

論文審査の結果の要旨

氏名 佐藤 基

本論文は、「ワイヤレスインホイールモータの変換器および駆動制御の高性能化に関する研究」と題し、磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送技術を応用してインホイールモータを搭載した電気自動車 (Electric Vehicle: EV) が持つ配線断線問題を根本的に解決するための技術および理論を構築し、多くの実機実験および実車走行試験にもとづいて、高効率大電力伝送やワイヤレス電力伝送における電流過渡応答の改善など様々な問題について解決策を示し、将来のインホイールモータの普及の可能性だけでなく、その他のワイヤレスでモータを直接駆動するため応用に有効な一般的な理論および実験結果を具体的に示したものである。

第 1 章「序論」では、これまでに行われたインホイールモータの配線が断線する問題に関する研究開発について振り返り、そのどれもが配線が存在する以上抜本的な解決に至らない点を示唆した。その上でミニモデルでの実験的検証と理論検証であった先行研究とは、3kW 出力程度の実機実験を行い実用化に大きく貢献を目指した点が大きく異なることを明確に述べ、さらに本研究の目的として、より高効率で過渡応答がないアドバンスな変換器制御を提案することが必要であることについて述べた。

第 2 章「ワイヤレスインホイールモータ試作機の開発」では、試作したワイヤレスインホイールモータの仕様および、その制御に用いるインバータとワイヤレス電力伝送に用いる電力変換器の仕様について述べ、さらに、ワイヤレスインホイールモータの初号機を用いた実車評価について述べた。本研究で試作したワイヤレスインホイールモータは一次試作機であるため、一般に市販されている軽自動車の出力と比較して低出力であるので、一般車両に加速度および最高速度は及ばないものの、ワイヤレスインホイールモータが問題なく走行可能であることを示した。

第 3 章「ワイヤレスインホイールモータ試作機の変換器の高効率化および損失分離」では、まず、ワイヤレス電力伝送の送電側ではチョップ方式および位相シフト方式と定義される 2 種類の送電制御法を提案した。本章ではこの 2 種類の制御法のそれぞれの利点、欠点について述べて比較検討をした。結論としては、効率の観点から述べるとワイヤレスインホイールモータ試作機のほとんどの運転パターンをカバーする場合にはチョップ方式が高効率であり、有効であることを実験により示した。さらに従来制御では、力行時から回生時または回生時から力行時への切り替え時にシームレスな電力回生ができないといった問題点があったが、本章では、新たに間欠同期整流制御と定義する受電側の電力変換器の制御法を提案し、その有効性について明らかにした。間欠同期整流制御では、高効率にかつシームレスな回生が可能であることを示した。これにより、EV がより高応答にかつ回生時に運転者に振動を与えることなく乗り心地に寄与できることを実験的に示しワイヤレスインホイールモータの高性能化について大きな可能性

を示した。

第 4 章「ワイヤレスインホイールモータの過渡応答改善」では、ワイヤレス電力伝送の受電側変換器の制御法において間欠同期整流方式、位相シフト方式および部分ソフトスイッチング同期整流方式と定義される 3 種類の送電制御方式について論じ、間欠同期整流方式は高効率であるが送電側共振器の電流に大きな過渡応答が生じ、放射ノイズの原因となることを明らかにした。位相シフト方式は送電側共振器の電流に過渡応答が生じないが、共振器の共振周波数と等しい周波数に同期してハードスイッチングを行なうため、損失が大きいことを明らかにした。部分ソフトスイッチング同期整流方式は間欠同期整流方式よりも効率は落ちるが、位相シフト方式よりも効率は良く、送電側共振器の過渡応答も生じず、総合的に見て性能のバランスの観点から、上記 3 種類の制御法の中で最も良い制御方式であることを示した。

第 5 章「高周波電流形双方向 AC/AC 変換器によるワイヤレス電力伝送」では、ワイヤレスインホイールモータの次世代機のひとつの方式として、全く新しいワイヤレスインホイールモータの回路トポロジーを提案しその原理について論じた。ワイヤレスインホイールモータ初号機で採用した回路トポロジーは、受電側に電力変換器が搭載され、受電電力を一度直流に変換した後モータを駆動するための三相交流に変換するのに対し、本章で提案する回路はワイヤレス電力伝送された高周波交流電流を、直接、任意の三相交流電圧に変換しモータを制御することが特徴である。この種の電力変換器の先行研究では 6 つの双方向スイッチが必要であった。本研究では 3 つの双方スイッチで任意の三相交流電圧に電力変換を行う。これにより、ワイヤレスインホイールモータの受電側の部品点数が少なくなり、変換器の故障による信頼性の問題や、スイッチング素子が減ることから受電側の装置が小型化できる可能性をシミュレーションにより示した。

第 6 章「結論」はワイヤレスインホイールモータの研究の総括を行い、さらに今後の課題について述べている。

以上これを要するに、本論文は、電気自動車用のワイヤレスインホイールモータを実現するための回路構成および制御理論構築を行い、多くの実機実験にもとづいて、高効率大電力伝送や電流過渡応答の改善、信頼性向上および小型化を達成するための基盤技術を開発し、実用化への可能性を大きく進展させたものであり、先端エネルギー工学、とくに、自動車工学、電気電子工学、制御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（科学）の学位請求論文として合格と認められる。