HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	モデル縮約法の電磁界解析への応用に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	佐藤, 佑樹
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12648号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65693
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuki_Sato_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 (工学)　氏名　佐藤　佑樹

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

学位論文題名

モデル縮約法の電磁界解析への応用に関する研究
（Study on Application of Model Order Reduction to Electromagnetic Field Analysis）

有限要素法を用いた電磁界解析は電気電子機器の設計開発に欠かせないものとなっている. 近年の計算機の高速化により, このような電磁界解析は高速に行えるようになってきたが,3 次元解析や電磁界解析を繰り返す最適化計算は依然として長い計算時間を要する. 本博士論文では, 有限要素法を用いた電磁界解析を高速化するためのモデル縮約法について論じている. モデル縮約法は系の伝達関数を高速に計算する方法として, 制御工学, 回路設計工学の分野で開発されてきた. しかしモデル縮約法は電磁界解析にほとんど適用されていなかった. このような状況の中で著者は, いち早くモデル縮約法に着目し, 本手法を用いた有限要素解析の高速化法を開発した. 現在は, モデル縮約法は電磁界解析の研究者に広く注目を集めているが, 著者の研究はその端緒として認識されている. さらに著者は, モデル縮約法を有限要素方程式に適用することにより, 電気電子機器の有限要素モデルから直接, 非線形性を考慮した等価回路を導けることを示した. これにより, これまで長い計算時間を要していた電気電子機器と外部回路の結合解析を, 回路シミュレータを用いて高速かつ高精度に行えるようになった. またモデル縮約法を均質化法と組み合わせることで, リッツ線や圧粉磁芯のような微細構造を持つ材料の時間領域解析が実現できることを示した. このようなアプローチはこれまでなく, 著者の研究は研究者から注目を集めている.

本学位論文の第 1 章では, モデル縮約法を用いた時間領域解析の高速化や, 電気電子機器の等価回路生成, マルチスケール問題のための均質化法の確立など, 研究の目的について述べている.

第 2 章では, 有限要素法を用いたマクスウェル方程式の離散化について, その基礎事項をまとめている. 第 3 章では, モデル縮約法について述べている. まず線形システムの伝達関数を導入し, 古典的なモデル縮約法である漸近波形評価法について述べた後, 本研究で用いた Pade via Lanczos 法について詳細に述べている. 本法は, システム行列に Lanczos 過程を適用することにより, 近似的な 3 重対角行列を導くことで, 伝達関数の Pade 近似を行う. また別の方法として著者が用いた固有直交分解法について述べている. 本法は, 系の複数の応答を求めておき, その応答からなるベクトルに主成分分析を適用することにより, 低次元の直交基底ベクトルを導く.

第 4 章では, 固有直交分解法の非線形渦電流場問題への適用について論じている. 著者は, 磁性コアが強く磁気飽和を起こした場合には, 固有直交分解の精度が悪化することを示した. このため, 磁気飽和がない線形領域のみに固有直交分解法を適用する方法を提案し, その有効性を示している. また discrete empirical interpolation と呼ばれる方法を用いることで, 磁気飽和が強い部分を自動的に抽出できることを示している.

第 5 章では, モデル縮約法を用いた電気電子機器の等価回路生成法について論じている. 著者は, まず Pade via Lanczos 法を用いて電気電子機器の伝達関数から有理多項式を導き, さらにそれを基にフォスター型等価回路およびカウア型等価回路を導けることを示している. 特に, 磁性コアに磁気飽和がある場合には, カウア型等価回路の初段のインダクタンスに磁気的非線形性を導入することで, 機器の応答を正確に表せることを明らかにした. さらに本法を用いて電磁鋼板, インダクタ巻き線および誘導加熱装置の等価回路を導き, その精度について詳細に論じている.

6 章では, 均質化法を用いたマルチスケール問題の有限要素解析について論じている. まず圧粉磁芯やリッツ線などに均質化法を適用して得られるマクロ複素透磁率を有理関数で近似することにより, 時間応答解析が実現できることを示している. またこの有理関数からカウア型等価回路を導くことで, 磁気的非線形性のある問題にも本法が適用可能であることを示している. さらに, 著者は任意形状からなる微細構造物質のマクロ複素透磁率を求めるため, まずひとつの微細構造の電磁界を求め, それから対応する複素透磁率を求めた. さらに複素透磁率を Ollendorff の式に適用することにより, マクロ複素透磁率が得られることを示している. 著者は本法を, 任意断面形状を持つ多重巻き線の解析に適用し, その有効性を示している. 第 7 章では, 本研究により得られた成果をまとめている.

これを要するに, 著者はモデル縮約法を, 有限要素法を用いた電磁界解析に適用することにより, 解析時間の短縮化が実現できることを示した. またモデル縮約法を用いることで, 磁気的非線形性を考慮した電気機器の等価回路を導けることを示した. さらにモデル縮約法と均質化法を組み合わせることで, 圧粉磁芯やリッツ線などの微細構造を持つ対象の時間領域解析が可能となること明らかにした. これらから, 著者は電気工学, 数値解析学に重要な寄与をしていると認められる. よって著者は北海道大学博士 (工学) を授与される資格あるものと認める.