



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	CAEモデル自動生成のための離散的形状表現を活用した三次元特徴形状認識技術の開発 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	高嶋, 英蔵
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14751号
Issue Date	2021-12-24
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/83885">https://hdl.handle.net/2115/83885</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Takashima_Hideyoshi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



## 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 高嶋 英敏

### 学位論文題名

CAE モデル自動生成のための離散的形状表現を活用した三次元特徴形状認識技術の開発  
(Development of 3D feature recognition method utilizing discrete shape representations for  
automatic CAE model generation)

自動車業界では、世界共通の重要課題である気候変動への対策として、軽量の電動車両の開発を強力に推し進めている。この技術革新を実現する上で、デジタル開発技術は、品質保証、開発期間短縮、コスト低減を実現する重要な役割を担っており、特に高精度に性能を予測できる大規模 CAE(Computer-aided Engineering) によるシミュレーションは、製品開発に必要不可欠である。一方、大規模 CAE モデルの作成工数は、解析条件、材料物性値、有限要素 (Finite Element, FE) メッシュ分割方法などモデル仕様の詳細化に伴い大きく増加している。特にその中でも、CAE モデルの根幹を成す仕様に適合した FE メッシュ作成作業は、CAE によるシミュレーションプロセス全体のボトルネックとなっている。これは、現在の商用 CAE ソフトウェアには、要素種類、要素の粗密・規則性・サイズ、節点配置などの FE メッシュ生成仕様に適合したメッシュを CAD モデルから完全自動で生成できる機能がなく、未だエンジニアの判断と手作業に依存しているからである。現在、この仕様適合 FE メッシュの生成は、CAD モデル上でメッシュ生成仕様が適用されるボス・リブ等の特徴形状の発見、その特徴形状の局所特徴領域の抽出、さらにその特徴領域に対する仕様適合 FE メッシュ分割という手順で作業が行われている。この中でも特に、複雑な製品の CAD モデル上からの特徴形状及び局所特徴領域の認識には多くの労力が必要で、また認識漏れなどのミスも引き起こしやすいことから、自動化が強く求められている。

これまで、CAD の研究分野では FE メッシュ生成や機械加工工程設計等のための CAD モデル上からの特徴形状認識手法の研究が数多く行われてきた。しかし、これら従来の特徴形状認識手法は、Product Data Quality(PDQ) 劣化部を含んだ CAD モデルからの特徴形状認識が頑健に行えない、複雑で滑らかな曲面で構成された特徴形状認識が困難、また特徴形状タイプ毎に ad hoc な認識アルゴリズム実装が必要でアルゴリズムの統一性と拡張性に欠け、CAE モデル自動生成のための特徴形状認識には適用が困難であった。

そこで本研究では、これら問題を解決し、CAD モデルから仕様に適合した CAE モデルを自動生成するため、離散的形状表現を活用した FE メッシュ生成のための特徴形状認識技術を新たに開発することを目的とした。その実現のため本論文では、仕様適合 FE メッシュを CAD モデルから自動生成可能な実装方式である「マッピング方式 FE メッシュ自動生成」及び「作成手順逐次実行方式 FE メッシュ自動生成」に対応した特徴形状認識手法として、「三次元点群と形状記述子を用いた類似特徴形状認識技術」、及び「三次元点群と深層学習を用いた自由曲面特徴形状認識技術」の 2 つを開発し、実際に仕様適合した FE メッシュの自動生成実験を行い、その有効性について明らかにしている。本論文は 5 章から構成される。

第 1 章「緒論」では、仕様適合した CAE モデル自動生成における特徴形状認識技術の重要性を述べるとともに、CAD の研究分野で従来行われてきた特徴形状認識技術の特徴や問題点をまとめ、

本論文では、3次元コンピュータビジョン分野で利用が進んでいる離散的形状表現を活用した特徴形状認識技術を新たに開発し、その問題解決を図ることが目的であることを述べた。また仕様適合 FE メッシュを CAD モデルから自動生成可能な 2 種類の実装方式にそれぞれ対応した、2 つの特徴形状認識技術の開発を本研究で行ったことを述べ、またそれら技術の特徴を比較した。

第 2 章「三次元点群と形状記述子を用いた類似特徴形状認識技術の開発」では、CAD モデル表面の高密度サンプリングから生成した 3 次元点群と形状記述子を利用し、データベース上に登録された参照特徴形状 CAD モデル点群表現の局所形状特徴量と、入力 CAD モデル点群表現との局所形状特徴量とのマッチングから、参照特徴形状と非剛体且つパラメトリックな変形関係にある類似特徴形状を CAD モデル上から発見する技術の詳細を述べた。まず提案手法のコンセプトを述べ、その後、処理の詳細、及び提案手法で利用する形状記述子、局所形状特徴量、キーポイントマッチング、ならびにそれらを組み合わせた参照特徴形状と検索特徴形状間の射影変換関係推定方法などの要素技術についての説明を行った。また最後に、実験結果を示し有効性を評価・考察した。

第 3 章「三次元点群と深層学習を用いた自由曲面特徴形状認識技術の開発」では、同様に CAD モデル表面をサンプルした高密度 3 次元点群を利用し、予め認識したい特徴形状の例題を CAD 上のパラメトリック変形で大量生成し、これを点群に変換して訓練した深層学習ネットワークを用いて、入力 CAD モデルの点群表現上の各点で特徴形状クラス及び局所特徴領域のラベルを推定することで、自由曲面特徴形状を発見する技術の詳細を述べた。まず提案手法のコンセプトを述べ、その後、処理の詳細、及び提案手法で利用する点群深層学習のための畳み込みニューラルネットワークや、Multi-Scale Bounding Box や Non-Maximum-Suppression を用いた CAD モデル上の特徴形状部の位置推定方法を説明した。また深層学習に必要な大量の 3 次元特徴形状の学習データセットを、CAD 上のパラメトリック変形機能と表面サンプリングを用い、形状定義パラメータの多数の組み合わせから効率的に大量生成してデータ拡張する独自手法を説明した。また最後に、実験結果を示し有効性を評価・考察した。

第 4 章「認識特徴形状に基づく FE メッシュ自動生成と提案手法の有効性検証」では、提案手法の特徴形状認識処理を、商用 CAE ソフトウェアの FE メッシュ生成処理と連携し、実際に仕様に適合した FE メッシュを自動生成できることを、いくつかの例題で確認した。さらに、仕様準拠 FE メッシュと非仕様準拠 FE メッシュによる構造解析結果の比較や、PDQ 劣化部を含む CAD モデルに対する FE メッシュ自動生成結果の頑健性評価などを通じ、本論文で提案する離散的形状表現を活用した特徴形状認識技術の有効性を検証した。

第 5 章「結論と今後の課題」では、研究内容に関してまとめ、提案手法の有効性ならびに今後の展望について述べた。