

審査の結果の要旨

氏名 竹内 敏恵

本論文は「電磁界と運動の連成解析による電力用開閉装置の高度化研究」と題し、電力用開閉装置の研究開発において、電磁界と運動の連成過渡解析をいち早く適用し、それに基づく磁気設計手法を確立して、コンパクト GIS（ガス絶縁開閉装置）の三相一括形 GIB（ガス絶縁母線）や、遮断電圧定格 15kV および 24kV の高速遮断器のコンパクト化や高速駆動化に代表される高度化を達成したものであり、7章から構成される。

第1章は「序論」であり、電力用開閉装置の概要と開発動向、および最近の電力システムを取り巻く社会、経済情勢の中での全三相一括形コンパクト GIS や高速遮断器の実用化への期待、次世代電力開閉機器のより高度な設計への電磁界と運動の連成解析の重要性を整理し、さらに本研究の目的と論文構成について述べている。

第2章は「コンパクト GIS および高速遮断器の構成と設計課題」であり、具体的な解析・設計対象であるコンパクト GIS と高速遮断器の基本構成、構造、要求性能などを説明し、続いて、コンパクト GIS の三相一括形 GIB における過渡電磁界解析技術の適用拡大の必要性と研究課題、高速遮断器の電磁反発機構における過渡電磁界解析と運動解析との連成技術の重要性を示している。それらに基づいて、高速遮断器の設計手法に求められる課題と開発の手順、目標仕様について整理している。

第3章は「コンパクト GIS 三相一括形 GIB の短絡電磁力設計」であり、550kV 次世代コンパクト GIS の三相一括形 GIB モデルに対して、渦電流と非線形磁気特性を考慮した A-φ 法の三次元辺要素有限要素法に基づく過渡電磁界解析を適用し、それにより短絡電磁力解析の高精度化を達成し、GIS 機器のコンパクト化が可能であることを示唆する結果を得ている。そして短絡電磁力解析の精度を振動挙動測定結果と比較することにより検証し、本解析手法が次世代コンパクト GIS の設計に極めて有益であること、さらに、本手法の適用により GIS 機器のコンパクト化の可能性を示した。

第4章は「等価回路モデルを用いた渦電流反発式高速遮断器の駆動解析」であり、渦電流反発式 15kV 高速遮断器の電磁誘導反発駆動部の設計手法の高度化のために、反発板上の渦電流を 1 ターンの誘導コイルで模擬した等価回路法による電磁界解析と運動方程式の連成解析手法を提案し、その解析結果と実験結果および有限要素法解析結果との比較により、実用に十分な精度を有していることを示した。また、反発板材料特性と駆動効率との関係を明らかにし、反発板の厚みと表皮厚さとの関係から本手法の適用限界も明確に示した。さらに、15kV 高速遮断器実機の解析を本手法により行い、実測と比較評価した結果、良好に一致することを確認し、本連成解析手法の有効性を実証した。

第5章は「有限要素法電磁界運動連成解析を用いた 24kV 高速遮断器の時期設計」であり、24kV へ高電圧化を図る高速遮断器の電磁反発駆動部の設計手法として非線形磁気材料を含む有限要素

法による電磁界解析と運動方程式の連成解析手法の適用を行い、特に、高電圧化に伴う駆動距離の長ストローク化に対応するため、可動空気領域のメッシュ変形法を採用し時間方向の離散化にクランクニコルソンの θ 法を導入した。解析の結果、高効率化と定格遮断電圧格上げのためには強磁性体を用いた電磁反発機構部の高効率化が有効であることを示した。さらに、駆動電源の大容量化を抑制するためにコイルを三段に重ねた新形の電磁反発機構を提案し、本連成解析を用いた数値実験により渦電流反発式の約1/2の電源エネルギーで1.5倍の駆動距離が達成可能であることを実証した。

第6章は「24kV 高速遮断器の構造設計および遮断器性能の評価」であり、第5章の磁気設計結果をもとに24kV 高速遮断器単極構造の強度設計を行い、試作した単極試作機について長期信頼性、駆動特性および遮断性能を評価した結果をまとめている。3万回開閉駆動、開極時間1ms以下、投入時間約10ms、切替投入20ms（約1サイクル）以内、ピーク電流値50kA以上の遮断性能を確認し、高速遮断器に必要な長期信頼、高速開閉特性および高速遮断性能を有し、本研究の磁気設計手法が十分な実用性をもって適用が可能であることが実証された。

第7章は「結論」であり、本研究の成果を総括している。

以上これを要するに、本論文は、高速遮断やコンパクト化が要求される電力用開閉装置の母線部と電磁駆動部に、電磁界と運動を連成した三次元非線形過渡渦電流解析に基づく磁気設計手法を適用し、その有効性を実証して、高精度な設計、特性解析手法を確立するとともに、コンパクトGIS三相一括形GIBと、15kVおよび24kV高速遮断器の実用器設計に大きな成果をあげたものであり、電気工学に貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。