

## 2020年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	名古屋工業大学 大学院工学研究科 電気・機械工学専攻
職位または役職	助教
氏名	松盛 裕明

### 1. 研究題目

モータの鉄損解析に使用する鉄損データマップの高速作製法に関する研究

### 2. 研究目的

本研究はモータの鉄損を解析するために必要な損失データマップ(以下、ロスマップ)の高速作成を目的とし、作成されたロスマップが実用上で有用であるか検証を行う。

モータは多くの場合においてインバータと組み合わせて使用されていることから、インバータ駆動を想定した設計手法が必要とされている。なかでも、モータのステータやロータに使用する磁性体に発生する鉄損はインバータ駆動を行うと増加することが報告されている。さらに、自動車駆動用モータは高回転化による小型化が進められているが、高回転時には鉄損が増加するため、高回転時の効率改善にむけて鉄損の低減が課題となっている。インバータ駆動時の鉄損増加の原因について説明する。鉄損は  $B-H$  平面上に描かれる  $B-H$  ループの面積で表される。インバータ駆動を使用しない場合の  $B-H$  ループは基本波成分(正弦波励磁)に起因するメジャーloopのみであるが、インバータ駆動を行うとスイッチングによる電流リップル成分に起因する複数のマイナーループが描かれるため、鉄損が増加する。

モータに発生する鉄損研究の多くが正弦波励磁時の鉄損データを用いて評価しており、マイナーループの鉄損を考慮していない。実際のインバータ駆動上での鉄損値と計算値に差異が生じている。そのため多くのモータ設計には経験則が用いられており、低損失化には十分な余地が残っている。近年、電磁界解析とプレイモデルを組み合わせた鉄損の解析手法が着目されているが、鉄損のヒステリシス損失成分しか考慮しておらず、鉄損の渦電流損失成分が計算できない事に加えて、計算に有する時間が長い、鉄損の計算精度が低いなど、多くの課題が残っている。2019年度の研究においてロスマップの高速作製手法が概ね確立できたため、2020年度は提案手法で作成されたロスマップを用いて、マイナーループの鉄損が正確に計算できるかを検証する。

3. 研究内容及び成果

■ 研究内容

モータの鉄損を計算するためのロスマップデータは励磁周波数  $f$ , 磁束密度リップル  $\Delta B$ , 直流磁界バイアス  $H_0$  特性を必要とする。これまでは図 1 に示すように、降圧チョップを用いて 1 つ 1 つ手作業でマイナーループの発生位置(鉄損の発生条件)をかえて鉄損データを取得していたため熟練の測定者でも 2 日ほど時間がかかっていた。そこで、図 2 に示すように PWM インバータ回路を用いると、1 回の動作で複数のマイナーループが描かれるので、このマイナーループをニューラルネットワークで学習し、高速で鉄損データマップが作成する。さらに、作成したデータマップが実際の鉄損計算に使用可能なのかを検討する。

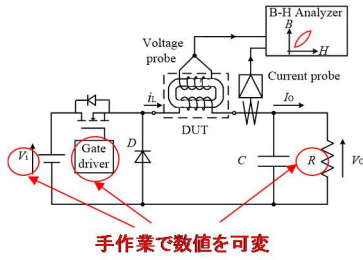


図 1 従来の鉄損データ取得システム

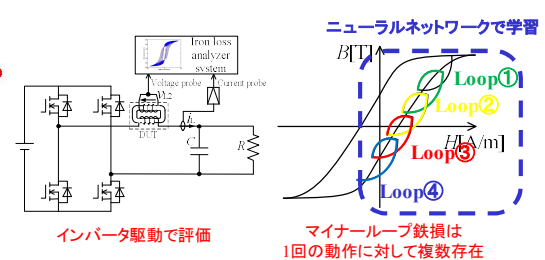
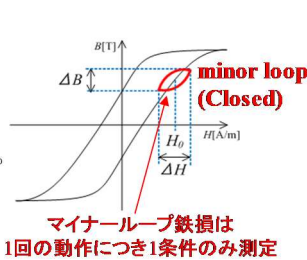


図 2 ニューラルネットワークを用いた鉄損データの学習

■ 研究成果

2020 年度は珪素鋼板のマイナーループに起因する鉄損計算に取り組んだ。2019 年度の研究で評価していた磁性体材料は圧粉磁心に使用される鉄粉材料であった。しかし、モータの磁性体材料としては主に珪素鋼板が使用されることから、珪素鋼板での鉄損評価を行った。鉄損計算に必要なロスマップは提案手法を用いれば容易に作成できたので、計算評価を行った。評価する珪素鋼板のコアは UU コア(図 3)を用いた。なお、鉄損を評価する際に本手法では磁性体材料を AC フィルタインダクタ部分に設置している(図 4)。この理由は L 負荷として評価した場合よりも、マイナーループの振幅を増大(マイナーループに起因する鉄損を増加)した上鉄損評価が可能のためである。鉄損の評価結果を図 5 に示す。鉄損評価は報告者の過去の研究で開発した Iron loss analyzer (ILA)と本提案手法で使用した鉄損データマップを用いた計算手法を比較することで行う。提案手法による鉄損データマップは図 5 に示す通り、高精度に鉄損の計算ができていることがわかる。



図 3 UU コア形状の珪素鋼板

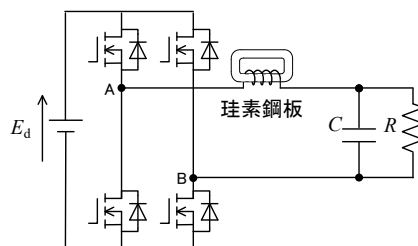


図 4 本研究での試験

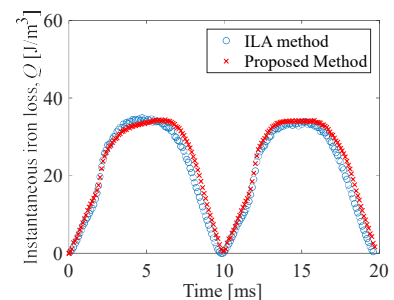


図 5 測定値と計算値

#### 4. 今後の研究の見通し

---

実モータ形状の鉄損計算に適用予定である。例えば、空間 gap を有する UU コアでインダクタを作成すると、空間 gap の影響によって磁性体材料部の磁束密度に不均一性が存在する。実モータの鉄損を考える場合、モータにおけるロータとステータの間には空間 gap が存在し、計算に適用予定である。

#### 5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

---

Hiroaki Matsumori, Toshihisa Shimizu, Takashi Kosaka, and Nobuyuki Matsui, “High-speed core loss base data collection for core loss calculation under power electronics converter excitation”, IEEJ Journal of Industry Applications (IEEJ), 2021. DOI: 10.1541/ieejia.20006557