

熔鑛爐によるチタン砂鐵鑛の製煉法

(昭 21.3 月日本鐵鋼協會特別講演會講演)

谷 口 光 平* 八 木 貞 之 助*

METHOD FOR SMELTING TITANIUM CONTAINING IRON SAND IN THE BLAST FURNACE

Kchei Taniguchi, & Teinosuke Yagi

Synopsis: —

It was not solved technically to use titanium containing iron ore in the blast furnace, because its operation becomes gradually difficult by the formation of solid matter at the furnace bottom in proportion to the titanium quantities charged. From the previous studies made in our and foreign countries, it is assumed that the formation of this solid matter is due to poor fluidity of pig iron and slag, which seems to be caused by ferrotitanium, lower oxides, nitrogen and cyanogen compounds of titanium formed during the reduction of TiO_2 at the blast furnace high temperature part. It is also well known that TiO_2 itself gives the good influence to the fluidity of slag.

Hence, to solve this problem the authors performed the smelting test on March 1937 with the experimental 1 ton Blast Furnace, so that during the smelting process, the TiO_2 charged would go to the slag as much as possible and the inner temperature of the furnace be kept as low as possible by the formation of highly acid and easy melting slag. The result of this test was so successful, that we found no trouble at the furnace bottom even by charging 100% of the sintered iron sand which had 5.5% of TiO_2 . So, to confirm this result more, we made the industrial tests of using titanium containing sintered iron under the above mentioned method on Dec. 1937 with the 220 ton Blast Furnace of Wanishi works, Japan Iron & Steel Co., and on May 1940 with the 10 ton Charcoal Blast Furnace of Minari Plant, Teikoku Seitetsu Co., Although the TiO_2 in the slag were 5.8% and 18.7% respectively, the results were also very successful.

The practical smelting methods obtained from the above tests are as follows:

1. Keep the CaO/SiO_2 of slag to 0.8-0.9 against the ordinary ratio of 1.1-1.4.
2. Prevent the reduction of TiO_2 as small as possible by keeping the furnace temperature at its lowest within the possible operating condition. In our test this temperature was 50-100°C lower than the ordinary condition.
3. Use a suitably larger quantities of Mn than the ordinary operation, so the fluidity of slag becomes better and make it possible for low temperature operation. Also, this acid and low temperature operation compensates the degradation of desulphurization.

緒 言

我國に頗る廣範圍に存在するチタン含有砂鐵鑛は一般製鐵用原料として色々缺點をもつてゐる。しかし普通鐵石の埋藏量が非常に少い我國に於ては、その利用に關する問題は頗る重大で、古くより各方面に於て盛んに研究されて來た。

その結果砂鐵の鑛物學的・物理化學的及び冶金學的諸性質は頗る明確となり、電氣爐法、直接製鐵法等による利用は數多く工業化されるやうになつた。しかるに近代式熔鑛爐による多量利用については未だ充分に解決してゐない。即ち我國に於ける從來の熔鑛爐によ

る實地試験^{1,2)}の結果は諸外國に於ける鑛^{3,4)5)}と同様、チタンの装入量が増加するに従ひ、銑鐵及び鑛滓の流動性が悪化すると共に爐床に難溶性の固形物を生じ、次第に操業困難となる事が認められ、チタン含有原料を多量に使用した場合の連続操業は不可能とされてゐた。

その原因については、今日までの研究結果¹⁾⁴⁾⁵⁾を総合すると次のように考へられる。即ち爐内に装入された TiO₂ の一部は爐の下部に於て還元を受け、熔融點の高いフェロチタンを造ると同時に Ti₂O₃ 及び TiO のような不安定な低級酸化物となり、又一部は熔融點の高い Ti の窒化物・炭化物及びシアン化物となり、これらが銑鐵及び鑛滓のなかに入り、その流動性を害すると同時に爐床に溜り、いわゆるベアを形成する。しかし TiO₂ そのものは鑛滓中に入つた場合ある量 (約 35%) 迄はその熔融點を低下させ、¹⁾⁶⁾⁷⁾ 且つ流動性を良好にする事が認められてゐる。よつて熔鑛爐操業に於てチタンによる故障をさけるためには、出来るだけ爐内温度を低くして操業し TiO₂ の還元をさけ、これを滓化する事が必要である。

ところが英國の Steward & Lloyds CO. の Corby 工場に於て熔鑛爐の新しい行き方である酸性操業、即ち熔鑛爐自體は脱硫を考慮せず熔融し易い酸性低温で操業し、出銑後ソーダ水等の脱硫剤で脱硫を行ふ方法が初めて實施され、1936 年 T. P. Colclough によつて發表^{8,9)} され世人の注目するところとなつた。そこで日鐵に於てもこれを詳細に検討した結果、本法が砂鐵を使用して低温操業を行ふに適する事を認め、當時八幡製鐵所研究所で操業中であつた試験用 1t 熔鑛爐によりこれを確かめる事とし、1937 年 3 月から實驗を開始した。その結果幸ひにも特殊な酸性低温操業による時は砂鐵を單味使用した場合に於てもチタンによる故障なく長期間連続操業の出来る事が明かとなつた。

そこで更にこれを確かめるため輪西製鐵所に於て 220t 能力の熔鑛爐により 1937 年 12 月から大規模に長期間實地試験 (砂鐵 55% 使用) を行ひ又その後 1940 年 5 月帝國製鐵株式會社の求めに應じ、同社三成工場の 10t 木炭熔鑛爐により實地試験 (砂鐵單味使用) を行ひいづれも 1t 熔鑛爐と同様、チタンによる故障なく連続操業の可能な事を實證した。以下これが大要を述べる。④

I 試験用 1t 熔鑛爐による實驗

1) 原料

試験に使用した諸原料の化學成分を第 1 表に示す。この内、砂鐵生鑛は北海道噴火灣産のもので、砂鐵燒

第 1 表 砂鐵製煉試驗時使用原料分析表 (八幡製鐵所試験熔鑛爐用) (%)

種別	CaO	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	H ₂ O	P	S	CaO	TiO ₂
砂鐵生鑛	0.40	50.69	29.09	6.09	2.69	0.67	1.41	1.09	0.279	0.015	Trace	0.02
砂鐵燒結鑛 (富鐵)	—	44.01	10.20	20.13	3.14	0.42	1.33	2.03	0.311	0.006	—	5.50
砂鐵燒結鑛 (貧鐵)	—	54.14	10.10	18.21	4.23	0.74	1.41	2.06	0.335	0.015	—	4.70
桃沖	—	57.07	—	11.14	1.16	0.20	2.19	0.070	0.013	0.004	—	—
シホール	—	41.93	1.51	5.50	2.77	0.16	0.26	0.330	0.306	0.012	0.005	—
石利原	—	51.11	1.07	21.36	2.39	2.10	0.30	0.76	0.003	0.006	0.009	—
比高	—	60.04	1.01	9.05	3.23	0.14	0.18	0.105	0.153	0.154	0.050	—
石灰石 (40% 灰)	—	5.07	—	11.33	4.21	51.49	3.79	1.514	0.177	0.039	0.000	—
石灰石	CaO 83.39 Fe ₂ O ₃ 0.05	—	—	0.00	0.10	—	53.29	0.60	0.020	—	—	—

種別	灰分	水分	固形分	灰分									
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	H ₂ O	S	P ₂ O ₅	TiO ₂		
試験用 I	10.41	1.74	74.05	0.69	53.76	6.57	29.13	0.00	5.52	1.113	0.767	3.04	1.200
試験用 II	10.20	2.19	70.49	0.650	53.70	6.25	29.40	0.00	5.65	1.071	0.330	3.153	1.400

結鑛 (貧鑛) はこの生鑛に砂を配合して A. I. B 式燒結装置で燒結したものである。この貧燒結鑛は、熔鑛爐の酸性操業が貧鑛處理に適するので、これをも試験せんがため作つたもので、その品位は青森縣野牛地方の砂鐵を目標とした、砂鐵燒結鑛 (富鑛) は上記生鑛を同じく A. I. B 式燒結装置で單味燒結したものである。

これら諸原料のうち、各種鐵鑛石、マンガン鑛、石灰石は 5~10mm に、コークスは 10~25mm に篩つたものを使用した。

2) 試験用 1t 熔鑛爐

試験に使用した熔鑛爐は八幡製鐵所研究所に於て 1935 年以來試験用として操業してゐた小型熔鑛爐である。當爐は Fe 約 60% の鐵鑛石と灰分約 20% のコークスを使用し、4.5m³/mn, 500°C の送風を行ふ時は、コークス比約 1.6 で 1 日約 1.2t の出銑を行ひ得る。又その場合製出銑鐵の成分は大形熔鑛爐の銑鐵と異らず、長期の連続操業にも耐える頗る便利なものである。

3) 實驗

(a) 實驗 I (砂鐵貧鑛製煉)

酸性操業による砂鐵製煉の可能性及び貧鑛製煉の様子を試験せんがため、砂鐵燒結貧鑛及び桃沖鐵鑛石を使用して連続的に實驗を行ひ第 2 表のような結果を得た。その内 A から K までは送風量及送風温度を夫々 4m³/mn, 500°C 一定とし、鐵鑛石は桃沖のみ使用の場合から砂鐵燒結貧鑛を 10, 20, 30……100% と切換え、その際鑛滓の CaO/SiO₂ が 0.6~1.0 の範圍に來るやうに石灰石使用量を加減し、CaO/SiO₂ が如

④詳細は日鐵八幡製鐵所技術研究所 自發研究 No. 14 (昭 22) 1 月、又は日鐵技術部技術情報 No. 5 (昭 22) 3 月を参照

第2表 実験I(砂鐵燒結貧鐵)製煉試験)成績表 (14時~18時試験 18時~22時)

序号	操業時間	一回投入物				鉄石	石灰石	C	S	Mn	P	Si	T.O.	分析結果				CaO	SiO ₂	流動性										
		鉄石	石灰石	炭	合計									SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	T.O.													
A	8-27	0	15,200	15,000	0,850	0,400	15,000	0	F	1.49	1.416	1.575	0.49	500	2.25	3.62	0.75	0.30	0.12	—	—	不可	4.464	10.60	16.05	—	0.60	不可		
A	8-37	—	—	—	—	2,000	—	—	—	1.42	1.362	1.564	0.37	—	2.23	4.60	0.75	0.14	0.10	—	—	不可	4.194	—	19.97	—	0.71	可		
A	15-30	—	—	—	—	1,500	—	—	—	1.53	1.456	1.570	0.50	—	2.20	4.51	0.47	0.064	0.11	—	—	可	4.239	16.76	34.63	0.654	0.82	—		
A	17-53	—	—	—	—	3,000	—	—	—	1.52	1.431	1.600	0.70	—	2.64	2.73	0.46	0.066	0.173	0.12	—	可	4.010	—	33.55	0.677	0.83	良		
B	12-04	1,500	15,500	—	0,700	—	10	—	—	1.43	1.318	1.636	0.77	—	1.90	4.05	0.77	0.160	0.195	0.09	—	不可	4.712	14.60	10.46	1.419	0.66	可		
C	1-05	3,000	12,000	—	0,790	—	20	—	—	1.33	1.174	1.698	—	—	2.25	3.75	0.77	0.174	0.216	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
C	10-57	—	—	—	—	4,000	—	—	—	1.51	1.332	1.703	0.91	—	3.00	3.14	0.72	0.137	0.235	0.06	—	可	4.540	—	33.95	1.320	0.75	良		
D	12-12	4,500	10,500	—	0,760	—	10	—	—	1.49	1.261	1.778	0.97	—	2.10	2.07	0.71	0.144	0.335	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
E	3-52	6,000	9,000	—	0,730	—	40	—	—	1.55	1.291	1.803	—	—	2.10	2.16	0.70	0.167	0.241	—	—	可	—	—	—	—	—	—	可	
E	7-50	—	—	—	—	5,000	—	—	—	1.49	1.225	1.838	1.09	—	2.15	1.94	0.66	0.180	0.195	0.04	—	可	3.870	—	36.34	2.640	0.94	良		
F	12-10	7,500	7,500	—	0,700	—	50	—	—	1.40	1.172	1.894	1.17	—	2.55	2.04	0.81	0.198	0.309	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
G	5-33	7,000	6,900	—	0,670	—	60	—	—	1.40	1.149	1.942	—	—	2.60	3.10	0.90	0.216	0.117	—	—	不可	—	—	—	—	—	—	不可	
G	8-13	—	—	—	—	6,000	—	—	—	1.46	1.121	1.954	1.35	—	2.75	2.23	0.96	0.216	0.115	0.14	—	可	3.810	—	36.24	3.577	0.93	良		
H	12-11	10,500	4,500	—	0,640	—	70	—	—	1.43	1.052	2.050	1.61	—	2.50	1.66	0.74	0.258	0.246	0.06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
I	11-45	12,000	3,000	—	0,610	4,500	—	80	—	1.45	1.017	2.140	1.69	—	2.47	1.46	0.75	0.300	0.218	0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
J	13-10	15,500	1,500	—	0,580	7,000	—	90	—	1.53	1.050	2.216	1.86	—	2.25	1.60	0.75	0.324	0.189	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
K	16-47	15,000	0	—	0,550	7,500	—	100	—	1.47	920	2.375	2.08	—	2.89	1.24	0.62	0.320	0.270	0.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
L	77-04	16,500	—	—	1,100	8,200	—	—	—	1.1	1.44	1,007	2,143	1.96	—	2.70	0.95	0.76	0.335	0.205	0.10	1.355	—	30.20	12.04	34.28	4.900	0.95	—	
M	94-00	18,000	—	—	1,100	8,000	—	—	—	1.2	1.53	1,149	2,012	2.23	4.2	5.16	2.60	0.78	0.57	0.359	0.344	0.08	1.350	—	29.15	15.16	32.10	5.510	0.82	—
N	73-55	19,500	—	—	1,300	9,400	—	—	—	1.3	1.40	1,194	1,865	2.27	4.0	6.57	2.43	0.85	0.53	0.348	0.315	0.07	1.340	—	30.07	17.71	31.24	5.363	—	—
O	95-35	21,000	—	—	1,400	10,100	—	—	—	1.4	1.51	1,373	1,656	2.11	—	7.26	2.23	0.69	0.50	0.202	0.301	0.030	1.318	—	31.93	17.11	32.09	4.600	0.87	—
P	147-23	22,500	—	—	1,500	11,000	—	—	—	1.5	1.40	1,317	1,683	2.44	—	7.50	1.80	0.22	0.17	0.247	0.214	0.02	1.343	不可	31.6	19.55	4.959	0.83	—	—

何程の時鉄及び鑛滓の流動性が良好となるか試験したものである。その結果 CaO/SiO₂ = 0.8~0.9 の場合が最も良好な事が判つた。

この際砂鐵燒結貧鐵 100% 使用の K 操業に於ては鑛滓の CaO/SiO₂ は 0.8~0.9 の範囲にあり普通の鑛滓に比し餘程酸性となつてゐるにかゝらず鉄中 Si は 1.2% 程度を示し、爐内温度は相當に低い事が認められたので、この操業を長期間続け、果してチタンによる故障が生ずるや否やを見た。その結果は約 170 時間(約 7 日間)の連続操業にもかかわらず、何等故障なく爐況頗る順調に操業し得られ、この程度の酸性操業による時は連続操業の可能な見透がついた。

次に L-P は鑛滓の CaO/SiO₂ をその儘とし砂鐵燒結貧鐵の装入量を次第に増すと共に爐況に應じ送風温度を高くし何の程度まで重装入となし得るか試験したものである。その結果 O 操業即ち砂鐵燒結貧鐵 21 Kg Charge まで操業可能な事を示した、そしてこの場合コークス比は 1.656 を示し、當熔鐵爐の富鐵使用による普通操業時のコークス比 1.600 と比べ大差なく、酸性操業による時は貧鐵を使用するも相當の成績を以て操業可能な事が判つた。

(b) 實驗 II(砂鐵製鍊に對するマンガン鑛の影響)
實驗 I により酸性操業による時は、砂鐵を單味使用

した場合に於ても連続操業の可能な事が明かとなつたが、その際の鉄中の S 含有量は 0.205~0.381% を示し頗る多くなつた。一般にソーダ灰による熔鐵の爐外に於ける脱硫は頗る有効ではあるが、筆者等の経験によれば、ソーダ灰によるもかゝる高 S の熔鐵を充分に脱硫する事は頗る困難で、作業的に順調な脱硫を行ふためには鉄中の S は 0.12% 程度が適當と考へられる。よつて酸性操業の儘、爐内でも更にある程度の脱硫を行ふ必要を感じ當實驗を行つた次第である。

第 3 表は砂鐵燒結貧鐵を單味使用し鑛滓の CaO/SiO₂ を 0.8~0.9 とした酸性操業に於て Mn 鑛装入量と鉄中の S% との關係を試験したものである。即ち Mn 鑛を使用せざる場合は鉄中 S は 0.72% にも達するが、Mn 鑛の使用量増加と共に鉄中 S% は急速に減少し、鉄中 t 當り Mn 分装入量 217kg の場合は鉄中 S は 0.047% となる。當實驗により酸性操業の結果招來する爐内での脱硫率低下も、Mn 鑛の使用量如何によつては充分に恢復せしめ得る事が判る。なほこの場合 Mn 鑛使用量増加と共に鉄及び鑛滓の流動性が頗る良好となるのを認めた。

(C) 實驗 III(砂鐵富鐵製鍊)

以上の實驗により鉄中の S% に應じ適當量の Mn 含有原料を使用して酸性操業を行ふ時は、砂鐵製鍊の

第3表 実験Ⅰ(砂鐵製煉時に於けるマンガン鐵の影響試験)成績表

(於八幡1号試驗熔鑪 昭和12.10.11~12.10.19)

序 号	操業 時間	1 回 装 入 物				鉄 回 数 (100g 換算)	出 鉄 量 (100g 換算)	鉄 回 数 (100g 換算)	送 風 量	送 風 温 度	鉄						流 動 性								
		石炭	石灰石	コークス	コークス						C	Si	Mn	P	S	Ti									
Sm1	24-44	5,000	0	6,000	15,000	1.61	1.18	2,034	0	4.5	500	1.80	1.21	0.19	0.320	0.720	0.04	良	61.6	41.46	14.42	33.07	5.39	0.79	良
2	25-00	1,000	6,200	-	-	1.54	1.14	2,019	4.51	-	-	2.02	1.20	0.48	0.383	0.426	0.07	-	72.0	39.96	13.91	33.07	5.34	0.53	-
3	23-25	2,000	6,400	-	-	1.56	1.17	2,005	9.02	-	-	2.00	0.77	0.89	0.390	0.204	0.03	-	81.4	39.05	12.19	31.12	4.96	0.79	優
4	38-46	13,500	3,600	6,400	-	1.63	1.12	2,183	176.0	-	-	2.50	0.57	1.33	0.427	0.104	-	-	89.0	37.63	10.92	30.48	4.78	0.81	-
5	39-37	12,000	1,000	6,200	-	1.69	1.04	2,431	217.2	-	-	2.94	0.89	2.94	0.447	0.047	0.09	優	92.5	38.17	10.63	31.50	4.45	0.83	-

備考: (a) マンガン鉄中の Mn 分のみ

可能なる見透しがついたので、砂鐵の入手に便利な輪西製鐵所に於て大型熔鑪による大規模な質地試験を行ふ事となつた。そしてその場合の試験方針としては實際の條件を考え、砂鐵は貧鐵でなく富鐵を使用し、且つその使用量は全鐵鐵石の約 50% とした。

そこでこれが實驗に先立ち 1t 熔鑪で豫備實驗を行ふ事とし、第4表のような結果を得た。當實驗は

普通鐵石としてジョホール、利原、比島を使用し、これに砂鐵燒結富鐵を 50% 併用し、鑪滓の CaO/SiO₂ 及び Mn 鐵石使用量を適宜變更し、主としてこれらと銑鐵脫硫狀況との關係を見んとしたものである。

輪西製鐵所に於ける原料條件を考慮し、銑鐵中 S 含有量を 0.12% 以下ならしめるためには、脫硫率は大體 77% 以上であればよいと推定せられる。

第4表 実験Ⅱ(砂鐵燒結鐵(富鐵)50%使用試験)成績表

(於八幡1号試驗熔鑪 昭和12.10.20~12.11.4)

序 号	操業 時間	1 回 装 入 物				鉄 回 数 (100g 換算)	出 鉄 量 (100g 換算)	鉄 回 数 (100g 換算)	送 風 量	送 風 温 度	鉄						流 動 性													
		石炭	石灰石	コークス	コークス						C	Si	Mn	P	S	Ti														
SA3	67-24	7,500	2,250	3,000	2,250	1,060	3,000	15,000	1.0	1.84	1,465	1,679	45.4	6.5	600	1.84	1.56	0.74	0.378	0.214	0.06	良	75.3	44.53	15.72	25.72	6.73	0.58	優	
4	49-37	-	-	-	-	2,720	3,200	-	-	1.59	1,225	1,674	84.6	-	-	1.91	0.96	1.00	0.434	0.331	0.03	-	72.5	41.38	14.49	26.52	6.50	0.64	-	
5	69-00	-	-	-	-	4,200	-	-	-	1.67	1,495	1,676	84.6	-	-	2.19	0.62	0.98	0.376	0.293	0.06	-	77.1	36.70	15.03	31.05	6.46	0.87	-	
6	10-48	-	-	-	-	4,325	3,600	-	-	1.65	1,502	1,649	164.1	-	-	2.28	0.49	1.42	0.390	0.180	0.04	-	85.7	37.30	14.77	29.05	5.70	0.70	-	
7	00-24	6,750	2,250	3,700	3,025	15,500	1,900	4,700	-	0.9	1.59	1,287	1,854	84.6	4.3	-	2.02	0.76	1.41	0.361	0.215	0.05	-	84.2	36.01	15.30	33.57	5.22	0.45	-
8	61-13	-	-	-	-	5,000	-	-	-	1.66	1,240	1,856	84.6	4.5	-	2.17	0.66	1.33	0.378	0.190	0.05	-	86.0	37.63	14.65	27.38	5.25	0.59	-	

備考: (b) 全装入物中の Mn

故に第4表の結果を参考とし、輪西での實驗に於ては鑪滓の CaO/SiO₂ を 0.8~0.9, 銑鐵 t 當り Mn 分裝入量を 60kg 以上とするが適當と考へた。

II 220t 熔鑪による實驗

1) 原料

當實驗に使用した諸原料の化學成分を示すと第5表のようである。このうち砂鐵生鐵は北海道噴火灣産のもので、砂鐵燒結鐵はこの砂鐵生鐵に俱知安鐵鐵を約 15% 配合し、輪西製鐵所のグリナワルト式燒結装置で燒結したもので、その燒結具合は大體満足すべき結果を示した。コークスは灰分 17.3%, 全硫黃 0.314% を示し、八幡製コークスに比べ共に頗る少いが、潰裂強度は八幡式ドラムテストにて約 56% を示し非常に低く、粉状のが相當にかつた。

2) 熔鑪

試驗に使用した熔鑪は輪西製鐵所第3熔鑪で公稱能力は 220t, 内容積は 355m³ である。

第5表 砂鐵製煉試驗使用原料分析表

(於輪西第3熔鑪 昭和12年11月~13年2月) (%)

種別	CW	TFc	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	Cu	TiO ₂	FeO
鐵	利原	0.68	49.28	24.75	0.023	2.40	0.15	0.36	0.002	0.10	0.002	0.85
	ジョホール	3.50	60.25	5.04	0.954	2.35	0.10	0.11	0.016	0.004	0.340	1.20
	比島	4.70	58.01	6.55	0.559	3.10	0.11	0.26	0.078	0.127	0.069	2.31
石	マンガン	7.20	56.78	4.57	0.297	7.00	0.18	0.15	0.045	0.055	0.012	4.31
	秦州(7付)	1.35	55.99	1.79	11.440	1.26	0.33	0.20	0.011	0.037	0.020	Trace
	普通燒結	-	57.67	11.76	0.063	3.55	0.65	0.50	0.159	0.050	0.127	22.5
	砂鐵燒結	-	52.35	11.75	0.46	3.62	1.59	3.07	0.020	0.156	0.030	6.40
砂鐵生鐵	-	52.44	10.00	0.50	2.93	0.001	4.96	0.030	0.347	0.002	9.05	
平炉滓	-	9.00	23.47	10.49	4.15	41.61	0.71	0.155	0.622	-	-	-
八幡 マンガン鉄	-	2.08	4.65	38.05	1.50	2.57	1.17	1.413	0.038	0.019	0.9	9.12
大船 石灰石	-	-	0.56	-	-	54.65	0.68	-	0.020	-	-	-
灰 分												
	V.M	F.C	Ash	T.S.	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	PO ₅	SO ₂
コークス	2.95	79.75	17.30	0.314	9.90	44.20	20.50	0.00	1.95	0.049	1.09	3.22

當熔鐵爐は當實驗を開始した昭和 12 年 (1937 年) 12 月までに吹入以來滿 4 ケ年經過し、その間 1 日平均約 220 t の出銑があつた。

3) 實驗

11 熔鐵爐による豫備實驗の結果を基とし次の方針のもとに實驗する事とした。

1. 砂鐵燒結鑛の最高使用量は、砂鐵生鑛に換算し全鐵鑛石の約 50% とする。
2. 鑛滓の CaO/SiO₂ を 0.8~0.9 とする。
3. 銑鐵 t 當り Mn 分裝入量が 60kg 以上となる様 Mn 含有原料を使用する。
4. 出来るだけ爐内温度を低くして操業する。
5. チタンによる故障の排除を主眼とし、爐の能率は從的に考へる。
6. 銑中の S が 0.06% 以下となるように出銑後取鍋中でソーダ灰により脱硫を行ふ。

實驗は昭和 12 年 11 月 1 日より開始したが、最初は砂鐵を使用せず普通鑛石による酸性操業を 33 日間續けた後、12 月 23 日より砂鐵燒結鑛の使用を開始し、次第にその量を増し、翌年 1 月 4 日には全鐵鑛石の 64% に達せしめ、これを 2 月 3 日まで 31 日間繼續した後、次第にその量を減らし 2 月 8 日には 0 としして實驗を終つた。

當實驗に於て眞に残念な事には、砂鐵燒結鑛の裝入を開始してから 4 日目に嚴寒のため鑛石槽からの鑛石の切り出しが意の如くならず、ストツクラインが著しく低下したため、爐内温度の低下、爐床隆起、羽口破損等の故障が續出し、その結果 1 月 2 日から突然頑強なハンギングを引き起したのである。即ち送風壓力は著しく上昇し、四苦八苦の爐況となり、出銑量の激減、コークス比の著しい上昇を示した。しかしこの原因が砂鐵裝入のためでない事は明かであつたので、その裝入量は豫定通りとして操業を續ける事とした。その結果 1 月 19 日には砂鐵生鑛使用率 55% のまゝハンギングもおさまり、その後は軽度のハンギングは時々あつたが概して順調に操業を續ける事が出来た。ことに 1 月 30 日以後は送風壓力も全く普通操業の場合と變らず、dirty hearth の様子は全く認められなかつた。よつて 2 月 3 日には、この程度の砂鐵使用量ならば製鍊の可能な事を認め、その使用量を減少せしめ、2 月 8 日に實驗を終了したのである。

當實驗に於ては上述のように最初原料供給上の故障から一時爐況を悪化させ、實驗として誠に不備なものとなつたが、砂鐵使用率 55% の儘爐況の恢復を計り得たので、考へ方によつてはむしろこの故障により砂鐵製鍊の可能性を一段と深めたものと云ふ事が出来る。

以上のものであるから、普通操業と砂鐵操業との成績比較にあつては、12 月 22 日から 1 月 18 日までの成績を除外し、12 月 18 日から同 22 日までの普通操業と 1 月 19 日から 2 月 3 日までの砂鐵操業との成績を比較する事とした。その結果は第 6 表の如くで、普通操業に對し砂鐵操業では出銑量は 232 t から

第 6 表 普通操業・砂鐵操業成績比較表 (普通操業 昭和 12 年 12 月 18 日~22 日、砂鐵操業 昭和 13 年 1 月 19 日~23 日)

項目	普通操業 (昭和 12 年 12 月 18 日~22 日)										砂鐵操業 (昭和 13 年 1 月 19 日~23 日)									
	出銑量 (t)	コークス (t)	石灰石 (t)	砂鐵 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)	生鑛 (t)
出銑量	220	1000	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
コークス	1000	1000	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
石灰石	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
砂鐵	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
生鑛	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

142 t に減少し、コークス比は 0.853 から 1.193 に増大したが、鑛滓の CaO/SiO₂ は 1.01 に對し 0.83 を示し、銑 t 當り Mn 分裝入量は 27.3kg に對し、64.8kg を示し、出銑温度は 1.433°C から 1363°C に低下し、豫定の操業方針を満足してゐる。當砂鐵操業に於て鑛滓中の TiO₂ が 5.818% に達するにかかはらず、銑鐵中の Ti が僅かに 0.165% で普通操業のそれと大差なく、長期間連續操業をなし得たのは上記諸方針の結果として注目すべきである。尙ここに注意すべきは砂鐵操業に於て、かかる酸性低溫操業にかかはらず、銑中の S が 0.061% を示し、脱硫劑たるソーダ灰の使用が全く不要であつた事である。今兩操業に於て鑛滓及び銑鐵中の S の分配率、即ち [鑛滓中の S%] / (銑鐵中の S%) を比較すると、普通操業の 13.6 に對し砂鐵操業では 9.4 となり、明かに後者の方が鑛滓の脱硫能力は減少してゐるが、その減少程度は CaO/SiO₂ 及び爐内温度の低下に對し頗る少い。この事は Mn 含有原料使用量の異なる事及び TiO₂ による脱硫効果¹⁰ によるものと考へられる。尙當砂鐵操業に於て脱硫率は 39.0% を示し、普通操業の 89.9% と大差のないのは、上記理由の他に銑 t 當り鑛滓生成量が後者の 0.52 t に對し前者では 0.87 t となり、餘程大となつた結果である。又砂鐵操業に於て出銑量減少し且つコークス比の増大したのは原料品位の低下、砂鐵の難還元性及び送風温度を著しく低下せしめた當然の結果である。

以上當實驗に於てチタンに依る故障なく連續操業を行ひ得られた最大の原因は、上記の如く出銑温度が普通操業に對し 70°C も低く、爐内温度もこれに應じ低

目となり、TiO₂の還元を阻止し得られた点にあると考へられる。即ち本実験に於ては、砂鐵使用時に於ける爐内温度の比較試験を行ひ得なかつたので、dirty hearthの認められた従来の実験結果¹¹⁾と比較すると第7表の如く、従来の実験では出鉄温度の測定を行つて

第7表 砂鐵製煉比較表

	鉄 鉄 中		磁 滓 の CaO/SiO ₂	磁 滓 中 T. C.	(磁滓中のTi%) (鉄鉄中のTi%)	出 鉄 温 度 (℃)
	S %	T. %				
本 実 験	0.95	0.65	0.83	5.0.0	2 1 2	1,363
従 来 の 実 験	1.12	0.275	1.32	4.096	1 0 7	—

るないが、磁滓のCaO/SiO₂は本実験の0.83に對し従来の実験では1.32となり餘程鹼基性なるにかかはらず、鉄鉄中のSiは夫々0.95%及び1.12%を示し、従来の実験では本実験に比べ餘程爐内温度の高い事が推定される。その結果、Tiの分配率は本実験の21.2に對し従来の実験では10.7となり、本実験では頗るよくTiO₂の還元を阻止し得られた事を示してゐる。

III 10t 木炭熔鑪による実験

帝國製鐵株式會社の求めに應じ、同社三成工場（島根縣仁多郡三成町）の10t 木炭熔鑪により砂鐵單味製煉試験を行ふ事となり、昭和15年4月4日より同30日まで、上述して來た操業方針に基き実験を行ひ、その結果幸にしてその目的を達する事が出來た。

1) 原 料

試験に使用した諸原料の化學成分を示すと第8表のようである。

第8表 砂鐵製煉試験使用原料分析表

(於帝國製鐵三成工場 10t 木炭熔鑪)

程 別	T.Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	S	TiO ₂	CaO	FeO
鉄 砂鐵地塊	56.76	9.63	3.03	1.45	0.97	0.77	0.254	0.059	4.89	0.036	20.40
名 古 屋 燒 結 鐵	61.25	0.75	2.00	0.05	0.03	0.03	0.02	0.017	0.025	0.025	20.0
石 利 原	52.24	10.89	2.65	0.67	0.301	0.45	0.072	0.150	0.05	0.003	7.53
マンガン鉄	3.5	16.0	—	—	—	46.15	0.10	—	—	—	—
石灰石	0.07	1.56	0.10	33.53	1.30	—	0.010	0.002	—	—	—
	水分	T.C	灰分								
木 炭	3.33	93.5	1.12								

そのうち砂鐵燒結鐵は當地方の眞砂々鐵をグリナワルト式燒結装置で木炭粉を配合して單味燒結したもので、T.Feは56.76%にて普通の品位を示してゐるが、TiO₂は4.89%にて北海道産のもの約半量となつてゐる。名古屋燒結鐵とは硫酸滓を燒結したもので、名古屋方面より購入したものである。

2) 熔鑪

公稱能力10t/day 内容積8.02m³の丸型木炭熔鑪で、當爐は吹入れ以來當試験開始までに約3ヶ月經

過し、その間鍛冶屋鐵滓及び普通鐵鐵石の他に一部鐵燒結鐵を使用して1日8~11tの出鉄を行ひ、木炭比は1.1~1.35を示してゐたものである。

3) 實 験

実験方針として、磁滓のCaO/SiO₂は0.9を目標とし、鉄中のMn分が1.2%以上となるようにMn鐵石を使用し、且つ出鉄温度が光高温計で測定して常に1,400°C以下となるよう爐の調節を行ふ事とした。

実験は昭和15年4月4日、平常作業として砂鐵燒結鐵45%使用時より開始し、4日間で100%とし、これを9日間續け砂鐵燒結鐵のストックが少なくなつたので、その後徐々に減少せしめ実験を終つた。砂鐵裝入量の増加と共に出鉄量は10t前後から次第に減少し、砂鐵100%使用の場合は8~9tとなり、木炭比は1.3より1.47程度に増し、鐵鐵石1回裝入量は約50貫より約47貫と稍減少し、裝入物中のFe分は約29貫より約26.3貫へと相當減少し、裝入回數、送風量及び送風温度は何れも夫々約85回、約28m³/min、約290°Cで殆ど變らず。送風壓力は約80g/cm²より約86g/cm²へと稍増加した、以上の如くで、出鉄量の減少及び木炭比の増加は、砂鐵燒結鐵の難還元性による當然の結果で止むを得ないが、爐況は頗る順調で、何等故障は認められなかつた。

次に當實驗中に得られた鉄鐵及び磁滓の化學成分を示すと第9表の如くで、鉄鐵は製鋼用として頗る優良

第9表 鉄鐵磁滓分析結果
(於10t木炭熔鑪)

出 鉄 日 時	5-6am 300	5-6pm 100	5-7am 300	5-6am 000	5-7am 100	5-7am 600	
砂鐵燒結鐵 使用率 (%)	54.7	70.6	80.4	100.0	100.0	100.0	
鉄 鐵 分 析 結 果 (%)	C	4.36	4.30	4.05	4.50	3.78	4.36
	Si	0.20	0.24	0.20	0.42	0.117	0.200
	Mn	1.27	1.19	0.90	1.62	0.95	1.74
	P	0.126	0.112	0.132	0.160	0.103	0.187
	S	0.012	0.006	0.009	0.004	0.012	0.010
	Cu	0.252	0.240	0.190	0.006	0.04	0.03
	Ti	0.13	0.13	0.13	0.20	0.12	0.33
	W	—	—	—	—	ナシ	ナシ
	Co	—	—	—	—	ナシ	ナシ
	V	—	—	—	—	ナシ	ナシ
	Ni	—	—	—	—	ナシ	ナシ
	Ca	—	—	—	—	0.02	0.06
	Mg	—	—	—	—	ナシ	ナシ
	磁 滓 分 析 結 果 (%)	SiO ₂	35.92	33.56	32.10	32.12	30.60
Al ₂ O ₃		7.73	7.60	0.61	0.15	9.86	0.91
CaO		36.45	36.94	33.80	33.73	20.06	30.04
MnO		2.92	2.94	2.97	3.14	3.90	3.62
MgO		5.11	3.06	5.33	4.14	5.21	4.27
FeO		1.15	2.57	1.67	1.67	2.71	3.50
P		0.010	0.010	0.019	0.010	0.010	0.021
S		0.112	0.119	0.092	0.081	0.080	0.096
TiO ₂		9.60	11.57	14.34	16.04	17.00	10.70
K ₂ O		—	—	—	—	0.62	0.49
Na ₂ O		—	—	—	—	0.39	0.31
CaO		—	—	—	—	0.94	1.00
FeO		1.01	1.10	1.05	1.05	0.94	1.00

な成分を示し、鑛滓中 TiO_2 は最高 18.7% に達してゐる。

要するに木炭熔鑛爐は燃料及び装入原料より考へ酸性の鑛滓で操業するのが通例であるが、砂鐵を原料とした場合、コークス吹熔鑛爐の實驗例と同様に、低温とマンガン鑛の使用等更らに一般の操業工夫を加ふれば、單味でもなほ且つ實用上作業し得ることを確認したものである。

IV. 考 察

今日までチタン含有鐵鑛石の熔鑛爐操業に於て、チタンによる故障なく安全操業可能と判定された鑛滓中 TiO_2 含有量の限度は、實驗者に依り異り、1.7~4.0% 以下とされてゐた。¹²⁾ 然るに今回の實驗に於ては、その限度を求める事は出来なかつたが、220t コークス吹熔鑛爐の實驗では砂鐵を 55% 使用し鑛滓中の TiO_2 は 5.8%、10t 木炭吹熔鑛爐の實驗では砂鐵を 100% 使用し鑛滓中の TiO_2 は 18.7% となるも何等故障なく安全に操業する事が出来た。この事は熔鑛爐による砂鐵多量製煉の最大難關とされてゐたチタンによる故障に對し、Mn 鑛石を適宜使用する酸性低温操業の有効な事を立證すると共に、これが實用的解決を與へたものと言ふ事が出来る。

次に今回の輪西での實驗に於て相當なる酸性低温操業にもかかわらず、銑鐵中の S が低くソーダ灰の不要であつた事は、すでに述べたように Mn 及び TiO_2 の脱硫効果によるものであるが、輪西製コークスの S 含有量が頗る低く、0.314% を示した事も見のがせず、八幡製コークスのように含有量 0.8% にも達する時は當然ソーダ灰等による脱硫は必要と考へる。

V. 結 論

八幡製鐵所 1t 試驗熔鑛爐による實驗結果をもととし、輪西製鐵所 220t 熔鑛爐及び帝國製鐵 10t 木炭熔鑛爐により實地試驗を行つた結果

(1) 鑛滓の成分:- 普通熔鑛爐操業に於ける鑛滓の

CaO/SiO_2 は 1.1~1.4 であるが、石灰石装入量を少くしてこの値を 0.8~0.9 程度とする事

(2) 低温操業:- 爐内温度を操業し得る範圍で低目とし、砂鐵中に含有する TiO_2 の還元を阻止する事。この場合、出銑温度を目安として示せば、普通操業の場合に比し 50~100°C 低目である。

(3) マンガン含有原料の使用:- 普通操業に比しマンガン分の装入量を適當に大として鑛滓の流動性を良好にし、低温操業を容易ならしめる。一方低温酸性操業に基く脱硫能力の低下を補ふ。

以上の要領で操業すれば多量の砂鐵を使用するも、何等チタンによる故障なく連續操業の可能な事を明かにした。但し一般に砂鐵は普通鑛石に比し還元し難いので、これを多量に使用する場合、ある程度出銑量の低下とコークス比の増大する事は止むを得ない。

(昭 22.9. 寄稿)

文 献

- 1) 長谷川熊彦: 製鐵所研究報告 大正 15 年 (1926) Vol VI No.1
- 2) 長谷川熊彦著「砂鐵」219 頁
- 3) O.Simmersbach: St.u.E. (1914) S.72
- 4) F.E. Bachman and E.F. Cone: Iron Age(1914) P. 936, 1471
- 5) J.A. Heskett: Iron and Steel Inst. (1920) Vol. C. P. 201
- 6) A. Stanfield and J. Emorrison: Trans Roy Soc Can may (1926)
- 7) 梅津 藏, 垣内富士雄: 日本鑛業會誌 昭和 5 年 (1930) P. 867, 994
- 8) Iron Coal Tr. Rev, 132 卷 (1936) P. 806
- 9) J. Iron. Steel Inst, 134 卷 (1936) P. 547
- 10) 澤村, 中路: 水曜會誌 第 9 卷(1939)第 10 號 809 頁
- 11) 長谷川熊彦: 「砂鐵」第 44 表中 12 月 12 日より 12 月 16 日までの平均
- 12) 長谷川熊彦: 「砂鐵」178 頁