

# 地域工芸品向けリバースエンジニアリングシステムの研究開発(第2報)

開発研究部 棚原 靖 泉川達哉  
 國吉和男 比嘉眞嗣  
 技術支援部 花城可英

## 1. 緒 言

工芸品は地域特性や意匠性に特徴があり、3次元の複雑な自由曲面を有した製品が多いため、実モデルから金型を加工せざるを得ない場合が多い。沖縄の代表的工芸品である琉球ガラスを対象にローコストの3次元金型の加工技術を確立するために、①3次元情報の収集、②金型の加工、③プレス成形による加工、④成形製品と実モデルとの検証を含めたりバースエンジニアリングシステムの構築を目標に3カ年計画で研究を始めた。

金型を使ったプレス成形技術を琉球ガラス製品に適用することは①生産性をたかめた納期の短縮化、②地域特性のあるデザインと製品の多品種化、③百～数百個程度の中量生産による低コスト化等を押し進めることが可能となる。また県内機械金属製造業における機械加工の基盤技術や三次元自由曲面の加工技術が高度化され、県内地域の機械金属産業の技術集積に寄与できる。

平成9年の初年度は非接触入力方法を検討し、2年目の今年度は図1の中に示すように、実体モデルから3次元形状を測定し、これら点群データを基にサーフェイスを作成する技術の検討と、基本形状と模様を拡大・縮小したり、重ね合わせや繰り返し等の編集手法によって新たなデザインを創生する技術について検討した。そしてこれらのデザインのサーフェイス情報をCAM情報を介して、加工情報を創生して高速マシニングセンターに転送後、加工診断技術を含めて、金型を効率よく加工する技術を検討をした。以下に得られた知見を報告する。

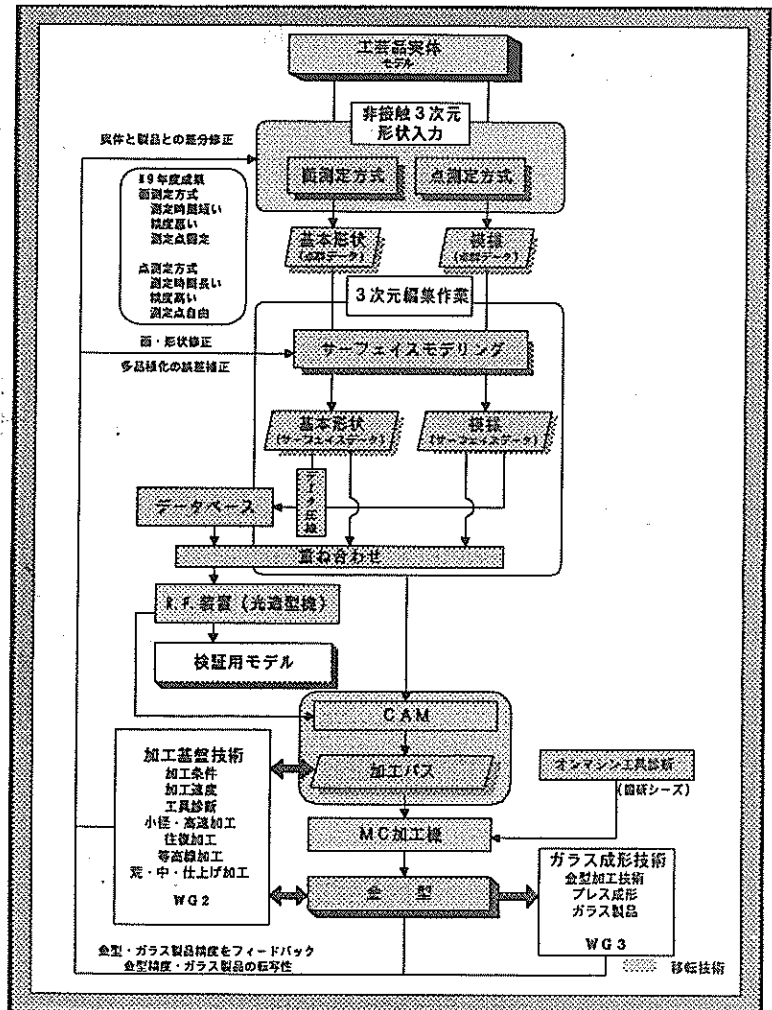


図1 研究開発フロー

## 2. 実験方法及び実験条件

本研究では、図1のデータの流りに従い、大きく分けてサーフェイスデータの作成及び編集と

加工情報の作成についてそれぞれ実験を行った。

## 2. 1 サーフフェイスデータの作成と編集

3次元測定によって得られた実体モデルの3次元点群データを基にCAD/CAMを利用して金型の加工を行う場合、加工情報の計算を行うために3次元点群データからサーフェイスと呼ばれる数学的な曲面情報を作成する必要がある。そこで本実験では、幾つかの方法によって作成したサーフェイスデータの精度や編集工程の比較を行った。また、模様サーフェイスデータとCADで作成した幾何学的な基本形状サーフェイスデータとの重ね合わせ方法について検討を行った。

## 2. 2 加工情報の作成

前節の実験で創生されたデザインを基に金型を加工する際の切削方法やツール走査タイプを組み合わせた加工シミュレーションを行うことで、加工精度（切削残量）や加工時間を比較し、効率的な加工情報の作成手法の検討を行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 サーフフェイスデータの作成と編集

#### 3. 1. 1 測定点を利用したサーフェイスデータの作成

本実験では、作成したサーフェイス精度を検証するため複雑な模様を想定したマスターモデルを作成し、3次元測定を行った。マスターモデルの3次元測定には、前年度の実験<sup>1)</sup>において測定精度、測定時間の両面で比較的良好な結果が得られた非接触点測定方式の3次元形状入力装置 Mercury J1（株マツオ製）を使用した。図2にマスターモデルの形状とそれより得られた3次元点群データを示す。

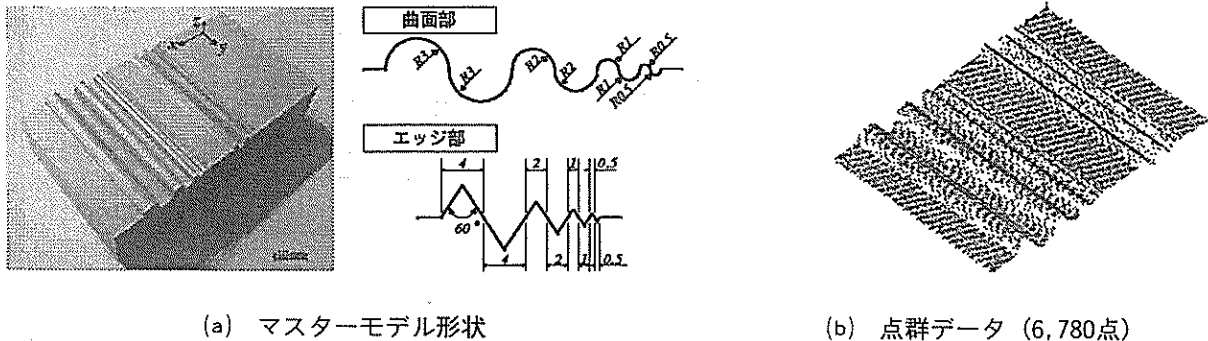
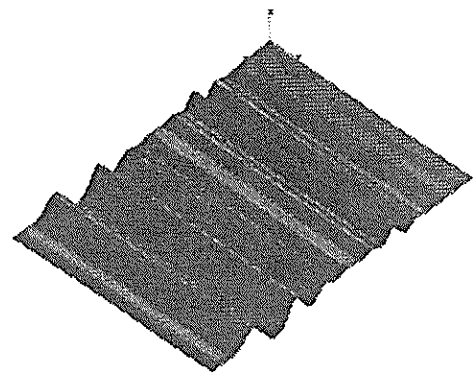


図2 マスターモデル形状と3次元点群データ

#### ①最小二乗法を利用したサーフェイスデータの作成

測定した点群を基に、最小二乗法を利用したサーフェイスの作成を行った。サーフェイスデータは制御点と呼ばれるもので、曲面を表現しているため、この制御点数を変化させて実験を行った。その結果を図3に示す。この図からわかるように制御点数を増やすことで点群の形状がよく表現できている。ただし、制御点が多すぎると計算の際、CPUへの負担が大きく処理に時間がかかるため、上限を100,100 (u,v)とした。



(a) 制御点数30, 30(u,v)

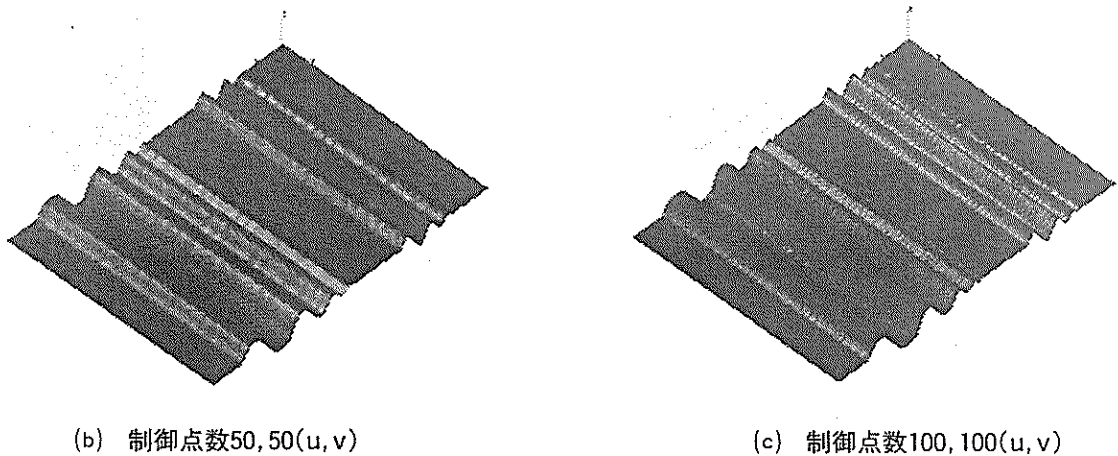


図3 最小二乗法により作成したサーフェイスデータ

### ②形状に合わせた分割作成

最小二乗法を利用した作成方法の様に一度にサーフェイスデータを作成せずに、点群データを特徴的な形状に合わせて分割し、その分割した点群データ毎にサーフェイスデータを作成する実験を行った。その結果を図4に示す。

ここでの分割方法は、マスターモデルの形状に合わせて主に平面、曲面、エッジ部に分けて個別にサーフェイスデータを作成した。この方法によると、拡大図でわかるようにエッジ部がシャープに表現されている。しかし、この方法では、目視で形状の分割部分を決定するため、形状がより細かい模様になると特徴的な形状に合わせた分割が困難になる等の欠点がある。

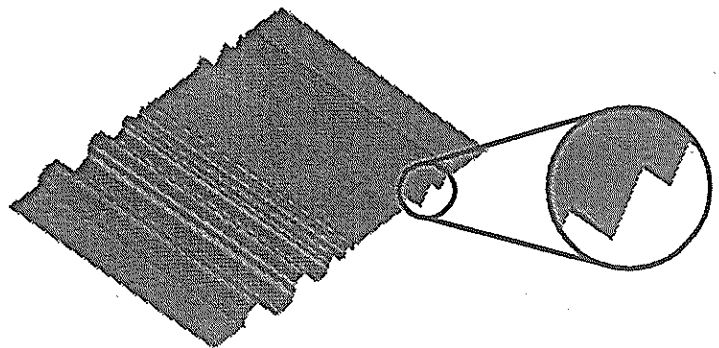


図4 形状に合わせて分割作成したサーフェイスデータとエッジ部

### ③スプライン曲線からの作成

得られた点群データからスプライン曲線を作成し、その曲線を基にしてサーフェイスデータを作成する方法を試みた。スプラインとは点と点を結んだ曲線のことである。この方法は特徴的な点群から1本~数本のスプライン曲線を作成し、この曲線を基に、多くのCADに実装されているスイープやブレンド<sup>2)</sup>といった機能を利用してサーフェイスデータを作成する方法である。今回のマスターモデルでは、X方向のみに特徴があるためその方向に沿ってスプライン曲線を作成(図5)し、その曲線をY方向にスイープ機能で作成した。その結果を図6に示す。この方法でも点群の形状をよく表現できているが、特徴的な点群の抽出は目視に頼らざるを得ないため形状に合わせた分割作成方法と同様に特徴形状の抽出が困難等の欠点がある。

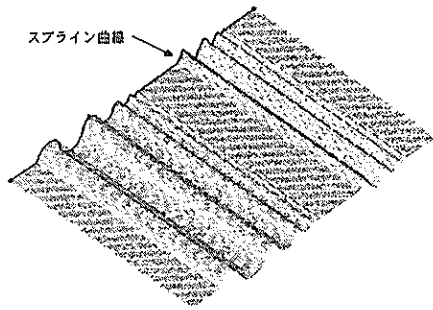


図5 点群から作成したスプライン曲線

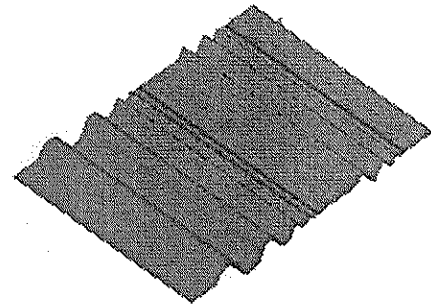


図6 スプライン曲線から作成した  
サーフェイスデータ

#### ④サーフェイスデータと点群データの平均誤差

次に、上述の方法で作成した各サーフェイスデータの精度評価として、3次元点群データとサーフェイス法線方向の距離で比較したグラフを図7に示す。得られた3次元点群データの形状に合わせて作成の方が誤差0.028mmと最も低く、続いて最小二乗法を利用した作成で約0.036mm、スプラインから作成で約0.041mmの順となっている。ここで注目すべきことはどの作成方法においても点群データとの誤差は0.05mm以内に収まっており、実際の金型加工における工具径を考慮すると、本研究におけるサーフェイスデータとして必要な精度を保っているものと思われる。以上のことから、作成時間の早さや作業手順の容易さから考えると作成方法は最小二乗法を利用した作成方法が最も適しているものと考えられる。

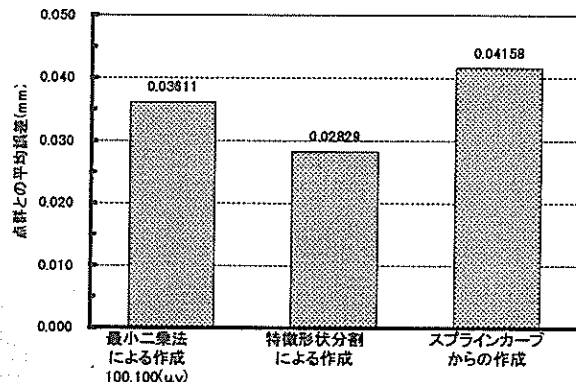
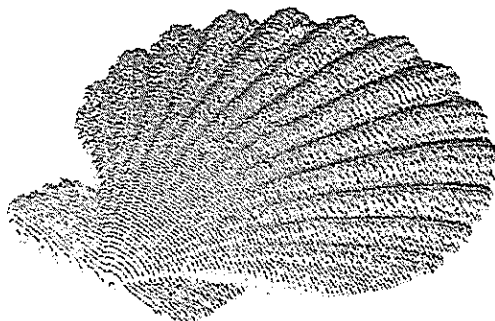


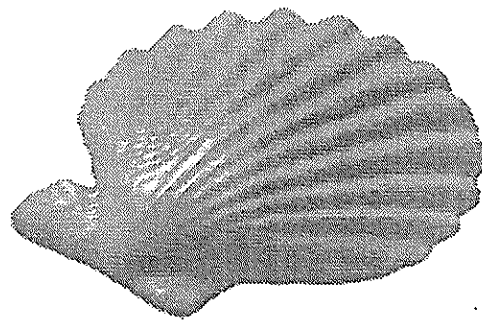
図7 サーフェイスデータと点群データの平均誤差

#### ⑤模様サンプルデータの適用例

最小二乗法を利用したサーフェイスデータ作成方法を、幾つかの模様の実体モデルへ適用した例を図8に示す。

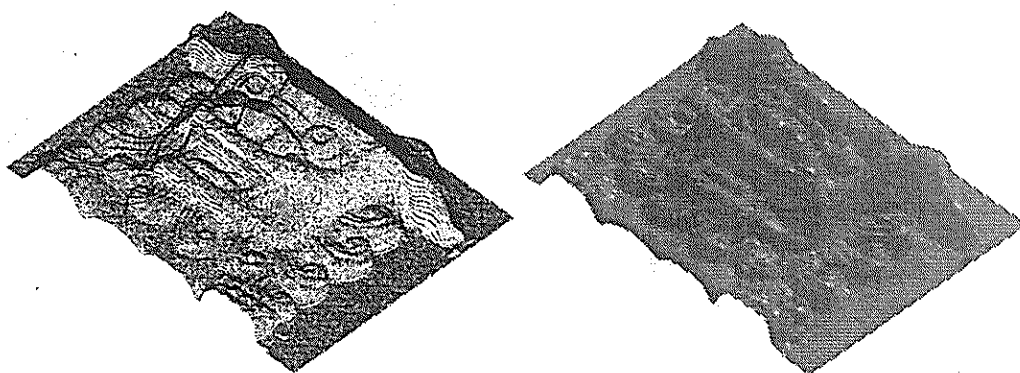


3次元点群データ



サーフェイスデータ

(a) 貝殻模様 (実態モデル寸法: 50×50×10mm)



3次元点群データ                      サーフェイスデータ  
 (b) シーサー模様 (実態モデル寸法: 240×200×60mm)

図8 模様データへの適用例

### 3. 1. 2 基本形状データと模様データの重ね合わせ

本実験では多様なデザインを創生するためのサーフェイスデータの重ね合わせ編集方法について検討を行った。図9に重ね合わせ方法を示す。まず模様データの縁を貼付けたい基本形状データの曲面へ垂直投影し、曲面上に閉じた曲線を作成する。次にこの閉じた曲線内の曲面を切取る。最後に模様データの縁と切取った切口に新たな曲面を生成する。

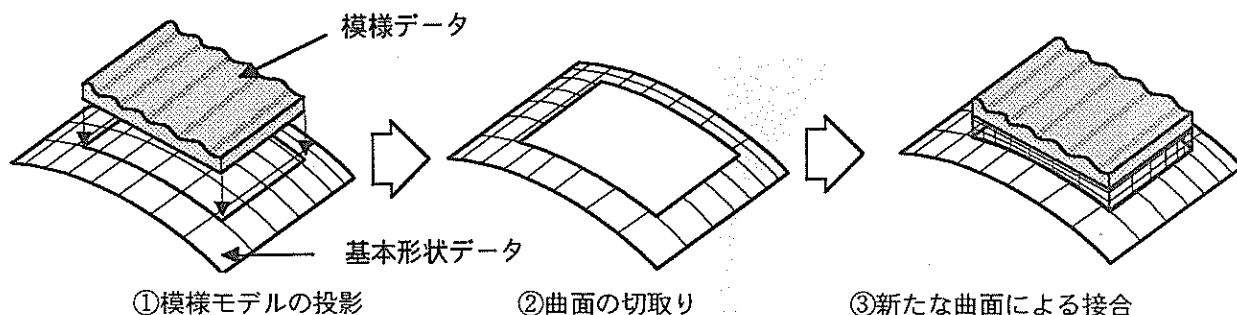


図9 重ね合わせ方法

上記の重ね合わせ方法を実際のデータに適用した結果を図10に示す。使用したデータは、貝殻の模様サーフェイスデータと、CADで作成したサーフェイスデータである。

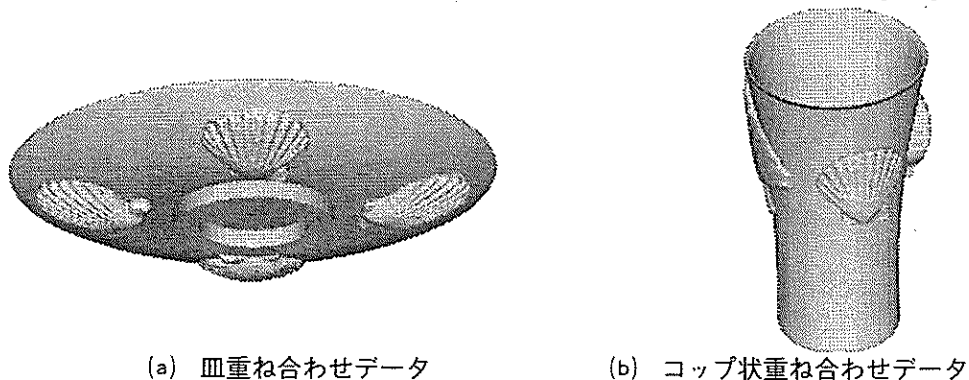
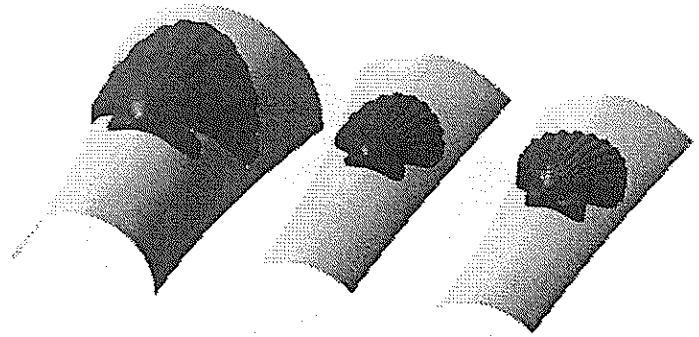


図10 サーフェイスデータの重ね合わせ

(a)は、CADで描いた皿状データの表側四方に貝殻のサーフェイスデータを変形させずに重ね合わせたものである。(b)も(a)と同様にCADで描いたコップ状データの表面に沿って貝殻のデー

タを重ね合わせたものであるが、表面の形状に沿って模様データを変形させている。さらに(b)に関してサーフェイス重ね合わせ部の貝殻模様データの変形状態の詳細を図11に示す。この図から曲面に沿って十分に变形できていることが分かる。当然、重ね合わせデータは反転することによって金型加工用データとしてCAMに渡すことも可能である。



変形大                  変形小                  変形なし

図11 貝殻模様データの变形状態

### 3. 2 加工情報の作成

#### 3. 2. 1 シミュレーション方法

前節で編集したサーフェイスデータを基に、図12に示す金型ソリッドモデルを作成した。このような3次元形状モデルからツールパスを生成するには、図13に示すようにモデルの曲線ジオメトリを、小さな直線増分で区切り、近似する必要がある。通常ツールパスの直線経路が、曲線ジオメトリから離反する許容最大距離を、単純に小さくすることで、切削精度を高めることができる。しかし、今回はこの値を固定し、切削方法とツールの走査タイプの組み合わせを変えて、切削残量や加工時間の違いを調べることにした。

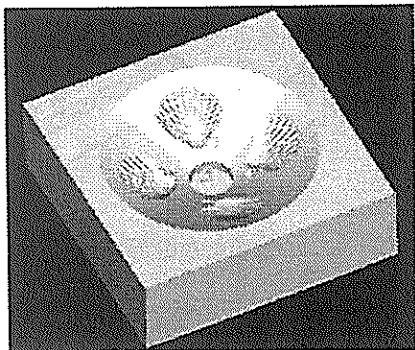


図12 金型ソリッドモデル

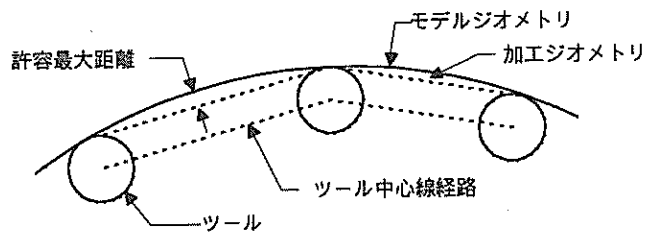


図13 ツールパス生成

図14にシミュレーションで検討したツールの走査タイプを示す。引き上げタイプでは、ツールが連続したボリュームを加工し、切削時の障害物となる“島”に遭遇すると引きあがるパスを作成する。迂回タイプでは、ツールが島に遭遇した場合でも、迂回して連続的に加工を続けるパスを作成し、スパイラルタイプでは渦巻き状のパスを作成する。また、一方向タイプは、ツールが一方向のみにカットを行い、各カット走査の終わりでツールを引き上げ、ワークの反対側に戻り、再び同じ方向で次のカットを始めるタイプである。

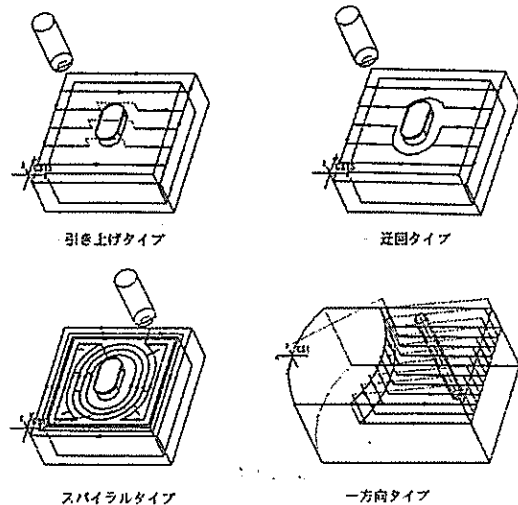


図14 ツール走査タイプ

加工シミュレーションの内容を表1に示す。最初の①面出加工の切削方法はフェイスミリングである。これは、ワークの上面を削り、面出しを行う加工である。フェイスミリングは加工が単純で、加工時間全体に占める割合も小さいことから、ツールの走査タイプを引き上げタイプに固定することにした。次に②荒削り加工のボリュームミリングでは、必要な切削部のほとんどを取り除く加工を行う。この切削方法には、表中に示した4種類のツール走査タイプを試すことにした。③荒削り加工のローカルミリングでは、ボリュームミリングでの切削残りを取り除くため、ツール径を小さくして加工を行う。この場合のツールの走査タイプはスパイラルのみとした。④仕上げ加工の切削方法としては、プロフィールミリングと等高線ミリングの両方を試みた。プロフィールミリングのツール走査タイプは、この切削方法の特性上、スパイラルのみしか試みることができなかった。また、等高線ミリングにおいては表中の3種類のツール走査タイプを用いてシミュレーションを行った。

表1 加工方法

加工順番	NCシーケンス	走査タイプ	ツール
① 面出し加工	フェイスミリング	引き上げ	フラットエンドミル φ20
② 荒削り加工	ボリュームミリング	引き上げ	フラットエンドミル φ20
		逆回 スパイラル 一方向	
③ 荒削り加工	ローカルミリング	スパイラル	ボールエンドミル φ5
④ 仕上げ加工	プロフィールミリング	スパイラル	ボールエンドミル φ1
	等高線ミリング	引き上げ スパイラル 一方向	

### 3. 2. 2 切削シミュレーション結果

図15に計算されたツールパスの例を示す。これは、④仕上げ加工の等高線ミリングとスパイラル走査の組み合わせにおけるツールパスの例である。図16には切削シミュレーションを行った例を示す。図中の濃灰色と淡灰色の領域は、それぞれ切削完了部と未切削部を表している。このように切削シミュレーションではツールの動きや切削残量を視覚的に把握することができるので、ガウジングなどの切削ミスチェックも容易である。また、固定治具や使用する工作機械のモデリングを行えば、ツールとの干渉チェックにも利用することができる。

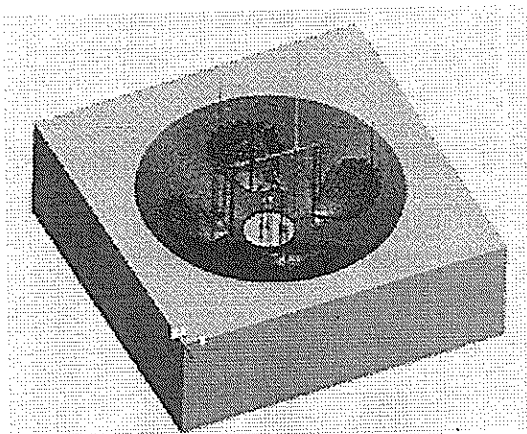


図15 ツールパスの例  
(仕上げ加工等高線ミリング  
+スパイラル走査タイプ)

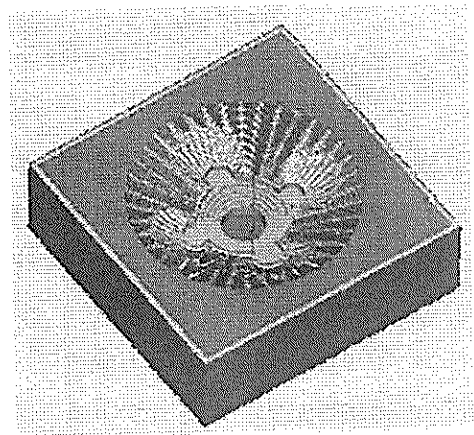


図16 切削シミュレーションの例  
(仕上げ加工等高線ミリング  
+スパイラル走査タイプ)

③荒加工であるポリウムミリングの、走査タイプ毎の加工時間の変化を、図17に示す。今回の金型モデルでは島が無いため、引き上げタイプと迂回タイプに顕著な差は見られなかった。また、スパイラルタイプの場合に、加工時間が最も短くなることが分かった。一方向タイプでの加工時間は、当初の予想通り他の3タイプに比べ、極端に長くなってしまった。

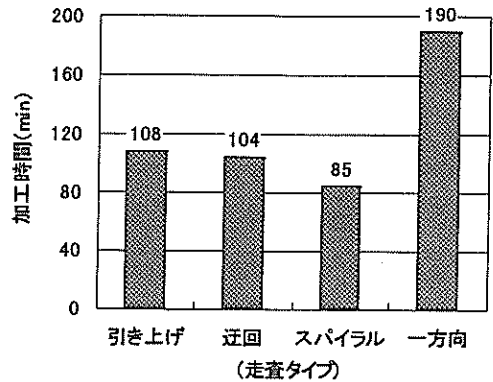
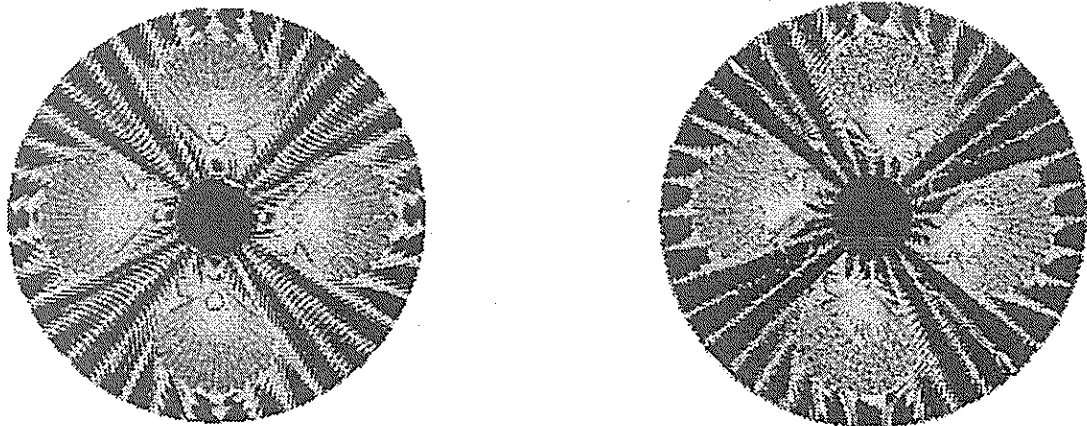


図17 加工時間 (ポリウムミリング)

図18に④仕上げ加工の切削シミュレーション結果を示す。切削方法にツールの走査タイプを組み合わせることで、淡灰色で示された未切削部が微妙に変化していることが分かる。ここでいう未切削部とは、切削シミュレーション終了後のデータと金型モデルのサーフェイスデータとの誤差が約0.05mm以上ある部分のことである。このように、未切削部は色の違いによってのみ表され、紙面垂直方向の大きさが確定できないため、正確な切削残量を求めることは困難である。そのため今回は、仕上げ加工後の切削シミュレーション図を用いて、濃灰色と淡灰色の面積比を求めて、便宜的に切削率を比較した。



(a) プロファイルミリング +スパイラル走査タイプ (切削率56.5%)  
 (b) 等高線ミリング +スパイラル走査タイプ (切削率63.0%)

図18 仕上げ加工後の切削シミュレーション図

各切削方法とツールの走査タイプを組み合わせ、加工時間と切削率を調べた。その結果を図19に示す。等高線ミリングはプロファイルミリングに比べて切削率の良いことが分かる。また、ツールの走査タイプを比較すると、ポリウムミリングの結果と同様に一方向タイプの加工時間が圧倒的に大きいことが分かった。等高線ミリングにおいては、ツールの走査タイプが変わっても切削率の変化はほとんど無いといえる。

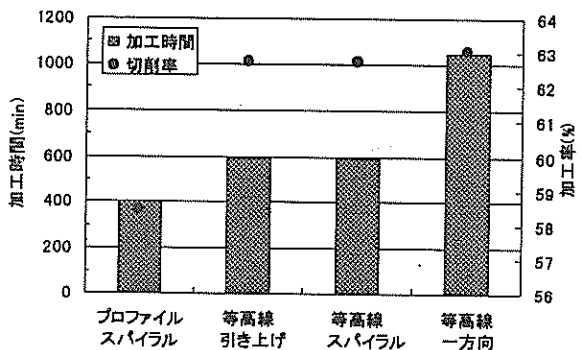


図19 加工時間と切削率



#### 4. 結 言

本研究では、非接触3次元形状測定によって得られた点群データを基に金型加工に必要なサーフェイスデータの作成と新たなデザイン創生のための編集方法について実験・検討を行った。さらに、創生されたデザインデータを基に、加工シミュレーションを利用した効率的な加工情報の作成について検討を行った。得られた結果は以下の通りである。

- ① 3次元点群データからサーフェイスを作成するには、最小二乗法による直接フィッティングが必要な精度を維持してガラス金型の曲面作成方法として適正であることを明らかにした。さらに、いくつかの複雑な模様をサーフェイス化して実用性の高い手法であることを明らかにした。
- ② 基本形状と模様サーフェイスの重ね合わせ手法として、貼付の相手曲面の曲率に関係なく貼付ける方法と曲率に合わせて貼付ける方法を検討し、その技術を確立した。
- ③ 作成されたサーフェイスを基に切削方法やツール走査を組み合わせる加工シミュレーションを行い、切削残量の面積を測定し、加工精度と加工時間を比較することで効率的加工方法の検討を行い、等高線ミリングとスパイラル走査加工が有効であることを明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 平成9年度「地域工芸品向けリバースエンジニアリングシステムの研究開発」成果報告書
- 2) 実践教育研究会, 実践3次元CAD/CAM応用編, 日刊工業新聞社(1989)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。