

鐵 と 鋼 第十六年 第七號

昭和五年七月二十五日發行

論 說

二三の廢棄鐵鑛石利用に關する研究 (I)

(昭和5年5月9日受理)

谷 山 巖

STUDY ON THE UTILIZATION OF SOME DISUSED IRON-ORES.

By I. TANIYAMA.

Abstract. We have many iron-bearing materials in earth-crust, which contain considerable amount of Iron. But only a few of them are utilized as the industrial raw material at present and the rest of them—iron-sand, titaniferous iron-ore, iron-pyrite, purple-ore etc.—are not used to the same purpose, in spite of their high contents of iron, because of their refining process is not yet found.

The author, therefore, attempted to get pig-iron and steel from these disused Ores. the experiments were carried in 3-ton basic Electric-furnace by adding several kinds of reducing agents in varying quantities under special attentions to the charging method and was able to find out an easy refining method of them.

The author got various kinds of iron by this method and concluded that it is most economical to produce the pearlitic cast-iron or the Steel directly, in the case of utilizing these ores.

目 次

第1章 緒 論
第2章 海綿鐵に關する實驗
第1節 概 說
第2節 海綿鐵の熔解狀態實驗
A. 全部海綿鐵使用銑鐵製造
B. 海綿鐵及鋼屑少量配合銑鐵製造
C. 海綿鐵及鋼屑多量配合銑鐵製造
D. 間接製鋼實驗
第3節 海綿鐵の還元程度實驗
A. 木炭使用還元實驗
B. 石炭使用還元實驗
C. 骸炭使用還元實驗
D. 黑鉛使用還元實驗
E. 間接製鋼實驗
第4節 經濟的考察
第3章 各種廢棄鐵鑛石使用銑鐵製造

第1節 概 說
第2節 砂鐵鑛使用實驗
第3節 チタン鐵鑛使用實驗
第4節 紫鑛使用實驗
第5節 スケール使用實驗
第6節 チタニウム回收
第7節 電氣製銑に關する考察
第8節 製銑及間接製鋼實費調
第4章 パーライト鑄鐵製造
第1節 概 說
第2節 鋼屑使用實驗
第3節 鋼屑及銑鐵少量配合實驗
第4節 鋼屑及銑鐵多量配合實驗
第5節 海綿鐵使用實驗
第6節 砂鐵鑛使用實驗
第7節 各種製造法の比較
第8節 經濟的考察

第5章 直接製鋼實驗
第1節 概 說
第2節 鋼屑使用豫備實驗
第3節 海綿鐵使用豫備實驗
第4節 チタン鐵鑛使用實驗
第5節 砂鐵鑛使用實驗
第6節 スケール使用實驗
第7節 紫鑛使用實驗
第8節 直接製鋼法に關する考察
第9節 經濟的考察
第6章 アームコ鐵製造實驗
第7章 還元劑と還元率並に含有炭素量との關係
第8章 粉鐵鑛處理に關する考察
第9章 結 論

第 1 章 緒 論

我地表には鐵分を含む鑛石は其種類甚だ多いのであるが、工業用原料として利用されてゐるものは極めて少く其他の多くのもの、即ち砂鐵鑛、チタン鐵鑛、黃鐵鑛、含銅硫化鐵鑛及び紫鑛等は多量の鐵分を含有しながら未だ完全なる精鍊法が發見されない爲めに工業用原料となし得ず空しく風雨に曝すがまゝに任してゐるのである。中にも砂鐵は古來我國唯一の製鐵原料であつたが、近代的製鐵法の原料としては不適當なる爲め幾億噸もの寶の山を死藏せしめねばならぬ運命に蓬着してゐるのである。先年長谷川博士⁽¹⁾が砂鐵鑛に関する完全なる論文を發表され斯界に或曙光を與へられしも未だ工業的に有利に作業せらるゝまでには達してゐないのである。又著者も砂鐵鑛及び海綿鐵に関する實驗の一部を發表せしが、それは單に試験に過ぎず到底工業的作業には及び得なかつたのである。其他にも幾多の文献⁽³⁾あるも多くは實驗室的の研究に過ぎないのである。

それ故に著者は其後如何にすれば有利に展開せられ得るかを研究したのであるが、先づ海綿鐵にて豫備實驗をなし而して後砂鐵鑛に及ぼしたのである。著者の研究方針は初め原料中の酸化鐵を充分還元する爲めに、エルー式 3 吨鹽基性電氣爐にて一旦銑鐵を造り、それより鋼を製造せんと企てたのであるが經濟的ならざることを發見した。然し幾多實驗の結果は直接製鋼法も必らずしも經濟的に不可能でないとの暗示を得たのである。即ち還元劑の種類及び量を種々にかへ、又其裝入方法に特別なる注意を拂へば作業極めて容易にて工業的作業を遂行し得ることを推定し得たのである。

次にチタン鐵鑛は銑鑛爐に用ふれば銑滓ねばりて作業を阻害し、又平爐に用ふるも普通の鐵鑛に比し其結果不良である⁽⁵⁾。又紫鑛も其少量は銑鑛爐に用ひれども積極的に用ひる能はず其多くは埋立其他の餘り有利ならざる用途に流用されてゐるのである。我國には硫化鐵鑛及び含銅硫化鐵鑛の埋藏量は極めて豊富である。殊に含銅硫化鐵鑛は小島博士⁽⁶⁾の調査の如く夥しき數量であり、そしてラメン式精鍊法⁽⁶⁾によりて完全に銅を採取し得るのであるが、其残滓たる紫鑛は尙利用されてゐないのである。

それ故に是等の所謂廢棄鐵鑛を利用し得るならば邦家の爲め多大の裨益あるであろうと思ひ、砂鐵鑛と共に研究せしに稍々良好なる結果を得たのである。然し煩雜なる現場作業のかたはら不完全なる研究機關にてなせしもの故到底完全なる成績は得られないが、ほゞ目的だけは達せられし故に唯有りのみを書き記して幾分の参考に資せんと思ふのである。

第 2 章 海綿鐵に関する實驗

第 1 節 概 説 先きに著者⁽²⁾は久慈製鐵所製海綿鐵を用ひて鋼を製造せしに其原料に還元鐵少き爲め其成績極めて悪く其歩留り僅かに 44 % に過ぎなかつたのである。それ故に海綿鐵中の酸化鐵を還

(1) 長谷川熊彦 鐵と鋼 第 12 年第 2 及 4 號 (2) 谷山巖 鐵と鋼 第 14 年第 4 號 (4) 中村幸雄 鐵と鋼 第 6 年第 7 號 (5) 未兼要 鐵と鋼 第 4 年第 4 號 (6) 小島甚太郎 鐵と鋼 第 12 年第 1 號 (3) 後尾文獻參照

元して其歩留りをよくする爲に、先づ銑鐵を造り更にそれより鋼を製造せしに稍々良結果を得たのである、然し作業方法にも種々研究せしが經濟的には銑鐵とするも鋼とするも何れも有利なる結果は得られなかつた。此實驗には初め團鑛狀のものを用ひて其溶解状態を研究し、次に粉末狀即ち砂鐵のまゝの形態のものを用ひて其還元程度を研究したのである。次に便宜の爲め兩者を區別して述べて見やう。

第 2 節 海綿鐵の溶解状態實驗

(A) 全部海綿鐵使用銑鐵製造 先に著者が實驗したる第 1 表の如き成分の團鑛狀海綿鐵 3 吨に骸炭粉 200 kg 及び石炭末 200 kg (各々 3—8 mm 大小) を加へて送電せしに、表面より熔けて電極の下り悪しく可成長時間を要したのである。然し酸化鐵は殆んど還元され銕滓には TiO_2 多量に含まれてゐたが大なる故障は感じなかつた。よく TiO_2 が銕滓中に多量ある時は作業困難であると云はれてゐるが著者の實驗にては酸化鐵と共に存在する場合より作業は寧ろ樂である。換言すれば TiO_2 の存在には何等憂慮すべき必要なことを確めたのである。

第 1 表 團鑛狀海綿鐵の成分 (%)

SiO ₂	TiO ₂	全鐵分	還元鐵	Fe ₂ O ₃	FeO	比重
0.86	16.41	76.56	56.65	3.76	22.02	5.80
使 用 材 料				作 業 成 績		
海綿鐵		3,000 kg	作業時間	4 時 50 分		
石炭末		200 "	使用電力	3,100 K.W.H.		
骸炭末		200 "	製品重量	1,700 kg		
全還元劑		400 "	製品歩留	56 %		
同上割合		13 %	吨當電力	1,850 K.W.H.		

銕銑及銕滓の成分 (%)

銕						銕 滓						
C	Si	Mn	P	S	Ti	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	CaO
2.25	0.15	0.09	0.095	0.039	—	10.75	3.46	1.13	6.44	8.72	30.41	38.09

(B) 海綿鐵及鋼屑少量配合銑鐵製造 前述の實驗にては餘り長き時間と多くの電力を消費せし故に電極の下の方に少量の鋼屑及び旋盤屑を装入したるに、溶解容易にて稍々良好なる結果を得た。然し未だ充分とはいひ難いのである。100 kg の鋼屑を還元して 2.5 % の炭素を含有する銑鐵とするには約 5 % 即ち 5 kg の還元劑を要する故に、450 kg の還元劑は海綿鐵に對しては約 18 % に當るのである。

使 用 材 料				作 業 成 績		
海綿鐵		2,500 kg	作業時間	3 時 10 分		
鋼屑		100 "	使用電力	2,250 K.W.H.		
骸炭末		100 "	製品重量	1,650 kg		
石炭末		350 "	海綿鐵歩留量	1,550 kg		
還元劑割合		18 %	同上歩留率	62 %		
石 灰		150 kg	吨當り電力量	1,452 K.W.H.		

製品の成分 (%) C. 2.51 Si. 0.09 Mn. 0.06 P. 0.091 S. 0.044 Ti. —

(C) 海綿鐵及鋼屑多量配合銑鐵製造 以上 2 回の實驗にて海綿鐵の溶解は全く其装入方法の如何によりて非常に異なるものであることを知つた。即ち上部表面より溶かす時は極めて長き時間を要する

が底部より溶かすやうにすれば速かである。それ故に成る可く容易に熔解せしむる爲めに爐底に骸炭末及び石炭末を入れ其上に海綿鐵と鋼屑とを装入し更に旋盤屑、海綿鐵及び石炭末をよく混合せしめて装入した。殊に爐底の鋼屑と電極とを初めよりよく連絡せしむる爲めに電極の下に旋盤屑を装入して送電せしに極めて速かに熔解し普通の作業と殆んど異なる所なく順調に進行したのである。

使用材料					作業成績						
海綿鐵	旋盤屑	合計	骸炭末	石炭末	還元劑割合	作業時間	使用電力	製品重量	海綿鐵歩留量	率	純當り電力量
2,800kg	200"	3,000"	200"	300"	18%	時分 2,45	1,800K.W.H	1,850kg	1,650"	58.9%	1,090K.W.H

銻鉄及銻滓の成分(%)

銻鉄						銻滓						
C	Si	Mn	P	S	Ti	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
2.64	0.13	0.13	0.083	0.025	—	8.60	6.40	2.28	5.66	35.84	6.84	34.17

(D) 間接製鋼實驗 海綿鐵より銻鉄を製造するのみにては尙ほ採算にならざる故に鋼を製造せんと試みたのである。然し海綿鐵を鋼屑代用として直ちに鋼を製造することは先きに面白からざる結果を得し故に、一旦銻鉄に還元し其銻鉄より鋼を製造したのである。装入方法及び熔解作業はすべて前述の通りにして銻鉄を造り、これにスケールを加へて酸化せしめて鋼となしたのである。此時は職人が充分經驗を得し故に極めて迅速に進行し其成績非常に良好であつた。

使用材料					作業成績						
海綿鐵	旋盤屑	合計	石炭末	骸炭末	還元劑割合	全作業時間	全使用電力量	製品重量	海綿鐵歩留量	率	純當り電力量
3,000kg	200"	3,200"	200"	400"	20%	4h15mi	3,000K.W.H	1,860kg	1,680"	56%	1,667K.W.H

作用状態詳説

摘要	所要時間	所要電力	摘要	所要時間	所要電力	摘要	所要時間	所要電力
		KWH			KWH			KWH
送電	時分 10~45	—	酸化劑投入	時分 12~50	—	出鋼	時分 3~00	—
熔解時	12~30	—	試料No.2	1~20	—	試料No.3		
試料No.1	12~35	—	鋼滓掻出し	1~30	—	所要量	1~30	800
鋼滓掻出し	12~40	—	所要量	50	600	總計	4~15	3,000
所要量	1~55	1,600	還元鋼滓装入	1~40				

銻鉄より鋼を製造する時は幾何かの減耗あると思はるゝ故に上述の例より 60%の歩留とすれば、海綿鐵の歩留量は 1,860 kg であり其純當り電力量は約 900 K.W.H となるのである。又此時の銻鉄は 3 吨爐に僅か 1,860 kg 即ち約半分なる故に 2 基の爐にて行へる銻鋼を 1 基に移して精鍊すれば殆んど前述の値の半分にすむことゝなる。それ故に銻鉄とするには純當り 900 K.W.H であり、之より鋼とするには 3 吨に對し約 1,500 K.W.H を要する故に純當り 500 K.W.H となる。それ故に結局間接製鋼するには 1,400 K.W.H の電力を要するのである。此製品は滿俺銻及硅素銻を加へて普通の軟鋼鑄物に鑄造して良結果を得た。

鎔金及鎔滓の成分(%)

試料	鎔 金						鎔 滓							
	C	Si	Mn	P	S	Ti	C	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	Mgo
No 1 鎔鉄	2.72	0.19	0.06	0.078	0.040	0.07	5.75	9.78	2.87	0.67	0.16	31.38	31.57	8.30
" 2 鎔鋼	0.08	—	0.03	0.018	0.038	—								
" 3 製品	0.23	0.29	0.56	0.021	0.022	—								

第3節 海綿鐵の還元程度實驗 第2表の如き品質悪き粉末狀即ち砂鐵の儘の形態にて團鑛とせざるものを用ひて作業せしに、前節の場合と何等異なることなく順調に進行したのである。それ故に海綿鐵とせずとも砂鐵鑛より直ちに鉄鐵又は鋼を造り得べきことを豫想したのである。又前述の諸實驗にて鉄鐵も鋼も容易に製造することを得たが鉄鐵としては炭素含有量少き故にもう少し多量の炭素を含ましめる爲めと、又還元劑の種類によりて如何に變化するかを試験する爲めに木炭、石炭、骸炭及び黒鉛を用ひて作業せしに、還元率は木炭、石炭、骸炭及び黒鉛の順であるが含有炭素量は其逆である。

第2表 粉末狀海綿鐵の成分

C	SiO ₂	TiO ₂	金屬鐵	全鐵分	金屬滿俺	全滿俺	磷	硫 黃
0.90	1.98	12.82	44.56	71.83	0.22	0.42	0.067	0.031

(A) 木炭使用還元實驗 之に用ひし木炭は通常松炭と稱するものであるが少し鏈にて碎きて 20 mm 位の大きにし、充分海綿鐵と混じて用ひた。そして前述と同じやうに底部と中部に成る可く多く裝入した。

使用材料						作業成績					
海綿鐵	旋盤屑	合計	旋盤屑割合	木炭	同上割合	所要時間	所要電力量	製品重量	海綿鐵歩留量	率	吨當り電力量
3,000kg	200"	3,200"	7%	500kg	17%	2時5分	1,700K.W.H.	1,950kg	1,750"	58.3%	970K.W.H.

鎔鉄の成分(%) C. 2.25 Si. 0.14 Mn. 0.09 P. 0.105 S. 0.039 Ti. —

(B) 石炭使用還元實驗 之に用ひし石炭は田川四尺炭であつて其大きは前述の如く 3 乃至 8 mm である。そして其裝入方法も前述と同様の注意を以て作業したのである。

使用材料						作業成績					
海綿鐵	旋盤屑	合計	旋盤屑割合	石炭	同上割合	所要時間	所要電力量	製品重量	海綿鐵歩留量	率	吨當り電力量
3,000kg	200"	3,200"	7%	500kg	17%	2時10分	1,700K.W.H.	1,900kg	1,710"	57%	991K.W.H.

鎔鉄の成分(%) C. 2.34 Si. 0.10 Mn. 0.07 P. 0.098 S. 0.042 Ti. —

(C) 骸炭使用還元實驗 之に用ひし骸炭は舍密會社製のもので其大きは石炭と同じく 3 乃至 8 mm である。其裝入方法及び作業方法等全部前述の通りである。

使用材料						作業成績					
海綿鐵	旋盤屑	合計	骸炭割合	石炭割合	同上割合	所要時間	所要電力量	製品重量	海綿鐵歩留量	率	吨當り電力量
3,000kg	200"	3,200"	500kg	7%	17%	2時10分	1,700K.W.H.	1,850kg	1,650"	55%	1,040K.W.H.

鎔鉄の成分(%) C. 2.59 Si. 0.09 Mn. 0.08 P. 0.091 S. 0.047 Ti. —

(D) 黒鉛使用還元實驗 之に使用せし黒鉛はアチソン電極の破片にて 3 乃至 8 mm の大きに碎きて使用した。

使用材料						作業成績					
海綿鐵	旋盤屑	合計	電極破片	旋盤屑割合	電極割合	作業時間	使用電力	製品重量	海綿鐵歩留量	率	純當り電力量
3,000kg	300"	3,300"	900"	10%	29"	2時20分	1,750K.W.H.	1,950kg	1,650"	55%	1,060K.W.H.
銻鉄の成分 (%) C. 3.17 Si. 0.12 Mn. 0.11 P. 0.098 S. 0.015 Ti. —											

(E) 間接製鋼實驗 初め銻鉄を造り之を酸化せしめて鋼を造る目的にて木炭及び骸炭を用ひて還元せしが、還元劑量少かりし爲め銻鉄とならず硬鋼となつたのである。そしてそれに酸化劑を加へて軟鋼を造りて其歩留り等を試験せしに稍々良結果を得たのである。製品は硅素銻及滿俺銻を加へて鑄物に鑄造した。

使用材料						作業成績					
海綿鐵	旋盤屑	合計	木炭	骸炭	還元劑割合	全作業時間	全使用電力量	製品重量	海綿鐵歩留量	率	純當り電力量
700kg	300"	1,000"	50"	30"	10%	3時55分	2,050K.W.H.	700kg	400"	57%	2,610K.W.H.

作業状態			詳説		
摘要	所要時間	所要電力	摘要	所要時間	所要電力
送電	11~00		酸化劑投入	12~50	
熔解時	12~30		試料 No. 2	1~20	
試料 No. 1	12~35		鋼滓掻出し	1~30	
鋼滓掻出し	12~40		所要量	50	450K.W.H.
所要量	1~40	1,100K.W.H.	還元劑装入	1~40	
			出鋼	2~55	
			試料 No. 3		
			所要量	1~25	500K.W.H.
			總計	3~55	2,050

銻鋼の成分 (%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Ti
No. 1 熔解時	1.45	0.08	0.09	0.073	0.015	—
" 2 軟鋼	0.13	0.04	0.05	0.013	0.015	—
" 3 製品	0.18	0.25	0.54	0.014	0.012	—

第 4 節 經濟的考察 海綿鐵より直ちに鋼を製造する方が利益か或は一旦銻鉄に還元せし後鋼とする方が得策か、又は銻鉄のままの方が有利かを比較せんと思ふのである。但し此計算は團鑄狀海綿鐵を用ひ還元劑は粉炭を用ひるとして噸 10 圓と見積つた。又使用電力は操業法によりて大に異り、海綿鐵單味の場合と屑鐵を配合せし時とは第 3 表の如く大なる差がある。即ち甚しき時は銻鉄純當り 1,850 K.W.H. であるが少き時は 900 K.W.H. にてすんでゐる。然し 1,000 K.W.H. が適當であるから此値にて計算した。又配合すべき屑鐵の量は 7 乃至 10 % が適當であることは第 3 表より了解され得る。次に銻鉄より更に鋼を造るには 500 KWH を要する故に全體にては 1,500 KWH を要することゝなる。

第 3 表 a 銻鋼純當電力使用量 (2)

銻鋼中の炭素量 %	海綿鐵使用量 kg	屑鋼配合量 kg	所要時間 時分	使用電力 (K.W.H.)	銻鋼純當り電力使用量 (K.W.H.)	製品歩留 %
0.04	4,000	—	4~55	3,100	1,760	44
0.06	3,000	1,000	4~15	2,800	1,260	44
0.09	2,000	1,500	3~10	2,400	1,055	44
0.12	1,000	2,500	2~50	2,100	800	44

(2) 著者 鐵と鋼第 14 年第 4 號

第3表 b 鎔鉄 吨當電力使用量

鎔鉄の炭 素量 %	海綿鐵使 用量 kg	屑鋼配合 量 kg	所要時間 時分	使用電力 (K.W.H)	鎔鉄吨當り電力 使用量(K.W.H)	還元の種 類	製留 率 %
2.25	3,000	—	4—50	3,100	1,850	骸炭	56
2.54	2,500	100	3—10	2,250	1,452	〃	62
2.64	2,800	200	2—45	1,800	1,090	〃	59
2.72	3,000	200	1—55	1,600	900	〃	60
2.25	3,000	200	2—05	1,700	970	木炭	58
2.34	3,000	200	2—10	1,700	997	石炭	57
2.59	3,000	200	2—10	1,700	1,040	骸炭	55
3.17	3,000	300	2—20	1,750	1,060	電極	55

次の第4表の實費計算より見ればたとへ TiO_2 を利用するとしても海綿鐵より鉄鐵とするも直ちに鋼とするも、又一旦鉄鐵とせし後鋼を製造するも何れも經濟的には成立しないのである只直ちに鋼とするよりも一旦鉄鐵とせし後鋼とする方がいくらか安價である。但し此處にて直ちに鋼とすると云ふは直接製鋼法の意味ではなく海綿鐵を屑鋼代用として熔解するに止るのである。

上述の實驗にて注意すべきは少量用ひし時と大量用ひし時とは其結果にて大なる相違がある。例へば第3節(A)は3吨裝入にて吨當り970 K.W.H であるが、(E)は1吨裝入にて2,600 K.W.H であるから、後者は前者の約2.7倍に當るのである。それ故に少量使用所謂小規模の實驗に比し大量生産の成績は極めて有利である。

第4表 各種製造法の經濟的考察

使用材料 の種類	吨當り 代價 円	屑鐵代用鋼製造		鉄鐵還元後鋼製造		鉄鐵製造	
		所要數量 kg	所要經費 円	所要數量 kg	所要經費 円	所要數量 kg	所要經費 円
海綿鐵	20.00	2,280	45.60	1,780	35.80	1,600	32.00
滿硅	170.00	6	1.02	6	1.02	9	1.53
素鉄	240.00	4	0.96	4	0.96	28	6.72
小計		2,290	47.58	1,790	37.78	1,637	39.85
石灰	17.50	150	2.63	150	2.63	100	1.75
マグネシア	54.00	20	1.08	20	1.08	15	0.81
螢石	35.00	8	0.28	16	0.56	16	0.56
粉炭	10.00	15	0.15	100	1.00	100	1.00
小計		193	4.14	286	5.27	231	4.12
電極	440.00	15	6.60	12	5.28	9	3.96
電力(KWH)	0.02	1,800	36.00	1,500	30.00	1,000	20.00
工修			5.50		5.50		5.00
分雜			5.50		5.50		5.00
費			1.00		1.00		1.00
析費			2.00		2.00		2.00
小計			56.60		49.28		37.03
總計 (吨當り代價)			108.32		92.33		81.00

第5表 電氣爐平常作業實費調

使用材料	吨當り代價 円	所要 重量 kg	所要 經費 円	使用材料	吨當り代價 円	所要 重量 kg	所要 經費 円	使用材料	吨當り代價 円	所要 重量 kg	所要 經費 円
鋼屑	35.00	330	11.50	石灰	17.50	100	1.75	電極	440.00	8	3.52
旋盤屑	20.00	770	15.40	マグネシア	54.00	15	0.81	電力(KWH)	0.02	800	16.00
滿硅	170.00	6	1.02	螢石	35.00	8	0.28	工修			4.00
素鉄	240.00	4	0.96	粉炭	10.00	15	0.15	分雜			4.00
小計	1,110	28.93		小計	138	2.99		析費			1.00
								小計			29.52
								總計 (鎔鋼吨當り代價)			61.44

第3章 各種廢棄鐵鑛石使用銑鐵製造

第1節 概説 前述の海綿鐵殊に粉末状のものは金屬鐵と酸化鐵との混合物である故に、砂鐵に多量の極軟鋼屑を加へしものと考へて差支ないのである。それ故に砂鐵又は其他の鑛石に適當の鋼屑を混すれば海綿鐵の場合と大なる差なく作業出来るであらうと考へるのである。又久慈製海綿鐵は其價噸 20 圓であるが砂鐵は其選鑛せしものにて 2 圓位であるから、少々歩留り悪くとも尙ほ採算とれるであらうとの考へより前述の實驗を鐵鑛に應用したのである。用ひし鐵鑛は未だ今日工業的價値の少い砂鐵、チタン鐵鑛、紫鑛及びステールであつて、それに鋼屑と骸炭粉とを混じて銑鐵を製造したのであるが、鋼屑は 10 % 以下にては作業困難で 15 乃至 20 % が適當である。

第2節 砂鐵鑛使用實驗 これに用ひし砂鐵鑛は久慈産を得られざりし故に第5表の如き山陰産を用いたのである。而して還元劑は海綿鐵の實驗を基礎とし海綿鐵中の FeO と砂鐵中の FeO との量に比例して加へて實驗せしに、充分還元し且つ含有炭素量も充分であつた。鋼屑を還元して 3.74 % の炭素量とするには約 10 % 即ち 10 kg の還元劑を要する故に砂鐵に對しては 70 % に當る。次に第2實驗にては還元劑を減じて行ひしに銑鐵とならず硬鋼となつたのである。即ち 1.4 % の炭素量である故に用ひし還元劑量は砂鐵に對し約 22 % に當るのである。

第6表 山陰産砂鐵の成分 (%)

全鐵分	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃
60.16	5.80	1.05	0.43	8.75	0.90	0.87	0.21	0.67

實驗第1.

使用材料							作業成績					
砂鐵鑛	旋盤屑	計	骸炭末	石炭末	旋盤屑割合	還元劑割合	作業時間	使用電力	製品重量	砂鐵鑛歩留量	率	純當電力量 K.W.H.
300kg	100"	400"	120"	100"	33.3%	70.0"	2時10分	950K.W.H.	260kg	160"	53.3%	6,000

銑鉄及銑滓の成分 (%)

銑鉄						銑滓								
C	Si	Mn	P	S	Ti	C	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅
3.74	2.14	0.68	0.091	0.001	—	13.46	8.12	2.78	0.31	2.33	48.46	14.21	5.38	0.03

實驗第2.

使用材料							作業成績					
砂鐵鑛	旋盤屑	計	石炭末	骸炭末	旋盤屑割合	還元劑割合	作業時間	使用電力	製品重量	砂鐵鑛歩留量	率	純當電力量 K.W.H.
500kg	100"	600"	60"	50"	20%	20%	2時5分	950K.W.H.	355kg	255"	51%	3,725K.W.H.

銑鋼の成分 (%)

C. 1.40	Si. 0.70	Mn. 0.28	P. 0.081	S. 0.004	Ti. —
---------	----------	----------	----------	----------	-------

第3節 チタン鐵鑛石使用實驗 チタン鐵鑛は緒論に於て述べたる如く今日は未だ有利に用ひられてゐない故に、若し製鐵原料として利用せらるゝならば甚だ幸である。又其成分は第7表の如く殆

んど砂鐵とよく類似してゐる故に此實驗は砂鐵の研究にも應用出来るわけである。それ故に著者は兩方の意味にて粉末狀にして用ひしに比較的良結果を得たのである。此使用鑛石は 10 年位前に購入して平爐に用ひしも成績よろしからざりし爲め、放置してありしものであるから産地は不詳である。

第7表 チタン鐵鑛石の成分(%)

鐵分	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃
49.70	16.02	71.04	2.94	5.08	0.37	4.62	0.019	0.13

實驗第 1

使用材料					作業成績						
チタン鐵鑛	旋盤屑計	骸炭末	旋盤屑割合	還元劑割合	作業時間	使用電力	製品重量	鑛石歩留量	率	當電力量	
970kg	100"	1,070"	350"	10.3%	35.0%	3時20分	1,500K.W.H.	510kg	410"	42.3%	3,660K.W.H.
鎔金の成分		C 2.29	Si 0.02	Mn 0.14	P 0.047	S 0.011	Ti —				

實驗第 2

使用材料					作業成績						
チタン鐵鑛	旋盤屑計	骸炭末	旋盤屑割合	還元劑割合	作業時間	使用電力	製品重量	鑛石歩留量	率	當電力量	
2,000kg	300"	2,300"	900"	15%	44%	3時00分	1,700K.W.H.	1,160kg	860"	43%	1978K.W.H.
鎔鉄の成分(%)		C 2.79	Si 0.05	Mn 0.18	P 0.049	S 0.013	Ti —				

第4節 紫鑛使用實驗 紫鑛に就きては既に大正4年に川合得⁽⁷⁾二氏が電氣鎔鑛爐にて作業せば低燐、低硫の鉄鐵を得べしと力説してゐられ。又越へて大正5年には齋藤大吉氏⁽⁸⁾が同鑛の利用につき述べられてゐる。然し其後 10 數年を経過せし今日未だ工業的作業の實現を見ないのは實に遺憾である、これには何かの障害があるだらうと思はるゝのである。普通鎔鑛爐には粉狀なるが故に適しないが製鋼用電氣爐ならば差支ないのである。それ故に著者は大阪製鍊株式會社の寄贈による第8表の如き紫鑛を用ひて鉄鐵を製造せしに大體成績良好であつた。然し其量少かりし爲め經濟的價值を定むるには尙ほ不充分なりとは雖も砂鐵又はチタン鐵鑛及び次に述ぶるスケールと其作業に於て殆んど異なる所はないのである。又製品中の銅分は鋼屑より來りしもので紫鑛よりの成績ではない。

第8表 紫鑛の成分(%)

鐵分 65.15	SiO ₂ 4.58	S 1.79	Cu 0.499	Al ₂ O ₃ —	P 0.011
----------	-----------------------	--------	----------	----------------------------------	---------

使用材料					作業成績						
紫鑛	旋盤屑計	骸炭末	旋盤屑割合	還元劑割合	作業時間	使用電力	製品重量	紫鑛歩留量	率	當電力量	
200kg	100"	300"	150"	50%	70%	2時30分	900K.W.H.	208kg	108"	54%	8,333K.W.H.

鎔鉄及鎔滓の成分(%)

鎔鉄						鎔滓					
C	Si	Mn	P	S	Cu	FeO	S	SiO ₂	CaO	P ₂ O ₅	C
3.52	0.91	0.51	0.026	0.003	0.29	0.61	1.30	20.24	55.38	0.05	10.71

(7) 川合得二 鐵と鋼 第1年 第7號 (8) 齋藤大吉 鐵と鋼 第2年 第4號

第 5 節 スケール使用實驗 スケールも鐵鑛石の 1 種と考へてよき故に鑛石代用とし且つ成る可く多く使用する目的にて装入せしが、3 坩爐には 2,300 疋までは装入され得るも 2,000 疋に其他の装入物を加ふることが適當である。

第 9 表 スケールの成分 (%)

使用材料					作業成績						
スケール	鋼屑計	骸炭末	鋼屑割合	骸炭割合	作業時間	使用電力	製品重量	スケール歩留量	スケール歩留率	坩當電力量	
2,00kg	300"	2,300"	600"	13%	30%	2h30m	1,500k.W.H.	1,500kg	1,200"	60%	1,250 k.W.H
鑄鉄の成分		C. 2.31	Si. 0.05	Mn. 0.18	P. 0.044	S. 0.022					

第 6 節 チタニウム⁽⁹⁾の回収 上述の海綿鐵、砂鐵及びチタン鐵鑛石使用實驗にてチタニウムは殆んど還元されず鑄滓中に入るとは明らかである。先きに本誌上にて強きカーバイド鋼滓を造らばチタニウムは還元するであらうと推定せしがそれは誤であつた。これは長谷川⁽¹⁾氏の高石灰の鑄滓にてはチタニウムは還元され難きといふ説を裏書きするものである。又 J. W. Evans 氏はチタニウムを多く含む鑛石を用ひてチタン鐵を造りし實驗結果を 1906 年 4 月カナダ探鑛學會に發表してゐるが、それによれば石灰と共に鑄解すればチタニウムを除去し得べく、石灰を少くすればチタニウムは鐵に入り同時に硅素も含有せらるゝと述べてゐる。彼の使用せし鑛石及び其製品は次の如きものである。

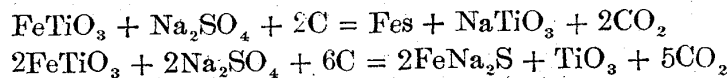
チタニウム鑛石 (Bowen 産) の成分 (%)

鐵	分	チタニウム分
45.17		7.44

製品の成分 (%)

(1) C 0.51	Si 0.62	Ti 0.37
(2) " 0.84	" 2.31	" 1.02
(3) " 0.87	" 0.05	—

チタニウムは塗料鐵合金及び煙幕等に廣く用ひられ且つ高價なるものであるから、TiO₂ を多く含む上述の鑄滓よりチタニウムを回収せらるゝならば有利であらうと思はるゝのである。(93% Ti を含むものは噸當り 200 弗である)⁽¹⁰⁾チタニウムの原料鑛石はイルミナイト及びルーチル等であるが其成分は上述の鑄滓とよく似て居る故に同じ精鍊法にて處理せらるゝであらう。其精鍊法には種々あるが其⁽¹⁰⁾1 例を述べれば Niagara の Titanium pigment Co. にては illumenite 100% を Niter Coke 20% 及び petroleum Coke 50% を電氣爐にて熔解し鑄型に鑄造して鉞とチタニウムを多く含む鑛とを比重によりて分離せしめ、而して稀硫酸にて沸騰せしめて濃厚ならしめたるものを適當に處理して塗料其他の用途に供してゐるのである。電氣爐にて還元する時は次の 2 反應が同時に行はれる故に鉞は主に Na₂TiO₃ で比重 3.09、鉞は Na₂FeS で 2.75 の比重である。



それ故にチタン鐵鑛より造りし鑄滓を初め砂鐵より得し鑄滓にも或操作を施せばチタニウムの製造原料として利用せらるゝであらう。又長谷川氏の説の如く鐵合金の製造原料或は平爐製鋼法に於け

(2) 著者 鐵と鋼 第 14 年 第 4 號 (1) 長谷川熊彦 鐵と鋼 第 12 年 第 4 號 (9) W. Evans Canada dept of Mine 1906 (10) W. M. Thronton. Titanium 1929

る鋼滓の調節に利用すれば副産物として相當の利益を收め得られ、従つて鋼及び鉄鐵の製産費を低下せしめ得るのである。

第7節 電氣製鉄に關する考察 鉄鐵は銍鑛爐にて製造するが至當であるから電氣製鋼爐にて製造せし例は極めて少いのである。然し塊狀の鑛石ならば銍鑛爐にてよけれども粉末狀のものは製鋼爐が最良と思はる。長谷川氏⁽¹⁾の實驗によりても砂鐵の如き粉末狀のものは密閉式シャフト型電氣爐よりも開放式爐がよいと述べられてゐる。同氏の用ひたる爐は鐵合金用のものであるが開放式爐は製鋼爐に類似してゐるのであるから著者の説と符合するのである。又久能、稻川兩氏も電氣製鋼爐にて砂鐵を用ひ低磷鉄鐵を製造して好成績を得てゐるのである。大體電氣製鋼爐は成分の調節が自由に出來且つカーバイド銍滓を造らば脱酸、脱硫作用充分行はるゝ故に極めて優秀なる製品を得らるゝのである。

次に長谷川氏及び久能、稻川兩氏の實驗成績と著者の實驗成績とを比較せんに其電力使用量に大なる差がある。長谷川氏のは300 K.V.A 爐にて1晝夜に僅か2噸内外の鉄鐵を得るものであるが、久能稻川兩氏のは3噸爐であるから著者の實驗と同量である。然るに著者の實驗に比し其電力消費量多きは如何といふに、著者の實驗と異なるは只鋼屑を配合すると否とにある。先きに海綿鐵の實驗にて述べたる如く鋼屑を配合すれば其溶解作業極めて速かで電力を極度に節約出來るのである。又長谷川氏が久能、稻川氏のに比して小爐にも係らず電力量少きは焼結したのを用ひたる爲めで、ちやうど著者の鋼屑を配合したるが如き状態であるのである。然らば著者の成績は如何といふに先づ其歩留り率より考へて見やう。大體其歩留りに後章に述ぶる直接製鋼法の例を参照して考ふれば含有鐵量の83乃至85%を得らるゝ故に、60%の鐵分を含む鑛石ならば原鑛の約50%の重量の製品を得らるゝわけである。それ故に原鑛に含有鐵量多き程結果よく其少きものは或程度まで選鑛して用ひねばならぬ。

次に電力消費量について考へんに著者は3噸爐にて200kgの少量より2,000kgまでの種々の量の各種の鑛石を用ひて實驗したのであるが、スケール使用の實驗に於て製品噸當り1,250 K.W.H まで下げ得たのである。然し其消費量は原料鑛石中の含有鐵量の大小と裝入量の多少によりて非常に異なるものであることは勿論である。それ故に若し6噸爐を用ふればもつと節約出來る。即ち普通鋼屑より鋼を製造する場合は3噸爐にては製品噸當り800 K.W.H なるも6噸爐ならば700 K.W.H にてすむ故に、今上述の鑛石を6噸爐にて4噸裝入して作業するとすればスケール使用にて1,100 K.W.H、60%の砂鐵ならば1,320 K.W.H 時又65%の紫鑛ならば1,220 K.W.H にてすむこととなる。然し6噸爐ならば4噸500kg以上の鑛石を裝入して作業出來る故に其製品噸當りの電力消費量は更に低下するのである。即ちスケールにて約1,000 K.W.H 砂鐵にて1,170 K.W.H 及び紫鑛にて1,085 K.W.H となる。尙ほ10噸爐ならば更に低下せらるゝであらう故に大規模の爐にて其操業よろしきを得ば50%又はそれ以下の品質のものにては噸當り1,200 K.W.H ならば大なる困難なく作業出來るであらう

(1) 前出 (11) 久能寅夫、稻川四郎 鐵と鋼 第7年 第10號

と思はるゝのである。

次に参考の爲め長谷川氏及び久能、稻川兩氏の實驗を 2,3 抜萃して見やう。

(1) 實驗例 1 (A) 長谷川氏實驗

	使用材料					作業成績			
	砂鐵(燒結)	"(淘汰盤精鐵)	骸炭	滿俺鐵	石灰石	電力消費量 (K.W.H.)	電極消費量 (kg)	製品歩留	出銑量 (kg)
割合	60.0%	40.0%	7.2%	1.5%	20.0%	—	—	—	—
1日合計	2,700kg	1,800kg	990kg	67.5kg	900kg	5,000	90.5	—	1,992
銑鐵砵當り	1,335.0"	903.6"	497.0"	33.9"	451.8"	2,510.0	45.2	45.48%	—

銻 銑						銻 滓	
T.C.	Si	Mn	P	S	Ti	TiO ₂	SiO ₂
3.74	0.235	0.82	0.091	0.077	0.08	26.83	25.66

(2) 實驗例 2

	使用材料					作業成績			
	砂鐵燒結	並砂鐵	骸炭	滿俺鐵	石灰石	電力消費量 (K.W.H.)	電極消費量 (kg)	製品歩留 (%)	出銑量 (kg)
割合	60.0%	40.0%	25.0%	15.0%	15.0%	—	—	—	—
1日合計	2,790kg	1,860kg	1,083.5kg	69.8kg	886kg	5,300	83	—	1,963
銑鐵砵當り	1,421.3"	947.5"	552.0"	35.6"	451.4"	2,700	42.3	42.17	—

銻 銑						銻 滓					
T.C.	Si	Mn	P	S	Ti	SiO ₂	TiO ₂	FeO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
3.10	0.799	1.45	0.094	0.057	0.17	28.53	19.83	3.91	26.33	12.03	4.36

(3) 實驗例 3

	使用材料					作業成績			
	砂鐵燒結	木炭 (F ₂)	骸炭 (F ₁)	滿俺鐵	石灰石 (F ₂ ; F ₁)	電力消費量 (K.W.H.)	電極消費量 (kg)	製品歩留 (%)	出銑量 (kg)
割合	100%	0~26%	0~22%	1.5%	24~25%	—	—	—	—
1日合計	4,950kg	650kg	539kg	74.3kg	1,209.5kg	5,900.0	105.4	—	2,021
銑鐵砵當り	2,125"	321.6"	265.7"	26.7"	509.4"	2,919	52	41.24	—

銻 銑						銻 滓						
F ₁	T.C.	Si	Mn	P	S	Ti	SiO ₂	TiO ₂	FeO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
F ₂	3.80	0.987	2.53	0.084	0.036	0.26	30.53	10.45	3.68	36.94	6.04	3.86
	3.98	1.015	2.77	0.079	0.039	0.23	30.39	11.07	2.08	36.70	10.86	4.11

(4) 實驗例 4

	使用材料					作業成績			
	砂鐵燒結	並砂鐵	骸炭	滿俺鐵	石灰石	電力消費量 (K.W.H.)	電極消費量 (kg)	製品歩留 (%)	出銑量 (kg)
割合	60%	40%	23%	2.5%	18%	—	—	—	—
1日合計	2,640kg	1,760kg	1,012kg	66kg	792kg	5,500	850	—	2,404
銑鐵砵當り	1,095.2"	932.1"	421.0"	27.5"	329.5"	2,288	35.4	49.33	—

銻 銑						銻 滓	
T.C.	Si	Mn	P	S	Ti	TiO ₂	SiO ₂
3.09	0.385	1.55	0.076	0.078	—	16.65	29.19

(B) 久能、稻川兩氏實驗 エル-式電氣爐にて焙燒せる鑛石に 27 乃至 30 %の木炭又は骸炭を用

ひて低磷銑鐵を製造せし實例である。爐床は初めマグネシアを用ひしも後に素灰床に改めてゐる。

實驗 1、使用鑛石 秋田縣大鰐産赤鐵鑛 還元劑 木炭 吨當り電力消費量 3,270 K.W.H
 鑛石 T.C.— Si.— 鐵.61.2 SiO₂.5.06 P.0.098 S.0.035 Cu.0.010
 白銑 " 2.67 " 2.30 — " — " 0.155 " 0.012 " 0.015

實驗 2、使用鑛石 長野縣大日向鑛山含硫磁鐵鑛 還元劑 木炭 吨當り電力消費量 3,450 K.W.H
 製品歩留り 50.7%

鑛石(%) T.C.— Si.— 鐵.67.5 SiO₂.2.8 P.0.018 S.1.67 Cu.0.008
 白銑(%) " 1.00 " 0.16 " — " — " — " 0.018

實驗 3 使用鑛石 同上 還元劑 骸炭 (15 % 灰分) 吨當り電力消費量 4,095 K.W.H 製品歩當り 48.0%

實驗 4 使用鑛石 千葉縣大東産砂鐵團塊 還元劑 粉末骸炭 (42 % 灰分) 吨當り電力消費量 4,380 K.W.H 製品歩留り 45.1%

白銑(%) C.1.8 Si.0.13 P.0.044 S.0.02 Cu.痕跡

第 8 節 製銑及間接製鋼實費調 上述せし如き 諸種の鐵鑛石を用ひて銑鐵を製造せる場合の實費を調べんに其歩留りは 50 %、吨當り電力使用量は 1,200 K.W.H とし、又砂鐵を用ひし場合の如く硅素及び滿俺がよく還元すれば比較的安價なるも其他の場合の如く還元充分ならざれば差物を要するわけである。長谷川氏及び久能、稻川兩氏の實驗に於ても餘り還元してゐない故に此處には製品中に硅素 1 %、滿俺 0.4 % 位を還元せらるゝものとして多少差物を加へることとする。

今山陰砂鐵を用ふるとすれば其選鑛せしものにて吨 8 圓位であるが、久慈産又は種子島産は選鑛容易であるから 2 圓位で得らるる。それ故に若し電力を 1 K.W.H につき 2 錢とすれば前者は製品吨當り約 70 圓であるが、後者は 58 圓である。又若し電力 1 錢とすれば前者は 58 圓、後者は 46 圓となるのである。尙ほこれより副産物としてチタンを利用すれば相當の價格を減じ得る。次に紫鑛を用ふれば電力 2 錢にて約 62 圓、1 錢にて約 50 圓となる。又チタン鐵鑛は其價高き故に製品は極めて高價となるも鑛滓よりチタンを回收すれば或程度まで引下げ得らる。今日チタン鐵鑛は他のチタン鑛石と共にチタン工業に使用され居る故に兩者併立せしむれば製鐵原料として收支相償ふであらう。

次に一旦銑鐵を造りし後鋼を製造する所謂間接製鋼法の實費を調べんに初め鑛石より銑鐵を造るには前述の如く銑銑 1 吨當り 1,200 K.W.H の電力を要するが、これを酸化し再び還元して鋼を造るには第 2 章第 4 節により銑鋼 1 吨當り 500 K.W.H の電力を要する故に、全體に於ては 1,700 K.W.H の電力を要することとなる。又これに用ひたる酸化劑はスケールであるから經費中には入れなかつた。先づ電力を 2 錢とすれば山陰砂鐵にて約 84 圓、久慈砂鐵にて 72 圓となる。若し電力 1 錢とすれば前者にて 67 圓、後者にて 55 圓となる。又若しチタンを利用すれば夫々 5 圓を低下せし得らるゝ。次に紫鑛を用ふれば電力 2 錢にて 76 圓、1 錢にて 59 圓となる。又チタン鐵鑛は前述の理由により其經營よろしきを得ば採算となるのである。

要するに今日銑鐵は 35 圓内外、鋼は 55 圓内外にて製造せらるゝ故に電氣爐にて鑛石より銑鐵を造ることも、又一旦銑鐵とせし銑銑より鋼を製造することも工業的には採算は困難である。唯電力及

び鑛石が或程度以下の價とならば經濟的價値を發揮するであらう。然し現在の環境にては銑鐵製造及び間接製鋼法は到底困難である。又砂鐵製木炭銑或は瑞典銑は 80 乃至 100 圓であるが、極めて燐分少き鑛石を用ひざれば是等と比敵する低燐銑は得られない。若し強ひて低燐銑を造らんとすれば酸化して脱燐せしめし後加炭して銑鐵とせねばならぬ故に經濟的には不可能である。

第 10 表 電氣製銑賤當實費調

第 11 表 間接製鋼實費調

種 目	噸當り 單 價 円	噸 當 り 所 要 重 量 kg	山陰砂鐵 使用經費 円	久慈砂鐵 使用經費 円	紫鑛使用 經費 円
山陰砂鐵	8.00	2,000	16.00	—	—
久慈砂鐵	2.00	〃	—	4.00	—
紫鑛	4.00	〃	—	—	8.00
滿 俺 銑	170.00	5	0.85	0.85	0.85
硅 素 銑	240.00	14	2.36	2.36	2.36
石 灰	17.00	100	1.75	1.75	1.75
螢 石	35.00	16	0.56	0.56	0.56
マグネシア	54.00	20	1.08	1.08	1.08
骸 炭 粉	10.00	600	6.00	6.00	6.00
小計	—	—	12.60	12.60	12.60
電力 K.W.H.	0.32	1,200	24.00	24.00	24.00
電 極	440.00	11	4.85	4.85	4.85
修 繕	—	—	5.00	5.00	5.00
工 費	—	—	5.00	5.00	5.00
分 析	—	—	1.00	1.00	1.00
雜 費	—	—	2.00	2.00	2.00
小計	—	—	41.84	41.84	41.84
總計	—	—	70.44	58.44	62.44
電力 1 錢とすれば	—	—	58.44	46.44	50.44

種 目	噸當り 代 價 円	噸 當 り 所 要 重 量 kg	山陰砂鐵 使用經費 円	紫鑛使 用經費 円	チタン鐵鑛 使用經費 円
山陰砂鐵	8.00	2,000	16.00	—	—
紫鑛	4.00	〃	—	8.00	—
チタン鐵鑛	37.00	〃	—	—	74.00
滿 俺 銑	170.00	6	1.02	1.02	1.02
硅 素 銑	240.00	4	0.96	0.96	0.96
小計	—	2,010	17.98	9.98	75.98
石 灰	17.50	200	3.50	3.50	3.50
マグネシア	54.00	25	1.35	1.35	1.35
螢 石	35.00	16	0.56	0.56	0.56
骸 炭 粉	10.00	400	4.00	4.00	4.00
小計	—	641	9.41	9.41	9.41
電力 K.W.H.	0.02	1,700	34.00	34.00	34.00
電 極	44.00	13	5.72	5.72	5.72
工 費	—	—	5.50	5.50	5.50
修 繕	—	—	5.50	5.50	5.50
分 析	—	—	2.00	2.00	2.00
雜 費	—	—	4.00	4.00	4.00
小計	—	—	56.72	56.72	56.72
總計	—	—	84.11	76.11	142.11
電力 1 錢とすれば	—	—	67.11	59.11	125.11

註 此作業には鑛石 2 噸に對し約 300 kg の旋盤屑を用ひる故に此價を加算すべきであるが、然し此旋盤屑よりも鋼又は銑鐵が得らるゝのである。それ故に此良金屬と旋盤屑との價の差だけ利益となるわけであるから、實際は上述の計算よりも却つて安くなるのである。

第 4 章 パーライト鑄鐵の製造

第 1 節 概 説

前章に於て種々の鐵鑛石より銑鐵とするも鋼とするも採算はむづかしいと述べしが高級鑄鐵ならば經濟的に有利に展開し得るであらうと思ふのである。即ち上述せし種々の銑鐵は總て低炭素であつて他の不純物は極めて少き高級品であるから、少量の硅素及び滿俺を加ふればセミスチール又はパーライト鑄鐵として適當するのである。此處に於て骸炭を多量加入して還元するのであるから製品たる鑄鐵は必らず低炭素なりやといふ疑問が起るのであるが、著者の實驗にては其量を制限すれば不可能でないことを確め得たのである。

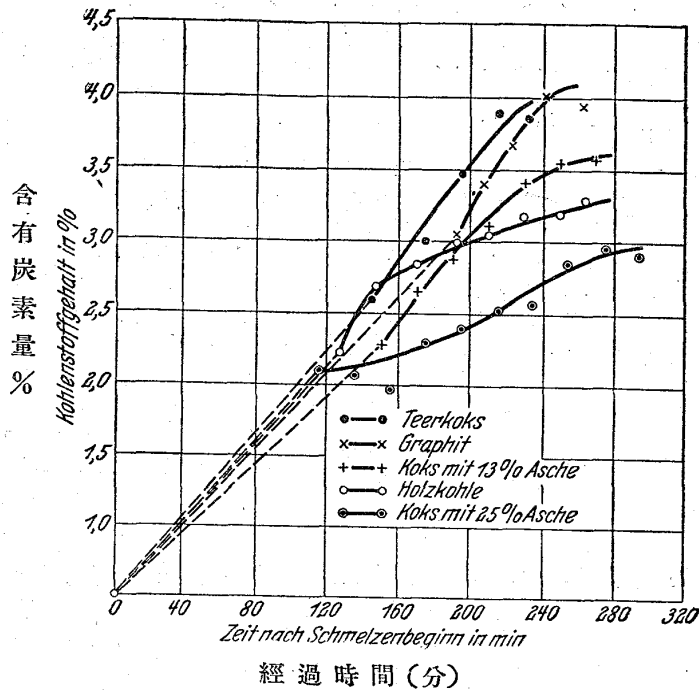
先づ著者が電氣爐にて鋼屑に 3 乃至 8 mm の大きさの骸炭を用ひて再製銑を造りし例を述べやう。著者は骸炭を 5 乃至 20 % の種々の割合に加へて實驗せしに 5 乃至 8 % の骸炭量にて 3 乃至 4 時間かゝりし場合は 2.5 乃至 3.2 % の炭素量でそれ以上は決して昇らなかつた。其詳細は清水氏が秋田鑛山専門學校會誌北光に記述されてゐる故にここには其 2, 3 の例を述べることにする。大體加へし骸炭の大部分はよく混和して裝入しても熔解後は直ちに表面に浮びて加炭の用をなさないものである。

(12) 清水重治 北光 26 號 昭和 4 年 3 月

此作業は平爐にても同じ經驗を得てゐるのであるが、これは鑄鉄爐や鑄鑛爐と異り骸炭は鑄滓面上に浮游する故に鑄金と骸炭と接觸する時間が短き爲めであらうと思はるゝのである。

又 Williams 及 Sims 兩氏が電氣爐にて鋼屑にタールコークス、黒鉛、骸炭及び木炭の各種の還元

第1圖 種々の還元劑による熔金の吸炭狀況



劑を加へて鉄鐵を製造せしに、其還元劑の種類及び經過時間と含有炭素量との關係は第1圖の如き結果であつたといふ。即ち大體比重及び經過時間に比例して含有炭素量は増加するものであつて、タールコークス、黒鉛、骸炭(13%灰分)、木炭及び骸炭(25%灰分)の順である。又2時間位にては何れも2.5% C、3時間位にては3% Cである。骸炭及び木炭は4時間位となりても3.5%の炭素量に達しないのである。これは著者の實驗を裏書するもので炭素は思ふやうに入り難いことが明かである。それ故に鑛石よりパーライト鑄鐵を造ることは鼠鉄

鐵を造るよりも容易である。次に鑛石より製造せるパーライト鑄鐵と屑鋼及び鉄鐵より製造せるものとの比較を示す爲めに種々の方法による實驗成績を示して見やう。

第3節 鋼屑使用實驗 鑄鋼屑と鋼旋盤屑とに骸炭を加へて溶解したのであるが、此場合は材料中に何れの元素も甚だ僅少である爲め添加物を加へた。又其精鍊時間が比較的長くかゝる故に經費を多く要するが然し其成分の調節確實で成績極めて優良である。

使用材料							作業成績									
鋼旋盤屑	鑄鋼屑	合計	骸炭	骸炭割合	硅素銑	滿庵銑	送電	熔解	差物加入	出銑	全所要時間	消費電力量	製品重量	噸當電力量		
2,300kg	1,000"	3,300"	230"	7%	48kg	10"	11 00	1 0	1 40	2 00	3 00	2,400 K.W.H.	3,150kg	760 K.W.H.		
鑄 鉄(%)							鑄 滓(%)									
摘要	C	Si	Mn	P	S	Cu	抗張力 kg	SiO ₂	CaO	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	S	C
溶解時	3.00	0.33	0.52	0.040	0.010	0.35										
製品	3.04	1.55	0.76	0.042	0.003	0.35	41.5	19.12	54.92	2.80	0.06	4.78	7.93	0.096	0.85	6.55

第3節 鋼屑及鉄鐵少量配合實驗 差物を節約する意味にて鉄鐵を用ひたのであるが溶解も早く作業も容易であつた。還元劑は鋼屑に對し7%に相當する。

(13) Tech. paper. Bau. Mines. No. 418, 1928.

使用材料					作業成績															
鋼旋盤屑	鑄鋼屑	銑鐵	合計	骸炭	骸炭割合	硅素銑	滿俺銑	送電	熔解	差物加入	出銑	所要時間	消費電力	製品重量	純當電力					
								時分	時分	時分	時分	時分	K.W.H.		K.W.H.					
1,800kg	500kg	1,000kg	3,300kg	160kg	7%	40kg	5kg	10	50	12	30	12	45	1	20	2	30	1,900	3,200kg	613

製品成績

C. 2.89 Si. 1.64 Mn. 0.80 P. 0.029 S. 0.023 抗張力 kg. 39.2 ブリネル. 261

第4節 鋼屑及銑鐵多量配合實驗 此場合は少しの添加物も要せず時間も極めて速かにて甚だ經濟的である還元劑は只鋼屑のみに働く故に鋼屑の 3 を用ひた。

使用材料				作業成績			
銑鐵	鋼屑	計	骸炭	所要時間	所要電力	製品重量	純當電力
				時分	K.W.H.		K.W.H.
2,000kg	1,600"	3,000"	30"	2時00分	1,600	2,900kg	552

銑鐵の成績

C 3.01 Si 1.51 Mn 0.82 P 0.104 S 0.012 抗張力 kg 29.9 ブリネル 310

第5節 海綿鐵使用實驗 第2章に於てなしたる海綿鐵製銑鐵はすべて低炭素のものであるが、硅素及滿俺含有量少き故に硅素銑と滿俺銑とを加へてパーライト鑄鐵を製造せしに良成績を得たのである。

主材料 海綿鐵 500kg 鋼屑 100kg 計 600kg 配合材料 骸炭 120kg(灰22%) 硅素銑(75%)14kg 滿俺銑(90%)6kg

製品の成績

	C	Si	Mn	P	S	抗張力 kg	ブリネル
熔解時	2.72	0.12	0.08	0.079	0.025	—	—
製品	2.71	1.67	0.90	0.081	0.024	42.1	290

第6節 砂鐵使用實驗 砂鐵及び其他の鑛石より製造せし銑鐵も海綿鐵製と同じく硅素及び滿俺量少き故に、適當量の硅素銑及び滿俺銑を加へて製造せしに海綿鐵製と同様なる結果を得たのである。

主材料 砂鐵 300kg 鋼屑 100kg 計 400kg 配合材料 骸炭 1400kg(43%) 硅素銑 3 kg 滿俺銑 2 kg

製品成績

	C	Si	Mn	P	S	抗張力 kg	ブリネル
熔解時	2.72	1.10	0.44	0.080	0.005		
製品	2.80	1.78	0.84	0.084	0.003	42.9	32)

第7節 各種製造法の比較 上述せし各種の製造法によるパーライト鑄鐵の成績を總括すれば第

12 及び 13 表の如きものとなる。これによれば大體電氣爐製は熔銑爐製に比して優れ、又鑛石及び鋼屑を用ひて製造せしものが銑鐵を用ひて製造せしものよりも良好である。これらは如何なる理由によるものかを研究して見やう。

電氣爐製鑄鐵が熔銑爐製鑄鐵より同じ化學成分のものにても抗張力優良なることは多くの研究者によりて明らかなることであるが、これに關しては Williams 及び Sims⁽¹³⁾ 兩氏が詳しく論じてゐる故にそれを引用することとする。即ち其抗張力の大きなるは脱酸作用充分行はれ、又瓦斯及び微滓が充分除去さるゝからである。そして黒鉛の量及び其大きさ並に分布状態は物理的性質に重大なる關係を有する

第 12 表 各種製品の成績 (25 m/m 徑乾燥型試験棒使用)

製造爐	使用材料 の種類	化學成分						物理的性質		寫眞 番號	
		全炭素	硅素	滿俺	燐	硫黃	黑鉛	化合炭素	抗張力kg		ブリネル
電氣爐	鋼屑 100%	2.45	1.86	1.81	0.058	0.011	1.63	0.91	40.4	314	1
		2.61	2.11	0.87	0.080	0.007	1.79	0.82	38.9	320	2
		2.75	1.80	1.02	0.098	0.008	1.94	0.82	42.1	321	3
		2.86	1.74	0.84	0.098	0.012	2.03	0.84	43.9	314	—
	鋼屑 70% 銑鐵 30%	3.04	1.55	0.76	0.092	0.008	2.10	0.94	44.5	310	4
		2.70	1.65	0.72	0.130	0.017	1.95	0.75	37.5	251	5
		2.77	1.79	0.83	0.083	0.016	—	—	40.1	251	—
		2.85	1.84	0.75	0.104	0.024	—	—	40.0	263	—
	銑鐵 100%	2.89	1.64	0.80	0.098	0.023	1.82	1.05	39.2	261	6
		2.92	2.07	0.83	0.124	0.024	1.98	0.96	38.9	249	7
		3.09	2.13	0.89	0.138	0.018	2.03	1.06	37.8	269	8
		2.94	1.71	1.16	0.156	0.014	1.59	1.35	28.4	286	9
海綿鐵 砂	3.14	1.54	0.76	0.098	0.007	2.17	0.97	29.3	340	—	
	3.19	1.62	0.87	0.147	0.023	2.32	0.87	30.3	269	10	
	3.22	1.60	0.89	0.176	0.010	2.23	0.99	26.2	241	11	
	3.23	1.54	1.12	0.223	0.017	2.26	0.97	29.6	269	12	
銑鐵 30% 鋼屑 70%	2.74	1.64	0.90	0.081	0.024	1.94	0.81	42.1	290	—	
	2.80	1.78	0.84	0.084	0.003	1.96	0.84	42.9	320	13	
	2.91	1.51	0.82	0.064	0.004	1.95	0.96	41.8	303	—	
	2.87	1.90	1.19	0.080	0.114	1.90	0.97	34.9	269	14	
鑄鉄爐	鋼屑 100%	2.91	1.89	0.85	0.062	0.080	—	—	34.7	291	—
		2.97	2.04	1.22	0.085	0.100	2.10	0.87	36.9	255	15
	銑鐵 30% 鋼屑 70%	2.81	1.97	1.13	0.155	0.068	2.03	0.78	26.1	255	16
		2.99	1.08	1.03	0.153	0.155	2.33	0.66	22.8	217	17
		3.27	1.07	0.86	0.175	0.101	2.40	0.87	24.7	235	18

第 13 表 各種製品の比較

製造爐	使用材料	化學成分(%)					抗張力 kg/mm ²
		T.C	Si	Mn	P	S	
電氣爐	鑄石	2.7~2.9	1.5~1.8	0.8~0.9	0.06~0.08	0.003~0.024	42~43
	全部鋼屑	2.5~3.0	1.5~2.1	0.7~1.8	0.04~0.10	0.008~0.012	37~45
	鋼屑及銑鐵	2.7~3.1	1.6~2.1	0.7~0.9	0.08~0.14	0.016~0.024	35~40
熔鉄爐	全部銑鐵	2.9~3.3	1.5~1.7	0.7~1.2	0.15~0.23	0.010~0.023	26~30
	全部鋼屑	2.8~3.0	1.9~2.0	0.8~1.2	0.06~0.09	0.08~0.114	34~37
	鋼屑及銑鐵	2.8~3.3	1.0~2.0	0.8~1.1	0.15~0.18	0.07~0.160	23~26

ものであるが、電氣爐製は熔鉄爐製よりも細粒で均一なる組織であるから優秀である。又電氣爐は精錬中過熱され鑄鉄は充分高熱で流動よい。次に電氣爐溶解の利益は低廉なる材料を用ひて其成分を充分正確に調節出来るし、又温度の調節も自由であるから適當な温度が得られる。其不利益としては建設費及び作業費が高いが、然し間斷的に作業する工場にては高級鑄鐵製造の間に鋼又は普通の鑄鐵を製造すれば其不利益を償ひ得て却つて利益となるのである。又鋼屑装入による鑄鉄爐溶解は燃料より炭素を吸収する故に炭素の調節が困難である。次に硅素銑及び滿俺銑は装入物と共に溶解する時は殆んど酸化される。若し取鍋中に加ふれば低熱の爲め作用充分ならず完全なる混合は困難である。又多量の鋼屑を鑄鉄爐にて萬足に溶解するには爐は大でなければならぬ。尙ほ骸炭消費量も普通の銑鐵にて鼠銑鐵を造る場合よりも大であつて 1 噸當り 15% を要すると述べてゐる。要するに電氣爐製は鑄鉄爐製に比し種々の點に於て勝れてゐるのである。

次に鋼屑を用ひて製造せし場合と銑鐵を用ひて製造せし場合との成績につきて研究せんに、顯微鏡寫眞に於て明らかなる如く電氣爐製にても鑄鉄爐製にても鑛石及び鋼屑製のものは黑鉛の結晶が微粒

であるが、銑鐵製のものは其發達稍々粗大である。これは Piwowarsky 氏⁽¹⁴⁾の銑鉄中に黒鉛核の存在少きもの程冷却後其發達が小であるといふ説によりて説明出来るのである。即ち同氏は鑄鐵を高温度熔解すれば黒鉛核が全部完全に熔け盡されて均一なる質の銑鉄となり、之を鑄型に鑄込むも黒鉛核が存在してゐない爲めに大きな黒鉛が成立せず僅かに細き均一なるものが出る故に其成績がよいのであると述べてゐる。然し此高温度熔解によりて抗張力を増すといふ説に對して最近 Bardenhauer 氏等⁽¹⁵⁾が反對意見を發表してゐる。彼の實驗結果によれば高炭素(3.4 %位)のものは熔解温度高ければ抗張力大であるが、低炭素の(3 %以下)のもの即ちパーライト鑄鐵と稱するものは此高温度熔解説を裏切り却つて抗張力を減ずるものである。又高炭素のものにても其抗張力を増すは高温度其物による組織の影響ではなく、化學成分の變化即ち炭素の減少によるものであると實例を擧げて反駁してゐる。又これと反對に九大谷村氏⁽¹⁶⁾はピオワルスキー氏の説を實證する成績を發表してゐるのである。然しパーライト鑄鐵の如きは高温度熔解せざれば充分なる流動性は得られない故に過熱する位の高温度が必要であらうと思ふのであるが、著者は今此處に其抗張力の増大が高温度熔解の影響であるか否かを批判することは差し控え、唯ピオワルスキー氏の黒鉛核の存在が黒鉛の發達に影響するものであるといふ説のみにつきて批判し且つ著者の實驗成績を説明せんと思ふのである。

今著者の實驗に於て鋼屑を用ひて製造せしものと銑鐵を用ひて製造せしものとの成績を調べんに、其化學成分は同じでも材料試験の結果は甚だ異つてゐるのである。これは黒鉛核の存在の有無に基因するもので、即ち前者は殆んど黒鉛核なき爲め銑鐵となりても其發達が困難であるが、後者はもともと黒鉛核を多く含む銑鐵を用ひし爲めに同じ條件の下に於ても其發達が容易であるからである。又電氣爐にて銑鐵のみを用ひて製造せしものが、銑鉄爐にて鋼屑のみを用ひて製造せしものよりも却つて劣つてゐるのも此黒鉛核の影響によるからである。一般に電氣爐製は銑鉄爐製に比して優良であると思はれ又著者もかく決論したのであるから聊か矛盾する如く思はるゝのである。然しこれは同じ材料を用ひし場合であつて其使用材料が異なる場合は同一に論ぜられないのである。電氣爐は銑鉄爐に比して極めて高温度であつて精鍊作用が充分行はるゝも、銑鐵を酸化せしめて一旦鋼となさぬ以上唯熔解するのみにては鋼屑より造りし銑鉄と同じ性質の地金となすことは不可能であつて、銑鐵固有の性質が残存するのである。即ち銑鐵を熔解して得し銑鉄中には黒鉛核が多數存在する故にそれより冷却せし鑄鐵中には黒鉛がよく發達するのであるが、鋼屑より造りし銑鉄中には其核なく又存在しても極めて僅少である故に冷却後も黒鉛が充分發達せず細粒の儘にて表はるゝのである。

それ故に製品の性質は其製造法よりも其使法材料の影響を受くることが大であるといひ得るのである。

要するに製造法に於ては銑鉄爐よりも電氣爐、使用材料に於ては銑鉄中に黒鉛核少きもの程其製品は優良である故に全く黒鉛核なき鑄石を用ひ電氣爐にて製造せるものが最も優秀であると決論し得る

(14) Stahl und Eisen Mai 26, 1925. (15) Die Giesserei Heft 33, 1929. (16) 谷村照 九大工學彙報 第1巻 第3號

のである。

第8節 經濟的考察 近來パーライト鑄鐵は鎔鉄爐にて廉價に製造せんとする企てが諸所⁽¹⁷⁾に於て行はれてゐるが、然し之等はすべて特別なる装置を施して高熱を得。又特別なる材料を用ひて低炭素のものを得んと苦心してゐるのである。即ち Wüst 式油熔解爐 Schürmann 爐 Rein 熔解分離爐 Gilles の改良 Krigar 爐及び堀切氏、瀬戸氏の實驗の如きはそれである。又材料も鋼鋸屑 60 乃至 70%以上を用ひ珪素鉄及び滿俺鉄を多量加へて製造するのである。それ故に電氣爐に比し果して利益か否かを疑ふものである。著者は上述の如く電氣爐にても鎔鉄爐にても實驗せしが、電氣爐製は鎔鉄爐製に比して經濟的に決して優るとも劣らぬといふ確信を得たのである。

一般に電氣爐にて鑄鐵を製造することは電力高き故に或特別なる場所の外は經濟的には不利であると曰はれてゐる。然し著者の實驗に於ては少くともパーライト鑄鐵製造の場合は決して鎔鉄爐に比して不經濟とは思はれないのである。今著者の經驗を基礎とする實費調を述べて見やう。我工場に於ける經驗によれば鎔鉄爐中に装入物と共に加へし差物の減耗率は甚だ不同であつて豫定通りの成績を得ることは困難であるが、大體珪素鉄は 25 乃至 30%、滿俺鉄は 40 乃至 50%の範圍の減耗である。又骸炭の使用量は著者の實驗に於ては 15 乃至 20%を要したるも、Williams 氏は 15%⁽¹³⁾、Smith 及 Rigann 兩氏は 1.43%⁽¹⁸⁾であると述べてゐる。それ故に此計算には 15%としたのである。次に我工場にては鋼鋸屑のみに差物を加へて製造せし時と鉄鐵と鋼鋸屑とを配合して製造せし時とあるが、鉄鐵を多く用ひる程經費は低下するも炭素其他の元素を確實に定めることは益々困難となるのである。大體鎔鉄爐にて鋼屑のみを用ひて作業すれば 70 圓となり、鉄鐵と鋼屑とを配合して作業すれば 66 圓となる。又鎔鉄爐製鎔鉄に鎔鋼を配合して適當なる成分のものを得ることもあるが、これは鎔鉄 70%に鎔鋼 30%を加ふるとすれば 60 圓位となるのである。

然るに電氣爐によるパーライト鑄鐵製造は全部鋼旋盤屑のみの時は差物としての珪素鉄及び滿俺鉄を多量に要する故に其價は賤當り 60 圓位となる。又鉄鐵を 40%以上用ふれば鉄鐵代高くなる故に製品も高價となる。それ故に最も經濟的なるは鋼屑 60 乃至 70%に鉄鐵 30 乃至 40%の配合をなすことで約 54 圓となるのである。然し尙ほ經濟的なるは鉄旋盤屑に適當の鋼旋盤屑を配合して用ひることで略々 48 圓位となるが、鉄旋盤屑は市場に其量少い。要するに適當に作業すれば電氣爐製は鎔鉄爐製よりも廉價なわけである。

次に山陰産砂鐵を原料として製造すれば電力は鉄鐵製造の場合と同じく 1,200 K.W.H ならば其價 2 錢にて約 68 圓となるが、若し久慈産の如く 2 圓ならば約 56 圓となる。次に紫鑛を用ふれば 60 圓位にて製造し得らるのである。若し電力 1 錢とすれば夫々 56 圓、44 圓及び 48 圓にてすむのである。又 Williams 氏の研究によれば鹽基性電氣爐にて屑鐵より鉄鐵を製造する場合には賤當り電力 500 K.W.H 電極 4 kg の少きものにてすむといふ故に、著者の計算より尙ほ低下するわけである。

(17) 後尾文獻參照 (13) 前田 (18) Foundry. Jan. 15, 1929.

又砂鐵使用の場合はチタンを利用すれば尙ほ一層安くなるのである。

それ故に鑛石よりパーライト鑄鐵を製造することは銑鉄爐は勿論電氣爐にて銑鉄及び鋼屑を用ひる場合に比して大なる差なく、特別なる事情に於ては寧ろ廉價である。

第 14 表 銑鉄爐によるパーライト鑄鐵

種 目	純當り		鋼屑使用		銑鉄及鋼屑使用	
	代 價 円	所要重量 kg	所要經費 円	所要重量 kg	所要經費 円	
ヘ マ タ	55.00	—	—	175	9.63	
イト 銑	40.00	—	—	175	7.00	
兼二浦銑	40.00	1,060	40.24	737	29.75	
鋼 鋸 屑	—	—	—	—	—	
小 計	—	1,060	40.24	1,087	46.38	
滿 侷 銑	170.00	25	3.98	5	0.85	
硅 素 銑	240.00	40	9.60	11	2.64	
石 灰 銑	5.00	30	0.15	30	0.15	
石 炭 骸	50.25	150	7.88	150	7.88	
小 計	—	245	21.61	196	11.52	
工 費	—	—	3.00	—	3.00	
雜 費	—	—	4.00	—	4.00	
分 析	—	—	1.00	—	1.00	
小 計	—	—	8.00	—	8.00	
總 計	—	—	69.85	—	65.90	

第 15 表 電氣爐によるパーライト鑄鐵

種 目	純當り		銑鉄及鋼屑使用		山陰砂鐵使用	
	代 價 円	所要重量 kg	所要經費 円	所要重量 kg	所要經費 円	
バーン銑鉄	40.00	300	12.00	—	—	
鋼旋盤屑	20.00	700	14.00	—	—	
山陰砂鐵	8.00	—	—	2,000	16.00	
小 計	—	1,000	26.00	2,000	16.00	
滿 侷 銑	170.00	2	0.34	5	0.85	
硅 素 銑	240.00	12	2.88	10	2.40	
石 灰 銑	17.50	50	0.88	100	1.75	
マ グ ネ シ ア 骸	35.00	8	0.78	16	0.56	
炭 粉	54.00	13	0.70	20	1.08	
小 計	10.00	100	1.00	400	4.00	
電力 K.W.H.	0.02	600	12.00	1,200	24.00	
電 極	440.00	6	2.64	11	4.84	
修 理	—	—	2.00	—	5.00	
工 費	—	—	3.00	—	5.00	
分 析	—	—	1.00	—	1.00	
雜 費	—	—	1.00	—	2.00	
小 計	—	—	21.64	—	41.84	
總 計	—	—	54.22	—	68.48	
電力 1 錢とすれば	—	—	48.22	—	56.48	
久慈砂鐵電力 2 錢の場合	—	—	—	—	56.48	
使用 " 1 錢 "	—	—	—	—	44.48	
紫鑛使用 " 2 錢 "	—	—	—	—	60.48	
" " 1 錢 "	—	—	—	—	48.48	

(未完)

平爐噴出口に於ける瓦斯燃燒實驗

(昭和 5 年 3 月 29 日日本鐵鋼協會第 15 回通常總會後講演)

倭 國

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE FLOW OF GAS AND AIR IN THE OPEN HEARTH FURNACE MODEL.

By K. TAWARA.

ABSTRACT.

The wooden models of actual open hearth furnace having the various forms of ports were made about one tenth in their sizes. Therein air was introduced by a fan laid on their outlet sides, where a negative pressure was held up to 4 mm. in water column. The velocity of flow in the various ports of models was measured carefully by means of Pitot tube with Askama minimeter. The observed value ranged from only 1 m. to 6 m. per sec. near the ports and variations in the speed of air flow in the inner ports were noted, showing some remarkable behaviours near the point of mixing.

To study the manner of the flow of gas and air, some small amounts of fine aluminium powder were blown in separately to the gas and air risers. With the aid of an electric arc light lamp, the flowing powders were photographed instantaneously.