

論文の内容の要旨

論文題目 鉄道用大容量走行中非接触給電の二次コイルシステムに関する研究

氏名 下出 大輔

本論文は走行中の鉄道への大容量非接触給電を実現させることを目的に研究を行った成果をまとめたものである。非接触給電が求められる鉄道の一例として特に超高速鉄道への走行中給電を実現させることを想定し、非接触給電装置の基本構成について検討を行い、鉄道車両では電気自動車に比べはるかに大きな電力を給電する必要があることから、2次コイルの大容量化と複数の2次コイルを用いた大容量給電について検討を行った。さらに、実際の鉄道車両を用いたフィールド試験や走行中の環境を模擬できる試験装置等により、本装置が超高速鉄道に適用可能であることを示した。

本論文は以下の全7章で構成した。第1章では、電気自動車用の非接触給電装置の開発が着実に進歩していることから、鉄道の分野でも非接触給電装置の適用が期待されていることを述べた。非接触給電は高周波を利用することから効率が低いため、従来のパンタグラフを非接触給電装置に単純に置き換えることは難しいが、パンタグラフを用いた接触給電装置を適用することが社会的・技術的に困難な鉄道への応用が求められており、とりわけ鉄道車両を磁氣的に支持して超高速で走行する鉄道の中には非接触給電装置の実用化なくしてはその鉄道そのものの実用化が難しくなることから強く非接触給電装置の実用化が求められている。そこで、このような鉄道用の非接触給電装置に求められる基本要件を整理し、鉄道用の非接触給電装置における課題を示した。

第2章では、走行中給電を前提とした非接触給電装置の鉄道への適用方法を検討した。鉄道用の非接触給電装置に適したコイルの巻線方式等の構成を検討し、1次側、2次側のコイルの基本的な構成と回路方式を示した。また、各コイルの寸法の設計指針について述べ、本論文で対象とする鉄道用非接触給電装置の基本的な構成とその性能目標を示した。

次に、第3章から第5章では、大容量を給電できる2次コイル用いた鉄道用走行中非接触給電の実現に向け、まず、第3章では、2次コイルの大容量化を検討するにあたり、重量を増加させずに2次コイルの電気性能を向上させる観点から2次コイルに適した導体と磁性体の断面形状について検討した。さらに、実用上発生する2次コイルの磁性体の接合面の微小な空隙が電気性能に与える影響について検討した。これらの結果より、2次コイルを大容量化する際に考慮すべき設計指針を示すとともに、軽量化した厚みの薄い磁性体を用いた大容量2次コイルの成立性と課題について示した。

第4章では、2次コイルの軽量化の観点で用いた厚みの薄い磁性体は破損しやすいため、機械的強度の観点から厚みの厚い磁性体を適用することを検討した。単純に磁性体の厚みを厚くすると2次コイルの重量が増加するため、重量が同等で短冊状の厚みの厚い磁性体を離散的に2次コ

イルに配置することを提案し、短冊状の磁性体を用いた2次コイルの電気性能について検討した。また、この短冊状の磁性体の最適な配置についても検討し、これらの結果を反映した大容量2次コイルを製作し従来の平板状磁性体を用いた2次コイルと同等の性能が得られることを示した。

第5章では、磁性体を離散配置した2次コイルを用いた鉄道用非接触給電装置により100 km/hから300 km/h以上の走行中に速度依存性なく安定して給電できることをフィールド試験にて実証した。また、効率、温度特性、長期耐久性を検証できるような長距離にわたる1次コイルを実際の鉄道の線路に敷設し、試験を実施することは困難なことから、走行中の環境を模擬できる試験装置を構築し、鉄道での運用を想定したこれらの特性について検証し、本論文で対象とする非接触給電装置が鉄道に適用することが可能であることを示した。さらに高周波を利用することから旅客公衆の立ち入るプラットフォームや鉄道車両内の環境磁界についてもICNIRP 2010の基準値を順守できることを電磁界解析により示し、これらの結果から本論文で示す非接触給電装置が鉄道に適用可能であることを示した。

第6章では、複数の2次コイルを用いた大容量給電を実現するにあたり、2次コイル間の相互インダクタンスが存在し、隣接する2次回路の共振状態が異なる場合、2次コイル間で電力の授受が発生することに設計上留意する必要があることを示した。また、1次側と2次側の両方に制御系が存在する場合、2次コイルの総給電容量が増加すると制御干渉が生じる懸念があることから、非接触給電装置の線形解析モデルと実験モデルを提案し、1例として制御系のゲインによる安定性に関する解析例を示した。これらの手法を用い、鉄道用の非接触給電装置において3両編成を想定した240 kWの給電が実現可能であることを示した。

第7章では、本研究の結論と今後の課題について述べた。本論文で提案する鉄道用の非接触給電装置により超高速鉄道において走行中に安定した給電特性を得られることを明らかとし、また複数の2次コイルを用いることで数百kWの大容量給電も実現可能であることも明らかとした。さらに、超高速鉄道への給電方式として電磁誘導方式の非接触給電装置を適用するための設計・検証手法を示し、停車中、高速走行中の鉄道車両への大容量非接触給電を2次コイルの温度特性に問題なく実現しただけでなく、2次コイルの軽量化も実現した。なお、本手法は編成が長大化することでMWクラスの給電が必要とされる超高速鉄道への大容量給電の成立性の検証手法としても活用でき、超高速鉄道の実用化にも大きく貢献できる。さらに、他の同様の非接触給電装置等へも展開することが可能であり、他分野における同様の大容量走行中非接触給電装置の開発の加速にも貢献するものと考えられる。

今後の課題としては、電気自動車で実用化される運転周波数85 kHzを鉄道に採用することは法令等の制約から現状では困難であるが、周波数を上げることで結合係数の向上が期待でき、また電気自動車で研究されている技術と融合することでさらなる高効率化と低コスト化を図れる可能性があるため、電気自動車における開発動向も踏まえて最適な運転周波数を見極める必要がある。また、周囲の金属物への意図しない誘導加熱や構造物に含まれるループ形状を有する金属

物への誘導電流の発生が懸念されている。特に後者は2次コイルの誘導電圧を低減させ効率にも影響を与えることから、これらの影響を定量的に把握し適切な対策を検討する必要がある。