

## 論文の内容の要旨

論文題目        磁界共振結合型無線電力伝送における高効率なシステム設計に関する研究

氏名            成末 義哲

我々の生活は数多くの電子機器によって支えられている。電子機器の普及が進むにつれて、ライフスタイルは大きく変貌してきた。しかし、電子機器の数や種類が増加することは、我々に対してある種の負担をも増大させた。それは電力供給である。現存の電子機器はケーブルからの電力供給が主であり、機器はコンセントと物理的に接続された状態で使用される。近年、一部の電子機器は組み込まれたバッテリーを電力源として駆動されるようになり、バッテリーに溜め込んだ電力によって一時的にコンセントから切り離された状態で使用することができるようになった。しかし、これから先、バッテリー駆動の電子機器が増え続けた場合、それはユーザである我々にとって抱えきれないほど大きな負担となることは想像に難くない。

この問題を解決する手法として、近年注目されているのが無線電力伝送である。試み自体は 100 年以上以前から行われてきたが、技術の進歩とともに近年大きな盛り上がりを見せている。盛り上がりにより再度火をつけるきっかけとなったのは 2007 年にマサチューセッツ工科大学の研究グループによって発表された共振現象を利用した無線電力伝送である。送受電器として共振器を用いることにより、高効率に 1m 以上の距離を無線電力伝送可能であり、電気自動車への給電やバッテリーの無線充電などへの応用が活発に議論されている。現在の電力供給手段であるケーブルを無線電力伝送に置き換えることができれば、我々ユーザは機器の充電から解放される。

しかし、当初発表された構成は、通信用の RF 電源に送電器が接続され、送電器と電磁界を介して結合した受電器に負荷が接続されている必要最低限の要素から成るものであった。実用化に向けては、RF 電源の高効率化や、受電側で RF-DC 変換を行う整流回路の追加が必要であり、盛んに

研究が進められている。さらに、我々の生活環境中での無線電力伝送においては、実験環境とは異なり人体や様々な物質が存在するだけでなく突発的な機器の移動も考えられ、人体防護や電磁両立性維持のための漏洩電磁界低減対策が必須であるだけでなく、動的に変化する環境下においても必要な電力を高効率に給電できるシステム設計を行う必要がある。ゆえに人が生活する部屋全体など広い空間に対する電力伝送を実現するためには、共振器アレイ化による給電の広範囲化、アレイを構成する共振器の高性能化、電力伝送の安定化、パラメータ変化への対応機構を実現する必要がある。

これらの背景を踏まえ、本論文においては、高効率な磁界共振結合型無線電力伝送システムの設計手法を構成する以下の技術を提案する。

1. 広範囲への高効率な給電を実現するための直線状アレイ化手法、および、平面状アレイ化手法を提案する。直線状アレイ化手法においては、共振器間の結合と負荷抵抗値の間に存在する、高効率給電を実現するために満たすべき条件を定式化し、その条件式を基にした設計手法を提案する。平面状アレイ化においては、電流分布を設計パラメータとして考える重要性を明らかにし、所望の電流分布を実現するためのインピーダンス調節手法を提案する。その上で、直線状アレイ化と平面状アレイ化を比較し、トレードオフを明らかにした。
2. 共振器アレイの構成要素である共振器に関して、電流の向きに着目した漏洩電磁界低減手法および性能向上手法を提案する。本手法では、共振器設計において電流の向きや分布がその設計指針として重要なパラメータであることを示し、それを基にした設計手法を示す。漏洩電磁界低減手法においては、ループアンテナの放射電磁界に着目し、逆向きの電流ループを適切な半径で組み込むことにより放射電磁界を打ち消すことができることを示した。性能向上手法においては、既存の共振器構造よりも長い電気長を有する共振器構造を実現することで伝送効率の改善につながることを示す。提案手法では半波長のエレメントを複数用いることで全体として半波長の整数倍の電気長を有し、かつ、電流の向きが揃えられ、伝送効率および伝送距離の改善につながることを示した。
3. 受電機器が正常に動作するためには、無線電力伝送システムから安定した電圧を出力する必要がある。本手法では、出力電圧安定化と伝送効率最大化を同時に実現するためのシステム設計手法について述べる。出力電圧安定化においては受電側にスイッチングレギュレータを挿入することで実現可能であるが、このときシステムの動作点が低効率な範囲に存在するため、高効率な給電が不可能となることがわかった。そこで動作点を最大効率点とするために追加する四端子回路網の設計手法と、入力電圧調節を用いた効率最大化手法を提案する。
4. 負荷変動や周辺環境の影響により伝送効率や伝送電力が劣化してしまう問題に対して、可変リアクタを用いることで改善可能であることが知られているが、既存の可変リアクタには電子制御可能かつ連続的に調節可能であり、かつ大電力動作可能であるものは存在しなかった。本手法ではD級インバータを応用した可変リアクタを提案する。回路構成がD級インバータと酷似しているため、電子制御可能であり大電力動作可能であるが、リアクタンスが連続的に調節可能であることを解析的に示し、有効性を実験により確認した。

本論文にて提案する上記の手法は、安定した出力電圧を確保した上で、環境変化に強く、人体に対して安全かつ電力的に高効率な無線電力伝送の実現に資するものである。