HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	均質化有限要素法とインピーダンス境界条件を用いた準定常電磁界解析に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	藤田, 祥伍
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14142号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78436
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shogo_Fujita_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　藤田祥伍

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

均質化有限要素法とインピーダンス境界条件を用いた準定常電磁界解析に関する研究
（Study on Quasi-Static Electromagnetic Field Analysis Using Homogenization-Based Finite Element Method and Impedance Boundary Conditions）

本論文では, 均質化法およびインピーダンス境界条件を用いた準静電磁界解析法について述べている.

第 1 章では, 電気機器で使用される磁性被覆線や平角線の概要について述べている. つぎに, これらを含む電気機器を有限要素法で解析する際に現れる困難性について述べ, この問題点を解決するためには均質化有限要素法, インピーダンス境界条件の導入が有効であると指摘している.

第 2 章では, 本研究で使用する有限要素法の定式化を与えている.

第 3 章では, 周波数領域の均質化有限要素法の定式化を与えている. まず, マクロ複素透磁率を求めるための Ollendorff の式を導いている. つぎに複素透磁率を, 磁性板, 導線, 圧粉磁芯について, それぞれ与えている. また求めたマクロ複素実効透磁率の周波数特性を調べ, 物理的な洞察を与えている. 本研究の第一の新規性は, 磁性被覆線の均質化法を開発した点にある. このため著者は, 導体円柱と薄板の複素透磁率を組み合わせ, 磁性被覆線全体の等価透磁率を求めた. また円筒形状の複素透磁率を拡張して楕円断面の素線の複素透磁率を与えた. さらに, 非等方的に圧縮された圧粉磁芯をモデル化するために, 楕円体の複素透磁率を導入した.

第 4 章では, 第 3 章で提案した均質化法の妥当性を周波数領域で確認している. まず, マクロ複素透磁率が, セル法で求めた複素透磁率と十分に一致することを示している. さらに提案手法により求めたマルチターンコイルの実効インピーダンス, 磁束線分布が, 従来の準静電磁界解析で求めた結果と良好に一致することを示している.

第 5 章では, 開発した均質化法を用い, 磁性被覆コイルの構造最適化を行う方法について述べている. 磁性被覆線の交流抵抗を最小化するため, 交流抵抗の磁性被覆厚や透磁率依存性を求めた.

第 6 章では, 磁気的接触を考慮した圧粉磁芯コアの周波数領域をマクロ透磁率を用いて解析する方法について述べている.

第 7 章では, 周波数領域で定義された複素透磁率を時間領域解析で用いるための手法について述べている. このため著者は複素透磁率の有理多項式近似を行い, さらにそれを部分分数分解し, 各項の逆 Laplace 変換を解析的に求めている. 本手法により, 過去の磁界分布を記憶することなく, 再帰的に畳み込み積分を評価することができる. 本手法を通常の銅巻線, 磁性被覆コイル, 楕円柱コイル, 平角線コイル, 磁性平角線コイルの解析に適用したところ, 電流や電力の時間波形が従来の有限要素

法とよい精度で一致することを示している. これまで磁性被覆線を含む電気機器の効率的な解析法は存在せず, この点が本研究の第二の新規性である.

第 8 章では, 提案手法を用い, 磁性被覆線を用いた電気機器の銅損低減効果を行っている. 解析対象として, リアクトル,IPM モータを考えている. この解析により, 磁性被覆線の導入が電気機器の効率改善に寄与することが定量的に示されている.

第 9 章では, 電磁シールドのモデル化に有効なインピーダンス境界条件を周波数領域で定式化している. またインピーダンス境界条件を用いた解析結果が, 従来の有限要素法による結果と良好に一致することを示している. 本研究の第三の新規性は, 周波数領域で定義されたインピーダンス境界条件を時間領域に拡張した点にある.

第 10 章では, 本博士論文の総括を行っている.

これを要するに著者は, 磁性被覆線を解析するための均質化有限要素法を提案し, それを含む電気機器の周波数領域および時間領域解析を可能とした. また楕円形状の素線, 楕円体の磁性粒子の均質化法も提案するとともに, 薄いシールド導体のインピーダンス境界条件を時間領域に拡張した. このことから本研究は電気工学, 計算電磁気学, 数値解析学に寄与するところ大なるものと評価できる. 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ものと認める.