

## 積層痕除去処理を考慮した積層造形工程計画手法の開発

埼玉大学 ○清水秀計 埼玉大学大学院 ◎金子順一, 堀尾健一郎

### 要旨

樹脂積層では、積層後に積層痕の除去が必須とされる。従来この作業は作業者の手作業に依存しており、複雑形状に対する除去では研磨工具の経路生成が課題となる。そこで、本研究では計画時に製品を3軸加工機によって研磨可能な形状に分割し、積層・研磨後に接合することにより製品形状を得る工程計画法を提案する。本手法では経路生成、干渉判定、モデル分割の各過程が再帰的に実施され、積層痕の除去を考慮した計画が実施される。

### 1. 緒言

近年、複雑な形状を持つものであっても容易に製作することができる3Dプリンタが広く使われ、その種類には熱溶解方式や光造形など様々な方式が存在する。これに使用される材料には主にABS樹脂、PLA樹脂、各金属が挙げられる。

3Dプリンタで造形された積層造形物の表面には必ず積層痕が存在するという問題があり、造形後には研磨が必要である。今日、造形物に対する研磨には手磨きやリューターによる研磨など手作業で行われていることが多いが、これには多くの時間と労力を費やすため無駄が多い。これを3軸制御加工機によって自動化を図る。3軸制御加工機は比較的手に入りやすく、また工具姿勢が不変であるため経路の生成が単純で扱いやすい工作機械である。その場合、複雑形状をもつ造形物には工具の干渉によって研磨が不可能となる箇所が存在することが問題となっている。

本研究では、工具の干渉が生じない形状に3次元モデルを分割し、造形されたものを3軸制御加工機による研磨を実施した後に各部品を接合することでこの問題を解決する手法を提案する。具体的には、3次元幾何形状の自動分割手法の開発を目的とする。

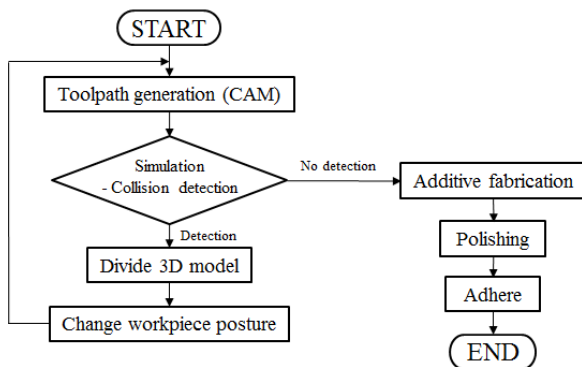


Fig. 1. System flow

### 2. 開発するシステム

本研究では、3軸制御加工機での研磨を実現するため、CAMによって研磨経路を生成し、その際に造形物と工具の干渉が想定される箇所を検出して干渉を避けるよう3次元データの幾何形状を分割するシステムを構築する。したがって、以下の項目から構成される自動分割手法を開発する。

- ・CAMによる研磨経路の生成
- ・干渉判定シミュレーション
- ・3次元モデル形状の分割

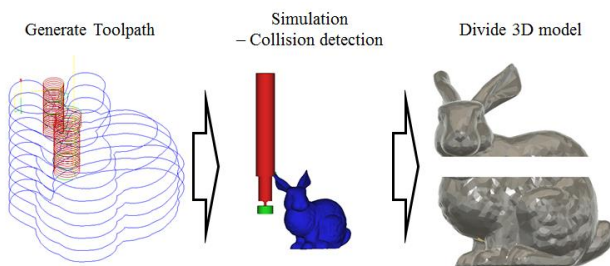


Fig. 2. System flow image

### 2.1 分割面決定方法

干渉範囲をシミュレーションで割り出し、その干渉範囲を含まない形状に分割する。

まず、研磨経路は等高線経路で生成する。それによって工具が進むことができる範囲を単純に高さで分ける。

次に干渉判定シミュレーションを実行し、経路上を移動させている工具とワークの干渉位置を解析する。ここでは、工具本体と干渉が生じた場合その工具位置における工具先端の座標を記録する。干渉が生じた点以降は工具の進入が不可能であると判断し、それまでの範囲を残すよう3次元形状を分割する。つまり、最初に干渉が生じた点の工具先端座標における高さ平面で分割することで干渉の無い形状を割り出す。

分割位置を高さ平面によって決定するが、ここで言う高さとは工具軸方向における位置であり、これをグローバル座標系と工具座標系のZ軸方向と定義する。ワークにおける高さ方向は姿勢によって変わるため、位置決めについて定める。ワークの上部をグローバル座標系のXY平面に接触するように位置を定義する。そうすることによってグローバル座標系のZ座標値による分割面の決定を可能とする。

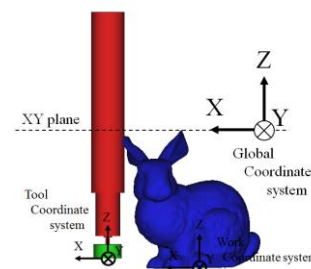


Fig. 3. Defined coordinate axes

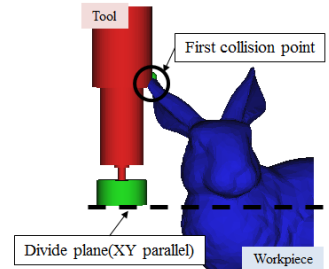


Fig. 4. Decision divide plane

### 2.2 CAMによる研磨経路の生成

本研究において研磨経路の生成には、Autodesk社の3DCAD/CAM統合アプリケーションであるFusion360を使用した。

本ソフトウェアは3軸加工に対応しており、本研究に則したものである。座標軸、工具径、経路の種類（本手法では等高線経路）等を指定してNCプログラムを作成することができる。

### 2.3 干渉判定シミュレーション

コンピュータ上で研磨時の工具運動を再現し、干渉の有無を検証するシミュレータを開発した。シミュレータの開発にはプログラミング言語C++を用いた。

工具とワークモデルにはSTLフォーマットのデータを使用し、ポリゴンモデルとして読み込む。CAMによって出力したNCプログラムの座標情報を抽出し、工具モデルをその座標情報を基に順次平行移動させる。ある地点において、ワークモデルとの干渉が認められたときの工具先端の座標（グローバル座標系）を記録し、干渉点群情報を作成する。工具の干渉検出範囲は砥石を除いた本体部分とする。

干渉判定にはTomas Mollerの交差判定を採用した。入力した工具もしくはワークのポリゴンモデルのポリゴンともう一方のモデルのポリゴンの1辺の間で交差判定を行う。しかし、この手法はポリゴンを1枚ずつ検証するため膨大な処理時間を要する。そこで、GPGPUを導入し並列処理で実行することによって処理時間の短縮を実現した。

干渉点の検出後は分割面情報を入力する。シミュレーションによって作成された干渉点群情報から、最も最初に干渉が検出された工具先端座標（グローバル座標系）のZ座標値を探索し、出力する。この座標値を後ほど述べるFusion360APIの操作プログラム追記、出力し、ワークモデルの分割を実行する。

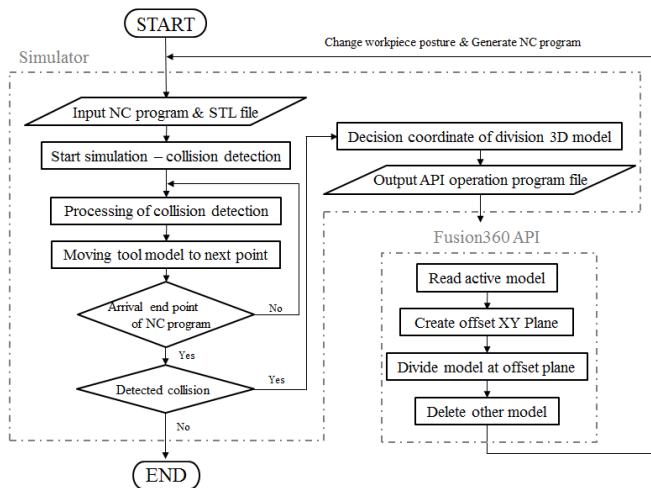


Fig. 5. Simulator and API Program system flow

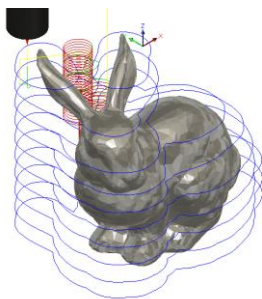


Fig. 6. Tool path - contour

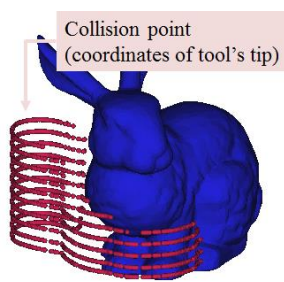


Fig. 7. Simulation result

#### 2.4 3次元モデル形状の分割

モデルの分割は Fusion360 の CAD 機能を用いて実施した。Fusion360 の API を利用して、任意方向から、任意高さでモデルデータを自動的に分割可能とし、再帰的な処理を実現している。API の操作にはプログラミング言語 Python を用いた。シミュレータで出力された Z 軸座標における XY 平面でワークモデルを分割する API 操作プログラムが自動で作成され、干渉判定の後、Fusion360 にてモデルの分割が自動で行われる。

#### 2.5 ワーク姿勢の変更

分割されたワークにはそのままでは研磨工具がアクセスできない箇所が存在する場合がある。その場合、姿勢を変更して工具経路を生成する。この姿勢変更はワーク座標系の各軸周りに  $90 \times n[\text{deg}]$  回転させる。例えば、工具軸がワーク座標系の Z 軸方向であったとき、姿勢変更は Z 軸以外の X または Y 軸周りに回転させる。このときの座標軸、回転角度の選択はオペレーターの判断に依存する。判断基準は研磨時に工具がアクセスできない範囲が見られない姿勢と判断されたものとする。

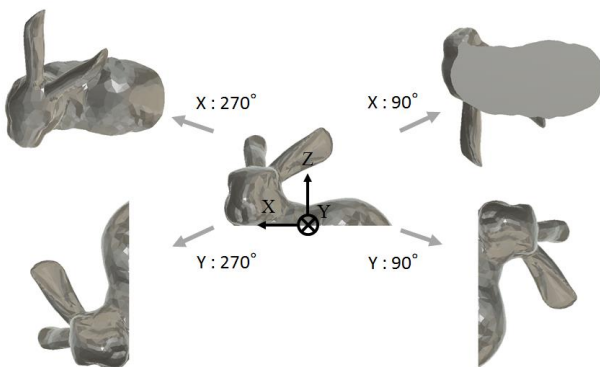


Fig. 8. Selection workpiece posture

### 3. 実験結果

#### 3.1 実験方法

実験対象となるワークモデルにはスタンフォードバニーを採用した。まず、バニーを立たせた状態で研磨経路を生成、そしてシミュレーション、分割処理を実行した。次に得られた複数のモデルに対して分割システムを実行し、さらにそこで得られた複数のモデルに同様にシステムを実行するという手順で実験を行った。研磨経路の生成の際は適宜ワーク姿勢の変更を行った。

#### 3.2 結果

ワークの姿勢を変更しつつ再帰的に本システムを繰り返し実行した。結果、6つのパーツに分割された。

最終的に得られた各パーツは、シミュレーションの結果、干渉が無いことを確認できた。よって、それぞれのパーツを造形したものに対する3軸制御加工機による研磨が可能となった。

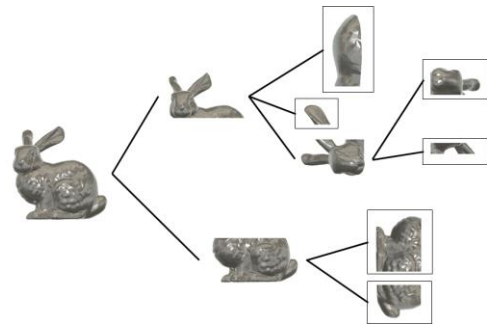


Fig. 9. Process of division



Fig. 10. Division result

### 4. 結言

#### 4.1 まとめ

本研究では、3次元形状の自動分割システムを開発した。このシステムでは、複雑形状をもつ3次元モデルに対して3軸制御加工機による自動研磨を想定したシミュレーションを実施し、干渉の生じない範囲を分離する。これを再帰的に処理することで3軸制御加工機による研磨が可能な3次元モデルを得ることができた。

#### 4.2 今後の課題

今後は以下のアルゴリズムの開発が必要になると考えられる。

- ワーク姿勢の自動選定  
現段階ではオペレーターの判断によって姿勢候補を決定しているが、数値計算の繰り返しにより自動で少数の姿勢を導出する。
- 研磨結果の事前評価  
研磨に適した工具姿勢についての姿勢評価を行う機能を追加する。適切な条件下で研磨が行えない場合には、こちらも自動分割の対象とするよう計画アルゴリズムを拡張する。

#### 参考文献

- (1) 乾正知 GPU 並列図形処理入門-CUDA・OpenGLの導入と活用 技術評論社 2014年