

自由曲線・曲面の創成を支援する CAD 学習システムの構築と評価

黒瀬 能 聿[†] 矢野 米 雄^{††} 富田 豊[†]

多くの工学系大学では、従来の設計製図にかえて、CAD システムを利用した CAD 教育を実施している。大学における CAD 教育としては、2 次元 CAD システムによる単なる製図教育にとどまるのではなく、3 次元 CAD を目指した教育の必要性が叫ばれている。3 次元 CAD では、より自由な形状設計を行うために、自由曲線や自由曲面の取扱いが重要なテーマの 1 つである。本論文では、3 次元 CAD 教育を進めるうえで、学習者にとって理解が困難であると考えられる自由曲線や自由曲面の創成を支援する学習システムを提案する。第 1 に、必要とされる 3 次元 CAD 教育の内容について考察し、実施する場合の困難さと、それを解決するための学習システムについて述べる。さらに、本学習システムを実際の教育現場で使用し、その教育効果を述べる。本学習システムは、黒板の講義と CAD システムによる実習だけでは理解しにくい自由曲線や自由曲面の創成原理を、学習者がコンピュータと対話しながら学習を進めることで、理解を助けることに特徴がある。

A Development and Evaluation of CAD Learning System for Creating Free-form Curves and Surfaces

YOSHINOBU KUROSE,[†] YONEO YANO^{††} and YUTAKA TOMITA[†]

Many schools of engineering carry out CAD instruction by CAD system instead of traditional design drafting. As CAD instruction in universities, the instruction does not remain in simple drafting with 2D-CAD system and it is currently better to instruct 3D-CAD. Handling of free-form curves and surfaces by a student is one of the important subjects in 3D-CAD. In this paper, we propose a learning system assisting free-form curves and surfaces to create. First, we consider the basic concept and difficulty of 3D-CAD instruction, and give one of the solutions by our learning system. We describe the evaluation of our learning system at the practical use in education. The feature of our system is an interactive system between the learner and computer to understand the principles of free-form curves and surfaces which are hard for students to understand only by lectures.

1. ま え が き

近年、CAD への期待が高まり、CAD システムは有用な設計-製造-解析ツールとして多くの企業で利用されている。

一方、社会の変化に対応して、工学系の大学においても、従来の手書きによる製図教育から、CAD システムを利用した CAD 教育に変わってきた。

ワークステーション (WS) およびパーソナルコンピュータ (PC) の高性能化にともない、CAD システ

ムも初期の 2 次元 CAD システムから、立体的な 3 次元物体の形状設計が可能で 3 次元 CAD システムが主流になってきた。CAD システムの 3 次元化が進む中で、大学における CAD 教育も、3 次元 CAD を指向する必要がある。

3 次元 CAD 教育の到達目標をどのレベルに設定するか。ここでは、“自由曲面を含む 3 次元形状物体を設計することができる能力の育成”という立場に立てば、CAD 教育の中でも、より自由な形状設計を可能にする自由曲線や曲面の創成原理について十分教育しておく必要がある。

さて、各大学では様々な形で CAD 教育を実施しているが、島田¹⁾は、3 次元 CAD 教育の中でも、形状処理の理解、空間認識の訓練、形状データのデータ構造の理解、学生自身による形状作成などを目的とした教育を実施している。また、邊ら²⁾は、CAD 教育

[†] 近畿大学工学部電子情報工学科
Department of Electronic Engineering and Computer Science, Faculty of Engineering, Kinki University

^{††} 徳島大学工学部知能情報工学科
Department of Information Science and Intelligent Systems, Faculty of Engineering, Tokushima University

表1 自由曲線と曲面の条件

Table 1 Conditions of free-form curve and surface.

条件	意味
表現性にすぐれている.	設計者の意図する形状を忠実に表現できる.
制御性にすぐれている.	形状変更が容易である.
接続性にすぐれている.	複数の曲線や曲面の接続が滑らかである.

を製図教育に限定し、CADシステムに独自のヘルプ機能を付加し、CAD教育支援システムの構築を行っている。しかし、いずれも自由曲線や曲面の創成は教育目標に入っていない。

さらに、千代倉³⁾は、市販のソリッドモデラを利用して、自由曲面形状の創成を含む3次元モデリングを体験させる教育を実施しているが、WSの環境が必要である。大学・高専などの実習において使用可能なシステム、すなわち低価格で手軽なシステムが今後の課題となっている。

さて、3次元CADで使用される自由曲線や曲面は表1の条件を満足する必要がある。これらの条件を満足する自由曲線や曲面は、これまでに各種の数学的表現法が提案され^{4)~13)}、実用化されている^{14),15)}。これらの自由曲線や曲面の発展の系譜を図1(山口¹⁶⁾に付加したもの)に示す。

しかし、このような自由曲線や曲面の創成原理を教授する場合には次のような問題点がある。

- ① 講義では理論が中心になり、学生にとっては、具体的な3次元の曲線や曲面をイメージすることが困難である。
- ② 実際のCADシステムによる実習では、自由曲線や曲面による形状を作成するための単なる操作に終わり、創成原理を理解できない。

筆者らは、これまで3次元CADの理解に必要なアフィン変換、3次元表示技術などに関する一連の内容を、CAGDに関連する基礎的な教育システムとして報告した¹⁷⁾。

ここでは、

- (1) 自由曲線や曲面の知識が乏しい
- (2) 理論面の講義だけでは、具体的な自由曲線や曲面をイメージすることが困難である

のような学習者を対象とした学習支援システムの試作を行った。(1)については、コンピュータディスプレイに説明文とともに、各種の自由曲線や曲面を提示することによって学習者の知識の不足を補った。(2)については、学習者とコンピュータの対話環境の実習を通じて、理解を助ける工夫をすることによって実現

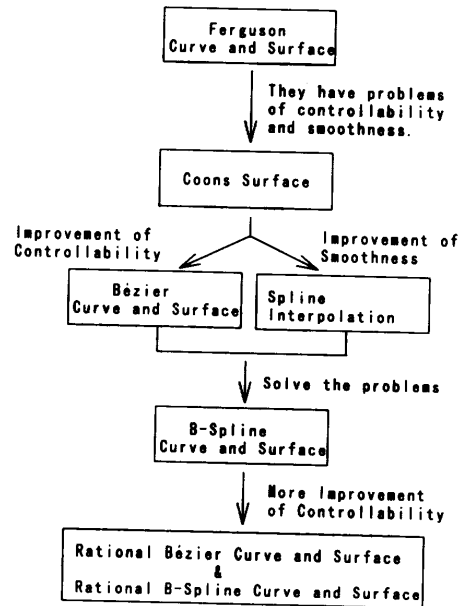


図1 代表的な曲線、曲面の発展系譜

Fig. 1 The flow of typical curve and surface.

した。

従来から提案されている伝統的CAIでは、学習者は受身的で、提示された教材に従って学習し、問題解答入力をするだけである。一方、ITSなど知的CAIでも、自由な入力を許すように設計されているが、人工知能技術の未熟さのために、実際に使用されているシステムは皆無である。しかし、本システムでは、学習者自身がシステムに働きかけていき、実習ツールを利用して学習者独自の学習が可能で、従来のCAIとは一線を画す。

以下、本論文ではCAD教育の目的と問題点を2章で、その問題点の解決を支援する学習システムの概要を3章で、システムの実現を4章で、学習システムの教育効果を5章で述べる。

2. CAD教育の目的と問題点

大学におけるCAD教育の目的、教育を進める場合の問題点を明らかにし、CAD教育を支援する学習システムの目標を設定する。

2.1 CAD教育の目的

2次元CADシステムは、従来の手書きによる設計製図を、コンピュータ支援による設計製図に置き換えたもので、製図の省力化を目指したものである。

しかし、望ましいCADシステムは、上流の設計から下流の製造までの全工程を支援するトータルな設計支援ツールであるべきで、3次元情報を2次元の図面情報にするだけの2次元CADでは機能不足である。

表2 一般的な CAD 教育の内容
Table 2 Contents of general CAD instruction.

項目番号	教育項目	教育内容
①	3次元データ構造	ワイヤフレームモデル, サーフェースモデル, ソリッドモデル (CSG, B-Reps) についてそれぞれのデータ構造の違いや各モデルの特徴を正しく認識させる.
②	アフィン変換, 射影変換などの原理	CG で必要となる各種変換原理を理解させる.
③	表示に関する技術	座標返還, 隠線や隠面消去など表示技術を理解させる.
④	各種基本物体の生成とその応用	コンピュータ内にプリミティブと呼ぶ基本物体を生成させ, プリミティブ相互の集合演算による3次元物体の生成方法を理解させる.
⑤	自由曲線や曲面	自由曲線・曲面の創成原理とそのモデリングについて理解させる.
⑥	マスプロパティの計算	表面積, 体積, 重量および慣性モーメントなどの計算方法を理解させる.
⑦	各種解析法	有限要素法, 境界要素法による解析法とその適用法を理解させる.
⑧	データベース論	データベースの基礎理論および CAD データベースについて理解させる.

設計から製造および完成した製品のプレゼンテーションまでを一貫したデータで扱うには, 3次元モデルを直接取り扱うことの可能な3次元 CAD が必須で, 大学における CAD 教育も3次元 CAD を指向したものでなければならない.

したがって, CAD 教育の目的は, CAD システムを利用し, 単にきれいに作図できる能力を育成することではなく, CAD を設計の道具として利用できる能力を育成することにある. そのためには, CAD 教育の内容も, CAD システムが有する多くの機能を正しく理解させ, 応用できるような教授内容にすべきである.

2.2 CAD 教育の問題点

一般に必要と考えられる CAD 教育の内容は, 開講する専攻学科, 学年および開講時間数によって講義内容, 履修方法を考慮しなければならないが, 表2に示す項目が必要であると考え.

表2に示した教育内容は互いに深く関連しており, 正しく理解し, 活用するには, 多くの関連知識を必要とする. したがって, 独立した授業科目だけではすべてを教授することは不可能に近い.

筆者らが所属している学科で実施している CAD 教育の概要を表3に示す. いずれの科目でも, 限られた時間内に学生全員に多くのことを修得させることは非常に難しいが, 本論文では, 特に表2の⑤の自由曲線や自由曲面に関する教育の難しさについて考察する.

表3 CAD 教育の概要
Table 3 Outline of CAD instruction.

開講学年	科目名	教育内容
3年前期	図形処理工学	表2の①~③
3年後期	形状設計 CAD	表2の④, ⑤を核として, 関連あるところで⑥, ⑦, ⑧
3年後期	電子情報工学実験 IV	CAD システムによる3次元形状設計を2テーマ

自動車やビデオカメラなどのような複雑な形状をしている工業製品は, 単一の表現式では取り扱えないので, いくつかの基本的な曲線セグメントや曲面パッチに分け, これらを滑らかに接続して任意の曲線や曲面を表現する方法がとられる. このような自由曲線や曲面は, 表1で示した3つの条件 (表現性, 制御性, 接続性) を同時に満足するような数式表現を必要とする.

以上の条件を満足する自由曲線や曲面はこれまでに種々考案されてきた^{4)~13)}. これらの曲線や曲面は, 3次元空間上の制御点と呼ばれる位置ベクトル, 制御点の接線ベクトルや重みなどを与えて表現する. 初心者にとっては, コンピュータグラフィックスの平面上に表示される曲線や曲面と, 自由曲線や曲面創成式を持つこれらの値との関係把握が非常に難しいと考えられる. すなわち, 設計者は意図する物体形状を創成するために,

- (1) どの制御点の位置ベクトルの値をどうするか.
- (2) どの制御点の接線ベクトルの値をどうするか.
- (3) どの制御点の重みを, どの程度の値にするかを考える必要がある.

2.3 CAD 教育支援システムの目標

我々のシステム開発指針を以下に述べる.

- (1) 学習者とコンピュータの対話環境により, 実習環境を中心とした学習システムとする.
- (2) 学習者とコンピュータの対話環境による学習の中で, 発見的学習法により自由曲線や曲面の創成原理が理解できるシステムとする.

以上の開発指針に基づき, 先に述べた①~⑧の教育内容の中で, 教材化が可能なものから開発を進めた. これまでに①~③の内容について CAI 化を完了し, すでに報告した¹⁷⁾.

今回, ⑤の自由曲線・曲面の学習を支援する学習システムの試作を完了した. なお, 島田¹⁾は①~④, 千代倉³⁾は①~⑥の内容について教育を行うものである.

3. システムの概要

本章では教育システムの教育支援範囲, システム構成や機能について述べる.

表4 学習システムの学習項目一覧
Table 4 Materials of learning system.

項目番号	学習内容
①	Ferguson 曲線の創成
②	Bézier 曲線の創成
③	Bézier 曲線の分割
④	B-Spline 曲線の創成
⑤	Bézier 曲線と B-Spline 曲線の関係
⑥	Bézier 曲面の創成
⑦	B-Spline 曲面の創成
⑧	有理 Bézier 曲線の創成
⑨	有理 B-Spline 曲線の創成
⑩	有理 Bézier 曲面と有理 B-Spline 曲面の創成
⑪	自由曲線と曲面の総合実習

3.1 教育システムの教育支援範囲

自由曲線・曲面の創成問題はきわめて広範な教育内容を含んでいるが、学部学生の教育支援システムであることを考え、本システムでは表4に示す11項目を取り上げた。多くの教育項目の中から11項目に絞った理由を述べる。

項目番号①の Ferguson 曲線は現在の CAD システムには採用されていないが、以後に発表された曲線・曲面の基本となっているので、教育上必要であると考えた。

項目番号②～⑦の5項目で、Bézier 曲線・曲面、B-Spline 曲線・曲面の創成原理を取り扱う。

最近話題になっている有理曲線と有理曲面の創成問題も重要であり、⑧、⑨、⑩を取り上げた。

3次元 CAD システムでは、曲面と曲面の干渉線を求めることが多い。そのためには、曲面を細かい平面とみなせるまで分割を繰り返し、平面と平面の干渉線を求める問題に帰着させることで、計算時間の短縮を図る方法が採られている。Bézier 曲面分割問題は、Bézier 曲線を分割する問題に帰着するので、ここでは③の Bézier 曲線の分割問題を取り上げた。

B-Spline 曲線・曲面は Bézier 曲線・曲面と密接な関係にあることを利用して、Bézier 曲線・曲面に変換できる。したがって、B-Spline 曲線・曲面の干渉問題は Bézier 曲線・曲面の干渉問題として扱えるので、Bézier 曲線と B-Spline 曲線の関係を理解させる必要から、⑤の項目を取り上げた。

また、⑪は①～⑩までの学習修了者に対する総合実習項目で、1つの曲線セグメントや曲面パッチの創成だけではなく、自由な曲面形状の創成実習を行うために用意した。

本システムは以下の実現を目標として開発した。

- (1) 講義の補助教材として利用できる。
- (2) 予習、復習教材として利用できる。

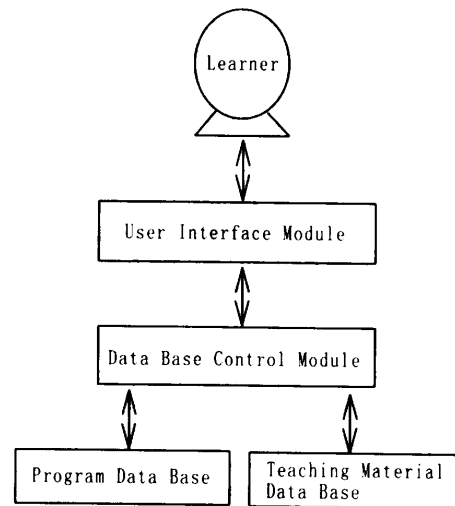


図2 システム概念図
Fig. 2 System concept.

- (3) コンピュータとの対話環境により、学習者が自主的に発見的学習を進めることができる。

(1)の実現は、教師が描きたい曲線や曲面をマウス操作で自由に描き、表示結果をOHPなどのようなプレゼンテーション機器で拡大表示することで、教育効果を高めることが期待できる。(1)の実現を図るためPC上にインプリメントした。PCならばディスプレイの出力をOHP用のディスプレイパネルや液晶プロジェクタに送ることができる。

(2)の実現のためにはシステムを小さくする必要がある。PC上でしかもフロッピーディスク1枚に収まるシステムを実現したことで、希望する学生にはソフトウェアを貸し出し、大学のPC教室、あるいは自宅のPCで予習・復習に利用でき、大学のPC教室で講義と併用することで、学習効果の向上が図れる。

そして、(3)の実現のためにはシステム内に実習課程を用意する必要がある。実習課程を用意したことで、実習を通して講義とは違った発見が期待できる。

3.2 システム構成と機能

システムは図2に示すように、ユーザーインタフェース部およびデータベース制御部から構成した。各部の特徴を述べる。

3.2.1 ユーザーインタフェース部

ユーザーインタフェース部は、教材メニュー選択インタフェース部、実習課程におけるデータ入力インタフェース部、および表示インタフェース部から構成する。

- 教材メニュー選択インタフェース部

表4に示した学習コースをマウス操作で選択し、デー

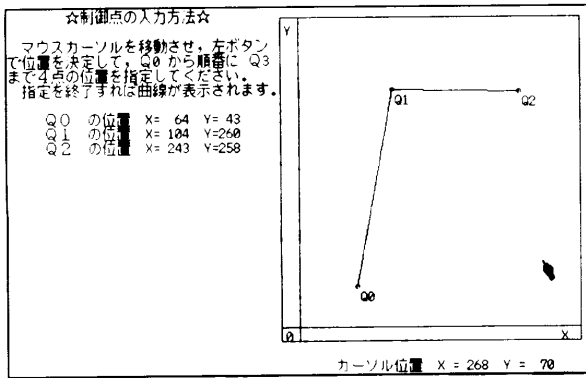


図3 マウス入力インタフェース
Fig. 3 Data-input interface by mouse operation.

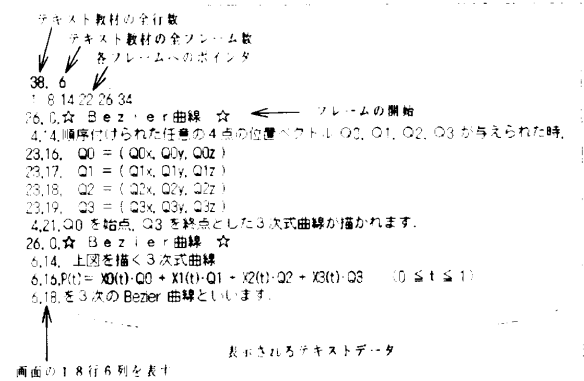


図5 テキスト教材の一部
Fig. 5 Part of teaching materials.

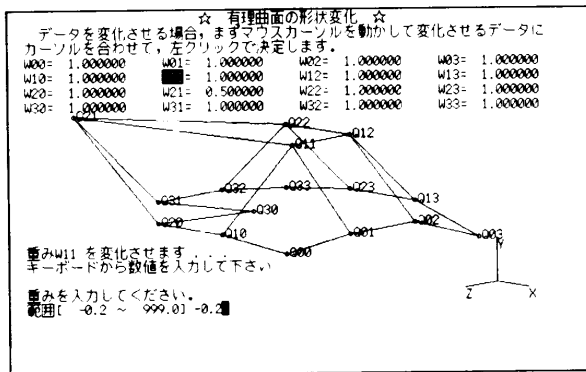


図4 キー入力インタフェース
Fig. 4 Data-input interface by key operation.

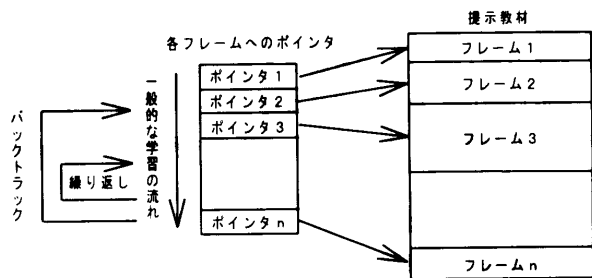


図6 教材のデータ構造
Fig. 6 Data structure of teaching materials.

データベース制御部にその制御を移す。

● データ入力インタフェース部

実習課程において、制御点の座標、接線ベクトル値などのデータを入力する部分で、マウス入力インタフェース部とキー入力インタフェース部からなる。図3, 4にそれぞれのインタフェース部を示す。

● 表示インタフェース部

学習者に提示する画面を構成するインタフェース部分である。表示すべきデータは、データベース制御部から渡される学習教材データである。また、実習課程において学習者が作成した自由曲線・曲面データを受け取り、表示する。

3.2.2 データベース制御部

本システムでは、システムの柔軟性の向上を計るため、コースウェアを制御するプログラムモジュールと、学習教材モジュールを分離したシステム構成とした。

したがって、データベース制御部は、コースウェアプログラムデータベースと、教材データベースを制御する。

● プログラムデータベース

プログラムデータベースは、表4に示した各学習項目に対応したプログラムモジュールから構成され、教材メニュー選択インタフェースから呼び出される。

● 教材データベース

学習者に提示するテキスト教材データベースは、各プログラムモジュールから呼び出され、表示インタフェースに渡される。図5にテキスト教材の一部を示す。

4. システムの実現

本章では、システムの実現方法および実際の操作例について述べる。

4.1 システムの実現方法

4.1.1 基本的データ構造

本システムの学習様式は、理論学習を支援するフレーム型CAIと、実習を行うシミュレーション型CAIを付加したハイブリッド型システムとした。

フレーム型CAIを実現するために、教材ファイルの基本的なデータ構造はフレームとし、各フレームをポイントで結合する構造とした(図6)。

フレームの大きさは一定ではないが、ポイントは固

定長であるので、以下の利点がある。

- (1) 学習はポイントの制御によって進む。ポイントを順にたどれば、順次学習が可能である。順次学習が基本であるが、学習者の指示により、同じフレームを繰り返し学習したり、ポイントを逆にたどれば既習フレームにバックトラックできる。
- (2) ポイントは学習進行状況を示しており、記録しておくことにより、学習の中断、再開が容易となる。
- (3) 通過したポイントやポイントの開始時刻、終了時刻の記録は、学習履歴になり、個人の学習進捗状況の解析に利用できる。

4.1.2 オーバーレイ構造

本システムは小容量のPCでもシステムの実現が可能で、教材の追加、削除などの保守性の向上を期待して、オーバーレイ構造を採用した。

メインモジュールで教材メニューを選択すれば、メニューに対応したプログラムモジュールがサブプロセスとして起動し、オーバーレイ構造で稼働する仕組みとした。

4.1.3 実習機構

実習課程では曲線と曲面では実現方法が異なる。

● 自由曲線

図3に示したように、PCの画面を左右に分割して利用する。左のテキスト領域に表示された指示に従い、右の描画領域でマウスを移動し、左ボタン操作でその時点でのマウスカーソル位置を制御点や接線ベクトルの値として入力できる。必要な入力を完了すれば曲線を描く。

したがって、学習者は各種の曲線を描くことができ、講義では得られない発見学習が可能となった。

● 自由曲面

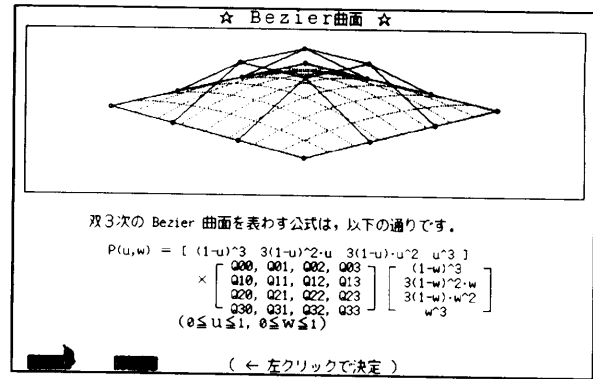
自由曲面ではマウス操作による座標値入力が不可能に近いので、キーボード入力主体で行う。実際のCADシステムでも3次元データ入力のほとんどはキーボード入力である。

図4に示したように、変更したい制御点をマウス操作で指定し、その制御点の座標値、重みをキーボードから入力する。必要な入力を完了すれば曲面を描く。

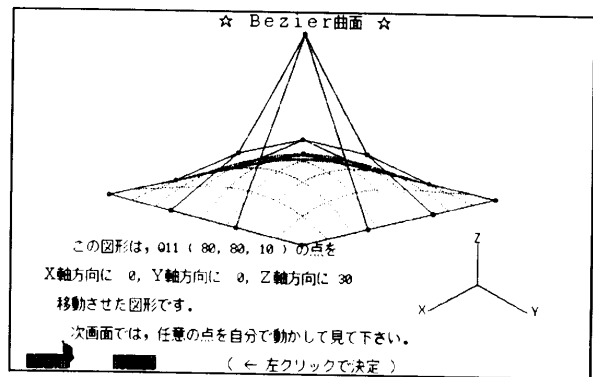
4.2 システムの実装

システムはNEC製PC-9801と富士通製FMR-50上に試作した。開発言語はMS-C Ver.5.1であり、グラフィックスライブラリは移植性を考え、両機種互換ライブラリSYLPH Ver.1を使用した。

また、マウスライブラリはPC-9801がSYLPH、FMR-50がMC/Cライブラリを使用した。機種ごとに異なるのはこのマウスライブラリだけである。



(a)



(b)

図7 Bézier 曲面の解説画面

Fig. 7 Description page of Bézier surface.

4.3 操作例

ここでは、操作例を示す。

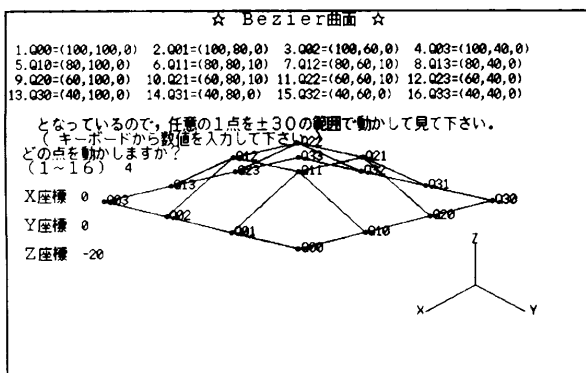
図7(a)はBézier曲面理論式の解説画面、(b)は制御点を移動させた場合のBézier曲面の変化の様子を示している。

図8は実習画面で、学習者の指示で任意の制御点を移動し、形状の変化を確認している様子を示す。学習者はCAI教材による理論学習を終了し、理解できれば実習課程に進み学習者自身で自由曲面を創成できる。途中で分からなくなれば、既習フレームにバックトラックできる。

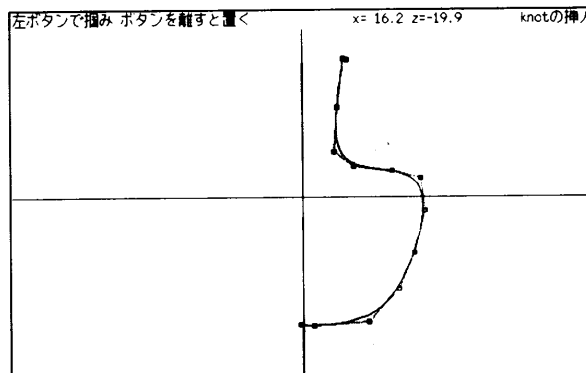
図9は総合実習画面である。(a)はB-Spline曲線によるボトルのシルエット、(b)は(a)で作成した曲線を360度回転させて創成した回転曲面、そして(c)はノットと呼ぶ制御点を挿入後、一部の制御点を移動して局所変形を行った実習結果である。

5. 実験と評価

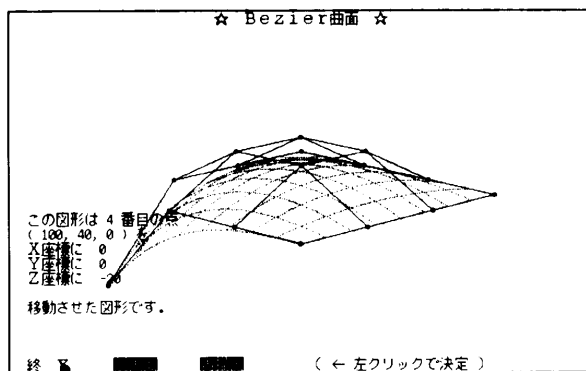
教育システムの有効性を確認するため実験を行った。被験者は電子情報工学科3回生の「図形処理工学」



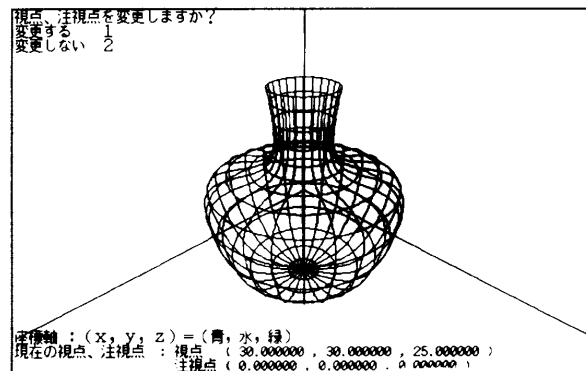
(a)



(a) B-Spline 曲線によるシルエット創成



(b)

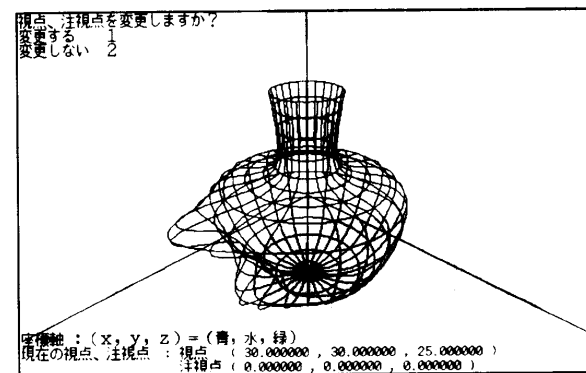


(b) 回転による回転曲面創成

図 8 Bézier 曲面の実習画面
Fig. 8 Training page of Bézier surface.

表 5 実験方法
Table 5 Experiment manner.

対象学生	電子情報工学科 3 回生 45 名	
実験日時	1 回目	1994 年 6 月 20 日 (月)
	2 回目	1994 年 6 月 27 日 (月)
実験内容	1 回目	講義で既習内容の自由曲線の創成まで (表 4 の教材番号①~⑤)
	2 回目	講義で未習の自由曲面の創成まで (表 4 の教材番号⑥~⑩)
評価方法	2 回の実験後、アンケート調査による。	



(c) 制御点の挿入と移動による局所変形

図 9 総合実習画面
Fig. 9 Total training page.

と「形状設計 CAD」を受講している学生 45 名である。実験方法を表 5 に示す。実験後にアンケート調査を行い、教育効果の検証を行った。

アンケート調査の集計結果を図 10 に示す。

以下にアンケート結果から、3 章で述べた目標別にまとめる。

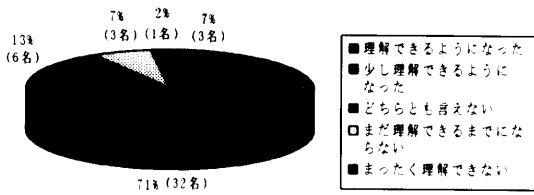
(1) 講義の補助教材として利用できる。

教材提示の手段として利用してみた。従来の板書や OHP などのプレゼンテーション手段に比較して、任意の曲線や曲面が提示できる。学生の理解も早いと感

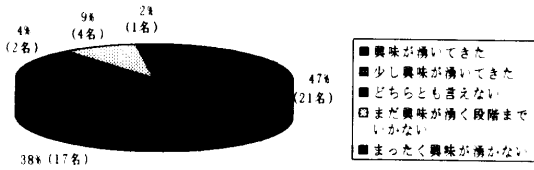
じられる。

また、学生の反応はアンケート調査でも良好である。
(2) 予習、復習教材として利用できる。

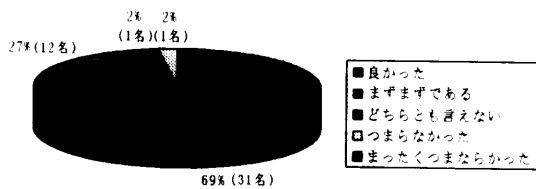
アンケートに答えてくれた 45 名の学生のうち 4 名を除いて、何らかの形で自習用に利用したいと考えている。事実、何人かの学生にはシステムを配布した。本システムはフリーウェア宣言しているので学生の間にはかなり流布して、利用されていると思われる。



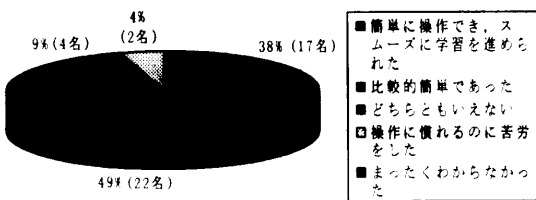
(a) 創成原理の理解度



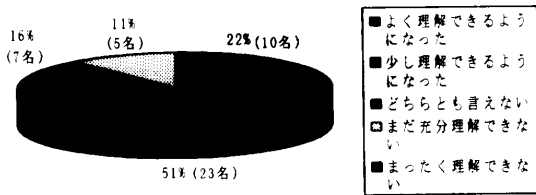
(b) 3次元CADへの興味付け



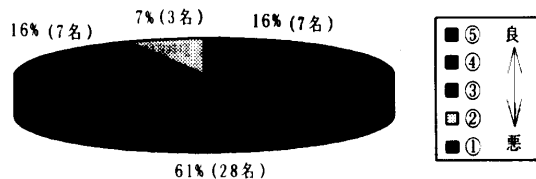
(c) 講義だけの場合と比較して



(d) 操作性について



(e) 実習課程の評価について



(f) 本システムの総合評価

図10 アンケート調査結果
Fig. 10 Questionnaire findings.

(3) コンピュータとの対話環境により、学習者が自主的に発見的学習を進めることができる。

学生に実習をやらせてみると、実に様々な曲線や曲面を創成する。それが連鎖反応になり競って他人とは異なる曲線や曲面を創成しようと努力している。まさに遊び感覚で学習を進めている。

アンケート結果でも (a) 創成原理の理解度, (b) 3次元CADへの興味付け, および (e) 実習課程の評価などで高い評価がでている。

以上の結果から見る限り、学生にはおおむね好評で、自由曲線、曲面の創成を支援する学習システムの構築という初期の目標はほぼ達成できたと確信している。

実際に授業で使用してみて、今後の課題として次のような点が今後の課題として残った。

数人の学生から「解説文章が少し分かりにくい」、「自由曲面が少し見にくい」との指摘があった。今後は隠線消去などの技術を導入したり、マルチメディア化、マルチウィンドウ化を進め、より使いやすい教育システムに改善してCAD教育の充実に寄与したいと考えている。

6. おわりに

3次元CAD教育の目標は、自由曲面を含む3次元形状物体を設計する能力の育成にあるという立場から、3次元CAD教育の中でも特に自由曲線、自由曲面の創成原理を理解させることが重要である。

本論文は3次元CAD教育の中でも特に理解が困難である自由曲線、自由曲面の学習を支援するシステムについて述べた。

試作したシステムは、フレーム型CAIにシミュレーション型CAIを付加したハイブリッド型システムであるが、マウス操作が主体のユーザーインタフェースを介して、実習過程を通じて学習者は自由曲線や曲面の創成学習が可能である。

また、本システムはフレームをベースとしており、すべての画面でバックトラック機能を実現し、操作性の向上を実現した。そのため、操作の煩わしさから解放され、楽しみながら学習を進めることが可能となった。特に、学習者自身の操作で自由曲線や曲面の創成学習ができたことで、講義だけの授業に比較して発見的学習が可能となり、学生にとって新鮮味が生まれ、興味付けにも一役買っていると考える。

我々は、CAD教育の充実を目指して、今回のアンケート結果で得られた情報をもとに、さらに使いやすいシステムへの改良を行うとともに、インターネット上で利用できるCAD教育支援システムの開発を現在

続けている。

参考文献

- 1) 島田静雄, 近藤邦夫, 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.34, No.11, pp.2313-2319 (1993).
- 2) 邊 吾一, 西 恭一: CAD 教育支援システムの開発, 第8回私情協大会資料, pp.181-184 (1994).
- 3) 千代倉弘明: グラフィックス機能論, 産業図書, 東京 (1995).
- 4) Gellert, G.O.: Geometric Computing-electronic Geometry for Semiautomated Design, *Machine Design*, March (1965).
- 5) Coons, S.A.: Surface for Computer-aided Design of Space Figures, M.I.T. ESL. 9442-M 139, January (1964).
- 6) Coons, S.A.: Surface for Computer Aided Design of Space Forms, MIT Project MAC, TR-41, June (1967).
- 7) Bézier, P.: Numerical Control: Mathematics and Applications, John Wiley & Sons, London (1972).
- 8) Bézier, P.: The Mathematical Basis of UNISURF CAD System, Butterworths (1986).
- 9) Riesenfeld, R.F.: Application of B-Spline Approximation to Geometric Problems of Computer-aided Design, PhD Thesis, Syracuse University, Syracuse, N.Y. (1972).
- 10) Frain, G.: Algorithms for Rational Bézier curves, *Computer-Aided Design*, Vol.15, pp.73-77 (1983).
- 11) Piegl, L.: Representation of Rational Bézier Curves and Surface by Recursive Algorithms, *Computer-Aided Design*, Vol.18, pp.361-366 (1986).
- 12) Piegl, L. and Tiller, W.: Curve and Surface Construction Using Rational B-splines, *Computer-Aided Design*, Vol.19, pp.485-498 (1987).
- 13) 齊藤 剛, 穂坂 衛: 有理 Bézier および有理スプライン曲線曲面の直感的構成法と形状制御, 情報処理学会論文誌, Vol.32, No.4, pp.448-459 (1991).
- 14) Frain, G. (著), 木村文彦 (監修): CAGD のための曲線・曲面論, p.330, 共立出版, 東京 (1991).
- 15) 千代倉弘明: ソリッドモデリング, 工業調査会, 東京 (1985).
- 16) 山口富士夫: 形状処理工学 [I], p.192, 日刊工業新聞社, 東京 (1988).
- 17) 黒瀬能幸, 冨田 豊, 真鍋俊彦: パソコンによる3次元 CAGD 教育システムの開発, 教育情報

研究, Vol.6, No.4, pp.3-11 (1991).

- 18) 黒瀬能幸, 冨田 豊, 岡中正三: 自由曲面創成のための CAD 教育システム, CAI 学会第17回全国大会講演論文集, pp.117-120 (1992).

(平成7年5月9日受付)

(平成8年9月12日採録)



黒瀬 能幸 (正会員)

昭和42年広島工業大学工学部電子工学科卒業。同年呉工業高等専門学校助手。昭和46年広島商船高等専門学校講師, 助教授。昭和61年福山大学教養部講師。平成2年近畿大学工学部助教授。形状設計工学, 図形処理工学, 教育工学等の教育・研究に従事。情報処理学会, 電子情報通信学会, 教育システム情報学会, 同学会 CAI 研究部会幹事, 日本教育情報学会各会員。



矢野 米雄 (正会員)

昭和44年大阪大学工学部通信工学科卒業。昭和49年同大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。同年徳島大学工学部助手。昭和50年同大学工学部講師。昭和56年同大学工学部助教授。平成2年同大学工学部教授, この間, 昭和54~55年イリノイ大学 CERL 客員研究員。環境型知的 CAI, 人脈活用支援システム, オブジェクト指向データベース等の研究に従事。教育システム情報学会理事, 同学会 CAI 部会長, 日本教育工学協会理事, 日本教育工学会評議員, IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会各会員。



冨田 豊 (正会員)

昭和24年広島文理科大学理学部数学科卒業。昭和26年広島県立高等学校教諭。昭和40年呉工業高等専門学校助教授, 教授。昭和49年徳島大学工学部助教授, 教授, この間7年間徳島大学情報処理センター長。昭和60年近畿大学工学部教授, この間4年間工学部長。昭和53年工学博士(京都大学)。自由曲面創成問題, 3次元画像処理に興味を持つ。情報処理学会, 計測自動制御学会, 教育システム情報学会各会員。