

# 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1報)

## — 非接触3次元入力技術の研究 —

機械金属室 棚原 靖  
比嘉 眞嗣  
国吉 和男

### 1. 緒言

工芸品は意匠性の強い多様な自由曲面形状を有した製品が多く、使われる金型は工業製品の金型に比べて図面を使って表現することが困難で、実モデルから転写することで金型を加工せざるを得ない場合が多い。琉球ガラスに代表される県内の工芸品もほとんど図面のないデザインと模型が製品のスタートで、実モデルから3次元加工情報を得ることは重要な行程である。

本研究は図1に示すように、①3次元情報の収集 ②金型加工 ③プレス成形加工 ④成型品と実体モデルとの検証を含めたリバースエンジニアリングシステムの構築を目的とし、ローコスト金型による工芸ガラス製品成形技術の確立を目指している。

現在実モデルを測定するには接触式プローブによる3次元微い測定が主に用いられているが、測定物の表面状態が柔らかいゴムや粘土、木、石膏などの場合の歪みの問題、また傾斜角の違いによる測定精度の問題、さらに測定時間がかかりすぎる問題、プローブ径による測定の限界等に問題がある<sup>1)</sup>。これに対し、レーザ光はプローブ径と測定圧をゼロと考えることができるため、これを利用した非接触3次元入力方式が近年注目されている。

そこで本報では、木や石膏、ゴム、粘土等の自由曲面を持つ実モデルから3次元情報を接触、非接触で収集する技術の開発を目指して、実験・検討を行った結果について報告する。

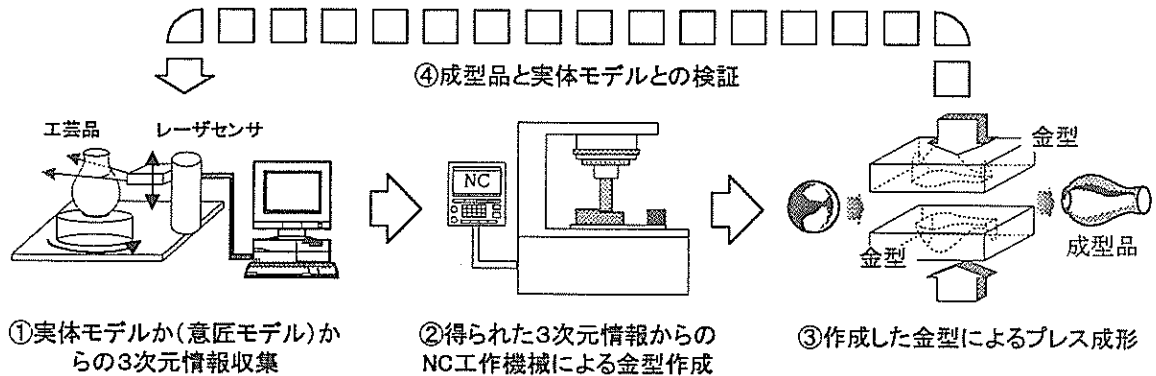


図1 地域工芸品向けリバースエンジニアリングシステムの研究開発概念図

### 2. 実験方法および実験条件

本実験では、得られた形状データの測定精度の評価を行うため、図2に示すような形状の試験片を作成した。本形状は測定精度の評価を主体に考え、複雑な曲面形状は避け、より基本的な形状を組み合わせ、表面にはレーザによる測定が行いやすいようグレーの艶消しペイントを施した。また、基準となる標準模

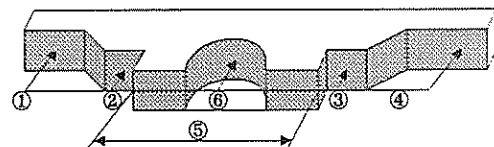


図2 標準試験片形状

表1 標準試験片寸法

①	②	③	④	⑤	⑥
32.97	12.9915	12.9745	32.9085	92.005	49.94

単位: mm

型の寸法測定には3次元測定機を用いポイント計測による測定を行った。その寸法値を表1に示す。上記の標準試験片に対してプローブを用いた接触測定実験、さらにレーザ光を利用した面測定方式<sup>2)</sup>及び点測定方式<sup>3)</sup>の両非接触測定実験を行い、得られた3次元形状データのCADへの入力実験を行った。また、得られた形状データの実体モデルのトレース度(測定精度)を主体に測定時間や効率的測定方法、また情報を得にくい場合の改善策等について検討を行った。

### 3. 実験結果

#### 3.1 プローブによる3次元接触測定の精度と時間

3次元測定機(SUPER FN905)を用いた接触式測定で、倅い測定と点測定の差の評価を行った。得られた形状データは、プローブ径に影響されるため、径を3mm、4mm、5mmの3種類を用いて実験を行った。

測定条件は、測定面積10mm×220mm、測定ピッチ1mmで、倅い測定プログラムによって行った。なお測定に要した時間は、約24分であった。

測定したデータは、CAD/CAMの一般的ファイル形式であるIGESファイルに変換し、CAD/CAMシステム(日立造船情報システムGRADE/CUBE)へ転送した。

CAD上に表示された接触式測定による形状データを図3に示す。全体の形状はプローブの径にあまり左右されず、抽出されているのがわかる。

図4は各プローブ( $\phi 3$ 、 $\phi 4$ 、 $\phi 5$ )で測定した1ラインの点群データを、形状を把握しやすくするためスプラインで結んだものである。この図から負のコーナー部の形状が正確に抽出されおらず、プローブの径が大きくなるに従い、負のコーナー部の情報が欠落しているのがわかる。

接触式3次元測定機(SUPER FN905)で倅い測定した値から算出した寸法を表2に示す。

①～⑥は図2の形状及び寸法に対応している。各プローブ径とも誤差は約4/100～6/100mm程度であり、高い精度を示している。ここで、本来ならば、標準模型の寸法も同3次元測定機(SUPER FN905)を用いて測定しているため、誤差は生じないはずがあるが、倅い測定ではポイント測定とは異なり駆動機構も有しているため、ここでの誤差は、その駆動によるものと考えられる。

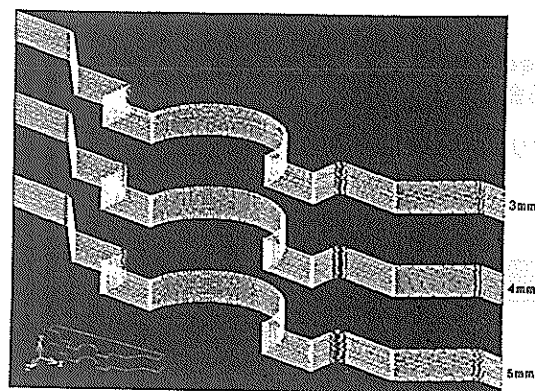


図3 接触式3次元測定による標準模型の形状データ

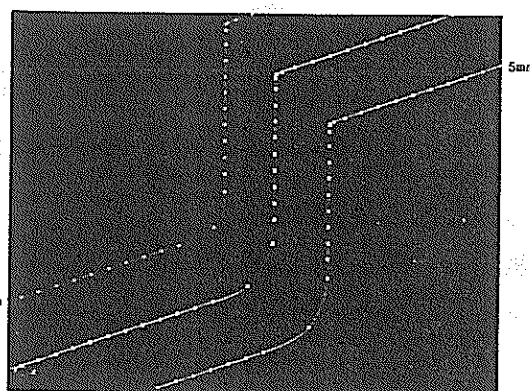


図4 標準模型の負のコーナー部の形状データ

表2 3次元測定機(SUPER FN905)による標準模型の微い接触測定寸法と誤差

a) 測定寸法

		①	②	③	④	⑤	⑥
測定子	3mm	32.9526	12.9788	13.0227	32.9589	91.9853	49.8914
	4mm	32.9529	12.9854	13.0147	32.9698	91.9832	49.8583
直径	5mm	32.9543	12.9786	13.0428	32.9523	91.9696	49.89047

b) 測定誤差値(絶対値)

測定子	3mm	0.0174	0.0127	0.0482	0.0504	0.0197	0.0486
	4mm	0.0171	0.0061	0.0402	0.0613	0.0218	0.0817
直径	5mm	0.0157	0.0129	0.0683	0.0438	0.0354	0.04953

単位:mm

3.2 レーザ(面測定方式)による非接触測定 of 精度と時間

非接触による面測定方式(VIVID700)では、計測部が固定で、一切断面200ポイントで200切断面を測定するので200×200ポイントを測定する。寸法精度の比較パラメーターとして、測定物との距離(焦点距離)による影響が大きいと考え、距離を600mm、900mm、1200mmと変化させて実験を行った。さらにレーザ強度を変化させた測定も行った。

測定条件は、装置上、視野面積にほとんど左右されないため、視野面積24mm×24mmで行った。測定に要した時間は、約0.6秒である。

①測定距離の違いによる測定

図5は、上から600mm、900mm、1200mmの順に測定距離を変化させ測定を行ったものである。(図で示されている点と点を結ぶラインはポリゴンメッシュである。)明らかに測定距離が長くなるに従い、メッシュ間隔が広がっていることがわかる。表3にそれぞれのピッチ間隔を示す。

今回実験に用いた光切断方式では、1ライン毎のレーザ光は測定レーザロを中心放射状に広がっているため、当然、測定物の距離が離れるほど測定点のピッチ間隔は広がる。

図6は測定距離900mm、における視野面積の違いを見たものである。この図から、視野面積を小さくすると形状データの補間が可能であるが、測定距離が長い場合正確なレーザの反射光を受光できないことが原因と思われる細かな凹凸が表面に見られる。

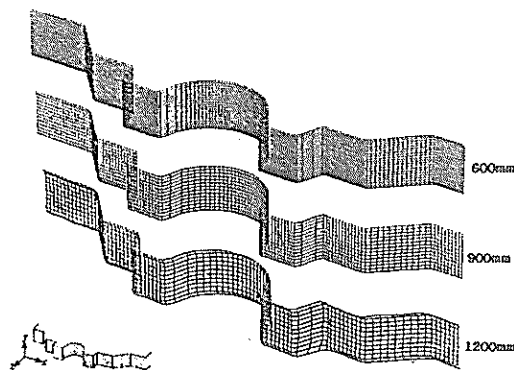


図5 非接触(面測定方式)測定による標準模型の形状データ

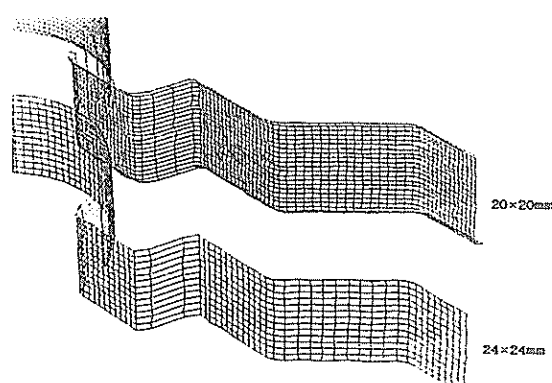


図6 視野面積の違いによる標準模型の形状データ

表3 測定距離を変化させて測定した場合のピッチ間隔

	600mm	900mm	1200mm
ピッチ間隔	1.11×1.11	1.6×1.59	2.14×2.13

単位:mm

次に、図7に各焦点距離で測定した形状の断面を示す。すべての焦点距離で矢印で示す部分即ち本来垂直面である形状が傾斜面として測定されており、正確に測定されていないことがわかる。

これは、測定物とレーザ照射部及びカメラ部との角度、若しくは底面へのレーザ反射光が側面部へ再反射し、その結果正確な距離情報としてCCDカメラへ受光されなかったものと考えられる。

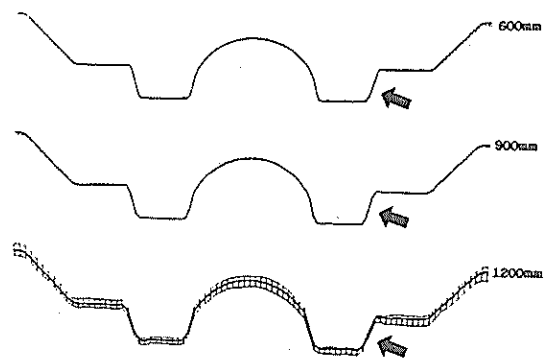


図7 各測定距離における形状データ

図8は、測定距離600mmにおいて得られたエッジ部の拡大図である。この図からわかるように標準模型が持つエッジ部が損なわれており、正確な形状データが得られていない。これは、面測定方式が、1ライン毎のレーザ光の測定点数が決まっているため（1ライン当たり200点）、レーザのスポット光がエッジ部に照射されない限り、正確な測定は不可能であると思われる。

そこで、視野面積を小さくし、エッジ部付近に照射されるレーザスポット光を増やすことで、エッジ部抽出の改善が図れるものと考え、視野を変化させた測定実験を行った。その結果を図9に、表4にそのときのピッチ間隔を示す。上から30mm×30mm、24mm×24mm、15mm×15mm、6.5mm×6.5mmと測定できる視野は小さくなるが、反対にメッシュ間隔は狭くなっており、エッジ部がよりシャープに抽出されているのがわかる。このことから、同じ測定物において、部分的に視野を変えて測定を行い、後でデータをつなぎ合わせることでより正確なデータを抽出することが可能になると考えられる。

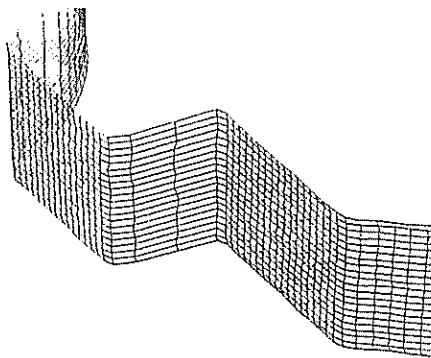


図8 エッジ部形状データの拡大図

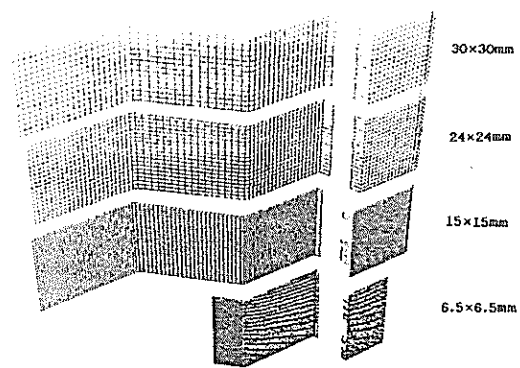


図9 視野面積の違いにおけるエッジ部の形状データ

表4 視野面積を変化させて測定した場合のピッチ間隔

600mm	1倍	2倍	4倍	8倍
ピッチ間隔	1.35×1.35	1.13×1.12	0.75×0.75	0.33×0.33

単位:mm

②レーザ強度の違いによる測定

図10は測定距離600mmにおけるレーザ強度の違いによる形状データを示している。上からレーザ強度5, 10, 20, 30, 50, 100の順であるが、レーザ強度を上げるに従い、欠落データが少なくなっていく（補間されている）のがわかる。これは測定物の形状に対応してレーザ強度を選択することで、より効率よく形状データを抽出することが可能になることを示している。

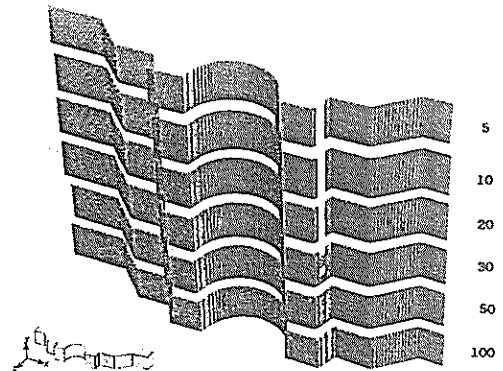


図10 レーザー強度の違いによる標準模型の形状データ（測定距離：600mm）

次にVIVID700で測定した標準模型の寸法を表5に示す。①～⑥は図2の形状及び寸法に対応している。ここで⑤は、前述のメッシュ測定の欠点から正確な形状データが得られていないため省略した。表より、600mmでは0.3～1.5mm、900mmでは、0.3～2.6mm、1200mmでは、0.3～2.8mmと測定距離が大きくなるに従い、誤差が大きくなっているのがわかる。

表5 レーザ(面測定方式)による標準模型の非接触測定値寸法と誤差

a) 測定寸法

		①	②	③	④	⑤	⑥
測定距離	600mm	32.69	12.79	12.28	31.46	-	49.16147
	900mm	32.25	12.74	10.81	30.66	-	47.40607
	1200mm	33.45	13.31	11.15	30.13	-	47.24653

b) 測定誤差値(絶対値)

測定距離	600mm	0.28	0.2015	0.6945	1.4485	-	0.77853
	900mm	0.72	0.2515	2.1645	2.2485	-	2.53393
	1200mm	0.48	0.3185	1.8245	2.7785	-	2.69347

単位:mm

3.3 レーザ(点測定方式)による非接触測定の精度と時間

点測定方式(Mercury J1)では、寸法精度の比較パラメータとして、測定速度を変化させた実験を行った。

測定条件は、測定面積10mm×200mm、Y軸方向測定ピッチ1mmで、X軸方向へスキャンしながら測定を行った。各測定速度における測定時間は、250mm/minで約10min、500mm/minで約6min、1000mm/minで約3.5minであった。

三角測量入力方式であるMercuryは、1秒間に660ポイントを測定するので、本実験の測定条件の1ライン上のポイント間隔は、計算すると250mm/minでスキャンした場合は0.006mm、500mm/minで0.013mm、1000mm/minでは0.025mmということになる。いずれにしてもX軸方向のピッチ間隔は0.025～0.006mmと非常に小さく、エッジ部などの形状もより忠実に測定することが可能である。

図11は上から測定速度250、500、1000mm/minで測定を行った結果である。この図からは、明らかな測定速度の影響は見られず、どの条件下でも標準模型の形状をよく抽出しているのがわかる。

本レーザによる形状入力法では、点群データの中にスパイクと称するノイズが混入してしまう。従ってこの特異データを取り除き、スムージングによってCAD/CAMで扱いやすいデータに処理する必要がある。そこで、処理前の生形状データの拡大図を図12に、処理後の拡大図を図13に示す。これらの図から生データには存在している微細な凹凸が、スパイクデータカット処理+スムージング処理によって平滑化されているのがわかる。

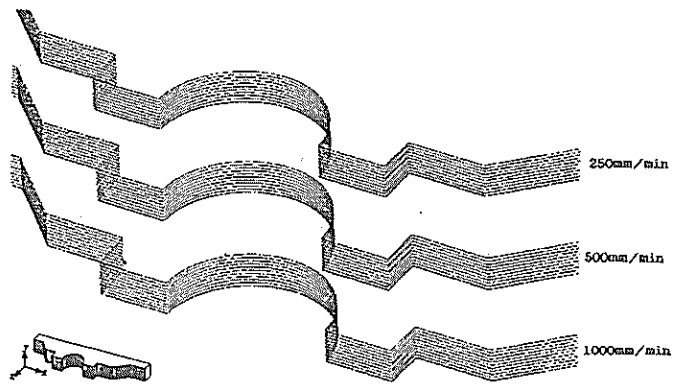


図11 非接触（点測定方式）測定による標準模型の形状データ

ただし、スムージング処理は、処理回数が多すぎると本来の形状データを損なう恐れがあるため、測定物の形状に応じた処理回数の設定が必要となる。

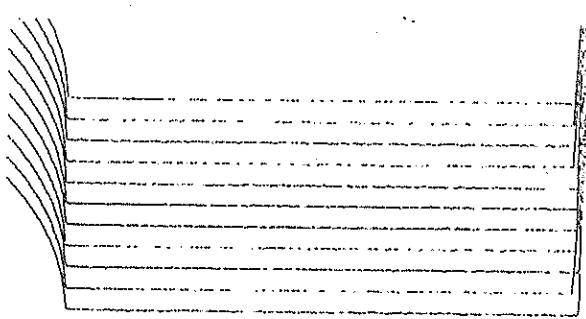


図12 処理前の形状データ

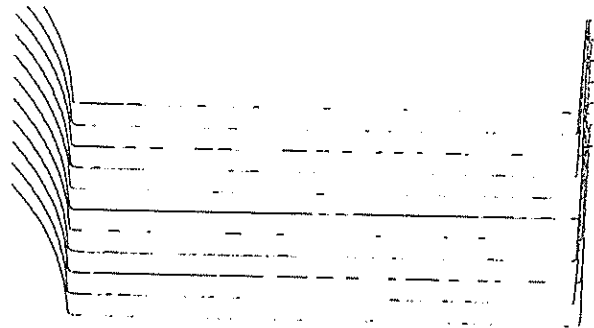


図13 処理後の形状データ  
(スパイクカット処理+スムージング処理)

次にMercury J1で測定した標準模型の寸法を表6に示す。①～⑥は図2の形状及び寸法に対応している。表から、測定速度による精度の差はほとんどなく、測定誤差は、0.005～0.2mm内で精度良く測れることがわかった。

表6 レーザ(点測定方式)による標準模型の非接触測定値寸法と誤差

a) 測定寸法

		①	②	③	④	⑤	⑥
測定速度	250mm/min	32.965	13.012	13.015	32.979	91.933	49.6908
	500mm/min	32.985	12.985	12.992	32.949	92.07	49.9414
	1000mm/min	32.97	13.001	13.012	32.965	92.07	49.7091

b) 測定誤差値(絶対値)

測定速度	250mm/min	0.005	0.0205	0.0405	0.0705	0.072	0.2492
	500mm/min	0.015	0.0065	0.0175	0.0405	0.065	0.0014
	1000mm/min	0	0.0095	0.0375	0.0565	0.065	0.2309

単位:mm

#### 4. 結 言

実体モデルの非接触3次元測定法の開発を目指して、接触式1種類、非接触式2種類の形状入力方法について、測定時間及び精度の比較検討を行った。また、正確な形状データ得るための改善方法についても実験検討を行った。装置の公称精度は接触式3次元測定は分解能が1/10000mm、光切断方式が1/100mm、三角測量方式が1/1000mmとなっている。ただし、分解能=寸法精度とはいえず実際には、標準模型の寸法との誤差値を比較すると接触式と点測定式とはほぼ変わらず、同程度の精度といえる。また測定時間の面から見ると光切断入力方式が圧倒的に早くわずかに約0.6秒であり、次いで同じレーザを用いた三角測量方式による時間は測定速度にもよるが数分、接触式3次元測定が約24分であった。

以上のような3種類の3次元形状入力測定の特徴をまとめると、以下の通りである。

接触式3次元測定：3種類のうちで最も高い測定精度を有するが、測定に多大な時間を要し、また測定物の材質（硬さ）に大きく左右される。負のコーナー部の形状を正確に測定することができない。

非接触レーザ面測定：測定時間が圧倒的に早く測定物の寸法に関わらず、200×200点の3次元情報をわずかに約0.6秒で測定する。エッジ部など固定的メッシュのためにの正確に読みとれない部分は、視野面積を狭くすることで補正することが可能である。また形状によって読みとれない部分はレーザ強度を上げて補間することが可能である。

しかし、測定精度は低く部分的には、1～2mmの誤差を生ずる場合がある。また、レーザ方向に平行な及び影の面を正確に入力することができない。さらに赤色レーザを使用しているため測定物の色にも限定があり、黒や赤及びガラスなどの透明なものは測定できない。

非接触レーザ点測定：測定時間は、1ライン1000mm/minの高速で測定が可能で200×30mmの模型だと数分で完了する。測定精度は、接触式とはほぼ同等の精度を有しているが、測定物の最大値は300×250×300mmと限定される。また、面測定方式と同様に測定物の色に限定がある。

#### 5. おわりに

本研究は、新エネルギー・産業技術総合機構(NEDO)の研究開発支援事業である地域コンソーシアム（地域共同研究体）研究開発制度に提案し、採択され実施しているものである。研究期間は3年間で、本報告は、初年度の研究成果報告の1部をまとめたものである。

#### 参考文献

- 1) 真下：曲面形状の計測技術向上に関する研究，平成2年度群馬県工業試験場年報，p116-p.121
- 2) 山口：表面形状の高速・高精度デジタル化，デジタル生産システム研究講演会資料，(1997)，p69-p75
- 3) 浅沼：3次元レーザデジタル化システムの特徴と応用，プラスチック，Vol.43-12(1992)，p.75-p.81

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。