

論 文

焼結原料擬似粒子の核となる鉱石の鉱物特性評価

肥田 行博*・伊藤 薫*・岡崎 潤*

佐々木 稔*²・梅津 善徳*³

Evaluation of Coarse Ores for Sintering on the Basis of Their Mineralogical Properties

Yukihiro HIDA, Kaoru ITO, Jun OKAZAKI,

Minoru SASAKI, and Yoshinori UMEZU

Synopsis :

In order to evaluate the coarse ores which become nuclei in quasi-particles and unmelted particles in sinter, their mineralogical properties were investigated.

The granulating ability and the reducibility of coarse ores were characterized on the basis of the porosity of pores with diameters smaller than $100\ \mu$ before and after rapid heating up to 1350°C , respectively. The fusibility of a nucleus particle was determined according to the recrystallization degree of hematite grains after heating, which was related closely to the porosity.

Sintering tests were carried out by using some kinds of quasi-particles which differed in the porosity of nucleus particles to clarify the influences of the mineralogical properties of coarse ores on the production and the quality of sinter.

The productivity was reduced with increasing the fusibility of coarse ore as a consequence of the decrease in the permeability of the melting zone in the sintering bed and the strength of sinter cake. The reducibility of sinter depended on that of coarse ores.

1. 緒 言

最近の焼結操業では擬似粒化の向上、含 SiO_2 副原料の微粉碎などの対策によって、燃料原単位は著しく低減した。焼結鉱の鉱物組織の面では、供給熱量の減少に伴って未熔融の鉱石（残留元鉱）が増加し、面積率で 30～40% を占めるようになってきている。

残留元鉱は本来大きな鉱石粒子であり、擬似粒子の核としてその形成に大きな影響をおよぼすことは明らかである。この核粒子は、焼結過程で通気性を確保するためにも必要とされているが、融体化しやすい銘柄の場合にはかえって通気を阻害する危険性もある。また焼結層内では急速に加熱されるので、鉱石の銘柄によっては熱割れやき裂発生の可能性もある。前者は擬似粒子の崩解、後者は還元粉化につながるもので、避けなければならない。さらに残留元鉱が多量に存在することで、焼結鉱の被還元性は元鉱の性質の影響を大きく受けることも考えられる。

現在、被還元性の向上あるいは低スラグ化が志向されているが、限界に近い低供給熱量の下では、鉱石銘柄の影響が際立つて強く現れるようになってきている。鉱石の基礎的な性状を調べて、造粒¹⁾、焼結反応²⁾、品質³⁾などを改善しようとする研究が盛んになってきたのも、焼結技術の進歩に伴い要請されてきたものである。

本研究では、(1)造粒性、(2)溶融性および(3)被還元性に核粒子となる粗粒鉱石の影響がとくに大きいと考えられる鉱物特性を抽出して定量化し、特性値にもとづいて分類した。さらに焼結鍋実験を行って、特性値と実験結果との関係について検討した。

2. 実 験 方 法

2.1 造粒性に関する鉱物特性値の測定

造粒性には、粒度構成のほかに鉱石の表面構造および化学的性質が重要とされ、表面粗度¹⁾、吸水性¹⁾、濡れ性¹⁾²⁾などの基礎性状が調べられているが、これらは微粉鉱石を対象としたものである。一方、実工程の擬似粒

昭和 56 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 57 年 3 月 24 日受付 (Received Mar. 24, 1982)

* 新日本製鉄(株)基礎研究所 (Fundamental Research Laboratories, Nippon Steel Corp., 1618 Ida Nakahara-ku Kawasaki 211)

*² 新日本製鉄(株)基礎研究所 工博 (Fundamental Research Laboratories, Nippon Steel Corp.)

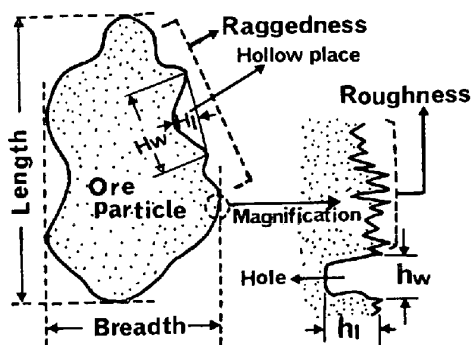
*³ 新日本製鉄(株)君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

子を観察すると微粉がほぼ 1 mm 以上の核粒子のへこみ部にひつかかるようにして水分で付着しており、さらに核粒子の全面が微粉で厚く包まれたような擬似粒子は認められない⁹⁾ ことから、幅広い分布を有する焼結原料の粒化には核粒子のへこみ部の形状と、そこに水が十分存在することが重要と考えられる。また、付着粉が同じであつても核粒子の鉱石銘柄⁹⁾ あるいは転動距離¹⁰⁾で粒化状況は大きく異なるとの造粒実験結果が報告されている。通常のドラム型造粒機内では原料はある高さまでかきあげられたのちに、斜面を転がりながら落下する。この運動を繰り返すことによつて粒化が進むが、丸い核粒子はよく転動するのに比べて扁平なものは滑り落ちるだけであり、微粉の付着は十分に行われない。

以上の状況から、核粒子の造粒性には従来の基礎性状のほか、転動に関連する巨視的な形状と、へこみ部をはじめとする粒子表面での保水能を考慮する必要があると考えられた。そこで 15 種のヘマタイト系鉱石を対象に、形状については Fig. 1 に示す 3 種の方法で調べることにした。ほぼ 1 mm 以上の鉱石が核粒子となるが¹¹⁾、小さいと次に述べる凹凸状態の観察はむづかしかつたので、焼結原料から 2~5 mm のものを篩出して試料とした。

図中の扁平度 (Ratio of breadth/length) は、各銘柄について 20 個の粒子の投影像から短軸径/長軸径の比を測定して決めた。表面の凹凸状態 (Reggedness) は、実体顕微鏡でへこみ部の大きさを観察して判定した。表面粗度 (Roughness)、気孔の存在、ヘマタイトの結晶粒径などの測定には走査電子顕微鏡を使用した。

つぎに、保水能は Fig. 2 に示す 2 つの方法で評価し

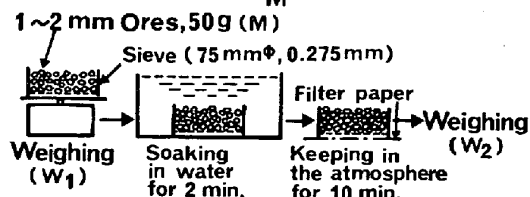


- (1) Ratio of breadth/length was measured from the projected shapes of 20 particles.
- (2) Raggedness of a particle was investigated by the observation of hollow size (H_w, H_l). (Stereomicroscope of 16 magnification was used.)
- (3) Roughness of the surface and grain size of hematite were observed by the scanning electron microscope of 500 magnificant.

Fig. 1. Characterization of coarse iron ores in raw mix according to their shapes.

(a) Degree of water holding (w.h.)

$$w.h. = \frac{W_2 - W_1}{M}$$



(b) Vaporizing velocity of water

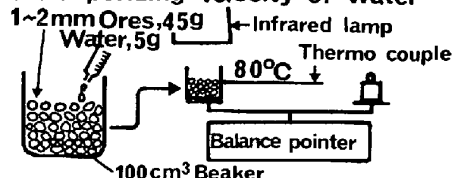


Fig. 2. Schematic diagram of method for measuring the water holding properties of iron ores.

た。測定条件としては、事前に数種の鉱石で時間、温度などを変えて予備実験を行い、能率的で再現性の良いものを選んだ。粒径によるばらつきが小さくなるように、試料粒径は 1~2 mm とした。以下に Fig. 2 の各測定方法について説明する。

(a) 50 g の鉱石を篩に入れて水中に浸漬した後、10 min 大気中に放置して篩に付着した水分を除き、含水率を測定した。本研究では“保水率” (Degree of water holding) と呼ぶことにした。

(b) 45 g の鉱石に水 5 g を添加して 10% の水分に調整したのち、赤外水分計を使用して 80°C における蒸発速度 (Vaporizing velocity of water) を測定した。ここでは全水分の蒸発時間から、水 1 g の平均蒸発時間を算出して評価した。

表面の凹凸状態および保水能は開気孔率とも関連があると考えられたので、100 μ 以下の気孔容積を水銀圧入法によつて測定した。1 回の試料は約 3 g である。

2.2 溶解性および被還元性に関する測定

溶解性の評価は、鉱石を焼結層内に近い昇温速度で加熱し、その熱でヘマタイト結晶粒が変形する度合いから行うことを考えた。これは、1~2 mm の試料 10 g を白金製容器に入れて 1350°C に保持した電気炉に装入し、4 min 後に大気中に取り出して試料破面を走査電子顕微鏡で観察する方法によつた。昇温速度は、その中心に熱電対を埋め込んだ 5 mm 角の鉱石を同時に混入して測定したが、2 min で 1100°C までほぼ直線的に上昇し、試料取り出し直前では 1320°C であつた。電気炉の温度を 1350°C としたのは、それ以上ではヘマタイトが熱解離し、溶解性が評価できなくなるおそれがあつたからである。

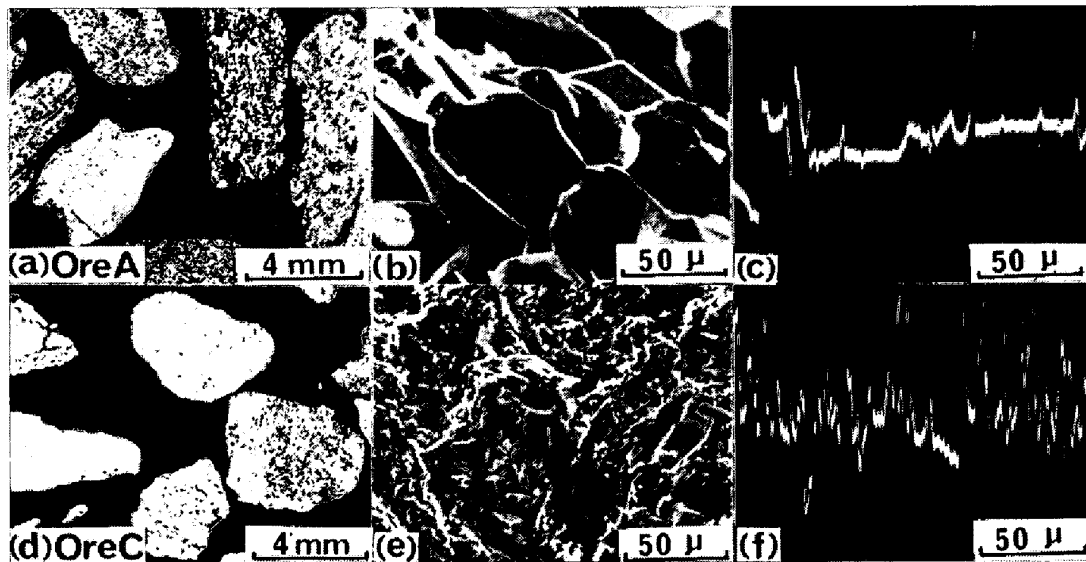
被還元性については、気孔率と密接な関係のあることが知られているので、上記の加熱処理した試料の 100 μ 以下の気孔容積を測定することにより評価した。

2.3 焼結鍋実験

焼結鉱の品質と生産性に及ぼす核粒子鉱石の鉱物特性の影響を確認するために、理想化した擬似粒子を使つて焼結実験を行うことにした。すなわち、核粒子の鉄鉱石粒度は 2~5 mm, 他の原料は付着性のよい 0.5 mm 以下に調整し、鉄鉱石中の粉/核の比率は 4/6 とした。さらに粒化の状態をなるべく一定に保つために、水和して鉱粒の結合材となる生石灰⁸⁾を 2% 添加して造粒した。供給熱量も一定とすべく、コークスを除く原料中の

FeO はミルスケール破碎粉で 3.5% に調整し、コークスは等量配合した。SiO₂ は 5.7%, CaO/SiO₂ は 1.48 となるように微粉の石灰石、軟珪石を添加した。

焼結実験では、まず焼結反応帯の通気性におよぼす影響を調べるために、既報¹²⁾の内径 60 mm ϕ の小型焼結鍋を使つて、中層部の圧力損失を連続的に測定した。コークス量は 4%, 層厚は 450 mm とし、吸引負圧は点火 2 min が終了するまでは 1000 mmH₂O, その後は 1500 mmH₂O に保つた。つぎに、生産性、被還元性の評価は、直径 300 mm ϕ の鍋を使用して行つた。試験条件は、コークス量 3.5%, 層厚 500 mm, 点火後の吸引負圧は 1800 mmH₂O である。



(a), (d) : Sectional plane (b), (e) : Scanning electron micrograph (c), (f) : Roughness at the horizontal center of (b) and (e) Ore A.....Group (I), Ore C.....Group (III) (Table 1)

Photo. 1. Classification of iron ores according to their shapes.

Table 1. Classification of coarse iron ores in raw mix on the basis of the mineralogical properties related to granulation.

Group	Breadth Length	Shape of particle and surface ^{*1}			Water holding ^{*2} capacity	Pore volume ^{*3} (cm ³ /g)	Granulating ^{*4} ability
		Raggedness	Roughness	Grain size of hematite			
(I) (3) ^{*5}	0.55 ^{*6} (Small)	Plane (No hollow)	Smooth (Few holes)	Large (20~500 μ)	0.233/3.07 ^{*6}	0.030 ^{*6}	Small
(II) (4)	0.69	Relatively plane	Rough	Very small	0.268/2.95	0.025	Relatively small
(III) (2)	0.72	Ragged H _w ; 200~500 μ H _i ; 100~300 μ	Rough (Few holes)	Small	0.245/3.20	0.053	Intermediate
(IV) (4)	0.67		Relatively smooth, with holes of 2~5 μ	Relatively large (5~20 μ)	0.278/3.09	0.055	
(V) (2)	0.66	Very ragged H _w ; 100~500 μ H _i ; 200~500 μ	Very rough, with holes of 5~10 μ	Very small	0.390/3.65	0.120	Large

*1 Measurement was shown in Fig. 1 *2 [Max. water content of packed ores (-)]/[Time required for vaporizing the water of 1g(min)] *3 By mercury porosimetry

*4 Considered from the previous results^{1)-3), 8)-10)} and experiences at sintering operations

*5 Number of ore kind *6 Mean value of each group

3. 実験結果および考察

3-1 造粒性からの試料鉱石の分類

鉱石粒子の断面形状と走査電顕像の代表例を Photo. 1 に示す。鉱石Aは扁平でヘマタイト結晶粒は大きく、表面は平滑である。それに比べて鉱石Cは丸味があり、小さなヘマタイト結晶粒で大きな表面粗度を有する。このように鉱石の形状は銘柄によつて違つている。15種の鉱石は、Fig. 1 に示したような巨視的、微視的形状から Table 1 のごとく5つのグループに分類することができた。これらを一括して Table 1 に示す。

グループ(I)の代表的表面形状は前掲 Photo. 1 の鉱石Aに見られるものである。これに対してグループ(II)~(V)の鉱石は Photo. 1 中の鉱石C(グループ(III))のごとく丸味があり、扁平度はこれらの間ではほとんど変わらない。しかし、巨視的な表面状態は異なつており、(II)よりも(V)の方が凹凸が激しい。(III)、(IV)はそれらの中間に入るが、微視的形状で違いが大きい(Table 1)。

保水能の測定結果は扁平度の測定値と合わせて、Fig. 3 に示した。各測定値は Table 1 の形状分類に従つて区別し、100 μ 以下の気孔割合との関係で整理してみた。鉱石中の気孔は数10 μ 以下と小さかつたので、気

孔割合には全気孔が含まれていると考えられる。

Fig. 3-(a)において、扁平度と気孔割合の間には明瞭な関係が認められない。しかしこの図から、気孔割合はグループ(I)の鉱石で小さく、(V)では大きいことがわかる。つぎに、図中の(b)保水率、(c)蒸発速度と気孔割合の関係はおおむね密接であり、核粒子の保水能は容易に測定できる気孔割合で評価してもほぼ間違はないと考えられる。各グループにおける保水能と気孔割合の平均値は、前掲 Table 1 に記載してある。

以下に、各グループの核粒子としての造粒性について、従来の結果を参考にして評価してみたい。実機擬似粒子では、一般に返鉱のような、巨視的には丸味を帯びていて、表面に大きなへこみのある核粒子で微粉の付着量は多く、扁平な鉱石の平滑面ではごくわずかである⁸⁾。総転動距離の長いほど粒化が進む¹⁰⁾ので、扁平な形状で平滑なグループ(I)は核粒子として好ましくなく、一方比較的丸くて大きなへこみを有する(V)は優れていると考えられる。川頭ら⁹⁾は造粒実験で粒化性の大きく異なる2種の核粒子を用いているが、この中で粒化性の劣る鉱石は本実験の鉱石Aに相当し、優れたものは鉱石Cである。すなわち、グループ(III)の造粒性は(I)よりもはるかに良い。また濡れ性が大きいほどよく粒化する¹¹⁻¹³⁾ので、グループ(I)、(II)よりも保水能の大きな(V)の方が好ましい。これらの結果をまとめると、前掲 Table 1 の最後の欄のごとくグループ(I)の造粒性は劣り、(V)は良好と考えられる。

3-2 ヘマタイトの再結晶性と溶解性

試料破面の走査電顕像を加熱処理前後で比較すると、ほとんど変わらないもの(前述の鉱石A)と Photo. 2 のように大きく変化するものがあり、ヘマタイトの再結晶状況は鉱石銘柄で著しく異なることがわかつた。なお試料鉱石中にはゲーサイトを含むものがあるが、加熱後の走査電顕像ではヘマタイト部とゲーサイト部の明瞭な差はなかつた。写真中の鉱石Dはもつとも変化の激しいものであり、1200 $^{\circ}$ C付近から再結晶を始め、1~3 μ の球状の粒子となる。そこでこの再結晶度にもとづいて、鉱石Aを代表とするほとんど変化しない鉱石群をグループ④、鉱石Dのごとく変化の著しく大きいものをグループ⑤として、中間を⑥、⑦の合計4つのグループに分類してみた。15種の鉱石の分類結果を Table 2 に示す。

試料鉱石を薄片にして詳細に調べると、ヘマタイトの再結晶性はヘマタイトの結晶度ならびに脈石の種類、形態と密接な関連のあることがわかつた。グループ④では、ヘマタイトの結晶は50~300 μ と大きく、脈石は

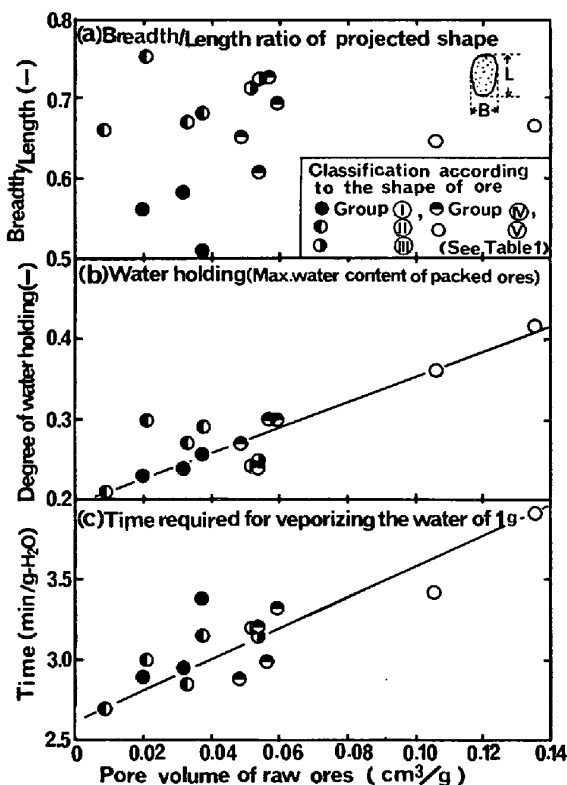
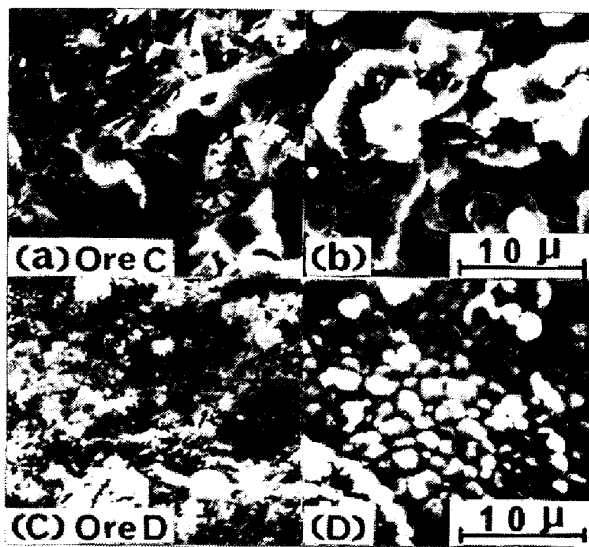


Fig. 3. Relation between shape, water holding capacity and pore volume of ores.

Table 2. Classification and evaluation of iron ores according to the recrystallization of hematite grains after heating.

Group	Change in the shape of hematite grains after heating*1	Pore volume after heating*1	Degree of fusibility
Ⓐ (3)*2	Large grains and no change	0.034 cm ³ /g*3	Very small
Ⓑ (2)	Small change	0.037	
Ⓒ (5)	Change into small plate-shaped particles with agglomerate to some lumps of 10~20μ(Photo. 2-(b))	0.051	
Ⓓ (5)	Recrystallization in the form of very small spheres of 1~2μ in diameter (Photo. 2-(d))	0.071	Very large (Excessive)

*1 Heating up to 1350°C *2 Number of ore kind *3 Mean value of each group



(a), (c) : Before heating
(b), (d) : After heating up to 1350°C
Ore C...Group Ⓐ, Ore D...Group Ⓓ (Table 2)

Photo. 2. Scanning electron micrographs of the fractures of ore particles before and after heating.

安定な石英で、50~200 μ と比較的粗大であった。一方、グループⒹではゲーサイトが共存し、ヘマタイトの結晶はⒶの場合の 1/10 以下であった。脈石は粘土鉱物で、ヘマタイトの粒間を埋めてほぼ一様に分布していた。グループⒷ, Ⓒはそれらの中間で、Ⓒの方がゲーサイトおよび粘土鉱物が多い。粘土鉱物にはアルカリを含有するものがあり、融液発生温度は比較的低いと推察された。グループⒹでは、ヘマタイトがさらに微結晶であり、かつ粘土鉱物が多いので、加熱するだけで容易に再結晶すると思われる。

最近、実操業でリモナイトに富む鉄石の増加に伴って通気性の悪化や焼成むらが発生し、その対策の一つとして微粉碎した鉄石と石灰石の反応実験結果から熔融特性による分類が行われている⁶⁾。それによると、鉄石 A のとき“緻密堅硬質”ヘマタイトは難熔融原料、鉄石 D のようなリモナイト系鉄石は易熔融原料とされ、実操業経験とよく合致している。この分類は本実験でのヘマタイトの再結晶性にもとづく評価によく一致しており、

前掲 Table 2 に示したごとく、グループⒶは熔融しにくく、Ⓓになるほど熔融性は増大するといえる。焼結過程では、融液が鉄石内へ浸入し、ヘマタイト結晶粒間を破断しながら融体化が進む。ヘマタイトの再結晶性は、多孔質でヘマタイト結晶粒は小さく、その粒間に低温で融液を生成しやすい粘土鉱物を含むものほど大きくなるので、熔融性とよく対応するものと考えられる。

前掲 Table 2 には加熱後気孔割合の各グループの平均値を記載した。なお、ヘマタイトの再結晶性はゲーサイトや粘土鉱物とも関連があることに起因して、加熱前気孔割合ではばらつきが大きく整理できなかった。加熱後気孔割合は、使用上とくに注意すべきⒹの過熔融鉄石で大きく、Ⓐの難熔融性鉄石では小さいことから、熔融性もまた加熱後気孔割合で評価してほぼ間違いないと考えられる。

3.3 被還元性からの試料鉄石の評価

1350°C 加熱処理後の気孔割合と JIS 還元率の関係を Fig. 4 に示す。両者にはよい直線関係が認められ、気孔の増加に伴って被還元性の向上することは明白である。

つぎに、焼結鉄の高炉内での還元状況から、残留元鉄

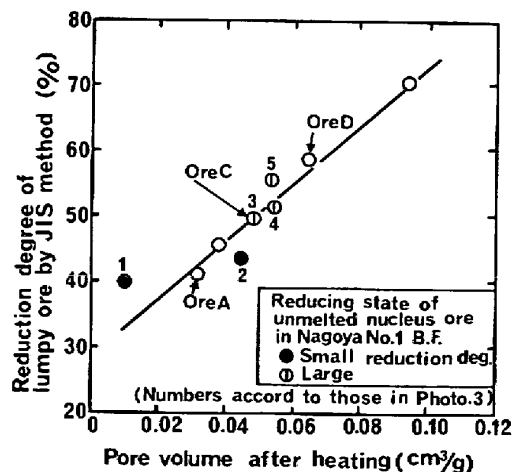
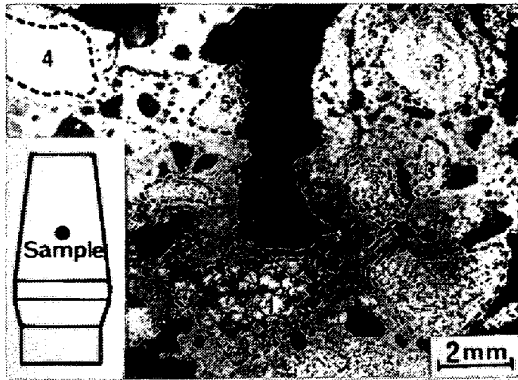


Fig. 4. Relation between pore volume after heating up to 1350°C and reducibility of iron ore.



White and small spots; Metallic iron
(Numbers of unmelted ores accord to those in Fig. 4)
Photo. 3. Reducing state of unmelted ores in sinter (Degree of reduction of sinter is about 33%).

としての望ましい気孔割合について考察する。通常の操業状態で吹き止め、 N_2 ガスで冷却した名古屋 1 高炉¹³⁾ のシャフト中段中心部から採取した焼結鉱の還元状況の 1 例を Photo. 3 に示す。黒い点線で囲った部分が残留元鉱である。残留元鉱中の番号は、別に加熱処理した焼結原料の鉱物組織と対比して識別した銘柄を表すものである。本焼結鉱粒子の平均還元率は 33% であるが、比較的多くの金属鉄が認められる。写真中で白色の一番明るい小さな点状のものがそれであり、金属鉄の生成状況は残留元鉱の銘柄によって大きく違っている。すなわち、銘柄 1 では金属鉄はほとんど認められず、銘柄 2 でも残留元鉱の表層部に生成しているにすぎない。これに対して、銘柄 3, 4, 5 では還元はトポケミカルに進んでいるが、中心部でも金属鉄が認められ、良好な還元状況を呈している。著者らは、カルシウムフェライトの中でもとくに針状のものが被還元性の点で優れていることを別報で指摘しているが¹⁴⁾、銘柄 3, 4, 5 の鉱石はそれと同程度に還元が進んでおり、焼結鉱中に残留させても被還元性の面からは問題がないと考えられる。

つぎに前掲の Fig. 4 で、上述の残留元鉱と同じ鉱石銘柄を同一の番号で示すと、残留元鉱の還元状況と加熱処理後の気孔割合はよく対応しており、還元ガスと元鉱の接触は良好であることを示唆している。それを裏付けるように、どの残留元鉱でも溶融部との境界部には大きな気孔が多数存在していた。今後高炉内から採取した試料の調査を重ねて検証する必要があるが、Photo. 3, Fig. 5 の結果からは、 $0.05 \text{ cm}^3/\text{g}$ 以上の加熱後気孔割合を有する鉱石では良好な還元状態が確保されると結論してほぼ間違いはなく、この気孔割合は核粒子鉱石選択時の基準になるものと考えられる。

3.4 核粒子の鉱物特性と焼結鉱の生産性、品質の関係
鉱物特性にもとづいて鉄鉱石を分類したが、実操業へ

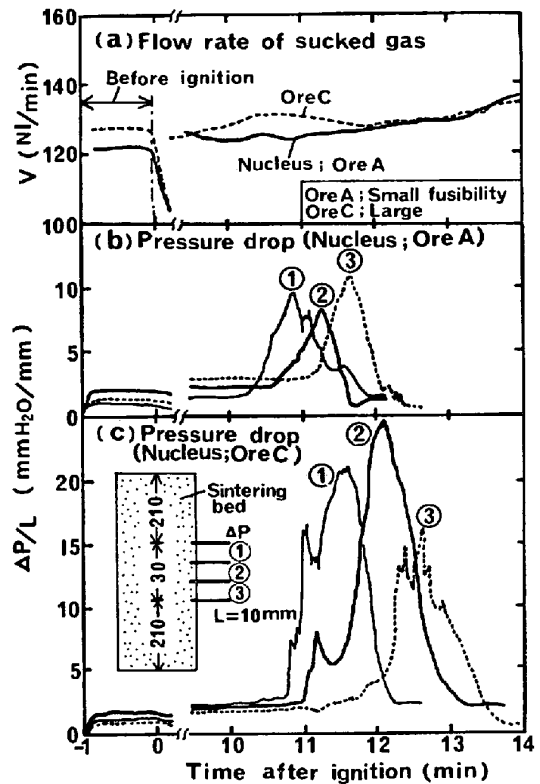


Fig. 5. Effect of the fusibility of nuclei in quasi-particles of raw mix on the permeability of the melting zone in the sintering bed.

適用するにはとくに生産性、品質などに関連付けて評価しておく必要がある。以下の実験を行った。造粒性については、生石灰添加などの改善手段がすでにとられている¹¹⁾ので、新たな実験は付け加えなかった。

3.4.1 生産性におよぼす影響

焼結層の通気性を確保するためには、核粒子が必要であると考えられているが、焼結過程で変形しやすいものはその役割を果たせない。そこで前述の鉱石 A (難溶融性)、鉱石 C (易溶融性) の一方を核粒子、他方を付着粉として小型焼結鍋で実験を行い、中層の圧力損失を連続的に測定した。その結果が Fig. 5 である。吸引風量はほとんど変わらないが、焼結反応帯の通気性には著しい差があり、核粒子の影響の大きいことは明瞭である。すなわち、鉱石 A の難溶融性核粒子に易溶融性鉱石 C が付着した場合には圧力損失は小さく、その時間的変化は滑らかであるのに比べて、逆に核粒子を鉱石 C にすると大きな圧力損失で、乱れた変化を示している。また前者よりも後者の方で火炎の進行速度は遅くなっており、鉱石の溶融がコークス燃焼にも影響することがわかる。さらに、圧力損失測定部の層内最高温度の平均値は、前者の 1364°C に対して後者では 1318°C と低く、最高温度にも融体生成の影響が明確に現れていた。圧力損失

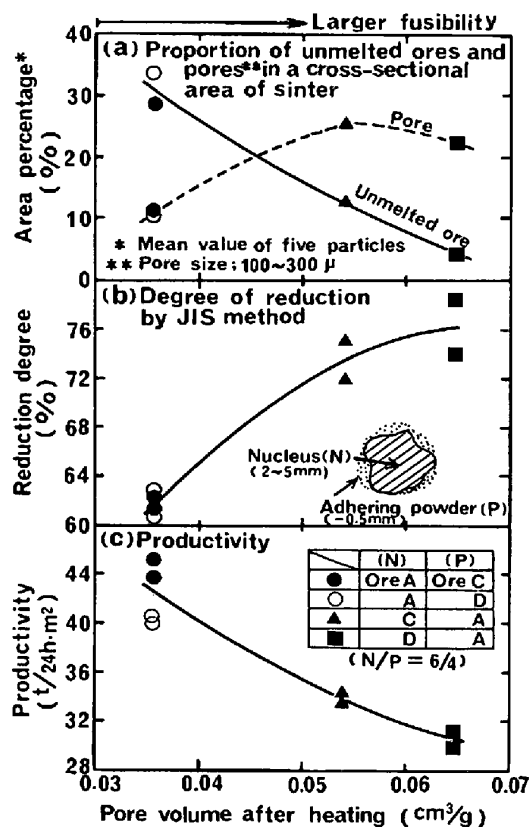
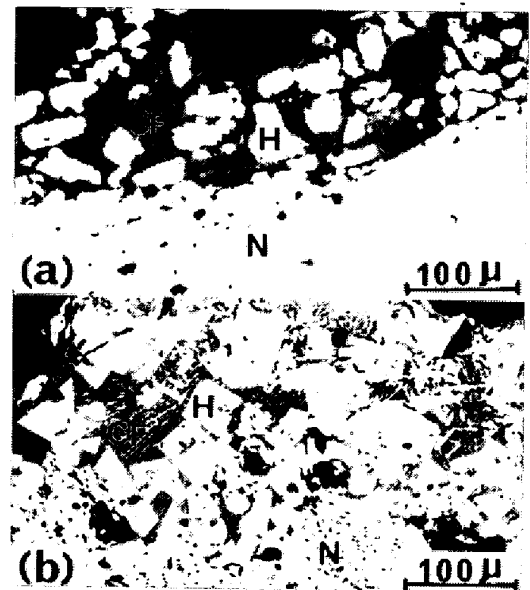


Fig. 6. Effect of the mineralogical properties of nuclei in quasi-particles of raw mix on the quality and productivity of sinter.

の平均ピーク値と風量から焼結反応帯の通気抵抗を算出すると、核粒子が鉱石Aの場合では充てん層全体での平均値のほぼ3倍、鉱石Cではほぼ6倍となっており、核粒子の溶融性は非常に重要な因子といえる。

つぎに鉱石A、Cおよび過溶融性鉱石Dを使って大型鍋による焼結実験を実施し、生産性におよぼす影響を調べた。結果は一括してFig. 6, Photo. 4に示す。ここで溶融性の代わりに加熱後気孔割合で整理してあるのは、前掲のTable 2のごとく、溶融性と気孔割合がよく対応していたからである。焼結鉱溶融率は反応直前気孔率と直線関係があるとの報告例⁷⁾があり、気孔割合で整理することは一般性があると考えられる。画像解析装置で測定した残留元鉄の面積率をFig. 6の(a)に示したが、核粒子の気孔割合が増大するに伴ってほぼ直線的に減少しており、前掲のTable 2に示した溶融性の分類の妥当性が確かめられた。なお核粒子を鉱石Aと一定にし、附着粉の溶融性を変化させても残留元鉄面積率がほとんど変わらないのも興味深い。

つぎに生産性はFig. 6中の(c)のごとく、核粒子の気孔率が高いほど低下している。これは歩留りおよび焼結速度の減少によるが、歩留り減少原因は層内温度の



(a) Ore A as nucleus particle
(b) Ore C as nucleus particle
N: Unmelted nucleus ore (Hematite)
H: Hematite, CF: Calcium ferrite

Photo. 4. Influence of the mineralogical property of nucleus ore on the microstructure of sinter.

低下と多孔質な溶融部の増加 (Fig. 6(a)) と考えられる。焼結速度減少は前掲の Fig. 5 で述べたとおりである。鉱石Aを核粒子として附着粉を変化させた場合には、溶融性の大きな粉の方に生産性の若干の低下が見られるにすぎない。このように、核粒子の溶融性は生産性を大きく支配する因子であることが実証された。

3.4.2 品質におよぼす影響

Fig. 6の(b)に成品焼結鉄のJIS還元率との関係を示す。被還元性は核粒子の気孔割合の増加に伴って大きく向上しており、核粒子選択の重要性は明白である。焼結鉄の被還元性と核粒子の気孔割合がよく対応するのは、Fig. 6(a)のごとく難還元性の低気孔率鉱石ほど残留元鉄として残りやすく、合わせて還元性のよい多孔質な溶融部が少ないことによると考えられる。本実験では微粉の石灰石を使用し、かつコークス配合量が比較的少なかったため、カルシウムフェライトは多く (Photo. 4)、溶融部の還元性は良好であったと思われる。

いま一つの特徴は、核粒子によって残留元鉄周囲のヘマタイトの形状が異なることである。グループ④の難溶融性鉱石ではいわゆる斑状ヘマタイト (Photo. 4(a)) であるのに対して、溶融性の大きな鉱石の場合は Photo. 4の(b)のように、核粒子を構成するヘマタイトは結晶粒界を破断されてばらばらになり、そのあと融液中で粒成長したと推察される¹³⁾。したがって結晶の断面は菱形を示している。このヘマタイトはTi、Alなどを含む

多成分系で、かつスラグを内包している。本実験での還元粉化指数 (RDI) はいずれも 35 以下と良好であったが、スラグを内包する構造は還元粉化の原因の一つになるとの報告例¹⁰⁾があり、今後この種のヘマタイトの還元挙動は詳しく検討する必要があると考えられる。

4. 結 言

擬似粒子中の核となる粗粒鉱石の評価を目的として、その基礎的な鉱物特性からいくつかのグループに分類することを試みた。その分類にもとづいて核粒子の性状の異なる数種の擬似粒子を調製して焼結実験を行い、粗粒鉱石の物性と生産性、成品焼結鉱の品質などとの関係を検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

(1) 核粒子の造粒性は、扁平度、凹凸度などの粒子形状と保水能で評価ができる。また気孔割合は凹凸度、保水能と比較的よい対応があり、評価の尺度となり得る。

(2) 残留元鉄の被還元性は、核粒子としての粗粒鉱石を加熱処理後に気孔割合を測定して評価することができる。100 μ 以下の気孔割合が 0.05 cm³/g 以上の鉱石は、未熔融のまま残すことが望ましい。

(3) 熔融性については、急速加熱処理によるヘマタイトの再結晶性にもとづいた評価が有効である。この再結晶性は、気孔割合や脈石の種類ならびにヘマタイトの結晶粒度と大きな関係がある。

(4) 生産性は、粒度分布、供給熱量などが一定であれば、付着粉よりも核粒子の熔融性の影響が強く現れる。

(5) 焼結鉄の被還元性は、もとの核粒子の気孔割合と明瞭な関係があり、したがって核粒子の選択は非常に重要である。

文 献

- 1) 吉永真弓, 一伊達稔: 水曜会誌, 18 (1977) 9, p. 561
- 2) 佐藤勝彦, 鈴木 悟, 斧 勝也, 大野義文: 鉄と鋼, 67 (1981), S 657
- 3) 荒谷復夫, 児玉琢磨, 田中智夫: 同上, 67 (1981), S 659
- 4) 吉永真弓, 一伊達稔, 佐藤 駿, 川口尊三: 同上 67 (1981), S 660
- 5) 野坂庸二, 磯崎成一, 菅原欣一: 同上, 67 (1981), S 655
- 6) 浅田 実, 大森康男, 阿手雅博, 蟻川充男, 阿部信二: 同上, 67 (1981), S 651
- 7) 吉永真弓, 一伊達稔, 佐藤 駿, 中村哲之, 川口尊三: 同上, 67 (1981), S 688
- 8) 肥田行博, 佐々木稔, 榎戸恒夫, 梅津善徳, 飯田孝司, 宇野成紀: 同上, 68 (1982), p. 400
- 9) 川頭正彦, 鈴木 悟, 佐藤勝彦, 桜井 哲: 同上 64 (1978), S 487
- 10) 高崎靖人, 大関彰一郎, 吉野宗光, 古川和博: 同上, 65 (1979), S 516
- 11) 古井健夫, 川頭正彦, 菅原欣一, 藤原利之, 香川正治, 沢村 淳, 宇野成紀: 製鉄研究 (1976) 288, p. 11797
- 12) 肥田行博, 佐々木稔, 伊藤 蒸, 榎戸恒夫: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 2625
- 13) 江崎 澁, 阿部幸弘, 岩月鋼治, 今田邦弘, 高崎誠, 井上展夫: 同上, 67 (1981), S 50
- 14) 佐々木稔, 肥田行博: 同上, 68 (1982), p. 568
- 15) 志垣一郎, 沢田峰男, 前川昌大, 成田貴一: 同上 67 (1981), S 49