



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_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 日高 勇氣

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)

回転機性能を決定するうえで、機器形状は重要な要素の一つであり、より高性能・高効率な回転機の開発を実現するために、適切な機器形状設計を行うことが必要不可欠である。同サイズでより高出力/高効率な磁気特性を実現するためには、適切な磁路を構築する必要がある。通常回転機等の電磁機器の磁路設計は、設計者の知見・経験を元に CAD モデルで解析モデルを作成し、磁界解析ソフトウェアを用いて磁界解析を行うことが一般的である。一方で、回転機の磁路構造は熟練した設計者でもトライアンドエラーで設計するほど複雑であり、磁界解析に関する一定以上の知識がなければ、適切な磁路設計を施すことは難しい。そのため、最近では磁気設計者に掛かる設計負荷が多大となっており、基礎/要素研究にかける時間が確保できない場合が多くある。また、近年フロントローディング設計による開発時間の短縮が求められており、損失算出精度の向上や熱・振動等の回転機周辺における物理現象との連成解析まで設計者への要求範囲が広がっている。

上記背景を鑑み、モデル作成～評価までの一連の流れを自動化し、遺伝的アルゴリズム等の最適化アルゴリズムと統合させ、計算機に自動で磁気回路を設計させる取組が着目を浴びている。こういった、自動磁気設計を実現する技術のことを形状最適化と呼ぶ。形状最適化において、人的な労力が発生するのは、磁気回路設計のベースとなる初期モデルを作成するのみであり、その他の部分は全て計算機が自動で行うこととなる。形状最適化が実設計業務に浸透すれば、設計者に掛かる負担も軽減され、基礎/原理検討にかける時間を確保することができる。また、熱・振動等の磁気以外の物理現象を考慮する時間を確保できることから、フロントローディング設計を実現するアイデアの 1 つであると言える。

一方で、回転機に形状最適化を適用するためには残課題として下記が挙げられる。

- ① 形状最適化で得られる解が設計者の知見を超える場合が多くなく、形状最適化を適用するために労力をかける必要性が感じられにくい。
- ② 電磁鋼板等の磁性材料は、加工等でその磁気特性が劣化するため、想定した設計解とは異なる特性を持つ結果が得られる可能性がある。
- ③ 3 次元構造を有す回転機においては、3 次元解析にかかる計算負荷が多く、形状最適化を現実的な計算時間で実施することが困難である。

本研究では、回転機の形状最適化技術を確率すべく、上記課題を解決する新たな形状最適化手法の開発を目的としている。

3 章では、設計者の知見にとらわれない設計解を獲得することが可能なトポロジー最適化についてまとめる。形状最適化はパラメータ最適化とトポロジー最適化の 2 種類に分類されることが多い。パラメータ最適化は、設計パラメータを設計者自らが仮定する必要があることから、獲得された解が設計の知見者に依存する。それに対して、トポロジー最適化は、設計パラメータ等を必要とせず、直接形状を変化させ最適化を行うことが可能である。そのため、設計者の知見に捉われない、革新的な設計解を獲得することが可能である。一方で、トポロジー最適化はその設計自由度の高さから、適切な問題設定を施さなければ、最終的に得られた解が実現性の乏しい複雑な形状となる可能性がある。本研究では、トポロジー最適化で用いられる形状表現方法である On-Of 法、レベルセット法それぞれの有効的な活用方法を検討する。

4 章では、磁性材料の劣化特性を考慮した形状最適化手法を提案する。回転機においては、その多くが電磁鋼板と呼ばれる、薄い板状の鉄材を積層することで製造される。加工時にはレーザカット・打ち抜き等で形状を形作ることが多く、様々な加工技術が開発されている。一方で、加工時には加工部周辺で材料の磁気特性が

劣化することが知られている。この現象は、磁性材料の機械的な歪により、磁区・磁壁構造が理想状態を維持できなくなることため発生する。結果、シミュレーション上で評価された特性が、実機特性では得られず必要特性が得られない可能性がある。そこで、形状最適化シミュレーションにおいても前記現象を考慮する必要があるが、最適化は多ケース計算が企保電あるため、従来の加工劣化特性の考慮方法では現実的な計算時間で設計解を獲得することが難しい。そこで、加工による磁性材料の劣化特性を効率的に近似し、最適化に反映する手法を提案する。

5章では、クローポール回転機の形状最適化手法を提案する。クローポール回転機は、3次元的に複雑な磁路を有しており、3次元解析での特性評価が必須である。2次元解析に比べて、3次元解析は計算時間が圧倒的に多く、最適化のように多ケース計算を必要とする技術を適用する場合、設計解を獲得するまでの計算コストが膨大となる。そこで、クローポール回転機に適した最適化アルゴリズムを検討し、設計解獲得までの計算ケース数を低減することを検討する。また、複雑なモデルを忠実に表現するのではなく、近似メッシュを用いることで、解析に必要なメッシュ数を低減し、解析時間を抑制する。前期2つの取り組みを統合し、クローポール回転機の形状最適化技術を確立する。