



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	深層学習を用いた回転機のトポロジー最適化に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	佐々木, 秀徳
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14578号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81714
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hidenori_Sasaki_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 (工学) 氏名 佐々木 秀徳

審査担当者 主 査 教 授 五十嵐 一
副 査 教 授 小笠原 悟司
副 査 教 授 北 裕幸
副 査 准教授 野口 聡

学位論文題名

深層学習を用いた回転機のトポロジー最適化に関する研究

(Study on topology optimization for electrical machine using deep learning)

本学位論文では、深層学習を用いた回転機のトポロジー最適化の高速化法を提案するとともに、本手法の有効性を数値実験により検証している。

トポロジー最適化は、従来のパラメータ最適化とは異なり、対象物体の形状を自由に変形させるとともに、穴の生成、消滅を許して最適構造を求める方法である。本手法は特に回転機のフラックスバリアや永久磁石配置を決める最適化に適している。近年、電気自動車の急速な普及が見込まれており、その駆動用モータの開発が精力的に行われている。トポロジー最適化はこのような駆動用モータの最適設計に有効だと考えられ、多くの企業や研究機関から注目を集めている。

トポロジー最適化法としてガウス関数などの基底関数により材料分布を表し、基底関数の重み係数を遺伝的アルゴリズムで決める方法が提案されており、特にモータ最適化への有効性が確認されている。一方、本手法の問題点。本研究では、この問題点を克服するために、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) を用いた深層学習により有限要素法を代替する方法を提案し、その有効性を実証している。本手法では、事前に学習した CNN を用意し、遺伝的アルゴリズムによる最適化における個体評価を CNN により高速に行う。さらに、この評価値の高い個体のみについて有限要素法による評価値の精密評価を行う。このように進化の方向を決める有望な個体のみに、有限要素解析を絞ることにより、最適化の質を保ちつつ、計算コストを下げるができる。本学位論文では、CNN への入力としてモータ断面の RGB 画像を与える方法と、磁束密度分布を与える方法を提案し、それらを比較している。さらに、GradCAM を用いた深層学習機の注目領域の可視化と、それを用いた二段階最適化法を提案している。以下、本学位論文の構成について述べる。

第 1 章では、本研究の背景、目的および本論文の構成について述べている。

第 2 章では、電磁界解析手法、数値計画問題、トポロジー最適化における形状表現法、モータ理論などについて述べている。

第 3 章では、深層学習の概要、磁気的非線形性を考慮した CNN の学習とモータの平均トルクなトルクリプルなどの特性推定、CNN のトポロジー最適化への適用法について述べている。また本手法を永久磁石モータのトポロジー最適化に適用した結果について述べている。この結果、提案手法によ

り,最適化の質を損なうことなく,計算コストを 1/10 程度に削減できると結論している.

第 4 章では,追学習や同時学習,磁束密度分布を入力とした CNN など,CNN の推定汎化手法について述べている.

第 5 章では,GradCAM を用いた CNN の注目領域の可視化と,その結果を用いた二段階最適化法について述べている.本手法では,平均トルク最適化において注目された領域を抽出し,それ以外の領域を設計領域とすることで平均トルクに影響を与えずに,トルクリプルを低下させる.数値実験により本手法の有効性を示している.

第 6 章では,本研究の総括を行っている.

これを要するに著者は,回転機断面形状または磁束密度分布を CNN に入力することで回転機特性を予測できることを初めて示し,さらに回転機のトポロジー最適化を CNN により効率化する新しい方法を提案した.この研究は,電気工学,電気機器工学,最適設計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(工学)の学位を授与される資格ある者と認める.