

622,341,1:669,162,2  
 (35) 予備還元鉱石使用による高炉操業  
 について

八幡製鉄, 八幡製造所 白石 芳雄  
 斧 勝也・竹内 明・平本信義・  
 ○水野葆祿  
 // 戸畑製造所 山口 一成  
 // 技術研究所 彼島 秀雄

Pre-reduced Ore as Blast Furnace Burden.

Yoshio SHIRAIISHI, Katuya Ono,  
 Akira TAKEUCHI, Nobuyoshi HIRAMOTO,  
 Yasuyoshi MIZUNO, Kazunari YAMAGUCHI  
 and Hideo KANOSHIMA.

1. 緒 言

高炉装入原料としての予備還元鉱石の使用は、出鉄量増加、コークス比低下などかなりのメリットが予想される。アメリカの Bureau of Mine では Bruceton の試験高炉でタコナイト磁選精鉱から製造した予備還元率60~95%の予備還元ペレットを使用して試験を行ない、大幅な生産向上とコークス比低下を認めている<sup>1)</sup>。また実際高炉においても Steel Co. of Canada の Hamilton No. 2 BF (内容積666m<sup>3</sup>) で、還元率 96% 程度の SL 鉱石を使用して、良好な結果を得たといわれる。

しかし、予備還元鉱石の実炉使用試験結果はそれ程多くなく、鉱石を炉外で還元した方が有利なのか、高炉シャフト部で間接還元を行なわせた方が有利なのか、総合的メリットについて十分検討できるだけの基礎的データが

不足している現状である。

この度、ロータリーキルンで高炉ガス灰と酸化鉄粉を主原料とする予備還元鉱石を製造し、高炉への多量使用試験を行なったので、結果の概略を報告する。

2. 予備還元鉱石の品質

使用した予備還元鉱石の鉱石庫下粒度分布と化学組成を Table 1 に示す。

予備還元鉱石の外観性状は破碎焼結鉱石状で、粒度分布にも見られるように細粒部分が多い。化学組成としては TFe, MFe の変動は標準偏差でそれぞれ 1.37%, 4.07% と、MFe の品位変動の大きいのが注目された。予備還元率は 70% 程度で、学振還元率は 30.8% と難還元性を示した。

3. 操業計画および操業経過

試験対象高炉は東田第 6 高炉 (内容積 648m<sup>3</sup>, 炉床径 6.2m, 炉齡 4 ヵ月) で、試験は予備還元鉱石 サンプル量の都合上焼結鉱石との代替性を検討する第 I 期 (昭和 40 年 1 月 20 日~2 月 28 日) と、輸入精鉱と代替した第 II 期 (5 月 12 日~6 月 1 日) の 2 期に分けて実施した。予備還元鉱石の使用比率は第 I 期で最高 20%, 第 II 期で 40% である。

試験期間の原料使用状況、操業成績をそれぞれ Table 2, Table 3 に示す。第 I 期では焼結鉱石を予備還元鉱石に 10, 20% 代替したが、10% 期間中原料の都合で、アフリカ鉱石をアドリア鉱石に変更した。第 II 期では、輸入鉱石を 30, 40% 予備還元鉱石と代替した。この期間中は輸入鉱石銘柄相互の使用比率を崩さないよう注意した。

4. 結果の検討

予備還元鉱石使用による効果はいうまでもなくコークス

Table 1. Quality of pre-reduced ore.

Size distribution	+25m/m		25~10m/m		-10m/m	
	1st Period	2nd Period	1st Period	2nd Period	1st Period	2nd Period
	20.6	12.6	38.8	28.0	40.5	59.6
Chemical composition	TFe	MFe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO
	1st Period	41.07	34.41	1.54	8.28	4.81
	67.14	38.58	32.47	3.17	8.88	5.41

Table 2. Raw Materials (kg/t-metal).

	1st Period				2nd period		
	Standard operation		10%	20%	Stand op.	30%	40%
	1/12~15	2/24~23	1/24~29	2/1~7	5/12~17	5/20~24	5/27~6/1
Imported ore	689.3	606.9	652.4	633.8	722.4	258.1	105.0
Sinter	767.7	766.9	608.1	459.8	780.1	765.8	753.7
Pre-reduced ore	—	—	173.2	300.1	—	454.9	595.7
Others	101.5	102.2	100.9	93.7	44.7	44.4	43.3
Indian Fe-Mn	4.5	9.0	4.0		22.1	15.3	2.7
OH slag	81.7	71.0	91.7	84.1			
Lime stone	54.4	41.8	53.0	77.6	117.0	110.8	104.9
Quartzite					9.2	9.3	9.1
Coke	515	511	509	474	490	428	400

Table 3. Operation results.

	1 st. Period				2 nd. Period		
	Standard operation		10%	20%	Standard operation	30%	40%
	1/12~15	2/24~28	1/23~29	2/1~7	5/12~17	5/20~25	5/27~6/1
Sinter ratio %	49.2	51.9	39.6	30.9	50.5	50.3	50.3
Pre-reduced ore ratio %	—	—	11.3	20.2	—	29.9	39.8
Product t/day	825	888	833	918	958	1046	1048
Coke ratio kg/t	520	512	509	474	490	428	400
Fuel ratio kg/t	520	512	509	474	528	463	436
Ore/Coke —	3.03	2.89	3.01	3.14	3.16	3.56	3.74
Ore ratio kg/t	1.572	1.479	1.534	1.485	1.547	1.523	1.498
Blast volume m <sup>3</sup> /mm	750	750	736	750	906	902	908
Blast pressure g/cm <sup>2</sup>	712	770	718	728	905	947	1014
Blast temperature °C	937	975	929	1002	966	987	981
Blast humidity g/Nm <sup>3</sup>	30	30	30	28.6	26.5	25.4	24.3
Blast pressure/volume —	0.949	1.027	0.9	0.97	1.00	1.05	1.09
Slag volume kg/t	333	303	338	335	324	365	355
CaO/SiO <sub>2</sub> —	1.21	1.22	1.21	1.27	1.25	1.28	1.31
CO <sub>2</sub> in top gas %	16.8	16.7	16.4	16.1	14.0	13.4	13.0
CO " %	24.7	24.6	24.8	25.5	24.6	25.3	25.9
H <sub>2</sub> " %	2.6	2.7	2.9	2.5	3.9	4.1	4.2
[Si] contents in metal %	0.57	0.58	0.62	0.53	0.64	0.63	0.67
[S] " %	0.033	0.028	0.031	0.033	0.028	0.033	0.024
Hanging and slip times	0	1-0	0	0	2-0	0-1	3-2
Blow off time hr	0	0	0	0	0	0	2-7°-
Flue dust kg/t	7.0	9.0	11.1	5.8	4.6	3.1	4.2

Table 4. Correction coefficient.

	Sinter ratio	Blast temperature	Blast humidity
Coke ratio	± 1% → ± 1.3 kg/t	± 100°C → ± 25 kg/t	± 1 g/Nm <sup>3</sup> → 1 kg/t
Standard level	50% (= sinter + pre-reduced ore)	950°C	30 g/Nm <sup>3</sup>

Table 5. Carbon balance (kg/t).

	1 st. Period			2 nd. Period		
	Standard	10%	20%	Standard	30%	40%
Gasified carbon	423.1	419.3	420.7	391.3	440.5	371.4
Carbon consumed by O <sub>2</sub>	305.6	303.8	306.0	284.2	346.7	287.2
Carbon consumed by H <sub>2</sub> O	27.1	27.0	27.2	24.1	27.2	20.7
For reduction of Si, Mn, P	9.4	9.5	10.3	9.3	8.0	8.9
Solution loss	81.0	79.0	77.3	73.8	58.6	54.6

比低下, 出鉄量増加がある訳であるが, 今回は対象高炉が火入れ後間もない点を考慮して, コークス比におよぼす影響について調査することとし, 生産性についてはコークス比低下量から推定するに止めることとした。

#### 4.1 コークス比におよぼす影響

予備還元鉄を高炉に使用する場合, 次の2点からコークス比低下が可能となる。

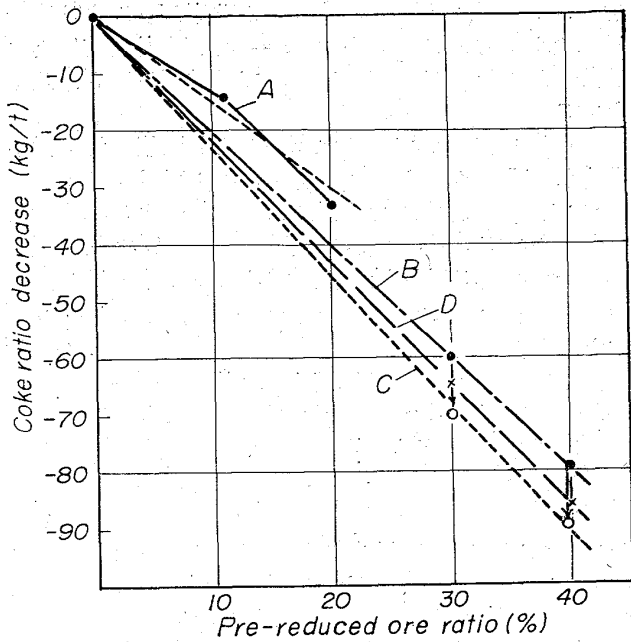
(1) 予備還元鉄が金属鉄を多く含み保有酸素量が少ないこと, および脈石分の一部がすでに滓化した状態で装入されるため熱的に効果をもつこと。

(2) 予備還元鉄が保有酸素量が少なく, かつ難還元性であるため, 予備還元鉄を装入することによって炉内

ガスの還元能力が上昇し, 他の装入物の還元を促進すること。これらは結果的にシリコンロス炭素の減少として表われてくる筈である。

操業成績として得られたコークス比をTable 4の基準で補正した補正コークス比と, 予備還元鉄使用割合との関係を, Fig. 1に図示する。なお第Ⅱ期では重油添加を行なっているため, 燃料比として考察することにした。

Fig. 1の直線の勾配から予備還元鉄 10% 使用によるコークス比の低下量は, 焼結鉄と代替した場合, 15.1 kg/t, 生鉱石との代替では 20 kg/t となる。なおFig. 1には参考のため予備還元鉄使用によつて造滓量水準の変化した第Ⅱ期について, 造滓量補正によるコークス比変



A. 1st. period. (exchange sinter to pre-reduced ore)  
 B. 2nd period. (exchange imported ore to pre-reduced ore)  
 C. 2nd period correcting as to slag volume.  
 D. Prospecting values for 2nd. period.

Fig. 1. Coke ratio decrease.

化量を示したが、この場合は予備還元鉄 10% 使用に付き 23 kg/t のコークス比低下となる。従つて焼結鉄の輸入鉄石に対するコークス比の効果は、10% に対して 8kg/t である。

なお、試験前当所技術研究所において、学振還元率と高炉内間接還元率の関係<sup>2)</sup> を利用し、これに高炉シャフト模型を用いて予備還元鉄装入に伴う炉内ガス還元能力上昇による他装入物の還元性向上度合<sup>3)</sup> の調査結果を加味して、予備還元鉄使用時のコークス比低下量の推定を行なつた。その推定線を Fig. 1 中に示したが、結果は推定と良く一致しているのが認められる。

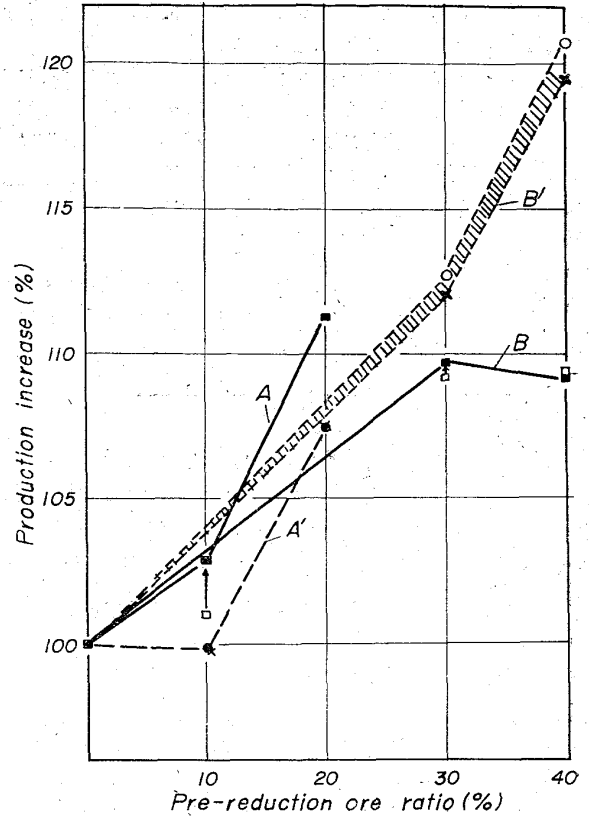
参考として期間中の炭素バランスを Table 5 に示す。第 I 期ではソリューションロス炭素量の低下がみられるが、第 II 期ではその傾向が認められず、ガス分析に疑問がある。

4.2 生産性について

コークス比が大幅に変動するような場合、コークス比低下量から生産性の増加度を推定することはかなり困難な面を含んでいる。生産量に対する制約条件は種々あるであろうが、炉内上昇ガス流速は一つの重要な因子と考えられる。そこでシャフト部上昇ガス量と羽口前発生ガス量のいずれか一方を一定に操業する方法を考えると、炉内の発生ガス量はその中間の値になるであろう。このような考慮の下に、先に示したカーボンバランスから炉頂ガス量と送風量を算出し、これからコークス比低下による生産性増加を推定した。これを実績値と対比させて Fig. 2 に示す。

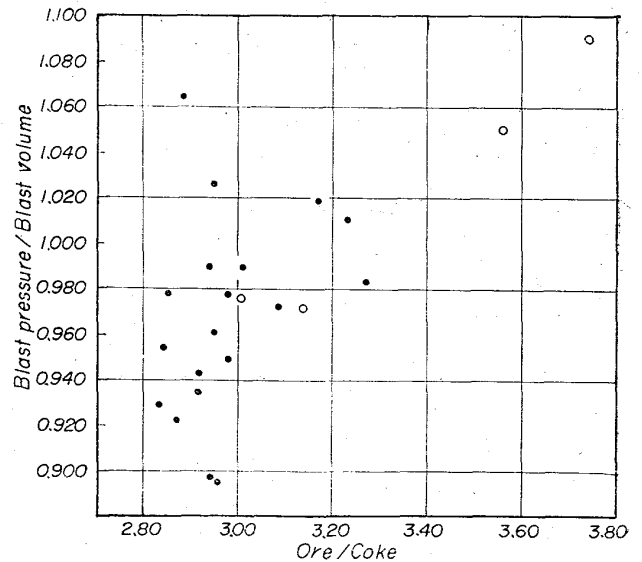
実績値は計算値とかなり食い違いを示している。実績値からみると、両期間共半還元鉄 10% 使用につき 4~4.5% の出鉄増となつている。

次に増風の可能性については、炉内通気抵抗の指標と



○ Calculated value as to carbon consumption in race way.  
 × Calculated value as to shaft gas volume.  
 □ Actual results.  
 ■ Results correcting as to blowing rate. (A. B.)

Fig. 2. Product increase.



● Fundamental data ('64.11~'65.4 values for 10 days.)  
 ○ Testing period.

Fig. 3. Permiability index.

して風圧/風量をとり、これと ore/coke の関係を Fig. 3 に示す。この図からみると予備還元鉄使用によつて炉内通気性が改善できる見通しは得られないようである。

5. 結 言

東田第 6 高炉において高炉ガス灰と酸化鉄粉を原料と

する予備還元鉄を、焼結鉄または輸入精鉄と代替装入する試験を行ない、次の結果を得た。

(1) コークス比は予備還元鉄 10% 使用について、焼結鉄と代替したときは 15 kg/t、輸入鉄石と代替したときは 20 kg/t 低下する。

(2) 出鉄量はコークス比低下の結果 4~4.5% 上昇した。増風の可能性はないと推定される。

文 献

- 1) B. MELCHER: J. Metals, (1963) April, p. 298
- 2) 児玉他: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1763
- 3) 児玉他: 第71回講演大会

669.162, 267.4, 662, 753.3  
(36) 重油の置換率について

(溶鉄炉操業の改良に関する研究—Ⅶ)

住友金属工業, 中央技術研究所

工博○中谷 文忠・中村 文夫

Consideration on an Oil Per Coke Replacement Ratio.

(Studies for the improvement in the blast furnace practice—Ⅶ)

Dr. Fumitada NAKATANI and Fumio NAKAMURA.

1. 緒 言

前報<sup>3)</sup>において、従来の重油の置換率の算定方法は信を置き難いということ指摘し、炭素精算から重油の置換率を求める理論的算出法を誘導し報告した。

本稿は重油吹込み前後において炉頂ガス比 ( $\gamma = \text{CO}/\text{CO}_2$ ) 一定と仮定し、直接還元率 (D.R.) が変化した場合の重油の置換率につき理論的考察を行なったものである。

2. 重油の置換率に対する理論的考察

2.1 重油吹込み前後において D.R. が変化しない場合 Fig. 1 の I に図示したように、鉄 1kg atom に対し溶鉄炉内で還元すべき酸素量を  $n$  kg atom とし、重油を吹

き込まない場合には  $n'$  kg atom の酸素が C による直接還元により、残りの  $(n-n')$  kg atom の酸素が CO による間接還元によりそれぞれ奪われて鉄が生産されるものとする。

重油吹込みによつて生じた  $\text{H}_2$  により間接還元を受け酸素量が I A のごとく  $n''$  kg atom であり、この  $\text{H}_2$  によつて分担された還元酸素量だけ CO による間接還元を代行置換する。換言すれば D.R. が変化しないで、 $\text{H}_2$  により還元される酸素量に相当するだけ間接還元で働らく CO 量が少なくてすむと考えた場合は以下前報<sup>3)</sup>に示したとおり、

重油を吹き込まない場合の所要炭素量  $X$  は  

$$X = (n - n')(1 + \gamma) \text{ kg atom C/kg atom Fe} \dots (1)$$

重油吹込み後の所要炭素量  $X'$  は  

$$X' = (n - n' - n'')(1 + \gamma) \text{ kg atom C/kg atom Fe} \dots (2)$$

したがつて、重油吹込みにより  $\gamma$  および D.R. が変動しないとすれば、 $X - X'$  と重油中の炭素量との合計が、吹込み後の炭素量の節減を示すことになる。

鉄 1 kg atom 当り吹き込まれた重油中の炭素量を  $a$  とすれば、 $a = (Y \times A) / 12 \text{ kg atom} \dots (3)$

ここで、 $A$ : 重油中の炭素の分率、 $Y$ : 重油量 (kg/kg atom Fe)

ゆえに、重油吹込みによる炭素節減量は (1)~(3) 式から

$$(X - X') + (Y \times A) / 12 = n''(1 + \gamma) + (Y \times A) / 12 \text{ kg atom C/kg atom Fe} \dots (4)$$

水素 1 mol は鉄石中の酸素 1 g atom を奪つて 1 mol  $\text{H}_2\text{O}$  となるから、水素の炉内利用率 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) を 100  $\eta\%$  とすると、水素によつて奪われた酸素量は (5) 式に示す。

$$n'' = (Y \times B \times \eta) / 2 \text{ kg atom O/kg atom Fe} \dots (5)$$

そこで、 $B$ : 重油中の水素の分率である。

(4) 式は結局次のようになる。

$$(Y \times B \times \eta) / 2(1 + \gamma) + (Y \times A) / 12 \dots (6)$$

ゆえに、重油の置換率;  $R$  は吹込み前後の炭素節約量を吹込重油が全部炭素であるとみなした量で除すことによつて以下のごとく求められる。

$$R = 6B\eta(1 + \gamma) + A \dots (7)$$

2.2 重油吹込み前後において D.R. が変化した場合

2.2.1 重油中の水素による間接還元の分だけ D.R. が減少する場合

もし重油吹込みを実施しても CO による間接還元が変化しないで重油の  $\text{H}_2$  によつて還元される分だけ D.R. が減少すると考えた場合の置換率は次のごとくなる。

重油吹込み後、Fig. 1 の I B (a) に示すごとき場合の所要炭素

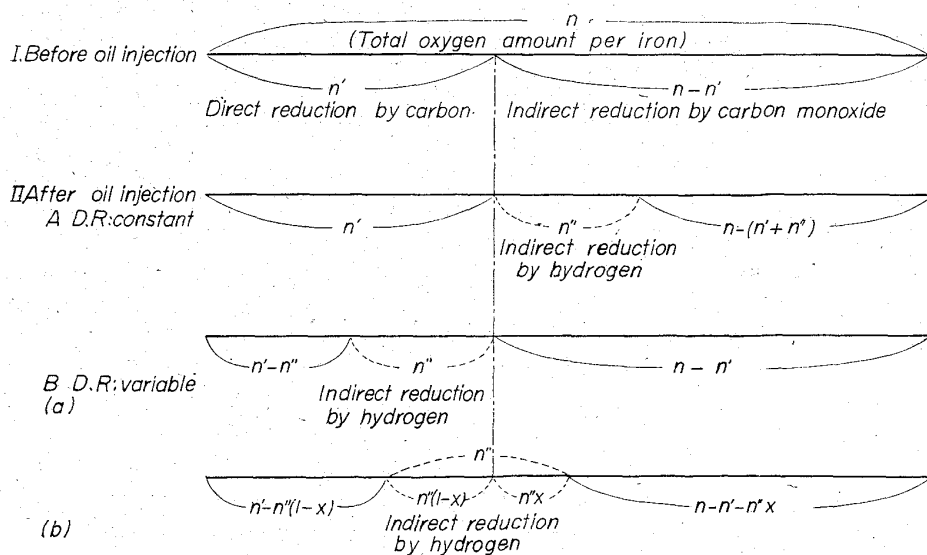


Fig. 1. Illustration of dividing  $n$  value to indirect reduction by CO,  $\text{H}_2$  and direct reduction by carbon.