

# 久慈海綿鐵よりバナヂウム鋼 製造の半工業的實驗概要

(第2回砂鐵部會講演)

上野建二郎

## ON THE SEMI-INDUSTRIAL EXPERIMENT OF THE MANUFACTURE OF VANADIUM STEELS FROM KUJI SPONGE IRONS.

by Kenjiro Ueno, Kogakushi

*SYNOPSIS:-* The iron sand in the Kuji region in Japan contains about 0.15~0.35% of Vanadium as Vanadium oxide, and the Kuji sponge iron made from this iron sand also contains 0.2~0.33% of Vanadium as Vanadium oxide.

The author formerly reported in this Journal (1931, No. 7, p. 692) about the successful results of the manufacture of Vanadium steels from Kuji sponge irons in the Osaka Imperial Industrial Institute, by the author's method of melting the sponge iron in the 50 Kgs-electric-furnace under the peculiar three slags system.

Recently the author succeeded also in the semi-industrial experiment using the 500 Kgs. electric furnace, the present paper is one of the reports upon this experiment.

### 目 次

- I. 緒言 研究の經過概要
- II. 半瓏電氣爐に於ける熔解實驗
  - 1. 半瓏電氣爐構造の詳細
  - 2. 特殊三鑛滓法による熔解實驗
- イ、磷分除去に成功せる例。ロ、磷分除去に失敗せる例。ハ、成生鋼の炭素量とバナヂウムの量との關係。ニ、装入石灰量と第一出滓の時に於ける熔鋼のバナヂウム含有量との關係。ホ、装入石灰量と第一出滓の時に於ける熔鋼の磷含有量との關係。ヘ、装入石灰量と第一出滓の時に於ける熔鋼の炭素含有量との關係。ト、第一出滓の時に於ける熔鋼の磷とバナヂウムとの相互關係。
- III. 電力所要量に關する考察
- IV. バナヂウム鋼生産費に關する考察
- V. 結論

#### I. 緒言 研究の經過概要

本誌第17年7號(昭和6年7月)に於て著者は久慈海綿鐵よりバナヂウム鋼の製造の標題の下に大阪工業試験所に於ける5kg電氣爐及50kg電氣爐による久慈海綿鐵の熔解試験に就て記述し、其の結論として

1. 磷分少き砂鐵より作つた海綿鐵を電氣爐に於て強還元性鑛滓の下に熔解する時はバナヂウム鋼を得ることを推定出来る。

2. 磷分多き砂鐵より作つた海綿鐵を用ひても特殊の三鑛滓法を用ふるならばバナヂウム鋼を作ることが出来る。

と云ふ事を述べた。(猶上記研究の詳細は大阪工業試験所報告第12回第14號、昭和6年12月にある。)我大阪工業試験所に於ては此の特殊の三鑛滓法によるバナヂウム鋼製造實驗を更に幾分規模を大にして行ふこととなり、半瓏電氣爐を用ひて此の熔解實驗を行ひ相當の成果を得た。此處に其の一部を概説し、大方の御教示御批判を冀ふ次

第である。猶詳細なる數値は紙面其他の都合上試験所報告に於て記述する事とした。

II. 半珪電氣爐に於ける熔解實驗

1. 半珪電氣爐構造の詳細:—半珪電氣爐構造の詳細は第1表に示す如くである。要するにエレクトロメタル型の極く小型のものであり、二相交流爐床傳導式なるを其の特徴として居る。但し半珪爐と云つてもこれは鋼屑を装入熔解する場合の適當なる装入量が半珪であるのであり、従て久慈海綿鐵の如き粉状のものは 300 kg 位しか装入し得ないのである。従て本研究に於ては 200 kg 或は 300 kg を 1 回の装入量となした。

第 1 表 半珪電氣爐の詳細

型 式	二相エレクトロメタル型 爐床傳導式
操業電壓	100v, 85v
操業電流	1,500A×2
電 極	直徑 6'', 長 4' 黒鉛(日本カーボン E.G.1)
電極の上下	電動、三相誘導電動機 (1 IP)
爐 床	マグネサイト・クリンカー + コールター
天 井	珪石煉瓦 (34 番)
爐床より天井迄	75 cm.

爐體の大きさ 165×155×195 cm

爐壁の厚さ 40 cm

爐體の傾動 電動、三相誘導電動機 (3 IP)

2. 特殊三鑛滓法による熔解實驗:—最初の鑛滓を還元性鑛滓とし、且つ還元度を適當にして熔鋼作業中に燐を鑛滓中にバナヂウムをそれぞれ保有する如くし、此の鑛滓を流出して保存しておく。次にスケール石灰等を投入して酸化性鑛滓を作つて燐を除去し又此の鑛滓を流出した後、第1鑛滓を再び装入しコークスを投入して強還元性鑛滓となしバナヂウムを還元して熔鋼中に來らしめ、燐分少きバナヂウム鋼を作ると云ふのが本研究の特殊三鑛滓法である。此の方法を前記の半珪電氣爐にて實驗した結果は第2表及第3表に示す如くである。

イ、燐分除去に成功せる例

第2表の諸例はこれを示す。第1熔解期末に燐分多きバナヂウム鋼が出來、第3熔解期末に燐分少きバナヂウム鋼が出來ることを明かに示して

第 2 表 熔 鋼 成 分 の 變 化

No.	装入石灰量%	時 期	C	Si	Mn	P	S	V	備 考
①	10	第1 熔解期末	0.63	—	0.17	0.058	0.023	0.26	第3鑛滓はフェロシリコンにて還元す
		第2 〃	0.19	—	0.04	0.002	0.015	0.03	
		第3 〃	0.15	0.34	0.42	0.028	0.025	0.11	
②	10	第1 熔解期末	0.53	—	0.10	0.053	—	0.37	第3鑛滓はフェロシリコン及コークスにて還元す
		第2 〃	0.04	—	trace	0.007	—	0.03	
		第3 〃	0.29	0.20	0.12	0.036	0.031	0.24	
③	15	第1 熔解期末	0.21	—	0.15	0.054	—	0.15	
		第2 〃	0.19	—	trace	0.003	—	0.03	
		第3 〃	0.35	0.10	0.18	0.025	0.045	0.13	
④	15	第1 熔解期末	0.36	—	0.12	0.068	—	0.08	第1鑛滓の色少しく黒し
		第2 〃	0.03	—	trace	0.003	—	0.03	
		第3 〃	0.45	0.11	0.56	0.038	0.036	0.26	
⑤	15	第1 熔解期末	0.29	—	0.20	0.054	—	0.17	
		第2 〃	0.03	—	trace	—	—	0.03	
		第3 〃	0.52	0.05	0.40	0.034	0.028	0.21	
⑥	20	第1 熔解期末	0.32	—	0.20	0.039	—	0.23	
		第2 〃	0.04	—	trace	0.009	—	0.03	
		第3 〃	0.37	0.04	0.32	0.036	0.040	0.18	
⑦	20	第1 熔解期末	0.35	—	0.18	0.060	—	0.24	
		第2 〃	0.04	—	trace	0.003	—	0.03	
		第3 〃	0.31	0.07	0.23	0.029	0.045	0.14	
⑧	20	第1 熔解期末	—	—	—	—	—	—	
		第2 〃	—	—	—	—	—	—	
		第3 〃	0.76	—	0.51	0.037	0.008	0.17	

第 3 表 熔 鋼 成 分 の 變 化

No.	装入石灰量%	時 期	C	Si	Mn	P	S	V	備 考
①	20	第 1 熔解期末	0.86	—	0.09	0.039	0.012	0.12	塊状コークス使用
		第 2 〃	0.40	—	0.08	0.026	0.089	0.03	
		第 3 〃	1.27	0.10	0.24	0.070	0.038	0.17	
②	8	第 1 熔解期末	0.52	0.02	0.10	0.058	0.024	0.18	塊状コークス使用 第 3 鑛滓はフェロシリコンにて還元
		第 2 熔解期	0.84	—	0.18	0.066	0.053	0.12	
			1.12	—	0.09	0.035	0.071	0.05	
			0.68	—	0.08	0.051	0.039	0.05	
		第 3 熔解期末	0.48	—	0.07	0.047	0.081	0.05	
第 1 熔解期末	0.48	0.01	0.33	0.063	0.040	0.15			
③	8	第 1 熔解期末	0.92	0.01	0.06	0.062	0.065	0.13	塊状コークス使用 第 3 鑛滓はフェロシリコンにて還元
		第 2 熔解期	0.47	—	0.17	0.049	0.024	0.08	
			0.68	—	0.11	—	0.060	—	
			0.55	—	—	0.033	0.041	—	
		第 3 熔解期末	0.61	0.01	0.09	0.028	0.054	—	
第 3 熔解期末	0.62	0.11	0.20	0.042	0.041	0.16			
④	20	第 1 熔解期末	0.38	—	0.07	0.041	0.024	0.17	
		第 2 〃	0.06	—	0.04	0.036	0.094	0.04	
		第 3 〃	0.62	0.31	0.34	0.042	0.022	0.24	
⑤	15	第 1 熔解期末	0.32	—	0.32	0.064	—	0.24	
		第 2 〃	0.03	—	trace	0.010	—	0.04	
		第 3 〃	0.40	—	0.36	0.054	—	0.19	
⑥	15	第 1 熔解期末	0.32	—	0.09	0.052	—	0.15	第 3 鑛滓はフェロシリコンにて還元
		第 2 〃	0.05	—	trace	0.000	—	0.03	
		第 3 〃	0.18	0.12	0.12	0.045	0.059	0.10	

居る。表中第 1 熔解期末に於てバナヂウムが非常に多く入り過ぎた例などあるが、これは装入石灰量其他の條件によりかく成つたもので、此の事は後節に記述してある。

ロ、磷分除去に失敗せる例

第 3 表の諸例はこれを示した。其の失敗の原因には 3 種類ある。

1. 第 1 熔解期末に充分に熔鋼中に磷を入れる事が出来ない爲、
2. 第 2 熔解期(酸化期)に於て脱磷不完全なる爲(第 2 鑛滓の温度高すぎる時、又酸化不足の時)
3. 第 2 鑛滓の除去完全ならざる爲(第 3 熔解期に於て此の残留せる第 2 鑛滓より再び磷が還元せられて熔鋼中に入り、且つかゝる際は強還元性鑛滓を作るために還元剤を多く要し、これより又磷が入るのである。)

以上三つの中の何れか一つの原因により成生鋼

に磷が多くなるのである。

第 3 表に於て①は第 1 鑛滓温度不足なりし爲熔鋼中に磷を多量に含有せしめ得なかつたのみならず、第 2 鑛滓の酸化不充分なりし例である。②及③は第 2 鑛滓の酸化不足の例である。④は第 2 鑛滓の温度高すぎ磷が除去出来なかつた例である。⑤及⑥は第 2 出滓のとき鑛滓が充分に出なかつた例である。

塊状コークスを第 1 鑛滓の還元のとときに使用すると其の一部は鑛滓中に分散せず塊状のまま、爐壁などに附着して居るため、第 1 出滓後第 2 鑛滓にて酸化を行つても此のコークスが非常に害をなし酸化作用を妨害する。第 3 表の②及③を見るに第 2 熔解期に於て熔鋼の炭素が増加したり、減少したりして結局殆んど減少して居らず、酸化不完全に終つて居るのは此のためである。故に塊状コークスを使用することは實に危険である。第 2 出滓のとき鑛滓の温度が高すぎる爲に磷の除去に失

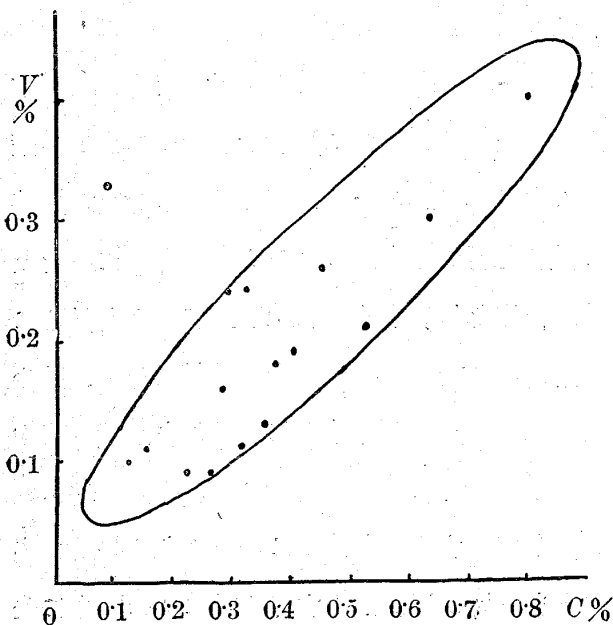
敗する事は爐に習熟しさいすれば殆んど絶対に無い。著者も實驗の初期に於て此の失敗をなしたが後には殆んどなかつた。第2鑛滓の充分出ない爲による失敗はよくある。爐の調子で鑛滓の一部が爐壁に附着して了つた時などは第3鑛滓の時此の黑色鑛滓が混入して來るため還元劑たるコークスを餘計要し、常時の3倍位消費する事がある。かかる場合には熔鋼の磷は必ず多くなつて居る。蓋し酸化性鑛滓中の磷が還元されて入るためと還元劑中の磷が入るためである。

ハ、成生鋼の炭素量とバナヂウムの量との關係  
第3鑛滓のとき炭素劑の投入量を多くするか或は同一投入量でも溫度其他の關係で脱酸が充分に行はれる様な状態に於てはバナヂウムは多量に鋼中に入るが、同時に炭素も鋼に入り易い。従てバナヂウム含有量は炭素量を多くする程多くさせ易く逆に炭素量を少くするとバナヂウムが鋼に入りにくい。

第1圖は本研究に於ける實驗結果の成生鋼の炭

第 1 圖

成生鋼の炭素量とバナヂウムの量との關係



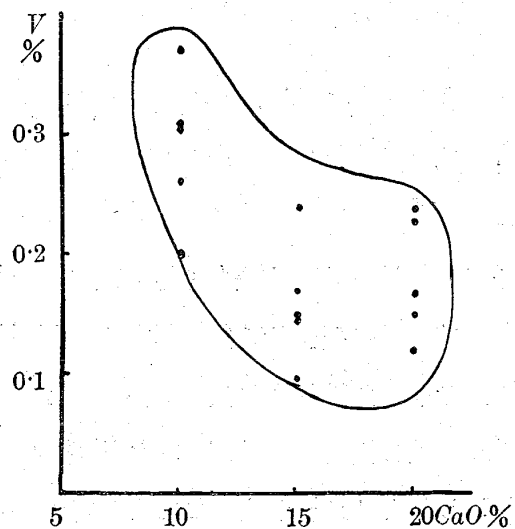
素量とバナヂウムの量との相互關係を示すものである。大體に於て炭素量大なる程バナヂウム含有量は大となつて居る。低炭素バナヂウム鋼は従て製造する事は困難なることを示して居る。併しながら還元劑としてアルミニウム、低炭素、珪素銑等を用ふれば低炭素バナヂウム鋼も作り得られる筈であるから此の曲線より直ちに低炭素バナヂウム鋼を作り得ないとするは早計であらう。

ニ、装入石灰量と第1出滓の時に於ける熔鋼のバナヂウム含有量との關係

第1熔解期に於て装入石灰量を減少すると酸化チタンの多い鑛滓となるが、かくすると装入コークス量は同一であつても著しくバナヂウムの還元が行はれ、熔鋼中にバナヂウムが多量に入る。装入石灰量とバナヂウムとの關係を示すと第2圖の如くなる。即ち種々條件が異なるから正確なる關係を求むる事は出来ないが大體曲線の範圍に點が存在する事より考へれば装入石灰は10%にては不足であり15%乃至20%を要する事を推知出来る。

第 2 圖

装入石灰量と第1出滓の時に於ける熔鋼のバナヂウム含有量との關係(投入炭量6~7%)



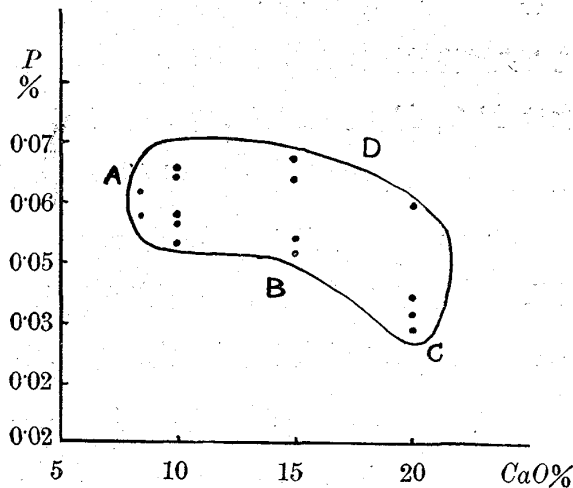
ホ、装入石灰量と第1出滓の時に於ける熔鋼の

磷含有量との關係

然るに此の場合磷の方はどうであるかと云ふに第3圖の如き關係を示す。圖中の各點は大體曲線 ABCD の中に收る。ABCD が C の部分に於て下に下ることより考へると石灰 20% の時に於ては磷が石灰 10%、15% のものより熔鋼中に入りにくい事を示して居る。石灰 10%、15% に於ては犬差はない。從て装入石灰 15% 位の處が第1熔解期末に於ける熔鋼中に磷を多くしバナヂウムを少くするに適當なる事が推定出来る。

第 3 圖

装入石灰量と第 1 出滓の時に於ける熔鋼の磷含有量との關係 (投入骸炭量 6~7%)

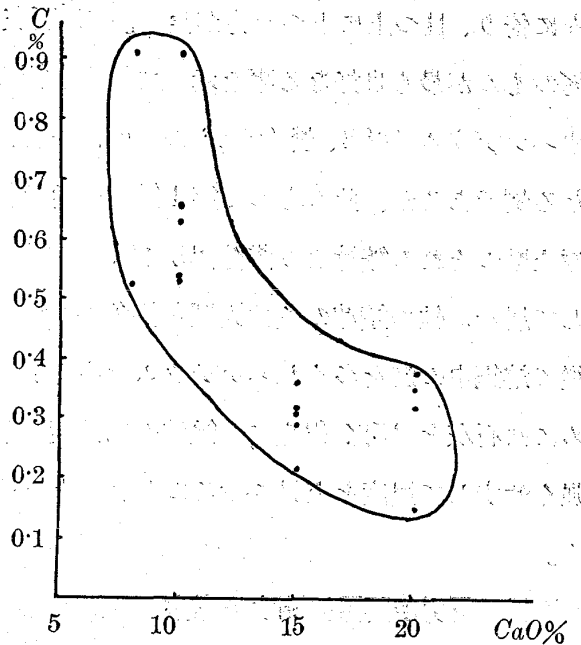


へ、装入石灰量と第 1 出滓の時に於ける熔鋼の炭素含有量との關係

装入石灰量を少くすれば鑛滓の量は少くなる。從て熔滓成生後投入する還元用炭素(骸炭粉)は装入石灰多く從て鑛滓多き場合より熔鋼に接觸し易くなる譯であり、從て熔鋼の炭素は多くなる譯である。第 4 圖は此の關係を明かに示して居る。即ち石灰多き程熔鋼の炭素は小となつて居る。炭素を 0.5% 以上にもすると第 2 熔解期に於ける酸化に時を要するから不便である。此の點から見ても石灰は 15% 以上を必要とする事が分る。

第 4 圖

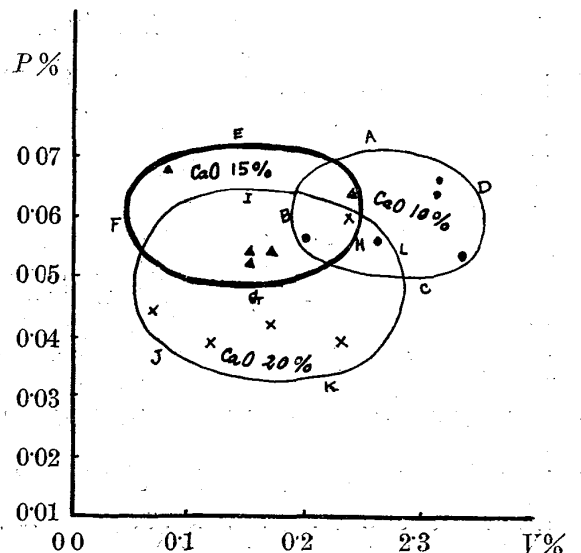
装入石灰量と第 1 出滓の時に於ける熔鋼の炭素量との關係 (投入骸炭量 6~7%)



ト、第 1 出滓の時に於ける熔鋼の磷とバナヂウムとの相互關係

第 1 出滓の時に於ける熔鋼の磷とバナヂウムとの相互關係は既に第 2 圖及第 3 圖を見れば明かであるが、今これを一つの圖面に表せば第 5 圖の様になる。即ち装入石灰 10% の場合には ABCD の範圍にあり 15% の時は EFGH 20% の

第 5 圖 第 1 出滓の時に於ける熔鋼の磷とバナヂウムとの相互關係



時は IJKL の範圍にある。即ち  $P$  を多くし  $V$  を少なくするのが理想であるから標止點は成る可く左に倚り、且つ上に上つた方がよい。装入石灰 15% のものが最も良好なる事を示して居る。標止點中バナヂウム 0.08、磷 0.066 のものが一番良好なる例であるが、此のものゝ第 1 鑛滓の色は他の標止點のそのの鑛滓より幾分黒みが、り褐色を呈して居た。他の鑛滓の色は大體黄褐色であつた。従て熔鋼中の磷を多くしバナヂウムを少なくするためには石灰を 15% 程度にし鑛滓の還元度を餘り強くせずして溫度を上昇させるのがよいと思はれる。

### III. 電力所要量に関する考察

さて此の三鑛滓法を行ふのにどれ位の電力を必要とするかと云ふと、此の半瓩爐に於ける結果は第 4 表に示す如くである。實に莫大なる結果を示して居る。併しこれは半瓩爐なるが故であり、もう少し大型の爐にてやるならば此の半分位にはなし得られると思ふ。又此の電気爐は爐床傳導式であるが故にかなり餘分の電力を要して居るものと思はれる。もし同じ半瓩爐でもエルー型であるならばもう少し電力は少くてすむと考へられる。著者は理論的に所要電力を計算した所、次の如き結果を得た。(大阪工業試験所報告第 12 回第 14 號参照)

第 1 熔解期	1,750 K.W.H.
第 2 熔解期	250 "
第 3 熔解期	610 "
合計	2,610 K.W.H. (但し 74% の出鋼率 70% の加熱能率)

然るに實際操業の初期には電流不整調となる爲並に爐床冷却せる爲計算以上の電力を要するし又出鋼率も理論上得られる 74% などの事なく 63% 位であるから従て次の如く 3,200 K.W.H. 位と見

るを適當とすると考へる。

第 4 表 海綿鐵熔解に要する電力

海綿鐵 kg	出鋼量 kg	出鋼率 %	電力 K.W.H.	電力/ton K.W.H.
300	150	50	1,170	7,800
300	192	64	1,310	6,850
300	207	69	1,210	5,850
300	173	58	1,220	7,050
250	170	68	1,290	7,560
250	150	60	2,310	7,900
250	143	57		
300	214	71	1,320	6,150
250	—	—	1,200	—
300	175	58	1,160	6,540
300	203	68	970	4,750
250	156	62	950	6,100
300	—	—	1,200	—
300	—	—	1,420	—
平均	280	63	1,200	6,800
第 1 熔解期	2,200 K.W.H.			
第 2 熔解期	300 "			
第 3 熔解期	700 " (+			
合計	3,200 K.W.H.			

もし久慈海綿鐵が 100% 還元せられて居る場合には  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  の還元の爲の熱量並に  $CO$  瓦斯の保有熱量等を節約出来るから熔鋼 1 瓩當り約 450 K.W.H. を節約出来る計算となる。

### IV. バナヂウム鋼の生産費に関する考察

バナヂウム鋼の生産費を電力、海綿鐵 1 瓩當り 2,000 K.W.H. と假定し且つ其の値を 1 錢とし又出鋼率を 60% とし計算すれば第 5 表(1) に示す如くなる。

然るに通常のフェロバナヂウムを用ひて製造する場合に於ては 0.2% バナヂウムを入れるには 0.4% のバナヂウムを装入する必要がある。従て 40% のフェロバナヂウムを 10% 装入する要がある。然るに 40% のフェロバナヂウムは 1 kg ¥ 6.00 もするから 0.2% のバナヂウム鋼 1 瓩に對しては 60 圓からの餘分の費用を要する。従て其の所要費用は第 5 表 (2) に示す如くなる。大體に於て、両者は對等である。もし 0.25% 或は 0.3%  $V$  を含有せしむる場合には海綿鐵の方が

第 5 表

種 目	單價 100 kgにつき ¥	(1) 久慈海綿鐵製 V 鋼				(2) 通常の V-鋼			
		海綿鐵 1 吨 につき		熔鋼 1 吨 につき		屑鐵 1 吨 につき		熔鋼 1 吨 につき	
		所要 重量 kg	所要 費用 ¥	所要 重量 kg	所要 費用 ¥	所要 重量 kg	所要 費用 ¥	所要 重量 kg	所要 費用 ¥
海綿鐵	2.50	1,000	25.00	1,670	41.60	—	—	—	—
鐵屑	2.00	—	—	—	—	1,000	20.00	1,110	22.20
粉炭	0.50	100	0.50	167	0.83	15	0.07	17	0.08
石灰	1.00	200	2.00	334	3.34	100	1.00	111	1.11
石蠟	1.50	50	0.75	84	1.25	10	0.15	11	0.16
電極	30.00	20	6.00	33	10.00	8	2.40	8.9	2.70
電 力	0.010/K.W.H.	K.W.H.	K.W.H.	K.W.H.	K.W.H.	K.W.H.	K.W.H.	K.W.H.	K.W.H.
フェロバナヂン	600.00	2,000	20.00	3,340	33.40	800	8.00	890	8.90
雜 費	—	—	—	—	—	9.1	55.00	10	60.00
		—	10.00(+)	16.70(+)	—	10.00	—	11.10(+)	—
			64.25	107.02				106.25	

得な事は明白である。更に久慈海綿鐵より品位の良い海綿鐵を用ふるか、又は砂鐵と鋼屑とを混合して行ふかすれば更に生産費を低減し得る事は明白であり、バナヂウム鋼の製造は砂鐵問題の全般的解決策としては役立ちはしないけれども小部分の利用方法としては最も適切なるものであらうと考へる。

### V. 結 論

以上記述せる事を一括すれば

1. 半吨電氣爐を用ひて特殊の3鑛滓法によりバナヂウム鋼の製造を行ひ工業的に實行し得る可能性ある事を知り得た。

2. 種々の條件の下に熔解を行ひ次の事實を推定し得た。

イ、成生鋼中のバナヂウムは其の炭素量に正比例し炭素大なる時はバナヂウム入り易く炭素小なる時はバナヂウムは入りにくい。

ロ、装入石灰量が少い時は第1出滓の時熔鋼中に多量のバナヂウムが入る。これは第2鑛滓の時酸化せられて損失となる爲好ましくない。此の點より見て装入石灰は15%以上なるを要する。

ハ、第1出滓の時に於ける熔鋼の燐は装入石灰量に餘り關係せぬ。併し20%の装入の場合に於て少しく減少する事を示す。従て装入石灰量は15%~20%を適當とする。

ニ、装入石灰量が少い時は第1出滓の時に於ける熔鋼の炭素量は大きくなる。従て第2熔解期(酸化期)の時間を長く要する不都合がある。此の點より見ても装入石灰量は15%~20%を適當とする。

3. 電力所要量は半吨爐に於ては吨當り6,800 K.W.H.を要したが一方これを理論的に計算し多少此の値に斟酌を加へ熔鋼吨當り3,200 K.W.H.なる値を得た。3 吨爐位の大型爐に於ては恐らくこれ位の電力ですむ事と思はれる。

4. バナヂウム鋼の生産費を計算した所0.2%のバナヂウムを含有せしめた場合に於て在來のフェロバナヂウム使用の方法と對等でありそれ以上を含有せしめた場合には後者より低廉である。本研究は所長莊司博士の熱心なる御篤勵と囑託齋藤博士の懇篤なる御指導により成されたものであり、此處に記して以て感謝の意を表す。又高須、布村、高木三氏の多大の御助力を謝す。