

論文の内容の要旨

論文題目 磁界共振結合による電気自動車へのワイヤレス給電
(Wireless Power Transfer for Electric Vehicle via Magnetic Resonant Coupling)

氏 名 加藤 昌樹

本論文では磁界共振結合を用いた電気自動車へのワイヤレス給電について、実用化に向けて必要となる理論の構築を行い実験によって具体例示し、さらに走行中の電気自動車への理論の拡張を行なったものである。

現在電気自動車(EV: Electric Vehicle)が普及の兆しを見せているが、EVは高価で一充電走行距離が短いという問題がある。これはバッテリーの価格や性能に起因する問題であり、自動車メーカー各社はこれらの問題を解決すべくバッテリー性能の向上と低価格化を目指しているが一朝一夕に解決するものではない。しかし考え方を変え、充電方法をケーブル接続によるものからケーブルレス、つまりワイヤレスとすることができれば駐車場や交差点等に給電装置を設置しておくことで駐車中や赤信号での停止中に無意識に、そして頻繁に給電することが可能となり車重やコストを犠牲にしてバッテリーを大容量化・高性能化せずとも疑似的に航続距離を伸ばすことが可能になり、バッテリーに起因する問題を解決できる。さらに停車中だけでなく走行中の車両への給電が可能となれば、高速道路など長距離を停車せず走行する場合においても充電が可能となりEVの長距離連続運用が実現する。つまり停車中だけでなく走行中のワイヤレス給電についても提案することでEVの持つバッテリーに関する問題点を完全に解決しEVの普及を急速に進めることに貢献することができる。

EVへのワイヤレス給電を考えた場合、電力を送る送電器を地中に設置し電力を受け取る受電器を車両下部に配置することが考えられる。また供給する電力は数kWか

ら数百 kW というオーダーである。つまり数十 cm～1m の伝送距離を高効率かつ大電力でワイヤレス給電できることが求められる。これらの要件を満たすワイヤレス給電方式として磁界共振結合方式が挙げられる。この方式は 2007 年に発表され、磁界の共振現象を用いている。その発表内容では 1m の伝送距離で効率 90%、2m の伝送距離で効率 60%、それぞれ 60W 電球を点灯させる実験を行なっている。

本論文の構成について示す。

第 1 章では緒言としてワイヤレス給電に関する研究の現状を紹介し、それを踏まえた本研究の方針について説明した。先行研究として近年のワイヤレス給電の研究の火付け役となった磁界共振結合の発表から各研究機関での電気自動車等へのワイヤレス給電について述べた。そして現在の研究の課題点を示し、本論文の研究方針と構成について述べた。

第 2 章では EV への給電に必要な長伝送距離・高効率・大電力伝送に向けた磁界共振結合の特性解明を行なった。磁界共振結合の特性の解明は先行研究で数多く行われている。しかし従来の研究では研究者のバックグラウンドによって想定している電源・負荷の構成が異なりさらに効率の定義すら違う。また伝送距離や負荷が変化した場合など、実際の使用状態を考慮した特性の解明が行われていない。また多くの研究は伝送効率のみの評価を行なっている。実際の電力伝送では効率だけでなく、電源・負荷の設計のために入出力の電圧と電流の関係が必要である。さらに大電力化の際には入力電圧または電流と負荷消費電力の関係が重要である。そこで本研究では、EV へのワイヤレス給電に特化した特性の解析を行なった。磁界共振結合の入出力特性を効率だけでなく、入出力の電圧や電流、入力インピーダンス、効率、負荷消費電力を定式化した。その式を用いて負荷抵抗値や伝送距離が変化した場合にそれらがどのように変化するかを論じた。その結果、伝送距離が変化した場合の効率だけでなく伝送距離と負荷抵抗値が変化した場合の入出力の電圧・電流・消費電力の関係が明らかとなった。また効率改善には送受電器の性能改善だけでなく、二次側入力インピーダンスを適切な値に設定する必要があることが明らかとなった。

第 3 章では第 2 章で明らかになった結果を用いて長伝送距離での大電力かつ総合効率の向上に焦点を当てたワイヤレス給電実験を行なう。先行研究においてもワイヤレス給電実験は行われているが、この研究分野は企業等で行われていることが多いため経営上の理由から入出力の特性や機器の詳細が公開されていないことが多い。また、長伝送距離と大電力伝送を両立した例がない。また電球などの抵抗負荷への給電が主であり、EV への給電の際、負荷として予想されるキャパシタ等への給電の例が少ない。そこで本研究では、まず第 2 章で導出した入出力特性式を用い、必要な消費電力と送受電器のパラメータから入出力の電圧・電流の設計を行い、想定される各部の電圧・電流を明らかにした。その後高い効率を持つ高周波電源と整流器の制作を行なった。そして抵抗負荷へ大電力給電実験を実施した。その結果、伝送距離 30cm で総合効率 88.3%・負荷消費電力 3.4kW、伝送距離 40cm で 77.8%・1.7kW という結果を得ることができた。次に DC-DC コンバータを用いた伝送効率改善を行なった。DC-DC コンバータを用いることで負荷抵抗値が低い場合に伝送効率が上昇させることができることを実証した。また、市販の EV へのワイヤレス給電実験を行なった。

第 4 章では、走行中の EV へのワイヤレス給電に向けた給電区間延長の方法について述べた。走行中ワイヤレス給電を考えた場合、車両は高速で移動するため通常形状

の送受電器では給電区間が短く短距離短時間の給電のみとなってしまう。そのため何らかの方法で給電区間を長くする必要がある。先行研究でも同様に考え研究が行われているが発展途上にある。本研究ではまず、送電器形状を変化させることで給電区間拡大を狙った非対称送受電器の解析を行なった。非対称送受電器は送電器と受電器が異なる形状であるものを指す。等価回路を用いた解析を行うことで、送電側・受電側どちらかの損失を低減させることで高効率化が図れるが、大電力を消費させるには送電側の損失を低減させるような構造が必要であることが分かった。次に中継器羅列による給電区間の延長について解析を行なった。送電器・受電器間の伝送距離延長方法として中継器を挿入する方法がある。この中継器を道路側に敷き詰めることで給電区間を長くできることが考えられる。この方法であれば車両位置検出が不要であり埋設が容易となり施工コストが低く抑えられる。この方法を用いた場合の解析を行なった。その結果、道路側共振器（送電器・中継器）の数と受電器の位置によって高効率電力伝送が行えない”デッドゾーン”が発生することが明らかとなった。このことからデッドゾーンを低減した地上側共振器の考案が必要であることが分かった。

第5章では、本論文のまとめを述べ、今後の課題について示した。

本論文では電気自動車へのワイヤレス給電に向けて、現実を目に向け技術の基盤となる本質的な研究を行ない、特性を明らかにし、実験によって具現化することによって今後の研究方向性を示すことができた。