

温度特性に優れた軟磁性粉末の開発

Development of soft magnetic powder having superior temperature characteristic

木野 泰志*

Yasushi Kino

We are already manufacturing and selling soft magnetic alloy powder made by water atomization method. The compositions around the second peak of Fe-Si-Al ternary alloys were investigated. As a result, we have developed a soft magnetic alloy powder with high magnetic properties and superior temperature characteristics determined by Fe-3.8Si-3.0Al composition. These developed products can be applied to electronic parts that require high reliability, such as in-vehicle parts. We hope that we can contribute to the development of the electronic component manufacturers.

KEY WORDS: Soft magnetic powder, Water atomization, Temperature characteristic

1. はじめに

昨今の電子部品分野の成長は著しく、特にモバイル機器に搭載されるコンデンサやインダクタは省スペース部への実装が必須となっており、大電流対応・小型化ニーズが高まっている。現在、弊社が製造する微粒・高品質を特徴とした軟磁性合金アトマイズ粉末はこれらニーズに対応できる材料として電子部品メーカーが製造するハイエンドメタルパワーインダクタ用途にご採用いただいている。今後、メタルパワーインダクタは「CASE」と呼ばれる新しい領域を中心とした、より信頼性が求められる車載用途へ展開されることが確実視されている。このため軟磁性合金アトマイズ粉末はこれまで求められてきた高飽和磁化、高透磁率また低保磁力という磁気特性因子に加えて環境温度の変化により特性が劣化しないなどの粉末材料自体への高信頼性要求が高まると予想できる。

弊社では既に高飽和磁束密度を特徴としたFe-Si系軟磁性合金アトマイズ粉末及び高透磁率、低損失を特徴としたアモルファス系軟磁性合金アトマイズ粉末を製造販売実施するとともに新規ニーズに応えるべく、高温域で特異な機能を有し、温度特性に優れた軟磁性合金アトマイズ粉末を開発したので本報にて報告する。

2. 既存軟磁性合金材料の課題と開発目標値

弊社が既に製品化している軟磁性合金粉末と現在、既存で市場にある軟磁性材料の特性位置づけイメージをFig. 1に示す。これらに示される様に市場で求められている高飽和磁化、高透磁率また低保磁力を全て兼ね備えた軟磁性粉末及び材料は存在せず、現在は対象となるアプリケーションの使用条件・環境に合わせて最適な材料を選定し使用されているのが現状となる。これらの現状を踏まえ、開発目標値は既存製品ラインを超える高飽和磁化と高透磁率、また低保磁力を兼ね備え、且つ車載用途への展開を想定した150℃以上の温度領域で耐熱機能を有する軟磁性粉末を開発することとした。

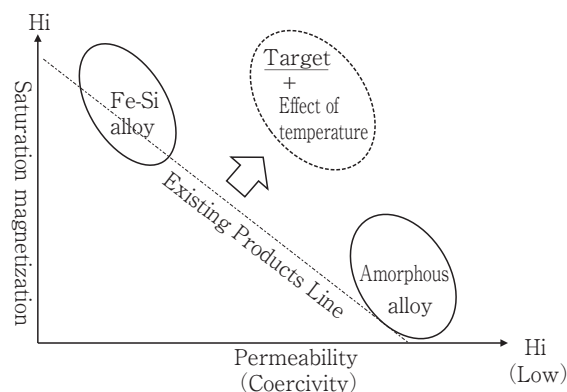


Fig. 1 Positioning image of product characteristics.

*開発本部 粉末事業グループ

3. 温度特性に優れた軟磁性粉末の開発

本報にて報告する軟磁性合金粉末はFig. 2で示される高圧水アトマイズ法にて作製、実験を行った。比較対象となる軟磁性合金粉末も含め、粒径は $D50=10\mu\text{m}$ 近辺になる条件にて作製、また440mesh篩処理したサンプル粉末を評価実施した。

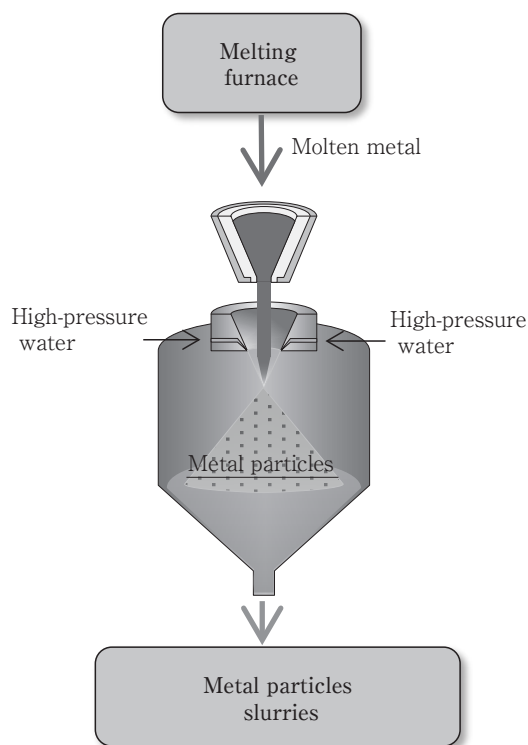


Fig. 2 High-pressure Water atomize process.

3. 1 組成検討手段

本開発は僅かな合金組成の違いにより特異な磁気性質を示すことが知られているFe-Si-Al系合金を検討対象とした。

Fe-Si-Al系合金はFe-9.6Si-5.4Al (wt%) の組成でセンダストと呼ばれる1932年に東北大学金属材料研究所の増本、山本らが発明した材料組成が優れた磁気特性を持つ材料として知られ高周波用途の磁心や磁気ヘッド材料として実用化されている¹⁾⁻³⁾。一方でFig. 3⁴⁾に示される様に最大透磁率 μ_m が極大を示す組成がセンダストの他に5wt%Si、3wt%Al、残部Fe組成で存在する⁵⁾ (以後、第2ピークと呼ぶ)。

我々はこの第2ピーク周辺組成を再度調査し粉末合金化することで高磁気特性、また温度特性に優れた軟磁性合金粉末を見出した。

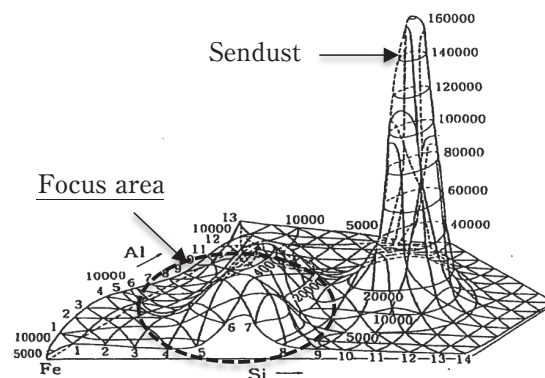


Fig. 3 Fe, Si, Al concentration dependence of maximum magnetic permeability in Fe-Si-Al ternary alloy⁴⁾.

3. 2 開発粉末の粉末特性

本開発で見出した高磁気特性を有する軟磁性合金粉末特性評価結果をTable 1、高圧水アトマイズ法にて得られたSEM像をFig. 4に示す。

本開発で決定したFe-3.8Si-3.0Al組成を持つアトマイズ合金粉末は比較材②(Fe-Si合金)と同等の高い飽和磁化を有し、比較材③(アモルファス合金)には及ばないまでも、比較材①(センダスト)と同等の低い保磁力を有する。また磁気部品として用いられる際に重要な因子となり、高密度充填成型し易さの指標となる粉末硬度についても比較材と比べ柔らかい材料であることがわかった。これらのことより本開発材は比較材では成しえない、相反する磁気特性因子を高いレベルで両立する軟磁性合金粉末であることが理解できる。

Table 1 Powder magnetic properties of developed products.

	Composition	Particle size (μm)			Magnetic properties ※		Vickers hardness (HV)
		D10	D50	D90	Ms (emu/g)	Hc (Oe)	
Development Materials	Fe-3.8Si-3.0Al	4.1	10.9	30.8	185	3.6	300
Compare Materials ① (SENDUST)	Fe-9.6Si-5.4Al	4.0	10.6	30.2	110	3.4	520
Compare Materials ② (Fe-Si Alloy)	Fe-3.5Si-4.5Cr	4.2	10.8	31.3	182	13.2	350
Compare Materials ③ (Amorphous Alloy)	Fe-Si-B-P-C	3.9	10.1	30.1	128	1.2	920

※弊社保有VSMによる測定

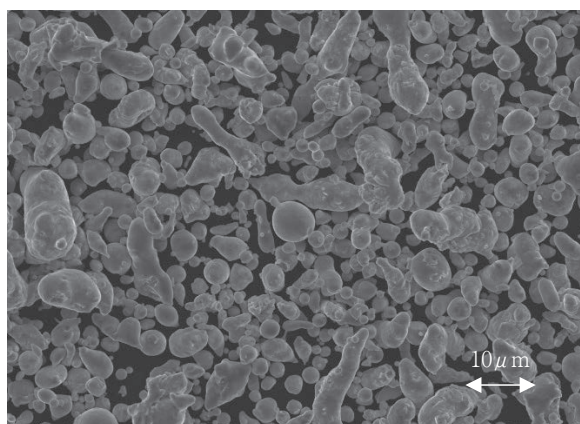


Fig. 4 SEM Image of developed materials Fe-3.8Si-3.0Al powder.

3.3 開発粉末の高温域でのトロイダルコア特性

次に得られた開発品Fe-3.8Si-3.0Alアトマイズ合金粉末及び比較材①～③合金粉末をシリコン樹脂 3mass%と混合し、各混合粉末を一軸プレス機にて、300MPa、490MPa、また 685MPaの条件で加圧成型を行い外径 15mm、内径 9mmのトロイダルコアを得た (Fig. 5)。得られたトロイダルコアは大気雰囲気 150℃ -30minの条件にて硬化処理、また粉末内部歪除去の目的でN₂ 雰囲気 550℃ -60minの熱処理を行った。これらトロイダルコアに所定の巻線を施し、B-Hアナライザおよび恒温槽スキャナシステム (岩通製SY-8258、SY-320A) にてFig. 6～9に示されるトロイダルコア特性評価を行った。Fig. 6、Fig. 7に 20℃での透磁率及びコアロス測定結果を示す。またFig. 8、Fig. 9に 20℃から 180℃での透磁率及びコアロスの温度依存性測定結果を示す。

開発品Fe-3.8Si-3.0Alアトマイズ合金粉末で作製されたトロイダルコアは粉末硬度の低さにより高密度充填化を達成、また保有する高磁気特性が最大限に発揮され各比較材に対しても優位性のある高透磁率、低コアロスが得られた。また、各磁気特性の温度依存性に関しても透磁率は 20℃から 180℃の温度域にてほぼ変化せず高温域でも安定した品質が確保できることが理解できる。コアロスに関しては比較材① (センダスト) が課題として報告されている通り、温度上昇に従いコアロスも単調増加する結果³⁾、比較材② (Fe-Si合金)、

比較材③ (アモルファス合金) はほぼ変化なしという結果が得られた一方で開発品Fe-3.8Si-3.0Alコアは温度上昇に伴いコアロスが低下する特異な結果が得られた。

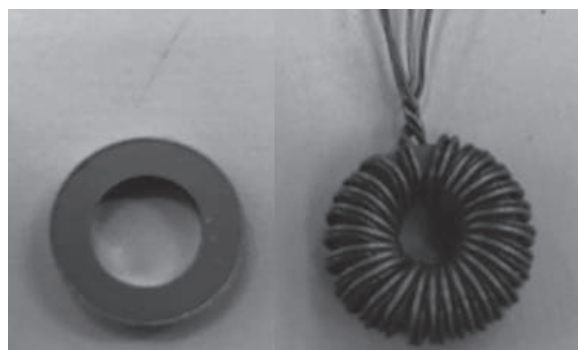


Fig. 5 Appearance of toroidal core specimens.

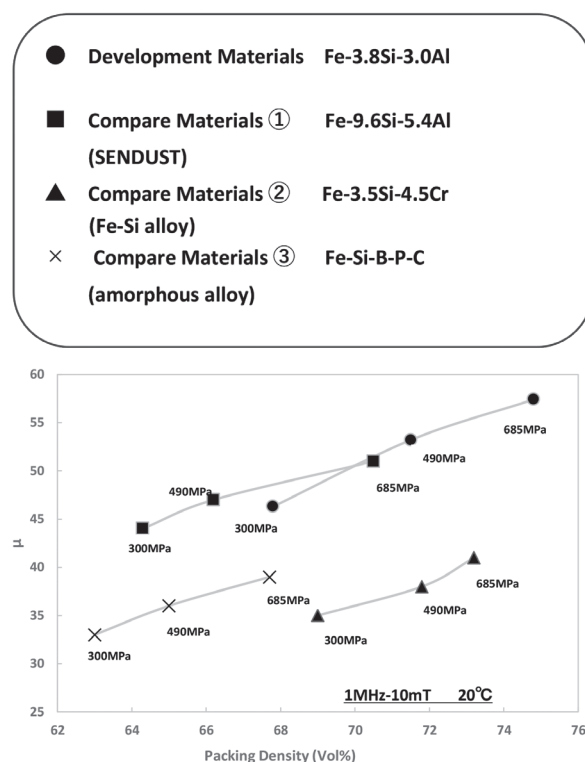


Fig. 6 Permeability of various powder compressed cores.

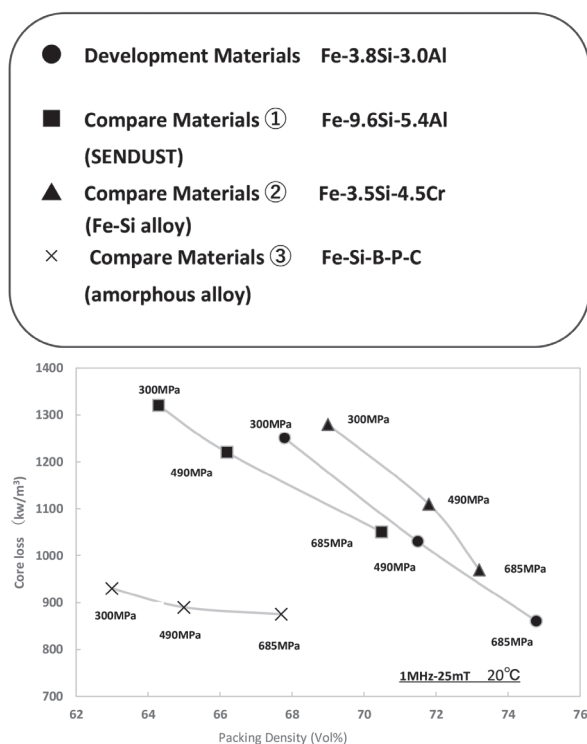


Fig. 7 Core loss of various powder compressed cores.

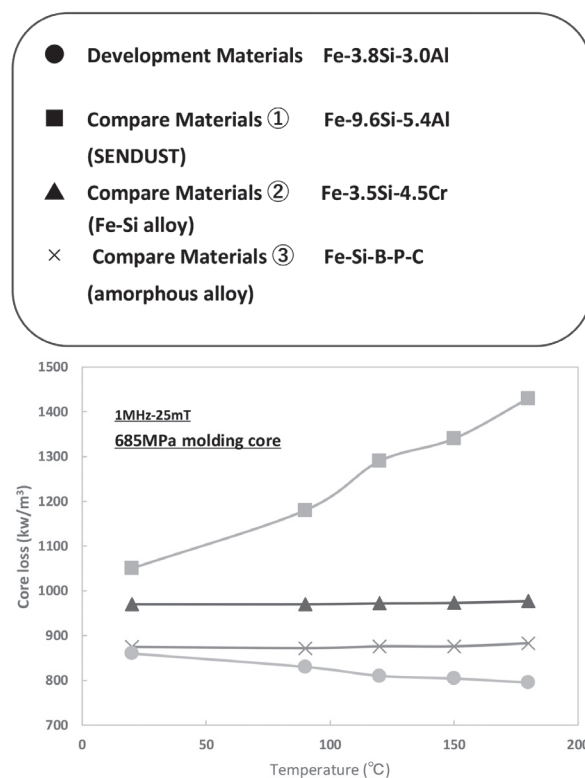


Fig. 9 Effect of temperature on core loss of various powder compressed cores.

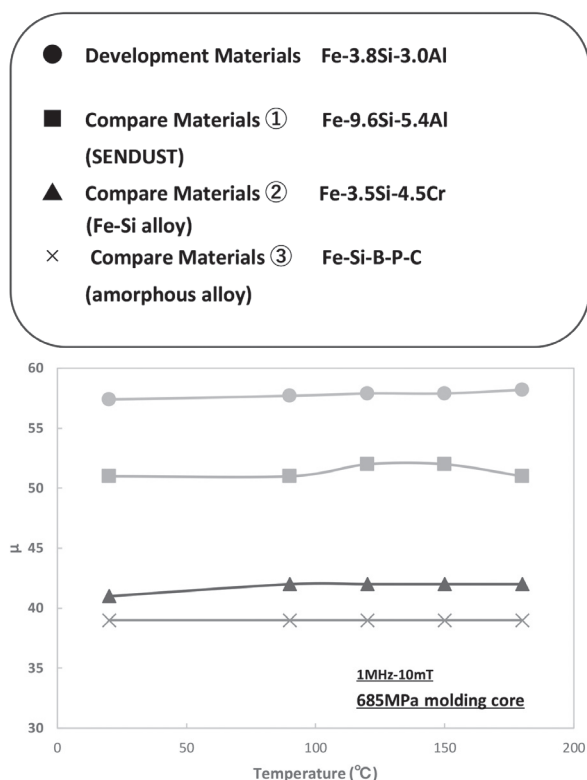


Fig. 8 Effect of temperature on permeability of various powder compressed cores.

4. 結言

一般にセンダストという名称で知られている Fe-Si-Al 3 元系合金の第 2 ピーク周辺組成を調査することで圧粉成型時に優れた磁気特性を持ち、また温度上昇に伴いコアロスが低下する特異な合金粉末を見出した。今後これら現象の理論化を進めると共に粒径、粒子形状の最適化及び粒子表面の絶縁処理条件を詰めることで更なる高磁気特性化を進めていく。

5. おわりに

本開発にあたり東北大学 工学研究科 電子工学専攻 超微細電子工学講座の齊藤伸教授、飛世正博特任教授には Fe-Si-Al 系合金の物性情報、評価技術について多大なるご支援・ご協力頂きましたことこの場をお借りしお礼申し上げます。

最後に本開発が車載用途等の高信頼性が必要な電子部品や磁気デバイスに数多く適応され、エレクトロニクス産業の発展に少しでも寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) 高橋研：Fe-Si-Al系合金単結晶の磁氣的性質
(1986) 固体物理 Vol.21 No.5
- 2) M.Takahashi, H.Arai, T.tanaka, T.Wakiyama：
(1986) IEEE TRANSACTIONS ON
MAGNETICS, Vol.MAG-22 No.5
- 3) 相川芳和 加藤信行：Fe-Si-Al系圧粉磁心の
損失に及ぼす組成の影響 (2000) Sanyo
Technical Report Vol.7 No.1
- 4) 増本、山本 (1937) 日本金属学会誌 1 127
- 5) 高橋研、富谷忠史、新井英雄、脇山徳雄：Fe- (5
～ 6wt%) Si- 1- (3 ～ 4wt%) Al系合金単結
晶の磁気異方性 (1986) 日本応用磁気学会
Vol.1 10 No.2