

## 鐵 と 鋼 第十五年 第五號

昭和四年五月二十五日發行

## 論 說

## 久慈製鐵所に於けるスポンジ鐵製造の經過概要

向 井 哲 吉

茲に記述せんとする所は慥か昭和 2 年 8 月の頃、岩手縣九戸郡久慈湊にある久慈製鐵所に大規模の工場を設立して、砂鐵よりスポンジ鐵を製造することに成功したと云ふ評判が、一たび新聞に發表せられ、世人の耳目を聳動せしめたことがある。然るに其後は杳として音も沙汰もなく、久慈製鐵所は何をしたのか又何をして居るのか、全く不可解の謎の如き状態ではないかとは時折り質問さるゝ所である。昭和 2 年 7 月にスポンジ鐵が出来たことは確かな事實である。しかし其スポンジ鐵は品質が期待したる如き良好のものでなく、價值低きものであつた。故に其後は専念優良なるものゝ製出に没頭して研究に研究を加へ、頗る良好なものを製出する見込はついたが。如何にせん、種々なる事情の爲に作業試験もやつたりやめたりで今日に至つて居る。其間には當局者は作業試験を續行すべく、一と通りならず苦勞せることや、音沙汰なき暗黙裡に最終の美果を收むべく、必死と研究努力せることにつき述べて見やうと思ふ。しかし事が如何にも複雑で、とても充分に其真相を書き表はすことは不可能であり、且つ予も詳かには存ぜぬこともあり、亦間違つた所もあるかも知れず。故に單に其經過につき見聞したる概略を記するに過ぎざれば、豫め御含みあらんことを希ふ。

## I 久慈地方の砂鐵鑛

舊幕政時代南部藩にては藩財政の窮乏を救済する爲に、現岩手縣九戸郡久慈の代官をして製鐵業を奉行監督せしめ、極端とも云ふべき奨勵を行ふたものである。例へば製鐵上最も必要且つ多量を要する木炭は、御手山（藩有山）と私山との區別なく、隨所製鐵業者の便利とする所で、山林の伐採製炭を許可し、しかも無償であつた如きも其一例である。其砂鐵産地は同郡大野村竝に久慈を中心として廣大なる地域を占め、豊富なることは恐らく世界中に於ても稀なるものであらう。曾て常盤商會に雇はれて専ら同地方の砂鐵調査に従事し、周ねく踏査せること數年なる米國人ニール氏の報告によれば『砂鐵所在地は北は青森縣三戸郡より岩手縣九戸郡を縦貫して同縣下閉伊郡に至る一帯の地に連綿し、

其長約 30 里、幅 1—2 里、層の厚き所にては 80 尺以上もあり、平均 20 尺ばかり、其埋藏量は實に數億噸に上る』とあり。又大正 10 年農商務技師岡村要藏氏の報文(日本鑛業會誌第 475 號大正 13 年 11 月發行参照)によれば『大野村の一部——往時盛んに稼行せし地方——約 22 平方畝の區域に賦存する鑛量は 130,000,000 噸餘あり。鑛床は更に調査區域外(北は種市嶽より南は同郡安家川流域まで)に延亘して大約 220 平方畝の地域を掩有する云々。』此報文によるも、全體に於ては同じく數億噸に達する勘定となり、同地方の砂鐵埋藏量が如何に豊富莫大であるかを明示するものである。

此砂鐵鑛所在地は海拔標高 300 米ばかりの高原性臺地に整然たる層狀堆積をなし、古生層の上に砂鐵層あり。其表土は淺き所は數尺に過ぎざるを以て露天掘、厚き所は坑道掘にて、掘採は至極容易であり、運搬も亦更に困難でない。海岸にも亦所々に淘汰されて集積せるものが多量に存在し、實に無盡藏と謂ふも決して誣言にあらずと信ずる。

砂鐵層の含有鐵分は場所によりて高低あれども、粗鑛のまゝにて平均 37—38 %位、注意して掘採すれば 50% 以上のものも容易に得られ、選鑛すれば更に鐵分を富ますことを得べし。次に各地方より採收せる試料の分析は第 1 表の如し。

第 1 表

|           |      | 全Fe     | FeO                             | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | MnO   | P     | S     | Cu    | TiO <sub>2</sub> |
|-----------|------|---------|---------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| 長内村小久慈    | 五番坑  | 51.78   | 27.28                           | 44.83                          | 4.16             | 3.48                           | 0.74 | 1.46 | 0.96  | 0.062 | 0.082 | 0.019 | 15.98            |
| "         | 一番坑  | 54.20   | 30.87                           | 43.18                          | 6.38             | 1.86                           | 1.26 | 6.85 | 0.42  | 0.025 | 0.025 | 0.057 | 12.58            |
| "         | 二番坑  | 1 49.15 | 層を上より<br>底まで五つ<br>に分け其各<br>層の平均 |                                | 10.30            | 0.72                           | 0.73 | 2.13 | 0.94  | 0.080 | 0.072 | —     | 9.87             |
| "         | "    | 2 47.58 |                                 | 11.16                          | 1.38             | 1.16                           | 3.56 | 0.83 | 0.080 | 0.064 | —     | 8.84  |                  |
| "         | "    | 3 37.21 |                                 | 21.16                          | 1.12             | 1.51                           | 4.83 | 0.68 | 0.142 | 0.052 | —     | 7.52  |                  |
| "         | "    | 4 52.71 |                                 | 8.00                           | 0.96             | 0.95                           | 1.93 | 0.83 | 0.219 | 0.003 | —     | 10.46 |                  |
| "         | "    | 5 34.78 |                                 | 18.80                          | 3.08             | 2.13                           | 4.39 | 0.60 | 0.153 | 0.056 | —     | 7.31  |                  |
| "         | 水無   | 53.72   | —                               | —                              | 5.60             | 2.52                           | 1.06 | 1.86 | 0.60  | 0.026 | 0.044 | —     | 9.34             |
| 大野村金間部大露頭 |      | 23.83   | 7.89                            | 32.51                          | 37.82            | 6.94                           | 0.93 | 2.27 | 1.32  | 0.043 | 0.049 | 0.025 | 5.42             |
| "         | 金ヶ澤  | 48.78   | 16.51                           | 31.34                          | 12.74            | 3.92                           | 0.95 | 1.56 | 0.98  | 0.029 | 0.043 | 0.044 | 7.64             |
| "         | 水澤袖山 | 38.74   | 9.57                            | 44.74                          | 20.32            | 6.52                           | 0.93 | 1.30 | 1.80  | 0.024 | 0.021 | 0.025 | 8.48             |

## II 久慈製鐵所の發端及び過去

上述せる如く久慈地方の砂鐵は實に無盡藏とも云ふべく、之を製鐵原料に使用することを得れば、吾邦に於ける鐵の自給自足の問題は容易に解決せらるゝであらう。如何様にかして之を経済的に製煉したい目的を以て起つたのが此久慈製鐵所である。同製鐵所が既往十數年間此砂鐵を工業的のものにしたいと、色々な方法を以て苦心研究したかは、一たび現場を視察した人は首肯せらるゝであらうと思ふ。

先づ第一に試みたるは、今尚ほ中國地方に存在する所謂角爐——角爐は廣島縣下の砂鐵山が官營であつた時分に、故技師黒田正暉氏が考案設計せられたもので、砂鐵を其儘爐に裝入して銑鐵を造る——である。此爐にて製出した銑鐵は銅や硫黄の含有が微量で、品質も良好であつたが、生産費は高くつき

且つ大量生産には不適當である所からして休止した。爐は小久慈に今尙ほ其儘殘存して居る。

次には砂鐵を以てフェルロコークを造り、熔鑛爐にて處理すべく試みた。フェルロコークは東京に試験所を設けて製作の試験を行ひ、略ぼ見込がついたところで熔鑛爐を建設することにした。爐は北海道江別にありしものを移轉して内容量を 10 噸に改め、之にフェルロコーク爐を附屬建設して製鍊を試みたが、技術上に於ても亦經營上に於ても種々故障起り、作業上見込少なしとて休止し、其設備は久慈湊の海岸近くに潮風に曝され、再度の作業開始を待つものゝ如く淋しく建つて居る。なる程大量生産を目的とする上に於ては種々なる困難も起るであらうが、特殊鉄鐵製造を目的とせば必ずしも棄てたものではないかと思はれる。

斯の如く砂鐵をを有用化すべく種々研究を試みたるが、熔鑛法にては其處理甚だ困難にて見込少なくなり、最後に到達したるものが低熱還元のスポンジ鐵製造法である。

### III 低熱還元のスポンジ鐵製造

此低熱還元によるスポンジ鐵製造は爾來諸國で研究せられ、昨今は之を工業的に製作して居る所もあるに至つた。其主要なる目的は(1)現行の熔鑛法にては特殊の燃料即ち骸炭を造るに適當な石炭を要する故に、其種の石炭に乏しき國にありては、たとひ立派な鐵鑛があつても寶の持ち腐れにて、自から之を處理することが出來ぬ。然るに此低熱還元なれば斯の如き特殊の石炭を要せずしてスポンジ鐵を造ることが出来る。瑞典や那威邊にては此目的を以て研究し、此方法で製出したものは品質優良な爲に、現今既に特殊鋼の原料として工業的に造つて居る。(2)現今の熔鑛法にては特殊の骸炭用石炭を頗る多量に要し、普通製出鉄鐵の 1.6 倍乃至 2 倍位、燃えたものは煙となりて消失するのみである。故に適良なる石炭は段々に減却するのみであれば、燃料經濟上からも何とか考慮せねばならぬ。低熱還元なれば骸炭の出來ない石炭や褐炭若くは亞炭の如き普通の燃料が却つて適當であり且つ製出スポンジ鐵の 60—75 % もあれば済み、燃料を節約すること實に多大である。加之現行の熔鑛法にて費用の最も多くかかるものは燃料である、此點に於ては低熱還元なれば大に節約することを得る。(3)加之低熱還元にて製出したものは、熔かして吹分けたものよりも、餘計な不純物質を含有せざる故に、其質遙かに優良である。此等の理窟よりして米國や其他の國では相當研究されて居るが、未だ大量生産までには到達し居らざるやうである。

低熱還元を完全ならしむるには還元劑との接觸を及ぶ限り密ならしめねばならぬ。其必要上鐵鑛なれば之を微細に粉碎して、夾雜せる不必要の物質を除去して鐵分を集中せねばならぬ——此際不純物質も多少除去せらるゝ利益がある——砂鐵は元來細粒狀態であるからして、殊更に粉碎する必要は全くなく、其儘處理することが出来るし、又豫め砂鐵と夾雜して居る不要物質は、淘汰洗鑛にても、濕式磁選にても之を除くことが出来る、且又スポンジ鐵となりたる後も磁選法にて、鐵以外のものは分離することを得べく甚だ便利である。

されば熔鑛處理にては差し當り見込の少ない砂鐵の製鍊には、此低熱還元は至極適した方法である

と云ふ所からして、早速久慈産砂鐵の見本を米國に送り試験することゝした。同時に獨逸の Wüst 先生の所にも砂鐵を送つたと云ふことであるが、其試験報告は別にないうである。尤も試験設備及び其他の費用として何十萬圓とか出せば、屹度成功して見せると云ふて來たとか云ふことである。

#### IV 米國に於ける砂鐵の製鍊試験

此試験につき首尾一貫した報告なき故、其経過に關しては充分に明かでない。しかし其報告を綜合して概要を摘録すれば、大體次の如くである。

##### 其一 スポンジ鐵製造試験及び其結果

先づ第一に明かならざることは、如何なる方法によりて砂鐵よりスポンジ鐵を試製したかである。併し其結果に關する報告は

日本産砂鐵を以てスポンジ鐵 500 听を製せり。

第 2 表

(一) 砂鐵粗鑛 135 听を以て、磁選スポンジ鐵 63.5 听を得。

|           | Fe    | Ti   | SiO <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> | Mn  | P        | CaO  |
|-----------|-------|------|------------------|-----------------|-----|----------|------|
| 粗 砂 鐵 精 鑛 | 27.40 | 2.80 | —                | —               | 0.7 | 1.062(?) | 2.25 |
| 磁選スポンジ鐵   | 51.20 | 5.73 | —                | S 0.035         | —   | 0.073    | —    |

其結果 酸化鐵が金屬鐵に還元歩合 ..... 90.4%

磁選鑛尾に消失せる鐵分 ..... 7.0%

(二) 砂鐵精鑛 332 听を以て磁選スポンジ鐵 236.5 听を得

|         | Fe    | Ti   | SiO <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> | Mn  | P     | CaO  |
|---------|-------|------|------------------|-----------------|-----|-------|------|
| 砂 鐵 精 鑛 | 59.03 | 8.99 | 5.57             | 0.065           | 0.3 | 0.094 | 2.00 |
| 磁選スポンジ鐵 | 66.10 | 8.96 | —                | S 0.04          | —   | 0.114 | —    |

其結果 酸化鐵が金屬鐵に還元歩合 ..... 100%

磁選鑛尾に消失せる鐵分 ..... 1.4%

次の試製には磁選機にて再精選したものを用ふ。磁選の爲に分離したる鑛尾は 32% にして Fe 31.9%, Ti 17% であつた。故に砂鐵に換算すれば Fe 11.81%, Ti 32.24% の消失となる。

(三) 所要砂鐵再精鑛 324 听を以て、磁選スポンジ鐵 245 听を得。

|           | Fe    | Ti   | SiO <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> | Mn   | P     | CaO  |
|-----------|-------|------|------------------|-----------------|------|-------|------|
| 砂 鐵 再 精 鑛 | 62.30 | 6.16 | —                | —               | 0.32 | 0.085 | 1.70 |
| 磁選スポンジ鐵   | 70.00 | 7.76 | —                | S 0.044         | —    | 0.045 | —    |

其結果 酸化鐵が金屬鐵に還元歩合 ..... 97.5%

磁選鑛尾に消失せる鐵分 ..... 0.5%

スポンジ鐵の還元には亞炭が最も適當なる材料であつて、骸炭に成る如き石炭は必要もなければ望ましくもない。燃料の消費量は、鑛の性質並に其他の狀況により一概には云へないが、製出鐵の 1 噸につき約 1,500 听もあれば充分である。燃料の含有する硫黄分を固定せしむる爲に極少量の石灰を投

加することは必要であると思ふ。

以上は米國に於て日本砂鐵を以て、スポンジ鐵を試製した記録である。

其二 砂鐵製スポンジ鐵を試料としての製鋼試験及び其結果製鋼試験に供した砂鐵及スポンジ鐵の分析成分は

|    |       | 第 3 表 |       |      |      |       |            |       |      |         |
|----|-------|-------|-------|------|------|-------|------------|-------|------|---------|
|    |       | 酸化鐵   | 鐵     | 珪    | 酸    | 石 灰   | 酸 化<br>チタン | 硫 黃   | 磷    | 滿 俺 炭 素 |
| 砂  | 鐵     | 78.64 | —     | 5.57 | 1.92 | 11.28 | 0.26       | 0.26  | 0.37 | —       |
| 磁選 | スポンジ鐵 | 4.50  | 66.53 | 2.62 | 8.22 | 15.08 | 0.038      | 0.048 | 0.46 | 2.58    |

但しスポンジ鐵中の硫黃は硫化物として、同じく磷は磷酸物として含まるゝもの、又炭素は主としてコークスである。

スポンジ鐵中のチタンは分析に示す如く酸化チタンとして存在する。熔融する場合は初めから全部滓分に混入し、其滓分中に留存する上に於て酸化物として存在することが極めて必要である。此滓分は熔鑛爐の還元滓とは組織に於て著しく異なり、其容易に熔融する性質——融解點は金屬鐵の夫れよりも遙に低い——のである。熔鑛爐にて酸化チタンを驅除する爲には、滓分組成に必要な性質を多量に増加すべき必要があるが、熔鑛爐内では熱が頗る高いからして其必要はない。

スポンジ鐵分析に現はれたる硫黃は其全部が鐵中に存在するものでなく、夾雜硫化物中にあるからして別に心配する必要はない。恰かも普通の鹽基性平爐にて實驗せらるゝ如く、初めより滓分中に留存する。磷は磷酸物として夾雜物中に在ること硫黃と同様で、一層強固である。

此結果によればスポンジ鐵と共に殘存する滓分組成物の爲に、含有鐵分は相當に減却せらるゝこととなれども、其減却は必ずしも重大問題ではない。(1)熔融する爲にはスポンジ鐵と同じ量の金屬鐵より成れるものに比すれば、其價値は比例的に減少することゝなるが。(2)其夾雜含有する不要物質の主なる量は爐内に於て熔融の當初より滓分として固定さるゝからである。

斯くて日本産砂鐵を以て造りたるスポンジ鐵を約 350 听の小型電氣爐にて、炭素の含有量 0.25—0.3% の炭素鋼を試製することにした。此種の普通炭素鋼は高炭素鋼のやうに、抗張試験の結果は鮮明ではないが、しかし固有の靱性につきては、能く鑑識し得らるゝのである。

熔融作業中の主要事項に就ては(1)普通の製鋼の場合のやうに脱酸劑として追加合金物——珪素鐵滿俺鐵の如き——は少しも使用せず。(2)電氣爐は鹽基性裏附を爲せるものなるが、滓分の處理につきては實地上何等の困難を見出さなかつた。但し常に鹽基性を保持する爲に絶えず石灰を追加した。(3)チタンは前述せる如く酸化物として存在することが實際必要にて滓分中に保留される。(4)滓分構成の爲の媒熔劑の投加量は殊更に多量の必要はない。石灰の投加は滓分を鹽基性に保つに足るだけにて充分である(チタン酸は初めより滓分に保留せらるゝ故別に媒熔劑を要せず)。(5)酸化チタンの作用は疑もなく酸性である(他の報告によれば、酸化チタンの作用は恰もアルミナと同じく、平衡の如何により

或は酸性として又は鹽基性として滓分上に作用すとあり。但し上記試験に於ては酸性として處理して居る)。

所要の消費電力等につきては何等記述なく全く不明であるが、しかし次の様なことがある。6,000馬力の電力——殊更に6,000馬力とあるは多分久慈地方で得らるべき豫想電力を云ひ送りたるものであらうとのこと——にては1時間に8乃至10噸のスポンジ鐵を熔融して鋼と爲すことを得べし。しかしスポンジ鐵の含有してゐる金屬鐵分は70%であるから1時間に5.5乃至7噸の鋼を製することとなる云々とあり(1噸の鋼につき857—1,090馬力時を要することと爲る)。

### 其三 鋼材の試験

斯の如く熔製したる鋼は5吋角の鋼塊に鑄造し、其鋼塊を隅角に丸味を付したる $\frac{7}{8}$ 吋の角棒に壓延し、之に種々の熱加工を施して抗張衝擊及び硬度の諸試験を行ふた。其化學的竝に物理的試験の結果は第4表の如くである。

第 4 表

#### 鋼の分析成分試験

| C    | Si    | S     | P     | Mn   | Ti  |
|------|-------|-------|-------|------|-----|
| 0.25 | 0.185 | 0.027 | 0.025 | 0.61 | 微痕跡 |

#### 鋼の物理的試験

|                                    | 降伏點<br>時听 | 結局強<br>時听 | 延伸率<br>2"/% | 斷面收縮<br>% | 眞相價值   | ブリネル<br>No. | Izod衝擊<br>45" Rd |
|------------------------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|--------|-------------|------------------|
| 1,650°Fにて標準化                       | 49,800    | 76,600    | 32          | 59.15     | 49,500 | 121         | 36               |
| 1,600°Fにて焼鈍                        | 41,850    | 72,400    | 30.5        | 53.65     | 37,500 | 116         | 39               |
| 1,650-1,550°Fにて再標準化<br>1,250°Fにて引出 | 52,450    | 77,700    | 34.5        | 71.50     | 78,600 | 137         | 88.5             |
| 1,575°Fにて油中焼入<br>1,160°Fにて引出       | 59,350    | 82,950    | 30.5        | 73.55     | 82,000 | 149         | 88               |
| 1,550°Fにて水中焼入<br>1,290°Fにて引出       | 62,500    | 78,550    | 31.5        | 77.50     | 99,000 | 149         | 100.5            |
| 1,470°Fにて水中焼入<br>1,020°Fにて引出       | 64,000    | 89,500    | 23.0        | 69.30     | 57,500 | 153         | 47               |
| 1,470°Fにて鹽水焼入<br>1,020°Fにて引出       | 69,200    | 92,100    | 22.5        | 71.50     | 63,700 | 156         | 43               |
| 1,600°Fにて油中焼入<br>1,100°Fにて引出       | 67,250    | 86,550    | 31.5        | 71.50     | 85,000 | 163         | 55               |
| 1,600°Fにて油中焼入<br>1,150°Fにて引出       | 65,450    | 85,500    | 30.0        | 73.55     | 85,600 | 159         | 69               |
| 1,600°Fにて油中焼入<br>1,200°Fにて引出       | 63,450    | 83,350    | 29.5        | 75.55     | 88,600 | 156         | 104              |

$$\frac{YP + Ult}{2} \times El \ 2''$$

上表の眞相價值(Figure of merit)は、 $\frac{YP + Ult}{100 - RA\%}$  (YP=Yield Point, Ult=Ultimate, El=Elongation 2'', RA=Reduction of Area%) より算出したものである。

此試験の結果につきての批評に、今迄に瑞典及び其他諸産地の高級鋼を澤山に取扱ひ良く熟知して居るが、永年間の實地上の経験につきて追想するも、斯の如き優秀なる鋼には未だ曾て出會ふたことがない。此絶對的優秀なる根原は Ferrite-dissolved nitrides を含有せざるスポンジ鐵を基本として調製したからで、普通在來のものを用ひては逆も出来るものでないことを確言する。特に眞相價值の99,000

に至つては予が知り得たる各級鋼の最高のものである、と稱譽されて居る。

#### 其四 軌條鋼の試験

砂鐵のスポンジ鐵をを以て試製した軌條鋼の試料二箇の分析は

|    | C    | Si   | S     | P     | Mn   |
|----|------|------|-------|-------|------|
| 1* | 0.79 | 0.19 | 0.012 | 0.017 | 1.07 |
| 2  | 0.80 | 0.21 | 0.011 | 0.015 | 1.08 |

此分析成分のやうな普通鋼製の軌條は抗張力及び磨滅に對する抵抗は高いが墜落試験には耐へぬものである。熱處理を施さざる普通の炭素鋼にては炭素及び滿俺が増せば、抗張力、剛性、磨滅への對抗が増すことは知られて居るが、其増加に伴ひ墜落重量の衝擊に對する抵抗は急速に減退するものである。

此試製軌條鋼の如き高炭素及び高滿俺のものは、152,000 呎の抗張力を有することとなる。元來墜落試験に合格する高級の普通軌條鋼にありては、炭素及び滿俺の含有量は 0.7% までを限りとし、何れの場合も其抗張力は 127,000 呎である。然るに此比較試験に於けるスポンジ鐵を以て試製した高炭素で高滿俺で高抗張力の軌條鋼は、規定の重量で規定の高の墜落試験に對し、折るゝまでに五回の衝擊に耐へた。

以上は米國に送りたる久慈砂鐵を以て施行した試験報告を拾ひ集めたる概要である。試験の經過特にスポンジ鐵製造に關しては詳かにしてなきことは甚だ遺憾である。しかし結果を綜合して見れば

1. 砂鐵は低熱還元の方法を以て容易にスポンジ鐵と爲すことを得。但し夾雜物を完全に驅す除くことは困難なり。
  2. 還元を用ふる石炭は凝集せざる石炭、褐炭、亞炭の如きもの最も適す。其消費量は製出物の 60 乃至 75% 位にて充分なり。
  3. チタンは酸化状態の儘スポンジ鐵中に夾雜し、熔融すれば直に滓分中に混入且つ保持せらるゝ故に心配するに及ばず。酸化チタン含有の夾雜物は熔融點が金屬鐵よりも低く且つ少しの媒熔劑で良く滓分に熔融分離す。
  4. 硫黄は硫化物、磷は磷酸物として夾雜物中に包含せられ、熔融の際には滓分に混入す。
  5. 滓分構成の爲に多量の媒熔劑を投加する必要なし。鹽基性爐にありては常に鹽基性を保つだけの石灰を加ふれば可なり。
  6. スポンジ鐵を以て製鋼するには瓦斯火法の平爐にてもよく、電氣爐なれば更に適良なり。平爐の場合にはスポンジ鐵の酸化を防ぐと共に熔融促進の爲に銑鐵 15—20% を添加裝入すれば甚だ有效なり。
  7. スポンジ鐵を以て鋼を熔製するには脱酸劑として珪素鐵、滿俺鐵の投加を要せず。
  8. スポンジ鐵を以て造りたる鋼は其質極めて優良なり、特に特殊鋼の原料に適す。
- 米國に於て砂鐵よりスポンジ鐵を造り、更に鋼と爲したる其試験結果は、實に立派なるものにして

しかも其作業は何等六ヶ敷こともなくスラスラ出来たるものゝやうに見えた。されば砂鐵を活かす爲には種々なる方法を試みたが、思はしくなかりし久慈製鐵所にては、此スポンジ鐵製造に目を着けたるは當然のことであらうと思はれる。

## V 久慈製鐵所の位置

製鐵所を建設すべき位置の選定は作業經濟上最も重要である。之を久慈に選定したるは、往時砂鐵製鍊の中心地であり、又曩に熔鑄爐を設けたるなどの關係もあれども、更に經濟上頗る有利なるものがある。其主要なるものは原料砂鐵及び燃料が最も廉價に得らるゝことである。

1. 砂鐵 現今掘採して居る小久慈元山は、工場を距ること2里半許、長内川の上流海拔約300米の高原性臺地にありて、砂鐵の埋藏量は約30,000,000噸。之を距ること約半里の地續き荒津前水無などには、更に豊富なる鑛床ありて、其品位は元山のものよりも良好、含鐵分も多いやうである。其外常盤商會に屬する砂鐵鑛區は5里以内にあるもの多數。

元山にては爾來坑道掘にて掘り出し居れども、表土深からざるを以て、將來は露天掘の方が有利なりとし、其計畫も考へられて居る。掘採したる砂鐵は42度の傾斜あるシュート——シュートは2段よりなり、上段は136呎、下段は826呎——にて山麓に落し、此所にて小石類を篩ひ分けたるものを、ガソリン機關車牽引の運鑛車にて工場に直送す。鑛の價格は、未だ作業的に施行せしことなく必要に應じて掘る程度の現時に於ても、1噸につき工場持込みにて2圓位。將來掘採の方法を改良して作業的に多量に掘ることになれば、1圓50錢以下に低減する見込がある。

2. 石炭 還元劑としては全然粘結凝集せず、粉粒狀のカーボコールと成る石炭、褐炭又は亞炭の如きものを最も適せりとす。工場の作業創始の際には、北海道釧路の太平洋炭が調査の結果、適良なるを認めて之を採用したが、其後久慈地方に産出する褐炭につき種々試験した結果、偶然にも至極適當のものであることを認めたる後は之を使用することにした。此種の褐炭は工場を中心として2里内の地に露頭散在し、現に掘採するものは、工場を距ること僅に20町許の地點に2尺餘の層を爲し、埋藏量は判つて居る分丈にては700,000噸は確かである。其他多數の露頭は調査未遂のもので、其内一ヶ所は試錐の結果5尺層に達したと云ふことである。探鑛未だ行届かず埋藏量は不明であるが、相當の量はあるものと思はれる。而して現に掘採して居る褐炭は、馬車にて輸送してさへも工場持込にて約6圓、之を簡單なる索道にて運搬し、且つ掘採も作業的に施行することになれば、少なくとも5圓には低下する見込がある。唯瓦斯發生爐用には適當の石炭を購入する要あれども、愈々作業が繼續的に順調に行はるゝことになれば、立派な可燃性の瓦斯が相當に發生する故に、割合に多量を要せざるべし。

3. 動力 現設備の運轉用動力は、500馬力あれば充分で餘りがある。曩に工場の試運轉を急ぎし爲に、火力發電所を假設し、電力費も相當高いけれども、愈々作業的製作を創むる際には、水力發電を經營するか又は購入せずばなるまい。水力發電も一口にて大馬力を發するやうの所はないが、兎に角

取り合せ 4,000—5,000 馬力位は得らるゝ見込である。

4. 作業費 工場の設備は全然機械的本位に設計し、最小限度に勞力を節約し得るやうになつて居る。故に勞力費は創始の際最も不慣で製品の割合に勞力を多く要したときでさへも、比較的少額なりしに徴しても作業が順調に施行せらるゝに至れば、一層少額にて済むことは明らかである。材料費消費は目下運輸不便の爲に不廉なるを免かれざれども、將來鐵道が開通するときは、相當低下すること明かなり。材料費中比較的高きものは耐火材料と油脂の類である。耐火煉瓦は相當の耐火粘土があるから必要があれば自製することも出来る。

5. 運搬 工場内の運搬物中最も多量を要する砂鐵鑛竝に石炭は、原產地より所要場所に直接輸送する設備なれば、其他のものは至つて少量である。成品の搬出につきては、元來久慈の港灣は、波靜かなるときは舳の荷役至極容易にして甚だ便なれども、一朝風起り波高くなれば、荷役は愚か本船も宮古港まで避難せねばならぬ位なれば、海運は先づ當にならぬものと見る外なし。しかし明年頃には鐵道開通の筈で、鮫港も目下築港中なれば、將來は運輸頗る便となるべし。

6. 工場の位置 工場は長内川に沿ひ海岸より數町、往時三陸大海嘯の時には數丈の水底となりし所なりと云ひ、多少の非難ないでもないが、今更どうにも致しかたなし。しかし現位置は原料や製品の集散、交通の關係等には至極便要の所である。

以上略述せる如く最も多量を要する原料及び燃料は、至極廉價にて手に入るゝことを得、運輸には遠からず鐵道が敷設せられ、作業經濟上に於ても餘り不利の地ではない。強ひて云はゞ需要地が遠い位であらうと思ふ。

## VI 久慈製鐵所のスポンジ鐵製造設備

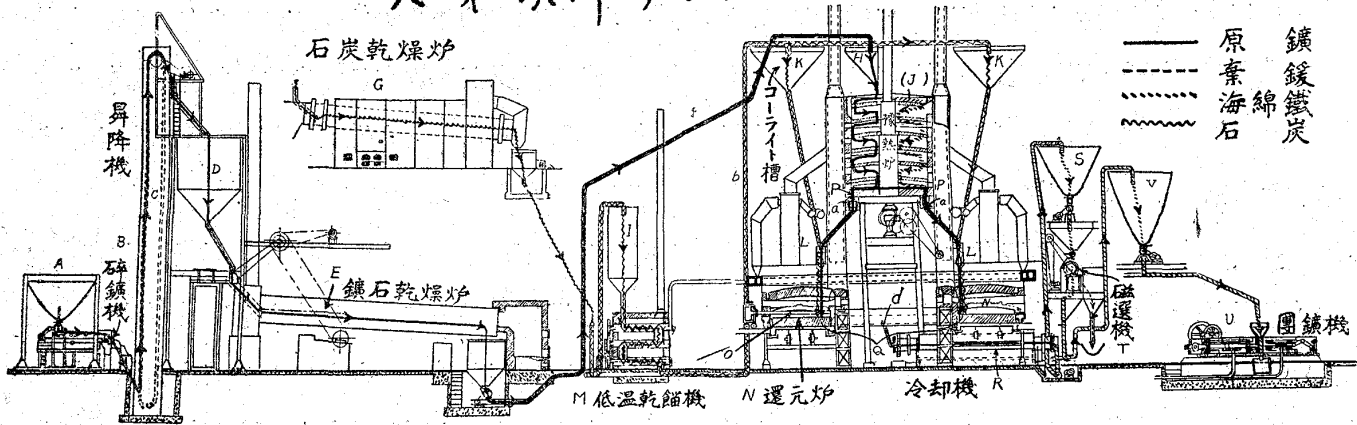
米國に頼んだ試験の成績は前述したやうに至極良好であり、しかも難物視された酸化チタンも容易に解決せられて心配に及ばずと云ひ、且つ作業經濟上に於ても採算可能でありとすれば、此スポンジ鐵製造を試みたきは當り前であらう。そこで次に起る問題は何れのスポンジ鐵製法が適當するかである。今日まで實驗せられたものは何れも普通鐵鑛を處理したもので、砂鐵につき試みたものは未だ會てない。然れば専門家に云はすれば各見る所もあり、亦長短もあらうが、兎に角少しにても經驗あるものゝうちより選擇することが最も安全である。色々詮議の上採用したものが米人アンダーソン、ソ・ンヒル兩氏の專賣的考案に係るものである。兩氏は曾て米國に於て、銅の沈澱用鐵屑の代用として、鐵鑛よりスポンジ鐵を造ることに成功して、實地に應用したる經驗ある人々である。故に設備の大小、生産數量の多寡の違ひはあるが、全くの研究的考案ではないのである。

此設計の一切は兩氏に委任し、其設備は殆んど總てを米國にて製作して、組み立つるばかりにして送り來り、其組立も兩氏竝に一行の指揮監督の下に施行し、設備の運用、還元操業等少なくとも相當の生産品を出だすまでは、全然兩氏に委任せられたものである。

此スポンジ鐵製造設備は 1 日の生産高 100 噸を目的として計畫せられたもので、こんな大量生産

計畫は恐らく世界中には未曾有ならん。其概要は次の如くである、甚だ錯雑で見悪くけれども附圖を参照せられたい。

### 久慈製鉄所砂鉄精錬系統圖



**甲 砂鐵鑛の處理** 鑛山より直送して來た砂鐵鑛は直に貯鑛槽 A に移せば、槽底より機械的に碎鑛機 B に送り、30 メッシュに碎きたるものを篩ひ分けて斜樋を通じてバケツコンベア C により貯鑛槽 D に運ぶ——此設計は碎きたるものを乾燥爐に送る積りであつたが、濕つた鑛は碎くことも篩ひ分くることも不可能である。故に乾燥後に碎き篩ひ分くることに模様替した——碎いて篩分けした鑛——模様替後は原鑛のまゝ——は回轉式圓筒乾燥爐 E に間斷なく送入して含水分を驅除す。爐は瓦斯にても亦石炭にても燃燒して直接に加熱乾燥する裝置である。乾燥鑛は輸送管 F にて貯鑛槽 H に送り——模様替後は此間にて碎鑛篩分を行ふ——H よりは絶えず一定の量を豫熱爐（マクトガル式）J の爐頂より装入すれば、爐内に挿入しある攪拌器にて攪拌せられつゝ漸次下降し、爐の下部に設けたる4箇の火床より立昇る火熱に逆行して約 1,000 度に加熱せられて放出口 a より加減裝置に達し、夫れより還元爐に装入す。豫熱の目的は、冷鑛を其儘還元爐に装入するときは、(1)爐内の熱を低下して還元作用を不安定にする故に、之を防ぐと同時に、(2)鐵の酸化狀態を可及的均一にし、併せて還元し易き狀態となすにあるやうである。

**乙 還元用石炭の處理** 同炭を  $\frac{1}{4}$  メッシュに碎き、石炭乾燥爐に送るまでの経路は、砂鐵鑛の夫れと全然同一の系路をたどる。石炭乾燥爐 G は爐の外部より間接に加熱する回轉式圓筒の爐にて、矢張瓦斯及び石炭兩用の裝置なり。乾燥は爐内に於て乾燥炭が引火せざる程度に於て、含水分を驅逐する、——但し乾燥炭中に剩餘する水分は石炭の種類によりて一定せざるも、恐らく 2% より少なくはあるまいと考案者は云ふて居る——乾燥炭は一先づ貯炭槽 i に入れ、夫れよりスミス式低温乾溜機にて乾溜してカーボコールを造る。

低温乾溜機 M は爐内にカーボランダム管を三段に配置し、其管内には螺旋式押送器が取付けてある。各管の連絡は圖に示すが如し。貯炭槽 i の底より一定量の乾燥炭を、絶えず上段管の一端に装入

すれば、押送器にて他の一端に達して中段管の一端に落ち、更に押送器を以て他の一端に至りて下段管の一端に落ちること前の如く、遂に他の一端より輸送管 *b* を経て貯炭槽 *k* に送り、同槽より加減装置 *L* を經由還元爐に裝入す。爐の加熱には瓦斯を用ひ、熱度は  $700^{\circ}\text{C}$  以下とせり。

乾溜の程度は、乾溜組成物カーボコール中に残存する可燃性揮發物が 10—15% 位含有されるを度とすとは考案者の豫想なり。尙又乾溜の目的につき考案者の云ふ所によれば、輕油類の揮發物が多きときは、還元爐内にて白熱せるカーボランダム管に觸れて油煙を生じ、爲に同管より放射して還元爐の爐項に達すべき光熱の度を低下して、爐の能率を低減せしむる故であると。

甲及び乙<sup>は</sup>スポンジ鐵製造の準備機關であつて、其全能率はスポンジ鐵の豫定生産額の 2 倍までは應じ得るやう計畫してあると云ふことである。而して各局部的裝置は、何れも今迄に實地に適用された經驗あるものを取り集めて案配せるものである。此設備は頗る短期間に完成すべき約束なれば、新に設計しては時日が許さず。従つて斯の如く取り合せて間に合せ、實際にも差支へなからしめたることにつきては、考案者も大に自慢であつたと聞き及ぶ。

**丙 還元裝置** 此裝置は 2 基ありて各 50 噸の生産力を有し、各一基に豫熱爐が附屬して居る。これは考案者が獨特の意巧を以て計畫せるものにて、最も主要なる部分である。

還元爐 *N* は恰も *U* 字を倒したる如き斷面を有し、其外徑約 58 呎、内徑約 26 呎、内部の幅約 12 呎の環狀を爲して居る爐である。其爐壁と天井は耐火煉瓦を以て築造し、丈夫なる支柱の上に固定してある。爐内には 72 本のカーボランダム管を爐の外壁より爐内を貫きて内壁に至るやう配置簞入し、其外壁の方に瓦斯火口を設け、之に點火すれば、火焰は管内を熱して外壁の方より煙突 *P* に脱出す。其管内にて發生する熱の爲に管外に熱を放ち、爐内は 1,000 度以上に高熱するやうに計畫してある。爐底 *Q* は爐體と離れて蛇の目形を爲し、恰も獨樂の如くに旋回す。爐底は淺き「」形にて耐火煉瓦を敷き側壁も煉瓦にて築き、其敷煉瓦の上には厚くカーボコールを盛りて爐床を構成す。爐の本體と爐底の間には、空氣の侵入を防遏する爲に砂を以て閉塞しあり。

爐内には 8 箇の鑄鋼製攪拌杆 *O* を爐の外壁より爐内に挿入して内壁に達するやうに固定し、其杆の下部には多數の鋤形を爲せるカーボランダム製の板を櫛の齒の駢びたる如く斜に取り付け、爐床の上表面に達する如くに調整してある。

加減裝置にて裝入の割合を定めたる砂鐵及びカーボコールは、爐の内壁の近くに落ちて爐床の上に溜れば、爐床の旋回の爲に杆の鋤形板にて攪拌混和されつゝ、混和物は外壁の方に推移せられ、其間にスポンジ鐵と爲りて爐の外壁に設けある放出口 *d* より冷却機に入る。爐底の旋回速度は 3 分時間に 1 回轉する計畫にて、裝入物が爐内に移動する時間は約 40 分許。

冷却機 *R* は鐵板製の圓筒にて、スポンジ鐵の入口の方を少しく高く、出口を低く稍傾斜して横置し、齒輪裝置にて絶えず回轉す。圓筒の兩端は大氣の侵入を遮斷するやうに構造し、圓筒の下半徑は冷水中に浸され水中を回轉する如くす。高熱せるスポンジ鐵が還元爐より入り來れば、機の回轉に従

ひ、漸次移動して出口に来るときは全く冷却して、再酸化の虞なき状態となる。此冷却したスポンジ鐵は壓搾空氣にて中間槽 S に送る。

冷却スポンジ鐵には炭末及び灰分等が夾雜する、故に之を驅除する爲に磁選機に附す。磁選機 T はデングス式にて S より落ち来るものを選分してスポンジ鐵と鐵尾に分ち、其スポンジ鐵は容器 V に貯へ更に之を團鐵機 U にて團結する。

此還元爐設計の最も面白き所は、環狀と爲したる爲に附屬裝置が比較的手輕に出來、操業上にも甚だ輕便であることである。元來スポンジ鐵の日産額 50 噸に要する砂鐵礦は其 3 倍即ち 150 噸が計畫の基礎になつて居る。之に還元劑としてのカーボコールを加ふれば 200 噸以上にもなり、夫れに還元の所要時間を見積れば、實に夥だしき廣大な面積を要することになり、其上兩者密觸の爲に絶えず引掻きまはす必要がある。其攪拌裝置などを取付くことは容易のことにあらず。夫を環狀の爐となした爲に爐の中心にて徑 42 呎、延長約 132 呎、面積約 1,600 平方呎位となり、しかも幅 12 呎にて爲に附屬裝置の取付、操業上の調節や監視が頗る簡便なることは考案者の苦心の存する所であらう。

72  
唯 12 本のカーボラダム管が將來一の考へものではないかと思はれる。

尙此設備の得意とする所は、工場内に於ける諸原料類製品などは悉く機械的に移動するやうにして、最小限度に勞力を節減したことである、殊に移動する物品は何づれも吹けば飛ぶやうな微粉のみで、高所に運び上げねばならず、且つは埃甚だしきを考慮して、輸送管を以て壓搾空氣にて運送するやうに計畫してある。但し壓搾空氣にての輸送は理想的のやうなれども、其吹出口にては却つて壓風にあふられて埃立つこと甚だしく、工場内は濛々として數間先は見えざることあり。衛生上にも如何と思はるゝにつき、往く往くは改良の必要があらうと思ふ。

此附屬設備としてはモルガン式瓦斯發生爐 3 基。これは重もに作業を始むるとき、若くは瓦斯が不足する場合の爲に豫め備へあるものである。工場の動力供給竝に照明用電燈の爲に一時的間に合せ假据付の 550 竝に 1,000 キロの火力發電機各 1 臺あり。

## VII 設備の竣工、試運轉

前に述べたやうに工場の建設竝に操業に至るまでの一切が全然アンダーソン及びソンヒル兩氏に委任せられ、兩氏竝に一行（計畫、築爐、瓦斯、建築及び工務各一人）の指揮監督の下に工事を進め、約 8 ヶ月にして昭和 2 年 3 月頃には各部共に略ぼ竣工して試運轉を開始せんとするやうになつた。

試運轉を始むることになつたが其試運轉も一局部づゝ、次から次へと施行し、其局部が滞りなく完成したる後にあらざれば、次の局部に移らず、試運轉の結果改良を要する場合、其所要材料がなかつたときなどには、相當の時日を待つこともあつた。短氣な日本人から見ると一寸意外に感ずる位である。6 月に至り豫熱爐以外の部分は略ぼ試運轉も了つたが、其間には故障も頻出し、從つて運轉も亦斷續した。就中故障の大なりしものは瓦斯關係である。

作業を開始するには瓦斯を要する。瓦斯はモルガン式瓦斯發生爐にて發生することになつて居る。

同式の發生爐は當時我邦には至つて少數で、従つて取扱に熟練な職工は得難い。尤も瓦斯擔當の米人が一人あつて指圖することになつて居たが、兎角思ふやうな瓦斯の發生が出来ない。従つて豫熱爐も還元爐も豫定の熱度を得ることが困難で、連續的の操業試験も出来なかつた。次には瓦斯の爆發でレキュペレーターが爆發し、其他小爆發は所々に數回起つて試運轉を停滯せしめた。斯く故障の起りしは瓦斯の取扱不慣の爲にて、其後は瓦斯の故障は殆んど起らざるやうになつた。

機械の故障は隨時修理改造し、4月上旬に72時間の連續運轉を試みたが、機械的には支障なきことを確めた。還元爐の工事最も遅れ、4月末日に始めて火入れを行ふたが、點火後間もなく前述せるレキュペレーターの爆裂起り、色々對策を講じて再び點火することを得たけれども、發生爐瓦斯安定せざる爲に豫熱爐には未だ點火するに至らず。米人は1,000度の熱を絶えず發生するに適當なる瓦斯即ち25%以上のCOを含むものが連續供給せられざれば、豫熱爐は點火運轉せずと主張せり——其主張の意味は甚だ不可解であるが——従つて還元爐の熱度を所定の1,000度内外に持續することも甚だ難事であつた。

5月初に至り創めて少量のスポンジ鐵の製品を得、更に改造補修を加へつゝ7月に至り金屬鐵56%、還元率72—74%のスポンジ鐵を製出することを得た。其時分に出來たスポンジ鐵の分析成分は第5表の如し。

第 5 表

|    | Fe    | FeO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | P     | S    | SiO <sub>2</sub> | Mn   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | CaO  |
|----|-------|-------|--------------------------------|------------------|-------|------|------------------|------|--------------------------------|------|------|
| 1. | 51.84 | 20.11 | —                              | 16.66            | 0.09  | 0.18 | 4.52             | 0.45 | 2.19                           | 1.99 | 0.31 |
| 2. | 51.04 | 19.11 | 6.65                           | 14.75            | 0.013 | 0.01 | 2.25             | —    | —                              | —    | —    |
| 3. | 56.71 | 21.96 | 3.82                           | 16.5             | —     | —    | 0.99             | —    | —                              | —    | —    |

此還元率は76.43及び74%となる。  
**76-73**

元來此設備は考案者に於ても斯

く大量の生産につきては経験した

こともなく、加ふるに圖上の設計其儘のものを大急ぎにて組立てた爲に設備上不備の所もあり、操業上不慣の點あるにも拘らず、此成績を得たるは、砂鐵を還元してスポンジ鐵を造るに適するや否の問題が、兎に角解かれた譯で、必ずしも不適當ではなく、各局部を完備し、局部局部につき充分に研究を遂げ、作業に熟練し、経験を重ねれば、豫定の還元率——計畫者は93%位までには達すと唱へ居れり——に高め得ることは難事にあらずと一同期待した次第である。

### VIII 米人の退去、邦人の奮勵

然るに8月に至り米人の一行は、突然家事向とか一身上の都合とかにて辭職し、大急ぎにて退去歸國した。約束では少なくとも完全なる成績を擧ぐるまでは指揮監督して指導することになつて居る筈であるのに、未だ豫期せる結果をも示さず、還元率の如き僅に74—75%に達した位、且つ豫熱爐には火入れもせず、従つて全設備を一貫して作業を試みるに至らざるに、勾々退去したことは如何にも不可解なことである。是には色々の原因もあり亦評判もあるが、兎に角唯一の指導者が事半ばならずして急に居なくなつたことは、實際暗夜に燈光を失ふたと同じやうであつた。

夫につき追想するに此設備は兩氏の專賣的考案であり、建設より作業まで一切委任せられ、尙又此

作業は飽迄自分達一手にて經營する考であつたかも知れぬが、諸装置の据付中も一切祕密一天張りにて、視察者の見物などは勿論のこと、従業員の開與することを忌み、偶々意見でも云へば忽ち責任忌避を云々する風あり、諸運轉より作業試験を行ふに至つても、各部の目的方法結果等、操業上知らねばならぬ要件につきて説明指導することもなく、偶々質問すればうるさがられ、従業員は唯命ぜらるるまいに、機械的に使役せられ奔走するのみ。將來此仕事に従事すべきものに、斯やうにせずとも思はれ、且つは米人が退去でもせば如何になり行くものかと案ぜられた位である。

米人退去後は従業員一同奮起して協力一致、見聞習得した所によりて作業試験を續行し、頻出する故障と戦ひ、不備不工合の點に改修を加へ、職工を督勵して豫熱爐も運轉し、始めて全設備の一貫作業を施行して製品の向上に努力した、然るに其技術以外の故障の爲に屢々操業を中止しては又始むるなどの障害ありて渉々しからざりしこともありしが、終に 11 月に至り豫定せる還元率に近き平均約 90%、最高 96.6% に達せしめた。我邦には未だ曾てない此大仕掛なスポンジ鐵製造を碌々指導もせられずして、計畫者たる米人が指揮監督せし時分よりも、遙に良好な成績を挙げ得たる當事者の奮勵努力と苦心とは實に感嘆の至りである。

還元爐内に於ける還元進行の有様を見るに、爐内の熱度が充分に行き渡り、且つ絶えず約 1,000 度の熱を保持する場合に於て最も良好で、實地上點火裝入を開始してより 3 日の後頃から始めて其結果

第 6 表

| 日   | 鐵の<br>鐵分<br>% | カーボ<br>ルの<br>含有<br>率<br>% | 裝入<br>鐵量 | カーボ<br>ルの<br>量 | 爐熱<br>°C | スポン<br>ジ鐵の<br>全鐵分<br>% | スポン<br>ジ鐵の<br>金屬鐵<br>分<br>% | 還元<br>率<br>% |
|-----|---------------|---------------------------|----------|----------------|----------|------------------------|-----------------------------|--------------|
| 24  | 36.2          | 14.0                      | 116      | 30             | 975      | 73.7                   | 67.6                        | 90.3         |
|     |               | 15.5                      | "        | "              | 982      | 74.8                   | 68.6                        | 91.0         |
|     | 38.0          | 15.0                      | 138      | "              | 970      | 68.7                   | 45.6                        | 67.7         |
| 25  |               | 14.6                      | "        | 48             | 957      | 74.5                   | 69.6                        | 93.4         |
|     | 44.0          | 18.0                      | 116      | "              | 939      | 71.5                   | 52.4                        | 73.2         |
|     |               | 14.3                      | "        | "              | 951      | 72.5                   | 58.6                        | 80.8         |
|     | 40.0          | 10.6                      | "        | "              | 965      | 73.5                   | 66.0                        | 90.0         |
|     |               | 18.0                      | "        | 30             | 973      | 74.4                   | 70.0                        | 94.0         |
|     | 33.6          | 16.4                      | "        | "              | 965      | 69.8                   | 66.2                        | 95.1         |
|     |               | 17.0                      | "        | "              | 948      | 68.5                   | 64.3                        | 94.0         |
|     | 38.7          | 19.0                      | "        | "              | 980      | 68.9                   | 61.6                        | 89.0         |
| 26  |               | 16.5                      | 129      | "              | 996      | 71.0                   | 67.6                        | 96.6         |
|     | 39.5          | 21.0                      | "        | "              | 1,000    | 71.4                   | 67.9                        | 95.3         |
|     |               | 23.0                      | "        | "              | 995      | 74.5                   | 70.3                        | 94.3         |
|     | 36.3          | 13.4                      | "        | "              | 991      | 72.5                   | 65.0                        | 89.6         |
|     |               | 15.0                      | "        | "              | 1,004    | 73.2                   | 68.4                        | 93.2         |
|     | 40.1          | 19.0                      | "        | "              | 1,010    | 74.2                   | 69.0                        | 93.0         |
|     |               | 15.7                      | "        | "              | 997      | 74.7                   | 70.0                        | 93.7         |
| 日   | 鐵の<br>鐵分<br>% | カーボ<br>ルの<br>含有<br>率<br>% | 裝入<br>鐵量 | カーボ<br>ルの<br>量 | 爐熱<br>°C | スポン<br>ジ鐵の<br>全鐵分<br>% | スポン<br>ジ鐵の<br>金屬鐵<br>分<br>% | 還元<br>率<br>% |
|     | 39.0          | 19.3                      | "        | "              | 980      | 73.7                   | 66.9                        | 90.7         |
| 27  |               | 18.5                      | "        | "              | 992      | 72.5                   | 65.6                        | 90.4         |
|     | 31.4          | 16.0                      | "        | "              | 967      | 71.0                   | 62.6                        | 88.1         |
|     |               | 16.0                      | "        | "              | 995      | 73.2                   | 67.6                        | 92.4         |
|     | 32.4          | 15.0                      | 138      | "              | 1,000    | 74.0                   | 69.9                        | 94.3         |
| 28  |               | 17.8                      | 116      | 19             | 955      | 70.3                   | 64.9                        | 86.8         |
|     | 38.7          | 18.0                      | "        | "              | 960      | 70.0                   | 60.8                        | 88.0         |
|     |               | 20.0                      | "        | "              | 944      | 70.9                   | 61.4                        | 86.6         |
|     | 38.7          | 21.7                      | "        | "              | 975      | 72.1                   | 63.5                        | 88.1         |
|     |               | 17.0                      | 122      | 30             | 974      | 74.2                   | 69.3                        | 93.3         |
|     | 32.0          | 16.5                      | 135      | "              | 980      | 75.4                   | 70.8                        | 93.1         |
|     |               | 19.6                      | "        | "              | 993      | 74.0                   | 69.8                        | 93.3         |
|     | 35.0          | 22.0                      | "        | "              | 1,005    | 69.2                   | 55.3                        | 79.9         |
|     |               | 21.3                      | 116      | 19             | 1,010    | 73.2                   | 64.2                        | 87.6         |
|     | 31.8          | 18.1                      | "        | "              | 982      | 72.8                   | 59.5                        | 81.6         |
|     |               | 20.3                      | "        | "              | 963      | 71.8                   | 59.8                        | 83.3         |
|     | 35.2          | 22.9                      | "        | "              | 931      | 70.3                   | 59.0                        | 83.3         |
| 平 均 |               |                           |          |                |          | 72.5                   | 64.6                        | 89.0         |

を現はす。つまり爐内各部爐床のカーボコール層などが十分に保熱した後である。之に反し故障の爲に熱度に高低あり、或は事故の爲に連續的に操業する能はざるとき、若しくは裝入量が寡少なるときの如きは還元は不同で良好でない。

當時(昭和2年11月)試験中と云ひ且つ操業にも慣れず、往々不時に發生する事故の爲に操業に斷續あり、従つて一定の操業を採ることの出来ない場合が多かつたが、操業が至極順調、豫期に近き結果を得たるは24日より28日迄の間にて最も高調に達した時で、其後間もなく休止したるは惜しきことであつた。

但し其以前より鑛とカーボコールの割合などを試みつゝ作業を續行した<sup>トウ</sup>爲に、爐内の保熱充分に行渡り、且つ熱度も略ぼ一定の範圍に保つことを得た爲に上記の結果を得たものである。之を米人指導の下に製出したものゝ品位と較ぶるに、當時の記録に乏しく、委しき統計を得ざるも7月頃の製造に係るものは第7表の如くである。従つて之を第6表に較ぶれば15.09%の差を示すに至つた譯である。

第7表

| 全鐵分   | 金屬鐵分  | 還元率   |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 76.37 | 56.65 | 74.18 |       |
| 76.37 | 56.34 | 73.77 |       |
| 76.53 | 56.82 | 74.25 |       |
| 76.99 | 56.78 | 73.88 |       |
| 76.99 | 56.97 | 73.87 |       |
| 69.04 | 51.84 | 75.10 |       |
| 70.56 | 50.04 | 72.34 |       |
| 平均    | 74.70 | 55.21 | 73.91 |

る。

11月の成績を得た時には原料としては鑛山より掘りだしたきまゝの原鑛を用ひ、豫熱は約500度、還元爐内に留存すること約40分、鑛とカーボコールの割合は色々研究中なりしを以て割合不同なるが、其後に至り實驗上適當と假定したる30%に比すれば少量に失し、カーボコールも亦實驗上揮發物の含有量10%位が適當ならんと云ふに較ぶれば、含有量が多過ぎ且つ其含有量にも不同あり。尙又スポンジ鐵の金屬鐵分は、冷却の際に再酸化すること平均4%許の冷却消失あり。然れば還元爐内に於ける金屬鐵分は92.8%と爲る譯になる。

其後昭和3年2月には、含有鐵分を富ましむる爲に、磁選に附した精鑛を用ひ試験したが、實際の鑛とカーボコールの割合少しく低く且つカーボコールの揮發物が多量であつた影響の爲か、其平均還元率が第6表に比すれば多少劣る所あれども、爐況の順調なときの成績はよほど均齊を得て居るやうである。豫熱は約500度、還元爐内の留存時間約60分間

第8表

| 月日   | 鑛の鐵分 % | カーボコールの含有揮發物 % | 裝入鑛量 | カーボコールの量 | 爐熱 °C | スポンジ鐵全鐵分 % | スポンジ鐵金屬鐵分 % | 還元率 % |
|------|--------|----------------|------|----------|-------|------------|-------------|-------|
| 2 17 | 48.0   | 23.6           | 63   | 16       | 1,005 | 70.1       | 58.0        | 82.8  |
|      | 54.2   | 24.6           | "    | "        | 1,037 | 73.8       | 65.2        | 88.3  |
|      | 56.2   | 30.5           | "    | "        | 1,010 | 73.1       | 62.5        | 85.5  |
|      | 54.2   | 26.8           | "    | "        | 1,043 | 74.0       | 63.4        | 85.6  |
|      | 51.8   | 20.9           | "    | "        | 1,037 | 75.5       | 64.8        | 85.9  |
|      | 54.9   | 20.6           | "    | "        | 1,044 | 73.3       | 63.8        | 87.0  |
|      | 52.9   | 20.8           | "    | "        | 1,047 | 73.8       | 63.1        | 85.5  |
| 18   | 48.7   | 22.7           | "    | "        | 1,034 | 73.5       | 64.9        | 88.2  |
| 月日   | 鑛の鐵分 % | カーボコールの含有揮發物 % | 裝入鑛量 | カーボコールの量 | 爐熱 °C | スポンジ鐵全鐵分 % | スポンジ鐵金屬鐵分 % | 還元率 % |
|      | 49.3   | 23.1           | "    | "        | 1,044 | 73.0       | 64.7        | 88.6  |
|      | 45.2   | 23.7           | "    | "        | 1,079 | 73.0       | 63.9        | 87.5  |
|      | 45.8   | 22.0           | "    | "        | 1,037 | 74.0       | 65.6        | 88.6  |
|      | 41.6   | 23.7           | "    | "        | 1,020 | 73.2       | 63.5        | 86.8  |
|      | 50.0   | 23.7           | "    | "        | 975   | 73.8       | 63.7        | 86.3  |
|      | 46.0   | 24.0           | "    | "        | 969   | 73.2       | 61.3        | 84.6  |
|      | 49.6   | 26.0           | "    | "        | 943   | 71.5       | 60.0        | 83.9  |
| 平均   | 50.0   |                |      |          |       | 73.2       | 62.8        | 85.1  |

米人退去の後には前に述べたる如く、單に操縦の型を習得したるまでにて、且つ未だ曾て經驗も無きこととなれば、探り探りに操業しつゝある其間には修理の爲に作業を休み、爐況順調にして之を續行せば相當の成績を挙げ得べき見込あるときも、色々な事情の爲に作業の停止を餘儀なくせられ、従つて各部の研究も、僅かに其門を覗いた位である。然るに兎に角に作業の結果は大に向上して略ぼ豫期せる目標に近き成績を得たれば、尙ほ相當の研究と經驗を重ねれば、其目的に到達し得ることは單に時日の問題であると信ぜられた。但し前に示したる第 6 表及び第 7 表の成績は作業中の良好なる一節を摘記したるものなれども、研究と經驗と熟練とにより、此成績を作業的に繼續するのみか更に進歩すべきは疑なかるべし、尙スポンジ鐵製造のことにつきては後に述べやうと思ふ。

### IX 久慈製スポンジ鐵の製鋼試験

尙ほ米人が専ら作業を指揮監督して居た昭和 2 年の 7 月頃豫期した品質のものではないが、兎に角にスポンジ鐵が出来た。其出来たスポンジ鐵を以て取敢ず製鋼原料としての價值、出来たものの品質等につき試験してスポンジ鐵製造上の参考に供することとし、神戸川崎造船所と日本製鋼所とに見本を輸送した。

川崎造船所にて試験に用ひたスポンジ鐵の成分は

| C    | Si   | Mn   | P    | S     | TiO <sub>2</sub> | Fe    | FeO   |
|------|------|------|------|-------|------------------|-------|-------|
| 0.18 | 2.08 | 0.45 | 0.07 | 0.019 | 16.66            | 51.84 | 22.11 |

但し C は還元用炭の附着に基因するものならん。

#### 其一 三噸鹽基性電氣爐にての試験

|          |         |          |
|----------|---------|----------|
| 1. 豫定裝入量 | 鋼 旋 盤 屑 | 2,300 kg |
|          | 鑄鋼屑、鐵屑  | 1,000 "  |
|          |         | 3,300 "  |

裝入材料は全部鋼旋盤屑を用ふる筈なりしも、砂や合金屑など混入し且つ甚しく酸化し居る故、止むなく鑄鋼屑又は屑鐵を用ひた。

2. 製 品 鑄鋼鑄物

3. 操業時間 操業時間は其方法竝に鋼質によりて多少加減せねばならぬが、先づ 4 時間 30 分。

使用電力量は平均一回操業に 2,780 K. W. H (1 噸につき 830 K. W. H)

4. 燐及び硫黄 燐及び硫黄は 0.015—0.02% 以下

5. スポンジ鐵 重量 4 听許の團結塊、其成分は

第 9 表

| 試 料 | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | 全 Fe  | 金屬 Fe | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   |
|-----|------------------|------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|
| A   | 0.75             | 16.28            | 76.37 | 56.65 | 5.37                           | 20.52 |

|    |      |       |       |       |      |       |
|----|------|-------|-------|-------|------|-------|
| B  | 0.97 | 16.25 | 76.37 | 56.34 | 5.81 | 20.52 |
| C  | 0.84 | 16.52 | 76.53 | 56.82 | 1.20 | 24.27 |
| D  | 0.89 | 16.58 | 76.99 | 56.78 | 2.67 | 22.87 |
| E  | 1.37 | 16.89 | 76.99 | 56.97 | 4.03 | 21.71 |
| 平均 | 0.96 | 16.30 | 76.65 | 56.71 | 3.82 | 21.98 |

6. 装入材料の配合 第 10 表の如し。

第 10 表

| 製鋼順 | スポンジ鐵<br>kg | 各屑鐵<br>kg | 旋盤屑<br>kg | 計<br>kg | スポンジ鐵<br>割合<br>% |
|-----|-------------|-----------|-----------|---------|------------------|
| 1   | 300         | 700       | 2,300     | 3,300   | 9.1              |
| 2   | "           | 800       | "         | 3,400   | 8.8              |
| 3   | "           | "         | "         | "       | "                |
| 4   | "           | "         | "         | "       | "                |
| 5   | 500         | 700       | "         | 3,500   | 14.3             |
| 6   | "           | "         | "         | "       | "                |
| 7   | "           | "         | "         | "       | "                |
| 8   | "           | "         | "         | "       | "                |
| 9   | 1,000       | 1,000     | 1,500     | "       | 28.6             |
| 10  | "           | "         | "         | "       | "                |
| 11  | 2,000       | "         | "         | "       | 59.2             |
| 12  | 2,700       | 500       | 800       | 4,000   | 67.5             |

## 7. 炭素、珪素、滿俺

製品は全部鑄鋼、炭素 0.16—0.3%、珪素約 0.25%、滿俺約 0.55% を目的とす。

熔融作業經過の状態 スポンジ鐵 500 kg (全装入量の 8.8%) 位までは一般操業の場合と同じく全然異狀なし。1,000 kg (28.6%) の場合も差して變化はないが、酸化鐵の影響を受けて滓分は泡立ち、石灰を追加し調節するなどの様子は、甚だしく酸化した旋盤屑使用の場合と同じ程度位なり。2,000 kg (57.2%) 以上になれば容積嵩張りて 2 回に分装し、熔融すれば滓分は著しく泡立てるを以

て材料が熔融するを待ちて流し出だし、更に滓分の造り換へを要せり。

以上の試験に依り、大要次の如き結果を得たり。

1. 装入方法 スポンジ鐵を屑鐵又は旋盤屑の中に加へ又は爐底に敷くなど、色々試みたが何れも大差はない。
2. 送電状態 1,000 kg の装入迄は何等異狀なし。但し 2,000 kg 以上にては最初少しく困難したが猶研究の餘地あり。
3. 熔融時間 1,000 kg までは更に異狀なし。2,000 kg 以上の場合には最初の送電及び滓分の造り換への爲に約 40—50 分延長した。
4. 使用動力 1,000 kg までは普通、2,000 及び 2,700 kg の場合には全装入物の吨當り 80—130 K. W.H の増加を見た。しかし回数少なき故確實の所は不明。
5. 珪酸及び酸化チタン 珪酸は少ない故問題にならず。酸化チタンの除去には石灰の増加を要す。
6. 磷及び硫黄 其除去は問題とする程度でない。
7. 爐材に對する作用 格別損害を起さず。
8. 歩留り 約 58% の見當なるべし。
9. 材料試験の結果 第 11 表の如し。

第 11 表

試材 製鋼順 9 炭素 0.23%

|         | 弾性<br>限          | 抗張<br>力          | 延伸<br>率 | 断面<br>收縮 |
|---------|------------------|------------------|---------|----------|
|         | t <sub>0</sub> " | t <sub>0</sub> " | %       | %        |
| 鍛鍊後空中放冷 | 20.0             | 32.7             | 20.5    | 46.0     |
| "       | 20.1             | 32.6             | 22.5    | 51.0     |
| " 焼鈍    | 19.0             | 31.0             | 22.0    | 59.7     |
| 鑄鋼      |                  | 33.0             | 21.0    | 45.9     |

試料 製鋼順 12 炭素 0.30%

|         | 弾性<br>限          | 抗張<br>力          | 延伸<br>率 | 断面<br>收縮   |
|---------|------------------|------------------|---------|------------|
|         | t <sub>0</sub> " | t <sub>0</sub> " | %       | %          |
| 鍛鍊後空中放冷 | 23.0             | 38.5             | 20.5    | 50.9       |
| "       | 22.7             | 40.0             | 15.5    | 46.2 1/4切斷 |
| " 焼鈍    | 20.9             | 36.1             | 18.5    | 55.3 1/2切斷 |
| 鍛鍊後空中放冷 | 24.6             | 39.8             | 24.0    | 49.9       |
| "       | 24.1             | 39.3             | 28.5    | 49.9       |
| 鑄鋼      | 21.4             | 35.9             | 27.0    | 36.3       |
| "       | 20.5             | 36.1             | 24.5    | 27.5       |
| "       | 22.1             | 35.5             | 24.0    | 36.3       |
| "       | 20.5             | 35.7             | 22.0    | 30.5       |

スポンジ鐵單味の場合には一層困難を感じ、特に過半熔融した時に、尙熔け残りのものが一時に熔湯中に落ち込み爐底に膠着した爲に、熔融は 30—40 分遅れた。

製鋼時間 使用電力

| 製鋼順 | 製鋼時間      | 使用電力<br>K.W.H. | 材料噸當<br>K.W.H. | スポンジ鐵<br>歩留リ |
|-----|-----------|----------------|----------------|--------------|
| 13  | 4 時 45 分間 | 3,360          | 960            | 55%          |
| 14  | 6 時間      | 3,920          | 980            | 45.5%        |

製品 薄板用鋼塊

製品の成分 第 12 表の如し。

第 12 表

| 製鋼順 | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cu   |
|-----|------|------|------|-------|-------|------|
| 13  | 0.11 | 0.08 | 0.26 | 0.091 | 0.030 | 0.13 |
| 14  | 0.11 | 0.12 | 0.27 | 0.064 | 0.024 | 0.05 |

(Cu の含有少しく多きは旋盤層よりなるべし)

製品の材料試験

甲 試材 製鋼順 13 抗張試験及硬度試験成績は第 13 表の如し。

屈曲試験 試験片 1 1/8" の一角黒皮、屈曲半径 1/4",

角度 180° 成績 良好。

乙 試材 製鋼順 14 シートバーに壓延せるものの抗張試験及硬度試験成績第 14 表の如し。

表中の符號 A は鋼塊の頂、B は同底、C はクロスワイズ

次には尙ほ多量にスポンジ鐵を配合したるものと及びスポンジ鐵單味を以て薄板用鋼材の試験を行へり。

装入材料の配合

| 製鋼順 | スポンジ鐵<br>kg | 旋盤層<br>kg | 計     | スポンジ鐵割合 |
|-----|-------------|-----------|-------|---------|
| 13  | 2,500       | 1,000     | 3,500 | 71.4    |
| 14  | 4,000       | 0         | 4,000 | 100     |

製鋼作業状態

スポンジ鐵中には金屬鐵分と共に多量の酸化鐵及び酸化チタンを含有する爲に、熔融と同時に多量の滓分を生ずるなどにて一方ならず困難せり。加之酸化鐵の影響にて滓分は甚だしく泡立ち、爐より溢れ出で、熔融の半途にて滓分の大部分は流し出し、石灰追加によりて適當の滓分を構成した。

第 13 表

鍛練後空中放冷せるもの

| 抗張力<br>$t \square''$ | 弾性限<br>$t \square''$ | 延伸率<br>% | 断面収縮<br>% | ブリネル | ショア   | 抗張力<br>$t \square''$ | 弾性限<br>$t \square''$ | 延伸率<br>% | 断面収縮<br>% | ブリネル | ショア |
|----------------------|----------------------|----------|-----------|------|-------|----------------------|----------------------|----------|-----------|------|-----|
| 28.4                 | 18.0                 | 36.0     | 61.4      | 143  | 21.15 | 28.3                 | 16.5                 | 36.0     | 59.6      | 143  | —   |
| 28.1                 | 17.5                 | 34.5     | 61.4      | 143  | 19.65 | 28.1                 | 16.3                 | 35.0     | 59.7      | 143  | —   |
| 27.8                 | 16.1                 | 35.0     | 61.9      | 140  | —     |                      |                      |          |           |      |     |

同上 850 °C にて焼鈍せるもの

|      |      |      |   |     |       |      |   |      |   |     |       |
|------|------|------|---|-----|-------|------|---|------|---|-----|-------|
| 25.2 | 11.7 | 39.0 | — | 128 | 16.40 | 25.6 | — | 40.0 | — | 126 | 16.50 |
| 25.3 | 12.0 | 43.0 | — | 126 | 16.25 |      |   |      |   |     |       |

第 14 表

| 試験片符號 | 試験片寸法時<br>厚 幅 | 抗張力<br>$t \square''$ | 延伸率<br>8''% | 断面収縮<br>% | ブリネル | 試験片の状態     |
|-------|---------------|----------------------|-------------|-----------|------|------------|
| I AC  | 0.32 × 2.25   | 30.59                | 23.0        | —         | —    | 壓延のまゝ      |
| I BC  | 0.34 × 2.24   | 30.15                | 25.5        | —         | —    | 〃          |
| II AC | 0.32 × 2.25   | 29.95                | 23.0        | —         | —    | 〃          |
| II BC | 0.33 × 2.24   | 29.23                | 22.0        | —         | —    | 〃          |
| I AC  | 0.319 × 2.25  | 25.85                | 29.8        | 55.7      | 134  | 850°C にて焼鈍 |
| I BC  | 0.338 × 2.25  | 25.20                | 29.9        | 63.1      | 137  | 〃          |
| II AC | 0.332 × 2.25  | 25.76                | 29.4        | 58.5      | 128  | 〃          |
| II BC | 0.322 × 2.25  | 25.76                | 29.7        | 61.2      | 131  | 〃          |

## 其二 久慈スポンジ鐵使用鋼材壓延試験

電氣製鋼法により造りたる鋼塊約1kgのものを以てシートバー及び U.S.G 30 の薄板を試製した。

## 鋼材の成分

| 製鋼順 | C    | Si    | Mn   | P     | S     | Cu    | Ni    | Cr    | Ti    | V     |
|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 13  | 0.11 | 0.061 | 0.30 | 0.076 | 0.029 | 0.218 | 0.076 | 0.011 | 0.025 | 0.016 |

## 鋼板の壓延

上記の鋼塊にて  $\frac{5}{16}'' \times 63''$  幅の鋼板1枚を壓延し、之より  $0.32'' \times 6 \frac{5}{8}'' \times 37 \frac{1}{4}''$  のシートバー 15枚採取。

## 鋼板の抗張試験

|     |       |                     |     |              |
|-----|-------|---------------------|-----|--------------|
| 頂 部 | 抗 張 力 | 29.22 $t \square''$ | 延伸率 | 25% (8''につき) |
| 底 部 | 〃     | 28.22 〃             | 〃   | 26% 〃        |

## 薄板の壓延成績

上記シートバーにて U.S.G. No 30  $\times 36'' \times 72''$  の薄板に壓延す。壓延總枚數 110、合格 104、不合格 6 合格率 94.6%。

ホット、ロールされた黒板は、コールド、ロールを一回通じた後連續焼鈍爐にてボックス、アンニリングを行ひ成品と爲した。

## 製品の試験成績

製品各1枚の兩端より  $AA_1$   $BB_1$  の各2枚、板の眞中より横に  $NN_1$ 、縦に  $L_1L_2$  の各2枚を切り取り、エリヒセン試験器にて試験せる其平均成績は第15表に示す。

第 15 表

| ポットロールしたまゝのもの |      |               |                | アニーリングしたもの |      |               |                |
|---------------|------|---------------|----------------|------------|------|---------------|----------------|
|               | 厚 mm | エリヒセン<br>バリュー | スタンダード<br>バリュー |            | 厚 mm | エリヒセン<br>バリュー | スタンダード<br>バリュー |
| A             | 0.32 | 4.05          | 7.06           |            | 0.29 | 7.52          | 6.89           |
| M             | 0.33 | 3.83          | 7.12           |            | 0.33 | 7.56          | 7.13           |
| B             | 0.32 | 3.70          | 7.09           |            | 0.33 | 7.63          | 7.12           |
| $L_1$         | 0.34 | 3.90          | 7.20           |            | 0.33 | 7.56          | 7.13           |
| $L_2$         | 0.34 | 4.02          | 7.17           |            | 0.33 | 7.62          | 7.13           |
| 總平均           | 0.33 | 3.90          | 7.13           |            | 0.32 | 7.58          | 7.08           |

試験成績に就て

供試鋼塊は常用の薄板用としての鋼質を標準として製造したものなれども、普通軟鋼材に含有することなき Ni 及び Cr 並に比較的多量と考へらるゝ Cu は、原料として用ひたる旋盤屑に含有し居りしものに相違なし。此等を含有する爲に抗張力が幾分高き感のあることは、スポンジ鐵の眞相を示すべき目的の爲には少しく遺憾である。

鋼塊の頂底兩部より採りたる試験片の抗張力の比及び組織の寫眞により、鋼質が均等であることを明らかにして居る。

鋼塊より薄板成品に至るまでの工程につきては、普通鋼材と少しも變る所なく總て良好であつた。

備考 各種鋼材比較試験 川崎造船所葺合工場にて使用の各種鋼材を比較すれば第16表の如し。

久=久慈スポンジ鐵製、葺=葺合工場製、米=米國カーネギー社製シートバー、白=白耳義オーグリー會社製シートバー

第 16 表

|   | 鋼材の分析成分 |         |      |       |       |       |       |       |       |       |
|---|---------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | C       | Si      | Mn   | P     | S     | Cu    | Ni    | Cr    | Ti    | V     |
| 久 | 0.11    | 0.061   | 0.30 | 0.076 | 0.029 | 0.218 | 0.076 | 0.011 | 0.025 | 0.016 |
| 葺 | 0.10    | 0.038   | 0.24 | 0.057 | 0.034 | 0.08  | —     | —     | —     | —     |
| 米 | 0.09    | 痕跡      | 0.39 | 0.097 | 0.040 | 0.01  | —     | —     | —     | —     |
| 白 | 0.09    | 痕跡—0.04 | 0.39 | 0.053 | 0.038 | 0.10  | —     | —     | —     | —     |

材質及び亜鉛附着量比較

第 17 表

|   | 抗張力<br>$t \text{ 〃}$ | 延 伸<br>% | 厚<br>mm | エリヒセンバリュー          |            |                          | キヤシマンテスター<br>による亜鉛附着量 |                  |
|---|----------------------|----------|---------|--------------------|------------|--------------------------|-----------------------|------------------|
|   |                      |          |         | アニー<br>リングし<br>たもの | スタン<br>ダード | スタン<br>ダードバ<br>リューの<br>差 | 毎ロ' につ<br>き           | 3'×6' 板<br>1枚につき |
| 久 | 28.7                 | 26.8     | 0.32    | 7.58               | 7.08       | +0.5                     | 0.611オンス              | 10.998オンス        |
| 葺 | 24.4                 | 27.0     | 0.28    | 6.99               | 6.82       | +0.17                    | 0.856〃                | 15.408           |
| 米 | 27.7                 | 26.3     | 0.31    | 7.25               | 7.05       | +0.20                    | 0.574〃                | 10.332           |
| 白 | 25.8                 | 27.5     | 0.31    | 7.33               | 7.04       | +0.29                    | —                     | —                |

## 其三 10 噸鹽基性平爐にてスポンジ鐵を原料としての試験

初めより多量のスポンジ鐵を裝入することは、作業上經驗なきにつき其様子を見る爲に裝入量の 2, 4, 6, 8% の如く漸次 2% づゝを増し、其狀況により更に多量を用ふることゝせり。

## 製鋼作業に於ける使用材料配合

第 18 表

|       | 材 質   | 銑     | 削 屑   | 屑 鐵   | スポンジ鐵 | 石 灰   | 骸 炭 | 計      | スポンジ鐵 割合 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|--------|----------|
| 第 1 回 | 鋼 鑄 物 | 1,390 | 2,050 | 7,930 | 200   | 1,320 | 330 | 11,590 | 2%       |
| 第 2 回 | "     | 1,290 | 1,610 | 5,110 | 320   | 1,120 | 320 | 8,330  | 4"       |
| 第 3 回 | 鋼 塊   | 1,180 | 2,600 | 8,140 | 660   | 1,540 | 440 | 12,580 | 6"       |
| 第 4 回 | "     | 1,290 | 3,540 | 6,010 | 880   | 1,400 | 440 | 11,720 | 8"       |

## 操業時間

第 19 表

|      | 第 1 回 | 第 2 回 | 第 3 回 | 第 4 回 | 普 通  |
|------|-------|-------|-------|-------|------|
|      | 時 分   | 時 分   | 時 分   | 時 分   | 時 分  |
| 全熔時間 | 5 48  | 6 25  | 7 45  | 8 —   | 5 10 |
| 精鍊時間 | 2 22  | 2 22  | 3 01  | 1 40  | 1 35 |
| 所要時間 | 8 10  | 8 47  | 10 46 | 9 40  | 6 45 |

## 製鋼作業狀態

## 1. 第 1 回 スポンジ鐵 2% 使用の場合

裝入した全材料が熔融し終るまでの狀況は別に普通の場合と異ならず。熔融直後は滓分稀薄にして粘性に乏しく従つて熱低し。熱低き爲に投加した石灰の熔融も頗る遅緩にて、適當なる滓分の構成に困難を感じ、熔融後約 1 時間にして滓分も稍々粘性を帶び、續いて粘性あり流動性に富む滓分となり鋼熱上昇して爐況宜しく普通狀態となる。追裝物投加後の狀況は良好、従つて鋼の脱酸充分、鑄込の狀況頗る良し、但し最初より滓分構成の困難なりしは、石灰分が少しく少なりし爲めにはあらざりしか。

裝入完終の後 4 時 40 分間にて熔了、午後 0 時 30 分、夫れより順次試料を採ること次の如し。

第 20 表

| 試料採收時  | C    | Si | Mn   | P     | S     | Ni   | Cr   | Cu    | Ti | V  |
|--------|------|----|------|-------|-------|------|------|-------|----|----|
| 後 0 30 | 0.59 | 痕跡 | 0.11 | 0.054 | 0.042 | 0.35 | 0.15 | 0.160 | ナシ | ナシ |
| " 1 30 | 0.43 | "  | 0.12 | 0.039 | 0.041 | 0.35 | 0.12 | 0.164 | "  | "  |
| " 2 40 | 0.19 | "  | 0.13 | 0.023 | 0.027 | 0.40 | 0.12 | 0.164 | "  | "  |
| " 2 50 | 0.26 | "  | 0.13 | 0.020 | 0.028 | 0.37 | 0.13 | 0.152 | "  | "  |

同時に採りたる滓分の成分は

| 時 分     | SiO <sub>2</sub> | MnO  | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | V  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|---------|------------------|------|------|--------------------------------|-------|------|--------------------------------|------------------|----|-------------------------------|
| 後 0 30  | 28.70            | 3.11 | 5.03 | 2.55                           | 44.26 | 1.52 | 11.82                          | 2.12             | ナシ | 0.068                         |
| // 1 30 | 27.12            | 2.68 | 4.74 | 3.64                           | 46.12 | 2.36 | 10.56                          | 1.48             | // | 0.050                         |
| // 2 40 | 25.96            | 2.26 | 5.17 | 3.61                           | 48.47 | 2.52 | 9.26                           | 1.69             | // | 0.037                         |
| // 2 50 | 23.50            | 2.77 | 5.60 | 3.56                           | 49.32 | 2.88 | 9.36                           | 1.55             | // | 0.060                         |

## 2. 第2回 スポンジ鐵 4%使用の場合

装入物が熔融するまでの状況は、前回と大差なきも熔融中多少滓分は泡立てり。熔融と同時に少しく泡立ち滓分構成困難且つ熱低し。熔湯の沈静充分ならず、或は鐵鑛の投加が稍多かりし爲か。滓分の量は充分なれども粘性更になく熔湯の熱度の上昇困難、従つて操業も亦圓滑ならず。湯熱充分ならざる爲に鑄込の状況にも影響せり。

装入完終の後5時 45 分間即ち午後3時 40 分に熔了。其後順次試料を採ること次の如し。

第 21 表

| 試料採收時<br>時 分 | C    | Si | Mn   | P     | S     | Ni   | Cr   | Cu    | Ti | V  |
|--------------|------|----|------|-------|-------|------|------|-------|----|----|
| 後 3 40       | 1.81 | 痕跡 | 0.11 | 0.008 | 0.020 | 0.26 | 0.08 | 0.232 | ナシ | ナシ |
| // 4 25      | 1.30 | // | 0.05 | 0.003 | 0.019 | 0.25 | 0.02 | 0.228 | // | // |
| // 5 17      | 0.27 | // | 0.05 | 0.003 | 0.019 | 0.30 | 0.04 | 0.260 | // | // |
| // 6 2       | 0.17 | // | 0.38 | 0.003 | 0.011 | 0.37 | 0.03 | 0.304 | // | // |

## 3. 第3回 スポンジ鐵 6%使用の場合

熔融中泡立ちし爲に稍困難を感じ、熔融後約1時間にして泡立ち更に甚だしく已定の滓分構成に困れり。約1時間の後は状況全く恢復して滓分は粘性を帯び流動性に富み、熔湯は沈静充分、熱度上昇。此場合熔融時間稍々長かりしも、作業は別に困難ならず、只已定の滓分を構成することが稍々面倒なりし。

装入後6時 45 分間にて熔融了りしは午前10時 30 分、夫れより次の如く試料を採り分析に附して其経過を見たり。

第 22 表

| 試料採收時<br>時 分 | C    | Si | Mn   | P     | S     | Ni   | Cr   | Cu    | Ti | V  |
|--------------|------|----|------|-------|-------|------|------|-------|----|----|
| 前 10 30      | 1.68 | 痕跡 | 0.1  | 0.003 | 0.016 | 0.19 | 0.07 | 0.208 | ナシ | ナシ |
| 正 12 —       | 0.86 | // | 0.07 | 0.006 | 0.013 | 0.16 | 0.06 | 0.188 | // | // |
| 後 1 25       | 0.25 | // | 0.09 | 0.002 | 0.016 | 0.22 | 0.08 | 0.208 | // | // |
| // 1 32      | 0.31 | // | 0.76 | 0.006 | 0.013 | 0.21 | 0.07 | 0.212 | // | // |

## 4. 第4回 スポンジ鐵 8%使用の場合

熔融中に於ける状況は装入終了後約3時 30 分間は別に異状なかりしも、其後約1時間にて7分通り熔けたるとき、滓分は非常に泡立ちて瓦斯口を閉塞する位まで侵入し、45 分位の後稍沈静。更に45 分鐵鑛を追加後盛んに泡立ちて装入口より滓分溢出、操業困難。熔融終了後稍沈静、約 20 分後はもはや泡立たずして普通の状態となり、滓分は粘性を帯び流動性あり。爐熱上昇、熔湯頗る沈静、鑄込良好。

装入完終の後 7 時 5 分間にて熔了、午後 5 時 45 分。夫れより順次試料を採ること次の如し。

第 23 表

| 試料採取時<br>時 分 | C    | Si | Mn   | P     | S     | Ni   | Cr   | Cu    | Ti | V  |
|--------------|------|----|------|-------|-------|------|------|-------|----|----|
| 後 5 45       | 1.56 | 痕跡 | 0.08 | 0.004 | 0.024 | 0.13 | 0.04 | 0.140 | ナシ | ナシ |
| " 6 15       | 1.14 | "  | 0.08 | 0.002 | 0.027 | 0.24 | 0.05 | 0.132 | "  | "  |
| " 7 15       | 0.12 | "  | 0.08 | 0.004 | 0.018 | 0.12 | 0.03 | 0.144 | "  | "  |
| " 7 25       | 0.19 | "  | 0.57 | 0.010 | 0.026 | 0.21 | 0.06 | 0.152 | "  | "  |

以上僅に 4 回の試験にて結論を下すは到底不可能なれども、當事者の意見によれば

見本の如きスポンジ鐵團塊を屑鐵代用として試験したる所によれば、前述の如く 4% までは作業上餘り影響なきも、6% は稍困難、8% に至れば愈々困難なり。即ちスポンジ鐵中に含まるゝ還元鐵以外の酸化鐵、酸化チタン等の量甚だ高き爲め熔融と同時に多量の滓分を生じ、酸化鐵の影響を受けて甚だしく泡立ちて爐より溢出する有様なり。要するに熔融及び精鍊時間を延長するのみならず、爐の壽命短縮を免れない。

熔融時間の延長の結果は、熔湯中に酸化物の含有を多量にすることは一般に認めらるゝ所である。故に正規滓分を構成すること困難にして且つ熔湯の鎮靜充分ならざる虞あり。

以上の實例より 8% 以上のスポンジ鐵を用ふることは作業上考慮すべきことゝ思ひ中止せり。要するに今回試用したスポンジ鐵にては、滓分甚だしく泡立ち爐の操業困難、且つ爐命も短縮せらるゝ憂あり。然るに酸化チタン含有の爲めか、一たび正規の滓分を成生し得たる後は、從來のものよりも却つて優良なる滓分が組成せらるゝ爲に、除磷作用には有效なるやうなり。

## X 結 論

### 其一 スポンジ鐵の製造につき

VII 及び VIII に述べたる如くスポンジ鐵製造設備は、設計より建設に至るまで、全然米人の手にて施行せられ、試運轉開始後も一切萬事米人自ら切り盛りして邦人は單に其命ずる所によりて機械的に動くばかり。然るに試運轉も終り、スポンジ鐵の試製を開始して愈々是よりと云ふ時に至り、何か感ずる所ありしと見え、米人は突然退去歸國更に顧みる所なく、残りしものは設備と試運轉より得たる實地の操縦と、見聞習得した知識のみ。スポンジ鐵を造り出だせしは試験運轉開始後約 4 ヶ月後昭和 2 年 7 月、その後は邦人の手のみにて續行して漸次改良を加へ、豫期した還元率に達したるは同年 11 月。此複雑なる作業をこゝまで漕ぎ附けたる従業員の苦心と努力は實に感嘆に堪へず、兎に角其成績により、此設備でスポンジ鐵が出来ることは證明せられた。引續き研究に研究を加へ経験を重ねたらんには、豫期の目的を達成し得たるべきに、遂に續行不能となり休止の止むなきに至つたことは、誠に惜しきことである。

從來採り來れる作業は、専ら米人傳來の方法によりて續行し、之に研究と經驗の結果を加へ、改良したまでであつて、局部局部に於ける研究即ちスポンジ鐵製造上其局部に於ける最善の方法などにつ

きては、未だ研究せられざる所が少なくない。

元來此スポンジ鐵製造の如きは、作業の性質上局部に於ける操業をとくと研究して一定の範圍を定め其範圍内にて製作せざれば、作業的に一定せるものゝ製出は期し難い。既往の成績を見ても、各局部の製品例へばカーボコールの揮發物などが一定せず、果して何%位が最も適當であるか、判斷に苦しむ類が多い。しかし今まで専ら實地の操縦に忙殺せられて暇がなかつたのである。

今二、三につき云ふならば

#### 1. 所要砂鐵鑛は原鑛のまゝ用ふるか、或は精鑛にするか

原鑛のまゝなれば精選の勞費を要せず、補給上に面倒なく、作業經濟上誠に都合が宜しい。しかし不要物が多く夾雜する爲に餘計な熱を失ひ、還元劑との密觸を妨碍し、スポンジ鐵の磁選にも不便である。精鑛なれば夫等の損失を輕減し、且つ作業を順調にするなどの利益がありはせぬか、此等は第6表の如き實例もある故尙ほ研究の必要あるべし。

#### 2. 豫熱の度合

砂鐵鑛を還元爐に裝入する場合の保熱關係より云へば、還元爐の熱と略ぼ同一程度に加熱すべきは勿論である。可及的鐵の酸化狀態を均一にし、且つ還元し易き狀態たらしむるには何度位が適當か、又還元酸化兩焰何れが宜しきかなど、還元上重大なる影響あるを以て、特に研究の必要あり。

#### 3. カーボコールの乾溜度、時間竝に揮發物含有量

還元上最も適當なる揮發物の含有量が定められたならば、之に適應する乾溜溫度竝に時間等、其他カーボコール製造上研究經驗を要するもの多し。

#### 4. 還元爐の熱度、鑛とカーボコールの割合、爐内に存在する時間

還元爐の熱度は攝氏 1000 度を標準とすることは、他の實驗及び研究によりても明かなる所、其熱度を持續するにも、相當の經驗を要すべし。鑛とカーボコールの割合は鑛の 30%位 と大體に於ては定めたが、鑛の貧富、含有鐵分の酸化狀態、カーボコールの揮發物や固定炭素の多寡によりても差異あるべければ、研究すべきものが多い。爐内に存在すべき時間は、計畫者は約 40 分間として設計したやうなり、其後約 60 分間に延長したこともある。しかし他の狀態が略ぼ安定せざれば、時間を定むることは困難なるべし。

#### 5. 冷却機内の再酸化

還元爐より直送したるものと、冷却後のものとを分析比較するに、平均 4.43% (最少 0.08% より最多 8.40%) の差あるは、機内に於て再酸化消失せるものなり。其再酸化が如何なる場合に於て發生するか、又如何なる方法を以て防止すべきかにつきては、尙ほ研究を要するものあり。

#### 6. 磁選の強弱加減

磁選機の調整、電磁力の強弱を加減して、何れの點がスポンジ鐵の選別に最も適當であるかに就ては、未だ充分に研究されて居らぬ。曩に製鋼原料としたスポンジ鐵を磁選したときの磁選機の調整は

最も多く磁別し得た點を其儘用ひたるまでにて、特に金屬鐵分のみを選別すべく調整されたものではなかつたやうである。其時の分析によれば、金屬鐵分は僅に 52%、残り 48% は不感物のみなれば、調整が當を得たものであつたらば不感物が減つて金屬鐵分は増したであらうと思はる。つまり所は電磁力が強かつた爲に金屬鐵と一所に不要物質まで吸付けられたものであると思ふ。

#### 7. 研究機關の充實

米人は熱のことにはよほど注意を拂ふたものと見え、局部局部に檢熱計自記檢熱計を配置して絶えず檢熱を行ふて居た。之に反し分析や研究機關には比較的に力を入れなかつたことは、何か自信する所があつたのか知らぬが、其機關が割合に貧弱であることを以ても察せられる。諸設備が竣工するや直ちに試運轉を行ひ、續いて成品の試製に着手し、鑛及び石炭の乾燥爐の廢熱は約何度とか、カーボコールの揮發分は何%とか、實地上の目安を定めて一直線に一貫的作業試験に邁進し、分析に附して參考に供したものは、鑛の鐵分、カーボコールの揮發物の殘留量、スポンジ鐵中の全鐵分並に金屬鐵分位が主たるもので、作業進行中に於ける變化とか經過とか云ふことにつきては、存外無頓着のやうであつた。なる程各局部にも故障なく、作業的に安定して操業を順調に進めて行くやうな場合には主要なる局部の經過を見る位にて差支へなくやつて行けやうが、未だ其域に達せざる時期に於ては實際無理である。

米人退去後は、全く此種の作業には經驗なき素人の寄合なる上、言ひ置きもなければ書きたるものは勿論なし。先づ以て各局部の機能を調査し、作業中に發生する變化や結果を知得せざれば、操業の調節も出來ざるにつき、各局部局部より試料を採集して其經過を調査することとし、着々其方針を以て進まんとしたが、如何せん其調査設備就中分析の方が間に合ひ兼ねる始末にて、充分に施行することが出來ぬうちに休止の已むなきこととなつた。

此外にも作業上研究を要するものが少なくないが、上述の如き研究充實は作業上最も緊要なものであるに拘らず、米人が無頓着であつたのは、此設備を動かせばわけなく出來ると信じ居たものかも知れない。兎に角實地の運用を急ぎ、しかも作業は斷續して、思ふやうに出來なかつたのは眞に遺憾である。

#### 其二 製鋼材料としてのスポンジ鐵

製鋼試験に供用したスポンジ鐵は、米人が退去前に試製したもので、次の如きものであつた。

|          | 金屬Fe  | FeO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> |
|----------|-------|-------|--------------------------------|------------------|------------------|
| 1. 電氣爐の分 | 56.71 | 21.98 | 3.82                           | 0.96             | 16.30            |
| 2. 平爐の分  | 51.84 | 22.11 | ?                              | 2.08             | 16.66            |

先づ1に於ては金屬鐵以外のものを交雜すること 43.29%其内約 25%の酸化鐵。2にありては 48.16%の夾雜物中 22% は酸化鐵であり、金屬鐵分は僅に半量を超えたと云ふ眞に貧弱なものであつた。其貧弱なスポンジ鐵を以て製鋼試験に提供したるは、元來砂鐵製しかも多量の酸化チタンを含んだる

スポンジ鐵につきては、全然經驗なきことで、一度其試験を行ひ、スポンジ鐵の品質改良の参考に供したく、又製鋼原料としての價值、夫れより出來たものゝ品質等につき知りたき爲であつた。

IX の製鋼試験も回数少なく、従つて充分に研究することは出来なかつたが、電氣爐にても亦平爐にても、困難した點は全く同一で、滓分の組成にあつたやうである。熔融中に滓分は泡立ちて粘性に乏しく、従つて熔湯上に作用させるに適良なる滓分の組成に困難したと云ふことである。電氣爐なれば流し出だして更に滓分を構成することも容易であるが、固定式平爐では頗る面倒であつたことは想像される。殊に熱度低下の爲に一層困難であつたであらう。

さて滓分が泡立ちたる原因は、スポンジ鐵中に夾雜する酸化鐵酸化チタンの含有多量の爲で、就中酸化鐵の爲であると云ふことは、兩試験一致して居るやうである。酸化チタンの作用につきては、詳細に研究されて居らぬが、兎に角 16% もあることなれば、滓分組成上に影響することは明かである。然るに酸化チタンの作用が明かでないのは、多量の酸化鐵の影に隠れて居たものではないか。殊にスポンジ鐵中の酸化鐵は微細なる粉粒狀を爲し、従つて熔融中の作用は普通の鐵鑛の場合などより一層猛烈に相違ない。又酸化チタンが熔湯上に作用する點につき、米國の試験によれば、脱酸劑を要せずとあり、IX の平爐にての試験には優良な滓分組成の爲に、除磷作用には有効のやうなりとある。されば製鋼の場合に於ける酸化チタンの作用は、熔鑛爐に於ける夫れの如く厄介なものではなく、一面に於ては却つて都合よきことがあるやうに考へられる。

乍去試験に供したスポンジ鐵の如きものにては、逆も話にならぬ。之を改良すべきことは勿論である。其改良につき眞先に行ふべきものは酸化鐵の含有量を最少限度に減少すべきこと即ち還元率を高めることである。此還元率向上につきては久慈當事者の研究努力により、昭和 2 年 11 月第 6 表にある如き實例に徴するも、實地上に有望なることを確めて居る。例へば

第 24 表

|           | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 還 元 率     | 74.4  | 90.0 | 91.0 | 92.4 | 93.0 | 93.4 | 94.0 | 94.3 | 95.1 | 96.6 |
| 全 鐵 分     | 72.25 | 73.5 | 74.8 | 73.2 | 74.2 | 74.5 | 74.7 | 74.0 | 69.8 | 71.0 |
| 還 元 鐵     | 54.28 | 66.0 | 68.6 | 67.6 | 69.0 | 69.6 | 70.0 | 69.8 | 66.2 | 67.6 |
| 其 差       | 17.97 | 7.5  | 6.2  | 5.8  | 5.2  | 4.9  | 4.7  | 4.2  | 3.6  | 3.4  |
| FeO に 換 算 | 23.1  | 9.7  | 8.0  | 7.5  | 6.7  | 6.3  | 6.1  | 5.4  | 4.6  | 4.4  |

但し 1 は製鋼原料として提供せる時分の平均なり。此實績によれば、還元率 93% の豫定率に達すれば、FeO としての酸化鐵は 7% 以下、即ち試験に供したるものゝ、三分の一以内に減すべく、還元率の増進は經驗を重ね熟練すれば、殆んど問題ではないと思ふ。

次には酸化チタンなり。前述の如く金屬鐵が増加して酸化鐵減少すれば、製鋼の場合に酸化鐵の作用が著しく稀弱となり、始めて酸化チタンが如何なる作用を爲すかと云ふことになる。其製鋼上に及ぼす作用につきては、寡聞にして未だ良く知らぬが、しかし酸化鐵が多量に存在する場合とは趣を異

にし或は多少有利に作用するかも知れぬ。たとひ多少有利に作用することありとしても、酸化チタンを多量含有するときは、金屬鐵分を削減することゝなる故、可及的其含有量を減少することは研究努力すべき要件であると思ふ。

以上は久慈製鐵所に於けるスポンジ鐵製造の經過概要である。しかし其經過は未だ往くべき所まで到達して居らず、爲すべき所が悉されて居らぬものが少なく、技術上に於ては決して行き詰つて居るものでない。元來此作業は始めより終まで、熱と化學的作用によることが大部分で、各局部局部に於ける反應變化を吟味研究して、其最も適良なる點を摘發し、之に深厚なる經驗と熟練とを以て、專念操業の改良進歩に努力盡瘁するならば、豫期の目的を達成すること必ずしも六ヶしきものではないと信じられる。此作業を完成して砂鐵を活かして有用化せしむることは、我が鐵國策上實に輕からざる問題と思考せらるゝにつき、何とかして一日も早く成功せんことを希望する次第である。

## 元素の電弧熔接に於ける特性

佐 藤 俊 一

Synopsis.

ON THE CHARACTERISTIC PROPERTIES OF ELEMENTS IN ARC WELDING.

By Shun-ichi Satoh.

The author described in the "Tetsu to Hagane" Vol. XIV, No. 7, p. 577-595 that the arc welding of cast iron is practicable only when barium carbonate is used so as to retard the fusion of electrodes.

He now tested the effect of 48 elements besides barium, with the object of knowing the cause of retarding action.

He coated mixtures of equal quantities of graphite and carborundum and of compounds of various elements on wrought iron bars, and connecting these bars first to the positive and then to the negative pole of the generator, he deposited cast iron.

He measured the time, voltage, current and energy required to melt each electrode. He found that when the coated electrodes containing alkali metals or alkaline earth metals are connected to the negative pole of the generator, the fusion of the electrodes is regularly retarded in a successively increasing manner (i. e., greater energy is required), according as the atomic weight of either group increases. This action is especially marked with barium. The oxygen group produces an opposite effect, while halogen produces both effects. The other elements have no particular influence.

The author next tested the relationship between the quantities of barium compounds