

氏名	岡本 吉史
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第2888号
学位授与の日付	平成17年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科数理電子科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	有限要素法を用いた電磁機器の位相最適化手法に関する基礎的研究
論文審査委員	教授 高橋 則雄 教授 村瀬 暁 教授 小西 正躬

学位論文内容の要旨

電磁機器の幾何情報を与えずに機器形状を位相（トポロジー）と解釈すれば、形状自由度の高い機器設計が可能となる。このような手法として密度法があるが、この方法ではグレイスケール（材料密度が中間値の要素）が生じる可能性がある。そのため、得られた解を設計指針として機器を設計する場合、グレイスケールの評価（材料を配置するか否か）によっては、機器の性能が悪化する恐れがあり、実用上問題があった。

そこで、本論文では、電磁機器の形状をトポロジーとして取り扱って最適化する実用的な方法の検討を行った。まず、大規模解析を併用した最適設計のための有限要素法に関する高速化手法の提案を行った。磁性材料の磁気飽和が強くなれば、ニュートン・ラフソン法を用いた非線形磁界解析に必要な反復回数が増加する傾向にある。そこで、汎関数、あるいは残差の二乗和が最小となる修正係数を決定する方法（直線探索法）を提案した結果、反復回数を従来法の約2/3に低減することができた。また、Reverse Cuthill-McKee法による係数マトリクスのオーダリング手法を適用することで、計算時間の大幅な短縮が可能となった。

次に、グレイスケールが発生せず、なおかつ計算コストが小さい位相最適化手法として、目的関数の感度（微係数）を用いて、各要素の材料配置を決定するON/OFF sensitivity法（ON/OFF法）を考案した。二次元場の問題に適用した結果、密度法で得られた収束解とよく一致し、グレイスケールの存在しない良好な設計を行えることが明らかとなった。さらに、本論文で提案した有限要素法の高速度手法を適用することにより、実用的な計算時間内で機器の概形設計が可能となる三次元位相最適化システムの開発を行った。本システムを単磁極型垂直磁気記録ヘッドの三次元最適化問題に適用した結果、新規的な記録ヘッド、ならびに磁気シールドを計算することができた。さらに、得られたトポロジーの輪郭を滑らかにするために、topology smootherを提案した。その結果、目的関数の収束特性についても改善されることが明らかとなった。

本研究で提案した手法を用いれば、従来の機器よりも格段に高性能な電磁機器を設計できる可能性があり、機器の高性能化に寄与するところが大きい。

論文審査結果の要旨

電磁機器の幾何情報を与えずに機器形状を位相（トポロジー）と解釈すれば、形状自由度の高い機器設計が可能となる。本論文は、電磁機器の形状をトポロジーとして取り扱って最適化する実用的な方法を提案するとともに、適用上の問題点の検討を行ったものである。従来このような方法の検討は行われているが、実際の機器の設計に適用できる方法は確立されていなかった。

本論文の成果と意義は次の通りである。

- (1) 大規模解析を併用した最適設計を行うためには、有限要素法の高高速化が必要不可欠である。磁性材料の磁気飽和が強くなれば、ニュートン・ラフソン法を用いた非線形磁界解析に必要な反復回数が増加する傾向にある。そこで、汎関数、あるいは残差の二乗和が最小となる修正係数を決定する方法(直線探索法)を提案した結果、反復回数を従来法の約2/3に低減することができた。
- (2) グレイスケールが発生せず、なおかつ計算コストが小さい位相最適化手法として、目的関数の感度（微係数）を用いて、各要素の材料配置を決定するON/OFF sensitivity法（ON/OFF法）を考案した。二次元場の問題に適用した結果、密度法で得られた収束解とよく一致し、グレイスケールの存在しない良好な設計を行えることが明らかとなった。
- (3) 有限要素法の高高速化手法を適用することにより、実用的な計算時間内で機器の概形設計が可能な三次元位相最適化システムの開発を行った。また、得られたトポロジーの輪郭を滑らかにするための、topology smootherを提案した。本システムを単磁極型垂直磁気記録ヘッドの三次元最適化問題に適用した結果、新規的な記録ヘッド、ならびに磁気シールドが求まることを示した。

本論文は、高性能な電磁機器の開発、設計に広く貢献すると思われ、学術上および工学上寄与するところが多い。よって本論文は博士(工学)の学位を授与するに値するものと認められる。