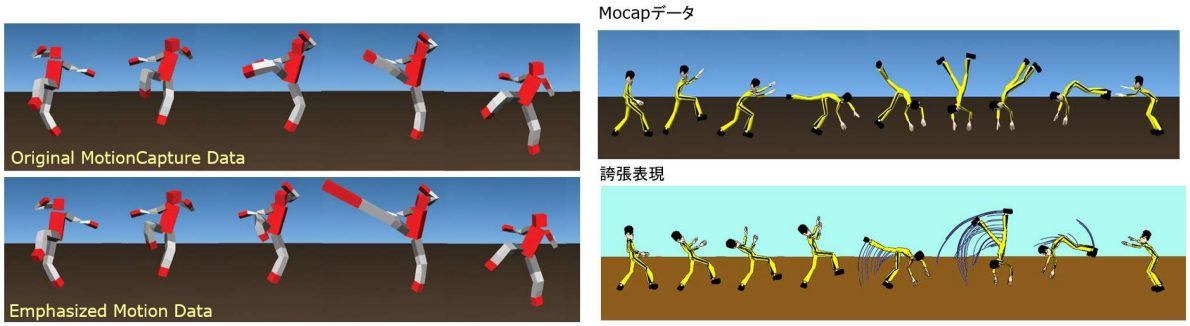


図 6.2 モーションキャプチャデータを用いた誇張表現例（2004 年）

6.2 Cartoon Blur

セルタッチアニメや漫画などではこのブレの表現にさまざまなブラー表現が使われています．私たちは動きのスピードの変化を表すブラー手法を分析して，これらをまとめて 2003 年に体系的な視点からアニメのための Blur 表現（28）を提案したことから，Cartoon Blur（29）とか Anime Blur という用語が使われるようになりました（図 6.3）．その後 2016 年に図 6.4 に示すような Unity を利用したリアルタイム Blur 表現（30）も発表しました．

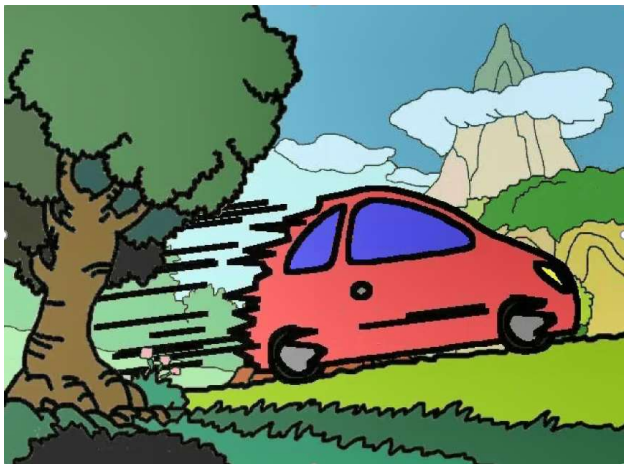


図 6.3 Cartoon Blur の表現例（2003 年）

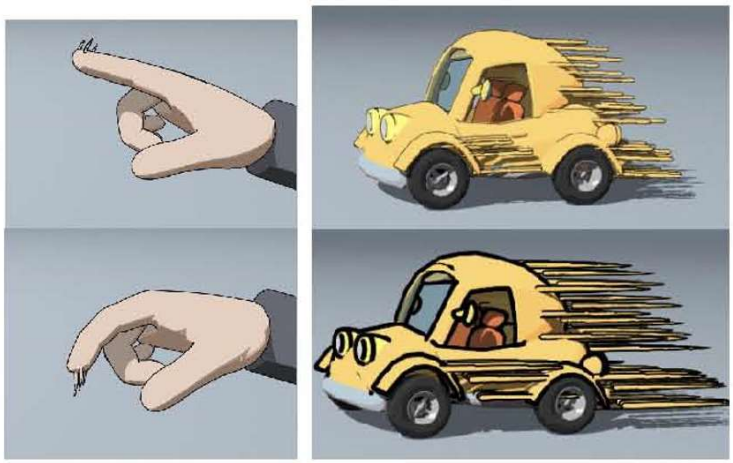


図 6.4 輪郭線のゆがみ表現例（2016 年）

7. コンテンツプロダクションテクノロジーへの展開

2007年から東京工科大学で開始した映像コンテンツ制作の研究には，図7.1に示すように大きく分けてシナリオライティング，キャラクターメイキング，演出の3つの分野があります．東京工科大学大学院メディアサイエンス専攻において，この3つの分野で博士号取得者3名を出すことができました．ここではこの3つの研究成果について紹介します．

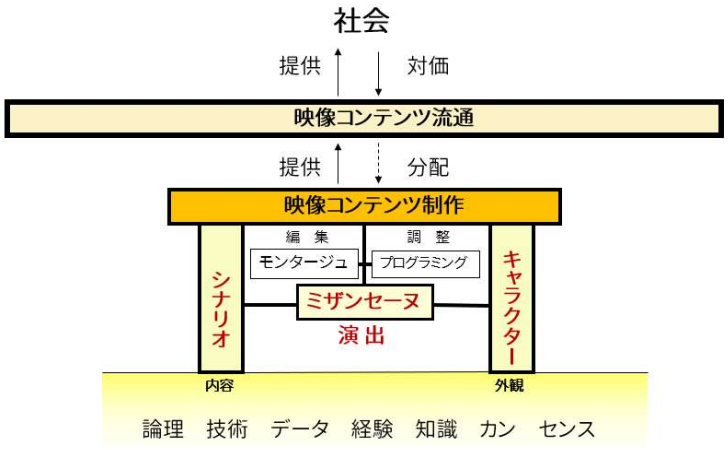


図7.1 映像コンテンツ制作・運用産業の構図（31）

7.1. シナリオライティング支援システム

シナリオは登場人物設定や背景世界設定など多種多様に渡る情報から成り，また映像の長さに応じて膨大な文字数を記述する必要があります（31, 32）．そのため，完成シナリオは構造を持たないデータであるため，シナリオライターでも情報を抽出し評価することが難しく，質の高いシナリオ制作のための執筆支援システムが望まれていました．そこでシナリオ記述を支援する文書情報管理システム(33)を開発しました．図7.2はシナリオライティングシステムを利用したシナリオの執筆プロセスと必要な情報を示しています．概要であるS Plotの少ない文章から長くしていき，第一ドラフト，さらには最終的なシナリオを完成することができます．図7.3は提案システムの実行画面で，S Plotの入力画面と13フェイズの設定の一部です．このシステムで制作したシナリオを用いて，後工程で活用する香盤表の制作に関する研究も行いました（34）．

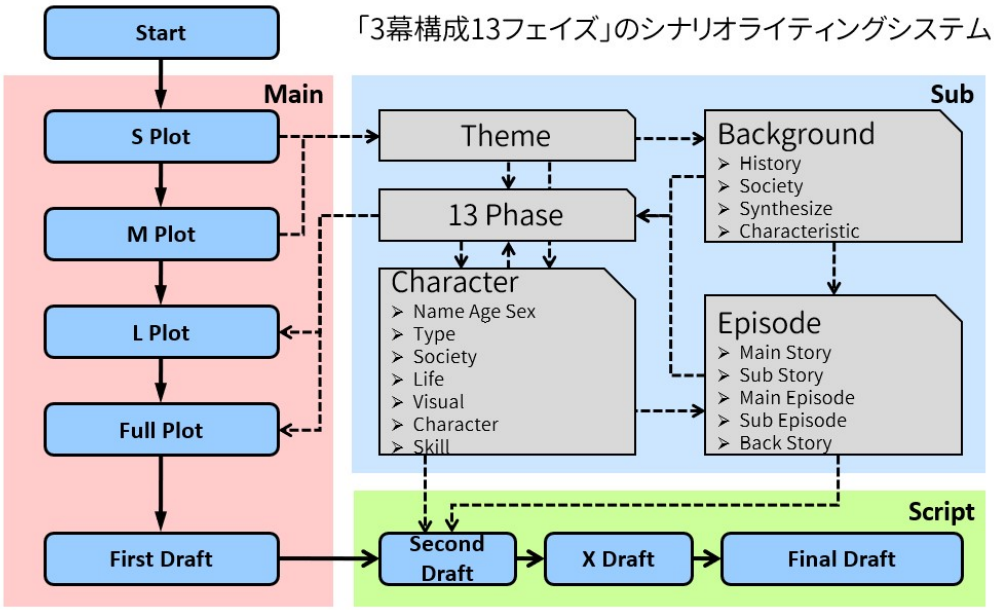


図7.2　構造化シナリオ執筆のための構成とワークフロー（2011年）

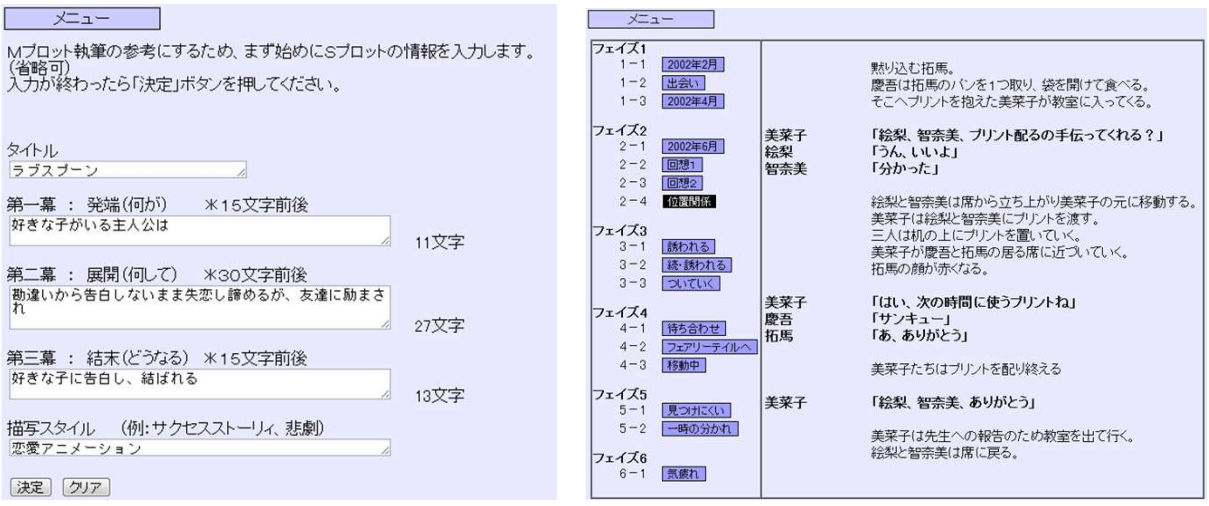


図7.3　S Plotの入力画面と13フェイズの設定の一部（2011年）

7.2 演出

3DCGを利用した映像制作においてライティングやカメラワークは作品の印象を決め，作品の質を左右する重要な技術です．ディレクターの意図に基づいた演出を行うためにプレプロダクション段階におけるライティングやカメラワークに関係する研究（35, 36）を行ってきました．図7.4にライティングスクラップブックのコンセプトを示します．図7.5はライティングスクラップブックの検索結果画面です．図7.6はライティングスクラップブックとシミュレーションによる検索とライティング処理結果の全体像を示しています．これらを利用することによって，意図した演出をするためのライティングやカメラワークを容易に設定することを目指しています（37, 38）．

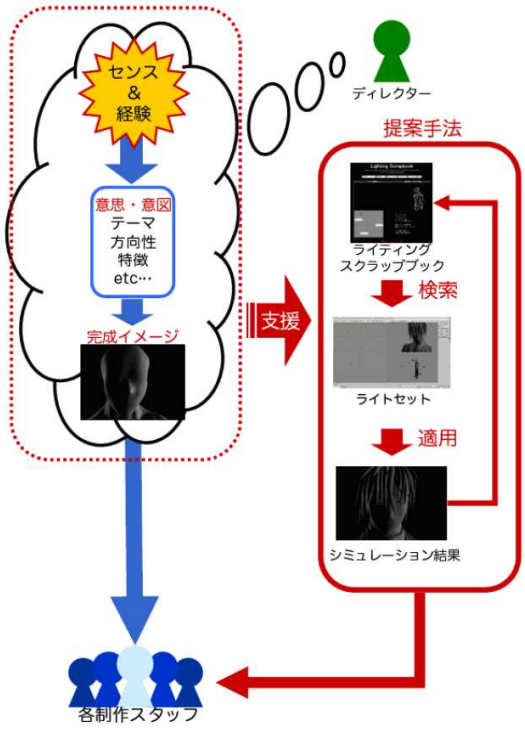


図7.4　研究コンセプト（2010年）

図7.5　ライティングスクラップブック（2010年）

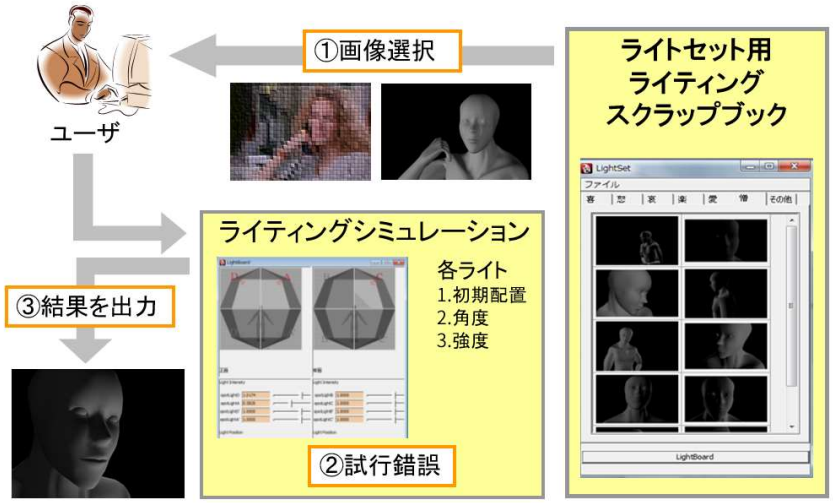


図7.6　ライティングスクラップブックとシミュレーションシステム

7.3 キャラクターメイキング

図7.7にプロデューサーとデザイナーのデザイン意図のコミュニケーションギャップを防ぎ，より質の高い映像コンテンツを制作するためのキャラクターメイキングプロセスを示します（39, 32）．シナリオなどの文書情報と，キャラクターの外見や動き，そして演出などのビジュアルを決める2つの大きなプロセスがあります。キャラクターメイキングとは，それ自身で性格を持ち，ストーリーを伝えることができるキャラクターの考案，デザイン，そしてそれらを効率的に運用する手法の総称です．

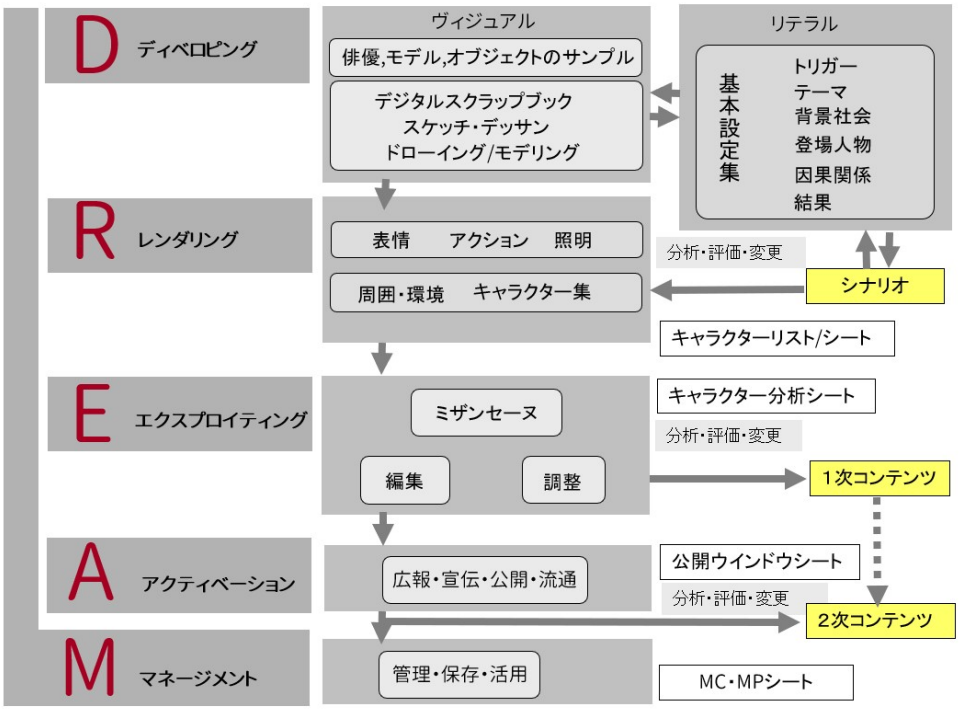


図7.7 DREAMプロセス（2010年）

キャラクターメイキングの研究成果には，キャラクターメイキングプロセスDREAM（40），キャラクターメイキングのためのリテラル資料制作，キャラクター情報を集めるデジタルスクラップブック（図7.8），キャラクターのデザイン原案を作るコラージュシステム（41）（図7.9），顔，目，体形などのデザイン原案制作手法，シルエット利用のキャラクターデザイン，図7.10，図7.11に示すような配色シミュレーション手法（42），3次元パーツを利用したデザインシミュレーション（43）などがあります．たとえば，ロボットキャラクターの研究（図7.12，図7.13）では，既存のアニメに登場するロボットパーツのパターン化を行い，3次元パーツモデルを制作し，これをもとに3ds Max上でシミュレーションシステムを構築しました．これによりロボットの3Dパーツの入れ替えや変形ができ，ロボット形状デザイン原案を10分程度で制作できるようになりました．

これらのデジタルコンテンツ制作の研究から，研究成果であるデザイン支援システムはさまざまなコンテンツ制作分野で活用できることが明らかになりました．私たちの研究手法を用いることによって，デジタルコンテンツ制作において高品質化，効率化が期待できます．

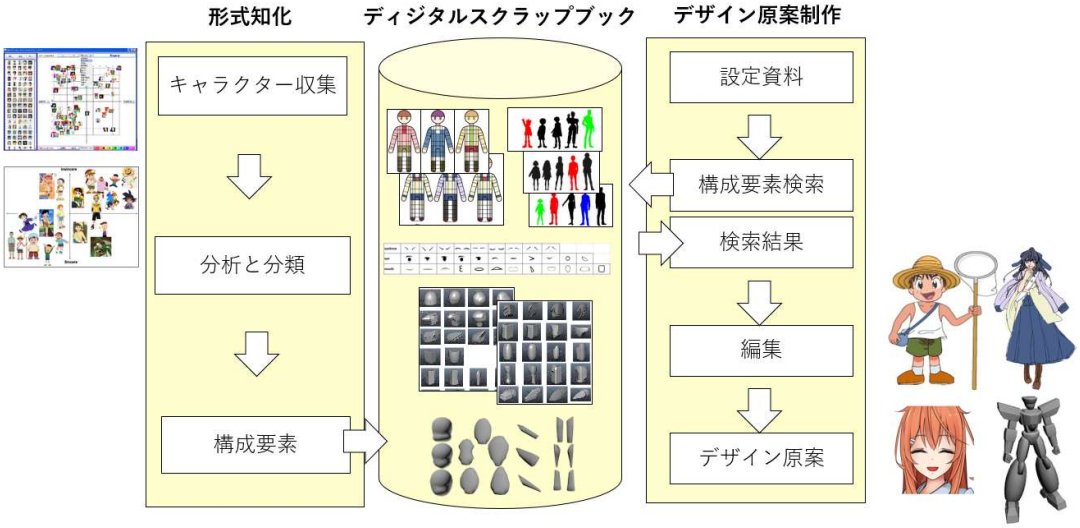


図7.8 形式知化とデジタルスクラップブックを用いたデザインシミュレーション（2018年）

図7.9 DREAMプロセスに基づくコラージュによるキャラクターメイキング例（2013年）

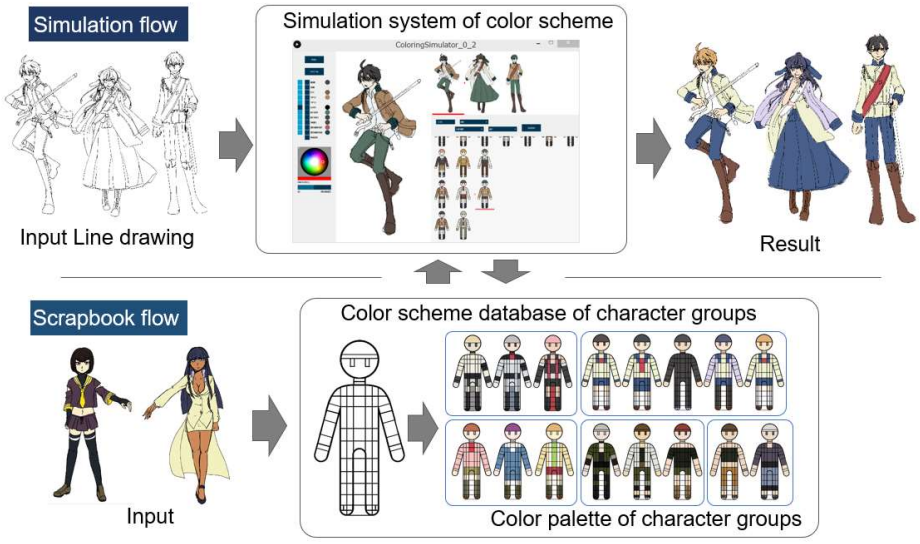


図7.10 キャラクターの配色データベースを用いた配色シミュレーションシステム（2017年）

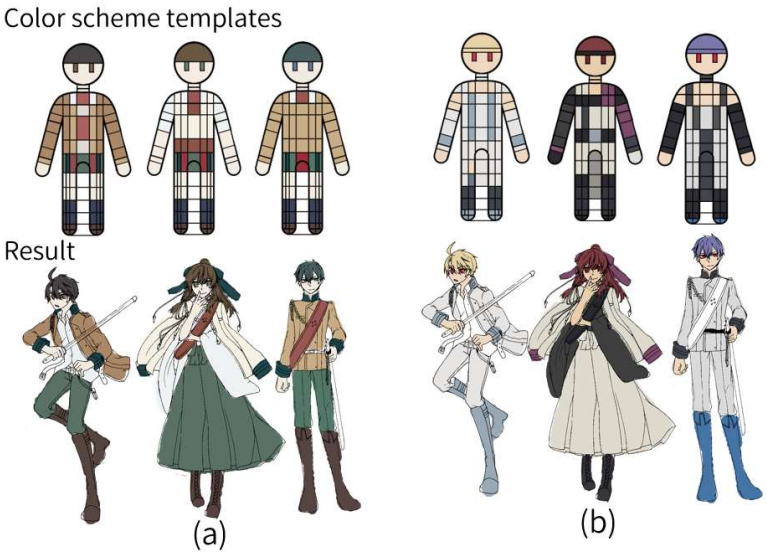


図7.11 キャラクターの配色データベースを用いた配色シミュレーションシステム（2017年）

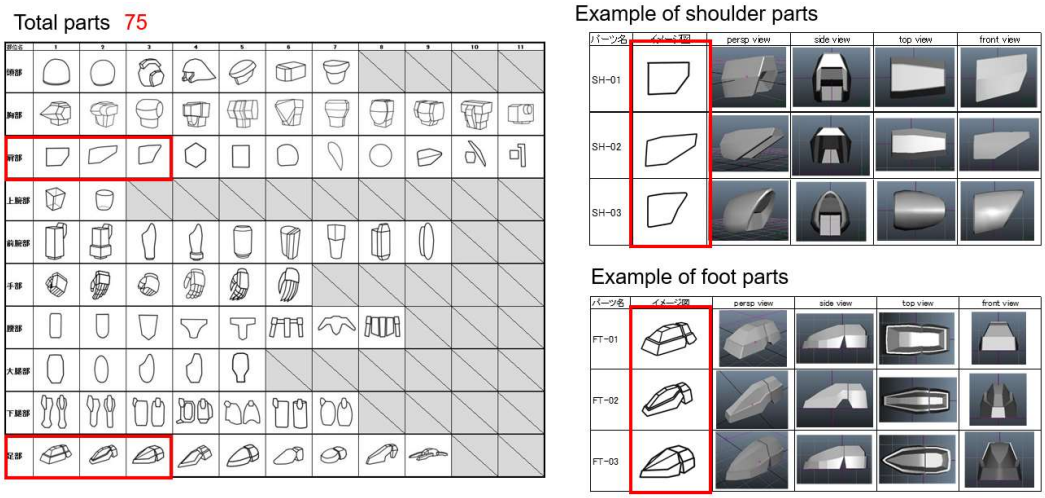


図7.12 ロボットパーツの分類と3次元パーツのモデル（2017年）

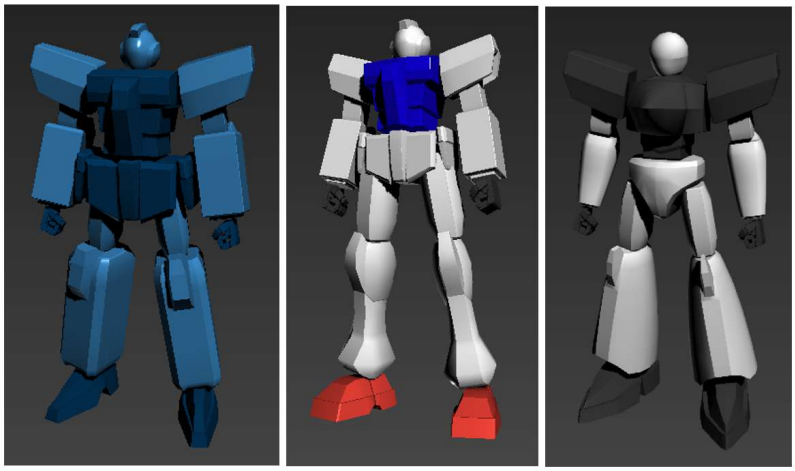


図7.13 ロボット原案のモデル制作例（2017年）

2節 参考文献

1. Kunio KONDO, Fumihiko KIMURA, Taro TAJIMA, An Interactive Rendering Technique for 3-D Shapes,Eurogaphics’85 pp.341-352, 1985
2. 近藤邦雄, 木村文彦, 田嶋太郎, インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現, 情報処理学会「情報処理」,第26巻第11号,25周年記念論文,1985,” Representation of 3-D Shapes with the Interactive Rendering System”
3. Y. Mochizuki, K. Kondo ：Enhanced Edge Rendering for Comprehensible Image, 8th ICECGDG, Vol.1, pp.194-199, 1998
4. 米山孝史,源田悦夫,近藤邦雄,視覚パラメータに基づく絵画風画像生成手法, 日本図学会,図学研究, Vol.43, No.4, pp.13-21,2009.1,” Vision-Based Painterly Image Synthesis by Parametric Control” (Takashi Yoneyama, Etsuo Genda, Kunio Kondo, Proposal of Image Generation Methods based on the Process of Visual Information Processing, Asia Digital Art and Design Association, Proceedings of the 5th annual conference of Asia Digital Art and Design Association, 2007.12)
5. 近藤邦雄, 穂坂 衛, 田嶋太郎,形状の感じを表わす線画レンダリング, 昭和54,55年度科学研究費報告書「幾何モデルとその応用に関する研究」,1980,“Line Drawing for rendering an impression of 3D shapes”
6. ASAHI Masahiro, KONDO Kunio, Rendering system for Line Drawing, NICOGRAPH’91, pp.22-31,1991
7. 神原章,近藤邦雄,佐藤尚,島田静雄, 3次元形状表現のための白黒画像の描画法, 情報処理学会, 情報処理学会論文誌 Vol.34, No.8, pp. 1762-1769,1993,” Rendering Methodology of Monochromatic Picture for Three-dimensional Shapes”
8. A. KANBARA, K.KONDO, H.SATO, S.SHIMADA, Interactive Rendering System for Line Drawing by Dot and Line Shading in M. Gigante and T L Kunii (eds.), INSIGHT THROUGH COMPUTER GRAPHICS, World Scientific, pp. 172-179, 1996.
9. Takashi Matsuo, Koji Mikami, Taichi Watanabe, Kunio Kondo “Shape Oriented Line Drawing in Real-Time 3DCG”SIGGRAPH ASIA 2011, 2011. poster

3節 参考文献

10. 近藤邦雄, 木村文彦,田嶋太郎, レンダリングのための対話型透視図作図手法,情報処理学会論文誌 29(8),pp.721-728, 1988.8.15,” A Perspective Drawing for Interactive Rendering”
11. 近藤邦雄, 木村文彦,田嶋太郎,手描き透視図の視点推定とその応用,情報処理学会論文誌 29(7), pp.686-693,1988.7.15,” Estimation of a Point of View with Perspective Drawing and the Application”
12. 尾白大介, 佐藤修一,近藤邦雄,金子満,佐藤尚,島田静雄, アニメーション作成支援システムのユーザインタフェース, 第８回NICOGRAPH論文コンテスト論文集, pp.18-25, 1992,” User Interface of 2D animation system”
13. Shouji Ozawa, Minako Miyama, Kunio Kondo, Estimation of Viewpoint and Light Source for a Montage Perspective of Electronic Catalogue, Proceedings of the 8th ICECGDG,

Vol.1, pp.49-53,1998

4節 参考文献

14. 近藤邦雄, 田嶋太郎, 木村文彦, 曲面の形状感の表現 第3報 手描き入力による図形作画法, 精密工学会, 精密工学会誌 53(4), pp.607-612, 1987.4.5,” A Method for Rendering an Impression of Curved Surfaces (3rd Report) Interactive Picture Drawing by Handwriting Input”
15. Sugishita,S, Kondo,K: Sketch Interpreter for Geometric Modeling, Annals of Numerical Mathematics pp.361-372, Baltzer Science,1996
16. K.Matsuda, S.Sugishita, Z.Xu, K.Kondo, H Sato, S.Shimada : “Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling”, Shape Modeling International’97 pp.55-62, 1997.
17. 松田浩一,近藤邦雄,手書き図形入力のための時系列情報を利用した逐次清書法, 情報処理学会,情報処理学会論文誌,Vol.40, No.2, pp.594-601,1998,” Interactive Sequential Drawing for Freehand Sketch Inputting”
18. KONDO Kunio, Interactive Geometric Modeling Using Freehand Sketches, International Journal of Geometry and Graphics, International Society of Geometry and Graphics, Vol.13, No.2, pp.195-207 ,2010
19. Kunio Kondo, Taichi Watanabe, Interactive Sketch Interpreter for Geometric Modeling, The Visual Language of Technique, Volume 2, Heritage and Expectations in Research, Springer-Verlag, pp.29-48, 2015.2

5節 参考文献

20. 黒田章裕,近藤邦雄,猪原徹,諸原雄大,佐藤尚,島田静雄,中島規之,竹内了, テキスタイル画像データベースの感性検索とデザインのための統合化システムとその応用, 第9回NICOGRAPH論文コンテスト論文集, pp.113-122, 1993,“An integrated system for kansei retrieval and design of textile image database and its application”
21. T. INOHARA, K. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, Retrieval Method of Textile Pictures Database Using a Complexity Scale, ICDAR’93, pp.699-702, 1993
22. 町田芳明, 近藤邦雄,野沢徳生,角度配色法による配色デザイン法 ,日本図学会,1998 年度大会学術講演論文集,pp.85-90,1998.5,“Color scheme design method by angle color scheme”
23. Hideki Yamazaki, Kunio Kondo, A Method of Changing a Color Scheme with Kansei Scales, Journal for Geometry and Graphics, Vol.3, No.1, pp.77-84,1999
24. Hiroki IMAHASHI, Kunio KONDO, Yoshiaki MACHIDA ,Masahiro TAKAHASHI, Knowledge Based Color Coordinate System and its Application, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of ADADA, Vol.1, pp.37-42, 2004.4

6節 参考文献

25. 佐藤 修一, 近藤 邦雄, 佐藤 尚, 島田 静雄, 金子 満,アニメーション制作におけるキャラクタの動作強調手法 Motion Filter,テレビジョン学会誌, Vol.49,No.10,pp.1280-

1287,1995, ” Motion Filter for Emphasizing Expressions in Animation Processing”
26. Yoshiyuki KOIE, Toshihiro KONMA, Kunio KONDO, Motion Emphasis Filter for Making Mental Motion of 3D Characters, ACM, SIGGRAPH 2004 Sketches, 2004.8
27. Kei Tateno, Kunio Kondo, Toshihiro Konma: Motion Stylization using a Timing Control Method, SIGGRAPH2006 Posters, 2006
28. Yuya KAWAGISHI, Kazuhide HATSUYAMA, Kunio KONDO, Cartoon Blur: Non-Photorealistic Motion Blur, Proceedings of Computer Graphics International 2003, pp.276-281,2003.6
29. Shoichi Obayashi, Kunio Kondo, Toshihiro Konma, Kenichi Iwamoto, Non-Photorealistic Motion Blur for 3D Animation ACM SIGGRAPH2005 Sketches 2005.8
30. 王 亦龍, 三上 浩司, 近藤 邦雄, 3DCG トゥーンレンダリングにおける輪郭線ゆがみのプロシージャル表現, 情報処理学会, 第 13 回デジタルコンテンツクリエーション研究会, 2016.5, “Procedural Representation of Contour Line Distortion in 3DCG Toon rendering”

7 節 参考文献

31. 近藤邦雄, 三上浩司, コンテンツクリエーション, コロナ社, 2014,”Content Creation”
32. 金子満,シナリオライティングの黄金則, 株式会社ボーンデジタル, 2008” ”Golden Rules of Scenario Writing”
33. 戀津魁,菅野太介,三上浩司,近藤邦雄,金子満, 映像制作支援のためのシナリオ記述・構造化システムの開発, 芸術科学会,芸術科学会論文誌,Vol.10,No.3,2011.9,” Information Management System Development for Scenario Writing”
34. 戀津 魁, 三上 浩司, 近藤 邦雄,香盤表作成のための構造化シナリオを用いたシーン情報抽出手法,芸術科学会論文誌, Vol.14,No.5,pp.229-237, NICOGRAPH2015(Journal Track), 2015.11,” Scene Information Extraction Method by using a Structured Screenplay for Producing a Cast List”

8 節 参考文献

35. 兼松祥央,三上浩司,近藤邦雄,金子満,映像分析に基づくライティング情報のディジタル化とその活用に関する研究,芸術科学会,芸術科学会論文誌,Vol.9,No.2, pp.66-72,2010,” Research on digitizing lighting information and lighting simulation using digital scrapbook”
36. 兼松祥央,三上浩司,近藤邦雄,照明設計支援システムのためのシナリオ情報を用いた登録・検索手法,日本図学会,図学研究,第 47 巻,2,3 合併号,2013.9,” Registration and search method for lighting scheme support system”
37. Hongyi XU, Yoshihisa KANEMATSU, Ryuta MOTEGI, Naoya TSURUTA, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, A SUPPORT SYSTEM FOR DESIGNING CAMERA BLOCKING OF BATTLE SCENES IN ROBOT ANIME, Journal of Graphic Science of Japan, Vol.52, No.4, 2018.12
38. Liselotte HEIMDAHL, Yoshihisa KANEMATSU, Naoya TSURUTA, Ryuta MOTEGI, Koji MIKAMI, Kunio KONDO, ANALYSIS OF SCARE EFFECTS FOR TIMING OF REVEALING THREATS IN HORROR CONTENTS, Journal of Graphic Science of Japan, Vol.53, No.2, pp.3-9,2019.09.

9節 参考文献

39. 金子満,近藤邦雄, キャラクターメイキングの黄金則, 株式会社ボーンデジタル, 2010, ”Golden Rules of Character Making”
40. Takahiro Tsuchida, Ryuta Motegi, Naoki Okamoto, Koji Mikami, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, Character Development Support Tool for DREAM Process, International Journal of ADADA, Vol.16, pp.4-12, 2013.4
41. 渡辺賢悟,伊藤和弥,近藤邦雄,宮岡伸一郎,Poisson Image Editingを用いたキャラクタコラージュシステムの開発,芸術科学会,芸術科学会論文誌,Vol.9, No.2,pp.58-65,2010.6、“Character Collage System using Poisson Image Editing”
42. Ryuta Motegi, Yoshihisa Kanematsu, Naoya Tsuruta, Koji Mikami, Kunio Kondo, Color Scheme Simulation for the Design of Character Groups, Journal for Geometry and Graphics Vol. 21, No.2, pp.253-262,2017.12
43. Motegi Ryuta, Tsuji Shota, Kanematsu Yoshihisa, Mikami Koji, Kondo Kunio. ROBOT CHARACTER DESIGN SIMULATION SYSTEM USING 3D PARTS MODELS, International journal of ADADA, Vol.21, No.2, pp.81-86, 2017.11

2020年2月6日版

Vol. 26 No. 11　　情　報　処　理　　Nov. 1985

25周年記念論文

インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現†

近藤邦雄††　木村文彦†††　田嶋太郎††

本論文は，3次元形状の理解を容易にすることを目的として，インタラクティブレンダリング手法による3次元形状の表現について述べる．マンマシンインタラクションでは，図の果たす役割は大きく，図形情報を表現する能力の拡充が行われてきた．とくに，3次元形状を取り扱うことは，いろいろな応用にとって重要なものであり，3次元形状図の作成が望まれていた．筆者らは，3次元形状の特徴表現の方法を調査し，形状理解を容易にする表現を行うための基本原理をまとめた．そして，具体的に作画を行うための手順を考え，計算機で実現するためのアルゴリズムを作成した．この作画処理アルゴリズムは，きわめて単純で高速に実行可能である．さらに，このインタラクティブレンダリング手法とパースエイド法，ワイヤフレーム法，および光線追跡法との結合を行い，作画実験を行った．本研究で提案するレンダリングルール，濃淡付け技術，および3次元モデルを利用した表現技術の組み合わせによって，3次元形状の情報伝達を円滑に行うことができる．

1. 緒　言

本論文は，3次元形状の理解を容易にすることを目的とし，インタラクティブレンダリング手法による3次元形状の表現について述べる．

近年，マンマシンインタラクション方式を用いたシステムが，多く利用されるようになってきた．このようなシステムにおけるインタラクションでは，図の果たす役割は大きく，図形情報を表現する能力の拡充が行われてきた．とくに，3次元形状を取り扱うことは，いろいろな応用にとって重要であり，3次元形状を表現した図，3次元形状図の作成手法の開発が望まれていた．

一般に，形状を分かりやすく示し，人の理解を助ける表現技術は，テクニカルイラストレーション分野では，レンダリングと呼ばれている．この表現技術は，人がもつイメージを，経験を利用して表現することを目的としている．この技術は，輪郭となる線図を作画し，それに，特徴の強調や省略をしながら，色彩・濃淡付けを行うものである．

これの問題点は，1)輪郭を描くために手間がかかる．2)特徴の強調や省略，色彩・濃淡分布に対して，優れた感覚や熟練技術が必要となる．3)作成時間がかかる，などである．

これらを解決するために，コンピュータ援助により，図を作成する方式は有効である．そのために，作画のための濃淡パターンと作画手順を整理し，自動化していくことが必要である．

このような計算機を用いた作画手法をインタラクティブレンダリング手法と呼ぶ．この技術が可能になれば，意図した図を適切，かつ容易に作画できる．

この手法で作成する3次元形状図には，大きく分けて，線画と面画がある．これらは，目的，作画の条件に応じて使い分けられている．形状の感覚的理解を助けるためには，線画より，面画の方が一般的には適切と考えられる．面画は，3次元形状を写実的に人に分かりやすく示すことができるからである．

このインタラクティブレンダリング手法を適用し，面画を作るために，輪郭を入力し，その内部に濃淡付けをする方法や，小さな領域を持つ筆を動かしながら，大きな領域に濃淡付けをする方法がある．

これらの作画技術を容易に作画できるようにペイントシステム[1)~3)]としてまとめることは大切である．このシステムを用いれば，ものの丸み，ふくらみなどの形状的性質が表現でき，図から形状の感じをよく理解することができる．しかし，人の技術の違いによって，適切な表現の行えないこともある．これは濃淡パターン化や作画手順の整理がされていないためと考える．

† Representation of 3-D Shapes with the Interactive Rendering System by Kunio KONDO (Division of Graphic Science, College of General Education, Nagoya University), Fumihiko KIMURA (Department of Precision Machinery Enginnering, Faculty of Engineering, The University of Tokyo) and Taro TAZIMA (Division of Graphic Science, College of General Education, Nagoya University)

†† 名古屋大学教養部図学教室
††† 東京大学工学部精密機械工学科

また，複雑な3次元形状の輪郭作成は，人にとって困難なことである．計算機内部モデルがあれば，それを利用し，輪郭の作成，陰影付け[4)~6)]を行うことができる．このとき，作成した図に対して，レンダリング手法を用いて，修正することも可能である．

筆者らは，より作画を容易にし，質の高い絵を作成するために，濃淡パターン化[7)]，作画手順の整理が重要と考えた．

まず，従来の表現手法の特徴や欠点を整理し，特徴表現のための方法を調査した．これより，形状理解を容易にする表現を行うための基本原理として，面と面や面形状の性質の区別，3次元形状の位置・方向の表現が大切であることがわかった．そして，形状を局所的にみると2次曲面で近似できることから2次曲面の濃淡パターンを分類し，それを組み合わせることが有効であろうと考えた．

この考察をもとに，具体的に作画を行うための手順を考え，計算機で実現するためのアルゴリズムを考えた．この作画処理アルゴリズムは，きわめて単純で高速に実行が可能である．

さらに，このレンダリング手法とパースエイド法[8)]，ワイヤフレーム法[9)]および光線追跡法との結合を行い，作画実験を行った．

この結果，3次元形状図の作画にこのアルゴリズムが有効であること，および各種技術の組み合わせにより，効率よく3次元形状の作画が行えることが確かめられた．

以下，第2章ではグラフィクスにおける形状伝達に必要な技術，3章では3次元形状の表現，4章では形状表現のためのレンダリングルール，5章では作画実験と評価について述べる．

2. 形状伝達に必要な表現技術

コンピュータグラフィクスを用いて作られた絵を利用する目的は，いろいろなものがある．たとえば，目的を達成するための道具として用いられる設計図面や，カタログや絵画のようなもので，作られた図自身が重要なものである．3次元形状図は，情報を視覚的に伝えるという役目を持っている．この役目を達成するためには，次の要求を満たさなければならない．

1) 伝えたい情報が正確に表されていること．

2) 容易に理解できること

である．

そして，この2つを満たすためには，次に示す表現技術を導入する必要がある．

1) 特徴の強調，省略

伝えたい情報だけを正確に表現することが，理解を容易にする．このために，形状特徴の強調，省略が行えることは重要である．人の持つイメージに合うように強調，省略を行うことによって理解を助ける．

2) 幾何学的に正確な作画

これは形状を表現するときに大切である．陰影は形状を示す補助手段で，幾何学的な誤りを，陰影によって修正できないからである．このため，立体を理解させる図をつくるときには幾何学的条件を満たしてから，陰影を付ける必要がある．

3) カラー濃淡表現

対象の内容に合わせて区別したり，強調するとき，および，対象を，より写実的に表現するときに用いる．

4) 対話による作画

人が自分の意図する図を作成するためには，対話的に作画できることが望ましい．たとえば，光線追跡法による表現にハイライトを入れるとか，写真のデータを修正するような場合である．このようなときに，手軽に作画ができることが大切である．

これらが可能となれば，意図したものを容易に描くことができ，理解を助ける表現が行えると考えられる．とくに，これらの条件のうち，3次元形状の情報伝達のための，特徴の強調・省略を以下では取り扱う．

3. 3次元形状図の表現

本章では，3次元形状の理解を助ける作画の基本原理について述べる．

まず，人が図からどのように形状を理解するかを考える．人は対象が与えられたとき，いろいろな形状の性質を整理して持っている経験的イメージと対象とに本質的な差があるかを調べる．人が図を見て形状を理解するとき，図の小さな一部分ずつを独立にみて理解するのでなく，自分のもつイメージの濃淡変化と，どのように違うかを見分けることを行う．これにより，人は濃淡から形状のふくらみや，へこみを理解できる．

図-1 は平面的な図に，シンボル的にハイライトを加えたものである．図の一部分に特徴的なハイライトを加えることにより，立体的な感じを表現している．このように，絵に人が手を加えることによって，3次

元的に表現することは広く行われている.

図-2 は顔の絵である. この例のような形状を表現するために, 3次元モデルを計算機内部に作ることは困難である. 濃淡付けを行い, 立体感を出す方法は, 簡略的で有効である.

これらの例においては, 多数の人が幾何学的に正確に形状を認識しているとはいえない.

これに対して, **図-3** に示すような立体を見たとき, その一部が球面であるとか, 円柱面であるとかというように, 区別をつけることができる. これから, 円柱面・球面のような2次曲面は, 人が経験的に特徴を整理して, イメージとして持っていると考えることができる.

これらの立体では, 図に表現された形状と対象に対する認識が対応するので, あいまい性がなくなり, 形状理解が容易になる. このため, 2次曲面に対して濃淡パターン分類をして, 形状の違いを示すことが, 理解を助けることに役にたつといえる.

このように, 濃淡パターンを作成する目的は, 伝えたい形状のいろいろな性質を, 人に容易に理解させることである.

図-3 は, 人が物理法則に従っておよその濃淡をつけたり, 線を入れたりして, 形状理解を助けるようにしようとした例である.

図-3 において形状理解に役立つ点をあげると,

1) 円柱部の丸みが, 濃淡変化によってよく示されている.

2) 図の輪郭線が, 濃くはっきり示されている.

3) 水平面と垂直面が濃度の違いで示されている.

4) 光線を一つと考えず, 曲面形状を示すために, 別の光源を仮定して表現している.

5) 離れた面の区別に黒い線を用い, 異なった位置を示している, などがあげられる.

これから, 3次元形状図作画の基本原理は 1)面と面, 2)面形状の性質, 3)面の位置・方向などを区別できるように適切に表現することであると考えられる. このために, 線の挿入, 濃淡変化の強調表現が有効である. これらの表現技術をまとめたものを, レンダリングルールという.

4. 形状表現技術

本章ではレンダリングルールについて述べる.

ルールは大きく分けて, 次の2つの考え方にもとづくものである. 1)陰影・反射モデルを用いて計算し, 濃度を決めることができるが, 3次元モデルを必要とし, 大変な計算時間がかかるということから, ルール化して簡単に作画しようとするもの. 2)陰影計算からでは描くことができない特徴の強調, 省略を表現法としてまとめるものである. たとえば, 面と面の区別を行う線の挿入である.

4.1 面と面の区別

表現された図の中から面と面を区別することによって, 人は一つ一つの異なった面として理解することができる. これは図から立体形状を理解するための第1条件である. このために, 面の境界を明確に表現することが大切であり, 線を追加する方法が有効である.

線は2種類にわかれ, **図-4** に示すように輪郭線と内形線がある. 輪郭線は可視面と不可視面で構成される稜線, 内形線は接続する2つの可視面で構成される稜線である. 面と面を区別するルールを次に示す.

1) 輪郭線は濃く太い線で示す.

2) 後方に面のある輪郭線で, 2面とも同じくらいの濃度のときは, 後方の面に少し濃淡変化をつける.

3) ハイライト部の輪郭線は少し薄く細くする.

4) 内形線は, 光って見えることが多いので, 薄い線で示す.

5) 凹部で2面とも濃いときの内形線は, それらの面より少し薄い線にする.

これらのルールは**図-5** の手順で適用される. **図-6** に作画例を示す. 16 の面のデータをインタラクティブに入力して, 約 30 分の作画時間であった.

これらの線の表現の特徴を次に示す.

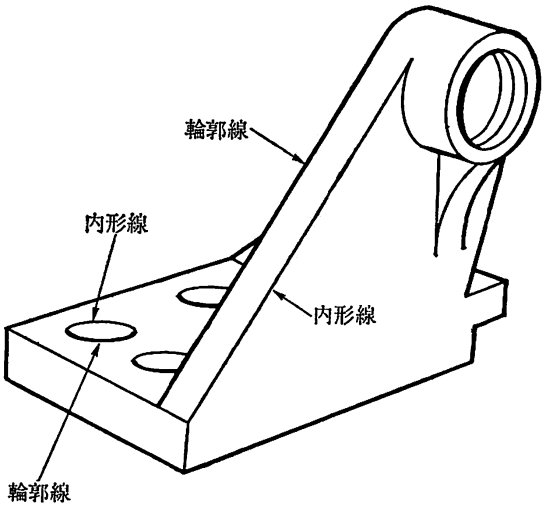


図-4 輪郭線と内形線
Fig. 4 Outlines and inner lines.

図-1 立体感の表現
Fig. 1 Representation of 3-D shapes.

図-2 複雑な曲面の表現
Fig. 2 Representation of an impression of curved surfaces.

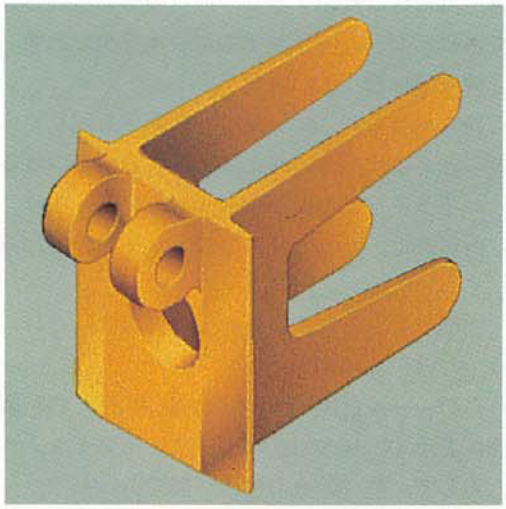


図-3 3-D 形状の表現
Fig. 3 Representation of 3-D shapes.

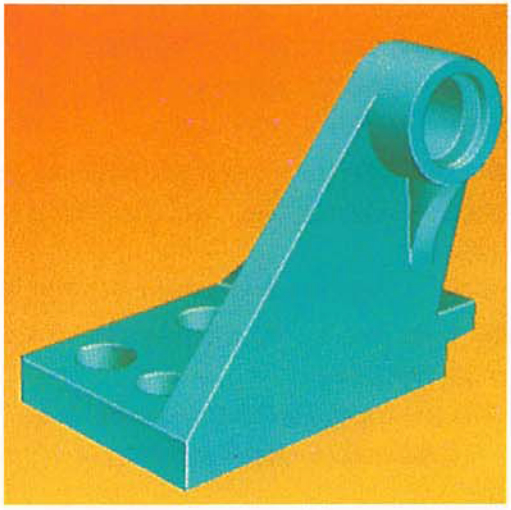


図-6 線の挿入例
Fig. 6 Example of line drawing.

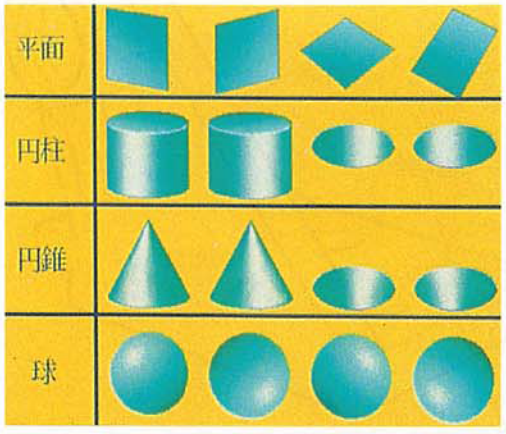
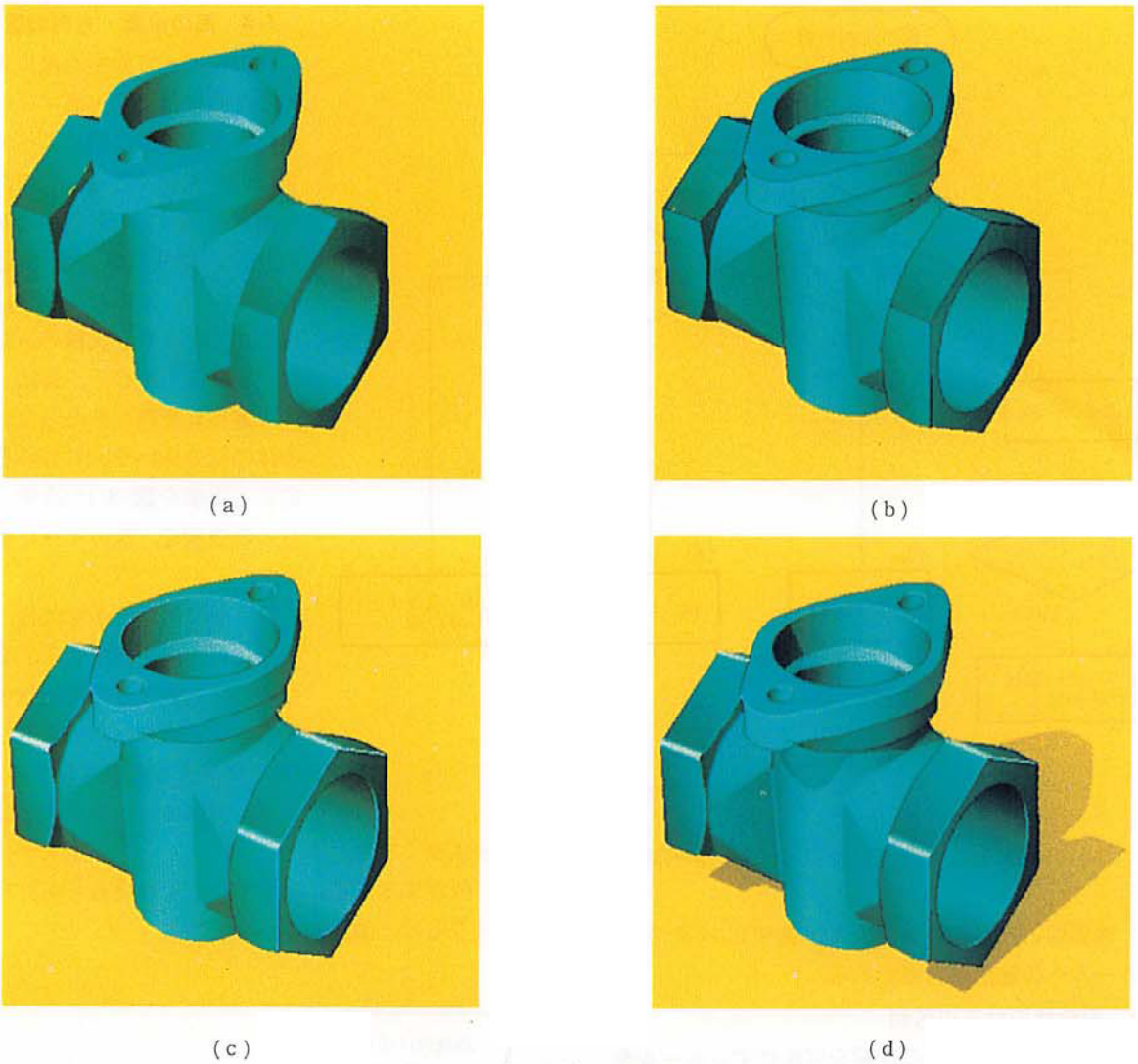


図-7 基本立体の濃淡パターン表現
Fig. 7 Representation of fundamental solids.

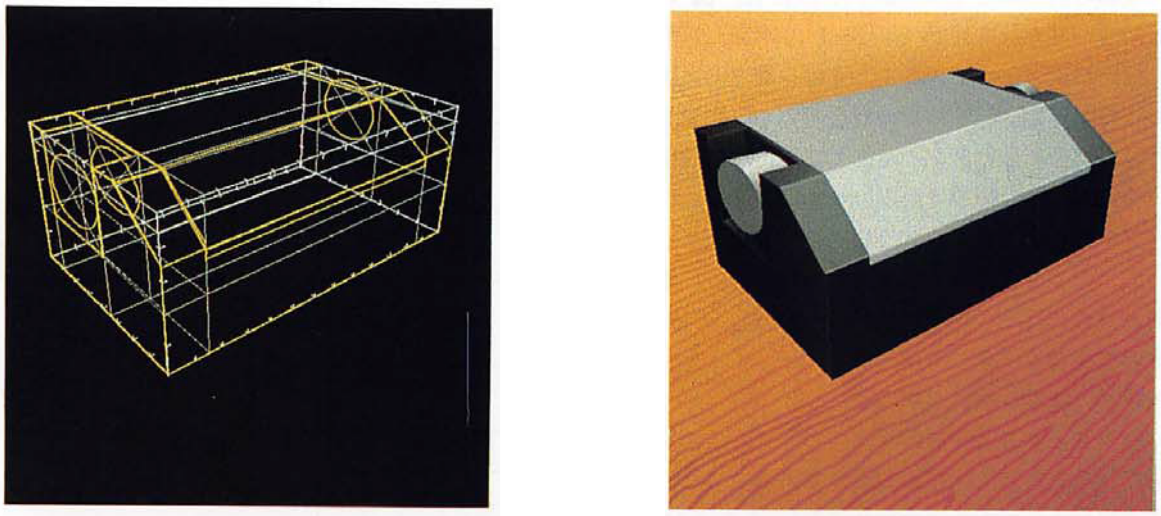
図-12 光線追跡法を利用した例
Fig. 12 Utilization of a ray tracing method.



(a) (b)

(c) (d)

図-10 レンダリングルールの適用
Fig. 10 Application of rendering rules.



(a) パースエイドと下図 (b) 透視画

図-13 パースエイドを利用した例
Fig. 13 Utilization of pers. aid method.

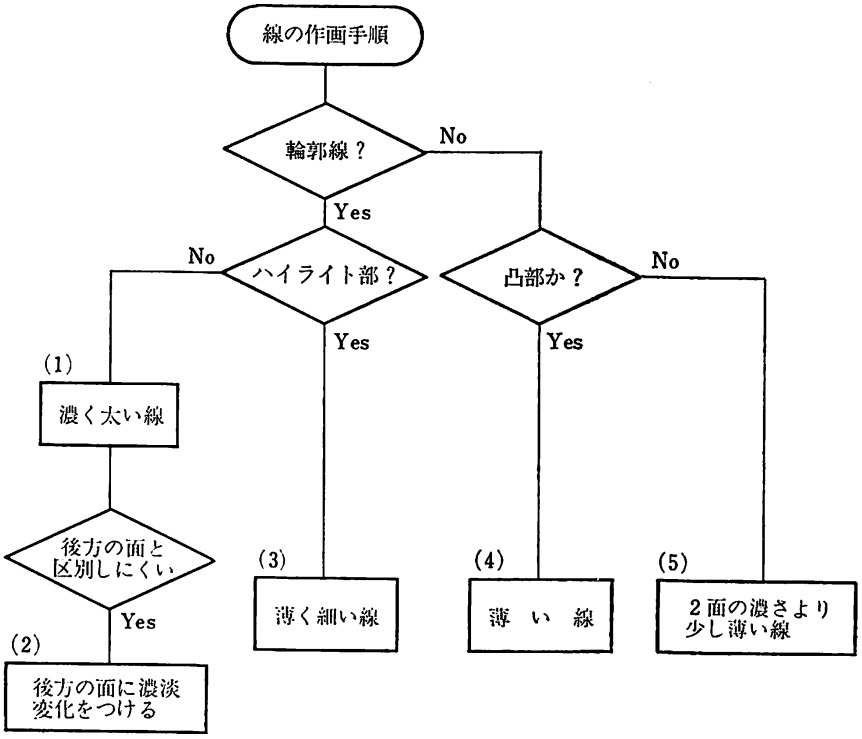


図-5　線の作画手順
Fig. 5　Line drawing procedure.

1)　各面の区別を，正確に表現することが可能である．

2)　輪郭線と内形線の判定を人が適切に行えるため，ルールへの適用が容易である．

4.2　面形状の性質の区別

面領域内の形状の性質の理解を可能にするルールを次に示す．

1)　立体の面内部を塗りつぶすためには，**図-7** のような濃淡パターンを用いる．図-7 は平面，円柱，円錐，球の濃淡パターンである．光線を数方向に仮定することによって，パターンの数を限定し，作画を容易に行うことを可能とした．たとえば，円柱は，上面の楕円を定義するための3点と，側面の高さ，および，パターンの種類を入力することにより作画できる．

2)　同一面の表裏の違いを表現するためには，濃淡付けを点対称に行う．図-7 の円柱の側面と穴の例が，点対称の濃淡付けの例である．

本ルールの特徴を次に示す．

1)　濃淡データを計算機内部に持つため，人の技術に左右されることなく，作画が可能である．

2)　濃淡パターンを組み合わせて用いることにより，立体表現を効率良く行うことができる．

4.3　面の位置・方向の区別

面の位置・方向を的確に表現するためには，陰・影・反射・奥行きを，濃淡表現によって示すことが大切である．このために濃淡パターンの方向，濃淡幅の指定，濃度演算が必要となる．ここで，陰は対象物体に光線をあてたとき，光線のあたらない物体部分をいい，影は，物体に遮られ光線があたらない他物体の部分をいう．これらを指定する手順を**図-8** に示す．これらの表現を，次のようにまとめた．

1)　面の傾きを示すには，濃淡変化の方向を指定する．このために，仮定する光線に対する面内の垂直線を基準にする（**図-9**）．反射光も同様に取り扱う．

2)　面の奥行きを示すには濃淡幅を大きくする．

3)　仮定する光線に面が平行，または表示面に平行に近くなるほど濃淡幅を小さくする．

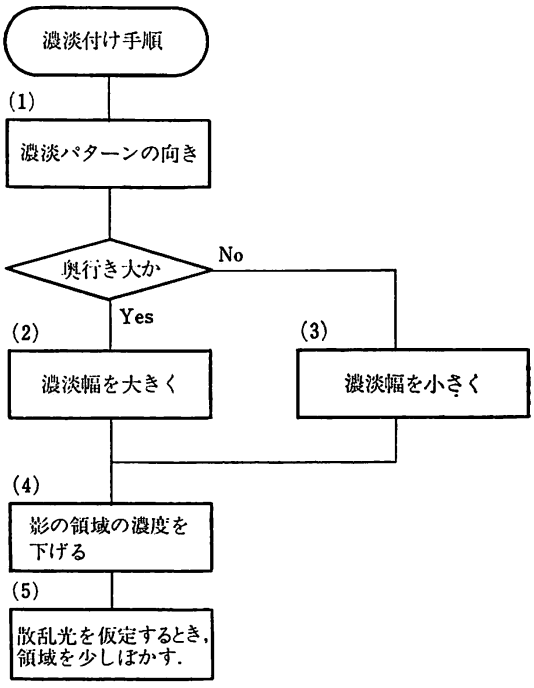


図-8　濃淡付け手順
Fig. 8　Shading procedure.

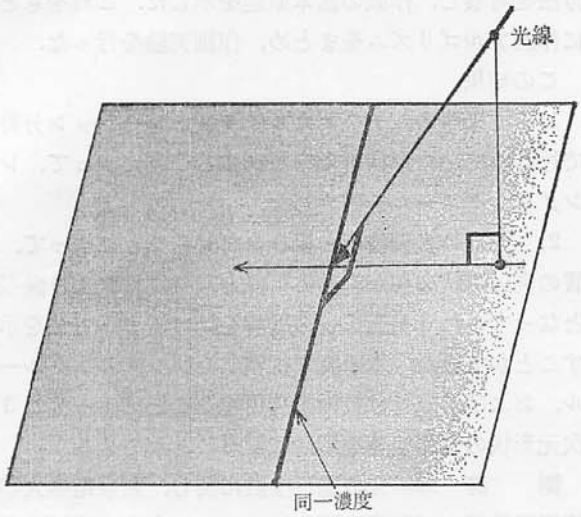


図-9 濃淡パターンの向き
Fig. 9 Direction of shade pattern.

4) 姿勢を示すには影の領域のすでに描かれている濃度を一定だけ下げる．これによって，強い光線の影が表現できる．

5) 仮定する光線が弱い散乱光のときには境界を少しぼかす．このためには，影の領域周辺の色に徐々に濃淡を変化させる．

このルールによって，対象の各面や全体の形を明確に表現することが可能となる．

5. 作画実験

5.1 作画例

レンダリングルールの評価のために，図-10 に，ルールの適用を変えてみた例を示す．これらは写真をもとに，人が輪郭データを入力し，レンダリングルールを以下の図(a)から図(d)の順に適用し，作画したものである．

図(a)は，各面に濃淡パターンを利用し，作画したものである．これによって平面，円柱の感じをつかむことができる．しかし，この図からみてもわかるように，面の境界の区別がつきにくい部分がある．

図(b)は，輪郭線を濃い線で示した．内形線もここでは濃い線を用いた．

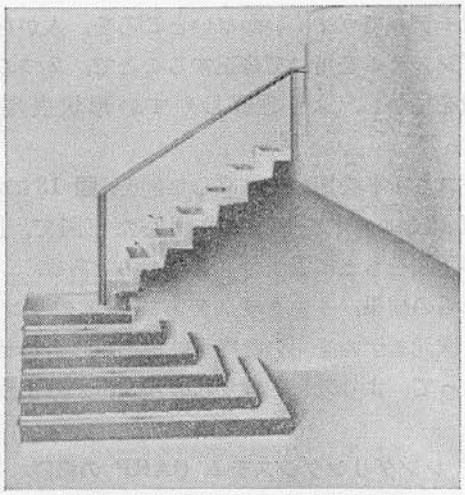


図-11 ワイヤフレームを利用した例
Fig. 11 Utilization of a wire frame method.

図(c)は，内形線をうすい線で，楕円は濃淡変化のある線を用いて面の境界を示した．

図(d)は，影の領域を少し濃度を下げることにより，はっきりと示し，強い光線の感じを表現した．

これにより，形状伝達のための表現には，レンダリングルールが有効であるといえる．

次に，立体表示機能を用いた実験例を示す．図-11 はワイヤフレーム表示した透視図をもとに彩色し，透視画としたものである．

図-12 は，光線追跡法によって作画した文字の例に，ハイライトと背景を加えたものである．このよう

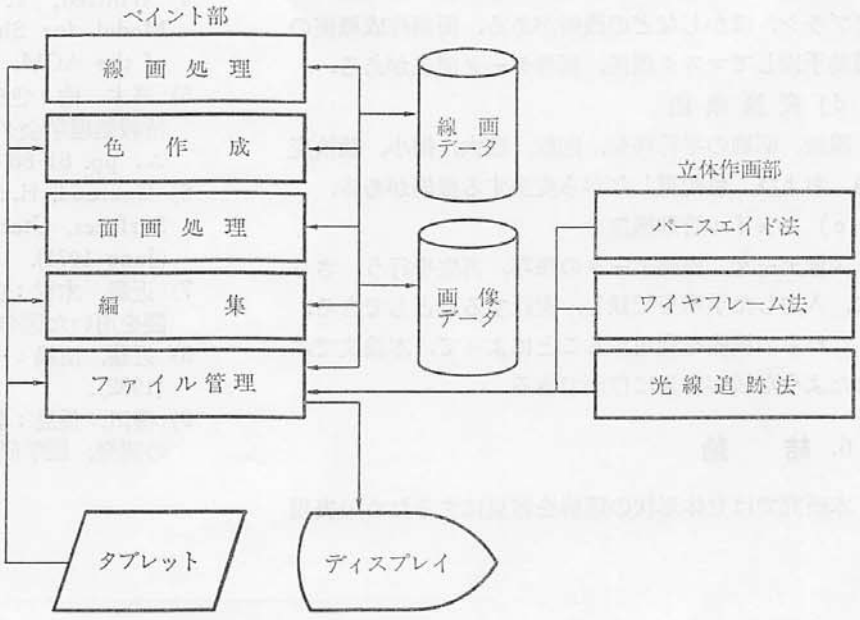


図-14 CARP の機能構成
Fig. 14 Structure of CARP rendering system.

に反射モデルでうまくいかないところを，人がレンダリングシステムを用いて修正することで，2つの技術の特徴を生かし，より理解しやすい形状表現が行える．

パースエイドを用いて作成した例を，図-13に示す．図-13(a)がエイドをもとに作画した下図で，図-13(b)が下図をもとに濃淡付けしたものである．

これらの結果，インタラクティブレンダリング手法，3次元モデルを用いた表示技術を組み合わせることによって，より効果的な形状表現が行えるようになった．

5.2 レンダリングシステム CARP の概説

前述の作画実験に用いたレンダリングシステム CARP について概説する．CARP の機能構成を図-14に示す．

a) 線 画 機 能

輪郭作成機能は折れ線，スプライン曲線，円，楕円，矩形，水平，垂直線，ベジエ曲線がある．線画作成の補助としてグリッド機能，セグメント機能がある．

b) 色作成機能

利用する色を作成する方法として基本色選択，カラーバーによる作成，色表変換がある．色演算は色データの和，差，平均がある．

c) 面 画 機 能

面画作成機能は単色塗りつぶし，中間写像による濃淡付け，補間による濃淡付け，図形変換による濃淡付けがある．さらに，ブラシ機能は色置換，色合成，エアブラシ，ぼかしなどの機能がある．面画作成機能の補助手段してマスク機能，画像データ消去がある．

d) 変 換 機 能

線画，面画の平行移動，回転，拡大，縮小，鏡映変換，および，色変更しながら変換する機能がある．

e) ファイル管理機能

画像データ，線画データの保存，再生を行う．さらに，入力した手順を記録し，実行することもできる．

これらの機能を利用することによって，本論文で示したような図が容易に作画できる．

6. 結 論

本研究では立体形状の理解を容易にするための表現方法を考察し，作画の基本原理を示した．これをもとに作画アルゴリズムをまとめ，作画実験を行った．

この結果，

1) 従来から，テクニカルイラストレーション分野で行われていた形状表現を整理することによって，レンダリングルールを確立した．

2) 各種の表現技術と組み合わせることによって，質の高い形状表現が容易に可能となり，従来より課題となっていた3次元形状の理解を助ける表現方法を示すことができた．本研究で提案したレンダリングルール，および濃淡付け技術を利用することによって，3次元形状の情報伝達を円滑に行うことができる．

謝 辞 本研究の進行全般に関し，東京電機大学穂坂衛教授にご指導を賜わりました．東京大学長島忍助手には，3次元ワイヤモデルの表示について援助をいただきました．また，笹徳印刷（株）の皆様には作画実験にご協力いただきました．

参 考 文 献

1) Kitching, A.: ANTICS-Graphic Animation by Computer, Computer & Graphics Vol. 2 (1977).
2) 安居院，他：コンピュータアニメーション，産報出版，p. 89 (1983).
3) Beach, R. J. and Beatty, J. C.: The Message is the Medium Multhprocess Structuring of an Interactive Paint Program, SIGGRAPH '82, (July 1982).
4) Whitted, T.: An Improved Illumination Model for Shading Display, Communication of the ACM, 23, 6, pp. 343-349 (1980).
5) 高木，他：色分散を考慮した光線追跡の一方法，情報処理学会グラフィクスと CAD シンポジウム，pp. 81-88 (Dec. 1984).
6) Gouraud, H.: Computer Display of Curved Surfaces, Utah University, Computer Science (June 1971).
7) 近藤，木村：曲面の形状感の表現 第1報中間調を用いた図の作成 精密機械 Vol. 49. No. 12.
8) 近藤，田嶋：モダングラフィクス，コロナ社 (1982).
9) 磯田，長島：教育用3次元図形処理プログラムの開発，図学研究，p. 17 (1982).

(昭和60年7月1日受付)

Vol. 26 No. 11　　情　報　処　理　　Nov. 1985

論　説

グラフィクスとCAD

川　合　慧†

1. グラフィクスと情報処理

コンピュータ・グラフィクスは，情報処理システム全般にわたって重要な基本要素となりつつある．人間の操作が介在するすべての処理においては，グラフィクスの要素が必要不可欠となっていると言っても決して過言ではない．この意味においてコンピュータ・グラフィクスは，応用分野向きの技術に限定されるものではなく，情報処理の基礎項目としての立場を固めつつあると言うことができる．

本情報処理学会においても，グラフィクスの研究・開発の進展に対応するために，1981 年度よりグラフィクスの研究会が設けられた．研究会の名称は，当初はコンピュータ・グラフィクス，その後はグラフィクスと CAD とされている．グラフィクスの理論，ソフトウェア，および処理装置に関する研究や実際の開発は，すでに 70 年代から盛んに行われており，当該研究会の設立はむしろ遅すぎたぐらいであると言うこともできる．しかしその後もグラフィクスの研究・開発の勢いは増すばかりであり，研究会活動もそれにつれて活発に行われてきた．現在では，研究会としては最大級の数百人の会員を擁し，シンポジウム・講習会・各種のサブグループ活動などを精力的に実施している[1)-3)]．

2. グラフィクスの諸要素

グラフィクスが単なる図形処理と決定的に異なる点は，表示処理，すなわち人間に対する図形画像情報の提示と，それに対する応答の処理が含まれていることである．グラフィクスをめぐる諸要素の間の関係を**図-1** に示す．

- 内部モデルは，一般には応用プログラムによって定義・処理される．その内容は，幾何学的な形状や文書，会計データ，統計データなど多岐にわたる．
- 図化システムは，内部モデルが持つ情報のうち，視覚化する必要のあるものを解釈して，図形・画像を生成するためのデータに変換する．
- 中核システムは，図化システムから渡されたデータをもとにして，実際の表示装置への命令に変換する．また，装置から入力された位置や図形名などの情報を，対話入力システムへ戻す．
- 表示装置は，人間の目に見える形での図形や画像を生成する．また，表示した図形・画像を手掛りとした入力や，一般的な入力を行い，中核システムへ送る．
- 対話入力システムは，図化システムと協力して入力データの意味を解釈し，応用プログラムに結果を送る．

1970 年代から続けられているグラフィクスの研究は，それまで渾然一体となっていたグラフィクス応用のプログラム群の機能を整理・結合して，図-1 のようなモジュール分けを行うことから始められた[6)]．そして，各部分を独立したものとして把握し，その機能を高度化し体系化すると同時に，各モジュール間のイ

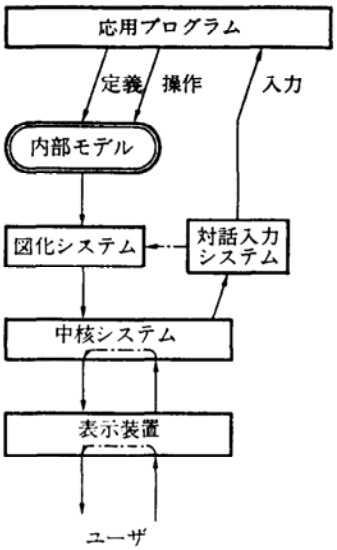


図-1　グラフィクスシステムの概念図
Fig. 1　Conceptual schema of graphics systems.

† 東京大学教育用計算機センター

ンタフェースを明確にする努力が続けられてきたのである．各部分に関する研究・開発項目を以下に列挙する．

（1） 内部モデル

幾何モデル（形状の表現とその操作），不定形物のモデル，手続きによる形状生成，表形式のデータベース，階層的データベース，など．

（2） 図化システム

隠れ線・面の処理，陰づけ処理，光線追跡法，テクスチャ関数の利用，図形配置理論，色の理論，計算幾何学の利用，など．

（3） 中核システム

基本的機能集合の設定（CORE, GKS, IDIGS などの国際／国内標準），基本機能の形式的な定式化，検証や検定，など．

（4） 表示装置

基本的機能集合の設定（CGI, CGM などの国際標準），表示能力（分解能，発色性，表示速度など）の向上，高水準機能の実現，など．

（5） 対話入力システム

対話におけるユーザモデル，高水準入力の実現，など．

3. 対話の重要性と技法

図-1 はグラフィクスによる一般的な対話処理のシステムの概念図として考えることができる．応用プログラムからは，何段階かの処理を経た上でユーザにデータが提起される．ユーザの入力は逆向きの道すじをたどって応用プログラムに与えられる．このフィードバック・ループの上で，大量で高品質な情報をいかに高速に循環させるかが，対話処理システム構築上の重要事項となる．この目的で，各部分にはフィードバック・ループを短縮化するデータの経路が設けられる（図-1 では鎖線で示されている）．その最も典型的な例は，表示装置および中核システムにおける入力促進（プロンプト）や入力エコーの処理である．応用プログラム（および図化システム）ではこれらの処理の概略のやり方を指示するだけで，実際のフィードバックは表示装置や中核システムが独自に行う．

ここで，対話における情報の品質に着目しよう．情報理論によるまでもなく，伝達したい事項を正確に誤りなく表現し，それ以外の事項は極力含まないようなデータが，品質の高い情報であることは明らかである．グラフィクスにおいて，システム側からユーザに提示されるデータは図形や画像の形態をとる．したがって，グラフィクス応用の対話型システム，たとえば形状設計やデザイン設計，教育支援などにおいては，システムからユーザへ伝達したい事項を，ユーザが容易に了解できる方式を用いて図形・画像化することが重要となる．内部データに幾何学的な意味がない場合，たとえば会計データや統計データなどを扱う場合には，この重要性はよく理解されており，いわゆる『わかりやすい』表現形式についての研究・開発が進んでいる．ビジネスグラフと呼ばれる一連の処理は，この研究・開発のひとつの成果として位置づけられる．

これに対して，内部データがもともと幾何学的な意味を持っているシステム，たとえば3次元形状処理などにおいては，この重要性とは無関係な，表示の『現実感（リアリズム）』が追求され続けてきた．隠れ線の消去から始まって光線追跡処理まで進んでいる現在の図化手法は，一見しただけでは実物の写真かと見まちがう画像を生成できるまでに進歩している．しかしそれらによって実現されている『現実感』は，幾何学的なデータに膨大な量の計算を機械的に施して得られたものであり，すべてのデータが均等な重要性を担っている場合以外には，それほど意味のないものである．3次元形状を扱う表示処理においては，この『現実感』の存在により，情報伝達手段としての表現法の追求は大幅に遅れているのが現状である．

4. 形状表現のためのレンダリング

前章までで述べたとおり，3次元形状の表現方法に関する研究は，幾何学情報を基礎とした機械的計算手法以外には，まだ成果を上げるに至っていなかったのが実情であった．グラフィクスと CAD 研究会が学会創立 25 周年記念論文として選定した論文『インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現[4]』は，この問題を中心的課題として扱ったものである．この論文では，従来の大量計算による技法と同程度あるいはそれ以上の表現効果が，形状表現の基本要素を明らかにすることによって，きわめて容易に，言いかえれば非常に小さな計算コストにより実現可能であることが実証されている．具体的な詳細については本論文を参照していただくことにして，ここではその概略を示しておく．

まず，写真や説明図，陰づけ図などを比較・分析することにより，従来の作画法の特長や欠点を明らかにする．この結果をもとにして，表現能力の高い作画法

の基礎となる基本原理を確立する．この基本原理から，具体的な作画のためのアルゴリズムが導出される．このアルゴリズムでは，適用のための条件判定も，作画の処理自体も，きわめて単純で高速に実行が可能なものである．

本論文の成果がグラフィクス研究の中で持つ意味をまとめておく．まず，対話型グラフィクスが持つフィードバック・ループ上の高品質情報の実現を，3次元形状という最も研究が遅れていた分野において達成したことがあげられる．この成果は次の段階として，図化システムの高度化に直結することが予想される．また，本論文で示された作画アルゴリズム自体も単純なものであるので，表示装置側で実現してしまうことも可能であろう．

以上で示したように，本論文はグラフィクスの研究・開発の全般にわたる大きなインパクトを与えるものと信ぜられる．

参 考 文 献

1) コンピュータ・グラフィクス研究会資料，1〜5 (1981年度)．
2) グラフィクスと CAD 研究会資料，6〜18 (1982〜1985年度)．
3) グラフィクスとCADシンポジウム論文集，1983年12月，1984年12月．
4) 近藤，木村，田嶋：インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現，情報処理，26巻11号（本号）．
5) Enderle, G., Kansy, K. and Pfaff, G.: Computer Graphics Programming, Springer Verlag, Berlin (1984).

（昭和60年7月1日受付）

EUROGRAPHICS '85
C.E. Vandoni (Editor)
Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland)
© Eurographics Association, 1985

AN INTERACTIVE RENDERING TECHNIQUE FOR 3-D SHAPES

Kunio KONDO *, Fumihiko KIMURA **, Taro TAJIMA *

* Division of Graphic Science,
Nagoya University,
Nagoya,JAPAN
** Department of Precision Machinery Engineering,
The University of Tokyo,
Tokyo,JAPAN

This paper describes an interactive rendering technique for giving an impression of 3-D shapes. The following points are discussed : 1) The classification of continuous tone patterns 2) Methods of drawing pictures to enhance 3-D shapes 3) Rules of rendering for the representation of 3-D shapes. The following results are obtained: The use of the rendering rules and CARP facilitates the clear representation of these characteristics and is proved to be effective in creating a picture in which the shapes of bodies are clearly defined.

1. INTRODUCTION

This paper describes an interactive rendering technique for giving an impression of a 3-D shape. The shaded pictures that are 2-D representations of 3-D shapes are called " 3-D shape pictures". A 3-D shape picture is used to help gain an understanding of an object's form. Therefore the shape is drawn by photographic realism, artificial emphasis, omission, and representation of characteristics. The question in this study is whether this type of picture can be made quickly and easily.

What is called the impression of a shape, is one's perception, and not something that can be precisely measured. In other words, rough and distinctive features such as "swelling","dents", and " unevenness" are terms used to indicate a shape's impression. This impression is something perceived consciously and subjectively. But, because the impression is vital to understanding in man-machine communication, it will be considered how to treat impressions in an objective manner.

In the field of art, line diagrams and color shade pictures are used to illustrate form. Here the rendering technique by shading is considered. This shading technique can render such properties as roundness and bulges, and thus it helps in gaining an accurate impression of the illustrated shape. When an artist draws something, he emphasizes certain features, or he does shading according to shade pattern classifications of curved surfaces, as understood from observation.

Recently, in the field of computer graphics, there have been numerous problems in illustration. Rendering only emphasis and/or omission of characteristics is not sufficient even for an easily-understandable shape. Among the methods of rendering shape impressions, a technique frequently used to illustrate curved lines is one in which a curved surface cut by a plane is depicted by lines like a topographical contour line display. This method is technically accurate, but it is difficult to render the impression of a curved surface so that a person might gain a correct visual perception.

The ray tracing method and the smooth shading method are two well-known techniques for displaying shade pictures. These techniques use physical laws to render the

shading of an object. In order to have the computer do all the work, a 3-D model is also required. Moreover, the results that are outputted using these techniques are often unsatisfactory. When the picture doesn't turn out, modifications need to be done to the conditional equations, or the input data. But it is not always possible to do rendering by emphasis or omission that would make the object more easily comprehensible. For example, to express a slight difference in angle in two adjoining surfaces, these techniques produce a corresponding slight difference in density. The objective of this study is to develop a tool that will enalbe a person to make pictures much more easily.

This study examines how emphasis and omission of features may be done using the interactive technique. The authors have designed the CARP rendering system which can illustrate 2-D figures. CARP becomes an artist's tool that takes the role of pens and brushes to draw a picture. Another important feature of this system is the ability to draw out 3-D shapes. In particular, since there are many constraint items in drawing 3-D figures, the input procedure becomes fixed. It is important to clarify these procedures. One example which illustrates the differentiation of surfaces of second degree would be shading pattern classification, which determines different shading according to the type of curved surface.

Using the CARP system, it is possible to draw according to natural artistic rules to render a mental image. It is important then to translate these artistic rules from mental rules to a computer program procedure. Thus, a person may progress to drawing a picture without the necessity for detailed instructions. Compared to other general systems, it is possible to more efficiently represent the objective 3-D picture.

Using these ideas as a basis, classification of shading pattern and rendering rules were compiled, the 3-D shape display functions were added, and the rules and systems were then evaluated. These aspects are explained in the following chapters.

2. DISPLAYING AND UNDERSTANDING OF SHAPES

2.1 Utilization of Illustration

There are many areas where pictures are used, such as business, computer aided drafting and design, simulation, process control, cartography, animation, art, printing, etc. In these fields, a picture is used for the purpose of communication. There is not only value in a picture itself, but to the person who draws it, there is also merit in its creation.
The conditions for pictures used in these fields are as follows:
1) A picture should have elements of beauty. 2) It should contain accurate, correct representation of information. 3) It should be easily understood.
In order that a picture fulfill the above conditions, the following may be used:
1) color shading, 2) precise accurate geometric representation, 3) interactive drawing, 4) emphasis and/or omission of characteristics.
If these conditions are met, one may accomplish the objective of being able to draw various designs, from simple pattern to more complex 3-D shape pictures.

2.2 Representation of an Impression of 3-D Shapes

2.2.1 Representation of a 3-D Shape Model

A 3-D shape can be represented with 3-D model or without one. The ray tracing method is one of display techniques by 3-D models. This technique is often used, and is effective for the evaluation of 3-D shape models and the drawing of illustrations. Fig.1 is an example of a drawing by the ray tracing method. When such an optics model is utilized, several points arise that may be difficult to distinguish.
For example:

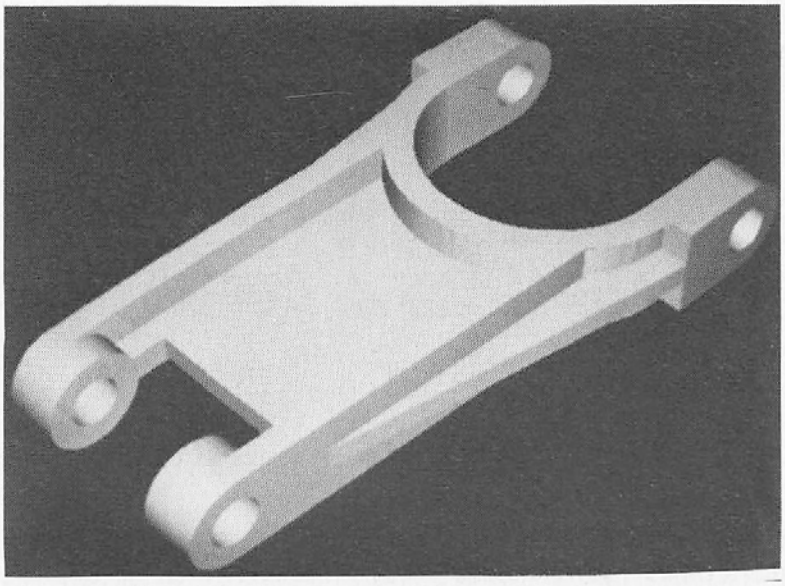


Fig.1 A output figure of the ray tracing method by MODIF

1) Insufficient light results in a uniform darkness.
2) A slight difference in levels of surfaces still has virtually the same density.

These indistinct aspects may or may not be solved by making an alteration in the model.

However, in regard to the picture that one wishes to draw, this method has three basic inherent problems.

1) The number of light sources and their position must be determined by the user. It is difficult for a person to decide on the lighting conditions to suit the desired picture.
2) Even though it is possible to use several light sources, they will affect areas of the model that one doesn't wish to be altered.
3) Some features affected by the interrelationship between the rendered object and the light sources, making it difficult to distinguish certain shapes.

These problems cannot be solved by a mere calculation. In order to work out the above problems, it is necessary to enable a person to directly draw a picture by hand. In this way, features can be clearly differentiated, and it is possible to express a shape in an easily-comprehensible form.

2.2.2 An Interactive Rendering of an Impression of a Shape

In order to illustrate a shape that can be readily understand, it is not good to use only realistic expression. To make the shape easy to identify, it is necessary to work by hand. In particular, in regard to well-known curved surfaces, it would be useful if the differences in impression are shown by utilizing a pattern classification. With this method one is free to work without the need for a 3-D model.

We will examine whether or not there are essential differences between an actual object and one's own mental image of that object. When there are no essential differences and the image is consistent with the object, then one is able to understand what object one has in mind. One's impression of an object can be expressed by shading as a 2-D picture. When a person can identify a shape by looking a picture, he doesn't examine it in fine detail, but rather will analyze what differences exist in shade variation compared with one's mental image. In other words, with one's experience as a basis, one will perceive the features of an object's shape and will then be able to identify it by making a comparison with the concrete object. Rough shading that matches one's mental image, rather than calculations of shading variation of detailed areas, is a more suitable rendering method to aid in the understanding of a shape.

Fig.2(a)* illustrates a single dimensional drawing. When highlights are added, the result is Fig.2(b)*. This was done without the use of a 3-D model. Rather, the

* See page 451 for Figures 2a + 2b.

picture is given a 3 dimensional effect simply by hand according to personal preference.
Fig.3*is an example of expression of a more complex curved surface. It is difficult to produce a 3-D model of this complexity by ordinary computer graphics. Expressing the impression of a shape by applying shading to a 2-D picture is simple and effective.

A person may observe and understand the shapes in such a drawing of free curved surfaces, but it is very difficult for him to communicate exactly to another person the precise shapes that he perceives. Spheres, cylinders, cylinder cones, and planes comprise the type of 3-D shapes dealt with here. A person forms a mental image by reorganizing various shape properties in his mind. So, when one see various solid bodies, such as a sphere or a cylinder, one is able to make a distinction between them. Objects distinguished in this way can be represented by some name or symbol. The average person will already have an empirical knowledge of these solid bodies and it is expected that most people have the same common shapes in mind.

Fig.4*is an example of a shade picture drawn using a computer. Shading was applied and lines were added to the illustration according to general physical laws, so that the features of this shape would be rendered to be more recognizable.
Fig.4 illustrate the following points:
1) The roundness of the cylindrical section is well-defined by shading variation.
2) The object is illustrated clearly by a dark outline.
3) The distinction between the horizontal plane and the perpendicular plane is defined by a difference in density.
4) Rather than only one single beam of light, another light source is assumed in order to clarify the curved shapes.
5) A dark line is used to distinguish separate surfaces in order to illustrate their difference in position.
These techniques of inserting a line, or emphasizing shading, which aid in the understanding of 3-D shapes, basically alter 3 characteristics of surfaces:
1) The boundary of a surface, 2) The property of a surface, 3) The position/attitude of a surface. In order to identify these three characteristics, it is important to properly use the rendering techniques so that the resulting picture will correspond to the original impression.

In order to put into practice a method of expression to make shapes more easily understood, the following points are required.
1) An interactive rendering system that can apply shading.
2) Shade pattern classification that is consistent with a person's mental image.
3) Rendering rules that perform omission and/or emphasis of a shape's characteristics.
In this study, as shapes were rendered without the use of models, experiments and obsevations were carried out with respect to the above 3 points.

3. AN INTERACTIVE RENDERING SYSTEM WITH SHADING

3.1 The CARP Rendering System

According to the above consideration, this section describes a rendering system called CARP (Computer Aided Rendering for Presentation) which can be used to make a picture with shading. This system is a basic tool for drawing various pictures and is used to draw colored, shaded pictures with simple human interaction. The CARP system was designed as a rendering system to fulfill the above requirements and has the following distinctive features:
1) As the input procedures of various function are well-structured, the user follows the computer's instructions for interactive drawing. For example, as shading procedures have been arranged into various categories, input is easily carried out.
2) Elimination of the Mach effect even on low gray-level graphic displays and the

See page 451 for Figures 3 and 4.

ability to produce smooth shading.
3) Using different types of shading, and blending of shading is possible. This enables complex shading variations to be produced.

To proceed with drawing a picture after starting up the system, the menu selection on the tablet is chosen. This results in a message being outputed on the display. This gives instructions for the content of the input data. By following the message, and selection of the menu items, the values are entered. According to this method, after the menu selection, the operating procedure, the user inputs data corresponding to the instruction. Therefore even if the operating procedure is completely unknown, input can be done by just following these instructions.

3.2 Functions of CARP

The functions of CARP consist of a) line drawing, b) shading, c) editing, d) color making, e) file management.(Fig.5)

a) Line drawing: polyline, spline curve, circle, ellipse, Bezier curve, grid function,
b) Shading: 1) Half mapping, interpolation, (Fig.6 is shown.) 2) Transformation (Fig.7 is shown.) 3) shade blending, 4) simulation of air brush. 5) masking, clear data.
c) Editing: translation, rotation, scaling, mirror.(Fig.8)*
d) Color making: 1)color select(basic color, color bar, color table) 2) color caluculation (darken, dissolve, means),(Fig.9)* 3) color model (HLS, CYM, RGB)
e) File management: line segment, picture segment.

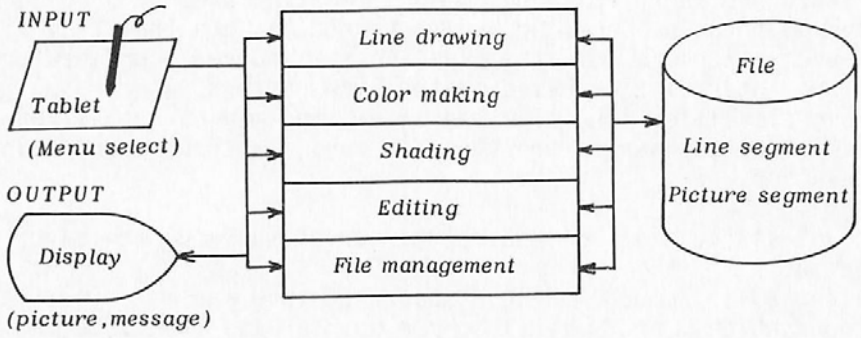


Fig.5 Structure of CARP system

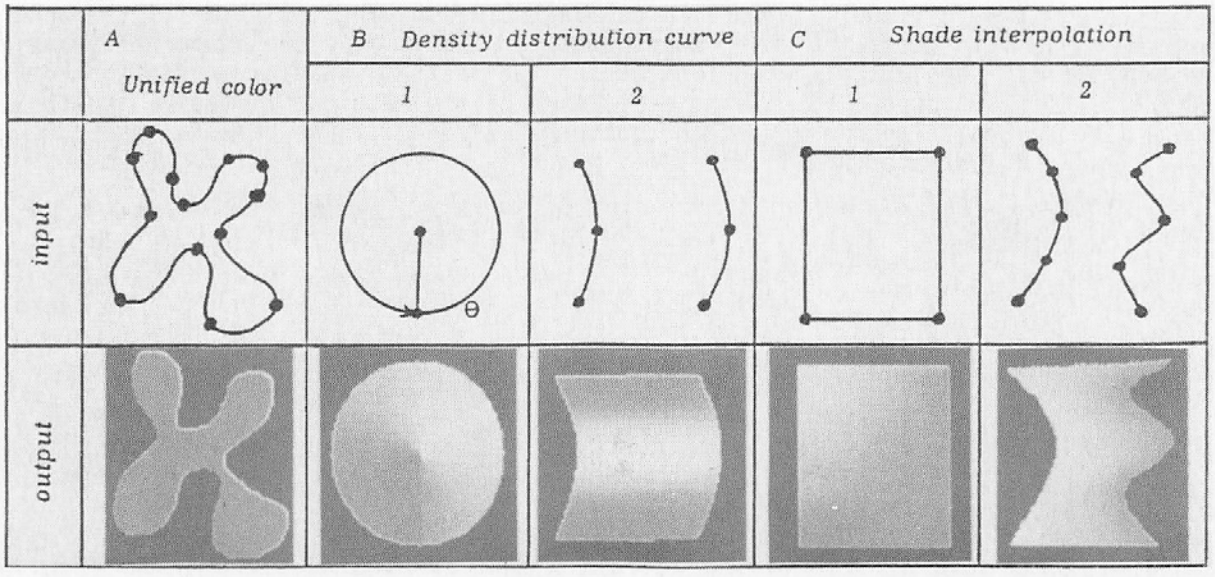


Fig.6 The method of area definition for shade painting

*See page 452 for Figures 8 (a + b + c) and 9.

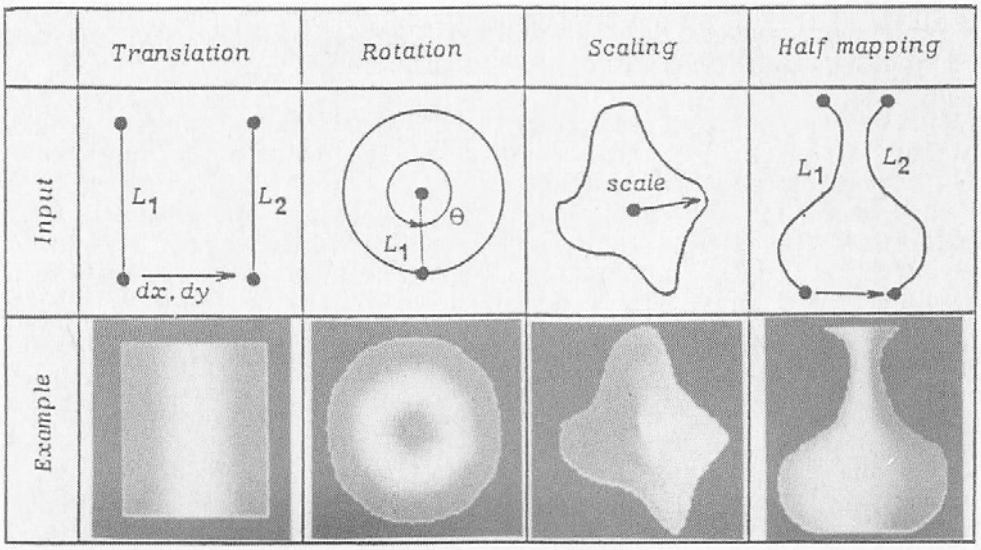


Fig.7 The method of transformation for shade painting

4. CLASSIFICATION OF SHADING PATTERN

To carrying out the pattern classification of a 2nd degree surface, we considered a shading method that would indicate the differences of shapes.
In this instance, shapes like spheres and cylinders are surfaces that are well-known, and are assumed to be common, familiar shapes. Shading will aid the identification of these surfaces according to the pattern that they fit into. The shading of the interiors of the 2nd degree curved surfaces are determined according to the interpolation based on the line pattern. As a result of carrying out the pattern classification, a method of drawing may be actualized that matches the pattern that corresponds to the shape in mind, without performing an exact shading calculation.

The pattern classification of 2nd degree curved surfaces was carried out by the following method:
1) While looking at an actual model, a shaded picture was made for the purpose of shape communication , and several common points were then observed.
2) Like the photograph in Fig 10, the shape was drawn using several density contour lines.

In step 1, it is difficult for one to duplicate the shading variation of the model as it is. But modifying the shading pattern would make the shape more easily understood. In step 2, following from making an actual shading variation like Fig.10, it is possible to make an evaluation of the results of step1. With these methods as a basis, reordering of the patterns was done. These results are shown in Fig.11. Illustrated are 1) a sphere, which is expressed by using extensions of

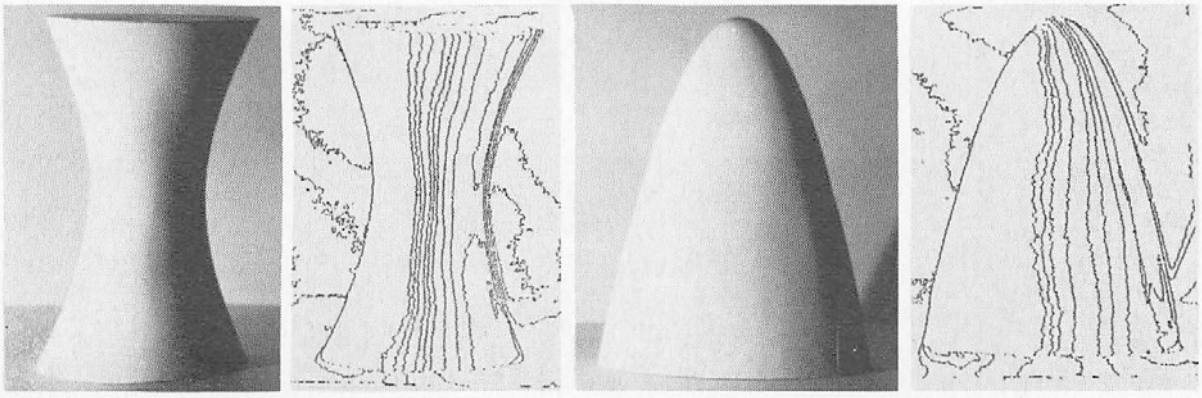


Fig.10 Photograph and a contour line of shading

an ellipse; 2) an elliptic paraboloid and a hyperboloid of one sheet, whose surface areas are both determined by half mapping; 3) a cylinder and a cone, which are drawn by a transformation of a line.
In this way after changing the pattern's numerical expressions, it is possible to make shading variations that will show the difference in the surface. After doing shading that complies with the pattern, it is easy to recognize the shape of the surfaces.

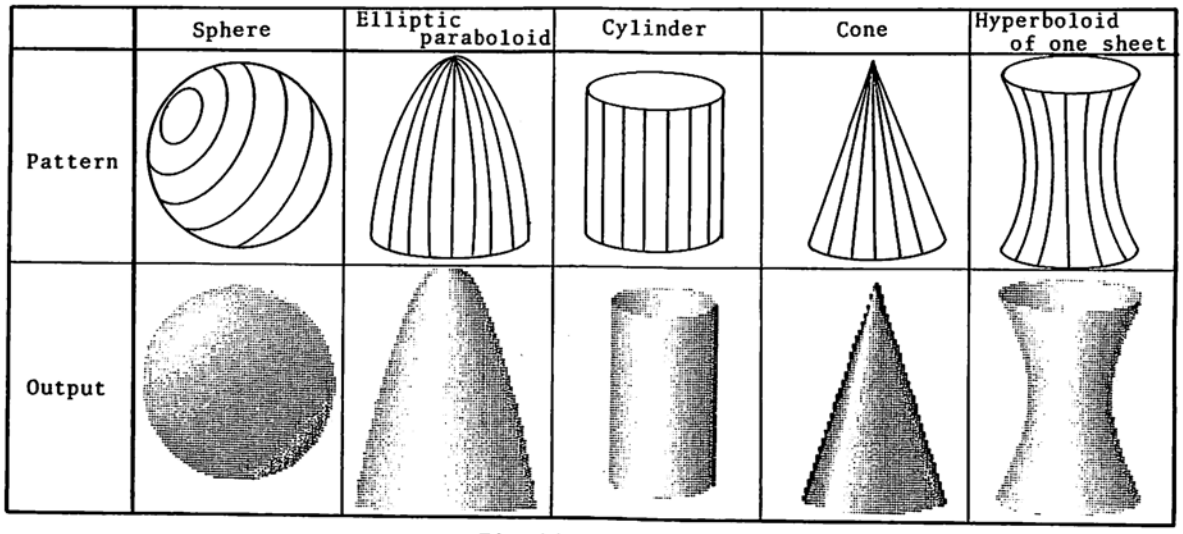


Fig.11 Classification of patterns and examples

5. RENDERING RULES

5.1 Compilation of Rendering Rules

In order to aid sensuous understanding of 3-D shapes, first the characteristics from the computer output of the hand-drawn picture are observed. Then the methods of expression that enable one to make distinctions between the boundary of a surface, the property of a surface, and the position/ attitude of a surface are arranged into a set of rendering rules.
The rules basically consist of two main ideas. 1) The shading density can be calculated and determined by using a shading-reflection model. But since it is very time-consuming, a rule change is made, and one may simply draw, by expressing the property of the surface, and the position/ attitude of the surface. 2) The rendering method is put together since a drawing cannot be made merely from shading calculations. In particular, the method's primary function is using a boundary line to emphasize the edge of a surface.

5.1.1 Defining Boundaries of a Surface

A person can identify different surfaces by means of the distinctions between the boundaries of the surfaces. This is the first condition for identifying a 3-D shape from its picture. When surfaces are difficult to make out due merely to a shading difference, there are methods of contrasting them by adding lines and/or altering the shading. The boundary lines to be rendered in a picture are classified as two types, outlines and inner lines. (Fig.12). The outline of a shape is the edge that comprises the visible surface and the invisible surface. The inner line is the edge that connects the two visible surfaces. A curved line, assumed to be a connected series of straight lines, is defined in the same way. The rules for defining the boundaries of surfaces are as follows:
1) The outline is shown by a dark, bold line. The outline of brightly-lit areas and highlighted sections is just a pale thin line.
2) When two outlined surfaces that overlap have about the same density, one may render a slight shading variation on one surface. When both surfaces are thin they may be indicated by a dark lines.
3) Since there are many inner lines seen as reflected light, they are indicated by

Fig.12 Outline and inner line of a figure

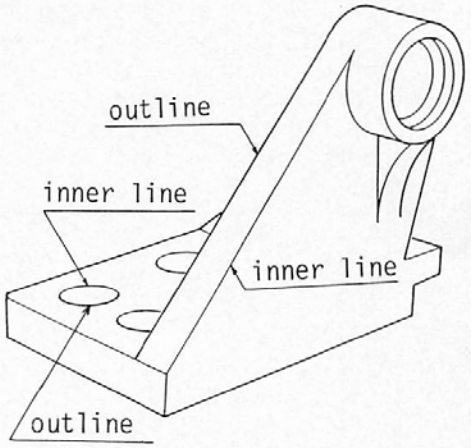
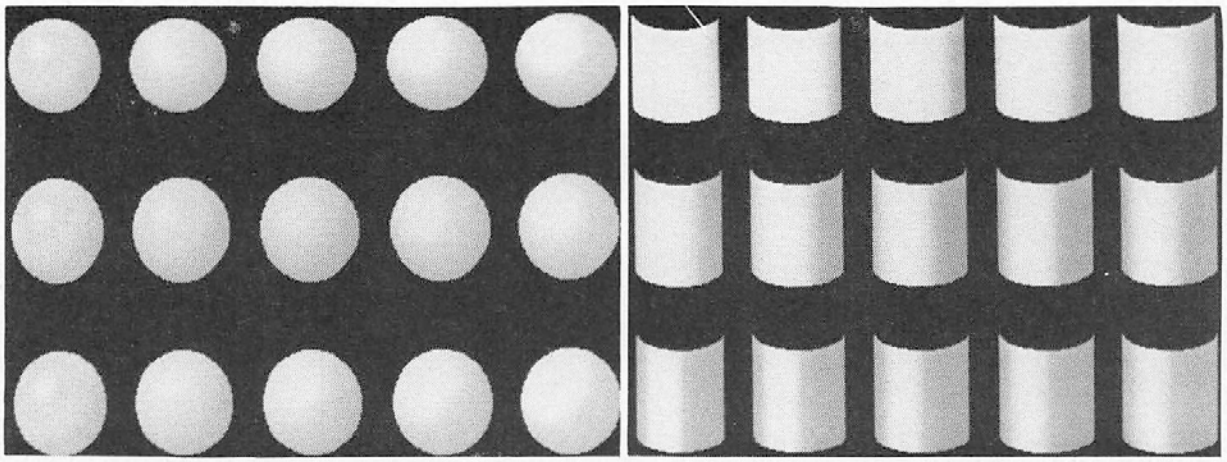


Fig.13 Examples of a shading for a sphere and a cylinder



pale lines.

4) An inner line that indicates the darkness of a dent in both surfaces is made a slightly pale line.

5.1.2 Distinguishing the Properties of Surfaces

For planes and cylinders there is one fixed shading variation pattern that doesn't change even if the position of the light source is changed. Consequently, applying a particular shading pattern that corresponds with a person's mental image will help to make the shape's impression easily identifiable. In addition, every curved surface has front and rear. A person will recognize this kind of shape, and will be able to also determine the front and rear surfaces of an identical shape. The following deals with how to aptly render these features.

1) A shading pattern to paint the inner surface is used to indicate variations in the surface. Fig.13 is an example of the many ways that shading can be apllied on the same type of surface.
2) The difference between the front and rear of a surface can be called, from the viewer's point of view, convex/ concave differences. To show these differentiations shading may be done at the point of symmetry.

5.1.3 Distinguishing the Position/ Attitude of a Surface

In order to properly express the position and attitude of a surface, it is important to accurately render shadow, shade, reflection, and depth by shading. When one draws a picture, this shading can be done quite easily . The following are some examples of shading expression.

1) When the display surface is parallel, or very close to parallel to the beam of light, the shading variation is comparatively slight. Also the shading variation becomes greater in proportion to the depth.
2) To show the slope of a plane, the angle of intersection of the rendered surface

and the plane perpendicular to the assumed beam of light is the criterion for applying the shading pattern. In order to express the boundary between 2 surfaces, the surfaces are rendered so as not to have the same shade density.

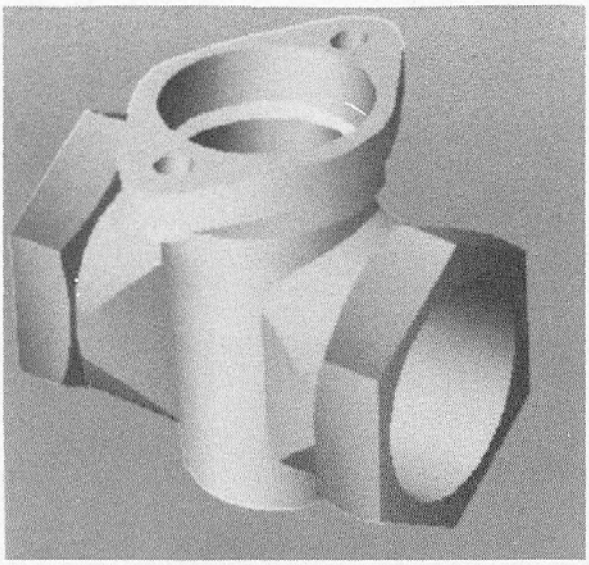
3) By illustrating shadows the attitude is easily understood. As previously stated, the density is simply reduced by one gradation. When a strong light source is assumed, the boundary is rendered distinctly. For weak, diffused light just a slight shade gradation is done.

5.1.4 Application of Rendering Rules

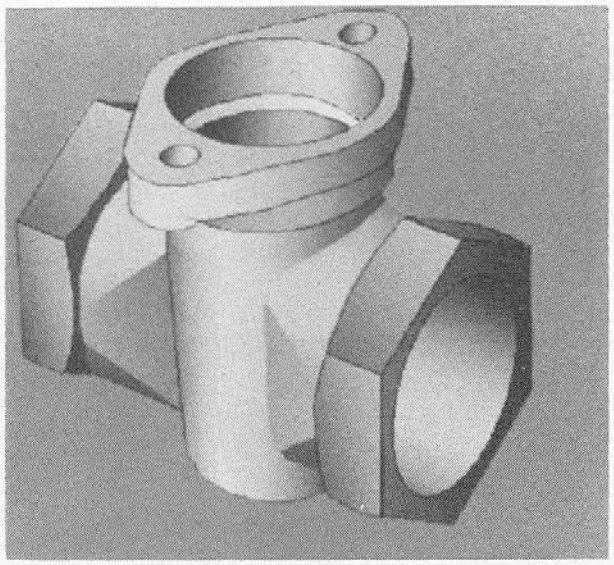
To make an evaluation of the rendering rules, an example is given that illustrates the changes made by applying the rules. (Fig.14(a,b,c,d))

a) The object is drawn by shading patterns on each surface according to the rendering rules, and by using the CARP rendering function. Thus, one may perceive the impressions of planes, and cylinders. However, there are some sections in this drawing whose boundaries are difficult to distinguish. Also, there are some abrupt changes in density.

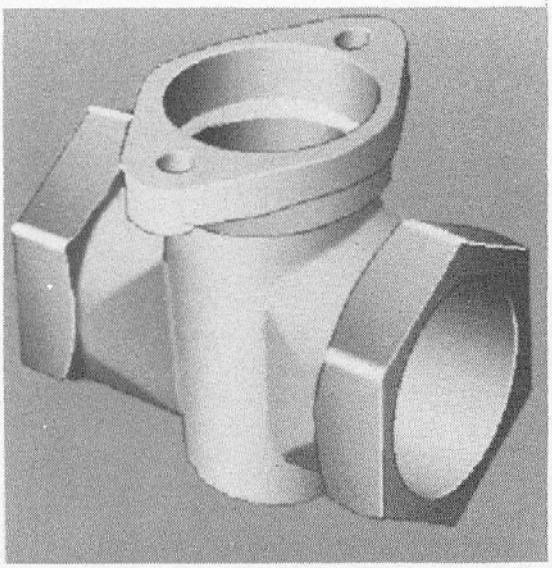
b) The boundaries of the surface are made easily visible, but by drawing bold lines and ignoring the rules, the picture doesn't match a person's mental



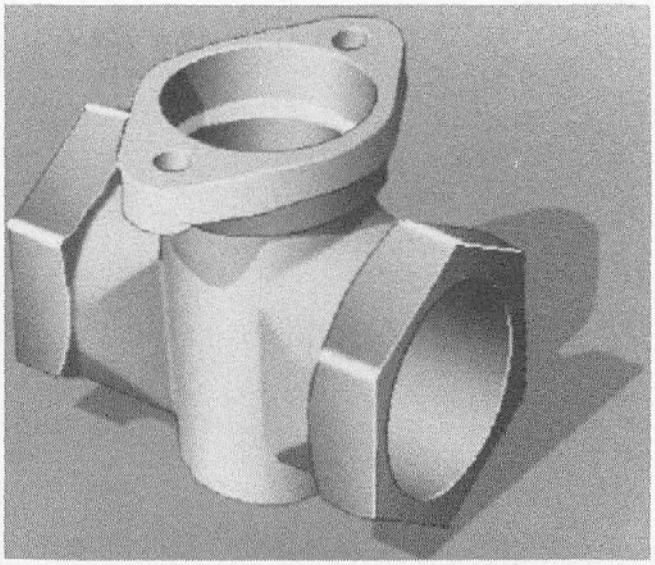
a) paint with the color range pattern



b) draw boundaries using dark, bold line



c) paint with rendering rules



d) paint shadows

Fig.14 Examples of application of rendering rules

image.
c) The inner lines are made thinner, and roundness of the edges is emphasized. The ellipse is indicated by using a line of varying and density. To contrast two surfaces that adjoin at an obtuse angle, shading gradation is used rather than an abrupt variation.
d) The outline of shadows is distinctly shown, rendering the impression of strong lighting.

Of the four illustrations that are intended to aid in understanding the object's shape, (d) is the one where the most rules were applied. It is distinguished from the other three by the correct, more natural expression of detail. To make these rules occur automatically they were programed to do so, as will be explained.

5.2 Displaying a 3-D Shape Picture using CARP

When a 3-D object is drawn using CARP, it can be rendered so that a person can understand it shape.
If rendering a 3-D object is the goal, the paint method is determined by the constraint items of the solid body. This drawing method is arranged and a "3-D Shape Illustration Program" is written up, based on the rendering rules, that can be easily run interactively by human instructions.

a) Drawing up a Primitive Pattern

It was stated in the section 4 that shading patterns were one effective way to render 3-D objects. Here we shall discuss the simplification of 3-D object expression. The density distribution curve, which is used to determine the type of shading patterns to be applied to fundamental shapes, was rearranged. To do this, the appearances of various solid bodies expressed in drawing were observed, namely plane, cylinder, cone and sphere, and the results of shading expression were classified as seen in Fig.15.

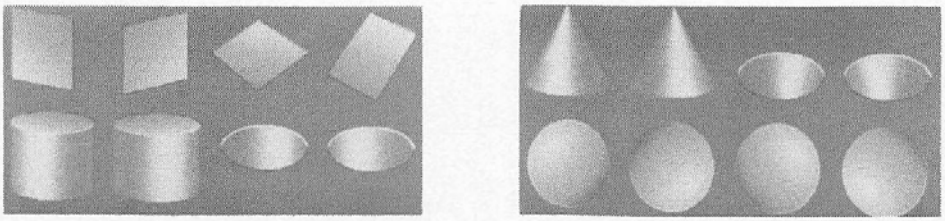


Fig.15 A 3-D shape representation a) plane, b) cylinder, c) cone,d) sphere

From this assortment of fundamental solids, one may efficiently make use of these patterns most of the time for shading expression. For example, when using the rendering system to render a cylinder, the boundary line of the side surface and the top surface are inputted. In particular, even though the same circle is used in rendering the shading and the boundary line, 2 data items needed to be inputted. When this method is used, input data is omitted and input errors are eliminated. With shading also considered part of the basic data, it is possible to draw without variance from a person's own shading style.

b) Rendering Outlines

As illustrated in Fig.12, an outline constitutes a line that borders only one surface, whereas an inner line borders two surfaces. When inputting the plane, an inner line is used for the two consecutive areas of the vertex that is inputted and the other vertex that has the same coordinates. This inner line is rendered pale and thin. Since the discontinued part of the vertex of the same coordinates becomes an outline, a bold line is used. When expressing a cylinder arc that contains inner lines and out lines, it is expressed by bold and fine lines. Since part of the cylindrical shape becomes an outer line, a bold line is used. This line,as in the case of the plane, is not darkened automatically. Consequently, the 3-D objects are collected together, and after drawing them, a rendering system is used to carry out the need alterations in outlines and inner lines.

6. EXPERIMENTS IN DRAWING

Fig.16a is a picture drawn attempting to use the previous pictures of fundamental solids. A line drawing was prepared on a tablet, shading was done while one pattern was inputted, and some slight alterations were added; all accomplished in about 30 minutes. In this example there are certain areas where the shading of the joined parts is not consistent, so one needs to do some further retouching. Where the shading is inconsistent, shading variation is done within a fixed range, and retouching makes the smooth joints visible. Fig.16b is a more complex example that took about 50 minutes to produce.

Fig 16a is comprised of 16 surfaces, so it also required 16 drawing commands. The same picture was drawn without using the fundamental solids chart, and needing to input drawing commands about 40 times, took about 2 hours to draw. There were 21 different edges that were drawn up. The technique of drawing edges automatically can be considered effective in reducing drawing time and in expression of characteristics.
Fig. 16b is comprised of 36 surfaces and required 33 drawing operations. As a result of arranging the drawing operations for fundamental solids, the operation is simplified by inputting data as two types, shape definition data and color .
Looking at the picture that is drawn, the 3 distinguishing factors are well-rendered, making it easy to gain an accurate impression of the shape.

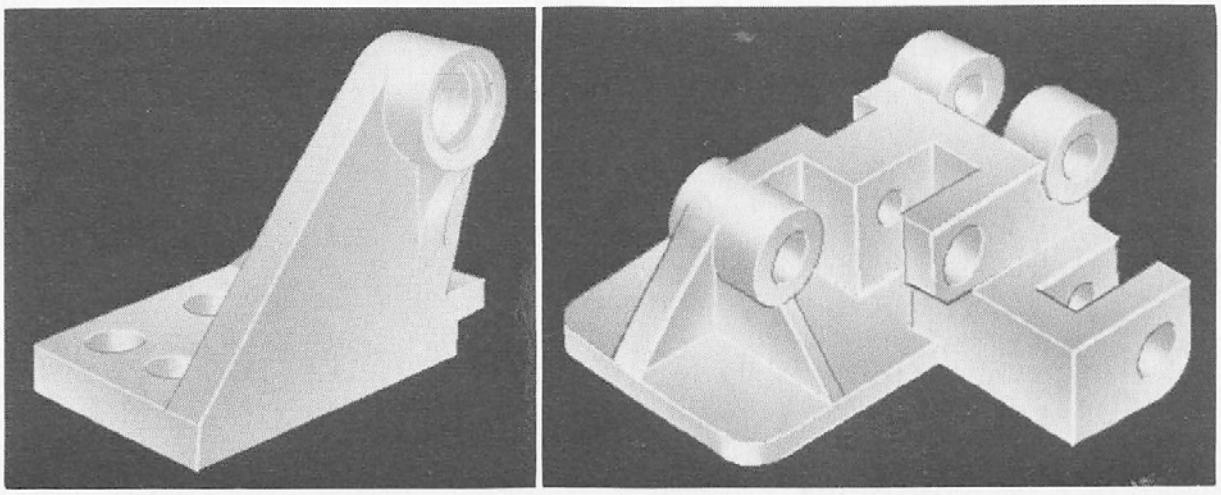


Fig.16 Example of 3-D shapes

7. CONCLUSION

In this paper the pattern classifications that show shape impressions of curved surfaces was examined, and the rendering rules that govern 3-D shape expression were compiled. Then the CARP interactive rendering system to display 3-D shapes is actualized , and the instructions for the user were simplified.

The following is the result of the evaluation.

1) Compared to the method of computing and drawing a shade picture, the method of drawing by emphasizing some characteristics and omitting others is an effective means of helping to understand the impression of a shape.
2) Carrying out pattern classifications, to indicate the differences in 2-D surface's shapes, results in the ability to distinguish the impression of shapes. From these, the object and its picture are consistent with each other, so a person will have an accurate impression of the rendered shape.
3) Due to the reordering of the conditions for shaded pictures, rendering rules that aid in accurate expression were written up.
4) Adding the rendering rules to the CARP function makes it easier for a person to input instructions. Some of the CARP display functions were verified as

effective techniques for the purpose of 3-D expression, which is an important example of the rendering system's use.

The following problems will be dealt with in a later study:
1) In order to simplify the system's use, an input method of drawing by hand will be established.
2) In the event that a 3-D model is used, rendering rules will be applied, and will be performed automatically.

ACKNOWLEDGMENT

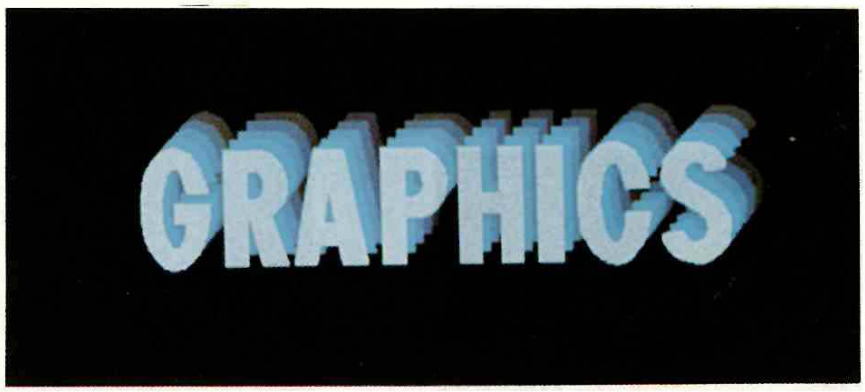
The overall progress of this research is a result of the guidance and support of Professor Mamoru Hosaka of Tokyo Denki University.

REFERENCES

1) K.Kondo, F.Kimura A Method for Rendering An Impression of Curved Surfaces (1st Report) A Creation of Halftone Pictures, Journal of the Japan society of Precision Engineering, VOL.49,No. 12,1983 (In Japanese)
2) K.Kondo, F.Kimura, T.Tajima, A Method for Rendering An Impression of Curved Surfaces (2nd Report) A Creation of Paint system 'CARP', (In Japanese)
3) K.kondo,F.Kimura,T.Tajima, An Interactive Rendeing System with Shading, JARECT, Computer Science & Technologies, (1985), North-Holland
4) J.D.Foley Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison Wesley, Reading, Mass., (1982).
5) H.Chiyokura, F.Kimura, Design of Solids with Free-Form Surfaces, Computer Graphics VOL.17, No.3, 1983

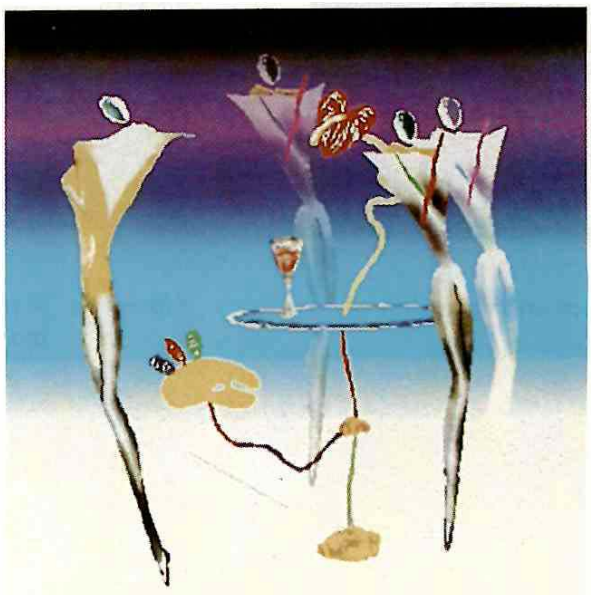
(a)

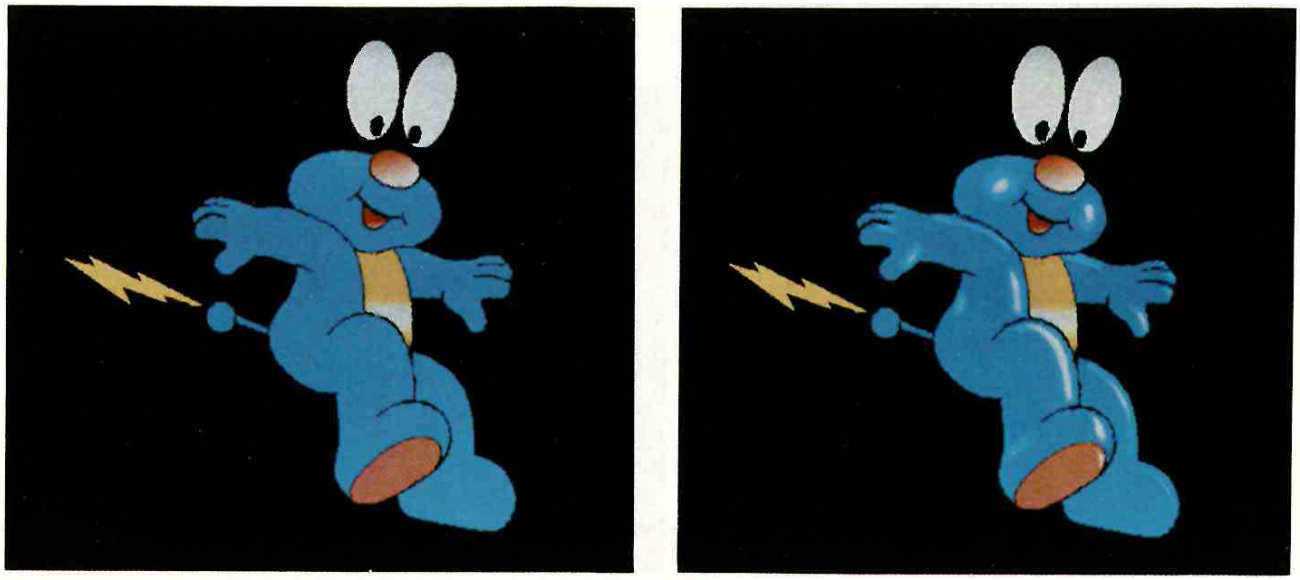
(b)



(c)

Figure 8 : An example of editing.





(a) (b)

Figure 2: A presentation of an impression of a shape.

Figure 3 : A presentation of an impression of curved surfaces.

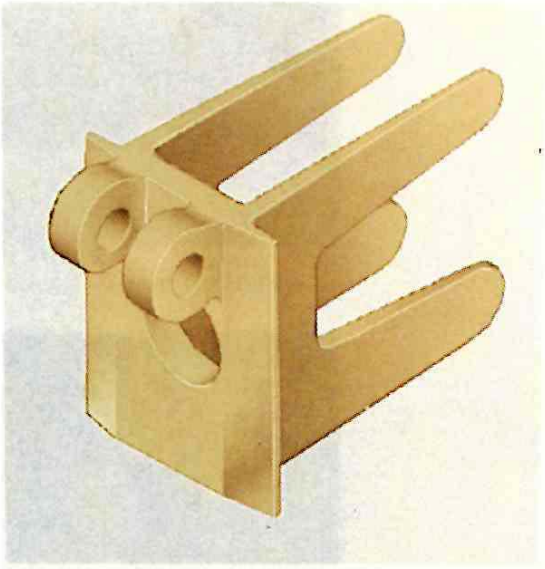


Figure 4 : A presentation example of 3-D model by CARP.

EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS AND DESCRIPTIVE GEOMETRY
JULY 31 - AUGUST 3, 1998, AUSTIN, TEXAS, USA
© by ISGG 1998

ENHANCED EDGE RENDERING FOR COMPREHENSIBLE IMAGES

Yoshinori MOCHIZUKI
Saitama University
Saitama,JAPAN

Kunio KONDO
Saitama University
Saitama,JAPAN

Hisashi SATO
Kanagawa Institute of Technology
Kanagawa,JAPAN

ABSTRACT

In industrial design or various manuals, images in which shape features are comprehensibly enhanced are widely used. Compared to photorealistic rendering, shape features can be readily understood if certain geometric properties are enhanced. Especially, edge enhancement is an important technique in understanding shape features. However, these images are mainly created by hand and takes a long time, so there is a lot of research of edge drawing. We propose a new edge drawing technique for 3D shapes that classifies edge by structural features and can specify properties of edges such as width, color. Using our proposed method, it is possible;

1. to do hidden line removal and hidden surface removal at the same time more quickly.

2. to draw edges specified width and color in a short time.

So, comprehensible images are available more easily.
Keywords: computer graphics, comprehensible rendering, edge emphasizing.

1. INTRODUCTION

The research such as the ray tracing method and radiosity method are carried out briskly in a field of computer graphics and are becoming possible to be used in the generating of a photorealistic image. On the other hand, a photorealistic image is not necessarily excellent, when it catches from a viewpoint as the means of information transmission. A characteristic of an object can be caught accurately by using various emphasis such as rough omission, extreme transformation and exaggerations. An emphasis of the edge that forms a boundary between two faces or between a face and a background especially clarifies a distinction between a face and can express a form comprehensibly.

There are a number of cases in which the image that expresses a characteristic of object form comprehensibly as an illustration is used rather than a photograph in an industrial design field and various kinds of manuals, etc. Therefore, there is a big demand for the image that emphasizes an edge. However, such an image is generally made by hand, so the work is requiring an abundant experience and quite a lot time.

Several edge drawing techniques are proposed from the importance of such edge emphasis(Kondo *et al.* 1985)(Saito and Takahashi, 1990)(Roberts, 1963) (Petty and Mach, 1977). Conventional methods of drawing edge have a disadvantage that it is very difficult to draw edges according to a characteristic of an edge or that a calculation cost has attached very highly. In order to draw edges with processing width or color and to keep a calculation cost low, this research can be done as follows:

1. To extract edges with 3-D model, in 3-D space

2. To use a drawing method that does not rely on a wire frame, while handling information of edges as lines

3. To materialize drawing edges without using curved surface patch and polygon approximation

Thus, an edge emphasis image becomes possible to be generated easily in a short time.

From the aforementioned thought, this paper proposes the technique that combines edge drawing process with Z buffer method(Catmull, 1975) considering 3-D model that is expressed with the set of polygon. Our proposed technique has the characteristic that can realize hidden line erase and hidden surface erase simultaneously, without increasing a calculation cost, because the basic process is the same as the Z buffer method.

2. FORM RECOGNITION AND THE CHARACTERISTIC EMPHASIZED IMAGE

In this section, form recognition of a person is analyzed, to establish an expression method that a characteristic such as a form, shade, are notified well.

An image is notified to a human, through an eyeball that is susceptibly the light. This visual picture is projected on the retina in an eyeball. This retina picture is sent to the cerebrum through the optic nerve and is processed there. It calls perception that is an integrated recognition reaction with real existence that occurs by passing this process, in other words, an impression of what is seen(Tsutsumi, 1986)(fig.1). The perception causes to agree, collate, compare the visual information with the model that is made into pattern of various objects and a form that were made by an experience and learning in the past and were accumulated into the brain.

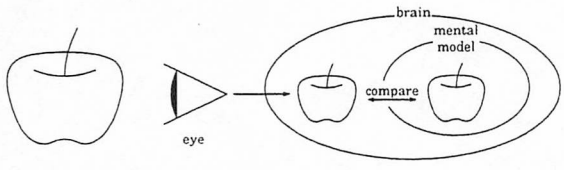


Figure 1: Process of Perception

In the case of trying to communicate, it is indispensable that the information that the sender wants to get across agrees with the information that the receiver gets with recognizing from an image. At this time, recognition is carried out by comparing knowledge that had been obtained by an experience or learning of the receiver from the information obtained by perception of the presented image(fig.2).

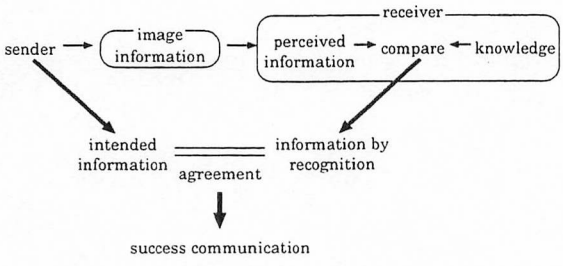


Figure 2: Communication by Image

For this reason, it is important for more accurate communication using an image to make the image by which wrong perception does not occur. Therefore, it becomes necessary to express an object so that a person agrees with a model within the brain that has empirically. A model within a brain is not the one that caught an object with the real expression, but the one that classified it into characteristics such as geometric structure, brightness, change pattern of color, etc. Because the visual information that is projected on the retina is the set of the picture element and has only the information of image strength, it is necessary to classify visual information into such characteristics. A classification of a characteristic of shape from this visual information is carried out as follows(Maar, 1987):

1. Organization structure such as an edge, discontinuous point, a small lump is acquired from a change of image strength.

2. To extract the information of geometric structure of visible surfaces such as local surface direction, distance, a point that has discontinuous depth, a point that has discontinuous surface direction, etc., from that information of organization structure.

Therefore, such image that carries out these processes smoothly expresses a form comprehensibly.

3. EDGE EMPHASIZING

In this section, drawing edge rules that express a form comprehensibly are introduced and an edge drawing algorithm is explained.

3.1 Importance of Edge Emphasizing

An edge is the line that forms a boundary between a face or between a face and a background. Especially the vision of a person is sensitive to a boundary part of an object. This is because a boundary part is important and basic information of an area division in the acquisition stage of organization structure in perception. Therefore, incorrect acquisition of a boundary part causes the acquisition of wrong organization structure, and finally it exerts a bad influence on form recognition. For that reason, an edge emphasis is an important technique.

3.2 Analysis of Edge

An edge is classified into several characters by relation of location with a face, so it is important to perform some processing to an edge and to distinguish these characters, although it is effective only to draw edges into black in its own way. Now we analyze a character of an edge to examine an effective processing method to an edge. An edge is classified into a profile and internal line. An edge is formed by two faces. When one of these faces is visible, the edge is a profile, and when each face is visible, the edge is an internal line. When an edge is put between two faces, if the edge is an internal line,

these faces are connected. On the other hand, there is always a difference of depth between two faces in the case of a profile. Therefore, this difference of profile and an internal line need to be expressed clearly. Also, an internal line usually looks as if light was related because it is formed by two visible faces. Such a situation may rarely occur to a profile. Furthermore, an edge on the face that exists outside a profile transposes with it, and it looks as if they were connected to each other. So it is necessary that expression method in this case is prevented.

From these analyses, an emphasis rule to a profile and an internal line is decided as follows:

Rule 1. A profile is made thicker than an internal line.

Rule 2. A color of a profile is made thicker and a color of an internal line makes thinner.

Rule 3. A line of a thin color is drawn outside, in the case that a face is seen from the outside of a profile.

4. EDGE DRAWING ALGORITHM

In this section, edge drawing algorithm that makes an edge emphasis rule of is described.

4.1 Basic Concept

We use Z buffer method as a basic rendering algorithm in this research. The conventional Z buffer method calculates a section part of each polygon in a scanline plane, and displays it. At this time, the method we propose assumes that the part which becomes an edge is attached to surroundings of polygon, and realizes the drawing of an edge at the same time as rendering by applying the conventional Z buffer method(fig.3). The edge can be drawn with specifying the information such as width, color, etc., by this method.
An edge drawing algorithm outline that we propose is the following.

Step 1. The width and a color of an edge are specified.

Step 2. To keep from leaving drawing edges undone, edge scanning process is carried out twice: in a horizontal and vertical way.

Step 3. The length of a part of a scanline plane that is drawn as an edge is calculated in each scan.

Step 4. Calculating depth of an edge, is drawn with the usual Z buffer method.

Next, each process is expressed about from Step 2 to Step 4.

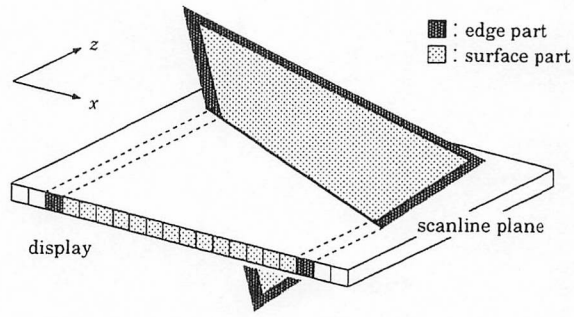


Figure 3: Edge Drawing with Z Buffer Method

4.2 Step 2: Bidirectional Scan

When an edge is parallel to scanline plane, the detection of an edge is not produced because an edge does not cross scanline plane. Firstly, an edge is detected with moving a horizontal scanline plane vertically, next with moving a vertical scanline plane horizontally. At this time, if an angle of a scanline plane and an edge is small, it does not draw an edge. An example is shown in fig.4. Each scanning process draws edges as fig.4(b) and fig.4(c) using a model that is shown in fig.4(a).

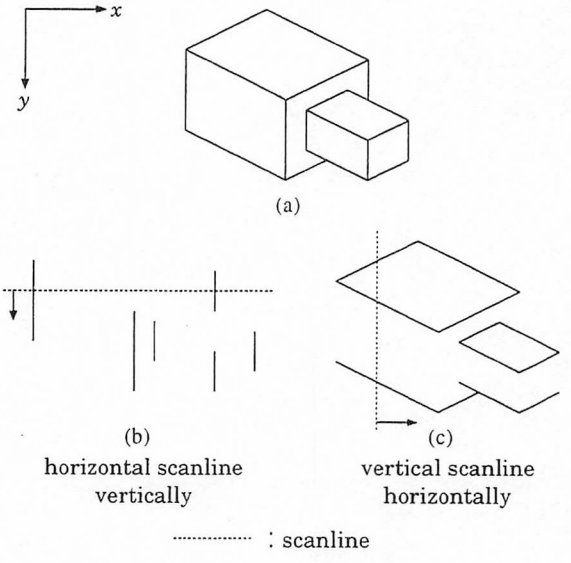


Figure 4: Bidirectional Scan

When a scanning process is carried out twice, the edges which the first scanning process detects disappear because overwriting edge occurs on the second scanning process. In order to solve this problem, the first scan registers the location of pixels that contains drawn edges, and the second scan carries out nothing to all

pixels that was already registered in the first scan.

4.3 Step 3: Calculation for Edge Length of Drawing part

To apply Z buffer method with specifying width of an edge, the method that calculates each direction length of scanline plane l of the part that is scanned as an edge is shown in fig.5. In the following, the way of calculating a scanline plane of x axis direction is explained. It is similar regarding y axis direction.

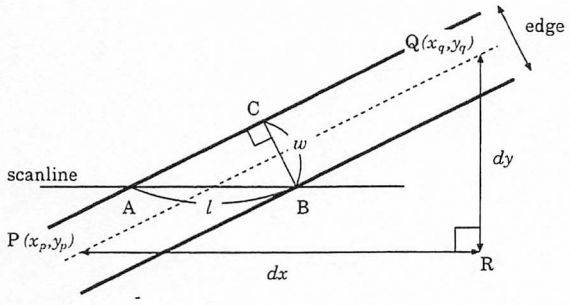


Figure 5: Calculation of Edge Width

When two points $P(x_p, y_p)$, $Q(x_q, y_q)$ on edges were given with fig.5, dx, dy shows a length of x direction, y direction between P and Q, respectively, w shows specified edge width, and l shows the edge width of scanline plane direction. Point A and B shows both ends of l, and C shows the perpendicular line that is lowered towards the width of an edge from B. Because ABC and PQR are similar figures, the following equation stands up:

$$\frac{\mathrm{AB}}{\mathrm{BC}} = \frac{\mathrm{PQ}}{\mathrm{QR}} \tag{1}$$

in other words, it can show as follows:

$$\frac{l}{w} = \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{dy} \tag{2}$$

$$l = \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{dy} w \tag{3}$$

l is calculated by eq.3.

4.4 Step 4: Drawing Edges

Towards a point $P_0(x_0, z_0)$ on an edge center of a scanline, a point of the left end, right end of edge on scanline shows $P_1(x_1, z_1)$, $P_2(x_2, z_2)$respectively. The beginning location of drawing edge x_1 and end location of it x_2 and this depth is calculated using l as follows(fig.6):

$$x_1 = x_0 - \frac{l}{2} \tag{4}$$

$$x_2 = x_0 + \frac{l}{2} \tag{5}$$

$$z_1 = z_0 - \frac{l}{2} \tag{6}$$

$$z_2 = z_0 + \frac{l}{2} \tag{7}$$

Also, on an edge it can calculate a depth of each point with the same method as a depth in a usual Z buffer, by using this x_1, x_2, z_1, z_2. When a drawing point shows $P(x, z)$, depth of it is obtained as follows:

$$t = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \tag{8}$$

$$z = (1 - t)z_1 + tz_2 \tag{9}$$

Hidden surface erasing is carried out by applying the

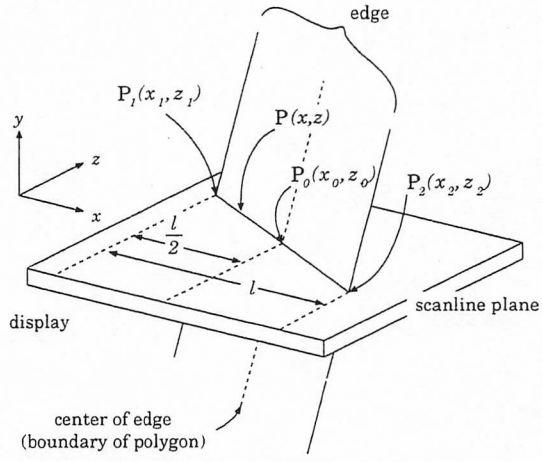


Figure 6: Left Side and Right Side of Edge

usual Z buffer method by using this z value. Edge drawing becomes possible by these steps.

5. EXAMPLES

First an example of the model is shown in fig.7. Applying the bidirectional scan on fig.7, image fig.8 were drawn. Left of fig.8 is a result of moving scanline plane vertically and right is a result of doing it horizontally. These images are drawn with specifying surface color of the model to the same color as a background and drawing only edges.

The other example of drawing edge is shown in fig.9. Applying these two scans at the same time, left of fig.9 was drawn. It has been classified by color with scanline plane moving direction due to explanation. In the right of fig.9, surface color of the model was specified and edge drawing process and rendering were carried out at the same time.

It is understood that a boundary part is distinguished clearly when edges are drawn even only black with a

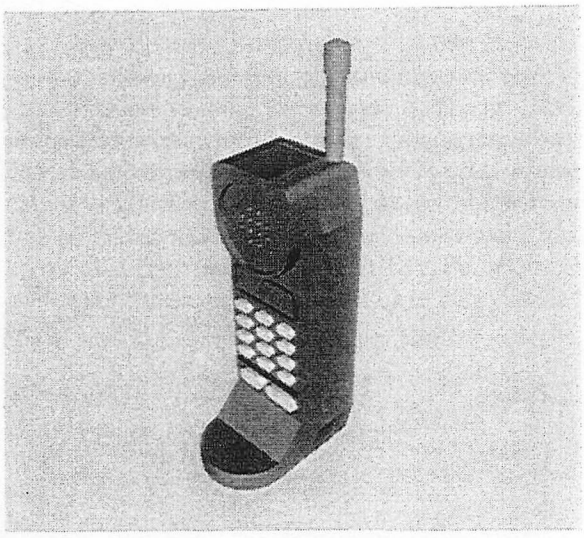


Figure 7: Example of Model

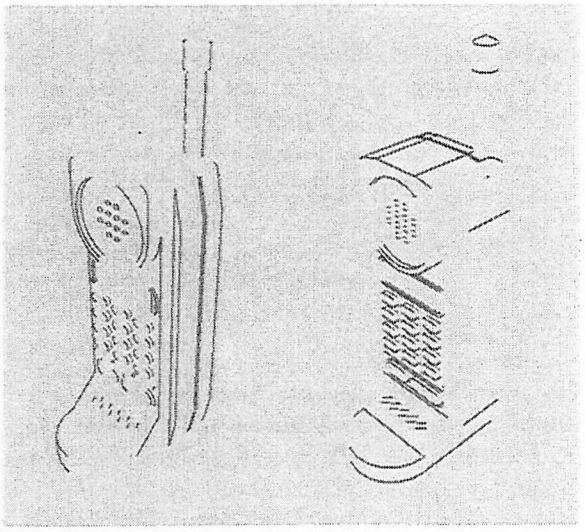


Figure 8: Process of Edge Drawing

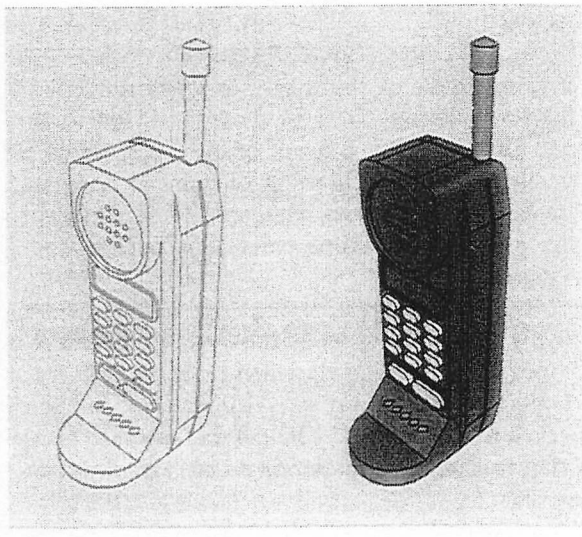


Figure 9: Result of Edge Drawing

simple width (fig.9) in comparison with only shading (fig.7).

- Furthermore, an example is shown in fig.10. Distinction of profile and internal line was carried out and edges were drawn with changing the width and a color according to the edge emphasis rule in this image. Such emphasis makes a character of each edge clearly, and expresses information such as joint condition of each face comprehensibly.

Also, another example of more complicated model is shown in fig.11 and fig.12. It is understood that a form is expressed more comprehensibly regarding these models.

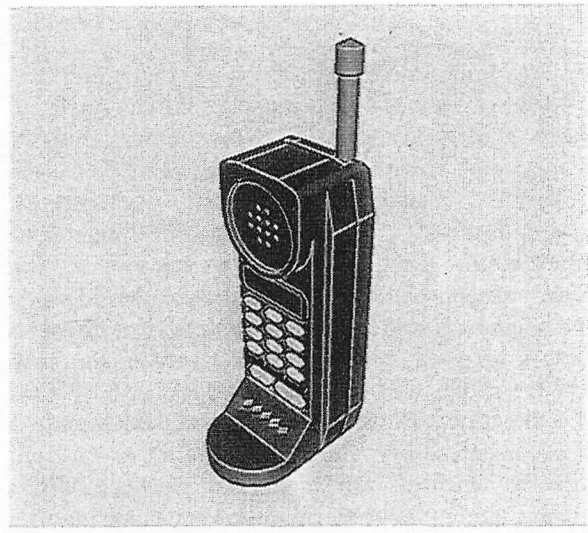


Figure 10: Enhancement of Width and Color

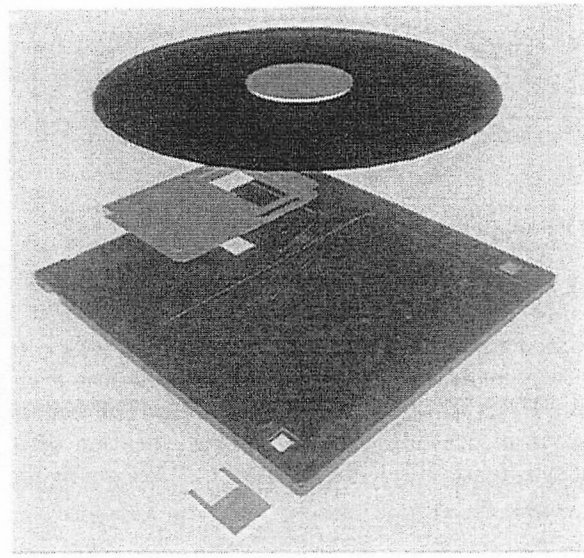


Figure 11: Example of Image (Only Shading)

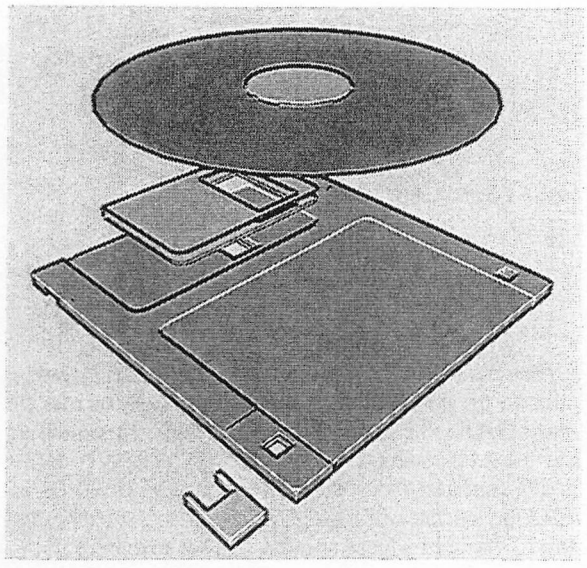


Figure 12: Example of Image (With Enhancement)

6. CONCLUSION

This paper proposes the edge drawing technique that can specify geometric information such as the width and a color of an edge, as such rendering technique that emphasizes a characteristic of a form with paying attention to a role of an image as information transmission means.

Our method considers an edge as a surface, and incorporates edge drawing process with the Z buffer method. Furthermore, the following became possible:

1. Up to now it was fairly difficult to combine hidden line erase with hidden surface erase, but our method can realize this easily.

2. Although a drawing method that specifies information such as width and color requires a high calculation cost formerly, our method can restrain it low, because that process is able to realize just carrying out Z buffer method twice.

3. The image that processed an edge easily in a short time comparatively can be obtained.

REFERENCES

K.Kondo, F.Kimura, T.Tajima, 1985, "Representation of 3-D shapes with the Interactive Rendering System", *Journal of Information Processing Society of Japan*, Vol.26, No.11, pp.1401-1408.

T. Saito, T. Takahashi, 1990, "Comprehensible Rendering of 3-D Shapes", *Computer Graphics Vol.24, No.4(Proc. SIGGRAPH '90)*, pp.197-206.

Roberts L.G., 1963, "Machine Perception of Three Dimensional Solids", *MIT Lincoln Lab. Rep.*, TR 315.

Petty J.S., Mach K.D., 1977, "Contouring and Hidden-line Algorithms for Vector Graphic Display", *Air Force Applied Physics Lab. Rep.*, AFAPL-TR-77-3.

Catmull Edwin, 1975, "Computer Display of Curved Surfaces", *Proc. IEEE Conf. Comput. Graphics Pattern Recognition Data Struct.*, p11.

N. Tsutsumi, 1986, *Ideas of Form*, Houzansya Co., Japan.

David Maar, 1987, *Vision*, Sangyou Tosyo Co., Japan.

ABOUT THE AUTHORS

MOCHIZUKI Yoshinori, M.E., is a student of Doctor Course in Graduate School of Science and Engineering, Saitama University. He received the B.E. degree from Saitama University in 1995. His research interest is in Computer Graphics. He can be reached by e-mail: mochi@ke.ics.saitama-u.ac.jp, by fax: +81-48-858-3716, or through postal address: 338-8570 Shimo-ookubo, Urawa, Saitama, JAPAN.

KONDO kunio, Dr.Eng., is a Associate professor in the Department of Information and Computer Sciences, Saitama University. He received the B.E. degree from Nagoya Institute of Technology in 1978. In 1988, he received Dr.Eng. degree from The University of Tokyo. His research interests are Computer Graphics, Human Interface, and Kansei Information Processing. He can be reached by e-mail: kondo@ke.ics.saitama-u.ac.jp, by fax: +81-48-858-3716, or through postal address: 338-8570 Shimo-ookubo, Urawa, Saitama, JAPAN.

SATO Hisashi, D.Sc., is an instructor in Department of Information and Computer Sciences, Kanagawa Institute of Technology. He was born in Tokyo JAPAN on 1964. He received the B.S degree from Gakushuin University in 1987 and the M.A. in Sc. from International Christian University in 1989. From 1990 to 1997, he was a research associate in Department of Information and Computer Sciences, Saitama University. In 1997, he received Dr. SC. from Gakushuin University. And he was an instructor in Shobi Junior College. He can be reached by e-mail: sato@ic.kanagawa-it.ac.jp, by fax: +81-462-42-3737

●研究論文

視覚パラメータに基づく絵画風画像生成手法

Vision−Based Painterly Image Synthesis by Parametric Control

米山 孝史 *Takashi YONEYAMA*
源田 悦夫 *Etsuo GENDA*
近藤 邦雄 *Kunio KONDO*

概要
本論文では，近代以降の西洋絵画を中心とした絵画の視覚的特徴に着目した分析，およびそれに基づいた視覚対象モデルのパラメータ変換による絵画風画像生成手法について示す．近代以降に登場した印象派やキュビスム，抽象絵画などといった絵画スタイルは描画対象の色彩的な特徴や形態的な特徴などの表現に大きく重点が置かれている．このような特定の特徴に着目して強調したり，逆に故意に欠損させたりする近代絵画の表現は，脳内における視覚情報処理過程と密接な関係を見出すことができる．そこで本研究では，視覚情報処理過程として考えられている形態視・空間視・色彩視の視覚情報処理モジュールをパラメータとして導入し，絵画の視覚的特徴分析を行う．さらにこの分析により分類した視覚特徴の表現をもつ絵画風画像を描画する手法，および3次元モデルを用いた視覚パラメータによる絵画風画像生成システムを提案する．
キーワード：CG／ノンフォトリアリスティック・レンダリング／絵画／視覚

Abstract
In this paper, we present an analysis focused on the visual features of paintings, especially Western paintings following the introduction of Modernism. Building on this analysis, we also present methods of parametric painterly image generation from 3D models of visual objects. Painting styles that grew out of the modern age, such as Impressionism, Cubism, and abstract paintings, stress the exploration of an object's constant color, form and other features. The expressions in modern paintings which focus on particular features have a close association with the way the brain visually processes information. Thus, we introduce modules of visual information processing consisting of form vision, space vision and color vision as vision parameters, and analyze the visual features in paintings. Moreover, we propose methods of achieving the parametric transformation of 3D models, and image generation that includes the expression of visual features classified according to their analysis.
Keywords : CG / Non−photorealistic rendering / Painting / Vision

1．はじめに

近代以前の西洋絵画においては，描画対象は観察者である画家自身が座標系の中心に置かれ観察者の視点から見たままに描かれる，言わば網膜像的な絵画が主流であった．ところが近代に入ると，このような描画法によらない絵画が登場し，印象派やキュビスム，抽象絵画といった新しい表現の試みが行われた．このような絵画スタイルの変化のひとつの側面として，人が対象を見てそして理解する一連の視覚認知プロセスとの関係が指摘されている[1]−[3]．一方，近代以降に限らず絵画スタイルによる表現は，コンピュータグラフィックス（CG）において画像に対し効果的な印象を与える目的や，ビジュアルコミュニケーションの手段としてノンフォトリアリスティック・レンダリング（NPR）の分野において幅広く研究されている[4]−[6]．その中でNPRによる絵画風描画として特定の描画スタイルを再現する手法が多く提案されているほか，描画スタイル自身のもつ意味といった高次な特徴に焦点をあてたNPR手法[7]−[12]やそれらスタイルの体系化やパラメータ化[13]−[15]が提案されている．

本研究の目的は，近代以降を中心とした西洋絵画のもつ描画特徴を，視覚認知に基づく視覚パラメータを用いたモデルによって示すこと，および視覚パラメータに基づきパラメータを介した抽象化レベルの制御による3次元モデルから視覚的特徴を有する絵画風画像生成手法を提案することである．

まず，本研究では，近代以降の絵画に描かれている対象の視覚的な特徴について視覚認知プロセスの観点から分析を行う．絵画の特徴分析のため，認知科学で視覚情報処理過程として考えられている形態視・空間視・色彩視をそれぞれ視覚モジュールと捉え，各視覚モジュールにパラメータを導入する．それら視覚パラメータの大きさやバランスにより，絵画に含まれる描画対象の特徴の分析を行い，絵画の描画スタイルについて視覚系に基づく体系的分類を行う．さらに絵画の視覚的特徴分析に基

づき，視覚パラメータの大きさやバランスに応じて視覚対象モデルとした3次元モデルを変換することにより，形態視・空間視・色彩視の各特徴が強調・省略された絵画風画像を生成するための画像生成システムのスキーム，および個々の視覚特徴を付加するための3次元モデル変換，画像生成手法を提案する．

2．関連研究

2.1．視覚と絵画

近代以前，特にルネサンス時代の西洋絵画では，自然を科学的な視点から捉えることにより正確な描写を行うことが重視され，遠近法や明暗法といった描画法が発達した．しかし，19世紀以降の近代において登場した写真との対比を通じて，西洋絵画は観測者中心の見た目の正確な描画といった手法からの脱却が試みられるようになり，近代以降では色彩について細かく分析を施した印象派の絵画をはじめとして，対象の形を分解し再構成するキュビスムなどといった抽象絵画へと発展した．

近代以降の絵画に顕著に見られるこのような描画スタイルは，描画対象のもっている恒常的な特徴を捉える試みであり，ゼキ[3]は外界からの知識を獲得する過程である視覚認知プロセスとの関係を指摘している．視覚対象を“見て”そして“理解する”ために，脳内では内在する視覚情報処理過程により能動的な視覚認知が行われる．視覚情報処理過程では視覚対象を認知するため，常に絶えず変化する視覚対象を含めた外界から網膜像を通して得られる膨大な情報の中から必要な情報だけを選び出し，必要のない情報は切り捨てられる．このようにして得られる情報は対象の認知に必要な恒常的で特徴的な性質に関するものであり，この過程はまさに本質的なものの探索という美術の目的のひとつである[3]．

認知科学の研究において，視覚情報処理過程では視覚対象の形や色，動き，奥行きなどの特徴はそれぞれ独立した機能単位によって抽出されていると考えられている．視覚情報に含まれる各特徴はそれぞれ異なった機能単位によって並行して処理が行われる．これら独立した情報処理系の一つひとつはモジュールと呼ばれ，複数のモジュールから成り立つ情報処理の構造はモジュール構造と呼ばれる[3],[16],[17]．さらに初期視覚の段階において処理された視覚情報は高次脳機能の連合野へと送られ，後頭葉から頭頂葉に至る背側経路では運動視や空間視，内側側頭葉に至る腹側経路では色彩視や形態視といったモジュールで視覚情報処理が行われている[17],[18]．このような視覚情報処理のモジュール性は，近代の抽象絵画と密接な関係を見出すことができ，近代の抽象絵画では特定のモジュールを故意に取り出したり，また逆に省略したりして見たかのような視覚世界の描画表現が見られる[19]．

2.2．NPRと絵画スタイル

CGにおけるNPRによる画像生成の手法は，画像に対し効果的な印象を与える目的や情報伝達の目的などに応用される．特に後者はCGによるビジュアルコミュニケーションを円滑に行う目的で，対象の形や色などの視覚的な特徴を観察者にとって分かりやすく，受け入れやすく表現する手法である．画像生成を行うために用いる入力は2次元の画像や3次元のモデルがあり，形，空間，色彩，動きといった特徴を操作することにより目的とする表現を付加した画像の生成を行う．このような視覚特徴の操作は，近代以降の絵画を中心に試みられた特定の視覚特徴に注目した描画法にも通じる．絵画スタイルのもつ意味や視覚認知に関わる特性といった高次的な特徴に注目し視覚に基づく画像生成手法として反映したNPR手法として，キュビスムの絵画スタイルを適用した手法[7]や形状の変形や誇張[8]といった形態的特徴に関する手法，描画対象により投影法や視点が複数存在する画像生成[9]や投影変換による形状の誇張[10]といった投影に関する手法，人の視線の動きや視覚認知に基づいた写真画像の抽象化[11]や絵画技法に関する視覚的特性に基づく効果を考慮したイメージフィルタ[12]といった色彩に関する手法がある．

このような特定の視覚的な特徴を取り扱った画像生成手法に対し，これら個々の描画スタイルの体系化やパラメータ化を行う試みは，所望のNPRスタイルの適用や抽象化レベルの制御を容易にし，より柔軟で効率的な画像生成に役立つと考えられる．例えば描画ストローク制御のパラメータ化[13]や線画などに関する描画の体系的な記述方法[14],[15]が挙げられる．本研究では絵画の中に描かれている対象について，形や空間，色彩といった視覚認知と関連する特徴を分析することにより視覚認知機能の一過程を見ることができる絵画に含まれる描画特徴の体系的分類を検討する．

3．絵画の視覚的特徴分析

本研究では絵画に含まれる視覚的な特徴の分析を行うにあたり，前述の視覚情報処理系のうち，形態視・空間視・色彩視に対してそれぞれパラメータを導入する．

$$\mathbf{P} = (v_f,\ v_s,\ v_c) \tag{1}$$

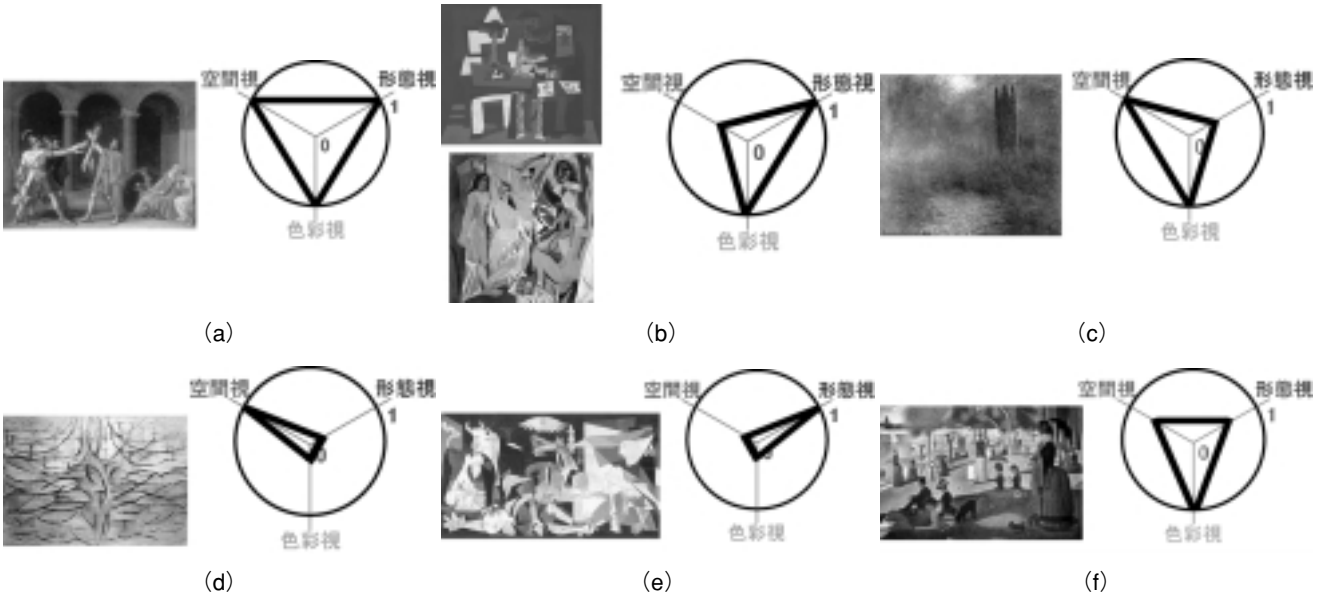


図1　絵画と視覚パラメータのバランス．(a)は観測点から見たままを描いた絵画．(b)および(e)はピカソによる視覚対象の形態的な特徴が強調された絵画．(c)はモネによる対象が朦朧と描かれた形態視欠損絵画．(d)はモンドリアンによる抽象絵画．輪郭線により対象の位置や位置関係の情報のみが残されている．(f)はスーラによる点描の絵画．色彩的特徴が取り出されている．

各視覚パラメータ，v_f, v_s, v_c, は［0，1］の値をとり，1の方向が対象の視覚的特徴の保持または取り出しを行っているものとし，0に近づくにつれて特徴が欠損していくものとする．これら視覚パラメータにより絵画の視覚的特徴について3次元の視覚パラメータ空間を考えることができる．

次節より，視覚パラメータを用いた絵画の視覚に基づく特徴分析を示す．ここでは，複数点の近代を中心とした西洋絵画を評価対象として，形態視・空間視・色彩視のそれぞれ3軸上に対し，各視覚情報の欠損の状態を相対比較により順位付けを行い，それぞれの絵画の相対的なパラメータ値を求めた．これに基づき，評価した絵画とその視覚パラメータのバランスを示した例を図1に示す．

3.1. 網膜像的絵画

図1(a)に示したダヴィッドによる絵画「ホラティウス兄弟の誓い」(1784)[19]では，線遠近法をもとに描かれており，ある観測点を中心とした見たままを捉えている．視覚系において，このような「見え」から得られる視覚対象に関する情報は，対象のもつ完全な情報ではない．(これら情報は$2\frac{1}{2}$次元スケッチ[16]と呼ばれる．)しかし形態視や空間視といった高次の視覚認知過程により視覚対象が理解される．このような見えのままによる絵画を視覚認知過程の介入する前の網膜像的な画像であると考えると，近代以降の絵画のもつ視覚認知過程に関わる操作，すなわち特定の視覚的特徴の意図的な取り出しや欠損は見られない．よってこのような状態をそれぞれの視覚パラメータのバランスが均等につり合ったものと定義する．

3.2. 形態視絵画

網膜像的な絵画に対し，図1(b)の左下に示したピカソの「アヴィニョンの娘たち」(1907)[3]などキュビスムのスタイルでは視覚対象を複数の視点から見た様子がひとつの画面に融合されている．対象が立体的な構造をもつものとして把握されるためには，ひとつの視点から見た姿だけではなく，もっと多くの情報が必要であり[20]，多視点による表現は対象が立体としてもっている情報といった形態的特徴が表されている．またピカソによる図1(b)左上「三人の楽士たち」(1921)[19]や図1(e)「ゲルニカ」(1937)[21]では，対象の形態的な特徴の抽出によって形状の簡略化が見られる．

一方，同時にこのような形態的特徴の操作に伴って，視覚対象の位置や向きといった空間的な特徴は変化することになり，空間情報の欠損が生じている．このことより，これら絵画では視覚パラメータのバランスが崩れ，形態視が強調され，逆に空間視が弱くなった形態視強調絵画となっている．またそれとは逆に，図1(c)のモネによる絵画「ロンドンの議事堂，霧の中にさし込む陽光」(1904)[22]では建物の輪郭が印象派特有の荒々しい筆致により朦朧と描かれており，形態情報が欠損している．

3.3. 空間視絵画

前述のとおり図1(b)，(e)では，複数の視点が混在した描画法により視覚対象の向きが部位により異なったり，画面奥行きの方向に圧縮され平面的に表現されたりといった位置や向きの情報の欠損が見られる．またキュビスム絵画の目的として対象の恒常的かつ本質的性質の探求のためによる遠近感の排除がある．これは，遠近感は対象の空間における特定の位置，また観測者のある瞬間の状況を反映するものだからである[23]．一方，図1(d)に示したモンドリアンによる絵画「花咲くりんごの木」(1912)[19]は，錯綜する輪郭線により描かれている対象の形が認識しづらく，彩度やコントラストが低く彩色されている．その代わり，輪郭線の位置や向き，位置関係といった空間に関する情報のみが残されている．すなわち，これら絵画は空間視情報のみを取り出し，形態視や色彩視情報を欠損させた絵画となっている．

3.4. 色彩視絵画

印象派の絵画では筆触分割や点描といった描画手法が用いられている．これは，単一の色に見える対象も実際には対象からくる反射光には様々な波長の色彩成分が含まれているという光学的な事実に基づき，視覚混色の原理により視覚情報処理における色彩認知の仕組みを再現している[19][24]．このような光の捉え方は新印象主義においてひとつの原理として体系化された[25]．図1(f)はジョルジュ・スーラによる点描の絵画「グランド・ジャット島の日曜日の午後」(1884)[24]である．点描の描画方法は色を一色で表現せず，キャンバスに複数の色を並置することにより色彩が観察者の脳内で混合される，すなわち視覚混色の効果を狙っている．このような色彩に関する表現手法は色彩的な特徴を取り出しているものと捉えられる．これに対し，彩度やコントラストの低下，また彩色に用いられる色の数を制限することは，対象の色彩的な特徴を欠損させる．

4．特徴分析に基づくパラメータ変換

本節では前節の絵画分析より各視覚モジュールに関する視覚特徴の整理，ならびに視覚パラメータの大きさやバランスに応じて視覚対象モデルに対し視覚特徴を付加するパラメータ変換について述べる．

4.1. 視覚特徴の分類

絵画の視覚的特徴分析に基づき，形態視・空間視・色彩視のそれぞれの視覚モジュールに関する視覚特徴を挙げた例を図2に示す．以下に各視覚特徴の内容について述べる．

	取り出し	欠損
形態視	輪郭線	形状変形 ・過単純化 ・認識できない形状
	形態特徴抽出 ・簡略化 ・誇張	
	多視点 ・全体的 ・局所的	輪郭ぼけ
空間視	空間情報抽出 ・輪郭線による ・大きさによる	位置・向きの移動 非透視投影
色彩視	点描	色数制限 彩度低下 コントラスト低下

図2　形態視・空間視・色彩視に関する視覚特徴の分類

形態視情報の取り出しに関する特徴には輪郭線，形態特徴抽出，多視点が挙げられる．輪郭線の付加（または線画）は，形状の認識を助ける基本的な視覚効果である．形態特徴抽出は形態の特徴的な情報を取り出すように対象を変形して描画を行う．変形の方法として，単純化または誇張による特徴抽出が考えられる．多視点は対象を複数の視点から見ることにより分解・再構成し，1つの画面を構成する．キュビスムのスタイルのように対象を部分的に分解して再構成する方法もあれば，対象全体を対象ごとに視点を変化させて1つの画面に描画する方法も見られる．形態視情報の欠損に関する特徴には形状変形，輪郭ぼけが挙げられる．形状変形は形態特徴抽出とは逆に，対象のもつ形態的な特徴は考慮せずに変形を行う．もとの形状が何であるか認識がしづらい，あるいは出来ないような形状の過度の単純化，または極端な変形が要因として考えられる．対象の空間的な情報の抽出を行う描画表現には，図1(d)で挙げたような輪郭線による位置や位置関係の情報の抽出する方法，また形状の大きさのみを例えば奥行き方向の位置を表すパラメータとして用いる方法が考えられる．空間視情報の欠損に関する特徴には位置や向きの移動，非透視投影が挙げられる．これらは多視点など形態視情報の抽出の過程により副次的にも生じうる．色彩視情報の取り出しには点描，欠損には色数制限，彩度・コントラストの低下が挙げられる．

4.2. パラメータ変換

形態視・空間視・色彩視の視覚パラメータに応じて視覚対象モデルに対して前節までに検討した視覚特徴を付加する変換をパラメータ変換と呼ぶこととする．次にパラメータ変換を行う際の視覚パラメータの大きさやバラ

図3　視覚特徴の度合い．これらはモンドリアンによる木を描いた絵画で，左から右にかけて抽象化の度合いが増している．

ンスの対応，およびパラメータ変換の度合いについて述べる．

4.2.1. 視覚パラメータの大きさ・バランス

パラメータ変換には視覚情報の取り出しの変換および欠損の変換が考えられ，形態視・空間視・色彩視のそれぞれの視覚パラメータの値より各視覚モジュールの取り出しの割合および欠損の割合を決定する必要がある．絵画の特徴分析から，各視覚モジュールには相互作用による影響が考えられるため，各視覚パラメータの個々の大きさだけでなくパラメータ間のバランスも考慮し，取り出し率および欠損率の決定を行うこととする．例えば空間視および色彩視のパラメータ値の関係から，形態視に関わる視覚特徴の取り出し率を相対的に考慮する場合，次式のように算出する．

$$E_f = \frac{c_s \max(v_f - v_s,\ 0) + c_c \max(v_f - v_c,\ 0)}{c_s + c_c} \qquad (2)$$

ここでc_sおよびc_cは視覚特徴の空間視および色彩視への影響を表す係数である．例えば多視点の変換は対象の向きや位置の移動といった空間情報を欠損させるため，本研究では$c_s = 1$，$c_c = 0$として取り出し率を決定する．

4.2.2. パラメータ変換の度合い

視覚特徴の度合いを決定する取り出し率および欠損率は視覚パラメータの大きさにより変化する．ここでは，パラメータ値により制御される変換の度合いについて絵画分析をもとに検討する．図3はモンドリアンによって左から右の順で描かれた一連の絵画である[1]．これは時系列として抽象化の過程が分かる絵画であり，図の左から右にかけて描画対象が抽象化されその度合いが強くなっていく様子をうかがうことができる．例えば，いちばん左の絵画では認識できる樹木が，抽象化の度合いが増すに連れ錯綜する輪郭線によりその形態的な特徴が失われていっている．一方で輪郭線の位置や向き，位置関係といった情報は保存されており，輪郭線を用いた空間情報抽出が行われていっている．

5．パラメータ変換による画像生成手法

本節では，絵画の特徴分析およびパラメータ変換の検討に基づき，視覚対象モデルとして3次元モデルを用いたパラメータ変換と絵画風画像生成の概要，およびそれに実装される各視覚特徴のパラメータ変換の手法について述べる．

5.1. 画像生成システム

本研究で作成した形態視・空間視・色彩視の視覚パラメータの値により決定された変換の度合いに応じ，入力した視覚対象モデルをパラメータ変換し絵画風画像生成を行うシステムの概要を図4に示す．システムへの入力は各視覚パラメータの値，パラメータ変換し画像生成を行うための3次元メッシュデータから成る視覚対象モデル，および適用する視覚特徴の選択である．入力された視覚パラメータは各視覚モジュールの取り出し率および欠損率を算出するために用いる．パラメータ変換および画像生成の処理の流れは，最初に入力された3次元モデルの変換，次に変換された3次元モデルを用いて絵画風レンダリングを行った2次元画像の処理の二つの段階に分けることができる．3次元モデルの変換では，各視覚特徴を面，線，点といった形状の変換，また位置や向きといった空間の変換に分類し，それぞれの分類ごとに系統的に変換処理を行う．このように3次元的に変換された入力モデルを用いて，最終的な画像出力を絵画風画像とするために絵画風レンダリングの処理を行う．本研究では絵画風レンダリングの手法としてMeierの手法[26]を用いている．そして最後に，レンダリングされた2次元画像に対し，色に関するフィルタリングなどの画像処理を行い，画像を出力する．次節より，3次元モデル変換処理である「簡略化による形態特徴抽出」，「多視点」，「輪郭線を用いた空間情報抽出」，「点描」の各視覚特徴のパラメータ変換の手法について述べる．

5.2. 簡略化による形態特徴抽出

3次元メッシュからなる視覚対象モデルの形状を，形態的特徴を保ちながら簡略化するために，本研究ではGarlandらのQEM（Quadric Error Metrics）によるメッシュ簡略化の手法[27]を用いた．この手法では，エッジを縮退しても元形状に影響しにくい，エッジ縮退のコストと呼ばれる値を算出し，それが小さい順にエッジ縮退を反復することにより簡略化形状を得る．よってモデルの形態的な特徴を抽出しながら形状を簡略化する形態特徴抽出の目的に即した手法である．QEMによるメッシュ簡略化の手法では，エッジを縮退させる反復回数により適用モデルのメッシュ簡略化の度合いが決まる．本

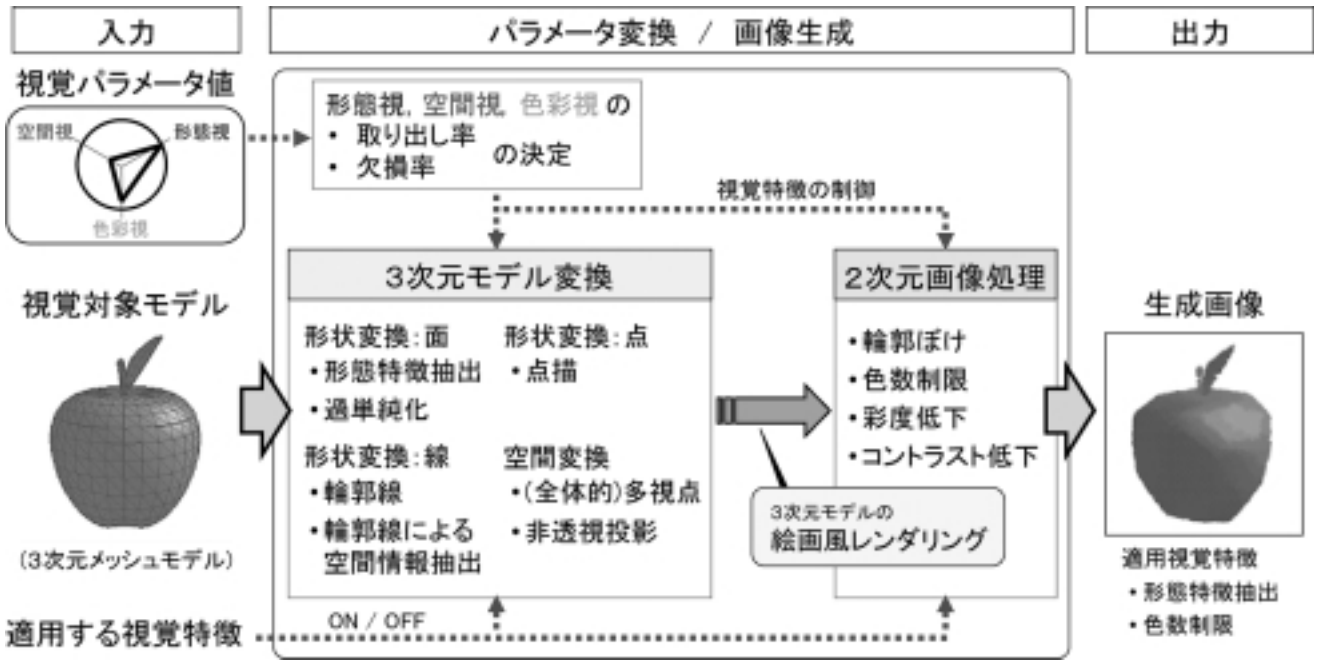


図4　パラメータ変換・画像生成システムの処理の流れ

研究ではこのエッジ縮退の反復回数，すなわち形態特徴抽出簡略化の度合いを形態視パラメータの空間視および色彩視パラメータに対する相対的な取り出し率から決定する．

5.3. 多視点

ここでは，4.1. で述べた視覚対象の全体的多視点による描画表現の提案手法を示す．全体的多視点では，視覚対象モデルの全体を視線の方向である奥行き方向へ圧縮するように移動させることにより平面的な視覚効果を付加する．以下に提案手法の手順を示す（図5）．

Step 1　入力モデル中の各ポリゴンのうち，視点の方向すなわち視線ベクトルの逆方向 $-\mathbf{E}$ の（表として見える）ポリゴンを抽出する．

Step 2　抽出した各ポリゴンの法線 $\mathbf{N}_i$ を求め，平均の法線方向 $\overline{\mathbf{N}}$ を求める．

Step 3　変換の度合いに応じ，度合いが大きいほど $\overline{\mathbf{N}}$ が $-\mathbf{E}$ の方向へとなるようにモデル全体を回転する．

Step 4　カメラ座標系におけるモデルのバウンディングボックスを計算し，変換の度合いが大きいほど，より奥行方向（視線方向）の軸に対してモデルの各頂点を移動させ，バウンディングボックスの奥行方向の中間地点へと移動させる．

前述の通り，多視点の表現は対象の空間的情報の欠損につながるため，本研究では多視点の変換の度合いを形態視パラメータの空間視パラメータに対する相対的な取り出し率から決定する．

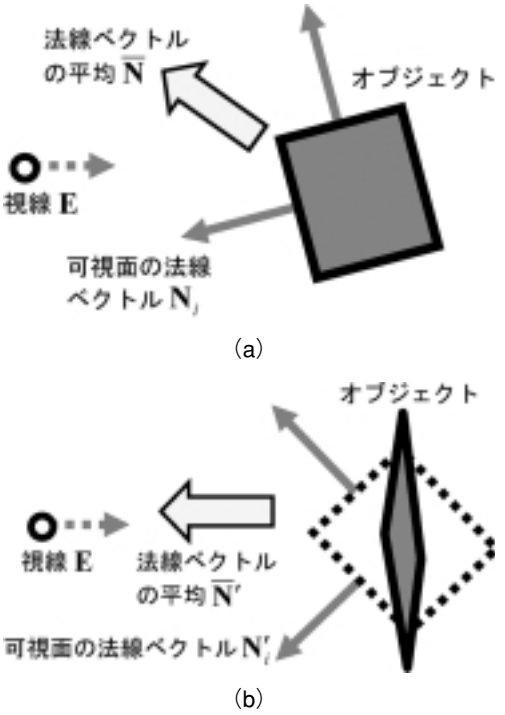


図5　多視点による奥行き方向への圧縮の手法．(a)入力形状．(b)回転，圧縮により得られる形状

5.4. 輪郭線を用いた空間情報抽出

輪郭線による空間情報取り出しでは，図1(d)の絵画に見られるような視覚対象の輪郭線による位置や位置関係といった空間情報を表す．本研究では，3次元モデルから滑らかなストロークに整形された2次元の輪郭線を得る手法として Northrup の手法[28]をベースとし，輪

郭線の長さを伸縮させる変形を行うように拡張した．変換の度合いは空間視パラメータの形態視パラメータに対する相対的な取り出し率から決定を行い，変換の度合いによりストローク化された輪郭線を成す辺のうち輪郭線の端点を含む辺の長さを変化させる．

5.5. 点描

点描の描画は色彩視の取り出しの特徴であり，1つの色を色空間へと分解し，それら色を視覚混色の原理により配置することにより表現する．本研究ではハーフトーン印刷における色再現の手法に基づいて，色をシアン，マゼンタ，イエローの3色へと分解し，それらの密度を変化させ配置することにより点描の描画を行う．

6．結果と考察

本画像生成システムを用いたパラメータ変換による絵画風画像生成例を図6および図7に示す．これらは同一の3次元モデルで構成されたシーンに対し，それぞれ視覚パラメータの大きさやバランス，適用させる視覚特徴を変化させることにより様々な視覚特徴を付加し生成した画像例である．図6について，図6(a)が入力のモデルシーン(左)といずれの視覚特徴も付加されていない出力結果(右)である．それに対し，図6(b)が実際のマティスによる絵画「テーブルの上のリンゴ」(1916)[29]を参考にパラメータ変換により画像を生成した例である．ここでは，形態視のパラメータを保持し，空間視のパラメータを減少させたバランスを適用することによりモデルの全体的な多視点の視覚特徴が付加された画像が生成されている．また，図6(c)は図6(b)とは別の形態視に関する視覚特徴である簡略化による形態特徴抽出を適用した結果の例である．ここでは，形態視のパラメータのみを保持した変換を行い，結果画像の右に示したピカソによる絵画「Still Life with Biscuits」(1924)[30]に見られるような表現を再現している．さらに，図6(d)は色彩視のパラメータのみを保持することによりスーラの絵画「サーカスの客寄せ」(1887－88)[31]に見られるような点描による描画が行われた例である．

図6　パラメータ変換による画像生成例．(a) は入力3次元モデル（左）とP＝(1,1,1)のときの出力結果（右）．(b) から (d) がパラメータ変換による画像生成例（左）とパラメータのバランス（右上段），同様の視覚特徴をもつ実際の絵画（右中段），結果画像に適用されている視覚特徴の種類（右下段）．

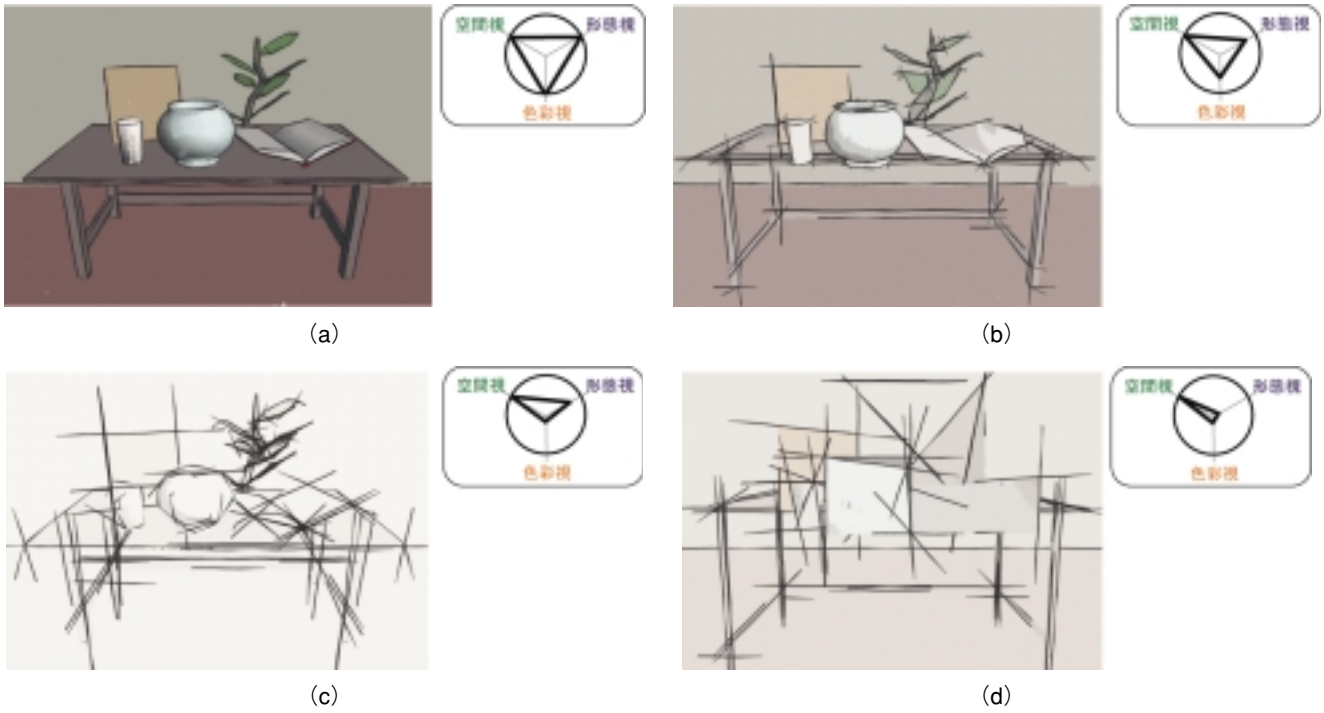


図7　別のモデルシーンを用いた画像生成例．すべての画像において適用視覚特徴は，輪郭線による空間情報抽出，過単純化，色数制限，コントラスト低下である．

別のモデルシーンに対し，視覚パラメータの大きさ・バランスを変化させ，図3のモンドリアンの絵画のような抽象度合いの異なる画像生成を行った例が図7である．ここでは，空間視の取り出し率や欠損率を変化させることにより，それぞれ度合いが異なった輪郭線による空間情報抽出や過単純化による形状変形の視覚特徴が付加された画像生成を行っている．このように，入力する視覚パラメータの大きさやバランスを変化させることにより3次元視覚対象モデルから特徴の異なる画像を生成することができる．しかし，例えば形態特徴抽出と多視点の視覚特徴はともに形態視の取り出しであるなど，入力される形態視・空間視・色彩視の各パラメータのバランスのみでは一部特定の視覚特徴を決定することができないといった課題がある．

7．まとめ

本論文では，視覚と絵画の関係を背景に，形態視・空間視・色彩視の視覚情報処理モジュールをパラメータとして導入した絵画の視覚的特徴分析を行った．この分析に基づき，視覚パラメータにより視覚対象モデルを変換することにより視覚的な特徴が付加された絵画風画像を生成するためのシステムおよび個々の視覚特徴のモデル変換，画像生成手法を示した．その結果，絵画の特徴分析に沿った視覚的特徴をもつ絵画風画像を視覚パラメータの大きさやバランスに応じて視覚対象モデルを変換することにより生成することができた．

今後の課題は，本提案によるパラメータ変換および画像生成の応用方法の検討，パラメータ変換に基づく画家の絵画の描き方を考慮した絵画スタイルのNPR手法の提案，またまだ示されていない絵画などに含まれる視覚特徴の分析や視覚パラメータの追加などの検討，およびそれらの画像生成手法の提案である．

本研究を遂行するにあたり，九州大学大学院芸術工学研究院先導的デジタルコンテンツ創成支援ユニット（ADCDU）から支援をいただいた．

参考文献

［1］ Solso, R. L., *Cognition and the Visual Arts*, MIT Press (1994)

［2］ Iwata, M., “Creativity in Modern Painting and the Cerebral Mechanism of Vision”, Winer, J. A. (ed.), *The Annual of Psychoanalysis XXIV*, The Analytic Press (1996), 113–129

［3］ Zeki, S., *Inner Vision : An Exploration of Art and the Brain*, Oxford University Press (1999)

［4］ Kondo, K., Kimura, F. and Tajima, T., “An Interactive Rendering Technique for 3–D Shapes”, *Proceedings of Eurographics ’85* (1985), 341–352

［5］ Saito，T．and Takahashi，T．，“Comprehensible

Rendering of 3D Shapes", *Proceedings of SIGGRAPH '90* (1990), 197–206

[6] Gooch, B. and Gooch, A., *Non–Photorealistic Rendering*, A K Peters (2001)

[7] Collomosse, J. P. and Hall, P. M., "Cubist Style Rendering from Photographs", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 9*, 4 (2003), 443–453

[8] Takahashi, S., Ohta, N., Nakamura, H., Takeshima, Y. and Fujishiro, I., "Modeling Surperspective Projection of Landscapes for Geographical Guide–Map Generation", *Computer Graphics Forum 21*, 3 (2002), 259–268

[9] Agrawala, M., Zorin, D. and Munzner, T., "Artistic Multiprojection Rendering", *Eurographics Rendering Workshop 2000* (2000), 125–136

[10] Miyazawa, T., Mochizuki, Y., Kondo, K., Sato, H. and Shimada, S., "Exaggerated Projection for Three–Dimensional Models", *Journal of the Institute of Television Engineers of Japan 50*, 10 (1996), 1543–1548

[11] DeCarlo, D. and Santella, A., "Stylization and Abstraction of Photographs", *Proceedings of SIGGRAPH 2002* (2002), 769–776

[12] Luong, T., Sethand, A., Klein, A. and Lawrence, J., "Isoluminant Color Picking for Non–Photorealistic Rendering", *Proceedings of Graphics Interface 2005* (2005), 233–240

[13] Hertzmann, A., "Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes", *Proceedings of SIGGRAPH '98* (1998), 435–460

[14] Grabli, S., Turquin, E., Durand, F. and Sillion, F. X., "Programmable Style for NPR Line Drawing", *Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering 2004* (2004), 33–44

[15] Willats, J. and Durand, F., "Defining pictorial style : Lessons from linguistics and computer graphics." *Axiomathes15*, 2 (2005), 319–351

[16] Marr, D., Vision : *A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, W. H. Freeman and Company (1982)

[17] Iwata, M., "Modular Organization of Visual Thinking", *Behavioural Neurology*, 2 (1989), 153–165

[18] Ungerleider, L. G. and Mishkin, M., "Two Cortical Visual Systems", Ingle, D. J., Goodale, M. A. and Mansfield, R. J. (eds.), *Analysis of Visual Behavior*, MIT Press (1982), 549–586

[19] Iwata, M., *The Seeing Brain and the Drawing Brain – The Neuroscience of Drawing* –, University of Tokyo Press (1997)

[20] モーリス＝ベセ，20世紀の美術，グラフィック社（1979）

[21] 坂崎乙郎，現代世界美術全集14　ピカソ，集英社（1972）

[22] 黒江光彦，現代世界美術全集2　モネ，集英社（1971）

[23] Harrison, C. and Wood, P., *Art in Theory 1900–2000*, Blackwell Pub (1992)

[24] ドナルド・レノルズ，ケンブリッジ西洋美術の流れ6　19世紀の美術，岩波書店（1989）

[25] アドルフ＝マックス＝フォークト，西洋美術全史10　19世紀の美術，グラフィック社（1978）

[26] Meier, B. J., "Painterly Rendering for Animation", *Proceedings of SIGGRAPH '96* (1996), 477–484

[27] Garland, M. and Heckbert, P. S., "Surface Simplification Using Quadric Error Metrics", *Proceedings of SIGGRAPH '97* (1997), 209–216

[28] Northrup, J. D. and Markosian, L., "Artistic Silhouettes:A Hybrid Approach", *Non–Photorealistic Animation and Rendering 2000* (2000), 31–37

[29] ジル・ネレ，アンリ・マティス，タッシェン・ジャパン（2003）

[30] The Cleveland Museum of Art, "Still Life with Biscuits (Pablo Picasso)", http : //www.clevelandart.org/explore/artistwork.asp?creatorid=668&recNo=0&woRecNo=16

[31] 米村典子，スーラ：点描を超えて，六耀社（2002）

●2009年 4 月30日受付

よねやま　たかし
九州大学大学院芸術工学府博士後期課程，九州大学先導的デジタルコンテンツ創成支援ユニット所属
E–mail : yoneyama@gsd.design.kyushu–u.ac.jp

げんだ　えつお
九州大学大学院芸術工学研究院教授
E–mail : genda@design.kyushu–u.ac.jp

こんどう　くにお
東京工科大学メディア学部教授，JST : CREST
E–mail : kondo@media.teu.ac.jp

Painterly Renderings Using a Synthesis of Styles Based on Visual Perception

Takashi Yoneyama*
Graduate School of Design, Kyushu University
Etsuo Genda†
Faculty of Design, Kyushu University
Kunio Kondo‡
School of Media Science, Tokyo University of Technology

Abstract

In this paper, we propose a painterly image generation system which generates images based on input 3-dimensional models, and which uses a systematization of painting styles in modern paintings based on visual perception. We present methods for parametric transformation of each painting style by controlling parameters based on vision in our proposed system. In this research, we systematized painting styles used in modern paintings, such as Impressionism, Cubism, and abstract paintings, by introducing parameters that include form vision, space vision and color vision, all of which are associated with visual information processing. Based on this, our proposed image generation system determines the painting styles to be applied and their levels of abstraction according to the amount and balance of visual parameters, and then performs parametric transformation from an input 3D model. Finally the system generates a painterly image in which the respective features related to form vision, space vision and color vision have been emphasized, diminished or omitted.

CR Categories: I.3.3 [Computer Graphics]: Picture/Image Generation; I.3.7 [Computer Graphics]: Three-Dimensional Graphics and Realism—Color, shading, shadowing, and texture

Keywords: non-photorealistic rendering, painting, vision

1 Introduction

Non-photorealistic rendering (NPR) in computer graphics (CG) is a widely researched field (as contrasted with CG techniques that focus on photorealism) and various representation techniques have been proposed [Kondo and Tajima 1985; Saito and Takahashi 1990; Gooch and Gooch 2001]. One purpose of NPR is to achieve an image with the effect of an actual depiction technique that brings an observer closer to understanding the contemplated information. Unfortunately, most conventional NPR techniques are hard-coded in self-contained graphics systems. Additionally, traditional NPR filters allow only a semblance of an effect for an image, and do not allow full expression of the information that a designer wants to convey from the object. Against this background, to accomplish an effective impression and accurate communication, a method of NPR is needed that allows depictive elements in paintings to be handled collectively rather than individually, so that the result is efficient and effective NPR sorting and controlling techniques.

The main contributions of this paper are (1) to propose an integrated non-photorealistic image generation system based on systematization of painting styles by using visual parameters, and (2) to present methods for painterly image generation for each painting style in accordance with specifications for the proposed system, and also to present examples of images generated with these painting styles.

In the establishment of a painterly image generation system, our research systematizes painting styles in post 18th-century Western paintings based on visual perception. In this systematization, we defined parameter sets (called visual parameters) as they pertain to visual information processing. These sets include form vision, space vision and color vision. Our proposed image generation system determines the painting styles to be applied and their levels of abstraction according to the amount and the balance of visual parameters, and then performs parametric transformation from an input 3D model. Finally the system generates a painterly image in which the respective features related to form vision, space vision and color vision have been emphasized, diminished or omitted.

2 Background and Related Work

2.1 Visual System and Paintings

Before the emergence of Modernism, Western paintings were composed with objects placed within the painter-centered coordinate system and depicted as seen from painter's perspective. However, following the introduction of Modernism, paintings that did not depend on these standard methods began to appear. Now we commonly see these new approaches to expression, including Impressionism, Cubism, and other abstract painting methods. As one aspect of this change in painting styles, it has been pointed out that they have a close relation to the sequences in the human process of visual perception [Solso 1994; Iwata 1996; Zeki 2000].

In the study of cognitive science, it is believed that the features of visual objects, including form, color, motion and depth, are extracted by independent functional units in the brain. Each feature of visual information is then processed in parallel by each different functional unit. Each of these independent information processing systems is called a module, and an information processing structure which consists of multiple modules is called a modular structure [Marr 1982; Iwata 1989; Zeki 2000]. Furthermore, visual information processed in the stage of early vision is carried into higher-order association areas. The pathway known as the dorsal stream, which stretches from the occipital lobe forward to the parietal lobe, provides visual processing for motion vision and spatial vision. Meanwhile, the ventral stream, the pathway that stretches to the medial temporal lobe, provides visual processing for color vision and form vision as modular structures [Ungerleider and Mishkin 1982; Iwata 1989]. In this connection, the modularity of visual information processing suggests a close association with the techniques of modern paintings. There are paintings following the advent of Modernism that represent the visual world as though a specific module had been extracted or omitted on purpose [Iwata 1997].

*e-mail:yoneyama@gsd.design.kyushu-u.ac.jp
†e-mail:genda@design.kyushu-u.ac.jp
‡e-mail:kondo@media.teu.ac.jp

Copyright © 2009 by the Association for Computing Machinery, Inc.
Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, to republish, to post on servers, or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions Dept, ACM Inc., fax +1 (212) 869-0481 or e-mail permissions@acm.org.
VRCAI 2009, Yokohama, Japan, December 14 – 15, 2009.
© 2009 ACM 978-1-60558-912-1/09/0012 $10.00

2.2 NPR Techniques and Painting Styles

NPR techniques achieve the effective communication of visual information. These techniques make the visual features of objects understandable and acceptable to an observer. With a 2D image or 3D geometric model as an input, an image that includes the desired expressions is created by manipulating features such as shape, color, spatial relations and motion. For example, for form manipulation, there are NPR methods for deformation and exaggeration of shape [Miyazawa et al. 1996; Takahashi et al. 2002], and for rendering a Cubist style that deals with expression of an object's form [Collomosse and Hall 2003]. Also, for color manipulation, there is a method for the expression of pointillism [Haeberli 1990], which considers the structural components of colors.

There are many works that deal with a particular visual feature other than those mentioned above. It is thought that systematic characterization and parameterization that absorb the differences of individual features in painting styles can facilitate specification of desired NPR styles, help control the level of abstraction and help to create NPR images more flexibly and effectively. For example, Grabli et al. [2004]; and Kalnins et al. [2002] suggested formulation and parameterization for the control of drawing strokes. In this paper, we propose a painterly image generation system with a systematic classification of painting styles based on visual information processing modules including form, space and color.

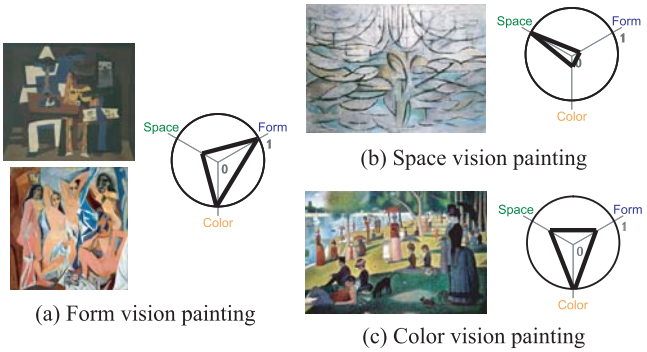
3 Classification of Painting Styles based on Visual Modules

3.1 Analysis of Paintings with Visual Parameters

As we analyze the styles included in paintings, we will introduce parameters for each visual module: form vision, space vision and color vision.

$$\mathbf{P} = (v_f, v_s, v_c) \tag{1}$$

Here, each parameter v_f, v_s and v_c can be run $[0, 1]$. A value closer to 1 indicates conservation or extraction of visual information and a value closer to 0 indicates loss of visual information. Using these parameters, we are able to envision a 3-dimensional visual parameter space with a particular painting style. We will now present an analysis of painting styles using these parameters.



(a) Form vision painting (b) Space vision painting (c) Color vision painting

Figure 1: *Balance between paintings and visual parameters*

Cubism, including *the Demoiselles d'Avignon* by Picasso (1907), shown in the bottom left in Figure 1(a) [Zeki 2000], synthesized the impressions gained by seeing visual objects with multiple viewpoints merged into a single image. Additionally, in *Three Musicians* by Picasso (1921), shown in the upper left in Figure 1(a) [Iwata 1997], an expression has been created by simplifying the objects. At the same time, by manipulating the features of form, and due to the change of spatial features of visual objects (including the change in their positions and directions caused by the deformation), there is a loss of spatial information. In other words, these paintings can be considered to be enhanced form vision paintings because of the imbalance in visual parameters.

In contrast to these paintings, in *Apple Tree in Flower* by Mondrian (1912), shown in Figure 1(b) [Iwata 1997], it is hard to discern the object's shape because the intricate lines and objects are colored with suppressed saturation and contrast. Instead, we can clearly see the orientation and spatial relationship of the lines. Thus, these paintings have only spatial information, and have reduced form and color information.

Impressionist artists used techniques such as divisionism and pointillism. Seurat's *A Sunday Afternoon on the Island of La Grande Jatte* (1884-86), shown in Figure 1(c) [Reynolds 1985], is a good example of the pointillist painting technique. Pointillism is not expressed with a single color. Instead, the colors are juxtaposed on the canvas so that they are blended in the observer's brain. This effect, which is aimed at a mixture of visions, can be considered an extraction of the color feature.

As seen above, with the introduction of the parameters of form vision, space vision and color vision, as based on the process of visual perception, we can systematically describe individual styles in modern paintings and their levels of abstraction by quantifying the amount and balance of these parameters. Thus, we can apply these visual parameters for use in controlling painting styles for painterly image generation.

3.2 Classification of Painting Styles

Based on our analysis of paintings, Figure 2 shows the enumerated painting styles related to each visual module (form vision, space vision and color vision) which is dealt with in our image generation system.

The styles related to extraction of form vision information include *contour*, *feature extraction* and *multi-viewpoint*. The addition of silhouette outlines (a simple line drawing) is a basic visual effect that can help the observer to perceive an object's form. Feature extraction involves an expression that is deformed in order to extract characteristic information regarding the form. A multi-viewpoint painting is one in which the artist fragments visual objects into multiple viewpoints and then reconstructs them together on the canvas. One composition method involves fragmenting the forms of an object's parts, as in the Cubism school of painting. Another involves varying the viewpoint with each whole object. The features related to loss of form vision include *oversimplification* and *blurry forms*. For abstract expressions focusing on *extraction of spatial information*, there are expressions that represent position, orientation, and positional relationships by using an object's contour as shown in Figure 1(b). In contrast, the features of loss of spatial information include *displacement of positions and directions*. This is likely caused collaterally by the process of extraction of form information, as with multi-viewpoint information. As said before, *pointillism* is a painting technique that extracts color information. On the other hand, the *limited color*, *desaturation* and *contrast reduction* result in the loss of color information.

	Extraction	Loss
Form Vision	Contour	Oversimplification
	Feature Extraction	Blurry Form
	Multi-Viewpoint	
Space Vision	Spacial Informaion Extraction	Displacement of Positions and Directions
Color Vision	Pointillism	Limited Color
		Desaturation
		Contrast Reduction

Figure 2: *Classification of painting styles related to form vision, space vision and color vision*

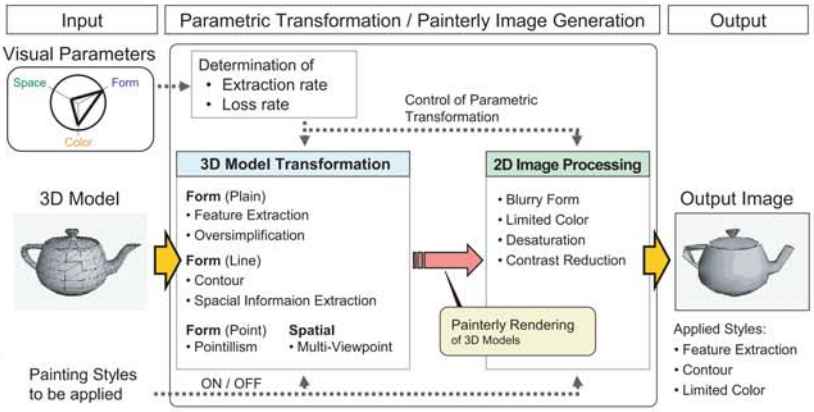


Figure 3: *Overview of the image generation system*

4 Parametric Image Generation System

In this section, based on an analysis of painting styles using visual parameters, we describe an overview of a parametric transformation and painterly image generation system using 3D models. Moreover we present methods for the parametric transformation of each painting style.

4.1 Image Generation System

Figure 3 shows an overview of our system, which transforms input 3D models according to painting style. The painting style itself is determined by the visual parameters of form vision, space vision and color vision, which ultimately determine the painterly image that is generated. For inputs to the system, we need visual parameters, models of the object to be transformed (consisting of 3D polygonal meshes), and settings for the painting styles to be applied.

The visual parameters entered into the system are used to calculate the extraction rate and loss rate of each of the visual modules. As said earlier concerning the analysis of paintings, each visual module is affected by this interaction, and so the extraction and loss rates must be determined by considering not only the values of individual visual parameters but also the balance between the parameters. For example, in comparing the values of space and color vision parameters, we calculated the extraction rate of the painting style related to form vision E_f as follows:

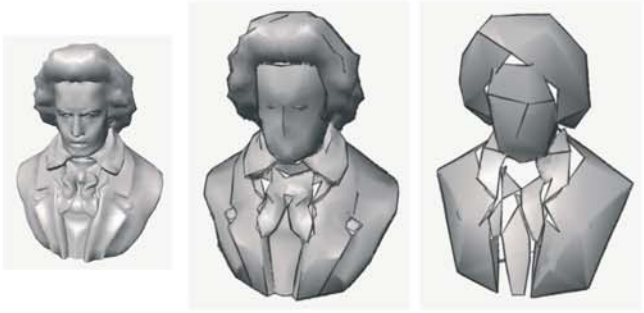
$$E_f = \frac{c_s \max(v_f - v_s, 0) + c_c \max(v_f - v_c, 0)}{c_s + c_c} \qquad (2)$$

Here, c_s and c_c are coefficients that indicate the effects on space vision and color vision. For example, a multi-viewpoint expression reduces spatial information because of the change in the object's positions and directions. Thus, we can determine the extraction rate using $c_s = 1$, $c_c = 0$.

In our image generation system, the process used to add painting styles is carried out in two separate stages of transformation—that of input 3D models and that of 2D image processing using a rendered image of transformed 3D models. Here, the transformation of 3D models includes form transformation, such as plane, line and point, and spatial transformation, and the 2D image processing includes control of colors, as by filtering. To generate painterly images as final outputs, the system performs painterly rendering during the rendering of transformed 3D models. We adopted the method of Meier [1996] for the painterly rendering. In the next section, we will describe proposed methods for the parametric transformation needed to add painting styles, including feature extraction through simplification of form, multi-viewpoint, oversimplification, contour and spatial information extraction using contours, and pointillism, which are categorized for the transformation of 3D models in the system.

4.2 Feature Extraction through Simplification of Form

In this section, we present a method for feature extraction accomplished by simplifying models of objects that consist of polygonal meshes representing their feature of form on our proposed system. To achieve this simplification, we adopted a method for surface simplification using quadric error metrics (QEM), as proposed by Garland and Heckbert [1997]. Their method introduced the cost of edge contractions, which indicate the effects of collapsing edges on the form of the original geometry M. Using this cost, a simplified model M' is obtained by the iterative collapses of the edges. This method is well-suited to our purpose of feature extraction from form. The method of surface simplification using QEM allows us to control the intensity of simplification according to the number of iterations. Thus, our system calculates the relative value of the form vision parameter $E_f = v_f - v_s$ and adds the style of feature extraction through simplification of form when $E_f > 0$. At this time, the number of iterations of edge collapse can be determined according to the value of E_f, and we can adjust the degree of the style by using E_f. Figure 4 shows some examples of images created by varying E_f with our system, in which the style of feature extraction through simplification of form appears.



(a) Input model (b) $E_f = 0.1$ (c) $E_f = 0.75$

Figure 4: *Images generated using feature extraction through simplification of form*

4.3 Multi-Viewpoint

Here we present a method for expression using a multi-viewpoint approach, by compressing the overall model. This style is a planar expression that compresses the overall model in the direction of the viewer's eyes (as shown in the top painting in Figure 1(a)). Figure 5 shows our proposed method. The algorithm proceeds as follows:

Step1 Find polygons that face toward the point of view (inverse direction of eye $-\mathbf{E}$).

Step2 Calculate average normal vector of polygons $\overline{\mathbf{N}}$.

Step3 Rotate the overall model until $\overline{\mathbf{N}}$ faces the direction of $-\mathbf{E}$ according to the degree of transformation.

Step4 Compress the model in the direction of the eyes in accordance with the degree.

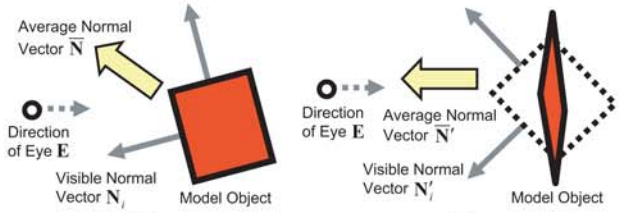
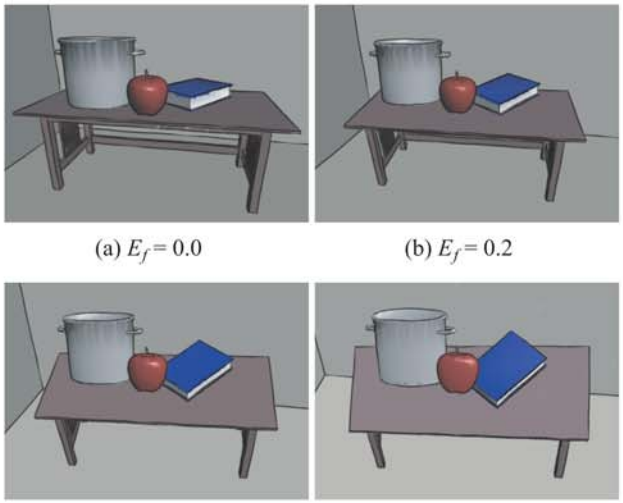


Figure 5: *Proposed method for multi-viewpoint: (a) input model; (b) transformed model.*

The expression of multi-viewpoint brings about loss of spatial information. Thus, our system determines the intensity of the transformation by using the relative extraction rate of the form parameter $E_f = \max(v_f - v_s)$. Figure 6 shows example images accomplished by adjusting E_f using our system, in which a multi-viewpoint style appears.



(a) $E_f = 0.0$ (b) $E_f = 0.2$

(c) $E_f = 0.5$ (d) $E_f = 0.8$

Figure 6: *Images generated with multi-viewpoint*

4.4 Oversimplification

Oversimplification is classified as a loss of form vision, and is an expression that deforms an input model into a hard-to-perceive or unperceivable image. Here, we achieve this expression by gradually deforming the input model into a quadrilateral form, while simplifying it with the QEM mesh simplification described above. We explain here how to oversimplify the input model using Figure 7.

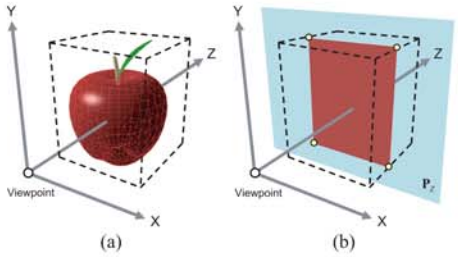


Figure 7: *Proposed method for oversimplification: (a) input model and its bounding box in the camera coordinate system; (b) oversimplified model ($L_f = 1$).*

We first must calculate a bounding box for the input model in the camera coordinate system (Figure 7(a)). Then, we displace each vertex of the input model towards the nearest point that constitutes the bounding box in the X and Y directions in the camera coordinate system, and also towards the median center of the bounding box in the Z direction (intersection of the bounding box with plane $\mathbf{P}_z$ as shown in Figure 7(b)) with an increasing degree of transformation. This manipulation deforms the input model to create a hard-to-perceive form of increasing degrees, and the input model ultimately turns into a quadrilateral form. In our system, we determine the intensity of the transformation of oversimplification by using the relative loss rate of the form vision parameter $L_f = \max(v_s - v_f)$. Figure 8 shows examples of images of oversimplification accomplished by adjusting L_f with our system.

(a) $L_f = 0.0$ (b) $L_f = 0.5$ (c) $L_f = 0.9$

Figure 8: *Images generated with oversimplification*

4.5 Contours and Spatial Information Extraction Using Contours

Spatial information extraction using a contour is one way to define an expression that extracts spatial information (such as the position and direction of objects to be depicted) by using an object's contour, as shown in Figure 1(b). We adopted the method of Northrup and Markosian [2000] to obtain a projected stylized contour from a 3D model. Using their method, our system generates vector outlines and performs extensions or contractions of both end points of the contour. We will now explain how to perform extensions of contour strokes in Figure 9.

We must first calculate the average angle $\overline{\theta}$ of the angles formed by adjacent paths that constitute contour strokes, and also calculate the average length of the paths $\overline{l}$ (Figure 9(a)). Given that $\mathbf{P}_i$ is an end point of a stroke, we decide on the next stroke point $\mathbf{P}_{i+1}$ that is formed by extensions as follows (Figure 9(b)):

$$\mathbf{P}_{i+1} = \overline{l}\mathbf{R}(\pi - \overline{\theta})\frac{\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_{i-1}}{|\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_{i-1}|} + \mathbf{P}_i \qquad (3)$$

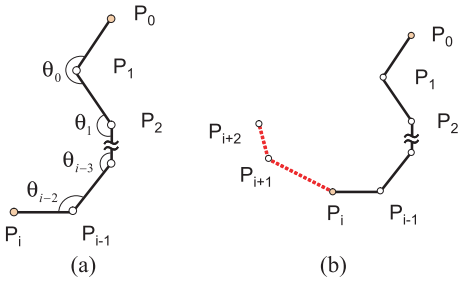
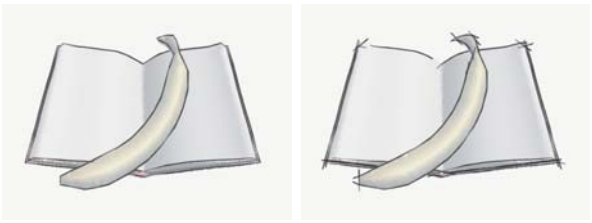
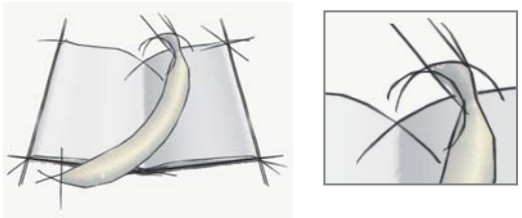


Figure 9: *Proposed method for extensions of contour stroke: (a) compute the angle formed by adjacent paths and average length of paths; (b) extension of stroke (the paths illustrated by the dotted lines).*

Note that $\mathbf{R}(\theta)$ is a rotation matrix of rotating angle θ. With $\mathbf{P}_{i+1}$ being calculated this way, we then add stroke points until the total length of added paths reaches the setting value of $l_{\max}$. In our system, we determine $l_{\max}$ by using the relative extraction rate of the spatial parameter $E_s = \max(v_s - v_f)$ so that we can adjust the degree of extensions. Figure 10 shows examples of images with spatial information extraction using contour, accomplished by varying E_s. As shown in Figure 10(c), our system is able to perform extensions of contour along a bended line.



(a) $E_s = 0.0$ (b) $E_s = 0.2$



(c) $E_s = 0.8$ and enlarged image of extension of contour (right)

Figure 10: *Images generated with spatial information extraction using contour*

4.6 Pointillism

Pointillism describes the extraction of color information. With this approach, we resolve a single color into color spacing and dotting based on the principle of optical blending. Our system performs the expression of pointillism based on a method of halftone color reproduction that resolves a color used for shading into cyan, magenta and yellow, and which creates dotting on the screen by varying the density applied. In our system, we extend Meier's method for painterly rendering and use the particles to perform painterly rendering as the characteristic dots of pointillism. In other words, we first calculate the densities of the three primary colors in order to reproduce the color to be painted. Then, once the particles have been rendered, we randomly choose brush colors from the three primary colors and make dots using the chosen color according to its density. At this point, when the relative extraction rate of the color parameter $E_c = \max(v_c - v_f)$ is closer to 0, the particles are rendered by using colors closer to the original. In contrast, when E_c is closer to 1, the particles are rendered by using colors closer to the three primary colors, in sparser density, and in larger sizes. Figure 11 shows examples of images generated with pointillism while adjusting E_c.

5 Results and Discussion

Examples of parametric image generation that includes individual painting styles are shown in Figure 4, Figure 6, Figure 8, Figure 10 and Figure 11, which correspond to the styles of feature extraction achieved through simplification of form, multi-viewpoint, oversimplification, spatial information extraction using a contour and pointillism, in that order. By controlling the amount and the balance of the visual parameters of form vision, space vision and color vision, our system allows the application of unified control of painting styles to an output image.

Figure 12 shows the results of image generation where various painting styles have been appended by varying the balance of visual parameters without alteration of the models. Models input with pure results and no additional painting styles are shown in Figure 12(a). Alternatively, the resulting image shown in Figure 12(b) is an example of parametric transformation that is based on an actual painting, Matisse's *Bowl of Apples on a Table* (1916) [Neret 1999]. Here, by maintaining the parameter of form vision and decreasing the parameter of space vision, the image was appended with the multi-viewpoint style and with contour. Further, by decreasing the parameter of color vision, the image was appended with limited color. Likewise, the image shown in Figure 12(c) is the result of the transformation of pointillism and oversimplification as seen in Seurat's *The Side Show* (1888) [Yonemura 2002], shown next to the result, which was created by maintaining only the parameter of color vision. As a result, our system was able to generate images with different painting styles by controlling the amount and the balance of the input visual parameters.

6 Conclusions

In this paper, we presented a painterly image generation system based on a classification of painting styles in modern paintings using the visual parameters of form vision, space vision and color vision. As a result, we considered a systematic classification of painting styles based on the function of visual information processing, and we then presented painterly image generation achieving the parametric transformation of input 3D models. This was accomplished by the determination of painting styles to be applied and their applied degrees, along with control of the visual parameters.

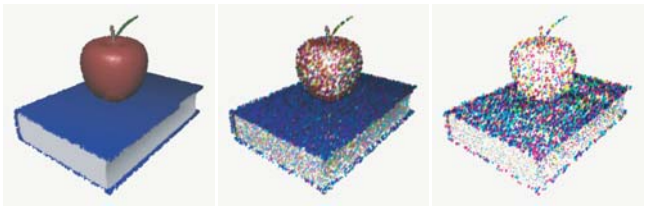
Our future work will consider painting styles (and addition of visual parameters to control their styles) that have not yet been considered in this system, and we will propose methods of parametric image generation for these new styles.

Acknowledgements

This research was supported by Advanced Digital Content Design Unit (ADCDU), Faculty of Design, Kyushu University.

References

COLLOMOSSE, J. P., AND HALL, P. M. 2003. Cubist style rendering from photographs. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 9*, 4, 443–453.



(a) $E_c = 0.0$ (b) $E_c = 0.5$ (c) $E_c = 0.7$

Figure 11: *Images generated with pointillism*

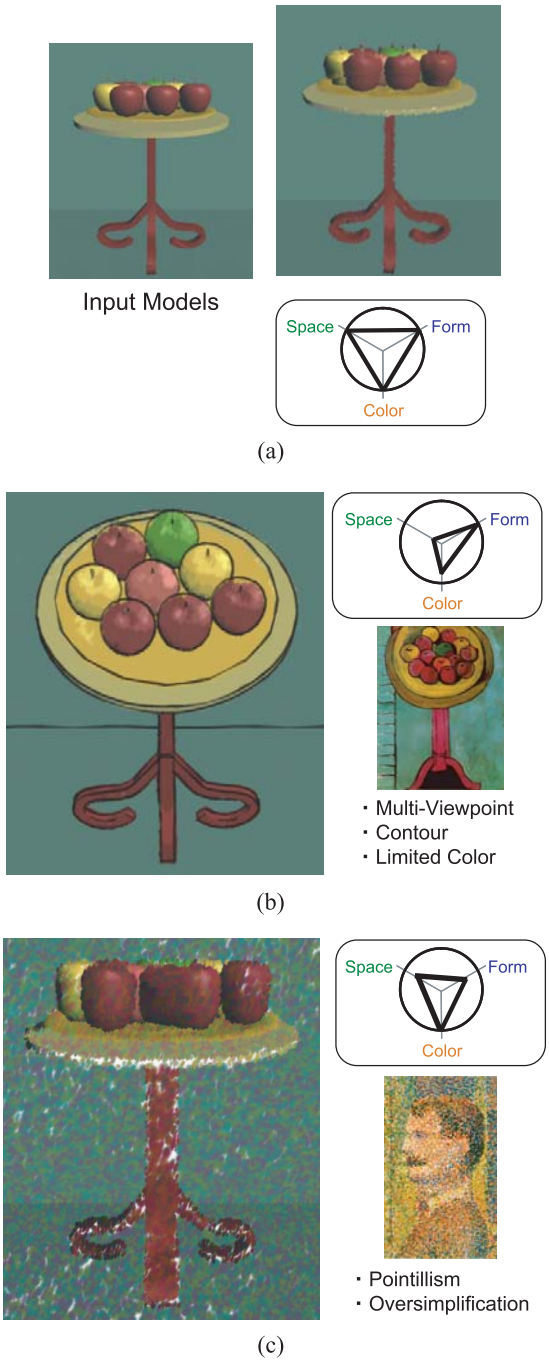


Figure 12: *Images generated with several painting styles*

GARLAND, M., AND HECKBERT, P. S. 1997. Surface simplification using quadric error metrics. In *Proceedings of SIGGRAPH '97*, 209–216.

GOOCH, B., AND GOOCH, A. 2001. *Non-Photorealistic Rendering*. A K Peters.

GRABLI, S., TURQUIN, E., DURAND, F., AND SILLION, F. X. 2004. Programmable style for npr line drawing. In *Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering 2004*, 33–44.

HAEBERLI, P. 1990. Paint by numbers: abstract image representations. In *Proceedings of SIGGRAPH '90*, 207–214.

IWATA, M. 1989. Modular organization of visual thinking. *Behavioural Neurology*, 2, 153–165.

IWATA, M. 1996. Creativity in modern painting and the cerebral mechanism of vision. In *The Annual of Psychoanalysis*, J. A. Winer, Ed., vol. XXIV. The Analytic Press, 113–129.

IWATA, M. 1997. *The Seeing Brain and the Drawing Brain - The Neuroscience of Drawing* -. University of Tokyo Press.

KALNINS, R. D., MARKOSIAN, L., MEIER, B. J., KOWALSKI, M. A., AND LEE, J. C. 2002. Wysiwyg npr: Drawing strokes directly on 3d models. In *Proceedings of SIGGRAPH 2002*, 755–762.

KONDO, K., AND TAJIMA, F. 1985. An interactive rendering technique for 3-d shapes. In *Proceedings of Eurographics '85*, 341–352.

MARR, D. 1982. *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. W. H. Freeman and Company.

MEIER, B. J. 1996. Painterly rendering for animation. In *Proceedings of SIGGRAPH '96*, 477–484.

MIYAZAWA, T., MOCHIZUKI, Y., KONDO, K., SATO, H., AND SHIMADA, S. 1996. Exaggerated projection for three-dimensional models. *Journal of the Institute of Television Engineers of Japan 50*, 10, 1543–1548.

NERET, G. 1999. *Henri Matisse*. Taschen America Llc.

NORTHRUP, J. D., AND MARKOSIAN, L. 2000. Artistic silhouettes: A hybrid approach. In *Proceedings of Non-Photorealistic Animation and Rendering 2000*, 31–37.

REYNOLDS, D. 1985. *Cambridge Introduction to the History of Art: The Nineteenth Century*. Cambridge University Press.

SAITO, T., AND TAKAHASHI, T. 1990. Comprehensible rendering of 3d shapes. In *Proceedings of SIGGRAPH '90*, 197–206.

SOLSO, R. L. 1994. *Cognition and the Visual Arts*. MIT Press.

TAKAHASHI, S., OHTA, N., NAKAMURA, H., TAKESHIMA, Y., AND FUJISHIRO, I. 2002. Modeling surperspective projection of landscapes for geographical guide-map generation. *Computer Graphics Forum 21*, 3, 259–268.

UNGERLEIDER, L. G., AND MISHKIN, M. 1982. Two cortical visual systems. In *Analysis of Visual Behavior*, D. J. Ingle, M. A. Goodale, and R. J. Mansfield, Eds. MIT Press, 549–586.

YONEMURA, N. 2002. *Seurat*. Rikuyosha.

ZEKI, S. 2000. *Inner Vision: An Exploration of Art and the Brain*. Oxford University Press.

522 曲面の形状感の表現

東京電機大学 穂坂 衛　東京大学 木村文彦
名古屋大学 田島太郎　○名古屋大学 近藤邦雄

1. まえがき

本文の目的は，曲面の感じを表わすレンダリングに関し，1）立体イラスト図の線画的手法のレンダリングルールをまとめ，2）特別な器具を使わない立体視の見方でコンピュータグラフィクスを用いて図を作成し，3）レンダリングルール・立体視法・コンピュータグラフィクスの効果を評価することである。

この研究の目標は，計算機を援用するCAD／CAMに関し，1）設計者がものの設計にあたり，与えられた感じを満足するものを設計できるようにすること。2）製作者がものの作成にあたり，その形状を容易に理解できるようにすること。3）このようなことを可能にするシステムを作成することである。

さて，曲面形状を表現する手段は，線画的方法（drawing）と面画的方法（Painting）に大別され，それぞれ特徴がある。本文では前者をあつかうことにする。

筆者らは，まずアートの分野に蓄積されている線図手法を集収し，その分類・整理をはかり，一方，実物の立体写真を撮影し，それを手がかりに立体イラスト図を作成した。そして，本物の感じを出す線画手法を追求し，～するとよい，～しなければいけないなどの改善点を見い出し，それらをまとめて文章化しルール作りを行なった。

次に，コンピュータグラフィクスを用いて，人手で作成したイラスト図とほぼ同じものができるかどうかを検討した。人手でかく微妙な線のかわりに，機械でかく正確な線を用い，作成したルールにしたがってイラスト図を機械で作成した。つづいて，人手で作成した立体イラスト図と同じものができるかを検討した。人手でかくときは立体写真をもとに作成しなければできないが，コンピュータグラフィクスを利用すれば実物が存在しない設計段階でも作成できる。そして立体イラスト図をブラウン管上に表示できるようにし，立体視しながら，特徴線を加えルールの評価を行なった。

2. レンダリングのルール

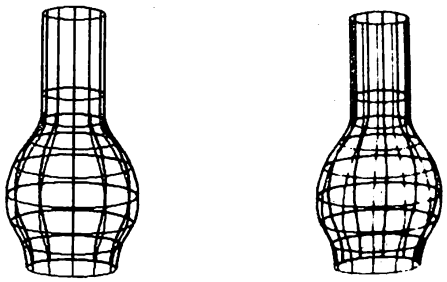


図1

図1は回転面をメッシュ状の線を入れることによってあらわそうとした立体視図である。これはコンピュータグラフィクスを用いて作成したものである。これを立体視すると曲面がどのようになっているかをよく理解することができる。図2は同じ曲面を特徴線を入れることによってあらわそうとしたイラスト図である。これを立体視すると面のふくらみをすぐ感じとることができる。

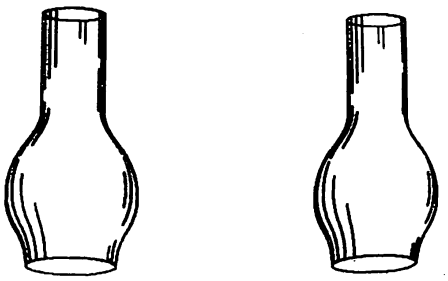


図2

図1では曲面を規則的な平面で切ってその切断線をかいており，図2では曲面上にその特徴線を示している。これらの線はいずれも面のふくらみを示す手がかりとして面上に示されたもので，実物の曲面上にあるわけではない。この線を仮想線と呼ぶ。図1が機械的であるのに対し，図2は心理的なものといえる。人に対して曲面のふくらみを感じさせるには心理的な仮想線のほうが適している。

曲面の感じを出す手がかりをもっと具体的にレンダリングルールとしてまとめてみる。

1）外形線を連続的に示し，近いところは太くこく，遠くにいくにしたがって細くうすくかくとよい。

2）面の明暗を示すには暗いところは太い線を密に，明るいところでは細く疎にするとよい。

3）内部が中空である曲面は，内部にも外部と同じような仮想線を入れるとよい。

4）外形線と仮想線は区別できるようにかくとよい。一般に外形線は太くこく続けてかき，仮想線は細くみじかく，きれぎれにかくとよい

5）光源はみる人の後方・なるべく後方に設定するとよい。

6）互いに交差するような仮想線を入れると面上に模様があるように見えるので注意する。

7）回転面のように規則性がある曲面では，規則性がわかるように一部分だけかくとよい。

8）母線がゆるやかな曲線のときは母線にそって仮想線をかくとよい。(円柱では直線となる)

9）回転面の端部は円周線を明示するとよい。このとき，だ円の短径は少し大きめにかく。

10）回転面は，外形線・母線・円周線で構成するとよい。このとき，外形線は必ずかき，母線と円周線はどちらか重点をおいてかくとよい。

11）回転面の母線が小さなアールで急に向きをかえる所では，円周線をかくとよい。

12）細長い棒状の曲面を表わすには，長手方向に仮想線を入れるとよい。

13）曲面が小さなアールで大きく向きをかえるところでは，その境界付近に仮想線を入れるとよい。

14）明らかに直線面素をもたない曲面に，直線的な仮想線をかいてはいけない。

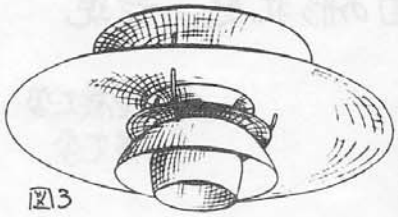


図3

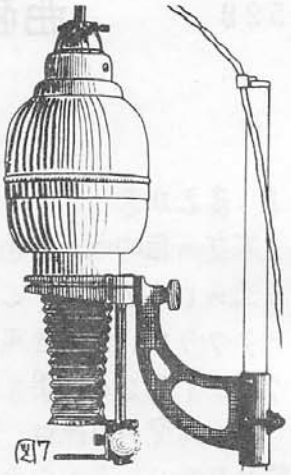


図7

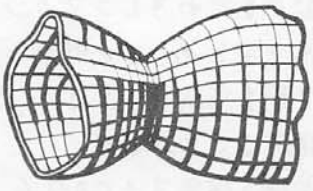


図4

図5

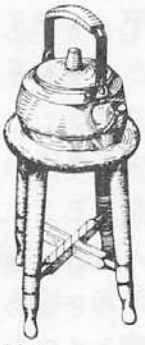


図6

図8

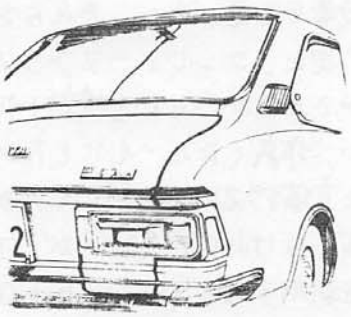


図9

3. イラスト図の作成

図10はランプの立体写真で，これをもとに人がかいたものを図11に示す。このような線画的イラスト図をかくため，人はレンダリングルールをよく理解し，これをいろんな曲面で構成されている機型に適用し，実際に紙の上に線をかかなくてはいけない。このとき人は，立体写真から外形線をうつしとり，仮想線を加えることになる。ランプの感じを出すため人は力を入れたりぬいたり，早くしたりおそくしたりする。もし機械に人がかいているようなイラスト図をそのままかかせようとすれば，このような線をかく機能をもっていなければいけない。はじめはこまかく人が提示し機械にかかせる必要があるが，やがてサブルーチン化して，人はおおまかな指示を与えることによってイラスト図がかけるようになると思われる。このような考えにもとずいて，YHP2647A グラフィックターミナルを用いて実験を行なった。

図10

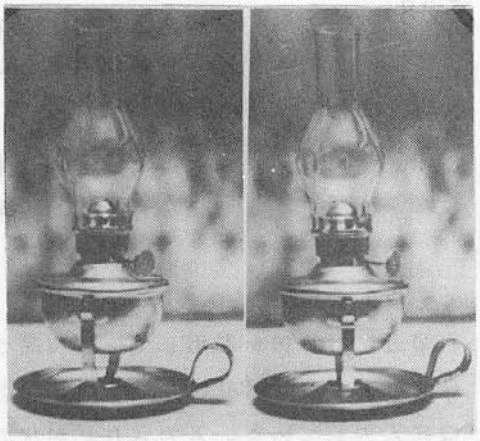


図11はランプのイラスト図である。外形線を遠近・明暗に応じて変え，さらに太さを変えて，仮想線を追加したものである。

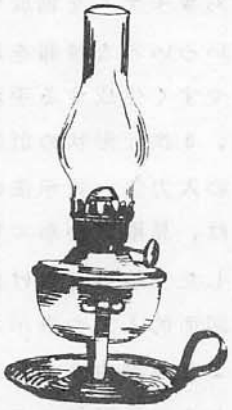


図11

図12

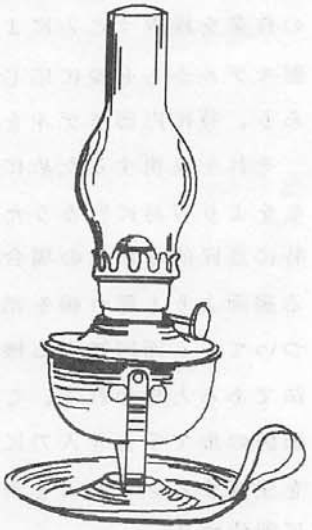


図13はランプケースの交差型立体視図である。外形線に，2本の円周線を加えたものである。外形線だけのものに比べて，立体視すると，曲面全体の丸みが感じられる。

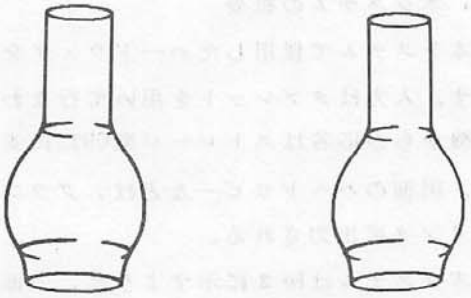


図13

4. おわりに

以上の研究によって，

1）レンダリングルールは定性的なものであるが人にとって有効であること。

2）ルールの適用にあたっては個々の曲面に適応して定量的に指示する必要があり，会話的なコンピュータグラフィクスが有効であること。

3）立体イラスト図の評価をすぐ行なうために，容易に立体感が得られる肉眼立体視法が有効であることが確められた。

本研究は昭和55/56年度文部省科学研究費の補助を受けたことを記して感謝の意を表する。

参考文献

穂坂木村　機械設計自動化のための幾何モデル生成処理システム　機論　44巻　378号

Interactive Rendering System for Line Drawings by Dot and Line Shading

Akira KANBARA, Kunio KONDO, Hisashi SATO, and Shizuo SHIMADA

Department of Information and Computer Sciences
SAITAMA University
255 Shimo-okubo Urawa Saitama 338 Japan
e-mail:{kanbara,kondo,sato,shimada}@ke.ics.saitama-u.ac.jp

ABSTRACT

For emphasizing spatial shapes in technical illustrations, three shading methods are proposed against given lines and surfaces by the aid of an interactive computer graphics. These methods are carried out by redrawing with variable linewidth, dot shading and line shading. Our rendering system is equipped with these methods along with line drawing facilities. The system manages a high quality printer which is controlled by a graphics PostScript. Pictures drawn are evaluated from the view of fine how they seen fine visibility.

Additional Key Words and Phrases:
monochrome pictures, redrawing with variable linewidth, dot shading, line shading, PostScript Printer

1 INTRODUCTION

In order to emphasize spatial characteristics of shapes in technical illustrations, several methods are practically carried out along with line drawings. Hatching lines and smudging are typical in engineering drawings, since the drawings must be created in monochrome for the blueprint processing. A realistic view by the isometric projection, for an instance, can make a three dimensional effect using traditional line drawings. However, no practical regulations are specified to show shade or shadow, because the techniques are rather artistic. Nowadays most of engineering drawing are managed by computer graphics and can be processed on a graphics screen, interactively. Even hand-drawn figures can be taken into the graphics screen through an image scanner. Geometric modelling becomes a familiar tool in CAD programs to produce perspective figures.

At the begining we review the research of monochrome pictures. Kondo et al.[1] proposed Interactive Rendering System that interactively emphasizes features of objects for producing color pictures. Saito et al.[2] tried emphasizing a highlight effect using color pictures, drawing monochrome pictures like a hand-drawn figure for 3-D shapes. Binh Pham[3] suggested the method that produces monochrome pictures by means of simulating brush strokes. Although a large number of researches have been made on computer graphics, little is done about artistic pictures.

Our reseach deals with such given drawings to make up to more sophisticated pictures by interactive rendering procedures. A picture to be processed is displayed on the graphics screen of a work station supported by the X-Window system. Data of the picture are a set of line segments which are consisted of positions and several attributives for line species. The screen then shows menu bars that serves for interactive operations. Three methods are proposed in this paper to emphasize spatial effects against the object picture; variable linewidth method, dot shading method, and line shading method, which are chosen from the menu.

Some exercises, however, are required to a user at the graphics screen to make up the picture how realistically it seems. The techniques at the screen are explained from the theoretical standpoint.

2 CHARACTERISTICS OF RENDERING METHODS

2.1 Variable Linewidth Method

Normally, line drawings are drawn by a few species of lines with fixed linewidth. If thick lines and thin lines can be adequately chosen, shapes can be seen more smoothly even on the views in orthographic projection. The variable linewidth method changes the given lines into the lines whose linewidth varies smoothly. The method is especially applied for curved lines to be felt as curved surfaces(Figure 1).

In order to change linewidth on a given picture, an object line segment must be extracted by cricking the graphics cursor at any position along the line chosen.

A line segment is consisted of at least two end positions for a straight line, and one or more positions that serve to generate a curved line, theoretically. Bézier function is recommended for the purpose. When the cursor is cricked at a position on the screen, the object line segment with the control positions are displayed by a dotted line to identify among other line segments. When a picture is taken by a graphic scanner as pixels, no data are stored for lines at that moment. On such cases, line segment shall be created by cricking positions one by another so that the chain of positions will fit the figure.

After an object line segment is displayed the user cricks a position where the linewidth shall be varied. A control box appears to make the linewidth increase or decrease. The line segment then redisplayed with smoothly variable linewidth along the segment. The user should repeat the process until the picture seem realistically.

2.2 Dot Shading Method

Dot shading is a procedure of computer graphics similar to the smudging technique in the engineering drawings to brush a region on one side of a line segment by the dot shading, density distribution of a dotted belt must be specified in the region. The depth of the dotted belt must be firstly decided by cricking a position at a distance in the region. Secondary, the density of dot is to specify in a drawing box where the user should draw a density distribution curve(Figure 2).

2.3 Line Shading Method

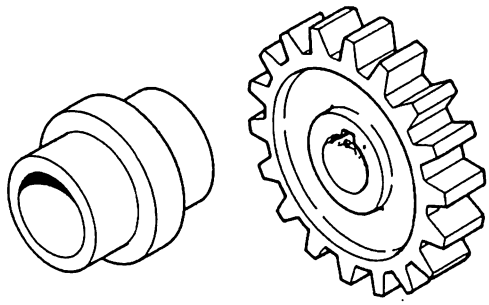
This method is a sort of hatching line techniques on a given picture. As is applied in the dot shading method, a region must be specified along a line segment, where a bundle of lines are to be drawn. Two kinds of line directions can be chosen for shading effect. The first way of line drawings seems as if to draw contour lines on a slope. The pitch of contour lines may be variable or the same. The linewidth can be also specified by the density distribution curve. The second way of line shading is practically the hatching method in the engineering drawings. A bundle of hatching lines are drawn as if grasses come out from the ground. The pitch of lines and the inclination against the segment lines are to be decided by the instruction box on the screen. It is possible to draw overlaid different line inclinations that will make a special effect. The line segment is, however, recommended to be a straight line or with a little curved line for the hatching.

3 MATHEMATICAL BACKGROUND

3.1 Offset Lines for Width Control

In order to draw a line with variable width, three kinds of data are necessary;

(1) Coordinates of the curved line (x, y)



(a) (b)

Figure 1: An example of illustration

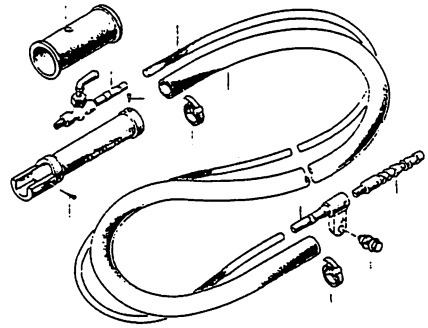


Figure 2: An illustration using dots

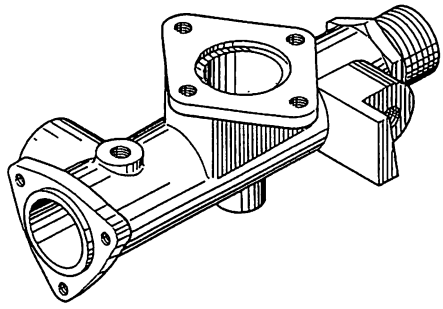


Figure 3: An illustration of line shading

(2) unit tangential vector (v_x, v_y), and

(3) the width control function $f(t)$ by a user's demand.

Data of a curved line in technical illustrations must be previously given by a series of control points $\mathbf{P}_0,\mathbf{P}_1,\ldots,\mathbf{P}_n$. If the points are lying on an arc with equal distance, the curve can be described as,

$$\mathbf{R}_0(t:n) = (1-t+t\mathbf{E})^n\mathbf{P}_0, \tag{1}$$

where $\mathbf{E}$ is a shift operator, and t is a reduced coordinate [0,1] along a curved line. Differentiating the equation (1) by t gives a tangent line segment, which is not a unit vector yet.

$$\frac{1}{n}\frac{d\mathbf{R}_0(t:n)}{dt} = \mathbf{R}_1(t:n-1) - \mathbf{R}_0(t:n-1). \tag{2}$$

The expression (2) means that a tangent of the given curve is proportional to the difference of another two curves of $(n-1)th$ order. Converting the above equation, the original curved line can be synthesized as,

$$\mathbf{R}_0(t:n) = (1-t)\mathbf{R}_0(t:n-1) + t\mathbf{R}_1(t:n-1). \tag{3}$$

A pair of curves $R_0(t:n-1)$ and $R_1(t:n-1)$ are to decide the position (x,y) along the curve, and the tangent vector (v_x, v_y) as shown in Figure 4.

A parameter L is then specified as below for the real width at t

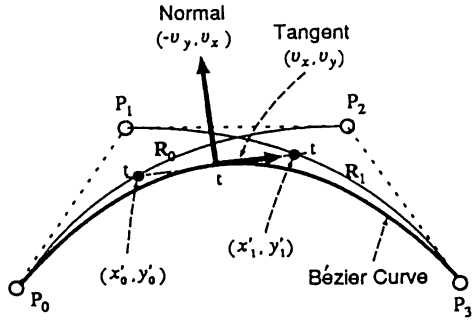


Figure 4: A tangent of curve

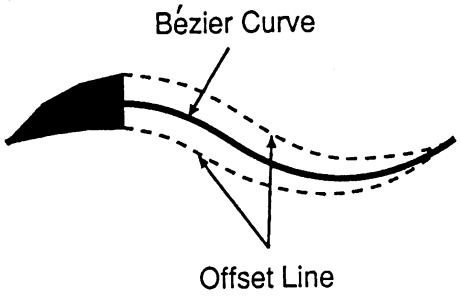
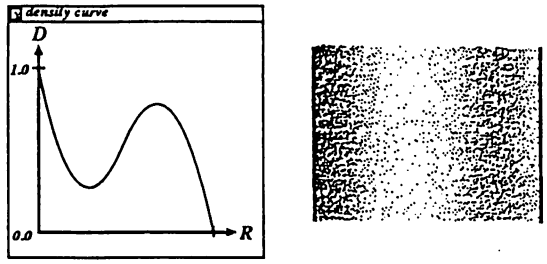
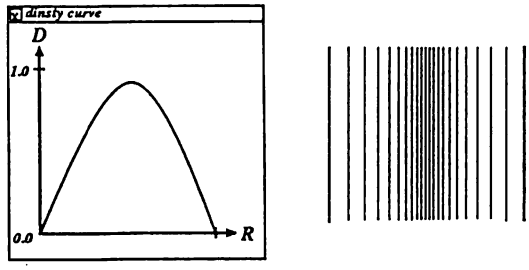


Figure 5: Offsetline

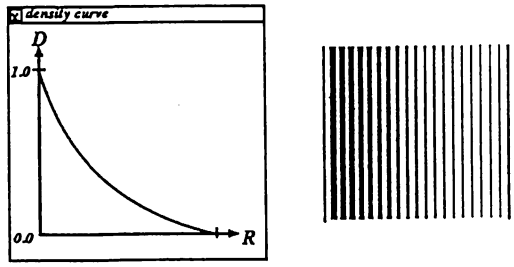
Figure 6: Wide segments



(a) Dot shading

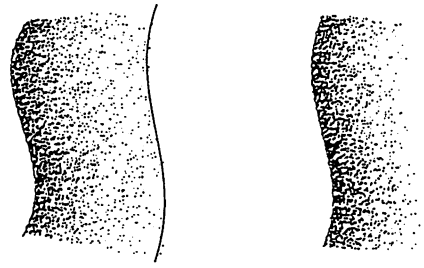


(b)Line shading with line pitch



(c)Line shading with line width

Figure 7: Density distribution curve



(a) (b)

Figure 8: Specification of dot shading

$$L = \frac{f(t)}{\sqrt{(x_1' - x_0')^2 + (y_1' - y_0')^2}}. \tag{4}$$

Two offset lines $O(t:n)$ are given by,

$$\mathrm{O}(t:n) = \mathrm{R}_0(t:n) \pm L \times (-v_y, v_x), \tag{5}$$

where (v_x, v_y) is given by normalizing equaion(2). A curved line with variable line width can be drawn by a fill area procedure within two given offset lines(Figure 5). For the general case when the points are distributed other than on an arc, the offset lines are samely composed by $R_0(t:n-1)$ and $R_1(t,n-1)$.

3.2 Density Distribution Curve

A density distribution curve is an interactively controlable function to specify the density for which a user draw a curve on the screen. Figure 7 shows how the curve makes an effect on each shading method. The vertical axis(D) in Figure 7 means an intensity level within the range [1,0]. The horizontal axis(R) is a reduced coordinates [0,1] along the shading range. Looking at the screen of a workstation, a user previously tests such an air brush effect before he actually pastes the shading on the given palette.

3.3 Dot Shading Controls

To make a given curved line shade with a dotted belt, the density distribution curve and the width of belt must be specified. There are practically two kinds of specifications about the width; The area is bounded by two curved lines(Figure 8(a)), and the shading width is relatively narrow and constant to the rest of the shading area Figure 8(b). Dot shading is controlled by the size of dot (D) and the *rate* according to the density distribution curve

$$D = d_{max} \times rate + d_{min} \tag{6}$$

Practical drafting on a given figure needs the device coordinates of dots $S(x,y)$ on the screen. The edges of a region should be given by curved lines as described in expression(1). $S(x,y)$ is obtained as,

$$\mathrm{S}(x,y) = \mathrm{r}_1 + len \times \frac{\mathrm{r}_2 - \mathrm{r}_1}{|\,\mathrm{r}_2 - \mathrm{r}_1\,|}, \tag{7}$$

where *len* is a reduced distance [0,1] perpendicular to the boundary edges (Figure 9). The dots are randomly distributed along the width so as to seem naturally.

As for the area to be shaded, the width of a dotted belt should be varied as shown in Figure 9 even in case of Figure 8(b). It is simply the case that another boundary edge should be interactively specified as in the case of Figure 8(a).

3.4 Line Shading Controls

The line shading(Figure 11) is carried out almost the same procedure as the dot shading technique using similarly the coordinates $S(x,y)$ in expression (7) as shown in Figure 10. Line width and the pitch are chosen previously by the density distribution curve (Figure 7).

4 DRAWING PRACTICES

The hardware systems of our study are supported by a workstation SUN X11R4 for program portablilty and user friendliness to any people who are familiar not with a computer but with an artistic sense. Practical operations of a user at the computer screen consist four steps.

1. Data input for line segments

   Data of a picture as a set of line segments are read either from a file or by an interactive input. Therefore, a very portable line drawing software should be prepared as the preprocessor for drawing pictures.

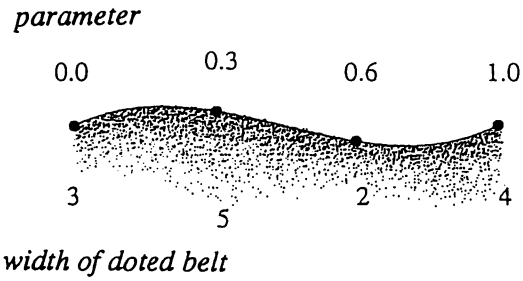


Figure 9: A width of dotted belt

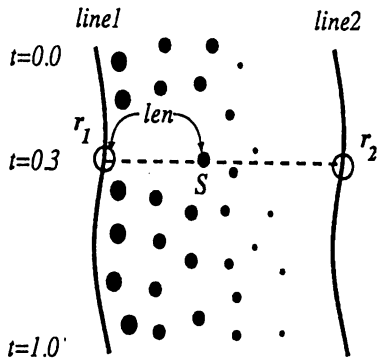


Figure 10: Method of dot shading

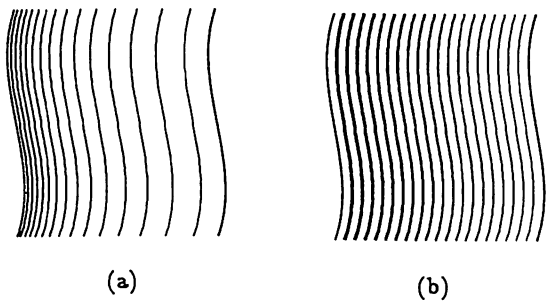


Figure 11: Line shading

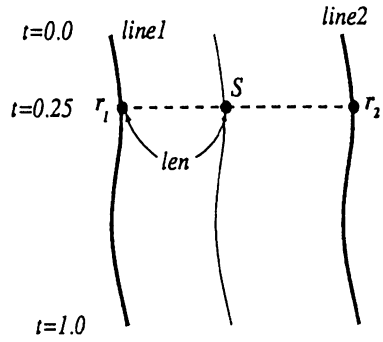


Figure 12: Method of line shading

(a)Using a normal line

(b)Using a segment with variable linewidth

Figure 13: Flower

2. Changing Linewidth

   Operations on the screen are carried out as below,

   (a) picking up a line segment to be processed,

   (b) pointing at several points on the line segment to be varied on linewidth,

   (c) Repeating the above operatiions by try and correction until a user satisfies the result, and

   (d) saving the modified data and choosing next line segment.

3. Dot painting

   (a) picking up two line segments which bound a region to be shaded, or one line segment with size of a dotted belt,

   (b) deciding the density distribution curve,

   (c) changing the size of dotted belt, if necessary, and

   (d) repeating try and corrections.

4. Printing hard copies aided by PostScript

   Drawing examples are shown in Figure 13,14,15.

5 CONCLUSIONS

Three methods of rendering procedures were composed into a reasonable interactive system by the aid of a workstation environment; redrawing variable linewidth, dot shading and line shading. Data of a picture to be processed are basically those of engineering line drawings. A user at the screen may be rather an amateur for artistic rendering techniques. The computer system can support repeating try and correction on the screen until a user is satisfied about the rendering effects. The system is applied both for teaching and professional uses along with CAD programs.

References

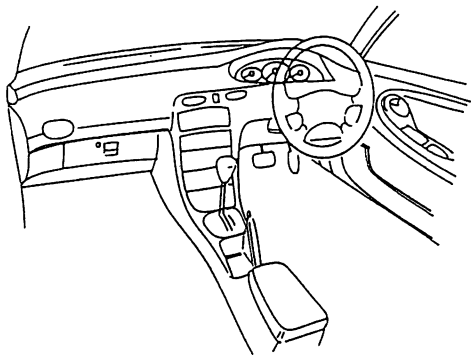
[1] K.Kondo,F.Kimura,T.Tajima: Representation of 3-D shapes with the Interactive Rendering System, Journal of Information Processing of Japan, Vol.26,No.11,Nov.1985,pp.1401–1408

[2] T.Saito,T.Takahashi:Comprehensible Rendering of 3-D Shapes, Proc. SIGGRAPH'90 Vol.24,No.4,pp.197–206,1990

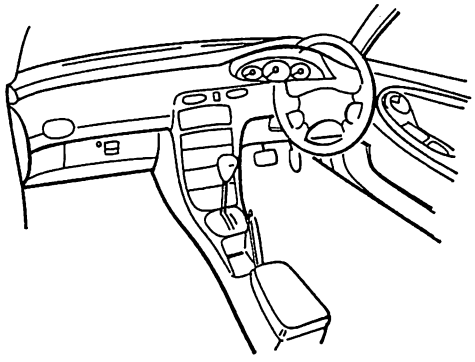
[3] Binh Pham : Expressive Brush Strokes, CVGIP Graphical Models and Image Processing,Vol.53,No.1,1991

[4] Luiz Velho,Jonas de Miranda Gomes : Digital Halftoning with Space Filling Curves, Proc. SIGGRAPH'91 Vol.25,No.4,pp.81-90,1991

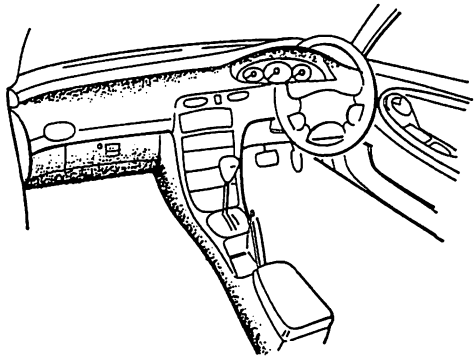
[5] S.Strassmann : Hairly Brushes, Proc. SIGGRAPH'86 22,1986



(a)No shading

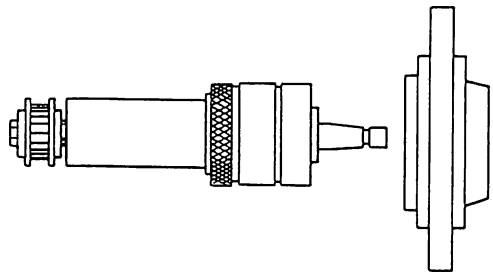


(b)Using a segment with variable linewidth

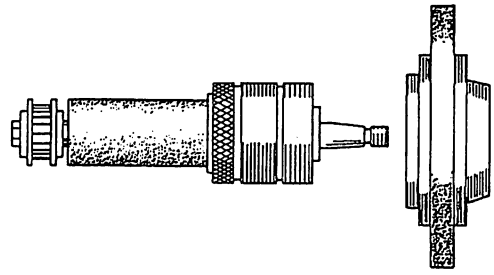


(c)Using dot shading

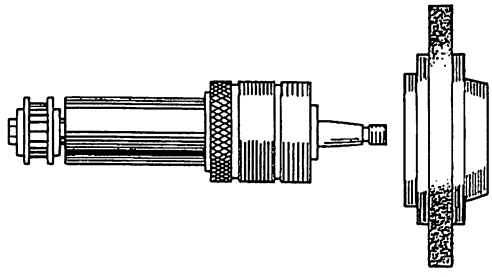
Figure 14: A driver's seat



(a)No shading



(b)Using dot shading



(c)Using line shading

Figure 15: A part of machine

イラスト作画支援システムの開発

旭昌広*　近藤邦雄**　島田静雄**　佐藤尚**
*笹徳印刷工業株式会社　研究開発部ソフト開発課
**埼玉大学工学部情報工学科

The Development of Drawing Illustration Support System

Masahiro Asahi* Kunio Kondo** Shizuo Shimada** Hisashi Sato**
*Reserch and Development Department,Software Development Section,
Sasatoku Printing Company.,ltd.
**Department of Infomation and Computer Sciences,Saitama University

現在の計算機による線画イラストの作画は、ペンや定規などの道具を計算機に置き換えたものであり、誰もが見栄えのする作画を行えるわけではない。作画の基礎となる構図やデッサンは、その人の経験や感性で左右されてしまう。また、機械で作画することにより、従来手描きで行われてきたような、線の強弱などの感覚的な表現が失われてしまっている。

本システムでは、デッサンを支援するために、消失点を設定し、人が間違った形を描かないようにしたり、簡単に透視図を描けるような機能を持つ。また、計算機独特の表現をなくす為に、太さの変化する線や、ランダムなパターンを作画する。これらの機能を利用して、表現豊かな線画イラストの作成を可能とする。本論文では、各機能のアルゴリズム、本システムの構成とその応用例について述べる。

1　はじめに

最近では、計算機を用いて作画を行うことが一般でも行われるようになってきた。
特に線画を基調としたドロウ系のソフトは、高品位な出力や、修正を容易に行える利点があり、デザイナーなどの道具として確立しつつある。しかし、計算機により全てが行えるようになった訳ではない。現在の殆どのソフトは道具としての領域だけで、それも従来のペンや定規ではなく、計算機という新しい道具として使われている。つまり、今まで人手で行われていた作業の中の一部分を補っているにすぎない。製図などの直線を基本としたような図ならば、大いに計算機を活用できるであろう。しかし、挿絵のようなイラストについては人手で描かれたものと同じものを描いたとしても、どこか機械的な絵になってしまうことが多い。また、従来の紙の上に描くことと比較して、感覚的に描きにくい部分がある。最近のソフトではスキャナーなどから下絵を読み込んで、作画する方法をとっているが、これも下絵を結局人手で描くことになる。

我々が開発するシステムは、”誰もが簡単にイラストを描ける”ことを目的とする。ワープロやＤＴＰなどが一般化し、簡単に奇麗な書類が作成できるようになったが、その中で使われるイラストなどは、手書きのものや、簡単な図形になってしまうことが多い。見栄えのするイラストを自分で描けることができれば、計算機による書類の作成はよりスムーズなものとなる。

本論文では、これを実現するために図法に従った透視図作図と太さの変化する線の表現、乱数を用いたパターン配列作画手法の３つを提案する。

1　透視図の作図

平面的なイラストに比べ立体物を描くことは難しい。これはデッサン力や経験、透視図法の知識を必要とするからである。特に計算機では、感覚的に３次元形状を描くことが困難である。本システムでは、この中の透視図法を計算機により支援する。この透視図法は図学で使われる理論であり、３次元形状の透視変換ではない。計算機内部に透視図の基本である消失点を設定し、それに基づいて透視図法に合った図形を簡単に描けるようにして人が間違った形を描くのを防ぐ。消失点の設定方法も、仰角や始点の位置を設定するのではなく、描きたい立体物の構図を想定した数本の線を描くことにより自動的に設定される。

2　太さの変化する線

これは筆で描いたように線の太さを変化させる手法で、太さの変化の度合を自由に修正変更することができ、通常の筆のように、慣れや技量を必要としない。

3　乱数を用いたパターン配列作画技法

機械で描かれたものの特徴として、正確性がある。しかしイラストを表現する場合では、全てが硬いイメージになってしまう。そこで乱数を利用し、故意に作画する線をずらすことにより人手で描いたような表現を可能とする。また、その応用として点描のような表現を可能とした。

以下、透視図の作図、太さの変化する線、乱数を用いたパターン配列作画技法の順に詳しく解説し、システム構成、応用例を紹介する。

2　透視図

透視図というと建築物などのパースを連想するが、実際には、あらゆる物の作画に関わっている。例えば図１のような絵を描くとしても、各綾線が間違った形で描かれる場合が多い。絵を描く経験が多い人にとっては感覚的に処理できるが、そうでない人では、最初のこの段階で出来栄えが悪くなってしまう。

直方体を平面上に投影し、各面の平行線を延長すると１点で交わる。これが消失点である。また、投影する角度により、消失点は１点、２点、３点と変化する。今ある直方体の各辺と平行の線分はすべてこの消失点に集約する。つまり、位置により大きさが変化することを図２に示す。透視図の作画では、この収縮を正確に描く必要がある。従来のように人手で描かれる場合では、複雑な図学の作図を行うか、感覚的に行うしかなかった。

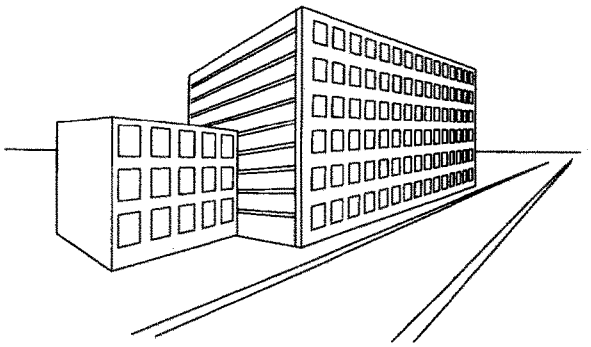


図１　間違った透視図

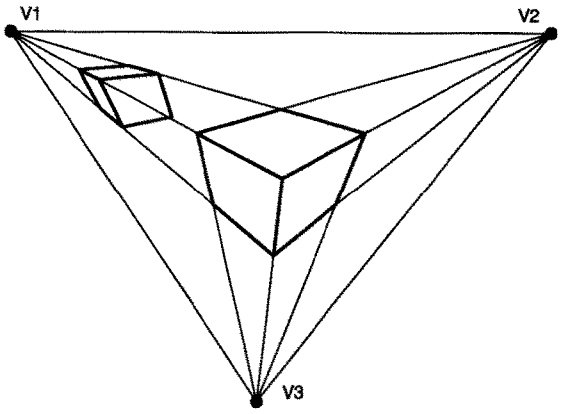


図２　透視図と消失点

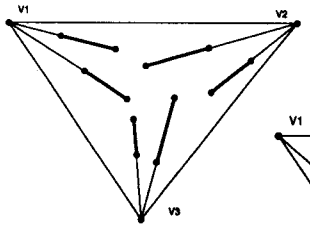
この透視図の図学手法を計算機で行うことにより、正確な作図を簡単に行うことが可能となる。また本システムでは、透視図の作図の他に、消失点より３次元データを再構成し、作画に必要なデータを割り出すようにしている。

2－1　消失点の設定

作画は全て透視図上で行うことから、消失点（構図）の設定は、基本となる図形を描くことにより算出する。先に述べたように、消失点は平行な２直線の交点より求められるので消失点設定に必要な線は３点透視図の場合で６本となる（図３）。また作画する物体は全て水平に置かれていると想定し、各線分を直方体の綾線とすると４本となる（図４）。これを骨格法と呼ぶ（文献３）。

2－2　再構成

消失点より、投影に用いられるデータを求めることができる。このデータをもとに３次元形状で設定した立方体を投影し、次に述べる正方形の対角線の消失点を求める。再構成を行わずに正方形の対角線の消失点を求める



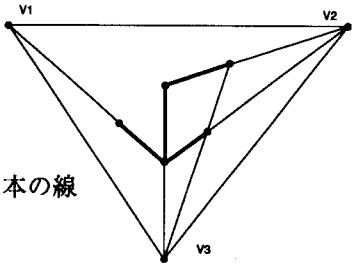


図３　消失点設定の６本の線

図４　骨格法による基本図形

ことも文献１）で行ったが、低解像度のディスプレイを使用したり、消失点が非常に離れている場合などでは、計算結果に誤差が含まれることが多い。また、消失点の数により異なったアルゴリズムを使用しなければならない。

再構成は次のように行われる。（図５）

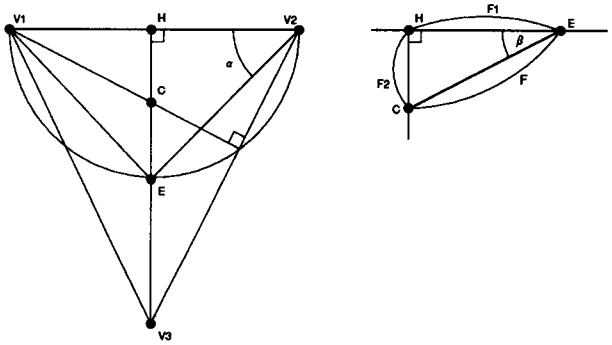


図５　再構成

１）３消失点からなる３角形の重心を注視点Ｃとする。
２）線分Ｖ１Ｖ２を直径とする円を想定し、円とＶ３を通る線分Ｖ１-Ｖ２の垂線の交点を視点Ｅとする。
３）視点Ｅを通る線分Ｖ１-Ｖ２との垂線と線分Ｖ１-Ｖ２の交点をＨとする。
４）線分　Ｈ-Ｖ２と線分Ｅ-Ｖ２とのなす角をαとする。
５）Ｈ、Ｅ、Ｃを図５右の様に展開する。
６）線分Ｃ-Ｈと線分Ｅ-Ｈとのなす角をβとする。
７）距離Ｆ１と距離Ｆ２より距離Ｆを求める。

求めたデータから立方体を投影し、正方形の対角線を延長して各方向の消失点からなる直線との交点を対角線の消失点として記憶する。（図６）

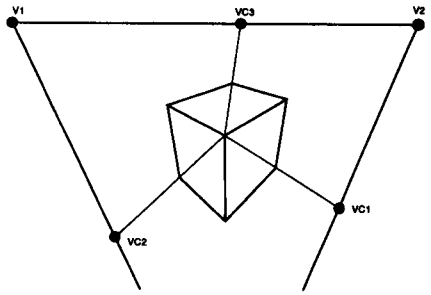


図６　正方形の消失点

２－３　正方形の作図

大きさの基準として正方形を用いるのが簡単である。内部を等分割して大きさを割出したり、円（透視図上では楕円）の作図の基本ともなる。

正方形の作図は正方形の対角線の消失点より簡単に求めることが出来る。（図７）

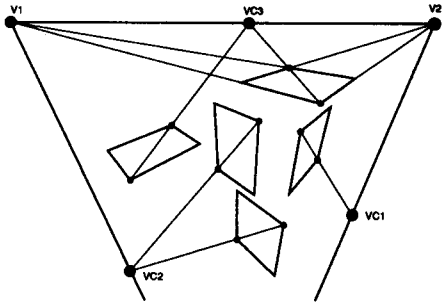


図７　正方形の作図

２－４　円の作図

透視図上の円は楕円で表示される。本システムではこの楕円を正楕円としている。そのため実際に投影したものと比較すると、若干のズレが起こるが、データの記憶方法などに利点が多いため正楕円としている。実際に人手の作業でも楕円テンプレートを使用する場合が多い。

作画方法は、透視図上に描かれた正方形（不等辺四辺形）に内接する楕円を描くことになる。

楕円の作画には次のような処理を行う。（図８）

１）四角形に対角線を描き、その交点を通り、消失点に収束する線を描き四角形を４分割する。
２）Ｈ-Ｅ、Ｇ-Ｈ間の中点を設定（Ｉ、Ｊ）し、Ａ-ＩとＤ-Ｊを延長して求めた交点をＯとする。これが楕円の中心となる。
３）Ｈ-ＯとＧ-Ｏを２倍の長さに延長して点Ｋ、Ｌを作る。Ｈ-Ｋ、Ｇ-Ｌが楕円の延長となる。

4）点Oを通り線分L-Gに直交する線と点Oを中心とした半径O-Lの交点をMとする。
5）K-Mの中点（N）を中心とした半径O-Nの円とK-Mの延長との交点を点P、Qとする。
6）P-K、K-Qが楕円の半径となり、O-Qが楕円の傾きとなる。

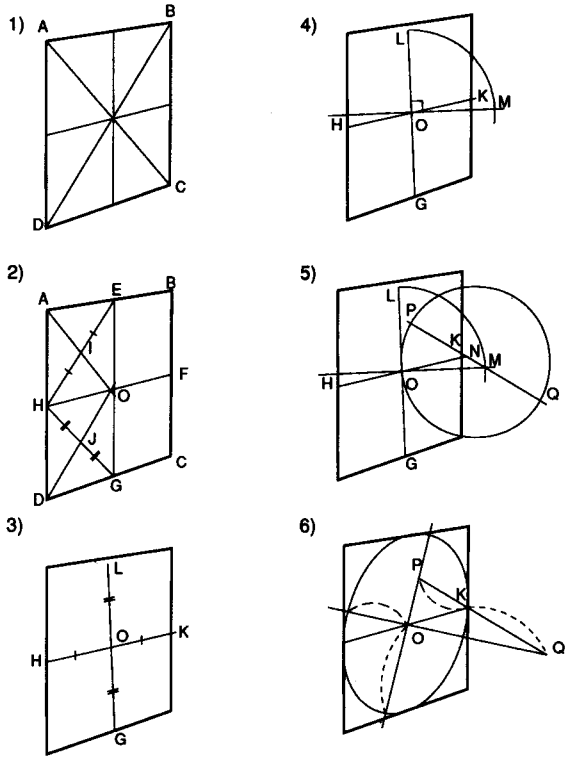


図８　円の作図

２－５　分割

透視図を描く場合に、幾何立体（直方体等）を基に詳細な部分を描いていく方法をとることが多い。こういった作業に役立つ機能として線分の等分割を行う。実際には四辺形を等分割する。

分割には次のような処理を行う。（図９）

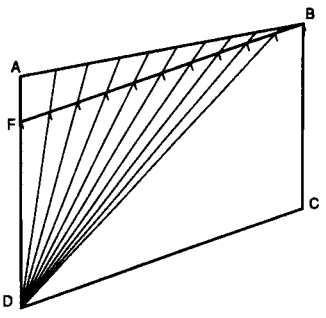


図９　分割

1）分割を行う透視図上の四辺形を設定する。
2）D-Cに平行な線を点Bを通るように想定し、A-Dとの交点をFとする。
3）F-B間を実際のスケールで分割する。
4）点DとF-B上の分割した位置を結ぶ線とA-Bとの交点が透視図上の分割した位置となる。

本システムでは、これらの応用として射影変換、平面の立体化を行う。

射影変換は平面上で描かれた図形を矩形で指定し、透視図上で描かれた四辺形に変型させる。
これは図形の座標値を四角形内部を基準としてのパラメータとしてこれを分割の要領で配置し直す。（図１０）

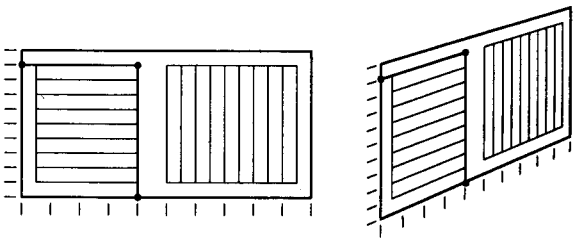


図１０　射影変換

２－６　立体化

立体化は透視図上の平面に描かれた図形に高さを与えて立体とする。立体化では上面と底面の形状が変化してくる。直方体のように各辺が消失点に平行であれば問題ないが、そうでない場合には、１辺ごとに新しく消失点を設定しながら作画していく。
新しく設定される消失点は、元の平面とは平行であるので、新しい消失点の高さは変化しない。

図１１の例ではＶ１-Ｖ２と作画しようとする線（A-B）の延長との交点が新しい消失点となり、この消失点とCの直線とB-Ｖ３を通る直線の交点より新しい形を求める。

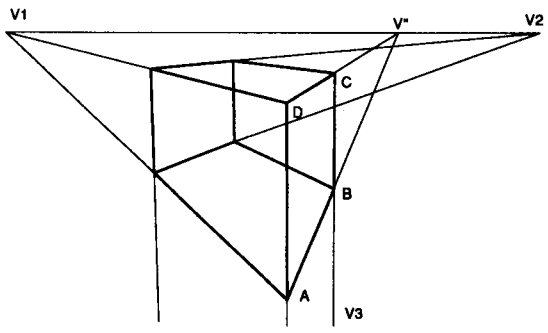


図１１　立体化

2－7　操作

これらの機能を組み合わせて透視図の作図を行う。
透視図として作図できる図形は長方形、正方形、円、円弧である。
その他の機能では、消失点の設定、グリッド、投影変換、立体化がある。

図形の入力は図１２に示すように、最初に作画する面を指定し、長方形、正方形は対角線となる任意の２点を入力する。円、円弧は中心と半径、円弧の場合は始点と終点を入力する。

消失点の設定は消失点の数を指定した後、骨格法による図形を作画する。また理解し易いように直方体を表示する。１点透視図の場合は消失点を直接指定する。

グリッドは作画する面を指定し、長方形を作画する。その内部を１０分割したグリッドが表示される。

投影変換は２次元上の領域（矩形）と透視図上の面、長方形を指定することにより行う。

立体化は、厚みを与える方向を指定する。

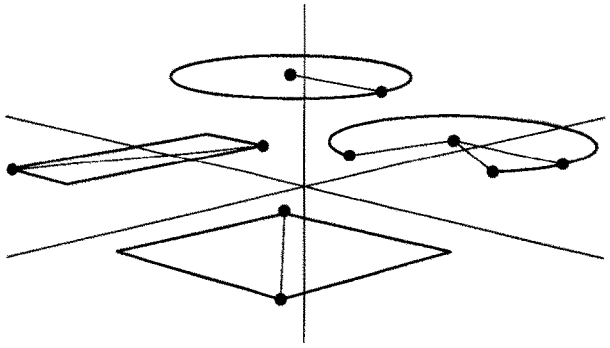


図１２　図形の入力

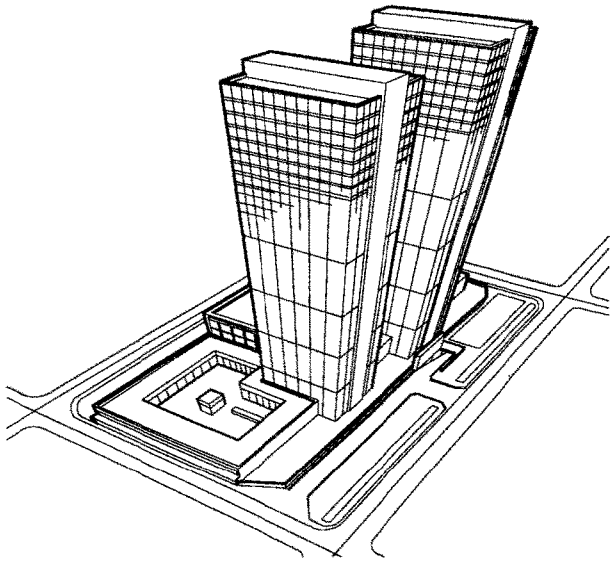


図１３　透視図作図例

3　太さの変化する線

本システムのようなドロウ系のソフトでイラストを作成する場合では、正確な図形や滑らかな線を描くことができる。これらは、幾何学的な図形や機械など直線を主体とする物の作画には適しているが、自然物のようなものには適していない。最近ベジェ曲線を利用したものもあるが、それでも同じである。これは、線自体に表現がない為であり、人手で作画を行った場合には線の強弱が表れて曲線や立体感をより強調するようになる。

ペイント系のソフトではブラシ機能などにより表現されることがあるが、ドロウ系のソフトで太さの変化する線を作画できるようになることには、もう一つの利点がある。例えば筆を想定すると、誰もが筆を使って自由に美しい表現の線を描ける訳ではなく、経験や熟練が必要であることが解る。その点、本手法では後からの変更修正が自由にできるので、自分の能力以上の筆さばきが可能となる。（図１４）

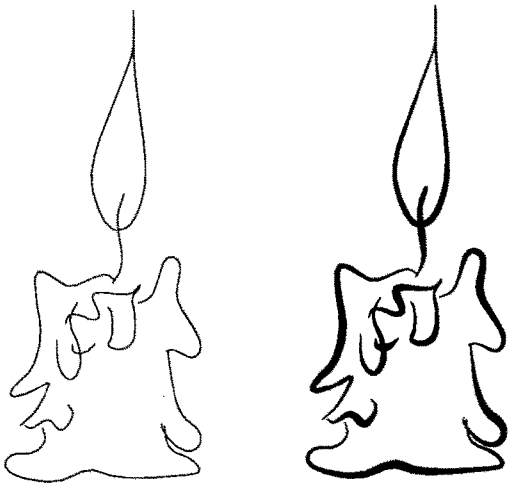


図１４　線の太さを変化させた絵

3－1　アルゴリズム

通常のドロウ系のソフトでは、１つの図形の表現に座標値、線の太さ、色などのデータを持つ。太さの変化する線を表現するには、太さの変化の制御点とその地点での太さのデータを持たせる。

実際の使用を考えると、太さの変化する線は曲線か円に使われることが多い。つまり元のデータも実際の座標値ではなく、曲線の制御点などである。その為に太さの制御点は座標値ではなく、始点からの距離をパラメータ（0.0から1.0）として持つ。（図１５）

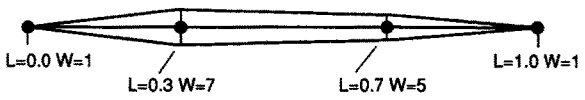


図１５　線の太さの制御データ

太さの変化する線を表現するためにこれらのデータを展開して表示する必要がある。太さの変化する線は面積を持つことになるが、原則として、その内部は塗りつぶされるものとする。

表示方法は、太さの変化する線の外形をとり、１つの閉じた図形として表現するのが好ましいが、本システムでは、全ての図形を多角形に展開し、１つの線分ごとを台形とする処理を行っている。また各線分の接続部分に円を表示する。この方法では、曲線を多角形に展開するために高品位な出力ができないことや、同一領域を重複して作画したり、扱うデータ量が多くなるなどの問題があるが、ページプリンタによる出力を考えると、曲線をサポートしていないページプリンタに対応したり、円や台形などの単純な図形の塗りつぶしはページプリンタ側の機能を扱えるという利点もある。実際の処理は次のようになる。（図１６）

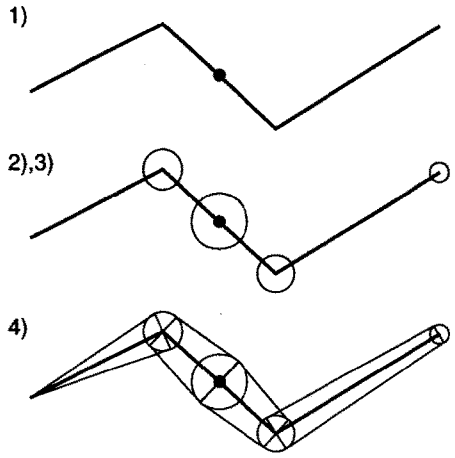


図１６　線の太さのアルゴリズム

１）太さの制御点のパラメータを実際の座標値として図形の頂点データとして追加する。
２）各座標値での太さを求める。

多角形の長さ	L
ある頂点の始点からの距離	ｌｎ
始点の太さ	Ｗ１
終点の太さ	Ｗ２
ある頂点の太さ	Ｗｎ

$$Wn = ln / L * (W2 - W1) + W1$$

３）各座標値での太さを直径とする円を作画する。
４）両端の円に接する２直線を持つ台形を生成し作画する。

３－２　操作（制御）方法

デフォルトとして、始点終点に太さの制御点をもつ場合と、始点終点と作画した図形の中点に太さの制御点を持つ場合の２種類を用意しておき、各制御点での太さを指定する。（図１７）

図１７　線の太さの初期設定

作画は通常の図形と同じに行い、後に制御点を任意に移動追加削除等の修正を行う。制御点は図形の線上に自由に配置でき、距離のパラメータとして保持しているので、図形の頂点を移動させても、太さのデータは変化しない。

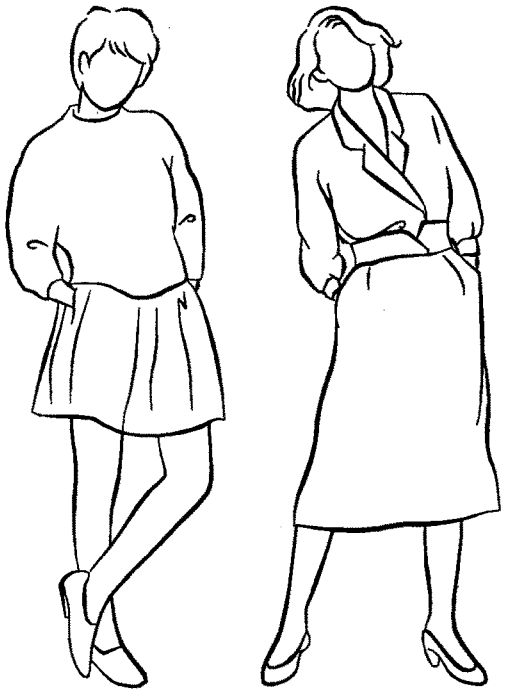


図１８　作図例

4　乱数を用いたパターン配列作画技法

人手でイラストを描く場合に、面の材質などを表すために線を描くことがある。ＣＡＤなどでも面を表すためにハッチングを行う。同じ面を表す方法であるが、各々が表現できる範囲は全く異なる。機械で描く場合では、平行な線を幾らでも正確に描くことができる。しかし、これでは機械的な平面しか表現できない。そこで本システムでは、この機械の正確性を乱数を用いることにより、故意になくすことで人手で描いた感覚に近付けることができる。

この方法はただ単に乱数を用いたのではなく、数多くの手で描かれたイラスト図を観察し、ゆらし方の許容範囲を考察した。

また、この方法は全てベクトルデータで行うために、従来のビットマップデータによるペイント系のソフトでしか出来なかった表現を高品位なままで出力できる。

4－1　アルゴリズム

図形を並べる基本としてリピート機能を使う。これは、次の手順で行う。

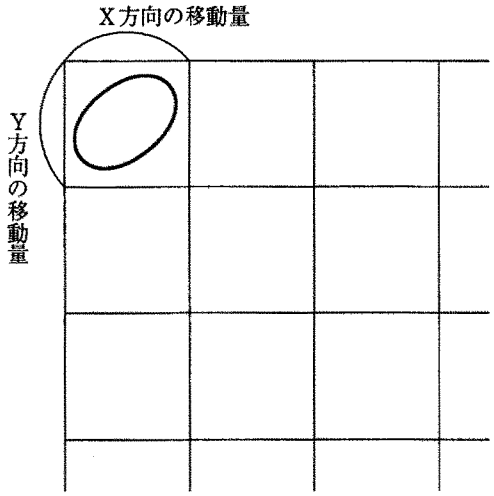


図１９　リピートのアルゴリズム

1）リピートの移動量（領域）を指定する。
2）X、Y方向の並べる個数を指定する。

図形をリピートするたびに乱数を用いて、ある許容範囲内において、移動、回転、拡大縮小、頂点移動を行う。また、これら全てを行うのではなく、選択できる。許容範囲は、リピートの移動量、図形の大きさに応じて指定する。

4－2　応用例

乱数による作画機能を用いて、作図のシミュレーションを行う。

1　人手によるハッチングの表現

直線の間隔をランダムに変えてリピートする。

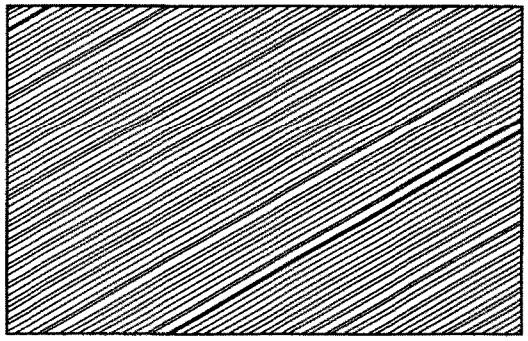


図２０　人手によるハッチングの例

2　レンガ張り

移動、回転、拡大縮小をレンガの間隔以内の許容範囲でランダムにリピートする。

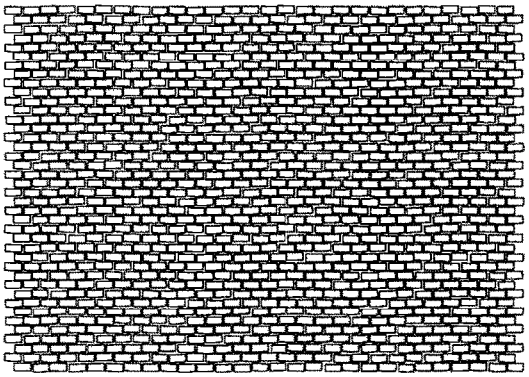


図２１　レンガ張りの例

3　水面（波）

曲線をランダムに移動、頂点（曲線の制御点）移動して行いリピートする。

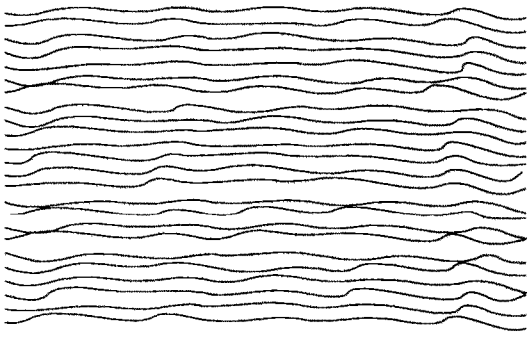


図２２　水面（波）の例

4　芝

移動、回転、拡大縮小、頂点移動の許容範囲を大きく（５０％以上）、回転は３０度として線分をリピートを行う。

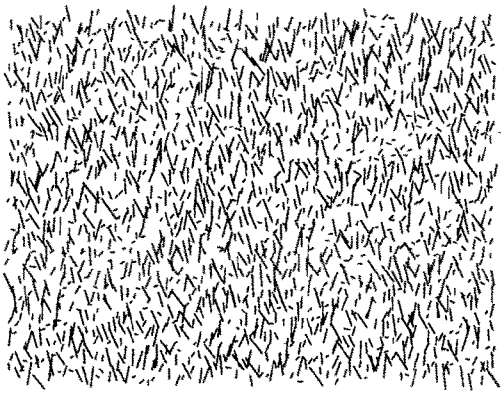


図２３　芝の例

5　林

逆Ｖ字を作成し、移動をランダムにリピートする。その後上の部分の形を整える。（不必要な部分を消去する。）

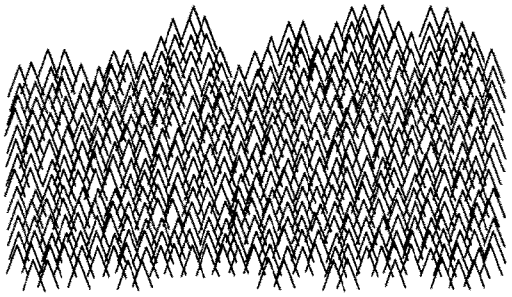


図２４　林の例

6　地面（点描）

点を移動の許容範囲を大きく（５０％以上）して、リピートを行う。また、移動範囲を小さくしたものを、形を変えて上に重ねてある。

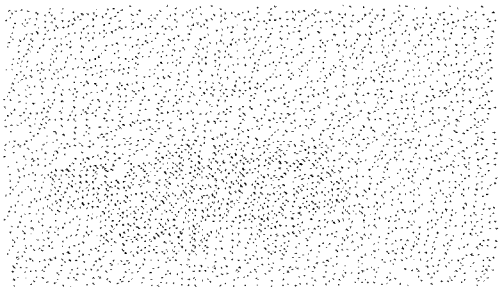


図２５　地面（点描）の例

7　植栽

フリーハンドで描いた曲線を、移動、回転、頂点移動の許容範囲を大きくとってリピートする。

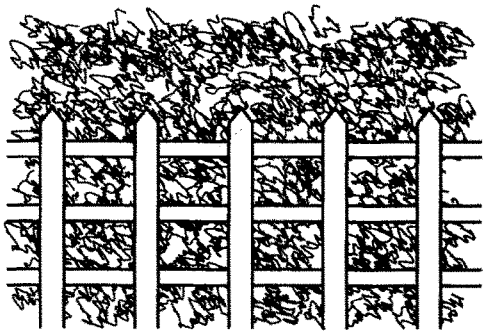


図２６　植栽の例

8　石積み

閉じた曲線を描き、移動、回転拡大縮小、頂点移動の許容範囲を小さくとってリピートする。

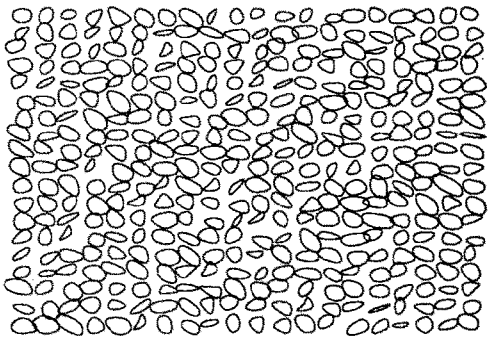


図２７　石積みの例

5　システム

本システムのハードウエア構成を図２８に記す。

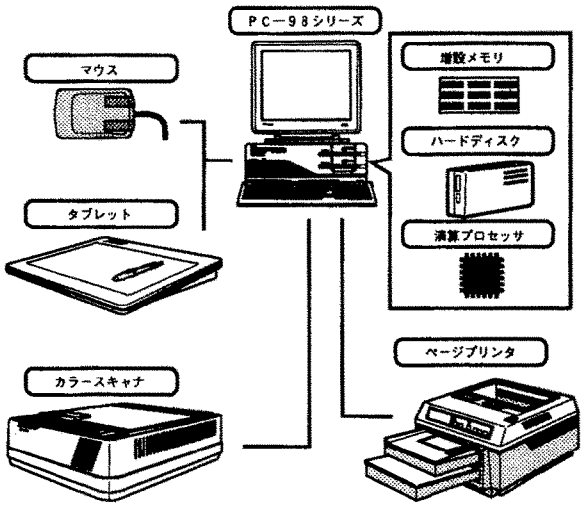


図２８　システムハードウエア構成

CPUをNEC PC-98として、下絵を読み込むカラースキャナ、入力のタブレットまたはマウス、出力のポストスクリプトページプリンタで構成される。

ソフトウエアは次のような機能を持つ。

作画
　軌跡、直線、矩形、多角形、円、円弧、楕円、
　楕円弧、文字
線種
　太さ指定、太さ変更、色指定、塗りつぶし
修正
　移動、回転、拡大縮小、コピー、リピート、
　データ分割、曲線化、クリッピング、射影変形
　ランダムリピート
作画モード
　ドロウ（通常）、パース、アイソメ
パース
　消失点設定
　正方形、円、矩形の作画
　グリッド表示
　立体化
画面
　拡大縮小、スクロール、グリッド、縮尺
下絵
　スキャナ入力、拡大、色変換
ファイル
　データ再生、保存、消去
　ディレクトリ操作
データ互換
　ＥＰＳＦ出力、ＤＸＦ入出力
部品機能
　登録、呼び出し

操作の殆どは画面を見ながら対話的に行え、簡単なＣＡＤとして使用できる程度の標準的な機能を備えているので、分野を問わず大抵の作画が行える。

スキャナーから読み込んだ画像は下絵として８階調またはフルカラー（フレームバッファ使用）で画面に表示し、構図の設定を行ったり（画像と同じ構図とする）、線でなぞって作画を進める。

データ互換がとれるので、ＣＡＤで描いたデータの修正を行ったり、ＤＴＰにデータを送ることができる。

最後に全ての機能を利用した作図例を示す。
（図２９）

6　おわりに

本論文では、誰もが簡単にイラストが描けることを目標に、手描き図法に従った透視図作図法、太さの変化する線、乱数を用いたパターン配列の３つの方法を提案した。その結果従来の手描きによるイラストと同様な表現ができる図を効率良く描けるようになった。

ベクトルデータを基調としたドロウ系のアプリケーションでは高品位な出力が特徴であり、その特徴を生かしたまま、広範囲な表現のイラストを簡単に描くことが可能となった。

本システムをさらに発展させるために、次のようなことを解決したい。

太さの変化する線では、曲線の処理を曲線の外形線を求める方法を導き出して多角形の変換することなく、太さの変化する処理を行う様にしたい。乱数による作画では、全ての図形を保持せずに、通常の塗りつぶしの処理と同等の扱いができるようにしたい。

計算機で絵を描くことも、ワードプロセッサで文章を書くことと同じで、奇麗な字は書けても良い文章を書けるわけではない。絵の場合では一目見てわかるので、特にこれが目立ってしまう。誰もが簡単に絵を描けるようにするならば、コンピュータにより作画を支援することは今後不可欠な事となるであろう。

参考文献

1）近藤他：手書き透視図の視点推定とその応用、情報処理学会論文誌D、J71-D、[1]、1988
2）近藤他：インタラクティブレンダリングシステムによる３次元形状の表現、情報処理学会論文誌、Vol.26、No.11、1985
3）永田：イメージパースペクティブデザイン、美術出版社、1979
4）山城他：現代パースの基本と実際、グラフィック社、1989
5）トム.ポーター他：建築プレゼンテーション.マニュアル、集文社、1990

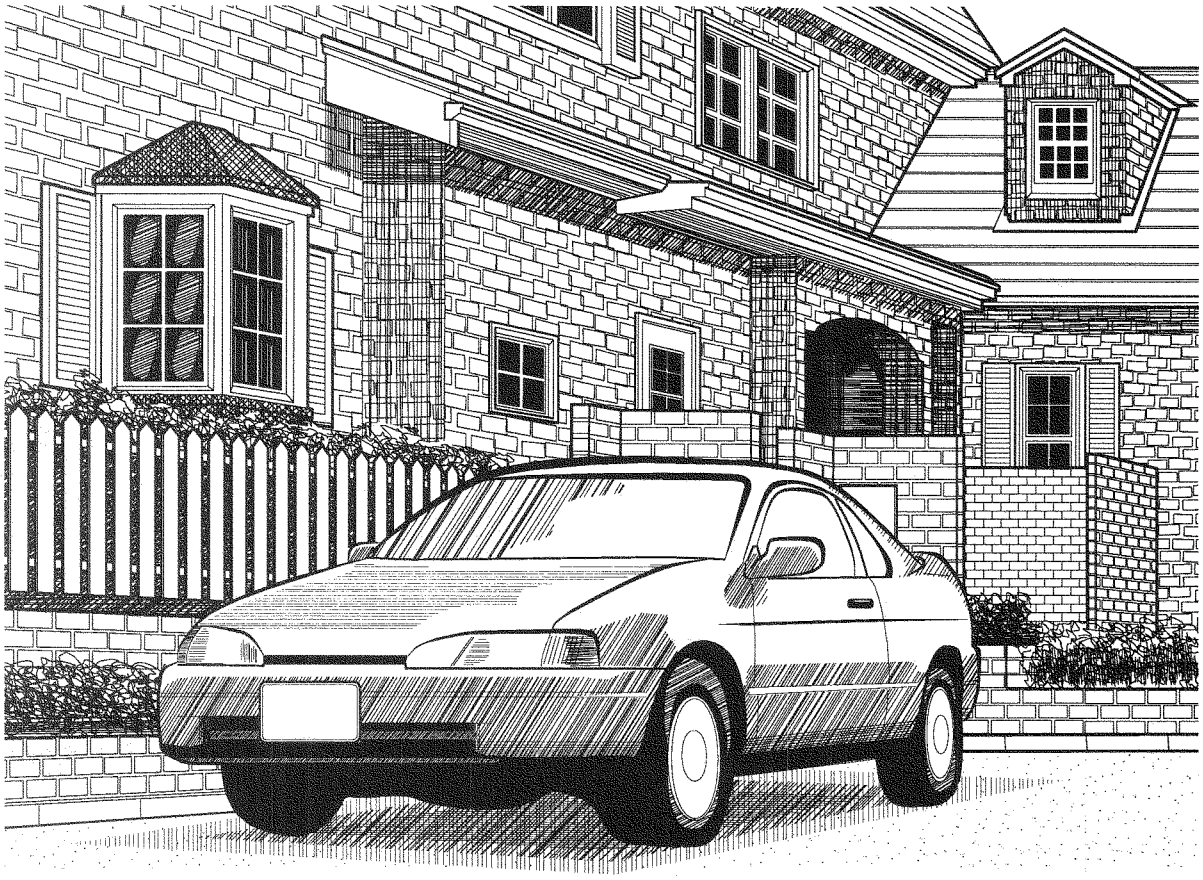
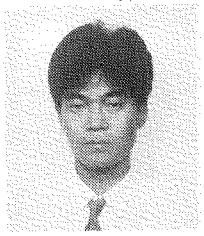


図２９　作図例

旭　昌広

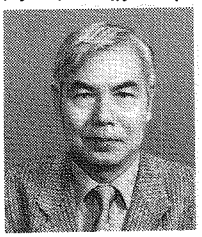


1983年愛知県立東山工業高等学校卒業。現在笹徳印刷工業株式会社にて，コンピュータグラフィクス系のソフト開発に従事。

近藤邦雄

1979年名古屋工業大学第２部機械工学科，工学博士。名古屋大学教養部図学教室，'88年東京工芸大学電子工学科講師を経て，'89年埼玉大学工学部情報工学科助教授。コンピュータグラフィクス，ユーザインタフェース，形状モデリング，感性と知識をもとにした画像処理の研究に従事。情報処理学会，日本図学会などの会員。

島田静雄



1954年東京大学工学部卒，工学博士，'59年東大工学部土木工学科助手，講師を経て，'63年名古屋大学工学部助教授，教授，'83年から工学部共通講座情報検索学に配置替。'90年から埼玉大学工学部情報工学科教授。自動作図とグラフィクス，情報管理，データベースの研究に従事。情報処理学会，土木学会などの会員。

佐藤尚

1987年学習院大学理学部卒。'89年国際基督教大学修士課程修了。'90年学習院大学博士後期課程中退。'90年埼玉大学工学部情報工学科助手。アルゴリズムの設計と解析，コンピュータグラフィックス，曲面理論などの研究に従事。日本数学会，情報処理学会などの会員。

Shape Oriented Line Drawing in Real-Time 3DCG

Takashi Matsuo † Koji Mikami ‡ Taichi Watanabe ‡ Kunio Kondo ‡
Tokyo University of Technology

(a) Original Model (b) Conventional technique (c) Our method

Figure 1: *Comparing rendering techniques*

1 Introduction

In 2D animation and comics, the line quality of object outlines and contour lines are often varied to emphasize or exaggerate the shape of an object. One such technique is to vary the line thickness pending on the object shape. This technique is often used in sketching and drawing to give objects a greater sense of depth or dimension. When using toon rendering to simulate a 2D-esque effect in 3D animation, techniques that render object outlines of constant thickness, such as that proposed by [Saito and Takahashi 1990], are popular due to their ease of application. While existing methods such as that proposed by [Goodwin et al. 2007] allow for a certain level of dynamic line thickness through the use of shad-ing, they require long calculation times and are not suited for real time rendering.

Our study aims to provide a viable real-time 3D toon rendering technique that creates object outlines with varying thickness. In particular, our approach changes line thickness at any point based on the line curvature at that point.

2 Shape Oriented Line Drawing Technique

Detection of Shape Feature Our method aims at emphasizing line thickness at points of high curvature - where object outlines are thickest in 2D animation and comics. Points of curvature on a 3D model correspond to places where the model has either a concave or convex surface. We calculate the average curvature of each vertex point on the 3D model using the method proposed by [Meyer et al. 2002], enabling us to identify the shape feature of any given vertex on the model.

Rendering Object Outlines The two main goals of our study is to develop a method that not only renders object outlines accurately, but also quickly enough to make it viable for real-time rendering. To achieve these 2 goals, our method involves creating a slightly enlarged copy if the original 3D model with reversed normals. This allows us to render accurate object outlines with constant thickness very easily. Line thickness is then changed by manipulating this copied model.

Exaggeration of Object Outline Object outline thickness is changed by moving the vertices on the copied model outward (away from the original model). Vertices with a high amount of curvature are moved more than those with a low amount of curvature. The result is a dynamic and smooth object outline with varying thickness.

3 Results

Figure1 shows a comparison of our method with a conventional toon rendering technique. Figure1(a)shows the original 3D model (25,440 Tris), Figure1(b) shows the model rendered using a conventional toon rendering technique. Figure1(c) shows the model rendered using our method. A framre rate of 1936.3 fps was also achieved. Rendering was performed on a computer with a Core i7 3.4GHz processor, 8GB of memory and a NVIDIA GeForce GTX 560 Ti graphics processor.

4 Conclusion

In our study, we proposed and tested a real-time toon rendering method that renders 3D models with object outlines of continuously varying thickness. This was made possible by calculating the curvature of the 3D model, creating an enlarged copy of the model with reversed normals, and manipulating the copy based on the curvature.

References

GOODWIN, T., VOLLICK, I., AND HERTZMANN, A. 2007. Isophote distance: a shading approach to artistic stroke thickness. In *Proceedings of the 5th international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*, ACM, 53–62.

MEYER, M., DESBRUN, M., SCHRODER, P., AND BARR, A. 2002. Discrete differential-geometry operators for triangulated 2-manifolds. *Visualization and mathematics 3*, 7, 34–57.

SAITO, T., AND TAKAHASHI, T. 1990. Comprehensible rendering of 3-D shapes. In *Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ACM, 197–206.

†g311002805@mf.teu.ac.jp
‡{mikami, earth, kondo}@media.teu.ac.jp

Copyright is held by the author / owner(s).
SIGGRAPH Asia 2011, Hong Kong, China, December 12 – 15, 2011.
ISBN 978-1-4503-0807-6/11/0012

RIGHTSLINK

Vol. 29 No. 8 情報処理学会論文誌 Aug. 1988

レンダリングのための対話型透視図作図手法†

近藤邦雄†† 木村文彦††† 田嶋太郎††††

本論文の目的はフリーハンドで3次元形状を表現するための対話的技法を開発し，容易に意図した透視図作画できるようにすることである．画法幾何学で以前より提案されている透視図作図法は作画条件を与えてから透視図を描く方法であり，意図に合った図が得られるかどうか予想が難しかった．また，計算機を利用した透視変換では意図にあった図を作画するために，データの変更を試行錯誤で行わなければならなかった．本研究では5本の直方体の稜線を骨格と呼び，この骨格をフリーハンドで描き，これを利用した作画法により，物体の透視図を作画する．この方法によれば，透視表現された図の中に初めに作画したフリーハンド骨格が残るため意図した図を作画できる．これを実現するために，本論文では3つの消点を計算する方法，および，作画法を自動化し，意図した図を得るための入力方法を考案し，形状の定義，表現作画技法をまとめ PERS システムを構築した．そして，骨格法によって作画した3点透視図をもとに，CARP レンダリングシステムで濃淡付けを行い，透視画とする作画実験を行った．この結果，3次元形状を意図した図として作画するために，骨格法および，画法幾何学の作図手法を計算機処理で実現した基本作画技法，PERS システムが有効であることを確かめた．

1. 緒　　言

本論文の目的はフリーハンドで3次元形状を表現するための対話的技法を開発し，容易に意図した透視図作画できるようにすることである．

透視図は3次元形状の直感的理解を助けるものであり，多くの分野でプレゼンテーションとして利用されている．日常，われわれがものを意図した図として表現するとき，フリーハンドで自由に描き，正確な図法を適用することは少ない．この場合，誤った図を描く可能性もあるが，イメージを2次元上に自由に表現できるという長所がある．このような作画では作画条件が与えられるのではなく，作画する人が透視図作画の条件を規定しながら図を描いているのである．このとき，人は描かれたものをみて，次の作画を行いながら思考を展開する．ここでは，意図したものが表現されているかどうかという情報交換が人と図の間で行われている．このために，作画法は人の創造的活動の思考にあったものが必要になる．

画法幾何学で以前より提案されている透視図作図法は作画条件を与えてから透視図を描く方法であり，意図に合った図が得られるかどうか予想が難しかった．また，作図面積を多く必要とすることや，基本的な作画手法を繰り返し利用する必要があり作画時間が多くかかること，作図による不正確性などの問題点が上げられていた．

一方，計算機を利用した透視変換では立体形状データを視点などの変換データを与えることにより，任意の位置から見た図を作ることができる．しかし，この方法では意図した図を直接描くというのではなく，計算結果として図が与えられ，それをみて自分の希望にあっているかどうかを判断するのである．このために，意図にあった図を作画するために，データの変更を試行錯誤で行わなければならなかった．

これに対して，永田が提案した骨格法[1),2)]は人の意図した2点透視図を直接描くために提案されたものである．5本の直方体の稜線を骨格と呼び，この5本の作画をフリーハンドで描き，この骨格を利用した作画法を用いて，物体の透視図を作画するものである．この方法によれば，透視表現された図の中に初めに作画したフリーハンド骨格が残るため意図した図を作画できる．

この長所を生かしつつ，計算機が正確な図法に従って変換してくれたり，作図の補助を行うことができれば，フリーハンド作画の不正確さを補い，意図した図を作画できるという長所を生かした作画法が確立できると考える．筆者らは以前より作画システム CARP[3)] を作成し，人の意図する図を容易に作画できるようにしてきた．ここでは，人手で透視図の下図を用意する方法と3次元形状データを変換して透視図を得る方法

† A Perspective Drawing for Interactive Rendering by KUNIO KONDO (Department of Electronics, Tokyo Institute of Polytechnics), FUMIHIKO KIMURA (Department of Precision Machinery Engineering, Faculty of Engineering, The University of Tokyo) and TARO TAJIMA (Faculty of Engineering, Cyubu University).
†† 東京工芸大学工学部電子工学科
††† 東京大学工学部精密機械工学科
†††† 中部大学工学部

と結合し，立体表現を行ってきた[4),5)]．しかし，3次元形状を意図した図として描くためには不十分であった．そこで筆者らは骨格法を応用して，計算機を用いて3次元形状の表現を行うことにした．これらの骨格をフリーハンドで描き，3つの消点を計算する方法，および，作画法を自動化し，意図した図を得るための入力方法を考案し，形状の定義，表現作画技法をまとめた．そして，骨格法によって作画した3点透視図をもとに，CARP で濃淡付けを行い[6)]，透視画とする作画実験を行った．

この結果，3次元形状を意図した図として作画するために，骨格法および，画法幾何学の作図手法を計算機処理で実現した基本作画技法が有効であることを確かめた．

以下，2章では基本作画方法と基本立体の骨格，および入力法，3章では，立体形状の構成と表現法，作画自動化のためのアルゴリズムについて述べる．これをもとに CARP と接続した作画システムを4章で，そして，5章で作画実験について述べる．

2. 骨格法による消点決定

2.1 透視図の作画

透視図を作画するための一般的手順は，図学の教科書[7)]に見られるようによく知られている．ここではこれらの作画手順を利用する前の段階の作画法を考察する．このためにデザイナに作画を依頼した．その例が**図1**である．四角いカップを描くという指示によって，これらの図は描かれた．これらをみると大ワクは定規を用いて描かれ，詳細部はフリーハンドで描かれている．また，陰影は感覚によって描かれている．

このような作画手順は学習活動により，受け継がれると考えてよい．したがって，この方式から大きくはずれることは好ましくない．フリーハンドによる作画では人の能力により，誤ったものを描いてしまう恐れも大きい．その欠点を解決する方法として，骨格法は有効であると考える．

2.2 骨 格 法

骨格法を用いれば，意図した図を得ることができるだけでなく，作画面積を有効に利用できる．骨格法によって作画条件が規定されるため，その条件に従って基本作画方法を用いるものである．

3次元空間内の平行線が透視図上で一点に交わる点を消点という．**図2**において，線分 A，A′，線分 B，B′，線分 C，C′ が各軸に平行であるとすれば，3つの消点は V1，V2，V3 となる．このような6本の線分を入力して消点を決めることは透視図の作画のためにはできあがる透視図の形の予想がつきにくいため適当な方法とはいえない．このために**図3**に示すような骨格入力の方法が提案されている．骨格とは，直交3軸である線分 AB，BD，BE の3本と3次元空間内で線

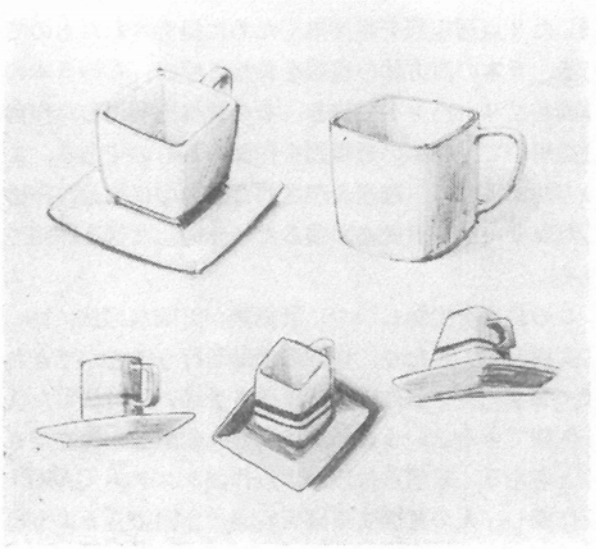


図 1 フリーハンドによる透視図作画
Fig. 1 Perspective drawing by freehand.

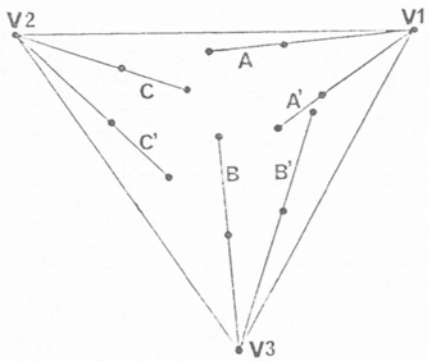


図 2 6本の線分と消点
Fig. 2 Six lines and three vanishing points.

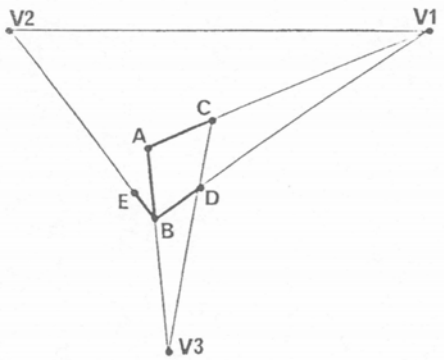


図 3 骨格と消点
Fig. 3 Calculation of perspective frame.

分 AB に直交し，線分 BD に平行で等しい長さの線分 AC を加えた太い線分で示されたものをいう．この骨格をもとに，2つの消点は画面上で水平線上にあると仮定し，4本の線と2つの頂点を結ぶ線分，水平線の合計6本から3つの消点を決めることができる．ただし，人が入力するデータは骨格の4本の線分だけでよい．この骨格は透視図の構図を平面上で決定できるものであり，3次元データを必要としない．

2.3 消点の求め方

骨格が与えられたときの消点を求める手順は次のようである．

1) 3次元で平行である2辺 AC，BD の交点を求める．これが第一の消点 V1 である．

2) この消点より水平線（地平線）を考え，辺 BE と水平線の交点を求める．これが第2の消点 V2 である．

3) 第3の消点 V3 は線分 AB と CD の交点によって求めることができる．ここで線分 AB，CD の長さは3次元空間内で等しい．

従来の消点を利用した方法では，作画面積に対して非常に大きな紙面を必要とする．計算機を用いる場合は，作画する画面の中におく必要はなく，3消点の座標値を利用することができる．このため，画面を有効に利用できるだけでなく，今まで提案されてきた各種の作画方法を自動化することにより，作画時間の短縮，作画の正確性が実現される．次に，意図した透視図を作画するための入力方法と3消点をもとにした作画方法の自動化について述べる．

3. 基本作画手法と入力方法

透視図法で用いられている手法は初等解析幾何学の演算で置き換えることが可能であり，意図した図を描くために，対角線の消点の計算，だ円の作画と角度分割，内挿，外挿，回転，鏡像，影付けの数種の作画法を用いる．以下ではこれらの作画方法について述べる．

3.1 対角線の消点と正方形

正方形の作画は円柱や円錐，および回転角度を求めるためのだ円の作画に重要なものである．

〈計算手順〉（図4）

1) 2点（A，B）を入力し，線分 AB と線分 A・V1 を通り，線分 V1・V2 に平行な線分 CD を引く．この線分は任意の位置に取ることができる．直径 CD の円と，点Aを通り線分 CD に対する垂線との交点Eを求める．

2) 線分 DE と45度で交わる線分と線分 CD との交点Fを求める．ここで，線分 AF と水平線 V1・V2 の交点が対角線の消点となる．

3) 線分 AB を正方形の一辺と考えると，線分 B・V1 と線分 AF の交点Gが求められる．さらに線分 G・V2 と線分 A・V1 の交点として点Hが決定できる．これによって，正方形 ABGH の透視図が得られる．

3.2 だ円の作画と角度分割

だ円を描くための入力法は半径を入力する方法と正方形の一辺を入力する方法がある．半径を入力する方法では半径をもとに外接する正方形が計算される．したがって，ここでは正方形の透視図を不等辺四角形と考え，これに内接するだ円を求める方法を示す．

〈計算手順〉

1) 入力した半径から求めた不等辺四角形 ABCD か

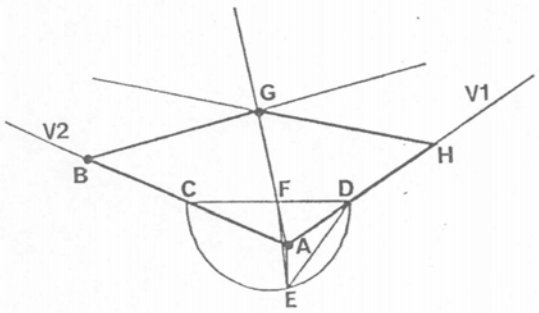
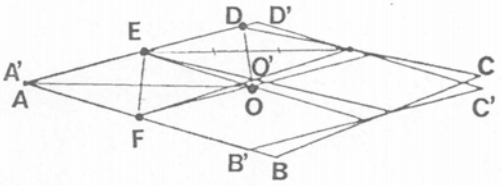
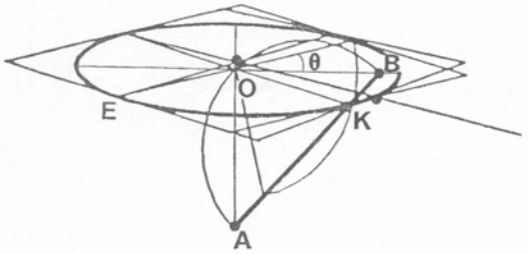


図 4 対角線の消点と正方形
Fig. 4 Vanishing points of a diagonal line.



（a） 平行四辺形の作画



（b） 共役直径の求め方

図 5 だ円の作画
Fig. 5 Drawing of an ellipse.
(a) Parallelogram.
(b) Drawing of axis.

ら，図5(a)に示すように平行四辺形を求める．まず，四角形 ABCD の対角線より，交点 O′ を求める．

2) 点 O′ を通り消点で収束する直線を求め，それらの線分で四角形 ABCD を4分割する．

3) 分割した四角形の対角線を2等分し，その2等分点と点 A, D を結ぶ線分をつくり，その交点をOとする．

4) 点 E, F より点Oを通る線分を作り，これらの線分に対して平行線を作ることによって，線分 A′B′, D′C′, A′D′, B′C′ が決定できる．これによって，平行四辺形が求められる（文献2)，p. 61)．

5) 平行四辺形からだ円の共役直径 KA, KB を Rytz の方法によって求める．

6) Oを中心とし，長軸 KA，短軸 KB のだ円を角度 θ だけ回転する（図5(b)）．

角度分割は図6に示す方法によって可能となる．外接正方形とだ円の接点を0度，90度，180度，270度とし，水平線と視心からの垂直線との交点と接点を結ぶ線を作り，参考円の直径との交点を求める．この点からつくる鉛直線と参考円の交点が0度となる．また，この逆の操作を行うことによって，だ円上の任意の点の回転角度も求めることができる．さらに，回転角度を与えた場合のだ円上の点も計算できる．

3.3 内挿，外挿技法

3次元空間内で等しい長さを透視図として表現するときには，以下に示す内挿・外挿法は有効である．与えられた線分に対する割合を入力することによって，各辺の内部の点や延長した点を求めることが可能である．ここでは長方形 ABCD が与えられたとき，これを3次元空間内で辺 BC に接続する同じ大きさの長方形を求める手順を図7に示す．

〈計算手順〉

1) 線分 DC に平行な線を点Aを通るように設定し，この平行線と線分 DB の交点Eを求める．

2) 線分 AE 上に線分 AE と同じ長さを点Eからとり，点Fとする．

3) 線分 FD と線分 AB の交点をGとする．

4) 線分 V2・G と線分 DC の交点をHとする．これによって長方形 BGHC が決定される．

このような操作を他の辺でも繰り返し行うことによって，直方体のコピー，分割が可能となる．

3.4 回転手法

回転した物体を描くとき，回転角度を与える方法と任意方向を描く方法の2種類がある．角度が与えられた場合，その角度が示す方向を求めることは前述の角度計算によって可能である．ここでは，方向を与え，回転後の軸を求める方法を示す．

1) 図8に示すような線分ABを回転方向として入力する．

2) 線分 AB と線分 V2・V3 の交点を求める．これが回転した消点 V2′ である．

3) 線分 V1・V2′ から視心を通る垂直線を決定し，

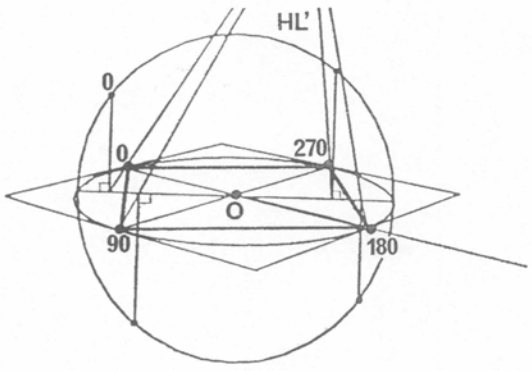


図6 角度分割
Fig. 6 Division of an angle.

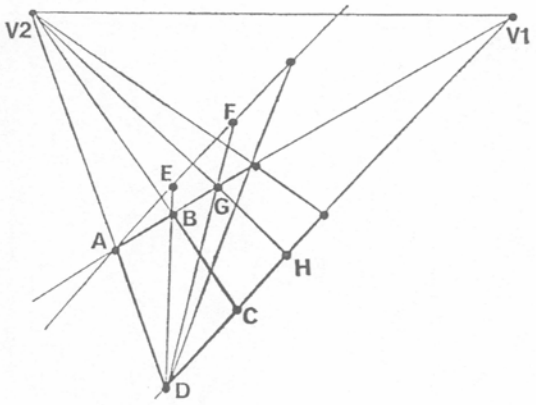


図7 内挿・外挿の方法
Fig. 7 Interpolation method.

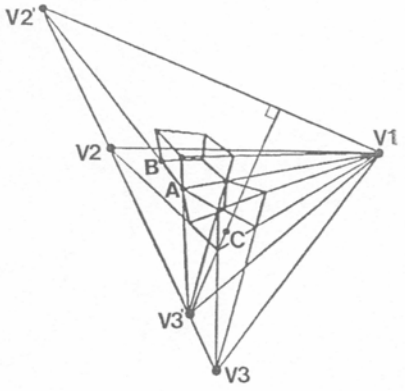


図8 回転の方法
Fig. 8 Revolution method.

この線分と線分 V2・V3 の交点を V3′ とする．

4) 消点 V1, V2′, V3′ は回転後の消点である．これをもとに透視図上で，立体の頂点座標を入力することができる．

3.5 鏡像作画法

鏡像法は対象物を構成するとき，および，鏡に映ったものや池に映ったものを表現するために重要である．鏡像を作るためには面の向きとその位置が必要である．面の方向を選択し，位置を画面上で入力することによって，点Bの鏡像点Cを得る手順を**図9**に示す．

〈計算手順〉

1) 点Aを与えることによって点Aを通る水平線Lを引く．

2) 測点S（文献2)，p. 18）と点Bを結ぶ線分を SB とし，この線分 SB と水平線の交点を B′ とする．

3) 水平線上で点Aを基準にして対称に点 C′ をとる．

4) 点 C′ と測点Sを結び，線分 V1・A と線分 SC′ の交点Cを求める．この点Cが点Bの鏡像である．

3.6 影付けの技法

影は対象の位置や姿勢を感覚的に理解させるために大切なもので，自然な感じを与えるものとして有効である．意図する影付けを行うためには影の形を直接示すことである．つまり，光源の位置を与えるのでなく，影のできる部分を示すことである．したがって，与えた影の一部の情報より光源の位置と影の消点を見つける手順によって，影の作画を行った．

〈計算手順〉（**図10**）

1) 影の方向を示す一辺 BC を入力し，水平線 V1・V2 との交点 S を求める．この点 S が影の消点である．

2) 与えた直方体の頂点 A と点 C を結ぶ線分を延長し，線分 S・V3 との交点Oを求める．この点が光源の位置である．

3) 点Oと立体の各頂点を結ぶ線分，および，点Sと立体の平面図上の各頂点を結ぶ線分との交点を繰り返し求めることにより，影の形状を得ることができる．

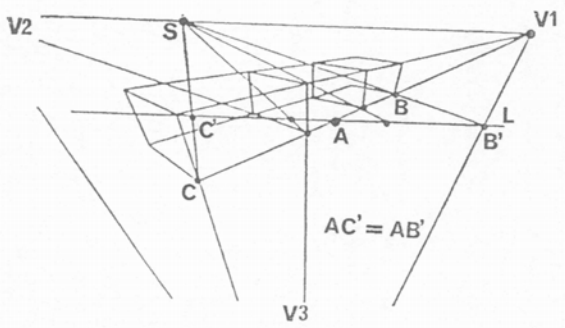


図 9 鏡像の作画方法
Fig. 9 Mirror method by point input.

4. 立体図形の作画

ここで扱う図形と入力データを**図11**に示す．図の丸い点が入力点である．この点はタブレットから直接2次元データとして入力される．

1) 立方体：一辺の長さ（2点入力)，2) 直方体：3辺の長さ（4点入力)，3) 円柱：中心と軸方向の長さ，高さ（3点入力)，4) 円錐：中心と軸方向の半径の長さ，高さ（3点入力)，5) 円錐台：上面，底面の半径（4点入力)，6) 正多角柱：正多角形を囲む円の半径と高さ（3点入力)，7) 正多角錐：正多角形を囲む円の半径と高さを示す一辺（3点入力)，8) 正多角錐台：正多角形を囲む円の半径と上面の半径（4点入力)，9) 柱体：底辺の座標と中心，高さ（座標 $n+1$ 点入力)，10) 多角錐：底面の座標と高さを示す一辺

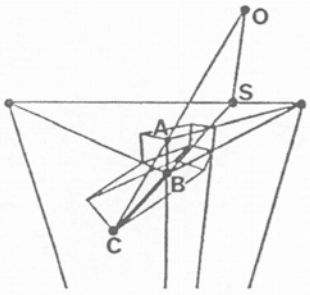


図 10 影付けの方法
Fig. 10 Shadowing method by direction input.

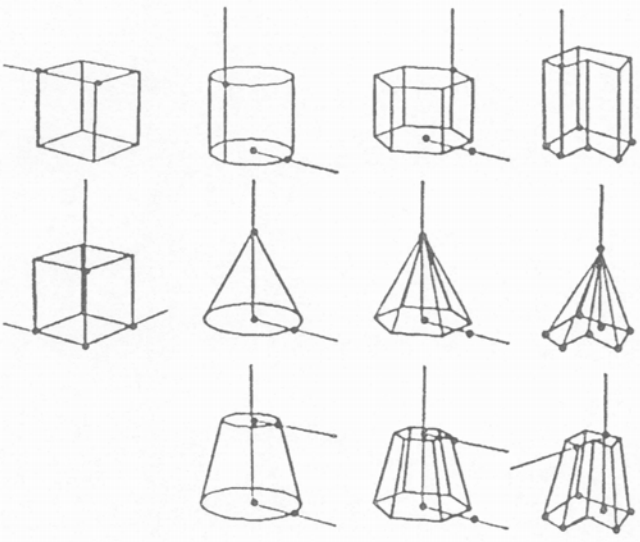


図 11 基本立体の入力と作画例
Fig. 11 Input data of 3-D shapes and examples.

(n+2 点入力), 11) 多角錐台：底面の座標と中心，高さ，上面の1点 (n+3 点入力) である．

点を入力するとき，高さ方向や半径方向の補助線を表示することにより，形を容易に決定できる．さらに，底面の向きを選択することによって，立体の向きを決定できる．

5. 透視図作画システムによる作画実験

図 12 に透視図作画部と CARP レンダリングシステムの関係を示す．前述した透視図作画機能を利用し，面を定義し，それらを線画ファイルに保存するとともに，CARP の機能を用いて濃淡付けができるようになっている．

図 13～15 は手描き透視図の手法によって作画した線図の例である．基本立体作画機能，コピー，回転を用いて作画したものである．これらの線図を描く人の作業時間は5分から15分である．図13は立方体をコピー機能によって上下左右の方向に配置した例である．方向を指示するメニューを選ぶだけでコピーが可能なため，立体の構成を図を見ながら行うことができる．図14は回転機能を用いたものである．三つの大きな直方体は回転した位置にある．ここではこれらの配置を空間的に決定せず，直接図の中へ方向を示した．図15は分割機能を用いて作画した例である．

図 16(a), (b)は濃淡図形の例である．これらを作画する時間は線図で約20分，濃淡付けに約30分から1時間程度である．図16(a)は多数の直方体を用いてディスクプレイヤの外観図を描いたものである．図16(b)は室内の様子を表現したもので，線図では詳細な部分は表現せず，濃淡付けを行うときに追加した．このような濃淡図を作画することは物理的演算では難しいものである．**図 17** は透視図の修正例である．図17(a)はスキャナ入力したもので，この図の6本の平行線から消点を求め，3か所へ図形を追加したものが図17(b)である．

6. 結　　言

本研究では，骨格法を用いて透視図を作画するための基礎作画法を自動化した．これらの手法は人手で作

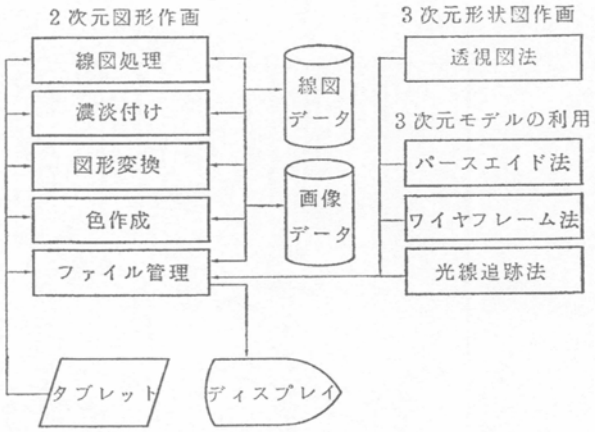


図 12 透視図作画部とレンダリングシステム
Fig. 12 Rendering system and perspective drawing parts.

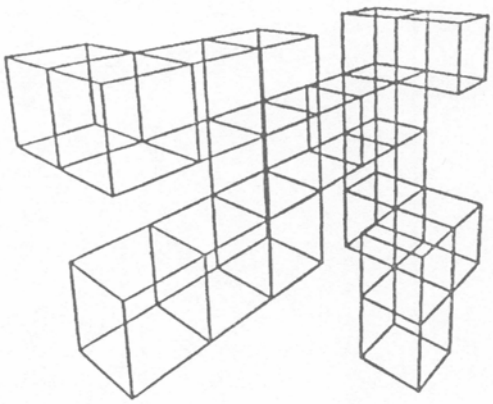


図 13 コピー機能を用いた作画例
Fig. 13 Example using copy method.

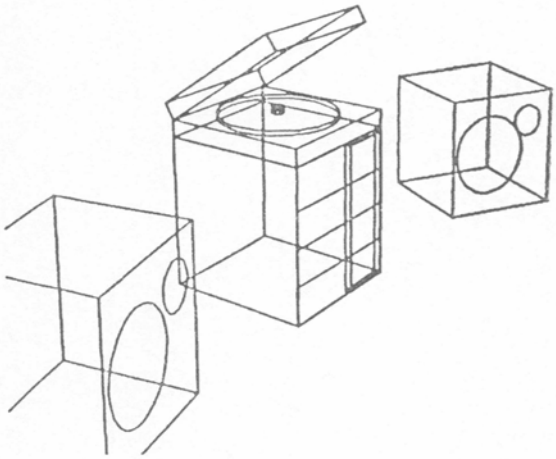


図 14 回転機能を用いた作画例
Fig. 14 Example using revolution methood.

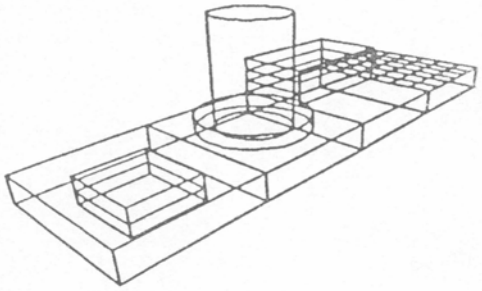
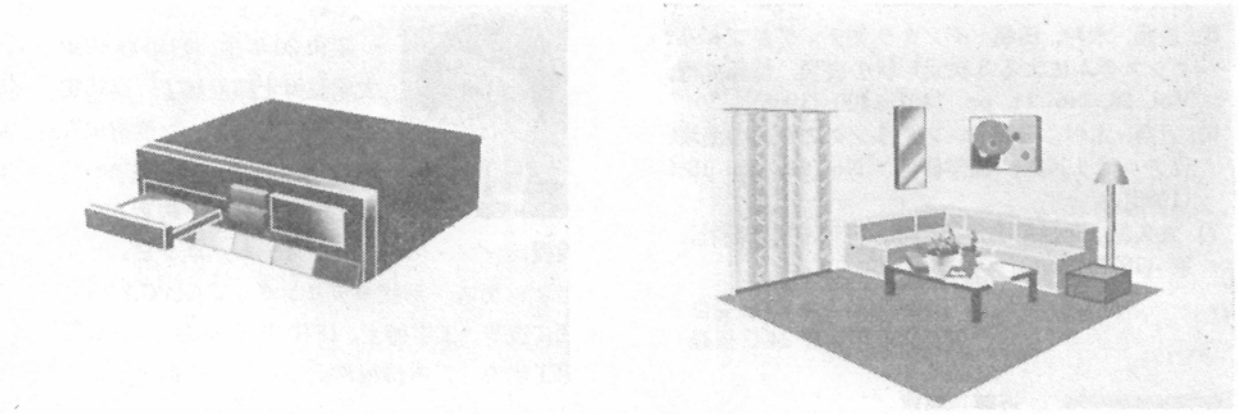
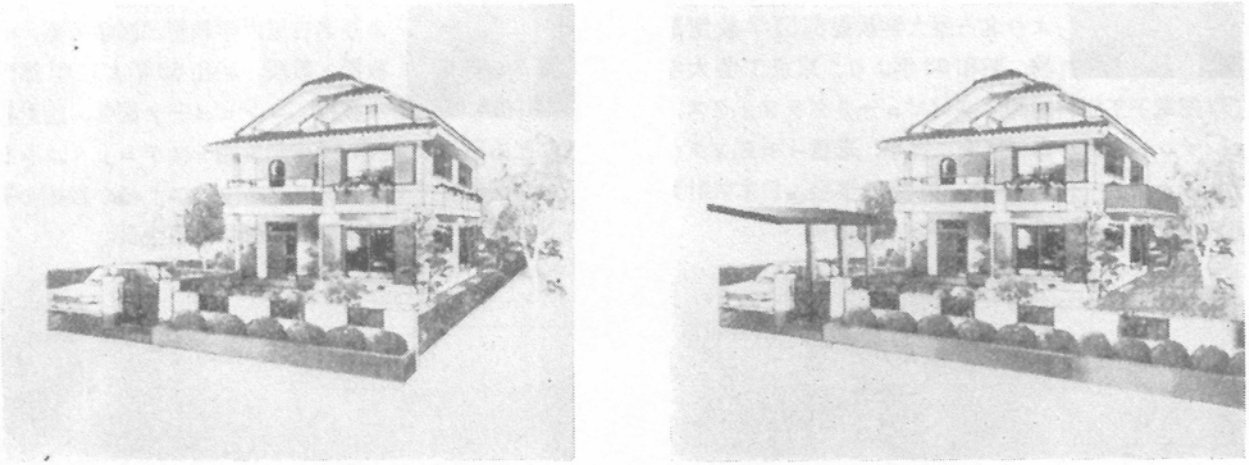


図 15 内挿を用いた作画例
Fig. 15 Example using interpolation method.



(a) 濃淡図形 (b) 濃淡図形

図 16 作画例
Fig. 16 Examples of rendering (a) (b).



(a) 原図 (b) 完成図

図 17 透視図の修正
Fig. 17 Retouch of perspective drawing.
(a) Original picture.
(b) Finished picture.

画する手順と同じであり，利用しやすいものである．手描き透視図は2次元処理によって3次元形状作画を行う方法であり，コンピュータグラフィックスと図学の長所を生かしたものである．

これらを用いて作画実験した結果，次の成果が得られた．

1) 骨格となる数本の線分から3つの消点を計算し，それをもとに透視図を作画したり，写真に手描き透視図を合成したりすることが可能となった．

2) 従来の数多い作画法から，計算機手法による基本的作画法をまとめることができた．

3) 求められた3つの消点から視点を推定する計算方法は，直線の交点や円との交点計算などを利用した単純なものである．このような2次元処理によって3次元形状の透視図を作成する方法は，意図した図を作画するために重要な技術である．

4) アイデアを具体化する時から彩色まで一貫した透視画作画システムが実現できた．

参 考 文 献

1) 永田：Intentional Perspective System—Development of a New Perspective System, 千葉大学工学部研究報告, Vol. 27, No. 52, pp. 179-198 (1976).
2) 永田：イメージパースペクティブデザイン，美術出版社，東京 (1979).
3) 近藤，木村，田嶋：曲面の形状感の表現 第2報 ペイントシステム CARP の作成，精密機械，Vol. 51, No. 6, pp. 1212-1217 (1985).
4) Kondo, K., Kimura, F. and Tajima, T.: An Interactive Rendering Technique for 3-D Shapes, *EUROGRAPHICS '85*, pp. 341-352

(1985. 9).
5) 近藤，木村，田嶋：インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現，情報処理，Vol. 26, No. 11, pp. 1401-1408 (1985).
6) 近藤，木村，田嶋：レンダリングのための濃淡表現アルゴリズム，図学研究，No. 39, pp. 15-20 (1986).
7) 大久保：詳説第1角法図学，日刊工業新聞社，東京 (1971).

(昭和62年7月30日受付)
(昭和63年6月24日採録)

近藤　邦雄（正会員）

昭和29年生．昭和53年名古屋工業大学第Ⅱ部機械工学科卒業．昭和63年東京大学工学博士．昭和48年より名古屋大学教養部図学教室勤務．昭和63年より，東京工芸大学工学部電子工学科講師．コンピュータグラフィクス，マンマシンシステムの研究に従事．著書「モダングラフィックス」．日本図学会，精密工学会，日本設計製図学会などの各会員．

木村　文彦（正会員）

昭和20年生．昭和49年東京大学大学院博士課程修了．同年電子技術総合研究所パターン情報部入所．昭和54年より東京大学工学部精密機械工学科助教授．昭和62年より同教授．マン・マシン・システム，コンピュータ・グラフィックス，形状モデリング，CAD/CAMなどの研究に従事．工学博士．IFIP-WG 5.2-5.2-5.3委員．精密工学会，日本機械学会などの各会員．

田嶋　太郎（正会員）

大正12年生．昭和20年東京大学工学部卒業．工学博士．昭和38年より名古屋大学教養部図学教室，助教授・教授．昭和62年より中部大学教授．コンピュータ図学，設計製図などの研究に従事．「自動製図システム」，「コンピュータ図学」，「モダングラフィックス」ほか数編の著書．日本図学会，日本設計製図学会各会員．

Vol. 29 No. 7 情報処理学会論文誌 July 1988

手描き透視図の視点推定とその応用†

近藤邦雄†† 木村文彦††† 田嶋太郎††††

本研究では質の高い図を早く容易に得ることを目標とし，手描き透視図から視点推定を行う方法，光源の方向を求める方法，立体再構成法について述べる．従来から行われてきた透視図作画には図学における作画と投影理論を用いた計算手法の2種類がある．これに対し，筆者らは計算機を用いて，立体の骨格の一部を与え，それをもとに透視図を作成する方法を提案してきた．この方法は自分の持つイメージを図化するときに，意図した構図を容易に描くことができるという長所を持っている．本研究では，この方法を利用し，視点位置，光源の方向の推定，および，透視図から3次元データを求める処理を実現すること，さらに，手描き透視図と写真の合成，3次元モデルの陰影付けに応用することを行った．この実験から，求められた3つの消点から視点を推定する計算方法は直線の交点や円との交点計算などを利用し，望む構図の視点座標などが容易に得られること，また意図した方向の影を描くことができ陰影付けへの入力手段として有効であること，立体再構成法は透視図を用いた立体データ入力の有効な方式になる可能性があることを示した．

1. 緒　　論

本研究では質の高い図を早く容易に得ることを目標とし，手描き透視図から視点推定を行う方法，光源の方向を求める方法，立体再構成法の計算処理方法とそれらの応用について述べる．

図や絵は3次元形状の情報伝達に非常に有効なものであり，伝えたい情報が図からすばやく理解できることが大切である．本論文では，伝えたい情報が容易に理解できるような図を質の高い図と考える[2]．

また，本文で用いる手描き透視図とは，人がタブレットを用いて計算機と対話しながら，作画計算処理を利用し，画面上に任意の点を決定しながら描いた線図による透視図，および，その線図に濃淡付けを行ったものをいう[3]．したがって，ここで「手描き」とは，人の頭の中にある形状のイメージをもとに，紙面上でスケッチするように描いていく段階において，計算機と対話しながら，画法幾何学の各種の作画法をプログラミングしたコマンドを選択し，表現したい形状を決定するための必要な最小限のデータを入力することによって透視図を描いていくことをいう．本論文では3つの消点を利用し，2次元上で点を指定していくので3次元データを使うことはない．このようなことを可能にすることは，人に従来の三角定規やコンパスに比べ，透視図作画のための賢い定規を与えたことになる．

従来から行われてきた透視図作画には図学における作画と投影理論を用いた計算手法の2種類がある[4]．図学における作画は2次元上に立面図，平面図を配置し，いくつもの決められた作画法に従って，人手で図を作画する方法である．この方法は図に対して直接指示して変更を行う．常に図を取り扱いながら，図を作り上げていく点で人にとって感覚的に優れた方法である．しかし，紙面上での作画のために不正確となりやすい．投影変換を用いる計算手法は変換行列および3次元データを必要とする．一つの図を得るために，3次元データを用意することは大きな負担といえる．

これに対し，筆者らは計算機を用いて，立体の骨格の一部を与え，それをもとに透視図を作成する方法を提案してきた．この手描き透視図法は次の長所を持っている．

1) 形状を決めながら透視図を描いていくので，3次元形状データを必要としない．

2) 自分のもつイメージを図化するときに，意図した構図を容易に描くことができる．

3) 消点データをもとに，計算機を用いた対話形式の内挿・外挿法，回転法などの作画法を用いて透視図を作画することができる．

本研究では，この方法を利用し，視点位置，光源の方向の推定，および，透視図から3次元データを求める処理を実現すること，さらに，手描き透視図と写真の合成，3次元モデルの陰影付けに応用することを考える．従来これらの応用について次のような問題点があった[4]．

† Estimation of a Point of View with Perspective Drawing and the Application by KUNIO KONDO (Department of Electronics, Tokyo Institute of Polytechnics), FUMIHIKO KIMURA (Department of Precision Machinery Engineering, Faculty of Engineering, The University of Tokyo) and TARO TAJIMA (Faculty of Engineering, Cyubu University).

†† 東京工芸大学電子工学科
††† 東京大学工学部精密機械工学科
†††† 中部大学工学部

1) 写真合成において，人の経験による作画は消点が作画によって求めにくく，その設定を間違えると不自然な図になる．

2) 土木建築方面におけるモンタージュパースは空間上の点と写真上の点を測定したり，連立方程式を解く必要がある．

3) 3次元モデルを光線追跡法のシミュレーション法により作画する場合，意図した図を得るために，視点の位置を試行錯誤で決めることが多く，一つの図を得るために余分な計算が必要となる．

これらの問題を解決するために，本研究の成果は有効であり，作画実験から次のことがわかった．

1) 求められた3つの消点から視点を推定する計算方法は直線の交点や円との交点計算などを利用した単純なものである．この方法を用いれば，望む構図の視点座標などが容易に得られる．

2) 意図した方向の影を描くことができ，陰影付けへの入力手段として有効である．

3) 立体再構成法は透視図を用いた立体データ入力の有効な方式になる可能性がある．

以下，2章では手描き透視図と消点計算，3章では視点推定計算，4章では光源方向の計算，5章では立体再構成法，6章ではそれらの手法を用いた作画実験について述べる．

2. 透視図作画と消点計算

3次元空間内の平行線が透視図上で一点に交わる点を消点と呼ぶ．**図1**に骨格と消点の関係を示す．ここでは，直交3軸である線分 AB，BD，BE の3本と3次元空間内で線分 AB に直交し，線分 BD に平行で等しい長さの線分 AC を加えた太い線分で示されたものを骨格という[1]．直交3軸のうち水平面を作る2軸の消点は画面上で水平線上にあると仮定すると，4本の線分（AB，AC，BD，BE）と2つの頂点（C，D）を結ぶ線分，V1を通る水平線の合計6本から3つの消点を決めることができる．実際に人が指定する線分は骨格の4本の線分であり，線分 CD と水平線は骨格から求められる．この骨格は透視図の構図を平面上で決定できるものであり，3次元データを利用する必要はない．この骨格の形状を決めることにより，人は意図した構図の3点透視図を描くことができる．

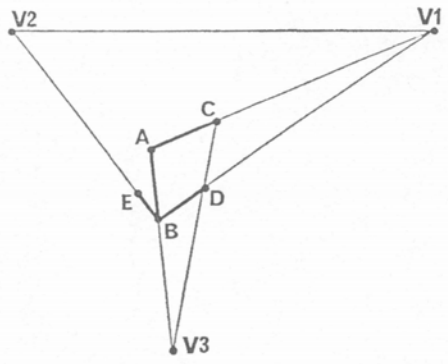


図1 骨格を用いた3消点
Fig. 1 Calculation of three vanishing points with perspective frame.

次に，人が入力した骨格から消点を求める計算手順を述べる．

〈計算手順〉

1) 3次元空間内で平行である2辺 AC，BD の交点を求める．これが第一の消点 V1である．

2) この消点より水平線（地平線）を取り，辺 BE と水平線の交点を求める．これが第2の消点 V2 である．

3) 第3の消点 V3は線分 AB と CD の交点によって求めることができる．ここで線分 AB，CD の長さは3次元空間内で等しい．

この計算法により，図1に示すように骨格から3つの消点が規定される．これらの消点を利用することにより透視図を描くことができる．

この方法は次のような長所がある．

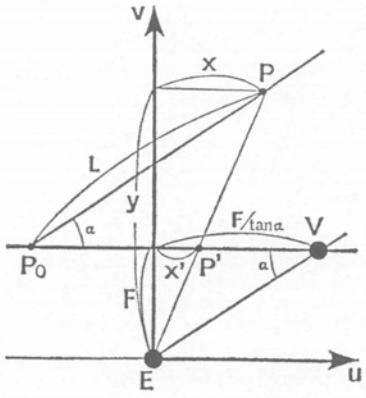
1) これら消点は数値データとして求められるので，ディスプレイ画面の作画領域に表示される必要がなく，透視図の作画面積を大きくとることができる．

2) 作画手順をプログラム化したため，消点の座標計算は線分の交点計算誤差が影響する程度であり，紙面上に鉛筆などで作画して交点を読み取る誤差に比べて非常に小さいものである．複雑な形状を描いていくときも，得られた消点データをもとに，作画処理の幾何学的計算を行うことから，描かれた透視図が不自然に見えるような大きな誤差は生じない．

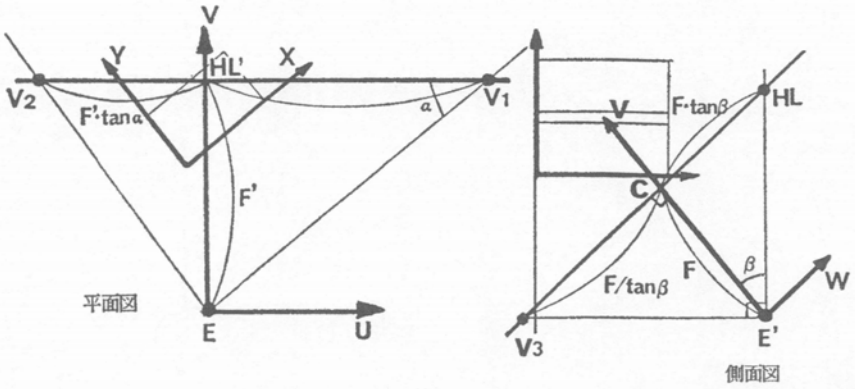
3. 視点推定計算

本章では手描き透視図により求められた消点から投影中心である視点を求める方法について述べる．

図2（a）は視点Eと消点Vの関係を示したものである．ここで F は視距離である．点Pを含み，角度 α である半直線Lを考える．このとき点 P (x, y) は P′ (x', F) に変換される．この点Pを半直線L上に無限大の長さをとると消点Vと一致する．これから，直線Lの消点の座標は $(F/\tan\alpha,\ F)$ となる．



(a) 視点と消点の関係



(b) 視点推定

図 2 視点計算

Fig. 2 Calculation of stand position.
(a) Relation of vanishing point and stand position.
(b) Estmiation of stand position.

図2(b)は視点座標系 E-*UVW* と地上座標系 O-*XYZ* との関係を平面図と側面図で示したものである．ここで，視点をE，視軸Vとし，視点Eから線分V1・V2に対して直交する線分を引き，その交点をHLとする．HL′ はHLの平面図の座標，E′ は視点の側面図の座標，*F*′ は視点からHLまでの距離を示す．図2(b)は *W* 軸まわりに α，*U* 軸まわりに β だけ傾けた状態を示している．消点 V1，V2，V3 は画面の座標系 *C-UW* において，次のようになる．

$V1=(F'/\tan\alpha,\ F*\tan\beta)$

$V2=(-F'*\tan\alpha,\ F*\tan\beta)$

$V3=(0,\ -F/\tan\beta)$

$F'=F/\cos\beta$

$HL=(0,\ F*\tan\beta)$

で求めることができる．

骨格法で求めた消点の座標を利用し，α，β，*F* を求めることによって視点を推定することを次に述べる．図2(b)に示すように，視点Eは視心Cを原点として固定されているため，これらが求められれば，視点Eの座標は地上座標系と平行で点Cを原点とした座標系で決定できる．

ここで利用する消点の座標は骨格法によって求めた数値データ，画法幾何学の手法によって求めたデータ，さらには，写真から求めたデータでもよい．

消点 V1，V2，V3 が既知のとき，α，β，*F* を求める手順は図2から次のようになる．

〈計算手順〉

1) 線分 V1・V2 の中点を求め，中点を中心とし，直径を V1・V2 とする円を作画する．

2) HL′ から線分 V1・V2 に対する垂線を引き，円と垂線の交点Eを求める．

3) 線分 E・HL′ と線分 HL′・V1 より，角度 α を求める．

4) 角度 β も同様に点 HL，点 V3 を通る円より求める．

図2の平面図，側面図を利用して，そこに与えられた直方体を，画法幾何学の手法によって透視図に描いたものが**図3**である．図3で利用した視点データと，骨格から計算された消点をもとに得られた視点データを比較する．図2の視点データ (α, β, *F*) を図から読み取ると，38°, −41°, 214. である．タブレットよりこの直方体の骨格を入力し，前述の計算手順により得られた α, β, *F* は 38.6°, −42.8°, 214.3 である．これからわかるように図法によって透視図を描くための α, β, *F* と骨格法によって計算された α, β, *F* は誤差は少なく，描かれた透視図は一致して見える．また，透視投影変換を利用して，視点の座標値のかわりに，α, β, *F* を利用して描いた透視図から骨格を入力

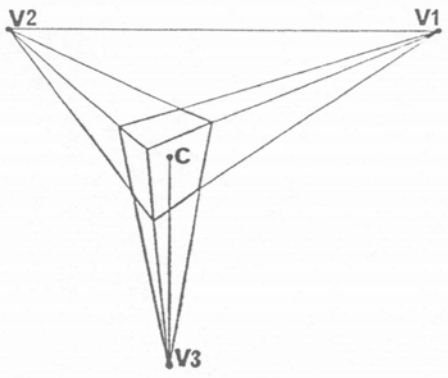


図 3 直方体の透視図

Fig. 3 Perspective drawing of rectangular parallelepiped.

し，α, β, F を求めた結果も，与えた α, β, F とほぼ一致することが確かめられた．以上のことから，消点を利用すれば，描かれた透視図から視点データを求められることがわかる．

骨格から透視図を描き視点を求める場合は，誤差は線分の交点計算だけであるが，写真から平行線を選択し，視点計算するときには，平行線の入力誤差によって大きく視点の位置が変化する場合がある．

4. 光線方向の計算

筆者らは意図した方向の影を描くために，立体の一辺の影の方向を示す方法を提案した[3]．この一辺は，任意の方向を透視画面の2次元上で指定できる．**図4**に示すように，この方法では入力した線分の消点 Sa, Va を求め，さらに，透視図上の直方体の各頂点とこの2点を結ぶ2本の線分の交点から立体全体の影の形状を決定した．本章ではこの方法をもとに透視図の影から3次元空間の光源の方向を求める方法を示す．図4にこの作画計算手順を示す．ここでは，直方体の一辺 AB に対応する影の一辺 A′B を入力し，光線の方向である方位角 α，仰角 β を求める．

〈計算手順〉

1) 線分 A′・B と線分 V1・V2 の交点から平行光線の消点 Sa を求める．角 V2・Sa・E は実角となり，方位角 α を表す．

2) 線分 A・A′ と線分 Sa・V3 の交点 Va を求める．

3) 線分 Sa・E を半径とする円と線分 V1・V2 の交点 Sb を求める．これは線分 Sa・E を回転し，立面図とする操作である．（E：平面図上の視点の座標）

4) 角 Va・Sb・Sa は実角を表しており，仰角 β となる．

この作画法に従い計算を行えば，影の方向を与えることにより，意図した影付けを行うことができ，さらに，3次元空間内での光線の方向も求めることができる．

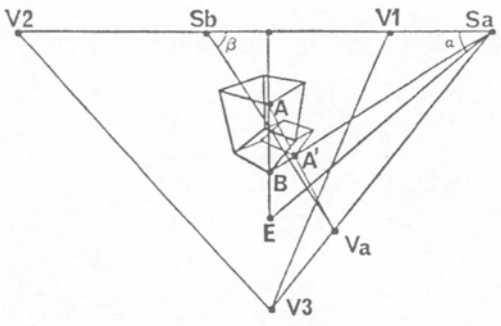


図 4 光源方向の推定
Fig. 4 Estimation of ray direction.

5. 立体再構成法

5.1 内挿，外挿技法

3次元空間で平行である線を透視図として表現するとき，また3次元空間で等しい長さを透視図上にとるとき，内挿・外挿技法は有効なものである．与えられた線分に対する割合を入力することによって，各辺の内部の点や延長した点を求める手順を**図5**に示す．ここでは長方形 ABCD が与えられているとき，同一平面上にこの長方形と3次元空間内で同一形状のものを外挿操作によって求められることを示す．このとき，人は同一形状の長方形を一辺 BC に接するように作ることを指示するだけで，次に示す計算手順によって自動的に長方形 BCHG を得ることができる．

〈計算手順〉

1) 線分 DC に平行な線を点Aを通るように設定し，この平行線と線分 DB の交点Eを求める．

2) 線分 AB 上に線分 AE と同じ長さを点Eからとり，点Fとする．AE と EF は等しい長さである．

3) 線分 FD と線分 AB の交点をGとする．

4) 線分 V2・G と線分 DC の交点をHとする．

以上によって得られた長方形 BCHG は長方形 ABCD と3次元空間で等しい大きさである．

5.2 立体再構成

手描き透視図が与えられたとき，この2次元的な情報から，描かれている立体の辺の長さの比を求め，この得られた比に対して，任意の一辺に実際の長さを与えることによって，描いた立体の形状を求めることを立体再構成という．このために，前述の内挿・外挿技法と逆の手順によって立方体に対する直方体の各辺の

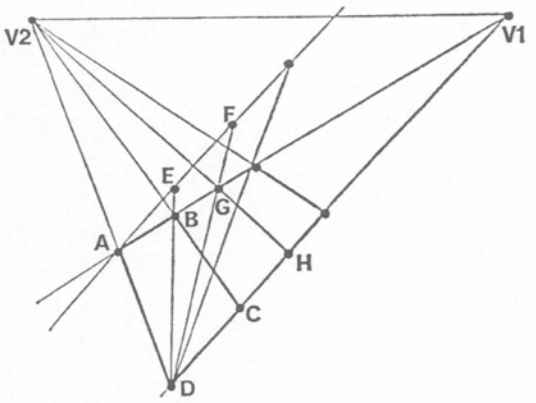


図 5 内挿・外挿の方法
Fig. 5 Interpolation method.

長さの比を求めることが必要である．ここでは，**図6**に示すように，線分 AB を1とする立方体に含まれる直方体の線分 AB に対して線分 AF の比を求める手順を示す．

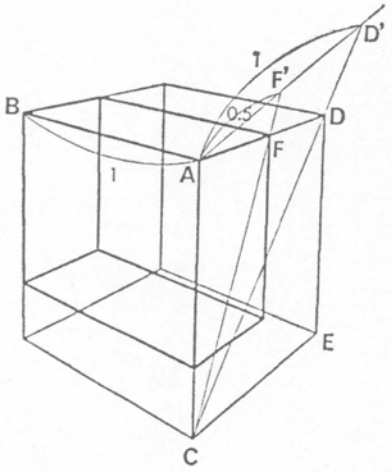
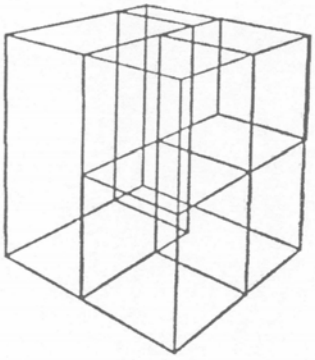
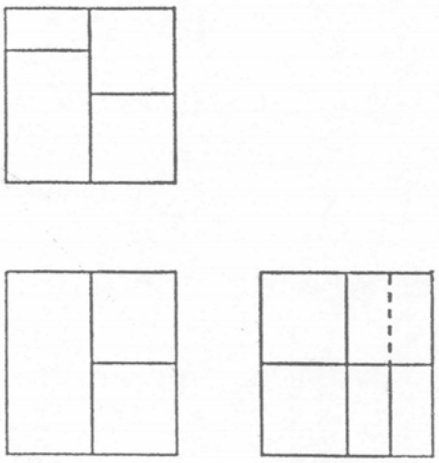


図 6 透視図からの立体再構成
Fig. 6 Reconstruction of 3-D model with perspective drawing.

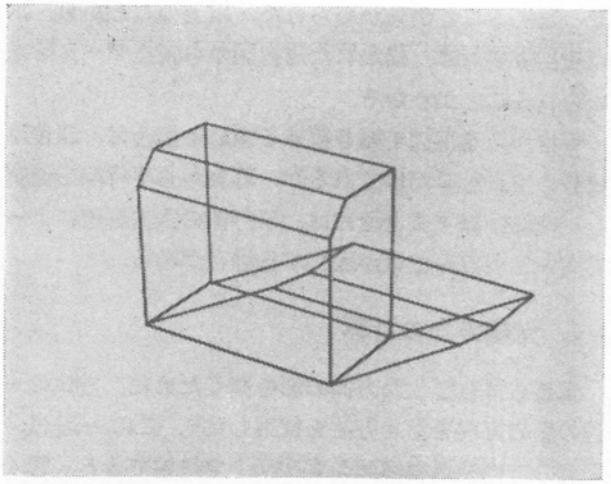


（a） 手描き透視図

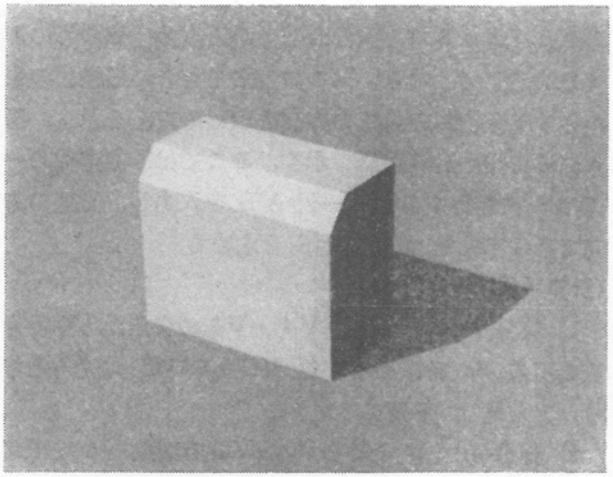


（b） 再構成した立体の3面図

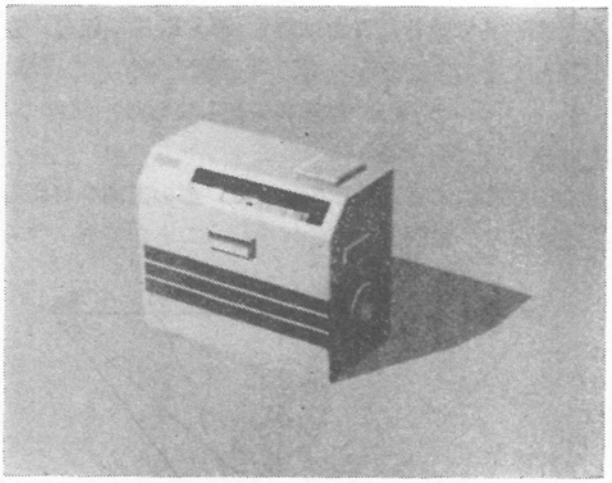
図 7 作 画 例
Fig. 7 Example of reconstruction.
（a） Perspective drawing.
（b） Principal views.



（a） 影の方向決定



（b） 濃淡図形



（c） 完 成 図

図 8 影付けと濃淡図形
Fig. 8 Example of shadowing.
（a） Input of direction of shadow.
（b） Output of shading picture.
（c） Finished picture.

〈計算手順〉

1) 線分 CE に平行な線を点Aから引く.

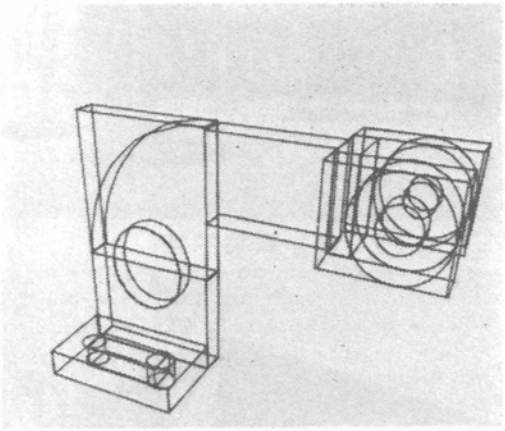
2) この線と線分 CD との交点を D′ とする.

3) 線分 CF と線 AD′ の交点 F′ を求める.

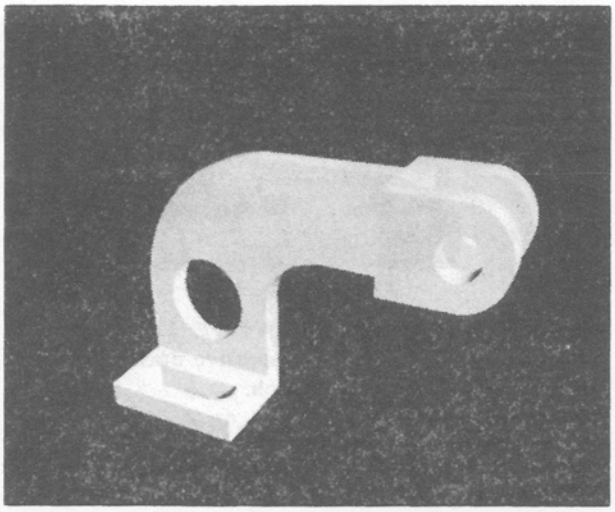
4) 線分 AF′ と線分 AD′ の比を求める. ここで線分 AD′ 上の長さの比と3次元空間内の長さの比, つまり線分 AF の線分 AD の長さに対する比は一致する. したがって点 F は線分 AD を線分 AF′ と AD′ の比に分割したことになる. この例では線分 AF′ : AD′ の比は 0.5 : 1 であるので, 線分 AD を二等分した点がFである. 同様な手順によって他の辺の比も求めることができる.

以上からわかるように, 3辺の長さの透視図上で与えて作画した直方体の3次元空間内での比を求めることができる.

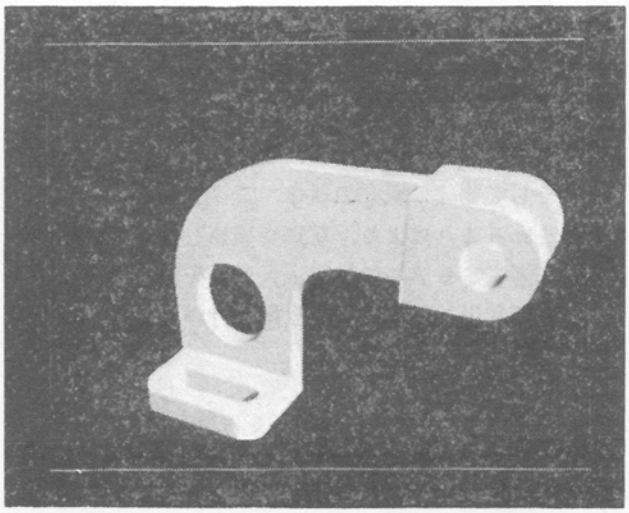
図7は手描き透視図と, 描かれた立体を再構成して作画した3面図である. 始めに計算機を用いて手描き透視図法で, 図7(a)を描き, 立体の頂点の接続を決



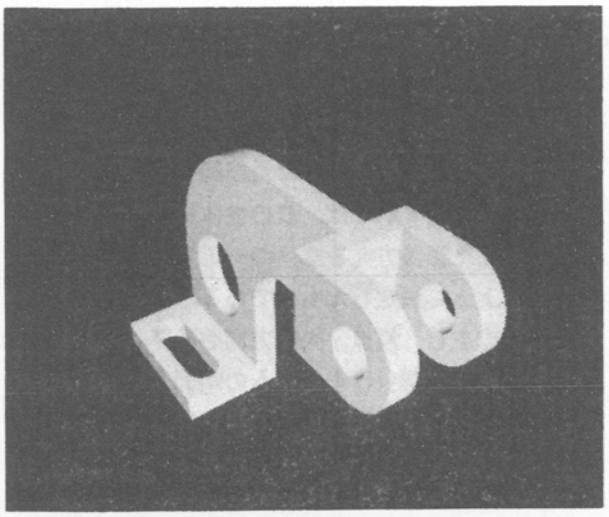
(a) 手描き透視図



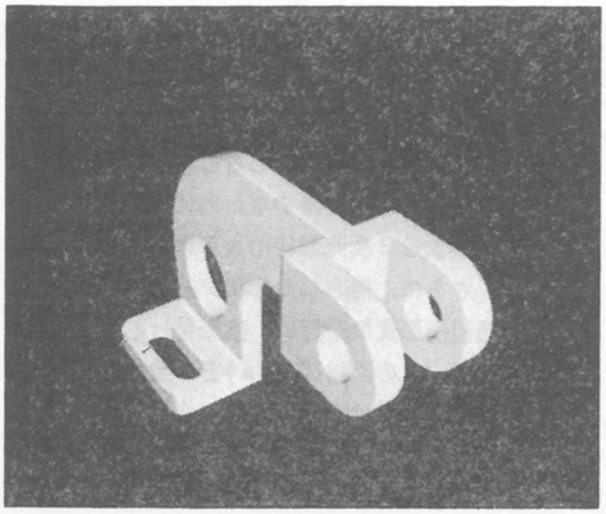
(b) 光線追跡法による出力



(c) ハイライト線の追加



(d) 方向の変更



(e) ハイライト線の追加

図 9 手描き透視図の立体再構成

Fig. 9 Reconstruction with perspective drawing.

(a) Freehand perspective drawing.
(b) Output of ray tracing method.
(c) Addition of highlight line.
(d) Movement of stand position.
(e) Addition of highlight line.

定しておく．そして，上述の計算により各辺の長さの比を求め，一辺の長さを与え頂点座標を求め，3面図としたものが図7(b)である．

次に立体再構成で求めた3次元モデルを利用して濃淡表現することを考える．手描き透視図から前述の方法により，視点データが既知となる．また，3次元モデルの大きさを指定することにより，その位置・大きさは比例関係によって求められる．これらを利用すれば，手描き透視図に描かれた形状と一致する3次元モデルが作成でき，その濃淡表示を行うことができる．

6. 作画実験

1) 影付け

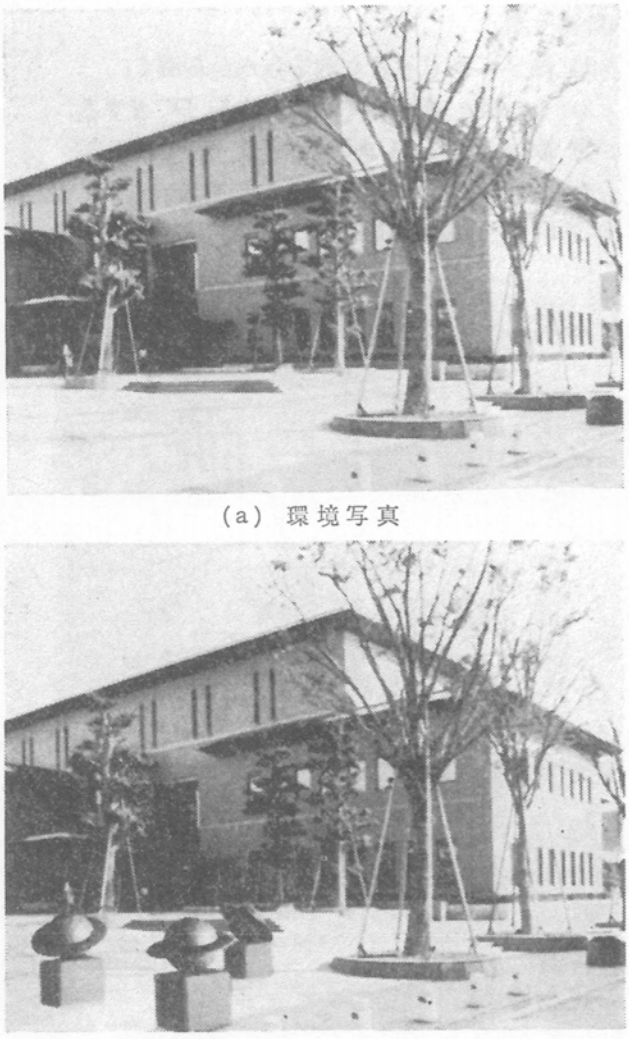
影の消点から3次元的な光線の方向を求めた例を**図8**に示す．始めに骨格を入力し透視図の構図を決め，次に骨格をもとに柱体の側面の頂点座標と長さをタブレットから与え，柱体の透視図を自動的に描いたものである．図8(a)は，この柱体に対して，透視図上で意図した影の方向を立体の一辺の影方向を入力することによって決定したものである．この図をもとに立体再構成をし，視点，光線方向を計算し，3次元的処理によって陰影付けをしたものが図8(b)である．そして濃淡付け，マッピング手法を用いて図8(c)を作画した．

2) 立体再構成

手描き透視図の形状に一致する3次元モデルを作成し，その濃淡表示を行った例を**図9**に示す．図9(a)は手描き透視図法により計算機を用いて対話的に直方体や円柱を作画したもので，これをもとに立体再構成を行い，各線の長さの比を求めることができる．このデータを望む大きさに変換するために，一辺の長さを入力し，希望する3次元形状の大きさと視点の関係を計算した．さらに，得られた形状データ，視点データを入力し透視投影変換を行い，陰影付けしたものが図9(b)であり，この図は図9(a)と一致する大きさである．これに濃淡付け機能を用いて修正したものが図9(c)である．図9(d)，(e)は見る方向を変えた例である．このように，一度3次元データを作ると，そのデータをもとに構図を変えた図を容易に作成できる．

3) 写真合成

消点計算の条件を満たした6本の線が写し込まれている1枚の写真が与えられれば，これらの線から3つの消点が計算できるので，写真に一致した図を描くことが可能である．この方法により，空間上の点を測定することなく，また従来の手作業による不正確性も解決される．



(a) 環境写真

(b) 完成図

図10 写真への3次元モデルのはめ込み
Fig. 10 Montage perspective drawing.
(a) Photograph.
(b) Finished pictures.

図10はモンタージュ写真の例である．図10(a)は画像入力した写真である．この中にある平行線をディスプレイ上で選択することによって，消点を計算する．そして物体の既知の長さ，ここでは，窓一辺の長さを決めることにより，写真を撮影したときの視点位置と作画するモデルの位置，大きさを計算する．このデータを利用し，透視投影変換を行い，陰影付けしたものが図10(b)である．

7. 結　　言

本研究では，手描き透視図を用いて，消点の位置計算，視点位置・光源の方向の推定，および，透視図か

ら3次元データを求める処理方法を実現した．そして，次の結果を得た．

1) 骨格となる6本の線分をもとに3つの消点を計算し，それをもとに透視図作画したり，写真に手描き透視図を合成したりすることが可能となった．

2) 求められた3つの消点から視点を推定する計算方法は直線の交点や円との交点計算などを利用した単純なものである．この方法を用いれば，望む構図の視点座標などが容易に得られる．

3) 光源の方向を手書き透視図に指定した影の方向から求めることを考えた．これから3次元モデルの表現にこのデータを用いることにより，意図した方向の影を描くことができ陰影付けへの入力手段として有効であることがわかった．

4) 手描き透視図をもとにした立体再構成法の基本的考え方を述べた．これは透視図を用いた立体データ入力の有効な方式になる可能性がある．

参 考 文 献

1) 永田：イメージ パースペクティブ デザイン，美術出版社，東京（1979）．
2) 近藤，木村，田嶋：インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現，情報処理，Vol. 26，No. 11，pp. 1401-1408（1985）．
3) 近藤，木村，田嶋：レンダリングのための対話型透視図作画手法，情報処理学会グラフィクスとCAD 研究会，22-5（1986. 7. 11）．
4) 近藤，田嶋：モダングラフィックス，コロナ社，東京（1982）．

（昭和62年12月 4 日受付）
（昭和63年 5 月10日採録）

近藤 邦雄（正会員）

昭和29年生．昭和53年名古屋工業大学第Ⅱ部機械工学科卒業．昭和63年東京大学工学博士．昭和48年より名古屋大学教養部図学教室勤務．昭和63年より，東京工芸大学工学部電子工学科講師．コンピュータグラフィクス，マンマシンシステムの研究に従事．著書「モダングラフィックス」．日本図学会，精密工学会，日本設計製図学会などの各会員．

木村 文彦（正会員）

昭和20年生．昭和49年東京大学大学院博士課程修了．同年電子技術総合研究所パターン情報部入所．昭和54年より東京大学工学部精密機械工学科助教授．昭和62年より同教授．マン・マシン・システム，コンピュータ・グラフィックス，形状モデリング，CAD/CAM などの研究に従事．工学博士．IFIP-WG 5. 2-5. 2-5. 3 委員．精密工学学会，日本機械学会などの各会員．

田嶋 太郎（正会員）

大正12年生．昭和20年東京大学工学部卒業．工学博士．昭和38年より名古屋大学教養部図学教室，助教授・教授．昭和62年より中部大学教授．コンピュータ図学，設計製図などの研究に従事．「自動製図システム」，「コンピュータ図学」，「モダングラフィックス」ほか数編の著書．日本図学会，日本設計製図学会各会員．

607

研究論文

[JSPE-53-04
'87-04-607]

曲面の形状感の表現（第3報）

——手描き入力による図形作成法——

近藤邦雄** 木村文彦*** 田嶋太郎†

A Method for Rendering an Impression of Curved Surfaces (3rd Report)
—Interactive Picture Drawing by Handwriting Input—

Kunio KONDO, Fumihiko KIMURA and Taro TAJIMA

This paper describes user-friendly man-machine interface for drawing pictures, as well as the principles and picture data construction for direct input by hand. Color shaded pictures can be drawn using the CARP rendering system and the drawing time for completing pictures is reduced. Drawing by hand using man-machine interface is considered. Moreover drawing procedures and input methods are classified and personal drawing methods are summarized. It is most important to clarify line drawing input and modification method by handwriting. We used a characteristic point method for recognizing line drawing and realized to make drawing data. This input method was added to the CARP system and drawing experiments were done. As a result, designers can take advantage of greater flexibility in input methods and they can draw pictures more precisely by computer than by conventional method.

Key words: computer graphics, picture drawing, handwriting input, characteristic point, input interpretation, line drawing input and modification

1. 緒　　言

近年，情報通信，ビデオ，印刷などのデザイン分野の計算機化に伴い，レンダリングシステムの重要性が一段と認識されるようになった．現在，レンダリングシステムは商用，実験用として見受けられる[1]．しかしながら，実用されているにもかかわらず，マン・マシンインタラクションは十分ではない．本研究では，計算機内部に2次元図形を作成するための，良いユーザインタフェースを提案することを目標とし，2次元図作成のためのユーザフレンドリーなマン・マシンインタフェースを実現するための原則と，それに適した手描き入力法を用いた図形作画方法と作画実験について述べる．

計算機生成画像の質の向上により，計算機を用いた効率のよい作画への要求が高まってきた．質の高い絵を早く作成するためには，デザイナのアイデアの段階から最終作品までの全過程を，計算機化することが望ましい．このためには，(1) 人と計算機との自然なインタラクションの実現，(2) 絵のデータの表現と取扱い方を確立することである．これらに関連する研究はいくつか行われているが，まだいくつかの問題が残っている[2][3]．

計算機を利用する以前より，デザイナは筆や絵具などの基本的道具を利用して，イメージを自分の表現技術を用いて，作画してきた．この従来の方法では，描こうとする形や図の表現は，デザイナの手の動きに直接影響を受けていた．従って，よいアイデアがあっても，それを具体的に表現することが難しい場合もあった．

計算機を利用した新しい作画方式は，多くの場合，塗りつぶし機能とブラシ機能が用いられている．塗りつぶし機能だけでは，デザイナの各種の要求に対応できない．また，ブラシ機能を用いることによって，濃淡表現は可能となったが，人の技術の違いによって，絵の質の違いが生じる．このため，いくつかの有効な表現技術が提案されている[4]．

しかし，人の思考に対応する自然な図作成方法や，ユーザフレンドリーなマン・マシンインタフェースの実現はされていない．

筆者らは，より質の高い絵を早く作画するためのレンダリングシステムを開発してきた[5][6]．これらの研究

* 原稿受付　昭和61年4月5日．昭和60年度精機学会春季大会学術講演会（昭和60年3月29日）にて発表
** 正会員　名古屋大学教養部（名古屋市千種区不老町）
*** 正会員　東京大学工学部（東京都文京区本郷7-3-1）
† 名古屋大学教養部

では，一つのコマンドは一つの作画に対応するように作られた．本研究では，これをもとに，デザイナの手の動きに対応する作画が可能となるようなマン・マシンインタフェースを考察する．

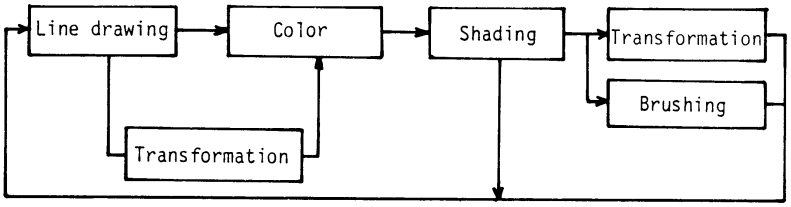


Fig. 2 Sequence of utilization with drawing function

従来より，手描きの入力に関する研究は行われており，筆者らは任意図形の認識のために重要点の方法を利用し，重要点の情報から数種の図形の認識を行い，作画データを作成できるようにした．この入力機能をCARPに追加し，作画実験を行った．これによって，より一層の融通性をデザイナに与え，さらに，入力法の拡充が可能となった．

次の章では，図作成における人と機械のインタフェースの基本原則を述べ，3章ではインタラクティブな図形作成について，4章では手描き入力の自動認識と作画について述べる．最後に，いくつかの機能を利用した作画例を示す．

2. 手描き入力を用いたマン・マシンインタラクション

2.1 レンダリングシステムの基本概念

レンダリングシステムの基本概念と良いマン・マシンインタフェースのために手描き入力の役割を述べる．作画のそれぞれの段階において，デザイナは異なった道具を用いる．このために，いろいろな作画活動に対応して，適切な作画のための入力方法を工夫することは重要なことである．描かれる図形と作画の関係は1対1に対応するが，人のイメージする図形を直接理解することは，計算機にとって通常困難である．しかし，入出力インタフェースを持てば，人の試行錯誤に対応して，入力の意味を解釈し，図形を変更することができる．

入出力インタフェースは，**図1**に示すように，大きく2つの機能に分けることができる．第1は入力図形の認識で，計算機内部の作画定義に変換し，入力された図形データの特徴を取り出し，線の種類を区別する機能である．このために，入力図形から図形の特徴を表す重要点を計算する．第2は重要点をもとに図形データを作成するためのコマンド生成機能である．従来の手作業の入力方式は，効果的なマン・マシンインタラクションを達成するために重要である．

2.2 図形作成手順

まず，より自然な入力方法を実現するために，図形の作画におけるデザインの思考の手順を分析する．図形を描くための方法はいろいろあるが，普通，図形の作画は，**図2**に示すように，試行錯誤で行われる．従って，マン・マシンインタラクションの方法として，オンラインによる入力はオフラインによる入力に比べて有効なものである．さらに，作画の方式は，従来の方式よりずっと簡単でなければいけない．ここでは，作画における最も本質的な仕事のための入力方法について考える．図2のデザイナの思考からみると，作画方法は大きく2つに分かれ，領域を与え，一つのコマンドによって濃淡を描いていく方法と一つの図形やブラシを用いて濃淡をつけていきながら，より複雑な図形を決めていく方法がある．この2つの方法は，次の問題を持っている．

(1) 下図を用いる場合，ラフスケッチをして，下図を作成するまでには，大変な労力が必要である．さらに，描き上げた下図を入力するという二度手間がかかる．

(2) 一つの図を利用して，より複雑な図を作成するために，紙面の大きさや全体のバランスを検討しながら図形の位置，大きさを決めていくことは熟練技術を必要とする．

(3) ブラシを用いた濃淡表現は規則性のあるものは表現しにくい欠点を持つ．

これらから，手描き入力を実現するために，次のことを行う．

(1) 作画の構成，手順，輪郭情報や色情報を明確にすること．

(2) 作画情報の自動認識のために，作画の補助的な情報を扱えること．

(3) 入力を容易にする図形デ

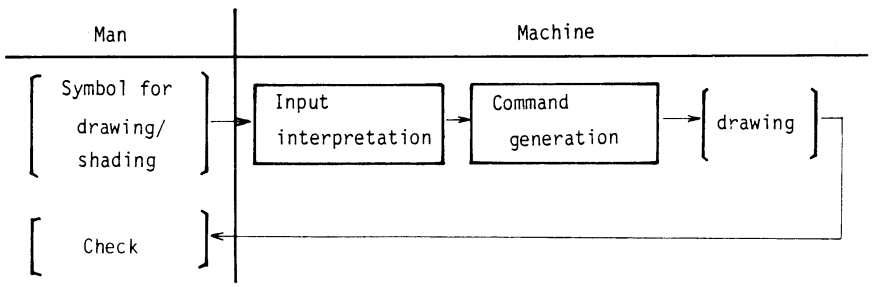


Fig. 1 Man-machine interaction with drawing

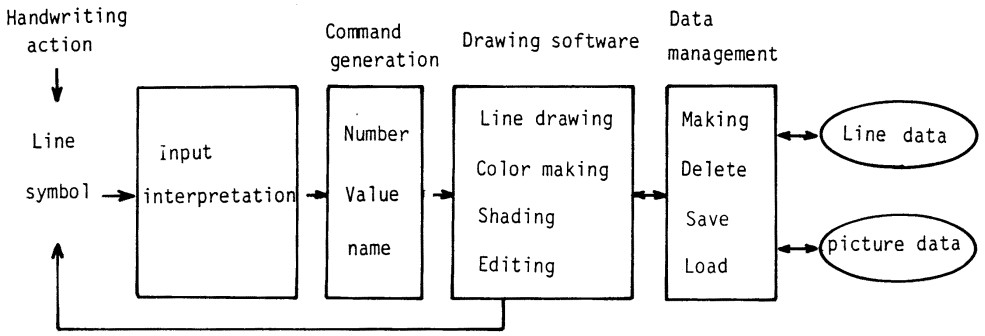


Fig. 3 Connection of input/output interface and rendering system

ータを作成すること．

これらの考察をもとに，次節で，手描き入力による図形作成方法について述べる．

3. 手描き入力によるインタラクティブな図形作成

3.1 図形作成機能

ここでは，図形作成機能と，それに対応する手描き操作について述べる．筆者らが作成したCARPレンダリングシステムは，3次元物体を表現するために，有効な濃淡表現技術を持っている．これらの各種の作画機能は，手描き入力やメニュー入力によって直接利用される．これらの関係を**図3**に示す．

CARPは，総合的なレンダリング処理を目標に構築されており，特徴的な作画機能は大きく3つに分かれ，線図形の作成，濃淡付けと編集機能である．

3.2 手描き操作による入力方法と表示機能

手描き入力が役にたつと考えられる機能に対して，それらの入力方法について考察する．

線分の作画のためには線幅，色，線の型や形状を示すパラメータ，座標が必要である．このなかで，特に形状を示すためには手描き入力は有効である．形状は(1)テンプレートのような定規を用いるもの，(2)自在定規を用いる自由曲線を用いるもの，(3)フリーハンドによるもの，に分けられる．(1)では，パラメータ入力のために，画面上の座標を入力することによって大きさを決めることが可能である．(2)の場合は制御点を入力する方法，自由曲線をフリーハンドで描き，それを清書する方法がある．(3)では，手の動作を直接表示すればよい．これらの方法では入力，表示された図形を修正する場合も，直接図に対して行えるようにすることは人の感覚にあったものである．

濃淡付けを行うためには領域，濃淡形状，色とその位置，演算の種類を決めなければいけない．これらのうち，領域は線画および変換で作成できる．濃淡形状とは濃度分布曲線の形状から決められる．これを用いることによって，色やそれらの位置をいくつか設定し，濃淡補間できるようになる．これにより，数多くの分布曲線を準備することなく，数種の補間法を作成するだけで各種の濃淡形状を作り出せる．また，色を図形につける時はその色をつけたい部分へ指示することが望ましい．濃淡を修正する場合にも色を画面上に指示することによって修正できることが，従来の手による作業に近いものといえる．

ここでいう編集は図形変換のことである．入力すべきデータは変換図形のほかに，変換の種類とそれに対応する変換データである．数値が事前にわかっていることの少ないイラスト図作成時において，大きさや位置を手の動きに連動して変換できることは有効である．このように，より利用しやすい作画システムのためには，手の操作により，紙面上に指示することが有効である．次に，これらの機能を有効に利用するための手描き入力方法について述べる．

4. 手描き入力の自動認識と作画

4.1 重要点の抽出

重要点は入力した線分の特徴をよく表している点で，描かれた点列を始めから終わりまで，直線で近似したときの折れ点のことである．フリーハンドの線はペンの動き，手のズレによって，常に人のイメージどおりのものがかけるとは限らない．この問題を解決するために，重要点による認識方法は有効であり，この重要点の数や方向によって，文字が区別できるという利点がある．ここでは，入力したフリーハンドの線分を人が意図する曲線に変換するための方法について述べる．

重要点の検出方法を**図4**に示す．まず，始点と終点をもとにこれを結ぶ直線と距離が最大になる点を選ぶ．この距離をhとし，始点と終点の距離との比をとる．この値がしきい値εより大きければ，フリーハンドの揺らぎでなく，人がその部分を曲げようとしたと判定し，この点を重要点とする．この重要点と始点・

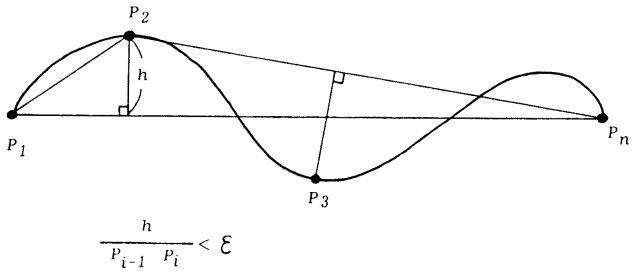


Fig. 4 Detection of important points

終点を結ぶ直線の間に重要点が存在するかどうかを調べ，重要点を定める．さらに重要点間においても同様の処理を行い，すべての直線部分でしきい値以下になるまで繰り返すことによって，折れ線を作成する．本研究ではしきい値は直線を描くときの手の揺らぎを基準と考え，作画実験をもとにしきい値を0.13とした．

4.2 輪郭作成の方法

このようにして求められた重要点を用いて，数種の線図形について，自動認識できるようにした．**図5**に線の認識方法を示す．認識できる図形は折れ線，正方形，長方形，円，楕円，円弧，自由曲線，水平・垂直線である．これらは，(1) 始点と終点の関係，(2) 重要点間の長さの比，(3) 重要点の角度および角度の差により分類できる．開，閉の線分の区別は始点，終点の一致具合により，与えられたしきい値によって判定される．また，重要点間の長さの比は，正方形，長方形，および，円，楕円を認識するために用いる．重要点の角度，およびそれらの角度差は，線分のなめらかな変化，急激な変化，90°前後のしきい値を設定しておくことによって，曲線，直線，水平，垂直を分類する．自由曲線は大きな変化を持つ場合に有効であり，しきい値より小さな変化は認識されない．

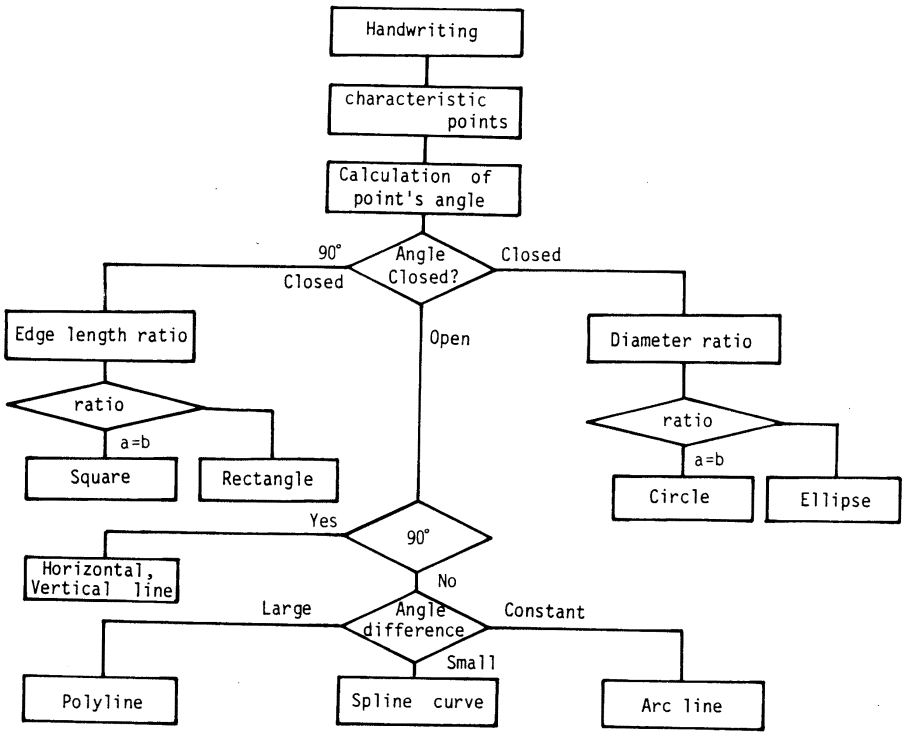


Fig. 5 Interpretation of line drawing

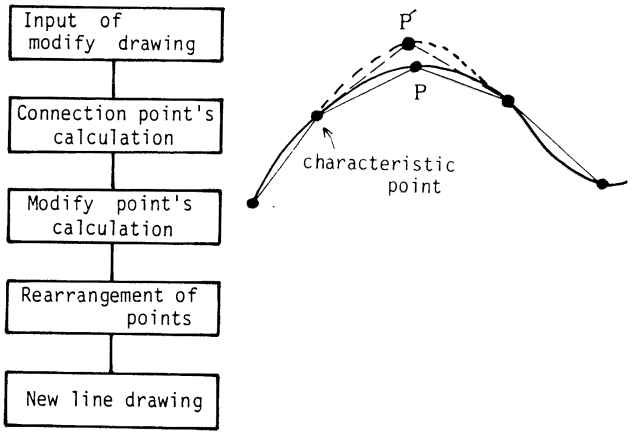


Fig. 6 Line modification method

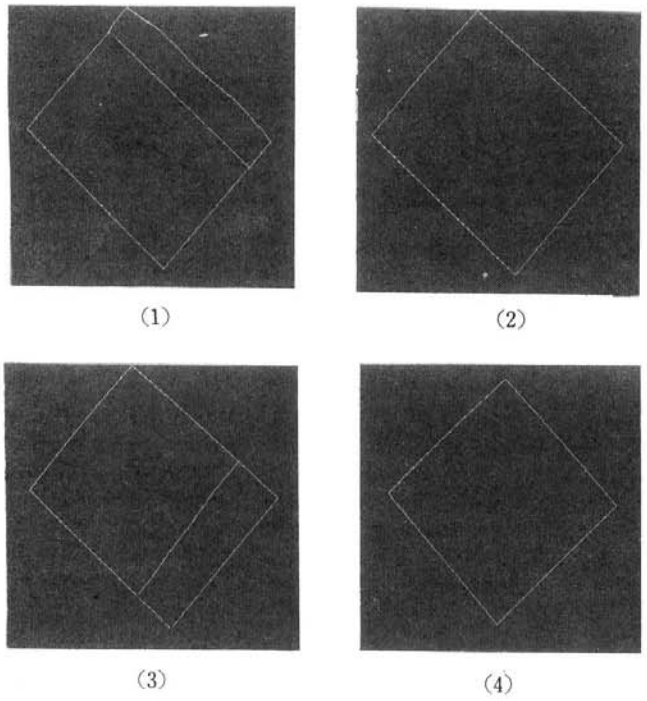
4.3 線分の修正

重要点法を用いて作画された線分を修正する方法について説明する．人が自分の要求する図を得るために，フリーハンドで何本もの線を描きながら，それらをもとにして，イメージに近いものを決定していく．これは図を用いて，図に直接指示を行うという図形作成と処理の操作であり，人が目の前の図を用い，判断しながら，その図に働きかける．このようなことを計算機を用いて行うための手順を**図6**に示す．まず始めに，線分の修正部分に対して，変更したい線分を前述の手描き入力法に従って作画する．入力された線分に近い重要点が計算され，それらに接続される2点間の重要点データは消去される．そして，修正部分の重要点が計算され，1本の線分として登録される．この方法の利点は修正が何度でも可能であり，下図作成において，人のイメージを表現するための試行錯誤が容易なことである．

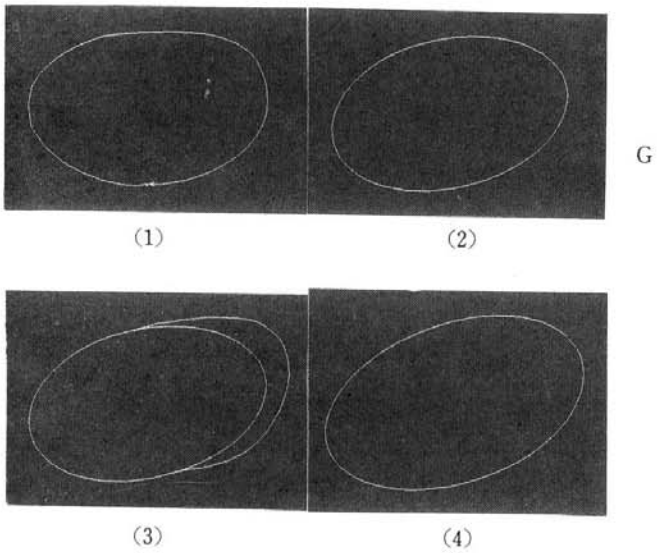
5. 作 画 実 験

手描き入力部をレンダリングシステムCARPに追加し，作画実験を行った．

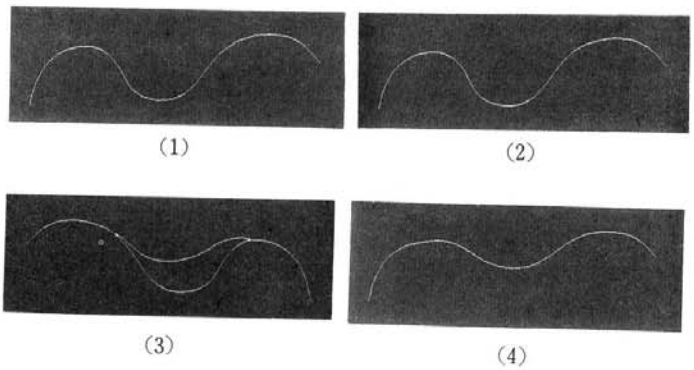
図7に下図の作成の例と修正例を示す．これらは，長方形，楕円，自由曲線を手描きで入力したものと，その線をもとに清



(a) Rectangle



(b) Ellipse



(c) Spline curve

Fig. 7 Examples of line drawing

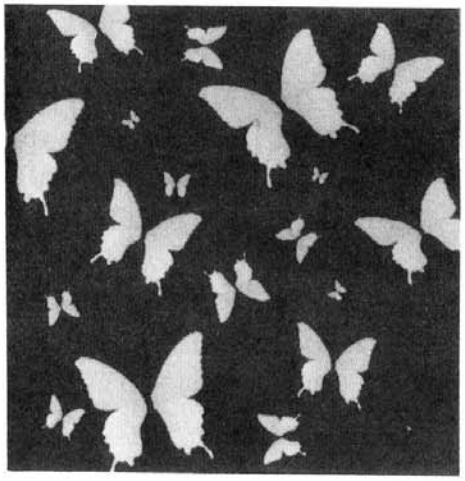


Fig. 8 Example of Editing

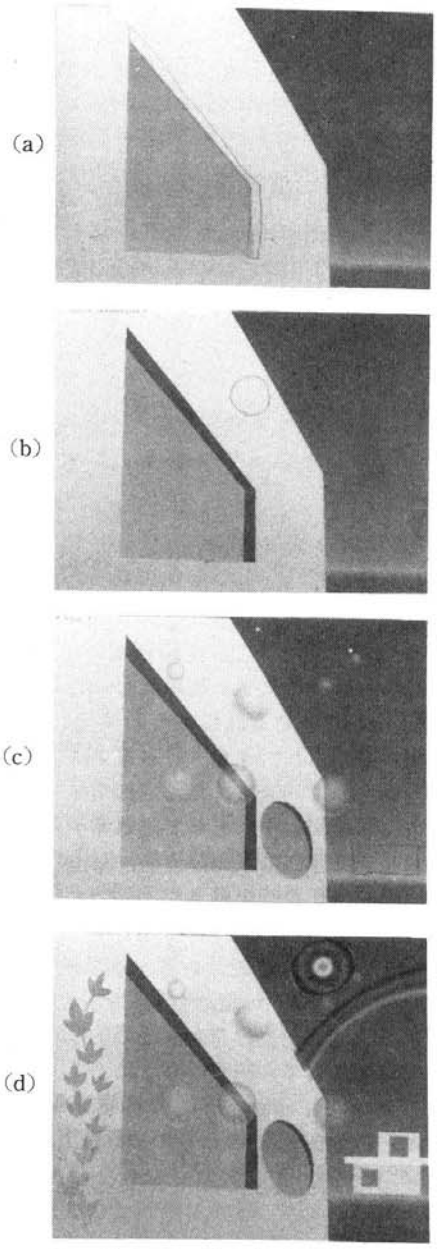


Fig. 9 Examples of picture drawing

書されたものである．**図8**に画面上の図を見ながら編集を行ったものを示す．**図9**に手描きで下図を作成しながら，濃淡付けを行い，図を作成していく過程を示す．(a)は直線を入力したところを示す．(b)ではその結果塗りつぶされたところ，そして円を描いたところを示す．(c)は(b)でつくられた円が複写されたところ，および，長方形を入力したところを示す．(d)では長方形が繰り返し描かれ，さらに，自由曲線の認識と濃淡付けが行われたところを示す．図8, 9の作画時間はそれぞれ約30 min，40 minである．

6. 結　　言

本研究では，アイデアの段階から計算機を利用して，絵を作成していくための手描き入力方法を考察し，強力な濃淡作画機能をもとにしたインタラクティブな図形作画のためのマン・マシンインタフェースを作成した．この結果，

(1) 重要点法による認識によって，手描き入力を行った各種図形の清書が可能となった．

(2) 従来のメニュー方式と手描きを併用することによって，アイデアスケッチの段階から計算機を利用でき，作画時間の短縮が実現できた．

今後，入力図形の認識の確実性を高めること，さらに複数の図形の関連を修正できる手段を開発することが大切である．

文　　献

1) PIXEL編集部：ペイントシステムの現状と動向，PIXEL, 19 (1984) 108.
2) T. Agui, M. Nakashima & S. Ohe: Computer Animation, Sanpo Syuppan, (1983).
3) P. Baudelaire: Technique for Interactive Raster Graphics, ACM SIGGRAPH, (1980) 314.
4) N. M. Thalmann & N. Chourot: Color Gradation, Shading and Texture Using a Limited Terminal, Computer Graphics Forum, 3, (1984) 83. **3**, 1, (1984).
5) 近藤邦雄，木村文彦：曲面の形状感の表現(第1報)——中間調を用いた図の作成，精密機械，**49**, 12 (1983) 1692.
6) 近藤邦雄，木村文彦，田嶋太郎：曲面の形状感の表現(第2報)——ペイントシステムCARPの作成，精密機械，**51**, 6 (1985) 1212.
7) M. Hosaka & F. Kimura: An Interactive Geometrical Design System with Handwriting Input, IFIP, Information Processing 77, (1977) 167.

Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling

Koichi MATSUDA, Satoru SUGISHITA, Zheng XU, Kunio KONDO, Hisashi SATO
and Shizuo SHIMADA
Dept. of Information and Computer Sciences, SAITAMA University
Shimo-okubo 255, URAWA, SAITAMA 338, JAPAN
{matsuda,kondo}@ke.ics.saitama-u.ac.jp

Abstract

This paper introduces a new method to deal with sketches for inputting geometric models at a workstation. The sketches are drawn on a CRT screen through a stylus pencil and a tablet by a designer at an early stage of design procedures. He can keep their drawing stylus at a workstation as the same manner as using a pen on paper. The system 'Sketch Interpreter' can correct geometric models in a computer even though input sketches are geometrically distorted. This system can create 3D geometric models in a computer even though input data of 2D sketches are drawn by freehand. The system is constructed in terms of three characteristic procedures on a workstation with a pointing device ; (1) to recognize hand sketches on the screen. Freehand lines are drawn by pen operations from which a computer can construct a 3D geometric model. The first operation computes mathematical parameters for the projective transformation; (2) to construct additional geometric models by inputting more sketches drawn perspectively; and (3) to redraw modified geometric models replacing the sketch lines. Our interactive methods suit to realistically construct any geometric shapes a designer imagines. Data created are transferred to an advanced 3D-CAD system. Our system is applied as a front-end-processor of design practice such as for office equipments.

1. Introduction

At early stages of shape design, a designer always tries to make his new ideas into sketches as soon as possible. Ullman [1] argued that sketching is an essential activity for creative design because it allows a designer to think aloud and to evaluate new ideas quickly. It also assists the designer's short term memory and communication with other people. But current CAD systems do not suit for trying out a variety of ideas by thumbnail sketching. Binh Pham [2] mentioned CAD still falls short of designer's expectation, they still remain to be seen more as a drafting tool than a design tool. Designers cannot use or at best feel very uncomfortable to use these systems for the early stages of design. In current CAD system, specifications for geometric input and constraints need to be very specific, and unconventient to make free-form surfaces, hence they are only useful in the final stages of design when a designer knows exactly what the object should look like.

In engineering design, training is required for a designer to imagine a 3D object that does not exist yet, and to transform it into a 2D sketch before making engineering drawings. At the stage to imagine a shape, a designer makes brain storming by himself for drawing sketches. However, at the design of engineering shapes, sketches are drawn at an early stage of design procedures, then 3D models must be constructed in the following many stages. Most advanced 3D-CAD systems demand accurate dimensions of shape to a designer, and will not accept vague information as shown in the sketches. The shape of a target object is, therefore, to be modified frequently during stages of engineering design, so that it is desirable to shorten the times for such repeated stages. The aims of our study are to build a front-end processor which creates 3D models from designer's idea and to transfer the data for an advanced 3D-CAD system.

Typical techniques to recognize a 3D object from a 2D drawing have been using the perspective theory [3][4][5][6] or the orthographic view theory [7][8]. In the perspective theory, 3D models can be created from 2D drawings which are taken into a computer by a scanner. For an instance, a lot of efforts have been paid to simplify the processes to generate 3D models by scanning sketches. Akeo[6] allows users to scan sketches which includes perspective vanishing lines and 3D cross sec-

0-8186-7867-4/96 $10.00 © 1997 IEEE

tions into the computer. The scanned data is projected onto the 3D mark-up to complete the process with various editing.

In general, a 2D view shows less information about sizes of a 3D object, so that designers have to fulfill additional information such as depth sizes. We do not use the orthographic view theory in this paper because our aims deal with sketches mostly drawn perspectively. Our Sketch Interpreter is an interactive system based on the perspective theory. Our system is unique, since a sketch drawn on a CRT screen is directly recognized by a computer as a 3D object. Designers can draw sketches interactively by Sketch Interpreter as the same manner as drawing sketches on paper. Sketch Interpreter records histories of designer's operation, so that the lack of information can be recovered by the additional data with historical information.

Sketch Interpreter helps designers of shape design especially for small industrial parts, office equipments, wooden furniture in living house, etc. Textile and color design to 3D models are not discussed in this paper.

2. Overview of Sketch Interpreter

2.1. Systems Concept

Engineering design is generally composed of six stages of procedures (Fig. 1). At every stage, the shape of a target object is inspected from various aspects such as artistic design, functional requirements, and so on. When these are not satisfied, a modified shape is tested from the preceding steps. Trial and correction procedures take usually a lot of hours, so that it is desirable to shorten the repeated steps. At the stage to imagine a shape, a designer draws any possible ideas onto sketches.

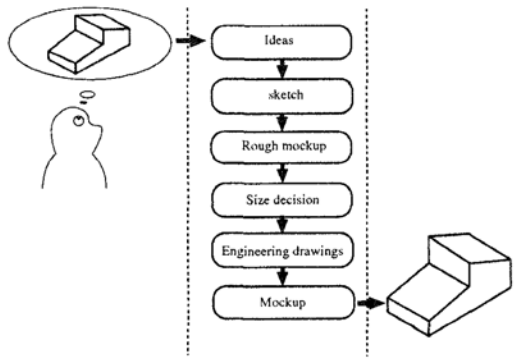


Figure 1. Design processes

Figure 2 exemplifies procedures of design ideas which are usually drawn by a designer on paper. Figure 2-a shows a target object by outlines of parallelepiped at the beginning of sketches drawings. More details are then added over the rectangular object (Fig. 2-b), and finally a clean copy is completed(Fig. 2-c).

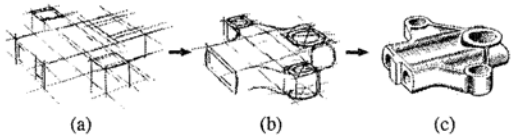


Figure 2. Hand sketch procedures on paper

A designer draws rough sketches on the tablet as the same manners as on paper, but the figures are drawn on the graphics screen of a computer. Our system adopts nearly the same manners as pencil drawings on paper, since a designers is not always acquainted with computer handling. A designer draws a perspective shape of some possible rectangular parallelepipeds onto the screen with freehand lines. A computer adjusts the freehand lines into straight edges. Vertices are decided as starting positions of relevant edges. Two or three vanishing points in the perspective theory are reasonably proposed by the computer, and a geometrically correct perspective view is redrawn on the screen. At this moment, a view position is decided as representing an eye of the designer. We call this perspective shape as 'Basic Shape' which plays an important role in our system.

A designer then draws additional freehand lines over the basic shape to make more details as though he complete a picture on a canvas. The freehand lines may indicate cutting lines to the model and the cutting operation is carried out by pointing the part to be eliminated. Models on the screen can be inspected perspectively changing view positions(Fig. 3).

2.2. Steps of Drawing Stage

Based on the perspective theory the system can recognize a 2D sketch and change it into a 3D geometric model even though the input sketch data are uncertain. The designer can also manage adding and cutting operations on the basic shape, and make rounding operation to the edges and corners. Figure 4 shows the steps of procedures of our system.

At the first step, a designer draws freehand lines on the screen through the tablet(Fig. 4-a). The freehand lines are a series of positions which become a chain

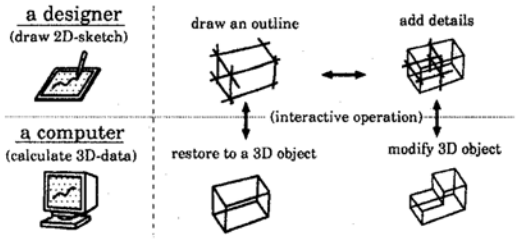


Figure 3. Computer assisted sketch procedures

of pixels, but are not yet straight lines on the screen. Five procedures are designed to correct the shape: line recognition, unifying nodes, numbering on vertices, adjusting edge direction, and restoring to a basic shape in a 3D geometric model. A computer calculates these freehand lines to become edges of a 3D object and completes a 'Basic Shape' (Fig. 4-b, c, d, e). As the same manners, the designer draws more additional freehand lines over the basic shape to add or to cut off parts from the basic shape and makes rounding operation on edges and corners(Fig. 4-f, g).

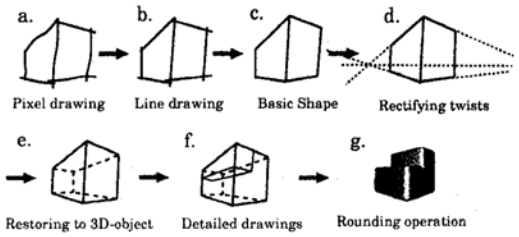


Figure 4. Steps in Sketch Interpreter

3. Thinning Algorithm for Interactive Line Drawing

This section introduces the methods to fix an edge line from freehand sketch lines. Practically a proposed edge line is drawn by many overlapped lines by a designer. He repeatedly draws such lines roughly the first and more concretely the later. A freehand line drawn later and later becomes preferable to be the proposed edge line. We edit therefore an edge line from freehand lines considering these time sequential input. The algorithm falls into three categories : segment composing, clipping, and segment joining.

3.1. Segment Composing

When a designer proposes an edge line with a pencil on paper, he composes the line from several stroke of freehand lines. A segment is a straight line bundled from a or more freehand lines which are drawn during a short time of period. Another segment can be overlaid to the preceding segment, and then two segments are composed into a renewal segment. A segment has two end points, vertices, which are the beginning and end points of a freehand line. The freehand line is tested in its shape whether it is nearly a straight line. When it shows a curved line within a strip, it is assumed that two or more arcs are connected to become a folded line composed of two or more segments. The ratio of width to length of the strip is decided as about 0.1 experimentally. In order to test two segments, each segment is identified by the coordinates of its middle point and an angle of inclination from the horizontal line. Four sorts of tests are carried out to compare two segments whether they are independent or they must be edited into one, that is, angles, distance, time period, and length(Fig. 5).

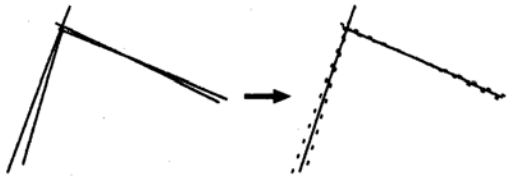


Figure 5. Composing stroke segments

(1) test about angles

In order to compare two segments by angle of inclination, the relative angles α and β are calculated as shown in Fig. 6. Accounting the magnitude of angles α and β, two segments will be unified into one segment or prolonged into a longer segment.

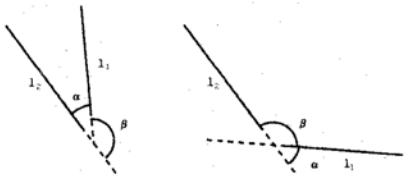


Figure 6. Angle difference of two stroke segments

(2) test about distance

Distance of the middle point of a segment to another segment line is calculated(Fig. 7). When the distance is bigger than a threshold, two segments are independent.

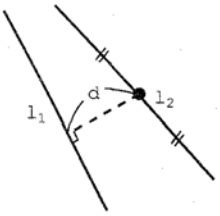


Figure 7. Distance between two segments

(3) test about time sequence

We observed experiments how a designer builds his sketches practically, and found that the later drawn lines are more adopted then the former lines. In order to synthesize two segments into one, the new segment is calculated as an algebraical mean with weight ratio λ and μ, where the ratio is experimentally decided as

$$\lambda : \mu = 1 : 1$$

(4) test about length

When two segments are edited into a new segment, they are compared by their length, and the overall longest length is adopted for the new segment.

3.2. Clipping and Joining

After many segments have been drawn independently on the screen, every possible vertex has two or more segments which shall be edges joining at a position. These segments may not meet or cross at the position(Fig. 8-a). Intersected points are calculated among the segments. When two or more intersected points exist on a segment, the far lying point is adopted as a vertex to this segment as well as to the opponent segment(Fig. 8-b). There may be still two or more intersected points around a proposed vertex which is then decided as a gravity center of such points(Fig .8-c). After these procedures against all the segments, vertices and edges are then decided.

4. Reconstruction to a 3D Model

As described in the article 2.2, a basic shape is drawn as a perspective view of a parallelepiped for a container to a 3D model. The figure is a 2D image look like

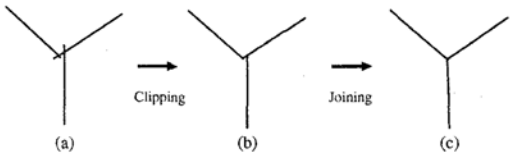


Figure 8. Clipping and Joining

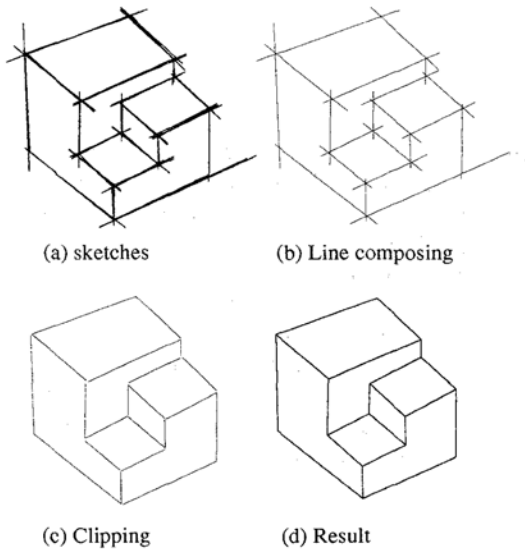


Figure 9. Thinning example

a map. The data of the image must be then reconstructed to have 3D properties. Sketch Interpreter has functions for this purpose by numbering to vertices, adjusting edge direction, and decision of a view point for perspective transformation.

4.1. Numbering to vertices

A 3D parallelepiped has 8 vertices, however the basic shape drawn perspectively shows at most seven vertices on the screen. Labels to these vertices are decided beforehand as shown in Fig. 10. A designer has composed edges by segments for the basic shape in an arbitrary order onto the screen. We prepare a fixed memory area to hold the data of edges and vertices. At most three surfaces are visible for a view of a parallelepiped. A loop is considered to trace along edges around a surface in reversal clockwise turn. A or more common edges are found to bound two surfaces. A vertical edge of such common edges gives the key for numbering to vertices.

4.2. Adjusting edge direction

A designer at first makes his sketch regardless of geometric accuracy to keep the perspective theory. This causes that extended edges of a parallelepiped may not meet at a fixed vanishing point. A proposed vanishing point is decided along one of the common edges as the mean position of other intersected points (Fig .10). In addition, two vanishing points are set on the horizontal line. After a or two vanishing points are decided, all edges except the common edges are slightly rotated to aim such vanishing points.

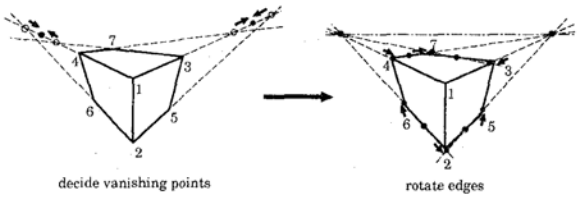


Figure 10. Adjusting edge direction

4.3. Decision of a view point

A perspective view is graphically displayed on the theoretical projective plane through a point which stands with a distance f from the plane. Practically the perspective view is obtained by a camera, so that we can suppose an imaginary camera with focus length f, the problem to decide a view points is to deduce the focus length f and the center of photograph. The view point is the position of lens and stands spatially with the distance f from the perspective view. The view point is obtained by graphics geometry as shown in Fig. 11 under the conditions that every surface is the right angle rectangle in 3D space[4].

4.4. Restoring 3-D coordinate system

We can extract the geometric solid model from the 2D sketch by the method introduced by Kondo [4][9]. A transformation matrix is deduced from the relations. The world coordinates of all the vertices can be then induced from the data of graphic image.

5. Modeling Functions

5.1. Thinning

At first, a designer draws freehand lines onto a tablet to become a perspective view for a proposed rectangular parallelepiped(Fig. 12-a). The system calculates these freehand lines to edges as 2D object(Fig. 12-b, c, d), so the shapes are incorrect perspectively. Therefore it is corrected using a view point with vanishing points automatically.

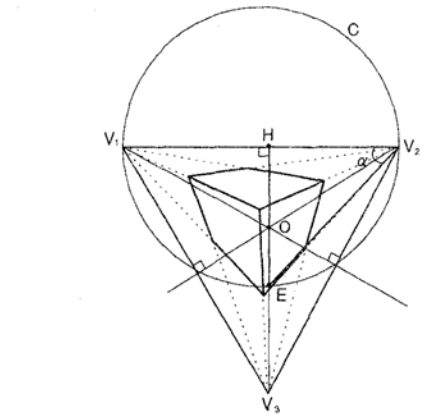


Figure 11. Decision of a view point

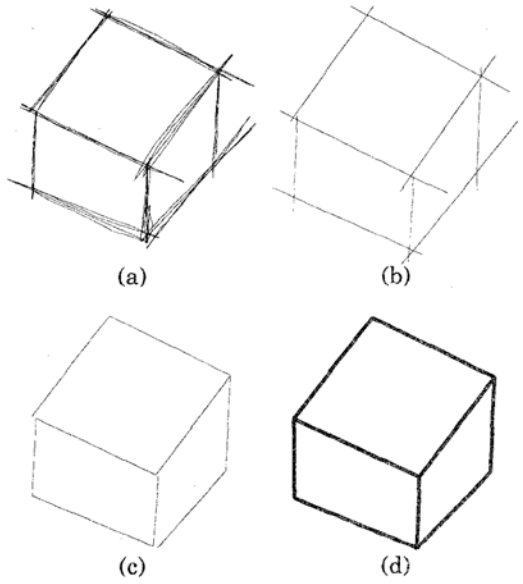


Figure 12. Creating a basic shape

5.2. Cutting

A basic shape is operated either adding parts or cutting off pieces from the basic shape. A cutting plane is decided from three points which are intersected points

of additional cutting lines on a basic shape. The most probable plane is calculated if four or more points are obtained (Fig. 13).

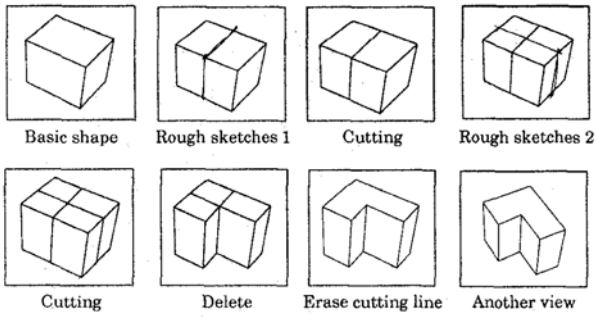


Figure 13. Cutting a basic shape

5.3. Rounding

This section briefly introduces a method of rounding operation from the polyhedra generated by the Sketch Interpreter System. Rounding operation is carried out by another program. The surfaces are represented by the four-sided Bézier patches of the second degree. The corners of polyhedra are represented by the patches connected in C^1 continuity and the edges of polyhedra are rounded by the patches connected in G^1 continuity. We can deal with the various degrees of rounding(Fig. 14).

6. Examples of Product Design

Figure 15 shows drawing procedures for an example.

(1)and(2) A basic shape is at first constructed from freehand lines. The size of a model is automatically evaluated in a computer from the sketch. A designer need not take care of its practical size.
(3) Another parallelepipeds are added. Edges are parallel to those of the basic shape.
(4)and(5) Cutting procedures are carried out by using additional lines.
(6) Expanding of a basic shape is carried out.
(7) Modification of the adding parallelepipeds is carried out.
(8) Models themselves can be rotated in the screen.

7. Conclusion

This paper introduces a user-friendly interactive graphic system "Sketch Interpreter", thinning algorithm of interactive line drawing, and reconstruction of geometric models from sketches without scanning sketches. A designer makes 3D models like sculpturing, to draw cutting lines on 3D models directly.

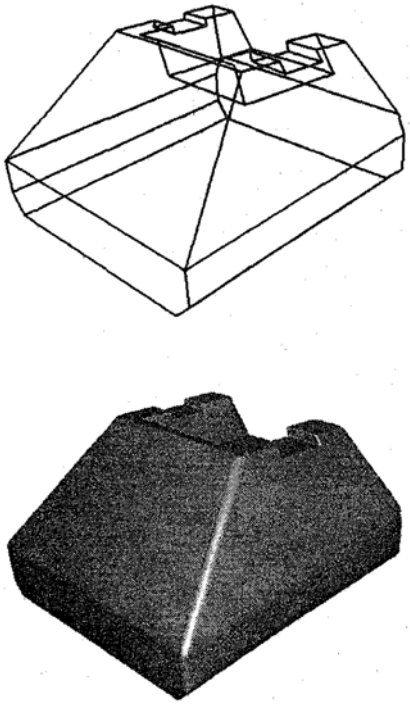
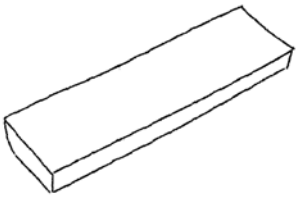
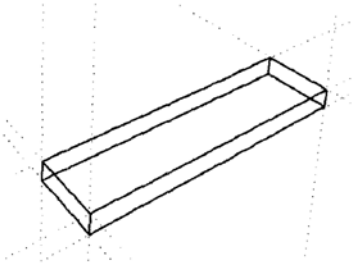


Figure 14. Rounding Example

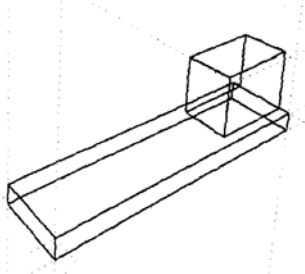
Freehand Sketch Interpreter System is a new type of CAD system which increases flexibility of data input for 3D models and will become the future trend of CAD system. The system helps a designer on designing industrial parts, whose shape is composed of straight edges. Freehand lines are directly input to a computer through a tablet and instantly redrawn on a CRT screen with geometrically correct sketches. The procedures work so intelligent that a designer feels free of worrying about dimensioning of a spatial shape. The designer can work at his workstation as the same manner as drawing sketches with straight lines on paper. Furthermore Sketch Interpreter transfers to another program which can generate curved surfaces for providing high quality images of 3D objects.



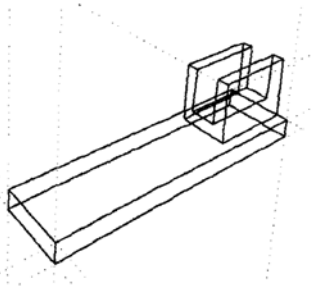
1. Draw freehand lines



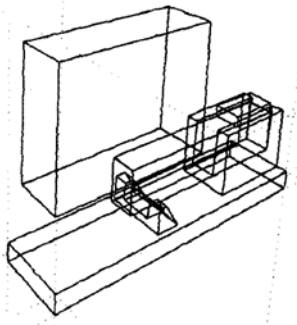
2. A Basic Shape



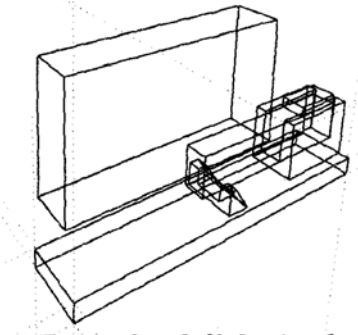
3. Add another palallelepiped



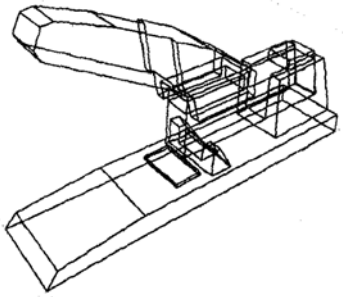
4. Modify a Basic Shape



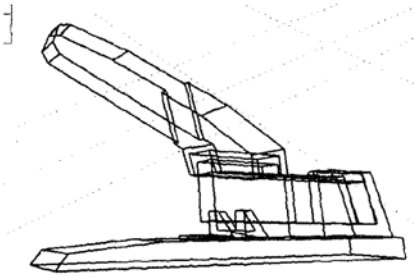
5. Many times modified drawing



6. Expand palallelepipeds



7. Complete a drawing



8. Change view point

Figure 15. Example

References

[1] Ullman D.G., Wood S., Craig D. : The Importance of Drawing in the Mechanical Design Process, Comp. and Graph.14(2),1990,263-274.

[2] Binh Pham : From CAD to Automation of Creative Design Process, CAGD94,Penang,Malaysia, July.1994.

[3] B. J. Hale, R. P. Burton, D. R. Olsen, and W. D. Stout: A three-dimensional sketching environment using two-dimensional perspective input, Journal of Imaging Science And Technology, pp.188-196, March 1992.

[4] K. Kondo, F. Kimura, and T. Tajima: Estimation of a Point of View with Perspective Drawing and the Application, Journal of Information Processing Society of Japan,Vol.29,No.7,July 1988.

[5] K. Kondo: Representation of 3-D shapes with the Interactive Rendering System, a doctor's thesis, University of TOKYO Japan, October 1987.

[6] M. Akeo *et al.*: Computer-Assisted Product Design, NICOGRAPH'93, pp.55-65, 1993.

[7] Z Chen and D-B Perng: Automatic reconstruction of 3D solid objects from 2D orthographic views, Pattern Recognition, pp.439-449, 1988.

[8] T. Fujiu *et al.*: Usage of Heuristic Knowledge for Solid Construction from Engineering Draft in Orthographic View, NICOGRAPH'86, pp.49-58, 1986.

[9] S. Sugishita, K. Kondo, H.Sato, S.Shimada :*Sketch interpreter system for geometric modelling*, CAGD'94, Penang, Malaysia,July.1994.

[10] H. Chiyokura: Solid Modelling (Japanese), Kogyo Chosakai Publishing Co.,pp.1-31,1985.

[11] H. Toriya: Invitation to 3D modelling (Japanese), Kyoritsu Syuppan Co., July 1991.

[12] Masuda, Yamaguchi: Automatic Reconstruction of Polyhedron from Orthographic Views, Proc. of Graphics and CAD Symposium, IPSJ, pp.105-114, 1992.

[13] M. Ono: Performance modelling for pen input, Information Processing Society of Japan,93-HI-47-1.

[14] S. Furushima *et al.*: Generation of 3-Dimensional geometric model from rough-sketch, NICOGRAPH'90, pp.11-20, 1990.

[15] Robert C. Zeleznik *et al.* : SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes, SIGGRAPH '96 Proceedings, pp.163–170, 1996

[16] S. Sugishita, K. Kondo *et al.*: Interactive Freehand Sketch Interpreter for Geometric Modelling, Symbiosis of Human and Artifact, pp.561-566, 1995

[17] K. Matsuda *et al.* : User Interface for Sketch Interpreter, Proceedings of the Eleventh Symposium on Human Interface, pp.69–76, 1995

[18] XU Zheng, *et al.* : Free-form Surfaces Generation in Freehand Sketch Interpreter, CADEM'95, Xi'an, China, pp.261-266, 1995

Vol. 40 No. 2 情報処理学会論文誌 Feb. 1999

手書き図形入力のための時系列情報を利用した逐次清書法

松田浩一[†] 近藤邦雄[†]

手書き図形の入力は，コンピュータの入力インタフェースとして重要な機能と考えられ，さまざまな手法が提案されている．しかし，人が紙面上にスケッチを描くような試行錯誤ができるような手書き入力手法はない．そこで本論文では，コンピュータによる図形入力支援を行うために，スケッチに用いられる手法である線分の重ね書きによる入力をコンピュータ上で可能にする，逐次清書法を提案する．本手法は，手書き線群を時系列順に処理し動的に新たな清書線分を出力することにより対話的な線分入力を可能にする手法である．本論文では逐次清書法を用いて直線抽出，曲線抽出を行う．直線抽出のために線分混合法を提案し，また，曲線抽出のために特徴点結合法および節点分割抽出法を提案し，制御点の再構成法について提案を行った．既存の制御点生成アルゴリズムと比較を行った結果，より少ない制御点での曲線表現が可能であり，概形の再現性にも優れていることを示した．本手法を用いることにより，コンピュータ上で試行錯誤を行いながら清書線分を描くことが可能となり，(1) 重ね書きによる複数線分による入力を清書可能，(2) 対話的に試行錯誤を行いながら清書を行うことができる，(3) 同一のアルゴリズムを用いて清書線分に対して加筆・修正を行うことが可能，(4) 少ない制御点で入力曲線を表現可能である，という利点が得られる．

Interactive Sequential Drawing for Freehand Sketch Inputting

KOICHI MATSUDA[†] and KUNIO KONDO[†]

This paper introduces a new method to deal with sketch for inputting drawings using a computer with a stylus pen and a tablet. Many study have been developed for improving user interaction with a stylus on a computer, particularly in the conceptual design stage. These are only useful when the designer knows exactly what the object should look like. Our method affords the designer to draw overlapped segments like as drawing sketch. Characteristics of our research are as follows. (1) Making a clean copy from freehand lines in realtime, (2) Trial and error is possible, (3) Retouch is possible using a same algorithm, (4) Freehand curves can be expressed with a few control point. The aim of our method is to simplify the process of drawings for helping the designer. He can keep his drawing with a stylus on a tablet at the same manner using a pencil on paper.

1. はじめに

本論文の目的は，ペン入力による手書き入力インタフェースのための線分の重ね書きによる逐次清書法の提案である．本研究では，コンピュータ上でのスケッチ感覚でのペン入力による形状入力や形状修正を可能にすることを目標としている．

デザイナが形状をイメージするときには頭の中に3次元形状がある．頭の中にあるイメージは直接はっきりとした形として表すことができないため，概形を描き，徐々に具体化していくことが一般的に行われている．このとき，重ね書きによる描画は発想の段階で多く用いられる．この描画作業による思考をコンピュータ上で生かすため，ペンを用いた手書きによる図形入力のための試行錯誤が可能なインタフェースが望まれている[1]．

手書きによる図形入力の研究では，極大・極小・変曲点を用いた一筆書き曲線の清書[2]がある．直接操作による曲線の形状変形が特徴であり，大域的な変形が可能である．また，手書きにより描かれた線や図形がどのような幾何形状であるかを識別する研究もあり，ファジィ理論を用いて補正する Chen ら[3]の手法などがある．この研究では楕円や円弧や直線などを柔軟に認識することが可能である．そして，歪みを含んだ直線の補正を行う手法として，Ramer[4]，近藤ら[5]の手法がある．両者ともに，折れ線の端点を結び，端点を結ぶ線から距離最大点を選んで区間分割し直線近似する手法である．しかし，距離最大点の選び方に違いがあり，前者は端点を結ぶ直線からの距離を用いるのに

† 埼玉大学理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

対し，後者は端点間の距離と端点を結ぶ直線からの距離の比を用いている．上記の研究においては，描かれた線分をどのように処理するかに主眼がおかれ，どのように描くかについては言及されていない．描き方に関する研究としては，拘束条件などを用いて清書図形を容易に描く五十嵐ら[6]の研究がある．平行や垂直，対称性などを利用して自動的に次に描く候補を予想することにより図形描画を可能にしている．しかし，以上の手書き入力に関する研究は，いずれも描画する線が1本であり，部分的な変更をラフに描きながら試行錯誤することが不可能である．

そこで本論文では，スケッチの描画手法をコンピュータへの入力として扱うことを目的とした逐次清書法を提案する．本論文で提案する逐次清書法は，ラフに描かれた手書き線群を時系列順に処理し，動的に新たな清書線分を出力することにより対話的な線分清書を可能にする手法である．

本逐次清書法の特長は以下の4つである．(1) 重ね書きによる複数線分による直線・曲線入力が可能，(2) 対話的に試行錯誤を行いながら作画を行うことができる，(3) 同一のアルゴリズムを用いて抽出線分に対して加筆・修正を行うことが可能，(4) 少ない制御点で入力曲線を表現可能である．

本論文では，まず2章で逐次清書についての概要を述べる．3章において直線の逐次清書のための線分混合法について述べ，4章では曲線の逐次清書のための特徴点結合法と節点分割抽出法のアルゴリズムについて述べる．そして5章では，逐次清書法を用いた実験例を示し，比較を行った結果を述べる．

2. 逐次清書法の概要

逐次清書法はラフに描かれた線群から動的に直線および曲線を得る手法である．提案手法では，ユーザの定めた時間内に描画活動が行われない場合その時間を思考時間と見なし，その間に線群からの芯線抽出を自動的に行う．

逐次清書法は，**図1**のように構成される．ここで，本論文では直線と曲線の自動判別は行わず，どちらを入力するかはユーザが選択する．直線入力を行う場合，(1) 入力された線群は，(2) 節点抽出法[5]により直線近似される．次に (3) 本論文で提案する線分混合法により直線抽出され，(6) 抽出結果を出力する．また，曲線入力の場合は，(2) で得られた制御点を用いて (4) 本論文で提案する特徴点結合法による制御点列生成を行い，(5) スムージングおよび制御点削減のために節点分割抽出法を用いて (6) 抽出結果を出力する．上

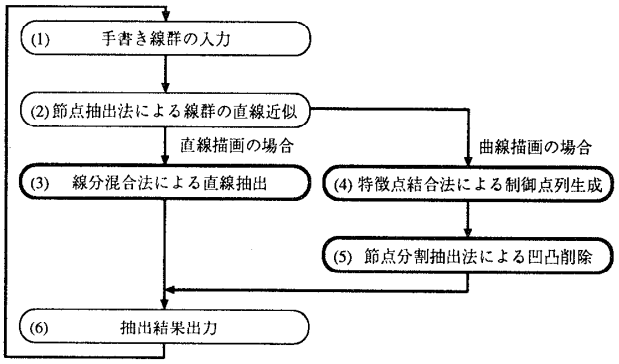


図1 逐次清書法の構成
Fig. 1 Conponent of the interactive sequential drawing.

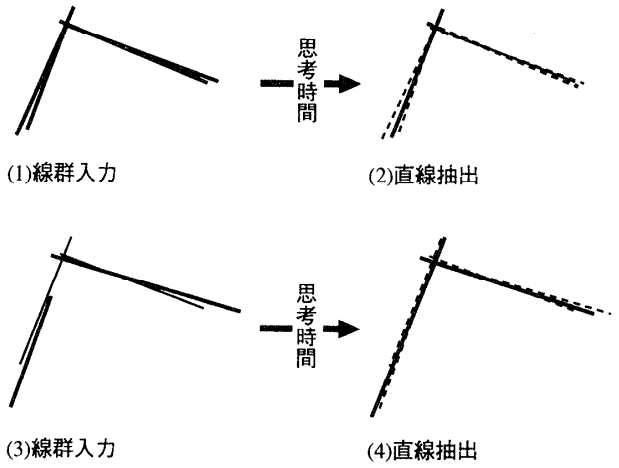


図2 逐次清書法の作業の流れ
Fig. 2 Process of the interactive sequential drawing.

記の直線手法と曲線入力においては，ともに抽出結果に対して繰り返し入力を行うことにより線分の修正を行うことができる．

図2に直線入力における作業の流れを示す．図2(1)は直線近似された入力線群を示し，思考時間と判定された場合には自動的に直線抽出が行われ，図2(2)の状態になる．図2(2)は，複数本あった線分から新たな直線が抽出された状態を示す．実線は抽出結果を表し，破線は抽出前の入力線群を表している．図2(3)は(2)で抽出された線分（図中の細線）に対し，直接修正線群を描画した（図中の太線）図であり，図2(4)は，修正線分からさらに抽出した結果を示す．

このように本手法では，その清書された図形に対してさらに修正を行うことができる．本手法はこのように入力作業を何度も繰り返し行いながら，重ね書きによる線群を扱うことが可能である．次章以降で直線・曲線それぞれの抽出手法について述べる．

3. 直線の抽出

本章では入力線群から直線を抽出するための線分混

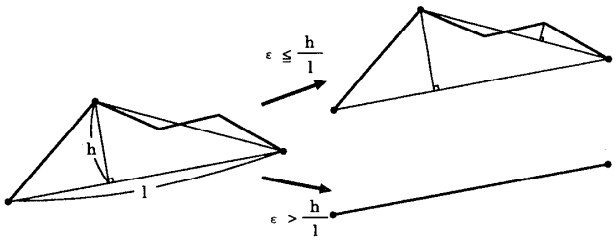


図3 節点抽出法のアルゴリズム
Fig. 3 Algorithm of the line approximate.

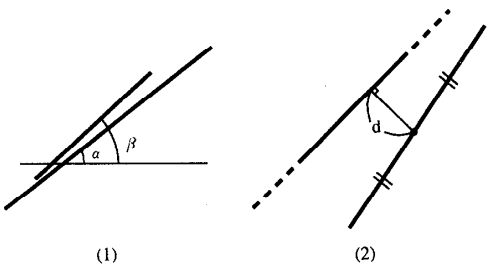


図4 角度と距離を用いた同一線分の判定
Fig. 4 Judgement of same lines.

合法について述べる．

まずはじめに，入力線群に対し節点抽出法を用いて直線近似を行う．そして，直線近似された線群に対し本論文で提案する線分混合法を用いて直線抽出を行う．

3.1 節点抽出法による直線近似

入力線群は，手書きによる手振れを持っているため，線分混合の前処理として，入力線群の直線近似を行う必要がある．

直線近似を行う手法として，Ramer[4]，近藤ら[5]の手法が提案されている．本研究では図形の大きさに依存しないという点から，近藤らが提案した節点抽出法を利用する．

図3 にそのアルゴリズムを示す．探査区間において，端点間の距離と，端点を結んだ線から最も遠い点と端点間を結ぶ直線からの距離の比が閾値 ε 以上の値が得られた場合に節点として残す．さらに再帰的に区間分割を行い，同様の探索を行う．

この節点抽出法を用い，手振れを持つ入力線分を直線近似し入力直線として扱う．

3.2 線分混合法による直線抽出

まず，線分に関する定義について述べ，次にそれらの定義を用いた線群からの直線抽出アルゴリズムを示す．

3.2.1 線分に関する定義

任意の2線分について，(1) 角度が近く，(2) 線分間の距離が近い場合は同一線分，と定義する．ここで，角度が近いとは，2本の直線の角度差が閾値より小さい線分とし（**図4**(1)），線分間の距離が近いとは，一方の線分の中点と他方の線分との距離が閾値より小さいこととする（図4(2)）．図中の α，β は水平線からの角度，d は2線分の距離を表す．以上の2条件を満たす場合に，同一直線を描こうとしたと判断する．なお，閾値はユーザが設定可能であり，その閾値により2線分が1本として描かれたか，2本として描かれたかを判定する．

3.2.2 線分混合アルゴリズム

直線抽出のための線分混合アルゴリズムは以下のとおりである．

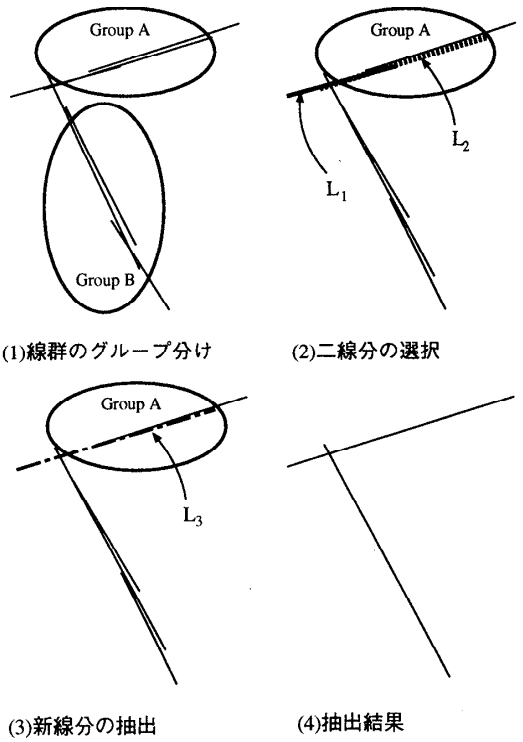


図5 直線抽出手順
Fig. 5 The thinning algorithm.

(i) 前述の定義に従い，角度・距離により線群をグループ分けする（**図5**(1)）．

(ii) グループ内で描かれた順に2本の線分 L_1，L_2 を取り出す（図5(2)）．

(iii) 直線は1点と傾きにより一意に決まるので，L_1，L_2 の角度の平均および後に描かれた線分 L_2 の中点を用いる．得られた直線に対し2線分の端点の存在範囲でクリッピングを行い線分 L_3 を生成する（図5(3)）．

(iv) グループ内に未処理の線分がある場合，(iii) で生成された線分を L_1，次に取り出した線分を L_2 とし，(iii) を実行する．

(v) すべてのグループに対して (ii)～(iv) を行う．

描き手は，描き足していくことによりイメージに近付けることから，本アルゴリズムでは，後に描かれる

線分の比重を高くするために描いた順に線分抽出を行う．

4. 曲線の抽出

曲線のスケッチ描画においても直線と同様に1本で描画されることは少ない．また，描き始める位置や方向が一定でなく，描き足すなどの様々な描画が考えられ，単に入力順に制御点を結合し自由曲線を生成しても意図どおりに生成されない場合が多い．そこで本章では入力線群に対し逐次に制御点を再構成する手法を提案する．

曲線抽出においては，線群から節点抽出法を用いて制御点候補となる点を求めた後，(1) それらを接続する手法である特徴点結合法，(2) 凹凸を生じさせる制御点候補を削除し，滑らかに接続するための制御点を残す手法である節点分割抽出法から成る．以下ではそれぞれの手法について述べる．

4.1 特徴点結合法

本論文では入力線群から得られた制御点候補となる点を特徴点と呼ぶ．本手法は，入力された線群から特徴点を線分単位で抽出し，特徴点の結合により入力された線群を清書するための曲線の制御点を求める．

4.1.1 特徴点の抽出

重ね書きにより入力される線分は一般に複雑な形状を持たないため，1つの線分から特徴点となる点を端点を除き1点を選ぶ．そのために，再帰的な探索は行わない節点抽出法の特殊型を利用する．以下にそのアルゴリズムを示す．なお，**図6**(1) の曲線上の点はタブレットによる入力を一定時間間隔でサンプリングした点である．

(i) 端点間を結んだ直線から最も遠い点を選ぶ（図6(1)）．

(ii) 端点間の距離 L と端点間を結ぶ直線と点の距離 h が ε よりも大きければ特徴点とする（図6(2)-1）．

(iii) 端点以外の点がなくなった場合には，中点を特徴点とする（図6(2)-2）．

上記の端点間に選ばれた特徴点および端点を特徴点列として扱う．

4.1.2 特徴点列の結合

線群に含まれるそれぞれの線分から得られた特徴点列を結合することにより新たな特徴点列を生成する．その規則は以下のとおりである．

(i) 2つの特徴点列に重なりが生じている場合には，新たに描かれた線分の特徴点を優先して挿入する．特徴点列の重なりの有無は**図7**のように定義する．追加点列 L_2 の各点から追加元点列 L_1 への垂線を下ろしたとき，垂線と L_1 の交点が存在し，その距離 d が閾値以下であるならば重なりが生じていると判断する．

(ii) 特徴点どうしの距離が閾値より小さい場合，新たに描かれた線分の制御点に置き換える．

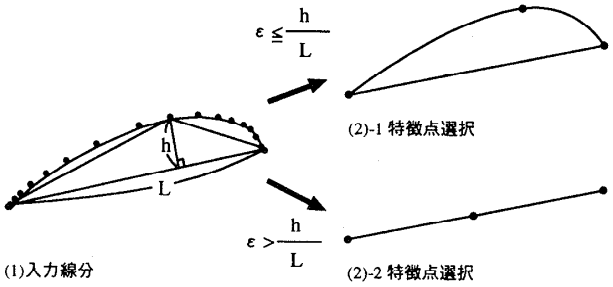


図6 特徴点選択
Fig. 6 Choice a characteristic point.

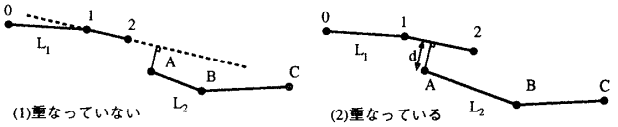


図7 点列の重なりの判定
Fig. 7 Judgement of overlapping segments.

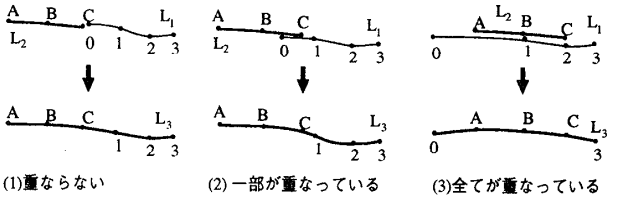


図8 特徴点の結合
Fig. 8 Connecting characteristic points.

上記の規則を用いての3つの結合例を以下に示す．ここで，**図8**における L_1（特徴点 0, 1, 2, 3）は結合済みの特徴点列，L_2（特徴点 A, B, C）は新たに入力された特徴点列，L_3 は新たに生成された特徴点列を表している．

(1) L_1, L_2 に重なりがない場合はそのままつなぐ（図8(1)）．0, C の距離が閾値より小さかったので 0 が削除された．この結果，L_3（特徴点 A, B, C, 1, 2, 3）が生成された．

(2) L_1, L_2 の一部が重なる場合は，重複部分のみ後に描かれた線分 L_2 の特徴点列に置き換える（図8(2)）．ここでは 0 が削除される．この結果，L_3（特徴点 A, B, C, 1, 2, 3）が生成された．

(3) L_2 の特徴点が L_1 の間ですべて重なっている場合は，重複部分を後に描かれた線分の特徴点

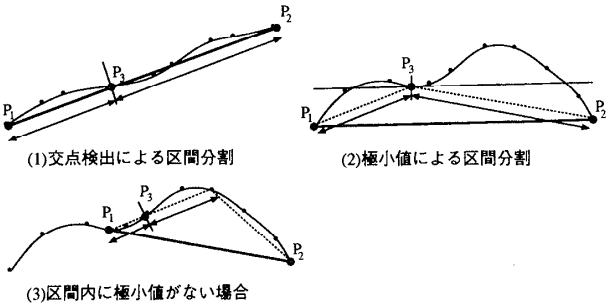


図 9 節点分割抽出法による制御点選択
Fig. 9 Choice points by using the recursive amplitude through algorithm.

列に置き換える（図 8 (3)）．ここでは 1，2 が削除される．この結果，L_3（特徴点 0，A，B，C，3）が生成される．

4.2 節点分割抽出法

本節では，節点抽出法を曲線の制御点選択に適用するために拡張した，節点分割抽出法について述べる．本手法は，振幅を残すべき区間を検出して全体を小さく分割し，点列を複数の区間に分割する．そして，その分割区間内で節点抽出法を利用することにより，局所的な振幅に対する処理を行う．以下に節点分割抽出法のアルゴリズムを示す．

(i) 端点 P_1，P_2 を結ぶ直線と曲線との交点を検出する．交点 P_3 を検出した場合，その点を分割点とし，その左右の区間で再帰的に同様の探索を行う（**図 9 (1)**）．

(ii) 区間 P_1，P_2 内で交点が見つからず，その区間内に極小値が存在するならば，最も小さな極小値を求める．その点を分割点 P_3 とし，(i) に戻る（図 9 (2)）．

(iii) 区間 P_1，P_2 内に交点が見つからず，極小値が存在しない場合には，区間端点から距離の最も遠い点から両端点に伸ばした直線との交点があるか調べ，交点が存在するときはその点を分割点とする（図 9 (3)）．

(iv) 以上の区間分割が終了したのち，それぞれの区間で節点抽出法を用いて制御点削除を行う．

5. 実験結果

5.1 逐次清書法による直線描画

図 10 に逐次清書法を利用した図形の入力例を示す．図 10 (1) は線群による入力例を示す．図 10 (2) は，描画を休む間に自動的に線分混合法により抽出された直線，図 10 (3)，(4) は，抽出直線に対し，さらにスケッチを続けた結果を示す．

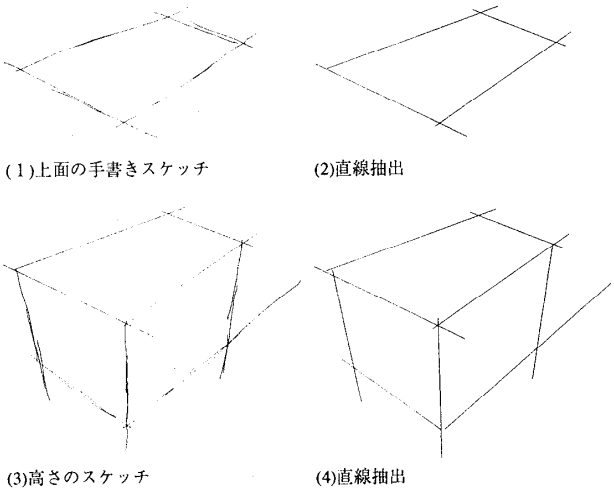


図 10 線分混合法による直線描画
Fig. 10 Drawing parallelpiped with freehand lines.

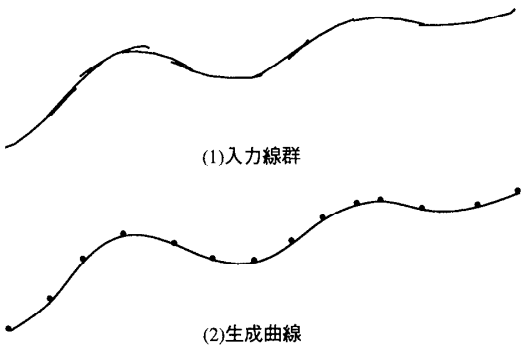


図 11 重ね書きによる曲線描画
Fig. 11 Drawing a freehand curve with overlapped lines.

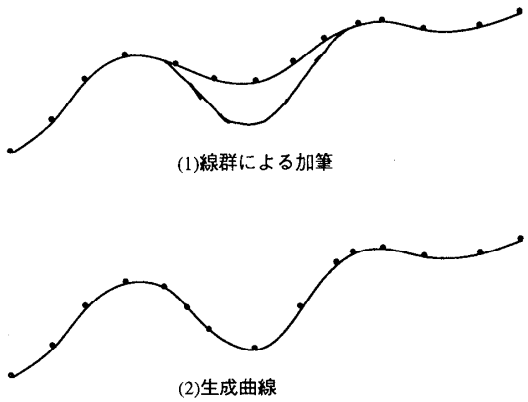


図 12 清書曲線に対する加筆・修正
Fig. 12 Retouching a freehand curve.

5.2 特徴点結合法による曲線生成

図 11 は特徴点結合法を用いた重ね書きによる曲線の描画例である．図 11 に，8 本の線分が入力され，14 の制御点により曲線が生成された例を示す．図から分かるように，一度に描かれた複数の線分から成るラフな曲線に対して，本提案手法を用いることにより，1

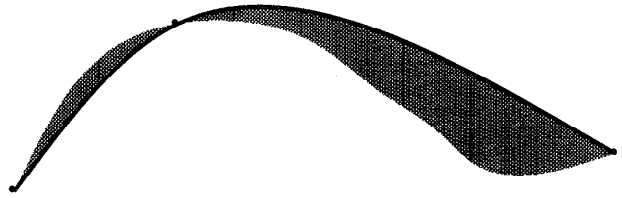


図 13 差分面積の算出
Fig. 13 Difference.

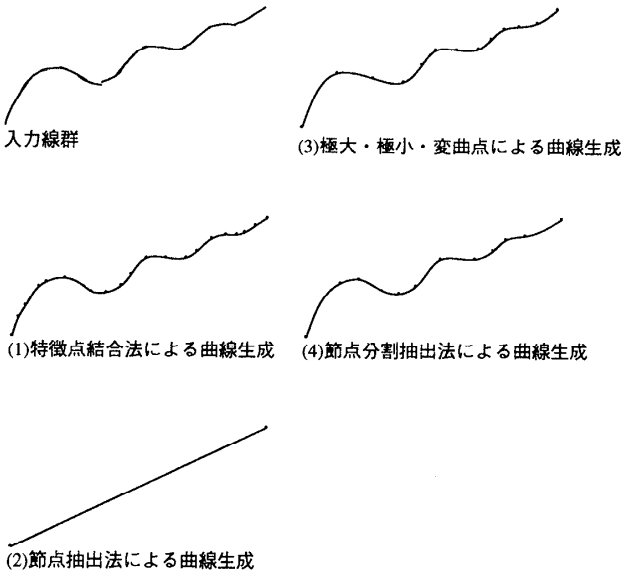


図 14 曲線生成例 1
Fig. 14 Generation of curve 1.

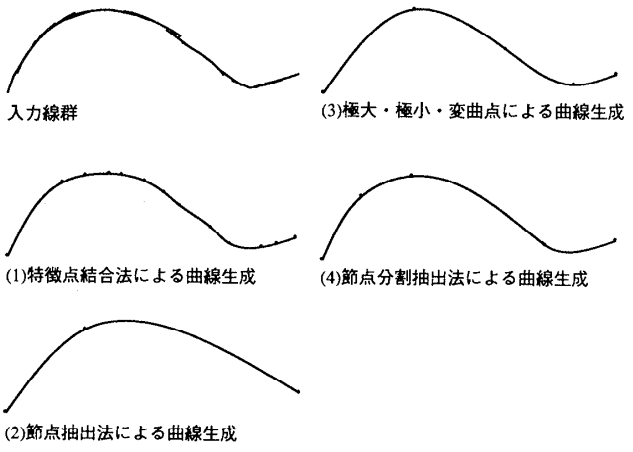


図 15 曲線生成例 2
Fig. 15 Generation of curve 2.

本の曲線を得ることができる．このように本手法を用いれば，入力する曲線を一筆書きで描く必要はない．

また，**図 12** に，特徴点結合法により得られた曲線に対し，ペンを用いた直接修正を行った例を示す．ここでは 5 本の線分を入力した結果，6 つの制御点が生成され，制御点列に挿入された．なお，制御点を結ぶ曲線の生成には自然スプライン曲線を用いている．

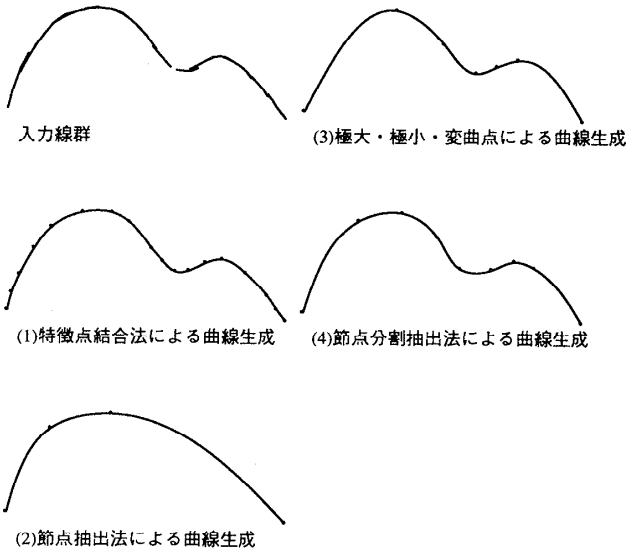


図 16 曲線生成例 3
Fig. 16 Generation of a curve 3.

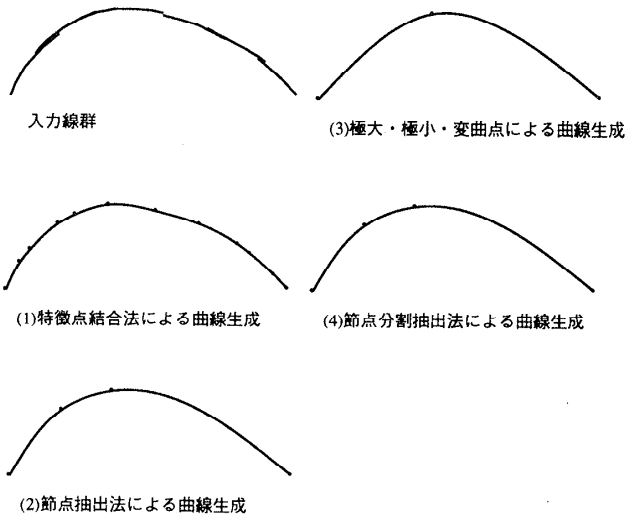


図 17 曲線生成例 4
Fig. 17 Generation of a curve 4.

5.3 生成制御点の比較

本節では入力線群に対する曲線抽出を行った結果を図 14～17 に示す．比較のために用いた手法は，(1) 特徴点結合法，(2) 節点抽出法，(3) 極大値・極小値・変曲点に制御点を取る手法，(4) 本論文で提案した節点分割抽出法である．なお，節点抽出法および節点分割抽出法で用いた閾値は $\varepsilon = 0.13$ である．

表 1～4 は，それぞれの生成曲線についての評価である．表に，その曲線の持つ制御点の数，特徴点結合法からの制御点削減率，差分面積を算出した結果を示す．この表における差分とは，特徴点結合法による曲線との間にできる面積を表している．特徴点結合法により生成された曲線は，入力曲線に最も近い形状と考えられるので，その差を再現性の基準とした．**図 13** は図 15 においての特徴点結合法と節点抽出法による

表1 図14における曲線の評価
Table 1 Evaluation of fig. 14.

	制御点数（個）	制御点削減率	差分面積（Dot）
特徴点結合法	21	／	／
節点抽出法	2	90%	15526
極大・極小・変曲点	13	38%	1011
提案手法	12	43%	436

表2 図15における曲線の評価
Table 2 Evaluation of fig. 15.

	制御点数（個）	制御点削減率	差分面積（Dot）
特徴点結合法	13	／	／
節点抽出法	3	73%	18584
極大・極小・変曲点	5	62%	3126
提案手法	6	54%	556

表3 図16における曲線の評価
Table 3 Evaluation of fig. 16.

	制御点数（個）	制御点削減率	差分面積（Dot）
特徴点結合法	18	／	／
節点抽出法	4	78%	9047
極大・極小・変曲点	7	61%	2970
提案手法	9	50%	751

表4 図17における曲線の評価
Table 4 Evaluation of fig. 17.

	制御点数（個）	制御点削減率	差分面積（Dot）
特徴点結合法	12	／	／
節点抽出法	4	67%	1324
極大・極小・変曲点	3	75%	4161
提案手法	4	67%	1324

曲線の差分を求めた図である．ここで，図のグレーの部分が差分面積となる．単位は画素数で表す．

(i) 曲線生成例1（**図14**）
制御点削減率だけを見れば節点抽出法が最も優秀であるが，原形をまったく残さない形状になっており，差分面積も最大となっている．制御点削減において極大・極小・変曲点法に対し，本手法はわずかな優位であるが，差分面積が2倍以上と再現性においても本手法が優れている．また，形状を比較しても，本手法は一番左の振幅の形状をよく残している．

(ii) 曲線生成例2（**図15**）
制御点削減率において（i）と同様に節点抽出法が数値が高いが，再現性が低い．差分面積において提案手法は最も優れており，形状においても入力線群の形状を最もよく再現していることは図15からも明らかである．

(iii) 曲線生成例3（**図16**）
制御点削減率において（i）と同様に節点抽出法が数値が高いが，再現性が低い．差分面積において提案手法は最も優れており，入力曲線の外形を維持した制御点選択が可能となっている．

(iv) 曲線生成例4（**図17**）
節点抽出法と提案手法では，アルゴリズム上抽出結果はまったく同じになる．制御点削減率において，極大・極小・変曲点法がわずかに優位であるが，差分面積において節点抽出法，提案手法が優れており，入力に沿った制御点選択が行われているといえる．

以上の結果から，本論文で提案する節点分割抽出法は，(1) 特徴点結合法で得られた制御点列に対し，制御点数を半減させることが可能，(2) 他の手法と比較し，入力線群の概形を残した制御点削除が可能であることが分かる．

6. おわりに

本論文では，スケッチによる線分の重ね書きを可能にする逐次清書法の提案を行った．ペンを用いた直接入力を可能にする本手法は，スケッチの手法をコンピュータ上で実現するために有効な手法であり，試行錯誤を可能にする入力インタフェースとして提案するものである．

提案手法は，直線・曲線の逐次清書を可能にするための（1）線分混合法,（2）特徴点結合法,（3）節点分割抽出法である．線分混合法は重ね書きによる直線生成を可能にする手法であり，特徴点結合法，節点分割抽出法は，手書きによる曲線描画に対し，清書を行うための手法である．

本手法の提案により，以下の有効な点が得られた．

(1) 従来手法では不可能であった重ね書きによる入力が可能となる．
(2) 対話的に試行錯誤を行いながら線分抽出を行うことができる．
(3) 抽出線分に対しても同様のアルゴリズムで修正が可能である．
(4) 少ない制御点で入力線群を曲線で表現することが可能である．

以上のことからスケッチによる重ね書き線分入力を可能にするインタフェースとして有効な手法であることを示した．

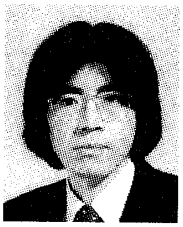
参考文献

1) マルチメディアコンテンツ振興協会：高付加価値意匠デザインのための3次元形状モデリングに関する調査研究報告書，pp.5–9 (1998).
2) 日本機械学会：形態とデザイン，pp.7–12, 培風館 (1993).
3) Chen, C.L.P. and Xie, S.: Freehand drawing system using a fuzzy logic concept, *Computer Aided Design*, Vol.28, No.3, pp.77–89 (1996).
4) Ramer, U.: An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol,1, pp.244–256 (1972).
5) 近藤邦雄，木村文彦，田嶋太郎：曲面の形状感の表現（第3報）手描き入力による図形作成法，精密工学会誌，Vol.53, No.4 (1987).
6) 五十嵐健夫ほか：対話的整形と予測描画による幾何学図形の高速描画，インタラクション'98論文集，pp.25–26 (1998).

(平成10年 6 月1日受付)
(平成10年12月7日採録)

松田 浩一（学生会員）

1971年生．1997年埼玉大学大学院理工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了．現在，同大学院情報数理科学専攻博士後期課程在学中．ペンを用いた形状入力インタフェースの研究に従事．



近藤 邦雄（正会員）

1954年生．1979年名古屋工業大学第2部機械工学科卒業．工学博士．名古屋大学教養部図学教室，1988年東京工芸大学電子工学科講師を経て1989年埼玉大学工学部情報工学科助教授．コンピュータグラフィクス，ユーザインタフェース，形状モデリング，感性と知識をもとにした画像処理の研究に従事．日本図学会会員．

Journal for Geometry and Graphics
Volume 13 (2009), No. 2, 195–207.

Interactive Geometric Modeling Using Freehand Sketches

Kunio Kondo

School of Media Science, Tokyo University of Technology
1404-1 Katakura, Hachioji, Tokyo 192-0982, Japan
email: kondo@media.teu.ac.jp

Abstract. CAD software and similar modeling systems can show 3D object models created by designers, but these advanced 3D systems demand precise data about the 3D object, especially in the steps of inputting data and making free-form surfaces. Although it has become common to use CAD/CAM systems to increase the efficiency of the industrial design process, traditional sketching is often more efficient in the early stages of concept design. Since it is difficult to design a CAD system which can create 3D objects from a concept sketch directly due to ambiguous information, recently sketch systems have been introduced to bridge the gap between concept design and computer-based modeling programs, combining some of the features of a pencil-and-paper sketch.
This survey paper deals with a freehand sketch based geometric modeling for constructing complex 3D objects. In addition, many useful sketch systems and methods are classified. The following sketch systems are shown: (1) A sketch-based modeling system based on descriptive geometry is proposed to generate a model from a variety of 3D solid objects and surface objects. (2) The contour line method to propose a sketch interpreter system for designing 3D freeform objects. (3) A method using a template topology library as an essential tool to reconstruct and modify 3D objects with sketch lines.

Key Words: Sketch systems, geometric modeling, freehand sketch, descriptive geometry, interactive modeling

MSC 2000: 68U05, 51N05

1. Introduction

Although it has become common to use CAD/CAM systems to increase the efficiency of the industrial design process, traditional sketching is often more efficient in the early stages of concept design. Since it is difficult to design a CAD system which can create 3D objects from a concept sketch directly due to ambiguous information, recently sketch systems have been

ISSN 1433-8157/$ 2.50 © 2009 Heldermann Verlag

introduced to bridge the gap between concept design and computer-based modeling programs, combining some of the features of a pencil-and-paper sketch and some of the features of CAD systems to provide a lightweight, gesture-based interface to "approximate" 3D polyhedral modeling.

Concept Sketch is a concept design process for the designer. It is used to draw contours of products on paper by pencil step by step. In order to get 3D shapes, it is required to recognize these shapes from the concept sketch. Currently many CAD systems can show the object model created by designers, but these advanced 3D CAD systems demand precise data about the 3D object, especially in the steps of inputting data and making free-form surfaces. Designers can not use or feel very uncomfortable to use these systems for realizing their idea sketches. It has now become a big area of research to increase the flexibility of the 3D data input techniques for CAD systems.

In this paper, first we will explain classification of related work in the field of sketch modeling. *Sketch modeling system* is a new type of modeling system as compared to traditional CAD systems. Next, five parts of concept sketch will be shown to draw 3D objects. These parts are very important to input a 3D object using a sketch interpreter system. In Section 4, our proposed *"Sketch Interpreter"* system is shown. This is an interactive system based on the perspective projection theory of descriptive geometry and, in Section 5, a sketch interpreter system by using shading and cross section lines. Last, we will explain a sketch-based modeling system for interactive modeling of a variety of 3D solid objects and surface objects based on the box method.

2. Related work

Sketch-based systems are a relatively new area in modeling. Their main goal is to allow the creation of 3D models by using strokes extracted from user input and/or existing drawing scans. We can distinguish five approaches as shown in Figs. 1 and 2.

S. Sugishita et al. [35] proposed 1994 a sketch-based modeling system. The system creates a basic cube-like shape. The basic shape is operated either by adding parts or cutting off pieces from the basic shape. A cutting plane is defined by three points which are points of intersection between additional cutting lines on the basic shape. But the modeling process is tedious to the designer. R. Zeleznik et al. [40] introduced 1996 a gesture-based interface for rapid modeling of CSG-like models consisting of simple primitives. However, the modeling process was not intuitive.

Teddy by T. Igarashi et al. [12] 1999 is a sketch based system that allows the user to easily create free-form 3D models. The system allows creating a surface by inflating regions defined by closed strokes. Strokes are inflated, using chordal axis transform, so that portions of the mesh are elevated based on their distance from the stroke's chordal axis. *Teddy* also allows users to create extrusions, pockets and cuts to edit the models in quite flexible ways. However, it is difficult to model prismatic objects. J. Mitani et al. [24] proposed 2000 a 3D sketch system with a simple template which uses one projection and applies mirror symmetry to reconstruct a surface model. However, only a single hexahedral model can be constructed. Varley [36] proposed *RIBALD*, which can convert a sketch to a B-Reps solid model. However, for *RIBALD* several conditions are necessary at sketches in order to perform this conversion, and thus it cannot directly accept the sketch input by designers.

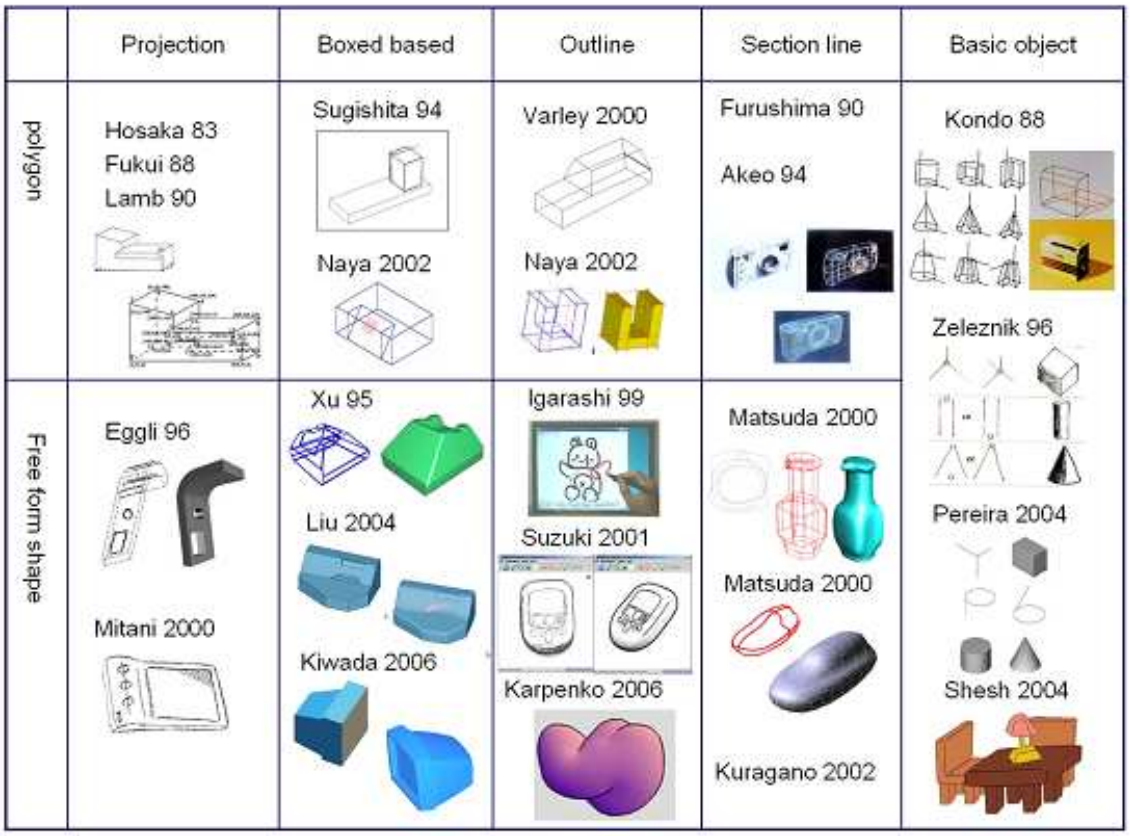


Figure 1: Sketch based modeling methods

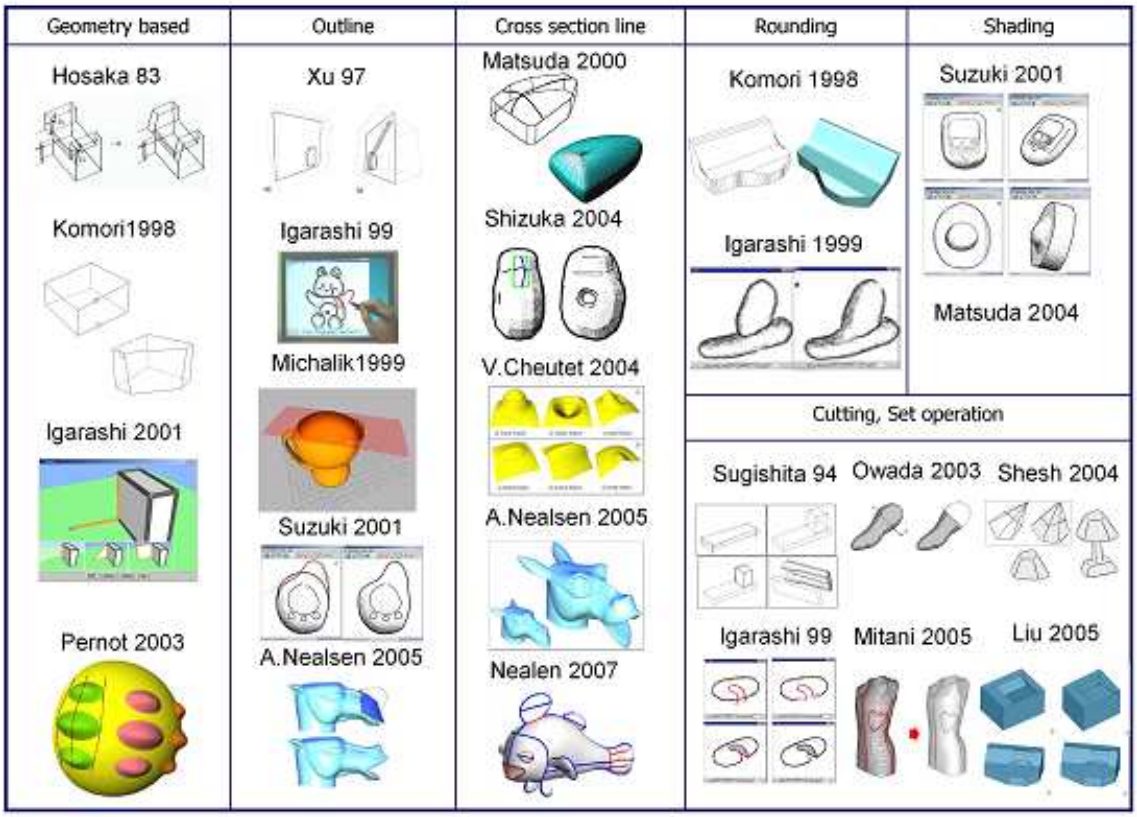


Figure 2: Shape modification methods

3. Sketch analysis

3.1. Elements of the concept sketch analysis

In this section, we extract the primary elements from the concept sketches based on a box method (Fig. 3). The sketch in Fig. 5 shows a voice recorder drawn by the designer. We can regard that it as made up of the following five parts:

a) The outline of the basic shape;

b) The shading lines on the left-bottom;

c) The contour with cross section lines on the top-right;

d) The contour with shading lines on the center;

e) The surface pattern lines on the up-middle.

Its lines can be classified into four chief elements:

- Outline,
- Shading Lines,
- Cross Section Lines, and
- Surface Pattern Lines.

Here, the surface pattern lines are directly mapped on the final surface; it can be done by transferring the 2D lines on the 3D surface. The contours together with shading lines and cross section lines are used for calculating the 3D information. We are trying to add the information of shading and cross section lines to the sketch system for controlling the 3D shape. So in the next section, we will start by analyzing the representations of the shading and cross section lines.

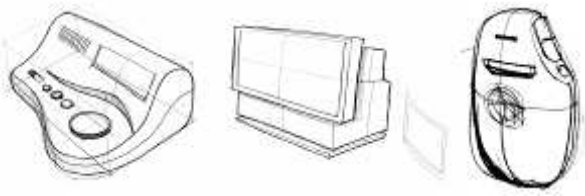


Figure 3: Examples of sketches

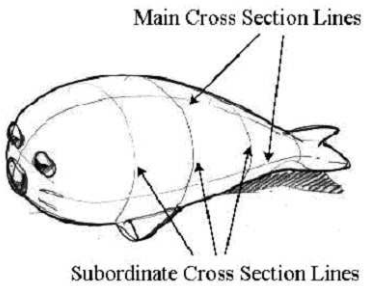


Figure 4: Cross section lines

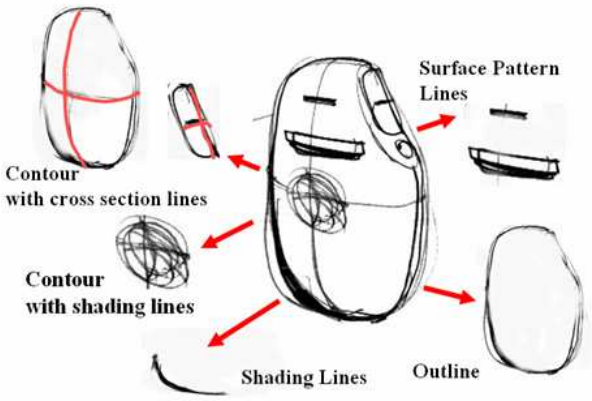


Figure 5: Sketch elements analysis

3.2. Representation of shading analysis

In this section, we show the representation of shading by analyzing the condition of lighting and its expressive effect.

a) *The condition of lighting:*
In order to analyze the condition of the lighting, we have investigated many concept sketches by designers. For most cases and for convenience, we selected parallel lighting and supposed that it is located on the top-left position with a 45 degree angle of incidence.

b) *The different representation of shading:*
In general, the effect of lighting can be classified into three cases: bright, grey and shadow. We can roughly visualize the 3D shape by referring to the different brightness on every face.

In our research, we use the shading mainly for two interpreters processing. For the first case, it was used to generate the basic 3D shape at the very beginning step. The shading lines can be regarded as a parameter which is used to visualize the roundness of ellipses and will be discussed in later sections. For the second case, it is used as a control line together with cross section lines for modifying the 3D shape (Fig. 4). The representations of the control lines can be classified into three cases: convex, concave, upheaving.

4. Sketch interpreter based on descriptive geometry

Typical techniques to recognize a 3D object by a 2D drawing have been using the perspective projection theory based on descriptive geometry [35, 22, 39, 13, 14]. In the case of a perspective projection, 3D models can be created from 2D drawings which are downloaded to a computer by a scanner.

Our proposed "Sketch Interpreter" system is an interactive system based on the perspective projection theory. Sketch Interpreter is unique, since a sketch drawn on a tablet is directly recognized by a computer as a 3D object. Designer can draw idea sketches interactively in Sketch Interpreter in the same manner as drawing sketches on paper.

Figure 6 shows computer aided sketch modeling procedures. Designers use a stylus pen on a tablet in Sketch Interpreter. Geometrically correct sketches are redrawn on the screen from input data on a tablet. No eraser is necessary to modify a 3D object as used in paper sketches.

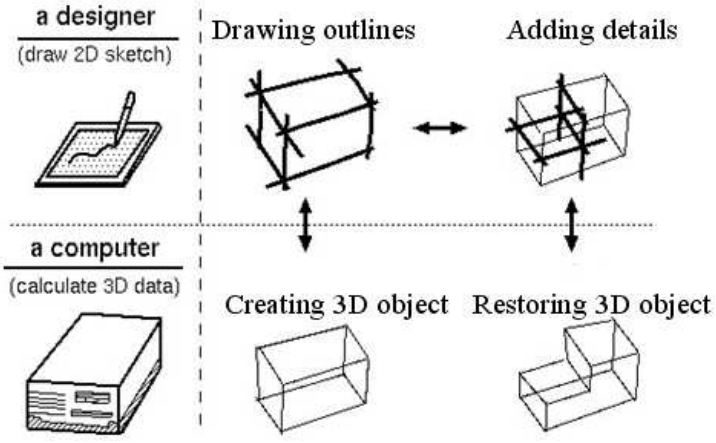


Figure 6: Sketch modeling procedure

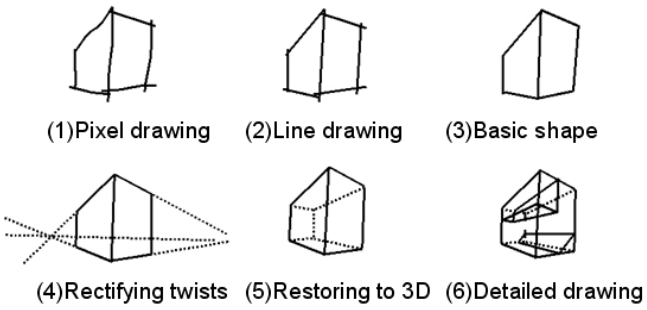


Figure 7: Steps in Sketch interpreter

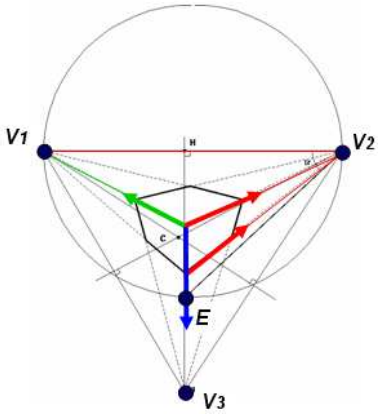


Figure 8: An estimation method of the camera parameters of the projection

Figure 7 shows sketch modeling process in Sketch Interpreter. Fig. 8 shows an estimation method of camera parameters of the projection that correspond to the viewpoint of the designer in order to generate three-dimensional information. First, x-, y-, z-axis, and the vanishing points V_1, V_2 are found in the sketch. By assuming that the camera position is located along a line perpendicular to the sketch plane, the view point is found. Finally, the camera matrix is defined using data of the view point. Fig. 9 shows an example of sketch modeling.

5. Sketch modeling with shading

5.1. Shading analysis

The purpose of our research work is to propose a sketch interpreter system by using shading and cross section lines [23, 33]. As shading and cross section lines are the natural information of the concept sketch, the designer can quickly evaluate their ideas for designing a new object.

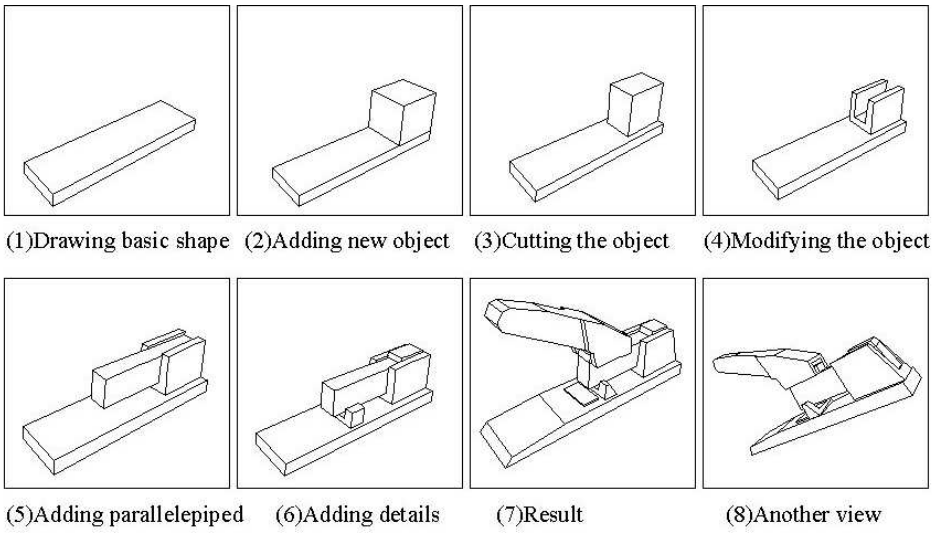


Figure 9: An example of sketch modeling

The freeform strokes are classified into three types:

- outline (contour line),
- shading line and
- cross section line.

The outline with shading lines are used to generate the basic rounded 3D shapes. The shading lines and cross section lines are used as control lines which are drawn inside the contour for modifying the basic 3D shape.

The procedures of the sketch modeling process are described as follows:

Step1: Input the sketch with outline and shading lines;

Step2: Analyze the shading lines;

Step3: Create the basic 3D shape;

Step4: Modify the generated 3D shape by drawing shading lines; cross section lines, or surface pattern lines;

Step 5: Render the generated shape.

5.2. Shape from shading

We suppose that the angle of incidence equals 45 degree from the top-left direction. Referring to Fig. 10, from the gravity of the cross section through X-axis and Y-axis direction, we calculate the two intersection points. And then we calculate two section areas. The numbers of vertices in these two areas indicate the concentration of the shading as shown in Fig. 10 (right). Finally, we calculate the ratio of the two numbers; it is used as a parameter for controlling the generated 3D shape. Fig. 11 is an example of our proposed method with wide bright shading. Fig. 12 shows another example, the design of a voice recorder by our system. Fig. 12(a) is the input sketch with shading lines. In Fig. 12(b) the generated 3D shape is displayed. Fig. 12(c,d) shows the 3D shape after drawing contour and shading lines on its surface. Fig. 12(e, f) is the final generated shape.

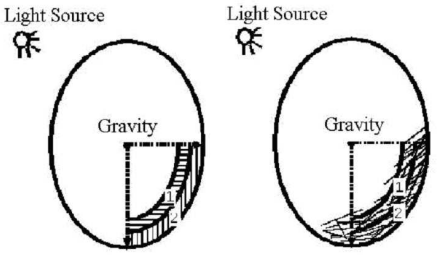


Figure 10: Shape from shading

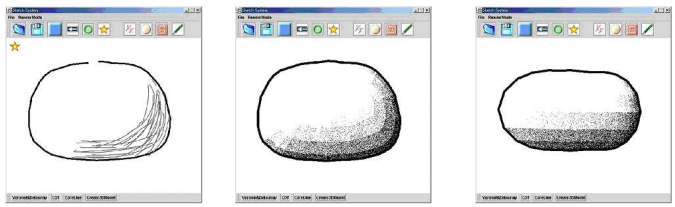
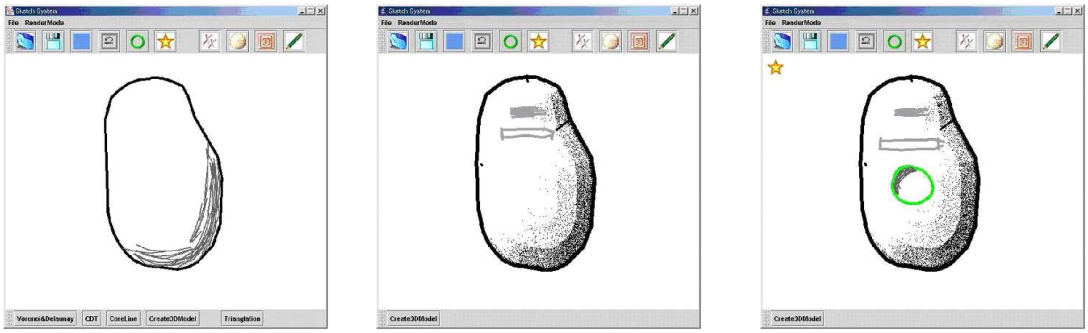


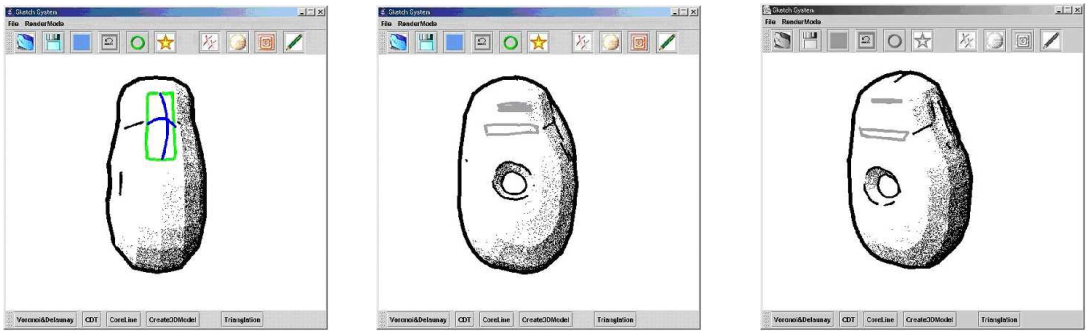
Figure 11: Example of our proposed method with wide bright shading

6. Sketch modeling with 2D T-LIB

In this section we propose a sketch-based modeling system for interactive modeling of a variety of 3D solid objects and surface objects based on the box method [19, 20]. The idea of this method is to create complex 3D object with a template topology library. The library is called T-LIB which consists of 2D Edge Graphs and the corresponding algorithms to create and modify 3D objects. The local part of a 3D object around the sketch lines is analyzed as a 2D Edge Graph. Once the Edge Graph can be matched to a template of T-LIB, the 3D



(a) Input sketch with shading (b) Generate 3D shape (c) Draw lines



(d) Draw cross section lines (e, f) Results

Figure 12: A voice recorder shape designed by our proposed sketch system

object can be generated in a basic shape reconstruction procedure, or modified in a 3D shape modification procedure.

The system procedure is shown in Fig. 13. It consists of 5 parts:

(1) Edge Graph analysis;

(2) T-LIB and new template definition;

(3) 3D shape reconstruction;

(4) 3D shape modification;

(5) Fillet operation, subdivision and etc.

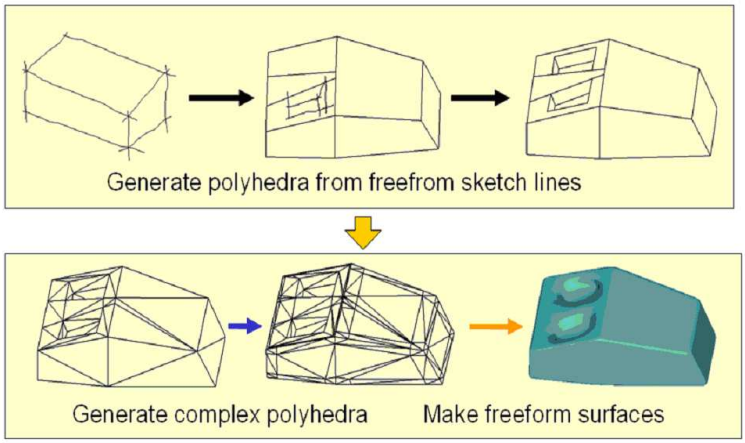
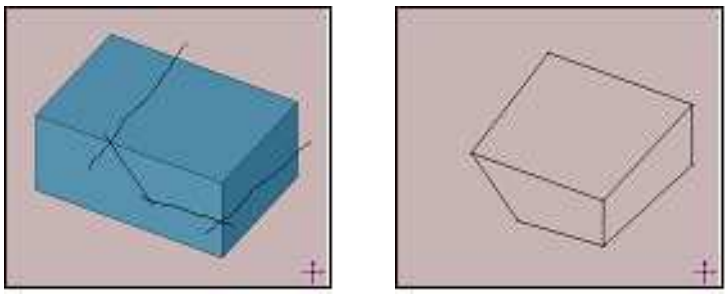


Figure 13: Overview of the proposed system



(a) (b)

Figure 14: Edge graph analysis: (a) Input stroke (b) Build 2D edge graph from (a)

Our system is based on a box method. With T-LIB the 3D geometric components can be constructed or modified directly with sketch lines. Compared with traditional CAD systems the features of our system are described as follows:

(1) It does not require precise data input;

(2) The modeling process is very simple;

(3) This system is extendable since T-LIB is not limited.

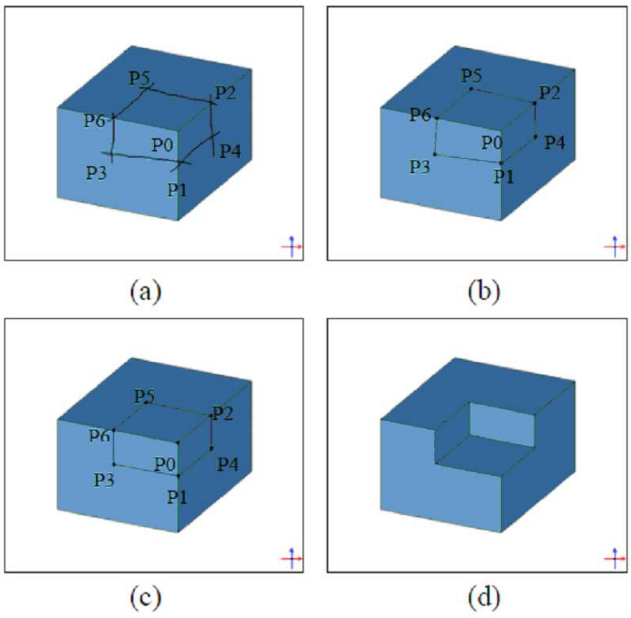


Figure 15: Modification process

7. Conclusions

This paper described a freehand sketch system based on geometric modeling for constructing complex 3D objects. In this paper, many useful sketch systems and methods are classified. The following sketch systems were shown:

(1) A sketch-based modeling system based on descriptive geometry;

(2) A sketch interpreter system for designing 3D freeform objects with shading;

(3) A sketch modeling method using a template topology library.

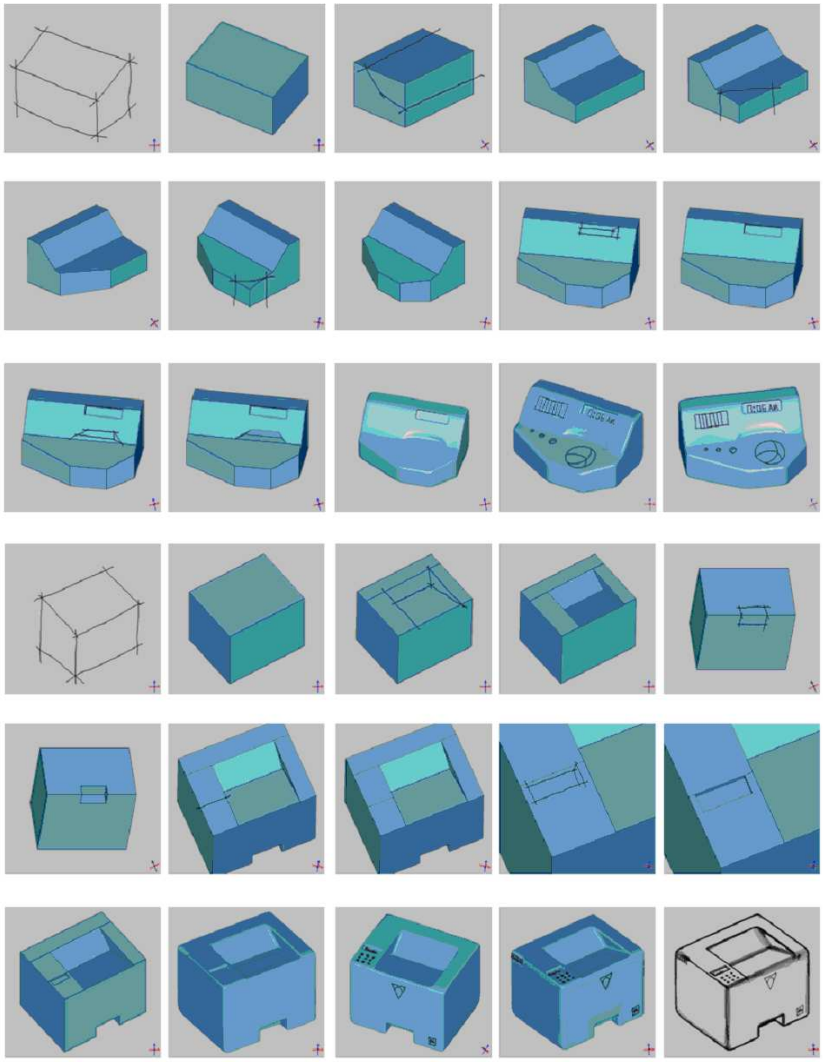


Figure 16: Examples of sketch modeling

At these systems we are interested in the interpretation, by which the computer creates the 3D objects step by step. The designer can feel more comfortable to quickly evaluate their ideas for designing a new object compared with the traditional CAD system.

Acknowledgments

We would like to express our deepest appreciation to Prof. Fumihiko Kimura at the University of Tokyo for helpful suggestions, Dr. Koichi Matsuda at Iwate Prefectural University and Dr. Weizhong Liu for developing our Sketch Interpreter system.

References

[1] M. Akeo, H. Hashimoto, T. Kobayashi, T. Shibusawa: *Computer system for reproducing three-dimensional shape from idea sketch*. Eurographics94 Proceedings, pp. 477–488 (1994).

[2] Yifan Chen, K. Beier, D. Papageorgiou: *Direct highlight line modification on nurbs surfaces*. Comput.-Aided Geom. Design **14**, 583–601 (1997).

[3] J.J. Cherlin, F. Samavati, M.C. Sousa, J.A. Jorge: *Sketch-based Modeling with Few Strokes*. Proc. 21st Spring Conf. on Computer Graphics – SCCG2005.

[4] V. Cheuter, C.E. Catalano: *3D Sketching with Fully Free Form Deformation Features (σ-F) for Aesthetic Design*. Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling, 2004.

[5] P. Company, A. Piquer: *On the evolution of geometrical Reconstruction as a Core Technology to Sketch-Based Modeling*. Eurographics Workshop on Sketch-Based interfaces and Modeling 2004, pp. 97–106.

[6] D.L. Eggli, B. Brüderlin, G. Elber: *Sketching as a solid modeling tool*. Proc. ACM/SIGGRAPH Symposium on Solid Modeling Foundations and CAD/CAM Applications, Salt Lake City 1995, pp. 17–19.

[7] L. Eggli, Ching-yao Hsu, B.D. Brüderlin, G. Elber: *Inferring 3D models from freehand sketches and constraints*. Computer-Aided Design **29**/2, 101–112 (1997).

[8] Y. Fukui: *Input Method of Boundary Solid by Sketching*. Computer-Aided Design **20**/8, 434–440 (1988).

[9] S. Furushima, S. Kanai, H. Takahashi: *Generation of 3-Dimentional Geometric Model from Rough-sketch*. NICOGRAPH **6**, 11–20 (1990).

[10] M. Hosaka, F. Kimura: *Interactive Shape Design by Drawing Input*. Proc. Computer Applications in Production and Engineering – CAPE 83, Amsterdam 1983, pp. 1115–1125.

[11] T. Igarashi, J.F. Hughes: *A Suggestive Interface for 3D Drawing*. 14th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, ACM UIST'01, Orlando/Florida 2001, pp. 173–181.

[12] T. Igarashi, S. Matsuoka, H. Tanaka: *Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design*. ACM SIGGRAPH99, pp. 409–416 (1999).

[13] N. Komori, K. Matsuda, K. Kondo: *Pen Based Interface to Modify Geometric Models*. Proc. 8th ICECGDG Conference, Austin/TX 1998, vol. 2, pp. 180–184.

[14] K. Kondo, F. Kimura, T. Tajima: *Estimation of Viewpoints in Perspective Drawings and its Application* [in Japanese]. J. Information Society of Japan, 686–693 (1988).

[15] T. Kuragano: *Methods to Generate Freeform Surfaces from Idea-sketch and Three Dimensional Data*. Sixth IFIP WG5.2, International Workshop on Geometric Modeling: Fundamentals and Applications – GEO-6, 1998, pp. 286–295.

[16] J. Kuragano, Y. Takarada, H. Suzuki, F. Kimura: *Subdivision Surface Generation from a Set of Curves*. IPSJ SIG Notes 2002-CG-108, 13–18 (2002).

[17] D. Lamb, A. Bandopadhay: *Interpreting a 3D Object from a Rough 2D Line Drawing*. In A.E. Kaufman (ed.): Proc. First IEEE Conference on Visualization 1990, pp, 59–66.

[18] H. Lipson, M. Shpitalni: *Optimization-based reconstruction of a 3D object from a single freehand line drawing*. Computer-Aided Design **28**/8, 651–663 (1996).

[19] W. Liu, K. Kondo, J. Mitani: *Geometric Modeling by Using Freehand Sketch Input with Template Topology Library*. Proc. 6th Internat. Conf. on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design 2005, pp. 135–140.

[20] W. Liu, K. Kondo, J. Mitani: *An Interactive Sketch-based Modeling System using a Topology Library and Subdivision Surfaces*. 2nd Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling – SBM2005, Eurographics Symposium Proceedings 2005.

[21] E. Marti, J. Regomcos, J. Lopez-Krahe, J. Villanueva: *Hand line drawing interpretation as three dimensional object*. Signal Process" **32**, 91–110 (1993).

[22] K. Matsuda, S. Sugishita, Z. Xu, K. Kondo, H. Sato, S. Shimada: *Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling*. Shape Modeling International 1997, pp. 55–62.

[23] K. Matsuda, S. Suzuki, K. Kondo: *Sketch Interpreter System: 3D Modeling System with Handdrawn Shade and Shadow*. Transactions of Information Processing Society of Japan **44**/11, 2547–2555 (2003).

[24] J. Mitani, H. Suzuki, F. Kimura: *3D Sketch: Sketch-Based Model Reconstruction and Rendering*. IFIP Workshop Series on Geometric Modeling: Fundamentals and Applications, 7th Workshop – GEO-7, 2000, pp. 85–112.

[25] A. Nealen, T. Igarashi, O. Sorkine, M. Alexa: *FiberMesh: Designing Freeform Surfaces with 3D Curves*. ACM Transactions on Computer Graphics, 2007.

[26] S. Owada, F. Nielsen, K. Nakazawa, T. Igarashi: *A Sketching Interface for Modeling the Internal Structures of 3D Shapes*. Proc. 3rd Internat. Symposium on Smart Graphics 2003, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Heidelberg 2003, pp. 49–57.

[27] J.-P. Pernot, B. Falcidieno, F. Giannini, S. Guillet, J.-C. Leon: *Modelling free-form surfaces using a feature-based approach*. Proc. Eighth ACM Symposium on Solid Modeling and Applications 2003, pp. 270–273.

[28] D. Pugh: *Designing solid objects using interactive sketch interpretation*. Proc. Symposium on Interactive 3D Graphics, 1992.

[29] U. Ramer: *An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves Computer Graphics and Image Processing*. Vol. 1, 1972, pp. 244–256.

[30] S. Saga, H. Makino: *Fuzzy spline interpolation and its application to on-line freehand curve identification*. Proc. 2nd IEEE Internat. Conf. on Fuzzy Systems, 1993, pp. 1183–1190.

[31] H. Sakurai, D.C. Gossard: *Solid Model Input through Orthographics Views*. Proc. of SIGGRAPH 1983, vol. 17, No. 3, p. 243.

[32] A. Shesh, B. Chen: *SMARTPAPER: An Interactive and User Friendly Sketching System*. Computer Graphics Forum **23**/3, 301–310 (2004).

[33] H. Shizuka, W. Liu, K. Kondo: *A Sketch Interpreter System with Shading and Cross Section Lines by Freehand Drawing*. Proc. 11th Internat. Conf. on Geometry and Graphics, Guangzhou 2004.

[34] K. Sugihara: *Machine Interpretation of Line Drawings*. MIT Press 1986.

[35] S. Sugishita, K. Kondo, H. Sato, S. Shimada: *Sketch Interpreter for geometric modeling*. Internat. Conf. of Computer Aided Geometric Design, 1994.

[36] P.A.C. Varley, H. Suzuki, J. Mitani, R.R. Martin: *Interpretation of Single Sketch Input for Mesh and Solid Models*. Internat. Journal of Shape Modeling **6**/2, 207–241 (2002).

[37] W. Wang, G. Grinstein: *A survey of 3D solid reconstruction from 2D projection line drawings*. Computer Graphics Forum **12**, 137–158 (1993).

[38] Zheng Xu, K. Kondo: *A Fillet Operation with Recursive Subdivision Surfaces*. Sixth IFIP WG 5.2 Internat. Workshop on Geometric Modeling, Fundamentals and Applications – GEO-6, 1998, pp. 244-252.

[39] Zheng Xu, S. Sugishita, K. Kondo, H. Sato, S. Shimada: *Free-form Surfaces Generation in Freehand Sketch Interpreter System*. CADEM'95, Xi'an 1995, pp. 261–266.

[40] R.C. Zeleznik, K.P. Herndon, J.F. Hughes: *SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes*. SIGGRAPH96, pp. 163–170.

Received March 29, 2009; final form November 12, 2009

Retrieval Method of Textile Pictures Database Using a Complexity Scale

Toru Inohara, Kunio Kondo, Hisashi Sato and Shizuo Shimada
Department of Imformation & Computer sciences,
Saitama University,
Urawa, Saitama, Japan, 338

Abstract

An image database was projected in 1991 at a research organization of Saitama local government to collect textile pictures, and to assist designers. A method of classification is needed for the purpose of some retrieval keys. A complexity scale is a real value representing the human impression against a picture ranging from -3 to +3. The value plays only a retrieval key to find out some desired pictures from the database according to the user's association about a design. This report explains how to decide the complexity scale through questionnaire methodology to computer application.

1 Introduction

Saitama prefecture produces a lot of textiles especially of silk made. A project is proposed to manage design pictures by a computer assisted technology. Our study shares on the analyses how to classify such pictures based on graphical features. Although, in the last few years, several articles have been devoted to the study of image databases with human sense[1][2], no studies have ever tried to classify pictures with human sense based on graphical features. When a person looks at a picture, he or she will feel some emotions which can be represented by pairs of adjectives, such as warm/cool, soft/hard, dense/sparse, etc. Moreover, he or she will say adjectives with some degrees, such as, a little, strong, great, etc. A grade is classified in our study as an impression scale ranging -3 to +3 for terminal adjectives such as warm/cool.

An aim of our study is to make a computer so clever as a human sense looking at a picture. A computer understands a picture as a collection of digitalized pixels, from which a unique value, along the complexity scale, can be derived. A similar value must be obtained, therefore, from the human impression scales, so that a computer can stand for human inspection for a lot of pictures. Our study is consisted of several steps beginning from a sense test by examiners. Statistical analyses were carried out both with questionnaire and pixel data.

2 Questionnaire step

At the beginning of our study, we asked fifteen examiners to inspect selected fifty pictures on these characteristics using pairs of adjectives how they feel about pictures[3]. Three major questions such as general impression, coloring and pattern characteristics were consisted of each eight pairs of adjectives. The examiners' impressions were scored in seven grades ranging between -3 and +3 corresponding each pair of adjectives. Distribution of impression scales was displayed into three histograms representing general impression, coloring and pattern characteristics. Each picture is then characterized by three mean values of scores.

3 Prototype database

Each picture in color is digitalized into 250KB in maximum, and stored in hard disk at test stage as series of sequential files. The pictures are identified by sequential numbers. Three retrieval files are designed having each impression scales. Figure 1 shows a graphics screen of a prototype database.

4 Classification step

It is necessary in the next step to teach examiners' experiences into a computer which can automatically extract the similar characteristics of pictures as examiners did at questionnaire.

0-8186-4960-7/93 $3.00 © 1993 IEEE

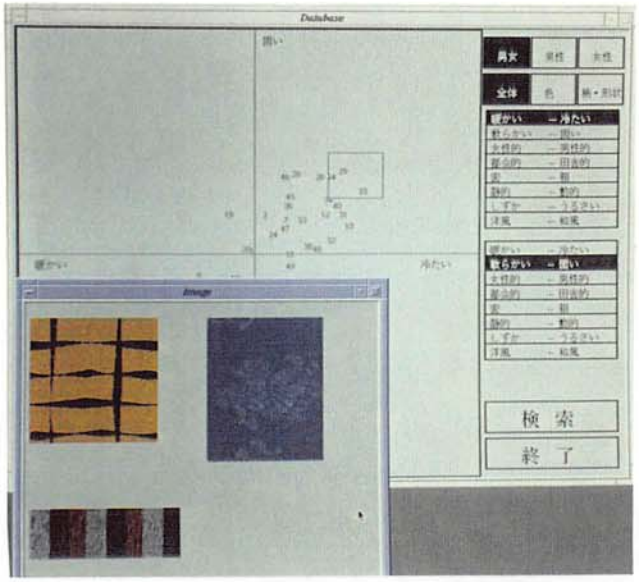


Figure 1: A graphics screen of a prototype database

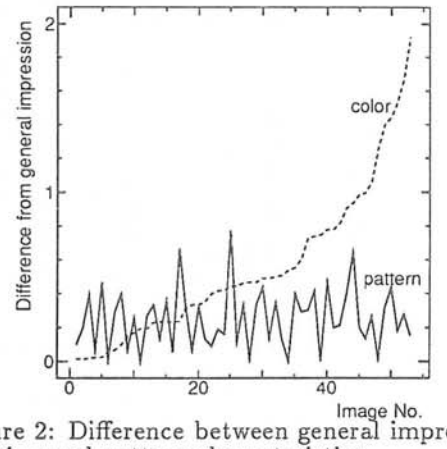


Figure 2: Difference between general impression, and coloring and pattern characteristics

4.1 Coloring and pattern characteristics

Comparing the effect of coloring and pattern characteristics with the human impression, the pattern of pictures makes more leading impression to the examiners than noticing colors of pictures. The scores of impression on pattern and coloring characteristics are displayed in Figure 2 by two kinds of line species. The intensity level of scores is obtained by the ratio of 2.2 : 1.

4.2 Proposal of graphical features

A pair of pictures are shown in Figure 3 displaying counter impressions, dense/sparse, which were selected by questionnaire.

When an examiner looks at a picture he or she mainly feels it dense or sparse depending on its coloring and pattern characteristics. Generally, colorful pictures make him or her feel more dense against monochromatic pictures. Pictures with a lot of shapes or with complicated design make him or her feel much dense, too. We defined three graphical features by the values GF_1, GF_2 and GF_3, which are calculated from the following processes.

Figure 3: Sample pictures of dense/sparse impression

GF_1: Outlines of shapes in a picture are extracted and transformed into thin black lines. The amount of line pixels is compared to that of the whole images and then summarized into a ratio GF_1

GF_2: Since an outline defined above surrounds an area, we define such an area as a hole. Number of holes per 10000 pixels in a given picture is then counted as GF_2.

GF_3: Number of color species in the original picture.

4.3 Image processing practice

Sample pictures are supplied by original textiles or designs drawn on paper. The pictures are then digitalized into 3×8 bits pixels by a color image scanner. Size of data for a picture takes about 500KB, in maximum. A computer processes the digitalized images as following procedures[4];

1. smoothing of pixels, while keeping the edge properties,
2. separation into RGB(Red, Green, Blue) elements,
3. extraction of edge lines using Robinson operator,
4. emphasizing the image contrast by binarization, and
5. thinning of thick lines.

Figure 4 shows a processed pictures example.

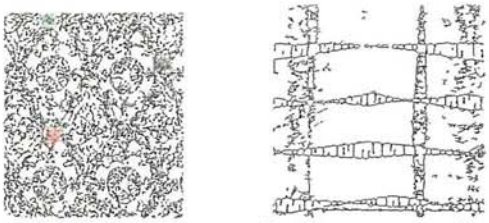


Figure 4: A processed pictures example

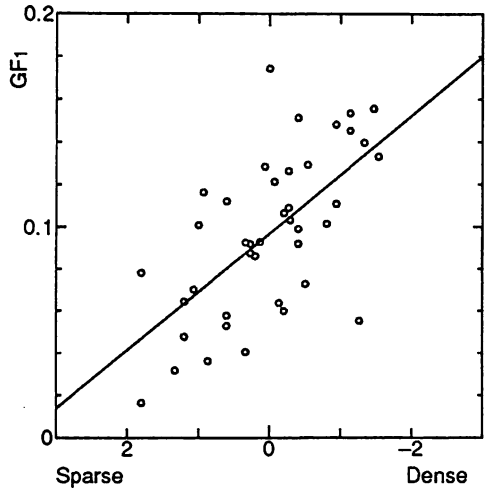


Figure 5: Scores of questionnaire and GF_1

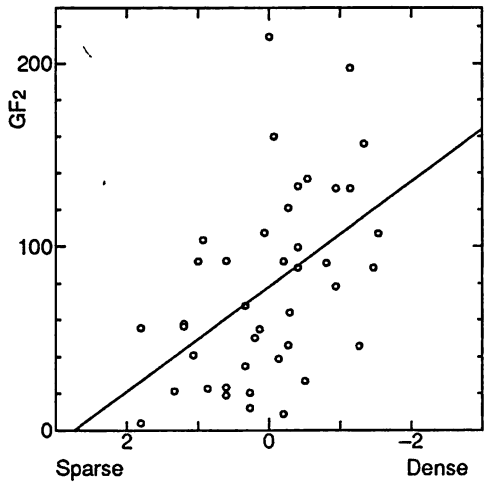


Figure 6: Scores of questionnaire and GF_2

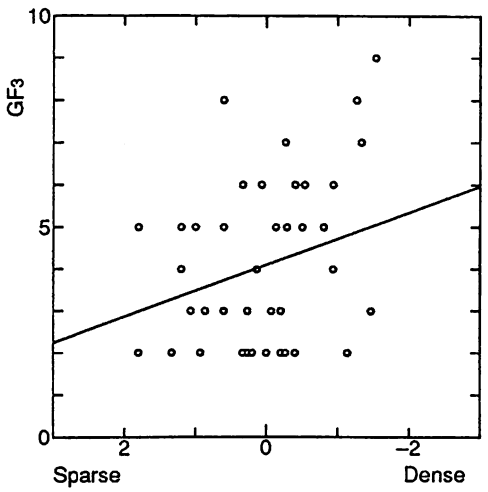


Figure 7: Scores of questionnaire and GF_3

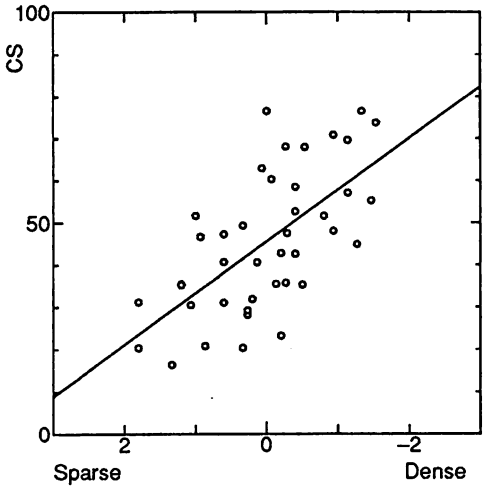


Figure 8: Scores of questionnaire and complexity scale

Figures 5, 6 and 7 show GF_1, GF_2 and GF_3 against the dense/sparse scale. Each straight line in the figure is a fitting line calculated by the least square method. This means that the graphical features GF_1 and GF_2 are in good correlation with the scores at the questionnaire step.

4.4 Summarized parameter

A complexity scale(CS) is then proposed to summarize the three properties GF_1, GF_2 and GF_3 into a unique value which can represent the graphical features. The CS is calculated as;

$CS = 180GF_1 \times 1.1 + 0.15GF_2 \times 1.1 + 3.3GF_3 \times 1.0$ (1)

where the parameters for multiplying to the values GF_1, GF_2 and GF_3 are decided by the following consideration. Due to the ratio 2.2 : 1 in the article 4.1, GF_1 : GF_2 : GF_3 can be weighed by 1.1 : 1.1 : 1. In order to obtain the mean values from three values GF_1, GF_2 and GF_3, the magnitudes are adjusted into a similar scale accounting the Figures 5, 6 and 7. CS is then displayed in Figure 8.

4.5 Classification key

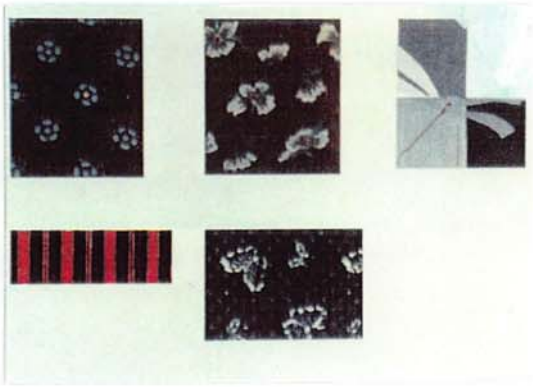
We propose finally a unique value ranging from 0 to 100 for the use of a retrieval key in order to search and find out sample pictures from the database. CS is then applied for such purpose, however, a more convenient parameter DS is recommended for the feasibility of database management. DS is calculated from CS

having the range between –3 to +3.

$$DS = -(CS - 45.6)/12.2 \quad (2)$$

Figure 9 shows retrieved pictures.

(a) dense



(b) sparse

Figure 9: Retrieved pictures by a given dense/sparse scale

5 Discussion

In order to confirm our methodology for automatically classifying textile pictures, we had discussions with designers what and where problems existed.

Most designers agreed that pictures were well classified as they felt. However, a few pictures gave different impression to the designer's impression, which may be due to two physical reasons about a scanner;

1. no characteristics are obtained on textile materials, and
2. some colors may be changed in quality.

When the material of textile is of very thin, a moire pattern appears at scanning. When the material is of thick fiber, strings are extracted as edges, which are not sensitive for human impression. Golden and silver coloring does not suit for scanning.

As for computer processing, these problems were discussed with designers about;

1. pictures with locally dense properties are apt to calculated less dense,
2. mean values of scores sometimes do not represent the value of questionnaire, and
3. personal differences in impression.

6 Conclusions

The complexity scale(CS) proposed in this paper can become a powerful parameter to classify textile pictures. CS can be automatically calculated on any given pictures. Even though some problems exist on the physical properties of a color scanner, our research will accelerate to build textile pictures database and those retrieval system.

Acknowledgements

Special thanks are due to Mr.Takehiro Matsuoka, Mr.Noriyuki Nakajima and Mr.Ryo Takeuchi at Saitama Textile Research Institute for their valuable advices.

References

[1] F.Hirabayashi,Y.Kasahara, "Information retrieval using desired impression factors", IEICE TRANS. FUNDAMENTALS,Vol.E75-A,No.2,1992

[2] T.Kato,T.Kurita,H.Shimogaki, "Intelligent visual interaction with image database systems —toward the multimedia personal interface—", Journal of Information Processing,Vol.14,No.2,1991

[3] A.Kuroda,K.Kondo,T.Kizukuri,H.Sato, S.Shimada,Y.Kato, "Classification of textile pictures using distance scales by desired impression", ITEJ Technical Report,Vol.16,No.31,pp.19-24,May 1992

[4] "SPIDER USER'S MANUAL",Joint System Development Corp.,1982

論 文

画像データベースのためのイメージカラー検索手法

A Kansei Method for Retrieving Images from a Database Using Colors

正会員 近藤邦雄†, 高橋雅博†, 松永政尚†*, 山嵜秀樹†**

Kunio Kondo†, Masahiro Takahashi†, Masanao Matsunaga†* and Hideki Yamazaki†**

Abstract A method is proposed for retrieving images from a database using an index color. It is based on a new method for automatically picking index color in images. This method can be used to represent an effect similar to looking at the most several index colors instead of original images. The index color for an image is selected by collecting the colors and picking noticeable one. A method is also proposed for retrieving images as using index colors. This method is very useful, because we can retrieve images based on our impression of images as represented by index colors.

キーワード：感性検索システム, 画像データベース, 感性情報処理, イメージカラー

1. まえがき

マルチメディア情報の一分野である絵画・写真・CG画像などの画像データを扱う利用者が多くなった. この利用者・画像データの増加にともない, 利用者が望む画像データに簡単にアクセスする方法が要望されている. しかし, 画像に対する個人の印象・心象は異なり検索要求を的確に表すことは困難である. このような検索要求に応えるために感性情報処理の成果[1)~4)]を利用した画像検索システムが提案されている.

以下に感性情報処理を活用した検索システム[5)~11)]について示す.

(1) ある文字列をキーとし, そのキーを含む文字列を持つテキスト（画像や写真に付与したコメント）, ファイルネームを検索する.

(2) 上記のものに加えて, シソーラス（関連語索引）を与えキーワード間の意味である, 色や構図や形状を用いた検索キーを用いる手法がある. たとえば, 色や構図や形状を用いた検索キーを用いる手法である.

(3) 利用者の主観的なキーワード・印象語と, 画像の色彩特徴を分析し対応づけ検索する.

(4) 画像の客観的特徴（画像の明るさ・色調・色の占める割合, 色彩の空間的配置, 画像の中のオブジェクト情報など）をとらえ, パラメータ値や略図, 例示画に置き換え検索する.

このうち (1) から (3) は, 文字情報の利用や, 色や形状という物理的特徴と印象語や感性語の関係づけを行う手法である. これら手法は感性や印象を表す感性語となる形容詞に置き換えることが重要である. 物理的な情報と感性語との関係をアンケートなどによって対応付けを行っている. このように物理情報から感性情報への変換が必要である. このとき, 人の感性を測定するために主観的な測定誤差や感性語の選定による誤差があり, 検索結果の評価に課題が残っている. したがって, 検索者が持っている印象と検索結果の対応が常に一致するとは限らない.

これに対して,(4) は画像の形状や色を利用して検索を行う手法で, より直感的で直接画像の特徴を表すことが可能な検索キーを用いる手法である. したがって, スケッチ画による検索は, スケッチを描き, それと画像データとの類似度から検索を行うという点において, 検索者が入力する情報と検索結果が対応する自然な検索手法である. 不完全な情報しか検索キーとして利用できない場合でも, 類似度を利用して曖昧検索が実現できる. しかし, 画像の印象をスケッチだけで表すことは難しいという欠点もある. また, 色を利用した検索が提案されているが, 画像の印象を1つの色では画像の全体の印象を表すことは難しい. さらに, 画像の誘目性に寄与する物理的特徴量を利用した画像の注目領域の検出手法[6)]が提案されているが, 画像全体の印象を表すことは行われていない.

一方, イメージカラーといわれる画像の印象を表す配色

1999年11月8日受付, 2000年6月29日最終受付, 2000年9月11日採録

† 埼玉大学 工学部 情報システム工学科
（〒338-8570 埼玉県浦和市下大久保 255, TEL 048-858-3498）
* 現在 FJBWebテクノロジー株式会社
** 現在 大日本印刷株式会社
† Department of Information and Computer Sciences, Saitama University
(255 Shimookubo, Urawa-shi, Saitama 338-8570, Japan)
* FJBWeb Technology Corp.
** Dai-Nippon Printing Corp.

は,デザイン分野などで利用されている.ここで,イメージカラーとは人の印象に近い配色であり,画像の印象を決定する数色から成る配色のことをいう.したがって,イメージカラーとは画像に用いられている色のうち,特に印象に影響を与える度合が強い色の組合せであり,画像の印象を表す情報といえる.

そこで本研究では,まず,諸原らが提案したテキスタイル画像のイメージカラーの抽出手法[12]を改良して,さまざまな画像に対応する抽出手法を提案する.そしてユーザが指定したイメージカラーを検索キーとする画像検索手法を提案する.たとえば,春の印象を持つような配色を与えて,その印象に合う画像を検索したいような問題においては,画像の意味よりも全体の印象の一致が重要である.そこで,画像の客観的な特徴である配色のなかで特に人が受ける印象とよく一致したイメージカラーを求めておき,ユーザは検索したい配色を与えるとその印象に合った画像が検索できるという手法は重要である.本研究の提案検索手法は大まかな印象を配色で表し,その印象に合うような画像を得たい場合に有効な手法であり,検索者の希望するイメージカラーに近い印象の画像検索が可能であるという特徴を持つ.以上から本研究で提案する手法は上記の4つのカテゴリへのうち,(4)に属する検索手法となる.

本論文では,まず,画像の特徴を表すイメージカラーの抽出手法について述べる.次に検索者が与える配色を用いたイメージカラーの検索手法,本研究で提案する配色をキーとした画像検索手法,さらに画像検索の評価結果について述べる.

2. イメージカラーの抽出

2.1 イメージカラー抽出の概要

イメージカラーとはその画像において,色の印象を強く表す色のことである.2ー3色という色数が少ない画像はそのすべての使用色が印象に大きく影響するが,色数の多い画像においては,全ての色が色彩による印象を決定づけているとは限らない.このような場合は,その画像の使用色の中のいくつかの色により印象が決定されることになる.この印象を決定する色を選定するためには,人が画像から受ける印象を分析し,強い印象を受ける色を選ぶ必要がある.

与えられた画像からイメージカラーを求めるためには,(1)画像の使用色を読み取る,(2)領域の小さい色や他の色と似ている色を1つにまとめる,(3)まとめられた色を目立ち度合いをもとに並べなおすという3つの計算が必要である.(1)の処理は,画像に使われている色のリストを作成することである.(2)の処理は,使用色を限定する処理であり,登録された色から色空間において,ある程度近い色,領域が小さい色,明度の低い色をまとめていくことによって色限定を行う.次に,この限定された色から"色領域の大きさ」,「誘目性の高さ」,「コントラスト感」によって目立ち度合を求め,その度合いの高い順にイメージカラーとして登録する.以上の処理によって画像の印象を表す色であるイメージカラーを求めることができる.

次に,画像からイメージカラーを抽出する手法を順に述べる.

2.2 使用色の限定

計算機で描かれた画像やスキャナから取り込まれた画像は,人間が判断するよりもはるかに多くの色が使われている.これは,CG画像や写真の陰影などをそのまま色として取り込んでしまうためである.そこで本節では,計算機によって画像の使用色を限定する手法を述べる.

色空間における2色の距離が近いものをまとめていくことが必要となる.このため諸原らは$L^*u^*v^*$色空間を用いていたが,本研究では$L^*a^*b^*$色空間を用いる.

どちらもRGB色空間との変換式は簡単で,色空間の均等性も優れており,CIE(国際照明委員会)が1976年に均等色空間として推奨されているため,色差を測るための色空間として多く利用されている.しかし$L^*a^*b^*$色空間の方が同心円に近く,混色の作業においては$L^*u^*v^*$色空間よりも$L^*a^*b^*$色空間の方が効率が良い[14][15].画像データ読み込時に色の階調を減らしながら$L^*a^*b^*$色空間値の値に変換し,「色領域の大きさ」,「明度の低さ」,「色空間内での近さ」を求めて,$L^*a^*b^*$色空間内での混色を繰り返す.

このためにまず,RGB各256階調で描かれている画像を,各16階調に階調数を落としてカラーリストに登録する.次に出現数の少ない色を$L^*a^*b^*$色空間中で距離が近い色と混色する.最後に色空間中で近い色同士を混色し,使用色をユーザが指定した色数に限定する.この処理によって,画像に含まれる似ている色を統合することができる.色限定を行わない場合,極めて色が似ていても異なった色として判定されるので,イメージカラーとして極めて似ている色が選定されてしまうという結果が生じる場合がある.したがって,本提案手法である色限定を行って,色空間において近い色をまとめることがイメージカラーを選定するために必要となる.次に,色限定された使用色から目立ち度合を求めて,使用色の目立つ順序を決定し,目立ち度合の高い色からイメージカラーとして登録する手順について述べる.

2.3 使用色からのイメージカラーの決定

画像の中で使われる色には,目立つ色,目立たない色がある.イメージカラーを選ぶ段階において目立つ色はイメージカラーとして選ばれ,目立たない色はほとんど選ばれることがない.使用色限定において算出された色の目立ち度合を求め,その値の順にイメージカラーとして決定する.ここでイメージカラーとして採用する範囲は,色限定した配色の目立ち度合を上位から順に加えていき,全体の8割を超えるまでとする.8割程度の目立ち度合いで画像全体の印象を表していると考えたためである.

本節では,まず,目立つ色の条件を示し,それを用いた目立ち度合いを求める計算式を示す.

（1） 目立つ色の条件

この目立つ色の条件は次のように定義する.

(a) 色の領域が大きい 画像中に占める領域が大きい色ほど目立つことから,領域の大きさをイメージカラーの決定の要素とする.

(b) 誘目性が高い 色には目につきやすい色とそうでないものがあり,この性質を色の誘目性という.色の誘目性は無彩色より有彩色が,また,黒より白が高くなる.色相においては緑や青より赤や黄色が誘目性が高い[16)17)].

(c) コントラスト感の強さ 色の見えやすさには主に図色と地色の明度関係によって決まる.黒と黄,黒と白のように明度差の大きいものほど見えやすく,反対に黄色と白,赤と緑のように明度差の小さいものほど見えにくい.明度が接近していると,例え色相差や彩度差があっても見えにくい.この効果はコントラスト感と呼ばれている.

ここで,目立つ度合を表す変数をLとして,目立つ色の条件を以下のように数式化した.

$$L=\sqrt{(2C_1)^2+(5C_2)^2+(4C_3)^2} \tag{1}$$

(1) 式において,C_1は色の領域の大きさ,C_2は誘目性の高さ,C_3はコントラスト感の高さを表している.使用色限定により限定されたすべての色に対し(1)式を適用し,目立つ度合の計算を行う.

(1) 式では,イメージカラーに対する色領域の大きさ,誘目性の高さ,コントラスト感の高さの比率を2：5：4とする.この比率は値LにとってC_2,C_3,C_1の順に目立つ色に対して影響を与えるという意味を持っている.

この比率は以下のようにして決定した.まず7人のデザイナに対して20枚の画像からイメージカラーを抜き出す作業を行ってもらった.そして,そのデータを分析した結果,各画像から得られたイメージカラーは,多少の順序の違いが見られたが,多くの場合は順序も一致していた.この結果から,画像から受ける印象を表すイメージカラーは人の違いによらず同じといえること,調査結果のイメージカラーが基準データとなることが明らかになった.そこで,この調査結果に一致するように,目立ち度合を求める3要素の重み付けの値を決定することとした.まずはじめに,重み付けの値の初期値を与え,20枚のサンプル画像からイメージカラーを算出する.次に,その値が調査結果と一致するように重み付けの値を変更し,似た結果となるまで試行錯誤して決定した.これによってデザイナが画像から取り出したイメージカラーと計算によって求めたイメージカラーの相関が高い重み付けの値を得ることができた.この実験結果から,色の領域,誘目性,コントラスト感の重みは2：5：4となった.この値から誘目性が一番目立ち度合に大きく影響し,色の領域は3つの要素のうちでは一番影響は小さいといえる.

（2） 3要素の計算式

以下に,目立つ色を決定するための計算式を示す.なお色空間は色相,彩度,明度を比較の対象に用いることからHSB空間を用いた.HSB空間とはHue(色相) Saturation(彩度) 明度(Blightness)の3値をもつ.空間では円柱状の立体で表され,円部分の角度が色相,円の中心からの距離が彩度,鉛直方向で明度を示す.

(a) 色領域の大きさ 画像における色の出現頻度をC_1とする((2)式).この出現頻度とはその色の画像における出現数を全画素数で割ったものであり,0から1の範囲にある.出現数はカラーリストに登録されている出現数N_xが用いられる.この出現数が領域の大きさになる.

$$C_1=\frac{\text{出現数}}{\text{全画素数}} \tag{2}$$

(b) 誘目性の高さ 誘目性は色相の影響が強いといわれており,彩度,明度の影響はそれに続く.彩度が0.6よりも低くなると色は鮮やかさを失い始め,彩度0の白に近付いていく.これにより,誘目性も低くなっていく.また,明度も低くなり黒に近付くにつれ誘目性が低くなっていくため,彩度・明度の処理を加え,誘目性の算出式を(3),(4)式とした.

彩度 $\geqq 0.6$ のとき

$$C_2=\mathcal{H}\times\text{明度} \tag{3}$$

彩度 <0.6 のとき

$$C_2=\left(\frac{\mathcal{W}-\mathcal{H}}{0.6}\times(0.6-\text{彩度})+\mathcal{H}\right)\times\text{明度} \tag{4}$$

$\mathcal{H}$…色相の影響値

$\mathcal{W}$…白の影響値

色相,明度,彩度による影響値を**表1**に示す.ここで文献[16)17)]を元に色相環を30度で分割し12色として,影響値を設定した.ここで,限定された色から影響値を求めるために色相を使用し,明度と彩度の影響に関してはデザイナに対するアンケートから決定した.なお,色相,彩度,明度のすべての影響値は0から1の範囲にあり,(3),(4)式によりC_2の値は0から1の範囲となる.

(c) コントラスト感の高さ コントラスト感は画像中の注目色と,背景色との明度差により求められる.ここで背景とは,注目している色を持つ画素以外の画素すべてをいう.(5)式において,背景色の明度は,色限定された色から対象となる色を除いた明度の平均値として計算する.この平均値には画像における色の出現数も考慮する.この背景色の平均明度と計算対象の色の明度を比較し,その差をコント

色相	影響値
赤	1.00
赤黄	0.80
黄	0.88
黄緑	0.47
緑	0.52
青緑	0.35
水	0.72
青	0.65
青紫	0.25
紫	0.40
赤紫	0.65
桃	0.80
明度・彩度	**影響値**
白	0.15
黒	0.00

表 1 色相・明度・彩度による影響値
The weights of hue, brightness and saturation.

ラスト感の高さを表す値とした. この際, デザイナに対するアンケートによると, 白や黒といった無彩色は対象の色となることが少なかったため, 白と黒のコントラスト感の高さは0と決定した.
なお, 注目色の明度, 背景色の明度とも0から1の範囲にあり, C_3 の値は0から1の範囲をとる.

$$C_3 = |\text{明度} - \text{背景色の明度}| \tag{5}$$

注目色の明度 $= 0$, または彩度 $= 0$ のとき

$$C_3 = 0 \tag{6}$$

2.4 イメージカラーの決定

使用色として選び出されたすべての色に対し,(1) 式より L を算出する.

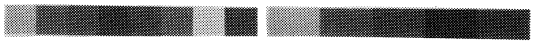
この値が大きければ大きいほどイメージカラーである条件を満たすことになる. したがって, 目立ち度合の値の大きい方から順にイメージカラーとなる. ここでイメージカラーとして採用する範囲は, 色限定した配色の目立ち度合を上位から順に加えていき, 全体の8割を超えるまでとする.8割程度の目立ち度合で画像全体の印象を表していると考えたためである. 以上により, 今までデザイナの熟練した技術や経験に頼っていたイメージカラーの抽出作業を, 計算機によって求めることが可能となった.

2.5 イメージカラー抽出実験

図 1, **表 2** と**図 2**, **表 3** に, 限定色画像の構成色, イメージカラー抽出, 目立ち度合を示す. ここで図 1(b) は8色で色限定し, その結果得られた色を使用して表示した. 図 2(b) も同様に7色まで色限定した画像である. これらの色の目立ち度合を求めた結果を表 2, 3 の (a) に示す. また表 2, 3 の (c) は表 2, 3 の (a) に対応している.
ここでイメージカラーとして採用する範囲は色限定した配色の目立ち度合を上位から順に加えていき, 全体の8割を超えるまでとする. したがって, 表 2, 3 から, イメージカラーは, それぞれ目立ち度合の合計が8割を超える5色と

(a) フルカラー画像　(b) 8色画像

図 1 イメージカラー抽出 (写真)
A photo and the 8 color picture

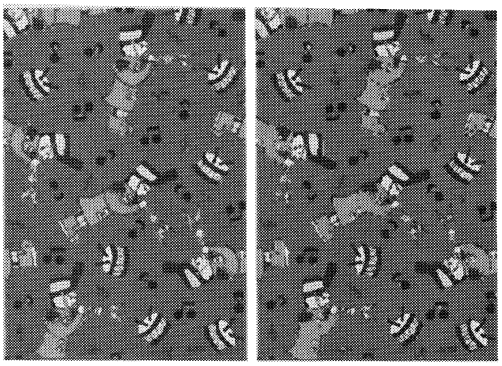


(a) 限定色画像構成色　(b) イメージカラー

目立つ度合 L							
3.94	2.15	1.13	1.04	0.96	0.76	0.71	0.58
81.8%							

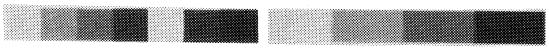
(c) 目立つ度合 L の値

表 2 イメージカラー抽出 (図 1)
Index colors(Fig.1)



(d) フルカラー画像　(e) 7色画像

図 2 イメージカラー抽出 (デザイン画)
An orijinal image and 7 colors image



(a) 限定色画像構成色　(b) イメージカラー

目立つ度合 L						
4.13	3.32	2.31	0.99	0.93	0.77	0.31
84.2%						

(c) 目立つ度合 L の値

表 3 イメージカラー抽出 (図 2)
Index colors(Fig. 2)

4色がイメージカラーとなる. 表2(b)に5色, 表3(b)に4色のイメージカラーを示す. これらの画像例から, 色数を限定しても元画像の印象を大きく外れることがないことがわかる. このことから画像の印象を変えることなく, 色数を限定できることが明らかになった. また本手法を用いれば, イメージカラーという画像の印象を強く表す色を選択できるという特徴がある.

3. 検索用配色によるイメージカラーの検索

本章では, ユーザが選択した検索キーとしての検索用配色（イメージカラー）を用いた画像データベースのイメージカラーの検索手法を提案する. このために, 画像データベースに登録された画像のイメージカラーとユーザが指定した検索用配色の類似性を求める必要がある. 以下に, この類似性を求める計算法について述べる.

画像データベースに含まれた画像に含まれる色はさまざまである. したがって, 前節の手法により求めた各画像のイメージカラーは同一である可能性はないといえる. このことから, ユーザが与えたイメージカラーに対しても同一である可能性はほとんどない. したがって, 検索キーとして与えたイメージカラーと画像が持つイメージカラーの比較を行うためには, まずユーザがイメージカラーを構成する色に対して閾値を設定する. そして画像のイメージカラーが閾値の範囲内であれば同一配色とみなすことにする. 以上によって, ユーザが与えた検索用配色に対応する画像を検索することができる.

次に, 検索用の配色とイメージカラーの比較手順について示す.

（1） まず検索のための配色であるイメージカラーを選択する.

（2） 検索のためのイメージカラーのそれぞれの色に色相・明度・彩度の閾値を与える. ここで閾値は, 検索精度を決定するものであり, ユーザが指定する.

（3） 画像データベースのイメージカラーと検索キーとしてのイメージカラーを HLS 値の閾値により比較する. 閾値の幅の中に画像のイメージカラーの HLS 値がそれぞれ含まれるかを調べ, 含まれているイメージカラーは検索キーであるイメージカラー各色との HLS の各要素の差を求める. ここで HLS は色相, 明度, 彩度である.

（4） 検索画像のイメージカラーの中で HLS 差が小さい色を候補色とする. 最小 HLS 差となるものを最終的な検索する配色各色の候補色とし, 画像のイメージカラーを求める.

（5） ここで, 候補色が重複した場合は,HLS 差のより小さい方を候補色とする.

（6） それぞれの画像に対して (2) ～ (5) を繰り返す.

（7） 指定した閾値を満足するイメージカラーに対応する画像のイメージカラーを表示する.

以上の過程を経て, 検索キーであるイメージカラーに近い印象を持つ画像を検索できる.

4. 画像検索システム

本章では, 人の印象を直接表すイメージカラーを用いた画像検索システムについて述べる. この画像検索システムは, 画像データベースから1つの画像だけを得るのではなく, 近似配色を持つ画像すべてを検索することができる. このために,(1) 近似配色すべてを選択させるために, 画像のイメージカラーを要求された検索配色の色から検索する機能,(2) 近似したイメージカラーを持つ画像を得るために, イメージカラーと画像とを対応させたデータベースが必要である.

図3 に画像検索システムの初期画面を示す. 本システムでは画像データベースの選択, 閾値の決定, 検索用配色の選択を行うことにより, 画像の検索を行う.

4.1 画像検索の手順

本節では画像検索システムを用いた画像検索の手順について述べる.

（1） 検索したい配色（検索対象配色）を選択する.

（2） 検索したい画像データベースのカラーデータファイルを選択する.

（3） 色相・明度・彩度の閾値（近似幅）を設定する. (閾値を変化させることにより検索範囲を制限することが可能になる)

（4） すべてのデータ設定後, 検索を開始する.

（5） 検索された配色とそれに対応したサムネイル画像が表示される.

（6） サムネイル画像を選択することにより, 実寸の画像を表示する.

ユーザは, 色相, 明度, 彩度の閾値を変えることによって, 意図した検索が可能となる. 3つの要素を独立で変更できるという検索手法であり, ユーザの多様な色を用いた画像検索目的に対応することが可能である.

4.2 検索結果例

画像データベースには「女子大生の作画によるデザイン画像」173枚,「コンピュータグラフィックス画像」843枚,「秩父地方の写真」1294枚の画像[13] を用いた. 画像に対応するイメージカラーデータは RGB 値で各色ごと目立ち度順に保存した.

本研究で構築した画像検索システムを用いて検索した結果の例を示す. **図4, 5** はデザイン画の検索例, **図6, 7** は写真[13] の検索例である. デザイン画像は人が見た場合, 色数が少ない画像が多く, 写真は色数が極めて多い画像の例である.

図4の検索イメージカラーを入力したとき, 図5に示す4つのイメージカラーとそれに対応する画像が検索できた. 検索キーであるイメージカラーと検索結果のイメージカラーを比較すると, 上位2つはおおよそ一致していると

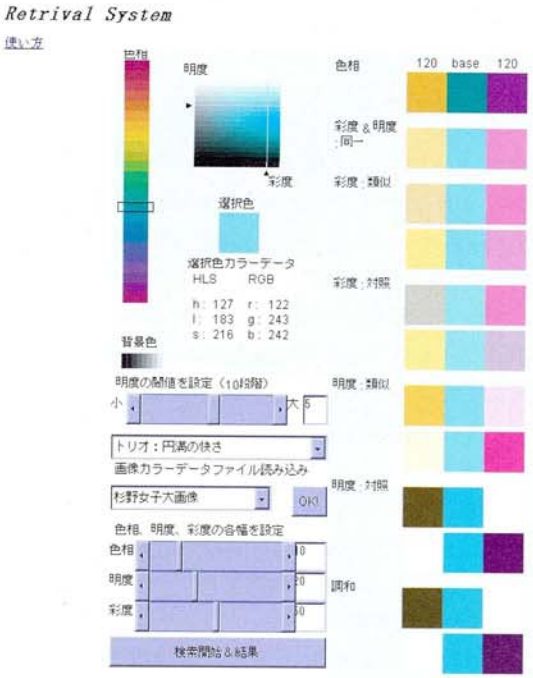


図 3 画像検索システム
Image retrieval system

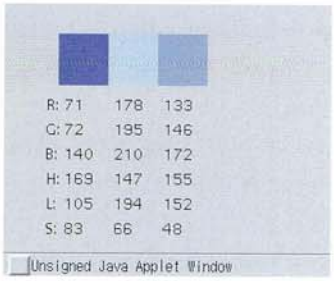


図 4 実行例 1：検索イメージカラー (実行画面)
Ex.1 Index Color

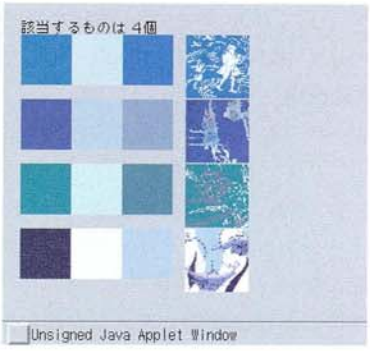


図 5 実行例 1：検索結果表示 (実行画面)
Ex.1 Retrieval results

図 6 実行例 2：検索イメージカラー
Ex.2 Index colors

(a) 画像 1　(b) イメージカラー (画像 1)

(c) 画像 2　(d) イメージカラー (画像 2)

(e) 画像 3　(f) イメージカラー (画像 3)

(g) 画像 4　(h) イメージカラー (画像 4)

図 7 実行例 2: 検索結果
Ex.2 Retrieval results

いえる.3番目は彩度が検索キーであるイメージカラーに比べてすこし変わっており,印象が異なっている.また,4番目のイメージカラーは,明度が大きく変化しており,これも印象が異なっている.

図6の検索イメージカラーと初期設定の閾値を入力したとき,図7が検索できた.ここで色相の閾値を小さくした場合,画像(c)と(d)が検索できた.また閾値を大きくした場合は,例示した画像に加えて2つの画像が検索できた.さらに,明度を小さくした場合も同様であった.彩度を小さくした場合は,(a),(b),(c)の画像が検索できた.このように検索結果の違いは,検索のために指定した明度や彩度の閾値の大きさによるものであり,閾値をより小さくすることによって,より印象に合ったイメージカラーを検索することが可能となる.このように,本検索システムは閾値の設定により,検索結果の範囲をユーザが指定でき,検索精度を決めることが可能であるという特徴を持つ.

5. 画像検索システムの評価

本章では,本研究で構築した画像検索システムの評価について述べる.

5.1 評価実験

ここでは,検索されたイメージカラーと入力した検索用配色の印象が似ているかを調べるために行ったアンケートについて述べる.デザイン画・CG画像・写真の画像データベースのための画像検索システムを学生8名に使用してもらった.評価実験は次のようにして行った.

(1) まず画像イメージカラーデータのファイルを選択し,ファイルからランダムに20種類の画像イメージカラー配色を表示する.

(2) そのうちのどれか10種類について選択し,それを検索対象配色にする.

(3) その検索対象配色について検索を行う.色相・明度・彩度の閾値を大小の2つの場合について行う.

(4) 検索結果の数,および検索対象配色と一致する印象であった配色数を記入してもらい,閾値によるヒット率を集計する.また,検索対象配色に対する検索結果に対する評価をまとめてもらう.

この評価実験におけるアンケートで用いた閾値は,配色支援システムの色相・明度・彩度それぞれ大小の2種類(**表4**)とした.閾値は指定された色を中心とした割合である.

5.2 アンケート結果

8名が画像データベース3種類についてそれぞれ10回ずつ検索実験を行い,個人それぞれのデータベース・閾値の大小でヒット率を求めた.求めたヒット率の平均を**表5**に示す.また,それぞれ閾値別でヒット率の平均を**表6**に示す.ここで用いるヒット率は次の(7)式より求める.

$$\text{ヒット率} = \frac{\text{印象一致の配色数}}{\text{検索結果の総配色数}} \qquad (7)$$

	アンケート1	アンケート2
色相	19.5%	9.76%
明度	23.4%	11.7%
彩度	39.1%	19.5%

表4 評価実験での閾値
Thresholds using evaluation

画像種類	デザイン画		CG画像		写真	
アンケート	1	2	1	2	1	2
ヒット率(%)	44.1	91.7	50.0	92.5	30.9	71.1

表5 アンケート結果:画像別平均ヒット率
Rate of hit according to images

閾値による種別	閾値大	閾値小
ヒット率(%)	37.0	81.1

表6 アンケート結果:閾値別平均ヒット率
Rate of hit according to threshold

印象一致の配色数とは,検索者が希望したイメージカラーに近い印象を持つイメージカラーが検索できた数とする.総配色数とは,検索結果として出力されたイメージカラーの総数である.したがって,ヒット率の割合が高いほど,希望した画像が検索できたことになる.

5.3 考察

表5に示すように,3種類の画像ベースに共通していることは,閾値が小さい場合においてヒット率が良いことである.閾値が小さいことから検索される配色は同一に近い色で構成されているので,印象の近い配色が検索される.閾値が大きい場合は30～50%くらいの結果であった.閾値を大きくすれば,選択される色の範囲が大きくなることから,印象の異なった配色が多くなる.したがって,表6に示される低いヒット率は予想どおりである.このことから,閾値の選択は検索目的によって変更すればよいことがわかる.また,本画像データベースは,画像の印象を決定する要素であるイメージカラーによる検索であることから,印象が一致していることが望まれる.評価実験による検索結果が7～9割を超えるヒット率であることから,実用的に充分利用に役立つ検索手法である.

6. むすび

本論文では,イメージカラーを用いた画像検索を行うための検索方法と画像検索システムの構築を目的とした.そして,画像の印象を表すイメージカラーの抽出手法と,検索配色と画像イメージカラーの類似配色を求める方法を提案した.さらに検索システムを構築して,検索手法の評価を行った.そして,評価実験の結果,以下のことがわかった.

(1) 画像の印象を表すイメージカラーの抽出が可能となった.

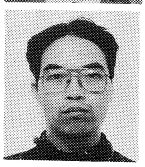
(2) 画像データベースの検索手法のひとつとして,感性情報処理に基づく配色を検索キーを用いた手法を提案できた.この手法は,印象を物理特徴で与える手法であり,直感的な検索手法といえる.

（3） 検索キーとして配色を入力する画像データベースの検索法は,印象を直接入力できるという点において有効であることがわかった.

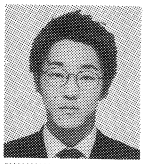
〔文　献〕

1) 井口 征士: “感性情報処理の歴史的背景”, 映情学誌,52,1,pp.38–40(1998)
2) 加藤 俊一, 酒井 勝正: “感性エージェントとヒューマンメディアデータベースの研究開発”, システム / 制御 / 情報,42,5,pp.253–259(1998)
3) 橋本 周司: “感性情報処理の諸相”, 映情学誌,52,1,pp.41–45(1998)
4) 北原 義典: “感性情報とメディア処理技術”, 信学誌,81,1,pp.60–67(Jan 1998)
5) 串間 和彦, 赤間 浩樹, 紺谷 精一, 山室 雅司: “色や形状等の表層的特徴にもとづく画像内容検索技術”, 情処学論誌,40,SIG3(TOD1),pp.171–184(Feb 1999)
6) 田中 昭二, 井上 正之, 井上 誠喜, 中津 良平: “誘目性に寄与する物理的特徴量を基にした画像注目領域の抽出”, 映情学誌,52,6,pp.881–890(1998)
7) 加藤 俊一: “感性データベースシステム”, 映情学誌,52,1,pp.49–53(1998)
8) 高橋 友一, 島 則之, 岸野 文郎: “位置情報を手がかりとする画像検索法”, 情処学論誌,31,11,pp.1636–1643(1990)
9) 尾崎 圭司, 矢野 米雄: “3 項組に基づく美術館データベースシステム ArtFinder の開発”, 情処学論誌,36,11,pp.2690–2701(1995)
10) 西山 晴彦, 松下 温: “画像の構図を用いた絵画検索システム”, 情処学論誌,37,1,pp.101–109(1996)
11) 三浦 康史, 小澤 順, 今中 武: “WWW 感性検索システム KiSS におけるユーザモデル”, 信学誌,81,1,pp.60–67(Jan 1998)
12) 諸原 雄大, 近藤 邦雄, 佐藤 尚, 島田 静雄: “テキスタイルデザイン画像におけるイメージ・カラーの選定法”, 情処学論誌,36.2,(1995)
13) 秩父デザインリソース研究会: “秩父デザインリソース研究”, 埼玉県工業技術センター北部研究所 (Mar 1998)
14) 川上元朗: “新版 色の常識”, 日本規格協会 (1987)
15) JIS ハンドブック: “色彩 -1994”, 日本規格協会 (1994)
16) 川上, 児玉, 富家, 大田 編: “色彩の辞典” (1987)
17) 財団法人 日本色彩研究所編: “色彩ワンポイント 5 色彩と人間”, 日本規格協会 (1994)

近藤　邦雄（こんどう　くにお） 1979 年名古屋工業大学第 2 部機械工学科卒業。名古屋大学教養部図学教室技術補佐員、東京工芸大学講師を経て、 1989 年埼玉大学工学部情報システム工学科助教授。コンピュータグラフィックス、インタラクティブモデリング、感性情報処理の研究に従事。工学博士。正会員。



高橋　雅博（たかはし　まさひろ） 1995 年埼玉大学 工学部 情報工学科卒業。 1997 年埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程情報工学専攻修了。現在埼玉大学大学院理工学研究科博士後期課程情報数理科学専攻在学中。感性情報処理を利用したデザイン支援についての研究に従事。



松永　政尚（まつなが　まさなお） 1998 年埼玉大学工学部情報システム工学科卒業。同年 FJB Web テクノロジー（株）入社。現在同社アプリケーション開発技術部勤務。

山嵜　秀城（やまざき　ひでき） 1997 年埼玉大学工学部情報システム工学科卒業。 1999 年埼玉大学大学院 理工学研究科博士前期課程情報システム工学専攻修了。同年大日本印刷株式会社入社。現在同社 C&I 技術開発センター勤務。ネットワークパブリッシング業務に従事。

Journal for Geometry and Graphics
Volume 3 (1999), No. 1, 77–84

A Method of Changing a Color Scheme with Kansei Scales

Hideki Yamazaki, Kunio Kondo

Graduate School of Science and Engineering
Department of Information and Computer Sciences, Saitama University
255, Shimo-Okubo, Urawa city, Saitama 338-8570, Japan
emails: ziro-cyo@ke.ics.saitama-u.ac.jp, kondo@ke.ics.saitama-u.ac.jp

Abstract. The purpose of this research is to propose a method of changing a color scheme with Kansei scales. "Kansei" is a Japanese word that means the capability that feels an impression, such as "pathos", "feeling" and "sensitivity". "Kansei" also has meanings such as "sense", "sensibility", "sentiment", "emotion" and "intuition" [1]. A method of changing a color scheme with Kansei scales can easily change the color scheme of an image by using Kansei words such as "warm" and "dark". An impression of an image can be changed by it. We constructed a system in accordance with the method. There are three main features of our system. The first is that the system can change any color scheme of an image, because numerical expressions change a color scheme. The second is that the system can change a color scheme colorfully by five Kansei scales. The third is that the system can easily pick up the index colors from the original image, though a well experienced inspector has to decide color species comparing it with a color-catalogue.

Key Words: Engineering computer graphics, design, Kansei information processing, color

MSC 1994: 68U05

1. Introduction

It increased to confirm the impression and to change a color scheme by using a computer, when the image of a new impression is made and a designer changes a color scheme. Thereupon, if it is possible to change a color scheme according to the impression that was decided by a discussion with a client, work time can be reduced. Using a computer for design is more efficient at working hours and cost than drawing with an illustration-pen. However, the usage of a computer that changes a color scheme is not supporting the work of the designer who thinks about the color scheme from an impression, because it is the instrument that depicts

ISSN 1433-8157/$ 2.50 © 1999 Heldermann Verlag

an image. There are many softwares which can change a color scheme at the present time, but these can only hange a specified range of color to a new selected one.

A purpose of this research is to propose a method of changing a color scheme with Kansei scales [4]. Five Kansei scales *("warm ⇔ cool", "soft ⇔ hard", "natural ⇔ artificial", "bright ⇔ dark", "gay ⇔ quiet")* were used in this paper. A Kansei scale is the axis that has an impression word of opposite meaning to two extremes. We defined these adjectives with the degrees as Kansei scale, and we established two vertical dimensional axes with the Kansei scale ranging from −3 to +3. We called such plane consisting of those two axes as Kansei plane.

2. Outline of hanging a color scheme

A procedure of changing a color scheme can be divided into the following three parts (Fig. 1).

1. **Pick out of index colors**
   Index colors are requested out of an original image, to analyze an impression of an image ([2], [3]). The index colors are a combination of colors that shows an impression of an image strongly. We proposed an index color method that can represent the similar effect as looking as the index color instead of the original pictures. Thereupon, replacing index colors to a color scheme, and the color scheme is changed.
2. **Calculation of a Kansei scale value from a color scheme**
   The impression of the original image is calculated by a Kansei scale value calculation style from a color scheme. Thus an impression of an original image becomes possible to be shown with a Kansei scale.
3. **Calculation of a color scheme from a Kansei scale value**
   A new color scheme is calculated from a Kansei scale value that was modified by a color scheme calculation style from a Kansei scale value. By changing the color of an image using the color scheme , we can make another image of a different impression.

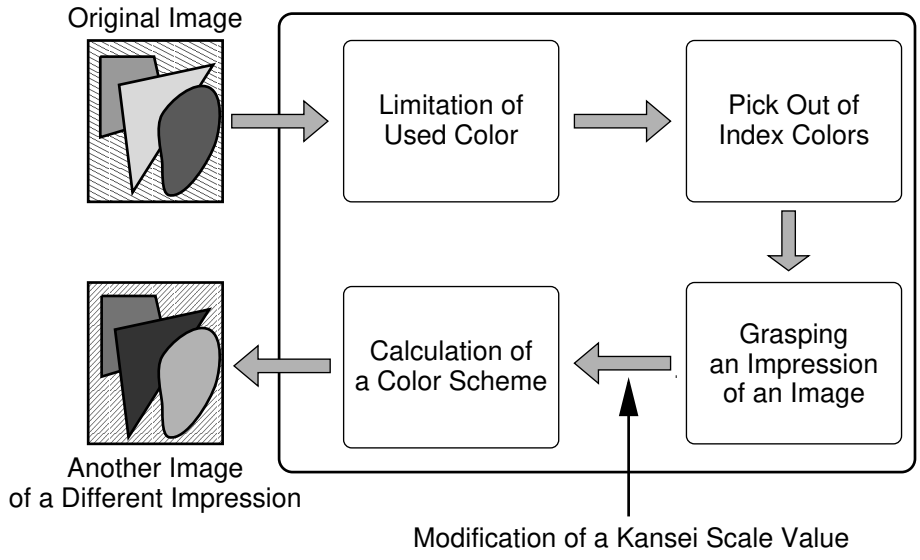


Figure 1: Outline of changing a color scheme

3. Pick out of index colors

Index colors are those colors which can represent the first impression of human sense against a target picture. In case of using few colors in a picture, all the colors become index colors. However, every color in a picture that is depicted with many colors is not necessarily deciding an impression. As for such a case an impression is decided by several colors in used colors of the image. When changing a color scheme , the color that decides an impression needs to be selected out of other colors. In this section, it expresses the procedure that move out index colors from an image.

3.1. Limitation of used color

A color of the voluminous number is used for the image and it depicted with a computer. Therefore, used color needs to be limited to process an image by using a computer.

Firstly, the image that is depicted with 8 bit RGB pixel is registered to a color list as each 4 bit pixel. Next, the color that is hardly used is mixed to a near color of distance in $L^*a^*b^*$color space [5]. Finally, mixing and combining near colors fellow in the color space. Used colors are limited to 5-16 colors as the result.

3.2. Pick out of index colors from used color

Among all colors used in an image we have the conspicuous and non conspicuous ones. When an index color is chosen from a color list, the color that is conspicuous is chosen as an index color. It is rare that the non conspicuous color is chosen. Accordingly index colors are obtained by selecting the color that is conspicuous, from the color that was calculated in a used color limit. A condition of the color that is conspicuous is decided in the following manner.

- **An area of a wide color**
  The color that occupies a wide area in an image can be conspicuous.
- **Eye-catching nature**
  There are conspicuous colors and non conspicuous ones. This nature is called eye-catching nature. A eye-catching level of chromatic color is higher than achromatic color. Similarly, level of white is higher than black. In hue, the eye-catching nature of red and yellow is higher than that of green and blue.
- **Contrast impression**
  The clear color depends mainly on the relation of lightness of the foreground color and background color. A big difference of lightness such as black with yellow and black with white are easy to be seen. On the other hand, a little difference of lightness such as yellow with white and red with green are difficult to be seen. When lightness approaches, it is difficult to be seen even if the difference of hue and a difference of chromaticness is great. This effect is called a contrast impression.

In consideration of the element that is expressed up to here, 3-10 index colors are extracted from the image that was limited to 5-16 colors . Only index colors that were chosen can be changed by color scheme.

4. The relation between Kansei scales and a color scheme

When the relation between impression of a color scheme and an image is requested, we used the method that requests impression by judgment of the integration of every color. The method does not request average of an impression of each color. The number of physical characteristic that expresses a color is needed, and the characteristic should express a general impression of a color scheme. From all that is expressed up to here, six evaluation elements were used as the physical characteristic of a color scheme.

4.1. Evaluation elements of a color scheme

We researched the relation between the six evaluation elements and five Kansei scales. The questionnaire system shown in Fig. 3-A was utilized, to research what kind of relation there is between the physical characteristic of the color scheme and the impression.

This system collects data of an impression that a human saw each color scheme in 5 Kansei scale. From data that was collected, correlation relation between 5 Kansei scales and many physical elements of the color schemes were researched. Correlation between physical elements and Kansei scales is expressed numerical by using a coefficient of correlation. The absolute value of the correlation coefficient near 1.0 shows that relation between an evaluation element and Kansei scale are deep. If the absolute value of an evaluation element exceeds 0.55 there is relation between a Kansei scale and an evaluation element.

From this research it was understood six physical characteristics, *"hue average"*, *"chromaticness average"*, *"lightness average"*, *"lightness chromaticness average"*, *"lightness distributed degree"* and *"distance distributed degree"*, are closely related to Kansei scales. The six physical characteristics are called evaluation element. Explanation of six evaluation elements is as follows.

- **Hue average**
  Hue average is the mean value of the hue of a color scheme.
- **Chromaticness average**
  Chromaticness average is the mean value of the chromaticness of a color scheme.
- **Lightness average**
  Lightness average is the mean value of the lightness of a color scheme.
- **Lightness chromaticness average**
  Lightness chromaticness average is the value of geometric mean of the mean value of lightness and chromaticness.
- **Lightness distributed degree**
  Lightness distributed degree is the total absolute value of the difference between lightness and the mean value of lightness.
- **Distance distributed degree**
  Average coordinate in $L^*a^*b^*$color space of a color scheme are requested. The total of distance between this average coordinate and the coordinate of each color become a distance distributed degree.

Furthermore the upper limit and a minimum were set up to each evaluation element that was requested. So that it is placed between 3 from +3 a value was modified. A correlation coefficient of an evaluation element that is related with a Kansei scale is shown in Table 1.

Table 1: Correlation Coefficient

Kansei scale	**evaluation elements**	**correlation coefficient**
warm ⇕ cool	hue average	−0.637
soft	lightness average	0.813
⇕	lightness chromaticness average	0.590
hard	lightness distributed degree	−0.791
natural	lightness average	0.620
⇕	lightness distributed degree	−0.745
artificial	distance distributed degree	−0.724
brightly	lightness average	0.970
⇕	lightness chromaticness average	0.916
dark	lightness distributed degree	−0.654
gay	chromaticness average	0.796
⇕	lightness chromaticness average	0.909
quiet	distance distributed degree	0.566

4.2. Calculation of a Kansei scale value from a color scheme

A Kansei scale value (degree of an impression) of an image is able to calculate with the next procedure.

1. It calculates the sum of an absolute value of the correlation coefficient of all evaluation elements that it uses in the Kansei scale *(let A be this answer)*.
2. Correlation coefficient is divided by *A (let B be this answer)*.
3. It multiplies the evaluation element by B.
4. To every evaluation element that it calculates, the sum becomes a Kansei scale value.

In the case that Kansei scale value N is calculated, the evaluation elements which exerts an influence a, b, c, value of an evaluation elements X_a, X_b, X_c and value of the correlation coefficient Y_a, Y_b, Y_c, N is calculated with the style that next shows it.

$$N = \frac{(X_a Y_a + X_b Y_b + X_c Y_c)}{(|Y_a| + |Y_b| + |Y_c|)}$$

In case of "warm ⇔ cold", the numerical formula that was written upward is not utilized. Because hue average (evaluation element of "warm ⇔ cold") is ring-shaped. So, a Kansei scale value is requested with the nearness to the blue or orange of a hue average.

4.3. The calculation of a color scheme from a Kansei scale value

When a new color scheme is calculated from a selected Kansei scale value, first of all, a value of color scheme of an image in the case that there are two extremes of a Kansei scale axis is

calculated (Fig. 2-A). An evaluation element has the upper limit and the minimum, and it is modified between 3 from +3. When the value that was modified is +3 and also −3, the color scheme is positioned to two extremes of the Kansei scale axis. Therefore modifying the value of hue / lightness / chromaticness that has an influence to the evaluation element related to a Kansei scale which utilizes a color scheme of the two extremes is calculated. When color scheme of two extremes of a Kansei scale decides, a color scheme of a new Kansei scale value is produced by extrapolating the scale value that was selected newly from the value of two extremes of a Kansei scale. The Kansei plane is utilized in a color scheme changing system. Therefore mixing the separate color scheme that was calculated by the two Kansei scales one color scheme is made (Fig. 2-B).

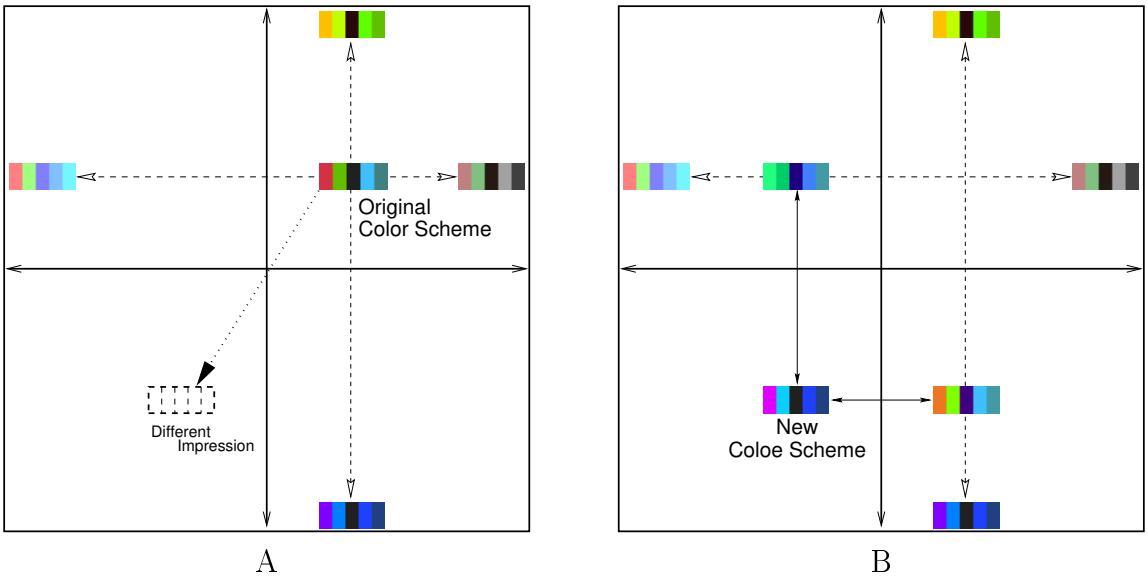


Figure 2: A process that requests a different color scheme

5. JAVA applet that used method of changing a color scheme

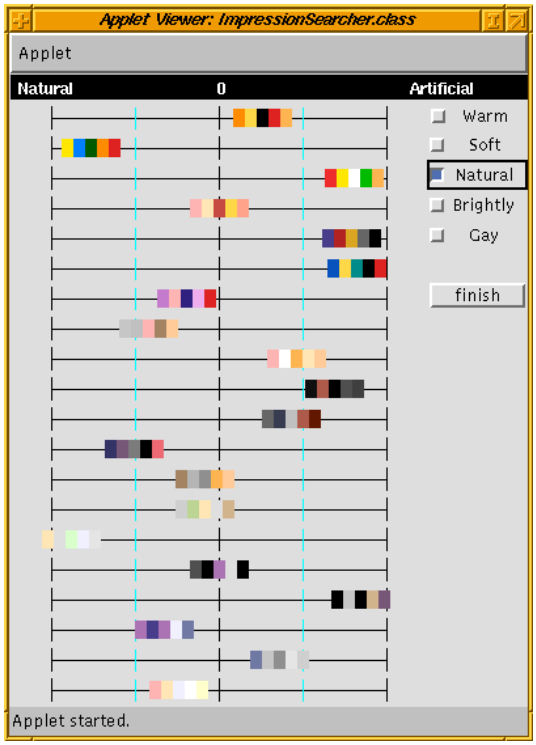
Java Applet was constructed by using a method of changing a color scheme that was expressed up to here. Java was utilized to use an image on WWW (Fig. 3-B).

URL of an image that wants to change a color scheme, the numbers of limited colors and the numbers of index color are designated. The index color of an image is moved out. Next, the color scheme that was calculated on the Kansei scale plane that the two Kansei scale axes made x-y axis is displayed. By modifying a Kansei scale value, move the color scheme with a mouse, the color scheme of an image can be changed. The example that changed a color scheme is shown in Fig. 4.

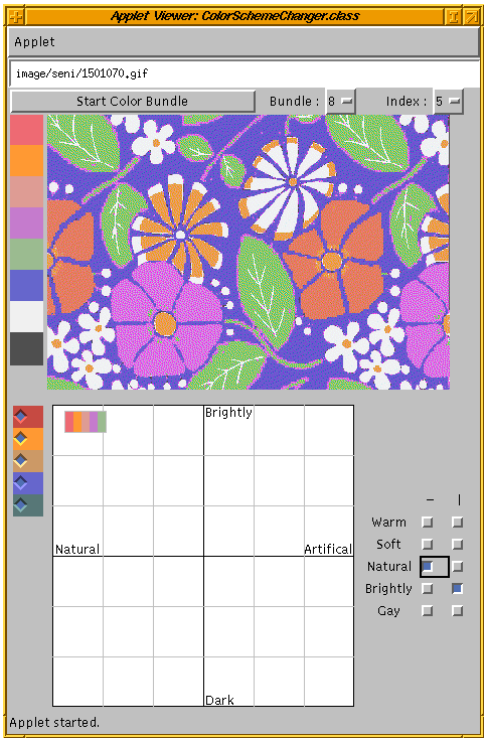
6. Conclusion

The purpose of this system is to decrease the burden of work in the hanging color scheme. This system can change color scheme in a short time. Such characteristic that supports changing color scheme is shown below.

1. This system can change a color scheme with a calculation style. Therefore, any color scheme can be changed.



A: The questionnaire system



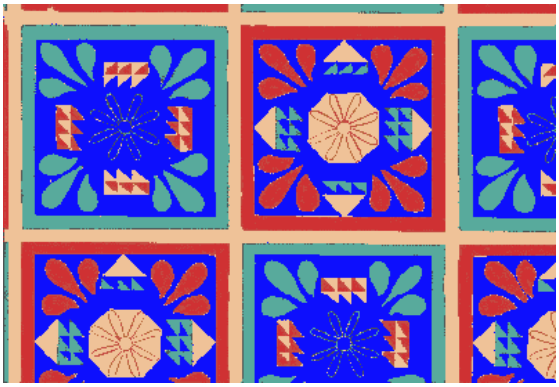
B: Color scheme changing system

Figure 3: Java Applet

original image

hard

natural + warm



gay + bright

Figure 4: Example of changing color scheme

2. This system can change color scheme colorfully by using five Kansei scales.

3. This system can pick out index colors that shows an impression of an image strongly.

From these points, this system is effective as a support system for changing a color scheme.

References

[1] Y. Kitahara: *Kansei Information and Media Pro essing Technology.* The Journal of IEICE **81**, no. 1, 60–67, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (1998).

[2] Y. Morohara, K. Kondo, S. Shimada, H. Sato: *Automatic Picking of Index Colors in Textile pictures.* Proc. 6th ICECGDG, 19-23 August 1994, Japan, 643–647 (1994).

[3] U. Naoki, T. Inohara, Y. Morohara, K. Kondo, H. Sato, S. Shimada: *Analyses of Graphical Features of Textiles by Human Impressions.* Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications, 307–310 (1994).

[4] H. Xiao, K. Kondo, H. Sato, S. Shimada: 1995, *Analyses of Human Impressions on Features of 3D-Shapes.* Proc. Intern. Conf. on Computer Aided Design, Engineering and Management (CADEM '95), 273–278 (1995).

[5] M. Takagi, Y. Shimoda: *Hand Book of Image Analysis*, Publishment of The Tokyo University 1991.

Received August 14, 1998; final form June 15, 1999

論文

論文特集 ■ 最先端画像映像生成処理技法

アニメーション制作におけるキャラクタの動作強調手法 Motion Filter

佐藤修一[†], 正会員 近藤邦雄[††], 佐藤尚[††],
島田静雄[††], 金子満[†††],

Motion Filter for Emphasizing Expressions in Animation Processing

Syuichi Sato[†], Kunio Kondo[††], Hisashi Sato[††], Shizuo Shimada[††]
and Mitsuru Kaneko[†††]

Abstract Emphasizing expressions are an effective way of creating motion in moving pictures. The author proposes a "Motion Filter" which is a computerized tool to design the motion of characters for animation. Computer animation has been in great demand in the field of TV processing. However most animation has been crteated by animators who paint their work directed onto celluloid in cartoon films. The writer asked those experts about their techniques and analysed these in order to be able to transfer them into a computer system. Motion Filter accepts keyframes as input motion and transforms these into emphasized motions. It works interactively and is friendly to most users who wish to design animation.

1. まえがき

コンピュータアニメーションは，映画制作やCM制作にはなくてはならない技術である．コンピュータを使ったアニメーション制作では，セルアニメーションでは描写できなかったような世界が表現できることや，これまで行われてきた作業を省力化できるという大きな利点がある．アニメーション制作の工程は概ね，絵コンテの作成，キーフレームの作成，動画の作成，彩色，撮影の順に行われる．彩色の段階では，線画で描かれた絵の閉区間内の色をコンピュータによるツールを利用して塗ることにより，作業の省力化が行われる．また動画作成の段階では，原画が作成された後，特徴的な場面の間を補間していくという方法を用いて，省力化が行われる[1)]．

また，物理計算を元にして動きを生成する手法は広く研究されている．実際の動きを数学的に解析し，これをパラメトリックに加工することによって新しい動きを生成するという研究もされている[2)~4)]．しかし，コンピュータが補間して出力した動画においては，ア

キーワード：コンピュータアニメーション，Motion Filter，強調表現，タイミングコントロール
1995年3月7日受付，1995年6月2日再受付
† 埼玉大学 工学部情報システム工学科，現在 東京工業大学 情報理工学研究科（〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1，TEL 03-5734-2183）
†† 埼玉大学 工学部情報システム工学科（〒338 浦和市下大久保255，TEL 048-858-3498）
††† 株式会社エムケイ（〒150 東京都渋谷区渋谷1-10-12，TEL 03-5467-7160）
† Tokyo Institute of Technology (2-12-1, Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo 152, Japan)
†† Saitama University (255, Shimo-ookubo, Urawa-shi, Saitama 338, Japan)
††† MK Company (1-10-12, Shibuya, Shibuya-ku, Tokyo 150, Japan)

テレビジョン学会誌 Vol. 49, No. 10, pp. 1280～1287 (1995)

ニメータの経験に基づいたアニメーションに特徴的な動きの表現に関して，取り扱われていない．これは，アニメーション作品には物理法則や数学的な正確性をわざと崩した表現があるからである．この表現が，アニメーションのエンターテイメント性を高めている要素である．そのため，魅力的なアニメーションを制作するためには，職人的な作業に頼らざるをえない現状であり，セルアニメーションにおける熟練した技術者が制作に関わっている[5]．

本研究では，アニメーション制作のプロセスにおいて最も時間がかかり，コンピュータによる自動化があまり進んでいない動画作成の段階に着目した．アニメーションの中で用いるキャラクタの動きを強調し，様々な表現を行うためには，セルアニメーション制作の技術者が持つ熟練したテクニックを利用することが必要である．こうしたテクニックを再利用可能な形で蓄積し利用することができれば，動画制作の自動化を進めることができる．そこで本研究では，アニメータの持つ熟練したテクニックをもとにした動作強調手法を提案することを目的とする．

本論文ではまず人の動き，およびアニメーションにおけるキャラクタの動きについて分析を行った．この結果，強調表現にはいくつかの種類があり，キャラクタの体を構成するパーツの長さの変化，そして各パーツ間の角度の変化によって表すことが可能であることがわかった．またこれらの変化はキャラクタの違いによらず，強調表現の種類毎に同一のタイミングで表されることもわかった．そこでこのタイミングについて整理を行い，基本的な強調表現を表すタイミングとして８つのパターンを抽出した．

さらにキャラクタ動作の種類に対応する強調表現について考察した．この結果，入力された動きに対して自動的に強調表現を付加する手法を提案する．従来のコンピュータによる動画生成は，２つのキーフレーム間だけに注目して補間を行っている[1]．本研究が提案する手法を用いることによって，一連のキーフレームによって表現される動作に対して自動的に解析を行った後，最適な補間法を選択し動画が生成される．この手法によって，これまでの動画自動生成では困難であった，動きの強調表現が可能になった．生成される動画には，アニメーションに特有の効果が含まれている．

2. 強 調 表 現

人や動物の手や足にセンサを取り付け，そこから得られる動きを忠実に動画として再現するというシミュレーション手法がある[6][7]．しかし，ブラウン管やスクリーンといった限定された空間の中で，現実の動きに忠実にキャラクタを動かしただけでは，期待した動作情報を正確に伝えにくい．そこでアニメータは，強調表現を元の動きに付加させることによって，スピード感や感情などの様々な情報を表現している．

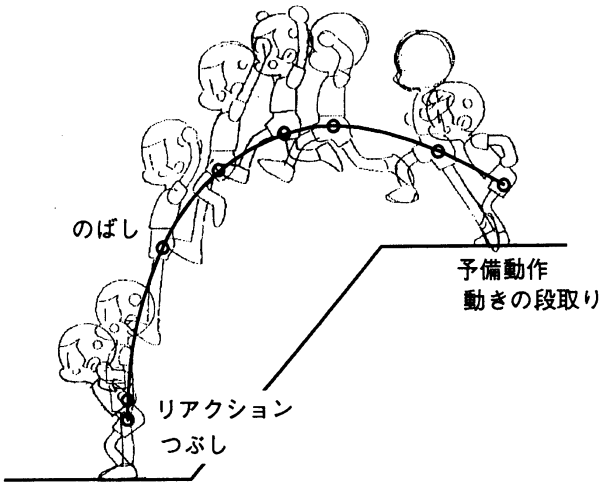


図１ 強調表現
Emphasized expressions.

このときアニメータが用いる最も大切な知識が，強調表現法である[8][9]．本節では強調表現について述べ，この表現法とタイミングの関係について述べる．

2.1 セルアニメーションにおける強調表現

中割りを描画するために必要な知識が，強調表現である．この強調表現を**図１**に示す．これは人間のキャラクタが崖から飛び降りる様子を描いたものである．この中に動画を制作する際によく用いられる強調表現が含まれている．

以下にその強調表現の効果を示す．

（1） つぶし・のばし

ボールが壁に当たってつぶれたり，その反動で伸びたりするような動きを表現する時に使われる．

（2） フォロースルー

ある物体が別の動く物体に対して，時間的なずれを伴いながら追いかけて動作する様子を表すために使われる．

（3） 予備動作・リアクション

手を振り降ろす前の小さな戻しや，その降り降ろした手を急に止めた後に少し行き過ぎてしまう様子を表すために使われる．

これらは現実の動きの中に含まれる要素であるが，その効果を極端に大げさに表現したり，実際にはあり得ない組合せを用いることによって，強調表現は実現

できる．

2.2 強調表現とタイミングコントロール

アニメーション制作の工程上，動作の軌道はキーフレームが描かれた時点で決定されている．動きの強調表現がフレーム上に現れるときは次の工程，動画の作成の段階である．強調表現はタイミングによってコントロールされている．アニメーションにおけるタイミングとは，隣合う静止画どうしをいかに変化させて描くかということである．

これまでコンピュータアニメーションにおける動きの生成は，パスの制御とタイミングの制御に明確な区別がされていなかった．エンターテイメントのためのアニメーションは，リアルな動きの追求ではなく，わかりやすく強調された動きが用いられるので，タイミングのコントロールが重要な課題となる．本研究では，動きの強調表現のためのタイミングコントロールを行う Motion Filter 手法を提案する．

アニメーション制作において最も困難な問題は，キャラクタの通る軌道の設定ではなく，動作の連続性，つまりタイミングの制御ということになる．同じキーフレームが与えられても中割り方法の違いによって，キャラクタの動きは変わってしまう．このためにアニメーション制作工程において動画の制作にあたる人達は，あらかじめ様々な動作に関する特殊な知識を身につけておかなければならない．

次節では，アニメーションの動きの要素のうち，「タイミング」について分析し，強調表現するための手法である Motion Filter について述べる．

3. Motion Filter

Motion Filter を用いた動画の自動生成は，以下のような手順で行われる．

（1） キーフレームから基本的な動き(軌道)を得る
（2） アニメータの知識を元にした効果を付加
（3） 目的の動画を作成する

ここで，(2)の「効果を付加する」部分を「Motion Filter」と呼ぶ．これは入力された動きに対して強調表現の効果を付加し，別の動きを生成する処理法である．この Motion Filter を通して出力された動きは，元の動きと比べてスピード感や感情表現が付加されたものとなる．

4. Motion Filter のアルゴリズム

4.1 タイミングカーブ

タイミングは，**図 2** に示すグラフで表される．このタイミングを表すグラフをタイミングカーブと呼ぶ．

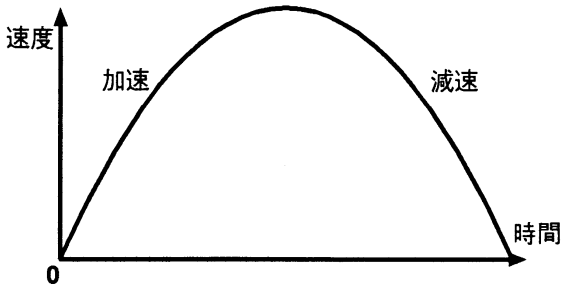
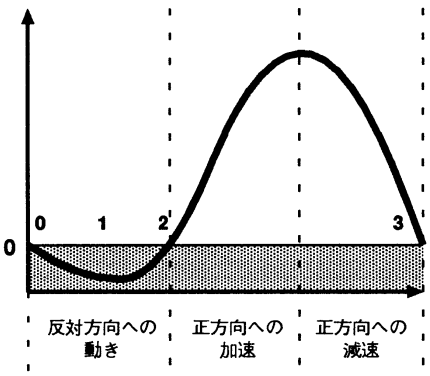


図 2 タイミングカーブ
Timing curve.



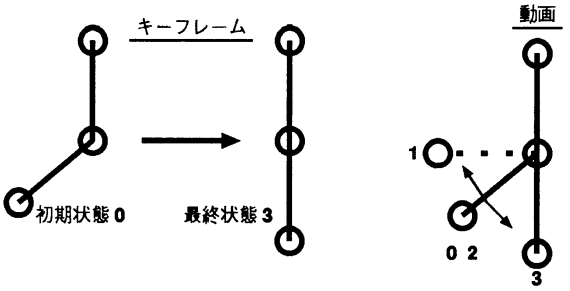


図 3 タイミングカーブの拡張
Extended timing curve.

タイミングカーブは横軸に時間，縦軸にスピード変化を取るグラフで表されている．このスピード変化に負の値を許すことによって，実際に動くべき方向（キーフレームが指示している方向）とは逆の方向に変化をつけることが可能となる（**図 3**）．

アニメーションにおいてキャラクタの手や足は，加速や減速に応じて伸縮する．一般に加速時は伸び，減速時は縮んで表現される．そこで，縦軸をスピードではなく長さの変化とし，キャラクタの手足の伸縮の効果を表す．

4.2 滑らかな中割り

キーフレーム間の中割りは，1 フレームだけに注目して行われるのではない．その前後のフレームの情報も加味して動画は描かれている．前後 3 フレーム間の状態と，中割りする際の動きの変化を**表 1** に示す．

表1 3フレーム間の状態と中割りの関係
The relationship between conditions of 3 frames and inbetweens.

前回	今回	次回	動きの変化
順	**順**	順	加速（等速）
順	**順**	逆	加速（等速）→ 0
順	**逆**	順	0 → 加速（等速）→ 0
順	**逆**	逆	0 → 加速（等速）
逆	**順**	順	0 → 加速（等速）
逆	**順**	逆	0 → 加速（等速）→ 0
逆	**逆**	順	加速（等速）→ 0
逆	**逆**	逆	加速（等速）

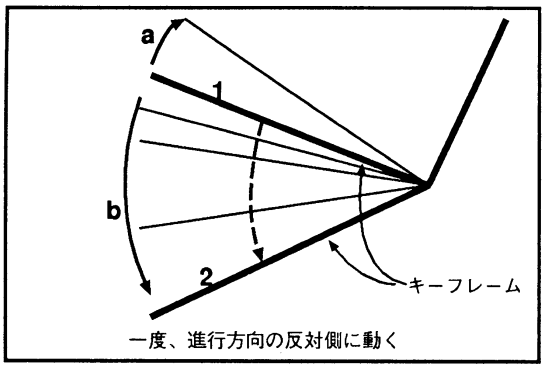


図4 予備動作
Previous action.

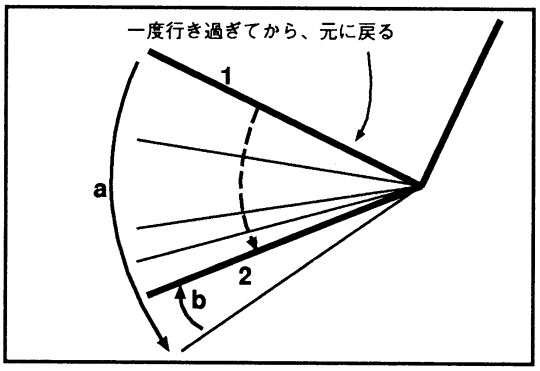


図5 リアクション
Reaction.

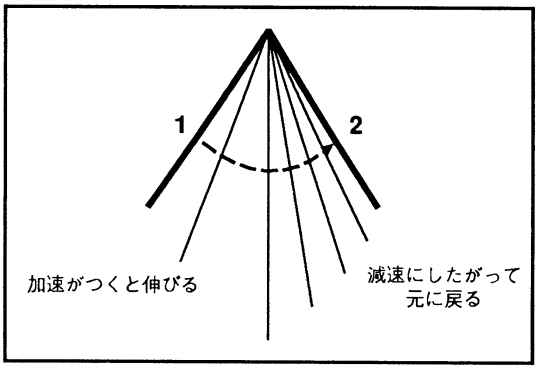


図6 のばし
Stretch.

表中「順」は，現在のキーフレームから次のキーフレームへの変化が前のキーフレームからの変化と比べて順方向であることを，「逆」は逆方向であることを表している．

4.3 強調表現に対する Motion Filter

運動しているキャラクタの手足の軌跡の中で，強調表現が認められるタイミングカーブには，以下の2つの特徴がある．

（1） 中割りのタイミングによって表されるもの（角度による強調）

（2） キャラクタの形が変化することによって表されるもの（形状による強調）

次に，この角度と形状による強調表現について述べる．

(1) 角度による強調

予備動作とリアクションは角度による強調表現によって表現できる．

● 予備動作

動きの変化が「0 → 加速」の時，予備動作が起こる．これは進行方向の反対向きに若干角度を戻すことによって実現されている（**図 4**）．まず図中 1 と 2 がキーフレームとして与えられ，点線矢印のような動きが期待されている場合，中割りされる絵はまず矢印 a の方向に動き，その後矢印 b の方向に動く．予備動作の大きさは動きの変化量に応じて変化している．

● リアクション

予備動作とは逆に，動きの変化が「加速 → 0」の時発生する．進行方向に若干行き過ぎ，キーフレームの状態まで戻すことによって実現されている（**図 5**）．図中 1 と 2 がキーフレームとして与えられたとき，点線矢印のような動きが期待されている場合，中割りされる絵はまず矢印 a のようにキーフレーム 2 を越えて動き，その後矢印 b の方向に動いて元に戻る．このときのリアクションの大きさも動きの変化量に応じて変化している．

(2) 形状による強調

のばし，つぶしは形状による強調によって表現できる．

● のばし

加速中にはパーツの長さが若干伸びている（**図 6**）．その後，等速に運動している間や減速中に元の長さに戻っている．図中 1 と 2 がキーフレームとして与えられたとき，点線矢印のような動きが期待されている．このとき中割りされる絵は，加速中元の長さを越えて伸び，減速に従って元の長さに戻っていく．

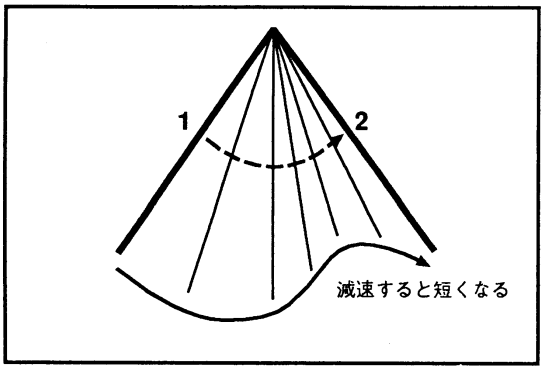


図7　つぶし
Squash.

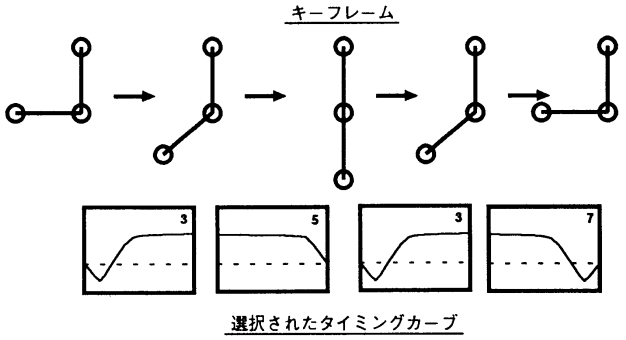


図9　タイミングカーブの選択
Selection of timing curves.

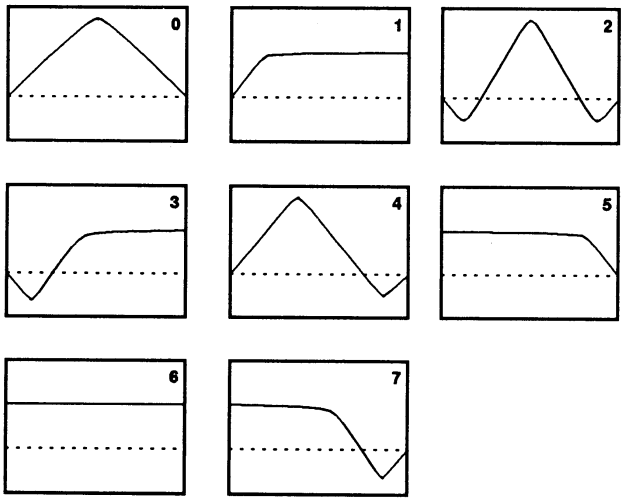


図8　分類されたタイミングカーブ
Classified timing curves.

●つぶし

動きの変化が「加速 → 0」の時，その速度変化の大きさに応じてパーツの長さは短くなっている（**図 7**）．図中 1 と 2 がキーフレームとして与えられたとき，点線矢印のような動きが期待されている．このとき中割りされる絵は，実線矢印で表したように減速している間元の長さと比べて短く描画される．

以上のように，タイミングカーブの変化によって強調表現が可能になる．

4.4　タイミングカーブの分類

以上の分析をもとにしてタイミングカーブの分類を行った結果を，**図 8** に示すように 8 つのパターンにまとめた．

これらのタイミングカーブはそれぞれ，2 つのキーフレーム間を補間する際の角度変化の度合を示したものである．4.1 節で述べた通り，それぞれ縦軸がスピード変化，横軸が時間を表している．グラフ中の点線はスピード変化の正負を分ける線である．タイミングカーブが負の値をとるとき，キーフレームから予想される方向とは逆方向に動作の変化がおこる．

次に，一連の動作におけるタイミングカーブの選択法を述べる．

4.5　タイミングカーブの選択

注目しているキーフレームと，その前後のキーフレームを調べることによって，タイミングカーブは決定される．図 8 において分類されたタイミングカーブの中から，その場面に適したものを選択し，組合せることによって，強調表現は実現される．タイミングカーブは各キーフレームの間ごとに選択される（**図 9**）．この工程を以下に示す．

(1)　動作全体を通しての動きの変化を調べる
　①　スケルトン内のパーツ間の角度が，次のキーフレームにおける姿勢に対して増えているのか減っているのかを調べる．
　②　これを全てのキーフレームについて調べる．
(2)　角度の増減を元にして，タイミングカーブを決定する

強調表現ともに，アニメーションとして滑らかな動きにするための，タイミング決定のルールを以下に示す．

①　最初のフレームはスピード 0 からスタートする．
②　負の方向への動きが連続しないようにする．
③　最後のフレームはスピード 0 へと減速して終了させる．

このルールとフレーム間の関係を示した表 1 を用いて，タイミングカーブとの対応を示すテーブルを**表 2** に示す．表中で用いられている「順」および「逆」は，表 1 と同じ意味を表している．「0」は，停止していることを表す．また表中の数字は，図 8 の中で各グラフの上に示された数字と対応している．

表 2　タイミングカーブの選択に使われるテーブル
Table for the selection of timing curves.

前回 → 今回	次回 0	次回 順	次回 逆
0 → 0	6	5	5
0 → 順	2	3	2
0 → 逆	2	2	3
順 → 0	1	0	0
順 → 順	7	6	7
順 → 逆	4	4	1
逆 → 0	1	0	0
逆 → 順	4	1	4
逆 → 逆	7	7	6

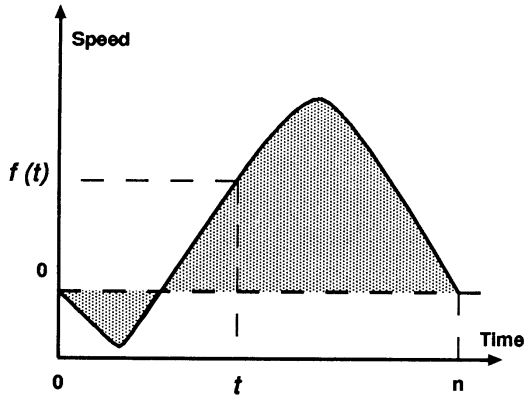


図 10　タイミングカーブからの角度生成
The way of angle generation using timing curve.

4.6　タイミングカーブから角度への変換

タイミングカーブを $f(t)$ としたとき，時間 t における関節の角度は，以下のような式で表される．

$$rate(t) = rate(t-1) + \frac{f(t)\,dt}{\int_0^n f(t)\,dt} \qquad (1)$$

$$angle(t) = 1stAngle \times \{1 - rate(t)\} + 2ndAngle \times rate(t) \qquad (2)$$

まず (1) 式を用いて $rate(t)$ を計算する．ここで $rate(t)$ は，1以下の実数を取る関数である．$\int_0^n f(t)\,dt$ は**図 10** において塗りつぶした部分の面積を表している．タイミングカーブを表すグラフの中で，点線は speed 軸の 0 点を表しているので，それより下の部分では $f(t)$ は負の値を示すことになり，$rate(t)$ の値は $rate(t-1)$ と比べて小くなる．このことによって，タイミングカーブはキーフレームで指示された動きに対して反対方向の動きとなる．

(2) 式における $angle(t)$ は，時間 t における関節間の絶対角度を表している．**図 11** で示す通り，1stAngle は最初の，2ndAngle は次の姿勢を表すキーフレームにおける関節間の角度を表している．$angle(t)$ は $rate(t)$ を媒介変数として両キーフレーム間の角度を内分した角度となる．

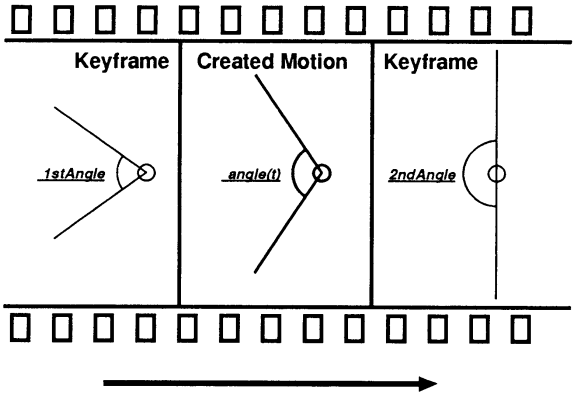


図 11　生成される角度
Generated angle.

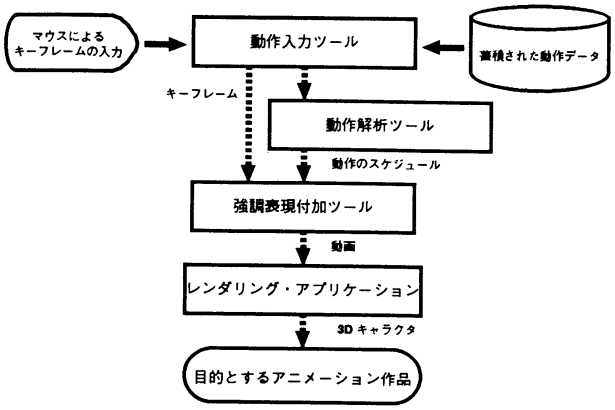


図 12　自動強調システムによる作業の流れ
Flow of operations on automatic transformation system.

4.7　タイミングカーブから長さへの変換

2 章で述べたように，アニメーションには長さによる強調がある．一般に，加速する時には伸び，減速する時には縮めて表現されることが多い．そこで，角度のために用意したタイミングカーブをそのまま長さの変化に用いる．(3) 式によって計算された $lrate(t)$ に従って，各フレームにおけるパーツの長さが変化する．

$$lrate(t) = 1.0 + \frac{f(t)\,dt}{\int_0^n f(t)\,dt} \times Volume \qquad (3)$$

式の中で $Volume$ は，長さ変化の程度を表す 0 ～ 1 の実数である．

5.　自動強調システムの構築

5.1　自動強調システムの概要

Motion Filter を使った自動強調システムを用いて，目的とするアニメーションを出力するまでの作業の流れを，**図 12** に示す．

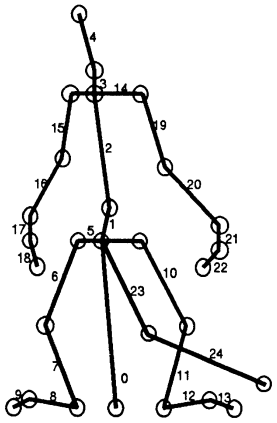


図13　スケルトンモデル
Skeleton model.

あらかじめ蓄えられたデータベース，もしくはマウスによって複数のキーフレームを入力する．入力されたデータから，動作解析ツールによって，動作のスケジュール情報が抽出される．これを受けとった動作強調付加ツールは，情報を元に適当なタイミングカーブを割り当て，動画を生成する．この際，動画の制作者は入力データに対してどのような強調表現を付加するか選択することが可能である．また角度，形状それぞれの強調の度合は，制作者の意図に従ってそれぞれ独立に指定することもできる．

5.2　スケルトンモデル

動作の入力から強調表現の付加まで一貫したキャラクタの操作を行うには，統一されたモデルを用意する必要がある．人や動物の動きを表現するために，基本となるモデルを図 13 に示す．このモデルは 24 のパーツで構成されており，それぞれが長さと，接続されたパーツに対する角度という要素を持つ．

6.　作画実験の結果と評価

6.1　角度による強調（予備動作・リアクション）

Motion Filter を使って動画を生成するために，図 14 に示す 3 枚のキーフレームを入力した．入力されたキーフレームに対して強調表現を付加した例を図 15 に示す．「入力」と書かれた列は，入力されたキーフレームを等間隔に中割りしたものであり，「角度」と書かれた列はこれに角度による強調を施したものである．この例ではキャラクタは腕を振り上げる動作をとっている．強調表現を付加した動画では，動作にはいる前（図中 a）に若干元に戻った腕が，滑らかに加速していく．最後は行き過ぎて（図中 i），キーフレームの位置まで慌てて戻すまでの一連の動作が描かれている．

予備動作によって，これから行われる動きに対して

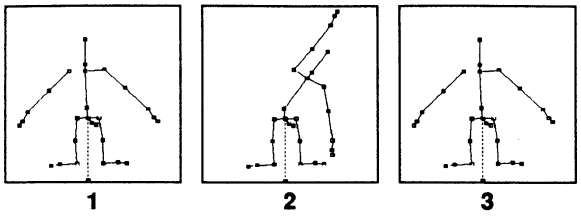


図14　キーフレーム
Keyframes.

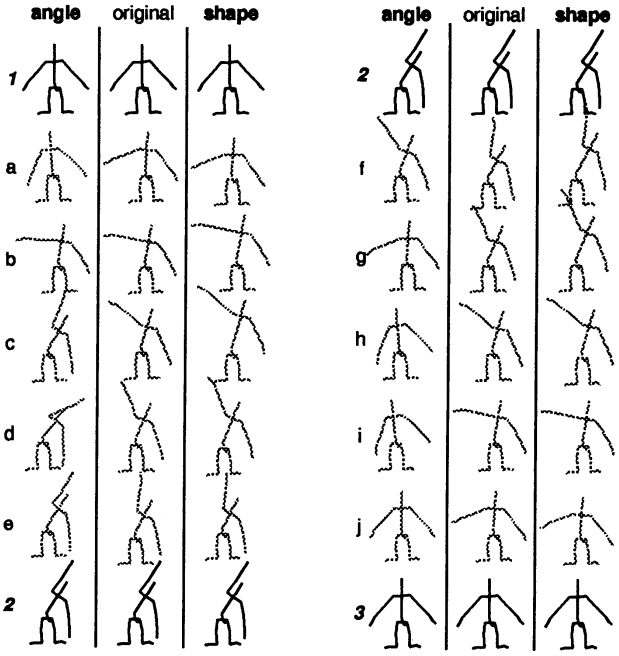


図15　強調表現を施した例
Illustration of expressions of emphasized motions.

注目を集める効果が生まれる．さらにリアクションによって，動きの勢いが表現される．大きなリアクションが付加されると，力強い動作の余韻を表現することができる．

6.2　形状による強調（のばし・つぶし）

形状による強調表現を付加した例を図 15 に示す．「形状」と書かれた列が入力されたキーフレームに対して形状による強調を施した例である．全節と同様，キャラクタは腕を振り上げる動作をとっている．この例では，腕と腰のパーツに長さの変化をつけて表現している．

形状による強調表現は主に，スピード感を強調する働きがある．角度変化のスピードがピークに達するとき（図中 c），腕の長さをより長く表現することによって，加速感が強調されて見える．逆に減速時（図中 e）に，長さを短くすることによって，急停止を明確に表現することができる．

7. むすび

本論文では実際の人の動きや，アニメーションにおけるキャラクタの動きを分析することによって，強調表現がどのように施されているのかを調査した．この結果，

（1） 強調表現は，角度による変化と形状による変化に分けられる．

（2） 強調表現はタイミングカーブを使って表現することができる．

（3） 強調表現を表すタイミングカーブはキャラクタの違いによらない．

（4） どの強調表現が使われるかは，動作の種類による．

ということがわかった．

この調査，分析をもとにして，以下に示す強調表現法を提案した．

（1） 基本的な強調表現を表す8つのタイミングカーブを整理した．

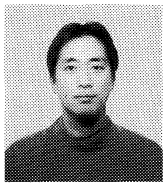
（2） 入力された動作の種類を解析する手法を提案した．

（3） 解析された動作の種類をもとに，適当な強調表現を自動的に付加するためにMotion Filterという手法を提案した．

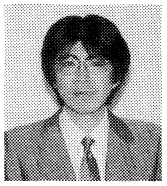
また，Motion Filterが出力したスケルトンモデルをレンダリングアプリケーションによってレンダリングし，1つのアニメーション作品を作成した．本研究によって，アニメーション制作上困難であった動画作成における強調表現の付加を，自動化することが可能となった．

〔参 考 文 献〕

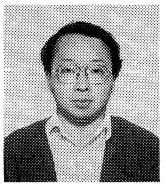
1) M. Kaneko: “A Process of Making Animation”, CG-ARTS, (1991)
2) 鵜沼，武内：“感情を伴った人間の歩行アニメーション”, monthly 画像ラボ，**5**, 6 (1994)
3) L. Bezault, R. Boulic, N.M. Thalmann, and D. Thalmann: “An Interactive Tool for Design of Human Free-Walking Trajectories”, Creating and Animating the Virtual World (1991)
4) Ronan Boulic, Daniel Thalmann: “Combined Direct and Inverse Kinematic Control for Articulated Figure Motion Editing”, ACM SIGGRAPH ’93 Course Notes, No.80, pp.16-26 (1993)
5) 三輪，大口ほか：“CG夢博物館”，株式会社富士通経営研修所（1992）
6) M. Schafer: “Acclaim Motion Capture System Technical Issue”, ACM SIGGRAPH ’94 Course Notes, No.9, pp.62-68 (1994)
7) 中田 靖：“ゲーム，アニメ業界で導入進むモーションキャプチャ”，日経CG，1995年2月号，pp.86-95 (1995)
8) ジョン・ハラス，ロジャー・マンベル，伊藤逸平・訳：“アニメーション＜理論・実際・応用＞”，ダヴィッド社（1972）
9) Harold Whitaker, John Halas: “アニメーションのタイミング技法” ダヴィッド社（1983）



佐藤 修一（さとう しゅういち） 平成7年，埼玉大学理工学研究科修士課程修了．同年，東京工業大学理工学研究科博士課程入学．同大学にて，CG，コンピュータアニメーションに関する研究に従事．



近藤 邦雄（こんどう くにお） 昭和54年，名古屋工業大学第2部機械工学科卒業．東京工芸大学電子工学科講師を経て，平成元年，埼玉大学工学部情報工学科助教授．CG，ユーザインタフェース，形状モデリング，感性と知識をもとにした画像処理の研究に従事．工学博士．正会員．



佐藤 尚（さとう ひさし） 平成元年，国際基督教大学修士課程修了．平成2年，埼玉大学工学部情報工学科助手．アルゴリズムの設計と解析，CG，曲面理論などの研究に従事．

島田 静雄（しまだ しずお） 昭和29年，東京大学工学部卒業．名古屋大学工学部助教授，教授を経て，平成2年，埼玉大学工学部情報工学科教授．自動作図とグラフィックス，情報管理，データベース，日本語処理の研究に従事．工学博士．

金子 満（かねこ みつる） 昭和36年，慶應義塾大学卒業．同年，(株)フジテレビジョン入社．南カリフォルニア大学留学後，昭和49年，(株)MK，昭和62年，メトロライトスタジオ設立．現在，東京工業大学博士課程にて，次世代アニメーションシステムの研究に従事．

Motion Emphasis Filter for Making Mental Motion of 3D Characters

Yoshiyuki KOIE* Saitama University
Toshihiro KONMA† Shobi University
Kunio KONDO‡ Saitama University

1 Introduction

This paper describes a "Motion Emphasis Filter" for making mental motion of 3D characters in computer animation. Mental motion is an exaggerated motion which human feel as real motion. Emphasized expression is an effective way of making motion in animation [Halas1981]. However, it is difficult to learn and use the expression, because it depends on the experienced hand of the animator. We proposed a "Motion Emphasis Filter" . Using this method, we can control and design a character motion. Motion Emphasis Filter accepts keyframes and Motion capture data as input motion and transforms these into emphasized motions. Emphasis motion is controlled by some parameters. It works interactively and is friendly to most users who wish to design animation.

2 Emphasized Motion Effects

In the animation, the exaggerated operation using various techniques has been proposed [Sato1995, Kobayashi1998]. We analyzed an emphasized motion of a character. These can be classified into the following three types. (1) Previous action, (2) Acceleration, (3) Expansion and Squash. Mental Motion is generated using these types.

3 Motion Emphasis Filter Algorithm

This section describes our proposed motion emphasis filter algorithm. Fig.1 shows the pass of an original motion and the emphasis motion of human arm. The process of motion emphasis using the proposed method is the following.

(1) User input the part (O, P_0) of the 3D character which we want to emphasis.
(2) The acceleration of the motion of arm is calculated.
(3) The Timing of original motion is changed to a new timing using the value of the acceleration.
(4) Expansion and Squash of the shape of 3D characters is changed using the value of acceleration.

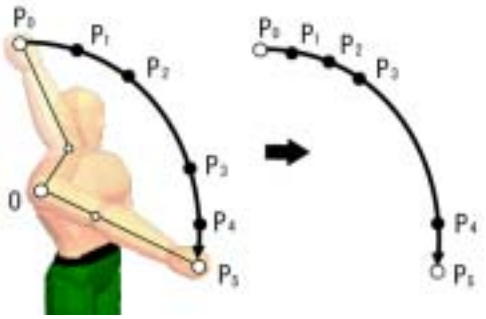


Fig.1 Motion Emphasis Filter Algorithm

*email:koie@ke.ics.saitama-u.ac.jp
†e-mail:komma@shobi-u.ac.jp
‡e-mail:kondo@keics.saitama-u.ac.jp

4 Examples

Experimental results of making animation are shown Fig.2 and Fig.3. Fig.2(a) shows a jump kick motion by motion capture data and Fig.2(b) shows the emphasized motion. The number in Figure2, and Figure 3 shows a frame number. Fig3 shows a fall back motion.

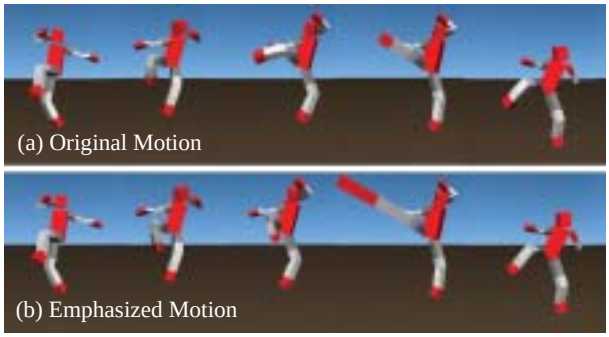


Fig.2 Jump Kick Animation

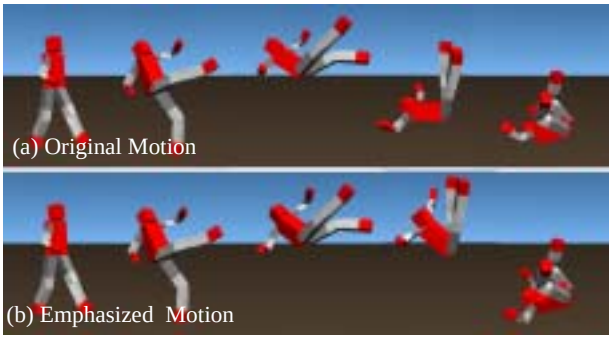


Fig.3 Fall back Motion Animation

5 Conclusions

We proposed a method of Motion Emphasis Filter for generating emphasized motion effects automatically. We analyzed the fundamental method of motion emphasis. Our proposed method is possible to generate the unique emphasized motion using the value of acceleration. We can make an animation with emphasis motion easily.

References

HAROLD WHITAKER, JOHN HALAS. 1981. *Timing For Animation*, Focal Press Limited.

SHUICHI SATO, KUNIO KONDO. 1995. Motion Filter for Emphasizing Expressions in Animation Processing. In *Journal of the IS&T Fourth Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications*, vol. 4, 124–125.

M.KOBAYASHI, K.KONDO. 1998. Emphasized Expression Using Motion Filter in Creating Animation. In *Proceedings of ICECGDG 1998*, 451–454.

RIGHTSLINK

Motion Stylization using a Timing Control Method

Kei TATENO,Wei XIN,
Shoichi OBAYASHI, Kunio KONDO*
Saitama University

Toshihiro KONMA‡
Shobi University

1 Introduction

The purpose of this research is to propose a method of motion stylization using a timing control method. Our final goal is to make cartoon–like 2D animation from 3D animation data. Hatsuyama[1] and Koie[2] introduced methods to exaggerate motion, but their methods don't deal with all the exaggerated expressions. Therefore, we propose a method that could handle all these expressions together. Furthermore, our method can extract key-frames from motion capture data, and 2D robot-like motion and character motion could be made based on key-frames extracted from motion capture data.

2 Overview of Our Proposed Method

2D animation made by referencing raw motion capture data lacks of cartoon-like characteristics. To overcome this, great effort is needed to edit the motion capture data.

In this research, firstly, we extract the keyframes which characterize the original motion. This method of keyframe extraction is based on Xin's research[3]. Then we can make robot-like motion with liner-interpolation between two keyframes. Also, characteristic cartoon–like 2D animation can be made using a timing control method. This is called "Mental Motion". **Fig.1** shows how a curve is edited in this method.

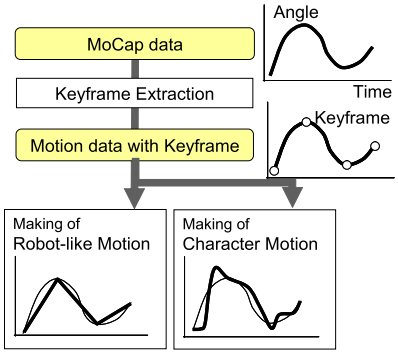


Fig.1 Overview of Motion Stylization

3 Making of Motion using Timing Control Method

Fig.2 shows the outline of our system. In this system, for motion capture data, we first select the parts to be exaggerated from the character's skeleton, and then we input the range of frames of exaggeration. After that, we add anticipation to the motion. Finally, we control timing by editing timing curve. In timing control, deceleration and acceleration are edited and harmonized interactively based on the animator's technique.

4 Examples of Motion Making

Fig.3 shows examples of two kind of motion with each timing curves. Fig.(a) is an original motion capture data.

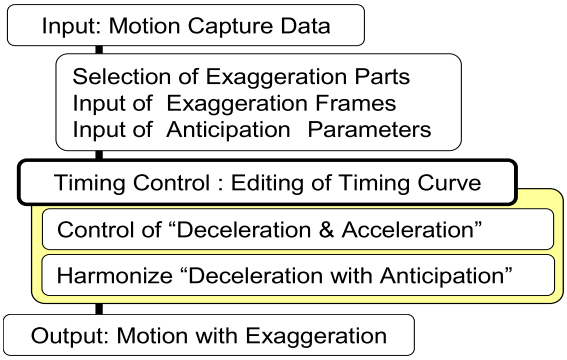


Fig.(b) is exaggerated motion by applying timing control method and is rendered with the cartoon blur method[4]. The timing curve of Fig. (b) is based on our investigation of 2D cartoon animation techniques.

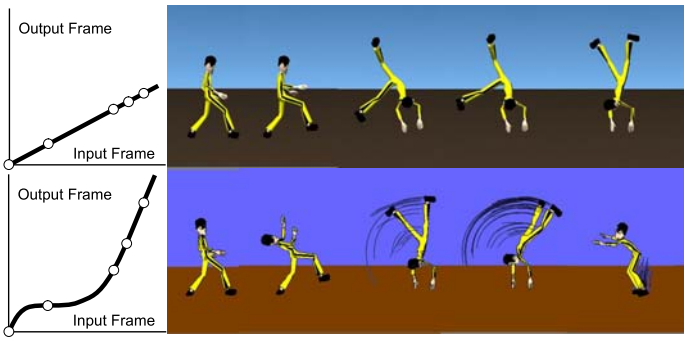


Fig.3 Examples of Mental Motion

5 Conclusions

In this research, we proposed a method that stylize motion and handle all the exaggerated expressions together using timing control. With this method, exaggerated expressions can be generated by adjusting deceleration and acceleration interactively based on the animator's technique. Using our timing control method, robot-like motion and cartoon-like characteristic motion could be implemented.

References

[1] Hatsuyama K., Kondo K."Motion emphasis method for 3D character animation", *The 64th National Convention of IPSJ,* vol.4 pp.847-848, (2002)

[2] Koie Y. , Kondo K. and Konma T. "Motion Emphasis Filter for Making Mental Motion of 3D Characters", *Siggraph 2004 Sketches* (2004)

[3] Xin W., Kondo K., Tateno T ., Konma T. "Key Pose Extraction Method from Motion Capture Data", *ADADA 2005 proceedings*, pp. 92-93 ,(2005)

[4] Obayashi S., Kondo K. and Konma T. "Non-Photorealistic Motion Blur for 3D Animation", *Siggraph 2005 Sketches*(2005)

*e-mail: {tateno,xin, obayasi_s, kondo}@ke.ics.saitama-u.ac.jp
†e-mail:komma@shobi-u.ac.jp

RIGHTSLINK

Cartoon Blur: Non-Photorealistic Motion Blur

Yuya Kawagishi Kazuhide Hatsuyama Kunio Kondo
Saitama University
Japan
{yuya, hat, kondo}@ke.ics.saitama-u.ac.jp

Abstract

Motion blur is a well-established technique which prevents strobing by making fast moving objects appear blurred. In cel animation however, different methods are used and this paper presents a new technique to emphasise the motion of cartoon objects through the application of geometry. We term the involved non-photorealistic motion blur as 'cartoon blur'. In order to express cartoon blur, we have classified the expressions used in cel animation and analysed the diversity of each expression to establish parameters that allow animators to control the expressions.

1. Introduction

With the introduction of digitised cel animation, researchers have investigated a variety of techniques to simulate different cel animation styles. In this paper we further examine cel animation styles and focus particularly on the expression of objects in motion.

In computer animation, motion blur is used to obtain the same effect as the after-image phenomenon that happens to the human eye. This results in animated motion which appears natural and smooth to the viewer. In cel animation, different techniques are available to achieve this (Figure 1) through the use of creative and non-photorealistic methods that have a natural effect and are easy to understand. We define motion blur in cel animation as 'non-photorealistic' motion blur and in computer animation as 'photorealistic' motion blur. In computer animation, to render non-photorealistic images using motion blur technique, the technique should be the one used in the conventional cel animation.

There have previously been research studies examining the above techniques. Hsu et al. [1] proposed a cel animation approach that imitated a technique termed speed lines, employing triangular slivers originating on the rear side of moving models. Lake et al. [2] proposed a similar technique to Hsu et al, also using speed lines. On the other hand, Strothotte et al. [4] proposed three stylistic techniques of sketch rendering to express the dynamic behaviour of moving images, whilst Masu [3] used techniques drawn from cartoons to depict motion. In this present study, the proposed approach is for users to determine which vertices of an object require speed lines and for the motion lines to then track the vertices transfer.

The expressions used by the above researchers has helped to establish standard cel animation terminology. In this paper we further classify the non-photorealistic motion blur used in cel animation and introduce a new term to define the expression techniques as 'cartoon blur'. As stated above, the expressions are creative and vary according to different situations and scenes. Therefore, each classified expression also varies and, to control these, parameters should be established that allow the diversity of each expression group to be analyzed.

To achieve this, we present an algorithm for forming cartoon blur from given animation data. The proposed approach will allow users to easily obtain a desired movement effect through parametric control.

Figure 1. Example of Non-photorealistic Motion Blur

2. Investigation of Cel Animation

We present the results of the classification study and analysis of non-photorealistic motion blur.

Proceedings of the Computer Graphics International (CGI'03)
1530-1052/03 $17.00 © 2003 IEEE

IEEE COMPUTER SOCIETY

2.1. Classification of Non-photorealistic Motion Blur

Animators use various expressions to take into account painting styles and situations when drawing individual cartoon frames. Whilst some expressions are completely unrelated, many expressions share common linkage. We classify non-photorealistic motion blur into three main groups, all of which are fundamental techniques. The results are shown in Table 1 and examples of each expression are shown in Figure 2.

Table 1. Classification of Non-photorealistic Motion Blur

Group	Expression
Lines	Lines Along Path
After-Images	Replication of Character
Deformation	Jagged Contour

Figure 2. Example of Lines, After-Images and Deformation

(1) Expression by Lines
This technique is referred to as speed-lines and is drawn along the path from the rear side of an object.

(2) Expression by After-Images
This technique replicates either the whole of, part of or particular contours of an object and is drawn on the objects rear side.

(3) Expression by Deformation
This technique uses jagged edges to deform the rear contour of an object.

2.2. Analysis of Non-photorealistic Motion Blur

Photorealistic motion blur is achieved by generating an image which interpolates between present and past frames. Similarly, past information is also used in generation of non-photorealistic motion blur. Some techniques are based on the path of an objects movement whilst other techniques are based on its past position. The three fundamental expressions outlined above all show the motion effect on the opposite (rearward) side of the objects transfer direction. Therefore, it is necessary to closely examine the segment at the rear contour of the object and establish its path of movement.

The elements constituting the diversity and features of each expression are shown in the following list. Within these, parameters will later be set to control each element.

(1) Lines
1. Number
2. Length
3. Colour and change of colour

(2) After-Images
1. Number
2. Interval
3. Colour and change of colour
4. Width of lines

(3) Deformation
1. Number of jagged contours that generate the distortion
2. Style of the distortion

3. Generation of Cartoon Blur

We can analyse the above elements to establish the data and parameters necessary to express cartoon blur. From further analysis, Figure 3 shows that there is a relationship between cartoon blur processing and the input/output processing of computer animation.

From data that represents the model, and motion control data that represents its movement, we are able to accurately generate both cartoon animation and cartoon blur.

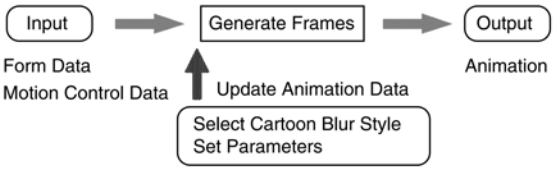


Figure 3. Cartoon Blur and Input/Output in Computer Animation

3.1. Outline Method of Generating Cartoon Blur

Figure 4 shows the outline method for generating cartoon blur. Firstly, we select the face which is required to generate the cartoon blur. Secondly, we prepare two processes that relate to the target face. One process detects the rear edges whilst the other process generates each cartoon blur.

IEEE COMPUTER SOCIETY

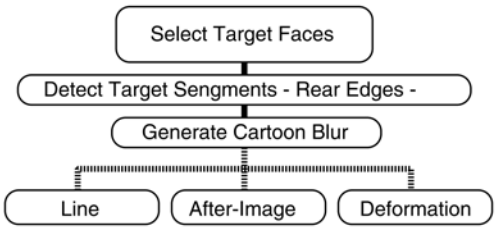


Figure 4. Outline of Generating Cartoon Blur

3.2. Detect Rear Edges

In our proposed technique the segments which form the cartoon blur comprise the edges on the rear side of the object. The algorithm detects these rear edges from the given input face data (Figure 5).

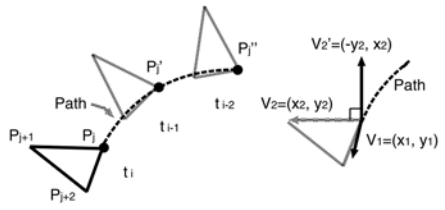


Figure 5. Detect Rear Edges

On a face at t_i;
Track each vertex counterclockwise{

Store vertices P_j, P_j', P_j'' at t_i, t_{i-1}, t_{i-2};
Interpolate the path with P_j, P_j', P_j'';

Create vector V_1 which indicates motion direction from the path;
Create vector V_2 which goes to next vertex P_{j+1};
Create vector V_2' which is vertical for V_2;
Obtain the dot product of V_1 and V_2';
DotProduct: $V_1 \cdot V_2' = x_1 y_2 - y_1 x2$

If DotProduct is possitive
Judge the edge as rear;

}

3.3. Algorithm for Generating Cartoon Blur

(1) **Generate Lines**
The algorithm is shown below, with Figure 6 demonstrating the technique. The elements that express Lines are set using specific parameters. An explanation of the words and phrases used are explained in the following text:

- Segments relates to the number of divisions per unit length.
- Length is the start point of a line to the end point of the same line.
- Dispersion of a lines position is determined by how much a random value influences the line position.
- RGB values range from (0, 0, 0) to (255, 255, 255).
- When a point is mentioned as a position, the value will range from 0.0 to 1.0. The point 0.0 is the current frame point.
  The point 1.0 is the previous frame point.

Set elements{

Number = (Segments);
Length = ([Initial, Terminal] point, Random);
Colour = ([Initial, Terminal] point RGB values, Random);
Width = ([Initial, Terminal] point pixel values, Random);
Dispersion = (Random);

}

Divide the segments at t_i, t_{i-1}, t_{i-2};
Repeat this loop for the number of divisions{

Interpolate the path with vertices at t_i, t_{i-1}, t_{i-2};
Obtain the length;
Obtain the position;

}
Connect lines(Length, Colour, Width, Position);
Update Form data;

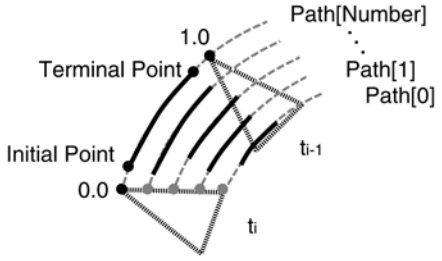


Figure 6. Generate Lines

IEEE COMPUTER SOCIETY

(2) **Generate After-Images**
Figure 7 demonstrates the algorithm below.

- Travelled distance refers to how much the object's gravity point moves per frame.
- Threshold refers to how long the object must move to generate one After-Image.
- These two parameters determine the number of After-Images.
- Interval refers to how far one After-Image is from the next After-Image. Thereafter users can set the Time Frame.
- Head image is the nearest After-Image to the current image.
- End points defines both ends of the lines that generate a model.

Set elements{

Number = (Travelled distance, Threshold);
Interval = (Time frame);
Colour = ([Head, Tail] images RGB values);
Line width = ([Head, Tail] images pixel values);

}

Obtain the travelled distance of the object;
Determine the number of After-Images;
Store end points at t_i, t_{i-1}, t_{i-2};
On each end point{

Interpolate path width vertices at t_i, t_{i-1}, t_{i-2};
Obtain the interval;
Set each After-Image position;

}
Connect end point(Interval, Colour, Line width);
Update Form data;

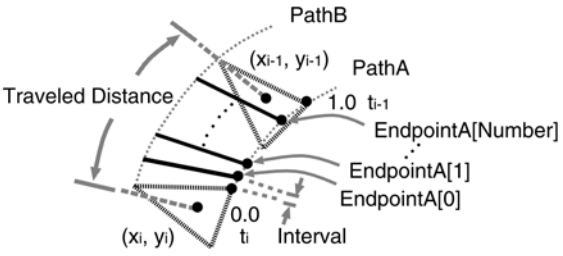


Figure 7. Generate After-Images

(3) **Generate Deformation**
Figure 8 demonstrates the algorithm below.

- Rear edges are divided. Divided vertices (except for end points) are shifted within the range of the maximum value.
- Value of small shift is one of the maximum values when vertices are shifted. Value of large shift is the same as for a small shift.

Set elements{

Number = (Segments);
Form = ([Large, Small] vertex-shift, Random);

}

Divide the segments at t_i, t_{i-1}, t_{i-2};
Repeat this loop for the number of divisions{

Interpolate path width vertices at t_i, t_{i-1}, t_{i-2};
Set form;

}
Connect divided and shifted vertices;
Update Form data;

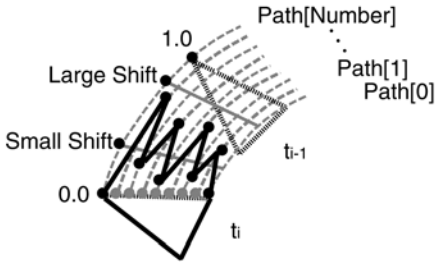


Figure 8. Generate Deformation

4. Implementation

4.1. Control by Parameters

We show below the results obtained with the proposed technique applied to 2D animation data sets. These examples were controlled through the use of set parameters.

- Number of Lines
  Figure 9 illustrates that the number of lines are controlled. The furthest left figure shows that all the lines are drawn with a parameter of 1.0. In contrast, the furthest right figure shows that only about 20 % of the lines are drawn by comparison to the furthest left figure.

IEEE COMPUTER SOCIETY

- Colour of Lines
  Figure 10 shows that the colour of lines is also controlled. The bottom numbers indicate that the colour of the initial points and terminal points is determined by RGB values.
- Interval of After-Images
  Figure 11 shows that the interval for each after-image is controlled. The furthest left figure shows that each after-image has a time interval of 0.1.
- Form of Deformation
  Figure 12 shows that the value for the vertex shift is controlled. The furthest left figure shows that the value for the large shift is 0.1; whereas the small shift values are 0.02, 0.04, 0.06 and 0.1.

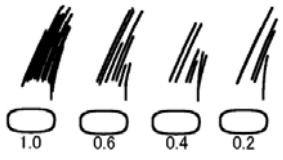


Figure 9. Number of Lines

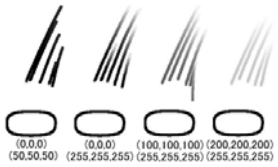


Figure 10. Colour of Lines

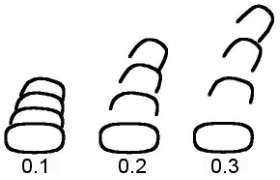


Figure 11. Interval of After-Images

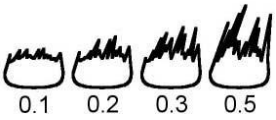


Figure 12. Form of Deformation

4.2. Experimental Results

A number of cartoon blur samples generated by our algorithm are shown below. The background image is in handwriting and the moving object is a numerical model. Figure 13 is an animation of a shooting star, showing the results of the generated cartoon blur. We selected the star as a target for generating cartoon blur and we also selected the pattern of Lines. All parameters and algorithms used in this experiment were set according to our preferences.

Figure 14, 15 and 16 illustrate the situation of a car moving up a slope. In this experiment, we chose the car body as the target for generating the cartoon blur, and used the algorithm to detect the rear edges of the body. We selected the patterns for cartoon blur, Lines, After-Images and Lines-and-Deformation with our preferred parameter values. Figure 16 shows that with these settings, two or more instances of cartoon blur can be generated. Similarly, Figure 17 shows other input data and Figure 18 shows the results of the pattern of a deformation cartoon blur. These results indicate that different motions or speeds generate different effects.

5. Conclusion

In this paper we intended to introduce a method for computer animation, based on a cel animation technique. We classified cel animation non-photorealistic motion blur into three primary groups, and then analysed the groups for potential implementation of computer animation techniques as a means to create cartoon blur. On the basis of the analysis we developed an algorithm to generate cartoon blur, with the results presented as follows:

- Our proposed technique generates cartoon blur semi-automatically into given animation data.
- We provide a number of parameters that enable users to obtain their desired animation effects.

Our proposed technique has some limitations regarding the form and movement of objects. For example, the algorithm only uses one method of detecting edges and may be less effective at establishing data for irregular figures. The use of our proposed technique may therefore not fully provide the user with the desired capability. To overcome this, further work is needed to consider where to generate cartoon blur and develop appropriate algorithms. With regard to the movement of objects, if there are two or more joints the proposed technique will not recognise the separate joint movements.

Our research shows the possibility of applying the technique to 3D model animation as 3D models are projected as 2D images regardless of the animation style. If in-depth information is established for this, the expression of 3D animation techniques can then be developed.

References

[1] S. C. Hsu and I. H. H. Lee. Drawing and animation using skeletal strokes. *Proceedings of ACM SIGGRAPH 94*, pages 109–118, 1994.

[2] A. Lake, C. Marshall, M. Harris, and M. Blackstein. Stylized rendering techniques for scalable real-time 3d animation. *Non-Photorealistic Animation and Rendering*, 2000.

[3] M. Masuch. Speedlines: Depicting motion in motionless pictures. *ACM SIGGRAPH 99 Technical sketch*, 1999.

[4] T. Strothotte, B. Preim, A. Raab, J. Schumann, and D. R. Forsey. How to render frames and influence people. *Proceedings of euroGraphics*, 1994.

IEEE COMPUTER SOCIETY

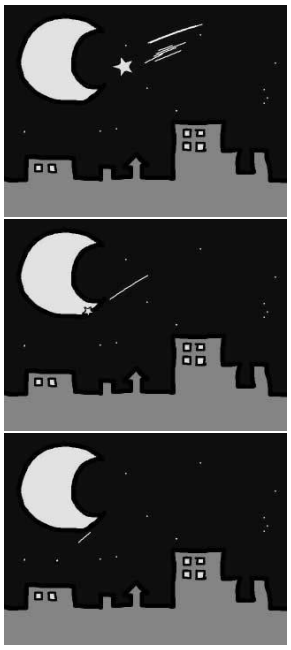


Figure 13. Lines (Star)

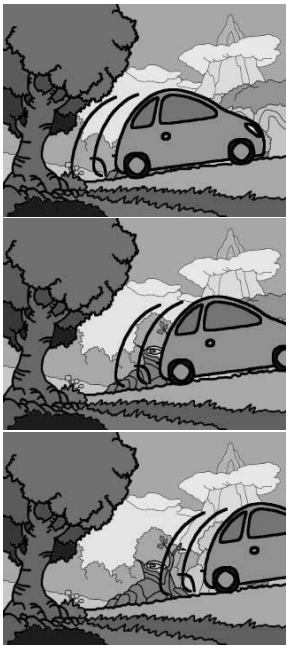


Figure 15. After-Images (Car)

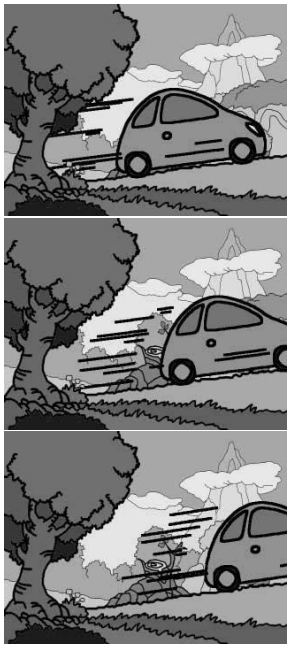


Figure 14. Lines (Car)

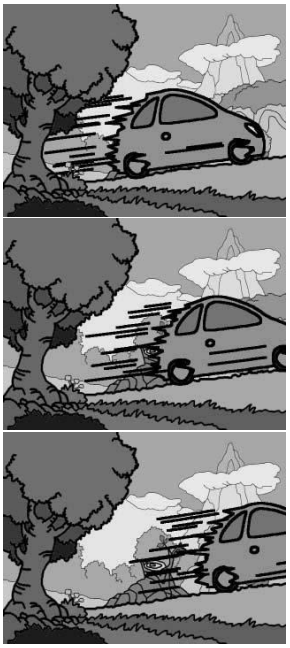


Figure 16. Lines-and-Deformation (Car)

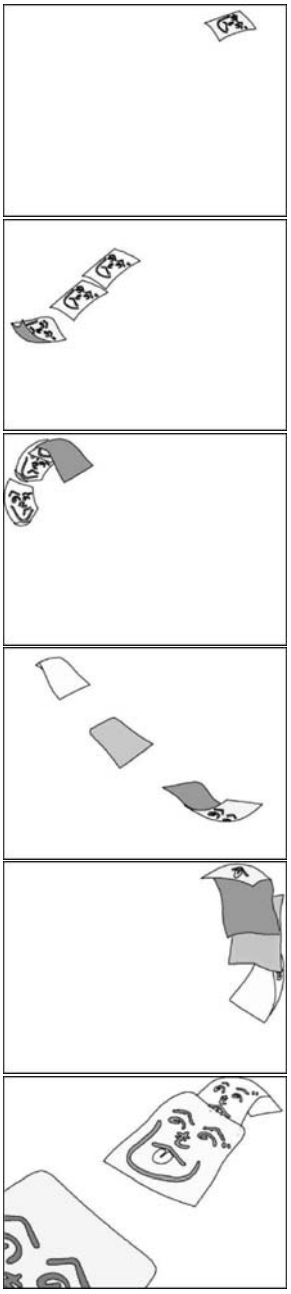


Figure 17. Input Data (Paper)

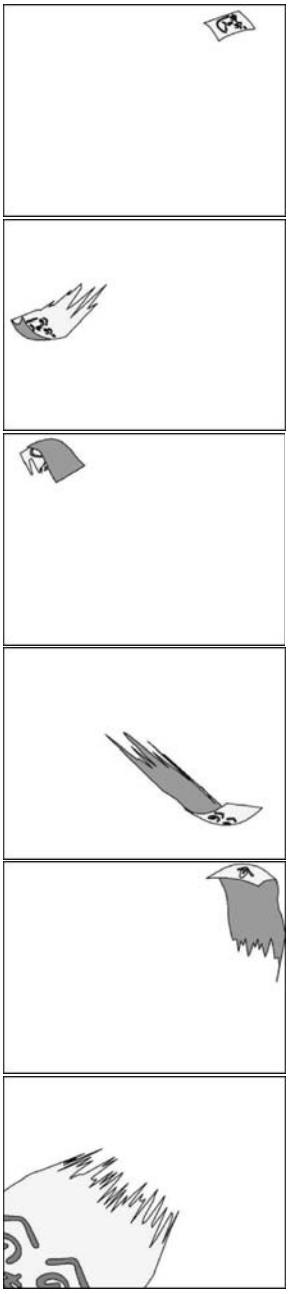


Figure 18. Deformation (Paper)

IEEE COMPUTER SOCIETY

Non-Photorealistic Motion Blur for 3D Animation

Syoichi OBAYASHI*, Kunio KONDO*
Saitama University

Toshihiro KONMA‡, Ken-ichi IWAMOTO‡
Shobi University

1 Introduction

In cel animation, there are useful techinques to rendering movements through the use of non-photorealistic methods that have a natural effect and are easy to understand. We define motion blur in cel animation as `non-photorealistic' motion blur and in computer animation as `photorealistic' motion blur. In computer animation, to render non-photorealistic images using motion blur technique, the technique should be the one used in the conventional cel animation.

There have previously been research studies examining the above techniques[1-3]. In this present study, the proposed approach is for users to determine which vertices of an object require speed lines and for the motion lines to then track the vertices transfer.

In this paper, we classify the non-photorealistic motion blur used in cel animation and an algorithm for forming cartoon blur from given 3D animation data. Our proposed method will allow users to easily obtain a desired movement effect through parametric control.

2 Analysis of Non-photorealistic Motion Blur

The three fundamental expressions (Fig.1) show the motion effect on the opposite (rearward) side of the objects transfer direction. Therefore, it is necessary to closely examine the segment at the rear contour of the object and establish its path of movement. The elements constituting the features of each expression are shown in the following. (1) Lines: Number, Length, Colour and change of colour,(2) After Images:Number, Interval,Colour and change of colour, Width of lines, (3) Deformation: Number of Jagged contours that generate the distortion, Style of the distortion.

From data that represents the model, and motion control data that represents its movement, we can accurately generate both cartoon animation and cartoon blur.

Fig.1 Examples of Cartoon Blur

3 Generation of Cartoon Blur

We analysed the above elements to establish the data and parameters necessary to express cartoon blur. From further analysis, Fig.2 shows the outline method for generating cartoon blur. Firstly, we select the face which is required to generate the cartoon blur. Secondly, we prepare two processes that relate to the target face. One process detects the rear edges whilst the other process generates each cartoon blur. The segments which form the cartoon blur comprise the edges on the rear side of the object. The algorithm detects these rear edges from the given input face data.

4 Examples

Experimental results of making animation are shown Fig.3. Fig.3(a,b) shows cartoon blur of line and Fig.3(c,d) shows cartoon blur of after images, and Fig3(e,f) shows images with deformation.

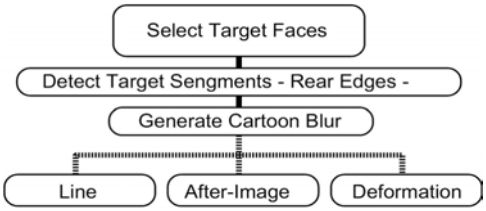


Fig.2 Outline of Generating Cartoon Blur

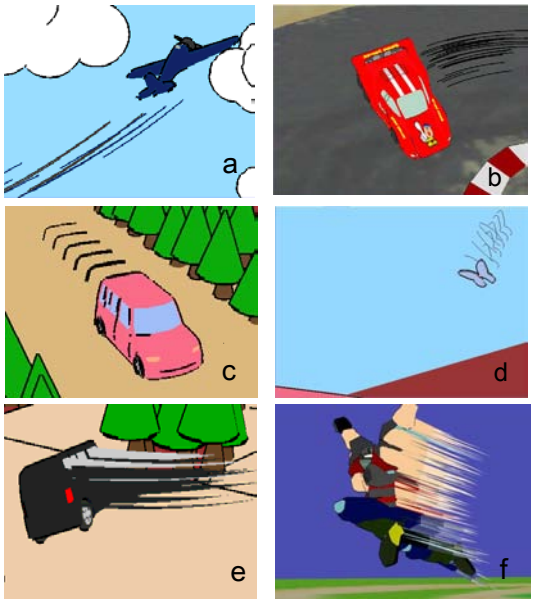


Fig.3 Examples of Cartoon Blur

5 Conclusions

In this paper, we described a method for computer animation, based on a cel animation technique. we developed an algorithm to generate cartoon blur, with the results presented as follows: Our proposed technique generates cartoon blur semi-automatically into given animation data. We provide a number of parameters that enable users to obtain their desired animation effects.

References

[1] Siu Chi Hsu and Irene H. H. Lee. 1994. “Drawing and Animation using Skeletal Strokes”, *Proceedings of ACM SIGGRAPH 94*, pages 109-118.

[2] M Masuch. 1999.Speedlines: Depicting Motion in Motionless Pictures. ACM SIGGRAPH 99 Technical sketch.

[3] Yuya Kawagishi, Kazuhide Hatsuyama, Kunio Kondo.2003.” Cartoon Blur: Non-Photorealistic Motion Blur”. *Proc. of Computer Graphics International*, pp.276-281

*e-mail: {obayasi_s, kondo}@ke.ics.saitama-u.ac.jp
†e-mail:komma@shobi-u.ac.jp

RIGHTSLINK

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

映像制作支援のためのシナリオ記述・構造化システムの開発

戀津 魁† 菅野 太介† 三上 浩司‡ 近藤 邦雄‡ 金子 満†

東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科†

東京工科大学メディア学部‡

Information Management System Development for Scenario Writing

Kai Lenz† Daisuke Kanno† Koji Mikami‡ Kunio Kondo‡ Mitsuru Kaneko†

Graduate School of Bionics, Computer and Media Sciences , Tokyo University of Technology†

School of Media Sciences , Tokyo University of Technology‡

kai-lenz@mf.teu.ac.jp dk0721@yahoo.co.jp {mikami, kondo, mits} @ media.teu.ac.jp

アブストラクト

映像コンテンツの需要は放送媒体の多様化から増加傾向にあり，映像コンテンツ制作に必須となるシナリオの需要も増大している．シナリオは登場人物設定や背景世界設定など多種多様に渡る情報から成り，また映像の長さに応じて膨大な文字数を記述する必要がある．そのため，執筆未経験者にとってシナリオを記述することは難しく，またシナリオライターなどの専門家でも完成シナリオは構造を持たないデータであるため情報を抽出し評価することも難しく，質の高いシナリオ制作のための支援システムが望まれていた．この課題を解決するために，本研究では，シナリオ記述を支援する文書情報管理システムの開発を目的とする．本提案システムに記述するシナリオ文書はデータベースに保存できる．このデータベース機能の特徴は，シナリオの構造の把握ができるため評価が容易であること，映像化の際に必要な情報抽出が可能であることである．本研究では，提案システムの有用性を示すため，大学院の授業及び映像業界の社会人を対象としたセミナーにおいてシナリオ記述実験を行った．これらの実験からシナリオ執筆未経験者は十分な量を持ったシナリオ制作が可能であること，シナリオライターなど専門家は映像制作のために必要な質を持つシナリオ制作ができたことが明らかになった．

Abstract

Accompanying the increasing demand for movie content, the demand for movie content scenarios is also on the rise. Scenarios exist as large bodies of text containing detailed information such as character profiles and world history. Due to the length and complexity of scenarios, they are extremely difficult for inexperienced writers to write and evaluate. Furthermore, extracting information from the large amount of text is also difficult. In response to these problems, Kaneko developed the bi-step method, which defines and suggests how to write all the components necessary for a scenario. In our research, we developed an information management system based on the bi-step method, specific to scenario writing. Using our system, inexperienced writers were able to complete full scenarios that were saved to a database. These scenarios had clear, defined structures and were easy to evaluate and navigate, thus solving the above mentioned problems in scenario writing, evaluation and usage.

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

1. はじめに

携帯電話の高性能化やサービスの多様化，インターネットによる動画配信の増加，さらにはテレビの多チャンネル化など放送媒体の多様化に伴い映像コンテンツの需要は増加傾向にある[1]．映像コンテンツ制作にはシナリオが必要不可欠であるため，映像コンテンツの需要の増大に伴いシナリオの需要も増大しているといえる．

シナリオは『柱』，『台詞』，『ト書き』の3つの要素から成るシーンの連続によって記述される．ストーリー内で描写される場所または時間が変わるごとに新しいシーンを作成し，同じ場所，時間で展開される内容が1つのシーンとなる．

柱はシーンの先頭に記述する．シーンを開始する時にそのシーンが展開する場所及び時間を記述し，その行をまとめて枠で囲む．台詞はシーン内で登場人物が発言する時に記述する．行頭で登場人物名を記述し，その後ろに字下げをし，発言内容を鉤括弧（「」）でくくり記述する．ト書きはシーン中で起きている出来事やその描写方法を字下げして文章で示す．シナリオの記述例を図1に示す．また，柱を緑枠，台詞を青枠，ト書きを赤枠で示す．

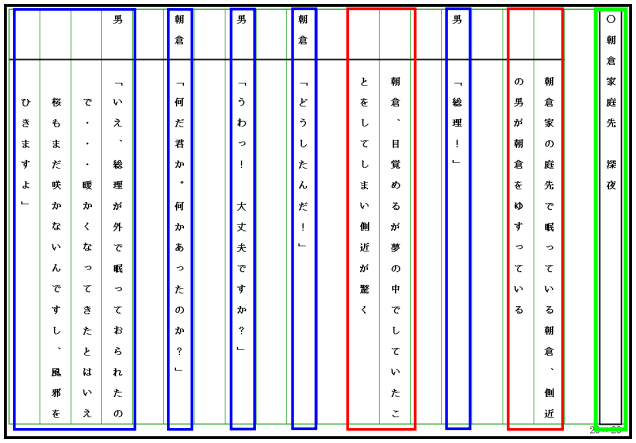


図1：シナリオ記述例

シナリオは，映像制作における初期段階であるプレプロダクション段階で制作される[2]．ストーリーの内容を示し，その内容を基に映像コンテンツを制作するかを検討する．制作が決定した場合，実際に映像制作を行うプロダクション段階においてもシナリオを基に作業を行う．そのため，ストーリーの内容的な充実はもちろん，必要な情報をより明確に示す事が求められる．シナリオはストーリーの内容を示す資料という側面，及び制作スタッフに対しての情報共有のための資料という側面の両方から「作品の設計図」という位置付けとなる．よって，シナリオの完成度はコンテンツの完成度に大きく影響するといえる．

しかし，シナリオ制作は経験のない者には難しい．シナリオは400字詰めの原稿用紙で扱われることが多く，原稿1枚あたり映像1分程度という目安がある．そのため，2時間の映像作品を制作する場合には120枚前後の文章量が必要となり，それを記述するためには膨大な設定情報を考え管理する必要がある．

また，シナリオは映像制作における土台となる部分であるにも関わらず，具体的な方法論がなく執筆者自身の勘や経験によって制作されることが多い．経験豊富な執筆者であっても執筆に必要な情報の整理は難しく，第三者が評価しやすいよう明確な情報を揃えたシナリオを執筆することは難しい．

また，完成したシナリオは原稿用紙またはデジタルデータにて一連の文章として提出される．その場合，映像化を検討する時や，実際に映像化する時に情報の参照が難しい．一連の文章から登場するキャラクターの情報や舞台の情報を把握するためには，膨大な量の文章から目的のキャラクターや場所が描写されている箇所を担当者自らが探し出して読まなければならず，かつ何度も繰り返し読む必要があるため無駄が生じ，制作にかかる期間を圧迫することとなる．

これらの課題に対し，本研究ではシナリオを記述・構造化するシステムを開発しシナリオ情報の管理をしやすくすることで，映像制作支援することを目的とする．

このシステムの特徴は，シナリオ執筆時及びその後の映像制作時に必要な情報を提示することによる段階的なシナリオ記述支援機能と，記述情報を内容別に分割し保存，管理する機能である．このシステムを利用することによって，執筆経験のない初心者であってもシナリオ執筆が容易になる．また，記述したシナリオは評価を行う時や実際に映像化する時に任意の情報を読み出しやすい構造化された形で保存することができ，経験者にとっても情報の整理に役立てることができる．

2. 先行研究

この章ではシナリオ制作の効率化，及び映像制作における情報管理の効率化に関連する先行研究について述べる．

2.1 シナリオライティングのバイステップ手法

金子は著書『シナリオライティングの黄金則』でシナリオライティングのバイステップ手法を提唱した[3]．

従来執筆者の勘や経験に依存していたシナリオ制作において，ワークフロー及び記述すべき内容を明示化し，シナリオに必要な情報を段階的に記述していく．これによってシナリオ制作経験が少なくても必要な情報を把握することができ，フロー及び作品の全体像を把握しながらの記述ができるためシナリオ制作がより容易になる．

しかし，記述するべき情報量が膨大であり，その管理を執筆者に依存しているため依然未経験者には難しい．

2.2 統合化映像制作記述言語『IPML』

三上らは統合化映像制作記述言語IPML（Integrated Production Mark-up Language）を提唱した[4]．

映像制作プロダクションにおいて必要な情報を工程ごとに取りまとめ，統一の言語で管理する事によって工程間の情報共有を円滑にするという構想である．映像制作の上流工程であるシナリオがIPMLの形式に添って記述されていれば，後の工程での制作作業情報の共有が容易になる．

しかし，シナリオをIPMLの形式に記述するためには柱，台詞，

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

ト書きをそれぞれ明確に示しながら分割して記述する必要があり，ライターの負担が大きくなるという問題がある．

2.3 Scenario to XML System

高橋はシナリオを形態素解析し，記述された内容を情報ごとにXMLマークアップするシステムを開発した[5]．

記述されたシナリオに対して処理を行い，キャラクター名等の情報を基にシーンを柱，台詞，ト書きにそれぞれ分割する．

しかし，シーンのように台詞やト書きなどの明確な形態を持たず，シナリオ全体に渡って表現されている登場人物設定や背景世界設定など，シーン情報以外の要素の抽出はできない．

2.4 段階的シナリオ制作支援ソフトウェア

筆者らは金子のバイステップ手法を基にしたシナリオライティングソフトウェアを開発した[6][7]．

金子のバイステップ手法は紙媒体，及びワープロソフトを用いてのテンプレート形式であったため，段階的に複数の情報を記述する際に情報量が多くなり，管理が煩雑になる．この問題点をPHPとMySQLデータベースによるシナリオ制作支援Webサイトを用いて解決し，バイステップ手法の有用性を示した．

しかし，これはバイステップ手法の拡張研究であり，ライター向けの手法であるため情報の構造化及び読み出しは考慮されていない．

2.5 本研究のアプローチ

本研究の目的であるシナリオ記述・構造化支援を達成するため，以上の各従来手法の課題に対して次の提案を行う．

(1)金子のバイステップ手法の資料の煩雑さを軽減するために，シナリオの情報管理システムを提案する．

(2)三上らのIPMLの情報分割がライター任せになり負担が大きくなる課題を，要素別に自動分割する処理によって軽減する．

(3)高橋のScenario to XML Systemのシーン情報以外の情報が抽出できない課題に対して，完成したシナリオを後から構造化するのではなく，シナリオを記述しながら各種要素を分割保存する方法を提案する．

(4)シナリオの各種情報のためのデータベース構造及びインターフェースを提案し，情報の読み出しを容易に行うことができるようにする．

3. 提案システムの概要

この章では本研究の提案システムにおけるシナリオ制作手法，シナリオ記述ワークフロー，構造化シナリオの情報管理の概要について述べる．

3.1 提案システムにおけるシナリオ制作手法

本研究ではシナリオを執筆できるようになる制作支援，及び内容別に構造化され，下流工程において効果的な利用が可能となる形のシナリオを作成できるようにすることを目的としている．そのため，ストーリーの内容によらず統一的なフォーマットでシナリオに含まれる各種要素を扱うことができる必要がある．

そのため，本研究では金子[2]の提唱する『シナリオライティングのバイステップ手法』を開発するシステムのシナリオ制作手法として利用する．バイステップ手法はシナリオを工学的に分析し，執筆者の勘や経験に依存することなくシナリオを制作できるワークフローを明確にした．また，ストーリーを描写するにあたり必要となる要素を過去の作品分析から導き出し，各工程において記述すべき情報をテンプレートとしてまとめた．

シナリオ制作時にはこれらのテンプレートに従い段階的に文字数及び情報量を増やしていく方法を取る．これにより執筆者はシナリオ制作の全体像を把握し，現在どの工程の作業をしているかを明確にしながら記述することが可能になる．また，完成するシナリオはシーンの連続からなる一連の文章ではなく，各種設定資料が統一のフォーマットの元に独立した形となる．図2は作業工程と文字数の目安である．

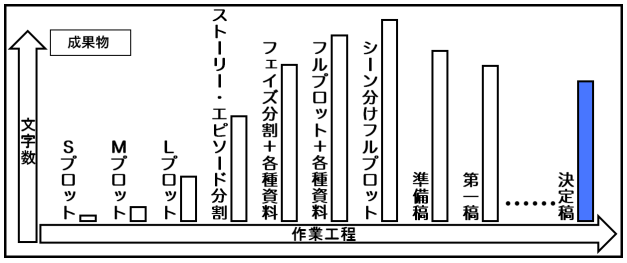


図2：作業工程と文字数の目安

3.2 本研究におけるシナリオ記述ワークフロー

この節では本研究で提案するシナリオ記述支援手法，ワークフロー及び各工程の概要について述べる．本研究ではバイステップ手法の各工程を次の図 3に示すワークフローで扱い，情報を記述していく．

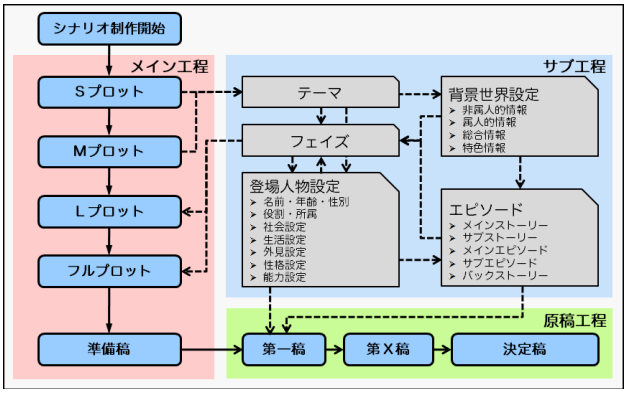


図3：シナリオ記述ワークフロー

左側のメイン工程は最終的にシナリオとなるプロットの記述工程，右側のサブ工程はシナリオ記述に必要な情報をまとめる設定作成工程である．シナリオ制作開始から，まずは作品概要に当たるSプロット，Mプロットを記述し，サブ工程の各種設定資料を充実させる．その後メイン工程に戻り企画書に当たるLプロットや設定を反映させる指標となるフルプロットを記述する．それを基に実際に各種設定を反映させながら原稿となるシ

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

ーンを記述する原稿工程に移る．原稿は修正を加えながら順次改訂を重ね，最終的に下流工程に渡す決定稿として完成させる．各要素の定義及び記述する内容は金子の著書[3]に基づく．

本研究ではこれらの各工程についてそれぞれ記述し，その内容を分けて保存する．執筆者は頭の中で思い描いた内容を，文章として出力することで情報の整理する．また，記述された内容は工程ごとに内容と結びつけることにより，後の工程において必要な情報を素早く探すための指標となる．

3.3 構造化シナリオの情報管理手法

バイステップ手法のような段階的シナリオ制作手法においては非常に多くの種類，数の情報が作成される．しかし，S プロット，M プロット，L プロットや第 1 稿，第 X 稿，決定稿のように順次改訂版となる情報，背景世界設定及び登場人物設定等の独立した情報など，シナリオを構成する情報はツリー構造による管理に向かないという特性がある．最終的な原稿も時系列順に並んではいるが内容に上下関係のない並列なシーンの連続である．そのため，ツリー構造にしたとしてもその階層は浅く，同じ階層に多くの情報が入ってしまうため利点は薄い．

そこで本研究ではシナリオ制作上生じる各種情報を，リレーショナルデータベースを用いて管理することにした．同じシナリオに関わる各種情報を 1 つのプロジェクトとして扱い，データベース上でプロジェクト名をキーとして関係管理をする．

3.4 利用システム及び言語

前節で述べた通り，本研究ではシナリオ情報管理にリレーショナルデータベースを用いる．また，シナリオ情報は執筆者が主に取り扱うが，実際の映像制作中の情報参照やコメント付け等を行う段階ではプロデューサーやディレクターをはじめとして多くのメンバーが同時に利用できる必要がある．そのため，ネットワークを介して利用できるようデータベース管理システムとして MySQL を利用し，情報の記述，閲覧用の窓口として PHP による Web ページを利用した．

MySQL 上でデータベースをプロット用テーブル，登場人物設定用テーブル等それぞれの情報に対して専用の形に設計し，PHPによる入力フォームを用いて作成したバイステップ手法の各テンプレートページにライターが記述した情報を保存する．これによって，段階的に記述されたシナリオはそれぞれの情報が明確な意味を持つデータ群となり，プロダクション工程において閲覧用ページにアクセスすることで必要な情報を任意に抽出できるようになる．

3.5 データベースの構成

構造化シナリオを作成するため，MySQLデータベースには次の9つのテーブルを作成した．

1. ユーザー名及びログインパスワード，ログイン状況（管理用）等のユーザーに関する情報を保存するユーザーテーブル
2. プロジェクト名，作成ユーザー，公開/非公開，パスワード等のログイン関係情報及びプロジェクト全体に関わるタグ等の情報を保存するプロジェクトテーブル
3. タイトルやS，M，Lプロット，フェイズ及びフルプロット等の作品の流れに関する情報を保存するストーリーテーブル
4. 名前や年齢，性別等の基本情報及び性格設定等，登場人物に関する情報を保存する登場人物設定テーブル
5. 作中で語られるストーリー，エピソードなどに関して種別や三幕構成のうちどれに属するかを保存するエピソードテーブル
6. シーンが展開する場所及びその場所で展開するシーンの数や場所の設定等，舞台に関する情報を保存するステージテーブル
7. シーンの番号，タイトル，場所，時間，登場するキャラクター，内容などシーンの柱に関する情報を保存する柱テーブル
8. 記述されたシーンを1行ごとに分割し，行ごとに発言者，発言内容の2つのデータを保存するシーンテーブル
9. プロジェクトに対するメモの投稿者，内容，タグを保存するメモテーブル

ユーザーテーブルを除く各テーブルはプロジェクトテーブルに従属し，プロジェクトテーブルはユーザーテーブルに従属している．また，プロジェクトテーブルに従属するテーブルのうちストーリーテーブル以外は全て一対他の構造になっている．これは 1 つの作品に複数の登場人物，エピソード，シーン等を作成することが想定されているためである．逆に，1 つの作品に対し 1 つしか作成されない各プロット及び背景世界設定等はプロジェクトテーブル及びストーリーテーブルに保存する．メモテーブルのみはメモに対するメモという階層構造を持たせる事も可能にするために再帰リレーションシップを持つテーブルの形とした．図 4は各テーブルの構成を示すER図である．記法はIDEF1Xに従った．

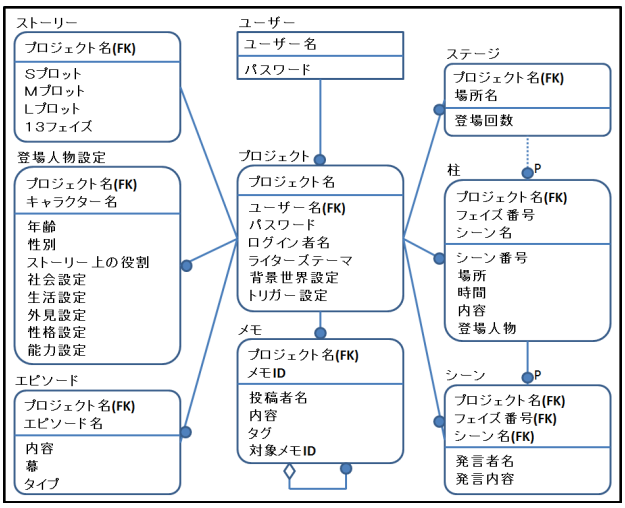


図4：データベース構成

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

3.6 PHPによるサイト構成

シナリオ記述・構造化支援システムはログインページ，メインページ，作業用ページ及び情報入力用ページと情報閲覧用ページなど複数のページ群からなる．情報入力用ページはバイステップ手法の工程ごとに用意し，ページ内の入力フォームに情報を記述して送信ボタンを押す形を取る．ページにアクセスするとそれまでに投稿された情報をデータベースから読み出し表示する．編集を行った場合は送信ボタンを押すことでPHPがMySQLデータベースにアクセスし，記述された文章をそれぞれ適切なテーブルに保存する．詳細については次章で述べる．

4. システム実装内容

この章ではユーザーがシナリオ制作をする際の利用方法に沿って，システムの実装内容について述べる．

4.1 ログイン・プロジェクト選択ページ

初めてサイトを利用する際にはまずユーザー登録を行い，その後プロジェクトを作成する．本システムは個人利用及び複数人でのシナリオ制作を両方考慮している．そのため，プロジェクトには共有可能な設定を追加した．プロジェクトにはパスワードを設定可能であり，パスワード保護をするプロジェクトは非公開に設定可能である．ユーザー登録後はアクセス時にユーザー名及びパスワードを入力することでログイン状態となりプロジェクト選択ページを表示する．

複数人でシナリオ制作を行う場合は，代表者がパスワード付きまたは非公開設定でプロジェクトを作成し，他のメンバーがパスワードの入力をしてプロジェクトにログインすることで共通のプロジェクトを利用することが可能になる．

これらのプロジェクトから閲覧するプロジェクトを選択し，パスワード保護がされていればパスワード，非公開設定ならプロジェクト名とパスワードを入力して決定ボタンを押すことで作業用ページへアクセスする．

4.2 作業用ページ

プロジェクト選択ページから送信した情報を基にプロジェクトを表示する．自身の作成したプロジェクトを選択した場合は入力欄を備えたシナリオの編集画面を表示する．別のユーザーのプロジェクトにログインした場合は保存されている内容を閲覧するのみのページに自動的に転送し，内容の変更をできないようにした．

作業用ページはブラウザ上でフレーム機能を用いて画面を分割し，2つのページを同時に表示している．各ページ左上にリンクメニューを表示してあり，それぞれ好きなページへ移動できる．リンクメニューはJavaScriptとCSSを用いて描画する．通常は各ページの左上部分に1行分の幅で周囲より濃い色のボックスを描画する．ユーザーはトップページにてメニューの展開方法を選択することが可能であり，設定に応じてメニューボックス上にマウスカーソルを運ぶ（以下，オンマウス）またはメニューボックスをクリックすることで下側に展開する．

メニューを展開すると各ページを大まかに分類したものを表示する．このうち，プロット，エピソード・設定，参照・メモ，画面設定はそれぞれさらに展開が可能であり，展開すると右隣に各分類に属するページへのリンクが表示される．図5はメニューを展開した例，図6はさらに参照・メモを展開し各閲覧ページへのリンクを表示した例である．

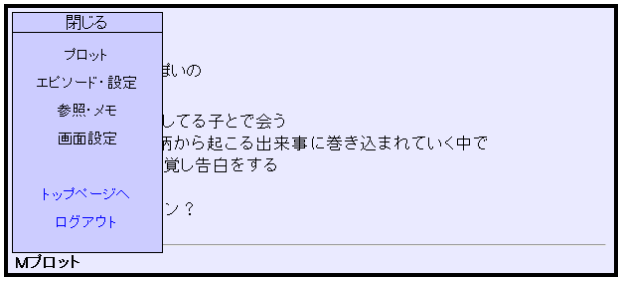


図5：メニュー展開例 1

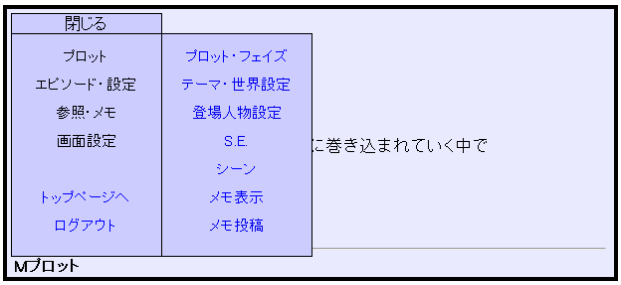


図6：メニュー展開例 2

作業用ページは標準では縦に分割し2つのページを表示するが，画面分割はユーザーが好きなように分割及び分割解除可能である．シナリオ制作の段階に応じて参照すべき資料が異なるため，ユーザーが任意の分割をしてそれぞれに必要な資料のページを表示する．図7はプロットを確認しながらキャラクター設定を記述する場合の例である．

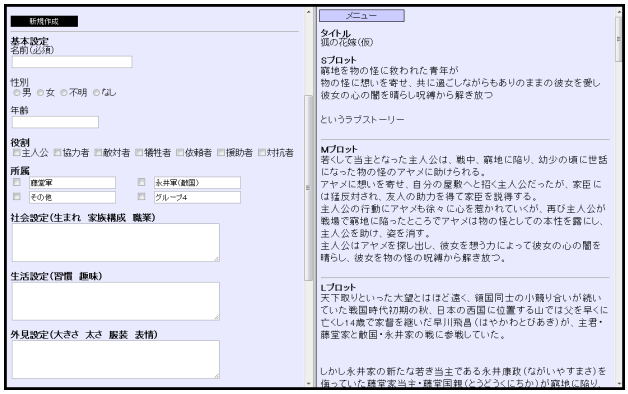


図7：分割インターフェース例 1

画面分割はメニュー内の画面設定から行う．分割された画面内にあるページにあるメニューから分割を選択すると分割画面内で更に分割可能である．図 8は縦に分割した左側にシーン記述ページを表示，右側を更に横に分割しキャラクター設定，エピソード内容を表示しながらシーンを記述する場合の例である．

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

図8：分割インターフェース例 2

4.3 入力用ページ

この節ではユーザーが各種情報を記述するページの仕様を述べ，一部のインターフェース例を示す.

4.3.1 単一情報入力ページ

SプロットやMプロット, 背景世界設定等の 1 つのプロジェクトに対し 1 つの情報しか入力を行わないページは入力欄とボタンのみから成る簡単なページを作成した．アクセス時点での保存されている内容を読み出し，入力欄に挿入して表示する．ユーザーは入力欄の文章を編集し，送信ボタンを押すことで情報が更新される．一部の文字数目安がある物は入力欄の文字数をリアルタイムにカウントし表示する機能を追加した．図 9はMプロットの入力ページである.

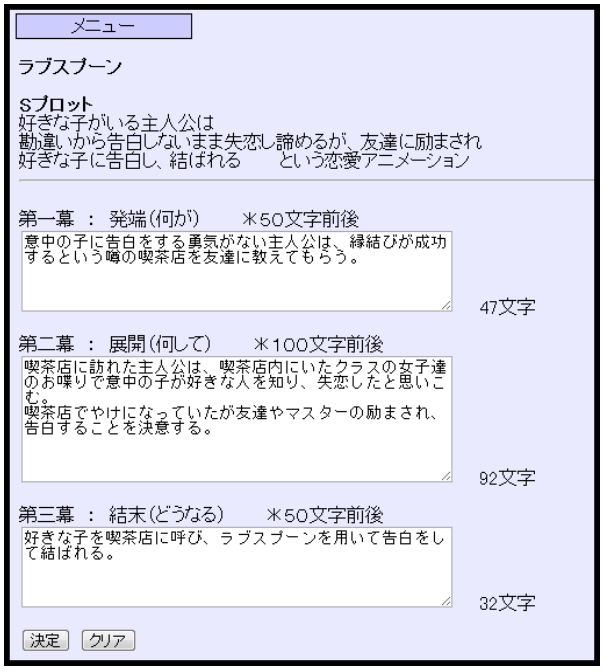


図9：Mプロット入力ページ

4.3.2 複数登録情報投稿ページ

登場人物やエピソードなど1つのプロジェクトに対し複数の情報を作成する内容のものはデータベースへの投稿と任意の投稿済み情報の編集機能が必要となる．プロジェクトに投稿済みの情報がある場合はアクセス時点でそれらをデータベースから読み出し，入力欄の上部にボタンとして羅列する．ボタンをクリックすると対象となる内容のデータを各テーブルから読み出し入力欄に挿入する．図10は登場人物設定のページである.

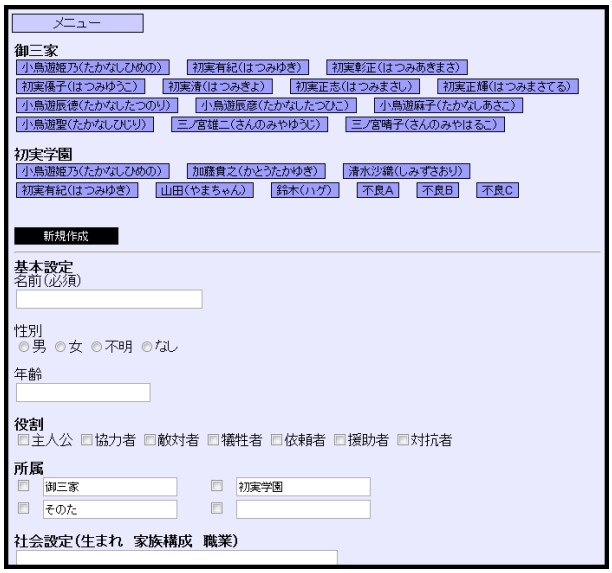


図10：登場人物設定記述ページ

4.3.3 メモ投稿ページ

システムの機能として，メモの投稿，閲覧機能を追加した．メモ投稿ページは作業対象がどのプロジェクトであっても表示可能であり，執筆者以外のスタッフが作成中のシナリオに対しコメントすることが可能となる.

投稿ページにはメモの内容を記述するフォームとメモにつけるタグを選択するチェックボックス，プロジェクトに新しいタグを作成する場合の入力欄を用意した．投稿されたメモは投稿者のユーザー名と選択プロジェクト名を付加してメモテーブルに保存される．投稿されたメモは付加されたタグ及び投稿者別にソート可能である．図11はメモ投稿ページである.

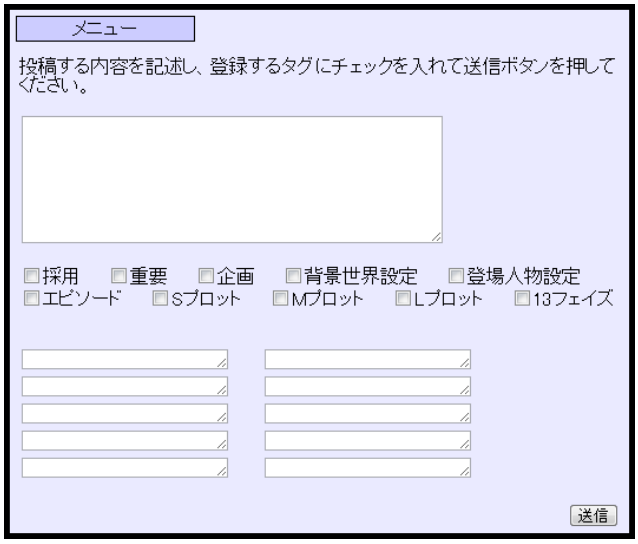


図11：メモ投稿用ページ

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

4.3.4 シーン入力ページ

シーン入力ページは他の情報を参照しながら分割画面内で利用する小サイズのものと全画面で利用する大サイズのものの2つを作成した．

入力欄はシーン番号，タイトル，場所，時間，内容の入力フォームを持つ．シーン番号，場所，時間はプルダウンメニューであり，シーンを新規で記述する際には，シーン番号は現在プロジェクトにあるシーン数＋1の数値を自動で選択し1番後ろのシーンとして扱う．場所は初登場の場所であれば入力欄に直接記述することでステージテーブルに保存する．それまでのシーンで登場済みの場所であればステージテーブルから検索しプルダウンメニュー内に登場回数の多い順に表示されるため，複数回登場するシーンは毎回の入力が必要なくなる．時間は屋内，朝，昼，夕方，夜の5択である．

柱情報の入力が完了したら内容記述欄にシーンを記述する．記述する際には次のルールを適用する．

・ト書き，台詞を同じ行に記述しない
・ト書き内に「」を使用しない

これは後述するシーンの内容を分割保存する際に不具合が生じないためのルールであるが，通常のシナリオ記述のルールと差はなく，違和感なく記述が可能である．

記述された内容は，送信ボタンが押された後次のルールで処理を行い，内容を分割してデータベースの柱テーブル，ステージテーブル，シーンテーブルにそれぞれ保存する．

1. シーン番号，タイトル，場所，時間を柱テーブルに保存
2. 場所が新規であればステージテーブルに保存
3. 内容を1行ごとに分割
4. 行内に「」が含まれているか判断
5. 含まれていなければト書きとしてシーンテーブルに保存
6. 含まれていれば「の前にある文字を発言者名，後ろにある文字を発言内容としてシーンテーブルに保存
7. 発言者がシーン内で初登場した場合，柱テーブルの登場キャラクターに追加

以上の処理によって分割保存されたシーンはシーン閲覧ページにおいて表組みを用いて内容ごとに次のように表示する．

・柱は四角で囲む
・台詞は太字にして発言者名を表示し字下げ後発言内容を表示する
・ト書きは字下げし内容を表示する

それにより標準フォーマットと違い横書きではあるが，はじめにで述べたシナリオと同様の形で表示される．図12はシーンの表示例である．

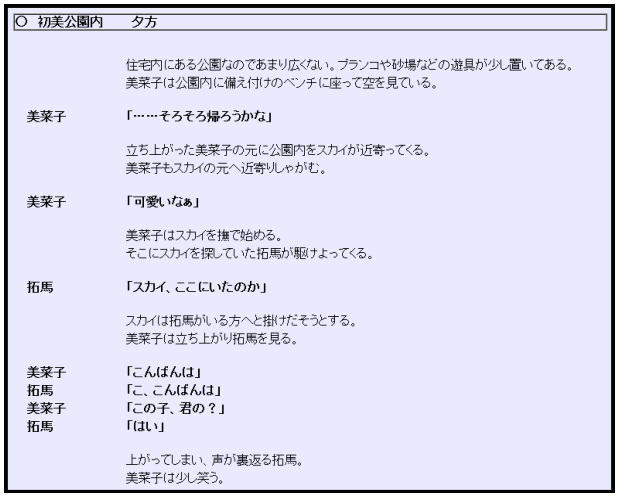


図12：シーン表示ページ

4.4 情報閲覧ページ

この節では記述済みの情報をユーザーが閲覧するためのページについて述べる．

4.4.1 プロット・フェイズ閲覧ページ

プロット・フェイズ閲覧ページは物語の全体像を把握する際に利用する．アクセス時点でサーバーに保存されているSプロット，Mプロット，Lプロット，13フェイズのタイトル及び内容を参照し並べて表示する．各要素の間には区切りとして平行線を描画する．図13はその表示例である．

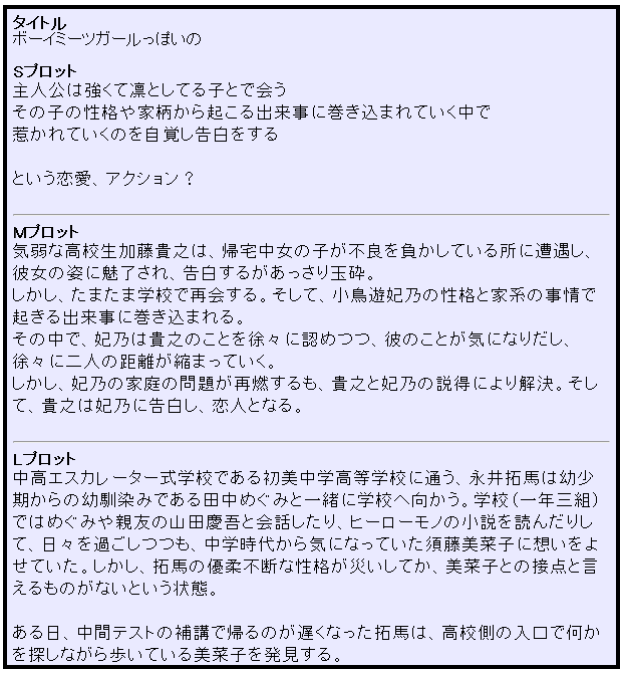


図13：プロット・フェイズ閲覧ページ

4.4.2 メモ閲覧ページ

4.3.3項メモ投稿ページにて述べた通り，プロジェクトにはシナリオ情報以外にメモを投稿することが可能である．メモはプロジェクトの作者以外も投稿可能であり，投稿されたメモは作

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

者によるメモと他メンバーによるメモで色を変え表示する．また，メモに対してメモを付けることも可能であり，その場合は元のメモの下にサイズを変えて描画する．図14は作者の作成したメモに作者及び他のメンバーがメモを付けた場合の例である．

図14：メモ閲覧ページ

4.4.3 シーン閲覧ページ

シーン閲覧ページは4.3.4項で述べた保存方法によってデータベースに分割保存されたシーン情報を表示する．フェイズ順，フェイズ内のシーン順に情報を参照し，柱，ト書き，台詞の体裁を整えシーンごとに表示する．

シナリオ中で発言者名として記述してある名前が登場人物設定のショートネームの項目に記入されている場合，発言者名の横に登場人物設定へのリンクボタンも同時に描画する．詳しくは次節で述べる．図15はシーン表示例である．

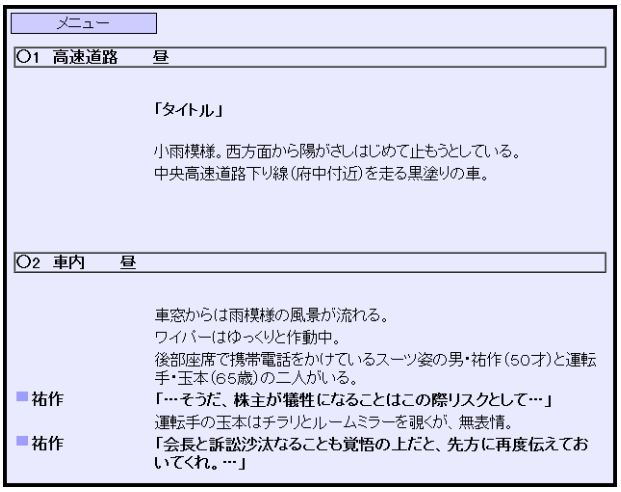


図15：通読シーン表示例

4.4.4 登場人物設定閲覧ページ

登場人物設定閲覧ページでは登場人物設定入力ページ同様アクセス時点でデータベース内にある登場人物情報を検索し一覧表示を行う．登場人物にはグループを設定でき，複数グループに重複し所属させることも可能である．参照したい登場人物のボタンをクリックすることで設定内容が表示される．

前項で述べた通り，登場人物設定においてシナリオ中での略称がショートネームとして登録されている場合，シーン情報との連携が可能になる．シーン通読モードにおいて発言者名横のボタンをクリックすると登場人物設定閲覧ページが該当の登場人物を選択した状態で新規ウィンドウとして開く．

その場合，データベース中のシーン情報テーブルからその登場人物の台詞を検索し，登場人物設定閲覧ページ下部に一覧表示する．図16に登場人物設定とシーン情報を関連付けて台詞一覧を表示させた例を示す．

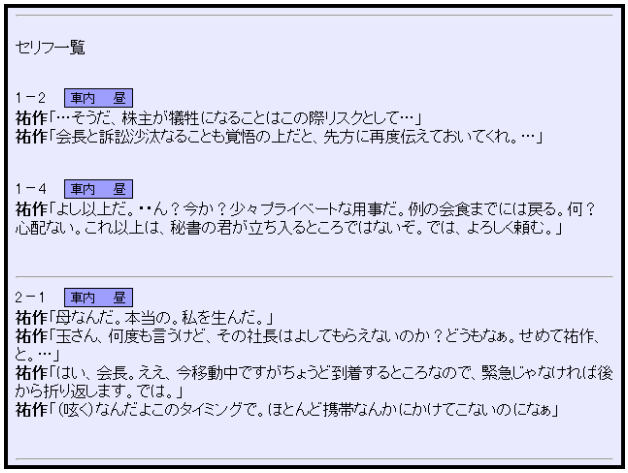


図16：台詞一覧表示例

4.5 本システムによる執筆支援への貢献

この章では本研究で開発したシステムについて概要及び各ページの利用方法を述べた．

本研究では1つのシナリオを1つのプロジェクトという単位で取り扱う．プロジェクトに対し作者やパスワード，共同制作メンバーなどの管理情報，シナリオ及び付随する各種資料を関連付けてリレーショナルデータベースに保存する．プロジェクト名を検索キーとして扱うため，同一のサーバー上で複数のプロジェクトを運用可能であり，ユーザー側も参加するプロジェクトを任意に選択可能である．

ユーザーがプロジェクトにログインすると作業用ページを表示する．作業用ページはフレーム機能を用いて分割，複数の情報を一覧することが可能である．また，分割及びその解除についてもユーザーが任意に行うことが可能であるため，プロジェクトの進行状況やユーザーの好みに応じて表示する情報を選択することが可能である．

従来手法では登場人物設定や背景世界設定など各種情報はそれぞれ独立したファイルであったため，同時に編集や閲覧を行う時には表示の切り替えやウィンドウサイズの変更などが必要であり一覧性に欠けていた．また，各種情報の保存先や更新状況などを常に把握する必要があり，管理が煩雑になるという問題点があった．本システムによってこれらの情報管理に関連する問題がそれぞれ解決したと考えられる．

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

5. 評価実験

この章ではシナリオ執筆を目的とする東京工科大学の大学院授業『ヴィジュアルストーリーテリング特論』及び映像産業振興機構 VIPO の開講したシナリオ執筆及びその分析を課題とする『シナリオアナリスト養成セミナー』にて実施した実験及びその結果について述べる.

5.1 ヴィジュアルストーリーテリング特論

この節では東京工科大学の大学院授業『ヴィジュアルストーリーテリング特論』の概要及び行った実験について年度ごとに述べる.

5.1.1 授業概要

ヴィジュアルストーリーテリング特論は 2007 年度以降東京工科大学の大学院にて開講している. 大学院生を対象として全 13 回で行われ, 2010 年度は全 14 回で行われた.

授業の冒頭 3 回程度はシナリオ制作手法を用いず, 学生自身の力でシナリオの概要を 1600 文字程度で記述する課題を行う. 課題を完了できる学生は少なく, シナリオ制作の難易度を理解した上でバイステップ手法を用いてのシナリオ制作を行う. 最終的な課題として自身の執筆したシナリオを提出する.

5.1.2 実験以前（2007 年度授業）

2007 年度の時点では本研究は始動しておらず, 紙媒体及びワープロソフトなどを用いてのバイステップ手法によるシナリオ制作支援だった. 手法は現在のものと同じだが, シナリオ制作過程で生じる情報量が多く管理が煩雑であるという問題点があった.

受講者数は毎年度約 20 名弱と年度ごとの差はないが, 2007 年度は課題を完了できた学生が 5 名と少なく, バイステップ手法自体としては課題の残る結果だった.

5.1.3 第 1 回実験（2009 年度授業）

2009 年度授業において, 筆者らが授業と並行し開発を行った段階的シナリオ制作支援システム[7]を利用した. バイステップ手法をベースに資料の管理を支援するもので, 本研究のシステムのベータ版に当たる. 結果として学生 15 名のシナリオが完成した. 2009 年度時点でのシステムの評価は菅野が行い第 25 回 NICOGRAPH論文コンテストにて発表を行った[6].

5.1.4 第 2 回実験（2010 年度授業）

2010 年度授業では, シナリオ記述・構造化支援システムを用いて実験を行った. 2009 年度末にベータ版である段階的シナリオ制作支援システムを本研究の要件に合わせてバージョンアップしたものであり, 記述された情報の分割保存による構造化も可能にしている. 学生の記述したシーン情報は内容ごとに柱, 台詞, ト書きとしてデータベースのテーブルにそれぞれ分割保存ができた. 2010 年秋時点でのシステムの評価は筆者が第 26 回NOCOGRAPH論文コンテストにて発表を行った[8].

2010 年度は学生に留学生が多く, 本実験にも多くの留学生が参加した. 日本語の問題などにより授業の進行上手間取った部分はあったものの, 結果として課題となるシナリオを 14 名の学生が提出できた.

5.2 シナリオアナリスト養成セミナー

この節では映像産業振興機構 VIPO の開講した『シナリオアナリスト養成セミナー』の概要及び行った実験について年度ごとに述べる.

5.2.1 セミナー概要

映像制作におけるシナリオの重要性とその内容分析および評価手法について理解を深めるために, 映像産業振興機構 VIPO は『シナリオアナリスト養成セミナー』を開講した. プロフェッショナルの映像制作従事者を対象として, 2009 年度及び 2010 年度の 10 月から 11 月にかけて開催された.

セミナーではバイステップ手法によるシナリオ制作の解説が行われ, 全 6 回のうち前半 3 回をかけて分析に必要な情報を揃えたシナリオの制作手法を学び執筆し, 後半 3 回でシナリオの評価手法について学ぶ. 最終的に課題として自身の制作したシナリオ及びそのシナリオを評価したものを提出する.

受講生は映像業界の社会人であり, 通常の業務を行いながらセミナーに参加し, 課題を行う. そのため, 多くの情報を考え管理する必要のあるシナリオ制作課題及び情報の精読が必要なシナリオ評価課題は難易度が高い.

筆者はセミナーにアシスタントとして参加し, 受講者を対象にシナリオ制作支援実験及びシナリオ構造化の実験を行った.

5.2.2 第 1 回シナリオアナリスト養成セミナー

2009 年度に行われた第 1 回シナリオアナリスト養成セミナーの受講者の中から実験協力者を募り, シナリオ制作を行う際の制作補助として段階的シナリオ制作支援システム[6][7]を利用してもらい, シナリオ記述支援を行った. シナリオ制作の途中過程において, 記述された情報を個別に保存し参照することにより各種情報の管理, 編集を補助し, 社会人としての通常業務との並行作業でありながら実験参加者 9 名 9 作品のシナリオ完成という結果を得るに至った. 2009 年度時点では情報の読み出し機能には対応していなかったため, シナリオ評価課題については受講生が各自の工夫で行う形となった.

この実験の際に得られた知見を元にシナリオ情報処理の構想を考案し, 情報処理学会全国大会にて発表を行った[9].

5.2.3 第 2 回シナリオアナリスト養成セミナー

2010年度に行われた第2回シナリオアナリスト養成セミナーでは5.1.4項の実験同様, シナリオ記述・構造化支援システムを用いて実験を行った. 前年度はシナリオ記述実験のみであったが, 本実験では情報の分割保存機能を実装したため, 記述されたシナリオの情報を抽出し分析を行う課題についてもシステムを利用してもらった. その結果, セミナー参加者の7名がシステムを問題なく利用でき, シナリオ課題の提出ができた.

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

5.3 考察

2007 年度の大学院授業において行われたシステムを用いないシナリオ制作支援と比較して，各実験のシナリオ執筆完了者の数が増加している．そのため，バイステップ手法によるワークフロー及びテンプレートの提示による利点とは別に，システムを用いての情報管理が未経験者に対するシナリオ制作支援において有効であることが明らかになった．

また，映像制作関係者を対象とした実験において，システム利用者はシナリオ分析が可能な形の，必要な情報を備えたシナリオの執筆ができシナリオアナリストとして認定された．このことから,経験者への支援としても有効であることがわかった．

2010年度に行った各実験ではシナリオ記述・構造化支援システムを用いて構造化シナリオを作成，活用する実験を行い，大学院授業において情報の分割保存の成功を確認した．

分割保存がされたことによって，図16で示したように登場人物ごとの登場シーン一覧及びセリフ一覧の表示が可能となった．また，シナリオアナリスト養成セミナーにおけるシナリオ評価実験終了後，受講者へのヒアリングにおいて次のような意見が得られた．

・記述したシーンは特にルールを意識して記述しなくても適切な分割保存がされた
・登場人物の性格を把握するために台詞一覧が出力可能なことは評価において役に立った
・登場人物設定等を追記する際に画面遷移なしに一覧性を持てることは有用だった

上記の結果より，本研究の目的である未経験者でもシナリオを執筆できるようになる制作支援，及び必要な情報が内容別に構造化され，下流工程において効果的な利用が可能となる形のシナリオを作成できるようにすることの 2 点について達成が確認できた．

6. まとめ

本研究ではシナリオ制作及び映像制作の支援のために，バイステップ手法に基づいたシナリオ記述・構造化支援システムの開発を行った．従来シナリオはその膨大な情報量から執筆未経験者には制作が難しく，また完成したシナリオは一連の文章であり，評価をする時や実際に映像を制作する段階において必要な任意の情報を読み出す事が難しいという問題があった．それに対し，本研究ではシナリオの記述及び評価が難しいという問題点に着目し，シナリオライターに大きな負担をかけることなくシナリオの段階的な記述及び自動的な分割保存をするシステムを開発した．提案システムを用いて，東京工科大学大学院の授業及び映像産業振興機構の開講したシナリオアナリスト養成セミナーにて実際に利用し評価実験を行った．この結果，次のことがわかった．

(1)PHP を用いて作成したシステムにライターが記述した情報を，データベースシステムである MySQL に内容別に保存する機能を実装した．それによって，シナリオ執筆時に執筆者にかかる膨大な量の情報を管理する負荷を軽減できた．
(2)シナリオの記述時に有効であることが明らかになり，記述されたシナリオは構造化され後の工程で読み出しやすい形に保存できた．

今後の課題として，本システムで構造化されたシナリオが評価工程や映像化工程において有効に運用可能であるかの検証が挙げられる．本システムを用いなかった場合との比較を行い作業効率が向上していることを確認することが必要となる．

今後の展望として構造的にシナリオの良し悪しを判断可能にする手法の提案が挙げられる．現在構造化シナリオを基にした評価は評価者の感覚によって行われているが，過去の優秀作品の構造を分析することで，作成された構造化シナリオと比較し工学的に判断可能になることが望まれる．

謝辞

本研究において提案したシステムの開発時に貴重なご意見をいただきました伊藤彰教氏，渡邉賢悟氏，塚本享治氏に深く感謝いたします．また，本研究の有効性を検証する実験の場を与えてくださった映像産業振興機構 VIPO事務局の皆様,及び沼田やすひろ氏，受講生の皆様に厚くお礼申しあげます．

参考文献

[1]経済産業省 商務情報政策局監修,財団法人 デジタルコンテンツ協会編集，デジタルコンテンツ白書2008，財団法人 デジタルコンテンツ協会，2008.
[2]デジタルアニメ製作技術研究会監修,プロフェッショナルのための デジタルアニメマニュアル2009 ～工程・知識・用語～，東京工科大学 片柳研究所 クリエイティブ・ラボ，2009.
[3]金子満，シナリオライティングの黄金則 - コンテンツを面白くする-，株式会社ボーンデジタル，2008.
[4]三上浩司，伊藤彰教，中村太戯留，近藤邦雄，金子満：“映像コンテンツ制作のための統合化映像制作情報管理手法の研究”，Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2008予稿集 (DVD)，35 (6p) 画像電子学会／情報処理学会，2008.
[5]高橋由樹，塚本享治：“アニメーション脚本のＸＭＬ構造化とそのＭＰＥＧ－７への応用に関する研究”，東京工科大学大学院修士論文，2004.
[6]菅野太介，戀津魁，伊藤彰教，三上浩司，近藤邦雄，金子満，“段階的シナリオ制作支援ソフトウェアの研究”，第25回NICOGRAPH論文コンテスト論文集，芸術科学会，2009.
[7]戀津魁，菅野太介，有澤芳則，伊藤彰教，三上浩司，近藤邦雄，金子満，“Web ブラウザを利用したシナリオ制作ソフト

芸術科学会論文誌 Vol. 10, No. 3, pp. 129-139

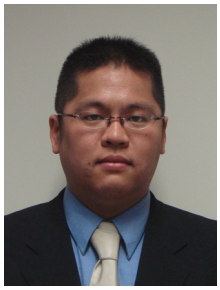
ウェアの構築”，第25回NICOGRAPH論文コンテスト，芸術科学会，2009.
[8]戀津魁，菅野太介，伊藤彰教，三上浩司，近藤邦雄，金子満，“映像制作のためのシナリオ記述・構造化システムの開発”，第26回NICOGRAPH論文コンテスト論文集，芸術科学会，2010.
[9]戀津魁，菅野太介，藤村雄樹，伊藤彰教，三上浩司，近藤邦雄，金子満，“統合化映像制作記述言語IPMLを用いた段階的シナリオ制作支援ソフトウェアの提案”，IPSJ第72回全国大会学生セッション，情報処理学会，2010.

著者略歴

戀津　魁

2009年東京工科大学メディア学部卒業．2011年東京工科大学大学院メディアサイエンス専攻修士課程修了，メディア学修士．修士課程修了後，同大学の博士後期課程に進学．
映像制作におけるシナリオ執筆支援，情報管理手法及び全般的なワークフローの効率化について研究，シナリオエンジンを開発．人材育成基盤セミナーシリーズ『シナリオアナリスト養成セミナー』アシスタント．
シナリオエンジンを下記アドレスにて公開．
http://www.teu.ac.jp/cpcpt/scenario/

菅野　太介



2004年東京工科大学大学メディア学部卒業．2006年東京工科大学大学院バイオ･情報メディア研究科メディアサイエンス専攻修士課程修了．
現在は東京工科大学メディア学部演習講師，映像産業振興機構『シナリオアナリスト養成セミナー』講師．主に映像コンテンツ向けシナリオの制作手法に関する研究に従事．

三上　浩司

1995 年慶應義塾大学環境情報学部卒業，博士（政策・メディア：2008 年慶応義塾大学）．1999 年より東京工科大学片柳研究所クリエイティブ・ラボに従事し，現在はメディア学部講師．主に3DCGを利用したアニメ，ゲームの制作技術と管理手法に関する研究開発に従事．著書に『デジタルアニメマニュアル』（東京工科大学）など．ACM SIGGRAPH，芸術科学会，情報処理学会，映像情報メディア学会ほか所属．

近藤　邦雄

名古屋工業大学卒業，工学博士(東京大学），名古屋大学，東京工芸大学，埼玉大学工学部情報システム工学科を経て，現在は東京工科大学メディア学部教授.情報処理学会グラフィクスとCAD研究会主査，画像電子学会副会長，ヴィジュアルコンピューティング研究委員会委員長，日本図学会副会長，図学教育研究会委員長など歴任．現在，芸術科学会会長，情報処理学会25周年記念論文賞，日本図学会賞，NICOGRAPH奨励賞など受賞．

金子　満

慶應義塾大学法学部からフジテレビ，南カリフォルニア大学シネマスクールを経て，東京でJCGL，ロサンゼルスでメトロライトスタジオを創設，1996 年東京工業大学大学院の後期博士課程修了（情報理工学）．慶応義塾大学大学院教授を経て現在は東京工科大学大学院メディアサイエンス専攻教授．著書に『映像コンテンツの作り方コンテンツ工学の基礎』（2007 年，ボーンデジタル）など．映像情報メディア学会ほか所属．

芸術科学会論文誌 Vol. 9 No. 2 pp. 66-72

映像分析に基づく ライティング情報のディジタル化とその活用に関する研究

兼松 祥央、三上 浩司、近藤 邦雄、金子 満

東京工科大学大学院

Research on digitizing lighting information and lighting simulation using digital scrapbook

Yoshihisa Kanematsu, Koji Mikami, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko

Tokyo University of Technology Graduate School

vanity@e-ml.jp {mikami, kondo, mits}@media.teu.ac.jp

アブストラクト

3DCG 映像制作においてライティング（照明）は、作品の印象を決め、作品の質を大きく左右する非常に重要な要素である。従って、ライティングは単純にライトを置くだけではなく、ディレクターの意図に基づいた設計を行うことが重要である。そこで本研究では従来ディレクターの頭の中で感性的に行われていた照明設計を支援し、プレプロダクション段階において効率的にライティングシミュレーションを可能とするために、映像の演出を支援する「ライティングスクラップブック」とライティングを容易に行うための「ライトセット」を提案した。これらを用いて映像制作の実証実験を行った結果、提案システムを用いることにより、作業時間が短縮でき、ライティングによる効率的な演出シミュレーションが可能になった。

Abstract

Lighting is an important element in 3DCG, with the power to affect the overall impression and directly impact the visual quality of the production.

Thus, it is paramount that lights are placed deliberately in such a way that the scene correctly conveys the director's intentions.

The purpose of this research is to design a system for quick and efficient lighting simulation during pre-production.

By analyzing lighting techniques used in movies, we were able to develop the "Lighting Scrapbook", a system which allows the user to retrieve analyzed lighting data based on scene content or character emotion.

In addition, we also developed the "Digital Light Set", a digital lighting template. Field tests showed that the proposed systems reduced production time, and were able to efficiently simulate scene lighting.

1. はじめに

アニメーション制作手法は，コンピュータと制作ソフトウェアの性能の向上に伴い飛躍的な発展を遂げている。これに伴い3DCGの需要が増え、2Dセルアニメーションと3DCGを組み合わせた作品はもちろん、フル3DCGの作品も多く世に送り出されている。これらの作品を制作するためにはさまざまな工程や作業が必要であるが、その中でも本研究ではライティング（照明）を扱う。

ライティングは3DCG映像制作において、映像が与える印象に強く関わり、作品のクオリティを大きく左右する非常に重要な要素である。図１は同一条件化でライティングのみを変化させた場合の比較画像である。このように、ライティングを変化させるだけでも画像の印象は大きく異なる。つまり制作者は、ライティングによって映像の中に自分の演出意図に沿った感情や雰囲気，効果を作り出すことできる[1]。

図１ 3種のライティング結果の比較

映像をカメラで撮影するためには、被写体に何らかの形で光が当たっていなければ撮影することができない。しかし、ストーリーやテーマを持った映像作品を制作するときには単に撮影のための最低限の照度を得るだけでは十分とはいえず、明確な意図を持って照明を行う必要がある。これに関してDarren

芸術科学会論文誌 Vol. 9 No. 2 pp. 66-72

Brookerは「ライティングスキーム(照明設計)を構成するさまざまな個々の光源を慎重に決定した位置に配置すること」が重要であると述べている[2]。つまりライティングは、単純にライトを設置するだけではなく、その設計こそが重要であるといえる。

しかし、照明設計はディレクターや演出家自身の頭の中で感性的に行われているという現状がある。図２に照明設計の工程を示す。ディレクターはシナリオや各種設定等の資料から必要な情報を読み取り、頭の中で完成イメージを思い描きながら照明を設計していくことが多い。この作業において、処理の順番や内容については人それぞれであるが、今までに見たことのある作品のライティングを記憶の中から引き出して参照し、センスや経験と照らし合わせながら生み出している。このために、ディレクター自身も自らが設計したライティングが本当に思い通りの効果を生むのかどうかを確認するためにはリハーサルなど時間やコストのかかる手段をとるしかない。

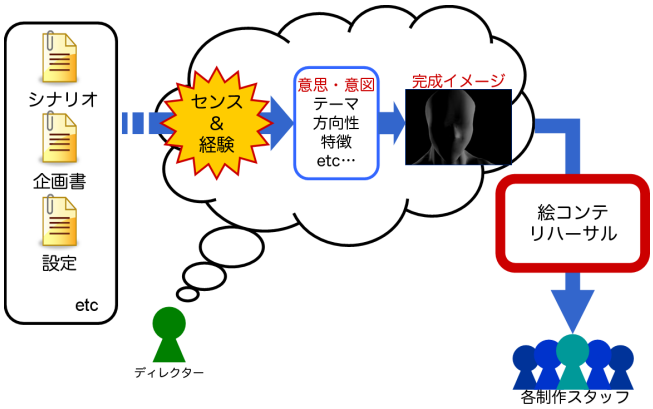


図2 照明設計の現状

また、ライティングを行う制作者に対して指示を行うときには絵コンテを用いることが一般的であるが、絵コンテは画面構成や動き、タイミングが重視して描かれるため、光や影の情報まで詳細に描かれることは少ない。このためにライティングの指示は、口頭で行われることが多いが、頭の中で感性的に生み出された照明設計であるために抽象的な指示になることが多く、コミュニケーションギャップによるリテイクの増加などの問題の要因となる。

そこで本研究では、照明設計支援のためのライティング情報のデジタル化とライティングスクラップブックを用いたライティングシミュレーションの提案を目的とする。このために、ディレクターの頭の中で行われていたさまざまなライティング情報と演出情報のディジタル化を行い、容易に検索・利用できるシステムを提案する。そして、ディレクターが簡単に明確化・具体化できるようにするため、プレプロダクション段階で利用するライティングシミュレーションシステムを提案する。

本提案システムを用いてライティング情報をディジタルデータとして蓄積しておくことによって、蓄積されたライティング設定をライトセットとして再利用可能にし、シミュレーションの効率化を図る。これによって、ユーザが設計したライティングの効果を容易に確認することができるため、より明確なライティングスキームが可能となる。また、ライティングまたは3DCGソフトウェアの取り扱いに不慣れなディレクターであっても簡単な操作でライティングのシミュレーションを行うことが可能となり、より効率的にライティングスキームを行うことができると考える。

2. 関連研究

本研究で提案するシステムは、主に本制作の前の段階（プレプロダクション）で演出シミュレーションのために用いる。本章ではこれに関連する事例や先行研究について述べる。

2-1. アニマティクス

演出手法などをより具体的に検討するため、現在はプレプロダクション段階で簡易3Dモデルなどを用いたシミュレーションが行われることも多い。これはビデオコンテやプレビズとも呼ばれ、各種3DCGソフトウェアや専用ツール[3]を用いて制作される。しかし、これらの手法では、照明設計や演出内容そのものを考える支援は行なっていない。

2-2. ライティング情報のディジタル化手法

著者らが行った研究[4][5]では、ライティング情報のディジタル化手法の提案を行った。この研究では映画やドラマなどの映像作品から画像を選定し、3DCGを用いてライティングを再現することによってライティング情報の抽出を行い、１２０パターンの人物ライティングについて情報のディジタル化を行った。

また、ディジタル化した情報は、以下に示すように、「感情別」と「ライティングのタイプ別」の二つの方法で分類を行なっている。

感情別 ： 被写体となったキャラクターの感情別に、喜怒哀楽愛憎、真剣、恐怖の８つの感情で分類した。

ライティングのタイプ別 ： 映像分析から得られた、ストーリーの重要なポイントとなる箇所ほど特徴的なライティングが多く行われる場合が多いという傾向に基づき、「ナチュラル」「ドラマティック」「キャラクタリスティック」「フィクショナル」の４つのライティングタイプを提案し、抽出データの分類を行った。

本研究ではこれらの手法を用いてディジタル化されたライティング情報を活用し、効率的にライティングシミュレーションを行うシステムを開発する。

2-3. ディジタルライトセット

戸谷ら [6]は、初心者でも簡単にライティングを行えるようにするため、ライティング教育ソフトウェアのためのディジタルライトセットの提案を行った。これはライトの配置をより簡単に行えるようにすることを目的とし、格子状に配置された番

芸術科学会論文誌 Vol. 9 No. 2 pp. 66-72

号を指定するだけでライトが配置できる。ディジタルライトセットはライト配置のサポートを目的としたため、ディジタル化したライティング情報を任意のシーンファイルに適用するには機能が不十分である。

2-4. 風景ライティングスクラップブック

三林ら [7][8]は風景絵画の分析を行い、風景ライティング情報のディジタル化を行った。この研究では風景を「近景」「中景」「遠景」の３つの分類を用いて風景絵画を分析し、ライティング情報の抽出を行った。また、抽出したデータは風景ライティングを行うときに重要となる「時間帯」と「天候」で分類し、ライティング情報の検索を可能にした。しかし、本研究で扱う人物の演出は扱っていない。

このように、本研究で扱うユーザの演出意図を反映したライティング作業の支援システム開発のためには、まだ多くの課題がある。このために次節では、映像分析に基づくライティング情報をもとにしたスクラップブックを提案し､4章ではそれを用いた映像制作への活用について述べる。

3. ライティングスクラップブック

3.1 ライティングスクラップブックの概要

本章では、ディジタル化されたライティング情報の検索・閲覧システムとしてライティングスクラップブックと、シミュレーション支援用ライトセットについて述べる。

図３にライティングスクラップブックのコンセプトを示す。

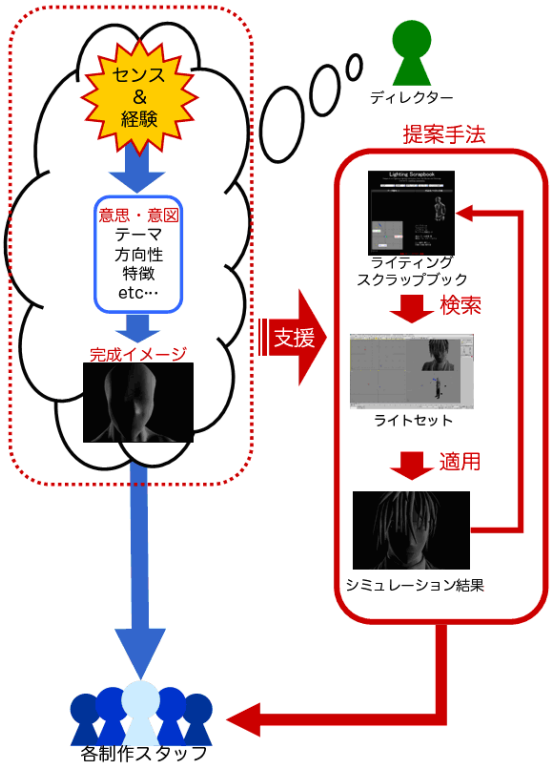


図３　ライティングスクラップブックのコンセプト

ディレクターはライティングスクラップブックを用いて映像ディジタル化されたライティング情報を検索し、それに対応したライトセットを用いることによって容易にライティングシミュレーションを行うことができる。

ディレクターが従来頭の中で行っていたライティングスキームを支援することにより、容易にライティングシミュレーションすることを可能とする。これによって、ディレクターの意図を明確化することでコミュニケーションギャップの解消を目指す。

3.2 データ検索システム

ディジタル化したライティング情報の検索には、著者らが提案したブラウザを用いてデータの閲覧・検索が可能なシステム[4]を改良して用いる。

図４はライティングスクラップブックのキャプチャ画像である。ライティングスクラップブックでは分析元となった映像作品のタイトルの他、著者ら[4]が提案した「感情別」「ライティングのタイプ別」の項目を用いてディジタル化されたライティング情報を検索することができる。

検索結果となるそれぞれのライティング情報に登録されたデータは次の通りである。

① 分析元の映像作品名
② ライティング結果のレンダリング画像
③ 各種ライトの照度とキー･フィル照度比
④ 被写体キャラクターの感情とライティングタイプ
⑤ シナリオ情報
⑥ ライトの配置

また、⑥の画像をクリックすることで、検索結果のライティング情報に対応したライトセットにアクセスすることが可能である。

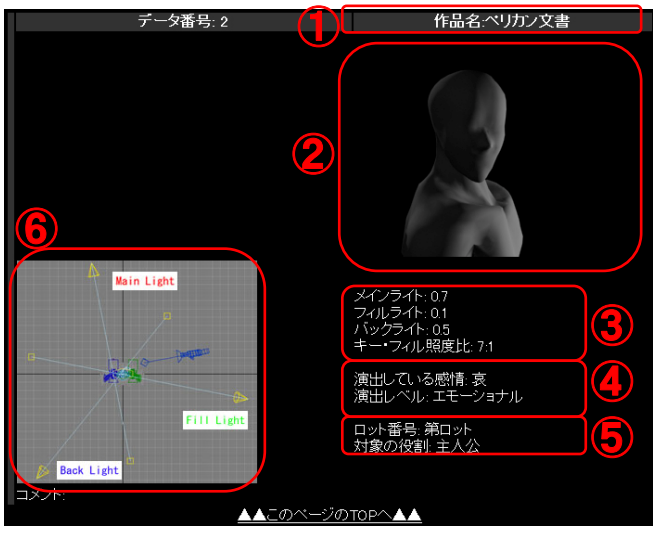


図4　ライティングスクラップブック

芸術科学会論文誌 Vol. 9 No. 2 pp. 66-72

3.3 ライトセット

ライトセットは、ライティングスクラップブックを用いて検索することのできるライティング情報をテンプレート化し、シミュレーションの際に再利用可能にしたものである。このライトセットを用いることにより、3DCGソフトウェアを専門的に扱っていないディレクターでも検索したライティング設定を任意のシーンファイルに対し､容易に適用できる｡ライトセットは、ディジタル化されたライティング情報を検索・閲覧するだけではなく、統一された形式でまとめることによって、ライティングシミュレーションの効率化を図ることが可能となる。

図５は本研究で制作したライトセットを3dsMaxのシーンファイルに適用した状態の画像である。ライトセットの内容は次の通りである。

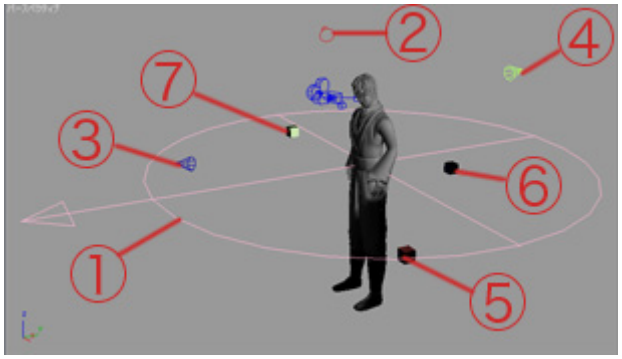


図5 3dsMax用ライトセット

①：ライトセットのコントローラー

このコントローラーを用いて、移動、回転、拡大縮小処理することによって、ライトセットに含まれる３つのライトを一括して調整することができる。ユーザーは任意のシーンファイル（ライトセットを適用したいシーンファイル）にライトセットファイルをドラック＆ドロップして合成した後、コントローラーの円の中心を被写体に合わせ、コントローラーの矢印の方向を被写体の顔の向きに合わせることによって、ライティングスクラップブックで検索したライティングと同等のライティング設定を得ることが可能である。また、被写体の大きさが極端に異なる場合も、コントローラーを拡大・縮小することによって容易に調整が可能である。

②：キーライト
③：フィルライト
④：バックライト
⑤：キーライトの（方向）コントローラー
⑥：フィルライトの（方向）コントローラー
⑦：バックライトの（方向）コントローラー

②～⑦は３点照明における各ライトとそのコントローラーである。ライティングスクラップブックで検索したライティング設定は基本的に①のコントローラーを調整するだけで得られるが、微調整や修正が必要な場合にはこれらのライトの設定を変更することで対応可能である。これら３つのライトは位置や角度、強度（照度）などのライト設定について、ライトセットコントローラーとは別に個別の調整ができるため、ライトセット通りのライティングでは問題がある場合や、修正が必要な場合は通常のライト（ターゲットスポット）と同じように調整が可能である。

本研究ではライティングスクラップブックに登録されているライティング情報をライトセットの形式で保存し、ディジタル化されたライティング情報と合わせて蓄積・検索可能にすることにより、ライティングスキーム支援およびシミュレーションの効率化を図る。

図６は映画「ペリカン文書（ワーナーブラザーズ、１９９３）」で行われているライティング情報をディジタル化するために作成したライティング結果画像である。また、図７は図６で行われているライティングの情報をライトセット化し、別のシーンファイルに適用した画像である。図６・図７で示すように、ライトセットを用いることで、映像分析によって得られたライティング情報に近いライティング結果を簡単に得ることが可能である。

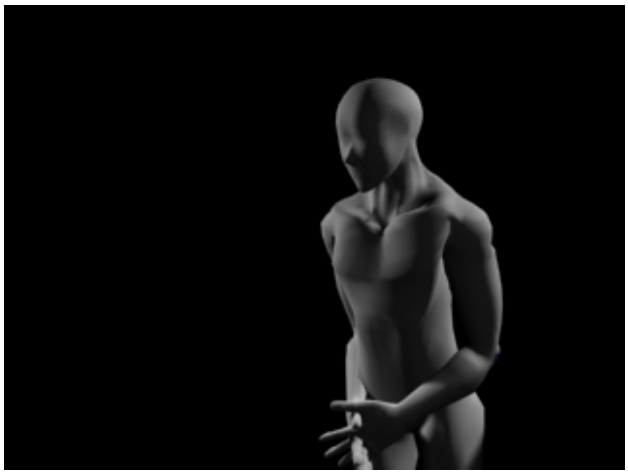


図6 映像分析に基づいて再現したライティング結果

図7 ライトセットの適用結果

芸術科学会論文誌 Vol. 9 No. 2 pp. 66-72

4. 実証実験

4.1 実験概要

本研究で提案する支援手法及びライティングスクラップブックの有用性を検証するため、実証実験を行った。

本実証実験では、映像コンテンツ業界を目指す、または演習・自主制作・インターンシップ等で映像制作に関わっている大学生・大学院生１２名を本システムの支援対象であるディレクターと想定し、以下の手順で行った。

手順 1.

事前調査として、3DCGにおけるライティングの経験を調査した。また、本実験では3DCGソフトウェア「AUTODESK 3dsMax 2008」を用いて、操作方法の説明を行った。

手順 2.

あらかじめモデリングやキャラクターのポーズ付け、カメラの設置を行ったシーンファイル（図８）を渡し、ショットの説明と、制作するライティングのテーマを提示した。本実験では「主人公と対立関係にあるライバルが、主人公に対して殺意を抱くショット」をテーマとして提示した。

図8 実験で用いたシーンファイル（レンダリング画像）

手順 3.

実験１は、テーマに沿って自由にライティングを行ってもらい、被験者が指定されたテーマ通りのライティングができたと納得できるまでにかかった作業時間を計測した。

まず、ライティングスクラップブックなどの参考資料やライトセットを用いずにライティングをしてもらい、シーンファイルを開いた状態から計測を開始した。この実験では提案システムを用いずに行うことにより、ライティングシミュレーションを行う際、１ショットあたりどれくらいの時間を要するのかを検証するために行った。

なお、本計測ではソフトウェアの起動時間、レンダリング時間は含んでいない。

手順 4.

実験２は、同一のショット・同一のテーマに対して、ライティングスクラップブックとそれによって検索できるライトセットを用いてライティングを実施した。その他の実験条件は実験１と同一であるが、こちらはライティングスクラップブックでデータを検索する時間も含めて作業時間を計測した。

4.2 実験結果

表１に実証実験の結果を、図９～１２に本実験で被験者が行ったライティングのレンダリング結果を示す。

表１中の項目「経験」は、3dsMaxを用いてライティングをしたことがある場合は○、3dsMaxでの経験はないが他の3DCGソフトウェアを用いてライティングをしたことがある場合は△、ほとんど経験がない場合は×と記載した。実験１、実験２の項目にはそれぞれの実験において一回（１ショット分）のライティングシミュレーションに要した作業時間を示す。「実験２修正」では実験２において、シーンファイルに検索したライトセットを適用した後、被験者がライティングの修正に要した時間を記した。

被験者	経験	実験1	実験2	実験2修正
A	○	2分10秒	30秒	0秒
B	△	3分35秒	1分30秒	45秒
C	○	4分20秒	3分10秒	1分20秒
D	△	4文50秒	1分50秒	32秒
E	×	16分40秒	2分10秒	55秒
F	×	40分5秒	5分55秒	4分10秒
G	×	16分30秒	2分15秒	1分20秒
H	○	5分25秒	3分50秒	2分3秒
I	△	8分5秒	3分45秒	1分6秒
J	○	3分50秒	2分40秒	1分32秒
K	△	12分23秒	4分17秒	1分54秒
L	×	19分58秒	5分23秒	2分4秒

表1 実験結果

図9 被験者Aの実験結果画像

芸術科学会論文誌 Vol. 9 No. 2 pp. 66-72

図10 被験者Bの実験結果画像

図11 被験者Cの実験結果画像

図12 被験者Gの実験結果画像

表１で示したように、本実証実験では全てのケースにおいてライティングスクラップブックを用いた場合、作業時間が短くなるという結果を得た。この結果から、本研究で提案するライティングスクラップブックおよびライトセットを用いることによって効率的にライティングを行うことができるといえる。実験１と２の作業時間を比較すると、作業時間の短縮率は大きなばらつきが見られるもののライティングの経験が浅いほど効果が大きいという傾向があった。このことから、経験の浅いユーザーや普段から3DCGソフトウェアを専門的に扱っていないディレクターに対して、本提案システムはより大きな効果が得られるといえる。

また、本実験では50のディジタル化されたライティング情報が登録されたライティングスクラップブックを用いて行った。その結果、被験者がテーマから連想するライティングのイメージに近いライティング情報をライティングスクラップブックを用いて検索するための必要な時間は、表1の「実験２」および「実験２修正」を比較すると被験者によって多少のばらつきはあるものの、おおよそ1分〜1分30秒程度であった。

5. まとめ

本研究では、従来ディレクターの頭の中で感性的に行われていた照明設計を支援するため、プレプロダクション段階において効率的にライティングシミュレーションを可能とすることを目的とし、「ライティングスクラップブック」と「ライトセット」を開発した。

そして、この二つのシステムを用いて実証実験を行った結果、以下のことが分かった。

(1) 提案システムを用いることにより、意図したライティングが容易になり、ライティング作業時間が短縮でき、シミュレーションの効率化が可能となった。
(2) ライティングの経験が浅い人程、本システムによるライティング支援に大きな効果が得られた。これにより本システムの有用性を明らかにした。

今後の課題は以下のとおりである。

(1) 本実験の被験者よりもライティングに関して熟練した被験者に対して同様の実験を行った場合や、ライティングの方向性がよりつかみにくいテーマを設定して実験を行った場合には異なる結果や傾向を分析する。
(2) 本研究ではキャラクターライティングに関する支援を扱ったが、より多くの照明設計支援のために風景などにも対応する必要がある。
(3) より効率的かつ効果的なライティングシミュレーション環境を実現するため、特にディジタル化したライティング情報の蓄積と検索方法について改善していく必要がある。

参考文献

[1] 金子満, 映像コンテンツの作り方-コンテンツ工学の基礎-, 株式会社ボーンデジタル, 2007
[2] Darren Brooker, 3dsMaxライティング, 株式会社ボーンデジタル, 2007
[3] K.Mikami, T.Tokuhara, Diorama Engine –A 3D Directing Tool for 3D Computer Animation Production, Proc. Computer Graphics International 2003, pp318-323, 2003
[4] Yoshihisa Kanematsu, Mitsuru Kaneko,Ph.D. , Research on Digitizing Lighting information from the Movies, NICOGRAPH International, 2008
[5] 兼松祥央, CG映像制作における簡易ライトエディタの研究, Nicograph Spring Festival in TAF, 2007
[6] 戸谷和明,兼松祥央,中村太戯留,三上浩司,近藤邦雄,金子満, 3DCG 映像制作のための演出支援ライティング教材 LighToya の提案, 日本図学会, 2009
[7] 三林悠,兼松祥央,中村太戯留,三上浩司,近藤邦雄,金子満, 時間帯・天候に基づく 3DCG ライティング設計用ディジタルスクラップブック, 日本図学会, 2009
[8] 兼松祥央,三林悠,三上浩司,近藤邦雄,金子満, 時間帯天候に基づく3DCGライティング設計用ディジタルスクラップブック, Visual Computing／グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2009
[9] 兼松祥央,三上浩司,近藤邦雄,金子満 映像分析に基づくライティング情報のディジタル化とその活用に関する研究, NICOGRAPH 2009 秋季大会,2009

芸術科学会論文誌 Vol. 9 No. 2 pp. 66-72

兼松　祥央

2007 年東京工科大学メディア学部卒業. 2009 年東京工科大学大学院メディアサイエンス専攻修士課程修了．現在は同大学院博士後期課程在学中．主に 3DCG アニメーションにおける演出とライティング(照明)のシミュレーションについて研究.

三上　浩司

1995 年慶應義塾大学環境情報学部卒業, 博士 (政策・メディア : 2008 年慶応義塾大学). 1999 年より東京工科大学片柳研究所クリエイティブ・ラボに従事し，現在はメディア学部講師．主に 3DCG を利用したアニメ，ゲームの制作技術と管理手法に関する研究開発に従事．著書に『デジタルアニメマニュアル』（東京工科大学）など．ACM SIGGRAPH，芸術科学会，情報処理学会，映像情報メディア学会ほか所属.

近藤　邦雄

名古屋工業大学卒業,工学博士(東京大学）.名古屋大学,東京工芸大学,埼玉大学工学部情報システム工学科を経て,現在は東京工科大学メディア学部教授.情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会主査,画像電子学会副会長,ヴィジュアルコンピューティング研究委員会委員長,日本図学会副会長,図学教育研究会委員長など歴任. 現在,芸術科学会会長,情報処理学会 25 周年記念論文賞,日本図学会賞,NICOGRAPH 奨励賞など受賞.

金子　満

慶應義塾大学法学部からフジテレビ、南カリフォルニア大学シネマスクールを経て、東京で JCGL、ロサンゼルスでメトロライトスタジオを創設、1996 年東京工業大学大学院の後期博士課程修了（情報理工学）．慶応義塾大学大学院教授を経て現在は東京工科大学大学院メディアサイエンス専攻教授．著書に『映像コンテンツの作り方　コンテンツ工学の基礎』(2007 年，ボーンデジタル）など．映像情報メディア学会ほか所属.

●研究論文

Analysis of Scare Effects for Timing of Revealing Threats in Horror Contents

ホラーコンテンツにおける恐怖表現のタイミングとその効果の分析

Liselotte HEIMDAHL Yoshihisa KANEMATSU Naoya TSURUTA Ryuta MOTEGI Koji MIKAMI Kunio KONDO

ヘイムダール リセロッテ，兼松 祥央，鶴田 直也，茂木 龍太，三上 浩司，近藤 邦雄

Abstract

Sometimes not seeing a threat can be worse than actually seeing it. Even so, at a certain point it will change into becoming a more effective scare if the audience gets to see just what they feared. To be able to affect the audience in the way intended by the producer, it is important to understand the effects of timing when using different methods such as camerawork, for presenting a scene and current targets. In this paper we look into how the timing of revealing threats in horror contents affects the level of fear perceived by the audience.

Keywords: CG / Horror Contents / level of fear / timing

概要

ホラー作品において，恐怖の対象となるキャラクターなどをあえてはっきり映さない演出がおこなわれることがある．これは恐怖の対象がはっきりと見える場合と比べ，視聴者に対してより強い恐怖感を与えることができる．また，この「恐怖の対象を隠す演出」をおこなった場合でも，ストーリー上のある時点で恐怖の対象を登場させることで，視聴者の恐怖感をより高めることができる．その際に重要なのは，カメラワークをはじめとする登場のさせ方に関する演出や，登場させるタイミングである．そこで，本研究では視聴者が知覚する恐怖のレベルの影響を明らかにすることを目的とした．そのため，既存作品を用いてホラー作品における恐怖を演出するためのタイミングやカメラワークを分析した．

キーワード：CG／ホラーコンテンツ／恐怖 レベル／タイミング

1. Introduction

Due to the dramatic curve of horror content such as movies and animation, it is not desirable to use the same camerawork and methods for presenting a threat at all times. In this research, we look into horror content for analyzing timing and distribution of current methods for presenting threats such as monsters and ghosts.

Our research contributes to the possibilities of designing the emotional path that the audience is led along throughout the content. We analyze how timing is used in horror movies and then we made experiments to see how different timings used can affect the audience feeling of fear. The goal of this research is to understand what emotional effect different timing can cause to the audience, which could expand the possibilities to design an emotional curve for when watching the content. Even if the story and animations are the same, by changing the structure of other methods using timing, it becomes possible to gain different effects and the preferred one can be chosen. Let us say that you want to introduce the main threat for the first time. The threat may be presented at the scene at all times, but depending on when and for how long it is revealed to the camera, the audience will react to it differently. By just briefly seeing glimpses of the threat in the beginning, they will know that the threat is there for sure, and they will wait in suspense for the next appearance. However, if they don't see the threat, they can be lured into a feeling of safety and become shocked when it is finally exposed. In the same way that lighting can increase the effect of mise-en-scène, good timing can bring forth more impact when combined with other methods as well.

2. Related Work

In this session, horror contents, affective contents, and

camerawork is explained.

a. Horror Contents

There are also textbooks concerning the subject Horror Movies such as Horror Film Aesthetics Creating the Visual Language of Fear[1]. The book gives guidelines for camera work without using digital data.

b. Affective Contents

One of the challenges when creating digital contents is how to be able to affect the user in a specific way. It might be to make players have fun, feeling challenged, or excited 11 when playing a game, or the prevention of them feeling bored[2]. This research relates to horror game production.

c. Camerawork

Xu et al. has created a system for analyzing the camera work in Robot anime[3]. In the same research, a scrapbook system can also be found for analyzing various camera information. Other researches have also created digital scrapbooks[4,5]. But Xu was not study horror movies.

We build on a more developed version of such a system that was used for analyzing camera work in horror movies[6].

3. Approach

To be able to find out how an audience is affected by timing, we first needed to see how timing is currently used in horror content. By collecting shot data and looking into a set of timing related and content related parameters we could find trends for how the timing of revealing a threat is used.

We propose a system called "Shot Collection and Representation" (SCARe) to ease the analysis of timing. We use SCARe for gathering shot information from scenes containing threats in horror movies. An overview of the system can be seen in **Figure 1**. The shot information in **Figure 2** collected can be seen in the list below.

a. Title and Country
b. Box office
c. Result of scene – Scare, Death, etc.
d. Timing, in relation to victim's realization – Before, Same, After, or Never
e. Threat information – Number of appearance, g. Distance, Visibility, and Size on screen
f. Camera work – Length, Shot Size, Angle, Camera movement, etc.
g. Targets – Role, Action, and Emotion
h. Horror cues – Feared object, Indirect presence, etc.

After collecting shot information for 323 shots containing a threat from 3 different movies, the information could be analyzed using the "Present" part of the SCARe system. The results were used to create a script for a new horror scene that could be used for the experiment.

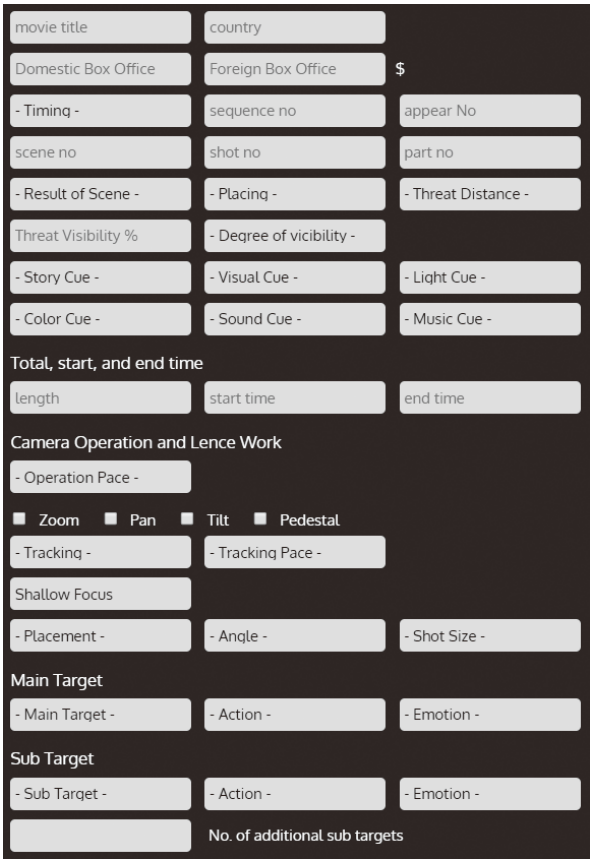


Figure 1 Interface of SCARe system

When analyzing the movies, the shots were divided into sequences rather than actual scenes. A sequence starts when an actual threat is present and stops when it is gone, or if the content switches into another scene not containing the treat. Therefore, the timing of revealing a threat is related to the threats presence at the scene. The sequences were also classified with the timing of revealing the threat in relation to when the characters see it. The threat can be revealed before, at the same time, or after the characters see it. There were also cases when the threat is not shown to the audience at all. We also classified the sequences into five categories in accor-

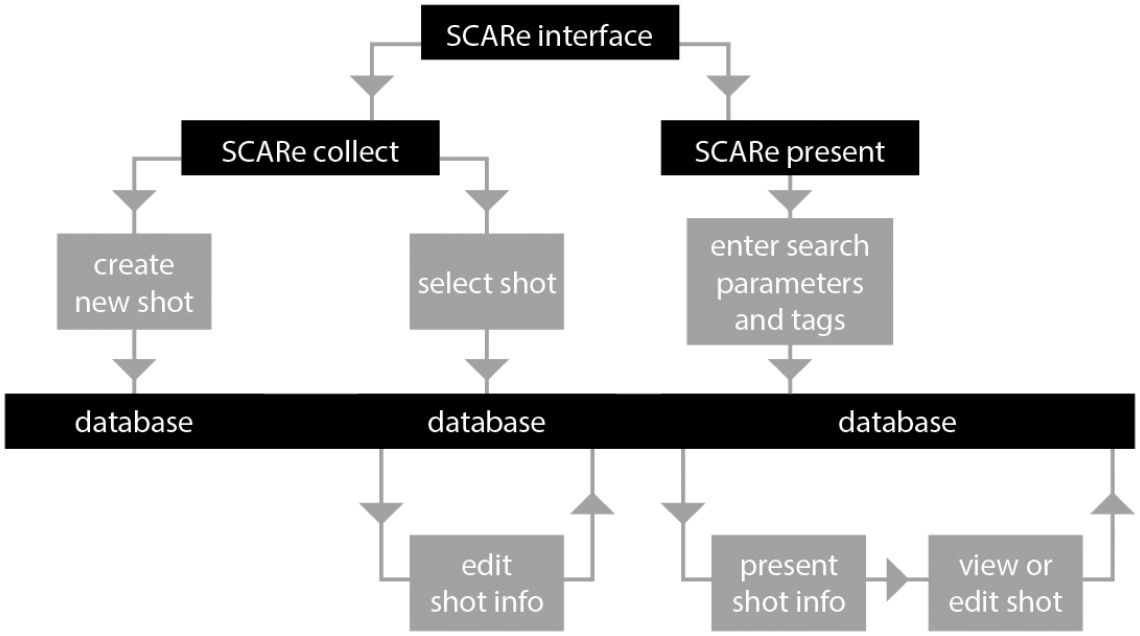


Figure 2　SCARe system overview

dance with the results, as can be seen in the list below.

1. Atmospheric is when there is no real threat to the victim. It may include a non-hostile threat or a threat in passive mode, not targeting any specific character.
2. Scare is a sequence with a threat that behaves in a way to affect one or more characters in a bad way. This can also be a non-hostile threat whose actions interact with a character specifically but without bad intentions. One example would be a non-hostile threat playing with one of the characters.
3. Escape is a sequence when a victim is able to escape from a threat.
4. Capture is a sequence where a victim is captured by a threat.
5. Death a sequence where a victim is killed by a threat.

4. EXPERIMENT

This section explains the contents and procedure of the experiment for evaluating the timing of revealing a threat meant to scare the audience.

4.1 Description

For evaluating the effects of timing, we use the same horror content, one scene with a present threat, but using different timing. The scene was presented as two 106 seconds long animated storyboard frames, without sound, created from the same script but presenting the threat with two different timings. The animations are restricted to those of the camera, and only one frame is shown at a time. Version 1 revealed the threat at its first appearance at the scene, while the second one was kept it hidden until just before its attack on the victim. These versions were then presented for 10 test subjects evenly divided into 2 groups. Group A first watched Version 1 and then Version 2. Group B got to watch Version 2 first and then Version 1.

After watching each version, the test subjects were to fill in an inquiry that consisted out of all the pictures from the storyboard. In the inquiry they rated each picture from 0 to 10 and they were also able to comment on how they rated and how their expectations had been when viewing that picture. They were also told to try to immerse as much as possible in the current situation. An overview of the experiment can be seen in **Figure 3**.

4.2 Content creation

The new horror contents were created based on the results of the shot information analysis. A simplified illustration of the process can be seen in **Figure 4**. We could find sequences in the movies as short as 11.9 seconds,

however, the scene itself was much longer than the presence of the threat. The scene used other means than the threat's presence for preparing the viewer for the scare, and the ghost itself was passive and non-hostile, classifying it as an Atmospheric sequence. Otherwise, a scene used for scaring were usually not less than 60 seconds. What could be noticed for the longer scare sequences (over 100 seconds) were that the concept for the scare had usually already been set in a shorter scene (less than 100 seconds), as for preparing the viewer for a more effective scare. Also, the shorter sequences were also often used to exposing a threat for the first time. In the experiment for this paper, the viewer will be introduced for the threat for the first time which would imply that around 60 seconds would be enough time. However, since there will only be one sequence in the experiment, the scene was decided to be 106 seconds long with a 54 second long sequence including a present threat.

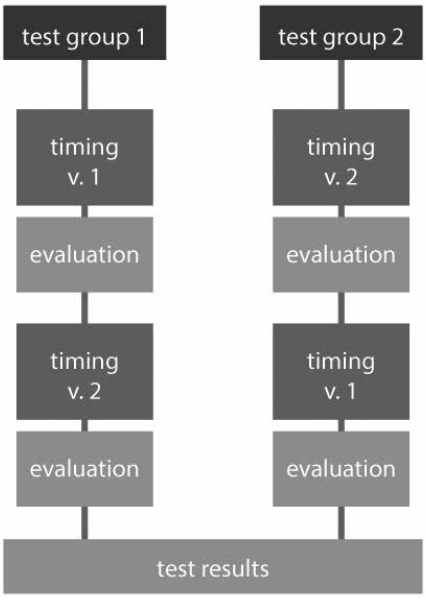


Figure 3 Experiment overview

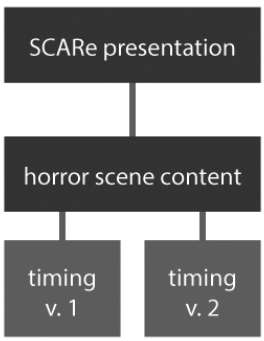


Figure 4 Contents creation process

One common trait of the shorter scare sequences was a long intro implying the presence of a threat, and then in the end as suddenly as it appeared before the characters it disappeared. This is also the trait that was decided to be used for the experiment. The victim, therefore, doesn't realize for sure there is anything there until 95 seconds into the clip and the moment of an attack.

For the movies analyzed so far, presenting the threat to the audience before the second half of the sequence is rare. In such cases, the sequence was more like a side story, giving context to the main story. This fact however, is not relevant to our research since we are investigating the effects of different timings using the same sequence of content.

The camera work for the shots in between will be the same for both of the versions. Also, the type of camera work for the differing shots will be as close to each other as possible, for ensuring that takes as little part as possible in affecting the audience.

When analyzing the camera work, the length of the shots during the sequences tended to be over 1 second if not showing a sudden appearance or a motion that in itself would suggest a higher tempo such as a fall or an attack. The sequences also tended to include a few very long cuts such as 17 seconds and then a lot of middle length shots around 5 seconds long.

The actual presentation of the threat to the audience is also often during one of the longer shots that hides it in various ways, such as camera moves or actual hiding, for then giving a shorter glimpse of the threat, that usually takes up less than 10% of the screen space.

4.3 Storyboard

The created scene features one threat, one victim, and two supporting characters. The supporting characters are used in the beginning for giving a feeling of safety and to strengthen the feeling of being alone when leaving them behind. Some samples can be seen in **Figure 5–8**, and the story goes as follows:

The victim and her friends are sitting in the living room on the second floor watching TV. The victim stands up and goes to fetch a new soda. She walks down the stairs and into the kitchen. There is a moth dying in the sink and the victim takes a glass and crushes it. The

threat stands and watch her in the doorway and then walks away facing the bathroom. The victim hears the steps but believes it to be one of her friends. She does not see it as she turns back. The victim takes a can of soda out of the fridge and on the way back to the living room she glances to her left at the open door to the bathroom. There is none there. A strange feeling that someone stands behind her she shrugs and looks back. But there is nothing there either. She starts walking up the stairs hearing her two friends chatting in front of the TV. She also hears the steps of the threat walking just behind her and before she can turn back it grabs the collar of her shirt making her fall down the stairs. In a blur, she sees a dying moth on the floor. A pair of bear feet walk into the picture and face her head. The picture fades away.

For the early timing, the threat will be exposed as a detail as soon as it walks past the doorway. Then its head will be fully exposed as it stands behind the victim as she gazes at the bathroom. The treat will then not be exposed again before the shot after falling down the stairs.

For the late timing, the threat will not be presented to the audience until it walks behind the victim in the stairs and again after the fall.

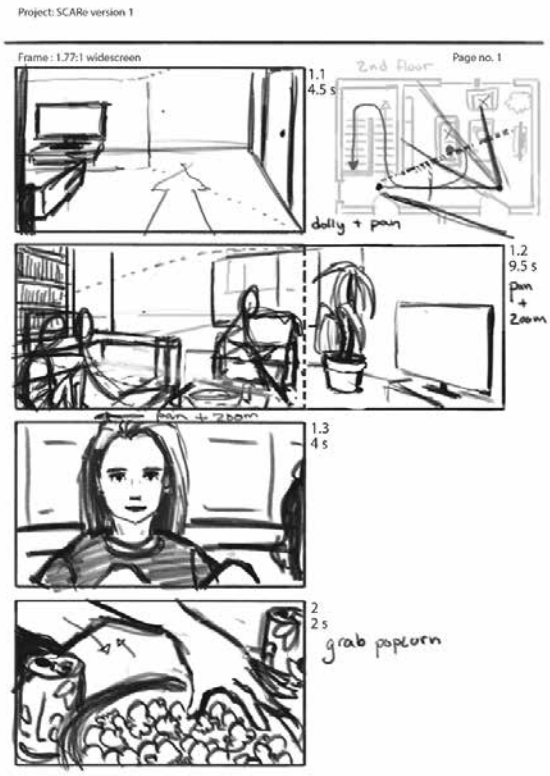


Figure 5　Storyboard: Version 1, Page 1

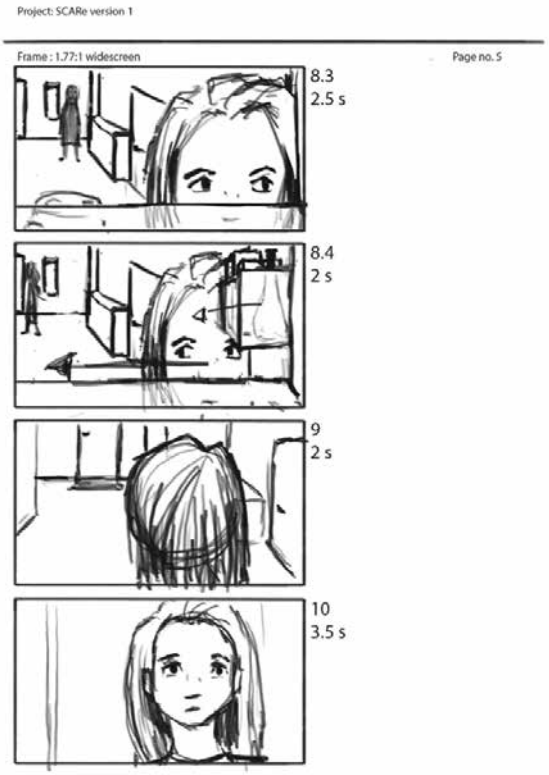


Figure 6　Storyboard: Version 1, Page 5

5. DISCUSSION

By analyzing how the test audience had rated their level of fear we received different comments from the test audience; they also gave us an insight about the reasons for what they believed they reacted more or less on different parts.

5.1 Data analysis

Group B tended to give a less scary rating in the beginning, higher in the middle, and less scary again after the climax. This indicates that depending on the viewer type there are big variations in what they think is scary. It also suggests that a bigger test group in needed for minimizing this error as a whole. However, as can be seen in Figure 9, is that this tendency can be found in both versions meaning that the order of showing them did not make the test subjects rating the second version they saw much lower than the first one.

As can be seen in Figure 10, Version 1 steady feeling of fear but the peaks in scariness can be found in Version

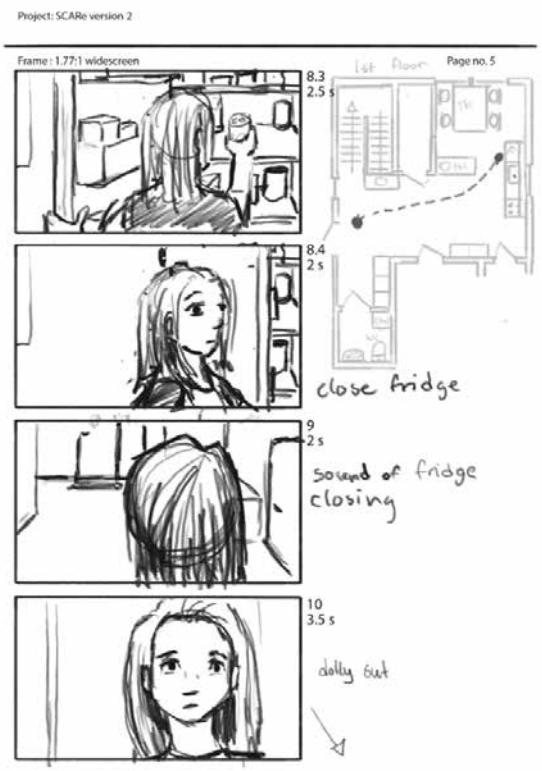


Figure 7 Storyboard: Version 2, Page 5

Figure 8 Storyboard: Version 1, Page 8

2.

5.2 Test subject comments

There were a lot of comments mentioning the fact that the threat was not there when expecting made the picture scary. Comments are marked by the version number and the frame of the comment such as V1-2 for a comment about Version 1's second frame. “V2-11,12: By not seeing the demon in 9 number 11 and 12 became scarier.” “V2-16.2: When the demon was hardly seen it wasn't that scary seeing the demon's feet up that close.” “V1-10.4: By not seeing anyone that you thought was behind is scary and make the heart beat.” The fact that nothing had happened also made some expect a threat around shot 5. “It feels a bit uneasy.”

There were also reactions to the sudden revelation of the threat. “V1-8.3 Not seeing when you expected to is scary.” “V1-13 Sudden appearance is certainly scary, but I would have liked more impact.” “V1-8.3 It is surprising but it would be scarier to not see it that much.” Then there were comments saying that by being able to see it, it may feel a bit safe like the fact that the threat walks away in 8.3 and doesn't do anything in 10.4.

6. CONCLUSION

We were able to create a database using SCARe for gathering and analyzing horror content according to the timing of revealing a threat to the audience. The findings of how timing is used were then used to create contents that could be used to evaluate how the timing used can affect the audience differently in the aspect of fear. Findings that can be used by the director for affecting the audience in a preferred way.

The experiment showed that by not revealing the threat until the end we were able to scare the audience to a higher extent than we could by presenting the threat for a longer time, even if it was the same scene and the threat was present during the same amount of time.

As future work, we want to create a system that can be used for speeding up the process of making appropriate decisions for presenting threats in horror content depending on the desired effect on the audience. Some of the test subjects thought that it was difficult to rate how scary a previz is compared to a finished product since it is

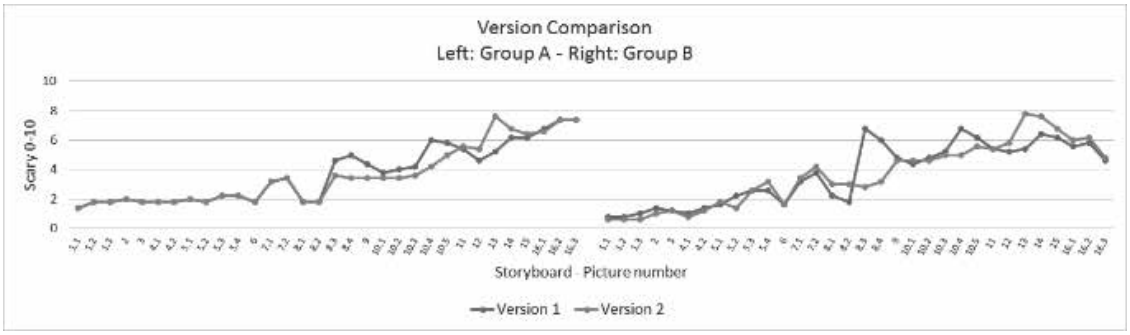


Figure 9　Group Comparison

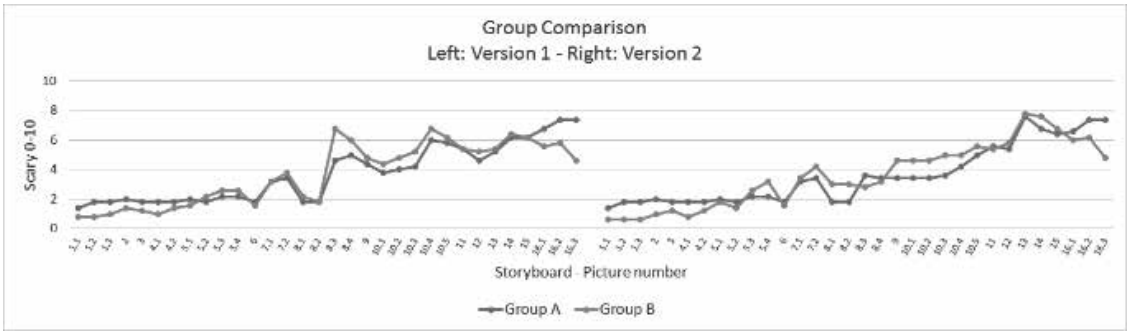


Figure 10　Version Comparison

harder to get immersed into the story.

Therefore, we want to continue to make further experiments using horror content that is finished to a higher degree, such as a real animated scene.

References

[1] Sipos T., Horror Film Aesthetics Creating the Visual Language of Fear, McFarland & Company Inc. ISBN 978-0-7864-4972-9, (2010).

[2] Yannakakis G. N., Martínez H. P. and Jhala A., “Towards affective camera control in games”, User Modeling and User-Adapted Interaction Volume 20 Issue 4, (2010), 313−340.

[3] Xu, H., Kanematsu, Y., Motegi, R., Tsuruta, N., Mikami, K., and Kondo, K., “A Support System for Designing Camera Blocking of Battle Scenes in Robot Anime”, Journal of Graphic Science of Japan, 52(4), (2018), 11−17.

[4] Kanematsu, Y. and Kaneko, M., “Research on digitizing lighting information from the movies”, Proc. NICOGRAPH International (CD-ROM) (May 2008).

[5] Motegi, R., Kanematsu, Y., Tsuchida, T., Mikami, K., and Kondo, K., “Color scheme scrapbook using a character color palette template”, International Society on Geometry and Graphics, (2014), 167−174.

[6] Heimdahl, L. L. M., Kanematsu, Y., Tsuruta, N., Motegi, R., Mikami, K., and Kondo, K., “Analysis of camera work in horror movies”, Proc. SIGRAD (2016), 28−34.

●2018年 4 月24日受付

About the Authors

1. Liselotte HEIMDAHL, master’s degree holder, Graduate School of Bionics, Computer and Media Sciences, Tokyo University of Technology, 1404-1, Katakura, Hachioji, Tokyo, Japan, 192-0982
2. Yoshihisa KANEMATSU, Ph.D. in Media Science, Assistant Professor, Tokyo University of Technology
3. Naoya TSURUTA, Ph.D. in Engineering, Assistant Professor at Tokyo University of Technology.
4. Ryuta MOTEGI, Ph.D. in Media Science, Assistant Professor, Tokyo Metropolitan University.
5. Koji MIKAMI, Ph.D. in Media and governance, Professor at Tokyo University of Technology.
6. Kunio KONDO, Ph.D. in Engineering, Professor at Tokyo University of Technology.

Character Development Support Tool for DREAM Process

Takahiro Tsuchida[1]
t_tsuchida@riken.jp

Ryuta Motegi[2]
ryutamotegi@gmail.com

Naoki Okamoto[2]
okamoto@media.teu.ac.jp

Koji Mikami[2]
mikami@media.teu.ac.jp

Kunio Kondo[2]
kondo@media.teu.ac.jp

Mitsuru Kaneko[2]
mits@media.teu.ac.jp

1:Riken 2:Tokyo University of Technology

Abstract

The purpose of this research is to develop a 'Developing Support Tool' for creating characters that will appear in visual content, such as animation, feature films, television programs, ... A character in visual content is an object which is able to move with its own 'mind' to create progress in a story, as well as arouse empathy from viewers. The impression that a character leaves viewers with is very important, which means that developing a character is not just about choosing the right shape or color. Determining a character's background, facial expressions, actions, and other characteristics are just as essential. In this research, we have constructed the 'Character Background Tool', the 'Character Digital Scrapbook Tool', and the 'Character Analysis Tool' to efficiently create characters that are consistent with the aim of the DREAM production process. These tools save textual information about characters into XML, and use it throughout the DREAM process. As part of our research, we have conducted an evaluation test using these proposed tools for developing a character. From the test results, we found out that these proposed tools are useful in character development. (Define DREAM) 'Developing', 'Rendering', 'Exploiting', 'Activation', and 'Management'.

Keywords : character making, character background, digital scrapbook

1. Introduction

Because of changes in production processes and exhibition methods, the visual content industry is required to produce an increasing large volume of high quality content (define the type of content that you are dealing with). Due to this, content production methods are critical. With the rapid spread and advancement of computer technology, it has been possible to increase the efficiency of production tasks such as coloring animation and digital video editing. However, development of software or databases to assist the preproduction process stills lags far behind. Therefore, there are opportunities to develop methods to improve the preproduction process and to use this information throughout the production. The creation of scenario and character are two very important elements in the preproduction process. It can be said that story represents the interior of content, and character represents the exterior of it.

Therefore, there is a direct connection between creating an appealing character, and creating appealing content, but current software does not support this connection. This is exemplified by many businesses that sell figurines or toys made from their content, in order to develop their brand. It is now also common to see many books published which document the production experience of creators, as well as books that use imagery to illustrate the character development process. There are also many commercial software packages for image editing such as Adobe Photoshop, or Maya for 3D modeling/animation. But due to the disconnect between character background and scenario, there is no software that can help creators make artistic choices during the character development process. [1-6].

The purpose of this research is the proposal of the "DREAM" method for creating characters and implementation of character making tool based on "DREAM". In this research, a 'character' is defined as (1) an object which has its own personality; (2) something that is able to move with its own 'mind'; (3) something that the viewer is able to empathize with; and (4) something the viewer is able to like or dislike. Character making in this research is the creation of an object which fulfils the four criteria mentioned above, and is accomplished by a process that spans the initial idea and design to the distribution of content, which we will call 'DREAM'.

In this research, three types of character development support tools are developed based on the DREAM process for character production. The first tool is a character background production system, which is used to record and consolidate character background information. The second tool is a character digital scrapbook, which archives physical features of existing characters into a database, which can then be used to create new characters. The third tool is a character analysis tool, which graphically represents characters based on a general set of personality attributes, assisting the process of character analysis.

In Chapter 2, we discuss the research related to character production. Then, in Chapter 3, the DREAM process is explained. In Chapter 4, we explain the structure of the proposed tools and how to use them. In Chapter 5, we explain the character building evaluation experiment using these proposed tools.

2. Related work

In this chapter, existing character creation research and methodology will be explained. This includes research related to character creation such as scenario development, character image editing techniques, and 2D sketch techniques.

(1) Scenario for Character Development

Kaneko, Kanno et al. [7-10] proposes a step-by-step method for quickly describing any scenario written for visual content. The objective of this method is to break the scenario into its most basic pieces of information (title, genre, target audience, etc.) This research uses Kanno's method to produce character background information (see Table 2).

(2) Collage Method and Image Database

Directors who cannot draw well will have difficulty producing the character design they have in mind. As a solution, Watanabe et al. [11] proposed a method to assist directors by producing character designs using a collage of pre-existing character images. Watanabe uses Poisson Image Editing to composite images of different character parts that have been resized, rotated and moved. This collage system enables the user to easily design an entirely new character. In our research, this collage system creates new characters based on multiple character images.

Kawatani has proposed a method to manage character images by labeling and archiving the divided parts of characters [12]. In this research, Kawatani has proposed a method where character face parts are divided into clusters such as hair, skin, eyes, and managed by assigning metadata. This method is purely visual, and so does not include management of character information.

There is also research to support a design process that uses "Kansei words" (words that communicate feeling, sensitivity or impression) to analyze images such as by Harada [13] and Kuroda [14]. But this research has not yet been made applicable to character production for visual content.

(3) 3D Sketch for Character Making

There is research that can generate character shapes from a user's sketch input, such as Smooth Mesh [15, 16]. The objective of this software is to produce a 3D model based on 2D sketch input. There is much research by Kondo [17] and Olsen [18] that introduces sketch input concepts, but they are mainly focused on shapes. Currently, there is no software that can use scenario or character profile information to help generate a character's physical appearance.

3. DREAM Process

In this chapter, we will explain the "DREAM" method for character making. Figure 1 shows the entire flow of the DREAM process. DREAM consists of 5 stages which include 'Developing', 'Rendering', 'Exploiting', 'Activation', and 'Management'. In our research, we focus on the 'Developing' stage, and to analyze the character produced in that stage, we will also explain the 'Exploiting' process.

3.1. Developing Process

In this section, we will explain what goes into a character background, as well as how to categorize existing characters by attributes for the 'Developing' process.

3.1.1. Content Information and Character Profile Information

In this section, we will explain the character profile. Characters that appear in visual content need a variety of background information to create personality. Hence, a template [1] is proposed to divide a character's profile into categories. This template is separated into 2 categories, which distinguish items to describe general project information from items to describe a character's specific background information. Table 1 shows the items for general project information and Table 2 shows the items for character background information.

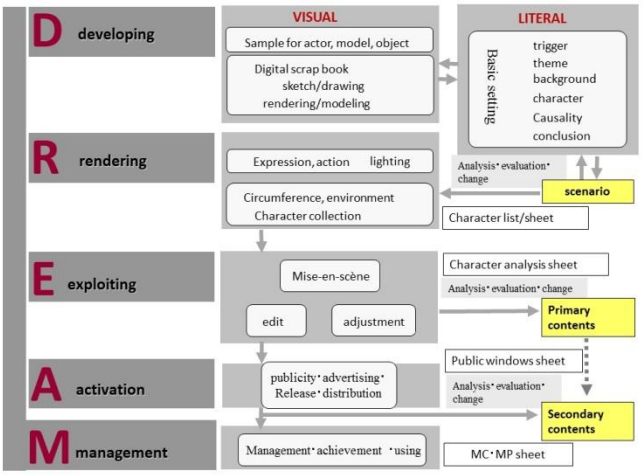


Fig. 1 Overview of DREAM Process

Table 1 Entry Items for Project Information

1.Project Title
2. Date and Time
3. Production Venue
4. Content Genre
5. Content Details
6. Content Objective
7. Target Audience
8. S Plot (Summary) Setup, the Confrontation and the Resolution
9. Scenario Writing S, M Plot

Table 2 Entry Items for Character Profile Information

Item	Details
Character Name	Character name
Role	Role played in story
Basic Details	Age, gender, etc
Society Setup	Family, job, etc
Exterior Setup	Height, body, etc
Personality Setup	To oneself, to others, etc
Life Setup	Hobby, habits, etc
Ability Setup	Physical ability, intellect, etc
Related Figures	Related people
Concept	Character setup's aim, etc
Remarks	Other remarks

3.1.2. Categories of Character by Kansei Keywords

In this chapter, the categorization of existing characters by attribute will be explained. This is a method by which users can identify characters based on universal personality traits that are ranked on a numeric scale according to intensity.

In this research, the Character Image Scale proposed by Motegi[1] is applied as a method to categorize characters by personality trait. This scale takes 2 pairs of opposite attribute words, such as "kind" & "cruel" and "cheerful" & "gloomy", and places them at opposite ends of the X and Y axes on a graph. The user then identifies values on a scale of 0 to 5 for both attributes, enabling the computer to plot the character's position on the graph. Once a character image has been entered into the system, users can look it up based on its attributes.

To narrow down the adjectives needed for computation, Motegi proposed 12 permanent attribute pairs after doing analysis on existing characters. Table 3 shows the keywords selected for this research. Also, to more efficiently categorize the characters, seven types of roles (protagonist, collaborator, antagonist, victim, client, aid, opposition) [1] are used. In this paper, attribute keywords and the seven types of roles are used to develop the Digital Scrapbook, which is a character register/retrieval system.

Table 3 Impression Keywords

Serious⇔Playful	Aggressive⇔Shy
Firm⇔Timid	Active⇔Passive
Cheerful⇔Gloomy	Kind⇔Cruel
Passionate⇔Calm	Stubborn⇔Obedient
Indecisive⇔Decisive	Mature⇔Immature
Common⇔Eccentric	Showy⇔Plain

3.2. Exploiting Process

Exploiting is a phase where the data produced in previous processes is exhibited. In this process, character designs are determined and analyzed prior to the production. This can be very helpful to filmmakers as they envision the world of their characters, allowing them to spot and improve weak points in the design. For example, if there is a tendency on the part of the filmmaker to create characters of a particular type (either consciously or subconsciously), this tool will bring that decision to their attention, possibly initiating edits to improve and vary their characters.

The data used for this process is created by character analysts, who are trained by the Visual Industry Promotion Organization (VIPO) in Japan to assess the quality of a character objectively before physical production starts. This analysis is aimed at improving any weaknesses in character (e.g. Failure to arouse empathy with the audience, failure to fulfill a particular role in the story) [6].

In this paper, character analysis criteria is divided into items by referring to an analysis template [6] that was created based on character background. The analysis criteria is divided into five categories which are appearances, interior, function, other materials, and an overall category. Implementation of the analysis support tool for converting character analysis information into XML will be explained in chapter 4.

4. Production Steps and Tool Proposal based on DREAM

In this chapter, the three tools developed based on the DREAM process and their application will be explained. 4.1 explains the Character Background System; 4.2 explains the Digital Scrapbook System; 4.3 explains the Character Analysis System; and 4.4 explains the recommended application steps for these tools.

These tools will save the character information generated during use into XML format. By doing this, it is possible to consolidate information and manage it centrally. This tool has two feature points.

1. All information of "DREAM" process can be converted and stored in XML. Character creation information can be unified and managed; therefore, large information sharing costs can be reduced.

2. Using the proposed tool, novice class users can easily produce the information required for character making. The necessary information for character making is the literal setting information of the character, which is then transmitted to the person who is in charge of the next process.

4.1. Development of Character Setting Tool

The character setting support tool for creating and managing character profiles efficiently is used to record and manage the character profile information such as in Table 1 and Table 2.

Information input using this tool will be saved in an XML file. The Character Scrapbook Tool introduced in Chapter 4.2 shares the same data entry structure, thereby helping to centralize data management and bridge the tools together. The startup screen for Character setting tool is shown in Fig. 2, while Fig.3 shows the XML file structure.

Fig. 2 Startup Screen for Character Background Tool

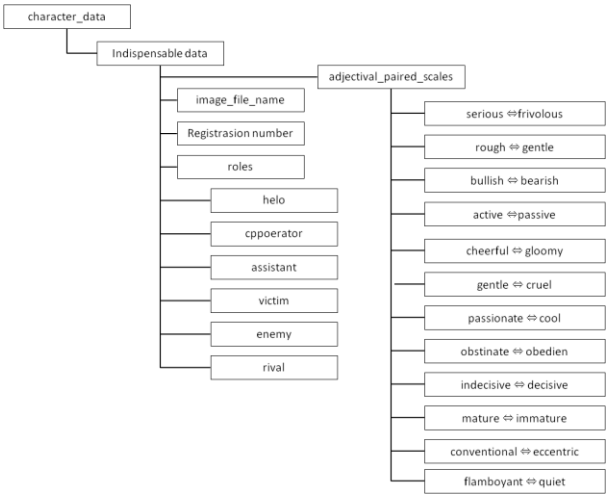


Fig. 3 Structure of Character Background Information

4.2. Structure of Digital Scrapbook

The Digital Scrapbook[20, 21], a tool for registering and looking up existing characters, creates an archive of character parts, which are labeled by the user according to the attribute scale described in 3.1.2. These labels are turned into metadata, which can then be used in searches when the user is looking for a character with unique attributes. When the user enters attribute criteria, the program will automatically call up character parts that most closely match those criteria.

The metadata is saved into XML format, and is divided into two types: data essential for categorizing the character using the Character image scale (attributes and role information as in 3.1.2), and data related to character setting (name, height, weight, etc., as in Tables 1 and 2). This information is searchable, providing convenient points of reference for the user. The Character Impression Data structure is shown in Figure 4. Figure 5 shows the display of the character input screen. The character image will be converted into numbers based on the 12 attribute scale. With this, a character's attributes can be set. Figure 6 shows the character search screen. After setting the attribute scale, the character images will appear on the graph. The character roles can also be set in this screen.

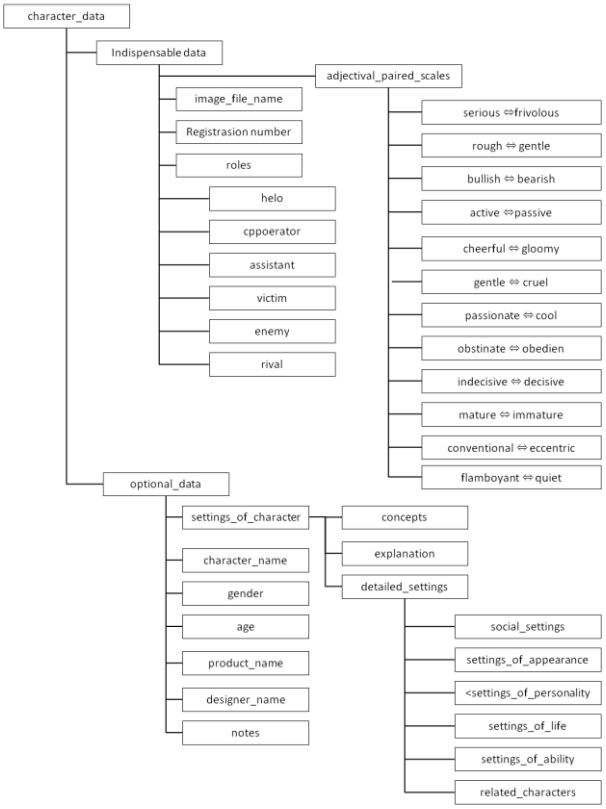


Fig. 4 Structure of Character Attribute Data

4.3. Development of Character Analysis Tool

In this chapter the Character Analysis tool, which is a tool to analyze and evaluate characters, will be explained [22]. This tool is designed to increase the efficiency of character analysis [1]. Figure 5 shows a sample XML file produced by the tool and Figure 6 shows the structure of XML produced by the analysis tool. This tool's interface consists of textboxes and radio buttons. Textbox fields are optional and can be used for making miscellaneous notes. Radio buttons indicate required data fields, and there are options of 0 to 9 for each field.

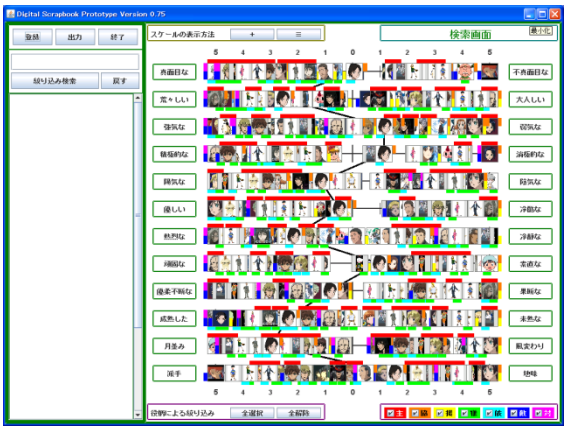


Fig. 5 Input Interface for Digital Scrapbook

Fig. 6 Retrieval interface for Digital Scrapbook

```
<Appearance_Specific_Items>
- <Body>
    <Comment>平安時代らしさ、清少納言らしさの不足(黒
      長髪と若干の顔立ちの特徴のみ)</Comment>
    <Value>5</Value>
  </Body>
```

Fig 7 Example of XML in Character Analysis Tool

4.4. Character Production Steps Using Proposed Tools

In this chapter, the four steps for character production using the three proposed tools will be explained.

Step.1 Plot Production of Character Profile

In this section, the production of character profiles and plot to summarize story will be explained. This data is input and stored using the Character Setting Support Tool.

1. Production of content information such as S, M Plot

Content information is inputted using the Character Setting Support Tool proposed in Chapter 4.1.

First, plot for visual content is inputted. For the purposes of our research, we refer to "plot" as a summary of visual content. In DREAM there are two types of plots: S for short plot and M for Medium plot. S plot refers to a summary of about 60 words, while M plot refers to about 200 words in Japanese.

2. Character Profile Information Input

Next, character profile information shown in Table 2 is input by the user using the Character Background Support tool. With this tool, filmmakers can check and confirm the information they have created about their characters.

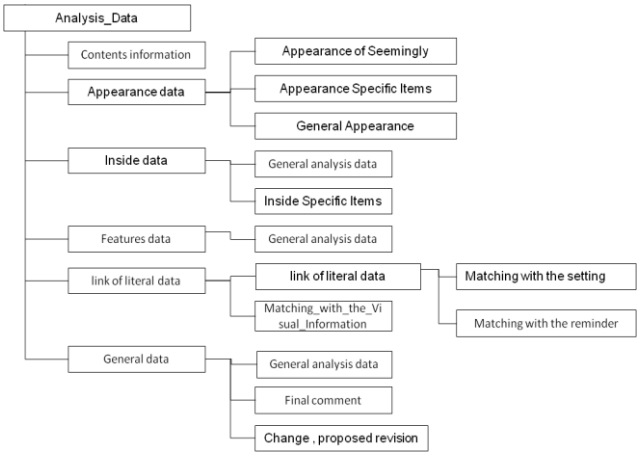


Fig 8 Structure of Character Analysis Data

Step.2 Input and Retrieval of Existing Characters

In this chapter, the character archiving and search functions of the Digital Scrapbook will be explained.

1. Registering a Character
   In Digital Scrapbook, users need to set the value for 12 sets of attribute keywords for each character part (face, hands, clothes, etc.) . The 12 sets of attribute keywords are arranged in one screen, shown in Figure 5. The image of the character part will appear in the middle of the axis and user shall move the images towards the appropriate attribute accordingly.

2. Looking up a Character
   In Digital Scrapbook, by choosing two out of 12 pairs of attribute keywords from a pull-down menu, users are able to setup an attribute graph. Once keywords have been chosen, the most closely matching character part images will appear. For example, if the user chooses "Serious⇔Playful" and "Aggressive⇔Shy", then images entered into the database under those keywords will appear on the graph. These images can be used as reference for a unique design, or as parts of a collage design.

Step3. Creating a Character Design Sample

1. Production of Design Draft using Collage
   At this stage, a new character is constructed from various character parts that were called up by the attribute search. Parts of the character are cut out and placed in the collage. Edits such as resize, rotate, transform, and color changes are done for each part. Image editing software such as

Adobe Photoshop or CharaCollage[11] can be used for making the collage.

2. Using Image Editing Software and Sketches

Fine adjustments are done by drawing sketches based on the collage. Sketches of a character can be drawn by hand or by using image editing software, and can be either colored or left in black and white.

Step4. Analysis of Produced Character

By using the Character Analysis Tool, grading is done for items that are mentioned in Chapter 3.4 on a scale from 0 to 10. Some data is inputted with the radio button, while other data uses the text box. Character attribute evaluation is done based on the numbers input for each attribute.

5. Evaluation

In this chapter, character production experiments using the proposed tool and their evaluation will be discussed. First, the experiment objectives and methods are described in 5.1. In 5.2, examples of character production experiments done by the test users are shown. In 5.3, an evaluation of the proposed tools will be detailed, while 5.4 contains interview results with the test users.

5.1. Experiments Objectives and Method

The experiments were performed to test the usefulness of the proposed tools and to evaluate the validity of character profile criteria. The experiment was to produce a character using the proposed tools.

The experiment steps are listed below:

(1) Creation of visual content profile information and S, M Plot

(2) Entering character profile information into a searchable archive

(3) Collection of existing character images and categorization based on attributes

(4) Producing a design draft based on collage and/or sketch

(5) Evaluation and analysis of produced character

In these steps, the Character Setting Tool is used for (1) and (2), the Character Digital Scrapbook is used in step (3), and step (4) uses the Character Analysis Tool. The Purpose of this experiment is to evaluate the effectiveness of our method and proposed tools.

The subjects for this experiment are 5 professional movie creators and 18 Tokyo University of Technology students..

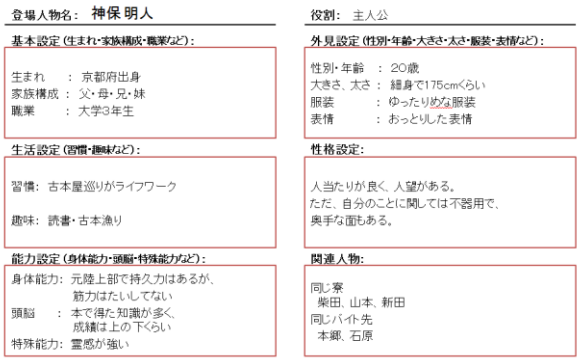


Figure 9(1) Character Settings/Background

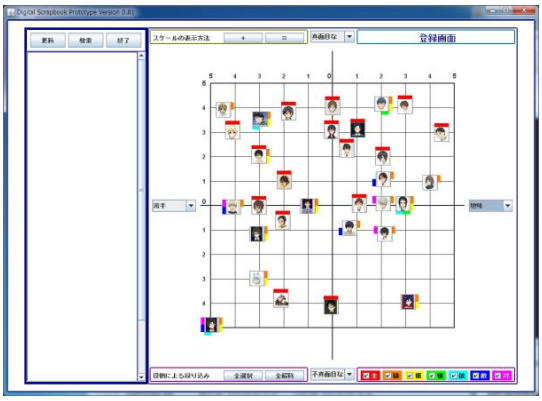


Figure 9(2) Character Impression Categorization

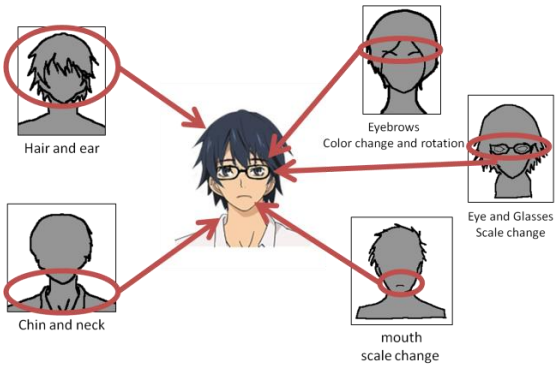


Figure 9(3) Production of Design Sample

5.2. Example of Character Production Experiment

Figure 9 and Figure 10 show the examples of a character produced using the proposed tools.

Each example consists of (1) Character background; (2) Categorization of collected character images by attribute; (3)Example of a character sample made using the collage method; and (4)Character sample drawn by hand or with image editing software.

Figure 9(4) Sample based on a Collage Image

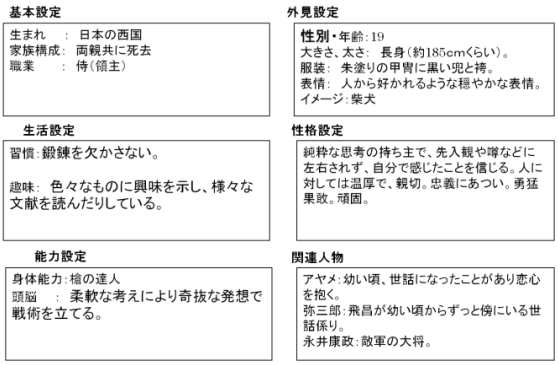


Figure 10(1) Character Profile

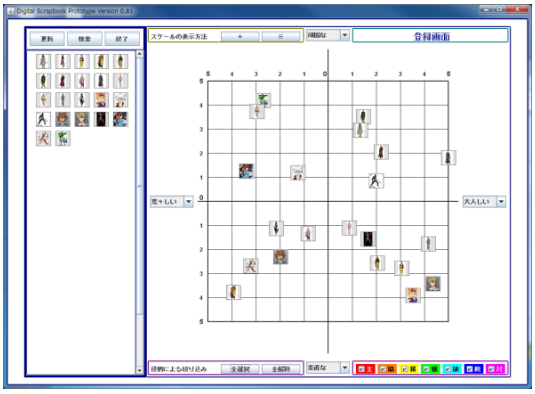


Figure 10(2) Character Attribute Categorization

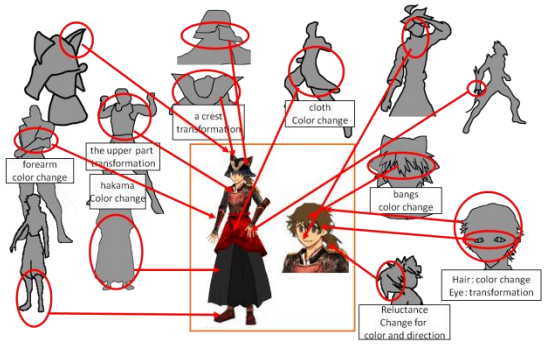


Figure 10(3) Production of Design Draft based on Collage Tool

Figure 10(4) Hand drawn Sketch Design Sample

5.3. Evaluation of Character Development Support Tools

In this chapter, the evaluation of the Character Background, the Digital Scrapbook and the Character Analysis Tool will be explained.

5.3.1. Evaluation of Character Settings/ Background Production Tool

All testers were able to input the content information and character background information by using the proposed tools. Since the character background information generated using our defined parameters was found useful to the character creation process, we concluded that the Character Setting Tool is useful. Also, the input character setting information can be managed centrally, therefore increasing the ease of data management.

5.3.2. Evaluation of the Digital Scrapbook

The objective of this experiment is to verify whether or not character attributes can be effectively categorized. Thus, the validity of 12 sets of attribute keywords and 7 character roles were tested.

Below are the test results for the usability of predefined attribute keywords and character roles:

a. Usability of 12 sets of attribute keywords

To test the usability of 12 sets of attribute keywords, an experiment to input 100 character images was conducted. Figure 11 shows the distribution diagram for the input, with different attribute terms listed along the X axis. As a result, more than 20 characters were input under each attribute keyword. Based on experiment results, it was concluded that the 12 sets of attribute keywords are suitable for categorizing characters.

b. Usability of seven character roles

To test the accuracy of the role categories, character roles distribution information was analyzed. The subjects were 100 randomly picked characters. Figure 12 shows the results of this experiment. As Figure 12 shows, each role has more than

10 registered characters. From these results, we concluded that the labeling system for character roles is accurate and useful.

The success of the attribute and role labeling systems also made possible the success of the Digital Scrapbook tool, which uses the data from those labeling systems to archive character imagery and enable users to search for character features based on attribute and role terminology.

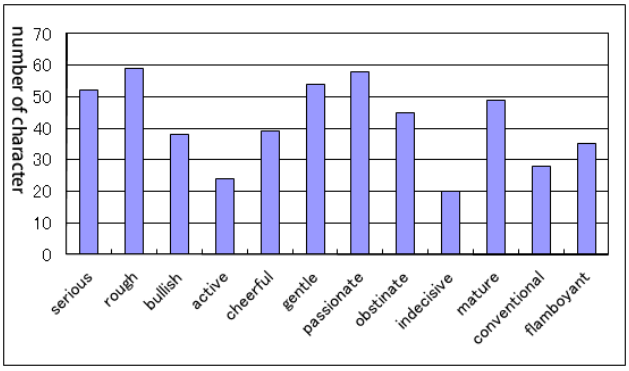


Figure 11 The usage of 12 attribute keyword sets

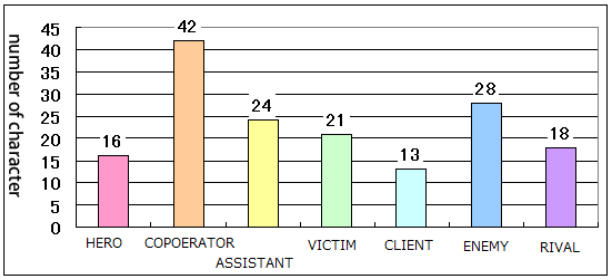


Figure 12 Distribution diagram for the usage of 7 roles among archived character imagery

5.3.3. Character Analysis Tool Evaluation

By using this tool, users are able to input information necessary for character analysis. The proposed method uses a template with input data spread over more than 10 pieces of paper, which made analysis slow and cumbersome. By using this tool, analysis information can be saved in one file and reduce the complexity of information management.

5.4. Interview Result

Interviews were held for the five test users with visual production experience on the proposed tool. Below are the interview results for the character background and analysis tools. Interview details were mainly focused on the efficiency of character making and usability of the proposed tool.

a. Character Setting Tool and Interview Result

The interviewees answered that they were able to fill in the description more efficiently than in simple templates.

They also commented that using the Character Background Tool enabled them to more easily spot gaps in character profile information.

It was recommended that these tools be tested in an actual production before making any final assessments of their value. Although the tools performed well in the test, some users thought that it was difficult to assess the accuracy or usefulness of the labeling systems criteria based solely on this experiment.

b. Character Analysis Tool and Interview Result

For character analysis using the proposed tools, there were comments that the data input method using radio buttons was effective. However, some users suggested that a slider control might be more user-friendly for assigning numeric values to the character images.

In an interview about the validity of character analysis criteria, there were comments that there were too many criteria, and that the examinee sometimes became confused about what they were analyzing and evaluating in the middle of the test. Also, the ten marking levels of 0 to 9 seemed too many for some testers. They suggested a simpler scale containing three to five levels. We found that there is a need to do further research before concluding on an optimal number of levels for the best balance between precise, but user-friendly, character analysis.

6. Conclusion

In our research, 3 types of character developing support tools were developed for the DREAM process. These tools are the Character Background Tool, the Character Digital Scrapbook, and the Character Analysis Tool. The results of our research are as follows:

(1) The Character Setting Tool aids in the creation of new characters. Character profile information and content information can be managed centrally.

(2) Management of information is easier with Character Digital Scrapbook. Its archive and search features are useful in brainstorming new character designs.

(3) The Character Analysis Tool allows users to analyze and evaluate characters using a limited number of essential criteria. The XML file format allows all three programs to share data and makes it easier to create a centralized network of character data.

The following is future work.

(1) Optimize the number of evaluation items, as there were comments that evaluation was difficult due to the large quantity of analysis items tested with the Character Analysis System.

(2) The DREAM process includes the development of character facial expressions, actions, and direction, as well as presentation, management, and other related processes. These stages of DREAM are beyond the scope of this research. However, it is recommended that digital tools are created that can integrate these stages with the tools created by this research in order to consolidate information for better data management during the entire production.

･Acknowledgements

We would like to thank for graduate students of the Tokyo University of Technology who made pictures which is used in this article and participant of Character Making and Analysis seminar which is managed by VIPO (Visual Industry

Promotion Organization) who have cooperated for our experiment. We also thank professor Richard Weinberg and Mr. Matthew Steidl of University of South California for their helpful suggestions and comments.

References

[1]. Ryuta Motegi, Ryouichi Matsumoto, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, Configuration method of character design by literal information, NICOGRAPH paper contest 23rd fall, 2007

[2]. Ryuta Motegi, Ryouichi Matsumoto, Naoki Okamoto, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, proposal for "Digital Scrapbook system" for support of character design, Conference on Japan Society for Graphics Science , 2008

[3]. Mitsuru Kaneko, Kunio Kondo, Naoki Okamoto, Koji Mikami, Proposal of Character Making method using templates, NICOGRAPH Spring Festival in TAF, 2009

[4]. Mitsuru Kaneko, Kunio Kondo, Naoki Okamoto, Koji Mikami, Education of "digital character making" for creating digital contents, NICOGRAPH Spring Festival in TAF,2009.3

[5]. Mitsuru Kaneko, Kunio Kondo, Koji Mikami, Naoki Okamoto, Ryuta Motegi, Takahiro Tsuchida, Nmerichi Umennachi, Digital Character Making, SIGGRAPH Asia 2009 workshop, 2009

[6]. Mitsuru Kaneko, Kunio Kondo, Golden Rule of Character Making, born digital, 2010

[7]. Daisuke Kanno, Yuuko Sakuma, Mitsuru Kaneko, A Method of Composing a Story Outline for Scenario Writing, 21st NICOGRAPH paper contest , 2005

[8]. Yuuko Sakuma, Daisuke Kanno, Mitsuru Kaneko, Proposal of Plot Composition - Scenario Writing Support System 2 -, 22nd NICOGRAPH paper contest , 2006

[9]. Daisuke Kanno, Sho Iamai, Mitsuru Kaneko, A Method of Composing "Lot" for Scenario Writing -Scenario Writing Support System 3-, 23rd NICOGRAPH paper contest, 2007

[10]. Mitsuru Kaneko, Golden rule of SCENARIO WRITING, born digital, 2008

[11]. Kengo Watanabe , Kazuya Itoh , Kunio Kondo , Shinichiro Miyaoka, The Character Collage System using Poisson Image Editing, Journal of The Society for Art and Science vol9, No2, pp.58-65, 2010

[12]. Yamato Kawatani, Hiroki Kashiwazaki, Yoshiaki Takai, Nami Takai, Feature Evaluation by Moe-Factor of ANIME Characters Images and its Application, The Institute if Image Information and Television Engineers Journal 34(6), 113-118, (2010)

[13]. Masahiro Harada, Yasuhiro Itoh, Hiromasa Nakatani : On Constructing Shape Feature Space for Interpreting Subjective Expressions, Journal of IPSJl, Vol.40, No.5 pp. 2356-2366, (1999)

[14]. Akihiro Kuroda, Kunio Kondo, Yuudai Morohara, Hisashi Sato, Shizuo Shimada, Noriyuki Nakajima, Ryo Takeuchi: Application for Sensitivity search for textile image database and Integration System for design, 9th NICOGRAPH paper contest , pp. 113-122, 1993.11

[15]. Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka: Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design. ACM SIGGRAPH'99, pp.409-416, 1999

[16]. Takeo Igarashi, John F. Hughes, Smooth Meshes for Sketch-based Freeform Modeling, SIGGRAPH, 2003

[17]. Kunio Kondo, Interactive Geometric Modeling Using Freehand Sketches, Journal for Geometry and Graphics, Volume 13,No. 2, pp.197-209.2009

[18]. Luke Olsen, Sketch-based modeling: A survey, Elsevier Ltd. Computers & Graphics, 33, pp.85-103, 2009

[19]. Takahiro Tsuchida, Ryuta Motegi, Naoki Okamoto, Akinori Ito, Koji Mikami, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, Implementation of "character design engine" used by literal data, 25th NICOGRAPH paper contest, 2009

[20]. Takahiro Tsuchida, Ryuta Motegi, Naoki Okamoto, Akinori Ito, Koji Mikami, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, Registration method of character picture for "Digital Scrapbook", 8th NICOGRAPH Spring Festival in TAF, 2009

[21]. Yoshihiro Takahashi, Ryuta Motegi, Naoki Okamoto, Koji Mikami, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, searching method of character picture for "Digital Scrapbook", 8th NICOGRAPH Spring Festival in TAF, 2009

[22]. Takahiro Tsuchida, Ryuta Motegi, Naoki Okamto, Akinori Ito, Koji Mikami, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko, proposal of "character analysis system" for Digital Character Making, 26th NICOGRAPH paper contrest, 2010

芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 58-65

Poisson Image Editing を用いたキャラクタコラージュシステムの開発

渡辺賢悟† 伊藤和弥†† 近藤邦雄‡ 宮岡伸一郎‡

†東京工科大学片柳研究所 メディアテクノロジーセンター

††株式会社アイヴィス

‡東京工科大学メディア学部

Character Collage System using Poisson Image Editing

Kengo Watanabe†, Kazuya Ito††, Kunio Kondo‡, Shinichiro Miyaoka‡

†Tokyo University of Technology, Katayanagi Institute Media Technology Center

††IVIS, INC

‡Tokyo University of Technology, School of Media Science

kengo@mediatelier.net, miyaoka@media.teu.ac.jp

アブストラクト

キャラクタデザインは，ゲームやアニメといったコンテンツ制作において重要な作業である．デザイン作業は複数人のアイデアを，コミュニケーションを介してまとめながら進められるが，絵が描けるデザイナと描けない者の間でアイデアの視覚化の能力に差があるため，アイデアを交換・共有するのが難しい現状がある．本研究では，絵が描けない者のアイデアの視覚化を支援するため，絵画手法の１つであるコラージュに着目する．複数の既存画像から一部分を切り出し，組み合わせるだけの作業で視覚化を行えるシステムを提案する．画像合成処理に Poisson Image Editing を用いることで，高品質なコラージュ結果を実現する．また，合成部品の切り取りを簡単にするため，部品領域の最適化処理を実装する．作成したシステムと，従来のソフトウェアを使用して視覚化した結果を比較し，システムの実用性を検証する．

Abstract

Character design is very important work on video-game and animation contents production. However, in the case there are members who don’t have character drawing skill, it’s difficult for members to communicate and share character image each other. In this paper, we present a character collage system for solving this problem. In this system new character image is created easily by combining existing characters. Poisson Image Editing is applied for seamless image composition and we propose a technique for optimizing character-parts region used for the image composition. Experimental results clarify our system is effective and efficient comparing a existing software.

芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 58-65

1. はじめに

ゲームやアニメといった，多様なメディアにおけるコンテンツ産業の充実がめざましく，多くの作品が制作されている．これらコンテンツは特徴あるキャラクタによって彩られており，コンテンツ全体の出来を支える最重要の要素の一つである．しかしこれらのキャラクタ制作には多くの人間と労力を必要としており，必ずしも効率的とはいえない環境で制作が行われている．将来のコンテンツ産業のさらなる充実を考えるうえで，キャラクタ制作環境の改善が必須の課題となっている．特に問題となるのが，キャラクタのビジュアル面のデザインにおけるリテイク(やり直し作業)である．

キャラクタデザインは 1 人もしくは複数人のメンバ全員でアイデアを出し合い，設定やビジュアルのデザインを確定していく．そのメンバの中に，デザインを視覚化する「デザイナ」，最終的にデザインの採用を決定する「プロデューサ」が含まれる．

個人制作や同人作品で 1 人が全て兼任する場合，アイデアがそのまま視覚情報に反映されるため，問題は発生しない．しかし，TV アニメやコンシューマゲームなどの規模の大きな作品の場合, キャラクタデザインに関わるメンバも複数となるため, 全員のアイデアを，コミュニケーションを介してまとめ，デザインに反映する必要がある．このとき，コミュニケーションに用いられているのは，主にリテラル資料(文字や言葉)である．このとき，視覚化の手段を持つのはデザイナのみであり，アイデアの視覚化についてはデザイナと他のメンバの間で伝達力に格差が生じる．

特に，コンテンツの方針を決定するプロデューサにデザイン経験がない場合が多く，アイデアの視覚化手段がないため，意図を上手く伝えられず, デザインに上手く反映できない. 結果, リテイクを繰り返すことになり，デザイナに大きな負荷をかける原因となっている．

以上の状況から，キャラクタデザインに関わるメンバ全員が自らのアイデアを直接視覚化し，コミュニケーションに利用できることが望ましい．しかしデザイン経験のない参加者が，視覚化のために新たに描画能力を習得するのは負荷が大きい．金子ら[1][2]も，デザインの意図伝達を支援する「キャラクタデザインのための思考にあった操作や機能」を持つシステムが存在しないことを挙げており，簡易にアイデアを視覚化できるシステムの登場が期待されている．

茂木らはデザイン経験にかかわらず，アイデアの発想者自身がキャラクタの絵を作成できるようなキャラクタデザイン制作システムの仕組みを提案[3][4]しており, デザイン経験のない者がデザインを視覚化する手法について言及している．一方で，伊藤らは Poisson Image Editing 手法を用いたキャラクタのパーツ合成方法の提案[5]を行っており，良好な合成結果を得ている．

これらの流れを受け，本研究ではキャラクタについてのアイデアの視覚化を容易にするため，画像のコラージュ手法に着目する．コラージュは，既存のイメージの切り貼りで作品を構成する絵画手法で，デザイン経験の少ない者でも簡単に導入できる手法として有効であると考えられる．特に，プロデューサとデザイナが別の人間となるコンテンツの場合，決定者であるプロデューサのアイデアが視覚化されることで伝わりやすくなるため，迅速にデザインを確定することが期待できる．

本研究では，既存画像の組み合わせで，簡単に視覚化作業ができる画像コラージュシステムを実装し，デザイン経験に関係なくアイデアを視覚化する手法を提案する．このシステムを利用することで，キャラクタデザインに関わる全ての構成員が，アイデアを視覚化できるようにし，デザイナと他メンバの間にある伝達力の格差の解消を目指す．

システム内でキャラクタパーツをコラージュする作業に，伊藤らが用いた Poisson Image Editing を利用し, 短時間で質の高いコラージュ結果を得られる方法を提案する．

最後に実装したシステムでコラージュを行った結果と，既存のソフトウェアでコラージュを行った結果を比較することで，アイデアの視覚に有効であるかを評価し，システムの実用性を検証する．

2. 関連研究

コンテンツ制作の発想を支援する研究[6]があるが，これらは文字や既存の画像を整理することで，デザインに参加しているメンバのアイデア想起を促すことに主を置いている. 同様に KJ 法やブレインストーミングをベースとした発想支援のソフトウェア[7][8]は数多く存在する．これらは既存画像を編集・合成する点は考慮されておらず，発想したアイデアを意図にしたがって詳細に視覚化し，出力する手段について言及していない．

アイデアの出力について，茂木らの研究[4]では，キャラクタデザイン支援システムを実装し，デザイン経験に関係なくキャラクタを作成できるようにするための提案を行っている．この研究も前述の発想支援ソフトと同様，大量の既存画像からのイメージ選定に関しては一定の成果を得ている．アイデアを可視化する作業にコラージュを用いる点を言及しているが，デザイン経験のないユーザが考慮されておらず，成果が出ていない．

一方，画像合成システムという視点では，モーフィングを用いて複数画像間で顔画像を合成するシステム「FUTON」[9], 3DCG と実写の合成システム「AmazeART」[10]などが開発されている．このように，すでに実用化された画像合成システムは存在するが，実写を対象としたシステムがほとんどで，キャラクタ画像の合成に適した画像合成システムは存在しない．

キャラクタデザインに注目した合成処理という点では，伊藤らの研究[5]がある．Poisson Image Editing によるパーツ合成について提案しており，高品質な合成結果が得られることを確認している．しかし手法の効果についての言及にとどまっており，実用的な画像合成システムの実装には至っていない．

また Poisson Image Editing による画像合成表現を応用した研究として Diffusion Curves[11]と Gradient-Domain Painting[12]があげられる．Diffusion Curves は自由曲線の操作によって多彩なグラデーションを生み出しており，Gradient-Domain Painting では，勾配空間の編集による新しい描画機能を実現している．いずれの研究も, Poisson 方程式をベースにした新しい表現ツールとし

芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 58-65

て注目されている．

その他，Adobe 社の Photoshop CS5 のデモ[13]において，Seam Carving[14]を用いたシームレス合成処理が実装されることが発表されており，Poisson Image Editing の手法と合わせて，画像合成手法の高度化・多様化が進んでいることがわかる．

このような流れの中，本研究は，キャラクタのビジュアルデザインという特徴的な画像を対象とする点，「絵が描けない者」向けにコラージュ作業にスポットを当てた専用システムを実装する点，そして Poisson Image Editing の新たな活用先の開拓，以上 3 点の特徴を持つ研究として位置付けることができる．

3. コラージュシステムの設計

3.1 既存のアイデア視覚化の手法

デザイン経験のない者の多くは，アイデア伝達に文字や言葉を用いる．既存の画像でサンプル提示することもあるが，実際のアイデアとの相違が誤解を招きやすい．そして，そもそもコラージュを行って絵を示す，という考え自体が浸透していない．

仮にソフトウェアを用いてコラージュ作業を行おうとしても，簡易なコラージュ作業を実現したソフトウェアは存在せず，Photoshop，Gimp，SAI などの複雑で多機能な汎用のフォトレタッチソフトを代用することになる．これらのソフトの利用は，描画経験の少ない者にとって過負荷であるが，他の選択肢がないことから，上記ソフトの利用を余儀なくされる．

よって本研究では，デザイナ経験のない者のアイデアを簡易に視覚化できるようにする点を重視し，システムを開発する．また現状でコラージュを行う場合に用いられるであろう，上記ソフトウェアのうち，特に利用者数の多い Photoshop との作業比較を行いながら，コラージュの手順を考察する．

3.2 コラージュの手順

コラージュでは，まず下地となる画像を用意する．次にパーツ画像を読み込み，必要な加工を施した後，下地画像に貼りつける(パーツ合成)作業を繰り返し，アイデアを視覚化する(図 1).

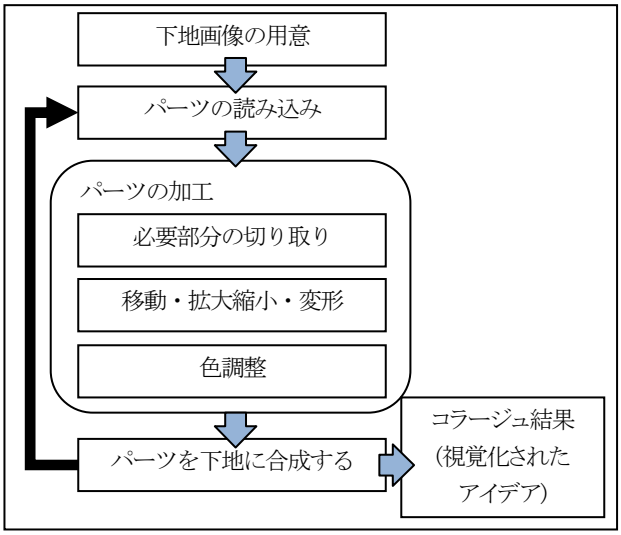


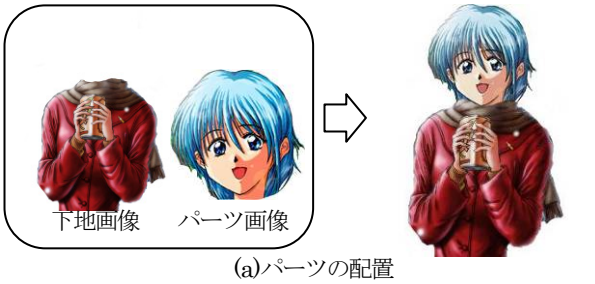
図 1: コラージュシステムの作業手順

3.3 パーツの配置・パーツの埋め込み

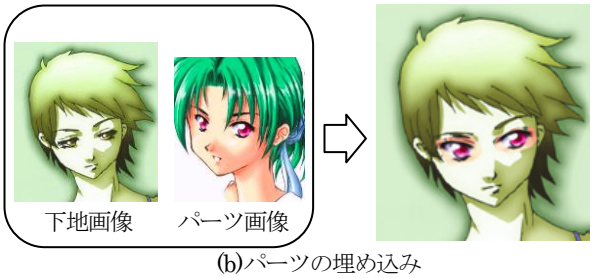
図 2 のパーツを下地に合成する作業は，「パーツの配置」と「パーツの埋め込み」の 2 つに分類できる(図 2).

画像加工パーツの配置は，下地画像に合成した別パーツと重ならないように並べていく合成を指す．これはパーツ間の干渉がないため，単純な切り取り・変形や色調整などの画像処理で実現できる．これらの機能は既存のレタッチソフトでほぼ実装されており，利用することができる(図 2(a)).

一方でパーツの埋め込みは，他のパーツに重ねるため，パーツ境界部分で絵の乱れが発生する．図 2(b)ではキャラクタの目を埋め込んでいるが，パーツの境界色が下地の色と合わないため違和感がでている．本研究で対象とするアイデアを視覚化したデザイン案は，デザインの完成稿のような高品質の結果を必要としないが，草案段階であっても，単純な埋め込みによる絵の乱れはデザイナへの意思伝達を乱す可能性が高い．このような場合，既存のレタッチソフトではパーツを手作業で緻密に切り取ることで絵の乱れを防ぐが，長い作業時間が必要であり，現実的な作業環境ではない．



(a)パーツの配置



(b)パーツの埋め込み

図 2: パーツの配置と埋め込みの例

そこで本研究では，パーツ埋め込み時のパーツ境界部分の絵の乱れをなくすため，Poisson Image Editing によって絵をなじませる自動処理と，切り取り領域の最適化処理を実装する．これらを実装することで，ユーザはおおまかな切り取り領域を指定する作業のみで，高品質なパーツ埋め込み結果を得ることができるようになると考えられる．Poisson Image Editing については 4 章，切り取り領域の最適化処理については 5 章で詳述する．

3.4 ユーザインタフェース

茂木らの研究[4] で試作された合成システムは，従来の画像処理ソフトウェアの利用経験がない者が利用することを前提に，意図的に従来とは異なったユーザインタフェースで実装したが，逆に作業効率の悪化につながっていたことがわかっている．これはプロデューサにデザイン経験はなくても他のソフトウェアの利用経験があり，使用感の大きな差異から混乱を招いたため

芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 58-65

と考えられる.

このことから，画像の移動や拡大縮小といった基本的な作業を行うユーザインタフェースには，従来のレタッチソフトの形式を採用するのが良いと考えられる．そこで日本で利用者の多い画像処理ソフト Photoshop,ペイントツール SAI を参考にしたユーザインタフェースを採用し，利用者の混乱解消をねらう.

4. Poisson Image Editing によるパーツ合成

4.1 Poisson Image Editing の原理

Poisson Image Editing[15]は，指定したオブジェクト領域Ω内の画素において，貼りつけるパーツ画像f_sを，貼り付け先画像f_tになじむように合成する手法である. オブジェクト領域の境界部分$\partial\Omega$上にある貼り付け先の画素値$f_t|\partial\Omega$を境界条件として, 先に求めておいたパーツ画像f_sの内部のエッジやテクスチャの状況を表すラプラシアンΔf_sを反映した画像$f|\Omega$を，Poisson 方程式$\Delta f = \Delta f_s$を解くことにより導き出す(図 3).

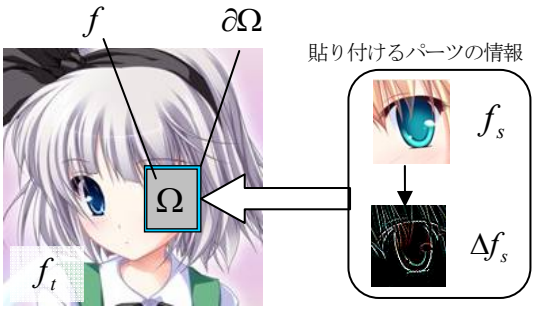


図 3: Poisson Image Editing の原理

今回のシステムにおけるオブジェクト領域Ωは，切り取ったパーツ画像の領域をそのまま利用する．つまりパーツの外縁部にある貼り付け先の画素を境界条件として Poisson 方程式を解く.

4.2 SOR 法

4.1 で示した Poisson 方程式$\Delta f = \Delta f_s$の内部領域を求める計算は，ラプラシアンを計算する離散式を用いて，式(1)のような連立方程式となる.

$$f(i,j)=\frac{1}{4}(f(i+1,j)+f(i-1,j)+f(i,j+1)+f(i,j-1))-\frac{1}{4}\Delta f_s(i,j) \quad ...(1)$$

この時、式(1)について反復解法で収束解を得ることになるが，収束解を得るのに時間がかかる．そこで本研究では加速緩和係数ω を用いて反復解法を高速化する SOR 法を用いる．式(1)の計算において反復回数 n を考慮し，加速緩和係数をωとしたとき，本研究で用いる SOR 法の式は次式(2)のようになる.

$$f^{n+1}(i,j)=(1-\omega)f^n(i,j)+\omega\{\frac{1}{4}(f^n(i+1,j)+f^{n+1}(i-1,j)+ f^n(i,j+1)+f^{n+1}(i,j-1))-\frac{1}{4}\Delta f_s(i,j)\} \quad ...(2)$$

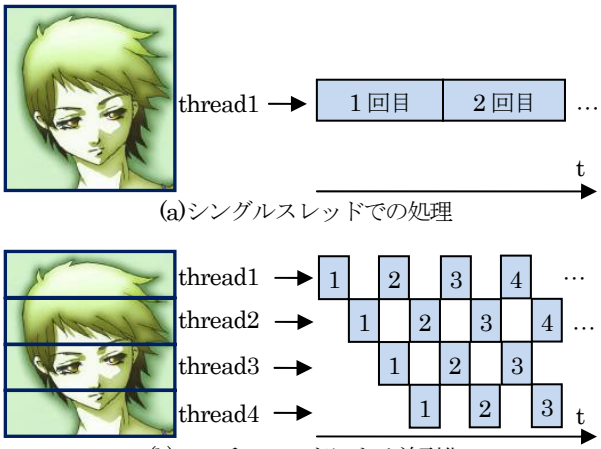
SOR 法の加速緩和係数ωは，実験的に求める必要がある．本研究で計算が収束するまでの演算回数を検証した結果，複数の素材において収束回数が最小になりやすい$\omega = 1.9$に設定して用いることにした.

4.3 マルチコア活用による高速化

Poisson Image Editing は反復解法を用いて結果を求めるため，試作したシステム[16]において処理が遅滞し，SOR 法を用いてもなお高速化が必要であることがわかった．第一に GPGPU の並列計算による高速化が考えられるが，利用環境が限定されてしまうため，本研究のシステム目標にそぐわない．そこで本研究では今後のメニーコアの実用化を考慮し，マルチコア処理による高速化を採用する.

4.2 で示した SOR 法は，逐次計算結果を上書きしていく手法であるため，そのままでは並列計算ができない．そこで今回は反復処理の並列化を試みる.

まずコア数に合わせて処理領域を分割し，各領域に 1 スレッドを割り当てる．領域は上から順に処理していくが，同時にスレッドを処理すると，逐次更新処理の整合性が取れなくなるため，第 1 スレッドの処理が完了したことを確認したのちに，第 2 スレッドを動作させる．この流れで第 3 スレッドの処理が開始されるとき，第 1 スレッドは整合性を保持して実行が可能になる．よって第 1 スレッドは 2 回目の処理，第 3 スレッドは 1 回目の処理を並列で実施する(図 4(b)).



(a)シングルスレッドでの処理

(b)マルチスレッドによる並列化

図 4: 並列化計算の例

5. パーツ領域の最適化

5.1 Poisson Image Editing の問題点

Poisson Image Editing はパーツ境界部分が平坦な画素値の場合，良質な結果が得られるが，パーツ境界上に画像のエッジ部分をまたいでいると，期待した合成結果が得られない．そこでユーザが指定したおおまかなパーツ領域から Poisson Image Editing に適したパーツ領域を自動的に判別する最適化処理が望まれる.

Jia らの研究[17]では，グラフの最短経路アルゴリズムで顕著なエッジを避けながら目標を切り抜く方法を提案しているが，滑らかさを欠いた切り取り結果になるなどの問題点を残している.

芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 58-65

そこで本研究では，パーツの切り抜き処理がシステムのユーザオペレーションの一環であることに着目し，ユーザが適宜，最適化の処理を繰り返すことで，パーツ境界を少しずつ収縮していく領域収縮処理を採用する．これによって，ユーザは必要なパーツ領域を得られるまで最適化処理を繰り返しながら領域指定の微調整を行うことができ，汎用的な利用を期待できる．

5.2 パーツ領域境界からの領域収縮処理

初期のパーツ領域は，あらかじめユーザにおおまかに指定してもらう(図 5(a))．この時，ユーザが選択したパーツ領域の境界部分には色値が平坦な部分だけでなく，エッジ部分をまたいだ場合などが含まれており，多彩な色値が含まれている．そのため，単色を指定した単純な領域選択処理ではパーツ領域最適化に対応できない可能性が高い．

そこで，パーツ領域の境界部分の各ピクセルを基準画素とした領域拡張処理を考える．基準画素から領域拡張を開始し，画素の RGB 値が一定の閾値範囲内(基準画素値の±10)の色を選択していく．この選択処理を境界部分にある全てのピクセルから行う(図 5(b))．各境界部分の基準画素の領域拡張処理によって選択された領域を全て重ね合わせ，大きな一つの領域を作成する．作成した大きな選択領域を現在のパーツ領域から除くことにより，パーツ領域の余分な選択部分を除去する(図 5(c))．ただし，選択領域には多くのノイズが含まれているため，これらのノイズを除去するために選択領域の膨張収縮処理を行う．Poisson Image Editing を適用するとき，パーツ領域が画像のエッジ部分の内部に少しでも入りこんでいると必要な部分に色が侵食してしまう．そこでエッジ部分の内部を除去しないように，パーツのエッジ部分の外縁にある領域を少し含むようにする．

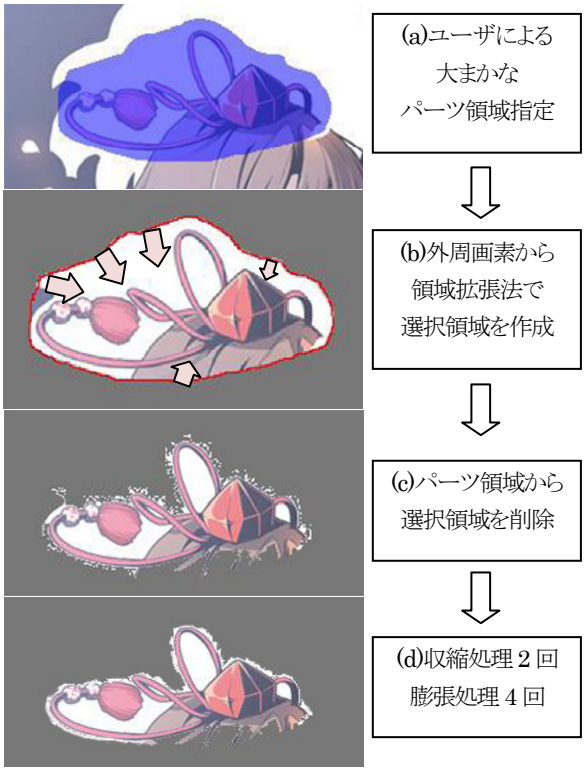


図 5: パーツ領域最適化の手順

よって，収縮処理は 2 回,膨張処理は 4 回施すようにし，パーツ画像のエッジより若干膨張した領域を維持する(図 5(d))．

ここはユーザが任意にパラメータ設定を行うという手法も考えうるが，本システムの対象である絵の描けないユーザに画像処理のパラメータ設定を行わせるのは適切ではない．またインタフェースが煩雑になると，簡易に利用可能というシステム本来の目的が失われる．そこで本システムの領域収縮処理は，閾値±10，収縮 2 回・膨張 4 回を固定のパラメータを設定する．このパラメータは，最適化処理を繰り返し行った時，輪郭の明確なキャラクタパーツにおいてパーツ領域形状がパーツ周辺で定常化しやすい特徴を持っており，用途に対して適当であるため，採用する．

6. システムの実装と実験・評価

6.1 システムの実装

本節では，提案したコラージュシステムの構成と実装したユーザインタフェースについて述べる．図 6 にシステムの全体図を示す．画面左に作業用ツール，右側にキャンバスを用意している．パーツ加工や下地加工に用いる全ての機能を画面上に表示し，ユーザがツールを操作しなくても，機能を一望できるようにした．極力操作が必要な項目を少なくすることで，新しいソフトウェアの習得時間の軽減について考慮した．また加工中のパーツには Photoshop などと同じ操作感で利用が可能な変形ボックスを採用し，ユーザのソフトウェア経験の有無に関係なく，パーツの変形等を直感的にできるよう工夫した．

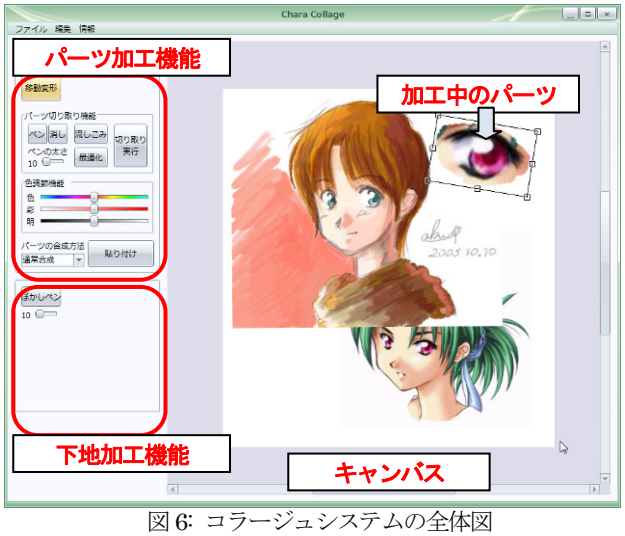


図 6: コラージュシステムの全体図

6.2 Poisson Image Editing と領域最適化の実験

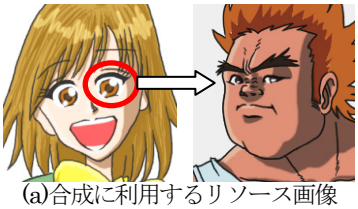
パーツの埋め込み作業において，単純な埋め込み・Poisson Image Editing・領域最適化処理を利用した場合での埋め込みを行う．処理結果を比較し，提案手法の有効性を確かめる．以下の図 7 にその結果を示す．

図 7 の結果は，ユーザは大まかな選択のみ行うことを前提としている．図 7(b)は大まかに目を選択し埋め込んだ結果だが，肌の色の違いや不要な領域の埋め込みにより絵の乱れが著しい．

芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 58-65

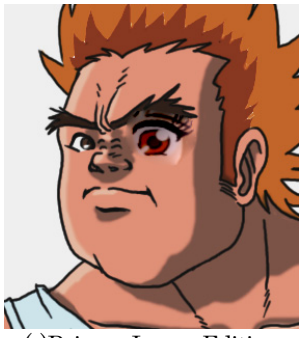
また同じパーツ領域で Poisson 合成を施したものが図 7(c)である．肌の色は周辺になじみ違和感は減っているが，パーツ領域が下地の眉毛などに侵入しており，合成結果に不都合が生じている．図 7(d)は図 7(b)に領域最適化を 1 度施した結果である．不要なパーツ領域が削がれ，必要なパーツ周辺がうまく切り取られている．図 7(d)のパーツ領域で Poisson 合成を行ったものが図 7(e)である．不要な領域を含んでおらず，かつ肌の色などは周辺になじみ，違和感を解消していることがわかる．以上の結果からパーツ埋め込みにおける，パーツ領域最適化と Poisson Image Editing の組み合わせ処理が有効であることがわかった．

ただし最適化の処理において，パーツの特徴やユーザが初期に選択する領域の形状によって上手くいかない例があった(図 8)．特に，目などのパーツは髪の毛や眉などの別パーツを選択領域に含む場合があり，髪の毛や眉の輪郭線が最適化を妨げることがあった(図 8(c))．また，パーツとパーツでない部分の色値が近く，明確な輪郭が存在しない場合，必要な領域まで収縮を繰り返し，領域の欠損が発生した．これらの現象を防ぐためには最適な閾値設定が必要となるが，本研究ではユーザによるパラメータの任意設定を前提としないため，閾値の設定方法に課題があることがわかった．



(a)合成に利用するリソース画像

(b)単純な埋め込み



(c)Poisson Image Editing

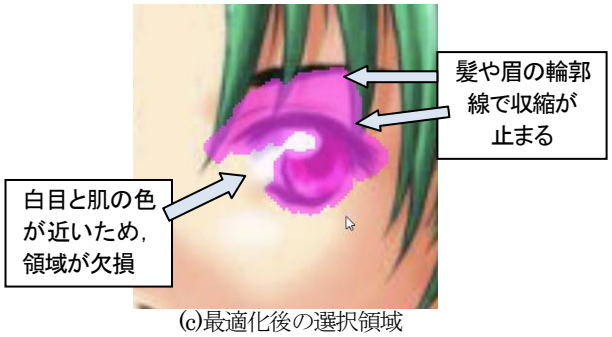
(d)領域最適化

(e)領域最適化+
Poisson Image Editing

図 7: パーツ埋め込み結果の比較

(a)パーツの元画像

(b)ユーザの選択領域



(c)最適化後の選択領域

図 8: 最適化処理がうまくいかない例

6.3 マルチコア化による高速化の実験

4.3 で示したマルチコア処理による高速化の効果を検証する．256x256，512x512 ピクセルの画像にそれぞれ Poisson Image Editing の合成処理を 5 回施した．5 回の平均処理時間を表 1 に示す．なお，使用したマシンの CPU は Core2Quad Q9550(4 コア)である．

表 1 の通り，マルチコア対応にすることで処理速度がおよそ 1.8〜2.1 倍に高速化しており，4.3 の並列化計算処理が有効であることが確認できた．ただし表 1 の時間は反復計算の終了チェック処理を含んでいるため，チェックサイズの大きい 512x512 では若干比率が低下した．今回は 4 コア CPU による結果だが，コア数が増加すると共にさらなる高速化が期待できる．

表 1: Poisson Image Editing の処理時間(5 回平均)

	256 x 256	512 x 512
シングルスレッド	690 (ms)	4191 (ms)
マルチスレッド(4 コア)	321 (ms)	2352 (ms)
速度比率	214%	178%

6.4 実用性・作業効率の評価

実装したコラージュシステムを用いた場合と，既存のソフトウェアで作業を行った場合の作業効率について比較，評価する．

ここではキャラクタパーツの配置と，顔内部パーツの埋め込み作業を処理する．利用するソース画像と利用箇所を図 9(a)に示す．そして Photoshop CS3 で作業を行った結果が図 9(b)，コラージュシステムで作業を行った結果が図 9(c)である．また，それぞれの作業に必要だった作業時間･習得時間を表 2 に示す．なお，習得時間については Photoshop の利用経験の少ないユー

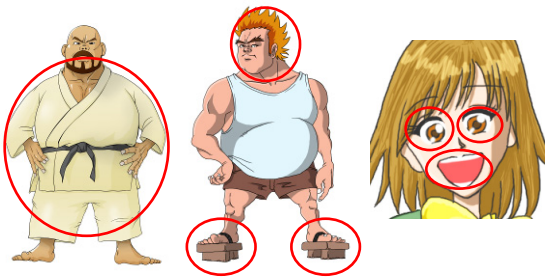
芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 58-65

ザ 5 名の平均的な習得時間を計測した．また図 9 の作業・時間計測については Photoshop の使用経験のある筆者が行い，数度の結果の平均値を算出した．

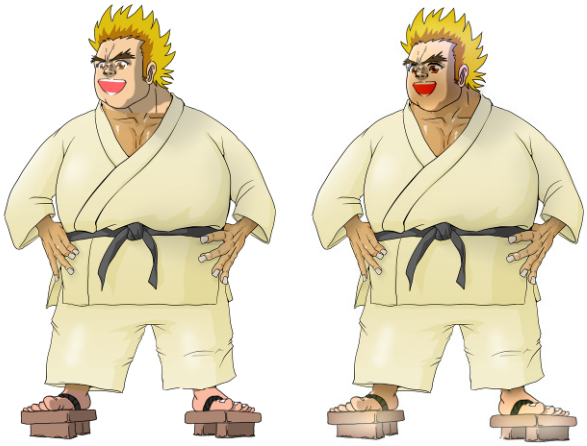
表 2 の結果から，本システムの利用と Photoshop の利用に必要な習得時間を比べたところ, Photoshop は自主的に作業ができるまでには数日かかるのに対し, 本システムは 10〜15 分程度の習得時間でキャラクタ作成に利用できるようになるため，デザイン経験のないユーザが導入しやすく，習得の手間が省ける簡易なシステムであることが確認できた．

さらに実際に合成作業を行う際にも，必要な時間が約半分になることが確認できた．Photoshop では，パーツを綺麗に切り抜くための作業に多くの時間を要した．一方で本システムでの主な作業は，Poisson Image Editing で良好な結果が得るためのパーツ位置の調整作業となった．また，他のパーツ加工作業においても，本システムを利用することで作業時間が短くなる傾向が見られた．

図 9(b)と図 9(c)の結果を比較すると，Photoshop の結果では，道着の男性の肌の色と，顔と足に適用した肌の色の調整が取れておらず, 首元と足の色に違和感が出ている. 図 9(c)では Poisson Image Editing によって肌の色がシームレスに合成されており，



(a)合成に利用するリソース画像



(b)Photoshop による結果　(c)本システムによる結果

図 9: 合成作業のソース画像と結果画像

表 2:　図 9 の合成作業に必要とした作業時間

	Photoshop CS3	本システム
作業総時間	約 9 分	約 4 分 15 秒
習得時間	数日	10〜15 分
時間を要する主な作業	パーツ抜き加工 結合部の色調整	パーツ変形・ パーツ位置調整

パーツ境界部の違和感が解消されているのがわかる．Photoshop でこれらの違和感を無くすためには，色調整や，より緻密なパーツ切り抜き作業が必要となり, Photoshop での作業時間はさらに増えることになると考えられる．

上記の結果から，本システムがアイデアの視覚化において，習得時間・作業時間・結果の品質向上のいずれにおいても効果的であることが示せた．一方で，本システムでは，Photoshop などで実装されているピクセル単位でアルファチャンネルを設定できるような「パーツ領域形状の微調整」を行う機能がなく，表 1 の作業中においても微調整作業に遅滞が発生した．今後，これらの機能を充実することによって，さらなる作業の効率化が期待できると考えられる．

また，図 9(c)の結果において Poisson Image Editing によるグラデーションが発生している．これは図 9(c)の「頭全体」といった大きく複雑なパーツを合成した場合に顕著にあらわれる．このグラデーションはユーザの意図を阻害する可能性がある．しかしながら本研究の目的に沿って，絵が描けないユーザが可視化手段を得るという点を考慮すると，グラデーションの悪影響に比して，導入のメリットは充分に大きいと考えられる．

さらに図 7(e)のような合成の例では，良好な合成結果が得られていることから，合成するパーツの特徴によってグラデーションの影響も大きく異なる．これらの結果から Poisson Image Editing のグラデーションの特性を分析し，合成するパーツの特徴によって処理方法に工夫を加えていく必要があるとわかった．

7. おわりに

本研究では，キャラクタデザイン作業時における，デザイン経験のない者の発想を視覚化するためのコラージュシステムの提案・実装を行った．

既存のソフトウェアにおいて煩雑な作業になっていた「パーツの埋め込み」において Poisson Image Editing と領域最適化の手法を用いることで，高品質なデザインを効率的に作成可能であることを示した．金子らが提示した「キャラクタデザインのための思考にあった操作や機能」を備えたシステムとして，一定の成果を得ることができた．

また当初の目的であった，デザイン経験のない者がアイデアを視覚化して示せるようになることで，絵によるコミュニケーション手段を手に入れることができ，アイデアを容易に視覚的に反映できる効果的なシステムになったと考えられる．

今後はコラージュシステムの実用性を追求するため，実験過程でユーザインタフェースに不便を感じた部分の改良，必要な機能の追加等を行っていく．加えて，より高精度なパーツ領域の最適化手法や，Poisson Image Editing の応用を考え，作業効率と合成品質の向上を図りたい．

なお提案・実装を行ったシステム「Chara Collage」は web 上で公開しており，自由に利用することが可能である[18].

芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 58-65

謝辞

論文を執筆するにあたり，実験用の画像を快く提供して下さった東京工科大学片柳研究所クリエイティブラボの岡本直樹氏に心より感謝いたします.

参考文献

[1]金子満，近藤邦雄，岡本直樹，三上浩司：”創作テンプレートを用いたディジタルキャラクターメイキング手法の提案”, NICOGRAPH 論文コンテスト,(2009)

[2]金子満，近藤邦雄，岡本直樹，三上浩司：”映像コンテンツ制作のためのディジタルキャラクターメイキング教育”,NICOGRAPH 論文コンテスト,(2009)

[3] 茂木, 松本, 近藤, 金子：”リテラル資料に基づくキャラクターデザイン構成手法の研究”,第23回NICOGRAPH 論文コンテスト論文集 (2007)

[4] 茂木, 岡本ら：”ディジタルスクラップブックを用いたキャラクターデザイン原案制作システム”, 2009年度日本図学会春季大会論文集 (2008)

[5] 伊藤, 渡辺, 宮岡： “キャラクタデザインのための画像合成手法の研究” 第71回情報処理学会全国大会講演論文集, 6R-2 (2009)

[6]後藤田広也, 伊藤雄一, 門脇英男，北村喜文, 岸野文郎：”映像コンテンツ作成のために発想支援システム”, エンタテインメントコンピューティング2007講演 論文集, pp. 99-102, (2007)

[7] Mind Mapper : http://www.mindmapper-japan.com/

[8] Mind Manager : http://www.pluslink.jp/product/index.html

[9] 蒲池, 向田, 吉川, 加藤, 尾田, 赤松 : “顔・表情認知に関する心理実験のための顔画像合成システム : FUTON System “, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, 97(509) pp.73-80 (1998)

[10] Amaze ART: http://www.ntt-at.co.jp/product/amazeart/

[11] Orzan, A. et al. Diffusion Curves: “A Vector Representation for Smooth-Shaded Images”, Proc. SIGGRAPH2008, pp.92:1-92:8 (2008)

[12] McCann, J, and Pollard, N. “Real-Time Gradient-domain painting”, Proc. SIGGRAPH2008, pp.93:1-93:7 (2008)

[13] New image editing tool for PhotoshopCS5: http://cs5.org/

[14] Avidan, S. and Shamir, A. “Seam Carving for Content-Aware Image Resizing”, ACM Transaction Graph, Vol.26, Number.3, SIGGRAPH2007 (2007)

[15] P´EREZ, et al. ”Poisson image editing” SIGGRAPH 2003, pp313–318 (2003)

[16] 渡辺, 伊藤, 茂木, 岡本,近藤, 宮岡：”Poisson Image Editing を用いたキャラクタコラージュシステムの開発”, 第25回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集 (2009)

[17] Jia, J., et al. “Drag-and-Drop Pasting” SIGGRAPH 2006, pp631-636 (2006)

[18] けん悟庵 : http://kengolab.net/

渡辺 賢悟

東京工科大学メディア学部メディア学科卒，同大学院メディア学研究科博士前期課程修了．現在東京工科大学片柳研究所メディアテクノロジーセンター嘱託研究員.

伊藤 和弥

2009 年東京工科大学メディア学部メディア学科卒業.同年株式会社アイヴィス入社,現在に至る．画像による位置検索などの研究に従事.

近藤 邦雄

東京工科大学メディア学部教授，工学博士(東京大学)．名古屋工業大学卒業，名古屋大学教養部，東京工芸大学，埼玉大学工学部情報システム工学科などで勤務．コンテンツ工学，コンピュータグラフィックス，アニメやゲームのためのデジタル映像制作システム開発などの研究に従事.

宮岡 伸一郎

東京工科大学メディア学部教授．工学博士(京都大学)．京都大学工学部数理工学科卒, 同大学院工学研究科修士課程修了の後，日立製作所に勤務．同社システム開発研究所主任研究員，独立しシステムコンサルタントを経て現職．イメージメディア関連の教育・研究に従事.

Journal for Geometry and Graphics
Volume 21 (2017), No. 2, 253–262.

Color Scheme Simulation for the Design of Character Groups

Ryuta Motegi[1,2], Yoshihisa Kanematsu[1], Naoya Tsuruta[2], Koji Mikami[2], Kunio Kondo[2]

[1] *Division of Industrial Art, Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University*
6-6 Asahigaoka, Hino City, Tokyo 191-0065, Japan
emails: motegi@tmu.ac.jp, ykanematsu0913@gmail.com

[2] *School of Media Science, Tokyo University of Technology*
1404-1 Katakuramachi, Hachioji City, Tokyo 192-0982, Japan
emails: tsurutany@stf.teu.ac.jp, mikami@stf.teu.ac.jp, kondo@stf.teu.ac.jp

Abstract. Characters in visual contents are as important as the script in the initial production phase. A Design Engine was proposed to improve the efficiency of character development by providing aid in the planning phase, where character blueprints are drawn based on literal information provided by the producer. Many existing methods for creating color schemes cannot be applied to character design. We proposed a design method using a color scheme simulation system for one character at the time. This paper aims to provide a character color scheme support system using a color scheme scrapbook containing color palettes of existing characters. This is a part of the Design Engine for character making with literal information. The concept of a Digital Scrapbook is to set up a personal database in a computer that will help producers and directors to pin down the appearance or looks of the character they want their designers to sketch.

Key Words: CG, color scheme, character groups, scrapbook, design support system
MSC 2010: 68U05

1. Introduction

Individuals have come to be able to produce animation content by themselves due to the development and spread of high-performance software and low price computers. Animations contain the same elements of story, characters, and direction as movies do. Further, characters leads to good opportunities for deploying in advertising and merchandise. In order to create these characters, the colors, costumes, modeling, etc. must be determined for reflecting and work together with background and story. These design steps are performed at the stage of pre-production. Pre-production is the stage for “Planning”, “Scenario”, “Design”, “Settings” and “Storyboards” in video production [5].

ISSN 1433-8157/$ 2.50 © 2017 Heldermann Verlag

Software and tools of various production supports have been developed in accordance with the digitization of the production process. However, many of these are for supporting the production stage. For this reason, the current state of characters at the production stage relies solely on the sense of illustrators and production staff. Therefore, illustrators and production staff have been producing using their own experience and sense which is stored in a database in the brain. For this reason, they are preparing a database in the brain. By digitalizing these processes, it becomes easier for creators to share and reuse color palettes, costumes, and modeling that reflects a certain background or story of a work. One support system for creating conventional color schemes uses a method that automatically changes the color scheme of a work by using color design techniques [6]. Other coloring support systems have also been proposed, such as systems for presenting a color scheme example to suit the preference of the operator by learning worker scheme tendency (color arrangement position and area ratio) by using a genetic algorithm [7]. However, for a character, there are the appearance features and the inner surface features, a color scheme is a major factor to change the impression [4].

When creating a color scheme for an inter alia human-type character, with a set of limited skin, hair, and eye colors, it is difficult to create it in accordance with the laws of color using systems of previous studies [2, 3, 6, 7]. In addition, when creating human-type characters for animation, it is necessary to determine the color scheme of the characters in consideration to a combination of fashion elements and art elements. Due to these factors, it is difficult to create color schemes for character design. The color scheme for letting it look more attractive, is mostly entrusted to illustrators and empirical rules and senses of animators. Also, in animation contents, individual characters appear and form each group. It is necessary that it is possible to differentiate each character and give them attractive appearance characteristics and inner surface features.

However, it is not easy to give different and attractive characteristics to all characters. The production of a color scheme is a time consuming process and it takes much effort to color the numerous versions that are needed for the many interactions between the illustrator

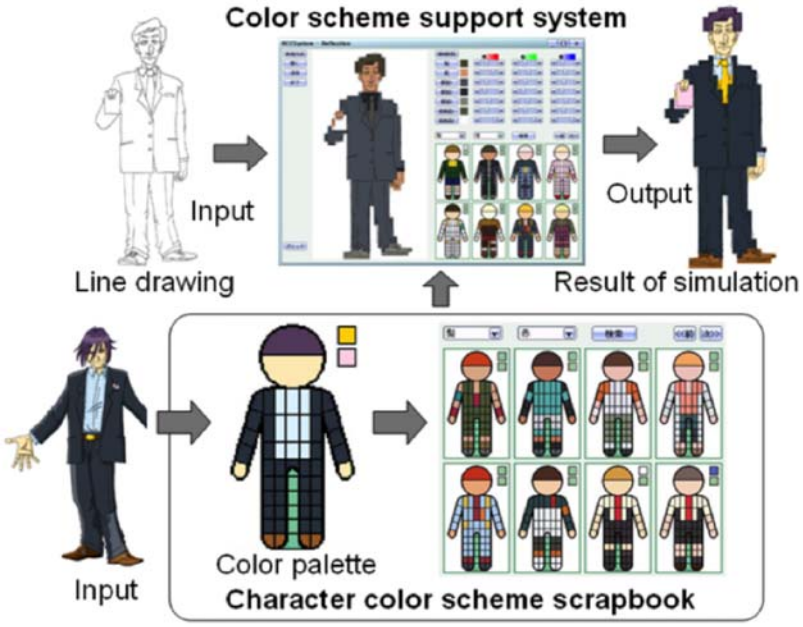


Figure 1: Color scheme support system

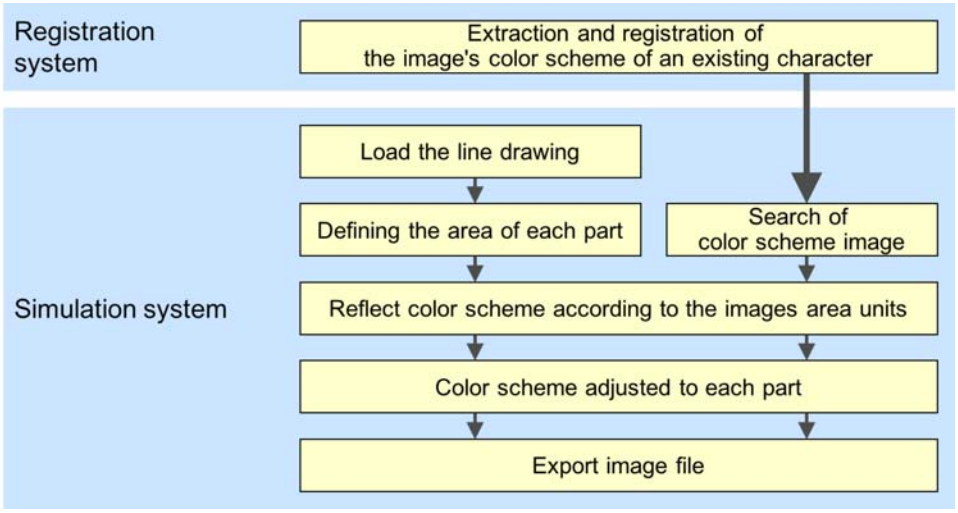


Figure 2: Process of support system

and the producer. Therefore, in this study, the focus is placed on color schemes for character groups, for supporting the process of creating attractive characteristics for characters that works well together. Thus, a color scheme design method using color scheme simulation for character groups was developed.

2. Conventional methods

In [4] Motegi et al. conducted a study for creating a color scheme support system for character design. The purpose of this study was to create a color scheme simulation system that can give support during production. The authors developed a color scheme scrapbook for color scheme simulation [4] and a coloring support system using this color scheme scrapbook. An overview of the system can be seen in Figure 1, and the procedure of color simulation is shown in Figure 2.

In addition, Sakauchi et al. carried out the development of a production support scrapbook for the design of the character groups [8]. In this study, for the purpose of creating the proposed method of collective character design, a survey of existing works dealing with character groups was conducted. A scrapbook could then be created by classifying the character groups.

3. Investigation of existing characters

In order to simulate the coloring of group characters, we conducted surveys of group setting of existing works and coloring information. The same color information of a single character needs to be obtained in any condition. Therefore, color scheme information of the character group was extracted with the following two conditions.

1. Animation works, that have been created in 2DCG.
2. Works created in 3DCG.

In addition, characters investigated in this study were limited to “human” and “similar to humans”. In addition, hand-painted digital data were not included since the texture effects the color in a way that the sample result will differ every time. In this study we sampled 203 characters from 27 works.

3.1. Investigation of color scheme

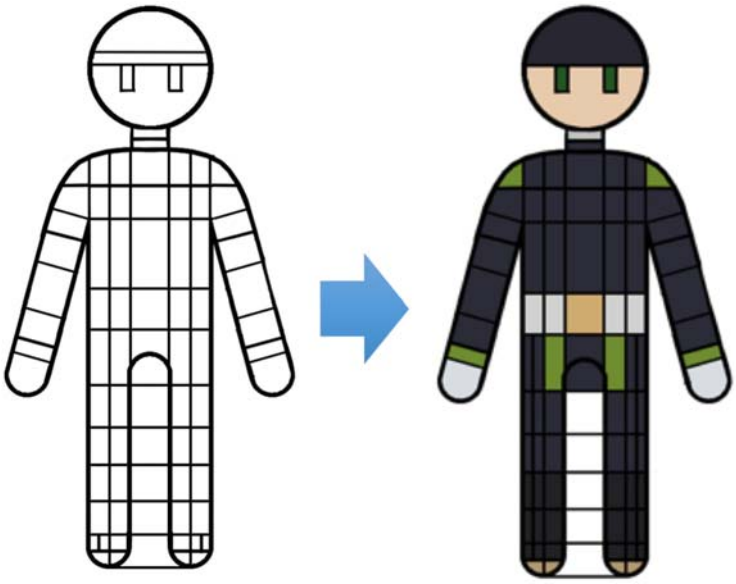


Figure 3: Color scheme template

We classified each part of the character body in order to study the color information of existing characters. When extracting the color arrangement information, the used character images were taken from the official websites for animation and 3DCG works. In the previous study by Motegi et al. a template containing 58 areas of color sampling was created [1]. However, this template was insufficient for reproducing the color scheme information, since there were no regions corresponding to areas such as neck or wrist. Therefore, based on the result of this investigation, we added space for "neck", "wrist", "upper arm", "toe", and "outer coat" in the new template.

The new template is shown in Figure 3. The color scheme information extraction using the new character template can be recorded in 80 areas. The color extraction for each part was done from the base color; the part corresponding to shadows and highlights was omitted in this study. The additional data for covering parts corresponding to accessories and weapons would have been huge and were therefore omitted, as well. However, the characteristic ones,

Table 1: Investigation item

Investigation item	*Explanation*
Name	Character name
Sex	Sex of character
Age	Age of character
Role	7 roles of characters
Intention	The intent of the group
Number	Number of group members
Year	Production year

such as an accent color and ribbon and tie were to extract. Accordingly we were able to create a color scheme template such as the one shown in Figure 3 by investigating the color of each area and position for each single character. We were able to collect the arrangement of color information using this template.

3.2. Investigation of character group information

The survey parameters of each character group are shown in Table 1. Since various groups will appear in the video content, we do all the investigations using the character list. Based on the classification method by Salauchi et al., we classified the populations in this study [8]. The contents for the classification is shown in Table 2. For classifying the roles, the method of Tsuchida et al. was used [9]. Its contents are shown in Table 3. The role of the character is classified according to the role in the story rather than the role information within the character group.

Table 2: Intent of the group

Name	*Explanation*
Family	Blood relative, parents and child, live together
Clan	Blood relative, living together in a wide range
Childhood friend	Friends from a young age
Classmate	Belong to the same class
Club	Belong to the same school and the same club
Team	Group with the same purpose
Forces	Groups intended for combat
Traveler	Travel companions
Company	Group of company
Rival	Groups in the hostile-rivalry
Other	Groups of other

Table 3: Role type

Role type	*Explanation*
Protagonist	Protagonist is the central figure of the story
Collaborator	Collaborator is a person who acts together or becomes a substitute with a protagonist
Antagonist	Antagonist is the person who creates a motive in the story
Victim	Victim is the person who creates a motive in the story
Client	Client is a person who causes a change in the story
Assistant	Assistant is a person who makes a cause to change the story
Rival	The rival challenges the protagonist and disappears as a result

4. Analysis

In this chapter, we explain a survey that was carried out using the method specified in the previous chapter. In addition, we reveal the number of people in a group and the number of colors on the body of each character.

4.1. Analysis of color scheme

As a result of our investigation of the color schemes of the existing characters, the number of colors used for a character with one body ranges between 4 and 12 colors. And, 90% of the characters are composed of less than 11 colors. As breakdown of colors, from the colors used on the head, 90% of the characters are composed of three colors. The number of colors of parts other than the head (the part corresponding to the torso and legs) lies between 1 and 9 colors. 90% of the character's color schemes other than the head were composed of eight colors. We also analyzed parts of the body based on the character color scheme. The results are shown in Table 4.

4.2. Analysis of the number of people in the character group

When classifying the number constituting the character group, character groups were found from a minimum of two people to a maximum of fourteen people. A breakdown on the configuration for the number of people is as follows:
2 people: 36%, 3 people: 19%, four people: 13%, five people: 9%, 6 people: 10%, 7 people: 4%, 8 people: 4%, 9 people: 1%, 10 people: 1%, 12 people: 1%, 14 people: 1%. Finally, 87% of the groups contain between two and six people.

Table 4: Classification of Body Parts

Upper body	*Outerwear*	*Hip*	*Collar*	*Shirt*	*Inner*	
Number of characters	102	34	10	25	25	
Arm	*hand*	*shoulder*	*Armband*	*sleeve*		
Number of characters	9	13	4	5		
Lower body	*skirt*	*pants*	*Under toes*	*Feet*	*Skirt 2*	*Pants 2*
Number of characters	36	40	49	91	9	3
Decoration	*Breast*	*line*	*Tie*	*Scarf*	*O1*[1]	*O2*[1]
Number of characters	34	13	15	2	4	1

5. Color scheme simulation system

This chapter describes the color scheme simulation for the support of the character group color scheme. The system was built using Processing. The mechanism of the system is shown in Figure 4. This was necessary for the color scheme simulation system, the color scheme information and the collective information of the existing character group, manually registered in the XML file. 48 existing character groups have been registered with 151 character bodies.

[1]Ornaments

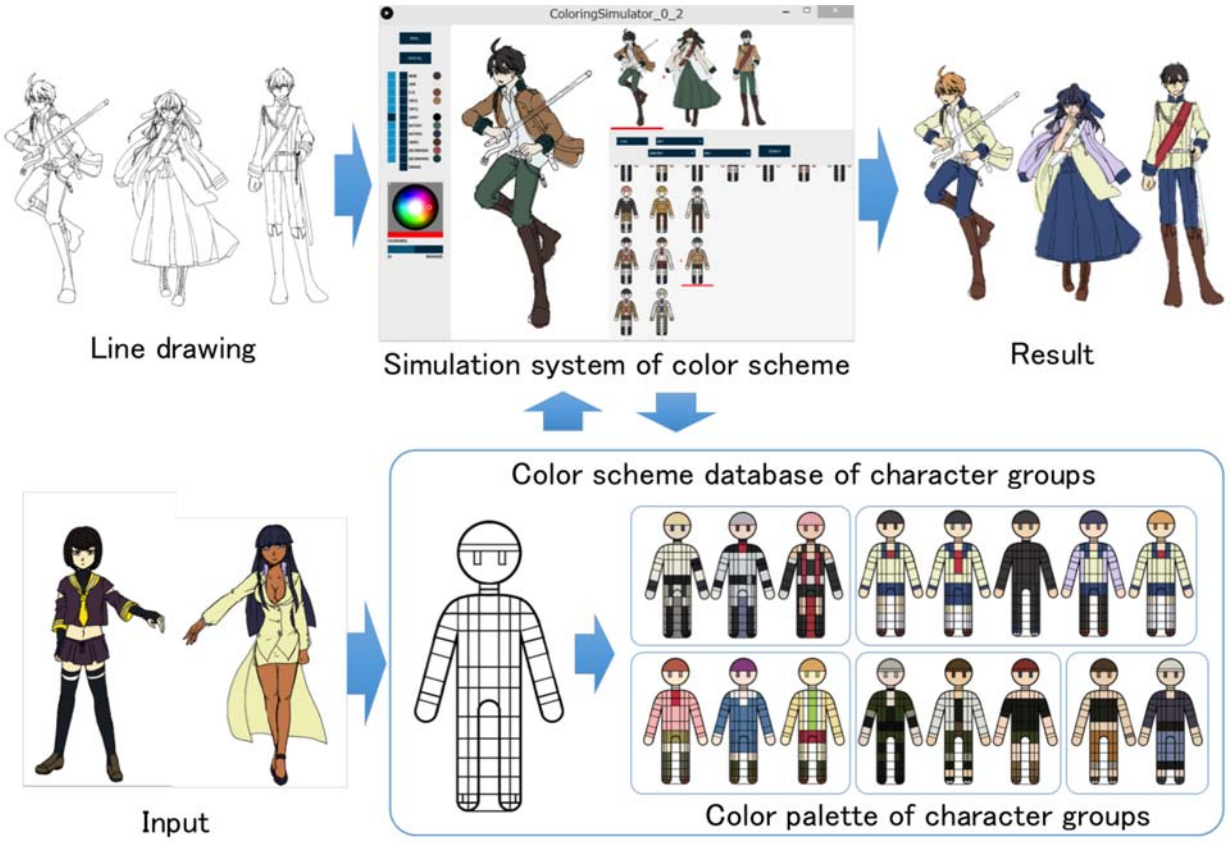


Figure 4: Overview of system

In the color scheme simulation system and the color information of the existing characters, search for the group color scheme from the works information, and simulate the color scheme. The user screen of this system is shown in Figure 5. The usage instructions follow below in items 1–4.

1) The user first starts the system, reads a line drawing of the collective character that he or she wants to simulate.
2) Using the set items of 11 body parts, specify the area to be painted for each color with respect to the read line drawing.
3) Then do a search that matches the intent of the collective character to create a new character's color scheme.
4) Select the color scheme information for an existing character; then change the color. The simulation goes until it becomes the color scheme of your choice.

After that, specify and select each of the regions from the 11 areas on a line drawing. 11 areas are composed for "Head," "Skin," "Eye", "Tops 1", "Tops 2", "Waist", "Bottom 1", "Bottom 2", "Shoes," "Decoration 1" "Decoration 2". The intention of the character group can be determined by selecting from the 11 items "family", "clan", "old friend", "classmate", "club", "team", "Forces", "traveler", "company", "rival", and "other". The color pattern can be selected from the three items "uniform", "squadron", and "other". For the movies description 13 items are available: "adventure", "combat", "battle", "sport", "school", "club/class", "love", "magic", "transform", "Robot", "mystery", "evil", and "everyday".

Figure 5: System interface

6. Evaluation test

6.1. Purpose of the evaluation test

The purpose of an evaluation test is to confirm the efficiency of the color scheme simulation for character groups using a proposal system. The designer must consider the intention of the character groups in a character color scheme. Therefore, our system can search character scheme information using keywords of intent for the groups.

6.2. Experimental method

In this evaluation test we prepared line drawings and character information for the original animation. The procedure is as follows.

1) Participants read the plot and characters basic information. After that, participants search the color scheme information with our system.
2) Participants paint using the paint function of our system to character the line drawing of character groups.
3) Participants paint color using the existing software “Photoshop” on the line drawing of character groups.
4) We compared the working time of steps 2) and 3).

6.3. Result of evaluation test

In step 1) of this evaluation test, participants were testing three types. Type A is the search using the intent of groups. Type B is the search using the number of characters in the group. Type C is the search using the pattern of the character color.

As a result, if users of our system selected the search type depending on the most important intent of character groups, they could use a higher variety of color schemes. Furthermore, our system can paint all characters in the same group within shorter time. In this evaluation test, participants used 1 to 2 hours for painting all characters in the same group if using

Figure 6: Result of color scheme simulation for character1

Figure 7: Result of color scheme simulation for character2

Figure 8: Result of 3 types simulation for character groups

the existing software Photoshop. However, if using our system, participants used 10 to 15 minutes for painting all characters in same group. Our system provides less labor or time for repainting because of using the color scheme database based on the analysis result on existing animation characters. Figures 6 and 7 are the result of color scheme simulation for some characters. Participants painted new characters using the color scheme of existing characters in this simulation. Figure 8 is the result of 3 types simulation for character groups. Participants painted new character groups using the color scheme of 3 type character groups.

7. Conclusion and future works

The purpose of this research was to support the color scheme simulation for the design of group characters in animation production. In this research, we analyzed 203 animation characters from 27 animation contents. Furthermore, we proposed a simulation system for a color scheme based on the analysis of the color scheme information of existing animation characters and character groups. In an evaluation test, we tested color schemes of character groups using a proposal system. As a result, we confirmed the efficiency of the color scheme simulation for character groups using the proposal system.

As future work for this research, we plan to automate the color scheme information registration. We registered the color scheme information for our system manually, because the number of parts and the area of parts were different for each character. Therefore, we couldn't automatically extract the color scheme information from the character image. Furthermore, our color palette is intended for men's clothes only. In many cases women's clothes have more difficult pattern than men's clothes. Therefore, our system cannot simulate color scheme for women's clothes. We think that the development of a simulation method for pattern of clothes is needed for a more advanced support of the character color scheme.

Acknowledgements

The authors thanks Miku Igarashi for providing experimental line drawings and experiment cooperation.

References

[1] R. Motegi, R. Matsumoto, K. Kondo, M. Kaneko: *A Proposal of Designing Method Based on Literal Materials*. Proceedings of NICOGRAPH 2007.

[2] S. Kobayashi: *Color image work*. Kodansha Ltd., 1995.

[3] S. Kobayashi: *Color image scale revision*. Version 2, Kodansha Ltd., 2001.

[4] R. Motegi, K. Kanematsu, T. Tsuchida, K. Mikami, K. Kondo: *Color Scheme Scrapbook Using A Character Color Palette Template*. J. Geometry Graphics **20**/1, 101–112 (2016).

[5] K. Kondo, K. Mikami: *Contents Creation*. Corona Publishing Co., Ltd., 2014.

[6] T. Matsuyama, O. Yamaguchi: *Color Design System by Algebraic Constraint Specification*. Information Processing Society of Japan (IPSJ) **34**, no. 5, 941–953 (1993).

[7] Y. Morohara, K. Kondo, S. Shimada, H. Sato: *Automatic Picking of Index Colors in Textile Pictures for Designers*. Information Processing Society of Japan (IPSJ) **36**, no. 2, 329–337 (1995).

[8] Y. Sakauchi, R. Motegi, Y. Kanematsu, K. Mikami, K. Kondo: *Group Character Making based on Silhouette analysis*. The Institute of Image Information and Television Engineers **39**, no. 14, 169–172 (2015).

[9] T. Tsuchida, R. Motegi, N. Okamoto, K. Mikami, K. Kondo M. Kaneko: *Character Development Support Tool for DREAM Process*. Internat. J. of Asia Digital Art and Design Association **16**, 4–12 (2013).

Received February 7, 2017; final form November 18, 2017

International Journal of Asia Digital Art&Design

Received May 30, 2017; Accepted June 14, 2017

ROBOT CHARACTER DESIGN SIMULATION SYSTEM USING 3D PARTS MODELS

MOTEGI, RYUTA.
Tokyo Metropolitan University and Tokyo University of Technology
motegi@tmu.ac.jp

TSUJI, SHOTA.
Tokyo University of Technology
m0107326c7@edu.teu.ac.jp

KANEMATSU, YOSHIHISA.
Tokyo Metropolitan University
ykanematsu0913@gmail.com

MIKAMI, KOJI.
Tokyo University of Technology
mikami@stf.teu.ac.jp

KONDO, KUNIO.
Tokyo University of Technology
kondo@stf.teu.ac.jp

Abstract
The purpose of this research is the design support for robot on animation. We have developed a simulation system that can to make a new robot design with a combine of the 3DCG robot parts and a deforming each part. Therefore, we investigated the parts of the robot that appeared in an existing animation. Furthermore, we classify the parts of the robot and created a 3DCG model of robot parts. In addition, we have developed a simulation system as a plug-in for 3dsmax.

Keywords: Character Making, Robot Character Design, 3DCG

1 Introduction

The TV series animation in japan has been started from the "Astro Boy" in 1963. Hero of "Astro Boy" was a humanoid robot. TV series animation in 2015 has been broadcast annually about 200 works of various genres, such as "sports", "SF", "comedy", "school", "idle", "magical girl". In addition, there is a genre called "robot animation" as one of the genre. The genre of robot anime is that "giant robot" appeared on animation. The anime in appeared of "robot" that has been made the many animation work to date such as "Mobile Suit Gundam," "Macross," "Neon Genesis Evangelion". The robot is completely fictional character unlike human character. Because, giant robot does not exist in the real world. Therefore, it is necessary to professional and special knowledge on the design of the robot [1]. In many cases of the anime character design is carried out based on the meeting of the director and the producer and the designer. This meeting is very important for the character design. But, if the director or the producer isn't skillful to a drawing, the director or the producer must convey the request to the designers at words and literal material. This issue is the same in the production site of the robot anime [2].

When the director and the producer cannot present visual information to the designers, communication gap occurs. As a result, the production schedule is delayed.

In order to solve this problem, we develop a simulation system that can make a draft of the robot designs using 3DCG model for the director and the producer. Therefore, we investigated the parts of the robot that appeared in an existing animation. And we classify the parts of the robot and created a 3DCG model of robot parts. In addition, we have developed a simulation system as a plug-in for 3dsmax. This system can make draft of new robot design with combine 3DCG robot parts and deforming each part.

2 Existing methods and previous research

In this chapter, we describe a method relating to the robot design. Hayashi wrote a book about the technique to draw a robot [3]. Hayashi classified basic parts for each part of the robot. Furthermore, he proposed a method of drawing a robot by combining the parts of the robot. Kanematsu et al. [4] created a pose library based on the analysis of the pose of the existing robot to support robot pose. Tominaga et al. [5] made a 3dcg model of parts that Hayashi was classify. In addition, he analyzed the robot that appeared in the existing animation. Then, he made more 3DCG parts based on the results of the analysis. Finally, he developed a system that can interchange or deformation of 3DCG parts of the robot. However, this system has some problems. For example, it is not possible to correct the position of a multiple parts at the same time. In addition, this system cannot make asymmetrical robot.

In this research, we collected the existing robot. Furthermore, we analyzed whole body of the robot. Moreover, we perform the classification and pattern of the robot parts. Based on the result, we create a 3D model for each part. Finally, we developed robot design simulator that be able to swapping, deformation, and movement of the robot parts. Our purpose to solve the problem of existing research and develop more easy-to-use system. Our system is able to make more detail draft of robot design more easily.

3 Analysis of robot design and modeling of 3DCG parts

Our purpose of this research is development of simulator that is

able to create draft of robot design by 3DCG robot parts combination and deforming.

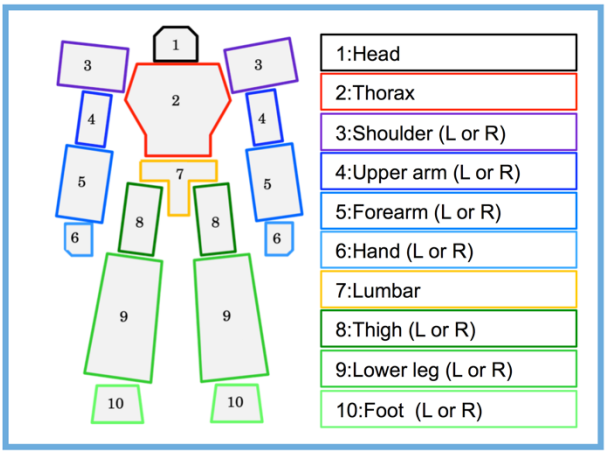


Figure 1 Robot Parts

Table 1 The Research List of Existing Robots

NO.	Title	Copyright	Robots
1	エウレカセブンAO Eureka Seven AO	©2013 BONES/Project EUREKA AO・MBS	3
2	機動戦士ガンダムAGE Mobile Suit Gundam AGE	©創通・サンライズ・MBS © SOTSU Sunrise · MBS	43
3	STAR DRIVER 輝きのタクト STAR DRIVER shine of tact	©BONES/STAR DRIVER製作委員会・MBS © BONES / STAR DRIVER Production Committee · MBS	6
4	ノブナガ・ザ・フール Nobunaga The Fool	©河森正治・サテライト/ALC/GP/ノブナガ・ザ・フール製作委員会. © Kawamori Shoji Satellite / ALC / GP / Nobunaga The Fool Production Committee	5
5	バディ・コンプレックス Buddy Complex	©SUNRISE/BUDDY COMPLEX COMMITTEE	11
6	革命機ヴァルヴレイヴ Valvrave The Liberator	© SUNRISE/VVV Committee, MBS	6
7	銀河機攻隊マジェスティックプリンス Majestic Prince	©創通・フィールズ/MJP製作委員会 © SOTSU Fields / MJP Production Committee	10
8	翠星のガルガンティア Gargantia on the Verdurous Planet	©オケアノス/「翠星のガルガンティア」製作委員会 © Oceanus / "Gargantia on the Verdurous Planet" Production Committee	2
9	GEAR戦士電童 GEAR warrior 電童	©サンライズ © Sunrise	2
10	アイドルマスターゼノグラシア Idol Master Zeno Gracia	©サンライズ・バンダイビジュアル © Sunrise Bandai Visual	4
11	コードギアス反逆のルルーシュ Code Geass	©SUNRISE/PROJECT GEASS・MBS	9
12	コードギアス反逆のルルーシュR2 Code Geass R2	©SUNRISE/PROJECT GEASS・MBS	18
13	ゼーガペイン Zegapain	©サンライズ・プロジェクトゼーガ © Sunrise project Zega	3
14	ヒロイック・エイジ Heroic Age	©XEBEC・アルゴノートクルー © XEBEC · Argonaut crew	3
15	機動戦士ガンダム00 Mobile Suit Gundam 00	©創通・サンライズ・毎日放送 © SOTSU Sunrise Mainichi Broadcasting System	39
16	機動戦士ガンダムSEED Mobile Suit Gundam SEED	©創通・サンライズ © SOTSU Sunrise	21
17	機動戦士ガンダムSEEDDESTINY Mobile Suit Gundam SEED DESTINY	©創通・サンライズ © SOTSU Sunrise	22
18	交響詩篇エウレカセブン Eureka	©2005 BONES/PROJECT EUREKA・MBS	8
19	鋼鉄神ジーグ Kotetsushin Jeeg	©永井豪／ダイナミック企画・ビルドベース © Go Nagai / Dynamic Planning and build base	1
20	創聖のアクエリオン Aquarion	©2004 河森正治・サテライト/Project AQUARION © 2004 Kawamori Shoji Satellite / Project AQUARION	3
21	蒼穹のファフナー Fafner	©XEBEC・竜宮島役場 © XEBEC · Ryugujima Yakuba	1
22	天元突破グレンラガン Gurren Lagann	©GAINAX・中島かずき/アニプレックス・KDE-J・テレビ東京・電通. © GAINAX · Kazuki Nakashima / Aniplex · KDE-J · TV Tokyo, Dentsu	6

First step of this analysis, we were collecting 226 robots image from 22 title of anime for modeling 3DCG robot parts. Table 1 is list of robot anime used in this analysis.

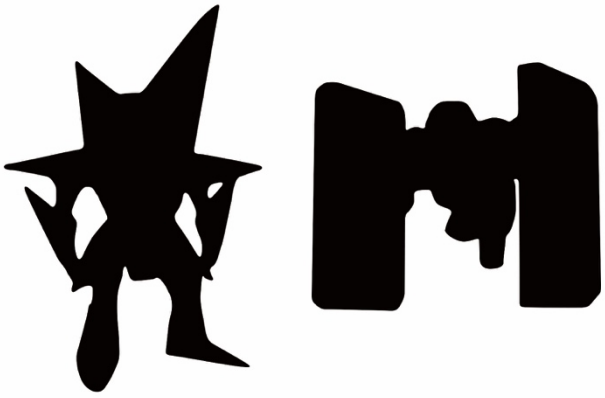


Figure 2 Example of Excluded Robots

Figure 3 Analysis Methods of the Parts Shape

Second step in this analysis, we divide whole body of robot to each part, as shown in Figure 1. We divided the parts of robot to 10 body regions based on result of research.
"1: Head", "2: Thorax", "3: Shoulder", "4: Upper arm", "5: Forearm", “6: Hand”, "7: Lumbar", "8: Thigh", " 9: Lower leg (shin)", and " 10: Foot".
In this paper, we focused on robots with these 10 body regions. We did not focus a robot that does not have all of these 10 body regions, as shown in Figure 2. The third step of this analysis, we investigated the shape of parts by drawing a line, as shown in Figure 3. In addition, we were detail classification using the common elements of the shape of the parts.

In this paper, we focused on the front and obliquely forward design of the robot. We did not focus on the rear-view design. Table 2 is the result of a detailed classification of shape of the robot parts.

The result of comparing the shape of the robot parts, we classified the shape of robot parts to 75 classifications. Because the upper arm is between the relatively large shoulder parts and forearm parts, any robot was a simple shape due to the range of motion. Therefore, the upper arm could be classified into two types. As shown in Table 2,

Table 2 2D Image Parts List

Parts name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Head											
Thorax											
Shoulder(L or R)											
Upper arm (L or R)											
Forearm (L or R)											
Hnad(L or R)											
Lumbar											
Thigh (L or R)											
Lower leg (L or R)											
Foot (L or R)											

Table 3 3D Image Parts List

Parts name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Head											
Thorax											
Shoulder (L or R)											
Upper arm (L or R)											
Forearm (L or R)											
Hnad(L or R)											
Lumbar											
Thigh (L or R)											
Lower leg (L or R)											
Foot (L or R)											

"Head" has 7 type shape classification, “Thorax” has 11 type shape classification, “Shoulder” has 11 type shape classification, “Upper arm” has 2 type shape classification, “Forearm” has 9 type shape classification, “Hand” has 6 type shape classification, “Lumber” has 8 type shape classification, “Thigh” has 5 type shape classification, “Lower leg” has 7 type shape classification, and “Foot” has 9 type shape classification. The first page must contain the paper’s title, authors and their affiliations, the short abstract and keywords.

Based on the analysis and classification results of existing robot parts described in Chapter 3, we have created a 3DCG model for simulation. We drew a three-view drawing of each part from images like Figure 3 or Table 2. As shown in Table 3, based on these three views drawing, we created 3DCG robot parts using 3DCG software.

Figure 5 is the execution interface of the system. The user of

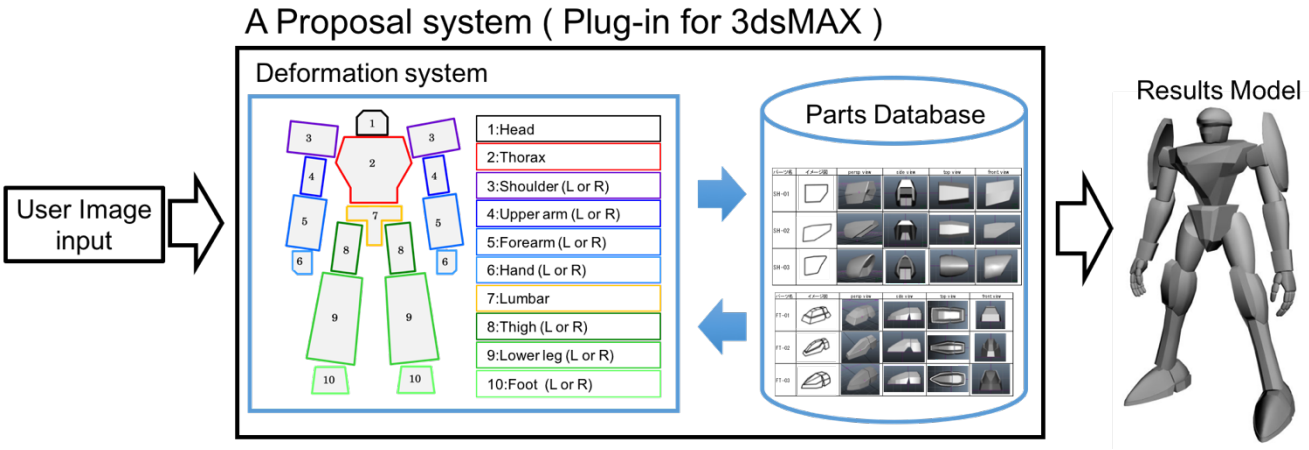


Figure 4 The System Summary

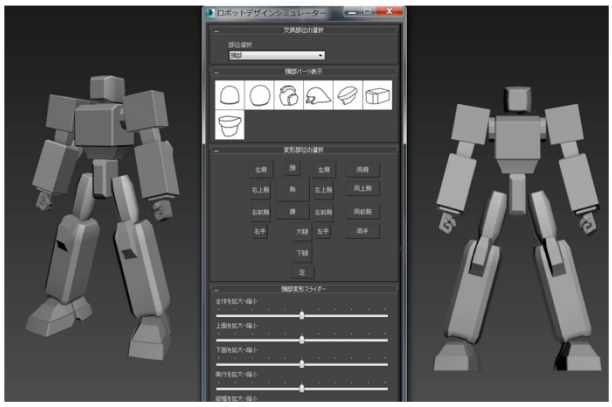


Figure 5 The Startup Screen

4 Proposal system

In this chapter, describe the simulation system that we propose. Our system is able to create draft of new robot design with robot parts replacement, transform, and change of the position. Our system was developed based on the system of the previous studies [5]. However, our system is possible to changing position of robot parts during deformation and reate asymmetry robot. In other words, our system is not having problems of existing research. Figure 4 is overview of our system. This system is a plug-in written in “Max Script” for 3dsmax. The user of this system can create any draft of robot design by repeating the simulation using this system.

Production procedures are as follows.

1. Select the parts of the robot.
2. Select a part of the body region of objective from the parts database.
3. Parts to transform into any shape.
4. To design the overall shape of the robot by using the 1-3 steps.
5. The output of the model that if the design has been determined.

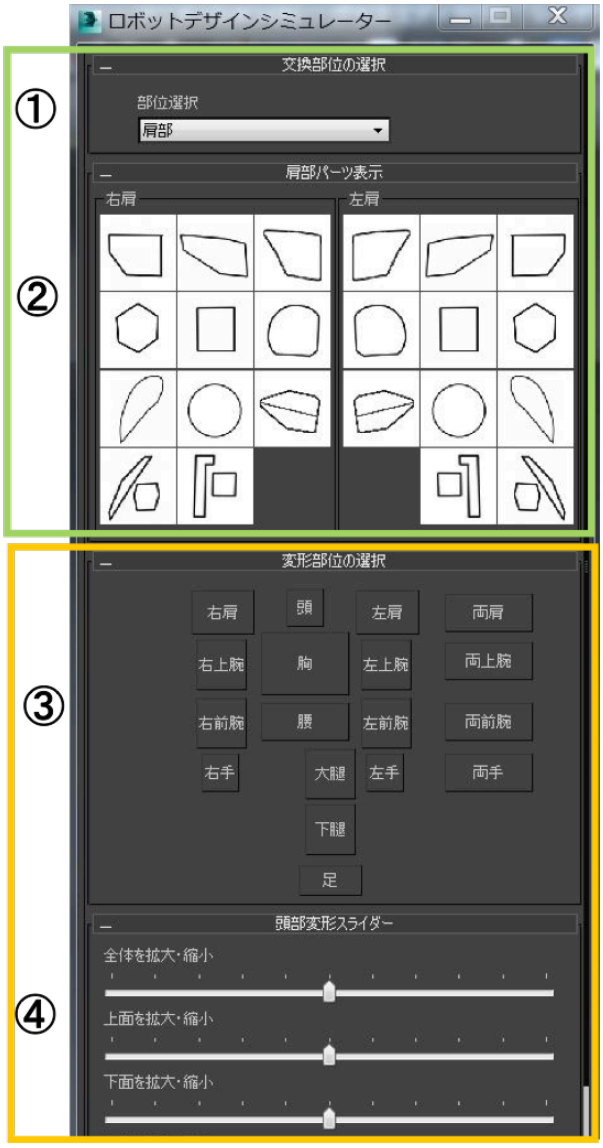


Figure 6 The Interface of Design Simulator

this system can manipulate replacement and deformation of robot parts using the buttons and sliders at the center of the Figure 5.

Figure 6 is the control panel of our simulation system. User operates the simulation in four steps using this control panel.

1. Selection of body region that the user wants to change parts
2. Selection of robot parts that the user wants to use
3. Selection of body region that the user wants to deform the shape of robot parts
4. Deforming the shape of the robot parts using the slider

By repeat these four steps, the user can create any draft of robot design.

5 Demonstration experiment

In this chapter, we describe the demonstration experiment.

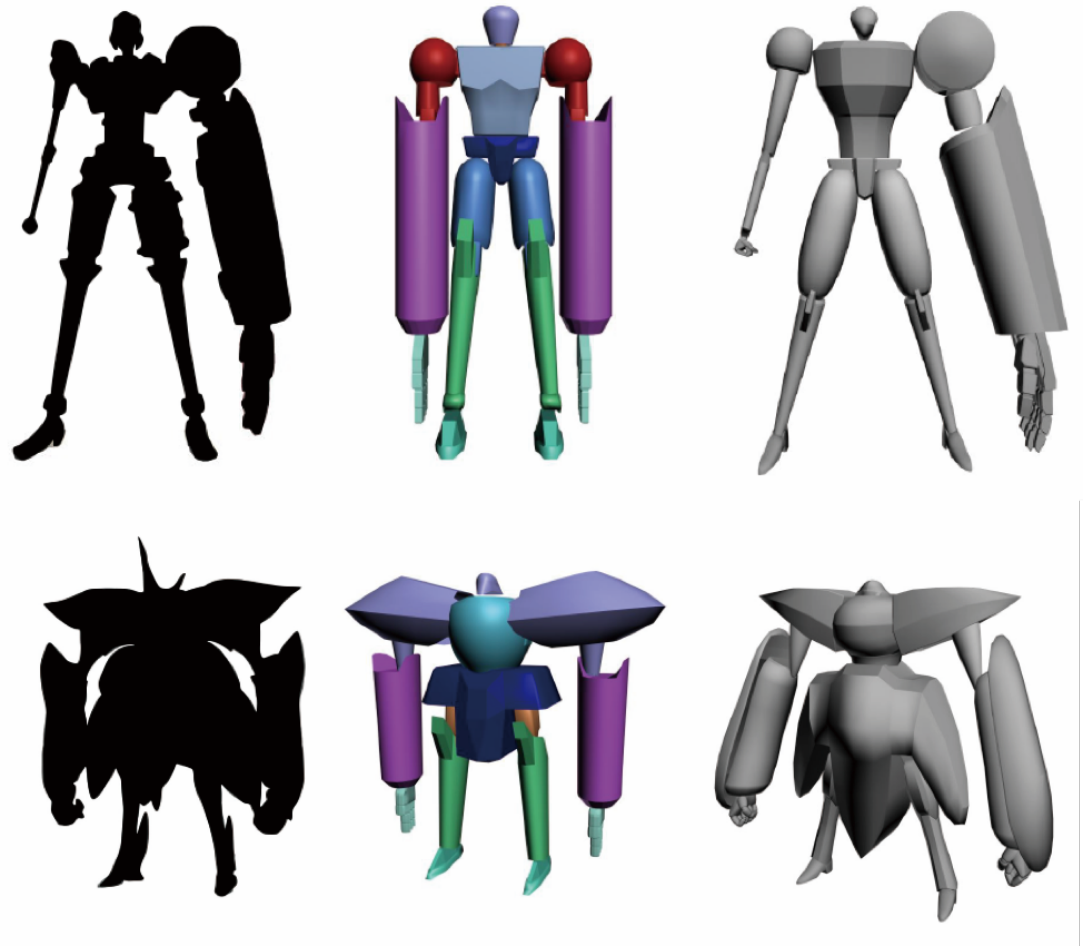


Figure 7 Result of the Experiment 1

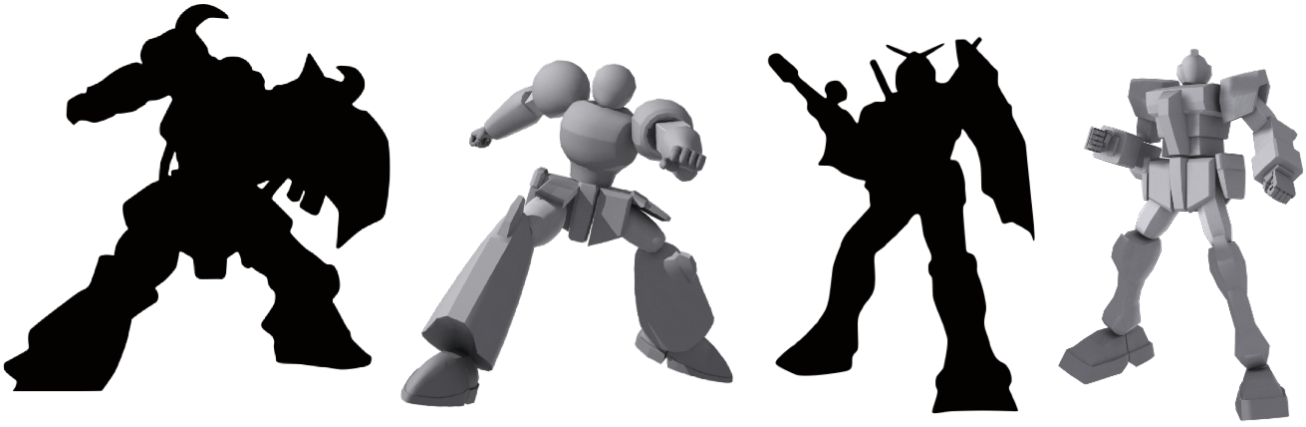


Figure 8 Result of the Experiment 2

We created the existing robot using our proposal system and system of previous research. In addition, we compared the image of a robot made with two systems.

Our system is a simulator for visualizing user's imagination about robot design. The most important thing for system of visualizing user's imagination is function that is able to create various shape robots. Therefore, we confirmed possibility of visualizing user's imagination by this experiment. Because, impossible to show the image that was imagined in user's head to others.

Figure 7 is an example of a simulation of an existing robot. We experimented with 10 robots using our system and system of previous research. Result of the experiment, our system is able to reproduce the existing robot with more short time and more high quality.

Figure 8 is another experimental result. We conducted a simulation experiment with poses of existing robot characters using our created system.

6 Conclusion

In this study, we found a common part for each part based on analysis of each part of the robot that appeared in the existing animation. Based on as a result, we were carrying out classification and pattern of the robot parts. Furthermore, we were creating the robot parts of 3DCG model. We have developed a simulation system that can to make a new robot design with a combine of the 3DCG robot parts and a deforming each part. We examined each body region of the robot that appeared in the existing animation. Furthermore, we classified shape of robot parts for find a common part of each body regions.

We were modeling the 3DCG robot parts based on the results of the analysis. In addition, we developed simulation system that is able to replacement, deformation, changing position of robot parts.

As a result, we have improved a problem of previous research. The main result of this system is four of the following.

1. System of previous research has a problem that too few of robot parts for simulation. We added robot parts. Robot parts increased from 45 types to 75 types.
2. Users intuitively become possible to select a robot parts because we made a button that icon of the image of the robot parts. As a result, efficiency has increased because the user does not need to see the robot parts list repeatedly.
3. In system of previous research, all body regions are independent. Therefore, after transforming the parent parts, it is necessary to adjust the position of the child parts. In our system, we have implemented a parent-child relationship of body regions. As a result, it is possible to eliminate unnecessary work.
4. Our system can create asymmetrical robot. Increased the type of combination of robot parts by increase in the types of robot parts.

As a result, even if user is unskillful of drawing, our system can create robot design draft with more detail and short time.

References

[1] *Animation note no.09- Animated Mei King magazine*, Special Features: draw the mechanical, SEIBUNDO SHINKOSHA, 2008.03.

[2] Kondo, K., Mikami, K., *Contents Creation,* Corona Publishing co., Ltd. 2014

[3] Hayashi, A., *How to draw a robot*, Graphic-sha Publishing Co., Ltd., 2001.1.

[4] Kanematsu, Y., Takemoto, Y., Motegi, R., Tsuruta, N., Mikami, K., Kondo, K., *Pose design system for robot animation*, The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan, Vol.46, No.1, pp.165-169 (2017).

[5] Tominaga, H., Jirayudul, S., Okamoto, N., Mikami, K., Kondo, K. *The Robot Design Draft Production Method Using Collage of Three-Dimensional Parts,* Information Processing Society of Japan, The Institute of Image Electronics Engineers of Japan, Visual Computing Symposium, 2010.6

5. 解説記事

ここでは、精密工学会、日本図学会、画像電子学会、日本設計工学会、建築学会、可視化情報学会に掲載された解説記事を紹介する。

1. 近藤邦雄,デザインと人間の感性,工芸品,感性製品のCAD/CAM 小特集, 精密工学会, 55 巻 10 号, pp.3-8,1989
2. 近藤邦雄,情報伝達のためのマルチメディアとコンピュータグラフィックス,"日本図学会, 図学研究, Vol.32, No.4, pp.9-16, 1998.12
3. 斎藤隆文, 近藤邦雄, NPR, 画像電子学会誌,第 33 巻, 第 4-B 号, pp642-650,2004
4. 近藤邦雄,工業デザインのためのフリーハンドスケッチを用いたインタラクティブモデリング,日本設計工学会,設計工学,Vol.41,No.1 ,pp.11-21,2005.12
5. 近藤邦雄,CG モデリングからラピッドプロトタイピングへ―時空を超える投影,建築学会,建築雑誌, Vol.122, No.1565,pp.18-19, 2007.8,
6. 近藤邦雄, 見ること, 分かること, 魅せること, 可視化情報学会, 可視化情報 Vol.36 No.140,pp.1-6, 2015.12
7. 近藤邦雄, 査読者の眼, 近藤邦雄,画像電子学会,画像電子学会誌,2009.9

1735

特集――工芸品・感性製品のCAD/CAM／展望

[JSPE-55-10
'89-10-1735]

デザインと人間の感性*

近藤邦雄**

Design and Sensitivity / Kunio KONDO

Key words: design, sensitivity, CAD, computer graphics, rendering, stereograph, industrial crafts

1. まえがき

近年，工業生産技術の発展はめざましく，どのメーカの製品も変わらないような機能を持ち，性能も非常に優秀なものが多くなってきた．これらの製品に対して，消費者に，より注目されるような付加価値を付けるデザインが重要な課題となってきている．このことは通産省が今年をデザインイヤーとして，全国の産業界に対してデザインに関する興味を深め，発展させるための活動を積極的に行っていることや，名古屋で専門家を対象にした世界デザイン会議や，一般向けのデザイン博覧会が開催されることからも分かる．

本特集の「工芸品」とは，日常生活で使用されるもので，それぞれの機能を発揮することによって，豊かな生活を支えるものである．工芸品が，機械を利用した大量生産の個性の少ない工業製品と異なる点は，手工業的個性的であり，芸術的に見ても評価できることである．従って，これらの工芸品といわれる製品を，計算機を用いて作成しようとすると，専門家のデザイン作業の分析や標準化，デザイナの感性に合ったマン・マシンインタフェースの作成などさまざまな問題を解決しなければいけない．

本文では，これらの問題を見なおすために，特にデザイン，人間の感性について解説し，手工業的な工芸品製作作業からCADへの発展について述べる．そして，具体的なものとして感性を利用したデザイン活動を援助するレンダリングシステム，最後にデザイン活動に有効となるCADシステムの構築のための課題について述べる．

* 原稿受付 平成元年7月28日

** 正会員 埼玉大学工学部（浦和市下大久保255）

2. デザインと感性

2.1 デザインとその役割

『デザインの事典』[1]のなかからデザインとつく言葉を調べてみると，工芸デザイン，工業デザイン，織物デザイン，インテリアデザイン，視覚デザイン，グラフィックデザイン，色彩デザイン，エディトリアルデザイン，システムデザイン，ステージデザイン，環境デザインなどと数多くのデザインのあることが分かる．このことは社会生活にかかわるすべての活動に対して，デザインがかかわりのあることを示すものである．通産省が出しているデザインイヤーのパンフレットでは，デザインの定義を「人間の創造力，構想力をもって生活，産業，環境に働きかけ，その改善を図る営みであり，人間の幸せという大きな目的のもとに，創造力，構想力を駆使し，私たちの周囲に働きかけ，様々な関係を調整する行為の総称」としていることも，社会生活に関連するすべてのものに対して，デザインが重要と考えたからであろう．

したがって，デザインは，人間生活を快適なものにするための出発点であり，人に対する思いやり・やさしさの思想が欠けてはいけない．また，工芸品を利用する人の生活向上につながることが期待されており，それを利用することによって時間と労力の削減だけでなく，精神的な満足感の得られることが望まれる．

このために，優れた製品を作る技術をもとに，デザイナは，感性に訴えるものを追求することが望まれている．ただし，製品の機能を十分生かすことが第一であり，この点を深く検討しないで，単に表面的な形状

や装飾だけを追うことは良くないことである．これはデザイン活動が製品の役割を満たすために，構造，材料，形状，質感，色彩を決めるものだからである．とくに工業・工芸製品のデザインでは，デザイナの感性が質感や色の決定だけでなく，構造や材料に対しても大きな影響を与えている．これは技術が発達し，今までの技術では困難であったことが容易に行えるようになってきたこと，さらにはデザインの重要性が認識され，製品に対する要求を決めてからそれを実現するという技術開発の力が備わってきたからであると考える．

少し分野が異なるが，橋の設計図をもとに完成予想図を描くイラストレータが，設計図のない状態で環境にマッチした橋の図をいくつか描き，そのなかから気に入った形状を多くの人で選択し，構造解析などをすすめて設計を行ったということを聞いたことがある．このことは，(1) 環境との一体感が重んじられ，形状や色彩が注目されていることを示すものであること，(2) アイデアがいかに大切であるかということ，(3) 設計者は構造や機能だけを考えていてはいけないということ，(4) 計算機の発達により，複雑な形状の構造計算が可能になったことがよくわかる例である．

今まで工学の分野では，設計活動は機能の実現，構造計算などの狭い範囲に眼が向いていたが，今後は，人の感性を考えた，そして，人・環境に対する思いやりの思想をもったデザイン活動を重視しなければいけないことがこの例から理解できるであろう．

2.2 感　　性

ここでは，この感性に関連した言葉，対立する言葉について述べ，デザインとのかかわりを考える．

人は，工芸品や工業製品を見たり，触ったり，使ってみたりして，いろいろな感じを受ける．この受ける感覚の能力のことを感性という．つまり，感性とは感受性のことで「外界の刺激を受け入れる感覚の働き，ものを感じ取る力で，感覚の能力，直感の力，対象からの印象を受け取る能力」と定義されている．ここで感覚は視覚，聴覚，嗅覚，味覚，触覚の五感であり，眼，耳，鼻，舌，身で感じ取るものである．この感覚で色，光，音の存在が分かる．さらに一般に第六感と呼ばれるものがある．これは心で感じるものであり，数値で測定することがしにくい感覚といえる．このようなすべての感覚を受け取る能力，つまり感性は製品を分解しないで見つめて理解することができる総合的な能力である．現在，このような能力を理解するための「感性工学」が注目されている．これは「ものの形に潜むどんな要素で人間は違いを知覚するのかという認識パターンを理論化する学問である」といわれている．

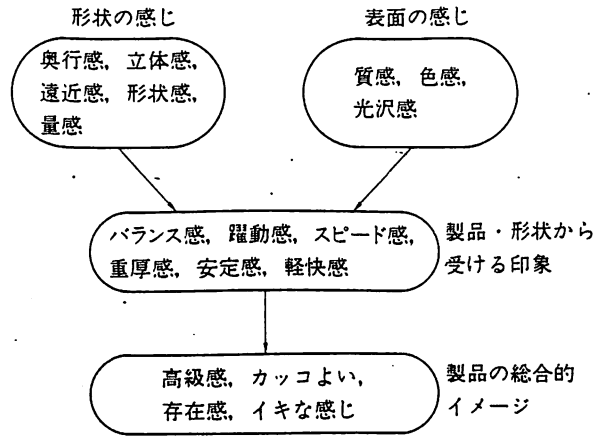


図1　製品から受ける感じとイメージ

これに対して，感覚によって受け取った情報をもとに，それらの形，物の存在，音のパターンを知ることを知覚という[2]．そして，知性とは知的作用に関する性能で，人間の持つ思考，判断の能力，特に，ある事物についての抽象的な概念的な認識能力，物事を理解する能力のことをいう．この能力は目の前にある製品に関する多種な情報に対して，予想，仮定や経験などを働かせ，製品を知るという情報の総合を行うものである．つまり知性は，整理して記憶している知識を組み立てるという従来の設計に使われる分析能力といえる．

ここでは感性と製品の関係を明らかにするために製品から受け取ることのできる感じを表す言葉を調べてみる．

製品の形状から見られる感じは，奥行感，遠近感，立体感，形状感，量感がある．形状から受ける印象の感じは，バランス感，躍動感，スピード感，重厚感，安定感，軽快感があげられる．さらに製品の表面から受ける感じは質感，色感，光沢感がある．これらを総合した感じとして高級感，存在感などの言葉が使われる．これらの関係は，図1のようになる．デザイナは，意識的にこれらの感じを作り出し，自分のイメージを形に表現するのである．

人の感覚のうち，視覚は，デザインに特に重要であることは明らかである．しかし，視覚の錯覚が大きな交通事故につながっていることが，最近のテレビで放送された．「夜間の車の追突事故がバックライトの高さの違いから遠近感を錯覚するために起こる」と結論付けられていた．図2の小さな2つの円がライトとすると，右のものに比べ，左のものが遠くにいるように感じる．ところが実際は左はトラック，右は普通車で

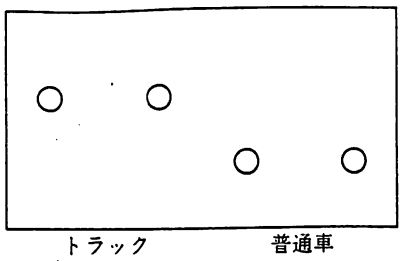


図2 奥行の認識

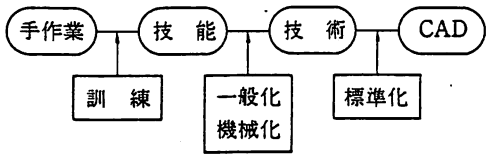


図3 手作業からCADへ

あり，ドライバからは同じ距離であるにもかかわらず，左のトラックが遠くにいると勘違いをして，スピードを変えずにいると，眼の前にきてあわててしまい，事故になるということである．図2は視覚心理学の入門書にも見られるようなものであり，デザイナであれば，心得ていることであろう．

車のデザインをするときには，消費者に自分の作ったものが注目されるように，さまざまな工夫はするが，デザイナが環境全体までは考えていなかったひとつの例である．デザインがはじめに述べたように，社会生活を豊かにするものであり，人に対する思いやりの思想を持つならば，今後は環境全体に及ぼす影響をもっと広く考える必要がある．バックライトの位置は，排気ガスの問題のように機能的，技術的なものでなく，人の感性，感覚を考慮したデザインのアイデア・工夫で解決できることであり，事故を防ぐことが可能となるからである．

3. 芸術からCADへの発展

感性による手作業からCADへの発展は図3のようになる．手作業のうち，芸術は，作成した作品が独創性を持ち，人に感動を与えることで，その存在価値が見いだされる．製作活動は極めて感性的・主観的である．これに対し，工芸品の製作も，はじめは感性的なものであったが，それを伝統として存続させるために，個人的な能力を訓練によって伝えることが行われた．これが技能である．さらに，その技能を機械化することによって，人の能力にかかわらず，同じ製品を大量に作り出すことが可能になった．しかし，これは人の作業の一部を置き換えたにすぎない．計算機の利用によって，技術の標準化は進み，本来の製品開発に関する人の作業の分析が行われるようになった．この結果，数多くの企業においてCADシステムが作られ，利用されることになった．一方，工芸製品のCADシステムは，製品を作成するデザイナの作業分析が進まず，よいものがなかなか生まれてこなかった．

工芸には，人に対して役立つもの，使ってもらって喜ばれるものを作ることが求められている．芸術との大きな違いは，効用・経済性を含むことである．従って，この点からいえば，工芸品のCADだけが特別なものとして考えることはない．CADシステムを利用する各分野の技術者，設計者が製品を作り出していくときに，人間的な側面と，構造設計などと同等の扱いをすることによって，感性に訴える製品を作り出すことが可能であろう．しかし，デザイナの作業分析が行われていないものは，使いやすいシステムとはならないであろう．CADシステムの操作上の問題として，アイコンのデザインひとつとってみても，使い勝手に大きな影響を与えることが指摘されている．また，アイコンという表示上の問題だけでなく，メニューの階層化は，作業手順の分析がきちんと行われなければうまくできないものである．

以上のことから，利用しやすいCADシステムを構築するためには，デザイナが参加し，利用者であるデザイナの意図がスムーズに伝えられること，思考の過程を援助できるようにすることが大切である．

次に，感性を生かした作画システムの例として，形状の感じを分かりやすく示すためのレンダリング法と立体感を表現するための立体視について紹介する．

4. 感性を利用した表現技術

4.1 形状感表現のためのレンダリング

最近，デザイン会社には，いくつかの計算機が備えられるようになった．そこでは，これらの計算機を利用して，設計活動全般を進めている．アイデアをもとにしたレンダリング，そのレンダリングから3次元モデルを作成するための図面作成，各種の部品を正確に決定する部品図などの作成に使われる．レンダリング作業に計算機を用いることは，従来の筆や絵の具という道具に変わるもののひとつとして位置付けられる．特に，コンピュータグラフィクスによって，従来考えつかなかった表現が実現できるようになってきた．

レンダリングの目的は，形を分かりやすく見せること，形状評価ができることである．そして，良いレンダリングは見せ場があり，人に訴えるところがなければいけない．

このようなレンダリングを描くためには，デザイナ

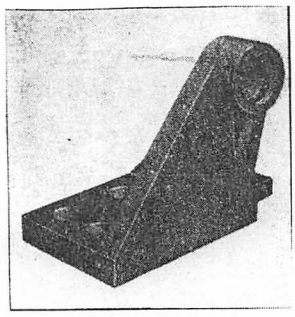


図4　2次曲面パターンを用いた濃淡表現の例

の知識・パターンを利用することが大切である．従って，レンダリングの共通語を知らないと，表現を行ってもうまく情報が伝達されない．デザイナ同志では，レンダリングは共通語として，客観性を持っている．経験豊かなデザイナは，ある大きさの形に対して，ハイライトの大きさが対応し，図に描かれているハイライトの太さからその形の寸法まで分かる．訓練していない人は，このような共通語を持っていない．デザイナは，描く対象をパターンとしてとらえ，形状を表す重要な点を見付けだすことができる．このため，すばやく，そして客観性をもたせるように図を描くことが可能である．

図4は，2次曲面パターンの濃淡表現したものを組み合わせて描いたものである．この図は物理的な陰影計算をしないで，濃淡補間の計算を行ったものである．この方法で曲面の形状の感じをほとんどすべての人が同じように認識することができる．このようなことは，訓練されたデザイナだけでなく，普通の人も経験によって，すぐに分かるものである．

図5は，絵画やデザイナの濃淡作画手法を分類し，まとめたものである[3]．この作画方式を用いると，図

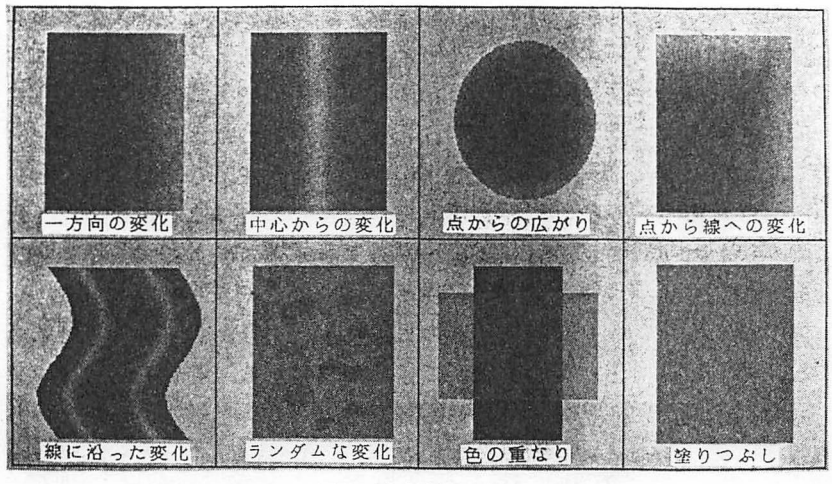


図5　濃淡表現の分類

図6　レンダリングの例図

6のような図も容易に描くことが可能である[4]．図7(a)は，平面的な図である．図(b)はそれにハイライトを加え，立体的な感じを出そうとしたものである．

このようなことが可能なレンダリングシステムを用いることによって，デザイナに刺激を与えるだけでなく，製作に対する数々のアイデアをさらに大きくさせること，また，デザイナの想像力を発展させることが可能になってきている．

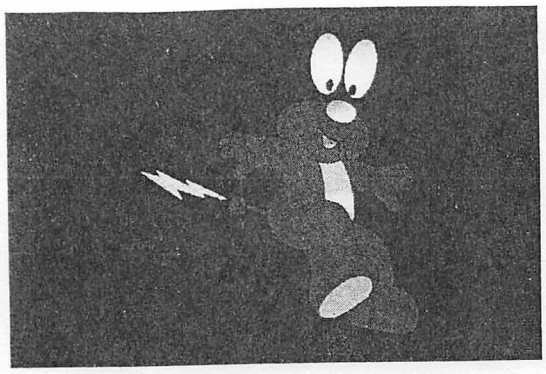
このようなレンダリングシステムを作成するとき，特に，次のような点に注意しなければいけない．

(1)　ベテランと素人が同じものしか描けないのではいけない．ベテランは力にあった作品が作成でき，自分の筆と同様に使いやすく，個性が発揮できなければいけない．

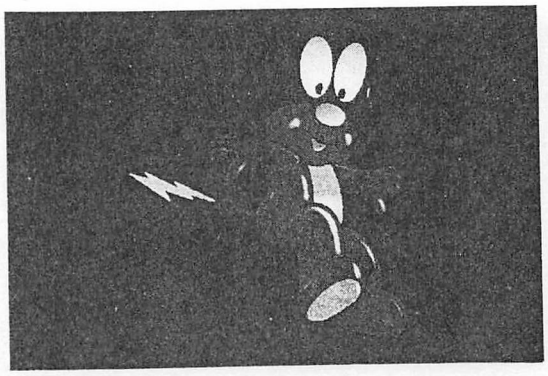
(2)　コンピュータグラフィクスを利用すると，ひとつの形から多くの作品を作ることが容易である．それらから自分の感性にあったものを選択することはデザイナの役目であり，将来どんなに計算機が発達しようとも，最後の決定は人の仕事である．

4.2　立体感表現のための立体視

レンダリングは，濃淡表現したひとつの図形である．これに対して，



(a)　平面的な図



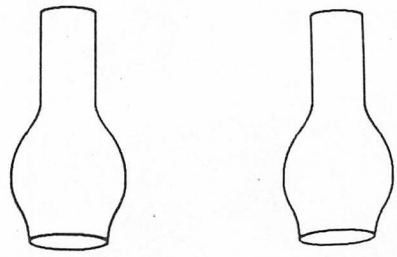
(b)　ハイライト付加

図7　ハイライト付加による立体的な感じの表現

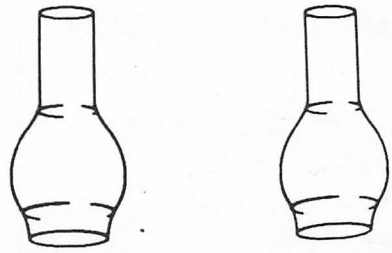
立体視は両眼に対応する図を2つ用いるもので，形状の立体感を表現するものである．レンダリングの場合は，人の経験の蓄積とその視覚の直観的判断を利用したものであるが，立体視は，人の感覚を利用したもので，奥行の違いを共通なものとして感じとることができる．

図8は自由曲面と空間上に配置した点を表現したものである[5]．立体感が理解できるために，空間の点の位置の違いが分かる．ひとつの図だけを見ると，前後関係は分かりにくいが，立体視することによって模型を見ているかのように感じる．観察者は，見る位置を合わせれば，同じように認識できる．

図9は，回転体の線図の立体視である．図(a)は輪郭線だけであり，立体視をしても，内部のふくらみ



(a)　輪郭線のみの立体視図



(b)　線を付加した立体視図

図9　線図の立体視図

は感じ取れない．図(b)は4本の線を加えただけであるが，回転体の内部の感じが理解できる．

レンダリングの理解では，経験の差によって理解の度合いが異なるが，立体視の立体感の理解度は共通性が高い．このことは，立体視という感覚の助けをうまくCADシステムに導入し，3次元形状の表示に利用することによって，ユーザインタフェースの優れたシステムが構築できることを示すものである．

5.　工学と芸術の融合

アパレル分野は，工学技術とともに芸術性がつよく要求される分野である．この分野の製品は，技術の向上によって，基本的な機能は満足されている．たとえば，色が落ちない，丈夫である等という点である．今後は着やすい，柄が良い，生地が良いなどの付加価値が特に大切となる．他の工芸品も同様に，丈夫である，機能面が優れているなど満足されたものになっている．今後の問題は，利用者の感性に訴えるもの，個性的なものを作っていくことである．またさらに，広い立場からデザインを見ると社会環境にマッチした，

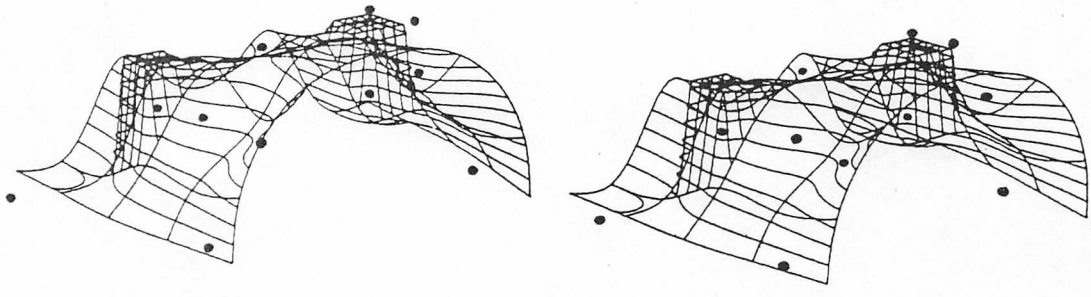


図8　自由曲面の立体視図

人が使いやすい製品の開発が大切である．

ここでは，人の感性を利用した，より優れたCADシステムの構築について考える．優れたCADシステムを用いてデザインを行う場合，必要な情報の収集が容易であり，少ない入力で処理が可能となる．したがって，出力結果を見て，その分析を行うことが人の重要な仕事になる．この結果，人の作業的な仕事時間が少なくなり，創造的な活動の時間が増えることになるという利点がある．

以下に，このような最適なシステムにするために取り組まれている課題として，形状設計，色彩決定，知識データの作成と利用について述べる．

1) 形状設計

形状設計では，機能面の拘束とともに，デザイナの美的感性が大きなウエートを持っている．最近は，イメージしたものを作り上げるために，CADシステムを利用している．少し前には「車の設計にCADが利用されるようになってきたら，同じような形の車が多くなった．これは，CAD，情報処理能力のレベルが低く，最適なものではないために，デザイナの個性が表しにくいためである」という話を聞いた．最近は，CADシステムが発展してきており，個性的なものもでてきている．

ろくろを使って，花瓶やつぼを作ることは，熟練者には容易である．この技能の長所と計算機の長所を取り入れ，CADでシミュレーションできると，個性を生かし，感性にあったCADシステムとなるであろう．このようなシステムを構築するためには，デザイナの形状生成の意図を体系化することが必要である．これを実現するために，曲面の性質とデザイナの意図や感性と対応付けて，これを制御する高度なCADシステムの開発が進められている[6]．

2) 色彩決定

色を決定するための手続き的法則があるものは，アルゴリズム化が容易である．これを用いると，好ましい配色が容易に作り出すことができる[7]．さらに使いやすくするためには，感覚・感情を表現するさまざまな言葉とそれを表す色の対応をうまく一致させる分析，ならびに検索システムをつくることが必要である．このために，心理空間のなかで配色を数値化する，または尺度を付ける方法が研究されている．

3) 知識データベース

感性情報をとり入れた知識データベースを構築するために，技能のノウハウを抽出し，それを分析し，標準的な知識としてまとめる．これはデザインするときの助けとなる役目を持ち，より高度なユーザインタフェースの構築を可能にする．たとえば，このデータベースに対し，いくつかのことばを入力し，対応するデータを取り出し，それをもとに形や色を修正してデザインをすすめることができる．このために，フィーリングに対する言葉を分類し，検索できるようにすることが考えられている[8]．このためには，言葉の種類を使う人の立場で，どのように整理し，分けるかが問題である．人によって，同じものをみても違う感じを受けたり，同じ人でも違ったときにみれば，異なった印象を受けることがあるためである．

以上の課題は，高度で利用しやすいCADシステムの構築には必要なものである．このために人の芸術的センス・技能を整理し，芸術の長所を工学の分野に取り入れ，工学技術との融合をめざすことが望まれる．

6. あ と が き

本文では，人間の感性とデザインについて述べた．感性というものは，捕らえにくいものである．今後，デザイナの仕事や作業，知識を分析することにより，感性という情報をうまく分析し，標準化し，主観的なものから客観的なものとすることが必要である．これによって，デザインという創造的な作業を援助できるCADシステムが構築される．

本文をまとめるにあたり，東京工芸大学高梨隆雄教授，東京大学吉川弘之教授，木村文彦教授，東京都立繊維工業試験場加藤陽一氏に，貴重な意見をいただいた．記して深く感謝する．

参 考 文 献

1) 廣田長次郎ほか：デザインの事典，朝倉書店（1988）．
2) 島居修晃：現代基礎心理学，3. 知覚，東京大学出版会（1982）．
3) 近藤邦雄ほか：レンダリングのための濃淡表現アルゴリズム，図学研究，39，15（1986）15．
4) 近藤邦雄ほか：インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現，情報処理，26，11（1985）1401．
5) 図学会編：CGハンドブック，森北出版（1989）182．
6) 東 正毅ほか：高品質曲面形状モデリングシステムの開発，1989年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集（1989）807．
7) 宇佐美芳明：3次元CGのための配色エディタ，情報処理学会グラフィクスとCAD研究会資料37-8（1989）．
8) 加藤陽一ほか：アパレル産業におけるコンピュータグラフィクス，情報処理，29，10（1988）1160．

解説

情報伝達のためのマルチメディアとコンピュータグラフィックス*

近藤邦雄**

1．はじめに

図的表現は「図」学のなかで重要な分野である。従来の図法幾何学では，3次元形状を表す方法が提案されてきた。製図のように製品を作るために規格ができている表現法，建築の完成予想図に用いられる透視図法，デザイナが描くスケッチなどいろいろな表現法が活用されている。これらの図は，自分の頭の中にある3次元形状のイメージを確認するために図を描く場合，設計者が加工などの制作を行う人に情報を伝達する場合，専門家が一般の人に理解してもらうために描く場合などに利用される。このような時に用いる「図」は情報を伝達する，つまりコミュニケーションのために用いられているといってよい。

画像情報を利用することは，コンピュータが利用される以前から行なわれてきた。コンピュータが広く普及するにしたがって，さらにその利用は拡大しつつある。特に画像を生成する技術であるコンピュータグラフィックス，画像を加工したり認識したりする画像処理・画像認識も，画像情報をコンピュータで利用するための基幹技術として発達してきた。たとえば，CG関係の国際会議は多数設立されてきており，コンピュータグラフィックスの研究発表の場であるSIGGRAPHへの投稿論文数は300件を超えている。この数年をみても投稿数は伸びており，コンピュータグラフィックスの進展はまだまだ続いているといえる。

本解説では，情報伝達という目的におけるマルチメディアとコンピュータグラフィックスの利用に関して人の役割と「図」や「画像」の役割の関係を明らかにするとともに，情報伝達のための表現技術について示す。本文では，まず，マルチメディアシステムと情報の流れについて示す。次にコミュニケーションの形態を分析し，マルチメディアを活用するための図や画像の重要性について述べる。そして最後に人とコンピュータのコミュニケーションのために，重要なコンピュータグラフィックスの表現技術について述べる。

2．人間の情報処理とマルチメディア

マルチメディアの要素技術とは，一言でいえば，デジタルで情報を処理するために必要なハードウエアとソフトウエアの技術である。人が各種のデータを処理して，ある意味をもった情報とし，さらにそれらをまとめて知識とする過程において，マルチメディアが重要な役割を果たす。

2.1　人の情報処理とハードウエア

人間の五感と情報処理システムの関係は次のようである。五感は，視覚，聴覚，触覚，嗅覚，味覚である。これらは人間の情報収集のためのセンサであり，コンピュータでいえば入力装置に対応する。画像情報，音声情報を得ることのできる目・耳などが入力装置である。これに対して出力装置は言葉を音声で表現する口や動作で示す手が対応する（図1）。このような人と情報処理システム相互の情報交換をする部分をヒューマンインタフェースという。この相互作用のことをヒューマンコンピュータインタラクションという。

2.2　マルチメディアシステムにおける情報の流れ

マルチメディアシステムは一般に人が入力装置を用いてコンピュータに指示をし，結果を出力装置で評価して，処理を進めるという対話システムである。このため，ユーザはシステムからのメッセージに対する理解を正確にできることが必要である。

*平成10年11月9日受付
**埼玉大学工学部情報システム工学科

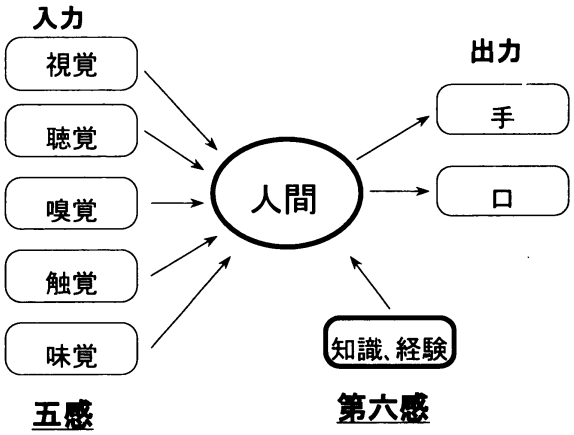


図1　図の情報の入力と出力

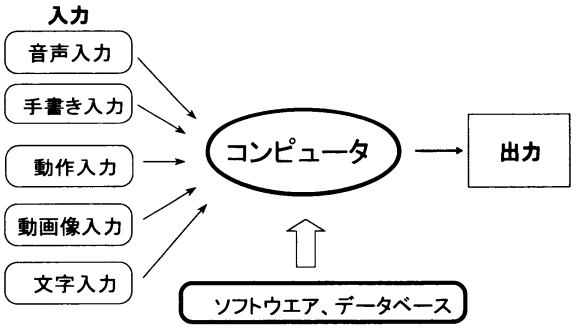


図2　マルチメディアと情報の流れ

マルチメディアシステムにおける情報の流れは次のようである（図2）。まず，コンピュータに音声・動作・動画像・文字などが入力される。この入力はコンピュータによって必要な処理が行なわれ，画像・文字・音声など人に理解できる情報として処理結果が表示される。ここで入力された情報は人の脳に対応するCPUによって情報処理され，人が認識できる情報に変換される。このとき，出力された情報を認識するために，人は経験や知識を利用する。これがコンピュータシステムにおけるソフトウエアやデータベースに対応する。

ソフトウエアはアルゴリズムという処理手順という知識の集合，データベースはデータの集合であり，個別の情報をまとめた知識である。また，処理された情報は人に理解しやすい画像として表示されたり音声出力されたりする。これによって，マルチメディアシステムを利用したコミュニケーションが成立する。これは人と機械のコミュニケーションの形態である。このシステムがネットワークで接続されている場合は，遠隔会議システムのような多人数のコミュニケーションにも応用できる。

3．画像の理解と視覚

3.1　表現技術の目的と分類

ここでは，コンピュータグラフィックスの表示手法を中心として解説する。表示技法はコミュニケーションの目的によって，表現手法を適切に使い分けることが望まれる。CGの表現技術は，（1）白黒・カラー，（2）静止画・動画，（3）線画・面画，（4）単面投影・立体視という分類ができる。この組み合わせによって生成できる画像はさまざまである。たとえば新聞で見られる政治家の似顔絵，経済成長や売上げ状態の変化を示すグラフ，テレビのニュースのタイトル映像，飛行機のフライトシミュレーション，設計評価のための仮想住宅やキッチン，手術シミュレーションなどである。このようなさまざまな分野で画像は目的に合わせて使用されている。

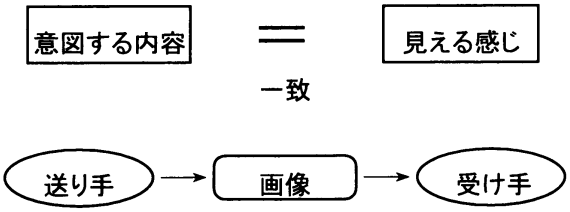


図3　画像と情報伝達

3.2　画像情報の送り手と受け手（図3）

画像は，意図した情報を伝達するために作成される。芸術分野における作品は，感情に訴えかけるという情報伝達であり，ビジネスにおけるさまざまなグラフは，営業成績等のデータをわかりやすく示すという情報伝達法である。このように，画像は作者の様々な意図を持った情報を含んでおり，その情報がうまく伝わることが良い表現といえる。リアリティの追求がコンピュータグラフィックスの重要な目標のひとつであるが，リアリティを表現したからといって，リアルな情報が伝達できるとは限らない。従って目的を考えずにコンピュータグラフィックス技術を用いて写実的な画像を描くことは最適であるとはいえない。作者と受け手が共通の理解をすることが正しい情報伝達のためには必要である。画像による情報伝達は以下のようである。送り手が画像を作り，受け手に見せるとき，コンピュータを用いて画像生成する技術がコンピュータグラフィックスであり，受け手は第3者である人間ま

たはコンピュータとなる。送り手が意図した内容と受け手の理解した内容が一致した時，情報伝達ができたといえる。画像の持つ情報を人は容易に認識できるが，コンピュータが認識することは難しい。受け手が人の場合は，経験・学習によりさまざまな知識を持っており，これらの知識と提示された画像を比較して認識が行なわれる。このように送り手の意志・意図を正確に伝達することは非常に重要なことである。

3.3 視覚とメンタルイメージ（図4，5）

次に，視覚心理学の立場から画像情報伝達を考える。目は感覚器官であり，物を見ることができる。しかし，見えている物が理解されるためには，脳による処理が必要である。この処理の結果によって物をとらえることを知覚するという。ここで知覚する，または理解するとは，脳のなかにあるメンタルイメージと目に入ってきた感覚情報が比較・照合され一致したことをいう。メンタルイメージとは，経験や学習によって作られたパターン化されたモデルであり，個別の情報を分類してまとめて持っているものである。つまり，感覚情報として目から物の情報が入力され，脳の中で処理され，メンタルイメージであるデータベースを利用しながら，入力された情報を理解していくのである。ここで理解を助けるために画像の表現が重要な技術となる。

4．画像の特徴強調描画手法

4.1 画像表現と情報伝達（図6）

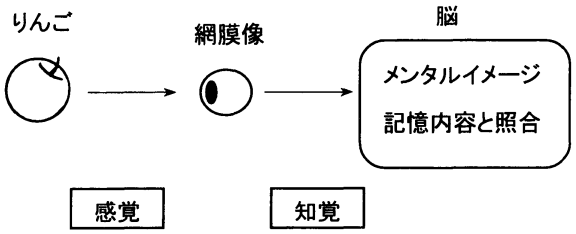


図4　感覚と知覚

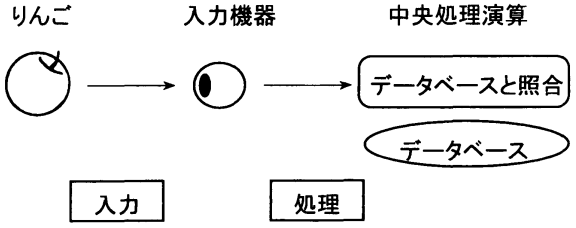


図5　情報処理と画像認識

コンピュータグラフィックスの研究者は，リアルといわれる画像の追求に目が向いていた。現在もその分野の研究は多く行われているが，単なるリアルさだけでなく，情報の理解を助ける手法も必要であり，コンピュータグラフィックスの領域が拡大されてきている。特徴強調表現は物理的な計算によるシミュレーション結果の表示でなく，極端にいえば，漫画の表現である。つまり不要な部分は省略し，伝えたいところだけをうまく強調して表現する技術である。漫画家の知識と技術によって表現する情報の特徴と読者の認識が一致しなければいけない。読者は経験と知識から漫画に表されている情報を瞬間的に感じとっている。つまり非常に高速で正確な情報伝達が実行されるのである。このような特徴表現は人の弁別能力，認識能力を効果的に刺激し，さまざまなものから区別できることを助ける，つまり理解を助けることになる。このような表現を行なうためには，人の持っているメンタルイメージを利用し，その人の知識に合うように画像特徴を表現することが必要である。このために，形状・テクスチャ，色彩，構図をうまく扱うことが必要となる。これらがうまく表現されているとき，情報伝達をスムースに行うことができる画像表現が可能となる。

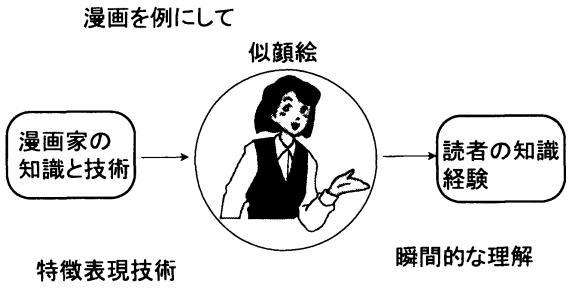


図6　画像による情報伝達

4.2 特徴表現のための画像表現技術

似顔絵は人の特徴を極めて良く表しており，書き手と受け手に共通の経験，つまり描かれている人物を知っているという前提では，極めて効果的なコミュニケーションを助ける表現手法である。このような例から分かるように，新聞などでは白黒表現によって描かれることが多い。また，ペンとインクを用いた白黒画像の生成はSIGGRAPHや日本でも多数論文が報告されている。ノンフォトリアリスティックレンダリングの分野が確立されてきたことが分かる。カラーを用いた画像表現についても，情報伝達のための表示技術が

いくつか提案されている。また，設計図面は，白黒で描かれることが多いが，その描きかたは規格によって制限されており，学習によって極めて正確に設計情報の伝達が可能である。線図であるが，太さや線種によって意味が異なっている。

5．CG 表現手法の現状

ここでは，コミュニケーションを助けるという立場から CG 表現技術の現状について紹介する。

5.1　写実的表現

リアリティの追求の基礎として，投影変換法がある。視点や投影方向を与えて 3 次元モデルを 2 次元画像に変換する手法である。このとき，扱う形状をコンピュータに与える作業をモデリングという。このモデリングのためにソリッドモデル，サーフェスモデル，ワイヤフレームモデルの立体表現法があり，これらは表示目的に合わせて利用される。

車の設計などでは，完成予想図を描いたり，ボディの自由曲面評価のために，リアリティを追求したレンダリングが用いられる。完成予想図では，塗装の様子を評価するために，天空の様子をシミュレートして，晴れやくもりの様子を考慮した計算が行なわれている。

建築設計の評価やインテリア評価においては，照明のシミュレーションが極めて有効である。これにより実際に存在しないものを，あるかのごとく見せることによって正確な評価を得ることができる。このために，本影だけでなく，壁などからの相互反射を表現したラディオシティ法を利用している。アパレル分野への応用も盛んで，布地のデザイン，洋服のしわの表現などが研究されてきた。

今後はこれらの技術がコンピュータの普及・高速化により一段と活用されるようになると思われる。

5.2　ノンフォトリアリスティックレンダリング

コンピュータグラフィックス分野ではリアルな表現をこの20年間追求してきたが，リアルな映像だけを目指しているだけでは限界が見えてきた。このためにコミュニケーションを助けるような表現として，人手による作図と同じような効果を出すことができるような表示方法も，改めてその必要性がいわれるようになってきた。表現手法としては目新しくないが，CG で描こうとすると新たなアルゴリズムを開発する必要があった。このために従来の表現手法を分析して，表現効果をあげることが行われた。

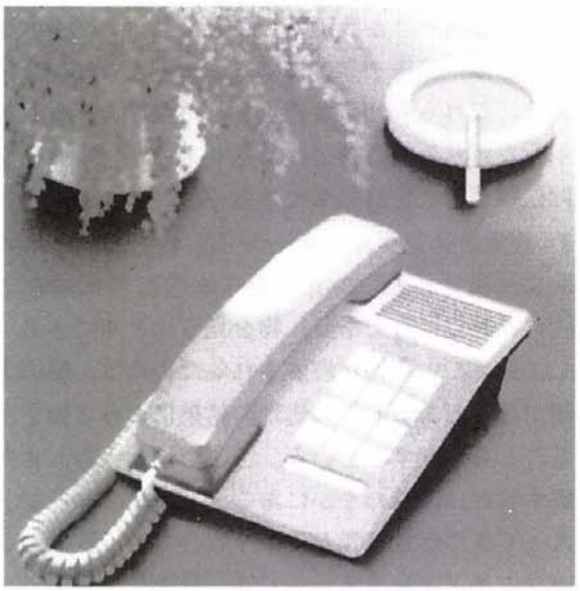


図 7　ペイントシステムによる画像生成（文献10）

1970年代から80年代にかけてペイントシステム（図 7）の提案がさかんに行われ，現在の基礎が作られた。また80年代から白黒画像の線画表現が発表され，ペン＆インクの描画手法を CG で描くための手法が多数報告された。これと時期を同じくして絵画調の表現が提案されてきた。ブラシや絵の具などの画材の効果を表現する手法も報告されている。さらにテクニカルイラスト，スケッチ，水墨画，凹版画，漫画，アニメ，レリーフなどに用いられる表現技術が開発されている。たとえば，ドットやラインによるシェーディングや輪郭線の強調手法（図 8）や，カラー画像による形状理解を助けるために，隠れ線・隠れ面処理を同時に行ない，線画と面画を合成する手法（図 9）が提案されている。線の表現と影を線画表現する手法を用いて，インタラクティブに手書き風の画像を描くシステムもある。与えられた形状を統一的に処理するだけでなく，省略すべき部分の領域を与えるとその部分に描かれている線が少なくなり，おおざっぱな感じになる。これによって他の部分が詳しく描かれているようになる。

また，画像表現する内容はさまざまであるが，「情報の可視化（Information Visualization）」という研究領域が確立されつつある。図法幾何学は主に形あるも

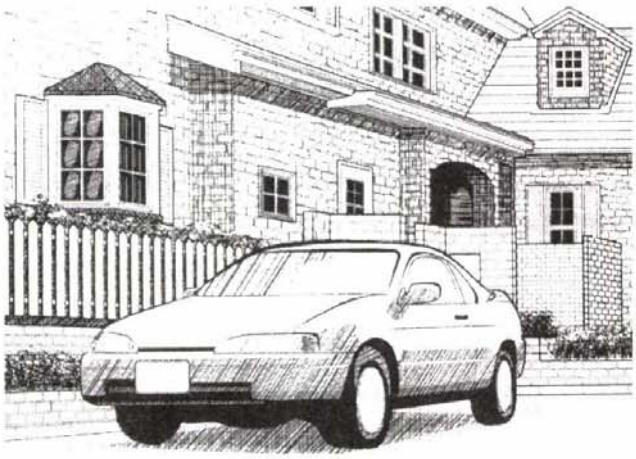


図8　ラインシェーディングを用いたレンダリング例（文献11）

のを図化することを扱ってきたが，今後は形なきものを描くことも重要なことであると考える。

5.3　CGと画像処理の融合

CGで扱う画像データの表現のひとつに，画像を構成する最小単位である画素で構成する方法がある。この表現を用いて画像を生成するシステムにペイントシステムがある。よく見られるペイントシステムには，領域塗りつぶし（ペイント）という機能がある。このような画素単位で構成された画像表現は，写真などをコンピュータに取り込む場合にも同様に用いられる。この場合，入力された画像の輪郭をはっきりさせるための鮮鋭化，雑音除去のための平滑化，コントラスト強調による画像処理などを行う。また，画像の加工や変形によってあらたな画像を生成することもできる。モザイク処理やポスタリゼーションという濃度の量子化レベルを粗くする基礎的な手法のほかに，水彩風や油絵風などの画像処理法がある。

そしてさらに，画像処理との融合も進み，写真や画像の合成や活用技術が報告されるようになった。この分野の研究領域を「イメージベースドレンダリング（Image based Rendering）」という。意図した画像の生成のために必要なものはすべて利用しようという考えによるものと思われる。この分野は非写実的な画像も写実的な画像の生成にも利用されている。

5.4　アニメーションの表現

ニュースタイトルやテレビコマーシャルではその番組や製品の性格を理解しやすく，より興味をひく映像になっていなければならない。注目を集めることが目

図9　輪郭線強調描画法手法の活用（文献12）

的のひとつである。これらは様々なCG技術，たとえば，グローシェーディング法，レイトレーシング法などの基本的な隠面計算や陰影計算，テクスチャマッピングやソリッドテクスチャなどの質感表現を利用して制作される。また，モーフィングやワープという画像変形の手法はアニメーションのために開発された手法である。最近のコマーシャルでは注目する場所だけをカラーにして，それ以外は白黒表現する映像も見られる。これはコミュニケーションを助ける手段のひとつとして有効な方法である。

またキャラクタの表情をうまく伝えるためには，動きの表現（図10）と顔の表現に工夫が必要となる。このための基本的な手法として，キーフレーム法がある。これは2つのキーとなるシーンを線形補間するという計算を用いている。この手法を応用していろいろな動きを生成することができる。これらのキーとなる動きや連続した動きを，モーションキャプチャという装置で人間の複雑な動きを入力することができるようになった。このような実際の人の動きを利用したアニメーションは，動きに限界があり，このデータを利用した動きの生成が行われるようになってきた。実際の

図10　感情表現を伴うアニメーション（文献38）

動きを活用するための動作データベースが作成できれば，コンピュータアニメーションは一段と発展することと思われる。

また，顔の表情は，人間のコミュニケーションにとって極めて重要な情報である。自然な表情を合成・表示するための感情空間を生成する手法が提案されている。これらの研究は，ユーザフレンドリーなマンマシンインタフェースを実現するための有効な手法であり，従来のマッピング技術・モデリング技術に加えより自然な顔にするために頭髪の表現も必要な要素である。また，リアルな動きに加え，誇張した動きを自動的に表現する手法も感性・感情を正確に伝達するうえで重要である。

また一方，アニメーションにおけるノンフォトリアリスティックな表現に関する研究も行なわれている。3次元モデルのキャラクタデータを従来のCGのレンダリング手法を用いないで，セルアニメタッチの画像を生成することを目標としている。単一のシェーディング法をもとに輪郭線を表現したり，シェーディングを単色にしたりする手法である。このようなアニメ画像の表現は画像の見やすさだけでなく，動作の非現実的で誇張がアニメの雰囲気を生かすことになる。このような動作強調手法は動きのスピードや関節の角度変化から速度を誇張したり，キャラクタの大きさを変化させることができる。動きを制御することにより意図したことを表現できることから今後の応用が期待される。

5.5　自然物の生成と表現

自然物のモデリングもかなり研究され，実物と見間違うほどの形状を構築することができるようになってきた。(1) 樹木，草木，花，貝，岩石，皮，山や地形など植物や自然物の形のあるもの，(2) 人，動物などの生物など動きのあるもの，(3) 水，雨，波，煙，雲，炎，稲妻などの形が決め難いもの，(4) 天空の様子，宝石の輝き，ガラス越しの様子，光の反射など光に関連するもの，(5) よごれ，ほこり，風化など時間経過による変化の表現などが研究されてきた。自然物を扱うために良く用いられているフラクタル理論は，この領域の発展に大きな役割を果たした。たとえば，山岳や木などの形状モデルの生成などに利用されている。光の表現や自然物の表現はCG技術の発展に大きく貢献したもので，リアルな映像製作に欠かせないものである。リアルな映像製作のために，今後も地道に研究を続けることが必要な領域である。

自然物の表現は，リアリティを追求するグラフィックスのモデリング技術とレンダリング技術の両分野に関連する領域である。自然物のモデリングが進むとそれを表示する目的も多数となり，レンダリング技術の開発も一段と増すと考えられる。そのときには，5.2節で述べた非写実的な表現も利用できることになるであろう。

6．まとめ

本文ではマルチメディアとコンピュータグラフィックスを利用した情報伝達のための表現手法について述べた。「図」は各種の情報を作図者の意図に合わせて表現されたものである。従って，伝えたい情報が正確に伝わらなくてはいけない。このような点から，「正しい情報」が容易に伝わるような画像の生成を目指すことも重要なことである。このような画像生成は今後マルチメディアやネットワーク分散システムを活用するうえで極めて大切な技術である。人間の生理的な仕組みや心理的な仕組みを考察して，情報伝達を助ける画像生成手法の確立が望まれる。

なお，本解説は文章だけでも内容を理解できるように書いた。そして，本文の理解を助けるために，画像・図を独立して示した。これによって文章と画像の役割・効果が実感できるものと思われる。また，参考文献は多数であるので引用せず，分類して示すことにした。なお，文献は膨大であり，一部を引用したにすぎない。このような資料を充実させることが研究活動を支援することになると考える。

参考文献

CGとマルチメディア関係：

1）近藤，田嶋，モダングラフィックス，コロナ社，1982

2）映像情報メディア学会編：年報4－1マルチメディア情報処理，映像情報メディア学会誌，vol.52，No.8，pp.1131－1142，1998

3）テレビジョン学会編：テレビジョン年報（9.2コンピュータグラフィックス），テレビジョン学会誌，Vol.50，No.7，pp.881－884，1996

4）CGARTS編：技術編CG標準テキストブック，画像情報教育振興協会，1985

5）日本図学会編：CGハンドブック，森北出版，1989

6）日本図学会編：マルチメディアコミュニケーション，共立出版，1997

7）辻三郎編：感性の科学，サイエンス社，1997

非写実的表現に関する研究：

8）大野，フォトリアルでないCG画像表現の手法について，情報処理学会グラフィックスとCAD集中研究集会，Vol.95，No.78（1995）

9）斎藤隆文,"Comprehensible Rendering——これからの課題,"情報処理学会グラフィックスとCAD集中研究集会，Vol.95，No.78（1995）

10）近藤，木村，田嶋，インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現，情報処理学会誌情報処理，Vol.26，No.11，1985.11,pp.1401－1408

11）旭，近藤，イラスト作画支援システムの開発，NICOGRAPH'91，pp.22－31，1991

12）望月義典，近藤邦雄，佐藤尚，島田静雄，"形状理解を容易にする特徴強調画像の生成,"情報処理学会研究報告，Vol.95，No.78，pp.73－80，1995

13）T. Shirouzu, Y. Ohno, Computer-Aided PLate Making fir Intaglio Printing, proceedings of 6 th ICECGDG, pp.708－712, 1994

14）張青，高橋淳也，他，樹木の水墨画調レンダリング，情報処理学会グラフィックスとCAD集中研究集会，Vol.95，No.78（1995）

15）島田繁広，近藤邦雄，佐藤尚，島田静雄，神原章，ドット・ラインシェーディングによる白黒画像の強調描画手法，グラフィックスとCADシンポジウム，1994

16）X. Li, D.Juricic, CAD Produced Personalized Freehand Sketching, proceedings of 6 th ICECGDG, pp.757－761, 1994

17）近藤，神原：レンダリングのための対話型線画表現法，図学研究Vol.55，pp.11－15，1992

18）神原，近藤：3次元形状表現のための白黒画像の描画法，情報処理学会論文誌，Vol.34，No.8，pp.1762－1769，1993

19）S. Shimada, K. Kondo: Interactive Rendering Tool for Technical Illustration, Proc. of ICECGDG' 94, pp.762－766, 1994

20）C.Schoenenman："Painting with Light", Proceedings of SIGGRAPH '93, 1993

21）Michael P. Salisbury, Sean E. Anderson, Ronen Barzel, and David H. Salesin, Interactive Pen-and-Ink Illustration, Proceedings of SIGGRAPH '94（Orlando, Florida, July24－29, 1994），In Computer Graphics, Annual Conference Series, 1994

22）Georges Winkenbach, David H. Salesin, Computer Generated Pen-and-Ink Illustration, Proceedings of SIGGRAPH '94（Orlando, Florida, July24－29, 1994), In Computer Graphics, Annual Conference Series, 1994

23）T. Strothtte, B. Preim, A. Raab, J. Schumann, D. Forsey,How to Render Frames and Influence People, Proceedings of Eurographics 94, 1994

24）Siu Chi HSU, Irene H. H. LEE, Drawing and Animation Using Skeletal Strokes, Proceedings of SIGGRAPH'94（Orlando, Florida, July24－29, 1994），In Computer Graphics, Annual Conference Series, 1994

25）B, J. Meier, Painterly Rendering for Animation, SIGGRAPH '96, 1996

26）P. Litwinowicz, Processing Images and Video for an Impressionist Effect, SIGGRAPH '97, 1997

27）L. D. Bourdev, Real-Time Nonphotorealistic Rendering, SIGGRAPH '97, 1997

28）高木ほか，水溶性色えんぴつ画の3Dモデリング，ビジュアルコンピューティング・グラフィッ

クスとCAD研究会合同シンポジウム'97，1997

コンピュータアニメーションに関する論文：

29) 佐藤，近藤：アニメーション制作におけるキャラクタの動作強調 MotionFilter，テレビジョン学会誌，Vol. 49，No. 10，1995

30) 金子，中嶋，ノンフォトリアリスティックアニメーションの生成，情報処理学会グラフィックスとCAD集中研究集会，Vol. 95，No. 78（1995）

31) J. Lee: "Constraint-Based Hand Animation", Proceedings of Computer Animation '93, 1993

32) K. Arai: "Keyframe Animation of Articulated Figures Using Partial Dynamics, Proceedings of Computer Animation '93, 1993

33) S.Loizidou: "Legged Locomotion Using HIDDS", Proceedings of Computer Animation '93, 1993

34) 小倉：" リアルタイムキャラクタアニメーションシステムの開発と運用"，第9回 NICOGRAPH 論文集，1993

35) R. Grzeszczuk et al. "Automated Laearing of Mustle-Actuated Locomotion Through Control Abstraction", Proc. SIGGRAPH 95 pp. 63－70.

36) N. Badler et al. "Simulating Humans", Oxford University Press, 1993.

37) J. Cassell et al. "Animated Conversation: Rule-based Generation of Facial Expression, Gesture and Spoken Intonation for Multiple Conversation Agents" Proc. SIGGRAPH 94 pp. 413－70.

38) M. Unuma et al. "Fourier Principles for Emotion-based Human Figure Animation", Proc. SIGGRAPH 95, pp. 91－96.

39) A. Bruderlin and L.Williams "Motion Signal Processing", Proc. SIGGRAPH 95, pp. 97－104.

40) A. Witkin and Z. Popovic "Motion Warping", Proc. SIGGRAPH 95 pp. 105－108.

41) P. Volino and N. Magnnat-Thalmann "Efficient Self-Collision Detection on Smoothly Discretized Surface Animations using Geometrical Shape Regularity", Computer Graphics Forum13（3），pp. 155－166.

42) 森島，原島：" 自然な表情アニメーションのための感情空間の構成"，第9回 NICOGRAPH 論文集，1993

43) T. Kurihara: "Hair Animation with Collision Detection", Proceedings of Computer Animation' 93, 1993

44) Jessca K,hodgins, Adapting Simulated Behaviors for New Characters, SIGGRAPH '97 1997

45) Davis Baraff, Large Steps in Cloth Simulation, SIGGRAPH '98, 1998

自然物の表現に関する研究：

46) M. Nakajima: Hair Images Generating Algorithm ussing Fracional Hair Model, Vol. 3, pp. 668－672, 1994

47) H. Kimoto: Rendering Flowing Water with Three-Dimentional Texture, ICECGDG '94, Vol. 3, pp. 663－667, 1994

48) 村岡，千葉，太田，冬期の近接景観のシミュレーションのための積雪モデル，テレビジョン学会誌，Vol. 49，No. 10，（1995）

49) 河村，土肥，石塚，NURBS，逆運動学，協調的運動モデルによる自然感の高い魚の実時間動画像生成，テレビジョン学会誌，Vol. 49，No. 10，（1995）

50) 桑原，志和，岸野，多視点樹木を入力するフラクタルモデルを用いた3次元樹木形状自動再構成法，画像電子学会，Visual Computing '95，（1995）

51) 土井，他，3次元テクスチャによる森林景観のビジュアルシミュレーション，画像電子学会，Visual Computing Workshop '95，（1995）

52) 多田村，大原，中前，雲の形状入力表示プログラムの開発，画像電子学会，Visual Computing '95，（1995）

53) 倉立，時間および視点変化を考慮した雲の可視化，画像電子学会，Visual Computing Workshop '95，（1995）

54) 川瀬，西岡，千葉，陶芸のCGに向けた基礎的研究，情報処理学会グラフィックスとCADシンポジウム論文集，（1995）

4. NPR

東京農工大学大学院　正会員　斎　藤　隆　文
埼玉大学工学部　正会員　近　藤　邦　雄

〈**あらまし**〉 本章では，イラストや絵画のようなCG表現を実現するNPR (Non-Photorealistic Rendering) について解説する．NPRでは，表現する目的や対象によって適切な描画方法が異なるため，さまざまな手法が開発されている．本章では，これらを複数の視点から分類した上で，対話的描画による手法，2次元画像に基づく自動描画，3次元情報を利用した描画，動画像生成における連続性の問題，のそれぞれに分けて解説する．

キーワード： NPR，ストローク，イラスト画，絵画調，エッジ

〈**Summary**〉 This chapter presents NPR (Non-Photorealistic Rendering) which synthesizes CG images like illustrations or paintings. Since appropriate drawings in NPR depend on the object and purpose, various rendering techniques have been developed. Here, these techniques are categorized from multiple view points. Then, interactive drawing methods, automatic drawing from 2D images, rendering methods with 3D information, and inter-frame continuity in moving images are presented.

Key words: NPR, Stroke, Illustration, Painterly Rendering, Edge

1. はじめに

NPR (Non-Photorealistic Rendering) は，イラストや絵画のように，強調や省略を施して描画を行うCG手法である．かつてはCGによるレンダリングの多くが，写真のような写実性を追究するPhotorealistic Renderingを目指したものであったが，1990年代からNPRの研究も盛んになってきている．

NPRは，いわば人の知覚に訴える画像を生成する手法である．表現する目的，表現対象によって，適切なNPR手法は異なるため，これまでにさまざまなNPR手法が開発されてきた．本章では，まずNPR手法を複数の視点から分類し，代表的な手法のいくつかについて説明する．描画例については，主として日本国内での研究例から紹介する．

"NPR" by Takafumi SAITO (Member) (Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology) and Kunio KONDO (Member) (Faculty of Engineering, Saitama University)

2. NPR手法の分類

2.1 表現目的による分類

NPRは，さまざまな目的に応用できる．ここでは，**表1**に示すような3つの目的に大別して述べる．

表1 表現目的によるNPRの分類
Table 1 NPR Classification by purposes

目的	表現対象	NPR手法
既存描画技法のシミュレート	油絵，水彩画，ペン画，水墨画，色鉛筆画，木版画，凹版画，パステル画，ステンシル画，モザイク画	描画模倣のアルゴリズム 画材のシミュレーション
情報伝達を目的とした描画	テクニカルイラストレーション，サイエンティフィックビジュアリゼーション	輪郭線描画 陰影誇張 ハッチング 半透明表示 限定色表示
既存描画技術への計算機援用	新しい表現 手作業では困難な表現	画像合成 自動中割 トゥーンシェーディング

2.1.1 既存描画技法のシミュレート

NPR の目的の一つは，既存描画技法をコンピュータで模倣することである．これまでに，油絵，水彩画，ペン画，水墨画，色鉛筆画，木版画などが扱われてきた．既存描画技法を扱う場合，その目的によって，二つのアプローチがある．

(a) 描画模倣アルゴリズム

描画結果の「見た目」と対象とする画風が一致することを求める．

(b) 画材の物理シミュレーション

筆，絵の具，紙などの画材および描画過程を忠実にシミュレートする．

2.1.2 情報伝達を目的とした描画

何らかの情報を伝達する目的は，手描きのイラスト画が使われてきたが．このような目的に NPR を使うことも行われている．情報伝達を目的とした場合，3 次元形状の輪郭やエッジなどに代表される物体形状の特徴的な部分を，より強調したり，省略したりして表現することが大切である．

可視化も情報伝達を目的としている．可視化で得られる画像は「わかりやすさ」を追究したものであり，写実的な半透明表示をしても実際に人間が目にする実物とは異なる点で NPR と近い．最近，ボリュームや流れの可視化に NPR の手法が使われるようになってきている．

2.1.3 既存描画技術への計算機援用

コンピュータを利用して既存の描画技術の一部を省力化することも，NPR の目的のひとつである．その代表例がセルアニメーションである．人海戦術による制作を省力化するために，キーフレームの中割りやペイントなどの機能をもつ実用的なシステムが開発されてきた．

従来の手描きだけでは実現困難な新しい表現を得ることも，NPR のひとつの目的である．3 次元モデルを用いて描いた画像と 2 次元のセル画との合成，セル画における 3 次元的な影付けやテクスチャマッピングなどが試みられている．

2.2 実現方法による分類

NPR では入力データの選び方や，ユーザの制御と自動処理との切り分け方を変えることにより，様々な実現方法が可能である．目的に応じて，これらを使い分けることが必要となる．**表 2** はユーザの介在の方法や度合いと入力データの違いによる分類を示す．各技術は代表的なものであり，明確に区別できない技術や複数に対応した技術もある．

表 2 実現方法による NPR の分類
Table 2 NPR Classification by implementation

	人間の介在の方法や度合い	
	対話的	自動的
2D 情報から	Painting Drawing	Stroke-Based Example-Based
3D 情報から	3D Painting	Feature Edges Hatching Toon Shading
形状変形	特徴強調	統一的変形

2.2.1 人間の介在の方法や度合いによる分類

(a) 描画プリミティブの操作

描画プリミティブ（たとえばストローク）単位でユーザが対話的に操作する．

(b) 描画パラメータの入力

画像全体もしくは物体などに対してユーザが描画パラメータを指定した後に自動処理する．

(c) 注目度の利用

ユーザの視線の動きを計測し，その注目度に応じて描画パラメータを自動制御する．

2.2.2 入力情報による分類

(a) 2 次元情報

元データがない場合は，Painting，Drawaing ツールを用いて，ユーザが対話的に 2 次元情報を与え，描画を行う．描画の自由度は非常に高いが，結果はユーザの技量に依存する．2 次元画像がある場合は，これを入力とし，さまざまな画風の画像に変換できる．このとき，面の方向性や輪郭をもとにストロークを求める．

(b) 3 次元情報

3 次元形状データを入力して，座標変換，隠面処理の後，NPR 的描画を行う．任意の視点における忠実な描画が可能であること，面の方向性を求めることが容易であるなどの長所がある．

2.2.3 形状変形による分類

形状特徴を生かした変形では，ユーザが画像に対して直接的に指示するか，パラメータを入力して，特徴的な形状をより強調して描く．例えば，似顔絵の作成するためには，目や口などの形状特徴を誇張する．これを自動処理で行うには，個々の形状認識を行う必要がある．

これに対して，形状全体を統一的に変形処理する場合は，視点からの距離や凹凸の変化量などをパラメータとして．簡略化や誇張度合いを与えて変形処理を行う．

3. 対話的描画による NPR

3.1 ストロークを用いた絵画風描画

絵画調画像の作成手法の代表的な手法に，ブラシスト

ロークを用いた手法がある．1990 年に Haeberli[1]が提案したストローク生成手法がそれ以降の基礎となっている．処理手順は以下のとおりである．

Step 1: 元になる入力画像と出力用の無地の画像（キャンバス）を用意する．

Step 2: 入力画像の中から画素を 1 つ選択する．

Step 3: キャンバス上の取り出した画素に対応する位置に，ストロークの形で，その画素の色を塗る．

Step 4: 上記 2, 3 の処理を多数の画素に対して行うことにより絵画的な画像が生成できる．

この手順を基本として，以下の 5 つのパラメータを変えることにより，さまざまな絵画調画像[2]が生成できる．画像の作成例を**図 1** に示す．

(a) 画素の位置

ストロークの配置が規則的にならないように，座標を乱数で決めることが多い．ボロノイ図を用いる方法や，ユーザが対話的に位置を与える手法もある．

(b) ストロークの大きさ

画像全体を均一長のストロークで処理する方法，場所によって大きさを変える方法がある．大きさを変える場合，ユーザのマウス操作でストロークの大きさを制御する方法や，入力画像の特徴量を解析して自動的に大きさを制御する方法などがある．

(c) ストロークの方向

エッジ付近ではストロークの方向をエッジに合わせることが有効である．それ以外の部分についても，ストローク方向を場所によって変えることによって，面の方向性やテクスチャを描写できる．

(d) ストロークの色

元の画素の色をそのまま使う方法のほかに色をばらつかせる方法がある．ばらつきを与えると個々のストロークがはっきりと見える．またキャンバスの色との合成の割合を与える場合もある．

(e) ストロークの形

筆にさまざまな形状があるように，ストロークの形状も円，正方形や，各種パターンが用いられる．

3.2　ペン画の生成

CG によるペン画表現は，対話的にペン画を描く方法と 2 次元画像を入力する image-based システムとがある．これらは以下に述べる．他に，3 次元形状モデルを入力する geometry-based システムもあるが，これについては 5 節で述べる．

3.2.1　対話型のペン画手法

図に線の太さ変化をつけたり，質感表現を線で表現するという pen-and-ink の手法を取り入れた例を示す．この例は，2 次元処理による線分の太さ変化計算や質感描画処理を対話的に行って描画している．この手法は，旭[3]，近藤[4]が提案した．線の太さ変化の表現のためのパラメータは，(1)線形状，(2)太さを指定する位置，(3)指定した位置における線の太さ 3 つである．近藤の手法[4]では，Bezier 曲線を用いる．位置と太さの与え方の例および作画例を**図 2** に示す．これらの例は，ユーザが作画する画像に対して，直接指示できるという利点があるが，線分の形状や太さなどの情報を入力する必要がある．そこで，曲線の形状を利用して，太さを変更する方法や圧力感知のタブレットを利用して太さを制御する手法が提案されている．

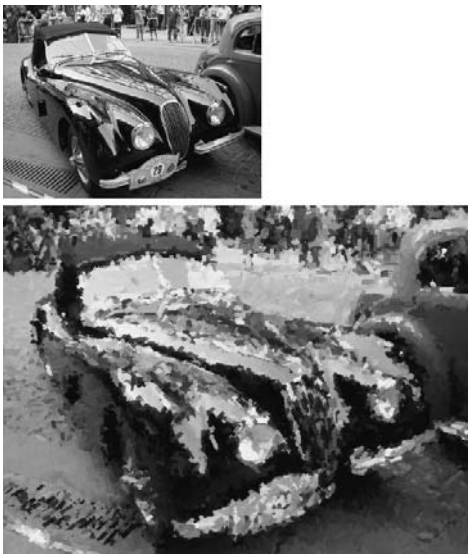


図 1　ストロークを用いた絵画風描画例[2]
Fig. 1　An example of painterly rendering with strokes[2]

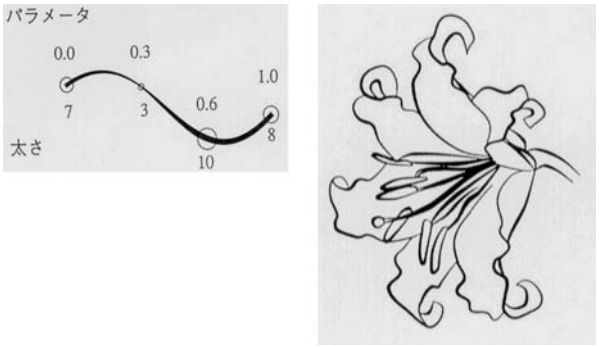


図 2　対話型のペン画の作成例[4]
Fig. 2　An example of interactive pen-and-ink illustration[4]

3.2.2　2 次元画像を入力する image-based 手法

デジタルカメラで撮影した画像をコンピュータに取り込み加工することがよく行われるようになった．入力は画像であり，加工のための計算手法が「フィルタ処理」

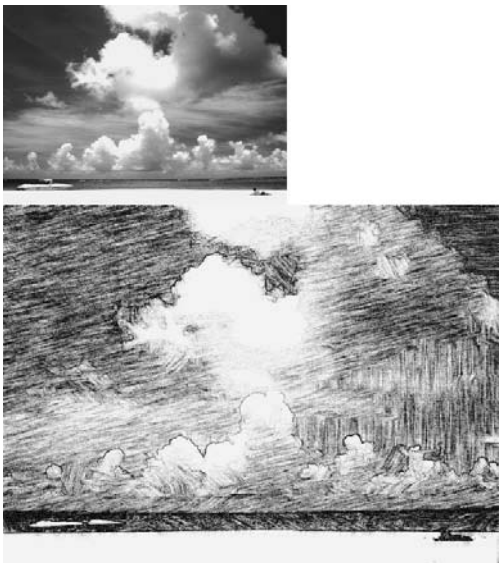


図 3　入力画像から作成したペン画の例[5]
Fig. 3　An example of pen-and-ink illustration from a 2D image[5]

図 4　エアブラシによるグラデーション生成例[6]
Fig. 4　Graduation with air brush[6]

などと呼ばれる画像処理手法である．従来の単純な画像フィルタでなく，ブラシの形や色まで決めて，絵画風の画像へと変化させる手法もある．これらは描画ツールのシミュレーションという面もあり，さまざまな描画法が提案されている．**図 3** に入力画像とフィルタ処理結果の例[5]を示す．

3.3　既存描画技法のシミュレート

本項では，既存の人手による描画手法をシミュレートして，コンピュータを用いて画像を生成する手法をいくつか紹介する．既存手法は，油絵，水彩，ペン画，鉛筆画，パステル画，版画などがあり，画像電子学会 Visual Computing シンポジウムにおいても多くの研究が報告されている．

3.3.1　エアブラシ

図 4 は，エアブラシ手法を元にしたグラデーションの生成手法[6]を用いて描いた画像である．

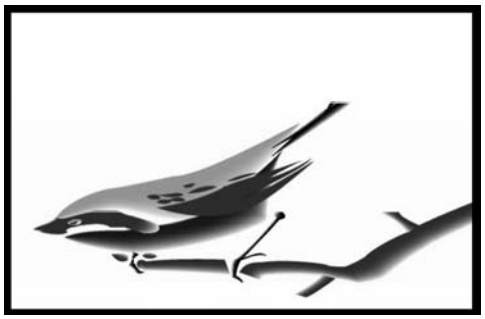


図 5　ブラシストロークによる毛筆画の例[7]
Fig. 5　An example image with brush strokes[7]

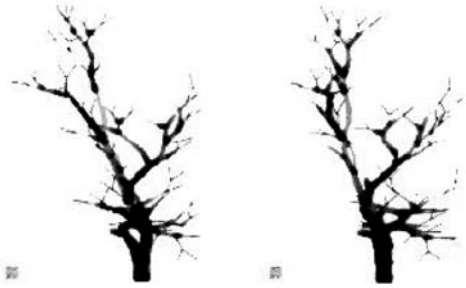


図 6　樹木の水墨画風表現の例[8]
Fig. 6　Examples of Indian ink drawing[8]

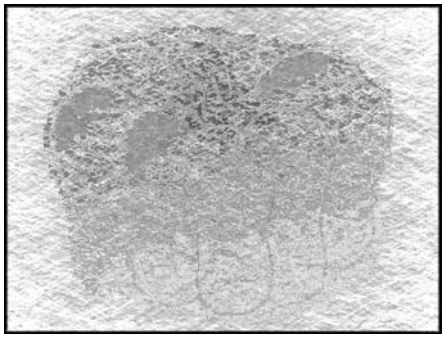


図 7　色鉛筆画の描画例[9]
Fig. 7　An example of colored pencil drawing[9]

3.3.2　毛筆画，水墨画

図 5 は，Bezier Clipping を用いたブラシストローク生成手法[7]で描いた毛筆画の例である．**図 6** は，樹木の 3 次元形状モデルの投影図をもとに，水墨画風に表現した例[8]である．投影方向を変えることで．ユーザはさまざまな構図の中から選択できる．

3.3.3　色鉛筆画

鉛筆などを用いて絵を描くことは一般的であり，人手による絵も多く見られる．このような鉛筆画をコンピュータを用いて描く手法がいくつか提案されている．**図 7** は高木ら[9]による色鉛筆画の描画例である．この手

法は紙や色鉛筆を現実の3次元モデルとして利用している．紙の凹凸に色鉛筆の粉が付着することをボリュームレンダリングによって処理している．

4. 2次元画像に基づく自動描画

4.1　画像のスケール分解に基づくNPR

画像に対して空間フィルタリングを施したり，画像をスケールに対応したいくつかの帯域に分け，帯域ごとに強調や省略などを行ったりすることで，各種のNPR的な効果が得られる．

Goochら[10]は，人間の眼の特性をシミュレートすることで，眼が捉えたものに近い顔画像を得る手法を提案している．この手法は，Gaussianフィルタ群を用いた多重スケール分解を行い，重み付けをして足し合わせることでも実現できる．**図8**は，Gaussianフィルタ群を用いて各空間周波数のスケールに対応する画像を作成し，高域ほど大きな重みをかけて足し合わせた結果である．著者紹介の写真を原画像としたもので，ペンによるイラスト画のような表現が得られている．

岡部ら[11]は，高域強調によるエッジ画像と，低域強調による陰影画像を組み合わせ，さらに色相成分を加えることで，**図9**のようなイラスト風の顔画像を作成する手法を開発した．

4.2　領域分割によるNPR

2次元画像の領域をより強調した非写実的画像を生成する手法について述べる．DeCarlo[12]は注目点に近い部分ほど小さい領域で構成し，エッジ部分を線で描画する手法を提案した．これらの描画手法は実際の絵画やイラスト等でも使われている．Hamasaki[13]は画像中の構成要素を近い色で塗りつぶした領域で表し，この領域を同一色で描画する方法を提案した．この領域を抽出するときに多段階の領域を求めて，描画領域の細かさの制御とそれらの合成を行う絵画調画像生成手法の概要を以下のとおりである．作画例を**図10**に示す．

Step 1: 入力画像として2次元の画像データを用い，画像に対して領域分割を行う．

Step 2: 分割した各領域の大きさを調べ，ある一定の大きさになるまで隣接する領域と併合させていく．ここで，併合した小さな領域の画素データは別に保持しておく．

Step 3: ある一定以上の大きさに併合した領域に対して強調のための境界線を描画する．

Step 4: 元画像の詳細部分まで大まかになりすぎてしまうため，前の段階で併合したとき保持しておいた小さ

図8　画像のスケール分解による著者のイラスト風顔画像
Fig. 8　Author's facial illustration by image scale decomposition

図9　色成分を加えたイラスト風顔画像[11]
Fig. 9　Facial illustration with color components[11]

図10　領域分割による絵画調画像の例[13]
Fig. 10　An example painterly rendering by region control[13]

い領域を再び合成する．合成する領域の選択はユーザが指定する．

4.3 画像の自動変換

ある画風と同じような描画方法を，異なった画像に適用するというような考えは Example based Filtering である．たとえば，与えられた画像に対してゴッホ風に描きたいとか，水彩画風にしたいとかという要望は多くみられる．ここでは，Hertzmann が 2001 年に発表した Image Analogies[14] の概要を示す．

Step 1: 原画像 A, A',目的画像 B を入力する．

Step 2: 原画像 A と画像 A'の関係を分析して，変換フィルタを得る．

Step 3: 取得フィルタを目的画像 B に適用することにより，同様な特徴を持った画像 B'を生成する．

この処理によって，原画像 A が A'が得られることと同じように目的画像 B から B'を作ることができる．この手法を用いれば，油絵，ペン画，水彩画などの絵画風画像だけでなく，テクスチャ合成やエンボスなどの画像フィルタ，写真の加工などにも適用できる．この手法を拡張して動画像へ適用手法を Hashimoto[15] が提案した．この手法の適用例を**図 11** に示す．同図(a)は原画像 A，同図(b)は原画像 A'であり，図(c)は目的画像 B である．図(d)は目的画像 B'である．図(d)をみると，図(b)の描画の特徴が表現されている．

5. 3 次元情報の利用

本節では，3 次元形状データを用いた NPR について述べる．描画に際して 3 次元形状を利用できる場合には，物体のエッジ，面の傾き，曲面の曲がり具合などを正確に求めることができるため，これらの幾何学的情報を反映させた効果的な描画が可能となる．

3 次元形状データを用いた描画法は，大別すると以下の 3 種類があげられる．

(a) 線画を主体とした方法

ポリゴンや曲面形状を，輪郭線，稜線，ハッチングなど，主として線を用いて描画する．

(b) テクスチャによる方法

ポリゴンや曲面形状を，絵画調などのテクスチャで描画する．

(c) 3 次元描画ストロークによる方法

ストロークを 3 次元空間内に配置し，透視投影および隠面消去を施す．

以下では，線画を主体とした描画法について解説する．3 次元形状情報をもとにしたイラスト風描画法や，geometry-based のペン画が，これに含まれる．

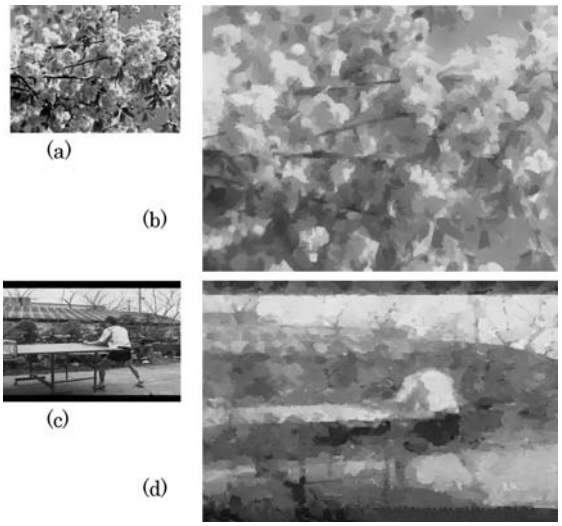


図 11 Image Analogy による描画例[15]
Fig. 11 An example image by Image Analogy[15]

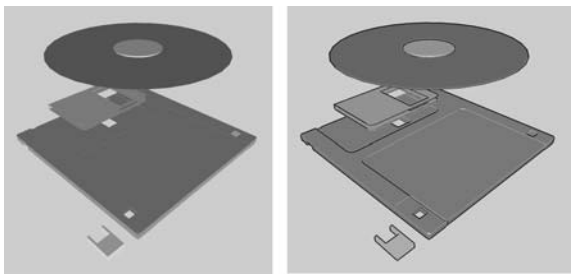


図 12 輪郭線と稜線の強調描画例[16]
Fig. 12 Enhanced rendering of edges[16]

5.1 輪郭線と稜線の描画

ある視点から 3 次元物体形状を見たときに，物体と背景，物体同士，あるいは物体を構成する面同士の境界線などは，エッジとして見える．これらの形状に基づくエッジは，輪郭線（外形線，シルエット）と稜線（内形線）とに大別される．輪郭線は，3 次元形状表面が視点に対して表を向いている部分と裏を向いている部分との境界線である．一方，稜線は，面の法線ベクトルが不連続に変化する部分に対応する．これらの太さなどを区別して書き分けた描画例[16] を，**図 12** に示す．

輪郭線と稜線を抽出し描画するための手法の例を，以下の 5.1.1，5.1.2 に示す．

5.1.1 面の 3 次元情報から直接抽出

3 次元空間での面の法線ベクトルと視点へのベクトルとの内積をとると，内積が正の領域と負の領域との境界が輪郭線となる．また，隣接する 2 面の法線ベクトルのなす角が一定以上（内積が一定以下）のとき，それらの共有する辺を稜線として描画する．

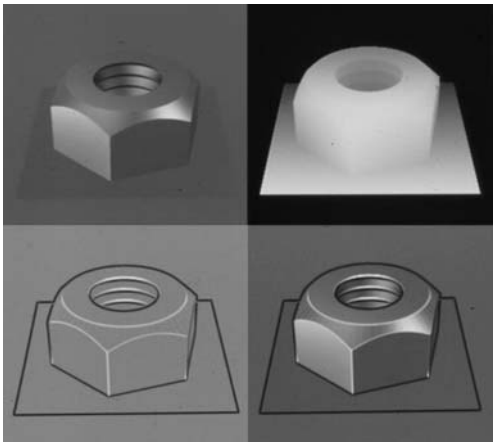


図13　輪郭線と稜線の強調描画例[17]
Fig. 13　Enhanced rendering of edges[17]

5.1.2　奥行きや法線の不連続線を画像から抽出

輪郭線上では奥行き値が不連続に変化する．また，輪郭線上では法線方向が不連続に変化するほか，奥行き値の1次微分も不連続となる．したがって，zバッファあるいは法線マップから画像処理的手法によって，輪郭線や稜線部分を抽出し，描画することができる．

図13は，zバッファ画像の1次微分および2次微分を求めることによって，輪郭線および稜線を描画し，これを通常のシェーディング結果に重ねることで，強調描画を行った例[17]である．

5.2　ハッチングとシェーディング

ハッチングとは，同一方向の線を何本も並べて描くことである．エッジの描画が面の境界を強調するのに対し，ハッチングは面の濃淡などの属性を表現するものである．

ハッチングは，線の太さや間隔を調整することで，濃淡を連続的に制御することができる．これによって，くっきりした陰影だけでなく，なめらかに変化するシェーディングの表現も可能となる．ただし，画素ごとに輝度値を変化させる通常のシェーディング手法と比べると，表現できる実質的な空間解像度や階調数の点で劣り，ラフな表現となる．

ハッチングの利点は，濃淡情報に加えて，線の方向によって3次元形状情報も盛り込むことができる点にある．特に曲面の場合は，面の曲がり具合に応じて曲線でハッチングを描くことにより，シェーディングよりも直接的に形状情報を伝えることができる．ハッチングの方向の決め方としては，以下のような方法が挙げられる：

(a) 3次元座標系での座標の等値線の方向

描画例[18]を**図14**に示す．

(b) 曲面上の座標系でのパラメータ方向

描画例[17]を**図15**に示す．

図14　3次元座標によるハッチング例[18]
Fig. 14　Hatching by 3D coordinate[18]

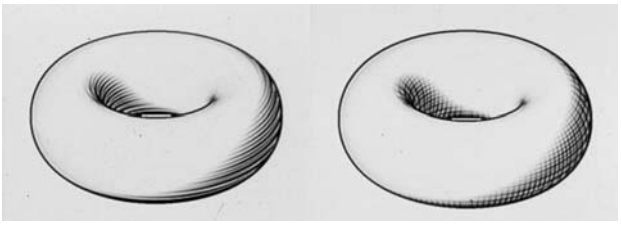


図15　曲面上のパラメータによるハッチング例[17]
Fig. 15　Hatching by parametric coordinate[17]

(c) 曲面上の最大・最小曲率方向

5.3　隠線・隠面消去

線画を含むNPRでは，通常の隠面消去に加えて，隠線消去が必要となる．隠線消去と隠面消去は，目的は似ているが，アルゴリズムは大きく異なる．そのため，これまでにさまざまな解決方法が試みられてきた．以下にいくつかの例を示す．

(a) 古典的な隠線消去法やその改良法

描画対象が輪郭線や稜線だけのときに有効．リアルタイム処理も可能である．

(b) 線画と面画との分離処理

輪郭線と稜線は(a)による隠線消去，面のシェーディングはz-バッファによる隠面消去を行う．

(c) z-バッファ法による隠面処理を利用したエッジ描画

ポリゴンを描画する際に，その輪郭部分もラスターデータに加えてz-バッファ法を用いる[16]，あるいは輪郭線や稜線を視点方向にオフセットをかけ，面から浮かして，面とともにz-バッファ法で描画する．他にもいくつかの方法がある．これらは，ハードウェアによる高速処理が比較的容易である．

(d) BSP-Treeによる隠線・隠面消去

空間を分割することにより，隠線処理と隠面処理を素直に統合できる．

(e) 隠面消去結果から画像処理的手法で線を描画[17]

処理対象が自ずと可視領域に限られるため，明示的な隠線処理は不要となる．

6. 動画像生成における連続性

本節では，NPR で動画像を作成するときにしばしば問題となる，フレーム間の連続性について解説する．CG による動画像は，フレームごとに生成した静止画像をつなげて作成するが，その際に隣接するフレーム間での不連続性をなるべく小さくする必要がある．たとえば，LOD 制御によって詳細度レベルが変化する場合は，形状がなめらかに変化させるなどの配慮が必要となる．NPR では，さらに加えて，強調や省略を施すことから，フレーム間でその描画形態を連続させる必要がある．

6.1 ストロークの移動

ストロークを用いて描画する場合，規則性を排除して見栄えを良くするために乱数を用いてストロークの配置を決めることが，しばしば行われる．しかし，各フレームごとに独立に配置すると，ストロークが随所で点滅し，ちらつきの多いアニメーションとなってしまう．これをシャワードア・エフェクトとよぶ．これは，目的によっては映像表現の一つとして積極的に活用することもあるが，多くの場合において見苦しさの要因となる．

シャワードア・エフェクトを防ぐためには，各ストロークをなるべく長い時間にわたって維持することが必要である．特に，静止した部分では，ストロークも静止させるのがよい．また，動いている部分では，ストロークも物体の動きに追従させる必要がある．特に，回転運動を正しく見せるためには，必須といえる．

3 次元（あるいは 2 次元）形状データと動きのデータをもとに NPR の動画像を生成する場合は，ストローク位置をもとの形状データに対応させることにより，物体に追従したストロークの描画が可能である．一方，実写のビデオ画像をもとに NPR の動画像を自動作成する場合は，動きの情報を実写画像から抽出する．それには，オプティカルフローなどの手法が用いられるが，シャワードア・エフェクトを完全に排除することは困難である．

6.2 ストロークの出現と消滅

形状データと動きデータに基づく NPR 動画像生成の場合，ストロークを移動させること自体は比較的容易であるが，物体の移動にともなってストロークの数を変更する必要が生じる．NPR においては，ストロークの大きさ，太さ，間隔を，物体形状のサイズではなく，描画画面のサイズに合わせることが多い．たとえば，物体が遠くに移動して描画サイズが小さくなる場合，個々のストロークを小さくするのではなく，ストロークの数を減らすことで，画像全体の描画の形態を一定に保つことができる．

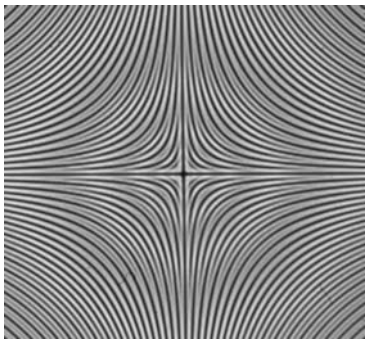


図 16　等間隔ハッチングの例[17]
Fig. 16　Regular interval hatching[17]

ストロークをランダムに配置する場合は，ストローク密度が疎になる部分に新たに出現，密になる部分では消滅させることで，ストローク密度が常に一定になるように制御できる．一方，線を等間隔に配置したハッチングにおいては，間隔が空くときに線間の中央に線を新たに出現，間隔が詰まるときに 1 本おきに線を消滅させることで，等間隔をおおむね維持することができる[17]．たとえば，**図 16** は，$xy=c$ の等値線（双曲線）群にしたがってハッチングを行ったものである．場所によって等値線間隔は変化するが，それに合わせて線が出現あるいは消滅していることがわかる．

参 考 文 献

1) P. Haeberli: “Paint by Numbers: Abstract Image Representations,” Proc. SIGGRAPH’90, pp. 207–214 (1990).
2) 近藤邦雄，西田友是：“Java プログラミングによる絵画調画像生成教育用システムの開発”，日本図学会大会講演論文集 (2004).
3) 旭　昌宏，近藤邦雄，島田静雄，佐藤　尚：“イラスト図作画支援システムの開発”，第 7 回 NICOGRAPH 論文集，pp. 22–31 (1991).
4) 近藤邦雄，神原　章，佐藤　尚，島田静雄：“3 次元形状表現のための白黒画像の描画法，”情報処理学会論文誌，Vol. 34, No. 8, pp. 1762–1769 (1993).
5) X. Mao, Y. Nagasaka and A. Imamiya: “Automatic Generation of Pencil Drawing from 2D Images Using Line Integral Convolution,”. Proc. 7th Int’l Conf. on CAD/GRAPHICS2001, pp. 240–248 (2001).
6) K. Kondo, F. Kimura and T. Tajima: “An Interactive Rendering Technique for 3-D Shapes, EUROGRAPHICS’85,” pp. 341–352 (1985).
7) T. Nishita, S. Takita and E. Nakamae: “A Display Algorithm of Brush Strokes using Bezier Functions,” Computer Graphics International ’93, pp. 244–257 (1993).
8) Q. Zhang, S. Yoetsu, J. Takahashi, K. Muraoka and N. Chiba: “Simple Cellular-Automaton-Based Simulation of Ink Behavior and Its Application to Suibokuga-like 3D Rendering of Trees,” The Journal

of Visualization and Computer Animation, Vol. 10, pp. 27–37 (1999).
9) S. Takagi, M. Nakajima and I. Fujishiro: “Volumetric Modeling of Artistic Techniques in Colored Pencil Drawing,” SIGGRAPH’99 Sketch, p. 283 (1999).
10) B. Gooch, E. Reinhard and A. Gooch: “Human Facial Illustrations: Creation and Psychophysical Evaluation,” ACM Trans. on Graphics, Vol. 23, No. 1, pp. 27–44 (2004).
11) 岡部めぐみ，瀬川大勝，宮村（中村）浩子，斎藤隆文：“実写画像に基づく非写実的顔画像生成手法，” 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会（発表予定）
12) D. DeCarlo and A. Santella: “Stylization and Abstraction of Photographs,” Proc. SIGGRAPH 2002, pp. 769-776 (2002).
13) Y. Hamasaki and K. Kondo: “Image Generation Method Using Synthesis and Control of Rendering Region,” ADADA2003 Proc. of 1st Annual Conference of Asia Digital Art and Design Association, pp. 70–71 (2003).
14) A. Hertzmann, C. Jacobs, N. Oliver, B. Curless and D. Salesin: “Image Analogies,” Proc. SIGGRAPH 2001, pp. 341–346 (2001).
15) R. Hashimoto, H. Johan and T. Nishita: “Creating Various Styles of Animations Using Example-Based Filtering,” Computer Graphics International 2003 (2003).
16) 望月義典，近藤邦雄，佐藤　尚：“形状特徴表現のためのエッジ強調描画手法”，情報処理学会論文誌，Vol. 40, No. 3, pp. 1148–1155 (1999)
17) T. Saito and T. Takahashi: “Comprehensible Rendering of 3D shapes,” Proc. SIGGRAPH’90, pp. 197–206 (1990).
18) T. Haga, H. Johan and T. Nishita: “Animation Method for Pen-and-Ink Illustrations Using Stroke Coherency,” CAD & Graphics 2001, pp. 333–343 (2001).

斎　藤　隆　文　（正会員）

昭 57，東京大学工学部計数工学科卒業．昭 62，同大学院情報工学専攻博士課程満期退学（平 2，修了）．昭 62，日本電信電話（株）入社，NTT ヒューマンインタフェース研究所勤務．平 3~4，米国ブリガムヤング大学訪問研究員．平 9，東京農工大学工学部助教授．平 14，同大学院生物システム応用科学研究科教授．コンピュータグラフィックス，映像処理，可視化などの研究に従事，情報処理学会，ACM 各会員．工学博士

近　藤　邦　雄

昭 53，名古屋工業大学第 2 部機械工学科卒業．名古屋大学教養部図学教室にて技術補佐員，教務補佐員．昭 63，年東京工芸大学講師．平 1，埼玉大学工学部情報システム工学科助教授．コンピュータグラフィックス，インタラクティブモデリング，感性情報処理などの研究に従事．画像電子学会副会長，ビジュアルコンピューティング研究委員会副委員長，情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会前主査，日本図学会理事，図学教育研究会委員長．工学博士（東京大学）

解説

工業デザイン支援のためのフリーハンドスケッチを用いたインタラクティブモデリング*

Interactive Modeling using Freehand Sketches

近藤　邦雄**
(Kunio KONDO)

1. はじめに

成熟した現在の工業社会においては，機能に加えて，意匠デザインが工業製品の付加価値に大きく影響する．そのため，自動車産業などを中心として美しい曲面のデザインを支援するCADシステムはよく利用されており，実用的に不可欠の道具となっている．しかし，これらのシステムは，デザイナーが描いた形状の初期スケッチが与えられて，オペレータがそれを見ながら形状構成するようなシステムが多い．このように，これらには(a)デザイナーの自由な発想の支援には有効ではなく，(b)形状構成操作が計算機的であるためデザイナー自身が利用するには適さない，という欠点がある．一方，一般に広く用いられている3次元コンピュータグラフィックスのための曲面生成システムやレンダリングシステムは，CADシステムに比べてより使いやすいが，結果として得られる曲面形状の品質が不十分で工業利用に不適であるという弱点がある．

これを解決するために形のデザインなどの上流を重視して取り組むこと，技術者の考えでなく，デザイナーの考えを取り入れることが重要である．これによって，デザイナーから望まれるシステムの構築が可能となる．今後開発するCADシステムは，イメージが完全にでき上がらない状態で曖昧なままの形状の入力が可能であることが求められる．このためには，概念から形を作るために必要な支援のための機能の開発や，デザイナーが使うことができる形状入力インタフェースの開発が望まれる．例えば，曲面の表現において，曲面というものは数式で表されることが当然のように思われているが，デザイナーの頭には形状のイメージしかない．デザイナーの立場から生成した形状は実現するためには難しかったり，形状が正確でなかったりする場合がある．したがって，デザイナーの立場から提案した形状デザインを計算機内に表現できるインタフェースを持ちつつ，最終的には精度の高い製品化に耐えうる品質を持った形状を生成することが必要となる．このようにデザイナーの意図する高品質な製品形状ができることが重要であり，形を作る方式を提案することが望まれる．

本文では，これらのインタラクティブモデリング手法を紹介することを目的とする．このために，2節でスケッチと3次元形状の関係，3節ではスケッチを利用したインタラクティブモデリングの現状，4節では，筆者らが開発してきたいくつかのスケッチシステムの概要について述べる．

2. スケッチと形状モデリングの分析

2.1 スケッチに用いられる描画手法

本節ではまず，デザイン作業におけるスケッチの役割を明確にし，形状入力との関係を明らかにする[1)]．ここでは図1，2，3に示すような実際のスケッチをもとに形状の表現手法について説明する．

スケッチの線はさまざまな意味をもつ．外形線，断面線，相貫線，特徴線(キャラクターライン)，面の張りや流れ，フィレット，部品割り線，陰影，ハイライト，テクスチャーなど物の形状や属性を表わすものから，物と物の関係，運動，さらに概念を表わす図や記号もある．このために，描かれたスケッチを分析して，描かれている情報を明らかにすることは形状入力を容易にするために重要である．

また，スケッチ作業の過程では，外形線や特徴線を描き進むうちに部品の分割線が見えてきたり，そこから新たに断面形状のイメージが湧いたりといっ

*　原稿受付　2005年9月7日
**　埼玉大学工学部情報システム工学科
(〒338-8570　さいたま市桜区下大久保255)

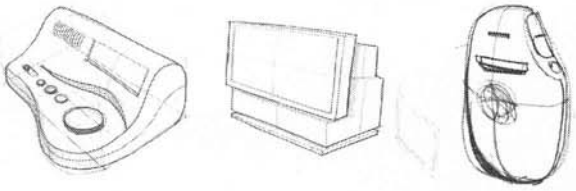


図1　デザイナーによるスケッチの例

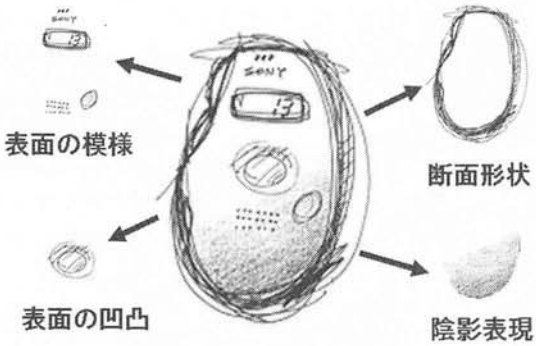


図2　スケッチに描かれる情報

た形の意味の展開や変換が，手と目と脳の相互作用を通じて自然に行われている．このために，スケッチを描きながら形状を修正する機能が必要となる．ここでは，スケッチに描かれている線の意味と形状の関係を次に示す．

(a) 外形線

主に立体の一番外側(アウトライン)やエッジ部分などの形状を決定する線分．影を作るラインともいえる．

(b) 断面線

立体の断面形状を表す線であるが，立体上には存在しない線である．断面線は，不可視部分における線が含まれるため，デザインを行なう際には描かれることは少ない．業種によっては断面だけで立体デザインを行なう場合もある．見えない線であっても，形状が平らであったり丸かったりという形状の変化を明示したい場合には断面線を描いて表現する．

(c) 面上線

断面線は不可視部分についても描画するが，面上線は断面線のうち可視部分のみを指すものとする．すなわち，面上線は断面線の一部である．形がとらえにくい形状，面の流れが分かりにくい形状といった複雑な形状の場合には面上線を引いて第3者が理解しやすいようにするときに用いる．

(d) 部品割り線(デザイン線)

見た目は面上線であるが，パーツ同士の張り合わせにより発生する線であり，実在する線分である．

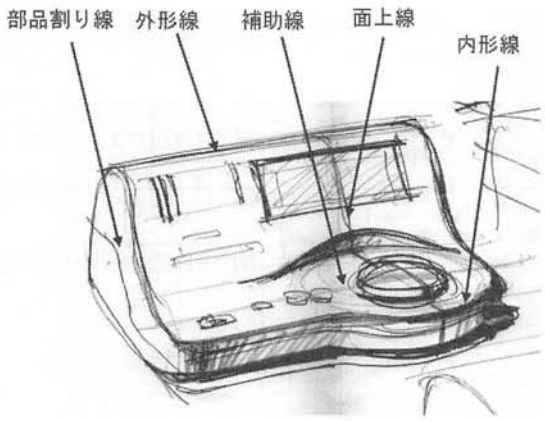


図3　スケッチに使われる線の種類

内形線の一部とも考えられる．また，この線が面上線の代わりになり，曲面の形状を表す場合もある．

(e) 補助線

立体上には存在しない線であるが，第3者に理解させるために描かれる線．中心や対称であることを示す線がこれに相当し，立体の形状とは特に関係がない線である．形状を直接的に表現する面上線とは区別する．ボタンが一列に並んでいたりする場合に，「このラインに乗っている」という線を補助線として描く．

(f) 下書き線

未決定の線分を描画する際に，初期段階のうちに描かれる線．したがって，スケッチに描かれる線分のうち，線の濃さは最も薄い部類となる．その後に描かれる形状および線分のガイドラインになる．パースを決定したり，面上に配列される部品などの位置の目安にもなる．

このようにスケッチのなかには，さまざまな意味のある線がある．デザイナーが形状をイメージするときには頭の中に3次元形状がある．頭の中にあるイメージは直接はっきりとした形として表すことができないため，概形を描き，徐々にスケッチを具体化していくことが一般的に行なわれている．このスケッチによる描画は発想の段階で多く用いられる．そこでコンピュータにおける形状入力において，このスケッチによる思考過程を取り入れた，デザイナー自身が試行錯誤できる入力インタフェースが望まれている．

2.2　インタラクティブシステムの必要性

コンピュータを用いたレンダリングによるプレゼンテーションが普及してきたことによって，手描きレンダリングはデザイン初期のアイデアスケッチを

描くときなどで用いられるだけになってきた．このとき鉛筆やボールペンなどによる線画ドローイングが多い．このとき手のしなやかな運動により伸びのある美しい線が生み出される．この軌跡はリアルタイムに紙の上に定着され，目を通して捉えられた視覚的な形体は脳の中で運動感覚と照合され，その線のよしあしの判断がすぐに行われる．このような作業を支援する機器にタブレット・ペンがある．これによる手描き入力はスケッチのスキャナ取り込みと比べた場合，手と目と脳の連動を保つことから思考が中断しないというメリットがある．

次に，手描き入力の課題について示す．手描き入力は，清書に関する研究と，形状入力に関する研究に分けられる．前者には，描かれた曲線の清書を行なう研究，図形の幾何形状をファジー理論を用いて補正する研究，平行や垂直といった幾何的要素をもとに次に描かれるであろう線を予測し効率良く描画する研究などがある．また，後者には，手描き図形を3次元立体として認識する手法，手描きによる3次元空間内への描画インタフェースの考案，ペンによる3次元形状の直接変形操作をおこなうことのできる手法も提案されている．しかしこれらの手描き入力に関する研究では，処理を行なう対象が1本の線分に限定されていることや，イメージした形状や線分が生成される過程という要素が少ない．したがって，ペンを用いることによる長所を生かした形状入力作業を支援するインタフェースが必要である．

3. インタラクティブモデリングの現状

現在のCADシステムでは，詳細な設計図の作成すなわち製図を行い，形状を決定した後3次元形状を入力する．あるいは，入力が容易なCGシステムを用いて概略形状を生成し，それをもとにCADシステムを用いて詳細を決定していくことが行われている．このような状況から，デザイン期間の短縮が求められているが，発想段階である上流工程の比率を上げ，設計･生産作業の下流工程の時間を短縮することが理想的である．

デザイナーが形状を考えるときには頭の中にはなんとなく3次元形状があり，それを描くことによって整理していく．しかし3次元形状を確認するためには，正確な面ができていなくてもラフな3次元モデルがあればデザイン評価ができる．ある程度までデザインができれば，モデラーが形をきれいに製作してくれる．たとえばR(丸め)をぼかした面，なだらかにつなげなどの命令でモデラーが生成してくれる．従ってデザイナーが考えていることをどう定義するか，形をどう伝達するかが課題である．意匠デザインにおける形状モデリングとその入力手法は，さまざまな研究と開発が行われている．ここではインタラクティブモデリングに関係する研究動向について述べる．

手描きをキーワードにした3次元形状入力手法はオフライン型・オンライン型の2つに分類できる．前者は描き上がったスケッチをスキャナで取り込み，形状入力の指標として利用する研究である．後者は描いた線分／図形をリアルタイムに図形や立体に変換する研究である．

オフライン型の完成スケッチをスキャナで読み込むことによる形状入力手法は，スケッチ画を取り込み画像として利用して概形を入力することにより立体入力の負担を軽減する手法である．しかし，この手法ではスケッチ画が完成している必要があり，発想段階で用いる手法ではない．これに対し，オンライン型手法は図形認識手法の提案や3次元空間内への描画インタフェースの考案により，コンピュータとの連係を容易にする試みである．図4，5にスケッチを利用した形状入力と形状修正手法の主な研究を示す．

形状を示す投影図，概略形状であるBoxの利用，輪郭線，断面線，基本立体の利用など手描きスケッチ手法に対応する方法と生成する形状の種類別(多面体，自由形状)によって研究を分類した結果を図4に示す．投影図を利用した手法では，ひとつの図から，3次元形状を復元することになる．描かれていない部分をどう復元するかが課題である．概形を用いる方法は，大まかな形状を決めながら，順に詳細化していく手順に基づくものである．このような手法は，概形を修正して複雑な形状にしていく編集機能が必要となる．輪郭を与える方法は，みえない部分を描くか，ある規則に従って復元することになる．このために，多面体の場合は，頂点，辺，面の接続関係などを利用することが提案されている．断面を利用する方法には，断面を平行に並べる方法と座標系に従って組み合わせて配置する方法がある．

また，基本立体を少ない入力で作画して，それらを組み合わせて複雑な形状を描く方法がある[6]．よりスケッチに近いシステムの例として，基本オブジェクトをスケッチとしてジェスチャで入力し，組み合わせることにより空間内に形状を配置するZeleznikらのSKETCHシステムがある．このような基本立体を利用した手法は自由形状が扱えないとい

14

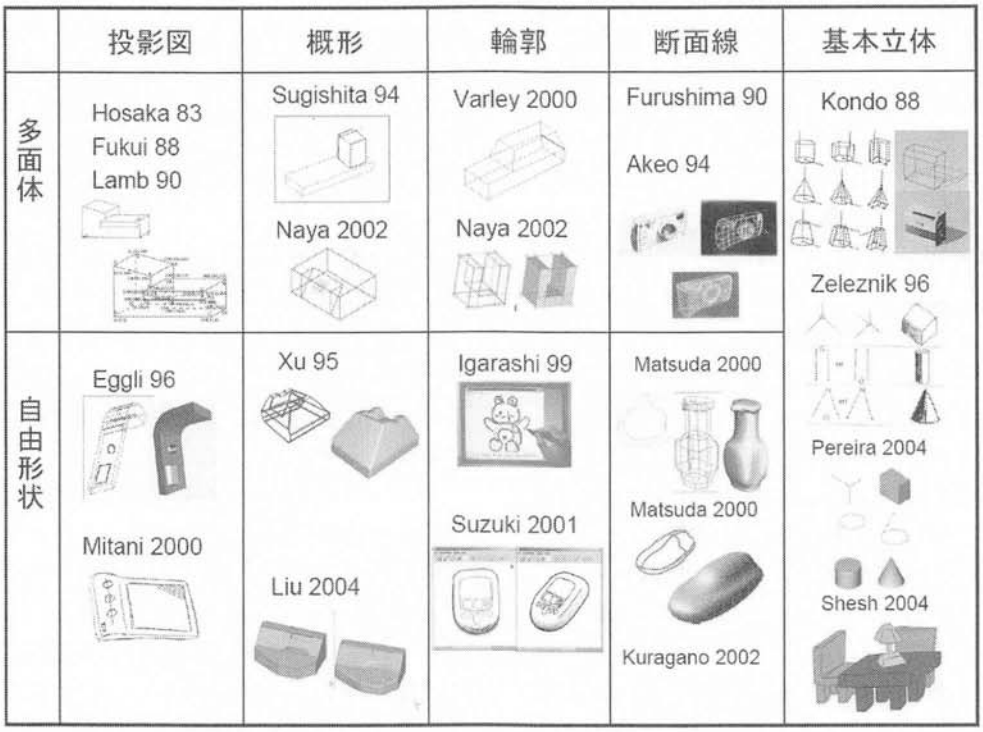


図4　スケッチの種類と形状生成

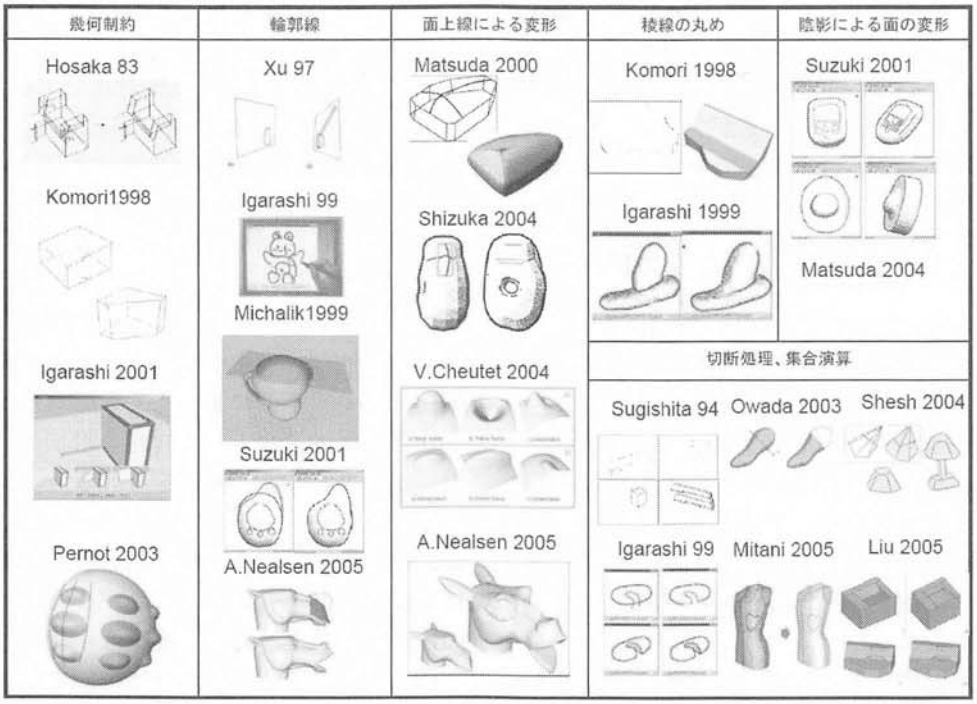


図5　スケッチによる形状修正と編集

う欠点がある．五十嵐ら[4]による丸みのあるオブジェクトの外形を描くと自動的に3次元形状に復元するTeddyシステムは，断面形状が限定されており，キャラクタなどの自由形状を作成するためには有効であるが，工業製品のような形状を生成するためには課題があった．そこで，五十嵐らは自動車の形状に限定し，手描き情報を利用する3次元形状生成手法を提案している．しかし，決められた位相をもつ

形状の入力しか対応できないという問題がある．

このような課題を解決するために，入力された形状に修正を行う編集機能が重要である．この編集機能の研究例を図５に示す．幾何学的な制約をスケッチで指定する方法，輪郭線を修正する方法，面上線を与える方法，稜線を丸める方法，陰影を与える方法，切断処理方法などに分類できる．これらの手法もデザイナーのスケッチ作業の分析に基づいて，使いやすい入力方法として提案されている．

幾何学的な制約を利用する手法は，意図した形状の制約がフリーハンドスケッチでは指定しにくいという欠点を補うために有用である．直角とか平行とかの制約，指定した線に沿った大きさ決定などを Hosaka(1983)[33]，Komori(1998)[38] らが提案している．輪郭線変更は主に，正面からみたときの形状変更に関する手法と任意の面を指定してその上で２次元図形を描く方法がある．面上線は主に曲面の変化を示すものであり先に述べたようにデザイナーのスケッチ作業において多用される指定方法である．したがってこの指定方法をコンピュータで行うことは，曲面を表したり入力したりするために有効な手法のひとつとなる．

工業製品は稜線部分で丸めが行われることがほとんどである．これらの形状を決めるために，稜線に対して丸めの大きさを示すスケッチを加える方法が提案されている．また，曲面をスケッチで表現するとき陰影をつけることがある．これによって形の理解がある程度できる．この考えに基づいて陰影をスケッチすることによって形状を変更する手法が提案されている．また，複雑な形状をスケッチですべて描くのではなく，対話的に形状を決めていくための切断手法はデザイナーにとっても自然なスケッチ入力のひとつである．これらの手法には，多面体形状だけでなく，自由形状に対するフリーハンド線の切断線の指定も提案されている．

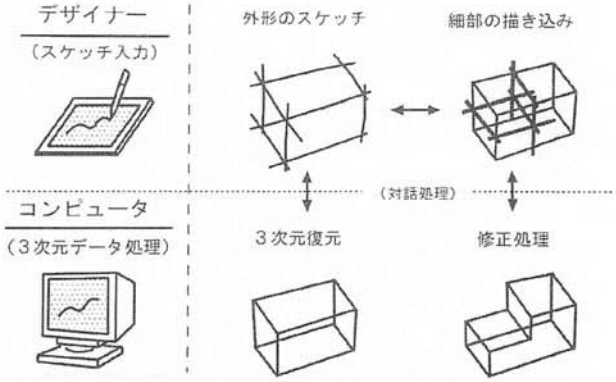


図６　スケッチシステムにおける人とコンピュータの役割

4.　スケッチを用いた３次元形状入力システム

スケッチを用いた３次元形状入力システムの基本的なアイデアを図６に示す．スケッチインタプリタシステムはデザイナーとコンピュータのインタフェースとして図を用いる．デザイナーは投影面上で線図を入力する．システムはこの線図をコンピュータに解釈させ３次元形状に対して処理を行ない，さらに３次元情報をデザイナーに見えるようにするための通訳の役割を果たす．デザイナーはペンを用いてスケッチを描き，システムは計算結果を画像としてデザイナーにフィードバックする．そしてデザイナーは処理結果に対して修正を行なうことにより，対話処理を行なうことができる．

図６では，直方体を概形として認識し，３次元形状に復元することによって，２次元と３次元の関係をコンピュータ内部で処理させることを行っている．つまりはじめは，概略形状を直方体として限定している．もちろんほかの手法，たとえば，輪郭を与える手法も取り入れることは可能である．復元された直方体はデザイナーから見れば，画面に投影された「２次元画像」であるが，コンピュータ内部はスケッチから処理された「３次元形状データ」を持っていることになる．この投影図に対して，スケッチを加えることによって，さらに詳細な形状を生成

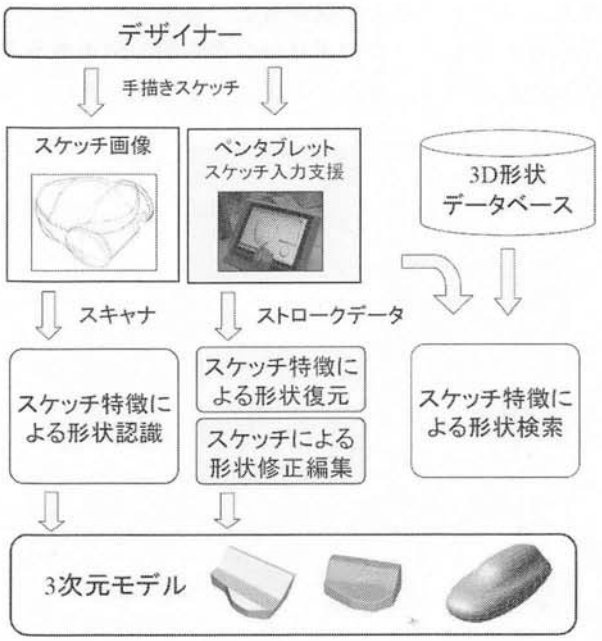


図７　スケッチを利用した形状入力システム

していくことが可能となる．これを繰り返すことによって複雑な形状を，スケッチによって生成することができる．

以上のようなアイデアのもとに構築するスケッチを利用した形状入力システムは，図7に示すように，(1)スケッチ入力支援機能，(2)3次元形状復元機能，(3)形状修正編集機能，(4)形状表示機能で構成することができる．

(1) スケッチ入力支援機能

デザイナーはポンチ絵などを描きながらアイデアを展開する．紙におけるスケッチの場合は多くのアイデアの中から選択したスケッチを書き直す必要がある．スケッチで用いられる線分の重ね書きによる形状入力を可能にすることが大切である．

松田(99)が提案した逐次清書法は，スケッチでよく見られる線分の重ね書きをコンピュータに実装するための手法である(図8)．重ね書きによる描画はデザイナーにとって分かりやすい描画手法であるが，コンピュータが図形として処理を行なうことは困難である．逐次清書法では，リアルタイムに芯線抽出を行ない，コンピュータで処理を行なうことを容易にする．さらに，抽出された芯線に対して直接加筆や修正を行なうことが可能である．このような試行錯誤が容易な入力支援が必要である．

(2) 3次元形状復元機能

形状入力においては，図4に示すような概略形状，輪郭，断面などを入力することによって3次元形状復元が可能である．これらの手法を利用することにより，スケッチした形状をもとに多面体ポリゴンが生成されるので，そのポリゴンから高品位な曲面形状を生成できる．また，生成した曲面形状データはDXFデータに変換できるので，スケッチにより生成した形状データを既存のCADシステムで利用することも可能である．

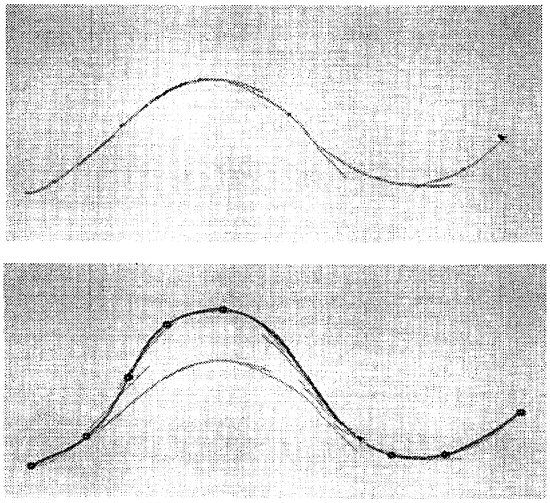


図8　逐次清書法による線分入力

(3) 形状修正編集機能

図5に示すような形状修正，編集は対話的に入力することによって可能である．図9に概形を与えて，切断機能によって形状を入力した例を示す[75]．図10に面上線を清書機能を用いて入力し，3次元形状の入力情報として利用した例である．平面を面上線によって変形した形が細分割曲面で再現されている[17]．図11は，切断機能を応用した集合演算的な考えに基づいて，立体面上に立体形状を示す2次元図形を描くと，対応するトポロジーテンプレートと比較してそれが存在する場合に，形状処理が行われる [Liu 2005]．

(4) 形状表示機能

復元されたり，修正したりした結果は，デザイナーにとって，形状が評価しやすく表示される必要がある．処理結果を即時に表示するだけでなく，理解しやすい表示が大切である．

5. まとめ

本文では，工業デザイン支援のためのスケッチ入力システムの現状について述べた．またインタラク

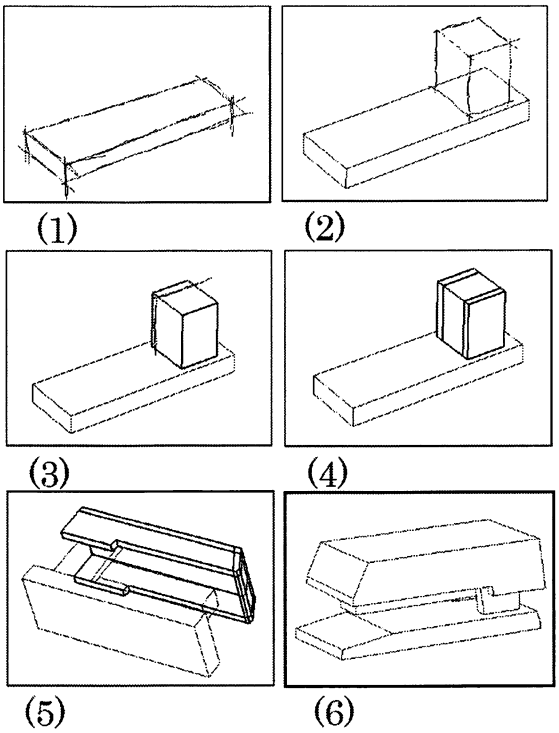


図9　切断機能による形状入力

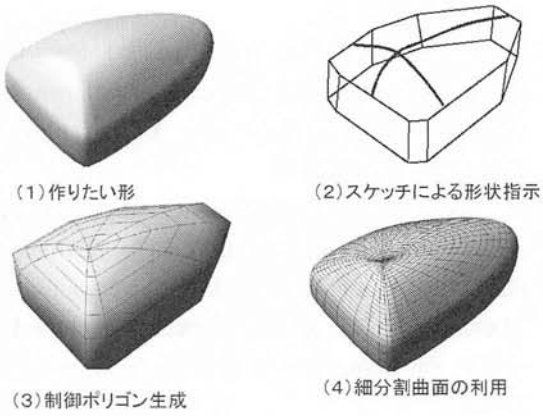


図10　面上線による形状修正

ティブモデリングのためのスケッチインタフェースとスケッチインタプリターシステムについて述べた．

現状では，デザイナーの要求に応え得る，ストレスなく利用できる操作性を持つシステムが存在しない．したがって，コンピュータを用いたペン入力によるスケッチ感覚のデザインを可能にし，製品デザインの初期段階から利用できるようにすることが望まれる．次世代の3次元CADシステムには，性能の高さや機能の豊富さよりも使いやすさに重点をおいたシステムが期待される．そのためには，以下のことが課題である．

(1) 意図した形状が容易に入力できる理論：スケッチと立体との行き来が容易，立体構成要素ごとに曲線・曲面分割せずに，かたまりベースのモデリングが可能，一度できあがったものから可逆的に自由な変形・修正が可能となること．
(2) 高度な形状データベースと知識データベースを有機的に結び付けることのできるアルゴリズムの開発．
(3) デザイナー自身がスケッチ並みな手軽さで扱える，ストレスなく使えるインタフェースの考案．
(4) CAD間における完全データ互換性の実現．

このような機能をもつスケッチを活用した形状入力システムが待ち望まれている．

謝辞

本文を書くにあたって，マルチメディアコンテンツ振興協会で取りまとめた高付加価値意匠デザインのための3次元形状モデリングに関する調査研究報告書をもとにした．スケッチ画像も引用させていただいた．委員長の東京大学木村文彦教授，岩手県立大学松田浩一講師ならびに共同研究者の各位に深く感謝する．本文で紹介したスケッチシステムの研究の一部は，科学技術振興機構：戦略的創造研究推進事業「デジタルメディアを基盤とした21世紀の芸術創造」の研究助成による．

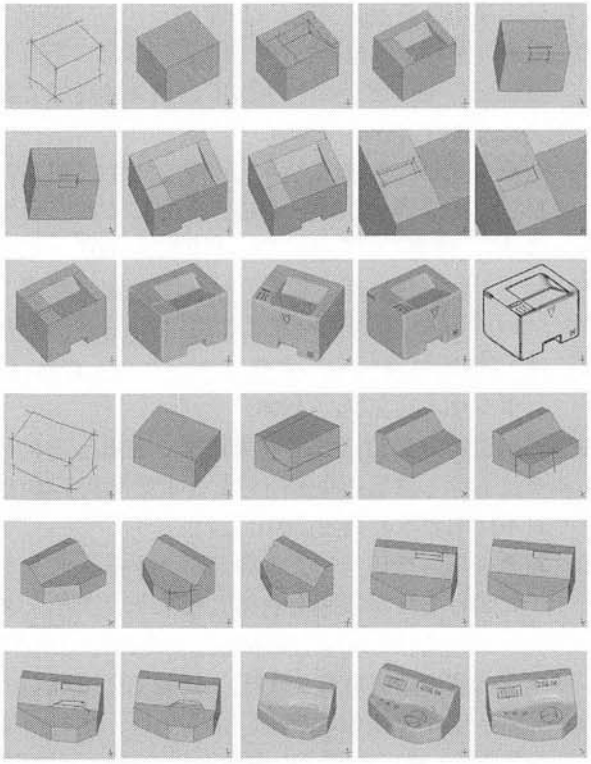


図11　トポロジーテンプレートによる形状修正

【参考文献】

本文で引用できなかった文献もインタラクティブモデリングの研究に有用であると考え，掲載する．

1) MMCA(マルチメディアコンテンツ振興協会)："高付加価値意匠デザインのための3次元形状モデリングに関する調査研究報告書"，(2000)
2) 明尾　誠，他：アイデアスケッチからの3次元形状自動復元システム，第9回NICOGRAPH論文コンテスト，(1993)，55.
3) 明尾　誠："スケッチ図からの三次元形状の生成"，設計工学，29，7(1994)，17.
4) 五十嵐健夫，中嶋孝行，小寺敏正，田中英彦：手書きスケッチによる自動車のボディ形状デザイン，Visual Computingグラフィックスと CAD合同シンポジウム'99予稿集，(1999)，75.
5) 金井　理，遠藤　明彦，堀田　邦彦，青木　潔："デザインスケッチからのリアルタイムNURBS曲線生成の研究"，精密工学会春季大会

学術講演会講演論文集，(1997)
6) 近藤　邦雄，木村　文彦，田嶋　太郎："手描き透視図の視点推定とその応用"，情報処理学会論文誌，29，7(1988)，686.
7) 近藤　邦雄，木村　文彦，田嶋　太郎："曲面の形状感の表現(第3報)手描き入力による図形作成法"，精密工学会誌，53，4(1987)，607.
8) 杉下　悟，徐　崢，松田　浩一，近藤　邦雄："フリーハンドスケッチによる3次元形状入力法",情報処理学会　グラフィックスとCADシンポジウム論文集，(1995)
9) 鈴木俊博，松田浩一，近藤邦雄：手描きスケッチにおける陰影表現を用いた3次元形状制御法，日本図学会本部例会(2001.12)
10) 鈴木俊博，松田浩一，近藤邦雄：手描きスケッチにおける陰影表現を利用したスケッチインタプリタ，情報処理学会第64回(平成14年前期)全国大会講演論文集第4分冊，(2002.3)，779.
11) 鈴木　宏正，山本　貴史，金井　崇，木村　文彦："面上線による自由曲面形状の操作"，精密工学会誌，62，1(1996)，75.
12) 趙　修偉，大沼　一彦："物体の鏡面対称性を利用して2次元画像から3次元情報を復元する方法"，デザイン学研究，78(1998)，23.
13) 福井幸男，広谷豊史，大平智弘，岸義樹："投影面スケッチによるソリッドモデル入力法"，情報処理学会論文誌，26，6 (1985)，1113.
14) 松田　浩一，杉下　悟，近藤　邦雄："対話型スケッチシステムのためのユーザインタフェース"，第11回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，(1995)，69
15) 松田　浩一，近藤　邦雄："3次元形状入力のためのスケッチインタプリタシステム"，第14回NICOGRAPH/MULTIMEDIA論文集，(1998)，17.
16) 松田　浩一，近藤　邦雄："手書き図形入力のための時系列情報を利用した逐次清書法"，情報処理学会論文誌，40，20(1999)，594.
17) 松田浩一，近藤邦雄：手描き断面線を用いた細分割曲面生成手法,日本図学会，図学研究，34，1(2000.3)，17.
18) 松田浩一，近藤邦雄：スケッチ情報を利用した手描きによる細分割曲面生成法，情報処理学会論文誌，41，3(2000.3)，551.
19) 古島　終作，他：ラフスケッチ図からの3次元モデルの生成，第6回NICOGRAPH論文コンテスト，(1990)，11.
20) M. Akeo, H. Hashimoto, T. Kobayashi, T. Shibusawa: Computer system for reproducing three-dimensional shape from idea sketch. In Eurographics'94 Proceedings, (1994),477.
21) M. Bloomenthal, R.C. Zeleznik, R. Fish, L.S. Holden, A.S. Forsberg, R. Riesenfeld, M. Cutts, S. Drake, H. Fuchs, and E. Cohen: Sketch-N-Make: Automated Machining of CAD Sketches. Proceedings of the 1998 ASME 8th Computers In Engineering Conference, 1998.
22) Yifan Chen, Klaus Beier, Dimitris Papageorgiou: "Direct highlight line modification on nurbs surfaces", Computer Aided Geometric Design, 14(1997), 583-601.
23) V.Cheuter,C.E.Catalano : 3D Sketching with Fully Free Form Deformation Features(σ-F) for Aesthetic Design,Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling, 2004
24) Eggli, L., Bruderlin, B., Elber, G. Sketching as a Solid Modeling Tool, Proceedings of the 3rd Symposium on Solid Modeling and Applications, Salt Lake City, May 1995, also, to appear, in Computer-Aided Design, 1996.
25) Lynn Eggli, Ching-yao Hsu, Beat D.Bruderlin, Gershon Elbert: "Inferring 3D models from freehand sketches and constraints", Computer Aided Design, 29, 2 (1997),101.
26) J. J. Cherlin, F. Samavati, M. C. Sousa, J. A. Jorge: Sketch-based Modeling with Few Strokes. Proc. of the 21st Spring Conference on Computer Graphics(SCCG 2005), 2005, to appear.
27) Eggli, D.L., Bruderlin, B.and Elber, G.:"Sketching as a solid modeling tool", In Proceedings of the 1995ACM/ SIGGRAPHSymposium on Solid Modeling Foundations and CAD/CAM Applications, Salt Lake City, (May 1995), 17.
28) Pedro Company, Ana Piquer: On the evolution of geometrical Reconstruction as a Core Technology to Sketch-Based Modeling,Eurographics Workshop on Sketch-Based interfaces and Modeling, (2004), 106.
29) Y. Fukui: Input Method of Boundary Solid by Sketching. Computer Aided Design, 20, 8, (1988), 434.
30) S. Furushima, S. Kanai, H. Takahashi: Generation of 3-Dimentional Geometric Model from Rough-sketch. NICOGRAPH,6(1990), 11.

31) Grimsted I J and Martion R R :"Creating solid models from single 2D sketches", Proc. Third Symp. on Solid Modeling Applications, ACM Siggraph, (1995),323.

32) Hwang,T. and Ullman, D.:"Recognizing features from freehand sketches",Computers in Engineering, ASME,1 (1994), 67.

33) M. Hosaka, F. Kimura: Interactive Shape Design by Drawing Input. Proceedings of Computer Applications in Production and Engineering (CAPE 83), Amsterdam, (1983), 1115.

34) Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka: Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design. ACM SIGGRAPH'99, (1999),409.

35) Takeo Igarashi, John F. Hughes, "A Suggestive Interface for 3D Drawing ", 14th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, ACM UIST'01, Orlando, Florida, (2001 November), 173.

36) Takeo Igarashi, Satoshi Matsuoka, Hidehiko Tanaka:Teddy: A Sketching Interface for 3D Freedom Design, SIGGRAPH 99, (1999), 409.

37) Kanade T :"Recovery of the three dimensional shape of an object from a single view", Aritificial Intelligence, 17(1980), 409.

38) Nozomu Komori, Koichi Matsuda, Kunio Kondo: Pen Based Interface to Modify Geometric Models, Proceedings of the 8th ICECGDG Conference, 2(1998. 7), 180.

39) K. Kondo, F .Kimura, T. Tajima: Estimation of Viewport in Perspective Drawings and its Application (in Japanese). In J. Information Society of Japan (1988), 686.

40) T.Kuragano: "Methods to Generate Freeform Surfaces from Idea-sketch and Three Dimensional Data", Sixth IFIP WG5.2 International Workshop on Geometric Modeling: Fundamentals and Applications (GEO-6), (1998), 286.

41) J. Kuragano, Y. Takarada, H. Suzuki and F. Kimura: Subdivision Surface Generation from a Set of Curves.IPSJ SIG Notes, 2002-CG-108, (2002), 13.

42) Lamb D and Bandopadhay A: "Interpreting a 3D object from a rough 2D line drawing", Proc. First IEEE Conf. on Visualization 90, (1990), 59.

43) D. Lamb and A. Bandopadhay: Interpreting a 3D Object From a Rough 2D Line Drawing. In ed. A.E.Kaufman, Proceedings of the First IEEE Conference on Visualization '90, (1990), 59.

44) Leclerc Y.G. and Fiscler M.A.:"An optimization based approach to the interpretation of single line drawings as 3D wire frames", Int. J. Comput Vision, 9, 2 (1992),113.

45) LIANG, J. AND GREEN, M.: "A highly interactive 3D modeling system", Computers & Graphics,18, (1994 July), 499.

46) Lipson H, Shpitalni M : "A new interface of conceptual design based on object reconstruction from a single freehand sketch", Ann. CIRP , 44, 1(1995), 133.

47) H.Lipson, M.Shpitalni: "Optimization-based reconstruction of a 3D object from a single freehand line drawing", Computer Aided Design, 28, 8(1996), 651.

48) Weizhong Liu, Kunio Kondo: Adaptive Algorithm of Automatic Implementing Fillet Operations with Loop Subdivision Surfaces. SPIE, 4756(2003), 87.

49) W. Liu, K. Kondo: An Adaptive Scheme for Subdivision Surfaces based on Triangular Meshes. Journal for Geometry and Graphics, 8, 1(2004), 69-80.

50) Weizhong Liu, Kunio Kondo, Jun Mitani. Geometric Modeling by Using Freehand Sketch Input with Template Topology Library, Proceedings of the 6th international conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, (2005), 135.

51) Weizhong Liu, Kunio Kondo, Jun Mitani. An Interactive Sketch-based Modeling System using a Topology Library and Subdivision Surfaces. 2nd Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling (SBM2005), Eurographics Symposium Proceedings, (2005).

52) Marill T : "Emulating the human interpretation of line drawings as three dimensional objects", Int. J. Comput Vision, 6, 2(1991), 147.

53) K.Matsuda, S.Sugishita, Z.Xu, K.Kondo, H Sato, S.Shimada : "Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling", Shape Modeling International '97, (1997), 55.

54) K.Matsuda, K.Kondo: "Freehand Sketch System for 3D Geometric Modeling",Shape Modeling International '97, (1997), 55.

55) K. Matsuda, S. Suzuki, K. Kondo: Sketch Interpreter System: 3D Modeling System with Handdrawn Shade and Shadow. The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 44, 11(2003), 2547.

56) Paul Michalik, Beat Bruderlin: A Constraint- based Method for Sculpting Free-Form Surfaces (1999)

57) Paul Michalik and Beat Bruderlin: Computing Curve-Surface Incidence Constraints Efficiently. In Proceedings Swiss Conference on CAD-CAM, (1998 February).

58) J. Mitani, H. Suzuki, F. Kimura: 3D Skech: Sketch-Based Model Reconstruction and Rendering. IFIP Workshop Series on "Geometric Modeling: Fundamentals and Applications", 7th Workshop GEO-7, (2000), 85.

59) J. Mitani : A Simple-to-Implement Method for Cutting a Mesh Model by a Hand-Drawn Stroke, 2nd Eurographics Workshop on Sketch-based Interfaces and Modeling (SBM2005), Eurographics Symposium Proceedings, (2005).

60) F. Naya, J. A. Jorge, J. Consesa, M. Contero, J. M. Gomis: Direct Modeling: from Sketches to 3D Models, Proc. of the 1st Ibero-American Symposium in Computer Graphics, (2002), 109.

61) Shigeru Owada, Frank Nielsen, Kazuo Nakazawa, Takeo Igarashi, "A Sketching Interface for Modeling the Internal Structures of 3D Shapes", Proceedings of 3rd International Symposium on Smart Graphics, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Heidelberg, Germany, (2003 July), 49.

62) D. N. Perkins: Cubic Corners. Quarterly Progress Report 89, 207-214, MIT Research Laboratory of Electronics, (1968).

63) C.L.Philip Chen, Sen Xie: "Freehand drawing system using a fuzzy logic concept", Computer Aided Design, 28, 3 (1996), 77.

64) Jean-Philippe Pernot, Bianca Falcidieno, Franca Giannini, Stephane Guillet, Jean -Claude Léon: Modelling free-form surfaces using a feature-based approach. 270-273 Proceedings of the Eighth ACM Symposium on Solid Modeling and Applications 2003, Seattle, Washington, USA, (2003 June).

65) Pugh,D.:"Designing solid objects using interactive sketch interpretation", In Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, (1992).

66) U. Ramer : An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves Computer Graphics and Image Processing, 1, (1972), 244.

67) Marti E, Regomcos J, Lopez-Krahe J and Villanueva J J : "Hand line drawing interpretation as three dimensional object, Signal Process", 32 (1993), 91.

68) Saga, S and Makino, H : "Fuzzy spline interpolation and its application to on-line freehand curve identification", Proc. 2nd IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems, (1993), 1183.

69) H.Sakurai , D.C. Gossard: "Solid Model Input through Orthographics Views",Proc. of SIGGRAPH '83, 17 (1983), 243.

70) E. Schweikardt and M. D. Gross: Digital Clay: Deriving Digital Models from Freehand Sketches. ACADIA'98, (1998), 202.

71) A. Shesh and B. Chen: SMARTPAPER: An Interactive and User Friendly Sketching System. Computer Graphics Forum, 23, 3 (2004), 301.

72) Amit Shesh and Baoquan Chen, "SMARTPAPER--An Interactive and Easy-to-use Sketching System", Proceedings of Eurographics 2004, Aug 30-Sept 2, (2004).

73) Shpitalni M and Lipson H : "Identification of faces in a 2D line drawing projection of a wireframe object",IEEE Trans. Pattern Analysis && Machine Intell

74) Sugihara K:"Machine Interpretation of Line Drawings",MIT Press, (1986)

75) S. Sugishita, K. Kondo, H. Sato, S. Shimada: Sketch Interpreter for geometric modeling. International Conf. of Computer Aided Geometric Design, (1994. 7).

76) S. Sugishita, K. Kondo: "Interactive Freehand Sketch Interpreter for Geometric Modelling", Symbiosis of Human and Artifact, (1995), 561.

77) P. A. C. Varley and R. R. Martin: A System for Constructing Boundary Representation Solid Models from a Two-Dimensional Sketch. Proc. GMP 2000, IEEE Press, (2000).

78) P.A.C. Varley, H. Suzuki, J. Mitani: R. R. Martin: Interpretation of Single Sketch Input for Mesh and Solid Models. International Journal of Shape Modeling, 6, 2 (2002), 207.

79) Wang W and Grinstein G : "A survey of 3D solid reconstruction from 2D projection line drawings",Comput. Graph. Forum, 12 (1993), 137.

80) Z. Xu, S. Sugishita, K. Kondo, H. Sato, S. Shimada: Free-form Surfaces Generation in Freehand Sketch Interpreter System. CADEM'95, Xi'an, China, (1995 Oct.), 261.

81) Zheng XU, Kunio KONDO, Hisashi SATO, Shizuo SHIMADA: A 3D Interative Interface for Geometric

Modeling , International Technical Conference On Circuits/ Systems, Computers and Communications, Naha, Okinawa, Japan, (1997 July), 711.

82) Zheng XU, Kunio KONDO:A Fillet Operation with Recursive Subdivision Surfaces, Sixth IFIP WG 5.2 International Workshop on Geometric Modeling, Fundamentals and Applications (GEO−6), (1998 December), 244.

83) Elvis KoYung Jeng, Zhigang Xiang: "Moving Cursor Plane for Interactive Sculpting", ACM Transactions, 15, 3 (1996), 211.

84) Robert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon, John F. Hughes: SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes. SIGGRAPH'96, (1996) 163.

近藤　邦雄

1978年，名古屋工業大学卒業．名古屋大学教養部図書教室，東京工芸大学を経て，現在埼玉大学助教授．コンピュータグラフィックスなどの研究に従事．情報処理学会グラフィックスとCAD研究会主査，画像電子学会副会長などを歴任．日本図学会副会長，CG−ARTS協会評議員．

会告

社団法人　日本設計工学会　九州支部
第5回　設計・製図教育に関する研究会　開催のお知らせ

日　　時：　平成18年1月28日(土) 13時～16時

会　　場：　九州大学 大橋キャンパス3号館2階321教室
(福岡市南区塩原4−9−1)
西鉄天神大牟田線「西鉄大橋駅」より徒歩約5分．JR鹿児島本線「竹下駅」より徒歩約15分．

内　　容：　設計・製図教育の現状の紹介
(1) 久保明雄氏(九州産業大学)
(2) 功能郁生氏(福岡工業大学)

参加申込方法：
参加人数確認のため，e−mailまたはファクス(お急ぎの場合は電話でも結構です)にて，下記宛，1月27日までにご連絡下さい．ただし，お申込みがない場合でもご参加戴けます．

電話・FAX(092)802−3069
e−mail: izumi@mech.kyushu-u.ac.jp
研究会幹事
和泉直志(九州大学工学研究院機械科学部門)

CGモデリングからラピッドプロトタイピングへ——時空を超える投影

近藤邦雄［東京工科大学メディア学部教授／日本図学会副会長］

こんどう・くにお
1954年生まれ／名古屋工業大学卒業／コンピュータグラフィックス／工学博士
共著に『コンピュータグラフィックス』ほか／情報処理学会創立25周年記念論文賞、日本図学会学会賞、
第14回NICOGRAPH/MULTIMEDIA論文コンテスト奨励賞（第8回、第13回、第14回）受賞

図1｜デジタルモデリングの生成プロセス

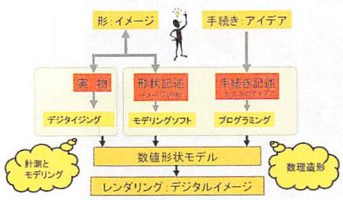


図2｜光造形システムの仕組み

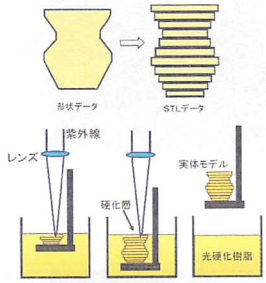
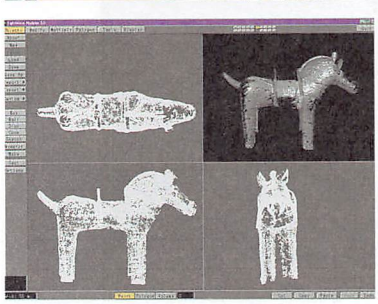


図3｜埴輪の計測風景と3DCGソフトウエアによる計測結果のモデリング



デジタルモデリングとは

3次元モデリングや3次元CADシステムが多数市販されるようになり、さまざまな分野でデザイン活動に活用されるようになってきた。そしてこのようなシステムを利用して3次元形状をリアルな実体モデルとして評価したりして、製品設計・製作を行っている。このようなコンピュータ内部モデルの生成からリアルな実体モデルを製作する手法をデジタルモデリングという。

デジタルモデリングにおける3次元形状生成プロセスは大きく三つに分けることができる［図1］。①人の頭の中にある3次元形状のイメージをもとにCGソフトウエアを利用して3次元モデルを生成する方法、②人のアイデアをもとにアルゴリズムによって立体を表現する数理造形手法、③実物を計測して3次元データを入力する方法である。これらの作業はソフトでつくるか、計測機器で入力するかという違いはあるが、コンピュータ内部モデルとして3次元形状モデルを生成するという目的は同じである。

次に3次元モデルのデータ変換とモデル製作手順について説明する。まず3次元CGソフトウエアを用いて3次元モデルデータをSTL（Stereolithography）データに変換する。つぎに光造形システムにより、STLデータを用いて実体モデルを製作する。STLデータはスライスされて層に分かれている。そこで各層に対して光硬化性樹脂を照射し、一層ずつ固める。これを順次繰り返し積層することにより実体モデルを製作することができる。このように3次元モデルをもとに高速に試作モデルを製作することをラピッドプロトタイピング（Rapid Prototyping）という。この技術によって、3次元モデルから実物モデルを迅速に製作することができるようになった。

計測による3次元モデルからラピッドプロトタイピング

ここでは、実物がある場合には、画像を入力するスキャナに対応する3次元スキャナ、または3次元デジタイザといわれる装置を用いた実物形状入力手法の活用について述べる。まず、図3に埴輪の計測風景とモデリング結果を示す。このような装置では一方向からだけでは全体を計測できない。多数の方向から計測したのちに全体を構成する作業が必要である。

この計測手法は多くの分野で利用されている。例えば、俳優の顔を直接測定したり、石膏模型を製作して計測したりしてコンピュータゲームで利用するキャラクターの顔の形状を生成するために用いられる。また、ネアンデルタール人の復元を行いアニメーションや実物モデルを製作したり、ミケランジェロの彫刻や鎌倉の大仏などを題材に、大規模な機器を用いて精密な3次元形状の計算機内部モデルを復元したりしている。このような制作手法の活用の一例として博物館における利用例を示す。①貴重な展示物の3次元データの製作が可能となり、実物のレプリカの製作が容易になる。したがって、顔や手の実体モデルや化石などのレプリカの作成も可能となる、②さらには、デジタルデータを用いることにより、インターネット上で展示物の公開が可能となり、博物館の展示物を広く知らせることができるので、博物館への興味を深めることにより、来場者の増加を期待できる、③博物館などで公開される資料は極めて貴重なものであり、触れたりすることはできない。そこで複製を作成して、来場者に触れたりすることを可能にしている。これによって視覚障害の来場者にも展示物を知ってもらうことが可能となる。このような展示手法は開かれた博物館として極めて期待が高いものである。

また、計測手法を用いたデジタルモデリングはリバースエンジニアリングにも活用される。自動車やビデオカメラの実物やクレイモデルを計測してコンピュータ内部モデルとして入力する。そのデータをもとに実物と同等

の形状モデルを生成したり、新たな形状へとデザイン変更が行われたりする。このように設計活動において計測による実体モデルの製作が可能となった。

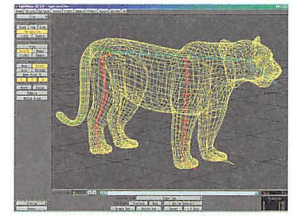
CADによる3次元モデルから ラピッドプロトタイピング

3次元CGソフトウエアを用いれば、さまざまなキャラクターが製作できる。図4にコンピュータグラフィックスシステムで表示したトラの3次元モデル、光造形システムによる樹脂モデル、鋳物モデルを示す。このトラはCGソフトウエアのサンプルデータであり、この3次元データをSTLデータに変換した。そして光造形システムを用いて樹脂モデルを製作し、さらに樹脂モデルを利用してロストワックスによって鋳物を製作した。このような手順をとれば、CGソフトウエアで製作したさまざまな3次元モデルが、コンピュータから3次元空間に飛び出してくるのである。

現在ではさまざまな3次元CG、3次元CADシステムが活用できる。このようなシステムを用いて生成された建物であっても模型を作成して空間の広がりを見ることは重要である。図5はその一例であり、デザインされた詳細な形状をレンダリング機能で評価するとともに、空間の大まかな感じを把握するために骨格をラピッドプロトタイピングで製作した。3次元空間を見るためには、透視投影によるパースの制作、立体視による3次元空間表現なども用いられるが、リアルな空間で見る模型も重要な役割を持っている。ラピッドプロトタイピングはデザイナーにとって従来のさまざまな表現手法とともに大切な表現手法のひとつになっていくと考えている。

2次元から3次元へ

人の頭の中にあるイメージがコンピュータ内部モデルとして生成され、それがモニタに表されると第三者にも理解できるようになる。しかしそのモニタに表示されている画像から製作者の意図が正しく理解できるとは限らない。3次元空間で同じ物体を見ることによって、3次元的な広がり、量感を同一条件で実感できる。このような特徴から、今後は3次元モデルをリアルな3次元空間でも容易に見ることができるようなラピッドプロトタイピング手法は広く用いられるようになっていくだろう。



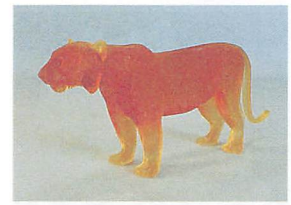
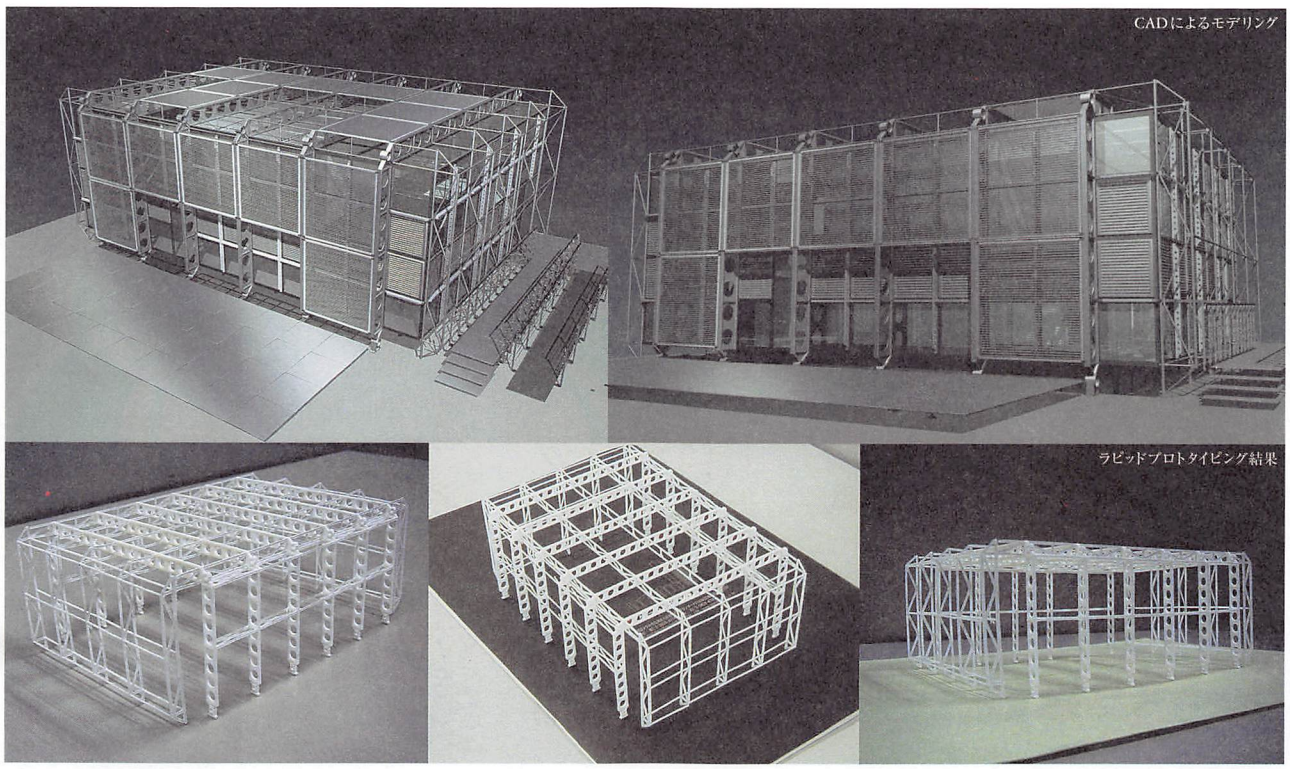


図4 | 3DCGソフトウエアによる3次元形状モデル、光造形による樹脂モデル、鋳物モデルの例

図5 | Foster House[平山真氏製作](2000年度埼玉県デジタルモデリングコンテスト最優秀賞)



特集記事

見ること，分かること，魅せること*

近藤 邦雄**

Seeing, Understanding and Captivating

Kunio KONDO

1．はじめに

見えているが見えていないということや，おなじものをみていても人によって理解が違うということもある．人は目を通して対象物を見て，対象の内容を理解するのである．伝えたい対象をどう描いたら，伝えたいことがよく伝えられるか，理解を助けるかが大切である．「うまく魅せる」ことは，表現する立場からいえば，「伝えたいことが理解される」ことを目指して描くことである[1-8]．

デジタル映像処理の発展により，表示された画像や映像をみるだけではなく，その処理結果を見て，対話的により意図に合った表現を見つけ出していくことが可能となった．このように可視化処理には，計算処理後の一方的な機能ではなく，必要な計算も行って繰り返す中で，人が見て理解しやすい表現が一段と大切になってきた．

本文では，理解を助けることは，「魅せる」ことと考え，見ること，分かることとはどういうことかを明らかにする．そしてそれをもとにして，「魅せる」ための表現方法について述べる．

2．視覚と情報の伝達[1-5]

2.1 みることと分かること

Fig. 1 に牛乳パックの一部を示す．牛が芝生の上にいるという図柄である．多くの人はこのような理解をしている．もう一度よく見てほしい．牛の模様が世界地図，牛の足元の草は社名のアルファベットである．これは，見えているにもかかわらず，分かっていないというよい例である．

Fig. 2 に対象物であるリンゴを見ることと理解することについて示す．リンゴを見ると，網膜にリンゴの像が結ばれる．この部分はカメラと同等と考えることができ，写実的な表現といえる．網膜像を知覚して，「リンゴである」と認識するためには，脳による判断が必要である．理解したことをもとにリンゴを描くと，その特徴を強調

Fig. 1　What do you see?.

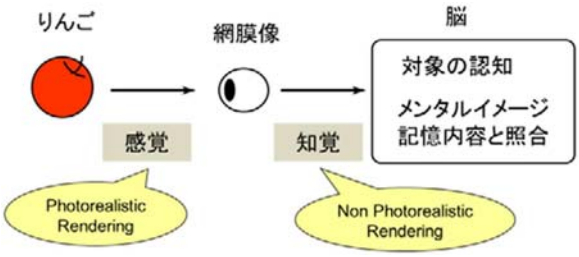


Fig. 2　Sensory and perception.[5]

省略して描くことになる．この表現を Non Photorealistic Rendering（NPR）という[7,8]．描く人が対象の特徴を伝えるこのような表現は，NPR 技術を用いているといえる．

Fig. 3 は，情報の送り手と受け手の関係を示す．デザイナが描いた画像を受け手のユーザが見たときに，デザイナの意図を正しく理解することがよいコミュニケーションといえる．つまり，見て分かることがよいコミュニケーションといえる．このようなコミュニケーション

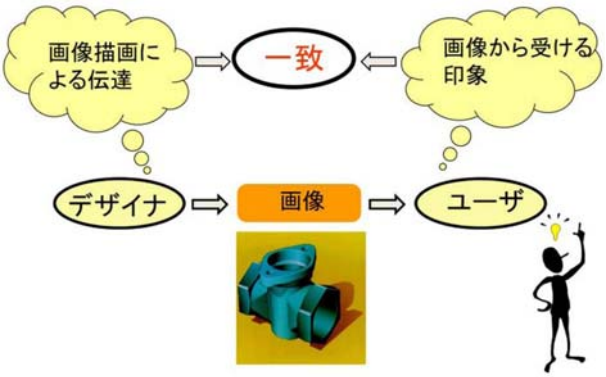


Fig. 3　Communication from sender to receiver.[1,5]

* 原稿受付　2015 年 10 月 17 日
** 正会員　東京工科大学 メディア学部
（〒 192-0982　東京都八王子市片倉町 1404-1，
E- mail：kondo@stf.teu.ac.jp）

を助ける表現はさまざまであるが，次節でそれらの「魅せる」手法を分類して述べる．

2.2「魅せる」ための手法

見たいことを正確に魅せるために次の４つに分けて述べる．(1)違いを理解できるような区別，(2)魅せたい部分の限定，(3) 3 次元形状の誇張，(4)動きの誇張である．

(1) 区別を容易に[9-16]

領域を区別するために，線，コントラスト，濃淡を利用する．輪郭線によって区別するよく見る例はイラストレーションである．CG アニメーションでは，輪郭線を描いて面と面の領域を区別することにより形の理解を助けることができるようにしている．トゥーンシェーディングは色数を削減するが，領域を明確にする点において，区別を容易にしているといえる．

(2) 魅せる部分の限定

人は注目するところをみると，有効視野以外の領域は見えない．人に注意をひきつける誘目性を活かした表現をするために，配色，表示精度の制御，３次元形状の簡略化（LOD）の方法を利用する．画像の注目部分を細かく描画して，それ以外は荒く描くとか，３次元形状の視点からの距離に応じた簡略化などの手法が提案されている．

(3) 3 次元形状の誇張

３次元形状を表現するために，投影計算を利用する．利用目的によって平行投影と透視投影は使い分けられる．このような投影法は幾何学に基づいており，人の眼を通した画像にも近い．一方，分かりやすく情報を伝えるために，ある規則によって３次元形状を誇張表現する方法がある．この誇張は表現意図を的確に表すことから，さまざまな手法が提案されている．

(4) 動きの誇張

動きを理解しやすいように表現する方法は，アニメーション作品から学ぶことできる．リアルな動きをそのまま表現することが必要なことも多いが，動きの誇張表現は，人の直感的理解を助けることができることから，速度，形状の誇張のほか，表現技術の活用などを行う方法が提案されている．

3．線の描画：区別を容易に

人に「伝えたい情報」をうまく描くために，真実と異なることを描くことがある．闇夜に飛んでいるカラスを撮影した場合，真っ黒でカラスは見えない．この場合，「カラス」がみえるように輪郭線を描くとか，カラスの領域の色を変更したり，輪郭線を描いたりすることによって，情報を伝えることができる．何を伝えたいかによって描き方も変わることが分かる．このような例を，Fig. 4 を示す．単純なシェーディング手法を用いた表現では，２つの面の区別ができない部分がある．このようなところに対して白い線を入れたり，外形を示すために黒い線をいれたりする．これによって，形状の理解を助けることができる．この手法は自動化され，Fig. 5 に示すように線の太さ変化を表現する方法が開発され，CG アニメーションやゲームの輪郭線描画に活用されている[17-26]．

Fig. 4　Outline and Highlight Drawing.[17,18]

Fig. 5　Shape Oriented Line Drawing.[27-29]

4．誘目性の活用：魅せる部分の限定

視覚的な顕著性（Saliency map）を利用した表現は，ある部分を注目させるために有用な方法である[30-32]．このとき注目させたい部分の内容によってアルゴリズムも異なる．Fig. 6 は花の写真とその画像加工の結果である．画像加工後にめしべが強調されていることが分かる．Fig. 7 に，ディジタル画像の特徴を抽出して，画像の中の重要度（誘目性）を求める方法を示す[33]．Fig. 6 は，この計算方法を用いて画像加工を行った結果である．

Fig. 8 は，リアルタイムグラフィックス処理をしているときに，注目するところに視線を向けると，その注目点周辺を詳細に描画している[33]．見たいところを詳細に描くことは，人手によるイラストレーションなどでもよく行われている方法である．これを CG 技術として確立することは，表現力の向上につながる．

Fig. 6　Photo and the result using our method.[30]

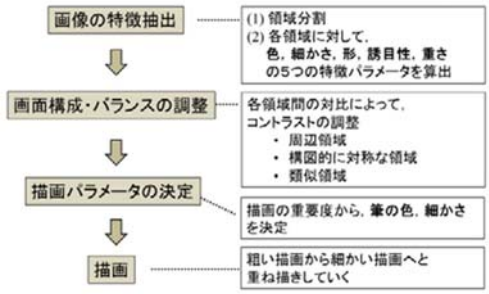


Fig. 7　Image processing by Saliency map.

Fig. 8　Artistic Rendering of Buildings using LoD.[33]

5．投影法の拡張：誇張表現と絵画表現

コンピュータグラフィックスによる 3 次元対象の表現には投影計算を用いる．ここでは，投影計算を基礎とした誇張投影表現，多視点表現，絵画表現について述べる．

5.1 誇張投影[34-36]

Fig. 9 は，1．通常の投影変換による例，2．視点を物体に接近した例，3．投影変換を拡張した強調投影変換を用いて描いた例である．この方法では，立体上の点は投影変換により投影面の上の座標に変換される．この変換計算のとき，誇張パラメータを掛け合わせることによって，作者の意図するようなさまざまな形状誇張を行うことができる．このような投影変換の応用は，マンガ，

Fig. 9　Exaggerated projection method.[34]

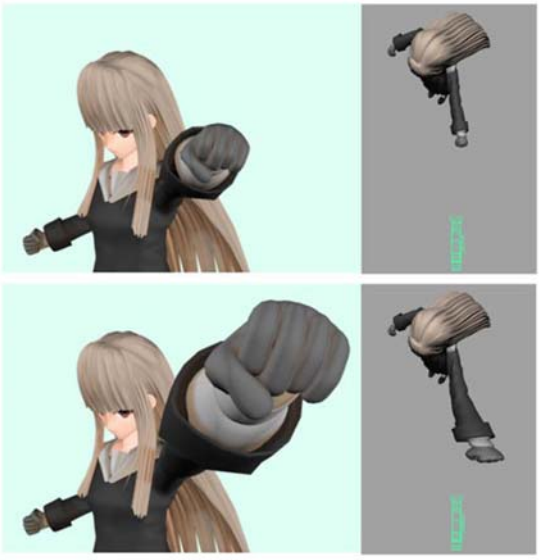


Fig.10　Anime pers.[37]

アニメ（Fig.10）だけではなく，浮世絵の表現にも用いられており，CG 手法による再現も行われている[36]．

Fig.10 はカメラの位置に近いほど，形状を大きく変形する手法を用いているために，カメラの位置が同じでも手の大きさをより大きく表現できる[37]．

5.2 多視点表現[38-40]

透視投影法は，ひとつの視点によって透視投影図を得る方法である．しかし，複雑な 3 次元対象物を一つの視点だけで描画すると，表現したい対象が視点に近い対象に隠されてしまって見えないこともある．見せたい対象を別の視点から見て，それを一つの投影面に表現する手法を多視点表現という．Fig.11 は単一視点と多視点による水墨画表現を示す．Fig.11 右では，複数の透視・平行投影などを一緒に利用して．水墨画の再現をしている[40]．

多視点表現手法は，絵画表現ではよく見ることがあり，

Fig.11　Multi Projection for India-ink Painting.[40]

CG 分野でも絵画表現[38]の一つとして提案されている．また，実用面では，観光地の地図表現[39]や人体の解剖図などにも使われている．

5.3 絵画描画手法に基づく強調と省略

岩田は．視覚認知プロセスをモジュールと呼ばれる情報処理系に分割するモデルを提案している[41]．Fig.12 にこの提案モデルを用いた絵画表現のための視覚認知プロセスを示す．モジュールは形態視，空間視，色彩視，運動視の４つである．この４つのうち，形態視，空間視，色彩視に対するさまざまな手法を提案して絵画表現を行うシステムを開発した[42-43]．

このシステムを用いて，モンドリアンの絵画表現を模して，３次元対象物を表現した結果を Fig.13 に示す．形態視，空間視，色彩視の３つの要素をレーダーチャートで示している．これらの３つの値は，形状変形，輪郭線による形状表現，色数の減少などを制御するために用いる．

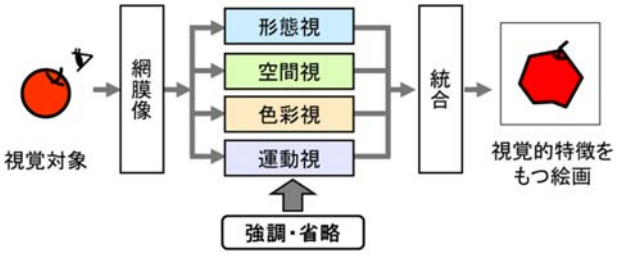
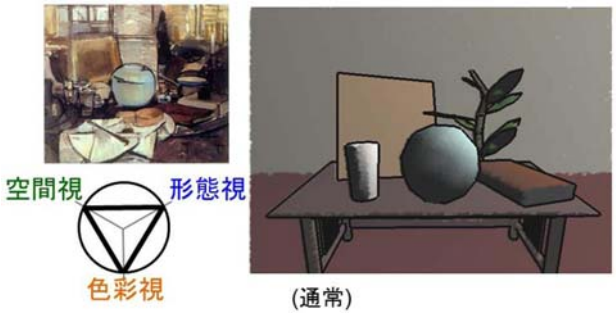


Fig.12 Visual cognition process.[42]



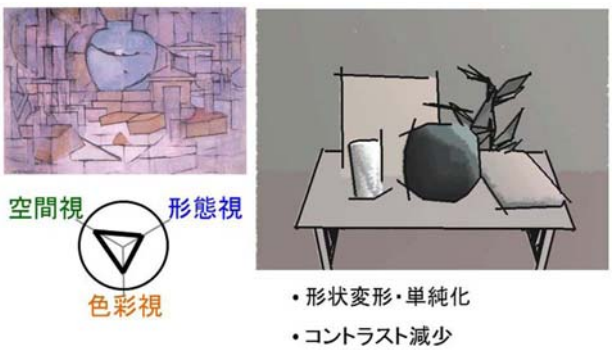


Fig.13 Synthesis of painting styles.[43]

6．アニメーションの表現と理解[44-53]

前節のモジュールの運動視に関する「動き表現」には，対象の動きの速度変化，形状変形，表現技術の利用などがある．動きの表現を一枚の画像で表現した例は，残像を利用した「異時同図法」を利用した複数の時間を１枚で表現したフランス南部のアルデシュにあるショーヴェ洞窟壁画といわれる．動物の動きを一枚の絵に収めているアニメーションの初期の表現といえる[44]．

Fig.14 は，モーションキャプチャによって計測した動作データに対して，Motion Filter[45,46]による動きのタイミングの調整と足の形状変形を行い，動きの誇張をした例である[47]．この手法は，Cartoon Animation Filter として発展している[48]．

Fig.15 は，動きの誇張と Cartoon Blur を付加して早い動きの様子を表現している[49-51]．Fig.16 は，歌舞伎に

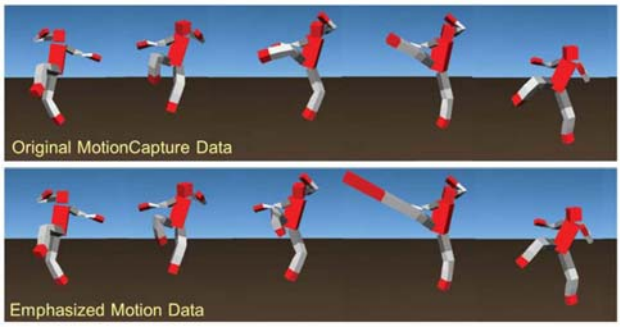


Fig.14 Shape deformation using Motion Filter.[47]

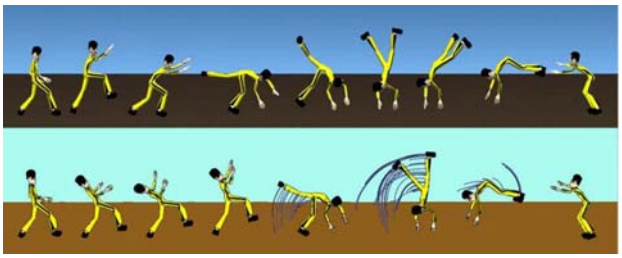


Fig.15　Timing control and cartoon blur.[49,50,51]

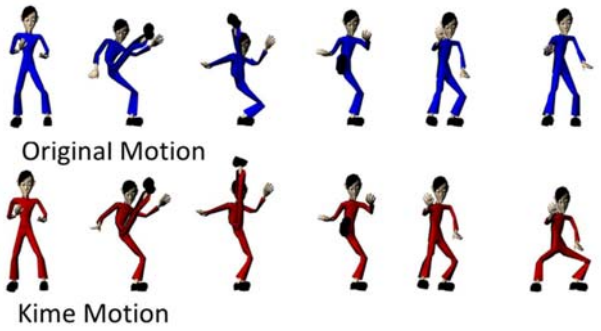


Fig.16　Kime motion.[52]

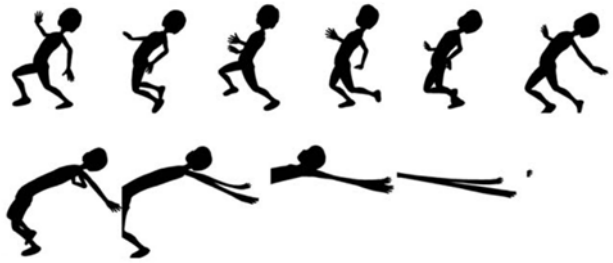


Fig.17　Exaggeration method.[53]

見られる「キメ」ポーズとなるように左から３番目と６番目のポーズに対して処理を行った例である[52]．

Fig.17 は，公開されている過去のアニメーション作品の動きを分析して，「のこし」といわれる手法を３次元 CG アニメーションに適用できるようにした例[53]である．従来２次元アニメーションで使われているさまざまな表現手法を，３次元 CG を用いる方法に置き換えることは，熟練者の技術を体系化することにつながる．

７．まとめ

本文では，的確に情報伝達を行うための表現技術について述べた．「みることとわかること」，「魅せる手法」について述べ，それを踏まえた表現目的と表現方法を具体例を挙げて，その特徴を示した．

本文で取り上げた例は，眼で見ることができる３次元対象物である．例えば，人体の中や地中の様子，空気の流れなど見ることができない対象，情報など形のない対象なども本文で述べたような考え方を応用するとよい．そのために，従来の各種表現方法から学び，その長所をうまく取り入れて，ユーザがほしいと考える表現を提案し，人が対象を見て容易に理解できるような「魅せる」手法が広く使われることを期待する．最後に，「魅せる」の大切さを慶應義塾大学藤代一成教授から示唆いただいた．記して深く感謝する．

参 考 文 献

１）近藤邦雄，メディア学入門，コロナ社，(2013)．
２）近藤邦雄，田嶋太郎：モダングラフィックス，コロナ社，(1982)．
３）近藤邦雄，デザインと人間の感性，工芸品，感性製品の CAD/CAM，特集，精密工学会，55 巻 10 号，(1989)，pp.3-8.
４）近藤邦雄，コミュニケーションのための図的表現法，日本図学会，創立 30 周年図学研究記念号，(1997)，pp.155-156.
５）近藤邦雄，情報伝達のためのマルチメディアとコンピュータグラフィックス，図学研究，Vol.32, No.4, (1998)，pp.9-16.
６）Kunio KONDO, The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education, China-Japan Joint Conf. on Graphics Education, (1995)，pp.131-136.
７）大野，フォトリアルでない CG 画像表現の手法について，情報処理学会グラフィックスと CAD 集中研究集会，Vol.95, No.78, (1995)．
８）斎藤隆文，“Comprehensible Rendering-これからの課題，”情報処理学会グラフィックスと CAD 集中研究集会，Vol.95, No.78, (1995)．
９）近藤邦雄，木村文彦，曲面の形状感の表現　第１報，第１報中間調を用いた図の作成，精機学会，精密機械，第 49 巻，第 12 号，(1983)，pp.1692-1697.
10）近藤邦雄，田嶋太郎，木村文彦，曲面の形状感の表現　第２報ペイントシステム CARP の作成，精密工学会，精密機械，Vol.51,No.61, (1985)，pp.1212-1217.
11）近藤邦雄，田嶋太郎，木村文彦，インタラクティブレンダリングシステムによる３次元形状の表現，情報処理学会，情報処理，Vol.26,No.11,(1985)，pp.1401-1408.
12）Kunio KONDO, Fumihiko KIMURA, Taro TAJIMA, An Interactive Rendering Technique for 3-D Shapes, EUROGRAPHICS'85, (1985)，pp.341-352.
13）近藤邦雄，田嶋太郎，木村文彦，レンダリングのための濃淡表現アルゴリズム，日本図学会，図学研究，Vol.39, (1986)，pp.15-20.
14）近藤邦雄，木村文彦，田嶋太郎，絵画における濃淡表現の分類と計算機による濃淡表現法，日本図学会，図学研究，Vol.40, (1987)，pp.13-19.
15）Takafumi Saito, Tokiichiro Takahashi, Comprehensible rendering of 3-D shapes,SIGGRAPH '90 Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, (1990)，pp.197-206.
16）Amy Gooch, Bruce Gooch, Peter Shirley, Elaine Cohen, A non-photorealistic lighting model for automatic technical illustration, Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, (1998)，pp.447-452.
17）望月義典，近藤邦雄，形状特徴表現のためのエッジ強調描画手法，情報処理学会論文誌，Vol.40, No.3, (1998)，pp.1148-1155.
18）Mochizuki, Kunio Kondo, Hisashi Sato , Enhanced Edge Rendering for Comprehensible Image, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.1, (1998),pp.194-199.
19）望月義典，近藤邦雄，細分割曲面の輪郭線描画手法，情報処

理学会論文誌，Vol.41, No.3,(1999), pp.601-607.
20) Jintae Lee, Simulating Oriental Black-Ink Painting, IEEE Computer Graphics and Applications archive, Volume 19 Issue 3, (1999),pp. 74-81.
21) 旭昌宏，近藤邦雄，島田静雄，佐藤尚，イラスト図作画支援システムの開発，第 7 回 NICOGRAPH 論文コンテスト，(1991), pp.22-31.
22) 近藤邦雄，神原章，佐藤尚，島田静雄，尚鴬武，レンダリングのための対話型線画表現法，日本図学会，図学研究第 55 号，(1992), pp.11-15.
23) 神原章，近藤邦雄，佐藤尚，島田静雄，3 次元形状表現のための白黒画像の描画法，情報処理学会，情報処理学会論文誌 Vol.134, No.8, (1993), pp.1762-1769.
24) A. KANBARA, K.. KONDO, H. SATO, S. SHIMADA, Interactive Rendering System for Line Drawing by Dot and Line Shading in M. Gigante and T L Kunii (eds.), INSIGHT THROUGH COMPUTER GRAPHICS, World Scientific, (1996), pp.172-179.
25) Michael P. Salisbury , Sean E. Anderson , Ronen Barzel , David H. Salesin, Interactive pen and ink illustration, Proceedings of SIGGRAPH '94, (1994).
26) George Winkenbach and David H. Salesin, Computer-Generated Pen-and-Ink, Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques, (1994), pp.91-100.
27) Takashi Matsuo, Koji Mikami, Taichi Watanabe, Kunio Kondo, Shape Oriented Line Drawing in Real-Time 3DCG, SIGGRAPH Asia 2011, posters, (2011).
28) 松尾隆志，三上浩司，渡辺大地，近藤邦雄，リアルタイム 3 DCG における物体の形状を考慮した輪郭線の誇張表現手法の提案，芸術科学会，芸術科学会論文誌，第 10 巻，第 4 号，(2011), pp.251-262.
29) 松尾隆志，三上浩司，渡辺大地，近藤邦雄，形状の特徴や動的な変形を考慮したリアルタイム 3 DCG における輪郭線の誇張表現手法,映像情報メディア学会，映像情報メディア学会誌，Vol.67, No.2. (2013).
30) 初山和秀，近藤邦雄，絵画技法に基づく注目点を強調した描画制御手法，画像電子学会，ビジュアルコンピューティングワークショプ，(2000).
31) Doug DeCarlo,Anthony Santella,Stylization and Abstraction of Photographs,Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, (2002), pp.769-776.
32) 畠康高，豊浦正広，茅暁陽，“Saliency Map と LIC 法を利用したアクセントのある鉛筆画生成法”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J95-A, No.7, (2012),pp.600-610.
33) Takashi Yoneyama, Etsuo Genda, Kunio Kondo, Artistic Rendering of 3D Models with Levels of Abstraction, International Journal of ADADA，アジアデジタルアートアンドデザイン学会，Vol.9-10, (2009), pp.13-20.
34) 宮澤貴之，望月義典，近藤邦雄，佐藤尚，島田静雄，3 次元形状を誇張するための投影変換手法，テレビジョン学会，テレビジョン学会誌，Vol.50, No.10, (1996), pp.1543-1548.
35) Yosuke Katsura, Ken Anjyo, Anime perspective", In ACM SIGGRAPH 2007 sketches (SIGGRAPH '07), Article 75. (2007).
36) Kenichi Yoshida, Shigeo Takahashi, Hiroaki Ono, Issei Fujishiro, Masato Okada, Perceptually-Guided Design of Nonperspectives Through Pictorial Depth Cues, Proc. CGIV2010, (2010), pp.173-178.
37) 細田浩司，3DCG アニメーションにおけるパース誇張手法の提案，東京アニメフェア，ポスター，2009.
38) Maneesh Agrawala, Denis Zorin, Tamara Munzner, Artistic multiprojection rendering, Proceedings of the Eurographics Workshop on Rendering Techniques, (2000) pp.125-136.
39) S. Takahashi, N. Ohta, H. Nakamura, Y. Takeshima, and I. Fujishiro, "Modeling Surperspective Projection of Landscapes for Geographical Guide-Map Generation,"Computer Graphics Forum, Vol.21, No.3, (2002), pp.259-268.
40) 李磊，石川知一，三上浩司，柿本正憲，近藤邦雄：水墨画風 CG 画像生成のための多視点投影手法，日本図学会図学研究第 49 巻 2 号（通巻 146 号），(2015)，pp.13-20.
41) 岩田誠，見る脳・描く脳絵画のニューロサイエンス，東京大学出版会，(1997).
42) 米山孝史，源田悦夫，近藤邦雄，視覚パラメータに基づく絵画風画像生成手法，日本図学会，図学研究，Vol.43, No.4, (2009), pp.13-21.
43) Takashi Yoneyama, Etsuo Genda, Kunio Kondo, Painterly Renderings Using a Synthesis of Painting Styles Based on Visual Perception, proc. of VRCAI, DVD, (2009).
44) Marc Azéma & Florent Rivére, Animation in Palaeolithic art：a pre-echo of cinema, Antiquity, Vol.86 Issue. 332, (2012), pp.316-324.
45) 佐藤修一，近藤邦雄，佐藤尚，島田静雄，金子満，アニメーション制作におけるキャラクタの動作強調手法 Motion Filter，テレビジョン学会，テレビジョン学会誌，Vol.49, No.10, (1995), pp.1280-1287.
46) M. Kobayashi, K. Kondo, H. Sato, Emphasized Expressions Using Motion Filter in Creating Animation, Proceedings of the 8th ICECGDG, Vol.2, (1998), pp.451-454.
47) Yoshiyuki Koie, Kunio Kondo, Toshihiro Komma, Motion Emphasis Filter for Making Mental Motion of 3D Characters, Siggraph2004, Sketches, (2004).
48) Jue Wang, Steve Drucker, Maneesh Agrawala, Michael Cohen, The Cartoon Animation Filter , SIGGRAPH 2006, (2006), pp.1169-1173.
49) Kei Tateno, Kunio Kondo, Toshihiro Konma：Motion Stylization using a Timing Control Method, SIGGRAPH2006 Posters, (2006).
50) Shoichi Obayashi, Kunio Kondo, Toshihiro Konma, Kenichi Iwamoto, Non-Photorealistic Motion Blur for 3D Animation ACM SIGGRAPH2005 Sketches (2005).
51) Shoichi OBAYASHI, Kunio KONDO, Toshihiro KOMMA, Ken-ichi IWAMOTO, Nonphotorealistic motion blur for 3D animation, Asia Digital Art and Design Association, International Journal of Asia Digital Art and Design Association. (2007).
52) Satoshi CHO, Toshihiro KOMMA, Hisashi SATO, Kunio KONDO, Kime Pose anime in Japanese style using action line control, ACM,SIGGRAPH Asia 2008 Posters, 2008. 12.
53) 川島基展，大森達也，近藤邦雄，三上浩司，松島渉，モーションキャプチャリングを用いたキャラクタアニメーションへの『のこし』動作誇張の適用手法の提案，画像電子学会/情報処理学会，Visual Computing /グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2011 予稿集，DVD 6, (2011).

資料

査読者の眼
――より良い論文を執筆するために――

近藤邦雄(正会員)
東京工科大学 メディア学部

1. はじめに

本稿では，本画像電子学会に投稿される論文の採択率を上げ，かつその質を高めることを目的として，特にVisual Computing関係の論文における「返戻」の理由をなるべく具体的に紹介する．

まず査読に使用されている査読判定区分，評価に対する考慮事項を示す．そして，それらに基づいて作成された投稿論文査読結果，特に過去の38編の「返戻」理由について示す．返戻理由は多数の査読者，編集委員により作成された内容であり，個別の論文の情報を含むため本稿に掲載するにあたりその一部を改変している．

本稿が特に若手研究者，学生が学術論文を執筆する際の参考となることを期待している．

2. 論文の判定区分と査読項目

表1に，論文の判定区分と評価項目を示す．投稿論文は査読とそれに伴う必要な修正を経て「採録」と判定されたのち，編集委員会での承認を経て，学会誌に掲載される．以下では，通常論文の評価について示す．主な査読項目は新規性，有用性，信頼性である．投稿論文はこれらのすべての要件を満たしていることが望まれる．また，**表2**に査読者が編集委員会へ報告する項目の一部を示す．これを見ればわかるように，新規性，有用性，信頼性のほかに，文献調査，読みやすさが評価項目になっている．「文献調査」は従来手法や関連研究と提案手法との関係や特徴を示すために重要な要素である．また，「読みやすさ」は，幅広い分野の会員が先端的な研究を知るために大切な項目である．

3. 返戻理由

ここでは，投稿論文の返戻理由を新規性，有用性，信頼性，読みやすさの四つに分け，引用形で紹介する．

3.1 新規性

ここでは，新規性に対する返戻の主な理由を，「新規性に対する不明確さ」，「新規性の不足」，「新規性に対する疑問」に分けて示す．

3.1.1 不明確な新規性

●新規性が不明確

既提案の手法の新たな応用への適用に過ぎず，また，今まで提案されている他手法では解決できなかった課題が，提案手法によってどう解決・改良されたかが，明確には書かれていない．論文の構成上，新規性が非常に不明確という課題は解決されていないため，返戻と判断し，再投稿を促すこととしたい．

●新規性が不明りょう

前回査読時にて新規性の不明りょうさを改善するという条件があったが，その結果として新規性は論文中のごく一部にしか認めにくいということがわかった．またその提案内容にも有効性を十分に示せるだけの材料は提示されていないと考えられる．むしろ実験結果の追加によって，有効性が十分でないことを実証してしまったようにも見える．このようなことから返戻が妥当であると判定する．

●新規性が不明りょう

○○を用いて定量化したという点で，研究自体はユニークであると考える．しかし先行研究の調査不足により新規性が不明りょうであること，評価結果の提示や考察に不足が大きいこと，論文の記述に不明りょうな点が多いこと，などの点で問題が多く，1回の再提出での採録は非常に難しいと考える．そのため，残念ながら返戻が適切と考えた．

●新規性が不明確

本論文では，画像再構成のアルゴリズムを提案し，その有効性をシミュレーションにて確認しようとしている．しかしながら，既提案の手法の新たな応用への適用に過ぎず，今までに提案されている手法で解決できなかった課題が，提案手法によってどう解決・改良されたかが明確には書かれていない．論文構成上の，新規性が非常に不明確という課題は解決されていないため，返戻と

画像電子学会誌　第 38 巻　第 5 号(2009)

表 1　投稿論文の判定区分と評価事項

1.　判定区分

(1)　採　録

・新規性，有効性，信頼性などの評価項目について審査した結果，そのままの状態で本会学会誌の掲載論文としてふさわしい内容と判定された場合．

(2)　採　録（参考意見あり）

・新規性，有効性，信頼性などの評価項目について審査した結果，本会学会誌の掲載論文としてふさわしい内容と判定されるが，必須でない簡単な修正や追記が望ましい場合．

・査読者は，論文修正のための参考意見を列挙する．

(3)　条件付採録

・新規性，有効性，信頼性などの評価項目について審査した結果，このままでは「採録」には当たらないが，示された採録の条件を示し，著者がそれについて一度の原稿修正を行うことにより，「採録」のレベルに達する可能性が高いと判定された場合．修正原稿の再提出は，原則として 60 日以内とする．

・査読者は，論文修正のための採録の条件とともに，必要により参考意見を列挙する．

(4)　返　戻

・新規性，有効性，信頼性などの評価項目について審査した結果，本会学会誌の掲載論文としてふさわしくない，あるいは採録の条件を示してもそれに伴う修正が大幅，もしくは本質的なため，一度の修正では採録の判断ができず，再度の問い合わせや修正要件が生じる可能性が高いと想定される場合．論文内容がショートペーパーや資料として投稿することがふさわしい場合や，本会と関連性が低く他学会への投稿することが適切である場合も含む（いずれも論文に対する査読結果が著者に明確に伝わるよう表現に留意されたい）．

2.　評価に関する考慮事項

(1)　新規性

・従来提案されていないと判断できる，著者による新しいアイディアが提案されているか．

・既存のアイディアを組み合わせたものでも，自明ではない新しい利用法が提案されているか．

・技術的に新しい知見を与えるデータが提示されているか．

(2)　有用性

・論文内容が学術や産業の発展に役立つものであるか．

・客観的な性能評価等により，提案法の効果が示されているか．

(3)　信頼性

・論文内容が読者から見て信頼できるものであるか．

・提案法の内容を読者が再現することができるか．

・提示されているデータが信頼できるか．

表 2　査読報告の一部

□採　録（□参考意見あり）
□条件付採録
□返　戻
評価結果：5（高い，良い）から 1（低い，悪い）までの 5 段階評価

・新規性	□5	□4	□3	□2	□1
・有用性	□5	□4	□3	□2	□1
・信頼性	□5	□4	□3	□2	□1
・文献調査	□5	□4	□3	□2	□1
・構成と読み易さ	□5	□4	□3	□2	□1
・本会との関連性	□5	□4	□3	□2	□1
・総合評価	□5	□4	□3	□2	□1

※ 3 以上を採録の目安とする。
原稿の特徴と査読結果の概要

判断し，再投稿を促すこととしたい．

●新規性が判断不能

論文中に不明りょうな点が多く，読者による理解が困難であると同時に，新規性の判断も困難である．また評価方法の妥当性も不明確であり，信頼性や有効性も評価できない．よって返戻が妥当であると判定した．

3.1.2　新規性の不足

●評価実験不足（新規性，有用性なし）

本論文では「○○の違いへの対応」を新規性のある提案と主張しているが，代替手法が明らかに存在し，またそれとの優位性に関する議論がなされておらず，更にキャリブレーションにかかわる表示結果の定量的な評価実験もないため，新規性，有用性がともに確認できず，返戻と判断する．

●本質的な問題

両査読者ともに，新規性を十分に示せていないことを問題として挙げており，また○○の使い方に関し本質的な問題点の存在を指摘している．これらの問題を 1 回の再提出でクリアするのは難しいと考えられるため，返戻としたい．しかし，再投稿を促す価値はあると考えられる．

●従来法と同等

映像の提案処理の手法は，すべて従来手法を適用しているため，新規性はない，○○を利用したこれらの処理を実装するところに工夫は見られるが，学術論文として認められるほどの新規性は見られない．以上の理由により，「返戻」判定とした．

●新規性を満たしていない

本論文は，ハードウエアを用いて効率的かつ適応的に○○を表示する手法を提案している．ハードウエアによる○○の評価はAらによって既に提案されており，照会を通じて著者がそのことを誤解していることが確認された．また，提案手法の主要な計算部分には，ハードウエアを用いておらず，従来手法と同等である．従って，本稿は新規性を満たしていない研究と思われ，返戻が妥当であると考える．

●小さな新規性

既知の手法の組み合わせで実現できる方法であり，新規性は非常に小さいと考えられる．また既存手法に対する有用性を実証するだけの十分な実験結果を示せていないと考えられる．以上の点により返戻と判定する．

●先行研究との比較不足

本論文に非常に深く関連する先行研究との比較が抜けていること，手法の評価が十分になされていないことから，新規性・有用性ともに不十分であり，1回の再査読で採録レベルに到達する可能性は低いと考える．またタイトルと内容に乖離があるなど，論文の構成にも疑問があり，全面的に書き直すことが望ましいと考える．このことから今回は返戻としたが，何らかの機会に再投稿されることを期待する．

●一般的な手法であり新規性の不足

本論文で提案する枠組みは一般的な手法として既に知られており，その枠組みについての新規性は認められない．(1)従来研究との相違点への言及，および，提案手法の学術的な位置づけの言及，(2)有効性を示すための実験の追加を採録条件とすると，大幅な論文改訂が必要と考えられる．よって返戻と判断する．

3.1.3 新規性に対する疑問

●従来研究のサーベイ不足，新規性に疑問

本論文は，○○を自動的に統合する手法を述べている．しかしながら，そのような手法はすでに実用に達しており，ソフトウェアやプラグインが流通している．それらにより統合された画像について，特に問題は見受けられない．ソフトウェアやプラグインを含めた従来研究のサーベイが不十分であり，また，従来研究より特に優れた性能をもっていると確認可能な結果も示されていない．以上のように，提案手法の新規性と有用性に大きな疑問があるため，返戻と判断する．

●新規性の根拠が不明確

本論文では，著者らのグループがこれまでに開発・提案してきた手法の改良を報告しており，○○を決定する関数を変更した手法を提案している．しかし，本研究の核となる提案モデルの根拠が明確でないこと，また，関連研究のすべてが著者らのグループの研究にかたより，他研究とのかかわりが論じられていないこと，タイトルにもある「○○モデル」の再検討が不十分であることなど，論文として見た場合，この研究領域における客観性，独自性，新規性，信頼性の判断が困難であり，これを修正するにはかなりの量の追加調査と追記が必要になると思われるため，返戻と判断する．

●技術に新規性なし

本論文では，大規模な○○を3 DCGで復元するために，対話形式で設計・描画できる簡易生成システムについて提案しているが，システムを構成する技術に新規性はなく，また個々の構造の入力を効率的に行えることは読み取れるが，そもそもの目的である大規模な○○復元は実施していないため，提案システムの有用性，そして目的遂行可能性の信頼性に欠け，返戻と判断する．大規模な○○復元の実験を行い，システムの有用性・信頼性を示した後に再度，投稿することをお勧めする．

●新規性に疑問

本論文は，1985年に発表されたAアルゴリズムを拡張し，より実際の動きに近い○○の動きを表現するためのアニメーションを提案している．実際の映像を参考に，○○の特性を五つ仮定し，それを実現するための方法が述べられており，興味深い結果が得られている．しかしながら，Bアルゴリズムの拡張や，○○の生成に関する文献調査の記述がなく，新規性が疑わしい．それらの調査を行い，査読者が挙げている疑問点を解消し，新規性を見直す修正は大幅な改訂と考えられ，返戻と判断する．

3.2 有用性

ここでは，有用性に対する返戻の主な理由を，「有用性の評価，検証不足」，「有用性に対する疑問」，「有用性に対する説明不足」に分けて示す．

3.2.1 有用性の評価，検証不足

●実利用での有用性評価が不足

提案手法はシンプルで，高速処理が可能であるなど一定の利点は考えられるが，制約が大きく，実利用を想定した場合の有効性が示されていない．いずれの査読者も，評価が不十分であり，論文としての体裁も整っていないと評価しており，不採録の判定が妥当である．

●有用性の検証不足

○○生成に対し工夫をこらしている点は評価できるが，○○から○○への遷移だけであること，処理時間に対する言及がないこと，被験者に適用したアニメーションによる有効性の検証がないこと，類似研究との比較がないこと，特徴点の指定方法やパラメータの選択方法とそれらの根拠・妥当などについての説明が不十分であること，などについて記述が不十分であり，論文内容の大幅な修正が必要であると考えられるため，返戻と判断した．

●有用性が見いだせない

本論文は○○手法を提案している．しかしながら新規性・有効性・信頼性の三つの観点から論文の有用性が見いだせない．すなわち，(1)従来研究のサーベイが不十分であり，提案法の学術的位置付け，特に新規性が不明である．(2)有効性を示すための実験として2例を示しているが，成功・非成功の判断が主観的であり，定量的検討が行われていない．(3)提案方法が論文中で不明確で，提案法に対する信頼性を損なっている．以上の事柄は一回の論文改訂で修正し，かつ査読者を納得できるものとすることは極めて可能性が低いと言わざるを得ない．よって返戻と判断する．

3.2.2　有用性に対する疑問

●有効性に疑問

従来技術であるA氏らによる“○○”法に□□を適用した手法を提案しているが，著者らが主張しているように完全に○○不要というわけではなく，有効性に疑問が残るため，再度の検討の後，再投稿を期待する．

●有用性と信頼性の不足

前回査読時にて，既存のCGソフトウェアに対する理論および実行結果の優位性を示せという条件があったが，このうち実行結果について十分な回答がなく，そのため既存技術に対する優位性を実証できていないと考えられる．またその他にも，前回査読時の条件を満たしていない点が散見され，結果として提案手法の有用性や信頼性を読者が納得できるとはいえない状況である．よって返戻が妥当であると判定したが，手法自体の新規性は認められることから，再投稿を促す価値はあるものと考える．

3.2.3　有用性に対する説明不足

●有用性の不足

記述されている方法は既存手法の組み合わせにすぎないが，○○性を利用する点には新規性があると思われる．しかしながら，論旨はまるで既存手法である□□を提案するかのような展開であり，主張点があいまいで，ほかの手法と比較による主張点の検証もない．また，モデルデータに対しては，その有効性が認められるが，実験画像に対しては，その有効性を見いだせない．以上より返戻と判断する．

●有用性の説明不足

領域の追跡，特徴量の安定性，といった本手法の根幹に関わる部分で難しい課題が残されており，また，提案手法の有用性・信頼性を示すための説明が不足し，納得できる実験結果が示されていないと判断せざるを得ません(現状の論旨から読み取ることができません)．従って，有用性を示すための大幅な修正あるいは追加実験が必要と考えられるため返戻と判断した．

3.3　信頼性

ここでは，信頼性に対する返戻の主な理由を，「信頼性の欠如」，「信頼性に対する疑問」に分けて示す．

3.3.1　信頼性の欠如

●信頼性の欠如

提案手法にはAらの手法との差異が見られず，同じ定式化でも問題なく拡張できるという論証も存在しないため，新規性・有用性には乏しい．また実験においてもAらの手法の追試を行っているだけであり，また特に自由な視点設定を行っているとも言いがたく，信用性に欠けるため，返戻と判断することが妥当と考える．

●信頼性を損なっている

査読者は不明確な箇所の訂正を求めたが，提示した採録の条件を満たしていない．具体的には，式の導出過程に疑問があり，また，○○の不定性が除去されているという結論の根拠が示されておらず，信頼性を損なっている．この問題を採録コメントとして処理することはできず，査読プロセスがもう一回必要と判断した．よって返戻と判断する．

3.3.2　信頼性に対する疑問

●信頼性のための議論不足

分析手法は，既報の○○による基礎的な主成分分析や識別実験であり，技術的な新規性は見られない．既報の論文と比べ，分析に用いたデータを増加し，より詳細に分析した面では新規性は認められるが，この調査の有用性は議論されていない．大量データを確保することが難しいことはわかるが，本論文で示した知見に対する信頼性に対する的な議論が必要であると考える．また，本稿で対象とする個性について，十分に議論が行われていない．

●既存手法との比較がなく信頼性が薄い

本論文では周期性を考慮しているとはいえ，処理Aは古典的手法であり，また，他の既存手法との比較は極めて不十分である．更には実験を一例しか行っておら

ず，提案手法の信頼性も極めて薄いといわざるを得ない．その一例の実験結果も○○として使用するためには不十分な計測結果である．これは重篤な問題と考え，一回の再提出での改善の見込みはないと判断した．よって返戻と判断する．

●比較実験が足らず信頼性に疑問

改良手法を提案しており新規性はあると思われるが，客観的に有効性を判断できる比較実験などが足らず信頼性に欠け，既提案手法に比べ本質的に優位な点を示しきれていないため，返戻と判断する．

3.4　読みやすさ

ここでは，読みやすさに対する返戻の主な理由を，「定義の不明確さ」，「不明瞭な記述」，「記述不足」，「文章構成」に分けて示す．

3.4.1　定義の不明確さ

●定義の不明確さ

本論文では○○方法を提案している．しかしながらAといいつつも実際にはBの検出であり，すなわちC要素を考慮していない．表現を変えれば□□のモデル化あるいは□□の定義が明確にされないまま，あいまいな論旨展開を導いている．従ってどのような局面に対してどのように効果があるのかが定性的にも不明であり読者に有益な情報を与えない．これらの問題は論文の一部分のみならず構成全体に影響を及ぼすものであり，再度の提出で改善できる見通しがない．よって返戻と判断する．

3.4.2　不明りょうな記述

●多数の致命的な修正点

本論文では，画像生成法の提案を主張しているが，人間の視覚系に特有な○○効果について考慮されていない点が多数あり，このままの形で掲載することは読者に混乱を与えると考えられる．比較する従来手法についてもほとんど入手困難な文献を参照しているなど，致命的な修正点が多く，1回の照会では修正しきれないと思われ，返戻と判断することが妥当と考える．

●記述があいまい，不明りょう

研究内容に面白い要素はあるが，実験内容の記述であいまいな部分が多く，このままでは実験を再現するのは困難だと思う．特に取得した形状データから，データ統合や変形処理を施して原形状を再現する部分で不明りょうな部分が多く，これらのことが明確に示されない限り採録は難しいため，差し戻しとした．

●不明点が多い

本稿の提案手法はAらの先行研究よりも単純化されている上に，○○により対象領域の形状をより詳細に計測できるという主張も容易に予想されるものであり，その有効性も実験で十分に示されているとはいえない．更に論文の書き方で不明な部分が非常に多く，内容を読み取ることが非常に困難なため，返戻と判断する．

●記述が不明りょう

両査読者ともに，記述内容に不明りょうな点が多いことを指摘しており，有用性や信頼性の評価は難しいと考えられる．1回の再提出での採録は難しいと考えられるため，返戻したい．

●記述が不明で判定困難

いずれの査読者も，論文としての書き方に問題があり，論理的に要旨が捉えにくく，また，妥当な実験や分析が行われているかどうかを判定することが困難で，三つの知見が得られたことを客観的に導くために妥当な実験を行われたとはいえない，と報告している．また，内容的にも不明な点が多く見受けられ，修正も容易ではないと判断したので返戻としたい．

3.4.3　記述不足

●記述不足（比較検討実験の不足）

査読者が指摘しているとおり，記述の足りない点が多く，あと1回で採録に到達できるだけの適切な採録条件を設定することは難しいように感じる．また比較検討実験が大きく不足しており，その観点からも1回の再提出で採録に到達することは難しいと考える．研究自体は興味深い内容があるため，いったん返戻して再検討と再実験をいただき，論文全般にわたって再執筆していただいたほうが著者の利益になると考える．再投稿を期待している．

●学術的情報の欠如

本論文で提案しているシステム内で用いられているモデルの詳細なパラメータが示されておらず，システムの単なる紹介，言い換えればカタログ程度の情報しか与えられていない．すなわち学術論文としての最低限の情報すら与えられていない．よって本論文は返戻とすることが適当であると判断する．

3.4.4　文章構成

●論文の文章構成が難解

論文の文章，構成，内容ともに難解であり用語の誤用，記号の誤用，乱暴な仮定の設定，参考文献の引用不足，先行研究との比較不足など，読者にとって有用な論文とは認めがたく，論文の水準に達していない．返戻理由であげる項目をクリアしたとしても，次なる疑問が出てくることが必至であり，1回の再提出で完全な論文となる保証がまったく認められないため返戻と判断する．

●複数の内容の記述

本論文では，2件の関連のない検討項目が合わせて記

述されており，固有の問題点の指摘とその解決法の提示という形式になっていない．本来ショートペーパー 2 件に分離すべきであると考えられるため，返戻としたい．

4. ま と め

筆者は，ビジュアルコンピューティング研究委員会委員長などを経験するなかで，特集号の編集委員長も務めた．編集活動のなかで多くの査読者が有益なコメントを書いているが，これらが公開されずに埋もれてしまっていることを残念に思っていた．これらのコメントを広く公開すれば，本学会へ投稿される論文の質を高めることができるのではないかと考えた．

そのために本稿では，学術論文を執筆するときに参考となるように，学術論文の査読内容と具体的返戻理由について紹介した．38 編もの返戻を見ることは一般の研究者にはないことである．これらの返戻理由を参考にして，読者によい研究であることをうまく伝えることができる論文を書いていただくことを期待する．多くの有益な実験結果を得ているにもかかわらず，論文のまとめ方によっては，本稿で示論文として公開されないこともある．査読者の意見を参考に修正をして再度投稿することも重要なプロセスと思っている．本稿が，研究内容をよりよく理解してもらえる学術論文の書き方の参考になり，本学会誌に多くの優れた学術論文が掲載されることにつながれば幸いである．

最後に本稿で取り上げた「返戻理由」をまとめていただいた査読者の方々，編集委員，Visual Computing 研究会の幹事の皆様，更に本稿に対して数々のご助言をいただいた編集委員会委員長小野文孝先生に深く感謝する．

近藤邦雄（正会員）

1973 年，名古屋工業大学卒．1989 年，工学博士(東京大学)．名古屋大学，東京工芸大学，埼玉大学を経て，現在に至る．コンピュータグラフィックス，コンテンツ工学等の研究に従事．画像電子学会元副会長，VC 研究委員会委員長．

6. 巻頭言，随想

私が所属している画像電子学会、日本図学会、芸術科学会、映像情報メディア学会で執筆した随想、巻頭言などを掲載しました。

1. 近藤邦雄,随想：人をつなぐメディアコンピューティング，画像電子学会，画像電子学会誌，201
2. 近藤邦雄，随想：メディアの世紀に生きる，画像電子学会創立45周年記念 随想特集号, Vol.49.No.1, 2018.1
3. 近藤邦雄, 250号記念特集随想”地球に生きる”，画像電子学会誌、第48巻、4号, 2019.10
4. 近藤邦雄，図学会への感謝と今後の展開,日本図学会,図学研究,第39巻，第1号,通巻107号 ,pp.1-2,2005
5. 近藤邦雄,「仮想空間と現実空間」のモデリング，日本図学会,図学研究,46(3),2011.9
6. 近藤邦雄，巻頭言：世界に目を向けよう，日本図学会,図学研究，2017.1
7. 近藤邦雄,芸術科学会の現状と今後の展望， 芸術科学会誌, DiVA (25,26号), pp.17-20,2010.11
8. 近藤邦雄、学会の連携とメディア学の役割、映像情報メディア学会誌「フォーカス」、2014.11

The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan Vol.42 No.4 (2013)

IIEEJ 随想

人をつなぐメディアコンピューティング

近藤 邦雄（会長，東京工科大学　教授）

Media Computing for Human Communication

Kunio KONDO（President of IIEEJ, Professor, Tokyo University of Technology）

本学会設立 40 周年を迎えて，2012 年度は松本会長のリードのもとに学会の未来を考える一年でした．本学会の設立当時は，画像電送・ファクシミリを主たるターゲットとして，画像技術と通信の研究分野を扱ってきました．インターネットの普及，ファクシミリ技術の確立などから，現在の学会のターゲットはその先にある画像伝送・符号化技術・画像入出力機器などを扱う Visual Communications and Devices，コンピュータグラフィックスやイメージメディアなどを扱う Visual Computing，人の機能や感覚を拡張する Augmented Human，安全安心な生活のためのセキュリティなど人の生活に密着した技術分野へと拡がってきています．よりよい人間社会にするために，これらの研究や開発を進めることが学会の使命であると考えています．本文では知識の創造，蓄積，伝達，およびコミュニティという視点から，将来の学会活動に必要なことについて述べます．

1. 学問の創造

学会活動の大きな役割のひとつが，新しい学問を研究活動によって生み出すことです．　大学の役割と企業の役割は一般的には少し違うように思われていますが，企業における研究も大学における研究も新しい知見を提案することは，学問，知識の創造という点から同じと考えています．そのため，学会活動には大学や産業界の研究者や技術者の方々と一緒になって議論する年次大会や研究会の場があります．本学会では，今後，画像と通信の技術や人を含めた環境を考えたうえでの技術を踏まえた総合的な分野をより深く追求・創造するとともに，今まで学会が得意としてきた標準化活動を通じて，世界的な貢献をすることを目指していきます．

2. 研究成果の蓄積と伝達

学会論文誌の電子化が実現できたことから，インターネットに接続すれば，だれでも容易に論文が閲覧できるようになりました．紙媒体の論文誌の良さは捨てがたいものですが，電子化したことによるメリットも大きいです．例えば，紙媒体では拡大できない文字もデジタル化されている場合は容易ですし，所望の論文や用語を検索することも格段に効率化されます．このような有用な電子化した多くの研究成果を蓄積していくことが学会の大きな役割といえます．さらにこれらの成果を会員に伝達するという役割が学会には必要です．それがセミナーや解説記事であり，会員に現在必要なことを整理して解説をする場となっています．情報伝達の場は学会が提供しますので，会員の方々には積極的にセミナーなどに参加していただきたいと思います．

また，学会活動の伝達手段としては，ホームページに加えて，速報的な広報のための Twitter，仲間を増やす Facebook の活用を進めています．学会活動をより迅速に把握するために，これらの利用・活用をぜひお願いします．

3. コミュニティの拡大：

本学会の会員には個人で入会する正会員や学生会員と企業にお願いしている賛助会員などがあります．学会活動の基本は人のつながりであると考えていますので，このような会員の集まるコミュニティを拡大していくことが大切であると考えています．もちろん特定の興味に合わせて研究会というコミュニティをつくることもあります．このような仲間とつながり，新たなコミュニティを作っていくための手段として，上述したように Facebook と Twitter を昨年から活用しています．会員でない方が本学会の活動を知ることができるというようなメリットがあるだけでなく，英語版 Facebook では IEVC などでの交流を通じて海外の研究者との連携の輪が広がっています．会員の方には，Facebook を活用していただき，さらにコミュニティを拡大していただきたいと考えています．

また，学会の研究分野が拡大するとともに，産業界の関心も多様になり，多くの賛助会員の支援を受けることが学会活動にとって重要ですので，組織のつながりという面からもコミュニティをの拡大に努めたいと考えています．

今年度は，学問の創造，研究成果の蓄積と伝達，コミュニティの拡大を重点的に進め，本学会の活動が会員の皆さんにとって，大切な位置づけになるとともに，いつでも参加していただけるような活動を心がけたいと考えています．

The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan Vol.47 No.1 (2018)

IIEEJ 随想 — 創立 45 周年記念特集 —

メディアの世紀に生きる

近藤 邦雄（名誉会員，東京工科大学メディア学部　教授）

Live in the Media Century

Kunio KONDO（Honorary Member; Professor, Tokyo University of Technology.）

画像電子学会と私，そしてメディア：私は，画像電子学会会長，芸術科学会会長，ADADA 会長，情報処理学会研究会主査，日本図学会副会長などを歴任し学会の運営を行ってきた [1]．これらの学会は，それぞれ工学分野，情報分野，アートアンドデザイン分野などを主な領域にしている．現在私が所属するメディア学部は，これらすべての学会の研究領域と強い関連がある．そのために，これらのどれかの学会に所属し学会運営に取り組んでいる教員も多い．言い換えればメディア学部には色々な分野の研究者が所属しており，他分野の研究者と共同研究ができるという特徴がある．また，私の本学会への入会は，Visual Computing 研究会への参加が契機である．この点からいえば，すでにこの時期に画像電子学会は，CG 技術にも研究領域を広げていたといえる．この研究会での活動のきっかけは 1970 年代から取り組んできた「画像の理解と表現」である [2]．これは，今から見ると「メディア」の研究そのものであった．

今までの画像電子学会と情報社会：画像電子学会の設立当時は FAX 技術研究を主な領域にしてきた．ファクシミリ（FAX）の役割とは文字だけではなく，画像も一緒に遠く離れた相手に早く正確に伝えることである．送り手と受け手はいるものの，**図 1** に示すように FAX の関連技術では FAX と FAX 間の通信をより高度にするための技術が大きな研究課題であった．このようにこれまでの情報社会は，より正確な情報をより効率的に活用する利便性追求社会を目標としてきたといえる．この通信技術は主に工学系の学部で研究が進み，インターネット技術によって，大きな変化があった．FAX に関してもインターネット活用に置き換わってきており，画像電子学会に所属する研究者の研究テーマも変化し，FAX にとらわれず広く画像に関係する技術を扱うようになってきた．

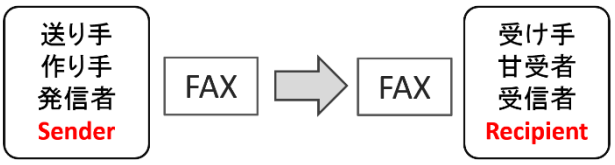


図 1　FAX による情報通信

メディア社会への展開：メディアの基本概念 [3] は**図 2** に示すように，送り手と受け手が主であり，それを送るためのコンテンツ，コンテナ，コンベアにいろいろな研究課題がある．メディアは人を含めたコミュニケーションを扱うといってもよい．これからの時代は，情報社会から発展したメディアの時代である．このことは 2013 年に私が本学会の会長としてメディア社会への展開を見越して，随想「人をつなぐメディアコンピューティング」を執筆したときから明確な目標として意識していたことである [1]．これは，年次大会の「Media Computing」の更なる発展を期待した内容である．メディア社会は，メディアを活かして豊かで多彩な生活や社会活動の実現を目指しており，個性重視社会、人に優しい社会といえる．情報社会から文化や生活を大切にするメディア社会への大きな転換のために，文系・理系・芸術系を融合した教育を行う必要がある．

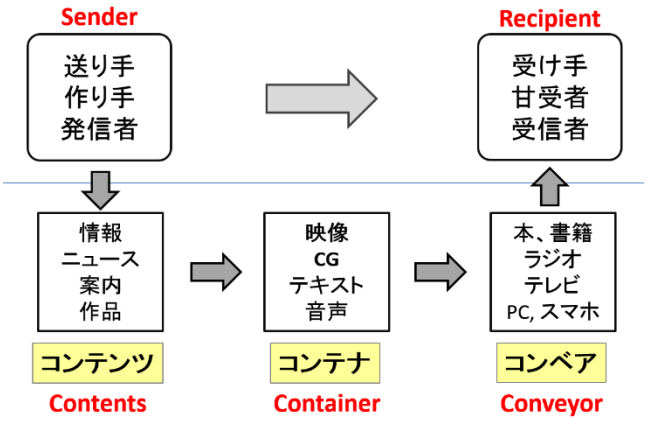


図 2　メディアの基本的な考え方

画像電子学会への期待：画像電子学会の Web には「画像・視覚のみならず、人間の全感覚を網羅した総合技術を対象とする学会 [4]」を目指していると書かれている．画像電子学会や我々研究者がメディアの世紀に生きるために，図 2 に示す各分野に「メディア」の視点を十分に取り入れて研究を推進し世界に発信していくことが望まれる．

1)　近藤邦雄：“随想－人をつなぐメディアコンピューティング”，画像電子学会誌，第 42 巻 第 4 号，p.419 (2013)．
2)　近藤邦雄，相川清明，竹島由里子，視聴覚メディア ，メディア学大系 第 15 巻，コロナ社 (2017)．
3)　飯田仁，近藤邦雄，稲葉竹俊，メディア学入門，メディア学大系 第 1 巻，コロナ社 (2013)．
4)　画像電子学会 Web ページ「活動内容」 2017，https://www.iieej.org/about/activities/ (2017)

The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan Vol.48 No.4 （2019）

IIEEJ 随想 — 250 号記念特集 —

地球に生きる

近藤 邦雄（名誉会員，東京工科大学メディア学部　教授）

Live in the Beautiful Earth

Kunio KONDO（Honorary Member; Professor, Tokyo University of Technology）

IEVC2019 に参加する機会にインドネシアのいくつかの提携校を訪問することにしました．今回は最終的にスラバヤ（Surabaya），バンドン（Bandung），スマラン（Semarang）の 3 都市で合計 5 大学を訪問することになりました．「最終的に」というのは，当初は，3 大学で先生方にご挨拶をする程度を予定していたからです．

スラバヤでは，IEVC 開催にも協力していただいたスラバヤ工科大学（ITS），スラバヤ市内にある iSTTS （Institut Sains Terapan dan Teknologi Surabaya）から講義の依頼があり，この 2 つの大学では，大学の紹介，提携活動の紹介，さらに研究紹介という内容で講義の計画をしました．講義時間も 60 分から 90 分程度で質疑応答も行うということでした．ITS はインドネシアの色々な大学ランキングで常にベスト 5 に入っており，ランキングの種類によっては 2 位とか 3 位になる中心的な大学です．このスラバヤでの講演を終えたあと，バリ島に行き，IEVC に参加しました．そして次に，インドネシアでは No.1 の大学であるバンドン工科大学に行きました．ここでは，昨年参加した Game Workshop の時に行われていたゲームに関するイベント ID.GAGA が今年も丁度私が訪問を希望している時に開催されるということで，その Keynote Speech を頼まれました．引き受けた後に，内容に関する連絡があり，日本における Intellectual Property について紹介してもらえないかということでした．特に Game に関するイベントですから，「Intellectual Property Creation about Game in Japan」というタイトルで講演することにしました．Intellectual Property に関係した産学連携の作品や研究などに関し多くの方から情報を提供いただき，内容をまとめることができました．

また，同じくバンドンにある Telkom 大学（2019 年私立大学 No.1）からも講義依頼があり，昨年訪問して見学させていただいたこともあったので，お引き受けすることにしました．内容に関しては，Academic Writing について説明してほしい，研究論文をたくさん書いた経験も紹介してほしいとの要望をいただきました．これも手持ちの講義資料などはなく，夏休みを使って用意することになり，「Implementation Academic Writing for International Journals」という表題で，投稿論文の構成をきちんとすることについて解説をすることにしました．その資料を作る際に，ELSEVIER の「How to write a Great Paper and Get it Accepted by a Good Journal」というプレゼン資料を見つけ，講義の一部に取り入れることにしました．演習も含む 90 分を超える講義は無事終わり，演習課題の提出物まで日本に持ち帰ることになりました．

最後の訪問地であるスマランでは，2013 年から交流がある UDINUS（Dian Nuswantoro University）の Convocation Graduation Ceremony（卒業式）で来賓挨拶をしました．これも私が訪問を希望した日程がたまたま卒業式であったためです．式に参加できるかと聞かれたので，参加すると返事をしたら，挨拶をして欲しいということになり，これも気軽に OK と返事したのですが，その後，時間を聞いてびっくり・・・何と 30 分ということでした．さすがに，最初から色々な条件をきちんと確かめておくべきだったと思いました．何もない状態ではなかなか 30 分は持ちません．ここまで来たら，やるしかないぞとばかりに，研究発表で利用するようなスライドを使えるかを聞いてみました．日本の卒業式では挨拶にスライドを使っているのを見たことがないので，少し心配でしたが，使って OK という返事がすぐに来て安心しました．挨拶では，「Mandela said, Education is the most powerful way to change the world. 」という言葉を紹介し，教育は大事であることを確認しつつ，それだけでは不十分で，学生らの「学び」が大切で，それがあなた方を変えていくことになると伝えました．大学という教育の環境やカリキュラムだけがあればいいのではなく，主体的に学ぶことが何より大切な時代です．日本でもリカレント教育があるように，大学時代の知識だけで一生を過ごすことはできません．必要性を感じたら自ら学ぶことが第一です．そして最後に 1．世界中に多くの友達を作ること，2．自分の可能性を信じて，自分の道を切り開くこと，3．友達と平和で安全な世界を作ることをメッセージとしました．

このように日本を離れてみると，色々な立場の違い，考え方の違いがあることがわかります．画像電子学会も日本の学会という閉じた形態で活動するのではなく，IEVC の活動を中心に国際学会として，世界から会員を集めてもいいのではないかという気がしてきました．「日本で生きる」時代ではなく，地球で生きていく時代であるからです．日本の中をみるだけでなく，他の国や人々のこともよく理解した学会活動が大切であると考えます．

巻頭言　　MESSAGE

図学会への感謝と今後の展開

近藤 邦雄　*Kunio KONDO*

私が図学および図学会とかかわりを持つようになってすでに30年になる．今，図学会で活動していると大学時代に学んだ図学は，機械設計・製図の基礎としての図学であり，本来の「図学」の一部分であったことが理解できる．私は図学会の活動を通じて，「図学」の学問領域の広さを実感している．しかし，図学会は会員のほとんどが大学教員であり，世の中の「図学」に対する認識は低く，産業界の研究者や技術者の会員も少ない．世の中の多くの人に「図」に関する研究教育の重要性を知ってもらう必要があると感じている．本文では，愛すべき「図学」と図学会の発展のために，日ごろ感じていること，考えていることを書き綴ってみたい．

基礎学問のひとつ

語学，数学は人間生活に重要な役割を果たしている．世の中に，言葉や数を扱うことがとても多いからである．世の中で目にするものには，「図」，「形」がある．図は子供のころから描いているので，わざわざ学習する必要がないと思われているのか小学校でも国語や算数に比べて学習時間が少ないようである．算数のなかにも図に関することがあるが，以前に比べて学習時間が少なくなってきているということを聞いたりする．

「語学，数学，図学」は知識を処理して伝達するという人間が生活するうえで必要な３つの基礎学問といえる．特に図は伝えたいことを容易に伝達できるメディアであり，「百聞は一見にしかず」などということわざがあるように，極めて日常生活でも有効な学問である．

このため情報伝達に有用な「図」の描き方，見方について教育を行うことが望まれる．自分の考えを図に示して相手に伝えることは大切であるが，これらを教育する重要性は理解されていない．企業においても，学校においても自分の考えをまとめて図で示すことは，必要な能力である．大学における論文作成においても，内容をうまく伝える説明図を正しく理解しやすく書くことが望まれる．このような能力を養成するための「図」に関する教育は，現代社会においては必要不可欠といえる．「図」のない世の中で生きていくことは我々には不可能であるということは明らかなことである．だからこそ，図に関する研究と教育を一段と活発にしていくことが必要である．

図学の学問体系

「図法幾何学」はものつくりのための学問として位置づけられ，工学系の学科で教育が行われてきた．

これに対して，「図学」はもっと広い学問領域を持っている．図学会で編集した図形科学ハンドブックをみると，「図学」は図法幾何学だけではないことが理解できる．現在の図学会で扱っている学問領域は図形科学ハンドブックを超えている．図学教育研究会で分析整理した図学教育カリキュラムは，機械系，建築土木系，造形デザイン系，情報系などの専門分野の違いからまとめられている．また教養基礎科目としての図学の内容も整理されてきている．

たとえば，機械系では従来の手描きの図法幾何学だけでなく，コンピュータを利用したCG，形状モデリング，CADなどが取り扱われている．建築土木系では，主に設計図を描くための製図のほかに透視図，建築構造の形状処理が扱われている．造形デザイン分野ではデザイン基礎として平面図形の描画から立体図形の表現，さらには投影図，透視図などが多く扱われている．これらのほかに数々の項目が挙げられており，研究分野と教育内容の拡大が見られる．

今までの研究内容や教育内容を見直して，新たな時代にむけて学問体系と教育カリキュラムを図学会が構築して広く世の中に示していくことが望まれる．

図学会の活動

学問・会員の発展，および図学を一般に知ってもらうためになにをすればよいかについて述べたい．

⑴　図学の学問体系の構築

図学の学問体系が明確になれば，それらの内容を扱っている多くの研究者や教育者が集まるような研究会が企画できる．図学会大会の研究発表や図学研究への投稿論文のキーワードを見ると，学会で注目されている学問分野の変化が見て取れる．将来の図学会を考える上で新たな会員を増やす上でも学会が扱っている広い研究分野を明らかにしておかなければいけない．

⑵　図学研究への新たな論文投稿

図学研究に投稿する研究論文も，新たな分野を明確にしてテーマを決めて集めることによって，会員へも新たな研究分野を知らせることが可能である．このような活動を通じて，図学会の拡大の方向を示すことができる．ぜひ多くの会員が自らの研究論文を投稿していくことが図学の発展につながるものと信じている．

⑶　若手の研究者，教育者の育成

図学会の活動を通じて，若手の図学研究者を増やしていく必要がある．そのために大学の研究室における学生の研究を図学会で発表してもらって若手の人材の交流を進めていくことが大切である．これによって，従来の「図法幾何学」だけでなく，新たな「図学」の学問分野の教育を受けた会員が増えることとなる．また図学教育研究会を活発に行うことによって，若手教育者と経験豊富な教員の交流を進め，よりよい図学教育を実現していくことが期待できる．

⑷　図学アーカイブの充実

インターネット時代における図学会の活動には，会員へのサービス以外に一般への「図学」普及があげられる．図に関するさまざまな情報をまとめて，一般の方にもわかりやすく紹介していくことが重要な学会活動である．これによって将来の「図学」の理解者を増やしていくことが期待できる．

図学会への感謝

図学会はどちらかといえば，小規模の学会であり，事務局を取りまとめていただいている東京大学の先生方，遠方から理事会などに出席される先生方，図学会の顔である図学研究を編集している編集委員の先生方のボランティア活動で支えられている．私も関東に住むようになってから，毎月１度は学会の委員会や理事会に参加するようになった．これらに参加することを楽しみにもしてきた．多くの先輩に支えられてこれらの学会活動をしてきたことによって，私自身は多くの知らなかったことを学んできた．感謝の気持ちでいっぱいである．私も先輩から教えていただいたことに感謝しつつ，多くの先輩や後輩とともに楽しく語り合い，新たな図学会の歴史を築いていきたいと考えている．

こんどう　くにお
埼玉大学工学部情報システム工学科

巻頭言　　MESSAGE

「仮想空間と現実空間」のモデリング

近藤 邦雄　*Kunio KONDO*

仮想世界と現実世界

コンピュータグラフィックスによるさまざまなデジタル映像には，3次元空間を表すモデルが利用される．この3次元空間は，コンピュータ内部で作られるので，「仮想空間」といえる．現在のデジタル映像は仮想空間を利用するだけではなく，「現実空間」を利用して，一つの作品にすることも多くなった．そのため，デジタル映像は「仮想空間」内だけで作られるとはいえなくなった．

また，VR技術は，仮想空間で仮想物体を3次元的に理解するために使われている．実写映像であれば，現実空間の理解をその場でなくても観察ができるなどのメリットがある．仮想空間内の対象に対して対話的に作用したりすることができるという特徴がある．さらに技術が発展し，AR（拡張現実）の技術が普及してきた．現実空間にさまざまな情報を付加することによって，現実空間をより拡張していくことができる．仮想世界と現実世界がどんどんと融合して拡大してきている．

現実世界における仮想世界の利用

一方，機械設計，建築設計の最終的な成果は，現実に存在する．このような分野は常に現実世界に存在する対象物を相手にしている．この現実世界における対象を制作するために，設計図面がある．この図面は紙という現実世界のものを利用することも多いが，コンピュータ支援設計などによって，仮想空間内で作成されることも多くなった．現実世界を構築していくための仮想空間の利用である．

機械や建築分野ではこのような設計による「図」の活用は当たり前であり，それを利用して「ものつくり」が行われてきた．CADの発展もこのような流れの中で展開してきた．これに対して，コンピュータグラフィックスの分野では，初期から映像が中心であり，その「表現」技術に注目が集まっており，現実空間への活用に対する視点はあまりなかった．

しかし，最近は，CG研究者らも映像への応用だけでなく，現実世界の対象物の制作にも注目しており，折り紙，ペーパークラフト，ぬいぐるみ，ビーズデザイン，椅子など日用品などの製品デザインへの展開も進んできている．

ラピッドプロトタイピング技術の広がり

紫外線で硬化する樹脂を使って，コンピュータ内部の3次元モデルを，現実のモデルにすることができるラピッドプロトタイピング技術が1990年頃にはすでに確立されており，医学分野や工業分野では利用され始めていた．すでに20年が過ぎている．この数年で一段とこの技術は普及し，日用品のデザイン評価やフィギャ制作などにも利用されるようになった．

この技術は，3次元モデルの制作が高速にできるとかNC加工に比べて清潔であるとかの特徴を持っていたが，これらは実際に制作してみると，期待ほどではな

かった．大きな対象物は夜中の間に連続運転して朝に制作がやっと終わるという状況であった．清潔という点も確かに良い面はあったが，加工後に余分な部分を取り除くために，掃除機のような機器を利用したり，薬品を利用して洗い落としたりすることを手作業で行ったりすることもあった．私の今までの経験からいえば，この技術の一番の有用性は，NC 加工できないような形状の制作や複数の部品の一括制作である．

最近は，光硬化樹脂などのようにプロトタイプのための材料ではなく，加工後にそのまま製品として使えるような素材も使えるようになってきている．また，安価な機器も発売されてきており，注目されている技術の一つといえる．

図学会におけるデジタルモデリングと今後の活動

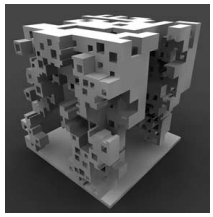
日本図学会の研究分野には，機械，建築，造形デザインなど，仮想空間ではなく現実の空間で利用する対象物，製品を制作する総合的，統合的な技術の提案が含まれている．簡易なラピッドプロトタイピング機器なども普及し始めており，３次元プリンターという名称も新聞やテレビで耳にするようになっている．今後，一段と「仮想世界」で制作したモデルを「現実世界」で評価することが行われるようになると考えられる．

本学会では，埼玉県における産学官連携によるデジタルモデリングコンテストの成果をもとに，2006年より本学会ではデジタルモデリングコンテストを実施している．埼玉県の活動は，町田氏と筆者が中心的に行ってきており，本学会でのコンテストの運営にも強くかかわってきた．そして㈱アルテックの協力も得て，コンテストで表彰されたモデルの制作を行ってきた．これらの表彰作品の一例を下記に示す．

第２回　最優秀賞
「shelling julia」
中山 雅紀

第２回　優秀賞
「三角柱をひねったガラガラ」
小柳　久佐

第３回　最優秀賞
「立体カムとローラフォロアの相対運動による包絡面」
香取 英男
佐久田 博司



第３回　最優秀賞
「Design By Box」
安藤 直見
柴田 晃宏

この制作された「仮想モデル」,「実体モデル」の評価は，コンテストにおいて難しい課題である．昨年，審査の取りまとめを担当した西井氏はこのモデリングの評価方法のより良い手法の提案を本学会で行うことが重要であると指摘している．図学会のさまざまな活動において，実体モデルの制作，つまり仮想空間のモデリング手法を生かした「デザイン，設計」に関する議論を深めることが，次世代の新しい設計，デザイン手法の確立につながると考えている．

こんどう　くにお
東京工科大学　教授
名古屋大学，東京工芸大学，埼玉大学を経て，現職．
コンピュータグラフィックス，インタラクティブモデリング，アニメやゲーム制作のためのコンテンツ工学を研究

巻頭言　　MESSAGE

「世界に目を向けよう」

近藤 邦雄　*Kunio KONDO*

日本図学会は2017年に創立50周年を迎えます．私と図学会との関係は1978年に当時職場であった名古屋大学で図学会大会が開催され研究発表したときから続いています．その当時，会員は300名程度だったと記憶しています．今もほとんど会員数は変わらず少しずつ入れ替わりながらさまざまな活動を展開しています．その間に大学改革で教養部が廃止され，そこに所属していた多くの図学教室がなくなったり，図学という科目が廃止されたりしてきました．しかし，コンピュータグラフィックスや情報工学などの発展により，図の学問も大きく広がりを見せてきました．図学会の研究領域である機械や建築分野では，Computer Aided Designも大きく展開しています．このCADの研究に大きな貢献があった穂坂衛先生が2016年10月に逝去されました．私が名古屋大学図学教室で技術補佐員として働きながら，コンピュータ図学を研究教育していた田嶋太郎先生と交流する機会に，穂坂先生から大変多くのことを学ぶことができました．

私が穂坂先生から学んだ一つの言葉が「世界に目を向けよう」です．2014年暮れにお会いした時に「人生で大きな影響を受けた人」として3名の話をしていただきました．そのうち図学に大きく関係するBézier氏とF. Hohenberg氏に関係したエピソードを紹介します．

穂坂先生はBézierの複雑な式をシフトオペレータによって単純な式にまとめています．その式のことをBézier氏に手紙を書いたところ，フランスでいろいろなことを話すことができたということです．自分がBézier理論を調べて，関心のある部分や知りたいところをきちんと書くことがBézier氏に会えることにつながったと伺いました．現在のようにインターネットを利用したメールで早く連絡が取れる時代においても，「きちんと書く」ことが大切であるとその時思いました．私は穂坂先生からBézier曲線を教えていただきました．1970年代に直接このような先端的なことを学ぶことができて幸せでした．1975年に曲線の設計という解説を田嶋先生とともに執筆しました．これが私の初めての解説記事でした．

F. Hohenberg氏は，「技術における構成幾何学」を出版しており，増田祥三先生が日本語訳を担当しています．この本の図は大変きれいに書かれており，わかりやすくするための工夫も多くあります．今でもいろいろな分野で大いに参考になるといわれ，ホーエンベルグに手紙を出して，グラーツを訪問したとのことでした．今年の春季大会において，名誉会員となった木村文彦先生もこの書籍のことを紹介されていました．私も図学教室に勤務していたので，この書籍はよく見ていましたが，著者に会うために手紙を書くなどということは思ってもみませんでした．1980年代にコンピュータグラフィックスが発展してきたときでも，まだこの書籍の中の美しい図は描くことができないと指摘されていました．また，少し図学会会員にとっては耳が痛いですが，穂坂先生から，このような美しい図が掲載されている図学の書籍を知らないので，ぜ

ひ追い越すような努力をしてほしいということを言われました.

私はその後もCGの研究を続けて，1985年にニースで行われたEUROGRAPHICSで研究発表をする機会を得ました．このとき，英語で初めて発表するにもかかわらず，私が一人で参加するので，穂坂先生はわざわざ参加されました．また急速に発展していたコンピュータグラフィックス分野の標準化にも多大な貢献をされており，日本の世界に対する貢献をもっとするべきであると強く主張されていました．穂坂先生の研究生活，研究に対するエピソードは，「世界に目を向けよう」ということから来ているといえます.

私はこのようなお話を伺い，研究生活を続けることができ，日本図学会が関係している国際会議であるInternational Conference on Geometry and Graphics（ICGG）やAsian Forum on Graphic Science (AFGS)に参加してきました．これは，世界に目を向けるいい機会でした．ICGGで招待講演したことがきっかけで，ミラノ工科大学の150周年記念シンポジウムに招待され交流を深めることができました．2018年にはミラノ工科大学でICGGを開催することが決まっています．今からたいへん楽しみです．またAFGSの前進である日中図学教育研究会に参加することによって，中国各地を訪問でき，中国の留学生と話をするたびに，私が訪問した都市を紹介するとその多さに驚きます．この結果，すぐに打ち解けて研究活動がスムースに進むことも多いです．2017に東京で行うAFGSやADMCを開催するために，アジアの国々の研究者の方との協力を得て，今まで以上の友好関係を確立していくことが望まれます.

これからの研究者は，世界の人たちに研究成果を理解してもらうために，英語で研究論文を書くことが一層重要であると思います．International Society for Geometry and Graphics (ISGG)が発行しているJGG（Journal for Geometry and Graphics）はScopusに登録されております．アジア諸国の大学教員の昇進において，このような国際的に登録された論文誌が高い評価を得るということですから，JGGは重要な役割を果たしているといえます．JGGと本学会誌「図学研究」との連携はもちろんのこと，図学に関係する研究分野の拡大のために図学会との深い関連学会との連携も大切なことと考えています.

また，アジア諸国では大学間連携を積極的に行っており，dual degreeやdouble degreeの制度によって，英語力アップとともに国際的な視野を持つ人材の育成を進めています．本学メディア学部では，数年前にアジア人財プロジェクトにより，アジアの国のトップクラスの大学から留学生を受け入れることができました．彼らを指導する中で，学生はもちろん教員も国際的な感覚というか，地球人としての付き合い方を考えるようになりました．生まれた場所が異なるだけで，人として付き合うことが大切であると思うようになりました．学会活動をさらに工夫して，世界の人々とたくさん話をして仲間を作り，研究交流をさらに活発にしていくために今まで以上の活動をしたいと思います.

こんどう くにお
東京工科大学メディア学部　教授，工学博士
研究分野：コンピュータグラフィックス，コンテンツ工学
日本図学会副会長，情報処理学会グラフィックスとCAD研究会主査，画像電子学会会長，芸術科学会会長を歴任，現在，ADADA International会長
メール：kondo@stf.teu.ac.jp

D i V A

芸術科学会の現状と今後の展望

東京工科大学メディア学部教授
芸術科学会会長

近藤邦雄

1. はじめに

2010 年 6 月より本会の会長となり、芸術科学の広がりを強く実感しております。その好例のひとつが東北支部の設立です。2011 年 5 月の総会において、東北支部の設立の提案をいたしましたところ、岩手大学千葉則茂先生を中心として、今までの活動母体をもとに東北支部として活動を開始するとの返事をいただきました。支部設立準備は理事会でも承認され、支部規約もインターネットを最大限に活用して 10 月 1 日には設立総会を迎えることができました。この総会において、筆者が記念講演を行うことになり、本学会の 10 年を超える活動を振り返る良いきっかけになりました。

本文は、その時に整理したことをまずまとめて述べることとします。そして、中嶋会長、西原会長のもとで精力的に行ってきましたさまざまな活動の新たな展開と今後本会が実施するべき重要な項目を説明します。なお、本文の理解を深めるために、東北支部設立総会で使った講演資料（URL）[1]、および芸術科学会 Web ページを参考にしてください。

2. 芸術科学会の設立から現在までの主な活動

芸術科学会は 2000 年 10 月 20 日に設立されました。このときの発起人は 84 名であり、コンピュータグラフィクスや芸術に関心のある方々が集まりました。初代の会長には、東京工業大学中嶋正之教授が就任しました。設立から 2008 年度まで精力的にさまざまな研究発表会や論文集の発行などを行ってきました。

2.1　初代中嶋会長時代：2000 年設立から 2007 年度

(a) 研究発表活動

NICOGRAPH は、1985 年以来旧 (社) 日本コンピュータ・グラフィックス協会が実施してきました CG やマルチメディア分野の論文コンテストです。その後、(財) マルチメディアコンテンツ振興協会 (MMCA) を経て、2000 年より芸術科学会が主催することになりました。すでに 27 回となる伝統ある NICOGRAPH 論文コンテストを本会が継続して主催できることはたいへん光栄なことであります。NICOGRAPH 春季大会も 2002 年 3 月から開始され、2011 年 3 月の大会で第 10 回を迎えました。残念なことに、東北大震災で 3 月の実施はできず、6 月に NICOGRAPH International で特別セッションとして実施しました。これらの論文コンテストでは優秀な研究発表の表彰を行ってきました。さらに、NICOGRAPH International の開催も行って、隔年で国

内と海外で実施してきました。2002 年 5 月から実施して、すでに 10 回となっています。第 3, 5, 7, 9 回は、それぞれ台湾、韓国、タイ、シンガポールで開催しています。このほか、DiVA 展も開催し、作品展示、インタラクティブセッションなどにより、幅広い会員の活動の交流の場としてきました。

(b) 論文誌の発行

2002 年にインターネットを利用した論文誌の発行を開始しました。他の学会がまだ電子出版を検討する前からの実施であり、現在の他学会の電子出版への展開を見ていると、本会の先見性は際立っていると思います。若手の研究者が編集を中心的に行っており、本学会の研究分野の展開に大きな貢献をしています。論文賞などの表彰を実施し、芸術科学会論文誌の質の向上にも努めてきました。

2.2　第 2 代西原会長時代：2008 年設立から 2009 年度

(a) 研究発表活動

2008 年度から、西原清一筑波大学教授が会長に就任しました。NICOGRAPH 関係の研究会は継続して実施し、大きな成果を収めてきました。特に、2009 年には第 25 回となる NICOGRAPH 論文コンテストは記念大会として、200 名を超える参加者を迎えることができました。土佐副会長のとりまとめで、パネルディスカッション「芸術 _ コンピュータの可能性と未来」も実施し、本会の今後の活動へ有益な指針を得ることができました。さらにエンターテインメントコンピューティングの共催などを実施し、他分野との連携にも学会活動を広げてきました。

(b) 会員管理

西原会長は、会員管理などを充実することが本会の更なる発展には重要であるということから、会員管理システムを整備し、会費未納者に対して会員を継続するか否かを個別にあたるようなことを実施してきました。この成果から、現在ではほとんどの会員が会費納入しており、Web ページの入会システムも動き出してきたことから、入会も増えてきています。2011 年 9 月現在で 300 名を超えており、この 2 年半で 110 名を超える新入会員がいました。会員減少の課題を心配している学会が多い中、西原会長のリードにより、新しい活動を支える会員が増え続けております。これは、「芸術科学」が広い分野を扱うと同時に多くの研究者が関心を持つ分野であることを示しております。

2.3 2010 年度 ,2011 年度

近藤が会長に就任し、研究活動などを継続的に行いつつ、将来の学会運営のために、理事会はじめ役員の任期を定めました。これにより、理事の負担を軽減し、新たな研究者との連携を進めることができるようになることを期待しています。また、関西支部に続き、2011 年 10 月には東北支部を設立し、全国で芸術科学会の活動を活発にするきっかけを作りました。東北支部では、1 月に開催する支部大会のほか、4 回の研究会、アート & テクノロジー東北コンテストなどを実施します。

さらに、東京国際アニメフェアと同時開催ができなくなったことから、NICOGRAPH 春季大会を新たに「芸術フォーラム」として、映像情報メディア学会・画像電子学会が開催している映像フォーラムと同時開催することとしました。これをきっかけに、NICOGRAPH と NICOGRAPH International の開催時期や内容を見直し、長期的な計画で開催時期などを決めました。この結果、6 月ごろに　NICOGRAPH　International,10 月か 11 月ごろに NICOGRAPH を開催します。秋の NICOGRPH は従来「論文コンテスト」となっておりましたが、2012 年からは、NICOGRAPH を正式な名称とすることにしました。

3. 論文誌にみる芸術科学会の発展

3.1 巻頭言にみる論文誌の位置づけ

第 1 巻の巻頭言を執筆した伊藤委員はじめ、第 10 巻の三上委員までみると、ほとんどの方が巻頭言を執筆した当時 30 代から 40 代はじめと思われます。その巻頭言の言葉をみると、(1) 芸術と科学の融合研究領域のこと、(2) 査読に関係すること、(3) 学会論文誌に関することなどに分けてみることができます。私自身は、第 4 巻の巻頭言を書かれた菊池委員の「21 世紀はあらゆる意味で人間主体」という言葉が印象に残っています。記念講演資料 [1] だけでなく、巻頭言をこの機会にぜひ読んでください。学会の新しい方向が見えてくると思います。

3.2　論文誌にみる芸術科学のキーワードとサムネイル画像

記念講演にあたり、2002 年から発行されている論文のカバーシートに掲載されているキーワードを全部抜き出してみました。これをもとに、学会の研究分野を整理してみたいと思ったのです。文献 [1] にあるように結果的には並べただけの状態です。論文委員会にもお願いをしておりますが、本会の研究分野を新たにせいりするきっかけができたのではないかと思います。ただ、用語だけでは、研究分野もわかりにくいので、論文に掲載されているサムネイル画像を取り出して、分類してみました。科学分野、芸術分野、融合分野で区別して投稿されますが、ここでは、モデリング、レンダリング、NPR, イメージメディアと色、アニメーション、シミュレーション、可視化、映像コンテンツ制作、インタラクティブ技術とゲーム、メディアアートとエンタテインメント、デバイス関係、音楽・サウンド、ネット・Web・検索・デザインなどに分けてみました。見方によって、いろいろな分け方ができると思います。このようにしてみたときに、映像コンテンツ制作、インタラクティブ技術とゲーム、メディアアートとエンタテインメントなども論文が多いということが分かりました。芸術関係の研究論文は不要ではないかとの意見も聞くことがありますが、作品制作やそのための技術開発の成果は論文として公開していくことが大切であるということもわかります。

4. デジタルコンテンツ研究と融合領域研究の展望

現在は、情報社会からメディア社会へ移り変わろうという時代です。このような時代に、「コンテンツ」が大切な役割を果たすといえます。このコンテンツを制作するためには、芸術と科学の融合を主にしている本会の役割は大きいと考えます。今まで、CG 技術分野では、「なにをどう表現するか」が大切に扱われてきましたが、これからは、「誰のために」、「なにを」、「どういう機器で」、「どう表現するか」という視点で融合領域の研究を取り扱うことが必要と考えます。この考えは、1982 年に筆者らが執筆した「モダングラフィックス」[2] をまとめるときの「表現と理解」をもとになっています。CG で描くだけではなく、伝えるべき情報があること、その伝えたいことがきちんと伝わることが大切であるのです。改めて、融合領域を扱おうとした分野をみると、以下のような例がありました。

1.CG, 画像処理　:Visual Computing [3]
2. アート , メディア , 音 , 音楽　: メディアアート [4,5]
3.NPR, 可視化 , デザイン , 芸術　: 情報美学 [6]
4. ビジュアリゼーション , 認知　: 計算報道学 [7]
5. 錯視図形 , 認知 , 映像　: 計算錯覚学 [8]
6. 対話処理 ,CG, 音　:　ゲーム学 [9]
7.CG, コンテンツ制作手法　: コンテンツ工学 [10,11,12]

今まで扱ってきた領域を異なる視点で見つめなおすと、

新たな融合が生まれてくるのではないかと思います。本会で扱う領域が確立されていないということもあり、「融合」した領域が新たに生まれてくることと思います。

5. 芸術科学会の今後の活動

メディア社会における芸術と科学の融合のための研究領域を拡大し、芸術科学会の更なる発展のために、今後、以下の活動をしたいと考えています。

1. 芸術科学会の研究会の充実

NICOGRAPH の更なる充実、芸術科学フォーラム (映像フォーラムと同時開催)、そして、他学会との共催による「融合」領域の拡大を行います。

2. 論文誌の充実

サーベイ論文 (解説論文) による定期発行による研究動向の把握を図る。各分野の先端的な研究をしている研究者に依頼をして、各分野の研究動向を紹介します。

3. 芸術科学ハンドブックの出版

学問分野、研究分野の確立と普及を目指して、現状の芸術科学の領域を整理します。これにより会員、非会員をも含めた活動の大きな輪を形成します。

4. DiVA 連載記事をもとに書籍出版

芸術科学の普及、新たな融合分野の解説記事を積極的に執筆していただきます。これらを計画的に行うことによって、書籍の発行なども行います。このようなことを通じて芸術科学に関連する研究者の育成を図ります。

5. ソーシャルメディアを利用した学会の広報

Web を基盤に，Facebook,twitt er の計画的活用を進め、会員の交流の場を広げます。

参考文献：

1. 近藤邦雄：豊かなメディア社会を築く芸術と科学の融合：芸術科学会　東北支部設立総会記念講演、2011 年 10 月 1 日（http://art-science.org/archive/）

2. 近藤、田嶋 :「モダングラフィックス」 コロナ社 1982

3. 西田友是，近藤邦雄，藤代一成：監修 , ビジュアルコンピューティング－ 3 次元 CG による画像生成－ 東京電機大学出版局　:2006

4. 土佐尚子， カルチャラルコンピューティング　NTT 出版　2009

5. 中津良平， テクノロジーが変えるコミュニケーションの未来　オーム社　2010

6. マックス ベンゼ , Max Bense, 情報美学入門―基礎と応用　草深 幸司 勁草書房　1997

7. 藤代一成 , 計算報道学：次世代コンピュータ可視化への提言情報処理学会 GCAD 研究会 144 回　2011.9

8. 杉原厚吉， 計算錯覚学の構築　CEDEC 講演　2011

9. 新 清士 , ゲーム学の先行研究を押さえるための基礎文献「The Game Design Reader」［CEDEC 2006 ＃ 12］

10. 金子満， 映像コンテンツの作り方―コンテンツ工学の基礎　ボーンデジタル　2007

11. 金子満， シナリオライティングの黄金則 ー コンテンツを面白くする ー　ボーンデジタル　2008

12. 金子満　近藤邦雄， キャラクターメイキングの黄金則　ボーンデジタル　2010

学会の連携とメディア学の役割

近藤邦雄
東京工科大学　メディア学部　教授

2014年4月1日に日本画像学会，日本印刷学会，日本写真学会，および画像電子学会の4学会が「画像関連学会連合会」を設立いたしました．画像関連諸分野の学協会が集い，協力することにより，統合的な画像の取り扱いに立脚した画像技術の新たな展開に寄与する画像に関連する情報の発信と議論の場を提供することを目的にしています．また，2015年6月には本学会も一緒になり，5つの学会でThe 1st International Conference on Advanced Imaging (ICAI 2015)を開催します．そして，2013年3月から本学会映像表現＆コンピュータグラフィックス研究会，画像電子学会，芸術科学会が合同で映像表現・芸術科学フォーラムも開催しています．このような例からわかるように，共通の話題が複数の学会で扱われるようになり，一緒に活動することが望まれるようになってきました．

画像関連学会連合会を構成する学会は，もともとコピー機，印刷，写真，FAXなどの技術の研究開発を中心に行うために設立されました．本学会がテレビジョンをキーワードにして設立されたことと同様に高品質化，高性能化を目指して，多くの会員が集まってきました．そして現在，画像・映像関連の学会は，設立当時からの技術が成熟して，ディジタル化によって，共通の技術課題を扱うようになってきました．本学会名には，映像，情報，メディアのキーワードがあります．本学会がいくつかの学会の独立した学問分野をつなぐ役割を果たして，新しい学問分野を作ることによって，本来の目的である「人に情報を伝える」ための技術とコンテンツ制作手法が新たに確立できるのではないかと考えています．

ところで，本学会の名称変更があった1997年の2年後，1999年に東京工科大学にメディア学部が設立されて，今年で15年になります．21世紀が情報社会からメディア社会へ発展していくという世の中の流れを踏まえた決断といえます．メディア学部では，「メディア学を，人間の知能の仕組み，人間の外部環境への関わり方の仕組み，人間同士のコミュニケーションの仕組み，組織や社会システムを成り立たせ働かせている仕組み，地球規模で動く国際社会の仕組み，および，これらを成り立たせ，その骨組みとなる学問と捉え，情報通信技術を基礎として，人間の知的活動を支援するシステムを構築するとともに，新たなメディアの創出により新しい文化の創造に貢献すること」を目標としています．そして，現在メディアコンテンツをサービスとして社会に向けて発信できるような教育と研究をしています．本学会名称変更後に，国内の大学で，「メディア」という単語を利用した学部や学科が多数生まれており，現在は80を超えるくらいになっています．このことから，本学会が新しい学問である「メディア学」の構築に大きな役割を果たしてきたことがわかります．

学会の成り立ちの原点は，「その分野の好き者の集まり」と私は思っています．学会は，自らが取組んでいることを多くの仲間と議論して，より良い研究成果を得ることができる環境があります．今後，本学会が今までの伝統をもとに多くの学会と連携して，新しい道すじを切り開いていくことを期待しています．また，画像電子学会，芸術科学会で会長を経験してきたことを活かして，私自身が「メディア」として，多くの学会をつないで，それぞれの学会が会員にとって一層魅力的になるように今後もさまざまな活動を提案していきたいと考えています．

7. 研究グループ紹介記事

1, 近藤邦雄,金子満,三上浩司, クリエイティブラボ紹介, 画像電子学会誌,第 37 巻,第 2 号,pp157-159,2008

2. 近藤邦雄,太田高志,渡辺大地,三上浩司, ゲーム制作技術とインタラクティブコンテンツデザインの動向, 映像情報メディア学会,映像情報メディア学会誌,Vol. 68, No. 2, pp.121-124,2014.2

3. 近藤邦雄,三上浩司,柿本正憲,渡辺大地,菊池司,石川知一:東京工科大学メディア学部ディジタルコンテンツ制作技術研究グループ紹介, 画像ラボ, Vol. 26, No. 8, pp. 64-70, 2015.8

グループ紹介

片柳研究所クリエイティブ・ラボ

近藤邦雄(正会員)　金子　満　三上浩司

東京工科大学メディア学部

1. はじめに

東京工科大学片柳研究所クリエイティブ・ラボでは，ディジタル映像制作の研究や実証制作を行っている．

本文では，それらの中から映像コンテンツ制作に深く係わる，制作工程の分析と効率化，シナリオエンジン，ジオラマエンジン，キャラクタデザインエンジン，モーションエンジン，4K デジタル映像について紹介する．

2. 研究紹介

2.1 制作工程の分析と効率化

本研究の目的は，多様な映像コンテンツを分析して構成要素を抽出し，その制作過程の重複や，無駄な工程や作業の存在を検証し，ディジタル技術を利用することによって，新しい制作工程とその管理技術を確立することである．このために，各制作工程で行われる作業や内容を記述できる，XML ベースの共通言語，IPML (Integrated Production Mark-up Language) を提案した．これを用いて制作工程に基づくコンテンツ制作を実際に行い，新しい工程の有効性を分析するために実証実験を行っている．実証作品は「千夜一夜物語」,「ジーペン」,「Skykids Booby」,「ヨーカイ」など，アニメーションと実写映像コンテンツを含む，広範囲なコンテンツである．

2.2 シナリオエンジン

シナリオとは，映画の創成期に，製作の効率化のためフランスの製作者が開発した文書がその始まりであり，次第に現在の形に進化したものである．我々はシナリオが文芸作品ではなく，映像コンテンツ制作の土台となる重要な中間生成物であると認識している．本研究では，シナリオに書かれた各種のリテラル情報をディジタル化することによって，下流工程で，シナリオ情報を有効に利用する方法を開発することを目的としている．これによって，これまでシナリオを書いたことのない人がシナリオを作成することや，コンテンツの良し悪しを判断する立場にある人が，シナリオ段階でその判断を下せるようにすることが可能となる．

本研究では，(1) シナリオをアイデア，プロット，基礎資料作成，フルプロット，準備稿，決定稿に至るまでの作成工程を構造化手法，(2) ユーザが独自のディジタルスクラップブック構成手法，(3) 三部構成，ロット構成，ポイント設定，リマインダー設定など，工程内で使用する技術を利用するための，テンプレートを構築してきた．本研究の評価のために，東京工科大学大学院の「ディジタルストーリテリング」講義において，シナリオ作成の経験のない大学院生を中心に，シナリオ作成の実証実験を行った．実証制作実験参加者から，テンプレートの有効性が高く評価された．

2.3 ジオラマエンジン

映像コンテンツ制作の諸工程で，最もクリエイティブな能力を要求され，経験を必要とされるのは，ディレクターが行う演出作業といわれている．本研究は，ディジタル化には最も不適であるとされている演出作業を分析し，コンピュータを利用することにより効率化することである．まず，ディレクターがシナリオ情報やそのほかのリテラル情報を基に，そのコンテンツの美術セットやキャラクタの性格設定と動き，更にせりふ・音楽・音響効果などの演出行為を構成する各種の作業を分析し，情報化する．そしてそれらの情報をシーンやショットに配置

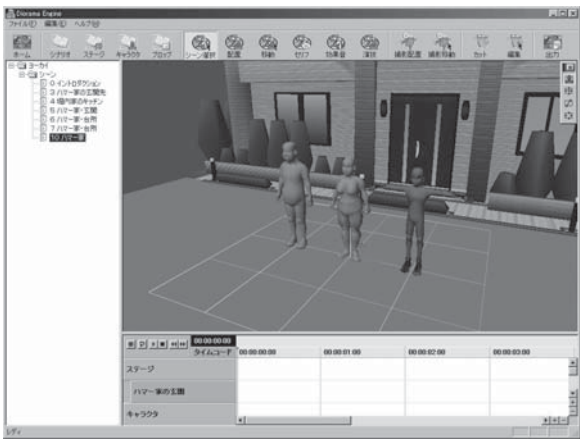


図 1　ジオラマエンジン

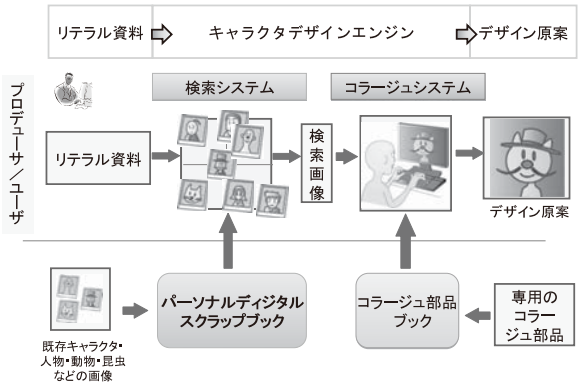


図 2　キャラクタエンジンの構成

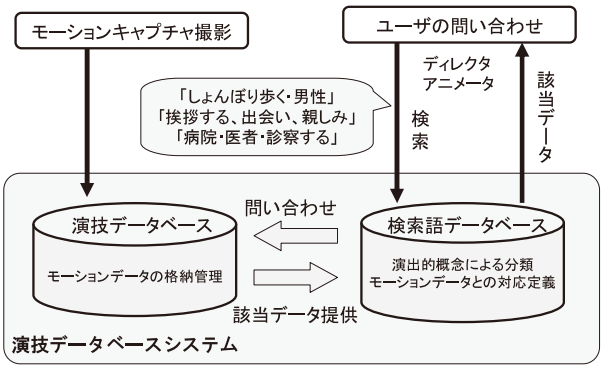


図 3　演技データベースシステム

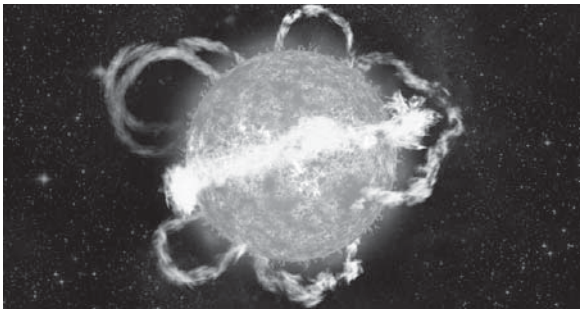


図 4　4K CG 映像 (1)

し，オブジェクトの移動，カメラ視野のシミュレーションを可能にして，ディレクターの演出作業を支援するエンジン構築を行っている．

2.4　キャラクタデザインエンジン

メディアの多様化に伴い，コンテンツ獲得競争が激化してきており，魅力的なキャラクタが望まれている．本研究の目標は，映像コンテンツの制作準備段階で，重要なキャラクタデザインの効率化である．そのために本研究ではプロデューサとデザイナのデザイン意図のコミュニケーションギャップを防ぐために，キャラクタデザイン構成システムの提案と開発を，以下の二つに分けて行っている．(1) プロデューサが，日々収集した情報や画像を，頭に描く漠然とした印象をキーとして，パーソナルディジタルスクラップブックにアクセスし，デザインを始めるときのヒントとして，キャラクタデザインのアイデア創出の参考になるようなキャラクタ画像を検索するシステム，(2) プロデューサが絵の技量がなくても，キャラクタ部品から「選び」，「調整」して張り付け，デザイン原案ができるというコラージュ手法を用いたツールの開発．

2.5　モーションエンジン

本研究では，モーションキャプチャのデータを利用してアニメーションを作る技術と，既存のアニメーションや実写映像を基にした，モーションデータのディジタル化を行う技術を開発し，3DCG による映像描写の多様化と効率化を促進することを目的としている．このために以下の三つを研究している．

(1) 動作の誇張と省略　モーションキャプチャのリアルな動きを，これまで日本で培われてきた，アニメ手法に近い動きに変換する手法を開発している．これはモーションキャプチャデータのうち，不要なキーフレームを排除し，日本独特の誇張や省略方法を加味する，アニメーションコントローラで再構成する処理である．

(2) モーションデータ抽出　これまでアニメーションには，アメリカの特技ともいえるスラップスティック手法，日本の劇画手法など，優れたアニメーション技術がアニメータによって開発され使われてきた．本研究はこれらの映像から，ロトスコープやモーションキャプチャ技術を利用して，キャラクタの動きのみを取り出して 3D データ化し，それらのタイミングや画角，サイズなどを変えて新しいアニメーション制作に利用する手法を開発している．

(3) 演技データベースの構築　本研究は，3DCG アニメーション制作に活用可能な演技データベースを構築するものである．アニメーションコンテンツの制作に際して，利用価値の高い演技データを効率的にアーカイブ化し，制作時には，それらを直感的に検索・利用することができるようなシステム構築を進めている．

2.6　デジタルシネマ映像の実証制作

本ラボにおいて，図 4，5，6 に示すようなフル CG による 4K 映像の実証制作を行っている．また従来の解像度の映像から受ける印象と，このような高解像度の映像から受ける印象の違いなども研究している．これらの CG 画像は，伊藤彰教，川島基展，岡本直樹，中村陽介，松島渉らによって制作された．

3.　む　す　び

本文では，クリエイティブ・ラボの研究内容を紹介した．ディジタルコンテンツ制作の効率化を目指したコンテンツ

グループ紹介：片柳研究所クリエイティブ・ラボ

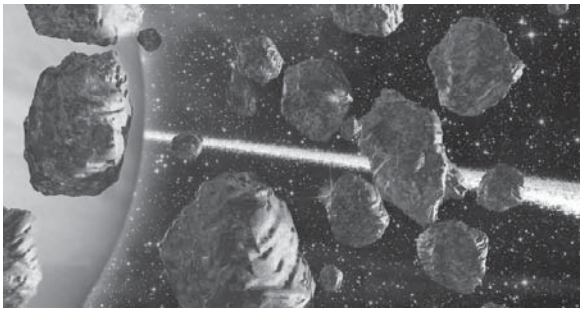


図 5　4K CG 映像 (2)

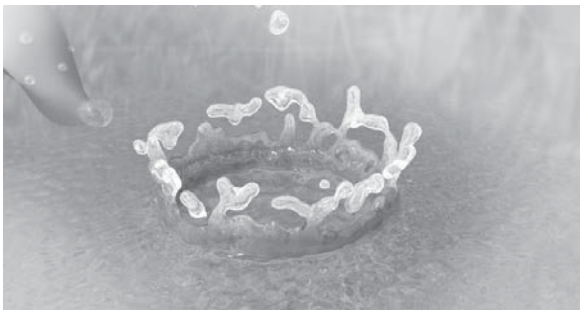


図 6　4K CG 映像 (3)

工学の研究が，今後更に重要となってくる．このような研究を進めるため，多くのスタッフや映像関連企業がかかわっている．紙面の都合で研究組織や企業との連携による映像制作，および教育，アニメマニュアルをはじめとする，ディジタルコンテンツ制作マニュアル関係の紹介はできなかった．詳しくはラボ Web ページ (http://www.teu.ac.jp/clab/) をご覧ください．

近藤邦雄（正会員）
1973 年，名古屋工業大学卒．1989 年，工学博士（東京大学）．名古屋大学，東京工芸大学，埼玉大学を経て，現在に至る．コンピュータグラフィックス，コンテンツ工学等の研究に従事．画像電子学会元副会長，VC 研究委員会委員長．

金子　満
フジテレビ，南カリフォルニア大学シネマスクールを経て，JCGL，メトロライトスタジオを創設．1996 年東京工業大学大学院の博士後期課程修了．慶応義塾大学大学院教授を経て現在に至る．コンテンツ工学コンテンツ制作技術の研究に従事．

三上浩司
1995 年，慶応義塾大学環境情報学部卒業．2001 年慶応義塾大学政策・メディア研究科修士課程修了．1999 年より東京工科大学片柳研究所を経て，現在メディア学部講師．コンテンツ工学，アニメ・ゲームの制作技術の研究開発，実証制作に従事．

2章 インタラクティブコンテンツデザイン

2-2 ゲーム制作技術とインタラクティブコンテンツデザインの動向 関連動画公開中！

[正会員]近藤邦雄†，太田高志†，渡辺大地†，三上浩司†

キーワード：インタラクティブコンテンツ，インタフェース，マルチディスプレイ，CG技術，生体情報，ゲームデザイン

1．まえがき

インタラクティブコンテンツの代表としてゲームが挙げられる．本文では，ゲームとは，ユーザがコンピュータなどのディジタル機器を使って，さまざまな障害を解決して目的を達成するようなコンテンツのことをいう[1]．ゲームのようなインタラクティブシステムは，表示内容を理解するだけでなく，その表示情報に対して，新たに情報を入力するという双方向のコミュニケーションが繰り返し行われるところに大きな特徴がある．ゲームはインタラクティブシステムの代表的な例であり，ユーザは瞬時に状況を把握して，つぎの行動を適切に行うことができる．

このようなインタフェースをデザインするためには，機器の種類によらず，ユーザの意図とフィードバックが一致しなければいけない．このことから，ゲームを行うためには，ユーザがゲームの進行に合わせてさまざまな意図を入力しやすいことが重要であることがわかる．そしてスムースなインタラクションのために，①システムに対する概念モデルの提供と操作の容易な予測，②操作のために必要な情報の可視化，③操作・コントロール手段の対応付け，④適切なフィードバックが望まれる[2]．

以上のような考えをもとに，視覚，聴覚，触覚，生体情報を利用したさまざまな機器が提案されてきた．ゲーム機ではコントローラと呼ばれる入力装置を利用することが多いが，最近で種類も増え，手で操作するコントローラのほか，音声入力機器，スポーツやダンスなどのアクションを入力できるモーションキャプチャなどがある．一方，出力装置からみると，従来の一つのディスプレイだけではなく，多数のディスプレイの利用，大画面や建物など広い空間への投影まで行われている．また，遠方で離れているユーザがインターネットを介して行うゲームも多数ある．

今後のインタラクティブコンテンツの広がりは，ユーザインタフェースという考え方にも大きな影響を与えると考える．図1に示すように，従来のコンピュータとユーザのインタフェースという狭い空間から，人と環境全体とのインタフェースとその相互作用を扱うような広がりを理解しておくことが望まれる．

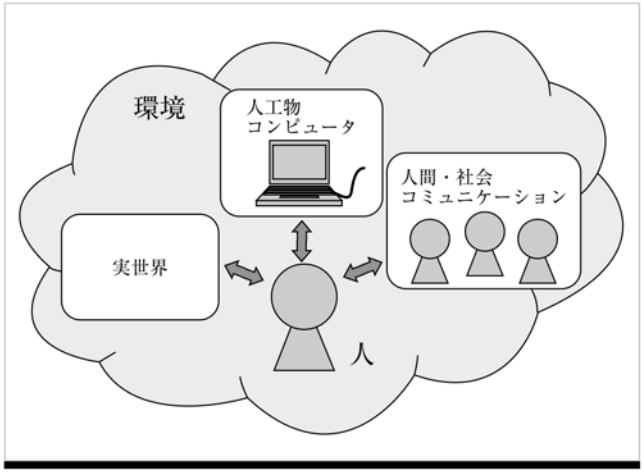


図1　人中心のインタフェースと環境

本文では，このようなインタフェースの展開をもとに第2節では，マルチディスプレイを利用したインタラクティブコンテンツの制作技術，第3節ではゲームコンテンツのためのCG技術について述べる．そして，第4節ではより良いインタラクティブコンテンツの制作を目指した，生体情報を用いたゲームインタラクションやデザイン手法について述べる．

2．マルチディスプレイとインタラクション技術

インタラクティブなコンテンツにおいて，入力としてのインタラクションの方法が多様化された一方で，その内容を提示する場は一つのディスプレイであることが多い．マルチディスプレイを利用することによって大きな画面で表示することの魅力や，大勢で同時に鑑賞するなどのメリットを得ることができるが，一つの静的な仮想画面をつくるだけでは画面のサイズを大きくするだけで，新たなユーザインタラクションを創り出すことにはならない．われわれは，マルチディスプレイの利用において，その画面構成自体にインタラクティブ性を持たせることで，新たなコンテンツ

†東京工科大学 メディア学部
"Technical Trends of Interactive Contents Design and Game Producing" by Kunio Kondo, Takashi Ohta, Taichi Watanabe and Koji Mikami (School of Media Science, Tokyo University of Technology, Tokyo)

図2　指でつまみあわせて連携させるインタフェース（口絵カラー参照）

図3　Pinchインタフェースを利用したアプリ例（口絵カラー参照）

表現のプラットフォームとできるのではないかと考えた．

一つの試みは，スマートフォンやタブレットPCを利用して，アプリケーションが画面の配置構成の変更に動的に反応するものである．画面の位置関係の取得とネットワークの連携を，人差し指と親指で二つの隣接する画面をつまみあげるようになぞることで実現するPinch[3]というインタフェース（図2）を設計し，それを利用してアプリケーションをいくつか作成した．画面を繋げると，表示されている動画がその都度拡大され接続された画面全体に表示されるアプリは，動画再生中にいくらでも画面構成を変更することができる．単に画面を接続して拡大表示できるだけでなく，画面構成を変更するたびに動画の表示がそれにあせて即座に修正されるところに面白さがある（図3上）．また，画面をタッチするとそこから波紋のように輪が拡がり，それに併せて音が演奏されるものは，画面を繋げることで操作画面が拡大され，両手の指で視覚効果と演奏を愉しむことができる（図3下）．

その他にも，線路状のコースを走るキャラクタが壁でとまらないように画面配置を変え続けて線路を継続させるゲームや，画面上にセットした音楽を持ち寄って繋げることで，長い曲にしたり合奏したりできるような音楽アプリ

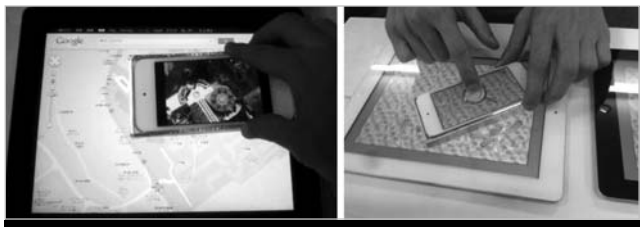


図4　デバイスを重ねるインタフェース（口絵カラー参照）

図5　複数の画面の点滅を制御する試み（口絵カラー参照）

など，多様なコンテンツのアイデアを考えることができる．

別の複数画面の連携の試みでは，画面を重ねることによってそれらのデバイス間の連携を実現するものがある（図4）．Pinchでは平面上での連携を実現していたが，こちらはタブレットPCの画面上にスマートフォンを重ねると，重ねた画面に情報を付加した表示をしたり，下の画面のコンテンツと上の画面を通じてインタラクションをしたりできるようにするインタフェースを提供する．

さらに別の試みとして，一時的に集めた複数のデバイスを単一の制御下に置いて操作する試みも行っている（図5）．これは，特定のURLをブラウザーでアクセスすることによって，その画面を他から操作できるようにするものである．その場で集まった人たちにそれぞれのスマートフォンで参加してもらうことによって大きなイルミネーションのように使用することや，ピクセル毎に個別のデバイスとすることを利用して，自由な配置形状のディスプレイ環境を用意することもできる．また，コンサート会場の場で，観客のデバイスを制御可能なライトスティックのように使うことも視野に入れている．

このように，マルチディスプレイの利用に動的なインタラクションを導入することによって，従来の大きなサイズの画面提供とは異なり，新たなコンテンツのアイデアを多く考えることができるだろうと考えている．これらの試みでは，デバイスやコンテンツのインタラクションとしての面白さを提供するだけではなく，デバイスを持ち寄る人達が経験や楽しさを共有して，人どうしの対面的なやりとりを促すことに繋がるのではないかと考えている．いわば現実世界でのソーシャルアプリを提供できるような，新たなコンテンツ作成のプラットフォームとして利用されることを期待したい．

3．ゲームコンテンツのためのCG技術

ゲームコンテンツにおける形状データやアニメーション情報は，通常は事前に作成したものを記録媒体に保存し，それを再生することで表示するという方法をとる．しかし，コンテンツが巨大化，また複雑化した現状では再生にかかる時間が増大し，待ち時間でストレスを与えることになる．また，ネットワーク型のゲームタイトルにおいてはデータの巨大化はより切実な問題となっている．

そこで近年，ゲーム制作の現場において「プロシージャルモデリング」や「プロシージャルアニメーション」という概念が注目を浴びている．これは，複雑な形状や動作を自動的に生成するアルゴリズムを実装しておき，再生時に動的に生成することで再生時間の軽減を図るというものである．CGによる三つの主要技術「モデリング」，「レンダリング」，「アニメーション」のうち，ゲームのようなインタラクティブコンテンツにおいては「レンダリング」をリアルタイムに行うものであったが，この方針を「モデリング」や「アニメーション」にも適用するものと言えるだろう．以下，具体的な事例を紹介する．

アニメータの板野一郎氏によって創出された「板野サーカス[4]」と呼ばれるアニメーション効果がある．これは，多数のミサイルやロケットが複雑な軌跡を描いて飛行する効果であるが，これは各ミサイルに個性を持たせることで実現している．板野氏は大きな分類として目標物に対して一直線に飛ぶ「優等生タイプ」，標的の軌道を予測して先回りする「秀才タイプ」，ランダムに飛ぶ「劣等生タイプ」の三種を同時に飛行することで複雑なシーンを構成したと語っている．このようなアニメーションを作成するには，職人的な技術と多大な作業時間を要する．そこで，これらのミサイルの特徴をアルゴリズム化した上で，目標物の移動に合わせて動的に軌跡を生成するという手法が有効である．図6に板野サーカスのシミュレーション結果を示す．

他にもアニメーション作品の特徴的な表現として「エネルギー波」がある．これは，SFやアクション格闘を主題とした創作コンテンツでよく見かける表現で，空間中のエネルギー密度が高い場所が強く発光するという映像効果である．このような効果をリアルタイム3Dで表現しようと考えた場合，従来は発光状態の画像をテクスチャマッピングを用いることで実現することが多かった．しかしながら，この方法では適切な視点が固定される，事前に準備したテクスチャ動画の再生しかできないために状況に応じた変形動作が行えないといった問題があった．そこで，われわれは近年目覚ましく速度が向上したGPGPU（General-purpose computing on GPU）という技術に着目した．これは，PCの3D描画を行うユニットであるGPU（Graphics Processing Units）が高い並列計算能力を保持していることを利用し，汎用的な並列計算機として演算を行うことで高速な処理を実現する技術である．この技術を用い，本来であれば多大な演算時間を用いて生成していたエネルギー波の動的な生成，変形，描画をリアルタイム3Dの中で実現した[5]．図7にその実行の様子を示す．

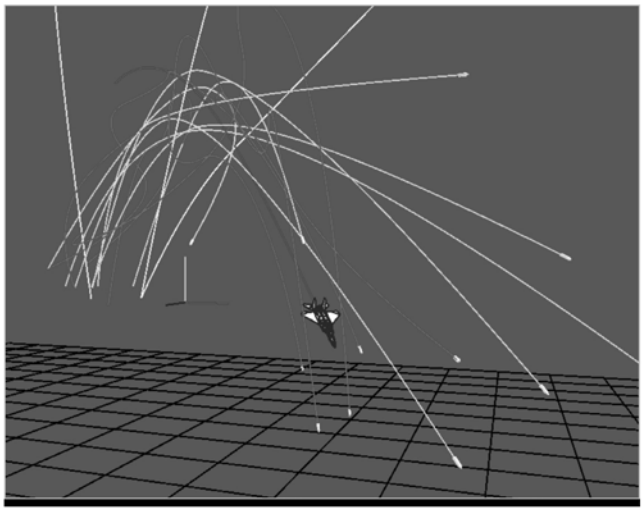


図6　板野サーカスのシミュレーション（口絵カラー参照）

図7　エネルギー波のリアルタイムレンダリング（口絵カラー参照）

本節で紹介した2例の他にも，多種多様な樹木形状を動的に生成する方法や，複雑な物理現象をシミュレーションによってリアルに再現するものなど，多くの方法が実践的に取り入れられている．今後，ゲームを始めとするインタラクティブコンテンツの中で，ますますプロシージャルなワークフローが重要となってくることは間違いないだろう．また，プロシージャルなモデリングやアニメーションに関連する理論や技術に精通した人材が，ゲームやCG映像の制作現場で強く求められていることも注目すべき動向である．

4．生体情報を用いたゲームデザイン手法

ゲームの根本的な遊びの部分を設計するゲームデザイン

は，ゲームの重要な要素である[6)7)]．ユーザを楽しませる根幹部分であり，その狙い通りにユーザを楽しませることができるかはゲームの質を左右する．また，ゲームのステージの形状やアイテム，敵キャラクタの配置などを行うレベルデザインも同様に，ユーザを楽しませるために重要な設計である．近年，この分野は，さまざまな研究例が示されており，ゲームデザインやレベルデザインの理論的な研究や，ゲームプレイやユーザエクスペリエンスの定量化に関する研究などが進められている．次に具体的な研究例を示す．

ゲームをプレイしている際の生体情報を取得し，プレーヤの状況や心理状態を分析する研究は多く進められている．筆者らは生体情報の取得だけでなく，その成果をレベルデザインに生かす方法論の提案とその評価を含めた研究を進めている．高く評価されているゲームを対象に，そのプレイを分析してレベルデザインの方法論を仮説として設定する．そして，「その仮説を実装したレベル」と「実装してないレベル」の両方を開発し，その差異の分析を進めている[8)]．

図8は簡易脳波計を用いたゲームプレイの分析結果の一部である．赤丸の部分ではゲーム内で共通の「出来事」が発生しており，4名のプレーヤの集中度が共に上昇している．この出来事を分析，分類することで，意図的に集中度を高めるデザイン手法を導き出す．そして，その手法に基づき実際にゲームを実装しその結果を評価する．

これら研究の特徴は，分析することで終わりではなく，分析から方法論を導き出すことにある．そしてその方法論に従い，実際にゲームを開発したり，ステージを開発したりすることにより方法論を評価する．現在は，ゲームデザインやレベルデザインに関して，ユーザインタフェースやゲームのAI設計などのさまざまな分野で，データの取得とその分析から理論化し，実験を行う研究を進めている．

（2013年11月12日受付）

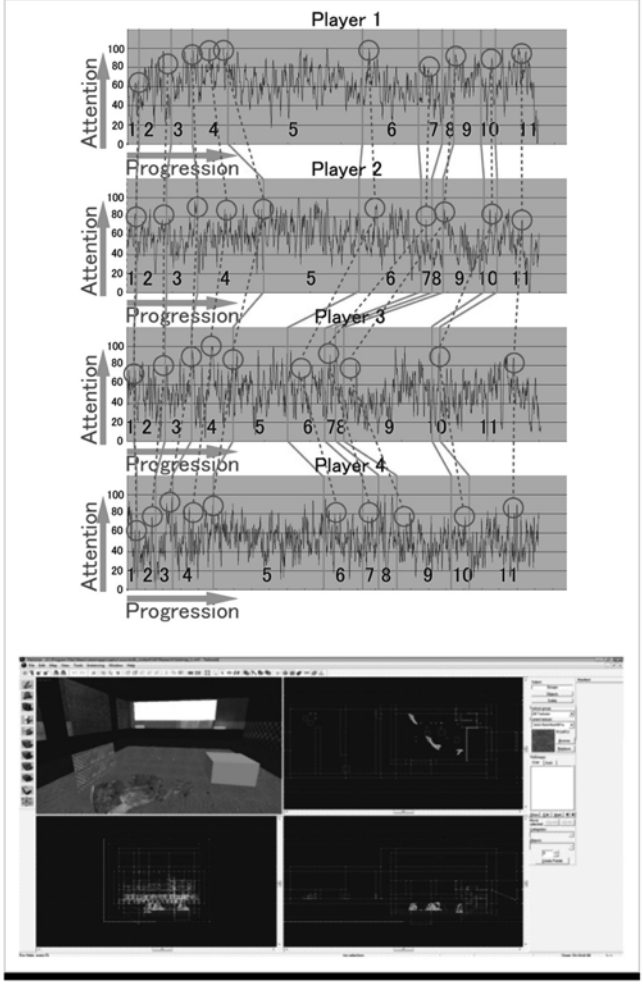


図8　FPSゲームをプレイした際の脳波の分析例（口絵カラー参照）

〔文　献〕

1）飯田仁ほか：“メディア学入門”，コロナ社（2013）
2）ノーマン：“誰のためのデザイン?，新曜社（1990）
3）T. Ohta and J. Tanaka: "Using Pinching Gesture to Relate Applications Running on Discrete Touch-Screen Devices", International Journals of Creative Interfaces and Computer Graphics, 4, 1, pp.1-20（Jan. -June 2013）
4）Webアニメスタイル「アニメの作画を語ろう」，http://www.style.fm/as/01_talk/itano03.shtml
5）阿部雅樹，渡辺大地：“エネルギー波表現のリアルタイムレンダリング”，芸術科学論文誌，9，3，pp.93-101（2010）
6）K. Salen and E. Zimmerman: "Rules of Play", the MIT Press（2003）
7）Schell, Jesse: "The Art of Game Design: A Book of Lenses", Morgan Kauffman Publishers（2008）
8）K. Chan, K. Mikami and K. Kondo: "From Brain Waves to Game Design: A Study on Analyzing and Manipulating Player Interest Levels", Art and Science Society, The Journal of the Society for Art and Science, 10, 3, 59-68（2012）

近藤（こんどう）　邦雄（くにお）　1978年，名古屋工業大学卒業．名古屋大学，東京工芸大学，埼玉大学を経て，現在，東京工科大学メディア学部教授．コンピュータグラフィックス，コンテンツ工学の研究に従事．工学博士．正会員．

太田（おおた）　高志（たかし）　1990年，東京大学大学院修了．日本アイ・ビー・エム東京基礎研究所を経て，現在，東京工科大学メディア学部准教授．マルチディスプレイ，マルチデバイスの連携，ユーザインタフェースの研究に従事．博士（工学）．

渡辺（わたなべ）　大地（だいいち）　1996年，慶應義塾大学政策・メディア研究科修士課程修了．1999年より，東京工科大学メディア学部講師．コンピュータグラフィックスやゲーム制作の研究に従事．修士（政策・メディア）．

三上（みかみ）　浩司（こうじ）　2008年，慶應義塾大学政策・メディア研究科博士課程修了．2007年より，東京工科大学メディア学部講師．アニメやコンピュータグラフィックス，ゲーム制作技術の研究に従事．博士（政策・メディア）．

東京工科大学メディア学部　ディジタルコンテンツ制作技術研究グループ紹介

近藤邦雄　三上浩司　柿本正憲　渡辺大地　菊池司　石川知一

東京工科大学　メディア学部

Research Group Introduction: Digital Contents Producing and Visual Computing Research Group
School of Media Science, Tokyo University of Technology

Kunio KONDO, Koji MIKAMI, Masanori KAKIMOTO, Taichi WATANABE, Tsukasa KIKUCHI, Tomokazu ISHIKAWA

1.　はじめに

筆者らは東京工科大学メディア学部においてコンピュータグラフィックスのさまざまな基礎研究に基づきアニメやゲームの制作手法の開発や研究を行う「コンテンツプロデューシング」,「コンテンツプロダクションテクノロジー」,「イメージメディアとビジュアルコンピューティング」,「ゲームサイエンス」プロジェクトに関わって，学生の研究指導をしている．本報告では，2 章で，メディア学部が目指す人材像を示し，ディジタルコンテンツ制作技術の教育と研究の全体像を明らかにする．3 章ではディジタルコンテンツ制作に深く係わるシナリオライティング，キャラクターメイキング，ミザンセーヌ（演出）[1] を紹介し，4 章でゲームのためのリアルタイムグラフィックスやビジュアルシミュレーションについて紹介する．

2. メディア学とディジタルコンテンツ制作技術

ここでは，1999 年に国内で初めてメディア学部を設立するときにまとめられたメディア学とメディア学部設立理念，アドミッションポリシー，及びコンテンツ制作技術の研究概要を示す．

2.1　メディア学部が育成する人材

メディア学ではメディアという言葉の意味を極めて幅広く，「人間や社会の活動のすべてに関わるもの」という観点でとらえる．人間の知能の仕組み，人間の外部環境への関わり方の仕組み，人間同士のコミュニケーションの仕組み，組織や社会システムを成り立たせ働かせている仕組み，地球規模で動く国際社会の仕組み，及び，これらを成り立たせ，その骨組みとなる学問である．メディア学の目標は従来の情報通信工学を基礎に，メディアを用いて人間の知的活動を支援するシステムを構築するとともに，新たなメディアの創出により新しい文化の創造に貢献することである．このようにメディアを新しい社会を築くための手段・ツールとして，情報・通信と社会・文化・芸術に関する学問が重なり合う幅広い領域をメディア学は含んでいる．

そこでメディア学部はメディアの重要性に鑑み，メディア技術を基礎とし，人間とメディア，メディアと社会・文化の相互関係ならびに調和を重視した学問と健全な社会・産業の発展を目指す新しい教育･研究を行うことを設立理念とした．

現在のアドミッションポリシーは，「メディア学の学修と研究に強い意欲を持って挑み、自己成長をして自分の夢の実現をめざす人。豊かな教養と人間性を育み、メディアを活用した新たな価値やサービスを創造し、持続的に発展する社会の実現に貢献する意欲がある人を求めます。」である．これに基づき各メディア領域の個別性を超えて，メディア技術や制作技法の変化に自律的に対応できる理論的知識を有し，メディアコンテンツをサービスとして社会に向けて発信できる人材を育成することを目指している．

2.2　ディジタルコンテンツ制作技術の研究概要

筆者らのコンテンツ制作技術に関する 3 つの研究分野と講義科目を**図 1** に示す．専門科目は 1 年生から配置され，映像コンテンツ制作に関する内容からコンピュータグラフィックス，画像処理の技術的内容までを幅広く扱っている．筆者らを中心とする学部の専任教員や非常勤講師でこのような講義を担当している．これらの講義を基礎として，アニメーション制作，ゲーム制作，ビジュアリゼーションの 3 つの分野の研究を行っている．

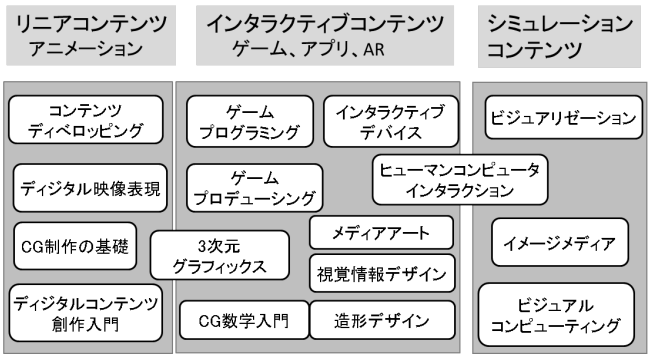


図 1 ディジタルコンテンツ制作技術の研究分野と講義科目

3. 映像コンテンツ制作支援手法の研究

映像コンテンツ制作とコンテンツ産業の関係を図 2 に示す．クリエイターはさまざまな知識･技術･経験に基づいて映像コンテンツを制作する．このとき土台となる 3 つの構成要素は，シナリオ，キャラクター，そしてミザンセーヌである．以下でこの 3 つの要素に関係する研究事例を紹介する．

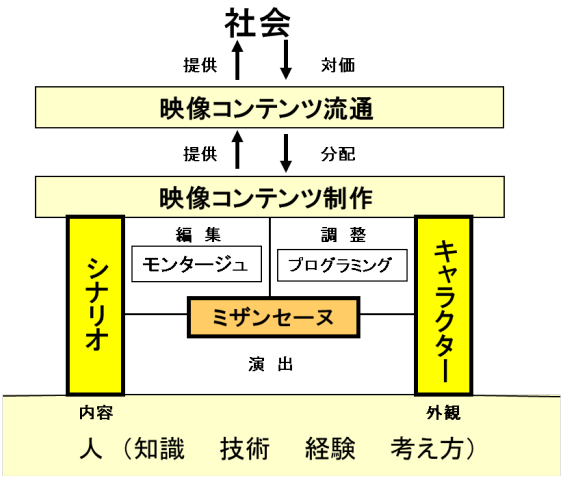


図 2 映像コンテンツ制作とコンテンツ産業

3.1 シナリオライティング [2)]

シナリオは，映像コンテンツ制作の土台となる重要な中間生成物であり，映像制作に必要な情報が書かれていることが必要である．我々は，シナリオに書かれる各種の情報をディジタル化することにより，シナリオ情報を有効に利用する方法を下流工程で開発することを目的としている．本研究では，図 3 に示すアイデア，S・M・L プロット，フルプロット，準備稿，決定稿に至る執筆工程をシステム化したシナリオ執筆支援システムを構築している．この研究によって，シナリオ執筆未経験者でも十分な量のシナリオが制作でき，シナリオライターなどの専門家が映像制作をするために必要な質を持つシナリオ制作が可能となった．

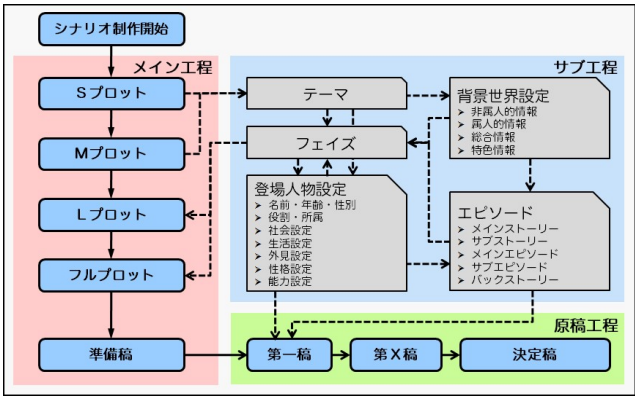


図 3 シナリオ執筆のワークフロー

3.2 キャラクターメイキング

3.2.1 DREAM 手法 [3)]

本研究の目的は，映像コンテンツの制作準備段階で重要なキャラクターメイキングの高品質化と効率化である．そのために本研究では，プロデューサとデザイナのデザイン意図のコミュニケーションギャップを防ぐ，キャラクターメイキング DREAM の提案とシステム開発を行っている．図 4 にキャラクターメイキング行程の全体像を示す．キャラクターデザインのアイデア創出を支援するキャラクター画像検索システム，デザイン原案制作のためのコラージュシステムの開発 [4)] などを行っている．図 5 にキャラクター登録・検索のためのディジタルスクラップブックを示す．

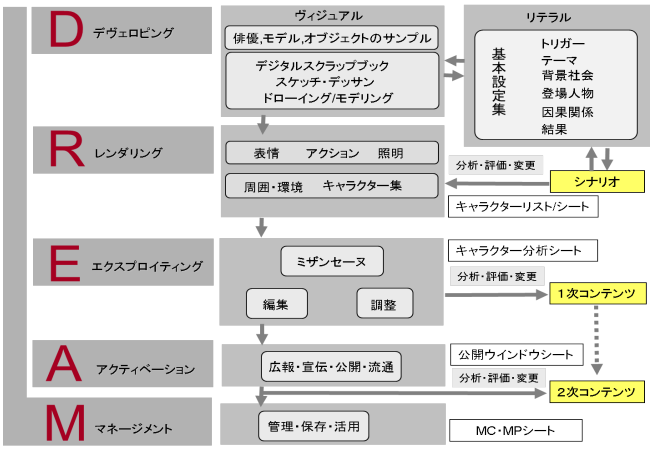


図 4 キャラクターメイキング DREAM

図 5 キャラクター登録･検索のディジタルスクラップブック

3.2.2 CG アニメーション技術

我々は，モーションキャプチャのデータを利用してアニメーションを作る技術と，既存のアニメーションや実写映像を基にした，モーションデータのディジタル化を行う技術を開発している．これにより 3D CG による映像描写の多様化と

効率化を促進することを目指している．このためにアニメの誇張や省略を生かした 3D アニメーション制作手法 [5]の開発や，演技データベースの構築などを研究している．

図 6 にカメラ位置を考慮したパース誇張，図 7 に「のこし」によるアニメの動作誇張表現例を示す．

図 6 カメラ位置を考慮したパース誇張によるアニメ表現 [5]

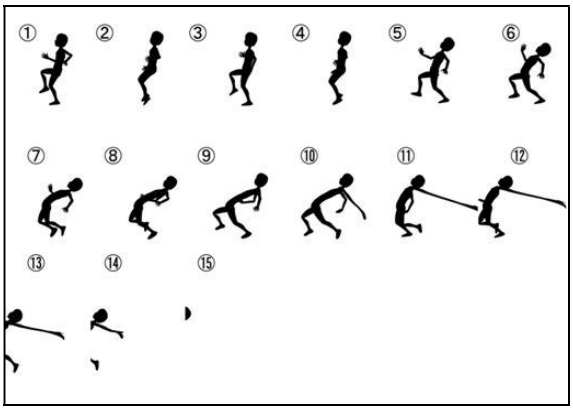


図 7 「のこし」誇張によるアニメ表現 [6]

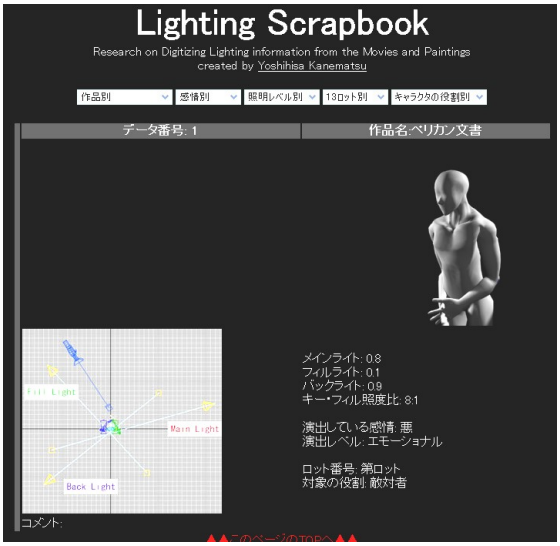


図 8 ライティングスクラップブック [7]

3.3 シーン演出のためのミザンセーヌ

映像コンテンツ制作の諸工程で，最もクリエイティブな能力を要求され，経験を必要とされるのは，ディレクターが行う演出作業といわれている．このために，ディジタル化には最も不適であるとされている演出作業を分析し，コンピュータを利用することにより効率化することを研究している．まず，ディレクターがシナリオ情報やそのほかのリテラル情報を基に，そのコンテンツの美術セットやキャラクターの性格設定と動き，更にせりふ・音楽・音響効果などの演出行為を構成する各種の作業を分析し，情報化する．そしてそれらの情報をシーンやショットに配置し，オブジェクトの移動，カメラ視野のシミュレーションを可能にして，ディレクターの演出作業を支援するエンジン構築を行っている．図 8 はライティング作業を支援するためのスクラップブックである．これによって意図した演出を行うライティング情報を利用しやすくできる．

4. ビジュアルコンピューティング技術

筆者らは映像制作のための新しい表現技術の開発を目的に，ビジュアルコンピューティング，コンピュータグラフィックス，イメージメディアなどの研究を行っている．ここでは，その中から，ゲーム制作のためのリアルタイムグラフィックス，映像コンテンツへの適用を目指したビジュアルシミュレーションについて紹介する．

4.1 リアルタイムグラフィックス

4.1.1 輪郭線の誇張表現

本研究では，リアルタイム 3D CG でのトゥーンレンダリングにて輪郭線の誇張表現を行うための手法を提案している．3D モデルの頂点の曲率を検出し，曲率に応じて裏ポリゴンで構成したモデルを変形することにより，形状に沿う連続した線の変化をリアルタイムに実現している．図 9 にティーポットの輪郭線に太さ変化を適用して表現した例を示す．

4.1.2 エネルギー波の表現

アニメーション作品の特徴的な表現として「エネルギー波」がある．これは，SF やアクション格闘を主題とした創作コンテンツでよく見かける表現で，空間中のエネルギー密度の高い場所が強く発光するという映像効果である．多大な演算時間を用いて生成されていたエネルギー波（図 10）の動的な生成，変形，描画をリアルタイム 3D の中で実現している [9]．

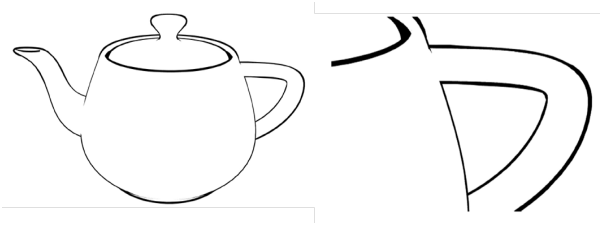


図 9 輪郭線の誇張表現 [8]

図 10 エネルギー波のリアルタイムレンダリング

4.1.3 破片飛散時のカメラ回避制御

剛体シミュレーションにより多数の破片がカメラに向かうシーンは映像作品でしばしば用いられる．カメラに直接破片が飛び込むと急激な拡大表示による違和感が起こるため，このような破片がカメラをぎりぎりで回避する制御が必要になる．本手法ではリアルタイムで回避処理を行うことにより，カメラ位置が自由に変わるゲームにおいても，破片飛散シーンの利用を可能にした [10]．

4.2 ビジュアルシミュレーション

4.2.1 オーロラ表現

オーロラの CG アニメーションのために，オーロラ特有の複雑な運動を擬似的に再現する手法を提案している．分布特性を考慮してオーロラの擬似的な分布を無数の点列に対して，オーロラの分断と再統合の現象を考慮した接続関係の変更処理を行う．点列を切断し一部を分離する処理を行うことで，ひとつながりのオーロラが分断して複数のオーロラになる様子を再現する．分離した複数の点列が再び接続される処理を行うことにより，分断したオーロラのひだが再統合されひとつながりのオーロラを形成する様子（図 11）を再現し，CG アニメーションを生成する [11,12]．

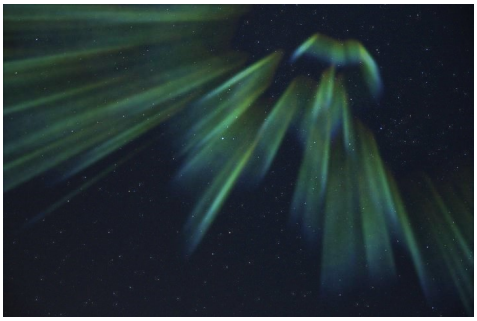


図 11 オーロラ CG 画像の自動生成

4.2.2 粘弾性体表現

弾性体とはバネ性を持った物体で，一方，粘性体は粘り気のある液体である．その中間の性質を持つものが「粘弾性体」である．今まであまり取り扱われていない粘弾性体の表現に取り組んでいる．3 次元形状が変形しているときのキーフレームを複数与えて，その間を補間してアニメーションを生成する（図 12）．

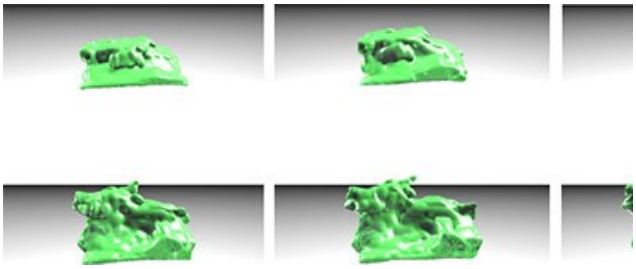


図 12 粘弾性体の変形シミュレーション結果の例 [13]

4.2.3 群集表現

ニホンミツバチは，蜂球形成行動と呼ばれる特殊な集団行動を行う．蜂球形成行動は，外敵であるスズメバチに向かって取り囲むように襲いかかって球体に近い形を作る行動である．この球体を蜂球と呼び，蜂球を形成しているニホンミツバチが発する熱により，スズメバチを蒸し殺すことができる．また，個体の位置によって上昇移動や下降移動，方向転換をする群飛飛翔を行う．ニホンミツバチの集団行動を表現するために，boid アルゴリズムの機能を追加，変更する手法を実現した[14]．図13にシミュレーション例を示す．

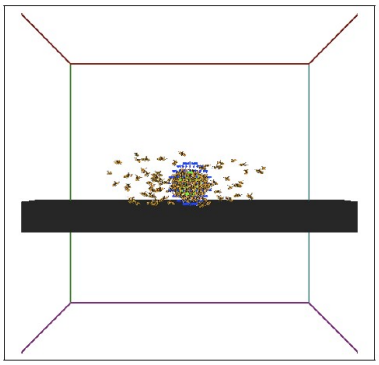


図 13 ニホンミツバチ蜂球行動シミュレーションの様子

4.2.4 濡れを考慮した布シミュレーション

変形を起こさない剛体と比べ，布は容易にかつ複雑な変形を起こす．そのため，コンテンツ制作者が物理現象を考慮しつつ，ひとつひとつの布の動きを付けることは現実的ではない．濡れた布が接触した物体に貼り付くという点と，貼り付いた布を引き上げる際に気圧差による力が生じるという点に着目し，基本的な布の挙動をモデル化するために質点バネモデルを利用しつつ，気圧による影響を質点に対して加えた．布と接触物体との隙間に出来た空気塊の体積変化を利用する

ことで，布の裏表における気圧の変化を再現した例を図14に示す[15]．

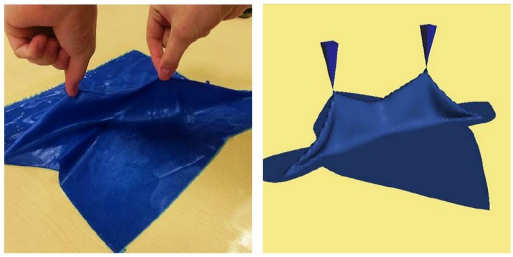


図 14　濡れた布の実画像とシミュレーションの比較

4.2.5　森林景観における風の表現

本研究では，大規模な森林景観を CG で再現する際に重要な要素のひとつとなる「風による樹木の揺れ」を，ユーザが制御できるように生成する手法を提案した．本手法では，樹木モデル 1 本分を包含するようにバウンディングボックスを配置し，葉 1 枚分に相当するサイズでボクセルに分割する．そして，ボクセルを構成する 4 頂点にパーティクル （ボクセルパーティクル）を配置し，ボクセルパーティクルを 1/*f* ノイズによって運動させることよってバウンディングボックスを変形させ，樹木のランダムな揺れ （以後，小揺れ）を再現した．さらに，シミュレーション空間に樹木データを複数本配置し，ユーザがスプラインを描画することによりスプラインに沿った風を生成する手法を提案した．この風とボクセルパーティクルとの衝突判定を行うことによって，風の影響による樹木の揺れ （以後，大揺れ）を再現した．

本手法により，大規模な森林景観において樹木が小さくランダムに揺れる小揺れと，ユーザが生成した風の影響による大揺れを表現することが可能となり，ユーザが思い描いたような「風の通り道」が見える，印象的なシーンを生成することが可能となった．図 15 に本手法によるシミュレーション例を示す[16]．図 15 左図の黄色い線はユーザが引いた「風の通り道」を，右図はその線上を風が通り，樹木が大揺れしている様子を示している．

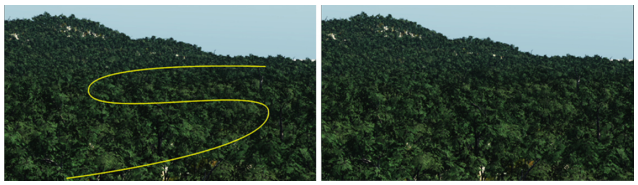


図 15　森林景観における「風の通り道」の表現例

4.2.6　雪崩による雪煙の表現

本研究では，雪崩によって引き起こされる雪煙のビジュアルシミュレーション法を提案した．提案手法は，山の斜面をポリゴンモデルで生成し，雪崩発生源から雪塊を表す雪パーティクルを落下させ，雪パーティクルと斜面ポリゴンとの衝突を検知し，衝突点からナビエ・ストークス方程式による雪煙拡散速度場を生成するというものである．生成された速度場に沿って運動する雪煙の密度を，ボリュームフォトンマッピング法を介してアダプティブ・レイマーチング法によるボリュームレンダリングを行うことによって，雪崩による雪煙のビジュアルシミュレーションを行った．本手法により，山斜面の斜度の違いなどによって引き起こされる雪煙の違いも表現可能となった[17]．図 16 に本手法によるシミュレーション例を示す．

図 16　雪崩による雪煙の表現例

5.　おわりに

本報告では，コンテンツ制作技術研究グループの研究内容を紹介した．ディジタルコンテンツ制作の高品質化，高速化，効率化を目指したコンテンツ工学の研究が，今後さらに重要となってくる．このような研究を進めるため，多くのスタッフや映像関連企業がかかわっている．なお，コンテンツ制作研究分野では，このほかにゲームデザインなどの研究も行っている．

参考文献

1) 近藤邦雄，金子満，三上浩司：“片柳研究所クリエイティブ・ラボ”，画像電子学会誌，Vol.37, No.2, pp.157-159（2008）．

2) 戀津魁，菅野太介，三上浩司，近藤邦雄，金子満：“ 映像制作支援のためのシナリオ記述・構造化システムの開発”，芸術科学会，芸術科学会論文誌，Vol.10, No.3, pp.129-139（2011）．

3) Takahiro Tsuchida, Ryuta Motegi, Naoki Okamoto, Koji Mikami, Kunio Kondo, Mitsuru Kaneko：“Character Development Support Tool for

DREAM Process”,International Journal of Asia Digital Art and Design, Vol.1, No.16, pp.4-12（2013）.

4) 渡辺賢悟，伊藤和弥，近藤邦雄，宮岡伸一郎：“Poisson Image Editing を用いたキャラクタコラージュシステムの開発”,芸術科学会，芸術科学会論文誌, Vol.9, No.2, pp.58-65（2010）.
5) 細田浩司：“3DCG アニメーションにおけるパース誇張手法の提案”，東京工科大学 2008 年度卒業論文（2009）.
6) 川島基展，大森達也，近藤邦雄，三上浩司，松島渉:“モーションキャプチャリングを用いたキャラクタアニメーションへの『のこし』動作誇張の適用手法の提案”,画像電子学会／情報処理学会, Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム（2011）.
7) 兼松祥央，三上浩司，近藤邦雄：“照明設計支援システムのためのシナリオ情報を用いた登録・検索手法”，図学研究，第 47 巻, 2, 3 合併号（2013）.
8) 松尾隆志，三上浩司，渡辺大地，近藤邦雄：“形状の特徴や動的な変形を考慮したリアルタイム 3DCG における輪郭線の誇張表現手法”，映像情報メディア学会誌, Vol. 67, No.2（2013）.
9) 仁藤将輝，渡辺大地，柿本正憲，三上浩司,リアルタイム 3DCG における衝突を考慮したエネルギー波表現,芸術科学会論文誌，第 13 巻第 3 号, pp.144-153 (2014).
10) 成田晃，柿本正憲，渡辺大地，竹内亮太，三上浩司：“破片飛散現象表現におけるカメラ回避制御”，映像情報メディア学会誌研究速報, Vol. 67,No. 4, pp. J148-J151（2013）.
11) 小島啓史，竹内亮太，三上浩司，渡辺大地：“特徴的な動き方を考慮したオーロラのビジュアルシミュレーション”,芸術科学会論文誌, Vol.12, No.1, pp.24-35（2013）.
12) 小島啓史，竹内亮太，石川知一，三上浩司，渡辺大地，柿本正憲，近藤邦雄,分断と再統合現象を考慮したオーロラのビジュアルシミュレーション,情報処理学会論文誌，第 55 巻 8 号, pp.1886-1898 (2014).
13) Ryota Takeuchi, Tomokazu Ishikawa, Masanori Kakimoto, Tomoyuki Nishita：“A User- Controllable Deformation Method for a Viscoelastic Body Using Keyframes”, NICOGRAPH International 2014, Short papers（2014）.
14) 寺岡優，小島啓史，竹内亮太，石川知一，渡辺大地：“Boid アルゴリズムを利用したニホンミツバチの集団行動シミュレーション”，画像電子学会／情報処理学会, Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム（2013）.
15) Yamada Wataru, Watanabe Taichi, Kakimoto Masanori, Mikami Koji, Takeuchi Ryota：“Reproduction of the Behavior of the Wet Cloths Taking the Atmospheric Pressure into Account”, ACM SIGGRAPH 2013 Posters（2013）.
16) 朱暁宇, Abdul Hadi Bin Mohdnazir, 伊藤弘樹，菊池司：“ユーザ制御可能な風による樹木の揺れのビジュアルシミュレーション”，芸術科学会, Vol.10,No. 3（2011）.
17) 菅野将太，伊藤弘樹，菊池司：“雪崩による雪煙のビジュアルシミュレーション”，芸術科学会論文誌 Vol. 14, No. 3, pp. 83-90（2015）

近藤　邦雄　（正会員）

1973 年 名古屋工業大学卒．1989 年 工学博士（東京大学）．名古屋大学，東京工芸大学，埼玉大学を経て，現在東京工科大学教授．コンピュータグラフィックス，アニメやゲーム制作のためのコンテンツ工学等の研究に従事．画像電子学会会長，Viaual Computing 研究委員会委員長．芸術科学会会長，情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会主査，日本図学会副会長，ISGG 理事などを歴任．現在，ADADA 理事，日本図学会デジタルモデリング研究会副委員長．

三上　浩司

1995 年 慶応義塾大学環境情報学部卒業．2001 年慶応義塾大学政策・メディア研究科修士課程修了．1999 年より東京工科大学片柳研究所を経て，現在メディア学部准教授．コンテンツ工学，アニメ・ゲームの制作技術の研究開発，実証制作に従事．

柿本　正憲　（正会員）

1982 年東京大学工学部電子工学科卒業．富士通研究所，日本 SGI，シリコンスタジオなどを経て 2012 年より東京工科大学メディア学部教授．1989～1990 年米国ブリガムヤング大学訪問研究員．2005 年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了．コンピュータグラフィックスの研究に従事．画像電子学会，可視化情報学会，情報処理学会会員．情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会主査．

渡辺　大地　（正会員）

1994 年慶応義塾大学環境情報学部卒業．1996 年慶応義塾大学大学政策・メディア研究科修士課程修了．修士(政策・メディア)．1999 年より東京工科大学メディア学部講師．コンピュータグラフィックスやゲーム制作に関する研究に従事．情報処理学会，芸術科学会，画像電子学会会員．

菊池　司　（正会員）

1999 年岩手大学大学院工学研究科電子情報工学専攻博士後期課程修了．博士（工学）．2000 年拓殖大学工学部工業デザイン学科助手．2004 年同大学専任講師．2007 年から 2008 年まで韓国・高麗大学客員教授．2009 年拓殖大学工学部工業デザイン学科（現デザイン学科）准教授，2014 年東京工科大学メディア学部准教授，現在に至る．コンピュータグラフィックスとコンテンツデザインに関する研究に従事．ACM，芸術科学会，情報処理学会，画像電子学会，日本デザイン学会会員．

石川　知一

2003 年東京理科大学理工学部情報科学科卒業．2005 年東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻修士課程修了．同年より 2007 年まで，日本アイ・ビー・エム株式会社でシステムエンジニアとして勤務．2012 年東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻博士課程修了．同年より 2013 年まで東京工科大学メディア学部助手，2013 年より同大学助教，現在に至る．ビジュアルシミュレーションを含む CG 全般の研究に従事．

あとがき

この研究活動記録集のタイトルは、“Deciduous tree”で、「落葉樹」であり、副題は“Through My Own Mind‘s Eye”としています。「こころの眼で見て」ということです。

落葉樹のイラストは、東京工科大学八王子キャンパスでいつも見ている「ケヤキ」です。メディア学部の教職員、学生であれば、このケヤキの木を見たことがあるはずです。2 月の中旬に研究活動記録集をまとめていたときに、タイトルを考えていました。15 年間お世話になった八王子キャンパスにはとても大きなケヤキがたくさんあって、一年中、私の眼を楽しませてくれました。このケヤキの写真を 2 月に撮影し、CG 技術で加工してイラストにしました。

「落葉樹」のこころ

春：葉っぱが一枚もない、冬を過ごしたケヤキから大変美しい新芽がでてきます。この柔らかい緑色は、生まれたての赤ん坊のようで、感動を与えてくれます。また、新入生を歓迎する真新しい姿を見せてくれているようにも思います。

夏；暑い夏、汗いっぱいになってバスを待つ学生たち。この時期にはケヤキは葉っぱが大きくなって、たくましそうな濃い緑でいっぱいになっています。強い日差しを遮って、影を作ってくれています。この影はケヤキのやさしさの象徴です。自分を犠牲にして、学生らを涼しくしてくれているのです。

秋：葉っぱが色づいて、黄色や赤色に変化します。これもまた、美しい色です。一日一日と変化していく色になっていき、私たちのこころを穏やかにしてくれます。

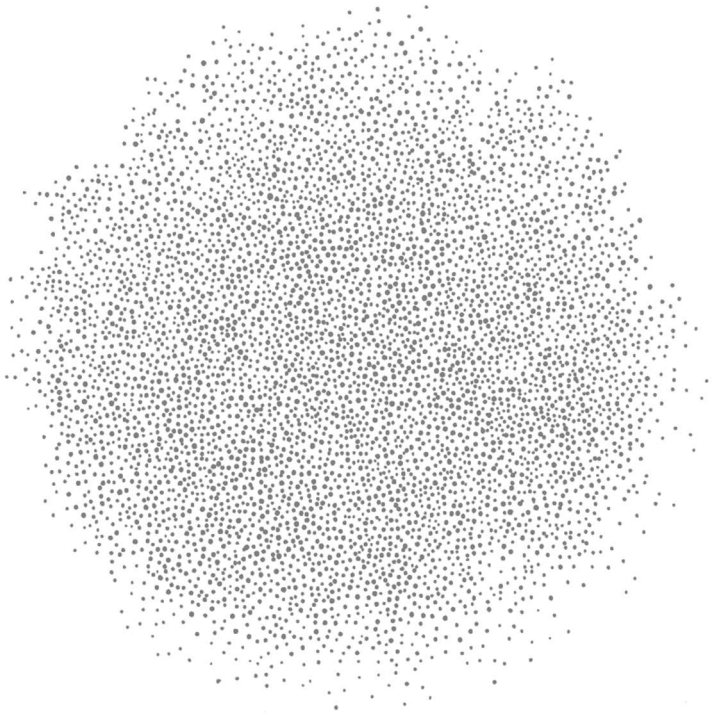
冬：八王子キャンパスはとっても寒い時が多いです。ケヤキは太陽の暖かな日差しを遮ることがないように、葉っぱを落とします。落ち葉はそのようにして、太陽の日差しを私たちに与えてくれているのです。また落ち葉は地球の栄養にもなるのです。そしてさらに春に向けて、私たちに見えない地中で美しい姿になるために落ち葉からもらった栄養をいっぱい蓄えているのです。華麗なる循環、sustainable ですね。

ケヤキと話ができたら、本当の気持ちを聞いてみたいものです。一年中、研究教育を楽しくしてくれる落葉樹のケヤキに感謝したいです。

副題“Through My Own Mind’s Eye”について

「こころの眼で見てよ」：母親に叱られてばかりいる子供の言葉として、20 年以上前に新聞で紹介されていました。見えていることが真実とは言えないことはたくさんあると思います。コンピュータグラフィックスで何のために何を表現するのかを、この言葉を見つけたときに考えさせられました。よりよいコミュニケーションには、愛ある「こころ」を通じてみることが大切であると肝に銘じて、忘れないように、次の人生も歩んでいきたいです。

2020 年 3 月 1 日



晴天の星空. Lovely Stars in the bright sky

Masashi KONDO

晴天の空を眺めてもそこに星を見つけることはできないが，見えていないだけで，星は輝いている．
目には見えないけれど,存在する世界を見てほしい． Cyberworlds 2013