

## 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

埼玉大学工学部情報工学科

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」の実験内容を紹介する。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。本報告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、分かりやすく興味を持つことのできるテーマと例題について特徴を持っている。本報告では、まず、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元に、教育の効果、教育ツールの評価を行なう。

## Solid Modelling Education at Saitama University

Shizuo SHIMADA、Kunio KONDO  
Hisashi SATO、Akihiro KURODA

Department of Information and Computer Sciences  
SAITAMA University

A CAD programme package GEOMAP is adopted for teaching solid modeling 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 solid modelling.

## 1 はじめに

埼玉大学情報工学科は、新設されて4年経ったばかりである。そのため学生実験など多くのテーマを決めることから、始めなければならなかった。そのなかで基礎として必要な実験テーマのほかに、教官の研究分野に関連した特徴あるテーマをいくつかとりあげることにした。本論文で紹介する形状モデリングは、多数の大学の実験テーマには、あまり扱われていない特徴的なテーマである。他大学であまり行なわれていない理由は、次の2つといえる。(1)教育に適したモデリングシステムが少なく、高価である。(2)機械系のCADの入門としてみられることが多く、情報工学科でのモデリングに対応する科目が開講されていない。最近紹介された情報工学科におけるカリキュラムをみると、CADや形状モデリングの教育は、アプリケーションの分野に属する。形状処理を理解した情報処理技術者はCADシステム構築分野において、非常に重要である。これらからみても、今後は情報工学科で積極的にとりあげていくべき内容といえる。

そこで本論文では、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」の実験内容を紹介する。本学生実験では、CAD (Computer Aided Design) 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。学生実験で使用する形状モデラ “GEOMAP”<sup>[1]</sup> は、幾何形状を設計するためのプログラムである。このプログラムはFORTRAN サブルーチンの形で開発されており、そのままの状態では利用上不便な点が多いことから、ユーザがBASICインタプリタを介し利用できる方法を用いている。これまで、GEOMAPは大型機で開発され、パーソナルコンピュータの普及に伴いMS-DOSマシン上でも動作できるようになっていた。当学科で実験を効果的に行なうことができるようワークステーションへ移植を行なった。

筆者らは、以前半年間の講義演習における形状モデリング教育<sup>[2]</sup>を紹介したが、本報告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、分かりやすく興味を持つことのできるテーマと例題について特徴を持っている。これらを参考にすることで、他大学の情報工学実験でも利用可能と考えられる。

本報告では、まず、実験の課題である「形状モデリング教育」の目的について述べ、次に学生実験の内容、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元に、形状モデリング教育の効果、教育ツールとしてのGEOMAPの評価を行なう。

## 2 形状モデリング教育と必要な環境

### 2.1 形状モデリング教育の目的

CADの基本技術である形状モデリングを行なう場合、空間認識の能力が養われている必要がある。ここでいう空間認識の能力とは、人の考える形状のイメージとそのイメージに従って生成された形状との間に生じる差異が少なくなるように形状を考えることのできる能力をいう。人の思い描いた形状イメージは、空間認識の能力があれば、イメージに合った図として表現される。

本実験では、教育支援ツールとしてGEOMAPを利用し、学生の持つイメージと作り出された形状とを比較、検討することで、この能力を高めることを目的としている。これは次のような2つの理由に基づいている。第1に、自分で形状モデラを作成するところからはじめていては、手間と時間がかかり効率が悪い。ツールを使用し簡単な操作で容易にモデリングが体験できれば、空間認識の能力を高める教育に重要な役割を持つことになる。

第2に、空間認識の能力が備わっていないければ、人が想像して頭の中に持っている形状と、実際に作図したり作成したりした形状との隔たりが大きくなってしまふ。GEOMAPを用いることでグラフィックスとして得られる生成形状を見て、自分があらかじめ想像していた形状と比較するという、いわゆるフィードバックの効果は、次のような過程を経て得られるものである(図1)。

1. 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。(本実験では、GEOMAPを実行するためのBASICによるプログラミング。)
2. 形状モデリング作業、(GEOMAPの操作、例えばプログラムのロードや実行など)。
3. 形状をグラフィックス表示する。視覚に訴えるように、具体的に表現される。
4. 表示された形状を観察し、当初のイメージとの比較を行なう。
5. 比較によって生じたギャップを埋める形で、作成する形状のデータやモデリングの方法が調整され、プログラムに変更が加えられる。

以上の順番でループをまわし、目的の形状に近づけていく。本実験では、この繰り返しによって空間認識の能力が高められることを期待しているのである。このうち、2.GEOMAPの操作部分が、ツールの使用感に最も大きく影響を与える。本研究ではGEOMAPの使い方ではなく、空間認識の能力の向上を目的とし

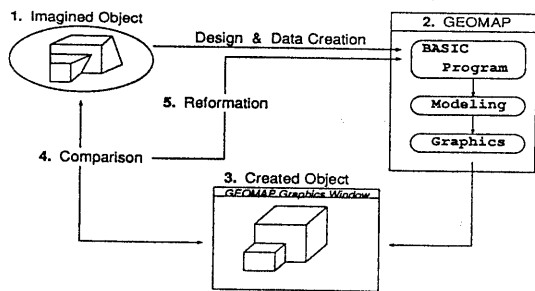


図 1: 形状生成教育のながれ

ているため、操作が複雑ではそちらに気を取られてしまい、形状生成に対する考察を妨げる結果になってしまいます。したがって、教育に有効なツールは、形状生成に対する考察をスムーズに進めることのできるような、簡潔な操作を提供しなければならない。

### 3 形状モデラ GEOMAP の概要と環境

#### 3.1 GEOMAP の概要

形状モデラ GEOMAP は、幾何形状を設計するための 3次元モデリングを行なうプログラムで 1977 年に穂坂、木村によって開発された。GEOMAP は FORTRAN のサブルーチンパッケージで提供されていて、そのままの形ではインタラクティブに利用する上で不便なことが多いので、1982 年に島田が FORTRAN で作成した BASIC インタプリタ上から、GEOMAP の機能を特殊命令の形で利用できる方法を開発した [3],[4]。GEOMAP を BASIC の特殊命令の形で利用することによって、モデリングを容易に行なうことができる。しかし、MS-DOS 上での GEOMAP は、一通りのモデリングの機能を満たすものの、スピードが遅い、メモリ空間が狭く複雑な形状生成が難しいなどの制限がある。

図 2 は、GEOMAP によるチェスのコマの形状作成 BASIC プログラムである。通常の BASIC 命令のほかは、GEOMAP 用コマンドで、カメラの位置の決定 (DPCAM) や、形状定義 (PREVL)、表示命令 (HLDISP) がある。

```

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 CMINIT : 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

#### 3.2 ハードウェアの環境

学生実験を行なうハードウェア環境は、SUN SPARC station1+、Kubota TITAN 1500、これに接続されている X 端末である。本学生実験は、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なった。GEOMAP を利用する環境は、筆者らの講座研究室と、学生が実験を行なう端末室、中央処理室との 2 つに大別される。

#### 3.3 ソフトウェアの構成

ソフトウェア構成を、図 4 に示す。この構成の特徴は次のようである。

1. 研究環境、ポータビリティを考え、BASIC インタプリタ、GEOMAP のモデリングプログラムとグラフィックスプログラムとをそれぞれ独立した 2 つのプログラムとして開発する。
2. BASIC インタプリタ、モデリングプログラムは FORTRAN で、グラフィックスプログラムは C 言語で記述し、2 つのプログラム間の接続には、UNIX の機能であるパイプを使用する。したがって、モデリングプログラムとグラフィックスプログラムは、マルチタスクで同時に実行される。

## 4 形状生成教育の内容

前節で解説した環境下で、学生実験は2週間かけて行なう。実験の目的は次の4つである。

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ない、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計る。

実験の手順としては始めに、形状モデリングの考え方や簡単な例を紹介する。その後、各実験グループ毎にテーマを与え、実際にモデリングの作業を行なう。テーマとして、以下の5つを用意した。1.、2.の基本処理、3.～5.の応用処理からそれぞれ1つずつ指定し作成させた。各課題の代表的な作品例を図5から図10に示す。

1. 頂点と接続データを与える立体生成(図5)。
2. 集合演算による立体生成(図6)。
3. 身のまわりの物についての立体生成(図7)。
4. 形状や座標の回転、移動処理を用いたデザイン、造形(図8)。
5. その年の干支の動物のモデルのデザインと生成(図9、10)。

図5の形状は、頂点とその接続状態で構成される非常に単純なデータで作成されるが、データの設定の際に間違え易い立体生成法である。図6の形状は、基本立体の集合演算を利用して作成したものである。図7の形状は、先の2つの手法を組合せ、身の回りの形状をデザインし立体を生成したものである。図8は、形状の回転量や移動量によって生成される形状がどうなるのかという、空間認識の能力が必要となる形状である。図9、10は、デザインの能力が必要となりモデリングをどのように行なうかが問われるものである。

## 5 形状生成教育の結果と考察

前節の学生実験を実施した結果、学生のレポートより、形状モデリングに対する意見とツールとしてのGEOMAPに対する反応が得られた。形状モデリングに対する意見では、デザインや与えるデータなどのモデリング前についてのものと、視点の位置の違いに

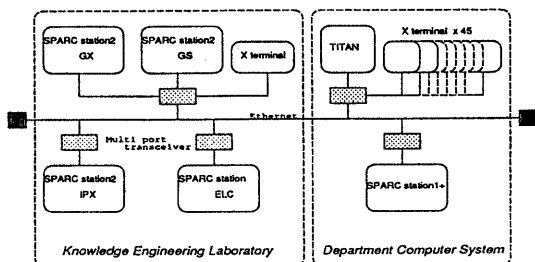


図3: ネットワーク構成

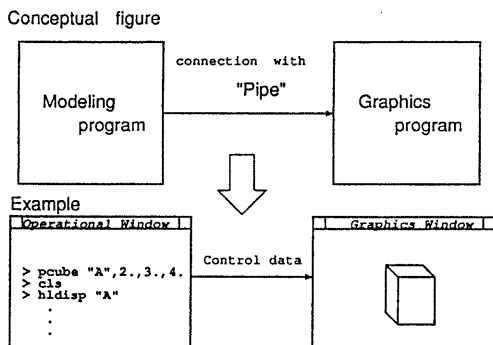


図4: モジュール構成概念図

3. モデリングプログラムから要求される作画命令や必要な座標値、線種設定パラメータなどは、グラフィックスプログラムに送るためのFORTRANで書かれたインタフェースプログラムから標準出力に出力され、パイプを通じCのグラフィックスプログラムで受け取る。これらのデータは、文字列データである。
4. モデリングプログラムから送られてきたデータは、グラフィックスプログラムの標準入力を読み取られ解釈され、線分表示など必要なオペレーションが実行される。
5. GEOMAPのプロンプトや、エラーメッセージは、標準エラーに書き出すことによって、画面に表示される。

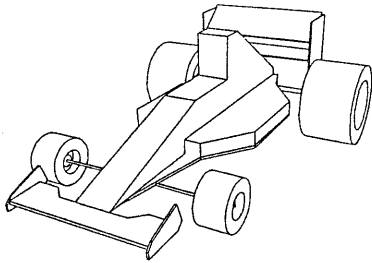


図 5: 頂点と接続データからの立体生成

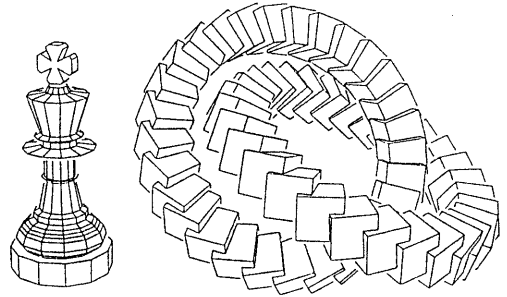


図 8: 回転、移動を用いた立体

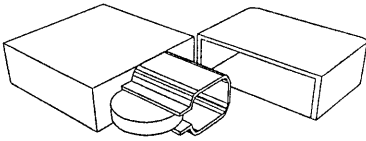


図 6: 集合演算による立体生成 (ライター)

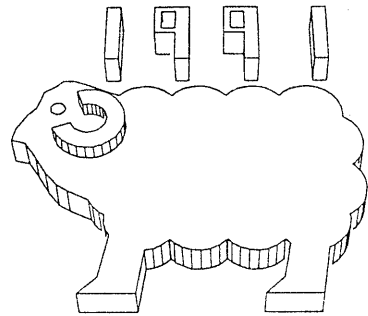


図 9: 干支の例 (未)

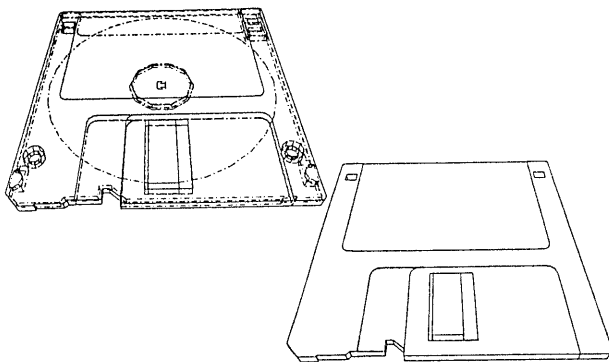


図 7: フロッピーディスク

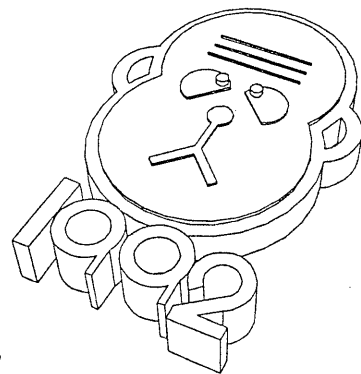


図 10: 干支の例 (申)

よる形状のわかりやすさや見え方の違いなどモデリング後についての2つに大別された。GEOMAPに対する反応としては、使い勝手に対する意見が寄せられた。以下にそれらの学生の具体的な意見を示す。

## 5.1 形状モデリングに対する意見

### 1. モデリングを行なう前の意見

- (a) 小さな基本形状から集合演算を用いて複雑な形状を作るとき、失敗を考えて、少しずつ演算を実行し組み立てていくと良い。
- (b) 幾何学模様の形状は容易に生成できるが、身のまわりのものの形状生成は、デザインや設計自体が難しい。
- (c) モデリングに基本立体の集合演算を利用するか、頂点とその接続状態のデータ構造によるものを利用するかは、目的とする形状の性質にしたがって決定する必要がある。

### 2. モデリングを行なった後の意見

- (a) 生成した形状を表示するとき、視点の位置によってその見え方が変わる。形状の重なり具合、全体のわかりやすさ、細部のわかりやすさ等のバランスで受ける印象が変わってくる。
- (b) モデリングの前の考えた形状とモデリング後の形状が食い違った。
- (c) デザインがしっかりしていないと、失敗したときに修正しにくい。
- (d) 曲線、曲面のモデリングは、考えていたものとの差が出やすく、直線、平面での近似でモデリングを行なうときは、特にその傾向がある。

## 5.2 形状モデリング教育の効果

形状モデリングについての理解が得られたかどうかを学生の意見をもとに整理する。学生の意見から、実際にモデリングを行なう前では、自分の作成しようとする形状をBASICプログラムでデータとしてどのように表現し、目標とする形状にするためにどのように構成していくかということに主眼がおかれていることがわかる。一般に膨大なデータ量と時間のかかる処理のため、作成しようとする形状の性質をとらえて、無駄なくかつ正しくその形状を表現するデータの選択と効率の良い形状の生成方法を意識していることがわかる。GEOMAPをモデリングに使用する限りにおいては、集合演算や頂点の接続状態によるデータからの

モデリングなど、定められた命令で行なわれるため、最も目的にあった命令を選ぶ必要がある。学生は、そのような制約の中で形状モデリングは、効率良く行なう必要があることを認識する。

モデリング後では、生成した形状について視点の位置による見え方の違いや、作成しようとしていた形状との違いが指摘されている。モデリングを行なって得られた形状を観察することによって、目標とした形状との違い、利用した形状のデータ構造、モデリングの方法が妥当なものであるか、はじめのデザインが正しかったかなどの検討が行なわれる。モデリングを行なう前に決定したモデリングの方法が、作成された形状を見ることでその正当性が確認され、学生に対し学習効果を与えている。以上のことから、3次元形状モデリングを、試行錯誤を繰り返すことによって行なっている。この試行錯誤によって学生の空間認識能力が高められていくことが複雑な作品例からわかる。以上のように学生の意見や作品例より、2週間という限られた時間中であるが、GEOMAPを使用することで、形状モデリングの考え方や空間認識の能力の向上が認められる。

## 5.3 教育用ツールとしての GEOMAP の評価

形状モデリングツールとしての GEOMAP に対する意見は、次のようであった。

1. 積木をしたり、絵を書く要領で形状の生成が容易にできる。
2. ツールとして使い慣れていないことがモデリングの妨げになっている。
3. マウスなどのロケータのサポートがあれば良いのではないか。
4. 座標を表す数値は、小数点を付け実数で与えなくてはならないことが不便である。
5. BASIC プログラムのリナンバー機能が不完全である。
6. ファイルのロード、セーブが不完全である。
7. オンラインヘルプの内容やエラーメッセージが不十分である。
8. BASIC プログラムの実行を止めても、BASIC インタプリタは終了しないで欲しい。
9. 集合演算にバグがあり、プログラムが暴走することがある。

このほか、アニメーションができればおもしろい、座標軸が見えないので形状の設計がしにくい、などの意見があった。

学生の反応のなかで、「積木をする感覚」や「絵を書く感覚」と表現されているように、形状生成の容易さが良い評価を得ている。この点において、GEOMAP は非常に有効であることがわかった。反面、GEOMAP のバグや、プログラムの仕様による使いにくさが指摘されている。さらに簡潔な操作を実現するには、これらの改良が望まれるところである。また、短い期間の実験であるためにツールとしての使い慣れが不足している点があげられる。これは実験用に配布するドキュメントで補足したり、オンラインヘルプや各種メッセージの整備で補う必要がある。

## 6 おわりに

本研究では、形状モデリングの学生実験に対する考え方、学生実験の内容、GEOMAP を用いた教育効果とそれらの評価について述べた。形状生成技術、空間認識の能力はその習得に訓練が必要であり一般に困難である。そのため、そのような教育を支援するための手段として適切なツールを使用するときは、その理解を十分に支援するようなものが望ましい。GEOMAP のように人の想像した形状と作成した形状との相違を容易に理解させるシステムの利用は、空間認識の能力育成に非常に効果的であることが分かった。今後は、よりシステムの充実をはかり、例題などを増やすことによって、さらに効率良く実験が行なえる環境を作り上げていく予定である。

## 謝辞

学生実験において、本研究のシステムを使用し、貴重な御意見を頂いた学生および、本研究室の卒研生諸氏に感謝致します。

## 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 378、(1978)、661-669
- [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 51 号、(1989)
- [3] 島田、“プログラムの管理と CAD”、PIXEL13、(1983)、115-120
- [4] 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、(1982)、B-3、33-38