

3D-CAD/CG を導入した図形科学教育 (2) - 本格教育初年度(2007 年度)の実施結果 -

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*
横山ゆりか, 安達裕之, 近藤邦雄*, 山口泰
東京大学教養学部(* 非常勤講師)

概要: 東京大学における図学教育においては, 従来の図法幾何学教育に加えて, 市販 3D-CAD/CG を導入した教育を実施することにした. 3D-CAD/CG 導入の第一の目的は, これらの図形処理ソフトの体験教育にあるが, 説明用例題や演習課題として幾何学的問題を扱うことにより, たんにその操作法を習得させるだけでなく, 3D-CAD/CG を”通して”投影とものづくりの幾何学について教えることを目的としている. 本報では, この授業の概要, および, 本格教育実施初年度の結果について報告する.

Graphic Science Course Introducing 3D-CAD/CG (2) - The Results of Fully Implemented Course at 2007-

Kenjiro SUZUKI, Kenji Kashiwabara, Michio KATO, Takashi KANAI, Ichiro TANAKA*
Emiko TSUTSUMI*, Shinobu NAGASHIMA*, Akio FUKANO*, Yurika YOKOYAMA
Hiroyuki ADACHI, Kunio KONDO* and Yasushi YAMAGUCHI
College of Arts and Sciences, The University of Tokyo (* Part-time Lecturer)

Abstract: This research aims at developing graphic science course for the purpose of basic experience education of geometric modeling and graphic presentation using commercial 3D-CAD and CG software. This course is designed to join 3D-CAD and CG with descriptive geometry by introducing applied geometric problems into the exercises. This report covers the educational objectives and outline of the course and the results of the course performed in the 2007 academic year.

1. はじめに

図学は, 立体の図的表現法(投影)と”ものづくり”のための幾何学を教える科目で, 多くの大学・高専において, 教養科目あるいは設計製図の基礎科目として教えられている. かつて, 図学においては手描き作図に基づいた図法幾何学が教えられていたが, 近年になって, 設計製図分野では 3D-CAD が急速に普及しつつあり, また, 理工学におけるコンピュータ・シミュレーション結果の表示や, 映画・ゲーム等のメディア, エンタテインメント分野における画像表現など, 様々な分野において

CG が多用されるようになってきている. このような 3D-CAD/CG の普及により, かつて設計技術者等の一部専門家の間で用いられてきた図的表現は, 様々な分野で用いられるようになってきており, 万人のための図的表現入門教育-”グラフィックス・リテラシー(あるいは, ビジュアル・リテラシー)教育”が必要になりつつある. そこで, 東京大学における図学教育においては, 従来の図法幾何学教育に加えて市販 3D-CAD/CG を導入した教育を実施することにした¹⁾.

2. 図形科学カリキュラム

東京大学教養学部においては、2006 年度より、図学教育(科目名:図形科学)を図 1 に示すように改定した。

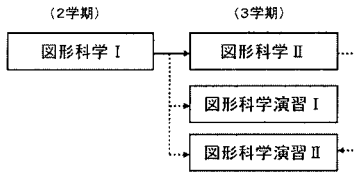


図 1 東京大学における図形科学カリキュラム²⁾
(1コマ:90分/週×13週, 1コマ:90分/週×13週)

図形科学 I においては、従来どおり、手描きをベースにした図法幾何学を教える。

図形科学 II は、市販図形処理ソフトを導入した教育とする。東京大学の図形科学は教養科目として教えられているが、設計製図の基礎科目としての側面も有している。そこで、導入する図形処理ソフトとしては 3D-CAD を主体とする。しかし、3D-CAD は形状モデリングとモデリングデータの解析・製造過程への応用を目的としたものであり、ビジュアライゼーション機能は充実しているとは言えない。そこで、これらの機能についての学習を補うために CG ソフトも併用する。本授業においては、3D-CAD/CG の体験教育を第一の目的としているが、説明用例題や演習課題とし応用幾何学的な課題を用いることにより、“3D-CAD/CG を通して”投影とものづくりの幾何学を教えることにしている。

図形科学 I, II は理系学生に対するクラス指定科目(準必修科目)として、それぞれ~10 コマ/学期を開講し、~100 名/コマ×10 コマ=~1000 名/学期の受講を可能としている。

3. 図形科学 II

図形科学 II は 3 学期(2 年次生)に開講されるため、2007 年度から実施した。

3.1 教育内容・方法

教科内容³⁾を表 1 に示す。

表 1 に示すように、第 2~7 週は 3D-CAD を用いた実習である。第 2~3 週では、平面図形の作成法について学習する。4~6 週は、立体図形の表示と

表 1 「図形科学 II」の教科内容

週	教科内容
1.	全体ガイダンス < 3D-CAD (Inventor) >
2.	2D-モデリング:1 (線分, 円, 多角形, スケッチ拘束, 寸法拘束, 修正・編集)
3.	2D-モデリング:2 (スプライン, ミラー, 配列)
4.	3D-モデリング:1 (ビュー操作, 押し出し・回転, 修正・編集)
5.	3D-モデリング:2 (作業平面, 作業軸, 投影)
6.	3D-CAD への図法幾何学的手法の応用 (最短距離問題, 正多面体)
7.	アセンブリ・正投影図面 < CG (3dsmax) >
8.	透視投影, ビュー操作, 標準立体
9.	レンダリング (色, マッピング, 影)
10.	キーフレーム・アニメーション < 3D-CAD + CG >
11.	総合課題
12.	〃
13.	〃 (授業評価)

作成に関する授業である。第 4,5 週では、単一モデル(パーツ)の作成に要する基本機能について学習する。第 5 週の課題例を図 2 に示す。

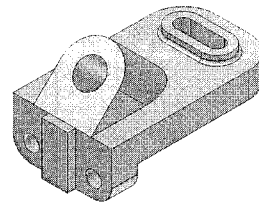


図 2 第 5 週の課題例: 機械部品の作成

第 6 週では、適切な作業平面の選択と”投影機能(ジオメトリを投影)”を組み合わせることにより、3 次元の問題を 2 次元の問題に帰着できることを学習し、また、これを用いて図法幾何学的手法を応用して空間幾何学的な課題を解く方法について学習する⁴⁾。課題例を図 3 に示す。

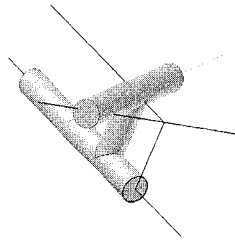


図3 第6週の課題例:図法幾何学的手法の応用(ねじれの位置にあるパイプを最短距離で結ぶパイプの作成)

第7週では、アセンブリ(パーツの組立)、および、図面ビュー(正投影図面)の作成法について学ぶ。アセンブリの課題としては、簡単な機械部品の組み立ての他に、面心立方格子やダイヤモンド格子の作成(図4)も用意した。コンピュータによるモデリングと図表的表示は結晶格子の理解など、設計製図以外の分野においても有用であることを体験させることを目的とした課題である。

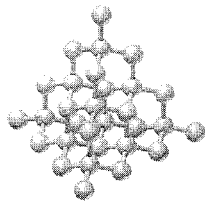


図4 第7週の課題例:ダイヤモンド格子

第8~10週においては、CGソフトを用いたプレゼンテーションについて学ぶ。第8週では透視投影についての授業である。CGソフトには固有のモデリング手法があるが、それには触れず、標準立体の生成法を簡単に教えるにとどめた。第8週の課題例を図5に示す。第9週ではレンダリングについて、第10週はアニメーションの作成について学ぶ。第10週の課題例を図6(球の落下・反撥のアニメーション)に示す。コンピュータによるビジュアライゼーションは、物理現象の理解など、設計製図やメディア・エンタテインメント以外の分野においても有用であることを体験させることを目的とした課題である。

7.1 透視投影図の観察

立方体(寸法自由)を作成し、以下の観察を行い、結果をレポートに記せ。

1) 画面中央部に立方体を置いて、レンズの焦点距離を変えてみよ(200mm → 15mm)。ビューの“大きさ”はどのように変化するか?

2) 広角レンズ(焦点距離:15mm)を使用して、画面の中央部分、ビューの端のほうに置いてみよ(図旅略)。中央部分と端の部分で、ビューの“ゆがみ”はどのように変化するか?

望遠レンズ(焦点距離:200mm)を使用して、同様。

3) 以上の観察から、焦点距離(視野角)を変えた場合のビューの変化について考察せよ。

7.2 透視図による大きさの表現

ビュー特性(焦点距離(視野角度)、視線方向)を変えることにより、同じ直方体(図略)が、

a) 高層ビル

b) 消しゴム

に“見える”ように表現せよ。ただし、ビューの大きさは同じ程度とすること。

それぞれの、ビュー特性の特徴を、レポートに記せ。

図5 第7週の課題例:透視投影図の性質

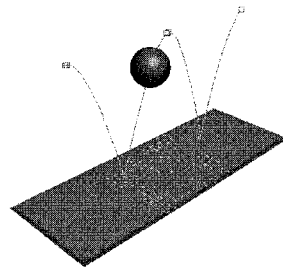
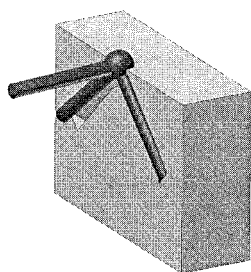


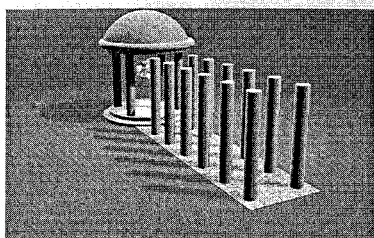
図6 第8週の課題例:球の落下・反撥のアニメーション

第11~13週は総合課題である。3D-CADソフトでモデリングを行い、そのデータをCGソフトで読み込んでビジュアライゼーションを行う。総合課題としては、回転式ゲート(図7a)、および、ウォークスル

一(図 7b)などを用意した。



(a) 回転式ゲート



(b) ウォークスルー

図 7 第 11-13 週:総合課題の課題例

回転式ゲートの課題は、互いに直交する 3 本の円柱からなる回転部と、回転部が回転した際に、接触しないように溝を設けた直方体上の収納部分を生成し、これを組み立てる課題である。モデリングを行わせるだけでなく、

「収納部前面における開口部の形状はどのような形状か？理由を付して答えよ。」

などの設問を設けた。開口部の形状は、3D-AD により、収納部から溝回転部の差演算を求めると自動的に生成される。しかし、3D-CAD は、この曲線がどのような形状かは教えてくれない！この授業の目的は、たんに 3D-CAD/CG の操作法を学ばせることではなく、課題の解法を通して、幾何学的考察を深めさせる点にあり、このような設問を設けた。

各単元において、まず始めに関連事項に関する講義を行い、次に簡単な例題に沿って操作法を学

習させる。その後、演習課題を行わせる。演習課題は、標準課題と各自の興味に応じて進んで学習するオプション課題を用意した。学生には、単元ごとに、自分が行った課題、その課題を遂行するに要したおおよその時間、主要な結果(図・画像)のハードコピー、課題を遂行する上で工夫した点・困難を感じた点等を記載したレポートを提出させた。また、各課題で作成したコンピュータ・ファイルも提出させた。授業はパソコン端末 100 台を備えた情報処理教育棟大演習室 3 において実施し、演習に使用した 3D-CAD、CG ソフトは Inventor Ver.8 (Autodesk 社)、3dsmax Ver.6 (〃)である。

3.2 教育結果

3.2.1 サンプルクラスにおける分析結果

本節では、サンプルクラス(2 クラス、受験者数:102 名)における教育結果の分析を行う。

a) 課題達成状況(成績)

サンプルクラスでは、表 2 に示す 5 課題を提出課題とした。各課題のレポートを、それぞれ、「標準:4 点、優秀:5~6 点、劣:3~2 点(未提出は 0 点)」として採点した。

Ex.7 では、設問、7_1_1)、2)で正解、3)で「広角レンズでは画面の端で歪み大」、設問 7_2 で「a: 広角レンズ」、「b: 望遠レンズ」と解答したものを 4 点とした。一間間違えるとマイナス 1 点とした。平均点は 3.4 点であった。設問 7_1_1)、2)についてはほぼ全員が正解していた。誤りの見られたのは、設問 7_1_3)と 7_2 で、約半数の学生は両者ともに正解していた、半数はいずれか一方を間違えていた。なお、7_1_3)では「透視図の歪みは(レンズの焦点距離にはよらず)立体を見込む角(視野角)のみによる」との解答を期待していたが、このように解答した学生はいなかった。また、設問 7_2 では広角レンズと望遠レンズを逆に解答する学生が少なからずいた。この誤答の原因としては、レンズの呼称と学生の抱く直感が一致しないことが考えられる。説明や設問の仕方など、指導法に更なる工夫を加える必要がある。

Ex.11-1 の設問の正解は、「二つの相似な双曲線と円弧(理由: 円柱の回転軌跡面は、円柱がその軸に斜めに交差する回転軸(a, 図 8)を中心に

回転したときの曲面で、2枚の円錐面、および、球面からなっている。開口部の形状はこれらの曲面の鉛直面による切断図形」である⁴⁾。

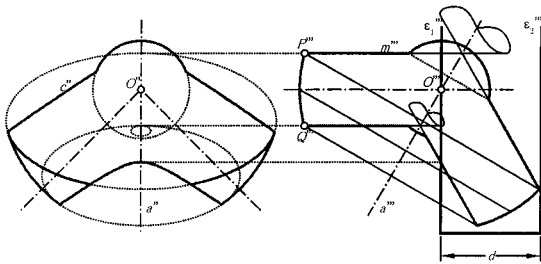


図8 回転式ゲート(子午線と開口部形状)

この課題では、モデリングが(ほぼ)正しくできているが、上記の設定に「双曲線」と解答できていないものを「4点」とした。平均は4.18点で、「双曲線」と解答したのは約35%であった。なお、開口部の端の形状が曲線になることに気付いた学生は数%いたものの、正しく「円弧」と解答した学生はいなかった。干渉チェック機能を用いて、誤りに気付かせるなど、指導法の工夫が必要である。

本節の始めに述べたように各レポートを採点(全問標準解答の場合は20点、全問で優秀な場合は25点以上)し、これを100点満点に換算してレポート点とした。平均点は75点(標準偏差:14点)であった。

本授業は実習を中心としたものである。実習中心の授業では、学生は演習課題を仕上げることに集中しがちであり、背景にある概念や用語などについての学習がおろそかになる恐れがある。そこで、これらの学習結果を評価するために、期末試験(試筆テスト、穴埋め式、全33問、100点満点)を実施した。平均点は68点(標準偏差:16点)であった。

レポート点を2/3、期末試験点を1/3として採点した結果を図9に示す。7名が50点以下であった。これらの学生については、出席状況も加味して5名を50点(可)とし、不可を2名とした。受験者102名中100名が単位を所得した。この他に未受験者が3名おり、履修者(105名)における単位取得率は95%であった。

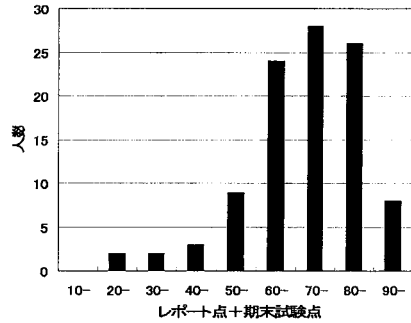


図9 課題達成状況(レポート+期末試験)

b) 課題遂行時間

各標準課題の遂行時間(自己申告)の平均値および標準偏差を表2に示す。第2～10週では、各単元における講義および操作法練習に60分程弱を充てた。これらの週では授業時間内にとれる演習時間は30分程度であり、残りの演習は宿題とした。教養学部学生が授業の予・復習に充てる時間は～60分/週・科目であり、これを宿題の目安とすると、各単元の演習は90分程度に設定するのが妥当と思われる。第11～13週(総合課題)では、課題固有の補足説明を除いて、授業時間は演習に宛てており、150分/週が妥当と考えられる。表2に示すように、学生の演習時間の平均値はこの時間

表2 課題遂行時間(単位:分)

(M:平均, σ :標準偏差)

課題		M	σ	M+ σ
Ex.3	放物線	17	10	27
	接触問題	33	22	55
合計		50	32	82
Ex.5	機械部品	39	27	66
	相貫体	17	13	30
合計		56	40	96
Ex.7	透視投影の性質	27	16	43
	大きさの表現	15	8	23
合計		42	24	66
Ex.11-1,2	回転式ゲート	100	53	153
	ウォークスルー	278	281	559
合計		378	334	712

内に収まっている。ウォークスルー課題(2週)の課題遂行時間は平均値:約280分と他の課題に比べて長めであるが、この課題は自由度を多く含んだ課題であり、学生が色々工夫して時間を掛けてチャレンジした結果と考えられる。演習課題内容は、ほぼ適切と考えられる。

3.2.2 全体

2007年度にはサンプルクラス(2クラス)を含む10クラスが開講され、総履修者数は589名であった。

a) 単位取得状況

全クラス(10クラス開講)で、サンプルクラスと同様に、レポート点、期末試験点、および、出席点で評価を行った結果を図9に示す。単位取得率は96%であった。

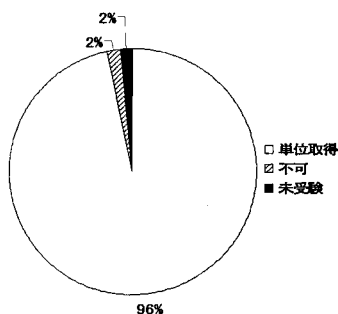


図9 単位取得状況(履修者総数:580名)

b) 学生による授業評価結果

本授業についての学生による授業評価アンケート結果(5段階評価)の一部を図10に示す。比較のため、かつての図形科学実習(CGプログラミング+手描き製図)のアンケート結果も併せて示す。この図に示すように、図形科学実習に比べて、「難

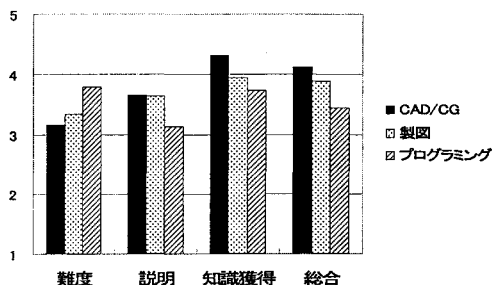


図10 学生による授業評価結果

度」については低く、「説明」は分かりやすく、「知識」については役立ったと回答しており、「総合(評価)」も高い。総じて、3D-CAD/CGを導入した教育は学生に好評であった。

なお、本授業は3D-CAD/CGソフトを提供いただいているAutodesk社の実施した学生作品コンテストに参加した。優秀作品はAutodesk社のホームページ上で公開されている。

(<http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/item?id=10166563&siteID=116982>)

4. まとめ

東京大学における図学教育においては、2007年度より、従来の図法幾何学教育に加えて市販3D-CAD/CGを導入した教育を実施した。本報では、その概要について報告した。

本稿を終えるにあたり、教育設備を整備し、その維持に当たって頂いている東京大学情報基盤センター、3D-CAD/CGソフトの整備に協力頂いたAutodesk社に感謝の意を表す。

註・参考文献

- 1) 鈴木賢次郎他, "3D-CAD/CGを導入した図形科学教育—グラフィックス・リテラシー教育の構築—", 2006-CG-122-10, 2006.
- 2) 図形科学演習I(1コマ:90分/週×13週)は、<手描き製図+模型製作>などの手作業を重視した演習科目、図形科学演習II(1コマ:90分/週×13週)はCGプログラミングを中心とした科目である。図形科学I、IIの内容を更に深めて学習したい学生を対象に、それぞれ1コマ程度(~100名)開講している。
- 3) 東京大学教養学部情報・図形科学部会編, "3D-CAD/CG入門—3D-CAD/CGを通して学ぶ図形科学(改訂版)", 2007.
- 4) 鈴木賢次郎, "3D-CAD/CG時代における図法幾何学教育(2)—3D-CADにおける図法幾何学的手法の応用—", 日本図学会2007年度本部例会学術講演論文集, 2007.