

砂鐵精鍊に關する研究 (第1報)

——操業改良前の木炭銑角爐操業の實態——

中 村 信 夫*

Study on the Smelting of the Iron Sand (1)

By Nobuo Nakamura

Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The author investigated on the smelting of the Iron Sand and the production of charcoal pig Iron of it which is reputed to superior to Swedish charcoal Iron.

The small blast furnace used, is square type. On this report (1), the author described the condition of operation of this blast furnace before its improvement.

The characteristic points of this process are as follows :—

- (1) Superior quality of the Iron Sand.
- (2) Use of charcoal as reduction agent.
- (3) Smelting at the low temperature.

[I] 緒 言

島根縣仁多郡地方は天叢雲劍發祥の地であつて、古來和鋼、日本刀の産地として有名であり、最近は同地方産砂鐵を原料とした木炭銑はスエーデン銑に勝る性質を有し、之を原料とした特殊鋼は從來外國のみに依存していた剃刀替刃、時計用ぜんまい用鋼として、又其の他の用途に於て宇内に冠たるものがある。又刃物鋼としては國內需要の殆んど 100% を占めている。

是等の原因として第一に擧げられることは、此の地方の原料砂鐵の優秀性にある。然し同一地方に於ても産出地域に依つて其の品位には大きな差異がある。これは主として朱羅期噴出花崗岩の風化の程度に依るものと考えられる。砂鐵は一般に眞砂(マサ)と赤目(アコメ)の二種類に大別出来る。眞砂は風化の程度少く大部分磁鐵

礦(Magnetite)より成り TiO_2 の含有量も少い、赤目は風化の程度高く、大部分粘土様の原石であつて、酸化は幾分進み赤鐵礦(Hematite)の含有量が大である。然し赤目に於ても Magnetite の含有率は Hematite のそれに比し遙かに大である。

今精選礦の分析結果の一例を示せば第1表の通りである。表に於て其の大部分(80%以上)を占めている Fe_3O_4 は化學分析上 II 價と III 價の鐵に分離して表示されている。

第1表の雜家赤目砂鐵も水選又は磁選に依つて T. Fe 55% 以上に爲し得る。然し此の際 TiO_2 の含有量には餘り影響しない。第二の原因としては木炭に依る低温還元である事であり、木炭の還元力の大きなることに加えて P, S の含有量の低い事も有利な點であり、爐内温度を極力低める事は高温熔解に依る不純物の還元、有害ガスの熔解混入を防ぎ白銑の品質を極度に向上せしめる。又

* 日立製作所安來冶金研究所

第1表 島根縣仁多郡地方産砂鐵の成分の一例

産出場所	T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	P	S
福 頼 (眞砂)	61.40	21.46	66.30	5.20	1.76	0.60	1.88	2.54	0.009	0.022
長 迫 (眞砂)	63.64	27.00	59.12	11.00	0.85	0.52	1.75	1.83	0.008	0.013
雜 家 (赤目)	50.96	21.52	48.38	9.60	1.82	1.77	9.80	2.62	0.013	0.033

砂鐵に少量のチタンを含有することは、窒化チタンの形成により N₂ の除去を伴い、これが又品質向上に役立つている。

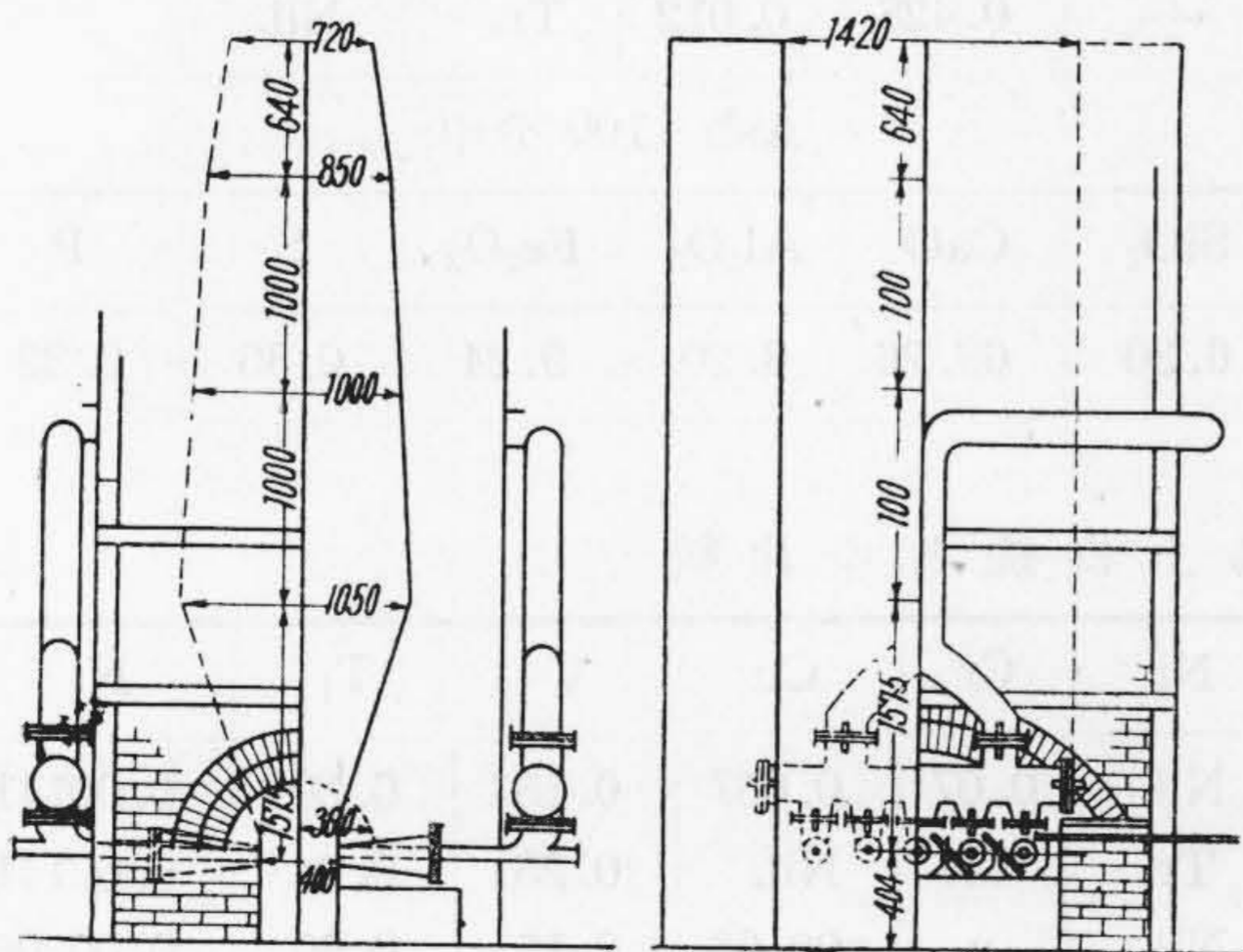
第三に製鋼技術の優秀性があげられるがその詳細は略す。大體以上の三つの主原因が考えられるが、之等を実現せしめる特殊な木炭銑角爐の特性があずかつて大なるものがあると思考される。

筆者は、此の砂鐵精鍊用木炭銑角爐の特性を究明し、操業を改善しより以上の品質の向上と原単位の低下を企圖し、鋭意研究を續けている。以下號を追つて過去の實態と其の後の實驗、改善の結果を報告して諸彦の御批判を得たいと考えている。

〔II〕 木炭銑角爐操業に就て

(1) 爐體及び操業系統

角爐は丸型爐と異なり第1圖の如き構造を有し出銑口前面の朝顔部角度は 80°、側面は 90° で垂直である。羽口線より裝入口まで 4215 mm であつて、裝入口の上部は熱風室となつている。(圖には略)。羽口は兩側面に 5



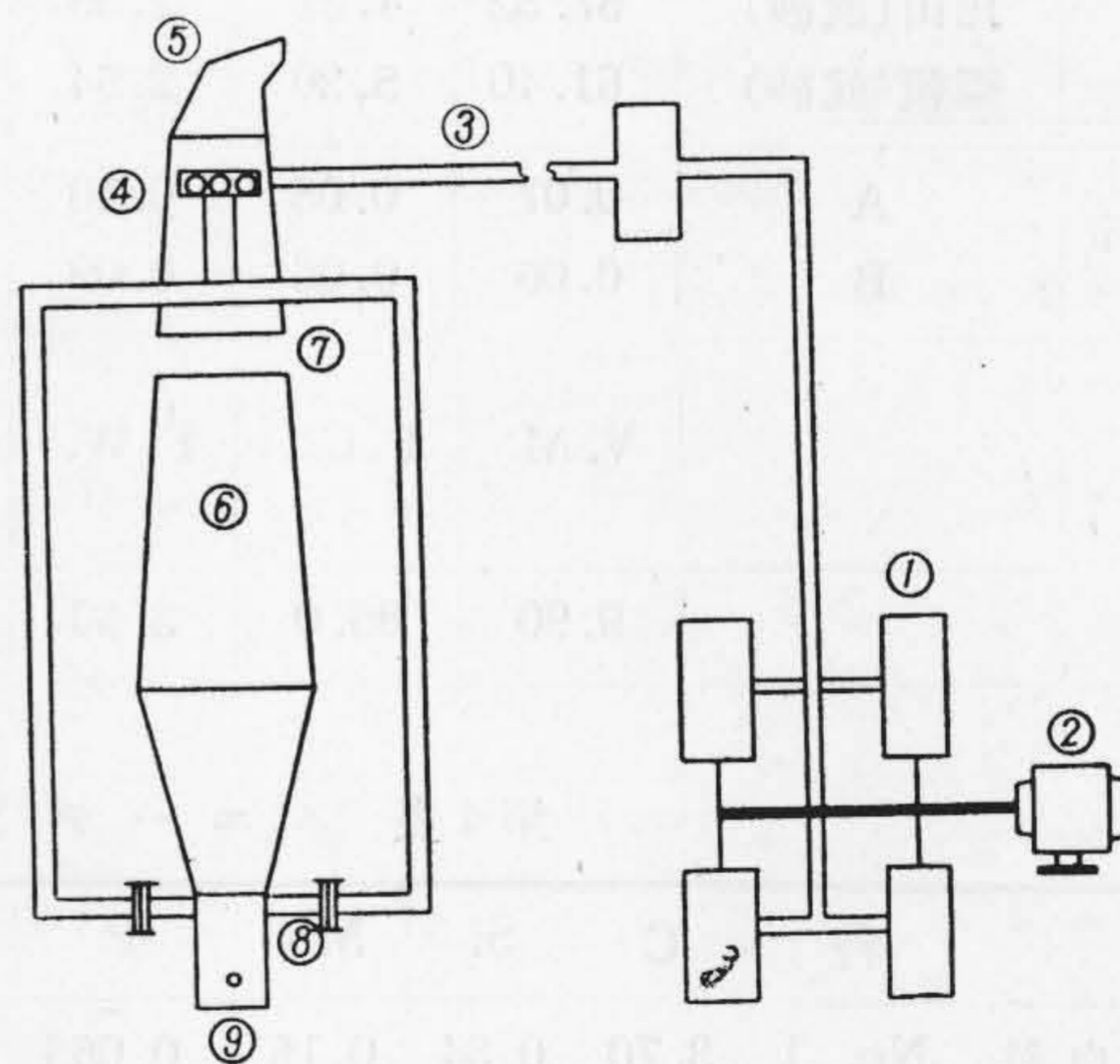
第1圖 木炭銑角爐構造圖
Fig. 1 Structure of Squar Type Blast Furnace for Charcoal Iron.

本宛 10 本設備され、噴出口々徑は 40 mmφ である。裝入口は兩側面にあり人力を以て裝入される。

出銑量は公稱 3 ton, 通常 5~6 ton/day である。全體のフローシートを圖示すると第2圖の如く、4 箇のペークライト硬化木に依つて作られた鞆は水車或いは電動機によつて驅動され、送風量は通常 1600 m³/hr である。之が送風管を通じて爐頂熱風室に到り、約 200 °C 前後に加熱され羽口より衝風が吹込まれる。送風壓力は水銀柱 60~80 mm である。

(2) 操業記録の一例

今研究改良前の操業記録の一例を示すと第3表(第43頁)の通りであつて、裝入原料は第2表の如く、砂鐵、石灰石、木炭の三者を交互に約 15 分間隔に左右の側面投入口より裝入する。砂鐵の豫備處理は行わず原形のまゝである。其の一回の裝入量は標準として砂鐵 140 kg/回、木炭 100 kg/回、石灰石 7 kg/回 である。



第2圖 角爐操業のフローシート
Fig. 2 Flow Sheet of this Process.

- ① 鞆
- ② 電動機
- ③ 送風管
- ④ 熱風室
- ⑤ 集塵器
- ⑥ 爐體
- ⑦ 裝入口
- ⑧ 羽口
- ⑨ 出銑口

操業記録にもある如く、操業改良前の木炭比は平均、1,905 白銑 ton 當り砂鐵は 2,464 ton であり、吹上砂鐵の回收もあるが歩留りは悪い。然し其の品質はスエーデン銑より優れて居り最近入荷のスエーデン銑との比較をすると第 4 表の如く、特に N₂ の含有量が少いのが特徴である。

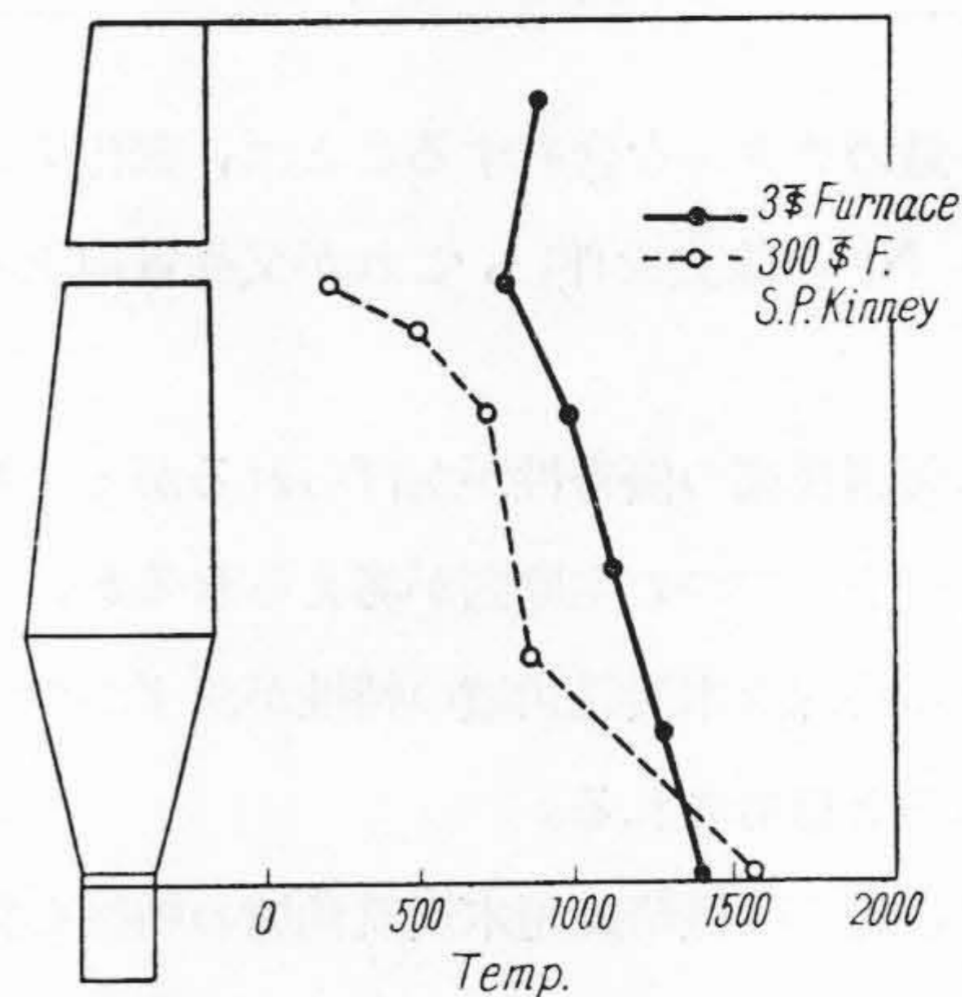
[III] 爐内温度の變化

低温還元を本旨とする本角爐に於て、爐内温度の状況はどの様に變化しているかを知る事は爐操作上重要な事項である。依つて白金-白金ロヂウム熱電對と光學温度計を併用して爐内各 zone の温度を測定した。爐内部は羽口線上 1000, 1700, 2400 mm の三箇所を經約 35 mmφ の孔をうがち、それより保護管を挿入して測定した。

先づ装入口であるが、これは砂鐵及び木炭石灰石投入前後に於て可成りの温度差があり、装入口中央部に於ては装入直後 600°C 直前 865°C の變化を示す。周邊部に於ては 760~870°C に變化する。隅角部は温度低く 575°

~700°C であつた。熱風室は 820°~850°C と變化し。装入口の扉を閉ぢれば 880~900°C に温度は上昇した。

今改良前の爐内各 zone の温度分布の一例を圖示すると第 3 圖の如くである。當時の輔クランクの回轉數は



第 3 圖 爐内各層の温度分布
Fig. 3 Distribution of Temperature in Each Zone.

22 R. P. M. であつて、送風量 1600 m³/hr, 熱風温度 210°C である。圖に於て知る如く、1440°C 前後の羽口部温度より漸次低下して、装入口に於ては 760°C とな

第 2 表 装 入 原 料 成 分 表

		T. Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MnO	MgO	P	S	TiO ₂	
砂 鐵	比田(眞砂)	57.32	4.21	2.35	2.35	0.68	0.55	0.012	0.013	3.78	
	福頼(眞砂)	61.40	5.20	2.54	1.76	0.82	0.60	0.009	0.022	1.88	
石灰石	A	0.07	0.08	0.10	55.14	—	0.594	0.010	Tr.	Nil.	
	B	0.05	0.06	0.09	56.00	—	0.428	0.012	Tr.	Nil.	
木 炭	V. M.		F. C.	F. W.	Ash	Ash 100 分中					
		9.90	85.0	3.50	1.60	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S	P
						6.30	68.26	8.20	9.24	0.85	0.32

第 4 表 スエーデン銑と鳥上白銑との比較

試 料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	V	T ₁	N ₂
鳥上白銑 No. 1	3.70	0.34	0.16	0.066	0.010	Nil.	0.07	0.057	0.15	0.30	0.001419
〃 No. 2	3.60	0.20	0.12	0.070	0.003	Tr.	Tr.	Nil.	0.23	0.24	0.001419
スエーデン銑 No. 1	4.45	0.57	0.32	0.016	0.006	Nil.	〃	00.06	0.15	0.09	0.002064
〃 No. 2	4.60	0.62	0.39	0.28	0.004	〃	〃	Tr.	0.08	0.07	0.002003

註 (1) 鳥上銑は昭和 24 年 12 月出銑
(2) スエーデン銑は、同年輸入のもの。

第3表 角爐操業記錄(昭和24年3月・4月改良前)單位 Per. Day

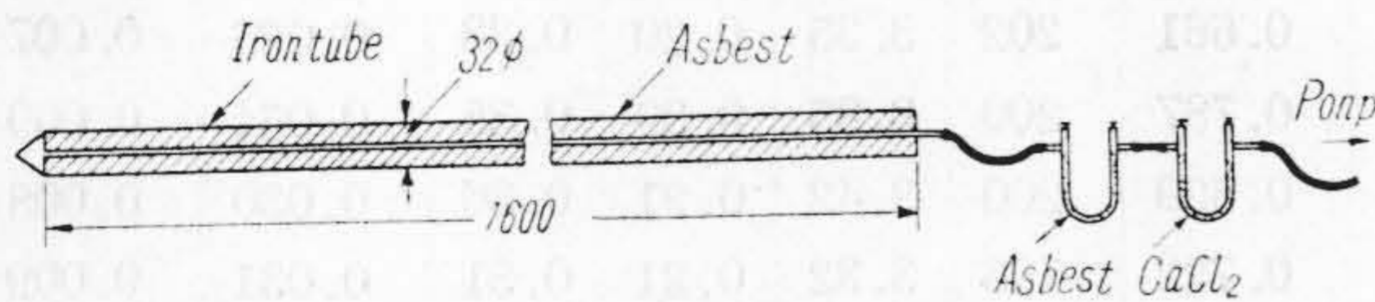
月/日	砂鐵	木炭	石灰	出銑量	木炭比	t 當 砂鐵	木炭/ 砂鐵	風溫	銑鐵成分				
									C	Mn	Si	P	S
3/2	11,752	9,572	420	5,209	1,838	2,256	0.815	210	3.96	0.21	0.37	0.028	0.008
3	11,060	9,554	420	5,326	1,797	2,189	0.864	200	3.72	0.35	0.36	0.026	0.009
4	12,727	9,982	557	5,811	1,718	2,190	0.785	199	3.35	0.20	0.34	0.019	0.012
5	13,221	9,980	540	5,503	1,797	2,403	0.749	205	3.42	0.22	0.35	0.020	0.008
6	12,590	8,573	570	5,667	1,512	2,221	0.680	200	3.25	0.21	0.36	0.030	0.006
7	14,445	9,677	586	5,720	1,691	2,525	0.672	190	3.24	0.21	0.32	0.027	0.005
8	12,780	10,220	560	5,993	1,705	2,233	0.799	200	3.30	0.23	0.29	0.021	0.016
9	13,972	9,711	520	5,252	1,849	2,660	0.694	198	3.20	0.19	0.29	0.023	0.012
10	12,097	10,734	520	5,367	1,813	2,252	0.887	202	3.45	0.18	0.38	0.018	0.013
11	13,271	10,060	530	5,443	1,848	2,428	0.754	209	3.56	0.25	0.32	0.019	0.008
12	11,685	8,705	500	4,681	1,860	2,496	0.746	210	3.62	0.38	0.22	0.030	0.009
13	12,442	10,282	530	5,235	1,964	2,776	0.826	210	3.24	0.21	0.24	0.017	0.009
14	13,436	10,242	580	5,347	1,915	2,514	0.767	200	3.50	0.23	0.34	0.021	0.015
15	12,411	9,937	580	5,270	1,886	2,355	0.800	212	3.45	0.19	0.29	0.018	0.014
16	11,776	7,991	480	4,151	1,925	2,355	0.680	220	3.82	0.36	0.27	0.060	0.013
17	12,567	9,589	620	1,492	1,746	2,288	0.763	221	3.75	0.32	0.19	0.050	0.009
18	11,997	9,428	567	4,698	2,006	2,553	0.786	209	3.72	0.35	0.25	0.040	0.012
19	12,924	9,369	570	4,906	1,915	2,644	0.724	210	3.65	0.36	0.28	0.043	0.011
20	12,333	9,516	580	4,717	2,015	2,614	0.773	210	3.66	0.30	0.29	0.030	0.009
21	12,538	9,019	540	4,636	1,945	2,704	0.721	210	3.32	0.19	0.31	0.021	0.008
22	14,390	9,724	570	5,146	1,889	2,796	0.675	200	3.20	0.18	0.30	0.021	0.012
23	14,737	9,739	620	5,333	1,826	2,763	0.661	202	3.35	0.20	0.38	0.025	0.007
24	10,401	8,190	520	4,341	1,886	2,396	0.787	200	3.85	0.39	0.35	0.054	0.009
25	14,979	9,438	600	5,040	1,872	2,911	0.629	200	3.42	0.21	0.36	0.030	0.008
26	13,611	9,818	570	4,936	1,989	2,757	0.722	195	3.32	0.21	0.31	0.031	0.009
27	14,200	10,041	610	5,410	1,856	2,624	0.705	195	3.24	0.19	0.29	0.021	0.015
28	14,938	9,840	600	5,223	1,883	2,860	0.660	190	3.03	0.17	0.31	0.023	0.012
29	13,358	9,490	600	5,195	1,826	2,571	0.710	198	3.54	0.25	0.28	0.045	0.009
30	11,482	9,022	580	3,854	2,340	2,979	0.786	199	3.64	0.30	0.28	0.024	0.008
31	10,764	9,069	570	5,148	1,761	2,090	0.843	215	3.66	0.34	0.27	0.030	0.012
4/1	11,866	9,166	550	4,838	1,892	2,450	0.774	210	3.67	0.35	0.31	0.026	0.013
2	11,936	8,161	540	5,414	1,629	2,204	0.686	210	3.72	0.34	0.32	0.027	0.012
3	11,989	9,174	560	5,047	1,827	2,375	0.766	212	3.52	0.31	0.31	0.039	0.012
4	11,366	8,905	580	5,162	1,725	2,202	0.784	215	3.43	0.30	0.30	0.042	0.008
5	10,670	8,882	580	4,959	1,933	2,322	0.834	205	3.48	0.32	0.34	0.018	0.020
6	10,026	8,169	500	3,787	2,157	2,642	0.816	200	3.42	0.32	0.33	0.019	0.009
7	11,270	8,855	600	4,644	1,906	2,426	0.786	200	3.55	0.30	0.32	0.024	0.012
8	10,574	9,162	580	4,708	1,946	2,245	0.866	200	3.65	0.25	0.30	0.028	0.013
9	11,512	9,428	580	4,611	2,044	2,518	0.820	200	3.63	0.28	0.38	0.027	0.014
10	10,204	8,580	530	4,265	2,011	2,392	0.841	215	3.42	0.24	0.21	0.044	0.016
11	10,964	9,486	580	5,079	1,893	2,188	0.866	210	3.24	0.25	0.22	0.049	0.009
12	10,266	9,060	500	4,263	1,954	2,408	0.883	200	3.25	0.28	0.23	0.032	0.012
13	11,458	9,455	560	4,727	2,000	2,423	0.825	200	3.35	0.26	0.24	0.019	0.011
14	10,721	9,328	560	5,555	1,679	1,930	0.870	200	3.48	0.23	0.24	0.024	0.012

つている。これを一般高爐と比較する時其の温度勾配は極めて急であつて、爐長短少の爲の熱損失は避けられない。此の廢熱の利用としては熱風室に於ける熱風管の加熱であつて、第3圖に於ても、装入口よりの空氣の爲COガスは燃焼し熱風室の温度は880°C前後に上昇している。

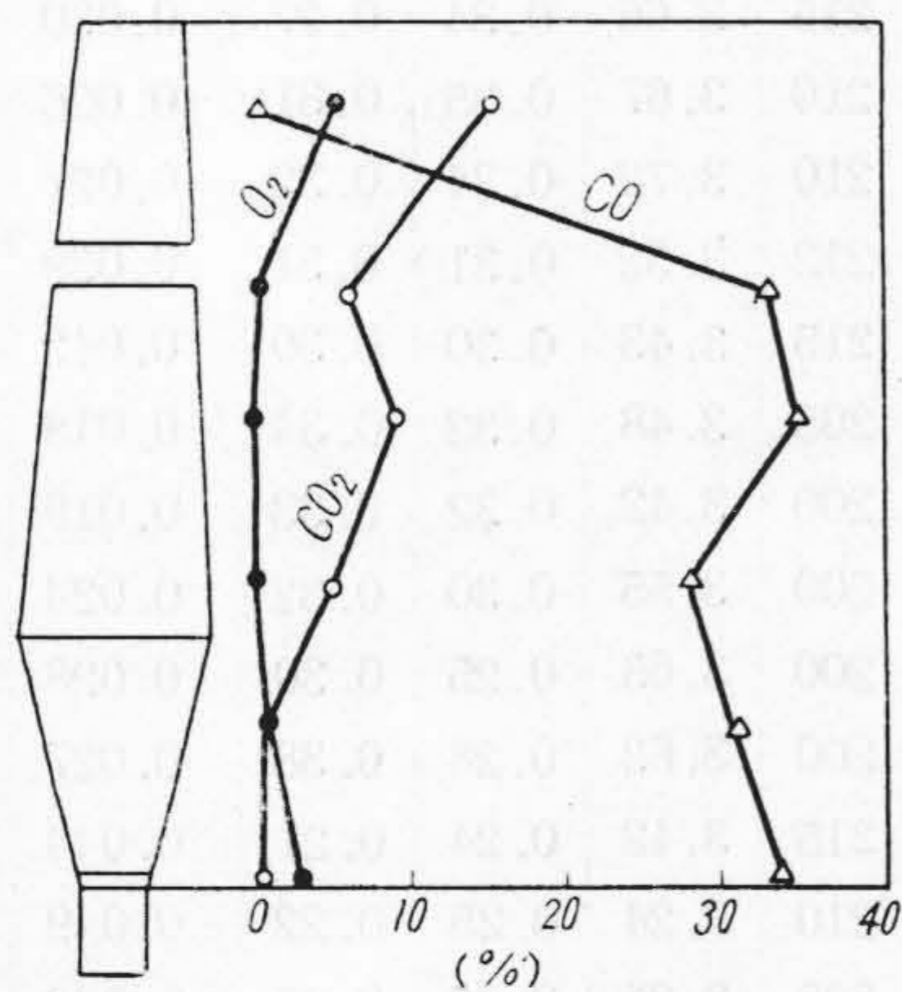
[IV] 爐内ガスの變化

温度變化に次で重要なのは爐内ガス組成の變化である。今回の測定箇所は温度測定箇所と同一であつて、即ち羽口部、爐腹部3カ所、爐頂部である。測定方法はオルザット瓦斯分析装置を用い、ガス吸入方法は第4圖の如き採取管を用いた。測定結果は第5, 6, 7, 8表の通りである。

小型爐の特徴として、爐況の變動は微妙であつて、それ従つてガス組成も絶えず變動を見せている。今送風量1600 m³/hrの場合の角爐全系に亙るガス組成の平均分布状況を圖示すると、第5圖の通りとなる。即ち朝顔部に於てはCOガス30%以上あり、爐中腹に於て幾



第4圖 爐内ガス採取器
Fig. 4 Catcher of Gases.



第5圖 爐内各層のガス分布
Fig. 5 Distribution of Gas in Erch Zone.

第5表 装入口上部のガス組成 (%)

時期	周 邊 部			中 央 部		
	CO ₂	O ₂	CO	CO ₂	O ₂	CO
装入直前	8.20	0.60	30.50	—	—	—
装入直後	0.50	4.30	38.30	—	—	—
装入5分後	—	—	—	6.60	0.20	30.80
装入10分後	4.30	0.05	32.15	—	—	—

第6表 装入口及び熱風室のガス組成 (%)

時期	周 邊 部			中 央 部			熱 風 室		
	CO ₂	O ₂	CO	CO ₂	O ₂	CO	CO ₂	O ₂	CO
装入直前	3.80	0	30.20	6.10	0.10	28.80	—	—	—
装入後5分	4.00	0.70	30.20	—	—	—	13.90	6.50	0
装入後10分	—	—	—	—	—	—	14.20	5.20	0

第7表 爐腹各層のガス組成 (%)

位 置	CO ₂	O ₂	CO
第3孔(羽口より 2.4 m 上)	8.00	0	35.00
第2孔(" 1.7 m 上)	4.06	0.43	27.90
第1孔(" 1.0 m 上)	0.25	0.50	30.40
羽 口 線	0.50	2.50	32.50

第8表 火入後7日目の瓦斯組成 (%)

位 置	CO ₂	O ₂	CO	備 考
羽口尖端部	0.60	20.40	0	朝顔中央部とは、羽口尖端より中央部まで採取管を挿入する。
朝顔中央部	11.00	7.60	0.60	
装入口周邊部	7.80	1.70	27.70	

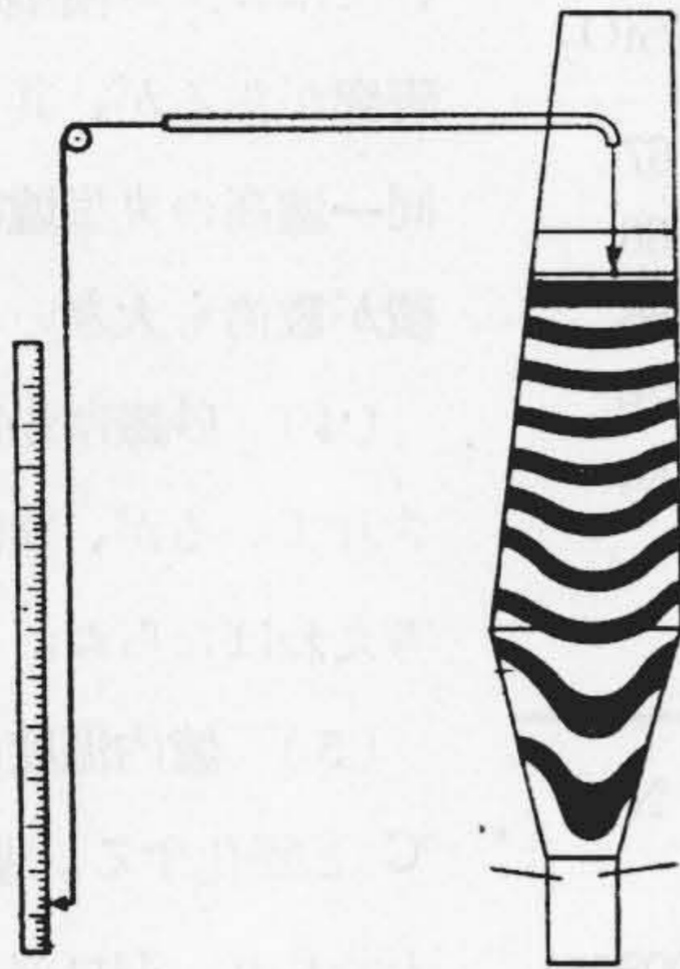
分減少している。此の附近に於て還元が最も進んでいると考えられる。それ以後は鐵鑛石の還元と炭素によるCO₂の還元が併行して進みCOの含有量次第に増加の傾向のまま装入口に達する。CO₂ガスは羽口、朝顔部にはTraceであつて、中腹以後増加している。これはCOガスと對蹠的な傾向にあるべきにも拘らず此の様な曲線を辿ることは中腹に於ても相當鑛石の還元が行われていることを物語つている。

酸素は羽口部に於て2~3%あり、爾後殆んどその存在は認められない。これは空氣が入れば直に灼熱せる炭

素に接觸して反應する爲である。尙各時期、各部の爐内ガス組成の Data を示すと第 5, 6, 7, 8 表の通りである。

[V] 装入物の降下速度

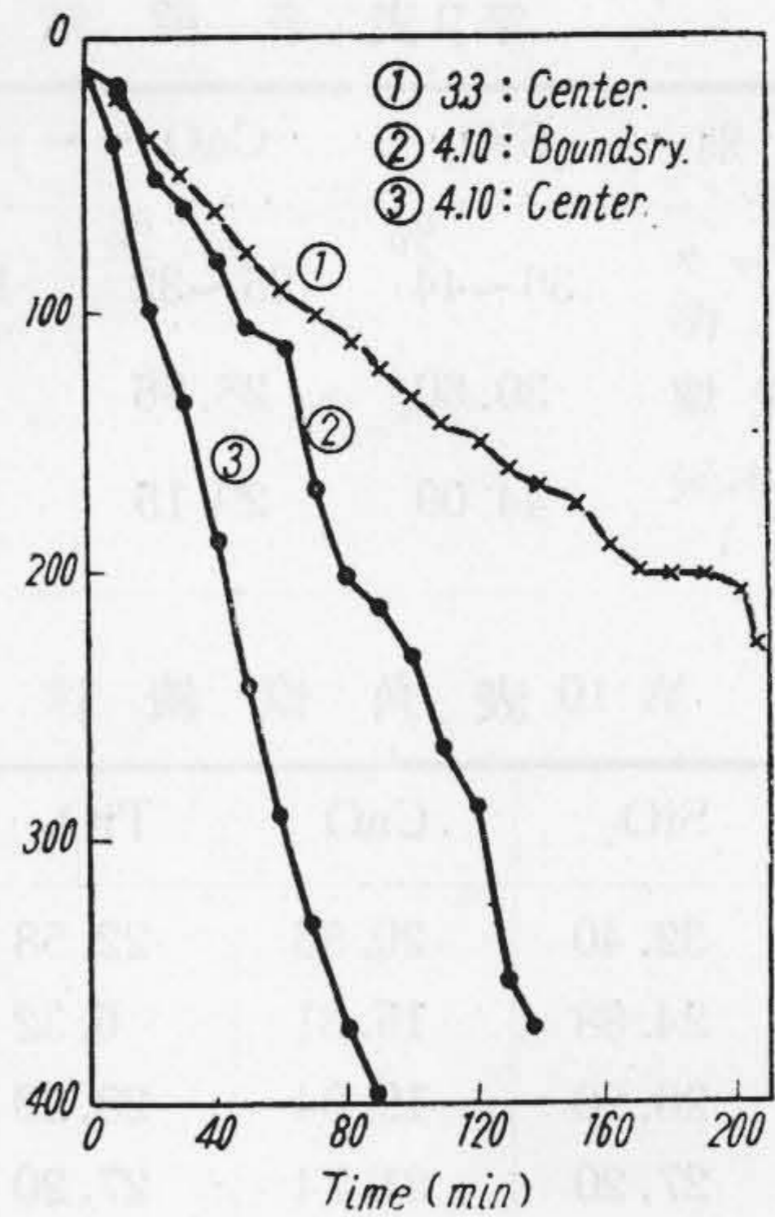
筆者の角爐に關するガラス模型の研究⁽²⁾によると装入物の降下状況は第 6 圖の如く、Stock line 附近に於ては



第 6 圖 装入物降下速度測定法
Fig. 6 Measuring Method of Falling Velocity Charging Material.

水平状態であるが、漸次降下に従い中心部の速度増大し朝顔部に到ると急激に其の程度を増す。依つて實際の場合装入物の降下状況はどの様なものであるかを測定した。

測定方法は 500 gr の白銑製圓錐をニクロム線に固定し、爐頂より第 6 圖の如く吊し、其の降下距離及び時間を測定した。測定結果は第 7 圖に示す通りである。圖に於て曲線①は朝顔部煉瓦積替え直後の操業であつて、極く軽度の懸滯繼續して頻發し、爲に降下速度は非常に遅れている。其の速度は平均 2.13 cm/min であつた。②③は相當程度爐壁は侵蝕され、外氣温と平衡状態になつていてと考えられる状態であつて②の周邊部降下曲線は相當ヂグザグ経路をとつているが、③の中心部降下曲線は直線的に速かに降下し、その羽口線までの降下所要時間は 132 分であつて速度は 2.88 cm/min であつた。降下曲線の直線化は必要事項であるが、それと同時に爐内降下速度の小なるは望ましく、茲に朝顔角度につき検討



第 7 圖 装入物降下状況
Fig. 7 Falling Condition of Charging Material.

を要する點が生ずる。理想は①の曲線に於て、懸滯現象を可及的少くする状態である。念の爲出銑量比を較する時①の場合 5.326 ton/day ②, ③, の場合は 4,265 ton/day であつて、軽度の懸滯はあつても爐壁の餘り侵蝕されていない状態の方が良く、現在以上の朝顔角度の擴大はローボツシユワイドハース(Low Bosh, Wide Herth)の原則に反し考慮の餘地を残す。

[VI] 鑛滓の鹽基度及び爐床堆積物

砂鐵精鍊用の鑛滓については幾多の研究があるが、三菱に於ける研究による特許ユーテクチック鑛滓⁽¹⁾の組成は第 9 表の如きものである。表には、八木博士の島根縣三成町 10 ton 木炭爐による全砂鐵装入による實驗時の一例と瑞典の木炭爐の鑛滓組成も併記した。

今これ等と比較の爲に本角爐の鑛滓組成の一例を表記すると第 10 表の如くである。

第 10 表に於て、鑛滓②は特に爐況不調時のものである。含チタン弱酸性鑛滓に於ては鹽基度は 0.8~0.9 であることは常識であるが、本角爐に於ては一般に低位に失する様に思われる。然しスエーデンのそれと異なるところは TiO₂, MgO の含有量の甚だしい相違であつて、CaO/SiO₂ のみで全てを律することは早計であらう。

次に砂鐵等含チタン鑛石精鍊に關し最も問題になるの

第9表 各種鑛滓の組成

鑛滓種別	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO/SiO ₂
ユーテクチック鑛滓	36~44%	25~32%	10~20%	<4%	<6%	0.7~0.8
三成木炭爐	30.60	28.86	19.08	9.80	3.90	0.94
スエーデン木炭爐	44.09	29.15	—	7.29	15.53	0.66

第10表 角爐鑛滓組成の一例

No.	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO/SiO ₂
①	32.40	20.56	22.58	13.40	4.20	0.67
②	24.88	16.31	6.32	8.17	0.91	0.66
③	28.20	19.04	28.20	11.20	2.39	0.66
④	27.20	21.74	27.20	10.59	3.99	0.79
⑤	34.30	23.60	18.72	8.91	3.90	0.69

第11表 爐床堆積物組成

SiO ₂	TiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	C	N ₂
31.50	6.20	0.06	30.09	17.08	0.94	9.07	4.75	—	1.48	0.008911

は操業を重ねるに従い爐床の隆起する、所謂 Derty Herth の現象である。此の現象は本角爐に於ては餘り問題にならない。TiO₂ は大部分鑛滓に移行し、ある程度は鑛滓の流動性を増大せしむるからである。然し、時折此の現象がある。其の際は Right charge と、出銑間隔の短縮によつて爐床の温度を上げ漸次解消せしめている。

今此の現象出現時の爐床堆積物を採取して分析すると第11表の如き組成を有する。

一般に砂鐵精鍊の際の所謂“ベア”は窒化チタン、フェロチタン、青化物等含有の粘性鑛滓が考えられているが、第11表の組成より考察する時、TiO₂、N₂の含有率よりみて多少は前記の化合物も考えられるが、全般的にみて、爐壁シヤモット煉瓦の鑛滓による侵蝕熔融物と考えられる。其の耐火度は約1400°Cであつて白銑の温度より約100°C近く高位である。

[VII] 結 論

以上之を要約すると次の如くなる。

(1) 優良白銑鐵製造の根本要素は、原料鐵鑛石の優

秀なこと、還元材の不純物少いこと、低温還元であることの三つである。

(2) 本角爐による島根縣仁多郡地方産砂鐵の精鍊は、此の三要素を備えている。

(3) 角爐の物理的特性についてはガラス模型による筆者の研究があるが、其の一主要點は同一爐高の丸型爐に比し爐内容積が數倍も大きいことである。

(4) 砂鐵は粉状のまま使用されているが、豫備處理は當然考えねばならぬ。

(5) 爐内温度は1400~800°Cと變化する。装入口の温度大であり、羽口部の温度は低い従つて温度勾配は大である。

(6) 爐内ガスはCOは30%前後を推移している。CO₂は装入口で4~6%で大型爐に比し稍々少い。

(7) 降下速度は朝顔部の侵蝕度に依つても異り、比較的正常的な場合は降下速度遅く操業日數を重ねて朝顔部の擴大した時は降下速度大である。又之に従つて出銑量も次第に少くなる。

(8) 鑛滓の鹽基度は約0.6~0.7であつて、極めて酸性である。TiO₂の含有量は普通20%以上であるが、30%を超えることはない。

(9) 爐床堆積物は餘り問題にならないが、昭和24年12月に生じたベアを分析した結果、爐壁シヤモット煉瓦の鑛滓に依る侵蝕熔融物であろうと考えられた。

(10) 本報に於ては木炭比は未だ平均1.905であつて原單位は高い。本報及び其の後の研究を基とした理論的考察、ガラス模型實驗等より木炭比1.4以下に低下せしめた。又本角爐を用いたズングン赤鐵鑛の還元實驗に於ては木炭比0.8強であつた。是等については後報に述べたい。本研究遂行に當り工場長菊田多利男博士、冶金研

(以下第57頁へつづく)