

技 術 資 料

砂鉄および砂鉄銑について

市 川 直 雄*

IRON SAND AND IRON SAND PIGS-A REVIEW-

Tadao Ichikawa

緒 言

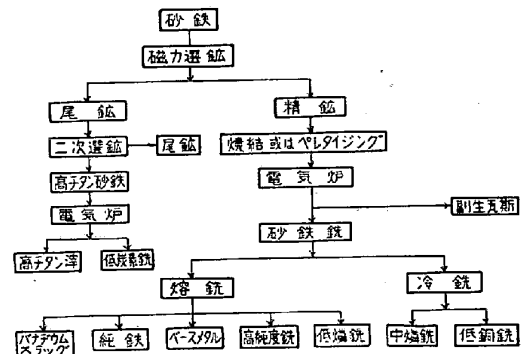
- 1. 砂鉄の埋蔵量
- 2. 砂鉄の生産高
- 3. 砂鉄の採掘と選鉱
- 4. 砂鉄の成分
- 5. 廃砂より高チタン砂鉄の回収
- 6. 砂鉄中のVについて
- 7. 砂鉄銑の生産高
- 8. 砂鉄銑の製造
- 9. 鉱石の予備処理
- 10. 電気製鉄炉

- 11. 電気炉操業
- 12. 低磷銑の製造
- 13. 鉱石法による低磷銑の製造
- 14. 酸素瓦斯による低磷銑の製造
- 15. Base metal の製造
- 16. 高V滓の製造
- 17. Vの抽出
- 18. 高チタン滓の製造
- 19. 副生瓦斯の利用
- 20. 結 言

緒 言

近年我国の電源開発は急速に進んでいるが、同時に火力発電の建設もさかんにおこなわれ、電力の供給は比較的緩和されてきた。この電力によつて国内に産出する鉄鉱資源中最も豊富でかつ採掘の容易な砂鉄の電気炉精錬は急に発達した。これは精錬の技術的進歩により、電力その他の原単位が低下して、高炉と比較しても原価上あまり差異がなくなつたこと、砂鉄より造つた銑鉄が銅その他の不純物が少なく、品質が優れていることなどによつて、さらに精錬の際発生する一酸化炭素を多量にふくむ瓦斯の回収およびその利用と、砂鉄中にふくまれている TiO₂ および V などの回収が研究されたことなどによつて、生産費はなほ低下することも予想される。かかる総合的砂鉄工業が未利用資源開発の国家的要請と相俟つて、注目されるようになった。第1図は砂鉄銑ならびにその副産物の製造工程を示すものである。

砂鉄の湿式磁力選鉱によつて採つた砂鉄精鉱は普通55%以上の鉄分をふくんでいる。これを焼結あるいはPelletizingの予備処理をして塊状とし密閉式の電気炉でコークスその他の炭素質還元材と石灰石とで銑鉄を造る。この銑鉄は銅が低く低銅銑とも呼ばれ主として製鋼用に用いられて優秀な性質を示している。このとき原料として磷の低い砂鉄と還元材を使用すると中磷銑が出来



第1図 砂鉄銑ならびにその副産物の製造工程

る。電気炉から出た熔銑は脱硫の必要あるときは曹達処理をおこなう。熔銑はさらに二次炉で鉄鉱石あるいは酸素瓦斯で酸化精錬して低磷銑、Base metal (BM) および純鉄を造る。中磷および低磷銑、BMは特殊鋼あるいは特殊鑄鍛鋼の主原料となり純鉄は板あるいは丸棒として、通信機器に用いられ、また高級特殊鋼の原料となる。

脱硫脱磷処理をした高純度鉄銑は Vantit 銑, Överum steel その他の高級鑄鉄の原料となる。砂鉄尾鉱すなわち廃砂を二次選鉱にかけて採つた高チタン砂鉄は高チタン滓、低炭素銑の原料となる。高チタン滓は金属チタニウムあるいはチタン白製造の主要原料となる。酸素吹錬で低磷銑 BM を造るとき V は大部分が酸化さ

* 日曹製鋼，常務取締役，工博

れて鉍滓に移る。この高 V 滓より曹達灰焙焼によつて V_2O_5 を回収することができる。密閉炉操作の際回収される副生瓦斯は CO の含有量高くアンモニアその他合成化学方面や金属の瓦斯還元で使用され、また燃料としても価値の高いものである。

1. 砂鉄の埋蔵量

砂鉄埋蔵量の調査は鉍山局の統計規則によつて鉍山業者の申告数字を集計したものがあつた。これとても実状の把握はむづかしいが、昭和 31 年 4 月 1 日現在の調査結果は第 1 表のとおりである。

埋蔵鉍量として約 1 億 t、平均品位 19.3% で可採鉍量 7,300 万 t 平均品位 18.1% で鉄分にして 1,300 万 t である。可採鉍量では仙台局が第一位で、57%、東京 26%、札幌 12% で、この三局で全国の 95% をしめている。

通産省では昭和 29 年度から 5 カ年計画で未利用鉄資源開発調査を実施中で今迄に過去 3 カ年の調査結果が発表されている。第 2 表はこの調査による砂鉄鉍埋蔵量を示すもので 1 億 t を突破しその可採鉍量を 73% とすれば 7,800 万 t となり、その鉄分含有量は凡そ 1,400 万 t となる。

局別に見ると仙台局管内が 50% 近くをしめているが、単位が低く山砂鉄が多いので、経済的開発の段になると、この比率は多少変わるものと思われる。北海道は浜砂鉄が多く採掘は比較的容易である。東京局管内では主に千葉県に産出する浜砂鉄で北海道と同様に採掘は容易である。近年砂鉄運賃の関係で砂鉄産地に工場が建設されるようになった。青森県八戸市、千葉県千葉市のごときはその例である。

全国的の調査ではないが、東北地方には砂鉄鉍工業振興調査委員会があつて、こゝで調査した東北地方の埋蔵量は第 3 表のとおりで合計 244,127,000 t (品位 Fe 分 22.7% TiO_2 分 4.43%) で、前記鉍山局調査の 48,370,750 t の 5 倍以上である。埋蔵量は探鉍の進むにつれてまた調査の進むにつれて増加するものである。

砂鉄の採掘はその立地条件、賦存の状況、企業の規模、鉍石の性状などに左右されるが探鉍技術の進歩によつてもことなるので何%以上でなければ採掘ができないと云うものではない。最近では技術的進歩で低品位鉍の採掘も可能となつてきている。

2. 砂鉄の生産高

本邦鉍業の趨勢に記されている最近数年間の砂鉄鉍生

第 1 表 砂鉄鉍埋蔵量

局 別	埋 蔵 量		可 採 鉍 量			
	鉍 量 (t)	品位 (Fe%)	鉍 量 (t)	品位 (Fe%)	鉄分含有量 (t)	比 率 (%)
札幌	12,274,490	19.5	7,793,287	20.0	1,590,671	11.80
仙台	48,370,750	25.4	31,990,440	23.7	7,586,904	57.15
東京	36,581,082	12.5	27,516,492	12.6	3,457,840	26.11
大阪	3,802,014	4.5	3,802,014	4.5	170,937	1.29
広島	644,641	57.5	625,127	57.2	357,833	2.69
福岡	1,873,560	9.2	1,361,950	9.2	126,869	0.96
合 計	103,546,537	19.3	73,089,310	18.1	13,261,054	100.00

(註) 鉍山局調査(統計規則により集計)昭和31年4月1日現在。

第 2 表 砂鉄鉍埋蔵量

局 別	第 1 輯		第 2 輯		第 3 輯		合 計			
	埋蔵鉍量 (t)	品 位 (%)	埋蔵鉍量 (t)	品 位 (%)	埋蔵鉍量 (t)	品 位 (%)	埋蔵鉍量 (t)	品 位 (%)	鉄分含有量 t	比 率 (%)
札幌	20,046,000	20.0	3,694,380	23.7	9,171,500	23.4	32,911,880	21.3	7,030,580	35.42
仙台	25,948,000	21.8	2,328,400	25.8	22,986,000	13.9	51,262,400	18.4	9,454,666	47.76
東京	2,454,800	15.0	3,901,455	15.1	15,431,100	12.6	21,787,355	13.4	2,917,890	14.70
名古屋	155,000	35.5	7,840	16.1	21,800	18.0	184,640	32.6	60,110	0.30
四国	175,510	13.0	—	—	—	—	175,510	13.0	22,820	0.12
福岡	191,250	28.3	81,132	19.0	1,101,589	24.2	1,373,971	24.5	336,998	1.70
合 計	48,970,560		10,013,207		48,711,989		107,695,576	18.4	19,823,064	100.00

(註) 通産産業省調査(未利用鉄資源)。第 1 輯 1954 年、第 2 輯 1955 年、第 3 輯 1956 年。

第 3 表 砂 鉄 鉱 埋 蔵 量

地 域	種 類	鉱 量 (10 ³ t)	品 位 (%)		含有量(10 ³ t)		
			Fe	TiO ₂	Fe	TiO ₂	
青森県	下北	山砂鉄	81,796	27.7	4.87	22,644	3,985
〃	〃	海浜	1,132	16.7	1.94	189	22
〃	〃	小湊	115	45.2	12.20	70	19
〃	〃	黒石	6,328	15.0	3.15	946	119
〃	〃	七戸	31,004	19.9	5.00	6,165	1,552
〃	〃	〃	11,500	10.0	2.00	1,150	230
〃	〃	〃	57,729	24.0	3.60	13,834	2,077
〃	〃	〃	3,745	32.0	15.00	1,195	562
岩手県	久慈	〃	16,645	23.2	3.78	3,868	629
〃	〃	〃	2,292	32.9	11.40	754	262
官城県	蒲沢	第三紀	441	24.2	18.10	107	80
〃	〃	〃	31	29.0	6.45	9	2
秋田県	蟹沢	〃	1,980	12.0	5.25	238	50
〃	〃	〃	10,260	10.0	3.00	1,026	308
〃	〃	〃	173	12.1	8.10	21	14
青森県	八戸	〃	18,186	17.6	4.33	3,206	786
青森県	岩手県	〃	166	22.3	7.85	37	13
〃	〃	〃	284	19.3	5.63	55	16
官城県	福島県	〃	119	7.5	1.68	9	2
〃	〃	〃	9	30.0	11.10	3	1
〃	〃	〃	42	14.3	2.40	6	1
山形県	〃	〃	16	12.5	6.25	2	1
新潟県	〃	〃	94	14.9	3.20	14	3
高	〃	〃					
合 計			244,127	22.7	4.43	55,548	10,814

(註) 東北地方砂鉄鉱工業振興調査委員会
1957 年現在。

産の実状は第 4 表に示すとおりで札幌、仙台、東京の三局管内で全国の 97% を産出している。

生産比率は札幌管区は漸減し東京管区は増加している。主要産地は北海道の噴火湾沿岸および幌別地区、青森県の下北地区、千葉県の東海岸地区などである。上記三局が今後も砂鉄の主産地であることはまず間違いないところであるが、青森県を中心とする東北地区の生産が北

第 4 表 砂 鉄 鉱 生 産 実 績

局 別	昭和 29 年度		昭和 30 年度		昭和 31 年度		昭和 32 年度	
	生産量(t)	全国比(%)	生産量(t)	全国比(%)	生産量(t)	全国比(%)	生産量(t)	全国比(%)
札幌	338,201	64.00	356,240	60.50	521,391	55.67	538,480	50.89
仙台	151,037	38.50	179,599	30.50	301,782	32.20	298,673	28.22
東京	19,383	3.70	41,453	7.03	93,454	9.98	190,355	17.96
名古屋	437	0.08	563	0.09	707	0.08	30	—
広島	5,614	1.06	2,512	0.42	5,526	0.59	7,581	0.72
四国	308	0.06	—	—	—	—	—	—
福岡	13,958	2.60	8,632	1.46	13,891	1.48	23,093	2.18
合 計	528,940	100.00	589,179	100.00	936,751	100.00	1,058,212	100.00

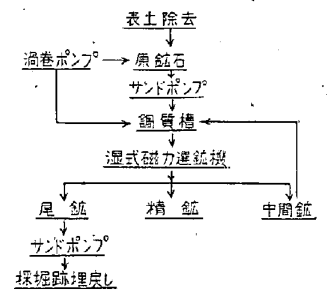
(註) 本邦鉄業の趨勢。

海道地区を凌駕するのもあまり遠くはないと思われる。九州地区の砂鉄も近頃段々着目されるようになった。とくに大分県宮崎県などは立地条件もよいので鉱量の確定と相俟て生産も進展するものと思われる。

3. 砂鉄の採掘と選鉱

砂鉄は鉱物学上は磁鉄鉱 (Fe₃O₄) に属し、その大部分が浜砂鉄でもともと砂状を呈しているが、山間地に賦存するものには塊状のものもあつて、その硬さも色々である。従つてその採掘の方法も磁石の賦存状況あるいはその性状などによつてことなつている。選鉱の方法は普通湿式磁力選鉱法が採用されているが、小規模のものには「ネコ流し」その他の比重選鉱法も用いられている。

浜砂鉄あるいは砂状磁石の採掘は最も簡単で、渦巻ポンプで圧力をかけた水を原磁石に吹きつけてパルプ状としたものをサンドポンプで吸い上げて選鉱機に送る水力採鉱法が広く採用されている。第 2 図は浜砂鉄の選鉱工程を示すもので選鉱機に一定量の砂鉄を送るためにはパルプ濃度を常に一定に保つことが大切で、これがために選鉱機の前に調質槽をおく。



第 2 図
浜砂鉄選鉱工程図

磁力選鉱機の型式は色々あるがいずれも可動式で採掘地の移動にしたがつて簡単に運搬することができる。精鉱はサンドポンプで適當のところにある貯鉱場に送られる。中間鉱はもとに戻して再選鉱するが尾鉱は廃水とともにサンドポンプで採掘跡に戻して埋戻し整地する。磁石が表土で覆われているときはまずこれを取り除く。剝土の方法も近年はブルドーザー、スクレーパーなどの重

土木機械を利用するようになった。

山砂鉄の中には脆くて崩壊し易いものがあるが、比較的硬いものはブレークラツシャー、ボールミルなどで粉碎して浜砂鉄と同様に湿式磁力選鉱機にかけて砂鉄精鉱を採っている。採掘方法も天間林や蒲沢鉱山のように抗道掘りのところもあるが、重土木機械の発達によつて表土の除去がたやすくなったので従来表土の多いために採掘を見合せていた鉱山も露天掘りができるようになった。

4. 砂鉄の成分

高炉の原料に混用する砂鉄の成分について、北海道地区では TiO_2 は 10%，鉄分は 57% を規準として価格の算定をやつている。

電気製鉄用の砂鉄としては、特別に規格はないが、よい砂鉄銑を造るためには、鉄分は 55% 以上で燐、硫黄、銅などの不純物の低いものほど歓迎されている。燐は産地によつて差が大きく TiO_2 と SiO_2 との割合は鉱滓の成分と操業の安定に影響が大きい。砂鉄の成分の一例を示すと第5表のとおりである。

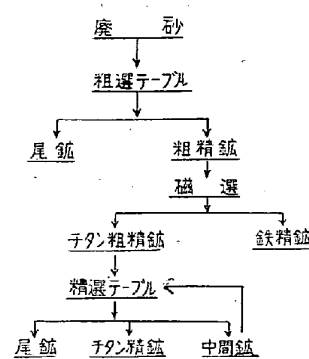
第5表 各種砂鉄銑の成分

産地	Fe	SiO_2	TiO_2	MnO	P	S	V
八雲	59.07	4.41	8.08	0.73	0.16	0.085	0.20
野牛	62.30	2.16	8.68	0.46	0.05	0.012	0.50
大畑	58.80	1.86	9.85	0.30	0.05	0.028	0.41
三沢	56.38	6.96	12.72	0.73	0.12	0.026	0.18
天間林	57.70	5.17	11.15	0.70	0.05	0.020	0.35
飯岡	55.61	7.24	10.57	0.71	0.06	0.023	0.19
鳥上	61.85	5.66	4.42	0.84	0.06	0.032	0.05

5. 廃砂より高チタン砂鉄の回収

砂鉄の中に TiO_2 を多く含むものは磁性がよい。したがつて高チタン砂鉄は砂鉄の磁選では尾鉱に行く。この尾鉱すなわち廃砂から高チタン砂鉄を回収することができる。これにはテーブルを用いる比重選鉱法が実用化されている。浮選式あるいは静電選鉱など研究されているが、まだ実用の域には達していないようである。このテーブルには往復回数あまり多くないが震動数の多いフラッパーテーブル（毎分1,100回以上）が使用されるようになって生産量がいちじるしく向上している。第3図はこの選鉱工程を示すものである。廃砂はサンドポンプで一度調質槽に送られ適当のパルプ濃度として配分函をとおして各テーブルに供鉱される。できた粗精鉱は磁選にかけて鉄精鉱とチタン粗精鉱とに分ける。このチタン粗精鉱は調質槽配分函を通つて精選テーブルにかけチ

タン精鉱をとる。途中磁選をおこなうのは TiO_2 の品位を高めるため、これで TiO_2 を30%以上にあげることができる。さらにこれを微粉して鉄分を除去する研究もおこなわれている。なお高チタン砂鉄の選鉱については資源試験所で研究され各地の砂鉄について結果



第3図 高チタン砂鉄選鉱工程図

が発表されている。斯くして選鉱された高チタン砂鉄の成分は、Fe 40~42%， TiO_2 30~32%， SiO_2 3~5%の程度で TiO_2 の品位をこれ以上高めることは、現在ではまだ経済的に不利である。廃砂より回収された高チタン砂鉄の成分は第6表のとおりである。

第6表 高チタン砂鉄の成分

産地	Fe	SiO_2	TiO_2	MnO	P	S	V
三沢	41.80	4.96	31.80	0.65	0.072	0.022	0.18
飯岡	40.94	3.54	31.44	1.38	0.081	0.015	0.17
蒲沢	39.75	4.46	39.14	0.87	0.073	0.008	0.13

表中で蒲沢鉱山のものは、はじめから高チタン砂鉄として採掘され選鉱されたものである。

6. 砂鉄中のVについて

砂鉄中のVの含有量は産地によつてことなるが凡そ0.1~0.4%位ふくまれている。とくにVの高い砂鉄としては山梨県猿橋(0.4~1.0%)、青森県野牛(0.4~0.60%)などがある。Vを回収するためには成可くVの含有量の多い砂鉄を選択する。戦後酸素瓦斯が鉄鋼方面に応用されるようになったので、Vの回収は比較的有利になった。

7. 砂鉄銑の生産高

わが国の製鉄業は古く神代時代から砂鉄を原料として発達した。今も出雲地方にのこる安来節の「どちようすくい」は「土壌すくい」のことで砂鉄の選鉱に用いられた「ねこ流し」「わんかけ」の操作を舞踊化したものだといわれている。日本古来の刀劔類は皆砂鉄を原料としてわが国独特の製錬技術によつて造られたものである。

ロータリーキルンでクルツプレン法によるルツペの製造、高周波電撃精錬法による棒鉄の製造および電気炉による砂鉄銑あるいは砂鉄の直接製鋼法などは戦前よりか

なり研究されて、小規模ながら工業的生産もおこなわれていた。しかし電気炉製鉄の技術は戦後急速に発達したもので 1957 年にはその生産高は 20 万噸を突破するに到った。ここ数年間の砂鉄銑の地区別生産実績は第 7 表のとおりである。

第 7 表 砂鉄銑地区別生産実績 (t)

年次	東北	東京	北陸	関西	合計
昭和27年	29,697	6,247	35,977	3,514	75,462
28年	42,441	7,237	29,757	1,257	80,694
29年	41,455	8,179	27,506	444	77,584
30年	68,118	10,010	30,042	802	108,972
31年	102,326	18,956	45,560	1,000	167,842
32年	127,803	62,524	47,431	206	*244,029

(註) 特殊鉄銑協会調査

* 昭和32年度は上記 4 地区の外北海道2,860(t) 中部3,265(t) 生産されている。合計は之を合したものである。

8. 砂鉄銑の製造

高炉銑は鉍石および原料炭の大量を外国に依存しているが、砂鉄銑は鉍石、石灰石還元に要する炭材ならびに電力などいずれも皆自給される。砂鉄は瑞典産の鉍石と同様の磁鉄鉍 (Fe_3O_4) である。砂鉄中の V と Ti の小量は銑鉄に移行するが、製鋼時の酸化精錬においてほとんど除去されるから、砂鉄銑は瑞典銑鉄に比肩し得る優良銑と称することができる。

砂鉄銑製造に使われる電気炉は開放型で 500~4,000 K.V.A の小容量のものであつたが、近頃新設されるものは 6,000 K.V.A 以上で、密閉型 10,000 K.V.A 以上のものも計画されている。電極も従来の焼成電極はなくなり、ゼーダーベルグ式の自焼成電極が採用されるようになった。電力使用量も段々減少して今日では銑鉄噸当たり 2,500 K.W.H. 台でできるようになつた。密閉炉では砂鉄を焼結あるいは pelletizing によつて、かためたものを使用して廃瓦斯を回収するので生産原価の引き下げをはかることができる。ロータリーキルンで砂鉄を乾燥すると同時に一部還元して電気炉に装入するときは、銑鉄噸当たりの電力使用量を 2,000 K.W.H. 以下にすることもできる。第 8 表は昭和 32 年末の電気炉による砂鉄銑および特殊銑の製造設備並にその能力を示すものである。

すなわち砂鉄銑の設備能力としては年間 447,500 噸を有しているが、電力事情および製品販売に関する経済事情などによつて実生産はこれよりはるかに低下している。

第 8 表 砂鉄銑製造設備

地区	電炉基数	年間生産能力 (t)	比率
東北	38	281,100	63.0
東京	9	66,200	14.6
北陸	16	96,900	21.7
関西	1	3,300	0.7
合計	64	447,500	100.0
砂鉄以外の原料によるもの	13	87,100	—
総計	77	534,600	—

- (註) (1) 昭和32年12月1日現在(特殊鉄銑協会調査)
 (2) 上段は砂鉄銑製造設備
 (3) 下段は其他の電気銑製造設備
 (4) 生産能力算定基礎
 $\text{変圧器容量(K.V.A)} \times 0.8 (\text{力率} \times \text{負荷率}) \times 720 (\text{時間}) \times 12 (\text{月}) \div 2,600 (\text{K.W.H.})$
 (5) 北海道には北海道製鉄建設中 (7,500K.V.A 3基)

9. 鉍石の予備処理

砂鉄はその粒度が小さく砂状をなしているところから名付けられたもので、従来わが国で採用された容量の小さい開放型電気炉では、そのまま装入されているが、炉の容量が大きくなり瓦斯を回収するために密閉炉が使用されるようになると、これを予備処理して焼結あるいは Pellet にすることが必要である。

粉末磁鉄鉍の焼結に Greenawalt 式焼結機がノルウェーの Mo I Rana 工場で採用されている。鍋の床面積は 24m² (8m×3m) で、4基で1日 1,000 噸、年間 300,000 噸の焼結鉍生産の能力を有している。この焼結鉍は酸化度 98% 以上のよい品質のもので、その原料配合の一例を示すと第 9 表のとおりである。

第 9 表 Greenawalt 焼結原料配合表 (Norsk Jernverk 会社 Mo I Rana 工場)

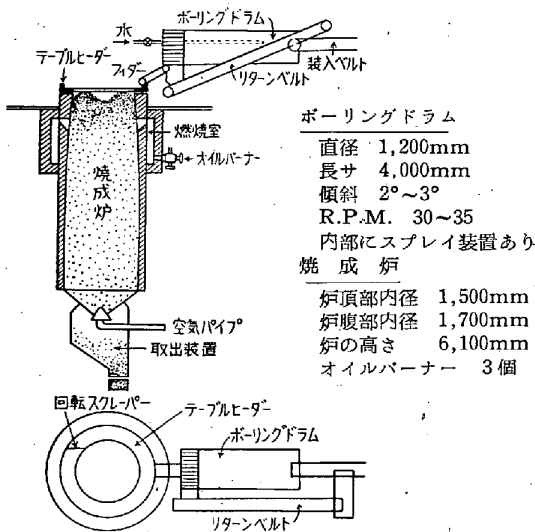
原料	配合量 (kg)	配合比率 (%)
鉍石	450 (微粉)	68.9
返り鉍	140 (3mm 以下)	21.7
石灰石粉末	33 (1 ")	5.1
コークスブリーズ	28 (3 ")	4.3
合計	651	100.0

(註) 粉末鉍石は 62~65% の鉄分を含む。

装入原料は廃瓦斯を燃料とする点火車で点火される。排風機は 650HP、吸引圧力は水柱 80'' であるが 55'' 位のところで操業されている。焼結された塊鉍は下にある

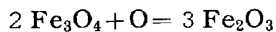
ロール破碎機で砕かれ 3/4" 以上のものは電気炉に送られ 3mm 以下のものは再焼結をするためボーリングドラムに戻される。その中間程度のもは装入原料の下敷きとして焼法機のグリッドの上に敷く。

瑞典では粉銑処理のために pelletizing がおこなわれている。この方法は 1946 年米国のミネソタ大学鉱山学研究所で Davis Firth, Wade などによつて研究されたもので瑞典では Wierberg 法で海綿鉄を造るとき原料として用いられている。第 4 図は Helleforce 工場の設備の概要を示すものである。



第 4 図 Pelletizing 設備 (日産 70 t)

まず 250 目篩を 80% がとおる位に微粉された高品位精銑を水分 9% 位に調整して回転するボーリングドラムの中に装入する。この中で粉銑は雪ダルマ式に大きくなり一定の大きさとなつたものがドラムの口から排出される。こゝで篩別されあまり小さいものは元に戻す。生 Pellet は直ちに焼成炉の上部に装入される。焼成帯は常に一定のところに保ちこの部は外部から重油で加熱する。焼成された Pellet は炉の下部に降下する。このとき下からはいつた燃焼用の空気と熱交換をおこない自身は冷却される。炉内の焼成は酸化反応で発熱する。



1 kg の Fe_3O_4 の酸化には 111.4 Kcal の発熱をとまう。Pellet に強度をもたすために CaCl_2 CaO ベントナイト NaCl などを少量加えることがある。現在は主として CaCl_2 を 0.25~0.5% 位加えることが多い。Pellet の大ききは径 20~30mm 位で必要に応じてある程度は変えることができる。原料の鉄精銑と出来た Pellet の成分は第 10 表のとおりである。

焼成炉の熱平衡は第 11 表のとおりである。Pellet 屯

第 10 表 鉄精銑並にペレットの成分

成分	鉄精銑 (%)	ペレット (%)
Fe_3O_4	66.500	96.340
FeO	29.800	0.500
P	0.030	0.003
S	0.004	0.004
Gungne (Rest)	3.476	3.153
CaCl_2	0.190	—

第 11 表 Pellet 焼成炉内の熱平衡

Pellet t 当り入熱	M, Cal	%
重油燃焼熱 (14.63 kg)	146.59	55.9
Fe_3O_4 及び S の酸化熱	105.89	40.4
精銑 (1,060 kg)	9.56	3.7
重油 (14.63 kg)		
空気 (987 m ³ /N.T.P)		
合計	262.04	100.0

Pellet t 当り出熱	M, Cal	%
廃瓦斯の顕熱 (1,110 m ³ /N.T.P at 320°C)	114.73	43.8
廃瓦斯の燃焼熱	3.37	1.3
205°C における Pellet 1,000 kg の顕熱	35.07	13.4
0°C の水 85.4 kg の蒸発熱	51.07	19.7
炉壁からの熱損失	57.20	21.8
合計	262.04	100.0

当り重油 14.63 kg を要するが近頃は Pellet の熱交換をよくし炉壁よりの熱損失を減少して重油消費量の少ない角炉が操業されている。

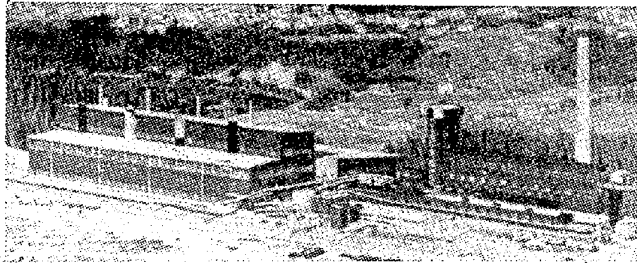
丸型炉では 1 日 70~90 t 容量のものが多いが角型炉では一日 200 t 以上の大容量の炉も稼働されている。かゝる炉では重油の消費量は半量以下となる。

10. 電気製鉄炉

Stassono は 1889 年にはじめて高炉型の電気製鉄炉を建設している。これは高炉の羽口のところに電極を装入したものでその後幾多の改良が加えられたが今はほとんど稼働されていない。低炉型電気炉は Tysland 型と呼ばれてノールエーで発達し 1922 年には Söderberg 電極を有する近代的な炉が建設された。1928 年 Hole がこれを改良して今では Tysland-Hole 型とも称せられている。

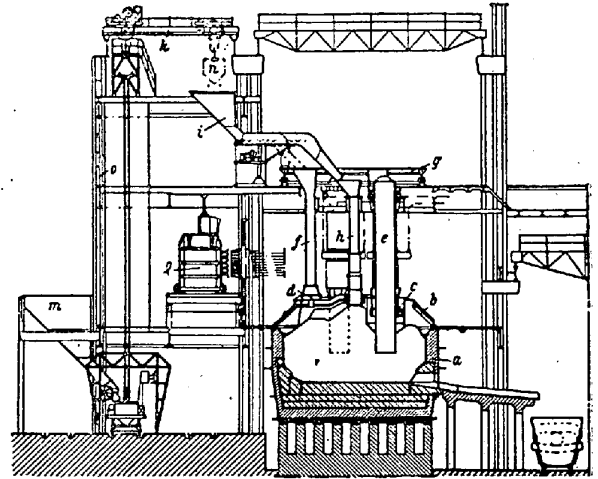
わが国では東北電気製鉄が同型の 7,500 K.V.A 炉を 2 基設置している。はじめは三本の電極が一直線にならんだ楕円形の炉であつたが、その後電極配置は正三角形に、炉形は丸型に変つている。この炉を同国の Elektro Kemisk 社では Elkem 型電気炉と称して広く売り出

している。第5図は Elkem 電気製鉄炉4基（1957年4月には3基稼働1基建設中）を備えた Mo I Rana 工場の外観図で、右は鉍石の焼結工場、左は電気炉工場である。第6図はその配置図を示し、第7図は電気製鉄炉並びに製鉄工場の内部を示すものである。



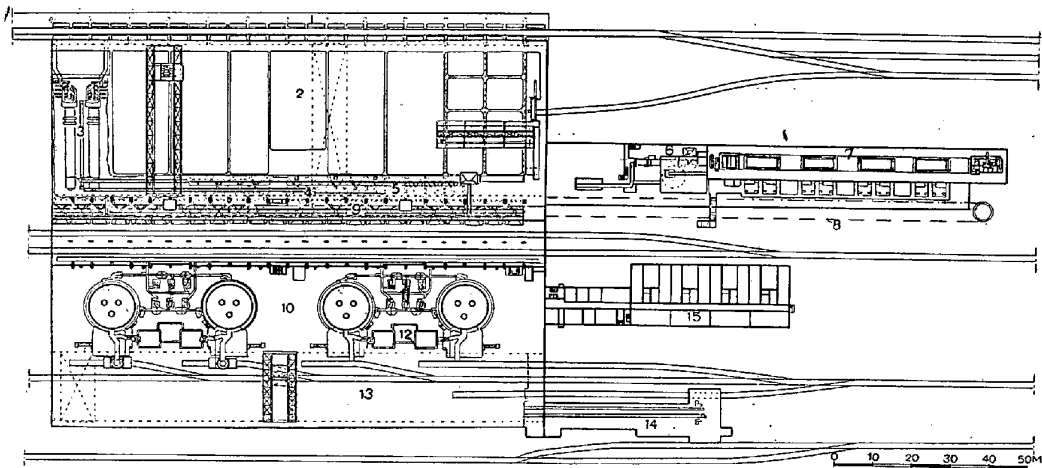
第5図 Mo I Rana 工場の焼結設備と製鉄設備の外観

独乙の Demag 社では Siemens 社と提携して第8図のような Demag 型電気炉を製作して販売している。Elkem 型と Demag 型とはそれぞれ特長を持っていて優劣の判断はつきかねるが、前者は Fisicaa 工場に



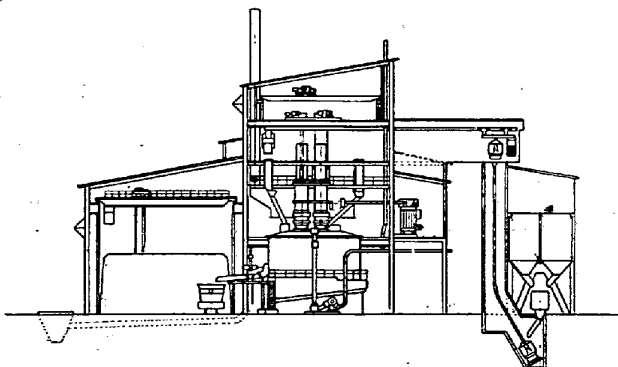
- | | | | |
|---|-----------|---|---------|
| a | 炉 体 | h | 中心原料装入管 |
| b | 炉蓋の外側のリング | i | 装入シュート |
| c | 電極把持器 | k | 装入クレーン |
| d | 原料装入口 | l | 変圧器 |
| e | 電 極 | m | パンカー |
| f | 外側原料装入管 | n | 運搬用バケット |
| g | 回転式原料装入機 | o | 運搬装置 |

第8図 12,000K.V.A. Demag 型電気製鉄炉



1. 入荷原料の荷卸場所
2. 屋内貯蔵槽
3. 燐炭乾燥用ガス燃焼廻転炉
4. 燐炭篩設備
5. 焼結設備への供給槽
6. 焼結装入物用のドラム型ミクサー
7. 4個のグリナワルト鍋を持つ焼結設備
8. 秤量部へ焼結鉍輸送用モノレール
9. 自働秤量機に対する24個の供給槽
10. 3基のチスランド・ホール型鉄鉄炉を有する炉場、第4番目の左の炉は建設中（1957.4月現在）
11. 2炉に対するガス洗浄装置
12. 2炉に対する水滓ならびにポンプ場
13. 90t天井クレーンを持つ出鉄場
14. 二重スタンドのある注鉄機
15. 事務所および副利建物

第6図 製 鉄 設 備 の 一 般 配 置 図



第7図 33,000K.V.A. Elkem 型電気製鉄炉

大型実験炉を作つて実際の操業を基礎に設計した実用型電気炉であつて、後者は理論的根拠を基礎に完璧に近い設計をほこりとしている。わが国では主として旧式の開放炉で操業しているが大同製鋼では密閉型電気炉を製作している。

11. 電 気 炉 操 業

砂鉄の製造には従来から開放型の電気炉が用いられ砂鉄も粉末のまま使われている。還元材としては瓦斯コークスあるいはコークブリーズ、造滓材としては石灰石

が使用される。コークブリーズは瓦斯会社あるいは製鉄所から副産物として出るもので値段は安い。将来密閉炉が採用されるときは、塊コークスが必要となる。いずれも 80% 以上の固定炭素をふくみ、ときには無煙炭を少量コークスに混合して使用することがある。コークスは理論量より 4~6% 多く使っている。還元材が増すと鉄中の炭素珪素満俺は増加し硫黄は下る。電力消費量はコークス過剰率 4% 位で操業するときが最低で、これを過ぎると増加する。砂鉄鉄製造の原材料、電極、ならびに電力使用量などは砂鉄の成分によつて多少ことなるがその平均原単位は第 12 表のとおりである。将来密閉

第 12 表 砂鉄鉄製造の原単位 (t 当)

項 目	原 単 位
砂 鉄	1,900 (kg/T)
コ ー ク ス	400 //
石 灰 石	350 //
電 極 ペ ー ス ト	15 //
電 力	2,650 (K.W.H./T)

炉で操業するようになると原単位はいちじるしく向上すると思われる。鉍滓の組成は砂鉄鉄の成分ならびに原単位に大きな影響をおよぼすもので、鉍滓の中の TiO_2 の量が増加するにつれて珪素含有量は減少する。砂鉄を原料として高炉で鉄鉄を製造する研究は随分おこなわれたが、未だに工業化されていないのは、砂鉄中の TiO_2 がカーバイドあるいは窒化物となつて鉍滓の融点を高め操業を不可能ならしめるためである。電気炉では鉍滓が窒素にふれる機会がなく、また温度も自由に上げることができるので鉄鉄中に炭素の吸収が充分におこなわれ高炭素低珪素鉄となる。鉍滓の組成は鉄鉄の成分に影響をおよぼす外、電力消費量に大きくひびくもので、長い研究と経験の結果最もよい範囲は塩基度 (CaO/SiO_2) 0.75~0.90 のときで、その組成の一例を示すと第 13 表のとおりである。

新しくして製造された砂鉄の成分は第 14 表のとおりである。

表にあるとおり砂鉄鉄の不純物は極めて低いのが特長で、とくに Cu の低いことは熱間鍛圧の作業を容易ならしむるもので、別名を低銅鉄とも呼ばれていること

第 14 表 砂鉄鉄の成分

成 分	比率範囲	平均比率
C	4.1 ~ 4.5	4.35
Si	0.20 ~ 0.35	0.25
Mn	0.20 ~ 0.30	0.25
P	0.07 ~ 0.35	0.25
S	0.03 ~ 0.05	0.04
Cu	0.01 ~ 0.02	0.01
Cr	0.010 ~ 0.05	0.03
V	0.10 ~ 0.50	0.25
Ti	0.10 ~ 0.25	0.20

(註) Sn, As, Sb は trace である。
N の含有量は少ない。

は前述のとおりである。Sn As Sb に到つては trace である。含有瓦斯量とくに窒素瓦斯の含有量が低く、水素瓦斯も現在は湿つた粉鉍を使用するので多いが将来焼結鉍で密閉炉操業になると相当低下するものと思われる。V, Ti などは高炉鉄より多いようであるが、これは後にくる製鋼作業のとき簡単に除去されるもので害にはならない。砂鉄鉄は以上のような特長をもつ鉄鉄であるから、近時その優秀性がみとめられ、特殊鋼方面に需要が急に開けてきた。さらにこれから低硫鉄、低磷鉄、base metal (BM) 高純度鉄などの製造がおこなわれている。

低硫鉄が必要なときは取鍋の中へ脱硫剤とし、曹達灰苛性曹達、カーバイド、生石灰などを加え熔鉄とよく混和して脱硫する。現在では主として粒状曹達灰が使用されている。この脱硫法は取鍋 2 個を用意してまず電気炉より出た熔鉄を第一の取鍋に移しこの中で鉍滓を完全に除去する。次にこれを第二取鍋に移す、この際 200°~300°C に予熱した曹達灰を樋を通して徐々に流しこむ。第二取鍋はあらかじめ 600~700°C に予熱しておいて、熔鉄の冷却を防ぐ。このとき曹達灰は熔融して脱硫作用の強い曹達滓を作る。slag 反応を助けるためにさらに第一取鍋に戻す。鉄鉄中の硫黄を 0.03% 以下にするためには、熔鉄中の硫黄の含有量に従つて曹達灰の使用量を増す必要がある。硫黄含有量と曹達灰使用量との関係は第 15 表のとおりである。一回の脱硫ではたとえ曹達灰を多く使用しても 0.02% 以下に下すことは困難である。この曹達灰処理のとき、C, Si, Mn 同時に多少

第 13 表 鉍 滓 の 化 学 成 分

	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO	TiO	S	Slag (kg/T.pig)
1	19.60	9.85	25.90	8.05	2.90	4.20	28.90	0.40	600
2	22.23	4.13	26.62	12.52	2.65	6.62	24.45	0.25	670
3	23.21	2.40	27.75	11.60	2.11	4.96	26.75	0.26	727
4	23.35	7.89	27.01	12.01	1.05	4.07	24.24	0.38	600

第 15 表 鉄鉄中の硫黄と曹達灰使用量との関係

熔鉄中の硫黄含有量	曹達灰使用量
0.02~0.05	6 kg/T 以上
0.05~0.07	10 "
0.07~0.08	11 "

は低下する。

脱炭時の熔鉄温度は脱炭効果に大きな関係を有するもので、1,320°C 以上が良好で、1,400°C をこえるとかえって低下する。

12. 低 磷 鉄 の 製 造

砂鉄鉄製造のときその原料に、低磷砂鉄を使用し、還元材に磷の低い炭材を選ぶときは磷分 0.07~0.12% の中磷鉄ができる。低磷鉄製造の原料鉄としては炭素含有量 4.3% 以上で珪素含有量 0.25% 以下のものがよい。一般に砂鉄鉄は低温で還元され珪素含有量低くその温度は 1,250°C~1,300°C である。この熔鉄の脱磷にはエル式電気炉または重油燃焼の二次精錬炉が用いられ、鉍石(主として砂鉄)または酸素瓦斯で washing する方法がおこなわれている。

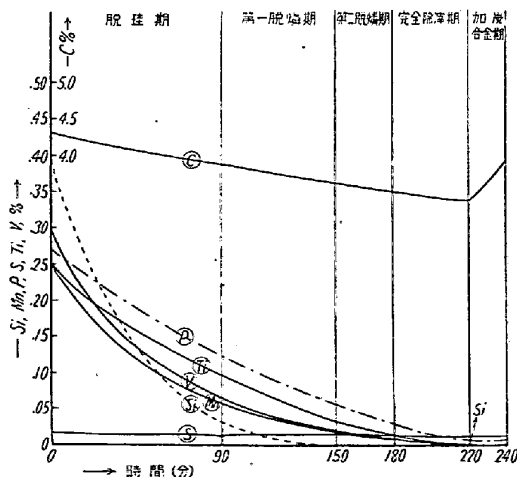
13. 鉍石法による低磷鉄の製造

鉍石法による低磷鉄製造の場合二次炉での操業順序は次のとおりである。

熔鉄注入、脱珪期、第一脱磷期、第二脱磷期、完全除滓期、加炭合金期、出鉄

第 9 図は鉍石法による脱磷操業中各種成分の変化を示すもので第 16 表はこの操業中における各種原材料ならびに電力消費量を示すものである。

砂鉄は赤鉄鉍に比較して酸素含有量少なく酸化反応は



第 9 図 砂鉄鉄の脱磷 (鉍石 washing)

第 16 表 低磷鉄製造(鉍石法)原単位

項 目	脱珪期	第一第二脱磷期		完全除滓期	加炭合金期	合計
		第一脱磷期	第二脱磷期			
砂 鉄	200	120	30	—	—	350
生 石 灰	20	15	10	5	—	50
銀 砂 石	6	3	3	1	—	13
螢 石	—	—	4.5	5.5	—	10
ピッチコークス	—	—	—	—	16.5	16.5
Fe-Si (75%)	—	—	—	—	24	24
Fe-Mn (60%)	—	—	—	—	18	18
電 力	180	109	91	64	73	517

(註) 電力 K.W.H./T 其他は kg/T

緩慢で精錬時間長く電力消費量も大きいですが、鉍滓成分を適当にすると脱磷は確実にこなされる。酸化反応が進むにしたがつて鉍滓は盛り上り炉壁部に附着し、これが合金加炭操作の際復磷しやすくなるから除滓は完全におこなうことが大切である。この方法は造滓用の砂鉄の使用量が多く、何回も除滓造滓をくり返す。この時電弧による局部加熱を引起し脱炭が進むので最後に加炭し合金鉄を加えて所期の規格のものを造る。

14. 酸素瓦斯法による低磷鉄の製造

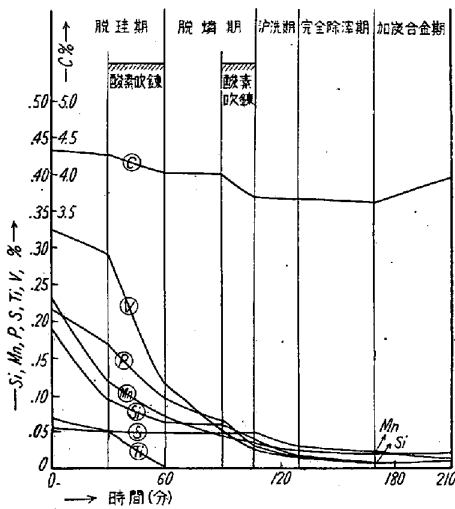
酸素瓦斯による脱磷には空気吹込みによる脱磷、酸素瓦斯で富化した空気吹込みによる脱磷、酸素瓦斯吹込み脱磷など色々あるが、最近では主として酸素瓦斯吹込み脱磷法がおこなわれている。造滓材としては砂鉄、生石灰、川砂、螢石などが使用される。容量 5~6t の二次炉では酸素の吹込圧力 2~4 kg/cm²、吹込角度 9°~10°、吹込鋼管の径 1/2" (あるいは 15 耗) を使用する。この場合脱炭が鉍石法よりやや早くおこなわれる。脱炭を少なくおさえて脱磷を完全におこなうことが大切である。二次炉での操業の順序は次のとおりである。

熔鉄注入、脱珪期、脱磷期、炉洗期、完全除滓期、加炭合金期、出鉄

第 10 図は酸素瓦斯法による脱磷操業中各種成分の変化を示すもので、第 17 表はこの操業中における各種原材料ならびに電力消費量を示すものである。

この製法においてとくに注意すべき点は、造滓材が少ないので鉍滓中の磷含有量が高く、これが炉内に残留すると、加炭合金時に復磷する原因となることである。この高磷滓を除去するために高塩基性で流動性の良い鉍滓を造る。すなわち第 2 回の除滓後、酸素瓦斯を湯面よりやや高きところに吹きつけて、炉壁に附着する鉍滓を溶かし落とす。この操作を炉洗と称し、この後に生石灰螢石の混合滓を造る。かくすることにより脱炭を少なくして

脱磷を完成することができる。



第 10 図 砂鉄銑の脱磷 (酸素瓦斯 washing)

第 17 表 低磷銑製造 (酸素瓦斯法) 原単位

項目	脱珪期	脱磷期	炉洗期	完全除滓期	加熱合金期	合計
酸素鉄	6	5	1	2	—	14
砂生石	31	30	—	—	—	61
螢石	15	14	8	8	—	45
ピッチ	—	—	2.5	2.5	—	5
コー	—	—	—	—	21.8	21.8
ス	—	—	—	—	21.8	21.8
Fe-Si (75%)	—	—	—	—	29.7	29.7
Fe-Mn (60%)	—	—	—	—	29	29
電力	100	58	29	50	29	256

(註) 電力 K.W.H./T 酸素 m³/T
其他は kg/T

なお電気炉の代わりに重油炉を使用することができる。この場合は局部的加熱なく比較的脱炭が少ない特長がある。第 18 表は各種脱磷操業における原単位の比較を示すものである。

第 18 表 各種脱磷精錬における原単位比較

項目	電気炉		重油炉 酸素吹錬
	砂鉄精錬	酸素吹錬	
砂鉄	350 kg	61 kg	118 kg
生石	50"	45"	36"
螢石	10"	5"	3"
川砂	13"	—"	19"
Fe-Si (75%)	24"	22"	24"
Fe-Mn (60%)	18"	30"	19"
ピッチ	16"	22"	—
コー	—	—	—
ス	—	—	—
電力使用量	517K.W.H.	256K.W.H.	—
電極	11 kg	6 kg	—
重油	—	—	120 l
酸素	—	14m ³	8m ³

第 19 表 低磷銑の成分

C	Si	Mn	P	S	Cu
3.96	1.49	1.05	0.013	0.014	0.016
3.92	1.87	1.37	0.016	0.015	0.020
3.93	1.16	1.12	0.017	0.012	0.013
3.78	1.15	1.06	0.013	0.011	0.017

かくして造つた低磷銑は第 19 表のごとき成分を有している。主として酸性平炉に使用されるが、炭素、珪素、満庵の含有量は加炭合金において希望の成分に合すことができるので鑄物銑としても瑞典の木炭銑に近い性質を有するようになった。近時ロール銑、鑄型銑としても木炭銑に代つて使用される傾向にある。また高純度銑鉄として高級特殊鑄鉄の重要な原料となつている。

15. Base metal (BM) の製造

BMは主として熔接棒、純鉄、ステンレス鋼、磁石鋼などの特殊鋼の母材となるもので、戦後わが国で研究され発達したもので熔銑を二次炉で酸素瓦斯を用い高度の脱炭をおこなつて造る。

二次炉で酸素瓦斯吹錬をおこなうとき、熔銑は脱炭の進行とともに熔鋼となり熔融点が上昇する。したがつて炉床炉壁天井などの耐火物を損傷するので、酸素の吹き込み場所、圧力、角度、時間などに注意し、造滓材の配合とその量を適当にし、除滓をよくして復磷を防止することなどが大切である。操業法としてはまず二次炉に造滓材を加え炉の熱を利用してあらかじめこれを加熱したところに熔銑を加えて通電し温度を約 1,300°C に上げる。次に第一回酸素吹錬をおこなつて C を 2.5% 位に下げこの時できた高磷滓を除く。ふたたび造滓材を加えて通電し第二回酸素吹錬をおこなつて C を所要のところまで下げて後、除滓する。第三回造滓をおこなつて炉洗のため第三回酸素吹錬をおこない炉壁に附着する鉍滓を完全に除去する。次に生石灰と螢石とで第四回造滓をおこなつて後成分を調整をして適温にあげ出鋼する。

BMの成分は必要に応じて炭素含有量 0.02% 以下より色々変えることができるが、一般に C が低くなるほど製造原単位は上り生産費は高くなる。第 20 表は BM の成分とその製造原単位を示すものである。

16. 高 V 滓の製造

V は特殊鋼および化学触媒などに利用されその大部分は V 精鉱として輸入し年額凡そ 3 億圓に達している。砂鉄中の V は V₂O₅ として存在し 0.1~0.3% 位ふくまれているが、山梨県猿橋、青森県野牛産の砂鉄の中には

第 20 表 Base metal の成分とその製造原単位

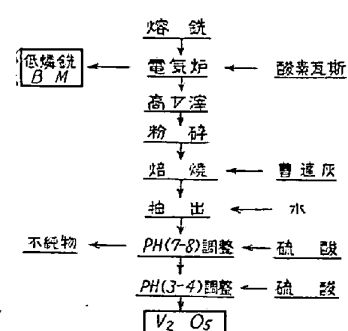
項 目	No. 1	No. 2
化学成分		
C	<1.0 %	<0.02%
Si, Mn	<0.05%	<0.02%
P, S	<0.02%	<0.01%
Cu	<0.03%	<0.02%
熔砂	1,130 kg	1,250 kg
生石	63%	110%
螢石	65%	120%
Al	4%	5%
Fe-Si	0.5%	2.5%
電電酸	4%	—
力	300K.W.H.	600K.W.H.
極	4.1 kg	8.5 kg
素	63m ³	110m ³

第 21 表 高 V 砂鉄鋳の成分

産地	Fe	SiO ₂	TiO ₂	MnO ₂	P	S	V
猿橋	51.11	6.26	6.25	0.53	0.011	0.015	0.98
野牛	60.00	3.60	7.93	0.56	0.048	0.013	0.50

第21表に示すように多量のVをふくんでいる。

砂鉄中のVは鉄を造るときその過半数が鉄に移行する。この熔鉄より V₂O₅ を回収する工程は第 11 図のとおりである。



第 11 図 砂鉄鉄より V₂O₅ の回収工程図

砂鉄鋳中のVの含有量は砂鉄の産地によってことなるが 0.25~0.5% 位である。この熔鉄を二次精錬炉で酸素吹錬をおこない低磷鉄, BM, 純鉄などを造るとき, Vの大部分は初期に酸化して鋳滓中に移る。高V鋳滓を造るにはVの高い熔鉄をえらび, 鋳滓の量を少なくして, 酸化条件, 鋳滓回収の時期に注意する必要がある。5 t エル型電気炉で酸素吹錬をおこない高V鋳滓を回収する場合, 酸素吹込鋼管の径 15 mm, 圧力 2 kg/cm², 酸素吹込みの速度は 2m³/mn 位が適当である。鋳滓中のVは 6~9% で, 回収率 70~80% となる。第 22 表は高V鋳滓の組成を示すものである。

第 22 表 高V滓の組成

V	FeO	CaO	SiO ₂	CaO/SiO ₂
6.74	31.42	24.15	13.80	1.75
7.35	28.49	38.60	12.70	3.04
7.65	33.25	24.60	12.10	2.03
8.46	30.40	27.10	10.00	2.71
8.50	24.65	29.82	12.30	2.42

17. V の抽出

高V滓から V₂O₅ を抽出するには曹達灰焙焼法が採られている。この時の最良の焙焼条件としては各種研究と操業の経験から次のとおりである。

焙焼温度 750°~800°C

焙焼時間 1時間

曹達灰使用量 理論量 (V 1 kg に対し Na₂CO₃ 3.13 kg) の 1.2 倍

このとき鋳滓中のVは可溶性の Na₂VO₄ となるからこれに水を加え抽出すると Na₂VO₄ は抽出液に入るが, これと同時にまた鋳滓中の SiO₂ MnO Al₂O₃ Cr₂O₃ P₂O₅ なども抽出液に移る。抽出液の組成の一例を示すと第 23 表のとおりである。

第 23 表 抽出液の成分 (g/l)

V	SiO ₂	MnO	P	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
17.02	3.25	0.27	0.057	0.29	0.42
15.62	2.80	0.34	0.048	0.63	0.41

抽出液中の不純物はあらかじめ除去する必要がある。抽出液は強アルカリ性であるからこれに H₂SO₄ を加え PH 7~8 にすると SiO₂, Al₂O₃ はゲル状となつて沈殿するゆえ濾過して除去する。Pは硝石灰 (Ca(OH)₂) を加えて磷酸カルシウムとして除去し Mn は MnO₂ として除去する。斯くして不純物を除いた抽出液に H₂SO₄ を加え, PH を 3~4 に調整すると V₂O₅ が沈殿する。抽出液中のVの濃度が濃いほど V₂O₅ の沈殿回収率は良好である。Cr はVを採つた廃液中に残る。

斯くして製造した V₂O₅ は乾燥しフェロバナジウム (Fe-V) の製造に供するほか, さらに精製して化学薬品としあるいは触媒用に使用する。Fe-Vを造るにはV₂O₅ と純鉄削粉とアルミニウム粉末とを配合してテルミット法によつて製造する。その成分は第 24 表のとおりである。

第 24 表 Fe-V の成分

V	C	Si	Mn	P	S	Al
53.63	0.10	0.49	0.09	0.019	0.036	0.55
53.60	0.08	0.56	0.10	0.030	0.027	0.58

砂鉄中のVはまた高チタン滓より TiCl₄ を造るとき同時に塩化物となるが精製の工程中硫化水素 (H₂S) で硫化Vとして除去される。これを原料として V₂O₅ を作ることができるが, その量はわずかである。

18. 高チタン滓の製造

砂鉄中には産地によつて多少ことなるが TiO_2 が 8~12% 位ふくまれている。これで砂鉄銑を造るときは鉍滓中に第 14 表に示すように 22~28% 位の TiO_2 がふくまれるようになるが現在は利用されていない。高チタン滓の製造には高チタン砂鉄が用いられる。廃砂から回収した高チタン砂鉄の成分は第 6 表のとおりで TiO_2 が 30~32%, Fe が 40~42% 位である。

砂鉄から TiO_2 を製造する研究は明治時代からおこなわれているが、昭和 10 年には堺化学、大日本肥料が生産に着手した外に、不二塗料、日本チタニウム、栃木化学、日本砂鉄などでも計画されたようであるが、現在にいたるも工業的生産はおこなわれていない。

昭和 26 年頃より金属チタニウムの研究が進み、大阪チタニウムがその製造工場を尾崎に建設するにおよんで砂鉄の中の TiO_2 を高チタン滓として回収する研究および工業が急速に発達した。

金属チタニウム製造用の高チタン滓の希望成分は次のとおりである。

TiO_2 SiO_2 FeO MgO+MnO

83%以上 規定せず 4%以下 2.6%以下

高チタン滓中の Ti は TiO_2 , Ti_2O_3 , TiO の形で存在し $TiCl_4$ 製造原料としては、還元の進んだほど塩素の消費量が少なく優良である。83%以上の TiO_2 をふくむ鉍滓を造るためには、輸入イルメナイト、不溶性残渣(イルメナイトよりチタン白製造のとき硫酸に不溶性の残渣で TiO_2 48~56% をふくむ)などを配合する。輸入イルメナイトおよびこの残渣の成分は第 25 表のとおりである。

第 25 表 輸入イルメナイト及び不溶性残渣の成分

産地	TiO_2	SiO_2	Fe	Al_2O_3	MgO	MnO	Sn
濠洲	56.0	4.5	19.0	1.5	1.0	2.5	—
マレー	52.5	1.3	32.0	1.8	1.0	4.0	0.52
残渣	48~56	4~5	16~23	0.5~2.0	1.0~2.0	2.0~2.5	0.4~0.7

高チタン滓の製造には 2,000~3,000 K.V.A. の半密閉式電気炉が使用されているが、将来は密閉式電炉を採用すべきであると思われる。高チタン砂鉄および残渣 60~80% 輸入イルメナイト 40~20% の配合で TiO_2 83~87% のものを造っている。

電気炉の中では高チタン滓と同時に低炭素銑が生産される。この低炭素銑は高温で炭素を吸収するゆえ炉床に

は炭素質ライニングの代りにマグネシアライニングが用いられる。このマグネシアライニングでも修理回数が多くなるので、実際の操業では Self lining 方式が採用されライニングの浸蝕を防いでいる。

金属チタニウム用高チタン滓の生産高は第 26 表のとおりである。製品の高チタン滓および副産物としてできる低炭素銑の成分は第 27 表および第 28 表のとおりである。

第 26 表 高チタン滓の生産高 (単位 t)

会社名	昭和28年度	29年度	30年度	31年度	32年度
日曹製鋼	25	476	1,336	2,988	2,170
北越電化	839	775	1,585	2,911	1,783
盛岡電化	89	392	1,473	1,557	1,233
大阪チタニウム	1,141	935	1,278	1,636	1,208
新報国製鉄	432	—	—	—	—
日本高周波	15	—	—	—	—
小松製作所	—	81	—	—	—
東京製鋼	—	—	—	26	26
合計	2,541	2,659	5,672	9,118	6,420

(註) 特殊鉄協会調査

第27表 高チタン滓の成分

第28表 低炭素銑の成分

成分	%	成分	%
T. TiO_2	86.8	C	1.5 ~ 2.0
(TiO_2)	17.5	Si	0.1 ~ 0.6
(Ti_2O_3)	64.2	Mn	0.1 ~ 0.13
FeO	4.15	P	0.15 ~ 0.20
SiO_2	7.85	S	0.3 ~ 0.4
Al_2O_3	3.27	Ti	0.1 ~ 0.6
MnO	3.04	V	0.15 ~ 0.18

生産高が昭和 31 年度が最高で昭和 32 年度に減少しているのは米国の国内事情により輸出がいちじるしく減少したためである。したがって現在チタニウム業界は挙げて内需の開拓に努力しているので新規国内需要も徐々にあるが増加している。

第 29 表は高チタン滓製造の原単位を示すものである。原材料使用量や電力ならびに電極などいずれも原単位の高いのは電気炉の反応温度が高い上に半密閉式電炉を用いているので原材料の揮発ならびに飛散するものが多くまた熱の放散が大きいためである。

第 29 表 高チタン滓製造の原単位

項目	配 合
高チタン砂鉄	820 kg
不溶性残渣	680 〃
輸入イルメナイト	740 〃
電力消費量	4,400 K.W.H.
電極ペースト	95 kg
コークス	300 〃

第 30 表 Sorel slag と国産チタン滓の成分及び蒸解率

銘柄	TiO ₂	FeO	Fe	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	蒸解率
Sorel slag	70	8	<0.5	<0.2	<0.5	<0.3	<5	<6	<5	<3	90~93
国産チタン滓	67.29	8.24	0.85	0.044	0.78	6.81	10.58	5.62	1.44	0.15	88~90

上記配合で高チタン砂鉄より高チタン滓を造る場合高チタン滓 t 当り約 600 kg の副生低炭素銑鉄ができる。

チタン白製造用チタン滓は TiO₂ の品位は低く 65% 以上で充分であるが硫酸処理の場合蒸解率が 90% 以上が望ましい。わが国ではまだ工業的生産はおこなわれていないが研究はさかんにおこなわれている。石原産業ではカナダのケベックより slag(Sorel slag と称されている)を輸入してチタン白の製造をおこなっている。Sorel slag と国産チタン滓との成分ならびに蒸解率の比較は第 30 表のとおりである。

砂鉄選鉱の廃砂より採つた高チタン砂鉄を原料にすれば、Sorel slag に近い成分のものはできるが、蒸解に時間を要し率も悪い。生産費も Sorel slag と競走できるまでには到っていないのでまだ工業的生産はおこなわれていないが近い将来には砂鉄からチタン滓、チタン白と一貫した工業が確立されるものと思われる。

19. 副生瓦斯の利用

砂鉄銑製造のとき発生する瓦斯は、鉍石の品位、還元材の成分、鉍滓の組成、操業の方法などで多少ことなるが凡そ次の成分である。

CO 78%, H₂ 6%, CO₂ 14%, CH₄ 1%, N₂ 1%, 銑鉄 t 当り約 650m³ の割で発生するから炉を密閉して回収する。CO 瓦斯や H₂ をふくんでいるので、アンモニア、メタノールなどの合成化学の貴重な原料瓦斯となり、また金属の還元にも使うこともできる。瓦斯の発熱量は 2,600 Kcal で発生炉瓦斯 (1,500 Kcal) とコークス炉瓦斯 (5,000 Kcal) の中間に位し燃料として使用することもできる。

20. 結 言

日本に産出する砂鉄は銅をふくむことが少なく品質優良な鉄鉍石であるばかりでなく TiO₂、V などもふくんだ貴重な鉍石である。

まずその埋蔵量を調べ、現在おこなわれている採掘と選鉱の方法を記述した。次にこの砂鉄を原料とし電気炉で砂鉄銑の製造をおこなうにあたり、その製造設備、生産高、製造原単位、鉍滓の組成、砂鉄銑の成分、特長などを調べた。さらに熔銑より低磷銑、base metal の製造ならびにそれらの成分用途を調べ、最後に V の回収と高チタン滓の製造方法を記述した。砂鉄利用と砂鉄銑を中心に斯業の概要を記したものである。(昭. 33—6 月寄稿)