

© 1990 ISIJ

## 技術報告

## 脱りん銑を用いた転炉操業技術

安井 潔\*・竹岡 正夫\*・宮島 正和\*

## Operation Technique of BOF Using Dephosphorized Hot Metal

Kiyoshi YASUI, Masao TAKEOKA and Masakazu MIYAJIMA

## Synopsis :

A new process of hot metal pretreatment has been in operation since April 1984 at Kure Works. The process has made the mass-production of low phosphorous steels possible.

Until now, investigations of metallurgical characteristics in a top and bottom blowing converter using dephosphorized hot metal have been carried out, and the efficient operational techniques have been established. The results obtained are as follows ;

1) The oxygen utilization efficiency for decarburization at the last stage of oxygen blowing and Fe yield in the converter are increased by use of dephosphorized hot metal.

2) The OG dust is mainly composed of iron fume, the dust can be reduced by decreasing the area of hot spot by top blowing oxygen.

3) Manganese yield and chromium yield are increased and the life of refractories is developed by use of dephosphorized hot metal.

4) The continuous use of dephosphorized hot metal makes the slag basicity in the converter decreased. Consequently the refining cost of special steels was able to be reduced considerably.

**Key words :** hot metal pretreatment ; top and bottom blowing converter ; high carbon steel ; continuous use of dephosphorized hot metal.

## 1. 緒 言

呉製鉄所では、中・高炭素鋼の製造比率の高い 1 製鋼工場の転炉脱りん負荷軽減および低りん鋼への対応を目的として、昭和 59 年 4 月に溶銑予備処理設備を設置した<sup>1)2)</sup>。本設備は稼動以来順調な操業を行っており、1 製鋼工場の精錬工程の合理化に大きく寄与している。

以下に呉製鉄所における脱りん銑を用いた転炉操業技術について報告する。

## 2. 溶銑予備処理設備導入の背景

1 製鋼工場の鋼種構成を Fig. 1 に示す。中・高炭素鋼や低合金鋼が主体であり脱ガス処理比率も高く、転炉の吹止め [C]、吹止め温度が高い。このため転炉の脱りん負荷が大きくコストアップの要因となっていた。また 1 製鋼工場には真空下での溶鋼の加熱およびスラグ精錬が可能な VAD 設備があるが、近年の鋼材の低りん化ニーズに対し、VAD の加熱機能を利用し、転炉で低炭素・低温吹止めにより対応してきたため、VAD の処理比率が上昇しコストアップを招いていた。本溶銑予備処

理設備はかかる背景のもと、以下の改善を目的として設置した。

(1) 転炉を脱炭専用炉とすることによる転炉脱りん負荷軽減

(2) 低スラグ比操業を利用した転炉内 Mn および Cr ソース投入による合金鉄の削減、転炉吹止め温度の低減および VAD 工程省略

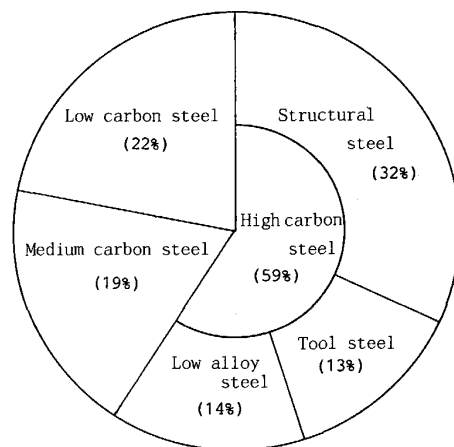


Fig. 1. Product mix of No. 1 steelmaking shop.

平成 2 年 4 月 12 日受付 (Received Apr. 12, 1990)

\* 日新製鋼(株)呉製鉄所 (Kure Works, Nisshin Steel Co., Ltd., 11-1 Showa-cho Kure 737)

(3) 低りん化のため VAD 処理をしていた鋼種の VAD 工程省略

(4) 極低りん鋼への対応

### 3. 設備概要および操業実績

Fig. 2 に溶銑予備処理設備を含めた 1 製鋼工場の設備フローを示す。また溶銑予備処理設備の主要仕様を Table 1 に示す。呉製鉄所における溶銑予備処理プロセスの特徴は以下のとおりである。

まず脱珪工程では、出銑時溶銑の溶銑搬送鍋への落下エネルギーが有効に利用できる鑄床脱珪を採用するとともに、脱珪剤の添加法として、上置き法に比べ脱珪酸素効率の高い投射法を採用した<sup>3)</sup>。また出銑 [Si] レベルに応じた適切な処理が可能となるよう熱起電力法による迅速 [Si] 分析計を導入した。稼動当初は脱珪設備は 2 高炉のみに設置していたが昭和 63 年 3 月に 1 高炉にも脱珪設備を設置し高炉全鑄床での脱珪処理を可能にした。この改善により高炉休風等による出銑 [Si] 高の影響を受けることなく、より出銑 [Si] の低い高炉を選択しての脱珪処理が可能となり、脱珪コストが削減されるとともに、1 製鋼工場の生産スケジュール制約が緩和された。

つぎに脱りん・脱硫工程では、処理容器として、処理

工程の中で最も温度が低い場所で使用され、また転炉と 1 対 1 の対応が最もとりやすい転炉装入鍋を選択した。また溶銑温度のコントロールを目的としてフラックスインジェクション時の気体酸素の上吹きを可能とした。

現在、処理量は約 3 万 t/月に達し 1 製鋼工場で使用する溶銑量の 80~90% を占めている。VAD 工程省略は順調に進み特殊鋼に占める VAD 工程材の比率は、従来の 50% から 10% まで低下している。

### 4. 脱りん銑を用いた転炉操業技術

#### 4.1 操業条件

脱りん銑を使用する場合の転炉操業条件を Table 2 に示す。脱りん銑の吹錬では転炉は脱炭・昇熱のみが要求されるため脱りんを目的としたフラックスは必要ない。しかし実操業ではダストの抑制、炉体の保護および炉体付着スラグの影響を抑制するため、状況に応じて前チャージのスラグを部分的に炉内に残すとともに、(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) の濃縮を防止するため、CaO 純分換算で 5~15 kg/t の造さい剤を使用し、スラグ量を 30~40 kg/t としている。

#### 4.2 脱りん銑を用いた転炉吹錬の冶金特性

##### 4.2.1 脱炭

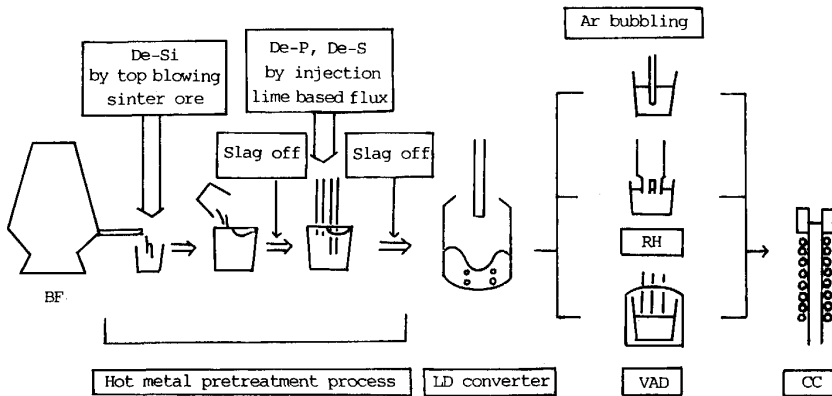


Fig. 2. Schematic flow of No. 1 steelmaking shop.

Table 1. Specifications of hot metal pretreatment equipments.

Equipment	Item	Specification
Desilicization equipment (No. 1 and 2 blast furnaces)	Adding method Main agents Sub agents Other equipments	Top blowing onto runner Sinter ore Lime Quick [Si] analyzer
Dephosphorization and desulphurization equipment (No. 1 steelmaking shop)	Adding method Main agents Vessel Injection rate Carrier gas Oxygen gas blowing rate Slag off	Injection CaO based flux (CaO-CaF <sub>2</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> mixed) Charging ladle Maximum 150 kg/min N <sub>2</sub> Maximum 2 000 Nm <sup>3</sup> /h Dragger

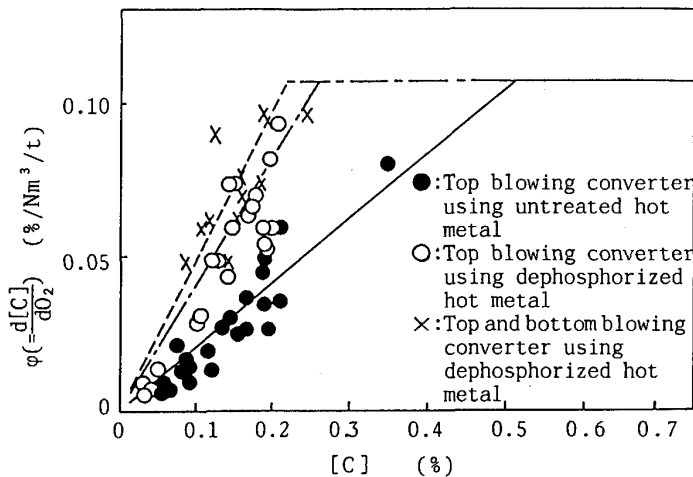


Fig. 3. Relation between [C] and  $\phi$ .

Table 2. Operating conditions in converter using dephosphorized hot metal.

Item	Content	
	Top blowing converter	Top and bottom blowing converter
Heat size (t/heat)	90	
Oxygen flow rate from top (Nm <sup>3</sup> /h)	8 000(3 min) → 15 000	
Oxygen flow rate from bottom (Nm <sup>3</sup> /min·t)	—	0.09
Slag volume (kg/t)	30~40	
Chemical compositions of hot metal (%)	[C]	4.0
	[Si]	0.03
	[Mn]	0.25
	[P]	0.010
	[S]	0.007

吹錬末期の脱炭速度を [C] の移動律速と考えると酸素流量一定の条件下で脱炭酸素効率  $\phi$  (供給酸素量 (Nm<sup>3</sup>) 当たりの脱炭量 (%)) は (1) 式で表される。

$$\phi(=d[C]/dO_2) = k[C] \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $k$ : 定数

(1) 式に従い実操業のデータから求めた [C] と  $\phi$  の関係を Fig. 3 に示す。脱炭反応が酸素の供給律速から [C] の移動律速に移行する臨界 C 濃度は、通常銑を用いた上吹き転炉の 0.51 % に対し、脱りん銑を用いた場合、上吹き転炉で 0.26 %、また上底吹き転炉では 0.22 % と大幅に低下している。底吹きガス流量を増すことにより鋼浴の攪拌が向上し脱炭酸素効率が大きくなることが報告されている<sup>4)</sup> が、スラグ量の低下も鋼浴の攪拌力向上に有効であり<sup>5)</sup>、脱りん銑使用によりスラグ量が減少し、臨界 C 濃度が低下したものと考えられる。なおこの知見は、サブランス測定による木村ら<sup>6)</sup> および排ガス情報から求めた滝ら<sup>7)</sup> の知見と一致する。

4.2.2 脱りん

吹止め時のりん分配比  $K_P'((P_2O_5)/[P]^2 \cdot (T \cdot Fe)^5)$  を  $\{(CaO) + 0.3 \cdot (MgO)\}$  および温度の関数として整理し (2) ~ (4) 式を得た。(2) 式は脱りん銑を用いた上底吹き転炉の場合を、(3) 式は上吹き転炉の場合を、また (4) 式は通常銑を用いた上吹き転炉の場合を示す。

$$\log K_P' = 0.0732 \cdot \{(CaO) + 0.3 \cdot (MgO)\} + 0.698 \times 10^4/T - 9.67 \quad r = 0.8429 \quad \sigma_e = 0.2733 \dots\dots\dots (2)$$

$$\log K_P' = 0.0479 \cdot \{(CaO) + 0.3 \cdot (MgO)\} + 1.659 \times 10^4/T - 13.28 \quad r = 0.5673 \quad \sigma_e = 0.4621 \dots\dots\dots (3)$$

$$\log K_P' = 0.0576 \cdot \{(CaO) + 0.3 \cdot (MgO)\} + 2.239 \times 10^4/T - 16.77 \quad r = 0.6102 \quad \sigma_e = 0.3658 \dots\dots\dots (4)$$

ここで  $T$ : 温度 (K),  $r$ : 重相関係数,  $\sigma_e$ : 回帰式による計算値と実績値の差の標準偏差。

また温度を平均値である 1680 °C とした場合の  $\{(CaO) + 0.3 \cdot (MgO)\}$  と  $\log K_P'$  の関係を Fig. 4 に示す。わずかなスラグ量下でも通常銑を使用した場合と同様良好な脱りん特性が得られる。

脱りん銑の吹錬では転炉に入るりん量が少なくかつスラグ量も少ないため前チャージの炉体付着スラグからキャリアオーバーされてくるりん (不明インプット P) の影響が大きい。Fig. 5 に通常銑吹錬後脱りん銑を連続して吹錬した場合の不明インプット P の推移を示す。3 チャージ目以降では不明インプット P はなくなるが、1, 2 チャージ目では不明インプット P が大きく、脱りんを補償するためスラグ量を増加する必要がある。このことは以降で述べる少量スラグ比精錬の効果を大きく損なうことになる。

4.2.3 脱硫

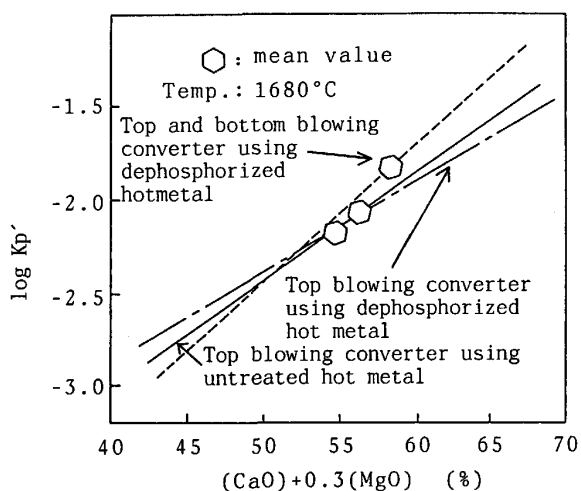


Fig. 4. Relation between  $\{(CaO) + 0.3(MgO)\}$  and  $\log K_{P'}$ .

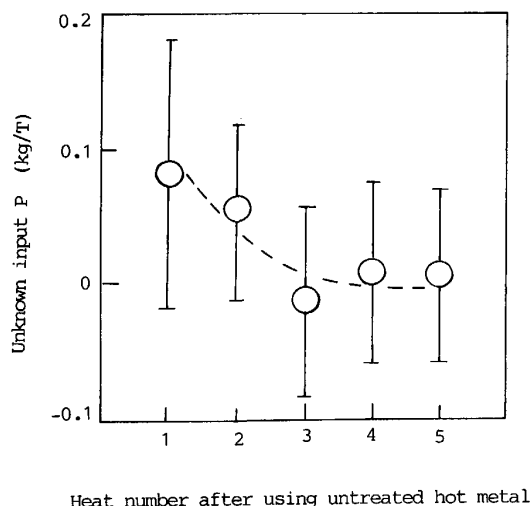


Fig. 5. Change of unknown input phosphorus.

転炉吹止め時の (T.Fe) と S 分配比の関係を Fig. 6 に示す。スラグ量が減少した状態でも (T.Fe) が同じであれば脱硫能には差がないが、特に上底吹き転炉の場合 (T.Fe) が低減されるため、高い S 分配比が得られる。

#### 4.2.4 Fe バランス

転炉吹止め時の [C] と (T.Fe) の関係を Fig. 7 に示す。上底吹き転炉の場合、上吹き転炉と比較し、(T.Fe) のレベルは大幅に低下する。通常鉄と脱りん鉄の比較では、高炭素域では (T.Fe) のレベルに差はないが、低・中炭素域で (T.Fe) が上昇している。これは吹錬末期に発生する酸化鉄を希釈するスラグが少ないことによるもの<sup>8)</sup>と考えられる。

Table 3 に脱りん鉄を用いた場合と通常鉄を用いた場

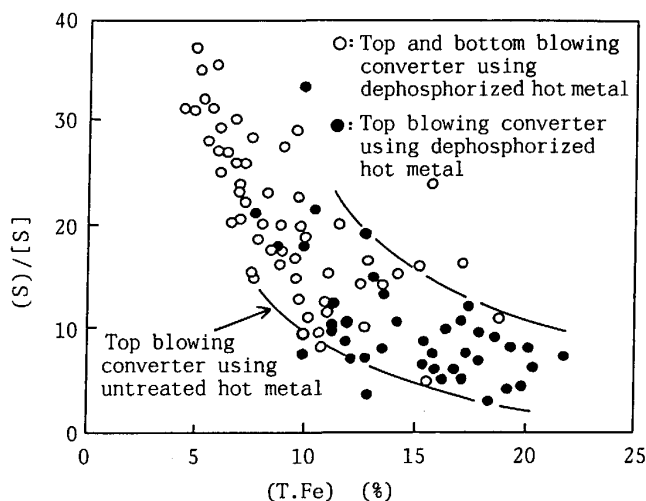


Fig. 6. Relation between (T.Fe) and (S)/[S].

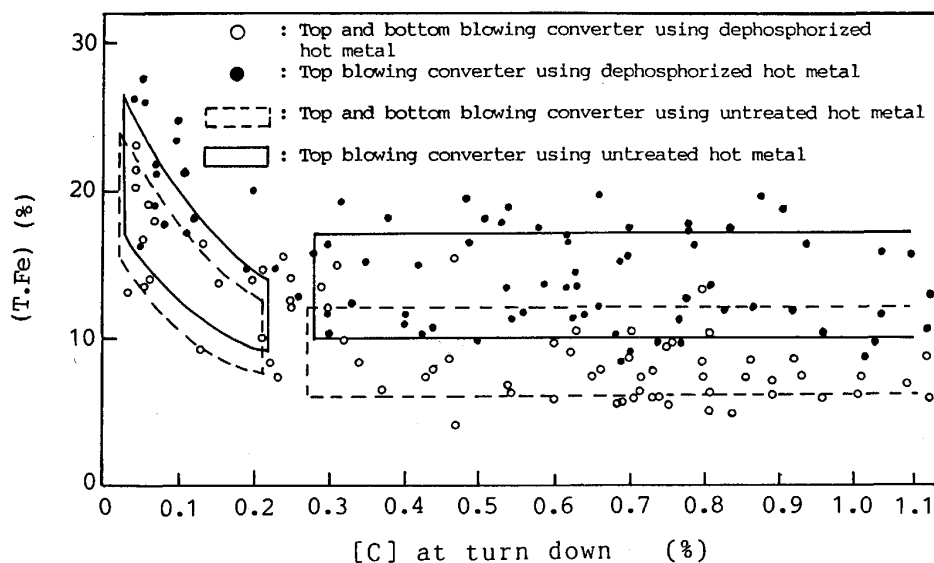
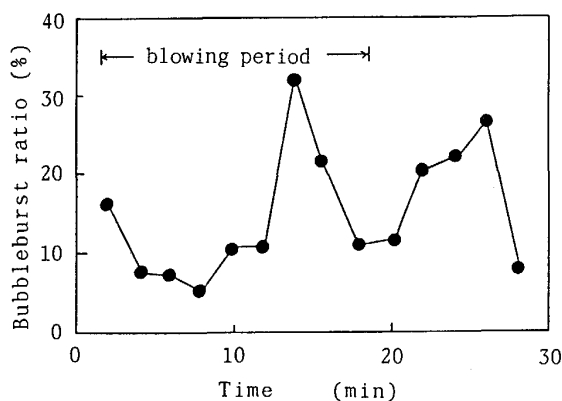


Fig. 7. Relation between [C] and (T.Fe).

Table 3. Comparison of Fe loss in converter (High carbon steel).

Item	Dephosphorized hot metal (kg/t)	Untreated hot metal (kg/t)
Slag	3	18
Slopping	4	8
Dust	12	7
Total sum	19	33

Fig. 8. Change in bubbleburst ratio with time<sup>10)</sup>.

合の、上底吹き転炉における Fe バランスの比較を示す。粒鉄も含めたスラグ中鉄分はスラグ量の減少効果により 15 kg/t の減少がみられた。またスロッピングの減少によっても Fe バランスは 4 kg/t 改善される。しかし脱りん銑の吹錬時には鋼浴を覆うスラグが少ないため OG ダスト中への鉄ロスが増加する。ダストロスの増加分は 5 kg/t である。以上の増減により転炉の系外に逃げる Fe 量は 14 kg/t 削減される。

唯一増加する OG ダストの削減を目的として OG ダストの発生挙動の調査及び OG ダストの低減テストをおこなってきた<sup>9)10)</sup>。その結果以下のことが判明した。

(1) Mo トレーサーによる調査の結果、OG ダストの主体は火点から発生する鉄ヒュームダストであると考えられた (Fig. 8 参照)。

(2) 上吹き転炉では上底吹き転炉と比較しダストの発生速度が 2 割程度大きい。

(3) 上吹き転炉では、バブルバースト起因のダストが認められ、上底吹き転炉に比べダスト発生量が多い原因のひとつとなっている。

Fig. 9 に上底吹き転炉における、上吹き酸素による火点面積とダスト発生速度の関係を示す。火点面積を縮小することによりダスト発生速度の低減が可能である。現在 1 製鋼工場では、比較的角度の小さい 6°×3 孔の上吹きランスを使用することにより、OG ダストの発生を抑制している。

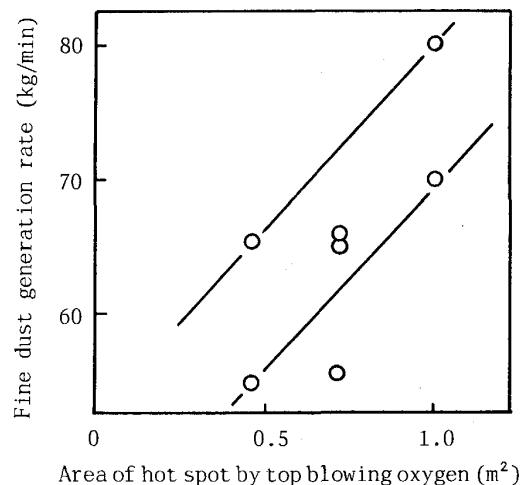


Fig. 9. Relation between area of hot spot and fine dust generation rate.

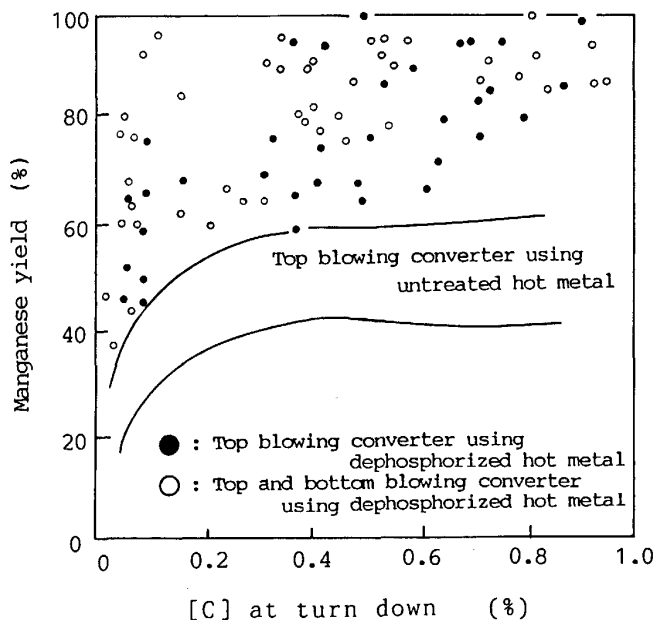


Fig. 10. Relation between [C] and manganese yield.

#### 4.2.5 Mn および Cr バランス

Fig. 10 に吹止め [C] と Mn 歩留りの関係を示す。[C]  $\geq$  0.20 % において、Mn 歩留りは、通常銑使用の場合の 50 % に対して、脱りん銑使用の場合、上吹き転炉で 70~80 %、また上底吹き転炉で 90 % と大幅な向上が見られた。

吹止めでの Mn 分配比 ((MnO)/[Mn]) を、(T.Fe) 及び温度で整理した。対象は中炭素鋼である。脱りん銑を用いた上底吹き転炉の場合は (5) 式、上吹き転炉の場合は (6) 式、また比較のため通常銑を用いた上吹き転炉

の場合には(7)式が得られた。

$$\begin{aligned} (\text{MnO})/[\text{Mn}] &= 1.408 \cdot (\text{T.Fe}) + 27.77 \times 10^4 / T \\ &- 141.45 \quad r = 0.8365 \quad \sigma_e = 3.1950 \\ &\dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{MnO})/[\text{Mn}] &= 1.315 \cdot (\text{T.Fe}) + 17.51 \times 10^4 / T \\ &- 89.75 \quad r = 0.8823 \quad \sigma_e = 3.8694 \\ &\dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{MnO})/[\text{Mn}] &= 1.438 \cdot (\text{T.Fe}) + 22.42 \times 10^4 / T \\ &- 114.07 \quad r = 0.7670 \quad \sigma_e = 4.4528 \\ &\dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

ここで  $T$ : 温度 (K),  $r$ : 重相関係数,  $\sigma_e$ : 回帰式による計算値と実績値の差の標準偏差。

また、温度を平均値である 1680°C とした場合の (T.Fe) と Mn 分配比の関係を図 11 に示す。Mn 分配比は、脱りん銑使用の有無、底吹きの有無にかかわらず、(T.Fe) が同じであれば同値であり、特性としては差が

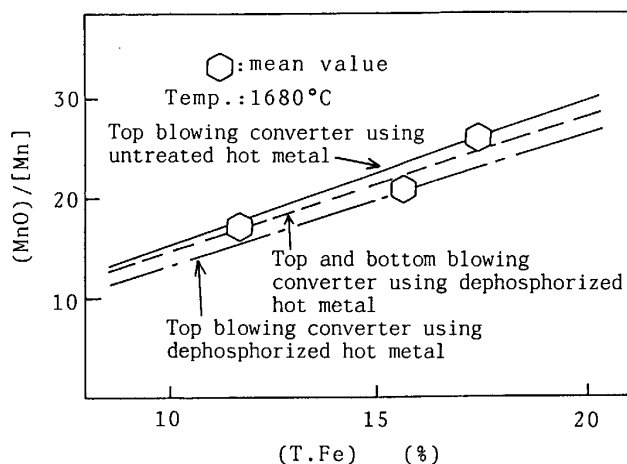


Fig. 11. Relation between (T.Fe) and (MnO)/[Mn].

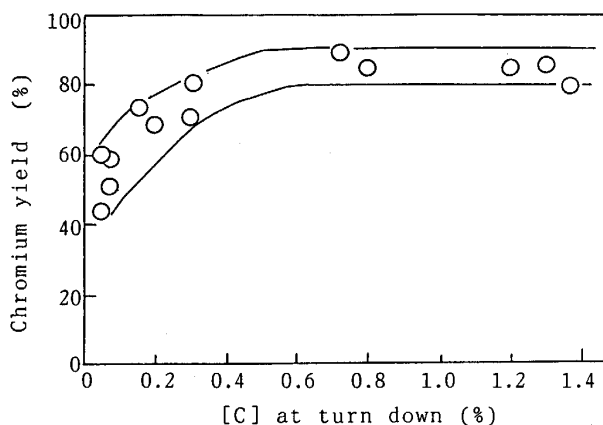


Fig. 12. Relation between [C] and chromium yield.

ないと考えられる。つまり Fig. 10 に示した Mn 歩留りの向上は、(T.Fe) の差異およびスラグ量の差異で説明しうる。なお Fig. 7 で脱りん銑使用の場合、低・中炭素域で (T.Fe) が上昇することを示したが、Fig. 11 では (T.Fe) の平均値が逆転している。これは、通常銑使用の場合、転炉内での脱りん促進のため [C] が吹下げぎみになっていたのに対し、脱りん銑使用の場合、吹止め [C] を上昇することができたためである。

この特性を活かし、転炉内で安価な Mn 鉱石や Cr 鉱石を使用することにより、合金鉄の削減や、吹止め温度の低減が可能となる。一例として、Cr 純分 5~8 kg/t の Cr 鉱石を転炉内で使用した場合の吹止め [C] と Cr 歩留りの関係を Fig. 12 に示す。また、Cr 分配比を (T.Fe)、温度およびスラグ塩基度で整理し(8)式を得た。

$$\begin{aligned} (\text{Cr})/[\text{Cr}] &= 0.761 \cdot (\text{T.Fe}) + 8.286 \times 10^4 / T \\ &- 1.615 \cdot (\text{CaO})/(\text{SiO}_2) - 40.28 \\ &r = 0.8901 \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

ここで  $T$ : 温度 (K),  $r$ : 重相関係数。

吹止め Cr の上昇には、(T.Fe) の低減およびスラグ塩基度の増大が有効であり、(T.Fe) の低い高炭素域で 80~90% の高い Cr 歩留りが得られた。

4.2.6 熱バランス

高炭素吹止め材を例にとり、脱りん銑吹錬時の熱バランスを通常銑吹錬時の熱バランスと比較し Fig. 13 に示す。溶銑顕熱・潜熱の低下は、スラグ量の低減で一部補われているが、トータルでは脱りん銑使用の場合、溶銑率に換算して 7~8% 不利となっている。この熱不足は、溶銑率の上昇や昇熱用 C 源の添加により補うことができる。C 源による昇熱量は約 5°C/C-kg/steel t である。

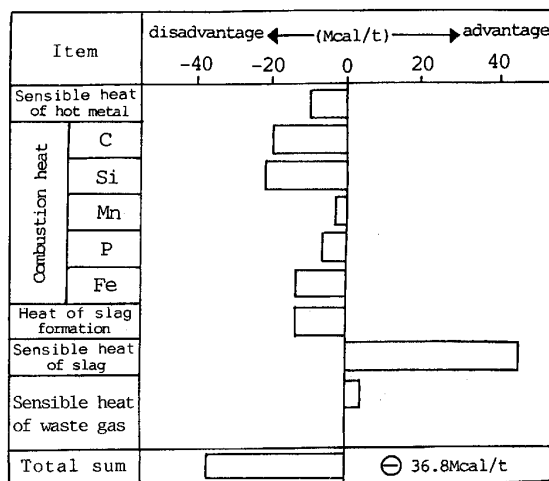


Fig. 13. Heat balance in converter using dephosphorized hot metal compared with untreated hot metal.

今後溶銑予備処理比率の拡大を考える場合、鉄源の有効利用という観点からも、この熱不足に対する対応が重要となってこよう。

4.2.7 炉体耐火物

Fig. 14 に操業データから求めた炉体 MgO 溶出量を操業条件別に示す。脱りん銑使用により炉体 MgO 溶出量は半減できている。また脱りん銑使用時にはスラグ量が少ないためドロマイトの添加が有効であることがわかる。現在軽焼ドロマイト 4~6 kg/t の定常使用を実施し、転炉炉体保護に努めている。

4.3 脱りん銑の連続使用による転炉操業の改善<sup>11)</sup>

溶銑予備処理設備稼動当初は、脱りん銑をメリットのある VAD 工程省略材や中・高炭素高 Mn 鋼にのみ適用していた。このような操業では、脱りん銑を使用するチャージと通常銑を使用するチャージが混在しており、Fig. 6 に示したように、脱りん銑使用時、通常銑を使用した時の炉体付着スラグの影響が出る。また VAD 工程省略材やユーザーニーズから低りん鋼が増加し脱りん銑使用比率が増加してきたこともあり、昭和 61 年 8 月より脱りん銑使用比率をさらに拡大し、転炉において脱りん銑の使用を連続化させた操業を開始した。この操業は、低炭素・低 Mn 鋼に対し新たに脱りん銑を適用することになり、この鋼種単独でみればデメリットとなるものの、従来から脱りん銑を適用している鋼種について、更にメリットを引き出し、総合的なコストダウンを図ることをねらいとしている。

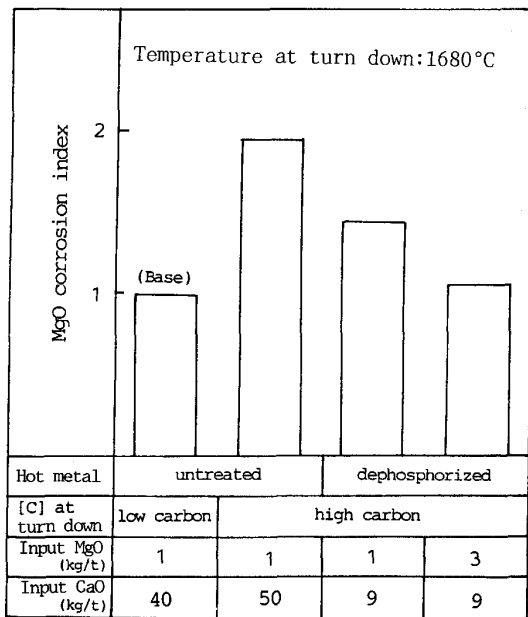


Fig. 14. Corrosion rate calculated by MgO balance.

転炉工程による高炭素吹止め材における本操業の効果を Table 4 に示す。転炉における脱りん負荷が軽減したため、造さい材使用量が削減できるとともにスラグ塩基度を下げることができた。吹止め [C] ≥ 0.30 % におけるスラグ塩基度と (T.Fe) の関係を Fig. 15 に示す。スラグ塩基度の低下は (T.Fe) の低減に有効である。この結果、転炉内における Mn 及び Cr の歩留りも向上した。

Table 4. Effects of continuous use of dephosphorized hot metal (High carbon steel).

Item	Developed operation	Conventional operation
Slag (CaO)/(SiO <sub>2</sub> ) (T.Fe)(%)	3.0	3.8
CaO consumption (kg/t)	8.0	11.0
Manganese yield (kg/t)	13.0	20.0
	90	80

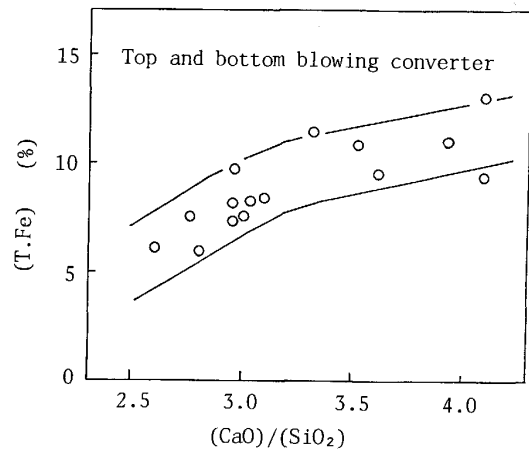


Fig. 15. Relation between (CaO) / (SiO<sub>2</sub>) and (T.Fe) in case of [C] at turn down ≥ 0.30%.

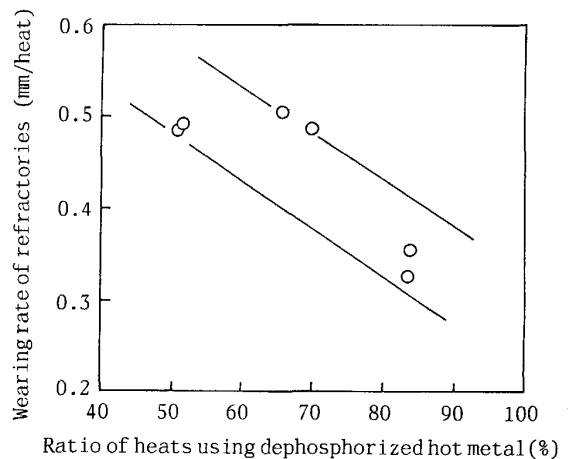


Fig. 16. Influence of ratio of heats using dephosphorized hot metal on wearing rate of refractories.

また本操業は炉体耐火物溶損速度低減にも有効である。転炉炉代ごとの脱りん銑使用比率と炉腹部トラニオンサイド耐火物の溶損速度の関係を Fig. 16 に示す。脱りん銑使用比率の増加とともに耐火物の溶損速度は大幅に低下しており、炉体耐火物コスト低減に大きく寄与している。

## 5. 結 言

昭和 59 年 4 月に稼動を開始した溶銑予備処理設備は、日新製鋼の特殊鋼製造プロセス合理化の一翼を担い順調な操業を行っている。これまでに、脱りん銑を使用した転炉吹錬の冶金特性を把握するとともに、その特徴を最大限に活用するための種々の技術確立を行ってきた。その内容は以下のとおりである。

1) 脱りん銑の使用により吹錬末期の脱炭酸素効率が大幅に向上するとともに転炉における鉄歩留りが向上する。

2) OG ダストの主体は鉄ヒュームダストであり、上吹き酸素による火点面積を縮小することにより OG ダストの低減が可能である。

3) 脱りん銑の使用により転炉内における Mn および Cr 歩留りが向上するとともに、耐火物寿命も向上する。

4) 脱りん銑の連続使用により転炉内のスラグ塩基度の低減が可能になり、特殊鋼の精錬コストが大幅に削減された。

今後は個々の技術レベルを更に高めつつ、二次精錬を含めた銑鋼一貫でのトータルプロセスの最適化に努めていきたい。

## 文 献

- 1) 安井 潔, 高橋 浩, 星 記男, 宮川保重: 鉄と鋼, **71** (1985), S949
- 2) 加藤周一, 安井 潔, 高橋 浩, 星 記男, 宮川保重: 鉄と鋼, **72** (1986), S999
- 3) 清水三郎, 宮島正和, 尾内武男, 星隈 豊, 門田兆彦, 椎木正信: 鉄と鋼, **70** (1984), S854
- 4) 加藤嘉英, 高橋幸雄, 桜谷敏和, 藤井徹也, 大宮 茂: 鉄と鋼, **76** (1990), p. 560
- 5) 河井良彦, 川上公成: 鉄と鋼, **67** (1981), S871
- 6) 木村雅保, 松井秀雄, 伊東修三, 斎藤 忠, 副島利行, 喜多村実: 鉄と鋼, **69** (1983), p. 1893
- 7) 滝 千尋, 畑中聡男, 川嶋一斗士, 福味純一, 政岡俊雄, 内堀秀男: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 1245
- 8) 近藤 寛, 馬田 一, 山田博右, 浜上和久, 大谷尚史: 鉄と鋼, **71** (1985), S985
- 9) 平賀由多可, 安井 潔, 高橋 浩, 竹岡正夫, 塩谷樫夫: 鉄と鋼, **73** (1987), S223
- 10) 平賀由多可, 安井 潔, 中村 一, 竹岡正夫, 山上哲也: 鉄と鋼, **73** (1987), S1015
- 11) 加藤周一, 中村 一, 俵 正憲, 山上哲也: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 246