

2021 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関	長岡技術科学大学 電気電子情報工学系
職位または役職	准教授
氏 名	日高 勇気

1. 研究題目

異なる 2 つのモータを 1 つに統合する次世代高性能複数統合型モータの開発

2. 研究目的

【研究背景】

電気自動車用モータには、永久磁石モータと巻線界磁モータが広く使われている。両モータは特性が大きく異なり図 1 に示す関係にある。巻線界磁モータは、ロータ巻線で磁束の量を調整でき、必要最小限の磁束でトルクを生み出せる。無駄な損失を発生しないため、広い動作範囲で高効率に駆動できることから、市街地走行での高い電費性能を有する。一方、高車速域での加速性能に課題がある。対して、永久磁石モータは、巻線界磁モータとは相反する特性を持つ(図 1)。日本では市街地での電費が重視されるが、欧州/北米では高い加速性能が要求される。ゆえに、電気自動車用モータ仕様の世界標準化には、2 つのモータ特性を 1 つのモータで実現する必要がある。そこで、本研究の本質を成す問い「異なる構造を持つ 2 つのモータを、1 つに統合することはできないか？」に達する。

【研究目的】

本研究の目的は、巻線界磁モータと永久磁石モータのように、全く異なる 2 つのモータ特性を、1 つのモータで実現し、モータ性能を飛躍的に改善させることにある。これを達成するために、2 つのモータ構造体を 1 つに統合する複数統合型モータを着想し、シミュレーション上で検証してきた。結果、巻線界磁モータの特性と、永久磁石モータの特性を、1 つのモータで実現できる見通しを得た。本年度は、提案モータ実現に向け実機検証を遂行し、複数統合型モータの基礎技術を確立する。

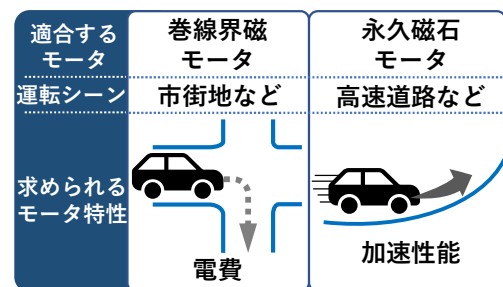


図 1 巻線界磁/永久磁石モータの比較

3. 研究内容及び成果

(1). 数値解析を用いた磁気設計

提案モータの有効性を検証するため、数値解析を用いて磁気設計を行った。図 2 に、性能を比較するための先行研究モータと、提案モータの 2 次元断面図を示す。先行研究のモータと同様に、d 軸磁束を形成する界磁巻線が備わっている。加えて、永久磁石モータの特徴であるリラクタンストルクを活用するため、界磁巻線を具備する界磁ユニットを、軸方向から挿入統合する形態とし、メインのロータコアには q 軸磁路を形成するコアを配置した。つまり、提案モータによる効果は、界磁巻線による磁束と、リラクタンストルクの併用にある。提案モータの磁気特性を図 3 に示す。先行研究のモータに対して、トルク特性が改善されていることがわかる。これは、前述のリラクタンストルクの活用によるものであり、提案研究の有効性が確認できる。

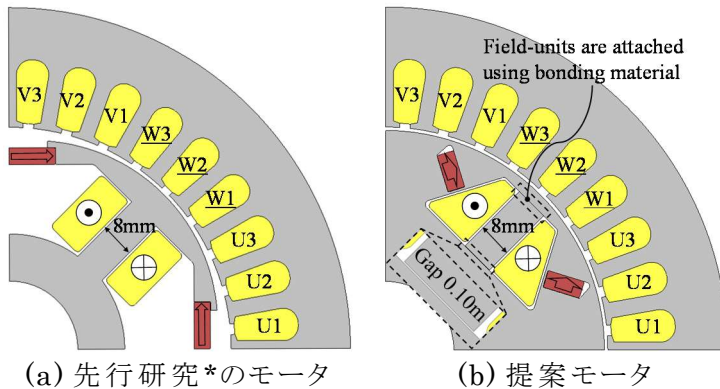


図 2 提案モータ構造と先行研究との比較

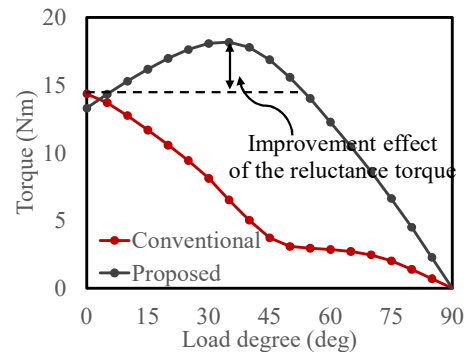


図 3 提案モータによる効果
トルクが 26.5% 向上

(参考文献)

*S. -W. Hwang, et-al, "Torque Improvement of Wound Field Synchronous Motor for Electric Vehicle by PM-Assist," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 54, no. 4, pp. 3252-3259, 2018.

(2). 試作機の製作と負荷試験系構築

数値解析により明らかにした提案モータの効果を、実機にて確認するため、図 4 に示す試作モータと、図 5 に示す試験ベンチを構築した。試作モータでは、メインのロータコアと界磁ユニットを別部品とし、メインのロータコアに軸方向から挿入し統合する。界磁ユニットは、界磁巻線とポールピースで構成され、絶縁紙を介して界磁巻線をポールピースに巻回する。図 4 からわかる通り、界磁ユニットはメインのロータコアに、大きな空隙なく挿入できており、十分に数値解析で得られた効果を確認可能と考えられる。

次に、負荷試験を実施するための試験ベンチについて記述する。試験ベンチは、負荷用のサーボモータで速度指令し、回転数を一定回転に固定する。試験モータは、回生直流電源およびインバータで駆動し、電流振幅および負荷角を変更することで、様々な負荷条件で駆動する。また、トルクを計測するためのトルクメータを配置し、トルク波形を取得する。本試験は 2022 年中に実機検証を完了し、得られた成果を 2022 年度中に論文投稿を予定している。

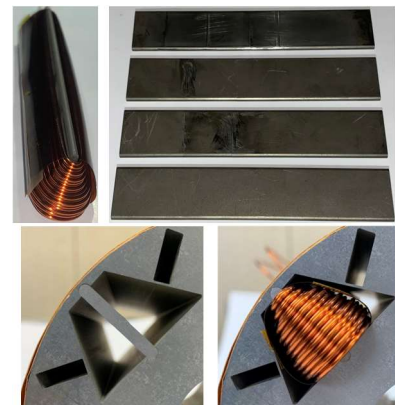


図 4 試作モータ

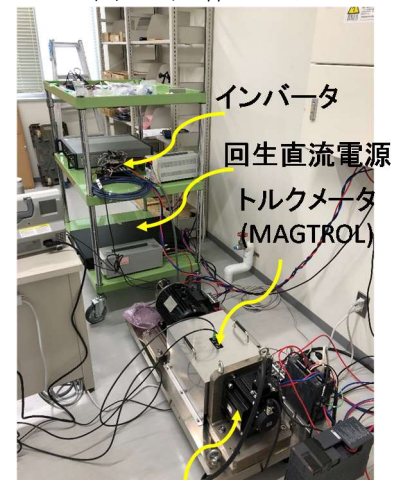


図 5 試験ベンチ

4. 今後の研究の見通し

今年度は提案モータの基本磁気構造を開発し、磁気設計および実機検証を実施した。本成果により、巻線界磁モータの磁束調整機能と、永久磁石モータのリラクタンストルクを併用することに成功した。一方、提案モータには、更なる磁気特性向上の余地がある。具体的には図 6 に示す発展が考えられる。界磁ユニットを流れる磁束は、界磁巻線に通電される直流電流により形成される。そのため、磁束の方向が一定方向であり、ロータコアを流れる多方向の磁束とは性質が異なる。

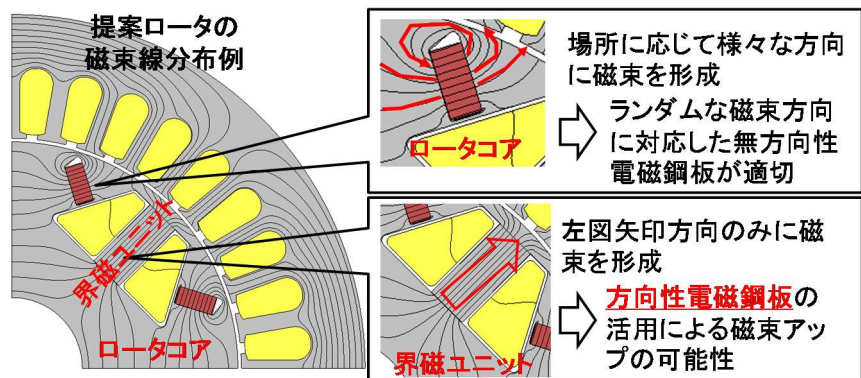


図 6 無方向/方向性電磁鋼板の併用

そこで、図 6 に示すように界磁ユニットに方向性電磁鋼板を用いることで、磁束量を効果的に増大することができる。つまり、今後の研究課題は、無方向性/方向性電磁鋼板の併用により、提案モータの限界性能を追求する点にある。本助成の 2 年目の研究課題として、本検討を実施予定である。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

学術論文(査読付)

[1]. 電気学会 D 部門論文誌 (投稿予定).

国際会議(査読付)

[2]. Y. Hidaka:「High-Torque Density Magnet-Assisted Wound Field Motor using a Field-Unit-Type Rotor」, 2022 International Conference on Electrical Machines (ICEM), 2022.

国内会議(査読無)

[3]. 日高勇気:「組合せ型トポロジー最適化に関する基礎検討」, 電気学会 静止器回転機合同研究会, 2022.

[4]. 日高勇気, 趙 鉄陽, 比留間真悟, 貝森弘行, 江川みち, 松下嘉子:「単層ニューラルネットワークを用いた代替磁束モデル生成における d 軸磁束の推定精度向上に関する基礎検討」, 電気学会 静止器回転機合同研究会, 2022.