

| | |
|---------|------------------------------------|
| 氏名 | 河邊 盛男 |
| 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4759号 |
| 学位授与の日付 | 平成25年 3月25日 |
| 学位授与の要件 | 自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当) |
| 学位論文の題目 | 電磁機器の設計支援技術の高機能化に関する研究 |
| 論文審査委員 | 教授 船曳 繁之 教授 塚田 啓二 教授 鶴田 健二 |

学位論文内容の要旨

社会ニーズが大きく変化しており、製品開発は高効率化や小型化、低コスト化などの個々の特性の最良化(極大、極小化)を目指すものから、最近では運転範囲での総合効率や環境適合性、操作性、対人との親和性、社会インフラとの整合性など、多様な特性を総合的に勘案した製品が求められるようになってきた。このような製品を創出するためには、設計者の感覚や製品イメージを反映した構想を熟慮することが必要である。現在の設計は、高精度な解を求めるシミュレーションツールにより行なわれているために、結果が出るまでに入力作業やコンピュータの計算に多くの時間を費やす。また、解析ツールの中がブラックボックス化しており、各設計パラメータが特性にどのように影響しているかがわからない。構想を行なう概念設計の段階では、精度は適度で構想を早期に確認できる設計ツールが求められ、シミュレーションによる学習機能を相乗させ、設計者の知見や感性による製品開発の支援ツールが必要になる。ユニーク性、独創性、価値の創生を行なうための概念設計は設計者の感性で自己の経験、過去の知見を基に設計書にて構想するために、設計書や設計理論に沿った設計ツールが必要であり、機器の複雑な現象を単純化して考察できる設計手法を提案する。

第2章では、差分法(FDM)を用いた磁界解析の簡略化法について述べる。リニアモータやスターラなどは直交座標系で近似的に表現できるため、差分法による特長を利用することでコンピュータの記憶容量や計算時間を大幅に減じる可能性がある。有限体積法による離散化で、未知数Aを格子辺に持たせた手法を提案する。第3章では、機器特性の簡易推定法について述べる。先ず、極度な磁気非線形性を有する複雑な3次元構造機器のズームング法を用いた特性解析法を示す。次に、同期機の特性を設計書と同様の設計フローに従い、ベクトル図を基にした特性解析法を示した。設計者が設計書を基準にし、ベクトル図により特性と設計変数の関係を配慮して構想を促すものにした。第4章では、Rosenbrock法の特長を利用した簡易的な最適化手法について述べる。スターラの構成寸法の最適化と同期機の電圧波形改善のための界磁極寸法の最適化についての適用例を示す。第5章と第6章で、高効率化のために必要な技術知見を述べる。第5章では、励磁電流のひずみ波が鉄損に及ぼす影響について高調波成分と鉄損の関係を測定で明らかにした。次に、インバータの影響について検討した。最近では、機器の柔軟な制御を行なうために、PWM回路の前段に可変電圧コンバータを設けた可変電圧型のPWM方式電源が登場しており、従来型の一定電圧PWM方式も検討し、その特長を整理した。第6章では、機器の製作時に発生する機械的応力が磁気特性や鉄損特性に及ぼす影響について検討した。モータのコアは、電磁鋼板をティースやスロットの形状にパンチで打ち抜いて成形され、積層されてフレームを焼きばめすることや軸方向からコア鉄心押さえ板でボルト締結される。そこで、パンチ加工による加工応力の影響や、フレームをコアに焼きばめした場合および軸方向に鉄心押さえ板をボルト締結した場合の磁気特性や鉄損特性の影響を測定により確認した。本研究で提案した設計支援技術は、多様な社会ニーズに対応する製品モデルの創出や構想検討に役立てられると思われる。

論文審査結果の要旨

社会ニーズが大きく変化しており、製品開発は高効率化や小型化、低コスト化などの個々の特性の最良化(極大、極小化)を目指すものから、最近では運転範囲での総合効率や環境適合性、操作性、対人との親和性、社会インフラとの整合性など、多様な特性を総合的に勘案した製品が求められるようになってきた。現在の設計は、高精度な解を求めるシミュレーションツールにより行なわれているために、結果が出るまでに入力作業やコンピュータの計算に多くの時間を費やしており、構想を行なう概念設計の段階では、精度は適度で構想を早期に確認できる設計ツールの開発が求められている。

本論文では、電磁機器の概念設計を行う際は、機器の複雑な現象を単純化して考察できる設計手法を構築する必要があるとの観点に立って、実際の設計に必要な設計書や設計理論に沿った設計ツールを開発した。すなわち、未知数 A を格子辺に持たせた差分法(FDM)を用いた磁界解析の簡略化手法を提案し、直交形状を有するリニアモータやスターラなどの設計に有用であることを示した。また、極度な磁気非線形性を有する複雑な3次元構造機器のズーミング法を用いた特性解析法を示すとともに、同期機の特性を設計書と同様の設計フローに従い、ベクトル図を基にした特性解析法を示した。さらに、Rosenbrock法の特長を利用した簡易的な最適化手法について述べ、スターラの構成寸法の最適化と同期機の電圧波形改善のための界磁極寸法の最適化についての適用例を示した。高効率化のために必要な技術知見として、最近用いられているPWMインバータ回路の前段に可変電圧コンバータを設けた可変電圧型のPWM方式電源や、従来型の一定電圧PWM方式の鉄損特性の検討を行った。また、モータのコアをパンチ加工した際の加工応力の影響や、フレームをコアに焼きばめした場合および軸方向に鉄心押さえ板をボルト締結した場合の磁気特性や鉄損特性の影響を測定により確認した。

本研究で開発した設計支援技術は、多様な社会ニーズに対応する製品モデルの創出や構想検討に役立つと思われる、極めて有効であり、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。