

3次元CADによる 宝飾品デザイン・製造技術の高度化に関する研究

秋本 梨恵・中村 聖名・宮川 和博

Studies on the Improvement of Jewelry Design and Manufacturing Technology by 3D CAD

Rie AKIMOTO, Masana NAKAMURA and Kazuhiro MIYAGAWA

要 約

3次元CADを用いた宝飾品のデザイン、製造技術の向上を目指し、宝飾品に特有な形状のモデリングから3次元造形までの工程における形状の変化について検証を行った。宝飾品に特有な大小の曲面、爪、凹凸等の微小形状をサンプルに、CAD・CGソフトウェアによるモデリング～STLデータ変換～3次元造形の各工程での設定が、形状の変化や造形モデルの強度、面質に与える影響について検討を行った。その結果、STL変換時の推奨される設定方法、微小形状造形時の留意点、造形方向による強度・面質の違い等について明らかにした。

1. 緒 言

近年、県内の宝飾業界では熟達した職人の減少や、原型製作業務の効率化への要請、3次元ソフトウェアや造形装置の低価格化等を背景として、3次元CADによるモデリング～造形装置による原型製作が急速に普及している。一般的な工業製品の開発において主にラピッドプロトタイピングを目的に使用されている3次元積層造形装置を、宝飾品の製造においては原型の造形に使用する。このため3次元データの作成段階で、 casting や研磨等の後工程を考慮したデータ作成を行う必要があり、データや造形品の精度と面質が最終製品の品質を大きく左右する要素となる。また、3次元CADの急速な普及にともない、製造工程におけるCADデータの変換・受け渡しや、3次元積層造形のプロセスにおける形状変化等に起因するトラブルの増加が課題となっている。

本研究は、宝飾品形状のモデリング～データ変換方法、造形方法等を複数比較検討し、形状の変化や効率的なデータ作成方法、注意点などを明らかにすることにより3次元CADを用いた原型製作の高度化に資することを目的として実施した。3次元CADを用いた宝飾品の製造工程について概要を図1に示す。

2. 実験方法

2-1 検証用形状データのモデリング

図2に示す基本形状や宝飾品に特有な大小の曲面、爪、凹凸等の微小形状について、それぞれ形状の大きさや曲率を定義する数値を変化させた3次元モデルを作成した。

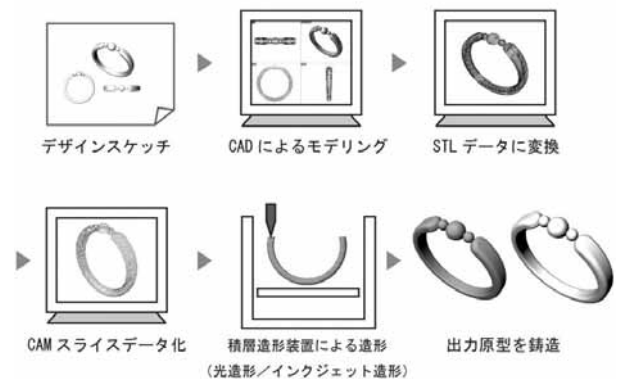


図1 3次元CADを用いた宝飾品の製造工程

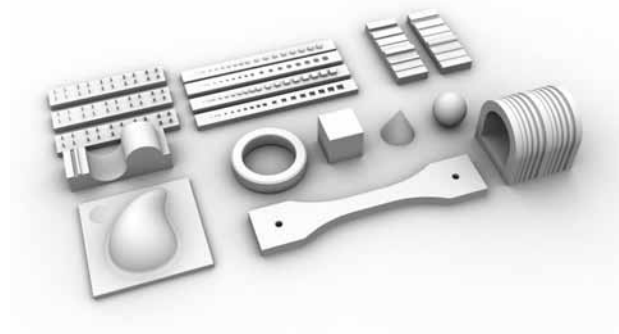


図2 検証に用いたサンプル形状 (抜粋)

データ作成は、形状表現方法の異なる3種類のソフトウェア（サーフェス系：Rhino 4.0, ソリッド系：SolidWorks 2008, ボクセル系：FreeForm Modeling V10）を用いて行った。

2-2 STLデータへの変換と3次元造形

各ソフトウェアで作成した形状データから、3次元造形装置へのデータ出力を行うためには一般的にSTL形式への変換を行う必要がある。STL形式は、立体形状を三角形の集合からなる多面体に近似して表現する形式であり、ジュエリーのように複雑な曲面をもつ形状を忠実に表現するためには多数の三角パッチをもつ詳細なデータに変換する必要がある。しかし精度を厳しく設定して変換を行うほどファイルサイズは増大し、データ生成にかかる時間やエラー発生のリスクが大きくなる。このため、形状を造形に必要なだけ忠実に表現しながらファイルサイズが極端に大きくならないよう、適切な設定値で変換を行う必要がある。本稿では図3に示す平面と大小の曲面を含む形状をサンプルとして、STLデータ変換時の設定値を変えてデータ量、パッチの状態、造形物の面質について比較検証を行った。

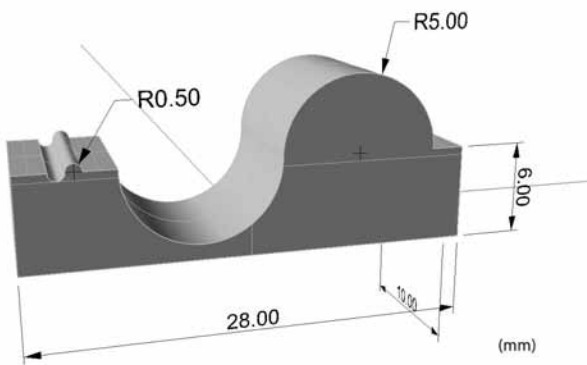


図3 STL変換検証用サンプル形状

また、爪や凹凸等の微小形状のバリエーションについては表1に示す条件で、STL変換後、インクジェット式造形装置でモデルを作成し、データとモデルの形状の差異や破損について検証した。一部の形状については光造形装置(envisionTEC社製, PERFACTORY)を用いた造形、インクジェット造形モデルを原型とした鋳造を行い、結果を観察した。

表1 微小形状の造形条件

STL変換設定	許容差 0.001mm
造形装置	Solidscap社製 R66
積層厚	0.0381mm

2-3 積層造形の方向と強度・面質

宝飾品の製造現場では3次元造形装置による原型が、製造や運搬の過程で衝撃により破損するトラブルが課題となっている。そこで、特に強度が課題とされているイ

ンクジェット式造形装置による出力モデルを対象に積層方向による強度の違いについて検証を行った。図4の左に示すように積層に対する方向を変化させて造形した試験片を用いて、引張試験による強度の比較を行った。

また、積層造形装置による出力モデルは、表面の積層段差が面の質を低下させる要素として懸念されている。積層面に対する造形物の方向が曲面の品質にどのような影響を与えるかを検討するため、図4の右に示す意匠曲面の方向を変えて造形し、造形物表面の状態を観察した。検証用のサンプルはいずれも、インクジェット式造形装置を用いて積層厚0.0762mmで造形した。

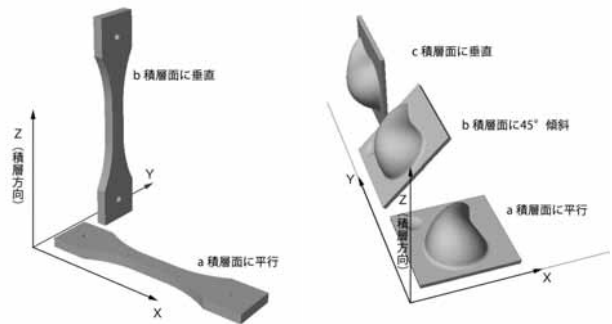


図4 積層方向による強度・面質の検証用サンプル

3. 結果および考察

3-1 STLデータ変換による形状の変化

図3に示す形状について、STLデータ変換時の設定を変えて、変換後のデータ量、パッチの状態、形状変化について比較検証を行った。変換時に設定できる項目は各ソフトウェアにより異なるが、許容差(元の曲面と生成されるSTLパッチ間の距離の最大値)と、角度許容差(法線ベクトル間の角度許容度)の2つの項目を設定できるものが一般的である。サーフェス系、ソリッド系の各ソフトウェアを用いてモデリングを行い、許容差と角度許容差の設定を段階的に変化させてSTL変換テストを行った。STLはASCII形式とBinary形式で保存できるが、データ容量を大幅に抑えられることから検証ではBinary形式を用いた。変換後のファイルサイズ、三角数、パッチ状態の比較例を表2に示す。サンプルAからBのように角度許容差のみを変化させた場合、大きい曲面が十分に滑らかになるまで値を厳しく設定すると小さい曲面では必要以上に詳細な面が生成されてしまい、ファイルサイズが増大する。サンプルAからCのように許容差のみを変化させた場合、ファイルサイズを抑えて全体の面をコントロールすることが可能であった。このことから、宝飾品のように大小の曲面が混在する形状の場合、角度許容差はデフォルト値より大きい値に設定し、許容差を必要な値に調整することが有効と考えられる。

表2 設定許容差によるSTL変換後のデータ比較

	A	B	C
許 容 差	0.03mm	0.03mm	0.003mm
角 度 許 容 差	10°	5°	10°
ファイルサイズ	27KB	52KB	39KB
三 角 数	532	1044	788

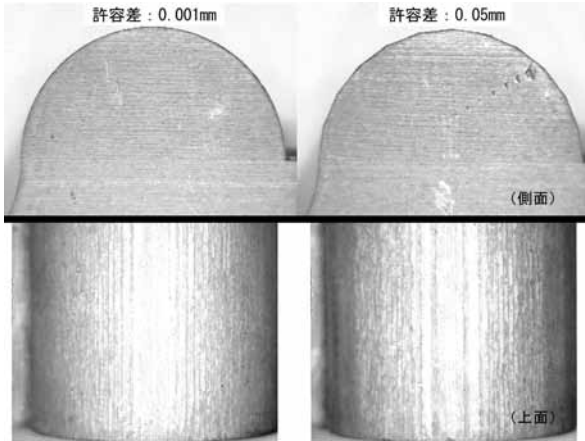


図5 設定許容差による造形モデル形状の比較

次に、適切な許容差の値を検討するため、他のパラメータは一定とし、許容差のみを段階的に変化させてSTL変換を行ったデータを造形した。許容差を0.001mmと0.05mmに設定してSTL変換を行ったR 5mmの曲面の造形モデル（積層厚0.0381mm）を図5に示す。これらの曲面を許容差の値ごとに観察した結果、STL変換時の許容差を造形装置の積層厚よりも大きく設定した場合、曲面にパッチの形状が明確に視認できた。許容差が小さいほど造形された面は滑らかになるが、積層厚の10%以下の値で変更した場合、造形物の面質にほぼ変化はみられなかった。許容差の値によるSTLファイルのサイズ (KB) と三角数の変化を確認したところ、図6に示すように許容差を厳しく設定するほどファイルサイズは増加し、このサンプル形状においては特に0.005mm以下で顕著に増加する。これらの結果から、宝飾品原型に用いる3次元データのSTL変換にあたっては、許容差の設定を積層厚の10%程度以下の値を目安に設定することが望ましいと推察される。形状の大きさや複雑さにより、ファイルサイズが極端に大きくなる場合は、望む面質とのバランスにより積層厚以下の範囲で許容差を調整する必要がある。

サーフェス系、ソリッド系の各ソフトウェアでは前述のSTL設定によりサンプル形状を適切に造形できたが、ボクセル系のソフトウェアの場合、その特性上シャープエッジのある形状を鮮明に表現することは難しい。エッジの詳細まで鮮明に表現するためにはボクセル粒子の大きさを小さく設定してモデリングを行う必要がある。ま

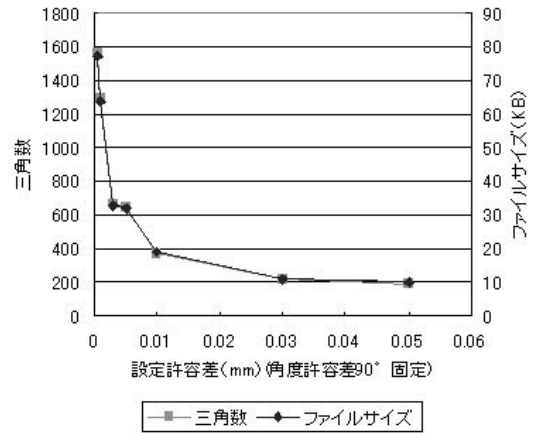


図6 STL変換時の許容差とファイルサイズ

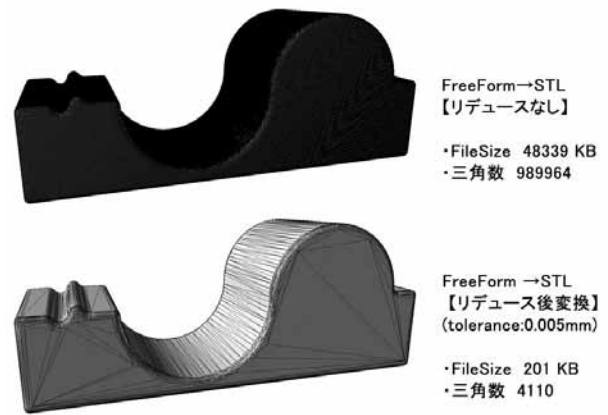


図7 ボクセルからのSTL変換結果

た、ボクセルからSTLへのエクスポートの際に、デフォルトの設定では図7に示すように膨大なサイズのメッシュが生成される場合がある。これを避けるため、ボクセル系ソフトウェアでは出力メッシュのリデュースを行う機能が備わっており、これらを使用して適切なサイズに調整を行った後に、STL出力を行う必要がある。

3-2 3次元造形出力による形状の変化

造形されたモデル形状とデータ形状の差異について調べるため、立方体等の基本形状について計測を行った結果、モデリングデータ上の寸法値と比較して若干の収縮がみられた。また、積層面に平行方向では縦方向と比較して収縮が大きい傾向が認められた。今回の検証では直径5mm~10mmの形状で計測を行ったためデータとの寸法差はごく僅かであり、造形材料や造形後の経過時間、温度環境等も影響すると考えられるため、収縮については別途検討が必要である。

微小形状の再現性について検討するため半球状の凹凸を造形した結果を図8に示す。この他に四角形や文字等の凹凸形状を複数造形し観察した結果、直径が約0.3mm以下の大きさの凹凸形状では形状を忠実に再現できて

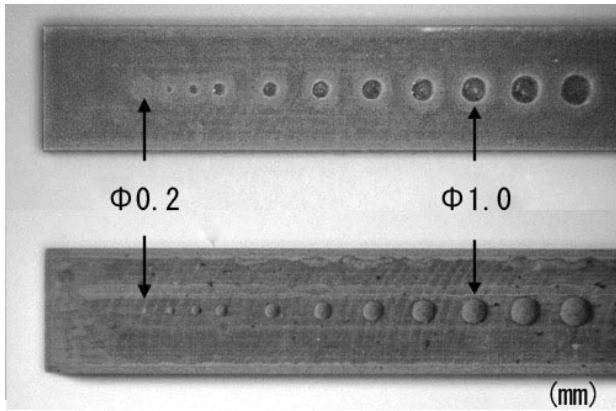


図8 微小半球凹凸の造形結果

いないケースが複数みられた。図9に、曲面上の半円溝について、各造形装置による出力とインクジェット造形モデルを原型として鋳造した結果の観察を示す。半径0.1mmの溝形状では鋳造後に部分的に形状が再現できていない箇所が観察された。本研究では検証していない鋳造条件による変化も検討する必要があるが、一般的に直径が0.3mm以下の形状については造形～鋳造の過程で形状が消失する可能性に留意する必要がある。

宝飾品に特有な爪の形状について図10に示すストレート、フィレット（上面と同径）、テーパー（5°）の各形状で径と長さを段階的に変えたサンプルを複数回造形し、造形～サポート除去の工程での破損について検討した。結果を観察したところ、直径が0.5mm以下、長さが1mm以上のストレート形状では、サポート除去までの工程で破損が多く観察された。同径の場合、テーパー形状、フィレット形状の順に、ストレート形状と比較して破損が少なかった。直径が0.5mm以下のように特に細い爪形状の場合、破損を防ぐためにモデリング時には長さを可能な限り短く、形状にテーパーやフィレットをつけることが必要と判断される。

また、後述するように造形方向により強度が異なるため造形方向を工夫することも有効と考えられる。モデル

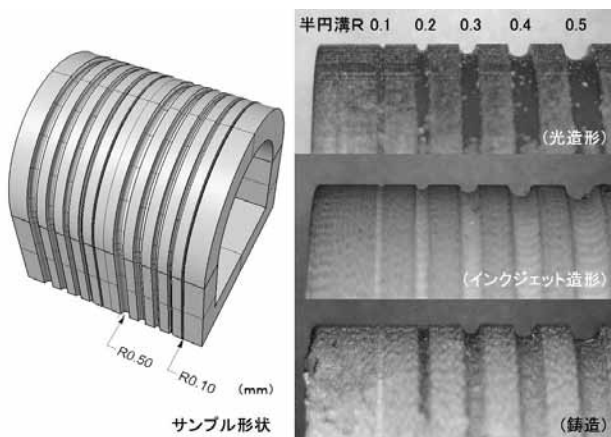


図9 溝のサンプル形状と造形・鋳造の観察

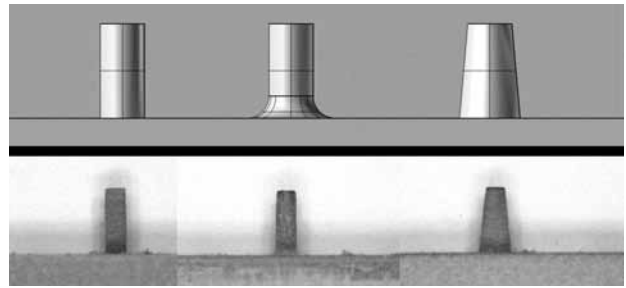


図10 爪のサンプル形状（上）造形出力例（下）

ングの工夫で破損が回避できない程細い爪を含む形状の場合、光造形装置を用いて造形を行う必要がある。

その他に、厚みが5mm以下で一辺の長さが30mm以上の平板状のモデルでは、インクジェット式・光造形式のいずれの場合も、積層面に対して平行に設置して造形した場合、造形後一定時間を経過すると反りが発生するサンプルがみられた。積層造形装置の特性として積層方向の厚みが薄い平板状の形状については反りが発生する可能性がある。このような形状については造形時の積層方向やサポート形状に配慮し、造形後の時間経過による形状変化に留意が必要である。

3-3 3次元積層造形の方向と強度・面質の関係

インクジェット式造形装置で図4の左に示す各方向で造形したサンプルの引張試験結果を図11に示す。

最大点応力が、積層面の平行方向では平均3.03MPa、積層面の垂直方向では平均1.29MPaと2倍以上の違いがあった。積層造形時の設置方向により強度が大きく異なることから、壊れやすい形状や強度が求められる原型の場合、造形時の方向を形状にあわせて工夫することが有効と考えられる。

また、方向による曲面の質の変化について検証するため図4の右に示すように積層に対する方向を変えて造形を行ったモデルの観察結果を図12に示す。このサンプル形状の場合、積層平面に対して意匠曲面を垂直に配置して造形した場合に、最も積層段差が目立たず滑らかな曲面が得られた。平行と45°で配置した場合、積層方向の頂点に向かって積層段差が目立って観察された。特に滑らかに再現したい意匠曲面をもつ形状の場合、設置方向に留意して造形することが有効と考えられる。図12に示すサンプルは積層厚を装置の最大値に設定して造形を行ったものであり、積層厚を最小に設定した場合、積層段差は目立たなくなり造形方向による面質の違いも小さくなると考えられる。一方で、積層方向の高さと、積層厚の設定は造形時間に大きく影響を与える。実際の製品開発の場面では、最低限必要な面の質と、予想される造形時間のバランスを考慮し、最適な積層厚と造形方向を設定する必要がある。

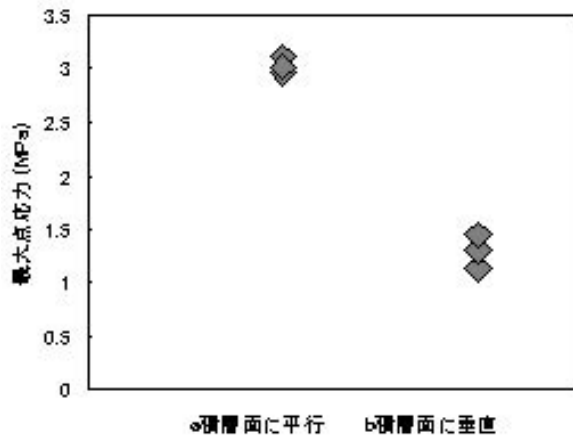


図11 積層方向と引張強度

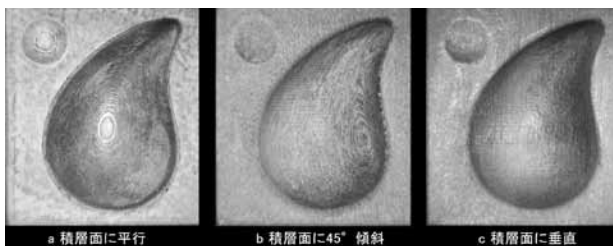


図12 積層方向と造形物の面質

4. 結 言

宝飾品に特有な微小曲面等の形状を対象に、モデリング～STLデータ変換～3次元造形装置による出力の工程について複数の方法による比較検証を行った。検証結果から、STL変換時の推奨される設定方法、微小形状造形時の留意点、造形方向による強度・面質の違いについて明らかにした。

本研究は代表的な一部のCAD・造形装置のみを対象として検証を行ったものであり、今後はより幅広いCADや造形装置を対象としてデータの蓄積を行うとともに、鋳造等の後工程への影響についても調査する必要がある。

参考文献

- 1) 水野 孝彦, 影山 公章, 石崎 文夫: ジュエリー・バイブル, 美術出版社, p.98-106
- 2) Somlak, Wannarumon and Erik L.J. Bohez : Rapid Prototyping and Tooling in Jewelry CAD, Computer-Aided Design And Applications, Volume 1 Numbers1-4, p.569-576 (2004)
- 3) 大柴 勝彦, 他: 義肢ソケット製作システムの開発, 工業技術センター研究報告, No.16, p.45-50 (2002)
- 4) 串田 賢一, 他: 3D技術の統合化による総合的モノづくり支援システムに関する研究, 山梨県工業技術センター研究報告, No.22, p.21-26 (2008)