

鐵 と 鋼 第十四年 第四號

昭和三年四月二十五日發行

論 說

砂鐵及び海綿鐵に関する二三の實驗

谷 山 巖
北川新右衛門

Some Experiments on Iron Sand and Spongy Iron; by I. Taniyama and S. Kitagawa.

In our Country, where there is few Massive iron ore, it is very important to utilize iron sand; and some people are having interest to investigate them, but no experimental report which succeeded industrially are received. The most advantageous method to treat iron sand is to make spongy iron, and Tokiwa Co. succeeded in some degree in this process at Kuji recently.

Kuji Steel Works held Anderson-Thornhill process. First dried iron sand is reduced at low temp. (1,000°C) and then is magnetically separated and at last briquetted.

We made spongy iron and then made steel using this spongy iron in an Electric furnace. Composition of this spongy iron was total Fe 80%; reduced Fe 56% and TiO_2 15%.

When 1/3 of total charge, there is no obstruction, but exceeding this 1/3 many obstacles were found and We must put out almost all of slag, and add limestone. For these reason working time becomes long. So expence per 1 ton is increased. Then from our experiment, it is seemed that this is no profitable industrially unless the cost of ore containing 85% of reduced iron is ¥ 26.00 per 1 ton and the cost of electric power is 1 sen per 1 K. W. H.

1. 緒 論

塊狀鐵鑛少き我國に於ては砂鐵の利用は極めて緊要なる問題であるから、諸所に於て盛んに研究されつゝあるが工業的に成功したる實驗報告には未だ接せない。砂鐵を處理する最も有利なる方法は海綿鐵を製造することであるが、我國にては先年常盤商會が久慈湊に於て此製造を始め稍と成功に近づいたのである。

次に海綿鐵は初め銅製鍊に用ひられたるものであつて製鐵製鋼原料として用ひられたるは最近のことである。然し我國にても屑鐵代用として使用されたる例あれども未だ満足なる報告に接せない。又北米合衆國 Bureau of Mine の調査⁽¹⁾によれば同國にては今も尙ほ主に銅及其他の非鐵金屬の沈澱劑

に用ひ製鐵製鋼原料としては只電氣爐にて製造する時のみ有利であるが、これも或特別なる場合の外は其工業的價値は存在しない。即ち海綿鐵中の含有金屬鐵に對する價が劣等なる銑鐵又は鋼屑よりも低廉であり且つ電力が安價にして普通の製鐵製鋼法よりも其製産費が低廉なる時のみに限られてゐる。要するに海綿鐵は製鐵製鋼原料としてよりも鐵以外の金屬の沈澱劑として有利であるといふことである。

それ故に之を原料とする製鐵製鋼殊に製鋼に關する實驗報告は極めて少いのである。先きに深田氏が本誌上にて平爐に使用せし實驗結果を發表され斯業にたづさわる者の多大の參考となつたが、同氏の實驗によれば其使用量及び含有炭素量に或制限を加へなければ用ひ得られないといふことである。そこで著者は久慈製鐵所製海綿鐵を用ひ神戸の某工場にて電氣爐にて鋼を製造せしに其使用量及び含有炭素量に關係なく作業し得たのである。それ故に著者は先づ久慈地方産砂鐵鑛の性質より海綿鐵の製造及び性質を述べ次に之を用ひて鋼を製造したる場合の實驗結果を述べんと思ふのである。

此實驗は昭和2年6月より同年11月迄のものであつて其品位未だ充分でない所謂試鍊時代ののであるから其後努力の結果甚しく品位を高めたる今日の同所製品と混同せられないやうにお斷りする次第である。

2. 久慈地方産砂鐵鑛

本砂鐵鑛は岩手縣九戸縣の高臺地(海拔200—300米)一帯に涉り水平層狀をなして集積し地質は第四紀洪積層⁽³⁾に屬するものである。洪積層に産する砂鐵鑛の特徴として本砂鐵も亦大部分變質砂鐵鑛であつて磁鐵鑛の表面を赤鐵(Fe_2O_3)及び褐鐵鑛($Fe_2(OH)_2$)を以て覆はるゝ赤色砂鐵と稱すべき種類に屬するものである。其層の厚さは數米より數10米に及び其埋藏量は Neil 氏の調査によれば其平均成分 36.75%にして1億2,000萬噸と推定し又農商務省技師岡村要藏⁽⁴⁾氏の調査によれば大野金間部⁽⁵⁾間 22 km². 区域内推定鑛量 1 億數千萬噸と稱せられるれども著者の實測によれば久慈地方(九戸郡東一帯)には 30%以上のもの無慮數億噸埋藏されてゐると推定され得る。

次に其化學成分は第 1, 2 及 3 表の如く鹽基性砂鐵鑛で酸化チタニウム (TiO_2) 及び磷の多量を含み硫黃其他の不純物は極めて少い。

第 1 表 元山二番坑砂鐵成分

採掘場所	SiO_2	全鐵分	TiO_2	MnO	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3	V, Cr
第 1 掘場	10.30	49.15	9.87	0.94	0.72	0.73	2.13	0.183	0.180	痕跡
〃 2 〃	11.16	47.58	8.84	0.83	1.38	1.18	3.56	0.183	0.160	〃
〃 3 〃	21.16	37.21	7.52	0.68	1.12	1.51	4.83	0.321	0.130	〃
〃 4 〃	8.00	52.71	10.46	0.85	0.96	0.95	1.93	0.385	0.080	〃
〃 5 〃	18.80	34.72	7.31	0.60	3.08	2.13	4.39	0.350	0.140	〃
水無磁鐵鑛	5.60	53.72	9.34	0.60	2.52	1.06	1.86	0.057	0.110	〃

備考 水無とは地名である。

第2表 久慈地方産砂鐵成分(製鐵所分析)⁽³⁾

産地	全鐵分	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	S	Cu	TiO ₂	C.W	含鐵中% TiO ₂
岩手縣九戸郡大野村 字水澤金間部大露頭	23.83	7.89	32.51	37.82	6.94	0.93	2.27	1.22	0.013	0.049	0.025	5.42	5.90	18.80
同縣同郡金ヶ澤砂鐵	48.78	16.51	51.34	12.74	3.92	0.93	1.56	0.98	0.029	0.043	0.044	7.64	5.67	15.68
常盤商會鑛業所 同縣同郡長内村大字 小久慈(第五番坑)	51.78	27.28	44.83	4.16	3.48	0.74	1.46	0.93	0.062	0.082	0.019	15.98	6.74	30.86
同縣同郡大野村字水 澤袖山	38.74	9.57	44.74	20.32	6.52	0.93	1.30	1.60	0.024	0.021	0.025	8.48	6.92	21.90
常盤商會鑛業所 同縣同郡長内村大字 小久慈(第一番坑)	54.20	30.87	43.18	6.38	1.88	1.26	6.85	0.42	0.040	0.025	0.057	12.58	0.67	23.21

第3表 久慈地方産砂鐵成分(地質調査所分析)⁽³⁾

産地	全鐵分	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	S	Cu	TiO ₂	C.W	含鐵中% TiO ₂
岩手縣九戸郡大野 村袖山中層	43.18	—	—	17.22	—	—	—	5.48	trace	0.10	—	5.86	9.26	13.57
同 梅ノ木澤中層	47.58	—	—	17.10	—	—	—	1.15	ナシ	ナシ	—	8.03	5.76	16.88
同 金間部後最下層	40.06	—	—	22.04	—	—	—	1.86	0.02	ナシ	—	5.96	11.31	14.88
同 帶島樋 B層	22.55	—	—	42.04	—	—	—	1.05	trace	0.03	—	2.41	11.13	10.69
同 シノアト澤上層	21.87	—	—	48.54	—	—	—	1.01	0.02	0.57	—	1.68	10.64	7.68
同 袖山上層	38.33	—	—	24.76	—	—	—	1.18	0.11	trace	—	4.93	9.14	12.86
同 中層 B層	27.93	—	—	38.78	—	—	—	2.55	ナシ	ナシ	—	5.10	7.53	18.26
同 浦ノ口 B層	29.31	—	—	39.94	—	—	—	1.10	trace	ナシ	—	5.00	7.47	17.06

久慈製鐵所貯鑛場に於ける元山坑産鑛石を乾燥室に入れ乾燥せし後4メツシュと14メツシュの篩にかけ4メツシュ以上の大石塊、4メツシュと14メツシュ間の大きさの小石塊及び14メツシュ以下の3種に分ち、14メツシュ以下のものは更に海綿鐵製造用電磁選機を以て選別した。其磁石に吸引されたるものは主に磁鐵鑛の周圍が赤鐵に變質してゐる。又磁石に吸引されざるものは水にて洗滌して砂粒と砂粒以外とに分つた。砂粒以外のものは粘土及び褐鐵鑛、赤鐵鑛等の粉末混合物の沈泥土である。それ故に次の如く都合5種に分つて實驗したる成績を示して見やう。

第1種 4メツシュ以上の大石塊。 第2種 4乃至14メツシュ間の小石塊。 第3種 14メツシュ以下にして磁石に吸引されたもの。 第4種 14メツシュ以下にして磁石に吸引されざる砂粒。 第5種 14メツシュ以下にして磁石に吸引されざる沈泥土。

第4表 鑛石の機械的分類

第5表 各種別中の含有鐵分量

第6表全鐵分の種別分布状態

種別	第1種	第2種	第3種	第4種	第5種
割合	5.50	1.60	63.23	24.91	4.69

種別	第1種	第2種	第3種	第4種	第5種
割合	—	—	42.60	5.95	25.50

種別	第3種	第4種	第5種
割合	90.29	6.59	3.12

又14メツシュ以下のものを磁性あるものと否とに分ちし其磁性あるものを水にて洗ひ粘土分を分離せしめ、磁性なきものも水にて洗ひ砂粒と粘土分とに分ちしに次の如き結果を得た。

第7表 鑛石の機械的及び磁性的分類

種 別	重量割合	含有鐵量	鐵分分布狀態
原 鑛 石	100.00	37.80	100.00
磁石に吸引さ れたるもの	砂鐵粒(磁鐵鑛) 3.00	51.60	90.78
磁石に吸引さ れざるもの	粘土分 28.40	4.30	2.29
	砂 粒 2.10	27.40	3.23
	粘土分 5.10		1.52
全 粘 土 分(粘土及褐鐵鑛)			3.81

かくの如き方法にて久慈地方の各所の鑛石を分類せしに第8表の如く大體磁鐵鑛を主成分とし褐鐵鑛等は極めて少い。又磁鐵鑛以外に含まるゝ鐵分は第8表の如く原鑛の全鐵分に對し 10%以下である。

然し此量は化學的に見たる鐵分であつて工業的には到底此全部を回收することは勿論不可能であるから、今若し鑛山にて磁選別の上使用すれば運搬其他の經費節約され原鑛の儘用ひて僅かの鐵分を回收するよりも寧ろ得策である。

第8表 各種砂鐵鑛の機械的分析

種 目	磁鐵鑛	褐鐵鑛	砂 類	全鐵分に對する 褐鐵鑛中の鐵分
二番坑左 2號坑道	70.00	6.00	24.00	2.10
〃 7 〃	50.00	3.30	46.70	0.28
〃 中有 〃	36.00	2.00	62.00	0.13
〃 北左10號 〃	48.00	11.30	40.70	2.88
〃 北中左 〃	66.70	6.00	27.30	1.85
梅の木第1號 〃(1)	58.00	20.00	22.00	8.27
〃 〃 〃(2)	60.00	15.30	24.70	6.36
〃 〃 2 〃	30.90	38.20	30.90	13.82
金ヶ澤 〃	65.00	12.00	23.00	9.79
〃 水堰落口(1)	35.00	41.00	24.00	17.36
〃 〃 (2)	65.00	20.00	15.00	8.76
〃 〃 (3)	68.70	17.60	14.70	7.82
袖山第1號坑道	30.70	27.80	42.00	9.28
金間部道路露頭(1)	20.70	47.30	32.00	16.15
〃 〃 (2)	24.70	59.70	36.00	22.07

3. 海綿鐵の製造

久慈地方にては古より砂鐵を原料として鐵を製造したることは明かなることであり其附近にはカラミ山と稱する多くの砂鐵製鍊をなしたる跡が遺つてゐる。今九戸郡大野村の或カラミ山の成分を示せば次の如きものである。然し舊式製鍊法は時世の進運と共にいつしか其跡を斷ち暫くの間放棄されてゐたが、先年常盤商會が莫大な資本を投じて海綿鐵製造を創始したのである。

第9表 カラミ山の成分

SiO ₂	全鐵分	TiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	S
24.58	44.34	20.04	1.28	3.46	2.63	3.16	0.068	0.01

此製法は Anderson-Thornhill 法で其概略は既に多くの雑誌に紹介されゐるが、今此處に其製法の順序を述べれば、元山鑛區(九戸郡長内村字小久慈)より坑道堀と一部露天堀によりて採掘し二段のシュート(Chute)によりて山麓の選鑛場に落送す、此處にて1吋目圓筒形の篩にかけ其通過せるものはバケット臺車に積みガソリン汽關車にて5哩の工場に送る。又篩上に残りしものは石塊を除去し碎鑛機にかけし後再び篩にかけて分けるのである。

次に製鐵所にては貯鑛場の鑛石を乾燥室にて乾燥したる後碎鑛機にかけて再び破碎し 30 メツシュ

の篩にかける。其篩目を通過せるものを豫熱爐に入れ直接火焰によりて攝氏 600 乃至 1,000 度に加熱するのである。其構造はマクドガール式螺狀爐で 7 段よりなり中心軸の廻轉によりて上段より下段に落下せしむるやうになつてゐる。これは當所にては鑛石を還元し易き酸化鐵 (Fe₂O₃) に變化せしむるものであると曰はれてゐるが、高級酸化物程還元され難き故に之は思ひ違ひである此熱源は後に述ぶる還元爐の廢棄熱を利用するものであるから此目的は單に熱効率を良好ならしむる爲めであらうと思はる。

かくて豫熱爐より出でたる鑛石は其重量の 1/3 のカーボコールと共に還元爐に入れ空氣を遮斷して金屬鐵に還元せしむるものである。此還元爐は 30cm の直徑の圓皿形の中空のもので其爐床は回轉し、爐内には 72 本のカーボランダム製の管が放射狀に設置され、其中を發生爐瓦斯を通過せしめて間接加熱するものである。此還元溫度は次の實驗の如く攝氏 1,000 度附近が最も良好である。還元爐に入りたる鑛石とカーボコールとの混合物は爐床の回轉と共に 4 本の攪拌器によりて攪拌されつゝ漸次還元さる。1~1 1/2 時間の後之を冷却器に移送せしめ大氣と同一溫度に冷却して、再び酸化作用を起すことを防ぐのである。而して之を電磁選機にかけて選別して海綿鐵を得、最後に團鑛機 (Bricket Machine) にて 2,800~3,500 kg/cm² の壓力にて壓縮して直徑 10cm 高さ 8cm の柱狀團塊となすのである。

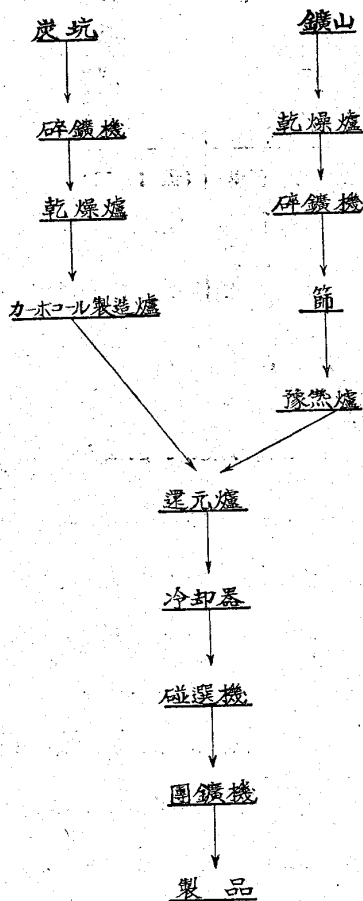
團鑛機は 2 臺ありて 1 時間 1 臺につき 900 個、重量 3 匁を造る。其製品の歩留りは裝入原鑛の 1/3 であるが前述せし如く久慈地方産砂鐵は磁鐵鑛多く褐鐵鑛少き故に磁力分離して得たる磁鐵鑛のみを用ふれば其歩留り 1/2 となる。又 1 晝夜に原鑛 150 匁を裝入して 50 匁を得るも後者の法によれば 70 匁を得らる。

第 10 表 砂鐵鑛還元實驗

溫度 0°C	時間 時	鑛石とカーボコール割合	試料の種類	金屬鐵 %	全鐵分 %	TiO ₂ %	還元率 %	溫後 0°C	時間 時	鑛石とカーボコール割合	試料の種類	金屬鐵 %	全鐵分 %	TiO ₂ %	還元率 %
800	1	3:1	全砂鐵鑛	22.84	68.06	7.62	33.56	1000	1	3:1	磁性部分	68.23	77.95	11.44	87.54
"	"	"	磁性部分	16.12	67.39	8.92	23.92	"	"	"	非磁性分	43.35	49.95	39.24	86.79
"	"	"	非磁性分	37.69	52.61	20.87	71.60	"	"	"	磁性部分	66.91	73.78	9.40	90.69
850	"	"	全砂鐵鑛	36.34	71.26	9.64	37.04	"	"	4:1	"	62.53	77.56	10.40	80.64
"	"	"	磁性部分	21.83	70.81	7.62	30.83	"	"	5:1	"	57.58	71.29	10.10	80.77
"	"	"	非磁性分	32.83	58.02	20.95	58.31	1050	"	3:1	全砂鐵鑛	65.74	72.10	17.00	91.17
900	"	"	全砂鐵鑛	56.46	76.77	7.11	73.54	"	"	"	磁性部分	70.04	81.93	12.96	85.49
"	"	"	磁性部分	42.34	75.52	8.12	56.06	"	"	"	非磁性分	37.65	50.20	31.50	75.00
"	"	"	非磁性分	32.63	49.06	31.52	66.51	熔融する迄 (1,070)	—	5:1	全砂鐵鑛	41.25	75.24	10.92	54.82
950	"	"	全砂鐵鑛	60.38	73.28	13.72	82.29	"	—	"	"	57.72	75.46	9.40	76.49
"	"	"	磁性部分	41.46	50.12	32.04	82.72	"	—	"	"	61.00	76.52	10.68	79.88
1000	"	"	全砂鐵鑛	66.64	73.84	16.52	90.24	"	—	"	"				

次にカーボコール (Carbo Coal) とは石炭と骸炭との中間物と稱すべきものであつて、粉碎乾燥せ

海綿鐵製造作業系統略圖



る石炭を乾溜器にて低温乾溜し (400~500°C) 揮發分を大部分除去したるものである。これは揮發分多ければ爐内に於て先づ揮發分を發散し其一部は還元作用をなすも大部分は熱を奪ひて逃散する故に還元率悪しく、又餘り少く所謂骸炭となれば分解し難く反應鈍き故に其大部分の揮發分を除去するのである。經驗によれば 13% 位のものが最も良好である。此外に還元爐を加熱する爲めに瓦斯發生爐を備ふるが、これは平爐用のものと全く同じく其發生爐瓦斯も製鋼用瓦斯と同一成分である。目下回轉式發生爐を用ひてゐる。又還元用石炭即ちカーボコール原料炭及び發生爐用石炭は共に北海道炭を使用してゐるが、著者は製鐵所附近に産出する宮内炭を用ひることを得ば甚だ經濟的ならんと考へより之にてカーボコールを製造して還元せしに極めて良好なる結果を得たのである。還元用原料石炭使用量は北海道炭にて装入鑛石の約 1/3 宮内炭にて約 1/2 を要する。又發生爐用石炭使用量は 1 晝夜 20 噸なる故に製品の 2/5 に當る。若し磁力分離して用ふれば 2/7 に當る。(北海道炭は工場渡しにて尠當り 20 圓、宮内炭は同じく 5 圓)。

第 11 表 石炭分析表

種類	水分	揮發分	灰分	固定炭素	硫黃	熱量	比重
宮内炭	12.20	48.80	17.15	21.85	0.44	5,610	1.02
北海道炭	4.15	43.56	8.50	43.30	0.33	7,180	

第 12 表 カーボコール分析表

原料石炭	水分	揮發分	固定炭素	灰分
宮内炭	4.10	12.95	56.90	26.05
北海道炭	1.20	13.50	68.10	18.00

第 13 表 發生爐瓦斯の成分

CO ₂	CO	H	CH ₄	N
5.00	27.00	12.40	4.10	51.50

備考 原鑛中の鐵分 37.80%、磁性部分中の鐵分 51.60%、非磁性部分中の鐵分 4.30%、粘土分中の鐵分 27.40%、

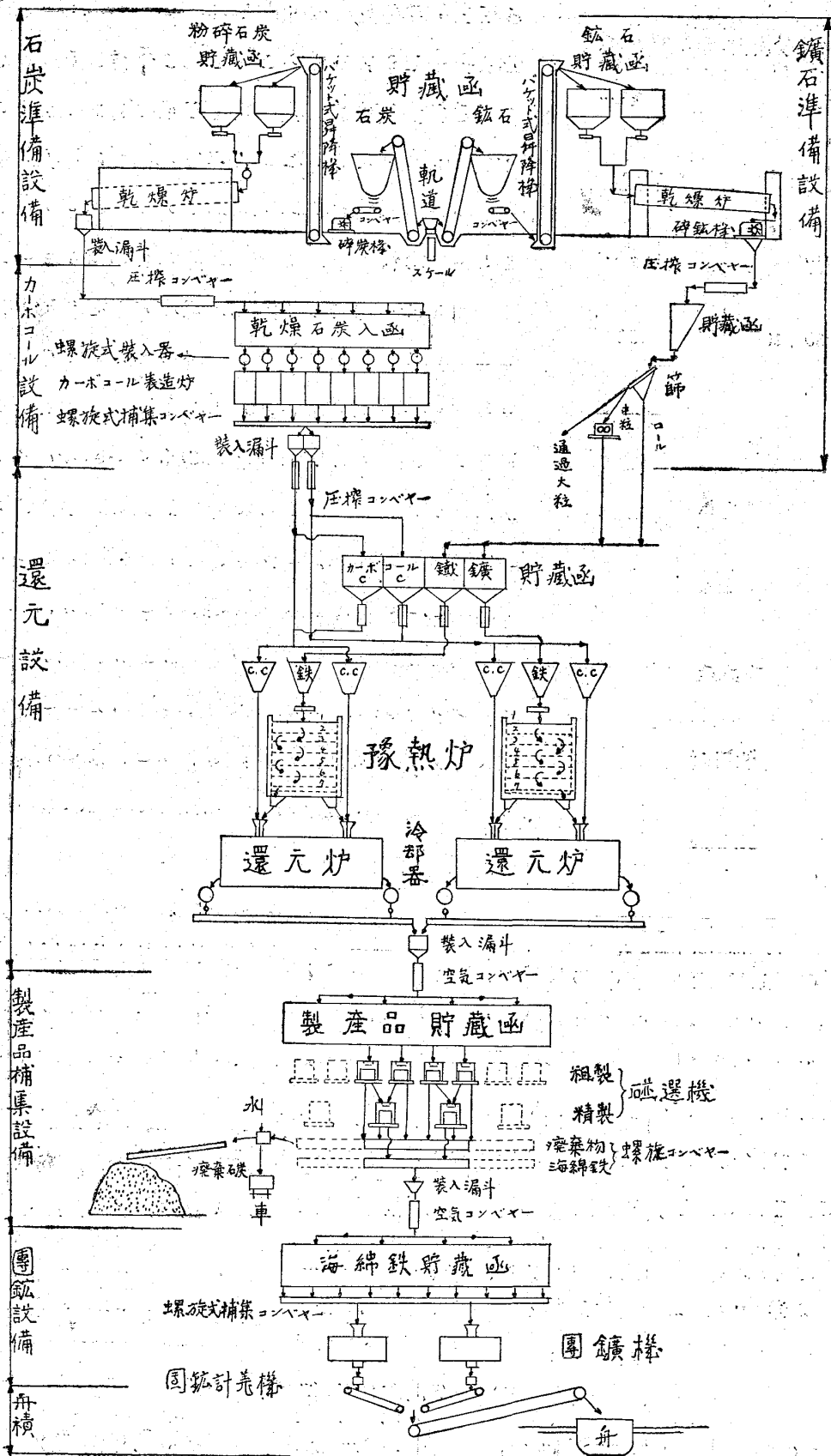
第 14 表 宮内炭使用砂鐵鑛還元實驗

還元溫度攝氏	時間時	鑛石に對する還元劑の割合	金屬鐵 %	全鐵分 %	還元率 %
950	1	1/2	56.12	72.80	76.64
"	1	1/2	62.49	74.46	83.99
1,000	1	1/2	65.41	73.70	88.75

4. 海綿鐵の性質

上述せし方法にて得られたる海綿鐵の成分は第 15 表の如きもので全鐵分 63~76%、金屬鐵 48~58% 及び酸化チタン 10~20% である、又海綿鐵中の炭素量は平均 1.56% であるが之は主に還元劑が

海綿鐵製造設備圖



附着混入せるものであつて其鐵内に融合せる炭素は極微量で0.05% 以下であるし。次に其組織は之は砂鐵粒を原形の儘炭素にて還元し酸素を抽出せる細粒還元鐵なれば顯微鏡にて見ればフェライト（還元鐵）の地に滓（酸化鐵等）と氣泡とが介在してゐるものである。

第 15 表 海綿鐵の成分

試料	SiO ₂	TiO ₂	全鐵分	還元鐵	Fe ₂ O ₃	FeO	比重
A	0.75	16.28	76.37	56.65	5.37	20.52	5.81
B	0.97	16.25	76.37	56.34	5.87	20.52	5.80
C	0.84	16.52	76.53	56.82	1.20	24.27	5.76
D	0.89	16.58	76.99	56.78	2.67	22.78	5.72
平均	0.86	16.41	76.56	56.65	3.76	22.02	5.80

然し此成分にては製鐵原料とするには未だ不充分であつて、もう少し其品位を向上せしめねばならぬ。それには先づ TiO₂ を除去すべきことが先決問題である。大體砂鐵鑛中に存在するチタニウムはイルミナイト (FeO·TiO₂) なる鑛物として機械的に混ぜるものか、又は磁鐵鑛と固溶體を形成

してゐるものであるが故に固溶體として存在せるものは磁力分離不可能なれども、イルミナイトとしてのTiO₂は充分分離せらるべき筈である。然し井上、梅津兩氏⁽⁹⁾の研究の如く砂鐵粒の小なる程磁力分離良好なるに工業的操作は其粉碎充分ならざる故に完全に分離せられず、イルミナイトが炭粒粘土等と機械的に附着混入せるものがあると思はる。そこで著者は海綿鐵を乾燥せし後鐵乳鉢にて碎き 100 ヲツシュ以下にせしものを電磁選機にかけて分離せしめしに第 16 表の如き結果を得たのである。此實驗は海綿鐵製造用電磁選機を用ひしものであるから其値は勿論理論的には論ずることは出来ないだろうが、然し其機械的に混在せる TiO₂ の幾分かが除去されしことは推測され得る。

第 16 表 海綿鐵再磁力分離結果

	含有鐵量%	TiO ₂ 含有量
分離前の海綿鐵	76.68	16.54
分離後の海綿鐵	80.55	11.74
分離結果の差	+ 3.87	- 4.80
分離後増減	+ 5.10	- 29.02

今若し此機械的に混在せる TiO₂ を除去し得るならば鐵の品位を向上せしめることは勿論である。處で海綿鐵中の金屬鐵は純鐵なれば靱性に富めるに反し TiO₂ は脆弱であるから海綿鐵に或外力を加ふれば比較的柔靱性に富む金屬鐵は粉碎されず脆き

TiO₂ のみ粉碎され兩者は分離せらるゝであらう。次に金屬鐵と TiO₂ との比重は異なる故に之に適當なる方法を用ふれば兩者は分離せらるべき筈である。此推理より Centrifugal Beater (遠心叩解機) が應用されてゐるのである。これは鐵板製圓筒狀の容器の中に回轉する羽根ありて之に海綿鐵を入れる

第 17 表 砂鐵中の主要鑛物比重

和名	洋名	比重	化學式	和名	洋名	比重	化學式
橄欖石	Olivine	3.3-3.5	(MgFe ₂)SiO ₄	チタン鐵鑛	Illuminite	4.89	FeTiO ₃
輝石	Pyroxene	2.33	MgCa(SiO ₂) ₂	金紅石	Rutile	4.2-4.3	TiO ₂
紫蘇輝石	Hypertene	3.36-3.42	(FeMg)SiO ₃	磁鐵鑛	Magnetite	4.94-5.18	Fe ₃ O ₄
石灰石	Calcite	2.7-2.73	CaCO ₃	赤鐵鑛	Hematite	4.54-5.28	Fe ₂ O ₃
硅砂	Quartz	2.63	SiO ₂	褐鐵鑛	Limonite	3.6-4.0	Fe ₂ O ₃ ·XH ₂ O

れば海綿鐵は羽根の爲めに外周に打ちあてられ靱性に富む金屬鐵は影響なきも脆弱なる TiO_2 及び砂粒等は粉碎分離され而して遠心力によりて比重小なる粉末狀 TiO_2 等は上方に吹き上げられ比重大なる金屬鐵は降下するのである。かく處理すれば或程度までは其處理回數と共に其品位は向上するが損失が増大することは免れない。これは目下試験中で工業的價值があるか否かは未だ未定である。

第 18 表 (1) Centrifugal Beater 實驗結果

處理回數	全鐵分	金屬鐵	酸化チタン
處理前海綿鐵	70.30	59.08	17.92
5回後" " "	73.40	60.71	15.50
10" " " " "	74.50	61.55	15.20
15" " " " "	75.70	63.64	14.50
20" " " " "	77.90	65.20	12.09
25" " " " "	78.60	66.43	11.94
30" " " " "	80.60	68.05	8.17
30回後の増減量	+ 10.30	+ 8.99	- 9.75

又磁選機にかけし後磁性部分より分離されたるもの即ち非磁性の廢棄物の成分は大體次の如きものである。但し之は初め磁石分離せし砂鐵のみを

第 18 表 (2) 廢棄物の成分

C	SiO_2	TiO_2	FeO	MnO
0.41	22.78	17.62	40.84	0.76
Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3
6.03	2.57	7.78	0.19	0.377

用ひ而して廢棄中よりカーボールを除去したるものである。

5. 海綿鐵製産費概算

次に海綿鐵の製産費を調べんに若し原鐵の儘用ひ北海道炭にて還元するとすれば第 19 表 A の如くなるが成るべく経費を節約する目的にて磁力分離せしものを宮内炭製カーボールを用ひ北海道炭製瓦斯にて還元すれば第 19 表 B の如くなる。之は晝夜の平均値である。

第 19 表 製 産 費 概 算

種 目	A 原 鐵 の 儘			B 磁力分離せるもの		
	所要重量	吨當代價	所要經費	所要重量	吨當代價	所要重量
鐵 石	150 吨 (北海道炭)	1.50	225.00	150 吨 (宮内炭)	2.00	300.00
還 元 用 石 炭	60 (同上)	20.00	1,200.00	80 吨 (北海道炭)	5.00	400.00
發 生 爐 用 石 炭	20	20.00	400.00	20	20.00	400.00
工 費 及 雜 費	—	—	140.00	—	—	140.00
合 計	230	—	1,965.00	250	—	1,240.00
製 品 重 量	50	—	—	70	—	—
製 品 吨 當 代 價	—	39.30	—	—	17.70	—

6. 電氣爐製鋼材料としての海綿鐵

著者は 3 吨鹽基性電氣爐(マグネシア爐床)に第 15 表の如き海綿鐵を鋼屑及びグライ粉に加へて用ひんと試みしが、初め爐床を侵しはせぬか又は湯面上に浮びはせぬかとの懸念より成る可く控へて、

500 kg 次に 1 吨を加へて作業せしも別に操業にさしたる支障を來たさなかつた。然し 2 吨を加へしに稍々困難を感じたが全然作業が出来ないことはなかつた。それ故に海綿鐵 3 吨に屑鐵 1 吨を用ひ、最後に思ひ切り全部海綿鐵のみ 4 吨を装入して實驗せしに少々の困難はありしが兎に角鋼を製造することが出来たのである。次に其操業過程及び製品成績を述べて見やう。

實驗第 1. 海綿鐵 1 吨を用ひたる場合

此場合は別に困難を感じず其儘にて平常の如く操業した。其操業成績は次の如きものである。

第 20 表 装 入 材 料

種 類	重 量
	(kg)
鋼 鑄 物 屑	500
鋼 屑	500
グ ラ イ 粉	1,500
海 綿 鐵	1,000
合 計	3,500
石 灰 (酸 化 期)	400

第 21 表 操 業 過 程

	使用電力	所要時間
酸 化 期	2,100 KWH	時 分 2 50
還 元 期	800 "	1 30
合 計	2,900	4 20

第 22 表 製 品 成 績

化 學 成 分					物 理 的 性 質	
C	Si	Mn	P	S	抗張力	延伸率
0.26	0.36	0.58	0.02	0.013	48kg/mm ²	20%

次に後に述ぶる實驗より推測して其歩留りを推算すれば次の如くなる。

第 23 表 推 定 歩 留

装 入 材 料	装 入 重 量	歩 留 率	歩 留 重 量
	(kg)		(kg)
鋼 鑄 物 屑	500	90%	2,250
鋼 屑	500		
グ ラ イ 粉	1,500	44	440
海 綿 鐵	1,000		
合 計	3,500	—	2,690

それ故に全體の歩留りは $2,690 \div 3,500 \times 100 = 77\%$ となるわけである。

實驗第 2. 海綿鐵 2 吨を用ひたる場合。

グライ粉 1,500 kg に海綿鐵 1,500 kg を装入し之に石灰 400 kg を加へて送電せしに最初は電流の通り思はしくなかつたが、漸次よくなり思つた

よりは容易に熔けた。其大部分が熔けし頃残りの 500 gk の海綿鐵を装入せしに暫くして熔けた。然し鋼滓は第 24 表の如く酸化鐵と酸化チタンを多く含み硬くして膨れ上り装入口等より溢れ出で其儘にては到底操業を持続することは困難となつた。それ故に大部分の鋼滓を出し再び石灰 (100 kg) を加へて續けしに漸く平常の如き状態となつた。又試料も良好となりし故に酸化性鋼滓を全部出し還元期に移し、充分還元して出鋼したのである。其操業成績は次の如きものである。

第 24 表 鋼 滓 の 成 分

種 類	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃
酸化期	22.10	4.15	12.80	20.00	29.75	8.15	1.30	2.05
還元期	0.80	1.15	19.10	0.25	64.00	11.00	1.70	1.20

第 25 表 普 通 作 業 の 鋼 滓 (参 考)

種 類	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃
酸化期	16.28	4.15	16.37	痕跡	42.86	9.10	8.43	1.96
還元期	0.72	2.42	15.93	"	61.34	13.12	0.26	1.94

第 26 表 操 業 過 程

種 類	使用電力	所要時間
酸 化 期	2,400KWH	時 分 3 10
還 元 期	800	1 30
合 計	3,200	4 40

第 27 表 普 通 作 業 の 例 (参 考)

種 類	使用電力	所要時間
酸 化 期	1,800KWH	時 分 2 30
還 元 期	900	1 30
合 計	2,700	4 00

これにより明らかなる如く酸化性鋼滓を作りかゆる爲め操業時間長くかかり従つて電力及び石灰等の消費量大である。然し還元作業には別に影響はなきなり。これは軟鋼鑄物に鑄造せしものなるが、其品物も立派に鑄込まれ又化学成分及物理的性質も次の如く普通品と殆んど異なる所はないのである。

第 28 表 製 品 成 績

化 學 成 分					物 理 的 性 質	
C	Si	Mn	P	S	抗張力	延伸率
0.27	0.37	0.59	0.018	0.005	kg/mm ² 49	21%

第 29 表 裝 入 材 料

種 目	初回装入量	追加装入量	合 計
ダ ラ イ 粉	(kg) 700	(kg) —	(kg) 700
鋼 屑	300	—	300
海 綿 鐵	2,000	1,000	3,000
小 計	3,000	1,000	4,000
石 灰	400	100	500

實驗第 3. 海綿鐵 3 匁を用ひたる場合

此時は實驗第 2 よりも甚しく鋼滓膨れ上りし故に其大部分を出し更に石灰を加へて作りかへたのである。其操業成績は第 29 表の如きものである。

第 30 表 鋼 滓 の 成 分

種 類	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	備 考
一次酸化期	23.15	4.70	8.00	19.20	33.00	6.95	2.55	2.50	最初の鋼滓
二次 " " "	5.20	—	18.15	4.15	56.00	15.00	2.30	0.40	作りかへたる後の鋼滓
還元期	1.15	0.35	26.45	1.65	57.60	11.55	1.80	0.80	出鋼前

第 31 表 操 業 過 程

種 類	使用電力	所要時間
酸 化 期	2,300KWH	時 分 4 15
還 元 期	900 "	1 55
合 計	3,700	6 10

第 32 表 製 品 成 績

化 學 成 分						物 理 的 性 質	
C	Si	Mn	P	S	Ti	抗張力	延伸率
0.30	0.31	0.54	0.019	0.009	0.05	kg/mm ² 53	18%

次に其歩留りは甚だ悪しく僅かに 44% に過ぎないのである。即ち其製品重量は 2,222 kg ならば今海綿鐵以外のものを 10% 減耗するとすれば其歩留りは 1,000 - 100 = 900 kg となる。それ故に海綿鐵のみより得られし製品は 2,220 - 900 = 1,320 kg である。それ故に海綿鐵の歩留りは 1,320 ÷ 3,000 × 100 = 44% となるわけである。

實驗第 4. 全部海綿鐵のみ用ひたる場合

海綿鐵全部 4 匁を装入して操業したりし時の作業状態を述べんに先づ 3 匁の海綿鐵を装入し之が大

部分熔けし頃残りの 1 匁を加へて熔解した。初めは熔解容易なりしも鋼滓多き爲め底部未だ熔解せざる内に中間に鋼滓の層を生じ電流中途より回路して稍々困難を感じて全部熔解するに長時間を要した此際も熔解後鋼滓の量多く且つ其質も悪き爲め大部分の鋼滓を出し石灰を加へて作りかへたのである

第 33 表 鋼 滓 の 成 分

種 類	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	備 考
一次酸化期	24.50	5.20	8.50	20.87	30.00	7.00	1.98	2.25	第30表と同じ
二次 " " "	5.80	—	17.20	4.00	57.10	13.50	2.00	0.46	
還元期	1.20	1.60	20.40	1.89	60.45	12.00	1.50	0.98	

第 34 表 銻鋼の成分

種 類	C	Si	Mn	P	S
二次酸化期	0.04	0.05	0.05	0.015	0.040
還元期	0.09	0.05	0.05	0.009	0.018

第 35 表 操 業 過 程

種 類	使用電力	所要時間
酸化期	3,100KWH	4 45
還元期	900 "	1 50
合 計	4,000	6 35

之を 1 匁鋼塊 2 本に注入せしに其製品重量は各々 850 kg 餘湯其他 50 kg なる故に出鋼量は都合 1,750 kg である。それ故に其歩留りは $1,750 \div 4,000 \times 100 = 43.7$ 即ち 44% となる。此鋼塊を以て 5/16 吋の薄板に延ばせしに其成績は甚だ良好で次の如きものである。

第 36 表 製 品 成 績

化 學 成 分					物 理 的 性 質			
C	Si	Mn	P	S	抗張力	延伸率	ブリ ネル	收縮率
0.11	0.15	0.27	0.61	0.026	kg/mm ² 40.51	% 29.6	131	% 57.1
					40.44	29.8	134	62.2

實驗第 5. チタニウムの還元

長谷川技師の⁽⁷⁾説によれば鋼滓を CaC₂ を含む還元性とし電弧にて高熱すればチタニウムは還元せらるゝとのことなれば、著者は還元期に於てチタニウムを還元せしめ引いては鋼質を良好なら

しめんと考へより還元性鋼滓を作り、之に海綿鐵 100 kg を装入して作業せしに鋼滓非常に稀薄となり作業困難となつた。そこで石灰を追加して辛じて製品となし得たのである。此場合の CaC₂ は非常に強きものでない上に鋼滓は大分破壊されし故に其目的は充分達せられなかつたが、幾分還元したやうである。要するに海綿鐵は鹽基性還元鋼滓を甚しく破壊する故に普通鋼を造る場合には不利益で効果はない。然し著者の用ひたものは品位悪きものなれば若し其含有金屬鐵量多く、又 CaC₂ を強くすれば還元するであらう。 $3TiO_2 + 2CaC_2 = 3Ti + 3CaO + 4CO$ $TiO_2 + CaO + 5C = Ti + 3CO + CaC_2$

第 37 表 銻鋼及鋼滓の成分

海綿鐵 加入前 後	銻						鋼				
	C	Si	Mn	P	S	Ti	SiO ₂	CaO	TiO ₂	FeO	CaC ₂
加入前	0.13	0.10	0.05	0.01	0.01	—	19.84	60.00	—	1.80	2.50
" 後	0.15	0.15	0.05	0.01	0.01	0.05	27.60	45.57	0.77	2.47	1.03

7. 實費概算及經濟的推定含有量

海綿鐵中の TiO₂ が磁力又は其他の機械的方法にて充分分離せられないとすれば、どうしても熔解して化學的に分離せしめねばならぬのである。然るに熔解するには電氣爐より外に適當なる爐はないやうである。電氣爐にては上述の如く TiO₂ は立派に鋼滓中に分離せられ純鐵に近きものを得らるゝが、海綿鐵の品位著しく悪き時は操業に支障を來たし到底採算は取れ難いのである。今前述の諸實驗を基礎として銻鋼 1 匁に對する實費を調べて見やう。但し軟鋼鑄物を造るものとす。

第 38 表 電氣爐製鋼實費調

種 目	100kg 當り代價 圓	普通の場合 (銻鋼歩留 90%)		海綿鐵使用の場合 (銻鋼歩留 44%)	
		銻鋼 1 匁 當り 所要重量 kg	銻鋼 1 匁 當り 所要經費 圓	銻鋼 1 匁 當り 所要重量 kg	銻鋼 1 匁 當り 所要經費 圓
海綿鐵	2.00	—	—	2,280	45.60
グライ粉	2.00	770	15.40	—	—
屑鐵(二等品)	3.50	330	11.55	—	—
滿俺銑	23.00	6	1.38	6	1.38
硅素銑	44.00	4	1.76	4	1.76
小 計	—	1,110	30.09	2,290	48.74
石 灰	2.30	100	2.30	150	3.45
マグネシア	5.50	20	1.10	30	1.65
螢 石	4.40	8	0.35	8	0.35
骸 炭	2.00	15	0.30	15	0.30
赤 鐵 鑛	4.40	10	0.44	—	—
小 計	—	—	4.49	—	5.75
電 極	100.00	12	12.00	13	13.00
電 力	2.50	KWH 900	22.50	KWH 2,000	50.00
工 費	—	—	5.00	—	5.50
修 繕	—	—	5.00	—	5.50
分 析	—	—	3.00	—	3.00
雜 費	—	—	3.00	—	4.00
小 計	—	—	50.50	—	81.00
總計 (銻鋼 1 匁當り代價)	—	—	85.08	—	135.49

第 39 表 鹽基性平爐製鋼實費調

(銻鋼歩留 90%)

種 目	100kg 當り代價 圓	所要重量 (kg)	所要經費 圓
鹽基性銑鐵	5.50	330	16.50
屑鐵(二等品)	3.50	550	19.50
グライ粉	2.50	220	4.40
滿俺銑	23.00	7	1.61
硅素銑	44.00	5	2.20
小 計	—	1,112	44.13
石 灰	2.30	120	2.56
マグネシア	5.50	30	1.65
螢 石	4.40	10	0.44
骸 炭	5.30	10	0.53
赤 鐵 鑛	4.40	15	0.66
滿俺鑛	4.20	10	0.42
小 計	—	195	6.26
石 炭	1.80	—	9.00
工 費	—	—	6.00
修 繕	—	—	6.00
分 析	—	—	3.00
雜 費	—	—	3.50
小 計	—	—	27.50
總計 (銻鋼 1 匁當り代價)	—	—	77.89

上述の諸表より海綿鐵を用ひて製造せし銻鋼

1 匁の製産費は普通の電氣爐製銻鋼よりも 50 圓 41 錢高く又鹽基性平爐製銻鋼よりは實に 57 圓 60 錢高價である。然し此比較に用ひたる電氣爐は 3 匁爐、平爐は 5 匁爐であるから若し大平爐にて大量生産する時は更に其差大となるであろう。然らば一般市場にて有利に作業せんと欲すれば先づ海綿鐵中の含有金屬減量を向上せしむると同時に電力の低廉なることを要するのである。次に其金屬鐵量は

幾何ならば採算とれるか 換言すれば鹽基性平爐鋼と競争出来るかといふに、大體其高價なる最大原因は酸化性鋼滓を二度作る爲めであるから若し一度にてすめば電力其他の經費節約されるのである。然らば一度の鋼滓にてすむには幾何の金屬鐵量を含むせねばならぬかを考へんに、先きに述べたる如く綿海鐵 1 匁を用ひたる場合が最大量であるから此時の全装入量に對する含有金屬鐵量を計算すれば 85% となる。∴全装入量に對する含有金屬鐵量の割合は $2,93 \div 53,500 \times 100 = 85\%$

第 40 表

種 目	配 合 量 kg	含有金屬鐵 量 %	含有金屬鐵 量 kg
鑄物屑	2,500	95	2,375
鋼屑			
グライ粉	1,000	56	560
海綿鐵			
合 計	3,500	—	2,935

それ故に海綿鐵中にも 85% 以上の金屬鐵量あれば一度の鋼滓にてすみ平常通りの作業と大差なく操業出来るわけである。今此金屬鐵量 85% 以上を含む海綿鐵は幾何の値ならば採算出来るかを計算して見やう。先づ電力を假に 1 KWH に付き 1 錢とし、海綿鐵の使用全額を x 圓とすれば第 41 表より海綿鐵製鎔鋼は 1 匁當り $(44.76 + x)$ 圓と

なる。

又鹽基性平爐製鎔鋼は匁當り 77 圓 80 錢なる故に海綿鐵製鎔鋼と平爐鎔鋼との代價を等しくせんには $x = 77.89 - 44.76 = 33.13$ 圓でなければならぬ。

然るに海綿鐵使用量は鎔鋼 1 匁に對し 1,300 kg なれば海綿鐵は匁當り凡そ 25 圓 50 錢となる。即ちこれならば鹽基性平爐鋼と競争出来るわけである。

$$33.13 \div 1,300 = 25.50$$

第 41 表 海綿鐵製鎔鋼實費調

(鎔鋼歩留 77% 假定)

種 目	100 kg 鎔鋼匁當り代價	鎔鋼匁當り所要重量	鎔鋼匁當り所要經費	種 目	100 kg 鎔鋼匁當り代價	鎔鋼匁當り所要重量	鎔鋼匁當り所要經費	種 目	100 kg 鎔鋼匁當り代價	鎔鋼匁當り所要重量 (kg)	鎔鋼匁當り所要經費
海綿鐵	—	1,300	x	螢石	4.40	8	0.35	修繕	—	—	5.00
滿俺銑	23.00	6	1.38	骸炭	2.00	15	0.30	分析	—	—	3.00
硅素銑	44.00	4	1.76	小計	—	165	4.62	雜費	—	—	3.00
小計	—	1,310	$x + 3.14$	電極	100.00	12	12.00	小計	—	—	37.00
石灰	2.30	120	2.76	電力	1.00	900	9.00	總計 (鎔鋼匁當り代價)	$x + 44.76$		
マグネシア	5.50	22	1.21	工費	—	—	5.00				

又電力を 5 匁とすれば 29 圓 10 錢ならば平爐鋼と比敵することゝなる。次に普通の場合と同じく其歩留を 90% 以上たらしめんには其金屬鐵量は 90% 以上でなければならぬ。然る時は電力 1 錢にて匁當りの價は 30 圓、又 5 匁ならば 34 圓 20 錢にて競争出来るわけである。何れにしても屑鐵と同値か又はそれ以下でなければならぬ。先きに述べたる如く海綿鐵が匁當り 20 圓ならば優に市場にて競争出来るわけである。

8. 結 論

1. 著者は久慈地方産砂鐵鑛より海綿鐵を製造し更に之を用ひて電氣爐にて鋼を製造せし實驗成績を述べた。
2. 久慈地方産砂鐵鑛は鹽基性にして磁鐵鑛を主成分として褐鐵鑛等は僅か含まれてゐる。それ故に磁鐵鑛のみを選別して用ふる方得策である。
3. 還元溫度は攝氏 1,000 度附近が適當である。又久慈産宮内炭も還元作業に有效なりといふ成績を得た。
4. 遠心叩解機を用ふれば海綿鐵の品位を向上せしめ得るが其損失を免れない。
5. 次に電氣爐にて鋼を製造せしに爐床の侵蝕も亦湯面上に浮び上ることも左程大でないから、注意して作業すれば全部海綿鐵のみにて作業なし得る。然し其海綿鐵中の含有金屬鐵量少き時は鋼滓に酸化鐵及び酸化チタン等多く混入して鋼滓を破壊し且つ膨れ上りて作業に支障を來たす。それ故に平常の作業と同様にせんと欲すれば上述の成分のものならば 1 吨を最多とする。
6. 電氣爐は平爐と異り低炭素の材料にても差支なき故に其金屬鐵量多く不純物（殊に酸化物）少ければ電氣爐製鋼材料としては良好である。但し電極の破片又は塊狀骸炭を装入すれば銻解作業を助ける。
7. 又經濟的に考ふれば金屬鐵量少き時は酸化性鋼滓を作りかへる爲め操業時間長くかゝり電力其他の消費多く、又其銻鋼歩留り悪しき故に應當りの工費非常に増加するのである。
8. 著者の實驗より推測すれば工業的作業には少くとも 85% の金屬鐵を含む海綿鐵の價が應當り 26 圓で電力が 1 キロワット時 1 錢以下でなければならぬ。

以上の實驗は久慈製海綿鐵に關するものであるが其含有鐵量少き爲め種々の支障に逢ひ製鋼材料としては未だ満足なるものでないといふ結論に達した。要するに著者の實驗は前述せし Bureau of Mine の調査せる事項を裏書したやうなわけである。然し此試鍊時代のものにも兎に角優秀なる鋼を製造し得る確信を得たるを以て其操作宜しきを得ば其成功を期待することは敢へて空言ではあるまい。幸ひ其後同製鐵所にては社長自ら社員を督勵して日夜研鑽努力されつゝあることなれば日ならずして其品位向上するであろう。然らば同地方は電力低廉なるを以て前述の憂は自ら除かれ經濟的價値を發揮するであろう。邦家の爲め一日も早く其完成を切望する次第である。

塊狀鐵鑛少き我國に於ては砂鐵の利用は目下の急務にて實に國家百年の大計である。それ故に一會社に委ね拱手傍觀すべきでなく苟くも鐵冶金に關係ある者は聊かなりとも其完成に援助すべき義務があるであろう。此意味に於て著者は斯界の諸先輩をさし抜きて其拙撰の誹を受けると知りつゝ敢へて紹介する次第であるから何卒叱責を寛し御援助下されんことを偏へに御願ひ申上げる次第である。

終りに終始御助力下されし青木元直、岩橋榮治及び其他關係諸氏に深く感謝す。

- 註 (1) Iron Age: July. 28. 1927.
 (2) 深田 辨三: 鐵と鋼 第13年 第5號
 (3) 長谷川 熊彦: 鐵と鋼 第12年 第2號
 (4) J. W. Neil: 日本鑛業會誌 第479號
 (5) 岡村 要藏: 日本鑛業會誌 第13年 第11號
 (6) J. W. Neil: Engineering & Mining Journal Feb. 5. 1927.
 向井 哲吉: 製鐵研究 第101號
 Iron Age: No. 14, Vol. 120, 1927.
 日刊工業新聞: 昭和3年1月1日
 (7) 長谷川 熊彦: 鐵と鋼 第12年 第3號
 (8) 谷山 巖: 鐵と鋼 第13年 第10號
 (9) 井上 克己、梅津 七藏: 鐵と鋼 第8年 第2號

鋼の腐蝕に及ぼす歪の影響に就て

(昭和三年十一月日本鐵鋼協會第三回講演大會講演)

遠 藤 彦 造

On the Influence of Mechanical Stress upon the Corrosion of Iron and Steel.

By Hikozi Endô.

The present experiment was carried out for finding the change of solubility of iron and steel in acid, caused by cold-working. The specimens to be tested were previously strained by means of tensile, torsional, impact and compression tests and then they were subjected to the action of one percent sulphuric acid and the loss in weight determined after 72 hours. All the results dealt with in the present experiment led to the conclusion that specimens deformed by stress beyond the elastic limit showed a measurable difference of solubility and the greater the strain, the greater was the corrodibility.

I. 緒 言

この報文は鐵の腐蝕に關する研究中の一項目を抜録したもので先に數種の他の元素を入れて固溶體を作つてその腐蝕を檢し又鋼を950°Cから焼入して之を數種の溫度で焼戻をしてその腐蝕を檢した。即ち前者は焼鈍をしても他の元素の溶解によつて鐵の原子格子は歪を受ける又後者は固溶體なるための歪と内部歪による歪との程度が種々異つた状態にある。是等の腐蝕現象は歪の見地からのみ之を見る事が出来ない事は明で、前者にあつては原子的に二つの異つた原子の存在によつて部分的に電極作用がある。後者では焼入焼戻による組織の變化があり同時に是等に附隨する歪の影響と見なされる。仍て著者は前二項に關聯して純鐵及び鋼の腐蝕に及ぼす歪の影響を知るために種々な常溫加工を施して實驗してみたのである。之に關する研究としては古く⁽¹⁾ Andrewsによつて、普通の焼鈍したものと歪を

(1) Min. Proc. Inst. Civil Engineers, 118 (1894), 356.