

設計環境に関する研究 (第5報)

—装身具デザイン・システムの開発—

清水誠司・平田俊也・阿部正人・萩原 茂・宮川和幸
古川 進^{*1}・伊藤 誠^{*2}・清弘智昭^{*3}

Research on Design Environment (Part V) —Personal Ornaments Design System—

Seiji SHIMIZU, Toshiya HIRATA, Masato ABE, Shigeru HAGIHARA,
Wako MIYAGAWA, Susumu FURUKAWA, Makoto ITO,
and Noriaki KIYOHRO

要 約

前報において、宝飾工芸用CAD/CAMシステムの開発について報告をしたが、このシステムをより使いやすいものとするため、特に複雑曲面の生成、処理およびレーザーソグラフィの新しい加工制御の手法に関して考察し改良を図った。具体的には、

- ① 曲面を取り扱うためのマン・マシン・インターフェース
- ② 花びらのように複雑な境界形状を有する曲面生成機能
- ③ 通過点を通る曲面の生成と形状のチェック機能
- ④ レーザソグラフィ加工機の高効率化

について機能の追加と性能の向上を図った。さらに、改良したシステムを用いて試用実験を行ったところ、改良前のシステムと比較して作業時間の大幅な短縮が実現できた。

1. はじめに

近年、人の感性を表現することのできる意匠製品開発への要求が強まり、それに伴って、意匠用CAD/CAMシステム開発のために多くの努力がなされてきた。実際、自動車のボディを始めとして、家電製品、眼鏡フレームなど様々な設計・生産分野で意匠製品の開発用にCAD/CAMシステムが利用されている。

数年前から宝飾工芸品の設計・生産を支援することを目的として専用のCAD/CAMシステムの開発¹⁾²⁾を行ってきたが、宝飾工芸品は単価が高く、多品種小量生産品であるため、設計・生産に要する時間の大幅な短縮を実現しなければならず、依然として多くの問題が未解決のまま残されていた。

そこで、前年度に開発した宝飾工芸品用のCAD/CAMシステム³⁾をより使いやすいものとするため、いくつかの機能の追加と性能の向上を図った。その主要なものは

- ① マン・マシン・インターフェースの改善
 - ② 曲面の切り取りと形状の自動チェック機能の追加
 - ③ 樹脂モデル製作用のレーザーソグラフィ装置の加工法及び制御法の改良
- などである。

本報告においては、特に上記の3点を中心に、改善、追加した機能および特徴について述べる。さらに、改善したシステムを利用して、いくつかの製品の設計、生産を行ったところ、前試作CAD/CAMシステムを利用した場合に比較して、作業時間の大幅な短縮が実現できたので、あわせて報告する。

* 1 山梨大学工学部機械システム工学科

* 2 中京大学情報工学部情報工学科

* 3 山梨大学工学部電子情報工学科

2. システム概要

システム全体の外観を写真1に示す。前回報告したCAD/CAMシステムでは、パーソナルコンピュータにフルカラーボードを装備し、ネットワークを介してレンダリングを行っていた。今回新たにフルカラー（1,600万色）表示が可能なグラフィック・ワーク・ステーション（GWS）を設置し、処理能力および応答性能の向上を図った。



写真1 システム外観

3. マン・マシン・インターフェースについて

人の意志をコンピュータに伝達するには、どのようにすれば円滑に意志が伝わり、コミュニケーションできるかは、マン・マシン・インターフェースにおける最大の関心事である。さきに開発したCAD/CAMシステムのマン・マシン・インターフェース部分は必ずしも良好な操作性を提供しているわけではなかった。本節では、マン・マシン・インターフェースの基本的設計思想と改善した点について述べる。

3-1 マン・マシン・インターフェースの設計思想

初心者でも短時間である程度のシステム操作が行えるようなマン・マシン・システムの設計を行う。この設計理念を以下に示す。

① キーボードの使用を極力減らす

キーボードを使用することにより、キーの打ちまちがいによる入力ミス、操作者の視線がディスプレイ画面とキーボードとの間を頻繁に移動する、本人のイメージとキーボードから入力したものが一対一に対応しづらい等、操作者の意志をコンピュ

ータに伝達する場合、余計な時間と混乱をあたえてしまう場合がある。

② 文字の図形化

文字列だけで内容を表現するより、2次元図形で表示した方が理解し易い場合がある。特にシステムで予め生成されている立体や部品、過去に作成した立体などを使用する時、そのデータを文字列ではなく図形の形をとらえられることが望ましい。

③ 2次元空間での3次元空間表現方法

ディスプレイ画面上で3次元空間を表現する一般的な方法は、3面図を使用しておこなわれる。この3面図で空間上の任意の位置を表現できる方法を導入することによって、操作者の空間認識の手助けを行うことにした。

3-2 マン・マシン・インターフェースの実現手法

本システムで実現されている代表的なマン・マシン・インターフェースの手法について述べる。

① 2次元図形による立体指示

既に作成されている立体やシステムで予め用意されている部品を利用する場合、CADシステムに立体を指示する方法として、立体名による指示、メニューによる指示などがある。

しかし、過去に作成された多大な資産を単純な名前や階層化による分類だけで識別するのは困難である。本システムでは、作成された立体についてその概要がおおかた理解できる程度の大きさの2次元図形（shaded picture）領域を立体生成のカatalog領域に付属させている。この2次元図形は、操作者が立体を生成する過程でシェーディングを行い立体の面の張り方を確認する時に、画素を適当に間引いて縮小した図形である。後に、操作者が履歴ファイルを呼び出すときは、記録された時の名前とシェーディングを行った立体画面の両方をディスプレイに表示し該当する立体を探しだし、マウスでクリックして立体指定をおこなう。

② 3面図カーソル

立体はディスプレイ画面に、平面図、正面図、側面図、透視図で表示される（写真2）。ディスプレイの画面は2次元上で3次元空間を表現する必要があるため、3面図上にそれぞれ十字型のカーソルを表示し、マウスの動きによってそれぞれの

カーソルが連動して移動することによって空間上の点を特定する方法とした。十字カーソルを、YX平面、YZ平面、XZ平面に表示し、アクセス可能な平面のカーソルは色を変えて表示する。マウスのボタンを押すことにより、アクセス可能な平面をサイクリックに変更することができる。

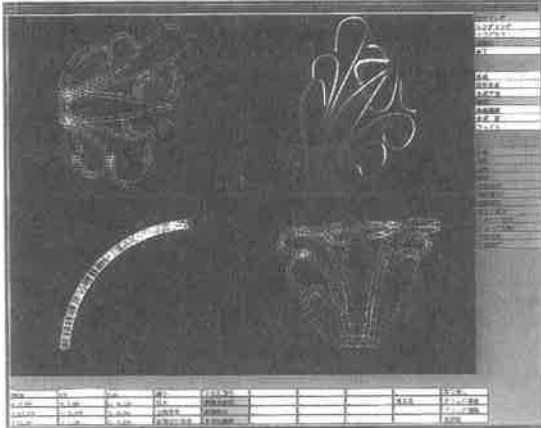


写真2 ディスプレイ画面

③ 階層化メニュー構造

操作者がモデラを使用して形状を生成する場合、コマンドメニューの理解の容易さが重要な項目として挙げられる。メニューを図形化し操作者に視覚的に訴える方法（コマンドのアイコン化）やポップアップ・プルダウンメニュー等多種類の方法が使われている。

本システムでは、立体生成、編集、機械制御等のコマンドメニューをディスプレイ画面右側に表示し、マウスによってコマンドを選択する方法とした。メニューは階層的な構造を有し、その階層が明確に操作者にわかるよう親メニュー、子メニュー、孫メニューがそれぞれ独立した表示領域をもっている。このメニュー体系は、コマンドの親子関係、コマンドID、画面に表示する文字列で構成したメニュー定義ファイルをシステム起動時に読み込み、そのファイルの内容に従ってメニューを編成するので、操作者によってカスタマイズが可能となっている。

④ 曲面化プリミティブ

宝飾工芸品の独特な形状は具象と抽象に分けられる。具象の代表的な例として、葉、花びら、貝、水滴などがあり、抽象の例としてハート、三日月、楕円などの幾何学的な形状のものがある。これら

の主要な形状は予めシステムに、制御点列あるいは通過点列が曲面化プリミティブとして準備してある。操作者はこの点列を基本として、点の位置を変化させることによって、バリエーションに富んだ曲面が簡単に生成することができる。

⑤ 2次元図形入力

スケッチ画をシステムに取り込んでそれを基に立体を作成した方が、何も存在しない空間から作成するより容易に生成できる場合がある。実際、3次元座標値をマウスによって入力することは非常に難しい。そこで、ブローチ、ペンダントのような平面に近い立体生成の補助としてスケッチ図の入力機能を組み込んだ。実際の操作手順を以下に示す。

まず、スキャナーから読み込んだスケッチ図を表示する。画面を適当な大きさのメッシュに分割して、読み込まれたスケッチ図と同時に表示する。つぎにメッシュの各格子点において曲面の高さをそれぞれ与える。結果的に、2.5～3次元の曲面データ点列を与えることができ、これらの点列を制御点、通過点として曲面を生成することができる。

4. 複雑曲面の生成と処理機能

宝飾工芸品のCADにおいては、複雑な曲面を手軽にしかも高速に取り扱うことのできる機能が要求されるが、実際には、たとえば花卉や葉などのように複雑な輪郭部を有する 경우가多く、また、生成した曲面に不要なねじれや振動現象が現れることがある。本節においては、複雑な輪郭を有する曲面の生成と、生成された曲面形状のチェック、形状生成機能について述べる。

4-1 曲面の切り取り

花卉や葉などのように、複雑な輪郭部を有する曲面は通常のテンソル曲面などで表現することは非常に難しい。本システムにおいては、先に回転体や掃引体で花や葉の概形を作成してから、必要な部分を取るという方法を採用することによって、複雑な形状の輪郭を有する曲面の生成、処理を実現した。

このような曲面部分の切り取りは写真3に示したように、曲面を記述するパラメータ空間において行う。実際の操作は以下のようなものである。

- ① ディスプレイ画面上に切り取られる曲面と同時にパラメータ空間 (u, v) を表示する。
- ② パラメータ空間上で、切り取る部分をマウスの軌跡で指定する。
- ③ マウスのパラメータ空間上の位置は3次元曲面上に反映される。設計者はパラメータ空間におけるマウス軌跡ではなく、ディスプレイ上の曲面を見ることによって指示の確認を行う。
このようにパラメータ空間で切り取りを行うことにより、操作者はあたかも3次元曲面を切り取るように、マウスを操作できる。しかも、このマウスの軌跡と元の曲面を保存しておけば、再操作も容易である。

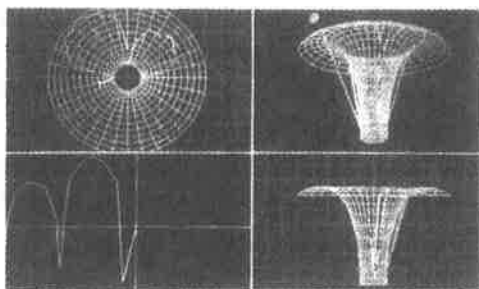


写真3 曲面切り取り操作画面

4-2 曲面の形状チェック

与えられた点群を通る曲面すなわち補間曲面を生成する場合に、データの与え方によっては、予期しない、例えば振動現象などが起こる可能性がある。従来はこのような望ましくない現象が起こらないよう十分注意して通過点データを用意することが要求され、その結果設計者に余計な負担を与え、ひいてはCADシステムの使い勝手の悪さを感じさせる要因の一つともなっていた。

本システムにおいては、生成された曲面形状のチェックを自動的に行う形状チェックおよび修正機能を実現した。本論文で述べられる曲面は曲線の3次元への単なる拡張であるテンソル曲面であるので、以下においては説明を簡単にするために曲線の場合について述べる。

図1に示されるような点列を通る曲線を生成すると、図から分かるように、設計者の意図に反した振動現象が起こる。これは通過点列をもとにして生成した制御点列が、設計意図を忠実に反映していないものと思われる。与えられた点列から設

計意図を読み取ることは非常に難しく実際問題としては不可能である。図に示されるように明らかに望ましくない形状であると思われるものは、例えば図2に示されるような曲線形状に変更する方が良いと思われる。

本システムにおいては、生成した制御点が与えられた点列と逆方向に交差していないかを調べ、該当する部分がある場合には自動的に形状修正を行う機能を用意することにした。

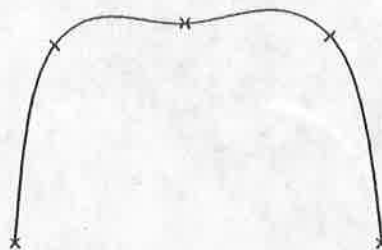


図1 形状修正前の曲線

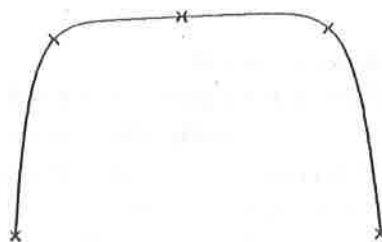


図2 形状修正後の曲線

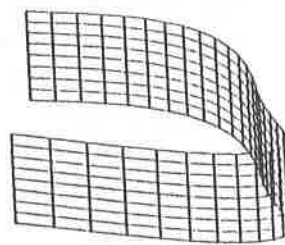


図3 形状修正前の曲面

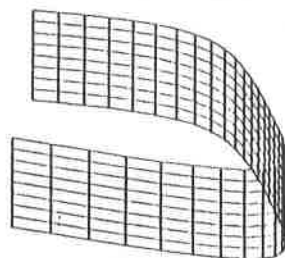


図4 形状修正後の曲面

この形状チェック、修正機能を利用することにより、ある程度までは設計者の意図に忠実な曲面を自動的に生成することができるようになった。図3に修正前の曲面の例を、図4に修正後の例を示す。

5. レーザリソグラフィ加工機の高速度化

本システムではレーザリソグラフィ加工装置がRS232Cを介してGWS本体に接続されている。このため、GWSから加工機の制御と加工状態の確認が行える。加工装置は、一度に指輪モデルを60～100個作成できる2号機と10～15個作成できる3号機を準備した。ソフトウェアの改良および発色剤を混入した紫外線硬化樹脂を使用することで高速度化、精度の向上が図られた。

3号機は小型化し、卓上での使用を可能にした。また、レーザとNCテーブルを光ファイバーで接続したためミラー汚れのメンテナンスが不要になり、光ファイバーの接続を外すことで一人で輸送ができるようになった。

以下にその概要を示す。

5-1 レーザリソグラフィ加工装置概要

装置の主要諸元、概要を以下に示す。

(1) 設計仕様

(2号機：コンパクト一体型)

サイズ：縦1,600mm, 横1,200mm, 奥行き800mm

消費電力：AC100V 1kW

(3号機：卓上タイプ {装置3点の構成})

NC部サイズ：縦370mm, 横470mm, 奥行き350mm

レーザ部サイズ：縦143mm, 横145mm, 奥行き770mm

電源部サイズ：縦400mm, 横142mm, 奥行き320mm

消費電力：AC100V 700W (3号機全体)

(2) 簡単操作

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。実際、操作者は、昇降テーブルに樹脂付着アタッチメントをセットして加工ボタンを押し、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良い。

(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

電力コストが単位時間当たり数十円、レーザ管

消耗にかかる単位時間コストが五百円程度、紫外線硬化樹脂の消費が数十円くらいであり、指輪原型一つの加工に一時間要するとして合計でコストは六百円程度である。

5-2 レーザリソグラフィ加工装置構成

レーザリソグラフィ加工装置は紫外線レーザ、移動台 (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ている。NCコントローラはパルスジェネレータ、センサーによる検出、機器の制御を3個のマイクロコンピュータで制御しシステム全体の自動化を実現している。He-Neレーザはミラーのアライメントを自動化しメンテナンスを省略している。レーザの消耗などで出力が低下しても、パワーモニタリング機能により加工速度を調節し、安定した加工表面を得ることができる。

6. システムの使用例

本システムを利用して得られた製品の例を以下に示す。

写真4～6は、曲面を多く有する指輪をモデリングした画面である。写真7は、写真4～6の形状データをもとにレーザリソグラフィ装置によって作成された樹脂モデルである。

7. おわりに

本システムは参考文献1)2)3)において報告した宝飾用CAD/CAMシステムを改良したものであり、主な改良点には、マン・マシン・インターフェースの改良による操作性の向上、複雑曲面の処理機能の追加によるモデリング機能の拡張が挙げられる。これにより、宝飾品独特の曲面形状を持つ製品のモデリングが容易になった。

さらに、レーザリソグラフィ装置の改良により、樹脂モデルを高速にかつ精度良く作成できるようになった。加工時間をさらに短縮できれば、低コストで一品生産を実現することも夢ではない段階に達していると考えても良いであろう。

今後の課題として、マン・マシン・インターフェースの改良による操作性の更なる向上、レンダリングにおけるモデルの実時間表示、既設計部品の検索が容易なデータ・ベースの開発等が考えられる。

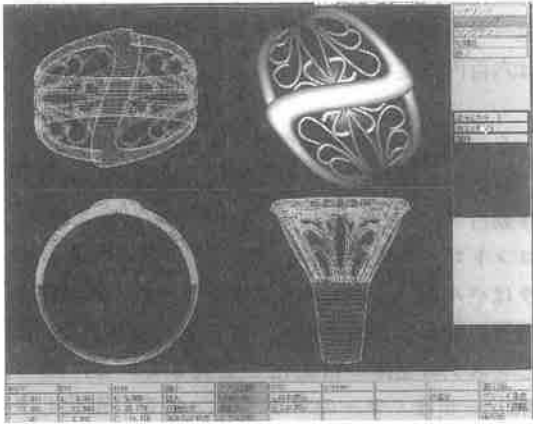


写真4 指輪1のモデリング画面



写真7 指輪1～3の樹脂モデル

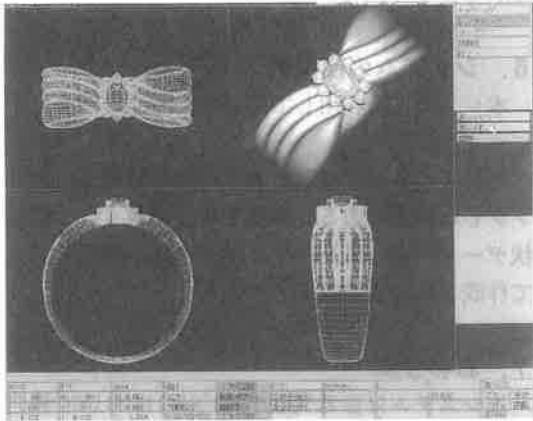


写真5 指輪2のモデリング画面

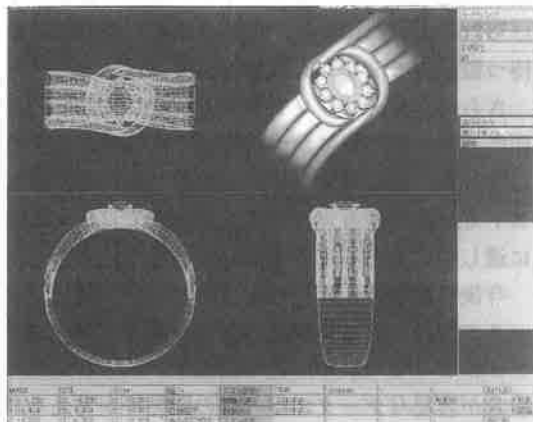


写真6 指輪3のモデリング画面

参考文献

- 1) 清水誠司他：第6回ニコグラフ論文集，
p.298～307 (1990)
- 2) 阿部正人他：第7回ニコグラフ論文集，
p.298～307 (1991)
- 3) 中島 俊他：山梨県工業技術センター研究報告，
5, p.2～6 (1991)
- 4) 丸谷洋二：光硬化性樹脂による模型の自動造形法
に関する調査研究報告書，素形材センター，p.12
(1990)