

**2017 年度 永守財団 研究助成 研究報告書**

所属機関名 (大学、大学院、研究所名)	大分大学 理工学部
職位または役職	研究支援者
氏名	上野 尚平

**1. 研究題目**

高速モータ効率向上のための高周波下のベクトル磁気特性測定技術の高精度化

**2. 研究目的**

高速モータの高効率化のため、我々が所有しているベクトル磁気特性測定装置の高周波での測定精度を向上させ、高速モータ内部の磁気特性の挙動をより正確に把握可能にする。電気機器の小型・高出力化に伴い、高速モータの需要は増している。しかし、高速モータは低速のモータに比べ著しく効率が低下することが問題となっている。その要因として、高速モータでは励磁電圧が高周波になることで、モータ鉄心(電磁鋼板)に渦電流が大きく流れ、磁界強度などの磁気特性が低周波時から変化し、損失が増えることにある。

電磁鋼板の磁気特性の変化を詳細に把握する手段としてベクトル磁気特性がある。ベクトル磁気特性の測定をすることで従来の磁気特性よりも細かく分析が可能となり、モータの低損失化・こう高効率化には必要不可欠である。ただし、現状のベクトル磁気特性測定装置は、主に商用周波数である 50 Hz の測定を行うように設計されたもので、高周波になるほど測定精度が低くなる問題がある。高周波用のベクトル磁気特性測定手法はまだ確立されていない。本研究ではベクトル磁気特性測定装置のセンサを高周波特性測定に対応させるカスタマイズを行い、測定精度の向上を行う。また、本研究で得られた高周波ベクトル磁気特性の測定結果を用いて高効率高速モータ鉄心の最適構造設計を行う。

### 3. 研究内容及び成果

本申請では、高周波ベクトル磁気特性の高精度化を行った。具体的には、研究の初期段階として、ベクトル磁気特性を測定する際に使用するダブル H コイルセンサの検討を行った。現状のベクトル磁気特性測定に用いるダブル H コイルは 50 Hz の測定を行うように設計されたものである。これを高周波数の測定に使用するとリアクタンスが変化し有効エリアターンや位相にずれが生じ磁界強度の測定精度が下がると考えられる。従って、高周波測定用のダブル H コイルを用いるか、50 Hz 用のダブル H コイルを使用する場合はキャリブレーションを行う必要がある。今回、我々は高周波でのベクトル磁気特性の測定精度を向上させるために、これまでのダブル H コイルよりも巻数を減らしインダクタンスを小さくした H コイルを作製して、周波数に対する位相差とインピーダンスの評価を行った。また、それがどのようにベクトル磁気特性に影響を及ぼすか検討した。

【ソレノイドコイルを用いた位相評価について】

ソレノイドコイルを用いて図 1 のように装置を組み合わせ、H コイルから出力される電圧の積分値とソレノイドコイルに流れる電流を比較して位相を比較した。位相差の測定精度を高くするために波形の測定は 20MS/s のメモリハイコーダを用いた。各ダブル H コイルの写真を図 2 に示す。ベクトル磁気特性測定用のため H コイルは二方向に巻かれており内側のコイルを X 軸、外側のコイルを Y 軸として測定した。それぞれのダブル H コイルのターン数はセンサ No.1 が 842 ターン、センサ No.2 が 480 ターンである。結果として、今回製作した No.2 の方が 1 kHz 付近の位相差を大幅に削減できることがわかった。

【LCR メータによるインピーダンス評価について】

LCR メータを用いてダブル H コイルの X 軸、Y 軸のインピーダンス評価を行った。インピーダンス値がダブル H コイルの誘起電圧に影響を及ぼすことで、磁界強度の値が変化すると考えられる。評価の方法としては 50 Hz 時のインピーダンスを基準として、測定周波数を高くした場合にインピーダンスがどの周波数からどの程度変化するかを評価した。結果として従来の H コイルでは 2 kHz からインピーダンスが変化するのにに対して、今回製作した H コイルでは 20 kHz まで変化しなかった。以上のことから今回製作した H コイルは周波数特性に優れた H コイルであることを検証した。

【高周波ベクトル磁気特性測定に及ぼす影響】

上記の 2 種類のダブル H コイルを用いて、高周波下のベクトル磁気特性測定として、磁束密度 1 T で励磁周波数 1 kHz の条件で測定を行った。インピーダンスの変化の影響は現れており、今回製作した H コイルの方が、磁界強度が 7% 程度低く評価される結果となった。鉄損値は磁束密度と磁界強度の値と位相差によって決まる。従って、鉄損値も従来の H コイルよりも低く評価される結果となった。以上のことから今回新しく作製した H コイルを用いれば高周波数測定時の測定精度が向上できることを検証した。また、従来の 50 Hz 用の H コイルを使用する場合は、周波数に応じてキャリブレーションをする必要があることが分かった。

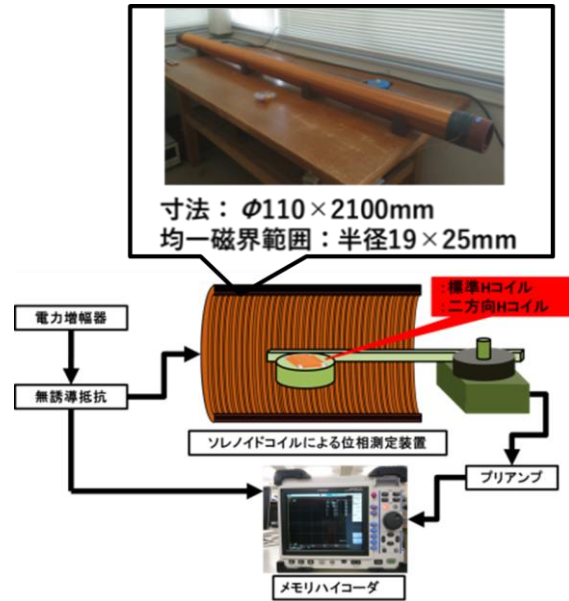


図 1 H コイル位相測定システム

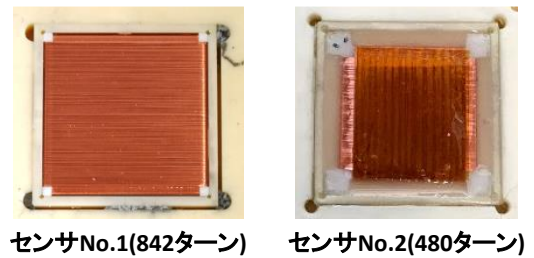


図 2 ダブル H コイル

#### 4. 今後の研究の見通し

---

本研究では、高周波ベクトル磁気特性測定の高精度化するために巻数を少なくしたダブル H コイルの作製を行い、位相やインピーダンスの評価を行った。また、実際にそのダブル H コイルを用いて高周波でのベクトル磁気特性測定を行った。結果として、今回作製したダブル H コイルの方が、高周波での位相ずれやインピーダンス変化が小さくなることを明らかにした。

励磁周波数 1 kHz の高周波ベクトル磁気特性の測定では、二つのダブル H コイルのインピーダンス-周波数特性の違いに伴って高周波での磁界強度に差がでることを明らかにした。一方、位相特性の違いが高周波ベクトル磁気特性に及ぼす影響については、まだ明確にできていないためさらに検討の余地がある。

また、現状の高精度化した H コイルを用いて高周波下ベクトル磁気特性測定を行い、磁気特性のデータベースを作成した。今後は、ベクトル磁気特性を考慮することが可能な磁場解析プログラムである E&S モデルに今回作成したデータベースを使用して高速モータの鉄心形状の最適化に関する研究も進めていく。

#### 5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

---

高周波下のベクトル磁気特性技術をさらに高精度化させる研究を行い、次回の電気学会主催の研究会で発表する予定である。また、本研究のデータベースを活用して磁場解析プログラム E&S モデルにより高速モータの鉄心の最適形状化について検討し、成果を発表する予定である。