

# 3D プリンタ臓器造形モデルの透明化用磨きシステムの開発

竹内 芳美

荒木 大輔, 香西 達弘 (カツラヤマテクノロジー)

現在, 3D プリンタが試作の迅速化や複雑形状の創成に活用されているが, 樹脂や金属粉末を平面基板の上に積層させて作るため, 積層ピッチが表面凹凸として残存する. 医療用に作成された臓器造形モデルは材料がアクリルであり, 表面の段差や凹凸のために患部や血管などが不透明になり, それを医療従事者が人手で磨き仕上げをしているのが現状である. 本研究は, 臓器造形モデルの磨きの高能率化と自動化を目的とし, そのために小型多関節ロボットによる自動磨き法の研究と臓器造形モデルの保持装置の開発をするとともに, それを用いた透明化技術を研究開発しようとするものである.

## 1. はじめに

近年の医療現場において, 3D モデルの臓器がより質の高い医療を行うために用いられている. その用途は, 患者への手術内容の説明や, 手術中の血管や患部の位置確認などである. 透明なアクリル樹脂で造形された臓器モデルは, 積層ピッチ(0.1mm 程度)とサポート材の付着により, 造形後はモデル内部を見ることができない<sup>1)</sup>. 現在は, 研磨スポンジやサンドペーパー等を用い, 人手で研磨してニスで仕上げしており, その所要時間は約 20 時間である. 実際に手作業で仕上げる前と仕上げた後の肝臓の臓器モデルを図 1 に示す.

この研磨作業を, 産業用ロボットを導入するなどをして短時間に自動研磨することが期待されている<sup>2), 3)</sup>. 臓器モデルの表面には多くの凹凸があり, 固定するのが困難なために固定方法を考えた上で, ロボットの姿勢を考慮した研磨経路の生成が必要になる. さらに, 研磨工具や研磨条件を選定しなければならない. 本研究では, このような課題を解決することを目的とする.



図 1 研磨の前後の肝臓の臓器モデル

## 2. 磨きシステムの構成

システムの概略を図 2 に示す. 加工対象物の STL データを研究室開発の CAM (ChubuCAM) を用いて, 研磨経路を生成する. この経路データは ORiN2 を用いてロボットコントローラに転送され, ロボット (デンソーウェーブ(株) 製 垂直多関節ロボット VS-060) は研磨作業を実施する.

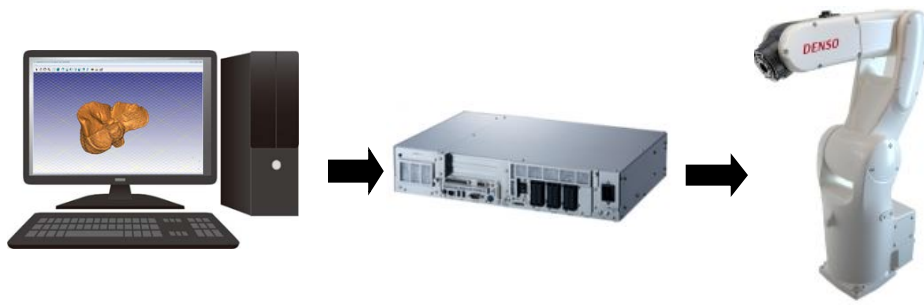


図2 ロボットによる磨きシステムの構成

臓器モデルは自作の  $60^\circ$  ずつ回転が可能な固定具を挟み込んで固定する。その先端に、臓器モデルの表面形状の逆形状の保持具を作成して取付けることで、安定した固定を実現している。

逆形状の保持具は、臓器モデル(STL)と3D-CADシステム(Solidworks)で作成した円筒形状(STL)を用いて ChubuCAM で作成する。それらを3Dプリンタ(FORTUS 360mc-L)で出力する。保持具の材料はABS-M30で、積層ピッチ  $0.127\text{mm}$  で作成した。この保持具を使って臓器モデルを固定している様子を図3に示す。

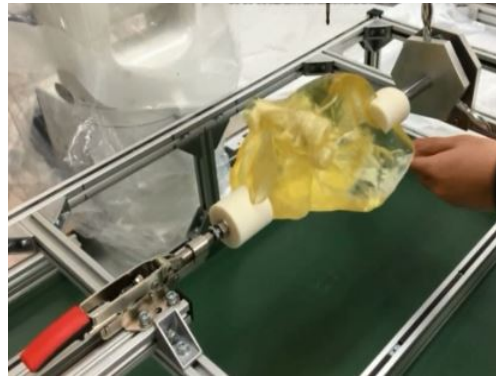


図3 保持具による臓器モデルの固定

ロボットの可動範囲の影響で、臓器モデルにはアーム先端が届かない場所が多く存在する。そこで、実際の固定状態を勘案して  $60$  度ずつ臓器のエリアを分割する。ChubuCAM を使い、固定の回転軸に合わせ、臓器と扇形の STL データを配置し、共通部分を取り出して臓器の部位を分割する。その分割の様子を図4に示す。

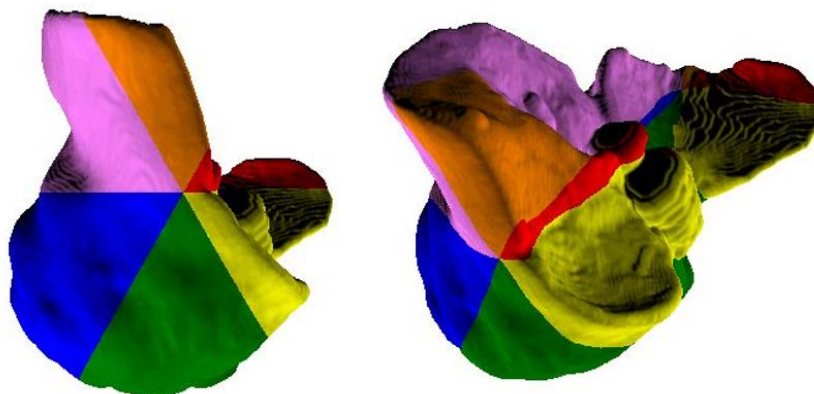


図4 工具の動きを考慮した臓器モデルの  $60^\circ$  分割の分割

扇形を 60° ずつ回転させ、合計 6 回行うことで臓器を 60 度分割したものを作成する。それをロボットの可動範囲を考慮してさらに分割し、最終的な分割モデルを作成する。現在、ChubuCAM では臓器モデルの比較的平坦な面に対する研磨経路は生成可能であるが、複雑な表面形状の箇所では適切な経路を生成することが困難であり、これを解決することがこれからの課題である。

さらに、干渉についても考慮しなければならない。ChubuCAM は加工物の STL データの法線ベクトルを工具の姿勢にするため、常に面に対して垂直になる。しかし、臓器モデルには細かな凹凸が膨大にあり、このままでは工具の姿勢が様々な方向を向き、ロボットの姿勢が絶えず変化してしまう。そこで、本研究では工具の姿勢を常に垂直に固定し、干渉した箇所だけで回転し、それでも干渉する場合は干渉のない姿勢を探すようにした。しかし、現在の干渉回避プログラムではロボットの姿勢変化が激しくなるので、それを抑制した干渉回避プログラムをこれから開発していく。

### 3. 磨きシステムによる研磨実験

磨きの基礎実験に、図 5 に示すドーム形状を使用する。臓器モデルと同様の条件で作成している。研磨の最終的な目標はニス塗布でクリアな状態になるレベルである。

研磨の手順は、第一段階でボールエンドを用いて切削加工をし、第二段階で研磨工具を使う。さらに研磨が必要であるならより番手の細かい研磨工具を用いる。臓器モデルの手磨きでは#120→#320→#800 の 3 ステップで仕上げているが、特に#120 でサポート材を除去すると時間がかかるため、初めにボールエンドミルを用いて除去している。



図 5 磨きの基礎データ収集のためのドーム形状モデルと拡大図

ボールエンドミルによる切削条件を表 1 に示す。

表 1 ボールエンドミルの切削条件

Tool	Al,Ti,Cr coating, φ3, 2-tooth
Depth of cut (mm)	0.1
Feed (mm/s)	10
Pick feed (mm)	0.15
Rotation number (rpm)	6650

切削された面とその上にニス塗布したものを図6に示す。積層ピッチおよびサポート材は除去されたが、ボールエンド跡が残り、この状態でニスを塗布してもクリアにはなっていない。

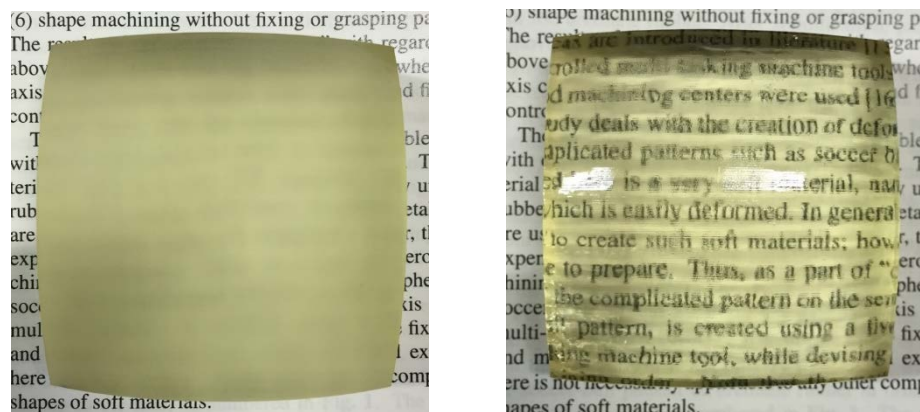


図6 切削加工後の面とニスを塗った面

ボールエンド加工のあとに各種の研磨工具で研磨を行った。研磨条件は回転数を 5180 と 6650 rpm, 送り速度を 7.6, 5.1, 2.5 m/s で、切込み量を 0.1, 0.2, 0.3 mm としてパラメータを1つずつ変えながら行った。研磨結果を表2に示す。

表2 各種研磨工具による研磨結果

使用工具	番手	ツール マーク 除去	傷 有無	工具 寿命
ゴム砥石	#1500	×	無	×
	#1000	×	無	×
	#800	×	無	×
ダイワラビン (円柱)	#220	×	無	×
ダイワラビン (球)	#120	×	無	×
ステンレスブラシ	#240 (研磨剤)	○	有	○
ナイロンブラシ	#320	×	無	○
毛ブラシ (馬毛)	#240 (研磨剤)	×	無	○
フェルトホイール	#240 (研磨剤)	×	無	×
XEBECブラシ		○	有	○
フラップホイール	#120	○	有	○
デライトホイール	#600	○	有	○
サンダーパフ	#600	○	有	○
	#320	○	有	○
スコッチライト	#400	○	無	×
クリーンシート + #240研磨剤	樹脂ビーズ	×	無	×
	#600~800	○	無	×
	#240~280	○	無	×
	#150~180	○	無	×

クリーンシート#150~180は2回送るとツールマークを除去でき、表面状態も良好である。しかし、10パス程度で目詰まりしてしまい研磨が行えなくなり、工具寿命に大きな問題がある。

#### 4. おわりに

3D プリンタで作成された臓器モデルの磨きの自動化を目指し、逆データ治具で臓器モデルを固定するとともに、ロボットの姿勢を考慮した臓器モデルのエリア分割を可能にした。治具の固定位置と臓器エリア分割はオペレータの判断に依存するため、これから自動位置決めと分割アルゴリズムの開発が必要である。また、研磨工具および研磨条件の選定に関しては引き続き研究し、臓器モデル磨きの自動化を図っていく。

#### 参考文献

- 1) 森 健策, 小田 昌宏, 林 雄一郎, 二村 幸孝, 中村 嘉彦, 北坂 孝幸: 3D プリンタを用いた臓器造形とその応用に関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告, MI2013-89, Vol.113, No.410 (2013)181-186
- 2) 浅川直紀, 竹内芳美: ロボットによる磨き作業の自動化 (第4報, 粗さの測定とそれに基づく磨き) 日本機械学会論文集 (C編), 61-584 (1995) 1715-1719
- 3) 杉田真一, 平沼桃子, 竹内芳美: ロボットによる鋳物素材仕上げ作業の自動化 (工法設計情報に基づく工具経路生成方法), 日本機械学会論文集 (C編), 69-684 (2003) 2168-2173