

要旨

本研究は、複雑な形状のリバースエンジニアリングをどのように改善するかについて扱う。複雑な形状でも単純な点群によって形状の特徴を表すことができると仮定する。この点群は、押し出し、ロフト、スワイプ、回転などの幾何学的操作によって、3次元CADモデルに変換することができる。本手法をタービンブレードのリバースエンジニアリングに適用し、その有効性を確認した。次の段階として、知的システムを構築する。

1. はじめに

リバースエンジニアリングは元となる物体から概念を抽出する技術である。図1は一般的に製造現場で行われるリバースエンジニアリングを示したものである。図1に示すように物体やクレイモデルから3Dスキャナを用いて点群やポリゴンデータなどの概念を抽出し、そのデータを基に仮想モデルをCADソフトで作る。この仮想上の初期モデルから、例えば物体の修理や形状・材質の変化などの要望に沿った再設計を行い、改良モデルを作成し、実際に製品を作製する<sup>1)</sup>。図1に示す従来の工程で点群を抽出する際にスキャナを使用すると様々な問題点が発生する。

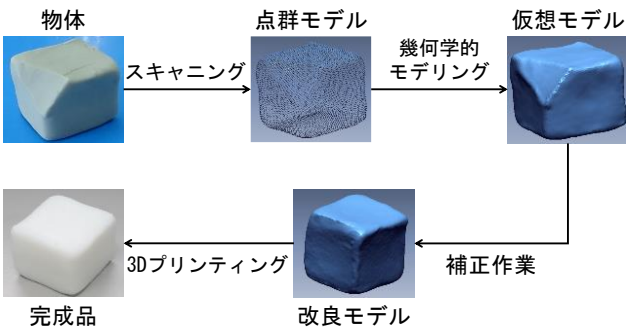


図1 従来のリバースエンジニアリングの流れ

図2は8枚羽のプロペラの実物(a)と、研究室が所有している非接触型パターン光投影方式スキャナを利用して得られた点群モデル(b)の比較を示したものである。図2(b)を見るとプロペラの羽部分や表面にノイズが発生し、更にスキャナの光が当たらなかった部分で点群の欠落が発生していることがわかる。他にも複雑な形状の場合、より精密にスキャンしようとする点群が増大してしまうといった問題が明らかとなっている。

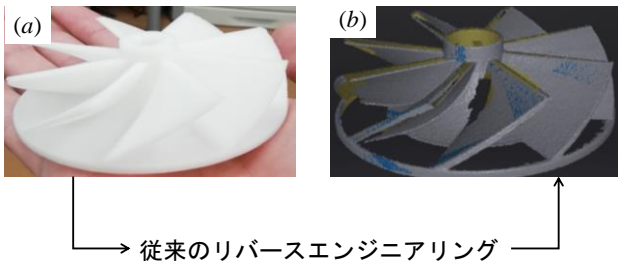


図2 プロペラとスキャンで得た点群モデルの比較

2. 方法論

先行研究としてスキャナによるリバースエンジニアリングの他に、Saigaらが研究した人の認識による解析を用いたリバースエンジニアリング法があり、図3は解析によるリバースエンジニアリングの流れを示したものである<sup>2,3)</sup>。

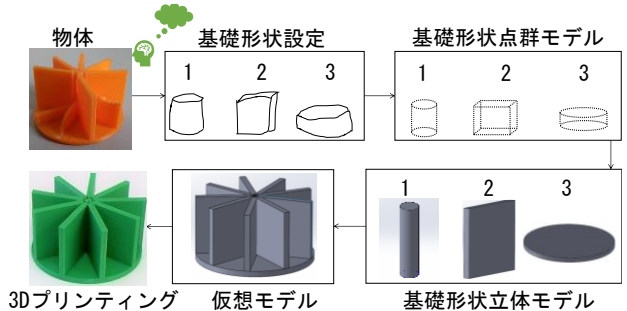


図3 新リバースエンジニアリングの流れ

本研究で行った新リバースエンジニアリング法では最初に物体を基礎形状に分けて設定する。例えば図3の場合、1:円柱型、2:ブレード型、3:ディスク型の3つの基礎形状で表すことができる。各基本形状を表す点群を解析によって発生させる。発生させた基礎形状点群モデルから幾何学的操作によって基礎形状立体モデルを作成する。基礎形状の立体モデルを合成し、仮想モデルを作成する。仮想モデルのCADデータを活用し、3Dプリンター及びCNC工作機械などによって仮想モデル通りの実物を作製する。先行研究から、こういうリバースエンジニアリング法は複雑な形状のデジタル化に役立つ。基礎形状点群モデルから基礎形状立体モデルを作成する際は、市販のCADシステムあるいは独自に開発されたCADシステムを用いて行うことができる。

3. 結果

図4に示したのは従来のリバースエンジニアリングを行った結果である。図4(a)はスキャニングした物体、(b)はスキャニングにより作成した点群モデル、(c)は点群を立体化したモデルになる。物体は図2のプロペラと異なり、直径10cmの9枚羽である。物体から点群を抽出する方法として、研究室で所有している非接触型パターン光投影方式スキャナを使用した。このスキャナはスキャンする物体をターンテーブル型の台に設置し、物体を回転させて光を照射することで点群を抽出し、専用ソフトで仮想上に点群モデルを作成する。この際に2856939個もの点数と、物体をスキャンした際に点群の欠落が確認された。次に点群モデルの立体化を行い、図4(c)の結果が得られた。立体化は点群モデル作成時と同様の専用ソフトに存在する機能を用いて、ポリゴンデータに変換し面の作成、立体化を行った。その際に点群モデルで欠落した部分の穴埋めを行ったが、やはり表面のノイズや物体の欠落を完全に取ることは不可能であった。

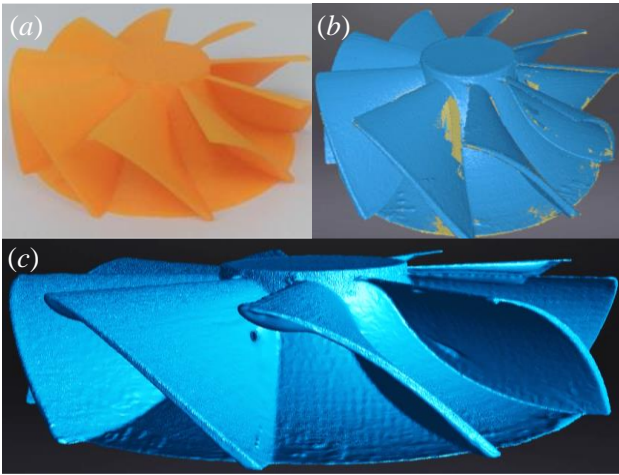


図4 従来のリバースエンジニアリング

次に、図4と同様の物体を新リバースエンジニアリング法により立体化を行う。立体化の方法としてCADソフトの押し出し操作、ロフト操作、スイープ操作、回転操作の4種類から点群の立体化を試みた。その上で、モデルを立体化する際に適切なものを選択し、立体化を行った。図5に物体から基礎形状立体モデルまでの工程を示した。図5の詳細として(a)はリバースエンジニアリングを行う対象物、(b)は基礎形状設定、(c)は基礎形状点群モデル、(d)は基礎形状立体モデルを示している。

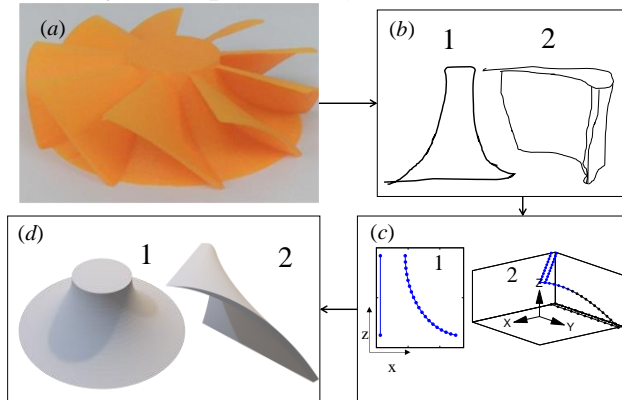


図5 新リバースエンジニアリング法による基礎立体モデルの作成

まず私は図5(b)に示すように物体を1:フラスコ型、2:ブレード型の基礎形状として認識した。次に、各形状の点群モデルを作成した。フラスコ型の立体化を行う上で、図5(c)に示す点群モデルを回転させ材料を発生させるようにすることでフラスコ型の立体モデル作成を考えた。そこで軸となる点群とフラスコ型の側面のカーブを模した点群を発生させた。その後、CADソフト上で点群を回転させることで図5(d)に示す1:フラスコ型の基礎形状立体モデルを作成した。ブレード型は底面に長方形型の点群を発生させ、高さや角度を変えることにより上面を作成した。そして上面と底面の間にブレード型の曲面を再現した点群を発生させ、ブレード型の点群モデルを作成した。その後、CADソフトにより点群の立体化を行い、完成したのが図5(d)に示した2:ブレード型の基礎形状立体モデルである。

次に、作製した基礎形状立体モデルの合成を行った。図6には仮想モデル作成の工程を示す。

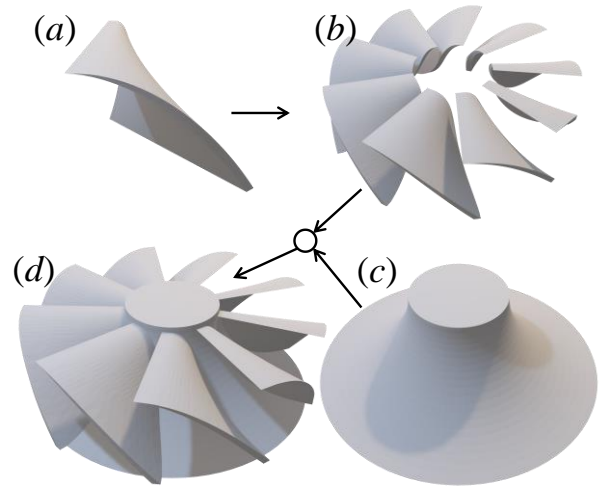


図6 新リバースエンジニアリング法による仮想モデルの作成

まず基礎形状立体モデルのブレード型をCADソフト上で9枚に複製することによって実物と同様の羽数にする。その後、図6(c)に示すフラスコ型の基礎形状立体モデルと合成し、図6(d)に示す仮想モデルを作成した。この新リバースエンジニアリング法による仮想モデル作成において発生させた点数は合計で92個であり、スキャンニングによる点数から大幅な減少に成功した。更に仮想モデル上に点群の欠落も見られなかった。

#### 4. 今後の方針・考察

今回の研究で試験片に近い物体の作製を行うことができたが、立体化する際に目視ではブレードの曲面とより近い形状を作製するのは難しい事が分かった。そこでスキャンニングにより得られた点群から適切な部分だけを抽出し、解析によるリバースエンジニアリングと組み合わせることで複雑な曲面を再現できると考えた。今後はスキャンと人間の認識を用いたリバースエンジニアリングを行いたい。

#### 5. 結論

本研究で新リバースエンジニアリング法から点群の発生方法とそれを立体化する手法を考案し、実際にスキャンニングの問題点を解決する事ができた。しかし前述した通り、曲面がある物体をリバースエンジニアリングする際にスキャンニングによる点群の抽出を利用すると、再現性の高いリバースエンジニアリングが期待できる。

#### 参考文献

1. F. Buonamici, M. Carfagni, R. Furferi, L. Governi, A. Lapini, and Y. Volpe. Reverse engineering modeling methods and tools: a survey. *Computer-Aided Design and Applications*, 15(3), pp. 443-464, 2018.
2. Tashi and A.S. Ullah. Symmetrical Patterns of Ainu Heritage and Their Virtual and Physical Prototyping. *Symmetry*, 11(8), Article Number 985, 2019.
3. K. Saiga, A. S. Ullah, A. Kubo, A., and Tashi. A Sustainable Reverse Engineering Process. *Procedia CIRP*, 98, pp. 517-522, 2021.