

Table 2. Chemical composition and size distribution of iron ore used.

Description	Item	Chemical composition %					Size distribution			
		T.Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	S	+50mm	50~10 mm	-10mm
Dungun		62.78	3.04	0.29	2.75	0.15	0.050	3.4	79.1	17.5
Goa		59.22	2.36	0.20	5.45	0.37	0.043	18.2	60.1	21.7
Chili		64.30	3.06	0.76	0.90	0.15	0.051	9.5	84.1	6.6
Chūshū		56.10	16.51	0.47	0.90	0.09	0.112	6.2	82.6	11.2
Briquette		54.11	4.48	2.16	2.49	0.22	0.207	0.0	71.8	28.2
Sinter		57.38	7.62	2.20	2.44	0.59	0.076	15.4	50.0	34.5
Open hearth F. slag		25.73	12.16	25.67	2.78	7.17	0.119	15.3	77.9	6.7

Table 3. Diameter of the race way.

Period	Tuyere No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	mean
Oxygen enriched	—	—	mm 932	mm 983	mm 993	mm 1026	mm 976	mm 1054	mm 938	mm 943	mm 929	mm 994	—	mm 977
Normal I	—	—	922	987	990	918	1029	994	980	971	980	1029	—	980
Normal II	—	—	1048	1071	1086	1056	999	1007	978	946	1032	1126	—	1035

石の予備処理強化によりコークス比に悪影響をあたえることなく、普通送風でも可能であることは明らかである。ただし比較期間第2期の実績には酸素富化送風操業の後効果が影響していることは当然考えられなければならない。コークス比に悪影響をあたえない限界程度まで増風した後、酸素を添加すればなお相当量の出鉄量増加を、コークス比の犠牲なしに到達できるものと考えられる。しかし当熔鉱炉ではその限界に達する以前に捲揚能力が問題になってくる恐れがある。また出鉄回数の点から湯溜貯留能力の点も今後問題となってくるであろう。

(2) コークス比: コークス比を問題にする場合はさらに長期の試験が必要であり、また送風中水分の影響も別に充分把握しておくことが大切であるので、今回のごとき短期間の結果で云々することはできないが、少なくともコークス比に大きな変化はないということができよう。しかし高度の同一出鉄量を得る場合であれば、炉況の点から酸素富化による方が良い結果を得られることが考えられる。

### (3) その他

炉況はきわめて安定していた。炉頂温度は明らかに低下したが、指尺に影響をあたえるほどではなかつた。ガス灰発生量は低下するが、これは比較期間第1期と比較した場合でも少なく、酸素使用により炉内のガス分布が相当変化することが考えられる。また酸素富化送風により同一出鉄量に対して炉芯が拡大するようであるが、これには羽口流速と反応速度の効果が影響しているものと考えられる。送風中水分は装入物の処理が充分なら、相当減じて良いようである。ガス発生量は減少するが発熱量が増大するので燃料としての価値が高くなる。

## VI. 結 言

1. 酸素富化により出鉄量の増加を容易におこなうことができる。
2. コークス比について明確な結論を下すには、いまだ不十分である。本試験では変化は認められない。
3. 炉況はきわめて良好であり、装入物の予備処理が適当であれば加湿を行なわなくても充分酸素富化送風操業が可能である。また酸素富化操業により炉況の改善が可能であり、その後効果はきわめて大きいものがあるように思われる。
4. 炉頂温度、ガス灰発生量については一般にいわれているような結果が得られた。

### (5) 高炉々内の還元作用についての一考察

#### A Study on the Reaction of Ore Reduction in the Blast Furnace.

Keiichi Wakabayashi.

富士製鉄広畑製鉄所、製鉄部

工〇若 林 敬 一

### I. 結 言

高炉々内の還元作用には直接還元と間接還元とがある。前者は吸熱反応であるため炉床部の温度を低下せしめ、従来より炉況不良の一原因とされていた。しかし当所における高炉操業実績の調査によれば、最近の炉況好調時には間接還元が有効におこなわれているが、直接還元も従来に比してむしろ盛におこなわれていることがみ

とめられた。これは最近の高炉操業技術の進歩にも関連するもので、装入原料の整備により、高温送風が可能となり、したがって直接還元による炉床温度の低下を熱量的に補うことが可能となつたためである。

本報告はこの点に関し、直接および間接還元の性格、相互の関連性について考察をおこなつたものである。

### II. 装入物のC平衡よりの考察

高炉々内における還元作用の生産性特にコークス比におよぼす影響を考察するため、炉内において消費されるCのバランスを考える。すなわち炉内にて消費されるCを分類するとつぎのごとくなる。

- 1) 羽口前で空気中の O<sub>2</sub> により消費される C ..... CA
- 2) 空気中水分の分解に消費される C ..... C<sub>w</sub>
- 3) 直接還元により消費される C ..... C<sub>DR</sub>
- 4) 銑鉄中に溶解される C ..... C<sub>P</sub>
- 5) 銑鉄中の Si, Mn, P などの還元消費される C ..... C<sub>I</sub>

したがって高炉に装入されるコークス中のC (C<sub>K</sub>) との間にはつぎの関係がある。

$$C_K + A = CA + C_w + C_{DR} + C_P + C_I \dots\dots\dots (1)$$

ここでAはガス灰ロス、コークス以外の原料より入るCに対する補正である。

つぎに各分類したCにより生産されるFe量を各相当する化学方程式より計算するとつぎのようになる。

$$6) \text{ 直接還元より } 3 \cdot 10 C_{DR} \dots\dots\dots (2)$$

$$7) \text{ CO ガスの間接還元より } 3 \cdot 10 \eta_{CO} (C_A + C_{DR} + C_w + C_I) \dots\dots\dots (3)$$

ここで  $\eta_{CO}$  は CO ガスの還元効率で、つぎの式で表わされる。

$$\eta_{CO} = \frac{(\text{炉頂ガスの CO}_2 \text{ \%}) - (\text{石灰石の CO}_2 \text{ \%})}{(\text{炉頂ガスの CO} + \text{CO}_2 \text{ \%}) - (\text{石灰石の CO}_2 \text{ \%})} \dots\dots\dots (4)$$

$$8) \text{ H}_2 \text{ ガスの間接還元より } 3 \cdot 10 \eta_{H_2} C_w \dots\dots\dots (5)$$

したがって銑鉄 t 当りについて考え、銑鉄中の Fe 含有量を 925 kg とすると、前記の Fe 量を加算してつぎの式が成立する。

$$925 = 3 \cdot 10 B \{ C_A \cdot \eta_{CO} + C_{DR} (\eta_{CO} + 1) + C_w (\eta_{CO} + \eta_{H_2}^2) + C_I \eta_{CO} \} \dots\dots\dots (6)$$

ここでBは装入鉱石を全量 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と仮定したことの補正である。(1)と(6)式より C<sub>A</sub> 項を消去すると、

$$C_K = 298/B - C_{DR} - C_w \eta_{H_2} / \eta_{CO} - A + C_P \dots\dots\dots (7)$$

(7)式は炉内の還元状態がコークス比にいかんに影響

するかを示したもので、間接還元 ( $\eta_{CO}$ ) が多く、また直接還元 (C<sub>DR</sub>) が大であればコークス比は低下する。この状況を昭和32年2月当所第1高炉の操業実績 (Table 1) より B, A, C<sub>P</sub> を算定し、(7)式より C<sub>K</sub>, C<sub>DR</sub>,  $\eta_{CO}$  の関係を図示せるものが Fig. 1 の細線である。

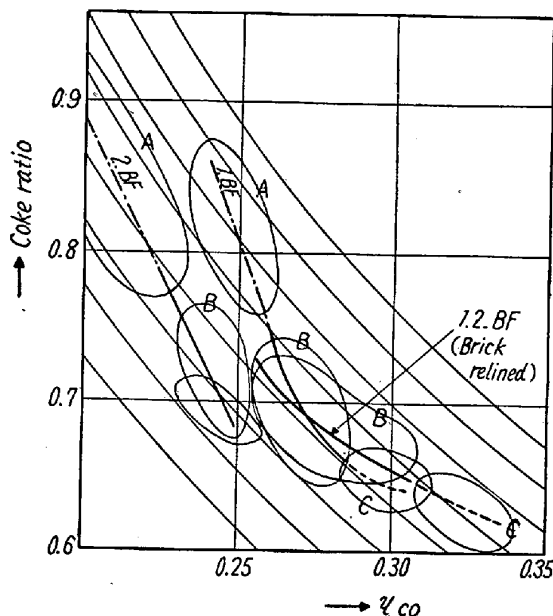


Fig. 1. Relation between direct reduction (C<sub>DR</sub>), indirect reduction ( $\eta_{CO}$ ) and coke ratio.

### III. 熱精算よりの考察

当所の高炉の代表的時期における熱精算の結果を Table 1 に示した。これは T. L. Joseph<sup>1)</sup> 氏の方法によるもので、直接還元をソリューションロス反応として計算している。

すなわち表より粉鉱を含む装入物による操業は間接、直接両還元とも悪く、減風操業の場合は間接還元が良好におこなわれるが、炉体の熱損失が多く、したがって直接還元で消費し得る熱量はやや減少する。また間接還元の多少は銑鉄 t 当りの必要熱量に関連し、間接還元が良好のときはこの熱量は少ない。いずれにしても最近の操業ではCは有効に還元で使用され、不足の熱量は送風熱で補われている。これは装入原料の整備により、炉内通気率が向上し、高温送風が可能になつたためである。

### IV. 炉内還元作用の実績

炉内還元作用が実際に高炉において、操業条件によりいかに変化するかを Fig. 1 の太線にて示す。この図は操業実績より  $\eta_{CO}$  とコークス比との関係を、(7)式の理論曲線上に画いたもので、Aは粉鉱装入物の多い場合Bは普通操業、Cは減風操業時を炉別に示したものである。操業速度の面より減風するにしたがつて、間接還元

Table 1. Heat balance of the blast furnaces.

Item		S. 32. 2 1. BF	S. 28. 11 1. BF	S. 33. 6 1. BF
Heat input	(1) Combustion C to CO at the tuyere	69.9%	72.6%	65.5%
	(2) Indirect reduction heat of Fe	2.5	2.4	2.8
	(3) Hot blast heat content	27.2	24.8	30.8
	(4) Moisture in blast (heat content) Table Kcal per ton pig iron	0.4 1530.400 kcal	0.3 1728.500 kcal	0.9 1415.400 kcal
Heat consumed	(1) Reduction of Si, P, Mn in pig iron	4.2%	4.3%	3.7%
	(2) Solusion loss	23.2	16.9	21.1
	(3) Calcination of lime stone	9.0	9.7	7.6
	(4) Carried off with iron	18.3	15.9	20.0
	(5) Carridd off with slag	16.7	14.3	15.5
	(6) Dissociation of H <sub>2</sub> O in blast	0.6	1.7	3.0
	(7) Sensible heat H <sub>2</sub> O in top gases	4.0	6.2	1.7
	(8) Sensible heat top gases	11.0	17.8	10.0
	(9) Radiation, cooling water etc. Total	13.0 100.0	13.2 100.0	17.4 100.0
Operating data	(1) Pig production t/day	1.001	1.001	1.018
	(2) Coke ratio	0.702	0.815	0.608
	(3) Blast volume m <sup>3</sup> /mn	1.407	1.687	1.218
	(4) Blast temperature °C	652	578	787
	(5) Average burden analysis %	58.93	55.97	60.82
	(6) $\eta_{CO}$	0.312	0.295	0.369
	(7) CDR kg/ton pig iron	108	81	91
(8) Furnace condition	Normal operation	Operation with fine ore charge	Slack wind operation	

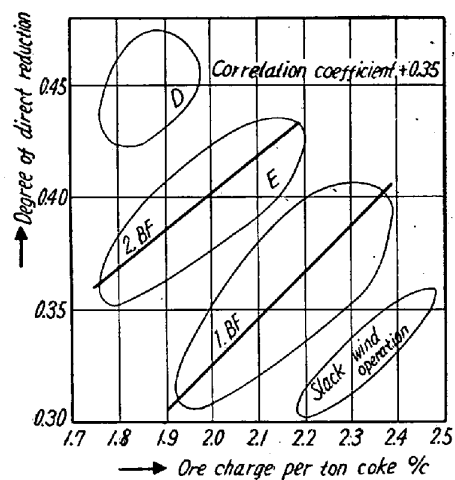


Fig. 2. Relation between degree of direct reduction and ore charge per ton coke.

が良好となる。また原料面より見れば、粉鉱が少なくなるにしたがつて、間接還元も良くなるが、直接還元も増加する。また図の曲線の傾斜より、この場合コークス比の低下に直接還元が相当寄与していることが判る。この関係について別に Fig. 2 に直接還元率（全還元中直接還元のみめる割合）とコークス t 当りの鉱石の荷重との関係を示す。すなわち装入物中に鉱石が多くなると直接還元が増加する。これは前述の結論と一致するが、炉体損傷のはなはだしい時期 D、E は直接還元多く、炉況

不順でコークス比も高い。このことは従来の観念と一致する。

V. 結 言

以上を総括すると、

- (1) 炉内における直接還元の増加は間接還元と同じくコークス比低下の要因である。
- (2) 直接還元増加の場合は、送風温度を上昇して熱量を補わねばならない。(熱平衡より)
- (3) 間接還元の増加は銑鉄 t 当り必要熱量を減ずる。(熱平衡より)
- (4) 操業速度の面より、減風すると間接還元(ガスの還元効率  $\eta_{CO}$ ) は増加する。
- (5) 装入原料面より、粉鉱が減少すると  $\eta_{CO}$ 、直接還元ともに増加する。この場合コークス比低下に直接還元も寄与している。
- (6) 特別の炉況、たとえば炉体損傷による炉況悪化の場合直接還元は増加する。

文 献

1) T. L. Joseph, Blast Furnace & Steel Plant, July. 1947 August, 1947 p. 944~948.