



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_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 林 翔吾

審査担当者 主査教授 五十嵐 一
副査教授 野口 聡
副査教授 北 裕幸
副査教授 小林 孝一

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)

本学位論文では、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のための新しい方法を提案し、その有効性を示している。トポロジー最適化法として規格化ガウス基底関数法を用い、最適化手法として進化論的手法である遺伝的アルゴリズムおよび CMA-ES を用いている。著者は永久磁石位置・形状やスキュー角度などについてはパラメータで、回転子のフラックスバリアや固定子ティース形状については、ガウス基底関数で表した上で、これらを同時に最適化する方法を開発した。また 3 種類以上の材料分布を決める効率的な多材料トポロジー最適化法、モータ制御系との連成を考慮したトポロジー最適化法を開発した。さらに、プレイモデルを用いてヒステリシス損失解析を効率的に行う方法も開発した。

第 1 章では、研究背景、研究目的および研究方法について述べている。

第 2 章では、モータのトポロジー最適化の基礎理論について述べている。この中で、モータを解析するために必要な dq 変換、有限要素法による電磁界解析法、モータ特性の解析法、形状表現方法および最適化手法についてまとめている。

第 3 章では、従来のパラメータ・トポロジー同時最適化法の表現能力を向上させる方法について述べている。従来法では、1 つの円弧状永久磁石を仮定し、モータ軸からの距離と曲率半径の 2 自由度で表現していたが、提案法では 2 つの円弧状永久磁石を 12 自由度で表現することにより、表現能力を大幅に向上させている。また永久磁石がオーバーラップした場合に解候補から除外する方法を導入している。本手法を永久磁石モータの最適化に適用し、従来法よりも優れたトルク特性を持つ最適構造が得られることを示した。また著者はパラメータ・トポロジー同時最適化法をステップスキューモータの最適設計に適用し、断面構造とスキュー角を同時に最適化できることを示した。さらに著者は、永久磁石モータの多材料トポロジー最適化のために、すべての材料が連続に分布できる新しい状態空間表現を提案した。本手法をエアモビリティ用表面磁石モータのトポロジー最適化に適用し、従来のハルバツハ型よりも優れたトルク密度を発揮する新規構造を見出した。

第 4 章では、制御系と永久磁石モータの連成を考慮したトポロジー最適化法について述べている。従来のトポロジー最適化では、d 軸および q 軸電流を固定して最適化を行っていたが、実際のモータの運転では、低速領域では最大トルクが発揮できるように電流成分を決め、高速域では誘起電圧がインバータの耐圧を超えないように電流成分を決める。したがって、最適化においては変化する電流成

分を考慮して構造を決定する必要がある。著者は、このような最適化を実現するために、最適化過程において生成された各永久磁石モータに対して、低速域および高速域の2つの運転点で所望のトルクを発揮するような電流成分を決定し、これらの運転点での効率が最大となるような回転子構造を決定した。このとき、低速域での平均トルクが基準以上、永久磁石の面積および減磁面積が設定上限以下となるような拘束条件を課した。このような最適化により、トルク特性を維持しつつ効率を増加できることを示した。また鉄損や磁束密度のフーリエ解析を行うことで、最適解として得た回転機構造が優れた性能を発揮する理由を明らかにしている。

第5章では、磁気ヒステリシス損失の効率的な解析法を提案している。従来のプレイモデルを用いた損失解析では、磁気コア内のすべての有限要素でプレイモデルによる解析を行っていたため、大きな計算コストが必要であった。著者は各有限要素内の磁界の時間変化波形が類似していることに着目し、これらをクラスタリングによりいくつかのクラスに分類し、各クラスの代表に対してのみプレイモデルによる損失解析を行う方法を開発した。本手法により、計算精度を保ったまま、大幅に計算速度を向上できることを示した。

これを要するに、著者は永久磁石モータの新しいトポロジー最適化法を提案し、これにより新しいモータ構造を創成できることを示すとともに、トルク性能や効率を改善できることを示している。著者による本研究は、電気工学、情報科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(工学)の学位を授与される資格ある者と認める。