HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	電磁界解析を用いた電気機器の最適設計に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	佐藤, 孝洋
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11766号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58926
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takahiro_Sato_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（情報科学）　氏名　佐藤孝洋

学 位 論 文 題 名

電磁界解析を用いた電気機器の最適設計に関する研究
（A Study on Design Optimization of Electric Devices and Machines Based on Electromagnetic Field Analysis）

同期電動機やパワーインダクタ等の, 電磁現象を利用した電気機器は, 多様な電気製品の重要な構成要素であり, 高効率設計が強く望まれている. そのため与えられた制約・仕様の下で電気機器の性能を限界まで引き出す最適設計が重要である. しかし, 電磁機器の最適設計は電磁現象に精通した技術者が経験則に基づき試行錯誤的に行われている側面が強い. そこで電磁機器の最適設計を補助ないし自動化するため, 電磁界の有限要素解析と最適化技術を組み合わせた電磁機器の最適化手法が検討きたが, 近年の電磁機器の設計仕様の高度化や, 電磁界解析技術の進歩を受けて, より高度な最適設計が必要とされている. そこで本研究ではコンピュータによる最適設計の高度化を図る新たな方法について検討した. 特に,3 次元形状のパラメータ最適化手法と, 進化計算ベースのトポロジー最適化手法についての検討を行った.

電磁界の有限要素解析は, 近年の計算機性能の向上により,3 次元形状の電磁界解析を一般的なデスクトップコンピュータでも解析することが容易となった. これに伴い, 設計の現場においても 3 次元形状の解析が広く行われており,3 次元形状の最適設計を補助する必要がある. ところで,3 次元形状の有限要素解析を行うためには, 事前に機器形状に合わせた有限要素メッシュが必要である.2 次元形状に比べ,3 次元形状のメッシュ生成は非常に計算負荷の重い処理である. 最適設計においてはメッシュを機器形状に合わせて何度も変更するため, メッシュ生成に要する計算負荷が無視できない. 上記の問題を解決するため, 階層的なボクセル要素を用いた有限要素法を導入し, それに基づくパラメータ最適化法を提案した. この方法を用いることで,3 次元メッシュを高速に生成でき, さらに解析精度が保たれることを示した. また, 昇圧回路用のインダクタの最適設計に応用し, 最適化で得られたインダクタを用いた際の昇圧回路の効率について検討した.

次に, パラメータ最適化とは異なり, 設計変数を用いずに形態変化を許容した最適化法であるトポロジー最適化について検討した. トポロジー最適化は形状表現の自由度が極めて高い. そのため, 従来にない革新的な形状を設計するための着想を得ることができる可能性があり, 設計工程の初期における概念設計に有用である. その反面, 形状表現の自由度が高すぎるために, 工学的に実現の困難な形状が得られてしまう場合が多い. 例えば磁性コアが空中に孤立している, 過度に複雑な材料境界が得られてしまう, などである. そこで上述の問題を解消する新たな方策として, ガウス関数ネットワークを用いた形状表現法を提案した. この方法を用いることで, これまでの問題であった工学上実現の困難な複雑形状の発生を防ぎ, 最適化を行えることを示した. さらに提案法を埋込磁石同期電動機の回転子形状の最適化に応用した. 電気的特性に加えて力学的制約を加えて最適化を行った結果, 回転子形状として成り立つ形状を獲得することができ, さらに, あるモータモデルにおいて磁石量を保ったままトルクを改善できることを示した.

上記に加えて, 最適化で検討した有限要素解析を応用し, 電磁誘導型振動発電の設計を行った.

振動発電とは微小な振動源から小電力を回収する環境発電の一方式である. 振動発電は, 無線センサーを自律動作させるための電力源として注目されている. 実用化にあたっては, デバイスの発電量を増加させることが第一であるが, それに加えて, 発電可能な周波数帯域を拡大する必要がある. これは環境で発生する振動は単一の周波数からなることは期待できず, 広い周波数スペクトルを持つためである. ところが従来の振動発電の挙動は線形のバネ-ダンパ振動とみなせるため, 共振点でしか十分に発電が行われないといった問題がある. 広帯域化を図るためには, 振動発電の挙動に非線形性を付与することが有効とされている. しかし非線形性を与えることで系の挙動が複雑化し, その発電特性を推定することが困難となる. そのため性能の改善には, 非線形振動発電の特性を数値解析により推定し, それに基づき機器形状を設計すること, すなわち最適設計が必要である. そこで振動発電の動特性を解析する方法として, 有限要素法に基づく連成解析法を提案した. これにより, 非線形振動発電の特性を解析することができることを示した. さらに提案法に基づき広帯域な振動発電を設計し, 実際に試作して動作実験を行った. その結果, 周波数 30Hz 幅で負荷電圧 0.2V を保ち, 広帯域であることをした.