



Title	電気機器の3次元トポロジー最適化および解析に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	大友, 佳嗣
Citation	北海道大学. 博士(情報科学) 甲第15081号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/85428
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Yoshitsugu_Otomo_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

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 大友 佳嗣

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

電気機器の3次元トポロジー最適化および解析に関する研究

(A study on three-dimensional topology optimization and analysis of electric apparatuses)

本学位論文では電気機器の3次元トポロジー最適化および電磁界解析に関する研究結果について述べている。近年、電気電子機器の開発においては、設計・最適化をコンピュータを用いて行うモデルベースデザインが広く用いられている。これにより設計の手戻りや試作回数を効果的に減らすことができる。最適設計には、設計者が予め設定した寸法パラメータに対して最適値を探索するパラメータ最適化と、対象を自由に変形して最適構造を探索するトポロジー最適化がある。前者は想定した設計空間で確実な設計が可能であるが、新しい構造を得ることは難しい。一方、後者は高度な性能を持つ斬新な構造を得ることが可能となる。このため、トポロジー最適化は産業界に普及しつつある。これまでは、比較的实施が容易な2次元モデルのトポロジー最適化が行われて来た。一方、3次元構造の特性把握や新規の立体構造を得ることができる3次元トポロジー最適化の重要性は認識されていたが、大きな計算量や最適解探索の困難性から、3次元トポロジー最適化はほとんど行われてこなかった。本論文では、電気機器の3次元トポロジー最適化を可能とする方法を提案し、また得られた最適化結果について詳述している。

1章では研究の背景と既存の研究について記述し、それらの内容を踏まえて研究目的について述べている。

2章では非接触給電装置のトポロジー最適化について述べている。非接触給電は現在、携帯電話や腕時計など比較的低電力の装置に使用されているが、今後、産業用移動ロボットや電気自動車などに広く用いられることが予想されている。後者のような可動物体へ非接触給電する場合、1次コイルと2次コイルの位置がずれることが想定され、これにより給電効率が悪化する。本研究では、位置ずれが生じても給電効率が保たれるような、非接触給電装置の開発を目指し、磁気コアとコイルのトポロジー最適化法を構築している。この結果、位置ずれにロバストな新しい構造が得られることを、数値解析および実験により示している。

3章では永久磁石モータおよびリラクタンスモータのトポロジー最適化について述べている。近年、電気自動車の急速な普及が見込まれるため、特に永久磁石モータの重要性が増している。また安価に製作でき、構造的に頑健なリラクタンスモータも産業界に広く用いられている。これまで、これらモータのトポロジー最適化は2次元モデルを用いて行われていたが、本研究では、ガウス基底と確率論的最適化法を用いた方法を用いることにより、3次元トポロジー最適化が可能であることを示した。特に、永久磁石モータを複数の層に分け、それぞれで異なる最適形状を求める2.5次元トポロ

ジー最適化により、表面磁石モータとリラクタンスモータ、内部磁石埋め込み型モータが混在するような、全く新しいモータ構造を見出している。またガポールフィルタを用いた新しいトポロジー最適化法を開発し、複数のフラックスバリア層からなるリラクタンスモータの最適化を効果的に実施できるようにした。

4章では、自動車の発電機に用いられるクローポールモータの3次元トポロジー最適化について述べている。クローポールモータは本質的に3次元構造を有しており、また鉄心の磁気飽和を考慮する必要がある。従来ではトポロジー最適化の適用が難しかった。本研究では、ガウス基底と確率論的最適化法を用いた方法により、本モータのトポロジー最適化が可能であることを示し、さらにこれにより発電効率を増加できることを示している。

5章ではリッツ線を含む電気電子機器の3次元解析法について述べている。リッツ線は、渦電流損を防ぐため、細い線を多重にらせん状に巻いた構造を有している。このため、リッツ線を有限要素法でモデル化すると、膨大な数の要素が必要なため、事実上、有限要素解析を行うのが不可能であった。このような異なる空間スケールを含む系を解析するマルチスケール問題は、有限要素解析を始め、数値解析を適用することが難しかった。本研究では、リッツ線を複素透磁率を持つ均質な媒質に置き換える均質化法を開発した。特に、短絡された端子間を流れる循環電流の考慮を可能とした。これにより、インダクタやリアクトルなどリッツ線を含む機器の有限要素解析を可能とした。また本手法による解析結果を実験結果と比較し、その有効性を示している。

6章では測定データから電気機器の等価回路定数を決定する新しい方法について述べている。有限要素法による電気機器の3次元解析は解析精度が高い反面、大きな計算コストが必要である。このため、電気回路や機械システムと電気機器を結合した解析を多数回実施する設計検討を行うことが困難であった。このような解析には、電気機器を等価回路で表すことが有効である。これまで、そのような等価回路としてはしご型回路(カウアー回路)が有効であることが知られていた。しかし、カウアー回路は有限要素解析を通して構築されてきたため、解析誤差やモデリング誤差が含まれる可能性があった。本研究では、機器特性の測定結果から直接的にカウアー回路を構築する方法を開発した。特に、本回路の回路素子値を、随伴変数法による感度解析で決定する新しい方法を開発し、その有効性を実験的検討により示している。

これを要するに著者は、電気機器の3次元トポロジー最適化を行うためにガウス基底と確率論的最適化法を用いた新しい方法を開発し、その有効性を実験的に示している。またリッツ線を含む機器の解析を可能とする新しい均質化法および、電気機器の等価回路定数の新しい同定法を開発している。このように本研究は、情報科学、電気工学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者と認める。