

審査の結果の要旨

氏名 居村 岳 広

本論文は、「電磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送に関する研究」と題し、電気自動車などへの給電を目的とした、新しいワイヤレス電力伝送手段である電磁界共振結合方式の、理論の体系化と実用技術の確立を行ったもので、全6章より成る。

第1章は序論であり、ワイヤレス電力伝送にはおよそ4方式あることを述べ、ワイヤレス電力伝送の将来像や、電気自動車におけるワイヤレス給電の必要性を説明しつつ、本論文における問題意識と研究目的を明確にしている。電磁誘導方式は高効率であるがエアギャップが短く位置ずれにも弱い。マイクロ波やレーザー方式はエアギャップは大きいが高効率である。2006年にMITから発表された電磁界共振結合方式は、大エアギャップで高効率のワイヤレス電力伝送技術として注目を集めた。しかしながら、アンテナ特性の検証や一般的な電気回路理論としての説明はされておらず、実用的な理論の確立と技術的課題の解決が必要であることを述べている。

第2章「電磁界共振結合用アンテナの提案とその実現」では、電磁界共振結合技術の現象の解明と理論の体系化を行い、実際にアンテナを製作してその正しさを示している。磁界型のアンテナとしてヘリカルアンテナとスパイラルアンテナを、電界型のアンテナとしてメアンダラインアンテナを提案し、両者の比較を行ない、磁界共振結合と電界共振結合の対称性を確認した。さらに、エアギャップや位置ずれがアンテナ特性に及ぼす影響を通して、基本的な電気的特性を確認し、共振が起こっているときのアンテナ動作を検証した。

第3章「電磁界共振結合の等価回路化」では、アンテナのパラメータや外部回路の設計のために、等価回路を用いた一般的な電気回路理論の適用を行っている。電磁界共振結合は結合モード理論で理論的に説明されているが応用性に欠ける。そこでここでは、等価回路で定式化し、回路のパラメータの算出法を考案し、現象が簡便に説明できることを示した。同時に、磁界共振結合と電界共振結合における等価回路が対称性のよい形で定義されることを示し、最後に、等価回路理論の妥当性を電磁界解析と実験により確認して、その整合性を実証している。

第4章「電磁界共振結合の等価回路からの発展」では、電磁界共振結合を等価回路で記述できることが立証したことを受け、実用的見地に立ったさまざまな検討を行っている。オープンアンテナとショートアンテナの導入により、アンテナの種類が増え、共振周波数を自在に調整できることも示した。エアギャップと最大効率の導出により、大きなエアギャップが高効率で実現できる条件を示し、理論的にエアギャップと効率の限界値を定義している。また、動作周波数を MHz 以外の kHz や GHz に拡張できることを示すことにより、パワーエレクトロニクス技術によって制御を簡易に行うことができ、また制御情報の通信も可能になる。また、周波数を選定することにより超小型機器から大型機器まで、機器の大きさを問わずワイヤレス給電が可能になることを示している。

第5章「電磁界共振結合システム」では、前章の成果によって、電磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送が、現象解明フェーズから実用システムフェーズへと移行したことを述べ、新しいシステムの提案、すなわち、アンテナの共振周波数に電源周波数を追従させる方式や、電源周波数にアンテナの共振周波数をインピーダンスマッチングによって合わせる方式を提案し、その実用性を検討している。

第6章は結論であり、研究成果のまとめと今後の課題を述べている。

以上これを要するに、本論文は、電気自動車などへのワイヤレス給電を目的とした新しい電力伝送手段である電磁界共振結合方式を、一般的な等価回路を用いて体系化し、実用システムに必要となる諸種の技術の提案と実験による検証を行い、その大きな可能性を示したもので、電気電子工学、自動車工学、制御工学に貢献するところが少なくない。

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。