

第 2 会場 (原料の還元性状・還元・熱風炉・レンガ・高炉操業・その他)

(38) 高炉装入物の還元性状について

(高炉装入物の性状に関する研究—I)

富士製鉄, 広畑製鉄所

工博 神原健二郎・○藤田慶喜・沖川幸生

Properties of Blast Furnace Burdens during Chemical Reduction.

(Studies on blast furnace burden properties—I)

Kenjiro KANBARA, Keiki FUJITA

and Kosei OKIKAWA.

1. 緒 言

当所では高炉の操業条件を一定に保つていても棚, スリップのひん発, 銑鉄成分のバラツキ, コークス比の増加等炉況を乱すケースをしばしば経験しており, それらの内容を詳細に検討してみると装入物の還元性状に起因するものがかなり存在することがわかった, さらに近年豪州, 南米, 印度, アフリカなどの新規銘柄の使用量が増加してきたため, 高炉使用前にそれらの鉱石の還元性状を調査しておく必要が生じてきた。

当所では数年前より鉱石の還元性状を調査しそれと高炉操業との関係について検討を進めてきた。以下にその概況を報告する。

2. 実験方法

鉱石の特性として外観形状(固結性, 堅硬性, 構造的, 鉱粒形状, 風化), 化学組成, 気孔, 還元性, 軟化性, 熱割れ性, 還元粉化性をとり上げ調査した。以下にその主な項目の測定法を示す。

2.1 気孔率

-100 メッシュの試料を比重ピンに入れ蒸留水とともに煮沸して求めた真比重と, 大気孔に綿をつめ表面による融パラフィン塗って浸水した時の体積から求めた見

掛比重とから算出した。

2.2 還元性

20±1 mm の試料を 75 mm φ の反応管中に 500 g 装入し 900°C で CO 30%, N₂ 70% の還元ガスを 15 l/min 流し, 180 min 還元して求めた。

2.3 軟化性

鉱石を 20×20 mm に切り出し, 2 kg/cm² の荷重を加えつつ上記組成のガスを 300 cc/min 流し, 加熱速度 300°C/hr で収縮するまで加熱した。そして下記の式で軟化速度 (S.R) を求めた。

$$S.R = (E/T_S - T_E) \times 10^3$$

S.R: 軟化速度 (Softening rate)

E: 最大膨張量 (%)

T_S: 容積減少の起こる温度 (°C)T_E: 軟化開始温度 (°C)2.4 熱割れ性¹⁾

25~20 mm の鉱石 500 g を 700°C の炉内に装入急熱し -5 mm の発生量 (%) で示した。

2.5 還元粉化性¹⁾

25~20 mm の鉱石 500 g を CO 30%, N₂ 70% の還元ガスを 15 l/min 流しつつ, 加熱速度 5°C/min で 700°C まで還元し -5 mm の発生量 (%) で示した。

3. 実験結果および考察

3.1 還元性

還元性におよぼす要因として還元ガス (種類, 分圧) 還元温度, 還元時間, 鉱石の粒度・酸化度・気孔率・脈石の性質等があげられるが, ここでは気孔率, 鉱石粒度, 還元温度の影響を Fig. 1 に示す。

気孔率は還元性に大きな影響を与えており高気孔率を有する焼結鉱やゴア, テマンガンの Goethite 鉱石はかなり良好な還元率を示している。

鉱石粒径が小さくなるにつれて還元率は次第に向上してくるがその様子は鉄鉱石と焼結鉱との間には相異がみられ, 焼結鉱では粒径 15 mm 以下にしてもあまり還元率は増大しない。これは焼結鉱においては粒径が小さくなると, 還元率に対して粒径よりも気孔の影響が大きくなってきていることを示している。そして同一銘柄について粒径 (D) と還元率 (R) との間に

$$Kt = D(1 - \sqrt{1 - R})$$

(焼結鉱では $D^{0.64 \sim 0.5}$)

K: 還元恒数, t: 還元時間

(min), D: 粒径 (mm),

R: 還元率 (%)

が成立する。

次に還元温度については温度が高くなるほど直線的に還元率は向上し, 銘柄間の差は低温側のほうが大きい。

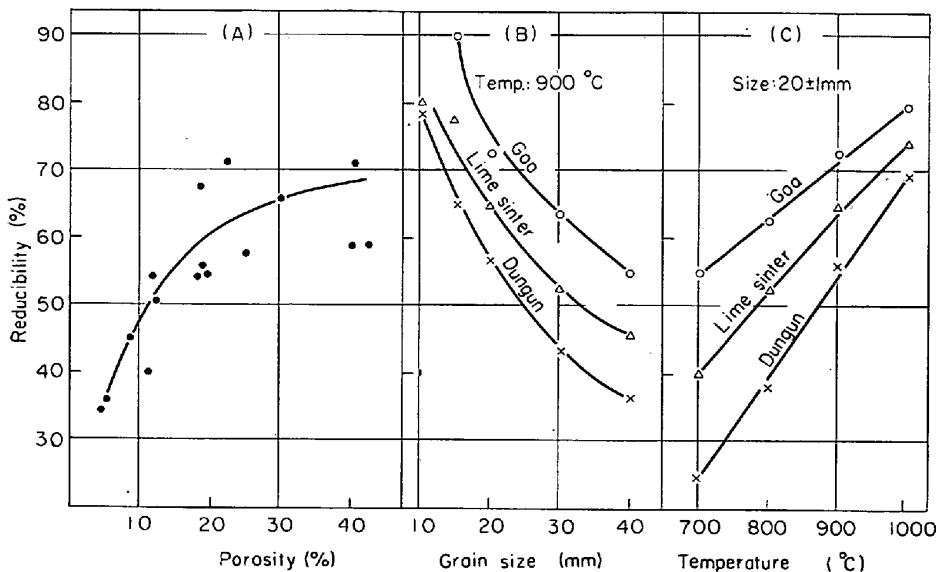


Fig. 1. Effect of porosity, grain size and reduction temperature on iron reduction.

Table 1. Decrepiation of Brazil and Temangan Ore.

Ore name	Appearance	Decrepiation temp. (°C)	-5 mm (%)
Brazil	Compact hard laminated coarse grained specularite	520~570	8.3
Brazil	Loose soft laminated coarse grained specularite	500~550	3.6
Temangan	Porous hard limonitized	300~340	14.7

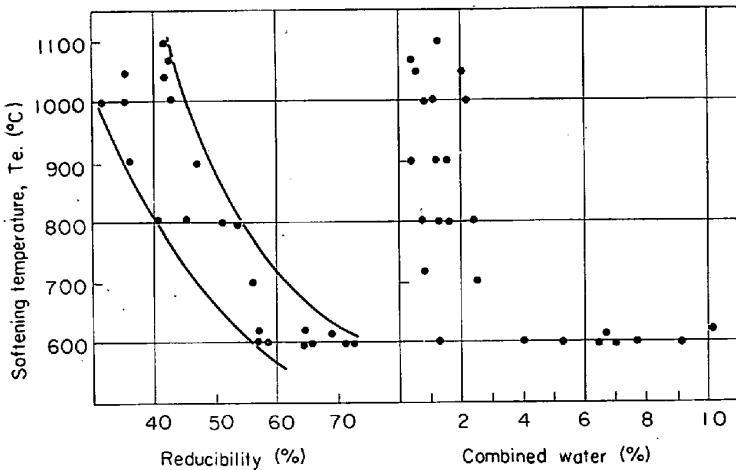


Fig. 2. Softening temperature of ores during chemical reduction.

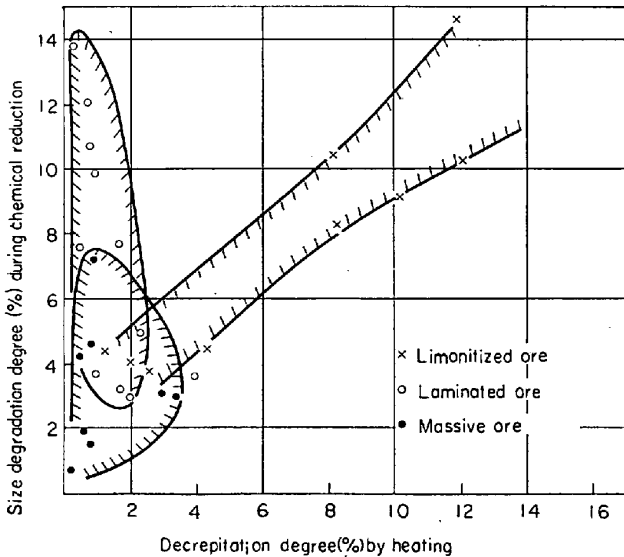


Fig. 3. Size degradation during chemical reduction and decrepiation by heating.

3.2 軟化性

鉱石類の軟化性（膨張および収縮）は熱膨張と還元による酸化鉄相の変化に伴って起こる。一般にある一定温度に達するまで膨張をし、その温度をすぎると軟化を開始するが、その温度、膨張量は鉱石種、銘柄によって著しく変化している。

Fig. 2 に軟化曲線より求めた軟化開始温度 (T_E , °C) と鉱石の還元性、化合水との関係を示す。

この結果、還元性の良好な鉱石ほど軟化開始温度 (T_E)

が低いが、シブゲイ、アカリなどの Magnetite 鉱石は軟化開始温度 (T_E) が 1100~1200°C に達している。このことは鉱石の還元気流中の軟化は主として鉱石中に生成する金属鉄の量と関係することを示しており、還元性の良好な鉱石ほど低温で金属鉄を生成しているからである。Goethite 系鉱石の軟化開始温度 (T_E) は 600°C 付近に存在している。これは後述するごとく Goethite の化合水の分解によつて鉱石内部にクラックや気孔が生じ、低温でかなり還元が進行しているためと思われる。

3.3 熱割れ、還元粉化性

一般に鉱物の熱割れの原因として、① Fluid inclusion ② Difference of linear thermal expansion ③ Inversion of minerals ④ Decomposition of minerals が考えられる。

これらの要因はおのおのが皆同じ程度に鉄鉱石の熱割れに影響しているわけではなく、鉄鉱石の成因とかその後の変化（風化、堆積、動力変成作用など）によつてその原因は異なる。

鉄鉱石中には水晶などにみられる Fluid inclusion が存在しないこと、石英などの熱変態は量的に熱割れに大きな影響を与えていない点から、鉱石の主要構成鉱物である Goethite, Lepidochlocite, Hematite, Magnetite に着目すると鉄鉱石の熱割れ、主要原因は次の2つになる。すなわち

(1) プラジル鉱石に代表されるごとく、Hematite 結晶粒の方向性や、配列によつて熱膨張の差が強くあらわれ、結晶粒界に応力を生じて割れる。

(2) テマンガ鉱石に代表されるごとく Goethite, Lepidochlocite, Gibbsite などの結晶水が加熱によつて分解放出され、その蒸気圧によつて割れる。

(1) では熱膨張の差が強くあらわれる温度、(2) では結晶水の分解放出温度で割れることから両者は熱割れ温度の相異なることが予想される。

Table 1 にプラジル鉱石とテマンガ鉱石の熱割れ温度と粉化率とを測定した結果を示す。

この結果からもわかる通り(1)の場合の熱割れ温度は 500~600°C とかなり高い。これに反して(2)の場合はほぼ結晶水の分解温度に一致しており、テマンガ鉱石の場合 Goethite の分解温度 270~365°C²⁾ の範囲にある。還元粉化はこれらの原因の他に CO ガスによる還元時の酸化鉄相の変化に伴うクラックの発生および炭素析出作用により、一般に大気中熱割れより粉化率が高い。

Fig. 3 に熱割れと還元粉化との関係を示す。Limonitized ore については両者の間に相関がみられるが、

Laminated ore や Massive ore については、熱割れはほとんど起こさずに、還元粉化の著しいものがかかり存在する。この種のものゝは鉄粒の比較的大きいもの、またブラジル、ロメタル鉄石等方位によつて鉄粒巾が大きく相異なるものについてはげしく、等粒で鉄粒の小さいものは粉化率は小さい。

熱割れ鉄石の顕微鏡写真を Photo. 1 に示す。

熱割れによるクラックの発生は鉄石の Original texture と密接な関係があり、テンガン鉄石の Dolitic 組織や、Wedged-shaped Hematite の偽双晶面、ブラジル鉄石の Hematite の粒界などに発生しており、上記応力の集中が推定される。したがつて Goethite, Lepidochlocite, Gibbsite など結晶水を含有する鉄物をかなり含む鉄石であつても気孔が適度に発達してゐて、分解水蒸気の放出が容易であれば粉化は小規模であり、逆に結晶水は少なくとも造岩鉄物配列の際の構造的不均一性から粉化量の大きなものが存在する。

4. 結 言

当所に入荷する鉄鉄石の還元性、軟化性、熱割れ、還元粉化など加熱還元時の性状を調査し、以下の結論を得た。

(1) 焼結鉄、褐鉄鉄は気孔率が高く還元率が高い。焼結鉄は粒径 15 mm 以下にしても還元性はあまり向上しない。還元温度が高くなると還元性は向上するが銘柄間の差は低温において顕著である。

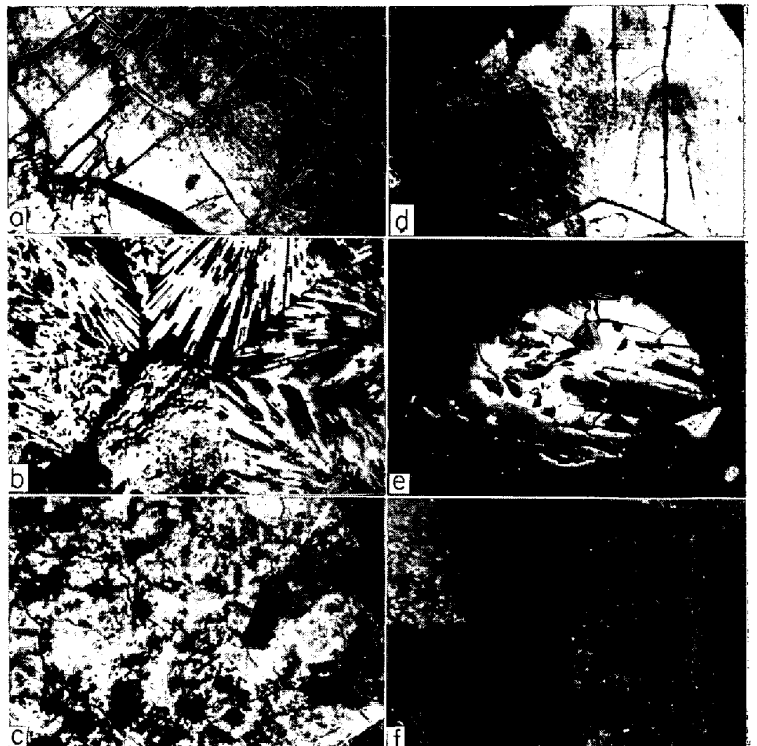
(2) 還元性の良好な鉄石ほど軟化開始温度が低く、褐鉄鉄では約 600°C である。

(3) 鉄鉄石の熱割れは、鉄物の熱膨張によるものと、Goethite など水酸化物の分解によるものとが存在する。熱割れ温度は前者の場合 500~600°C、後者の場合はそれより低く 300~400°C である。

(4) 熱割れと還元粉化とは Limonitized ore については相関がみられるが、Laminated ore や Massive ore では相関がみられず、還元粉化の方が量的にはげしい。

文 献

- 1) 海外製鉄原料委報告：昭和 40 年 12 月
- 2) 吉木：鉄物工学，p. 203



a) Microcracks formed at oolitic texture. (Temangan, by heating)
 b) Microcracks formed at wedged-shaped hematite. (Temangan, by heating)
 c) Microcracks formed at goethite. (Temangan, by heating) Using the crossed nicols.
 d) Microcracks formed at goethite. (Goa, by heating)
 e) Microstructure of hematite. (Brazil before reduction) Using the crossed nicols.
 f) Microcracks formed at grain boundaries of hematite. (Brazil by chemical reduction)

Photo. 1. Microstructure of iron ores. ×100 (8/15)

わけ装入物の性状、炉内分布などは、操業上決定的な役割をはたしている。このため、装入物に関する検討はこれまででも多くの面から行なわれてきたが、最近新ソースの鉄石やペレットの大量入荷を見るようになり、鉄鉄石の性状の研究にさらに力が入られるようになった。

われわれも前報¹⁾に述べたごとく、鉄石各銘柄についてその性状を詳細に調査しているが、本報においては、これら鉄石の物理的、化学的性状と実際操業との関連性について述べる。

2. 鉄石熱間性状と炉況との関係

2.1 鉄石特性係数

前報¹⁾に示した鉄石特性に基づき、鉄石性状管理を目的として、Table 1 のごとく大気中熱割れ、被還元性、軟化速度を対象とし、各特性に評点を与えることにより、特性を係数化した。この評点の与え方は多分に経験的知見によつた。この係数の合計を、各銘柄の熱間特性係数とする。

2.2 鉄石特性係数と炉況

上のごとく求めた特性係数と、各鉄石の配合割合から、特性配合係数 = \sum (特性係数 × 銘柄の装入割合%) を求める。この特性配合係数と、ダスト量、棚、スリップ、Si のパラッキの関係を Fig. 1 a b c d に示す。ダストとの関係をみると、特性配合係数 30 以上ではダスト発生

(39) 高炉装入物性状の高炉操業におよぼす影響

(高炉装入物の性状に関する研究—Ⅱ)

富士製鉄，広畑製鉄所

嶋田 駿作・藤田 慶喜

福山 繁一・○高城 俊介

Influence of Burden Properties on Blast Furnace Operation.

(Studies on blast furnace burden properties—Ⅱ)

Shunsaku SIMADA, Keiki FUJITA,

Shigekazu FUKUYAMA and Shunsuke TAKAGI.

1. 緒 言

高炉操業に影響をおよぼす因子は非常に多いが、とり