

論文の内容の要旨

論文題目 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
 (Study on High Performance Converters and Advanced
 Drive Control of Wireless In-wheel Motor)

氏 名 佐藤 基

磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送は、数10cm～数mと比較的大きな伝送距離を高効率で行なうことができる画期的な技術である。本論文はインホイールモータの配線の断線に関する問題に関する根本的な解決策として、磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送を用いて車両からインホイールモータに配線されている動力線や信号線をなくし、ワイヤレス電力伝送により直接インホイールモータを制御し駆動させることを目的とする。これをワイヤレスインホイールモータと呼称する。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について示す。以下に論文を示す。

第1章では、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、その有効性や問題点を明らかにした。加えて、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の違いを述べ、本研究の目的と意義について述べた。

第2章ではワイヤレスインホイールモータの初号機のコネクタについて述べた。ワイヤレスインホイールモータを採用する車体として、市販の電気自動車を改造したものを採用しており、さらにその車両の前後輪がそれぞれ交換可能なサブユニット構成を採用している。本章では、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章ではワイヤレスインホイールモータ初号機を送電側変換器の高効率化について述べた。まず、ワイヤレス電力伝送の送電側ではチョッパ方式および位相シフト方式と定義される2種類の送電制御方式について論じた。チョッパ方式は高周波交流で

ワイヤレス電力伝送される送電側電圧の振幅を制御して、受電側に電力伝送する方式である。位相シフト方式は、ワイヤレス電力伝送される送電側の交流電圧の振幅と周波数を変化させずに、パルス幅を制御して受電側へ送電する電力を制御する方式である。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。

チョッパ方式は理論上零電圧零電流スイッチングであるため、理論上変換器のスイッチング損がなく、ある出力領域までは位相シフト方式よりも高効率であることを明らかにした。さらに、高出力領域でワイヤレスインホイールモータを運転した場合、位相シフト方式は、ワイヤレス電力伝送の送電電圧パルス幅が大きくなり伝送電圧波形がチョッパ方式に近づくため、スイッチング損が減少し、効率特性がチョッパ方式に近づいていく事象を確認した。よってチョッパ方式に用いられるDC/DCコンバータの損失を無視すると、位相シフト方式の方が高効率と言える。よって、受電側は間欠同期整流を用いた制御によりモータを制御し、送電側は出力に応じてチョッパ方式と位相シフト方式を切り替えると高効率な運転が可能であることを明らかにした。さらに、ワイヤレス伝送電力の受電側においては、先行研究では、ワイヤレス電力伝送された電力によって定電力負荷であるモータを制御するためには2mode制御と定義される制御法が有効であることが、小容量のミニモデルによって検証された。本章では実際にワイヤレスインホイールモータを駆動させるに十分な電力にて2mode制御を行い、その有効性を再確認した。これによって、2mode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について明らかにした。これを受けて本章では、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、従来法の2mode制御が目的としていた低電力負荷を安定に制御しながら、効率の向上や2mode制御では不可能であったシームレスな回生が可能であることを示した。

第4章ではワイヤレスインホイールモータ初号機の過渡応答改善について述べた。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非対称同期整流方式と定義される3種類の送電制御法について論じる。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現象が生じ、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現象が生じないが、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。非対称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現象も生じず、良い制御法であることを明らかにした。

第5章では、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ることが期待されることを示した。

第6章はワイヤレスインホ