
最近の溶銑予備処理操業とその吹錬技術の進歩

Improvement in Pre-Treatment Operation of Hot Metal and Its Refining Technique in Converter

水藤 政人(Masahito Suitoh) 大宮 茂(Shigeru Ohmiya) 日和佐 章一(Shoichi Hiwasa) 北川 伸和(Nobukazu Kitagawa) 上田 新(Arata Ueda) 武 英雄(Hideo Take)

要旨：

水島製鉄所の溶銑予備処理設備は、昭和 60 年 3 月末に稼働し、現在、溶銑脱磷処理量で 22 万 t/月を達成している。この間、次のような技術開発を行った。(1) 脱磷処理を脱磷期と脱硫期に二分化し、脱磷剤コストの低減と極低 P、S 銑の安定供給を可能とした。(2) 脱磷処理時に発生する CO ガスを混銑車内で燃焼させて温度補償を行うポストコンパクション法を開発した。(3) ディーゼルおよび混銑車の運行管理システムを構築することにより混銑車回転率 3.0 回/日を達成した。(4) 転炉における吹上 P,Mn 推定技術の確率により、高い Mn 回収率とほぼ 100%の Quick direct tapping (QDT)を達成した。以上より、脱磷銑の転炉吹錬は、トータルコストの低減および高純度鋼の大量安定溶製に大きく寄与している。

Synopsis：

The pre-treatment center of hot metal in Mizushima Works started operation at the end of March, 1985 and has now attained a 220 000-t monthly hot metal dephosphorization treatment. In association with this installation, the following techniques have been developed. (1) Dephosphorization treatment was divided into two stages, namely, dephosphorization and desulfurization, thereby reducing the cost of dephosphorizing flux and permitting a steady supply of hot metal with extremely low P and S contents. (2) Post-combustion method was developed so that CO gas produced during dephosphorizing process can be burned in torpedo cars for temperature compensation. (3) Operation control systems of Diesel and torpedo cars were established, thereby attaining a 3-times-a-day circulation rate of torpedo cars. (4) By establishing techniques for predicting P and Mn contents at the blow end in converter, a high Mn yield and a nearly 100% QDT (quick direct tapping) rate were achieved. Supply of dephosphorized hot metal to converter and application of the above new techniques combined have greatly contributed to reducing the total cost as well as to stable, mass production of high-purity steel.

本文は次のページから閲覧できます。

Improvement in Pre-Treatment Operation of Hot Metal and Its Refining Technique in Converter



水藤 政人
Masahito Suitoh
水島製鉄所 製鋼部製
鋼技術室 主査(掛長)



大宮 茂
Shigeru Ohmiya
水島製鉄所 製鋼部製
鋼技術室 主査(課長
補)



日和佐 章一
Shoichi Hiwasa
水島製鉄所 製鋼部製
鋼技術室 主査(掛長)



北川 仲和
Nobukazu Kitagawa
水島製鉄所 製鋼部製
鋼技術室



上田 新
Arata Ueda
水島製鉄所 製鋼部第
二製鋼課 主任部員(課
長補)



武 英雄
Hideo Take
水島製鉄所 製鋼部第
一製鋼課 課長

1 緒 言

水島製鉄所においては、上底吹き転炉の強撈拌力を最大限に活用して精錬コストを低減させる方法として、精錬機能の分化を考慮し、溶銑予備処理銑の供給が必須であることを確認した¹⁻³⁾。

このニーズに対応すべく、高炉鋳床における脱珪、混銑車内での脱磷を主とした溶銑予備処理設備の建設に着手し、昭和60年3月に稼動を開始した。現在では、高炉鋳床脱珪銑のほぼ全量を脱磷処理し、その月間処理量は22万tを超えている。

前報¹⁾でこれら溶銑予備処理設備の概要と初期の操業状況について報告したので、本論文はその後開発した技術、特に最適フラックス吹込み技術、熱補償技術および混銑車運行技術についてまとめた。

要旨

水島製鉄所の溶銑予備処理設備は、昭和60年3月末に稼働し、現在、溶銑脱磷処理量で22万t/月を達成している。この間、次のような技術開発を行った。(1)脱磷処理を脱磷期と脱硫期に二分化し、脱磷剤コストの低減と極低P, S銑の安定供給を可能とした。(2)脱磷処理時に発生するCOガスを混銑車内で燃焼させて温度補償を行うポストコンバッション法を開発した。(3)ディーゼルおよび混銑車の運行管理システムを構築することにより混銑車回転率3.0回/日を達成した。(4)転炉における吹止P, Mn推定技術の確立により、高いMn回収率とほぼ100%のQuick direct tapping (QDT)を達成した。

以上より、脱磷銑の転炉吹錬は、トータルコストの低減および高純度鋼の大量安定溶製に大きく寄与している。

Synopsis:

The pre-treatment center of hot metal in Mizushima Works started operation at the end of March, 1985 and has now attained a 220 000-t monthly hot metal dephosphorization treatment. In association with this installation, the following techniques have been developed.

- (1) Dephosphorization treatment was divided into two stages, namely, dephosphorization and desulfurization, thereby reducing the cost of dephosphorizing flux and permitting a steady supply of hot metal with extremely low P and S contents.
- (2) Post-combustion method was developed so that CO gas produced during dephosphorizing process can be burned in torpedo cars for temperature compensation.
- (3) Operation control systems of Diesel and torpedo cars were established, thereby attaining a 3-times-a-day circulation rate of torpedo cars.
- (4) By establishing techniques for predicting P and Mn contents at the blow end in converter, a high Mn yield and a nearly 100% QDT (quick direct tapping) rate were achieved.

Supply of dephosphorized hot metal to converter and application of the above new techniques combined have greatly contributed to reducing the total cost as well as to stable, mass production of high-purity steel.

2 溶銑予備処理操業

2.1 脱磷、脱硫効率の向上

2.1.1 脱磷、脱硫に関する基礎的検討

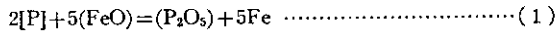
溶銑予備処理は、同時脱磷・脱硫処理が一般的である。一方、脱磷および脱硫反応は、それぞれ酸化および還元反応であり、相反し

* 昭和62年8月17日原稿受付

た反応である。そこで、反応効率を向上させるためには、それぞれ最適条件で反応を行う必要があり、脱磷反応と脱硫反応を分化させることが有効であると考えられる。

(1) 脱磷反応の検討

溶銑中の脱磷反応式と平衡式を佐々木ら⁴⁾の結果より(1)式および(2)式とする。



$$\log \left(\frac{a_{\text{P}_2\text{O}_5}}{a_{\text{FeO}}^5} \right) = \frac{5250}{T} - 19.4 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

a_i : i 成分の活量

T : 絶対温度 (K)

次に、活量係数の計算式には、Turkdogan⁵⁾、山田ら⁶⁾の溶鋼領域における結果を適用する。

$$\log \gamma_{\text{P}_2\text{O}_5} = -1.12(22N_{\text{CaO}} + 15N_{\text{MgO}} + 13N_{\text{MnO}} + 12N_{\text{FeO}} - 2N_{\text{SiO}_2}) - 42000/T + 23.58 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\gamma_{\text{FeO}} = (0.277 \times \text{CaO}/\text{SiO}_2 + 0.183) N_{\text{FeO}}^{(0.37 \times \text{CaO}/\text{SiO}_2 - 1.368)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

N_i : i 成分のモル分率

(1)～(4)式および操作データを基に、P分配の塩基度依存性を計算した結果をFig. 1に示す。塩基度2.0以下になると、急激にP分配が低下することがわかる。

また、物質バランスより、P分配と処理後P濃度との間に

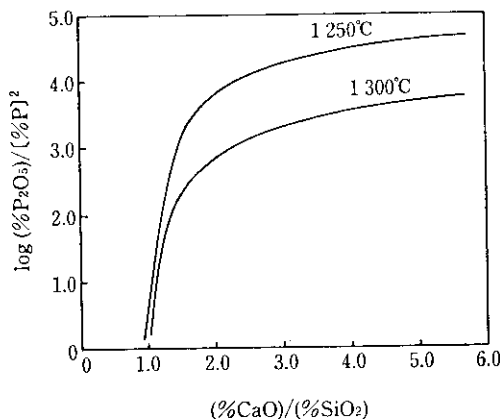


Fig. 1 Relationship between basicity and distribution ratio of P

(5) 式の関係が成り立つ。

$$\log \frac{(\% \text{P}_2\text{O}_5)}{[\text{P}_\text{F}]^2} = \frac{2290([\text{P}_0] - [\text{P}_\text{F}])}{\text{SV} \times [\text{P}_\text{F}]^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、

$[\text{P}_0]$: 処理前溶銑P濃度 (%)

$[\text{P}_\text{F}]$: 処理後溶銑P濃度 (%)

SV: スラグボリューム (kg/t)

(5)式を用いて計算した処理後P濃度に及ぼすP分配とスラグボリュームの影響をFig. 2に示す。スラグボリューム30 kg/t (銑床脱硅スラグ等の残留スラグを考慮)で目標 $[\text{P}_\text{F}] = 0.025\%$ の場合、Fig. 1および2より塩基度2～3を確保すればよいことがわかる。

(2) 脱硫剤の検討

塩基度3以下の場合、残留スラグから脱磷処理中に復硫が起る。このため、転炉装入S濃度を保証するため、処理順序とし

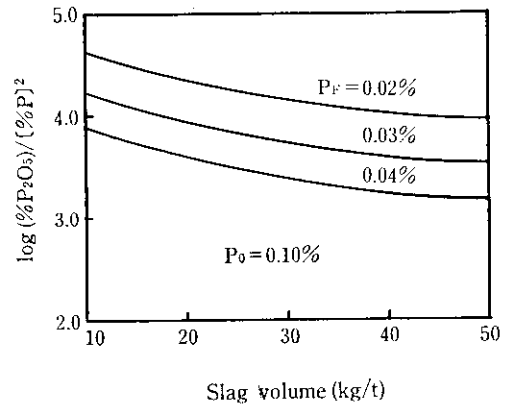
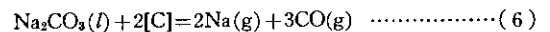


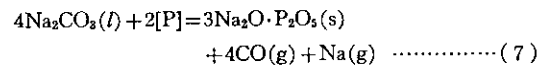
Fig. 2 Relationship between slag volume and distribution ratio of P

て脱磷処理後に脱硫処理を実施する必要がある。この場合、低温および低Si濃度で高効率の脱硫剤が必要となる。そこで、CaO系よりSとの親和力の高いソーダ灰の検討を行った。ソーダ灰の特徴を以下に示す。

(a) 低温であるため、(6)式⁷⁾による気化損失が少ない。



(b) 低Siおよび低P濃度であるため、(7)式⁸⁾および(8)式⁹⁾によるリーダ灰の消費量が少ない。



以上の点より、ソーダ灰が脱硫剤として有効であると判断し、実機試験を行った。

2.1.2 操業結果¹⁰⁾

前述した基礎検討を基に、脱磷期と脱硫期に二分割し、脱硫期のフラックスとしてソーダ灰単味を使用して処理を行った。また、脱磷期初期の低塩基度スラグ生成によるスロッピングの発生を防止するため、酸化剤である焼結ダストと生石灰との配合比を時系列的に変化させた。このフラックス吹込みパターンを従来の同時脱磷・脱硫法と比較してFig. 3に示す。

脱硅外酸素原単位と脱磷量との関係に及ぼすスラグ塩基度の影響をFig. 4に示す。脱磷処理量は、塩基度2.0以上を確保すれば、脱硅外酸素原単位で制御できることがわかる。すなわち、脱磷に必要な最小の塩基度は2.0であり、それ以上の塩基度にしても脱磷効率は向上しないことが判明した。

処理前と処理後のS濃度を平均した平均S濃度と脱硫反応効率との関係をFig. 5に示す。前項で予想したように、脱磷後の脱硫剤としてソーダ灰を使用した場合の方が石灰系脱硫剤を使用した場合および脱磷前にソーダ灰を使用した場合より高い反応効率を得られることが判明した。

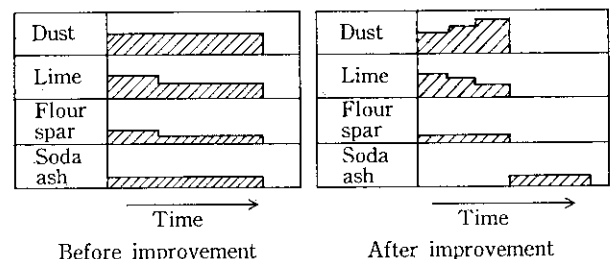


Fig. 3 Comparison of flux injection patterns

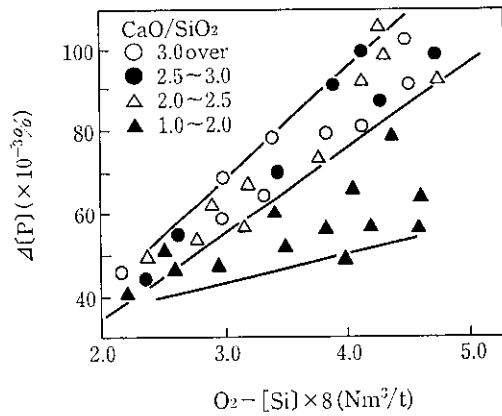


Fig. 4 Relationship between oxygen consumption except the amount of desiliconization and $\Delta[P]$

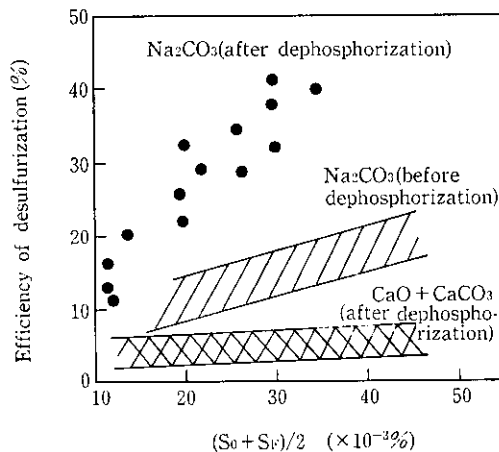


Fig. 5 Relationship between average concentration of sulfur and efficiency of desulfurization

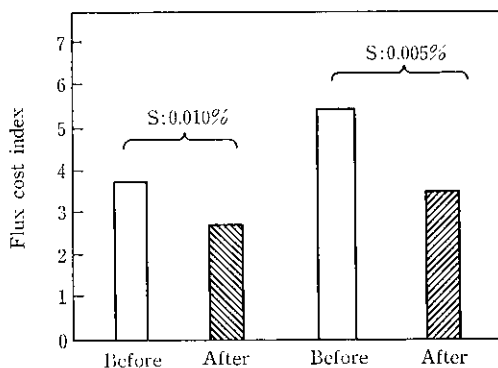


Fig. 6 Comparison of flux cost between before and after improvement

以上より、脱磷処理を脱磷期と脱硫期に二分割し、脱硫剤としてソーダ灰を使用することによって、従来の塩基度 4.0 以上を確保して行っていた石灰系の同時脱磷・脱硫法より、大幅に生石灰原単位を削減できた。

フラックスコストの比較を Fig. 6 に示す。目標 S 0.010% の場合、前述の同時脱磷・脱硫法と比較して 75% に、目標 S 0.005% の場合、65% にフラックスコストを低減できた。また、フラックス原単位の減少により、以下に示す副次的効果が得られた。

(1) 処理中温度降下の減少 (約 20°C)

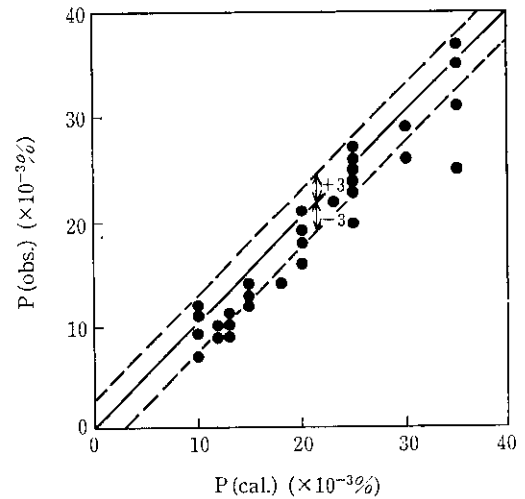


Fig. 7 Relationship between $P(\text{cal.})$ and $P(\text{obs.})$ after dephosphorization treatment

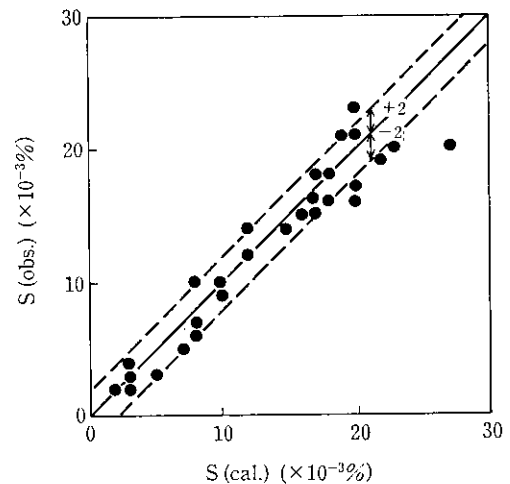


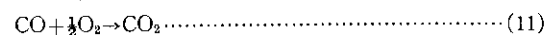
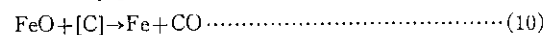
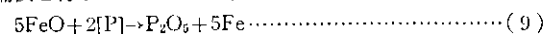
Fig. 8 Relationship between $S(\text{cal.})$ and $S(\text{obs.})$ after dephosphorization treatment

(2) 混銑車汚染の減少

さらに、0.005~0.030% P, 0.002~0.020% S の範囲での成分目標に的中可能となり、Fig. 7 および 8 に示すようにそれぞれ $P = \pm 0.003\%$, $S = \pm 0.002\%$ の範囲で 90% 以上の的中率を達成した。

2.2 酸素上吹き法による熱補償技術の開発¹⁰⁾

溶銑温度補償の目的で混銑車内へ気体酸素を吹込む技術^{11,12)}は一般化した。溶銑中 C の低下をきたし、転炉での熱源不足の原因となる。一般に脱磷反応は、(9) 式で起るが、同時に (10) 式による反応により CO ガスが発生する。そこで当所では、この時に発生する CO ガスに着目し混銑車内で (11) 式により強制的に燃焼させて温度補償を行うポストコンパクション法を開発した。



混銑車内気体酸素上吹き設備の概略を Fig. 9 に、主仕様を Table 1 に示す。脱磷処理時の溶銑脱磷量に及ぼす、気体酸素上吹きの影響を Fig. 10 に示す。この図で脱炭量の増加が認められないことより、当初予想していたように上吹き酸素は C の酸化に使用されず、

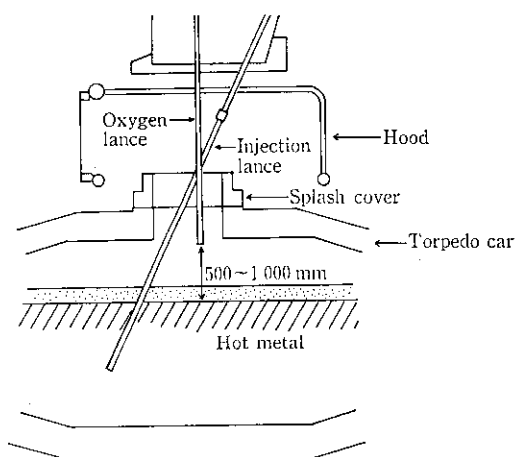
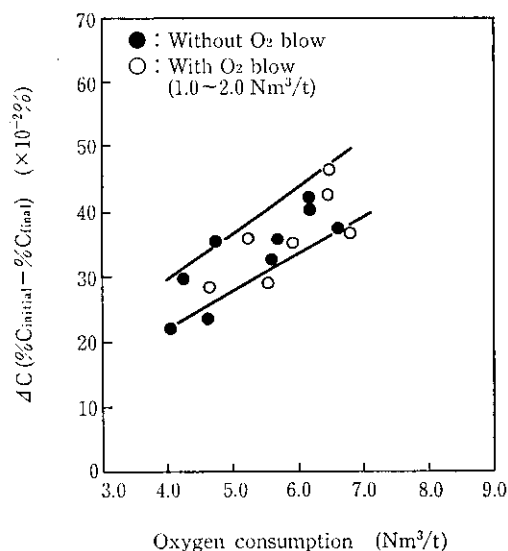


Fig. 9 Schematic view of oxygen blowing lance in torpedo car

Table 1 Specifications of O₂ blowing equipment

Item	Specification
Capacity of O ₂ blowing	0~25 Nm ³ /min
Type of lance	Straight lance with refractory coating
Inner diameter of lance	40 mm
Blowing position	500~1 000 mm below hot metal surface

Fig. 10 Influence of oxygen top blowing on ΔC

100% 混銑車内の CO ガスの燃焼に使用されていることが分かる。

また上吹き酸素量と温度補償量との関係を Fig. 11 に示す。1.8 Nm³/t の酸素吹込み量で約 60% の着熱効率に相当する 20°C の昇温効果が認められる。現在は、溶銑温度に応じて上吹き酸素原単位を制御しながら溶銑温度補償を実施している。

2.3 混銑車運行管理システム構築による溶銑温度の上昇¹³⁾

混銑車回転率を向上させ溶銑温度を上昇させるため、当所では下記のような技術を開発してきた。その内容を以下に示す。

(1) 混銑車に自動ブレーキを設置し、高炉鉄床下で迅速な盈・空

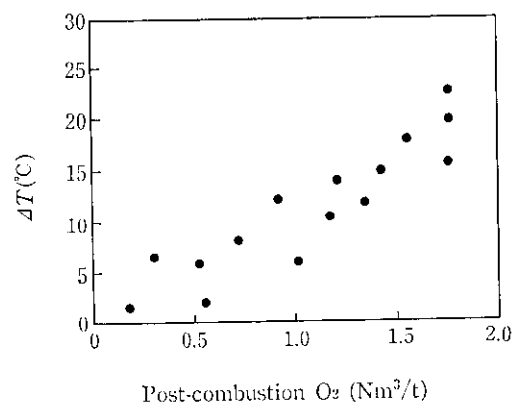
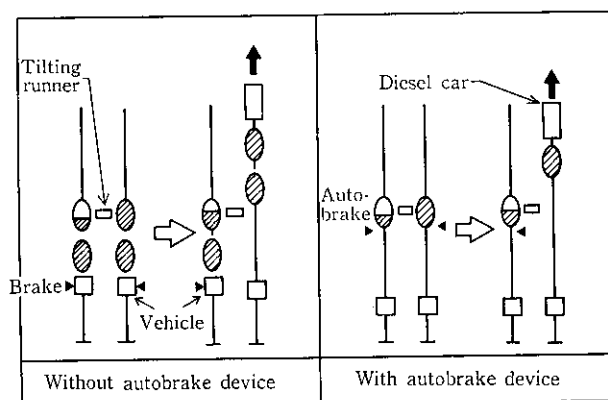
Fig. 11 Relationship between post-combustion O₂ and ΔT 

Fig. 12 Improvement of operation of torpedo cars on tapping

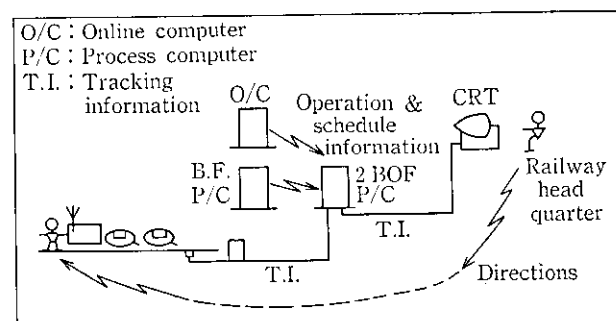


Fig. 13 Tracking information system supervising torpedo car movement

車の入替え作業を行うことにより滞留時間を減少させる。

(2) 高炉～製鋼間において混銑車およびディーゼーカーを車番読取装置、道路選択装置によりトラッキングし、CRT 監視のもとで製鋼出鋼命令に基づいて数時間後の混銑車運行を予測し、盈・空車の滞留時間を減少させる。

自動ブレーキ設置による混銑車配車方法の改善を Fig. 12 に、トラッキング表示による混銑車運行管理システムを Fig. 13 に示す。

自動ブレーキの設置と混銑車およびディーゼーカー運行の情報集中化により、複数高炉複数製鋼工場という複雑な構成にもかかわらず、公称 250 t の混銑車回転率を 2.1 回/日から 3.0 回/日に上昇でき、混銑車からの放熱が低減され、Fig. 14 に示すように溶銑予備処理センター (PTC) 到着時の溶銑温度を約 40°C 上昇させることができた。

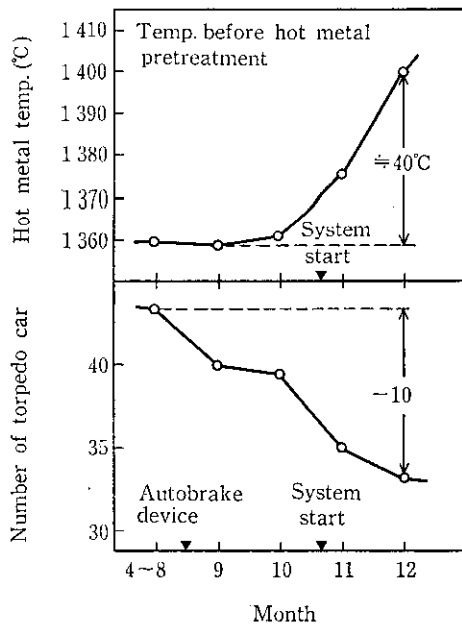


Fig. 14 Effect of hot metal supervising system on hot metal temperature and number of torpedo car

3 溶銑予備処理鉄の吹錬技術¹⁴⁾

K-BOP 転炉では、普通銑吹錬時における吹止成分推定技術を確立してきた。しかし予備処理鉄の増加に伴い、このシステムに不具合が生じてきた。そこで今回、従来の成分推定システムの問題点とその改善について述べる。

3.1 予備処理鉄吹錬時における従来システムの問題点

溶銑予備処理センターにおける月間処理量は22万tを超えているが、K-BOP 転炉での脱磷銑使用比率は約35%であり、チャージ間で転炉装入溶銑のPレベルが大きく変化する。そのため、以下に示す問題点が生じた。

- (1) 予備処理溶銑のPが低いため、吹錬中に炉内残留スラグ等から溶銑への侵入P（以下「不明インプットP」と称する）の影響が大きく、これを無視した従来のP推定式では大きな誤差を生じる。Fig. 15に実績のP収支から求めた不明インプットPと前チャージの吹止温度との関係を示す。図より不明インプットPが溶銑Pと同等の0.010~0.030%もあることが分かる。
- (2) 予備処理鉄吹錬時の転炉スラグのP濃度は普通銑吹錬時のそれと比較すると著しく低いため、この残留スラグは次チャージの普通銑の吹錬では脱P能を有するスラグとして働く。そのためこの影響を無視した従来の推定式では、吹止P濃度の推定値が実績値より高い傾向が見られる。

そこで、これらの欠点を考慮し、転炉への装入Pレベルが変化しても対応し得る吹止PおよびMnの推定式の確立が必要となった。

3.2 吹止P推定法の改善

3.1で述べた不明インプットPおよび予備処理鉄吹錬スラグの脱P能を以下の方法で推定した。

- (1) 不明インプットPは、前チャージの残留スラグ量とそのP濃度および混入溶銑スラグ量より決まる。そこでこの値を前チャージの吹止酸素濃度、吹止温度および溶銑P濃度などの前チャージの吹錬内容と当チャージの溶銑温度を因子として算出す

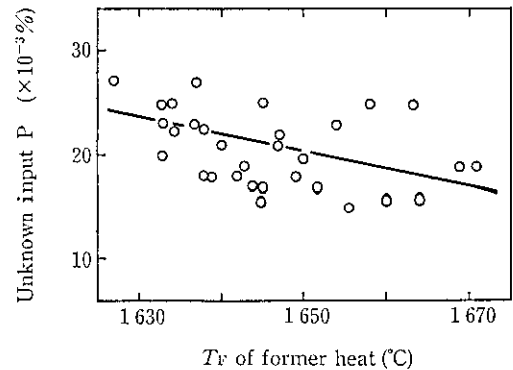


Fig. 15 Relationship between unknown input P and blow end temperature of former heat

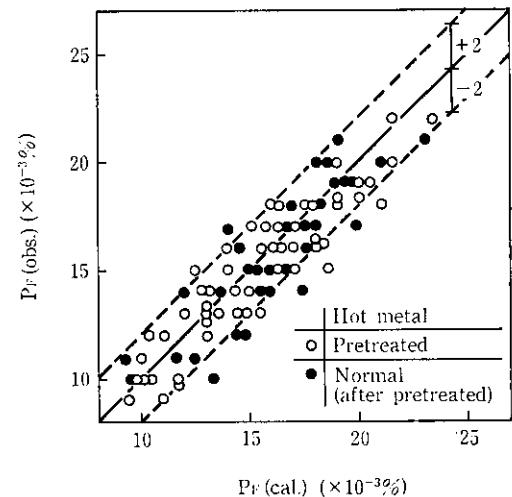


Fig. 16 Relationship between $P_F(\text{cal.})$ and $P_F(\text{obs.})$ on blowing with pre-treated hot metal

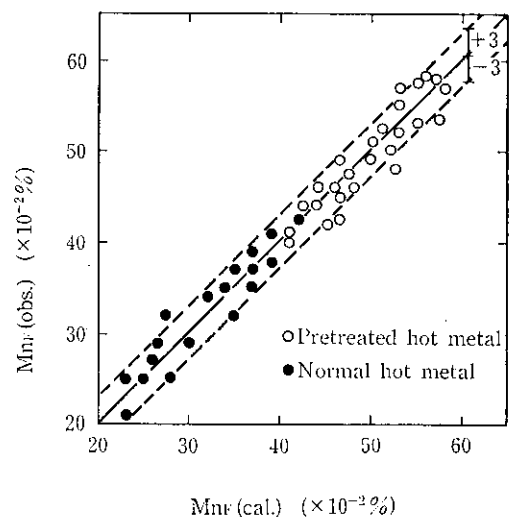


Fig. 17 Accuracy of prediction of blow end Mn content

る。この推定精度をFig. 16に示す。

- (2) 予備処理鉄吹錬後の残留スラグの脱P能は、前チャージの吹止酸素濃度と吹止温度および溶銑P濃度差を因子として推定する。

上述の残留スラグ等からのP収支を評価するシステムを、従来の吹止成分推定システムに追加することにより、予備処理鉄吹錬にお

ける吹止 P 濃度の推定精度を $\pm 0.002\%$ の範囲内に収めることができた (Fig. 17)。また吹止 Mn 濃度の推定についても、同様の考察を行うことにより、その推定精度を $\pm 0.03\%$ の範囲内に収めることが可能となった。

このように、予備処理銑吹錬時の P 収支を正確に評価した結果、安定したスラグミニマム化が可能となり、Mn 回収率の向上を図ることができるとともに、出鋼前に倒炉してサンプリングを行わない Quick direct tapping (QDT) を 100% 達成することができた。

3.3 予備処理銑スラグの有効利用

前述したように、予備処理銑吹錬のスラグは脱 P 能を有している。

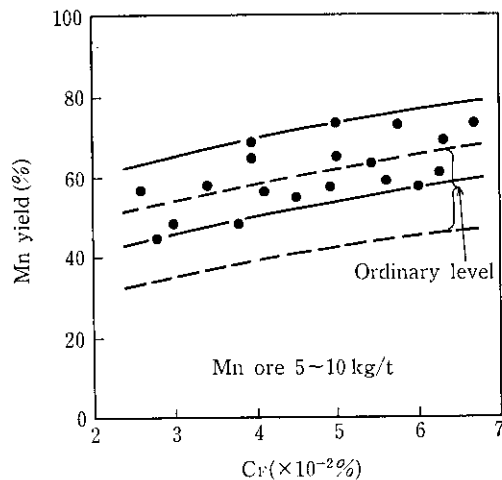


Fig. 18 Relationship between Mn yield and [C] at end point

また、MnO 濃度については、普通銑吹錬時のスラグのそれに比べ、約 1.5 倍と高い。そこで、予備処理銑吹錬スラグを炉内に残すことおよび冷間で回収し転炉へリサイクルすることにより、造滓剤原単位削減と吹止 Mn 濃度の向上を図った。Fig. 18 に、Mn 回収率と吹止 C 濃度の関係に及ぼす予備処理銑スラグの影響について示す。図より明らかなように、Mn 回収率を約 10% 向上させることができた。

4 結 言

水島製鉄所の溶銑予備処理は、昭和 60 年 3 月末に稼働し、現在、22 万 t/月の脱磷処理を実施している。本報告では、これまでに開発した種々の技術について述べた。その結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 脱磷処理を脱磷期と脱硫期に二分割し、脱硫剤としてソーダ灰を使用することにより、フラックスコストの低減と極低 P, S 銑の安定した供給が可能となった。
- (2) 脱磷処理時に発生する CO ガスを混銑車内で燃焼させて温度補償を行うポストコンパクション法を開発し、1.8 Nm³/t の酸素上吹き量で約 20°C の昇温効果が得られた。
- (3) 混銑車配車方法の改善とディーゼルおよび混銑車のトラッキング表示による運行管理システムを構築した。これにより、混銑車回転率を 3.0 回/日に上昇でき、溶銑温度を約 40°C 上昇させることができた。
- (4) 予備処理銑吹錬における吹止 P, Mn 推定技術の確立により、安定したスラグミニマム化が可能となり、60~80% の高 Mn 回収率およびほぼ 100% の Quick direct tapping (QDT) を達成することができた。

参 考 文 献

- 1) 水藤政人, 児玉正範, 武 英雄, 日和佐章一, 吉田正弘, 大岩美貴: 川崎製鉄技報, **18** (1986) 4, 40
- 2) 阿部幸弘, 山口一成, 野瀬正照, 榎 実生, 古川高司, 永田俊介: 鉄と鋼, **69** (1983) 12, S902
- 3) 竹村洋三, 吉田基樹, 調 和郎, 古崎 宣, 高橋正章: 鉄と鋼, **73** (1987) 4, S277
- 4) 佐々木清和, 中島啓之, 奥村治彦, 山田容三, 後藤裕規, 住田守弘, 辻野良二: 鉄と鋼, **69** (1983) 15, 1818
- 5) E. T. Turkdogan and J. Pearson: *JISI*, **176** (1954) 1, 59
- 6) 山田健三, 河井良彦, 三和高穂: 鉄と鋼, **65** (1979) 11, S674
- 7) 井上 亮, 水渡英昭: 鉄と鋼, **65** (1979) 13, 1838
- 8) A. Taskinen and D. Janke: *Stahl und Eisen*, **103** (1983) 10, 491
- 9) Domalski, Fabian, Nolle: *Stahl und Eisen*, **88** (1968) 17, 906
- 10) 水藤政人, 大宮 茂, 武 英雄, 日和佐章一, 岩永侑輔: 鉄と鋼, **73** (1987) 4, S273
- 11) 佐藤宣雄, 井下 力, 迫村良一, 鐘ヶ江繁光, 田島裕一郎, 井上英二: 鉄と鋼, **72** (1986) 4, S208
- 12) 副島利行, 松井秀雄, 木村 司, 遠藤 勝, 木村雅保, 竹添英幸: 鉄と鋼, **71** (1985) 12, S948
- 13) 三崎規生, 武 英雄, 平山勝久, 栗屋三男, 山根 明, 岩村忠昭: 鉄と鋼, **73** (1987) 4, S272
- 14) 岩永侑輔, 日和佐章一, 北川伸和, 大宮 茂, 武 英雄: 鉄と鋼, **73** (1987) 4, S219