



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A Study on Electromagnetic Field Analysis using Non-conforming Finite Element and Homogenization Methods [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	伊藤, 泰久
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第12407号
Issue Date	2016-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63376
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yasuhisa_Ito_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 (情報科学) 氏名 伊藤 泰久

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

非適合要素および均質化を用いた電磁界解析に関する研究

(A Study on Electromagnetic Field Analysis using Non-conforming Finite Element and Homogenization Methods)

電気・電子機器の開発において、有限要素法を用いた電磁界解析が広く行われている。また近年、有限要素法を用いた電気・電子機器の最適設計も行われるようになってきた。有限要素法を用いた機器形状の最適化においては、機器形状を様々に変形して解析を繰り返す必要がある。しかし、形状変形が大きい場合には有限要素を最初から生成する必要があるため、長い計算時間が必要であった。また電気・電子機器に広く用いられる圧粉磁芯やリッツ線のような微細構造を持つ材料を有限要素法で解析するためには、膨大な数の有限要素が必要となるため、直接的な解析が困難であるという問題があった。本学位論文において、著者はこれらの問題を解決するための方法を提案している。まず、前者の問題を解決するために、著者は機器を複数の部分に分割し、それぞれを独立に拡大・縮小することにより、有限要素の生成を不要とする方法を提案している。またその際に部分間に生じる非適合有限要素に対して、磁束が連続となるような定式化を与えている。また著者は後者の問題を解決するための方法として均質化法を選び、特に圧粉磁芯の解析に均質化法を適用した場合、非線形磁気特性が解析結果に与える影響を明らかにしている。さらに著者は、磁性粒子間の磁氣的な接触がマクロ透磁率に与える効果を明らかにしている。

本学位論文の第 1 章では、3 次元有限要素法を用いた形状最適化の問題、圧粉磁芯の電磁界解析の困難性について述べ、さらに本研究の目的について述べている。第 2 章では、辺有限要素法の定式化について詳しく述べている。

第 3 章では、非適合要素を用いた 3 次元有限要素法について詳しく述べている。まず 3 次元有限要素法を用いた形状最適化法を整理し、従来の方法では大きな変形に対しては有限要素の生成が必要であるため、長い計算時間が必要であることを指摘している。この問題を解決するために、解析領域を複数の部分に分割し、それぞれを独立に拡大・縮小することにより、有限要素生成を回避する方法を提案している。この際、領域の接合面に要素の非適合性が生じるが、いずれかの領域の変数を master、他方の領域の変数を slave とし、有限要素の補間を用いることで slave 変数を master 変数で表現する方法を提案している。これにより要素の非適合性があっても、領域間で磁束が連続となるため、電磁界解析を正確に行うことができる。著者は本提案法を 3 次元インダクタモデルの解析に適用し、従

来法と同じ計算精度が得られることを実証している。さらに本提案法を用いて 3 次元インダクタモデルの最適計算を行い、本法の有効性を示している。

第 4 章では均質化法を用いた圧粉磁芯の有限要素解析について述べている。圧粉磁芯材料を解析する場合、磁性粒子の平均半径、半径分布、透磁率、充てん率などの特性とマクロな透磁率の関係を把握する必要がある。従来は、解析的に導出された Ollendorff の式による評価法と、磁気回路法を用いてマクロ透磁率の計算が行われてきた。しかし、これらの方法は、定式化上、非線形磁気特性を考慮していないため、磁気飽和がある場合の有効性は未知であった。そこで著者は、和木らにより提案された単位セルを用いた均質化有限要素法を用い、これらの方法で求められるマクロ透磁率の比較を行った。その結果著者は、粒子形状が球に近い場合には、磁気飽和があっても三者ともほぼ等しいマクロ透磁率を与えることを明らかにした。一方、粒子形状が磁界方向に長い扁平な楕円の場合には、磁気飽和が強くなるため、均質化有限要素法と他の二者では結果に差異が生じることを明らかにした。このように、著者は、Ollendorff の式による評価法と磁気回路法の有効性と限界を明らかにした。

第 5 章では、実際の圧粉磁芯の断面写真から 2 次元有限要素を生成し、マクロ透磁率を求める方法を提案している。著者はこの方法を用いた解析の結果、磁性粒子間に磁氣的な接触が多数あり、接触点に磁束が集中することを明らかにした。またこの結果得られたマクロ透磁率は実測値と近い値を与えるが、磁氣的接触を考慮しない Ollendorff の評価式を用いて求めた結果とは大きな違いがあることを指摘している。この点をさらに明らかにするために、著者は断面写真の接触部分を人為的に消去してからマクロ透磁率を求め、Ollendorff の評価式による結果とほぼ一致することを明らかにした。よって、圧粉磁芯のマクロ透磁率は磁氣的接触により大きく影響を受けることが強く示唆される。著者はこの点をさらに明らかにするために、3 次元の磁気回路モデルを用いて圧粉磁芯を表現し、局所的な磁気抵抗を確率的にゼロにすることで磁氣的接触の効果を評価した。この結果、磁氣的接触の確率を増大させると、マクロ透磁率が大きく増加することが示され、磁氣的接触がマクロ透磁率に支配的な影響を与えることを明らかにした。6 章では本研究で得られた結論をまとめている。

これを要するに、著者は有限要素法を用いた 3 次元電気・電子機器モデルの形状最適化を高速に行うために、非適合有限要素法を提案し、その有効性を実証している。また著者は Ollendorff の評価式および磁気回路法と、単位セルを用いた均質化有限要素法を比較し、前者二手法の有効性と限界を明らかにしている。また実際の圧粉磁芯の断面写真から 2 次元有限要素を生成し、マクロ透磁率を求める方法を提案し、磁性粒子間の磁氣的接触によりマクロ透磁率が大きく変化することを示した。さらに著者は 3 次元磁気回路モデルを用いて、磁氣的接触によるマクロ透磁率の変化を解析する方法を提案した。これらから、著者は電気電子工学、磁気工学および情報科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 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。