

論文審査の結果の要旨

氏名 コーキムエン

本論文は、Wireless Power Transfer for Moving Electric Vehicles（走行中電気自動車への給電をめざしたワイヤレス電力伝送）と題し、走行中の電気自動車へワイヤレス電力伝送を行うシステムの設計と評価に焦点を当てて論じ、その実用化への道を大きく進展させたものである。電気自動車は、クリーンで静かであり、かつエネルギー効率にも優れるため、エンジン駆動車両の燃料や公害問題への解決策としてよく認識されている。従来の大規模電源に加え、再生可能エネルギーも、最近の分散型システムの運用技術の進展によって電気自動車にも使用できるようになっている。しかし、エネルギー貯蔵技術は未だに貧弱で、幅広い普及の障害となっている。ドライバが満足できる走行距離に必要な量の電池を搭載することは、コストや重量の面で無理があり、また長い充電時間を要することも依然として大きな問題である。

ワイヤレス電力伝送は、従来の接触式充電に比べて、より安全で便利な充電方法を提供し、多くの問題点を軽減することができる。停車中充電においても、ワイヤレス充電は、より耐久性にすぐれ、省スペースであり、電力網や都市景観を汚染しない。そして、ワイヤレス電力伝送技術の本命は、高速道路や一般道路上での走行中給電にある。ワイヤレス電力伝送システムは道路の一定距離に敷設され、道路に沿って移動しながら車両は電力を受け取ることになる。このようなシステムを構築するには、地下にワイヤレス給電ネットワークを埋設するため、コスト低減、ギャップなどの設計、効率や送電できる電力の調整などにおいて多くの課題が残されている。

第1章「Introduction（序論）」では、磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送、マサチューセッツ工科大学によって提案された結合モード理論、および等価回路モデルを紹介している。次に、電気自動車へのワイヤレス電力伝送の開發現状を述べ、とくに走行中給電の問題点や過去の研究で用いられた構成法が議論されている。これらを踏まえて、本研究の意義と動機を提示している。

第2章「Impedance Inverter Based Analysis of Multiple Coils（複数コイルのインピーダンスインバータによる解析）」では、複数のコイルより成るワイヤレス電力伝送のための一般理論の開発について述べている。任意の数の受電器とリピータ（中継コイル）からなるワイヤレス電力伝送システムにおいて、電力分配法とインピーダンス整合法を提案している。この構成は走行中給電にそのまま適用することはできないが、この章で開発された理論は、後続の章で提案する諸種の手法の基礎として有用なものとなっている。

第3章「Repeater System for Dynamic Charging（走行中給電のためのリピータシステム）」では、走行中給電のためにリピータを用いる場合に生じるデッドゾーンの問題が、第2章で導出した電力分配法やインピーダンスインバータ理論を用いて簡潔に説明されている。受電器がある数のリピータを介して送電器に結合される場合、デッドゾーンのために電力を転送することができなくなる。さらに、このワイヤレス電力伝送特有の現象は、偶数リピータの場合と奇数リピータの場合について一般化している。

第4章「Even Magnetic Field Design for Dynamic Charging（走行中給電のための平坦磁場の設計）」では、抵抗やバッテリーなどの負荷へ電力伝送を行うために、平坦な強さの磁場を実現し、ひいては一定電力のワイヤレス伝送を行う新しいコイル配置の構成法を提案している。ノイマンの式と最大効率の式が、送電器のサイズの評価・設計に用いられている。インピーダンスインバータ回路が、複数の短い送電器を共通の電源に接続するために使われ、送電器間のクロスカップリングが、電力レベルと効率には影響を与えないことなども示されている。

第5章「Steady and Transient State Design of Wireless Power Transfer（ワイヤレス給電の定常および過渡状態設計）」では、SS方式（キャパシタが1次2次ともコイルに直列に入る方式）の定常状態と過渡状態解析が議論されている。定常状態の設計においては、最も重要な特性である最大効率と最大電力の関係が明らかにされている。最大効率は、受電器と送電器の両方に依存する。しかし、最大電力は主として送電器で決まる。SS方式のこの特徴は、所望の電力レベルで最適効率を得るコイルの設計に用いられる。また、過渡解析には、交流信号を扱う一般的な方法である一般化状態空間平均法（GSSA）を適用している。

第6章「System Design and Experiment（システム設計と実験）」では、第4章で提案されたシステムを構築するハードウェアについて述べている。実際のシステムでは、RFIDセンサの使用を想定しているが、この実験では磁気センサを用い、平坦な磁場を実現するために2つの送電器の制御を行っていることなどを説明している。

第7章「Conclusion（結論）」では本研究の成果をまとめ、今後の課題や将来展望について述べている。

以上これを要するに、本論文は、電気自動車への走行中給電を目指したワイヤレス電力伝送システムのための電力伝送理論を構築し、とくに、複数リピータを用いる場合に問題となるデッドゾーンという特有の現象や、電力と効率の関係を明らかにするとともに、その有効性を自作した実験装置による実験によって検証したもので、電気電子工学、電気自動車工学、などの分野への貢献が少なくない。

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。