

Deciduous tree

Through My Own Mind's Eye

KONDO Kunio

Educational Research of
Computer Graphics and
Digital Contents



Deciduous tree

Through My Own Mind's Eye

KONDO Kunio

Educational Research of
Computer Graphics and
Digital Contents



繋がり： Shake hands
Kenichi KONDO
2005

はじめに

本資料には、名古屋大学、埼玉大学、東京工科大学におけるコンピュータグラフィックスやデジタルコンテンツ教育に関する研究論文、国際会議論文、国内研究発表、解説・資料、講演、著書、受賞のリスト、およびそれらの代表的な論文や記事を掲載しました。在籍した大学の先生方と一緒にさまざまな教育内容や教育方法改善について挑戦できたことを教育論文としてまとめたことによって、他大学などの教育の発展にも貢献できたのではないかと考えます。

また、2013 年の関東工学教育協会賞受賞は東京工科大学に Creative Lab. を設置し、さまざまなコンテンツ制作の研究と教育をリードしていただいた金子満先生、およびメディア学部でアニメやゲームのコンテンツ制作の教育を共にしていた三上浩司先生、渡辺大地先生、伊藤彰教先生、川島基展先生らとの大きな成果です。この申請書と推薦書も本資料に掲載しました。2019 年に情報処理学会から授与されたフェローの推薦理由にも「教育・普及に関する貢献」があります。このことは「研究活動記録集」で紹介しました。

非常勤講師として教育をした東京大学、九州大学、愛知県立芸術大学の先生方、さらには、日本図学会および図学教育研究会、国際図学会(ICGG)、情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会、SIGGRAPH などの発表を通じて議論、アドバイスしていただいた方々、CG に関する教育と検定試験のために CG カリキュラムの作成や教科書の出版に大きな貢献をした CG-ARTS の皆様に感謝します。またメディア学体系(コロナ社)の出版にあたりメディア学部の先生方と一緒にできたことにも感謝します。

このような教育研究をまとめることはとても大切であると思っています。名古屋大学教養部図学教室の先生方、特に、田嶋太郎先生のもとでコンピュータグラフィックスの研究をしたことと、講義や演習の補助をしたことに大きな影響がありました。教育活動をおざなりにすることなく、楽しく新しい教育にも挑戦して取り組めたこと、それをまとめて公開し批判をいただくことができたことも名古屋大学の先生方、さらには日本図学会図学教育研究会や国際会議で教育研究の発表の場をリードしていただいた東京大学鈴木賢次郎先生はじめ、芸術工学やメディアアートの立場から多くのご指導をいただいた九州大学源田悦夫先生、愛知県立芸術大学の野崎悠子先生はじめ、多くの先生方のおかげです。心から感謝いたします。

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. の下田美由紀さんに深く感謝します。

2020 年 3 月 31 日

近藤 邦雄

文中の所属は、その当時のものです。

目次

はじめに

1. コンピュータグラフィックスとデジタルコンテンツ制作の教育研究	1
2. 教育研究業績リスト	3
3. <u>メディア学部におけるアニメやゲーム制作のための</u> <u>コンテンツ工学教育の創生と高度化</u>	10
4. 教育研究学術論文	19
5. 国際会議論文	107
6. 国内研究発表	124
7. 解説・教育資料	165

あとがき

Webpage: kondolab.org



1. コンピュータグラフィックスとデジタルコンテンツ制作の教育研究

Educational Research of Computer Graphics and Digital Contents

1. CG 教育研究からデジタルコンテンツ教育への発展

1997 年日本図学会創立 30 周年図学研究記念号「図学は今」に投稿した「コンピュータグラフィックス教育-10 年の動向と展望」に 80 年代から 90 年代の CG 教育の動向の概要をまとめました。このなかで、プログラミング方式、セミプログラミング方式、レディプログラム方式の 3 つの教育方法があることを示しています。簡単にいえば、プログラミング方式は CG に関するプログラムを作成すること、セミプログラミング方式はライブラリや基本的なプログラムを与えて画像を生成すること、レディプログラム方式は、CG システムやソリッドモデラシステムを利用する方法である。日本図学会では、これらの教育に関するさまざまな教育事例が発表されてきました。この 90 年代にはインターネットが普及し始めたころであり、インターネットを利用した CG 教育についても Java を利用した CG 教育コースなどの開発が進みました。

2017 年日本図学会創立 50 周年記念号図学研究では、「日本図学会における図学関連教育の新たな挑戦」として発展してきた CG を含んだ幅広い分野を含む「図学教育研究」のキーワード分類を行い、図にまとめました。アニメーションやゲームにかかわるキーワードも増えたことから、「CG とデジタルコンテンツ」という節を設けて研究分野の広がりを示しました。

日本図学会ではこのようにコンピュータグラフィックスやその応用について大変多くの教育研究の交流をする場として、図学教育研究会を運営してきました。私は、これらの国内の成果は国際図学会やアジア図学フォーラムでも発表し世界的な交流も行ってきました。

本資料には、CG プログラミング教育、用意したプログラムを配布して教育するセミプログラミング教育、形状モデリングソフトを使った教育実践の研究論文を掲載しています。さらに、メディア学部で行ってきたデジタルコンテンツ教育に関する研究では、キャラクターメイキング、演出、ゲーム教育などがあります。ゲーム教育は三上浩司、渡辺大地、伊藤彰教、川島基展先生らが講義演習を通じてさまざまな取り組みをしてカリキュラムや教育内容を開発してきました。メディア学部の教育成果はコロナ社からメディア学大系として多数の教科書が出版されています。私も共著で 3 冊執筆しています。

2. 1991 年に発足した画像情報教育振興協会（CG-ARTS）との連携

CG-ARTS は、CG、画像処理、マルチメディア、デザインの教育カリキュラムの開発、教科書発行、検定試験の実施など CG に関係した教育の充実に大きな貢献をしてきました。私も設立前から多くの方と協力して発足に貢献し、カリキュラムの検討、教科書の編集執筆、検定試験の作成などを行ってきました。本資料の著書リストにも多くの教科書があります。また、CG 教育のための Web 活用の研究論文も掲載しました。多くの教材を作成してきましたが、この Web を利用した教育は、現在は JavaScript 教材や CG

技術体験教材となって教員や学生に利用されています。今後さらに広く活用されることを期待します。

3. 大学における教育の研究

大学は教育と研究を行う場であることは、だれも疑うことはありません。東京工科大学の理念には、「先端的研究を介した教育とその研究成果の社会還元」と書かれています。さまざまな研究成果を生かして、より良い教育をすることが大切であり、それを学会発表して広く知ってもらったり、教科書にして学生により良い教育資料を提供したりすることが東京工科大学の教員には求められています。

そこで、「授業もひとつの研究対象」として考えたとき、毎日講義したり演習したりする内容は古いままの状態から時代に合わせた教育内容を研究する姿勢が必要になります。私たち教員はこの考えにもとに工夫をして新しい教育方法を実践しています。そのような実践例をまとめて公開することは、大学教員にとってはとても重要な「研究」ではないかと思います。

1973 年から名古屋大学教養部に勤務して、教育と研究を行ってきましたが、「教育に関する研究」がとても大切であると思っています。このような考えに基づいて、新しい工夫をした教育を発表してきました。本資料は、その結果をまとめた内容を一覧できることを目的としてまとめました。よりよい教育を目指した一つの結果ですので、この資料を基にさらに進んだ教育をしていただくきっかけになれば幸いです。

このような教育成果は、一緒に協力して教育をしてきた多くの先輩の先生方、仲間のおかげです。そしてなにより、名古屋大学で、昼ご飯を食べながら、「今度の講義は何をしようか」といつも聞かれて、教育について考えるきっかけと習慣を与えていただいた名古屋大学教養部図学教室の田嶋太郎先生はじめ図学教室の先生方には、心から深く感謝します。図学教室に勤務していなかったら、このような教育研究の資料をまとめることはできませんでした。

2020 年 3 月 31 日

近藤 邦雄

2020 年 3 月 31 日現在

教育研究業績リスト

近藤邦雄

研究論文

1. 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
2. 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. 134, No. 11, pp. 2313—2319, 1993
3. 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
4. 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,図学研究第 38 巻 4 号,pp,21-25, 2004,
5. 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,
6. 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
7. 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
8. 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,
9. 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
10. Koji Mikami, 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
11. 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

国際会議

1. S. SHIMADA, K. KONDO, H. SATO, TEACHING SOLID MODELLING REPLACES HAND DRAFTING, Proceedings of the 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING COMPUTER GRAPHICS AND DESCRIPTIVE GEOMETRY, pp.40-44, 1992
2. 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
3. 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
4. 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.
5. 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
6. 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
7. 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
8. 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
9. KONDO Kunio, NISHITA Tomoyuki, SATO Hisashi, MATSUDA Koichi, An Educational Non-photorealistic rendering System using 2d Images by Java programming, ISGG,12th International Conference on Geometry and Graphics ,2006.8
10. Kunio KONDO, Overview of Graphic Science Education in Japan, The 8th China-Japan Joint Conference on Graphics Education,2007.7 (Invited talk)
11. 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
12. Kenjiro SUZUKI, Akio FUKANO, Yurika YOKOYAMA, Michio KATO, Kunio KONDO, et.al, DEVELOPMENT OF GRAPHICS LITERACY EDUCATION (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

13. Mitsuru Kaneko, Kunio KONDO, Koji Mikami, Naoki Okamoto, Takahiro Tsuchida, Digital Character Making, Workshop, ACM SIGGRAPH Asia, 2009.12
14. 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
15. 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

国内研究発表

1. 近藤 邦雄, 田嶋 太郎, モダングラフィックスへの指向, 日本図学会, 1982 年度大会研究発表会, 1982.5.15
2. 田嶋太郎, 近藤邦雄, 図学の現代化 (第 1 報) 学会活動に関する考察と提言, 日本図学会, 1984 年度大会研究発表会, 1984.5.12
3. 田嶋太郎, 近藤邦雄, 図学の現代化(2) コンピュータグラフィックスの体系, 日本図学会, 1985 年度大会研究発表会, 1985.5.11
4. 田嶋太郎, 近藤邦雄, 図学の現代化(3) 図学教育充実のためのビデオ, 日本図学会, 1985 年度大会研究発表会, 1985.5.11
5. 近藤邦雄, 島田静雄, 佐藤尚, 形状モデラを用いた形状処理教育, 日本図学会, 1990 年度大会研究発表会, 1990
6. 黒田 章裕, 島田 静雄, 近藤 邦雄, 佐藤 尚, 情報工学実験における形状モデリング, 情報処理学会, グラフィックスと CAD 研究会, 1992
- 7.
8. 高橋雅博, 佐藤尚, 近藤邦雄, 島田静雄, Java を用いたコンピュータグラフィックステキストの作成, 情報処理学会, 第 52 回全国大会論文集, 1-303, 1996
9. 近藤邦雄, 埼玉大学情報システム工学科における CG・CAD 教育, 日本図学会, 図学教育研究会, 2000.11
10. 西田友是, 大野義夫, 近藤邦雄, ほか, Web を用いた CG 技術系のためのインターネット独習コースと Java 教材の開発, 情報処理学会, 第 62 回 (平成 13 年前期) 全国大会講演論文集, 特 2, 5D-4, pp.97-98, 2001.3
11. 近藤邦雄, 日本図学会におけるコンピュータグラフィックス教育研究の紹介, 情報処理学会, グラフィックスと CAD 研究会 2002-CG-106, pp.113-120, 2002.2

12. 近藤邦雄,ワイヤフレームおよびサーフェス模型の制作と図学演習,日本図学会,図学教育研究会資料,2002.12
13. 近藤邦雄,作品制作を中心とした CG プログラミング教育,日本図学会,2004 年度大会学術講演論文集,pp.1-6,2004.5
14. 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,2004 年度大会学術講演論文集, pp.7-12,2004.5
15. 近藤邦雄,立体復元 CAD を用いた形状モデリング入門,日本図学会,2004 年度大会学術講演論文集, pp.113-118,2004.5
16. 近藤邦雄,西田友是,Java による絵画調画像生成のための教育用システム:Jimmy,芸術科学会,2004 年第 3 回 NICOGRAPH 春季大会論文&アート部門コンテスト,pp.21-22,2004.5
17. 近藤邦雄,CG プログラミング入門のための「数式がつくるかたち」,日本図学会,本部例会講演論文集,2004.12
18. 近藤邦雄,他,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,図学教育研究会,2004.12
19. 中村 太戯留,近藤 邦雄,金子 満,三上 浩司,伊藤 彰教,"教育用ジオラマエンジンを用いた映像表現演習",情報処理学会,グラフィックスと CAD 研究会 2006-CG-122,2006.2
20. 川島 基展,早川 大地,近藤 邦雄,金子 満,モーションキャプチャを活用した 3 DCG アニメーション教育,情報処理学会,グラフィックスと CAD 研究会 2008-CG-130,2008.2
21. 鈴木賢次郎,他,3D-CAD/CG を導入した図形科学教育 (2)ー本格教育初年度 (2007 年度) の実施結果ー,情報処理学会,グラフィックスと CAD 研究会 2008-CG-130,2008.2
22. 近藤邦雄,佐藤尚,CG プログラミング入門のための「数式でつくるかたち」,日本図学会,2008 年度日本図学会大会講演論文集,2008.5
23. 鈴木賢次郎,柏原賢二,加藤道夫,金井崇,田中一郎,堤江美子,長島 忍,深野暁雄,近藤邦雄,横山 ゆりか,安達裕之,山口泰,ビジュアル・リテラシー・カリキュラムの開発(3) - 3D-CAD/CG を導入した図形科学本格教育初年度(2007 年度)の結果ー,日本図学会,2008 年度日本図学会大会講演論文集,2008.5
24. 近藤邦雄,多人数教室における processing を利用した CG 入門教育,日本図学会,2008 年度日本図学会本部例会講演論文集,2008.11
25. 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ジタルキャラクターメイキング教育,第8回NICOGRAPH春季大会論文&アート部門コンテスト,2009
26. 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ジタルキャラクターメイキング手法の提案、NICOGRAPH春季大会、芸術科学会. 2009.3
27. 近藤邦雄,Example Based Programming に基づく CG 制作技法の基礎教育,情報処理学会,グラフィックスと CAD 研究会 2009-CG-134,2009.2

28. 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 (優秀ポスター賞受賞)
29. 三上 浩司,中村 陽介,渡辺 大地,山路 和紀,小澤 賢侍,伊藤 彰教,川島 基展,竹内 亮太,近藤 邦雄,金子 満,日本における産学連携によるゲーム制作の実践教育,情報処理学会 ,グラフィックスと CAD 研究会研究報告, CG-142 ,2011.2
30. 渡辺大地,竹内亮太,三上浩司,近藤邦雄, 独自ツールキットによるスケーラブル CG とゲーム開発の教育的実践, 情報処理学会, 情報処理学会研究報告,Vol.2012-CG-146, No.5, 2012.2 (渡辺大地: 優秀研究発表賞 受賞)
31. 茂木龍太, 菅野太介, 三上浩司, 近藤邦雄: キャラクター分析に基づく映像コンテンツ企画制作手法の提案,情報処理学会第2回 デジタルコンテンツクリエイション研究会,2012.10
32. 中村陽介,三上浩司,渡辺大地,大圖衛玄,伊藤彰教,川島基展,竹内亮太, 多様化するゲーム開発スタイルを見据えた新しい教育カリキュラムの実施報告, 情報処理学会, 情報処理学会研究報告,Vol.2012-CG-146, No.6,2012.2
33. 菅野太介, 茂木龍太, 三上浩司, 近藤邦雄: 映像コンテンツのシーン分析に基づくプロット作成手法の提案,情報処理学会第3回 デジタルコンテンツクリエイション研究会,2013.1
34. 菅野太介, 茂木龍太, 三上浩司, 近藤邦雄: 古典原作アニメーション企画を用いた映像制作教育, 情報処理学会第150回グラフィックスとCAD研究発表会,2013.2

解説、資料

1. 田嶋太郎, 近藤邦雄, 図学教育へのコンピュータグラフィックスの導入, 第2回コンピュータグラフィックス教育研究会報告, 日本図学会, 図学研究 35 号,1984.9
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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
6. 近藤邦雄,図学教育研究会報告,日本図学会,日本図学会,創立40周年記念号, 2007.5
7. 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
8. 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,第51巻,日本図学

会創立 50 周年記念号,pp.61-65,2017.8

9. 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ンツ設置の背景・コンテンツ開催・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

講演

1. 近藤邦雄, CG 教育と CG 試験, CG 教育フォーラム, 画像情報教育振興協会, 1993.6
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, ほか, 情報処理教育入門 (図形の作図法), 日本図学会, パソコン利用研究会, 1994
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, 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 1995
7. 近藤邦雄, 透視図教育のための教材紹介, 日本図学会, 第 36 回図学教育研究会, 2005.12,
8. KONDO Kunio, Research and Education of Game and Computer Graphics at Tokyo University of Technology (Gotland University, Sweden), 2012.9
9. 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
10. 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

著書

1. 近藤邦雄、田嶋太郎、モダングラフィックス、コロナ社、1982
2. 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
3. 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
4. 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, 画像情報教育振興協会, 1995.3
5. 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

6. 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
7. 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
8. 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,1999, (編集委員,第2章分担執筆)
9. 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
10. 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
11. 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
12. 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
13. 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
14. 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
15. 近藤邦雄,三上浩司,コンテンツクリエイション, メディア学大系第3巻, コロナ社, 2014.10
16. 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
17. 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
18. 相川清明, 近藤邦雄 監修, 執筆,メディア学キーワードブック, コロナ社, 2018.2
19. 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

受賞

1. 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, 優秀ポスター賞受賞
2. 近藤邦雄, 渡辺大地, 三上浩司, 関東工学教育協会賞(業績賞), 「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」 2013. 5,
3. 近藤 邦雄, CG-JAPAN Award 受賞 (芸術科学会), 2015. 11
4. 近藤邦雄, 情報処理学会 フェロー, 「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」, 2019

2012. 12

関東工学教育協会へ申請

メディア学部におけるアニメやゲーム制作のためのコンテンツ工学教育の創生と高度化

メディア学部 コンテンツ創作コース、インタラクティブメディアコース

三上浩司 渡辺大地 近藤邦雄

概要

アニメやゲームなどのコンテンツは日本の文化の一端を担っており、国際的な競争力も高く、近年注目を集める分野である。欧米を代表とする諸外国では、アニメーションやゲーム、映画などのコンテンツを専門とする大学が多く存在している。一方で、日本は制作現場での実務による習得や現場での経験が重視され、これまで体系的な高等教育がなく、専門学校等での実務教育が中心であった。

我々は、メディア学部設立時から、工科系大学を基盤とする高度なコンテンツ制作技術の教育と研究開発に取り組んできた。従来は、一部の芸術系大学の中で、対象とされてきたコンテンツ教育において、工学的な知識の再構築を行い体系化することで、産業界からも注目を集めるコンテンツ制作教育手法を確立するに至った。

我々は、早くから大学内にアニメや CG、ゲームなどの制作プロダクション体制を整備した。この制作環境を活用し学生をプロジェクトベースで教育することで、産業界が必要とするデジタル映像人材を育成してきた。これらの人材はクリエイティブな制作経験を積むと同時に、高度な情報技術を身に付けることができるため、産学連携のプロジェクトが数多く生まれ、それら学术界のみならず産業界で広く利用されるようになった。

アニメの分野では、コンピュータや 3DCG の導入に伴う制作工程の変化に際し、従来からの技術をデジタル技術に発展的に移行するために、制作工程の詳細な調査とその体系化を行った。これらの成果は「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」として、業界団体を通じて、アニメーション制作会社や映像制作会社などに配布され、日本のアニメ制作をもっとも詳細に記した書籍として評価されている[1]。

また、映像作品の工学的な分析に基づき「シナリオの執筆手法、評価手法」さらには、「キャラクターメイキング、評価手法」[2]、「ミザンセーヌ手法（演出手法）」[3]など、従来は勘と経験による分野を体系化した。これらの研究成果もとに、映像コンテンツ制作にかかわる最大の業界団体である「映像産業振興機構(VIPO)」と連携して人材育成セミナーを実施するとともに、CG-ARTS 協会では、大学・専門学校の教員向けセミナーを実施し、産業界や教育現場への展開が進みつつある。

ゲーム開発においても、CG プログラミング教育カリキュラムや CG 基盤ライブラリを開発し、ゲーム開発教育の基礎を充実させるとともに、他大学に先駆けて 4 年間にわたる実践的なカリキュラムを整備し、継続して発展させてきた。この結果、日本のゲーム教育の拠点として、国内外のゲーム開発にかかわる団体から認知されるに至った[4][5][6][7][8][9][10]。

上記のようにアニメ、映像、ゲームなどの教育界・産業界において、コンテンツ工学教育の重要性を広め、その教育、研究成果を持ってアニメやゲームのコンテンツ制作に関連する教育カリキュラムを確立するとともに、アニメやゲームなどのコンテンツ関連産業界の発展に寄与してきた。

これらの教育成果は、次の新カリキュラムにおける講義、演習に生かされている。

講義：

- コンテンツ制作工程論 デジタル映像表現論 コンテンツディベロップング論
- ビジュアルコンピューティングの数理入門 3次元コンピュータグラフィックス論
- インタラクティブアートの基礎 CG制作の基礎
- ゲームプロデュースの基礎 ゲーム制作技術論

メディア基礎演習のテーマ（今後の検討テーマも含む）

- 映像制作関係
- アニメーション制作関係
- ゲーム制作とプログラミング関係

メディア専門演習（テーマ名は2012年度）

- CGアニメーション
- ゲームプロデュース
- 3DCGプログラミング
- デジタルシネマ

プロジェクト演習（テーマ名は2012年度）

1. アニメーション制作関係

- 千夜一夜物語コンテンツ制作
- オリジナルCGアニメーション
- USC-KI CGアニメーション制作
- キッズアニメーションCG制作
- CGアニメーションディベロップメントプロジェクト
- S3D(立体視)CGアニメーション
- シナリオアナリシス
- デジタルキャラクターメイキング
- モーションキャプチャ

2. 実写映像制作関係

- USC-KI VFX 演習

3. ゲーム制作関係

- インタラクティブゲーム制作<イントロダクション>
- インタラクティブゲーム制作<プロデュース>
- インタラクティブゲーム制作<グラフィックス>
- インタラクティブゲーム制作<プログラミング>
- インタラクティブゲーム制作<サウンド>

4. アプリ制作関係

- クリエイティブ・アプリケーション

（１）教育の趣旨・目的，特色，優位性

＜趣旨・目的＞

アニメやゲームなどのコンテンツは日本の文化の一端を担っており，国際的な競争力も高く，近年注目を集める分野である．欧米を代表とする諸外国では，アニメーションやゲーム，映画などのコンテンツを専門とする大学が多く存在している．一方で，日本は制作現場での実務による習得や現場での経験が重視され，これまで体系的な高等教育がなく，専門学校等での実務教育が中心であった．

そこで我々は，工科系大学ならではの高度コンテンツ人材の育成することを目的とした．従来からの作品作り主体の芸術教育ではなく，デジタル技術を駆使して，より論理的，効率的にコンテンツ制作を行うための手段や技術を開発できる次世代のコンテンツ制作人材の育成を目指した．

＜特色＞

その実践に際して，文理芸融合の学部であったメディア学部の特徴を生かし，芸術作品ではなく，産業界における商品たるコンテンツをより速く，安全に，高品質に生み出すことを教育の柱とした．そのためには，コンテンツの制作技能の習得とデジタル映像の原理や技術の理解の双方が必要になった．我々は１年次から CG アニメやゲームなどの開発に参加できるカリキュラムを活用し，オリジナルの教材や制作システムを開発して，制作とそれを支える技術の双方を関連付けて学べる仕組みを生み出した[4][6]．これにより，単に既存のソフトを使用して映像制作をするのではなく，その仕組みや原理を理解することができる．

こうした「原理を知る教育」は工科系大学ならではの「卒業研究」において重要になる．単に既存のツールを使った「卒業制作」ではなく，制作技術を革新させるための研究開発が必修となっている．これまでにない独自の映像表現のための研究開発など，高度な研究を実施する土台を，時間をかけて構築することができる．現在では，学部生や大学院生の研究成果が国際会議や論文誌に多く掲載されるに至っている．

＜優位性＞

工科系大学における高度コンテンツ教育は，プロフェッショナルと同じ環境を用いた制作の経験を土台に，制作技術をさらに高度化させるための開発力を身に着ける教育である．こうした，体制を実現した背景には，大学の建学からの方針である「実学主義」とそれを実践可能な，産業界出身の教員が多数在籍していたことがある．これらを土台にした提案者らの「プロフェッショナルのものづくりと高度な工学教育を両立させた取り組み」は，未来のコンテンツ制作人材を生み出す優位性の高い教育カリキュラムとなっている．

(2) 具体的な内容・実施体制等

<具体的な内容>

我々は、片柳研究所内において、産学官連携の研究拠点として、2003 年の私立大学学術研究高度化推進事業オープンリサーチセンター事業において「コンテンツテクノロジーセンター」を整備した。このセンターを自立化させ、継続的に運用している。この研究拠点と、従来から本学に設置されているデジタルモーションキャプチャリングシステムや3DCGの演習設備を活用し、欧米の先端的な映像制作会社やゲーム開発スタジオを同等の環境を構築した。

この研究拠点には、大学教員のほか産業界からも多くの研究員が在籍している。この制作環境、指導環境を舞台に、1 年次から CG アニメやゲーム制作に対して興味のある学生に門戸を開き、プロジェクトベースのアクティブラーニング形式の演習を行っている。

まずは、1 年次から 3 年次までの 3 年間を利用し、国内外の最先端レベルの映像制作設備と、指導スタッフのもとで映像コンテンツ制作を体験することで、高度な制作体験を得ることができる。これらの制作にかかわる演習と座学や情報系の演習を並行させることで、最先端の制作経験を積みながらその背景にある技術を理解することができる。コンテンツ関連教育は大きく、「CG アニメーション」、「ゲーム開発」、「実写や特殊効果 (VFX)」に分かれており、その中でも近年注目を集めている「立体視 (Stereo 3D)」や「Motion Capturing」などの技術に特化した演習も用意している。

映像制作の骨格であるシナリオ制作と 2D アニメーションを扱う「千夜一夜物語コンテンツ制作プロジェクト」や竜の子プロダクションとの連携による「キッズアニメーション」「CG アニメーションディベロプメントプロジェクト」、さらには、研究成果をもとに大学院教育や産業界におけるセミナーの成果を生かした「デジタルキャラクターメイキング」なども他大学にない特徴的な演習として開講している。

4 年次には、それまでの制作経験を踏まえ、映像コンテンツ制作における問題の発見と解決や、高度化などに取り組む。多くの映像コンテンツにかかわる大学が、作品制作に終始するのに対し、我々の提案するカリキュラムでは、単に作品を作るのではなく、その作品を生み出すための技術に視点を当てている。プロフェッショナルの制作者と同じツールを同じ制作手法によって実践したうえに、新たな表現技術や制作技術を創造するカリキュラムになっている。

<実施体制等>

このような教育を実施するに当たり、産業界からの知見は非常に重要である。三上は産業界出身であり、片柳研究所の産学連携プロジェクトを長年指揮してきた。これらの実績から産業界とのパイプができており、産業界の要望や最新動向を考慮してカリキュラムの整備などを進めてきた。

また、学生の制作活動を支えるためには、講義や演習の時間外でのフォローも重要になる。片柳研究所の研究員やすでにカリキュラムを経験した大学院生がこれらを担当することにより、いつでも制作に取り組める実施体制を構築した。

(3) 評価, 効果, 実績, 成果

<輩出した人材>

我々の取り組みでは、制作を理解したうえで技術力を持った人材が育っている。専門学校や芸術系大学の人材とは異なる素養を持ったコンテンツ人材として、産業界からも認知されている。

本教育カリキュラムを経た学生は、新しい技術や表現に対する意識が高く、制作の現場や裏側において、常に高い意識をもち先進的なアイデアを提供している。そのため、産業界の発展に寄与することを業界団体や企業から期待されている。我々のもとで学んだ学生は、現在はアニメ、CG、ゲーム業界で大いに活躍している。業界団体のセミナーなどで講師として登壇するOBなどが増えており、育成した人材に対して、その産業をリードする人材となっている。

<産業界の反応>

また、コンテンツ制作を分析、研究する過程で産み出された成果は産業界において、高く評価されている。「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」として、業界団体を通じて、アニメーション制作会社や映像制作会社などに配布され、日本のアニメ制作をもっとも詳細に記した書籍として評価されている。映像作品の工学的な分析に基づき「シナリオの執筆手法、評価手法」さらには、「キャラクターメイキング、評価手法」、「ミザンセース手法（演出手法）」など、従来は勘と経験による分野を体系化した。これらの研究成果は映像コンテンツ制作にかかわる最大の業界団体である「映像産業振興機構（VIPO）」で高く評価され、同団体の人材育成セミナーに採択されるに至った。それらに関する成果は（4）参考資料の[1]-[3]に示す。

<教育にかかわる学術的な成果>

我々の教育取り組みは、論文として取りまとめ、国際会議やジャーナルなどにも採録されている。下記に代表的なものを（4）参考資料の[4]－[16]に示す。

<コンテンツ制作にかかわる教育改革等>

我々が中心となって取り組んだコンテンツ制作にかかわる教育は、学術研究高度化推進事業オープンリサーチセンター事業やアジア人材資金構想など、数多くの教育改革や高度化にかかわる事業にも採択されている。それらのうち、教育にかかわる代表的なものを（4）参考資料の[17]-[19]に示す。

<海外との連携>

さらに、こうした取り組みに対し、アジア人材資金構想[19]の効果もあり、海外の大学から注目が集まっており、コンテンツ教育に関連して我々が中心となって数多くの提携し、学生や教員の交換、短期留学、共同制作などが進んでいる。提携大学は次に示すとおりである。

- ・南カリフォルニア大学（米国） 研究交流、特別講義、ワークショップの実施、学部長賞
- ・ゴットランド大学（スウェーデン） 講演会、ワークショップの実施
- ・チュラロンコン大学（タイ） シンポジウムの実施、インターン学生の受け入れ

- ・キングモンクット大学トンプリ校（タイ） シンポジウムの実施
- ・バンドン工科大学（インドネシア）
- ・グナダルマ大学（インドネシア）
- ・リムコクウィン総合科技大学（マレーシア）
- ・マネジメント&サイエンス大学大学（マレーシア）

＜コンテンツ制作技術にかかわる学術的な成果＞

教員や研究員，学生らが取り組んだ研究が国際会議や論文誌論文として採録されている．過去 5 年に論文誌論文に掲載されたもののみ次の通り抜粋する．

1. Ryota Takeuchi, Taichi Watanave, Koji Mikami, Kunio Kondo: Proposal of digital sculpting with history management of strokes, the Journal of the Society for Art and Science, Vol.11,No.4, pp.108-117,2012.12
2. Kenneth Chan, Koji Mikami, Kunio Kondo : “From Brain Waves to Game Design: A Study on Analyzing and Manipulating Player Interest Levels”, The journal of the Society For Art and Science, Vol.11(No.3),pp.59-68 2012.9
3. 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」芸術科学会論文誌, Vol.10, No.4, 251-26, 2011.12
4. 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」, 図学研究, 日本図学会, Vol.46, No.1, pp.11-20, 2012.3
5. 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」, 図学研究 日本図学会 Vol.45, No.4, pp.11-20, 2011.12
6. 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
7. 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
8. 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カラーニュシステムの開発,芸術科学会,芸術科学会論文誌,vol.9. No.2,pp. 58-65,2010.6
9. 三上浩司, 安芸淳一郎, 宮徹, 金子満:「アニメーション制作におけるコンピュータ活用のためのワークフローの提案と制作技術の蓄積」,情報処理学会,情報処理学会論文誌,Vol.49 No.8, pp.2773-2782,2008.8

(4) 参考文献

<著書等>

- [1]東京工科大学／デジタルアニメ制作技術研究会, (編集: 三上浩司他 12 名): 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／デジタルアニメ制作技術研究会, pp1-336, 2009.11, 著者, 筆頭編者
- [2]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
- [3]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, ボーンデジタル, 2012

<教育にかかわる学術的な成果>

- [4]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 3 号, pp.3-10, 2011.9 (学部講義科目: CG 制作技法の基礎)
- [5]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 in Japan, Computer & Graphic Journal "An International Journal of Systems & Applications in Computer Graphics ", 34, pp. 791-799, 2010.11 (プロジェクト演習、メディア専門演習、学部教育)
- [6] 渡辺大地, 竹内亮太, 三上浩司, 近藤邦雄: 「独自ツールキットによるスケーラブルな CG とゲーム開発の教育研究実践」, 情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会第 146 回研究発表会, 2012.2 (プロジェクト演習、メディア専門演習、学部教育)
- [7] 中村 陽介, 三上 浩司, 渡辺 大地, 大圖 衛玄, 伊藤 彰教, 川島 基展, 竹内 亮太: 「多様化するゲーム開発スタイルを見据えた新しい教育カリキュラムの実施報告」, 情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会第 146 回研究発表会, 2012.2 (プロジェクト演習、メディア専門演習、学部教育)
- [8] 三上 浩司, 中村 陽介, 渡辺 大地, 山路 和紀, 小澤 賢侍, 伊藤 彰教, 川島 基展, 竹内 亮太, 近藤 邦雄, 金子 満: 「日本における産学連携によるゲーム制作の実践教育」, 情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会第 142 回研究発表会, 2011.2 (プロジェクト演習、メディア専門演習、学部教育)
- [9] 川島 基展, 早川 大地, 近藤 邦雄, 金子 満, モーションキャプチャを活用した 3DCG アニメーション教育, 情報処理学会, グラフィックスと CAD 研究会 2008-CG-130, 2008.2 (CG アニメーション: メディア専門演習)
- [10] 中村 太戯留, 近藤 邦雄, 金子 満, 三上 浩司, 伊藤 彰教, "教育用ジオラマエンジンを用いた映像表現演習", 情報処理学会, グラフィックスと CAD 研究会 2006-CG-122, 2006.2
- [11]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ジタルキャラクターメイキング教育, NICOGRAPH 春季大会、芸術科学会. 2009.3, (大学院、学部教育)
- [12] 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ジタルキャラクターメイキング手法の提案, NICOGRAPH 春季大会、芸術科学会. 2009.3, (大学院、学部教育)
- [13] 茂木龍太, 菅野太介, 三上浩司, 近藤邦雄: キャラクター分析に基づく映像コンテンツ企画制作手法の提案, 情報処理学会第 2 回 デジタルコンテンツクリエーション研究会, 2012.10 (デジタルキャラクターメイキングプロジェクト演習)
- [14] 菅野太介, 茂木龍太, 三上浩司, 近藤邦雄: 映像コンテンツのシーン分析に基づくプロット作成手

法の提案, 情報処理学会第3回 デジタルコンテンツクリエイション研究会, 2013. 1 (シナリオアナリスプロジェクト演習)

[15] 菅野太介, 茂木龍太, 三上浩司, 近藤邦雄: 古典原作アニメーション企画を用いた映像制作教育, 情報処理学会第150回グラフィクスとCAD研究発表会, 2013. 2 (千夜一夜物語コンテンツ制作プロジェクト演習)

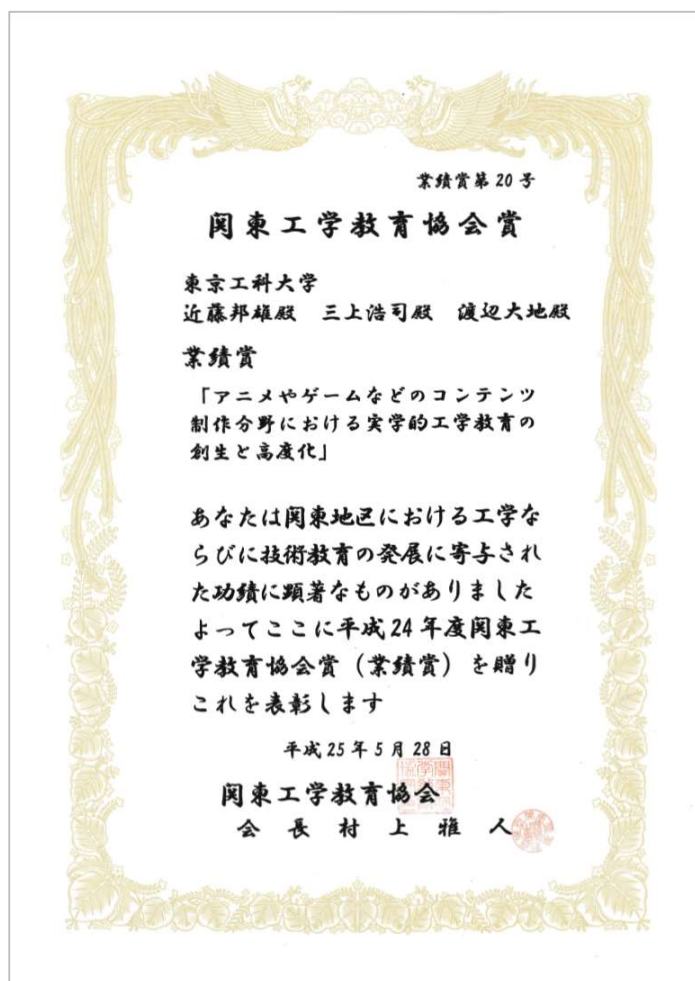
[16] 茂木龍太, 菅野太介, 三上浩司, 近藤邦雄: メディアコンテンツ制作のためのキャラクターメイキング教育, 情報処理学会第150回グラフィクスとCAD研究発表会, 2013. 2 (デジタルキャラクターメイキングプロジェクト演習)

<報告書等>

[17] 現代的教育ニーズ取組支援プログラム 「インタラクティブ・ゲーム制作の実践教育」講義実施マニュアル v2.0, 2008

[18] 文部科学省 産学連携による実践型人材育成事業 専門人材の基盤的教育推進プログラム「ゲーム産業における実践的 OJT/OFF-JT 体感型教育プログラム」報告書, 2011

[19] 平成21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材の実践教育” 報告書, 2010



2012 年 10 月

工学教育賞 推薦書

1. 教育の内容と期間：アニメやゲームなどのコンテンツは日本の文化の一端を担っており、国際的な競争力も高く、多くの国から注目を集める分野である。欧米を代表とする諸外国では、アニメーションやゲーム、映画などのコンテンツを専門とする大学が多く存在している。一方で、日本は制作現場での実務による習得や現場での経験が重視され、これまで体系的な高等教育がなく、専門学校等での実務教育が中心であった。

候補者らは、1999 年メディア学部設立時から、工科系大学を基盤とする高度なコンテンツ制作技術の教育と研究開発に取り組んできた。従来は、一部の芸術系大学の中で、対象とされてきたコンテンツ教育において、工学的な知識の再構築を行い体系化することによって、産業界からも注目を集めるコンテンツ制作教育手法を確立するに至った。

2. 対象の評価・効果、普及状況：この研究教育を実践する中で、候補者らは、早くから大学内にアニメやゲームなどの制作プロダクション体制を整備してきた。そして、この制作環境を活用し学生をプロジェクトベースで教育することで、産業界が必要とするデジタル映像制作のための人材を育成してきた。これらの人材はクリエイティブな制作経験を積むと同時に、高度な情報技術を身に付けることができるため、産学連携のプロジェクトが数多く生まれ、それら学术界のみならず産業界で高く評価されている。

a. アニメの分野では、コンピュータや 3DCG の導入に伴う制作工程の変化に際し、従来からの技術をデジタル技術に発展的に移行するために、制作工程の詳細な調査とその体系化を行った。これらの成果は「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」として、業界団体を通じて、アニメーション制作会社や映像制作会社などに配布され、日本のアニメ制作を最も詳細に記した書籍として評価されている。

b. また、映像作品の工学的な分析に基づき「シナリオの執筆・評価手法」さらには、「キャラクターメイキング・評価手法」、「ミザンセーヌ手法（演出手法）」など、勘と経験による制作手法を体系化する研究と教育を行ってきた。これらの研究成果もとに、映像コンテンツ制作にかかわる最大の業界団体である「映像産業振興機構（VIP0）」と連携して人材育成セミナーを実施し、極めて高い評価を得ている。

c. ゲーム開発においても、CG プログラミング教育カリキュラムや CG 基盤ライブラリを開発し、ゲーム開発教育の基礎を充実させるとともに、他大学に先駆けて 4 年間にわたる実践的なカリキュラムを整備し、継続して発展させてきた。この結果、日本のゲーム教育の拠点として、国内外のゲーム開発にかかわる団体から認知されるに至った。

上記のようにアニメ・映像・ゲームなどの産業界において、工学教育の重要性を広めるとともに、その研究成果に基づき、コンテンツ工学とその教育体系を確立し、産業界の発展に寄与する仕組みを生み出した。

東京工科大学メディア学部
学部長 飯田 仁

形状モデラ GEOMAP と NUCE-BASIC を用いた形状生成処理教育*

近 藤 邦 雄**, 島 田 静 雄**
佐 藤 尚**

1. はじめに

立体形状を新しく創造することは、最近の多品種少量生産時代には重要な課題の一つである。立体形状生成の教育は図学教育のなかで行われる図形の表現、解析とともに、作図作業を利用して行われてきた。最近の計算機技術の発達によって、形状生成、表現、解析の可能な形状モデラが実社会においても利用されてきている。

本研究では、このような形状モデラを利用した形状生成処理教育の有効性、可能性を見出し、定規コンパスによる従来の手描き図学教育を発展させるための形状生成処理教育法を提案することを目的とする。

形状モデラを用いた形状生成教育は、ロドリゲス¹⁾、磯田・長島²⁾らによって行われている。ロドリゲスは、エンジニアリンググラフィクス教育のなかで、与えられた仕様を満足する形状設計を形状モデラを用いている。磯田らの研究は、幾何処理を行うコマンドとそのデータを用いる図形処理言語を用いて形状生成を行う方法である。これらの命令を理解すれば、かなり複雑な形状を作成することができる。また、処理内容の教育にも配慮していることから、完全な集合演算を扱わず、和演算のみを用いている。

このような今までの形状入力のためのコマンド入力法では与える数値データを事前に計算する必要があるとき、電卓を横におい計算をするというようなことが起る。つまり、すでに計算された、または決まっている形状を入力する場合は便利であるが、ある種の計算を必要とする形状データを利用する場合には不便である。

本研究では、この欠点を解決するために、容易に形

状生成ができ各種の集合演算などの機能をもつ GEOMAP³⁾ と、繰返し演算や数値データの演算が可能である NUCE-BASIC プログラム^{4), 5)} を利用する。

本論文では、図学教育と形状生成処理教育の関連、形状モデラ GEOMAP とそれを動かすための NUCE-BASIC の機能、試行教育の内容について述べ、最後に学生の作品例を紹介する。

2. 図学教育と形状生成処理教育

筆者らが考える図学教育の目的の一つに、形を分解・解析する能力、形を統合・創作する能力の養成がある。この点から、従来の図学教育を見直してみると次のような欠点のあることが分かる。

- 1) 非常にプリミティブな操作の繰返しを行うことから、複雑な形状を描くことが困難である。
- 2) 作図の誤差が積み重なり大きくなるため、複雑な図形を正確に書きにくい。
- 3) 読取りによる誤差があり、作図結果から数値データが取れない。
- 4) 作図の手法修得に力点が置かれ、形の生成まで教育することができていない。

このような問題点を解決するために、作成したい形状をよりはやく正確に完成できる形状モデラを用いる。形状モデラを利用した形状生成法を用いることによって、人の細かな作図作業を省力化し、人に要求される創造力を発揮する場を提供することができる。これが形状モデラを利用する大きな長所である。このような形状モデラを用いた形状生成処理教育は図学教育の一つの領域になると考える。

* 平成 2 年 6 月 25 日受付

** 埼玉大学工学部情報工学科

3. 形状生成処理教育システム

3.1 GEOMAP について

GEOMAP は、幾何モデルのプロセサとして昭和 52 年に、穂坂・木村によって開発されたフォートラン・サブルーチン・パッケージの総称である。GEOMAP は非常に大きいプログラムであるが、最近の 16 ビットパソコンでもオーバーレイの技法を使って大型機と同じプログラムを走らせることが可能である。GEOMAP は標準の FORTRAN 77 で書かれているので、フォートランの利用できる環境であれば実行可能である。ただし各種パソコンのグラフィック機能が異なることから、グラフィックルーチンを変更する必要がある。

GEOMAP の形状生成処理関係の機能を表 1 に示す。立方体・直方体・回転体などの立体生成、平行移動・回転などの立体変換、送貫・干涉などの集合演算、透視変換と作図処理、立体間の関係づけをする木構造定義などがある。

表 1 GEOMAP のコマンド

作業域の制御 ファイル	CHINIT, CDIR, CDEL, CRENAM, COPY, CDUMP FSLOAD/SSAVE
2D-モデリング	RECT, RECTM, RETANG, RRTANG, RNGON, RPOLYG, REGFL, REGLC
-移動・回転	RGDIS, RGRIT, RGLONG, RGFACT, REVERT, RCOPY
-干涉	RATEST, RUNI, ROVL, RSUB, RINT, RDCOMP, RCUT
3D-モデリング	PCUBE, PCUBEM, PEWEDG, PRWEDG, PRCYLN, PRCONC, PCYLN,
-移動・回転	PCONE, PREVL, PTRUNC, PHDFL, PHDFC, PHEDRA,
-干涉	PGDIS, PGROT, PGROTA, PGLONG, PGPAN, PGFACT
モデルの変換	PATEST, PUNI, PSUB, PINT, PCUT, PEVERT, PDCOMP
3Dから3D	(PFOLD, PWIRE, PFELIM, PEELIM) (組み込んでない)
3Dから2D	HLIMAG, HMIMAG, HDEV, HDEVF (投影変換)
2Dから3D	RTOP25 (2.5次元モデル)
2Dから2D	(RWIRE, RMASK, REELIM, RFELIM) (組み込んでない)
作図用コマンド	HDISP, HEDISP, HFDISP, HLDISP, HATCHR, HATCHC
木構造	LMTREE, LDTREE
幾何定数の計算	JPVOL, JRVOL, JCOPY, JUNI, JSUB, JFACT, JDEL,
データ問い合わせ	QBOX, QFEVN, QVERT, QEDGE, QFACE, QFLOOP, QJVOL, QJGINT,
その他	QJAXIS, QJGCEN HLIGHT, RHIGHT

3.2 NUCE-BASIC について

筆者の一人島田はフォートランで BASIC のインタプリタを作り、フォートランのサブルーチンを特殊コマンドとして利用できる方法を開発し、これを NUCE-BASIC と名づけた。このインタプリタによって BASIC 命令を解釈し、形状モデラ GEOMAP を利用することができる。

したがって一般のユーザは、普通のパソコンの BASIC の操作法と GEOMAP コマンドを知っていれば、高度の幾何モデル処理をする GEOMAP をごく容易に利用することができる。各種 BASIC, GEOMAP コマンドは、BASIC プログラム中とコマ

ンド直接入力状態のときの両方に用いることができる。また、各種のコマンドは、ヘルプ機能によって使用法を見ることができるようになっている。

3.3 形状生成表示のプログラム例

GEOMAP と NUCE-BASIC を用いて形状生成表示を行う簡単なプログラムを図 1 に示す。プログラムは、1) 初期化、2) 視点データの設定と視点位置の計算、3) 立体形状(直方体)の生成、4) 直方体の表示の 4 つの処理から成る。このプログラムを実行すると、3 辺の長さがそれぞれ 10, 12, 20 の直方体 A が生成され表示される。複雑な形状を生成する場合は、形状生成部分を必要な形状生成コマンドで構成すれば良い。

本試行教育ではこのような GEOMAP と NUCE-BASIC をを利用し、より複雑な形状生成処理を次のように行った。

```

10 PRINT "GEOMAP Demonstration Program"
20 CHINIT
30 CAM(1)=35: CAM(2)=-25: CAM(3)=30: TH=0.8
40 DPCAM CAM,TH
50 PCUBE "A",10.,12.,20.
60 CLS : HFDISP "A",0,4
70 END

```

図 1 直方体作図のプログラム

4. 教育内容

本試行教育は、3 年生の前期半年の講義(実習も含む) 90 分×12 回と後期の実験(形状モデリングのテーマを 180 分×2 回)において行った。講義の受講者は 40 名程度で、本プログラムが実行可能なメモリ 640 K 以上を持つパーソナルコンピュータ 10 台を用いた。このため講義内の実習は 1 グループ 3～4 名で行い、それぞれの課題は、時間外にも行うことができるようにした。また、実験では後期の開始時期に受講者 60 名を集め解説を行い、各グループの締切日までに課題を自由に行うように指示した。

講義内容と実習内容を次に示す。前期講義は、4 回の解説と 8 回の実習からなる。解説は第 1 回が計算機による画像の取扱、マンマシンシステムの概念、多面体生成処理システムの紹介、第 2 回が多面体データ構造、基本立体生成方法、第 3 回が投影法、面の可視不可視、第 4 回が切断、集合演算、局所変形操作である。

8 回の実習では、MS-DOS の使い方、GEOMAP の例題集の実行を 2 回で行った後、5 つの課題として、1) 基本立体の生成、2) 回転体の生成、3) 相貫体の生成、4) 機械部品と三面図、5) 投影変換と図形表現を与え、プログラム作成を行わせた。今回はこれらの課題を一度に解説した。これは、学生の理解度にかなり差があり、先に進むことができる学生への対応として行った。

後期実験では、1) 身近な工業製品のモデリング、2) 動きのある形状生成の 2 つのテーマを与えた。これは、どちらか一方を 2 週間で行うようにした。

以上のように課題は実験のテーマを含め、7 つである。テキストとしてコマンドマニュアルと実験解説書(例題を含む)を配付した。

```

110 REM      河合 雅仁      1 9 9 0 年
120 DIM XYZPOS(3,15),ITABL(65)
130 READ XYZPOS : READ ITABL
140 NV=15:NC=56
150 CMINIT : CLS
160 PHDFL "TDK",XYZPOS,NV,ITABL,NC
170 CAM(1)=0 : CAM(2)=35 : CAM(3)=25
180 DPCAM CAM,TH,1
190 HFDISP "TDK",0,4
200 AXIS(2,2)=0,0 : AXIS(3,2)=1,0
210 PGROTA "TDK",,-90,0,AXIS
220 CAM(2)=-30
230 DPCAM CAM,TH,1
240 HFDISP "TDK",0,4
250 CAM(1)=35:CAM(2)=-25
260 DPCAM CAM,TH,3
270 HFDISP "TDK",0,1
280 CMINIT
290 PHDFL "TDK",XYZPOS,NV,ITABL,NC
300 CAM(1)=40:CAM(2)=40:CAM(3)=40
310 DPCAM CAM,TH
320 DPWIND -35,,-35,200
330 HFDISP "TDK",0,4
340 REM DATA FOR XYZPOS
350 DATA 12 24 0, 12 24 10.8, 0 24 10.8, 0 24 0, 0 15 15.9
360 DATA 0 0 12, 12 0 12, 12 12 7.7, 12 12 0, 18 12 0
370 DATA 18 0 0, 18 0 12, 18 12 7.7, 12 15 15.9, 0 0 0
380 REM DATA FOR ITABL
390 DATA 2 1 4 3 9900
400 DATA 13 10 9 8 9900
410 DATA 6 15 11 12 9900
420 DATA 6 7 14 5 9900
430 DATA 7 12 13 8 9900
440 DATA 5 14 2 3 9900
450 DATA 11 15 4 1 9 10 9900
460 DATA 12 11 10 13 9900
470 DATA 7 8 9 1 2 14 9900
480 DATA 5 3 4 15 6 9900 9999 /

```

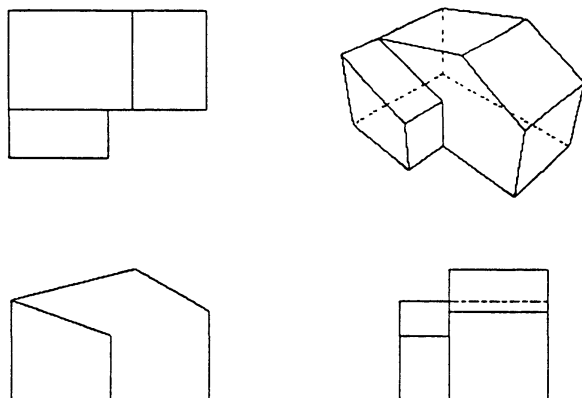


図2 任意形状の多面体

5. 課題と作品例

学生に渡した課題の目的と内容の概略は以下のようである。

〔課題1〕「GEOMAP では円柱や立方体などの基本立体のように、数種類のパラメータを与えるものが用意されているが、ここでは、基本立体で表現しにくい立体生成するために「PHDFL」という任意形状立体生成コマンドを使う。このために頂点座標と頂点の接続データを入力しなければならない。このデータを生成することにより、意図した3次元形状を生成せよ。立体の頂点番号、面を決めるための頂点接続順を表わすグラフとそれを生成するためのデータとプログラム例を示す。」

この課題で生成された形状の例を図2に示す。

形状データの作成において頂点接続順を間違えることが見られたが、これは実行後容易に修正できる。

〔課題2〕「回転体の作図例題プログラムを示す。断面の座標を考え、プログラムを変更し、回転体を作成せよ。」

作図例を図3に示す。図3の(1)では断面形状を数値

```

100 REM      林  核      G0291.BAS
110 REM      大内 浩之      1 9 9 0 年
120 DIM ZXPOS(2,14)
130 CMINIT : CLS
140 READ ZXPOS
150 CAM(1)=30 : CAM(2)=30 : CAM(3)=30 : TH=0.8
160 DPCAM CAM,TH
170 MREV=12 : ICURV=0 : ANG=360
180 PREVL "A",ZXPOS,14,MREV,ANG,ICURV
190 CLS : HLDISP "A"
200 END
210 REM DATA FOR ZXPOS
220 DATA 0.5 0, 0 1, 0 2, 0.5 3,
230 DATA 2 5, 4 6, 6 6.5,
240 DATA 9.5 6.5, 11 5, 11.5 4.5,
250 DATA 11 2, 10 0.5, 12.5 0.5, 12.5 0,

```

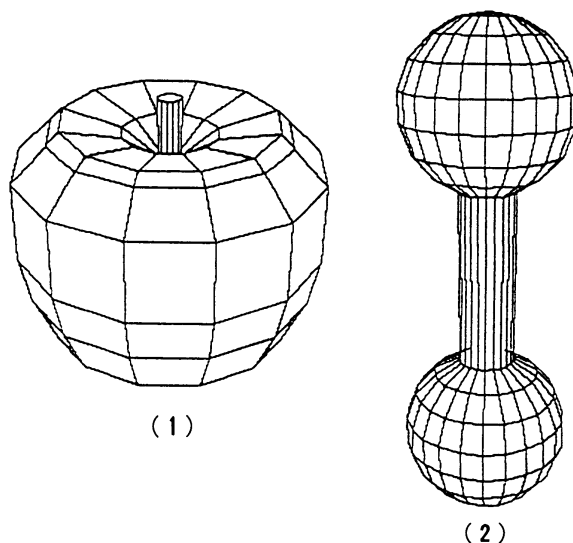


図3 回転体

データで配列に与えた。(2)では球の断面形状データをNUCE-BASICの演算機能によって配列に代入した。

〔課題3〕「相貫体の生成の練習として、アルファベットの柱体2つの相貫体を作成せよ。」

図4に作図例を示す。

〔課題4〕「与えられた機械部品の図面から立体を生成し、三面図と透視図を同時に表示せよ。三面図の作図例題プログラムを示す。」

作図例を図5に示す。この課題では、比較的単純な寸法の付いた機械部品の見取図を与え、それから必要なデータを作るようにした。これは形の分析と構成を目的として与えたものである。

〔課題5〕「立体が計算機内部に生成されれば、いろいろな方向から見た投影図が作画できる。立体の特徴をよく表すような表示やアニメーション表示を行ってみよ。」

この課題では、形状の特徴をよく表すような投影図の表示や物体移動や視点移動でどのように投影図が変化するかを見ることを目的とした。作図例を図6に示す。

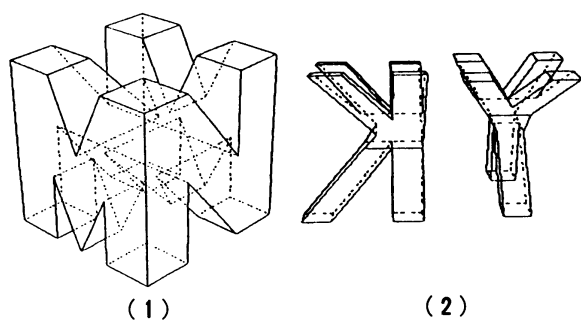


図4 相貫体

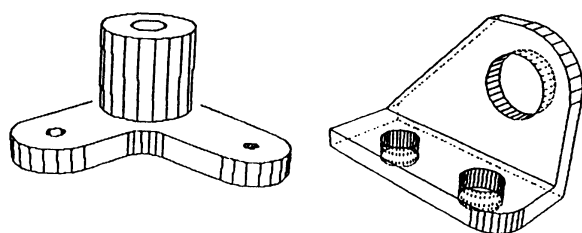


図5 機械部品

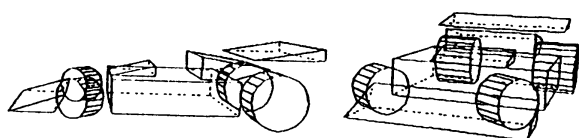
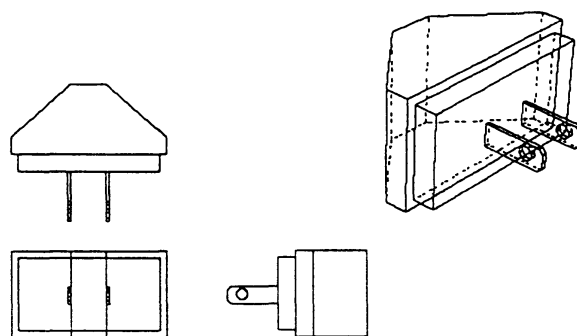


図6 物体の移動

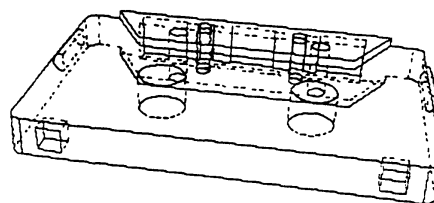
以下の2つの課題は2週間の実験テーマで、学生はどちらか一方を行った。

〔課題6〕「身近な工業製品を観察し、形状生成せよ。三面図表示も行うこと。」

この課題では、普段利用するような立体形状の観察を行い、それを分析し形状分解とデータ作成を行うことを目的とした。図7に作図例を示す。



(1)



(2)

図7 身近な工業製品

〔課題7〕「例題のロボットプログラムを参考に各種の動きをする形状を設計せよ。」

この課題では、立体の関係付けを定義する木構造と立体の回転法の理解を目的とした。図8から図10に作図例を示す。図8はインプット命令によって、回転

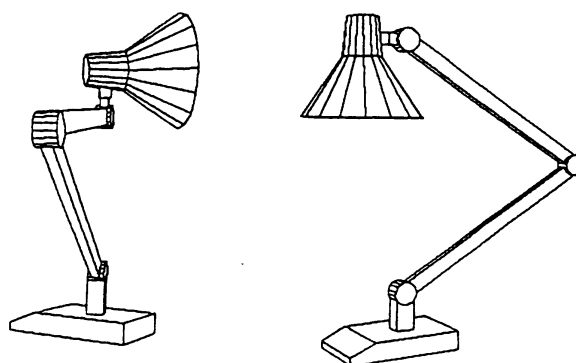


図8 立体の動きの表現と視点移動

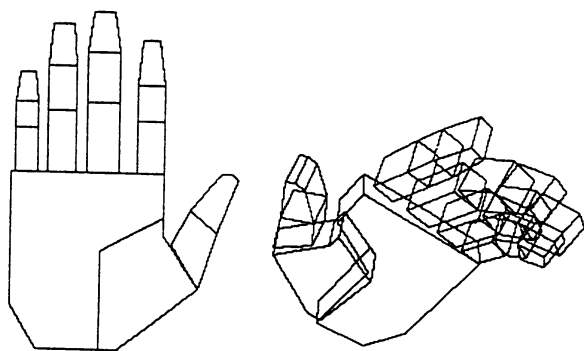


図9 生物の動き

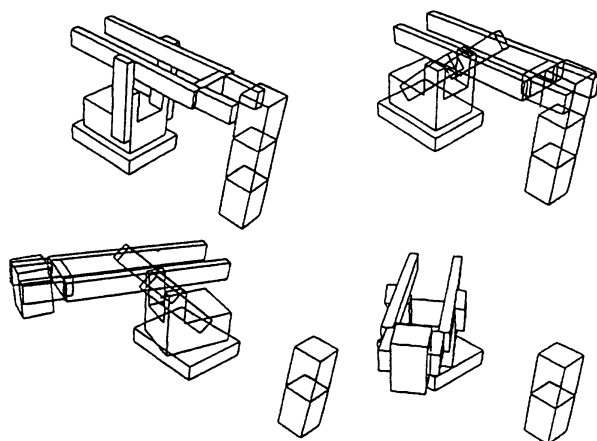


図10 ロボットの動き

角度や視点の位置を繰り返し入力できるようになっているプログラムを用いて作成した。図9は回転機能を利用して、人の手の動きを表示した例である。これらの例ではBASICプログラムのなかの回転角度と繰り返し回数を変更することによって連続的な動きを表現することが可能である。図10はロボットシミュレーションの例で、直方体3つを移動する動きを表している。

6. 考察

本節では、学生の理解度、教育目的に対する効果、問題点について述べる。

課題1、2は例題のプログラムを参考にその構造を大きく変えることなく、作成可能である。NUCE-BASICとGEOMAPの使用法を学ぶために適当な課題である。

課題3では見本となる基礎的なプログラムを与え、それを参考に形状生成を行わせた。レポートを見ると形状そのものはすべて異なっているが、数人で相談して作成していることが分った。見本となるプログラム

を見せて、それをもとに自分の形状データを作成するような実習は形状を考えることに多くの時間をとることができることから有効と思われる。

以上の課題1から3までを行うことにより受講者は、基礎的なプログラムの使い方と形状処理の考え方を理解でき、さらに形状生成の例題プログラムを参考に自分が考えたデータに変更したり、追加したりすることができるようになった。

課題4では、与えられた機械部品の図面から形状を正確につかみ、形状の生成過程を基本立体に分け、それを組合せていく手順を整理した後、形状生成プログラムを作成している。このことから立体形状の分解構成力の訓練に役立つ課題といえる。

課題5は、視点位置を変えるだけでいろいろな投影図を描くことができるというグラフィックスの大きな長所を生かしたものである。視点をいくつも選択し多数の投影図を作画することが容易なことから、効果的な表現法についての訓練を短時間で行うことが本課題の実施によって可能となる。

課題6では、身のまわりにあるものの形状を観察することによって形に対する関心を深めることを目的にした。学生の作品をみると目的は充分達成されていることが分った。

課題7では、ロボットの例題を紹介し、複数の形状関係付けの木構造の理解をはかった。この課題では、いろいろな動きのあることを紹介し、それらの形状生成を行うことを勧めたことから、単純な一方の立体関係の動き、ころがりの動き、メカニカルな拘束のある形状の動きなどに取組んでいる。このような例は、回転や平行移動を利用するが、拘束のあるものはその考え方を学習しておかないと動きの解析が困難であり、形状生成以外の知識が多く必要であった。手や足などの動きを表現することからはじめることが望ましい。

以上、課題別に考察した結果、課題7の一部をはぶき、半年の演習で形状生成処理技術の修得が可能であると考えられる。

受講生からの本システム改良の指摘をつぎに示す。

1) 計算速度が遅く、複雑な形状生成のプログラムチェックに多くの時間が必要である。もっと早く計算してほしい。

2) マニュアルの説明不足により、利用法がわかりに

くい。ヘルプ命令によって、コマンドの利用法やデータの役目が示されるが、説明が簡単のために理解しにくい部分がある。丁寧な解説を示してほしい。また、使い方が容易に分るような例題をみせてほしい。

3) NUCÉ-BASIC のラインエディタが非常に使いにくい。市販のエディタを使ってプログラムを作成してから、利用するようにした。もうすこし使いやすいエディタにしてほしい。

このような意見は、積極的に課題に取り組んだ受講生から出されている。また、形状生成がうまくできない学生の多くは、新しい形状を考え出すことがむづかしいこと、回転中心・軸などの変換、立体関係づけを行う木構造などの取扱いが理解が困難なこと、NUCÉ-BASIC の利用法を充分理解できない、また BASIC 自体を知らないことが原因である。

7. まとめ

本論文では、BASIC プログラムで実行可能な形状生成処理システムを提案し、形状モデラを利用した形状生成処理教育例を示した。

これらをまとめると以下ようになる。

1) GEOMAP と NUCÉ-BASIC の利用によって図形処理言語のコマンド入力の不便さを解消し、形状生成のための入力操作を省力化することによって、学習時間の短縮が可能となった。

2) 本試行教育では、基礎的な形状から動きのある形状表現までの教育手順を示した。この内容を試行教育として、段階別に教育した例はまだ少ない。どのような例題を示すことがよいかが残された問題である。

3) 教育目的である形状の分析力、創造力は、数値的評価は現在のところ困難である。しかし、考察で述べたように立体の分解や再構成についてまとめられた例や自由課題でみずから考えた複雑な立体を図面に描き入力データを作成している例から、本教育法は従来の教育で取組みにくい部分を充分補うと考える。

なお、本試行教育は東京工芸大学電子工学科3年生に対して行った。同大学の関係者、ならびに本試行教育の受講生の方々に深く感謝する。

参考文献

- 1) ロドリゲス, “ジョージア工科大学におけるインタラクティブ・エンジニアリング・グラフィッ

クスの教育の現状”, 図学研究, **48**, (1989), 37 - 41.

- 2) 磯田, 長島. “計算機図学の教育内容とその試験授業について”, 図学研究, **34**, (1984), 31 - 37.
- 3) 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”, 機械学会論文集, **378**, (1978), 661 - 669.
- 4) 島田. “プログラムの管理と CAD”, PIXEL, **13**, (1983), 115 - 120.
- 5) 島田. “コンピュータプログラムの管理のためのプログラム”, 日本写真測量学会秋季講演会, (1982), B-3, 33 - 38.

EXPERIMENTAL COURSE OF SOLID MODELLING WITH GEOMAP AND NUCÉ-BASIC

Kunio KONDO

Shizuo SHIMADA

Hisashi SATO

This paper describes an attempt to create educational contents of solid modeling. By using GEOMAP and NUCÉ-BASIC, we held an experimental course. A Program package GEOMAP (Geometrical Modelling and Processing) is written in FORTRAN by Prof. Hosaka and Prof. Kiura. The GEOMAP can be applied to aid the design work reasonably. NUCÉ-Basic is an interactive BASIC interpreter written by a portable FORTRAN. It works as similar as a BASIC language used on a personal computer. This education aims to teach the following; 1) how to process solid modelling by computer, 2) how to represent design process of solids, 3) how to represent animation using solid modeller. Students carried out the processing work using personal computers. Many examples which were made by students are shown in this paper. A good many students were attracted by contents of this experimental course.

情報工学実験における形状モデリング

島 田 静 雄[†] 近 藤 邦 雄[†]
佐 藤 尚[†] 黒 田 章 裕[†]

本論文では、情報工学科の3年生の学生実験課題の一つとしてとりあげた「形状モデリング」に関連して、形状モデリングの考え方や実験内容を提案する。本学生実験では、CADの基本技術としての形状処理を理解することに主眼を置いている。本文では学生実験というわずか2週間という短い時間のなかでの教育について提案する。これを実現するための使いやすく高速な処理が可能なシステム、わかりやすく興味をもつことのできるテーマと例題について特徴をもっている。本文では、まず、形状モデリングの考え方、実験の課題である「形状モデリング教育」の目的、学生実験の内容、環境を紹介する。そして、実際に本システムを使用した学生の反応をもとに、教育の効果や評価について述べる。

Solid Modelling Education at Department of Information Science

SHIZUO SHIMADA,[†] KUNIO KONDO,[†] HISASHI SATO[†] and AKIHIRO KURODA[†]

A CAD programme package GEOMAP is adopted for teaching solid modelling instead of the traditional exercises of hand draftings. An interactive tool NUCE-BASIC serves the very professional GEOMAP easy to operate and understand even for undergraduate students. The new course of lectures and exercises can encourage students to imagine a shape and transfer their ideas into computer graphics. Some experiences about teaching techniques are discussed with students' works on the solid modelling.

1. はじめに

設計とは、未だ実在していない物の形を頭の中で想像し、その物の寸法と形状などを図面に表す作業である。したがって、設計製図というように組にした用語が使われ、描かれた図面を設計そのものであるとみなすのである。CADを目的とする計算機ソフトウェアが、グラフィックスの機能を重視していることも、図に表す作業が設計の目標であるためである。一方、同じような意味をもつデザインという用語を使うときは、芸術的な感性で色や形を創造することと考える向きがある。設計、デザインにかかわらず、その作業の過程で計算機を応用することは時代の趨勢であるが、いずれの場合でも、図を媒体とするコミュニケーションが重要であることに変わりはない。

さて、工学の教育においては、専門ごとに特徴のある設計製図の課題を、必修単位として学生に履修させることが、従前ではごく普通のことであった。この課題の主な狙いは、立体的な形状を平面的な図に表し、また平面的な図から立体的な形状を読み取る能力を訓

練することにある。しかし、専門の幅が広がり、教育科目数が増加するにつれて、製図教育がしだいに縮小される傾向にある。それに代えて、計算機を利用する新しい設計製図の教育を模索しなければならなくなった。情報工学系の学科では、機械系や建設系の学科ほどに設計製図を取り上げないが、コンピュータグラフィックスの利用頻度が高いので、立体的な形状を正しく扱う教科を、どこかで含ませることが必要である。埼玉大学情報工学科では、この趣旨に沿った教育のコマを、3年生の学生実験の中で「形状モデリング」と題して含ませた。

筆者らは、以前から設計製図の講義と演習とに、計算機を利用する教育方法を研究してきた。実際の設計業務にも利用できて、かつ、教育用にも適する計算機のソフトウェアには、形状モデラ“GEOMAP”¹⁾を発展的に応用してきた。また、教育事例としての紹介も、部分的に行ってきた^{2),3)}。しかし、なぜ形状モデリング教育が必要であるのか、また、その目標とすることがどこにあるかの思想について、学生のみならず担当教官にも十分な理解が得られていなかったことの反省がある。したがって、この思想について本報文で詳しい解説を述べることにした。この理解を踏まえることで、少ない教育時間であっても、そこで与えられ

[†] 埼玉大学工学部情報工学科

Department of Information and Computer Sciences, Saitama University

た経験をもとに、学生のその後
の知識形成に強い影響力を持
たせることができると考えて
いる。

本報告では、まず、形状モデ
リングの基本的な考え方を述
べ、次に実験の課題である「形
状モデリング教育」の目的につ
いて解説する。そして学生実験

の教育環境を紹介する。さらに、これらの環境で、実
際に本システムを使用した学生の反応をもとに、形状
モデリング教育の実際と評価について考察する。

2. 形状モデリングの基本的な考え方

製図は技能の一種であるため、熟練と経験の差に
よる上手下手があからさまに表れる。しかし、工学に
おける製図は、立体的な形状を幾何学的に正しく表現
することと、実現性のある形状を示すことが使命であ
る。そのため、描く速度と図のきれいさの向上とを
自動製図に頼ることが、1960年代に始まった。しか
し、立体的な形状を平面的な図形に翻訳するのは、依
然として人間の空間認識の能力に依存している。立体的な形状を、計算機でそのまま扱うようにすれば、任意の投影図がほぼ自動的に作成できるので、設計者が作図方法で苦しむことから開放される。さらに、必ずしも図面にまとめる必要もなく、立体的な形状データを、直接に製造装置に結びつけることができる。これが、その後に続くCAD/CAMの発展をうながした。とはいえ、設計の基本である形状の創造は人の能力で決まるので、人の考えついた着想を計算機に伝える技術が必要になってきた。これが形状モデリングである。

ここで、形状モデルと形状モデリングとの考え方の違いを明らかにする。この言葉の対は、図形と製図との対に対応している。つまり、形状モデルを造形する途中のプロセスを含めて形状モデリングという。したがって、製図用具とその使い方に相当するように、ハードウェアとソフトウェアの評価も必要になる。製図と同じように、形状モデリングは、コンピュータグラフィックス(CG)で表現される平面的な仮想世界の中で造形を考えるのであるが、子供が積み木や粘土で造形をするような現実での経験と、生物としての人間がもつ空間認識とが結びつかないと、形状を感覚的にとらえることができない。

表 1 NUCE_BASIC の基本コマンド
Table 1 Commands for NUCE_BASIC.

Editing	AUTO, DELETE, EXIT, HELP, LIST, NEW, RENUM
Files	OPEN/CLOSE, LOAD/SAVE/MERGE, LOGON/LOGOFF, DECK
Run Control	RUN, CONT, STOP, END, ECHON/ECHOFF, TRON/TROFF
Definitions	DEFDBL, DEFINT, DEFNG, DEFSTR, DIM, ERASE, REM, DATA/TO/STEP, RESTORE, WIDTH
Execute	IF/THEN/ELSE, FOR/TO/NEXT, INPUT, PRINT, READ, GOTO, GOSUB/RETURN, ON/GOSUB/GOTO
Functions	ABS, ATN/ATN2, COS, EXP, LOG, RND, SGN, SIN, SQR, TAN

製図技法という立場から見て、四角形を線図で作図することを例として考えてみよう。この図形を4つの有向線分の集合とすると、作図の過程を分類すると全部で48通りもある。製図技術では、この描き方の方法にこだわるのである。この延長としての形状モデリングにおいては、立体的な形状の造形であるため、形を構成する途中の過程に、どれだけの種類があるかの見当がつかない。形状モデリングが教育対象として興味がある1つの理由は、形状モデルが単純に見えても、形状モデリングが個人ごとに別々の取り組みを可能にすることである。

さらに、設計における技術的な造形と、デザインにおける芸術的な造形との、考え方の相違を明らかにする。前者の造形においては、図面などを媒介として、同じ形状を第三者が再現できるようにする情報伝達の手立てが必要である。つまり、図面は製作者に渡されて、再現可能な造形が行われる。一方、芸術的な造形では、作者のオリジナリティに価値を認めるので、同じ形を第三者が複製することを、原則として排除している。また、意図的に制作データを廃棄するデザイナーの潔癖さも、まみ見受けることがある。この考え方の違いを認識すれば、CADのソフトウェアと、計算機を利用する、単なる「お絵書きツール」との区別は明らかであろう。CAD/CAMと組みにして考えるのは、造形のデータ(CAD)がコンピュータ化された工作機械で再現(CAM)することとして理解することができる。

3. 形状モデリング教育の目的

形状モデリング教育は、設計製図の教科を、手段と方法とを変えて発展させたものにとらえ、学生自身が実験をすることで理解させることに目的がある。もちろん、形状モデリングを概念として理解するためには、前節で述べたような内容も含めて、多くの関連知識を必要とするが、独立した単元であることを考え

表 2 グラフィックスのコマンド
Table 2 Commands for graphics control.

Initialization	**
Screen Control	CLS, PAUSE, DPWIND, DPCAM
Drawing	DPMOVE/DPDRAW(2D),DQMOVE/DQDRAW(3D)
Pen Selection	DPENTX

** These are current specification without using colour graphics.

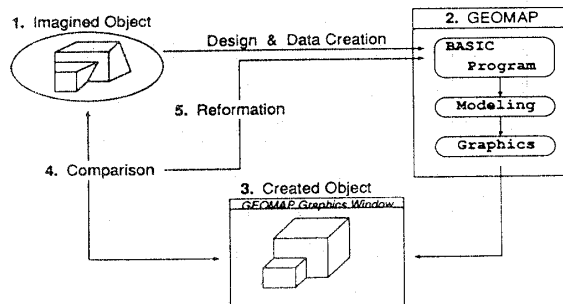


図 1 形状生成教育のながれ
Fig. 1 Flow of solid modelling education.

て、次の 4 つの目的を定めた。

1. CAD の基本技術としての形状処理を実験を通じ理解する。
2. 空間認識の訓練を行い、3次元形状モデリングの理解を深める。
3. データ構造の一例として、形状データの記憶方式を理解する。
4. 学生自身が考えた形状を、CG を利用しながら作成することによって、プレゼンテーション技術の向上を図る。

この目的を掲げた理由は、2 つある。第 1 は、自分で形状モデラーを作成させるのでは手間と時間がかかり効率が悪いので、簡単な操作で容易にモデリングできる教育用ツールを使わせ、空間認識の能力を高める教育を短時間で体験させたいこと。第 2 に、設計作業の基本的な過程である自分が頭の中に想像した形状と、グラフィックスで得られる形状を見て比較し、修正するというフィードバックの過程を体験させたいことである。この第 2 は、実験において次のようにして学生に行わせ

る。

- 作成したい形状を考え、モデリングできるデータ形式にする。
- 形状モデルの構築方法を考え、それをプログラムで記述する。

- 形状の特徴を表すことができるように、グラフィックスで表示させる。
- 表示された形状を観察し、当初のイメージとの比較を行う。
- 比較によって生じたギャップを埋めるように、形状のデータやモデリング作業の方法を調整し、プログラムを修正する。

以上の順番で作業をループさせ、自分の目的とする形状に近づけていく。このループを学生に体験させることで、目的に示した内容の理解、表現能力、空間認識能力の向上を期待している (図 1)。

4. 教育環境としてのソフトウェアとハードウェア

“GEOMAP”¹⁾は、形状モデラとして 1977 年に発表されたが、当時のプログラム開発環境が FORTRAN-66 の時代であったこともあって、形状モデリングの技法は、FORTRAN プログラミングの条件で決まる制約がきわめて大きかった。その後、インタラクティブ

表 3 GEOMAP のコマンド
Table 3 Commands for GEOMAP.

Work area	CMINIT, CDIR, CDEL, CRENAM, COPY, CDUMP
Files	FSLOAD/FSSAVE
2D_Modelling	RECT, RECTM, RETANG, RRTANG, RNGON, RPOLYG, REGFL, REGLC
_Transform	RGDIS, RGROT, RGLONG, RGFACT, REVERT, RCOPY
_Interference	RATEST, RUNI, ROVL, RSUB, RINT, RDCOMP, RCUT
3D_Modelling	PCUBE, PCUBEM, PEWEDG, PRWEDG, PRCYLN, PRCONE, PCYLIN,
_Transform	PCONE, PREVL, PTRUNC, PHDFL, PHDFC, PHEDRA
_Interference	PGDIS, PGROT, PGROTA, PGLONG, PGPAN, PGFACT
Model Convert	PATEST, PUNI, PSUB, PINT, PCUT, PEVERT, PDCOMP
3D to 3D	(PFOLD, PWIRE, PFELIM, PEELIM) (not specified)
3D to 2D	HLIMAG, HMIMAG, HDEV, HDEVF (projection)
2D to 3D	TOP25 (two-and-a-half modelling)
2D to 2D	(RWIRE, RMASK, REELIM, RFELIM) (not specified)
Graphics	HDISP, HEDISP, HFDISP, HLDISP, HATCHR, HATCHC
Tree Structure	LMTREE, LDTREE
Constants	JPVOL, JRVOL, JCOPY, JNUI, JSUB, JFACT, JDEL
Data Query	QBOX, QFEVN, QVERT, QEDGE, QFACE, QFLOOP, QJVOL, QJGINT,
Miscellaneous	QJAXIS, QJGCEN
	HLIGHT, RHIGHT

で使い勝手のよさを図るため、同じく FORTRAN で記述した擬似的な BASIC インタプリタを開発し、その中から間接的に GEOMAP のサブルーチンをコマンドとして引用できるようにした。これを NUCE-BASIC と呼んだ^{4),5)}。さらに、FORTRAN の利用環境が MS-DOS マシンにも広がったので、大型汎用機からパーソナルコンピュータ、さらにワークステーションに至る広い範囲の機種でも、共通の仕様で形状モデラを利用できる教育環境が整うことになった。しかし、プログラムのポータビリティを保つことと、使いやすさや機能の拡張とは矛盾することもあり、とくに、グラフィックスの環境は、標準化の実装が普及していないので、単純なコマンドの利用に限定されている。

形状モデラを CAD の立場で利用する場合、ソフトウェアとして基本的に満たすべき思想が3点ある。

1. 形状を寸法で正しく表現すること

このことは、マウスなどを使う自由なグラフィックスデータの入力方法に制限があることである。

```

10 REM      チェスのキング      KING.BAS
20 REM      5 8 7 2 1      相良 長幸
100 DIM ZYPOS(2,24)
110 DIM XYZPOS(3,40) : DIM ITABLE(143)
120 CINIT : CLS
130 READ ZYPOS
140 READ XYZPOS
150 READ ITABLE
160 CAM(1)=30 : CAM(2)=15 : CAM(3)=15 : TH=0.5
170 DPWIND 0.,30.,200. : DPCAM CAM,TH
180 MREV=20 : ICURV=0 : ANG=360
190 PREVL "A",ZYPOS,24,MREV,ANG,ICURV
200 NV=40 : NC=143
210 PHDFL "B",XYZPOS,NV,ITABLE,NC
220 PUNI "A","B"
230 HLDISP "A",0,0
240 END
250 REM --- DATA FOR ZYPOS ---
260 DATA 0 1.7, 0.8 1.7, 0.8 1.3, 0.9 1.4, 1.1 1.5,
270 DATA 1.4 1.4, 1.5 1.3, 1.6 1.2, 1.7 1.1, 1.8 0.9,
280 DATA 2 0.9, 2.1 0.7, 3.1 0.5, 3.2 0.6, 3.2 0.5,
290 DATA 4 0.5, 4.2 1.2, 4.3 0.6, 4.5 0.6, 4.6 0.8,
300 DATA 4.7 0.6, 5.9 1, 6 0.4, 6.2 0.3,
310 REM --- DATA FOR XYZPOS ---
320 DATA 0.2 0.2 6.3, 0.2 0.3 6.4, 0.2 0.1 6.8, 0.2 0
    DATA 0.2 0.6 6.7, 0.2 0.6 7.1, 0.2 0.2 0.2 0

```

図 2 GEOMAP の例題プログラム
Fig. 2 Example program of GEOMAP.

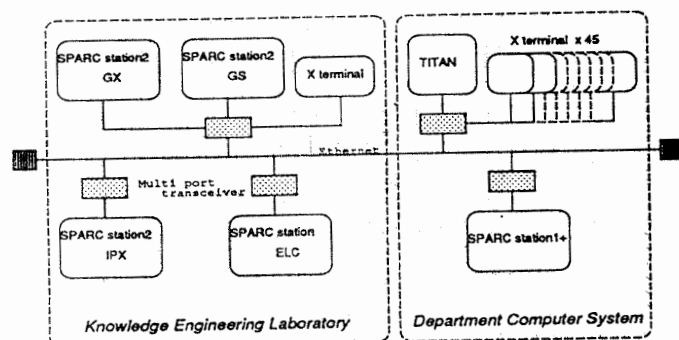


図 3 ネットワーク構成
Fig. 3 Configuration of the network.

2. 作業の手順を記録し、かつ再現できること
一般的に言えば、手順をプログラムできること、と考えることができる。これを、ロギングとプレイバックの機能という。
3. 別の作業とのデータ受け渡しができること
専門的には、CAM ヘータを送ることであるが、別のグラフィックス装置で図を描かせることも考えることができる。

ソフトウェア開発方針は、上の3項目を独立に開発・発展させ、全体を機能的に合成することを指向している。GEOMAP は、純粋に幾何学的処理に限定したソフトウェアである。NUCE-BASIC は上記の2番目を支える。NUCE-BASIC, グラフィックス, GEOMAP のコマンド一覧を表 1~3 に示す。さらにこれらのコマンドを用いた例題プログラムを図 2 に示す。3番目の項目は、アーティストやデザイナーの協力で完成度の高いグラフィックス表現方法へつなぐ意味で重要である。

埼玉大学情報工学科で学生実験を行うハードウェア環境は、SUN SPARC station 1+, Kubota TITAN 1500, これに接続されているX端末である。学生実験は、図 3 に示すように、これらのハードウェアを Ethernet で接続したネットワーク環境で行っている。GEOMAP を利用する環境は、筆者らの講座研究室、学生が実験を行う端末室との2つに大別される。また、処理速度とメモリの制限で劣るものの、NEC-PC 9800 上でまったく同じ演習ができるので、自宅での補習も可能になっている。

5. 形状モデリング教育の実施

埼玉大学情報工学科3年生の学生実験は、通年で12テーマが設定されていて、3コマ(270分)を1回として、2週間で2回、合計6コマが各テーマに与えられている。学生40名は6つのグループに分けられ、テーマごとに6ないし7名の学生になり、グループあたり1名の教官が担当している。本形状モデリングの実験は、その1つであるが、実験時間以外にも、学生は演習室で作業を行うことができる。

実験の初めに、形状モデリングの考え方や簡単な実行例を1時間程度で紹介する。このあと、学生はワークステーションで形状モデラを利用する環境を設定し、用意されている例題を実行し、操作法やモデリングの方法を体験す

る。次に、自分が作成したい形状の簡単なスケッチなどを描かせ、モデリングのときに必要となる座標データや、基本立体の位置、使用するコマンドを考えさせる。学生は、この作業後に、プログラムを作りながら形状評価を繰り返し、イメージした形状を生成する。

本実験では、学生に対して下に示す5つのテーマを提示した。1と2は基本処理、3～5は応用処理である。基本、応用それぞれ1つずつを課題として指定して形状の作成に当たらせた。各課題の代表的な作品例を図4～9に示す。

1. 多面体の頂点座標と、頂点の並びで面と辺との接続データを与えるようにして立体図形を生成すること。この方法は最も基本的な単純なデータ指定方法であるが、注意深くないとデータを間違えや

すい、ということを経験させることができる。

2. 集合演算による立体生成。現実にある形状は、切断、穴開け、接着などの処理で構成するが、それに相当する集合演算の方法を、形状モデリングで

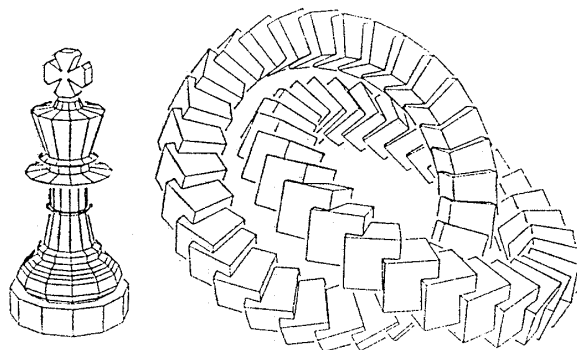


図7 回転、移動を用いた立体構成
Fig. 7 Modelling using rotation, movement methods.

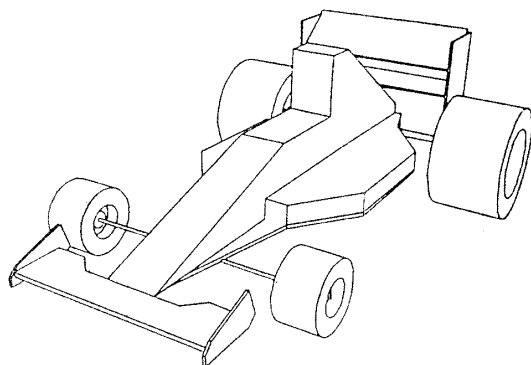


図4 頂点と接続データからの立体構成
Fig. 4 Modelling example using surface loops.

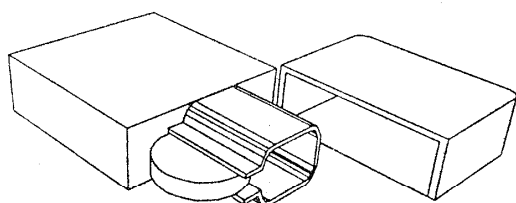


図5 集合演算による立体構成
Fig. 5 Modelling example using set operation.

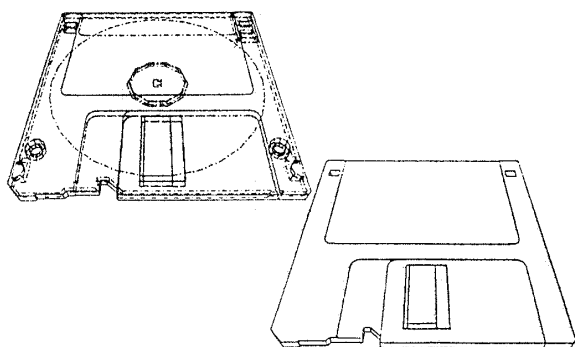


図6 フロッピーディスク
Fig. 6 Floppy disk.

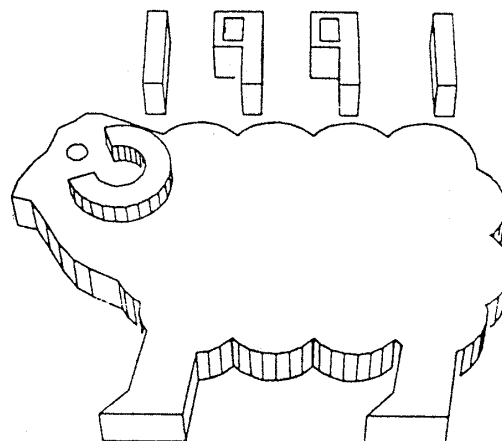


図8 干支の例1
Fig. 8 Example of the animal of the year.

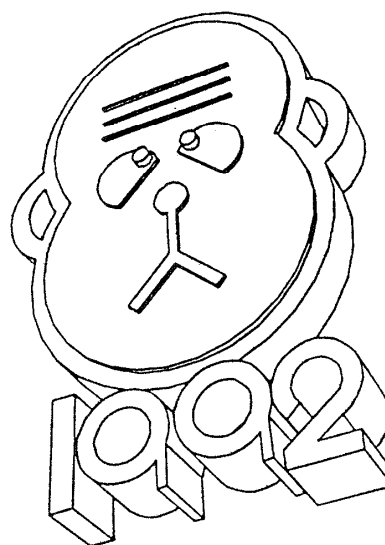


図9 干支の例2
Fig. 9 Example of the animal of the year.

体験させる。

3. 身のまわりの物を対象とした立体生成。寸法をどのように決めるか、を理解させる課題である。製図では、図を描いて寸法を記入するが、形状モデリングでは、寸法を先に決めないと図に描けないのである。
4. 回転、移動の処理を用いたデザインや造形。座標系の理解がないと、回転や移動を思いどおりに制御できないことが体験できる。
5. 動物などのデザイン造形。動物のソリッドモデルは、曲線や曲面の多い造形を必要とするが、これを多面体で構成させるには、デザインの感覚が必要である。取り上げる動物のモデルは、次年度の干支としている。この課題は、平成5年度から西年の2巡目になった。

これらの形状生成に必要なプログラムは、疑似 BASIC 言語で書かれたプログラムであって、その行数は図4～9のプログラムにおいて、150, 55, 122, 53, 95, 107 である。行数の増加は、大体においてモデルの複雑さを表すが、FOR-NEXT などの繰返し機能が利用できる形状はプログラムをコンパクトに抑えることができる。

6. 形状モデリング教育の評価

ここでは、3章で提示した教育の目的に対して、どの程度学生が理解を深めたか、どのような効果があったかについての評価を、以下に目的別にまとめる。

- CAD の基本技術としての形状処理を実験を通じて理解する。

学生は、自分のイメージした形状を思いどおりに表示させることが、簡単なことではないということを、体験的に理解できるようになる。市場に種々のライブラリやモデラーが開発されていることの背景が理解できるようになる。また、モデラーというものが必ずしも高速な処理をするものではなく、すこし複雑な形状を作成しようとする、膨大なデータ量が必要になり、かつ処理に時間のかかることを理解するようになる。さらに、形状の特徴をとらえて、無駄なくかつ正しくその形状を表現することが必要であることも理解するようになる。これは、適切なデータの選択と効率の良い形状の生成方法とを工夫させることにつながり、ひいては、今後利用する他の CAD システムの特徴と欠点を正確につかむ上でも教育効果が期待できる。

- 空間認識の訓練を行い、3次元形状モデリングの理解を深める。

疑似 BASIC 言語でプログラムを書く前に、頭の中に描いたイメージを紙にスケッチする作業が必要である。形状モデリングが、単にコンピュータのキーボードの操作だけでなく、物をしっかりと目で観察し、イメージを固定化するという作業を修得することができる。この過程を経てプログラムに書いてモデリングをし、その結果をグラフィックスで見る。空間認識とモデリングとをつなぐことで、学習が深まることが認められた。

- データ構造の一例として、形状データの記憶方式を理解する。

作成したい形状を、どのように表現するかを理解させることができる。本実験では、疑似 BASIC 言語の中で GEOMAP コマンドを利用する方法を修得させた。同じ形状でも種々の組み立て方法が考えられるので、データ構造の利点や欠点を比較しながら考えるようになった。ただし、ここでのデータ構造とは、GEOMAP コマンドに与えるデータ構造のことであり、プログラムの内部で扱うデータ構造については解説だけに止めた。

- CG を利用するプレゼンテーション技術の向上を図る。

形状を透視図や平行投影図で表現するツールには、投影の原理に忠実なコマンドが揃えてある。これらを使って、視点の位置の違いによる見え方の違いが、モデリングによって得られた形状を観察することで理解させることができる。さらに、座標系を感覚的に理解させることができる。三面図のように、複数の投影図を組み合わせで表現させる、などの表現能力を高めることができた。

さらに、以下のことが、形状モデリングの実験を行う上で大切であることがわかった。

すべてのプログラミング教育と同じように、形状モデリングの演習においても、学生は端末操作の手順と GEOMAP コマンドの内容を理解しなければならない。プログラミング操作を擬似的な BASIC で組み立ててあるので、普通の意味でのプログラミング教育を一切行っていない。学生が習得しなければならないことは、BASIC 言語から引用する GEOMAP のコマンド名、その機能、使い方である。しかし、例題を豊富に準備してあるので、on-line-help をマニュアルとしても印刷しておく程度の教材である。学生の立場に

立てば、形状モデリングにおいては、とくに幾何学の素養が欠かせない。演習に当てる時間数が少ないので、この知識を補う別の学科目、例えば数値計算法や線形代数などとの連携が必要になっている。このため、GEOMAP の豊富な機能を使いこなすことは、学生の学力レベルではやや困難な点があり、丁寧なテキストを準備することが教官側の責任であると考えている。

学生の教育では、何かの見本を見て、それを真似してそっくり同じものを作りながらモデリングの方法を覚え、新しいアイデアを加えさせるのが、短い教育期間で利用する手段として効果がある。GEOMAP は、立体的な形状を幾何学的な正確さで表すことに主眼を置いて開発されたので、コンピュータグラフィックスとしての派手さはない。教官側の学生に対する期待は、幾何学の原理をふまえた上で発揮される、学生の新鮮な造形感覚である。これらが年度ごとに次の学生へのよい見本として引き継がれる。

7. おわりに

工業における設計とは、未だ実在していない物の形を頭の中で想像し、その物の寸法と形状などを図面に表す作業である、と認識する。形状モデリングの学生実験は、従来の設計製図の教科を、手段と方法とを変えて発展させたものとしてとらえた。製図用具に相当するものは、計算機のハードウェア、ソフトウェアの環境である。形状モデリングのソフトウェアは、GEOMAP を疑似 BASIC 言語のコマンドとして利用する教育システムを用いた。2週間6コマの短い実験時間内でも教育効果を高めるため、豊富な例題を用意した。実験課題は、グラフィックスの作品として提出させたが、この過程において形状モデリングの理解、グラフィックスを使う表現能力と空間認識能力の向上、などにおいて教育効果があった。

謝辞 学生実験において、本研究のシステムを使用し、貴重なご意見をいただいた学生および、本研究室の卒研生諸氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 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, 機械学会論文集, Vol. 44, No. 378, pp. 661-669 (1978).
- 2) 近藤, 島田, 佐藤: 形状モデラ GEOMAP と NUCE-BASIC を用いた形状生成処理教育, 図学研究, No. 51, pp. 1-6 (1989).
- 3) 近藤: 埼玉大学情報工学科における CG/CAD

教育, PIXEL, No. 118, pp. 133-138 (1992).

4) 島田: プログラムの管理と CAD, PIXEL, No. 13, pp. 115-120 (1983).

5) 島田: コンピュータプログラムの管理のためのプログラム, 日本写真測量学会秋期講演会, B-3, pp. 33-38 (1982).

(平成4年12月22日受付)

(平成5年9月8日採録)



島田 静雄 (正会員)

1931 年生. 1954 年東京大学工学部卒業. 工学博士. 1959 年東京大学工学部土木工学科助手, 講師を経て, 1963 年名古屋大学工学部助教授, 教授. 1983 年から工学部共通講座情報検索学に配置替. 1990 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ックス, 情報管理, データベースの研究に従事. 土木学会などの会員.



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ックス, ユーザーインターフェース, 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. 日本図学会などの会員.



佐藤 尚 (正会員)

1964 年生. 1987 年学習院大学理学部卒業. 1989 年国際基督教大学修士課程修了. 1990 年学習院大学博士後期課程中退. 同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. 日本数学会などの会員.



黒田 章裕 (正会員)

1969 年生. 1992 年埼玉大学工学部情報工学科卒業. 同年同大学大学院入学. 現在コンピュータグラフィックス, 感性処理を用いた画像データベースの研究に従事.

A Manual to Teach Computer Graphics by JAVA

Masahiro Takahashi,¹ Hisashi Sato,² Kunio Kondo,¹ Shizuo Shimada³

¹ *Dept. of Information and Computer Sciences, Saitama University*
255 Shimookubo, Urawa-shi, Saitama, Japan
email: masa@ke.ics.saitama-u.ac.jp, kondo@ke.ics.saitama-u.ac.jp

² *Course of Information and Computer Sciences, Kanagawa Institute of Technology*
1030 Shimo-Hagino, Atugi, Kanagawa, Japan
email: sato@ic.kanagawa-it.ac.jp

³ *Polish-Japanese Institute of Computer Techniques*
ul. Koszykowa 86, 02-008 Warszawa, Poland
email: shimada@pjwstk.waw.pl

Abstract

Techniques of computer graphics are used in various fields; education, business, science and so on. It is difficult to edit a conventional manual about the computer graphics related with texts and pictures. We developed a system to make students understand the complicated concepts of computer graphics through a screen aided by the manual. The computer network is expected to communicate with many distributed people by texts, pictures, sounds, etc. through the World Wide Web (WWW) [2]. JAVA [5] is one of such utilities to help the virtual machine environment on WWW that can manage computer network accessibility. In order to teach computer graphics at the department of computer sciences, a local network is applied as similar as Internet.

Key Words: Computer Graphics, CAI, WWW, Remote Education

1. Introduction

Computer graphics is applied to various fields. Many people are willing to study and to become experts of computer graphics by identified examination. Education of computer graphics is classified into three categories [3, 4];

1. Programming

A method of usual programming is applied to compose some graphical results. Any of computer languages, such as BASIC, PASCAL, C etc. are taught.

2. Ready programming

A teacher prepares some applications for computer graphics. Original computer programming is hidden to students, and they have only to study how to prepare commands and data for figures.

3. Semi programming

In the class of programming, a teacher supports some graphics libraries.

A manual to teach computer graphics is usually edited by poor texts and less pictures so that students feel difficult to understand. We were ever teaching computer graphics by theory and algorithms using written manuals. Students must study the theories and then try to practice by their programming, on which they have to pay a lot of time and efforts. We developed a computer assisted instruction system (CAI) on a network to aid each independent student to study computer graphics along with his personal understanding steps.

2. Purpose

Our CAI system aims to teach about 50 students in the class of computer graphics at every terminal connected to the local network. The concepts to construct the CAI system are as follows:

- Easy understandable manual.
It supports more conventional media than usual reference books and pictures.
- Simultaneous and independent usage by a lot of people.
The manual can be used as a common text in the class as well as a personal aid when a student wants to study alone.
- Hardware independency through the network.
Various computer systems can be connected to the network. The teaching aid software must be therefore independent from any environment.
- Open publicity of pictures among students.
Homeworks of students can be widely demonstrated to all other students.

3. Systems design of teaching computer graphics

3.1. Systems environment

We constructed our CAI system on the network shown in Fig. 1. Each student corresponds to clients in the figure. A teacher has a server with a database and the client-server system. Our system is able to serve not only students but also outside public clients through WWW (Fig. 2).

The database has HTML (Hyper Text Markup Language) data and JAVA applet, a small application software supplied by Sun Microsystems.

JAVA will be more available in the world rather than using our own programming tool. It was chosen among other utilities for the following reasons:

- Object oriented language
- Similar grammatical manner as C and C++
- Simple syntactic structure

In the Japanese manuals, *Kanji*, Chinese symbolic characters, play very important functions along with alphabetical letters. As *Kanji* is a sort of graphics symbols, the teaching

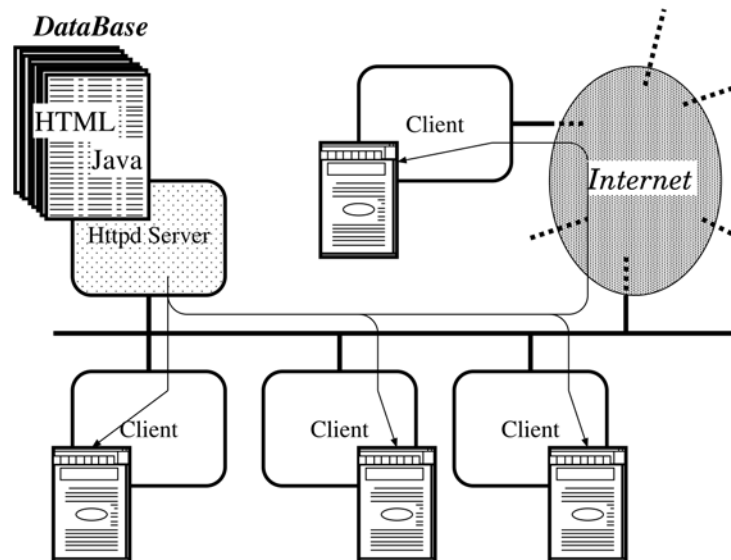


Figure 1: Network environments

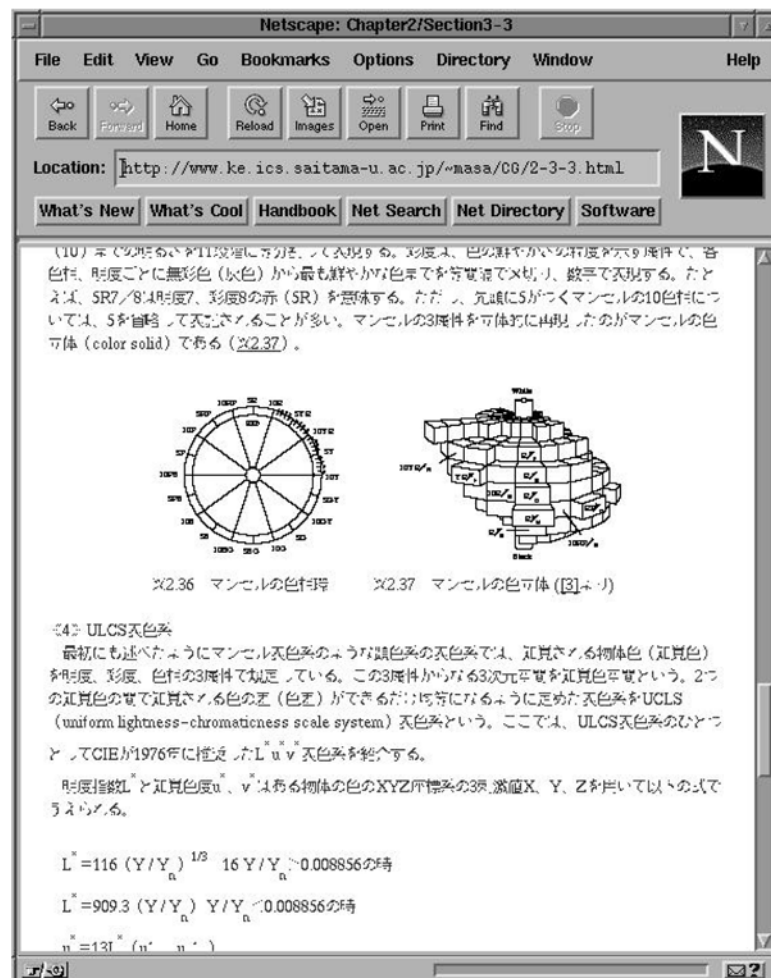


Figure 2: Computer graphics text on WWW system

manual should be edited graphically. This is the reason why JAVA environment is applied in our CAI system.

3.2. Examples of applet

Applet is the name of a unit of applications supported under the control of the whole JAVA system. Some examples of graphical topics are explained.

1. Bézier curve applet:

In order to generate a smooth curve (Fig. 3), a Bézier curve of 3rd order is the basic tool. A user can study how the curve is generated by given 4 positions on the interactive screen.

This program, the applet, consists of three operations:

- `init()`
- `mouseDown()`
- `paint()`

The program list is shown in Table 1, however, the programming is hidden to the user and he only clicks the four positions on the screen, and then the last click activates the drawing of a smooth curve.

2. Affine transformation applet:

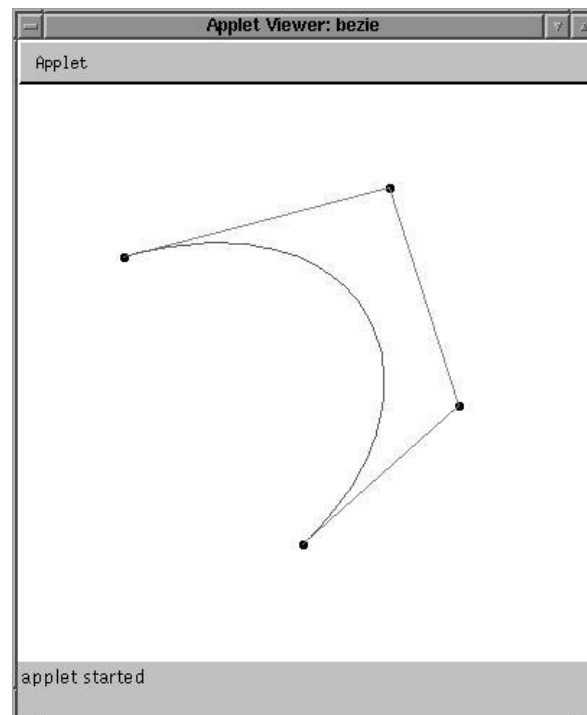


Figure 3: Bézier curve applet

Fig. 4 exemplifies the affine transformation of a plane figure.

Affine transformation is a matrix operation which causes a deformation and a movement of a figure. A student should study the theory of the transformation on the same screen, and he specifies the matrix parameters in the corresponding columns.

```

1  import java.applet.Applet;
2  import java.awt.*;
3  public class bezier extends Applet {
4      Point[] p = new Point[4];
5      int    n = 0;
6      int ndiv = 50;
7      public void paint(Graphics g) {
8          int i;
9          double u;
10         double[] w = new double[4];
11         Point old,current;
12         g.setColor(Color.black);
13         for(i=0;i<n;i++) g.fillOval(p[i].x-3 ,p[i].y-3 ,7,7);
14         g.setColor(Color.green);
15         for(i=1;i<n;i++) g.drawLine(p[i-1].x,p[i-1].y, p[i].x,p[i].y);
16         if (n==4) {
17             g.setColor(Color.red);
18             old = new Point(p[0].x,p[0].y);
19             for(i=1;i<ndiv;i++){
20                 u = (double)i /(double)ndiv;
21                 w[0] = (1-u)* (1-u)* (1-u);
22                 w[1] = 3 *    u * (1-u)* (1-u);
23                 w[2] = 3 *    u *    u * (1-u);
24                 w[3] =    u *    u *    u ;
25                 current = new Point((int)(w[0]*(double)p[0].x+ w[1]*(double)p[1].x+
26                                     w[2]*(double)p[2].x+ w[3]*(double)p[3].x),
27                                     (int)(w[0]*(double)p[0].y+ w[1]*(double)p[1].y+
28                                     w[2]*(double)p[2].y+ w[3]*(double)p[3].y));
29                 g.drawLine(old.x,old.y, current.x,current.y);
30                 old = new Point(current.x, current.y);
31             }
32         }
33     }
34     public void init() {
35         setBackground(Color.white);
36         resize(400,400);
37     }
38     public boolean mouseDown(Event evt, int x, int y){
39         if(n < 4) p[n++] = new Point(x,y);
40         else      n=0;
41         repaint();
42         return true;
43     }
44 }

```

Table 1: Program list of a Bézier curve (JDK1.0.x style)

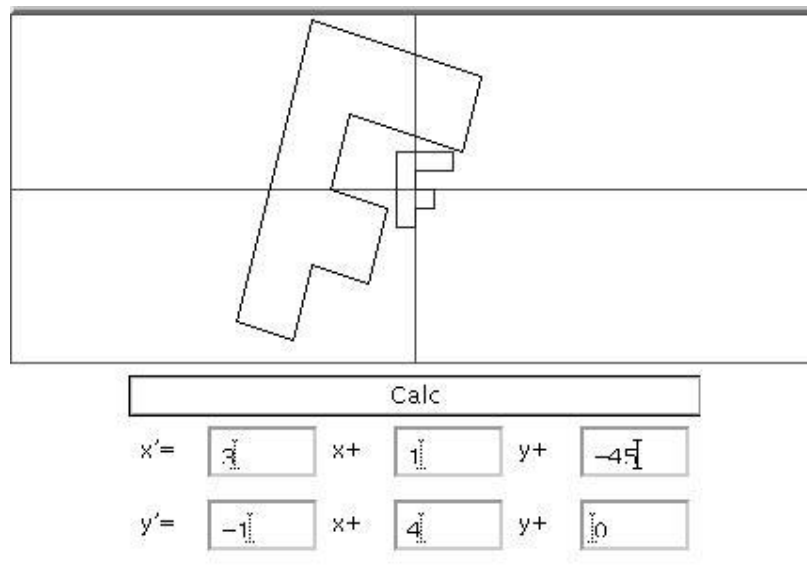


Figure 4: Affine transformation after execution

After completing the input data and clicking the “calc” button, the transformed figure is shown with the original image as shown in Fig. 4.

3. IFS applet:

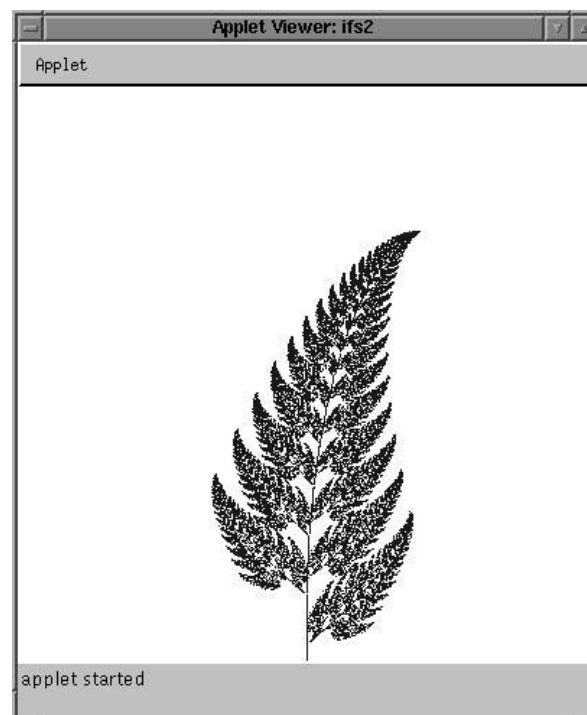


Figure 5: IFS applet

Fig. 5 shows an example of IFS (Iterated Function System) to generate a fractal figure which simulates a leaf of fern. Students will be interested to watch the graphical output step by step on the screen.

4. Three dimensional shapes projection applet:

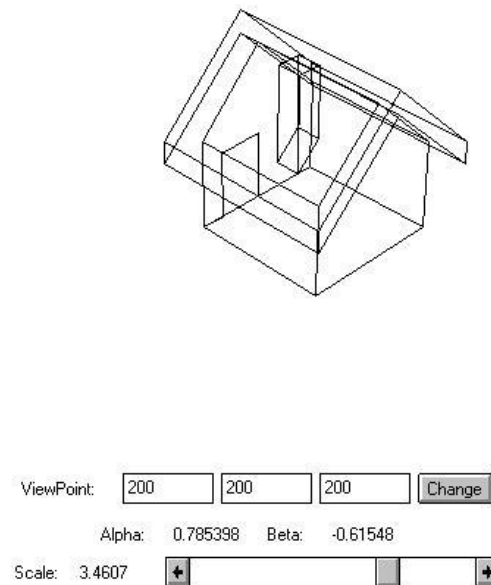


Figure 6: 3D shapes projection applet

Fig. 6 shows the projection of a simple 3D object. We can express only 2D information on WWW contents and textbook. Students can try to change the view point by themselves. It is a typical subject which is hard to explain in a usual text.

5. Primary animation applet:

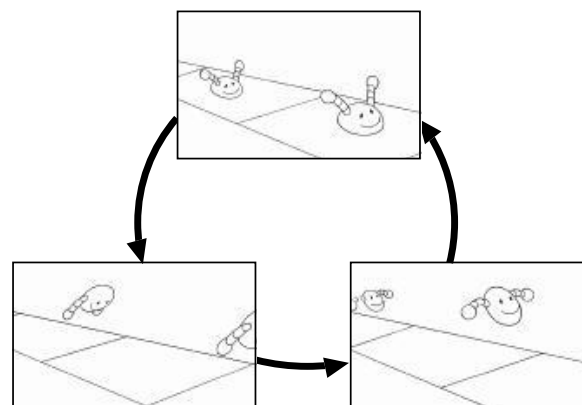


Figure 7: Primary animation

Fig. 7 shows the primary animation applet. Usual WWW systems have a weak point which is showing animations in a browser window. We made teaching materials on animation by the use of the JAVA animation applet. It is difficult to explain animations in usual textbooks, because a textbook is static.

3.3. Discussions about examples

Teaching computer graphics should be designed to work interactively and dynamically, because to watch the creation of an image step by step is more important than to look at a statically complete figure.

Questions and problems raised by students were as follows:

- Algorithms are difficult to understand from the tutorial explanation in the class.
- Three dimensional procedures are requested as an extension of two dimensional figures.
- Motion picture techniques are requested as the combination of image transformation.

4. Conclusion

A teaching manual was edited for computer graphics under the interactive environment connected to the local network which is also connected to WWW.

1. Accessibility of HTML (Hyper Text Markup Language) depends on the browsing on the machine dependent terminals and browsers.
2. As far as the present specifications of JAVA, processing of plane figures gives a reasonable result for teaching.
3. Our teaching manual is based on the text [1] written in Japanese language, for which the cooperative text and graphics are adapted for the use JAVA.

Acknowledgment

The Computer Graphics Arts Society (CG-ARTS) is deeply acknowledged.

References

- [1] *Basic textbook for CG editing group*, Technical parts, CG-ARTS (1995).
- [2] T. BERNERS-LEE, R. CAILLIAU, H.F. NIELSEN, A. SECRET: *The World-Wide Web*, ACM Comput. Surv. Aug. 1994, 76–82.
- [3] K. KONDO: *The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education*. China-Japan Joint International Conference on Graphics Education (1995).
- [4] K. SUZUKI, K. YOSHIDA, K. KAJIYAMA: *Restructuring of Graphic Science Engineering Design and Drafting Courses at Japanese Universities – Based on Implementation of CG, CAD*. China-Japan Joint International Conference on Graphics Education (1993).
- [5] SUN MICROSYSTEMS INC.: *The Java™ Language Specification*, March 1995.

Received November 26, 1996; final form June 13, 1998

●教育資料

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

A Training of 3 D Geometric Modeling using a Solid Reconstruction CAD System

近藤 邦雄 Kunio KONDO

概要

3次元形状モデリングの教育は、島田、長島、新津らによって報告されている。これらを使いこなすためには、三面図の読み書き能力が重要である。市販のCG、CADシステムを利用して形状を生成する場合においても、三面図の描き方や見方を理解していなければいけない。このために第27回図学教育研究会で報告された「三面図を用いた立体復元」が三面図の描き方と読み方の教材に有用であると考えた。そこで、筆者らはこのシステムによる投影図を利用した3次元形状生成を目的として以下の2つの大学で試行教育を実践した。以下、本報告ではこの立体復元CADを利用して、三面図の描き方と立体モデリングの基礎の理解を目的にした教育について述べ、立体復元システムの概要、演習の目的と内容、学生の演習結果と評価について述べる。

キーワード：形状モデリング教育／三面図作図／立体復元／形状理解

1. はじめに

3次元形状モデリングの教育は、島田^[4,5,7]、長島^[6]、近藤^[10]、新津^[13]らによって報告されている。これらを使いこなすためには、三面図の読み書き能力が重要である。市販のCG、CADシステムを利用して形状を生成する場合においても、三面図の描き方や見方を理解していなければいけない。このために第27回図学教育研究会^[1]で報告された「三面図を用いた立体復元^[2]」が三面図の描き方と読み方の教材に有用であると考えた。この立体復元ソフトウェアは、山口氏により、図学教育研究会で報告されている。このような教材の交流は、図学教育の充実を進める上で重要なことといえる。

そこで、筆者らはこのシステムを用いて形状モデリング入門を目的として以下の2つの大学で試行教育を実践した。埼玉大学工学部情報システム工学科で2001年度から2003年度にCAD工学^[7,8,11,12]という4年生向けの講義において、演習課題として行った。そして九州芸術工科大学画像設計学科で2002年に図形科学という一年生向けの講義において演習として行った。

以下、本文では、第27回図学教育研究会において山口^[2]より報告があった立体復元CADを利用して、三面図の描き方と立体モデリングの基礎の理解を目的に立体復元システムの概要、演習の目的と内容、学生の演習結果と評価について述べる。

2. 立体復元システムの概要^[2,3]

図1は、立体復元システムを用いて三面図を入力し、立体復元した結果である。形状を描いていくとき、三面図間の対応が自動的にとられるようになっている。このため各投影図間の対応に関して間違いが少なくなるようになっている。面数が数百程度の多面体であるならば、パソコンでも十分に実用的な処理速度である。なお、本システムは、平面のみにより構成される立体を対象としている。機能はウインドウ上部にある10数個であり、操作は極めて単純である。

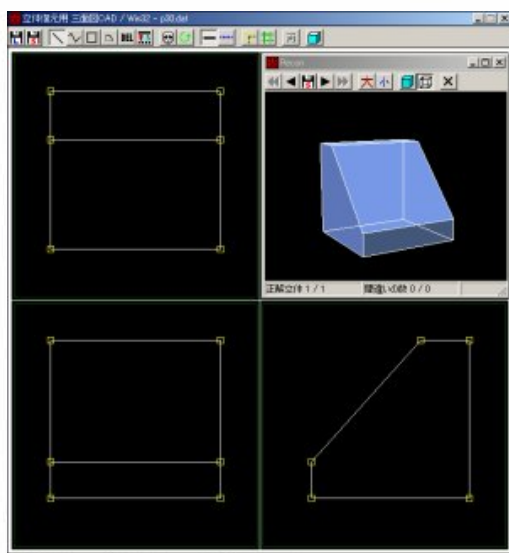


図1 立体復元システム

3. 3次元形状モデル生成のための演習

3.1 演習の目的

図学教育では、3次元形状を2次元図形として表現するための手法を会得させ、そして逆に2次元上に表現された図から、3次元形状を理解する能力を習得させることをひとつの目的としている。特に(1)投影図を用いた立体形状の表現技術の習得、(2)各種投影図から3次元形状の把握が大切である。このために、三面図と3次元形状の関係を理解させるための演習は大切である。

本演習の目的は、図と立体の関係、および3次元形状の入力方法を理解させることである。CADやCGに関連する講義において、投影や投影図の解説を行った後に、前節で説明した立体復元システムによる形状モデル生成の演習を行ったり宿題を与えたりした。

3.2 実施内容とレポート課題

講義における演習を以下のとおりに行った。まず投影の考え方や三面図の見方を1コマ分で講義したあと、立体復元システムの使い方を紹介した。その後、埼玉大学では立体形状の生成を宿題の課題とした。九州芸術工科大学では、講義時間中に演習を行った。

レポート課題は、「三面図を描いて3次元形状を5つ生成せよ」である。生成する立体には特に制限をつけなかった。

4. 3次元形状生成の結果と評価

ここでは、演習結果である三面図と生成形状の紹介および三面図の作図誤りについて述べる。

4.1 形状生成の結果

埼玉大学の学生による約50の形状と九州芸工大の学生による約200の形状をもとに代表的な生成形状を以下に示す。

(1)スweep形状(図2)：三面図のうちのひとつの投影図を底面となる平面図形を作図して、高さを与えるという考え方が理解しやすいので、システムを使い始めたときの例題として最適である。

(2)投影図が似た形状(図3, 4)：二面図や三面図を与えて立体を想像する課題を元になっている。

(3)学生のアイデアによる形状

図5, 6, 7, 8, 9に学生のアイデアによる3次元形状生成例を示す。機械設計による形状例とは異なっているが、かなりの頂点数で構成されている場合でも対応する頂点がとりやすいこと、立体の生成結果を表示して点検できることから、使い方に慣れると複雑な形状が製作できることが分かる。学生自身が想像した形状以外にも生成されることがあるので、図面の描き方への注意が深まるといえる。

(4)製品などの身近な形状

身近な製品は複雑であり曲面を含んでいるが、それらを簡略して平面で再構成して三面図を描いている。図10, 11, 12に生成例を示す。

4.2 作図の誤り

提出された三面図データを用いて立体復元を行い、誤りの理由を調査した。この結果、隠れ線の作図、稜線の対応、同一平面上の稜線、頂点座標の位置、図の配置などが不適切であることが分かった。図13は、2つの柱体を重ねた立体であるが、それぞれの稜線をすべて描いて

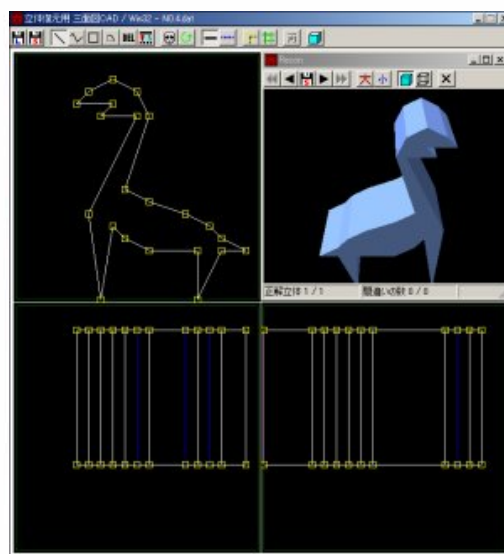


図2 sweep形状

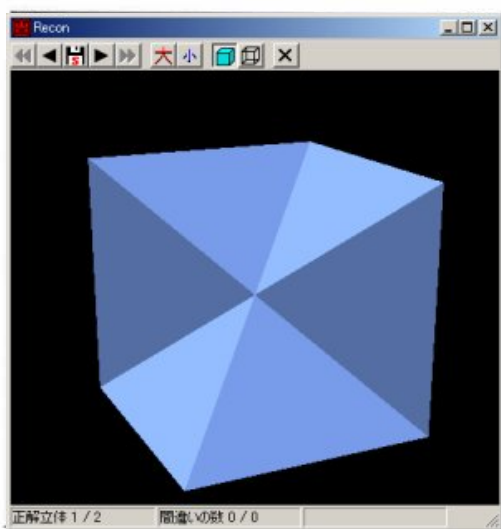


図3 同一の投影図による立体形状

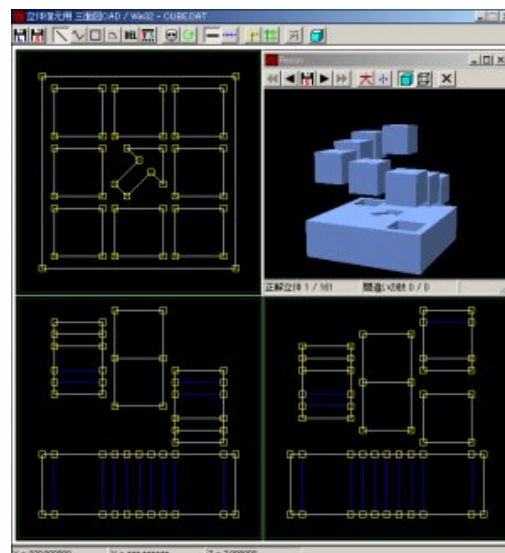


図6 複数立体の作品

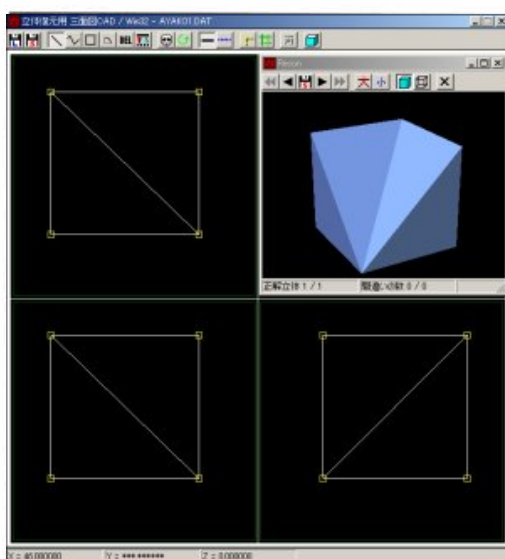


図4 よく似た投影図を用いた例

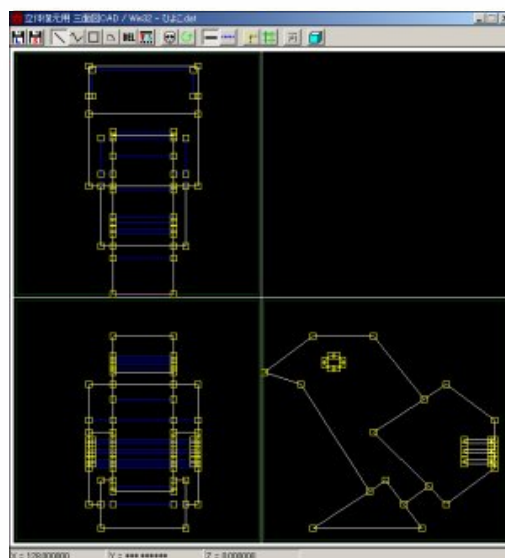


図7 ひよこの三面図

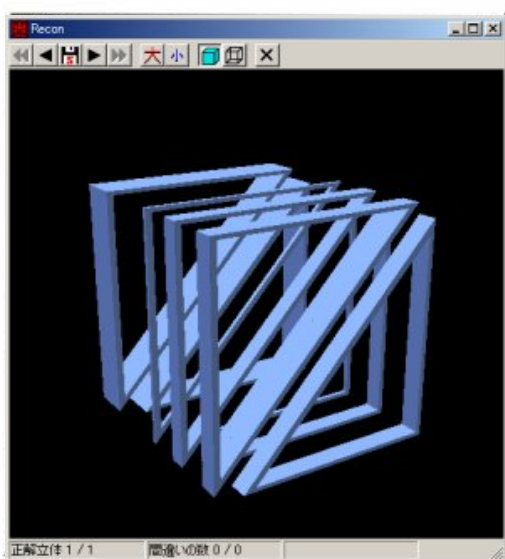


図5 多数の多面体による作品

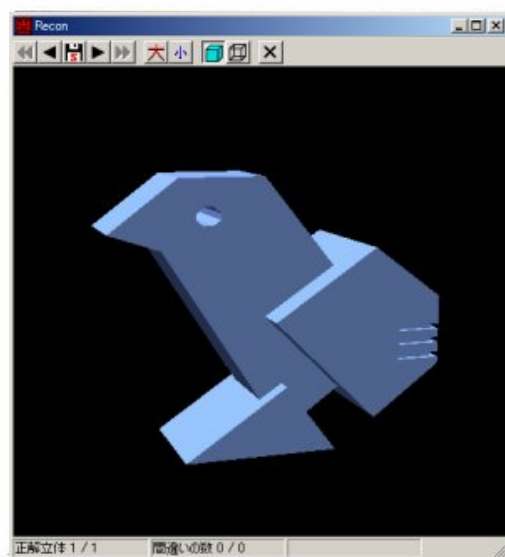


図8 ひよこの3次元形状

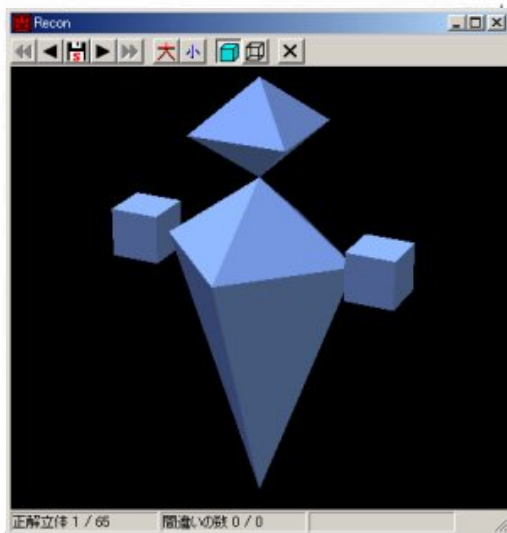


図9 複数の生成形状が生成される例

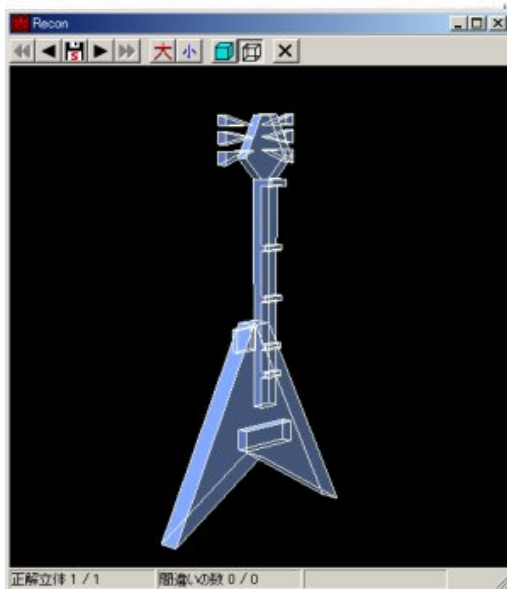


図10 ギターの生成例

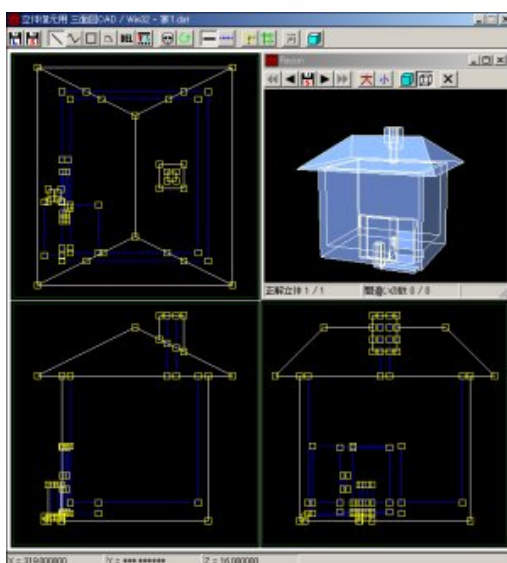


図11 建築物の生成例

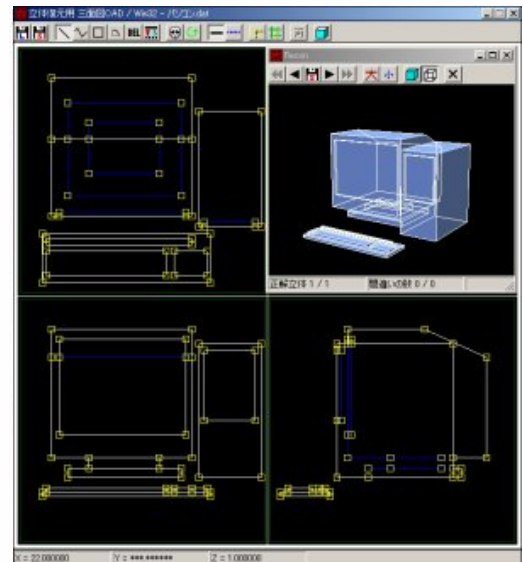


図12 パソコン形状の生成例

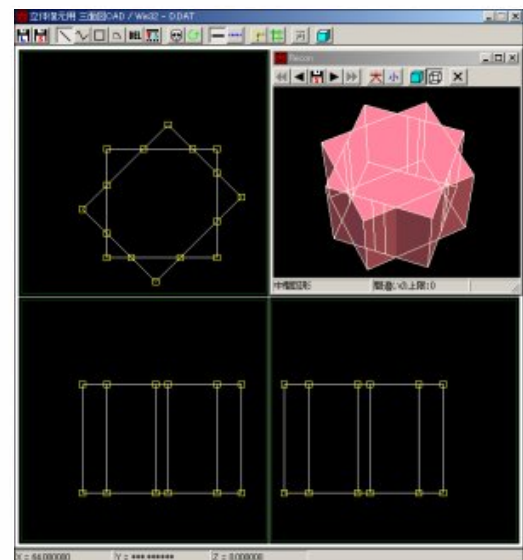


図13 平面上の稜線（誤り）

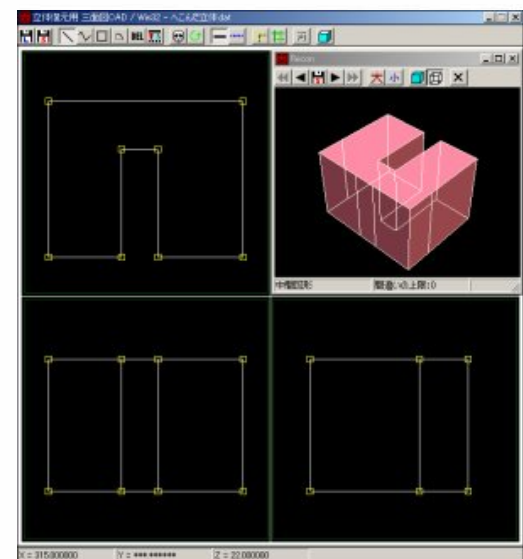


図14 隠れ線の描き方（誤り）

いる。このために、上面において同一平面であるにも関わらず、稜線が描かれているために、生成された形状の面が正しく生成されていない。図14は、単純な凹形状であるが、側面図の隠れ線の描き方が間違っているため、生成された形状の面に線が入っている。このような誤りの理由を分析して、三面図と3次元形状との関係をより理解しやすくなるような教育方法を考える必要がある。

5. まとめ

本文では、第27回国学教育研究会において山口から報告があった立体復元CADを利用した教育について述べた。この演習の目的は、三面図作図と3次元形状生成の教育である。本文では、立体復元システムの概要、演習の目的と内容、学生の演習結果を示した。そして、短時間のシステム利用の解説で三面図作図と形状生成が可能であることを示した（図15、図16などの興味深い形状も

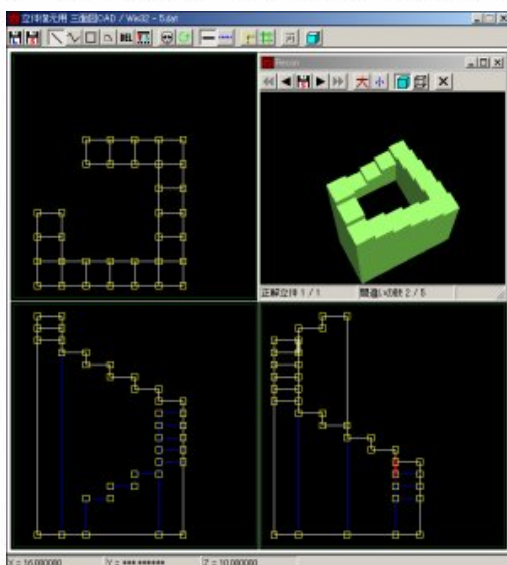


図15 無限階段の形状

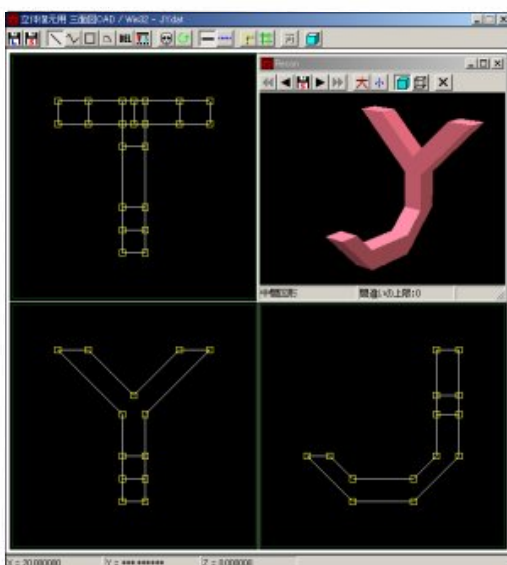


図16 アルファベット

生成している)。作図誤りによる不適切な形状生成例についても示した。今後は三面図の作図誤りをより深く分析して、三面図の描き方の教育方法を提案したい。

参考文献

- [1] 荒木勉, 近藤邦雄: 第27回国学教育研究会報告—専門科目としてのCG教育—, 図学研究第35巻3号(通巻93号), pp. 31–32, 2001.
- [2] 山口富士夫: 立体復元CADによる三面図教育図学研究第35巻3号(通巻93号) pp. 33–34, 2001.
- [3] 増田健, 山口富士夫: 三面図データからの立体自動復元, 精密工学会誌, Vol. 58, No. 10 (1992).
- [4] S. SHIMADA K. KONDO H. SATO: Teaching Solid Modelling Replaces Hand Drafting, Proc. of the 5th Int. Conf. on Engineering Computer Graphics, 1992. 8.
- [5] K. Kondo, H. Sato, S. Shimada, A. Kuroda: Education of CAD Engineering at the Department of Computer Science, Proc. of China–Japan Joint Conf. on Graphics Education pp. 208–213, 1993. 3.
- [6] 長島忍: 教育用ソリッドモデル生成処理システム, Proc. of China–Japan Joint Conf. on Graphics Education, 1993.3.
- [7] 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, 情報処理学会論文誌 Vol. 134 No. 11, pp. 2313–2319, 1993. 11.
- [8] K. Kondo: The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education, Proc. of China–Japan Joint Conference on graphics Education pp. 131–136, 1995. 9.
- [9] 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「図学は今」, pp. 73–74, 1997.
- [10] 近藤邦雄: 第23回国学教育研究会報告—形状モデリング—東京大学における図形科学実習, 図学研究第33巻3号(通巻85号), pp. 47, 1999.
- [11] 近藤邦雄: 第26回国学教育研究会報告—埼玉大学情報システム工学科におけるCG, CAD工学の教育, 図学研究第35巻1号(通巻91号), pp. 22–23, 2001.
- [12] K. Kondo, Song Genwang, H. SATO, Y. Machida, S. Masuda, N. 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.
- [13] 新津靖: 第28回国学教育研究会報告—図学教育用の形状モデリングシステムとその教育, 図学研究第36巻1号(通巻95号), pp. 33–39, 2002.

●2004年8月19日受付

こんどう くにお

埼玉大学工学部情報システム工学科

●研究論文

図学および図的表現法に関する教育実状調査

Present Status of Graphic Science and Graphic Representation Education

近藤 邦雄 Kunio KONDO

面出 和子 Kazuko MENDE

鈴木 賢次郎 Kenjiro SUZUKI

秋田 宏 Hiroshi AKITA

井原 徹 Toru IHARA

稲葉 武彦 Takehiko INABA

梶山 喜一郎 Kiichiro KAJIYAMA

加藤 道夫 Michio KATO

小林 範夫 Norio KOBAYASHI

佐藤 仁一朗 Jinichiro SATO

佐藤 尚 Hisashi SATO

堤 江美子 Emiko TSUTSUMI

早坂 洋史 Hiroshi HAYASAKA

平野 重雄 Shigeo HIRANO

森 傑 Suguru MORI

茂登山 清文 Kiyofumi MOTOYAMA

村上 好生 Yoshio MURAKAMI

横山 ゆりか Yurika YOKOYAMA

吉田 勝行 Katsuyuki YOSHIDA

(図学教育実状調査委員会

Survey Committee for Graphic Science
and Graphic Representation Education)

概要

図法幾何学は、立体の図的表現法—投影法—と図による立体図形の解析を扱う学問・技術の体系であり、設計技術者や造形芸術関係者等、立体形状を取り扱う者に必要な基礎知識である。この内容は大学・短大・高等専門学校における機械系、建築・土木系、芸術・デザイン系学科では、図学という科目名のもとで教えられてきた。しかし、CG/CADの普及により、図学、および、図的表現法に関する教育は大きな変革期を迎えている。日本図学会では、このように変革期にある図学教育の現状を把握するとともに、新しい図学教育のあり方を探るため、2002年度から2003年度にかけて図学、および、図的表現法に関する教育についてアンケート調査を実施した。調査項目は所属、講義実施状況、養成したい能力、講義内容である。調査の主要な結果は以下のとおりである。(1) 3次元形状を生成し分析する能力に比べて、図面を描く能力および情報伝達能力が重要視されている。(2)CG/CADの導入は普及しつつあるが、手描きによる作図や図法幾何学も重要視されている。本文ではこれらの調査内容の概要について述べる。

キーワード：図学教育／図的表現／講義科目／養成能力／実状調査

Abstract

The Japan Society for Graphics Science undertook a survey on the education of graphic science and related subjects at Japanese universities and colleges from 2002 to 2003. The items surveyed were subject name, implementation details, ability being trained, subject content, etc. The principal results of the survey are as follows. 1) With regard to the ability being trained, the importance is placed on drawing ability and information transmission ability by the use of drawings, while less importance is placed on the abilities to generate and analyze three-dimensional shapes, i. e., geometrical abilities. 2) A lot of importance is still placed on hand drawing (descriptive geometry), though the introduction of CG/CAD is progressing in graphic science and related subjects.

Keywords : Graphics Education / Graphic Science / Graphic Representation / Subject / Ability being trained / Survey.

1. はじめに

図法幾何学は、立体の図的表現法—投影法—と図による立体図形の解析を扱う学問・技術の体系であり、設計技術者や造形芸術関係者等、立体形状を取り扱う者に必要な基礎知識である。この内容は大学・短大・高等専門学校における機械系、建築・土木系、芸術・デザイン系学科では、図学という科目名のもとで教えられてきた。しかし、コンピュータによる図的表現技術—コンピュータグラフィックス（以下、CG）—や、その設計製図への応用技術—計算機援用設計技術（以下、CAD）—が発展・普及するにつれて、手描きを重視したこれまでの図法幾何学の実用性は低下しつつあり、それに伴い、図学教育を廃止・縮小したり、図学教育へCG/CADを導入する動きが進んでいる。一方で、CGによる図的表現は、数値計算結果や各種シミュレーションの可視化表示、さらに、ゲームや映画等、様々な分野で広く用いられるようになってきており、従来から図的表現が重視されていた機械系等だけでなく、情報・メディア系学科等においても、新たにCGを中心とした図的表現に関する教育が行われつつある。このように、CG/CADの普及により、図学、および、図的表現法に関する教育は大きな変革期を迎えている^{1, 2, 3)}。

日本図学会では、このように変革期にある図学教育の現状を把握するとともに、新しい図学教育のあり方を探るため、2002年度から2003年度にかけて図学、および、図的表現法に関する教育についてアンケート調査を実施した。本論文では、まず2節でアンケート内容、実施方法について述べる。第3節では集計結果の概要、要請したい能力の内容、および講義内容の調査項目に関する調査結果を示す。特に図法幾何学、CGの内容について詳細な分析を示す。各項目の詳細な調査データについては

調査報告書⁴⁾を参照されたい。

2. アンケートの内容と実施方法

2.1 アンケート内容

本アンケート調査においては、「図学」のみにについてだけではなく、広く「図的表現法」に関わる教育について調査を行うこととした。調査項目を表1に示す。

表1 アンケートの内容

1	科目名称
2	実施状況：必修・選択の別、授業時間数、講義・演習の別、教員／学生数、等
3	養成したい能力
4	講義内容
5	使用している教材
6	図学の周辺科目

2.2 実施方法

日本図学会の会員を中心に、大学・短大・高専の「図学」教育担当者、および、設計製図等の図的表現法に関連する科目を担当する教員に対し、アンケート調査表を送付し、各々の所属する教育機関で該当する科目について回答してもらった。該当する科目が複数ある場合には、それぞれの科目毎に回答してもらうこととした。回収したアンケート数は173学科、278科目であった。回収数から全国規模の調査といえる。

回収したアンケートについては、学科名などから、機械系、建築・土木系、芸術・デザイン系、情報・メディア系、および、一般系と分類した。情報・メディア系に分類した学科は、電気・電子工学科、情報工学科、メディア学科等である。一般系には、総合大学において対象学科を特定せずに開講されている科目、家政学科、教育学関連学科で開講されている科目等を分類した。各系を分類した結果、それぞれ、57学科／98科目、49学科／79科目、23学科／38科目、15学科／20科目、29学科／43科目であった。なお、情報・メディア系の回収数が少なく、関連学科を網羅しているとはいえない。

3. 集計結果

3.1 科目名称

科目名は多岐にわたっているため、これらを、「図学」、「製図」、「設計製図」、「CG/CAD」に分類した。「分類結果を図1に示す。全分野では、「図学」、「製図」、「設計製図」、「CG/CAD」は、それぞれ、38%、21%、21%、15%であった。様々な科目名で、図学、および、図的表現法に関する教育が実施されていることが分か

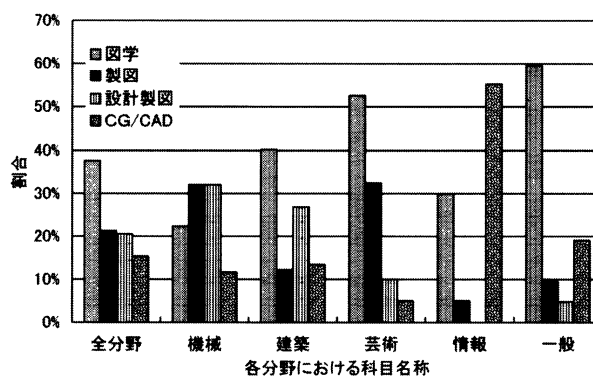


図1 図学に関連する科目名（図学、製図、設計製図、CG/CAD）

る。

以下に、分野別の結果について示す。

〈機械系〉：「図学」は22%と比較的少なく、「製図」、「設計製図」がそれぞれ32%と多い。機械系においては、図的表現法に関する教育は、製図・設計製図教育が中心になっている。

〈建築・土木系〉：「図学」が40%と機械系に比べて多く、「製図」は少ない。「設計製図」は27%である。なお、「デザイン」という言葉がつく科目名が多く見られるが、これは「設計製図」として分類した。

〈芸術・デザイン系〉：「図学」は53%、「製図（図法）」33%である。「設計製図」は少ない。

〈情報系〉：「CG/CAD（コンピュータグラフィックス）」が55%と、半数以上を占める。「図学」も30%みられるが、電気・電子工学科などの古典的な学科に限られ、情報工学科・メディア学科では見られない。

〈一般系〉：「図学」は60%と割合がもっとも高く、また、情報系について「CG/CAD」が19%と多い。

このように、分野によって科目名に違いが見られる。

3.2 実施状況

a. [教養科目 共通専門科目 専門科目]

図2(a)に集計結果を示す。専門科目あるいは共通専門科目として教えられているケースが多い。〈一般系〉においては、教養：30%とやや多いものの、その他の分野においては、系による大きな違いはない。

b. [選択 必修 選択必修]

図2(b)に集計結果を示す。半数弱が選択科目となっている。

c. [講義 演習を含む講義 演習]

図2(c)に集計結果を示す。講義のみの科目は少なく(22%)、演習を含む講義や演習課題が多い。図学関連

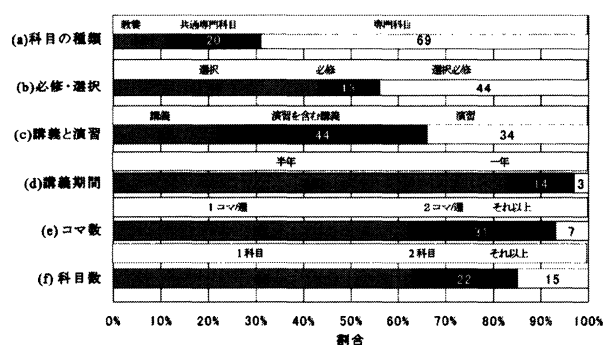


図2 実施状況

の科目においては演習が重視されていることが分かる。

d. [講義期間]

図2(d)に集計結果を示す。半年1学期の授業が多い(83%)。かつては通年の講義が多かったが、大綱化により、学期制が定着したようである。

e. [コマ数/週]

図2(e)に集計結果を示す。1コマ/週がやや多い(62%)。授業種別ごとに見てみると、講義、および、演習を伴う講義では1コマ/週が、演習では2コマ/週が多い。なお、大学では1コマは90分、工高専では60分としているところが多い。

f. [科目数]

図2(f)に学科における回答科目数を示す。1科目のみの学科が半数強であるが、2科目以上開講している学科も40%近くある。学科によって、図学関連科目にかけている授業時間にかなり差があることが分かる。なお、学科・コースあたりの平均科目数は1.61科目である。

3.3 養成したい能力

「養成したい能力」については、表2に示す5項目について合計100%になるように回答してもらった。

表2 養成したい能力

1 作図能力	正確に作図する能力
2 図的表現能力	伝えたい情報を理解しやすく表現する能力
3 図的コミュニケーション能力	図を利用して情報を受け取ったり伝達したりする能力
4 3次元形状生成能力	図を利用して2次元図形や3次元形状を処理したり、作成したりする能力
5 3次元形状解析能力	図を利用して3次元形状の理解するための能力

集計結果を図3に示す。この図に示すように、全体については、[1. 作図能力]が25%であり、単独の項目としては最も高い。[2. 図的表現能力]は21%、[3. 図的コミュニケーション能力]は16%で、両者を併せると37%である。1から3の項目で65%近くになり、作図

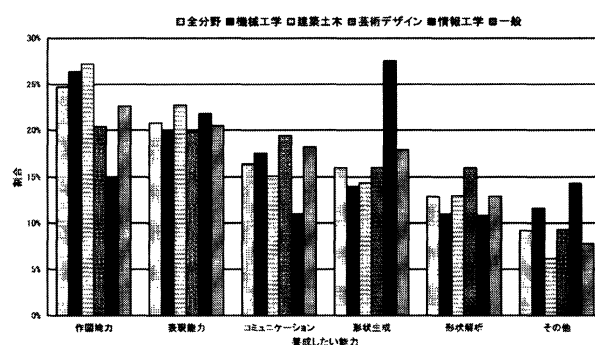


図3 養成したい能力

能力と図を利用した情報伝達能力の養成が重視されていることが分かる。[4. 3次元形状生成能力]が16%、[5. 3次元形状解析能力]は13%で、両者を併せると29%である。これら一幾何学的能力の養成—は上記に比べやや軽視されているように思われる。

分野別にみても、〈機械系/建築・土木系〉では、全体に比べ、わずかながら[作図能力]が重視されており、〈芸術・デザイン系〉では、[図的コミュニケーション能力]が重視されているものの、大きな違いはない。

3.4 講義内容

3.4.1 講義内容の項目

講義内容については、表3に示すように、図法幾何学関連について15項目、コンピュータグラフィックス関連について17項目をあげ、当該授業で取り扱っている項目について回答してもらった。

表3 講義内容

— 図法幾何学関連 —	
1) 図学の歴史	2) 図形の知覚
3) 平面図形	4) 正投影(複面投影)
5) 直軸測投影	6) 斜投影
7) 透視投影	8) 点・線・平面
9) 多面体	10) 曲線・曲面
11) 切断・相貫	12) 展開
13) 陰影	14) 製図基礎
15) その他	
— コンピュータ・グラフィックス関連 —	
1) CGの歴史	2) 幾何変換
3) 投影変換	4) 2次元CG処理
5) 隠面処理	6) 陰影づけ
7) 写実表現	8) 形状モデリング
9) 曲線	10) 曲面
11) 数値造形	12) アニメーション
13) 画像処理	14) 色彩
15) CGシステム	16) プログラミング
17) その他	

図4に〈図法幾何学関連〉、〈コンピュータグラフィックス関連〉の項目に回答した科目の割合を示す。灰色棒、黒色棒、白棒は、それぞれ、〈図法幾何学関連のみ〉、〈図法幾何学関連とコンピュータグラフィックス関連双方〉、および、〈コンピュータグラフィックス関連のみ〉、に回答した科目の割合である。なお、アンケートに添付されたシラバス等からみると、図法幾何学関連とコンピュータグラフィックス関連双方に回答した科目で

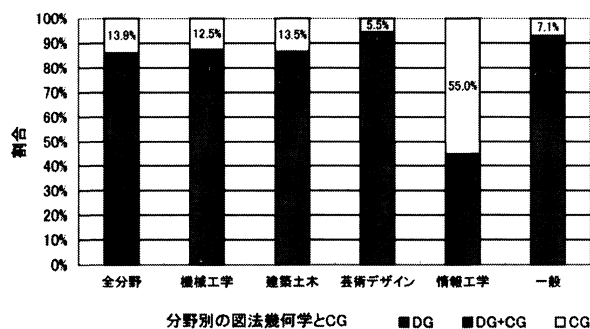


図4 図学 (DG) と CG の割合

は、学期の前半で手描きによる図法幾何学に関する授業を行い、後半でCG/CADに関する授業を行っているところが多い。

3.4.2 図法幾何学の講義内容

図4に示すように、何らかの図法幾何学的内容を扱っている科目 (〈図法幾何学関連のみ〉+ 〈図法幾何学関連とコンピュータグラフィックス関連双方〉に回答した科目) は、全分野では86%である。分野別に見ても、情報系をのぞく各分野において、ほとんどの科目 (～90%) で図法幾何学的内容を扱っている。後述するように、図学関連授業へのCG/CADの導入は進んでいるが、手描きの教育は依然として重要と考えられていることがわかる。

図5に図法幾何学関連項目の集計結果を、全分野、お

よび、分野別に示す。なお、情報・メディア系は回答数が少ないので、この図には示していない。全分野で、50%以上の科目で教えられている項目は、[4. 正投影: 79%], [3. 平面図形: 66%], [14. 製図基礎: 60%], [8. 点・直線・平面: 50%] の順である。[4. 正投影] は立体図形の図的表現の基礎として、[3. 平面図形] は作図能力養成の基礎として、[14. 製図基礎] は設計製図の基礎として重視されているものと思われる。このような教科内容から見ても、前節で述べたように、図学関連科目においては作図能力と図を利用した情報伝達能力の養成が重視されていることが分かる。

[8. 点・線・平面] は、図による立体図形解析の基礎として、上記について重視されているものと思われる。

50%以下の項目についてみると、投影法関連では、[4. 正投影] について [5. 直軸測図: 46%], [7. 透視投影: 42%], [6. 斜投影: 40%] となっており、40%程度の授業で扱われている。

図形要素・図形処理関連の項目では、[8. 点・直線・平面] について、[9. 多面体: 39%], [11. 切断・相貫: 39%] が多く扱われている。ついで、[10. 曲線・曲面: 33%], [12. 展開: 33%] となっており、これらは30%以上の授業で扱われている。[13. 陰影] は21%と少ない。

なお、3.2節fで述べたように、多くの学科・コースで複数の科目が教えられており、少なくともどれか一つ

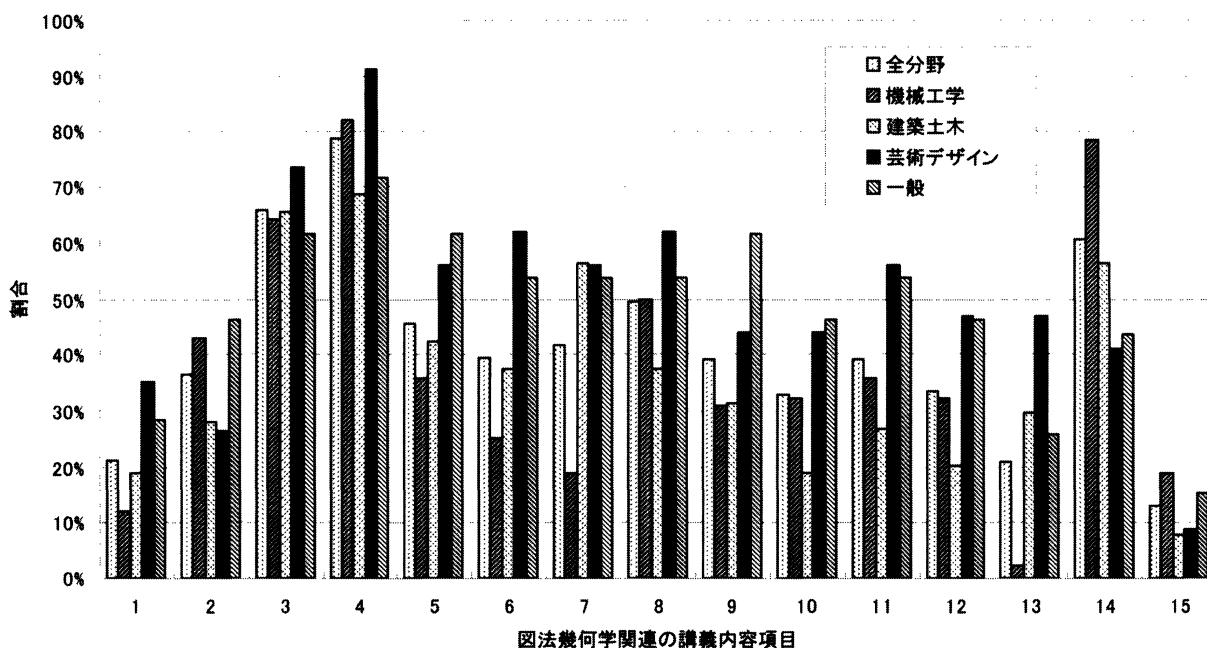


図5 図法幾何学に関連する講義内容

(1: 図学の歴史, 2: 図形の知覚, 3: 平面図形, 4: 正投影 (複面投影), 5: 直軸測投影, 6: 斜投影, 7: 透視投影, 8: 点・線・平面, 9: 多面体, 10: 曲線・曲面, 11: 切断・相貫, 12: 展開, 13: 陰影, 14: 製図基礎, 15: その他)

の科目でこれらの項目を扱っている学科の割合を調べてみたところ、それぞれの項目において、図5に示したもののより約10%程度高くなっている。図法幾何学における標準的な図形処理—[8. 点・直線・平面], [11. 切断・相貫]—を取り扱っている学科は、それぞれ、62%, 48%である。このことから、図法幾何学による立体図形の解析については、50%前後の学科で教えられているものと考えられる。

以下、分野別の結果について示す。

〈機械系〉：[4. 正投影：82%], [14. 製図基礎：79%]の割合が高く、[4. 正投影]を中心とした製図教育に重点がおかれている。[5. 直軸測投影：36%]も含めて単面投影を扱っている科目は少なく、また、[13. 陰影：2%]はほとんど扱われていない。

〈建築・土木系〉：機械系と類似であるが、[7. 透視投影：59%]が重視されている。なお、[13. 陰影]についても、ほぼ1/3の授業で扱われている。

〈芸術・デザイン系／一般系〉：両系ともに、機械系／建築・土木系に比べ、各種投影法と立体図形の取り扱い双方に重点が置かれている。

3.4.3 CGの講義内容

a. CG/CADの導入割合

図4に示すように、何らかの形でCG関連の内容を

扱っている科目（〈コンピュータグラフィックスのみ〉+〈コンピュータグラフィックスと図法幾何学双方〉に回答した科目）の割合は、全体の1/3に達している。図学関連授業におけるCG/CADの導入は普及しつつある。

分野別に見ると、情報系（75%）が多いのは当然としても、芸術系（11%）を除いて、機械系、建築系、一般系の各分野でも約1/3の学科で取り扱われている。なお、第3.1節で述べたように、科目名にCG/CADを冠している授業は15%程度であり、残りの18%については、従来と同様の科目名のもとで、CG/CADに関連した内容が教えられている。

b. 講義内容

図6にコンピュータグラフィックス関連項目の集計結果を、全分野、および、分野別に示す。なお、芸術・造形系は回答数が少ない（8%, 3学科）ので示していない。全分野では、最も多い項目は[8:形状モデリング：55%]で半数強の授業で扱われている。形状モデリングはあらゆる3D-CG/CADの基礎となるものである。ついで多い項目は、[3. 投影変換：32%], [4. 2次元図形処理：31%]である。前者は3次元立体の図的表現の基礎であり、後者は2D-CADの基礎と考えられる。[9. 曲線：28%], [10. 曲面：26%]は、手描き

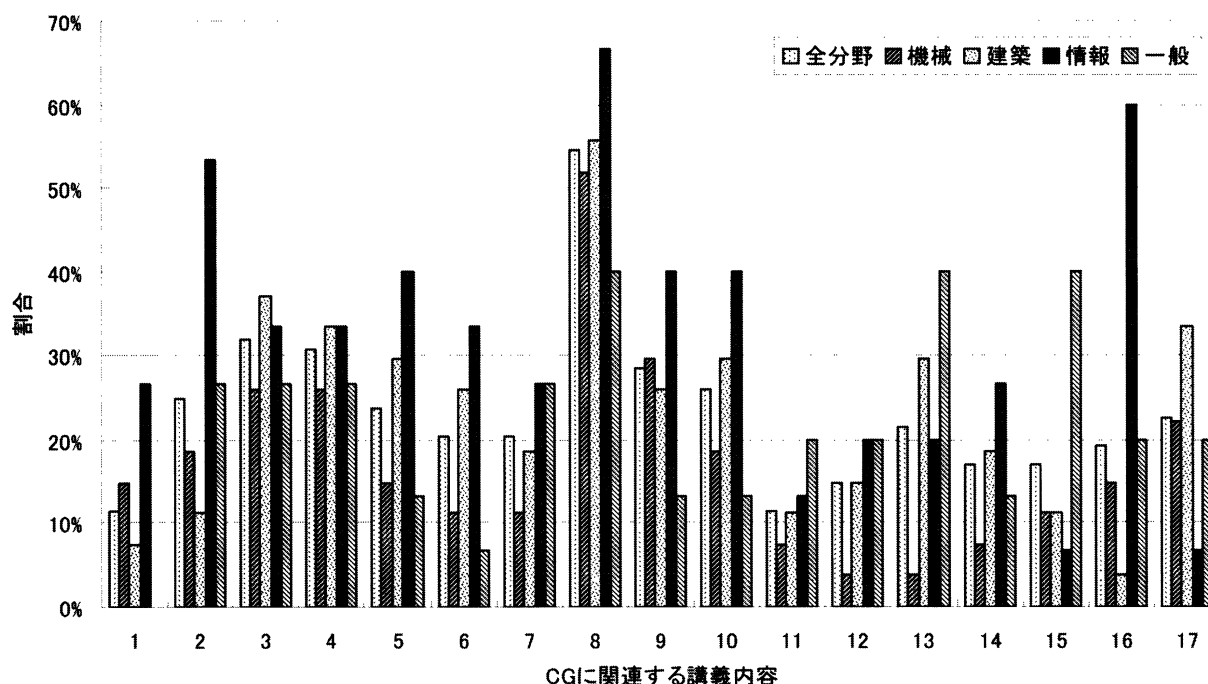


図6 CGに関連する講義内容

(1:CGの歴史, 2:幾何変換, 3:投影変換, 4:2次元CG処理, 5:隠面処理, 6:陰影づけ, 7:写実表現, 8:形状モデリング, 9:曲線, 10:曲面, 11:数値造形, 12:アニメーション, 13:画像処理, 14:色彩, 15:CGシステム, 16:プログラミング, 17:その他)

に比べてCG/CADが最も威力を発揮する分野である。このように、CG/CADの最も基礎的な内容、および、特徴を発揮できる内容が取り扱われている。

後述するように、これらの科目の多くで市販のCG/CADソフトが使用されている。上記の内容が市販ソフトの使用を通じて教えられていることになるが、どの程度まで踏み込んだ内容について教えられているかは、今回の調査では明らかではない。今後、この点について、さらに調査を進める必要があろう。

分野別に見てみると、情報系では[16. プログラミング:60%], [2. 幾何変換:53%]が重視されており、他の分野とは異なった傾向を示している。

c. 市販ソフト／プログラミング

図6に示した科目のうち、授業で学生にCG/CADソフトを使用させている割合は、全分野で68%、機械系:74%、建築・土木系:81%、芸術・デザイン系:100%、情報・メディア系:33%、一般系:60%である。残りの授業では、一部で座学として教えられている他は、一般プログラミング言語による教育が行われている。このように、機械／建築・土木／芸術・デザイン系では市販ソフトを使用する機会が多く、情報・メディア系ではプログラミングを介した教育が行われている。前者ではCG/CADをツールとして用いた教育が、また、後者ではCG/CADの中身の教育が行われていることを示している。一般系は両者の中間である。

4. まとめ

日本図学会は、2002年から2003年まで日本の大学および工業高等専門学校の図学および図学関連の教育に関する調査を行った。調査項目は所属、講義実施状況、養成したい能力、講義内容である。調査の主要な結果は以下のとおりである。(1)3次元形状を生成し分析する能力に比べて、図面を描く能力および情報伝達能力が重要視されている。(2)CG/CADの導入は普及しつつあるが、手描きによる作図や図法幾何学も重要視されている。

なお、本稿は第11回国学国際会議で報告された⁵⁾。

参考文献

- [1] Kenjiro SUZUKI, "Activities of the Japan Society for Graphic Science - Research and Education", Journal for Geometry and Graphics, Vol. 6, No.2, (2002), 221-229.
- [2] Kenjiro SUZUKI, Kazuhiko TAKEYAMA, Saburo NAGANO, "Present Status of Computer Graphics

Education in Graphic Science Courses at Japanese Universities", Proc. 3rd ICECGDG, Vol. 2, (1988), 250-257.

- [3] Kenjiro SUZUKI, Katsuyuki YOSHIDA, Kiichiro KAJIYAMA, "Restructuring of Graphic Science/Engineering Design and Drafting Courses at Japanese Universities - Based on Implementation of CG/CAD-(in Japanese)", Proc. China-Japan Joint Conference on Graphics Education, (1993), 17-32.
- [4] 日本図学会図学教育調査委員会編, "図学と図的表現法に関する教育の実状調査報告", 2004.
- [5] Kunio KONDO, Kazuko MENDE, Kenjiro SUZUKI (Compiled by the Survey Committee, the Japan Society for Graphic Science), "Present Status of Graphic Science and Graphic Representation Education in Japan", Proc. 11th ICGG, (2004), 191-197.

●2004年7月13日受付

こんどう くにお

埼玉大学工学部情報システム工学科 助教授 工学博士
名古屋工業大学1979年卒, 名古屋大学教養部図学教室, 東京工芸大学を経て, 現職.
コンピュータグラフィックス, 形状モデリング, 感性情報処理

すずき けんじろう

東京大学教養学部 情報・図形科学部会 教授 工学博士
1945年11月19日生
東大院工(航空) 1973年満期退学
図学・認知図学

めんで かずこ

女子美術大学芸術学部芸術学科 教授
女子美術大学芸術学部 1974年卒, 東京芸術大学大学院美術研究科1976年修了
図学, 造形理論, デザイン

Journal for Geometry and Graphics
Volume 9 (2005), No. 1, 77–87.

Present Status of Graphics Science and Graphics Representation Education in Japan

Kunio Kondo¹, Kazuko Mende², Kenjiro Suzuki³

¹*Department of Information and Computer Science, Saitama University
255, Shimo-okubo, Urawa, Saitama 338, Japan
email: kondo@ke.ics.saitama-u.ac.jp*

²*Department of Science of Arts, Joshibi University of Art and Design
1900, Asamizodai Sagamihara-shi, Kanagawa 228-8538, Japan
email: mende@joshihi.ac.jp*

³*Department of Computer and Graphic Science,
College of Arts and Sciences, The University of Tokyo
3-8-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8902, Japan
email: ksuzuki@idea.c.u-tokyo.ac.jp*

Committee Members Participating

Hiroshi AKITA, Tohoku Institute of Technology, **Hiroshi HAYASAKA**, Hokkaido University, **Shigeo HIRANO**, Musashi Insutitute of Technology, **Toru IHARA**, Kyushu Women's University, **Takehiko INABA**, Osaka University, **Kiichiro KAJIYAMA**, Fukuoka University, **Michio KATO**, The University of Tokyo, **Norio KOBAYASI**, Yokohama National University, **Suguru MORI**, Hokkaido University, **Kiyofumi MOTOYAMA**, Nagoya University, **Yoshio MURAKAMI**, Meijo University, **Takaaki SAITO**, Saito System Service Inc., **Hisashi SATO**, Kanagawa Institute of Technology, **Jinichiro SATO**, Tohoku Institute of Technology, **Emiko TSUTSUMI**, Otsuma Women's University, **Yurika YOKOYAMA**, The University of Tokyo, **Katsuyuki YOSHIDA**, Osaka University.

Abstract. The Japan Society for Graphics Science undertook a survey on the education of Graphic Science and related subjects at Japanese universities and colleges from 2002 to 2003. The items surveyed included subject name, implementation details, ability being trained, subject contents, etc. The principal results of the survey are as follows.

1) With regard to the ability being trained, the importance is placed on the drawing ability and the information transmission ability by the use of drawings, while less importance is placed on the abilities to generate and analyze three-dimensional shapes, i.e., geometrical abilities.

2) A lot of importance is still placed on hand drawing (Descriptive Geometry), though the introduction of CG/CAD is progressing rapidly in Graphic Science and related subjects.

Key Words: Graphic Science, Graphic Representation, Computergraphics, Graphics education

MSC 2000: 51N05

1. Introduction

Descriptive Geometry is the research and technology of producing graphic representations of three-dimensional objects and solving three-dimensional geometric problems using the graphic representation, and has been considered to be the basic knowledge required by people who handle three-dimensional shapes such as mechanical engineers, architects and figurative artists. In Japan, it has been taught at universities, junior colleges and technical colleges in Mechanical Engineering, Architecture and Civil Engineering, and Arts and Design departments under the subject name of “Graphic Science”.

However, in recent years, with the increase in the use of Computergraphics (CG) where computer technology can be used to make graphic representation and geometric processing, and the development and spread of the technology to apply CG to design and drawing (computer aided design, CAD), the practicality of Descriptive Geometry is dropping, and along with that, traditional Graphic Science education is being abolished or reduced at most of the universities and colleges, and there is a trend to introduce CG/CAD for Graphic Science education. By using CG for graphic representation, the results of numerical calculations and various simulations can be visually displayed, and this is being used in various fields of science and engineering. Moreover, CG is now being widely used for games and movies. There is now a new trend for education centered on CG for graphic representation in Information and Media-related departments. With the wide spread of CG/CAD, the education of Graphic Science has entered a period of revolution.

In order to grasp the present status of Graphic Science education in this period of revolution, and to understand how Graphic Science education is being carried out, the *Japan Society for Graphics Science* undertook 2002–2003 a survey on the education of Graphic Science [1]. The results of the survey were compiled and studied by the *Survey Committee* of the Japan Society for Graphic Science. This paper summarizes the results of the survey.

2. Content and method of the survey

2.1. Survey contents

This survey was intended to cover not just the subjects named as “Graphic Science”, but also other subjects related to “graphic representation”. The items surveyed are listed in Table 1.

Table 1: Survey contents

(1)	Subject name
(2)	Implementation details: compulsory/ elective, the number of contact hours, lectures/ laboratory exercises, and the number of lecturers and students
(3)	Ability being trained
(4)	Lecture content
(5)	Educational materials being used
(6)	Graphic Science peripheral subjects

2.2. Survey contents

Centered on members of the Japan Society for Graphics Science, surveys were sent to the instructors responsible for Graphic Science-related subjects at universities, junior colleges and technical colleges, including the instructors responsible for subjects covering Graphic Representation such as design and drawing. They were asked to respond to the questionnaires about their relevant subjects in their educational institutions. If they were responsible for more than one subject, they were asked to submit multiple replies. Responses were received from 173 institutions covering 278 subjects. There were responses from institutions nationwide.

According to the department names, the responses were sorted into mechanical engineering, architecture and civil engineering, arts and design, information and media, and general. The departments that were put into the “Information and Media” area included electric and electronic engineering, information technology, and media departments. The subjects and departments that were put into the “General area” included subjects offered by universities without specifying departments, home economics departments, and pedagogy-related departments. The various areas numbered 57 institutions with 98 subjects, 49 institutions with 79 subjects, 23 institutions with 38 subjects, 15 institutions with 20 subjects and 29 institutions with 43 subjects, respectively. Only a small number of responses were received for the Information and Media area, and as a result the related departments have not been fully covered.

3. Results and discussion

3.1. Subject names

Because of the wide range of subject names, they were sorted into

“Graphic Science”, “Drawing”, “Design and Drawing” and “CG/CAD”.

The results are listed in Fig. 1. Overall, “Graphic Science” occupy 38%, “Drawing” 21%, “Design and Drawing” 21%, and “CG/CAD” 15%. It can be seen that Graphic Science and Graphic Representation education is currently undertaken in various subjects. The following shows the results by area.

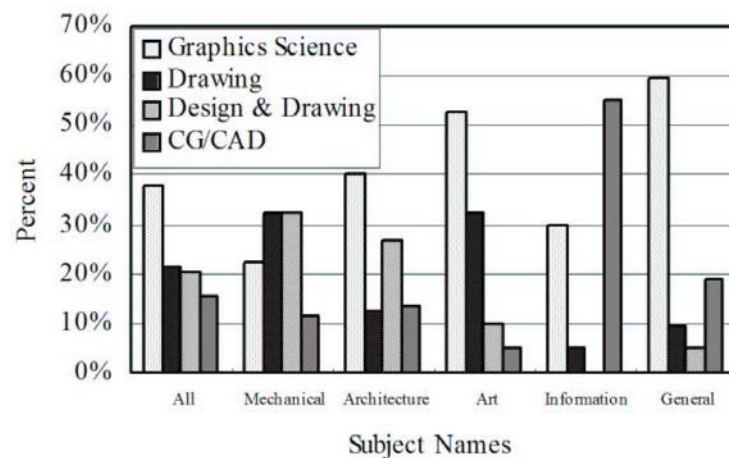


Figure 1: Subject name of graphics education

Mechanical Engineering-related: “Graphic Science” was low at 22%, but “Drawing” and “Design and Drawing” were both high at 32%. Graphic Representation education in the Mechanical Engineering-related area is centered on “Drawing” and “Design and Drawing”.

Architecture and Civil Engineering-related: “Graphic Science” was higher than in the Engineering-related area at 40%, but “Drawing” was low. “Design and Drawing” was 27%.

Art and Design-related: “Graphic Science” was 53% and “Drawing” was 33%. “Design and Drawing” was low.

Information-related: “CG/CAD (Computergraphics)” was more than half at 55%. “Graphic Science” was also 30%, but this was restricted to the classical electrical and electronic engineering departments, and could not be seen for information technology and media departments.

General: “Graphic Science” was the highest at 60%. Next to the Information-related area, this area was the second highest for “CG/CAD” at 19%.

As can be seen, depending on the area, the subject names are different.

3.2. Implementation details

a. Liberal arts, common specialized and specialized subjects:

The results are shown in Fig. 2(a). There are many cases where the subjects are taught as specialized or common specialized subjects. In the “General” area, the ratio of the subjects being taught as liberal arts subjects is rather high at 30%, but in other fields there is not much difference according to the area.

b. Elective, compulsory or elective compulsory subjects:

The results are shown in Fig. 2(b). Almost half the subjects are elective. As they are elective, they are considered to be not absolutely necessary for the curricula. It could be said that there is a need for clarifying the position of Graphic Science education in the curricula.

c. Lecture, lecture with laboratory exercises or laboratory exercises:

The results are shown in Fig. 2(c). There are not many subjects which are just lectures

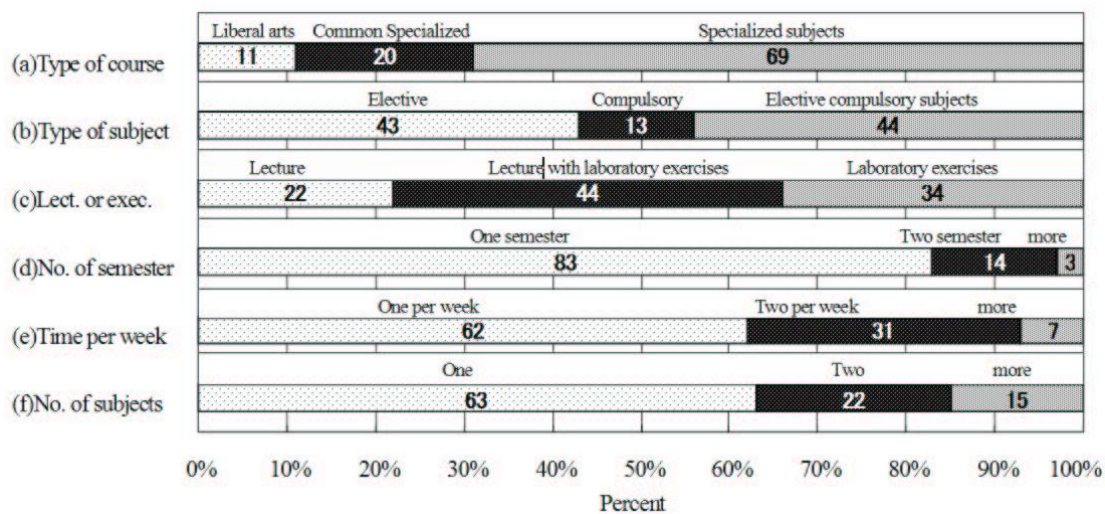


Figure 2: Implementation details

(22%), and most are lectures with laboratory exercises, or laboratory exercise subjects. It can be seen that for Graphic Science-related subjects the importance is being placed on laboratory exercises.

d. Lecture duration:

The results are shown in Fig. 2(d). Most subjects are for half the year, in one semester (83%). In the past many lectures were for one full year, but now it seems they are only given for one semester.

e. Number of contact hours per week:

The results are shown in Fig. 2(e). The number of contact hours is one per week (62%). Looking at the results by the type of subject, most of those that are only lectures, and those which are lectures with laboratory exercises are given for one contact hour per week, and most of those which are laboratory exercises are given for two contact hours per week. One contact hour is 90 minutes for most universities, and 60 minutes for most technical colleges.

f. Number of subjects:

The numbers of subjects reported by the various institutions are shown in Fig. 2(f). A little over half of the departments only had one subject, but almost 40% offered over two subjects. Depending on the institution, we can see that there is a great discrepancy in the number of hours of the Graphic Science-related subjects. The average number of subjects per department or course is 1.61.

3.3. Ability being trained

With regard to the ability being trained, the respondents were asked to complete the survey from the five items shown in Table 2 so that the total would be 100%.

These results are shown in Fig. 3. According to this, overall, “1. Drawing ability” accounts for 25%, and is the single highest item. “2. Graphic Representation ability” accounts for 21%, and “3. Drawing communication ability” accounts for 16%, and together these are 37%. The total of items 1–3. gets almost 65%, so we can see that importance is placed on the Drawing ability and Information Transmission ability. “4. Three-dimensional shape generation ability” accounts for 16%, and “5. Three-dimensional shape analysis ability” accounts for 13%, and

Table 2: Ability being trained

1	Drawing ability	the ability to accurately make drawings
2	Graphic Representation ability	the ability to represent graphically the information you want to transmit so that it is easily understood
3	Graphic communication ability	the ability to receive and transmit information using graphics
4	Three-dimensional shape generation ability	the ability to process and produce two-dimensional and three-dimensional shapes using graphics
5	Three-dimensional shape analysis ability	the ability to analyze three dimensional shapes using graphics

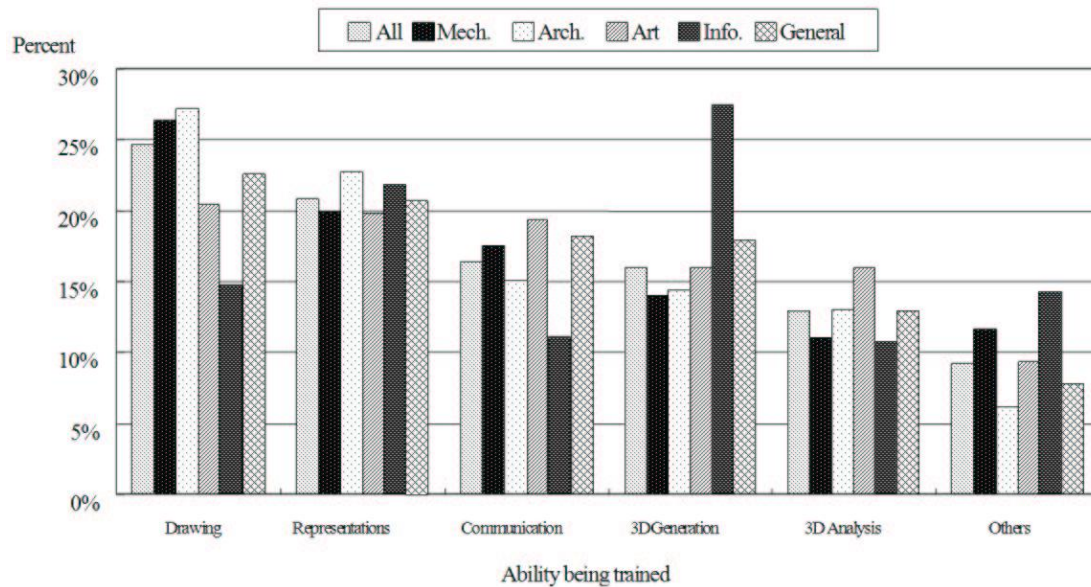


Figure 3: Ratios of ability being trained

together these are 29%. It can be said that less importance is placed on these abilities, i.e., on geometrical abilities.

Looking at the different areas, in the “Engineering-related area” and the “Architecture and Civil Engineering-related area”, compared to the overall total results, slightly more importance is placed on the “Drawing ability”, and in the “Art and Design-related area” slightly more importance is placed on the “Drawing communication ability”, although these differences are not significant.

3.4. Subject contents

3.4.1. Subject content items

As shown in Table 3, with regard to the subject contents, the respondents were asked to choose from 15 Descriptive Geometry-related items, and 17 Computergraphics-related items, depending on which items were covered in the subjects.

The breakdown of the response to the “Descriptive Geometry-related items” and the “Computergraphics-related items” for the subjects is shown in Fig. 4. The following breakdowns are shown for the subjects: the gray bar shows the “Descriptive Geometry-related items” only, the black bar shows both the “Descriptive Geometry-related items” and the “Computergraphics-related items”, and the white bar shows the “Computergraphics-related items” only. From the syllabi attached to the survey responses, for the subjects that had responses for both Descriptive Geometry-related items and Computergraphics-related items, many institutions taught Descriptive Geometry (hand drawing) topics in the first part of the semester, and CG/CAD topics in the last part.

3.4.2. Descriptive Geometry-related items

As shown in Fig. 4, an overall 86% of subjects responded to either “Descriptive Geometry-related items” only, or both “Descriptive Geometry-related items” and “Computergraphics-related items”, meaning some sort of Descriptive Geometry-related content was taught in the

Table 3: Subject contents

<i>Descriptive Geometry-related items</i>	
1) Graphic Science history	9) polyhedra
2) perception of graphics	10) curved lines and curved surfaces
3) two-dimensional graphics	11) cuttings and intersections
4) orthogonal projection	12) developments
5) axonometric projection	13) shades and shadows
6) oblique projection	14) fundamentals of engineering drawing
7) perspective projection	15) other
8) points, lines and planes	
<i>Computergraphics-related items</i>	
1) CG history	10) curved surfaces
2) geometric transformation	11) generation of artistic forms on mathematical relations
3) projective transformation	12) animation
4) two-dimensional CG processing	13) image processing
5) hidden surface elimination	14) colors
6) shadings	15) CG system
7) realistic representation (rendering)	16) programming
8) geometric modeling	17) other
9) curved lines	

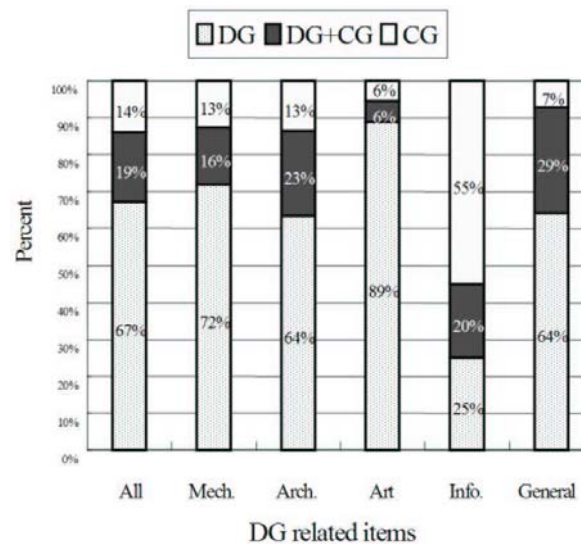


Figure 4: Subject contents items

subjects. Looking at this by area, apart from the Information-related area, most subjects in every other area (up to 90%) had some Descriptive Geometry content. As will be discussed below, the introduction of CG/CAD in graphics-related subjects has progressed, but it can be seen that a lot of importance is still placed on hand drawing education.

The results of Descriptive Geometry-related items by area and overall are shown in Fig. 5.

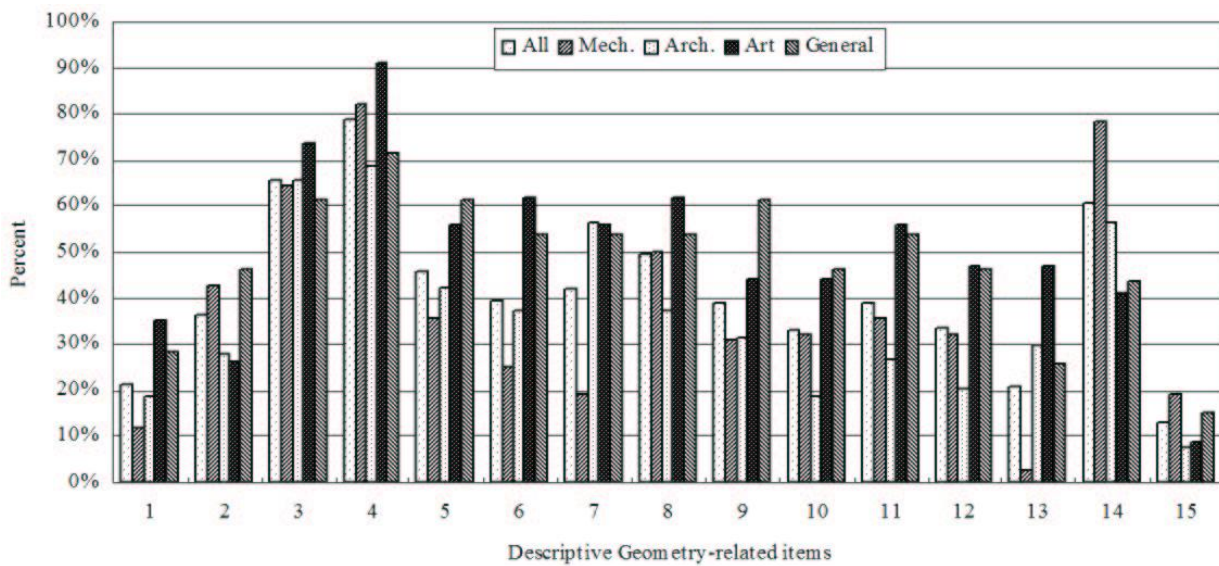


Figure 5: Covering ratios of Descriptive Geometry-related items:

1) Graphic Science history, 2) perception of graphics, 3) two-dimensional graphics, 4) orthogonal projection, 5) axonometric projection, 6) oblique projection, 7) perspective projection, 8) points, lines and planes, 9) polyhedra, 10) curved lines and curved surfaces, 11) cuttings and intersections, 12) developments, 13) shade and shadows, 14) fundamentals of engineering drawing, 15) other

There was only a low response from the Information-related area so these results are not shown in this figure. Overall, the items taught in over 50% of the subjects are “4. orthogonal projection” (79%), “3. two-dimensional graphics” (66%), “14. fundamentals of engineering drawing” (60%), and “8. points, lines and planes” (50%), in this order. It is suggested that importance is placed on “4. orthogonal projections” as basic graphic representation of three-dimensional objects, “3. two-dimensional graphics” as basic training of drawing ability, and “14. fundamentals of engineering drawing” as basic engineering drawing.

Looking at the content of these subjects, as noted above, with regard to Graphic Science-related subjects, it can be seen that importance is placed on Drawing ability and the training of the ability to transmit information using drawings. In addition, it is seems that importance is also placed on “8. points, lines and planes” as basic three-dimensional geometric processing.

Looking at the items less than 50%, with regard to the projection-related items, after “4. orthogonal projection” came “5. axonometric projection” (46%), “7. perspective projection” (42%), and “6. oblique projection” (40%), showing about 40% of the subjects covered these items. With regard to the geometric elements and geometric processing-related items, after “8. points, lines and planes” came “9. polyhedra” (39%), “11. cuttings and intersections” (39%), “10. curved lines and curved surfaces” (33%), and “12. developments” (33%), showing about 30% of the subjects covered these items. “13. shade and shadows” was low at 21%.

As noted in Section 3.2, f above, several subjects are taught in most departments and courses, and looking at the percentage of departments that covered these items in at least one subject, for each of the items, this is at least 10% higher than the figures shown in Fig. 5. With regard to the typical geometric processing items of Descriptive Geometry, 62% of the institutions covered “8. points, lines and planes”, and 48% covered “11. cuttings and intersections”. From this it could be said that geometric processing in Descriptive Geometry

is taught in around 50% of the departments responded to this survey.

The results by area are shown below:

Mechanical Engineering-related: “4. orthogonal projection” (82%) and “14. fundamental of Mechanical Engineering drawing” (79%) are both high, showing that in Engineering-related area importance is placed on producing engineering drawing by the use of “4. orthogonal projection”. There are a low number of subjects covering one-plane pictorial projection including “5. axonometric projection”, and “13. shades and shadows” (2%) is hardly covered at all.

Architecture and Civil Engineering-related: The trend in this area is similar to that in the Mechanical Engineering-related area, but more importance is placed on “7. perspective projection” (59%). Also, about one-third of the subjects covered “13. shade and shadows”.

Art and Design-related, and general: compared to the Mechanical Engineering-related, and the Architecture and Civil Engineering-related areas, more importance is placed on the various projection methods and three-dimensional geometric processing in both these areas.

3.4.3. CG-related items

a. *Percentage of introduction of CG/CAD:*

As shown in Fig. 4, an overall one-third of subjects that responded to either “Computergraphics-related items” only, or both “Computergraphics-related items” and “Descriptive Geometry items” had introduced CG/CAD in some manner. It is thought that the introduction of CG/CAD is progressing rapidly in Graphic Science-related subjects [2, 3].

By area, of course the Information-related area was high (75%), and apart from Art-related (11%), CG/CAD has been introduced in about one-third of the subjects in the Engineering-related, Architecture-related and General areas. As noted in Section 3.1 above, about 15% of the subjects mention CG/CAD in the subject name, and about 18% of the rest have retained their original subject names while teaching CG/CAD related contents.

b. *CG-related items:*

The results of Computergraphics-related items by area and overall are shown in Fig. 6. There was only a low response from the Art and Design-related area (8%, three institutions), so these results are not shown in Fig. 6. The highest result was “8. geometric modeling” (55%), showing that over half the subjects covered this area. Geometric modeling covers the basics of 3D-CG/CAD. Next came “3. projective transformation” (32%), and “4. two-dimensional CG processing” (31%). It is thought that the former covers the basics of three-dimensional graphic representation in CG, and the latter covers the basics of 2D-CAD. Compared to hand drawing, “9. curved lines” (28%) and “10. curved planes” (26%) are the areas where the most strength of CG/CAD can be displayed. In this way, the most fundamental CG/CAD content and content where the most features of CG/CAD can be displayed are being covered.

As will be discussed below, off-the-shelf software is being used in most of these subjects. It is, therefore, clear that off-the-shelf software is being used to teach the above items, but it has not become clear from this survey to what extent the contents are being taught. Another survey needs to be done in the future to ascertain this point. By area,

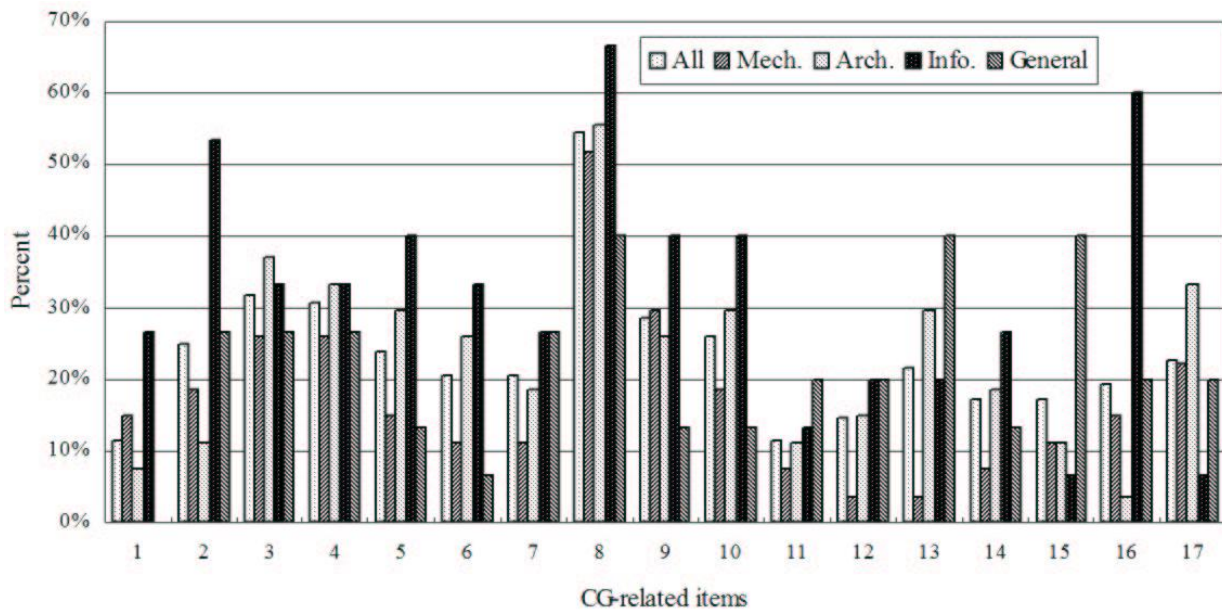


Figure 6: Covering ratios of Computergraphics-related items:

1) CG history, 2) geometric transformation, 3) projective transformation, 4) two-dimensional CG processing, 5) hidden surface elimination, 6) shadings, 7) realistic representation (rendering), 8) geometric modeling, 9) curved lines, 10) curved surfaces, 11) generation of artistic forms on mathematical relations, 12) animation, 13) image processing, 14) colors, 15) CG system, 16) programming, 17) other

in the Information-related area, most importance is placed on “16. programming” (60%) and “2. geometric transformation” (53%), a trend different to other areas.

c. Off-the-shelf software or programming:

With regard to the subjects shown in Fig. 6, overall, in 68% of the subjects, the students were made to use off-the-shelf software, in Engineering-related 74%, Architecture and Civil Engineering-related 81%, Art and Design-related 100%, Information and Media-related 33%, and General 60%. In the remainder of the subjects, some subjects were taught as classroom lectures, and some subjects were being taught by using general programming languages. In this way, off-the-shelf software is being used in many cases in the Engineering, Architecture and Civil Engineering, and Art and Design-related areas, and programming is used for teaching in the Information and Design-related area. This shows that with the former, CG/CAD is taught as a tool for design and drawing, and with the latter, the processing of CG/CAD is being taught. In the General area, the teaching is in between these two.

3.5. Graphic Science peripheral subjects and the relationship

Graphic Science and drawing subjects are taught in the first and second years, and afterward Design-related subjects (design and drawing, and design) are taught in the second and third years. CG/CAD is often widely used in Drawing and Design-related subjects. Later, mechanical or architectural design (in the Mechanical Engineering, or Architectural-related areas) and individual figurative design subjects (in Art and Design-related area) are being taught.

4. Summary and conclusion

The Japan Society for Graphics Science undertook a survey on the education of Graphic Science and related subjects at Japanese universities and colleges from 2002 to 2003. The items surveyed were subject name, implementation details, ability being trained, subject contents, etc. The principal results of the survey are as follows.

- 1) With regard to the ability being trained, the importance is placed on the Drawing ability and the Information transmission ability by the use of drawings, while less importance is placed on the abilities to generate and analyze three-dimensional shapes, i.e., geometrical abilities.
- 2) A lot of importance is still placed on hand drawing (Descriptive Geometry), though the introduction of CG/CAD is progressing rapidly in Graphic Science and related subjects.

References

- [1] K. SUZUKI: *Activities of the Japan Society for Graphic Science — Research and Education*. J. Geometry Graphics **6**, no. 2, 221–229 (2002).
- [2] K. SUZUKI, K. TAKEYAMA, S. NAGANO: *Present Status of Computer Graphics Education in Graphic Science Courses at Japanese Universities*. Proc. 3rd ICECGDG, Vienna (Austria) 1988, vol. 2, 250–257.
- [3] K. SUZUKI, K. YOSHIDA, K. KAJIYAMA: *Restructuring of Graphic Science/ Engineering Design and Drafting Courses at Japanese Universities — Based on Implementation of CG/CAD* [in Japanese]. Proc. China-Japan Joint Conference on Graphics Education, 17–32, 1993.
- [4] K. KONDO, K. MENDE, K. SUZUKI: *Present Status of Graphic Science and Graphic representation Education in Japan*. Proc. 11th ICGG, Guangzhou (P.R. China) 2004, 191–197, (Compiled by the Survey Committee, the Japan Society for Graphic Science).

Received August 1, 2004; final form June 20, 2005

An Educational Non-Photorealistic Rendering System Using 2D Images by Java Programming

Kunio Kondo¹, Tomoyuki Nishita², Hisashi Sato³, Koichi Matsuda⁴

¹*School of Media Science, Tokyo University of Technology
1404 Katakura, Hachioji, Tokyo 192-0982, Japan
email: kondo@media.teu.ac.jp*

²*Dept. of Complexity Science and Engineering, Graduate School of Frontier Sciences
The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa City 277-8561, Japan
email: nishita@k.u-tokyo.ac.jp*

³*Dept. of Information Media, Kanagawa Institute of Technology
1030 Shimo-Ogino, Atsugi, Kanagawa 243-0292, Japan
email: sato@ic.kanagawa-it.ac.jp*

⁴*Iwate Prefectural University
152-52 Sugo, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan
email: matsuda@iwate-pu.ac.jp*

Abstract. It is important to improve the teaching and tutoring materials available in undergraduate CG education. Exposure to such material will certainly help encourage CG research. However, new image generation algorithms proposed in recent research are not usually included in tutoring material at the undergraduate level. We, the authors, have developed teaching material designed for educating undergraduates in CG. This paper describes teaching materials that support the study of NPR, or “non-photorealistic processing”, a painting-style image processing technique used in CG education. Our goal is to make a tutoring system for studying NPR through Java programming. First, we will introduce “Jimmy”, an educational Java software program for NPR. Jimmy supports a new brush and filtering functions for painting-style images. Second, we introduce a “CG Experiment Course Syllabus” for using the proposed system, and we describe the outcomes of its exercises. Students can develop new brush, filtering, and drawing techniques for painting-style images by extending and modifying the algorithms. Through using our system we found the following results:

(1) The proposed educational system was very useful for students in comprehending an algorithm by extending the existing source of the algorithm, and the

students were able to comprehend various painting processing methods by developing new image filters.

(2) The proposed educational system spurred an increase in the number of students interested in non-photorealistic image generation techniques.

Key Words: Computer graphics, non-photorealistic rendering, educational systems, Java

MSC 2000: 68U05

1. Introduction

This paper describes a new system for CG education based on Java software that was designed for Non Photorealistic Rendering (“NPR”, or “painting-style,” also known as “artistic style”). We have carried out teaching and resource development for CG education at both the undergraduate and graduate levels. We have found that in most institutions, however, that new image generation algorithms proposed in recent research are usually not handled at the undergraduate level. We’ve also found from our work teaching at the graduate level that utilizing such algorithms in an educational system at the undergraduate level is invaluable for future research and training at the graduate level. To do this, we designed a system that supports new brush and filtering functions for painting-style images. Using our system, students can develop new brush functions, filtering functions, and drawing techniques to create new effects that mimic painting-style images.

There are many examples of CG education at Japanese universities [11, 2, 12, 9, 5, 6]. Authors have already developed tutoring material for CG education at the undergraduate level [3, 4, 13, 14, 10]. It is usually comprised of basic CG, and generally at this level, new image generation algorithms proposed in recent research are not handled. We are not aware of any CG educational programs that use new image generation algorithms. At our institution, we have a CG education course at the graduate level that incorporates an important field of new image synthesis methods, and students have carried out experiments on the basis of the results of those practices at the graduate school since 2004 [7, 8]. However, the standard CG textbook in Japan was revised in 2005 to include realistic rendering techniques, however the detailed algorithms of NPR have not been introduced by the CG-ARTS Society.

In this paper, we explain tutoring material that supports study of the NPR painting-style image processing technique and its application in an undergraduate experiments course. We call the Java software program that performs these techniques on image files, “Jimmy”. In this paper we also describe our syllabus of CG exercises using the proposed system and the result of the experiments designated in the syllabus. Moreover, there are provisions for the use of the program through the union of the input, the display, and the parameter input of the image that allow for easy improvements of existing algorithms. Our educational system “Jimmy” was developed to accommodate the following areas: Students developing the brush function, the filtering function, and to create a drawing technique for new painting-style images based on educational Java software for NPR. As students develop the applet using Java themselves, the system, its design, and the design of the course facilitates an understanding of Jimmy’s algorithms and various image filter painting processes quite well.

Some features of the Jimmy system are as follows:

- (1) Jimmy is open-source, and it is possible to expand its system by defining new processes that refer to the filter by modifying and extending the algorithm within the Java applet

program.

- (2) Jimmy is a union of the input, the display, and the parameter inputs of an image, allowing students to better understand various image filter picture processing techniques.

At our institutions, third year undergraduate students in the Department of Information Science are trained using the Jimmy system. An experiment based on Jimmy is comprised of 15 sessions delivered every three days. A student proceeds through understanding the system, the algorithm and the system's painting-style processing in about one month. Students then make a report that the instructor evaluates and returns to the student with comments. Students must then write improvements to the algorithm, add their own experimental samples, and then evaluate and submit another report based on their improvements.

The positioning of this CG course in this department is as follows. C programming is taught in the first and second years. Then, in the third year students are introduced to Image Processing and Computer Graphics. The Computer Graphics course uses a textbook that introduces not only basic algorithms but also introduces programming for understanding the algorithms, and that programming is done in Java. The course is accompanied by an experiment from one of the themes of our "Exercises on Information Science" course in the second semester of a student's third year. A team of about six students practice this theme for three weeks. And in total, there are about 60 students taking this course and exercises annually.

In Section 2 of this paper, we give an overview of Jimmy. In Section 3, we show how to make image filters, and in Section 4 we describe CG education using Jimmy, a syllabus of CG exercises using the proposed system, and the results of those exercises. Lastly, in Section 5, we give an evaluation of those exercises and we finish with a set of conclusions and recommendations for further research on CG education.

2. An overview of Jimmy

In this section, we describe the usage of the Jimmy system according to Fig. 1. Jimmy is a Java applet, and there is a User Interface section for image input, a filter selection section, and a parameter input section. By simply creating filter algorithms, students can convert photo-realistic images to painting-style, non-photorealistic images. Currently images of 800×600 pixels can be displayed in the applet.

Jimmy's menu is displayed on the right side of the screen, and only appears when needed. In the upper part of the menu, there are pull-down menus to select the image and the desired image filter, and when both image and filter are selected, parameters for the selected filter are displayed. Parameters can be set using slide bars, or other means, and can control the effect of the image filter. It is also possible to directly input the parameter in proportion to the content. After properly setting the parameters, users select a painting, press the execution button and a NPR image is drawn, based on a combination of the original image and the image processing filter parameters. In addition, changes of the filter parameters can be confirmed even after converting the image.

Jimmy is useful at the following three stages of CG education.

- (1) *Generation of NPR images:*

Once a student starts the NPR applet and uses various filters, the applet uses various NPR techniques to generate a new image. By changing various parameters, images can be changed to suit the student's artistic tastes. A student can take a picture

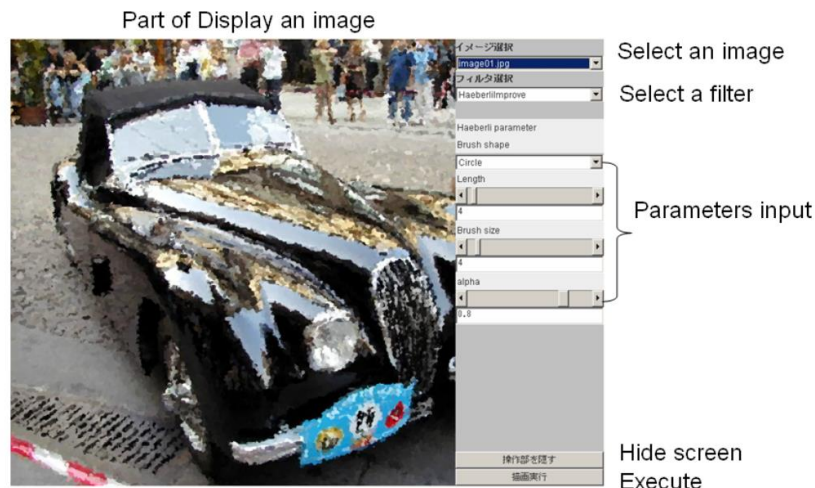


Figure 1: Proposed system Jimmy

and download the image data to the applet and convert it into another aesthetically appealing image.

(2) *Understanding art, style, and aesthetics through algorithms:*

Jimmy helps users understand the use of algorithms to generate and stylize images by allowing them to change various parameters, and view the results. Because students can see the Java source program, they can analyze the algorithms behind various artistic filters, processes, and effects.

(3) *The development of NPR algorithms:*

To encourage the development of new NPR algorithms, Jimmy's Java source program has been provided as open source. Using this source program, students can develop new filter processes. If each student develops even only a section of a new art filter, students can add to the library of available filters, techniques, and knowledge available for other students very quickly.

3. How to make image filters

In this section, we will describe how to make image filters. First, we describe the materials necessary for making an image filter, and then we explain the method for making the filter.

3.1. Materials for making an image filter

Below we describe a folder of materials necessary to execute the applet and to make an image filter.

First we place five classes in a folder, which we will name *imageFiltering* (see Fig. 2). Then, we create another nested folder inside the *imageFiltering* folder titled *images*, and we place either jpg or gif image files in that *images* folder. Students can organize their images and make them easier to find in Jimmy by adding the filenames of each image to a text file called *List.txt*, and placing that text file in the *images* folder. This will then add the names of the filters to the "Filter Name List" within Jimmy. Students can also add a class titled *Filter-name.class* in order to add names to *List.txt*. Currently image size must be 800×600 resolution.

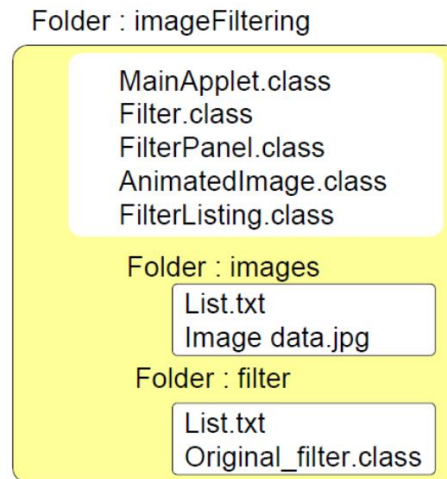


Figure 2: Contents of the NPR folder

3.2. The structure of classes

In this section, we describe the Java classes necessary to draw NPR images. Fig. 3 shows the structure of those classes.

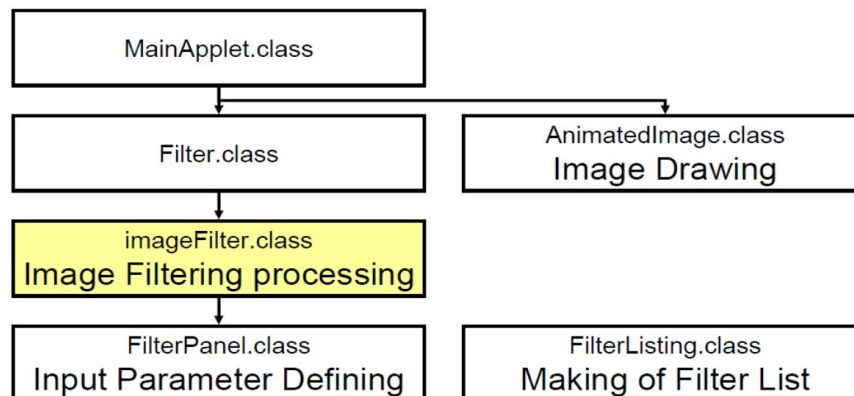


Figure 3: The structure of classes

MainApplet.class

Other classes are called from this applet.

AnimatedImage.class

The function of this class is to draw images. The image is operated through this class.

Filter.class

This is an abstract class for filters. Only the existence of an external specification will make use of this class necessary.

FilterPanel.class

This class specifies the parameters of a filter. It is displayed in the applet, and the parameters are specified and set in the filter.

FilterListing.class

This class updates the filter list. It is independent of other classes, and it can be used as a standalone Java program.

Filter.class

Filter.class and FilterPanel.class were inherited as inner classes.

3.3. How to Make an Image Filter

When a new filter is made, it establishes a class that inherits from Filter.class. The class that inherits getName(), filter(), getFilterPanel(), and FilterPanel.class is described as an inner class. After students make the class of a new filter, they put it in directory */imageFiltering/filter/*. The following are classes that inherit from Filter.class:

getName()

returns the name of the filter without changing the name on the way.

Filter()

Operates the Animated Image class and performs new image filtering.

getFilterPanel()

Returns a FilterPanel class that operates a void filter. The inner class below inherits from FilterPanel. Its information is displayed on the right side of the Applet as a panel, and the parameter specifications for the filter are set in the receipt filter. (The parameter can be received in various ways: button, text field, etc.)

The setFilterParameter()

This class is used to set the void parameter for the filter.

3.4. How to Add Filters

All the class files written in “List.txt” in the */imageFiltering/filter/* directory are read each time a filter is used. Other program sources need not be changed. When a class file is added to the directory, “List.txt” is adjusted. When “image-Filtering/FileListing” is executed, the list file is made and all the class files are added to the list.

3.5. How to Add Images

The “use image” command reads all the picture files written in the “List.txt” file found in the directory */imageFiltering/images/*. The user needs not change the program source; she must only add a jpg or gif image directly to the directory and correct the “List.txt” file accordingly. As long as “image-Filtering/FileListing” has been executed at least once, a list file will be present.

4. CG education using Jimmy

This section describes the contents and the results of experiments performed by third year students at the Department of Information Science at our schools. The theme of the exercise was to make an NPR filter using Jimmy, and to generate a non-photorealistic stylized image from a photo-realistic one. Each student designs an painting-style image processing technique by referring to and modifying Jimmy’s source. In our exercise, students were asked to make an applet every three days for a grand total of 15 applets. The following is a list of discoveries made during the exercise process.

4.1. Tasks

The CG Educational exercise using Jimmy was done 15 times, each time over the course of three days (for a total of 45 days). During the exercise students were given the following tasks, and by fulfilling these tasks, they were able to create a painting-style filter each time.

Task 1: *Understanding the outline of the “Jimmy System”*

Task 2: *Understanding the Java behind “Imagefilter”*

Task 3: *Executing & programming Java for non-photorealistic rendering*

Task 4: *Designing an algorithm for artistic rendering*

Task 5: *Programming the Java behind “Imagefilter”*

Task 6: *Experimenting with drawing using Jimmy*

Task 7: *Writing an evaluative report.*

During the course, the following tools, items, and references were also shown to the students.

[The First Week]

- (1) We introduce the students to an outline of Jimmy’s system. Then, the students arrange a flow diagram to help and show that all of the members of their group understand the content of the Jimmy program.
- (2) A reference program is compiled, and is added to the system.

[The Second Week]

- (3) Together with the students, we analyze painting and drawing methods necessary for the generation and processing of a painting-style non-photorealistic image used in Task 3.
- (4) Together with the students, we design a drawing algorithm and clarify the programming.
- (5) Through this, we begin developing an imageFilter.

[The Third Week]

- (6) We continue development of the Java behind the imageFilter.
- (7) Students write a report on their work, findings, process, and evaluations.

Through this exercise, we can guide students in designing their own original non-photorealistic rendering method based on their own ideas, using Jimmy’s programming as a reference.

To summarize the exercise:

- (1) *The students set the problem.* Students analyze a photo, and then summarize the rules necessary to render the photo in a non-photorealistic (artistic) way.
- (2) *The student creates the solution.* Based on the original photo and the rules students themselves delineated in the above step, students then write an algorithm for the drawing filter they imagined.

4.2. Sample results from the exercise

In this section, we show examples of the NPR images students were able to create with their own algorithms and Jimmy.

Fig. 4 is an example of a painting-style image generated using a square brush and the Haeberli method.

Fig. 5 is an example of a painting-style image generated using the oil painting method and a subtractive color mixture. The effect can be controlled through changing the weight of a CMY parameter. It is an example of an algorithm that was created by expanding on a previous one – the previous one being a form of pen-picture processing that used the colors within an image to perform its process.

Fig. 6 is an example of a picture that has been processed with a filter that causes diffuse edges after a Gaussian filter has been used. We can also change black edges to white by using this filter.

Fig. 7 is an example of an image filter that causes the photo to look like an image drawn with crayon on drawing paper. The student that designed the algorithm for this filter improved upon the Haeberli method.

Fig. 8 is an example of a similar filter, however instead of crayon, the filter creates an image with a colored pencil-like look. The strokes in this method are made by using the Bresenham algorithm. After the user inputs the number of colors, an approximation color is



Figure 4: Square brush

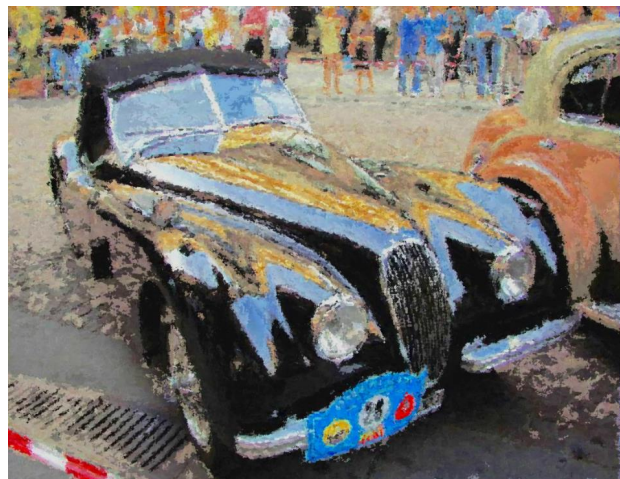


Figure 5: Oil painting method by CMY



Figure 6: Edges extraction method



Figure 7: Crayon method



Figure 8: Color pencil method



Figure 9: Oil painting method by strokes

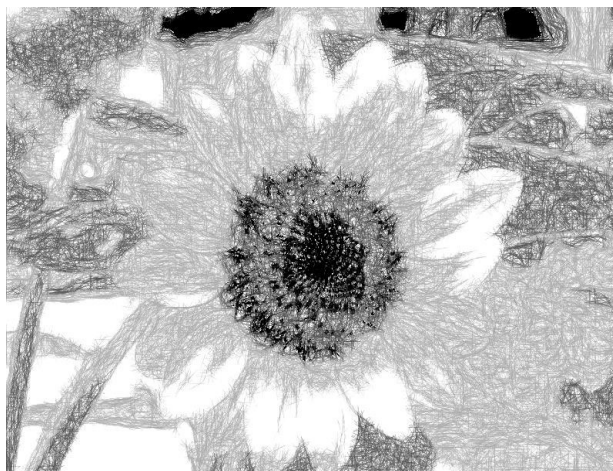


Figure 10: Pencil drawing method

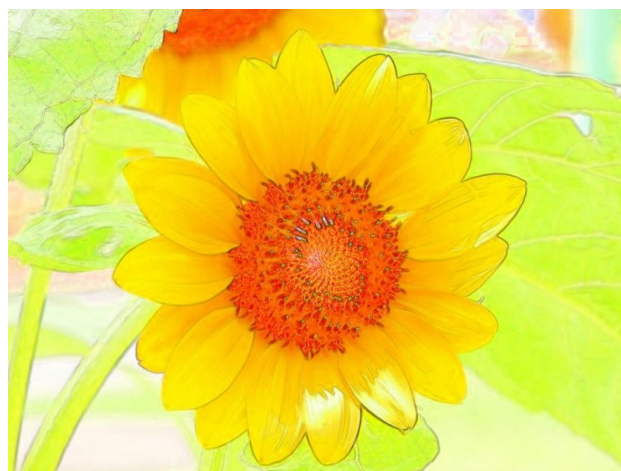


Figure 11: Outline extraction by Sobel



Figure 12: Area division method

calculated, and a new color for each stroke is decided.

Fig. 9 is an example of a filter that effects a look of an oil painter who uses a thick stroke. There are two parts in this method. The first part is to draw small areas of the image using thin brushes, and to paint large areas with thick brushes. The second part is to draw outlines around various areas of the image.

Fig. 10 is an example of a filter that uses an algorithm that is an expansion upon the one used in Fig. 7. Using Fig. 10's algorithm, we can effect upon the photo a look that feels like a pencil drawing.

Fig. 11 is an example of a filter that effects a fantastically bright look upon an image. The outline is extracted using the Sobel method and Brightness information on HSB.

Fig. 12 is an example of a filter that effects the look of an illustration by using the area division method. This method uses a Voronoi diagram to divide different color areas.

Before we began using Jimmy in our undergraduate student exercises, teachers were often caught explaining the answers to tasks, or simply giving problems with answers that the students already knew. Therefore, there was little creativity or motivation from the student side, and it was apparent that students often did not fully understand the problems or the solutions given to them. There were also several instances of reports and work that seemed as if it had been copied numerous times from other students.

Therefore, we have found very useful benefits to using the Jimmy system in our courses:

- (1) Students are motivated to think for themselves about the target of the non-photorealistic rendering, discover the rules necessary to render the photo the way they want, and consequently their understanding of image processing deepens.
- (2) Because students propose their own methods, filters, and algorithms, all work is completely original, adding not only to the knowledge of each student, and to the program's source, but to the knowledge of students to come.

5. Conclusions

It is important to improve the tutoring material used to help CG education at the undergraduate level. Exposure to such material will certainly help spark renewed interest and development in CG research. This report proposed a form of teaching material that supports the study of non-photorealistic image generation and processing techniques. These techniques support several new brush functions for use on photos to convert them to painting-style images. Those techniques are based on an educational Java software program designed for non-photorealistic rendering (NPR), filtering functions, and the study of image-drawing techniques. This software, which we dubbed Jimmy, is a CG training system for use in undergraduate CG courses.

From our study of Jimmy and its usage, the following findings were made:

- (1) After implementing our proposal to use "Jimmy" in a way that supported the learning of artistic painting techniques, students' interest in the NPR technique increased.
- (2) After introducing Jimmy into our course exercises, students were able to deepen their understanding of image generation processing by programming their own algorithms.
- (3) Much of the content used in our Jimmy exercises was successfully used in other areas of CG training in all of our universities, proving that the open source arrangement of the system allows the material to be utilized in various ways and in various universities.

Acknowledgments

We would like to thank Mr. Kazuhide HATSUYAMA, Mr. Toshiyuki HAGA, Mr. Yasushi TOJO, and Mr. Hiroki IMAHASHI. This research was partially supported by the Matsushita Education Foundation, and the Japan Science and Technology Agency (CREST).

References

- [1] P. HAEBERLI: *Paint By Numbers: Abstract Image Representations*. Computer Graphics **24** (4), 207–214 (1990).
- [2] K. KAJIYAMA, K. SUZUKI: *Report on the 26th Graphic Education Forum*. Journal of Graphic Science of Japan **35**/1, p. 21 (2001).
- [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 1993, pp. 169–173.
- [4] K. KONDO: *The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education*. Proc. China-Japan Joint Conf. on Graphics Education 1995, pp. 131–136.
- [5] K. KONDO: “Survey” *Education of Computer Graphics*. Special issue of Journal on Graphics Science, 73–74 (1997).
- [6] K. KONDO: *Report on the 26th Graphic Education Forum, CG/CAD Education at Saitama University*. Journal of Graphic Science of Japan **35**/1, 22–23 (2001).
- [7] K. KONDO, T. NISHITA: *NPR Educational System by Java programming*. Proc. Japan Society on Graphics Society 2004, pp. 7–12.
- [8] K. KONDO, T. NISHITA: “Jimmy” *NPR Educational System using Java*. Proc. NICO-GRAPH2004, pp. 21–22.
- [9] S. NAGASHIMA, H. ISODA: *An Attempt on Computer Graphics and CAD Education*. Proc. of ICECG, 1984, pp. 474–481.
- [10] T. NISHITA, K. KONDO, Y. OHNO: *Development of a Web Based Training system and Courseware for Advanced Computer Graphics Courses Enhanced by Interactive Java Applets*. Proc. Internat. Conf. on Geometry and Graphics 2002, vol. 2, pp. 123–128.
- [11] K. SUZUKI, K. TAKEYAMA, S. NAGANO: *Implementation of Computer graphics into Graphic Science Courses*. Journal of Graphic Science of Japan **44**, 5–12 (1988).
- [12] K. SUZUKI, H. SUZUKI, Y. YAMAGUCHI, S. NAGASHIMA, S. NAGANO: *Integrated Descriptive Geometry and Computer Graphics Course at the University of Tokyo, 1992 Update*. Proc. of the conference of Japan and China Graphics Education, 1993.
- [13] M. TAKAHASHI, H. SATO, K. KONDO, S. SHIMADA: *A manual to teach computer graphics by Java*. J. Geometry Graphics **2**/1, 101–108 (1996).
- [14] M. TAKAHASHI, H. SATO, K. KONDO: *A Remote Education System of Computer Graphics Education using Java*. Proc. 3rd China-Japan Joint Graphics Education 1997, pp. 228–233.

Received August 7, 2006; final form December 28, 2007



Contents lists available at ScienceDirect

Computers & Graphics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cag

Selected Papers from the SIGGRAPH Asia Education Program

Construction trial of a practical education curriculum for game development by industry–university collaboration in Japan

Koji Mikami ^{a,*}, Taichi Watanabe ^a, Katsunori Yamaji ^{a,b}, Kenji Ozawa ^{a,b}, Akinori Ito ^a, Motonobu Kawashima ^{a,b}, Ryota Takeuchi ^a, Kunio Kondo ^a, Mitsuru Kaneko ^a^a Tokyo University of Technology, Tokyo, Japan^b Premium Agency, Inc., Japan

ARTICLE INFO

Keywords:

Education

Game development

Game design

Curriculum development and faculty development

ABSTRACT

Games together with manga and anime as represented by Japanese technological advances are highly evaluated in other countries. In recent years, games have been developing at a fast rate and a deep understanding of the game development procedures is needed in order to keep up with the advancements in technology. Yet, there has been no consistent education program designed specifically for game production in the Japanese higher education institutions. In contrast to this, game education is on the rise among American and European Universities. A curriculum framework has even been created by the International Game Developers Association (IGDA) with positive progress shown by cooperating with the industry.

As very few efforts have been made so far in Japan to develop an education program for game development, there was no common ground where production methodology could be designed and taught. Due to this the industry developed its own unique production styles, and production methods became a trade secret, complicating the relationship between the universities and the industry. Current game development education in Japan consists mostly of lectures conducted by part-time teaching staff hired by several colleges.

In response to this, at the Tokyo University of Technology (TUT), we have designed a curriculum in collaboration with Premium Agency, Inc. that aims to offer training in the practical aptitudes that are demanded by the game development industry. We have added lessons to the traditional faculty curriculum, combining lectures and exercises in a game development context, leading to the number of students that are acquiring knowledge in game development skills such as programming, CG and planning to grow year by year. As a result, the development of this game oriented curriculum has been strongly welcomed by the game industry.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Games together with *manga* and *anime* as represented by Japanese technological advances are highly evaluated in other countries. In recent years, games have been developing at a fast rate and a deep understanding of the game development procedures is needed in order to keep up with the advancements in technology. Yet, there has been no consistent education program designed specifically for game production in the Japanese higher education institutions. In contrast to this, game education is on the rise among American and European Universities [1–5]. A curriculum framework has even been created by the International Game

Developers Association (IGDA) with positive progress shown by cooperating with the industry [6].

As very few efforts have been made so far in Japan to develop an education program for game development, there was no common ground where production methodology could be designed and taught. Due to this, the industry developed their own unique production styles, and production methods became a trade secret, complicating the relationship between the universities and the industry. Current game development education in Japan consists mostly of lectures conducted by the part-time teaching staff hired by several colleges.

In response to this, at the Tokyo University of Technology (TUT), we have designed a curriculum in collaboration with Premium Agency, Inc. that aims to offer training in the practical aptitudes that are demanded by the game development industry. We have added lessons to the traditional faculty curriculum, combining lectures and exercises in a game development context, leading to

* Corresponding author.

E-mail address: mikami@media.teu.ac.jp (K. Mikami).

the number of students that are acquiring knowledge in game development skills such as programming, CG and planning to grow year by year. As a result, the development of this game oriented curriculum has been strongly welcomed by the game industry.

2. Problem statement/dilemma

Game development only becomes possible when a multitude of skills such as proposal writing, script, design, program, graphics and sound are combined. Due to this, teaching staff in many different disciplines is required. However, it is difficult to create, using limited resources, an education system that covers such a wide range of skills. Furthermore, it is hard to complete lecture courses and workshops within one semester as not all of these skills can be taught in such a short period of time.

In addition, while cooperation with industry veterans is needed—as their experience of working on the front lines is vital in creating a practical training curriculum—the rigorous selection process for teachers at Japanese universities makes this difficult unless the applicant has had some sort of significant achievement within the industry; a doctorate degree is almost always required, meaning a large majority of industry veterans are not academically qualified to be considered. The number of these specialized instructors that can be hired is also limited by the budget available, with which teachers of other subjects (such as language) must also be hired. The result of this is that the staff required for a game development curriculum cannot actually be hired.

Finally, a severe time restriction exists. There are currently no educational institutions at the high school level that teach game design in Japan, so there is no guarantee that students' computer skills are proficient enough to engage in game development. In order to bring their skill level closer to the required level, it is necessary to incorporate foundational computer training for game design into any game design curriculum.

Also, it is a general expectation in Japan that university students must have a confirmed job position before they graduate, and that it is the university's responsibility to ensure that this happens. It is thus normal for students to begin the time consuming process of job hunting at the end of their 3rd year.

As time must be allocated for basic computer training and for job hunting, this leaves only 2–3 years to fully educate students in game development.

3. Our approach

3.1. Combining existing curriculum

Our approach to solve these problems involves the utilization of our existing media technology curriculum. We extracted young educational staff, researchers and industry veterans from the Faculty of Media's existing pool of human resources and paired them together. In doing so, we were able to enrich our existing staff for the preparation of a curriculum that combines knowledge straight from the industry with conventional university seminars. We were also able to avoid the above stated problems of hiring new staff.

3.2. Review of current situation of school of media science, TUT

At TUT, we led other universities in Japan by opening the School of "Media Science" (capacity: 400 students) in 1999. The school effectively prepared curriculums combining lectures and exercises that were adopted as the "Organization and practice of media-related exercise class" project by the 2005 Support Program for

Distinctive University Education of the Japanese Ministry of Education Culture, Sports, Science and Technology (MEXT).

4. Program details

In accordance with the needs of the Japanese game industry, we have attempted to build a curriculum through a comprehensive game development program based on the curriculums in use at the School of Media Science.

The different technologies and skills required for game production are scattered over a wide range of fields, out of which any game production course must be prepared to cover. While it is thus necessary to employ and invite industry experts as part-time or guest lecturers to deliver lectures, this alone is insufficient. In order to achieve a practical and effective education program, full-time staffs who are not only experts in their respective fields, but also readily available to offer detailed instructions to students at even the individual level, are needed. This ensures that students receive instructions appropriate to their level of progress. TUT caters to both these aspects. On one hand TUT has full-time experts in real-time CG technology and animation. On the other hand, we also regularly invite Yamaji—the president of an independent game development company—to coordinate and gather experts from the industry to perform guest lectures. This allows TUT to offer tuition across a wide range of different disciplines. This staff combination made it possible to create a curriculum that integrated both fundamental game production techniques and practical knowledge relevant to the industry.

4.1. Curriculum

Fig. 1 shows the system of exercise subjects that are available at TUT. These subjects include "basic exercises" that are compulsory for the 2nd year students, the "core exercise" for the 3rd year students and the "project based exercise" offered to students from the 1st to 3rd years as special exercises offered from an early stage. With each subject accepting the setting of a sub-discipline, a framework for prompt response to a student needs is established. This approach enables students to either challenge the same theme from the 1st to the 4th year or to learn different skills according to their learning stages. Game education also includes two special course lectures in addition to the exercise curriculum described above. Concurrent learning via lectures and exercises allows the students to learn the subject through both theory and practice.

Our curriculum, however, differs from other curriculums available at the Faculty of Media. While other curriculums are designed such that the semester-long exercises are offered every semester, our "project based exercise" is an exercise program that spans across 6 semesters.

1st year	2nd year	3rd year	4th year
Fresher tutorials	Media basic exercise: 4 themes (compulsory), 6 weeks/theme	Media core exercise: 2 themes (optional), 13 weeks/theme	Graduation research
Computer operation exercise			
Project based exercise			

Fig. 1. Exercise system at TUT School of Media Science.

We focus on teaching three major areas surrounding game production: planning (game design, mechanics, user experience), production skills (programming, graphics, sound, documentation, presentation) and management skills (producing, marketing, product evaluation) in the 1st, 2nd and 3rd years, respectively.

The 1st year is aimed at educating students in the area of planning. While prototyping methods are indeed effective in designing games [7]; creating a prototype is time consuming. In the first semester, students will not still learn how to use digital tools used in game development. Since the aim of this workshop is to educate students in fundamental game mechanisms, instead of designing a new game, students add and change rules of physical (traditional) games such as “hide and seek” and are required to make a presentation in front all the other students. The modified games are then test-played, the rules further revised, and a final presentation is made. This workshop lasts approximately 12 h carried out over the span of 4 weeks. The workshop is suitable for the 1st year students as it demands a lot of communication, forcing them to develop the communication ability needed for the subsequent game development phase. After this workshop, students form separate game production teams. Since students have had time to get to know their peers’ personalities, interests and abilities, the team forming process occurs smoothly and naturally.

In the 2nd year, students are taught production skills and must choose an area of their interests. Game production requires two different types of human resource, those that are oriented to creative matters (game creators) and those with commercial interests (game producers). Our curriculum intends to cultivate practical human resources by providing an education from both perspectives and then linking them principally by exercises. The game creator course is divided into 3 sub-courses: programming, graphics and sound. The programming sub-course teaches students the basics of 3D game programming using an in-house Visual C++ based graphic library. In the graphics sub-course, students are trained in the creation of graphical assets including models and motions for games using Maya. In the sound sub-course, students use programs such as Cubase to create original music. The game producer course focuses on the documentation required for game development and presentation skills. Each game development team consists of students from all four courses, linking their skills together and allowing them to experience how these different disciplines come together in game development.

In the 3rd year, management skills are introduced. Students exhibit their games at the world’s largest game event—the Tokyo Game Show (TGS). In preparation for this, students must design and create necessary promotional materials such as brochures, panels and promotion movies. Before the TGS, the games are also exhibited at various campus events, giving the teams the opportunity to see how users react to their games. At the TGS students are exposed to a much larger and global audience, and are able to gather even more opinions, reviews and advice from the general users as well as industry experts. This is carried out to ensure that the students maintain a high level of motivation during the duration of the project based exercise. As underclassmen watch the upperclassmen working hard to perfect their game for the TGS, they know that it is that path that they must also eventually walk. For this purpose, presentations and progress reports by 1st, 2nd and 3rd year students are done together in the same sessions.

Sometimes, there are students who wish to join the project based exercise partway through, in which case they are admitted to the course based on 2 criteria; (1) possess some kind of skill relevant to game development, and (2) be accepted by an existing team.

The main aim of this workshop is to help the students develop the ability to find and learn for themselves the knowledge and skills that they need.

Each team will inevitably design a different game, and thus the skills required to develop each game will also be different. It is not possible for instructors to teach all the skills that every team needs in one single workshop. Therefore, instead of spoon-feeding knowledge to the students, instructors teach them learning methodology. In most cases, the basics of such knowledge is taught in one of the classes offered by the School of Media Science, and so instructors point students towards these classes. Once students have taken these classes and acquired the basic knowledge, they become informed enough to be able to seek out any further information they require by themselves, such as international journals and related articles. By adopting this structure, skills and knowledge acquired in any of the other ICT based classes offered by the School of Media Science in turn reinforces our game oriented curriculum, and vice-versa.

After spending 3 years in actual game development and other studies, students are required to research on the game production techniques and technologies in the 4th year, and write a graduation thesis in their chosen field of specialization. Using their past 3 years of game production experience and their knowledge of learning methodology as a foundation, students have a good idea of the problems that occur during game production, and are thus able to propose and execute practical and unique research themes. Fig. 2 shows the outline of our curriculum. Furthermore, as TUT offers game production as a possible specialization within the School of Media Science’s graduate program, students can choose to continue their studies at the master and doctoral level if they wish to do so.

As an education program designed specifically for practical game production, this curriculum was applied to and adopted by the university reform promotion subsidy (university reform promotion project) entitled “Support for Good Practice for modern education needs”.

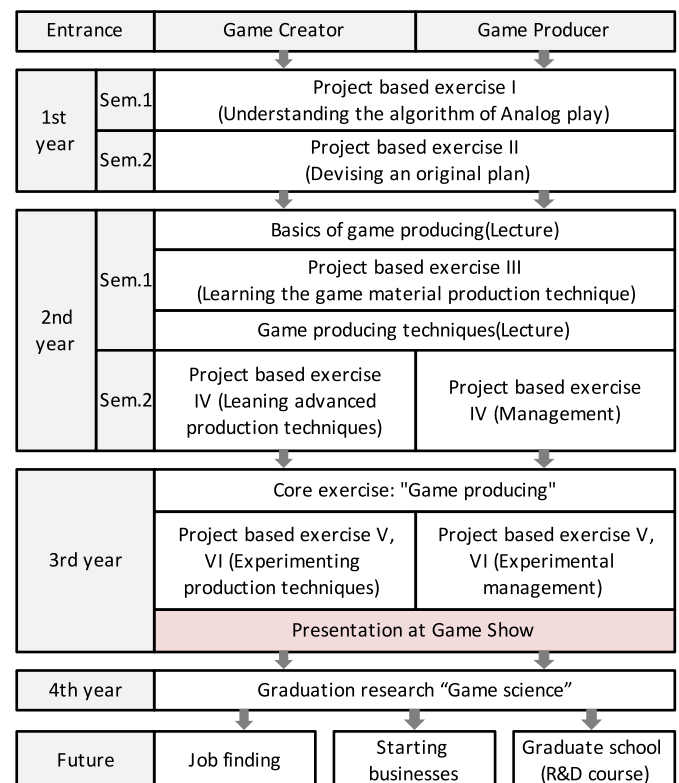


Fig. 2. Game education curriculum.

4.2. Education resources

In order to implement an education system regarding any kind of contents, it is essential that the educational institution possesses the necessary facilities, as well as the organizational ability to seamlessly integrate core classes with guest lectures by the industry experts. Therefore, at TUT we have established the “Creative Lab (C_LAB)” in the Katayanagi Advanced Research Lab as a foundation for studying contents production techniques. The foundation is attached to the university and the laboratory is conducted under the guidance of Kaneko and the authors of this paper. By inviting advice from outside people with relevant experience and knowledge, the C_LAB has gathered young researchers and production staff to begin the study of contents production technology. It has thus built an effective system for providing practical education throughout the process.

The C_LAB aggressively reaches out to the industry and government, establishing many collaborative projects that students are able to participate in as interns. Projects are always backed up by highly skilled technical staff from the C_LAB, who take on both technical support and management roles. Collaboration with private enterprise companies also becomes easy because such professional support is always available to students, allowing them to produce industry-standard work even while at school. These internships provide students with an education close to the practical work by letting them work in the real-world projects.

Fig. 3 shows the staff structure of the C_LAB. The details of the teaching staff are as shown in Table 1.

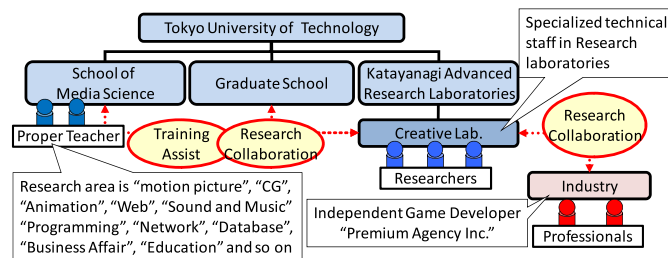


Fig. 3. Staff structure at Creative Lab.

Table 1
Teaching staff list.

Role	Teaching staff
Director	Mitsuru Kaneko
Graduate research	Taichi Watanabe, Koji Mikami, <u>Katsunori Yamaji</u> , <u>Kenji Ozawa</u>
Core exercises	Koji Mikami, Mitsuru Kaneko, Yosuke Nakamura, Tagiru Nakamura, <u>Kenji Ozawa</u>
Project exercises	Koji Mikami, Taichi Watanabe (Producing), Akinori Ito (Sound), Motonobu Kawashima (Graphics), Tagiru Nakamura, Ryota Takeuchi (Programming)
Lecture subjects	<u>Katsunori Yamaji</u> (Basic of game producing, game producing techniques)
Special lecturers	Sony Computer Entertainment, Microsoft, Game Republic, EnterBrain, Tohmatu Consulting, etc.

Note: Underscored names indicate Course Tutors and the names in *italic* indicate the C_LAB staff.

5. Research projects

The projects that are considered in this paper include “Game Science” research projects within the framework of graduate research and industry/university collaborative projects joined by the C_LAB, etc.

5.1. 4th year graduation research

5.1.1. Selection

4th year students are required to join a research project, each for a different specialization. Each graduation research project sets a quota for the permitted number of students. Students apply for their desired project, and if the number of applicants exceeds the set project limit, the project tutors are permitted to select the students. In fact, since its establishment in 2006 the number of applicants for the Game Science projects largely exceeds the program's capacity, thus student selection is performed every year. The selection evaluates the projects and work that each student has achieved rather than their (grade point average) GPA. Table 2 displays past student application data. Table 3 shows the share of applicant fields and that of the selected fields in 2006 and 2007. The trend shows that the selection rate of students applying for the planning project (scenarios) is the lowest. This is because a large number of these applicants were not from the project based exercises, and as they had little or no previous experience of game design, they could only apply for scenario research—which requires the least previous experience and knowledge. Their lack of understanding of game development, however, made them weak applicants, and so very few were selected. On the other hand, many of the students applying for the programming and graphics projects were graduates from the project based exercise program. These

Table 2
Selection data.

	Capacity	Applicants	Selected students
2006	16	59	24
2007	16	39	19
2008	20	43	21
2009	20	26	20
2010	20	31	20

Table 3
Field trend data during 2006–2007.

Field	Applicant share (%)	Selection share (%)
Planning (Scenario)	40	10
Programming	30	50
Graphics	25	30
Sound	5	10

Table 4
Field trend data during 2008–2010.

Field	Applicant share (%)	Selection share (%)
Planning (Scenario)	30	20
Programming	40	55
Graphics	25	20
Sound	5	5

students were stronger candidates as they already had a certain understanding of games development, so the selection rate for them was high.

The project based exercises are designed to lead students towards their graduation research, and many of the students from the project based exercises accept the importance of acquiring programming skills. Such high awareness of programming from the entrance stage to the actual game production is not found outside the project based exercises. This is clearly different from the recent trend where students avoid engineering courses. Table 4 shows the share of applicant fields and that of the selected fields in 2008, 2009 and 2010. All these students are from the project based exercise era. Approximately half of the applicants were students from the project based exercise. Applicants who took the project based exercise clearly had higher motivation and sense of initiation to continue research compared to those who did not. Due to their 3 years of game production experience, these applicants had greater awareness on game production and consequently had much higher chance of being selected.

The increase in percentage of students in planning was due to an increase in students interested in production management. The drop in graphics was due to an increase in students interested in researching graphics from a programming perspective instead of graphics from an artistic perspective.

5.1.2. Research topics

In the Game Science Project, students personally collect data and propose their own research themes based on this data. The teacher judges whether or not the proposed theme is feasible and approves it for graduation research if it is considered to be so. Basic CG research is the foremost theme at the present but there are also other popular themes such as graphic representation techniques, usability studies, 3D audio and scenario analyses. Some of the theses written in the past are listed below:

- Application of “boundary blur” to CG.
- Elastic body deformation accompanied by phase shifts.
- Energy wave representation with volume rendering.
- Rendering technique to add American comic atmosphere.
- Crowd simulations in the context of the behavior of sardines.

5.1.3. Activities outside the university

The games produced as a result of the graduation research and project based exercises were exhibited at the Tokyo Game Show



Fig. 5. Exhibition at Tokyo Game Show 2009.



Fig. 6. Sample of exhibited game at Tokyo Game Show 2008.



Fig. 4. Exhibition at Tokyo Game Show 2009.



Fig. 7. Sample of exhibited game at Tokyo Game Show 2008.



Fig. 8. Sample of exhibited poster at Tokyo Game Show 2008.



Fig. 10. Example of animal motion capturing study.



Fig. 9. Sample of exhibited panel at Tokyo Game Show 2009.

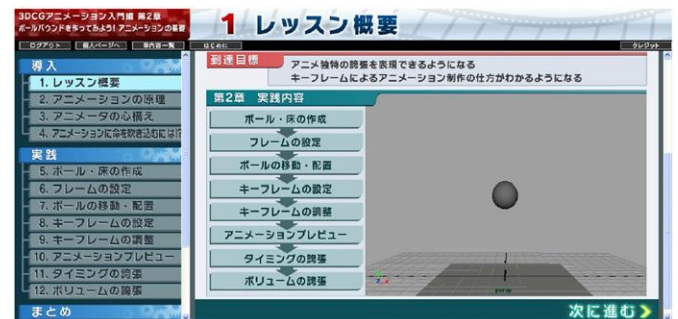


Fig. 11. Example of training material contents.



Fig. 12. Screen shot of the process management software "B-TRAQ".

2007, 2008, 2009 and 2010 as shown in Figs. 4–9. The Tokyo Game Show is participated mainly by vocational colleges and exhibitions related to academic research are relatively few. Nevertheless, featuring research goals and game production issues at an international industry event has made it possible to maintain motivation in students throughout the long process of research and game production as well as obtaining feedback from those who are actually within the game industry.

5.2. Industry/university collaboration in research

The Creative Lab plays the central role in advancing a large number of research projects in collaboration with Premium Agency, Inc. Among them, research projects related to game production are introduced below:

5.2.1. Research related to motion generation technology using MOCAP

An experiment concerning the animation of 3D characters using the motion capture system owned by TUT is underway. It includes the study of advanced capturing techniques as well as the study and practice of practical capturing techniques for the actual contents creation. This research involves researchers and a large number of students from the School of Media Science. Fig. 10 shows examples of the work handled in this experiment.

5.2.2. R&D for remote training materials

A variety of dedicated software is used in the production of contents including games. As many of the software programs

incorporate various functions, their operations also tend to be complicated. As a result, learning how to operate software is an important part of contents production education. In this research, teaching materials as shown in Fig. 11 are researched and developed to educate students in both the technology necessary for more practical content production and software operation skills.

5.2.3. Game development process management system study

Contents production uses a large number of specialized processes before completion of a product. These processes vary widely

depending on the form and genre of the contents. Technology for managing the production processes is as important as the production technology itself. In the context of game development, other factors such as program debugging are involved additionally. This research consists of the study of process management systems as shown in Fig. 12.

6. Evaluation

The present attempt was started in 2004 and the curriculum was completed in the academic year 2008. As we cannot restrict students from studying a number of different subjects during these 3 years, it is difficult to evaluate our curriculum easily using a before–after comparison. Therefore, statistical evaluation is limited to some part of lectures and workshops.

6.1. Evaluation of the lectures

A “class evaluation questionnaire” designed to evaluate class performances showed that the game related classes were highly rated by students. These classes were attended by more than 400 students, corresponding to more than 80% of the students in the same grade.

6.2. Evaluation of the project based exercises

The project based exercise that students applied from 1st to 3rd year has achieved its goal. Students with different specializations such as producing, programming, graphics and sound, cooperated and integrated their skills to complete a final project. Within this environment, the students were able to learn the skills that they really wanted to and how to apply them. In addition to this, the fact that they were exposed to a multitude of the different facets of game production such as programming, graphics and sound should also be considered a merit. Also, by conducting exercises for 1st to 3rd year students together, an academically and socially healthy environment was created where upperclassmen were able to guide lowerclassmen.

On the other hand, offering practicum from early stages has a demerit, where students who have not yet decided their path will find it difficult to participate. Also, students have a hard time choosing things that they want to specialize in during early stages.

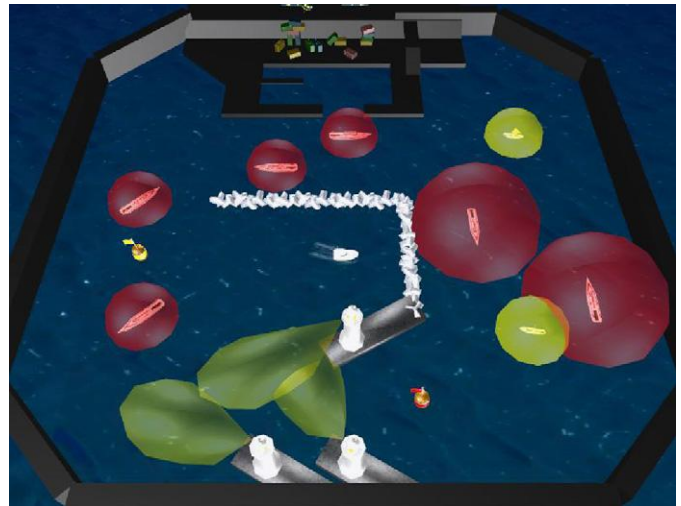


Fig. 14. Game developed at Global Game Jam 2010.

Furthermore, some students choose a specialization and decide later to switch to something else. The curriculum does not currently cater well to such students, and thus must be developed further in this area.

6.3. Evaluation for effectiveness of education

Students who had completed the project based exercise course and several foreign students from the graduate school participated in the Global Game Jam 2010 (GGJ2010) [8], where games must be developed within 48 h based on certain specific themes. Students from the project based exercise course formed an 8 person team, which included 1 foreign graduate student. Communicating in Japanese and English, they took up the challenge of creating a XNA based game during this short period. They were able to deliver a game of high completion on time, reaching the alpha stage in 40 h, and the beta stage in 45 h. They demonstrated exceptional management and development abilities, which were praised by the game development company staff who were invited to the event as guests (Figs. 13 and 14).

Although the effect of the new curriculum on job finding is hard to determine from a single example, it is encouraging that six of the 15 students who have graduated from the “Game Science” research project and have applied for jobs in the game industry have actually found jobs there (including in associated industries).

7. Conclusion

In Japan, industry–university collaboration in the field of games has just begun. When the project was initiated there were no existing curriculums for a 4 year Bachelor’s program in game development in Japan. However, there have been a growing number of ICT faculties that are setting up game courses. Furthermore, efforts are being made to set up an educational environment such as IGDA Japan’s effort to translate IGDA’s curriculum framework [9].

In TUT, students are actively engaged in collaboration. 75 students are confidently participating in project exercises that are provided as optional classes. These students are acquiring skills independently from early on (Fig. 15).

Collaboration can be considered effective in cultivating human resources. However, there are issues that prevail with respect to practical technology development.



Fig. 13. Snapshot of the Global Game Jam 2010 (Tokyo University of Technology site).

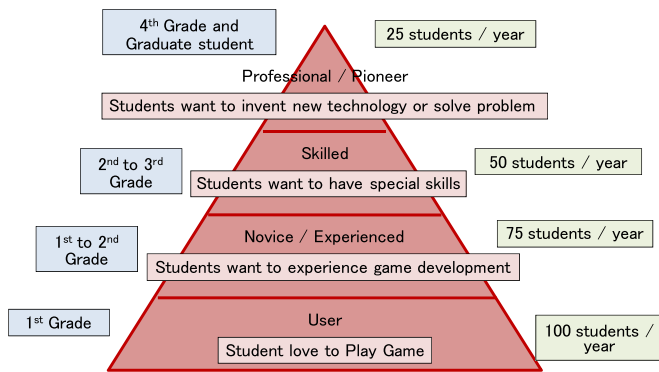


Fig. 15. Growth of students participating in the program.

7.1. Issues

7.1.1. Criticism of the effectiveness of “Core exercise”

In comparison with the project workshop evaluation, the class evaluation questionnaire feedback from students scored lower. The reason was that the initial skill level of the students varied greatly, as both students who have been following the curriculum since their 1st year and those who have not, were present in the classes. This forced instructors to adjust the level of the class to cater to those who have had no prior experience of game development, leading to students emerging with an overall lower than desired technical skills level.

7.1.2. Employment

While many students wish to enter the game industry, as it stands not many are actually employed. Since game education is not available at many universities, the result is that students from all kinds of different backgrounds apply to game companies, leading to acceptance rates as low as 1 in 100 applicants for big-name firms. In order to ensure that students with skills specific to game development are able to enter and thrive in the industry, collaboration with game development firms is essential. Joint research projects with development firms could prove to be extremely important. Working with the industry, universities as research institutes play a key role in the development and evolution of the game industry. To date, due to game education being vocational college centered, this has not been possible.

7.1.3. Gap between the research periods of students and the expected results

Because the period allocated for substantial research in the undergraduate school is less than a year, many students do not have enough time to achieve significant results. As students also have other commitments during this time such as job hunting, it is difficult to increase their research capacity. Moreover, some of the technologies required in actual game production are of low academic significance and are hard to assimilate in the academic dissertations.

7.1.4. Necessity of middleware

Students take a long time to master the technologies necessary for game development. By the time their skill level is good enough to allow them to develop a game, there is not much time left to actually do so. The current solution is to provide students with middleware to speed up the development process. However, this makes it hard for the students to experience actual game

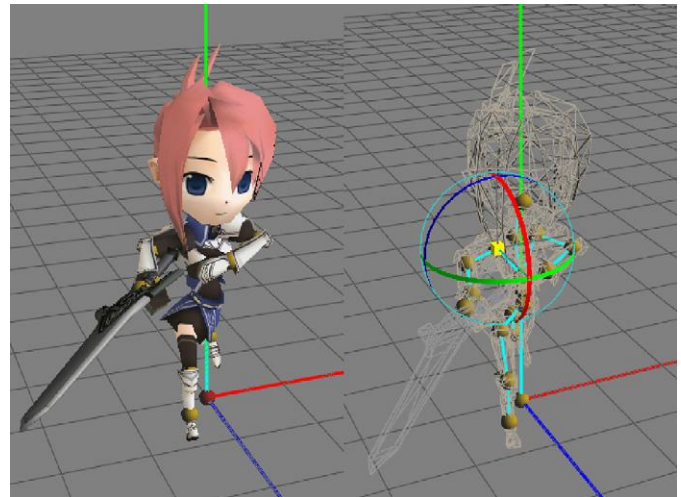


Fig. 16. Originally developed “Motion Generation Tool”.

development and improve their skills, as they are not creating the game from scratch. Naturally, the benefit to students becomes questionable. In order to solve this problem, it is desirable to prepare development tools and middleware such as “Alice” [10] that allows development without degrading the requisite degree of freedom.

7.2. Future perspectives

In order to enhance the effects of the curriculum even further in the future, it is important that the entire undergraduate school promotes further enhancements and also collaborates effectively with the postgraduate school.

It is therefore desirable to prepare a mechanism that allows students to tackle research at an earlier stage than the graduation research. Doing so allows for more practical joint research and ensures that research of high academic value may be achieved (Fig. 16).

The postgraduate school is independently developing the requisite support tools such as the “motion generation tool” that can reproduce different types of motion easily in programs and the “object profiler” that manages the motion history of 3D objects for use in bug analyses. When an integrated support environment can be created by merging these tools it will be possible to prepare a customizable environment that allows students to efficiently experience actual productions.

Acknowledgement

Our game education program was sponsored by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology Japan. (Gendai GP)

References

- [1] University of Southern California, <<http://cinema.usc.edu/>>.
- [2] Entertainment Technology Center, Carnegie Mellon University, <<http://www.etc.cmu.edu/>>.
- [3] Chaffin A, Doran K, Hicks D. Experimental evaluation of teaching recursion in a video game. In: Proceedings of the Sandbox Symposium, ACM SIGGRAPH, 2009. p.79–85.
- [4] McDaniel R. Cardboard semiotics: Reconfigurable symbols as a means for narrative prototyping in game design. In: Proceedings of the Sandbox Symposium, ACM SIGGRAPH, 2009. p.87–93.

- [5] Fullerton T. Game Design Workshop. 2nd ed.. Morgan Kaufmann Publishers; 2008.
- [6] IGDA : Curriculum framework, <http://www.igda.org/academia/curriculum_framework.php>.
- [7] Koivisto E, Suomela R. Using prototypes in early pervasive game development. In: Proceedings of the Sandbox Symposium, ACM SIGGRAPH, 2007. p. 149–155.
- [8] Global Game Jam 2010, <<http://www.globalgamejam.org/>>.
- [9] IGDA Japan Chapter , <<http://www.igda.jp/>>.
- [10] Carnegie Mellon University, "Alice", <<http://www.alice.org/>>.

Example Based Programming に基づく CG 制作の入門教育

近藤邦雄 伊藤彰教 三上浩司 渡辺大地

概要:本研究では,大教室における多人数の学生を対象とする Example ベースの CG プログラミング教育法の提案を目的とする.本文では,2008 年度から実施している東京工科大学メディア学部における 2 年生向け講義「CG 制作技法の基礎」の講義内容と「processing」を用いた CG プログラミング演習について述べる.そして,プログラミング方式による教育の課題であるデバック時間やプログラミング演習に対する教育時間を軽減することを実現するために,セミプログラミングの長所を取り入れた Example ベースプログラミング方式による CG 演習を実施した結果について述べる.

キーワード:CG, 教育, プログラミング, 例題ベース

Introduction to Computer Graphics by Example Based Programming

This paper describes introductory computer graphics education for a large body of students in a large hall through example based programming methods. First, we explain the lecture contents and the CG programming necessary for an "Introduction to Computer Graphics" for Tokyo University of Technology second year students. Second, we explain the result of a CG practice using "processing" that uses an example base programming method that features semi-programming. This method can reduce debug time, the time necessary to learn programming, and can improve the CG programming ability of a student.

1. はじめに

本研究では,大教室における多人数の学生を対象とする Example ベースの CG プログラミング教育法の提案を目的とする.本文では,2008 年度から実施している東京工科大学メディア学部における 2 年生向け講義「CG 制作技法の基礎」の講義内容と CG プログラミング教育について述べる.2 年生向けの選択必須科目であることから 150 名を越える受講者がいる.このために学生各自のノート PC を利用した CG プログラミングを行うこと,1 年次に Java プログラミング入門を受講していることを前提として,プログラミング時におけるデバックなどで CG アルゴリズムの理解を妨げないような演習をすることを目標とした.

CG 教育に関連する研究は 70 年代よりさまざまな方法が提案されており図学研究 30 周年記念号^[1]にはいくつかの教育例が紹介されている.鈴木らは CG 教育の方式を 3 つに分けている^[2].その 1 は,アルゴリズムの理解のためにプログラムを作成して,画像を作成する CG プログラミング型教育,その 2 は,基本的アルゴリズムのプログラムを与えて,それらを利用しながらプログラミングするセミプログラミング型教育,その 3 は市販ソフトなどアプリケーションを利用したレディプログラム型教育である.

プログラミング方式の教育には,鈴木らによる東大における教育例^{[3][4]},近藤らによる CG の基礎技術^[5, 6, 7, 8]がある.さらに東京大学工学部^[9],教養学部,大妻女子大学,東海大学^[10]などでも実施されてきた.このような教育において,プログラム言語の教育に先立って行う必要があること,デバックなどに演習時間が費やされてしまう場合があることなどの欠点が指摘されていた.しかし,CG の新たな技術を開発する上でも基礎技法をこのようなプログラミング教育で理解させることも大切である.

セミプログラミング方式とは必要なライブラリやプログラムの一部を与える方法である.学生はこれらを利用しながら,プログラムを完成させ,CG 画像を描く教育である^[11].このような多数のプログラムを利用した教育方法の

確立が望まれる。レディプログラム方式の教育は、長島ら^[12]、近藤ら^[13,14]、新津^[15]、鈴木^[16]などの教育例がある。また、長江^[17]、面出^[18]、堤^[19]も各専門分野に対応したCG教育を行っている。これらは自作システム、市販アプリケーションシステムを利用する教育例である。

本文では、プログラミング方式による教育の課題であるデバック時間の削減やプログラミング教育における教育時間の軽減を目標に、セミプログラミングの長所を取り入れる方式を提案する。本提案方式は、サンプルプログラムのデータを与え、それを理解するためにコメントを加えたり、実行したり、プログラム内のパラメータを変えたりする教育方法である。この教育手法のアイデアは1980年代の筆者が行った愛知県立芸術大学におけるCG教育および日本図学会主催の家庭科教育におけるパソコン利用研究会が元になっている。コンピュータをほとんど利用したことがない受講生にプログラムやCGを教えたりするために、数値の変更でいろいろな画像を得たりアニメーションができたりすることを教育してきた経験に基づいている。

このExampleベースによるプログラミングの特徴は、(1) 講義時間内にタイピングミスによるバグ処理がない。(2) プログラムを実行し表示される画像を見ながら、アルゴリズムの理解を進めることができる。(3) 学生自身が、パラメータを変更することによって、オリジナルの画像を生成できる。このような特徴から、プログラミングが苦手な学生もプログラム内の数字を変更するだけで理解が深まり、各自が考案したアルゴリズムに基づくプログラムを作成し、CG作品を作成することができるようになる。この段階は、プログラミング方式ともいえる段階である。

本方式を利用した本講義ではCG画像を制作するに当たって利用する基礎技法を理解し、演習を通じてそれらの技法を習得することができることを目的とする。講義内容は、CGの応用分野、2次元図形の描画、3次元座標変換、投影変換、レンダリング、モデリングなどである。CG制作において用いられるさまざまな手法を解説する。さらに「processing」を利用してCGアルゴリズムを理解し、各自が自ら考えた作品を作成する演習を行う。講義内容はCG-ARTS協会が実施しているCGクリエイタ検定ベーシックに対応している。

本文では、まず第2章で東京工科大学における「CG制作技法の基礎」の概要について述べ、第3章では

processingを用いた演習内容と課題を説明し、第4章ではExampleベースのCGプログラミング教育を提案する。第5章では、演習結果である学生作品例を示す。

2. 「CG制作技法の基礎」の概要

2.1. 講義の目的と進め方

本講義では表現、CG技術、プログラミング技術の3つの習得を目指す。講義と演習を交互に行い、表現手法とCG技術を理解できるようにしている。CG-ARTS協会編「入門CGデザイン」^[20]を教科書として用いて、CGの知識を習得できるようにしている。本演習を通じて、論理的な思考の向上を目指す。サンプルプログラムを実行すれば画像が表示できる。これらのプログラムの中の数値をいろいろ変更し、試行錯誤しながらアルゴリズムの理解ができるようにしている。アルゴリズムの理解ができたなら、自分自身のアイデアでこれらのプログラムを変更するとさらにCGアルゴリズムの理解とプログラミング能力の向上につながるという考えのもとに教育を行っている。図1は本講義の演習風景である。



図1 演習風景(東京工科大学メディアホール)

本演習では、デザインとアートのためのプログラミング入門に最適な環境のひとつといわれる「processing」を用いる。特にprocessingの使い方は、野口^[21]の教材ページ、および塩澤^[22]の講義資料を参考にした。また、島森、倉田^[10]が作成した教材、前川らのBuilt with processing^[23]、Reasら^[24]による例題、太田のWeb教材^[25]から、本講義に関連する教材、プログラムを引用している。

図2に本講義とその関連科目を示す。本講義は、1年次におけるJavaプログラミング、メディア関連講義を受講していることを前提にしている。2年次にCGの基礎理論、表現技術論や本講義を受講した後は、3年次の3次元CGやデジタル映像表現などの講義へ展開できるように講義と演習内容を設定している。



図2 「CG 制作技法の基礎」とその関連科目

2.2. シラバス

本節では講義のシラバスについて示す。講義と演習を交互に行うこと、および、2次元CGと3次元CGに大別して解説と演習を行うようにした。これは、教科書の構成を一部変更している。括弧内の章番号は教科書の章に対応する。

第1回 CGの基礎 および授業ガイダンス

コンピュータグラフィックスの考え方や応用分野の広がりについて解説する(教科書 第1章)

第2回 processingを用いた2DCG入門 第1回

アートやデザイン分野で利用される「processing」の使い方を解説し、単純な図形の描画の演習を行う

第3回 2次元コンピュータグラフィックス

2次元コンピュータグラフィックスの基本であるデジタル画像、ペイント系システム、ドロー系システム、線や曲線の描画方法、図形変換の方法などを解説する。(教科書 第2章, 2-3)

第4回 processingを利用した2DCG制作 第2回 (図形の配置と移動)

図形や文字の平行移動や回転によるCG画像生成の演習を行う。

第5回 表現の基礎その1

形と色、タイポグラフィ、レイアウト、ピクトグラムについて解説する。(教科書 第2章, 2-2,2-4,2-5)

第6回 processingを利用した2DCG制作 第3回

第7回 表現の基礎その2: 3次元コンピュータグラフィックス入門

CG制作に重要な形状表現のためのデッサンの基礎、投影法と投影変換について紹介する。(教科書 第2章, 2-1)

第8回 3次元CGの制作

3次元形状モデリング、マテリアルとマッピングによる質感表現について解説する。(教科書 第3章, 3-1,3-2,3-3)

第9回 processingを利用した3DCG制作 第4回

3次元モデルの生成と投影図の作成手法について演習を行う。

第10回 3次元CGの制作手法

カメラワーク、ライティングなどの手法、さらには、各種の形状表示手法であるレンダリングについて解説する。(教科書 第3章, 3-4,3-5,3-6)

第11回 processingを利用した3DCG制作 第5回

3次元モデルのレンダリング手法について演習を行う。

第12回 processingを利用した3DCG制作 第6回

第13回 processingを利用した3DCG制作 第7回

第14回 最先端CGの動向と展望

3. CG制作の演習内容

Processingを利用した演習では、「表現テーマ」、「CG技術」、「プログラム技術」の習得内容を各演習で示している。演習全体で扱う内容を以下に示す。

a.表現テーマ

(1)直線、曲線の描画、(2)点を用いた画像の生成、(3)色彩の活用、(4)アニメーション、(5)インタラクション、(6)3次元モデルの表現、(7)マテリアル表現、(8)カメラワーク、(9)ライティングなどを扱う。

b.CG技術

曲線、座標変換、平行移動、回転、拡大縮小、色彩、アニメーション、3次元モデリング、マテリアル、投影、透視変換、レンダリング

c.プログラム技術

整数、実数、変数、変数の型、代入、繰返し(for)、条件、判定と分岐(if, else, while, switch)、配列(2次元配列)、クラス、メソッド、関数、CG関連命令

以下に、6回分の演習内容を示す。第1部は2次元CG、第2部は3次元CGとして大別して演習を行っている。

第1部 2次元コンピュータグラフィックス入門

第1回 processing入門

(1)processing入門 Processingプログラムの理解

1.サンプルプログラムの分析:コメントを追加して、アルゴリズムを理解する。プログラムは2つ以上とする

第2回 図形描画(図形、色)

(2-1) 線図形の描画

【表現テーマ】直線, 曲線, 図形を用いた表現

【CG 技術】線, 曲線, 図形の描画

(2-2) 点を用いた画像の生成

【表現テーマ】点を用いたパターン制作

【CG 技術】平面図形の平行移動, 回転

(2-3) 色彩の活用

【表現テーマ】色彩を用いた画像生成

【CG 技術】色彩, 色立体, RGB, HSB, アルファ

第3回 アニメーションとインタラクション

(3-1) アニメーション入門

【表現テーマ】運動の記述

【CG 技術】座標変換, 平行移動, 回転, 物理シミュレーション

(3-2) インタラクション入門

【表現テーマ】インタラクション

【CG 技術】マンマシンインタフェース, ユーザインタフェース, マウス, キー入力,

第2部 3次元コンピュータグラフィックス入門

第4回 モデリングとマッピング

(4-1) 3次元モデルの表現

【表現テーマ】ポリゴンモデルの表示

【CG 技術】ポリゴンモデル, 投影, 座標変換

(4-2) テクスチャマッピング

【表現テーマ】質感表現

【CG 技術】ポリゴンモデル, テクスチャ, マッピング

第5回 カメラワークとライティング

(5-1) 視点移動による投影図

【表現テーマ】透視図の制作

【CG 技術】ポリゴンモデル, 基本立体, 視点, 投影, 投影変換

(5-2) ライティングシミュレーション

【表現テーマ】3次元形状のレンダリング

【CG 技術】ライティング, レンダリング, 陰影

このように, 表現テーマを定め, そのために必要な CG 技術を取り上げており, これらを学ぶために各演習テーマに対して必要なサンプルプログラムを与えている。学生には, これらのサンプルプログラムを理解するために, 演習前にプログラムにコメントを追加するように指導している。なお演習課題の詳細は演習 Web ページ[27]にある。

4. Example ベースの CG 制作教育の提案

本 CG 制作入門教育には, MIT で開発された「processing」を用いる。Example ベースプログラミングとは, 演習に当たって必要なソースプログラムを配布し, 実行したり, 数値を変更したりして, プログラム, アルゴリズムの理解を助ける方式である。

図 3 は学生に配布した円を描くプログラムである。表示されているプログラムだけで円を描くことができる。極めて単純なプログラムである。学生はまずこのプログラムを実行して動作確認をする。そして, コマンドの意味を調べ, さらに, プログラム内の数値を変更し, さまざまな画像を表示する。学生は, この作業をしながらアルゴリズムを理解することができる。

図 4 左の四角形の作図では, `for(float i=0; i<=360; i=i+10){` を `for(float i=0; i<=360; i=i+90){` と変更しただけである。同じプログラムにおける繰り返しの値を変更するだけで図形が変化することが理解できる。

図 4 右では, `x1=x2; y1=y2;` を `x1=x2*2; y1=y2*2;` と変更して作成した例である。これは学生のアイデアである。このような処理を行うことによってアルゴリズムの理解ができる。図 5 は複数の図形を描くための関数利用の例題である。プログラム技術の理解を助ける例である。

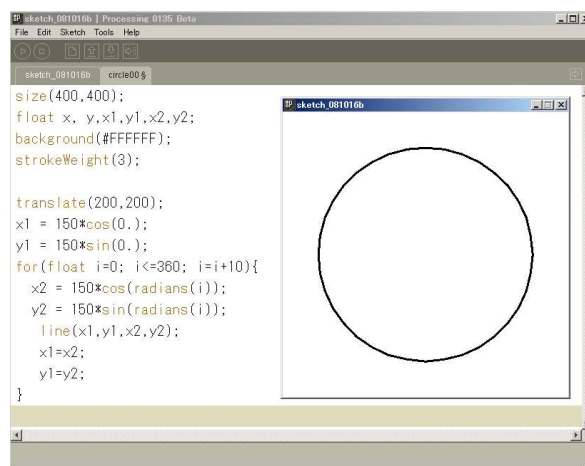


図 3 円を描くプログラム

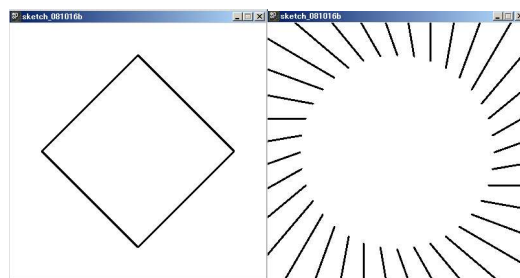


図4 円のプログラムの変更例

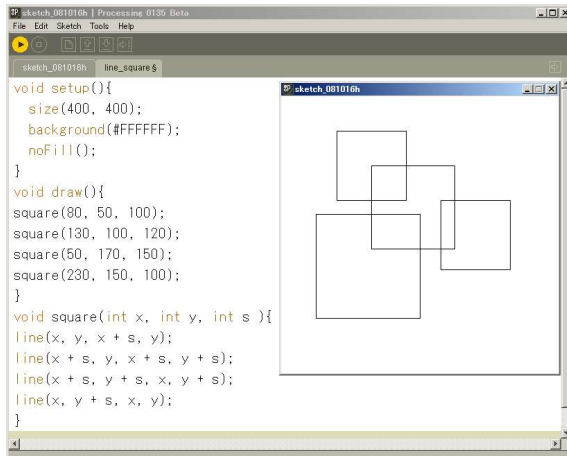


図5 四角形を描くプログラム

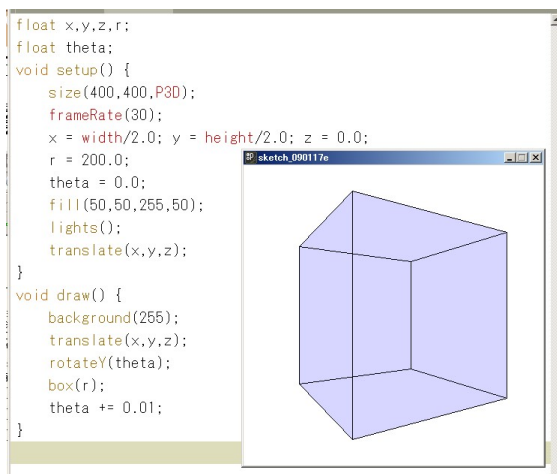


図6 立方体を描くプログラム

図6に、回転する立方体を描画するプログラムと表示例を示す。20行程度のプログラムでこのような描画が可能であるので、学生はこの例題プログラムを実行して、動作を理解するとともに、学習していないコマンドをマニュアルを調べることによって自分で理解ができるようになる。また、プログラム内の一部を変更して実行することによって、画像の表示結果が変わるために、アルゴリズムの理解にもつながる。

5. 制作結果と評価

5.1. 学生の実作結果

2次元CGの総合課題と3次元CG総合課題の学生作品^[26]を図7～10に示す。2次元CGの各種の技術を効果的に利用したり、3次元CGにおける幾何変換やモデリング手法を利用したりしている。

図7は2次元CGの各種アルゴリズムを利用しており、図形の移動や回転、マウスによるインタラクション、アニ

メーションなどの演習内容を応用した結果である。

図8は2次元作品の一例として提示した「Gravel Stones」という正方形の移動と回転を利用した作品を3次元に応用した例である。

図9は、絵画の3次元モデルによる再現を試みた例である。3次元CGソフトを利用して絵画に描かれている橋などをモデリングして、読み込んで表示、回転などを行っている。

図10は、東京工科大学のキャンパスをモデリング、マウスによる視点の変更などの機能を利用した例である。このモデリングは複数の学生により行われた。

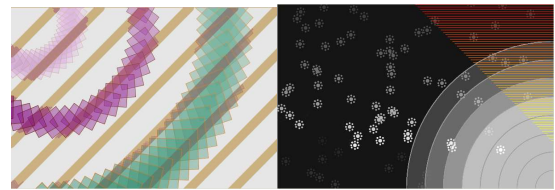


図7(a) 図形の回転や基本図形の活用

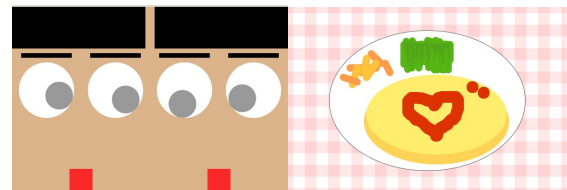


図7(b) マウスによるインタラクションの活用

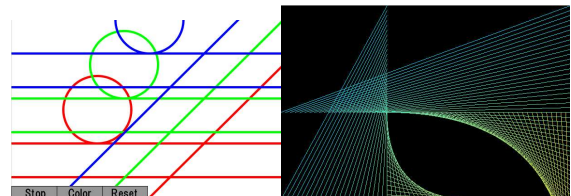


図7(c) マウスによるインタラクションの活用

図7 学生の作品例 (2次元CG)

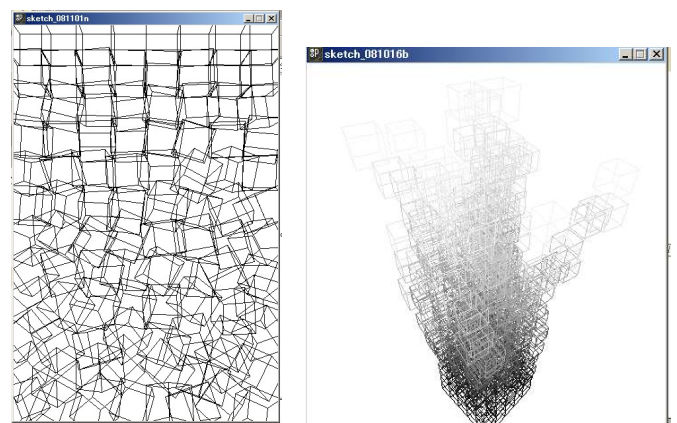


図8 立方体の配置



図9 学生の作品例(3次元CG) 絵画シーンの再現



図10 学生の作品例 東京工科大学キャンパス

5.2. 演習結果の評価

本演習の有効性を、(1)多人数の受講生に対する演習体系、(2)提出課題の提出結果の内容、(3)提出課題を行うための制作時間の3項目から評価する。本評価は2010年度の講義で調査した結果を用いた。

(1) 多人数の受講生に対する演習体系

受講生が150名から200名というプログラミング演習教育において、基本となる例題を与えることによって、教師1名とTA2名のスタッフでも、学生の質問に答えることが可能であった。例題のプログラムは、短く、主要なコマンドは説明をするので、全体的なアルゴリズムの理解がスムーズにできる学生が多かった。学生に対するアンケート結果から、従来の数値計算などを扱ったプログラミング教育と比較して、授業時間中に例題プログラムを実行したり、その一部を改良したりして、アルゴリズムの理解や画像生成手法を理解できるという本研究で提案する演習方法に対して、高い評価を得た。

(2) 提出課題の提出結果の内容

2008年度からの3年間の実施結果から、提出課題の内容をみると、学生の創意工夫を求める課題であることから、小レポートの場合においても、成績上位の学生は、さまざまな独自性のある作品を制作していた。また与え

られたさまざまな例題をもとに学生自らがテーマを考えて、工夫していることが本論文で示すような制作事例からも分かる。ただし、およそ20パーセントの成績が芳しくない20パーセントの学生のなかには、例題プログラムの数値を一部変えただけの課題提出例もあった。この程度のプログラム修正は、講義時間内で行う演習で可能であることから、もう少し工夫をするように課題の提出内容を明確にする必要がある。

2回の総合演習課題では、2次元CGや3次元CGの各種の機能を理解したうえで表現意図を生かした独創性のある表現ができている学生の作品は50パーセント程度であった。これらを制作するためのプログラミングにおいて例題プログラムで活用できる部分を組み合わせたりするための工夫を学生自らが行っていた。2年生前期であり、プログラミング教育は入門コースが終了した段階であり、本演習では、学生のプログラミング能力の向上というひとつの目的も達成できたといえる。

(3) 提出課題を行うための制作時間

演習課題は、(1)2週間程度で行う「小レポート課題」を5テーマ、(2)1か月程度で課題制作する2次元CG、3次元CGの総合的な2つの課題「総合課題」の合計7テーマである。2週間の課題は、講義で説明したCGの一つの機能を理解する目的である。このために、講義中に紹介した例題を改良して自分独自の画像生成を行うだけの学生や独自に制作する学生がいるために、制作時間は大きく差が出ている。

2010年度における2次元CG総合課題の制作時間を図11に、3次元CG総合課題の制作時間を図12に示す。これから分かるように単純な改良であれば、1時間もかからないし、5時間以上かかるという例もある。5時間以上の中には1週間以上もかけている例もある。

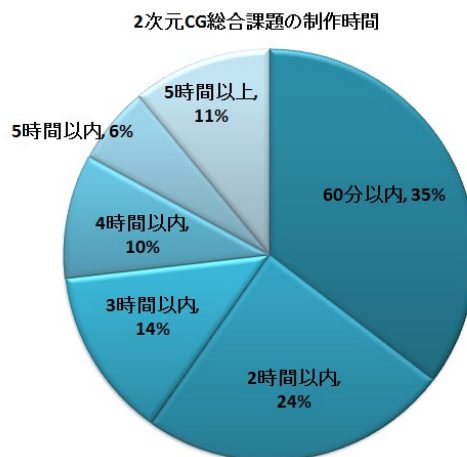


図11 2次元CG総合課題の制作時間

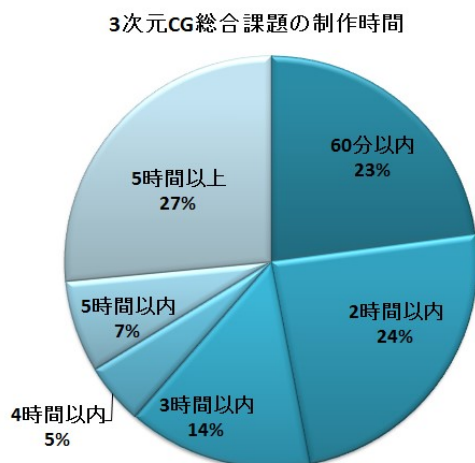


図 12 3次元 CG 総合課題の制作時間

2次元CGと3次元CGの制作時間を比較すると、2時間以内が60%から50%と10%に減っている。これに対して、5時間以上は11%から27%となっている。これは最終課題であり時間をかけて制作した学生が多くなったと考えられる。課題制作時間が長い学生からは、プログラミングの各種コマンドがよく理解できない、または、例題のアルゴリズムがよくわからないという意見もあった。コマンド調査の予習をしないことや講義内における説明の不足が原因のひとつであった。

6. まとめ

本研究の目的は、多人数の学生を対象とするExampleベースのCG制作入門教育法の提案である。本文では、東京工科大学メディア学部における2年生向け講義「CG制作技法の基礎」の講義内容とCGプログラミング演習について述べた。特にExampleベースによるプログラミング演習によりデバック時間やプログラミングに対する教育時間を軽減するような講義演習内容を提案した。

この教育の結果、学生のプログラミングに対する興味が向上できたこと、および学生が意図したCG作品の制作に対してさまざまな工夫をするようになったという効果を得た。

本教育を実施するにあたり、多大なご支援をいただいた九州大学源田悦夫先生、久留米工業大学河野央先生、東海大学倉田和夫先生、島森功先生、東京工科大学太田高志先生、玉川大学塩澤秀和先生、東京工芸大学野口靖先生、女子美術大学出渕 亮一朗先生に感謝の意を表す。また、CG教材の利用に当たりご協力いただいたCG-ARTS協会に感謝する。また、本演習に対して熱心に取り組み、多くのたいへん興味深

い創作を行った学生に感謝する。

参考文献

- [1] 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「図学は今」, pp.73-74, (1997)
- [2] 鈴木, 吉田, 梶山:日本における図学, 設計製図教育改革の動向, 日本図学会図学研究第 61 号, pp.21-33, (1993)
- [3] 鈴木, 竹山, 永野:図学教育への CG 導入の現状, 日本図学会図学研究第 44 号, pp.5- 12, (1988)
- [4] K.Suzuki, H.Suzuki,Y. Yamaguchi, S.Nagashima, S.Nagano: Integrated Descriptive Geometry and Computer Graphics Course at the University of Tokyo 1992 Update, Proc.of the conference of Japan and China Graphics Education, pp.151-156, (1993)
- [5] K.KONDO, K.OGATA, H.SATO, S.SHIMADA: Simple Graphic Tool Xgt on X-Window and Education of Computer Graphics for Beginners, Proc. of China-Japan Joint Conf. on Graphics Education, pp.169-173, (1993)
- [6] M.Takahashi, H.Sato, K.Kondo, S. Shimada: A manual to teach computer graphics by Java, Journal for Geometry and Graphics, Vol.2, No.1. pp. 101-108, (Proc. of 7th ICECGDG Selected paper), (1996)
- [7] Nishita T., Kondo K., Ohno Y.: Development of a Web Based Training system and Courseware for Advanced Computer Graphics Courses Enhanced by Interactive Java Applets, Proceedings of International Conference on Geometry and Graphics, vol.2, pp.123-128, (2002)
- [8] 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, 図学研究, 第 38 巻 4 号, (2004)
- [9] 梶山喜一郎, 鈴木賢次郎: 第 26 回図学教育研究会-「専門科目としての CG 教育」報告-, 図学研究 第 35 巻 1 号, p.21,(2001),
- [10] 倉田和夫, 島森功:Processing によるプログラミング基礎教育の試み, 日本図学会本部例会, (2007)
- [11] 柴田:大阪府立大学における基礎図形教育, Proc. of JCGE, pp.163-168, (1993),
- [12] S.Nagashima, H.Isoda: An Attempt on

- Computer Graphics and CAD Education, Proc. of ICECG, pp.474-481, (1984),
- [13] K. KONDO: The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education, Proc. of China-Japan Joint Conf. on Graphics Education, pp.131-136, (1995),
- [14] 近藤邦雄: 第 26 回図学教育研究会-埼玉大学情報システム工学科における CG・CAD 工学の教育-, 図学研究第 35 巻 1 号, pp.22-23, (2001),
- [15] 新津靖: 第 28 回図学教育研究会報告-図学教育用の形状モデリングシステムとその教育, 図学研究第 36 巻 1 号(通巻 95 号), pp.33-39, (2002),
- [16] 鈴木ほか: ビジュアル・リテラシー・カリキュラムの開発(3) -3D-CAD/CG を導入した図形科学本格教育初年度(2007 年度)の結果-, 日本図学会 2008 年度大会, (2008)
- [17] 長江, 栗栖: アーチスト支援 CG ツールによる教育とその効果について, 図学研究, 第 63 号, pp.21-24, (1994)
- [18] K.Mende, K.Fuchigami: The Education of Computer Graphics in Basic Design, Proc. of 2nd JCCE, pp.148-153, (1995)
- [19] 堤: 被服学における図形処理教育の試み, 日本図学会図学研究第 65 号, pp.7-12, (1994)
- [20] CG-ARTS 協会編: 「入門 CG デザイン」, (2006)
- [21] 野口: http://r-dimension.xsrv.jp/classes_j/20073rd_overview/
- [22] 塩澤: 玉川大学 コンピュータグラフィックス <http://vilab.org/lecture/?CG>
- [23] 前川 峻志, 田中 孝太郎: Built with Processing デザイン/アートのためのプログラミング入門, (2007)
- [24] Casey Reas and Ben Fry :Processing: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists. 2007, MIT Press.
- [25] 太田: <http://www.media.teu.ac.jp/~takashi/projects/media-programming/notes/Notes.html>
- [26] <http://www.teu.ac.jp/kougi/hp074/intro-cg2008/>
本講義の Web ページ, 学生作品リンク
- [27] <http://www.teu.ac.jp/media/~kondo/processing/index-exercise.html> 本演習の Web ページ



Contents lists available at ScienceDirect

Computers & Graphics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cag

Special Section on SIGGRAPH Asia Symposium on Education

Effectiveness of Game Jam-based iterative program for game production in Japan



Koji Mikami ^{*}, Yosuke Nakamura, Akinori Ito, Motonobu Kawashima, Taichi Watanabe, Yoshihiro Kishimoto, Kunio Kondo

School of Media Science, Tokyo University of Technology, Japan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 February 2016

Received in revised form

13 July 2016

Accepted 18 July 2016

Available online 31 August 2016

Keywords:

Game

Education

Game Jam

Iteration

ABSTRACT

In this paper, we will introduce a game production program to iterate multiple game development cycles in a limited period. In one semester, we executed a game development process thrice, changing members every time. Students had the opportunity to gain experience, working with different people; also, by being provided a time limit for the development process, they learned how to manage development time effectively. Furthermore, by implementing the plan–do–check–act (PDCA) cycle [ASQ] in each development, students had the opportunity to identify and solve problems during the semester. Using this framework, we worked on the following three educational problems in Japan:

- (1) Mixed development with students of diverse ages and educational levels
- (2) Consciousness of development time
- (3) Understanding of each individual's strong and weak points

Finally, we compared three types of programs (this program, Global Game Jam, and a mentor-based development program) in order to evaluate the aspects of game development that can be learned by them. We discussed how to develop a curriculum using a Game Jam framework.

CR categories: K.3.2 [COMPUTERS AND EDUCATION]: Computer and Information Science Education—Curriculum K.3.2 [COMPUTERS AND EDUCATION]: Computer and Information Science Education—Self-assessment.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

In recent years, active efforts have been made for the implementation of practical game education in many universities of North America [7,30]. IGDA proposed the International Game Developers Association (IGDA) curriculum framework in 2003 and 2008 [13] that states the wide implementation of game education in North America [3,14,17,19,20,23]. However, there are also similar activities in Europe. For example, the Creative Skillset provides game guidelines for both art and technical aspects in the UK [5].

A big part of game development is performed by a development team, which makes communication between team members a fundamental part of the process. Developers in a team differ in skills and age; therefore, it is necessary to be able to work with members with different characteristics and abilities.

Many universities use project-based learning (PjBL), problem-based learning (PBL), and activity-led learning (ALL) in order to maintain students' motivation and to stimulate self-learning [1,2,11,19,26].

Recently, Agile and SCRUM, which are methods suitable for small software development teams, have been used in game development projects [29]. These methods are also used in game education [8,27].

1.1. Situation of Japanese higher education

Higher education in Japan varies from other regions [19]. In Japan, there are universities, graduate universities, junior universities (2 years), and vocational schools recognized as higher education institutions. In vocational schools, namely “professional training colleges (PTCs),” which last from 2 to 4 years, and “miscellaneous schools,” which last from 3 months to 1 year, the curricula are defined by “the Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology in Japan (MEXT).”

^{*} Correspondence to: 1404-1, Katakura, Hachioji, 192-0982 Tokyo, Japan.
Fax: +81 426 37 2112.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cag.2016.07.006>

0097-8493/© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

In Japan, most of the game education courses are conducted in universities and PTCs for students immediately after high school. In order to gain university admission, students have to pass strict entrance examinations. For eligible applicants, students select the faculty and course that they wish to join in their university application. However, if the students fail the entrance exam, they will have to go to another university or vocational school. Students who failed to gain university admission will study in prep schools or self-study before reapplying again in the following academic year. Some students may spend an average 1–2 years before entering into their desired university. Therefore, most of the freshmen of higher education institutes are 18 or 19 years old, and classes usually consist of students of the same age range. Despite the difficulty in Japanese university admission, the study and graduate requirements are relatively easy with the majority of students graduating in 4 years. This situation also prevents older people from going to university because the Japanese higher education system is designed to fit 18–22-year-old students.

In addition, most of the companies begin recruiting students before the beginning of their final year in Japan. Students (also their parents) would want to secure their ideal job immediately after graduation. Therefore, the curricula of universities are designed for students to find jobs during their last year. Usually, students will only be assigned a thesis or a production project in their final year as they may have to spend long hours off campus to secure a job offer upon graduation.

In Japan, graduate universities are separate from universities where the former is specific for postgraduate students. Therefore, the first-year students of graduate universities are usually 22 or 23 years old.

1.2. Challenges in Japanese higher education

In the Tokyo University of Technology, we have designed a curriculum for the attainment of specific professional skills such as the ones required to be a programmer, game designer, 3D artist, technical artist, sound artist, manager, and other types of engineer [19]. We also provide students experiences in production through PjBL [15].

In the game industry, teams are formed with varying age and experience. However, in Japanese higher education institutions, most of the classes cater to each year's cohort. Students in the same year fall within the same age group, and the education curriculum progresses separately year by year as well [19]. This translates to a development process performed by members who have similar experience and are of almost the same age. If possible, we would like to adjust the schedule of students from several years or students from several institutions. However, for the final-year students, we need to provide them with more time for their job hunt. Therefore, the freshmen, sophomore, and junior curricula are high density, but it is difficult to prepare a similar intensity for the seniors. Many classes are conducted in parallel; hence, it is very difficult to adjust the class schedule for students from a different year or institution. In addition, the curriculum is restricted by MEXT. As a result, the Japanese higher education environment becomes a barrier, and the opportunity to work on projects in diverse environments is rare.

1.3. Limitations in our previous game education

Generally, if students develop a game while learning a new technology, managing the development schedule of the project becomes a big challenge. During the technology learning phase, it is difficult for students to estimate the task completion time or determine the task feasibility. Due to these issues, it is difficult to make a good development plan considering the working schedule.

Although the agile and SCRUM approaches are suitable for learning these things, it is very difficult to adopt them in Japanese universities because the curriculum's density is high and outside activities such as job hunting are also included.

The PjBL, PBL, and ALL are good methods; however, they too present some problems. The adequate amount of guidance is one of the biggest issues for these types of education methods. If teachers give too many instructions, students might become too dependent on the provision of guidance [2]. In addition, developing original games requires considerable time and specialized skills. Therefore, the development time often becomes a barrier for obtaining productive development experience with teams. Students can learn many aspects on the technical skills and production management through PjBL, PBL, or ALL, but this process requires a long time to develop an original game. For that reason, we have to allocate enough production time for the students to complete their projects. As a result, we could allot time for presentation and peer review, but we do not have sufficient time for skill refinement during the semester. In consequence, it is difficult for the team members to improve their collective development skills, because they will be separated in the next semester. If students iterate this production process in one semester, they will receive feedback through the game reviews or production activities. Subsequently, they can try another method in the next iteration. In this case, the feedback is more effective than one-way guidance because the participants can learn from results and feedback.

In addition, group production sometimes relies on the ability of certain skillful students [2]. If the game production process is implemented in an iterative way, the team and role of each member can change. Skillful students tend to be leaders in their teams, and other students would just follow their leader. If there is opportunity for a cyclical development process, every team member, irrespective of their level and skill sets, can be the leaders and team member, respectively. If students develop games from different aspects or points of view, they can objectively understand different parts of the development process they experience.

2. Our idea

In recent years, events known as Game Jams have taken place around the world [29]. The most famous and biggest event is the Global Game Jam (GGJ) [6,10] (Fig. 1). The first GGJ was designed in 2008 and held in 2009 in response to the Nordic Game Jam in 2006 [22]. At that time, most of the games were too huge for game creators to understand the whole process along with the challenge of creating a new game [9]. The GGJ is an event that condenses game development. As the development time is limited, the developed game in GGJ is sometimes part of a game or a prototype. However, participants can undergo parallel experiences of real game development projects [28]. The GGJ is a weekend event that allows professional developers working on weekdays to participate on an independent basis. In the GGJ, anyone from professional game developers, other professionals from the game industry to students can be part of the event; therefore, a variety of participants can gather at the same venue. As the development time in a Game Jam is limited, it is important to have an accurate estimation about a task completion time in the schedule plan. The GGJ participants from the game industry apply professional methods in game development and management. Therefore, it is possible to gain insight and awareness of their development speed and professional methods through hands-on experience in events such as this. Moreover, as the GGJ is a short-term event, it is suitable as a trial for individual challenges or tasks. The GGJ is not a contest; however, it aims to be a challenging platform for



Fig. 1. State of development at Global Game Jam 2015.



developers. Therefore, it tends to be effective also in the game developer's education [16,21,25,28].

We were determined to participate in the GGJ and motivate our students (graduate and undergraduate) to become game developers. Thus, we make them work with industry professionals. Toward the preparation for the GGJ, we implemented a program based on Game Jams and iterative production. In these iterations, we can stimulate our students to experience development with a variety of members, managing production time, as well as finding and challenging their own problems. This method is inspired by the plan–do–check–act (PDCA) method, which is a four-step model for control and improvement of processes. While the cycle has not ended, the PDCA process should be repeated for continuous improvement [4].

Finally, students will try to develop with professional developers as part of a team in the GGJ. Through these events, students can experience professional game development's speed and process.

In addition, through this program, we aim to overcome some of the PjBL limitations in game production such as the amount of guidance and skillful students.

3. Features of our program

In this program, the development iteration is conducted three times in one semester. Each development cycle is set to be approximately 1 month. This program is not part of the university degree's required course credits; therefore, participation is based on interest as there are no selection prerequisites or criteria. As a result, we received many students including novice students.

Students develop in different teams of seven to nine students each time. In SCRUM, the guide indicates 3–9 members as the possible size for a team [29]. Pelrine indicated that five members is one of the three preferred sizes for a developing team [24]. In our program, we added two or three novice students to five or six experienced student teams in order to provide these students the opportunity to learn from their seniors. Lecturers select students and assign them to teams. Before the team formation, lecturers would check the student's skill such as programming level and knowledge of 2D/3D graphics. Then, in accordance with the students' skills, we would form teams as fair and balanced as possible. Students would work on the theme that has been set in accordance with the GGJ rule. The theme could be keywords, sentences, illustrations, sounds, etc. [9]. In our previous method, it was common to develop a single game in one semester; however, in that case, there is no opportunity to improve in response to the evaluation after the game completion. If students have the opportunity to develop three times in a semester, it is also an opportunity to improve in response to the evaluation of completed games and their own contribution to the game. As team members

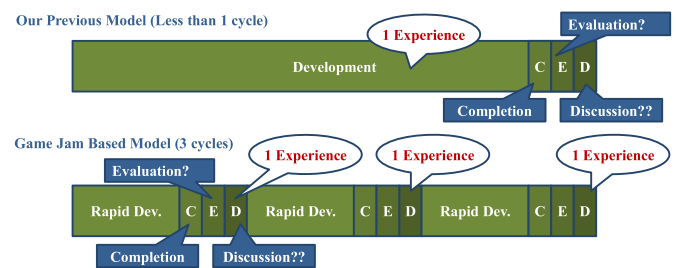


Fig. 2. Program framework.

are sometimes responsible for a good/bad evaluation, we also change teams at every iteration. Students, with their own intent, can try to improve themselves at the next iteration with the next team. Fig. 2 is an overview image of our program.

3.1. Participants

We received first- to fourth-year students from the PTC, third- to fourth-year undergraduate students, and first- to second-year graduate master students. Regarding their game development skills, the programmers and game designers are the participant majority with few 2D/3D graphics artists and sound artists. There are variations in the development experience and tools. In our previous model, students in the same age range developed a game with their team in the same year. However, in this program, it is possible to have a team comprising members of different ages, and students have the opportunity to develop in a team with a diversity of skills and experience. Fig. 3 summarizes the age variations of the participants.

3.2. Class schedule and the 48-h rule

Classes were held once a week, and the classes were composed of two continuing units. We conducted Unity training for beginners in the class. In addition, each team completed a progress report and a presentation. Table 1 illustrates an outline of the classes.

For game development, each student used their preferred time, and they recorded their working hours. If the students could adjust their schedule with their team members, they could utilize their preferred time working as a team. As participants were from different schools and academic years, the schedule for other subjects was usually different. When we worked with students from different grades and course background, it was difficult to find enough time that allowed them to work together. The students had to attend their own classes not related to this program. Therefore, they assigned tasks to each other, and they spent their preferred time such as after-school hours and weekends for their assignments.

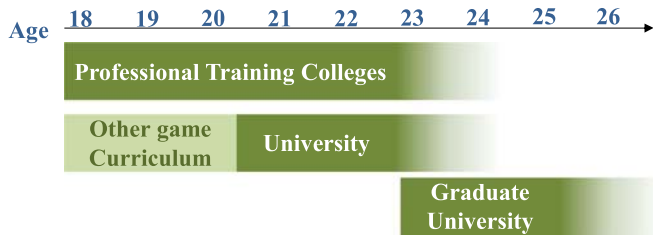


Fig. 3. Participants' age.

Table 1
Sample schedule of 1 semester.

		Class1	Class2
September	25	Orientation	Play Past GGJ Games
October	2	Orientation/Schedule	Team Forming/Planning for Project 1
	9	Training1: Basic of Unity3D	
	16	Training 2:Test Game Production by Unity3D	
	23	Training3:Control Using Script	
	30	First Project Presentation	
November	6	Training4:GUI and Animation	
	13	Brushup of First Projects	Team Forming/Planning for Project 2
	20	Presentation of Plan for Project 2	
	27	Training5: Advanced Animation	
December	4	Training6: Dynamics for Character	
	11	Second Project Presentation	Team Forming/Planning for Project 3
	18	Presentation of Plan for Project 3	
January	8	Training7: Sound and Visual Effects	
	15	Third Project Presentation	

The development time that each student could use in one development iteration is principally limited to 48 hours; however, they are allowed to spend more time. The process is designed to fit within 48 h, the same restrictions as the GGJ, where jammers are expected to finish their games in 48 h. Due to consequential time constraints, students were, thus, required to plan and estimate their development speed accordingly. In addition, they could compare their time estimations against their work in order to expedite their actual development speed in the next iterations. As a result, most of the students spent more than 48 h in the 1st iteration with time reductions in the subsequent iterations.

In Japanese universities, it is recommended by MEXT to spend the same amount of time of class for both preparation and review. Since our program is 4 h per class, and the semester lasts 15 weeks (60-hour class), it's required to have another 120 h of preparation or review for credits. With regard to this, the workload of this program is considered moderate.

3.3. Focus on production experience

In this curriculum, a team is comprised of members with skill variations, and they develop a game within one month. When teams seek too much quality or spend too much time for planning, development itself does not progress. When teams place too much weight on quality and the planning process, the game development itself would be affected. Quality is not the key focus at this stage as the undergraduate students had attended workshops prior on game quality, but the aims are on student production and management experience.

3.4. Review of iterations

Evaluation on the game and student performance is conducted through peer review. Table 2 presents a sample of a game review sheet, and Table 3 indicates a sample of a personal review sheet.

Table 2
Sample of game review sheet.

Evaluation points	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
Idea	3.44	3.67	3.76	2.83
Accomplishments	3.44	4.20	3.35	2.89
Fun	3.21	3.69	3.76	2.75
Graphics	2.94	4.00	3.53	3.67
Implementation	3.38	4.33	3.41	3.33
Sound	2.94	2.93	3.12	2.44
Representation	3.13	3.60	3.29	2.67
Total	22.48	14.62	24.22	20.58

Table 3
Sample of personal review sheet.

Evaluation points	1st Cycle	2nd Cycle	3rd Cycle
Motivation	7.4	8.6	7
Communication	7.6	8.6	6.5
Contribution (Idea)	8.6	7.8	7.3
Contribution (Output)	7.8	8.2	6.3
Contribution (Overall)	8	8.8	6.5
Task Management	5.5	8.2	6.2

These results describe how their games and contribution are. The criterion in the game review sheet is evaluated between 1 (poor) to 5 (excellent), and the criterion in personal review sheet is evaluated between 1 (poor) to 10 (excellent). There are two types of peer reviewers: the peer reviewers of game which include all participants, also members from other teams and personal reviewers, which include only teammates of the reviewed member.

Personal review sheets help students to understand their strong and weak points. With these tools, students can improve their skills and commitment. As for the personal review sheet, we also asked feedback from all professional game developers involved in the development process during the GGJ. They evaluated students in a strict way, highlighting the pros and cons from their experience and provided them constructive feedback for improvement.

The evaluation items of the game review sheets are described as follows.

- Idea: quality of planning
- Accomplishment: degree of perfection (number of stages, character, and so on)
- Fun: fun of game play
- Graphics: quality of graphics
- Implementation: quality of programming
- Sound: quality of sounds
- Representation: quality of representation as a whole

The evaluation points of the personal review sheet are described as follows:

- Motivation: did he/she join the project eagerly?
- Communication: did he/she communicate well in a team?
- Contribution (Idea): did he/she suggest many ideas for the game or the team?
- Contribution (Outputs): did he/she work well in quality and quantity?
- Contribution (Overall): did he/she contribute to the project as a whole?
- Task Management: did he/she set correct schedule and perform it?

4. History of the program

We started using this curriculum since 2010. At that time, due to the creation and use of Unity, it was easier to prepare an environment for game development. In recent years, there have been many choices for game engines such as Unreal Engine or CryEngine. We also have a class for Unreal Engine or C++ with our original graphic library. However, in our GGJ venue, the majority of the game development environment is Unity. Therefore, we adopted Unity as one of the development tools in this program.

4.1. Participants

The number of participants for each year is shown in Table 4.

Because of internships or research activities, some students might not participate in all stages of the curriculum.

Details are shown in Tables 5 and 6. The cells filled with red and pale red represent the first majority and second majority of the skilled area of the participants. There are many first- and second-year PTC students as well as third-year university students as participants. We could attract many game designers and programmers.

4.2. Results

As shown in Table 2, it was possible to organize a team of students from different backgrounds, age groups, and organizations. It was possible to develop a game with a variety of talent and age range. Every year, most of the students exceed the 48-h development time limit in the first iteration, but at the final

iteration of the process, they could keep to the development time limit, understanding their development speed.

In order to understand their flaws and strong points, the students received a review after their completion of each production cycle: the “Game Review Sheet” and “Personal Review Sheet,” which were used to improve their weaknesses and enhance their strengths in the next iteration. This form of evaluation helps students to experience identifying and solving problems in game development, which is difficult in a conventional curriculum. Fig. 4 illustrates an example output by students at the second iteration in 2012.

In this iteration, the theme was the use of the keyword “Exit” following the GGJ 2011 theme “extinction.” The player characters are fragile tomatoes in a factory. The player has to move to the exit carefully because the stage has factory gimmicks such as moving belt stamps. In the first iteration, most of the team members exceeded their production time limit for each team. In this iteration, they planned and scheduled moderately and could develop the game within the production time limit.

5. Evaluation of the curriculum

In the previous research [20], we found that students improved in their “Level Design,” “Prototyping,” and “Game Implementation” through this program. In order to discuss the curriculum further, we conducted an evaluation in 2015.

5.1. Outline of comparison

In 2016, the questionnaire and interview were administered to evaluate the kinds of game-developing projects that are effective in understanding the significance of the production processes or game elements. We abstracted processes and elements from the book written by Gregory and McShaffry [12,18]. In addition, we also evaluated the kinds of game-developing projects that are effective in improving students’ skills. We conducted three types of developing projects and asked feedback from 12 junior undergraduate students who joined all the three types of projects. All of these students have experienced long-term projects, projects that last one semester or more. We asked them to compare these three types of projects with long-term projects. The three types of developing projects are explained as follows.

5.1.1. The GGJ-based proposed project

The GGJ-based proposed project was conducted in accordance with the process mentioned in chapter 3. It was not an official Game Jam but a development program specific for students using the GGJ-based framework. Students spent almost 48 h within 1 month. In 2015, a total of 45 participants, including 12 students who answered this evaluation, joined this program. We formed five teams, and all the teams used Unity.

5.1.2. The GGJ

In 2016, there were 104 participants at our venue, and we formed 13 teams with eight members including one to three professional game developers. As for development tools, 10 teams used Unity, two teams used Unreal Engine, and the rest applied HSP. The 12 students joined the GGJ at the Tokyo University of Technology (TUT) venue. Participants could spend only 46 h to develop their game. We formed a team combining students and professionals so that students could learn from professionals similar to on-the-job training. In the GGJ, we did not force professional game developers or students to take a specific part in game development. Upon joining this event, participants equally became one of the “jammers.” Everyone was equally a team leader,

Table 4
Number of participants.

Year	1st Cycle	2nd Cycle	3rd Cycle
2010	31	26	18
2011	67	70	64
2012	61	56	56
2013	89	98	100
2014	59	49	43

Table 5
Detailed information of the participants (by Year).

Year	Skilled Area	Professional Training Colleges				Undergraduate		Graduate		Total
		1st Year	2nd Year	3rd Year	4th Year	3rd Year	4th Year	1st Year	2nd Year	
2010	GameDesign		2			6	2	1	2	13
	Program		6	5		3	3	2		19
	Graphic					1	1	1		3
	Sound					1				1
2011	GameDesign	2	4	2	1	12	1			22
	Program	12	15	3	6	5	3			44
	Graphic					6				6
	Sound	1				1				2
2012	GameDesign	5	5			8	4			22
	Program	23	9	2	1	8	1			44
	Graphic					2	4			6
	Sound									0
2013	GameDesign	3	5			3				11
	Program	36	17	15		14	5			87
	Graphic					4				4
	Sound									0
2014	GameDesign	5	1			7	3	1		17
	Program	16	10	2	1	6	2			37
	Graphic					1	3	1		5
	Sound					1				1
Total		103	74	29	9	89	32	6	2	344

Table 6
Detailed information of the participants (Total).

Skilled Area	Professional Training Colleges				Undergraduate		Graduate		Total
	1st Year	2nd Year	3rd Year	4th Year	3rd Year	4th Year	1st Year	2nd Year	
Game Design	15	17	2	1	36	10	2	2	85
Program	87	57	27	8	36	14	2		231
Graphic	0	27	0	0	14	8	2		51
Sound	1	8	0	0	3	0			12
Total	103	109	29	9	89	32	6	2	379

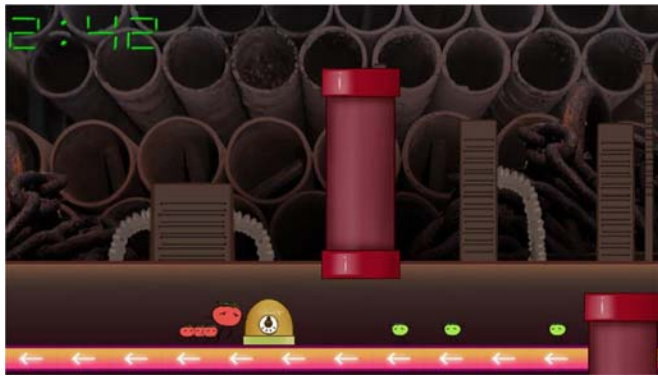


Fig. 4. Sample of student work.

lead programmer, lead artist, or regular member even though they were students.

In the GGJ 2016, the keyword “Ritual” was provided as the theme. As GGJ was held in an actual venue, the team sometimes used Agile or SCRUM methods. Fig. 5 illustrates a sample of a team’s task list in the TUT venue.



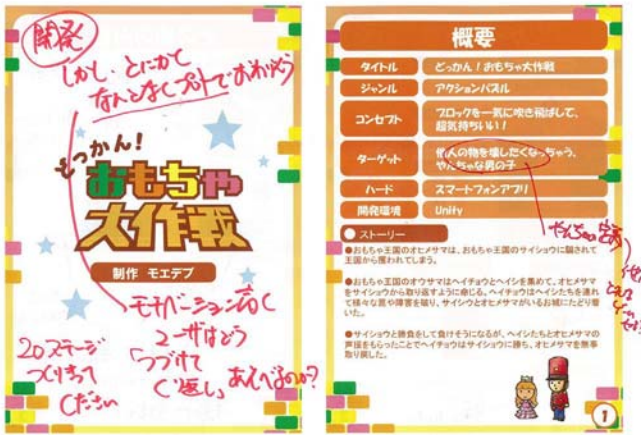


Fig. 6. Sample of review by the mentor at TDD phase.



Fig. 7. Sample of work in the Heat Dev project.

5.3. Improvement of the ability or understanding

We asked whether students could improve their ability or understanding of production process or game elements through each project.

The result of improvements in developing skills through the GGJ-based proposed project is shown in Table 10.

These students have already obtained some skills for developing games and understood the process involved. In short-term projects of one iteration, it was ineffective in improving their abilities.

In 2015, we could not iterate this process. If we could iterate it, the results would be different.

The results of the improvements of the production process and elements through GGJ are summarized in Table 11.

From these results, we discovered that GGJ was relatively effective in improving abilities. Many students could improve their design part skill such as “Character Design,” “Stage Visual Design,” “Interface Design,” “Game Design,” and “Level Design.” In addition, they could improve their “Game Implementation,” “Quality Assurance,” and “Alpha, Beta, and Master Version Release.” In the GGJ at the Tokyo University of Technology, almost 100 participants joined this project, and all the participants were deadline-conscious so the students could experience adherence to a strict time scheduling by improving their development skills. Moreover, there were professional game developers in each team in the GGJ; hence, students could learn from professionals similar to on-the-job training through these events.

Conversely, some documentation such as in “Scenario Writing,” “Technical Design Documents,” and most of the “Asset Production” processes did not improve. In the GGJ, the production time is very limited; therefore, documents were often not created. In addition, asset production required a specific time to improve it; consequently, the students could not improve their skills.

The result of improvements of production process and elements through Heat Dev is shown in Table 12.

We found that the Heat Dev project helped improve “Technical Design Documents,” “Interface Design,” “Level Design,” and “Game Implementation.” The lecturer commented on these processes/elements during the review process. Compared to the GGJ, a professional lecturer mentored the Heat Dev project, but production was done by the students only.

5.4. Discussion

Through the results, we found that each project was effective in understanding the production process and elements. Even though the GGJ-based proposed project was an internal project in universities and vocational schools, it would seem effective in improving students’ understanding of the production process and its elements.

Fig. 8 summarizes the comparison of improvements of production process and elements between each project.

Comparing GGJ-based internal projects with the GGJ, the existence of professional game developers seemed to be important. In the GGJ, on the one hand, if professional game developers took the initiative, students could learn how to organize or manage the team or certain aspects of the process. Therefore, students could learn as they would during on-the-job training. On the other hand, if students take the initiative in their projects, they can learn how to lead these projects or a certain part with the assistance of the professional game developer. As a result, GGJ could help improve production ability especially in “Pre-Production” and “Coding and Test” processes.

Through the comparison between the GGJ and Heat Dev projects, the existence and focus area of mentors appeared to be important. In Heat Dev projects, mentors focused on “Technical Design Documents” and the prototype quality of “Implementation.” The mentor spent only several hours for each team, but students could improve specific areas advised by the mentor. Preparing the mentor for the desired process or elements may improve the process or elements. The GGJ presents a very good opportunity for students to learn from professional game developers, but joining the GGJ is a heavy burden to professional game developers.

Therefore, in order to experience an authentic game production process, the GGJ-based proposed project is considered suitable even though it is held in an institute. If we could prepare a mentor in the target process or elements, a mentor system such as the Heat Dev project is considered suitable for improving certain abilities. The GGJ is a great opportunity for students to learn the

Table 7
Recognition of the significance of the production process or game elements through GGJ-Based Proposed Projects (one cycle).

	Process / Elements	Strongly Significant	Significant	Relatively Significant	Not Changed	Recognized More Accurately	Not Changed
Pre-Production	Game Design Document	2	3	2	5	58.33%	41.67%
	Scenario Writing	0	0	1	11	8.33%	91.67%
	Technical Design Documents	3	2	1	6	50.00%	50.00%
	Character Design	0	2	4	6	50.00%	50.00%
	Stage Visual Design	1	4	3	4	66.67%	33.33%
	Interface Design	0	5	1	6	50.00%	50.00%
	Game Design	1	7	1	3	75.00%	25.00%
Asset Production	Level Design	0	7	0	5	58.33%	41.67%
	Modeling of Background Object	0	0	2	10	16.67%	83.33%
	Character Modeling	1	1	1	9	25.00%	75.00%
	Character Animation	1	1	1	9	25.00%	75.00%
	Visual Effect	0	1	1	10	16.67%	83.33%
	BGM	1	5	1	5	58.33%	41.67%
	Sound Effect	1	4	2	5	58.33%	41.67%
Coding and Test	Prototyping	3	2	1	6	50.00%	50.00%
	Base Program	3	3	1	5	58.33%	41.67%
	Game Implementation	5	3	0	4	66.67%	33.33%
	Quality Assurance	5	4	0	3	75.00%	25.00%
	Alpha Version Release	5	1	3	3	75.00%	25.00%
	Beta Version Release	4	1	3	4	66.67%	33.33%
	Master Version Release	4	2	2	4	66.67%	33.33%

Table 8
Recognition of the significance of the production process or game elements through GGJ.

	Process / Elements	Strongly Significant	Significant	Relatively Significant	Not Changed	Recognized More Accurately	Not Changed
Pre-Production	Game Design Document	3	2	1	6	50.00%	50.00%
	Scenario Writing	0	1	2	9	25.00%	75.00%
	Technical Design Documents	1	6	0	5	58.33%	41.67%
	Character Design	3	1	1	7	41.67%	58.33%
	Stage Visual Design	3	3	2	4	66.67%	33.33%
	Interface Design	3	3	1	5	58.33%	41.67%
	Game Design	1	8	0	3	75.00%	25.00%
Asset Production	Level Design	2	5	0	5	58.33%	41.67%
	Modeling of Background Object	3	3	1	5	58.33%	41.67%
	Character Modeling	3	3	0	6	50.00%	50.00%
	Character Animation	3	1	2	6	50.00%	50.00%
	Visual Effect	1	3	2	6	50.00%	50.00%
	BGM	3	3	2	4	66.67%	33.33%
	Sound Effect	3	2	2	5	58.33%	41.67%
Coding and Test	Prototyping	2	4	1	5	58.33%	41.67%
	Base Program	3	4	1	4	66.67%	33.33%
	Game Implementation	5	5	0	2	83.33%	16.67%
	Quality Assurance	5	3	1	3	75.00%	25.00%
	Alpha Version Release	5	2	3	2	83.33%	16.67%
	Beta Version Release	4	2	3	3	75.00%	25.00%
	Master Version Release	6	2	3	1	91.67%	8.33%

Table 9
Recognition of the significance of the production process or game elements through Heat Dev Project.

	Process / Elements	Strongly Significant	Significant	Relatively Significant	Not Changed	Recognized More Accurately	Not Changed
Pre-Production	Game Design Document	7	3	0	2	83.33%	16.67%
	Scenario Writing	0	3	1	8	33.33%	66.67%
	Technical Design Documents	5	6	0	1	91.67%	8.33%
	Character Design	0	4	2	6	50.00%	50.00%
	Stage Visual Design	1	4	2	5	58.33%	41.67%
	Interface Design	0	7	2	3	75.00%	25.00%
	Game Design	3	7	0	2	83.33%	16.67%
Asset Production	Level Design	4	6	1	1	91.67%	8.33%
	Modeling of Background Object	1	1	1	9	25.00%	75.00%
	Character Modeling	2	1	2	7	41.67%	58.33%
	Character Animation	2	1	2	7	41.67%	58.33%
	Visual Effect	0	3	2	7	41.67%	58.33%
	BGM	1	6	1	4	66.67%	33.33%
	Sound Effect	1	7	0	4	66.67%	33.33%
Coding and Test	Prototyping	2	5	2	3	75.00%	25.00%
	Base Program	1	8	1	5	58.33%	41.67%
	Game Implementation	9	1	1	1	91.67%	8.33%
	Quality Assurance	10	2	0	0	100.00%	0.00%
	Alpha Version Release	7	1	2	2	83.33%	16.67%
	Beta Version Release	6	2	2	2	83.33%	16.67%
	Master Version Release	7	2	1	2	83.33%	16.67%

professional production method similar to internship or on-the-job training. If we want to utilize the GGJ as an educational platform, we need professional game developers to educate students. However, the professional game developers participate in the GGJ

Table 10
Improvement in the Ability of Production Process or Game Elements through GGJ-Based Proposed Projects (one Cycle).

	Process / Elements	Highly Improved	Improved	Relatively Improved	Not Changed	Improved	Not Changed
Pre-Production	Game Design Document	0	3	0	9	25.00%	75.00%
	Scenario Writing	0	1	0	11	8.33%	91.67%
	Technical Design Documents	0	2	0	10	16.67%	83.33%
	Character Design	2	1	1	8	33.33%	66.67%
	Stage Visual Design	1	2	2	7	41.67%	58.33%
	Interface Design	1	3	0	8	33.33%	66.67%
	Game Design	1	2	2	7	41.67%	58.33%
Asset Production	Level Design	0	2	1	9	25.00%	75.00%
	Modeling of Background Object	0	2	0	10	16.67%	83.33%
	Character Modeling	2	0	0	10	16.67%	83.33%
	Character Animation	0	1	1	10	16.67%	83.33%
	Visual Effect	0	0	2	10	16.67%	83.33%
	BGM	0	1	1	10	16.67%	83.33%
	Sound Effect	0	1	2	9	25.00%	75.00%
Coding and Test	Prototyping	0	3	0	9	25.00%	75.00%
	Base Program	0	2	3	7	41.67%	58.33%
	Game Implementation	1	4	0	7	41.67%	58.33%
	Quality Assurance	1	3	1	7	41.67%	58.33%
	Alpha Version Release	1	1	4	6	50.00%	50.00%
	Beta Version Release	1	3	1	7	41.67%	58.33%
	Master Version Release	2	3	1	6	50.00%	50.00%

Table 11
Improvement of the Ability of production process or game elements through GGJ.

	Process / Elements	Highly Improved	Improved	Relatively Improved	Not Changed	Improved	Not Changed
Pre-Production	Game Design Document	1	2	2	7	41.67%	58.33%
	Scenario Writing	1	1	1	9	25.00%	75.00%
	Technical Design Documents	0	2	0	10	16.67%	83.33%
	Character Design	3	1	2	6	50.00%	50.00%
	Stage Visual Design	1	4	3	4	66.67%	33.33%
	Interface Design	2	4	2	4	66.67%	33.33%
	Game Design	0	7	0	5	58.33%	41.67%
Asset Production	Level Design	2	2	2	6	50.00%	50.00%
	Modeling of Background Object	3	0	0	9	25.00%	75.00%
	Character Modeling	2	0	0	10	16.67%	83.33%
	Character Animation	1	0	0	11	8.33%	91.67%
	Visual Effect	0	0	2	10	16.67%	83.33%
	BGM	0	2	0	10	16.67%	83.33%
	Sound Effect	0	2	1	9	25.00%	75.00%
Coding and Test	Prototyping	0	4	1	7	41.67%	58.33%
	Base Program	0	2	2	8	33.33%	66.67%
	Game Implementation	2	5	1	4	66.67%	33.33%
	Quality Assurance	2	5	1	4	66.67%	33.33%
	Alpha Version Release	2	2	3	5	58.33%	41.67%
	Beta Version Release	4	1	3	4	66.67%	33.33%
	Master Version Release	4	2	2	4	66.67%	33.33%

for their own reasons; therefore, it is difficult to recruit professional game developers to voluntarily mentor in the GGJ. If we could form a balanced team of students and professional game developers, students could work with their mentors. In this case, with the professional game developers' direct cooperative participation in teams, the GGJ will be a better education program than the mentor system. If team members were only students, it would be similar to the GGJ-based internal project, where students could experience short-term development, but it is difficult to improve their production skills.

6. Conclusion and future work

Since we started this curriculum in 2010, over 300 students have had the opportunity to be part of the program. Participants have experienced real development time management and the game production process.

In short-term projects, the production time was limited, so participants had to estimate their working speed accurately. Then, they had to adjust their schedule in accordance with the difference between real output and estimated output. This process seemed to help students understand their production speed. In early iteration of the GGJ-based proposed project, student could not finish developing their games within their estimated time. However, in the end, they could finish the process of developing a game within the expected time. Because of the Japanese higher education

Table 12

Improvement of the ability of production process or game elements through Heat Dev Project.

	Process / Elements	Highly Improved	Improved	Relatively Improved	Not Changed	Improved	Not Changed
Pre-Production	Game Design Document	0	3	1	8	33.33%	66.67%
	Scenario Writing	0	2	2	8	33.33%	66.67%
	Technical Design Documents	0	5	2	5	58.33%	41.67%
	Character Design	2	0	1	9	25.00%	75.00%
	Stage Visual Design	0	2	3	7	41.67%	58.33%
	Interface Design	0	3	3	6	50.00%	50.00%
Asset Production	Game Design	1	3	1	7	41.67%	58.33%
	Level Design	1	3	2	6	50.00%	50.00%
	Modeling of Background Object	0	2	0	10	16.67%	83.33%
	Character Modeling	2	0	0	10	16.67%	83.33%
	Character Animation	3	0	0	9	25.00%	75.00%
	Visual Effect	0	2	0	10	16.67%	83.33%
Coding and Test	BGM	0	1	0	11	8.33%	91.67%
	Sound Effect	0	1	0	11	8.33%	91.67%
	Prototyping	0	3	0	9	25.00%	75.00%
	Base Program	0	3	1	8	33.33%	66.67%
	Game Implementation	1	4	1	6	50.00%	50.00%
	Quality Assurance	0	3	2	7	41.67%	58.33%
	Alpha Version Release	1	0	3	8	33.33%	66.67%
	Beta Version Release	1	1	2	8	33.33%	66.67%
	Master Version Release	2	0	2	8	33.33%	66.67%

system, we could not adopt Agile or SCRUM methods. As production times are limited in our program, students have to be conscious to production schedule. Therefore, students had similar experience to Agile or SCRUM.

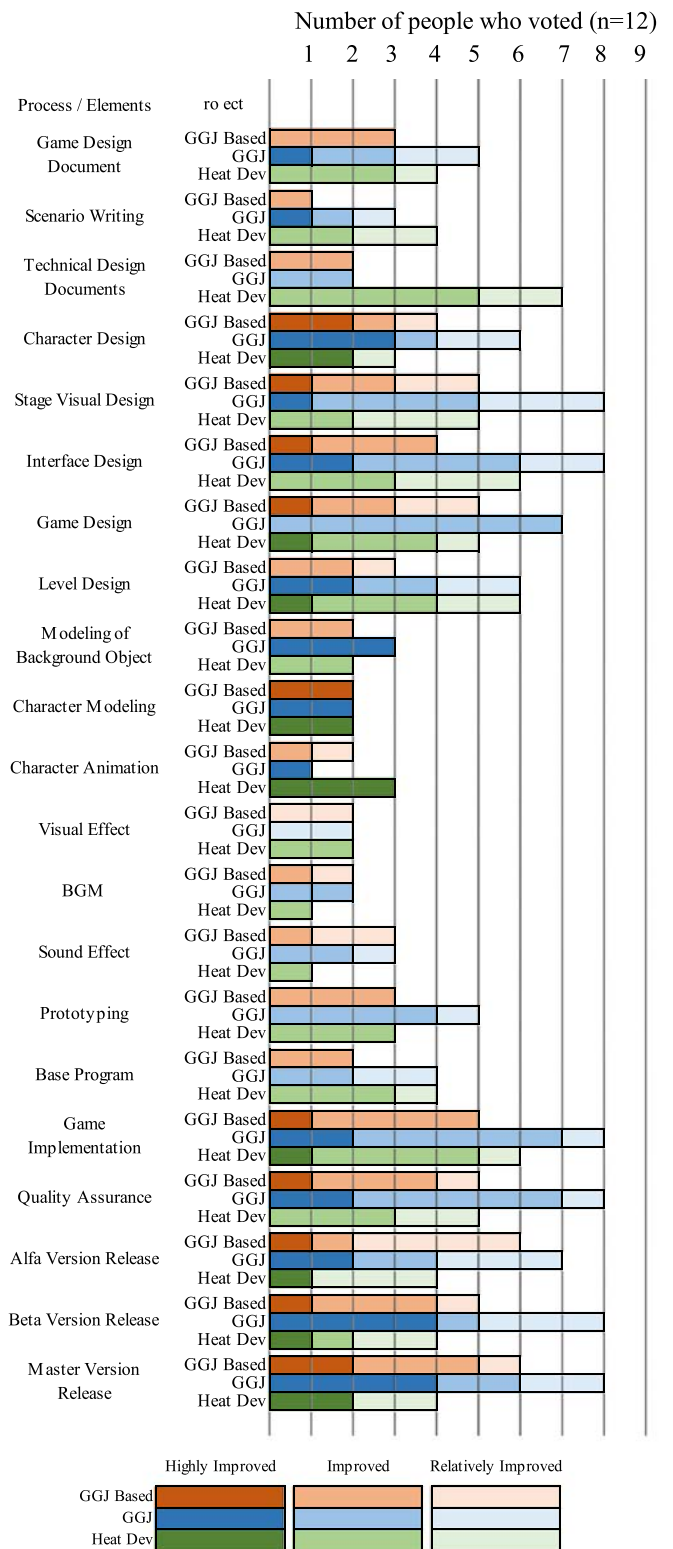
Using the “Game Review Sheet” and “Personal Review Sheet,” students could recognize their performance of each “Evaluation Point.” With each development cycle, students can identify their flaws; they can fix and improve what they have learned for upcoming cycles, one of the merits of our iterative program. From the interview, students seem to understand their individual strong and weak points. As short-term productions were iterated, students could try to play several roles such as team leader, programmer, and game designer. This helps us avoid the problem related to skillful students. If we conducted only one project, skillful students would take a strong initiative and other students would follow them. However, in our program, we have many opportunities to encourage or force students to play another role. In consequence, we could avoid this problem associated with skillful students. Conversely, skillful students also have the opportunity to follow other students. This experience will help them play the role of a follower.

In addition, another strong point of our designed method is the possibility of working in collaboration with professionals at the GGJ, which is rare for students and people outside of the industry in Japan.

However, there remain some challenges as well. We prefer to form a well-balanced team, but it always depends on the skills of the participants. In fact, there are some teams with no graphic or sound artists. In order to provide a high-quality experience, it is necessary to supply materials such as a 3D model, motion, sound, and music.

We also evaluated our GGJ-based program by comparing with the official GGJ and other mentor-based projects. Overall, we recognize professional mentors as highly effective in helping students understand and improve the desired production process and game elements. Furthermore, we found that in order to utilize lectures and reviews of professional game developers, their participation in a game development project is effective. It is not easy for professional developers to join the education curriculum for a certain period. The GGJ and similar events are short-term weekend events, but they present a heavy burden to professional game developers. Therefore, we should consider other avenues or platforms for sharing that do not encumber professional developers.

In addition, this method is suitable for university students who already have some skills in game development and have

**Fig. 8.** Comparison of improved process or elements.

experienced game production. With regard to this, we have to seek new ideas for freshmen or vocational school students.

In this research, evaluation is conducted by only limited students. We would like to evaluate many participants and analyze the results using statistical measurements such as chi-square or analysis of variance (ANOVA) or any other suitable method.

References

- [1] Anderson E.F, Peters C. On the provision of a comprehensive computer graphics education in the context of computer games: an activity-led instruction approach. In: Proc. of the EUROGRAPHICS 2009 education program.
- [2] Anderson EF, Peters CE, Halloran J, Every J, Shuttleworth J, Liarokapis F, Lane R, Richards M. In at the deep end: an activity-led introduction to first year creative computing. *Comput Graph Forum* 2012;31(6):1852–66.
- [3] Al-Bow M, Austin D, Edgington J, Fajardo R, Fishburn J, Lara C, Leutenegger S, Meyer S. Using greenfoot and games to teach rising 9th and 10th grade novice programmers. In: Proc. of SANDBOX symposium 2008, ACM SIGGRAPH, p. 55–59.
- [4] American Society for Quality, Plan-Do-Check-Act (PDCA) Cycle. (<http://asq.org/learn-about-quality/project-planning-tools/overview/pdca-cycle.html>).
- [5] Creative Skillset, Animation, Games & Screenwriting accreditation (<http://creativeskillset.org/>).
- [6] Deen M, Cercos R, Chatman A, Naseem A, Bernhaupt R, Fowler A, Schouten B, Mueller F. Game Jam: [4 Research]. CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, p. 25–8.
- [7] Entertainment Technology Center, Carnegie Mellon University (<http://www.etc.cmu.edu/>).
- [8] Garvey GP, Tomczyk D. Agile game development with scrum in game lab I. *J Comput Sci Coll Arch* 2013;28(6):205–7.
- [9] Global Game Jam, inc. Global Game Jam; 2016 (<http://globalgamejam.org/>).
- [10] Goddard W, Byrne R, Mueller FF. Playful Game Jams: Guidelines for Designed Outcomes. In: Proc. of the 2014 conference on interactive entertainment; 2014. p.1–10.
- [11] Graham R. UK Approaches to engineering project-based learning. In: White paper sponsored by the Bernard M. Gordon-MIT engineering leadership program; 2010. p. 1–48.
- [12] Gregory J. Game engine architecture (Japanese translation ver.), Softbank Creative; 2010.
- [13] IGDA. Curriculum Framework. (http://www.igda.org/academia/curriculum_framework.php).
- [14] Ip B. Fitting the needs of an industry: an examination of games design, development, and art courses in the UK. *ACM Trans Comput Educ (TOCE)* 2012;12(2) Article No. 6.
- [15] Larmer J. Project-based learning vs. problem-based learning vs. X-BL, edutopia; 2014. (<http://www.edutopia.org/blog/pbl-vs-pbl-vs-xbl-john-larmer>).
- [16] Kasurinen J, Mirzaeifar S, Nikula U. Computer science students making games: a study on skill gaps and requirement. In: Proc. of the 13th Koli Calling International Conference on Computing Education Research; 2013. p. 33–41.
- [17] McDaniel R, Vick EH, Jacobs S, Telep P. Cardboard semiotics: reconfigurable symbols as a means for narrative prototyping in game design. In: Proc. of sandbox symposium 2009, ACM SIGGRAPH; 2009. p. 87–93.
- [18] McShaffry M. Game coding complete (Japanese Translation ver.), Softbank Creative; 2010.
- [19] Mikami K, Watanabe T, Yamaji K, Ozawa K, Kawashima M, Ito A, Takeuchi R, Kondo K, Kaneko M. Construction trial of a practical education curriculum for game development by industry-university collaboration in Japan. *Comput Graph* 2010;34(6):791–9.
- [20] Mikami K, Nakamura Y, Ito A, Kawashima M, Watanabe T, Kishimoto Y, and Kondo K. Game Jam based iterative curriculum for game production in Japan. In: Proc. of the Siggraph Asia 2015 symposium on education; 2015; Article No.11.
- [21] Musil J, Schweda A, Winkler D, Biffi S. Synthesized essence: what game jams teach about prototyping of new software products. In: ICSE '10, Proceedings of the 32nd ACM/IEEE international conference on software engineering, Vol. 2; 2010. pp. 183–186.
- [22] Nordic Game Jam. Nordic Game Jam; 2016. (<http://nordicgamejam.org/>).
- [23] Ollila EMI, Suomela R, Holopainen J. Using prototypes in early pervasive game development. *ACM Comput Entertain* 2008;6(2) Article No. 17.
- [24] Pelrine J. Coaching self-organizing teams. *Software practice advancement*; 2009.
- [25] Preston JA. Serious game development: case study of the 2013 CDC games for health game Jam. In: '14 Proc. of the 2014 ACM International Workshop on Serious Games; 2014. p. 39–43.
- [26] Romero M, Thuresson B, Peters C, Kis F, Coppard J, Andrée J, Landazuri N. Augmenting PBL with large public presentations: a case study in interactive graphics pedagogy. In: ITiCSE '14, Proc. of the 2014 conference on innovation & technology in computer science education; 2014.
- [27] Schild J, Walter R, Masuch M. ABC-Sprints: adapting Scrum to academic game development courses. In: Proc. of the fifth international conference on the foundations of digital games; 2010. p. 187–194.
- [28] Shin K, Kaneko K, Matsui Y, Mikami K, Nagaku M, Nakabayashi T, Ono K, and Yamane SR. Localizing global Game Jam: designing game development for collaborative learning in the social context, advances in computer entertainment technology. In: Proc. of the 9th international conference on advances in computer entertainment technology; 2012.
- [29] Sutherland J, Schwaber K. Scrum Guide; 2010. (<http://www.scrumguides.org/index.html>).
- [30] University of Southern California. (<http://Cinema.usc.edu/>).

●研究論文

3 DCG映像制作のための演出支援ライティング教材の提案

Direction Aided Light Set for 3DCG Production

兼松 祥央 Yoshihisa KANEMATSU 茂木 龍太 Ryuta MOTEGI 三上 浩司 Koji MIKAMI 近藤 邦雄 Kunio KONDO

概要

3 DCG映像制作の中で、ライティング（照明）は非常に重要な要素である。制作者はライティングによって、自分の演出意図に沿った感情、雰囲気、効果を作り出すことができる。しかし、これらは制作するシーンの演出意図に沿う効果的なライティングの知識や、それを実現する方法について多くの経験と学習が必要である。このような課題を解決するために既存研究では、さまざまな既存映像作品で行われているライティング設定をライブラリ化し、検索できるようにしている。このライブラリを用いることにより知識不足は補うことができるが、実際に制作するシーンに対してライティングを設定するための学習支援は十分とはいえない。そこで本研究ではライティングライブラリを用いて演出意図に沿ったライティングを学ぶことができる教材の提案を目的とする。このため、ライブラリに登録されているライティングを、配置されているライト毎に「大まかな配置位置」「配置位置の微調整」「ライトの明るさの設定」の順に設定しながら学ぶことができるライティング教材を作成した。この教材の簡略化したインターフェイスを用いて手軽にライトを設定しながら、各ライトがどのような役割を果たしているのかを把握してライティング設定をすることができる。

キーワード：ライティング／3 DCG／演出／教材

Abstract

In 3DCG visual production, lighting is a really important factor. Directors and lighting designers can generate feelings with the help of intention, atmosphere, and effects. They can improve the results of lighting, by repeating scene rendering by trial and error, and by the feedback of the lighting result. However, in existing materials there is a trend of focusing on the purpose of the lighting in 3DCG software. Although it is possible to learn the factors of lighting settings (brightness, angle, color, and so forth), it is considered difficult to unify the elements to achieve the intended outcome. To resolve this problem, in this paper, we propose a "Digital light set" for learning lighting methods along with how to achieve the intended result. Therefore, the digital light set is a sphere that takes in a vertex of 26 pieces. Lighting designers can set the light of the vertex's 26 pieces. By using this educational tool, it is possible to grasp the concept of lighting, and how the setting of lighting can serve different roles. The features can be simplified and used for setting the lighting during pre-production.

Keywords : Lighting / 3DG / Direction / Education tool

1. はじめに

3 DCGの需要は年々高まっており、映画やアニメなどの映像作品、ゲームといったさまざまな場所で利用されている。また3 DCGコンテンツ制作を教えている大学、専門学校も増えてきており、3 DCGに関する書籍も数多く出版されている。

3 DCG映像制作の中で、ライティング（照明）は非常に重要な要素である。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、雰囲気、効果を作り出すことができる^[1]。そしてそのようなライティングのスキルを磨くには、試行錯誤を重ねてシーンのレンダリングを繰り返しながら、その都度、結果に対するフィードバックを得ることが肝心である^[2]。

現在3 DCGのライティングを学ぶ方法には、3 DCGソフトウェアのヘルプやトレーニングブック、画像掲示板への作品投稿、ライティングの専門書籍がある。これらを用いた学習により、3 DCGソフトウェアのライティングの機能と操作を学ぶことやライティングの知識を得ることができる。しかし既存の教材では、3 DCGソフトウェアでのライティングの機能に重点を置いており、ライティング設定の要素（明るさ、アングル、色等）を一つ一つ学ぶことはできても、それらの要素を組み合わせていろいろな演出の意図に沿ったライティングを学ぶことは難しい。そのため経験の浅い制作者は、効果的な演出のための感情や雰囲気の表現のために勘や経験に頼ることになり、この結果、無造作にライトをシーンに追加してしまうことになる。ライトをシーンに追加することは、スキルアップのための試行錯誤のために重要であるが、無造作なライトのシーンの追加では、制作者のスキルアップにはなりにくい。

この問題を解決するため、本研究の目的は、制作者の意図するライティングを学ぶことができ、かつライティングのスキルアップのために試行錯誤を容易に行うことができる教材を提案することである。このような教材の特徴は、3 DCG画像制作だけでなく、実写撮影の現場

での試行錯誤を行う前に、プレビジュアライゼーション段階でもライティング効果を評価することができることである。

2. 従来手法

3 DCGのライティングの学習方法は、大きく分けて4つある。次にこれらの特徴と課題について述べる。

(1) 3 DCGソフトウェアのオンラインマニュアル^{[3][4][5][6]}

3 DCGソフトウェアに沿ったライティングの機能の操作方法、詳細の閲覧ができる。ライティング設定のパラメータでどこを操作するとどのような変化があるかについて解説は記載されている。しかし、本研究で目指す「ユーザーが選んだ作例のライティングを題材に、それぞれのライトの設定方法をユーザー自身が操作しながら学習する」ことは難しい。

(2) 3 DCGソフトウェアのトレーニングブック^[7]

書店などで販売されているソフトウェアごとのトレーニングブックでは、対象とする3 DCGソフトウェアの操作を学ぶことができる。こういった書籍でもライティングの設定を学ぶことができるが、数点の作例に基づいて設定の手順や各種機能の説明がされているものがほとんどである。つまり、ユーザーが望むライティング手法を作例から直接学ぶことができるとは限らない。本研究では既存研究^[8]で提案されたライティングのデータベースを教材に転用することで、よりライティングの種類が豊富な教材を提案する。

(3) ライティング専門書籍^{[2][9]}

ライティングに関する技術、技法を解説している書籍である。著者の経験に基づいて解説が書かれているため知識は得ることができるが、ユーザーが制作したいシーンに適したライティングの学習ができるとは限らない。本研究ではユーザー自身が選んだシーンに適したライティングを検索・選択し、その設定方法を学習できるシステムを目指す。

(4) 画像掲示板への作品投稿^[10]

Webサイトから取得できるモデルデータから、演出意図に沿ったライティングを行い、作品を掲示板に投稿することができる。モデルデータは取得できるが、ライティングは自分の知識、経験に頼るしかない。しかしライティングとは、さまざまなライティング設定の要素を組み合わせるため、それらを理解していないと演出意図を表すライティングは難しい。

(5) デジタルライティングスクラップブック

兼松らは、図1に示すデジタルライティングスクラップブック^{[8][11]}を提案した。この研究では、過去のライティングの評価が高い映像作品の中から人物のその場面の感情に着目し、三点照明のライティング手法を用いて、各ライトの配置、強度、キーフィル比などのライティング情報を表示するようにした。このシステムでは、人物の感情をキーワードにライティングの検索が可能であり、人物のライティングを演出、設計するとき、検索結果を参考にして、ランチング配置を行うことができる。しかし、これら研究で提案されたシステムはあくまでもライティング手法のライブラリであり、3 DCGソフトウェア内でのライト操作を直接支援、学習できるものではない。また、兼松ら^{[12][13]}は既存作品から抽出したライティング設定をユーザー自身の3 Dモデルデータに適用可能にするため、ライティング設定用テンプレートの提案も行なっている。これを用いることで3 DCGソフトウェアの使用経験が浅いユーザーでも短時間でライブラリから検索したライティング設定を適用できる。これは設定にかかる時間を効率化するという点では有用である。しかし、ライティング設定の手順を、検索したデータを適用するだけという簡略化された手順にしているため、本研究で目指す学習という意味合いにおいては、さまざまな場所に配置されたライトが持つ効果などを、必ずしもユーザーが理解しながら使えるようになるとは限らない。そこで本研究では既存研究^[8]で提案されたライブラリから、ユーザー自身が学習したいライティング例を選び、選んだデータのライト配置などを自分で一つ一つ設定しながら学べる教材を提案する。

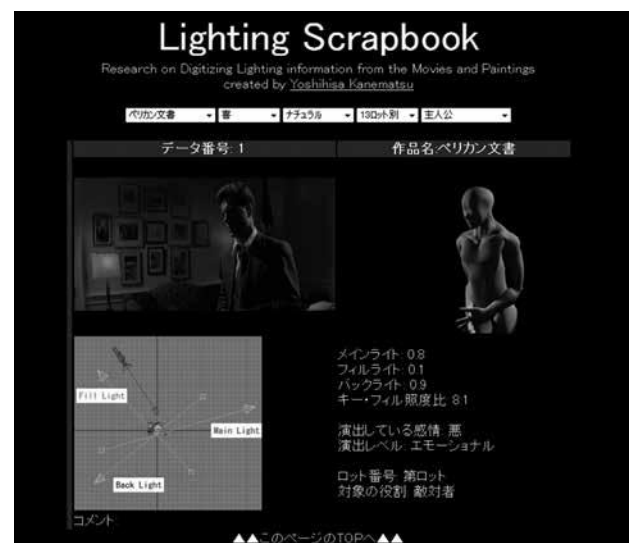


図1 デジタルライティングスクラップブック
実写画像：ペリカン文書（ワーナーブラザーズ，1993）より

3. ライティング教材の提案

3.1 ライティング教材の概要

ここでは、3DCGでの演出意図に沿ったライティングを学びたい制作者が、制作者の意図する演出をするためのライティング表現を学ぶことができ、かつライティングのスキルアップのために試行錯誤を容易に行うことができる教材について述べる。

そのための必要条件は、(1)段階的なライティングの学習により、制作者の意図する演出をするために各ライトがどのような役割を果たしているのか把握できること、(2)ライトの設定を一定の規則に基づいて簡易に行うことができることである。この必要条件を満たせば、演出意図に沿ったライティングを学ぶことができ、かつライティングのスキルアップのために試行錯誤が容易に行うことができる。

図2に、ライティング教材の概要を示す。ライティング教材を用いた学習の流れは、大きく3つに分けることができる。以下に3つの学習の流れを示す。

(1)演出意図に沿ったシーンの選択

学習システム用に調整したライティングスクラップブックの中から、自分の演出したい、興味のあるシーンの一つを選択する

(2)デジタルライトセットを用いた試行錯誤

人物を球面上に26個の頂点を均等に分布した球体で囲んだデジタルライトセットを用いて、26個の頂点からライトの配置を選択し、ライトの強度を決める。

(3)ライティング結果の画像を出力し、参考画像と比較

デジタルライトセットでライトを配置した後に、そのライト配置による人物の見え方をレンダリングで画像出力し、(1)で選んだシーンの参考画像と比較する。

この3つの流れを基本とし、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を、提案システムを用いてライトを設定しながら学ぶことができる。次に

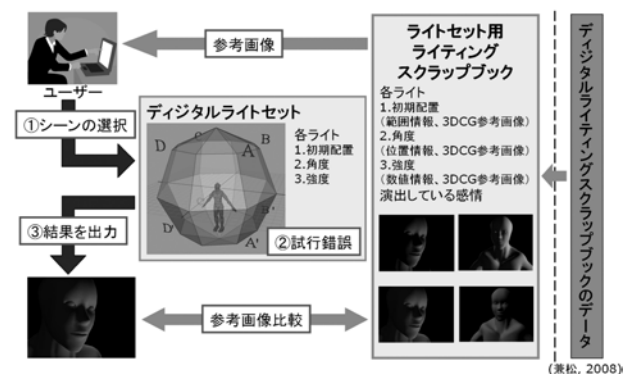


図2 ライティング教材の概要

(2)で用いるデジタルライトセットについて詳細を述べる。

3.2 デジタルライトセットによる段階的なライト設定

櫻井^[14]はライティングの基本形として、人物の周囲を8分割したエリアを用いてキーライト（主光源）を設置する位置を考える方法について述べている。本研究ではこの手法と、ななめ45度から光を当てる3点照明の代表的な手法の1つレンブラントライトを組み合わせ、ライティング設定学習用のシステム「デジタルライトセット」を開発した。

デジタルライトセットは、ライトを1つずつ段階的に設定することのできるシステムである。図3にデジタルライトセットのインターフェイスを示す。図3左側はライトを設置する大まかな位置を決定するためのインターフェイスであり、右側は配置したライトの明るさを簡易的に設定するためのインターフェイスである。図3の例では左側の画像のAエリア、Bエリア、Dエリアの範囲（キャラクターの前方上側左右、キャラクターの左手側の後方上側）にそれぞれライトが1つずつ設定されている。なお、本システムはライティングの基礎学習支援を目的としているため、ライトの種類はスポットライトを用い、間接反射光は考慮しない。

次に本システムが備える、3つの機能について述べる。

(1)ライトの初期配置機能

デジタルライトセットを用いてライティングを設定する際、ユーザはまず光が大まかにどの方向から照らされているのかを、図3中の左側に示すA～D、A'～D'のような8分割したエリアで選択することができる。このエリアはキャラクター頭部の中心を基準にし、まず基準点よりZ軸上で高いエリアと低いエリアの2つに分割されている。さらにXY軸について、頭部正面を0度とした90度刻みで4分割し、上下併せて8エリアになっている。

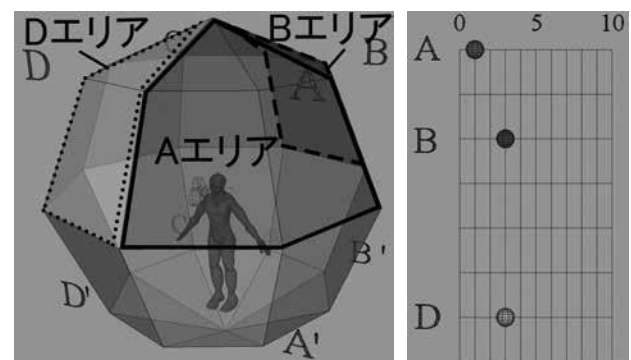


図3 デジタルライトセット

(2) 7つのライト配置とライト設置位置の調整機能

エリアを選択して大まかなライト配置位置を決めた後は、エリア内に設定されている7つのライト配置ポイントを選択することで、ライトを設置する位置を手軽に調整できる。このライト配置ポイントは、例えば図3中のAエリアでは、XY軸方向についてキャラクター正面を0度とし、キャラクター左側方90度までを基準点であるキャラクター頭部中心からみて45度刻みで3分割した3つのポイントと、この3つのポイントからキャラクターの真上に向かってそれぞれ45度刻みで3分割した計7カ所のポイントで構成されている。このようにデジタルライトセットでは、全エリアを合計するとキャラクター頭部中心からみて45度刻みで配置された計26個のポイントからライトの配置位置を選択することができる。

(3) ライトの明るさの段階的調整機能

配置した各ライトの明るさは、図3右側に示すインターフェイスを用いて0～10の11段階で設定可能である。

3.3 教材用ライティングデータの構築

本研究では提案する学習システムでデジタルライティングスクラップブックに登録されたライティングデータを利用できるようにするため、データの再構築を行った。次にこのライティングデータの構築手順を示す。

(1) シーンを選択

デジタルライティングスクラップブックから演出意図に近いシーン画像を選び、ライティング情報を表示する。

(2) デジタルライトセットによるライト配置

デジタルライティングスクラップブックにあるライト配置図、ライト強度、キーフィル比を参考にし、デジタルライトセットの26個の頂点にライトを配置する(図4)。

(3) 選択シーンの3DCG画像と比較

図5のように、デジタルライティングスクラップ

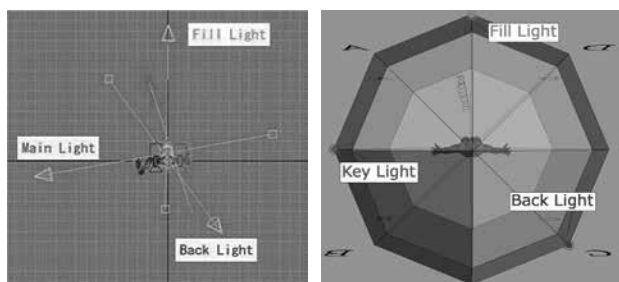


図4 デジタルライティングスクラップブックのライト配置(左)とデジタルライトセットでのライト配置(右)

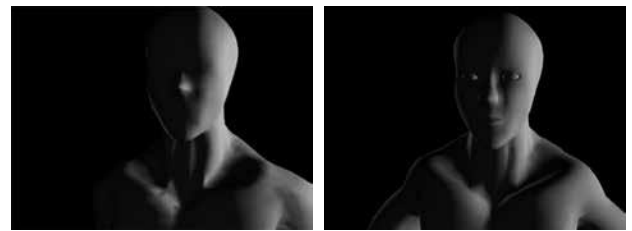


図5 元の画像(左)とデジタルライトセットでの画像(右)

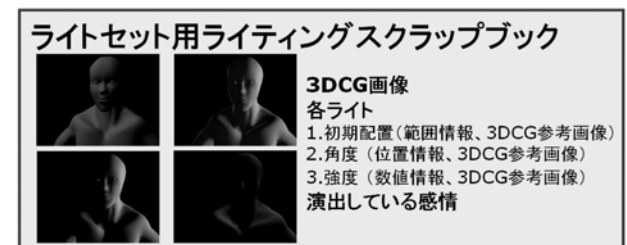


図6 ライトセット用スクラップブックのデータ例

ブックの3DCG画像とデジタルライトセットを用いた3DCG画像を比較し、光と影のコントラストが似ている画像にする。図5の左は三点照明^[8]による画像、右側が提案システムで再現した画像である。このように演出意図が同じ場合において従来手法と本提案のライトセットのライティングは似た画像になっている。

(4) ライティング情報の取得

図5のキーライト、フィルライト、バックライトの初期配置、ライト角度、ライト強度の位置情報、数値情報とそれぞれの参考画像になる3DCG画像をライティング情報として決定する。図6はこれらのデータを登録したライトセット用ライティングスクラップブックに登録したデータ例である。

3.4 絵画における陰影表現のデータ構築

絵画の人物表現は映像コンテンツにおいて重要な演出を学ぶために利用できる。そこで本研究では映画やアニメーションのライティング情報に加えて、ライティング学習の応用例として、絵画の人物表現からライティング情報の抽出を行った。

このために絵画における光の表現・陰影の表現を、映像制作のライティングに適用して、ライトの位置や方向、強さなどを抽出し、絵画の中の人物の陰影を再現した。本研究では、絵画における陰影表現学習の一例として17世紀のオランダで活躍したヤン・ステーンという画家の絵画の人物に対するライティングを分析した。絵画『大人が歌えば子供が笛吹く(陽気な家族)』のなかの人物に、デジタルライトセットを用いてライティングを行った結果を図7および図8に示す。



絵画中の人物 ライティング結果
図7 絵画における陰影表現の再現例1



絵画中の人物 ライティング結果
図8 絵画における陰影表現の再現例2

画家の表現意図によって、絵画におけるライティングは、さまざまな工夫が行われている。このように、ライトセットによってライト情報を収集し分析を進め、映像コンテンツ制作のためのライティングスクラップブックの構築を行うことは、ライティング教材の充実につながるといえる。

3.5 ライティング教材の利用手順

次に3.4までに紹介した機能を持つライティング教材の利用手順について述べる。

映像制作におけるライティングでは、照度を得るために無造作に対象を照らせれば良いのではなく、影を和らげてグラデーションを得る、輪郭を浮かび上がらせるなど、明確な意図をもって光を当てる方向や強さを決めなければならない。そこで本研究で提案するシステムでは、ユーザが個々のライトの効果、光の当たり方を確認しながら段階的にライティングを設定できるように開発した。

図9はライト1つ分の設定手順、図10はライティング教材による三点照明の設定例である。このようにユーザ

は手順ごとに目標とすべき光の当たり方を画像で確認しながら作業を行うことができる。図9中の各Stepでユーザが行う作業は次の通りである。

Step. 1 : 初期配置の参考画像を見て初期配置を決定

Step. 2 : 角度配置の参考画像を見てライトを移動し、角度配置を決定

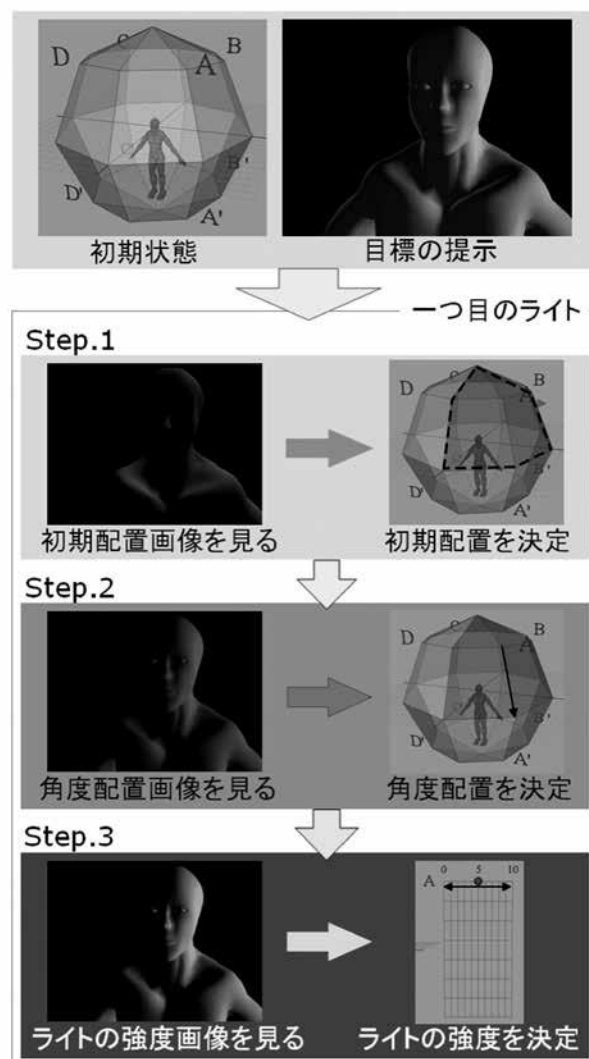


図9 ライティング教材の利用手順

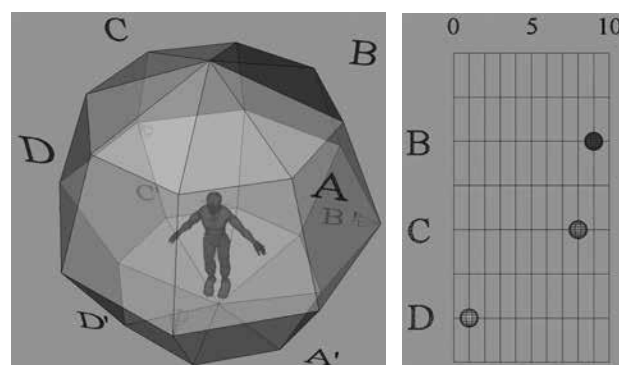


図10 ライティング教材による三点照明の設定例

Step. 3 : ライトの強度の参考画像を見て, 1段階ずつ
ライトの明るさの強弱制御ゲージを用いて強
度を決定

これらの機能をもちいることで, ユーザは(1)ライテ
ィングの種類が豊富なライブラリから作例を選択し, (2)
簡略的なライティング設定が可能なライトセットを用い
て, (3)段階的に効果を確認しながらライティングを学習
することが可能である。

4. 評価実験

4.1. 評価実験目的と方法

本研究で提案するシステムの有用性を評価するための
実験とその結果について述べる。

この実験は3 DCG映像制作経験のある学生10名を対
象として, 評価実験を行った後にアンケートを行った。
評価実験では学生2～4名ずつに, 演出意図に沿ったラ
イティングが異なる5つのシーンから一つ選択してもら
い, 前節で述べた学習の流れに沿ってライティングを
行ってもらった。ただし, 図9で示した各ライトを設定
する際, ユーザが教材と同じライティングに設定できた
かどうかを判定する正誤判定・表示機能については今回
実装できなかったため, 本評価実験では正誤を口頭で伝
えた。

評価実験後のアンケートでは, 提案部分で述べた2つ
の必要条件である, (1)段階的なライティングの学習によ
り, 制作者の意図する演出をするために各ライトがどの
ような役割を果たしているのか把握できること, (2)ライ
トの設定が無造作ではなく一定の規則に則って行え, か
つ簡易にできることが達成できているかを調査した (図
11)。

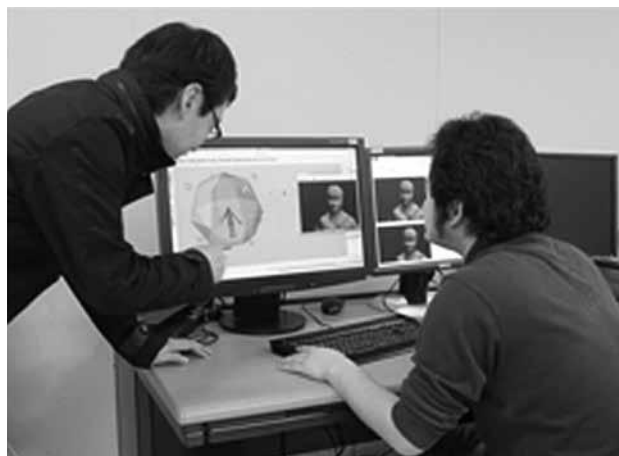


図11 ライトセット評価実験風景

4.2. 評価結果

表1に, (1)ライティングの習得に役立つか, (2)ライト
を1つずつ段階的に配置していくことはやりやすいか,
(3)試行錯誤は行いやすいかを「そう思う」「ややそう思
う」「どちらでもない」「思わない」「全く思わない」の5
段階評価で調査した結果を示す。3項目の評価結果は,
ともに「そう思う, ややそう思う」の選択結果を合わせ
ると100%であった。この結果から, この教材を用いる
ことにより演出意図に沿ったライティングの学習がしや
すくなること, 段階的なライティングの学習方法が有効
であることが分かった。また, 提案システムは図9で示
した通り, ライトの配置や照度調整を1つの手順ごとに
結果画像を提示しながら被験者自身に設定してもらう,
段階的な設定手順を用いている。これについても全ての
被験者から「ややそう思う」「そう思う」の回答を得た。
また, アンケートの自由記入欄にて「ライティングを手
探りの状態で行うよりも, よっぽど選択範囲を絞ること
ができたので, よかった」とのコメントも得た。このこ
とから段階的にライティング設定を行うことは教材とし
て有用であると考ええる。この結果から, 提案したライ
ティング教材は制作者の演出意図を表現するためのライ
ティングを学ぶことができ, かつライティングのスキル
アップのための試行錯誤を容易に行うことができると考
える。ただし, インターフェイスについては, ライト設
置候補の場所が奥行き方向(y軸)の前後に重なってし
まった場合, どちらが手前でどちらが奥なのか判別しづ
らいとの意見も得た。これは比較的3 DCGを扱い慣れ
ている被験者には見られない問題だったが, 経験の浅い
ユーザを対象とした教材としては今後改善の余地があ
る。また, 複数のライトが配置されているライティング
を行う際, ユーザが操作しているライトとは別のライト
がどこに置かれているかを忘れてしまうという意見も
あった。提案システムでは3 D空間上に同じ形をしたラ
イトのオブジェクトが大量に表示されて混乱してしまう
のを防ぐために, ユーザが操作中のライト以外のものを
非表示にするように設定していた。今後はインターフェ
イスを工夫し, 各ライトの配置位置をわかりやすくする

表1 実験結果 (被験者数10人)

習得に役立つか	そう思う	7人
	ややそう思う	3人
段階的な配置の やりやすさ	そう思う	7人
	ややそう思う	3人
試行錯誤の 行いやすさ	そう思う	8人
	ややそう思う	2人

ことで改善できると考える。

5. おわりに

本研究では、3 DCGでの演出意図に沿ったライティングの経験が浅い制作者が、制作者の意図する演出をどのように行えば表現できるのかを学べ、かつライティングのスキルアップのために試行錯誤が容易に行うことができるライティング教材の提案を行った。

評価実験の結果から、次の2点が明らかになった。

- (1) ライトセットを用いたライティング教材を用いることにより、演出意図に沿ったライティングの学習が容易にできるようになった。
- (2) ライトを一つずつ配置、設定するたびにレンダリング画像を見ることにより、そのライトのライティング効果を把握できるようになった。

本研究ではデジタルライティングスクラップブックを用いたため、教材として登録されているライティングが三点照明のみであったが、ユーザによるライト配置の頂点数や距離の変更など三点照明以外への対応が必要である。また、本ライトセットを利用することにより、ライティング設定に効果的であることが明らかになったが、今後は映像制作演習などを通じて、学習前後でライティング能力を調査し、提案システムを用いた教育効果の評価を行いたい。さらに、本研究ではCG映像制作を扱ったが、実写映像におけるライティング教育への活用へも展開したい。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科研費15K00508の助成を受けたものです。

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—, ボーンデジタル, (2007).
- [2] Birn, J., [digital] LIGHTING & RENDERING 第2版, 株式会社ボーンデジタル, (2007).
- [3] AUTODESK MAYA 2015 オンラインマニュアル <http://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2015/JPN>
- [4] Autodesk 3ds Max チュートリアル, <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/13/JPN/Autodesk%203ds%20Max%202011%20Tutorials/>
- [5] Softimage ユーザガイド, <http://docs.autodesk.com/SI/2015/JPN/>
- [6] Blender チュートリアル, <http://cg-planet.net/category21/>

- [7] 石塚雅也 監修, AUTODESK MAYA オフィシャルトレーニングブック2, 株式会社ワークスコーポレーション, (2007).
- [8] Kanematsu, Y. and Kaneko, M., Research on Digitizing Lighting information from Movies, NICOGRAPH International 2008, (2008).
- [9] Gloman, C. and Letourneau, T., 照明基礎—PLACING SHADOWS—, 株式会社ボーンデジタル, (2006).
- [10] Birn, J. 「Welcome to 3dRender.com」 <http://www.3drender.com/>, (2008).
- [11] 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, pp. 3-11 (2013).
- [12] 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ジタル化とその活用に関する研究, 芸術科学会論文誌, Vol. 9 No. 2 pp. 66-72, (2010).
- [13] 兼松祥央: 映像分析に基づく演出設計支援手法の研究, 東京工科大学 博士論文, (2014).
- [14] 櫻井雅章, 図解〈実践〉映像ライティング, 玄光社 MOOK, (2006).

●2016年9月29日受付

かねまつ よしひさ

公立大学法人首都大学東京 日野キャンパス技術員
東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科博士後期課程 単位取得退学, 博士 (メディアサイエンス). 主に映像制作における照明, カメラワークなど演出に関する研究に従事.

もてぎ りゅうた

首都大学東京システムデザイン学部助教, 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科博士後期課程在学中. 武蔵野美術大学大学院造形研究科修士 (造形). 主にプロダクトデザインにおけるデザインプロセスや映像制作におけるキャラクターメイキングの研究や開発に従事.

みかみ こうじ

東京工科大学メディア学部教授
慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程単位取得退学, 博士 (政策・メディア). 主に3 DCG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. 芸術科学会会長, 日本デジタルゲーム学会理事.

こんどう くにお

東京工科大学メディア学部教授
名古屋工業大学第Ⅱ部卒業, 工学博士 (東京大学), 主に, 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. 情報処理学会グラフィックスとCAD研究会主査, 日本図学会副会長, 芸術科学会会長, 画像電子学会会長など歴任. 現在ADADA International会長.

Simple Graphic Tool Xgt on X-Windows and Education of Computer Graphics for Beginners

Kunio Kondo, Kaoru Ogata, Hisashi Sato and Shizuo Shimada*

1 Introduction

This paper presents a simple graphic tool Xgt, which was developed to aid the education of computer graphics for beginners, and the contents of lectures and exercises using this tool.

The education using computers at our department is as follows. Soon after the students enter the university, they are given a basic UNIX education. They practice how to use a workstation in the network environment, Japanese editor, E-mail and the news system, and a basic shell during the first semester. This shows that we aim at teaching them what UNIX is and the way of using the workstation during the first semester. The main purpose after this education is to acquire the ability of making programs using the C language during the second semester.

We explain the structure of the programming language and many kinds of algorithms in order. These exercises are given once a week, however many students sometimes study themselves for out of the exercise hour. Over the present second grade students are not especially given any lectures and exercises about the programming. Instead, each lecturer gives them the subjects using computer at the lectures or the exercises or gives the report subject as their homework. The themes of the exercises for the third grade students are related to the computer graphics such as the image processing, data processing and its presentation, and solid modelling etc. The education of computer graphics for beginners which this paper introduces is given by the lecture of Information Mathematics for the third grade students.

Information Mathematics 3 is given to educate mathematics and algorithms, and it is proceeded as the lectures and the exercises on the topics related to the computer graphics. It mainly consists of the understanding of the mathematics and thinking algorithm as the pre-process of its programming, while making beautiful colored pictures which is usually the main purpose of computer graphics is not important there. The contents include two parts; one is two dimensional computer graphics, and the other is three dimensional solid modelling.

Two dimensional computer graphics treats making plots of curves represented as a function, the picture transformation (translation, rotation, Affine transformation, projective transformation) and making a picture of a free curve. Three dimensional computer graphics treats the inner representation of the convex solid shape, the projective transformation (the orthographic projection, the axometric projection, and the perspective projection), and the intersection of solids. We developed an easy graphic tool Xgt ^{[1][2]} to use in lectures. This tool can be used with easily, and we can process graphics of personal computers in X-Windows. In spite of it is important to make the easy graphic tool to help the education for beginners, we cannot find other reports which presented such a tool.

First, this paper shows the software which we developed to use for experiments and exercises. Second, the contents of lectures are introduced, then some results of made pictures and those evaluation are given.

* Department of Information and Computer Sciences, Saitama University

2 Tool For Education Of Computer Graphics

2.1 Graphic Tool Xgt

To display the graphics on the X-Window, some libraries called X-ToolKit or X-lib should usually be used. However, as it generally takes much time to master these, direct use of this software is not appropriate as a subjects for all students. As examples of easy use, there are some libraries which include clearing display and many kinds of line components display to make pictures using the personal computer. Of course these functions makes it possible to write complex pictures. It is also important for easy graphic tool to have the capacity such as opening windows, writing line components, and making a hard copy of the pictures on X-Window. To achieve these tools make it possible for students to display pictures easily on X-Window even if they do not understand the detailed programming techniques for X-Window. The functions of Xgt shown in the following include those of Turbo-Pascal graphic package.

2.2 Functions of the Graphic Tool Xgt

Xgt has the displaying space in which an upper left point becomes the origin as default. The functions which Xgt provides can be used to display in this space except some exceptions. Before we display pictures using Xgt, we need to call `g_init`. While after all process of picture display are done, we need to call `g_end`. The functions Xgt provides are shown in Table 1. Example program is shown in Figure 1.

Table 1 Commands of Xgt

Command Name	Meaning of Operation
<code>g_init</code>	Start of using Xgt system
<code>g_end</code>	End of using Xgt Window (Quit)
<code>g_pause</code>	Pause of running
<code>g_sleep</code>	Pause for n/100 seconds of running
<code>g_button</code>	Reading of position of Mouse cursor
<code>g_message</code>	Display of message
<code>g_remove</code>	Cancel of display
<code>g_cls</code>	Clear of screen
<code>g_line</code>	Drawing of line
<code>g_circle</code>	Drawing of circle with radius
<code>g_ellipse</code>	Drawing of ellipse
<code>g_box</code>	Drawing of box
<code>g_bezier</code>	Drawing of Bezier curve

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <local/Xgt.h>
#define PI 3.1415927

main()
{
    int n,r;
    printf( "R =" );
    scanf( "%d", &r );
    printf( "N =" );
    scanf( "%d", &n );
    g_init();
    Nefloid( r , n );
    g_end();
}

Nefloid( r , n )
int r,n;
{
    int i;
    double dt,t,r1,x,y;
    dt = PI*2/n;
    g_circle( 300. , 200. , r );
    for( i=1 ; i<=n ; i++ )
    {
        t = dt*i;
        x = r*cos(t)+300;
        y = 200-r*sin(t);
        r1 = r*cos(t);
        if( r1 < 0 )
            r1 = -1*r1;
        g_circle( x , y , r1 );
    }
}
```

Figure 1 Example Program

3 Mathematics for Computer Graphics

3.1 Contents of Lectures and Exercises

We give 90-minute lecture on each theme and after that we give lecture and exercise about graphic display techniques for the purpose of letting students understand many mathematical calculation methods. The subjects of this lecture and exercise consist of making a curve, the transformation of picture, making a free curve, the projective transformation of three dimensional shape, the intersection of solids. The detailed contents are as follows.

In the first class, we teach how to display the curve, for example, which can be represented as a function such as a circle or involute curve with the explanation of Xgt. In the second class, we teach how to treat the matrix calculation and its programming technique using the subject of picture transformation. We also indicate that these matrix programs are available as a library after this class. We also teach the matrix calculation of movement or rotation, Affine transformation etc. by treating graphics problem as examples. In the third class, we teach how to display the free curve which is an important subject of two dimensional computer graphics. Here we introduce Bezier curve and give the help of understanding of its property and its application.

In the fourth class to the sixth class, we treat the production, representation, processing of solid shapes. In the fourth class, we teach the data representation such as phase property and geometrical property as that of solid, then teach how to make the data of many solids. In the fifth class, we introduce how to make the projection of the produced solid. We indicate this method requires the library which was made for two dimensional graphics because it requires the matrix calculation. In addition, we indicate that it is easy that we transform three dimensional shape to two dimensional picture by using the transformation of the coordinate system. In the sixth class, we teach the intersection of the objects as a main subject, and let students understand the techniques of the analytical geometry such as the calculation of cross point of the line and the plane, and the determinant of inside or outside region of them. Exercise of making program is given every time after each subject is introduced.

3.2 Drawing Pictures during Graphic Exercises

Drawing Pictures of Curves

The curve is a convenient example which students can fully understand the effect of using computer. It is interesting for them to see the computer display of curve which they cannot easily write. An example of picture and its program are shown in Figure 2. We can display complex picture in comparison with its compact program.

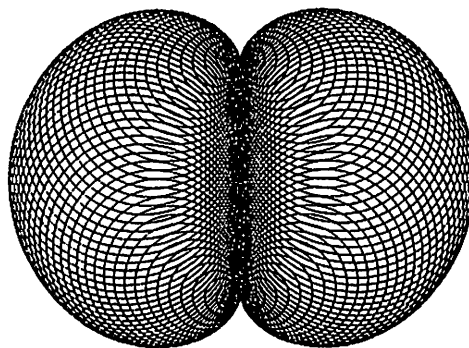


Figure 2 Drawing Picture

Transformation and Two Dimensional Arrangement of Pictures

Transformation and two dimensional arrangement of pictures are convenient theme for understanding of the matrix calculation. Especially producing pictures makes it easy to understand what should be transformed. The students can understand that it is important that the familiar matrix calculations are used as library which consists of basic functions. Some examples which students made themselves are shown in Figure 3.

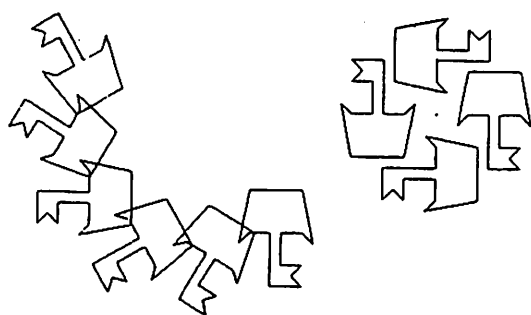


Figure 3 (a) Rotation

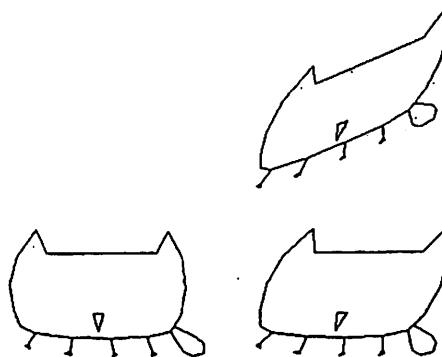


Figure 3 (b) Transformation of Pictures

Bézier Curves

We let students draw any picture using free curves. To achieve this, we let students calculate new control points from the entry point, then let them draw pictures which is put on the entry point, furthermore, let them draw closed curve or open curve. (See Figure 4)

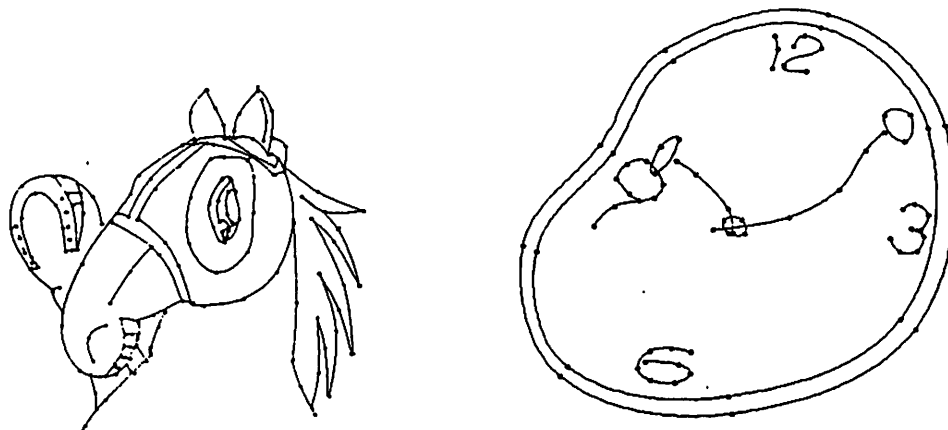
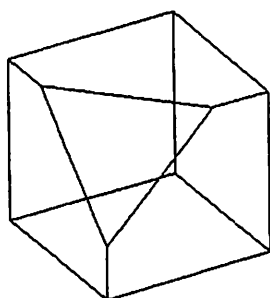


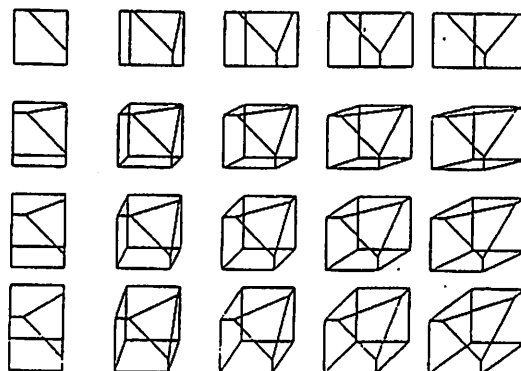
Figure 4 Examples of Making Free Curve

projective Transformation and Intersection of Three Dimensional Shapes

It is necessary to calculate some matrixes to draw three dimensional shape on two dimensional display. These operations are called projective transformation, and those are the basic techniques in the field of Computer Graphics. As the subject for students, we let them draw only convex polyhedral solid. Some examples are shown in Figure 5.

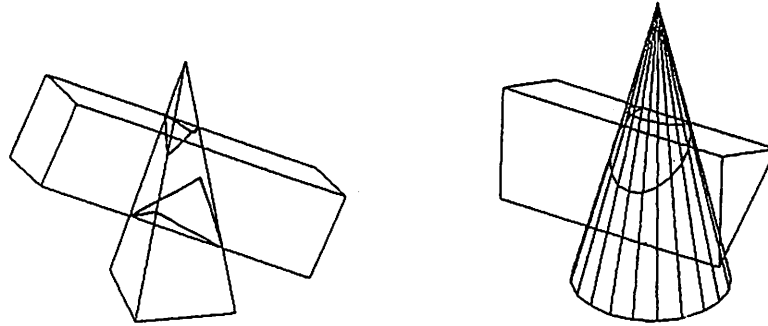


(a) Axometric Projection



(b) Cavalier Projection

Figure 5 Projection and intersection of Objects



(c) Intersection of Objects

Figure 5 Projection and intersection of Objects

4 Discussion

This paper presented the environment of computers at Department of Information and Computer Sciences of Saitama University and some examples of education for beginners of computer graphics in this department. The simple graphic tool Xgt is a tool of drawing pictures in which operations are restricted, and a convenient software to draw pictures easily on workstations. It is available not only for the education of graphics but also for making pictures as the result of experimental data. Students seemed to understand it well and to be very interested in it through the lecture for half a year. However, this report is made from our experiences for only two years. We make better reports or references to enhance lectures.

References

- [1] K.Kondo, K.Ogata, H.Sato and S.Shimada, "Easy Graphic Tool Xgt for X-Window and its application for Education", Proceeding of Graphic Science 1992, Japan Society of Graphic Science (1992)
- [2] K.Kondo, "Education of Computer Graphics/CAD at Department of Information and Computer Science of Saitama University", PIXEL, No.118 (1992.7)

Digital Modeling in CAD Engineering Course at the Department of Computer Science

Kunio KONDO¹, SONG Genwang¹, Hisashi SATO², Yoshiaki MACHIDA³,
Shinji MASUDA³, Nobuyuki HOSHINO⁴

¹Saitama University, ²Kanagawa Institute of Technology,

³Saitama Industrial Technology Center, ⁴Actment Co.Ltd

ABSTRACT: This paper describes the content of our CAD engineering course and the exercise of Digital Modeling for fourth grade students during the first semester in the department of information and computer sciences. In the course, five main important parts of CAD systems will be discussed as follows: (1) Introduction to CAD, (2) Design Theory and Process, (3) Interactive Method, (4) Solid Modeling, (5) Computer Graphics. The practice for students as a part of the course is so-called “Digital Modeling” that is a design process from a solid modeling and rendering to an evaluation of real models made by means of a rapid prototyping system.

KEYWORDS: CAD, CG, Digital Modeling, Solid Modeling, Rapid Prototyping

1. INTRODUCTION

We are proceeding the useful education and experiment about pictures and images such as pattern recognition, image processing, computer graphics, CAD engineering, etc. This paper presents the contents and the exercise of CAD engineering for fourth grade students during the first semester.

In our department, besides CAD engineering, we have some another lectures about visual thinking and visual communication, such as computer graphics, image processing and pattern recognition. We believe that the visual communication and visual thinking with computer graphics are an essential and fundamental part of a computer sciences education [6]. Visual communication is very important in idea and more effective in discussing concurrent engineering through distributed computer system. Visual thinking is an effective method in thinking technical ideas and problem solutions. The aim of CAD engineering is to make students understand visual thinking and visual communication and improve student’s visualization abilities that are important for good communication with a computer.

There are many courses in education or introduction of CAD at department of mechanics, but few of them treat

in department of information and computer science. As the education of CAD engineering or the shape modeling belongs to the field of application corresponding to curriculum of universities, and it is important for engineers to deal with the process of shape or developing CAD system, we believe that it is necessary to offer the course actively in the department of computer science. The authors had introduced the education of shape modeling before through some lectures and exercises during a half of year course [1][2].

This paper presents the new contents of CAD engineering and the exercises of Digital Modeling. First, in our CAD engineering course, we emphasis in treating three main important parts of CAD systems: (1) Interactive system and interactive techniques. (2) Solid modeling and its processing method. (3) Improvement of understanding solid models, picture representation and graphic communication about solid shapes through sketching a solid object.

Second, we show the Digital Modeling in our course and make it be an exercise. Digital Modeling is a design process from a solid modeling and rendering to an evaluation of real models made by means of a rapid prototyping system. As we known, there are two modeling methods on Digital Modeling: (1) The

measuring method to a real solid, and (2) The solid modeling method through CG/CAD software. In this paper, we only introduce the later.

The content of our exercise is about Digital Modeling, including solid modeling and rendering through CAD or 3DCG software. The reports need to be submitted by students in form of Web page with 3D model data and CG images through Internet. Students can use the free software in the Internet, or some 3DCG software in our laboratory. According to the design of students, we had made some real models by means of Rapid Prototyping system at Saitama Industrial Technology Center.

This paper also shows the merits of education of CAD engineering, some pictures of real models made by students through Rapid Prototyping, and the evaluation to the results.

2. CAD ENGINEERING COURSE

In this section, we describe the task of CAD engineering and the contents of this lecture. The main task is to make students construct the concept of CAD system first in their brain and understand the relationship between information system and the technologies of CAD systems. The contents include five main parts: (1) Introduction to CAD, (2) Design theory and design process, (3) Interactive method and interface for CAD, (4) Computer aided modeling, (5) The visual communication and rendering method by using Computer Graphics. We still indicate the importance of user in friendly man-machine interactive CAD system. Fig.1 shows the concept of CAD system. The concrete contents of lectures are planned as follows:

(1) Introduction to CAD

In the beginning of our lecture, we have to introduce the relation first between information processing technology and CAD, as well as the most recent CAD.

(2) Design Theory and Design Process

On the basis of the literature "The Psychology of Every Thing", we explain the principle of design, psychology of human's act and seven-stages of the theory on performing in treating products, and introduce visualization, concept model, correspondence and the

importance of feedback.

(3) User interface for CAD

We talk about the interfaces for CAD, such as user interface for good communication, sketch interface, input method of 3D scan devices.

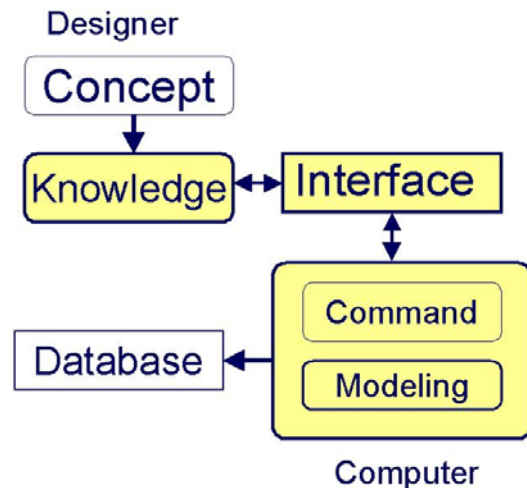


Fig.1 Concept of CAD system

(4) Solid modeling

Computer Aided Modeling includes: B-Reps, CSG, local operation to modify the shape, curves and surfaces, for example, Bezier curve and subdivision surface. We explain the boundary representation of the shape modeling method, the data structure of CSG method and the local transformation to correct the shape.

(5) Representation and Graphic Communication

In this part, we explain the connection of design and man's sense first by showing ambiguous drawing, three-face drawing and cartoon. Then we explain the main characteristics of the expression of computer graphics, such as line drawing, painting rendering, shading and shadow, interactive rendering and vision problem

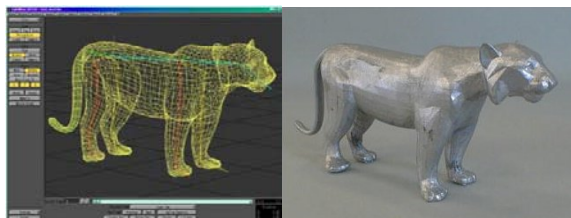
3. DIGITAL MODELING

3.1 What is Digital Modeling?

Demand of digital design in our modern society is growing every year. Digital actors, prototypes, package

designs, paintings, movies, art, all of them are preparing using computers and CG software and special devices. We can create CG, 3D models, animations using only mouse, but there are several special hardware tools too that can make the process of creation easier for the designer. Tablets, motion capturing equipment and some others make it possible to acquire the final effect of CG, as the designers want it to be. But now, we also have machines and systems that allow us to bring into reality designs and 3D models. Now we can transform the digital designs and art into reality and give them real form of solid objects. In this paper we will show briefly the procedure of Digital Modeling from the idea to the final 3D object, and then show the steps of Rapid Prototyping.

Many systems for generating 3D model with computer have become the commercial software, and have been applied in designing activities in many fields. With CAD/CAM, the solid model of designed shape can be evaluated and the products can be carried on designing and manufacturing. The procedure of generating the internal model within computer, as a solid model, is known as Digital Modeling. The procedure may generally be achieved by two methods. First, the solid model of the 3D image, which comes from the brain of human being, is generated by CG software. Secondly, by entering the existed object into computer through 3D scanning, the internal solid model can also be gotten. The first method will be discussed in this paper, and the method so-called Rapid Prototyping will also be explained. Fig.2 (a) illustrates the 3D model of a Tiger with a CG system. The model is based on stereolithography after its 3D data are transformed into the STL data of Rapid Prototyping. Fig.2 (b) displays its casting model according to its 3D model by way of lost-wax.



(a) The 3D shape model (b) The cast based on lost-wax

Fig.2 model of a Tiger

3.2 Design Process of Digital Modeling

Fig.3 illustrates the procedure of digital modeling. In the beginning stage, although it is different that the shape is generated through CG software or entered by means of measuring instruments, the later processes are same. This procedure is called Digital Modeling just because it generates the 3D shape model as an internal model within computer and makes out the solid model in basis of the 3D model.

The preparations are very important. In this very beginning step, 3DCG designers make decisions and plans for the scene and objects. What and how should it be modeled? What in great detail and what not? How to use textures? What technique should be used? Which type of geometry should be chosen? How to acquire the results as close as possible to the Idea? The answers to these questions will be very useful in the process of Digital Modeling, Movie postproduction, Movie Making and so on. We can use the abilities and disabilities of human eye and other senses to show “reality” better than it really is.

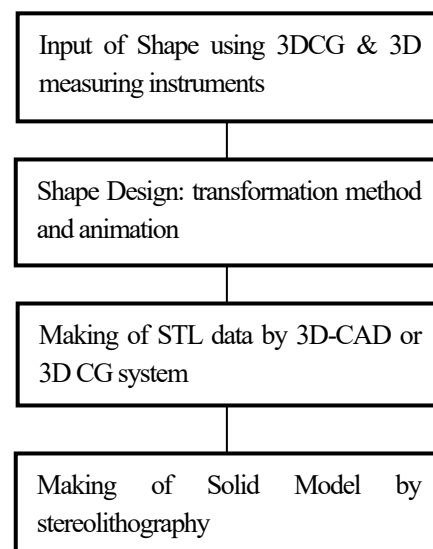


Fig.3 Process of Digital Modeling

3.3 Making 3D Models by 3DCG Software

There are many methods to get 3D models, such as through 3D scanning, or modeling via CG software, etc. Instead of modeling complicated geometry, materials and lighting from scratch, programs like ImageModeler taps directly into the richness of the real world. Modeling complicated geometry and creating realistic looking models is difficult, time consuming work. With

Image-Based software, 3D models can be created accurately in much less time than conventional computer modeling techniques.

3.4 Modeling Process by Stereolithography

In this section, we will generally show the method of stereolithography that is one of the methods of Rapid Prototyping.

Once the model is transformed into STL data for Rapid Prototyping, the solid model can be made. The STL data is a great number of slices (or layers) with a proper thickness (generally 0.005mm). After the data is prepared, the modeling process may be started. Every layer is solidified gradually, layer upon layer, through lighting up the liquid photo-curable resin with a UV laser. The movement of the harden part on a platform is controlled by an elevator that is lowered down a distance of one layer thickness in a vat step by step, and the movements of the laser are controlled by two stepper motors. Thus, the solid model will be produced by means of accumulating layer upon layer in proper sequence. Finally, after all of slices are completed, the elevator raises the platform out of the resin surface and the accomplished solid model will be appeared out of the vat. The whole procedure would spend, to a more complicated part, up to 10 hours.

4. EXERCISE OF DIGITAL MODELING

4.1 Purpose of Exercise

As the solid modeling is given as the basic technique, it is necessary for students to get the ability of space recognition. Here, the ability of space recognition means the ability one can think the shape so that they can decrease the difference between the thinkable image and the real produced shape. The image of shape can be represented as the same picture as one imaged if they have the ability of space recognition [4]. This exercise has the purpose to get this kind of higher ability by using Rhinoceros, LightWave 3D, etc. As a helping tool of education, the exercise has the following three purposes:

1. To understand that the process of the shape modeling is a basic technology
2. To improve the ability of space recognition, and to get

a deep understanding of three-dimensional solid modeling.

3. To obtain better presentation techniques by making the shape that students considered or imaged by themselves.

4.2 Contents of Exercise

The concrete theme of our exercise is called "Solid Modeling and Rendering using 3D-CAD & 3DCG". The process of the exercise is asked as follows: (1) To get 3D-CG software in Internet. (2) To consider the solid modeling process through hand-drawings. (3) To make a 3D model by the software. (4) To render the model. (5) To write the detailed Web report.

4.3 Educational Effects of Digital Modeling

When students get the exercise, most of them would feel very bewildered to the task and doubt that it is too difficult to be completed better only through around ten hours' study to Digital Modeling. It may be confirmed that the students have had the ability to complete the mission. We have gotten the experience from the former, year by year.

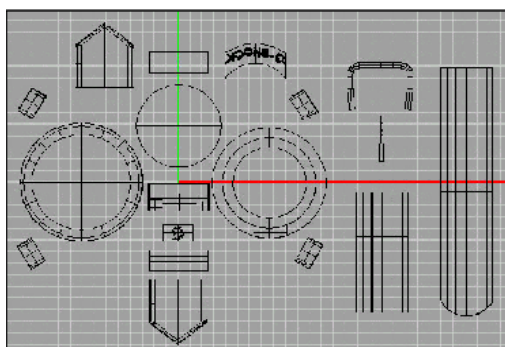
In fact, as long as students do the exercise step by step according to the process of the exercise we given, they would go into the path more quickly and fulfill the task more satisfactorily on schedule. They would first be familiar to the 3D modeling software, such as Rhinoceros and LightWave 3D, downloaded in Internet, and then consider how to present the shape by hand-drawings and how to, with computer, display the shape they want to be constructed. After that, they would do their best to realize their designed shape by 3D software, and to make the objects more realistic through rendering. After rendering the first model, they would maybe find that the produced shape is a little different with the shape of object they want to be made. With curiosity and interesting, they would put into practice repeatedly till the effect of model is satisfactory. Finally, they will write the Web report in detail. In report, they have to point out the validity of the Digital Modeling and the effectiveness of learning.

From these facts, we confirmed that the educational effect is obvious. If there were not this kind of practice, the students should never use any 3D software or CAD

system in short times. In addition, the ability of space recognition for students will also be improved.

4.4 Examples

Some examples of the produced shape are shown in Figure 4 to Figure 9. Among them, figure 4 to Figure 7 show some examples of modeling, in which the produced objects are familiar to us. Figure 4 is a watch, including the drawings of its parts and the rendering effect. Figure 5 is a chair. Figure 6 is a pencil with its shadow and shading. Figure 7 is a mobile telephone that looks realistic. Figure 8 shows an example of Web report submitted by students through Internet. Figure 9 shows three final models of Stereolithography, namely mobile telephone, chair and watch.



(a) Drawing of parts



(b) Rendering example

Fig.4 Example of Modeling (Watch)

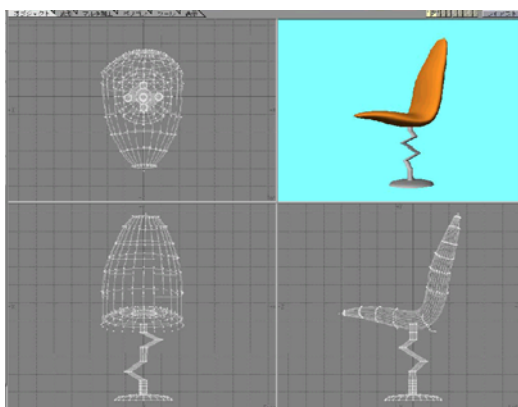


Fig. 5 Example of Modeling: Chair



Fig.6 Example of Modeling: Pencil

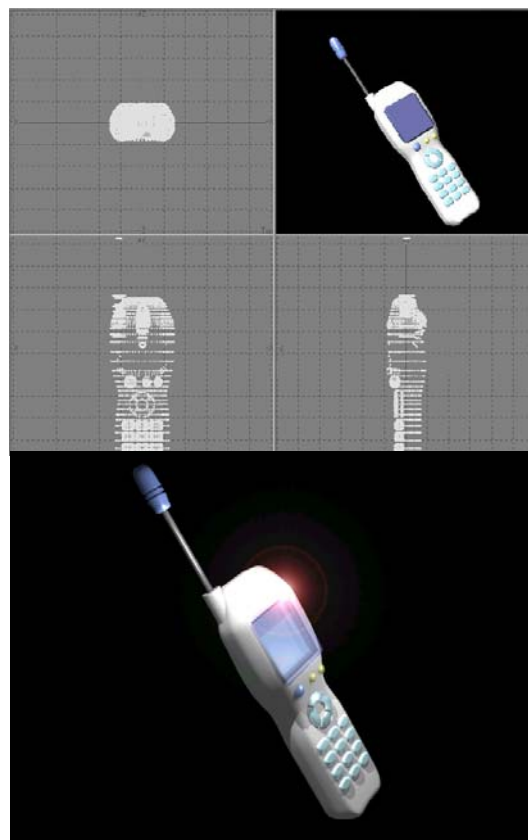


Fig.7 Example of Modeling: Mobile Telephone



Fig.8 Example of Web Report



(a) The Final Model of Mobile Telephone



(b) The Final Model of Chair



(c) The Final Model of Watch

Fig.9 Some examples of Stereolithography

5. CONCLUSION

In this paper, the contents of our CAD engineering course and the exercise of Digital Modeling are discussed. Especially, we talk more about the concept of Digital Modeling, the design process of it and modeling process through Stereolithography. Also, some examples made by students are also presented below. Digital Modeling is a more effective method which people are now expecting toward to newly emerging industry. Rapid Prototyping is a more accurate and relatively quicker process for acquiring trial parts, new

concept tools and specific parts.

We have recognized that students can obtain a lot through the course and the exercise, including improvement of space recognition, operation of 3DCG or CAD software, ability of visual communication and visual thinking. In short, the overall quality of students on the side of CG/CAD has been enhanced.

In future, we will continue to study the methodology on education of CAD engineering in order to make the educational effect better and better.

REFERENCES

1. K. KONDO, S. SHIMADA, H. SATO, "Shape Modeler GEOMAP and Education of Producing Shape Using NUCE-BASIC", Journal of Graphic Science, No. 51, 1989
2. S. SHIMADA, K. KONDO, H. SATO, "Teaching Solid modeling Replaces Hand Drafting", 5th International conf. on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry, 1992
3. S. SHIMADA, K. KONDO, H. SATO, A. KURODA, "Solid modeling at Experiment for Computer Science", SIG of CG/CAD, Japan Society of Information Processing, 56-6, 1992
4. D. A. NORMAN, "The Psychology of Every Things", Basic Books Inc. 1988
5. K. KONDO, "Education of CAD Engineering at the Department of Computer Science", Proc. of China-Japan Joint Conf. on Graphics Education, pp. 208-213, 3/1993
6. K. 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, 1997
7. M.TAKAHASHI, H.SATO, K. KONDO, "A Remote Education System of Computer Graphics Education using Java", The 3rd China-Japan Joint Graphics Education, Kunming, Yunnan, China. pp. 228-233 July 1999
8. E. RODRIGUEZ, "Visual Simulation of Design Processes", proc. of ICECGDG'92
9. K.SUZUKI, "Computer Aided Visualization in Education of 3-D Geometry", proc. of China-Japan conference on Graphics Education 1993
10. S.NAGASHIMA, "Solid Modeling system for educational Use", proc. of China-Japan conference on Graphics Education 1993

DEVELOPMENT OF A WEB BASED TRAINING SYSTEM AND COURSEWARE FOR ADVANCED COMPUTER GRAPHICS COURSES ENHANCED BY INTERACTIVE JAVA APPLETS

Tomoyuki NISHITA
The University of Tokyo
Tokyo, JAPAN

Kunio KONDO
Saitama University
Saitama, JAPAN

Yoshio OHNO
Keio University
Yokohama, JAPAN

Yoshiaki TAKAI
Hokkaido University
Sapporo, JAPAN

Yoshinori DOBASHI
Hokkaido University
Sapporo, JAPAN

Satomi ISHIUCHI
NTT Cyber Solutions Labs
Kanagawa, JAPAN

Yoshihiro TAKAHASHI
NTT Cyber Solutions Labs
Kanagawa, JAPAN

Ayumi KIMURA
CG-ARTS
Tokyo, JAPAN

Ayumi MIYAI
CG-ARTS
Tokyo, JAPAN

ABSTRACT

We propose a web-based training system and courseware for advanced computer graphics for undergraduate students. By using the system, the students have no temporal and spatial limitations for learning computer graphics technologies. Once they can connect to the Internet, they can study for as much time as they wish and in any place. We have designed more than 50 Java applets from the educational viewpoint, and developed them to enable complicated computer graphics algorithms to be comprehensibly understood. All of the applets have been developed by using pure Java programming language because of its hardware-neutral features and wide availability on many hardware platforms. Hence, the students can use any Java enabled browser on any kind of platform to study interactively computer graphics technologies via the system.

Key words: computer graphics, Java applet, web-based training

1. INTRODUCTION

The technologies of computer graphics have become more and more important, since there are more and more people wanting to use them to create more imaginative contents. How, when and where one can study these useful technologies are good questions for many people, because not everyone majors in computer graphics. With the rapid growth of the Internet, we propose a web-based training (WBT) system and courseware for advanced computer graphics for undergraduate students. By using the WBT system, the students have no temporal and spatial limitations for studying computer graphics technologies. Once they are able to connect to the Internet, they can study as much as they wish and in any place.

We have designed more than 50 Java applets for the educational purposes, and developed them so that complicated computer graphics algorithms can be comprehensibly understood through interactive and intuitive operations in the WBT system. These include 2D/3D geometrical transformation, digital image processing, z-buffer algorithm, smooth shading, lighting models, material, texture-mapping, rendering, animation, etc. Besides the Java applets, we have also provided an on-line textbook written in HTML (Hypertext Markup Language), so that the students can still get support from a textbook as before. From the educational viewpoint, communication between advisors and the students is also important, therefore an on-line FAQ whiteboard is also provided to answer all the questions from the students.

There are several advantages for the WBT system: (1) the students could plan their own study schedule and arrange their leisure time for studying; (2) the students could study the multimedia materials interactively since we use web technologies, like HTML and Java, to design them; (3) because all of the computer graphics algorithms in the system have been implemented by using Java, the students could study them by controlling all the parameters via friendly graphical user interface; (4) the students' studying statuses have been recorded by the system so that to monitor the statuses is possible; (5) an on-line teacher mechanism is also provided to check the homework and mini-tests of the students.

Finally, the contents have been designed to produce two three-month distance learning courses, which have been evaluated in Japan by the Computer Graphics Arts Society (CG-ARTS) since November 10th, 2000. From April, 2002, the distance learning system has been improved and renamed the "e-Learning CG Technique Master Courses".

2. RELATED WORK

The traditional CG learning methods are introduced first, and then previous Internet distance CG learning methods are described.

2.1 Trends and Categories in Computer Graphics Learning

The methods of teaching computer graphics can be classified into three categories (Suzuki et al., 1993). The first category is to do the programming tasks to understand the algorithms, which is called programming learning. The second one is to do the programming tasks from given programs of some basic algorithms, which is called semi-programming learning. The last one is to use some commercial products or applications for studying, which is called ready-program learning.

Suzuki et al. (1992) provided several programming assignments on the set operation algorithm, which is the foundation of solid modeling. These assignments included drawing a curved surface and some Pascal programming exercises (Suzuki, 1999). For Kondo and Ogata's (1993) example, they used the exercises for geometrical transformation and projection which are basic computer graphics technologies (Kondo, 2001). Mende and Fuchigami (1993) instructed students majoring in design, to do programming tasks to introduce their work, and hoped that this would allow them to understand the rules or sequences of a natural model for developing good design systems. Besides these, Suzuki (2001), Tsutsumi (2001), and Yamaguchi (2001) also provided some examples for teaching computer graphics.

For these examples, although it is necessary to provide other programming courses and the students should also spend some time for debugging, to develop some new computer graphics technologies, this kind of learning for fundamental algorithms is very important.

2.2 Computer Graphics Learning via the Internet

Via the Internet, teachers can not only use textbooks but also show slides, data sheets, pictures of real objects, or other media to the students. Moreover, since some programming languages, like Java, are designed for the Internet and enable users to use interactively, the courseware for computer graphics learning could be provided all over the world. For example, in the educational homepages provided by Nishita¹ (Nishita, T., 1998) and Kondo², there are some course notes, a computer generated image gallery, and links toward other related societies and researchers. Since they have some program examples, these homepages are similar to the semi-programming category. However, there are also some more complex exercises without any simple examples; this is more like the programming category.

Takahashi et al. (1996, 1997) created a homepage for computer graphics learning using HTML files, Java applets, example programs, and data. This course page can realize distance learning by using active courseware and can be executed on almost any kind of computer. Nagae and Iida (1997, 1998) proposed a project for learning descriptive geometry from the Internet. Lieu (1999) and Tan et al. (2001) also have reported on education for engineering graphics via the Internet. Chen et al. (1998) used VRML (Virtual Reality Modeling Language) models to demonstrate the process of model generation. Araki (1996) showed the results of CAD (Computer Aided Design) education for several universities via the Internet.

However, to date, there is no project or system that enables computer graphics technologies to be learnt efficiently and systematically using Java applets that can be used to understand algorithms for self-study via the Internet.

3. FEATURES OF JAVA COURSEWARE

The Java courseware has the following features:

- 1) By using Java applets, distance learning courses can be realized for interactive studying.
- 2) Students can control several parameters interactively by themselves, so that they can learn what they really want, in their own way. The system can give the students hints in the teaching material to match the study schedule by ranking their study progression automatically, so that the individual differences between the students can be decreased.
- 3) Since the Java applets can be executed on any Java enabled web browser, no extra special software is needed. Therefore, the students can not only study in the classroom but also by using a computer at home.

By utilizing 3D technologies, multi-dimensional information can be deeply understood, since the courses can be taught by using 2D and 3D technologies, static images, and interactive animation.

By using the WBT system, there are no temporal and spatial limitations for studying, once the students are able to connect to the Internet, they can study as much as they wish in their own time. The teaching material is developed by utilizing the Java applets and information technology (IT) according to their interactive involvement, so the students are able to get extra useful help for studying rather than being only able to use books, as before.

4. INTERNET DISTANCE LEARNING

4.1 Study Target

"Internet Correspondence Courseware for CG Standard Courses" is designed for teaching the required knowledge and technologies equivalent to the second level of "The Certification Test of Com-

¹ <http://nis-lab.is.s.u-tokyo.ac.jp/~nis/>

² <http://www.ke.ics.saitama-u.ac.jp/kondo/>

puter Graphics”, which is authorized by the Ministry of Education, Culture, Science, Sports, and Technology of the Japanese government. Therefore, helping the students to fully understand the contents of the main textbook, “Standard CG Textbook: Theory and Algorithm Version”, is the main target of the courseware development. To reach this target, we developed web teaching materials, using Java applets for the main part, to help students to study the high-tech contents easily. Hence, we focus on undergraduates and technical college students who wish to study more high-end computer graphics technologies.

4.2 Courseware Organization

The contents in part 1 of the courseware are “Computer Graphics and its Applications”, “Rendering”, “Digital Image Representations”, and “Image Processing”, and part 2 includes “2D Image Generation”, “3D Geometrical Transformation”, “Modeling”, “Computer Animation”, “Digital Image and Modeling”, “System”, and “History of Computer Graphics”.

4.3 Courseware Advantages

The advantages of our distance learning courseware are listed as the follows:

1) Web Based Training

- The students can plan their own study schedule and arrange their leisure time to enable them to study from anywhere via the Internet.
- The students can study the multimedia teaching material interactively since we use web technologies, i.e. HTML and Java, to design them.

2) Java Courseware

- Since a lot of interactive computer graphics courseware has been developed by Java programming language, by studying with these Java applets interactively, complex computer graphics algorithms can be easily understood. This will be described in the next section.

3) Rich in Study Support Mechanisms

- Each student’s studying status is controlled by the system, so that the mechanism to re-open the lesson where the student stopped last time, the mini-tests mechanism designed for checking the student’s level, and the monitoring mechanism for the students’ progression are offered. Moreover, the mechanism to send mail automatically to students to encourage them to study harder is also implemented.
- Since the students study by themselves via distance learning courseware, we also offer the following mechanisms: (1) useful FAQ (Frequently Asked Questions) pages to help the

students find solutions easily; (2) several on-line teachers to answer questions from the students and also check their homework and mini-tests; (3) the status of the students’ answers to the questions are also monitored by the system.

4) Course Notes

- The contents of the “Standard CG Textbook: Theory and Algorithm Version” are described by using only two dimensional representations just like other textbooks, which for some people makes the more difficult parts hard to understand. In the course notes (Computer Graphics Arts Society, 1999), much additional material are also provided, such as: (1) detailed descriptions and the derivation of the formulas; (2) the algorithms are explained by flowcharts; (3) the difficult contents are described more clearly by using several comparison tables, figures, and flowcharts.
- While reading the course notes, the students can use the Java teaching material to verify what they have learned through the results. This is a new method of learning by which we want to teach them.

4.4 Learning Sequence

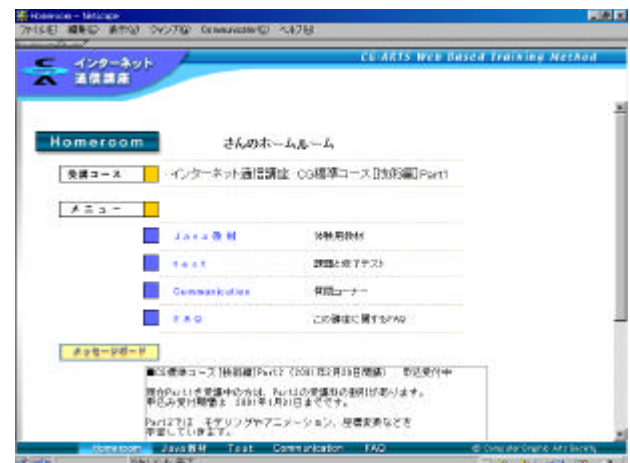


Figure 1: top page.

The “homeroom” page, shown in Figure 1, is the top page of the system and displayed every time the student enters the system. From the menu, the student can select “Java Courseware”, “Test”, “Communication”, or “FAQ” as he or she needs. The main part of our system, Java Courseware, will be described in the next section; other components are as follows:

- 1) **Homework** – for checking the study schedule and understanding, there are three parts to the homework in our system. This homework is referenced from the “Computer Graphics License Examination” and formed as mini-tests; the students can check their own problems or misunderstandings through this.
- 2) **Question** – if the student has some questions while studying,

he or she can find the proper answers from the “FAQ” page. If he or she is unable to find the proper answers from there or wishes to know more details about the questions, he or she can use the mailing mechanism on the “Communication” page and the questions will be answered by the on-line teachers.

- 3) **Final Exam** – when the student, after finishing the curriculum, has passed all three mini-tests, he or she is able to attend the final exam. If the student also passes this exam, he or she will get a certification.

5. JAVA COURSEWARE DEVELOPMENT

We have developed about 54 Java applets, which include ray-tracing, fractal, Bezier surface, radiosity, etc., as listed in the

appendix. To make the system easy to use for the students, the system development is described in the following sections.

5.1 Layout Design

The main window layout, which is shown in Figure 2 (b), has two parts: the left frame is a Java applet, and the right frame is the introduction and course manual. All of the courses in the system follow the same layout rules, so that the student can read and use these pages uniformly. The window size of the Java applets is fixed and uniform so that it is not necessary for the students to use the scrollbar. However, in the page for image processing, shown in Figure 3, since we wish to compare the original image with the processed one on the same page, the size of the frame which contains the Java applet is set to be twice the width of one image.

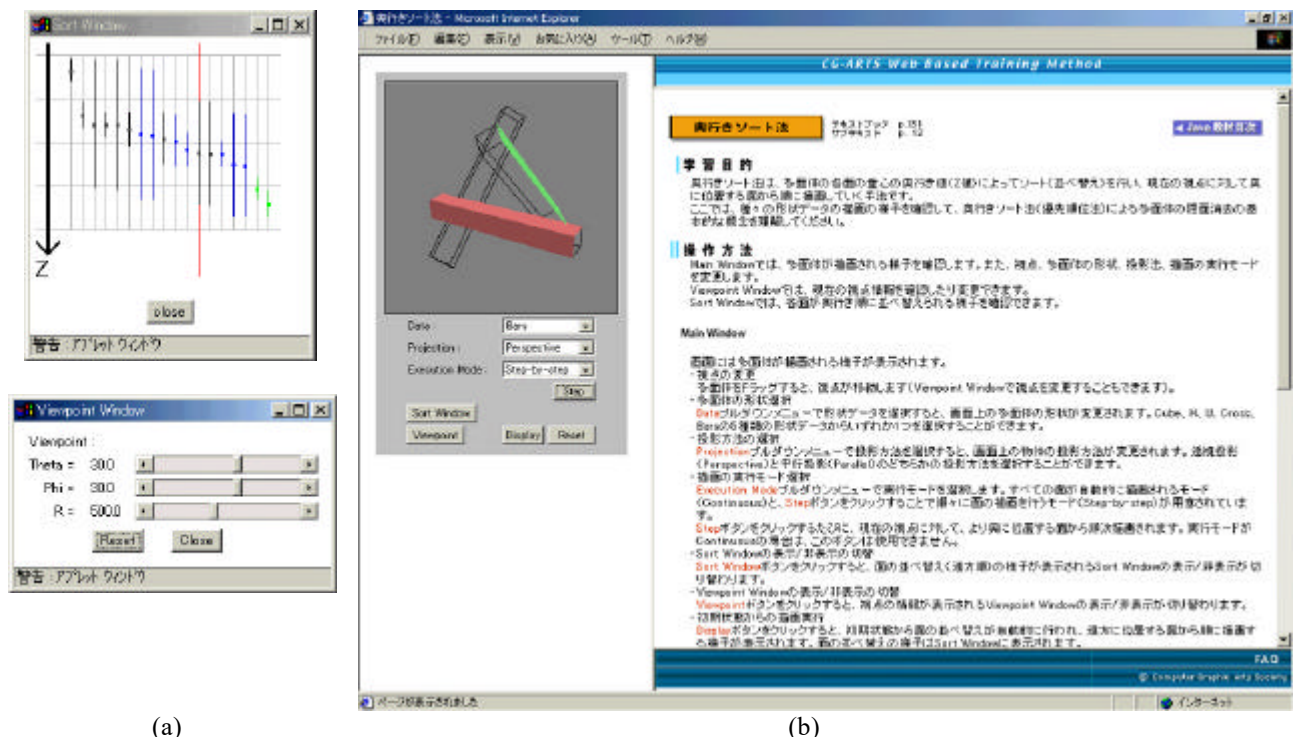


Figure 2: (a) control windows and (b) main window.

Figure 2 is the page for learning the depth-sort algorithm, which is also called the painter's algorithm. The polygons in Figure 2 (b) are converted into several vertical line-segments as shown in the upper window of Figure 2 (a), which shows the position of each polygon in the z axis. When the user moves the viewpoint, the length of the line-segment is changed and the line-segments are re-arranged automatically. The color (blue, green, and black) of the line-segment represents the rendered face (blue), the face that is going to be rendered (green), and the face that has no need to be rendered (black). Figure 2 (a) are the control windows of the Java applet in Figure 2 (b) for helping to show the information or control the parameters of the main window when needed.

Figure 3 shows an example of the page for image processing, which contains the sampling and quantization courses. For a

given image, by changing the level of quantization or the interval of sampling interactively, the basic algorithms of image processing can be easily understood.

5.2 Design to Improve Understanding

We developed the interactive Java courseware by utilizing the features of Java applets, and designed the system to enable the students to understand the contents easily and quickly. In this section, we use the example shown in Figure 2 to describe how it is used.



Figure 3: the applet for image processing.

For example, if a student wants to move the viewpoint, he or she can (1) use the mouse to drag the object in the main window interactively, or (2) use the scrollbar in the lower window of Figure 2 (a) to change the position of the viewpoint, or (3) enter the exact position of the viewpoint directly. Therefore, the user has many choices to control the Java applet to study.

For understanding the complex computer graphics algorithm, we develop the Java applets as following:

- 1) For the Java course example in Figure 2 for learning the depth-sort algorithm, there is a "step-by-step" mode. When the user sets the "step-by-step" mode "on", the system pauses after rendering one polygon when processing the algorithm. Hence, the user is able to see the algorithm progressively and understand it more easily.
- 2) To enable the student to understand the depth-sort algorithm easily, we use the "sort window", which is shown in the upper part of Figure 2 (a), to show steps in the algorithm processes. Each line-segment in the window represents a polygon in the main window, and the position of the polygon in the z axis sorts the line-segment from left to right. The length of the line-segment represents the range in the z axis in which the polygon exists. When the user moves the viewpoint, the length of the line-segment is changed and the line-segments are re-arranged automatically. The color (blue, green, and black) of the line-segment represents the rendered face (blue), the face that is going to be rendered (green), and the face which has no need to be rendered (black).

5.3 Lifting Windows

The windows shown in Figure 2 (a) are the "lifting windows" which are used to help the students understand computer graphics algorithms and display some useful information to them. These lifting windows are popped by the main window when necessary. If the student is using a computer with low screen resolution, the lifting windows might be hidden by the main window. Therefore, when the main window has finished the process, the open lifting

windows are re-popped again to make them shown.

5.4 CD-ROM Version

To enable the students to study off-line, we also deliver the CD-ROM version of the Java courseware to the students. Figure 4 is the applet for radiosity in the CD-ROM version of the Java courseware. Therefore, our system does not only teach the basic algorithms, but also some advanced computer graphics technologies.



Figure 4: the applet for radiosity in the CD-ROM version.

6. CONCLUSION

We have proposed a web-based training system and courseware for advanced computer graphics. All the contents have been designed to be included in two three-month distance learning courses, which have been evaluated and have served in Japan from November 10th, 2000. Since we published the courses on the Internet, more than 250 students have registered and studied, and we have also got many good responses and suggestions from other teachers and students all over the country. These have enabled us to improve the WBT system to provide more useful courses and to satisfy the students' wishes.

From the experimental development of this WBT system, we hope to build a more efficient educational system for students. The responses from the students are also valuable for our analysis of the learning system and to help us improve the Java courseware to provide a more powerful system in the near future.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to express our appreciation for the help given by Dr. Yoshinori Mochizuki, Mr. Bing-Yu Chen and the students of Nishita Lab. of the University of Tokyo, Ohno Lab. of Keio University, Takai Lab. of Hokkaido University, Miura Lab. of Shizuoka University, and Kondo Lab. of Saitama University in the development of this Internet distance learning system

REFERENCES

- Araki, T., 1996, "Basic Education of CAD/CAM through Multimedia and Network Aid", *Proceedings of 7th ECGDG*, pp. 534-538.
- Computer Graphics Arts Society, 1999, Computer Graphics Course with the WBT.
- Chen, A., Feng, G., and Zuo, Z., 1998, "The Application of the Second Web Remote Education", *Proceedings of 8th ECGDG*, pp. 539-541.
- Kondo, K., 2001, "CG/CAD Course at the Department of Computer Science, Saitama University", *Journal of Graphics Science*, Vol. 35, No. 1, pp. 22-23.
- Kondo, K. and Ogata K., 1993, "Simple Graphics Tool Xgt on X-Windows and Education of Computer Graphics for Beginners", *Proceedings of JCGE*, pp.169-173.
- Lieu, D.K., 1999, Using Interactive Multimedia Computer Tutorials for Engineering Graphics Education", *Journal for Geometry and Graphics*, Vol. 3, No. 1, pp. 85-91.
- Mende, K., Fuchigami, K., 1993, "The Education of Computer Graphics in Basic Design", *Proceedings of JCGE*, pp.148-153.
- Nagae, S. and Iida, N., 1997, "A Concept on a New Education System by Internet Oriented Descriptive Geometry", *Proceedings of the 3rd China-Japan Joint Conference on Graphics Education*, pp. 234-238.
- Nagae, S. and Iida, N., 1998, "A Case Study for The Internet Descriptive Geometry Education System", *Proceedings of the 8th ECGDG*, pp. 575-579.
- Nishita, T., 1998, Electronic Textbook on Computer Graphics.
- Suzuki, H., 2001, "Computer Graphics Course at Department of Precision Engineering, The University of Tokyo, *Journal of Graphics Science*, Vol. 35, No. 1, pp. 24-25.
- Suzuki, K., 1999, "CG Laboratory Course at the University of Tokyo(1) Geometric Information processing by Pascal programming", *Journal of Graphics Science*, Vol. 33, No. 3, p. 46.
- Suzuki, K., Suzuki, H., Yamaguchi, Y., Nagashima, S., and Nagano, S., 1993, "Integrated Descriptive Geometry and Computer Graphics Course at the University of Tokyo 1992 Update", *Proceedings of JCGE*, pp. 151-156.
- Suzuki, K., Yoshida, K., and Kajiyama, K., 1993, "Restructuring of Graphics Science/Engineering Design and Drafting Courses at Japanese Universities - Based on Implementation of CG/CAD", *Proceedings of the JCGE*, pp. 17-32.
- Takahashi, M., Kondo, K., and Sato, H., 1996 "A Remote Education System of Computer Graphics Education using Java", *Proceeding on The 7th International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry*, pp. 608-612.
- Takahashi, M., Sato, H., Kondo, K., and Shimada, S., 1996, "A Manual to Teach Computer Graphics by JAVA", *Proceedings of the 7th ECGDG*, pp.608-612.
- Tan, J., Zhang, S., and Lu, G., 2001, "The Graphics Engineering Network Curriculum: Develops and Practices", *Proceedings of the 5th Japan-China Joint Conference on Graphics Education*, pp. 179-183.
- Tsutsumi, E., 2001, "Computer Graphics Course at the School of Social Information Studies", *Journal of Graphics Science*, Vol. 35, No. 1, pp. 26-27.
- Yamaguchi, Y., 2001, "A Computer Graphics Course at Department of General Systems Studies in the University of Tokyo, *Journal of Graphics Science*, Vol. 35, No. 1, pp. 28-29.

APPENDIX

The prepared Java applets in the system are divided into 8 chapters, the followings are the list.

- 1) **Rendering** - painter's algorithm, z-buffer algorithm, scan-line algorithm, ray-tracing, ambient light, diffuse reflection, specular reflection, transparency/refraction, radiosity, Gouraud shading, Phong shading, shadows of parallel or point light source, texture mapping, solid texturing, bump mapping, and environment mapping.
- 2) **Digital Image Representations** - sampling, quantization, Additive color mixing, and Subtractive color mixing
- 3) **Image Processing** - contrast transformation, gamma correction, segmentation, halftone approximation, smoothing, mask, overlay, chroma key, hi-contrast effect, posterization, nega effect, solarization, emboss, mosaic, and blur.
- 4) **2D Image Generation** - 2D geometrical transformation, line drawing, painting, and antialiasing.
- 5) **3D Coordinate Transformation** - 3D geometrical transformation, projection, and coordinate system.
- 6) **Modeling** - CSG (constructive solid geometry), sweep, curved surface, parametric curve, parametric surface, fractal, and meta-ball.
- 7) **Computer Animation** - display objects and viewpoint, key-frame, morphing, dynamics, and FFD (free-form deformation).
- 8) **Digital Image and Modeling** - design and mathematical expressions

About the Authors

Tomoyuki Nishita, Dr., is a Professor of Complex Science and Engineering Department at the University of Tokyo. His research interests are Computer Graphics including Lighting Models, Hidden-surface Removal, and Antialiasing. He can be reached by e-mail: nis@is.s.u-tokyo.ac.jp, or through postal address: 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033, Japan.

Kunio KONDO, Dr., is an associate professor of the Department of Information and Computer Sciences at Saitama University. His research interests are non photorealistic rendering, interactive modeling, and kansei information processing. He can be reached by e-mail: kondo@ke.ics.saitama-u.ac.jp.

Java を用いたコンピュータグラフィックステキストの製作 *

1 V-7

高橋雅博[†] 佐藤尚[‡] 近藤邦雄[§] 島田静雄[‡]埼玉大学[§]

1 はじめに

コンピュータグラフィックスは様々な分野へ応用されており、そのため多く人がCGの技術を必要としている。従来、そのような人たちは学習のために本やCG画面といった文章や写真・映像などの一方通行のメディアを使っている。しかし、従来の方法では作成のための工程や処理のためのアルゴリズムを理解するといったCGの本質的な事項の理解は難しい。このため学習者が自分自身にあった方法でやることができたり、アルゴリズムのような処理の流れを見せることができることが重要である。

このような処理の流れやアルゴリズムのような概念的なものをよりわかりやすく学習できることがCGの理解や学習には役立つと考え、本研究ではJava [1-3] を用いて作ったCG用のテキストを製作し、長所や短所を探りどの程度効果があるのかを分析する。

2 CG テキストの目的

テキストの環境を構築するために念頭にいたことは以下のようなことである。

- わかりやすいこと
- 多くの人間に同時に使うことが可能なこと
- 使用する計算機による制約がないこと
- 作成したものを公開することが容易なこと
- 学習者それぞれが自分のペースで進めることができること

3 CG テキストの設計

そこで、図1のようなシステムを想定する。これはネットワークを介して複数の様々なコンピュータが接続しているものを考え、一つないしはそれ以上の情報を蓄積したサーバからCGテキストのデータを取得する。この際の要求は学習者の要求によってなされるようにし、他の状況に左右されないようにする。

この設計を満足するため、システムの作成にWWW (World Wide Web) とJavaを用いた。WWWはHTML

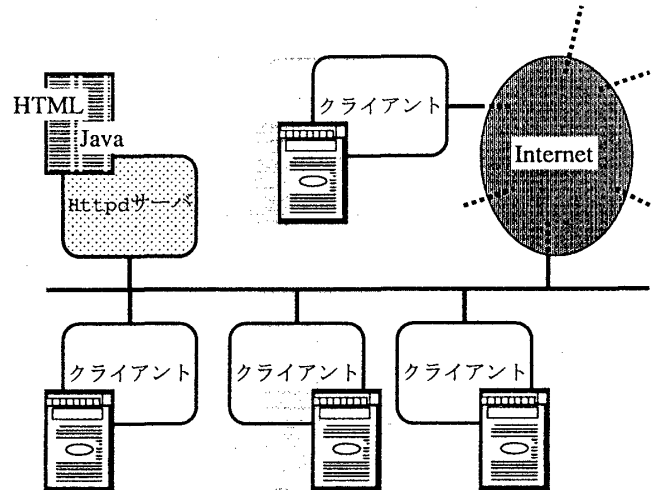


図1: ネットワーク公開のイメージ図

(Hyper Text Markup Language) によって記述され、文章及び画像などの情報を結合し呼び出すことができる。特徴は、テキストとアンカーで表されているため単純であること、ネットワークでを使用することを念頭にしているため情報を広域的に共有することが可能である。しかし、WWWはあくまでも文章や画像といったものを扱うためのものであり、CGのような3次元を扱ったり動画を扱うことの多いものに対応するには柔軟性に乏しく、通常の本の域を出るものといえない。

JavaはSun Microsystemsが開発したオブジェクト指向言語でありCやC++のような文法規則を持つ。しかし、多重継承やポインタは持たず、他にSmalltalkのような仮想機械で動くこと [2] やAWTの部分にはTcl/Tkのような仕様が採り入れられており、他言語の特徴も見られる。最大の特徴はネットワーク上で使うためのクラスライブラリーが用意されており、WWWとの関係がしやすく、CやC++同様かそれ以上に開発の効率は高い。このプログラム言語であるJavaを用いることにより、応答性や柔軟性のある説明を含んだCGテキスト (図3参照) を作成することが可能になる。

なお、基礎となるCGテキストの内容 (図2参照) は「コンピュータグラフィックス技術系CGテキストブック」 [4] をもとにし、内容中の図表の一部についてJava言語のWWW上で動くプログラムであるJava Appletで置き替える。

*Computer graphics textbook using by Java

[†]TAKAHASHI Masahiro : masa@ke.ics.saitama-u.ac.jp[‡]Sato Hisashi, Kondo Kunio, Shimada Shizuo[§]Saitama University

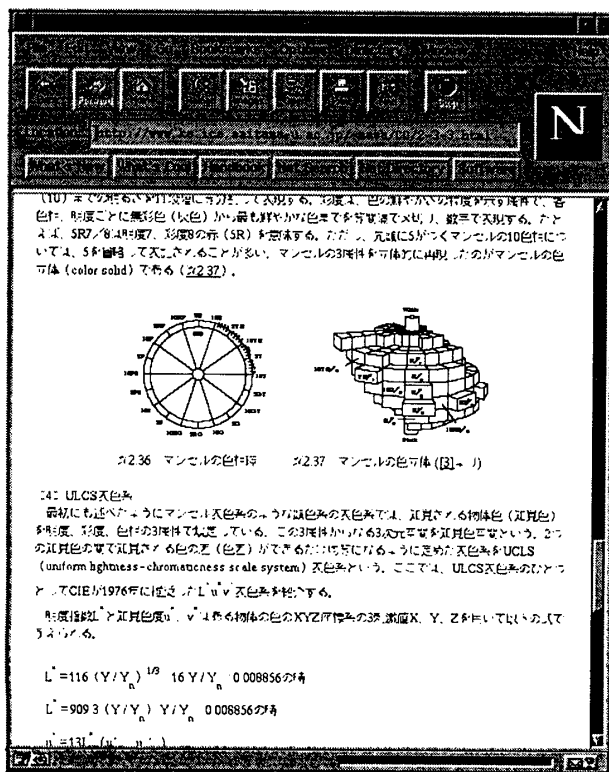


図 2: CG テキストの画面

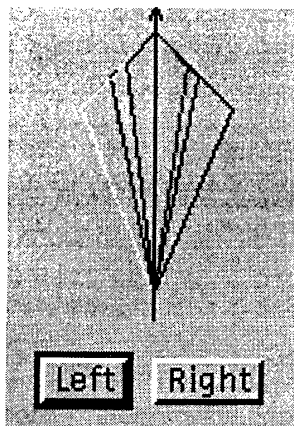


図 3: Java Applet の例

図3はJavaで書いたAppletの例である。これは色彩モデルの六角錐がZ軸回りに回転するものである。実際の図では別の角度から見るとか色座標を調べるといったことはできないがJavaを使えば可能になる。このため、図表の代わりに用いることにより、的確でよりわかりやすくCGテキストが作成することができる。このようなJavaを応用して図表の代わりとするのに適していると考えられるものは以下のようなものが考えられる。

- 3次元モデルなど多次元のモデルを使用する時
- 処理のアルゴリズムなど概念的で図表だけでは伝わりにくいもの
- アニメーションのような動きのあるもの

4 まとめ

今回CGのテキストをWWWとJavaの環境を用いて作成した。作成する過程で以下のような問題点が浮かび上がった。

- HTMLの表現力と表示するブラウザとの依存性の問題

ブラウザによって表示できるHTMLの内容に違いがあるため、対応していないブラウザで見た場合、数式や表など重要な意味を持つタグが形をなさず意図と反する表示になってしまう。また現在Javaをサポートしているブラウザも少なく、長所を生かし切れない。

- Java言語の仕様が α 、 β とあり、将来的に拡張される見込みであること

Java言語が世の中に出てから間がないこともあり、言語仕様が固まっておらずこの先将来も変更される可能性が高い。そのため作られたJava Appletに互換性がない場合、移植の作業が必要になると思われる。

今後の展望としては 完成後公開して、どの程度の効果のあるものなのかを評価を行なう予定である。

この論文中のCGテキストの文章や図は「コンピュータグラフィックス技術系CGテキストブック」[4]を使用した。このテキストの作成に援助いただいた画像情報教育振興協会の方々に深く感謝する。

参考文献

- [1] Sun Microsystems Inc. *The Java™ Language Specification*, Mar 1995.
- [2] Sun Microsystems Inc. *The Java™ Virtual Machine Specification*, Oct 1995.
- [3] Arthur van Hoff, Sami Shaio, and Orca Starbuck. *HOOKED on JAVA™*. Addison-Wesley Publishing, 1996.
- [4] 技術系CG標準テキストブック編集委員会. コンピュータグラフィックス 技術系CG標準テキストブック. 財団法人 画像情報教育振興協会, 1995.

ワイヤフレームおよびサーフェス模型の制作と図学演習

近藤邦雄

埼玉大学 工学部 情報システム工学科

1 はじめに

本報告は、図学教育への模型の応用について述べる。この報告は文献 1,2 に基づいたものである。なお筆者は現在情報関連学科に所属しており、文献 1,2 で行った教育は現在実施していない。現在は CAD システムを用いた実体モデルの製作を行う教育を行っている。この教育は、CG や図学における 3 次元物体の取り扱いが基礎となっている。

本報告では、模型を製作することとそれを用いた立体の理解と表現について述べる。図を描くことは図自身を目的とすることもあるが、何かの目的のために行うこともある。立体形状の性質を理解したり、立体の処理を考えたりすることもある。このような場合には、図でなく模型を用いてもよい。本文で述べる模型は、スタディモデルの領域であり、設計者の頭に浮かんだイメージを確認するために外部に取り出し、3 次元形状として表現したものである。これによって頭に描いたイメージやアイデアが実際に可能かどうかを検討し確認することができる。これを繰り返すことによって思考を発展させることができる。

本文では、2 節でワイヤフレーム模型の製作と図学教育への応用、3 節でサーフェス模型の制作と図学教育への適用例について述べる。

2 ワイヤフレーム模型の製作と応用

2.1 ワイヤフレーム模型の製作

「ねじりっこ」というビニル線材を使用して立体形状を製作する。この材料は幅 5 ミリ程度の帯状の中心に針金が包み込んである。このために自由に折り曲げることができる。これは骨組みだけであるので、スケルトンモデルつまりワイヤフレーム模型である。この材料を利用した模型の機能的な特徴は、(1)辺の接続を自由に作成できる。(2)各辺の両端の点のまわりに自由に動かすことができる。(3)各辺の形を自由に変えることができる。(4)各辺の長さを自由に縮小できる。

図 1 に立方体のワイヤフレーム模型の作成手順を示す。左から順に(1)材料を切断した状態を示す。5 辺分の長さが 2 つと一辺分の長さが 2 本である。両端に 20 ミリ程度の余分をとり、各辺の長さのところにデバイダなどで小さな穴をあける。この穴が両端の部分差し込む場所となる。(2)正方形となる部分が 2 つある。(3)2 つの正方形を上下になるよう

に組み立てる。2 辺分の部材も同様に端の部分に穴に入れて組み立てる。(4)それぞれの辺を直線に伸ばしたり、平行にしたり、直角にしたりして、立方体らしくする。

このようにして製作した模型は、折りたたむこともできるし、辺の長さを変えたりして、形を変えることができることからバリエーション略して「バリトン」と名づけた。

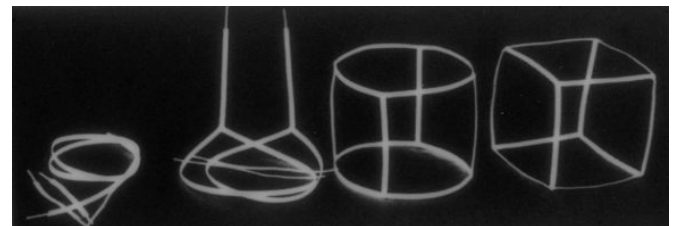


図 1 モデルの製作

2.2 図学教育への応用

ここでは、図学教育において演習をおこなった(1)正多面体、半正多面体の作成と変形、(2)双対多面体の作成、(3)折りたたみ構造設計への発展について述べる。

(1) 正多面体、半正多面体の作成と変形

[手順]

1. 正多面体などを観察して、必要な部材を整理する。
2. ビニル線材を必要な部品に切り分けて、組み立てられるように加工する。
3. 接続情報を考えながら、線材を組み立てる。
4. 線材の形を整えながら、多面体とする。
5. 線材を変形させて、新たな多面体とする。

このような作業によって、図 2 のような形状が観察できる。この例は、左の半正多面体の三角形を縮退させて、頂点とすると、右に示す 12 面体となる。このように、スケルトンである線材を変形することによって、多面体の関係を理解できる。

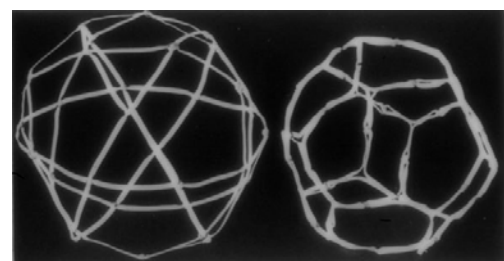


図 2 バリトンの変形

(2) 双対多面体の作成

双対の関係を理解させるために、正6面体と正8面体の例を示して、それらが組み合わさっている模型を制作する。このとき、面と頂点の数が互いに入れ替わっており、辺の数は同じとなるというような位相的な性質を理解できる。

(3) 折りたたみ構造設計への発展

変形が容易な線材を利用しているので、省スペース化などの設計への応用を考えさせることができる。

3.3 ワイヤフレーム模型の有用性

- (1) 作りながら立体を動かしたり観察したりすると、立体の性質がわかるようになる。
- (2) 半正多面体を変形させることによって、一群の立体を体系付けて理解できる。
- (3) 組み合わせると相互関係が理解しやすい。
- (4) 折りたたんで保存ができる。

以上のような有用性がワイヤフレーム模型にはあるので、講義や演習で製作させることによって、形状理解が深まると考える。

3 サーフェス模型の製作と応用

3.1 サーフェス模型の制作

ケント紙やプラスチック板を用いて、正多角形を作図して切断する。これをセロテープでつなぐことによって多面体を製作する。辺のまわりに自由に回転するので、いろいろな多面体を構成できる。この模型の機能的特徴は(1)面の接続を自由に選ぶことができる。(2)面の形を自由に選ぶことができる。(3)面は辺のまわりに自由に勝て印できる。(4)分解して何度でも使用できる。

3.2 図学教育への応用

(1) 正多面体、半正多面体の空間埋め尽くしの発展と透視図描画

〔手順〕

1. 各種の正多面体や半正多面体を活用して、立体形状を考える。
2. 立体を空間に配置しながら、構想した立体形状を構成する。
3. 視点を変えて、さまざまな写真を撮影する。
4. 写真を下図として、透視図や完成予想図を描画する。

図3にその一例を示す。このような例からわかるように、写真を下図にしながら、詳細は図法を用いて作図することもできる。模型を通じて空間的な把握が進むだけでなく、図的表現法も習得できる。

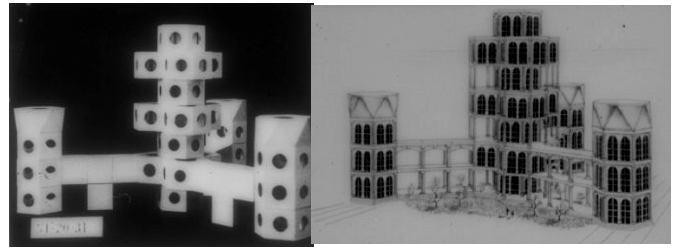


図3 模型と透視図

(2) 鉄骨構造の理解

〔手順〕設計図面からサーフェス模型の制作

1. 三面図を見て、部材の種類、形、数量を調べる。
2. 部材に番号をつけ、形を図に書く。
3. 部材を切り分ける。
4. 部材をテープで接着し、小ブロックにする。
5. 小ブロックをテープでつなげて、全体を
6. 立体写真にして記録する。

図4にその一例を示す。これらは、ビルの鉄骨の一部と橋梁の一部を設計図面から模型に組み立てた学生の作品である。

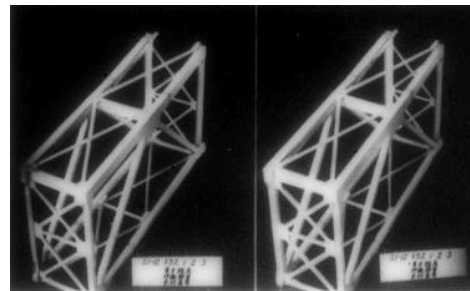


図4 鉄鋼構造のモデル

3.3 サーフェス模型の有用性

- (1) 空間的に分かりにくい形状を理解できる。
- (2) 半正多面体を変形させることによって、一群の立体を体系付けて理解できる。
- (3) 組み合わせると相互関係が理解しやすい。
- (4) 折りたたんで保存ができる。

以上のような有用性から3次元形状の理解を助ける模型製作課題を提案していくことが望まれる。

4 まとめ

本報告では、ワイヤフレームとサーフェス模型の製作とその図学教育への適用について述べた。そして教育例を示して、模型を図学教育へ適用することの有用性を示した。

参考文献

- (1) 近藤邦雄、田嶋太郎：モダングラフィックス、コロナ社、1982
- (2) 近藤邦雄、田嶋太郎、宮崎興二、斎藤克巳：Variable Skeleton による多面体の変形、日本図学会大会、1979.5

作品製作を中心とした CG プログラミング教育

近藤 邦雄

埼玉大学工学部情報システム工学科

要旨: 埼玉大学工学部情報システム工学科におけるコンピュータグラフィックス教育について報告する。本文では、2001 年に第 26 回図学教育研究会で報告した CG・CAD 教育の報告をもとに、コンピュータグラフィックス教育の改善をおこなった結果を述べる。本発表における「作品製作」とは、「意味ある、または意図した表現を行うこと」とする。つまり造形やデザインにおける高度な独創性を望むのではなく、学生全員が全く同じ画像を提出するということをなくし、自らが考えた画像を製作することを目指した。この教育によって、従来の CG 教育に比べて CG アルゴリズムに興味をもってプログラム開発ができるようになった。

Keywords: CG 教育、プログラミング、アルゴリズム理解、作品製作

1 はじめに

埼玉大学工学部情報システム工学科におけるコンピュータグラフィックス教育について報告する。2001 年に第26回図学教育研究会[16]で報告した CG・CAD 教育の報告[17]をもとに、コンピュータグラフィックス教育の改善をおこなった結果を述べる。本発表における「作品製作」とは、「意味ある、または意図した表現を行うこと」とする。つまり芸術やデザインにおける高度な独創性を望むのではなく、学生全員が全く同じ画像を提出するという事態をなくし、自らが考えた画像を製作することとする。

本文では、まず2節では図学関係者の多くの報告例から、CG 教育を整理する。そして3つに分類した方式の内容と特徴について述べる。CG 教育は、CG そのものの教育のほかにも CG を利用した図学教育もみられるが、本文では、CG そのものの教育例について述べる。

そして第3節では、埼玉大学情報システム工学科における CG・CAD 教育について述べる。本学科カリキュラムのなかで、図学に関連する科目は3年生において画像処理、パターン認識、コンピュータグラフィックスがあり、4年生では CAD 工学がある。筆者はこのうちの CG と CAD を担当している。図学教育研究会[17]では以下の項目を中心に説明した。(1)CG 教育の目的、CG 教材の作成と内容、教材データの共同開発、講義用プレゼンテーション資料、Web 上の教科書、Java を用いた CG 演習、演習課題と提出例について紹介した。これらの CG 教育の課題について述べる。

そして、第4節でそれを改善するために 2003 年度に実施した作品製作を中心とした CG 教育の内容と学生の提出物とその評価について述べる。

2 コンピュータグラフィックス教育の分類

CG 教育に関連する研究は 70 年代よりいろいろな会

議で発表されている。図学研究 20 周年特集号、30 周年記念号にはいくつかの教育例が紹介されている。図学教育の中に CG 教育を取り入れようとする例や CG を利用して図学教育を進めようとする例が紹介されている[14]。1993 年の日中図学国際会議において、鈴木らは日本の CG 教育を紹介している[5]。ここでは CG 教育の方式を3つに分けている。その1は、アルゴリズムの理解のためにプログラムを作成して、画像を作成する CG プログラミング型教育、その2は、基本的アルゴリズムのプログラムを与えて、それらを利用しながらプログラミングするセミプログラミング型教育、その3は市販ソフトなどアプリケーションを利用したレディプログラム型教育である。

2.1 プログラミング方式

鈴木らによる東大における教育例[6]は、ソリッドモデルの基礎となる集合演算のアルゴリズムを紹介であり、その Pascal プログラムを作成させる課題、曲面の作図の課題などがある[3][6]。近藤らによる埼玉大学における教育例では、CG の基礎技術となる図形変換、投影変換などを中心とした課題を扱っている[2]。これらに類似の教育内容[16]は、東京大学工学部、教養学部、大妻女子大学などでも実施している。淵上はコンピュータを利用したデザインコースの CG 教育にプログラム作成を伴う作品制作課題を与えている[7]。

このような例では、プログラム言語の教育が先立つて行う必要があること、デバックなどに演習時間が費やされてしまう場合もあることなどの欠点があるが、CG の新たな技術を開発する上でも基礎技法をこのような教育で十分理解させることも大切である。

2.2 セミプログラミング方式

柴田による大阪府立大学の例は、教師が必要なライブラリを与え、学生はそのライブラリのソースプログラムを利用しながら、プログラムを作成して、CG 画像を描く教育である[8]。基本的アルゴリズムはソースプログラ

ムを読むことといえる。これをどのように準備するかが課題である。このような目的のために、統一されたソフトウェアがCG-ARTS 協会の教材セットに含まれている[11]。このような多数のプログラムを利用した教育方法の確立が望まれる。

2.3 レディプログラム方式

長島らによる教育例[1]、近藤らによる教育例[17]は、ソリッドモデラのシステムを利用する教育例である。投影法や、集合演算のアルゴリズムを十分知らなくても、ライブラリの利用とパラメータを入力することによって形状を生成することができる。意図した形状や画像が生成しやすいが、処理内容がブラックボックスになってしまふという欠点があるので、オペレーションの教育にならないように教育方法に工夫が必要である。

鈴木らによる「アパレルデザイン教育におけるCAD,CG の活用」における教育では市販のソフトウェアを利用して、アパレルデザインに使用する画像の制作を行っている[4]。また、長江らによるアーティスト支援CG ツールによる教育が報告されている[9]。面出し、グラフィックデザインへの適用として作画システムなどを利用した教育を行っている[7]。情報伝達するというグラフィックデザインの目的を達成するために必要な技術を利用しながら、CG 画像の制作をしている。堤は自作のソフトウェアを用いて被服の展開図の作成に関する教育を行っている[10]。

新津[19] 斎藤[20]は、市販のソフトを用いた 3 次元形状製作や CG 画像製作の教育をおこなっている。市販のソフトウェアが充実してきているので、これらを利用した CG 教育の目標を定めること、方法論を確立することが望まれる。

3. 2002 年度までの CG 教育

3.1 コンピュータグラフィックスの講義内容

教育目的は、CG アルゴリズムの理解であり、情報処理技術者としてCGの基礎に習熟することである。試験は行わず演習課題を出し、CG アルゴリズムを理解するための Java プログラム作成と Web ページ作成により採点を行っている。講義内容はおよそ以下のとおりである。このほかに CG ビデオなどを見せたりしている。

- 第1回 コンピュータグラフィックスとその展開
- 第2回 2次元画像生成: デジタル画像とその表現
- 第3回 2次元画像の生成と描画
- 第4回 モデリング 基本形状の記述/立体の表現法
- 第5回 曲線・曲面
- 第6回 自然物のための表現法
- 第7回 3次元座標変換 3次元幾何変換/投影変換
- 第8回 レンダリング 写実的表現法
- 第9回 シェーディング/スムーズシェーディング

- 第10回 マッピング/ポリウムレンダリング
- 第11回 コンピュータアニメーション基礎技術
- 第12回 デジタルイメージと造形

3.2 CG 教科書とプレゼンテーションツールの活用

教科書は、筆者も編集委員となっている画像情報教育振興協会(CG-ARTS 協会)編の「技術編 CG 標準テキストブック」[11]を使用している。なお、この協会はCG 検定試験などを実施しており、本書も広く利用されている。また、講師用手引書も発行されており、教科書の解説や画像、プログラムなどが CD-ROM に収められている。筆者はこのCD-ROMに掲載されている画像などを利用してプレゼンテーションツールであるパワーポイントで講義資料を整理している。この資料は全部で数百枚にもなる。プレゼンテーションツール活用した結果、教材の管理、製作が容易であること、CG 作品の質を保ったまま提示可能であること、使用機器はPCのみでよいことなど教育を進める上で効率良くなった。しかし、一般に言われるように、講義の進行が速い、またメモをとるためには、室内が暗いなどという欠点があった。

3.3 Web 上の CG 教材

ここでは、電子的な教材とそれを利用した演習課題について述べる。学生の演習や自習を支援するために電子教材は、CGテキスト、C言語によるCGプログラム、Java による対話型教材を準備している。Java アプレットによる対話型演習は、現在のところ一部分であるが、CG アルゴリズムを理解する上で大切な項目を公開している。図1にBezier 曲線の教材 Web ページを示す。教科書は、CGARTS 協会との共同で試験的に作成したテキストの Web 版である。CG プログラムは、演習を助けるために用意した C 言語のプログラム例である。Java による対話的演習は、アプレットを使うことができるようになっている。

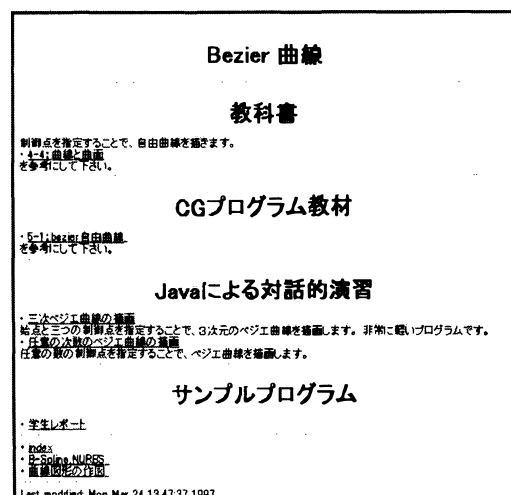


図1 CG 教材の Web ページ例

3次ベジェ曲線の描画

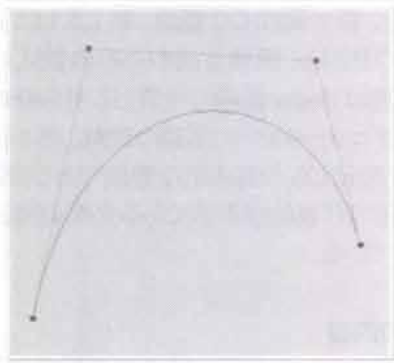


図2 Bezier 曲線の描画

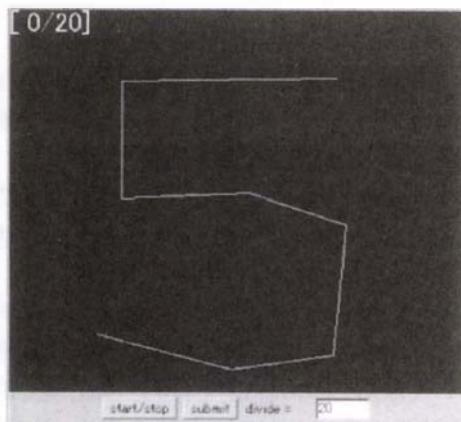


図3 キーフレームアニメーション

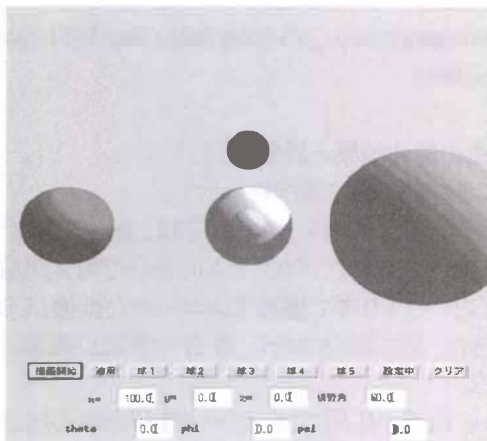


図4 光線追跡法

3.4 演習課題

CG のアルゴリズムを理解するための演習内容は、Java を利用して CG 画像を制作することである。本学科では、C 言語を中心にプログラミング教育を行っている。そのため、CG の講義を受講する3年の学生は Java プログラミング経験がない。そこで、教材 Web ページには、Java プログラミング入門、Web 上の Java による CG プログラミング、有用なページの調査と教材ページへ

のリンクを紹介することにより、プログラミング言語の教育を省略している。Java を利用した初年度の 1999 年度は課題数が多く、レポート提出者も講義出席者の半数程度であった。言語教育なしであったことを考慮すれば、かなり熱心に学習したといえる。2000 年度からは課題数を減らし、重要と思われる課題に限定した。2002 年度の演習課題は、(1) Bezier 曲線またはキーフレームアニメーション、(2) 光線追跡法による球の描画である。このほかにアフィン変換のアプレットを演習中に活用して、アルゴリズムの理解を支援した。

3.5 提出物の評価と問題点

各課題の提出物は、Web ページとアプレットで構成することとしている。以下に各課題の特徴と評価、その課題を示す。

1. Bezier 曲線の作図: 次数の変更、セグメントの接続、開閉の曲線、太さ変化、データの編集などを課題とした。(図2)
2. キーフレームアニメーション: 複数の図形の利用、対話的な図形編集、対応点異なる図形の利用などを課題とした。(図3)
3. 光線追跡法: 与えた単純なアプレットをもとに、1 個の球の描画、複数の球の描画、視点変更、拡散反射・鏡面反射率の変更、透過・屈折、反射率の変更、影の描画などを追加することを課題とした。(図4)

これらの課題は、アルゴリズム理解のためのプログラム開発が中心であり、与えられた参考プログラムをもとに機能の追加をしていくことを行ってきた。図2から4に示すような画像を作成するだけになり、現在活用されている技術との関係が理解されず興味がわからなかったり、追加機能に各自による独創的な考えが見えなかったり、コピーをしたりすることもあった。

4. 2003 年度の CG 教育

本講義では、学生自らが「表現したいこと」を考え、与えられた手法を理解して使いこなすことによって、表現意図を画像に表すができるような演習も行うこととした。この演習を通じて創意工夫、創造性、競争心の育成をめざした。

4.1 コンピュータグラフィックスの講義シラバス

2002 年度の内容をすべて講義すると、演習を実施する時間が取れないので講義内容を削減した。また、学生が CG に興味を持ちより深い学習を自ら行う姿勢を身に付けてもらうために、各自が作品を製作して、学生同士で相互評価することを実施した。また、演習室において、各学生の PC 画面に講義資料を提示するシステムを利用した。これによって、暗い教室でメモが取れないという欠点を解消した。

講義内容は以下のとおりである。URL 参考:

<http://www.ke.ics.saitama-u.ac.jp/kondo/lect/cg/cg.html>

- 第 1 回 コンピュータグラフィックスとその展開 講義
- 第 2 回 数式がつくるかたち 講義と演習
- 第 3 回 数式がつくるかたち 演習
- 第 4 回 レポート提出、学生の相互評価
- 第 5 回 Bezier 曲線 講義と演習
- 第 6 回 2D キーフレームアニメーション 講義
- 第 7 回 2D キーフレームアニメーション 演習
- 第 8 回 投影変換と多面体表現 講義と演習
- 第 9 回 光線追跡法 講義
- 第 10 回 光線追跡法 演習: プログラム理解
- 第 11 回 光線追跡法 演習: 表現対象の形状生成



図 5 数式がつくるかたち

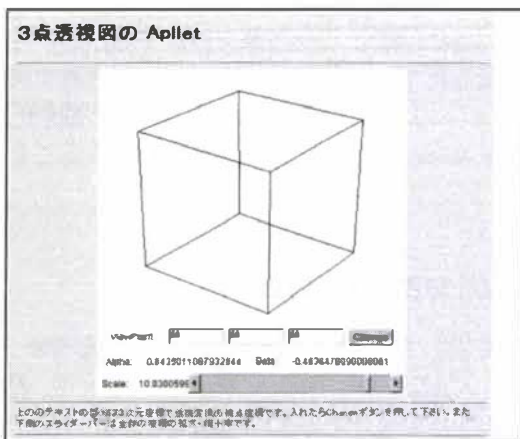


図 6 投影法: 透視投影

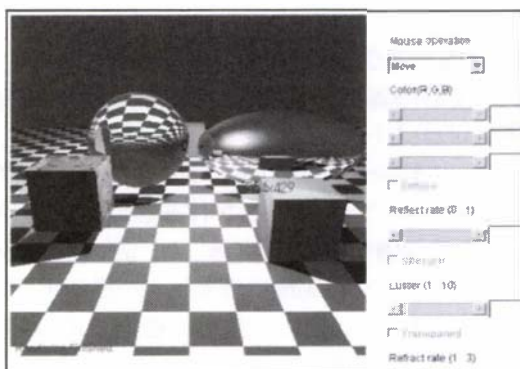


図 7 光線追跡法

第 12 回 光線追跡法 演習

第 13 回 最近の CG 技術 講義 学生の相互評価

大きく分けると、第 1 回は CG 概説、第 2,3,4 は Java プログラミングの理解と、画像生成のための数式の役割の理解、第 5 回は Bezier 曲線の性質と応用分野の理解、第 6,7 回はアニメーションの基礎の理解、第 8 回から 12 回では、3 次元 CG の基本的な理論である投影とレンダリング技術の代表的な手法である光線追跡法の理解を目的としている。

4.2 演習課題の内容

(1) 数式がつくるかたち: 2 次元画像の色を数式によって変化させ、意図した画像を生成することを目的とした。この課題は東京工科大学において演習で使用されているものである。(図 5)

URL: <http://www.teu.ac.jp/media/~tagiru/mat>

(2) Bezier 曲線の作図: 世の中にみられる図形や自らが考えた曲線図形のデータ作成によって、Bezier 曲線の有用性の理解を目的とした。(図 2)

(3) キーフレームアニメーション: CG における動きの表現の基本技術を理解し、複雑な図形や動きの生成へ発展させることを目的とした。(図 3)

(4) 投影変換と多面体: 与えたプログラムを用いてデータ錯視をすることによって、投影変換の考え方と形状生成について理解を深めることを目的とした。(図 6)

(5) 光線追跡法: 3 次元 CG におけるレンダリング手法と 3 次元シーンの製作について理解することを目的とした。(図 4、図 7) 参考 URL:

<http://www.geocities.co.jp/SiliconValley-Bay/1981/java/3dcg/index.html>

4.3 学生の製作結果と評価

図 8 に 5 つの課題の製作物を示す。

(1) 「数式がつくるかたち」においては、Java プログラミング入門と与えられたプログラムに各自で考えた数式を加えるというやり方で極めてユニークな画像が多数製作できた。同じ画像はなく、各自の意図が画像に表れている。

(2) Bezier 曲線の応用では、データ生成を中心として、「描きたい図形」をきちんと描くことを試みている。

(3) アニメーション課題は、単純な理論にもかかわらず画像が動くことに興味を持ち、データを変更するだけでなく、新たな機能を追加している。動きの表現に対する理解が深まった。

(4) 投影図の製作では、3 次元データを作成して透視図を描いている。アルゴリズムだけの理解から現実の CG システムに対して理解が深まっている。

(5) 光線追跡法では、2000 行近いプログラムの解析し、リアルな画像生成に多くの学生が興味を持った。自分が考えたシーンを描くことができるので、視点変更、光源変更や質感変更を行っている。

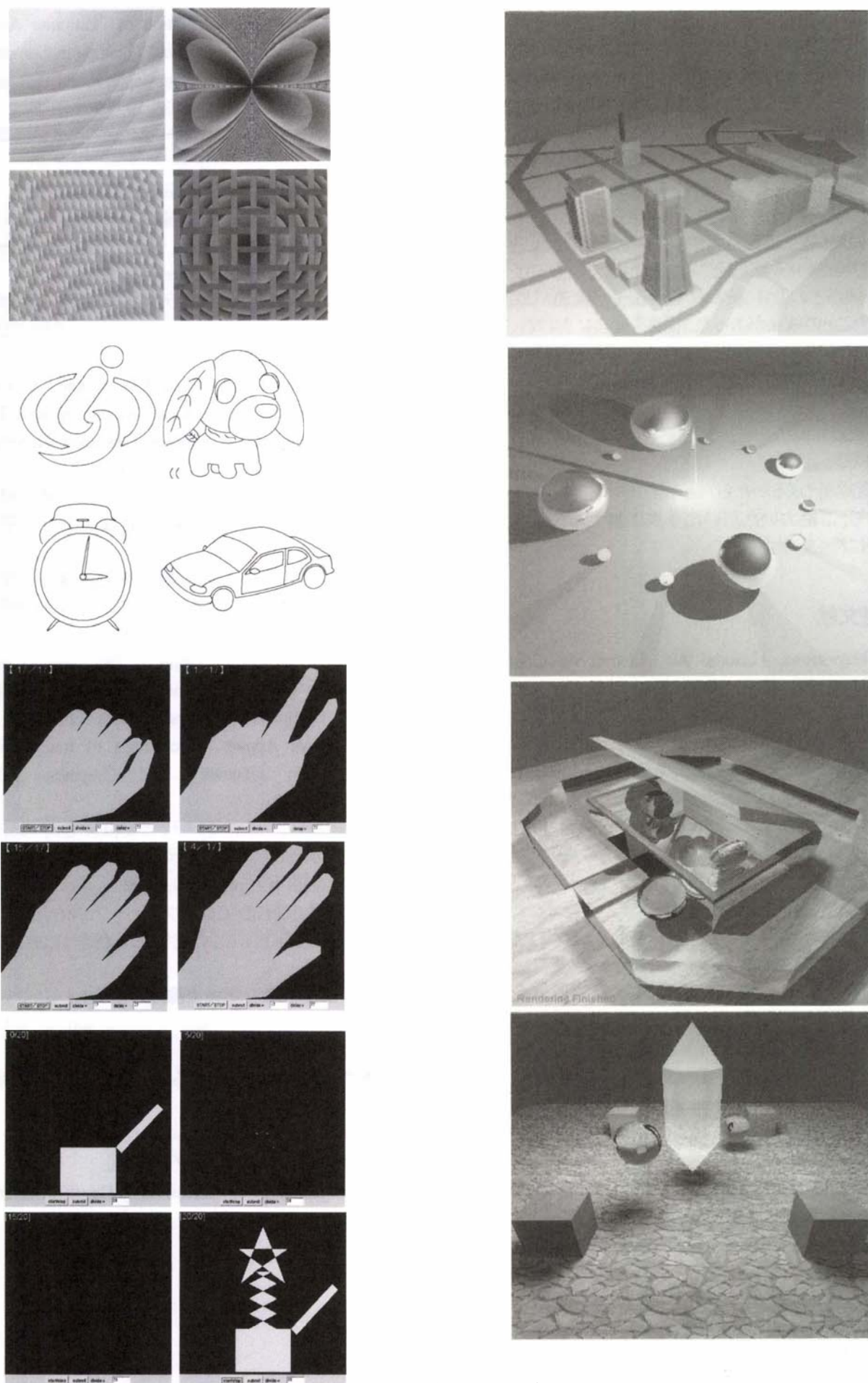


図8 学生の演習結果例

5 まとめ

本文では、CG 教育を行うときに作品を制作するという意図をもたせることと、学生の相互評価を行うことによる教育方法について述べた。この教育によって、

(1)CG 教育においてアルゴリズムを理解させるためにも画像製作の意図をもとにするとよいこと、

(2)より興味をもってプログラム開発をしたり、アルゴリズムの理解をしようとしたりする姿勢が強くなること

(3)現在いろいろなところで使われている CG 画像や映像がどのように使われているという関連がよく理解できたことの成果があった。従来も社会におけるCGの活用については紹介しているが、その内容や処理の一端を自分で作成したことが良い影響を与えているといえる。

謝辞

「数式がつくるかたち」の Web 教材を使用するにあたって、ご協力いただいた東京工科大学瀧上季代絵教授に深く感謝する。

参考文献

- [1] S.Nagashima, H.Isoda: An Attempt on Computer Graphics and CAD Education, Proc. of ICECG, pp.474-481, 1984
- [2] K.KONDO, K.OGATA, H.SATO, S.SHIMADA: Simple Graphic Tool Xgt on X-Window and Education of Computer Graphics for Beginners, Proc. of China-Japan Joint Conf. on Graphics Education pp.169-173, 1993.3
- [3] 銚木、竹山、永野: 図学教育へのCG導入の現状、日本図学会図学研究第44号、pp.5-12、1988
- [4] 鈴木、本出、長江アパレルデザイン教育におけるCAD、CGの活用、図学会図学研究、第54号、1991
- [5] 鈴木、吉田、梶山: 日本における図学、設計製図教育改革の動向、日本図学会図学研究第61号、pp.21-33、1993
- [6] K.Suzuki, H.Suzuki, Y.Yamaguchi, S.Nagashima, S.Nagano: Integrated Descriptive Geometry and Computer Graphics Course at the University of Tokyo 1992 Update, Proc. of the conference of Japan and China Graphics Education, 1993
- [7] K.Mende, K.Fuchigami: The Education of Computer Graphics in Basic Design, Proc. of JCCE, 1993
- [8] 柴田: 大阪府立大学における基礎図形教育、Proc. of JCCE, 1993
- [9] 長工、栗栖: アーチスト支援CGツールによる教育とその効果について、図学研究第63号、1994
- [10] 堤: 被服学における図形処理教育の試み、日本図学会図学研究第65号、1994
- [11] K.KONDO: The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education, Proc. of China-Japan Joint Conference on graphics Education pp.131-136, 1995.9
- [12] CG-ARTS 協会: コンピュータグラフィックス標準テキストブック、講師用教材、1995
- [13] M.Takahashi, H.Sato, K.Kondo, S. Shimada: A manual to teach computer graphics by Java, Journal for Geometry and Graphics, Vol.2, No.1. pp. 101-108 (Proc. of 7th ICECGDG Selected paper) 1996.7
- [14] 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「図学は今」、pp.73-74、1997
- [15] M.Takahashi, H.Sato, K.Kondo: A Remote Education System of Computer Graphics Education using Java, The 3rd China-Japan Joint Graphics Education Kunming Yunnan China pp. 228-233 July 28-31, 1997.7
- [16] 梶山喜一郎、鈴木賢次郎: 第26回国学教育研究会-「専門科目としてのCG教育」報告-、図学研究第35巻1号、p.21、2001
- [17] 近藤邦雄: 第26回国学教育研究会-埼玉大学情報システム工学科におけるCG・CAD工学の教育-、図学研究第35巻1号、pp.22-23、2001
- [18] Nishita T., Kondo K., Ohno Y.: Development of a Web Based Training system and Courseware for Advanced Computer Graphics Courses Enhanced by Interactive Java Applets, Proceedings of International Conference on Geometry and Graphics, vol.2, pp.123-128, 2002.8
- [19] 新津靖: 第8回国学教育研究会報告-図学教育用の形状モデリングシステムとその教育-、図学研究第36巻1号(通巻95号)、pp.33-39、2002
- [20] 齊藤孝明: 市販3D-CGアプリケーションを用いた試行的短期授業についての考察、日本図学会2003年度大会、2003
- [21] CG2002年度のレポート課題のURL:
<http://www.ke.ics.saitama-u.ac.jp/kondo/lect/cg/report2002.html>
- [22] 東京工科大学瀧上による「数式がつくるかたち」のURL:
<http://www.teu.ac.jp/media/~tagiru/math/>
- [23] 光線追跡法の参考プログラムURL:
<http://www.geocities.co.jp/SiliconValley-Bay/1981/java/3dcg/index.html>

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

近藤 邦雄, 西田 友是
埼玉大学, 東京大学

要旨：日本における CG 研究を活発にするためには、大学院レベルの CG 教育において活用できる教材の充実が重要である。非写実的表現(Non PhotoRealistic Rendering)のための教育用 Java ソフトウェアをもとにした新たな絵画風画像のブラシ機能、フィルタ機能、描画手法を提案することを目的とする CG 教育について述べる。大学における CG 教育は学部の報告が主であり、大学院レベルの教育事例は報告がない。筆者らは学部レベルの CG 教育の教材開発を行ってきた。これらは、CG の基礎的な内容であり、最近の研究において提案されている新しい画像生成アルゴリズムは一般には学部レベルでは取り扱っていない。そこで、大学院レベルの CG 教育において活用できる CG システムを順にまとめていくことが重要であると考えた。本報告はそのひとつであり、非写実的な画像生成の研究分野における絵画調画像処理手法の学習を支援する教材を提案する。この教育用システムは Java プログラムを用いたアプレットを作成することによってアルゴリズムを理解することが容易にできること、作成された画像フィルタを利用して各種の絵画処理を理解できることを目標に構築した。

Keywords: CG 教育、非写実的表現、Java プログラム、画像フィルタ、絵画調変換

1 はじめに

非写実的表現(Non PhotoRealistic Rendering)のための教育用 Java ソフトウェアをもとにした新たな絵画風画像のブラシ機能、フィルタ機能、描画手法を提案することを目的とする CG 教育について述べる。

大学における CG 教育は学部教育の報告[1-6]が主であり、大学院レベルの教育事例は報告がない。筆者らは学部レベルの CG 教育の教材開発を行ってきた[7-11]。これらは、CG の基礎的な内容であり、最近の研究において提案されている新しい画像生成アルゴリズムは一般には学部レベルでは取り扱っていない。そこで、大学院レベルの CG 教育において活用できる CG システムを順にまとめていくことが重要であると考えた。

本報告はそのひとつであり、非写実的な画像生成の研究分野における絵画調画像処理手法の学習を支援する教材を提案する。この教育用システムは Java プログラムを用いたアプレットを作成することによってアルゴリズムを理解することが容易にできること、作成された画像フィルタを利用して各種の絵画処理を理解できることを目標に構築した。

本システムの初期バージョンは初山が作成した。このシステムに各自が画像フィルタの作成マニュアルに従って、新たなフィルタを作成して追加することができるようになっている。このシステム(図1)は各処理ごとにアプレットが用意されていること、処理時間がかかることなどの課題があった。そこで、芳賀は初期バージョンのもとに処理を高速化し、フィルタをメニューで選択できるように改良した(図2)。

これらはソースプログラムが公開されており、今までに

作成したフィルタを参考にして新たな処理を考えることが可能である。また、画像の入力や表示、パラメータ入力の一貫によるプログラムの利用、改良が容易であることに特徴がある。

絵画調処理(Haeberli's method)2
<http://reality.sgi.com/graphics/impression/>を参照

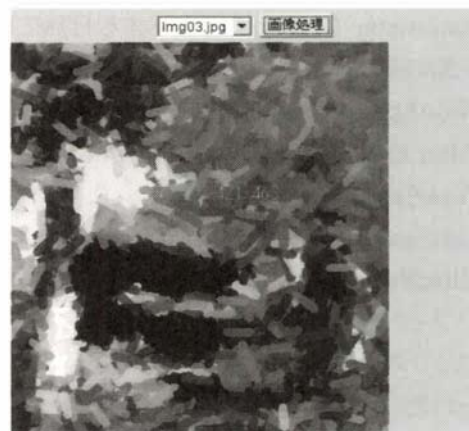


図1 絵画調画像生成システムその1

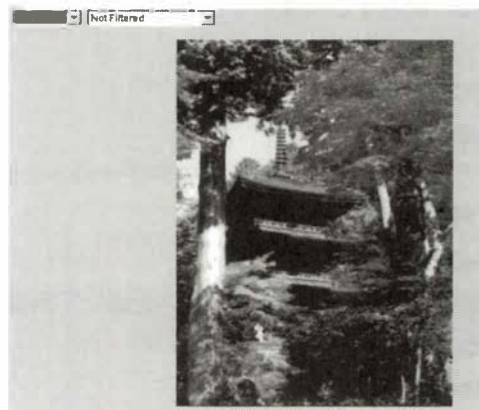


図2 絵画調画像生成システムその2

2 絵画調画像生成システムの使い方

本システムは、CG 特論の講義で学生とともに作成した。これをもとに各種のフィルタを追加していくことによって、非写実的な画像生成を行うことが容易にできる。本節では、まず画像フィルタを用いた画像生成処理について学習するために、システムの使い方を図 3 に従って述べる。

アプレットには、800×600 画素の画像が表示できる。右側には、コントロール部にはメニューが表示されるが、必要ない場合は、非表示にできる。メニューの上部は画像と画像フィルタを選択する部分がある。フィルタを選択すると、それに対応するパラメータ変更部が表示される。処理したい内容に応じてパラメータを入力することができる。パラメータ入力後に描画の実行ボタンを選択すると、画像変換が行われる。

3 Image Filter の開発

ここでは、プログラム開発を行うために必要なことについて述べる。

3.1 フォルダ構成

アプレットを実行するフォルダの構成は、以下のようである。

(1) MainApplet.htm (アプレットを表示する HTML)

(2) imageFiltering

 MainApplet.class

 Filter.class

 FilterListing.class

 AnimatedImage.class

 FilterPanle.class

(3) filter フィルタのクラス (作成されコンパイルされたフィルタのクラス)

(4) List.txt (使いたいフィルタのリスト)

(5) images 画像ファイル (使用する画像ファイル)

(6) List.txt (使用する画像のリスト)

3.2 クラスの概要

MainApplet.class

メインとなるアプレットクラス。このアプレットから他のクラスは呼び出される。

AnimatedImage.class

画像を描画するクラス。このクラスを通して画像を操作する。

Filter.class

フィルタ向けの抽象クラス。フィルタのクラスに必要なメソッドを外部仕様のみ作る。



図 3 システムの使い方

FilterPanle.class

フィルタのパラメータを指定させるクラス。アプレット上に表示され、パラメータを指定させフィルタにセットする。

Filter のクラス

画像のフィルタ処理を行うクラス。Filter.class を継承し、インナークラスとして FilterPanel.class を継承したものを持つ。

FilterListing.class フィルタのリスト更新するためのクラス。他のクラスとは独立しており、単独で java プログラムとして使用する。

3.3 フィルタの作成方法

新しいフィルタを作成する場合には、Filter.class を継承したクラスを作り、getName()*filter()*getFilterPanel() と FilterPanel.class を継承したクラスをインナークラスとして記述する。新しいフィルタのクラスを作成したら、ディレクトリ「imageFiltering/ filter」に置いて、コンパイルする。

Filter.class を継承したクラス

作成するメソッド:

getName() 引数: 無し 返回值: String

フィルタの名前を返す。名前を途中で変更してはならない。

filter() 引数: AnimatedImage 返回值: void

受け取った AnimatedImage クラスを操作し画像を変更する。フィルタを行う。

getFilterPanel() 引数: 無し 返回值: void

フィルタを操作するための FilterPanel クラスを返す。作成するインナークラス:

FilterPanel を継承したクラス

Applet の右側にパネルとして表示され、フィルタに対するパラメータ指定を受け取りフィルタにセットする。パラメータの受け取り方は自由 (Button, TextField など)。

メソッド:

setFilterParameter() 引数: 無し 返回值: void

設定されたパラメータを Filter にセットする。

3.4 フィルタの追加方法

使用するフィルタとして、「imageFiltering/filter」ディレクトリ内の「List.txt」に書かれたクラスファイルをすべて読み込む。他のプログラムソースの変更は必要ない。そのディレクトリにクラスファイルを追加し、「List.txt」の修正を行う。「imageFiltering/ FileListing」を実行すると、リストファイルが作成される。そのとき、「imageFiltering/filter」内のすべてのクラスファイルがリストに追加されるので、関係ないクラスは置かない。

3.5 画像の追加方法

使用画像はディレクトリ「imageFiltering/images」内の「List.txt」に書かれた画像ファイルをすべて読み込む。このときプログラムソースの変更は必要ない。そのディレクトリに画像を追加し、「List.txt」の修正を行うだけでよい。「imageFiltering/FileListing」を実行すると、リストファイルが作成される。リストに追加される画像のフォーマットは、JPEG と GIF の 2 種類である。

本絵画調画像生成システムは、先に述べた初期バー

ジョンに学生が講義の演習課題として 2003 年度に改良を加えたものである。

4. 提案システムを用いた CG 教育

本節では、2001 から 2003 年度に行った非写実的画像生成の演習について述べる。演習課題は、芳賀が改良したシステムを用いて絵画調フィルタを作成し、画像生成を行うことである。例題で示したソースを参考に各自で画像処理手法を考案し、プログラムを作成することを行った。この課題は、2 ヶ月程度で実施することを目標としているが、実際はより高度な処理を開発したり、システム構築を行ったりしたので、2002 年、2003 年度は半年間かけて行った。2002 年度は、画像フィルタの開発のほか、3 次元形状の表現なども扱ったり、フィルタのより高度な活用法としてパラメータ入力を扱ったりした。以下では、2003 年度の内容を中心に述べる。

4.1 演習内容

2003 年度は下記の順に講義演習を行った。

講義の目標は、(1) 2002 年度までのフィルタプログラムの整理、(2) 新たなフィルタの作成、(3) 教育用システムの構築の 3 つとした。

第 1 回 ガイダンス

第 2 回 ImageFillter の Java プログラムの分析

第 3 回 既発表の手法の解析と整理と統合

パラメータ整理、統一インタフェースの検討

第 4 回 非写実的表現のための機能追加の内容の検討

第 5 回 非写実的表現のための機能: アルゴリズムの検討 (各自の描画テーマの決定)

第 6 回 ImageFillter の Java プログラムの追加

第 7 回 ImageFillter の Java プログラムの追加

第 8 回 パラメータの入力方法とインタフェースデザインの検討

第 9 回 NPR 教育用システムの設計と作成

第 10 回 NPR 教育用システムへの追加

第 11 回 NPR 教育用システムへの追加

第 12 回 Web によるシステム公開文書の作成

第 13 回 絵画調画像の評価とシステム公開

この Web 公開は文末の参考 Web ページ[1],[2]で行っている。このような進行において、修士との討論を講義時間内に多く持つことによって、各自のアイデアを整理したり、課題を明らかにしたりできた。受講生は 10 名程度であり、受講を止めてしまう場合もあるが、最後まで受講すると、非写実的な画像生成プログラムができるので、満足な結果が得られることが多い。

4.2 演習結果

2001 から 2003 年度の 3 年間に提出された画像フィルタの例を以下に紹介する。この 2 年間は改良バージョンをもとに絵画調フィルタ処理を行うプログラムを開発した。主に、パラメータ変更機能を追加した結果を示す。また、新たな画像フィルタを作成した例を示す。2003 年度の最後には、2 節で説明した教育用システムに 2 つのフィルタを追加することによって前述した絵画調画像生成システムを評価した。

[1] パラメータ機能の追加例

Haeberli の手法[12]は画像に対してブラシ処理を施して絵画調画像を得ることができる。この手法を適用したアプレットを 3 つ作成した。この一例が図 1 である。図 1 をみると分かるように、画像を選択して処理を実行するだけで絵画調画像を得ることができる。しかし、より望ましい画像を得るためには、ブラシの大きさ、ブラシの濃さなどを変更する必要がある。そこで、3 種類の画像変換アプレットに対して、パラメータ変更ができるように修正することを行った。図 4 に学生がまとめたいくつかの種類の画像変換のパラメータを示す。このように、絵画調画像を得るために必要なパラメータを整理することが大切である。

図 5 は、パラメータ入力ウィンドウであり、その値を用いて求めた画像を図 6, 7 に示す。同一の処理であるが、パラメータを変えることによって、印象の異なる画像を生成することができる。このようにパラメータ変更と絵画調画像の関係を理解することができる。

図 8 は、ブラシのサイズを変更したり、ブラシの描画時の α 値を変えた例である。このように絵画調画像にブラシサイズがどのように影響するかを評価することができる。

フィルタ	パラメータ1	パラメータ2	パラメータ3
Gaussian	ウィンドウサイズ		
Haeberli	ブラシの長さ	角度	
Haeberli2	ブラシの長さ	ブラシの大きさ	α 値
Haeberli3	ブラシの大きさ	ブラシの濃さ	
Max Min	ウィンドウサイズ	処理方法※	
Median	ウィンドウサイズ		
Mesh Brush	ブラシの長さ	角度	ブラシの大きさ

図 4 ブラシパラメータの種類の例

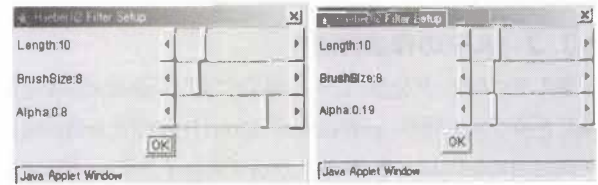


図 5 パラメータ入力



図 6 Haeberli 手法の一例



図 7 Haeberli 手法の一例

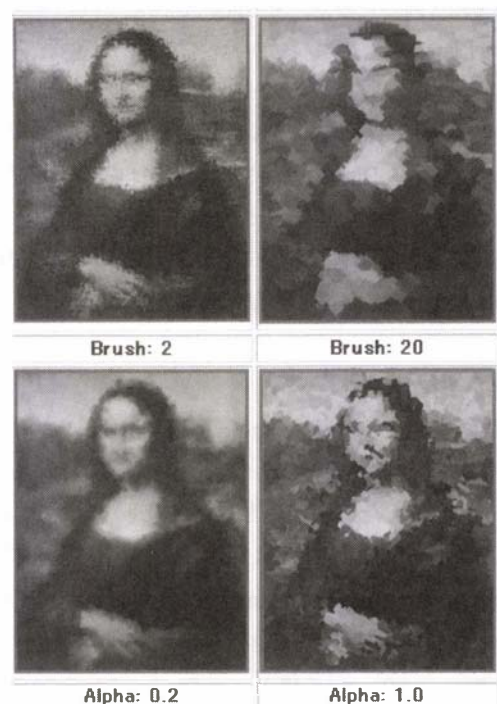


図 8 パラメータ変更例

[2] 新たなフィルタの作成例

(a) 印象派画像変換

図9の写真を図10の画像に変換

(b) BathroomWindow フィルタ

小さな正方形が並んだガラス越しの画像生成

(c) 版画調画像変換 (図12)

一種類の彫刻刀で処理した画像である。

(d) 色差処理を用いた画像変換 (図13)

色の差をもとに同一色にする処理を行う。

(e) ボロノイ処理を用いた処理 (図14)

処理結果の色差が小さい場合同一色にする。

(f) 色差によるエッジ処理 (図15)

色の差が大きいところの処理をしない方法である。

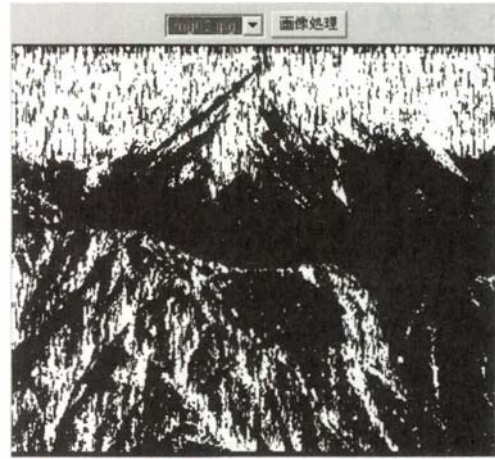


図12 版画風



図9 写真



図10 印象画風



図13 色差処理

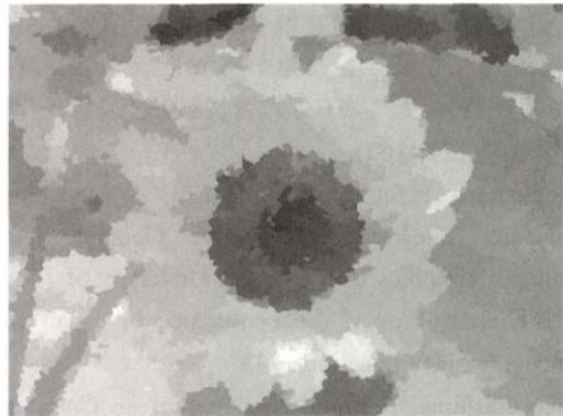


図14 ボロノイ処理

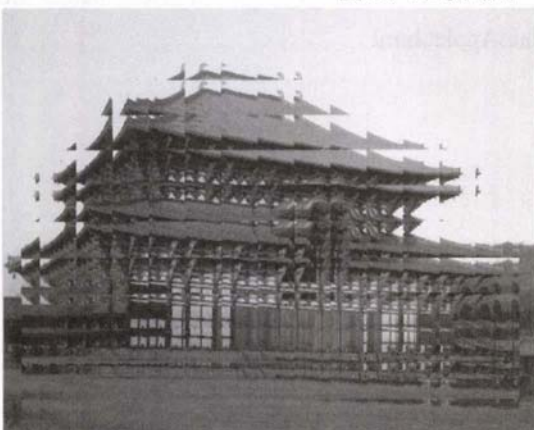


図11 BathroomWindow



図15 色差エッジ

5. まとめ

日本における CG 研究を活発にするためには、大学院レベルの CG 教育において活用できる教材の充実が重要である。

本報告は非写実的な画像生成の研究分野における絵画調画像処理手法の学習を支援する教材を提案した。これは、非写実的表現 (Non Photorealistic Rendering) のための教育用 Java ソフトウェアをもとにした新たな絵画風画像のブラシ機能、フィルタ機能、描画手法の学習を支援するものである。そのシステムを利用した教育によって、非写実的な画像生成手法に興味を持つ学生が増えた。

謝辞

絵画調システムの初期バージョン開発者である初山和秀氏、改良バージョンの開発者である芳賀俊之氏に深く感謝する。また本報告でまとめた絵画調画像生成教育用システムを中心となってまとめ、2 節「システムの使い方」、3 節「ImageFiltiter の開発」をまとめた藤乗靖士氏、今橋浩樹氏に深く感謝する。

参考文献

- [1] 鈴木、竹山、永野: 図学教育への CG 導入の現状、日本図学会図学研究第 44 号、pp.5- 12、1988
- [2] 梶山喜一郎、鈴木賢次郎: 第 26 回図学教育研究会-「専門科目としての CG 教育」報告-, 図学研究第 35 巻 1 号、p21, 2001
- [3] K.Suzuki, H.Suzuki, Y.Yamaguchi, S.Nagashima, S.Nagano: Integrated Descriptive Geometry and Computer Graphics Course at the University of Tokyo 1992 Update, Proc.of the conference of Japan and China Graphics Education, 1993
- [4] S.Nagashima, H.Isoda: An Attempt on Computer Graphics and CAD Education, Proc. of ICECG, pp.474-481, 1984
- [5] 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「図学は今」、pp.73-74, 1997
- [6] 近藤邦雄: 第 26 回図学教育研究会-埼玉大学情報システム工学科における CG・CAD 工学の教育-, 図学研究第 35 巻 1 号、pp.22-23, 2001
- [7] K.KONDO, K.OGATA, H.SATO, S.SHIMADA: Simple Graphic Tool Xgt on X-Window and Education of Computer Graphics for Beginners, Proc. of China-Japan Joint Conf. on Graphics Education

pp.169-173, 1993.3

- [8] K. KONDO: The Integration of Computer Aided Visual Communication and Visual Thinking in Computer Science Education, Proc. of China-Japan Joint Conference on graphics Education pp.131-136, 1995.9
- [9] M.Takahashi, H.Sato, K.Kondo, S. Shimada: A manual to teach computer graphics by Java, Journal for Geometry and Graphics, Vol.2, No.1. pp. 101-108(Proc. of 7th ICECGDG) 1996.7
- [10] M.Takahashi, H.Sato, K.Kondo: A Remote Education System of Computer Graphics Education using Java, The 3rd China-Japan Joint Graphics Education Kunming Yunnan China pp. 228-233 July 28-31), 1997.7
- [11] Nishita T., Kondo K., Ohno Y.: Development of a Web Based Training system and Courseware for Advanced Computer Graphics Courses Enhanced by Interactive Java Applets, Proceedings of International Conference on Geometry and Graphics, vol.2, pp.123-128, 2002.8
- [12] P. Haeberli : "Paint By Numbers: Abstract Image Representations", *Computer Graphics* 24 (4), pp. 207-214., 1990

参考 Web ページ

- [1] CG 特論の Web ページ
<http://www.ke.ics.saitama-u.ac.jp/kondo/lect/cg/adcg.html>
- [2] 絵画調画像生成のための教育用システム
<http://www.ke.ics.saitama-u.ac.jp/kondo/lect/cg/npr-cg/index.html>
- [3] 絵画風画像生成 その 2 java1.1
<http://www.ke.ics.saitama-u.ac.jp/hat/java/>
- [4] 絵画風画像の生成 Java1.2
<http://nis-lab.is.s.u-tokyo.ac.jp/~haga/test/ImageFiltering/MainApplet.html>

CG プログラミング入門教育のための「数式がつくるかたち」

近藤 邦雄

埼玉大学 工学部 情報システム工学科

要旨:本文では埼玉大学工学部情報システム工学科のコンピュータグラフィックス教育を行う CG プログラミングの入門教育について述べる. 本講義では, 学生自らが「表現したいこと」を考え, 与えられた手法を理解して使いこなすことによって, 表現意図を画像に表すことができるようなさまざまな演習を行うこととした. この講義を通じて創意工夫, 創造性, 競争心の育成をめざした. このために, CG のアルゴリズムの理解だけでなく, Web 教材「数式がつくるかたち」を用いて描きたい画像を制作するという演習を行った. 本文ではこの演習内容と学生の作品, 演習の評価について示す. なお本演習は画像を生成するために Java プログラムを利用している.

Keywords: CG 教育, Java プログラミング, アルゴリズム理解, 作品制作, 数式がつくるかたち

1. はじめに

本文では, 埼玉大学工学部情報システム工学科(3 年次学生)におけるコンピュータグラフィックス教育入門の演習課題「数式がつくるかたち」の活用とその教育結果について報告する. 2001 年に第 26 回図学教育研究会[3]で報告したCG・CAD 教育をもとに, 2004 年図学会大会にて CG プログラミング教育全般[4]について報告した. 本報告はこのなかの第2回から 4 回のCG入門のための演習である.

まず第2節では, CG プログラミングの分類と本演習の位置付けについて述べる. 第3節では, 「数式がつくるかたち」の内容と学生の演習結果について述べる. そして, 第4節では学生による演習評価, およびプログラミングと作品制作の演習評価について述べる.

2. CG プログラミング教育の内容

CG 教育に関連する研究は 70 年代よりいろいろな会議で発表されている[2]. 1993 年に鈴木らは日本の CG 教育を紹介している[1]. このなかで CG 教育の方式を3つに分けている. その1は, アルゴリズムの理解のためにプログラムを作成して, 画像を作成する CG プログラミング型教育, その2は, 基本的アルゴリズムのプログラムを与えて, それらを利用しながらプログラミングするセミプログラミング型教育, その3は市販ソフトなどアプリケーションを利用したレディプログラム型教育である.

本学科における CG のアルゴリズムを理解するための演習内容は, Java を利用して CG 画像を制作することである. 本学科では, 1, 2 年生に対して C 言語を中心にプログラミング教育を行っている. そのため, CG の講義を受講する 3 年生は Java プログラミング経験がない. そこで, 教材 Web ページには, Java プログラミング入門, Web 上の Java による CG プログラミング, 有用なページの調査と教材ページ

へのリンクを紹介することにより, プログラミング言語の教育を省略している[5, 6]. このために Java プログラムを参考に与えて, 追加する部分のプログラムを作成したり, 画像を生成するためのデータ作成による作品制作を重点としている. 本報告の「数式がつくるかたち」はこの Java プログラムを参考に与えて, プログラムを改良, 拡張していくこと, さらに, CG の入門として最適である. このように本演習における CG 教育は, セミプログラミング型に位置付けられる. 本報告ではこの Web 教材を利用した演習内容と学生の評価について述べる.

3. 演習「数式がつくるかたち」

本講義では, 学生自らが「表現したいこと」を考え, 与えられた手法を理解して使いこなすことによって, 表現意図を画像に表すことができるような演習を行うこととした. この演習を通じて創意工夫, 創造性, 競争心の育成をめざした.

3.1 コンピュータグラフィックスの講義シラバス

講義全体の内容は以下のとおりである. URL 参考:

<http://www.ke.ics.saitama-u.ac.jp/kondo/lect/cg/cg.html>

図1 「数式がつくるかたち」[7]

数式がつくるかたち ワークシート1: 色をつってみよう

目標 RGBで自由に色を作れるようになる。

色彩表現

1画面(ピクセル)あたりどれだけのメモリが割り当てられるかによって、モノクロ画像であれば濃淡の階調がきまり、カラー画像であれば色数が決まる。たとえば、各画素に8ビットのメモリが割り当てられているとすると、 $2^8 = 256$ となり、256段階の濃淡や256種類の色を使うことができる。色光の3原色は赤・緑・青(RGB)で、CMYの場合、この3色の混合でほとんどの色をつくることができる。絵の具では、混ぜる色数が増えるほど濁って暗くなるが、色光の場合は明るくなり原色を混ぜると白になる。前者の場合を減法混色、後者を加法混色という。R, G, Bそれぞれに8ビット与えられている場合、256段階(0~255の値をとる)であるから、理論的に可能な色数は $2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 16,777,216$ となる。この色数は人間の識別能力に対して十分に対応した数であるとされている。

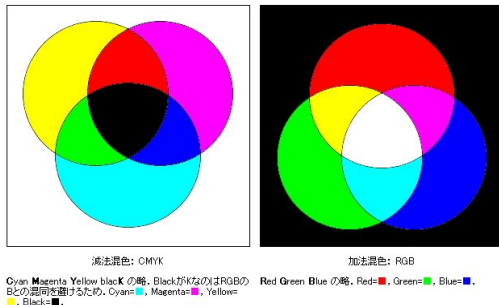


図2 ワークシート1[7]

```
import jp.ac.teu.media.*;

public class ex_1 extends TMLib {
    final static int vsize = 256;

    public static void main(String [] args) {
        begin(new ex_1(), vsize, vsize);
    }

    public void Main() {
        int x, y, R, G, B;
        TMLibImage img = new TMLibImage();
        img.newImage(vsize, vsize);

        for(x = 0; x < vsize; x++){
            for(y = 0; y < vsize; y++){

                // *** BEGIN YOUR PROGRAM *** //

                R = 255;
                G = 255;
                B = 255;

                // *** END YOUR PROGRAM *** //

                img.setRGB(x, y, R, G, B);
            }
        }
        drawImage(0, 0, img);
    }
}
```

図3 例題プログラム[7]

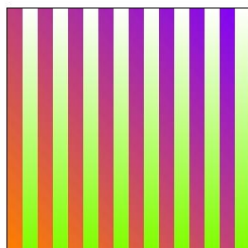
数式がつくるかたち ワークシート3: ストライプを作ってみよう

目標 ストライプを自由に作れるようになる。

位置情報によって色情報も制御する。画面は位置情報(x, y)と色情報(R, G, B)から構成されており、前者で後者を制御する方法として次にストライプを演習する。

ストライプ(stripe) ストライプとは、複数の(通常12つ)の異なる色領域を一定の規則に基づいて繰り返し表示させることである。

ストライプの作り方



ストライプを作るためには、この条件式の挙動を理解しておく必要がある。まず、xは座標であるため、xが0~15の時に16で割ると0になり、これを2で割った余りは0であるから、この時には色領域1が描画されることになる。同様に、xが16~31の時に16で割ると1になり、これを2で割った余りは1であるから、この時には色領域2が描画されることになる。つまり、16ごとに2つが交互に描画されるのである。

作ってみよう(プログラム11に記入)

図4 ワークシート3[7]

本報告に関連する講義内容は、 第2回 数式がつくるかたち 講義と演習 第3,4回 数式がつくるかたち 演習

である。はじめに演習内容の概要を説明し、演習で作成する画像、プログラムの修正部分などを紹介した。さらに提出課題について説明を行った。その後の2回は、Javaの実行環境の設定、Web教材に示された内容に従った演習を行い、自らが考えた数式を利用して画像を制作することを行った。提出は一週間後とした。

図1は「数式がつくるかたち」[7]のWeb教材のトップページである。

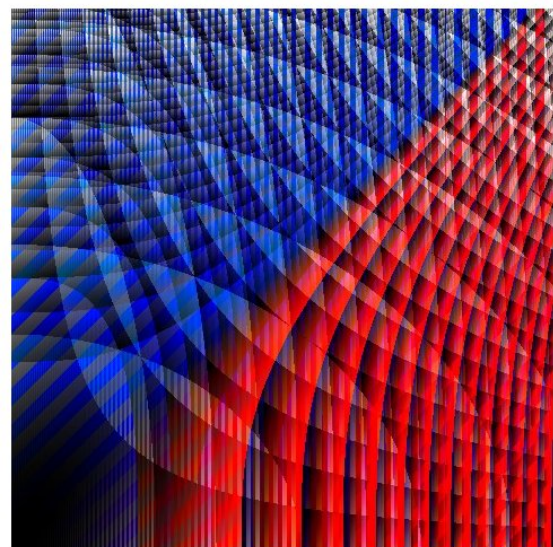
3.2 演習課題の内容

演習「数式がつくるかたち」は2次元画像の色を数式によって変化させ、意図した画像を生成することを目的としている。この課題は東京工科大学において演習で使用されているものである(図1)。このページは演習用課題が5つに分かれている。ワークシート1を図2に示す。またそこでリンクされている例題プログラムを図3、さらにはワークシート3を図4に示す。

学生はこれらのページを順に読みながら、プログラムを実行したり変更したりして内容を理解する。

3.3 学生の制作結果

図5, 図6に演習課題の制作結果を示す。Javaプログラミング入門と与えられたプログラムに各自で考えた数式を加えるというやり方でユニークな画像が多数制作できた。同じ画像はなく、各自の意図が画像に表れている。図5は課題提出の画面の一部である。画像の下に氏名や制作意図などを記入させたり、画像が示す印象を示したりさせている。



『世界に声を発する塔』氏名 榎本和史 (02T010)
全世界に自らの声を響かせる触媒としての塔をイメージ。無限にも等しい高さの塔から、何を響かせるべきか? その答えを自らの言葉として世界に投げかけてみよう。

図5 提出画像とその説明

4. 演習の評価

4.1 学生のアンケート

受講生のアンケート31名分をもとに3つに分けて紹介する。

(1) Java プログラムの習得(5名)

- ・Java の基礎を学べた。Java の基本として入りやすかった。
- ・はじめて Java にふれたので、最初はコンパイラもできなかったが、Web をみてがんばった。
- ・Windows での Java の使い方すらまったく知らなかったの、まずその習得ができてよかった。

(2) CG への興味(4名)

- ・CG のおもしろさが分かったのが良かった。
- ・CG の基本的な技術について良く学べた。作品を2つ作らなければいけなかったの、時間がかかったが、自分の納得のいくものを作ることができた。
- ・CG のつくる難しさを知った。

(3) アルゴリズムの理解(18名)

- ・数式による模様のつけ方やRGB 方式による色のつけ方が分かった。
- ・数式によって作られる図形やパターンについて理解が深まった。色の作り方を考える楽しさがあつた。どういう数式でどういう図形になるかということが思ったより理解できなかった。基本的な数式のかた

ちは理解できた。作品を作ることは楽しかった。

- ・数式を用いたグラデーションが理解できた
- ・数式によって、ああいっただ模様がつくれるということを知った。描かれるそれぞれの曲線、色、グラデーションなど作品制作は楽しかった。
- ・ペイントツールで描く曲線やグラデーションを数式として理解できた。
- ・数式からうまくかたちを作ることに重点をおいた。タバコを表現するのに苦労した。
- ・なかなか思ったとおりの図形がでず、数式をいじるのに苦労した。でもそこが面白い点なのだ。
- ・数式を考えてではなく、なんとなく決めて画像を作ったため数式を操って画像を作るところまではいかなかった。
- ・数式を入力するだけでさまざまな形が作れるので、たのしく興味をもって取り組めた。時間がなかった。
- ・プログラム自体はさほど難しくないが、計算させる部分が思ったとおりにいかず、半分くらいはランダム性に任せた。
- ・ポスターの絵柄を製作している感じで取り組めた。
- ・オリジナリティに重点をおいた。

以上の学生の意見から、本演習内容が3コマで十分教育内容を理解し、効果的な教育ができているといえる。

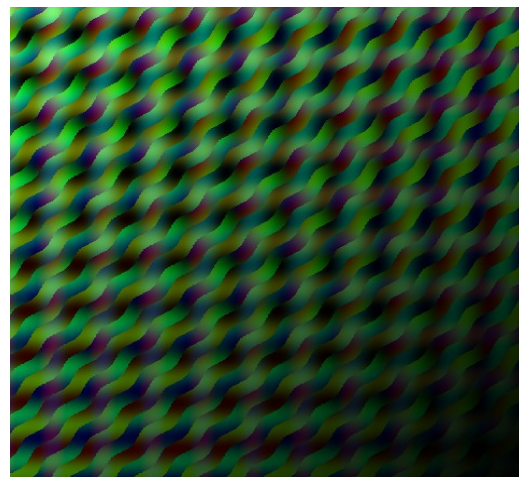
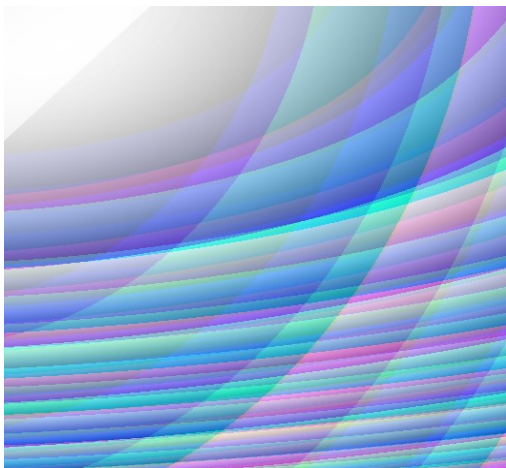
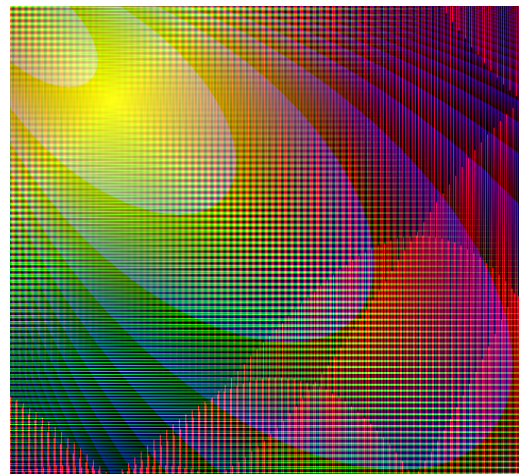
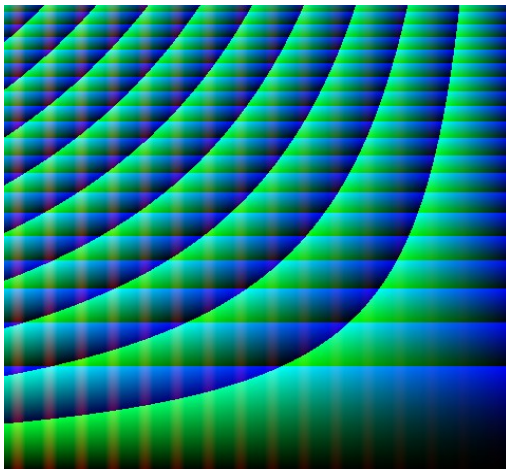


図6 学生の画像製作事例

4.2 演習内容の評価

本節では、学生に対するアンケートをもとに、興味の度合い、役立ちの度合い、制作時間を分析する。

図7に興味の度合いを示す。10段階で3以下に興味なし、4から6までに興味あり、7以上が強く興味ありとすると、およそ20%の学生が興味なし、およそ60%の学生が興味あり、20%の学生が強く興味を持ったとなっている。

図8に役立ちの度合いを示す。何に役に立つかという内容は記載されていないため、役立つとした内容は不明である。この演習がなんらかの「役に立つ(5以上)」とする学生がほとんどであった。役立ち度が低い3, 4はそれぞれ1名である。

図9に制作時間を示す。調査時に授業中の演習時間を含めるかどうかを明示しなかったため、実際の制作時間と一致するかどうかは不明であるが、3時間以下が30%、4から6時間が34%、それ以上が36%であった。10時間を越える学生が25%であり、課題に対する熱心さとJavaプログラミングの習得に時間がかかったものと思われる。

4.3 作品制作とプログラミングの関係

講義全体が終了するときに、学生がプログラミングと作品制作をどう重視しているかをアンケートした。本演習だけに対する意見ではないが、共通する部分も多いので以下に示す。

(1) 作品重視が良いとする意見

- ・作品制作は楽しいので、課題ごとに選択できれば良い。
- ・プログラミングはこの授業だけでは理解できない。作品制作はデータの与え方が分かれば自力でできる。
- ・どちらも重要であるが、見た目が重要であるので作品重視が良い。
- ・作品を作成するうえで必要な機能をプログラミングすればよい。
- ・やる気がでるし楽しい。プログラムは理解しづらい。
- ・プログラミングの改良や作成は他の演習でもやる。
- ・プログラミングは苦手で機能の追加は困難である。
- ・プログラムが苦手なので作品重視が良い。

(2) 両者のどちらかを選択するという意見

- ・テーマによって重視するべきものが異なる。
- ・これから先CGの知識が必要な人もそうでない人もいる。両者を選択できるような現在の方法がベスト。

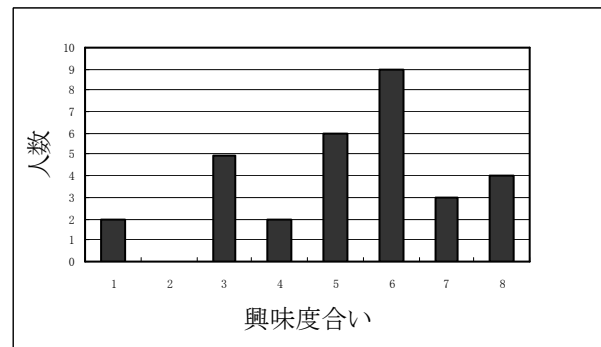


図7 興味の度合い

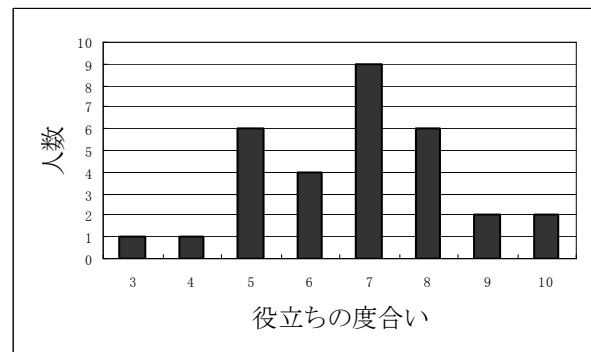


図8 役立ちの度合い

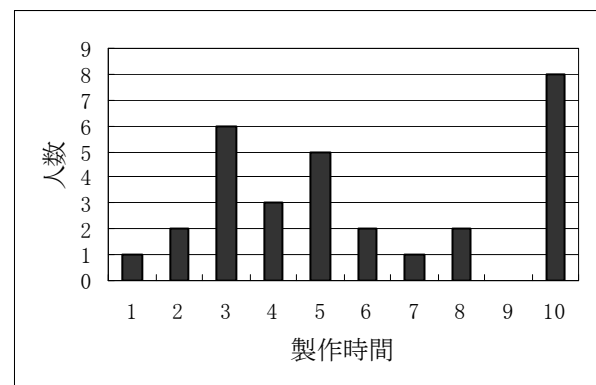


図9 制作時間

- ・どちらも重要。プログラミングが分かればいけないし、実用的なこともできなければいけない。

(3) プログラミング重視が良いとする意見

- ・プログラミングをやることによって本質も理解できる。
- ・自らの技術を高めるにはプログラミング重視が良い。画像生成のためのデータを内部でどう使用しているか理解できる。
- ・情報系学科であるからプログラミング重視。
- ・画像を扱う環境を製作する立場であるのでプログラミングを重視。

作品重視の意見には、積極的な意見と消極的な意見がある。よりよい作品を制作するためには、プロ

グラミングも必要であるという意見は大切である。それに対して、プログラミングが苦手であるという意見は消極的といえる。本学科では Java を CG 講義の前に開講していないという事情もあり、苦手という意見もあることはある程度予想していたことであり、これを改善するために、基本的なサンプルプログラムを与えたり、データを作成したりすることによって原理を理解できるような演習を用意している。

プログラミング重視の意見は、情報系学科であること、プログラミングを通じて CG アルゴリズムの理解が可能であるということである。これらの意見を持つ学生は与えられたサンプルプログラムをもとに改良を加えることによって、作成した画像や映像もレベルの高いものとなっていることが多い。

本講義では、演習内容に応じて複数の課題を与えることによって、学生自身が、作品製作を重視したり、プログラミングを重視したりすることを選択できるようにした。両者から選択できればよいという意見は、本講義の進め方を肯定するものである。

5 まとめ

本報告では、Web 教材「数式がつくるかたち」を用いた CG プログラミングの入門教育について述べた。この演習を通じて創意工夫、創造性、競争心の育成をめざした。このために、CG のアルゴリズムの理解だけでなく、描きたい画像を制作することとした。本演習は、数式を変えて画像の色やかたちを考えることが中心的な課題である。与えられたプログラムの一部分を変えることによって、さまざまな画像ができることから、作品製作を重視した割合が高い。本教育によって、以下のことが分かった。

(1)CG 教育においてアルゴリズムを理解させるためにも画像制作の意図をもとにするとよい。

(2)より興味をもってプログラム開発をしたり、アルゴリズムの理解をしようとする姿勢が強くなる。

(3)Java のプログラムの作成を学習しながら、作品を作るという内容は、CG 入門にもプログラミング入門にも有効である。

謝辞

「数式がつくるかたち」の Web 教材の使用許可をいただき、本演習に関してご指導いただいた東京工科大学 故淵上季代絵教授、ならびに中村太戯留氏に深く感謝する。

参考文献

- [1] 鈴木、吉田、梶山：日本における図学、設計製図教育改革の動向、日本図学会図学研究第 61 号、pp.21-33,1993
- [2]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「図学は今」、pp.73-74,1997
- [3]梶山喜一郎、鈴木賢次郎：第 26 回国学教育研究会-「専門科目としての CG 教育」報告-、図学研究第 35 巻 1 号、p21, 2001
- [4]近藤邦雄：作品制作を中心としたCGプログラミング教育、日本図学会 2004 年度大会学術講演論文集、pp.1-6, 2004
- [5] M.Takahashi, H.Sato, K.Kondo, S. Shimada: A manual to teach computer graphics by Java, Journal for Geometry and Graphics, Vol.2, No.1. pp. 101-108(Proc. of 7th ICECGDG Selected paper) 1996.7
- [6] M.Takahashi, H.Sato, K.Kondo: A Remote Education System of Computer Graphics Education using Java, The 3rd China-Japan Joint Graphics Education Kunming Yunnun China, pp. 228-233, 1997.7
- [7]東京工科大学 淵上季代絵による「数式がつくるかたち」 URL : <http://www.teu.ac.jp/media/~kiyoe/>

参考資料

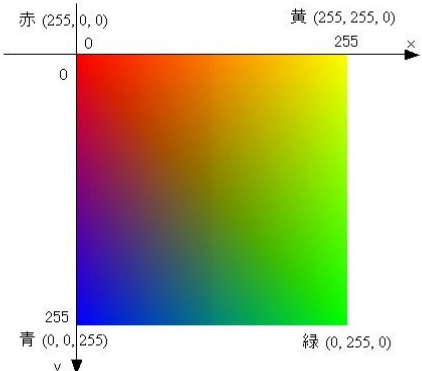
次ページにワークシートと学生作品を掲載する。

数式がつくるかたち
ワークシート2: グラデーションを作ってみよう

目標 グラデーションを自由に作れるようになる。

座標系
この演習では、ディスプレイの左上を原点とするスクリーン座標系を基本とし、y軸は下方に向かって正となるものとする。

グラデーションの作り方



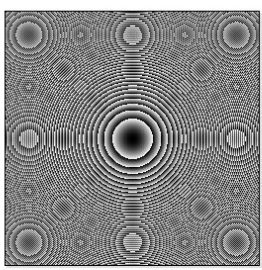
1. 図の四隅に、色とそのRGBの数値を記入する。
2. RGBごとに四隅の数値を集めて変化の規則性を観察する。

数式がつくるかたち
ワークシート4: ウィンドウの大きさを変えてみよう

目標 ヴューポート変換を使えるようになる。

ビューポート変換
ビューポート変換の詳細は、このテキストの課題2のプログラムの横に記した説明を参照してください。ここでは、ウィンドウ(画面に表示する数式の領域のこと)を変化させると表示のされ方がどのように変化するのかを探求してください。

ウィンドウの設定の仕方



```

// *** BEGIN WINDOW *** //
aX = -100.0;
aY = -100.0;
wX = 200.0;
wY = wX;
// *** END WINDOW *** //

```

作業手順

1. 表示されている図形を作るためには、指定された数式に、どのようなウィンドウを設定したらよいかを探ってください。
2. 〈中級者向け〉原点(0, 0)を中心としない非対称な領域を設定し、図形の変化の具合を探ってください。
3. 〈上級者向け〉縦横の比率を変えた領域を設定し、図形の歪み具合を探ってください。
4. 〈上級者向け〉「補助資料」を参照して、数式の理解を深めてください。

作ってみよう (プログラム2に記入)

図 ワークシート (グラデーション生成、ウィンドウの大きさ)

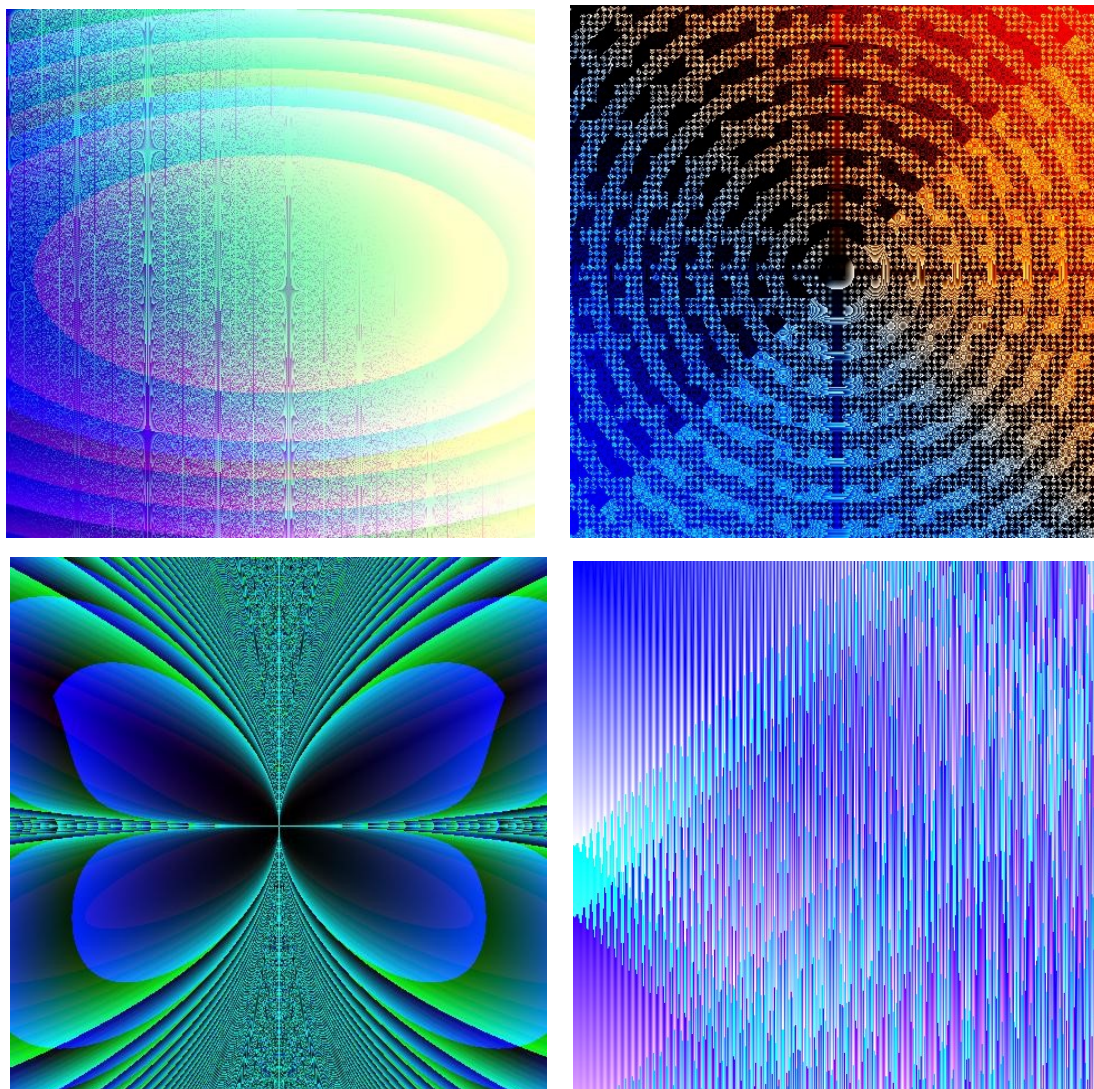


図 学生の作品例

映像コンテンツ制作のためのデジタルキャラクターメイキング教育

金子 満¹ 近藤 邦雄¹ 岡本 直樹² 三上 浩司¹

東京工科大学メディア学部¹ 東京工科大学片柳研究所クリエイティブ・ラボ²

1. はじめに

映像コンテンツの制作工程や公開方法の大きな変化に伴い、大量に、しかも良質なコンテンツを制作していくために、映像コンテンツ制作産業分野の人材育成が緊急的な課題であるといわれている。特にシナリオに基づいたキャラクターの考案・創作からその運用の諸工程にも工学的な分析にもとづく体系化とその教育が望まれている[1, 2]。映像コンテンツのキャラクター創作分野では、これまで工学的な分析を試みた先行研究は国内外にも見当たらず、熟練者の技能に頼っていた。そこで人材育成のためにマンガ、アニメ、ゲームなど多彩なキャラクター開発とその利用が盛んな日本がこれまでの経験と知識を生かして、キャラクターメイキング手法を提案し、その教育手法を確立することが重要である。

本論文で扱う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オブジェクトやキャラクターを考案、デザインし、それらを効率的に運用する手法を総称したもので、ストーリー、プロット、エピソード、キャラクター設定、キャラクターの描写、そして流通の利便性を考慮したデータ管理までを含んでいる。また本論文で扱うキャラクターデザインとは、プロデューサーがデザイナーにキャラクターイメージを伝え、キャラクターデザイナーがそのイメージをもとに画像やモデルをデザインし、デザイン原案をまとめてゆく創作活動をいう。このような活動において、有用な創作物であるかどうかの判断基準や、分析・評価の手法が確立されておらず、プロデューサーなど制作責任者の感性にたよることが多く、創作物の評価が困難という現状がある。また、プロデューサーやディレクターのリテラル資料が具体的でなかったり、サンプルのイメージが強すぎたりして、デザイナーとの打ち合わせやデザイン修正に時間がかかり、デザイン作業を効率的に行うことができない場合が頻繁に生じるなど、質の向上の面でも効率化の面でも課題が生じている。感性語を利用した画像分析やデザイン支援は原田[3]や黒田[4]による研究があるが、キャラクター創作に適用した研究は見当たらない。このような課題を解決するために、筆者らは創作テンプレートを用いたデジタルキャラクターメイキング手法を提案した[9]。

本研究は、キャラクターの考案・創作からその運用の諸工程の体系的な学習のために、筆者らが提案するキャラクターメイキング手法の有用性を明らかにすること、そして本手法を用いたキャラクター創作のための教育方式を確立することを目標とする。そのために本研究では、ストーリーやキャラクターの行動、性格設定などのリテラル資料や、キャラク

ター印象スケールによる画像分類やコラージュに基づくビジュアル資料を用いたキャラクター創作教育への適用を行うことを目的とする。

本研究では、まずキャラクターメイキングの創作テンプレートを利用した教育プロセスをまとめた。そしてキャラクターメイキング教育のためのシラバスをまとめ、大学院の講義でキャラクターメイキングに関する講義を実践した。さらに学部では、創作テンプレートを利用したキャラクター創作演習を行った。これらのことから、キャラクターメイキングのためのテンプレートを用いることによって、実際にキャラクター創作の経験がない受講生でも意図したストーリーに基づいた性格を持つキャラクター創作が容易になることがわかった。

以下、第2章ではキャラクターメイキング手法の概要について述べる。第3章では、キャラクター創作手順の概要、第4章、第5章では大学院と学部における提案手法を利用したキャラクター創作演習と学生によるキャラクター創作事例について述べる。

2. キャラクターメイキングの概要

キャラクターメイキングの定義と扱う範囲について述べる。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オブジェクトやキャラクターを創り、発展させる手法である。キャラクターメイキングに必要な要素は、ストーリー、設定、エピソード、そして俳優や画像である。キャラクターメイキングは、デザイン、レンダリング、エキスポイティングという3段階に分かれるが、本研究における教育ではデザイン、レンダリングの段階を扱う。

デザイン原案を創作する過程では、まずプロデューサーやディレクターがストーリーやプロットからキャラクターの外見や行動を文章化してリテラル資料を作成する。同時にイメージに合うサンプルをいくつか用意することもある。次にプロデューサーやディレクターはこれらの資料をもとに専門のキャラクターデザイナーにキャラクターのデザイン画作成を依頼する。

このような作成過程において、リテラル資料とビジュアル資料はキャラクター生成に重要な役割を果たす。図1に示すように、キャラクター創作では、内容、外観、印象を構築する。「内容構築」は、リテラル資料を作ることであり、ストーリー、環境、性格、行動などを決定することである。「外見構築」は、イメージングツールを活用し、デザインを行うことである。デジタルスクラップブック、2Dグラフィックス、3Dモデリング、3Dアニメーションなどを活用する。「印象構築」は、内容と外

観に基づきコンセプトを作ることであり、ジャンル・種類・役割・内容、形と色、部分と全体、他とのバランスを考慮して、内容構築と外観構築を進行させる。キャラクターメイキングはこれらの「内容」と「外見」を作成し、「印象」を作り上げることといえる。

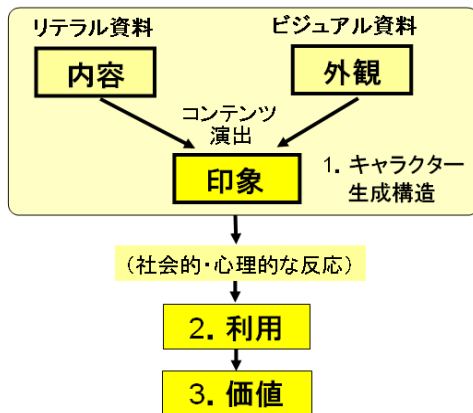


図1 キャラクター生成と産業との関係

3. キャラクターメイキング手法による創作手順の概要

本節では、キャラクターメイキング手法の創作手順の概要について述べる。まずキャラクターメイキングプロセスの概要について説明し、さらにそのプロセスの各項目の詳細を順に述べる。

3.1. キャラクターメイキングプロセス

図2に キャラクターメイキングプロセスを示す。このプロセスは大きく3つに分かれる。まず第1はリテラル資料であるS,Mプロットの作成とキャラクターのさまざまな特徴を示す設定情報をまとめることである。第2はビジュアル資料を作成するための感性スケールによるキャラクター画像の分類とコラージュによるデザイン原案作成である。第3はデザイン原案をもとにデザイナーがデザイン画を描いたり、3次元キャラクターモデルを制作したりする段階である。

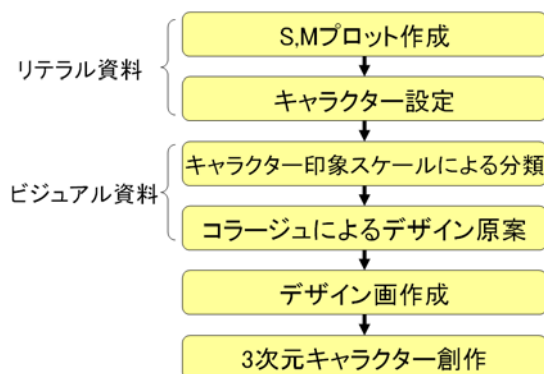


図2 キャラクターメイキングプロセス

3.2. リテラル資料とビジュアル資料作成プロセス

ここでは、図2のリテラル資料の作成の2つのプロセスとビジュアル資料の作成の2つのプロセスについて述べる。

3.2.1 SMプロットの作成

ここでは、リテラル資料のなかで主要な役割を果たすストーリーのあらすじの作成について述べる。このために金子[6, 10]が提案した段階的なシナリオ制作手法を用いて、Sプロット、Mプロットの作成を行う。この作成支援のためにストーリーの発端、展開、結末を書くテンプレートを用いる。Sプロットは発端、展開、結末はそれぞれ15文字、30文字、15文字程度で、Mプロットは、Sプロットをもとにそれぞれ50文字、100文字、50文字程度でまとめる。これによって、ストーリーの骨子をまとめ、キャラクターの性格や行動を明確にすることができる。

3.2.2 キャラクター設定

ウラジミール・Я.プロップ[5]、金子ら[6]は、共通登場人物はそれぞれストーリー上の機能を持ち合わせていることを明らかにした。この分析をもとに、金子は(1)「主人公」、(2)「協力者」、(3)「敵対者」、(4)「犠牲者」、(5)「依頼者」、(6)「援助者」、(7)「対抗者」という7つの機能^[1]を提案した。このキャラクターの機能を「役柄」と呼ぶ。これらの役柄のほか、基本設定、外見設定、性格設定、生活設定、能力設定、関連人物と相関関係、およびキャラクター設定のコンセプトと解説をまとめる。これらの情報をまとめるためにキャラクター設定テンプレートを用いる。

3.2.3 キャラクター印象スケールによる画像分類

キャラクターデジタルスクラップブックを構築するために、茂木ら[7]は、キャラクターの印象を表す言葉を抽出し、キャラクター設定のために以下の12種類の必要なキャラクター印象スケールにまとめた。「真面目な⇔不真面目な」、「荒々しい⇔大人しい」、「強気な⇔弱気な」、「積極的な⇔消極的な」、「陽気な⇔陰気な」、「優しい⇔冷酷な」、「熱烈な⇔冷静な」、「頑固な⇔素直な」、「優柔不断な⇔果敢な」、「保守的な⇔革新的な」、「成熟した⇔未熟な」、「美形⇔風変わり」、「派手⇔地味」である。このキャラクター印象スケールを用いて、個人の感性に基づきキャラクターを分類、検索する。これによって大量のキャラクター画像を印象によって分類することができる。

3.2.4 コラージュによるデザイン原案制作

デジタルスクラップブックまたはイメージスケールによるキャラクター分類をもとに、意図したキャラクターパーツを選択する。フォトタッチソフトや専用のコラージュシステムを用いて、デザイン原案を作成する。多数のキャラクター画像から、キャラクター印象スケールを利用して希望する画像を検索し、その結果をコラージュする。つまり、「選択し調整する」という作業で、ソフトウェアを使って画像を操作することにより、プロデューサーやディレクターなど、絵を描くことが不得意なスタッフでもビジュアル化作業を行うことができる。さらに多くの参考資料画像からさまざまな印象を持つキャラクターを創作しやすくなるという効果もある。

次に、このプロセスをもとにした大学院と学部におけるキャラクターメイキング演習と学生の創作結果について述べる。

4. 大学院デジタルキャラクターメイキング教育

4.1 講義概要と目的

本節では、デジタルキャラクターメイキング特論の概要と講義目的を学生に公開したシラバスに従って述べる。

講義概要は以下のようである。「日本のコンテンツを支える特色のひとつにコミックス、アニメーション、映画、ゲームなどのビジュアルコンテンツの進行をつとめるキャラクターである。日本はアメリカと並ぶキャラクター王国といわれているが、その創成過程は個人的な感性に頼っていた。本学で始まったキャラクター分析手法を利用して、これらのビジュアルコンテンツの基本となるキャラクターを段階的にイメージ化し、専門のデザイナーや、キャラクターを利用する後工程のスタッフにより正確な意図を伝えることができるキャラクターメイキングを実習するとともに、その利用方法を考察する。キャラクターとは性格、特色という抽象的な意味のほか、人物や配役という意味がある。本講義では映像コンテンツにおいてコンテンツを進展させる役割をもつ登場オブジェクトをいかに形成し、利用するかを論じ、そのメイキングを実際に経験することが目的である。」

4.2 講義シラバス

ここでは、講義内容と演習内容について述べる。

- 第1回 ・キャラクターメイキングとその周辺。産業規模、かわる人々と職種。利用方法の変遷など。
- 第2回 キャラクターの歴史とデジタル技術(俳優を含む)その歴史。デジタル技術による変革。
- 第3回 キャラクターの構成と構成要素。アイデア・サンプル・合成・提案・修正・完成。
- 第4回 キャラクターを作る人ケーススタディ1. オリジナルキャラクタークリエイターとその根源。
- 第5回 キャラクターを作る人ケーススタディ2. デザイナーディレクターとキャラクターの利用。
- 第6回 キャラクターを作る人ケーススタディ3. プロデューサーとキャラクターの利用。
- 第7回 キャラクターの構造分析 1. 内容構造分析。
- 第8回 キャラクターの構造分析 2. 外観構造分析。キーワード・データマイニング・コンセプト・シミュレーション。
- 第9回 キャラクターの構造分析 3. 印象構造分析。
- 第10回 キャラクターの制作・発表 1. 動機・資料・分類・キーワード・合成
- 第11回 キャラクターの制作・発表 2.
- 第12回 キャラクターの制作・発表 3.
- 第13回 分析・評価・提出(制作結果の修正)

このような講義と演習によって、キャラクターメイキングのためのキャラクター画像収集、リテラル資料作成、キャラクター原案制作を行った。

4.3 キャラクターメイキング演習課題と提出内容

演習課題は、キャラクター設定作成、キャラクター収集、キャラクター分析、外観設定(コラージュ、作画、3D モデリング)である。外観設定は、コラージュ以外に、手描きによる作図や3次元CGソフトなどを利用したモデリングなどもよいこととした。提出内容を下記に示す。

- (1) 題目、学籍番号、氏名、講義名、日付
- (2) リテラル資料:
 - 1. ストーリー名、Sプロット、Mプロットなど
 - 2. キャラクター設定
 - 3. キャラクターの収集
 - キャラクター印象スケールによる人物分類
 - さまざまなスケールによる分類
 - 制作キャラクターのスケールへの配置
- (3) キャラクター外観設定
 - 手描き、コラージュ、3次元モデルなどによる制作例
 - このとき、パーツ選択理由、根拠を明確にする。

4.4 キャラクターメイキング演習の結果

図3にキャラクター印象スケールへの収集画像配置例を示す。S,Mプロットやキャラクター設定テンプレートを用いて社会設定、生活設定、能力設定、外見設定、性格設定、関連人物設定を行った結果をもとに、多くのキャラクター画像を集めてキャラクター印象スケール上に配置した例である。

図4はキャラクターパーツの選択とコラージュによる創作例である。

このような結果から、以下のことが分かる。

- (1) 自ら考えたキャラクターを考えるためにさまざまなキャラクター印象スケールに配置して、キャラクターの印象を検討している。これによって、登場キャラクターの性格付けを行うとともに相関関係を明確にすることができる。
- (2) 本手法は自分の意図を言葉だけでなく、キャラクターの設定をより正確に伝える役目を実現できる。
- (3) キャラクターメイキングに必要な最低限の情報をテンプレートに従って集めているために、このようなキャラクター創作が容易になる。



図3 キャラクター印象スケールへの配置例



図4 パーツの選択とコラージュによる生成例

5. 学部講義「CG アニメーション」における創作演習

5.1. キャラクター創作演習課題の内容

CG アニメーションは学部3年生の講義[8]である。本講義はCGアニメーション全般を理解できるようにシラバスを構成している。基本的な内容は画像情報教育振興協会編「デジタル映像表現」を参考にしてはいるが、講義内容は必ずしも教科書の順番とは一致していない。アニメーション制作工程全般に関係する技術的な項目、表現に関係する項目を扱っている。多くの内容を理解できるように6つの課題を与えている。本キャラクターメイキング演習はその中の3つの課題からなり、図2で示したプロセスに従って3次元キャラクター創作までを行うこととした。これらの課題は講義内での演習時間をとるとともに宿題とした。課題を以下に示す。

課題その1: シナリオ入門, S, M プロットの作成

プロット作成テンプレートを利用してS, M プロットを作成すること。そして段階的なシナリオ作成の考察を行うこと

課題その2: リテラル資料に基づくキャラクターメイキング

テンプレートに基づいてキャラクターメイキング必要な情報を記入する。そしてキャラクター画像を集めて、キャラクター印象スケールによるキャラクター分析を行い、コラージュして新たなキャラクター原案を作成する。さらに本制作手法(コラージュから3次元モデル)の利点と欠点、考察と感想を書く。作成したキャラクターの評価を、テンプレートを用いて行うこと。以下に注意事項を示す。

- コラージュによってキャラクターを制作するときに、キャラクター設定に基づいて制作すること。
- コラージュによるキャラクター制作は必須であるが、複数のキャラクターを制作する場合にはCGシステムによるペイント機能などで描画したキャラクターも可とする。登場キャラクターは複数である場合が多いので可能であれば多数制作するとよい。
- 制作キャラクターは人目で特徴が分かるようにすること、そのために全身のほか顔のアップなども制作するとよい。

課題その3: 3DCGソフトを利用したキャラクターモデリング

Maya, 3ds-Max, メタセコイアのCGソフトウェアの利用。

課題2で作成したコラージュ結果を用いて、3次元キャラクターキャラクターモデルを作成する。形状のみでいいが、テクスチャやボーンの設定も行おうとよい。以下の項目を書くこと。

- キャラクターの名前
- 説明(リテラル資料による設定情報、制作工程、表現したいこと、見てほしいところなどの特徴)
- 視点を変えた複数の画像
- キャラクターデータ(使用ソフトを明記、マテリアル画像)
- 各自の担当部分、本制作手法(コラージュから3次元モデル)の利点と欠点、考察と感想

本演習は学部学生約60名に対して行った。グループは3名から5名で構成するように学生同士で決定させた。学生の知識や能力はさまざまであり、絵を描くことが得意な学生、モデリングが得意な学生、シナリオを考えることが好きな学生などがある。学生一人では短期間でこれらの課題をすべて行うことは困難と考へ、グループで行う演習とした。この結果、各自の得意分野を中心に行うことができ、受講者の意欲は向上した。

5.2 キャラクター創作演習の結果

図5に4名の学生のグループによる課題1, 2の創作結果例を示す。図5(1)から(8)はテンプレートに従ってまとめた例である。図5(1)は表紙で作品名や提出者情報、完成図である。図5(2)はコンテンツ総合情報を記入している。図5(3)はS, Mプロットである。図5(4, 5)はリテラル資料のうちのキャラクター情報である。図5(6)はキャラクター印象スケールへ収集した画像を配置した例である。図5(7)はさまざまなキャラクターのパーツを利用したコラージュ結果を示す。図5(8)は創作したキャラクターをキャラクター印象スケールに配置して、創作したキャラクターの印象評価を行った例である。図6は同一グループの課題3: 3次元モデリングの創作結果であり、図5(7)のコラージュ結果をもとに3次元モデリングを行った結果である。図7, 8に同様の演習によって創作された怪獣のキャラクターの例と少女の例を示す。

5.3. 演習結果の評価

以下、本提案のキャラクターメイキングプロセスと創作テンプレートに対する学生の評価の分類結果を示す。

長所: (1)キャラクター創作の容易さ、時間短縮、客観的な創作、高品質化に効果がある。(2)チームによるイメージ共有が可能、コミュニケーション、キャラクターのコンセプト伝達が容易、絵が描けない人にも有用である。

短所: (1)オリジナリティの創出が困難、(2)コラージュより手描きの作画が便利、(3)大量の画像収集が手間、(4)2次元画像から3次元モデリングを生成することは困難である。

長所は提案手法の有用性を示しており、短所は指導方法や説明を工夫することにより短所(1, 2, 3)はある程度改善できる。(4)は情報不足であり本質的に困難な課題である。

(1)

不思議なてふてふ

りよう



チーム名:

(2)

コンテンツのリテラル総合情報 (コンテンツ情報)

1 コンテンツタイトル	不思議なてふてふ
2 キャラクター名	りよう
3 年月日時間	2008年12月
4 制作場所	東京工科大学
5 コンテンツ表現スタイル(ジャンル)	ファンタジー
	桃源郷
6 コンテンツの内容	欲張ってはいけないという教訓
7 コンテンツの目的	全年齢対応
8 コンテンツの対象	
9 スプロット(あらすじ)	
発端	不思議な色の蝶を見つけ、追いかける。
展開	蝶を追っていくと今まで見たことのない美しい場所に辿り着く。
結末	翌日友達と行くがそんな場所はなくなっていた。

(3)

10 シナリオライティング SMプロットテンプレート

2008年度版

不思議なてふてふ

	第一幕 発端	第二幕 展開	第三幕 結末
プロット	不思議な色の蝶を見つけ、追いかける。 S(15文字前後)	蝶を追っていくと今まで見たことのない美しい場所に辿り着く。 S(30文字前後)	翌日友達と行くがそんな場所はなくなっていた。 S(15文字前後)
シナリオ	M(50文字程度) 昆虫採集をしていた主人公は不思議な色合いの蝶を見つけ、捕まえようと、逃げ出した蝶を追いかけた。	M(100文字程度) 蝶は主人公を誘うかのようにゆっくり遠くへと逃げていく。夢中で追いかけて行くと、いつの間にか知らない場所へ辿り着く。そこは今までに見たこともない美しい花畑が一面に広がっていた。主人公はその景色を友人に見せようと考え、目印としてハンカチを枝にくくりつけた。	M(50文字程度) 翌日。覚えた道順を辿り友人を連れて来てみると、花畑はなくなっていた。そこには目印のハンカチだけが残っていた。

(4)

11. キャラクターのリテラル特定情報 (キャラクター情報) 役割

登場人物名:りよう	主人公
基本設定	外見設定
生まれ : 日本(屋久島)	性別・年齢: 6~7歳
家族構成: 父母妹	大きさ、太さ: 身長・体重 120cm・21kg
職業 : 小学生	服装: ランニングシャツ・短パン・スニーカー
	表情: 明るい
生活設定	性格設定
習慣: 昆虫採集	好奇心旺盛、未知のものへの興味が強い、まだお兄ちゃんという自覚がない、明るい、お調子者
趣味: 外で遊ぶ	
能力設定	関連人物
身体能力: 一般小学生並み	・蝶
頭脳 : 勉強は苦手	・幼馴染みの女の子(ひろ)
特殊能力: 昆虫に詳しい	

(5)

11. キャラクターのリテラル特定情報 その2 (キャラクター情報) 役割

登場人物名:りよう	主人公
コンセプト	
一目で夏であることが分かる服装の、虫を取ることが好きな、元気が前面に出ている少年。	
解説	
虫取り少年のイメージにありがちな、麦藁帽子、白いランニングシャツ、短パン、スニーカーという服装にプラスし、虫取りカゴ、虫取り網を装備させた。また、小学校1年生という年齢から、未発達な体型であり、少々痩せ型のキャラクター。キャラクターに可愛さを持たせる為、3頭身でデザインした。	

(6)


2. イメージスケール

不真面目な

地味

派手

真面目な



(7)

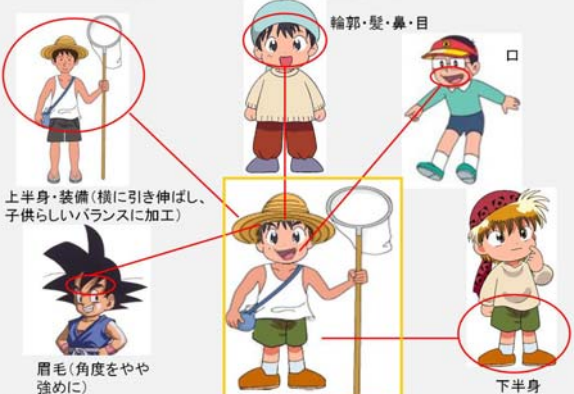
4. コラージュ部品とキャラクタへの配置、色変換処理の結果

輪郭・髪・鼻・目

上半身・装備(横に引き伸ばし、子供らしいバランスに加工)

眉毛(角度をやや強めに)

下半身



(8)

5. イメージスケールと制作キャラクタの配置

積極的

暗い

明るい

消極的



図5 創作テンプレートによるキャラクター創作結果



図 6 3次元モデリングによるキャラクター創作結果



図 7 キャラクター創作結果(コラージュ結果をもとにしたデザイン画と3次元モデル)



図 8 キャラクター創作結果(コラージュ結果をもとにしたデザイン画と3次元モデル)

6. おわりに

本研究では、ストーリーやキャラクターの性格設定などのリテラル資料や、キャラクター印象スケールによる画像分類やコラージュに基づくビジュアル資料を用いたキャラクターメイキング手法を創作教育へ適用することを目的とした。

本研究では、キャラクターメイキング教育のためのシラバスをまとめ、大学院の講義でキャラクターメイキングに関する講義を実践した。さらに学部では、創作テンプレートを利用したキャラクター創作演習を行った。

この結果、大学院生、および学部生に対して本提案手法を適用したキャラクターメイキングの教育を行ったところ、意図したキャラクター原案の効率的な制作が実現できた。そして、キャラクターメイキングのためのテンプレートを用いることによって、実際にキャラクター創作の経験がない受講生でも意図したストーリーに基づいた性格を持つキャラクター創作が容易になることがわかった。

今後の課題は、キャラクターメイキング手法に基づくキャラクター創作結果に対する評価方法を開発すること、創作結果をより高品質にするための評価テンプレートの確立が挙げられる。

本演習において画像編集を行うために、東京工科大学研究員渡辺賢悟氏が作成したコラージュシステムを利用した。記して深く感謝する。

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 -, ボーンデジタル, 2007
- [2] 金子満:「メディアコンテンツの制作」, 財団法人画像情報教育振興協会, 1998
- [3] 原田 将治, 伊東 幸宏, 中谷 広正:感性語句を含む自然言語文による画像検索のための形状特徴空間の構築, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.5, pp. 2356-2366
- [4] 黒田章裕, 近藤邦雄, 諸原雄大, 佐藤尚, 島田静雄, 中島規之, 竹内了:テキスト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 論文集, pp. 113-122, 1993.11
- [5] ウラジミール・Я.ブロップ[著], 北岡誠司[訳], 福田美智代[訳]: 昔話の形態学, 白馬書房, 1987, 8
- [6] 菅野太介, 佐久間友子, 金子満: シナリオ制作を目的とした梗概構成手法の研究, 第21回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, 2005
- [7] 茂木 龍太, 松本 涼一, 近藤 邦雄, 金子 満: 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
- [8] CG アニメーション: <http://www.teu.ac.jp/clab/kondo/>
- [9] 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ジタルキャラクターメイキング手法の提案, 第8回 NICOGRAPH 春季大会, 2009.3
- [10] 金子満: シナリオライティングの黄金則, ボーンデジタル, 2008

多様化するゲーム開発スタイルを見据えた新しい教育カリキュラムの実施報告

中村陽介[†] 三上浩司[†] 渡辺大地[†] 大圖衛玄^{††}
伊藤彰教[†] 川島基展[†] 竹内良太[†]

近年、スマートフォン向けアプリやソーシャルゲーム等新しい市場に向けたゲームの普及により、その開発スタイルも市場に合わせ多様化する傾向にある。特に、短期間でのゲーム開発は、従来の家庭用ゲーム機向けの大規模な開発とは必要なノウハウが大きく異なっている。

この様な新しい開発スタイルにも対応できる人材を育成するため、東京工科大学と日本工学院が合同で行った、短期開発による開発スキルとコミュニケーション能力の向上を重視した新しいスタイルの教育カリキュラムについて、その結果をアンケートと評価データを元に報告を行う。

Report of the new education curriculum which considered the complicated game development styles

YOSUKE NAKAMURA[†] KOJI MIKAMI[†]
TAICHI WATANABE[†] MORIHARU OHZU^{††}
AKINORI ITO[†] MOTONOBU KAWASHIMA[†]
RYOTA TAKEUCHI[†]

In recent years, the game towards new markets, such as a smart phone application, a social game, etc. The game development style also became complicated as a result. Especially Short-term game development differs in required know-how from large-scale development of the conventional console game.

Tokyo University of Technology and Nihon Kogakuin carried out a new education curriculum in order to raise talented people with abundant experience. The new curriculum which improves development skill and communications skills by short-term development is reported in the result based on assessment data.

1. 背景

ゲームは、アニメやマンガと共に世界でも一定の評価を得ている日本のコンテンツのひとつである。技術の進歩などと共に、ゲーム専用機は進化を続け、ハード面・ソフト面においてゲーム開発には高度な専門技術が必要な分野となった。

それに伴い、ゲーム産業界を牽引する人材を生み出すためのゲーム開発者教育カリキュラムを開発し、教育として実践している大学が、北米やヨーロッパ諸国を中心に増加してきた。1)2)3)4)5)。国内でも、学科や学部内の専攻としてゲーム教育を実施する事例がでてきている6)7)8)9)10)11)。

また、近年ではスマートフォン向けアプリケーションやソーシャルゲーム等、新たな形態のゲームが増加している。これらのゲームでは、低額な価格でダウンロード販売したり、当初は無料で提供のちにアイテム課金するなど従来のゲームとのビジネスモデルが展開されている。そのため、従来のゲーム開発のように、大規模チームを率いて、長期の開発期間をかけて開発するのではなく、比較的小規模なチームで短期間で開発している。

現在では、これまで主流となっていた既存のゲーム専用機向けコンテンツの成長が頭打ちになっている12)。一方で新たな開発スタイルを必要とする、スマートフォン向けアプリケーションやソーシャルゲーム等は大きく成長しており、需要は増加している13)14)。このように、新たなジャンルの成長に伴い、ゲーム開発はそのスタイルが多様化してきている。そのため、多様化した開発スタイルに対応する人材に対する需要が増加している。

2. 多様化するゲームスタイルへ対応する際の課題

2.1 大規模開発における課題

ゲーム開発スタイルの多様化に際し、人材を供給する教育機関でも、対応を余儀なくされている。現在では、多くの専門学校や大学が、ゲーム専用機での大規模なゲーム開発を対象としたカリキュラムを想定している。大規模なゲーム開発では、開発の工程が細分化され、それに伴い専門特化したチームが多く必要になる15)。プログラム、グラフィクス等、特化したチームはゲーム開発の一部の工程に集中するために、ゲーム開発全体のプロセスを経験することができない。そのため、個々の開発者にとって開発の全体像がつかみにくく、開発もモチベーション低下や作業ロスが増加するとい

[†] 東京工科大学
Tokyo University of Technology
^{††} 日本工学院
Nihon Kogakuin

う問題が指摘されている。

2.2 スマートフォン向けアプリケーションやソーシャルゲーム開発における課題

スマートフォン向けアプリケーションやソーシャルゲームの開発現場は初期リリースまでの開発期間が数カ月とゲーム専用機の開発と比較して短期間である。またリリース後も毎日コンテンツを開発し追加するなど、ゲーム専用機向けのゲーム開発とはそのスタイルが大きく異なっている[16][17]。

実際にゲーム専用機向けに開発を行っていた企業がスマートフォン向けアプリケーションやソーシャルゲーム開発に参入した場合、その開発スタイルに戸惑うことも多い。

2.3 開発環境の課題

ゲーム開発では開発スタイルだけでなく、開発環境も多様化している。ゲームのネットワーク対応の普及などにより、言語面・システム面で開発環境が多様化しているのはもちろんの事だが、ゲームエンジンと呼ばれるゲームの統合的な開発環境を導入する事例も近年では多くなってきた。Unreal Engine や Unity 等、海外では既に一般的なゲーム開発環境として採用されているもの他、国内でも千鳥エンジンや Luminous Studio などゲームエンジンを開発環境に導入する傾向が強い。

2.4 人材育成の課題

この様に多様化するゲーム開発において、どのような開発現場であっても対応できる人材の育成はゲーム教育において必要不可欠な要素であると言える。学生がゲーム開発企業に就職した場合、どのような開発スタイルでゲーム開発が行われているか、その詳細を知り、準備することは難しい。また、採用後にどのような開発スタイルでゲーム開発に携わるかは流動的である。そのため、これら多様化する開発スタイルに対応できる人材の育成が必要となる。

さらに、教育機関での演習ベースによる教育は、習得スキルの状況などの理由で基本的に同学年でチームを形成し実施する。そのため、多様な年齢構成や経験を持つチームの中で経験を積むことも困難である。

2.5 Global Game Jam の試みと更なる課題

これに対しゲーム開発者の世界的な組織である International Game Developers Association（以下「IGDA」）は「Global Game Jam」（以下「GGJ」）というイベントを通じて、ゲーム開発の全工程を体験する機会を提供している[18]。インターネットを通じて世界各地で同時開催されるイベントで、各会場に集まった学生やプロのゲーム開発者が、48 時間という限られた期間に、テーマに沿ったゲームを完成させる。チームは、

会場に集まった開発者で結成されるため、個々の開発スタイルや開発環境は多様である。こうした環境の中で、一連のゲーム開発プロセスの経験と多様な開発スタイルとの遭遇や体験を得ることができる。

しかし、GGJ はそもそもある程度の開発スキルを持つ開発者のための機会であり、経験の少ない学生にとってはハードルが高い。また、48 時間という短期間を集中して開発するのは肉体的にも大きな負担となる。さらに、ゲーム開発には多様の専門技術が必要であるため、学生は先行する分野にたがって並行して講義や演習を受講する。そのため、スケジュールを調整して GGJ のような取り組みを行うことは困難である。

3. 提案手法

3.1 提案手法の概要

本研究では、GGJ の仕組みを活かしつつ、大学や専門学校の学事振興の中でも対応可能な演習カリキュラムを提案する。本取り組みでは既存カリキュラムで、ゲーム開発に必要な各種の専門スキルを身に付けた学生を対象とする。これらの学生に対し、新たにゲームエンジン（Unity）の教育を施し、短期開発のプロジェクトを複数回繰り返すことで、一連の開発体験の試行錯誤を生み出すことを目標とした。以降にこれまでの教育カリキュラムと提案手法の詳細を述べる。

3.2 東京工科大学における既存の教育カリキュラム

本提案手法では東京工科大学における既存のゲーム開発カリキュラムを元に、3 年次後期に新規演習を追加した。先ず初めに既存の教育カリキュラムを解説する。

1 年次	2 年次	3 年次	4 年次
フレッシュヤーズゼミ（必修）	メディア基礎演習 4 テーマ（必修） 6 週/テーマ	メディア専門演習 2 テーマ（選択必修） 13 週/テーマ	卒業研究（必修）
コンピュータ操作演習（必修）	プログラミング演習 （選択）	プロジェクト演習（選択・選抜制）	

図 1 東京工科大学の演習カリキュラム構成図

図 1 は東京工科大学メディア学部全体の演習カリキュラムを示したものである。

1 年次には大学教育の導入として、フレッシュヤーズゼミと基礎的なコンピュータ操作に関する演習が用意されている。2 年次には学部の全学生の必修となる基礎演習があ

り、Web サイトの構築やアプリケーション構築、アニメーションなどの基礎を学ぶ。3 年次には 20 ほどのテーマから 2 つを選択、必修するメディア専門演習がある。4 年次には卒業研究が必修になっており、専任教員が設定したプロジェクトに配属し卒業論文を執筆する。これに加え、早期から専門的な演習を体験する目的で 1 年次から 3 年次まで実施する選抜制のプロジェクト演習がある。プロジェクト演習は早期から専門的なスキルを身につけたり、自分の専門分野を模索する点で重要である。ゲーム開発教育に関しては、メディア専門演習、プロジェクト演習にゲームのテーマを設定している。

学生はメディア学部全体のカリキュラムからゲーム制作に必要な専門知識を学び、プロジェクト演習でゲーム制作について、チームでゲーム開発の実践を通じて学習する。4 年次には卒業研究として、ゲーム制作技術にかかわる研究開発を実施している。またこれに加え、2 つの講義科目を開設し、理論と実践の両面からゲーム開発を教育している。

3.3 新規カリキュラム

新規カリキュラムとして、東京ゲームショウ出展が終わった 3 年次後期に新たな目標を学生に提示し、それに向けたトレーニングを行う演習を設定した。演習の内容は次の様に、既存の人材育成や GGJ の問題点を解決する形で設定した。

(1) 最終目標としての GGJ への参加

GGJ がゲーム開発人材の教育に効果があることは、2.5 で述べた。本取り組みにおいても、最終目標として GGJ に参加し、世界中のプロのゲーム開発者とともに競い合うことを柱とした。GGJ は毎年 1 月下旬に開催されるため、これに向けて学生はモチベーションを維持し、演習に取り組む見やすい環境を用意した。

(2) 参加学生の多様性確保

新規の演習は東京工科大学の姉妹校である、日本工学院の協力を得て、大学 3 年生、4 年生と専門学生の 1 年から 4 年生がチームを組んでゲームを制作する演習とした。これにより、参加学生の開発環境や習熟度にばらつきを与えることができる。常に行動を共にしている同級生によるチームではなく、年齢や経験も異なる開発者がチームを形成し開発する環境を生み出すことができる。

(3) 1 ヶ月の短期制作

多様化するゲーム開発スタイルに対応するため、演習では長期の開発ではなく、1 ヶ月でゲームを 1 つ制作する開発を 3 回繰り返す。そのため、開発期間中に参加者各自が開発時間を記録し、全体での打ち合わせも含めた合計開発時間が 48 時間を超えないように工夫した。これにより、GGJ のような短期開発の経験を、大学や専門学校の学事進行中でも容易に実現可能にした。開発チームは東京工科大学と日本工学院の学

生の混成チームとなり、制作開始時にランダムで決定する。これにより、開発能力の向上と共にコミュニケーション能力の向上も図る。

(4) チームメンバー相互評価シートの作成

一カ月のゲーム開発終了時に、チームメンバーの評価を学生自身が行い、個人がチームに対してどれだけ貢献したかを数値化し、学生に提示する。これにより、学生の長所と短所を客観的に分析するための指標とするともに、学生の向上心を煽りゲーム開発に対するモチベーションの向上を促す。

(5) ゲームエンジンの学習

世界的に普及し、注目されているゲームエンジン Unity の学習を演習内で行う。学習から、ゲームエンジンとは何かを理解し、様々な開発環境にも対応できる応用力の獲得を目指す [9][20]。

以上を目標とした新規の演習を既存のカリキュラムと統合した。新規カリキュラムの全体像を図 2 に示す。新規の演習は 3 年次後期にプロジェクト演習 VI として実施している。

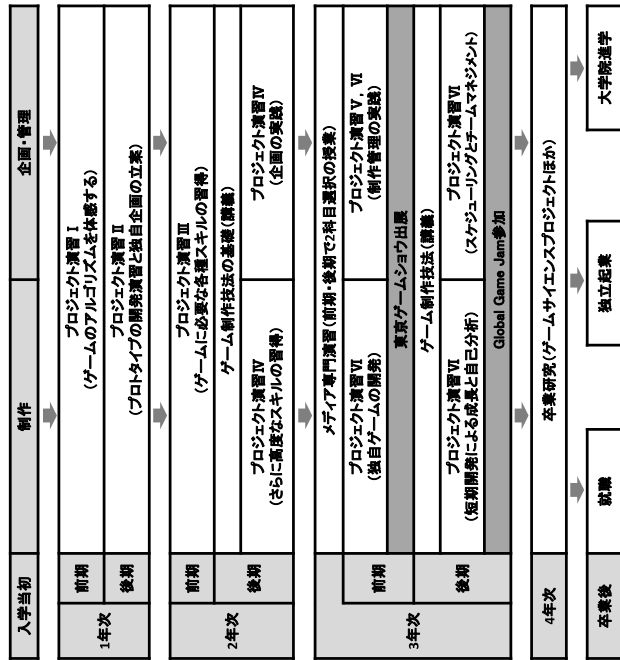


図 2 ゲーム開発カリキュラムの全体像

4. 新規演習の実施詳細

4.1 スケジュールと制作課題

演習は東京工科大学学部3年生、4年生と日本工学院学生1年生～4年生(a)が参加し、3.2で示した目標を達成するために図3のスケジュールで実施した。

9月	29	オリエンテーション	チーム編成 第一回課題発表
10月	6	第一回全通発表	第一回制作
	27	第二回完成発表	チーム編成 第二回課題発表
11月	10	第二回B発表	第二回制作
	24	第二回完成発表	チーム編成 第三回課題発表
12月	1	全通発表	第三回制作
	22	完成発表	第三回課題発表
1月	14	個人制作課題提出	制作課題
	21	チーム制作課題発表	

図3 2011年度の演習スケジュール

演習では1ヶ月でゲームを1つ完成させる短期制作を3回連続で行う。制作開始時にランダムでメンバーを編成したチームと、制作課題の発表を行う。課題発表後、翌週の演習で各チーム制作するゲームの発表を行う。制作期間最終日には各チームが完成したゲームの発表を行う。また、発表を行わない週の演習ではゲームエンジン Unity の学習を行う。制作の共通課題と制作毎の個別課題を次に示す。

- 共通課題
 - 使用機材、言語、アプリケーションは自由
 - チームリーダー、メインプログラマーを必ず決める
 - 最低何時間で制作するかを提示し、制作スケジュールを作成する

- 第1回個別課題
 - チームの主張・メッセージをゲームで表現する
 - fight,flight,float から一つを選択しゲーム要素として取り入れる
- 第2回個別課題
 - チームの「ゆずれない・斬新な・革命的な・驚嘆すべき・抱腹絶倒の・苦言を呈する」主張・メッセージをゲームで表現する
 - ah,ash,mash から一つを選択しゲーム要素として取り入れる
- 第3回個別課題
 - チームで多くの人がやったことのない事に挑戦する
 - refraction,reflection,refection から一つを選択しゲーム要素として取り入れる

4.2 課題の狙い

大学学部生と日本工学院の学生は、言語や使用しているライブラリ等まったく異なるゲーム制作環境、カリキュラムでの学習を行っている。この様な異なる制作環境で学んだ学生が集まり1つのゲームを制作することで、知識や見聞を広めることも本演習の目的の1つである。そのため、演習の共通課題として、使用機材、言語、アプリケーションは自由としている。

チームを円滑に運営するためにはチームリーダーとメインプログラマーを設定することは必要不可欠である。特に複数人のプログラマーが集まる場合、メインプログラマーを設定することは重要である。短期制作ではメンバー個別の制作物が大きなウエイトを占めるとともに、それらを迅速に統合し1つのゲームとして組み立てる必要がある。そのため、なるべく早い段階で統合を見越したプログラム全体の仕様を作成できる能力を持ったメインプログラマーを設定する必要がある。

短期制作のメリットとして、短い期間のためスケジュールを作成する労力が比較的小さく、また早期に制作終了するため、そのスケジュールが円滑に進行したかどうかを早い段階で確認できるという点がある。スケジュールの設定が正確に行われるかどうかは、制作者の経験則による部分が大い。従って短期間の制作を3回繰り返す本演習はスケジュール作成のトレーニングに非常に役立つと言える。そのため、制作時間の予測とスケジュールの作成を演習の必須課題とした。

制作毎の個別課題では学生の独創性やチャレンジ精神が発揮される事を重視した。多くのゲーム制作を行う演習では、演習の成果としてゲームを完成させることを重視している。そのため、学生の中にはゲーム制作を課題として無難にこなすことに囚われ、独創的なアイデアを失ってしまう事も少なくない。また、教師は学生の作品をより良い成果として残すために、様々なアドバイスをを行う。結果として、制作が迷走したり当初の予定とはかけ離れたものが完成してしまう場合も多い。

(a)日本工学院専門学校(蒲田校)及び日本工学院八王子専門学校のゲームクリエイター科ゲームプログラマーコース(2年制)ゲームプランナーコース(2年制)ゲームラボ(4年制)専攻の学生が参加

これに対し、本演習ではゲームを完成させることを必須とせず、また学生の企画に
対し、教師はその企画の根底を覆すようなアドバイス等は自重し、なるべく学生が当
初予定したものを設定スケジュール通りに制作することを重視した。
さらに、学生の自由な発想や挑戦を促すため、制作毎に個別課題の設定を行った。

4.3 個人評価シートによるモチベーションの維持

1ヶ月での制作が終了し、完成発表を行った際にゲームの評価と個人の評価を行っ
た。評価は教師が行うのではなく、演習に参加した学生間で相互に行った。ゲームの
評価は主観的な好みに影響される部分も多い。そのため、教師1人の評価よりも多人
数の評価を総合することによって得た、より客観的な評価が重要となる。

また、同じ制作者同士の忌憚らない意見を評価コメントとしてまとめることで、制
作側では気づきにくいゲームの問題点や改善点などを知ることが出来る。

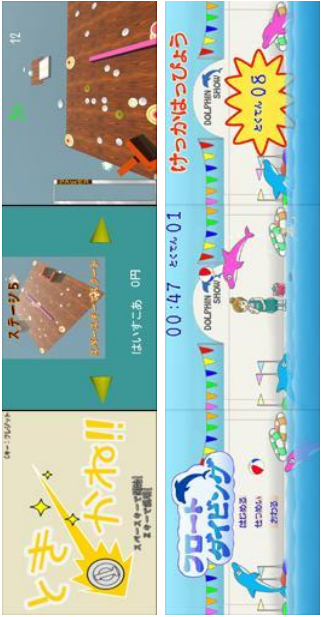


図 4 制作したゲームの例

質問項目	1班	2班	3班	4班	5班	6班	7班	8班	9班
企画の面白さ・新しさ	2.7	4.0	3.6	3.5	3.8	4.1	4.2	3.4	3.8
企画の達成度(どの程度ゲームに実験できていると感じたか)	1.5	4.3	4.6	4.5	2.3	3.9	4.2	3.8	4.5
プレイした面白さ	1.3	3.8	3.9	3.7	2.0	3.3	3.6	3.0	3.6
グラフィックの質	2.6	3.7	4.2	3.7	3.1	3.5	3.8	3.4	4.0
プログラムの質	1.8	4.0	3.9	4.0	2.5	3.5	3.6	3.5	4.1
サウンドの質	1.2	3.8	4.6	3.8	1.6	3.2	3.6	3.6	3.4
演出の質	1.5	3.9	3.9	4.1	2.4	3.8	3.7	3.2	3.5
総合スコア(上記の合計点)	12.6	27.6	28.8	27.3	17.6	25.4	26.7	23.9	26.9

図 5 ゲーム相互評価の例

個人の評価もゲーム評価同様、学生間で行った。個人評価は個人の技量ではなく、
個人がチームの中でどれだけ貢献したかを評価の対象とした。評価は制作チーム内で
チームメンバー同士が互いを点数で評価し、その平均点を個人評価として学生に返却
した。3回の制作毎にこれを行うことで、学生1人1人が20人程度の制作を共にした

他人からの客観的な評価を得ることが出来る。また、制作が終わる次第評価を集計し、
配布することで、制作毎に自身がどのような評価を得たかを知ることが出来る。次の制
作での目標を明確にし、モチベーションを維持する手助けとした。

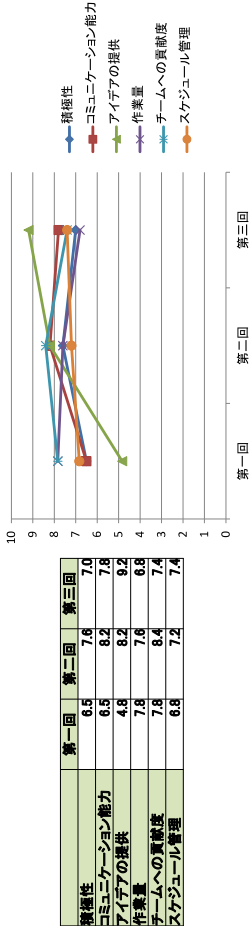


図 6 個人評価の例

4.4 個人調査課題によるまとめとラピッドプロトタイプング

3か月の制作期間中、学生はほぼ制作にかかりきりになるため、制作したゲーム
を振り返り改善点を模索する余裕はほぼない。そこで、3回の制作終了後に制作を振
り返る調査課題を導入することで制作のまとめとした。提示した3つの課題を次に示
す。

- (1) 第1回制作作品を Global Game Jam で制作したとして、完成後に 5,000 回ダウン
ロードされるための戦略。
ロードされるための戦略。
- (2) 第2回制作作品が有料ダウンロードアプリ or iPhone アプリ (どちらかを選択)
だったと仮定したとき、マーケティングで 1 万回ダウンロードされるにはどのよう
な戦略と改善が必要か
- (3) 第3回制作作品で 100 万円儲けるにはどうすればよいか

(1)は演習の最終目的である Global Game Jam について調査し、参加する意義と目的
を再確認するための課題である。学生に世界に向けてゲームを公開できるということ
と、そのために何をすべきかを自ら導き出すことを意図している。

(2)はマーケティング調査課題である。演習で作成したゲームの多くは、特定の需要
を想定したものではなく、学生自身が作りたいものを制作したものが多く、それらの
ゲームを実際に公開し、利益を得るにはどのような努力が必要かを知ることが目的と
した課題である。(3)も同様にマーケティング調査であるが、こちらは市場を限定して
いない。

また、(2)(3)ともにラピッドプロトタイプングの基本概念を意識するのための課題でも
ある。ラピッドプロトタイプングは早期に動作モデルを作成し、ゲームであればその
面白さを検証するプロトタイプングの手法である。また、それと共に検証の結果、意

図した面白さを実現していなかった場合は、そのモデルを破棄または大幅に変更し新たなモデルを作成する考え方も重要となる。

(2)(3)の課題では、既に制作したゲームをプロトタイプと仮定し、そこから市場の需要にマッチしたゲームにするにはどのような改善をし、機能を追加することを検討する指導を行った。この課題により、学生は早期にプロトタイプを制作することの有効性と、それを正しく検証するというラビッドプロトタイプの基本概念を学習する。

以上3つの調査課題により、演習に参加した学生は制作したゲームの見直しからラビッドプロトタイプの基本概念を学ぶとともに、Global Game Jam への参加意義を明確にしていける。

5. カリキュラム運用の結果と評価

新規カリキュラムは2010年度より運用を開始し、2011年度までで2年間の運用実績を得た。各年度の演習参加学生の総数を図7に示す。

年度	第1回制作	第2回制作	第3回制作
2010年度	33名	26名	16名
2011年度	67名	70名	63名

図7 年度別演習参加人数の変化

本演習は、卒業に必須の単位ではなく、また開講時期の関係上の理由からインターンシップなど就職活動を理由に、制作終了時に次の制作に参加しない判断を学生がすることを許可している。逆に何らかの形で本演習の情報を得、第2回、第3回から制作に参加することも許可している。また、大学学部4年生は研究スケジュールの関係上第1回のみ参加している。

本演習実施初年度である2010年度は、連絡なく第2回、第3回の制作に参加しない学生が多く存在し、結果として第3回制作は第1回制作時の半分程度の人数まで減少してしまっただけで、これは制作課題のハードルを高く設定しすぎた点と、個人評価シートをGlobal Game Jam 終了時まで学生に提示しなかったことが原因であると考えられた。そこで、2011年度は、制作課題の方針を変更し、学生自身が挑戦し主張する何かを考え課題を設定し、ゲーム制作を楽しむことを演習中に強調した。また、個人評価シートを制作終了時毎に集計し配布することで、学生のモチベーションを高める努力を行った。

結果として、連絡なく制作に参加しなくなる学生はほぼなくなり、各制作

の参加人数に大きな変化を出すことなく演習を実施することに成功した。

次に、年度毎の制作ゲーム本数と完成本数を図8に示す。

年度	第1回制作	第2回制作	第3回制作
2010年度完成本数	4	3	2
2010年度チーム総数	5	4	3
2011年度完成本数	7	9	6
2011年度チーム総数	9	9	9

図8 年度別ゲーム制作本数と完成本数

2010年、2011年共に全チームの1、2チーム、2.5割程度の割合で未完成の報告を行った。尚、完成、未完成の判断は学生自身が行い報告している。2011年第3回については挑戦を課題としたため、未完成が増加した。失敗の原因については、スケジュール作成が不十分だった、または行わなかったこと、他、連絡を頻繁に取り合うことを怠ったなどがヒアリングなどから明らかになった。

しかし、制作毎にチームを変更しているため、全ての学生が必ず1回以上はゲームを完成させている。短期間で成功例だけでなく、失敗例も体験できることから学生の反省を自発的に促すことが出来、本演習は学生の成長に有効であると言える。

カリキュラム運用当初、1カ月の制作でゲームを完成させることは可能かどうか懸念されたが、2年間のカリキュラム運用により、可能であることが証明された。特に2011年度は日本工学院的の学生に1年生が多く参加した。制作経験の浅い学生が参加した場合でも、制作経験の豊富な先輩と共に制作することにより、短いスケジュールであっても成果を残すことが出来ることが分かった。

個人評価については集計の結果幾つかの傾向を得ることが出来た。まず第一に個人評価は基本的に制作を重ねるごとに右肩上がりのグラフにはならないという点である。これは制作毎にチームメンバーが変わるため評価基準が一定ではない点と、制作を重ねるごとに個人のチームメンバーに要求する基準が上がっていくことが原因である。このため、評価シート配布時には必ずしも数値が上昇するわけではないということを予め説明し、配布した。

しかし、図 8 の様に一部の要素のみ大きく上昇する場合がある。この場合は個人の努力の結果、能力が上昇したと考えられる。

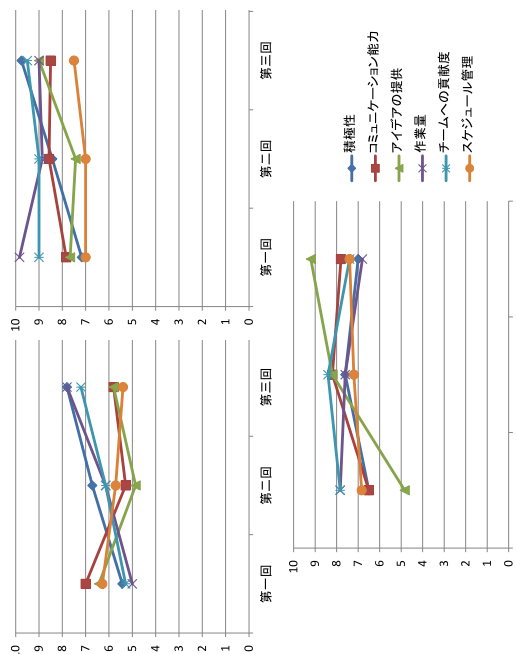


図 9 個人評価シートの上昇例

上昇とは逆に、一部の要素のみが大きく下降する例も見られた。この様な学生には注意を促した。

その他、スケジュール管理については多くの学生が要素の中で下位に位置しており、スケジュールの作成、実施に関する指導には改善の余地があると言える。特にプロデューサー、プランナーなど本来スケジュール等の管理を行う職種を希望する学生にこの傾向が強い事がわかった。これはプログラムやグラフィックス等其他工程に関する理解不足が原因であると考えられる。チーム制作内で他職種に関する理解を深めるためのコミュニケーション能力の獲得も今後の課題と言える。

ゲーム相互評価、個人相互評価以外のアンケートとして、ゲーム制作における各工程の理解度と重要度の認識に関するアンケートも制作終了時毎に行った。この結果から、ゲーム制作経験の浅い 1 年生は α 版、 β 版等ゲームのマスターアップに向けた段階的 engineering に対して理解度と重要性の認識が低く (図 10)、さらに制作を重ねる毎にデバッグに関する重要性の認識が低下している事がわかった。

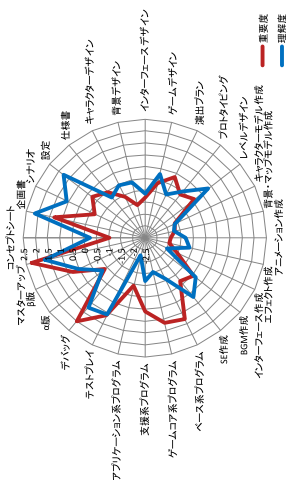


図 10 演習参加 1 年生の制作工程の理解度と重要度の認識

これは、ゲームを統合する段階等は経験の豊富なプログラマーが行い、経験の浅い 1 年生はこの間仕事でなくなっていることが原因であると考えられる。またデバッグに対する重要度の低下については、短い制作期間のため、完成が期間終了直前となり満足なデバッグ期間を確保できなかったことが原因であると言える。この点から、制作後半でのタスクの均等な分配とデバッグに対する意識の強化が今後の課題であると考える。

本演習の最終目標である Global Game Jam (以下「GGJ」) には、演習に参加したほぼすべての学生が参加し、2010 年度の GGJ (2011 年 1 月開催) では 10 チームが学外から参加した社会人や学生と共にゲーム制作を行い、全てのチームが世界に向けてゲームを発信することに成功した。GGJ に参加した社会人には同じチームとなった本演習参加学生の評価を依頼し、学生のゲーム制作スキルについて高い評価を得るとともに、現場での制作を想定した場合の改善点など貴重な意見を多く得ることが出来た。

6. まとめ

本取り組みでは既存の東京工科大学のゲーム開発カリキュラムに加え、多様化するゲーム開発スタイルに対応できる経験豊富な学生の育成を実践した。GGJ をベースに考案した、短期間でのゲーム開発を繰り返す教育手法は、長期開発にはない失敗、成功を含めた実践による学生の経験値の増加を確認できた。今後はスケジュール等、管理手法について、カリキュラムの実施により明確となった問題について解決策を模索していく。

今後もゲーム業界は常に進歩していく。進歩の中でまた新たな開発スタイルが確立

される可能性も非常に高い。それら常に進歩し続けるゲーム業界に対応できる人材の育成を、大学間の連携、大学と専門学校間の連携や、教育界と産業界の連携などにより、より進歩した教育カリキュラムを構築することによって実現していきたい。

謝辞 本取り組みは文部科学省「現代的教育ニーズ取組支援プログラム（現代GP）」及び「産学連携による実践型人材育成事業 専門人材の基盤的教育推進プログラム」21)の支援を受けています。

参考文献

- 1) University of Southern California : <http://cinema.usc.edu/>
- 2) Entertainment Technology Center, Carnegie Mellon University : <http://www.etc.cmu.edu/>
- 3) Chaffin, A., Doran, K. and Hicks, D. : "Experimental Evaluation of Teaching Recursion in a Video Game", Proc. of Sandbox Symposium 2009, ACM SIGGRAPH, pp.79-85, 2009
- 4) McDaniel, R. : "Cardboard Semiotics: Reconfigurable Symbols as a Means for Narrative Prototyping in Game Design", Proc. of Sandbox Symposium 2009, ACM SIGGRAPH, pp.87-93, 2009
- 5) Fullerton, T. : "Game Design Workshop 2nd ed.", Morgan Kaufmann Publishers, 2008
- 6) 三上 浩司, 中村 陽介, 渡辺 大地, 山路 和紀, 小澤 賢侍, 伊藤 彰教, 川島 基展, 竹内 亮太, 近藤 邦雄, 金子満, 「日本における産学連携によるゲーム制作の実践教育」情報処理学会, グラフィックスとCAD研究会研究報告, CG-142, 2011.2
- 7) 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, 2010.11 <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1891110&prelflow=tab>
- 8) 三上 浩司, 渡辺 大地, 山路 和紀, 小澤 賢侍, 金子満 : 産学連携によるゲーム開発の実践的教育カリキュラムの構築, 情報処理学会, グラフィックスとCAD 研究会研究報告, CG-130, 2008.2
- 9) 三上 浩司, 渡辺 大地, 山路 和紀「産学連携による高等教育機関におけるゲーム人材の育成と先端研究」社団法人コンピュータエンターテインメント協会, CESA DEVELOPPERS CONFERENCE, 2007.8
- 10) 金子満, 三上 浩司, 山路 和紀「専門教育における産学連携「インタラクティブ・ゲーム制作の実践教育」の取組事例」, 社団法人私立大学情報教育協会, 教育改革 IT フォーラム, 2007.6
- 11) 三上 浩司, 山路 和紀, 渡辺 大地, 金子満「現代的教育ニーズ取組支援プログラム「インタラクティブ・ゲーム制作の実践教育」の取組事例」, 文部科学省, 財団法人文教協会大学教育改革プログラム合同フォーラム, 2008.2
- 12) Entertainment Software Association, 2011 Essential Facts About the Computer and Video Game Industry, 2011, http://www.theesa.com/facts/pdfs/ESA_EF_2011.pdf
- 13) グリー株式会社 IR 情報, <http://www.gree.co.jp/ir/>
- 14) 株式会社ディー・エヌ・エー IR 情報, <http://dena.jp/ir/>
- 15) デジタルゲームの教科書制作委員会「デジタルゲームの教科書 知っておくべきゲーム業界最新トレンド」, ソフトバンククリエイティブ, 2010

- 16) 名村 卓「アメーバビズの作り方 ～Flash で作るマルチプレイヤーゲーム～」, 2011, CEDEC セッション, 2011
- 17) 土田 俊郎「セールスランキンング No.1 プロダクトの作り方」, 2011, CEDEC セッション, 2011
- 18) IGDA : "Curriculum Framework", http://www.igda.org/academia/curriculum_framework
- 19) 中村陽介「Unity 教材」 : http://gp-portal.jp/material/refMaterial/2255_Unity_document01.pdf
- 20) 中村陽介「Unity 教材の付属資料と作品評価とコメント資料」
<http://www.teu.ac.jp/clab/KIGGI/>
- 21) 文部科学省平成 22 年度産学連携による実践型人材育成事業 - 専門人材の基盤的教育推進プログラム - ゲーム産業における実践的 OJT/OFF-JT 体感型教育プログラム
<http://gp-portal.jp/src/ippan/shoukaiPage.cfm?id=2255>

メディアコンテンツ制作のためのキャラクターメイキング教育

茂木龍太^{†1} 菅野太介^{†2} 三上浩司^{†2} 近藤邦雄^{†2}

キャラクターは、メディアコンテンツの印象に大きな影響をあたえる要素である。本演習では、キャラクターメイキング教育として、既存キャラクターを分析することで、キャラクターの持つ印象情報を把握し、我々が提案するメディアコンテンツ原案制作手法を用いたキャラクター制作を行った。そして、3Dモデリングを視野に入れたクレイモデリングを行った。その成果を報告する。

Character Making Education for Media Content Creation

RYUTA MOTEGI^{†1} DAISUKE KANNO^{†2}
KOJI MIKAMI^{†2} KUNIO KONDO^{†2}

Character is an element a significant impact on impression of the media content. This exercise confirmed the impression of the character convey information by analyzing the character. And we made a character creation using the draft media content production methods that we have proposed. And I made a clay model with a view to 3D modeling. Report the results.

1. はじめに

メディアコンテンツの制作工程や公開方法の大きな変化に伴い、大量に、しかも良質なコンテンツを制作していくために、映像コンテンツ制作産業分野の人材育成が緊急的な課題であるといわれている。特にシナリオに基づいたキャラクターの考案・創作からその運用の諸工程にも工学的な分析にもとづく体系化とその教育が望まれている[1]。

メディアコンテンツのキャラクター創作分野では、これまで工学的な分析を試みた先行研究は国内外にも見当たらず、熟練者の技能に頼っていた。そこで人材育成のためにマンガ、アニメ、ゲームなど多彩なキャラクター開発とその利用が盛んな日本がこれまでの経験と知識を生かして、キャラクターメイキング手法を提案し、その教育手法を確立することが重要である。

本研究は、キャラクターの考案から制作を通してメディアコンテンツ制作の学習のために、メディアコンテンツを象徴するキャラクターに着目した。キャラクターとはよくイラストと混同されがちなため、その構造を理解するための分析、調査を行う。そして、分析調査に基づいて、実際にメディアコンテンツ原案を制作することで、キャラクターをはじめとするメディアコンテンツ制作のために必要な情報の創作や技術の理解を目的としている。

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オブジェクトやキャラクターを考案、デザインし、それらを効率的に運用する手法を総称したもので、ストーリー、プロット、エピソード、

キャラクター設定、キャラクターの描写までを含んでいる[2]。

キャラクターはメディアコンテンツの印象に大きな影響を与える要素であるため、そのキャラクター構造の理解を支援するために、分析テンプレート用意し学生自身にキャラクターの分析をさせ、キャラクターの持つ情報量の多さを学ぶこと目指している。そして、その構造に基づいて実際にキャラクター制作を行って、メディアコンテンツ制作のための原案制作を学ぶことを目的としている。その他は、キャラクターのビジュアル情報における誇張と省略や描き分けなどの調査・分類と、クレイモデル制作体験を通じた造形の観察と表現を学ぶことを目的としている。

以下、2章ではデジタルキャラクターメイキング演習の概要について述べる。3章では演習内容で用いた理論や方法論を踏まえた紹介をする。4章では演習における制作事例と結果について述べる。

2. デジタルキャラクターメイキング演習の概要

2.1 演習の目的と進め方

本演習は、東京工科大学メディア学部の選択科目で、対象を1年次から3年次までを対象としている。

本演習は、メディアコンテンツに登場するキャラクターメイキングについて学ぶことを目的としている。演習では、用意した分析テンプレートを用いて既存キャラクター分析を行う。次に、キャラクターメイキングを行い、実際にキャラクターを中心としたストーリーや設定を作成する。作成したキャラクターを既存のキャラクターと比較することで、印象の評価を行う。

キャラクターのビジュアル情報に着目して、誇張と省略などの表現技術や描き分けなどの調査・分類を行い、

^{†1} 首都大学東京／東京工科大学
Tokyo Metropolitan University / Tokyo University of Technology
^{†2} 東京工科大学
Tokyo University of Technology

モデリング, 3 DCG を念頭に置き, 3 次元の空間把握を目的としたクレイモデリングをおこなう.

既存キャラクターを分析することで, キャラクターの持つストーリーや印象, 設定などの構造を理解する. そして, キャラクター制作を通して, キャラクターを制作することと印象や設定情報を学んでいくことを目的としている.

(3) 講義の軸になる理論や方法論について

講義で用いる理論と方法論は, 金子らが提案する理論 [2][3] をベースとして, 分析調査を行い, テンプレートを作成している.

2.2 シラバス

本節では講義のシラバスについて示す.

(1) 第 1 回 授業ガイダンスとコンテンツ工学

コンテンツを工学的にとらえるための理論や手法の紹介をする.

(2) 第 2 回 メディアコンテンツ研究

東京工科大学で取り組まれているシナリオ研究とキャラクター研究の紹介.

(3) 第 3 回 キャラクター調査・分析 1

キャラクター調査・分析用テンプレートの説明と課題の説明.

(4) 第 4 回 キャラクター調査・分析 2

キャラクターの調査分析結果の発表.

(5) 第 5 回 キャラクター調査・分析 3

キャラクターの調査分析結果の発表.

(6) 第 6 回 キャラクターメイキング 1

制作テンプレートと制作ツールや課題の説明

(7) 第 7 回 キャラクターメイキング 2

キャラクター制作の発表

(8) 第 8 回 キャラクターメイキング 3

キャラクター制作の発表

(9) 第 9 回 キャラクター評価 1

キャラクターの印象構造の解説と調査

(10) 第 10 回 キャラクター評価 2

制作キャラクターの印象構造調査と制作結果の修正

(11) 第 11 回 観察と表現 1

浮世絵に見る流派の誇張と省略の紹介と, 既存作品の描き分けの調査課題説明

(12) 第 12 回 観察と表現 2

描き分けの調査結果発表

(13) 第 13 回 クレイモデリング 1

クレイモデリングの課題説明とクレイの実演・制作.

(14) 第 14 回 クレイモデリング 2

クレイ制作.

(15) 第 15 回 クレイモデリング発表

クレイモデリング課題の作品発表とまとめのプレゼンテーションと課題提出.

このような講義と演習によってキャラクターの構造を理

解して実際に制作することで, メディアコンテンツ制作のために必要な情報の作成と表現の方法を学ぶことを行った.

3. デジタルキャラクターメイキング演習特徴

3.1 テンプレートを用いた調査分析

キャラクターはよくイラストと混同されるため, 既存のキャラクターの分析を行い理解することを目指す. そのために, 金子ら[3]の提案するストーリーの記述手法と登場人物設定を利用する. 以下その項目を示す.

(1) ストーリーの記述手法

ストーリーの発端, 展開, 結末に分けられ, 15 文字, 30 文字, 15 文字で構成するものを S プロット, 50 文字, 100 文字, 50 文字程度で構成されるものを M プロットとしてまとめる. これによって, ストーリーの骨子をまとめ, キャラクターの性格や行動を明確にすることができるため, 分析テンプレートに利用している.

(2) 登場人物設定

キャラクターの持つ設定情報を, 基礎設定 (性別 年齢 習慣 趣味), 社会設定 (生まれ 家族構成 職業), 生活設定 (習慣 趣味), 外見設定 (大きさ 太さ 服装 表情), 性格設定 (人に対して 自分に対して), 能力行動設定 (身体能力 頭脳 特殊能力) と 6 つの項目を利用して, 分析テンプレート作成している

3.2 制作テンプレートを用いたキャラクター制作

分析によってキャラクターの持つ情報量を理解して, 実際にキャラクターメイキングを行い, その情報量を作成することを目的としている. キャラクターメイキングは, 茂木ら[4]の提案する制作テンプレートを用いて実際にキャラクターの制作を行った. 制作テンプレートは以下の項目で構成される.

(1) 外見情報制作テンプレート

- ・キャラクター名, 外見画像,
 - ・キャラクターイメージ (方向性・キーワードなど),
 - ・キャラクターエピソード (日常生活・生き立ち・周囲環境・社会的地位など)
- などの項目で構成されている.

(2) コンテンツ基本情報テンプレート

分析で利用した項目と同様で以下に示す.

- ・S プロット, M プロット,
- ・基礎設定,
- ・社会設定,
- ・生活設定,
- ・外見設定,
- ・性格設定,
- ・能力行動設定

各設定項目の, それを感じるエピソードと表情やポーズで構成されている.

(3) 表現情報テンプレート

3

図3はコンテンツ基本情報テンプレートのプロット情報のテンプレートである。このテンプレートは、制作しているキャラクターが登場するコンテンツを想像して、ストーリーを作成するためのテンプレートになる。

図4はコンテンツ基本情報テンプレートの登場人物設定である基礎設定テンプレートを示す。基礎設定は性別や習慣、趣味などのように、登場人物の基本的な設定を記述する項目であり、その情報を感じるようなエピソードや外見情報などを創作するテンプレートになる。

登場人物の設定2	
登場人物名:ブリギット・ウヴェルデュール	
基礎設定(性別 年齢 習慣 趣味)	基礎設定を感じる表情やポーズなど
ブリギット・ウヴェルデュール 性別:女性 年齢:19歳 習慣:修道院に来る前夜からイケメン探し 趣味:おしゃべり大好き	
基礎設定を感じるエピソード	
普段はちゃんとした(?)修道院を身に着けているが、昔は彼女がおしゃべりな顔に改造しては、院長が新しいものに取替えて、さらに彼女が改良...を繰り返した結果、今の顔になっている。しかし、この顔でずるずると考えており、夜、悪戯に忍び込む癖や、休みのときは、露出度の高い衣装を着ている。また、早寝早起の達人で、たった2秒で寝替えることもできる。	

図4 コンテンツ基本情報テンプレート(基礎設定)

登場人物の設定3	
※必要人数分作成	
登場人物名:ブリギット・ウヴェルデュール	
B.怒りの表現	
・エピソード	
・ギャグ プリンをデオに食べられたり、後輩のシャルロッテに叱られたりするとこのような反応をする。	
・シリアス 子供を罵るにする親を目の前で目撃したり、自分の正義に反する行動したものを見かけたときに怒る。 ビジュアル面:眉間にしわを寄せない。	
・ビジュアル	

図5 表現情報テンプレート(怒りの表現)

図5は、表現情報テンプレートの怒りの表現テンプレートである。このテンプレートはキャラクターの感情表現を制作するためのテンプレートであり、各感情表現のエピソードと、ビジュアル情報の制作を行う。基本6感情のテンプレートを用意しているが、その他のテンプレートもあり6感情に当てはまらない感情表現の場合は、随時制作することができる。

図6は、キャラクター関連情報テンプレートである。こ

のテンプレートは、作中におけるキャラクター同士の関係性を制作するためのテンプレートであり、制作したキャラクターと関係のあるキャラクター分だけ制作する。

登場人物同士の関係	
分析キャラ名 [ブリギット・ウヴェルデュール]	関連キャラ名 [デオ・ツェーレ]
	関係性を表す言葉:後輩の相談者 その関係性の重要性: シャルロッテに解決できない事件を相談しに来ている探偵の弟子であるデオと、その相談に首を突っ込むブリギット。ブリギットが事件のことを知る情報源。デオはブリギットが探偵であることは知らない。
関係性を表すエピソード(作中の場面もしくはシーンなど): ブリギット曰く、デオは「面白い物語を運んでくれる、黒髪な探偵の弟子」。顔面表情は普通なので、イケメンではないため小ばかにすることが多い。そのため、デオはあまりブリギットが好きではないが、ブリギットはそこそこデオが気に入っている。デオが修道院に来るのはシャルロッテ目的なことを女のカンで知っているため、よくちょっかいを出して遊んでいる。	

図6 キャラクター関連情報テンプレート

図7は、キャラクターの外見的特徴と設定情報の関連性を制作するためのテンプレートである。キャラクターの分析から外見的特徴には、設定とのつながりがあるために、その関連性を制作するためのテンプレートになる。

外見的特徴	
登場人物名:ブリギット・ウヴェルデュール	
1:頭	作中のエピソード(事実関係) 感情に左右されて動く
	設定上関連すると思われる理由(推測、推察) ブリギットの与える印象が少し怖いおねえさんなので、かわいらしい一面を持たせようと思いました。 アホ毛が可愛らしい!!
2:乳	作中のエピソード(事実関係) 巨乳
	設定上関連すると思われる理由(推測、推察) ビッチっぽい女の子っておっぱい大きいよね!! 私は乳が大好きです!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!というくだらない理由から巨乳です!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

図7 キャラクターの外見的特徴と設定情報の関連性テンプレート

図8はクレイモデリング課題時の制作風景と作品である。提出課題は、制作後に観察と表現に分けてクレイモデリング課題で感じたことや気づいたことを上げ、考察をさせた。その結果、観察において何度もモチーフを確認することの必要性に気付いた学生の意見が多かった。その中でも、感じている大きさと実際の大きさに差があるために、比率を図ることの必要性などの意見が出ていた。表現においては、すべての皺や凹凸を再現するだけでなく、よりモチー

フラしく、省略することや、凹凸を目立たせることなどの、誇張と省略について意見があった。



図8 クレイモデリング制作風景

4.3 演習結果の評価

本演習において、演習結果にもあるように、制作テンプレート用いたキャラクターメイキング教育は、メディアコンテンツ制作に必要なキャラクターを中心とした情報を容易に制作することができることがわかった。そして、クレイモデリング演習では、モチーフが自身の手ということもあって、普段見慣れている物からの新しい発見などがあつたが、3DCGを見据えた演習としては改善が必要であることがいえる。

5. おわりに

本研究は、キャラクターの考案から制作を通してメディアコンテンツ制作の学習のために、メディアコンテンツを象徴するキャラクターに着目した。キャラクターとはよくイラストと混同されがちなため、その構造を理解するための分析・調査を行い、実際にメディアコンテンツ原案を制作することで、キャラクターをはじめとするメディアコンテンツ制作ために必要な情報の創作や技術の理解を目的とした。

本研究では、キャラクターメイキング教育のためのシラバスをまとめ、プロジェクト演習においてキャラクターメイキング手法を用いて教育を行った。

その結果、本演習においてキャラクターメイキング手法の制作テンプレートを用いたことで、メディアコンテンツ制作に必要な情報の創作が行えるようになったことが分かった。

今後の課題は、得られた情報に原案作者の意図が適切に反映されていることを確認する評価手法の開発があげられる。

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, ボーンデジタル(2007)
- 2) 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).
- 3) 佐久間友子, 菅野太介, 金子満: シナリオのプロット構成手法の提案 -シナリオ作成支援システムの研究 2-, 第22回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集 (2006).
- 4) 茂木龍太, 菅野太介, 三上浩司, 近藤邦雄: キャラクター分析に基づく映像コンテンツ原案制作手法の提案, 第5回 CDS・第2回 DCC 合同研究発表会(2012).

教育実施例の報告(1)

図学教育へのコンピュータ・グラフィックスの導入

名古屋大学 田 嶋 太 郎
同上 近 藤 邦 雄

1. まえがき

筆者の一人である田嶋が、コンピュータを図学の分野に導入しようと試みてから、15年の才月が経過した。それを大別すると3つに分けることができる。その1は'70年から'74年までの5年間で、コンピュータ・グラフィックス（以下CG）の勉強の時代である、その2は'75年から'79年までの5年間で、CGの図学への導入の時期である。そしてその3は、'80年から'84年までの5年間で、従来の図法幾何学（以下DG）とCGとを融合させ、現代の図学（以下MD）模索の時期である。

これら3つの時期に、筆者らは何を求め、何をなし、どんな反省を得たかについて述べ、最後に、これらの経験をもとに何をしたらよいかについて提案を行ないたいと思う。

2. コンピュータ・グラフィックスの勉強・導入・吸収

2-1 コンピュータ・グラフィックス（CG）の勉強

CGは1960年代の前半期に、主としてアメリカを中心に発展してきたようである。筆者は当時、温度補償ゼナーダイオードの性能改善の研究を行っており、海の彼方でCGが花々しく活躍しつつあったことを全く知らなかった。やがて筆者は、温度変化に対してゼナーダイオードの電圧を補償する方法を見つけ、それを集積回路で実現しようと試みた、このためには、ICのマスク・パターンを設計・製図する必要にせまれ、精密で正確なパターン作成機を探し始めた、こうしてフラットベットタイプの自動製図機にめぐり合ったわけである。

当時は、研究の道具としてそのような新装置を使ったのであるが、研究が進み終点がみえてくるにしたがい、製図の新しい方法としての道具の優秀性に着目し、これを使って製図に新しい発展が期待できないだろうかと思うようになった。

やがて、本格的に自動製図の勉強ができるようになったのは、昭和45年頃で、1970年だったと思う。当時中部工業大学で活躍されていた三浦昌夫先生の御好意で、計算センタのプロッタを使用させて頂き、勉強は日々進展することになった。当時のパートナーは、中部工大の小野博宣先生・坂田宜子先生と、名大図学教室の杉浦正明君であった。

自動製図の勉強は、やがてコンピュータ図学、コンピュータ図学演習という2冊の本となつてあらわれた。これらの本は、自動製図を行なうためのソフトウェアについて述べたものであった。これらは、教師の勉強の成果をまとめたもので、学生に教科書として使用するにはレベルが高すぎたようである。名大で試験的に半期位使ってみた結果では、理論はもとよりアルゴリズム、プログラムなど1年生には無理であった。しかし、時代は自動製図を求めており、技術者用としてこれらの本は利用されることになった。

当時の自分は、図学の講義で主流をなしていた図法幾何学DGの方法とコンピュータ図学の方法との比較に興味をもっていた。DGの方法として副投影法があるが、これはCGの分野という座標変換法と同じことではないか、というように対比させて面白がっていた。今から反省してみると、アナログ手法がデジタル手法におきかえられつつある時代だった。総合幾何学の欠点が目につき、解析幾何学の長所だけに溺れてしまっていたといえる。当然のことながら図学の先生方もこのことに気づいていたようで、私の誤りを直してやろうと好意的に勉強会を

開いて下さった、図学会の関西支部の先生方である、コンピュータ・グラフィック委員会を設置して、何度も討論を重ねた。こうした一連の討論から作り出されたのが、委員会編の自動製図システムである。この勉強会は筆者の一人田嶋に大きな影響を与えた、それは図学という名で行なってきた図学教育の根本について討論できたことであった。

こうして最初の5年は、CGの勉強にはじまり、図学の勉強に終わった。そして学生は、先生方の勉強の話をきいて感心したり、あきれていたようである。

2-2 図学へのCGの導入

1974年の夏ストックホルムで、IFIP (International Federation of Informatin Processing) の大会が開かれ、筆者の一人田嶋は、CGの国際的研究者である穂坂衛先生にすすめられて出席した。CGだけでなくコンピュータ全般にわたる国際会議である。世界各国から約4,000人の研究者が集まり、研究発表・パネルディスカッション・招待講演・データショー・フィルムショーが行なわれた。印象に残っているのは、インクジェット方式のカラープリンタの研究発表とその実演、ベジェ曲面を使って魔法のように曲面を形成している研究発表とフィルムであった。これらCGの研究は花々しく人々はただうっとりを見入っているばかりだった。

田嶋は、びっくりして帰国後直ちにCGを図学に導入すべく準備をはじめた。その第1番目は、ベジェの曲線である。中部工大の小野・芳田剛先生と相談して、学生向きのCGの教科書作成にとりかかった。そして正式に、図学1、図学2とし、図学2ではCGの講義を行なうことにしたのである。これで図学にCGを導入したことになる。

学生は、1)何故コンピュータで図がかけられるかを知り、2)どういうプログラムを作ればよいかを学び、3)どのようにコンピュータを使えばよいかを体験したわけである。教材はテキスト大学教養、コンピュータ図学にのせられたものを使い、データを個々に変えることにより、いろんな出力図を作ることになった。学生は図学1より図学2を好み、CGに学習意欲をもやすことになった。

CGに関する研究では、曲線・曲面論が花ざかりで、多くの研究論文が出されている。しかし大学の教育レベルでは、曲線がせい一杯で、ベジェ曲線を利用した自由曲線作画に人気があったようである。もう1つの人気ものは、2次元図形のアフィン変換と射影変換で、わずかな労力を追加するだけで、いろんな自由曲線の線図が描けるものである。

こうして次の5年は、CGの国際会議にはじまり、教師のCGへの導入意欲が高まり、学生もCGにふれ、味わうということになった。

2-3 DGもCGも包含したモダン・グラフィックスへの模索

CGの研究分野は次第に発展して、3つの分野が確立されつつある。その1は図形発生的CGの分野で、曲線・曲面の創成も含まれる。従来の図学では幾何学的に性質のはっきりしている図形を多くとりあつてきたが、ここでは自動車の外形のような自由曲面もあつてきている。その2はピクチャ解析的CGで、図だけでなく絵・写真・画像のようなピクチャから、そこに含まれる基本図形を分析したり、それらの組合せを解析したりする。従来の図学では、たとえば、線分の実長・実角を求めるような簡単な分析から、断面図や相貫線を見出すような解析的处理も行なってきた。ここでは投影図だけでなく広く画像も含めたピクチャの解析を行なう。その3はピクチャ处理的CGで、ピクチャからの情報を人に分かりやすくするために、強調・省略・着色などの処理を行なう。従来の図学では、イラストとかレンダリングの分野で同じことを人手で行なってきた。CGの分野では、このような処理を計算機援用で行なうわけである。以上のように、CGの研究領域は従来のそれと共通部分が多いので、図学担当者としてCGの研究分野での成果は大いに関心のある所である。

'80年から'84年までの最近の5年間は、CGの多くの成果を図学に吸収し、従来からのDGと合わせて、MGを模索する時であった。

透視図・投影図を作成するときに人が助けとして使うことのできるパースエイド、環境アセスメントに必要なモンタージュパースの実習も行なった。

また、CGでのモデル作成には、図形の入力に問題点が多く、いろんな研究が行なわれつつあった。筆者らもこの分野に図学の担当者として研究分担を行なうこととなった。スケルトンモデル、フェースモデルなどはこの例である。

また一方、3次元図形を感覚的に理解しやすい図の作り方について、図学の立場から研究をすすめる、肉眼立体視の方法をルール化したり、見易い立体視図作成の提案を行なったりした。

これらの研究活動は、当時東大教授であられた穂坂衛教授の指導のもとに筆者ら2人が行なった。研究が次々に進むようになると、図学へ吸収しようとする内容は広がり、それをきちんと整理した形で教育にとり入れる余裕がなくなってしまった。

その結果、毎年のように新しい教材が学生に提供され、今から反省してみると多分に試行錯誤的であった。教師のそのような姿勢にもかかわらず、学生は喜んでそれら教材を受け入れていたようである。このことは、学生に書いてもらった多くの感想文から判断してほゞ間違いのないと思われる。

CGを教授する道具も、計算機センタ利用から、端末装置を使用するTSS方式、スタンドアロンのグラフィック装置、マイクロコンピュータというように実にさまざまに変化した。そして学生への対応も、データをグループで作らせ、カードパンチは教師側で行ない、出力図だけを渡し、それに学生が手を加えるという形式から、教室に備えてある数台のマイコンを自由時間に使用させ、その結果をレポートとして提出させる形式まで、いろんな対応を次々で行なった。こうして、この5年間は、教師も学生も模索しながら勉強したわけである。

3. あとがき

本文に述べたように、CGと筆者らのおつき合いは、時間的には15年で長いものではなかったが、図学の教師としてこの時期に生まれ合った喜びは、まことに大きいものがある。

いま筆者らが反省してみると、図学にCGを吸収し従来のDGに合体させMGを作るという作業は大変だと思う。いい図学教育を若者に提供するためには、図学の教材だけに着目しているだけでは不十分だと思うようになった。やはり図学の現代化で提案したように、研究者育成研究促進・教材充実の3本の柱をしっかりとする必要があると考える。^{*1}

そして、この柱をささえるものは、やはり勉強だと思う。その具体案として、

1) CGの研究会に入会する。たとえば、情報処理学会には16の研究会があって、その1つに、「グラフィックスとCAD」という研究会がある。今年の3月現在で433人の会員がいる。そして年4回の研究会を開き、シンポジウムも開催している。

2) CGの原書の勉強会に加わる。CG関係では、いい本が多く出版されている。これらのなかには、Graphicsのテストとして秀れているものがある。これらを読み討論することによって、わが国の図学教育に有益な資料がえられると思う。何人かで少しずつデータ入力すればデータ・バンクには大量のデータ・リソースが蓄えられる。これを皆で使えばよい。

3) CGの論文勉強会に加わる。IFiP, ユーログラフィックス, わが国の学会発表など論文は多数報告されている。ただ文献を調査するだけでは不十分で、その内容を討論し合うことが望まれる。

以上のように、地道な勉強を積み重ねながら、図学の未来を開いていきたいものである。それが「歩きながら考える」という意味ではなかろうか。

*1 田嶋, 近藤 図学の現代化 学会活動に関する考察と提言 '84年度大会資料

コンピュータ支援による図学教育 コンピュータグラフィックス教育 —10年の動向と展望—

近藤 邦雄

1. はじめに

コンピュータグラフィックス(CG)の教育の調査はSiggraph, Eurographicsなどの会議において行われている。図学関係でも以下のように多くの会議で扱われている。1987年から96年までのCG教育はオーストリア(88), アメリカ(90), オーストラリア(92), 日本(94), ポーランド(96)において開催されたICECGDG, また, 日中図学教育国際会議(93, 95)で報告されている。さらに図学会論文誌図学研究や図学教育研究会でも紹介されてきた。

本文では, 図学関係者の特徴的な報告例から, CG教育を整理する。そして3つに分類した方式の内容と特徴について述べる。さらにそれらをもとにしたインターネット上で利用できる教育コースの作成と今後の展望をまとめる。CG教育は, CGそのものの教育のほかにCGを利用した図学教育もみられるが, 本文では, CGそのものの教育例について述べる。

2. コンピュータグラフィックス教育の発展と分類

CG教育は70年代よりいろいろな会議で見られるようになった。図学研究20周年特集号にはいくつかの教育例が紹介されている。図学教育の中にCG教育を取り入れようとする例やCGを利用して図学教育を進めようとする例が紹介されている¹⁾。この後10年は, CG自体も一段と発展し, 世の中で市販されているCGソフトウェアや, ハードウェア化されたアルゴリズムもたくさんでできた。このためCG教育は従来の図学の講義や演習のなかでなく, CGの教育を行うための講義や演習が行われるようになった。

日中図学国際会議(93)において, 鈴木らは日本のCG教育を紹介している²⁾。ここではCG教育の方式を3つに分けている。その1は, アルゴリズムの理解のためにプログラムを作成して, 画像を作成するCGプログラミング型教育, その2は, 基本的アルゴリズムのプログラムを与えて, それらを利用しながらプログラミングするセミプログラミング型教育, その3は市販ソフトなどアプリケーションを利用したレディプログラム型教育である。以下

では, これらの例を前述の会議や図学研究で報告された教育研究を紹介する。

2.1 プログラミング方式

鈴木らによる東大における教育例は, ソリッドモデルの基礎となる集合演算のアルゴリズムを紹介であり, そのPascalプログラムを作成させる課題, 曲面の作図の課題などがある³⁾⁴⁾。近藤らによる埼玉大学における教育例では, CGの基礎技術となる図形変換, 投影変換などを中心とした課題を扱っている⁵⁾。測上はコンピュータを利用したデザインコースのCG教育にプログラム作成を伴う作品制作課題を与えている⁶⁾。自然形状に見られるような規則性や法則性を理解することによって, デザインシステムを開発できるような人材を育成している。

このような例では, プログラム言語の教育が先立って行う必要があること, デバックなどに演習時間が費やされてしまう場合もあることなどの欠点があるが, CGの新たな技術を開発する上でも基礎技法をこのような教育で十分理解させることも大切である。

2.2 セミプログラミング方式

柴田による大阪府立大学の例は, 教師が必要なライブラリを与え, 学生はそのライブラリのソースプログラムを利用しながら, プログラムを作成して, CG画像を描く教育である⁷⁾。基本的アルゴリズムはライブラリを読むことによって理解でき, デバックすることなく, より複雑な画像の生成が可能となる教育例といえる。ライブラリをどう準備するかが課題である。

このような目的のために, 統一されたライブラリがCG-ARTS協会の教材セットに含まれている⁸⁾。また, Graphics GEMには各種の参考プログラムが紹介されている⁹⁾。このような多数のライブラリを利用した教育方法の確立が望まれる。

2.3 レディプログラム方式

長島らによる教育例¹⁰⁾, 近藤らによる教育例¹¹⁾は, ソリッドモデルのシステムを利用する教育例である。投影法や, 集合演算のアルゴリズムを十分知らなくても, ラ

イブラリ利用とパラメータを入力することによって形状を生成することができる。意図した形状や画像が生成しやすいが、処理内容がブラックボックスになってしまうという欠点があるので、オペレーションの教育にならないように教育方法に工夫が必要である。

鈴木らによる「アパレルデザイン教育におけるCAD, CGの活用」における教育では市販のソフトウェアを利用して、アパレルデザインに使用する画像の制作を行っている¹²⁾。また、長江らによるアーティスト支援CGツールによる教育が報告されている¹³⁾。面出は、グラフィックデザインへの適用として作画システムなどを利用した教育を行っている⁶⁾。情報伝達するというグラフィックデザインの目的を達成するために必要な技術を利用しながら、CG画像の制作をしている。堤は自作のソフトウェアを用いて被服の展開図の作成に関する教育を行っている¹⁴⁾。最近、市販のソフトウェアが充実してきているので、これを利用したCG教育の目標を定めること、方法論を確立することが望まれる。

3 インターネット上のCG教育コース

インターネットを利用した教材作成が進んでいる。これらによれば、教科書だけでなく、学生に示すスライドや教材シート、実物の写真など多数のメディアを統一して取り扱うことができる。さらにJAVAなどのネットワークを利用した対話的な処理の可能な言語が開発されてきた。このために、CG教育もいながらにして世界中の教材を利用することができる。たとえば筆者の作成しているURL:<http://www.ke.ics.saitama-u.ac.jp/cginfo/>などに教育例、コースノートなどの教材、CG画像のギャラリー、CG関係の学会などがまとめられている。教材を各大学で用意し、それらをまとめることによって多くの教材が充実できる。

筆者ら¹⁵⁾は、CG教育用のホームページにハイパーテキスト、JAVAを用いた対話型教材、例題プログラムとデータを紹介したCG教育コースを構築している。これらには遠隔教育が実現できる、能動的にできる教材が与えられる、計算機の種類に関わらず同一のブラウザで見ることができるなどの長所がある。このためネットワーク環境が充実することにより、一段と利用がすすむことになるであろう。

参考文献

- 1) 鈴木, 竹山, 永野. “図学教育へのCG導入の現状”, 図学研究44(1988) 5-12.
- 2) 鈴木, 吉田, 梶山. “日本における図学, 設計製図教育改革の動向”, 図学研究61(1993) 21-33.
- 3) K.Suzuki, H.Suzuki, Y.Yamaguchi, S.Nagashima, S.Nagano. “Integrated Descriptive Geometry and Computer Graphics Course at the University of Tokyo 1992 Update”, Proc. china-Japan International Conference on Graphics Education (1993)
- 4) S.Nagashima, H.Isoda. “An Attempt on Computer Graphics and CAD Education”, Proc. ICECG (1984) 474-481.
- 5) K.Kondo, K.Ogata. “Simple Graphics Tool Xgt on X-Windows and Education of Computer Graphics for Engineers”, Proc. JCCE (1993)
- 6) K.Mende, K.Fuchigami. “The Education of Computer Graphics in Basic Design”, Proc. JCCE (1993)
- 7) 柴田. “大阪府立大学における基礎図形教育”, Proc. JCCE (1993)
- 8) CG-ARTS協会. “CG教育の講師用教材セット” (1995)
- 9) A.S.Glassner. “GraphicsGEMS, Academic Press” (1990)
- 10) 長島. “教育用ソリッドモデル生成処理システム”, Proc. JCCE (1993)
- 11) K. Kondo, S.Shimada, S.Sato, A.Kuroda. “Education of CAD Engineering at the Department of Computer Science”, Proc. JCCE (1993)
- 12) 鈴木, 本出, 長江. “アパレルデザイン教育におけるCAD, CGの活用”, 図学研究54 (1991)
- 13) 長江, 栗栖. “アーティスト支援CGツールによる教育とその効果について”, 図学研究63 (1994)
- 14) 堤. “被服学における図形処理教育の試み”, 図学研究65 (1994)
- 15) M.Takahashi, K. Kondo. “A Manual to Teach Computer Graphics by Java”, Proc. 7th ICECGDG (1996) 608-612.

こんどう くにお 埼玉大学工学部情報システム工学科
E-mail kondo@ke.ics.saitama-u.ac.jp

日本図学会における図学関連教育の新たな挑戦

近藤 邦雄 Kunio KONDO

1. はじめに

本解説では、日本図学会が発行する図学研究と大会講演論文集で紹介されている教育関係の論文や発表をもとに、2007年から2016年の10年間の図学関連教育の分類とこの10年間の図学教育への新たな挑戦を解説することを目的とする。本解説ではまず10年ほどの発表をみることによって、図学会会員らの幅広い分野に対する図学教育の工夫が網羅されると考えて、発表のタイトルから特徴的なキーワードを取り出して分類する。そしてこの分類から今まで挑戦してきたことを整理し、日本図学会で取り組むべきことを述べる。

2. 図学教育研究の分類

10年間の図学研究には教育研究論文^{[1]~[8]}が8編、教育資料^{[9]~[11]}3編が掲載されている。また、大会講演論文集に掲載されている図学教育に関するセッションの中にも教育関係の発表論文が多数ある。

本節では、これらの教育に関する研究論文や研究発表のキーワードを抽出した結果について紹介する。

調査した論文や発表から抽出した84のキーワードを図1にまとめた。図1に示すようにここでは10のグループに分けることとした。

- (1) 図法幾何学と図的表現
- (2) 教育用教材や立体
- (3) 機械・建築分野の設計製図、CAD
- (4) デジタルモデリング
- (5) デザイン対象と利用ツール
- (6) 造形デザイン
- (7) コンピュータプログラミング言語
- (8) CGとデジタルコンテンツ
- (9) 教育の対象者
- (10) 空間認識

3. 図学教育研究の特徴

本節では、前節で紹介したグループごとに教育研究の内容を紹介し、それらの特徴をあきらかにする。また、参考文献に挙げた11の研究論文と教育資料の内容を紹介し、それらに対して筆者の考えを述べることとする。これらの論文は10のグループの一つだけに分類されるというものではないが、説明の都合上、いずれかのグループに分けて説明をする。

3.1. 図法幾何学と図的表現

従来からの図法幾何学の教育方法の改善、図にかかわる解析幾何学、三面図・立体図・透視図、さらには応用分野に関連する建築図や解剖図などの利用について発表があった。これらの分野は工学系の図学や図的表現、機械や建築などの専門分野の基礎としての教育方法が報告されている。また図法幾何学の教育のために解析幾何学との融合や演習問題を作成する作成するシステムの開発などの新たな試みもあった。

図的表現と解析を目的とする基礎学問として少ない講義時間で何を扱うかなど工夫が必要である。また機会や建築など専門学部における図学教育では、より重要な項目を扱うことが望まれる。この点では、教員の減少により教育内容や教育方法が若手に伝達できるような取り組みが本学会では重要であると考えている。

3.2. 教育用教材や立体

図学教育用の教材や実物模型、3次元形状モデルなどに関する発表があった。実物の模型は図学のさまざまな考え方を知るうえで大変重要であり、鈴木^[12]による実物模型を利用した図学教育は学生に3次元モデルや作図と身近な実例との関係を知らせるとともに、理解を深めるために重要となると思われる。

CG教育用教材としての教科書をもとにしたカリキュラムの提案や検定試験の実施に関して報告があった。これはCG-ARTSの活動であり、本学会としても協力関係

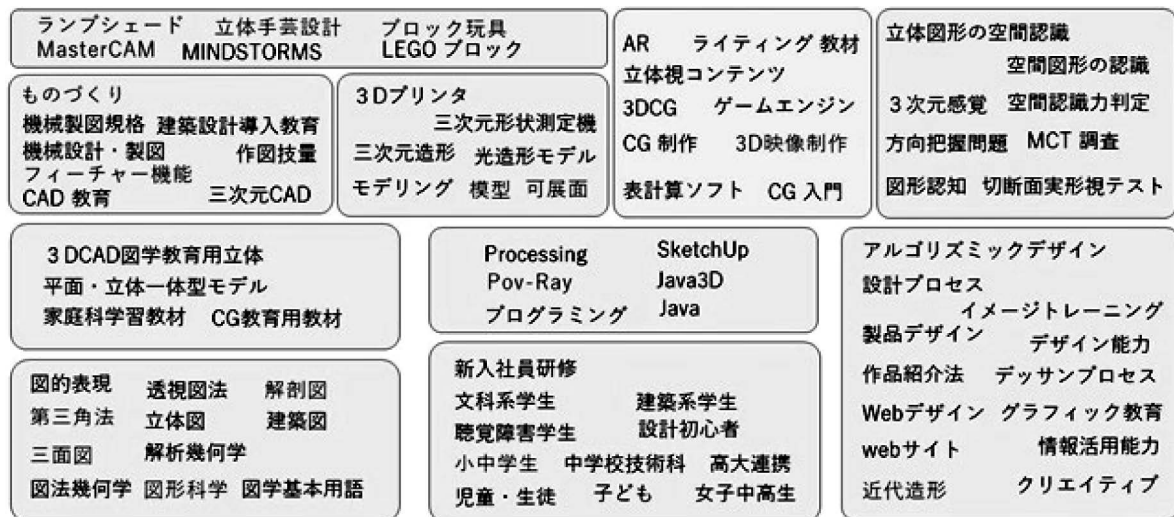


図1 図学教育研究発表のキーワードの分類

を継続していくことにより、新たな研究教育分野の拡大が期待できる。CG システムを利用した物理シミュレーションによるアニメーション制作など今後 CG システムのさまざまな活用法を考案していくことが期待される。

3.3. 機械・建築分野の設計製図, CAD

機械分野や建築分野などにおける図面は、描く人の意図が正確であり、十分に伝達できることが何より重要である。そしてものづくりへの展開が大切であり、手描きによる製図教育と CAD を利用した教育の報告があった。3次元 CAD を利用した教育は形状を制作する内容と製図を主に考えた教育がある。CAD のさまざまな機能を利用したモデリングと図学教育の関係を扱うことも従来の作図法の教育には見られない内容である。また、3DCAD の利用拡大が予想されるが、CAD を利用した教育において、2次元 CAD による作図と3次元モデリングを連動することにより有用な教育が可能であるとの報告もある。企業では3DCAD が概念設計段階から利用されており、設計計算において CAE が解析ツールとして利用されていることも明らかになっている^[14]。

岩田ら^[5]は、三次元 CAD を設計ツールとして、アイデアを具現化する際の手描きの重要性について示している。この論文では、1) CAD の有用性とほころび、2) 手描きの利便性、3) 図面としての手描きの文化、4) 直感的な線と色が創り出す独創性、5) 教育における基礎とツールの関係などについて説明している。CAD が利用され始めたころはデザイナーが見向きもしないというような話を聞いたことがある。CAD が改良されてきて多くの企業で CAD が設計の初期から利用されるよ

うになるとともに、課題も多くなってきたということが指摘されてきた。そのために企業の中には手描きによるデザイン作業をまた行うようになってきた。手描きと CAD のどちらがいいかということではなく、設計時においてそれぞれの良さを理解したうえで利用することが重要と思われる。

宮越ら^[9]は図面を手で描く場合と CAD で描く場合では体の動きが異なるとして、手描きのような直感的な操作と CAD のような間接的な操作の違いを学習内容の特徴を調べることを行った。直接的な操作、間接的な操作における違いを明らかにしている。

2つの研究成果をもとに、教育における手描きと CAD 活用の融合を多くに教育事例からまとめることが本学会の役目であると考え、

3.4. デジタルモデリング

デジタルモデリング研究会が設置されたことから分かるようにこの分野は大きな発展があった。初期は光造形、最近では3Dプリンタが広く使われるようになった。3Dプリンタが安価になったことから、コンピュータを利用して3次元モデルを制作し、それを出力するという教育はさまざまな専門分野で行われるようになった。これに伴い、形状測定方法、実物模型を利用した教育なども報告されている。また、空間認知の研究にも模型は多用されており、模型の活用方法をさらに検討することにより、図学教育の充実が可能と思われる。

形状出力を行う3Dプリンタを活用するために、高ら^[11]は中小企業向けの大型・低価格で使いやすいワイヤポータブル型3次元形状測定機を開発した。さらに3

次元計測データ処理のためのフォーマットや形状処理のアルゴリズムを用いた計測形状描画ソフトも提案している。

デジタルモデリング分野は基盤技術として、機械、建築、造形デザインだけでなく、医療、被服などの分野でも活用方法が提案されてきている。この急速な進歩に対応するデジタルモデリング教育の体系を構築することが大切であると考ええる。

3.5. デザイン対象と利用ツール

ランプシェード^[13]や立体的な手芸^[8]をデザイン対象としてCGやCADを利用する研究や教育に関する研究がある。可展面でランプシェードをデザインし、その展開図をCADを用いて描画することにより、短時間でデザインと模型製作を行う手法を提案している^[13]。

五十嵐ら^[8]は：小中学校の家庭科におけるものづくりにおけるデザインの重要性から魅力的な教育のために、初心者を対象とする立体手芸設計支援システムの開発を行っている。このシステムを用いてさまざまなワークショップを行った結果を述べている。この結果から創造的家庭科教材の開発の指針を提案している。

図学会の主な研究分野には機械、建築、造形デザインがあるがそのほか、被服、映像コンテンツなどもある。図と立体の関係を取り扱うデザイン分野ではさらに対象ごとに新しい研究課題が見つけれられると思われる。

また、LEGOブロックやMINDSTORMSを用いた新たな教育項目を提案している発表もある。今後は設計教育、出人教育など幅広い分野に新しいツールの活用を進める必要がある。

3.6. 造形デザイン

図学会設立当時から造形デザイン分野の研究発表が多く見られた。この10年では、その研究発表の範囲もデジタル化、情報化のために造形教育やグラフィック教育、製品デザインやその設計プロセスだけでなく、Webデザインや情報活用法などの教育に広がってきている。そのような中で手描きやコンピュータ利用に関係のないデザイン能力向上やイメージトレーニングなども扱われている。コンピュータ活用のデザイン分野では、アルゴリズムミックデザインの発表もあり、造形デザインのツールの拡大につながっている。

黒瀬ら^[1]は、デザイン初心者に対して、デザインの基礎を教育した。学生の多くは、デザインという分野が感覚的であり、センスがなければできないという意識を

持つが、デジタル時代において、デザイン活動においても論理的思考が大切であることを述べている。このために造形デザイン分野と情報分野の融合が大切であり、学生が伝達する情報の意味を理解し、初心者でも目的に添って視覚表現ができるといえる。このように従来の教育方法と新たな技術を組み合わせた教育の工夫が重要である。

久保村ら^[2]は、造形要素の組み合わせによる造形メソッドを用いたグラフィック教育を提案した。色・形・コンポジション・テクスチャといった基本的な造形要素と、それに連なる下位の造形要素を組み合わせることにより、複雑な芸術へと発展させる教育を行っている。このような教育においてもパーソナルコンピュータを用いている。これにより学生が簡単に造形要素を組み合わせることができるため、作品の制作時間が短くなるという効果があることを述べている。安易な作品制作を防止する工夫が便利なツールを使うときには大切であると指摘している。このような教育方法をさまざまな大学で行うことにより、よりよいコンピュータ活用のデザイン教育を行うことが可能と考える。

3.7. コンピュータプログラミング言語

図学・CG教育のためにプログラミングを利用する場合とプログラミング教育のために図学・CGを利用する場合の2つがある。Processing, Pov-Ray, Java, java3Dなどは無償で利用できるために教育現場では大変人気がある。Processingを利用したCG教育^[7]も盛んにおこなわれている。理系大学の演習だけでなく、芸術系の大学でもメディアアートやインタラクティブアート、さらにはサウンドや音楽関係への利用も含めて講義や演習がおこなわれている。

辻合^[10]は、POV-Rayを用いて3次元モデルの視点を変えることで簡単にステレオ映像を生成する3D映像作成演習について紹介を行った。POV-Rayを利用したCG教育^[15]は日本図学会40周年記念出版としてCG-ARTSから発行されている。多くの大学や専門学校で本書はCG教育に利用されている。モデリングやレンダリングの教育に主に使われており、日本図学会の知名度アップにもつながっている。フリーソフトであるPOV-Rayは教育分野において利用しやすいというメリットがある。この10年で新たに行ったPOV-Rayを用いたCG教育、専門教育の内容を公開して教材の交換を推進することが望まれる。

3.8. CG とデジタルコンテンツ

CG を利用したコンテンツ制作のために、前節のプログラミングを利用した教育を発展した教育事例^[7]がある。このような基礎的な CG 制作手法のほか、ゲームエンジンの利用、AR などの利用など新しい手法を活用する教育も報告されている。さらに映像コンテンツ制作のためのライティング教材など制作情報を集めたデータベースの利用など新たな研究分野の報告もあった。

近藤^[7]は、大教室における多人数の学生を対象とする Example ベースの CG プログラミング教育法を提案した。Processing を用いた CG プログラミング演習について述べている。例題を用意することによりプログラミング演習の課題であるデバック時間を減らし、講義時間内の演習内容の理解を高める工夫を発表した。

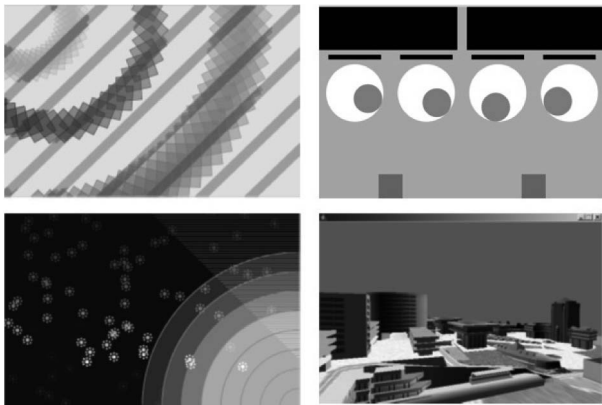


図2 Processing を用いた CG 制作事例

Processing は工学系の CG 教育だけでなく、造形デザイン、アート関係の教育や作品制作にも広く利用されている。サウンドや音楽の取り扱い、画像や映像の取り扱いなどもできるので、さまざまな表現が可能である。CG の入門教育だけではなくメディアアートや数理造形などにも有効である。図学会会員らが制作した教材の事例を図学研究に掲載して普及するというような連載を行う企画を行うとよいと考える。

3.9. 教育の対象者

図学会会員の職場の多くは、大学であるので、教育の対象は大学生が多い。教育研究論文や大会の研究発表をみると、小学生、中学生、高校生、女子学生、文系学生、建築系学生などと年齢の違い、専門の違いなどさまざまな対象者を扱っている。さらに、設計初心者とか新入社員など設計関係の専門分野の教育方法の発表がある。こ

のような研究をもとに小学生から社会人までの図学の教育を体系的に行う内容を検討することが重要と考える。

藤田ら^[3]は、中学生を対象として中学校技術科における 3 次元 CAD を使った設計教育について述べている。「等角図」、「第三角法による正投影図」、「CAD」が取扱われていることや形状モデルを利用した 4 つの学習形態があることを示している。これらの教育形態は扱う題材によっても効果が変わると思われる。そのためにより多くの事例を 4 つの学習形態で扱って、扱う事例に対してより効果的な教育方法を取りまとめることが大切と思われる。

藤田ら^{[4],[6]}は、中学校技術・家庭科の技術分野の授業中学生を対象に 2 次元製図（従来の手描きによる製図）と 3 次元 CAD による製図を一体とした設計教育効果を示している。このように CAD を利用する教育が有効であるとするなら、多くのところでさらに試行教育を進め、中学生向けの強化世に取り入れていく活動を学会として行う必要がある。

3.10. 空間認識

図学の教育目標の一つに、空間認識力の向上がある。

2014 年の図学教育研究会で「図学関連教育と空間認識力 一切断面実形視テスト (MCT) による調査結果を中心に―」として報告が 3 つあるが、形状認識や空間把握能力の育成が必要であるといわれてきた。このような能力の育成にあたり、大会では空間把握能力の向上の計測や教育方法の報告が多数行われている。

この分野は、人の認知の問題であり、空間認識や把握のためのどのような作図をしたらよいかなどの図的表現も大切なことである。また、錯覚科学といわれる分野にも拡大しており、視覚と理解の問題を単なる錯視の話題から社会生活に生かす方法が提案されてきている。図学研究で図と認知に関する特集を企画して、図学会の研究分野を明確にすることも必要であると思われる。

4. おわりに

本解説では図学研究に掲載された教育論文と教育資料、および大会講演論文集に掲載されている論文をもとに、図学教育に関係するキーワードを抽出し、10 のグループに分類した。そしてこのグループごとにその特徴をまとめ、今後の学会活動で取り組むことを述べた。

大会講演論文集には貴重な教育関係の発表が掲載されている。大変貴重な教育事例が多く大会講演論文集として一部の参加者だけに公開されるだけでなく、大会にお

ける研究発表者には、研究論文や教育資料として図学研究に投稿していただくことを強くお勧めする。これによって会員同士の交流も進み、図学関連教育の質の向上を図ることができると考えている。

参考文献

- [1] 黒瀬陽代, 佐藤紀子, “メディア基礎演習「デザインの基礎」における授業実践—デザイン能力と情報活用能力の育成—”, 図学教育, 41.3 (2007), 11-16.
- [2] 久保村里正, “造形メソッドを用いた情報基礎科目におけるグラフィック教育”, 図学研究, 41.4 (2007), 9-18.
- [3] 藤田眞一, “中学校技術科における3次元CADを使った設計教育の可能性”, 図学研究 42.2 (2008), 3-8.
- [4] 藤田眞一, 加賀江孝信, 城仁士, “投影・構成行為の形成に及ぼす3次元CADによる設計教育の効果”, 図学研究, 42.3 (2008), 3-10.
- [5] 岩田亮, 平野重雄, “アイデアを具現化する際の手描きの重要性に関する一考察”, 図学研究, 43.1 (2009), 3-10.
- [6] 藤田眞一, 加賀江孝信, 城仁士, “3次元CADによる製図・設計教育が視点変換行為の形成に及ぼす効果”, 図学研究, 44.1 (2010), 13-21.
- [7] 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”, 図学研究, 45.3 (2011), 3-10.
- [8] 五十嵐悠紀, 鈴木宏正, “創造的家庭科学習教材を目指した初心者向け立体手芸設計支援システム”, 図学研究, 46.1 (2012), 11-18.
- [9] 宮腰直幸, “図形に対する操作方法の違いが作業に与える影響について—パズルの操作を例として—”, 図学研究, 45.3 (2011), 11-16.
- [10] 辻合秀一, “テキストベース・レイトレーシングソフト POV-Rayによる立体視動画映像制作実習”, 図学研究, 49.3 (2015), 23-27.
- [11] 高三徳, 中佐啓治郎, “ワイヤ式ポータブル三次元形状測定機の幾何計算およびCG描画ソフトの開発”, 図学研究, 44.1 (2010), 23-30.
- [12] 鈴木賢次郎, “図(形科)学講義における実物模型の使用(3)—曲面を中心に—”, 日本図学会2010年度秋季大会(東京)学術講演論文集(2010), 89-94.
- [13] 鈴木広隆, 榊愛, 安福健祐, 松本崇, “可展面によるランプシェード製作を提出課題としたCAD/CG教育について”, 日本図学会2013年度秋季大会(盛岡)学術講演論文集(2013), 47-50.
- [14] 平野重雄, 喜瀬晋, 関口相三, 奥坂一也, 大谷直樹, “三次元CADの利活用に関する実態調査と考察”, 日本図学会2013年度春季大会(兵庫)学術講演論文集(2013), 19-24.
- [15] 鈴木広隆, 倉田和夫, 佐藤尚, POV-Rayによる3次元CG制作, CG-ARTS (2008).

● 2017年1月7日受付

こңどう くにお

東京工科大学 メディア学部 教授

名古屋工業大学第Ⅱ部卒業, 工学博士(東京大学), 主に, 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, 日本図学会副会長, 芸術科学会会長, 画像画像電子学会会長など歴任. 現在 ADADA International 会長.

あとがき

この教育論文集は、先に発行した研究活動記録集の続編であり、大学におけるコンピュータグラフィックスやデジタルコンテンツ教育の新しい試みを行った論文などをまとめました。大学における教育をより発展するためには、先人が積み重ねてきた教育方法や教育内容をもとに、時代に合わせて改善していくことが必要になります。

大学は新しい教育方法を提案していくための実践の場でもあります。よいと思ったことは今までの教育内容と入れ替えたり、良い方法があれば、それを取り入れたりして試みるのが大切だと思います。そういう挑戦していく姿を見せながら教育することが学生にもいい見本になると思います。新しい試みをしたら、自分なりにまとめて結果を示しておくことをした結果がこの資料です。

インターネットが発達した現在、世界中で講義が公開されたり、オンラインでの講義が実施されたりしてきました。数々の制限はあるかもしれませんが、講義の記録をアーカイブしていくことがまず大切だと思います。メディア学部教育内容に興味を持っている海外の大学からの問い合わせもいくつかありました。国内だけではなく、世界に目を向けて、教育カリキュラムや授業内容をまとめていくことが日本の大学にとっても必要なことと考えています。

このような教育論文集を見ていただき、新しい教育に挑戦する方々が増えることを期待しています。

タイトルと副題について

研究活動記録集の続編ですので、タイトルと副題は同じです。ただし、この教育研究記録集には「Educational Research of Computer Graphics and Digital Contents」と名付けています。

本書のタイトルは、“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。研究活動記録に書いたことをここにも掲載します。

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、たくましさ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、私たちのと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。

ケヤキと話ができれば、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」を通じてみるの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。

近藤 邦雄

kondo@stf.teu.ac.jp

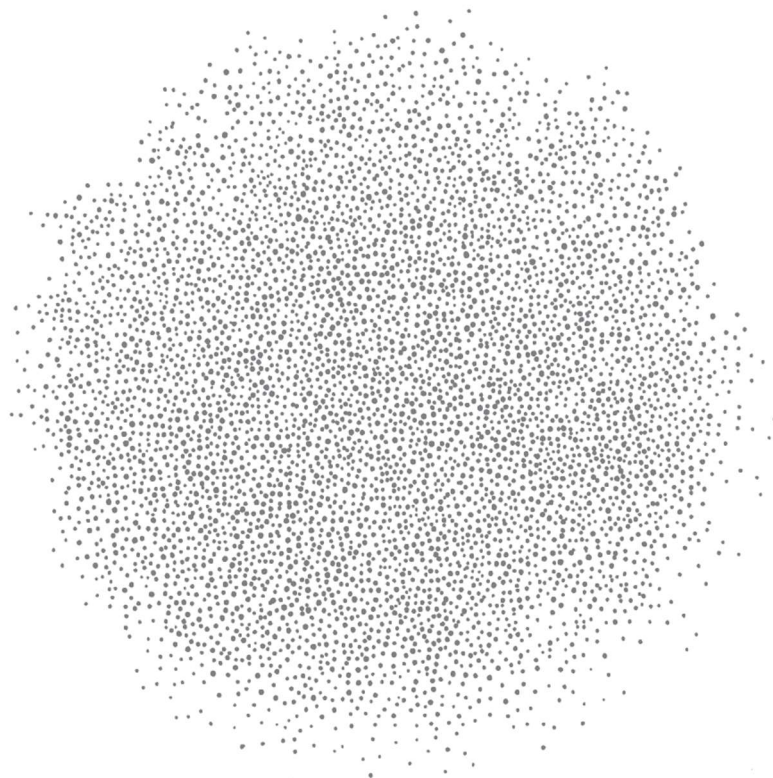
2020 年 3 月 31 日

Deciduous tree

Through My Own Mind's Eye

KONDO Kunio

Educational Research of
Computer Graphics and
Digital Contents



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