

2021 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関	芝浦工業大学 工学部 電気工学科
職 位 または 役 職	助教
氏 名	相曾 浩平

1. 研究題目

磁気ギアと複数台の高速モータを用いた EV 用 インホイールモータシステム

2. 研究目的

産業界ではモータシステムの小型軽量化が要求されており、高速モータとギアを組み合わせた駆動システムの開発が進められている。モータを高速化することで高出力密度を満たし、所望のトルクと回転速度はギアを用いて得ることでシステム全体を小型軽量化できる。しかしながら、現在多く用いられている機械式ギアは歯同士の接触により動力を伝達するため高速回転時には歯の機械的疲労や磨耗から伝達効率の低下、振動及び騒音の増大といった問題が生じる。これらの問題に対し、磁気ギアは永久磁石の磁力を利用することで入力ロータと出力ロータの磁石極対数の比でギア比を得ることができ、非接触の動力伝達を可能とするため低振動・低騒音、潤滑油が不要であることから保守性が高い特徴を有している。一方で、これまで先行研究で検討されてきた磁気ギアは高速回転時には入力ロータの磁石部分に高い応力が生じるため機械強度が低いことに加え、固定鉄片を利用する動作原理から高調波磁束が多く発生し、コア損と磁石渦電流損が増大することが欠点となり、低速度領域(3000 回転/分以下)に駆動範囲が制限されてきた。

そこで本研究では、磁気ギアの高速化に向けた問題に着眼し、高速領域で駆動可能な磁気ギアを提案することにより、高速モータと磁気ギアを一体化したモータシステムを構築することで小型軽量化かつ高効率化、さらにはギアの摩擦を無くすことによる高付加価値化の実現を目的とする。具体的には電気自動車のホイール内にモータとギアを配置したインホイールモータシステムを対象に、非接触の動力伝達を可能とする磁気ギアと複数の小型・高速モータを一体化したモータシステムにより、小型軽量化と高効率化を達成する。

3. 研究内容及び成果

本研究では、複数の小型・高速モータと Magnetic Multiple Spur Gear (MMSG)の駆動システムを提案した(図 1)。提案する MMSG は、一つの出力ロータと複数の入力ロータから構成されており、全ての入力ロータに小型・高速モータが取り付けられている。MMSG は下記の利点を有している。

①入力ロータを複数に分散することで一つあたりの入力ロータ径を小さく設計できるのでロータに生じる遠心力が低減され、高速回転に有利な構造となる。

②固定鉄片を用いずに、入力ロータの磁束が直接的に出力ロータに伝達されるため高調波磁束の発生が少なく、高速回転時の損失を低減できる。

本年度は、最高出力 25.5kW の MMSG と複数台モータの実験機(図 2)についてギア効率、ギア損失、モータ効率、システム効率の測定を行った。測定条件として MMSG をモータ 15 台により駆動し、回転速度 21000 回転/分、負荷 120Nm(負荷率 75%)の駆動範囲において効率および損失のマップを取得した。モータには市販のラジコン飛行機用ブラシレスモータとインバータを使用した。図 3、図 4、図 5、図 6 にギア効率、ギア損失、モータ効率、システム効率の測定結果を示す。図 3、図 4 より、高速領域においてもギアの損失増加の影響は小さく、95%以上の高効率が得られることがわかる。MMSG では負荷が大きくなるほど高出力が得られるため、高効率となる傾向となった。また、図 5、図 6 より、システム効率は低負荷・高速領域において 85%~90%の効率が得られたが、高負荷・低速領域ではモータの損失が増大するためシステム効率が低下する傾向となることがわかった。したがって、モータ自体の効率向上やギア比の調節によりモータの動作領域を高効率範囲に変えることでシステム効率の改善が期待できる。また、最高出力 25.5kW、回転速度 42000 回転/分までの駆動範囲においてギア効率とシステム効率を測定した。図 7 より、42000 回転/分までの駆動範囲においてギア効率 95%以上、システム効率 85%以上が得られることが確認された。実機実験において 42000 回転/分までの高速駆動が可能であり、高速領域において 90%以上の高効率が得られたことは、磁気ギアの高速化に向けた重要な成果と言える。

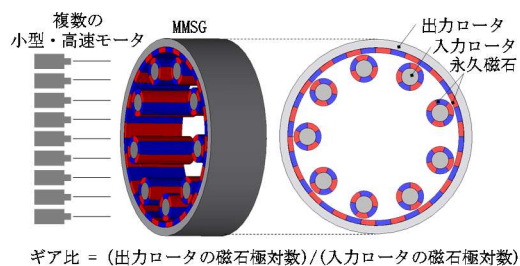


図 1 提案する磁気ギア(MMSG)

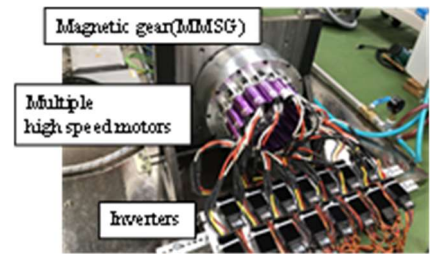


図 2 MMSG と複数台モータの実験機

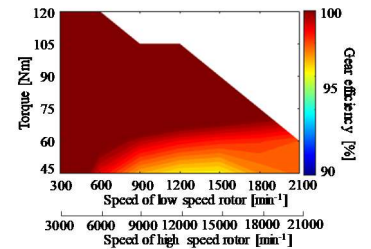


図 3 ギア効率

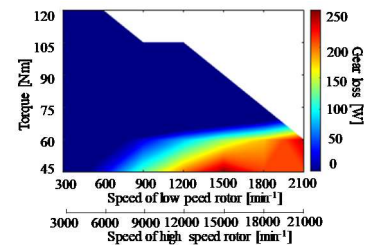


図 4 ギア損失

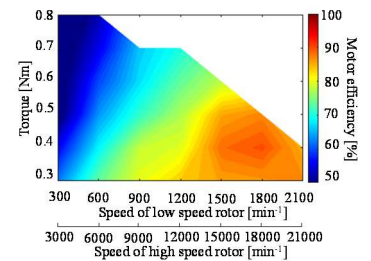


図 5 モータ効率

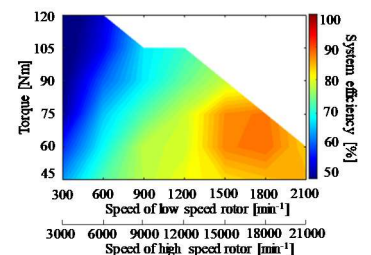


図 6 システム効率

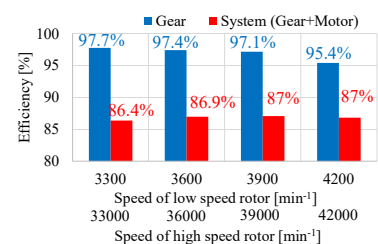


図 7 出力 25.5kW におけるギア効率及びシステム効率

4. 今後の研究の見通し

- ・複数台モータ制御法の実機実験
- ・MMSG システムを EV 車両に適用した際の電費向上効果の検証

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

【国際会議(査読付)】

- ・K. Aiso, K. Akatsu, Y. Aoyama, “Characteristics Evaluation of Magnetic Multiple Spur Gear for High Speed Motor Drive System”, *2021 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Vancouver, Canada, October 2021.
- ・K. Aiso, K. Akatsu, Y. Aoyama, “A Novel In-Wheel Motor Drive System of Multiple High-Speed Motors Integrated with Magnetic Gear for Electric Vehicle”, *IPEC-2022*, May 2022.

【招待講演】

- ・TECHNO-FRONTIER 2022 第 42 回モータ技術シンポジウム