HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	鋳肌面・機械加工面認識と最適計測計画に基づく鋳造品の高品質リバースエンジニアリングの研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	浦田, 昇尚
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第13526号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74274
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Akihisa_Urata_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（情報科学）　氏名　浦田 昇尚

学 位 論 文 題 名

鋳肌面・機械加工面認識と最適計測計画に基づく鋳造品の高品質リバースエンジニアリングの研究
（A study of high-quality reverse engineering of castings based on casting and machining surface recognition and optimized 3D scan planning）

近年, 省エネルギ社会への移行に伴い, 例えば火力発電所のような大型インフラ設備の長寿命化が喫緊の課題となっている. このような設備では大型タービンなどのような複雑形状の鋳造部品が多く使用されているが, 古い設備では部品が破損した際, 保守部品や図面のない場合に既存部品からリバースエンジニアリング (以下,RE) を行い修復する必要性が高まっている.

現在, 非接触式三次元形状測定機によりこのような部品現物を高精度に三次元計測し, 計測データからソリッドモデル生成を行う手法が RE の主流となりつつあり, 鋳造部品の修復にこれを活用することが期待されている. 一方で, 鋳造品はその表面が要求精度の異なる鋳肌面と機械加工面から構成されているが, 従来の RE 手法では, 面の要求精度の区別なくソリッドモデルを生成していたため, 鋳肌面のような要求精度の低い箇所に対しても過剰に高品質な曲面フィッティングが適用され, 非効率的な RE を行っていた. さらに,RE で得られたソリッドモデルの複製や再設計などへの応用においては, その表面が鋳肌面と機械加工面で区別されていることが望ましいが, 従来研究で生成されるソリッドモデルには鋳肌面と機械加工面との区別がなく, 例えば複製等の後工程において, 機械加工を行う箇所を手動で指示する必要があり, 非効率的である. また, 本研究では鋳造品の三次元計測に用いている光学式三次元形状測定機は一般的に, 三次元計測の際の計測表面とカメラ光軸とのなす角が垂直であるほど計測精度が高くなり, 一方で, 表面とのなす角が水平に近い表面や, 遮蔽により投影光とカメラから死角となる箇所は計測できず, 未計測部となる. そこで, 計測対象物を複数の位置姿勢から計測し, それぞれの位置姿勢からの計測データを統合することにより計測対象物全体の計測データを取得する. しかし, 計測する際の位置と姿勢は従来, 計測作業者の経験により決定しているため未計測部が発生する可能性があることや, 必要以上の計測により計測作業の効率が低下する問題があった.

上述した課題解決のため, 本研究では, 砂鋳造で製造されたような, 鋳肌面と機械加工面との面粗さの差が大きな鋳造品を対象とし, 鋳造品の特徴である表面の粗さの違いに基づき計測三角形メッシュを鋳肌面と機械加工面に分離し, それぞれの面に適した幾何処理の適用・計測計画の最適化を行うといった, 従来研究とは異なる新たなアプローチによる鋳造品の迅速 RE の実現を目的とする. 具体的には, 以下の二つの技術を開発する.

(1) 鋳造品の面属性付きソリッドモデルの迅速生成技術

鋳造品の主要な面は, 鋳肌面, 機械加工平面, 機械加工円筒面, ネジ加工面, 貫通穴, そして, 旋盤加工によって形成される機械加工面間の面取りやフィレットといった回転面状従属フィーチャで構成される. 本研究では, 鋳造品の計測三角形メッシュから鋳肌面, 機械加工平面・円筒面, ネジ加工面, 貫通穴, 機械加工面間の面取りやフィレットといった回転面状従属フィーチャを認識し, これらの面情報を付加した高品質ソリッドモデルを生成する. 生成された面属性付きソリッドモデルは, 例えば複製の際の機械加工面の自動選択や製品検証の際の検査対象を機械加工面のみに絞ることが可能となり作業者の負担を軽減可能である.

(2) 鋳造品の最適計測計画

鋳造品の計測三角形メッシュから, 未計測部や再計測が必要な箇所を推定し, 未計測部面積の最小化

や計測品質の最大化を考慮した最適計測位置姿勢を決定することで, 経験に依存しない効率的かつ高品質な鋳造品の計測三角形メッシュの取得を実現する.
従来, 計測データから最適な次の計測位置姿勢を推定する問題は,Next Best View(以下,NBV) 問題として研究されてきており, 本研究ではさらに,(1) で認識された鋳造品に頻出する機械加工面に基づく計測位置姿勢候補の算出を行うことで, 鋳造品の最適計測計画を実現する.
本論文の各章の内容は, 以下の通りである.
第 1 章「序論」では, 本研究の背景および目的と手法の特徴を述べ, 鋳造品の特徴である表面の粗さの違いに基づき, 計測三角形メッシュを鋳肌面と機械加工面に分離し, それぞれの面に適した幾何処理を適用するといった, 従来研究とは異なる新たなアプローチによる鋳造品の迅速 RE の実現が本研究の目的であることを述べる.
第 2 章「関連する既存研究とその課題」では, 本研究に関連する既存研究である, 計測データからの曲面抽出に関する既存研究, 計測三角形メッシュからの粗さ推定に関する既存研究, 光学式三次元計測機を用いた最適計測に関する既存研究を紹介し, これらの問題点と本研究での解決方法について述べる.
第 3 章「鋳肌面と機械加工面の分離に基づく鋳造品の迅速 RE 手法」では, 本研究で提案する鋳肌面と機械加工面の分離に基づく鋳造品の迅速 RE 手法の具体的な処理内容について述べる. 処理は大きく 4 つに分けられ, 計測三角形メッシュからの鋳肌面・機械加工面分離, 機械加工面の曲面 (平面, 円筒面, 貫通穴, ネジ加工面, 回転面状従属フィーチャ) の認識, 鋳肌面メッシュ境界と機械加工面の整形, そして機械加工面が整列された鋳造品の面属性付きソリッドモデルの生成により構成される.
本研究により, 鋳造品の高品質 RE のための, スムージング前後の法線差分に基づく三角形粗さ値推定手法, フィット円筒面に対する外れ値に応じた効率的な機械加工平面・円筒面認識手法, 分割領域に対する同一局所形状認識に基づくネジ加工面認識手法, 機械加工平面上に存在する円状境界頂点集合のペア検出に基づく貫通穴認識手法, 回転投影された機械加工面間頂点への直線・円フィッティングによるプロファイル曲線の抽出に基づく機械加工面間回転面状従属フィーチャ認識手法, 支配的な軸の推定に基づく機械加工面の整列と直線・円近似に基づく鋳肌面メッシュ境界の整形手法, 分離された鋳肌面と認識された機械加工面のソリッドモデルそれぞれとの集合演算に基づく面属性付きソリッドモデルの生成手法が得られた.
第 4 章「鋳造品のための最適計測計画」では, 本研究で提案する鋳造品のための最適計測計画手法の具体的な処理内容について述べる. 処理は大きく 4 つに分けられ, 計測三角形メッシュのメッシュ境界エッジループの分類, 鋳肌面メッシュ境界からの計測位置姿勢の候補生成, 認識された曲面からの最適計測位置姿勢の推定, 最適計測位置姿勢の決定から構成される. そして, 推定した最適計測位置姿勢の有用性を, 計測シミュレーションを用いた未計測部網羅率と各三角形への計測角度に基づく計測品質の観点から評価する. 本研究により, エッジ境界ループからの計測面積最大化と認識機械加工面の計測品質最大化に基づく計測位置姿勢の候補算出手法, 計測位置姿勢に対する計測三角形メッシュを用いた未計測部の計測可能性と各種機械加工面の計測品質の評価に基づく最適計測位置姿勢の決定手法, 計測シミュレーションに基づく最適計測位置姿勢の決定手法の評価手法が得られた.
第 5 章「結論と今後の課題」では, 結論と今後の課題について述べる.