

氏名	山田 潤
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第 1089 号
学位授与年月日	平成 30 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	電気自動車用走行中非接触給電に適したコイル形状と共振回路方式の基礎的検討
論文審査委員	教授 金子 裕良 委員 教授 前山 光明 委員 准教授 辻 俊明 委員 教授 伊藤 和人

## 論文の内容の要旨

環境問題や省エネ対策の観点から電気自動車が大きく普及し始めているが、電気自動車に搭載されるバッテリーの特性により連続航続距離が短く、技術的な課題の一つとなっている。その中で、連続航続距離の拡大が可能な技術として走行中非接触給電システムが提案され、研究がすすめられている。本論文では飛び石式を用いた走行中非接触給電システムの実現に向けて、給電装置や回路方式について理論的な観点から考察し、複数の送電装置を用いた給電システムの基礎検討を行った。

最初に非接触給電装置（トランス）の形状について検討を行った。トランスの形状には、ソレノイド型と円形がある。2つの形状のトランスは磁界構造が異なるため互換性がなく、そのままでは給電できない。利用環境に応じて両方式が共用される可能性があるが、互換性の上で大きな課題となっている。また、kWクラスの電力を伝送するため漏洩電磁界が大きく発生することが予想される。漏洩電磁界は電子機器や人体への影響が懸念されるため、併せて検討しなければならない。埼玉大学では、ソレノイド型の磁極部分を拡張したH型トランスをベースにコイルを2分割し、円形トランスとの給電を可能としたHc型トランスを提案している。Hc型トランスは2分割したコイルが近接した配置をしているため、設計する上で相互結合を考慮する必要がある。また、実用化を考慮した電源周波数帯域での性能比較が不十分であった。よって、コイルの相互結合を考慮した回路解析を行い、自動車の非接触給電用に使用される周波数電源を用いて性能評価を行った。回路解析の結果、一対一のトランスと等価的に表すことによって設計が可能であることを明らかにした。また、相対するトランスに合わせた磁界構造となるよう回路設計をすることで、円形、ソレノイド型トランスと給電を行うことができることを確かめた。さらに、漏洩電磁界を測定し安全性を確認した。

次に、走行中給電に適する回路方式について検討を行った。従来の非接触給電システムで検討されている回路方式では、位置ずれや二次コイル不在時にインピーダンスが低下するため、定電圧駆動では過大な電流が流れてしまう問題がある。定電圧駆動でも二次コイル不在時に過電流を抑えられる方式として中継コイル方式が提案されている。現在、中継コイル方式は入出力特性や効率を考慮した設計方法が確立されていない。別の回路方式としてPS方式が提案されている。PS方式も位置ずれや二次コイル不在時での過電流を抑えることができる方式である。H型トランスを用いて中継コイル方式の設計方法を導出し、PS方式との特性差

異を明らかにした。中継コイル方式の回路解析により、受電コイル不在時においてはインピーダンスが最大となり、給電時には高効率給電が可能な理想変圧器特性が得られる設計方法を導出した。そこで、PS方式との比較を行い、入出力特性や巻数比、中継部の巻数などの観点から2方式の類似性について明らかにした。また、給電実験から正対時、位置ずれ時の特性を評価し、基本波入力において2方式は近い特性を示すことを検証した。また、二次コイル不在時の給電特性でも2方式共に過大な入力電流が抑えられることを確認し、有用性と類似性を理論的な観点から明らかにした。

次に、走行中非接触給電システムに適した回路方式であるPS方式を用い、相互結合を考慮した複数の送電トランスを配置した給電システムの回路解析を行い、給電特性への影響を評価した。飛び石方式の特性として、位置ずれ時の出力低下がある。正対時には最も出力電力が高く、位置ずれが大きいほど出力電力が低下する。このため、配置間隔によって平均給電電力が低下し、必要な電力が賄えなくなる恐れがある。平均給電電力を向上させるには、送電トランスを密に配置し、出力低下を抑える方法が望ましい。送電トランスを密に配置した場合、送電トランス間に相互結合が発生する。現在、走行中非接触給電システムにおいて複数配置した送電トランス間の相互結合を考慮した検討は見られない。また、効率や安全性の観点から給電に使用する送電トランスのみを接続して電力を供給する運用も考えられるが、接続しないコイルとの相互結合がある場合、効率への影響は不明である。よって、走行中非接触給電システムに適する回路方式であるPS方式を用い、送電トランス間の相互結合を考慮した非接触給電システムについて特性評価を行った。そこで、送電トランスを並列接続した場合での特性解析のほか、給電に寄与しないコイル端子を開放した場合の特性解析を行い、相互結合による影響を理論的な観点から評価した。回路解析の結果、給電に寄与しない送電トランスを開放した場合、コイルに流れる誘導電流により並列接続時と比べ効率が低下する可能性があることを明らかにした。また、実運用を考慮し、コイル端子開放時の相互結合による影響を低減させ、効率を改善する方法について検討を行った。

## 論文の審査結果の要旨

本提出論文は、電気自動車用走行中非接触給電として注目されている飛び石式を用いた走行中非接触給電システムに適した給電コイル形状と共振回路方式などに関する研究結果を詳細にまとめたものである。

環境問題や省エネ対策の観点から電気自動車が大きく普及し始めているが、電気自動車に搭載されるバッテリーの特性により連続航続距離が短く、技術的な課題の一つとなっている。その中で、連続航続距離の拡大が可能な技術として走行中非接触給電システムが提案され、研究がすすめられている。本論文では飛び石式を用いた走行中非接触給電システムの実現に向けて、給電装置や回路方式について理論的な観点から考察し、複数の送電装置を用いた給電システムの基礎検討を行っている。

本論文は5章からなる。まず、第1章では、本研究の背景、関連研究、目的・課題について述べている。

第2章では、駐車中給電で標準化されているトランス形状と共用化な走行中非接触給電用トランスの形状について検討を行っている。電気自動車用に検討されているトランスの形状には、ソレノイド型と円形がある。円形は周囲への漏洩電磁界強度が小さく電気乗用車用駐車中給電で標準化されているが、位置ずれ性能はソレノイド型の方が優れ、飛び石式走行中非接触給電には有用である。2つの形状のトランスは磁界構造が異なるため互換性がなく、そのままでは給電できない。利用環境に応じて両方式が共用される可能性があるが、互換性の上で大きな課題となっている。その解決方法として、ソレノイド型の磁極部分を拡張したH型トランスをベースにコイルを2分割し、円形トランスとの給電を可能としたHc型トランスが提案されている。しかし、設計する上で相互結合を考慮する必要があり、実用化を考慮した電源周波数帯域での性能比較が不十分であった。本論文では、コイルの相互結合を考慮した回路解析を行い、一対一のトランスと等価的に表すことによって設計が可能であることを明らかにしている。相対するトランスに合わせた磁界構造となるよう回路を切り替えることで、漏洩電磁界レベルの安全性を含めて円形、ソレノイド型トランスと自動車の非接触給電用に使用される周波数電源を用いて高効率な給電が可能なことを確認している。

第3章では、飛び石式走行中非接触給電に適する回路方式について検討を行っている。従来の非接触給電システムで検討されている回路方式では、位置ずれや二次コイル不在時にインピーダンスが低下するため、定電圧駆動では過大な電流が流れてしまう問題がある。定電圧駆動でも二次コイル不在時に過電流を抑えられる方式として中継コイル方式が提案されているが、中継コイル方式は入出力特性や効率を考慮した設計方法が確立されていない。同様にPS方式も提案されているがその理論解析や比較評価は十分でない。本論文では、H型トランスを用いて中継コイル方式の設計方法を導出し、PS方式との特性差異を明らかにしている。中継コイル方式の回路解析により、受電コイル不在時においてはインピーダンスが最大となり、給電時には高効率給電が可能な理想変圧器特性が得られる設計方法を導出し、入出力特性や巻数比、中継部の巻数などの観点から2方式の類似性について解析している。また、給電実験から正対時、位置ずれ時の特性を評価し、これらの方式の有用性を論理的、実験的に明らかにしている。

第4章では、走行中非接触給電システムに適した回路方式であるPS方式を用い、相互結合を考慮した複数の送電トランスを配置した給電システムの回路解析を行い、給電特性への影響を評価している。飛び石方式の特性として、位置ずれ時の出力低下がある。平均給電電力を向上させるには、送電トランスを密に配置し、出力低下を抑える方法が望ましい。送電トランスを密に配置した場合、送電トランス間に相互結合が発生するが、走行中非接触給電システムにおいて複数配置した送電トランス間の相互結合を考慮した検討は見られない。また、効率や安全性の観点から給電に使用する送電トランスのみを接続して電力を供給する運用も考えられるが、接続しないコイルとの相互結合がある場合、効率への影響は不明である。本論文では、走行中

非接触給電システムに適する回路方式である PS 方式を用い、送電トランス間の相互結合を考慮した非接触給電システムについて特性評価を行っている。送電トランスを並列接続した場合での特性解析のほか、給電に寄与しないコイル端子を開放した場合の特性解析を行い、相互結合による影響を理論的な観点から評価している。回路解析の結果、給電に寄与しない送電トランスを開放した場合、コイルに流れる誘導電流により並列接続時と比べ効率が低下する可能性があることを明らかにしている。また、実運用を考慮し、コイル端子開放時の相互結合による影響を低減させ、効率を改善する方法について検討を行っている。

最後に第 5 章で全体を総括し、今後に残された課題を議論している。

以上のように、本論文の内容は、飛び石式を用いた走行中非接触給電システムの実現に向けた基礎研究として、学術的に意義のある研究であると評価できる。さらに本研究の成果は、審査制度のある国内学術誌に 2 編の筆頭論文として発表が行われ、国際学会での発表が 1 件、国内学会や研究会での発表が 4 件行われるなど、十分な研究成果が得られている。したがって本論文は博士（工学）の学位論文として価値があるものと判断し、「合格」と判定した。