

---

フェロマンガン堅型製錬炉の建設

Construction of the Shaft Type Fe-Mn Smelting Furnace

森本 照明 (Teruaki Morimoto) 吉本 正明 (Masaaki Yoshimoto) 高橋 洋光  
(Hiromitsu Takahashi) 浜田 尚夫 (Takao Hamada) 福島 演雄 (Norio Fukushima)  
桜井 昭二 (Syoji Sakurai)

---

要旨：

水島合金鉄(株)にフェロマンガン堅型製錬炉(SF)を建設し、1985年6月24日に火入れした。  
このSFは内容積398m<sup>3</sup>、センターフィード型カルダン式ベルレス装入装置および幅射型  
レキュペレータを備え、270t/d(H/C FeMn)の能力を有する。また、SFは、操業上、銑鉄高  
炉と比較してコークス比、炉頂ガス温度、ダスト比が高いなどの特徴があり、高熱負荷に対  
しては炉体冷却の強化、鉍石受金物やベルレス駆動装置の水冷化などの設備保護対策を講  
じ、また、高ダスト比に対してはガス清浄設備の拡充を図った。

---

Synopsis：

A shaft type smelting furnace (SF) for high carbon manganese ferro-alloys was blown in  
on June 24, 1985 at Mizushima Ferro-Alloy Co., Ltd. The SF has an inner volume of  
398m<sup>3</sup> and a production capacity of 270t/d (H/C FeMn) and is equipped with a center  
feed Cardan type bell-less top (CTBL) and radiation type recuperator for pre-heating  
blast air. The features of the SF operation are the high coke rate, high dust rate and high  
top gas temperature compared with those of the blast furnace. The SF has cooling plates  
arranged from bosh to upper shaft with a small pitch, wearing plates cooled, and cooling-  
type CTBL rotating frame. Gas cleaning system is reinforced with a cyclone in addition  
to the conventional system. The outline of the construction of the SF is described in this  
report.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

|                   |
|-------------------|
| 本文は次のページから閲覧できます。 |
|-------------------|

## Construction of the Shaft Type Fe-Mn Smelting Furnace



森本 照明

Teruaki Morimoto

本社 鉄鋼技術部高炉  
改修計画室 主査(課  
長)



吉本 正明

Masaaki Yoshimoto

本社 鉄鋼技術部 次長  
(部長)



高橋 洋光

Hiromitsu Takahashi

水島製鉄所 製鉄部製  
鉄技術室 主査(部長)



浜田 尚夫

Takao Hamada

鉄鋼研究所 プロセス  
研究部 主任研究員(部  
長補)



福島 演雄

Norio Fukushima

エンジニアリング事業  
部 製鉄プラント技術  
部 鉄鋼技術室 主査(部  
長補)



桜井 昭二

Syoji Sakurai

水島合金鉄(株) 専務  
取締役

### 1 緒 言

現在、フェロアロイは日本はもちろん世界的にも、ほとんど電気炉によって製造されている。第1次、第2次オイルショックにより、石油火力に依存する国々の電力料金は高騰し、とくに日本の電力料金は世界一高くなった。わが国では電力コストの占める割合が大きいフェロシリコン、フェロクロム、シリコンマンガンの順に国際競争力が衰退し、輸入品は増加の一途をたどり、現在の各フェロアロイの輸入比率はおおよそ60%、40% および20% となってきた。

フェロマンガンについては、輸入比率は3~5%にとどまっているものの、すでに国際競争力は衰え、近い将来前記フェロアロイと同様な道をたどると予想される。また、最近鉄鋼においては溶銑や溶鋼中にマンガンを直接添加し、Mn分を上げる技術が開発されてマンガン系フェロアロイ原単位が削減され、フェロアロイメーカーは生産規模の縮小を余儀なくされてきている。

このような背景下で、日本のフェロアロイメーカーは体質改善策を

### 要旨

水島合金鉄(株)にフェロマンガン堅型製錬炉(SF)を建設し、1985年6月24日に火入れした。このSFは内容積398m<sup>3</sup>、センターフィード型カルダン式ベルレス装入装置および輻射型レキュペレータを備え、270t/d(H/C FeMn)の能力を有する。また、SFは、操業上、鉄鉄高炉と比較してコークス比、炉頂ガス温度、ダスト比が高いなどの特徴があり、高熱負荷に対しては炉体冷却の強化、鉍石受金物やベルレス駆動装置の水冷化などの設備保護対策を講じ、また、高ダスト比に対してはガス清浄設備の拡充を図った。

### Synopsis:

A shaft type smelting furnace (SF) for high carbon manganese ferro-alloys was blown in on June 24, 1985 at Mizushima Ferro-Alloy Co., Ltd. The SF has an inner volume of 398m<sup>3</sup> and a production capacity of 270 t/d (H/C FeMn) and is equipped with a center feed Cardan type bell-less top (CTBL) and radiation type recuperator for pre-heating blast air. The features of the SF operation are the high coke rate, high dust rate and high top gas temperature compared with those of the blast furnace. The SF has cooling plates arranged from bosh to upper shaft with a small pitch, wearing plates cooled, and cooling-type CTBL rotating frame. Gas cleaning system is reinforced with a cyclone in addition to the conventional system. The outline of the construction of the SF is described in this report.

迫られていたが、水島合金鉄(株)は、国内で最も電力料金の高い中国地方に立地している反面、安定して安価なコークスを入手できかつ発生ガスを有効利用できる川崎製鉄(株)水島製鉄所内に立地していることから、日本で最初の電気エネルギーに代って石炭エネルギーによるフェロマンガン堅型製錬炉(SF)を建設することにした。

SF採用の背景をFig. 1に示す。

SF建設工事は1984年2月に、水島合金鉄より川崎製鉄のエンジニアリング事業部がフル・ターン・キー・ベースで受注し、約1年の工事期間を有して建設したものである。このSFは従来の製鉄技術をベースとしながらもフェロマンガン操業の特殊性を考慮し、川崎製鉄の技術力を結集したわが国でも初めてのフェロマンガン専用の堅型製錬炉である(Photo 1)。

以下に、堅型炉によるフェロマンガン製錬の特徴、設備の特徴および建設工事の概要について報告する。

### 2 生産体制

水島合金鉄は川崎製鉄の関係会社として1964年に設立されたマンガン系合金鉄を製造する専門メーカーで、これまで4基の電気炉を有していた。このうちNo. 4号電気炉の建屋、基礎および一部の付帯設備を利用してSFを建設した。SF稼動にともないNo. 1, 3号

\* 昭和61年10月8日原稿受付

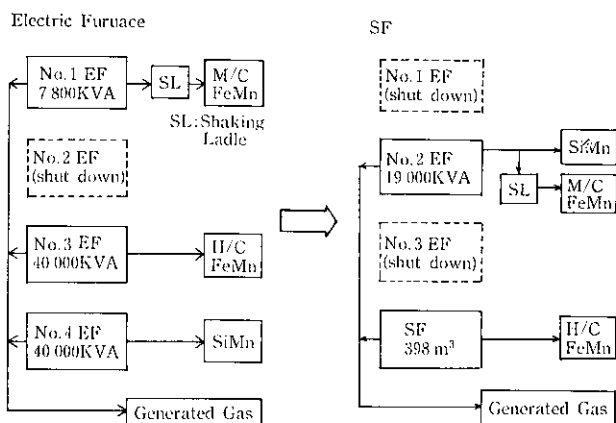
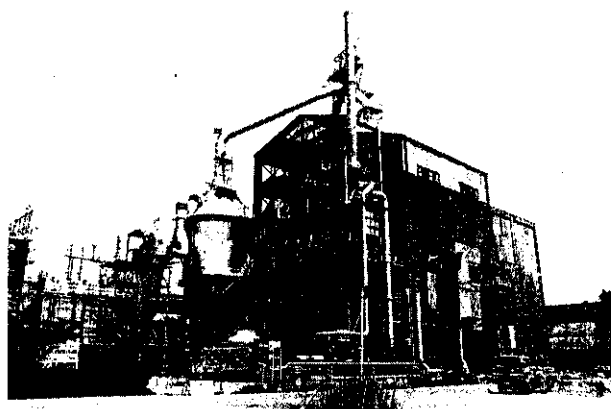
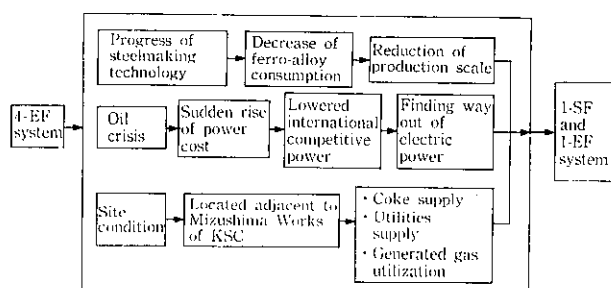


Fig. 2 Conversion of production system at Mizushima Ferro-Alloy Co. Ltd.

電気炉は操業を停止し、SFで高炭素フェロマンガンを、No.2号電気炉でシリコンマンガンと中炭素フェロマンガンを製造する体制にした。SFの生産能力は年間約90 000 tである。Fig. 2はSF法採用にともなう生産体制の従来法との比較である。SF生産フローをFig. 3に、全体配置をFig. 4に示す。

### 3 豎型炉によるフェロマンガンの製錬の特徴

電気炉の場合、フェロマンガンを1tをつくるのに電力は2400 kWh、コークスは360 kg程度必要であるが、堅型炉にすると電力は約200 kWh、コークスは約1500 kgとなる。Table 1にSFの主要操業諸元を示す。以下銑鉄高炉と比較して、フェロマンガ製錬の特徴を述べる。

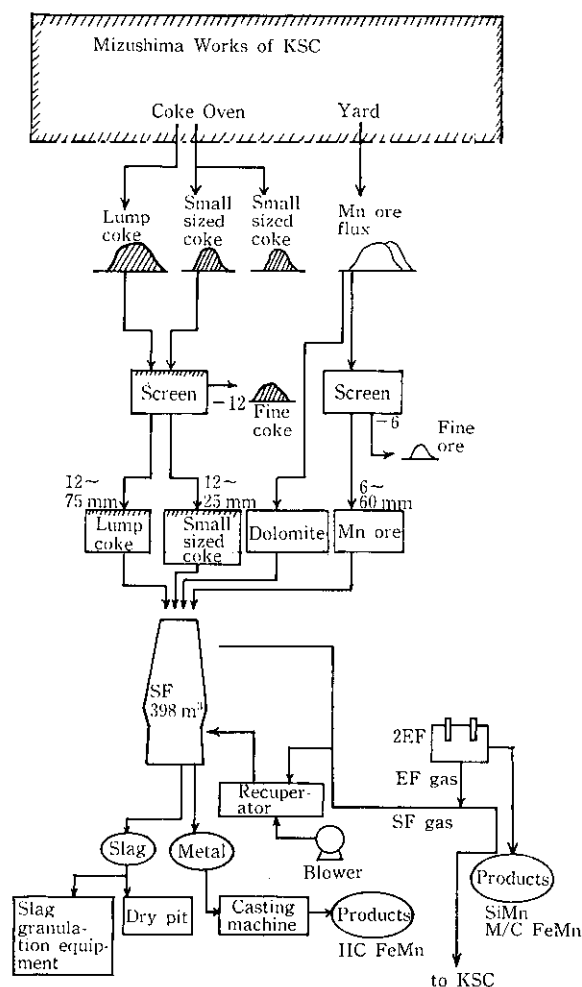


Fig. 3 Materials flow at SF

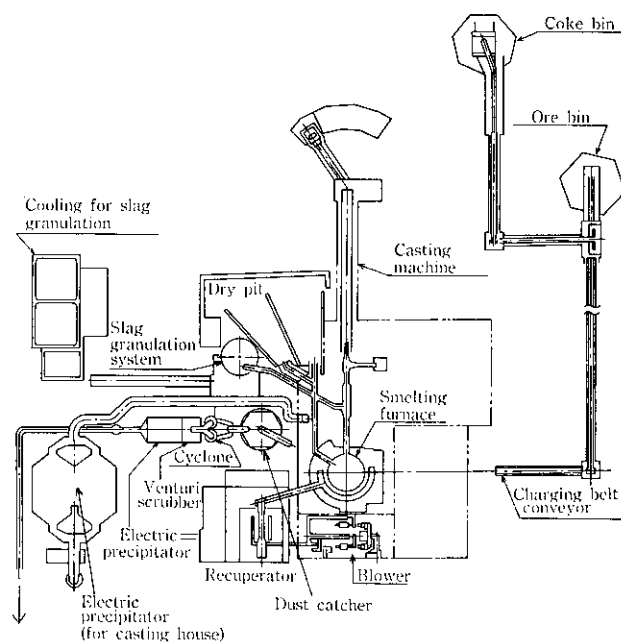


Fig. 4 Layout of SF

### (1) 高コークス比

銑鉄製造と FeMn 製造で最も相違があるのは、銑鉄の場合 CO ガスによる FeO の間接還元によっても Fe が生成するのに対し

Table 1 Operational conditions for design of SF

| Items               | Specification            |
|---------------------|--------------------------|
| Inner volum         | 398 m <sup>3</sup>       |
| Production          | 230 t/d                  |
| Blast volume        | 450 Nm <sup>3</sup> /min |
| Oxygen enrichment   | 7~8%                     |
| Blast temperature   | 860°C                    |
| Mn content in metal | 74.5%                    |
| Coke rate           | 1 500 kg/t               |
| Productivity        | 0.58 t/m <sup>3</sup> ·d |
| Slag rate           | 580 kg/t                 |
| Top gas volume      | 4 890 Nm <sup>3</sup> /t |

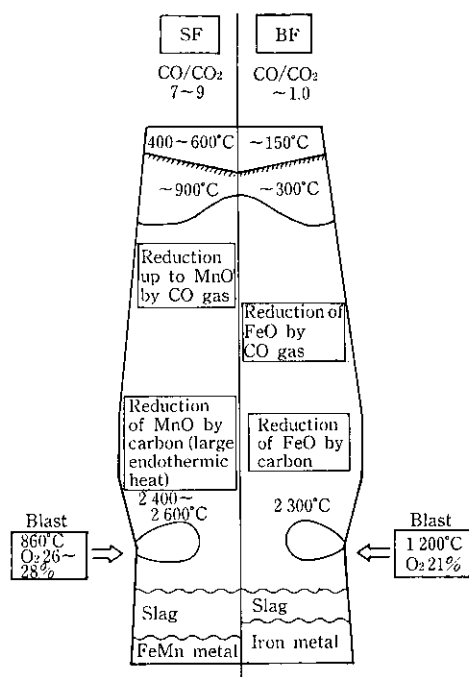


Fig. 5 Comparison of metallurgical reaction between SF and BF

て、FeMnの場合はCOガスによるMnOの間接還元は起こらず、Cによる直接還元によってしかMnは生成しないことである(Fig. 5)。したがって、炉内でのCOの利用比率は低く、炉頂ガスの潜熱、顕熱は非常に大きくなる。しかもFeに比べMnへの還元所要熱量は大きい。

このことからFeMn製鉄では、燃料および還元材であるコークスの消費量は鉄鉄の450~500 kg/t-pに対し1 200~1 500 kg/tとなる。

## (2) 低出鉄比

鉄鉄の出鉄比は1.8~2.2 t/m<sup>3</sup>·dであるが、フェロマンガンの場合は高コークス比で、羽口前でのコークス燃焼量が多く炉内での発生ガス原単位が高いため、出鉄比は低くなり0.58~0.68 t/m<sup>3</sup>·d程度となる。

## (3) 高炉頂ガス温度

大きな発熱反応であるMnO<sub>2</sub>、Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のCOによる還元が炉上部で起こることと高コークス比のため、炉頂ガス温度は鉄鉄高炉の約150°Cに比べ400~600°Cとなるので、設備保護のために炉頂散水を行い300~350°C以下に下げている。

## (4) 高ダスト比

- (a) マンガン鉱石は熱割れ性が大きく粉発生が多いこと
- (b) 羽口前温度および炉内温度が高いことにより、羽口前でSiO<sub>2</sub>などの微粉ダストが生成しやすいこと
- (c) 高コークス比のため、ガス発生量が多く、かつ高炉頂ガス温度のため、見掛けガス量が増加し炉口でのガス流速が高くなること

などにより、ダスト比(乾ダスト+湿ダスト)は鉄鉄高炉の約20 kg/tに対しSFでは100 kg/t以上のダスト比となる。

## (5) 高羽口先理論燃焼温度(TFT)

マンガンは酸素との親和力が高い。換言すればMn酸化物は難還元性である。したがって鉄鉄高炉のTFTが約2 300°Cに対し、SFではマンガン歩留を向上させるためTFTを2 400~2 600°Cとしている。SFでは従来の熱風炉の代りに連続熱交換式メタリックレキュペレータを使用し、送風温度は860°Cと低いので酸素富化によってTFTを維持管理している。

## (6) 高熱負荷

前述の高コークス比および高TFTなどにより炉内温度は鉄鉄に比べ高くなる。シャフトガスサンプラーの測温結果によれば、ストックライン下約1mにおいて側壁部で800°Cを越えている。この高熱負荷とMnOスラグのれんが高浸食性、さらに、装入原料中のアルカリ量が鉄鉄高炉より多いことなどから炉体ライニング寿命は鉄鉄高炉より短いと予想される。

## (7) 高アルカリ

マンガン鉱石は鉄鉄石に比べアルカリを多く含有し、さらにコークス比も3倍以上と高いため、鉄鉄高炉と比較してK<sub>2</sub>Oは原単位で約12倍、出鉄比補正しても約4倍装入される。K<sub>2</sub>Oは炉体ライニング浸食のみならずガス清浄系に付着し悪影響を及ぼす。

## 4 SF設備の仕様と特徴

Table 2に、SFの設備主仕様を示すが、以下にその特徴を述べる。

### 4.1 高熱負荷に対する設備保護

SFのコークス比は高炉の約3倍であり、羽口前で燃焼するカーボンの増加により、ボッシュガスの熱容量も増加する。鉱石中のMnO<sub>2</sub>、Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は比較的低温でCOガスによってMn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>まで容易に還元されるが、これは大きな発熱反応であり設備計画とくに注意を要する。炉体高熱負荷、高炉頂ガス温度に対する設備保護のためにSFで採用したおもな対策は次のとおりである。

- (1) 炉体冷却板の高密度配置 (Fig. 6)
- (2) 炉体冷却範囲の拡大(鉱石受金物下端まで冷却板を設置) (Fig. 6)
- (3) 鉱石受金物の水冷および鉱石受金物受板の冷却板による保護
- (4) ベルレス駆動装置水冷却(揺動フレームおよび分配シュートリング)
- (5) 高流速羽口の採用(先端流速20 m/s)
- (6) 除塵器外筒および下部ホッパー内面キャストブライニング
- (7) 炉頂散水設備

### 4.2 炉体ライニング

マンガン鉱石は、鉄鉄石に比べK<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>Oなどのアルカリ含有量が高い。また、スラグ中のMnOは最終スラグでも約8%有り、SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系耐火物はMnOスラグと非常に反応しやすい。SFでは耐アルカリ性、耐高MnOスラグ性をとくに重視して、シャフト下

Table 2 Main specifications of SF equipment

| Item                           | Specifications                                                                                             |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Furnace proper                 |                                                                                                            |
| Inner volume                   | 398 m <sup>3</sup>                                                                                         |
| Furnace support                | Free standing type                                                                                         |
| Cooling system                 |                                                                                                            |
| Shaft and Bosh                 | Cooling plates                                                                                             |
| Hearth                         | Water spray                                                                                                |
| Refractories                   |                                                                                                            |
| Up. and mid. shaft             | High alumina brick                                                                                         |
| Lower shaft                    | SiC brick                                                                                                  |
| Hearth                         | Carbon brick                                                                                               |
| Tuyere                         |                                                                                                            |
| Number                         | 13                                                                                                         |
| Type                           | Eccentric high flow rate water cooling type                                                                |
| Tap hole                       | 1                                                                                                          |
| Cinder notch                   | 1                                                                                                          |
| Cast house                     |                                                                                                            |
| Tap hole opener                |                                                                                                            |
| Number                         | 1 set (air driven)                                                                                         |
| Effective length of opening    | 3 000 mm                                                                                                   |
| Mud gan                        |                                                                                                            |
| Number                         | 1 set                                                                                                      |
| Mud capacity                   | 0.1 m <sup>3</sup>                                                                                         |
| Filling                        | Driven by hydraulic pressure                                                                               |
| Rotation                       | Driven by electric power                                                                                   |
| Iron trough                    | Non hot metal storage type                                                                                 |
| Molten iron treatment          | Mono-stage skimmer                                                                                         |
| Slag treatment                 | 1-casting machine                                                                                          |
|                                | Max. 4.3 t/min                                                                                             |
|                                | 2-dry pits                                                                                                 |
|                                | 1-slag granulation system                                                                                  |
| Furnace top equipment          |                                                                                                            |
| Charging pattern               | Standard charging (C ↓ O ↓ and C ↓ C ↓ O ↓ O ↓), C-O mixed charging, coke two-size separate charging, etc. |
| Type                           | One hopper type new bell-less top (CTBL)                                                                   |
| Distribution chute             | Electric drive                                                                                             |
| Seal valve, flow control valve | Hydraulic drive                                                                                            |
| Hot blast generator            |                                                                                                            |
| Type of recuperator            | Radiation and convection                                                                                   |
| Number                         | 1 set                                                                                                      |
| Blast temperature              | 860°C (max. 900°C)                                                                                         |
| Gas cleaning system            |                                                                                                            |
| Dust catcher (DC)              | Gravity settling type                                                                                      |
| Cyclone (CY)                   | Centrifugal type                                                                                           |
| Venturi scrubber (VS)          | 1-stage venturi throat variable type                                                                       |
| Electric precipitator (EP)     | Wet type, 2-rooms                                                                                          |
| Stock house                    |                                                                                                            |
| Coke bin                       | 55 m <sup>3</sup> × 14 bins                                                                                |
| Ore bin                        | 60 m <sup>3</sup> × 12 bins                                                                                |
| Blower                         |                                                                                                            |
| Type                           | Electric drive                                                                                             |
| Blower revolution              | 13 400 rpm                                                                                                 |
| Motor                          | 1 400 kw × 3 580 rpm                                                                                       |
| Blast volume and pressure      | 535 Nm <sup>3</sup> /min × 1.3 kg/cm <sup>2</sup>                                                          |

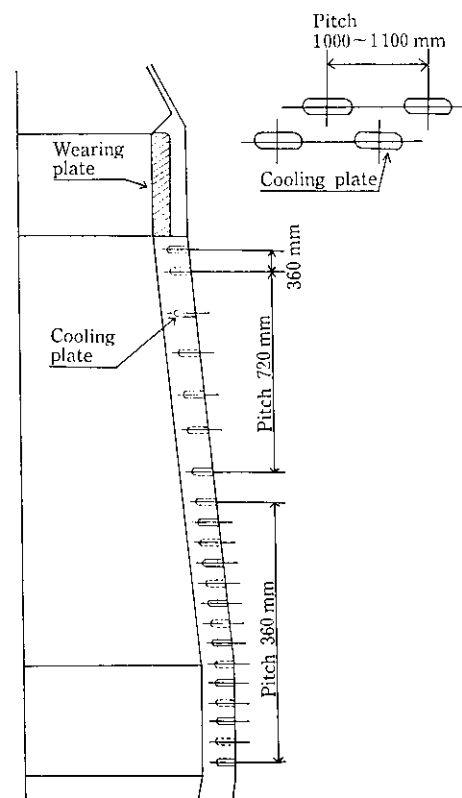


Fig. 6 Construction of cooling plates

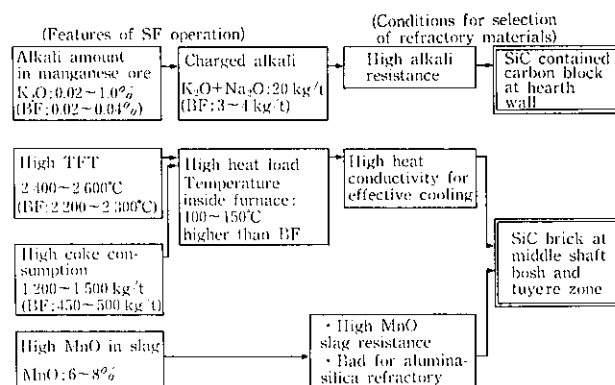


Fig. 7 Conditions for selection of SF refractory materials

#### 4.3 熱風発生設備

製鉄分野では初めて、従来の蓄熱式熱風炉に代って連続熱交換式輻射型メタリックレキュペレータを採用した。本レキュペレータを導入するに当たっては、高温での輻射チューブの寿命、熱効率、広範な運転範囲、燃焼制御性、メンテナンス性などに特別の注意を払った。稼動後1年を経過するが設備の安定性、制御性はきわめて良い。熱効率は84%を確保している。レキュペレータの構造をFig. 8に、レキュペレータの運転範囲をFig. 9に示す。

送風空気は、対流部で予熱された後、連絡管を通り輻射部へ供給される。輻射部で所定の温度まで加熱された後、熱風管を通りSFへ供給される。最高送風温度は、輻射部伝熱管の耐熱強度によって決まるが、この種の設備としては最高の900°Cまで可能である。なお、SFの休風立上り時はMガス専焼とし、操業安定後にMガスとSFガスの混焼にしている。

部から羽口部はSiC系レンガを採用した。SF本体耐火物選定の考え方をFig. 7に示す。

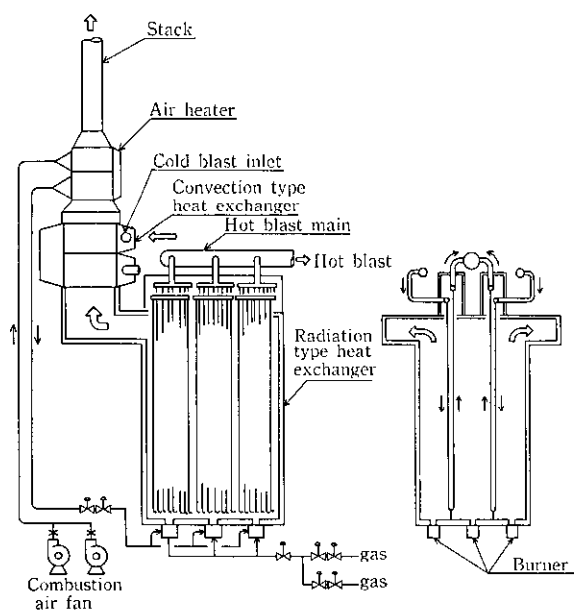


Fig. 8 Structure of recuperator

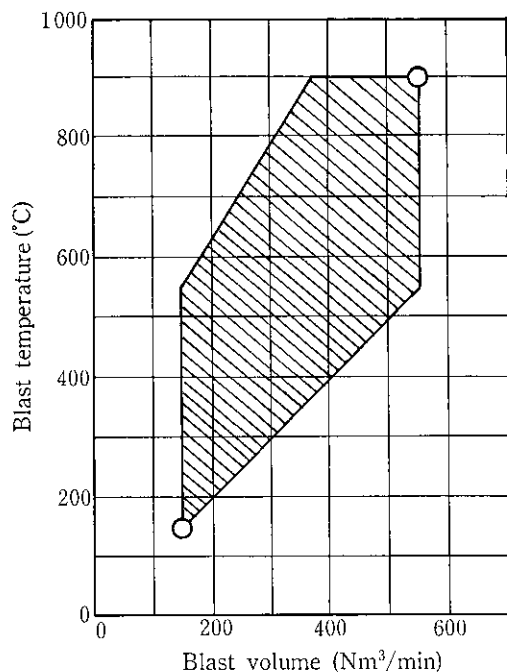


Fig. 9 Operational range of recuperator

#### 4.4 炉頂装入設備<sup>1,2)</sup>

炉頂装入物分布制御によるフェロマンガンの操業の安定化とフェロマンガンの操業特有の高炉頂ガス温度対策のために、ワンホッパーセンターフィード型カルダン機構ニューベルレストップ (CTBL) を採用した。

火入れ後、高ダスト、高炉頂ガス温度雰囲気下での使用であるが、トラブルもなく順調に稼働している。ニューベルレストと従来のPW型ベルレスの構造比較をFig. 10に示す。特徴的なことはニューベルレスの分配シュート駆動装置が炉内の高温雰囲気下に直接曝されないように炉外に水平設置されていること、さらに分配シュートを支える揺動フレームが、Fig. 11に示すようにウォータークーリングジャケットにより水冷されていることである。

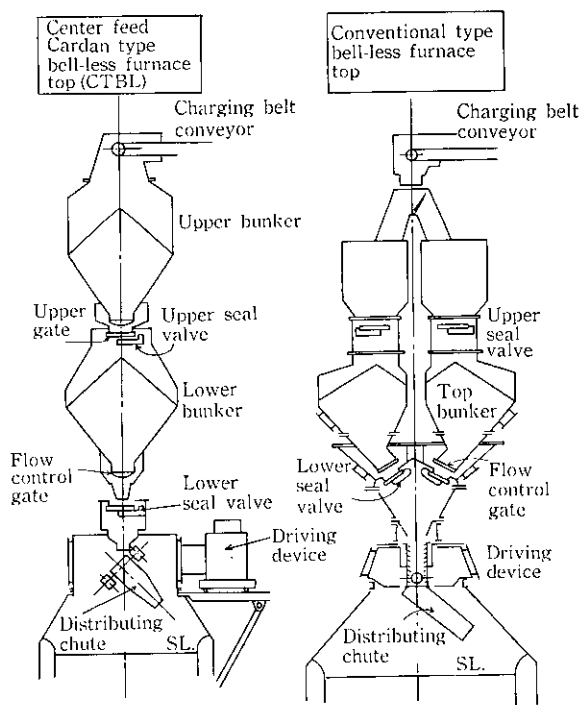


Fig. 10 Comparison of CTBL construction with conventional type

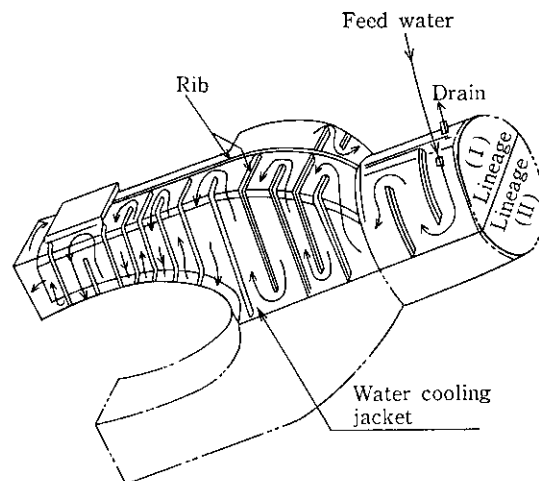


Fig. 11 Cooling water flow in CTBL rotating frame

分配シュートは揺動フレーム先端の二又部のV溝に分配シュートのトラニオンを乗せロックされている。分配シュートの駆動は炉外より行うが、その機構をFig. 12に示す。駆動原理はレバー(A)の揺動運動を揺動フレームの回転とリンク(B)の往復運動に変換することにより分配シュートに回転運動を与える。分配シュート傾動角( $\theta$ )の変更はシャフト(C)の昇降により行う。

#### 4.5 ガス清浄設備

炉頂からのダスト発生量が鉄鋼高炉と比べてきわめて多いこと、さらにFeMn特有のダスト性状(固着性、微細粒子)があるためダストの捕集とその処理方法はきわめて重要である。

SFでは湿式処理設備(VS/EP)へのダスト負荷を低減するため、除塵器の容量アップや除塵器下流へのサイクロンの設置など、乾ダスト除塵設備を増強した。

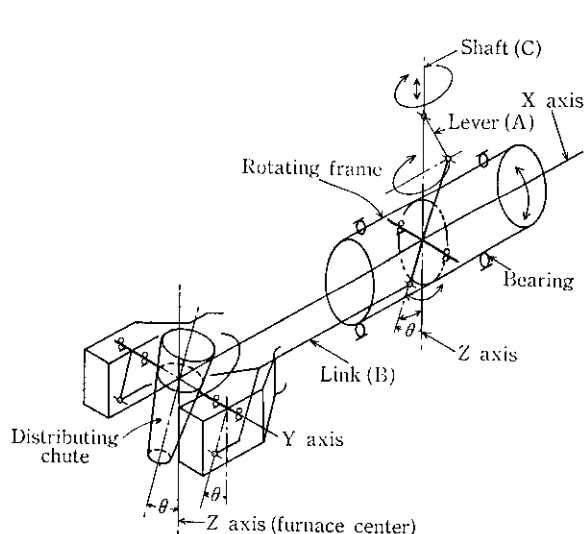


Fig. 12 Drive mechanism of CTBL

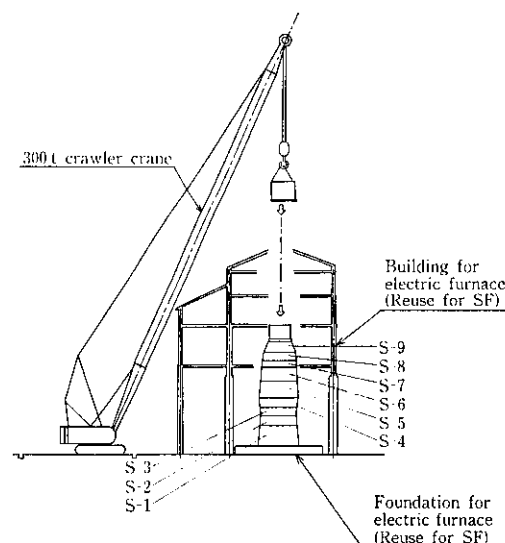


Fig. 13 Erection of SF furnace shell

| Items                        | 1984                   |                       |     |     |     |            |      |     |                       |                   |     |     | 1985 |     |     |     |                                     |              |      |     |     |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|------------|------|-----|-----------------------|-------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------------------------------------|--------------|------|-----|-----|
|                              | Jan                    | Feb                   | Mar | Apr | May | June       | July | Aug | Sep                   | Oct               | Nov | Dec | Jan  | Feb | Mar | Apr | May                                 | June         | July | Aug | Sep |
| General                      | Decision of SF project |                       |     |     |     |            |      |     | No.4 EF power off     |                   |     |     |      |     |     |     | SF blow in                          |              |      |     |     |
|                              |                        | SF project team start |     |     |     |            |      |     |                       |                   |     |     |      |     |     |     | Education and training of operators |              |      |     |     |
| Main construction work       |                        |                       |     |     |     | Civil work |      |     | Piping work           |                   |     |     |      |     |     |     |                                     | SF drying    |      |     |     |
|                              |                        |                       |     |     |     |            |      |     | Casthouse dismantling |                   |     |     |      |     |     |     |                                     | Leakage test |      |     |     |
|                              |                        |                       |     |     |     |            |      |     | SF shell fabrication  |                   |     |     |      |     |     |     |                                     | Filling      |      |     |     |
|                              |                        |                       |     |     |     |            |      |     |                       | SF shell erection |     |     |      |     |     |     |                                     |              |      |     |     |
| Main plant installation work |                        |                       |     |     |     |            |      |     |                       |                   |     |     |      |     |     |     |                                     |              |      |     |     |
| Bell-less top                |                        |                       |     |     |     |            |      |     |                       |                   |     |     |      |     |     |     |                                     |              |      |     |     |
| REC                          |                        |                       |     |     |     |            |      |     |                       |                   |     |     |      |     |     |     |                                     |              |      |     |     |
| CY・VS・EP                     |                        |                       |     |     |     |            |      |     |                       |                   |     |     |      |     |     |     |                                     |              |      |     |     |
| No.1 blower                  |                        |                       |     |     |     |            |      |     |                       |                   |     |     |      |     |     |     |                                     |              |      |     |     |

Fig. 14 Construction time schedule of SF

## 5 建設工事

水島合金鉄よりSF建設工事を受注後、ただちに当社エンジニアリング事業部内に鉄鋼技術部高炉改修計画室を中心にしたSFプロジェクトチームを編成し、最適設備の建設に着手した。

建設に当たっては、No.4号電気炉の基礎、建屋、配管、機器、電源盤などを最大限活用し建設コスト削減を図った。SF本体は電気炉建屋内にすっぽりと納まり、電気炉建屋および基礎がSF用としてそのまま利用できた (Fig. 13)。

工期短縮、安全性向上のため、大ブロック工法を採用し、炉体組立には、200tキャリアによる横引工法、300tクローラクレーンによるリング上架工法を採用した (Fig. 13)。

1984年9月4日に、No.4号電気炉の注水冷却が完了し、解体工事に着手した。解体に引き続いて建屋改修工事、基礎工事を行い、1984年11月よりSF本体据付工事に入った。1985年5月8日に、炉体と除塵器を連絡するダウンカマーが上架され主要部の据付工事を完了した。

SFは水島合金鉄にとって、従来の電気炉に代る初めての設備であるため、1985年4月より川崎製鉄から操業および保全技術指導班を送り、レキュベレータ乾燥、SF乾燥、原料装入作業などの火入れ準備作業および火入れ後の立上げ操業と保全技術指導を行った。

安全衛生面では、統括安全衛生管理体制を敷き、安全を第一優先にして工事を進め無事故無災害を達成した (延労働時間 37.7 万時間)。SF建設全体工程を Fig. 14 に示す。

## 6 立上り操業

1985年6月24日に火入れしたSFは、6月25日に30tを初出湯し銻銑鉄操業を1週間行った後、2日間でフェロマンガンへ移行した。この後大きなトラブルもなく順調に立ち上がり、1985年9月以後は当初計画どおりの生産を続けている。

## 7 結 言

水島合金鉄にフェロマンガン製鉄炉を建設し、1985年6月24日に火入れした。このSFは設備的には以下の特徴を備えている。

- (1) 高コークス比による高熱負荷に対し、炉体冷却の強化および銻石受金物の水冷却。
- (2) 耐アルカリ性および耐高MnOスラグ性のあるレンガの採用。
- (3) 従来の蓄熱式熱風炉に代る輻射型メタリックレキュベレータを用いた連続式熱風発生装置の採用。
- (4) 原料分布制御に優れた水冷式センターフィード型ベルレス装入装置の採用。

(5) 高ダスト比のため、除塵器、サイクロン、VS、EP からなるガス清浄設備。

SF の建設工事は 炉体組立にはリング上架による大ブロック工法を採用するなど予定工期を 7 日間早めて無事故無災害で達成できた。

現在、SF は初期設備トラブルも解消され順調な操業が続けている。

最後に、本 SF プロジェクトに対しつねに温かいご支援とご協力をいただいた関係者各位に心から感謝の意を表する次第である。

---

#### 参 考 文 献

1) 那須敏幸：石川島播磨技報，26 (1986) 1, 57-60

2) 西宮 誠，木村久栄：石川島播磨技報，26 (1986) 3, 10