

小型磁性材料の測定技術の開発(第2報)

佐竹幸栄・下地広泰・沓掛暁史・城門由人・池田哲
電磁力担当

Development of measurement technology for small magnetic materials (2nd Report)

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

要 旨

弊センターでは、JIS 規格や IEC 規格によって規定された試料形状以外の、例えばモータティースや線形状といった磁性材料の磁気特性を測定するために、同軸 H コイルによる開磁路測定法を提案している。本研究では、線形状に加工した電磁鋼板を使用した励磁電流法との比較、線材料を使用した時の線の長さの影響および磁束密度測定コイル位置の影響による評価を行った結果、100mm 長の線形材料の磁気特性を同軸 H コイルによる開磁路測定法で測定可能であること明らかにしたので報告する。

1. はじめに

当センターには、IEC や JIS⁽¹⁾で規格されたエプスタイン試験器や単板磁気試験器(SST)などの標準測定器がある。しかし、これらの標準測定器は測定材料サイズが単板形状と決められており、サイズや形状が異なる小型磁性材料は測定できない。そこで、同軸 H コイルを用いた開磁路測定法⁽²⁾に着目した。測定対象とする小型磁性材料は、断面の大きさが異なる長さ 100mm サイズの線形材料やモータティースである。Fig. 1 に小型磁性材料を示す。

同軸 H コイルは線形材料に近接するように円筒状の形にコイルを同心円状に2層巻いて作っている。Fig. 2 に同軸 H コイルの断面図を示す。Fig. 2 より、同軸 H コイルの内側コイルである H コイル1は磁束密度測定に使用する B コイルに使用可能である。磁界強度測定は H コイル1と H コイル2で測定し、差分して算出する。同軸 H コイルは、測定する測定材料の寸法に合わせて円筒の形を変える。Fig. 3 に開磁路と閉磁路を示す。閉磁路ではヨークで単板を挟み、磁路が漏れないように形成し測定するが、開磁路測定法はヨーク使用せず測定を行う。

本稿では、線形状に加工した電磁鋼板を励磁電流法と同軸 H コイル法で測定し、比較評価を行い、同軸 H コイル法を用いた開磁路測定結果の信頼性を確認した。次に、磁束密度測定に使用した同軸 H コイルの H コイル1 (B 内)と測定材料に直接巻いたコイル(B 直)を使用した場合との比較を行い、H コイル1を使用した測定が可能であることを明らかにした。次に、実際に H コイル1を使用した開磁路測定法で Fig. 1(a)に示す 100mm サイズの線形材料の磁

気特性を測定可能であることを明らかにしたので、それについて報告する。

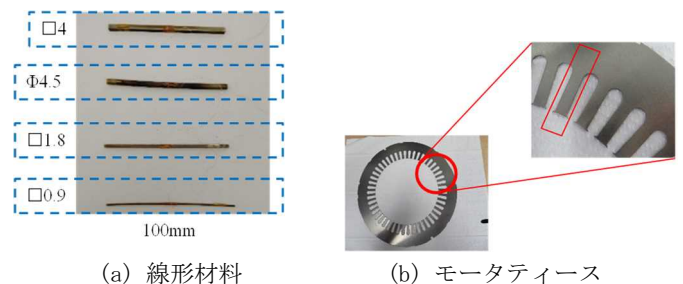


Fig. 1 小型磁性材料

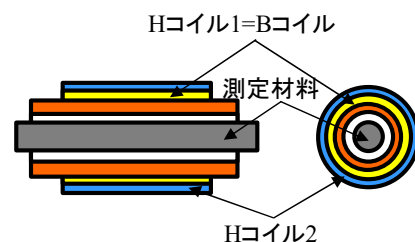


Fig. 2 同軸 H コイル

2. 測定方法

測定材料は、Fig. 4 に示すとおり線形状に加工し幅 1.6mm×長さ 330mm×厚さ 0.5mm サイズの電磁鋼板(50A1300)である。試験機は、Fig. 5 に示すプライテック社製応力負荷型単板磁気試験器(S-SST₃₀)を用い、開磁路

測定法は、開磁路、励磁電流法(MC 法)は閉磁路で測定を行う。A/D 変換器、D/A 変換器にはブライトック社のBcon、パワーアンプにはエヌエフ回路設計ブロック社のバイポーラ電源BP4610を使用する。磁束密度測定の条件を同一にするため磁束密度用Bコイルは材料長手方向の中心に直接3ターン巻いた。同軸Hコイルに使用する円筒の大きさは外径φ3mm、内径φ2mmであり、コイルの巻き数は2層とも60回である。測定する前に治具に同軸Hコイルを取り付け、材料の中心と同軸Hコイルの中心が励磁コイルの中心部分と同一になるよう治具を設置する。

Fig. 6に示す測定システムを使用した。測定法は、PCからBconで任意波形を発生させ、DA信号を送る。アナログ変換後バイポーラ電源によって信号を増幅させる。その信号により励磁コイルに電流を流し、磁界を発生させる。発生した磁界が材料を励磁し、この磁界が変化することでファラデーの電磁誘導の法則により試料に発生する誘導起電力をBコイルで測定する。同軸Hコイル法では、同様に発生する誘導起電力をHコイル2とHコイル1で測定し、それぞれ測定した誘導起電力の差をAD変換後、積分して磁界強度に変換する。励磁電流法では、シャント抵抗から励磁コイルに流れる電流を計算し、磁界強度を算出する。Bコイルで測定した誘導起電力は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。測定条件はTable 1に示す。磁束密度は $B=0.4\sim 1.5\text{T}$ とし、収束条件は振幅率0.1%、歪率0.1%として測定した。

3. 測定結果と考察

3.1 励磁電流法(MC 法)との比較評価

Fig. 7にMC法と同軸Hコイル法で測定した(a)磁化曲線、(b)比透磁率曲線、(c)鉄損曲線を示す。線形状の50A1300測定結果に信頼性があるか単板形状の電磁鋼板50A1300を同軸Hコイル法とMC法で測定した時の結果を加える。Fig. 7の各凡例に記載しているB直とは磁束密度測定を測定試料に直接Bコイルを巻いて行っていることを示している。Fig. 7(a)より、線形状では同軸Hコイル法とMC法はほぼ一致し、差は全磁束密度領域で4.0%であり、定量的に同じ磁気特性が得られた。Fig. 7(b)と(c)より、同軸Hコイル法がMC法より比透磁率が大きく、鉄損が小さく評価されるのは測定法による違いであり、開磁路測定の単板でも同様である。単板より線形の方が同軸Hコイル法とMC法との差が小さくなるのは加工劣化による影響が大きいためと考えられる。Fig. 7(c)より、どちらも鉄損がMC法と同軸Hコイル法がほぼ一致し、差は全磁束密度領域で同軸Hコイル法は1.7%、MC法は5.9%で小さ

いため、線形の測定結果として十分信頼できる。よって、線形材料の測定法として同軸Hコイルを用いた開磁路

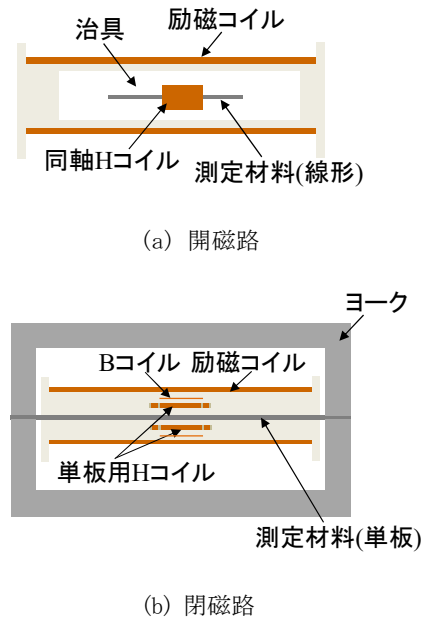


Fig. 3 開磁路と閉磁路測定法



Fig. 4 50A1300(線形)

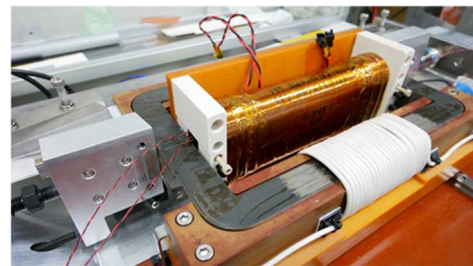


Fig. 5 S-SST₃₀

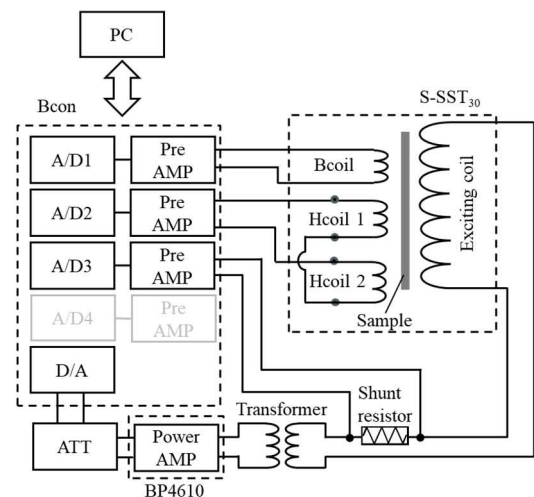


Fig. 6 測定システム

測定法は十分信頼性がある。

3.2 磁束密度測定による影響

3.1 では MC 法と比較するため、磁束密度測定は B コイルを測定材料中心に直接 3 ターン巻いて行った。しかし、測定を行う毎に測定材料に B コイルを巻くのは簡便性に欠ける。そのため、同軸 H コイル法では、磁束密度測定の際に Fig. 2 に示す同軸 H コイルの H コイル 1 を B コイルとして使用する。磁束密度測定に H コイル 1 を使用した際、線形材料の磁気特性における影響について調査した。H コイル 1 を使用し、Fig. 4 に示す幅 1.6mm×長さ 330mm×厚さ 0.5mm サイズの電磁鋼板 50A1300 を測定した。測定条件は Table 1 と同様である。Fig. 8 に磁束密度測定に H コイル 1 を使用した際の (a) 磁化曲線、(b) 比透磁率曲線、(c) 鉄損曲線を示す。磁束密度測定に H コイル 1 を使用した場合は B 内、直接 B コイルを巻いた場合は B 直と記載した。Fig. 8 より、磁束密度測定に H コイル 1 を使用した場合でも直接 B コイルを巻いた場合と定性的に同じ磁気特性が得られた。Fig. 8 より、B 内が B 直より比透磁率が小さく、鉄損が大きく評価されるのは測定材料と測定に使用するコイルとの空隙による影響と考える。Fig. 8(c) より、B 内は B 直に比べて鉄損の差が全磁束密度領域で 13%と大きいが、閉磁路の MC 法とはほぼ一致し、差は 2.8%となる。磁束密度測定に H コイル 1 を使用した場合、測定試料とセンサコイルとの空隙による影響があるが、MC 法とは定量的にほぼ同じ磁気特性が測定可能である。

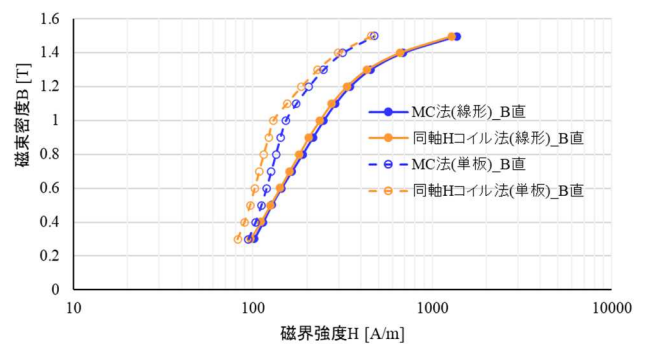
3.3 線形材料の磁気特性

3.1 節と 3.2 節より、同軸 H コイルを用いた開磁路測定法は MC 法と定量的にほぼ同じ磁気特性が測定可能であり、十分信頼性があることを示した。そこで、実際に Fig. 2 に示す閉磁路ヨークが取れない長さが 100mm サイズの線形材料を開磁路測定法で測定を行った。測定材料は 100mm サイズの電磁鋼板 50A1300 と断面が $\square 0.9$ の鉄にシリコンが約 3.0%添加した材料である。磁束密度測定には Fig. 2 に示す同軸 H コイルの H コイル 1 を使用する。測定条件は Table 1 と同様である。Fig. 9 に長さが 100mm と 330mm サイズの電磁鋼板 50A1300 を測定した (a) 磁化曲線、(b) 比透磁率曲線、(c) 鉄損曲線を示す。Fig. 10(c) より、電磁鋼板 50A1300 の 100mm サイズと 330mm サイズの鉄損による差は全磁束密度領域で 5.3%と Fig. 7 の測定結果と同様に単板と線形の差とほぼ同じであるため、加工劣化による影響と考える。したがって、長さを 100mm サイズに短くしても定性的に磁気特性が測定可能である。Fig. 10 に磁気特性が不明な $\square 0.9$ の (a) 磁化曲線、

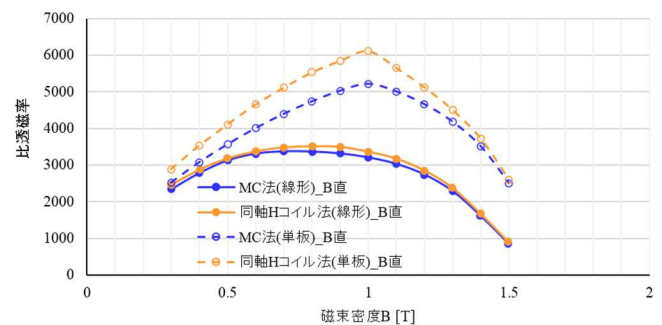
(b) 比透磁率曲線、(c) 鉄損曲線を示す。Fig. 10 より、同軸 H コイルを用いた開磁路測定法は磁気特性が不明な線形材料 $\square 0.9$ も測定可能である。

Table 1 測定条件

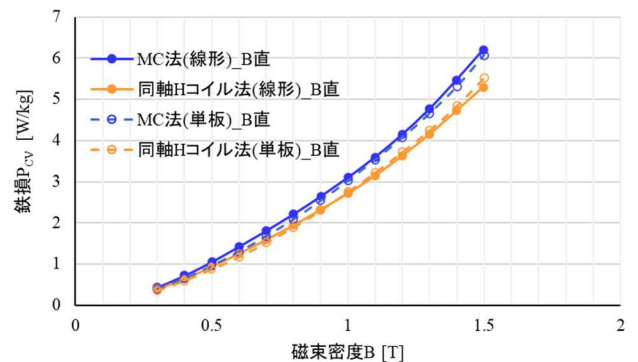
測定磁束密度	0.3 T~1.5 T
測定間隔	0.1 T
周波数	50 Hz
B コイル巻数	3
収束条件	歪率 0.1 %
	振幅率 0.1 %



(a) 磁化曲線

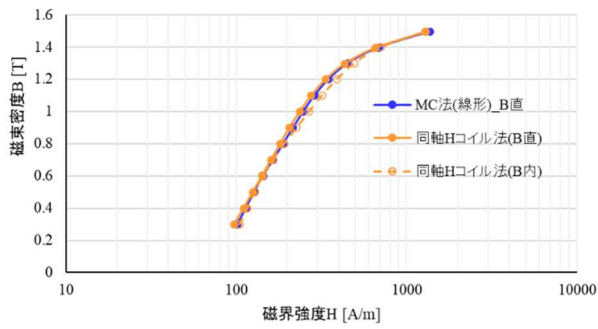


(b) 比透磁率曲線

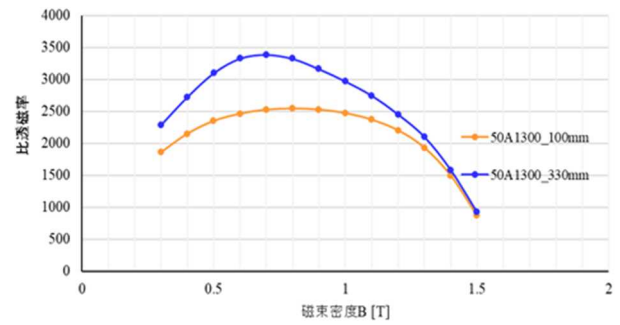


(c) 鉄損曲線

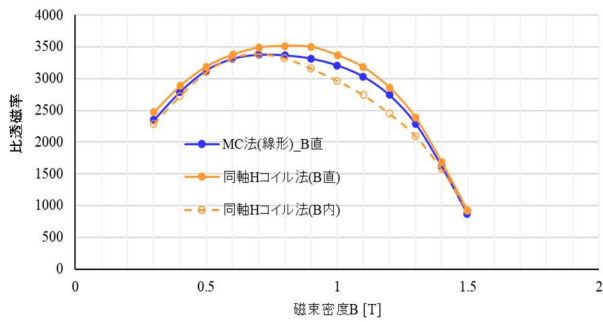
Fig. 7 MC法と同軸Hコイル法の磁気特性比較



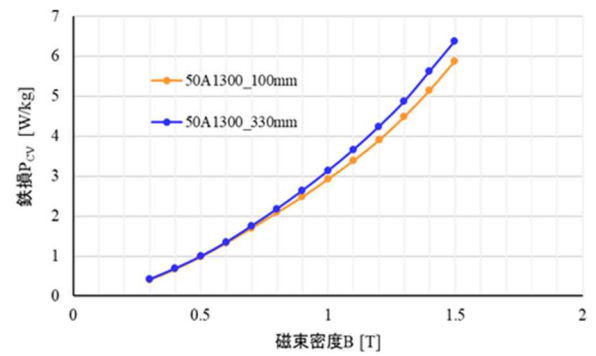
(a) 磁化曲線



(b) 比透磁率曲線

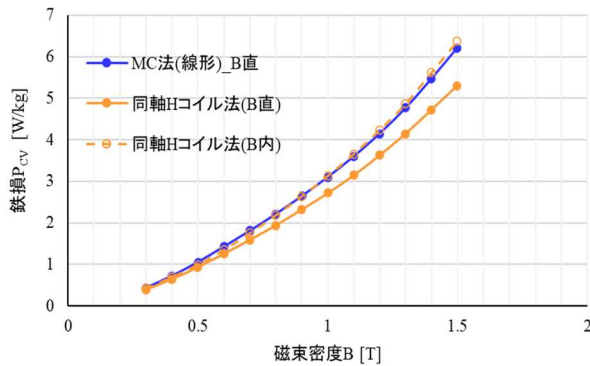


(b) 比透磁率曲線



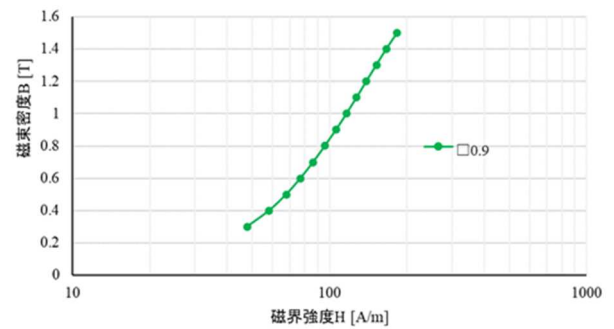
(c) 鉄損曲線

Fig. 9 線形材料の長さによる比較

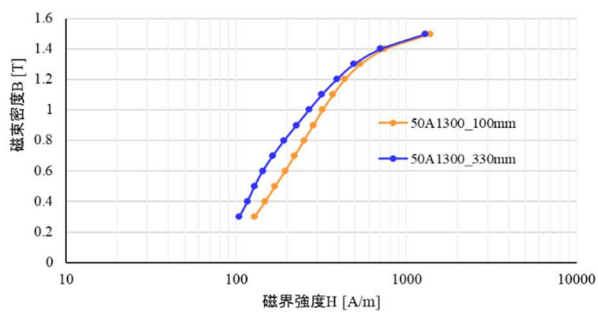


(c) 鉄損曲線

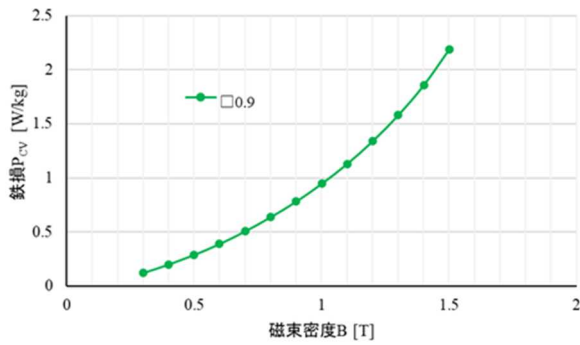
Fig. 8 B直とB内の磁気特性比較



(a) 磁化曲線



(b) 比透磁率曲線



(c) 鉄損曲線

Fig. 10 線形材料□0.9 の測定結果

4. まとめ

本稿では、同軸 H コイルを用いた開磁路測定法で測定を行い、以下の知見を得た。

- (1) 励磁電流法との比較評価により、線形状に加工した電磁鋼板 50A1300 の鉄損は単板形状の磁気特性と定量的にほぼ同じである。
- (2) 磁束密度測定に使用する B コイルの違いにより、磁気特性に影響があるが、定性的には同じ磁気特性が得られ、励磁電流法とは鉄損が定量的にほぼ同じである。
- (3) 測定材料の長さによる影響を評価した結果、100mm サイズの線形材料の磁気特性は測定可能である。

参考文献

- (1) 日本工業規格，単板試験機による電磁鋼板及び帯の磁気特性の測定方法，JIS C2556，1996.
- (2) 中畑和，Bartosz Borkowski，山田興治，戸高孝，榎園正人，パルス強磁界における磁化特性測定センサ構造に関する検討，日本 AEM 学会誌 Vol. 19，No. 2，pp. 207- 212，2011.