

最近の粉末冶金技術とその応用製品

Recent Technology of Powder Metallurgy and Applications

筒井 唯之 *Tadayuki Tsutsui*
日立粉末冶金株式会社 技術本部

粉末冶金は1950年以降のさまざまな産業の発展とともに大きく成長した。特に、豊富で安価な石油資源に支えられ米国で生まれた自動車産業が、その発展の大きな牽引となり、今では生産量の90%以上が輸送用機械部品として適用されている。しかし、石油時代の行き詰まり、百年に一度と言われる経済危機により、自動車が一気に脱石油の流れに転じている中で、環境対応自動車としての省燃費化技術開発が加速している。それを実現させるための軽量、ダウンサイジング、代替燃料などに対応させるべくシステムの構成部品である粉末冶金製品には、さらなる高性能化、高機能化が求められている。また、主力であった内燃機関周辺部品からHEV、EVへの移行機運の高まりにともない、対象製品にも磁性材などの新製品投入が必要である。そしてさらに、新たな成長分野としての情報家電、環境エネルギー、ライフサイエンス分野に着目した次世代機能性粉末冶金製品の発掘への傾注も急務である。本報では、まず粉末冶金技術の特長と動向について簡単に触れ、当社における最近の粉末冶金技術とその応用製品について概説する。

Powder metallurgy has grown with the expansion of various industries since 1950. The expansion of the automotive industry especially, which came from the U.S., has been a big influence. Nowadays, over 90% of powder metallurgy products are used in the transportation market.

Recently, the automotive industry is in the trend of the post-oil due to increasing environmental concerns, and technologies for reducing fuel consumption have been rapidly developed, such as lightweight technology and engine downsizing for environmentally friendly vehicles. To achieve this reduction, powder metallurgy products, which are components of the latest systems, are also required to have higher performance. Moreover, the development of new field products such as magnetic materials is expected to meet the new trends of the automotive industry, electric and hybrid vehicles. Furthermore, the adoption of next generation applications in powder metallurgy is strongly required in growth markets such as information home appliances, sustainable energy, and life sciences.

In this report, the features and trends of powder metallurgy are first described, and the latest technologies and newest application examples in our company are introduced.

1 緒言

1.1 粉末冶金の工程と特長

粉末冶金 (Powder Metallurgy または P/M と表現されることもある。) は、原料となる金属粉末粒子同士を焼結という現象にて結合させて素材や部品をつくる材料加工法であり、図1に示される基本工程にて製造される。

P/Mの特長は、以下の5項目があげられる。1) タングステン、モリブデン、タンタルなどの高融点金属や合金をつくることができる。2) 超硬合金、サーメット、摩擦材料に代表される金属/非金属の複合材料をつくることができる。3) 高熱伝導材料 (W-Cu, Mo-Cu)、高比重合金、電気接点材料 (Ag-Cu, Cr-Cu) などの互いに溶け合わない金属同士の複合材料をつくることができる。4) 含油軸受、フィルタなどの多孔質材料をつくることができる。5) 原料粉末を金型でプレス成形するため、工程が単純で経済性に優れる。

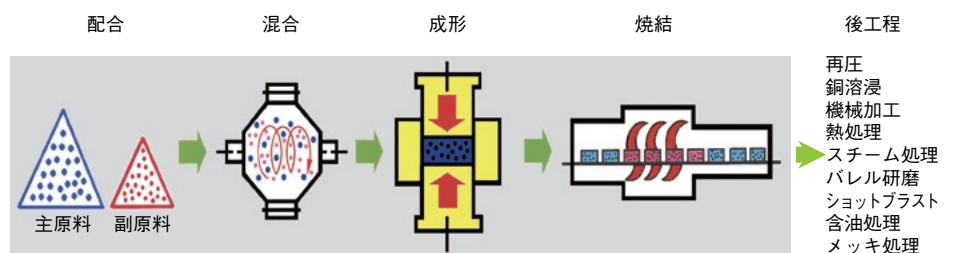


図1 粉末冶金製品の基本製造工程

Fig.1 Fundamental process of powder metallurgy

図2に素形材産業全体における粉末冶金の位置づけを示す。粉末冶金の利用範囲は多様性を示し、高度素形材産業において重要な役割を担っている。それは、成形・焼結することによって直接最終製品(ネットシェイプ)またはそれに近い形状(ニアネットシェイプ)が得られ、さらには合金の組成、材料の組織において大きな自由度を持っているため、一般の溶製鋼(鋼材)では発現し得ない特性が得られるとともに、無駄の少ない経済的な製法であるという独自の長所を活用できるためである。

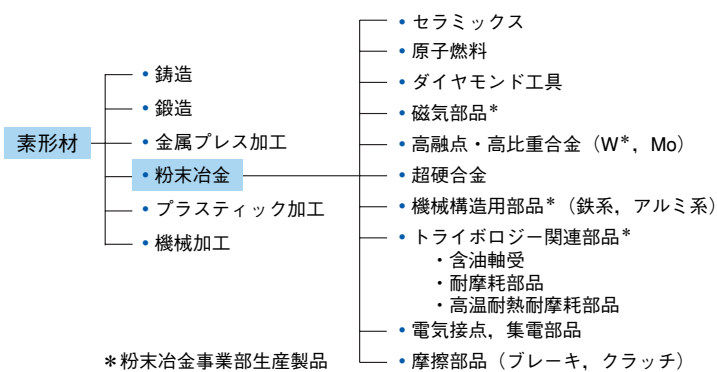


図2 素形材産業における粉末冶金の位置づけ
Fig.2 Position of powder metallurgy in material process technologies

1.2 粉末冶金技術の動向

素形材産業全体においては、粉末冶金が利用される製品は多岐にわたるが、その中で現在、当社が生産する主な粉末冶金製品は、機械構造用部品、トライボロジー関連部品(含油軸受、耐摩耗部品、高温耐熱耐摩耗部品)、磁気部品(軟質磁性材料)である。また、次世代の製品として高機能性部品開発にも取り組んでいる。

1.2.1 機械構造用部品

粉末冶金製品の大部分を占める分野であり、材料としては鉄系合金が主体である。これまで特性向上を目指し、家電品、OA機器、二輪車、農業用機械、自動車部品へとその時代の主力を移しながらも成長し需要を伸ばした。ここ10年の需要の伸張は輸送機械用であり、プーリー、スプロケット、燃費効率向上のための可変動弁機構のエンジン制御系部品を主な製品として1.5倍の成長率を示した。この傾向はHEV、EVへの移行が始まった現在においても暫くは変わらないと予測するものの、より省燃費やクリーン化の加速に対応するため、粉末冶金の製品開発は、高強度材料の適用による部品の薄肉・軽量化、焼結や熱処理による寸法精度劣化の抑制、シンターハードによる熱処理工程の廃止、高強度化元素の中でも安価なCrの積極的採用によるコストパフォーマンス向上などに重点が置かれている。

1.2.2 トライボロジー関連部品

摩擦や潤滑に強く関連する部品であり、溶製鋼では成し得ない粉末冶金独自の合金組成や材料の組織を積極的に利用して成長してきた分野である。当社では、含油軸受と耐摩耗部品、高温耐熱耐摩耗部品を生産している。含油軸受は、家電機器、音響機器、事務用機器、自動車に適用され成長してきたが、最近では省エネ、環境対応として情報通信機器用や建設機械用として、高面圧や低摩擦係数化に対応する高度な技術開発がなされている。耐摩耗材としては、従来鋳物であったバルブガイド、バルブシートが安価で高性能な焼結部品にとって代わり、最近ではエンジンの高性能化、省燃費によるリーン化、代替燃料(FFV)による燃焼環境の変化に対応すべく材料開発が行われている。同様に耐熱耐摩耗材料であるターボチャージャー用材料にも燃焼排気ガス温度の上昇や小型化に対応する新材料の開発が行われている。

1.2.3 磁気部品

近年急速に進みつつある情報通信機器の高速化や高周波化、小型・高密度化、省電力化に対応するために、軟磁性材料に関しては、高透磁率化、低損失化を高周波領域で達成することが求められている。このことは、電子制御がますます高度化する現行自動車から次世代のHEVやEVにかけても同様に高性能な磁性材料のニーズが高まることを意味し、当社では構造用材料と磁性材料の複合焼結磁気部品や高周波領域での低損失の特長を持つ圧粉磁心(SMC)の開発が進んでいる。

1.2.4 次世代高機能性部品

当社が目指す次世代の高機能技術は、近年の情報家電、ライフサイエンス分野におけるマイクロ化である。機械加工や金属射出成形(MIM)では工業的生産が難しいマイクロ部品の成形技術の開発を行っている。もう一つは、環境エネルギー分野に直接貢献できる製品の開発である。環境の世紀を歩む企業として当社では、廃熱の回生エネルギーを取り出す熱電変換技術の開発、その応用製品である熱電変換モジュールの開発を進めている。

これら4分野における材料開発とその適用製品について、以下に述べる。

2.1 機械構造用部品¹⁾

構造用材料は、高強度化を実現する材料開発により焼結部品の適用範囲の拡大に貢献してきた。しかし、その反面、強度の向上は寸法精度の劣化や硬さの向上による加工性の低下などの課題を生じ、焼結材の長所であるニアネットシェイプ成形の特徴を十分に活かすことを困難とした。このような課題に対し、寸法精度に優れた材料を開発し実用化してきた。また、近年のコスト低減の要求や製造工程での省エネルギーを同時に可能とした熱処理工程を不要とするシンターハードニング材を開発し実用化してきた。ここでは、これらの材料および今後の展開について述べる。

2.1.1 高強度材料

高強度を得るための材料開発として、Fe-Cu-C系から始まり、焼入れ性の高い合金元素の添加や、これら合金元素の添加方法の最適化によりその機械的性質を向上させてきた¹⁾。特に1980年代に開発したNi, Cu, Moを純鉄粉に部分拡散させた粉末を主原料とする焼結高強度鋼ENKMA材(Fe-4Ni-1.5Cu-0.5Mo-C)は従来材では到達できなかった強度を達成することを可能とした。この材料は自動車ミッション等の高負荷部品に適用されるなど、焼結製品の適用拡大に大きく貢献した。ENKMA材を適用した製品を図3に示す。



図3 高強度焼結材料を適用した粉末冶金製品

Fig.3 Products made from high strength sintered material

2.1.2 部品の高精度化

焼結高強度材(ENKMA材)の開発により、焼結材の適用製品は大きく拡大したが、本材料は焼結時における収縮量が大きいため、寸法精度が劣り再圧縮や機械加工等の工程を追加する場合があった。

このような工程を廃止することによるコスト低減のために、高強度と高精度を両立させた材料のニーズが高まった。焼結材料の寸法精度への各要因の影響度を調査した結果、影響の大きな要因は成形体密度であった。製品一個内の密度を均一にするための新しい成形技術も開発されているが、密度ばらつきの影響を受けにくい材料の選択も有効な方法である。密度の変化に対し一定の寸法変化率とするために、合金添加方法と合金組成の検討を行いEHA-66材(Fe-0.5Ni-0.5Mo-0.55C)を開発した。本材料の成形体密度と焼結時の寸法変化率の関係を図4に示す。これより、EHA-66材は密度変化に対し傾き θ が小さく、一定の寸法変化率を示し、高い寸法精度と高強度が要求される製品へ実用化されている。

2.1.3 シンターハードニング材

鉄系焼結部品の製造工程において、焼結時の冷却速度で焼入れ組織とし、焼入れ工程を廃止したシンターハードニング材が実用に供されてきた。高強度焼結材の製造工程は、焼結を行うために高温に加熱し、強度向上を目的に焼入れ処理を施すため再び高温加熱する。省エネを含めこの二つの加熱工程を一つとすることにより、工程短縮を図ることができる。焼結の冷却

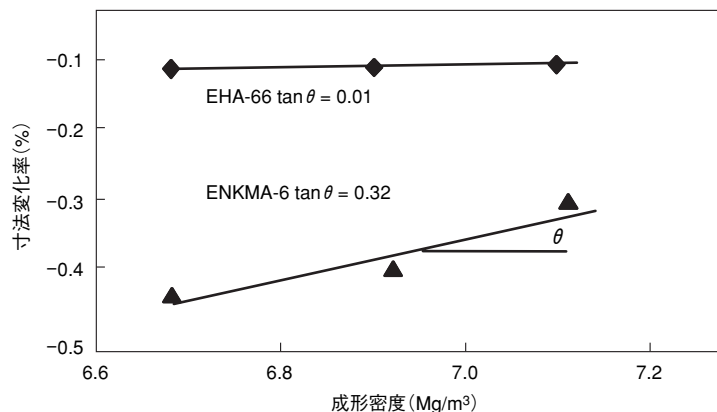


図4 開発材料における成形体密度と焼結後の寸法変化率の関係

Fig.4 Relationship between green density and dimensional change of developed material

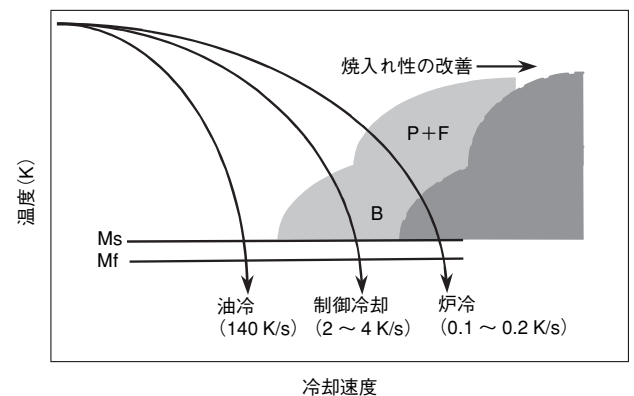
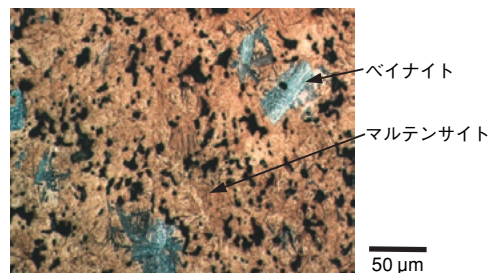


図5 シンターハードニング材におけるCCT曲線の概念図

Fig.5 CCT diagram of sinter-hardening material

過程での焼入れ性を評価し、焼入れ工程を省略できる材料組成の検討を行った。従来の焼結材では、焼結後の冷却過程で焼入れ組織であるマルテンサイト組織を得るためには、急冷装置を備えた炉で焼結を行う必要があった。経済性の面より通常の焼結炉が適用できれば、工程短縮による効果はより高まると考え、通常の焼結炉の冷却速度においてマルテンサイト組織が得られる材料を開発した²⁾。図5はその概念を示す。

焼入れ性を向上させる元素としてNi, Cu, Moを選択して、その添加量および合金添加方法を最適化することにより、通常の焼結炉の冷却速度でマルテンサイト組織を得られるEHS-86材(Fe-6Ni-1Cu-0.5Mo-0.55C)を開発した。図6は開発材の金属組織を示す。これより、EHS-86材は、通常の焼結炉の冷却速度において、マルテンサイト相が得られ、焼入れを行った材料と同等以上の高い強度が得られる。



EHS-86 : Fe-6Ni-0.5Mo-1Cu+0.6Gr

図6 シンターハードニング材の金属組織
Fig.6 Microstructure of sinter-hardening material

2.1.4 今後の展開

焼結材料の高強度化のために、焼入れ性改善を目的にNi, Moを添加してきたが、これらの元素は近年高騰しており、また、自動車をはじめ焼結部品の低価格化の要求は一層の高まりを見せている。そのため、より低価格な合金元素で高強度が得られる材料の開発が必要となってきた。Crは鉄鋼材料の焼入れ性を向上させ高強度化に有効な元素であり、価格は安定しているため、Crを有効に活用できれば、より安価な高強度材料を開発することができる。しかしながら、Crは易酸化元素であるため、原料粉末製造時における還元技術、焼結、熱処理時の雰囲気制御技術の開発が今後の課題であり、これらの技術開発を今後進めていく。

2.2 トライボロジー関連部品

トライボロジー用材料は、溶製材では得ることができない成分や金属組織により、粉末冶金の実用化が積極的に図られてきた分野である³⁾。トライボロジー用材料には、大きく分類して焼結材に存在する気孔の内部に含油することを特長とした軸受材料と耐熱耐摩耗材料がある。

2.2.1 軸受材料⁴⁾

焼結含油軸受は焼結材料の特長の一つである多孔質を利用し、この焼結体の気孔に潤滑油を含浸させて自己給油の状態で使用される軸受である。この特長を利用してあらゆる用途に使用されているが、欠点として、気孔を有するため油圧の逃げがあること、また油の供給量に限界があることなどにより、焼結含油軸受の適用範囲はまだまだ限られているのが現状である。図7は焼結含油軸受の適用例を圧力Pとすべり速度Vの関係で示したもので、この図から明らかなように、ほとんどの適用例がA領域に入っており、焼結含油軸受の適用範囲はまだ限られているのが現状であった。特に低速回転領域、高面圧領域、高速回転領域で使用できる軸受材および潤滑剤の開発、あるいは軸受形状、軸受構造の開発を行い焼結含油軸受の適用拡大を図った。また、従来のPV領域でも低摩擦係数、長寿命、温度特性の改善等の軸受性能を向上させ、新用途への適用を拡大した。ここでは、高面圧領域で使用される軸受について述べる。

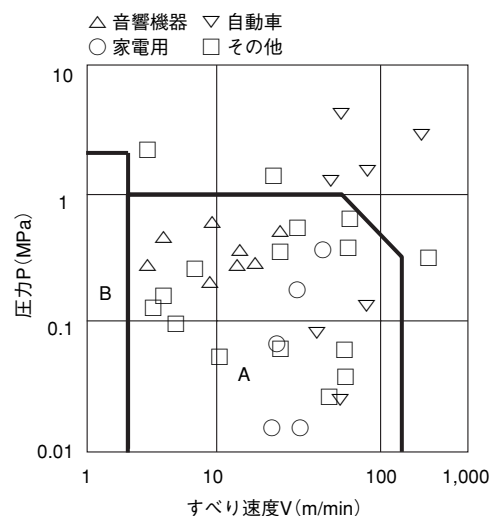


図7 焼結含油軸受の適用範囲
Fig.7 Applications of sintered bearings

【高面圧用軸受】

低速高面圧条件で使用される用途として、油圧ショベルに代表される建設機械用関節軸受があり、最大で80 MPaの高面圧に達する。このような高面圧条件では、機械的強度も含めFe系軸受が適している。図8は、各Fe系軸受材の限界面圧を示す。比較として、従来使用されていた溶製鋼軸受材の限界面圧を示す。従来の溶製鋼軸受はグリースを塗布して使用していたが、頻繁に給脂しなくてはならず、本試験でもグリースが切れると焼付きに達する。また、従来のFe系焼結材料では摩擦係数も高く、面圧50 MPaを超えると焼付きに至る。

これに対し、新たに開発したEK材は、面圧の増加とともに徐々に摩擦係数は高くなるが、面圧90 MPaでも焼付きに至らない。EK材の金属組織を図9に示す。EK材はマルテンサイト相の基底にCuが分散した組織を持つ軸受材で、高面圧に耐える強度および硬さを有し、かつ軟質なCuによるなじみ性も兼ね備えたバランスの良い材料である⁵⁾。現在、EK材は油圧ショベルの関節軸受として幅広く使用されており、焼結含油軸受の低速高面圧側の適用範囲を大幅に拡大した。

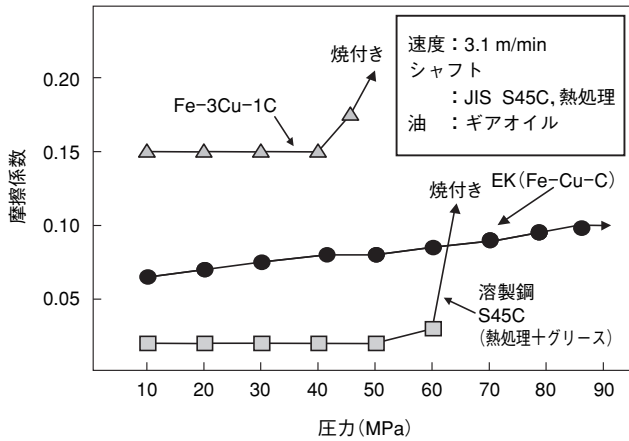


図8 鉄系軸受材料における限界面圧特性
Fig.8 Seizure pressure in ferrous materials

2.2.2 耐熱耐摩耗材料

耐熱耐摩耗焼結合金が広く使用されている代表例として、エンジンの動弁機構構成部品であるバルブガイド、バルブシートがあげられる。図10にバルブガイド、バルブシートの使用される部位を示す。1980年代よりエンジンの燃費向上や出力向上にともなう耐摩耗性向上要求、コスト低減要求に対し、これらを両立できる焼結材の採用が拡大してきた。バルブガイドは、バルブの小型化と小径化、ならびに燃費向上対策による排ガスの温度上昇が使用環境の苛酷化をもたらした。また、バルブシートは、ガソリンエンジンの無鉛ガソリンの導入をきっかけに鋳鉄などの従来材では耐摩耗性が不足し、焼結化が進んだ⁶⁾。また、近年ではターボチャージャ部品などの排気系補機部品にも、耐熱耐摩耗焼結材料が使用され始めている。ここでは、これらの材料について述べる。

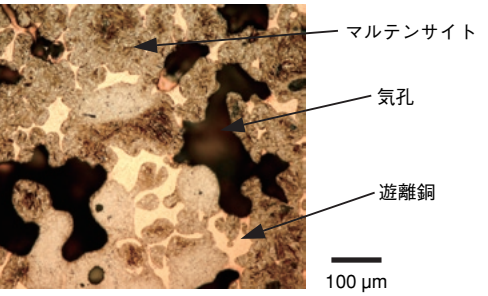


図9 高面圧軸受材の金属組織
Fig.9 Microstructure of sintered bearing for high contact pressure

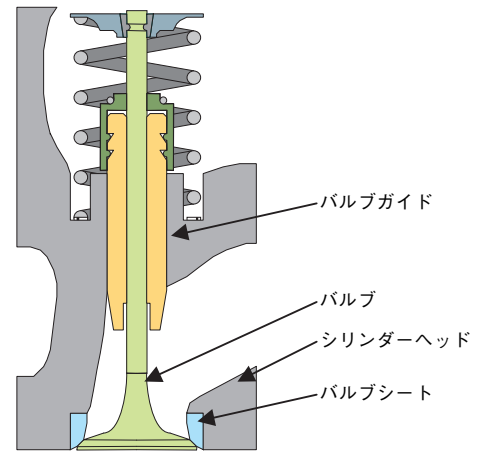


図10 ガソリンエンジンの動弁機構
Fig.10 Valve train system of a gasoline engine

【バルブガイド材料⁷⁾】

EB-4材を代表とする焼結バルブガイド材の合金設計は、遊離黒鉛による潤滑性、硬質相としてFe-P-C相(MHv1200)の析出、Cu-Sn相分散によるなじみ性によって、優れた耐摩耗性を有し広く使用されている。また、気孔の存在はオイルの保油性を高め、その潤滑効果により焼結バルブガイドが他製法より優れた耐摩耗性を示す大きな要因となっている。図11にEB-4材の金属組織を示す。

【EGR, ターボチャージャ用高Cr耐熱耐摩耗材料】

近年、エンジン環境対応技術の開発はますます重要度を増している。排気ガス再循環(EGR)は、NO_xの低減や燃費向上の目的で多くのエンジンに採用されている。また、ターボチャージャ(以下T/C)も排ガスの清浄化と出力アップの目的で、現在ほとんどのディーゼルエンジンに搭載されている。

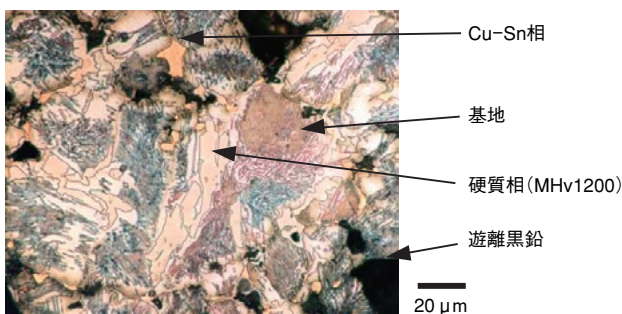


図11 焼結バルブガイド材の金属組織
Fig.11 Microstructure of sintered valve guide material

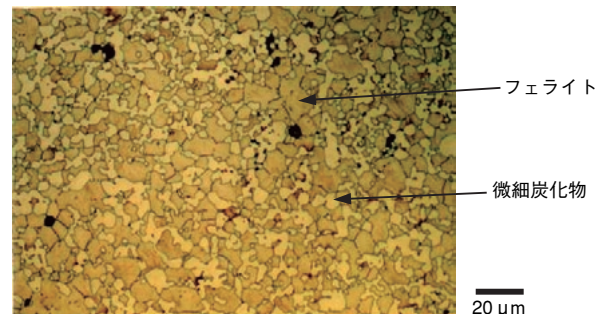


図12 高Cr耐熱耐摩耗焼結材料の金属組織
Fig.12 Microstructure of high-Cr-content sintered material with high heat and wear resistance

EGRやT/Cのような排気系部品においても、焼結材採用の動きが活発化しており、主にステンレス鋼や高Cr鋳鋼をベースとした耐熱耐摩耗焼結材料が使用されている。今後も排気系補機部品市場の拡大とともに、焼結材料に対するニーズは高まるものと予測される。高Cr焼結材は、より高温環境下での使用を想定して開発された材料であり、図12に高Cr焼結材料EW-50材の金属組織を示す。EW-50材は、約20%Crが含まれる基地に、面積比で30%のCr炭化物が微細かつ均一に分散した材料であり、高Cr鋳鋼に比べて炭化物が微細に析出しているため、基地のCr欠乏層の連続性が無く700℃以上の高温環境下でも優れた耐摩耗性と耐酸化性を示す。

2.2.3 今後の展開

トライボロジー用材料は粉末冶金工法でなければ得ることができない成分や金属組織が得られるため、今まで焼結化が困難な環境への適用を可能とした材料を開発することにより、さらに厳しくなる環境問題に貢献していく。

2.3 磁気部品^⑧

自動車の電動化にともない磁性材料のニーズは高まってきている。粉末冶金工法で生産される磁気部品は三次元の磁気回路を構成できることが最大の特徴であり、通常の粉末冶金工程で製造する焼結磁心材と、焼結しない圧粉磁心材に大別される。焼結磁心材は主に純鉄系材料の高圧縮成形による高密度化により、各種アクチュエータやモータコアに適用されている。一方、圧粉磁心は高比抵抗材料を適用した高周波磁場中での各種リアクトルや高密度成形技術を適用したディーゼルエンジンのコモンレールシステム用インジェクタに使用されている電磁弁用コアなどがある。

2.3.1 焼結磁心材

焼結体の直流磁気特性は、主に材料組成、焼結体密度、および結晶粒度により決まる。純鉄の焼結体は高い磁束密度を示し、この磁束密度は純度と密度に強く関係する。したがって、高純度の鉄粉を用いた高密度焼結体は、高磁束密度を得ることができる。この材料にPを添加すると結晶粒径は粗大化し、高い透磁率が得られる。さらに高い透磁率が得られるFe-Ni系焼結材料は、パーマロイ合金と呼ばれ、磁気シールド材などに利用されている。

焼結体の交流磁気特性は、材料組成や焼結体密度のほか、部品形状にも大きく関連し、交流磁場中で使用されると鉄損が発生する。鉄損は(1)式で示されるように材料特性のほか鉄心材の厚さとも関係する。

$$W = W_h + W_e = k_1 B^{16} f + k_2 B^2 t^2 f^2 / \rho \quad (1)$$

W_h: ヒステリシス損 W_e: うず電流損 k₁, k₂: 係数

B: 磁束密度 f: 周波数 t: 鉄心の厚さ

ρ: 鉄心材料の固有抵抗

式からも明らかのように、うず電流損は、鉄心の板厚の2乗に比例し増加する。したがって、焼結磁心で適用できる鉄心は一般的に薄肉形状の部品が多い。

図13は、HEV用モータのロータコアで、外周部に純鉄材の焼結磁心材が用いられている。内側部分はモータトルクを直接シャフトに伝達するため高強度が必要となり、Fe-Ni-Cu-C系材料で構成し、焼結拡散接合により一体化している。

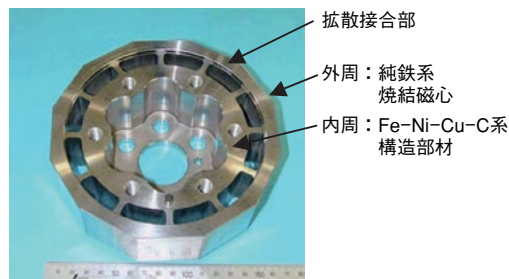


図13 HEV用モータの焼結拡散接合ロータコア
Fig.13 Rotor core for motor of HEV by sintered diffusion bonding

2.3.2 圧粉磁心材

圧粉磁心は100 μm程度の磁性粉末粒子をひとつひとつ絶縁し、磁性材の板厚を事実上0.1 mm程度にまで低下させることにより、交流磁場内での鉄損を低下させることが可能な材料である。図14は、圧粉磁心の構成要素の概念図を示す。100 μm程度の大きさの純鉄粉末表面を無機絶縁物で絶縁し、少量の有機樹脂バインダと混合後、圧縮成形および熱処理することにより製造される。このため、圧粉磁心は焼結磁心材のように焼結工程での緻密化が期待できない。そこで、成形工程で高密度にする必要がある。図15は、各種磁性材料の周波数帯と磁束密度の関係を示す。フェライトは高周波領域でも鉄損が小さいが、磁束密度が低いため鉄心が大型になる欠点がある。また、珪素鋼板の磁束密度は高いが、高周波領域では鉄損が大きくなり使用不可となる。圧粉磁心(SMC)はこれらの両磁性材料の適用を補うことが可能である。

図16に、圧粉磁心材を適用したディーゼルエンジンのコモンレールシステム用インジェクタに使用されている電磁弁用コアを示す。この製品は、ディーゼルエンジンの出力向上と排出ガス中の有害成分の発生抑制を可能とするシステムで、燃料噴射弁を高精度に開閉する電磁部品であり、高磁束密度と低鉄損が求められる。

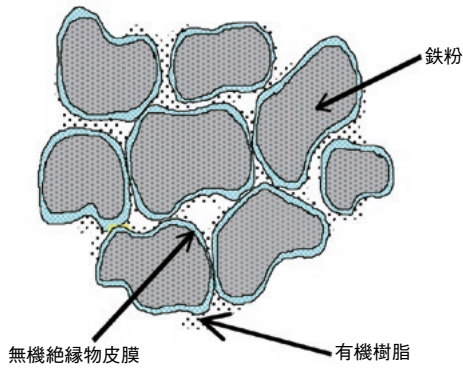


図14 軟質磁性材(圧粉磁心)の構造概念
Fig.14 Construction image of soft magnetic

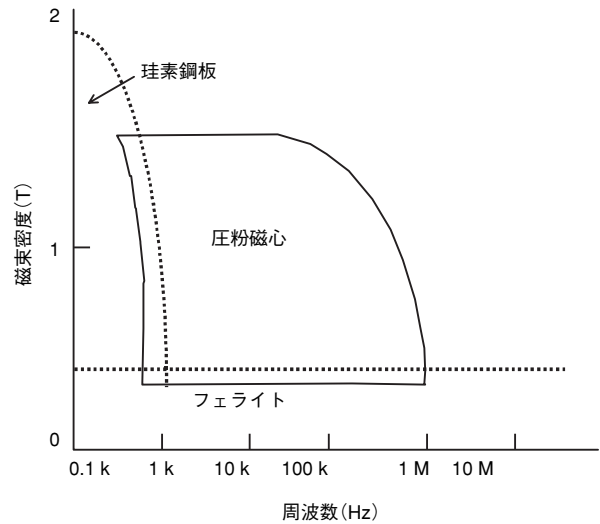


図15 各種磁性材料の周波数帯域と磁束密度の関係
Fig.15 Relationship between frequency and magnetic flux density of each magnetic material



図16 ディーゼルエンジン・インジェクタ用ステータコア
Fig.16 Fuel injector core of a diesel engine

2.3.3 今後の展開

今後さらに、磁気特性の向上を図るとともに、より成形し難い形状のコアのネットシェイプ成形法の開発を進めることにより、今後需要が期待される自動車の電動化に対応する新用途の開拓を図っていく。

2.4 次世代高機能性部品

2.4.1 情報家電、ライフサイエンス分野の新技术 — マイクロ部品の成形技術 —

近年、デジタル家電製品、先端医療機器、IT機器におけるデバイスの小型化と高機能化にともない、構成部品に対するマイクロ化の要求が増大している。しかし、原料粉を金型にフリー充填する従来の押型成形法では、粉体同士あるいは金型との間に発生する摩擦抵抗やファンデルワールス力、エアの影響により、小型・薄肉の要求に応えることができなかった。そこで、当社では、複雑形状部品の造形に優れる金属射出成形(MIM)の原料に着目し、加熱した押型内でバインダの可塑性を利用した流動成形による新しい粉末成形法を開発した。

図17にマイクロ部品の成形工程を示す。流体である原料の移動距離を極力短くし、圧力損失を最小化した成形方法である。これにより、従来の粉末冶金法における微小歯車の限界であったモジュール0.1⁹⁾を凌駕するモジュール0.025のマイクロ歯車や複雑形状の軸付二段マイクロ歯車の成形を可能とした。

図18に本成形法で製作したマイクロ歯車の外観を示す。

図19には今後の粉末冶金法における成形技術と材料技術のトレンドを示す。当社の開発した技術により、従来の成形、加工技術では不可能であった微小サイズ領域を生産性の高いレベルで達成可能と考える。また、微小金型加工技術やナノ結晶粉末との組み合わせにより、超高強度などの高性能発現なども期待できる。

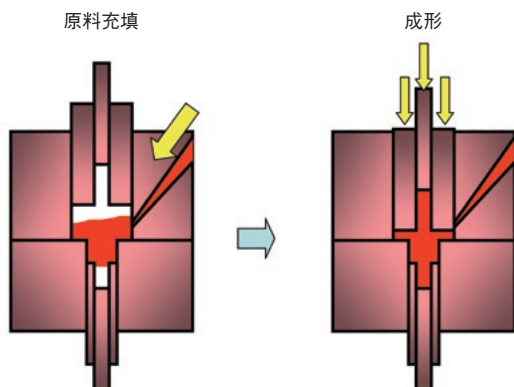


図17 マイクロ部品の成形工程
Fig.17 Developed compacting process for micro parts

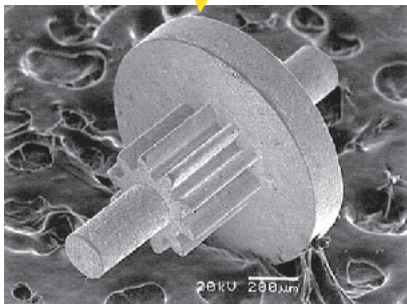


図18 マイクロ歯車の外観
Fig.18 Appearance of micro gears

大きさ	1 nm DNA	可視光	1 μm 毛細血管	細動脈	1 mm	1 m
応用分野	マイクロセンサ		医療機器	医療・精密機器	産業機械	自動車
マイクロ成形	LIGA・電子ビーム・イオンビーム ナノ粉末 ← 微細金属粉末 ← 粉末冶金用金属粉末			← 放電加工・研削・機械加工	← マイクロ成形技術	← 従来成形技術
ナノ組織	← ナノ・アモルファス		← 微細結晶	← 従来結晶サイズ	← ナノ粉末 ← 微細金属粉末 ← 粉末冶金用金属粉末	

図19 粉末冶金法における成形技術と材料技術のトレンド
Fig.19 Trends of compacting and material technologies in P/M

2.4.2 環境エネルギー分野の新技术 — 熱電変換モジュールの開発^{10),11)} —

熱を利用している製鉄，精錬，セラミックス，熱処理業界をはじめ当社のような粉末冶金製品の製造においては相当量の廃熱があり，回生エネルギーとして取り出す研究を加速している。当社でもそれに対応できる環境エネルギー分野の新製品と位置づけて，熱電変換技術の開発を行っている。

熱電変換とは熱電半導体を用いて熱エネルギー（温度差）を直接電気エネルギーに変換する技術（熱電発電またはゼーベック発電などとも呼ぶ）であり，500℃付近の高温領域での未利用エネルギーを有効活用する唯一の手段として期待されている技術である。しかし，高温下での使用に耐える熱電変換モジュールを構成するためには，各部材にかかる熱応力や部材間の拡散，雰囲気ガスによる腐食など解決すべき問題が多い。そこで，当社ではこれらの課題を克服した気密ケース入りのSi-Geモジュールを開発した（図20）。

本モジュールは熱電半導体にSi-Geを用い，高温側650℃（ ΔT ：630℃）において8.4 Wの発電性能を示し（図21），1,400回の熱サイクル性，900 hの連続使用耐久性を確認した。現在は高性能Mg₂Si素子を用いたモジュール開発を進めている。

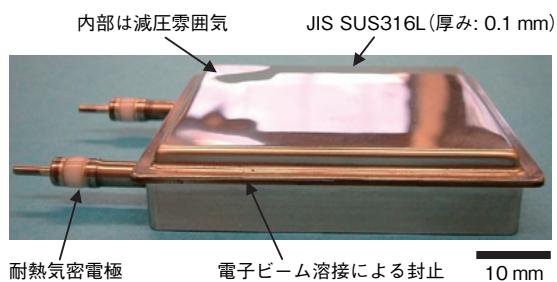


図20 気密性ケース入りSi-Ge熱電変換モジュール
Fig.20 Encapsulated Si-Ge thermoelectric module

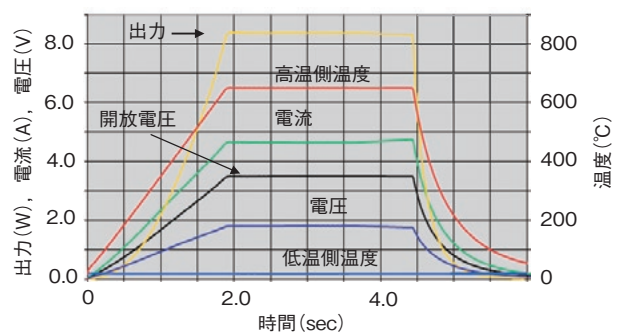


図21 気密性ケース入りSi-Ge熱電変換モジュールの発電性能
Fig.21 Generation performance of encapsulated Si-Ge thermoelectric module

3 結 言

当社の粉末冶金製品は，粉末冶金技術特有の材料特性と経済性の両立により，機械構造用部品，トライボロジー関連部品を中心に大きく成長してきた。今後は自動車の変革とグローバル対応に合わせた製品開発，非自動車の成長分野へも目を向けしていく必要がある。それには，原料や材料開発だけでなく，材料の特性を最大限に発揮できる品質の安定した安価な生産技

術開発も平行して実施していかなければならない。時として、安く作ることに特化した研究開発になりがちであるが、粉末冶金は粉体を原料にして溶製材にない特性を得られる独自製法であることを大いに活用し、お客様の潜在ニーズの発掘による高付加価値製品の開発に邁進したい。

市場は、「環境」抜きには語れない時代を迎えている。当社でも、持続可能な社会を目指して、新たに環境行動計画の推進が始まった。そこでは環境適合製品を全社で2011年度までに72%まで引き上げる目標を設定している。その中で粉末冶金製品は重要な役割を担い、現行自動車エンジンの高効率化に貢献できる機械構造用部品やトライボロジー関連部品、HEVやEVなどの次世代自動車の動力変革に対応する磁気部品、廃熱エネルギー回収技術に有効な熱電変換製品などの新技術開発により、世界に認められる「環境に調和するモノづくり」に大きく貢献したい。

【参考文献】

- 1) 筒井唯之：“構造材料の開発動向および今後の展望”，日立粉末冶金テクニカルレポート，No.7(2008)pp.2-6
- 2) Tadayuki Tsutsui, Kei Ishii, Sumihisa Kotani, Junichi Kamimura：“Development of High Strength PM Steel without Quenching Process”，Proceeding of the 1998 Powder Metallurgy World Congress, EPMA, 2(1998) pp.607-612
- 3) 三浦秀士監修：“粉末冶金の科学”，内田老鶴圃，(1996)pp.2-12
- 4) 四方英雄：“焼結含油軸受けの技術変遷”，日立粉末冶金テクニカルレポート，No.2(2003)pp.2-8
- 5) 柳瀬剛，宮坂元博：“高面圧かつ低速の条件下におけるFe-Cu-C系焼結材料の摺動特性”，日立粉末冶金テクニカルレポート，No.1(2002)pp.19-23
- 6) 遠藤弘之：“内燃機関連部品の生産技術開発に関する基礎的研究”，(2005)pp.68-120
- 7) 河田英昭，眞木邦雄：“耐熱・耐摩耗性焼結合金の最近の動向”，日立粉末冶金テクニカルレポート，No.6(2007)pp.2-8
- 8) 浅香一夫，石原千生：“軟質磁気部品・材料の技術動向”，日立粉末冶金テクニカルレポート，No.4(2005)pp.5-9
- 9) 日本粉末冶金工業会：“平成21年度日本粉末冶金工業会年報”，(2010)pp.25-26.
- 10) 石井啓：“粉末冶金の環境対応への取り組み”，日立粉末冶金テクニカルレポート，No.8(2009)p.7
- 11) 地主孝広，石島善三，神戸満：“高温用高性能気密ケース入り熱電変換モジュールの開発” 日立粉末冶金テクニカルレポート，No.8(2009)18, pp.21-22