

鋳造品リバースエンジニアリングのための計測メッシュからのネジ加工領域の認識

北海道大学 ○浦田昇尚, 伊達宏昭, 金井理
 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

本研究では、鋳造品の鋳肌面-機械加工面分離による迅速なリバースエンジニアリングの実現を目的とする。本報ではネジ加工部の規則パターン認識によりネジ加工領域を検出し、平面フィット、最小外接円フィット、ICPに基づきネジ加工領域パラメータを抽出する手法を提案する。

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複製、検査等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から迅速に高品質な 3D-CAD モデルを生成するためには計測三角形メッシュの高速かつ正確な領域分けと曲面情報抽出が必要である。本研究は、非接触式三次元形状測定器を用いた鋳造品の迅速な 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の開発を行う。本研究ではこれまでに、形状表面の粗さ推定と円筒面フィッティングに基づく鋳肌面と機械加工面の分離法を開発してきた[1]。また、前報[2]において中心軸に沿った同一形状の認識によるネジ加工領域の抽出法を提案した。本報では、ネジ加工領域の抽出パラメータの精度改善法を提案する。

2. ネジ加工領域の検出のためのアプローチ

2.1 手法概要

提案手法ではネジ加工領域の特徴である、同一形状が中心軸方向に一定間隔で存在することを利用してネジ加工領域の検出を行う。図 1 に本報で提案するネジ加工領域の検出手順を示す。まず、入力メッシュに対し λ - μ アルゴリズム[3]によるスムージング処理を適用し、スムージング前後の三角形法線差分から三角形粗さ値を推定し、三角形粗さ値が閾値未満となる三角形集合を機械加工面メッシュとする (A1)。次に、面積一定の分割領域を得るため機械加工面メッシュに対し Lloyd のアルゴリズム[4]を適用し、合同形状検出の基本単位となる分割領域集合 R を生成する (A2)。次に、分割領域それぞれに対し、非隣接関係にある近傍分割領域を見つけ、それらが類似形状をもつ場合、その分割領域をネジ加工候補領域として検出する (A3)。次に、ネジ加工候補領域それぞれに対し、図 2 に示すネジ加工領域の中心軸、フランク角、外径、ピッチ、位置、ネジ部長さを抽出する (A4)。最後に、取得したネジ加工候補領域のピッチおよびフランク角を基に、ネジ加工候補領域から誤検出領域を除去しネジ加工領域を得る (A5)。

前報[2]において A2 では、三角形の法線間角度に基づく領域成長法を用いて領域分けを行っていたが、分割領域の大きさにばらつきが見られ、同一形状認識が失敗するケースが観察された。そこで、本報では領域面積が均一になる Lloyd のアルゴリズムによる領域分け手法を用いた。また、前報において A3 では、隣接する分割領域同士の結合によりネジ加工候補領域を得ていたが、未計測部やノイズの影響により、一つのネジ加工部が複数のネジ加工候補領域として認識される場合があった。本報では、空間的に近い分割領域を結合することでこの問題を解決した。

2.2 鋳肌面-機械加工面分離 (A1)

まず、入力メッシュからネジ加工領域検出の処理対象外となる鋳肌面領域を除外し、機械加工面領域のみを抽出する。具体的には、メッシュの各三角形 t における三角形粗さ

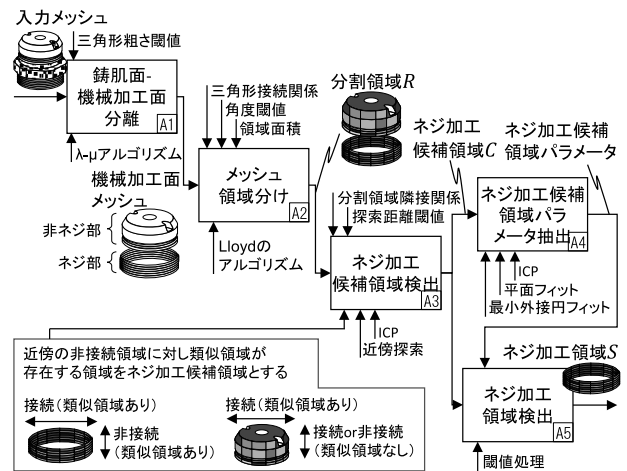


図 1 計測三角形メッシュに対する円筒面の抽出法

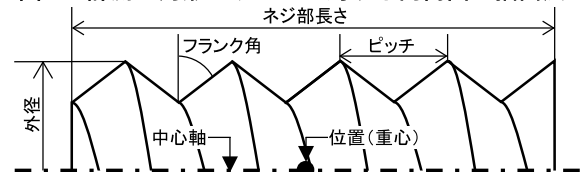


図 2 抽出対象パラメータ

値 r^t を推定し、 r^t が閾値以上となる三角形集合を鋳肌面メッシュ、閾値未満の三角形集合を機械加工面メッシュとして分離する。三角形粗さ値の推定では、まず、メッシュ全体に対しスムージング処理 (λ - μ アルゴリズム[3]) を適用する。次に、スムージング前後の三角形法線 $\mathbf{n}_t, \tilde{\mathbf{n}}_t$ の差分 $\|\mathbf{n}_t - \tilde{\mathbf{n}}_t\|$ を求める。最後に、三角形 t の近傍集合 t^* における差分の中央値 $\text{med}_{t \in t^*} \|\mathbf{n}_t - \tilde{\mathbf{n}}_t\|$ を三角形粗さ値 r_t として推定する。

2.3 メッシュの領域分け (A2)

提案手法ではネジ加工領域検出の際に中心軸に沿って同一形状が一定間隔で存在することを利用する。この同一形状の存在判定は機械加工面メッシュの部分メッシュを用いて行うため、以下の手順で示す Lloyd のアルゴリズム[4]を用いて機械加工面メッシュの領域分けを行う。

1. 機械加工面メッシュからランダムに k 個のシード三角形を選択し、それぞれの三角形を初期領域とする。
2. 領域面積が最も小さい領域にシード三角形との重心間距離が最小かつどの領域にも属さない隣接三角形を追加する。
3. 2 の処理を領域に属さない三角形が無くなるまで繰り返し、初期分割領域集合を作成する。
4. 分割領域において、領域の重心に最も近い三角形を新たなシード三角形とする。
5. 4 においてシード三角形が変化する場合、もしくは規定の反復回数に達していなければ 2 に戻る。

本実験ではシード三角形の個数 k を機械加工面メッシュの三角形数の1%とした。

2.4 ネジ加工候補領域検出 (A3)

本提案手法では、近傍に自身と形状が一致する領域を持つ分割領域をネジ加工候補領域として抽出する。まず、分割領域 $R_i \in R$ の重心点に対し近傍探索を行い、近傍領域集合 N^{R_i} を得る。次に、 N^{R_i} 内で R_i と非隣接となる分割領域と R_i に対しICPに基づく位置合わせを行い、位置合わせ後の平均自乗誤差が閾値以下となる領域同士を一つのネジ加工候補領域として統合する。以上の処理を各分割領域に適用することでネジ加工候補領域集合 C を得る。

2.5 ネジ加工候補領域パラメータ抽出 (A4)

検出した各ネジ加工候補領域 $C_j \in C$ に対しネジ加工領域のパラメータを抽出する。本提案手法では、ネジ加工領域の中心軸、フランク角、外径、ピッチ、位置、ネジ部長さを抽出対象とする。

図3に各パラメータの抽出手法の概要を示す。最初に、図3(a)に示すようにネジ加工候補領域 C_j の領域内三角形集合の法線ベクトルをガウス球へ投影し、ガウス像に対する平面フィッティングを適用し、その平面的法線を中心軸として抽出する。また、図3(b)に示すようにガウス球原点からフィット平面までの距離を基にフランク角を抽出する。次に、図3(c)に示すように中心軸方向を法線とする平面に C_j 内頂点集合を投影し、最小外接円フィッティングを行い、そのフィット円の径として外径を求める。次に、図3(d)に示すようにネジ加工候補領域 C_j から中心軸方向に円筒状の局所領域を取り出し、最も領域の重心間距離が短い領域のペアに対しICPによる位置合わせを行い、中心軸方向の移動量をピッチとして抽出する。最後に、最小外接円の中心位置をネジ加工領域の位置として抽出し、ネジ部長さをネジ加工候補領域の中心軸方向に対する上端から下端までの距離として抽出する。

2.6 ネジ加工領域の検出 (A5)

上記処理では、近傍領域内に合同形状が存在する領域をネジ加工候補領域としているため、ネジ加工候補領域集合には本来ネジ部ではない領域が多数含まれる。そこで、抽出したパラメータに基づいてネジ加工候補領域からネジ加工領域のみを抽出する。具体的には最終的に抽出したピッチが0ではなく、かつフランク角が25度以上45度以下の領域をネジ加工領域としてネジ加工領域集合 S を得る。

3. 結果と考察

図4(a)に検証に用いた三角形計測メッシュ(頂点数:101万, 三角形数:197万), 図4(b)に分割領域(灰:分割領域, 白:その他の領域), 図4(c)にネジ加工候補領域(灰:ネジ加工候補領域, 白:その他の領域), 図4(d)にネジ加工領域の検出結果(黒:ネジ加工領域, 灰:その他の領域)を示す。結果より、一部に抜けはあるが、機械加工面メッシュから概ね良好にネジ加工領域を検出できていることがわかる。

表1にREソフトを用いて手動で抽出したネジ加工領域のパラメータと前報[2]および本報の提案手法により抽出したネジ加工領域のパラメータとの比較を示す。本報では前報の結果と比較し、ネジ加工領域の外径、ピッチ、ネジ部長さをより高精度に抽出できることを確認した。一方で、フランク角においては精度が悪化する結果が見られたが、これは前報と比較し領域部の端に近い部分までネジ加工領域と認識され、境界部における不正確な法線やノイズの影響を受けたものと考えられる。

なお、ネジ加工領域の検出およびパラメータ抽出処理は図4(c)の計測メッシュに対し31.9秒を要した(CPU: Intel® Core i7-2600K 3.4GHz, メモリ: 16.0GB)。

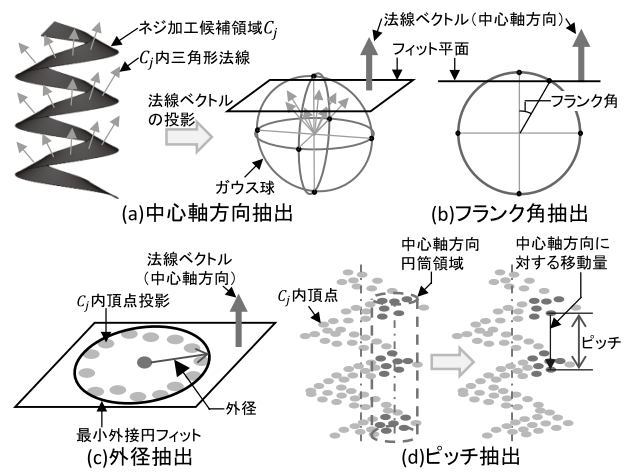


図3 ネジ加工領域パラメータ抽出

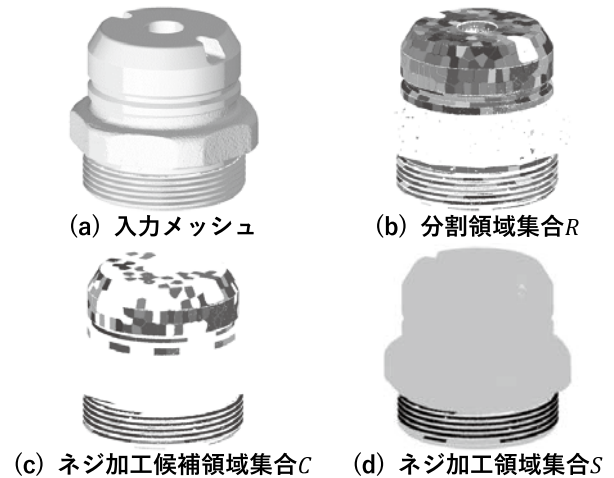


図4 計測メッシュとネジ加工領域検出結果

表1 抽出したネジ加工領域のパラメータ

	手動抽出	既提案手法[2]	提案手法
外径[mm]	59.5	62.5	59.7
ピッチ[mm]	2.3	2.2	2.3
ネジ部長さ[mm]	12.9	9.9	12.9
フランク角[deg]	26.5	27.9	29.0

4. 終わりに

本報では、計測メッシュに含まれるネジ加工領域を中心軸方向の自己合同性に基づき検出し、そのパラメータを平面フィット、最小外接円フィット、ICPに基づき抽出する手法、ならびに抽出パラメータの高精度化のためのメッシュ領域分けおよび統合手法を提案した。実計測メッシュに対し適用した結果、前報[2]と比較し、外径、ピッチ、ネジ部長さをより高精度に抽出できることを確認した。

参考文献

- [1] 浦田昇尚, 伊達宏昭, 金井理, 後藤孝行, 安田星季: 鋳造品の迅速リバースエンジニアリングに関する研究 -面粗さ推定法と鋳肌面分離性能の改善-, 2015年度精密工学会春季大学術講演会講演論文集, (2015), pp.431-432.
- [2] 浦田昇尚, 伊達宏昭, 金井理, 後藤孝行, 安田星季: 鋳造品の迅速リバースエンジニアリングに関する研究 -ネジ加工領域の検出とそのパラメータ抽出-, 2015年度精密工学会秋季大学術講演会, (2015).
- [3] Taubin, Gabriel. "A signal processing approach to fair surface design." Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, 1995.
- [4] Cohen-Steiner, David, Pierre Alliez, and Mathieu Desbrun. "Variational shape approximation." ACM Transactions on Graphics (TOG) 23.3 (2004): 905-914.