
溶銑予備処理設備の建設と操業

Construction and Operation of Hot Metal Pretreatment Facilities at Mizushima Works

水藤 政人(Masahito Suitoh) 児玉 正範(Masanori Kodama) 武 英雄(Hideo Take)
日和佐 章一(Shoichi Hiwasa) 吉田 正弘(Masahiro Yoshida) 大岩 美貴(Yoshitaka
Ohiwa)

要旨：

水島製鉄所の溶銑予備処理設備は、高炉鑄床脱硅設備、脱硅、脱磷、脱硫を目的とした溶銑予備処理センター、および混銑車汚染防止のトピードクリーニングセンターから構成されており、昭和 60 年 3 月末に稼動した。鑄床脱硅設備は 2 基のディスペンサーを有し連続大量処理が可能なタイプとした。溶銑予備設備センターは吹込み配管内の合流部で 4 種類のフラックスを混合するポストミックス方式で、斜め吹きランスを採用している。トピードクリーニングセンターは熱間排滓時に残銑を熔融状態で取り扱う特徴を有している。現在、脱磷処理量で 100000 t/month を達成し、脱硅銑および脱磷銑の両者を転炉に供給することによってコスト削減に寄与している。

Synopsis：

Hot metal pretreatment facilities at Mizushima Works were started in March 1985. They consist of equipment for desiliconization in runner at No.4BF and desiliconization, dephosphorization and desulfurization in torpedo ladles. The facilities also include a torpedo ladle cleaning equipment for preventing torpedo ladles from turning pollutive. The hot metal pretreatment facilities have the following features: In the desiliconization equipment in runner, a two-dispenser method is adopted for mass treatment of desiliconization; in the Hot Metal Pretreatment Center, a post-mix method which mixes four different kinds of fluxes at a merging point in injection pipes, and a slanting injection lance is used; and in the torpedo ladle cleaning equipment, a remaining-hot-metal treatment method is used in molten iron condition during slag-off. Recently, the monthly amount of dephosphorized hot metal has exceeded 100000 t. A supply of desiliconized or dephosphorized hot metal to converters has been found highly advantageous in cost saving.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Construction and Operation of Hot Metal Pretreatment Facilities at Mizushima Works



水藤 政人
Masahito Suitoh
水島製鉄所 製鋼部製
鋼技術室



児玉 正範
Masanori Kodama
化学事業部 企画調整
部企画室 主査(部長
補)



武 英雄
Hideo Take
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 製鋼部第
2製鋼課 掛長



吉田 正弘
Masahiro Yoshida
水島製鉄所 設備部設
計室 主査(掛長)



大岩 美貴
Yoshitaka Ohiwa
水島製鉄所 電気計装
部電気計装技術室 主
査(掛長)

1 緒 言

水島製鉄所においては、高純度鋼の溶製のために転炉における2回吹錬法(D-Tap プロセス)を採用し、このニーズにいち早く応えてきた。しかし、圧延工場との同期化操業などの制約から、2回吹錬法では高純度鋼の量的拡大を図ることが次第に困難になってきた。一方、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、溶銑予備処理銑の供給が必須であることを確認し、精錬機能の分化の優位性を立証してきた。

これらのニーズに対応すべく、高炉銑床における脱硅、混銑車内での脱磷を軸とした一連の溶銑予備処理設備の建設に着手し、昭和60年3月から稼動を開始した。いずれの設備も稼動以降、順調な操業を続けている。現在では、高炉銑床脱硅、混銑車内溶銑脱磷の日間処理量はそれぞれ22万t、10万tを超えており、精錬機能分化による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。

要旨

水島製鉄所の溶銑予備処理設備は、高炉銑床脱硅設備、脱硅、脱磷、脱硫を目的とした溶銑予備処理センター、および混銑車汚染防止のトビードクリーニングセンターから構成されており、昭和60年3月末に稼動した。銑床脱硅設備は2基のディスペンサーを有し連続大量処理が可能なタイプとした。溶銑予備処理センターは吹込み配管内の合流部で4種類のフラックスを混合するポストミックス方式で、斜め吹きランスを採用している。トビードクリーニングセンターは熱間排滓時に残銑を溶融状態で取り扱う特徴を有している。

現在、脱磷処理量で100 000 t/month を達成し、脱硅銑および脱磷銑の両者を転炉に供給することによってコスト削減に寄与している。

Synopsis:

Hot metal pretreatment facilities at Mizushima Works were started in March 1985. They consist of equipment for desiliconization in runner at No. 4BF and desiliconization, dephosphorization and desulfurization in torpedo ladles. The facilities also include a torpedo ladle cleaning equipment for preventing torpedo ladles from turning pollutive. The hot metal pretreatment facilities have the following features: In the desiliconization equipment in runner, a two-dispenser method is adopted for mass treatment of desiliconization; in the Hot Metal Pretreatment Center, a post-mix method which mixes four different kinds of fluxes at a merging point in injection pipes, and a slanting injection lance is used; and in the torpedo ladle cleaning equipment, a remaining-hot-metal treatment method is used in molten iron condition during slag-off.

Recently, the monthly amount of dephosphorized hot metal has exceeded 100 000 t. A supply of desiliconized or dephosphorized hot metal to converters has been found highly advantageous in cost saving.

本論文は、これら溶銑予備処理設備の概要と操業状況についてまとめたものである。

2 溶銑予備処理設備の構成およびレイアウト

溶銑予備処理プロセスの概要を Fig. 1 に示す。高炉の傾注樋において打ち込み式脱硅処理を実施した溶銑は混銑車によって溶銑予備処理センター PTC (Pretreatment Center for hot metal) に搬送される。PTC では、まず脱硅スラグを機械式除滓機で排出し、脱磷および脱硫処理を実施する。PTC における溶銑予備処理は、銑床脱硅で十分に Si が低下しなかった溶銑、あるいは銑床脱硅設備が未設置の高炉から供給される溶銑にも対応できるように、脱硅処

* 昭和61年7月29日原稿受付

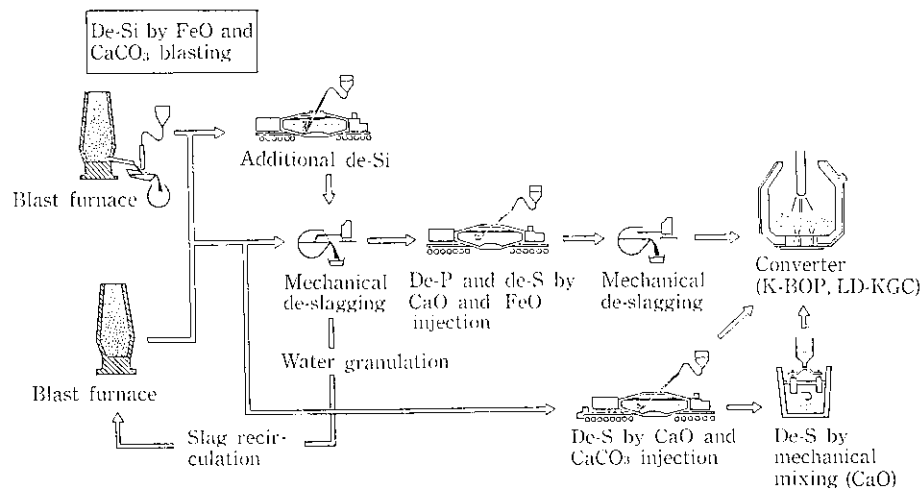


Fig. 1 Hot metal pretreatment process at Mizushima Works

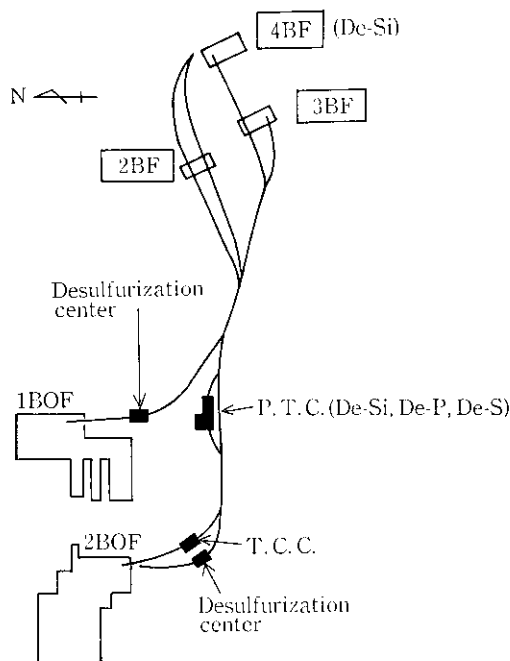


Fig. 2 Layout of hot metal pretreatment process at Mizushima Works

理も可能な仕様となっている。すなわち、脱磷コストの低減を目的とした調整脱硅処理および脱磷能の大きな2製鋼 K-BOP へ低 Si 銑を供給する単独脱硅処理が可能である。脱磷処理後再度除滓を実施し、予備処理銑は転炉工場に供給される。

PTC における除滓後のスラグ処理法として、脱硅スラグは水砕設備によって水砕後焼結工場へリサイクルし、脱磷スラグは冷却後鉄源回収を行って投棄処理する方法を採用し、スラグの有効活用が可能な設備とした。

溶銑予備処理設備のレイアウトを Fig. 2 に示す。铸床脱硅設備は主力高炉である第4高炉に設置し、PTC は高炉と第2製鋼工場との間に設置した。

第2製鋼工場からの混銑車の掃り線上に設置された混銑車熱間排滓設備 TCC (Torpedo-car Cleaning Center) は溶銑予備処理にともなって混銑車内へのスラグの蓄積が増加し、混銑車内溶銑充填量が低下することを懸念して設置した設備であり、オンラインで混銑車の清掃を可能とした。TCC における混銑車内残留スラグの完全排

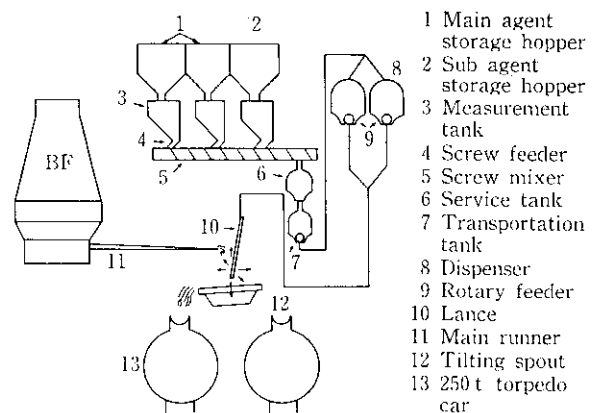
Fig. 3 Outline of desilicization equipment¹⁾

Table 1 Specifications of desilicization equipments

Item	Specification
Main agent	Sinter dust
Sub agent	CaCO ₃
Flux size	<1 mm
Capacity of hopper	30 m ³ × 1, 40 m ³ × 2
Max. injection rate	365 kg/min

出処理は受銑回数 2~3 回に一度の頻度で実施している。

3 溶銑予備処理設備の仕様と特徴

3.1 高炉铸床脱硅設備¹⁾

高炉铸床脱硅設備の概略図を Fig. 3 に、主仕様を Table 1 に示す。本設備の特徴は以下のとおりである。

(1) 脱硅剤の添加方式には反応効率の高い打ち込み方式を採用した。さらに、傾注甕への溶銑湯落ち部を狙って脱硅剤を添加することにより、溶銑の落下エネルギーを有効活用する仕様とした。

- (2) 連続脱硅処理が可能なように2基のディスペンサーを設置し、迅速切り換えが可能な設備とした。この方式の採用によって、一回あたりの出銑量全量に対して安定した脱硅処理が実現でき、設備投資コストの低減を可能とした。
- (3) 脱硅剤の計量、混合、打ち込みに至る一連の操作は、DDC (Direct digital control) による完全自動化を図り、省力を可能とした。

3.2 溶銑予備処理センター²⁾

PTC の設備概略図を Fig. 4 に示し、主仕様を Table 2 に示す。PTC の設備的特徴は以下のとおりである。

- (1) 一連の処理時間の短縮を目的として、除滓および脱硅と脱磷処理のインジェクションを同一ポジションで実現できるレイアウトとした。また、処理時間の長い脱磷処理においても、転炉工場への予備処理溶銑の供給が早い路とならないように、同時に2台の混銑車処理が可能な仕様とした。
- (2) 除滓設備には、スラグ性状に関係なく安定した除滓が可能な機械式除滓設備を採用した。
- (3) 処理目的に応じた吹き込みフラックス組成を制御するために、インジェクションライン内で個々の銘柄のフラックスを混合するポストミックス方式を開発し採用した。すなわち、4種類のフラックスを個々のディスペンサーから必要量だけ切り出し、吹き込みラインの合流点でこれらを混合しつつインジェクションが可能な方式を実現した。この方式の採用により、処理目的に応じたフラックス組成にフラックスを予め混合する設備が不要となった以外に、処理単位ごとあるいは処理中に時系列的にフラックス組成を任意に変化させることが可能となった。

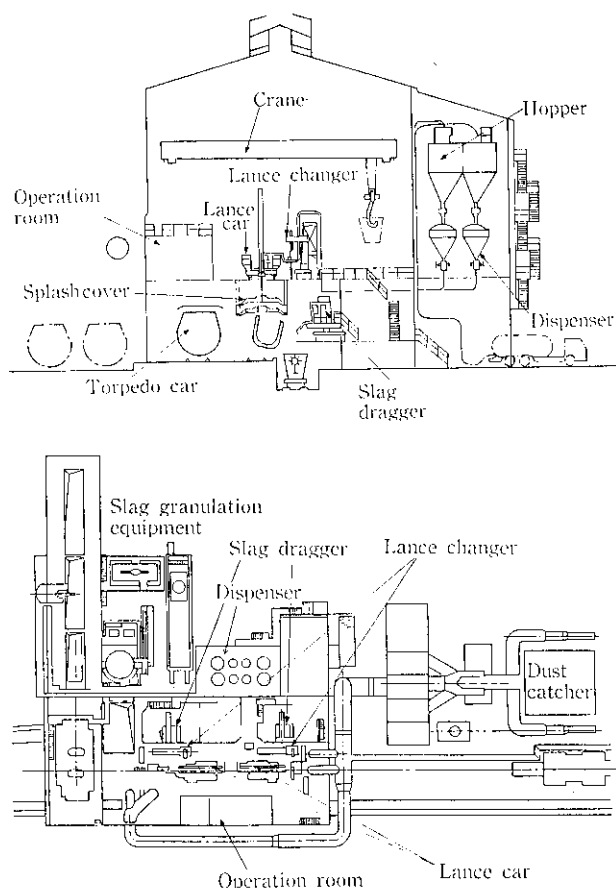


Fig. 4 Layout of Pretreatment Center for hot metal (PTC)

Table 2 Specifications of hot metal pretreatment equipments²⁾

Item	Specification
Flux	
Desiliconization	Dust, lime
Dephosphorization	Dust, lime, flour spar, soda ash
Injection equipment	
Dispenser	4 dispensers × 2 lines
Injection type	Rotary feeder
Method of flux mixing	On line mixing
Max. injection rate	500 kg/min
Lance car	Double lances × 2 lines
Slag dragger	Mechanical dragger × 2 stations
Dust catcher	
Exhaust gas cooler	Air cooled tube type
Capacity	60 × 10 ⁴ m ³ /h
Slag granulating capacity	12 t/30 min

- (4) 混銑車内での攪拌能力の増大と、耐火物のランニングコストの低減を目的に斜め吹きランスを採用した。また、処理中にランストラブルが発生した場合に対応できるように、各々のランスカーには2本のランスを装着し、迅速交換が可能なタイプとした。
- (5) 一連の粉体吹き込み制御、すなわち粉体受入れ、切り出し、タンク加圧および吹き込みの各制御を全自動化し、かつ、安価な計装システムを構築した。

3.3 混銑車熱間排滓設備³⁾

TCC の設備概略図を Fig. 5 に示し、主仕様を Table 3 に示す。主要な設備は、スラグ破砕機、溶銑鍋台車 (スクレーパー付)、溶銑加熱装置および溶銑鍋傾転装置である。

本設備の特徴は、混銑車内にスラグとともに残留している溶銑の

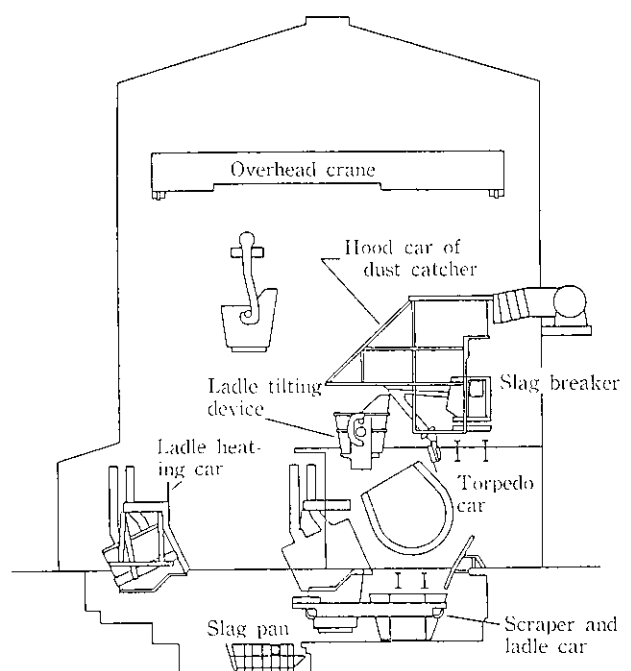


Fig. 5 Elevation view of Torpedo Car Cleaning Center

Table 3 Specification of Torpedo-car Cleaning Center equipment³⁾

Item	Specification
Capacity of hot metal ladle	15 ton
Volume of slag ladle	6 m ³
Full load capacity of hot metal ladle car	30 ton
Maximum capacity of heating facilities	80 × 10 ⁴ kcal/h

ロスを防止することを目的に、熱間排滓処理中、残鉄を溶融状態に保持し、作業完了後再び混鉄車に戻す設備仕様とした点にある。

4 溶鉄予備処理操業の推移と現状

4.1 処理量の推移

PTC における脱磷処理量の推移を Fig. 6 に示す。昭和 60 年 3 月稼動以来処理量は順調に増加し、最近では、月間処理量 10 万 t に至っている。

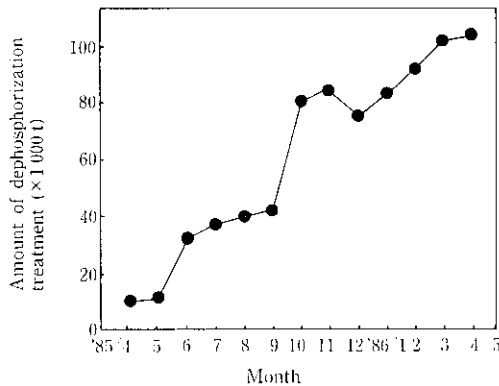


Fig. 6 Change in steel amount of dephosphorization treatment

4.2 溶鉄予備処理における溶鉄成分の推移と操業

高炉出鉄から転炉装入に至る溶鉄成分の推移を Fig. 7 に示す。

銑床脱硅処理後の Si 目標値は、現在、脱磷処理あるいは第 2 製鋼工場 K-BOP への脱硅銑のいずれにも適用できるように、0.15% とし、出鉄時の Si および出鉄温度に応じて脱硅剤の添加速度を制御している。Fig. 8 に出鉄時の Si と銑床脱硅後の Si 分布を示すが、精度良く Si 濃度が制御されている。

高炉から転炉に至る混鉄車運行管理システムの完成時には、脱磷処理の有無などによってよりきめ細かな脱硅処理が可能なシステムを構築する予定であり、一層のコストダウンが期待される。

銑床脱硅において、脱硅に必要な酸素源として焼結ダストを使用し、副剤として CaCO₃ を使用している。CaCO₃ の添加量は、脱硅処理中の復硫防止、混鉄車内におけるスラグフォーミングの抑制、さらに PTC における除滓後の水砕効率の安定を考慮して、脱硅処理後のスラグの塩基度が 0.9~1.2 の範囲に調整されるように決定した。

さて、PTC においては、処理前 Si の値によって、前述の調整脱硅処理の可否を決定し、脱磷処理を実施している。しかしながら、銑床脱硅処理の Si 的中率の向上にともなって、調整脱硅の必要な処理量は漸減しつつあり、現在の調整脱硅比率は約 30% である。

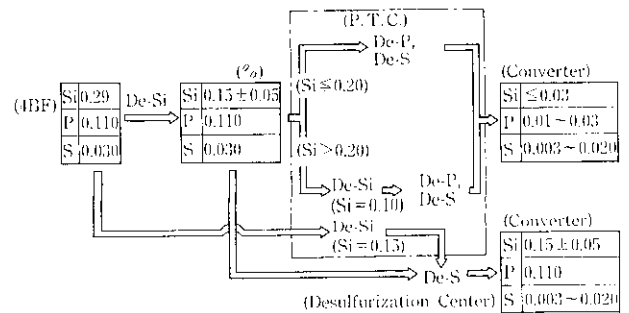


Fig. 7 Target of Si, P, and S concentrations at each process

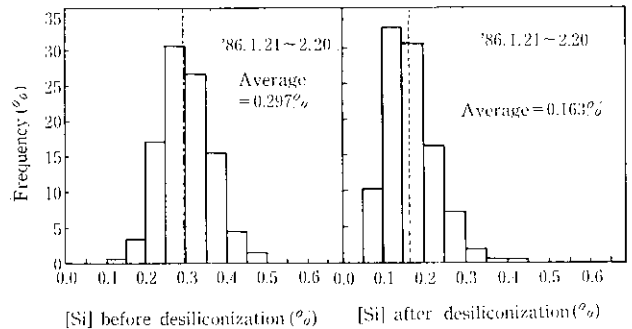


Fig. 8 Distributions of Si concentration before and after desilicization

Table 4 Flux composition (example)

	(%)			
Treatment	Sinter dust	CaO	CaF ₂	Na ₂ CO ₃
Desilicization	75	25		
Dephosphorization	54	38	4	4

PTC における脱磷処理後の P および S の到達目標値は、脱磷銑を適用する転炉吹錬ヒートの成分スペックに準じて決定し、その値に応じたフラックス配合比および吹き込みパターンを選択し処理している。

脱硅、脱磷処理におけるフラックス吹き込み速度は最大 500 kg/min が可能であり、処理時間は脱磷処理で 20~30 分である。

脱硅および脱磷・脱硫処理に供するフラックス組成の代表例を Table 4 に示す。脱硅、脱磷に必要な酸素源として焼結ダストを用い、生石灰にてスラグの塩基度調整をしている。脱磷・脱硫処理において滓化促進のためにホタル石を、また、脱硫効率の向上を目的にソーダ灰を各々 4% 程度添加している。

脱磷処理における吹き込みパターンの典型例を Fig. 9 に、またそれぞれの吹き込みパターンにおける溶鉄成分の挙動を Fig. 10 に示す。吹き込みパターン 1 は、低硫鋼への適用を目的としたものであり、脱磷処理に先行して生石灰とソーダ灰を吹き込んで脱硫処理を実施する。溶鉄 S が目標値以下に到達した後、復硫を抑止しつつ脱磷処理を行うパターンであり、P ≤ 0.020%, S ≤ 0.005% の溶鉄を容易に得ることができる。S スペックがそれほど厳しくない鋼種に適用する場合には、吹き込みパターン 2 を採用し、脱磷および脱硫を同時に進行させる処理としている。いずれの吹き込みパターンにおいても、ポストミックス方式を活用することによって、処理を中断することなくフラックス組成を変更し得るため、効率的な脱磷および脱硫処理が実現できる。

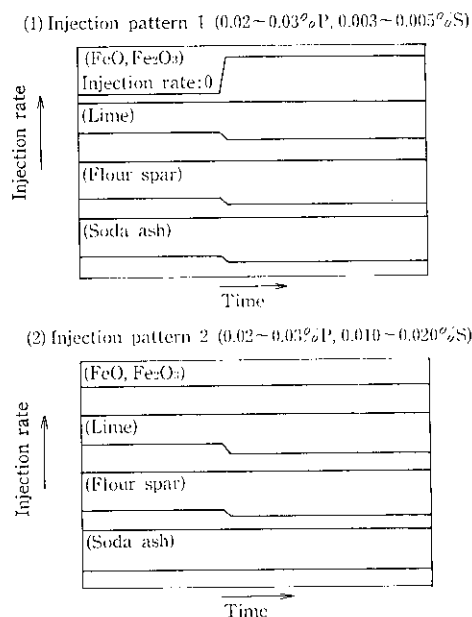


Fig. 9 Schematic explanation of injection patterns

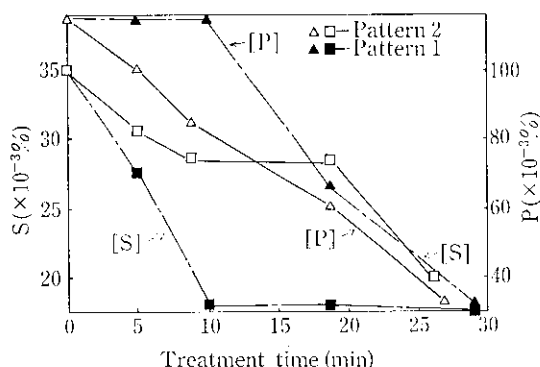
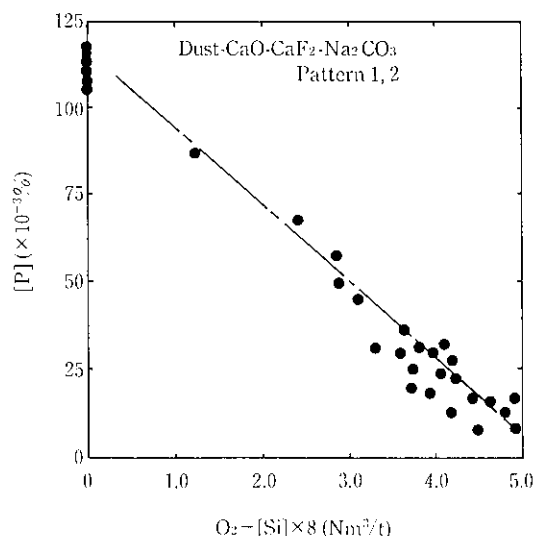


Fig. 10 Changes of the concentrations of P and S during the treatment

Fig. 11 Relation between [P] and oxygen consumption for dephosphorization²⁾

脱硅外酸素原単位 (総酸素原単位 - $8 \times \text{Si}\%$) と処理後 P 濃度との関係を Fig. 11 に示す²⁾。処理後の P 濃度は、脱硅外酸素原単位の増加とともに、ほぼ直線的に低下し、脱硅外酸素原単位で一意に

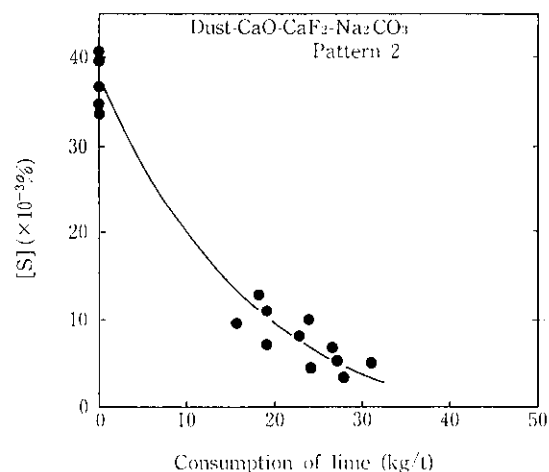
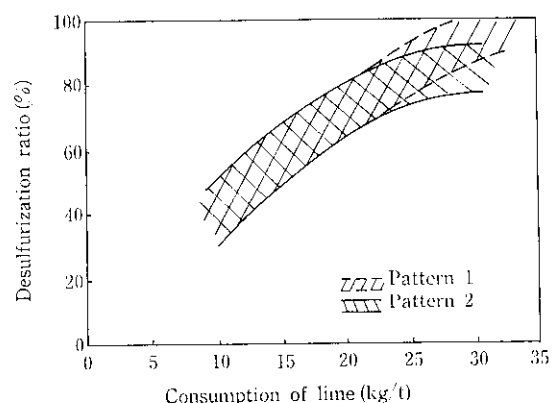
Fig. 12 Relation between [S] and consumption of lime²⁾

Fig. 13 Relation between desulfurization ratio and consumption of lime

決定できることがわかる。脱硅外酸素原単位 $4.0 \text{ Nm}^3/\text{t}$ で、 $P = 0.020\%$ が得られる。

生石灰原単位と S 濃度との関係を Fig. 12²⁾ に示す。生石灰原単位の増加とともに S 濃度は低下し、S 濃度が生石灰原単位で制御できることがわかる。生石灰原単位 21 kg/t で、 $S = 0.010\%$ が得られる。

したがって、吹き込みパターン 2 において、脱磷および脱硫を効率的に進行させるため、目標 P, S 濃度に応じた脱硅外酸素原単位および生石灰原単位を算出し、これに応じたフラックス組成を決定し操作を行っている。

Fig. 13 に脱磷処理時の脱硫効率に及ぼす吹き込みパターンの影響を示す。生石灰原単位 25 kg/t 以上の低硫域では、吹き込みパターンによる脱硫効率の差が明確であり、初期に脱硫を優先的に行うパターン 1 の方が有利である。

パターン 1 は、パターン 2 に比較して脱硫期が存在するため、処理時間が 10 分程度延び処理能率が低下するが、低硫域における脱硫効率が高いため、目標 $S \leq 0.005\%$ の場合には処理コストの低減を優先してパターン 1 を採用している。

4.3 溶鉄予備処理における溶鉄温度の推移

高炉出鉄から転炉装入までの溶鉄温度推移を Fig. 14 に示す。脱磷処理で約 $100 \sim 120^\circ\text{C}$ 、調整脱硅が必要な場合には、さらに約 30°C 温度が低下する。

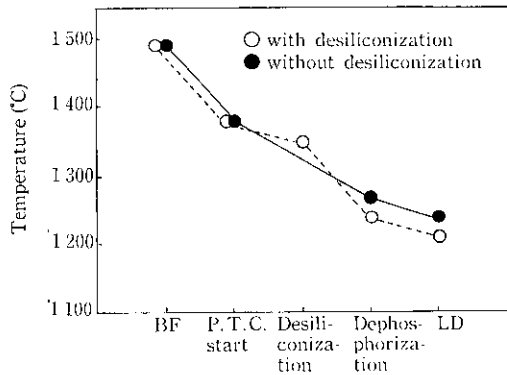


Fig. 14 Change of temperature of hot metal

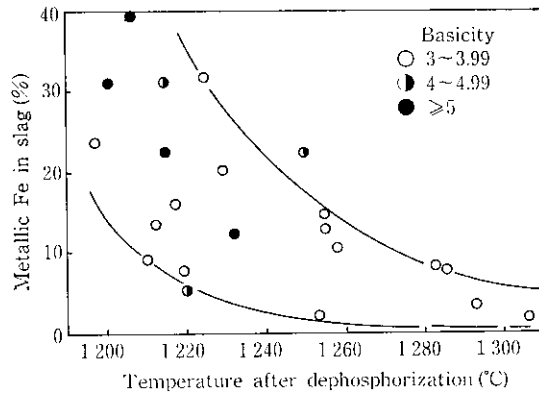


Fig. 15 Relation between metallic Fe in slag and temperature after dephosphorization

脱磷処理終了温度とトップスラグ中の粒鉄との関係を Fig. 15 に示す。処理終了温度が 1260°C 以下になると急激にスラグ中粒鉄が増加する傾向が認められる。歩留り低下を防止するため処理終了温度目標を 1260°C 以上としている。

4.4 TCC における操業と混銑車溶銑充填量の推移

TCC の作業フローを模式的に Fig. 16 に示す³⁾。製鋼場で溶銑を払い出した後、2 両単位で混銑車を TCC に配車し処理を行う。作業概要は以下に示すとおりである。

- (1) 混銑車受銑口まわりに付着したスラグをスラグ破砕機で除去し残留溶銑の流出が可能となるように湯道を形成する。
- (2) 混銑車内の残留溶銑を溶銑鍋に払い出し、バーナーで保熱する。
- (3) 混銑車内の残滓をスラグスクレーパー内に排出する。
- (4) 溶銑鍋を乗せたスラグスクレーパー付きの溶銑鍋台車を移動させ、スラグをスラグパン内に押し出した後、溶銑鍋内の残留溶銑を溶融状態のまま混銑車内に戻す。

本作業の特徴は、混銑車内の残滓を溶銑鍋に払い出し、それを加熱保持しておき、残滓排出後の混銑車に戻すことにある。これにより、従来の方法で問題であった排出地金問題を解決するとともに、地金発生量の低減に寄与している。

混銑車溶銑充填量の推移を Fig. 17 に示す。溶銑予備処理量が増加し、混銑車内に吹き込まれるフラックスの総量が増加したにもかかわらず、混銑車溶銑充填量は、TCC における熱間排滓が充分に実施されるようになってから、従来以上の高いレベルを維持している。混銑車溶銑充填量の増加は、出銑から払い出し間の溶銑温度の低下、混銑車耐火物原単位の低減に直結するものであり、今後、

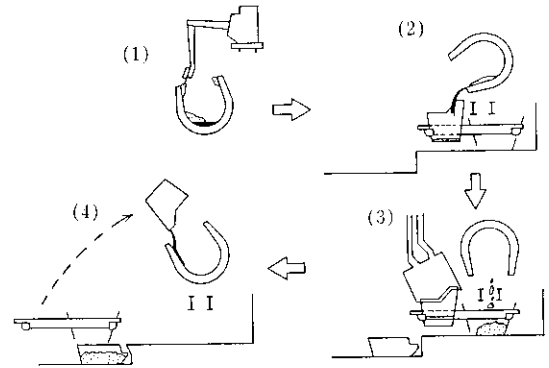
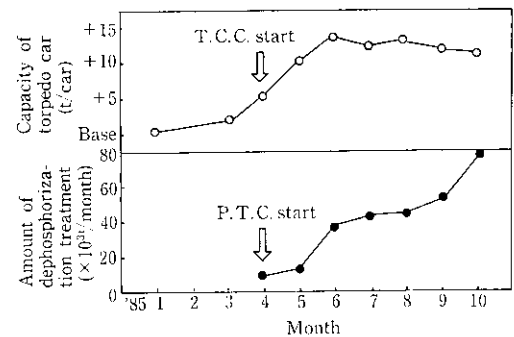
Fig. 16 Process flow of hot slag discharge³⁾ from torpedo car

Fig. 17 Relation between amount of dephosphorization treatment and capacity of torpedo car

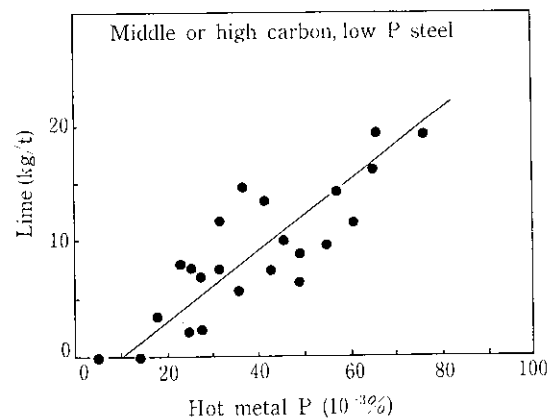
徐々にこの効果が現われてくるものと考えられる。

5 溶銑予備処理銑の吹錬⁴⁾

K-BOP には脱珪銑と脱磷銑を、LD-KGC には脱磷銑を供給し、転炉副原料(主に生石灰)原単位の削減と Mn 回収率の向上による添加合金鉄の削減によってコスト削減に寄与している。

溶銑 P 濃度と生石灰原単位との関係を Fig. 18 に示す。溶銑 P 濃度の低下とともに生石灰原単位は減少し、溶銑の P 濃度が命令以下になるとライムレス吹錬が可能となる。

予備処理銑を吹錬した場合、副原料原単位の減少によるスラグボリュームの低下と吹止め C 濃度の上昇により Mn 回収率の向上が

Fig. 18 Relation between lime and hot metal [P] in dephosphorized pig iron⁴⁾

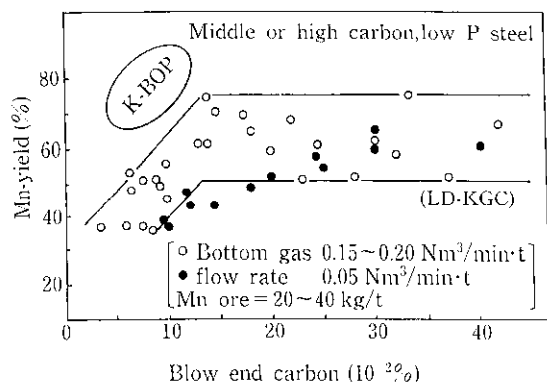


Fig. 19 Relation between Mn-yield and blow-end carbon at de-phosphorized pig iron¹⁾

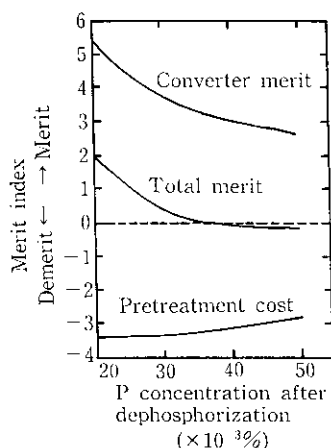


Fig. 20 Relation between P concentration and total merit

予想される。吹止め C 濃度と Mn 回収率との関係を Fig. 19 に示す。吹止 C を 0.10% 以上に保つことにより、K-BOP、LD-KGC ともに高い Mn 回収率を示し、その値は、それぞれ 80% と 60% である。

溶鉄 P 濃度と精錬トータルメリットとの関係を Fig. 20 に示す。溶鉄 P 濃度を命令以下まで下げることにより、副原料の削減と Mn 回収率向上による添加合金鉄の低減により最も大きなトータルメリ

ットが得られる。したがって、脱磷処理後の P 目標を命令以下として脱磷処理を実施している。

低炭素鋼に関しては、Fig. 19 に示すように Mn 回収率が悪く添加合金鉄の低減メリットが期待できないため、予備処理コストの安価な脱鉄銑を転炉に供給し、収益をあげている。

6 結 言

水島製鉄所の溶鉄予備処理設備は、高炉銑床脱硅設備、混鉄車における脱磷脱硫を実施するための予備処理センター、および混鉄車汚染防止の混鉄車熱間排滓設備から構成されており、昭和 60 年 3 月末に稼動した。その後、順調に処理量を増加させ、現在、銑床脱硅処理量で、225 000 t/month、脱磷処理量で 100 000 t/month に達している。設備の特徴をまとめると以下のとおりである。

銑床脱硅設備

(1) 脱硅剤の添加方式には反応効率の高い打ち込み方式を採用し、さらに、傾注樋への溶鉄湯落ち部を狙って脱硅剤を添加する。

(2) 連続脱硅処理が可能なように 2 基のディスペンサーを設置し、迅速切り換えが可能な設備とした。

予備処理センター

(1) 一連の処理時間の短縮を目的に、除滓および脱磷処理のインジェクションを同一ポジションで実現できるレイアウトとした。

(2) 機械式除滓機を採用した。

(3) 4 種類のフラックスの吹込み速度を個々に制御できるように、フラックスをインジェクションライン内で混合するポストミックス方式を開発した。

(4) 攪拌能力の増大と耐火物コストの低減を目的に斜め吹きランスを採用した。

予備処理センターにおいて、ポストミックス方式を活用することによって、処理を中断することなくフラックス組成を変更できるため、目標 P、S 濃度に応じた吹込みパターンを採用することにより効率的な脱磷および脱硫処理が実現できた。処理された脱鉄銑を低炭素鋼に、脱磷銑を中、高炭素鋼および低磷鋼に供給することによって、収益改善に寄与している。また、高純度鋼を安定して大量に生産することが可能となった。

参 考 文 献

- 1) 篠原幸一、青木幹男、中嶋由行、高田重信、松尾秀夫：鉄と鋼，71 (1985) 4, S 106
- 2) 水藤政人、日和佐章一、武 英雄、今井卓雄、米谷武司、吉田正弘：鉄と鋼，72 (1986) 4, S 213

- 3) 横井 誠、武 英雄、大岡秀志、吉田正弘、浅野孝志、今井卓雄：鉄と鋼，71 (1985) 12, S 951
- 4) 小山内 寿、武 英雄、今井卓雄、上田 新、日和佐章一、児玉正徳：鉄と鋼，72 (1986) 4, S 243