

622. 341.1 : 669. 162. 263
: 669. 162. 282

は理論速度効率が還元ガス中の CO₂% のいかにかわらず一定ということになる。Fig. 5 に CO₂% を 0~50% に変化させたときの理論速度効率を到達還元率に対しプロットした。図より理論速度効率は CO₂% に対し一定ではなく、CO₂% の増加と共に減少し、50% のときは 0% のときの約半分になっている。したがって鉄鉱石層の還元では還元速度は (CO-CO_{ep}) には比例しない。

5. 結 言

- 1) H₂ 還元を還元前後の流量の減少より還元率を測定し良い結果を得た。
- 2) 平衡階段の簡単な作図法を考案した。
- 3) H₂ 還元においても接触時間を長くするとガス利用曲線は平衡階段に近づく。
- 4) ガス利用率は H₂ 還元では 500°~900°C において、CO+CO₂ 還元では 700°~900°C において、温度に対しほぼ直線的に変化する。
- 5) 900°C におけるガス利用率は H₂ 還元は CO 還元に対し焼結鉱で 1.4 倍、赤鉄鉱で 1.6 倍を示した。
- 6) 還元速度は鉱石層では (CO-CO_{eq}) に比例しない。

文 献

- 1) 相馬胤和: 鉄と鋼, 49 (1963) 11, p. 1645
- 2) 相馬胤和: 鉄と鋼, 50 (1964) 2, p. 151
- 3) 相馬胤和: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 379
- 4) T. SōMA: Tesu-to-Hagané Overseas 4, (1964) 2, p. 121
- 5) H. SCHENK, H. P. SHULTZ & R. RADWAN: Arch. Eisenhüttenw., (1961), p. 431
- 6) 児玉・重見・東: 鉄と鋼, 46 (1960) 10, p. 1138
- 7) S. P. PRIVALOV: Stal, (1960) p. 5
- 7) 森一美: 鉄と鋼, 50 (1964) 13, p. 2259

(17) 鉱石性状の高炉操業に与える影響
(鉱石性状の評価—I)

川崎製鉄, 千葉製鉄所

安藤 博文・○榎谷 暢男
原田 崇試

The Effect of Properties of Iron Ores during Reduction on Blast Frnace Process.

(Estimation of properties of iron ores—I)

Hirobumi ANDŌ, Nobuo TSUCHIYA and Takashi HARADA.

1. 緒 言

高炉操業の支配因子の定量的な把握は、高炉内プロセスの複雑さがわがわいで、困難であるのが現状となっている。本報告では支配因子をできる限り明確な形で把握したいという考えから、理論的な厳密さの点ではかなり妥協的な態度をとって、特に高炉プロセスの最大支配因子と考えられる鉱石還元性状の検討を行なった。

還元性状は大きく 2 つに分けて被還元性状と還元崩壊性状とし、2 報にわたって、重回帰分析によつてその高

炉操業におよぼす影響を検討した。第 I 報では被還元性状についてその概要を報告する。

2. 鉱石の被還元性指数

鉄鉱石の炉内における反応速度は還元所要熱量の観点から生産速度を支配する因子、もしくはコークス比に影響を与える因子としてきわめて重要な意味をもっている。

しかし、炉内での反応速度を支配する温度プロファイルおよび還元ガス組成の変化の評価はかなう困難な問題であり、また、かりに高炉内プロセスに適合したプログラムで還元速度を評価しようとしても解析が複雑化するばかりで実用から遠ざかつたものになりかねない。したがって、実用性に主眼点を置き、かつ高炉プロセスを評価する際にそれほど大きな矛盾をもたらさない方法として学振法に類似した次の条件を設定して検討を行なった。

- 1) 試料粒径: 22.5mm
- 2) 試料重量: 500g
- 3) 反応管径: 68mm
- 4) 還元ガス組成: 33±1%CO (残りは N₂)
- 5) 還元ガス流量: 20l/min

鉱石の還元速度はガス流速が増すにしたがつて速かになるが、流速がある程度以上になると還元速度が変化しなくなる。本報告での実験でもこの臨界流速以上になるように 20l/min なる流量を選択した。

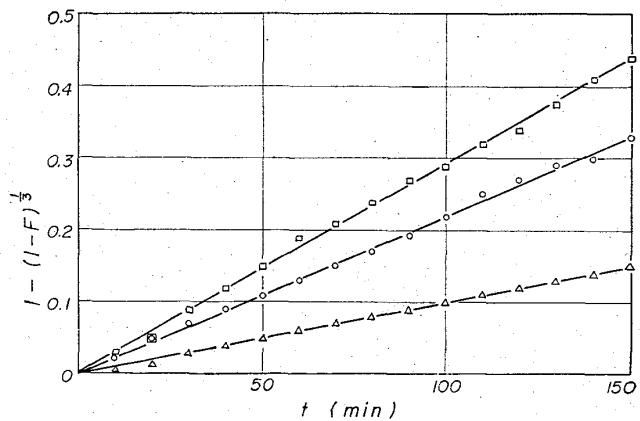
- 6) 還元温度: 900°C

炉内での固体およびガスの温度プロファイルは一般的には、固体とガスの温度がほとんど一致する温度保存領域をはさんで S 字状に変化している¹⁾。この温度保存領域は高炉によつてまちまちで 850~1000°C くらいの温度をもつとされているが、平均的に 900°C 程度と考えてよいであろう。この温度保存領域を通過する間に鉱石の還元は相当促進されるものと推定される。この領域での還元速度が炉内反応を大きく左右すると想定され、したがって、間接還元帯での鉱石の反応の挙動はこの温度において評価する必要がある。

実験結果から各鉱石の相違を評価する際には、界面反応を律速段階と仮定すると下記の関係式 (1) が得られる²⁾³⁾。

$$1 - (1 - F)^{1/3} = kt/r \dots\dots\dots (1)$$

F: 還元率 (%/100)



○: Sinter B, □: Temangan, △: Korea (Bukkin)

Fig. 1. Relation between t and 1 - (1 - F)^{1/3}.

Table 1. Specific reduction rate constant of ores.

Sample	k(mm/hr)	Sample	k(mm/hr)	Sample	k(mm/hr)
South Africa	1.24	Eagle Mountain	1.82	Sinter B	2.65
Rhodesia	1.35	Dungun	1.88	Sinter A	2.75
Korea (Zyôyô)	1.42	Rompin	2.15	Nevada	2.77
Sibuguey	1.58	India	2.30	Goa	2.97
Korea (Bukkin)	1.59	Korea (Bunkei)	2.35	Pellet A	3.00
Chile (Algarrobo)	1.81	Jorak	2.43	Pellet B	3.03
Chile (Santafe)	1.81	Sandur	2.52	Temangan	3.44

Table 2. The consumption required for ore reduction.

Sample	T·Fe%	Q(Kcal/t-pig)	Sample	T·Fe%	Q(Kcal/t-pig)
Korea (Zyôyô)	55.45	1018 × 10 ³	Nevada	58.96	604 × 10 ³
Korea (Bukkin)	59.29	961	Dungun	61.17	596
Rhodesia	63.04	926	Temangan	54.04	584
Sibuguey	57.62	896	Jorak	64.93	582
South Africa	66.23	861	Sandur	68.27	528
Eagle Mountain	59.78	809	Sinter B	56.38	536
Korea (Bunkei)	55.82	796	Pellet B	60.10	518
Chile (Algarrobo)	63.51	771	Goa	60.68	517
Chile (Santafe)	64.02	739	Pellet A	60.86	510
India	64.26	622	Sinter A	55.84	506
Rompin	63.90	605			

k: 鉱石に特有な速度定数(mm/hr)

r: 鉱石粒径(mm)

t: 時間(hr)

(1)式が成立するためには時間 t と $1 - (1 - F)^{1/3}$ が直線関係を満足しなければならないが、Fig. 1 に示すごとくほぼ直線関係を満足し、仮定が近似的に成立するのでこの関係式を基にして鉱石の評価を行なった。

(1)式より得られるを被還元性指数として 21 種の鉱石について検討した結果を Table 1 に一括する。

この被還元性指数 k を用いると、単位時間に温度保存領域内、すなわち間接還元帯でどの程度反応が進行するかがわかる。したがって、間接還元帯(温度保存領域)での鉱石の滞在時間さえ評価できれば鉱石の間接還元率のおおよその検討が可能となる。この間接還元率の大小は鉱石の還元所要熱量と密接な関係を有することが当然考えられる。そこで、以下に生産性に影響を与える鉱石還元所要熱量に関する検討を行なってみる。

3. 鉱石の還元所要熱量

還元所要熱量計算の方式は原理的には富士鉄釜石⁴⁾および住金小倉⁵⁾の行なったものとほとんど同一であるので詳細は文献にゆずる。ただ、報本においては従来のものが間接還元率 70%、直接還元率 30% と仮定を置いているのに対して、先に述べた被還元性指数 k と 鉱石粒径 r を用いて計算から間接および直接還元率を評価した点が異なっている。鉱石の粒径を r (mm)、鉱石の被還元性指数(反応速度定数)を k (mm/hr)、間接還元率(温度保存領域内)滞在時間を θ とすると、直接還元率 D. R. は(2)式によつて表わされる。

$$D.R. = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{r - k\theta}{2} \right)^3 / \frac{4}{3} \pi \left(\frac{r}{2} \right)^3 = \left(1 - \frac{k\theta}{r} \right)^3 \dots \dots \dots (2)$$

この(2)式による直接還元率の評価に際しては θ が既知であることが必要であるが、千葉製鉄所における基準操業期間中の操業データより直接還元率 D. R. を計算し、また、この期間での装入鉱石の平均粒径 r およばを用いて(2)式によつて θ を逆算して求めた。千葉第 1 高炉(内容積 913m³)における θ は昭和 39 年度 7 月および 8 月の基準操業の解析から 2.2hr となつた。ただし、k は実験室的に加重平均によつて求められることが確められたので(3)式によつて算出した。

$$k = \frac{a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n}{a_1 a_2 + \dots + a_n} \dots \dots \dots (3)$$

a_i: 鉱石の配合割合 (%)

k_i: i 種の鉱石の被還元性指数(mm/hr)

以後、実験結果と高炉操業との対応性の解析を行なう場合はすべて第 1 高炉を対象として行なう。

以上述べてきた立場から各鉱石について行なった所要熱量計算の結果を Table 2 に一括しておく。この場合粒径を一定として比較する必要があるが、最近装入鉱石平均粒径が低下してきた点を考慮して本報告では 15mm として計算した。Table 2 に T·Fe% もあわせてかかげておく。還元所要熱量 Q は鉄鉄トン当たりについての値である。

還元所要熱量に影響を与える因子について考察してみると、還元速度、粒径、脈石成分などが考えられるが、これらの点に関して 2, 3 の鉱石について検討してみる。アフリカ鉱石は還元速度が最もおそいにもかかわらず高品位であるために還元所要熱量は最高にならない。韓国襄陽および勿禁は反応速度もおそく、しかも低品位であるので還元所要熱量は非常に高くなっている。自溶性焼結鉱は高塩基度であるので見掛上低品位であるが、還元速度が速かであることと、石灰石の分解熱を必要としな

622.341.1:669.162.282
:669.162.263.23

いこととで還元所要熱量は非常に低い値をとつている。以上鉱石によりその還元所要熱量に大きな差が現われており、高炉における生産性に与える影響はかなり違ってくるものと期待される。

結 言

- (1) 鉱石の反応速度は間接還元率および直接還元率を決定する因子となり還元所要熱量を左右する。
- (2) 900°C の温度保存領域を仮定し、これを間接還元帯とした。
- (3) 鉱石の間接還元帯滞在時間内程度では $1-(1-F)^{1/3}=kt/r$ が近似的に成立することを利用して被還元性指数 k (mm/hr) を決定した。
- (4) 被還元性指数 k 、粒径 r および化学成分から還元所要熱量を計算した。
- (5) 還元所要熱量計算の結果、各鉱石間に大きな差の存在することが判明し、特に反応速度の影響の大きいことがわかった。

以上考察を行なつてきた被還元性以外の還元性状に還元崩壊性状がある。この点の検討と、被還元性と還元崩壊性の高炉操業に与える影響の定量的な検討は第Ⅱ報で報告する。

文 献

- 1) M. HANSEN: Stahl u. Eisen, 81(1961), p.894
- 2) N. J. THEMELIS et al.: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 227 (1963), p. 290
- 3) 学振第 54 委員会資料, 昭和36年月, 54 委 627
- 4) 八塚, 沢村他: 鉄と鋼, 46 (1960) 6, p. 643
- 5) 第17回製鉄部会資料, 昭和36年12月, 鉄17-2-1

(18) 鉱石性状の高炉操業に与える影響

(出鉄量に与える鉱石性状の影響—Ⅱ)

川崎製鉄, 千葉製鉄所

岩村英郎・佐々木健二・長井 保
安藤博文・梅垣邦一・○榎谷暢男

The Effect of Properties of Iron Ores during Reduction on Blast Furnace Process.

(The effect of properties on the productivity —Ⅱ)

Eiro IWAMURA, Kenji SASAKI,

Tamotsu NAGAI, Hirobumi ANDŌ,

Kuniichi UMEGAKI and Nobuo TSUCHIYA.

1. 緒 言

鉱石の還元性状が高炉操業を大きく支配するという考

えから、第Ⅰ報では鉱石の被還元性について検討した。しかし炉況を通気性の点で支配する因子に鉱石の還元崩壊性がある。第Ⅱ報ではこの還元崩壊性を表わす指数を評価した上で、2つの還元性状を含めた各因子が出鉄量におよぼす効果を、千葉製鉄所第1高炉を対象高炉として、重回帰分析によつて解析した結果を報告する。

2. 鉱石の還元崩壊指数

鉱石の還元崩壊性をテストする方法には学振法、リンダー法をはじめ各種の方法が存在するが、本報では次の実験条件を選択した。すなわち、比較的低温の領域である500~700°C 付近では、1) カーボン析出が激しく、これが崩壊を助長するであろうこと、2) ヴスタイト層が現われると共に組織が劣化すること、3) 熱割れが起こることなどの諸点から鉱石が崩壊しやすい条件になつていと推察される。この考えにしたがつて、

- 1) 試料粒径: 20~25mm (平均粒径 22.5mm)
- 2) 試料重量: 1000g
- 3) 還元温度: 600°C (600°C までの昇温速度: 10°C/min)
- 4) 還元時間: 60min
- 5) 還元ガス組成: 33±1% CO(残 N₂)
- 6) 還元ガス流量: 20l/min
- 7) パレル回転数: 20 r. p. m.

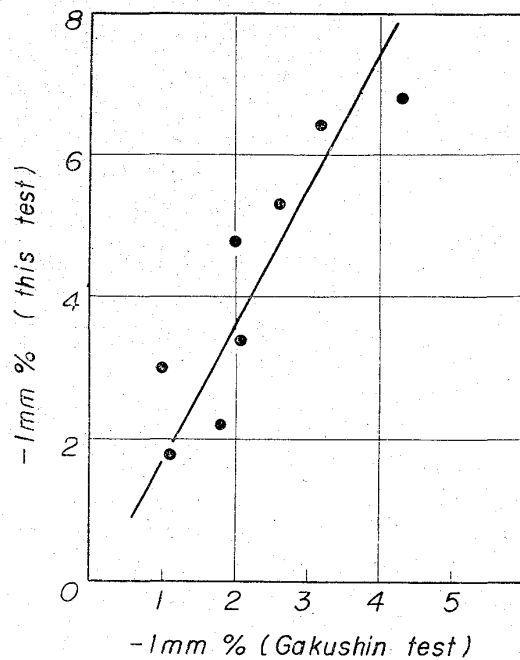


Fig. 1. Relation between the result of this test and that of the Gakushin test.

Table 1. Degree of the degradation of ores.

Sample	-1 mm (%)	Sample	-1 mm (%)	Sample	-1 mm (%)
Korea(Bukkin)	0.2	Sinter B	2.9	Chile(algarrobo)	10.3
Korea(Zyoyo)	0.5	Nevada	4.7	Dungun	11.4
Korea(Bukkin)	1.1	Rhodesia	7.0	Rompin	11.5
Eagle Mt.	1.2	Sibugney	7.2	Temangan	13.0
South Africa	1.9	Sinter A	7.8	Chile(Santafe)	14.1
Pellet B	2.0	India	8.0	Jorak	22.0
Pellet A	2.5	Goa	8.8	Sandur	36.9