

## 還元鉄製造用原料の品質評価技術

金子伝太郎\*・木村 吉雄\*<sup>2</sup>・竹中 芳通\*<sup>2</sup>

## Evaluation of the Qualities of Raw Materials for Gaseous Direct Reduction

Dentaro KANEKO, Yoshio KIMURA, and Yoshimichi TAKENAKA

## Synopsis :

Conception and evaluation test methods on the qualities of raw materials for gaseous direct reduction as well as the qualities of direct reduced iron are described. Emphasis is on the clarification of the difference of desirable qualities of the direct reduction feeds from those of traditional blast furnace feeds.

The raw materials for the gaseous direct reduction should have,

- 1) high iron content with small amount of such impurities as phosphorous, sulphur and alkali,
- 2) high reducibility to make retention time of the burden in the furnace shorter,
- 3) less fines generation characteristic to decrease the furnace pressure drop lower,
- 4) less clustering tendency to guarantee smooth decending of the burden in the furnace.

To evaluate those properties, the static bed reduction test, Linder rotating reduction test and the clustering test were adopted. Small stainless steel basket which had been charged from top of an actual operating shaft furnace were taken out from the discharge point and the properties of reduced materials were investigated. Test results of actual shaft furnace showed good coincidence with those of laboratory scale.

## 1. 結 言

還元鉄製造プラントの設置は 1970 年代に北米などにおいていわゆるミニミルとして増加し、地域的なスクラップ供給不足を補う意味合いが強かつたのに対して最近ではベネズエラ、ソ連、リビアなどの例にみられるごとく一製鉄所内に数系列の還元設備を並べ、年間粗鋼生産量 100 万 t から 200 万 t におよぶ、かなり大規模な、ある意味で高炉方式製鉄所に一步近づいた規模を指向する例が多くなっている。

またプロセスとしてはこれまで固定層法としての HyL 法とシャフト炉法としてのミドレックス法がそれぞれ同じ比率で還元鉄製造市場の大勢を占めていたが、最近 HyL 法も従来の回分式プロセスを脱却しシャフト炉法に改めつつあり<sup>1)</sup>、さらに新日本製鉄(株)開発による高圧シャフト炉法なども市場に加わり<sup>2)</sup>、還元鉄製造法は固体燃料を還元剤とする場合を除いてシャフト炉方式に統一されて来た感がある。

このように還元鉄は製鋼原料として無視しがたい存在になりつつあり、今後は炉生産性やエネルギー消費などに対する効率をいつそう高める努力をしてゆくことに間

違いない。

過去には還元鉄製造用原料を選択するにあたって、鉄品位が高くかつ硫黄、燐などの不純物が少ないことだけが重視されたが、これは還元鉄の用途が主として電気炉製鋼用であり、その操業だけに留意した考えに基づくものであり、還元炉の生産性向上などについての効率化をはかつてゆくためには原料の炉内通気性や必要還元時間などに関するいくつかの評価がなされるべきことが指摘され、還元鉄製造用原料に関する若干の研究をみる<sup>3)~5)</sup>に至った。

ここでは筆者らのこれまでの研究結果を中心として、主としてシャフト炉法を対象とした還元鉄製造用原料についての考え方ならびにその評価技術についてまとめる。

## 2. 還元鉄製造用原料として要求される性状

シャフト炉法を例として直接製鉄法と高炉法との概念的相違を Fig. 1 に示す。高炉法において、酸化鉄はコークスと共存状態にてシャフト部を降下し一定還元率まで還元されたのち 1200~1400°C の半熔融帯を経て溶け落ち、鉄は脈石と分離後溶鉄として排出される。

昭和 57 年 3 月 15 日受付 (Received Mar. 15, 1982)

\* (株)神戸製鋼所中央研究所(現:(株)神戸製鋼所開発企画部) 工博 (Central Research Laboratory, Now Research and Development Planning Department, Kobe Steel, Ltd., 1-8-2 Marunouchi Chiyoda-ku 100)

\*<sup>2</sup> (株)神戸製鋼所中央研究所 (Central Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.)

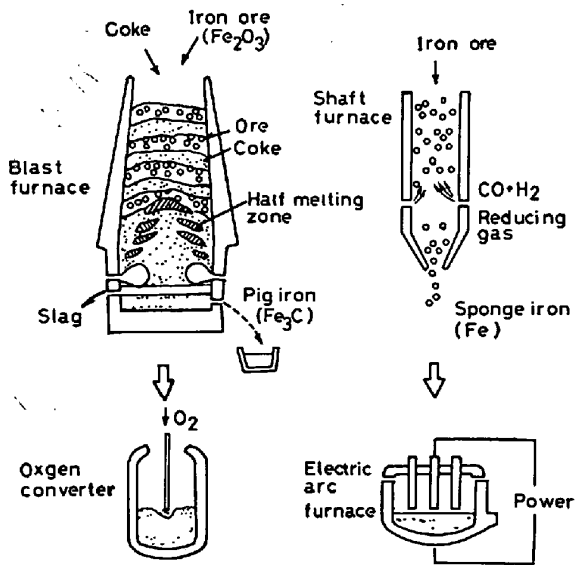


Fig. 1. Difference between blast furnace-oxygen converter process and direct reduction-electric arc furnace process.

これに対してシャフト炉法の炉内構成はきわめて単純であり、炉内は固体酸化鉄からなり、それは上昇する還元ガスと対向流をなし、固体状態を維持したまま還元を完了し排出される。

高炉装入原料に関しては最近半溶融帯における通気性確保の目的から、高温還元性状の改善研究がさかんで、その改善は鉱石層の軟化溶解に関連するスラグ組成の調整などを手段としており、塊成鉱への MgO の添加などが提案されている<sup>6)</sup>が、還元が 1000°C 以下で完了する直接製鉄法においては液相の出現を考慮した装入物の還元挙動を考える必要はない。

還元鉄製造用原料として重視される事項を例挙すると以下ようになる。

- 1) 還元鉄は主として電気炉製鋼用に使用されることから、原料の鉄品位はできるだけ高いことが望ましく、また P, S, アルカリなど不純物が少ないこと。
- 2) 還元炉の生産性はおおむね炉断面積当たり流し得るガス量に比例することから、炉内における通気性が良好であること。
- 3) 炉内必要滞留時間、すなわち還元時間が短いこと。
- 4) 棚吊りが起こらないこと。とくに炉内が固体だけで構成されている還元炉においては、棚吊りの問題は深刻で、著しい場合には装入物の円滑な降下と排出が阻まれ、操業停止を余義なくされることがある。

この現象は装入物が炉内高温域において相互に固着することによって起こり、クラスタリングとよばれてい

Table 1. Specification of raw materials for gaseous direct reduction.

	Shaft furnace process <sup>8)</sup> (Midrex plant)	Static bed process <sup>9)</sup> (HyL plant)
Chemical properties	Fe 68% Min.	Fe 66% Min.
	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2.5% Max.	Fe <sup>++</sup> 0.8% Max.
Physical properties	P 0.025 Max.	P 0.05 Max.
	S 0.01 Max.	S 0.02 Max.
	(Cu, Zn, Pb) trace	SiO <sub>2</sub> 1.0~1.5
	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ×100 < 4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.4~0.8
	Fe	CaO 1.0~1.5
		MgO 0.3~0.8
		Basicity
		CaO+MgO 0.7~1.0
		SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		Compression strength: 250 kg/p Min.
	Tumbler Index: +1/4 inch 95% Min.	
	-28 mesh 4% Max.	

る。還元炉に吹き込む還元ガス温度を上昇させることは炉生産性やガス利用率などの点ばかりでなく、還元鉄の再酸化防止についても望ましいことであるが、このクラスタリング現象がその温度を制約している。

還元鉄製造用原料として望ましい炉内性状を要約すれば、被還元性が良好で粉化が起こりにくくかつ、かなり高温においてもクラスタリングが起こりにくいものということになる。

### 3. 還元鉄製造用原料の品質評価

#### 3.1 原料の物理化学的性状

ミドレックス法工場および HyL 法工場で使用される原料性状規約値の一例を Table 1<sup>8)9)</sup>に示した。いずれのプロセスにおいても原料の鉄品位が高く、不純物含有量の少ないことが要求されている。

原料中の S は還元炉において H<sub>2</sub>S の形でかなり除去され得るものであるが、ミドレックス法のごとく炉頂ガスを循環使用する方式ではガス改質炉における触媒の被毒を考慮して原料中 S に対する制約が厳しい。塩基度についてミドレックス法はとくに値を定めていないのに対し、HyL 法が一定の範囲を設けているのは興味深い。

原料の強度はその供給地から直接製鉄工場に至る輸送時の粉化と、還元炉内での粉化を考慮して定められており、ペレットの場合で 200~250 kg と高炉装入原料とはほぼ同時かそれ以上の強度が要求されている。

これは高炉をベースとする製鉄所へ輸送する途中で発生した粉は通常焼結工場へ供給することにより処理されるが、直接製鉄をベースとする製鉄所にはその種の設備がないので、輸送途中における粉化は最少限におさえるべきであり、高い強度値が要求される。また Fig. 2 は還元前ペレットの圧潰強度と還元途中における粉率の関

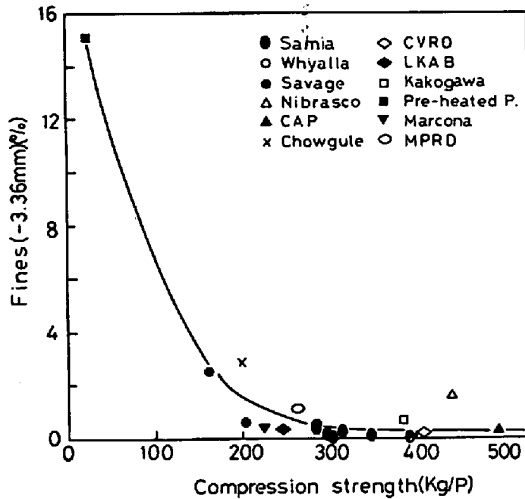


Fig. 2. Effect of compression strength of pellets on the fines generation during reduction.

係を示したものだが、ペレットの圧潰強度が 200 kg/p 以下では粉率が著しく増加するのに対し、それ以上の値では粉率にさほどの差がみられないためである。

### 3.2 原料の還元性状

#### 3.2.1 試験方法

高炉装入物としての鉄鉱石や塊成鉱の試験方法は1960年代から高炉の大型化への対応と操業効率の向上を目的として、多方面で検討され<sup>10)</sup>、すでに JIS, ISO など規格化されているものがいくつかある。

最近では下部軟化融着帯における装入物挙動の評価を対象にした高温還元試験方法の検討<sup>11)12)</sup>がさかんであるが、高炉においては原料が固体、半溶融体、液体という3つの過程を経ること、装入物が酸化鉄とコークスの混合体からなるというきわめて複雑な構成にあることから、これらの試験方法による結果と実炉炉況とのあいだに必ずしも明確な対応がとれない場合もある。

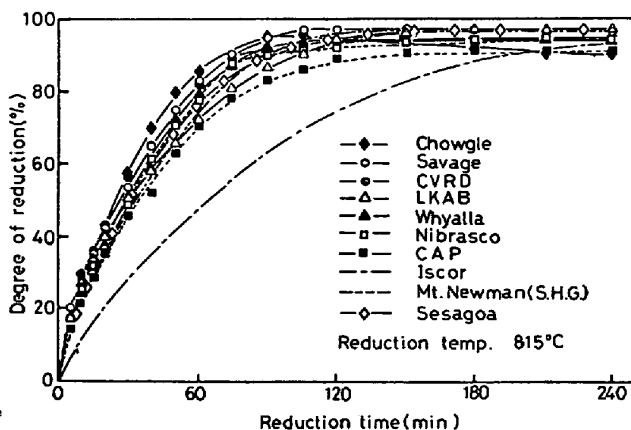


Fig. 3. Progress of reduction of various kinds of raw materials.

これに対して炉内が固体だけで充填されており、コークスを伴わない直接製鉄炉においては、試験方法としての炉内条件を再現するのは比較的容易であり、かつ試験結果と実際の炉内挙動との対応は高炉製鉄法のそれに比べてとりやすいといえる。

最近還元炉内における装入物の被還元性、粉化性状およびクラスタリング性状などに注目した試験方法が提案され<sup>3)13)~15)</sup>、一部の工場操業管理や商取引などで既に適用されている。

筆者らが開発し通常用いている試験方法の詳細については別に報告<sup>16)</sup>しているが、要約すると以下のようになる。

**被還元性：**内径 75 mm のレットに 500 g の試料を装入し、 $H_2$ 55%、 $CO$ 36%、 $CO_2$ 5%、 $CH_4$ 4% からなる還元ガス（標準ガス）を 20 Nl/min 流通せしめ、815°C で 4 h 還元し、重量減少から換算された還元曲線と最終到達還元率（化学分析値による）をもつて評価する。

**還元粉化性状：**内径 130 mm のリンダー式回転還元炉に 500 g の試料を装入し、10 r/m で回転させながら上記標準ガス流通下で 760°C で 5 h 還元したのち試料を取り出し、ふるい分け、粉発生の状況を調べる。

**クラスタリング性状：**500 g の試料を内径 75 mm の反応管に装入し、上部から試料層に 2 kg/cm<sup>2</sup> の荷重をかけながら標準ガス流通下で 900°C で 3 h 還元した後取り出し、クラスター生成の有無を調べる。クラスターが生成した場合にはそれを内径 120 mm、長さ 700 mm の I 型タンブラー試験機に装入し 30 r/m で 5 min 回転後取り出し、篩分け、クラスター強度を測定する。

Table 2 に示される他の測定方法をみると、被還元性についてはガス組成、還元温度に若干の相違があるものの、装置としては本法と類似のものを用いている。被還元性の評価としては還元率 95% に至る時間をもつて指標としているものが多い。

還元粉化性状については LKAB、そして表に示されていないがミドレックス社が本法と類似のリンダー式回転還元法を採用している。

クラスタリング性状の評価法として荷重還元試験法を適用しているものが多いが、ティッセン社が開発した方法では試料層内に回転翼を挿入し、回転させながら還元を行い、クラスターが生じた場合におけるトルクの変化からその特性を評価している。

#### 3.2.2 被還元性

Fig. 3 は各種商業用ペレットおよび鉱石を上記レット法にて、815°C で 4 h 還元した場合の還元曲線を示す。製鋼用原料として必要な還元率を 95% とすると、

Table 2. Test methods to evaluate the raw materials for gaseous direct reduction.

		Kobe Steel	LKAB	Hyl	Tyssen
Reducibility	Test method	Static bed (Retort)	Static bed (Retort)	Static bed (Retort)	Static bed (Retort)
	Sample (g) Temperature (°C) Time (h) Reducing gas	500 815 4 H <sub>2</sub> 55%, CO <sub>2</sub> 5%, CO36%, CH <sub>4</sub> 4%	500 780, 880 Until 95% Red. H <sub>2</sub> 55%, CO <sub>2</sub> 5%, CO35%, H <sub>2</sub> O5%	500 800, 1000 Until 95% red. H <sub>2</sub> 70%, CO <sub>2</sub> 10%, CO15%, H <sub>2</sub> O5%	600 900 Until 95% red. H <sub>2</sub> 50%, N <sub>2</sub> 50%
Fines generation	Test method	Linder type rotating red.	Linder type rotating red.	Not measured	Static bed (Retort)
	Sample (g) Temperature (°C) Time (h) Rotation (r/m) Reducing gas	500 760 5 10 The same with above.	500 800 2.5 25 The same with above.		600 600 Until 25% red. H <sub>2</sub> 40%, N <sub>2</sub> 50%, H <sub>2</sub> O10%
Clustering	Test method	Reduction underload	Reduction underload	Reduction underload	Reduction in moving bed
	Sample (g) Temperature (°C) Time (h) Load (kg/cm <sup>2</sup> ) Reducing gas	500 910 3 2 The same with above.	1000 780, 880 1.25 1.5 The same with above.	1000 925 1.25 0.9 H <sub>2</sub> 65%, CO <sub>2</sub> 5%, CO15%, H <sub>2</sub> O5%	2000 Up to 1000 — H <sub>2</sub> 36%, H <sub>2</sub> O4%, CO18%, N <sub>2</sub> 40%

多くの原料が約2 hの還元でその値に達するが、なかには最後までその値が得られないものもある。

高炉用原料の場合、シャフト部で還元率が一定値に達したのち半熔融過程に移行するが、直接製鉄法の場合の成品は固体状態を保つまま高い最終還元率を有すべきで、被還元性に対する評価がこの点において若干異なる。高炉用または直接製鉄用実機ペレットの場合還元率がちょうど高炉シャフト部に到達する還元率80~90%までは主として界面における化学反応、または気孔内ガス拡散速度が律速となり、これに対しては気孔率の高いペレットが有利であるが、それ以上の還元率においては固体粒子内をガスが拡散する速度が重視され<sup>17)</sup>、これは気孔率よりむしろペレットの鉄品位や添加物の種類などに依存するといわれている<sup>18)</sup>。すなわち還元鉄製造用原料の被還元性を論ずる場合、機構の異なるこれら2つの還元特性に留意すべきである。

Fig. 3 において還元途中および最終段階とも良好な被還元性を示すものはサページペレット、CVRD ペレットがある。還元途中の被還元性はやや劣るが最終段階が良好なものとして、ペレットではLKAB ペレット、鉍石ではセサゴア鉍、マウントニューマン鉍等がある。

ニブラスコペレット、GAP ペレットなど石灰添加ペレットは後述する還元粉化やクラスタリングに対しては良好な性状を示すが、ペレット焼成工程においてスラグ相を生成しやすく、スラグ相に固定された酸化鉄の被還元性が劣るため最終還元率がやや低い。

被還元性の評価において還元進行期の還元速度が極端に遅いもの、または最終還元率が低い場合を除き成品としての所定還元率に至る還元時間のわずかな長短が実炉における生産性に微妙に影響することは考えられない。

レトルト還元試験においては一定の温度とガス条件が与えられれば上記のごとく、ほとんどの原料において還元は2 h程度で終了するのに対して、実機シャフト炉における還元帯滞留時間は短いもので4 h、長いもので7 hとしている。実炉における滞留時間に十分余裕がとられている理由は主として炉内ガス流れの不均一分布にもとづく炉半径方向にわたる還元進行のずれを補うことにあるが、この事実を考慮すると与えられた一定条件下での原料の被還元性のわずかな相違よりも、炉内ガス流れ不均一分布の原因となる還元粉化性状やクラスタリング性状がいつそう重視される。

### 3.2.3 還元粉化性状

Fig. 4 に各種商業用ペレットおよび鉍石の上記リングダ式回転還元炉バレルを用いた還元粉化試験における粉率(-3.36 mmの割合)を示す。ペレットと鉍石を比較するとペレットの粉率は一般に少なく、鉍石のそれは多い。このことから実炉においては炉内通気性を考慮して鉍石の使用量に制限を設けていることが多い。ペレットのなかでは前述のごとく還元前の圧潰強度が著しく低い場合をのぞいて、石灰添加ペレットの粉化性状が酸化ペレットのそれに比較してすぐれている。

Fig. 5 は筆者らがかつて実施した内径250 mm、還元帯高さ2.7 mの小型シャフト炉操業<sup>19)</sup>における炉内装入物の強度変化を示すが、酸化ペレット、石灰添加ペレットとも装入後ストックラインから非常に短い領域で急激な強度低下がみられ、以後あまり変化がない。還元粉化はこの急激な強度低下に伴って起こると判断され、この強度低下後の強度値が高い原料の使用が望ましい。

石灰添加ペレットでは一般に炉内強度が高く、かつ成品中に含まれる粉も少ない。

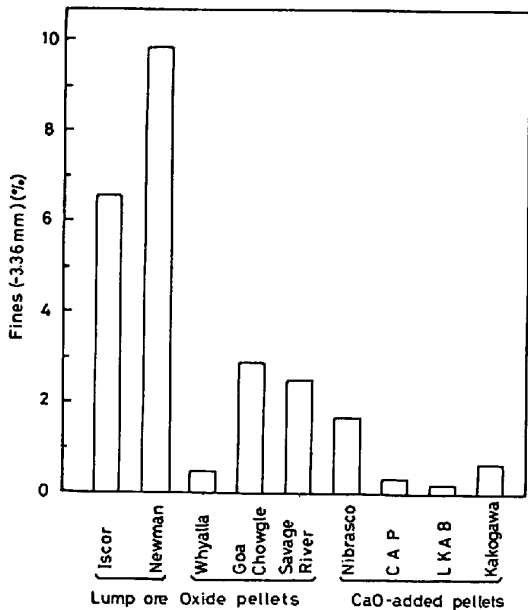


Fig. 4. Fines generation ratio of various kinds of raw materials during reduction.

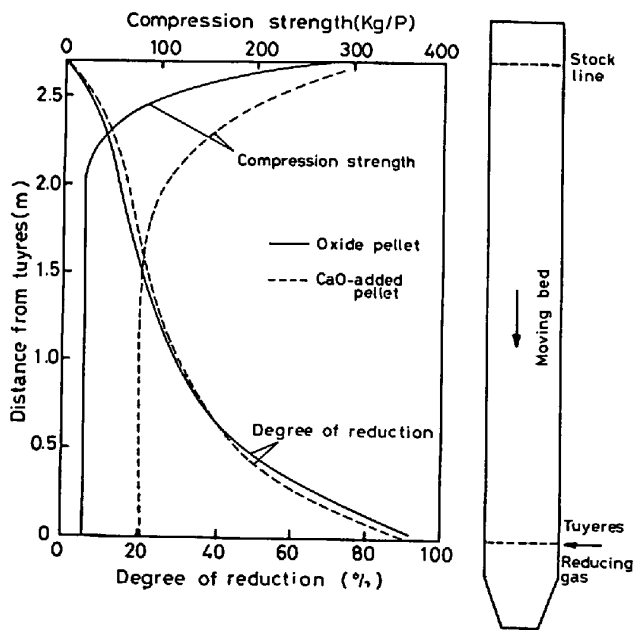


Fig. 5. Variation of degree of reduction and compression strength of charged pellets in the shaft furnace.

還元初期における急激な強度低下は酸化鉄形態が  $Fe_2O_3$  から  $Fe_3O_4$  に変化する際の結晶構造の変化にその原因が求められ、CaO または MgO の添加はこれを制御する。

#### 3.2.4 クラスタリング性状

筆者らは酸化鉄の還元過程におけるクラスタリングに関する実験研究を行い、クラスタ生成の原因が還元生成した固体金属鉄相互の拡散焼結にあり、還元温度が高いほど、炉内で装入物にかかる荷重が大なるほど起こり

やすく、原料種類によってもその傾向が異なっていることを指摘した<sup>20)</sup>。

Fig. 6 は前述の荷重還元試験装置を用いて数多くのペレットおよび鉱石を還元した後、クラスタ強度を測定した結果について、原料鉄品位とクラスタ強度の関係で整理したものである。

酸化ペレットについてみると鉄品位の増加とともに明らかにクラスタ強度の上昇がみられ、鉄品位の高いペレットはクラスタリングしやすい傾向にあるといえる。同様のことが KNOP ら<sup>15)</sup>、MATHISSON ら<sup>14)</sup>によつて指摘されている。

石灰添加ペレットにおいても鉄品位の増加とともにクラスタ強度が高まる傾向がみられるが、同一鉄品位で比較した場合のクラスタ強度値が酸化ペレットのそれに比べて著しく低く、高品位ペレットに石灰を添加することがクラスタリング制御に効果的なことを示唆している。いつぼう、高品位鉱石のクラスタ強度は酸化ペレットと石灰添加ペレットの中間の値にあるといえる。

Photo. 1 は高品位磁選精鉱を原料として製造された酸化ペレット、同原料を用いて塩基度が 0.5, 1.0 になるように調整された石灰添加ペレットの  $910^{\circ}C$  における荷重還元試験時に生成したクラスタと、それらを I 型タンブラーにて 5 min 回転した後の外観を示している。酸化ペレットから生成したクラスタがタンブラー試験後においても依然として強固な結合状態を保つのに対して、石灰添加ペレットでは塩基度の上昇とともにクラスタは解離しやすくなり、クラスタリングが制御されている。

#### 3.3 各還元試験結果と実炉における還元挙動の対比

以上還元鉄製造用原料の被還元性、還元粉化性状、ク

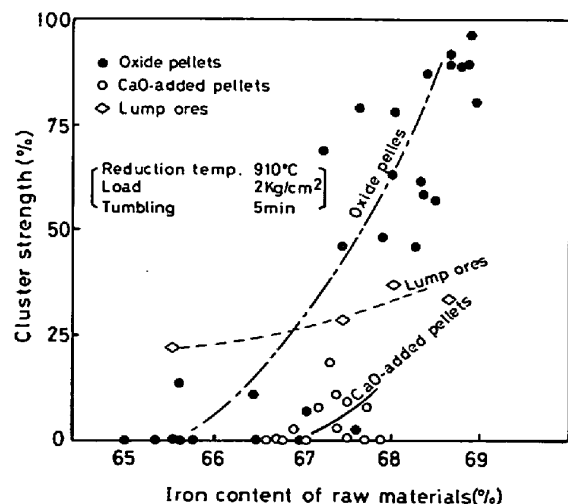


Fig. 6. Relation between iron content of raw materials and cluster strength.

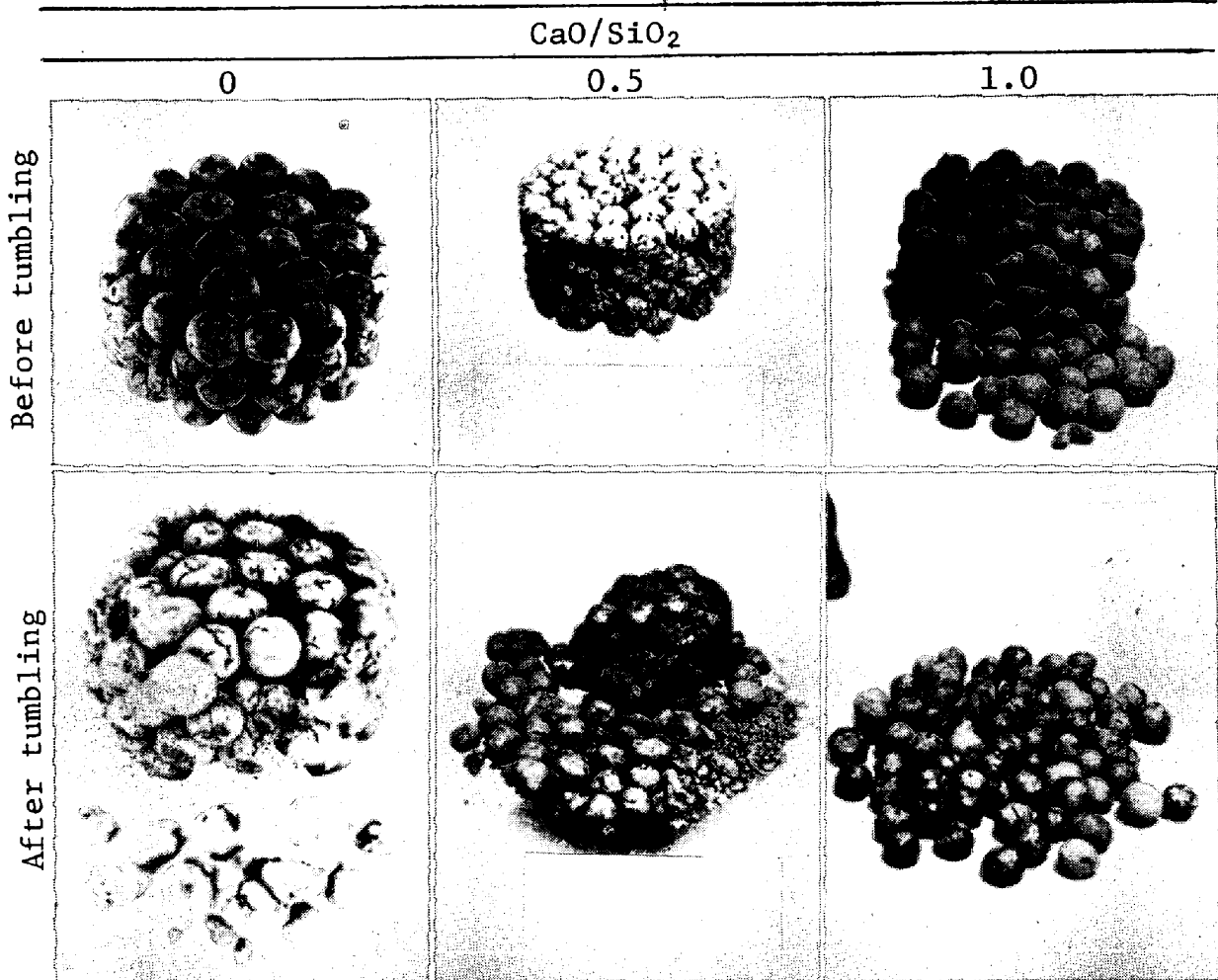


Photo. 1. Appearance of samples after reduction underload test (upper side) and samples after 5 min tumbling action (lower side).

ラストリング性状に関する3つの試験方法と若干の試験結果について述べた。さらにこれら試験方法による結果と実機還元炉における原料の還元挙動との対応を調査した。

調査に用いた還元炉は内径 5 m, 還元帯高さ 8 m を有するミドレックス方式シャフト炉である。調査方法としては3・2・1項で述べた各試験に供したものと同一の原料を 50 mm 径, 100 mm 長さのステンレス製網状バスケットに挿入し, 炉況が安定した状態において炉頂部より投げ込み, バスケットが還元帯, 冷却帯を所定時間を費し降下し, 炉下部から成品還元鉄とともに排出されるとき回収し, 内容物の物理化学的性状を調べた。この調査時における羽口還元ガス温度は 870°C, 生産量は 63 t/h, 還元鉄 1 t 当たり還元ガス供給量は約 1 600 Nm<sup>3</sup> であった。

実炉における還元性状の評価として還元率は化学分析値から算出し, 粉率は還元率から計算される回収重量に対する 6.7 mm 以下の重量割合で示した。クラスタリ

ングについては実炉の操業条件として, その現象が操業に影響しない範囲の還元温度を選んでいるためその評価はしにくい, 回収バスケット内の試料のなかには結合はさほど強固でないものの相互固着物がみられ, その相互固着物の回収重量に対する割合をもつてクラスター発生率とした。

実験室における還元試験と実炉における調査のあいだに還元条件や測定項目に若干の相違はあるが, 各種の原料について調査した結果をそれぞれの還元性状別に対比してみると Fig. 7 のようになる。

被還元性については実炉における還元時間が前述の理由で余裕をもつたものであることもあり, 実炉における還元率がレトルト還元試験のそれより高い水準にあるが, 両者は一応よい相関関係にあるといえる。

今回調査の対象になった原料には比較的還元粉化の少ないものが多いが, 粉化性状についてもよい相関がみられる。

上記の理由でバスケット試験によつて実炉におけるク

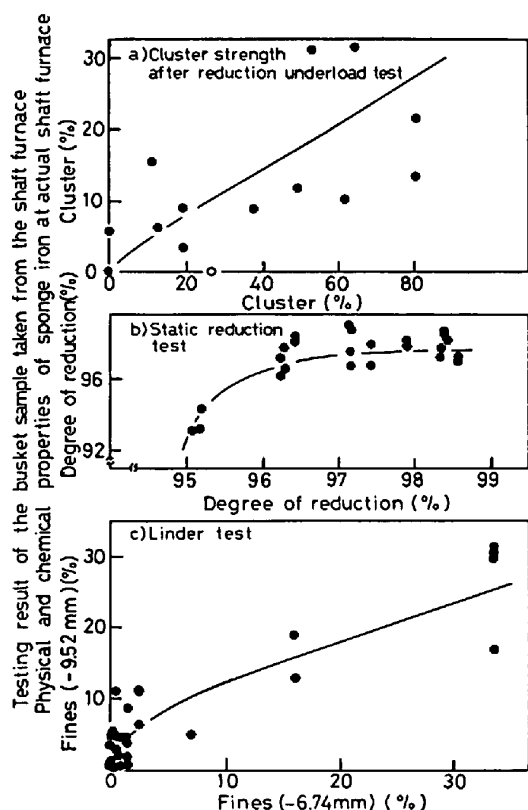


Fig. 7. Relation between the results of laboratory scale reduction test and reduction behaviors in the actual shaft furnace.

クラスター生成の多少を正確に判断することはむずかしいが、荷重還元試験で測定されたクラスター強度と回収バケット内相互固着物量との間に Fig. 7 のような関連がみられる。

3.2.1 で紹介した還元試験はいずれも簡単な試験方法であるが、概して実炉における原料の還元挙動を判断するに足るものであることが確認された。

#### 4. 結 言

高炉装入原料の評価試験方法についてはすでに多くの検討がなされており、物理性状や還元試験方法などに関する規格化もかなり進んでいる。

還元鉄製造用原料の評価については製造プロセスの種類が多岐にわたることもあり、画一的な試験方法の確立はむずかしい点もあるが、プロセスの相違にかかわらず品質評価として着眼すべき項目は同じであるとみてよく、基本的な性状については今後規格化も進められるであろう。被還元性が良好で還元粉化が少なく、かつクラスタリングしにくい原料が総じて還元鉄造用に適しているといえる。

本報では還元鉄製造用原料と従来の高炉用原料とに要求される品質上の相違点などを整理し、実験室や実工場などにおいて行われた原料評価試験にもとづいて被還元性、還元粉化性状、クラスタリング性状などについての知見を述べた。

#### 文 献

- 1) R. QUINTERO: AIME Proceeding of the 40th Ironmaking Conference, Toronto, Ontario (1981)
- 2) J. MURAKI, N. NISHIDA, N. OTSUKI, and Y. HARA: AIME Proceeding of the 38th Ironmaking Conference, Detroit, Mar. (1979)
- 3) 金子伝太郎, 木村吉雄, 小野田守, 藤田勇雄: 鉄と鋼, 63 (1977) 14, p. 3
- 4) G. THANING and G. MATHISON: AIME Annual Meeting, Denver, Colorado, Feb. (1978)
- 5) J. F. PRICE and P. W. MACKAY: Canadian Metallurgical Quarterly, 18 (1979), p. 117
- 6) 小野田守, 竹中芳通, 藤田勇雄: 水曜会誌, 18 (1977) 8, p. 453
- 7) J. J. ERIEL and E. S. ERICKSON: Met. Trans., 11B (1980), p. 233
- 8) A. CLAVEAU, A. H. MARQUIS, and T. E. DANCY: Evaluation of Raw Materials for Direct Reduction Sidbec Dosco Service Documentation, (1977) Canada
- 9) "Recommended Characteristics of Iron Ore Pellets for the Use in the Hyl Direct Reduction Process" 公開技術資料[Hyl Engineering]
- 10) 例えば, H. A. KORTMAN and O. P. BURGHARDT: Proceeding of the 2nd International Symposium on Agglomeration, Mar. (1977), p. 219 Atlanta
- 11) O. SAEKI, K. TAGUCHI, I. NISHIDA, I. FUJITA, M. ONODA, and O. TSUCHIYA: 同上, p. 803
- 12) Y. OMORI and Y. TAKAHASHI: 同上, p. 286
- 13) W. A. AHREND: Midrex Co. technical papers, presented at the Port Alegre Direct Reduction Conference, May (1975)
- 14) G. MATHISSON: "LKAB DR Pellets Research and Development", DR Pellet Symposium, LKAB, Kiruna, Sweden, Sept. (1979)
- 15) B. GERSTENBERG, K. KNAP, H. W. KROPLA, and B. HUSCHES: "Requirement of Ore Properties on the Basis of Results of Purafer Shaft Furnace and Method for Testing, These Properties", DR Pellet Symposium, LKAB, Kiruna, Sweden, Sept. (1979)
- 16) D. KANEKO and K. NARITA: SEAI Quarterly, Jan. (1979), p. 19
- 17) 近江宗一, 内藤誠章, 碓井達夫: 鉄と鋼, 66 (1980), S 605
- 18) 井口義章, 井上道雄: 同上, 65 (1979), p. 1692
- 19) 成田貴一, 金子伝太郎, 木村吉雄, 竹中芳通: 同上, 67 (1981) 3, p. 78
- 20) 金子伝太郎, 木村吉雄, 小野田守: 同上, 64 (1978) 6, p. 1