

粉末冶金法を用いたリアクトルおよびモータ向け圧粉磁心

Reactor Cores and 3D-shaped Motor Cores Manufactured by Powder Metallurgy

石原 千生 *Chio Ishihara* 小川 哲矢 *Tetsuya Ogawa*

モビリティ事業本部 モビリティ開発センタ 粉末冶金開発設計部

中山 紀行 *Noriyuki Nakayama*

イノベーション推進本部 先端技術研究開発センタ 高度解析研究部

1 概要

これまで、粉末冶金は自動車の構造部品への適用を中心に発展してきた。当社は粉末冶金の新たな適用分野を拡大すべく、磁性材の開発および工業化に力を入れてきた。近年、自動車の電装化に伴い、磁性材の適用事例が増加する傾向にある。当社では独自の潤滑剤の適用によりコアロスを抑制した純鉄系リアクトルコアや、粉末冶金の特徴を生かした3Dネットシェイプのモータコアを開発してきた。本報ではこれら粉末冶金法を用いたリアクトルおよびモータ向け圧粉磁心について紹介する。

Powder Metallurgy has mainly been applied to structural parts in automobiles. We have developed and mass-produced magnetic parts manufactured by powder metallurgy. Recently, utilization of magnetic parts have been increasing due to the electrification of automobiles. In this report, we introduce reactor cores, which have low core-loss realized by our original lubricant, and 3D-shaped motor cores manufactured by powder metallurgy, which can downsize the volume of motors.

2 特徴

- ・化成独自潤滑剤の適用によりコアロスを抑制した純鉄系リアクトルコア。
- ・粉末冶金の特徴を生かした3Dネットシェイプモータコア。

3 開発の経緯

これまでに粉末冶金法を用いた多くの磁気部品が工業化されている。近年では、家電機器や一般産業用だけでなく、車載用部品としても粉末冶金法で製造された軟質磁性材料・部品の検討および適用が拡大している。図1は焼結磁心および圧粉磁心の適用周波数と工程の概略を示す。直流領域では各種電装部品として焼結磁心がヨーク、プランジャとして適用されてきた。一方交流領域ではモータ、リアクトルといった高周波領域で使用される圧粉磁心の適用事例が近年増加傾向にある。この背景としては粉末冶金法による軟質磁性材料の磁気特性が大幅に向上したことが挙げられる。一般に圧粉磁心の製造では絶縁処理した鉄粉を金型に充填・圧縮成形し、熱処理を施す。従来は成形圧力が低く、密度の低い圧粉磁心しか得られなかったため、溶製材と比較し磁気特性が低下する傾向を示してきた。しかしながら近年、高圧縮成形技術等の製法の進歩や、粉末の高純度化、微粉化技術等の進歩により、高密度の軟磁性部品が製造できるようになり、溶製鋼と同等の磁気特性を得られるようになってきた。また、基粉表面の絶縁処理技術も進化し、交流磁場中で使用されるモータコアやリアクトルコア等への適用が可能となってきた。

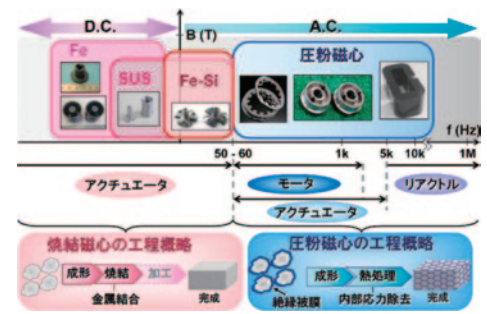


図1 焼結磁心および圧粉磁心の適用周波数と工程の概略
Figure 1 Schematic of the operation frequency and processes for sintered cores and soft magnetic composites

4 技術内容

独自潤滑剤を用いた純鉄系リアクトルコア

純鉄系圧粉磁心材は高密度化しやすい反面、金属粉自体が柔軟であり、金型摺動面の塑性流動が発生しやすく、絶縁被膜が破壊されてしまう。その結果、表層の渦電流が著しく増加するため、純鉄系本来の特性を発揮できない。リアクトルなど高周波領域で駆動する磁気部品にとって、渦電流増加は致命的であり、この課題が純鉄系圧粉磁心のリアクトル市場への参入、拡大への障壁であった。そこで、当社では表層の塑性流動を抑え、かつ摺動部の絶縁性を向上できる絶縁付潤滑剤の開発に着手し、ネットシェイプでの製品化をめざした。

図2は開発潤滑剤のコンセプトを示す。一つ目の狙いは成形抜き時の圧粉磁心コア表層部の塑性流動抑制である。大きな抜き力でも強固な潤滑層として存在すること、また抜き時、潤滑剤が気孔部へ積極的に充填・残留し塑性流動を抑制できる固体潤滑剤を適用することで、塑性流動を防ぐことができると考えた。

また、絶縁性を維持・向上することを二つ目の狙いとし、添加剤として絶縁性酸化粒子を潤滑剤中に分散させた。本微粒子は成形時に鉄粉の被膜表面に選択的に結着し被膜を保護する役割をする。このように、潤滑剤自体による塑性流動防止と被膜の絶縁性維持向上の両機能を有する、新規圧粉磁心用絶縁付潤滑剤を開発した。

この化成独自潤滑剤を用いた太陽光発電向けインバータ用リアクトルも開発した。図3は本製品の外観写真を示す。純鉄系の特徴である高インダクタンスを生かし、成形時に金型潤滑および絶縁方法を工夫して低鉄損を維持したリアクトル用圧粉磁心である。将来的にはxEVを想定した車載用リアクトルの開発も推進している。図4は車載用リアクトルコアの外観写真を示す。現在車載用リアクトルは珪素鋼板のカットコアやFe-Si系合金粉末を用いたダスト系のリアクトルコアが搭載されている。今後、高インダクタンス化、小型化が求められていく中、リアクトルコアとして純鉄系圧粉磁心の採用が期待されている。

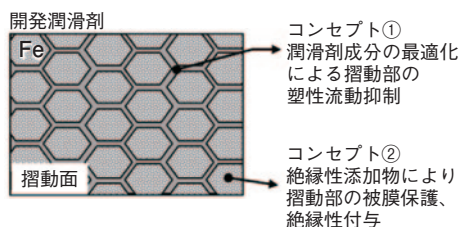


図2 開発潤滑剤のコンセプト
Figure 2 Concept of the developed lubricant

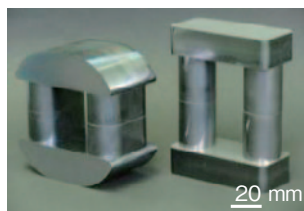


図3 太陽光発電向けインバータ用リアクトル
Figure 3 Inverter reactor cores for a photovoltaic generation system

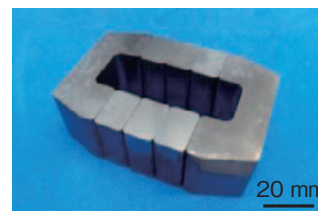


図4 車載用リアクトルコアの外観写真
Figure 4 A reactor core for automobiles

3Dネットシェイプモータコア

現在、モータ分野に利用されている軟磁性材料は電磁鋼板の積層体が一般的である。しかし、積層体は二次元的な形状となり、コイルエンド等を含めるとモータとしての小型化が難しい。一方で、圧粉磁心は三次元形状のネットシェイプが可能であり、三次元の磁気回路形成によりモータコアの小型化が可能である。

当社は、モータコアとして優れた特性を示す高磁束密度、かつ低鉄損な圧粉磁心EU-67材を開発してきた。表1にEU-67材の磁気特性を示す。磁場解析と実機評価を総合的に比較し、特に三次元の磁気回路を有する圧粉磁心の特徴を生かした爪形磁極タイプモータは珪素鋼板を用いた三相スロットタイプモータと比較し同一体格で出力向上が可能であることが分かった。図5は爪型磁極タイプモータコアの外観を示す。爪型磁極タイプモータコアのような複雑形状の成形の際、加圧方向面に小さい断面積を有する部分が複数箇所存在するため、必要な加圧力をかけると金型が破損する等の問題が生じる恐れがある。そこで、CAE解析により金型形状を最適化することで応力集中箇所の負担を低減し金型の破損を抑制した。この検討により圧粉磁心の密度を7.5 Mg/m³としても金型破損を起こさず成形可能とした。図6はCAE解析結果を示す。

アキシアルギャップモータも、珪素鋼板を用いたモータと比較し同一体格での出力向上が可能であり、圧粉磁心コアを適用するには好適な形状を有するモータ構造である。図7は圧粉磁心のステータおよびアキシアルギャップモータの構造を示す。外観から分かるように、ラジアルギャップモータはコイルエンドが両側に凸部として外側に出るのに対し、アキシアルギャップモータは圧粉磁心のステータの足部端面に対向して永久磁石のローターが配置されており、コイルエンドが外側に出ないため、モータのサイズをコンパクトにすることができる。

このように、圧粉磁心を用いたモータは従来の珪素鋼板を用いたモータと比較して、出力を同等とした際にモータの体積を大幅に低減できる効果がある。これら小型・薄肉化のメリットを生かし、今後xEVの主機および補器用のモータへの採用が期待されている。

表1 EU-67材の磁気特性

Table 1 Magnetic properties of EU-67

項目	特性
密度	7.5 Mg/m ³
磁束密度: B _{10000A/m}	1.73 T
鉄損: W _{1T/400Hz}	33 W/kg
比抵抗	5000 μΩ·cm



図5 爪型磁極タイプモータコアの外観
Figure 5 Claw-pole motor cores

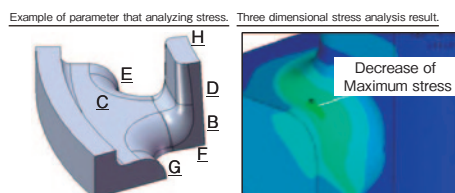


図6 金型のCAE解析
Figure 6 CAE analysis of a die



図7 圧粉磁心のステータ(左)およびアキシアルギャップモータの構造(右)
Figure 7 A soft magnetic composite stator core (left) and structure of an axial gap motor (right)

5 今後の展開

・車載用純鉄系リアクトルコアの開発

・車載用主機および補器狭小モータの開発