

意匠設計用の形状モデリングシステムに関する研究

清水誠司・萩原 茂・宮川和幸・阿部正人

Research on a Modeling System for Designing

Seiji SHIMIZU, Shigeru HAGIHARA
Wako MIYAGAWA and Masahito ABE

要 約

意匠設計を支援するモデリングシステムの構築を目的に、計算機と簡単な対話操作で形状デザインができる方法、デザインされた形状が現実感あふれる表現を可能とする表示方法、汎用CADシステムとのインターフェース方法及び高精度な樹脂モデルが作成できる方法について検討を行った。その結果、操作性が良く、コストパフォーマンスの高い意匠設計用の形状モデリングシステムが構築できた。また、2つのメカニカルシャッターを用いたレーザーソグラフィ装置を用いて、樹脂の硬化範囲を補正することによる精度の高い加工を実現した。

1. はじめに

近年、意匠設計を行う際にCAD/CAM/CAEなどのコンピュータ援用システムを導入し、製品開発のスピードアップ化、デザインの質的向上などが進められているが、本県中小企業においてはシステム価格が高いことや技術者不足などの理由により、これらの導入が遅れているのが現状である。

そこで、汎用的な意匠設計を支援するシステムを構築することを目的に、昭和62年度から平成3年度まで実施した地域システム技術開発事業の成果の一つである宝飾工芸用三次元CAD/CAMシステム¹⁾²⁾³⁾⁴⁾をベースに、他分野での活用を可能とするため、形状モデリング方法や樹脂モデル作成方法などについて検討を行い、外部システムとのインターフェース機能や、樹脂の硬化範囲を補正する高精度な加工方法を実現したので、その概要について報告する。

2. システム構成

本システムは、図1に示すようにエンジニアリングワークステーション(EWS)とレーザーソグラフィ装置から構成されていて、EWS上では形状モデリングシステムのソフトウェアが稼働する。ソフトウェアは、三次元形状モデリング部、レンダリング部、ソグラフィ(CAM)部の3

つから構成されている。モデラの機能として外部システムとファイルを経由して形状データのやり取りが行える。

3. 外部インターフェース機能

地域システム技術開発事業で開発した三次元CAD/CAMシステムは、宝飾工芸品の意匠設計に重点をおいているので感性的なデザインには適しているが、機能的な工業製品の設計や高精度な設計には適さない場合もある。このような分野での適用を考え、改良を加えようとする根本的に設計をやり直す必要が生じてしまう。

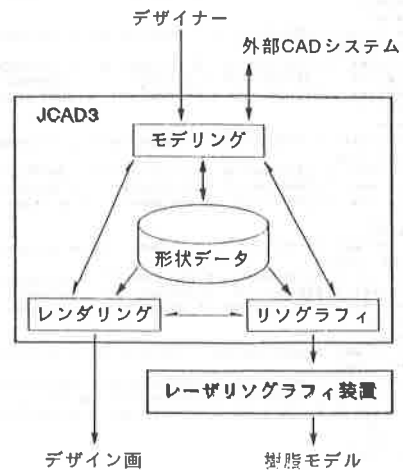


図1 システム構成

そこで、現在市場に出回っているCAD、CAM、CGシステムや加工装置（光造形装置）とのインターフェースをとることで、各システムが持っている特徴的な機能を活用して効率良く意匠設計が行えるよう、形状データの交換ができる機能を開発した。方法としては、一般的によく利用されている形状定義の形式を用いて、立体表現されたファイルの入出力ができる機能を設けた。今回は、後述する2種類のフォーマットを採用した。

1) STLフォーマット

この形式は、レーザーソグラフィ装置の加工用形状データとして一般的によく用いられているもので、立体形状を三角形の多面体で近似して表現している。図2に例を示すように、分割された三角形の法線ベクトルと各頂点の三次元座標値を列挙している。

2) DXFフォーマット⁵⁾

これは、オートデスク社が図面変換用として提案したものである。この形式を用いて三次元形状を表現する場合、主に「3DFACE」、「POLYLINE」の2つのコマンドを用い、それ以外の点、線、文字などのコマンド情報は無視している。「3DFACE」は、三次元形状が三角形や四角形に分割された多面体を表現する場合に用いる。「POLYLINE」は、自由曲面を表現する場合に用いる。

```

solid PART001
facet normal 0.000000e+00 0.000000e+00 -1.000000e+00
outer loop
vertex 3.510000e+00 3.690000e+00 -4.800000e+00
vertex 3.510000e+00 -5.070000e+00 -4.800000e+00
vertex -5.380000e+00 -5.070000e+00 -4.800000e+00
endloop
endfacet
facet normal 0.000000e+00 0.000000e+00 -1.000000e+00
outer loop
vertex -5.380000e+00 -5.070000e+00 -4.800000e+00
vertex -5.380000e+00 3.690000e+00 -4.800000e+00
vertex 3.510000e+00 3.690000e+00 -4.800000e+00
endloop
endfacet
facet normal 0.000000e+00 -1.000000e+00 0.000000e+00
outer loop
vertex -5.380000e+00 -5.070000e+00 3.380000e+00
vertex -5.380000e+00 -5.070000e+00 -4.800000e+00
vertex 3.510000e+00 -5.070000e+00 -4.800000e+00
endloop
endfacet
facet normal 0.000000e+00 -1.000000e+00 0.000000e+00
outer loop
vertex 3.510000e+00 -5.070000e+00 -4.800000e+00
vertex 3.510000e+00 -5.070000e+00 3.380000e+00
vertex -5.380000e+00 -5.070000e+00 3.380000e+00
endloop
endfacet
facet normal 1.000000e+00 -2.362598e-08 0.000000e+00
outer loop
vertex 3.510000e+00 -5.070000e+00 3.380000e+00
vertex 3.510000e+00 -5.070000e+00 -4.800000e+00
vertex 3.510000e+00 3.690000e+00 -4.800000e+00
endloop
endfacet
endsolid PART001

```

図2 STLフォーマットのデータ例

4. 多角形を三角形に分割する手法

本システムでは、内部データ構造的には多面体近似したサーフェースモデルで立体を表現していて、各面は様々な多角形（例えば凸形状、凹形状、角数の大小）で構成されている。しかし、このままで機能追加を行うと各種の問題が生じる。

このようなことから、

- ・スキャンライン法でスムーズシェーディングを行うとき、凹多角形が含まれていると誤表示を生じるので凸多角形に分割する。
- ・スキャンライン法やレーザーソグラフィの断面算出など、処理の単純化及び高速化を図る。
- ・外部のCADシステムやレーザーソグラフィ装置などと形状データのインターフェースをとるとき、立体を三角形を用いた多面体近似で形状データの交換を行う。

などに対応することを目的に、多角形を三角形に分割する処理機能を組み込んだ。

今回は、下記に示す処理手順で多角形分割を行った。

処理1：対象図形が三角形の場合は、処理を終了する。

処理2：凸頂点を見つけるため、X座標値の一番小さい頂点を P_s とし、それに隣接する頂点をそれぞれ P_b 、 P_t とする。

処理3：頂点 P_s 、 P_t 、 P_b で構成する三角形の内部に別の頂点があるか調べる。

処理3-1：頂点がある場合、内部に存在する頂点の中でX座標値の一番小さい頂点を P_m とし、対象図形を頂点 P_s 、 P_m を結ぶ線で2つに分割する。（図3(a)）

処理3-2：頂点がない場合、対象図形を頂点 P_b 、 P_t を結ぶ線で2つに分割する。

（図3(b)）

処理4：分割された2つの図形に対して、それぞれ再帰的に処理1から処理4を行い、全てが三角形になるまで繰り返す。

図3の(c)に凹形状を含む多角形を三角形へ分割した例を示す。

また、処理3で三角形の内部に別の頂点が存在するか判定する手法としては、対象とする頂点と三角形の各頂点とで構成される三角形の符号付き面積を求め、これを半時計回りに順次行いながら合計してその符号から内外判定を行った⁶⁾。

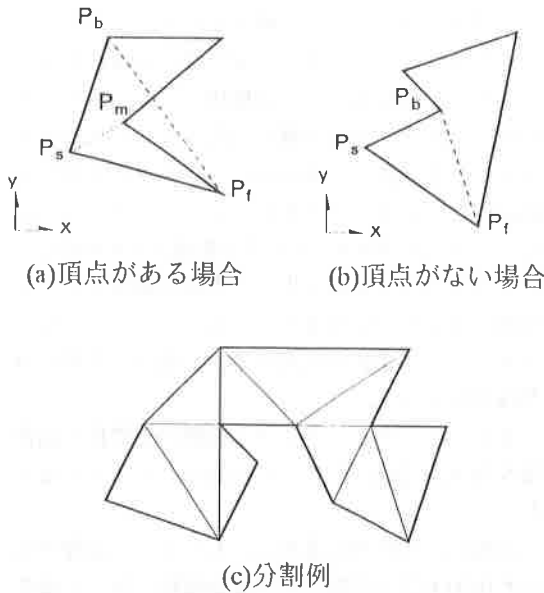


図3 多角形の分割例

5. レーザリソグラフィ装置の機能向上

安価で小型の装置を開発し、樹脂の硬化範囲の補正を行うことで高精度な加工を実現したので、その詳細について述べる。

5-1 装置の小型化⁷⁾

紫外線硬化樹脂に均一な露光を行うためには、レーザービームの出力制御が一般に用いられている。この制御を行うためにはAOM（音響光学変調器）やND（中間濃度）フィルターを使用しなければならず、小型の樹脂モデルを作成する場合においても大きな加工装置となり、出力の大きいレーザーを使用しなければならない。著者らは、小型の樹脂モデルを作成する場合に小型レーザーと2個のメカニカルシャッターを併用して低消費電力、小型化を実現した。この制御は、走査装置の可動部分を軽くしておき自起動速度で移動させる。樹脂の露光量を均一にするためには、露光走査の開始と終了に合わせてビーム出力をオンからオフへ2段階の切り替えを行うことで実現する。

試作したレーザーリソグラフィ装置の小型電磁メカニカルシャッターの動作遅れ時間のばらつきを調べるために、励磁信号と透過光の変化をデジタルオシロスコープで測定した。シャッターを閉じた状態から開放した場合の測定結果を図4に示す。動作遅れはおおよそ50mSであるが、ばらつきは1

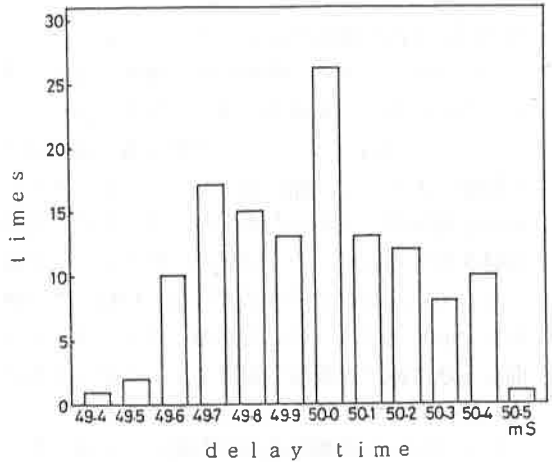


図4 メカニカルシャッターの動作遅れ時間mSの範囲にあることがわかった。メカニカルシャッターは、動作に遅れが生ずるが、繰り返しの動作精度は安定している。メカニカルシャッターを用いて、短いパルス状のレーザービームを発生させる場合、1つでシャッターの開閉動作時間よりも短い光パルスが発生させることは難しいが、2個のメカニカルシャッターを用いて次のように制御することで短い光パルスが発生することが可能である。ただし、メカニカルシャッターをA、Bとする。

- (1) Aを閉じ、Bを開ける。
- (2) “開け”の命令があると、Aを開ける。
- (3) “閉じ”の命令があると、Bを閉じる。
- (4) “開け”の命令があると、Bを開ける。
- (5) “閉じ”の命令があると、Aを閉じる。
- (6) 2へ続く。

試作したレーザーリソグラフィ装置は、2個のメカニカルシャッターを簡単なロジック回路で制御し、シャッターの遅れ時間を考慮したモータ制御をマイクロコンピュータで行っている。

レーザーの立ち上がりや消耗による出力変動によるレーザー出力のモニター信号をA/D変換し、露光の絶対量が一致するように走査速度を一層ごとに計算し調整している。（図5）

5-2 硬化範囲の補正による高精度加工⁸⁾

紫外線硬化樹脂は、レーザービームの照射する範囲よりも一般に広く硬化する。そのため、樹脂モデルは設計形状よりも大きくなってしまふ。補正の原理を図6に示す。図6は、レーザーを樹脂表面に照射し、走査したときに得られる硬化形状の走

査方向に垂直な断面を示す。点Oは、レーザビームの走査位置とする。硬化形状に接する平面に垂直に交わりかつOを通る直線との交点をQとする。ここで、 $|OQ|$ はレーザの照射位置と接平面との距離である。設計面に接するようにレーザビームの走査位置を求めるためには、1) 予め点Qの軌跡を求めておく。2) 設計面の傾きから $|OQ|$ を求める。3) 設計面に平行な $|OQ|$ だけ離れた平面を求め、これを加工面とする。4) 加工面から水平面での断面を算出することにより設計面に接する硬化形状を作ることができる。

レーザビームを樹脂液面に照射したときに生じる硬化形状は、予め実測しておくか、形状シミュレーションにより求めることができる。このため、設計面から加工面を得ることは容易である。

本方法による硬化範囲の補正についての主な特徴は、次の3つである。1) 水平面での断面を算出する場合は、一層の断面の計算に対象となる加工面のみを求めておくだけでよい。2) 断面の輪郭にオフセットを施す計算を必要としない。3) 設計形状に沿ったレーザ照射が可能である。

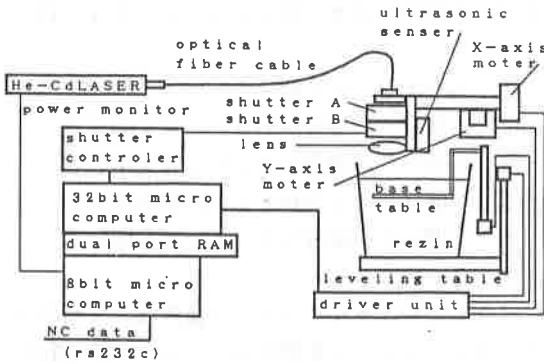


図5 レーザリソグラフィ装置の構成

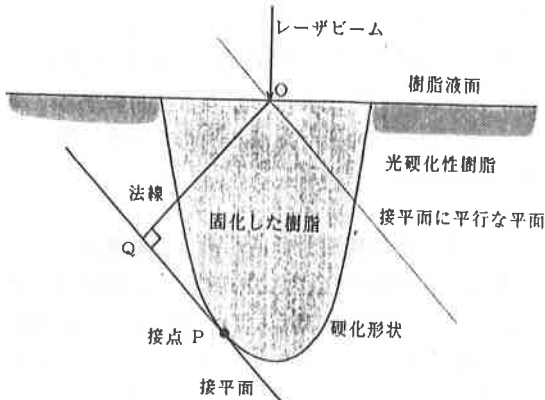


図6 補正の原理

6. おわりに

外部インターフェース機能を開発したことにより、当センターのデザイン開発部に設置されている市販のCGシステム(2機種)と本システムとの間で形状データの交換が可能となった。本システムで形状設計したものがCGシステムを用いて高品位なレンダリングを行うことができたり、CGシステムでデザインしたものを本システムのレーザリソグラフィ装置を用いて実物の樹脂モデルを作成することができるようになった。このことは、システムの効率的な活用を考えた場合、非常に有効な手段である。

また、レーザリソグラフィ装置の小型化と高精度な加工が可能になり、実用的なシステムとなった。

最後に、本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた山梨大学工学部 古川進助教授、同じく清弘智昭助教授、中京大学情報科学部 伊藤誠教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) 中島 俊他：山梨県工業技術センター研究報告，No.5，P2～6 (1991)
- 2) 清水誠司他：山梨県工業技術センター研究報告，No.6，P1～6 (1992)
- 3) 清水誠司他：第6回ニコグラフ論文集，P298～307 (1990)
- 4) 阿部正人他：第7回ニコグラフ論文集，P232～238 (1991)
- 5) AutoCAD応用編，オートデスク(株)，(1988)
- 6) 浅野哲夫：計算幾何学，朝倉書店，(1990)
- 7) 萩原茂他：精密工学会山梨地方講演論文集，P643～644 (1992)
- 8) 萩原茂他：塑性加工学会春季大会論文集 (1993)