

(62) 間接還元の向上に関する  
2~3 の研究

八幡製鐵所 工〇兒 王 惟 孝  
同 廣 渡 禎 男

I. 緒 言

鐵鑛石の各温度に於ける CO 瓦斯による還元反應に就ては Bone 石部氏等に依り詳細に研究され又高爐の普通操業時に於ける還元狀況に關しては Kinney 氏等の報告がある。

然しコークス石灰石等の存在により複雑化している。高爐内の間接還元の促進化並びにその出銑量、コークス使用量に及ぼす影響に關しては Joseph が理論的に考察しているのみであるそれ故當研究は CO 瓦斯による鑛石の還元に関する從來の諸研究で還元に最も大きな影響を及ぼすと言はれている鑛石の種類、サイズが高爐内の還元の進行狀況間接還元出銑量、コークス比、銑鐵成分にどの程度影響を及ぼすかを實際操業で検討して間接還元の促進化の具體策を見出す事とした。

II. 原 料

(a) 鐵鑛石、石灰石、滿俺鑛

磁鐵鑛は香港、カリフォルニア、赤鐵鑛はユタ、アフリカ、褐鐵鑛は群馬、燒結鑛は群馬燒結鑛計6種を選定した。いずれも製鐵所で普通に使用している鑛石である。そのサイズはユタ鑛石は 5~10, 10~20, 20~30, 30~40mm の4種類とし他は 5~40mm として調整した。

滿俺鑛、石灰石は内地産でそのサイズはいづれも 5~40mm である。アフリカ鑛石は不純物少く鐵分多くユタカリフォルニア、群馬燒結鑛は普通の品位であり、香港鑛石は鐵分少く、SiO<sub>2</sub>, MgO 含有量が多い。

(b) コークス

製鐵所で用いている普通のコークスで灰分は 15% サイズは 10~50mm である。

III. 試 験 装 置

用いた 3t 試験高爐の内容積は 4.9m<sup>3</sup> でありその爐型は大型高爐をそのまま縮小した形状である。

爐内の温度測定には炭素管を爐内に入れてその先端を光高温計で讀む。

第 1 表

使用鑛石名	鐵鑛石 コークス	乾量1回平均装入物(kg)				装入物水分含有量(%)				爐床温度(°C)	装 入 回 數	間 接 還 元 率 (%)	銑 鐵 生 成 量 (t)	鑛 滓 生 成 量 (t)	銑鐵純當り			送風	
		鐵 鑛 石	マン ガン 鑛 石	石 灰 石	コ ー ク ス	鐵 鑛 石	石 灰 石	マン ガン 鑛 石	コ ー ク ス						鐵 裝 入 量 (t)	コ ー ク ス 入 量 (t)	鑛 滓 生 成 量 (t)	量 m <sup>3</sup> / min	温 度 (°C)
ユタ mm (5~10)	0.820	83.97	3.86	28.54	100.32	6.7	1.6	3.5	16.4	1391	84	60.7	4.197	3.441	1.647	2.008	0.820	18.0	500
ユタ (10~20)	0.615	62.92	3.85	25.56	98.04	3.2	1.7	3.8	18.3	1376	83	45.0	3.310	3.416	1.578	2.567	1.032	18.1	500
ユタ (20~30)	0.572	58.02	3.92	26.54	101.40	3.3	1.7	2.0	15.5	1380	83	29.4	3.014	3.410	1.598	2.792	1.131	17.96	500
ユタ (30~40)	0.383	39.92	3.88	24.74	102.36	2.0	1.7	3.1	14.7	1367	82	19.4	2.223	3.024	1.471	3.840	1.360	18.0	500

使用鑛石名	銑					鐵					鑛					滓					爐頂ガス			試験時間
	化 學 成 分					温度 (°C)	化 學 成 分				CaO/ SiO <sub>2</sub>	温度 (°C)	化 學 成 分			CO/ CO <sub>2</sub>	温度 (°C)							
	C	Si	Mn	P	S		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	S			FeO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>			CO						
ユタ mm (5~10)	3.99	1.40	1.76	0.490	0.071	1428	33.39				43.70	1.355	0.46	1.31	1602	6.0	0	29.7	4.95	395	16			
ユタ (10~20)	4.01	1.74	2.03	0.530	0.050	1401	32.64				45.19	1.439	0.55	1.38	1591	3.9	0	32.3	8.28	393	40			
ユタ (20~30)	3.61	1.22	1.79	0.585	0.062	1400	33.51				45.75	1.338	0.58	1.36	1584	3.0	0	32.2	10.73	413	24			
ユタ (30~40)	3.74	1.97	2.34	0.427	0.052	1412	31.80				45.99	1.726	0.50	1.44	1598	2.0	0	34.1	17.05	471	40			

第 2 表

使 用 鐵 石 名	鐵 石 / コ ーク ス	乾 量 1 回 平 均 裝 入 物 (kg)				裝 入 物 水 分 含 有 量 (%)				爐 裝 床 入 温 度 回 數 (°C)	間 接 還 元 率 %	銑 鐵 生 成 量 (t)	鑛 渣 生 成 量 (t)	銑 鐵 裝 入 石 量 (t)	コ ーク 入 量 (t)	鑛 生 成 量 (t)	送 風 量 m <sup>3</sup> / min (°C)	
		鐵	Mn	石	コ	鐵	石	Mn	コ									
香 港 (磁鐵鑛)		0.685	68.673	91.39	84.100	2.1	0.42	4.16	5.1418	80.39	12.817	4.471	1.951	2.848	1.059	18.0	500	
カリフォルニア (磁鐵鑛)		0.670	64.06	0.31	36.95	0	1.45	0.9	0.13	1.1451	84.39	62.92	23.446	1.863	2.805	1.179	18.0	497
アフリカ (赤鐵鑛)		0.534	54.45	0	20.54	102.08	1.0	2.2	0.7	2.1444	86.31	63.14	23.008	1.489	2.792	0.957	18.0	505
群 馬 (褐鐵鑛)		0.570	52.203	95.21	92.91	43.13	0.1	5.1	4.20	0.1337	77.48	81.35	42.968	2.968	5.198	2.016	18.0	500
群 馬 (燒結鑛)		0.548	56.7	3.88	27.95	103.44	5.5	2.73	0.13	8.1370	80.47	12.61	63.660	1.73	3.163	1.40	18.0	500

使 用 鐵 石 名	銑 鐵 鑛 渣					温 度 (°C)	銑 鐵 鑛 渣					CaO/ SiO <sub>2</sub>	温 度 (°C)	爐 頂 ガ ス			試 驗 時 間				
	C	Si	Mn	P	S		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	S	FeO			CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO		CO/ CO <sub>2</sub>	温 度 (°C)		
香 港 (磁鐵鑛)	4.38	0.31	2.52	0.250	0.042	1410	30.68				39.23	1.384	1.66	1.28	1590	3.9	0	32.3	8.20	387	16
カリフォルニア (磁鐵鑛)	4.05	0.835	0.34	0.149	0.051	1431	30.78				40.40	1.233	1.33	1.31	1616	3.8	0	32.4	8.52	446	28
アフリカ (赤鐵鑛)	3.75	1.47	0.31	0.123	0.139	1433	31.40				45.50	1.647	0.84	1.45	1593	3.2	0	32.4	10.1	456	24
群 馬 (褐鐵鑛)	2.17	0.97	0.396	0.137	0.802	1392	32.55				41.59	2.228	1.32	1.29	1600	4.0	0	32.6	8.15	402	24
群 馬 (燒結鑛)	3.81	1.05	1.81	0.647	0.061	1410	32.89				46.57	1.121	0.557	1.42	1607	3.4	0	34.2	10.0	465	24

爐内の鑛石並びに、瓦斯試料の授取には特殊の装置を考案した。試料を採取する際には此の装置を用いて急冷しつつ取出した。これ等の装置を使用して爐内に於ける鑛石の還元状況を測定した結果は Kinney によつて測定された大型高爐の状況とほぼ相似であつたので試験高爐に於て各種の操業法を比較して認められる現象は大型高爐でもほぼ同様に起ると考えて差支へないであらう。

IV. 試 験 經 過

(1) 鑛石のサイズの影響

(a) 鑛石のサイズが間接還元, 出銑量, コークス比, 銑鐵成分に及ぼす影響.

操業条件即ち送风量, 送風温度を一定に保ち, 5~10mm 10~20mm 20~30mm のユタ鑛石を使用して操業した場合の標準操業の成績は第1表に示した。サイズが小になるにつれて間接還元率, 出銑量, 爐頂ガス中

CO<sub>2</sub> 含有量は増加し, コークス比は低下する。この様に鑛石のサイズは間接還元率に大きな影響を及ぼす故, 間接還元率を上昇し, 出銑量を増加するにはできるだけ小さい鑛石を使用すれば良い事が明確になつた。

(b) 爐内に於ける鑛石の還元状況

中部シャフトに於てはサイズが小さい程良く還元されてをり, 又此の還元が進行する程間接還元率は増加している。上部朝顔ではいずれも良く還元されてをりサイズとは関係がない。

(c) 鑛石のサイズと熔銑成分との関係

装入鑛石/装入コークスの値をほぼ一定にした場合にはサイズが小になるにつれて銑中 Si 含有量は上昇する。

(2) 鑛石の種類の影響

(a) 間接還元出銑量に及ぼす影響

前記 (1) の場合と同様に操業条件を一定に保ち 5~40mm のサイズの各種鑛石を使用して操業した。

香港、カリフォルニア群馬燒結鐵を使用した場合には順調に操業する事ができ銑のSも0.05~0.06%に保持できたが群馬、アフリカ鐵石を使用した際にはSを低くする事ができなかつたので順調に操業を続けた期間の操業成績を比較した。これらの操業成績は第2表に示した通りである。

鐵石の種類が異なる場合には鐵分含有量、S含有量が異なる為間接還元率と出銑量との間には明らかな関係は見られない、磁鐵鐵の香港、カリフォルニアを使用した場合には出銑量は2.8~2.9 吨で3 吨高爐では普通の出銑量だが銑鐵のSi含有量が低い。赤鐵鐵のアフリカ鐵石の場合は装入鐵石/装入コークスが香港鐵石より小なるにもかかわらずの鐵石の鐵分含有量が多い為出銑量は増加した。

褐鐵鐵の群馬鐵石を使用した際には鐵石の硫黄含有量が多い為銑滓の流動性が不良であり、爐床温度は低下し且つ出銑量は減少した。又鐵石のS含有量が非常に多い為銑のS含有量もかなり高くなつた。

群馬燒結鐵石の場合は出銑量は稍少ないが爐況は順調で銑のSも低い。間接還元率は褐鐵鐵の群馬が最も良く次いで燒結、カリフォルニア、香港、ユタ、アフリカの順である。従來の説によると還元性は褐鐵鐵が最も良く、次いで赤鐵鐵が良く、磁鐵鐵が最も悪い。従つて間接還元率も褐鐵鐵が最も大きく赤鐵鐵が次に良いと言われているが當試験の結果はこの説と一致しない。そこで鐵石の粒度の影響が関係しているのではないかと考え、これ等の鐵石の粒度分布を調べると粒度の大きい鐵石を多く含むもの程間接還元率は小さい。従つて5~40mm程度の鐵石では種類よりサイズが間接還元には大きな影響を及ぼすと言える。

(b) 爐内に於ける鐵石の還元狀況

中部シャフトに於ける鐵石の還元率は大きいサイズの鐵石を多く含むもの程還元し難い。

V. 結 論

(1) 高爐間接還元促進には原料鐵石の粒度の影響が特に大きく同一種類の鐵鐵石の場合はサイズが小さい程間接還元率は増大し、出銑量は増加しコークス比は低下する。ユタ鐵石について例示すると粒度30~40mmの時には出銑量2.223kg/dayであるのに粒度を50~10mmにすると4.197kg/dayとなり出銑量は甚しく向上する。

(2) 5~40mm程度のサイズの鐵石ではその種類よりサイズが間接還元には大きな影響を及ぼす。

(3) 爐内の比較的低温の部分であるシャフトで還元

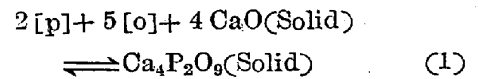
が進行する程間接還元率は大きくなる

(4) 鐵石の種類装入鐵石/装入コークスが一定の場合にはサイズが小さい程銑のSi含有量は増加する。

(63) 固體石灰による銑鐵の脱磷に関する熱力學的考察

名古屋大學教授 理博 佐野幸吉  
名古屋大學講師 工〇坂尾弘

鐵鋼の脱磷の條件として強鹽基性、強酸化性、低温精鍊が望ましいことは従來よく知られている所であるが脱磷の基礎的平衡關係について殆ど報告されていない。最近 Bookey 等<sup>1)</sup>は熔鐵中のP, O, (以下 [p], [o] と記す) と 1600°C 以上まで殆ど相互溶解度を有しない固體 CaO, 固體 Ca<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>9</sub> との間の平衡關係を測定して次の様な結果を報告している。



$$K_1 = 1/a_p^2 \cdot a_o^5 \quad (1) a$$

$$\Delta F_1^0 = -349,100 + 145 \cdot 4 T \quad (1) b$$

但し a<sub>p</sub> 及び a<sub>o</sub> は夫々 [p] 及び [o] の活動量を表はす。

著者等はこの結果を用いて CaO で飽和した FeO-鋼滓による銑鐵 (Si を含有しない) の脱磷限度について計算を試みた。CaO で飽和した FeO-鋼滓は平衡状態では勿論銑鐵と共存することは出来ないのであるが適當な方法により (例えば低温精鍊は不完全ではあるがその一方法) [C]+[O]→CO反應の進行を極力抑制して a<sub>o</sub> を期待し得る最高の値即ち Ca<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>9</sub> の共存に於いて CaO で飽和した FeO-鋼滓の解離酸素壓に達せしめることが出来たと假定する。著者等はこの條件に於ける脱磷限度を計算したのである。

(1) a より

$$\log a_p = -1/2(\log K_1 + 5 \log a_o) \quad (2)$$

Bookey<sup>1)</sup>等の測定結果より log K<sub>1</sub> と温度との關係は次の様になる。

温度 °C	1200	1300	1400	1500
$\Delta F_1^0$	-134,900	-120,800	-105,800	-91,300
$\log K_1$	20.02	16.73	13.82	11.26

a<sub>o</sub> は CaO で飽和した FeO-鋼滓と平衡する熔鐵中の酸素含量に相當し之は Fischer<sup>2)</sup>等の測定結果即ち

$$\log [O\%] = \log a_o = -4030/T + 1.13 \quad (3)$$

なる關係より次の様に求めることが出来る。