

討5

鉍石装入物の還元性と高炉ガス利用率

川崎製鉄㈱ 千葉製鉄所○早瀬鉍一 大島位至
水島製鉄所 藤森寛敏
技術研究所 佐々木晃

1. 緒言

高炉ガス利用率を決める要因としては、高炉半径方向のガス流分布および塊状帯の大きさとともに鉍石装入物の還元性をあげることができる。従来の高炉操業は安定性およびガス利用率ともに限界に近いとはいえず、装入物還元性のガス利用率への影響が明確にとらえられぬ場合が多かった。

しかしながら、近年の高炉装入物分布制御技術と装入物性状の向上により炉況の安定化と高ガス利用率が達成され、装入物還元性とガス利用率の関係がとらえやすくなってきた。

当社においては従来より鉍石装入物の還元性を表わす指数として k^1 値を用いている。以下この指数とガス利用率の関係を最近の高炉操業例をもとに示す。

2. 鉍石装入物の還元性

2.1 還元性の測定方法

鉍石装入物の還元性は一般にJIS法(JIS 8713)により測定されている。この方法は簡便であり各銘柄間の差を明らかにできるが、高炉内の還元進行過程を定量的には評価できない。高炉内の還元過程を考えるには反応速度を支配する温度や還元ガス組成を高炉内の条件に出来るだけ近似させることが望ましいが、解析が複雑になり実用から遠いものになりかねない。そこで当社では、反応速度を求めることができ、高炉内の条件と大きな矛盾がなくかつ実用的な方法として表1に示す試験を行い、JIS法とともに鉍石装入物の評価を行ってきた。

本方法は高炉内での熱保存帯を想定し900℃一定温度での反応速度定数を定めている。また、還元ガス量の還元速度への影響がなくなる臨界流速以上になるように反応管径とガス流量を定めている。この流速はJIS法に比べて約3倍で高炉内に近い条件となっている。

一般に界面反応のみが律速過程と仮定すると、鉍石の反応速度を表わす式として下記の関係が得られ

$$1 - (1 - R)^{1/3} = \frac{k}{d} t \dots \dots \dots (1)$$

R : 還元率

k : 反応速度定数 (mm/h)

d : 粒径 (mm)

t : 時間 (h)

る。時間 t と $1 - (1 - R)^{1/3}$ の関係より得られる直線の勾配から k を求める。表2に代表的な鉍石装入物の k_0 (表1に示す粒径での反応速度定数)を示す。

2.2 粒径のkへの影響

kの値は試料が緻密であり、理想的な末反応殻モデルで還元が進行する場合は粒径に依存しない。しかし実際は図1に示すように、粒径とともにkは

表1. 還元試験の条件

適用範囲		川鉄法 焼結鉍, 鉍石, ペレット	JIS法	
装 置	電気炉	たて型	同左	
	反応管(内径 mm)	68	75	
	はかり(感量 g)	0.5以下	同左	
試 料	粒径 (mm)	焼結鉍 鉍石	15~20 (平均 17.5)	20±1
		ペレット	10~13 (平均 11.5)	12±1
	重量(g)	500	同左	
還元温度(℃)		900	同左	
還元時間(min)		100	180	
還 元 ガ ス	組成(%)	CO 30, N ₂ 70	同左	
	流量(Nℓ/min)	40	15	
報告値		反応速度定数 k ₀ (mm/hr)	最終還元率 (%)	

表2. 還元反応速度定数

銘柄	k ₀ (mm/hr)
千葉焼結鉍	2.60
フィリピン焼結鉍	2.68
アルゴロペレット	2.61
ニブラスコペレット	1.81
マルコナペレット	1.48
ニューマン鉍石	2.40
ハマスレー鉍石	2.39
ゴールドワージー鉍石	2.99
イスコール鉍石	1.37
ロメラル鉍石	0.85

増大する。特異な形状や開気孔を多く有するものは粒径の増加による表面積の低下とともに、それを補う内部表面積の増加があり、 k は見掛け上大くなる。すなわち、多孔質である程 k に対する粒径の効果が大きく現われる。そこで、(1)式の粒径 d を d^n で置き換え $1 - (1 - R)^{1/3} = \frac{k'}{d^n} t$ (ただし $k' = k_0 \cdot (17.5)^{n-1}$) とすると、反応速度定数を粒径によらぬ形で評価できる。焼結の場合 $n = \frac{2}{3}$ 、塊鉄石の場合 $n = \frac{3}{4}$ とおくと、図1のように k は粒径に依存しない。任意の d における k は、 $k = \frac{k'}{d^{n-1}}$ で求められる。

2.3 k と η_{co} との関係

以上のことから、実高炉における間接還元帯の滞留時間 θ 、装入物の平均粒径 d_{av} 、平均反応速度定数 k_{av} がわかれば、間接還元率 IDR 、直接還元率 DR を次式により求めることができる。

$$IDR = 1 - \left(1 - \frac{k_{av} \theta}{d_{av}}\right)^3 \dots \dots \dots (2)$$

$$DR = 1 - IDR \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 i 種の装入物の反応速度定数を k_i 、平均粒径を d_i 、配合比を W_i ($\sum W_i = 1$) とすると

$$k_{av} = \sum W_i \cdot k_i = \sum W_i \cdot \frac{k'_i}{d_i^{n-1}}$$

$$= \sum W_i \cdot k_{oi} \cdot \left(\frac{17.5}{d_i}\right)^{n-1} \dots \dots \dots (4)$$

$$d_{av} = \sum W_i \cdot d_i \dots \dots \dots (5)$$

一方、Rist 操業線図 (図2) に基づいてガス利用率 (以下 η_{co}) と間接還元率の関係を求める。

炉内の 900°C 以上の領域において、 900°C を基準とする熱収支を考えると次式が成立つ。

$$q_b \cdot y_b = q_s \cdot y_s + Q \dots \dots \dots (6)$$

また物質収支から次式が成立つ

$$(1 + \eta_{co}) / \eta_{co} = (n + y_f + y_b) / n \cdot IDR \dots \dots \dots (7)$$

$$y_s = n - n \cdot IDR \dots \dots \dots (8)$$

(6)、(7)、(8)式より

$$\eta_{co} = n \cdot IDR / \left\{ n \left(\frac{q_s}{q_b} + 1 \right) (1 - IDR) + \frac{Q}{q_b} + y_f \right\} \dots \dots \dots (9)$$

また、前述の反応速度定数と間接還元率の関係(2)式を(9)式に代入すると k_{av} の η_{co} に及ぼす影響を表わすことができる。

$$\eta_{co} = \frac{n \left\{ 1 - \left(1 - \frac{k_{av} \theta}{d_{av}}\right)^3 \right\}}{n \left(\frac{q_s}{q_b} + 1 \right) \left(1 - \frac{k_{av} \theta}{d_{av}}\right)^3 + \frac{Q}{q_b} + y_f} \dots \dots \dots (10)$$

通常操業時の q_s 、 q_b 、 Q 、 y_f を用い、(10)式により、計算した Δk と $\Delta \eta_{co}$ の関係を図3示す。図には間接還元帯の滞留時間が、 90 min と 120 min の場合を示したが、実操業上の対応より以下の計算では 90 min とした。

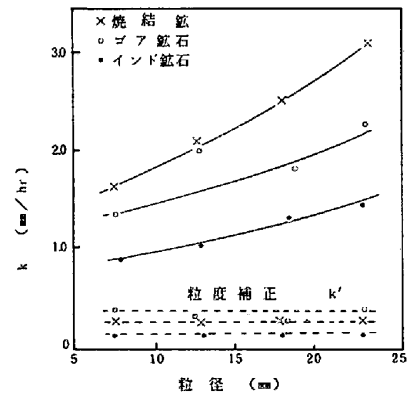


図1. 粒径と k の関係

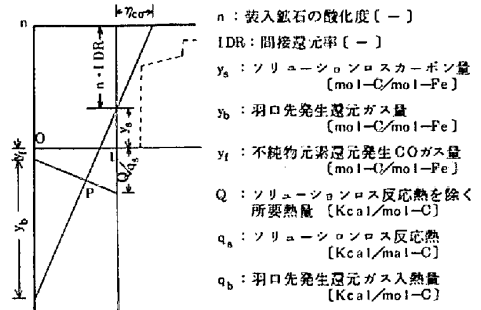


図2. Rist 操業線図

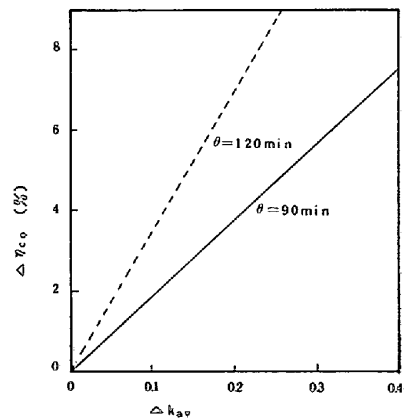


図3. $\Delta \eta_{co}$ と Δk_{av} の関係 (10式の関係から計算)

3 実操業への適用

3.1 塊鉱石

当社においては表2に示す比較的還元性の良好なニューマンハマスレー鉱石を主に使用しており、塊鉱石の配合比は15%~20%程度である。しかし、鉱石の需給バランス上過去何回か還元性の劣るイスコール鉱石を10%~20%程度使用しており、そのつど η_{CO} の低下を経験している。イスコール鉱石使用時の η_{CO} の推移の1例を図4に、過去2年間のイスコール、ロメラル鉱石使用時の η_{CO} の変化をまとめて図5に示す。各ケースともイスコール、ロメラル鉱石の配合比増にとともに η_{CO} の低下が認められる。これらの関係を図6に Δk および $\Delta\eta_{CO}$ （実績値）に置きかえて示すとともに、 η_{CO} 式より求めた関係を直線で示す。各点の分布と直線は比較的良好的な対応関係にある。また、イスコール鉱石の還元性の改善をはかるため、試験的に粒径を通常の10~25mmから10~20mmに細粒化し粒径の η_{CO} への影響を調べた。その結果、イスコール鉱石配合比18%~20%のもとで1.3%の η_{CO} の増加がはかれた。図7に η_{CO} 式より求めた $\Delta\eta_{CO}$ を合わせて示すかなり良い対応が認められる。

3.2 焼結鉱

図8に焼結鉱FeOと η_{CO} の関係を、図9に焼結鉱を主体とした処理鉱比と η_{CO} の関係を各々実績値と η_{CO} 式より求めた計算値により示す。焼結鉱のkに対するFeO補正は図10に示すFeOとkの実績値（鍋試験）を用いている。

焼結鉱FeOおよび処理鉱比の η_{CO} への影響は実績に比較し計算値は大きくなっている。これは図10に示すFeOとkの関係に帰因している。すなわち、FeO1%減（焼結鉱比100%）を想定した場合、図3よりこれに対応した η_{CO} の増加分は約3%となり、現実の操業実績ともかなり異った結果となっている。今後

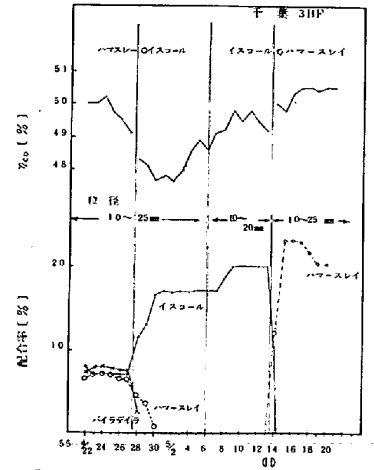


図4. イスコール鉱石の η_{CO} への影響

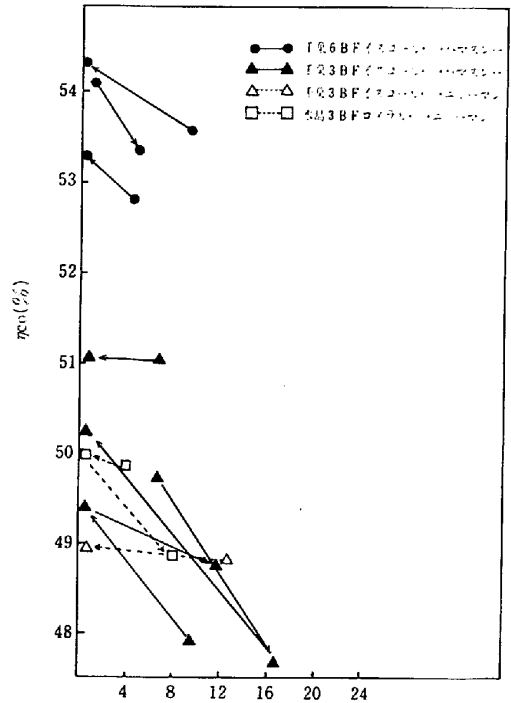


図5. イスコール、ロメラル鉱石の η_{CO} への影響

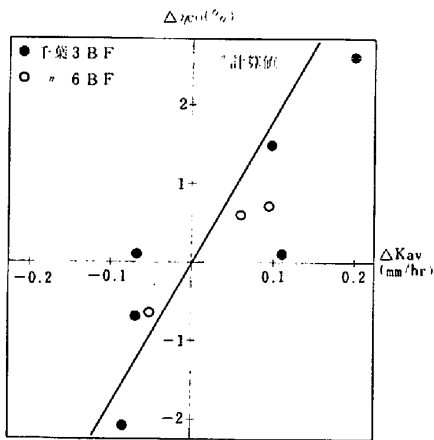


図6. k_{av} の変化による η_{CO} の変化

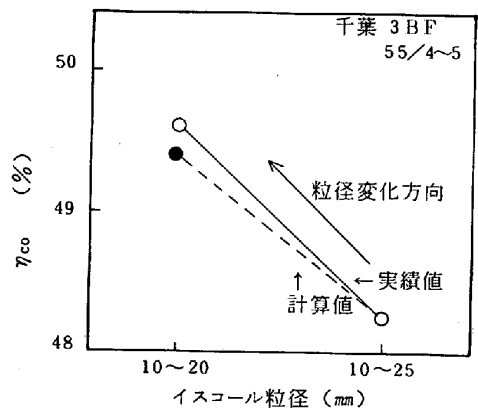


図7. イスコール鉱石の粒径と η_{CO} の関係

焼結鉱のkおよび焼結鉱FeOのkへの影響等についての検討が必要である。

3.3 η_{co} への原料性状の効果

千葉第6高炉はPW式のベルレス装入装置をもつ大型高炉(4,500 m^3)で、操業当初より装入物分布制御の適正化に努め、炉況の安定化と高ガス利用率を達成し、特に昭和54年4月より昭和55年3月の1年間にわたる年間平均燃料比436.1 kg を達成した。この期間中の η_{co} は50.1%から54.3%へ大巾に増加した。 η_{co} の推移を図11に示す。

η_{co} に対する装入物分布(ガス流分布)と装入物還元性の効果を定量的に分離することは難しいが、00式に示したkと η_{co} の関係より、装入物還元性の変化による η_{co} の変化を試算し、図11に合わせて示した。年間を平均すると実績の η_{co} の増加分の約半分を原料の還元性の効果で説明できる。また、54年7月と55年3月は高処理鉱(各々99.8%、96.7%)操業を実施しているが、計算 η_{co} の上昇ほどには実績 η_{co} は向上していない。

4. 結言

当社において従来より使用している高炉装入物の反応速度定数kと高炉ガス利用率(η_{co})との関係を検討した。その結果、簡便な方法で得られた装入物の還元性から、実績 η_{co} の変化をかなり説明できることを示した。

参考文献

- 1) 安藤、樋谷、原田：鉄と鋼，51(1965)No.10, P1756

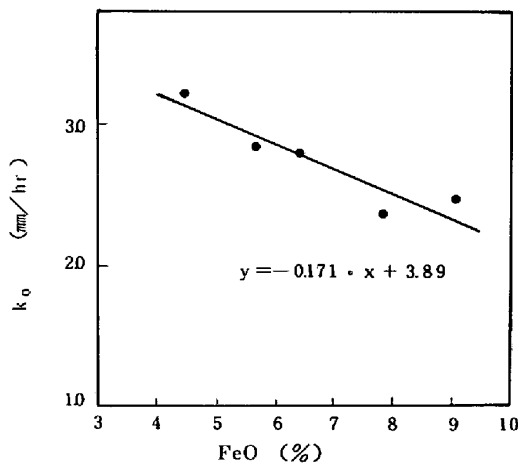


図10. 焼結鉱中FeOとkの関係

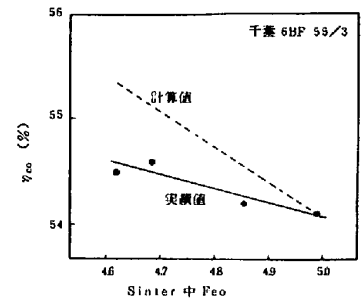


図8. 焼結鉱FeOと η_{co} (焼結配合比93%)

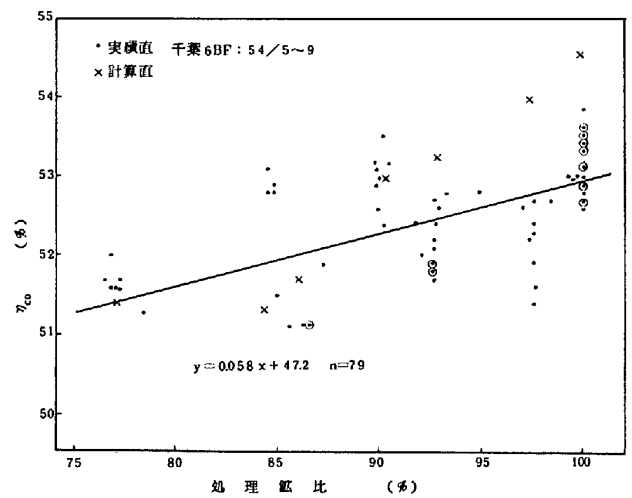


図9. η_{co} と処理鉱比の関係

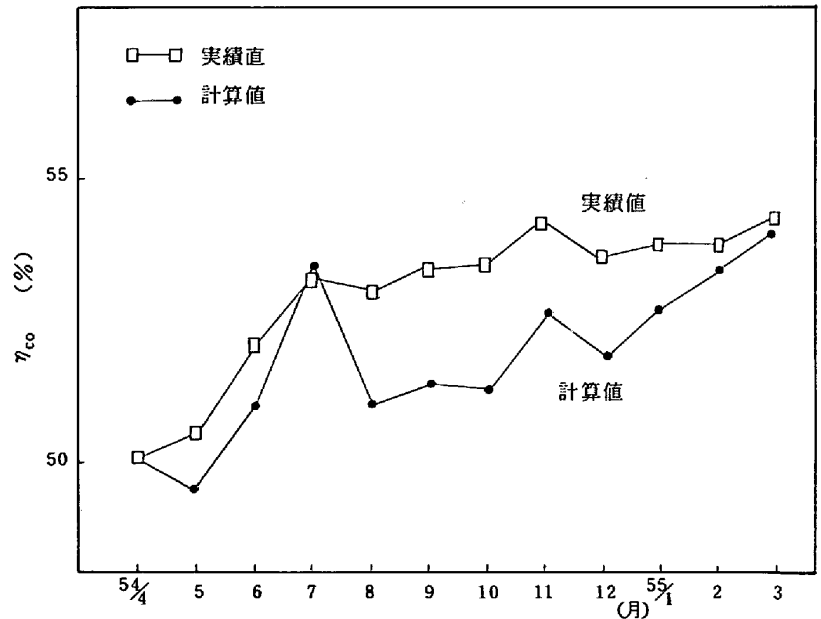


図11. 千葉6BFの η_{co} の推移