

## 無方向性電磁鋼板の磁場中熱処理効果の基礎的検討

甲原和也、木下創\*、下地広泰\*\*、佐藤尊、戸高孝  
(大分大、\*住友重機械、\*\*大分産科技セ)

Fundamental Study on Heat Treatment Effect of Non-oriented Electrical Steel Sheets in Magnetic Field

Kazuya Kouhara, Tsukuru Kinoshita\*, Hiroyasu Shimoji\*\*, Takeru Sato, Takashi Todaka  
(Oita Univ., \* SHI., \*\* Oita Idus. Rese. Insti.)

### はじめに

モータ鉄心に使用されている電磁鋼板は、製造過程で加えられる加工応力によって磁気特性が劣化することが知られている。近年のトップランナー制度の適用により、モータの更なる高効率化の要求が高まっていることから、将来的には熱処理工程の追加による鉄損低減が必要となることが予測される。そこで著者らは、磁場中熱処理による磁気特性の改善や制御について検討を開始した。本発表では、無方向性電磁鋼板の短冊試料を用いて様々な磁場中熱処理を施し、磁気特性の変化について調査した結果を報告する。

### 実験方法

試料には 50mm×10mm の長方形に切出した電磁鋼板 50A470 を使用した。Fig.1 に示すように試料の長手方向の圧延方向 (RD) からの傾きを傾き角 (Inc) とし、RD Inc で試料を区別する。RD0 は長手方向が圧延方向、RD90 は長手方向が圧延垂直方向の試料である。磁場中熱処理<sup>1),2)</sup>は真空中で保持温度 750~1200°C、磁場 0~10T の条件で行った。磁気特性の測定には、別途開発した小型 SST (単板磁気試験機) を用いた。

### 実験結果

Fig.2 に測定結果の一例として、前述の 2 種類の切出し角の異なる試料を 10T,750°C で熱処理した場合の鉄損が、0T,750°C で熱処理した場合の鉄損に対して変化した割合 (改善率) を示している。横軸の  $B_{max}$  は周波数 50Hz で鉄損を測定した時の最大磁束密度である。図のように、RD0 の試料は長手方向に磁場をかけながら熱処理すると鉄損が増加したが、RD90 の場合には、逆に鉄損が小さくなり磁気特性が改善した。磁場の印加方法としては、750°C に保持した後、降温時のみに磁場を印加したものである。使用した無方向性電磁鋼板は圧延磁気異方性の影響によって、圧延方向の透磁率が圧延垂直方向の約 1.5 倍程度の初期の磁気異方性を有している材料であるが、熱処理時に残留歪みが緩和される過程で磁場の影響で異方性が変化したと考えられる。他の条件での測定結果や結晶粒径の変化等については発表時に報告する。

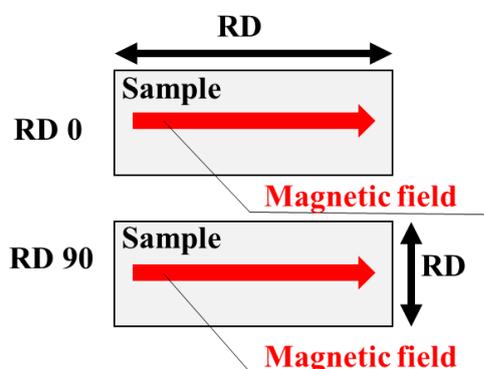


Fig.1. Samples

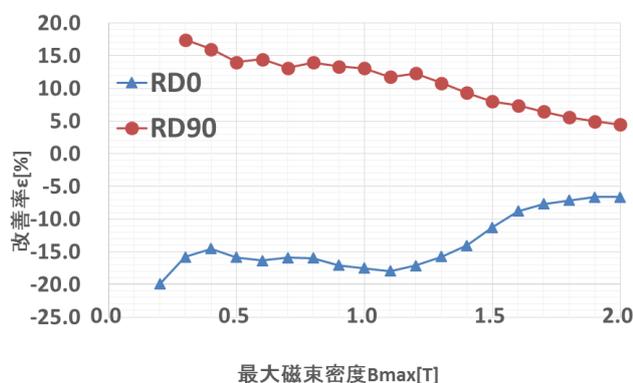


Fig.2 Improved rates of iron loss

### 参考文献

- 1) 木下、戸高、佐藤、下地、無方向性電磁鋼板の磁場中熱処理効果の評価、日本AEM学会誌、Vol.25, No. 2, pp. 162-167, 2017 (in press)
- 2) 小柴、重本、西沼、原田、異方性珪素鋼板の磁場中冷却処理について、日立評論「金属特集号 第2集」、別冊第16号

# 高周波変圧器用ラップ接合アモルファス巻鉄心の鉄損算定

栗田直幸, 畠山智行, 木村守  
(日立製作所 研究開発グループ)

Iron loss estimation of amorphous wound core with lap-joint for high-frequency transformers

Naoyuki Kurita, Tomoyuki Hatakeyama, Mamoru Kimura  
(Research & Development Group, Hitachi Ltd.)

## はじめに

大規模洋上風力発電の長距離送電には高圧直流(HVDC)システムが使われる。その電圧の昇降圧には交直変換器と変圧器からなる DC-DC コンバータが用いられ、高周波変圧器(HFT)の適用で小形化される<sup>1)</sup>。低損失なアモルファス薄帯を積層し、切断端をラップ接合した巻鉄心は商用変圧器に広く使われ、HFT への適用で低コスト化できる。高周波ではラップ接合部の鉄損が増加するが、定量化がほとんどされていない。そこでラップ接合部とそれ以外の薄帯の積層部で発生する鉄損を測定により分離し、両部分の特性の差異を検討した。

## 実験方法

Fig.1 に示す 2 つの巻鉄心 A と B を試作した。ラップ接合部の磁束は薄帯の束(フープ)の間を渡り、面内渦電流による鉄損  $W_L$  (W) が発生する。また、積層部では単位質量あたり鉄損  $P'$  (W/kg) が発生する。2 つの巻鉄心は磁路長以外が同じ仕様なので、同一の  $W_L$  と  $P'$  を持つと見なせる。鉄心の質量を  $M_i$  (kg) とすると、巻鉄心の鉄損  $P_i$  (W) は、

$$P_i = P' M_i + W_L \tag{1}$$

と表される。周波数  $f$  と励磁磁束密度  $B_m$  に対する巻鉄心 A, B の  $P_i$  特性を測定した。この結果より 2 つの未知数  $W_L$  と  $P'$  の  $f, B_m$  についての各特性が求められ、ラップ接合部と積層部で発生する鉄損を分離できる。

## 実験結果

Fig.2 に、巻鉄心 A と B の単位質量・1 周期あたりの鉄損  $P_i/M_i/f$  (J/kg) の周波数特性を示す。実線と破線は次の鉄損式<sup>2)</sup>によるフィッティング曲線である。

$$P_i/M_i/f = A_h B_m^2 + A_e B_m^2 f + A_a B_m^{1.5} f^{0.5} \tag{2}$$

$A_h, A_e, A_a$  はそれぞれヒステリシス損失、渦電流損失、異常渦電流損失の係数である。 $P_i$  に対する  $W_L$  の割合の差を反映し、巻鉄心 B の値が A より大きい。Table 1 に、巻鉄心 A と B、および(1)式で分離した積層部の損失係数の比較を示す。 $W_L$  を含む巻鉄心 A, B に比べ、積層部の  $A_e$  は薄帯状態の文献値<sup>2)</sup>に近い。 $A_h, A_a$  の差は素材の組成、焼鈍条件の違いによると考えられる。

**謝辞** 本成果は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。

## 参考文献

- 1) G. Ortiz et al: Proc. of IECON 2010, pp. 631-638.
- 2) G. Bertotti: IEEE Trans. Magnetics, 24, pp.621-630 (1988).

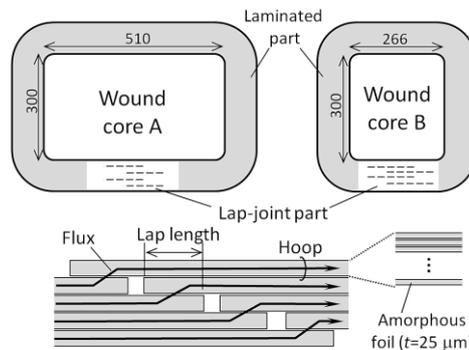


Fig.1 Dimensions of tested cores and schematic cross section of lap joint part (Unit: mm)

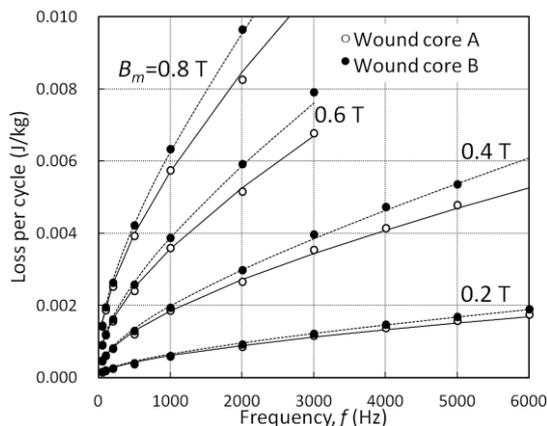


Fig.2  $f$ -performances of loss per cycle of tested cores

Table 1 Comparison of loss coefficients in eq. (2)

Name	$A_h$	$A_e$	$A_a$
Wound core A	$8.00 \times 10^{-4}$	$1.65 \times 10^{-6}$	$1.80 \times 10^{-4}$
Wound core B	$8.00 \times 10^{-4}$	$2.50 \times 10^{-6}$	$1.80 \times 10^{-4}$
Laminated part (Extracted)	$8.00 \times 10^{-4}$	$3.48 \times 10^{-7}$	$1.73 \times 10^{-4}$
As cast foil <sup>2)</sup>	$1.46 \times 10^{-3}$	$3.24 \times 10^{-7}$	$1.32 \times 10^{-4}$

# アモルファス磁性材料のビルディングファクター評価

井上 皓太、佐藤 尊、戸高 孝

(大分大学)

Evaluation of building factor of amorphous magnetic material

Inoue Kota, Takeru Sato, Takashi Todaka,

(Oita Univ.)

## はじめに

変圧器やモータの低損失化のためには低鉄損な磁性材料の利用が有効である。近年、アモルファス磁性材料等の急冷薄帯が渦電流損の低減のため注目されている。アモルファス磁性材料は優れた磁気特性を持つ一方、磁気歪みが大きく、積層加工すると磁気特性が大幅に劣化してしまうことが知られている。そこで低応力加工方法を検討するに当たり、積層状態での磁気特性を正確に評価できる装置が必要となった。本報告では積層アモルファス磁性材料の磁気特性測定装置の設計・試作を行い、検証用に作製した積層試料の評価検討を行った結果について述べる。

## 実験方法

開発した積層磁性材料の磁気特性測定装置は単板磁気試験器を模した構造となっており、PCで励磁電圧波形を作成し、その信号をD/Aコンバータを介してパワーアンプで増幅し、励磁コイルに印加した。試料中の磁束密度 $B$ は $B$ コイル、磁界強度 $H$ は $H$ コイルで検出した。 $B$ コイルの誘起電圧はA/Dコンバータを介してPCに取り込み、目標の正弦波形になるまでフィードバック制御した。また、試作した装置は、渦電流の影響を避ける目的で、試料を両端の補助ヨークによって挟み込む形式を用いた。補助ヨークとのギャップの影響などを考慮し、磁界強度 $H$ の測定には2Hコイル法を用いた。

## 実験結果

積層方法の差異が検出可能かを試験するため2種類の積層アモルファス試料を試作した。これらは、同じ寸法で作製後、試料側面を研磨したものとしていないものである。Fig.1(a), (b), (c)にそれぞれ鉄損、 $B$ - $H$ カーブ、ヒステリシスループ (1.3T) の比較を示す。測定周波数は50Hzである。図のように $B$ - $H$ カーブとヒステリシスループは大差がないが、Fig.2(a)に示すように側面研磨した試料の方が鉄損の値が大きくなっている事がわかる。試料の側面を研磨したことによる磁気特性の劣化の差異が検出可能であることが分かる。

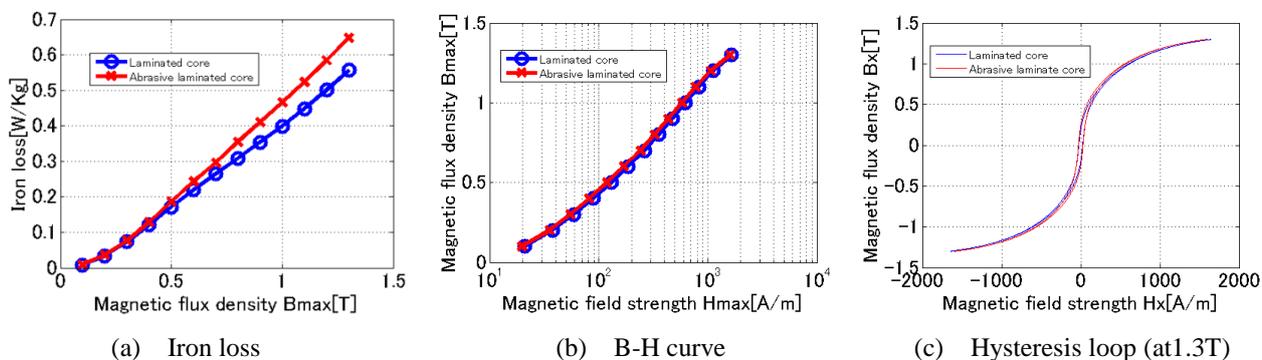


Fig.1 Comparison of measured magnetic properties of laminated amorphous cores.

## 参考文献

- 岡崎靖雄：「広幅鉄基非晶質鉄心材料の高機能化と配電トランス用巻鉄心への応用」, 博士論文, 1993.

# 磁気機能性流体を用いた平面研磨用工具設計のための磁界解析

池田慎治, 山本久嗣, 清水達也, 西島健一, 櫻井 豊, 西田 均  
(富山高等専門学校)

Magnetic Field Analysis for Micro Processing of Flat Plate Utilizing Magnetic Compound Fluid  
S. Ikeda, H. Yamamoto, T. Shimizu, K. Nishijima, Y. Sakurai, H. Nishida  
(National Institute of Technology, Toyama College)

## はじめに

磁気混合流体(MCF)はナノ、マイクロオーダーの磁性微粒子を分散させた磁性コロイド溶液である。MCFに非磁性砥粒を混合した上で、磁界によって微粒子を磁気クラスタ化し、加工対象面に対して摩擦運動させ、精密加工を行う<sup>1)2)</sup>。既に優れた加工特性が見出されているが、特性向上や工具設計のために加工原理の解明が必要である。工具による発生磁界と磁気クラスタが加工面におよぼす力を求め、加工結果と比較した。

## 数値解析の方法と結果

本研究では、いくつかあるMCF研磨法の中で、平面を対象とした加工法を取り上げる。この加工法の様子をFig. 1に示す。加工工具は先端を円錐状に絞った形状で、先端は半径2.5mmの平面である。加工対象の上1.25mmに工具を配置し、空隙にMCFを満たす。回転軸方向に磁束を発生させながら工具を回転させることで、MCFは工具に保持されながら回転運動する。磁界解析は、有限要素法による軸対称2次元静磁界解析を適用し、磁束密度分布よりMCFと加工対象の間に作用する圧力を算出した<sup>3)4)</sup>。

Fig. 2に示す実験結果<sup>5)</sup>より、工具先端の平面部分の直下( $r < 2.5\text{mm}$ )では加工量が小さく、 $r > 4\text{mm}$ の領域で加工量が増加していることがわかる。Fig. 3に示す圧力の計算結果からは、工具先端直下よりも外側の領域で圧力が極大となることがわかり、実験結果と定性的に同じ特徴が見られる。加工量は圧力と加工距離の積に比例するので(プレストン則)<sup>5)</sup>、今後流体の流速分布を加味した解析および評価を行う予定である。

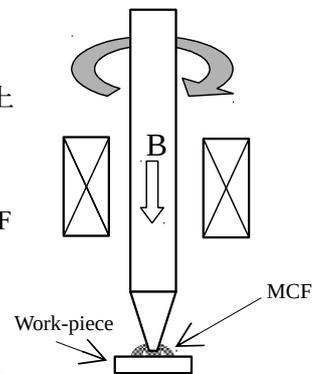


Fig.1 Schematic view of MCF Polishing for flat plate

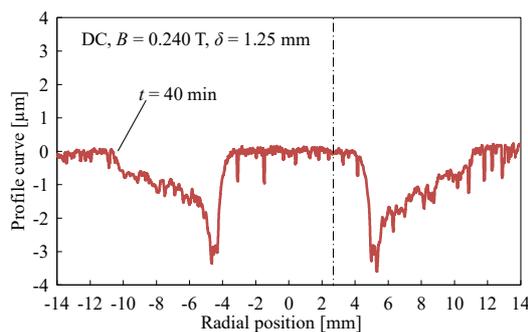


Fig.2 Surface profile of processed work piece

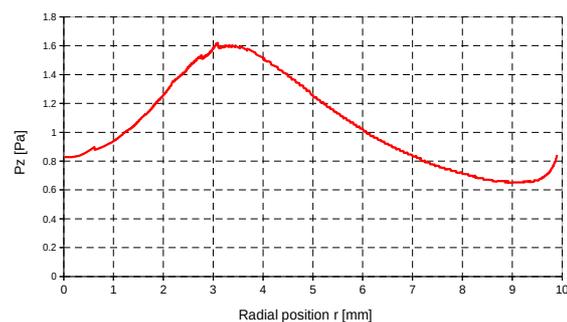


Fig.3 Magnetic pressure between MCF and work piece

## 参考文献

- 1) H. Nishida, et. al., Journal of JSAEM, Vol 22, pp.286-292 (2014)
- 2) Hitoshi Nishida, et. al., Journal of JSEM, Vol. 12, No. 4, pp.361-368 (2012)
- 3) 池田慎治 他, 第40回日本磁気学会学術講演概要集, p.129 (2016)
- 4) 池田慎治 他, 平成28年度磁性流体連合講演会講演論文集, pp. 3-4 (2016)
- 5) 赤羽里夢 他, 日本機械学会北陸信越支部第54期総会・講演会 講演プログラム G14 (2017)