

2019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の高速作成を目的とする。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 B-H カーブを用いて説明する。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ループのみであるが、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。

これらをふまえて、報告者はインバータ駆動を行う際の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の鉄損についての高精度な計算手法(ロスマップ法)を開発してきた。ロスマップ法には磁性体材料毎の鉄損特性図(ロスマップのデータ)が必要である。しかしながら、ロスマップデータの作成には熟練の作業員でも 2 日程かかっていることから、鉄粉材料以外の評価が進んでいなかった。低損失のモータを作成するためには磁性体材料メカ各社がラインナップしている材料のロスマップデータを効率的に取得することが必要である。

本研究ではニューラルネットワークを用いたロスマップデータの高速作製法について検討を行う。

3. 研究内容及び成果

鉄損データマップの高速作成

モータの鉄損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 ΔB , 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一つ一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できるか検討を行う。

モータの圧粉磁心などに使用される鉄粉材料の鉄損データについて、図 2 に示した提案システムを使用して鉄損のデータマップを取得した。学習した鉄損データは磁束密度リップル ΔB 特性, 磁界バイアス H_0 特性, 周波数 f 特性の 3 要素である。なお、ニューラルネットワークは図 3 に示すように 3 入力 1 出力とし、階層は 10 層とした。研究の有用性を示すため図 1 に示した従来システムで得られた鉄損値と比較する。なお、インバータの入力電圧を 60 V, 80 V, 100 V に変化させ、周波数も同様に 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz と変化させた場合、データ取得点数は合計 9,177 点となる。

従来システムと提案システムにおける鉄損データを図 4 に示す。最大偏差は 12% になっており、十分に鉄損計算として使用可能なデータマップとなっている。

なお提案システムを用いて鉄損データマップ作成に有した時間は約 2 時間であり、高速かつ高精度に鉄損データマップの作成が実現した。

最後に提案システムによるデータの測定ポイントを図 5 に示す。提案システムを用いることで、様々な励磁周波数 f , 磁束密度リップル ΔB , 直流磁界バイアス H_0 特性の鉄損を測定していることがわかる。このシステムを PWM インバータ動作のみで動作させた場合では PWM インバータ動作の都合上、直流磁界バイアス H_0 が低い状態における高い磁束密度リップル ΔB 特性のデータを取得することは困難である。この問題については、システムの動作を PWM インバータ動作から降圧チョップ回路動作への変更を行う事で、対応可能である。本提案システムはもともと単相インバータ回路で動作するため、降圧チョップ動作への対応は容易である。

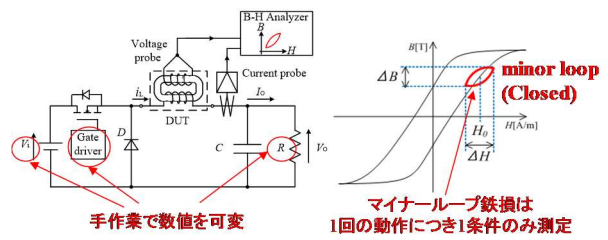


図 1 従来の鉄損データ取得システム

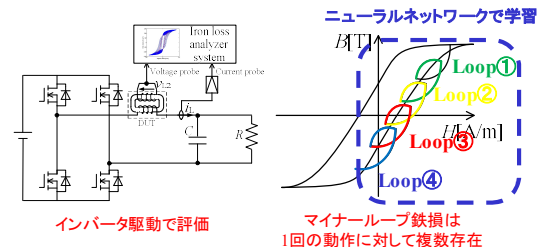


図 2 ニューラルネットワークを用いた鉄損データの学習

図 3 ニューラルネットワークの学習形態

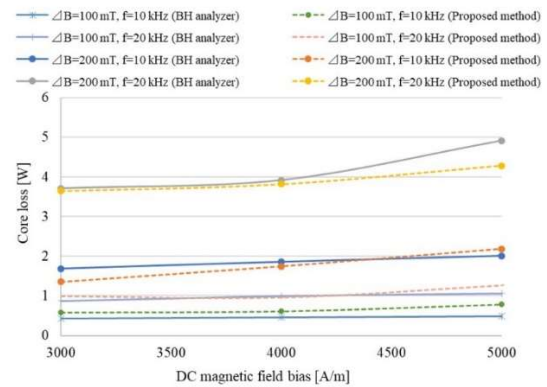


図 4 鉄損データの比較

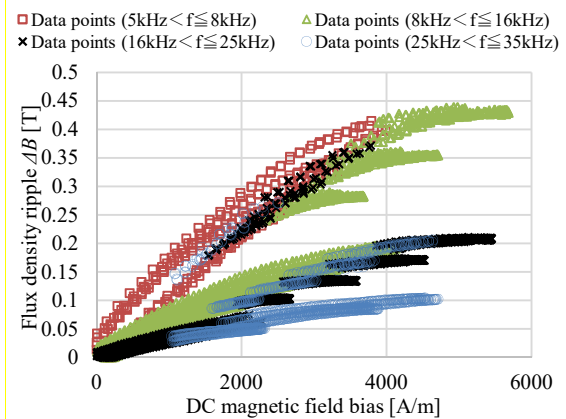


図 5 提案システムによる鉄損データの測定点

4. 今後の研究の見通し

本研究では、モータの圧粉磁心などに使用される鉄粉材料の鉄損について、高速にデータマップを作成可能であることを示した。しかしながら、モータにおいて主に使用される磁性体材料は珪素鋼板である。

そのため、今後は研究対象とする磁性体材料を鉄粉から珪素鋼板に変更し、提案システムで得られる鉄損データマップを用いてインバータ駆動時における珪素鋼板の鉄損を評価する。

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

学術論文(査読付)

Hiroaki Matsumori, 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, (掲載決定), 2020

国際会議(査読付)

国際会議 IEEE Intermag2020 に 1 件採択決定したものの、コロナウイルスの影響で学会は中止