

## 磁気特性測定装置の比較評価

佐竹幸栄・下地広泰・沓掛暁史・城門由人・池田哲  
電磁力担当

### Evaluation of magnetic property measurement systems

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。測定装置には 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応力負荷型単板磁気試験器がある。本稿では、AD/DA 変換器 HIOKI MR8827, 制御プログラム LabVIEW を用いて新しい測定制御システムを構築したうえで、同一電源制御系と同一ロットの電磁鋼板 50A1300 を用いて、各種標準測定器と応力負荷型単板磁気試験器の磁気特性測定結果を、試料サイズ、測定方法の観点から比較評価し、H コイル法による応力負荷型単板磁気試験器の優位性を明らかにした。

#### 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。しかし、これらの測定装置を同一条件下で比較しておらず、明確な差を示せていなかったため、本稿で比較評価した結果を報告する。

#### 2. 測定装置

比較対象試験器は、Fig. 1 に示すエプスタイン試験器、単板磁気試験器（30mm 幅 SST<sub>30</sub>、100mm 幅 SST<sub>100</sub>、500mm 幅 SST<sub>500</sub>）などの標準測定器と、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（S-SST<sub>30</sub>）とする。

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 AD/DA 変換器は YOKOGAWA WE7000 は販売が終了したため、新たに HIOKI の MR8827 を採用する。また使用している測定制御プログラムは MATLAB であるが、新たに National Instruments の LabVIEW を使用する。Power

amplifier はエヌエフ回路設計ブロック社のバイポーラ電源 BP4610 を、任意波形発生装置は HIKOI の U8793 を使用する。LabVIEW, HIOKI MR8827 を使用した新しい測定制御システムを Fig. 3 に示す。AD/DA 変換器と PC との通信は LAN ケーブルを通じて、すべて LabVIEW を使用して、測定制御する。Fig. 4 に測定制御画面を示す。

使用する電磁鋼板は 50A1300 で、同一ロットからワイヤ放電加工で切り出し、試料サイズは 30 mm×305mm, 100 mm×500mm, 500 mm×500mm とする。

測定制御システムは同一として試験器のみ変更しながら電磁鋼板の磁気特性を測定する。

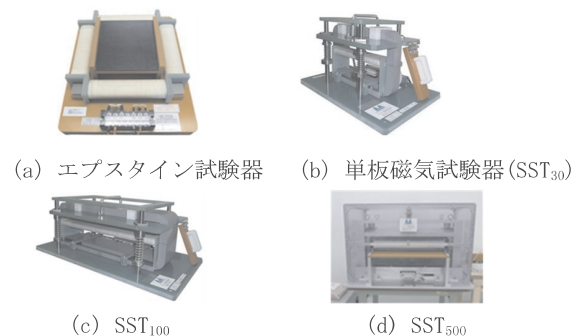


Fig. 1 標準測定器

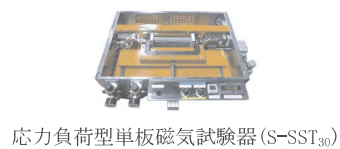


Fig. 2 独自開発した測定装置

### 3. 測定方法

完成した測定制御システムは測定法として励磁電流法を用いる。励磁電流法による磁気特性測定は、PC から LabVIEW を用いて U8793 での任意波形を発生させ、DA 信号を送る。アナログ変換後 Power amplifier によって信号を増幅させる。その信号により試験器の励磁コイルを励磁する。励磁周波数は 50Hz である。この磁界の変化によって発生する誘起電圧を測定し、AD 変換を行う。AD 変換後、磁束密度に変換し、所定の磁束密度が設定した振幅率、ひずみ率を満足する正弦波波形に収束するまで、制御を行う。U8793 の仕様により、DA 信号を一度に MR8827 に送信できるデータ数は 4000 点と決められているため、一回の測定時間短縮のため、測定データ数を 4000 点に決め、一度正弦波波形に収束させる。その後、データ数を 20000 点に補充し、もう一度収束し直す。測定条件は磁束密度  $B=0.4\sim 1.6\text{T}$  とし、収束条件は振幅率 0.1%、歪率 0.1% として測定した。

### 4. 測定結果

#### 4.1 試料サイズによる比較

比較対象試験器として、SST<sub>30</sub>、SST<sub>100</sub>、SST<sub>500</sub> を用い、試料サイズ 30 mm×305mm、100 mm×500mm、500 mm×500mm による比較評価を行った。Fig. 5 に試料サイズによる比較評価を示す。(a)は最大磁束密度 0.4~1.6T までの磁界強度 H の変化を表したグラフである。(b)は比透磁率  $\mu_s$  の変化を表したグラフである。(c)は鉄損 P<sub>w</sub> の変化を表したグラフである。鉄損が大きければ大きいほど磁気特性は悪い。この鉄損を中心として考え、(d)は SST<sub>500</sub> で測定した鉄損を基準とした時のそれぞれの試験器で測定した鉄損値との差分率を表したグラフである。(d)から SST<sub>30</sub> で測定した鉄損値は SST<sub>500</sub> に比べて全磁束密度で大きく、SST<sub>100</sub> では、磁束密度 B=1.4, 5, 6 では鉄損値が SST<sub>500</sub> に比べて小さくなっている。この結果から SST<sub>500</sub> を基準として試料サイズを小さくするほど鉄損値が大きくなることから、磁気特性が悪化していることが分かる。

#### 4.2 測定方法による比較

比較対象試験器として、SST<sub>30</sub> と S-SST<sub>30</sub> を用い、試料サイズ 30 mm×305mm による比較評価を行った。磁界強度 H の測定法は励磁電流法 (MC 法) と H コイル法があり、S-SST<sub>30</sub> は、励磁電流法と H コイル両方同時に測定可能である。Fig. 6 に測定方法による比較評価を示す。(a)では、SST<sub>30</sub> は MC 法で、S-SST<sub>30</sub> は MC 法と H コイル法のそれぞれで測定した鉄損値を表したグラフである。(b)は、H コイル法で測定した鉄損値を基準とした時の MC 法で測定した鉄損値との差分率を表したグラフである。(b)から測定した全磁束密度で H コイル法より MC 法で測定した鉄損値が

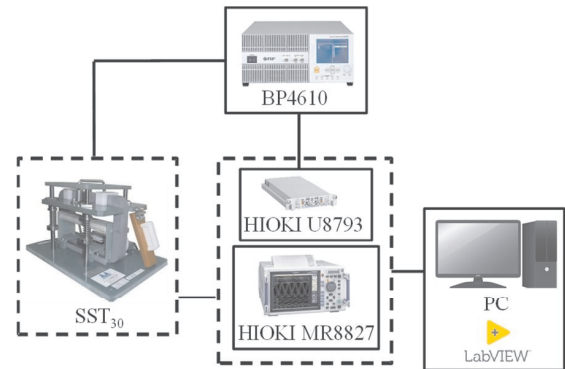


Fig. 3 測定制御システム

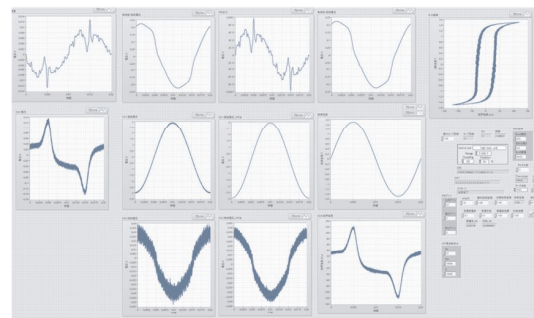


Fig. 4 測定制御画面

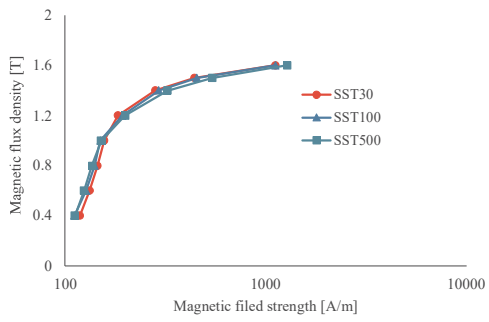
大きいことから H コイル法の方が高精度に測定可能であるため、結果的に磁気特性が良好と得られる。

#### 4.3 試験器評価

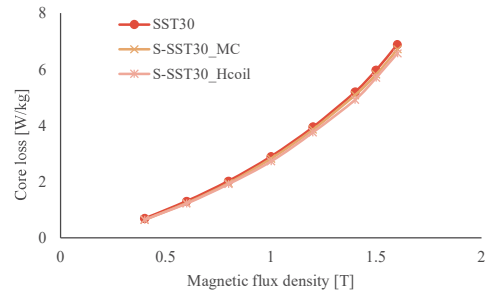
Fig. 7 に H コイル法で測定した鉄損を基準として MC 法による各試験器で測定した鉄損値との差分率を示す。Fig. 7 から、全磁束密度で試料サイズや枚数などに関係なく、MC 法より高精度に測定可能である H コイル法で測定した磁気特性は良好である。

### 5. まとめ

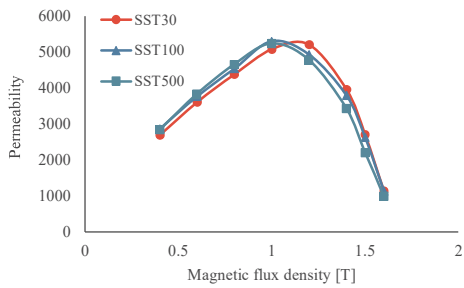
本稿では、HIOKI MR8827、制御プログラム LabVIEW を用いて新しい測定制御システムを完成させた。同一ロットから切り出した電磁鋼板の磁気特性を測定制御システムは同一としたまま試験器のみを変更しながら測定した。その結果から各試験器を比較評価し、当センターが開発した磁気特性装置の優位性を定量的に明らかにした。



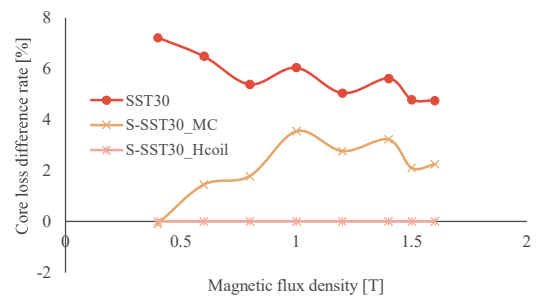
(a) 磁化曲線 (50A1300RD\_50Hz)



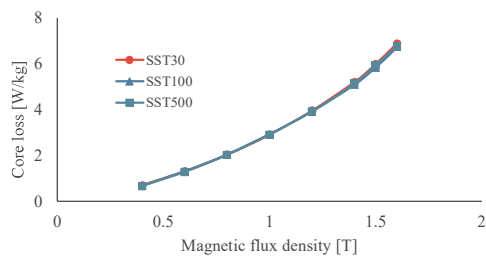
(a) 鉄損曲線 (50A1300RD\_50Hz)



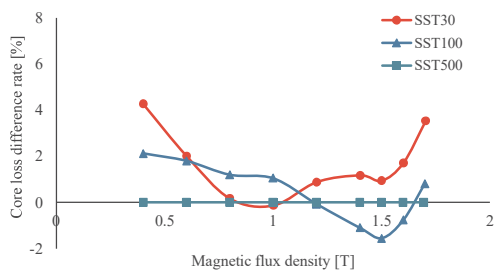
(b) 比透磁率曲線 (50A1300RD\_50Hz)



(b) 鉄損差分率



(c) 鉄損曲線 (50A1300RD\_50Hz)



(d) 鉄損差分率

Fig.5 比較評価\_試料サイズ

Fig.6 比較評価\_励磁電流法(MC法)とHコイル法

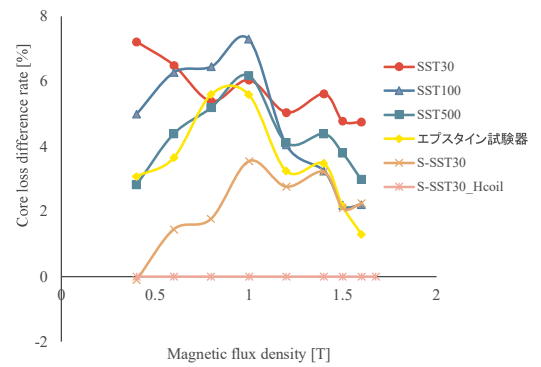


Fig.7 鉄損差分率\_全試験器