

鑄造品の迅速リバースエンジニアリングに関する研究 - 機械加工円筒面抽出処理の高速化 -

北海道大学 ○浦田昇尚, 金井理, 伊達宏昭
旭川工業高等専門学校 後藤孝行
北海道立総合研究機構 工業試験場 安田星季

要旨

本研究は、非接触式三次元形状測定器を用いた鑄造品の迅速なリバースエンジニアリングを目的とした、計測三角形メッシュの曲面情報抽出法を開発する。本報では、面粗さ値を用いた処理対象三角形の絞り込みと、最小二乗法を用いた円筒面パラメータ算出による機械加工円筒面の高速な抽出法を提案する。

1. はじめに

現在、非接触式三次元形状測定器の普及に伴い、工業製品の効率的な設計や製品の複製、検査を目的とした、計測データからの CAD モデル生成を行うリバースエンジニアリング（以下、RE）の需要が増加している。計測三角形メッシュデータから高品質な CAD モデルを迅速に生成するためには、計測メッシュデータの正確かつ高速な領域分けと曲面情報抽出が必要である。

そこで本研究は、非接触式三次元形状測定器を用いた鑄造品の迅速な RE を目的とした計測三角形メッシュの領域分けと曲面情報抽出法を開発を行う。本報では、鑄造品の迅速 RE のための新しい CAD モデル生成アプローチについて述べ、既提案の円筒面抽出法^[1]の高速化手法を提案する。

2. 鑄造品の迅速 RE のためのアプローチ

図1に鑄造品の迅速 RE のための CAD モデル生成アプローチを示す。鑄造品は、機能面である機械加工面は高い形状精度が必要であるが、その他の鑄肌面は高い形状精度が要求されない。そのため RE の際には、機械加工面は高精度なモデリング、鑄肌面はラフなモデリングを行うことで実用上十分な CAD モデルが得られると考えられる。

以上から本研究では、

- ・機械加工面:正確な曲面抽出に基づく高精度モデリング
 - ・鑄肌面:ラフモデリングもしくはメッシュによる表現
- により、鑄造品の迅速 RE の実現を目指す。本報では、計測三角形メッシュから算出した面粗さ情報を元に、機械加工面の曲面情報を正確かつ高速に抽出する手法を提案する。

3. 計測三角形メッシュに対する円筒面情報の抽出法

3.1 手法概要

既提案の円筒面抽出法^[1]では計測三角形メッシュ全体に対して円筒面抽出処理を行っていたため非効率であった。また、円筒面パラメータ抽出は計測ノイズや表面凹凸にロバストであるが計算コストの高い RANSAC により行っていた。そこで以下の二つの手法で処理の高速化を行う。

- ① 面粗さ値に基づく処理対象三角形の絞り込み
- ② LSM(最小二乗法)・RANSAC 併用による円筒面パラメータ算出

図2に提案する円筒面情報抽出法の概要を示す。本手法ではまず、計測三角形メッシュから予め計算した面粗さが閾値以下の三角形で初期領域を生成する(A1)。初期領域は、ランダムなシード三角形の選択とシード三角形との法線間角度が一定値以下であることを領域成長条件とする領域成長法により得る。次に、得られた初期領域に対し LSM・

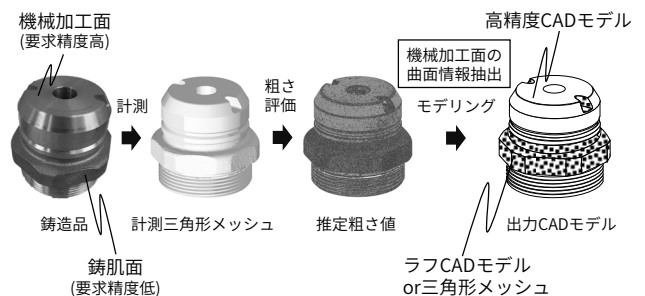
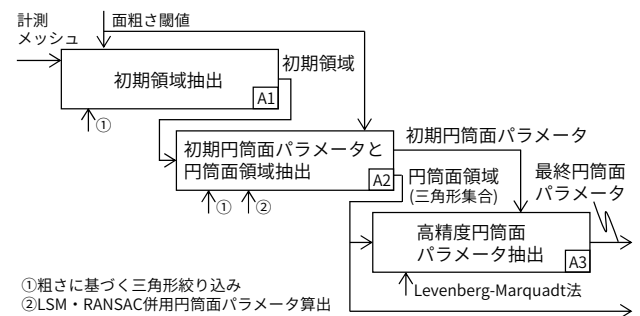
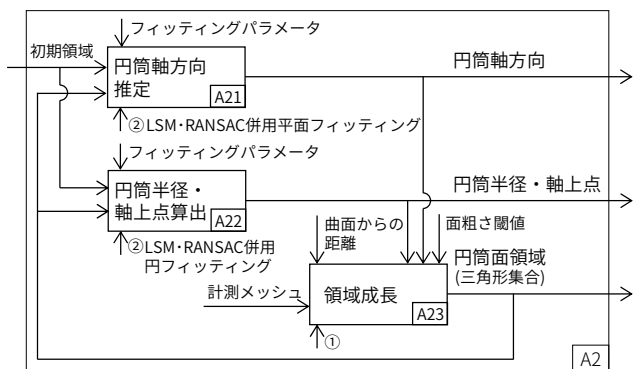


図1 鑄物の迅速 RE のための CAD モデル生成アプローチ



(a) 円筒面情報抽出法の概要



(b) 円筒面領域抽出法の概要

図2 計測三角形メッシュに対する円筒面の抽出法

RANSAC の併用による初期円筒面パラメータの抽出(A21, A22)と、抽出したパラメータと面粗さに基づく領域成長を繰り返し行うことで領域を抽出(A23)し、初期円筒面パラメータと円筒面領域を得る。その後、抽出された円筒面領域に対する非線形最適化により最終的な円筒面パラメータの抽出を行う(A3)。

3.2 面粗さ値に基づく処理対象三角形の絞り込み

本手法では処理の単純さから、滑らかな基準面からの各三角形の傾きを各三角形 t の近似粗さ r^t として求めた。具体的には、メッシュ全体に対しスムージング処理を適用し、スムージング前後の法線ベクトルの差のノルムを面粗さ r^t としている(図3)。スムージング処理には、メッシュの頂点の位置を近傍点の重みつき和で表わされる位置へ繰り返し移動する λ - μ アルゴリズム^[2]を用いた。

ここで得られた三角形面粗さから、閾値以上の面粗さ値を持つ三角形を以後のシード三角形の選択や領域成長の対象から除外することで処理対象三角形数を低減し、円筒面抽出処理の高速化を行う。

3.3 LSM・RANSAC 併用による円筒面パラメータ算出

既提案手法では、円筒面パラメータの算出に RANSAC を用いていた。しかし、RANSAC により安定にパラメータを算出するには十分な試行回数が必要となるため、処理に時間がかかる。そこで、円筒面パラメータを求める際に最小二乗法を併用し、RANSAC の適用回数を削減することで処理の高速化を行う。

図4に初期円筒面パラメータ算出方法を示す。図4(a)に示す円筒軸方向推定では領域抽出で得られた三角形集合 T_i の三角形の法線ベクトルをガウス球に投影し、投影像に対し平面フィッティングを行い、その平面の法線ベクトルを軸方向ベクトル \mathbf{d} とする。図4(b)に示す円筒半径・軸上点推定では軸方向ベクトル \mathbf{d} に垂直な平面に T_i 内の三角形の重心点を投影し、投影点に対する円フィッティングを行い、その円の半径 r を円筒半径、中心点 \mathbf{a} を軸上点とする。

初期領域に対しては外れ値対策のために RANSAC を用いて円筒面パラメータ算出を行う。以降の円筒面パラメータ推定と領域成長の繰り返しでは、まず、領域成長処理の終了後の円筒面領域と円筒面パラメータを用いてインライア三角形(円筒面から一定距離内に存在する三角形)を抽出する。そして、領域に含まれるインライア三角形数の割合が閾値以上ならばインライア三角形集合に対し最小二乗法を用い、そうでなければ RANSAC を用いて円筒面パラメータを推定する。

4. 結果・考察

図5に検証に用いたデフケースの三角形メッシュ(頂点数:211万, 三角形数:417万)を示す。なお、検証に用いたPCのスペックはCPUがIntel® Core i7-2600K 3.4GHz, メモリが16.0GBである。

図6に面粗さ値が小さい三角形を白、大きい三角形を黒で表示した面粗さ計算結果を示す。検証データ上部円筒部分などのような機械加工面については面粗さ値が小さく、中段や下段部などの鋳肌面については面粗さ値が大きくなっていることがわかる。なお、スムージング処理の繰り返し回数を200回とした時、面粗さ計算時間には100.2秒を要した。

図7, 図8に既提案手法^[1]と提案手法による円筒面抽出処理結果を示す。既提案手法は円筒面領域抽出処理に240秒を要していたが、提案手法では円筒面領域抽出処理が2秒となり、処理時間を大幅に削減することに成功した。目視確認を行った結果、本手法により約8割(29/35)の機械加工面を抽出することができた。一部の小さな機械加工面の円筒領域が抽出されなかったが、これはエッジ付近における面粗さ値の不正確な推定が原因と考えられる。

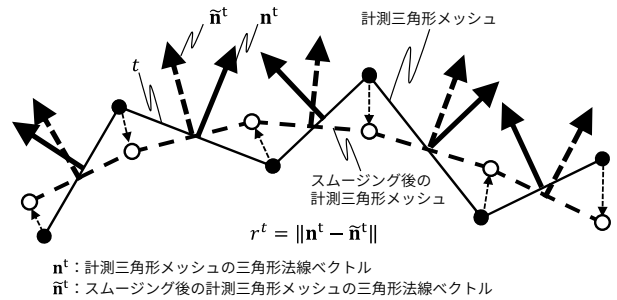
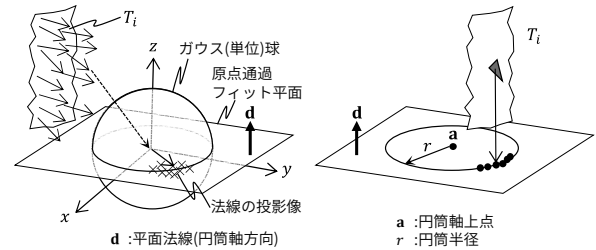


図3 面粗さ値 r^t



(a) 円筒軸方向推定 (b) 円筒半径・軸上点推定

図4 初期円筒面パラメータ算出方法

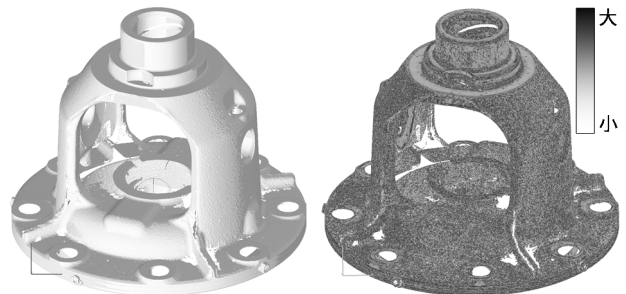


図5 検証データ

図6 面粗さ計算結果

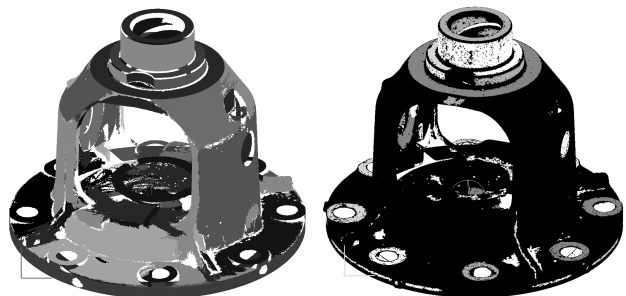


図7 既提案手法処理結果

図8 提案手法処理結果

5. 終わりに

本報では、鋳造品の迅速 RE のための新しい CAD モデル生成アプローチについて述べ、面粗さ値に基づく処理対象三角形の絞り込みと LSM・RANSAC の併用による円筒面パラメータ算出により、既提案の処理手法から機械加工円筒面抽出の処理時間を大幅に短縮することができた。今後の課題は、より正確な機械加工円筒面抽出のために面粗さ推定手法の改良を行うことである。

参考文献

- [1] 浦田昇尚, 後藤孝行, 金井理, 伊達宏昭, 安田星季: 三次元メッシュデータからの幾何形状情報抽出に関する研究, 2013年度精密工学会北海道支部学術講演会 講演論文集, (2013), pp.29-30.
- [2] Gabriel Taubin: A Signal Processing Approach To Fair Surface Design, SIGGRAPH '95, (1995), pp.351-358.