

# 酸化鉄と酸素の同時吹込みによる溶銑の 同時脱珪・脱りんと温度制御

中島 義夫\*・向 政登\*・深見 泰民\*<sup>2</sup>  
孫 海平\*<sup>3</sup>・森谷 尚玄\*<sup>4</sup>・丸橋 茂昭\*<sup>5</sup>

## Simultaneous Removals of Silicon and Phosphorous in Hot Metal and Temperature Control by CaO-based-flux Injection Using “Solid” and “Gaseous” Oxygen

Yoshio NAKAJIMA, Masato MUKAI, Yasutami FUKAMI,  
Haiping SUN, Takaharu MORIYA and Shigeaki MARUHASHI

### Synopsis :

A side-blown submerged injection with a downward entry tuyere angle was conducted in a 5t pilot plant scale : where both of oxygen gas and CaO-based powders containing iron oxides were injected in order to control the temperature during the dephosphorization. Ceramic tuyeres were used for their good wear resistance against iron oxides. The results obtained are as follows : (1) Simultaneous removals of silicon and phosphorous were obtained effectively. And the final phosphorous content less than 0.010 percent was gained even with the initial silicon content of as high as 0.50 percent. (2) When the gaseous oxygen ratio to the total oxygen consumption was varied from 30 to 70 percent, the changes in bath temperature were range from -120 to +50°C, respectively. (3) The analysis of the mushroom showed that the dephosphorization reaction was proceeded just near by the tuyere tip.

**Key words :** dephosphorization; desiliconization; oxygen gas; iron oxide; injection; bottom blown; side blown; ceramic tuyere; temperature control; hot metal.

## 1. 緒 言

鑄床で脱珪しその後取鍋等において脱りん・脱硫する溶銑予備処理法は我が国において広く普及している。特に高マンガン鋼などの特殊鋼においてコスト低減効果が大きく<sup>1)</sup>、さらには、普通鋼の全量処理まで適用されている例<sup>2)</sup>もある。しかし、予備処理を導入することにより、溶銑の顕熱・潜熱が低下し、その結果転炉での熱的余裕度が低下した。前者は、脱珪・脱りんのための酸化剤として多量の酸化鉄（ミルスケール、焼結鉱など）が用いられるためであり、後者は、シリコン、りん、炭素などの発熱源となる元素が溶銑段階で除去あるいは低下されたためである。後者は予備処理を導入する以上不可

避であるとして、前者の顕熱の低下、すなわち溶銑温度の100°C以上の低下<sup>3)</sup>は転炉機能拡大の上で大きな問題である。すなわち、スクラップ溶解能の増加やクロム鉱石・マンガン鉱石の溶融還元による合金鉄の削減のためには不利といえる。そのため、脱りん時に気体酸素の上吹きを併用したり<sup>4)</sup>、転炉では炭材の添加と二次燃焼の方法<sup>5)</sup>が検討されている。また、炭材を用いる場合、窒素や硫黄などの不純物の問題があり、これら不純物を含まない高価な昇熱剤<sup>6)</sup>を必要とする場合もある。

また、はじめに脱珪し、高塩基度のもとで酸化反応である脱りんと還元反応である脱硫を同時に行おうとする現行法は、脱硫に問題があると思われる。すなわち、脱硫のためにソーダ灰<sup>7)</sup>やCaCl<sub>2</sub><sup>2)</sup>を用いる必要が生じ、

昭和62年10月・63年4月本会講演大会にて発表 平成2年3月23日受付 (Received Mar. 23, 1990)

- \* 日新製鋼(株)鉄鋼研究所 (Steel R & D Laboratories, Nisshin Steel Co., Ltd., 11-1 Showa-cho Kure 737)
- \*<sup>2</sup> 日新製鋼(株)鉄鋼研究所 (現:日新製鋼(株)呉製鉄所) (Steel R & D Laboratories, Now Kure Works, Nisshin Steel Co., Ltd.)
- \*<sup>3</sup> 日新製鋼(株)鉄鋼研究所 (現:九州大学工学部) 工博 (Steel R & D Laboratories, Nisshin Steel Co., Ltd., Now Faculty of Engineering, Kyushu University)
- \*<sup>4</sup> 日新製鋼(株)鉄鋼研究所 (現:日新製鋼(株)研究管理部) (Steel R & D Laboratories, Now R & D Dept., Nisshin Steel Co., Ltd.)
- \*<sup>5</sup> 日新製鋼(株)鉄鋼研究所 (現:日新製鋼(株)周南製鋼所) 工博 (Steel R & D Laboratories, Now Shunan Works, Nisshin Steel Co., Ltd.)

スラグ処理や耐火物に不利な条件となっている。また、高塩基度であるためスラグの融点が高く地金ロスが大きいという問題もある。

本研究では、これらの問題を軽減するため酸化鉄を含む石灰系粉体を気体酸素とともに同時に吹き込む手法により、(1)同時脱珪・脱りんを効率良く行うこと、(2)温度を広範囲に制御すること、(3)高速処理であることを狙いとして、現行の予備処理法が脱珪→脱りん・脱硫というプロセスに対し、脱硫→脱珪・脱りんという冶金的に合理的なプロセスとすることを考えた。また、酸化鉄を吹き込むため耐摩耗の観点からセラミックス羽口を用いた吹き込み法を検討した。

## 2. 実験方法および条件

Fig. 1 に実験に用いた反応容器の概略を示す。本研究では、樋での処理を想定して長さ 3 m、幅 0.8 m、浴深 0.4 m の槽型の反応容器とした。溶銑量は 5 t であり、5 t 高周波溶解炉であらかじめ成分と温度を調整した後、この反応容器に装入した。吹き込み方法は Fig. 2 に示したごとく、斜め下向きとし、気体酸素と粉体を同時に溶銑中に吹き込んだ。なお、比較のため一部底吹き実験

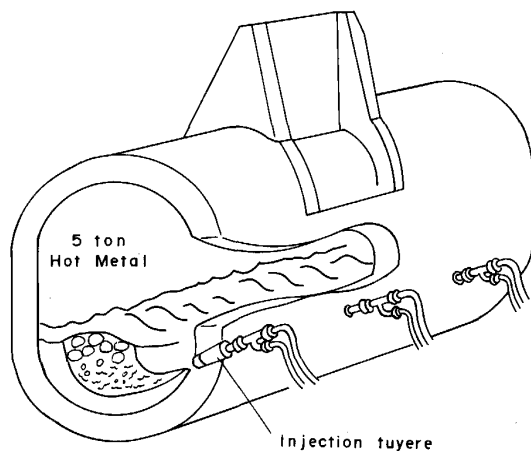


Fig. 1. A sketch of the experimental reactor for side-blown injection.

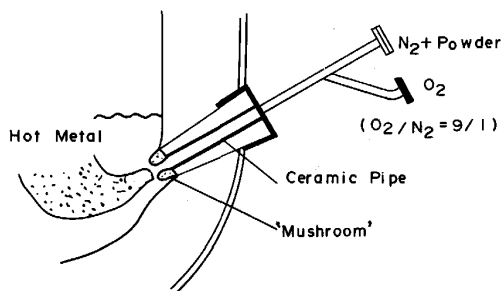


Fig. 2. A schematic drawing of the injection system and a ceramic tuyere.

Table 1. Experimental conditions.

Hot metal weight	5 t
Chemical compositions	[%Si]: $tr \sim 0.51$ [%C]: $\sim 4.3$ [%Mn]: $\sim 0.30$ [%P]: $\sim 0.100$ [%S]: $\sim 0.035$ [%Ti], [%V]: $\sim 0.050$
Temperature	1 400~1 260°C (1 330~1 340°C)
Injection time	7~20 min
Flow rate of O <sub>2</sub> Feed rate of powders Gaseous oxygen ratio	0.8~3.1 Nm <sup>3</sup> /min (O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> =9) 10~60 kg/min 30~75%
Number of tuyeres	1, 6, 12

も実施した。吹き込み羽口は Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiC 系のセラミックスノズルを Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系のキャストブルに埋め込んだ構造のものである。粉体組成は 38% 生石灰-8% 螢石-54% ミルスケールであり、窒素ガスを搬送ガスとして粉体供給設備から羽口まで輸送し、酸素ガスを羽口直前で富化した。このときの O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 比は 9/1 である。吹き込み羽口の本数は 1, 6 または 12 本であり内径は 0.005~0.017 m である。酸素ガスおよび粉体の供給速度は 0.8~3.1 Nm<sup>3</sup>/min および 10~60 kg/min の範囲でそれぞれ変化させ、(1)式で定義される気体 O<sub>2</sub> の使用割合 (以下、気酸比と記す) を 30~75% の範囲で変化させた。

$$\text{気酸比} = (\text{気体 O}_2 / \Sigma \text{O}_2) \times 100 \quad (\%) \dots \dots \dots (1)$$

$$\Sigma \text{O}_2 = \text{気体 O}_2 + \text{スケール中の O}_2 \quad (\text{Nm}^3/\text{t}) \dots \dots \dots (2)$$

また、処理前 [%Si] (以下、[%Si]<sub>i</sub> と記す) をトレースから 0.51% まで変化させた。処理温度は 1 400°C から 1 260°C の範囲であり、平均すると 1 330~1 340°C であった。処理時間は 7~20 min である。実験条件を Table 1 にまとめて示した。

## 3. 実験結果

### 3.1 同時脱珪・脱りん

Fig. 3 に [%Si]<sub>i</sub> が 0.51%、気酸比が 69.6% の場合の P, Si および温度の変化を示した。また、Table 2 にはこのヒートを含め代表例 3 ヒートでの実験条件と結果をまとめて示した。いずれも斜め下吹きの場合である。Fig. 3 および Table 2 より同時に脱珪と脱りんが進行し、[%P]=0.006~0.007% まで脱りんされていることがわかる。また、気酸比が 65~70% のとき吹錬前後で温度の変化はなかったが、気酸比 37.9% のときは 80°C の温度低下があった。

### 3.2 生石灰原単位と CaO/ΣO<sub>2</sub> 比、[%Si]<sub>i</sub>

Fig. 4 に生石灰原単位 (kg/t) におよぼす CaO/ΣO<sub>2</sub> (kg/Nm<sup>3</sup>) 比の影響を示した。同図は [%Si]<sub>i</sub> が約 0.40%、処理温度が約 1 330°C の場合である。同図よ

Table 2. Experimental conditions and the results in typical heats.

Heat No.	103	110	S3
Number of nozzles	12	12	1
O <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> /min)	2.8	2.6	2.5
Powder mixture (kg/min)	53.4	17.0	18.2
O <sub>2</sub> ratio (%)	37.9	64.8	69.6
CaO/ΣO <sub>2</sub> (kg/Nm <sup>3</sup> )	2.76	1.60	2.52
CaO (kg/t)	28.2	22.4	30.5
Silicon (%)	0.38/0.004	0.35/0.006	0.51/0.008
Phosphorous (%)	0.111/0.006	0.107/0.006	0.100/0.007
Sulfur (%)	0.035/0.015	0.043/0.030	0.034/0.014
(%T. Fe) (%)	0.85	1.41	1.05
(%CaO)/(%SiO <sub>2</sub> )	2.42	2.0	2.73
Temperature (°C)	1390/1310	1335/1328	1320/1320

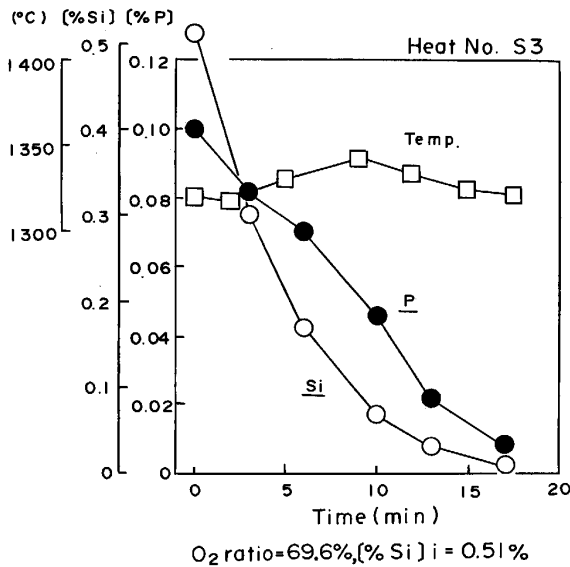


Fig. 3. The changes in the bath temperature and the silicon and phosphorous contents during the injection.

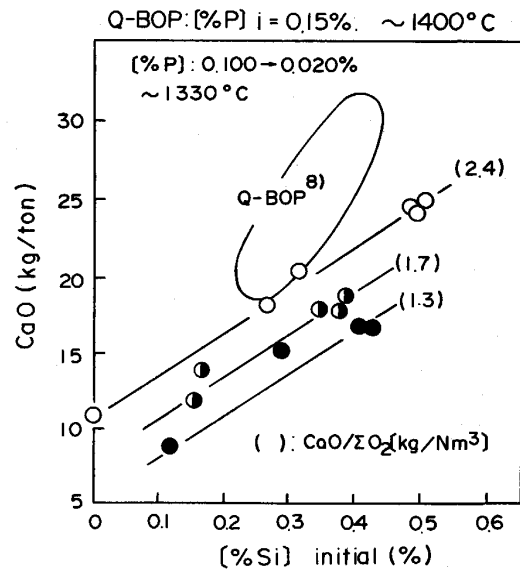


Fig. 5. The influence of the initial silicon contents on the consumption of lime with the different CaO/ΣO<sub>2</sub> ratios.

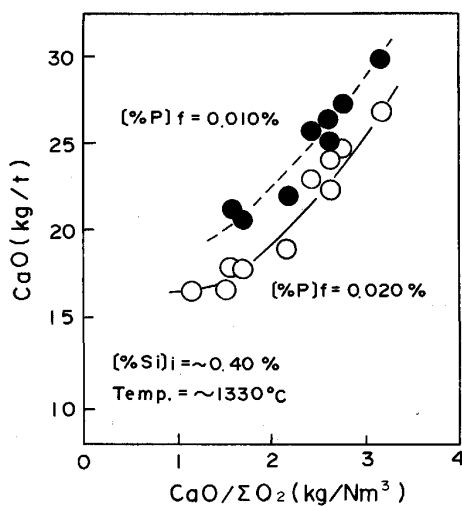


Fig. 4. Lime consumption as a function of the ratio of CaO/ΣO<sub>2</sub> (kg/Nm<sup>3</sup>).

り CaO/ΣO<sub>2</sub> 比を低下させるほど、すなわち、酸化力を増加させるほど生石灰の原単位は減少し、CaO/ΣO<sub>2</sub>

= 1.5 kg/Nm<sup>3</sup> において処理後 [%P] (以下、[%P]f と記す。) 0.010% を得るのに必要な生石灰原単位は 20 kg/t であった。また、同様に [%Si]i の影響を Fig. 5 に示した。[%Si]i が増加するほど生石灰原単位は増加したが、CaO/ΣO<sub>2</sub> 比を低下させることにより、より少ない生石灰原単位で脱りんが可能であった。高炉での出銑 [%Si] を 0.25% まで低下させれば 12~13 kg/t の生石灰原単位で脱りん ([%P]f = 0.020%) が可能である。また、Fig. 5 では、Q-BOP 転炉での脱りん結果<sup>8)</sup>と比較して示したが、本法の方が優れた効率を示した。Q-BOP 法では気体酸素と生石灰、蛍石粉を底吹きし、冷却剤として鉄鉱石を上方から添加している。本法ではミルスケールとともに吹き込むので、反応サイト(後述)での温度が酸素源として気体酸素のみを吹き込む Q-BOP 法に比べ上昇せず、脱りんには好都合となったためと考えられる。

### 3.3 りん分配比とスラグ成分

りん分配比 ( $L_p = (\%P) / [\%P]$ ) と (%CaO)/(%SiO<sub>2</sub>)

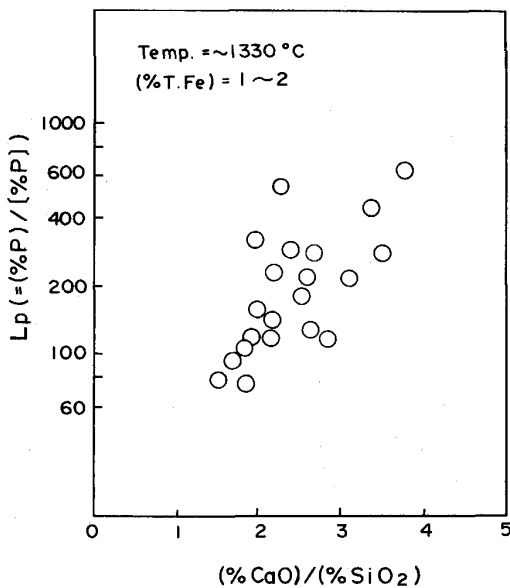


Fig. 6. Phosphorous partition ratios obtained at the end of the injection as a function of the basicity,  $(\%CaO)/(\%SiO_2)$ .

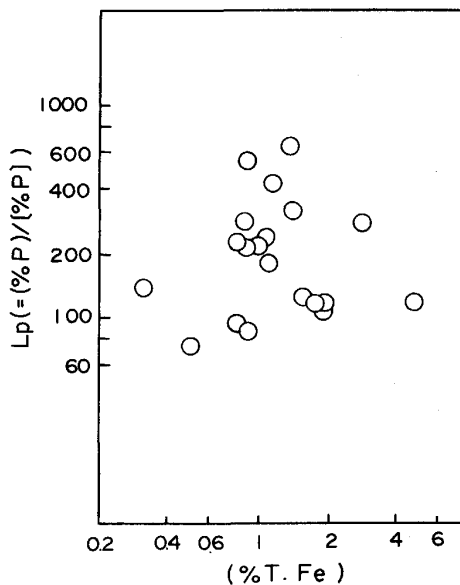


Fig. 7. Relationship between phosphorous partition ratios and the contents of iron oxide in slags.

の関係, および  $L_p$  とスラグ中の酸化鉄濃度 ( $\%T.Fe$ ) の関係をそれぞれ Fig. 6, 7 に示した. Fig. 6 より  $(\%CaO)/(\%SiO_2)$  の増加により  $L_p$  は増加するが,  $(\%CaO)/(\%SiO_2) = 2.5$  と低い値においても,  $L_p = 100 \sim 300$  と高い値が得られた. また, Fig. 7 に示すごとく本法での ( $\%T.Fe$ ) は  $1 \sim 2\%$  でありそのときの  $L_p$  は  $100 \sim 600$  であった.  $L_p$  と ( $\%T.Fe$ ) の間には相関は認められなかった.

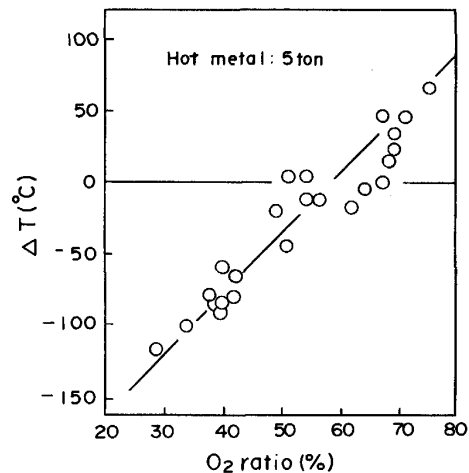


Fig. 8. The temperature changes between before and after the injection as a function of the  $O_2$  ratio.

### 3.4 気酸比と温度変化

Fig. 8 に種々の気酸比における処理前後の温度変化 ( $\Delta T, ^\circ C$ ) を示す. 気酸比  $30\%$  では  $120^\circ C$  の温度低下があり, 気酸比の増加とともに温度低下は減少し, 気酸比  $70\%$  においては  $0 \sim 50^\circ C$  の温度上昇が認められた. なお, Fig. 8 の結果は計算により理論的に求めた値に比べ約  $40^\circ C$  低い値となったが, これは, 本実験では処理量が  $5t$  と少ないため耐火物への抜熱量が大きかったためと考えられる.

## 4. 考 察

### 4.1 斜め下吹きと高速吹き込み

Fig. 9 に, 種々の吹き込み条件で得られた  $\Sigma O_2$  ( $Nm^3/t$ ) のマスバランスを示した.  $\Sigma O_2 [cal.] (Nm^3/t)$  は  $C, Si, Mn, P, Ti, V$  の吹き込み前後の変化量より求めた. 同図より, 12 本斜め下吹き (図中○印) でマスバランスが一致しない場合が認められた. これは, 吹き込み剤が斜め下方に吹き込まれた場合, 浴内への浸透が十分でない場合に生じると考え, 吹き込みジェット of 浴内での軌跡を求め検討した.

ENGH ら<sup>9)</sup> は, (ガス+粉体) ジェットの持つ慣性力とそれらが液中で受ける浮力のバランスにより吹き込みジェットの軌跡を求めている. ここでは, 彼らの手法にもとづきジェットの中心軸の長さ  $S$  を求め, 酸素バランスとの関係を検討した. 結果を Table 3 および Fig. 10 に示した. ここで,  $\Delta \Sigma O_2$  は吹き込まれた  $\Sigma O_2$  (Input) と  $\Sigma O_2 [cal.]$  との差を表す. Fig. 10 より  $S(m)$  が短い, すなわち, 吹き込みジェットが十分浴内に浸透していない場合は  $\Delta \Sigma O_2$  が大きかった (例えば, Fig. 10 における①の場合 [ノズル内径:  $0.008m$ ,

Table 3. The blowing conditions and the calculated injection trajectories.

Number of nozzles	Inner dia. of nozzles (mm)	Feed rate per one nozzle		$H_0$ (cm)	Initial [%Si]	Final [%P]	Total oxygen ( $\Sigma O_2$ )			S (m)	$N_{Fr}$ $\times 10^{-4}$	$u_0$ (m/s)	
		$O_2 + N_2$ ( $Nm^3/min$ )	Powder (kg/min)				Input	Output	$\Delta \Sigma O_2$				
		(Nm <sup>3</sup> /t)											
①	12	8	0.24	1.4	7	0.35	0.006	13.96	10.19	3.8	0.180	0.24	80
②	6	5	0.43	2.77	7	0.43	0.020	10.91	9.72	1.2	0.338	9.02	364
③	12	5	0.28	5.07	7	0.38	0.006	10.96	10.94	0.01	0.393	39.4	240
④	1	17	3.22	30.0	17	0.49	0.017	11.60	11.74	-0.14	0.527	2.71	225

$H_0$ : Height of melt surface above nozzle S: Length along jet axis  $N_{Fr}$ : A modified Froude number  $u_0$ : Linear velocity in nozzle

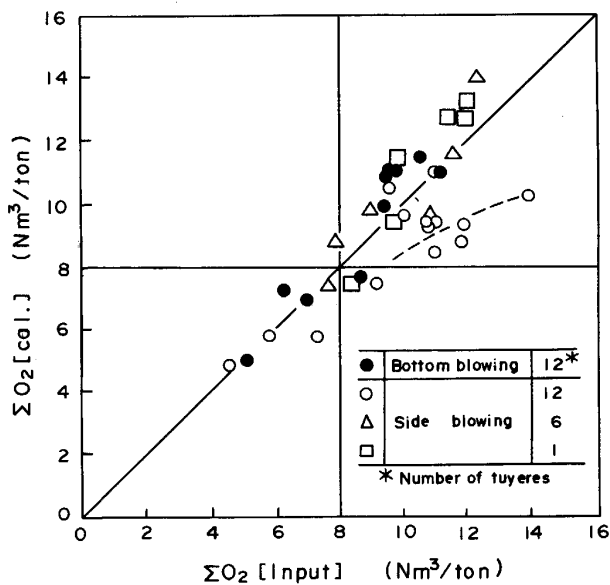


Fig. 9. Oxygen balance observed in the different blowing conditions.

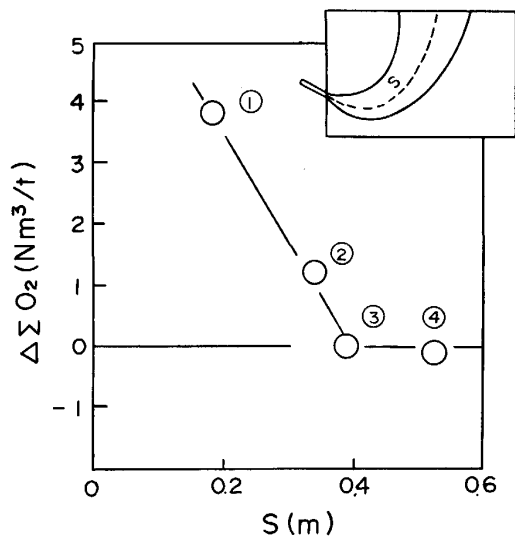


Fig. 10. The difference of oxygen consumption between input and output,  $\Delta \Sigma O_2$ , as a function of the length along the injection jet axis, S.

$O_2 + N_2$ : 0.24  $Nm^3/min$ ・羽口, 粉体: 1.4 kg/min・羽口, S: 0.18 m). 一方, 吹込み速度が大きく,  $S \geq 0.39$  m となると両者は良く一致した (例えば Fig. 10④の場合 [ノズル内径: 0.017 m,  $O_2 + N_2$ : 3.22  $Nm^3/min$ ・羽口, 粉体: 30 kg/min・羽口, S: 0.527 m]). すなわち, 高速で吹き込んだ場合の方が反応効率が向上した.

取鋼等での酸素源の吹込み速度は最大でも 0.25  $Nm^3/min \cdot t$  程度であるが<sup>10)</sup>, 斜め下吹き法ではこの約 4 倍にあたる 0.8~1.1  $Nm^3/min \cdot t$ ・羽口の送酸速度が得られた. 一方, 底吹きで同等の送酸速度を得るには羽口を 12 本程度としないと, 本実験での浴深では吹抜け<sup>11)</sup>の現象が現れた<sup>12)</sup>. また, 底吹きの場合スプラッシュや湯面の振動が観察され激しい攪拌状態となった. 斜め下吹きという吹込み法は‘静かに’しかも高速で吹き込む場合に有利な方法といえる.

#### 4.2 マッシュルームの生成と脱りん反応機構

本法では高気酸比での吹込みであったがセラミックスノズルは溶損しなかった. これは, 吹込みノズル上面に付着物 (以下, マッシュルームと呼ぶ) が生成したためであった. Photo. 1 にその断面を示した. マッシュルームはスラグ質であり内部に粒鉄を含んでいた. 吹込み剤の通過する側 (内側) は大部分が CaO-酸化鉄からなり, 一部 CaO-SiO<sub>2</sub> が含まれていた. マッシュルームの外側は, CaO-酸化鉄はほとんど含まれず, CaO-SiO<sub>2</sub> と CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> が主成分であった. このことは, 羽口先ですでに脱珪と脱りんが進行していたことを示している. Fig. 11 に, マッシュルーム中の粒鉄についてシリコンとりんを EPMA により分析した結果を示す. マッシュルームの内側から外側へ行くほど, また, 根元から先端へ行くほど [%Si] および [%P] は低下し, [%P] = tr も認められた. また, [%P] の方が [%Si] より小さく, 羽口先ではむしろ脱りんのほうが優先して進行していたと考えられる.

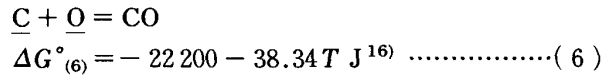
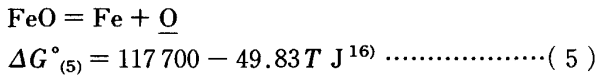
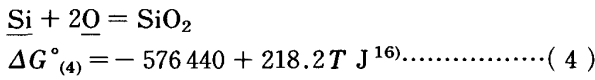
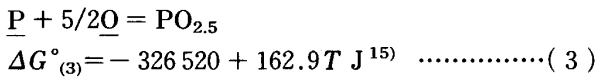
#### 4.3 同時脱珪・脱りんの速度論的検討

溶鉄の脱りんが [%Si] > 0.20% の領域において進行したという報告例はこれまでにない. しかし, 本研究

では斜め下吹きとすることにより脱珪と同時に脱りんが進行した。しかし、一方、底吹きをした場合には通常観察されるごとくはじめに脱珪が進行し、[%Si]<0.10% となってから脱りんが進行した。その様子を Fig. 12 に示した。なお、底吹き(図中○印)の吹込み条件は O<sub>2</sub>: 1.4 Nm<sup>3</sup>/min, 粉体: 23.4 kg/min であり、12 本の羽口を用いて行われた。

吹込み方法によってこのように P と Si の酸化挙動に変化が生じる理由について以下に検討してみた。土居ら<sup>13)</sup>は、溶鉄、スラグ両相の攪拌状態の差により、Si と P の酸化挙動に変化が生じることを計算により求めている。以下に、彼らおよび MORI ら<sup>14)</sup> のモデルを基に同時脱珪・脱りんについて速度論的に検討してみた。

考慮した反応は次の四つである。



(6)式は化学反応律速<sup>14)</sup>としその他は物質移動律速<sup>13)</sup>とした場合(7)~(13)式が与えられる。なお、スラグおよび溶鉄中の各元素の物質移動係数はすべて等しいとして、それぞれ  $k_s, k_m$  (cm/s) とした。

$$-d[\%P]/dt = Fk_P \{L_P^*[\%P] - (\%P)\} / W_m \dots\dots\dots(7)$$

$$1/k_P = L_P^* / k_m \rho_m + 1/k_s \rho_s \dots\dots\dots(8)$$

$$-d[\%Si]/dt = Fk_{Si} \{L_{Si}^*[\%Si] - (\%Si)\} / W_m \dots\dots\dots(9)$$

$$1/k_{Si} = L_{Si}^* / k_m \rho_m + 1/k_s \rho_s \dots\dots\dots(10)$$

$$-d[\%O]/dt = Fk_m \rho_m \{[\%O] - [\%O]^*\} \dots\dots(11)$$

$$-d(\%FeO)/dt = Fk_s \rho_s \{(\%FeO) - L_O^*[\%O]^*\} / W_s \dots\dots(12)$$

$$-d[\%C]/dt = Fk_{CO} \{f_C f_O [\%C] [\%O]^* - P_{CO}^* / K_{CO}\} / W_m \dots\dots\dots(13)$$

ここで、 $F$  は界面積 (cm<sup>2</sup>),  $k_P, k_{Si}$  は P, Si の総括物質移動係数 (g/cm<sup>2</sup>·s),  $\rho$  は密度 (g/cm<sup>3</sup>),  $L_i$  は  $i$  成分のスラグ、溶鉄間の分配値,  $W$  は重量 (g) である。

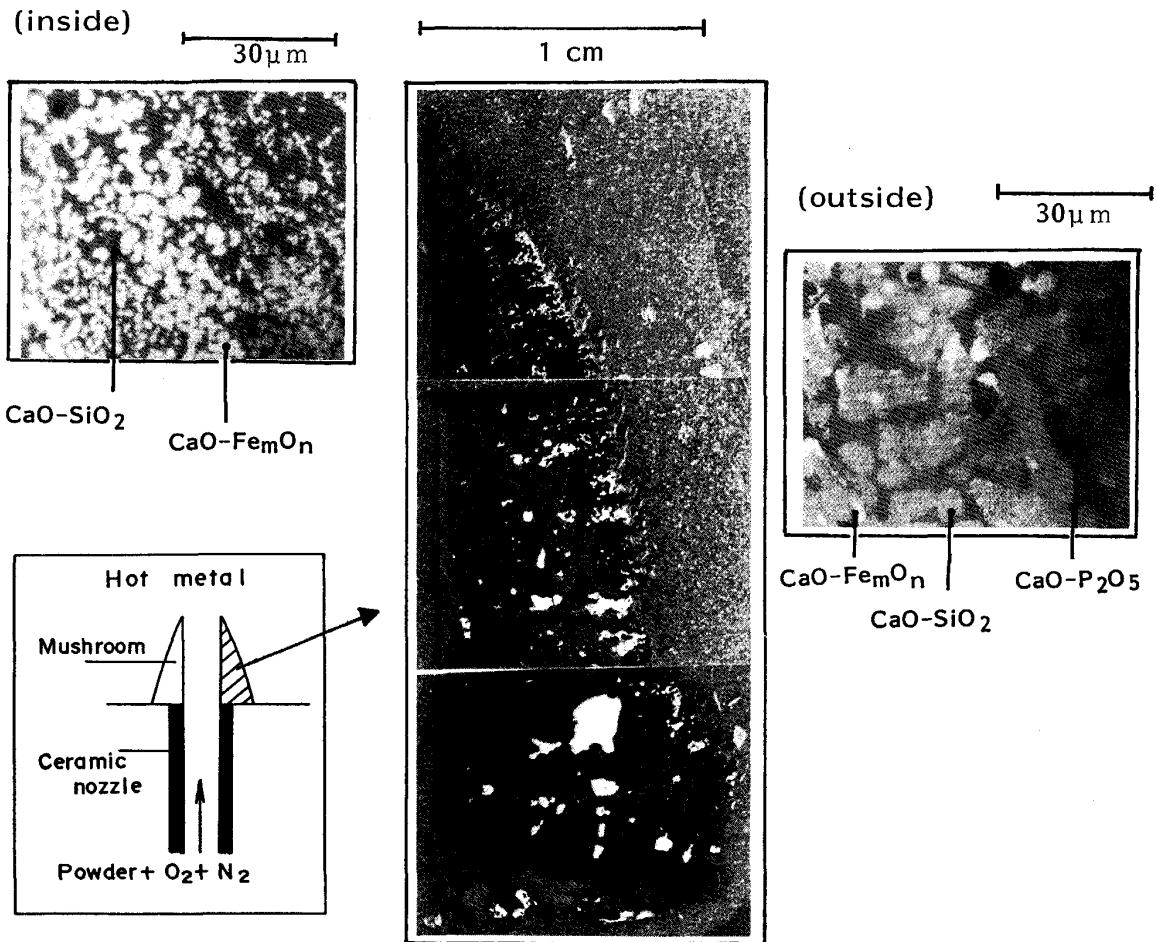


Photo. 1. Longitudinal section of the mushroom and the result of EDX analysis.

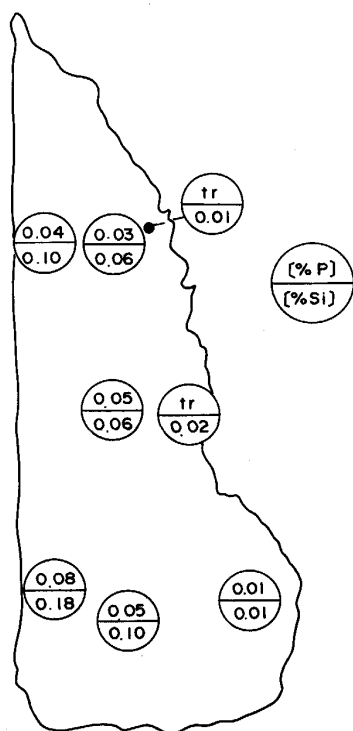


Fig. 11. The contents of silicon and phosphorus in the metallic iron particles entrapped in the mushroom.

$f_c, f_o$  はそれぞれ C, O のヘンリー基準の活量係数,  $k_{CO}, K_{CO}$  はそれぞれ (6) 式の反応速度定数 (% g/cm<sup>2</sup>·s), および平衡定数である. 添え字  $m, s$  は溶銑, スラグを, \* は界面での量を意味する.

また, 界面では (3)~(6) 式反応は平衡状態にあるとした. また, 反応に伴うスラグ組成の変化を考慮するため, PO<sub>2.5</sub>, SiO<sub>2</sub>, FeO の活量算出には萬谷<sup>17)</sup>, 長林<sup>15)</sup> からの求めた正則溶液モデルのパラメーターを用いた.

反応モデルは球状のスラグが溶銑中に一つあり, そのスラグ/溶銑比は吹き込まれた O<sub>2</sub> と粉体の原単位に等しいとした. ここで気体酸素およびスケール中の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> はすべて FeO になるとして計算した. その場合の初期スラグ組成, スラグ/溶銑比を Table 4 に示した.

上記のモデルで同時脱珪・脱りんが生じたのは, ①脱炭速度が著しく小さい, ② (%FeO) が大である, ③ス

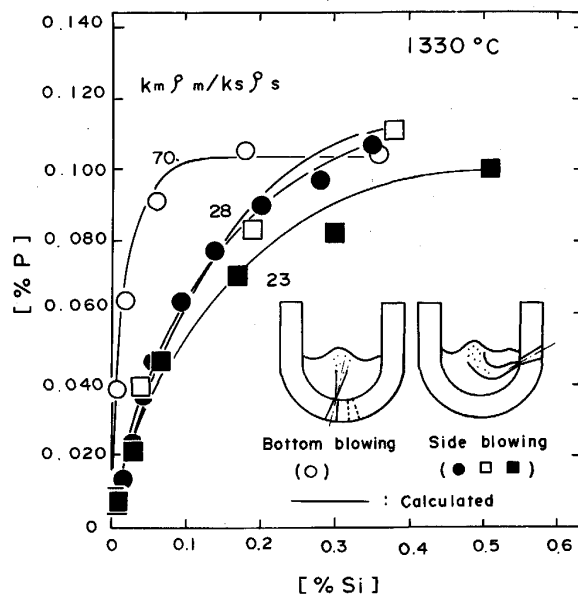


Fig. 12. Oxidation behavior of silicon and phosphorus in hot metal observed in the bottom and side blowings.

ラグ側の物質移動係数が溶銑側のそれに対し相対的に大である, の三つの場合であった. 一方, 実験結果では, 底吹きと斜め下吹きで脱炭量に変化はなく, [%Si]<sub>i</sub> = 0.35% で [%P]<sub>f</sub> = 0.015% を得るのに約 0.50% の脱炭量があった. また, Table 4 に示したごとく, (%FeO) は両吹き込み法でほぼ同一であった.

そこで③について, すなわちスラグ側, 溶銑側の攪拌の影響について検討した. 結果を Fig. 13 に示した. 同図では  $k_m \rho_m / k_s \rho_s$  比を 10~100 まで変化させ両相の相対的な攪拌の影響を求めた. スラグに対し相対的に溶銑の攪拌が大きくなると熱力学的に推定される方向 (初めに脱珪が進行) となった. また, スラグ側の攪拌が大きいと同時脱珪・脱りんが生じる方向となった. これは, 界面への FeO の供給速度が大となりそれに対し溶銑からの Si の供給が少なく, 脱珪期においても界面の酸素ポテンシャルが高く維持されたためであった. Table 4 に示す実験条件で底吹きおよび斜め下吹きでの実験値と合う  $k_m \rho_m / k_s \rho_s$  比を求め前出の Fig. 12 に示した.

Table 4. Initial conditions of the simulation calculation.

Run No.	Slag (wt%)			Metal (wt%)			Slag/Metal g/g	Mark	$k_m \rho_m / k_s \rho_s$
	FeO	CaO	CaF <sub>2</sub>	C	Si	P			
103	65	28.9	6.1	4.22	0.38	0.111	0.105	□	28
110	78	18.2	3.8	4.32	0.35	0.107	0.120	●	28
S3	67	26.3	6.7	4.30	0.51	0.100	0.116	■	23
2*	66	27.3	6.7	4.47	0.36	0.104	0.091	○	70

\* Run 2 was carried out by bottom blowing and others by side blowing.

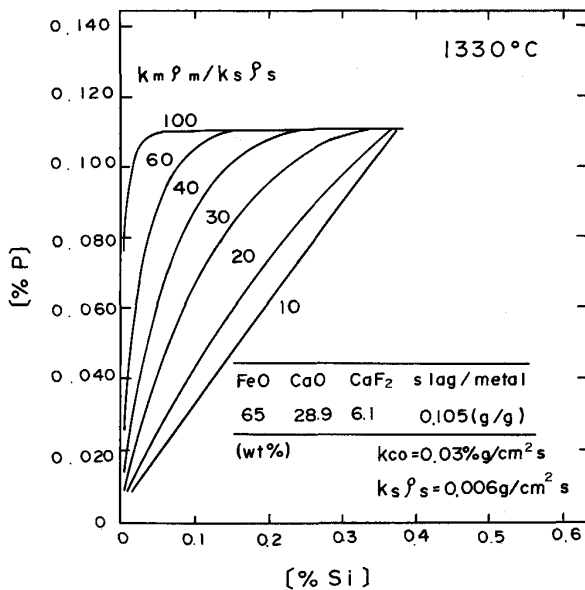


Fig. 13. Calculated oxidation behavior of silicon and phosphorous for different  $k_m \rho_m / k_s \rho_s$  ratios.

( $k_m \rho_m / k_s \rho_s$ )底吹き  $\approx$  3( $k_m \rho_m / k_s \rho_s$ )斜め下吹きとした場合に実験結果を良く説明できた。実際に底吹きと斜め下吹きでスラグ/溶銑界面での攪拌の様子が変化したかどうかは不明であるが、斜め下吹きの場合非常に大きな吹込み速度がスプラッシュ等の問題もなく確保できたことは、溶銑浴の攪拌状態が両吹込み法で異なり、スラグ/溶銑界面近傍での相対的な物質移動速度に影響を与えたものと推定される。

なお、本計算では一つの球状スラグが溶銑と接触しているだけという単純なモデルで検討した。しかし、インジェクションの場合は微細なスラグ粒が溶銑中に多数分散する形態となることが考えられるが、この場合反応時間が短くなるだけで  $\text{Si}$  と  $\text{P}$  の相対的な酸化挙動に変化はなかった。

## 5. 結 言

溶銑の同時脱珪・脱りんの実験を 5 t 規模で行い以下の結果を得た。

(1) [%Si] = 0.50% においても効率良く脱りんが行われた。[%Si] = 0.35% では CaO 原単位 22.4 kg/t, (%T.Fe) = 1.41 で [%P] : 0.107 → 0.006% までの脱り

んが得られた。

(2) 気酸比を 30% から 70% まで変化させることにより  $\Delta T$  は -120 から +50°C まで変化した。

(3) 脱りん反応は吹込み羽口直近で脱珪とともに進行していたことをマッシュルームの分析により確認した。

(4) 耐摩耗の観点からセラミックス羽口としたが溶損せず長寿命が期待された。

(5) 斜め下吹き法では、浴深が 0.4 m と浅くても、1.1 Nm<sup>3</sup>/min・羽口の高速吹込みが可能であった。

(6) 同時脱珪・脱りんの速度論的検討により、底吹きと斜め下吹きではスラグ/メタル界面近傍での物質移動の形態が変化していると推定された。

## 文 献

- 川上正弘, 福味純一, 田辺治良, 内田繁孝, 海老沢勉, 白谷勇介: 鉄と鋼, **72** (1986), S 241
- 住田守弘, 安藤道英, 中村皓一, 野瀬正照, 中島啓之, 高橋義則: 鉄と鋼, **69** (1983), S 959
- 田中 功, 村上昌三, 佐藤宣雄, 井下 力, 矢動丸成行, 井ノ口和好, 佐々木健一: 鉄と鋼, **69** (1983), S 958
- 嶋 宏, 東 和彦, 小林 功, 占部数之, 藤本茂生: 鉄と鋼, **73** (1987), S 274
- H. KLEIN, J. F. LIESCH, H. ISO and K. NAKAMURA: *Steelmaking Proceedings*, **68** (1985), p. 129 [ISS-AIME]
- 田岡啓造, 大谷尚史, 今井卓雄, 朝穂隆一, 広瀬充朗: 鉄と鋼, **68** (1982), S 1032
- 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), S 213
- H. MORISHITA, H. YAMANAKA and F. SUDO: *Steelmaking Proceedings*, **66** (1983), p. 187 [ISS-AIME]
- T. A. ENGH and H. BERTHEUSSEN: *Scand. J. Metall.*, **4** (1975), p. 241
- 斎藤健志, 中西恭二, 三崎規生, 中井一吉, 大西正之: 鉄と鋼, **69** (1983), p. 1802
- 加藤嘉英, 野崎 努, 中西恭二, 藤井徹也, 江見俊彦: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 380
- 中島義夫, 深見泰民, 福井克則, 森谷尚玄, 丸橋茂昭: *材料とプロセス*, **1** (1988), p. 117
- 土居定雄, 森 克巳, 川合保治, 近藤 明: 鉄と鋼, **72** (1986), p. 1560
- K. MORI, Y. FUKAMI and Y. KAWAI: *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.*, **28** (1988), p. 315
- 長林 烈, 日野光元, 萬谷志郎: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 1770
- 製鋼反応の推奨平衡値 (日本学術振興会製鋼第 19 委員会編) 学振 19 委-No. 10588 (昭和 59 年)
- 萬谷志郎: 第 122・123 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1988), p. 1