



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	https://hdl.handle.net/2115/83885
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takashima_Hideyoshi_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学) 氏名 高嶋 英敏

審査担当者 主査 教授 金井 理
副査 教授 小野里 雅彦
副査 准教授 伊達 宏昭

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)

現代の自動車開発プロセスにおいて、高精度な性能予測が可能な大規模 CAE(Computer-aided Engineering) によるシミュレーションは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、企業ごとに解析条件、材料物性値、有限要素 (Finite Element, FE) メッシュ分割方法などを規定したモデル仕様が年々詳細化されていることに伴い、大きく増加している。その中でも、要素の種類、粗密・規則性・サイズ、節点配置などを規定した FE メッシュ生成仕様に適合するメッシュ作成には未だに手作業が多く存在している。仕様適合 FE メッシュの生成には、CAD モデル上で仕様が適用されるボス・リブ等の特徴形状の発見、特徴形状内の局所特徴領域の抽出、特徴領域に対する仕様適合 FE メッシュ分割からなる作業が必要となるが、複雑な特徴形状部を CAD モデル上で認識する処理は、形状処理の難易度が高く現在の商用 CAE ソフトウェアには実装されていない。しかし目視判断に頼った特徴形状認識は、技術者への負担も大きく、認識漏れなどのミスも引き起こしやすいことから、その認識処理の自動化技術が強く求められている。

本論文は、この CAE モデルの FE メッシュ生成に必要な CAD モデル上の特徴形状部を自動認識できる新たな 3 次元形状処理手法を、離散的形状表現を活用することで実現し、その認識手法の有効性を検証することを目的としており、5 章より構成されている。

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に必要な条件を述べ、CAD 分野で従来提案されてきた特徴形状認識技術の問題点をまとめるとともに、本論文では 3 次元コンピュータビジョン分野で提案されている離散的形状表現を活用した特徴形状認識技術により、その解決を図ることが目的であることが述べられている。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実装方式である「マッピング方式 FE メッシュ自動生成方式」及び「作成手順逐次実行方式 FE メッシュ自動生成方式」を提案し、これらを実現する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」を開発することが本研究の目的であることが述べられている。

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が詳細に論じられている。また検証実験により、等方スケー

ル変換, 直交異方スケール変換, 射影変換の変形関係にある類似特徴形状が, 実用上十分な範囲で抽出可能であること, 独立して配置された類似特徴形状を単体又は複数に関わらず抽出でき, さらに滑らかに接続された特徴形状においても単体又は複数に関わらず抽出できることが実証されている.

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, 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が論じられている. 具体的には, 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を用いて大量生成し, これを点群に変換して訓練する学習データ拡張方法, 畳み込みニューラルネットワークによる点ラベル推定方法や, 特徴形状部を点群上で自動セグメンテーションする **Multi-Scale Bounding Box, Non-Maximum-Suppression** などの独自手法が説明されている. また検証実験により, 2 種類の深層学習ネットワークの組み合わせにより CAD 上の特徴形状と局所特徴領域の認識が可能であること, 複数の特徴形状を持つ入力形状からの個別特徴部の認識が可能であること, さらに学習データセットのチューニングにより認識精度の向上が可能であることが示されている.

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させ, 実際に仕様適合 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ている. 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, 提案する離散的形状表現を活用した特徴形状認識技術が, FE メッシュ自動生成の効率化や解析信頼性の向上に有用であることを実証している.

第5章「結論と今後の課題」では, 各章で得られた成果の要点と今後の課題がまとめられている.

これを要するに, 本論文は, 製品形状の 3 次元離散形状表現およびその表現上で動作する形状記述子や深層学習を活用して, 解析信頼性を担保する仕様適合 CAE モデルの自動生成に必要な 3 次元特徴形状認識技術を新たに実現したものであり, デジタル幾何処理, デジタルエンジニアリング, コンピューター支援設計・解析技術の発展に寄与するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める.