

# 鉄鉱石のペレタイジングに関する研究 (第2報)

## 磁鉄鉱のペレタイジング特性に関する基礎的研究

田口 昇\* 大森康男\*\* 三本木貢治\*\*

Study on the Pelletizing of Iron Ores. (II) Fundamental Study on the Pelletizing Characteristics of Magnetite Ore. By Noboru TAGUCHI, Yasuo OMORI and Koji SANBONGI

In order to establish the pelletizing characteristics of different types of fine raw materials represented by magnetite, hematite and limonite and the general rule for using these raw mixes, the authors studied following the previous report, the relation between the size of finely divided magnetite ore, balling conditions, properties of green pellets and amounts of water as binding medium, etc. Especially more attention was paid to the study on the strength of pellets as affected by the magnetic property and the mixing of very fines on balling, and investigated the microstructure of the thin sections of dry and burnt pellets by means of thin section. Results obtained are summarized as follows:

(1) Optimum moisture content necessary to balling decreased with the lowering of feeding speed and with the decrease in the size of fines.

(2) The maximum of the compressive strength of green pellets was nearly in agreement with the maximum of apparent density, corresponding to about 70% of the saturation of the void space between the particles with water.

(3) It was recognized that the relation between the compressive strength of green pellets and the specific surface of fines measured by the permeability method was expressed by a straight line, and that the green pellets from magnetite fines and oxidized magnetite fines located on the same line except those from the mixture of very fines.

(4) It was recognized from the microstructure of the thin sections of pellets that the compressive strength of dry pellets was dependent on the packing behaviour of fine particles.

(Received Nov. 9, 1967)

### 1. 緒 言

前報<sup>1)</sup>で各種粉鉄のペレタイジング特性および各種銘柄を混合使用する際の一般則をもとめる目的で、まずインド産赤鉄鉱、釜石磁鉄鉱および倶知安褐鉄鉱をとりあげ、ペレットの造粒から還元までの基礎試験として、摩鉄による各粉鉄の粒度特性、ペレタイジングの適正条件および製造ペレットの適正水分量、強度、被還元性など諸性質の関連について調べ、その大略を報告した。しかし生ペレットの密度および強度と結合液との関係、乾燥によるペレットの硬化および磁鉄鉱粉の造粒時の磁気効果などに関してはさらに掘り下げて検討すべき点が多い。一方造粒機構に関しては Rumpf<sup>2)</sup>、Tigerschiöld & Ilmoni<sup>3)</sup> など基礎的研究があるが、普遍性をもって各種鉄鉱石に適用する段階には至っていない。

著者らは前報に引き続き磁鉄鉱単一銘柄について摩鉄による粉鉄の粒度特性と造粒条件、たとえば造粒機の諸元、給鉄速度および適正水分量などの関連、磁鉄鉱を酸化焙焼して赤鉄鉱化し造粒条件を支配する微粉をその磁気効果、その他による疑似粒の形成および微粉混合による効果に

選鉄製錬研究所報告 第482号。昭和42年10月鉄鋼協会第74回講演大会で発表

\* 秋田大学鉱山学部

\*\* 東北大学選鉄製錬研究所

1) 土屋 脩, 大森康男, 三本木貢治: 選研彙, 23 (1967), 85.

2) H. Rumpf: Agglomeration Intern. Symp. Philadelphia P., (1960), 379.

3) M. Tieggerschiöld and P. A. Ilmoni: Blast Furnace, Coke Oven, Raw Mater., Proc. AIME, 9 (1950), 18.

ついてとくに強度に重点をおいて調べるとともに、極薄々片<sup>4)</sup>による検鏡でペレットの焼成前後の充填組織の変化を調べた。その結果、焼成前後のペレットの充填組織と強度との間に良好な対応を示すことがわかったのでここに報告する。

## 2. 実験方法

摩鋳装置としてアルミナ製バッチ式ボールミル (150mm $\phi$ ×120mm) を用い、これに 20mesh 以下の釜石磁鉄鋳 1kg と 11mm $\phi$  スチールボール 4kg を装入し、80rev/min で所定時間の乾式摩鋳による粉鋳、また同粉鋳を 700°C、酸素気流中 (400l/hr)、40hr の酸化条件で得られた赤鉄鋳化試料および摩鋳時間を変化させて得た磁鉄鋳粉を種々混合した試料をそれぞれ実験に供した。実験に使用した原鋳の化学分析値および比重を

第1表 釜石磁鉄鋳の化学分析値および比重

成 分 (wt.%)					比 重
T.Fe	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
62.57	31.05	6.20	3.75	3.20	4.66

第1表に示す。

各試料の粒度分布の測定は、Andreasen ピペット法により、分散媒および分散剤としてそれぞれ純水、ヘキサメタリン酸ナトリウム 0.1% を添加して行ったが、磁鉄鋳および空心ソレノイドコイル (50mm $\phi$ , 200V, 13.4A) で減磁処理を行った試料の場合磁気凝集による影響がとくに細粒部分に認められ、分布係数値が極端に大きくなる、すなわち、分布の幅が小さくなるという悪い結果が示されたので、酸素気流中で赤鉄鋳化した場合、一応磁性、酸化による粉化および焼結を無視しうると考えられる 700°C で酸化焙焼して得た試料を測定に供した。なお赤鉄鋳化は極めて遅い反応であり、粗粒部分は大部分磁鉄鋳であるが予備実験の結果、磁気凝集は細粒においてのみ顕著であるので、細粒がヘマタイトになる条件を採用した。また比表面積測定にはガス透過法として水渡・荒川式測定装置、ガス吸着法として柴田化学器械製 BET 装置を用いそれぞれ測定した。造粒は 300mm $\phi$ 、深さ 150mm のドラムを傾斜角 0°、回転速度 22rev/min で運転し、予め同装置で製造した径 3~4mm の種ペレット 100個を装入し、250g の試料を所定の給鋳速度で連続フィードし、かつ結合液としての純水は造粒時間に合わせ等間隔で噴霧給水を行った。なお結合機構の複雑化をさけるためにバインダーの添加は行わなかった。造られた生ペレットから 11 $\pm$ 1mm $\phi$  以内のものを選別し、生ペレットの乾燥は 115°C で 24hr 行い、ついで焼成は大気中昇温速度 5°C/min で所定温度 1,150°C, 1,250°C および 1,300°C に昇温し、各温度に 1hr 保持したのち炉冷して行った。生ペレットの水分は赤外線水分計、見かけ密度は学振54委制定の水銀法による見かけ密度測定装置、圧潰強度は昭和測器製強度試験機によりそれぞれ測定し 5ケの平均で測定値とした。なお測定値のばらつきは平均値の  $\pm$ 10% 以内である。また極薄薄片は Eastman-910 接着剤を用い約 10 $\mu$  のものを研磨作製し、検鏡にあたっては反射光および透過光を併用した。

## 3. 実験結果

### 1) 粒度分布および比表面積

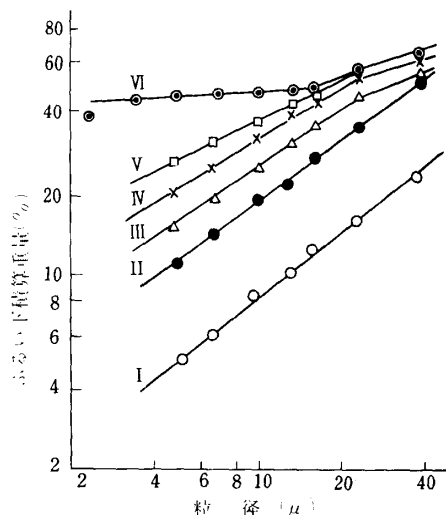
従来、粉鋳の粒度分布式として Gaudin-Schuhmann の式、Rosin-Rammler の式、正規分布式など提出されているが、いずれも決して完全なものではなく、一応 Gaudin-Schuhmann の式

4) M. Sasaki, R. Kusaka, & K. Arakawa : Tetsu-to-Hagane Overseas, 5 (1965), 327.

を適用すればふるい下積算重量パーセント  $y$  と粒径,  $x(\mu)$  は次式により関係づけられる.

$$y = 100 (x/k)^m \dots\dots\dots (1)$$

$k, m$  はそれぞれ粒度係数および分布係数であって, この二特性値によって分布状況を代表できることになる. 本実験では 100hr 摩鋳した粉鋳を除いて第1図に示されるごとく(1)式によく適合し, かなりの部分を直線であらわすことができた. なお, 文中および図表中の記号表示 M, Mo はそれぞれ磁鉄鋳および赤鉄鋳化試料を示し, その数値は摩鋳時間を示す. たとえば 1 hr 摩鋳して得られた磁鉄鋳粉の記号表示を M-1 のごとく示し, 他の各試料もこの表示法に従って示す.



第1図 各試料の Gaudin-Schuhmann プロット  
 試料: I M-1, II M-4, III M-8, IV M-20, V M-60, VI M-100

また M-1A, B, C は微粉混合試料を示し, その混合割合は各試料の粒度特性および比表面積値とともに第2表に示す.

第2表において実験目的から試料の中には実際操作に比し必要以上に摩鋳したものもあるが, 摩鋳が進むにつれて分布係数はわずかながら小さくなる傾向が示され, 摩鋳条件には無関係で鋳石特有の値で一定であるという報告<sup>5),6)</sup>とは明らかに異なる. 一方粉砕の機構 (Impact, Abrasion, Chipping) によっては分布係数が変化するという報告<sup>7)</sup>やボール

第2表 試料の粒度分布特性と比表面積

試料	分布係数	粒度係数	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	
			ガス透過法	B E T 法
M-1	0.773	234	938(13.7)	1021×10 <sup>2</sup> (0.13)
M-4	0.749	89.2	2,530	
M-8	0.73	60.0	3,422(3.7)	
M-20	0.66	57.6	4,293	
M-60	0.63	59.2	5,745	
M-100	—	—	10,670	
Mo-1	0.773	234	770(16.5)	243×10 <sup>2</sup> (0.52)
Mo-8	0.73	60.0	2,840(4.2)	
M-1A	(M-1), 84%+(M-100), 16%		1,565	
M-1B	(M-1), 79%+(M-100), 21%		2,241	
M-1C	(M-1), 66%+(M-100), 34%		3,517	

M : 磁鉄鋳試料      Mo : 赤鉄鋳化試料  
 M-1 A,B,C : 微粉混合試料      ( ) : 比表面積径 (μ)

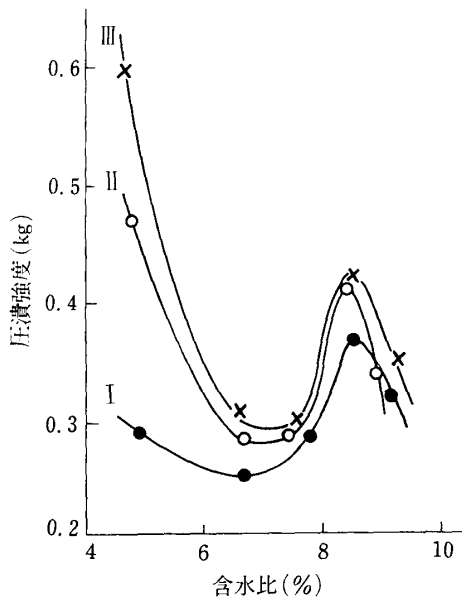
ミル内の粉砕が単一機構だけでは進まないことも考え合せると摩鋳条件によっては分布係数の変

5) 森永孝三, 池野輝夫, 岩崎 巖: 鉄と鋼. 50 (1964), 743.  
 6) 川崎製鉄技術研究所: 学振54委-1001 (昭和40年4月2日)  
 7) D. D. Crabtree, R. S. Kinasevich, A. L. Mular, T. P. Meloy, & D. W. Fuerstenau: Trans. Soc. of Mining Eng., 229 (1964), 201.

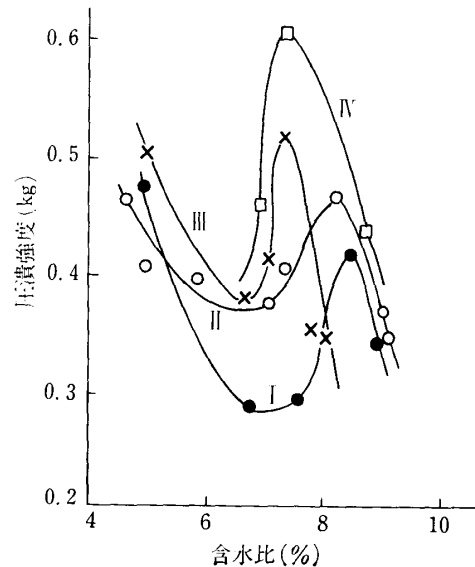
化はあり得るので、磁鉄鉱の粒度分布測定と合せて今後検討すべき問題であろう。また磁鉄鉱粉の赤鉄鉱化の際の熱履歴の影響はガス透過法による比表面積径にはほとんど示されず BET 法による比表面積値に顕著に示された。このことから各粒子の形状、大きさは本法の熱履歴によってあまりかわらず、実用上 BET 法と透過法による比表面積値の比を粒子表面のあらさを表わすあらさ係数と考える<sup>8)</sup> とこのあらさ係数がかなり低下した、つまり粒子表面がかなりなめらかになったものと推察される。このことは後述の検鏡によっても実証されたが生および乾燥ペレットの性質との関連において注目すべきである。

## 2) 生ペレットの圧潰強度と含水比の関係

生ペレットの圧潰強度と含水比の関係を第2～5図までそれぞれ示す。ここで含水比は生ペレットの結合液重量とペレットの乾燥重量の比で示される。図から明らかなごとく、生ペレットの圧潰強度は含水比が増大するとともに急激に増加し、ある含水比で最高値を示す。いまこの最高値を前述の造粒条件における適正含水比と仮定すればこの適正含水比はきわめて狭い範囲にあり、それ以上に含水比が高くなると、ペレットの強度は急激に低下するとともに造粒時のペレットの変形がはげしく造粒が不可能となる。本測定範囲内で、ある含水比以下になると第2, 3図に示されるように圧潰強度が急激に増加するといった供試磁鉄鉱の特異性が示された。



第2図 M-1 による生ペレットの圧潰強度と含水比の関係におよぼす給鉱速度の影響  
給鉱速度：I 30g/min, II 10g/min, III 3g/min



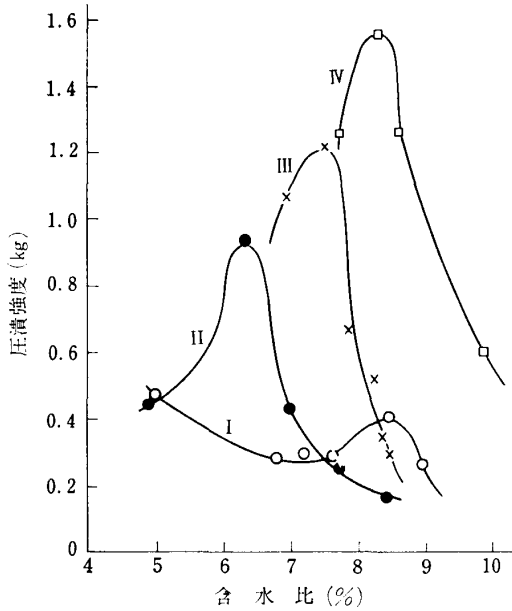
第3図 種々の磨鉱条件により得た試料の圧潰強度と含水比の関係  
試料：I M-1, II M-4, III M-8, IV M-20

この特異性については本法の目的よりはずれるので追求しなかった。一方M-20, 微粉混合試料および赤鉄鉱化した試料によるペレットにはこのような特異性は認められなかった。(第3～5図)

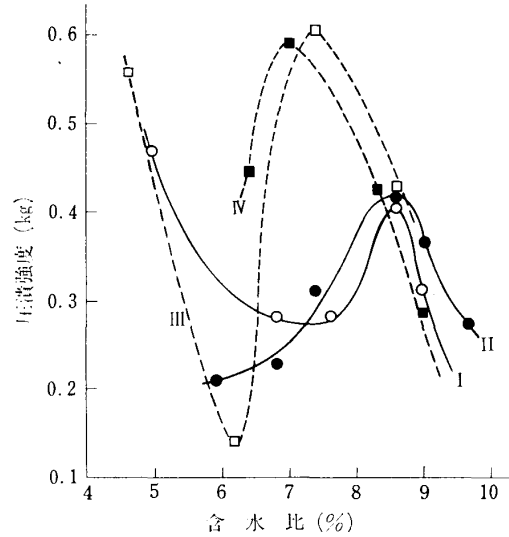
生ペレットの圧潰強度と含水比の関係には給鉱速度と各種磨鉱度の異なる試料は類似の効果を示し、細粒すぎて造粒が不可能だった M-60, M-100 試料を除き、磨鉱が進むほど適正含水比は低い方に移るとともに、強度は増大する。しかし給鉱速度が 3g/min に低下すると本試験

8) 東畑平一郎, 藤田重文: 化学工学II, (1963), 15, 東京化学同人.

条件下では各ボール間で選択的な成長が起り、造粒されたボールの粒度分布の幅が大きくなり生



第4図 生ペレットの圧潰強度と含水比との関係におよぼす微粉混合の影響  
試料: I M-1, II M-1A  
III M-1B, IV M-1C



第5図 生ペレットの圧潰強度と含水比との関係におよぼす磁鉄鉱粉の赤鉄鉱化の影響  
試料: I M-1, II Mo-1  
III M-20, IV Mo-20

ペレットより焼成ペレットまでの試験に必要な所定粒度のボールの必要個数が得られなかったの  
で以後の各実験では 10g/min と一定にして行った。また第4図から明らかなごとく微粉混合に  
よるペレットの場合、微粉が増大すると強度は増加するが適正含水比は逆に高い方に移る結果が  
得られ、他の試料の場合とボールのでき方に相異することが推定される。一方赤鉄鉱化試料によ  
る生ペレットは第5図に示すごとく磁鉄鉱試料によるものと適正含水比および強度ともほとんど  
同じ値を示すことが確認された。

3) 生ペレットの見かけ密度と含水比の関係

いま生ペレットの含液状態の見かけ密度を  $\rho_0$ 、含水比を  $\alpha$ 、とすれば生ペレットの見かけ密  
度  $\rho$  は次式で表わされる。

$$\rho = \rho_0 / (1 + \alpha)$$

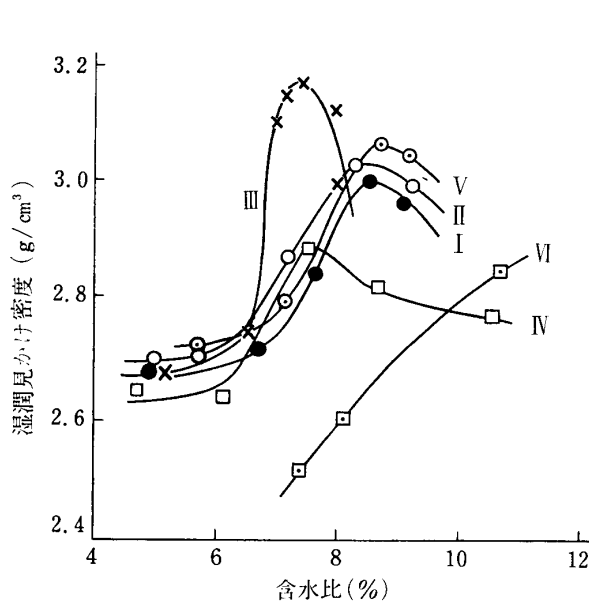
この見かけ密度と含水比の関係を第6図に示す。

図から明らかなごとく最高充填密度の得られる適正含水比の範囲はきわめて狭く、この関係は  
第3~5図に示される含水比と圧潰強度との関係と同様な傾向を示すとともに、各曲線のピーク  
はほぼ対応している。しかし圧潰強度が急激に増加する低含水比領域においても見かけ密度がほ  
ぼ一定値を示していることは本供試々料の特異性と見做して差支えなからう。また M-20, M-  
1 C 試料によるペレットは強度が高いのに見かけ密度は低く、とくに M-1 C の場合は本測  
定範囲内ではまだ最高充填密度が得られず第4図のピークと対応せず、各粒の充填状況および結  
合液の寄与が他の試料と異っていることを裏付ける。

4) 水分飽和度と生ペレットの見かけ密度の関係

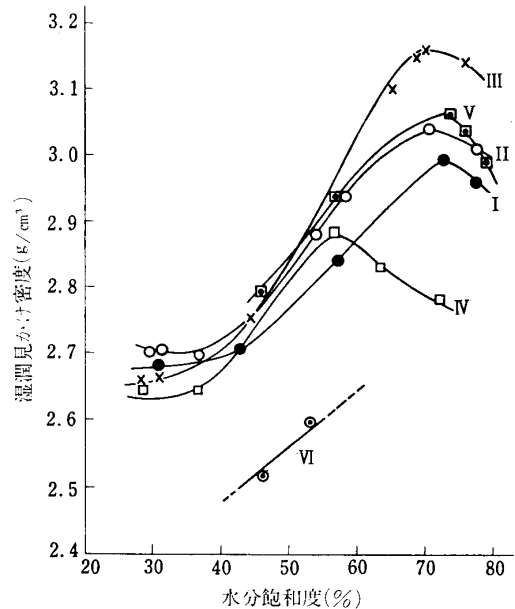
第3~6図から明らかなごとく結合液量と圧潰強度および見かけ密度とは密接な関係があるこ

とが示されたが, 近藤, 松本, 桜田<sup>9)</sup> が与えたごとく, 生ペレットの見かけ密度を  $\rho$ , 含水比を  $\alpha$ ,



第6図 湿潤見かけ密度と含水比の関係

試料: I ● M-1, II ○ M-4  
III × M-8, IV □ M-20  
V ⊙ Mo-4, VI ■ M-1C



第7図 湿潤見かけ密度と水分飽和度の関係

試料: I ● M-1, II ○ M-4,  
III × M-8, IV □ M-20,  
V ⊙ Mo-4, VI ■ M-1C

粉鈹の真比重を  $\rho^*$  (釜石磁鉄鈹 4.66), 水の密度を  $\rho_w$  とすると結合液が生ペレットの間隙空間を占める割合すなわち飽和度  $\epsilon'$  は次式で算出される.

$$\epsilon' = \frac{\rho \times \alpha / \rho_w}{1 - \rho / \rho^*} \times 100, \%$$

この飽和度と見かけ密度の関係をもとめれば第7図のごとくである.

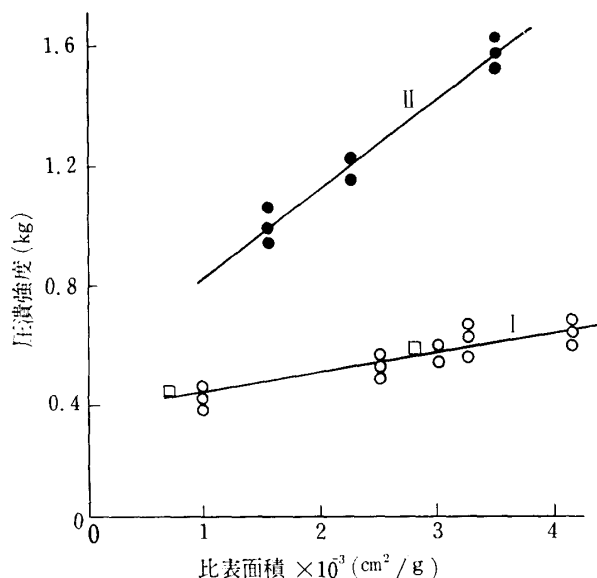
同図から明らかなごとく飽和度ほぼ 40% から見かけ密度は直線的に増加し最高圧潰強度で最高充填密度を示すペレットは飽和度がほぼ 70% 近辺にあり, それ以上になると見かけ密度は急激に減少することが示された. この数値は前報<sup>1)</sup> および近藤, 松本, 桜田<sup>9)</sup> の示した値より低く本法で採用した乾燥試料による造粒とかれら<sup>1), 9)</sup> の湿潤試料による造粒との相違によることも考慮すべきであるが, いずれにしてもある水分飽和度で最高密度が示されることは明らかで生ペレットの見かけ密度と圧潰強度との関係は水分飽和度に強く影響をうけるものと考えられる. しかし M-20 によるペレットは約 55% の飽和度で最高充填密度を示し, また M-1C ペレットは本測定範囲では直線的に増加し最高圧潰強度と飽和度の対応は認められなかった.

#### 5) 生ペレットの圧潰強度と比表面積の関係

生ペレットの圧潰強度と比表面積の関係を第8図に示す. 図から明らかなごとく磁鉄鈹および赤鉄鈹化試料によるペレットは同一直線上にのり生ペレットの圧潰強度が毛管力に強く依存することを裏付けるもので<sup>3)</sup>, この毛管力は磁鉄鈹の赤鉄鈹化による熱履歴に影響をうけないことを示し, 前報<sup>1)</sup> における3銘柄が同一直線上にのることと考え合せると興味深い. 一方微粉混合試料ペレットも直線関係を示すがその強度は前2者に比し相対的に高く, かつ勾配も大となり, 各種混合鈹石によるペレタイジングの一つの示唆となろう.

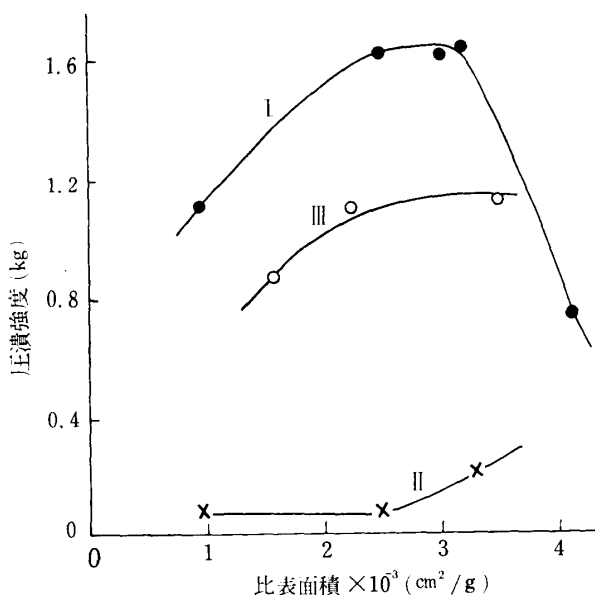
6) 乾燥ペレットの圧潰強度と比表面積の関係

乾燥ペレットの圧潰強度と比表面積の関係は第9図に示される。同図と第8図と対比すると磁鉄鉱試料によるペレットは乾燥過程のみにより圧潰強度を増大することが認められる。しかし M-20 試料によるペレットのごとく比表面積が約 3,000cm<sup>2</sup>/g 以上になると本実験条件のもとでは生ペレットの圧潰強度は増大するのに乾燥強度は逆に急激に減少する結果が得られその形状も球形からかなりずれたペレットとなることから微粉の造粒における磁気効果はかなり影響していると思われる。一方赤鉄鉱化試料による乾燥ペレットはわずかに指圧にも耐え得ぬほどの強度を示しまた微粉混合試料からのペレットも赤鉄鉱化試料によるものほどではないが、乾燥によって強度が低下する結果を得た。これらの結果は磁鉄鉱試料によるペレットの低含水比領域における強度の異常増



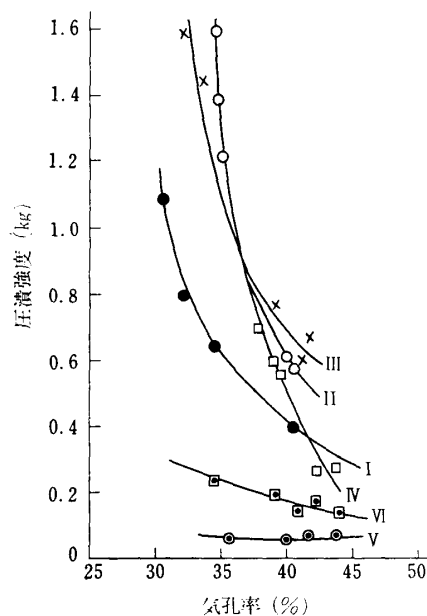
第8図 生ペレットの圧潰強度とガス透過法による比表面積の関係

試料: I ○ 磁鉄鉱, □ 赤鉄鉱化  
II ● 微粉混合



第9図 乾燥ペレットの圧潰強度とガス透過法による比表面積との関係

試料: I 磁鉄鉱, II 赤鉄鉱化, III 微粉混合



第10図 乾燥ペレットの気孔率と圧潰強度の関係

試料: I M-1, II M-4, III M-8  
IV M-20, V Mo-4, VI Mo-20

加, 赤鉄鉱化試料および微粉混合によるペレットの見かけ密度と圧潰強度の不对応などとともにも銘柄によって一般則の適用を困難ならしめるものと考えられる。

7) 乾燥ペレットの圧潰強度と気孔率の関係

乾燥強度と気孔率の関係を第10図に示す。

同図からわかるごとく磁鉄鉱試料からのペレットは気孔率の減少および細粒の増加とともに圧

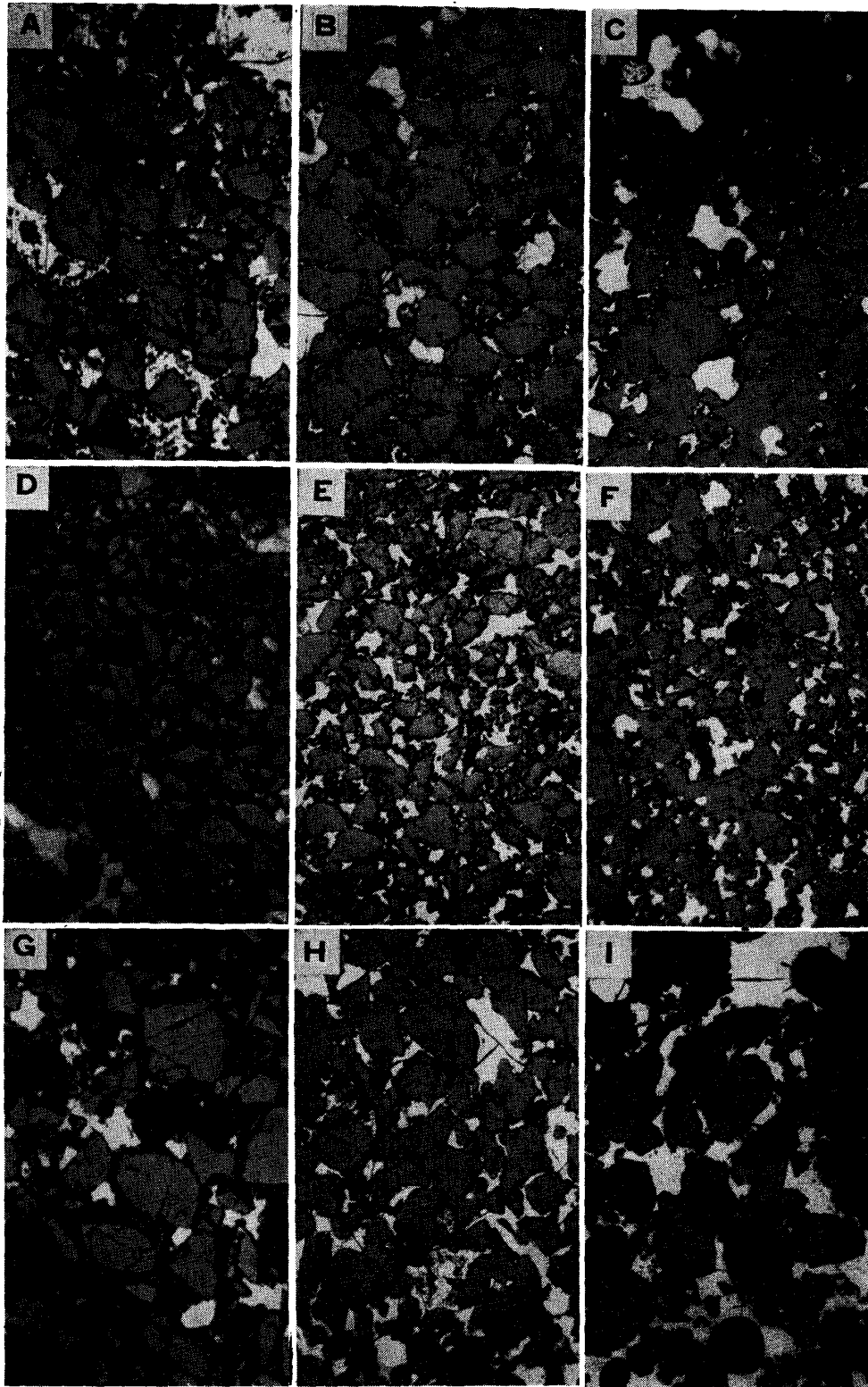


写真 薄片による顕微鏡組織, 反射光および透過光併用, ( $\times 100$ )  
 A, D, G: 乾燥ペレット, B, E, H: 1,250°C 焼成, C, F, I: 1,300°C 焼成

潰強度が増大するが, 本試験条件によるペレットの気孔率は現場使用に比しやや高い値となる。



また赤鉄鉱化試料からのペレットは乾燥強度が極めて低いので気孔率との関係は示し得なかった。

#### 8) 乾燥および焼成ペレットの組織

薄片による乾燥ペレットの充填組織を写真 A, D, G に示す。写真 A は磁鉄鉱ペレットであるがこの場合各粒子は刃状でその表面はかなり粗く、粒内に亀裂が認められるが、その充填はそのような粒径の異った各粒子がたがいにより大きい粒子の接間触隙をうめる形をとり、その点での圧潰に対する抵抗が強度に大きい役割りを示していると判断しうる。写真 D は赤鉄鉱化試料によるペレットの場合であるが、その充填様式は前者とほぼ同じとみなされるが、各粒子の表面はかなり滑らかで丸みを帯び前述の赤鉄鉱化の熱履歴によるあらさ係数の低下をはっきりと裏付け、接触間隙での圧潰に対する抵抗がかなり弱いことがわかる。写真 G は混合試料によるペレットの場合でその充填様式が前二者と極端に異っている。すなわち微粉のある部分は群粒による疑似粒度を形成しまたある部分は粗大粒子の周りを層状に覆った形をとり、それらの間での接触充填が強度に寄与していることが示された。またそれら充填組織の焼成による結合状態の変化およびそれに対応する圧潰強度の変化を写真 B, C, E, F および第3表に示す。

第3表 生、乾燥および焼成ペレットの気孔率と圧潰強度

試料	生ペレット 圧潰強度 (kg)	乾燥ペレット		焼成ペレット					
		気孔率 (%)	圧潰強度 (kg)	1,150°C		1,250°C		1,300°C	
				気孔率 (%)	圧潰強度 (kg)	気孔率 (%)	圧潰強度 (kg)	気孔率 (%)	圧潰強度 (kg)
M-1	0.4	31.5	1.1	28.8	54.5	29.0	112	27.4	132
Mo-4	0.5	40.0	0.06	37.3	23.5	29.4	108	27.7	125
M-1C	1.52	42.3	1.06	38.0	38.3	35.1	87	33.2	92.5

焼成条件：昇温速度 5°C/min にて所定温度に上げ、同温度に 1 hr 保持後炉冷。

各試料の間には焼成温度上昇にともなう結合組織の変化およびその程度にかなりの相違が明らかである。すなわち写真 B, E, H で示されるごとく、焼成温度 1,260°C ではまず粗粒間隙の微粒子同志の焼結およびそれを架橋として粗粒同志の焼結がはじまり、架橋による結合がその接触点で強化されつつある傾向を示すが、その焼結の進み方は Mo-4 試料に比べて M-1, M-1C 試料が早いことが観察される。しかし M-1C の場合群粒の焼結の結果、一つの粗粒の形態をとり、微粒子を架橋とした結合は示されず結合力としては弱いことが想像できる。さらに 1,300°C となると各試料とも架橋結合が強化され、写真 C, F, I で示されるごとく、その度合は M-1, Mo-4, M-1C の順で小さいことが観察され、とくに M-1C は群粒は完全に一つの粒子を形成し粗粒との識別は困難となるがまだその結合が弱いと想像される。またこれらの組織と第3表に示される相対的数値とはかなりよく対応している。これらの数値については熱履歴の条件など、なお検討を要することが多くここでは参考値に止めたい。

## 4. 考 察

### 1) 生ペレットの強度発生機構に関する考察

粉体粒子間に水分が存在する場合、粒子間の結合力を支配する凝集力発生機構には大別して水の凝集力(付着力)と毛管負圧力の2種が考えられ、それぞれ次式で定められる。

$$\text{付着力} : F = \pi d T / (1 + \tan \theta / 2)$$

$$\text{毛管力} : H = 2 T \cos \theta / r \rho_L g$$

ここで、 $F$  は結合力 (dyne),  $T$  は表面張力 (dyne/cm),  $d$  は粒径 (cm),  $\theta$  は接触角,  $r$  は毛管半径,  $\rho_L$  は液体の比重 ( $\text{g/cm}^3$ ),  $g$  は重力の加速度を表わす。両式から付着力は粒子

間に存在する水分量が低められると高くなり, また毛管力は接触角がほとんど変わらないとすると毛管半径が小さいときほど高くなることを示している. また液体を含む充填構造からその水分飽和度により5つの状態に分類される<sup>10), 11)</sup>. すなわち結合液が粉体粒子群中に分散し粉体間に架橋した状態 (Pendular stage) で付着力によって結合される. さらに液体の飽和度は漸次増大して, 架橋状態が連続してくる状態 (Funicular-I) では付着力が漸次低下する. さらに液体を高めると粉体と粉体の間の空隙ガス部分が不連続となり毛管力が作用しはじめ (Funicular-II), この領域で結合力は最大となり, さらに充填構造が Capillary 状態に入ると可塑性を示しはじめ結合力がきわめて弱く, 変形しやすくなる. かかる基礎から実験結果を考察すると, 本実験による適正含水比は水分飽和度約 70% に相当し, 前述のごとき他の報告<sup>1), 9)</sup> に比べ低い値を示しているが, ほとんど毛管力による結合に依存することは明らかで, 第8図から推察できるようにこの力が最高充填密度をもたらすものと考えられる. 粉体の粒径および給鋳速度の低下はこの毛管力を助長する役割をもち充填密度が増大する結果, 適正含水比が低い方へ移動するのは当然と考えられる. また微粉混合試料のペレットの場合他の試料によるペレットより圧潰強度が高く, 微粉混合量を増すにつれて適正含水比が高い方にずれることが示されたが, M-1C に関する乾燥ペレットの充填組織は写真Gで明らかのごとく微粉が群粒となり, 疑似粒度のかたちで造粒されていることがわかり, そのかぎりでは当然毛管負圧力の低下にともない強度の低下が予想される. しかし湿潤時のペレットそのままの充填組織を明らかにできないが湿潤状態の群粒の強度への助長がとくに顕著であることが推察される. しかしながらいづれにしても生ペレットの強度は結合液の力に大きく左右されることは間違いない. それが粉鋳の性質, 粒度特性, 形状および造粒機の諸元などと適正に条件づけられたとき最高強度を示すものと考えられる.

## 2) 乾燥ペレットの強度発生機構に関する考察

乾燥ペレットの圧潰強度に関しては Rumpf<sup>2)</sup> の報告があり, 一般に凝集体の圧潰強度は粒子相互のからみ合い, Van der Waals 力, 摩擦力等によるといわれているが写真 A, D, G に示されるように粒子の形状および表面のあらさなど粒子相互のからみ合いがとくに写真 A において明瞭に示され, 強度がもっとも高い結果と対応している. 一方写真 D, G で示されるごとく, 粒子表面のなめらかさおよび疑似粒度のように摩擦力のみで強度をもつようなペレットは当然ながら圧潰強度が小さい. 以上の結果から生ペレットつまり含液状態のペレットの強度発生機構とは意味がはっきり異なり, 生ペレットの圧潰強度の高いものかならずしも高いとはかぎらず, あくまでも乾燥されたときの粒子相互のからみ合いで支配されると考えられる. しかし実際現場でも脈石などのスライム付着はありうるし, 本実験では試料中にかなりの量で含まれている脈石の影響は顕著に現われなかった. しかしそれら脈石のバインダーの作用は無視できないと考えられ, また実際使用に比し, 本実験で得たペレットは気孔率が大きく圧潰強度が低いことから造粒条件および焼成条件の適正には再考の余地があると思われる.

さらに今後は比較的脈石の少ない磁鉄鋳との対応, バインダーによる強度の上昇と充填状況の変化および純粋な赤鉄鋳の磁鉄鋳化試料による造粒機構などを検討していくつもりである.

## 5. 結 語

前報<sup>1)</sup> に引続き釜石磁鉄鋳の摩鋳による粉鋳, その赤鉄鋳化試料および微粉の混合試料からのペレット特性をとくに強度に重点をおいて調べつぎの結果を得た.

10) 久保輝一郎, 水渡英二, 中川有三, 早川宗八: 粉体, (1962), 丸善.

11) 梅屋 薫, 岩尾 熙: 化学工学, 24 (1960), 230.

- 1) 造粒に必要な最適水分量は給鉱速度が遅く、摩鉱の進んだ粉鉱ほど低下する。
- 2) 生ペレットの圧潰強度の極大値と充填密度の極大値はほぼ一致し、この場合の水分飽和度はほぼ 70% である。
- 3) 生ペレットの圧潰強度とガス透過法による比表面積との間には直線関係が得られ、磁鉄鉱試料および赤鉄鉱化試料によるペレットは同一直線上にのるが微粉混合によるペレットは同一直線にはのらない。
- 4) 磁鉄鉱試料によるペレットは乾燥時圧潰強度が増大するが、赤鉄鉱化試料および微粉混合試料によるペレットは逆に低下し、とくに赤鉄鉱化試料によるペレットは極めて低い強度となる。
- 5) 薄片による検鏡からそれら 3 者試料による乾燥ペレットの充填組織にかなりの相違が認められた。
- 6) 焼成温度上昇による各ペレットの気孔率、圧潰強度および充填組織の対応も調べた。

本研究遂行にあたり、赤鉄鉱化試料の作製に焙焼炉の使用を許可された東北金属KK、仙台製造所々長鈴木弘毅博士およびその使用に際してご協力頂いた同所奥田健治、小野寺正の両氏ならびに本研究遂行に有益なる示唆を賜った八幡製鉄株式会社東京研究所第4基礎研究室室長近藤真一博士はじめ研究室の諸氏に深謝致します。