

# 三次元原型・加飾加工技術の開発 (第5報)

## —装身具三次元CAD/CAMシステムの構築と原型加工技術の開発—

中島 俊・中山信一・佐野照雄・河野 裕

### Development of Working Upon 3-Dimensional Original Model and Superefacial Decoration (Part V)

#### —Structure of Personal Ornaments 3-Dimensional CAD/CAM System and Development of Original Model Process Technique—

Toshi NAKAJIMA, Shinichi NAKAYAMA,  
Teruo SANO and Yuu KOHNO

### 要 約

装身具のモデリング作業と原型の加工精度を向上するために、装身具用三次元CAD/CAMシステムの構築とスカラ型加工ロボット、積層加工機、NC彫刻機等の特性を考慮したNC制御法ならびに原型加工法について検討した。

- 1) 装身具用三次元CAD/CAMシステムは市販の金型向け三次元CAD/CAMシステムをベースに構築した。
- 2) スカラ型加工ロボットによる完成度の高い指輪の加工法を検討した。
- 3) 小型の実用型積層加工機を製作し、ワックス原型の付加工実験を行った。
- 4) 固形ワックスをプレス型にしたシートワックス原型の簡易作製法を開発した。

### 1. はじめに

前年度までの研究で積層加工機、スカラ型加工ロボットやNC彫刻機とCAD/CAMシステムの統合をほぼ達成した。今年度はCAD/CAMシステムの機能の向上とCAD/CAMシステムによる原型加工の完成度を更に向上するためのNC制御法について検討した。

CAD/CAMシステムの機能の向上は、イメージスキャナーからデザイン画をコンピュータに取り込み、それぞれの加工機に適したデータが生成可能な画像処理機能の追加、宝石のカット形状、指輪の基本形状とサイズ、加工条件等のデータベースの構築、またモデリングを容易にする基本図形生成機能の追加ならびに加工精度を上げるためのポストプロセッサの改良等の開発を行った。

### 2. CAD/CAMシステムの構築

装身具はデザイナーの高い感性が求められる商品である。従って、デザイナーの意図や情報が原型製作者に正確に伝わらなければならない。製品

にデザイナーの意図が十分に反映され、かつ原型製作の機械化・短期化・コストダウンと、併せて装身具の高付加価値化を図ることを目的にCAD/CAMシステムを構築した。

#### 2-1 システムの概要

装身具は複雑な形状をしているものが多く、汎用のCAD/CAMシステムではCADデータの入力に多大な時間がかかったり、どんな形状のものでも入力できるとは限らない。むしろできないものが多い。装身具は高い感性が求められていることから、いきなりコンピュータの画面に向かって三次元モデルを構築することは、現状では不向きのようなのである。また、NC加工機には機構上の制約も多く、デザインしたものが全て加工できるわけではない。したがって、加工データの生成には加工の専門知識が要求される。

デザイン作業はまず紙と鉛筆で行い、紙に描いたデザイン画をイメージ・スキャナでCADシステムに取り込んで図形データに変換する。

図形データはCAMシステムで加工データに変換してNC加工を行う。

スケッチ画から三次元CADデータがデザイナーの意図通り正確に生成されたかどうかは、カラーシェーディングによるシミュレーション機能で確認する。またCADデータから加工可能なNCデータが正確に生成されたかどうかは、カッターパスをシミュレーションして確認する。

一般に複雑で細かい三次元モデルの構築には莫大な時間を要する。従って、モデルの構築や加工データの生成が短縮・省力化できるようにデザイン、加工でよく使う手順・図形・工具・素材・加工条件・加工機械等のノウハウや知識をあらかじめ

ソフト化しておく。

構築した装身具用三次元CAD/CAMシステムの機能概要は次の通りである。

- 1) デザイン画はイメージスキャナーから入力する。
- 2) 自由曲面のモデリング機能を有する。
- 3) カラーシミュレーション、カッターパス等のシミュレーション機能を有する。
- 4) デザイン、加工用のデータベースを有する。
- 5) 基本図形、モデルの生成・編集機能を有する。
- 6) NC彫刻機、積層加工機、スカラ型加工用ロボットのプロセッサを有する。

図1にシステムの概念図を示す。

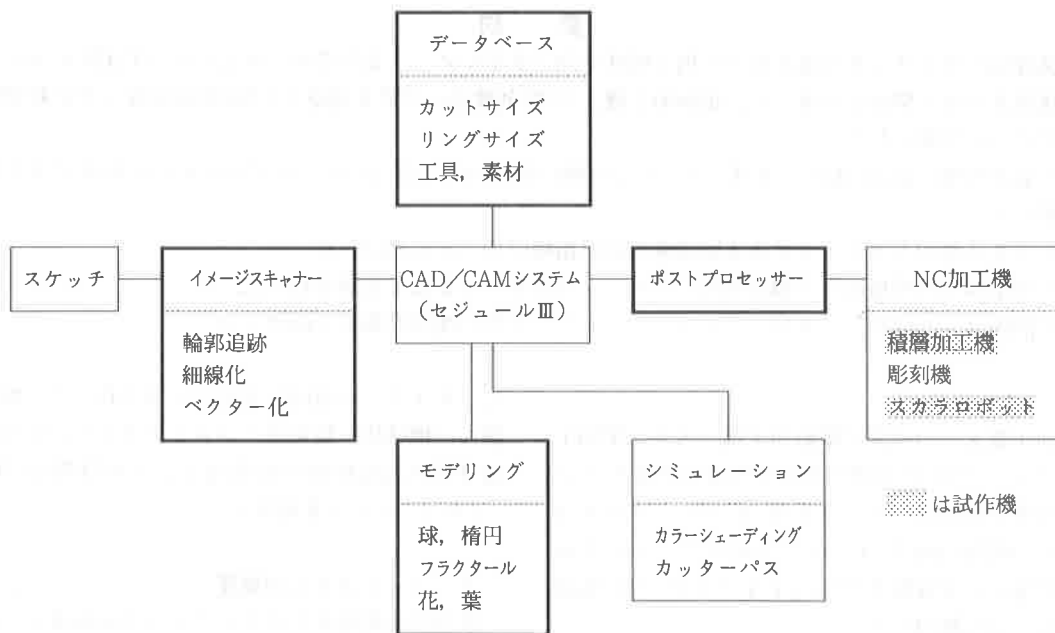


図1 構築した装身具三次元CAD/CAMシステム

## 2-2 プログラミング

図1の太線で囲んだ部分のプログラム開発は、工程ごとに処理内容を記入したモジュール仕様書を作成し、分担してプログラミングを開始した。プログラムはソフトウェアの標準化を図るため、できるだけ1機能1モジュールとした。仕上がったモジュールはモジュールテストで動作を確認して、システムに組み込み、動作を確認後、次のモジュールのプログラミングを行うようにした。途中新たに必要となった処理や仕様書の変更は打ち

合わせ会議で変更箇所を報告して了解するようになった。データベースの構築に当たっては、デザイン・加工に必要な情報を中心に登録するようにした。

加工用のデータベースの構築は、実際に加工実験してみないと正確なデータが把握できない。加工実験は画面上でカッターパスのシミュレーションを行い安全性、正確性を確認してからNC加工機で加工する。加工では素材と工具・切り込み量・送り速度・温度・圧力などの条件が少しでも変わ

るとシミュレーション通りに加工できないことが多かった。従って、幾度となく実験を繰り返して、加工のノウハウを蓄積しながらソフトウェアの改良とデータの変更を行なうようにした。システム全体のテストはプログラムテストと加工テストに分けて行い、バグの発見、処理速度、操作性などについてもチェックした。ソフト開発と加工実験の関係を図2に示す。

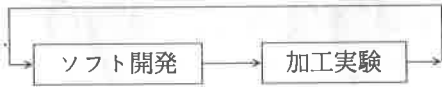


図2 ソフト開発と加工実験の関係

### 2-3 実験及び結果

#### 2-3-1 画像の取り込みとノイズ消去

デザイン画をイメージスキャナー(3000D-エプソン)でコンピュータに画像として取り込む。写真1にデザイン画の取り込み例を示した。

イメージスキャナーから取り込んだ画像はゴマ塩ノイズが多く発生していた。写真2にゴマ塩ノイズの消去例を示す。

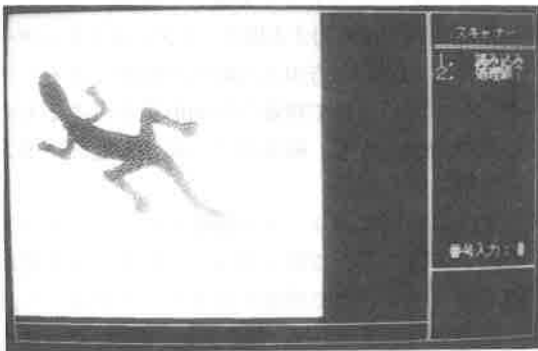


写真1 取り込み例

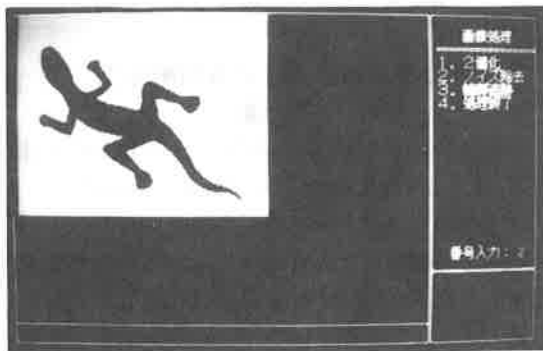


写真2 ノイズ消去例

#### 2-3-2 2値化と輪郭追跡

ゴマ塩ノイズを消去した画像に2値化処理を行った。2値化した画像は白と黒の領域が明確になっているので、白と黒の境界の輪郭追跡を行った。写真3に輪郭追跡例を示す。輪郭追跡した画像はラスタデータであるから、ベクターデータに変換して二次元図形を生成した。

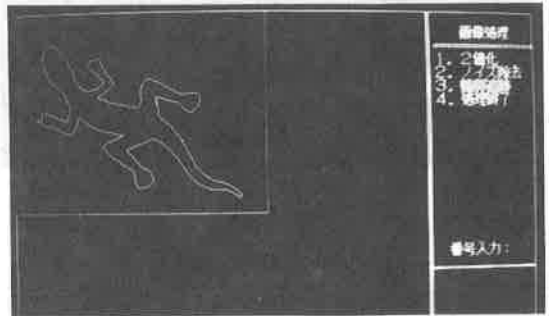


写真3 輪郭追跡例

#### 2-3-3 三次元モデルの構築とシミュレーション

ワイヤフレーム表示では全体的な感じがつかみにくい。そこで、カラーシェディングでモデルの形状と色を表示して、意図通りにモデルが構築できているかどうか確認した。意図通りにモデルが構築されていない時は、モデリングとシミュレーション操作を満足するまで繰り返す。写真4に三次元モデルの構築例を示した。

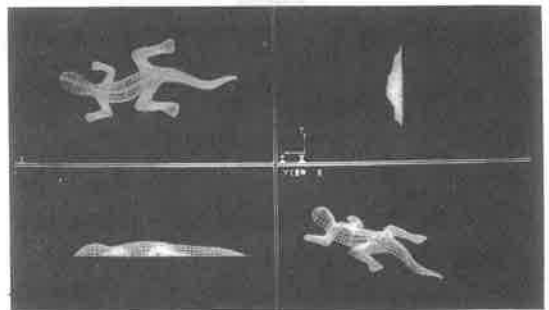


写真4 三次元モデルの構築例

#### 2-3-4 NC加工

CADシステムでモデルが構築できたらCAMシステムにデータを渡して、曲面ごとに cutterパスを設定した。cutterパスが正確に生成できているかどうか、cutterパスをシミュレーションして確認した。正確なcutterパスの生成を確認

して、原型加工を行った。写真5に Cutterパスのシミュレーション例を示す。

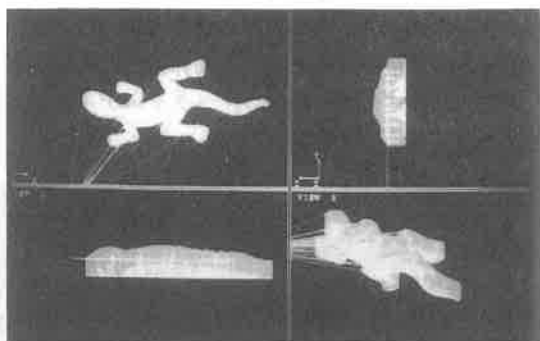


写真5 Cutterパスのシミュレーション例

### 2-3-5 ワックス原型の製作

NC彫刻機でシートワックスに唐草模様などの透かし彫りを施したものは、ほとんど修正しないで原型となった。ただし、シートワックスは軟化温度の高いハードタイプでないと切削熱で溶けてしまう。写真6に唐草模様の透かし彫り加工例を示した。

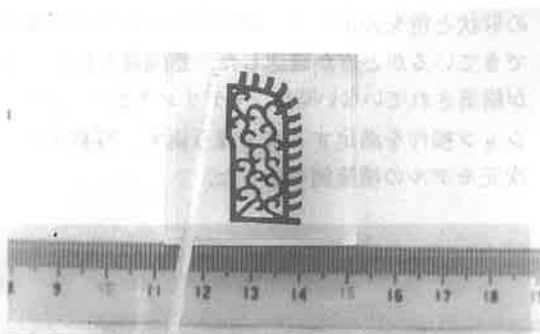


写真6 透かし彫り例

金やプラチナなどの貴金属を使った装身具は、材料費が嵩むため必要以上の目方を付けないように軽く作ることが要求される。従って、原型の厚みを0.3mm以下に仕上げなければならない。

NC彫刻機で裏抜き加工する場合、まず表の部分を加工して、これを裏返して裏の部分加工する。しかし、この方法はワークの位置決めが難しい。形状によっては無理な切削ができない。ツールマークが残り表面が滑らかに仕上がらない。厚さが均一に仕上がらない等の問題がある。この様な問題を解決するため、ソフトタイプのシートワッ

クスをプレスして原型を作製する「装身具の製造法」を考案した。写真7にこの方法で製造した装身具例を示した。

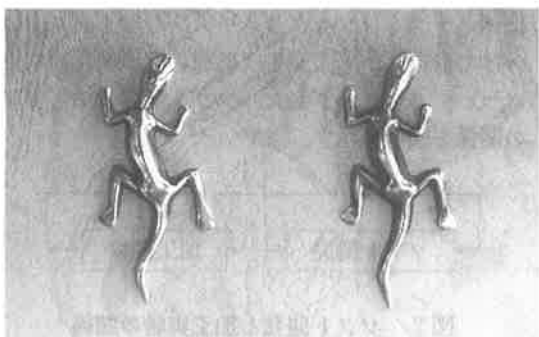


写真7 装身具の加工例

### 2-4 考 察

汎用の金型用三次元CAD/CAMシステム（セジュールⅢ、シャープ精機㈱）にイメージスキャナー入力、カスタマイズソフト、データベース、ポストプロセッサなどの機能を付加して、図1に示す装身具用三次元CAD/CAMシステムを構築し、実際にデザイン画の入力からNC彫刻機でワックス原型の加工まで実証してみた。

複雑な図形を入力する場合、イメージスキャナーを使って入力した方が入力時間が短縮できる。三次元モデルの構築で複雑な曲面形状を有するものは面の分割、変形、編集などの操作も厄介で多大な時間を要した。

加工においてはワークの固定方法、ツールパスの設定方法によって加工度合い、仕上がり状況が随分違ってくるので熟練を要することが分った。

開発したシステムは、モデリング機能、データ・ベース、処理速度などまだ多くの改良を要するが、工夫次第で強力なツールになることが分った。

## 3. スカラロボットによる切削加工

### 3-1 経過および概要

第4報の切削除去ではCADとの接続を主目的に、CADで作製したデータ形式と球面スカラ型加工ロボットのデータ形式を適合させた。

この時使用したCADはセジュールⅢで形状データと模様（加飾）データを作成してロボットに転送し、加工実験を通してCAD/CAMの統合を図った。

今年度は、球面スカラ型ロボットを利用して実際にどの程度装飾品の原型加工に適用できるか実験した。

### 3-2 実験結果および考察

今回は、これまでどおりリング以外の加工も考慮して図2に示す方式と新たに図3に示すような方式でワークを固定して加工した。

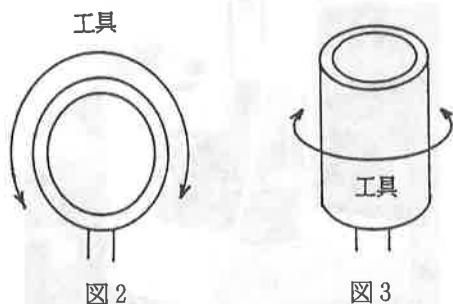


写真8は、従来の加工法でリングを加工した例である。写真8のように円周上に等角度で溝を彫る等、手加工では非常に難しい完成度の高い加工が短時間で出来た。



写真8 従来の加工例

一方、従来のワークの固定方法は削り残しやワークの前加工が面倒、ワークの固定が不安定、位置決めが難しい等の問題があった。そこで図3に示すようなワークの固定方法に換えて円筒とリングを加工する方法を検討した。

ワークを固定する場合、従来からの固定方法でも同様に問題ではあるが、ロボット上部の回転軸( $\theta_2$ )の中心と、ロボット下部のX・Yテーブルの原点が合わないと、ワークの切り込み量が円周上で一定にはならない。

そこで新しくリング専用のワーク固定治具を製

作した。この治具は、リングサイズ5~15までの通常のリングを取り付けることができ、さらにリング内周をしっかりと保持するため加工中も緩むことがない。この治具にワークを取り付けて加工している例を写真9に示した。

文字、イニシャルそれに模様を彫刻する場合コンピューターの画面を見ながら直接データを入力する方法とデジタイザから入力する方法がある。彫刻文字サイズは漢字の場合、縦横ともに最小が、2.2mmである。漢字以外は1.1mmである。



写真9 治具と加工例

工具は円錐(60度)のハイスピードスチールカッターを使用した。

当初グリーンワックスで試みたが、粘性が高く融点が低いため切削熱の影響で工具に付着し、切削不能となった。そこで、融点の高いパープルワックスに換えたところ、継続的な切屑が出て想定どりの文字が彫刻できた。

写真10はパープルワックスに文字を彫刻した原型を、鑄造して仕上げたものである。



写真10 文字彫刻例

ワックスの彫刻部分に多少切屑が詰まっていたが、鑄造には影響を与えないことが分かった。

このことから、パープルワックスに加工してか

ら铸造する方法が適している事が分かった。

次に銀と黄銅のリングを直接、円錐の高速ブレードスチールカッターで加工したが、銀は素材自体の粘りの影響で、移動する工具の先端が定まらずコンピューターの指示どおり彫刻出来なかった。しかし、黄銅は写真11のように細かい文字がきれいに彫刻できた。

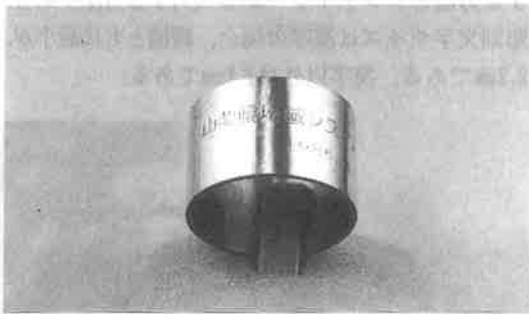


写真11 文字の加工例

### 3-4 まとめ

今回の実験で、以下のことが明らかになった。

- (1) リングにイニシャル、文字及び模様を彫刻する場合、新しいワークの固定方法が有利である。
  - (2) ワークの固定に用いるリング用治具は5~15までのサイズまで把持可能で、スカラ型ロボットに適している。
  - (3) 彫刻にはパープルワックスが適している。
  - (4) スカラ型ロボットで装身具を製作する場合、ワックスに加工して铸造する方が有利である。
- これまでの研究結果から、多関節球面スカラ型ロボットは機構上球や円筒の加工に適していることが再認識できた。

## 4. ワックス材の積層固化加工

### 4-1 経過および概要

これまでに積層加工条件及び制御方法を明確にしてきた。前年度は、装身具原型の形状を3種類に分類して単層・多層・積層加工について実用化実験を行ってきた。

今年度は、これらの研究成果をもとに小型の実用機を開発し、CAD/CAMシステムとして構築した。この実用機により各種の実用化実験を行った。

## 4-2 実験および結果

### 4-2-1 装置の概要

写真12に本実験に用いたワックス積層加工装置を示す。この装置は、これまでの実験で使用していた装置の機能・操作性等を改良して、新たに実用機として製作したものである。

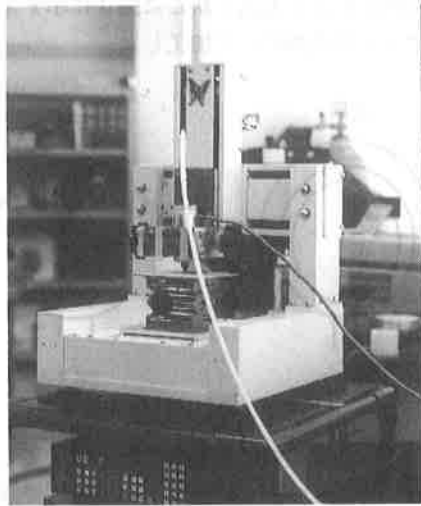


写真12 積層加工装置

基本的な構造はX・Y・Z軸が直行する門形構造で、ストロークは各軸とも100mm、最小分解能は0.01mmである。Z軸には、ワックスを加熱溶解するヒーター付きディスペンサーを取り付けた。このディスペンサーは、ヒーターコントロール部と圧力コントロール部に接続し、圧力源としてエアを用いた。

表1は今回開発したワックス積層装置の仕様である。

表1 ワックス積層装置仕様

本 体	門形三軸制御	
駆動コントローラー	Gコード体系パルスモーター制御(2軸同時制御)	
各 軸 ス ト ロ ー ク	X軸	100mm
	Y軸	100mm
	Z軸	100mm
最 小 分 解 能	各軸	0.01mm
本 体 寸 法	幅	366mm
	奥行	420mm
	高さ	470mm
コ ン ト ロ ー ラ ー	幅	400mm
	奥行	420mm
	高さ	200mm

図4にワックス積層装置のブロック図を示す。

#### 4-2-2 ソフトウェア

市販のパソコンCAD/CAMソフトを用いて簡単な手順で積層加工ができるシステムを構成した。

図形入力は、デザイン画の輪郭形状の座標点をデジタイザーから入力する。この場合これまでは

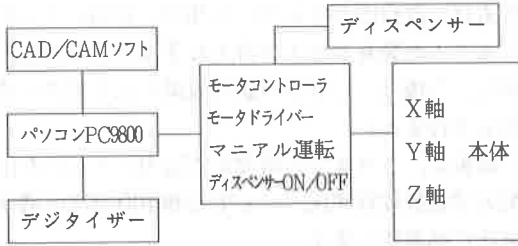


図4 ブロック図

自由曲線をすべて2~3mmピッチのドットで直線近似して入力していたが、今回は通過点と終点を入力する事により円弧も可能となりデータ数の減少につながった。なお、入力の際デザインを考慮して、ワックスの吐出及び停止点数を出来る限り少なく決める必要がある。

図形データは一旦ソースデータとして格納しておく。これを拡大・縮小して製品の大きさを決め、NC計算を行いNC文を作成する。次に本装置用に開発した置換ソフトを使って積層加工機用NCデータを作成しRS-232C回線を通して本体のNCコントローラーに転送して加工を始める。

#### 4-3 加工結果および考察

##### 4-3-1 加工結果

写真13の製品の場合、入力に要した時間は約20分で、入力座標点数は約500点であった。

NCデータの生成に要した時間とNCデータを転送する時間はそれぞれ数秒で、前装置と比較して約1/5程度に短縮できた。

実際に積層加工に要した時間は4.5分で1層あたり1.5分に相当する。

この製品の加工条件はノズル径0.45mm、ヒーター加熱温度150℃、吐出圧力1.5kg/cm<sup>2</sup>加工速度400mm/minである。

付加加工で立体的な形状を積層する場合、周囲の環境、ワックス温度、動作速度等が問題となる。

写真14は積層加工中のディスペンサー部を非接触温度計で測定した結果である。写真からディスペンサー上部の放熱が多いことが分かった。



写真13 製品例



写真14 温度測定例

今後は特にこの部分の断熱に改良を加える必要がある。

##### 4-3-2 その他の付加加工

これまで付加加工に付いて研究を続けてきたが、前掲以外に各種素材、付属装置及び付加条件等について並行して実験を行った。前掲の液状ワックスを積層する方法を基準に評価した結果を、表2に示す。

表2 その他の付加加工

原型素材	付属装置	後加工性	精度	3次元化	加工時間
UV樹脂	UV照射装置	△	△	○	△
低熔融合金	熱溶解装置	○	△	○	○
熱可塑性樹脂	熱溶解装置	×	×	○	△
貴金属粘土	加圧装置	△	×	△	×
線状ワックス	供給装置 熱溶解装置	○	△	○	○

この結果から、樹脂を素材として付加加工する場合は後加工が困難、硬化が遅いため加工時間がかかること、さらに重要なのは、ロストワックスとしての原型には向かないことが共通する。

貴金属粘土は硬化速度が遅いため、三次元の形状に製作するのは不利である。しかし、鑄造工程が省けるため、平面的な製品には向いている。低熔融金属と線状ワックスは、付加加工に向いている素材ではあるが、付属装置が幾分複雑で高価となる。

#### 4-3-2 考 察

今年度は、これまでの研究をもとにワックス積層加工システムとして完成させた。この結果、デザイン画からワックス原型を迅速に製作することができたが、今後の課題として以下のことが挙げられる。

- (1) 製品の表現力を増すためワックス線径を相対移動速度あるいは、空気圧によって変えられる装置開発
- (2) 立体製品のデータ入力 of 簡素化を進めるため各軸と回転テーブルを同期させた機構の付加
- (3) 多層にした場合の積層面の平滑化
- (4) 複雑形状物のデータ入力

#### 4-4 ま と め

今回は、これまでの研究結果を基に積層加工装置の実用機を完成させた。この結果、デザイン画からNCデータ、さらに実際の装身具の原型を製作する一連のCAD/CAMシステムが構築できた。

今後は、さらに機能・操作性向上のため改良を重ね業界への技術移転を行う予定である。

### 5. おわりに

貴金属装身具類の製造工程において、原型製作及び加工工程の自動化を目標にこの研究を始めた。当初はNC加工機構、三次元物体成形方法等の基礎的な研究を主に行なった。その結果、装身具の加工には、次の3つの加工方法が有効なことが分かった。

- (1) 切削除去法
- (2) 積層付加法
- (3) 溶解除去法

この3つの加工法が、可能なNC加工機として

球面スカラ型ロボット、積層加工機及びNC彫刻機を使ってリング・ペンダント・ブローチ等の加工実験を行い、これ等が十分に加工できることを実証した。またこれ等加工機の形状データ、加工データの生成はCAD/CAMシステムで可能とした。これまでの研究で、デザイナーの感性を完全に満足させるまでにはまだ至っていないが、CAD/CAMシステムの改良、加工方法、工具、原型素材の改良改善をしていく事で、CAD/CAMシステムが装身具加工の有効な手段となる確信を得た。今後は、これ等の研究成果を広く業界に普及して行きたい。

最後に、これまでの研究にご協力いただいた山梨大学教授牧野洋氏、ペンてる(株)甲府研究所清水晃氏に感謝致します。

#### 文 献

- 1) 藤巻 誠他：山梨県工業技術センター研究報告 (第1報)，昭和63年12月
- 2) 藤巻 誠他：山梨県工業技術センター研究報告 (第2報)，平成1年12月
- 3) 藤巻 誠他：山梨県工業技術センター研究報告 (第3報)，平成2年12月
- 4) 藤巻 誠他：山梨県工業技術センター研究報告 (第4報)，平成3年12月
- 5) ETM98 機能編 取扱説明書，浜松合同(株)
- 6) HI98 取扱説明書，浜松合同(株)
- 7) LAPIDARY Journal, April 1992, p.14