

設計環境に関する研究

装身具デザイン・システムの開発 (第3報)

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**

Reserch on Design Environment of Personal Ornaments Design System (Part III)

Toshi NAKAJIMA・Keiichiro MORIMOTO・Seiji SHIMIZU・Toshiya HIRATA・
Masato ABE・Shigeru HAGIHARA・Wakou MIYAGAWA・Susumu HURUKAWA・
and Makoto ITO**

要 約

宝飾工芸品のCAD/CAMシステムの構築を目指して過去2年間、モデラ、レンダリング、データ・ベース、加工情報の生成及びマン・マシン・インターフェースなどに関する要素技術の研究を行ってきた。本年度は、これまでの研究成果を基礎に、次に示すシステムの試作を行った。

1) JCAD (宝飾用3次元CAD) システムの試作

宝石の形状モデル、リングの形状モデル、容易な曲面モデルの生成機能など宝飾品専用のモデラーを備えたCADシステム。

2) ステレオ・リソグラフィー装置の試作

JCADで構築した3次元形状モデルから紫外線レーザーを利用して実物モデル(モックアップ)を作製する装置。

3) 自動リユータ(彫刻システム)の試作

デザイン画から輪郭情報、3次元情報を抽出してワックス原型を作製する2.5次元CADシステム。

1. はじめに

指輪、ブローチ、ペンダントなどの宝飾品は多品種、少量生産で作っている企業が多い。これら製品のデザイン、原型の制作費は極めて低く抑えられている。このような製品の意匠設計、生産に利用できる安価なCAD/CAMシステムの開発を目指して、昭和62年度から2年間モデラー、レンダリング、データ・ベース、加工情報の生成及びマン・マシン・インターフェース等に関して独自に要素技術の研究開発を行ってきた。これまでの要素技術の研究結果を基に本年度は、宝飾用CAD/CAMシステムを独自に開発したのでここに紹介する。

2. JCAD

宝石のカットモデル、リングの形状モデルなど専用のモデラーを備えた宝飾用の3次元CADシステムで、デザインを確認するためにシェーディング機能も備えている。

2-1. システム構成

コンピュータは、256色が同時表示可能なEWS4800(NEC MODEL 20)を用いた。システム構成については表1に示す通りである。

表1 システム一覧表

ハードウェア	コンピュータ	NEC EWS 4800 (メインメモリー 8M, マウス)
	プリンター カラーハードコピー	CANON LBP406S NEC N7834-12
ソフトウェア	OS	UNIX EWS-UX/V X-WINDOW

* 山梨大学工学部基礎工学科

** 山梨大学工学部電子情報工学科

2-2. ソフトウェアの特徴

ブローチ、ペンダント、指輪などの宝飾製品は、宝石、石座、リングなど製品の一部に既製品を使ったデザインのものも多い。しかし、既製品以外の部品は自由形状に近くほとんどが手造りである。これら宝飾品の形状は滑らかな曲面と共に、鋭い稜線部や、きれいな平面部などが混在している。宝飾品はこれらの形状が複雑に組み合わせられて、製品全体の美しいフォルムをかもし出している。本システムは、曲面、多面体の混在可能な形状モデラとして、多面体モデラに、多面体を自動的に曲面化する機能、局所変形のすぐれた曲面生成機能を組み込んだ宝飾品専用の CAD システムである。以下システムの特徴を幾つか説明する。

1) 宝石の形状モデル

宝石のカット形状はダイヤモンドを例に取れば、ブリリアントカットは54面体、メレーカットは17面体の様に多面体で構成されている。ダイヤモンド以外のカットとしてはエメラルドカットなど多種多様なカット形状がある。これらの多面体をいちいちモデリングしていたのでは手間や時間の無駄である。そこでもっともよく使われる4形状についてプリミティブ化した。宝石のカット形状の出力例を図1に示した。

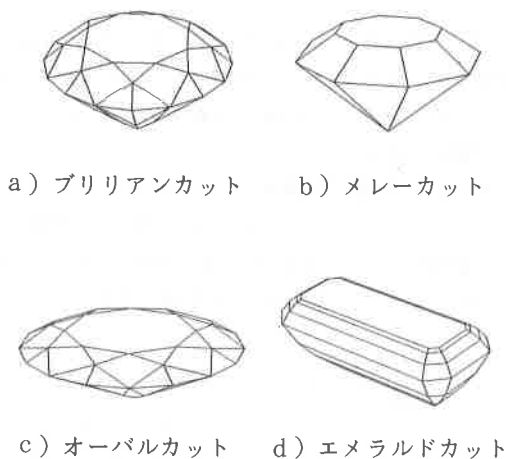


図1 宝石の形状モデル

2) リング形状モデル

リング形状は、その断面の形によって平打ちリング、甲丸リングなど幾つかの基本形状がある。

リングも基本形を使う場合は、その都度モデリングの手間と時間の無駄を省くために、宝石のカット形状同様プリミティブ化した。リング形状モデルの出力例を図2に示した。

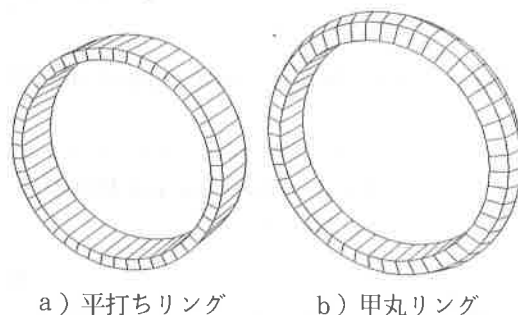


図2 リング形状モデル

3) 曲面モデル

宝飾品の曲面設計が容易なように、次に示す2つの曲面モデルを用意した。

①曲面モデル1

曲面、多面体の混在可能な形状モデラー（曲面化トランスレータ）と局所変形に優れ、しかも高速な形状モデラーを開発した。曲面化トランスレータは多面体を自動的に曲面化することができる。生成した曲面の例を図3、図4に示した。

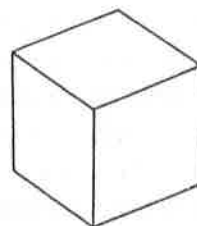


図3 制御多面体

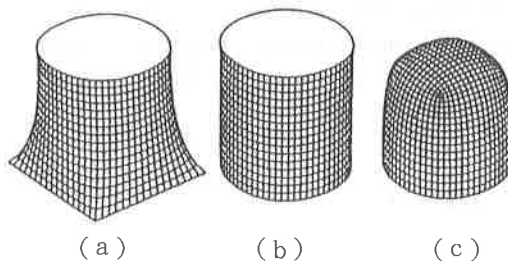


図4 曲面モデル

図3の立方体は曲面を生成するための制御多面体である。図4に示した曲面は、指示の仕方によっていろいろな曲面が得られることを示している。図4-a)は立方体の下の面はまったく変化させず、上の面の稜線のみを曲面化している。図4-b)は上下の面の稜線のみを曲面化したものである。

②曲面モデル2

図5に示した曲面は、多面体の各頂点付近を、平面によって切断するなどの操作を順次繰り返して行うことにより、滑らかな曲面を得る。いわゆるサブディビジョン法で曲面を生成している。また、この曲面は与えられた制御点を必ず通過するように条件を設定しているため、局所変形に優れている。

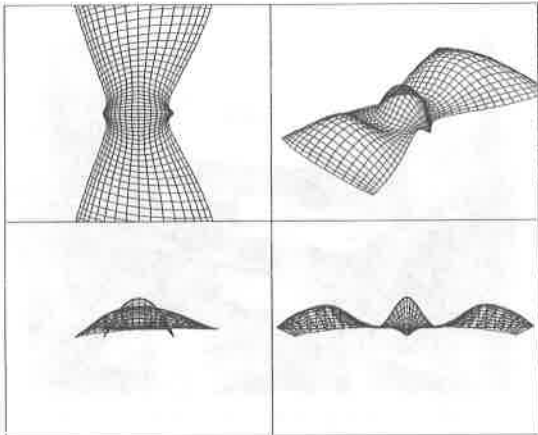


図5 局所性に優れた曲面の生成例

4) シェーディング

ワイヤフレームモデルの表示だけで、デザインの善し悪しを判断することはなかなか困難である。宝飾品のデザイン作業ではモデリング、シェーディングを何回か繰り返しながらデザインを完成する。従って、途中のシェーディングは多少リアリティーに欠けても、短時間でシェーディングできることが好ましい。

本システムは、スキャンライン法で高速シェーディングを実現している。ユーザはモデルの色の指定とシェーディングの方法を設定することができる。

①1つの要素上では均一な R. G. B 濃淡レベルとなるような方法

②1つの要素上では濃淡レベルが線形に変化するが、他のエレメントの境界では、不連続となるような方法

③1つの要素上での濃淡レベルが線形に変化し、他のエレメントとの境界も連続となるような方法がある。

この3方法の選択はパーツごとに指定が可能である。従って、①は部品ごとに色の指定が、②は宝石のカット面の稜線が明瞭に、③はスムーズシェーディング等がいずれも可能である。写真1に指輪のシェーディング例を示した。

本システムは、これ以外に透明体表示の指示もできる。

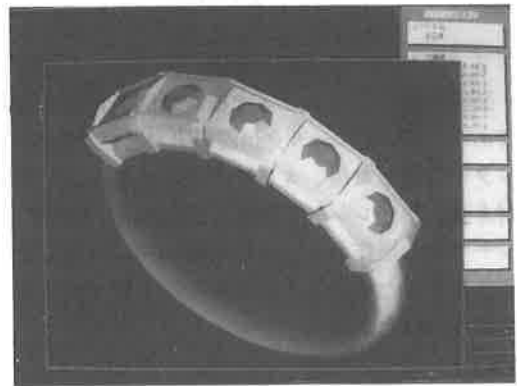


写真1 指輪のシェーディング

3. ステレオ・リソグラフィ装置

本装置は JCAD 情報から3次元形状の樹脂モデルを製作する装置である。以下、動作原理、ハードウェア構成、制御について述べる。

3-1. 動作原理

ステンレスの容器に紫外線の照射で硬化する液状の感光性樹脂をいれておく。JCAD で指輪などの3次元形状モデルを作って、高さ h の水平面で切断したときの輪郭線ループを求める。

これを経路として、紫外線レーザを照射する。すると断面の輪郭形状をした厚さ t の硬化層ができる。ここで、厚さ t はレーザ光の強さ、樹脂の性質によって定まる定数である。

次に硬化物を深さ s ($s < t$) だけ液中に沈め、高さ $h + s$ の位置で切断した輪郭線ループを経路として再びレーザ照射を行うと、2層は重なった部分で接着する。これらの操作を3次元形状モデ

ルの低面から順次繰り返すと、目的の外殻立体を液中に求めることができる。図6に本装置の動作原理を示した。

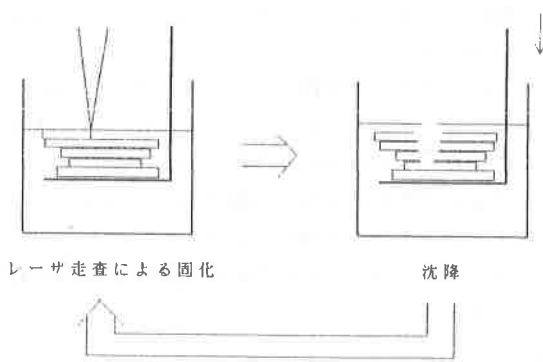


図6 動作原理

3-2. ハードウェア構成

装置本体のハードウェア構成は図7に示す通りである。紫外線レーザー発信器の出力光を、光学シャッターに通した後、XYテーブル上のミラーで反射させ、集光レンズを通して樹脂液面に照射する。レーザー光の操作がX、Yの可動範囲に制御できるようにするために、X、Y両軸に1枚ずつミラーを取り付けた。

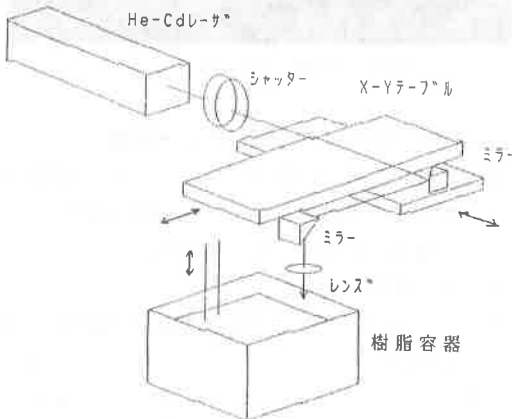


図7 ハードウェア

3-3. 制御

本装置の制御は、①レーザー光の照射、②エレベータの移動、に大別できる。以下、それぞれの項目について述べる。

①レーザー光の照射

この操作の前に、立体を水平面によって切断し、輪郭線ループを生成しておくことが必要である。

立体に相貫があって複数の輪郭線が得られる場合には、和を求める形状演算を行うことによって、最外郭線ループを求める。このようにして求めておいた輪郭線ループに沿ってレーザー光を照射する。このとき樹脂の硬化幅が一定になるように等速度制御を行う。こうして得られた樹脂モデルの内部は中空である。

②エレベータの移動

立体の勾配の多寡によってエレベータの移動量(切断面の位置)を調節する。この理由はZ方向の移動量を一定にすると、急勾配の部分では断面形状の変化が少なく非効率となる。また、反対に緩やかな勾配では、層ごとの断面形状の変化が激しすぎて、硬化層が接着できない状態も起こりうる。試作したステレオ・リソグラフィー装置を写真2に掲げた。



写真2 ステレオ・リソグラフィー装置

4. 自動リユータ

図面をイメージスキャナーで読み取り、輪郭を抽出して透し彫りができる。また、画像の濃度を深さ情報に交換し、彫刻機(3軸加工機)でワックスモデルを制作することも可能なシステムである。

4-1. システム構成

本システムのハードウェア構成はパーソナルコンピュータ、マウス、イメージスキャナ、彫刻機から成り立っている。コンピュータとイメージスキャナ並びに彫刻機はシリアルインターフェースで接続した。ハードウェア構成は図7に示す通りである。

構成システムの内訳は表3に示した通りである。CAMM-3は小型の彫刻機で主にワックスモデ

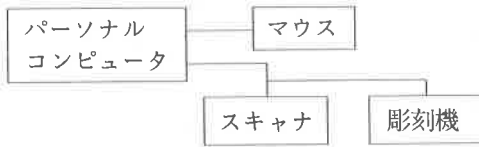


図8 ハードウェア

ルの加工に使われている。刃物並びにワークを固定するデバイス類に付いては専用の付属工具の中から適当にオプションで用意した。シートワックスの固定装置は提供されていないので今回は用意しなかった。

表3 システム一覧表

ハードウェア	コンピュータ	NEC PC 9801X1, ² (マウス)
	イメージスキャナ	EPSON GT-6000
	彫刻機	ROLAND CAMM-3
ソフトウェア	OS	MS/DOS Ver 3. 3

4-2. システムの特徴

本システムはイメージスキャナを用いることにより図形の入力を容易にし、そのデータをもとに2.5次元加工を可能にするものである。従来のデザイン CAD システムで最も問題になった点は、自由な曲線、曲面を持つ図形の入力が困難であるということである。そこでデザイナーの感性を損なわず容易に図形を入力する方法としては、2次元図形の場合イメージスキャナから入力するといった手法も考えられるが、2.5次元の加工をする際には曲面を生成しなければならず、大きな問題となってくる。しかし、今回の対象物は宝飾品であり金型のように厳密な曲面を定義する必要はない。むしろ、高低差がある既定値の間にあれば加工する側が任意に曲面を生成して構わないという特徴がある。この特徴を生かし、本システムでは2.5次元加工を行う際、2次元の濃淡画像を利用してその濃淡の密度により高さ情報を生成し、等高線状に高さを生成する。これにより加工機に渡すデータを作成し2.5次元加工を行う。以下、透かし彫り、2.5次元加工について説明する。

1) 透かし彫り

イメージスキャナでスケッチ画を読みとると、R, G, B のイメージデータが作成される。そのデータを1画素ずつの表示色によって、各要素が0から7までの配列に変換する。これを配列に取り込み、2値化、画面のノイズ消去、輪郭追跡した後、閉じた領域について表示、ベクター化する。さらに、これをGコード並びに他の制御コードに変換して機械加工を行う。

以上の過程で作成された制御コードで厚さ1ミリ前後のシートワックスを加工することにより、複雑模様の透かし彫りができる。

2) 2.5次元加工

この手法は、2値画像をイメージスキャナで読みとることにより高低差を設定し、2.5次元加工を行うものである。

まず、高低差を意識した2値のスケッチ画を作成する。これをイメージスキャナで読みとり、配列に取り込んで2値の配列を作成する。2値の配列は、0と1が1画素単位で組み合わせられたものであるので、比較的黒の薄い部分と黒の濃い部分、つまり2.5次元加工する際、高くなる場所と低くなる場所では、同じ要素数でも0と1の比率が異なってくる。これを利用して、同じ高さの点をつないでいくことにより、等高線状に高さが設定できる。この場合、最高点と最低点との高低差は自由に設定できる。

5. 実験と考察

写真3に示す指輪をモデリングした後、ステレオ・リソグラフィー装置を使って実際に樹脂モデルを製作してみた。写真4にその結果を示す。

デザイナーが持っている指輪のイメージを、本システムを使って写真3に示したモデルの作製から実際に写真4に示した物として、手に取ってみることができるまでに、どのくらい作業時間が必要か実験を行ってみた。その結果、

- (1)写真3の指輪のモデリング作業に20分
- (2)指輪の輪切り図形を生成し、ステレオ・リソグラフィー装置に渡すデータを生成するのに3分
- (3)ステレオ・リソグラフィー装置で実際に樹脂モデルを製作するのに2時間

合計約2.5時間で樹脂モデルができあがる。このうち、人が実際に作業を要する時間は(1)と(2)の合

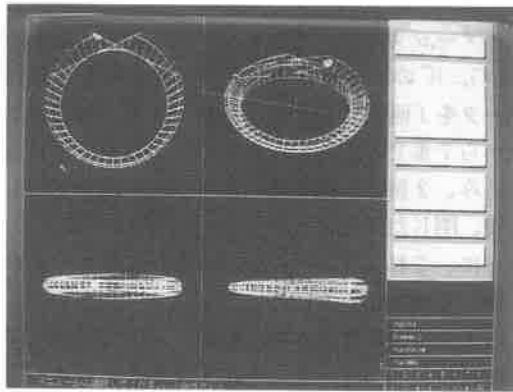


写真3 指輪の形状モデル

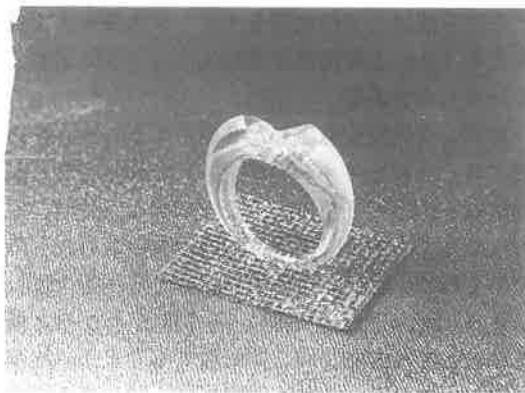


写真4 生成した樹脂モデル

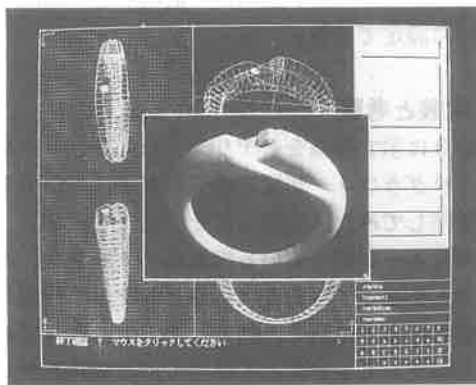


写真5 指輪のシェーディング例

計の時間で30分であった。

ワイヤーフレーム表示だけでは、実際に仕上がった感じが掴みにくいことから、写真5に示す実画像表示を併用しながらモデリング作業を行う。

1回のシェーディングに要する時間は、部品点数にもよるがおよそ1分位かかる。従って、モデ

リング開始から終了まで、何回シェーディングするかによって、モデリング作業に要する時間は大きく変化する。複雑なデザインの指輪などは、モデリングとシェーディングを頻繁に繰り返しながら構築するので当然時間がかかる。先に述べたように比較的短時間で樹脂モデルが得られたことは、デザイナーにデザインから原型製作まで一貫して設計生産可能なプロセスへの期待を抱かせるものである。

光硬化樹脂は硬化する際にわずかに収縮するようであるが、筆者らの実験では顕著な収縮は観察されていない。ただ、鋳造用の原型を取る際に強度的に多少問題がある。

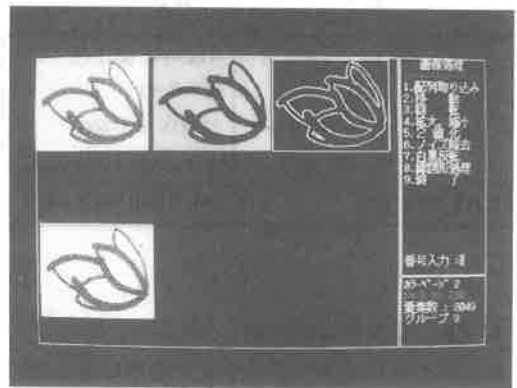


写真6 輪郭追跡

写真6は手描きのスケッチ画をイメージスキャナで読み込み、輪郭を追跡レベクター化した例を示した。これにより唐草模様など複雑な図形の透かし彫りが可能になった。

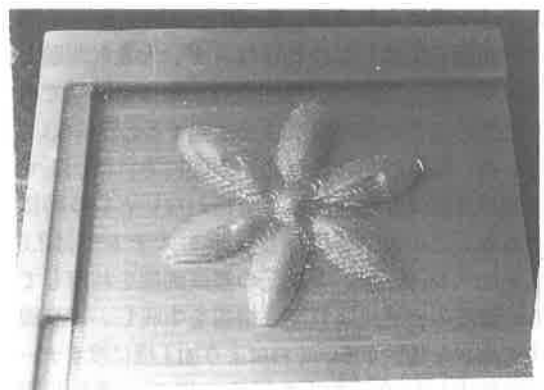


写真7 彫刻例

また陰影をつけたスケッチ画から深さ情報を抽出して、加工情報を生成して CAMM-3 でワックスに彫刻した例を写真 7 に示した。これによりスケッチ画から立体モデルを生成して、これまで職人の手彫りでワックス原型を造っていたものがコンピュータで彫刻できると云う期待がもてるようになった。

6. おわりに

宝飾品のデザインは複雑な曲面部を有する。しかし、これらの製品設計は短時間で行うことが要求される。本稿では短時間でしかも低廉な宝飾用 CAD/CAM システムの開発を目標に、システム並びに装置の試作を行い実際の作業も行って、その有効性に付いて述べた。その結果、特に次の事柄が宝飾用 CAD/CAM に付いては有効である。

- 1) 対話的な形状の生成、履歴が自動的にテキストファイルに書き込めること。
- 2) 対話的に多面体モデルを生成し、自動的に曲面を得るための曲面化トランスレータの有効性を確認した。
- 3) 対話的に通過点を指定して、局所変形の容易な曲面化手法の有効性を確認した。
- 4) 曲面部を有する形状を形状モデラーで生成し、立体モデルを短時間でモックアップ可能なステレオ・リソグラフィ装置を試作した。小型でコンパクトな光源が開発されたことから、手軽な装置として期待できる。
- 5) 複雑模様のデザイン画をスキャナで読み込み比較的短時間で彫刻加工情報に変換できることが確認できた。

謝 辞

本研究に対してシステム開発とコンピュータ・グラフィックスの専門家の立場から貴重な意見、

資料並びに御指導くださった山梨大学工学部電子情報工学科教授今宮淳美氏に深く感謝する。

参考文献

- 1) Movie. Byu Training MANUAL(1981), H. Christiansen, M. Stephenson
- 2) コンピュータによる幾何学図形処理(1)~(10), 長島忍, PIXEL(No.28~No.37), 図形処理情報センター (1985. 2~1985. 11)
- 3) 三次元 CAD SOLID マニュアル、藤原博文、(株)星光電子 (1986. 3)
- 4) パーソナルコンピュータによるソリッド・モデラ(1)~(9), 藤原博文, PIXEL(No.42~50), 図形処理情報センター(1986. 4~1986. 12)
- 5) 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、小堀研一、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) 三次元形状を正確に表現するソリッド・モデリング、鈴木宏正, CG, NIKKEI COMPUTER GRAPHICS (1988. 5)
- 7) コンピュータグラフィックスによる宝石の表示の試み、倉繁宏輔他、宝石学会誌12(1-4), 89-98 (1987)
- 8) NC自動指輪彫刻システム、迎田純一、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) 設計環境に関する研究、中島俊他、山梨県工業技術センター研究報告 No.2 (1988. 12)
- 10) 設計環境に関する研究、中島俊他、山梨県工業技術センター研究報告No.3 (1989. 12)
- 11) レーザリソグラフィによる立体モデル創成、中井孝他、電子情報通信学会論文誌 vol. J 71-D No.2 (1988. 2)