HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	永久磁石モータのパラメータ・トポロジー同時最適化および多材料最適化に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	林, 翔吾
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16023号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92450
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shogo_Hayashi_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　林 翔吾

学　位　論　文　題　名

永久磁石モータのパラメータ・トポロジー同時最適化および多材料最適化に関する研究
（A Study on Parameter-Topology Optimization and Multi-Material Optimization of Permanent Magnet Motors）

日本における産業用電力エネルギー消費量の 60 パーセント以上はモータの駆動により発生する. こうした中, 環境負荷の低減や機器の高性能化のため, モータの高効率化が強く求められている. 様々な構造のモータの中でも, 特に永久磁石 (PM : Permanent Magnet) モータは高効率・高出力密度であることが知られており, 電気自動車の推進用モータを始め様々な機器に用いられている.

PM モータの高効率化を実現する上で, 設計上様々な考慮すべき要素が存在し, その 1 つとして機器の形状が挙げられる. 高性能なモータの形状を得るために, 磁界解析のための有限要素法と, 進化計算手法を組み合わせた形状最適化が広く研究されている. 形状最適化はその形状の表現方法からパラメータ最適化法とトポロジー最適化法に大別される. パラメータ最適化法では, 設計者が自身の知見や経験を基に設計パラメータを定義し, 数値計算により最適な形状を表現するパラメータを得る. しかし, パラメータ最適化法により得られる形状は設計パラメータの定義に大きく依存する. 一方, ポロジー最適化法は, 穴の生成・消滅や材料境界の自由な変形が可能であり, 従来考えられなかった形状が得られる可能性がある手法である. モータのトポロジー最適化手法の代表的な手法として NGnet on/off 法が挙げられる. この手法ではガウス基底関数を設計領域に配置し形状関数を定義することにより, 滑らかな材料境界を決定する. 本手法はこれまでにモータの磁性体コア形状の最適化に用いられ, 平均トルクやトルクリプルといったモータの特性を改善できることが確かめられている. 従来のモータのトポロジー最適化では多くの課題が残されている. 本研究では次の 2 点の課題について考える.

1 点目は形状の表現能力を向上させたモータのトポロジー最適化についてである. 従来のトポロジー最適化では磁石を固定し, フラックスバリアの形状のみを最適化していた. しかし, 磁石形状とフラックス形状は互いに依存する. そのため, 最適化形状は固定された磁石に依存し, 形状の表現能力に課題が残されていた. そこで, 先行研究ではコア形状のトポロジー最適化に加えて永久磁石をパラメータ最適化で決定するハイブリッド最適化が提案された. しかし, 先行研究では磁石の位置と曲率のみを設計パラメータとして定義しており, 磁石の個数, 幅などの形状に自由度に拡張の余地がある. これに加えて, ステップスキューロータ構造を持つモータ設計の要求や, 磁化方向を考慮したマルチマテリアル最適化の要求がある. 形状の表現能力を向上させるトポロジー最適化の手法を提案し, モータの形状最適化に適用する. また, 得られた形状に対して考察を行い, 提案手法の有効性を示す.

2 点目は制御系を連成したモータのトポロジー最適化についてである. 多くの PMSM のトポロジー最適化に関する研究では, 一定の正弦波電流を入力として形状最適化が行われる. しかし, この方法では時間高調波・空間高調波, 制御系の考慮は不可能であり, 詳細な損失の解析が不可能である. そのため, それらの影響を考慮できるモータのプラントモデルを用いた制御系の連成を行なった最適

化が要求される. 制御系を連成したモータのトポロジー最適化の手法を提案し, モータの形状最適化に適用する. また, 得られた形状に対して考察を行い, 提案手法の有効性を示す.
また, モータをはじめとした電気機器の鉄損を詳細に解析することは設計において重要である. 鉄損を詳細に解析する場合, 材料のヒステリシス特性を反映したプレイモデルをはじめとしたヒステリシスモデルを用いたシミュレーションを行う. しかし, プレイモデルを用いた解析は計算コストが大きいという課題があり, 高速化の手法が求められる. 本研究ではこの課題についても取り組み検討を行う. プレイモデルを用いた鉄損解析の高速化の手法を提案し, インダクタに適用する. 精度・計算速度の観点から提案手法と従来手法を比較し, 提案手法の有効性を示す. また, 提案手法で得られた損失と実測値の比較を行う.