

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.1 (1969) No.1

粉末冶金用鉄粉 KIP の特性

Properties of KIP Iron Powder for Powder Metallurgy

森岡 恭昭(Yasuaki Morioka)

要旨：

最近、自動車部品などの焼結機械部品が著しい伸びを示している。ここではこれら焼結部品の原料となる鉄粉、とくに当社で製造しているK I P鉄粉についてその諸特性を解説するとともに、粉末冶金工業界における最近の話題についても2、3紹介するほか、粉末冶金用鉄粉として、今後どのような方向に進むべきかについて示唆を与えている。KIP鉄粉の特性としては、粉末自身の性状、これを圧縮形成した圧粉体の特性、焼結した焼結体の特性などのほか、熱処理、溶浸処理、高密度化などの特殊処理をした焼結体の特性についても記述してある。

Synopsis：

Supported by the marked progress in powder metallurgy, sintered structural parts have been finding increasing industrial acceptances, especially as automobile parts. This paper relates mainly on the properties of KIP iron powder as essential material for the sintered structural parts. It also introduces some of the much-discussed subjects of powder metallurgical industry, and suggests the future qualifications of iron powder for the powder metallurgy. In the chapters dealing with the characteristics of KIP iron powder, light is thrown not only on the nature of iron powder itself and the properties of green compacts and sintered compacts, but also on the characteristics of various specially-treated sintered compact, including heat-treated, infiltration-treated, and high-density-treated compacts.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

粉末冶金用鉄粉 **KIP** の特性

Properties of **KIP** Iron Powder for Powder Metallurgy

森 岡 恭 昭*

Yasuaki Morioka

Synopsis:

Supported by the marked progress in powder metallurgy, sintered structural parts have been finding increasing industrial acceptances, especially as automobile parts.

This paper relates mainly on the properties of **KIP** iron powder as essential material for the sintered structural parts. It also introduces some of the much discussed subjects of powder metallurgical industry, and suggests the future qualifications of iron powder for the powder metallurgy.

In the chapters dealing with the characteristics of **KIP** iron powder, light is thrown not only on the nature of iron powder itself and the properties of green compacts and sintered compacts, but also on the characteristics of various specially-treated sintered compact, including heat-treated, infiltration-treated, and high-density-treated compacts.

1. はじめに

最近、鉄粉を原料とする焼結機械部品が著しい伸びをみせている。この発展は、粉末冶金技術とこれによって作られる焼結材の特性などが再認識されはじめたことにもよるが、おもに自動車工業で焼結部品を採用しはじめたことによるもので、最近の傾向では従来の焼結部品製造会社とは別に自動車会社自体で焼結部品を内部生産（内製）しはじめている状況にある。

現在、自動車部品のはかに家庭電気機器部品、事務機械部品、光学機械部品ほか種々の部品に使用範囲が広まりつつあり、従来の切削加工品の焼結部品への切換えにともなう需要に加えて、上記

工業自体の伸びが加わって焼結部品の需要が大幅に増加し急速な発展を示しているものと思われる。さらに今後は、成形、焼結などの粉末冶金技術の進歩にともない、焼結部品が従来の小形部品から大形部品へと用途が拡大していくことが予想され、自動車工業を中心として鉄系焼結機械部品がより一層の伸びを示すことが期待されている。

当社ではこれら焼結機械部品の原料となる鉄粉を昭和41年末より本格的に製造を開始し、**KIP**鉄粉という商品名のもとにこれまで各需要家に提供してきている。鉄粉の用途としては、粉末冶金用のほか溶接棒用、粉末切断用ほか種々の用途に大別されるが、ここでは最近需要の大きい粉末冶金用の**KIP**鉄粉について特性ほかその概要を述べてみたい。

* 技術研究所粉体研究室 工学博士

2. 鉄粉の特性

2・1 KIP 鉄粉の一般的特徴

粉末冶金用 KIP 鉄粉の一般的な特徴をあげると次のとおりである。

- (1) ミルスケールを原料としている。ミルスケールは当社千葉製鉄所で製造される鋼板より発生するミルスケールのうち、低炭素リムド鋼のものだけを厳選して原料としている。このため鉄粉の化学成分は非常に高純度である。また Mn を 0.2~0.3 % 含むのが特徴である。
- (2) 多量生産しているため、より経済性にすぐれ、しかも品質の安定性がすぐれている。
- (3) 粉末を押型内で成形する際の圧縮性がすぐれているので、一定の成形体密度をうるのに少ない加圧力ですむ。
- (4) 成形した圧粉体の強度が高く、成形性がすぐれている。したがって複雑な部品形状が作りやすく、しかも焼結以前の工程での圧粉体の破損を少なくすることができる。
- (5) 粉末の流動性が良い。このことは押型への充てん時間が短くてすみ生産性に富むほか、押型の薄肉部あるいは狭い間隙まで粉末の充てんが可能となり複雑な部品形状のものが作りやすくなる。
- (6) 鉄粉自身の焼結性がすぐれ、焼結体の強度が高い。また鉄粉と合金元素 (Cu, Ni, C) との反応性が大きく、この場合も焼結体強度の高い値が得られる。

(7) 焼結体の焼入れ性がすぐれている。

2・2 化学成分, 還元減量, 見かけ密度, 流動度

KIP 鉄粉は以上の特徴を有しているが、鉄粉の代表的な特性として化学成分, 還元減量, 見かけ密度, 流動度の値の一例を **Table 1** に示す。比較として輸入の鉱石還元鉄粉 (MH100-24) の分析結果の一例を表中に示した。

化学成分は粉末の圧縮性, 焼結体の強度などにも影響するが、KIP 鉄粉の純度は MH 粉よりかなり良い。還元減量はおもに粉末中の FeO を示し、この値は粉末の酸化の程度を示すと同時に焼結体中の C 量を調節する際に問題とされる。この値も低い方が良い。見かけ密度は粉末の自然充てん状態での密度値を示すもので、粉末成形時、押型内での充てん深さに直接影響を与える。粉末製造条件を変更することによって種々の見かけ密度のものが得られるが、現在 2.4~2.6g/cm³ 程度の粉末が非常に多く用いられている。当社でも見かけ密度の値によって、KIP 240M, KIP 255M, KIP 270M の 3 種類の鉄粉を製造しており、見かけ密度の低いものはおもに含油軸受部品に、高いものは一般機械部品に用いられている。流動度の値も KIP 鉄粉が低く、流れが良いことがわかる。

2・3 粉末および焼結体中の非金属介在物

粉末中の介在物は成形時押型の摩耗に影響し、また焼結体中での介在物の存在は焼結体強度に影響することが予想される。

鉄粉中の介在物には、鉄粉粒子内に含まれる介在物と介在物粒子そのもの（多くは磁選工程で除去される）とにわけて考えられる。介在物につい

Table 1 Chemical composition, Hydrogen loss, Apparent density, and Flow rate of KIP iron powder

	Chemical composition (%)							H ₂ loss (%)	A.D. (g/cm ³)	F.R. (sec/50g)
	T. Fe	M. Fe	T. C	Si	Mn	P	S			
KIP 240M	99.3	98.5	0.01	0.01	0.25	0.004	0.006	0.30	2.42	28.5
KIP 255M	99.6	98.9	0.01	0.01	0.23	0.004	0.006	0.22	2.54	27.4
KIP 270M	99.6	98.9	0.01	0.01	0.26	0.004	0.005	0.20	2.68	25.4
MH 100-24	98.6	96.1	0.02	0.15	0.02	0.005	0.008	0.49	2.42	31.1

てはその存在と分布、大きさなどX線マイクロアナライザー、電顕観察、ヨード・アルコールおよび硫酸抽出分析などによってほとんどが確認されているが、その結果では鉄粉粒子内の介在物は結晶粒界に存在している場合がほとんどで、しかも非常に不均一に分散していることがわかった。介在物の大きさは、粒子内に存在するものを含め約15~20 μ 程度のものがほとんどで、この大きさは鉱石還元粉のそれに比較するとやや小さい。粉末中のおもな介在物の分析結果を Table 2 に示す。

KIP 鉄粉は MH 粉に比較して MnO がやや高いが、SiO₂、FeO はかなり少ない。酸不溶解分（おもにSiO₂、Al₂O₃）も非常にわずかで0.1%以下である。

また、Table 2 で示すように粉末中の T. Mn と抽出分析結果の MnO 中の Mn 量、あるいは同様に T. Si と SiO₂ 中の Si 量とがほとんど一致するので、鉄粉中の Mn、Si はほとんどが MnO、SiO₂ の形で存在しているといえよう。

つぎに焼結体中の介在物についてであるが、これは粉末中の介在物がそのまま焼結体中に持ちこまれたものと考えられ、Si、Mn ほか Al などの酸化物あるいはこれらの複合酸化物が確認されている。¹⁾ ただし MnO については鉄粉中ではほとんどが MnO として存在するが、H₂、AX ガスなどの雰囲気中で焼結した焼結体中では T. Mn 量の約1/3が金属 Mn 単体の状態か、又は鉄と固溶した状態のいずれかで存在するが、焼結体に微量の C（添加炭素）が存在すれば焼結体中にはほとんど MnO はみられなくなる結果がでている。

2・4 鉄粉のかたさ、結晶粒

鉄粉自体のかたさは、粉末成形時の圧縮性のほ

か各特性に非常に大きな影響を示す。測定方法は粉末を樹脂に埋め込みその断面の微小かたさを測定する方法によっているが、粉末粒子内には空孔が内在するものが多く測定値はややバラツキが多くなる。測定結果の一例では KIP 255M でマイクロピッカースかたさ（荷重15g）で約65、MH 粉で約60の値を示す。鉄粉のかたさは、粉末圧縮時の粒子のち密化過程（おもに粒子の塑性変形過程）に大きく影響するとともに、粉末成形時の押型の摩耗、かじり現象などに対しても影響をおよぼすことが予想される。

鉄粉粒子内の結晶粒の大きさは製造条件によってかなりの範囲で変化させることができる。KIP 255Mで結晶粒数は約11,500個/mm²（ASTM No 10.5）MH粉で約8,500個/mm²（ASTM No 10）程度であり、傾向としては KIP 鉄粉の方が結晶粒は細かい。鉄粉の結晶粒は焼結体の寸法変化に間接的に影響をおよぼすことが予想され、事実結晶粒が細かいほど焼結体の収縮量が大きく、寸法変化と一部関係が得られている。¹⁾

2・5 粉末粒度、粒形、比表面積

粉末冶金用鉄粉の粒度は100メッシュ以下を主体とするかなり粒度のあらい粉末であり、これらの粒度分布は粉末諸性状が最適値をとるよう大体の値が決定されている。Table 3 に KIP 240M、255M、270M のフルイ分析による粒度分布を示す。

このほかに325メッシュ（約44 μ ）以下の超微粉が問題となることがあるが、これは粉末成形時押型のパンチとダイス間のクリアランスが約20~30 μ 程度のものが多いので、この寸法以下の粉末が存在するとクリアランス内に入り込み、押型かじりの原因となることが考えられるからである。

Table 2 Non-metallic inclusion, and acid insoluble of KIP iron powder

	Non-metallic inclusion (%)				Acid insoluble (%)
	SiO ₂ (Si)	MnO (Mn)	Al ₂ O ₃	FeO	
KIP 255M	0.022(0.01) * 0.01	0.338(0.26) * 0.23	0.062	0.901	0.08
MH 100-24	0.295(0.14) * 0.15	0.025(0.02) * 0.02	0.081	1.187	0.40

(* Chemical composition T. Si and T. Mn)

Table 3 Size distribution of KIP iron powder

	Size distribution, mesh (%)					
	+ 100	-100/+150	-150/+200	-200/+250	-250/+325	- 325
KIP 240M	0.2	17.6	31.0	16.2	17.3	17.7
KIP 255M	0.1	16.5	31.7	17.5	17.0	17.2
KIP 270M	0.1	15.0	30.1	18.5	18.0	19.3
MH 100-24	0.1	13.8	32.2	13.2	14.5	26.2

Table 4 Specific surface of KIP iron powder

	Specific surface (m ² /g)	
	-150+200 mesh	- 325 mesh
KIP 240M	0.053	0.072
KIP 255M	0.046	0.059
KIP 270M	0.036	0.055
MH 100-24	0.019	0.155

KIP 鉄粉ではこれら超微粉を製造工程で除去しており、実際の 15μ 以下の量はサブシーブサイザー(空気透過法による平均粒径測定装置)、顕微鏡などによって求めてみると0.5%以下と非常に少ない。

一方粒形は、板状、球状、樹枝状ほか製造履歴などによって種々の形状のものがあるが、粉末冶金用としては球状に割合近い形状をしたものが使用されている。粒形は見かけ密度の値と深い関係にあり、見かけ密度の低いもの(KIP 240M)は形状が不規則で、高いもの(KIP 270M)は球状に近い傾向を示す。

粉末粒度と粒形は、粉末流動などの粉末諸特性に影響をおよぼすほか、圧粉体、焼結体の各特性に一番大きな影響をおよぼす因子であると考えてよいであろう。

また、粒度、粒形が一定であっても粉末の表面状態(たとえば凹凸状態、酸化皮膜の存在など)が異なる場合が考えられる。鉄粉の比表面積をBET法(ガス吸着法)によって測定した結果をTable 4に示す。

粒度が細かいほど比表面積の値は大きく、あらう方が比表面積は小さい。この値は後に述べる焼結過程、とくに焼結時の寸法変化に大きな影響をおよぼす。比表面積の値は鉄粉製造工程によって変化させることができるが鉄粉の原料によって大きくこの値が変わるようで、とくに原料中の酸素量が製造された鉄粉比表面積の値に影響してくる。

3. 圧粉体の特性

3.1 圧縮性

加工断面 1cm^2 のタブレット型試験片で圧縮性(圧粉密度)を測定した結果をFig. 1に示す。

KIP 鉄粉はすぐれた圧縮性を有し、 5t/cm^2 の成形加圧力で約 6.8g/cm^3 以上の密度の値が得られる。また各粒度の影響をみたものをFig. 2に示す。粒度が細かいと、粒子同志の接触面積が粉末成形時大きくなり粒子間の摩擦による圧力損失が起きるため、圧粉密度はそれほど上昇しなくなる。粒形の影響をみると、より粒形が球状なKIP 270Mの方が密度が高くなる傾向にある。

圧粉密度はその値が高いほど圧粉体中の空孔が少なくなり真密度の値に近くなる。しかし実際には、このように高密度化するために成形圧力を高くすると、押型の摩耗と押型の材質的な強度のほか種々の問題があり、工業的には約 $3\sim 5\text{t/cm}^2$ 程度の成形圧力が非常に多く利用されている。

3.2 成形性

成形性はおもに圧縮成形された圧粉体の強度(抗折力試験)およびラトラ試験(尖端安定性試験といわれる一種の摩耗試験)などでその目安としている。Fig. 3に圧粉密度と圧粉体強度との関係を示す。圧粉密度が高いほど圧粉体強度は高く、また粉末の見かけ密度が低いものほど圧粉体強度は高い。成形性はおもに粉末粒子の機械的なからみ合いにもとづくものと思われ、したがって不規則形状をした見かけ密度の低い粉末の圧粉体強度が高くなる。

圧粉体強度におよぼす各粒度の影響をFig. 4に示す。KIP 鉄粉は粗粒と細粒で圧粉体強度が低く、電解鉄粉(E, 国産)ではその傾向がまったく逆の傾向を示し、またMH粉はあらう粉末で

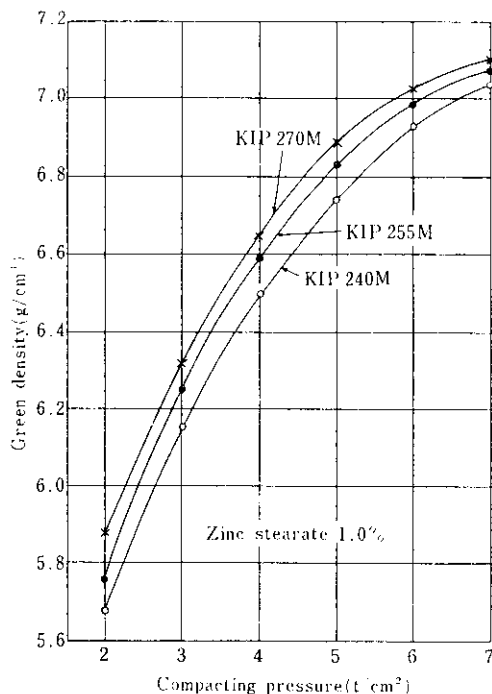


Fig. 1 Compressibility of KIP iron powder

強度が高い。このように粉末粒度分布がたとえ同じであっても、各粒度そのものは製造履歴などによってそれぞれの性状が異なることがわかる。

3.3 抜出力 (押型壁面摩擦力)

粉末を押型内で圧縮成形後、その圧粉体をそのまま型外に押し出さなければならない。その際に押型から抜き出しやすい圧粉体と抜き出しにくい圧粉体とがあり、この程度を抜出力として表現しているが、抜出力の値は圧粉体を押型から抜き出すときの最大圧力を圧粉体と押型の摩擦面積で除した値で示している。抜出力が高いと押型の摩擦、寿命に直接影響してくる。

圧粉体の抜出力におよぼす因子としては次のような項目が考えられる。

- (1) 粉末自身の因子としては、
 - (a) 粉末の種類, (b)形状, (c)粒度 (粒度分布と微粉), (d)かたさ, (e)介在物, (f)化学成分, など
- (2) 成形時の因子としては、
 - (a)押型の材質 (工具鋼, 超硬合金など) と表面仕上状態, (b)成形速度と抜出速度, (c)潤滑

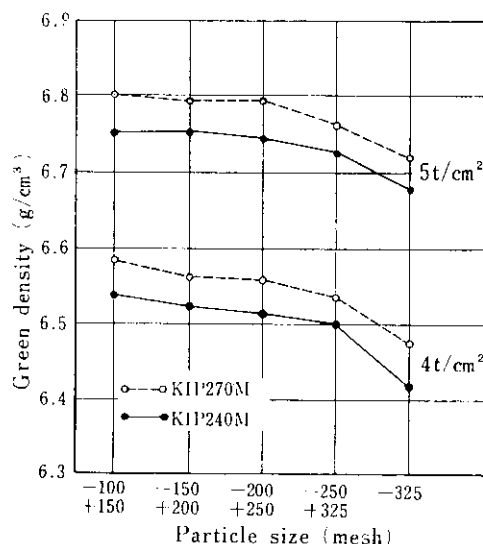


Fig. 2 Effects of particle size on green density

の方法, 潤滑剤の種類, 添加量, (d)成形圧力 (e)成形体の形状, 寸法, などの各因子がそれぞれあげられる。

これらの代表的な因子として鉄粉の種類による抜出力におよぼす影響をみてみた。その結果は Fig. 5 にみられるように、圧粉密度の高いものほど抜出力は高く、また KIP 鉄粉と MH 鉄粉との両者間に抜出力の差はみられない。また還元減量値の差による影響もみられなかった。

Fig. 6 に各粒度別から作った圧粉体の抜出力を示す。粒度が粗粉側と細粉側で抜出力の値が低く、中間の粒度で抜出力が高くなる現象がみられる。粉末の形状の影響では、鉄粉の種類を一定として考えた場合、より球状な粉末から作った圧粉体ほど抜出力は低い傾向にある。

3.4 スプリングバック (押型からのもどり量)

圧粉体を押型から抜き出す際に、圧粉体は弾性変形によって押型寸法よりわずかに膨脹する。このもどり量が大きい場合は圧粉体内部、あるいは外部にクラックが発生することになり、さらに大きい場合には抜出直後に成形体が粉砕してしまうものもある。このもどり寸法は一般にスプリングバックと呼ばれている。

Fig. 7 に KIP 鉄粉を使用した場合の圧粉密度とスプリングバック量との関係を示す。比較と

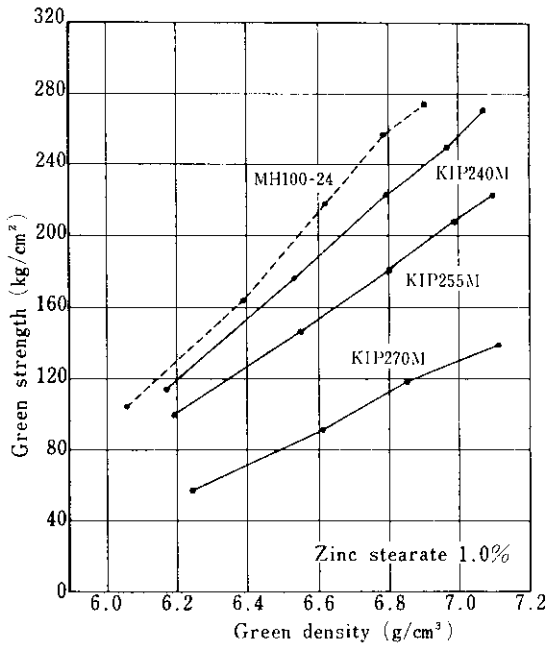


Fig. 3 Effects of green density on the strength of green compacts

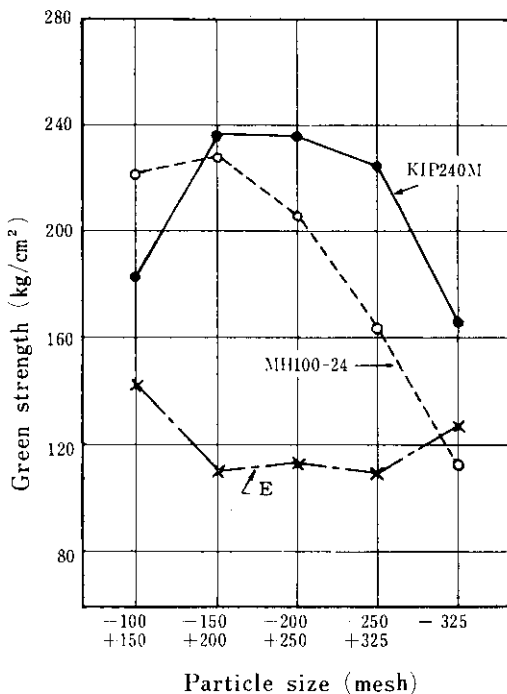


Fig. 4 Effects of particle size on the strength of green compacts
(Compacting: 5t/cm²)

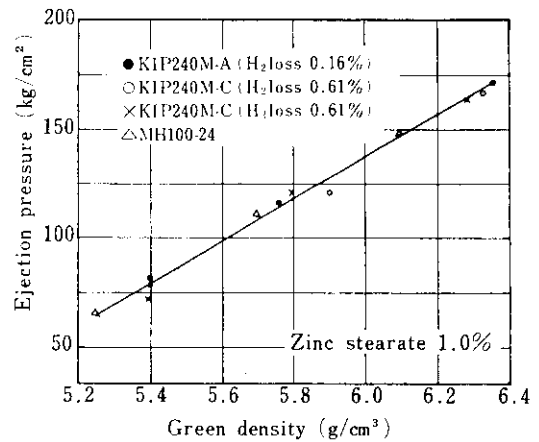


Fig. 5 Effects of green density on the ejection pressure

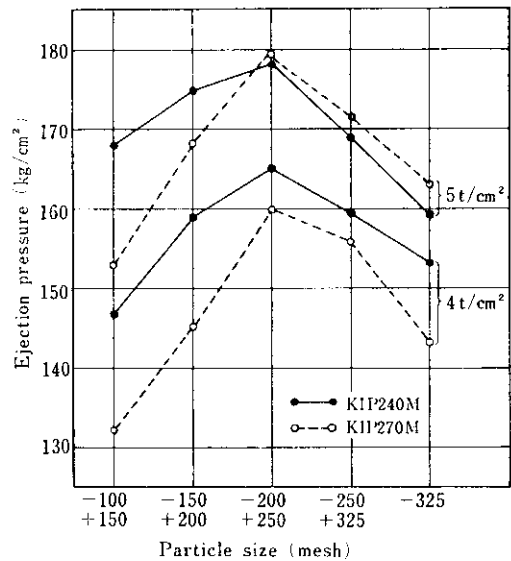


Fig. 6 Effects of particle size on the ejection pressure

して MH 粉と電解鉄粉(E)を同時に図示した。使用した試料は60mmφの円盤状試料で、200 t 油圧プレスにて高さ7mmに成形したものである。

KIP 鉄粉のスプリングバック値は MH 粉より低い。電解鉄粉が非常に低い値を示しているがこれは圧粉体が層状、いわゆるラミネーションを形成しているためで、実際に電解鉄粉を密度 7.1 g/cm³以上になるよう高圧力で成形すると、クラックが発生し満足な成形体は得られない。

またスプリングバックに対しては潤滑剤の影響

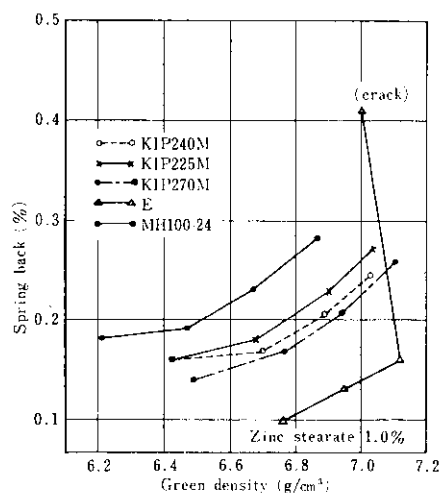


Fig. 7 Effects of green density on the expansion ratio of compacts when ejected from dies

が大きく、その量が1.0%をこえると圧粉密度が低下するとともにスプリングバック量が増大し、クラック発生の原因となる。

合金元素を添加した場合は、Cu の添加はこの値にほとんど影響ないが、C の添加はこの値を増加させるようである。

3.5 潤滑剤の影響

粉末中には一般にステアリン酸亜鉛などの潤滑剤が混合添加される。この目的は、成形時粉末相互間の摩擦を減少させるためと、押型の摩耗を減少させるために添加されるもので、添加した潤滑剤は圧縮性、成形体強度、焼結体諸性質などにも影響をおよぼす。Fig. 8 にステアリン酸亜鉛を潤滑剤として添加した場合の諸性質におよぼす影響を示す。潤滑剤の添加は圧粉密度に対してその値を低下させる傾向にあるほか、圧粉体強度、焼結体強度の値も低下させる。

潤滑剤は、焼結過程での予備加熱で追出され、しかも焼結過程に対しても有害となるなど、押型の摩耗を減少させる効果以外は有益な効果はほとんどないといってよいであろう。潤滑剤はその種類、たとえばステアリン酸、ステアリン酸亜鉛、ワックスなどの種類によって圧粉体、焼結体特性が変化するのみならず、ステアリン酸亜鉛一つをとってもその銘柄によって特性が変化するので、

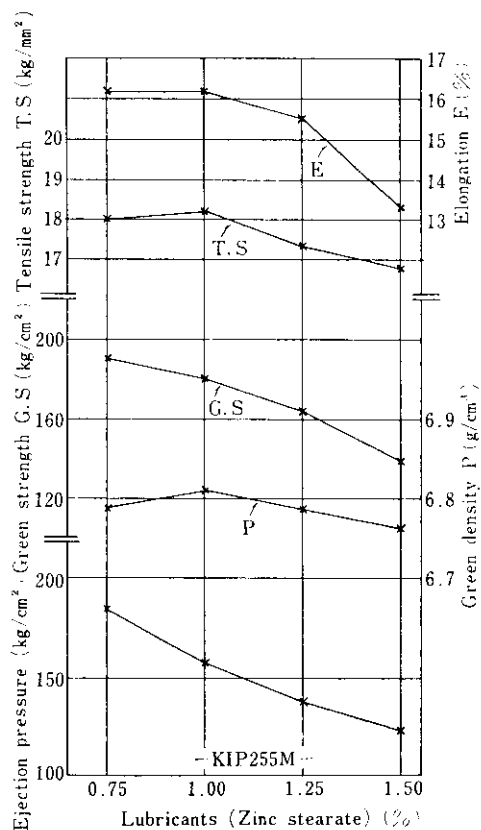


Fig. 8 Effects of lubricants addition on properties of green (5t/cm²) and sintered compacts

この面における研究も今後おいに必要であろう。

4. 焼結体の特性

4.1 一般の機械的特性

KIP 鉄粉焼結体の引張強さ、伸びの値におよぼす焼結温度の影響を Fig. 9 に、また焼結時間の影響を Fig. 10 に示す。KIP 鉄粉焼結体の引張強さは MH 粉に比較して高く、また Cu との合金性も良い。焼結温度が上昇するにしたがい強度は上昇し、とくに Cu 添加の際にこの傾向が著しい。また 1050°C の焼結では焼結保持時間とともに強度が増加するが、1150°C の焼結では30分で強度の値が飽和しているのが、Cu 添加の際に

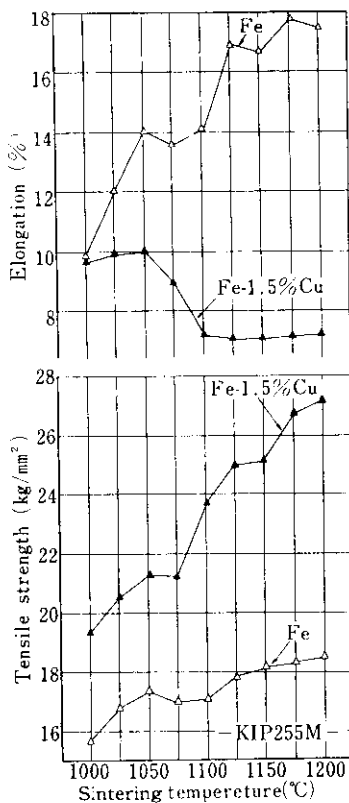


Fig. 9 Effects of sintering temperature on the tensile strength and elongation of sintered compacts, sintered in AX gas for 1 h

観察される。鉄単味焼結体で、 5 t/cm^2 加圧、 1150°C 、1 h 焼結したものでは、かたさは H_{RB} 約10、衝撃値はノッチなしのシャルピー試験片で約 $8 \sim 9 \text{ kg m/cm}^2$ (常温) 程度である。

4・2 焼結体の寸法変化

焼結部品は一般の機械構造用部品として使用されるため、寸法精度が問題となる。粉末を圧縮成形した圧粉体は焼結する際の諸現象によって種々の寸法変化を示すわけで、この焼結前後の寸法変化を測定し、最終部品の寸法に合うよう押型の設計がなされる。Fig. 11に試験片(加圧断面 $35\text{mm} \times 10\text{mm}$) 各方向の寸法変化測定結果の一例を示す。

KIP 鉄粉は他社鉄粉に比較し、収縮がやや大きい。電解鉄粉は寸法変化の各方向での値がそれぞれ大きく異なり、方向性が一番大きい。とくに

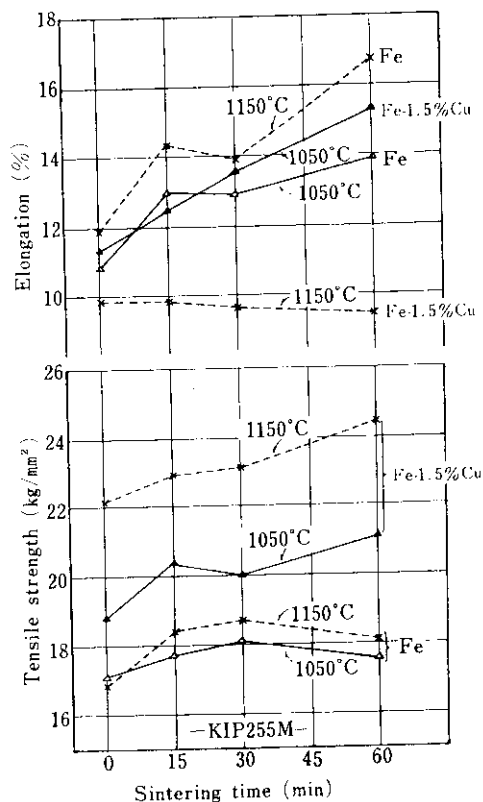


Fig. 10 Effects of sintering time on the tensile strength and elongation of sintered compacts, sintered in AX gas

高さ方向(圧縮成形方向)での収縮が大きい。

焼結部品の寸法精度は、形状が簡単で一般的な断面をもつ部品を仮定して考えると、一般に圧縮方向の寸法精度は 25mm について焼結後 $\pm 0.125\text{mm}$ (精密級 $\pm 0.075\text{mm}$)、サイジング処理を行ったもので焼結後 $\pm 0.075\text{mm}$ (精密級 $\pm 0.050\text{mm}$)、また圧縮方向に直角な方向はより精度が高く、焼結後 $\pm 0.050\text{mm}$ (精密級 $\pm 0.025\text{mm}$)、サイジング処理を行ったもので焼結後 $\pm 0.025\text{mm}$ (精密級 $\pm 0.0125\text{mm}$) に収めることができる。²⁾

一般には、寸法によって異なるが圧縮方向で精度は $\pm 0.1\text{mm}$ 、圧縮方向に直角な方向で $\pm 0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 程度と考えてよいのではないと思われる。

4・3 焼結雰囲気ガスの影響

従来の焼結雰囲気ガスはアンモニア分解ガス (AXガス) が使用されることが多かったが、最近

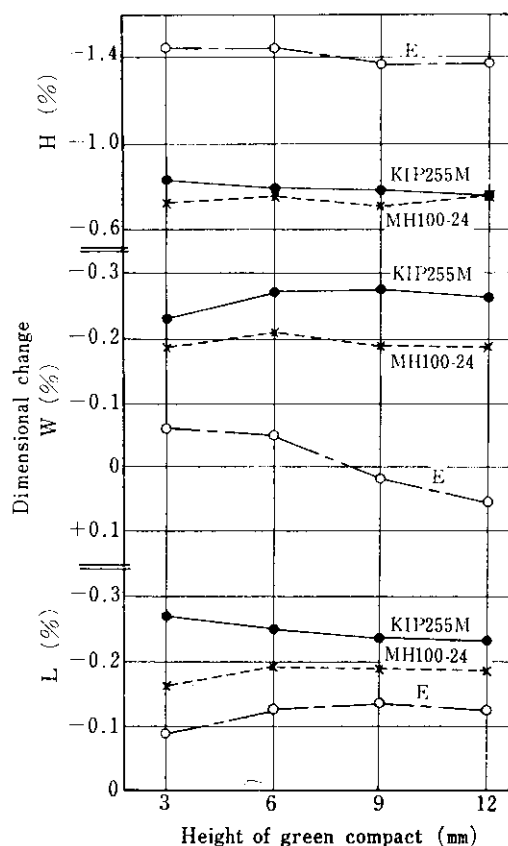


Fig. 11 Dimensional change of length (L), width (W) and height (H) of sintered compacts (Sintering: 1150°C, 1h, AX gas)

では焼結体の脱炭をふせぐためなどの理由からプロパンあるいはブタンを變成したエンドサーミックガス (RX ガス) が使用されるようになってきた。Table 5 にAXガス, RX ガスそれぞれの焼結雰囲気中で焼結した焼結体の寸法変化の一例を示す。寸法変化は抗折力試験片の長さ方向 (35mm) で測定したものである。このように雰囲気ガスによって寸法変化の値が大きく異なることがわかる。しかもこれらの値はガスの露点や純度などを変更することによってもかなり変化することがわかっている。雰囲気ガスが鉄焼結体の焼結現象に対してどのような効果を示すかは、現在のところ不明な点が多い。

4・4 高密度焼結体の特性

Fig. 12, Fig. 13 に鉄単味と 2.5%Cu 配合焼結体のそれぞれの強度を示す。図中黒点で示した

Table 5 Effects of sintering atmosphere on dimensional change of compacts

Specimen	Atmosphere	KIP 255M	MH100-24
Fe	AX	-0.21 %	-0.18 %
	RX	-0.05	-0.11
Fe-1.0%C	AX	-0.02	+0.02
	RX	-0.02	-0.03
Fe-5.0%Cu	AX	+1.03	+0.68
	RX	+1.36	+1.24
Fe-2.5%Cu -1.0%C	AX	-0.10	+0.06
	RX	+0.15	+0.32

(Compacting: 5 t/cm², Sintering: 1150°C, 1 h)

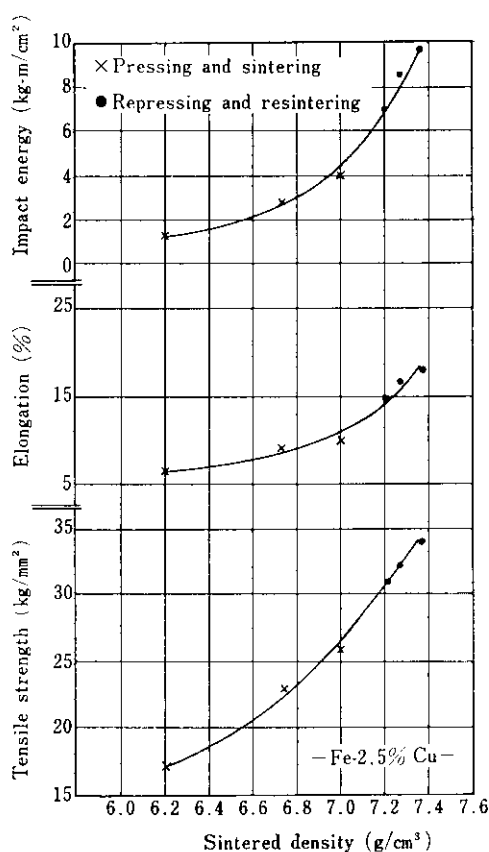


Fig. 12 Mechanical properties of double pressed and sintered iron compacts (Pressing: 5 t/cm², Repressing: 7 t/cm², Sintering and resintering: 1150°C, 1 h)

ものは再加圧再焼結処理を行なった、高密度焼結体の値である。引張強さの値は密度にはほぼ比例し

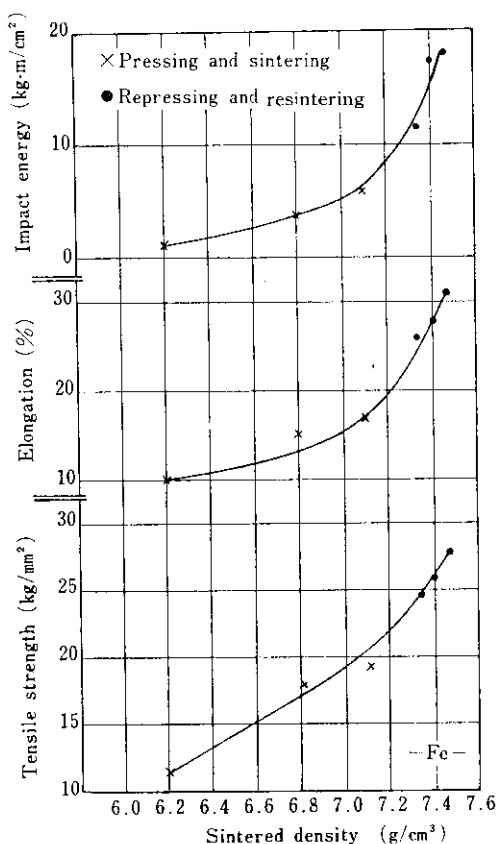


Fig. 13 Mechanical properties of double pressed and sintered Fe-2.5% Cu compacts
(Pressing: 5t/cm², repressing: 7t/cm², Sintering and resintering: 1150°C, 1h)

て上昇するが、伸び、衝撃値はとくに約7.0g/cm³付近で遷移点がみられ、この密度以上でこれらの値が大きく上昇する。

最近の焼結部品の需要が自動車部品など耐衝撃性を有する部品が多くなってきているところから高密度化してじん性化をはかることがとくに必要

となってくるであろう。なお、上記の実験結果から再加圧処理によって7.4g/cm³（密度比約96%，空孔量約4%）という高密度値が鉄単味焼結体で得られており、また、Fe-2.5%Cu 再加圧焼結体で引張強さ約33kg/mm²，伸び約17%，衝撃値約10kg・m/cm²の値が得られている。

4・5 焼結体の熱処理特性

鉄系部品の熱処理が最近多く行なわれるようになってきた。浸炭焼入れ、焼もどし処理を行なった焼結体の特性を Table 6 に示す。この表から KIP 鉄粉の熱処理焼結体の特性がとくにすぐれているのがわかる。KIP 鉄粉単味で熱処理後の引張強さは約57kg/mm²である。引張強さの最高値は、2.0%Ni, 3.0%Cu 添加の場合で約90kg/mm²である。

焼結部品の浸炭深さを求めた結果を Fig. 14に示す。KIP 鉄粉単味でこの場合の深さは約1mmである。焼結体の熱処理は、次項で述べる溶浸処理などと異なり、操作が割合簡単なことと、大きな強度の上昇が得られる点から、今後とも焼結体の後処理として熱処理が大いに利用されるであろう。

4・6 溶浸焼結体の特性

焼結体中に内在する空孔をなくすため、外部から低融点の液相金属を浸み込ませる処理が溶浸法である。焼結部品の空孔が金属によって充てんされ高密度品が得られるが、さらに空孔へ溶浸した液相金属の鉄への合金化によって強度が大きく上昇する。

KIP 鉄粉を用い、Cu を溶浸した焼結体の強度

Table 6 Mechanical properties of heat treated sintered compacts

Specimen	KIP 255M			MH 100-24		
	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HRC)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HRC)
Fe	57.0	0.4	14.2	47.9	0.1	6.0
Fe-1.0%C	60.5	0.7	34.6	43.8	0.4	3.9
Fe-2.0%Cu-0.5%C	72.1	0.1	34.7	57.6	0.1	10.5
Fe-3.0%Cu-2.0%Ni	90.2	0.1	24.3	73.4	0.1	23.0

(Sintering: 1150°C, 1h, RX gas, Carburizing: 920°C, 1h)
(Quenching: 850°C, O. Q. (50°C), Tempering: 170°C, 1h)

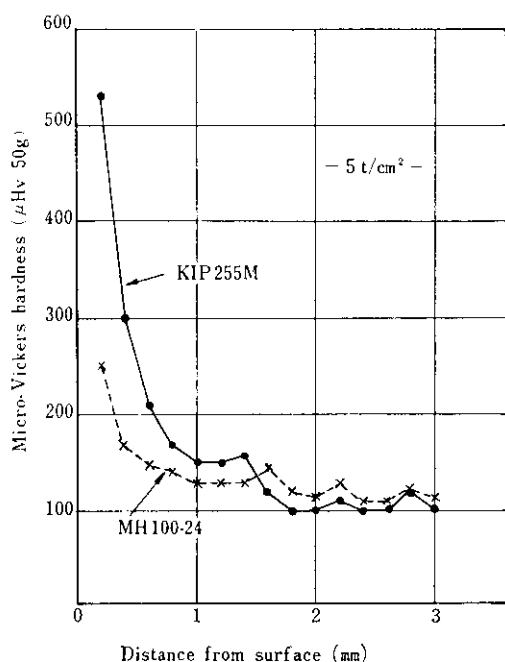


Fig. 14 Hardenability of KIP sintered compacts
(Carburizing: 920°C, 1h, Quenching: 850°C, O. Q.
(50°C))

の値の一例を Table 7 に示す。

現在、高密度用としてこの溶浸方法がかなり採用されているが、実際にはこの方法は高価な Cu を多量使うことと、工程がやや複雑であることなどの理由で、今後は再加圧処理、熱処理、後に述べるダイフォーミング処理などがこの方法にとって代るものと思われる。

5. 最近の話題

5・1 新しい粉末

現在の粉末冶金用鉄粉の市場は還元鉄粉がその主流をなしているが、最近になってアトマイズ鉄

粉（噴霧鉄粉）が出現してきている。アトマイズ鉄粉は以前から独マンネスマン社、米国グリデン社ほかで製作されてきていたが、最近、従来のガス噴霧法から水噴霧法に切替わるなど技術的な進歩があったことと、ユー・オ・スミス社、ヘガネス社など大手の鉄粉製造会社がとりあげたことなどによって、急に注目されてきている。ユー・オ・スミス社のアトマイズ鉄粉は、周知のとおり昨年（株）神戸製鋼所と技術提携を行ない、日本への進出を計画中である。

アトマイズ法は、たとえばくず鉄を電気炉で溶解し、溶解した鉄を噴霧装置によって粉末化させる方法である。この粉末の特徴は、従来の還元法と異なり原料を一度溶解している製造工程が大きな特徴であり、この工程が後の各特性に大きな影響をおよぼしている。たとえば、還元法で製作した鉄粉に比較して粒子 1 個の密度が大きく、粒子内部の空孔も少ない傾向にあり、したがって粉末の圧縮性が良く、高密度成形体が得られやすいこと、さらに Fe にあらかじめ合金元素を添加した pre-alloy 粉末（合金粉末）が作りやすいことなどの特徴があげられる。

一方、アトマイズ粉は粉末の成形性や押型抜出性がやや悪いなどの欠点を有しており、粉末冶金用鉄粉として今後どの程度伸びるかが注目されている。

このアトマイズ鉄粉のほかに、塩酸溶解物たとえば鋼板の酸洗液から得られた塩化鉄を H_2 で還元して作った W. D. 鉄粉（英国 Woodall Duckham 社製）などあり^{8) 9)}、種々の鉄粉が開発されはじめている。

5・2 新しい成形技術

最近話題となっている成形技術を以下に紹介する。

Table 7 Tensile strength (kg/mm²) of Cu-infiltrated sintered iron compacts (KIP 270M)

	Composition of skeletons						
	1.0%C	2.5%Cu	2.5%Cu— 1.0%C	8%Ni	8%Mn	8%Mo	4%Cu—4%Ni —3%Mo
After sintering (1150°C, 1h)	21.9	24.4	38.5	42.7	33.0	29.1	51.1
After infiltration (1150°C, 30min)	68.7	41.3	72.0	64.8	58.4	79.2	76.6

(1) ダイ・フォーミング (焼結体のホット・フォーミング法)

この方法は焼結体を鍛造する技術で、いわゆる焼結の技術と鍛造の技術とを組合せたものである。その工程は、成形—焼結を行なった部品の形状に近い焼結材を加熱して型内でフォーミングを行なう一種のホットコイニング方法であり、これがダイ・フォーミング法と呼ばれている。

この方法によると、焼結体の密度がほとんど100%まであがるのが大きな特徴で、焼結体の用途が従来の鑄造切削加工品から鑄鍛造品にまでおよぶことになり、自動車のエンジン部品の製造法として非常に注目されている。

日本でもこの方法ですでに焼結部品が実際に製造されているようであり⁵⁾、それによると C 0.4~0.5%, Mn 0.4~0.8%, Ni 2~3% の成分で引張強さが 70kg/mm²以上、伸び 5%以上、衝撃値 2kg・m 以上、かたさ H_RB80~95、さらにこの焼結体に熱処理を行なったものは、引張強さ 150kg/mm²以上、降伏強さ 130kg/mm²以上、伸び 4%以上、衝撃値 1.5kg・m/cm² 以上、かたさ H_RC35-40 程度の値が得られている。

(2) 大型成形プレス

粉末冶金用プレスとしては従来 500 t 以下のものが多かったが、最近米国では 1000 t プレスが開発され、現在 2000 t、3000 t プレスが計画されている⁶⁾。このようにプレスが大型化すると、加圧断面積の大きい大型部品の成形が可能となってくる。日本でも最近プレスの大型化がなされつつあり、今後ますます焼結部品の高密度化と大型化の方向に向って進むものと思われる。

(3) 押型潤滑成形法

潤滑剤を従来行なわれているように粉末中に混合添加すると、先に潤滑剤の項で述べたように、潤滑剤が圧粉体、焼結体の各特性を悪化させてしまう。この方法は液体潤滑剤を押型表面に塗布する方法であり、潤滑剤をプレスの操作に合わせて塗布する方法がむずかしい点など種々の問題点があり開発されなかったものであるが、最近米国でこの潤滑方法が成功したという^{7) 8)}。しかしこの方法の工業化にはまだ時間を要するであろう。

この押型潤滑法によれば、従来の潤滑剤混合に

よる偏析などの問題がなくなるほか、焼結予備段階で行なっていた潤滑剤の追出し過程がなくなるので、潤滑剤による炉体の汚染なども防ぐことができよう。

以上、新しい成形技術を紹介したが、このほかにも鉄粉を熱間でプレスするホットプレス法⁹⁾、鉄粉を直接圧延して板とする粉末圧延法¹⁰⁾、高エネルギーを利用したダイナパック法、爆発成形法などの高速度高圧成形法¹⁰⁾、などの種々の成形方法が開発されかけている。

6. おわりに

以上、KIP 鉄粉について粉末の特性、これを成形した場合の圧粉体の特性、焼結した場合の焼結体の特性などについてその概要を述べてみた。

従来、日本の鉄粉市場は周知のごとく外国製品にほとんどが占められていたが、ここ 1・2 年国産鉄粉がようやく伸びを示してきている。これまで、粉末冶金業界では外国製品に適した製造工程がとられてきており、とくに押型の問題やその互換性という点において原料鉄粉の切換えには大きな努力が必要であったが、最近需要家各位のご協力和援助によって国産鉄粉に適した製造工程が採られるなどして、当社 KIP 鉄粉の需要も大幅に伸びてきている。

現在、粉末冶金用として必要なあらゆる特性を兼ね備えた鉄粉は世界でも得られていないのが実状であり、当然、今後の研究もこの方向に進むものと思われる。当社でも今後は、鉄粉コストの低減化をはかるとともに、とくに、(1)高密度、高強度焼結体が得られ、(2)押型寿命が長く、(3)焼結寸法変化が少なく、かつ品質の安定性の高い、鉄粉の開発をめざして研究を続けてゆく所存であるので、鉄粉需要家の方々からの忌憚のない意見をお願いしたい。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄株式会社：粉末冶金用鉄粉 KIP 技術資料, (1968), 6
- 2) 粉体粉末冶金協会：焼結機械部品設計要覧〔技術書院〕, (1967), 68
- 3) R. C. Finlayson : Metallurgia, 5 (1968), 201
- 4) R. C. Finlayson : Iron and Steel, 6 (1968), 248
- 5) 日立粉末冶金株式会社カタログ
- 6) 粉末冶金工業会：米国粉末冶金工業視察報告, 9 (1968)
- 7) P. M. Leopold, R. C. Nelson : Iron Powder Metallurgy [Plenum Press], (1968), 184
- 8) R. S. Haec'kl : International Journal of Powder Metallurgy, 4, (1968) 1, 13
- 9) O. H. Henry : Iron Powder Metallurgy [Plenum Press], (1968), 200
- 10) 粉体粉末冶金協会：粉末冶金技術講座〔日刊工業新聞社〕4 (1966), 98