



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	回転機のトポロジー最適化および3次元形状最適化に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	日高, 勇氣
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第12652号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65775
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuki_Hidaka_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 日高 勇気

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

学位論文題名

回転機のトポロジー最適化および 3 次元形状最適化に関する研究
(Study on Topology Optimization and Three-dimensional Shape Optimization of Rotating Machines)

近年, 回転機を始めとする電気機器の設計において, 電磁界解析を用いた最適設計が広く行われるようになってきている. このような最適設計においては, 機器寸法や配置, 材料などを設計パラメータとして表し, これらを変化させて回転機トルク, トルクリップル, コギングトルク, 損失などを電磁界解析で求めることにより, 最適化問題を解く. このようなパラメータ最適化は, 比較的少数の設計変数に対して行われるため, 最適化に要する計算時間が比較的短い. しかし設計パラメータの範囲内で探索が行われるため, 革新的な最適結果が得られにくいという問題があった. 一方, 最近, 設計パラメータを用いずに機器形状を自由に変形させて最適化を行うトポロジー最適化が注目を集めている. トポロジー最適化により, 設計者の固定観念にとらわれない斬新な最適形状が得られることが期待される.

本学位論文では, 回転機のパラメータ最適化およびトポロジー最適化について著者が行った研究について述べている. 本研究において著者は, トポロジー最適法として, レベルセット法と On-Off 法を組み合わせた方法, および可変デザイン領域を用いた方法を開発した. また加工による材料の磁気特性劣化を考慮したトポロジー最適化法を提案した. さらに, 乗用車のオルタネータに用いられるクローボールモータの 3 次元最適化法を開発した.

本学位論文の第 1 章では, 研究の背景と目的について述べている. 第 2 章では, 本研究の基礎となる有限要素法および遺伝的アルゴリズムについてまとめている.

第 3 章ではレベルセット法と On-Off 法を組み合わせたトポロジー最適化法について述べている. トポロジー最適化法としては, 従来, レベルセット法と On-Off 法が提案されてきたが, 前者は滑らかな境界をもつ結果が得られるという利点があるが, 最適化に勾配法などの直接法を用いるため, 局所解に陥りやすいという欠点がある. 一方, 後者は有限要素それぞれの物質定数を変化させる方法であり, 遺伝的アルゴリズムなどの確率論的最適化法と親和性が高い. このため大域探索が可能という長所を持っている. 一方, 設計自由度が高いため, 複雑な形状が得られやすいという問題があった. 著者はこれらの問題を解決するため, まず On-Off 法で最適化を行ったのち, 得られた解を初期解としてレベルセット法を適用する 2 段階最適化法を提案した. 本法では, On-Off 法により大域探索を行い, つぎにレベルセット法で局所探索を行うため, 最終的に得られる解は, 滑らかな材料境界を持ち, かつ良好な特性を持つことが期待される. 著者は, IPM モータの最適設計に本法を適用し, その有効性を実証している. また, 本章では著者が開発した可変デザイン領域を用いたトポロジー最適化法について述べている. 本法では, 既存の回転機を基に最適設計を行うため, 既存の回転機形状を初期解とし, その材料境界近傍のみに設計領域を設定することにより, 最適化を実施する. この設計領域は最適化過程で得られる解形状に変化に合わせて柔軟に変化させるため, 探索能力にも優れていることが期待される. 著者は本法をリラクタンスモータおよび IPM モータの最適設計に適用することにより, 本法の有効性を実証している.

第 4 章では加工による材料劣化を考慮したトポロジー最適化について論じている. 回転機コアの加工においては, 磁石やフラックスバリア部分を形成するため打ち抜きが行われる. このとき, 打ち抜かれた材料表面の近傍には残留応力が発生するため, 電磁鋼板の透磁率が低下することが知られている. したがって, トポロジー最

適化により機器性能が向上するという結果が得られても、たとえばフラックスバリアが多数存在する場合には、透磁率低下のために、実際には所望の特性が得られない可能性がある。著者はこの問題を解決するため、トポロジー最適化過程において、加工部近傍の残留応力を数学モデルにより求め、透磁率の劣化を電磁界解析に組み込む方法を提案している。著者は、本法をリラクタンスモータの最適設計に適用することにより、加工による透磁率の低下があっても、所望の性能が達成できるような最適化が可能であることを実証した。

第5章では、乗用車のエンジンの駆動力の一部を用いて発電を行うクローポールモータの設計最適化について論じている。クローポールモータは本質的に3次元形状を有しているため、有限要素モデルの形状を変化させるためには長い計算時間を要する。このため、クローポールモータの設計最適化はほとんど行われてこなかった。著者はこの問題点を解決するため、有限要素メッシュの変化を伴わずに形状変化が可能なボクセル有限要素法を用い、形状最適化を行う方法を開発した。著者は本法をクローポールモータの3次元設計最適化問題に適用し、本法の有効性を実証している。

これを要するに、著者はレベルセット法と On-Off 法を組み合わせたトポロジー最適化法、および可変デザイン領域を用いたトポロジー最適化を提案し、その有効性を示した。また加工による電磁鋼板の透磁率低下を考慮したトポロジー最適化法を提案し、その有効性を示した。さらに、乗用車のオルタネータに用いられるクローポールモータの3次元最適化法を提案し、その有効性を示した。これらから、著者は電気工学、情報科学に重要な寄与をしていると認められる。よって著者は北海道大学博士(情報科学)を授与される資格あるものと認める。