

# パワーエレクトロニクス励磁のためのアモルファス材の試作

濱島拓未、竹内恒博、藤崎敬介  
(豊田工業大学)

Trial Manufacturing of Amorphous Material for Power Electronics Excitation

Takumi Hamashima, Tsunehiro Takeuchi, Keisuke Fujisaki  
(Toyota Technological Institute)

電気モータの電気自動車応用に端を発し、その傾向が機関車、船、飛行機といった移動手段すべへの適用検討が進められている。移動に必要な可変速技術は、パワーエレクトロニクス励磁においてモータにて初めて実現可能とし、その傾向は十数年後には電気エネルギーの8割を介して制御されるといわれている。こうしたパワーエレクトロニクス技術において僅々の技術課題となっているのが高周波大電力のための磁性材料である。例えばMHz程度の周波数をMW程度の大電力に対し変圧器を用いようとする、少なくとも $\mu\text{m}$ 厚み程度以下の鋼板を量産化すべきともいえる<sup>2)</sup>。単にロールで急冷しても20 $\mu\text{m}$ 厚程度が限界といわれているので、アモルファス材のガラス転移点に着目した<sup>3)</sup>。そこで今回、鉄合金( $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ )を単ロールで急冷シアモルファス材を作り、その後圧延にて薄くすることを試み、その磁気特性を計測した<sup>4)</sup>。ガラス転移温度(420 $^{\circ}\text{C}$ )前後にて300Maを10分程度圧下し鋼板厚みを1-2割程度薄くなった(図1参照)。10kHzでの磁気計測をしたところ、市販のアモルファス材(2605SA1:日立金属社製)より鉄損を小さくすることができた(図2参照)。

## 参考文献

- 1) 藤崎敬介「パワーエレクトロニクスで励磁される磁性材料」第41回日本磁気学会学術講演会 S-2,シンポジウム, パワーエレクトロニクスで励磁される磁気・磁性材料の研究の必要性, 平成29年9月22日, 九州大学.
- 2) 藤崎敬介「マイクロ材料電磁界数値解析による高周波軟磁性材料の形状と損失特性」電気学会マグネティックス・リニアドライブ・日本磁気学会合同研究会資料, MAG-14-208, LD-14-100, 2014.12.
- 3) T. Takeuchi et al., Local atomic arrangements and electronic structure of the Zr-Ni-Al bulk metallic glass -Analysis by use of the relevant crystals - Mat. Sci. Engng. A, 449-451 pp.559-604 (2007).
- 4) 濱島拓未「パワーエレクトロニクスに応用可能な軟磁性材料の開発」豊田工業大学卒業論文,2018.3

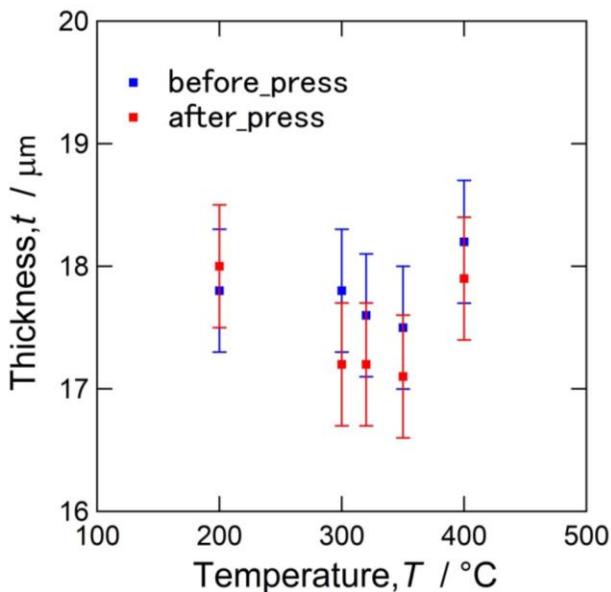


図1. 圧下による鋼板厚みの変化

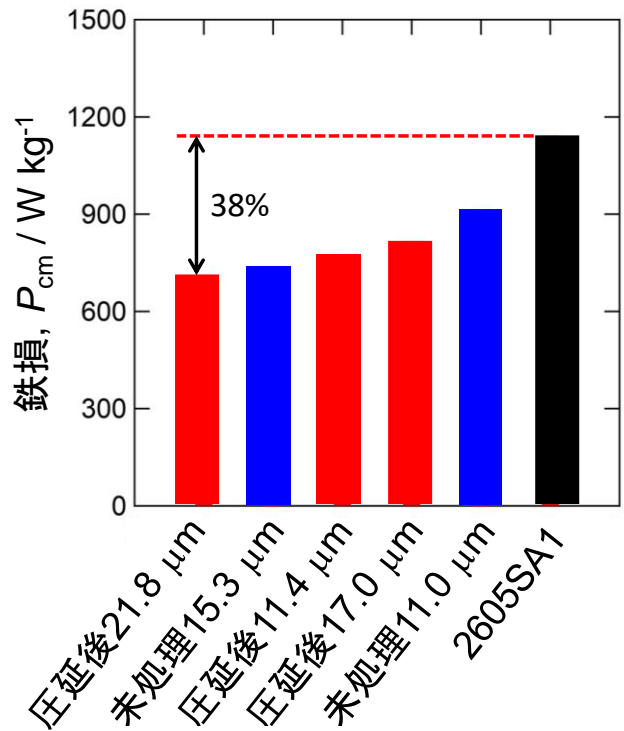


図2. アモルファス材の高周波鉄損特性 (10 kHz)

# パワーエレクトロニクス励磁のための対向ターゲット式スパッタによる $1\mu\text{m}$ 厚鋼帯の試作

高村陽太\*, 小川良正\*, 古我城航\*, 中川茂樹\*, 藤崎敬介\*\*

\*東京工業大学電気電子系, \*\*豊田工業大学

Fabrication of 1- $\mu\text{m}$ -thick CoFeB steel strips for power electronics excitation

Y. Takamura\*, Y. Ogawa\*, W. Koganoki\*, S. Nakagawa\*, K. Fujisaki\*\*

Dept. of Electric and Electronic Eng., Tokyo Inst. of Tech., \*\*Toyota Technological Inst.

## 背景

パワーエレクトロニクス技術の進展で電力: MW クラス、周波数: MHz 程度といった高周波・大容量化の実用化が検討され始め、 $\mu\text{m}$  厚み程度以下の鋼帯の磁気特性の把握が求められている<sup>1)</sup>。従来の鋼帯作製技術では、薄層化に限界があった。一方の集積エレクトロニクスで用いられる真空成膜法<sup>2)</sup>では、数十 nm の薄さの成膜を得意とするため、 $\mu\text{m}$  オーダーの成膜はほとんど試されてこなかった。本研究では、真空薄膜作製技術の一つであるスパッタ法を用いて、 $1\mu\text{m}$  厚鋼帯の試作に成功したので報告する。

## 作製方法

鋼帯は対向ターゲット式スパッタ法によりガラス基板上に作製した。まず、ガラス基板をアセトンとエタノールを用いてそれぞれ10分間超音波洗浄を10分間行った。基板を真空チャンバーに導入後、背圧が  $1.5 \times 10^{-4}$  Pa に達したところで、Ar ガスを導入し、Ar 分圧 0.1 Pa の下、1時間30分間スパッタ成膜を行った。成膜速度は 12 nm/分であった。ターゲットは、mol 比で Fe:Co=7:3 の合金上に B チップを乗せたものを使用した。

## 結果

作製した FeCoB 鋼帯は、約  $1\mu\text{m}$  という厚みにも関わらず、基板からの剥離や皺は確認されなかった。(図1挿入写真)このことは、さらなる厚膜化や多層構造化が可能であることを示唆している。また、鏡面をしていたことから、平坦な表面を持っていると考えられる。膜厚が  $1.1\mu\text{m}$  であることは、試料を成膜装置の試料台にカプトンテープで貼り付けた跡の段差を実測し、確認している。

図1に試料振動型磁力計で測定した直流磁場に対する  $B-H$  特性を示す。飽和磁束密度と残留磁束密度は、それぞれ、2.3 T と 0.7 T だった。

X 線回折による結晶構造解析から、CoFeB 鋼帯が(110)配向した体心立方格子を形成していることを確認した。格子定数は、0.286 nm であった。

また、膜の組成が、 $(\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.3})_{0.93}\text{B}_{0.07}$  であることも誘導結合プラズマ発光分析 (ICP-OES)法を用いて分析した。

今回の結果は、真空成膜法を用いて  $1\mu\text{m}$  の鋼帯が作製可能であることを示している。当日は、交流磁場に対する応答測定の結果等も含め発表を行う。

## 参考文献

- 1) 藤崎敬介「パワーエレクトロニクスで励磁される磁性材料」第41回日本磁気学会学術講演会 S-2,シンポジウム, パワーエレクトロニクスで励磁される磁気・磁性材料の研究の必要性, 平成29年9月22日, 九州大学.
- 2) 中川茂樹「斜方入射スパッタ粒子を利用して作製した高異方性磁界を有する FeCoB 膜」日本磁気学会誌まぐね, 7, 26, (2011).

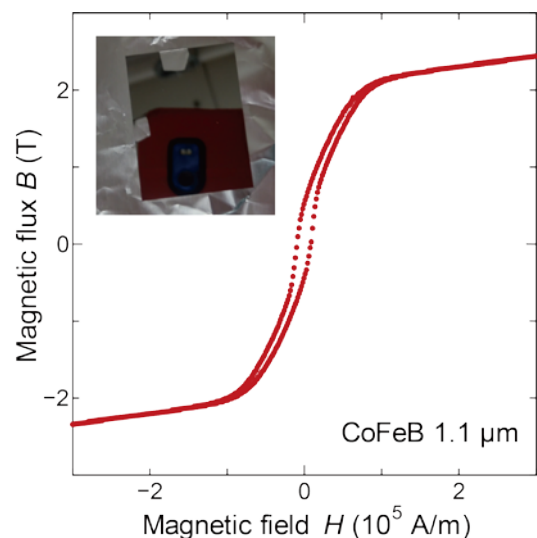


Fig. 1. DC magnetic hysteresis loops for a 1- $\mu\text{m}$ -thick CoFeB steep strip on a glass substrate. The inset is the photograph of the steep strip.

# 軟磁性金属扁平粉末を用いた高周波電源用薄型磁心材料の開発

御子柴 駿, 嶋 博司, 茶谷 健一  
(株式会社 トーキョー)

Soft magnetic metal flake composite suitable for high frequency, low profile power supply.

S. Mikoshiba, H. Shima, K. Chatani  
(TOKIN Corporation)

## はじめに

MPU や GPU など高性能プロセッサの性能向上に伴う供給電流の増加は著しく、DC-DC コンバータからプロセッサへの給電経路で発生するジュール損失の削減が課題となっている。損失削減の手法として、プロセッサの直下やパッケージに DC-DC コンバータを形成し、給電経路を短縮することによる消費電力削減が挙げられる。ここでチョークコイルは DC-DC コンバータを構成する部品の中で大きな体積を占めるため、プロセッサの直下に配置するためには、コイル磁心の小型・薄型化は必須である。スイッチング周波数を MHz 超として構成部品を小型・薄型化することが考えられるが、フェライト系材料や従来の金属系圧粉体などは一般に脆性を示すため、割れ等の問題を生じ薄型化に限界がある。

そこで本報告では、薄型磁心を実現するために、表皮深さ程度の厚さを持つ扁平状粉末を高充填成形した磁心の磁気特性について報告する。

## 実験方法

ガスアトマイズ法で作製したセンダスト粉末(Fe-Si-Al)を、ボールミルにて鍛造し扁平状粉末を用意した。扁平粉末の配向にはドクターブレード法を採用し、扁平粉末とシリコンレジン、増粘剤、溶剤を混合して得たスラリーをシート状に成形した。得られたシートに加圧成型と熱処理を施し、扁平粉末を一様に配向させた磁心を作製した。評価に使用する磁心の寸法は外径 26 mm×内径 16 mm×厚さ 0.5 mm とした。初透磁率はインピーダンスアナライザ、鉄損は交流 B-H アナライザ、磁化特性は直流 B-H アナライザで測定した。また構造観察には走査電子顕微鏡 (SEM)を用いた。

## 実験結果

Fig. 1 に平均長径 40  $\mu\text{m}$ 、平均厚さ 1.5  $\mu\text{m}$  に鍛造した扁平粉末を用いて作製した磁心の断面図を示す。扁平粉末の充填率は 70 vol. %を示し、扁平粉末の一様な配向が確認された。また扁平粉末が交互に積み重なった構造を有するため、面直方向に亀裂が進展しにくいと考えられる。すなわち曲げ応力に対し靱性を示し、薄型磁心に適した構造であると推察される。

Fig. 2 に上記磁心の複素透磁率  $\mu'$ ,  $\mu''$ を示す。 $\mu'$ は 280 の値を 4 MHz 程度でも維持しており、既存の金属系圧粉磁心よりも優れた軟磁気特性を有している。これは数 MHz の周波数で想定される表皮深さ程度の厚さを持つ扁平粉末を、磁束の方向に対し一様に配向させたことによる電流の抑制と、充填率 70 vol. %の高充填を同時に実現できたためだと考えられる。

本磁心の構造、扁平粉末の厚さと鉄損の関係については当日詳細に報告する。

## 参考文献

- 1) F. C. Lee et al., *IEEE Trans. Power Electron.*, **28**, 4127-4136 (2013).

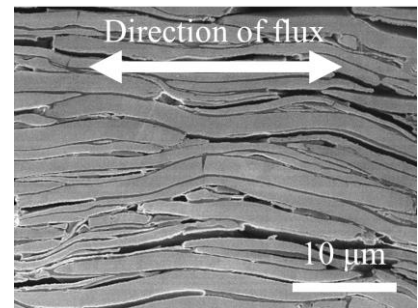


Fig. 1 Cross section of flake composite core. The average length of flake is 40  $\mu\text{m}$ , thickness is 1.5  $\mu\text{m}$ .

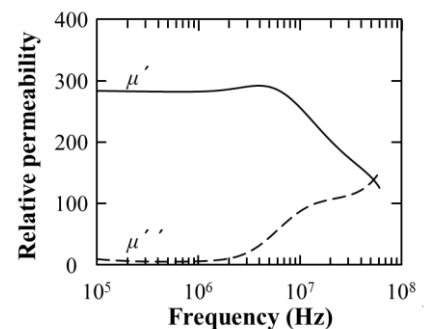


Fig. 2 The relative permeability of flake composite core in Fig. 1.

# 大電流用低背インダクタの開発

○嶋博司、御子柴駿、茶谷健一  
(株式会社トーキン)

Development of low height inductor for high current

H.Shima, S.Mikoshiya, K.Chatani  
(TOKIN Co.)

## はじめに

近年、FPGA やサーバー用プロセッサを駆動する DC/DC コンバータにおいて、低電圧高電流化、スイッチングの高周波化が求められている。またこれら DC/DC コンバータに搭載されるインダクタにおいても、大電流対応、損失低減が求められている。

今回、軟磁性金属扁平粉を含む磁心(扁平粉磁心)を用いてインダクタを作製し、既存のインダクタとの特性比較を行った。その結果、扁平粉磁心を用いたインダクタが低背化に適することが明らかとなった。

## 実験方法

扁平粉磁心の外周に金属導体を配置・接合した構造(Fig.1)、扁平粉磁心を基板に埋め込んだ構造(Fig.2)のインダクタを作製した。これらのインダクタについて直流重畳特性(Fig.3)、直流電気抵抗を測定し既存のインダクタとの性能比較を行った。



Fig.1 扁平粉磁心を用いたインダクタ

## 実験結果

インダクタの特性を比較するにあたり①インダクタンス  $L$ 、②許容最大電流  $I_{sat}$ 、③直流電気抵抗値を DCR とし、インダクタの性能指標を

$$L \times I_{sat} / DCR$$

で定義した。

扁平粉磁心を用いたインダクタは、特にインダクタ高さの制限が大きい場合に優れた特性を示した。これは今回作製したインダクタの構造がラテラルフラックス型であるためと考えられる<sup>1)</sup>。

また基板に内蔵した場合、省スペース化が可能になる他、プロセッサ直下にインダクタを配置することで、基板パターンによる銅損も削減することができる。

以上より、インダクタの低背化設計において扁平粉磁心を用いたインダクタが優位性を示すと言える。

## 参考文献

- 1) Qiang Li, Fred C. Lee, "High Inductance Density Low-Profile Inductor Structure for Integrated Point-of-Load Converter", 2009 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Washington, District of Columbia, Feb. 15 - 19, 2009, pp. 1011 - 1017.

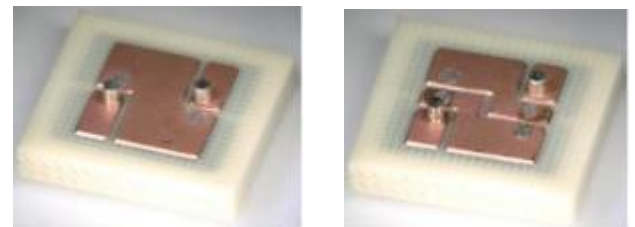


Fig.2 扁平粉磁心を基板に内蔵したインダクタ  
2ターン(左)、3ターン(右)

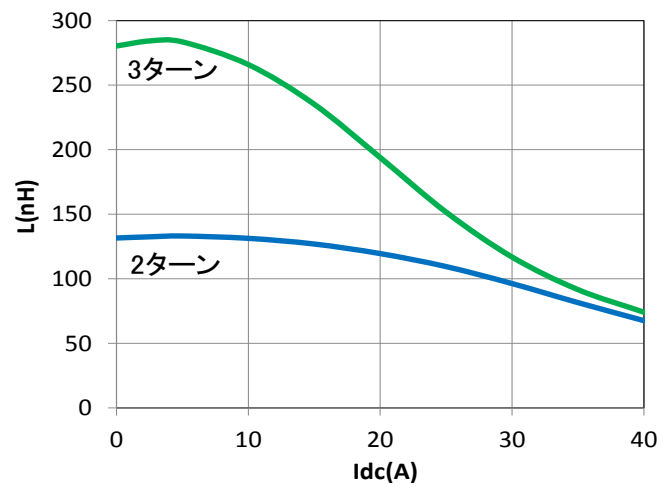


Fig.3 基板内蔵型インダクタの直流重畳特性

## LED ストロボ照明による方向性電磁鋼板の励磁状態磁区観察

小田切 雄介、柳沢 栄二、目黒 栄、斉藤 伸\* (ネオアーク株式会社、\*東北大学)

Strobe method magnetic domain observation of  
oriented electrical steel sheet in condition of excitation using LED light source

Y. Odagiri, E. Yanagisawa, S. Meguro, S. Saito\* (Neoark Corporation, \*Tohoku University)

### はじめに

近年、地球温暖化対策として低炭素社会実現のために様々な取り組みが行われている。電磁鋼板は変圧器やモーターのコア材として幅広く活用されており、その性能改善はエネルギー利用効率上昇に直結する。電磁鋼板の磁気特性把握の手法としては商用周波数での実働状態における磁区観察が有用である。我々はこれまで磁気光学 Kerr 効果を利用した cm オーダ領域の広視野磁区観察装置の開発を行ってきた [1]。一般に商用周波数励磁下で磁区観察を行うためには、おおよそ 1000 fps 以上の高速度カメラを用いる必要がある。しかし、早いフレームレートにおける観察では 1 フレームの露光量が微弱となり、特に広視野観察において品位の高い観察像を得ることが困難となる。そこで我々はパルス駆動 LED を光源としたストロボ法を用いて商用周波数駆動における電磁鋼板の動的磁区観察を可能とする装置開発を行ったので報告する。

### 観察原理と装置構成

Fig. 1 に今回開発したストロボ法を適用した磁区観察装置のブロック図を示す。2 チャンネルのファンクションジェネレータを用い、一つのチャンネルで 50 Hz の正弦波信号を出力し、その信号を元に励磁用電源で交流磁場を発生させた。もう一つのチャンネルではパルス信号を出力して光源のパルス駆動を行った。光源を短時間点灯することで、高速な磁化挙動中の点灯時の励磁タイミングでの磁区像を切り出すことが可能となり、2 チャンネル間の位相差を変更していくことで磁区変化の撮像が可能となる。

光源には白色 LED を採用した。LED の点灯時間は 200  $\mu\text{sec}$  とし、観察に用いるカメラのシャッター速度を 0.5 sec とした。約 25 発のパルスにより得られる光学情報を積算することで磁区像を取得した。試料を商用周波数で励磁するためにパーマロイコアの電磁石を製作した。この電磁石では 100 V、10 A 出力の励磁用電源と組み合わせ、60 Hz の周波数において 1 kOe 振幅の交流磁場を発生可能である。

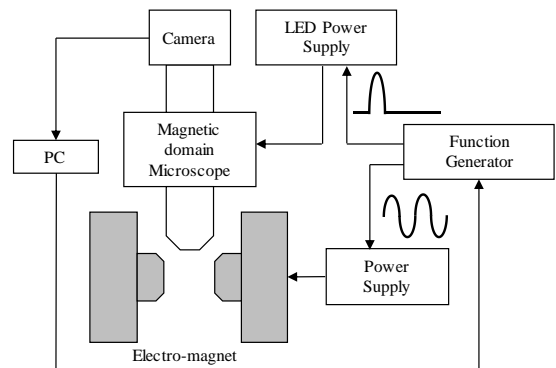


Fig.1 Block diagram of new developed equipment with stroboscopic irradiation by LED.

### 観察結果

Fig. 2 に方向性電磁鋼板の観察結果を示す。周波数 50 Hz、磁場振幅 800 Oe にて試料を励磁し、磁場がほぼ 0 Oe となるタイミングで像観察した。磁壁が明瞭な領域と不明瞭な領域が確認できる。これは 25 回の観察像において磁壁移動の再現性に分布があることを示唆している。このように商用周波数励磁での時間分解磁区観察は、比較的低い周波数で励磁した場合の磁化過程の再現性やヒステリシス損失の解析に有用な知見を与えるといえる。講演では、アモルファスリボンについての観察結果も報告する予定である。

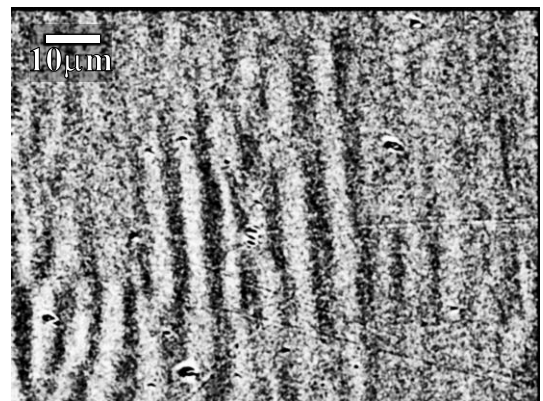


Fig. 2 Magnetic domain of electrical steel with applying the magnetic field of 50 Hz.

### 参考文献

- 1) S. Meguro et al.: 28<sup>th</sup> Ann. Conf. Magn. Soc. Jpn., 24aF-9 (2004).