

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 16 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20360131

研究課題名（和文） Hコイル法を用いた単板磁気特性試験法の国際規格化に向けた実用研究

研究課題名（英文） RESEARCH FOR INTERNATIONAL STANDARD ON MEASUREMENT METHOD OF MAGNETIC PROPERTIES BY MEANS OF A SINGLE SHEET TESTER EQUIPPED WITH H-COIL

研究代表者

藤原 耕二（FUJIWARA KOJI）

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：20190093

研究成果の概要（和文）：

変圧器やモータなどの電気機器鉄芯を構成する主な磁性材料である電磁鋼板の磁気特性評価に使用される単板磁気特性試験法において、磁界の強さの測定に H コイル法を適用する試験法が我国で提案されている。本研究では、その試験法の国際規格化を念頭に、測定精度に影響を与える諸因子を検討した。その結果、測定精度の確保のためには、ヨーク端面の平坦度を向上させることが重要であることを明らかにした。特に、国際規格で推奨されている 500 mm 幅試験用の試験法では、ヨーク端面の平坦度が測定精度の与える影響は顕著である。

研究成果の概要（英文）：

The magnetic properties of electrical steel sheets used for iron cores of electric machines such as transformers and motors are evaluated by means of a testing method based on a single sheet tester (SST) equipped with Japanese proposed H-coil technique for measuring the magnetic field strength. In this research, factors affecting the measurement accuracy of the testing method are examined with the aim of the international standardization. It is clarified that flatness of end surface contacting a specimen is considerably sensitive to the measurement accuracy. Its effect is remarkable, especially in an SST for 500 mm-width specimen proposed by the International Electrotechnical Commission.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	11,600,000	3,480,000	15,080,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：単板磁気特性試験器，Hコイル，電磁鋼板，磁気特性，国際規格

1. 研究開始当初の背景

本研究では、電気機器内の磁気回路部に使用される代表的な鉄芯材料である電磁鋼板の磁気特性の高精度測定法を確立し、得られた技術を国際規格化することが狙いである。

規格化に際しては、クリアすべきハードル

が高いため、長年にわたる研究実績がなければ、達成は難しい。諸外国では、磁性材料の磁気特性の標準測定法を専門に扱う国立の機関（例えば、ドイツでは PTB（物理工学研究所）、英国では NPL（物理学研究所））が現在でも維持されており、技術が効率的に伝承

されている。それに対して我国では、活発な研究活動を行っていた旧電子総合研究所の該当部門が廃止され、現在それに代わる組織はない。磁性材料がますます多用される時代になっており、また経済産業省の製造産業局に鉄鋼課があることからわかるように、我国における鉄鋼関連産業は重要視されているにもかかわらず、電気機器に使用される主な磁性材料である電磁鋼板の評価にかかわる研究を支える拠点が存在せず、諸外国に対する競争力が低下している。したがって、本研究を推進し、当該分野のレベルアップを図るとともに、我国の発展を担う鉄鋼関連産業の国際競争力を強化することは重要である。

2. 研究の目的

本研究では、単板磁気特性試験器を用いた電磁鋼板の磁気特性測定法に関して、国際規格改訂の提案を念頭に置き、我国で提案された磁界の強さの測定に H コイル法を導入した試験法の国際規格化に向けた実用研究を目的としている。

3. 研究の方法

検討内容は、以下に示すとおりである。

- (1) 各種機関が保有する測定システムの基本的特徴を把握する。
- (2) IEC および JIS の提案に沿った標準的な単板磁気特性試験器を作製する。
- (3) H コイル法の測定精度に影響を与える諸因子を検討する。

4. 研究成果

実施内容および得られた成果は、以下に示すとおりである。

- (1) 環状試料を用いた測定システムの基本的特徴の把握：励磁巻線および磁束密度測定用のサーチコイル (B コイル) を施した環状試料を用意し、8 機関において、回送試験を実施した。本回送試験前に実施した予備的な試験によって、測定誤差が予想外に大きかったため、本回送試験時には、励磁電流および磁束密度に対応した電圧を測定するために、試料に加えてデジタルマルチメータも同梱して試験を実施した。その結果、予備試験において誤差が大きかった 2 機関が、本試験においても同様な傾向を示した。
- (2) 100 mm 幅用小形 SST を用いた H コイルサイズの検討：磁界の強さの検出に H コイル法を適用する場合、試料サイズに対する H コイルの長さおよび幅が、測定精度に大きく影響を与える。そこで、小形の H コイルを作製して、局所的な磁界の強さの分布を測定した結果、H コイルの長さおよび幅が、試料の 2

／3 および 85 % 程度であれば、代表的な電磁鋼板の商用周波数帯の磁気特性測定において、良好な精度を得られることが明らかになった。

- (3) 国際 (IEC) 規格で規定されている 500 mm 幅試料用の大形 SST の作製：回送試験に使用する 500 mm 幅試料用 SST を作製した。
- (4) 500 mm 幅試料用 SST と 100 mm 幅試料用 SST で得られる磁気特性の比較：両 SST で測定可能な 100 mm (幅) × 500 mm (長さ) を用い、使用する H コイルおよび B コイルも共通にして、磁気特性 (磁化特性および鉄損特性) の比較検討を行った。その結果、全磁束密度領域において、両者の差異が 5 ~ 10 % であった。一般的には、同一の試料を同一の試験器で評価した際には、試料を設置したままで励磁を繰り返す場合は 1 % 程度の再現性を確保する必要があると言われている。試料を脱着した場合でも 3 % 程度が目標とされており、両 SST の差異は、明らかに許容範囲を超えていた。そこで、測定精度に影響を与えると思われる諸因子を検討した結果、次項で述べる内容が、差異の主要因であるとの結論に至った。
- (5) ヨーク端面と試料との接触状態の評価：圧力紙を用いて検討した結果、従来から使用している 100 mm 幅試料用 SST では、ヨーク端面のほぼ全面が試料と接触していたが、今回試作した 500 mm 幅試料用 SST では、ヨーク端面の外側しか試料と接触していないことが明らかになった。SST は、ヨークと試料で閉磁路を構成し、磁界の強さ H や磁束密度 B がそれらの測定領域において均一になるように工夫されている。しかしながら、ヨーク端面と試料との接触状態が良好でないと、 H や B 分布の均一度が低下し、十分な磁気特性の測定精度が得られない。
- (6) ヨーク端面と試料との接触状態の再評価：ヨーク端面の平坦度を改善するために機械的および化学研磨を実施し、圧力紙を用いて再度検討を行った結果、従来から使用している 100 mm 幅試料用 SST と同様に、ヨーク端面のほぼ全面が試料と接触していることが確認された。
- (7) 500 mm 幅試料用 SST と 100 mm 幅試料用 SST で得られる磁気特性の再比較：両 SST で測定可能な 100 mm (幅) × 500 mm (長さ) を用い、使用する H コイルおよび B コイルも共通にして、それらを励磁棒の中央部に配置し、磁気特性 (磁化特性および鉄損特性) の比較検

討を行った。その結果、全磁束密度領域において、両者の差異が±3 % 程度であった。一般的には、同一の試料を同一の試験器で評価する際、試料を脱着する場合は±3 % 以内であることが目標とされており、両 SST の差異は、許容範囲内に納まった。したがって、再研磨によりヨーク端面の平坦度は改善され、励磁棒中央部付近における磁界分布に、反磁界の影響は見受けられないとの結論に至った。

- (8) 励磁棒内全領域における反磁界の評価：85 mm 幅の H コイルを用い、幅方向 500 mm にわたって設置位置を変えながら、励磁棒内の磁界分布を測定した。その結果、ヨーク端面の再研磨前後で、磁界分布の均一度が向上していることが明らかになり、圧力紙を用いた検討結果も勘案して、ヨーク端面と試料の接触状態が十分に改善されていることが確認された。
- (9) 500 mm 幅試料用 SST と 100 mm 幅試料用 SST で得られる磁気特性の比較：ヨーク寸法が異なる 2 種類の SST を用い、使用する H コイルおよび B コイルも共通にして、異なるグレードの複数の電磁鋼板の磁気特性（磁化特性および鉄損特性）について、比較検討を行った。その結果、一般的にコンセンサスが取れている「全磁束密度領域において、両者の差異は±3 % 以内」に収まり、標準的な試験器として使用可能であることが明らかになった。

2008 年度から 2011 年度の 4 年間にわたる一連の検討によって、IEC 規格の 500 mm 幅試料用大形単板磁気試験器においては、ヨークが大形になることに起因して、ヨーク端面の平坦度が低下することを避け、試料との接触状態を良好に保つことが、特に重要であることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① 木部稔晴・高橋康人・藤原耕二・石原好之・杓掛暁史・城門由人・池田 哲・金田嗣教・榎園正人：「単板磁気特性試験器の精度検証」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-11-13, pp. 1~6 (2011)
- ② 安東邦彦・高橋康人・藤原耕二・石原好之：「単板磁気特性試験器の測定精度向上に関する一検討 —ヨーク端面と試料間の空隙の影響—」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-11-125, pp. 55~66 (2011)
- ③ 木部稔晴・高橋康人・藤原耕二・石原好之・杓掛暁史・城門由人・池田 哲・金田嗣教・榎園 正人：「単板磁気特性試験器の精度検証 (その2) —Hコイルの巻線密度が測定精度に

与える影響—」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-11-127, pp. 67~70 (2011)

- ④ 黒瀬 竜也・高橋 康人・藤原 耕二・石原 好之：「直流重畳下における圧粉磁心の磁歪特性」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-10-102, pp. 15~19 (2010)
- ⑤ 安東邦彦・高橋康人・藤原耕二・石原好之：「圧延および直角方向の評価が可能な 100 mm 角試料用単板磁気特性試験器の試作」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-10-187, pp. 11~16 (2010)
- ⑥ 高橋 康人・藤原 耕二・石原 好之：「モータコアの加工応力効果ならびに磁気ひずみの検討 —応力下での電磁鋼板の磁気特性評価とレーザドップラ振動計を用いた磁歪測定システム—」, 「次世代電磁力応用機器開発技術の構築」平成22年度研究成果発表会論文集, pp. 145~152 (2010)
- ⑦ 上野 庄太郎・藤原 耕二・石原 好之：「単板磁気特性試験用磁束波形制御法の高速度に関する検討 (その 2)」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-09-39, pp. 1~6 (2009)
- ⑧ 上野 庄太郎・藤原 耕二・石原 好之：「単板磁気特性試験における低周波領域の磁気特性測定」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-09-241, pp. 17~22 (2009)
- ⑨ 米田 善紀・藤原 耕二・石原 好之：「可聴周波用単板磁気特性試験法の検討 (その6)」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-09-242, pp. 23~28 (2009)
- ⑩ 柳瀬俊次・石原好之・藤原耕二・谷 良浩：「電磁鋼板の標準測定法とその動向 (1) —デジタル磁気特性測定に関する回送試験 (第二報)—」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-08-67, pp. 1~4 (2008)
- ⑪ 長田祐一・宝 祐介・藤原耕二・石原好之・戸高敏之：「電磁鋼板の標準測定法とその動向 (2) —単板磁気特性試験における H コイル法の測定精度向上に関する検討—」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-08-68, pp. 5~10 (2008)
- ⑫ 米田善紀・藤原耕二・石原好之・戸高敏之：「可聴周波用単板磁気特性試験法の検討 (その5)」, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-08-181, pp. 63~68 (2008)

[学会発表] (計 1 件)

- ① 前田健児 (修士 2 年生)：「棒状試料の磁気特性測定における H コイル法と励磁電流法の比較」, 平成 21 年電気学会全国大会, 2009 年 3 月 19 日, 北海道大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 耕二 (FUJIWARA KOJI)
同志社大学・理工学部・教授
研究者番号：20190093

(2) 研究分担者

岡本 吉史 (OKAMOTO YOSHIFUMI)
宇都宮大学・工学研究科 助教
研究者番号：40415112