

## 溶銑予備処理専用炉の操業制御技術

© 1988 ISIJ  
 技術報告

塩飽 潔\*・川崎 正蔵\*<sup>2</sup>・神森 章光\*<sup>2</sup>  
 青木 松秀\*<sup>2</sup>・羽鹿 公則\*<sup>2</sup>

## Operation Controlling Technique in Hot Metal Pretreatment Furnace

Kiyoshi SHIWAKU, Syozo KAWASAKI, Akimitsu KAMIMORI,  
 Matushide AOKI and Kiminori HAJIKA

## Synopsis :

A new technology for hot metal pretreatment with the modified BOF has been developed at Kobe Works. This technology has been successfully applied to mass production of high-grade steel since November 1983. The furnace for hot metal pretreatment has an 80 t capacity and is equipped with two lances for flux injection and oxygen top blowing. Hot metal is desiliconized and dephosphorized with oxygen and lime-iron oxide based flux in the first stage of refining, and desulphurization with soda ash injection is followed without deslagging.

This report describes the operational control technology of this process. This operational control consists of the following items,

- (1) Calculation of the optimum amount of submaterials
- (2) Control of the temperature after treatment
- (3) Optimization of operational pattern

and gives good results in stabilization of BOF operation, decrease of refining cost, and increase of productivity.

**Key words :** hot metal treatment ; process control ; modified BOF ; oxygen top blowing ; lime-iron oxide based flux ; soda ash ; sequential and rapid treatment ; calculation of submaterials ; temperature control ; optimization of operational pattern.

## 1. 緒 言

近年、製鋼工程における脱りん機能の強化による鋼材品質の高度化、転炉の負荷軽減による精錬コストの低減の目的で、溶銑の脱りん処理技術の開発と実用化が進められている。

神戸製鉄所においては、高炉鑄床脱けい—溶銑予備処理専用炉（以下、H炉: Hot metal pretreatment furnace と略す）、一転炉工程による溶銑予備処理プロセスが、1983年11月より順調に稼動し、操業成果をあげている。

H炉においては、プロコンを利用して、副原料投入量の計算指示、処理後温度コントロールおよび最適処理パターン指示をおこなうことにより、安定した脱りん脱硫処理を短時間で実施することが可能となっている。

本報告では、このH炉における処理制御技術について

報告する。

## 2. 溶銑予備処理プロセスの概要

神戸製鉄所における溶銑予備処理プロセスの概要を Fig. 1 に示す。溶銑予備処理プロセスは、高炉鑄床で

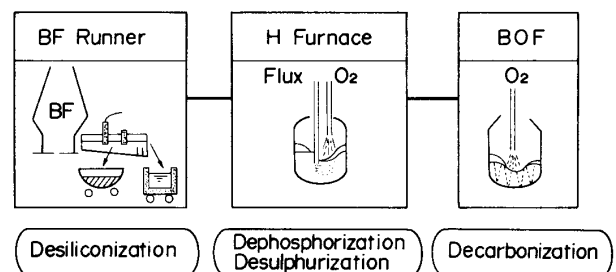


Fig. 1. Schematic flow of the hot metal pretreatment at Kobe Works.

昭和 61 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 62 年 5 月 29 日受付 (Received May 29, 1987)

\* 日本高周波鋼業(株)富山製造所 (Toyama Works, Nippon Koshuha Steel Co., Ltd.)

\*<sup>2</sup> (株)神戸製鋼所神戸製鉄所 (Kobe Works, Kobe Steel, Ltd., 2 Nadahamahigashi-machi Nada-ku Kobe 657)

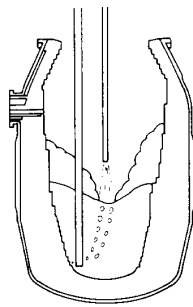


Table 1. Main specifications of H furnace.

Equipment		Specifications
Furnace	Capacity	80 t/heat
	Height	8 000 mm
	Diameter	5 300 mm
	Inner volume	54 m <sup>3</sup>
	Lip diameter	2 424 mm
Refractory	MgO-C	
Injection	Carrier gas Rate	N <sub>2</sub> Max. 400 kg/min
	Immersion lance	High Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> φ 300 mm

の脱けい処理およびH炉での脱りん・脱硫の連続処理とで構成されている<sup>1)</sup>。脱けい処理は、酸化鉄を主成分とするフラックスを高炉鑄床樋内の溶銑にインジェクションし、生成した脱けいスラグはスキンマーによつて排滓する方式をとつている。脱けいされた溶銑をH炉に装入し、石灰系フラックス-酸素上吹き法で脱りん処理をおこなつたのち、排滓することなく引き続いてソーダ系フラックスインジェクションにより脱硫処理を実施している。H炉の主要諸元を Table 1 に示す。

### 3. 処理制御方法

H炉における処理制御方法の概要を Fig. 2 に示す。

H炉の処理制御は、

- (1)副原料投入量の計算指示
- (2)処理後温度コントロール
- (3)最適処理パターン指示

の3種類の機能によつて構成されている。以下にこれらの各機能について解説する。

#### 3.1 副原料投入量の計算指示

H炉においては、CaO 源の一部を上部添加しトップスラグ-メタル間の反応を促進させた脱りん処理を実施することにより、処理前  $Si \leq 0.45\%$  の溶銑を 10 min 以内に脱りん処理することが可能となつている<sup>2)</sup>。また、脱硫処理は、脱りん期での酸素上吹きを中止し、脱りんスラグを排滓することなく、連続してソーダ灰を湯中にインジェクションすることにより実施している。

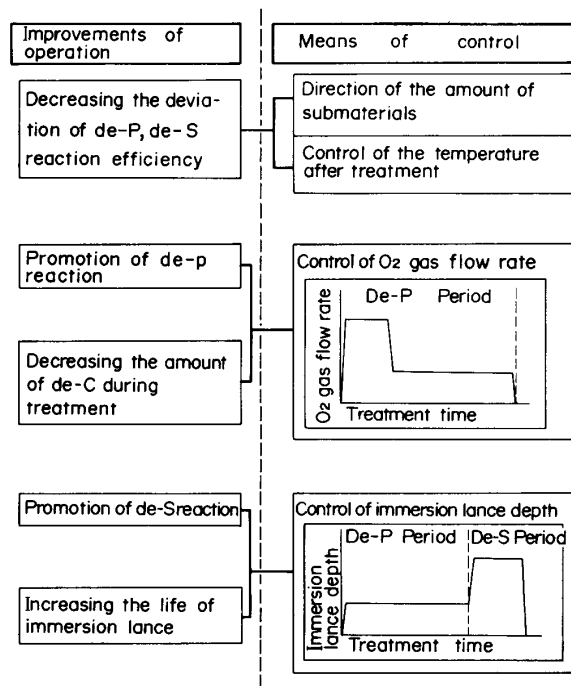


Fig. 2. Outline of operational control at H furnace.

#### 3.1.1 脱りん処理用副原料の計算指示

脱りん処理の概要を Fig. 3 に示す。脱りん処理時には、塊状生石灰・転炉滓・マンガン鉱石・ミルスケールの上部添加、脱りんフラックス (CaO 50%-ミルスケール 50%) の湯中インジェクションおよび酸素上吹きが実施される。これら各副原料は、脱りん反応に対して以下のような作用をしている<sup>2)</sup>。

- 塊状生石灰: 反応初期より高塩基度のトップスラグを形成させ、トップスラグ-メタル間の脱りん反応を促進。
- 転炉滓: CaO 源の一部代替。トップスラグ中の (T・Fe) 増大による脱りん反応促進。
- マンガン鉱石: 塊状生石灰の滓化促進。トップスラグ中の (MnO) 増大による脱りん反応促進。
- ミルスケール: 処理後温度コントロールのための冷却剤。塊状生石灰の滓化促進。
- 脱りんフラックス: CaO による上吹き酸素火点における脱りん反応。固体酸素による脱けい反応。
- 上吹き酸素: 脱けい反応および脱りん反応の促進。熱的自由度の拡大。

脱りん処理時の脱りんフラックスおよび塊状生石灰の原単位と処理前 Si 濃度との関係を Fig. 4 に示す。この図からわかるように、H炉では他の予備処理方法と同様に、脱りんフラックスおよび塊状生石灰の原単位は、

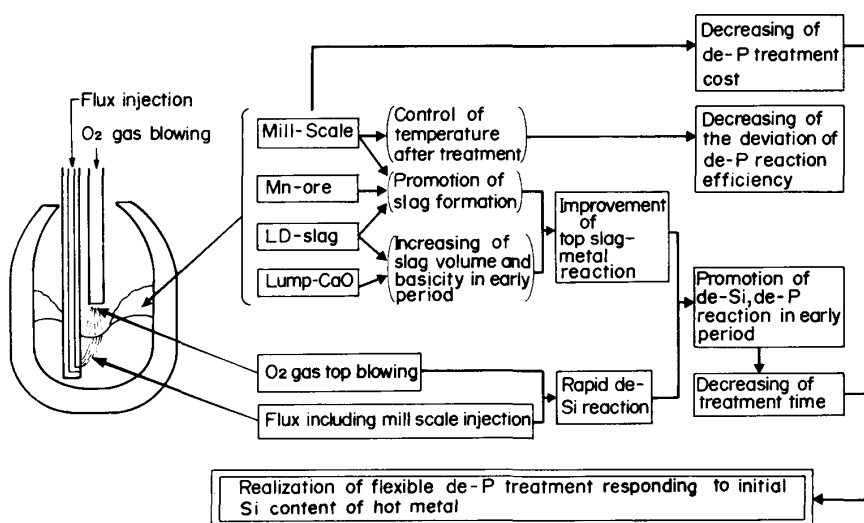


Fig. 3. Outline of 'Top slag dephosphorization treatment' in H furnace.

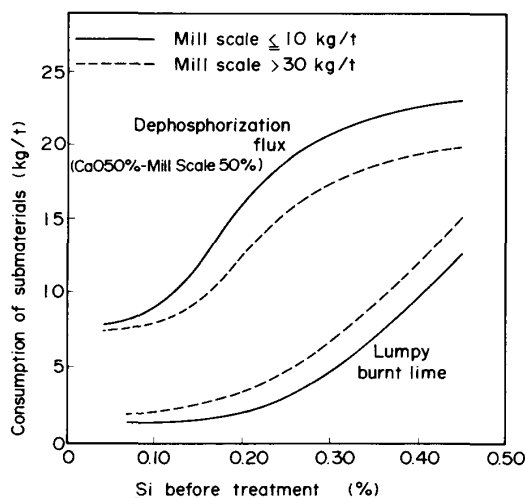


Fig. 4. Relationship between  $\underline{Si}$  before treatment and consumption of submaterials for dephosphorization treatment.

処理前  $\underline{Si}$  濃度が高くなると増大する。また、ミルスケール投入量が增大すると塊状生石灰の滓化が促進されるため、塊状生石灰による脱りんフラックスの代替比率が増大できる。

H 炉においては、処理前  $\underline{Si}$  濃度およびスケール投入量（熱収支計算により求められる）から最適な脱りんフラックスおよび塊状生石灰の原単位を計算し、指示をおこなっている。

### 3.1.2 脱硫処理用副原料の計算指示

脱硫処理時におけるソーダ灰原単位と脱硫率との関係を Fig. 5 に示す。この図からわかるように、脱硫率はソーダ灰のインジェクション深さによっても変化している。

そこで、H 炉においては、目標脱硫率・インジェクショ

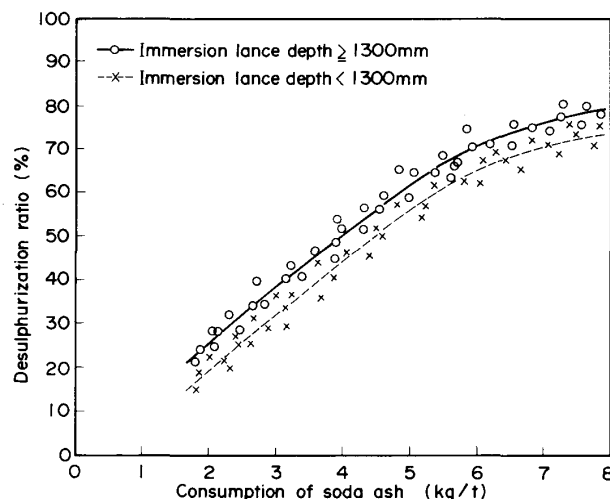


Fig. 5. Relationship between consumption of soda ash and desulphurization ratio.

ン深さの値をもとに最適ソーダ灰原単位を計算指示するようにした。

### 3.2 処理後温度コントロール

H 炉において、処理後温度が脱りん率および脱硫率におよぼす影響を Fig. 6 に示す。脱りん率も脱硫率ともに処理後温度に大きく依存し、処理後温度が上昇すると反応効率が低下する傾向が認められている（これは、脱りん反応は、処理後温度が上昇すると、スラグ-メタル間のりん分配値が熱力学的に低下し、不利になるため、また、脱硫反応は処理後温度が上昇するとソーダ灰の気化損失量が増大するためと考えられる）。

従つて、H 炉処理後  $\underline{P \cdot S}$  の的中率を向上させるためには、H 炉処理後温度の的中率を向上させることが必須条件となる。そこで、H 炉処理前に熱収支計算を実施し、処理後温度を的中させるのに必要十分な冷却剤（ミルス

ケール) 投入量を計算し、指示するスタティックコントロール法の開発をおこない実用化した。

H 炉における熱収支の一例を Fig. 7 に示す。H 炉に

おいては、溶銑中  $Si \cdot C$  の酸化発熱および溶銑顕熱を、マンガン鉱石の還元とミルスケールの還元に有効利用している。また、処理時間が短いため、処理中の放熱損失の影響は少なくなっている。

Table 2 に熱収支計算を実施する際の各要因の熱係数を示す。これらの熱係数は、理論計算ならびに操業実績データから求めている。特に、処理中の炉体への放熱損失量は、処理前の待機時間に依存しており、待機時間の関数として求めている。Table 2 に示した熱係数をもとに計算した、H 炉における入熱量と出熱量との関係を Fig. 8 に示す。熱収支計算のばらつきは約 3 Mcal/t 以内に収まっており、本スタティックコントロールモデル

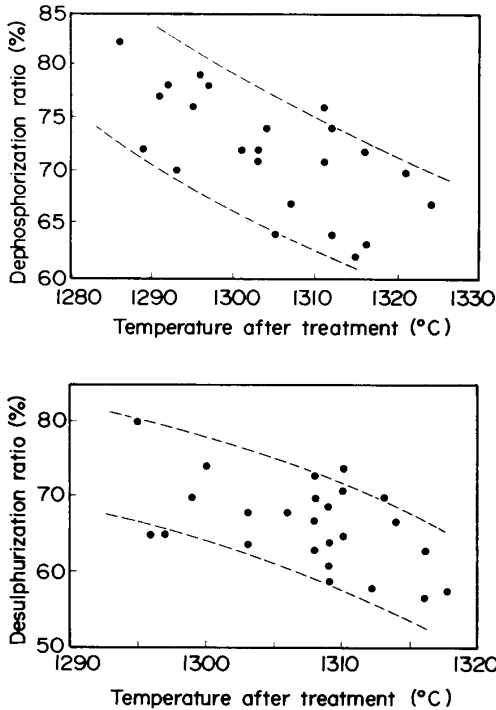


Fig. 6. Relationship between De-P, De-S ratio and temperature after treatment.

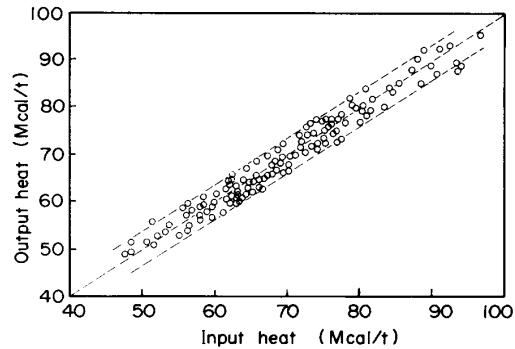


Fig. 8. Relationship between input heat and output heat in H furnace based on static control model.

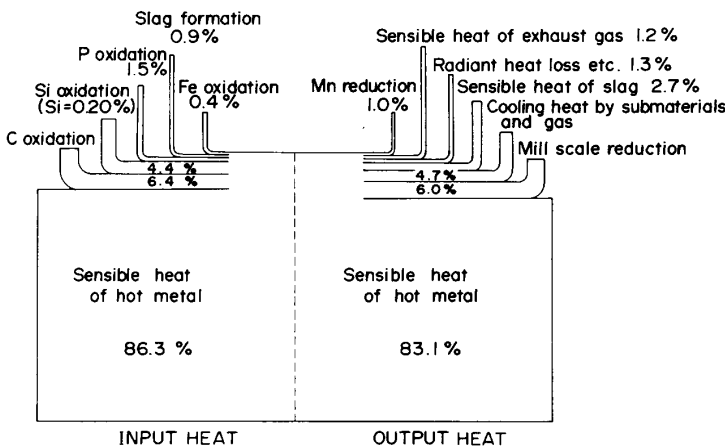


Fig. 7. Heat balance in H furnace.

Table 2. Thermal coefficient for heat balance calculation.

Input heat (Mcal)		Output heat (Mcal)	
Sensible heat of hot metal	$0.19 W_f T_f$	Sensible heat of hot metal	$0.19 W_f T_f$
Si oxidation	$6.66 Si$	Mill scale dissolution	$1.17 Scale$
C oxidation	$5.80 C$	Mn-ore dissolution	$(8.71 \eta_{Mn} + 785) \times 10^{-3} Mn \text{ ore}$
Fe oxidation	$1.06 Fe$	CaO dissolution	$0.59 CaO$
P oxidation	$5.81 P$	BOF slag dissolution	$0.35 Slag_{BOF}$
Slag formation	$0.27 CaO$	Soda ash dissolution	$1.41 Soda$
		Exhaust gas latent heat	$1.08 C$
			$+0.455 GO_2$
			$+0.433 GN_2$
		Radiant heat loss etc.	$f(t_{wait})$

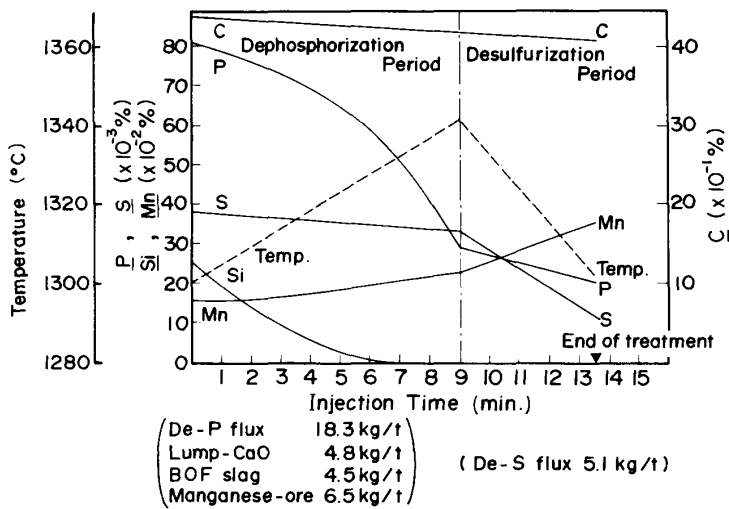


Fig. 9. Changes in hot metal compositions and temperature during hot metal pretreatment.

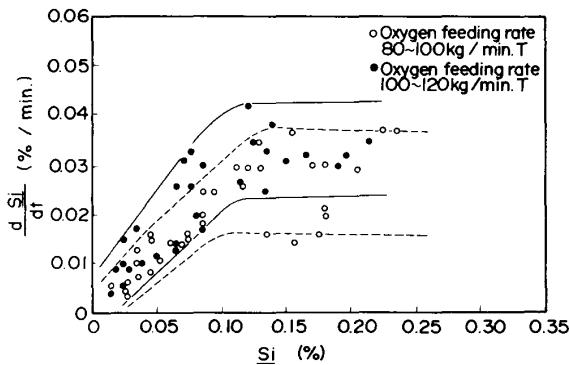


Fig. 10. Relationship between  $\underline{Si}$  content and de-silicization rate during hot metal pretreatment.

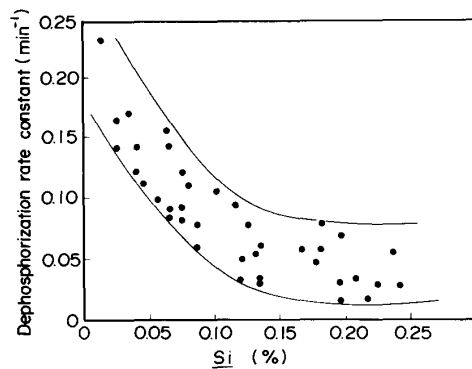


Fig. 11. Relationship between  $\underline{Si}$  content and dephosphorization rate constant.

により、処理後温度を  $\pm 15^{\circ}\text{C}$  以内に制御することが可能となっている。

### 3.3 最適処理パターン指示

脱りん脱硫反応効率の向上、フラックスインジェクション用耐火物ランス寿命延長の観点より、

- 脱りん期における上吹き送酸パターン

- 脱りん、脱硫期におけるフラックスインジェクション深さパターン

の最適化をおこなった。

#### 3.3.1 脱りん期における上吹き送酸パターン

脱りん処理を実施した場合の溶銑中成分・温度の経時変化例を Fig. 9 に示す。脱りん反応は溶銑中のシリコン濃度が低下した後、急速に進行する傾向を示している。処理中のシリコン濃度と脱けい反応速度との関係を Fig. 10 に示す。脱けい反応速度は、 $\underline{Si} \geq 0.10\%$  ではほぼ酸素供給律速であり、また、 $\underline{Si} < 0.10\%$  ではほぼ溶銑中のシリコンの移動律速となっている。さらに、脱りん反応速度が溶鋼中のりん濃度に比例するとして求めた

みかけの脱りん反応速度定数と処理中のシリコン濃度との関係を Fig. 11 に示す。脱りん反応は、 $\underline{Si} \geq 0.15\%$  では停滞し、 $\underline{Si} < 0.15\%$  で直線的に増大する傾向を示している<sup>2)</sup>。H炉における脱りん反応速度を高め処理時間を短縮するとともに、処理中の脱炭量を抑えるためには、 $\underline{Si} \geq 0.10\%$  では酸素供給速度を高め脱けい反応を促進するとともに、 $\underline{Si} < 0.10\%$  では酸素供給速度を脱りん反応に必要な最低量にまで低下させる方法が有効である。そこでH炉においては、上吹き送酸速度が、脱りん処理の初期約 3 min には約  $0.8 \sim 1.0 \text{ Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$  とし、脱りん処理の中期と末期には約  $0.5 \sim 0.7 \text{ Nm}^3/\text{min}\cdot\text{t}$  となるように送酸パターンの選定をおこなった。

#### 3.3.2 フラックスインジェクション深さパターン

脱りん処理を実施した場合のフラックスインジェクション深さと脱りん率の関係を Fig. 12 に示す。脱りん処理時には、フラックスインジェクション深さにより脱りん率がほとんど変化していない状況が認められる。

また、脱硫処理時におけるフラックスインジェクション深さと脱硫率との関係を Fig. 13 に示す。脱硫率はフラックスインジェクション深さが深くなるほど向上しており、脱硫効率を高めるためにはフラックスインジェクション深さを深くするほど有利となる。

さらに、フラックスインジェクション用耐火物ランスの寿命は、インジェクション深さが深くなるほど低下する傾向も認めている<sup>3)</sup>。

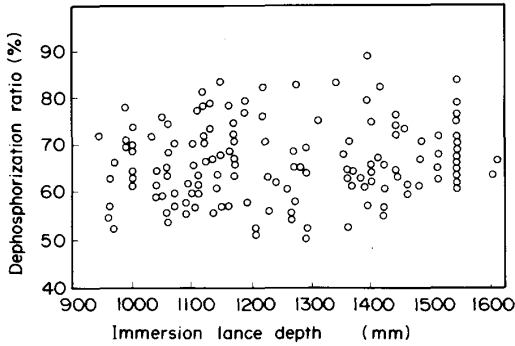
以上のフラックスインジェクション深さが、脱りん率、脱硫率および耐火物ランス寿命におよぼす影響を考慮して、フラックスインジェクション深さを脱りん期には約

1 m, 脱硫期には約 1.5 m となるように、フラックスインジェクション深さパターンを選定をおこなった。

#### 4. 処理制御による効果

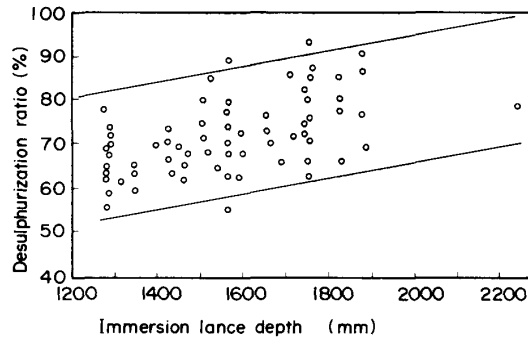
以上の処理制御を H 炉に適用する前後での処理後 P・S・温度のばらつきの変化を Fig. 14 に示す。本処理制御の適用によつて処理後温度のばらつきの防止、最適副原料投入量の指示が可能となつた結果、処理後 P・S のばらつきの低減効果が得られている。

また、本処理制御を適用した場合の処理前後の溶銑成分変化状況を、適用以前のものと比較して Table 3 に示す。処理制御を適用し処理パターンの最適化を図つた



0.17% ≤ Si before treatment ≤ 0.20%,  
1 280°C ≤ temperature after treatment ≤ 1 320°C

Fig. 12. Relationship between immersion lance depth of dephosphorization flux and dephosphorization ratio.



Desulphurization flux ≈ 4.5 kg/t,  
1 280°C ≤ temperature after treatment ≤ 1 320°C

Fig. 13. Relationship between immersion lance depth of desulphurization flux and desulphurization ratio.

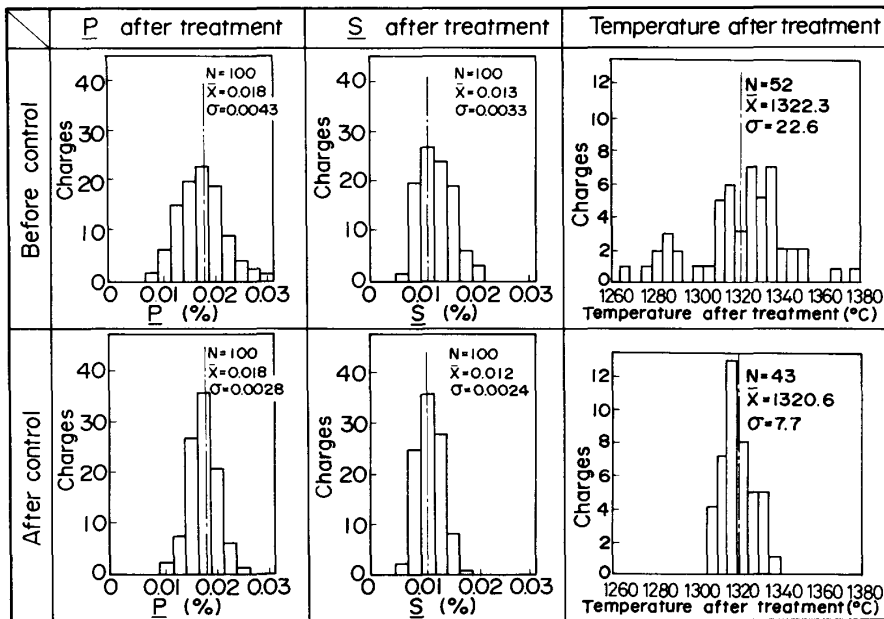


Fig. 14. Effect of static control at H furnace on the decreasing the deviation of P, S, temperature after treatment.

Table 3. Metallurgical effect of operational pattern.

Conventional Method							Improved Method						
Operational pattern							Operational pattern						
Changes in hot metal compositions and temperature							Changes in hot metal compositions and temperature						
	C	Si	Mn	P	S	Temp.		C	Si	Mn	P	S	Temp.
before treatment	4.45	0.25	0.12	0.082	0.038	1320	before treatment	4.45	0.25	0.12	0.082	0.038	1320
after treatment	4.08	tr	0.31	0.024	0.015	1300	after treatment	4.16	tr	0.38	0.018	0.012	1300

Consumption of sub materials			
De-P flux	18.3 kg/t	De-S flux	5.1 kg/t
Lump-CaO	4.8 kg/t		
BOF slag	4.5 kg/t		
Manganese-ore	6.5 kg/t		

結果、脱りん率および脱硫率の向上、脱炭量の減少という効果を得ている。

H炉操業に本処理制御技術を適用したことにより、

(1)H炉処理後のP・S的中率が向上し、その結果、転炉での生石灰原単位が低減するとともに、転炉吹錬負荷が低減し迅速出鋼比率が拡大する。

(2)H炉での脱りんおよび脱硫反応が促進され、H炉の脱りんフラックスおよび脱硫フラックス原単位が低減する。

(3)フラックスインジェクション用耐火物ランスの寿命が延長する<sup>2)</sup>。

(4)H炉での脱りんおよび脱硫反応効率が向上する結果、処理時間が短縮し、生産性が向上する。

といった操業効果をあげている。

### 5. 結 言

神戸製鉄所における溶銑予備処理は、高炉鑄床における脱けい処理とH炉における脱りん脱硫処理とで構成され、1983年11月の稼動開始以来、低りん低硫鋼の製造や品質・操業の安定化に大きな効果をあげている。

このたびH炉における脱りん脱硫処理操業に、副原料投入量の計算指示、処理後温度コントロールおよび最適

処理パターン指示によつて構成される処理制御をパソコンを利用して実施したところ、H炉での処理後P・S的中率などの精錬能力が向上し、操業の安定化とコストの低減化の効果を得ることができた。

今後さらに、高炉-H炉-転炉の各プロセスにおける精錬技術の向上により操業のばらつきを低減していくとともに、製鋼プロセス全体としての精錬機能の拡大、処理コストの低減および生産性の向上に努めていきたい。

### 記 号

- $W_i$ : Weight of hot metal before treatment (t)
- $W_f$ : Weight of hot metal after treatment (t)
- $T_i$ : Temperature of hot metal before treatment ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_f$ : Temperature of hot metal after treatment ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Si: Amount of Si oxidation (kg)
- C: Amount of C oxidation (kg)
- Fe: Amount of Fe oxidation (kg)
- P: Amount of P oxidation (kg)
- Scale: Amount of input mill scale (kg)
- $Mn_{ore}$ : Amount of input Mn-ore (kg)
- $\eta_{Mn}$ : Mn yield (%)
- CaO: Amount of input CaO (kg)
- $Slag_{BOF}$ : Amount of input BOF slag (kg)
- Soda: Amount of input soda ash (kg)
- $GO_2$ : Amount of input  $O_2$  gas ( $\text{Nm}^3$ )

$GN_2$  : Amount of input  $N_2$  gas ( $Nm^3$ )

$t_{wait}$  : Waiting time

### 文 献

1) 大西稔泰, 高木 弥, 武林俊治, 失場田武, 吉田康夫,

勝田順一郎 : R & D 神戸製鋼技報, **34** (1984)4, p. 73

2) 塩飽 潔, 川崎正蔵, 神森章光, 青木松秀, 羽鹿公則 :  
鉄と鋼, **73** (1987), p. 1567

3) 川崎正蔵, 高木 弥, 勝田順一郎, 武林俊治, 羽鹿公則  
耐火物, **36** (1984), p. 722