

# 設計環境に関する研究 (第4報)

## —装身具デザイン・システムの開発—

中島 俊・森本恵一郎・清水誠司・平田俊也・阿部正人  
萩原 茂・宮川和幸・古川 進\*・伊藤 誠\*\*

### Research on Design Environment (Part IV) —Personal Ornaments Design System—

Toshi NAKAJIMA, Keiichiro MORIMOTO, Seiji SHIMIZU, Toshiya HIRATA,  
Masahito ABE, Shigeru HAGIHARA, Wakou MIYAGAWA, Susumu FURUKAWA\*  
and Makoto ITO\*\*

#### 要 約

前報において、試作した宝飾用三次元CADシステム、レーザーソグラフィ装置、彫刻システムをさらに使いやすくするために、機能の拡張、コンパクト化ならびに高速化を図り、次に示すシステムを実現した。

##### 1) 宝飾用三次元CADシステム

宝石のリアル・シミュレーション、局所変形に優れた曲面モデル、インタラクティブな図形の編集並びにレンダリング機能を備えた三次元CAD。

##### 2) レーザソグラフィ装置

宝飾用三次元CADシステムとオンライン化され、UV樹脂（紫外線硬化樹脂）で指輪などの複雑なプラスチックモデルを製作するコンパクトな装置。

##### 3) 彫刻システム

画像処理技術を応用して、デザイン画から立体モデルを構築したり、輪郭を抽出してブロックワックスやシートワックスに彫刻を施すシステム。

#### 1. はじめに

装身具は、複雑な曲線や曲面で構成されている製品が多い。また、装身具のフォルムは、デザイナーの感性が最も求められる。

従って、作図やモデリングを行うCADは、高度の図形処理技術が要求される。また、シミュレーションは、宝石や貴金属をリアルに表示できるCG技術が不可欠である。しかし、装身具は繊細で複雑な形状であるため、機械化はなかなか困難で、多くを人手に頼らざるを得ない状況にある。

国内では人手不足から人件費も高くなり、人件費の安い外国に生産拠点を移す企業も多くなってきた。生産の合理化・省力化・コストダウンなど

の必要性から感性まで含めた宝飾工芸品のためのCAD/CAMシステムの実現が強く要望されている。前報までは、既存の形状モデラの機能にどのような技術を開発しなければならないか検討して、宝飾用CAD/CAMシステムの試作を行ってきた。今年度は、さらに使い易くするために機能の拡張・高速化・コンパクト化、また未解決な部分も含めて、次の特徴を備えたシステムを実現した。

##### 1) 宝飾用三次元CADシステム

①CAD/CAMが一体化したコンパクトなシステム

②モデルの生成を容易にするための宝石のカット形状、リング形状、爪などの必要なプリミティブ生成機能

③応答速度が早く、柔軟な曲面生成及び編集機能

\* 山梨大学工学部機械システム工学科

\*\* 中京大学情報科学部

- ④忠実かつ高速なレンダリング機能
  - ⑤コマンド履歴情報による再操作機能
- 2) レーザリソグラフィ装置
- ①コンパクトに一体化した装置
  - ②加工に要する時間を短縮すると共に表面張力の影響による加工精度の低下を防ぐことのできるレーザ照射法
  - ③焼失型紫外線硬化樹脂を用いることで、ゴム型生成工程とワックス原型製作工程を省くことができる
  - ④宝飾用三次元CADとリアルタイムな積層シミュレーション及び加工データの生成が可能

3) 彫刻システム

- ①スケッチ画をイメージスキャナーで読み取る機能
- ②読み込んだ画像の修正・編集・輪郭追跡・ベクター化機能
- ③二次元の濃淡情報を利用して、2.5次元の高さ情報を生成してワックス等を切削できる機能

以下、システムの概要、各機能を実現するための理論、さらに実際に作製した作品例などについて報告する。

2. 宝飾用三次元CADシステム

2-1 システム概要

宝飾工芸品のような意匠製品用のCAD/CAMシステムとして、このシステムは、

- ① 宝飾品独特な、曲面形状と多面体形状が複雑に組み合わせられている立体生成用の3次元形状モデラ
- ② 形状モデラにより作成された立体に対し質感・量感・透明感等の表現や光源位置の設定によって、操作者に対し完成予想図をインタラクティブに提供するレンダリング
- ③ 最終的な工程として、モデラでモデリングされた立体のサーフェースデータから輪郭形状データを自動生成し、このデータをもとにして紫外線硬化樹脂を積層し実物モデルを作成するレーザリソグラフィ

の3つの主要な部分から構成される。(図1)

これらの機能は実モデル生成部分を除いて同一なハードウェア上で実現されている。

操作者は、モデリング・レンダリング・リソグ

ラフィー部分を自由に行き来し、レンダリングによる完成予想図の情報をモデリングにフィードバックしながら、自分の意図する意匠製品をデザインし実モデル生成までを行うことになる。

このように本システムは、デザインから製品作成までを一貫して行え、デザイナーの意図を忠実に表現できる機能と、正確に製品化できる加工技術とが一体化したCAD/CAMシステムとして開発した。

本システムのハードウェア構成を図2に示す。

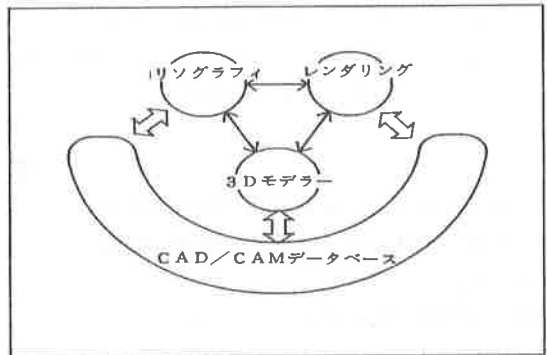


図1 ソフトウェア構成

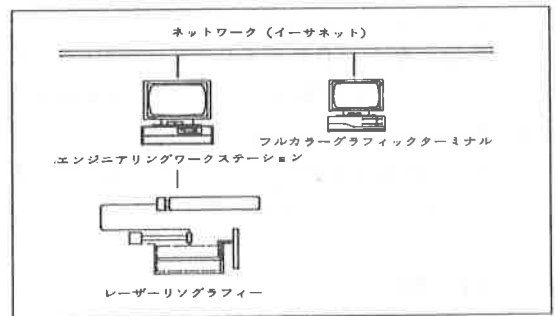


図2 ハードウェア構成

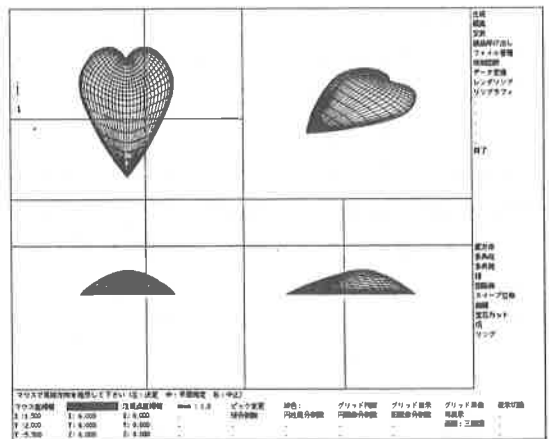


図3 画面構成

2-2 形状モデラ及び編集機能

(1) 画面構成と操作方法

ディスプレイ画面は、図3に示すとおり、①立体(図形)、②コマンド・メニュー、③システムよりのメッセージ、④システムの状態、⑤画面制御命令の5種の表示を受け持つことができるように分割して使用される。

立体表示部は、左上が平面図、左下が正面図、右下が側面図、右上が透視図の表示用である。コマンド・メニューの部分は、上部に主メニューを常時表示し、下部にサブメニューを表示する2階層のメニュー方式を採用した。

システムの状態部分には、マウスの現在位置、視点、注視点の座標値などが常時表示される。画面制御命令の部分には、視点位置の変更、立体の表示倍率など、立体の表示に直接関係する命令が表示される。

操作方法是、基本的には、マウスを用いてコマンド・メニューから所定のコマンドを選択するだけでよい。それ以外の操作が必要な場合は、その都度システムよりメッセージが表示される。

座標値の入力方法は、まず3次元の座標値を入力するコマンドを選択すると、3面図上にそれぞれ十字カーソルが表示される。アクセス可能な画面では、カーソルの色が異なっている。ユーザは、この画面上でマウスまたは鍵盤で座標値の指定を行うことができる。他の画面にアクセスしたい場合は、所定のマウス・ボタンを押すことで移行できる。

(2) 形状モデラのデータ構造

3次元形状モデルの表現方法として、方向を持った面モデル(サーフェース・モデル)を採用し、内部データ構造は、立体の幾何的情報、トポロジカルな情報および対話操作の履歴が保持できるように設計した。

立体は、各頂点の3次元座標値と面を構成する頂点のループ、稜線の両端点によって記述される。立体の属性としては、環境光、拡散光、反射光および透過率に関する係数が記憶される。対話操作の履歴は、コマンド情報(コマンド名、パラメータ)の形で保存される。

形状モデラのための内部データ構造の概略を図4に示す。図中の二重枠は静的な配列構造を、一重枠は動的可変数の構造体を表している。また、実

線矢印はポインタを、破線矢印は配列中の該当する番地を表している。

なお、立体が複数個ある場合には、各立体に対してそれぞれ図4に示されるデータ構造を作成し、かつ、それらをリスト構造で接続する。

(3) コマンドによる形状モデルの生成

形状モデラによる形状生成は、コマンドと必要なパラメータを与えて、基本的な形状を生成し、これに部分的な修正作業を繰り返すことによって所定の形状に仕上げていく過程をとる。以下にコマンドによる基本的な形状の生成機能について述べる。

①基本立体：2次元図形の持ち上げ、回転、あるいは掃引を行い、3次元立体を生成する。2次元図形としては矩形、多角形、楕円、自由曲線がある。

持ち上げ体には2次元図形を高さ方向に垂直、斜め、変倍および1点(多角錐、円錐)に持ち上げるなどの種類がある。

②自由曲面：自由曲面は、曲面の通過点あるいは制御点を指定し生成する。基本立体を曲面化することも可能である。

③宝飾品形状：宝飾品特有の形状には、宝石のカット形状、爪、石座、リングなどがある。これらは種類と大きさを指定することによって自動的に生成される。宝石モデルとしては、ブリリアントカット、エメラルドカット、ローズカットなど代表的なカット形状が12種類用意されている。

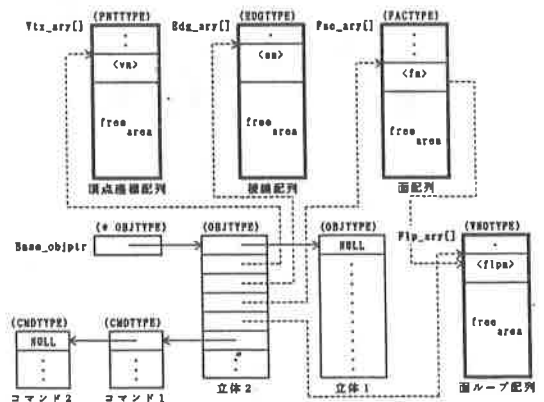


図4 内部データ構造

#### (4) 編集機能

立体およびグループ（複数立体）を操作する機能の主なものを以下に述べる。

- ①移動：立体およびグループの平行移動，回転移動，反転移動を行う。
- ②複写：立体およびグループを直線上あるいは螺旋上に一定間隔で複数複写を行う。又，反転複写も可能である。
- ③拡大・縮小：対象立体をX軸，Y軸，Z軸方向にそれぞれ指定した倍率に変形する。
- ④削除：立体およびグループを削除する。
- ⑤グループ：複数立体を1つのグループにまとめる。または，グループ指定を解除する。
- ⑥切断：立体およびグループを平面を用いて切断や分割を行う。
- ⑦切り抜き：曲面を指定した形に切り抜き。
- ⑧局所変形：多面体に対する局所変形操作として，頂点追加，稜線分割，面分割および面の持ち上げなどができる。
- ⑨曲面の局所的な修正：制御点の移動により形状の局所的な修正ができる。通過点を変更しないで，部分的に形状の変更をすることも可能である。

#### 2-3 曲面生成

本システムで用意されている曲面処理機能は，

- ①多面体より曲面を自動的に生成する，
  - ②与えられた通過点を通る曲面を高速に生成する，
  - ③曲面の細部を局所的に変形，制御する，
- の三つがある。以下においては，この曲面の生成手法について述べる。

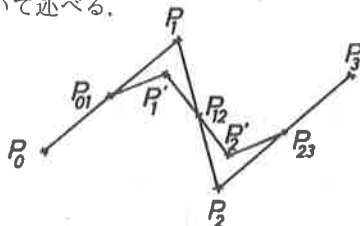


図5 折れ線の補間



図6 S曲線 ( $\omega = 2$ )

図5に示されるような折線 $P_0, P_1, P_2, P_3$ が与えられたとき，各辺の中点 $P_{01}, P_{12}, P_{23}$ を求めさらに

$$P'_1 = (P_{01} + P_{12} + wP_1) / 4$$

$$P'_2 = (P_{12} + P_{23} + wP_2) / 4$$

なる点を求める。

点列に対して同様な操作を順次繰り返して行うことにより図6に示される曲線を得ることができる。

上述の曲線生成手法を曲面に拡張して適用すると，幾何学的手続きよって，高速に曲面の生成を行うことができる。

#### 2-4 レンダリング

立体をリアルに表現するためのレンダリングについては多くの手法が考えられている。宝飾工芸品用としては，宝石の表現にも忠実度の高い描画が可能であるレイトレーシング方が有効であるが，多くの処理時間が必要とされているため，試行錯誤的に作業を進める形状設計の段階では，利用が困難である。

本システムにおいては，比較的高速処理が可能で，後に述べるレーザーソングラフィーと共通な処理手法を持つ走査法を用いた。

また，立体の表面に光があたったときにどのような色づけを行うかはリアルな表現を行う際にきわめて重要な問題である。ここでは以下の式を用いて面の色強度を計算した。

$$I = K_a * A_{mb} + K_d * D_{if} + K_r * R_{ef} + K_t * I'$$

$A_{mb}$ は環境光， $D_{if}$ は拡散， $R_{ef}$ は反射光である。

曲面では面の法線ベクトルを頂点の法線ベクトル（頂点回りの平面の法線ベクトルの平均値）を用いて補間した。面が透過性をもっている場合，次の面の色強度 $I'$ も算出した。

### 3. レーザソングラフィ装置

#### 3-1 装置概要

宝飾用三次元CADシステムと完全にオンライン化し，コンピュータでデザインした装身具原型から樹脂原型を作成する装置を開発した。この装置は紫外線レーザー，NC走査装置，昇降テーブルおよびNCコントローラで構成され，紫外線硬化樹脂を加工の原料としたレーザーソングラフィ装置

である。レーザーリソグラフィは微小直径のレーザービームを紫外線硬化樹脂に照射し、硬化した樹脂を積層することで指輪などの複雑な原型を作成する装置である。ここでは、今までの研究で得られたデータをもとに製品としての実用性を考慮するためプロトタイプを作り上げた。(写真1)この装置の主な特徴を次に示す。

(1) コンパクト設計：

縦160cm横120cm奥行80cmのボディの中に全てを納め、消費電力AC100V 1kWと小電力設計である。

(2) 簡単操作：

操作性を考慮し、操作者に特に専門的知識がなくても加工を行うことができる。

おもな操作は、昇降テーブルに樹脂附着アタッチメントをセットして加工開始スイッチを押し、加工が終了したら造形物が付着したアタッチメントを外すだけである。

(3) 無人運転：

加工開始から加工終了後の電源遮断まで完全に自動化され、深夜での無人運転も可能である。

(4) 省コスト：

電力コストは単位時間当たり数十円程度、レーザー管消耗にかかる単位時間コストが五百円程度、指輪原型一つの加工に一時間要した場合については紫外線硬化樹脂の消費を含めて樹脂原型作成にかかるコストは六百円程度である。

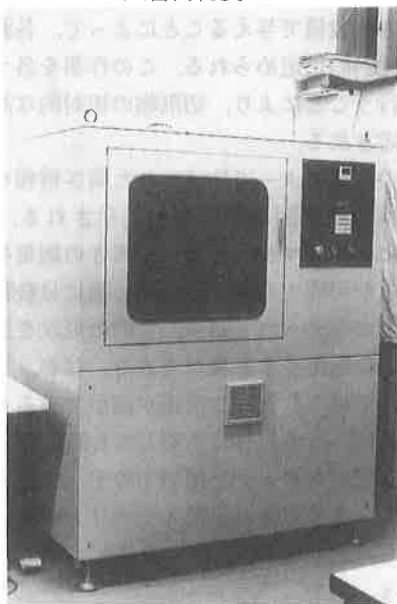


写真1 レーザリソグラフィ装置の概観

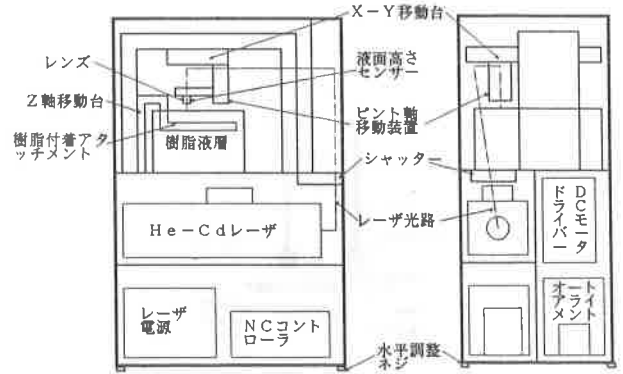


図7 装置構成

3-2 装置構成

装置の内部構成を図7に示す。この装置は紫外線レーザー、NC走査装置、樹脂液層、昇降テーブルおよびNCコントローラで構成されている。個々の装置は、マイクロコンピュータにより自動的に制御され、取扱いを容易にしている。NCコントローラは、この装置用に独自に開発し装身具原型加工を可能にしている。NCコントローラのブロック図を図8に示す。

3-3 液内での加工方法

レーザーリソグラフィ加工法では、自由液面と規制液面による加工法が一般に用いられる。装身具原型の作成には精度の高い加工が要求され、特に表面張力などの誤差累積による歪みを除くことが重要な課題である。自由液面法と規制液面法の特徴を生かし、この問題を解決する方法として液内での加工方法を考案した。液内での加工方法の概念図を図9に示す。液内での加工方法では加工に要する時間も短縮され応用が期待される。

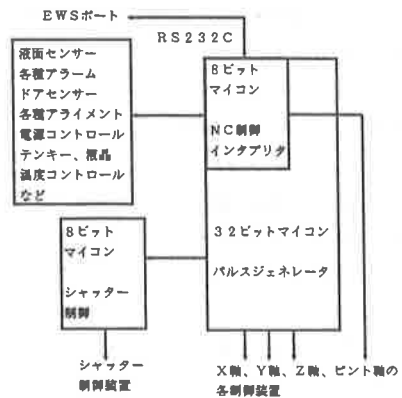


図8 NCコントローラブロック図

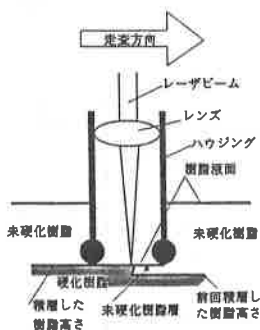


図9 液内硬化法概念図

### 3-4 金属原型への利用

樹脂原型から銀などの金属原型を作成する場合、樹脂原型を石膏中に埋没し、石膏の焼成と共に樹脂原型を焼失させれば面倒なゴム型作成工程とワックスキャスト工程を省くことができる。

樹脂原型を石膏中で焼失させる場合、樹脂の熱による体積膨張や反応熱による石膏型の欠損が考えられる。石膏型の欠損をなくす方法として、焼失型紫外線硬化樹脂を用いて原型を0.1~0.5mmの厚さで完全な中空構造で加工することで、キャストの利用が考えられる。

## 4. 彫刻システム

本システムは、イメージスキャナを用いて、濃淡をもつスケッチ画を読み込み、画像データをもとに2.5次元の切削加工を行うシステムである。従って、従来の彫刻に用いるソフトウェアと比較するとデータの入力容易であるという特徴を持つ。イメージスキャナとのインターフェイスには転送時間はかかるが、制御が容易なシリアルインターフェイスを用いた。必要なハードウェアは以下のとおりである。

- CPU Intel 8086以上
- メモリ 640k以上
- フルカラー表示可能なフレームバッファ  
(今回はハイパーフレーム⊕を使用)
- バスマウス
- イメージスキャナ  
(シリアルインターフェイス使用)
- 3軸制御加工機

なお、これ以外にもハードディスク、数値演算プロセッサ等があると操作性が向上する。

### 4-1 画像処理

イメージスキャナを用いて濃淡のあるスケッチ画をモノクロで256階調のデータとして読み込む。これによって、256×256の画素それぞれの濃度値(00~FF)が一画素ごとに得られる。

高さ情報はイメージスキャナで読み取った各画素の濃度値を利用して、高さに変換することができる。そのためには、輪郭を抽出する操作と各閉領域ごとにマスクという編集単位に分類する、という工程が必要になる。

輪郭抽出には、しきい値を設けて2値化するという手法を用いる。読み込み部で得られたデータがある基準の値(しきい値)と比較し0と1の輪郭データに変換する。得られたデータは幅1画素に細線化し、得られたいくつかの閉領域をマスクとして定義する。マスクを利用することにより、編集する際に、隣接した領域を誤って切削または盛り上げることにないようにするとともに、例えば花びらが重なっているような場合、2枚の花びらの間に明確な段差を設けることも可能になる。

### 4-2 三次元モデルの生成

各マスク領域ごとの濃度分布は、ヒストグラムで示される。そこで、切削対象物の最低点と最高点の高さを数値で与えることによって、各濃度の高さが比例的に定められる。この作業を各マスクごとに行うことにより、切削物の相対的な高さが全て決定される。

前記の作業によって作成された高さ情報をもとに、CRTに鳥瞰図と平面図が表示される。これを参考にして、マウスを用いて高さの編集をしていくことが可能である。平面図の横には数種のエンドミルが与えられており、目的の形状を選択して細部等の編集をする事ができる。なお、これ以前の操作で得られた高さ情報が満足できるものであるならば、この処理は省略しても差し支えない。また、上記のスキャナを用いてのデータ作成をしなくても、直接立体編集部でモデリングを開始することも可能である。

### 4-3 加工

宝飾品の原型として用いるには微細な加工が必

要となる。そこで、加工に際してはφ1程度のエンドミルを使用した。

実際の加工は、まず定義された高さに対して加工情報を生成する。加工対象物をX、Y方向に移動させ、それにともない、高さ情報に合わせて、Z軸を移動させる。これを繰り返すことにより、浮き彫り加工を施すことができる。従って、この加工は全て直線補間によって生成される。

### 5. 利用例

本システムを利用して、アイデアの初期段階から、実際に製品を製作するまでに得られた例を写真2から7に示す。

### 6. おわりに

本システムは現在、当センターにおいて試用中であり、システムの評価を行っているところであるが、宝飾工芸品用の試作システムとしては、十分実用に耐え得ると思われる。

今後、モデルの宝飾品形成機能の拡張、既設計部品の検索が容易なデータベースの開発、インターフェース機能等を強化していきたい。

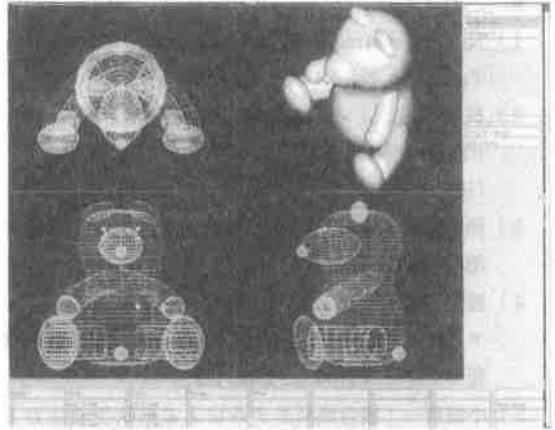


写真4 モデリング画面



写真5 樹脂モデルと casting で得られた金属型

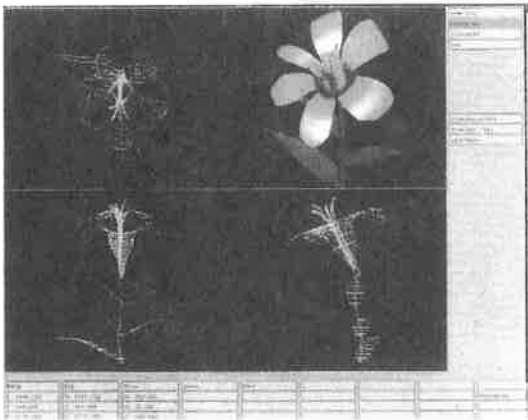


写真2 モデリング画面

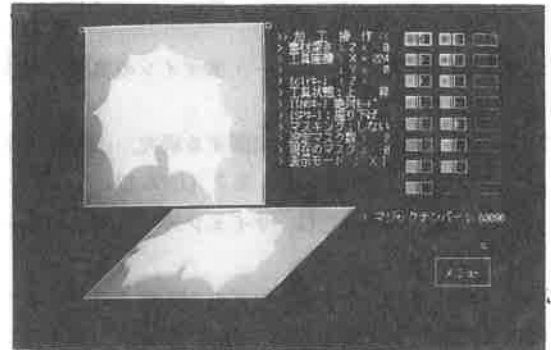


写真6 彫刻システム画面



写真3 樹脂モデル

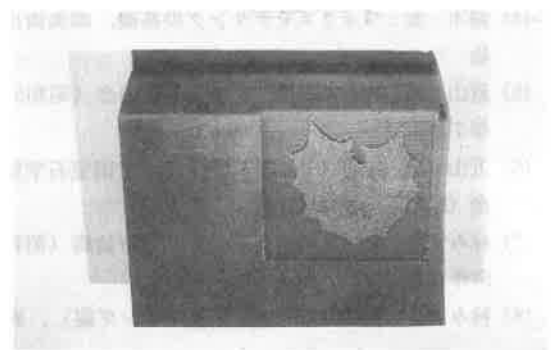


写真7 彫刻システム製品例

文 献

- 1) H. Christiansen, M. Stephenson : Movie. Byu Training NANUAL (1981)
- 2) 長島 忍 : コンピュータによる幾何図形理(1)~(10), PIXEL (No.28~No.37) , 図形処理情報センター (1985.2~1985.11)
- 3) 藤原博文 : 三次元CAD SOLIDマニュアル, (株)星光電子 (1986.3)
- 4) 藤原博文 : パーソナルコンピュータによるソリッド・モデラ(1)~(9), PIXELNo.42~50, 図形処理情報センター (1986.4~1986.12)
- 5) 小堀研一 : 複合幾何モデルによる形状生成法および三次元CAD/CAMへの応用に関する研究, シャープ(株)技術本部コンピュータシステム研究所 (昭和62年2月)
- 6) 鈴木宏正 : 三次元形状を正確に表現するソリッド・モデリング, CG, NIKKEI COMPUTER GRAPHICS (1988.5)
- 7) 倉繁宏輔他 : コンピュータグラフィクスによる宝石の表示の試み, 宝石学会誌 12 (1-4) , 89-98 (1987)
- 8) 迎田純一 : NC自動指輪彫刻システム, コンピュータ・グラフィックシステム, CAD/CAM No.6, コンピュータエージ社 (昭和60年12月14日)
- 9) ヒコみずの : 宝石デザイン教室 I ~ III, 創元社 (1981.7.10~1982.2.10)
- 10) 池田啓子他 : ジュエリー・デザインの実際, 美術出版社 (1981.8.25)
- 11) 中島 俊他 : 設計環境に関する研究, 山梨県工業技術センター研究報告 No.2 (1988.12)
- 12) 戸川隼人 : 花のCG, サイエンス社 (昭和63年8月15日)
- 13) 中井 孝他 : レーザリソグラフィによる立体もでの創成, 電子情報通信学会論文誌vol. J71-D No.2 (1988.2)
- 14) 露木 宏 : ワックスモデリングの基礎, (株)美術出版
- 15) 近山 晶 : 宝石学必携, 全国宝石学協会 (昭和55年7月1日)
- 16) 近山 晶 : 宝石 (その美と科学) , 全国宝石学協会 (昭和59年6月10日)
- 17) 林みずき : 実践宝石デザイン 2, (株)新装飾 (昭和57年3月10日)
- 18) 林みずき : 実践宝石デザイン 3 (リング編) , (株)

新装飾 (昭和58年11月30日)

19) 並木正男 : 宝石の科学と鑑別法 (上・下) , 中央宝石研究所 (昭和61年10月30日)