

を還元する、さう見ることも一つの見方ではないかと思ひます。

梅津君 さうすると CO が 25% も加はつて來ると還元非常に關係して來るやうに思ひますが、窒素が減つて CO が多くなると云ふと……。

岩瀬君 良くなつて居りますね。

梅津君 さうすると CO_2 がさういふ風な見解の還元をして行きますと、澤山出來る譯ですね。

岩瀬君 さうです。

梅津君 さうするとそれは窒素の影響を却つて邪魔することになりますね。

岩瀬君 其處に差上りました第 9 報の場合の通り其間のデリケートな關係に付て大勢を覗ふ様な結論を我々の實驗結果の説明に書いて置きましたが、石灰が入れば此通りにはいかぬが今申しました様に CO_2 の O との反應を早めて CO にすると云ふファクターが這入るだけですから、それと同じ様に考へて差支へないと思ひます。

梅津君 TiO_2 が $1,000^\circ C$ 位になりますと、其分解炭素の働は少ないと思ひます。さうなると其の過剰の炭素がある場合には其れが TiO に迄還元しやうと思ひます。 TiO になれば固體炭素になつて居るやつも、過剰の炭素も TiO の酸素を取らうとして居る所に最も結合力の強き窒素が澤山ありますから、其のチタンが窒素とくつついて其の酸素の離れた量が多くなります。

岩瀬君 それはこの曲線で明かであります。チタンを TiO_2 と炭素と窒素を通してやりますと $1,100^\circ C$ ……

座長 折角なんですが、段々と時が経ちますから簡単に御願ひします。

岩瀬君 それで此の曲線ですが TiO_2 に炭素を加へて石灰のない場合に窒素を通してやりますとこちらが溫度 $1,100^\circ C$, $1,200^\circ C$, $1,300^\circ C$ こちらが反應時間でありませんが、窒素の這入つた割合が、此近所の $1,100^\circ C$ 位になります、チタン中の窒素の分量はこれ位です。これは TiO_2 でやつたのであるが砂鐵が $1,100^\circ C$ 位では TiO_2 でスタートしたよりもまだ少い譯です。これを考へれば此中のチタンから來る酸素の量と云ふものは極く少いものだらうと思ひます。

梅津君 其場合には炭素が少いから多量の窒素を通すことはナイトロヴェキユーム 即ち眞空にすると云ふことと同じでありまして、其の眞空にしまして炭素は極く少い場合と思ふから、炭素の多い場合に高温で窒素を通ずる時は瓦斯測定還元率には又考がありやしないかと思つたのです。

岩瀬君 こちらは 40% 位入れて居りますが、それは吾々にはつきりした材料があつて申して居りますから……

座長 御氣の毒ですけども制限時間ですから中止して戴きます。

座長 次は『砂鐵の電氣爐製鍊』といふことに付て向山君に願ひます。

砂鐵の電氣製鍊に就て

(昭和 6 年 4 月 5 日 砂鐵研究部會に於ける講演)

向山 幹夫

目次

- I. 緒論
- II. 工業經濟化に關する研究
 1. 製鍊に適合する鑛滓の研究
 2. 製鍊爐の設計に關する研究
 3. 電氣製鍊の概況
 4. ヴァナジウムMの還元
- III. 電氣製鋼及び製品の特性
- IV. 總括及び結論
- 附記
- 以上

I. 緒論

砂鐵の利用は尙ほ残されたる國家經濟並に我國の工業上の一大問題である。銻鑛爐製鍊に適應する良鐵鑛の資源に恵まれざる我帝國に於ては、殊に砂鐵の利用に大なる關心を持つのである。況んや、砂鐵の埋藏量は今日知られたるもののみにて、相當の豊富さを傳へらるに於ておやである。従つて、古くより朝野齊しく、之が利用に關する

研究に力を致し今日に及べども、遺憾ながら未だ通常鑄石を用ふる鑄鑪製鍊法に比肩して之を経済的に角逐し得らるべき境地に至つて居らない。

之れは主として次の原因に依る。

1. 砂鐵はチタン酸を多量に含有する事。(我國の砂鐵は平均 10% 以上のチタン酸を含む)
1) 2) 3)
2. 産出の際粉又は砂粉状である事
3. 採集及び製鍊の方法が、従來のもの大いに趣きを異にし古き經驗を其儘應用し得ざる事

殊に砂鐵を鑄鑪に用ふる時は、砂鐵の含有組成成分と物理的性質の關係上、鑄鑪の操作に種々なる支障を惹き起すものとせられ、砂鐵のみを原料とする製鍊は、現在の儘にては殆んど絶望と考へられて居る 2) 4) 5) 6)。

砂鐵を直接還元法に依りて、或は瓦斯を用ゐ又は石炭に依つて海綿鐵となす事は、前者に比較すれば遙かに有望視されて居る 7) 8) 9) 10) 11)。この方法による大規模の砂鐵製鍊の研究も實施されたが、砂鐵は他の鑄石よりも遙かに還元し難く、還元後其の含有するチタン酸を分離除去する必要がある。之がために鋼とするには、必ず熔融しなくてはならない。則ち従來の製鋼法と異り熔融して、先づチタン酸の鑄滓化を行ひ、之を除去したる後始めて製鍊して鋼となすのである。

この方法によつて製造したる海綿鐵は極めて酸化しやすく空中に放置するも容易に酸化される。又熔融には比較的高温度を必要とする。依つてこの酸化を避け、又高温で熔融製鍊に使用する、爐裏付材料、鑄滓材料等に今日以上の進歩研究を見出し得ざれば、この海綿鐵を平爐に於ける屑鐵代

用品 11) とする事も、又之を連続的に熔融して鋼とする事も多くの困難を伴ふ。

依つて砂鐵を利用するためには、先づチタン酸の除去分離を出来るだけ、完全に低温度にて行ひ、同時に原鑄石中に含有する鐵分を可及的容易に多量に還元分離しなくてはならない。

此の目的のためには砂鐵から先づ銑鐵を作り、其際チタン酸と分離し、空中に放置するも其の製品は酸化し難くなると共に、容易に鋼となしやすくする事が必要である。

三菱製鐵會社に於て、著者等のとつた方法は全體此の目的に叶ふもので、電氣製鍊法によつて銑鐵を作り之を鋼に變成するのである。その銑鐵を製造するに當りてチタン酸を含チタン可溶性鑄滓として鐵と分離し殆んど還元して銑中に來る事なからしめた。この方法に依る時は既に述べた鑄鑪法及び直接還元法に夫々固有の缺點を十分に排除してやゝ理想通りに作業を進める事が出来るのである。

之實に我社に於て、新しく電氣製鍊法を選んだ所以である。而してこの銑鋼一貫作業を電氣製鍊法に依つて營む時は、地方的條件其他の如何によりては、充分工業化する事が出来ると信ずるのである。

II. 工業經濟化に関する研究

1. 製鍊に適合する鑄滓の研究 如何なる製鍊法を採用するとも、熔融に際しては目的とするものに、最も適合する鑄滓を必要とする。今電氣製鍊によつて銑鐵を先づ第一に製造するのであるからこの銑鐵の製造にもつとも適合した鑄滓を作らなければならない。この場合には少なくとも鑄滓は次の 3 條件を満足するものでなくてはならない

- (イ) 熔融温度は鉄鐵の熔融温度に成可く近い事。而して、可及的低温度にて熔融する事
- (ロ) 鑛滓中には出来るだけ多量のチタン酸を含み、よく流動する事
- (ハ) 製鍊に際し、その鑛滓を用ゐて任意の鉄鐵を製造し得る事

この目的を達成するために、種々なる組成の鑛滓に就いて研究した結果、別に發表する11) 特殊なる組成の鑛滓を發見し、之に假りにユーテクチック鑛滓と命名した。今鑛滓中のチタン酸及び鑛滓量を、製造せらるべき鉄鐵に對して變化し、同一重量の熔劑を添加すれば、熔融點及量の變化は第1表、第1圖の如くなり、ユーテクチック鑛滓がもつとも適合するものである事を示して居る。

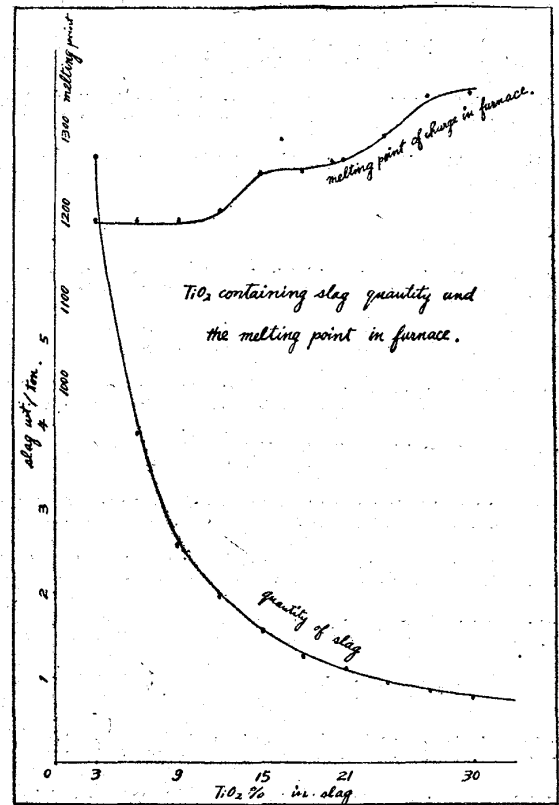
この場合鑛石は代表的組成を有する千葉縣産砂鐵をとりその内に含まるゝチタン酸及び鐵を基準として表はしたものである。この砂鐵の組成は第3表に示したもので、鑛石に熔劑のみを加へて加熱し熔點を測定した。

第1表 鑛滓量、成分及び熔融温度表

番號	鑛滓中の TiO_2 %	鑛滓量/鐵 kg	鑛滓中の $Al_2O_3 + TiO_2$ %	熔融點 °C	備考
1	3.0	7.77	3.24	1,180	銻鑛爐に許し得る%
2	6.0	3.89	6.48	1,170	平爐に許し得る%
3	9.0	2.59	9.74	1,215	以下兩者に不適合
4	12.0	1.94	13.00	1,240	
5	15.0	1.55	16.25	1,250	ユーテクチック鑛滓
6	18.0	1.29	19.50	1,280	
7	21.0	1.11	22.70	1,320	
8	24.0	0.97	26.00	1,320	
9	27.0	0.86	29.35	1,340	
10	30.0	0.77	32.80	1,330	

實驗に依るにユーテクチック鑛滓は甚だよく前記の條件に適合する。此の鑛滓を用ゐて電氣製鍊

第1圖 鑛滓量及び組成關係圖



を行ふ際に、製造せらるべき鉄鐵の種類を決定すべき條件及び其の機構に就てはすでに本會誌16) 上で發表したところである。

2. 製鍊爐の設計に關する研究 いかなる良法もこれを適用すべき機械設備が不完全なればその機能を更らに發揮し得ざるは言を俟たざる所である。砂鐵を製鍊するにあたりて、其の目的を達するために極めてよくこれに適合する爐を研究しなくてはならない。今製鍊に於ける化學反應を見るに、之は比較的高温度を必要とする。少なくとも鉄鐵及び鑛滓が生成し熔融する温度以上でなければならぬ。

又此の反應に於ては還元作用のために、常に爐内に多量の瓦斯を生ずる。この瓦斯は頗るCOに富み發熱量が高い依つて、これを捕集し利用する工夫がなければならぬ。次に電力消費の點より考ふれば、製鐵反應に使はれる電力は比較的大き

い。加之製鍊爐は他の條件の許容し得る範圍で大容量のものを選ぶべきである。

故に電氣製鍊を工業化する上には是非とも、この爐の設計に関する研究を行はなくてはならない。

従つて従來の電氣爐様式を借りて直ちに之を製鍊に應用する事はもつとも策を得ざるものの一なりと考へらるゝが故に、著者¹²⁾¹³⁾は砂鐵製鍊に必要な爐の設計に関する研究を行つた。

其の結果熔融製鍊爐に於ては、電流、電極の直徑及び熔融體の大きさの間には、次の關係が存在する事が明かとなつた。即ち

$$y = mx + k$$

此の式中 y は熔融體の大きさを cm, x は電極の直徑を mm にて表はしたものである。 m 及び k は電流による恒數で第2表の如きものである。これを曲線にて示せば第2圖の如くなる。

第2表 電氣爐に於ける k 及び m の價

(a) Experimental data

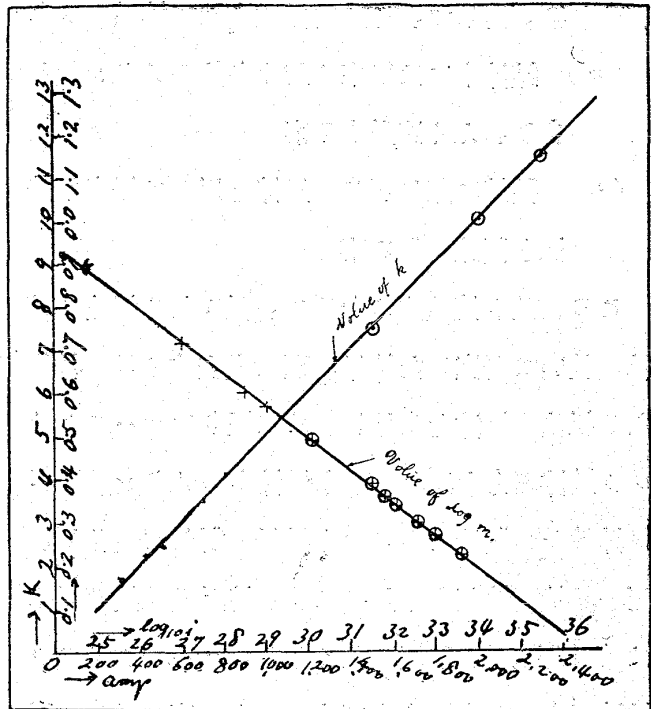
amps.	m	k
300	0.132	1.75
500	0.194	2.50
700	0.249	3.50
800	0.268	4.30
1,000	0.296	5.20

(b) Values extrapolated

amps.	m	k
1,200	0.38	6.00
1,400	0.42	7.00
1,500	0.45	7.50
1,600	0.47	8.00
1,800	0.52	9.00
2,000	0.50	10.00
2,300	0.62	11.50

此の式及び表に基いて砂鐵製鍊用密閉式電氣爐

第2圖 m 及 k の價の圖



を築造し、三相式電流によつて製鍊を行ふた。第3圖はその外觀を示したものである。この爐に於て、前記のユーテクチック鑛滓を使用して砂鐵¹⁴⁾

第3圖 砂鐵製鍊爐



を製錬せるに、甚だよく順調に作業を連続する事が出来た。

この爐に依れば電極の消費は後に述ぶる開放型と大差なけれども、電力の消費は著しく減少し別紙報告 16) に述べた様な結果となり、同時に多量の有効瓦斯を捕捉する事が出来た。

著者は更らに進んで、銑鐵から製鋼を行ふ場合の鑛石に依る銑鐵の酸化に関する研究 15) を行ひその結果に基づき、新に三相式電氣製鋼爐を設計築造した。このものは従來の爐に比し、著しく爐床を廣く且つ淺くし、反應を迅速に行ひ得るものとした。之に依つて第 3 圖に示す爐より得たる銕銑を處理して鋼とした。第 4 圖は製鋼爐の外観を示す。

第 4 圖 製 鋼 爐



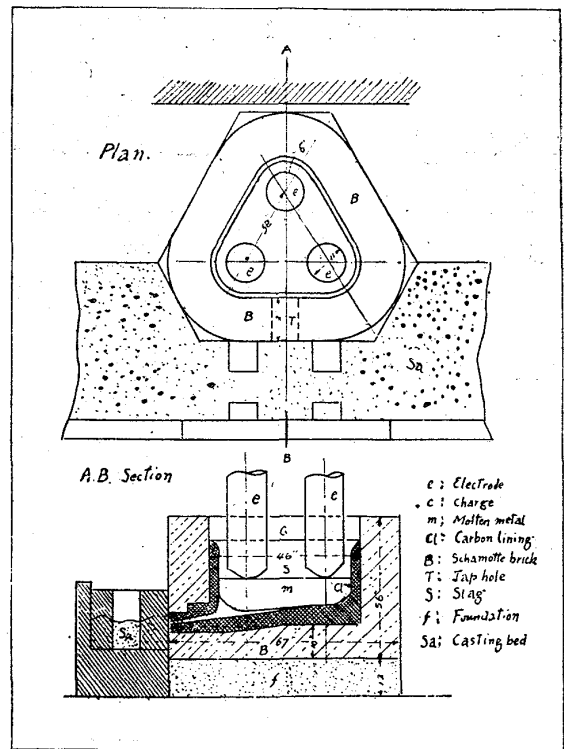
3. 電氣製錬の概況 砂鐵の電氣製錬に必要な鑛滓及び其の作用を明かにする事が出来た。依つて次表に述べる各種の原料を使用して製銑作業を實施した。まづ電氣爐作業に修熟し、同時に化

學理論の示す價と實際との相違其他を検出するために開放型の電氣爐で、久慈砂鐵の精鑛を處理した。この研究に便した、爐は第 5 圖に示すごときものである。

第 3 表 原鑛組成表 (代表例を示す)

産 地	Fe	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	P	S
久 慈	56.11	11.84	4.88	3.53	—	0.16	0.09	0.08
久慈精鑛	59.36	10.96	1.55	1.44	—	0.06	0.098	0.07
千 葉	51.76	15.69	6.47	3.54	0.30	0.90	0.08	0.07
千葉精鑛	53.96	13.54	2.68	2.24	0.30	0.30	0.08	0.01

第 5 圖 開 放 型 電 氣 爐



還元劑及熔劑の組成は省略する (本會誌 6 月號参照) が大體市場にある普通品である。この電氣爐の容量は 300 k.w. である。製錬に使用した還元劑は石炭、木炭 (雜及び堅) である。其の實驗の結果は第 4 表の如くである。石炭を還元劑とすれば瓦斯の發生過多となり、稍もすれば爐況を亂すので門多¹³⁾ 氏や長谷川²⁾ 氏の報告の様に便利なものとは思はれない。

次に密閉式電氣爐による製錬の研究を行つた。

このものは前節に述べたる研究の結果築造したのである。常用電力を 200 k.w. とした。この爐に於ては前記鑛石を用ゐ還元劑として、木炭、コークライト、粉骸炭、燧石、粉炭、無煙炭等を使用した。この場合には石炭は殊に瓦斯を過多に發生し、タールを出してもつとも操業に不便であつた。其他は還元劑としていづれも有効に使用された。還元に要した時間（従つて電力）を以つて還元の強さを表はさしむるなれば大體上に書いた順序になつて居る。

而して、是等の還元劑は、各々が物理的、化學的に性質の異なるが如く、操業にも夫々異つた注意を必要とする。然しながら製造される銑鐵には殆んど差異がなく第5表に示した通りである。

第4表 爐の種類に依る操作表(平均代表例)

爐の種類	電極消費 kgs.	電力消費	銑の種類	還元劑	鑛石中の 鐵分(%)
開放型	40-55	2,135	白	木炭	59.6
	46	2,930	鼠	〃	〃
	〃	2,410	白	石炭	〃
	40-43	3,150	鼠	〃	〃
密閉型	10-16	3,170	鼠	木炭	53.03
	12-16	2,630	白	〃	〃
	8-12	2,800	白	燧石	58.96
	10-15	2,490	白	粉骸炭	〃
	〃	2,210	白	半骸炭	〃
	〃	2,930	鼠	粉骸炭	〃

同一装入にても還元劑によつてかなりな相違が出来て居る。一般的には、使用電力は使用する鑛石の品位に大に關係し、品位高く又還元力の大きい鑛石と還元劑を使つた方が消費量を減少する。

又電力消費は爐形によつても影響さるべきであるが開放型と密閉型とは其の性能が全然相違するので、これを一括して論ずる事は不能である。

第5表は各種還元劑に依つて砂鐵を製鍊した製品及び鑛滓の代表例である。

第5表 還元劑の變化に依る鑛滓及び製品組成表

(a) 銑鐵組成表

番號	還元劑	爐の種類	珪素	滿侖	チタン	炭素	磷	硫黃
1	木炭	開放型	0.31	—	tr	3.16	—	—
2	石炭	〃	0.92	—	〃	3.96	0.10	0.07
3	木炭	密閉型	0.24	0.17	0.08	3.19	0.08	0.04
4	半骸炭	〃	0.23-0.56	0.11	0.19	3.59	0.23	0.04
5	粉骸炭	〃	0.86	0.19	0.16	3.67	0.012	0.04
6	燧石	〃	0.165	0.296	0.043	2.25	0.043	0.01
7	無煙炭	〃	0.207	0.09	0.09	2.85	0.083	0.034

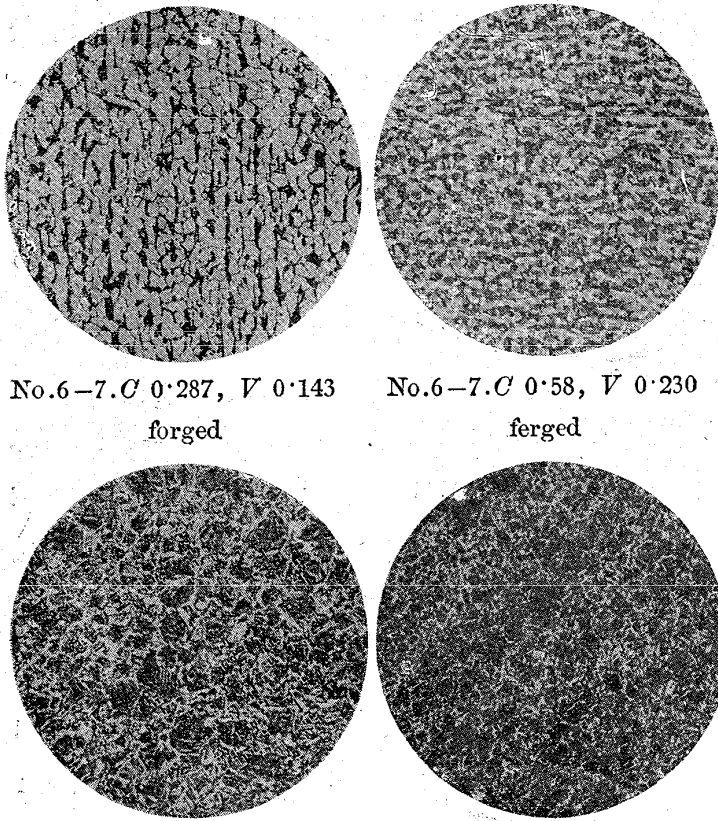
(b) 鑛滓組成表(上表に相當す)

番號	珪酸	石灰	苦土	チタン酸	礬土	一酸化鐵
1	38.60	32.23	—	16.78	4.20	6.36
2	40.16	28.88	— MnO	17.62	2.03	1.27
3	41.31	25.93	0.76	14.44	9.24	7.45
4	45.96	28.70	—	12.95	9.47	4.26
5	41.01	30.97	0.57	13.70	9.42	3.21
6	44.62	30.07	0.57	13.98	7.01	3.89
7	38.65	27.47	0.76	15.30	9.81	2.60

4. ヴァナジウムの還元 砂鐵の中にヴァナジウムの含有せらるる事は古くより知られたところである。この元素が鋼又は銑中に入る時は著しく其の性質を改善する。特に鋼に於ては其の強度及び靱性を増すものとされて居る。この優良なる成分は現在鐵合金として鋼中に加へらるゝものなれども添加にあたりて消失多く、其の價格極めて高きを缺點とする。然るに我國に産出する砂鐵は 0.1-0.5% の V_2O_5 を含有するのである。これは鐵鑛としての砂鐵の大なる強味の一つである。

砂鐵中に含有せられたチタニウムに就ては、これが鋼又は銑に入る際餘り有効ならずとされてゐる。依つて製鍊にあつては原鑛に含まるゝヴァナジウムは、これを可及的還元して銑中に至らしめ、同時にチタニウムはこれを悉く鑛滓化する必

第7圖 砂鐵よりの鋼の組織圖



No.6-7. C 0.287, V 0.143
forged

No.6-7. C 0.58, V 0.230
ferged

No.6-7. C 0.287, V 0.143
quenched from 820°C into oil

No.6-7. quenched from 820°C into oil

第8表 鋼の強度表

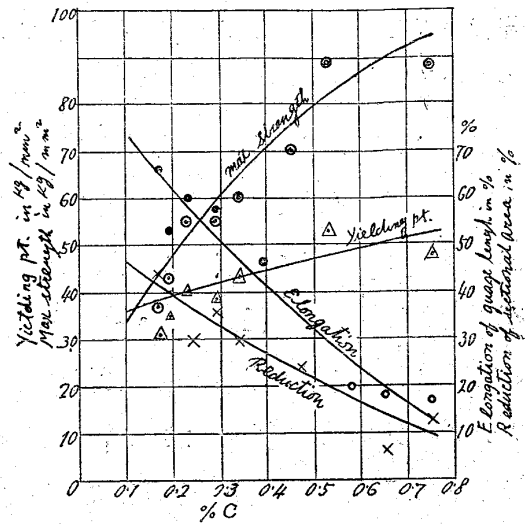
(kgs/mm², 標間距離 40 mm 直徑 11.2 mm)

No.	彈性限界	抗張力	斷面縮少 %	伸長 %	C%	V%
6-21	31.00	36.69	66.60	43.50	0.17	0.194
6-18	32.28	41.06	58.08	46.70	0.26	0.222
6-6	38.88	59.79	59.06	39.80	0.37	—
6-12	38.62	69.53	51.55	26.90	0.45	0.140
6-13	49.93	88.30	16.80	13.40	0.75	0.180
5-18	77.05	107.45	33.28	19.13	1.021	—

又銑鐵に就て見るに、第5圖及び第6圖に於て示した通り白、鼠兩種の銑鐵を作り得る。其の白銑はその破面に最も大きく白銑の特徴を表はしてゐる。その結晶の成長は大きく且つ均一である。

鼠銑は生成溫度の關係上目の細い密な組織の破面のものが得やすい。然しその質は極めて緻密で容易に破れない特性がある。従つてこれは強度を要し或は磨滅されやすいところに用ゐてもつとも

第8圖 鋼の強度圖



好適な鑄物が出来ると思はれる。

IV. 總括及び結論

砂鐵の製鍊には種々なる方式があるが夫々幾分か固有の缺點を免れない。これは砂鐵其物の物理的並に化學的成分性質に基因するものである。鎔鑪法に必然伴隨すべき缺點を除き、海綿鐵法の免れ難い短所を排し之等兩者の特長を併有するものが電氣製鍊法なる事を論じた。然し未だ世人の多くは、この電氣製鍊法は多大の電力を要し經濟的には到底成立し得ざるものなりと信じて居る。然しこれはこの電氣製鍊法を工業化すべき研究が未だ行はれざる場合に主として歸納された結論に基くものである。著者はこの工業化のために

1. 製鍊操作に必要なして適當なる鑄滓組成を研究し之を決定した。之を假りにユーテクチック鑄滓と命名した。
2. 砂鐵製鍊に特に適當する製鍊爐の築造設計に關する研究を行ひ之を實施し其の有効適切なるを證明した。
3. 從來棄てゝ顧みなかつた排瓦斯を回收する事とした。この組成は大體 CO 70%, CO₂ 20%

其他 10% で發熱量 2,300 カロリー以上を有し銑鐵坩堝當り約 1,000 n.³ を發生する事を立證した。

4. 還元劑として從來銑鐵爐工場に不適當なりし骸炭末をもつとも有効に使用出来る。

5. 銑鋼一貫作業の方式に依りて、電力電極を最も經濟的に使用し得る事を明かにした。

6. 鋼材及銑鐵の諸性質を明かにした。

(本研究は三菱製鐵會社研究室に於て之を行つたものである。その遂行にあたりてつねに御指導と御援助を賜つた東京工業大學加藤先生、商工技師大橋多吉氏、三菱製鐵專務取締役松田貞治郎氏、同取締役工學博士河村曉氏其曲に厚くこゝで謝意を表します。)

参 考 文 獻

- (1) 村上 我國に於ける砂鐵の分布と其の地方的狀態鐵と鋼、第 13 年第 2 號
- (2) 長谷川 砂鐵の研究、製鐵所研究報告、第 6 卷第 1 號
- (3) 梅津 砂鐵製煉に關する研究、鐵と鋼、第 12 年第 7 號
- (4) Bachmann Titaniferrous iron ore in the blast furnace, Iron Age p.1,470, 1914.
- (5) J.A.Heskett The utilization on titaniferrous iron ore in New Zealand, J.Iron & Steel Inst. p.201, 1920.
- (6) A.Stansfield Smelting of Titaniferrous Iron Ores, Proc.Part.IV, Emp.Min.& Met. Cong Section C, 1927.
- (7) 向井 久慈製鐵所に於けるスポンジ鐵製造の概要鐵と鋼、第 15 年第 5 號
- (8) 谷川、北山 砂鐵及び海綿鐵に關する二三の實驗鐵と鋼、第 14 年第 4 號
- (9) 岩瀬 金屬の研究、昭和 5 年 1 月、12 月
- (10) 工藤 昭和 6 年 4 月本研究部會講演
- (11) 著者 砂鐵の電氣熔融製煉研究の概要、鐵と鋼、第 17 年 6 號
- (12) W.Godwin. A Method of Smelting of Titaniferrous Iron Ores, The Hon.Adv. Con. for Sci. & Ind.Res. Rept, No.8, 1921, Ottawa Canada,
- (13) 門多、群司 臺灣總督府中央研究所報告、砂鐵の電氣製煉、大正 11 年 9 月
- (14) 著者 電氣熔融製煉爐設計の基礎に關する研究、電氣化學會誌、昭和 6 年 6 月
- (15) 著者 製鋼作業中の熔銑の酸化に關する理論的考察、鐵と鋼、第 16 年第 10 號
- (16) 著者 電氣爐に於ける白銑鼠銑の生成因子並に黒鉛化の機構、鐵と鋼、第 17 年 1 號

座 長 次は『砂鐵の實地製煉に就て』工藤さんに御願ひ致します。

砂 鐵 の 實 地 作 業 に 就 て

(昭和 6 年 4 月 5 日 砂鐵研究部會に於ける講演要旨)

工 藤 治 人

安來製鋼所に於きましては和鐵、和鋼を製造す可き傳統的的使命を持つて居りますので從來タ、ラ爐の生産物の精製を行つて來たのであります。大正 14 年以後雲伯地方に於けるタ、ラ爐操業の廢絶に由り製鋼原料として角爐吹木炭白銑を製造して居るの外低炭素の原料追々拂底しますので、大正 15 年私の就任以來スポンジ製造を思ひ立ちまして昭和 3 年から幼稚なる方法で安來の本工場に砂鐵を運び入れまして海綿鐵を作つて居つた次

第であります。

砂鐵には火山系のものと花崗岩系のものとあります。花崗岩系のものに眞砂(マサゴ)と赤目(アコメ)との 2 種の砂鐵があります。火山系のもは日本に澤山ありまして日本の製鐵原料として使用されなければならぬもの今日各研究所で研究されて居りますのは此の種類のもであります。これにはチタン酸が澤山存在して居りますので精鍊上厄介があります。即ち研究を要する次第でありま