

# 粉末冶金技術の動向と「JIP®」鉄粉製品

## “JIP®,” Iron Powder Products and Technical Trends of Powder Metallurgy

齋藤 滋之 SAITO Shigeyuki JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区) 鉄粉部鉄粉技術室 主任部員(課長)  
太田 純一 OHTA Jun-ichi JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区) 鉄粉部鉄粉技術室 主任部員(副部長)  
藤長 政志 FUJINAGA Masashi JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区) 鉄粉部鉄粉技術室長

### 要旨

JFE スチールは、1966年に国内初の還元鉄粉一貫製造設備を設置し、1978年にアトマイズ設備を稼働させて以来、国内唯一の総合鉄粉メーカーとして産業の発展に寄与している。近年の焼結機械部品の高強度化による小型軽量化の要請に対して、JFE スチールは合金成分の分布が複合構造を持ち高い疲労強度を実現する「ハイブリッド型合金鋼粉」、高密度成形を可能にする「JIP® クリーンミックス HDX」などの製品群を開発した。また、鉄粉の利用分野は焼結機械部品のみにとどまらず、化学反应用、発熱体用など多岐にわたり、JFE スチールはそれぞれに最適化した製品群を展開している。本報では、それらの利用分野の技術動向と対応する鉄粉製品について概説する。

### Abstract:

JFE Steel started production of iron powders in 1966, as the pioneer of the full-scale manufacturing facility of iron powder production in Japan, and has been contributing to the development of powder metallurgy industry as the only integrated iron powder manufacturer producing both reduced and atomized iron powders in Japan. In order to meet the recent demand for smaller and lighter sintered machine parts with higher strength, JFE Steel has developed “JIP® Hybrid Mo Steel Powder,” for higher fatigue strength of sintered parts realized by its composite structure obtained by the distribution of the alloy element, and “JIP® Cleanmix HDX,” premixed powder providing higher compact density. Moreover, the application field of iron powder covers wide range for not only sintered structural parts but also the application in chemical reaction and heat source, etc. JFE Steel develops iron powder products optimized for each technical field. This paper outlines JFE Steel’s iron powder products corresponding to technology trends of these applications.

## 1. はじめに

工業的に利用されている鉄粉には、酸化鉄を固相で還元して製造する還元鉄粉、熔融鉄を粉碎・凝固させて製造するアトマイズ鉄粉、鉄イオンを含む溶液を電気分解して製造する電解鉄粉、鉄カルボニルを熱分解するカルボニル鉄粉などがあるが、最も広範かつ多量に用いられているのは、還元鉄粉とアトマイズ鉄粉である。

JFE スチールは、1966年10月に東日本製鉄所千葉地区(当時は川崎製鉄千葉製鉄所)に国内初の還元鉄粉一貫製造設備を設置し、それまでは輸入に頼っていた鉄粉の国産化を果たした。その後、1978年4月にアトマイズ設備を稼働させ、現在に至るまで、還元鉄粉、アトマイズ鉄粉の二種類の鉄粉を製造する、国内唯一の総合鉄粉メーカーとして産業の発展に寄与している<sup>1)</sup>。

JFE スチールの鉄粉製品は、「JIP®」鉄粉(2004年3月までは「KIP®」)の商品名で用途に合わせた商品開発を積み重ね、粉末冶金を始めとする幅広い分野で利用されている。

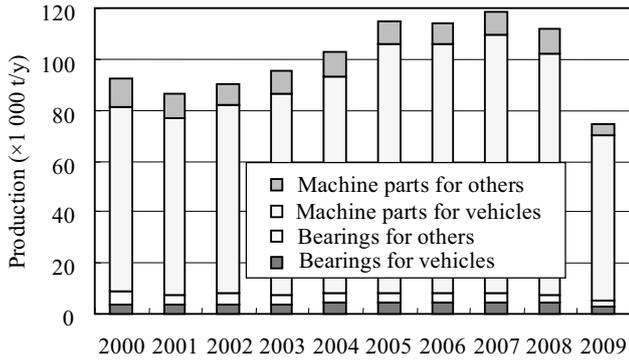
鉄粉小特集号の発行にあたり、粉末冶金用途を主体とするそれぞれの利用分野での技術動向と、「JIP®」鉄粉製品の概要について解説する。

## 2. 鉄粉の利用産業分野と JIP® 製品

### 2.1 焼結機械部品

#### 2.1.1 輸送機械分野における焼結部品の動向

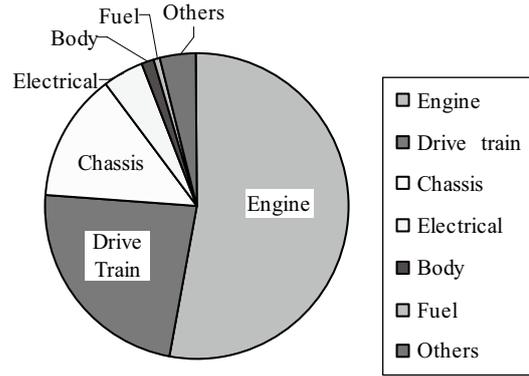
粉末冶金製品のうち、軸受合金・機械部品の需要部門別生産量の推移を図1に示す。2000年の輸送機械用比率は80%以下であったが、2006年までは増加傾向を示し、以降は同水準を継続している。これは、粉末冶金製品が、自動車産業に大きく依存していることを示している。2009年は金融ショックの影響を受け、低迷したが、2010年は回復基



(Source: Japan Powder Metallurgy Association)

図1 焼結機械部品生産量推移

Fig. 1 Powder metallurgy parts production



(Source: Japan Powder Metallurgy Association)

図3 自動車用焼結部品の構成

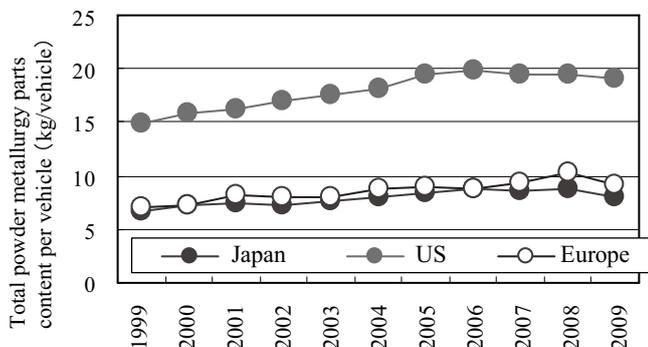
Fig. 3 Breakdown of machine parts for automobile

調にある。

一方、1台当たりの焼結部品の重量(原単位)は、焼結部品の高強度化による小型軽量化の影響で、大きな伸びはみられない。自動車1台当たりの焼結部品重量の推移を図2に示す。日米欧とも、顕著な変化はなく、焼結部品の拡大は鈍化している。特に、日本製自動車の原単位は米国製のおよそ半分で、今後の焼結部品の拡大が望まれる。米国製自動車の原単位が高い理由は、コネクティングロッド、ベアリングキャップなどの大型の焼結部品の採用が進んでいるため、日本では粉末冶金と競合する素形材加工分野である鍛造、鋳物との競争が激しく、焼結部品採用に至っていないからであると考えられる。欧州と日本はほぼ同等の重量を示すが、近年、欧州がやや日本を上回っている。

原単位増に寄与した新部品としては、可変バルブタイミング(VCT)部品が比較的新しいが、次世代の新機構への焼結部品採用が、原単位増のため待望される。

自動車部位別の生産量の構成比率を図3に示す。50%以上は、カムプロケット、バルブガイド、バルブシート、オイルポンプなどエンジン周辺の重要部品に使用されており、焼結部品はエンジンに欠かすことのできない存在に位置付



(Source: Japan Powder Metallurgy Association)

図2 自動車向け焼結部品原単位の地域比較

Fig. 2 Total powder metallurgy parts content per vehicle

けられている。

近年、エンジン形式が内燃機関からハイブリッドを含むモーター駆動に代わる動きが起こり、拡大していくことが予測されている。これにともない、焼結部品の構成も、駆動機構に合わせて変化することが予想され、構造用部品に代わって、モーター、電池・電源向け部品の開発、実用化が期待されている。

### 2.1.2 焼結機械部品向け「JIP®」製品概要

JFE スチールは焼結機械部品用原料として、純鉄粉、合金鋼粉とその偏析防止処理粉「JIP® クリーンミックス」の開発を継続的に進め、自動車の軽量化、環境対策などの一翼を担ってきた。合金鋼粉は、高強度、高靱性、耐摩耗性、耐酸化性などのニーズに応えるために、その合金組成に適合する量産製造技術を確認させて完成した製品である。「JIP® クリーンミックス」は、純鉄粉(還元粉、またはアトマイズ粉)、合金鋼粉を主原料に、お客様の配合に合わせて、副原料(銅粉、黒鉛粉など)、および潤滑剤を配合するとともに、黒鉛粉を鉄粉表面に固定することによって偏析防止処理を施した混合粉である。素材特性として優れているほかに、お客様の生産性向上、品質安定化、コストダウンにも寄与する高付加価値製品である。

最近では、合金市況の不安定要因もあり、低合金鋼粉のニーズが多いため、合金組成を最低限、製造プロセスコストを最小にした省資源型合金鋼粉の開発が行われている。一方で、合金鋼粉よりも安価な Fe-Cu-C 系材料を高密度成形することによって高強度化して使用する焼結部品開発が増えているため、潤滑剤の高機能化に取り組み、低抜出力で高密度成形が可能な高性能「JIP® クリーンミックス」HDX, LEX の開発を進めている。

### 2.1.3 構造材用合金鋼粉

鉄系焼結材料の主要用途である自動車部品の高性能化、および小型化に対応するために、JFE スチールは種々の高強度焼結材用合金鋼粉を開発してきた。

1984年には、水アトマイズと真空還元法の組み合わせに

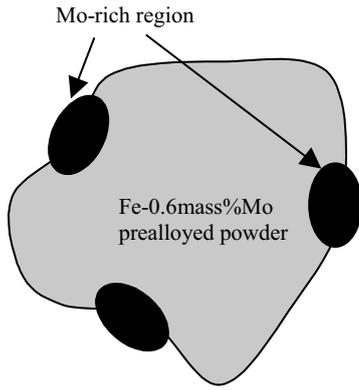


図4 ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉「JIP<sup>®</sup> AH6020」の粒子構造模式図

Fig. 4 Schematic illustration of particle structure of the molybdenum hybrid-alloyed steel powder 「JIP<sup>®</sup> AH6020」

よる、低酸素で高圧縮性の Cr 系プレアロイ鋼粉を発売している<sup>2)</sup>。

焼結後の熱処理工程を省略して高強度を得るシンターハードニングプロセスのために、通常の焼結炉の冷却速度で高強度が得られる、Mn, Mo, V 量を最適化した「JIP<sup>®</sup> 103V」(1% Cr-0.3% Mo-0.3% V 鋼粉)を開発し、1995年に商品化した<sup>3)</sup>。

さらに、シンターハードニングプロセスに適した合金鋼粉組成と合金化方法を検討し、2% Ni-1% Mo プレアロイ合金鋼粉に、微細な Ni 粉, Cu 粉, 黒鉛粉をバイндаで付着させたハイブリッド型合金鋼粉「JIP<sup>®</sup> 21SX」を、2004年に商品化した<sup>4)</sup>。

2007年には、メッシュベルト式焼結炉の焼結条件で高疲労強度を得るために、ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉「JIP<sup>®</sup> AH6020」を開発した<sup>5)</sup>。「JIP<sup>®</sup> AH6020」は、図4に示すように、0.6% Mo プレアロイ合金鋼粉に、0.2% Mo を拡散付着させることにより、粉末粒子表面に Mo 高濃度部を配したハイブリッド型合金鋼粉である。

従来、引張強度 600 ~ 1 000 MPa 級の鉄系焼結部品には、4% Ni 系拡散型合金鋼粉が広く用いられてきた<sup>6)</sup>。しかし、Ni 原料価格高騰などにより生じた Ni 使用量低減の要求に対応するために、Ni フリーの「JIP<sup>®</sup> FM シリーズ」を開発し、引張強度 600 MPa 級の「JIP<sup>®</sup> FM600」と引張強度 1 000 MPa 級の「JIP<sup>®</sup> FM1000」を、2009年に発売した。「JIP<sup>®</sup> FM シリーズ」は、0.45% Mo プレアロイ鋼粉に Cu 粉末を混合したプレミックス合金鋼粉であり、焼入れ性倍数の大きい Mo と、焼結温度以下で融解しネック部強化に有効な Cu の効果により、従来の Ni 系合金鋼粉と同等の引張強度を実現した<sup>7)</sup>。

#### 2.1.4 偏析防止処理粉「JIP<sup>®</sup> クリーンミックス」

鉄粉を含む混合粉中の副原料粉末の偏析や発塵の問題に対応するために、JFE スチールは前述の「JIP<sup>®</sup> クリーンミックス」を 1989年に発売した<sup>8)</sup>。1998年には世界に先駆けて

銅粉の偏析を防止した「クリーンミックス」粉を開発し<sup>9)</sup>、さらに焼結炉の汚染の原因とされる金属石鹼の使用量を低減したワックス系潤滑剤を使用し、流動性の良い偏析防止粉「JIP<sup>®</sup> クリーンミックス J-WAX」も商品化した<sup>10)</sup>。現在、これら「JIP<sup>®</sup> クリーンミックス」は、当社鉄粉の主力商品の一つであり、粉末冶金用鉄粉出荷量の半数を超えるに至っている。

#### 2.1.5 高密度成形用偏析防止処理粉

焼結体の密度が高いほど、引張強さや疲れ強さなどの機械的特性が向上する。このため、種々の高密度化手法が検討されてきた。

高密度化成形法の一つである温間成形法<sup>11)</sup>に対応するために、温間での使用に適した「JW ワックス」を開発し、温間成形用偏析防止鉄粉「JIP<sup>®</sup> クリーンミックス HW シリーズ」を、2001年に販売開始した<sup>12)</sup>。

さらに、温間成形法に帯電塗布型金型潤滑法<sup>13)</sup>を組み合わせた温間金型潤滑化成形法を開発し、本工法に適した「JIP<sup>®</sup> クリーンミックス DL」を開発した<sup>14)</sup>。

しかし、これら温間での成形法では、粉末や金型の加熱を必要とし、それら加熱装置の維持管理に課題が多かった。そこで、常温のまま高密度が得られる「JIP<sup>®</sup> クリーンミックス HDX」を、2009年に発売した<sup>15)</sup>。

一方で、成形時の高密度化は、圧粉体抜出力の増加をもたらし、圧粉体の破損や圧粉体側面の外観不良を生じやすくなる。JFE スチールは、抜出力を低減する「JIP<sup>®</sup> クリーンミックス LEX」を 2005年に商品化した<sup>16)</sup>。成形時に、特殊潤滑剤が成形体側面に濃化することにより、潤滑効果を高めている。図5に示すように、従来材に対して LEX の抜出力は 20%低減している。

#### 2.1.6 焼結冷間鍛造工法

一般の焼結部品の製造プロセスでは到達できない高密度化を追求するために、焼結冷間鍛造工法を提案した<sup>17)</sup>。JFE スチールの焼結冷間鍛造工法は、Mo 系低合金鋼粉を所定の条件で成形、仮焼結することで、冷間鍛造に耐える変形能

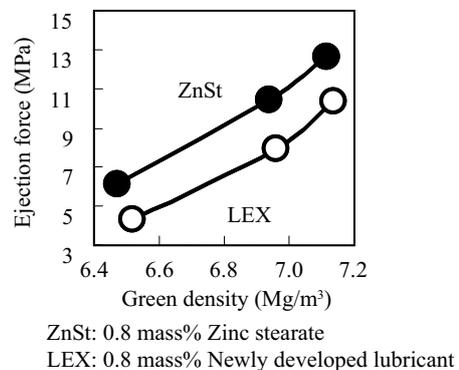


図5 圧粉密度と抜出力の関係

Fig. 5 Relationship between ejection force and green density Fe-2.0mass% Cu-0.8mass% graphite-lubricant

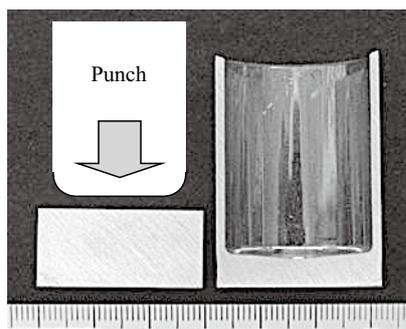


写真1 焼結材と後方押し出し後の冷間鍛造材

Photo 1 A sintered preform (left) and a backward extruded material (right)

を付与し、真密度の99%に相当する密度  $7.8 \text{ Mg/m}^3$  までの緻密化が可能である。

冷間鍛造後に熱処理することで、回転曲げ疲れ強さは600 MPaに到達し、表面硬度は溶製材肌焼鋼に匹敵する60HRCが得られる。写真1に示すように、亀裂の発生がなく、断面減少率85%の押出成形が可能である。

### 2.1.7 快削性「クリーンミックス粉」

焼結部品形状の複雑化あるいは寸法精度の向上に対応するために、焼結後に切削加工をする焼結部品がほとんどであり、被削性の改善が求められてきた。従来、鉄粉に添加することによって焼結体の切削性を改善する被削性改善材としては、含S系材料が使われてきたが、焼結炉内の汚染などの問題があった。

この問題に対応するために、当社は2009年に「JIP® クリーンミックス JFM シリーズ」を開発した<sup>18)</sup>。複合酸化物粉末の添加により、切屑の剪断変形を促進させるとともに、複合酸化物が工具保護膜を形成し、工具磨耗を抑制させている。

## 2.2 その他の利用分野

### 2.2.1 化学反应用鉄粉

鉄粉は、鉄スクラップと同様、化学反应用途で鉄源として使用されている。鉄スクラップに比べて、粒径が細かく、形状が均一であることで反応性に優れ、さらに設備の自動化が可能であるなどの利点がある。このような利点を生かし、各種の鉄系化合物の鉄源として鉄粉は使用されるほか、エッチング廃液からの貴金属回収にも利用されている。この技術では、銅またはニッケルイオンを含むエッチング廃液に鉄粉を2価イオンとして溶解することにより、鉄よりもイオン化傾向の小さい銅、およびニッケルが還元されて析出し、金属として回収される。一方、鉄粉溶解後の溶液から、フェライトの原料となる酸化第一鉄が回収されるほか、さらに塩素を吹き込むことにより、鉄が3価となり塩化第二鉄溶液としてエッチング液が再生される。

このほかの鉄粉の酸化反応を利用した用途として、酸素

吸収剤がある。食品とともに酸素吸収剤を密閉容器内に置くことにより、カビの発生や食品に含まれる油脂の変質を抑制することができる。

### 2.2.2 発熱体（使い捨てカイロ）用鉄粉

純鉄粉のうち、還元鉄粉は、比表面積が大きい特長を有し、酸化発熱に適した素材であることから、使い捨てカイロとして広く使用されている。使い捨てカイロは、鉄粉の酸化発熱を促進するために、鉄粉のほかに、活性炭、保水剤、水、塩類が含まれている。これらの配合量、包装する袋の空気通気量によって、発熱温度と発熱時間はコントロールされている。

### 2.2.3 溶接材用鉄粉

溶接作業を能率的にかつ経済的に行わせるために、溶接棒被覆剤に鉄粉を混入したり、自動溶接のフラックスに鉄粉を配合させることが行なわれている。

溶接棒被覆剤用鉄粉は、溶着金属補給源として、被覆剤中の鉄粉配合量、被覆厚さなど検討され、溶接作業性能向上に寄与している。

自動溶接フラックス用鉄粉は、サブマージアーク溶接の高効率化の一方法として行われ、溶接速度を高めるためフラックスに含有されている。鉄粉含有のフラックスは溶着速度が速く、作業能率が良く、単位溶着金属当たりのワイヤ消費量が少なくなり、経済的にも優れている。

## 3. おわりに

これまで述べてきたように、鉄粉の用途は多様であり、JFE スチールは多様な要求品質に応えるべく開発を進め、ここで紹介したものにとどまらず広汎な製品群を有するに至った。

鉄粉の用途は、ハイブリッド自動車、電気自動車など利用分野の技術動向や、環境、食料など社会的要請の変化により、ますます拡大してゆくことが予想される。

JIP® 鉄粉製品はISO9001とIS14001の認証を取得し、安定した品質の製品を安心して使用いただける体制を整備しており、今後も幅広い産業分野の進歩に寄与できるものと期待する。

### 参考文献

- 1) 川崎製鉄五十年史. 2000.
- 2) Ogura, K.; Okabe, R.; Takajo, S.; Maeda, Y. "Production and Properties of Chromium-Containing Low-Oxygen Steel Powders." Prog. in Powder Metallurgy. MPIF, Dallas (USA), 1987-05, vol. 43, p. 619.
- 3) 古君修, 宇波繁, 上ノ蘭聡, 小倉邦明. 鉄と銅, 1995, vol. 81, p. 833.
- 4) Unami, S. et al. Metal and Materials International. 2004, vol. 10, no. 3, p. 289.
- 5) 宇波繁, 尾崎由紀子. まてりあ, 2007, vol. 46, p. 93.
- 6) 小倉邦明, 阿部輝宣, 榎石幸雄, 高城重彰, 峰岸俊幸, 初谷栄治. 川崎製鉄技報. 1987, vol. 19, no. 3, p. 202.
- 7) 宇波繁, 尾崎由紀子, 尾野友重. JFE 技報. 2010, no. 26, p. 54.
- 8) 峰岸俊幸, 牧野来与志, 杉原裕, 前田義昭, 高城重彰, 榎田一男. 川

- 崎製鉄技報. 1992, vol. 24, no. 4, p. 262.
- 9) 上ノ菌聡, 小倉邦明, 杉原裕. 川崎製鉄技報. 1999, vol. 31, no. 2, p. 135.
  - 10) 上ノ菌聡, 杉原裕, 小倉邦明. 川崎製鉄技報. 1999, vol. 31, no. 2, p. 139.
  - 11) Engström, U. et al. Proc. of 1998 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. Granada, 1998-10, EPMA, p. 21-26.
  - 12) 尾崎由紀子, 宇波繁, 上ノ菌聡. 川崎製鉄技報. 2001, vol. 33, no. 4, p. 170.
  - 13) Ball, W. G. et al. Int. J. Powder Metallurgy. 1997, vol. 33, no. 1, p. 23-32.
  - 14) 宇波繁, 尾崎由紀子, 上ノ菌聡. JFE 技報. 2005, no. 7, p. 6.
  - 15) 尾崎由紀子, 尾野友重, 宇波繁. JFE 技報. 2005, no. 7, p. 1.
  - 16) 尾野友重, 尾崎由紀子. JFE 技報. 2010, no. 26, p. 60.
  - 17) 中村尚道, 上ノ菌聡, 藤長政志, 小泉晋, 安間裕之, 吉村隆志. JFE 技報. 2005, no. 7, p. 19.

- 18) 尾崎由紀子, 佐藤孝則, 宇波繁, 尾野友重. 粉体粉末冶金協会. 平成21年度春季講演大会概要集. p. 133.



齋藤 滋之



太田 純一



藤長 政志