

# 回轉爐による海綿鐵の製造に就いて(第2報)

(日本鐵鋼協會第26回講演大會講演 昭16.10.東京)

錦織清治<sup>1)</sup>・淺野 輝<sup>2)</sup>・徳山忠臣<sup>3)</sup>・本田義樹<sup>4)</sup>

## ON THE MANUFACTURE OF SPONGE IRON BY THE USE OF ROTARY FURNACE (REPORT II)

**SYNOPSIS:**—The author commenced the experiment of manufacturing sponge iron by the use of rotary furnace in March 1938 (Showa-15), continued it to March 1939 (Showa-16) and began to manufacture industrially since May 1939. The following is the result of the experimental working-informed as the second report.

The most difficult point in conducting various methods of manufacturing iron by the use of rotary furnace is the problem of refractory materials. Happily the manufacturing operation of the sponge iron is conducted at temperatures from 1000°C as maximum to 900~950°C, so that there is no fear of suspension of the operation by the limited life of the refractory bricks.

The rotary furnace used at present is of small size, so that the operation is easy and the product with the reduction grade of above 90% are continuously manufactured.

Improvements in operating the furnace since then were as follows:

A) 1. Equipping the measuring meters, and measurement of the temperature of the furnace walls and the furnace gases.

2. Measurement of the blast quantity.

3. Equipment of extracting the sample in the middle of the furnace.

4. Improvements in the method of extracting of the analysis sample of the furnace gases.

B) Justification of the passing time of the charge, increase of the production capacity and the stabilization of the manufacturing operation by modifying the inner form of the furnace.

The effect of the reducing agents on the reduction rate of the product is important, and it needs the more fixed carbon and the proper grain size. Impurities in the products are eliminated by simple operation. 30~40% of MnO etc. have been excluded when examined from the result of the experiment.

Moreover, the author reported on the result of the melting test of sponge iron that had been conducted for a long time since the experiment of the first report.

### 目 次

- I. 緒 言
- II. 海綿鐵製造工程
- III. 原 料
  - 1. 鑛石 2. 還元炭 3. 鑛石及び還元炭の粒度
- IV. 操 業
  - 1. 還元炭の調合割合 2. 回轉爐内の溫度分布
  - 3. 爐内ガス 4. 爐内に於ける還元狀況 5. 作業成績
- V. 製 品
  - 1. 化學成分 2. 副成品
- VI. 總 括

### I. 緒 言

著者等は第1報に於て基礎的實驗並に回轉爐に依る操業成績の一部を報告した。その後原料調整設備・輸送装置も整備し、爐内溫度測定装置・風量計等を設置して操業も逐次改良されたので、その結果を報告せんとするものである。

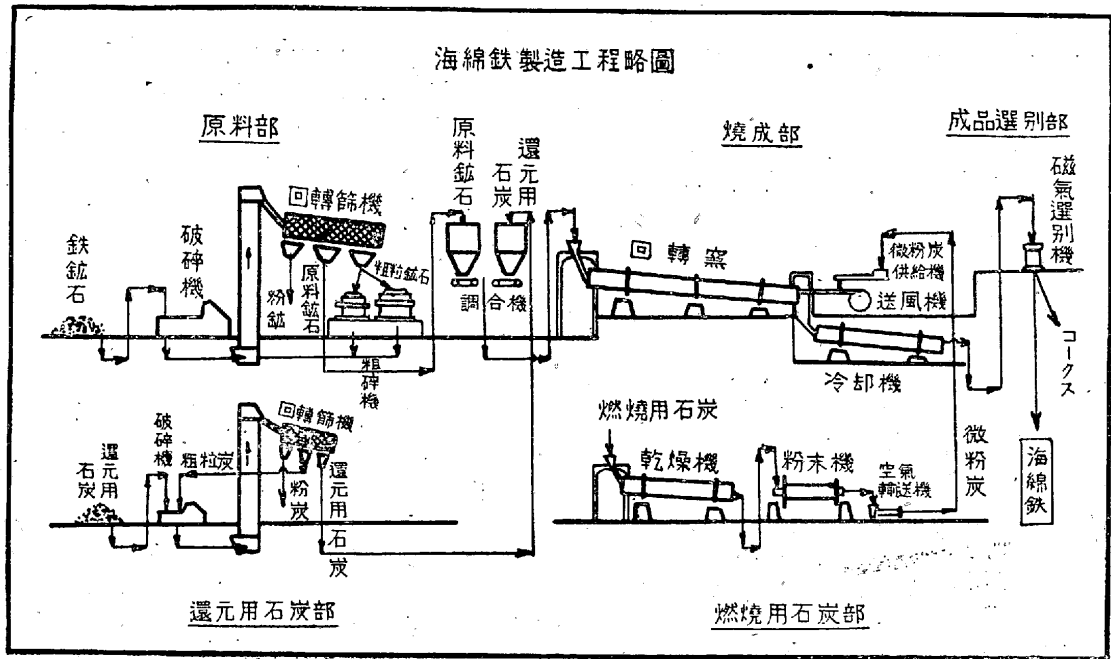
### II. 海綿鐵製造工程

5 基運轉開始後の製造工程の概要を第1圖に示す。鑛石は嚙鑛機により粗碎し、回轉篩機に送り 2.5mm 以下の粉鑛を除去する。2.5~20mm のものは調合タンクに送る。20mm 以上のものはコーン型碎鑛機で再粉碎し、密閉式により回轉篩機にて篩分けする。コーン型碎鑛機を出たものの50% は20mm 以下になつてゐる。還元炭は回轉篩機にかけ、20mm 以上のものはロール型碎鑛機にて粉碎し調合タンクに送る。

還元炭タンク及び鑛石タンクの下にポイドメーターを置いて調合し、ベルトコンベヤにて爐の裝入タンクに送る。

裝入タンクは排出口の開きを加減して裝入量を調節する。裝入原料は約45°傾斜せるシュートにより爐内に入り、爐の回轉につれて爐内を降下する。裝入口の反對側より微粉炭を燃焼して加熱する。爐内を降下せる鑛石は還元せられて海綿鐵となり、還元炭は灰とコークスとなり爐端よ

<sup>1)</sup>, <sup>2)</sup> 大同製鋼會社 <sup>3)</sup> 東北帝國大學 <sup>4)</sup> 淺野セメント會社



第 1 圖

り冷却機に入る。冷却機を出たものは40~50°C位の温度で、之を磁選機に送つて海綿鐵とコークスに分離する。

爐の傾斜は2%で、回轉時間は6mnから2mnを要する。

### III. 原 料

#### 1. 鑛 石

鑛石は脈石、燐、硫黄の少い良質の富鑛でなければならぬ。海綿鐵を特殊鋼原料として鹽基性爐に用ひる場合にはSiO<sub>2</sub>の少い鑛石を、又酸性爐に用ひる場合には燐、硫黄の特に低い鑛石を選ばねばならぬ。

著者等は滿洲東邊道の大栗子溝鑛石及び七道溝鑛石を使用した。七道溝鑛石は含鐵品位の低いために現在は使用してゐない。大栗子溝鑛石にも脈石分から見ると大體2種類(A及びB)ある。その分析例を第1表に示した。

第 1 表 大栗子溝鐵鑛石分析例

| 成分 | 灼熱減量 % | SiO <sub>2</sub> % | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | CaO % | MgO % | MnO % | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | S %   | P %  |
|----|--------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|------|
| A  | 6.23   | 4.84               | 5.26                             | 3.36  | 1.58  | 0.10  | 78.30                            | 0.05  | 0.02 |
| B  | 4.74   | 7.30               | 1.91                             | 1.85  | 0.94  | 1.90  | 81.82                            | 0.137 | 0.05 |
| C  | 1.47   | 0.72               | 0.48                             | 0.56  | 0.48  | 0.20  | 96.10                            | 0.020 | 0.08 |

鑛分は平均してB鑛石が高く60%以上ある。A鑛石はSiO<sub>2</sub>が低くAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaOが高い。SはB鑛石の方が著しく高い。

C鑛石はA鑛石に含まれてゐる結晶狀の鑛石で含鐵品位が著しく高い。

脈石の存在状態は餘り緻密でなく、層狀をなして存在する場合が多い。

現在の作業にて粉碎し篩分けにより2.5~20mmの大きさの鑛石を使用して居るが、粉鑛と塊鑛の鐵分の差は第2表の如くである。即ち粉碎によつて使用鑛石の品位は向上する。

第 2 表 粉鑛と塊鑛の鐵分の差

| 鑛石の大きさ  | 1          | 2          | 3          |
|---|------------|------------|------------|
| 2.5mm以下の粉鑛中のFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %  | 74.90(20%) | 56.40(20%) | 80.00(17%) |
| 2.5~20mmの塊鑛中のFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | 80.60(80%) | 69.30(80%) | 65.00(83%) |

( )内の數字は粉と塊の割合。

#### 2. 還元炭

還元炭としては筑豊有煙炭、朝鮮三陟無煙炭を使用してゐる。燐石を使用したこともあるが十分な試験を終つてゐない。石炭の分析例を第3表に示す。尙加熱炭は筑豊有煙炭の良質のものを用ひる。

還元炭の成分中重要なのは固定炭素である。硫黄分は少

第 3 表 石炭分析表

| 炭種名 | 揮發分 % | 固定炭素 % | 灰分 %  | 水分 %  | 硫黄 % | 發熱量 kcal |      |
|-----|-------|--------|-------|-------|------|----------|------|
| 大島  | 筑豊有煙炭 | 30.39  | 46.70 | 22.91 | 13.5 | 2.14     | 6122 |
| 報國  | "     | 29.10  | 43.22 | 27.68 | 9.0  | 0.17     | 5644 |
| 飯塚  | "     | 34.10  | 49.68 | 16.16 | 10.5 | 0.25     | 6653 |
| 伊岐須 | "     | 32.73  | 43.98 | 23.29 | 6.5  | 0.57     | 6016 |
| 松尾  | "     | 31.66  | 37.78 | 30.56 | 6.5  | 1.83     | 5431 |
| 大ノ浦 | "     | 36.96  | 47.77 | 15.27 | 6.5  | 0.22     | 6759 |
| 田川並 | "     | 35.57  | 26.03 | 38.40 | 7.0  | 2.03     | 4727 |
| 岩鼻  | 燐石    | 15.49  | 50.70 | 33.81 | 7.0  | 0.12     | 5391 |
| 三陟  | 朝鮮無煙炭 | 6.20   | 64.18 | 14.36 | 5.26 | 0.38     | —    |
| "   | "     | 4.86   | 65.63 | 24.16 | 5.35 | 0.16     | —    |

第 4 表(1) 鑛石及び還元炭の粒度 (自和昭 16 年 5 月)

| 試料の種類                | 篩の眼 mm | 鑛石, 還元炭篩通過量 % |       |       |       |       |       |       | 細率 | 水分   |                            |
|----------------------|--------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|------|----------------------------|
|                      |        | 40            | 20    | 10    | 5     | 2.5   | 1.2   | 0.6   |    |      | 0.3                        |
| 還元炭(筑豊炭) 5 月 11 日    | —      | —             | 93.13 | 65.90 | 42.98 | 32.48 | 19.75 | 10.98 | —  | 3.35 | 鑛 鑛 機<br>コーン型<br>碎鑛機併<br>用 |
| " " 5 月 14 日         | —      | —             | 59.31 | 35.64 | 26.31 | 15.05 | 8.03  | —     | —  | 3.56 |                            |
| " " 5 月 23 日         | —      | —             | 60.40 | 36.70 | 27.45 | 16.25 | 9.98  | —     | —  | 3.49 |                            |
| " (三陟炭) 6 月 3 日      | —      | 100.00        | 73.50 | 56.20 | 48.04 | 34.60 | 22.20 | 13.96 | —  | 5.47 |                            |
| " (筑豊炭) 8 月 平均       | 99.71  | 91.96         | 40.96 | 18.28 | 11.16 | 6.73  | 4.43  | 2.93  | —  | 6.22 |                            |
| 粉碎鑛石(10mm眼篩の篩下5月11日) | —      | —             | 92.42 | 48.50 | 32.90 | 18.04 | 1.08  | 0.72  | —  | 5.05 |                            |
| 8 月使用鑛石平均            | 100.00 | 98.31         | 44.69 | 13.96 | 4.71  | 2.61  | 2.18  | —     | —  | 6.30 |                            |
| コーン型碎鑛機粉碎鑛石 8 月 20 日 | 97.23  | 50.73         | 24.33 | 12.37 | 8.23  | 4.30  | 2.60  | 1.72  | —  | 6.97 |                            |
| エツヂランナー粉碎鑛石 7 月 15 日 | 100.00 | 69.94         | 28.20 | 12.82 | 8.68  | 5.12  | 3.64  | 2.90  | —  | 7.66 |                            |

くとも 1% 以下のものを用ひねばならぬ。固定炭素の點から見れば有煙炭より無煙炭がよい。有煙炭を多く用ひてゐるのは地理的に入手し易いためと、爐の短いために有煙炭の揮發分により爐の奥の溫度をあげんとしたためである。

3. 鑛石及び還元炭の粒度

鑛石は 2.5~20mm のものを使用して居るが、第 4 表に見る如く回轉篩機による粉鑛の分離が不完全なために実際には相當細粉も爐内に入つて來る。16 年 3 月まではエツヂランナーを使用し、粉碎せる鑛石は扁平よりも立方形に近いものであつたが、コーン型碎鑛機にて粉碎せるものは扁平で 20mm の塊でも厚さは 10mm 前後であつて還元され易い。

石炭は細かければ反應性が良く還元作用にも都合が良いが、餘り細かくすると次の點で困る。

- a) 塵埃となつて逃げる量を増す。
- b) 鑛石の粒度に相應しないと爐内の類別がはげしい。
- c) 粉鐵鑛に作用して焼結し易い。

同じ條件の下では反應性の悪い炭ほど細粒にして用ひる必要がある。

第 4 表(2) 回轉爐による製鐵法の微粉炭燃焼量の比較

| 製 鐵 法       | 製品 1 噸 當り 微粉炭 燃焼量 kg | 作業 最高溫度 °C  |
|-------------|----------------------|-------------|
| バ ッ セ - 法   | 500~700              | 1,400~1,450 |
| クルツプ式レン法    | 200~300              | 1,250~1,350 |
| 海 綿 鐵 製 造 法 | 100~200              | 950~1,000   |

IV. 操 業

1. 還元炭の調合割合

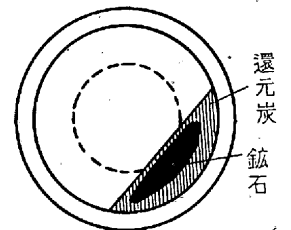
還元炭と鑛石との調合割合は 1.5:1 から 0.6:1 の間で作業した。爐内の酸化性ガスの影響を避けるために還元炭は還元に要するよりも著しく過剰に加へてゐる。還元炭の調合割合の多い時は装入原料容積を増し、爐の生産能力を減

じ、爐内に於ては原料の溫度上昇を妨げ且熱經濟上芳しくないから、過剰還元炭は出来るだけ減じる方針をとつてゐる。

還元炭の調合割合の最小限は次の如くである。

- a) 鐵鑛石の還元に必要な量。
- b) 爐の排出端側にて海綿鐵を包むに十分なる程度。

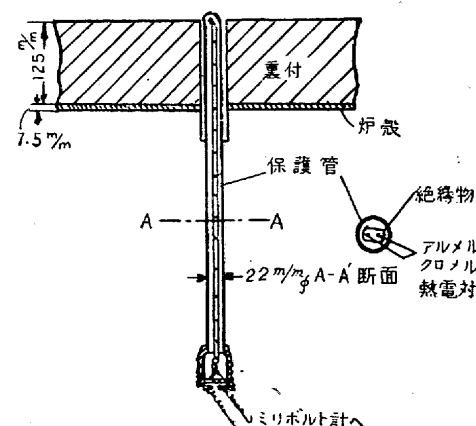
爐内に於ては鑛石(海綿鐵となつて居る場合も)と還元炭は第 2 圖の如く分れて居る。鑛石の上にある層は粗粒石炭でうすく、下層は細粒である。



即ち還元炭の粒度は還元反應に直接に影響するばかりでなく 第 2 圖 装入原料の偏析 爐内の類別に關係する。尙實際作業では還元炭の割合を餘り減ずると製品が粘結するのではないかと心配したが、粉鑛の分離に注意すれば粘結することは絶無といつてよい。

2. 回轉爐内の溫度分布

回轉爐に於ては微粉炭燃焼ガスの利用率は悪く熱效率が低い。光輝火焰の輻射する部分は著しく高温になり易いけ



れども、爐の奥に於ては原料の溫度上昇が緩慢であるから爐内の原料溫度は不均一になり易い缺點があり、爐内溫度分布を適正に保つことが作業の最大要件

第 3 圖

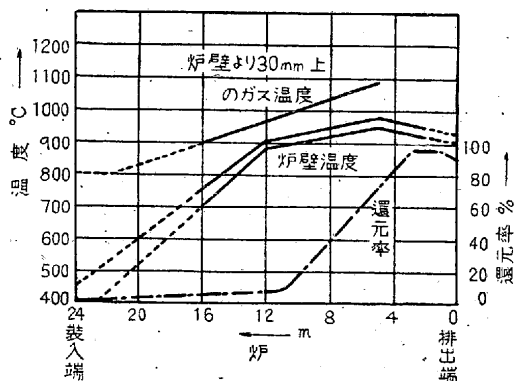
である。

爐内壁温度を測定するために第3圖の如くアルメラークロメル線熱電對を耐熱鋼の保護管に入れて爐の排出端より2m, 5m, 8m, 12m, 16mの所に設備した。現在は16mの所でガス温度を測定してゐる。冷接點の温度は35~50°Cにして測定結果を補正した。

セメント焼成の場合には H. Gugi\* によると微粉炭火焰の熱は先づ爐壁に與へられる。ついで爐壁から原料に熱を與へる。然し製鐵を行ふ場合には原料中に燃料を含み、原料層中より發生するCO火焰を酸化性爐内ガスにより燃焼して發熱するから原料を加熱する手段は原料それ自身と微粉炭火焰の二つである。レン法或は本製造法に於ては原料中に含まれる燃料に比して微粉炭使用量は少く、微粉炭火焰は爐の最高温度を決定し爐内温度分布を安定化するに役立つ。本質的には裝入原料中の燃料の燃焼により原料は加熱せられる。故に海綿鐵製造法では爐壁温度と原料温度は大差ないと考へられる。爐1回轉中の爐壁温度の差は15°C位と觀測せられたが、保護管の熱容量がかかる測定をするには少し大きいと考へられる。その他保護管の上に粘着物が附着する等の原因により測定誤差が入り易いから注意を要する。

爐壁温度の他に爐壁面より30mm内面のガス温度を測定した。

第4圖に測定結果を圖示した。



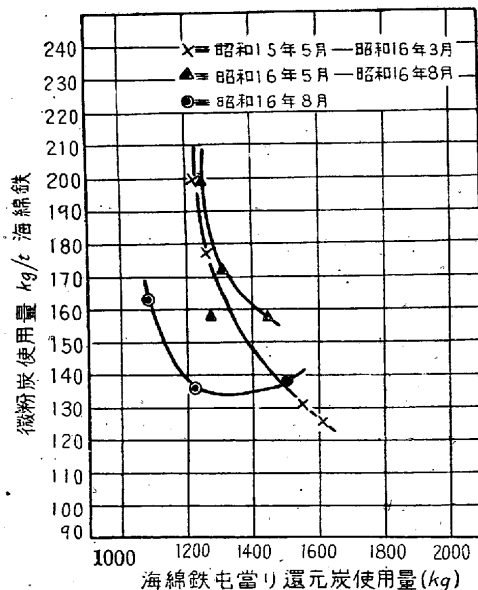
第4圖 爐内の温度分布及び還元状態

Williams によると海綿鐵製造に適當な還元温度は 875~1,025°C である。著者等の作業の爐壁温度測定結果によると爐の半分は 875°C 以上になつてゐる。

爐壁温度を支配する因子は (a) 微粉炭の燃焼熱, (b) 裝入原料中より發生するCOガスの燃焼熱, (c) 裝入原料中

の吸熱反應であるが、(b)に對しては二次空氣の供給量が影響する。現在二次空氣は引込通風により爐のフッド側より導入してゐる。共通煙道に於ける壓力は水柱2~8mmの負壓である。

海綿鐵製造の場合に於ける還元炭使用量と微粉炭使用量の關係を第5圖に示した。圖示した點は數回乃至數十回の平均であるが、還元炭、微粉炭とも未だ適當最低値には達してゐない。



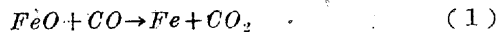
第5圖 微粉炭使用高と還元炭使用高との關係

二次空氣の供給方法については近く改善する筈である。引込通風を餘り強くすると、還元に好都合な粉還元炭を發散せしめて好ましくない。

### 3. 爐内ガス

爐内ガスを大別すると3層に分けられる。(1) 微粉炭燃焼ガス及び二次空氣によつて作られる酸化性ガス圈, (2) 裝入原料中に過剰に存在する炭素により裝入物中に於ける著しい還元性ガス圈, (3) 前述兩者の中間ガス圈, 即ち裝入物中より發生するCOガスが酸化性ガスにより燃焼する層である。

裝入物中からの火焰の發生は20~24m, 3~6mの所に於て最もはげしい。前者は還元炭中の揮發分の燃焼であり、後者は次式に於て



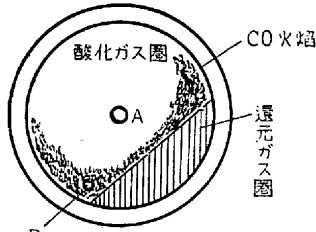
(3) 或は單に(2)式の反應によつて生ずるCO火焰である。即ちこの部分にて還元反應も盛に進行してゐる。

\* Cement & Lime Manufacture, Nov. 1937, Dec. 1937, April 1938, July 1938, Feb. 1938, March 1938, June 1938.

爐の中央に於けるガス分析の結果を示すと第5表の如くである(第6圖参照)。

第5表 爐中央に於けるガス分析

|   | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO   |
|---|-----------------|----------------|------|
| A | 17.4            | 0.4            | 2.4  |
| B | 2.6             | 1.2            | 21.2 |



第6圖 爐内ガス

4. 爐内に於ける還元状況

爐の 8m の所から試料を取り、水中で急冷して分析した結果を第6表に示す。即ち爐を 2/3 経過して約 40% 還元されてゐる。この分析値を基として第4圖に爐内の還元状態を圖示した。

第6表 排出端より 8m の所より採取せる海綿鐵の分析

|            | T.Fe  | M.Fe  | 還元率   |
|------------|-------|-------|-------|
| 平均試料       | 76.00 | 31.50 | 41.45 |
| 10~20mm 試料 | 74.20 | 23.00 | 30.10 |

回轉爐の排出端より試料をとり空中に放冷せるものと、冷却機を通過せるものの比較を第7表にかゝげた。此の表より見て再酸化防止は今後に残されたる問題である。

第7表 冷却機の再酸化の防止

|                    | T.Fe  | M.Fe  | 還元率   |
|--------------------|-------|-------|-------|
| 爐の排出端より採集して空冷せる海綿鐵 | 82.80 | 69.80 | 84.30 |
| 冷却機を通過せる海綿鐵        | 86.89 | 80.25 | 92.50 |

5. 作業成績

第8表及び第9表に昭和 15 年 5 月より昭和 16 年 7 月に至る月別の作業成績を示した。

昭和 15 年 9 月から 12 月までの製品の還元率の悪い原因は、品位の低い磁鐵礦を用ひ且還元時間の不十分、温度の低かつたこと等によるものと思はれる。

昭和 16 年 1 月下旬に爐壁 5 箇所に温度計を設備し、良品位の赤鐵礦を選び、還元用石炭も良質のものを使用し、爐回轉を遅くして還元時間を長くした結果還元率は著しく向上した。

昭和 16 年 5 月爐の排出端近くにダムリングを設備し、装入物層を厚くすると共に還元帯の通過時間を長くした。その結果爐の作業は著しく安定するやうになつた。

昭和 16 年 9 月送風機に流量計を取付け窯尻に水冷式の

第8表 月別作業成績(其の1)

| 年・月→        |                   | 15年5月 | 9月    | 10月   | 11月   | 12月   | 16年1月 | 2月    | 3月          | 4月 | 5月              | 6月    | 7月    |
|-------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|----|-----------------|-------|-------|
| 運轉基数        |                   | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1           | —  | 2~3             | 2~5   | 3~4   |
| 窯回轉 rev/min |                   | 5'33" | 3'20" | 2'22" | 3'40" | 3'30" | 3'40" | 4'00" | 4'00"       | —  | 2'30"<br>~3'30" | 2'42" | 2'54" |
| 運轉延時間 h     |                   | 152   | 139   | 311   | 342   | 100   | 300   | 400   | 216         | —  | 962             | 1876  | 1368  |
| 爐内温度        | 2m 爐壁°C           |       |       |       |       |       | 894   | 911   | —           | —  |                 |       |       |
|             | 5m 爐壁°C           |       |       |       |       |       | 920   | 891   | —           | —  |                 |       |       |
|             | 8m 爐壁°C           |       |       |       |       |       | 819   | 798   | 820         | —  |                 |       |       |
|             | 12m 爐壁°C          |       |       |       |       |       | 878   | 749   | —           | —  |                 |       |       |
|             | 16m 爐壁°C          |       |       |       |       |       | 736   | 613   | ガス温度<br>899 | —  |                 |       |       |
| 窯尻ガス°C      | 542               | 646   | 637   | 715   | 773   | 806   | 802   | 894   | —           |    |                 |       |       |
| 通風          | 水柱 mm             |       |       |       | 5     | 5     | 5     | 8     | —           | —  |                 |       |       |
| ガス分析(窯尻)    | CO <sub>2</sub> % | 23.4  | 16.9  | 19.6  | 18.7  | 18.5  | 19.4  | 19.3  | —           | —  |                 |       |       |
|             | O <sub>2</sub> %  | 0.2   | 0.6   | 0.3   | 1.8   | 0.1   | 0.3   | 0.6   | —           | —  |                 |       |       |
|             | CO %              | 0.6   | 0.7   | 0.7   | 0.5   | 1.1   | 0.3   | 0.5   | —           | —  |                 |       |       |
| 加熱炭分析       | 揮發分%              | 41.33 | 34.00 | 37.46 | 35.92 | 35.74 | 37.04 | 36.39 | 31.50       | —  | 29.52           | 30.25 | 30.65 |
|             | 固定炭素%             | 47.57 | 52.67 | 48.32 | 48.31 | 47.82 | 50.22 | 47.30 | 37.92       | —  | 42.22           | 42.88 | 42.00 |
|             | 灰分%               | 11.10 | 13.33 | 14.22 | 15.76 | 15.53 | 12.73 | 16.22 | 30.58       | —  | 28.26           | 26.87 | 27.35 |
|             | 發熱量 kcal          | 7066  | 6906  | 6804  | 6797  | 6876  | 6931  | 6590  | 5358        | —  | 5530            | 5695  | 5622  |
| 還元炭分析       | 揮發分%              | 6.10  | 22.00 | 33.67 | 27.18 | 35.99 | 31.29 | 28.24 | 30.05       | —  | 34.31           | 29.22 | 27.65 |
|             | 固定炭素%             | 60.35 | 36.71 | 35.19 | 40.62 | 39.89 | 45.91 | 44.85 | 38.84       | —  | 43.12           | 39.54 | 41.71 |
|             | 灰分%               | 33.55 | 41.24 | 31.63 | 33.19 | 24.10 | 22.80 | 26.91 | 31.11       | —  | 22.57           | 31.24 | 30.64 |
|             | 硫黃%               |       |       |       |       |       |       |       |             | —  |                 |       |       |
|             | 水分%               | 5.7   | 5.4   | 6.6   | 5.5   | 5.8   | 6.8   | 7.7   | 5.6         | —  | 8.2             | 7.0   | 7.6   |

第8表 月別作業成績 (其の2)

| 年・月→  |                                  | 15年5月 | 9月    | 10月   | 11月   | 12月   | 16年1月 | 2月    | 3月    | 4月   | 5月    | 6月    | 7月    |
|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 海綿鐵分析 | T.Fe %                           | 76.69 | 71.00 | 72.10 | 62.18 | 75.55 | 84.19 | 81.76 | 91.48 | —    | 84.29 | 87.91 | 86.49 |
|       | M.Fe %                           | 60.57 | 58.71 | 59.13 | 39.55 | 67.85 | 73.08 | 70.35 | 82.37 | —    | 73.73 | 76.98 | 76.37 |
|       | 還元率 %                            | 78.98 | 82.68 | 82.07 | 63.61 | 89.54 | 86.80 | 86.04 | 90.04 | —    | 87.49 | 89.52 | 88.30 |
|       | C %                              | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —     | 0.30  | 0.10  |
|       | SiO <sub>2</sub> %               | 10.45 | 7.49  | 9.32  | 12.55 | 9.06  | 6.30  | 6.54  | 3.34  | —    | 5.39  | 3.68  | 4.09  |
|       | CaO %                            | 0.95  | 3.43  | 3.84  | 6.43  | 4.50  | 1.93  | 1.93  | 0.87  | —    | 3.35  | 1.97  | 2.20  |
|       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | 3.62  | 10.50 | 8.54  | 10.16 | 4.14  | 2.06  | 3.50  | 0.64  | —    | 1.85  | 1.37  | 2.55  |
|       | MgO %                            | 1.25  | 0.93  | 1.18  | 1.03  | 0.29  | 0.35  | 1.14  | 0.56  | —    | 0.73  | 0.59  | 0.73  |
|       | MnO %                            | 0.27  | 2.72  | 0.29  | 0.17  | 3.06  | 0.96  | —     | —     | —    | 0.83  | 0.22  | 0.43  |
|       | S %                              | 0.10  | 0.07  | 0.08  | 0.03  | 0.26  | 0.18  | 0.03  | 0.11  | —    | 0.25  | 0.30  | 0.29  |
| P %   | 0.12                             | 0.40  | 0.08  | 0.17  | 0.24  | 0.09  | 0.04  | 0.04  | —     | 0.04 | 0.09  | 0.07  |       |
| 鐵鑛石分析 | 灼熱減量 %                           | 5.93  | 10.72 | 7.92  | 9.29  | 10.38 | 7.67  | 6.14  | 5.45  | —    | 6.56  | 6.80  | 4.99  |
|       | SiO <sub>2</sub> %               | 10.84 | 16.63 | 7.90  | 5.90  | 8.34  | 7.34  | 5.06  | 3.84  | —    | 4.00  | 4.54  | 4.18  |
|       | CaO %                            | 0.46  | 8.65  | 4.69  | 7.66  | 9.31  | 5.08  | 4.67  | 2.45  | —    | 4.80  | 5.91  | 2.17  |
|       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | 3.22  | 5.42  | 2.08  | 3.66  | 6.46  | 4.52  | 2.16  | 1.04  | —    | 2.54  | 4.82  | 1.08  |
|       | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | 78.70 | 62.30 | 76.20 | 69.30 | 63.70 | 73.80 | 80.60 | 86.00 | —    | 80.10 | 75.50 | 85.80 |
|       | MgO %                            | 0.07  | 2.04  | 1.16  | 1.30  | 1.74  | 1.35  | 1.36  | 0.90  | —    | 2.46  | 2.58  | 1.01  |
|       | S %                              | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —     | —     | —     |
| P %   | —                                | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —    | —     | —     |       |

第9表 月別海綿鐵産出原料使用量

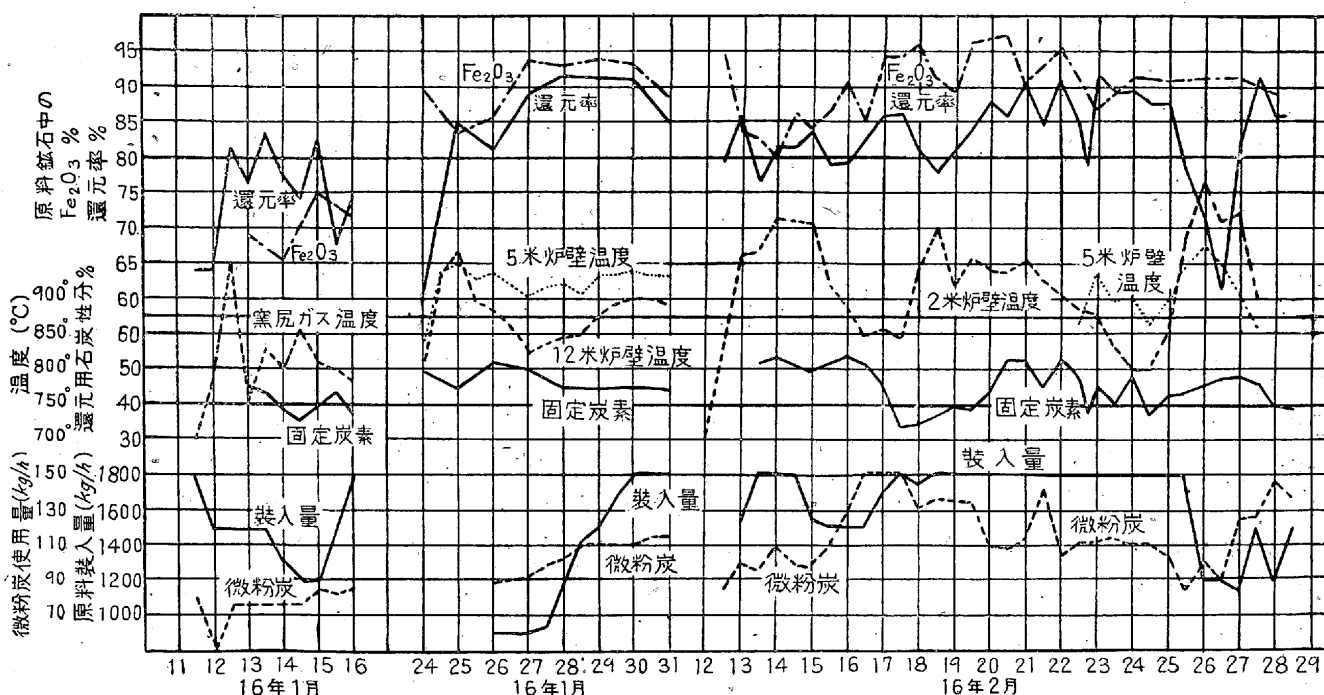
| 年     | 月   | 加熱炭 kg | 還元炭 kg | 鑛石 kg  | 還元炭 鑛石 | 1h 當り 海綿鐵製 造高 kg |
|-------|-----|--------|--------|--------|--------|------------------|
| 昭和15年 | 5月  | 193.7  | 1384.9 | 1565.0 | 0.885  | 625              |
|       | 9月  | 230.0  | 1807.8 | 2102.3 | 0.860  | 464              |
|       | 10月 | 131.0  | 1565.5 | 1752.3 | 0.893  | 621              |
|       | 11月 | 125.6  | 1602.3 | 1761.3 | 0.910  | 631              |
|       | 12月 | 203.3  | 2210.8 | 1537.9 | 1.340  | 396              |
| 昭和16年 | 1月  | 250.5  | 1832.0 | 1548.7 | 1.183  | 363              |
|       | 2月  | 258.6  | 1567.6 | 1898.4 | 1.000  | 463              |
|       | 3月  | 199.5  | 1241.4 | 1464.1 | 0.848  | 593              |
|       | 4月  | —      | —      | —      | —      | —                |
|       | 5月  | 221.1  | 1392.7 | 1640.5 | 0.849  | 572              |
|       | 6月  | 173.3  | 1299.5 | 1497.6 | 0.868  | 586              |
|       | 7月  | 172.4  | 1305.0 | 1582.0 | 0.825  | 616              |

ガス採取パイプを設備した。その結果は發表するに至つてゐない。

還元炭の調合割合は徐々に減じつゝあつて8月後半は鑛石に對して76%にした。その結果によると尙低下しても操業を困難にするとは考へられない。

第7圖に昭和16年1月及び2月の作業状況を圖示した。1月初旬の還元率の悪い原因は主として鑛石の品位の悪いためであつて、且還元炭の調合割合が鑛石に對して1.5倍になつて居り、温度の上昇が著しく困難であつた。

1月下旬は鑛石、爐内温度、還元率とも良好である。2

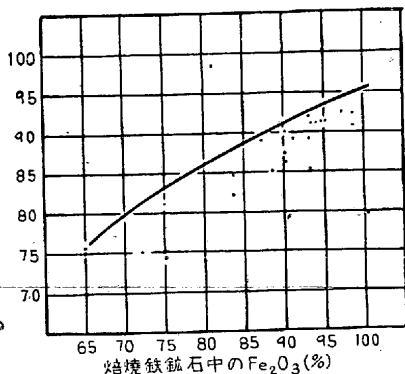


第7圖 昭和16年1月、2月作業結果

月の成績は著しく變動してゐる。

この原因は主として石炭の側にある。還元炭の固定炭素の變動が激しく、加熱炭も表には表れてゐないが、15日から18日にかけて著しく不良で、その結果が爐壁温度の低下となつて表れてゐる。26日の還元率の急低下は空氣の供給過剰の爲爐内で酸化性ガスが直接に影響した例で、爐壁温度の上昇は鐵の酸化熱か、石炭の完全燃焼かによるのであるが、この場合は加熱炭の燃焼量を極度に減じてもその上昇を長くつゞけた所を見ると鐵の酸化熱によると考へられる。その後かゝる例を見ない。

第8圖は鑛石の品位と還元率の關係、第9圖は還元炭中の固定炭素と還元率の關係を實際作業から記録をとつて圖示した。鑛石に原因する還元率の不良理由としては

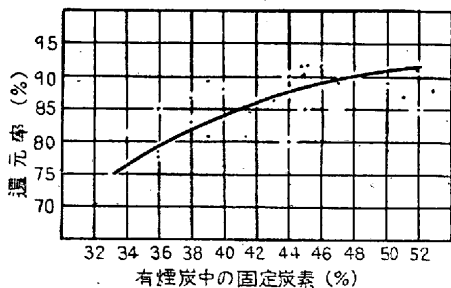


第8圖 鑛石の品位と還元率との關係 (16年1~3月) 各點は6~12回分の平均

- a) 磁鐵鑛のため鑛石自體が還元され難きこと、
- b) 脈石分の多いため焼結し易く作業温度の自然低下、
- c) 脈石の存在による還元反應の妨害

等がある。實際作業に當つては鑛石、還元炭の良不良も大切であるが、

一定の原料にて作業するといふ平凡な事項が最も大切なのではないかと考へる。



第9圖 鑛石中の  $Fe_2O_3$  85% 前後以上の場合

原料に不同がある場合原料がよ

くとも還元作業は順調には進行しない。16年1月と2月を比較するとよくこの事情が表れてゐる。回轉爐による製鐵法ではよく耐火煉瓦の壽命が問題になるが、海綿鐵を製造する場合には温度の低いためにシ+モット煉瓦にて機械的にも化學的にも侵されることはない。又特別の場合を除いてはリングの附着することもない。

## V. 製品

### 1. 化學成分

海綿鐵の成分を第10表に示した。之を肉眼で觀察する

第10表 海綿鐵分析 (%)

| T.Fe      | M.Fe  | 還元率   | C       | S         | P         | SiO <sub>2</sub> |
|-----------|-------|-------|---------|-----------|-----------|------------------|
| 88.0-92.0 | 75-85 | 85-92 | 0.1-0.2 | 0.03-0.30 | 0.02-0.10 | 2.5-5.0          |

第11表 海綿鐵塊の内、外の比較

|     | T.Fe  | M.Fe  | 還元率   | C    | P    | S    |
|-----|-------|-------|-------|------|------|------|
| 外 殻 | 95.00 | 83.00 | 87.35 | 0.06 | 0.02 | 0.21 |
| 内 核 | 93.40 | 83.70 | 89.60 | 0.08 | 0.05 | 0.27 |

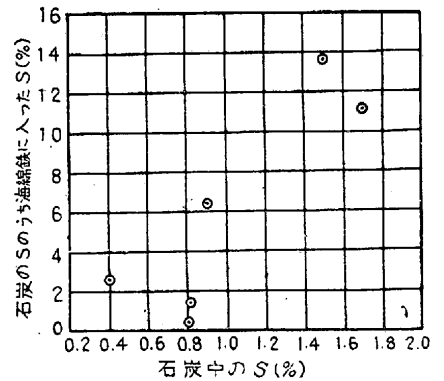
と外殻は多く黒色で、内核は酸化物を殘存して茶褐色を示すこともあるが、大抵は暗い金屬光澤を示してゐる。外殻と内核の分析結果を示すと第11表の如くである。外殻は幾分再酸化してゐる模様が見られる。

海綿鐵中の炭素は0.1~0.2%の程度であつて、表面に附着せる微粒の炭素粒子を除くと炭素は0.1%以下になる。鑛石中の硫黄は總べて海綿鐵に残るとして、石炭から海綿鐵に入る硫黄を計算すると第12表及び第10圖に示した

第12表 海綿鐵 1,000kg に対する硫黄の平衡表

| 海綿鐵中の S kg | 鑛石に伴はれる S kg | 石炭中より海綿鐵に入った S kg | 石炭に伴はれる S kg | 石炭の S のうち海綿鐵に入った S |
|------------|--------------|-------------------|--------------|--------------------|
| 0.83       | 0.69         | 0.14              | 10.3         | 1.36%              |
| 0.35       | 0.21         | 0.14              | 4.9          | 2.85               |
| 3.39       | 0.81         | 2.58              | 19.0         | 13.60              |
| 4.05       | 1.64         | 2.41              | 21.7         | 11.14              |
| 0.11       | 0.07         | 0.04              | 9.6          | 0.42               |
| 3.65       | 2.94         | 0.70              | 11.1         | 6.37               |

如く石炭中の硫黄が1.7%の場合、その11%が海綿鐵中に入る。石炭中の硫黄が0.3~0.8%の場合には、その0.4~3%が海綿鐵中に入るに過ぎない。海



第10圖 石炭中の S% と石炭中の S のうち海綿鐵に入る S の關係

綿鐵をボールミルにて軽く處理すると、硫黄の60~70%が除かれる。この點から石炭から入る硫黄は海綿鐵のごく表面に入つてゐるものと考へる。

鑛石中の珪酸は粉碎過程中に僅かに除かれるのみである。

### 2. 副成品

副成品であるコークスは海綿鐵の40~50%出来る。コークス中には裝入還元炭中の固定炭素の15~20%が殘留する。鑛石中の鐵分はコークス中に3~4%入る。之は主

として鑛石に伴はれる粉鑛である。コークスを3分目篩にて篩ひ、篩上は更に水洗した。その分析結果を第13表に示した。

第 13 表

|            | 割合<br>% | 揮發<br>分% | 固定炭<br>素% | 灰分<br>% | 全鐵<br>分% | 金屬<br>鐵% | 發熱量<br>kcal |
|------------|---------|----------|-----------|---------|----------|----------|-------------|
| 3分目の篩下     | 50      | 0.80     | 38.70     | 57.30   | 3.7      | 1.9      | 3361        |
| 3分目水洗精コークス | 8       | 1.00     | 63.00     | 34.70   | 2.0      | —        | 5148        |
| 篩上水洗沈澱物    | 42      | 1.00     | 13.80     | 70.00   | 14.8     | 10.1     | 1115        |

鑛石を粉碎する際に生ずる粉鑛は15~18%ある。之は低磷鑛石であるために電氣爐にて低磷鉄とする試験を行つてゐる。

爐から出る廢ガスは高温であるからこれは餘熱汽罐に導き蒸氣タービンにて發電する。現在海綿鐵坨當り200~300

kWhを發電してゐる。

## VI. 總 括

第1報に於ては短期間の試験作業を述べたが、本報告は大體現場の記録を基礎として操業の實狀を示した。還元機構その他の理論的方面は殆ど述べてない。

製造法に就いては今後技術的に検討すべき點が多々ある。第1報記載の粉鑛處理、磁選滓の利用、廢氣熱の活用は勿論なるも、製品中に含まる珪酸及び硫黄分の除去、再酸化防止等は急據解決せねばならぬ。目下後述の2設備計畫は進行中で遠からず竣工するであらう。

# 特殊鋼の等温變態に就て(第2報)<sup>1)</sup>

(日本鐵鋼協會第24回講演大會講演 昭15.10.神戸)

河 合 正 吉\*

## UEBER DEN ISOTHERMEN AUSTENITZERFALL DES SONDERSTAHLDES (II)

Masayosi Kawai

**ZUSAMMENFASSUNG:**—Im ersten Bericht wurde die allgemeine Angabe über den isothermen Austenitzerfall geäußert. Der Verfasser hat diesmal die Ergebnisse von der Untersuchung über den isothermen Austenitzerfall einiger Stahlarten aufgestellt. Der S-Kurve des Ni-Cr-Stahles und die des Cr-Mo-Stahles werden zuerst gesucht und ihre Massenwirkungen werden damit abgeschätzt. Ferner erwähnt der Verfasser kurz des Ni-Cr-Mo-Stahles und des nickelarmen Mn-Cr-Mo-Stahles. Die Gefüge der bei verschiedenen Temperaturen isothermisch zerfallenden Proben werden der Reihe nach gezeichnet. Zum Schluss werden die mechanischen Eigenschaften des isothermisch zerfallenden Ni-Cr-Mo-Stahles geprüft und das sogenannte "Austemper-Verfahren" beim Sonderstahl wird beurteilt.

## I. 緒 言

前報告に於て等温變態に関する一般論を述べたが、本報告より各特殊鋼の各論に移る事とする。特殊鋼を論ずるに當つては先づ單一合金鋼より始める事が合理的と考へられるが、本實驗に於ては拙速的に先づNi-Cr鋼及びCr-Mo鋼を論じ、更にNi-Cr-Mo鋼及び其の代用鋼と考へられる低Ni-Mn-Cr-Mo鋼に言及せんとす。即ち上述の各鋼種に就てS曲線を求め、其の質量効果を見積り、等温變態に依つて得られる顯微鏡組織を觀察し、機械的性質に關し各組織の特性を論ずる事とする。

## II. S 曲 線

### 1. ニツケルクロム鋼及びクロムモリブテン鋼 試料

<sup>1)</sup> 第1報は鐵と鋼 27(昭16)663頁(9號)

\* 三菱重工業長崎製鋼所

第1表 成 分

| 成分<br>鋼種 | C    | Si   | Mn   | Ni                 | Cr   | Mo                 |
|----------|------|------|------|--------------------|------|--------------------|
| Ni-Cr鋼   | 0.33 | 0.30 | 0.44 | 3.10               | 1.66 | 0.13 <sup>1)</sup> |
| Cr-Mo鋼   | 0.29 | 0.32 | 0.43 | 0.60 <sup>2)</sup> | 1.84 | 0.25               |

の成分を第1表に示す。各試料より熱膨脹試験片を採取し、各温度に於ける等温變態曲線を求め、之より變態開始時間、終了時間、50%變態時間、變態速度及び不完全變態量等を求め第1圖及び第2圖に示す。簡單の爲に高温部及び低温部の $t_k$ の極小點を夫々 $A_{RM}'$ 及び $A_{RM}''$ とする。併て兩鋼種に就てS曲線の特徴を述べれば、Ni-Cr鋼に於ては $A_{RM}'$ 、 $A_{RM}''$ が何れも比較的低温にある。 $t_k$ の値は全體を通じてNi-Cr鋼に於て優り、Cr-Mo鋼の質量効果の大なる事が結論される。然しCr-Mo鋼に於ては $A_{RM}'$ が上方にある爲、鋼片の大いさが比較的小なる間は冷却速度は高温

<sup>1), 2)</sup> 何れも屑鐵より混入せるもの。