

磁気特性測定装置の比較評価(測定制御系システムの構築)

佐竹幸栄・下地広泰・沓掛暁史・城門由人・池田哲
電磁力担当

Comparative evaluation of magnetic property measurement systems (Building of measurement control system)

Yukiharu SAYAKE・Hiroyasu SHIMOJI・Akifumi KITSUKAKE・Yukihito・KIDO・Tetsu IKEDA
Electromagnetic Section

要 旨

モータやトランスなどの電磁力応用機器に用いる最適な磁性材料を選定するため、正確な磁気特性を測定し、評価する試験器が必要である。そこで IEC, JIS の標準規格であるエプスタイン試験器や単板磁気試験器と、当センターでこれまで独自開発してきた各種高精度磁気特性測定装置を用いて、同一ロットから切り出した電磁鋼板の磁気特性を測定し、その比較評価から各試験器の特徴を解明する。同一測定制御系での測定とするため、現在使用しているアナログデジタル変換器を YOKOGAWA WE7000 から HIOKI MR8827, 制御プログラムを MATLAB から LabVIEW に変更した新しい測定制御系システムを完成させた。本稿では、LabVIEW による測定制御系システムで電磁鋼板の磁気特性を測定した結果を報告する。

1. はじめに

電磁鋼板(けい素鋼板)は、モータや変圧器等の電気機器の鉄心材料として多く利用される軟磁性材料である。電磁鋼板の磁気特性は、これら電気機器の性能や体格に強く影響するため、正確な磁気特性を測定し、評価する試験器が必要である。IEC や JIS で規格されたエプスタイン試験器や単板磁気試験器では簡便性と再現性を重視しているため、正確性に欠ける。よって正確な測定法が必要である。そこで、当センターではそれぞれのニーズに応じて、これまで各種高精度磁気特性測定装置を独自開発してきた。開発した技術を県内企業に移転するなかで、依頼試験時などにこの結果から高精度測定法の優位性を定量的に証明するため、各試験器の特徴を解明し、各測定装置間の測定値のばらつき度合いの確認が必要となってきた。

そのため、Fig. 1 に示すエプスタイン試験器や単板磁気試験器、B-Hアナライザ、Fig. 2 に示す当センターで独自開発した応力負荷型単板磁気試験器、2次元単板磁気試験器、2次元磁気特性可視化装置、モータ鉄損可視化装置を使用する。測定する試料としては、同一ロットから切り出した電磁鋼板の磁気特性を5回ずつ測定し、その平均値を採用する。統計学に基づく相関判定を行い、各試験器の特徴を評価する。

しかし、現在当センターにある試験器の測定システムで使用されるアナログデジタル変換器は YOKOGAWA WE7000



Fig. 1 IEC, JIS 規格の磁気試験器

であるが、YOKOGAWA では、WE シリーズは販売が終了したため新しい変換器が必要になった。また、使用している制御プログラムは MATLAB であるが、ライセンスの費用が高価であるため、新しく購入するのは困難である。この二つの問題を解決するため、今回は HIOKI が販売しているアナログデジタル変換器 MR8827 を用意し、制御プログラムでは National Instruments 社の LabVIEW を使用する。

今年度は、LabVIEW を用いて HIOKI MR8827 を使用した新しい測定制御系システムを作成し、試験器で電磁鋼板を測定し、理論式との比較を行った。

2. 測定制御系システムの構築

現在使用している測定制御系システムを Fig. 3 に示す。アナログデジタル変換器 A/D Converter, D/A Converter には HIOKI の MR8827, Power amplifier には (株)エヌエフ回路設計ブロック社のパイポラ電源 BP4610 を使用する。さらに Exciting coil を用意し、使用する試料は電磁鋼板で、試料名は 50A1300, RD 方向である。試料サイズは 30 mm×280mm で B-coil は試料の中央に直接巻いた。アナログデジタル変換器と PC との通信はすべて LabVIEW を使用して、プログラムを作成した。

Fig. 4 に示す完成した新しい測定制御系システムはエプスタイン試験器と単板磁気試験器でのシステムと同様に、磁気特性の測定法も同じである。使用される測定法として励磁電流法を用いている。励磁電流法による磁気特性測定は、PC から DA 信号を発生させ、アナログ変換後 Power amplifier によって信号を増幅させる。その信号により Exciting coil に励磁電圧を印加し、電流を流し、磁界を発生させる。発生した磁界が試料の電磁鋼板を励磁し、この磁界の変化によって B-coil に発生する誘起電圧を測定し、アナログデジタル変換器で AD 変換を行う。この流れを新しい測定制御系システムに適用すると、MR8827 に HIOKI 製任意波形派生ユニット U8793 を接続し、制御プログラム LabVIEW を用いて U8793 で任意波形を発生させ、DA 信号を送る。パイポラ電源 BP4610 により信号を増幅させ、Exciting coil に励磁電圧を印加し、電流を流し、磁界を発生させる。発生した磁界の変化によって B-coil に発生する誘起電圧を測定し、アナログデジタル変換器 MR8827 で AD 変換を行う。

3. 測定結果

Fig. 4 に示す完成した新しい測定制御系システムを用いて実際に電磁鋼板の磁気特性を励磁電流法で測定する。その磁界強度 H , 磁束密度 B などの磁気特性の測定結果のパラメータを理論式で求めたパラメータと比較する。制御プログラム LabVIEW を用いて U8793 で発生させた信号 v_1 を以下の式で表す。

$$v_1 = \sin\omega t - \text{①}$$

①式をパイポラ電源 BP4610 によって 100 倍に増幅した励磁電圧 v_2 を以下の式で表す。

$$v_2 = 100\sin\omega t - \text{②}$$

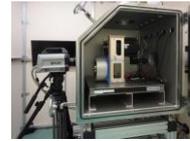
Fig. 3 に示す測定制御系システムから Exciting coil に流れる出力電流 i_1 は以下の式で表す。インダクタの値を L



(a) 応力負荷型単板磁気試験器(S-SST₃₀) (b) S-SST₁₀₀



(c) 2次元単板磁気試験器 (d) 2次元磁気特性可視化装置試験器



(e) モータ鉄損可視化装置

Fig. 2 独自開発した測定装置

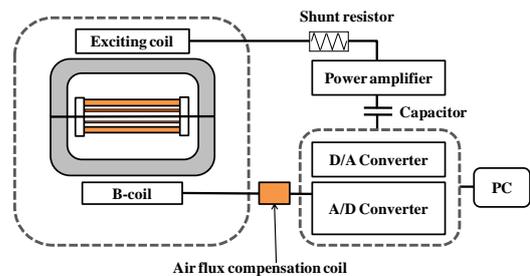


Fig. 3 測定制御系システム

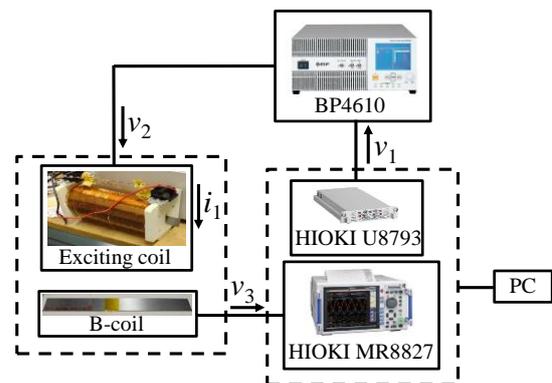
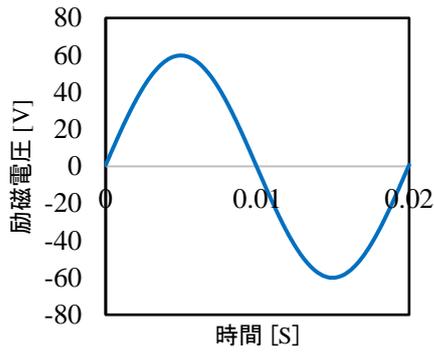


Fig. 4 新しい測定制御系システム

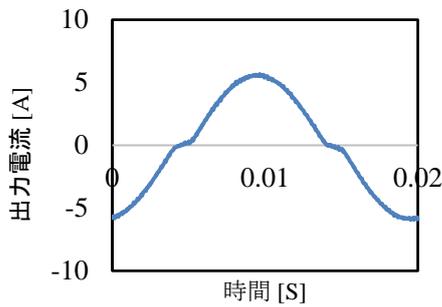
とすると

$$i_1 = \frac{v_2}{j\omega L} = -\frac{100\cos\omega t}{\omega L} - \text{③}$$

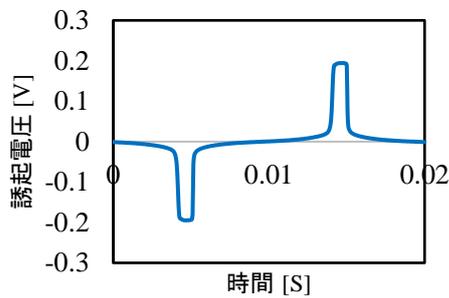
次に Exciting coil から発生する磁界強度 H は以下の式で表す。Exciting coil の巻き数を M , 実行磁路長を l とすると



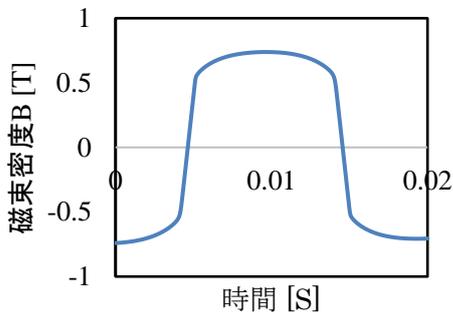
(a) 励磁電圧



(b) 出力電流



(c) 誘起電圧



(d) 磁束密度

Fig. 5 測定結果

$$H = \frac{N_1 i_1}{l} = -\frac{100N_1 \cos \omega t}{\omega Ll} \quad \text{④}$$

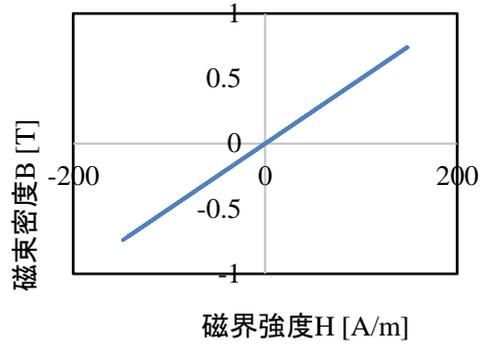


Fig. 6 B-H 曲線

ファラデーの電磁誘導の法則により発生した B-coil に発生する誘起電圧 v_3 を以下の式で表す. 電磁鋼鉄の透磁率を μ , B-coil の巻き数を N_2 , 断面積を S とすると

$$\begin{aligned} v_3 &= -N_2 \frac{d\mu HS}{dt} = -\mu N_2 S \frac{d}{dt} \left(-\frac{100N_1 \cos \omega t}{\omega Ll} \right) \\ &= \frac{100\mu N_1 N_2 S}{\omega Ll} \cdot \frac{d}{dt} \cos \omega t = -\frac{100\mu N_1 N_2 S}{Ll} \sin \omega t \quad \text{⑤} \end{aligned}$$

⑤式から磁束密度 B を求める. 磁束密度 B は以下の式で表す.

$$\begin{aligned} B &= -\frac{1}{N_2 S} \int v_3 dt = -\frac{1}{N_2 S} \int \left(-\frac{100\mu N_1 N_2 S}{Ll} \sin \omega t \right) dt \\ &= \frac{100\mu N_1}{Ll} \int \sin \omega t dt = -\frac{100\mu N_1}{\omega Ll} \cos \omega t \quad \text{⑥} \end{aligned}$$

①から⑥式で求めたそれぞれのパラメータを実際の測定結果と比較する. U8793 で発生させた信号 v_1 は振幅 $1.2V_{p-p}$, 周波数 50Hz の正弦波である. Fig. 5 (a), (b), (c), (d) はそれぞれ励磁電圧, 出力電流, 誘起電圧, 磁束密度である. Fig. 6 に B-H 曲線を示す. Fig. 5 (a) 励磁電圧より発生させた信号の振幅 $1.2V_{p-p}$ が振幅 $120V_{p-p}$ になっていることからパイポラ電源 BP4610 によって 100 倍に増幅されたことがわかる. ②, ③式より Fig. 5 (a) 励磁電圧と Fig. 5 (b) 出力電流の関係から出力電流が励磁電圧より位相が 90 度遅れていることがわかる. また, ②, ⑤式より Fig. 5 (a) 励磁電圧と Fig. 5 (c) 誘起電圧の関係から位相が誘起電圧は励磁電圧と位相が逆であることがわかる. 同様に③, ⑥式より Fig. 5 (b) 出力電流と Fig. 5 (d) 磁束密度の関係から位相が磁束密度は出力電流と位相が同じであることがわかる. ①から⑥式で求めたそれぞれのパラメータと Fig. 5(a), (b), (c), (d) を比較すると理論式と同様な結果が得られていることがわかる. よって, LabVIEW を用いて作成した新しい測定制御システムが正しく動作していることがわかる.

4. まとめ

本稿では、HIOKI MR8827, 制御プログラム LabVIEW を用いて新しい測定制御系システムを構築し, 電磁鋼板の磁気特性からその有効性を示した. 今後は, 磁気特性測定に必要な磁束密度正弦波制御のプログラム化を完成させ, 各種測定装置へ適用し, その特徴を明らかにする.