

超低損失ダスト材料 “センティクス” 適用一体成形 チョークコイル「MPCG」

松元 裕之・浦田 顕理
山田 健伸・吉田 栄吉

要 旨

近年、電子機器の高性能化と多機能化が急速に進展しています。特にノートPCなどの小型機器においては、低消費電力化のための低電圧化にともない、電源ラインに流れる電流が非常に大きくなっています。そのため、インダクタにおいても大電流通電への対応とともに、電力損失特性が重要視され始めています。そこでNECトーキンでは、電源の変換効率を高める目的で低損失な磁性コア材の開発を進め、超低損失なインダクタ用ダスト材“センティクス”を実用化しました。“センティクス”は、金属材料が持つ高い飽和磁束密度と、金属ガラス特有の安定な非晶質構造を併せ持つため、大電流通電による磁気飽和が無く、コア材起因の磁気損失も大幅に低減できる金属ガラスダストです。この低損失金属ガラス“センティクス”をコア材とした低損失チョークコイル「MPCGシリーズ」は、素材の低損失特性を反映した高い電源変換効率を示します。今後ますます電源系への電力負荷が増加する電子機器の省エネルギー対策や発熱対策、およびパワーインテグリティ改善に最適なソリューションをめざし、金属ガラス“センティクス”のパワー部品への応用展開を進めて参ります。

キーワード

●金属ガラス ●低損失 ●圧粉磁心 ●インダクタ ●チョークコイル ●DC/DCコンバータ

1. はじめに

ユビキタス化が著しい進展をみせるなか、ノートPCを始めとする情報機器におけるアプリケーションの充実をはじめ、消費電力もますます増加する傾向にあります。

携帯電話機やノートPCの電源、すなわちDC/DCコンバータに用いるインダクタ材料においても、大電流化による重畳電流の増加に伴う磁気飽和抑止の目的から、従前のフェライト材料から、より飽和磁束密度の高い金属系材料へ大きくシフトしてきています。

それに伴いCPUにおいては高速で高品質なエネルギー供給と消費電力の抑制が大きな課題になっており、電源回路における高い電源効率の実現が最重要課題となってきました。

そこでNECトーキンでは、大電流対応はもちろんのこと、金属系インダクタ自体の損失特性に着目し、モバイル型ノートPCなどの低電圧大電流電源に適した高効率なインダクタをコンパクトに実現できる新しい低損失インダクタ用金属材料

として、金属ガラス“センティクス (SENNTIX)”を開発しました。本稿では“センティクス”の諸特性と、“センティクス”をコア材とする大電流対応の低損失チョークコイル「MPCGシリーズ」を紹介します。

2. 開発の背景

弊社の磁性技術を応用し実用化した金属ガラス“センティクス”は、インダクタコアの損失特性を改善することでスイッチング電源の電源効率の向上を目的に開発され優れた損失特性を有する超低損失タイプの金属ガラスダストです。

一般に直流重畳電流が大きい電源回路に用いるインダクタには、所望の電流平滑性や定電圧化を実現するために、飽和磁束密度の大きい鉄粉あるいはFe-Si粉末などの結晶質金属ダストを樹脂とともに一体成形した金属圧粉磁心が用いられます。しかしながらこれら鉄系の結晶質金属ダストは、鉄を主成分とすることから高い飽和磁束密度を有する反面、結晶構

造に由来する結晶磁気異方性や磁気歪みによる磁気損失（ヒステリシス損失）が大きいため、これら材料をインダクタ用コア材に用いた場合、電源回路における電源効率低下因子として無視できない存在になります。

そこで結晶磁気異方性を低減させる手段として金属材料における結晶構造を非晶質構造（アモルファス）にすることが知られており、鉄系やコバルト系アモルファス材料が実用化されていますが、これらの素材の製造には極めて高い急冷処理が必要となり¹⁾、実用性には問題があります。

また、磁気歪みの少ない素材として、結晶質の材料ではFe-Si-Al（センダストTM）や80Ni-Fe（パーマロイ）、アモルファス金属材料ではCo系非晶質材料などが実用化されていますが、これらの材料はいずれも飽和磁束密度が小さく大電流通電時に容易に磁気飽和を起こしてしまうことから大電流型電源回路用インダクタには不適当です。

そこで弊社では、大電流通電に対応できる飽和磁束密度を有することはもとより、インダクタ損失を可能な限り低減するためにヒステリシス損失（特に結晶磁気異方性）が極めて小さい鉄系金属ガラスダスト“センティクス”を開発・実用化することに成功し、大電流通電下にて使用されるパワーインダクタの電源損失を大幅に改善できる新しい低損失チョークコイル「MPCGシリーズ」を実用化しました。

3. 超低損失インダクタ材料 “センティクス”

“センティクス”は、鉄を主構成元素とした非晶質構造を有する金属ガラス材料です。図1にDSC（示差走査熱量計）プロファイルを示します。“センティクス”は、金属ガラスに特有の広い過冷却液体領域を示し、安定性に優れた非晶質構造を有することを特徴としています²⁾。

そのため、従来は実現が困難であった鉄系軟磁性材料特有の高い飽和磁束密度と、非晶質材料の優れた低損失特性を合わせ持つことに成功しました。

金属磁心におけるパワー損失は簡易的に次式で表されます。

$$P_{Loss} = Wh \cdot f + We \cdot f^2 \quad (1)$$

ここで、 P_{Loss} は金属磁心における全損失、 Wh が磁気的な損失をあらわすヒステリシス損失成分、 We が電氣的損失をあらわす渦電流損失成分、 f がインダクタとして使用され

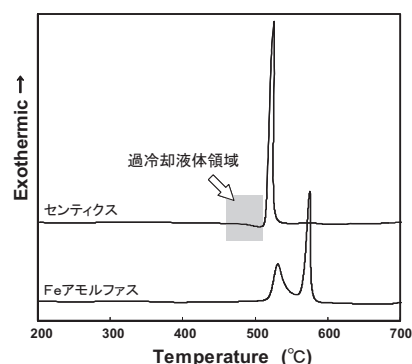


図1 センティクスのDSCプロファイル

る際の入力波形の周波数です。

理論上アモルファス材料には結晶磁気異方性は存在しませんが、実際には急冷時における温度勾配などの製造条件に由来する異方性の発現が報告されています。“センティクス”は、磁気異方性（ Ku ）の極めて小さい金属ガラス素材であり、これをインダクタ材料として用いたことで、次式に示すヒステリシス損失成分を大幅に低減できました。

$$Wh = 4 Ch \cdot B \cdot 2 Ku / Is \quad (2)$$

ここで、 Wh はヒステリシス損失成分、 Ku は結晶構造配列に由来する磁気異方性定数、 Ch はヒステリシス曲線によって決まる係数、 B は磁束密度、 Is は飽和磁束密度です³⁾。

写真1に“センティクス”粉末の電子顕微鏡写真を示します。優れた球状度と微細粒子径を両立したダスト粉末であることがわかります。

“センティクス”粉末をインダクタ磁心に適用するにあたっては、粉末充填性を高めるために、構成粒子の真球度お

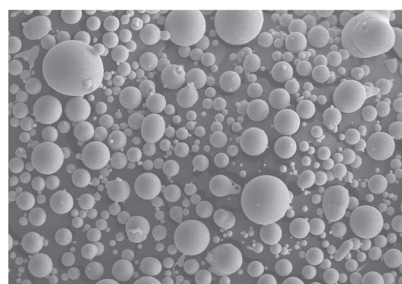


写真1 センティクス粉末のSEM像

¹⁾ センダストは国立大学法人東北大学の登録商標です。

よび粒子径を最適化しています。さらに、次式に示すコア全体あるいは個々の金属粒子に電流が流れることにより発生する渦電流損失についても低減が図られています。

$$W_e = \pi^2 \cdot d^2 \cdot B^2 / c \cdot \rho \quad - (3)$$

ここで W_e は渦電流損失成分、 d は粒子直径、 B は磁束密度、 c は試料形状から決定される定数、 ρ は抵抗率です⁴⁾。

表1に“センティクス”と鉄系軟磁性材料とのバルク状態での損失特性を示します。“センティクス”は大電流通電に十分対応可能な飽和磁束密度 $B_s=1.3\text{T}$ を有するとともに、比透磁率も $\mu=6000$ を実現しており、高飽和磁束密度と高透磁率を両立する軟磁性材料です。

体積固有抵抗率も他の鉄系軟磁性材料に比べて高く、磁心に加工したときの微視的な、すなわちダスト粒子単位で生じる渦電流損失の低減効果も期待できます。

加えて“センティクス”は、非晶質性に優れ結晶磁気異方性の小さい組成であるために、保磁力 H_c が低く、その結果としてヒステリシス損失が小さいので、大電力用インダクタに極めて適した軟磁性材料です。

表1 センティクスの電磁気特性

材料特性 材 質	飽和磁束密度 B_s [T]	比透磁率 μ 100kHz	保磁力 H_c [A/m]	電気抵抗率 ρ [$\mu\Omega\cdot\text{cm}$]
センティクス	1.3	6000	2.0	130
純 鉄	2.2	200以下	64	10
6.5%Si-Fe	1.8	1600	20	80
鉄アモルファス	1.5	2900	3.0	115

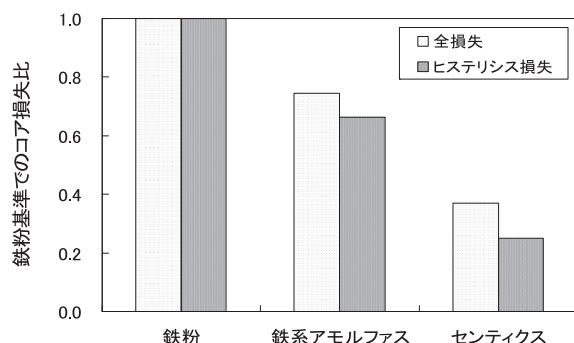


図2 センティクスと鉄系軟磁性ダスト材料との損失比較

図2に“センティクス”と鉄粉および鉄系アモルファスダスト材料との損失比較結果（50mT、300kHz）を示します。“センティクス”の損失は鉄系アモルファスの1/2、鉄粉に比べると1/3と非常に低損失です。これはヒステリシス損失が低減出来たことによる効果です。このような低損失特性の実現は、“センティクス”が金属ガラス特有の広帯域な過冷却液体領域を持つことで非晶質状態が安定に存在し、その結果としてヒステリシス損失を増加させる結晶磁気異方性の発現が抑制されたことによると推察しています。

4. 低損失チョークコイル「MPCGシリーズ」

「MPCGシリーズ」は、すでに弊社が製品化している「MPCシリーズ」同様に、平角線をエッジワイズ巻きしたコイルを、“センティクス”ダストと一緒に加圧成形した大電流に対応できる一体成形構造のチョークコイルです（写真2、表2、表3）。

磁性材に高い飽和磁束密度と低損失特性を両立した“センティクス”を採用したことで、弊社従来品に比べて、さらなる低損失化が実現できており、これまでに類を見ない優れた高効率特性を提供できるチョークコイルとなっています。

図3に弊社メタルコンポジット型チョークコイル（MPC1040LR56）のコア材料として“センティクス”を適用したときの電源効率の改善を示します。“センティクス”を適用したことにより、0.1Aから10Aまでの負荷電流全域において実効効率が向上しています。特にヒステリシス損失の占める割合が大きい5A以下の低電流域においては1.5%以上の高効率化が実現できていることから、低損失チョークコイル

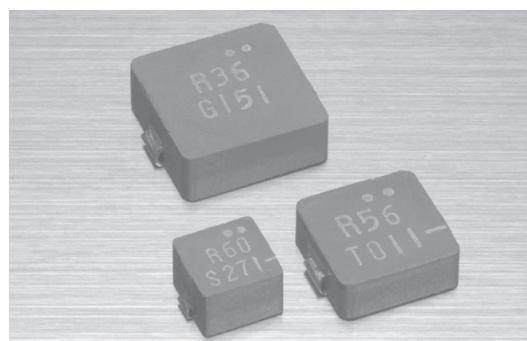


写真2 一体成形低損失チョークコイル「MPCG」

表2 MPCGシリーズ構造

	MPCG series
Coil	Flat Copper Wire
Core	Fe-based Glassy Metal Powder
Molding	Pressurization Molding
Terminal	Direct Terminal

表3 MPCGシリーズ寸法・電気特性

品名	寸法[mm]	L [μ H] at 100kHz	Rdc [m Ω]	定格 電流 [A]
MPCG0730LR20	7.0max × 8.0max × H3.0max	0.20 ± 20%	1.20 ± 10%	17.5
MPCG0740LR42	7.0max × 8.0max × H4.0max	0.42 ± 20%	1.55 ± 7%	20.0
MPCG1040LR36	10.3max × 11.5max × H4.0max	0.36 ± 20%	1.05 ± 15%	25.5
MPCG1040LR45		0.45 ± 20%	1.10 ± 15%	25.0
MPCG1040LR56		0.56 ± 20%	1.30 ± 15%	23.0

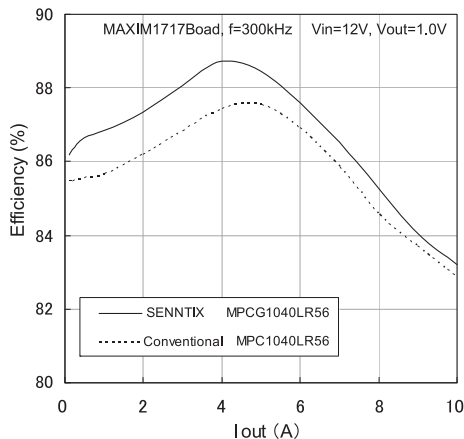


図3 電源負荷効率特性

「MPCG」シリーズをノートPCなどに適用することで待機時間向上などの効果が期待できます。

図4 にMPCG1040LR56の直流重畳特性を示します。Fe系の金属ガラスである“センティクス”は、20A以上の大電流通電下においても飽和傾向が無く、安定した温度特性を示すことから、低損失チョークコイル「MPCGシリーズ」は大電流に対応できることに加え、低損失特性を活かし高効率な電源回

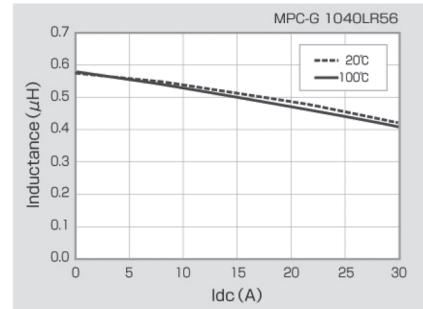


図4 直流重畳特性

路設計に最適なソリューションを提供することができます。

5. むすび

情報化社会を牽引するモバイル電子機器のエネルギー効率を改善するために、低損失な磁性材料を開発し、併せて高透磁率化もはかることで、より小型で低損失なインダクタを実用化し、お客様への最適ソリューションを提供して参ります。

参考文献

- 1) M.Mitera, T.Masumoto et al, "Effect of silicon addition on the magnetic properties of Fe-B-C amorphous alloys." J.Ap - pi.Phys., Vol50, No.11, Nov, 1979
- 2) A.Inoue et al, "Fundamental Properties and Applications of Fe-Based Bulk Glassy Alloys." J.Metastable.Nanocrystalline Ma - ter, Vols.20-21(2004)pp.3-12
- 3) 高城重彰, 清田禎公, "鉄系粉末を用いた圧粉磁心および焼結磁心の磁気特性の解析", 日本金属学会会報, 第29巻, vol3, pp141-146 (1990)
- 4) 太田恵造, 「磁気工学の基礎Ⅱ」, 共立全書, 311 (2000)
- 5) 山田健伸, 浦田顕理, 松元裕之, "高効率インダクタ用軟磁性粉末の開発", 粉体粉末冶金協会講演概要集, 平成18年度秋季大会, 194.

執筆者プロフィール

松元 裕之
NECトーキン
研究開発本部材料開発センター
マネージャー

山田 健伸
NECトーキン
研究開発本部材料開発センター

浦田 顕理
NECトーキン
研究開発本部材料開発センター

吉田 栄吉
NECトーキン
品質管理部長