

# 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3報)

棚原靖 國吉和男 比嘉眞嗣  
花城可英 羽地龍志

## 1. はじめに

琉球ガラスの特徴は、色鮮やかな色彩と独特の琉球模様を配したそのデザインにあり、主に、観光土産品を宙吹きや型吹きなど手作りによって生産している。その一方で、贈答品や業務用食器としてのニーズも多数あるが、百個～数百個の注文となるため、生産に多大な時間を要し結果的にコスト高になってしまっているのが現状である。

このような背景から、本研究では琉球ガラス製品にプレス金型を利用して生産性の向上と短納期化を図ると共に、複雑な自由曲面を有する金型の製作にはリバースエンジニアリングシステムを適用することで、上述した百～数百個程度の中量製品の低コスト化を実現するため、自由曲面を有する工芸品の実体模型の3次元計測から情報編集を経て金型加工までの一連のシステム構築を目標に研究を行ってきた。

具体的には、平成9年度に、リバースエンジニアリングシステムのコアとなる非接触3次元測定技術による工芸品モデルのデジタル3次元情報化と既存3次元測定装置の特性を明らかにした。2年目に当たる平成10年度は、デジタル化された3次元情報(点群データ)から高効率、高精度なサーフェイスデータの作成方法の確立ならびに金型加工を行うための有効な編集方法を確立した。最終年度となる本年度は、上述した2年間の研究成果を受けて図1に示すように、CAD上で創成された新規琉球ガラス金型の高速・高精度加工技術と迅速な精度評価およびデータのフィードバック技術の確立を目標に実験を行った。

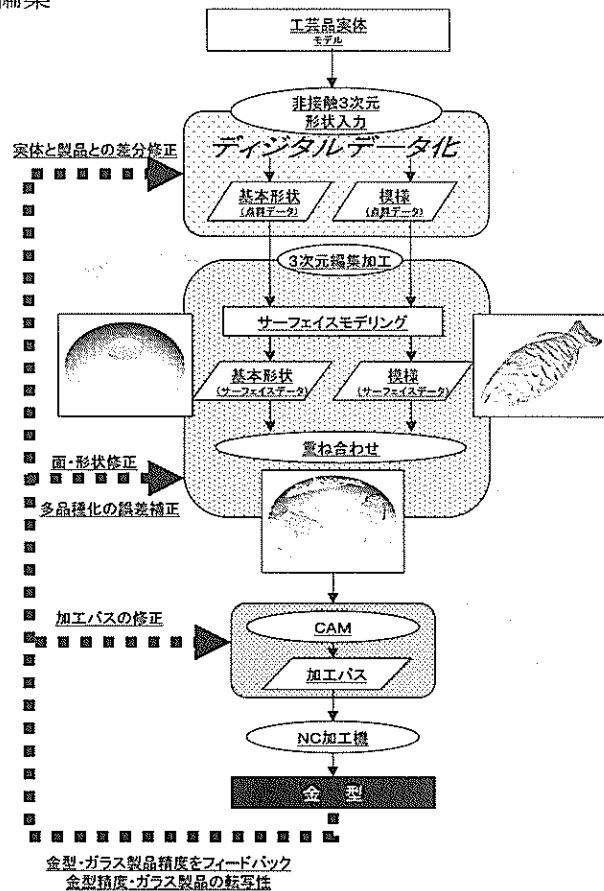


図1 研究開発フロー

## 2. 実験方法および実験材料

昨年度確立したサーフェイスデータの編集方法<sup>1)</sup>により、CAD上で創成された新規琉球ガラスデザイン金型の高速加工実験と加工精度を評価するため、琉球模様を想定した標準モデルをCADで作成し実験を行った。

### 2.1. 模様標準モデル

本実験では、加工した金型の精度評価に重点を置き寸法精度を算出しやすいモデルを琉球模様データと想定し、半球、半円錐、四角柱、三角柱の4種類の形状（表1参照）を組合わせた模様モデルを作成した。なおそれぞれの結合面には自由曲面を想定して、フィレット面を作成した。図2に幾何学形状を、図3に作成した模様標準モデルを示す。

表 1 幾何学的形状の寸法値

半 球	半径10mm
半円錐	テーパ角30°
四角柱	一辺の長さ7.5mm
三角柱	角度60°

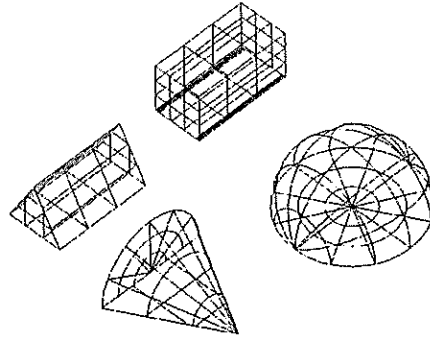


図 2 幾何学的形状データ

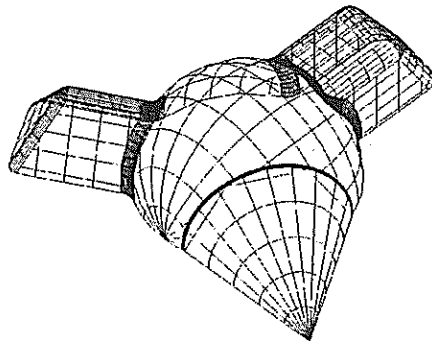


図 3 幾何学的形状を組み合わせた模様標準モデル

### 2.2. 加工実験用金型データ

加工実験用モデルとして2.1で作成した模様標準モデルとメダル状の基本的な形状とをCAD上で重合わせ編集を行った。その形状を図4に示す。また、重合させたデータをミラー反転させることによって作成した加工パス計算用の金型データを図5に示す。

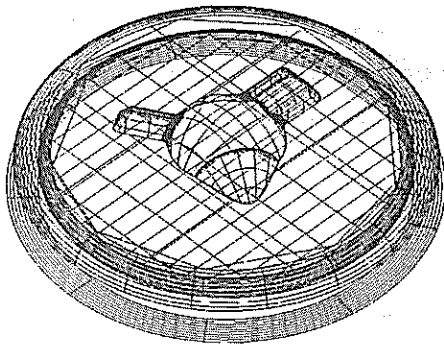


図 4 重合させた新規琉球デザイン

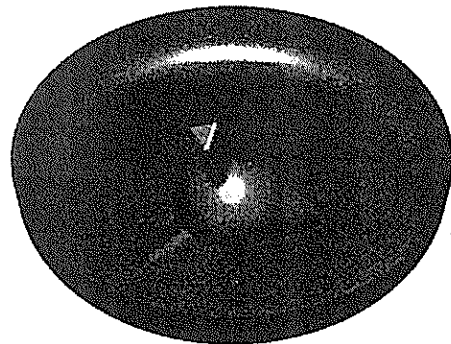


図 5 加工パス計算用金型データ

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1. 新規琉球デザイン金型の高速切削加工

表2に加工条件を示す。なお、仕上げ加工における半径方向の切込み量 (pf:ピックフィード) は、仕上面粗さを $1\mu\text{m}$ に設定し図6に示すような理論式より算出した。高速加切削工実験には、松浦機械製作所製立型マシニングセンタFX-1 (最高主軸回転数:  $30,000\text{min}^{-1}$ 、最大テーブル送り:  $10,000\text{mm}/\text{min}$ ) を使用した。表に加工条件を、図7に加工した金型を示す。

表2 加工条件

	荒取り加工条件	仕上げ加工条件①	仕上げ加工条件②
使用工具	R3超硬ホールエントミル	R1超硬ホールエントミル	R0.5超硬ホールエントミル
主軸回転数	$15,000\text{min}^{-1}$	$23,500\text{min}^{-1}$	$30,000\text{min}^{-1}$
送り	$4800\text{mm}/\text{min}$	$7050\text{mm}/\text{min}$	$8000\text{mm}/\text{min}$
切込み量	0.5mm	0.089mm	0.06mm
加工方法	等高線ダウンカット	等高線ダウンカット	走査線ダウンカット
クーラント	乾式 (エアクーラント)	乾式 (エアクーラント)	乾式 (エアクーラント)
加工時間	約28分	約6分	約2分

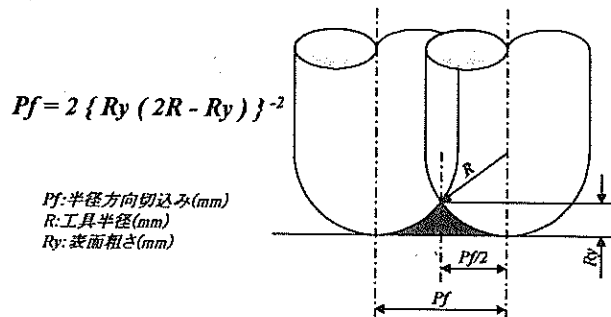


図6 表面粗さと切込み量の関係

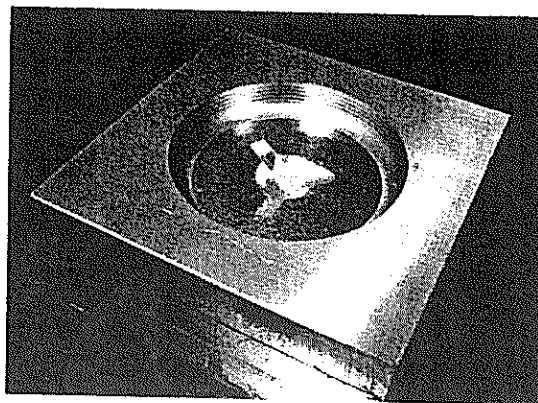


図7 金型

ワーク寸法:  $W100 \times L100 \times H50\text{mm}$  被削材: FC250

トータル加工時間: 約36分

#### 3.2. 加工精度と差分情報のフィードバック

加工した金型の3次元形状測定には、非接触3次元測定装置 (MurcuryJ1: 榊マツオ製) を用い、測定を行った。得られた3次元点群データとCADデータの差分情報を算出し、加工精度の指

針とした。表3に測定条件を図8に点群データを示す。

測定方法	3角測量法 <sup>2)</sup>
測定方向	X-Y方向
測定ピッチ	0.1mm
測定速度	940mm/min

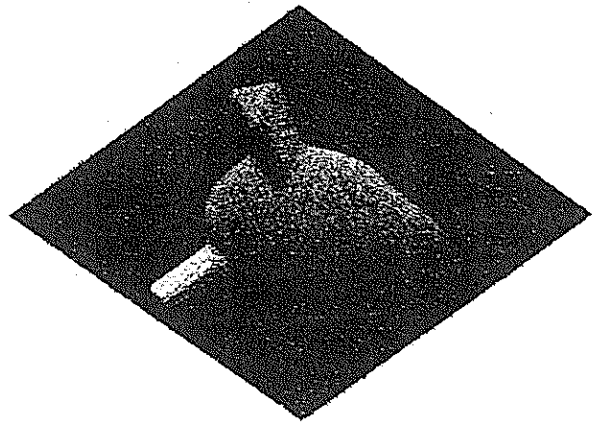


図8 金型の3次元測定点群データ (417,489point)

測定した金型の点群データから、高精度に加工精度を評価するにはCADデータの位置あわせが最も重要となるため、位置あわせに最小二乗法を適用し差分情報の算出を行った。位置あわせを行った結果を図9に示す。

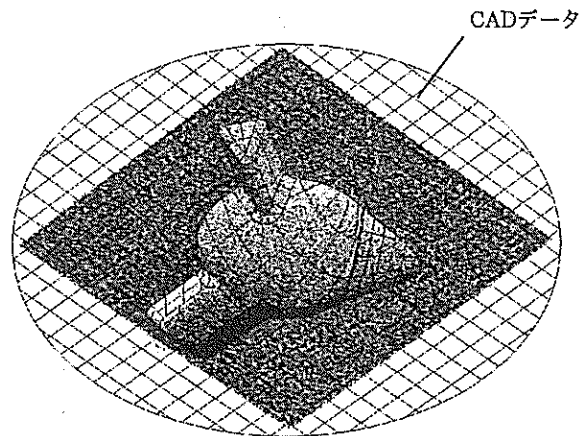


図9 金型点群データとCADデータの位置合わせ結果

図10に金型形状の点群データとCAD上の模様標準モデルの法線方向の誤差プロット図を示す。この図から半球、半円錐部がCADデータと比較して $\pm 0.04\text{mm}$ 程度の誤差であることが分かる。ここで、本図は印刷の都合上、白黒で表示されているため食込み部（一方向）や削残し部（+方向）を区別することはできないが、実際にはカラー表示されるためこれらを区別することが可能である。そこでカラー表示を前提に考察すると、三角柱部は最大で約 $0.2\text{mm}$ の食込みが生じている。また、四角柱部の側面に約 $0.2\text{mm}$ の削残しが見られるが、これは測定点の少なさに起因していると考えられ、実際の形状とは若干異なる。

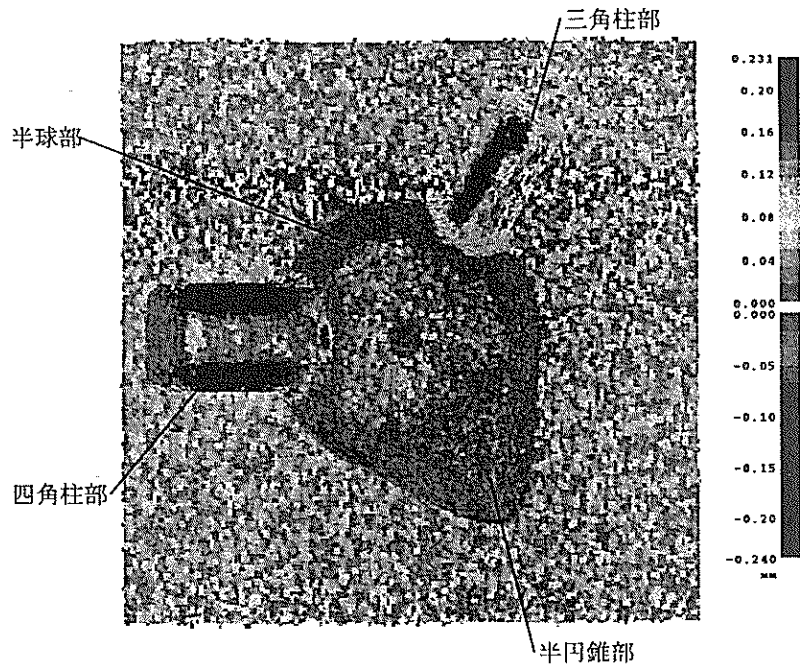


図10 金型の測定点群データとCADデータの比較

次に半円錐部、三角柱部、四角柱部それぞれについて断面の誤差を比較したものを図11に示す。

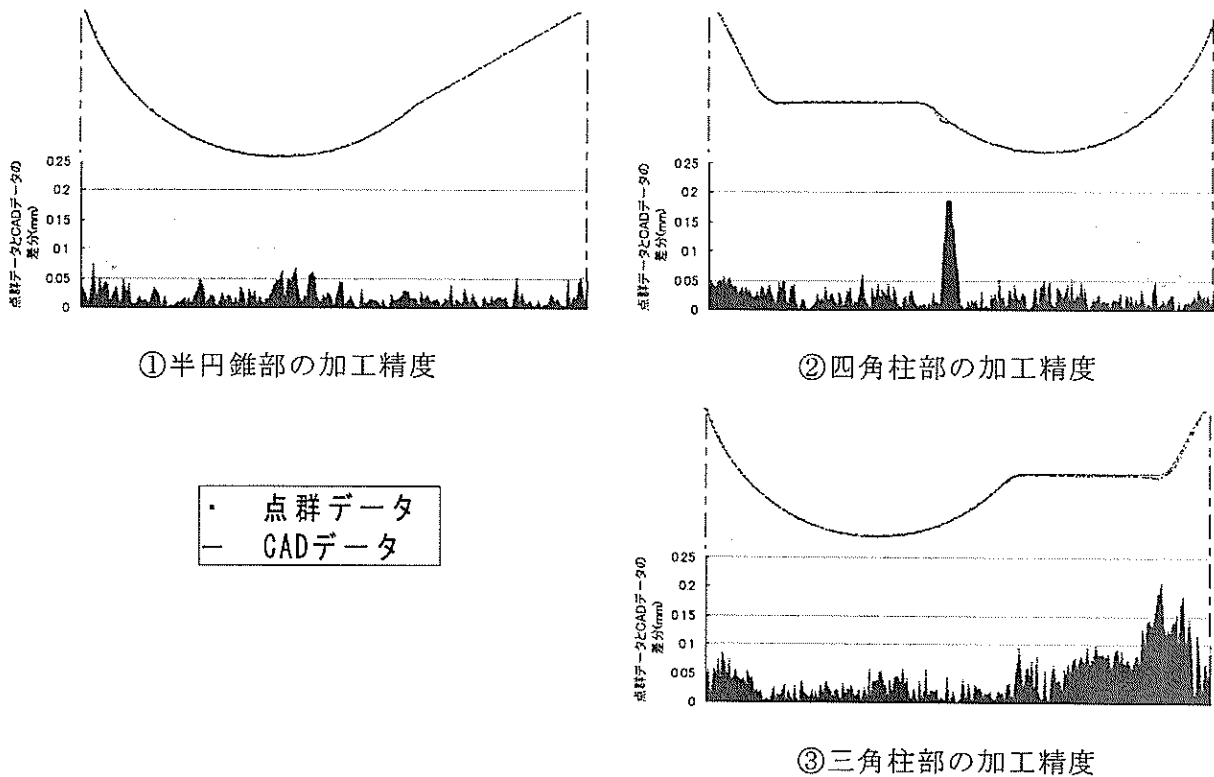


図11 加工精度

結果より、三角柱部の断面形状において、三角柱の角付近で約0.2mmの誤差が生じている。また、この誤差はCADデータよりも下方にあることからワークへの食込みが発生している。

この様に、加工した金型の3次元点群データを収集することにより、部分的なCADデータとの差分情報の算出等、より細かな加工精度の測定が可能となった。また、算出した差分情報は、修正加工パスを創成する際に曲面のオフセット量としてフィードバックすることでより目標形状に近い金型の加工が可能となる。

#### 4. おわりに

本研究では、自由曲面を有する工芸品の実体模型の3次元測定から情報編集を経て金型加工までの一連のシステム構築を行って研究を進めてきた。平成9年度に自由曲面の測定に適した非接触3次元情報の入力技術を確立し、平成10年度には金型加工に向けた効率的な情報編集技術の確立を行った。

最終年度となる、平成11年度では下記に要約するように、琉球ガラスプレス成型用金型の高速切削加工技術の確立および加工精度の評価と差分情報のフィードバックシステムの構築を行った結果、以下の結論を得た。

- ①作成した新規琉球デザインを高速に切削加工するシステムを構築した。
- ②加工した金型を非接触3次元測定装置により測定して点群データを収集することで金型の点群データからより高精度にCAD上の琉球デザインデータとの差分情報を算出し、フィードバックして加工精度を高めることが可能となった。

#### 参考文献

- 1) 棚原靖、泉川達哉、國吉和男、比嘉眞嗣、花城可英；沖縄県工業技術センター報告 第1号、pp93、1998
- 2) 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

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

TEL (098)929-0111

FAX (098)929-0115

URL : <http://www.pref.okinawa.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。