

---

高炉鑄床における溶銑の脱珪処理

Desiliconization Process of Hot Metal at Blast Furnace Casthouse

内山 武(Takeshi Uchiyama) 武田 幹治(Kanji Takeda) 田口 整司(Seiji Taguchi)  
篠原 幸一(Koichi Shinohara) 加藤 治雄(Haruo Kato) 松本 敏行(Toshiyuki  
Matsumoto)

---

要旨：

当社では各高炉のローカルな条件に応じて高炉鑄床脱珪法を開発してきた。鑄床で除滓を行わない脱珪法では、スラグフォーミング、スプラッシュのために脱珪剤投入速度、投入密度に上限がある。このため、必要な脱珪剤投入速度に応じて上撒き法、1段投射法、2段投射法と高度な脱珪技術を採用してきた。鑄床で除滓を行う場合には、反応効率を高めるために鑄床反応槽におけるインジェクション脱珪法が有効である。反応槽でのインジェクション脱珪モデルを開発し、脱珪酸素効率 $\eta_{SI}$ に及ぼすランス形状の影響を定量化した。計算結果に基づいてランス形状等のインジェクション条件を改善し、 $\eta_{SI}$ を60%まで向上させることができた。

---

Synopsis：

Several types of desiliconization facilities at blast furnace runner have been developed and applied to blast furnaces in Kawasaki Steel Corp. according to individual local conditions. For the desiliconization method without slag removal at the casthouse, the maximum feed rate and mass velocity of desiliconization reagent are restricted by the problems of slag foaming and splash formations. Three methods, that is, a top feed method, blasting by one stage and blasting by two stage have been developed in steps, according to increases in the required feeding rate of the desiliconization reagent. In the case that desiliconization slag is removed at the blast furnace runner, the injection method by use of an immersion lance should be applied because of its high oxygen efficiency in desiliconization. A simulation model has been developed and the effect of the lance shape on oxygen efficiency in desiliconization evaluated. The oxygen efficiency in desiliconization has increased to 60% by the improvement of the injection conditions based on the simulation results.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

## Desiliconization Process of Hot Metal at Blast Furnace Casthouse



内山 武  
Takeshi Uchiyama  
鉄鋼研究所 銑鋼プロセス研究部製銑研究室



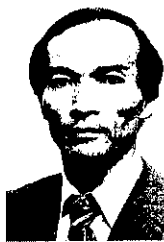
武田 幹治  
Kanji Takeda  
鉄鋼研究所 銑鋼プロセス研究部製銑研究室主任研究員(掛長)



田口 整司  
Seiji Taguchi  
鉄鋼研究所 銑鋼プロセス研究部製銑研究室室長(部長補)



篠原 幸一  
Koichi Shinohara  
水島製鉄所 製銑部製銑課主任部員(掛長)



加藤 治雄  
Haruo Kato  
千葉製鉄所 製銑部製銑技術室



松本 敏行  
Toshiyuki Matsumoto  
千葉製鉄所 製銑部製銑技術室 主査(課長)

### 1 緒言

製鋼工程での高純度鋼溶銑比率の向上，精錬コストの低減のニーズに対応して，当社では高炉鑄床における脱珪，トビードでの脱銑を主とする溶銑予備処理設備を建設し，全量溶銑予備処理体制を構築している<sup>1)</sup>。

製銑部門では，溶銑予備処理センター(PTC)に安定した低Si溶銑を供給することを目的に，高炉出銑Siを低下させるとともに鑄床脱珪設備を導入してきた。

鑄床脱珪設備として，溶銑樋上から脱珪剤を散布する上置き法，溶銑樋途中の反応槽または傾注樋においてキャリアガスにより加速添加する投射方式，反応槽内にランスを浸漬しインジェクションするインジェクション方式が知られている。これまでに溶銑予備処理設備として，処理前Si濃度([Si]<sub>1</sub>)，処理後の要求Si濃度および処理量に応じて種々の鑄床脱珪法が採用されている。

当社においては，千葉製鉄所第6高炉での上撒き脱珪法，水島製鉄所第4高炉での傾注樋での投射式脱珪法<sup>2)</sup>，千葉製鉄所第6高炉で

### 要旨

当社では各高炉のローカルな条件に応じて高炉鑄床脱珪法を開発してきた。鑄床で除滓を行わない脱珪法では，スラグフォーミング，スプラッシュのために脱珪剤投入速度，投入密度に上限がある。このため，必要な脱珪剤投入速度に応じて上撒き法，1段投射法，2段投射法と高度な脱珪技術を採用してきた。

鑄床で除滓を行う場合には，反応効率を高めるために鑄床反応槽におけるインジェクション脱珪法が有効である。反応槽でのインジェクション脱珪モデルを開発し，脱珪酸素効率 $\eta_{Si}$ に及ぼすランス形状の影響を定量化した。計算結果に基づいてランス形状等のインジェクション条件を改善し， $\eta_{Si}$ を60%まで向上させることができた。

### Synopsis:

Several types of desiliconization facilities at blast furnace runner have been developed and applied to blast furnaces in Kawasaki Steel Corp. according to individual local conditions. For the desiliconization method without slag removal at the casthouse, the maximum feed rate and mass velocity of desiliconization reagent are restricted by the problems of slag foaming and splash formations. Three methods, that is, a top feed method, blasting by one stage and blasting by two stage have been developed in steps, according to increases in the required feeding rate of the desiliconization reagent. In the case that desiliconization slag is removed at the blast furnace runner, the injection method by use of an immersion lance should be applied because of its high oxygen efficiency in desiliconization. A simulation model has been developed and the effect of the lance shape on oxygen efficiency in desiliconization evaluated. The oxygen efficiency in desiliconization has increased to 60% by the improvement of the injection conditions based on the simulation results.

の傾注樋簡易投射式脱珪法<sup>3)</sup>，水島製鉄所2~4高炉での2段投射式脱珪法<sup>4)</sup>，および千葉製鉄所第5高炉での除滓式インジェクション脱珪法とローカルな条件に応じて最適な鑄床脱珪法を開発してきた。

本論文では[Si]<sub>1</sub>，要求される処理後溶銑中Si濃度([Si]<sub>2</sub>)，除滓設備の有無等のローカル条件に応じた鑄床脱珪法の最適化の考え方と実績，および鑄床脱珪反応モデルを用いたインジェクション脱珪法についての速度論的な検討による脱珪反応効率の向上について報告する。

### 2 鑄床での投射式脱珪法の開発と改善

#### 2.1 投射式脱珪法の開発<sup>2)</sup>

水島製鉄所では高炉~PTC間に除滓設備を建設し，傾注樋での

\* 平成2年4月5日原稿受付

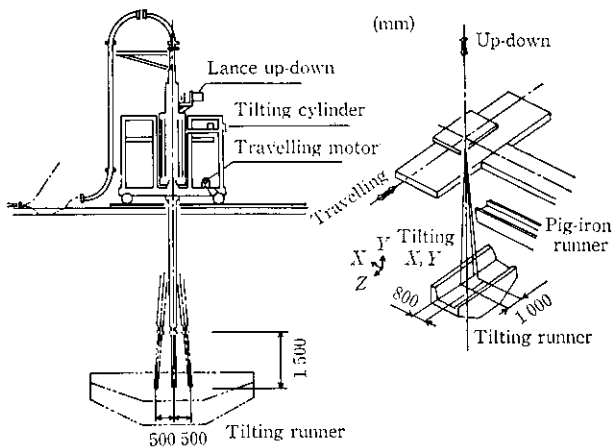


Fig. 1 Lance driving equipment of blasting desiliconization at tilting runner (No. 4 blast furnace at Mizushima Works)

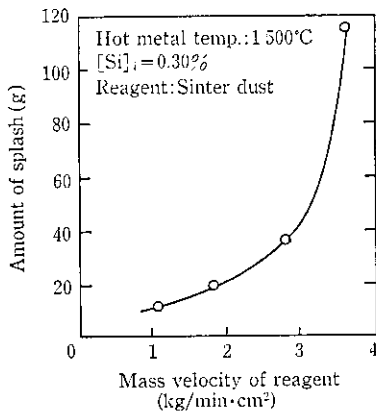


Fig. 2 Relationship between amount of splash and mass velocity of reagent

投射式脱珪法を開発してきた。傾注樋への投射法においては、トビード内でのスラグフォーミングによる受銑量の低下およびスプラッシュによる傾注樋傾動機構のトラブルが問題となった。

スラグフォーミングを防止するには、傾注樋の段階でできるだけ高い脱珪酸素効率を確保することが必要となる。傾注樋では脱珪剤を溶銑の落下流に巻き込ませることにより、溶銑への侵入距離の確保が容易となるため、脱珪剤の投射位置を溶銑落下位置に制御することが反応効率向上に有効である。一方、傾注樋への溶銑の落下軌跡は出銑初期と末期での出銑速度の違いにより大きく変化する。そこで、Fig. 1に示すように傾注樋上の溶銑落下位置の変化に追従可能なランスを前後左右に微調整し、ランスを溶銑の落下位置に合わせながら操作を行った。

脱珪剤を多量に投入すると脱珪反応のみならず脱炭反応が起こり、発生ガスのためにスプラッシュが増大する。Fig. 2に示すように、脱珪剤投入密度に比例してスプラッシュが増加するため投入密度を低下させるだけでは投入量そのものが減少してしまい、目的とする脱珪量の確保が困難となる。脱珪剤投入速度を低下させずに脱珪剤投入密度を低下させるため、ノズル形状の変更、ランス連続移動投入法を採用した。Fig. 3に示すように、単孔の円管ランスから、2孔ランス、多孔ランス、スリットランスへと断面積を増加させ、スプラッシュの低減を図った。ランス断面積の増加により、ラ

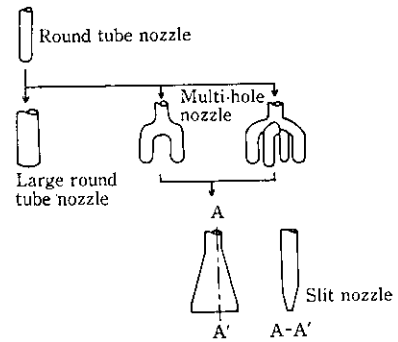


Fig. 3 Improvement of blasting lance nozzle for desiliconization at tilting runner

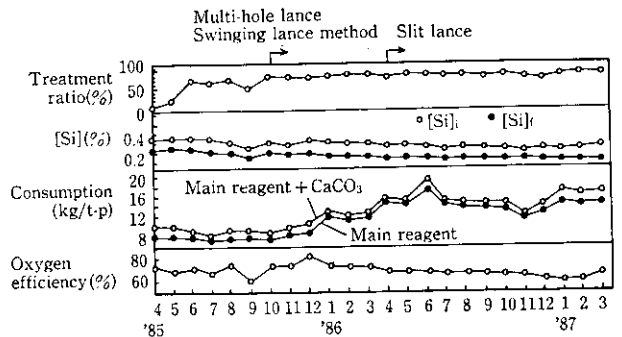


Fig. 4 Increase in reagent consumption in blasting desiliconization by means of improvement of lance nozzle and application of swinging lance method

ンス先端でのガス流速が低下すると傾注樋での反応効率が低下したため、先端ガス流速が一定となるように搬送ガス量を調整した。

Fig. 4に操業の推移図を示す。多孔ランスとスリットランスの使用およびランス連続移動投入法の採用により、脱珪酸素効率  $\eta_{Si}$  = 60% を維持して月平均で脱珪剤の原単位 15 kg/t-p まで投入量の増加が可能となり、処理率 85~90%、 $[Si]_t \leq 0.15\%$  が達成できている。

### 2.2 簡易脱珪法の開発と操業<sup>3)</sup>

千葉製鉄所第6高炉では上撒き式脱珪により、溶銑中 Si を 0.23% から 0.10~0.15% に低下し、製鋼の要求を満足してきた<sup>5)</sup>。1987年の水島製鉄所への生産集約の結果、千葉6高炉は出銑比 1.5~1.7 t/d·m<sup>3</sup> の減産操業となり、 $[Si]_t$  が 0.35~0.40% まで上昇した。その結果、脱珪量 ( $\Delta Si$ ) が大きくなり、トビード内のスラグフォーミングが顕著となり、トビード受銑量低下等の弊害が目立ってきた。

そこで、1988年8月に従来の上撒き式脱珪装置から、反応効率の高い傾注樋部での投射式脱珪との併用装置に改造した。Fig. 5に上撒き併用投射式脱珪装置を示す。この装置は既設の上撒き式脱珪設備の脱珪剤切出し部までを流用し、傾注樋上部へ可搬式の脱珪剤投射装置を増設した設備である。上撒き併用投射方式の基本的な考え方は 2.1 で述べたものと同様であるが、その特徴を列挙すると以下のようになる。

- (1) 矩形の広幅投射ランスを使用し、脱珪剤投入密度の低下を図っている。
- (2) 脱珪剤をロータリーバルブにより定量切出した後、圧縮空気により加速する。

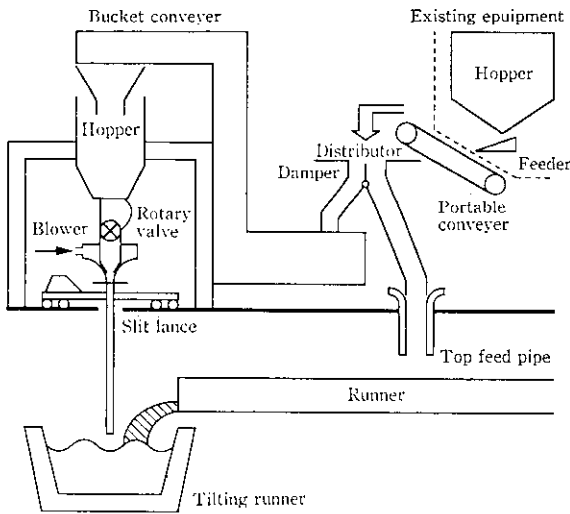


Fig. 5 Schematic diagram of desiliconization equipment combined with top feed and blasting (No. 6 blast furnace at Chiba Works)

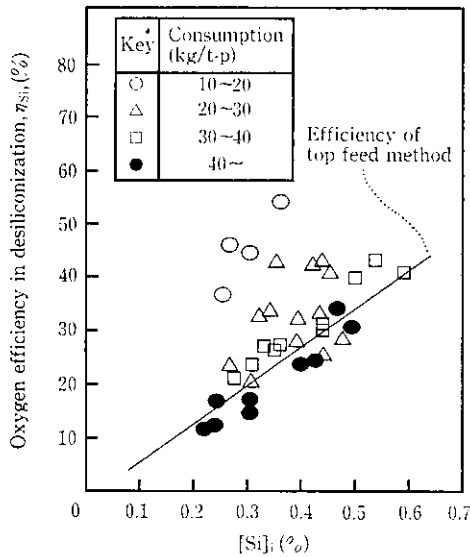


Fig. 6 Relation between oxygen efficiency at tilting runner and  $[Si]_i$

(3) 分配器により、上撒き法と投射法による脱珪剤の投入比率を任意に調整できる。

Fig. 6 に  $[Si]_i$  と傾注樋での  $\eta_{Si}$  の関係を示す。脱珪剤原単位 30 kg/t 以上では脱珪剤投射密度が高くなりすぎ、上撒き式との差はそれほど認められないが、30 kg/t 未満では脱珪効率の改善効果が認められた。これは、傾注樋部で投射することによる脱珪剤の巻き込み攪拌効果とスリットランス使用による投入密度の低下の効果による。

Table 1 に本装置の導入前後における脱珪操作データを対比して示す。投射法を併用することにより、 $[Si]_i$  と脱珪剤原単位が同一でも  $[Si]_f$  が低下し、 $\eta_{Si}$  の向上によりスラグフォーミング抑制剤の使用原単位が低下できることがわかる。

また、トビード内のスラグフォーミングが減少した結果、トビード受鉄量が上昇し、トビード回転率の向上およびトビード稼働台数の低減が可能となった。

Table 1 Improvement of desiliconization operation

	Top feed	Top feed and blasting
$[Si]_i$ (%)	0.30	0.30
$[Si]_f$ (%)	0.15	0.09
Consumption of reagent (kg/t-p)	13	13
Consumption of preventive for slag forming (kg/t-p)	0.23	0.10

### 2.3 鑄床 2 段投射式脱珪設備の開発<sup>4)</sup>

1987 年に水島製鉄所への生産集約が実施され、水島製鉄所では溶銹の品質保証がますます重要となり、製鋼側から  $[Si] \leq 0.10\%$  を要求されるようになった。また、高炉の増産に伴い出銹速度が増加し、同一の原単位でも必要とされる脱珪剤投入速度は約 30% 増加した。しかし前節で述べたように、傾注樋への投射式脱珪では脱珪剤投入速度が増加するとスラグフォーミング、スプラッシュの増加をまねき操作が困難となる。そこで Fig. 7 に示すように、脱珪剤の投射場所を溶銹樋の新設反応槽と傾注樋の 2 箇所に分割する 2 段階打込みを 1987 年 12 月より実施し、脱珪剤投入密度の低下を図った。

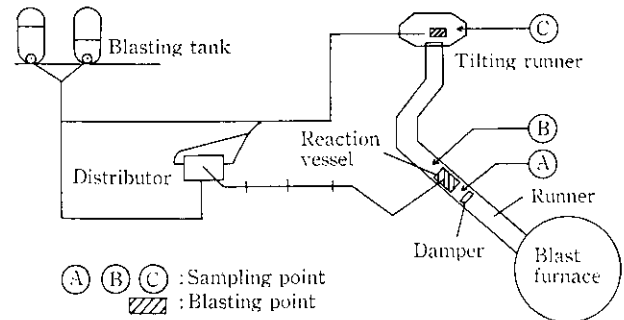


Fig. 7 Schematic diagram of two stage blasting desiliconization (No. 4 blast furnace at Mizushima Works)

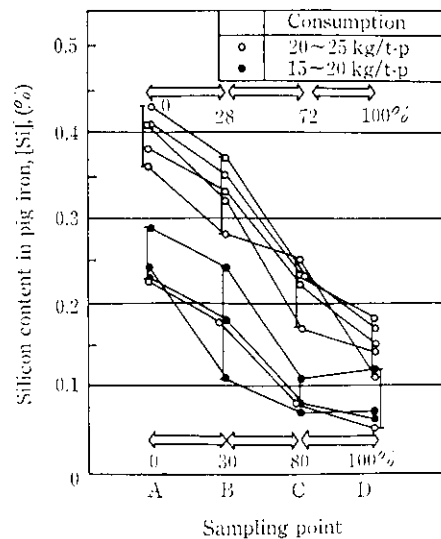


Fig. 8 Change in silicon content of pig iron (Sampling points A-C are shown in Fig. 7 and D corresponds to the pre-treatment center)

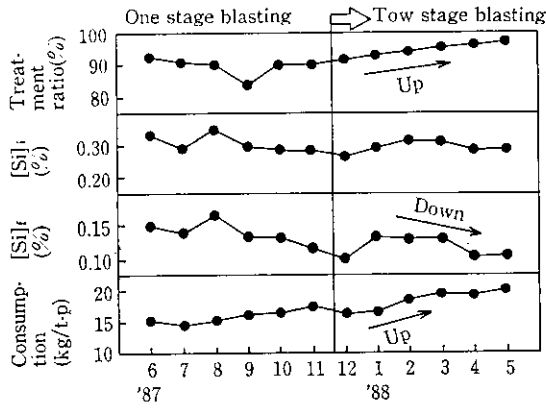


Fig. 9 Change in operation indices with the application of two stage blasting

Table 2 Maximum feeding rate of reagent and final silicon content in each desilicization method

Method	Top feed	One stage blasting	Two stage blasting
Feeding rate of reagent (kg/min)	85	123	190
[Si] <sub>t</sub> (%)	0.15	0.13	0.10

Fig. 7 に示した A~C の各ポイントで同時採取した [Si] の変化を [Si]<sub>i</sub>, 脱珪剤原単位で層別して Fig. 8 に示す。傾注樋出側 C までの反応量は高炉~PTC 間の反応量を 100 とした場合に 70~90% に達している。

Fig. 9 に示すように 2 段階脱珪法を実施してから脱珪剤投入量を増加させて、[Si]<sub>t</sub> を低下させることができた。さらに 1988 年 9 月からは水島製鉄所の全高炉に鑄床脱珪設備を設置し、全量溶銑予備処理に向けて稼働している。

投射法において、脱珪剤の投入速度を増大させ、安定して [Si] ≤ 0.10% の溶銑を供給できた要因を整理すると以下のようになる。

- (1) ランス形状の改善
- (2) 脱珪剤投入方法の改善
- (3) 反応槽および傾注樋への 2 段階打込み

いずれの場合も脱珪剤の投入密度を一定値以下に制御することを主眼としている。Table 2 に必要な脱珪剤投入速度と段階的な脱珪方式の関係を示す。要求される脱珪剤投入速度の上昇と [Si]<sub>t</sub> の低下に伴い、順次、上撒き法、1 段階投射法、2 段階投射法と、脱珪方法を改善してきたことがわかる。

### 3 インジェクション脱珪法の開発と脱珪反応モデルを用いた解析

#### 3.1 除滓式鑄床反応槽インジェクション脱珪法の開発

千葉製鉄所第 5 高炉では、1987 年 10 月の水島製鉄所への生産集約により、出銑比 1.4 t/d・m<sup>3</sup> 程度の減産操業を余儀なくされた。減産操業により 5 高炉出銑 [Si] は集約前の 0.35% から集約後は 0.45~0.55% まで上昇することが予想された。そこで、出銑 [Si] 上昇に対する抑制手段として、また、第 1 製鋼工場への予備処理銑供給手段として 5 高炉で鑄床脱珪を実施することにした。

5 高炉鑄床脱珪に要求される機能の特徴は以下のとおりである。

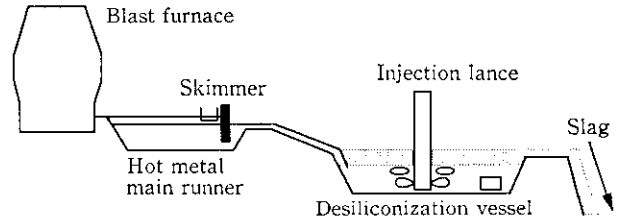


Fig. 10 Schematic diagram of desilicization method by injection (No. 5 blast furnace at Chiba Works)

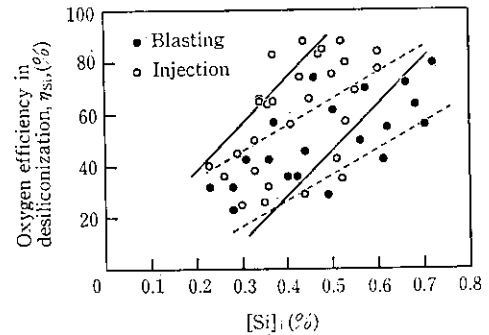


Fig. 11 Relation between oxygen efficiency in desilicization and [Si]<sub>i</sub>

- (1) 6 高炉—3 製鋼間と異なり 5 高炉—1 製鋼間にはスラグ除去設備がなく、5 高炉鑄床で脱珪スラグを除去する必要がある。
- (2) 0.45~0.55% の高 [Si] 溶銑を 0.25% まで低下する必要があり、高脱珪剤単位のもとで反応効率の高いプロセスが要求される。
- (3) 鑄床で銑滓分離を行うことにより、溶銑樋から傾注樋部および傾注樋からトビードへの銑滓落下による溶銑と脱珪スラグの反応がなくなるため、鑄床樋上の短時間で脱珪反応を効率的に行うことのできるプロセスを採用する必要がある。

以上の観点から、溶銑樋上撒き法、傾注樋投射法、溶銑樋投射法および溶銑樋インジェクションの 4 方式を比較し、最も脱珪剤の使用原単位を多くすることが可能で、かつ、高反応効率を期待できる溶銑樋インジェクション法を採用することにした。

溶銑樋で反応効率の高い脱珪を行うため、Fig. 10 に示す脱珪反応槽を設置した。

脱珪剤の受入れ、乾燥、配合および輸送設備は MPI 設備<sup>6)</sup> を流用し、設備費を低減した。

脱珪剤は脱珪スラグが反応槽から自然排滓できる組成であることが必要となる。CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO の 3 元系状態図上で融点が 1300°C 以下の組成になるように脱珪スラグの成分を調整すれば、自然排滓できることを確認し、脱珪剤は微粉鉄鉱石と石灰石を 9:1 に配合して用いている。また、脱珪スラグは回収し、焼結工場でリサイクルし、有効利用している。

Fig. 11 は 5 高炉反応槽において脱珪剤をインジェクションした場合と投射した場合との脱珪反応効率の比較を示す。Fig. 11 から明らかなように、傾注樋やトビードへの溶銑の落下による脱珪剤の巻込みを期待できない除滓式の脱珪プロセスでは、インジェクション方式が有利であることがわかる。その傾向は特に [Si]<sub>i</sub> の高い領域で顕著であり、減産操業によって [Si]<sub>i</sub> の上昇した 5 高炉では製鋼側の要求を満足するための必須技術であると考えられる。

一方、Fig. 12 に典型的な反応槽での物質・熱収支を示す。反応

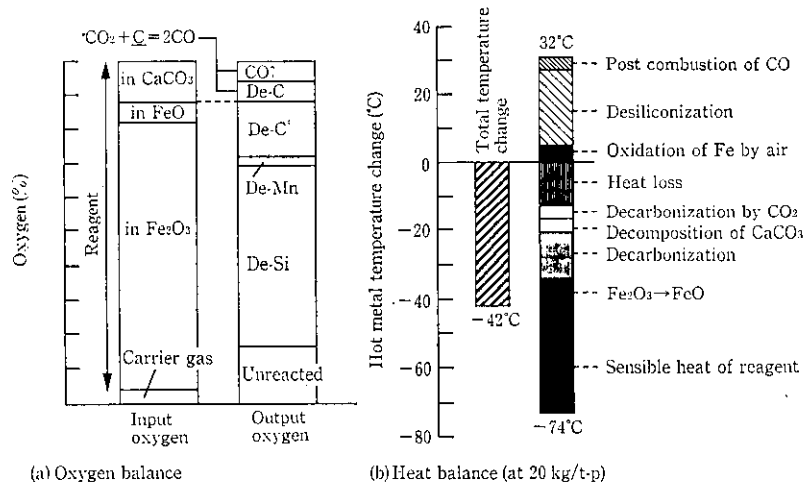


Fig. 12 Oxygen and heat balances of injection desiliconization method

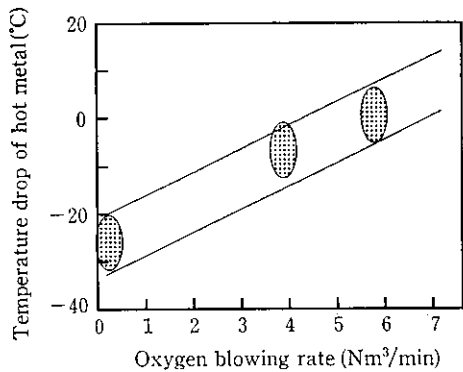


Fig. 13 Effect of oxygen blowing rate on temperature drop of hot metal

槽インジェクションでは脱炭反応が大きく、その結果、直接還元反応 (FeO+[C]) の吸熱に伴う温度低下が大きいためという問題が発生した。そこで、PTC での気体酸素を用いた昇温技術の鑄床反応槽への適用を試みた。Fig. 13 から酸素ガス 5~7 Nm<sup>3</sup>/min の吹込みにより、鑄床反応槽でも溶銑温度の降下を抑制できることがわかる。気体酸素の反応を排ガス分析および溶銑成分の変化から解析すると、気体酸素は主に脱炭反応によって消費され、脱珪反応によって消費される割合は少ない。

3.2 脱珪、脱炭の競合反応を考慮した脱珪反応モデルの開発

本章ではインジェクション脱珪法における脱珪槽内の攪拌挙動、溶銑中への脱珪剤侵入条件および脱珪・脱炭の競合反応を考慮した鑄床脱珪モデルおよびモデルの結果を用いた脱珪酸素効率の向上対策について述べる。

3.2.1 モデルの構成

(1) 反応槽の特性と脱珪剤粒子の挙動

反応槽内の溶銑流動は溶銑の流入に伴う横方向の流れ—バルク流  $Q$  (m<sup>3</sup>/s)—とランス近傍の気泡上昇によって生じる循環流  $q$  (m<sup>3</sup>/s) により構成される。水モデル実験 (縮尺 1/10, 1/3) を用いて循環流量を次式のように定量化した。

$$q/V = 0.0642D^{-2/3}\epsilon^{1/3}\rho^{-1/3} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $V$ : 反応槽体積 (m<sup>3</sup>)、 $D$ : 代表長さ (幅幅) (m)、 $\rho$ : 液体密度 (kg/m<sup>3</sup>)、 $\epsilon$ : 攪拌動力密度 (W/m<sup>3</sup>) である。

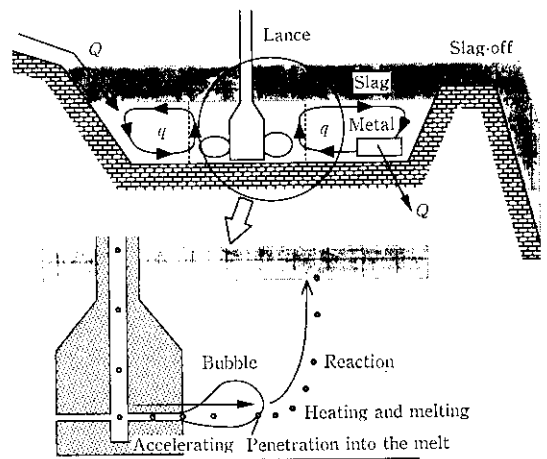


Fig. 14 Outline of desiliconization model at the blast furnace runner

バルク流と循環流を出銑速度および (1) 式を用いて求めたところ、バルク流は循環流の約 1/10 程度であり循環流が支配的であることがわかった。また、千葉第 5 高炉の脱珪反応槽で実施したトレーサー実験より、反応槽内は完全混合に近い特性を持っていることがわかった。したがって本モデルでは、Fig. 14 に示すように、脱珪反応槽を内部に循環流を有する完全混合槽として取り扱った。

脱珪剤粒子が効率よく反応するためには Fig. 14 に示すように脱珪剤粒子が気泡から飛び出し溶銑中へ侵入する必要がある。本モデルでは、横向きノズル内での粒子のキャリアーガスによる加速を考慮してノズル先端速度を計算し、侵入限界粒径<sup>7)</sup>を求めた。なお、ノズル内での粒子の運動は平均粒子径 (質量基準の 50% 粒子径) を有する単一粒子として取り扱った。

溶銑中に侵入した粒子は、循環流に乗って浮上する間に加熱・溶融し、反応が起こる。脱珪剤の粒径ごとの浮上時間と加熱・溶融時間との差から各粒径ごとの反応時間を求めた。溶銑中に侵入できなかった粒子は気泡にトラップされるため、溶銑との接触面積すなわち反応界面積が小さい。また、浮上後の脱珪スラグと溶銑の接触面積も浮上中の脱珪剤粒子に比べて十分小さいと考えられる。これらの反応量は小さいと考えられるので本モデルにおいては無視した。

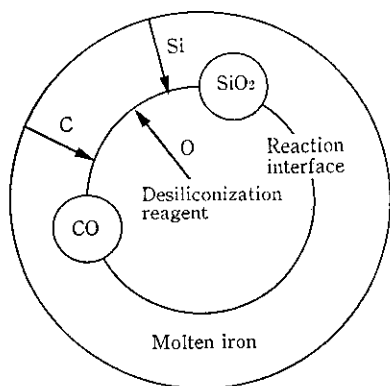


Fig. 15 Simulation model taking account of simultaneous reaction of decarbonization and desilicization

(2) 脱珪, 脱炭の競合反応

Fig. 15 に脱珪剤粒子の周囲での脱珪・脱炭反応機構を模式的に示す。溶銑からは  $\underline{\text{Si}}$ ,  $\underline{\text{C}}$  が脱珪剤に向かって拡散し, 脱珪剤が供給する酸素 (O) が反応界面に向かって拡散し, 脱珪・脱炭反応を生ずる。脱珪・脱炭反応式を以下に示す。



潘<sup>9)</sup>らと同様に, 反応界面は脱珪剤表面であり, 脱珪反応速度は溶銑側の Si の物質移動により律速され, 脱炭反応速度は反応界面の酸素濃度に比例し, 酸素の供給は溶融した脱珪剤中の (O) の拡散により律速されると仮定して, (4)~(7) 式を得た。

脱珪反応速度  $R_{\text{Si}}$  (kg/s):

$$R_{\text{Si}} = k_{\text{Si}}(C_{\text{Si}}^{\text{b}} - C_{\text{Si}}^{\text{*}})A_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで,  $\underline{\text{Si}}$  の物質移動係数  $k_{\text{Si}} = 2.0\rho_i D_{\text{Si}}^{\text{b}}/D_p$ 。

脱炭反応速度  $R_{\text{C}}$  (kg/s):

$$R_{\text{C}} = k_{\text{C}}C_{\text{O}}^{\text{*}}A_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで,  $k_{\text{C}}$  は脱炭反応速度定数。

酸素の移動速度  $R_{\text{O}}$  (kg/s):

$$R_{\text{O}} = k_{\text{O}}(C_{\text{O}}^{\text{b}} - C_{\text{O}}^{\text{*}})A_i \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで, (O) の物質移動係数  $k_{\text{O}} = 2.0\rho_i D_{\text{O}}^{\text{b}}/D_p$ 。

反応界面での酸素の収支式:

$$R_{\text{O}} = R_{\text{Si}}32/28 + R_{\text{C}}16/12 \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで,  $D_p$ : 粒子径 (m)

$\rho_i$ : 溶銑密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$D$ : 拡散係数 (m<sup>2</sup>/s)

$A_i$ : 粒径  $i$  の粒子の表面積 (m<sup>2</sup>)

$C$ : 濃度

下付添字 Si, O はそれぞれ珪素, 酸素を示す。上付添字 S はスラグ相, b および \* はそれぞれバルク, 反応界面での値を示す。

(4)~(7) 式を連立することにより定常状態における各反応速度を求めた。

3.2.2 計算結果

計算に用いた基準条件を Table 3 に示す。本モデルで実機の反応量を得るには物質移動係数  $k_{\text{Si}}$  は溶銑流がない場合の  $\text{Nu}=2$  より計算される値の 140 倍となった。これは脱炭反応による CO ガス発生に伴う物質移動の増加に起因すると考えられる。また  $k_{\text{C}}$  として

Table 3 Base conditions for calculation of the desilicization model

Mean diameter of reagent	( $\mu\text{m}$ )	200
Number of lance nozzle		2
Nozzle diameter	(m)	0.0216
Gas flow rate	(Nm <sup>3</sup> /s)	0.0433
Reagent flow rate	(kg/s)	1.0
Bulk molten iron flow rate	(kg/s)	58.3
[Si] <sub>i</sub>	(%)	0.5
Hot metal temperature	(K)	1 773
Injection depth	(m)	0.45

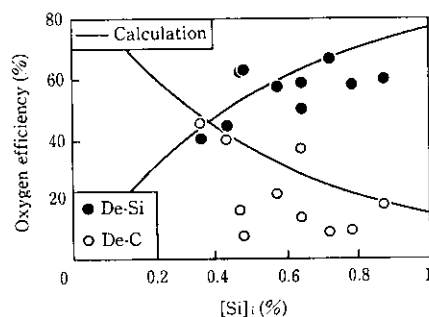


Fig. 16 Comparison of oxygen efficiency between observed value and calculated one

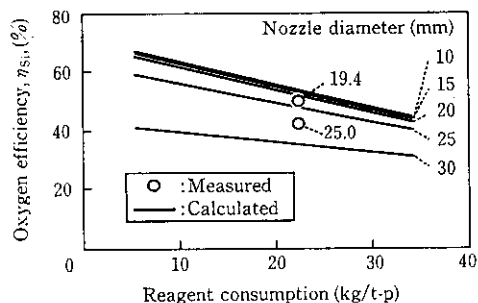


Fig. 17 Effect of nozzle diameter on oxygen efficiency in desilicization

0.01 kg/m<sup>2</sup>·s を用いて実機の脱炭反応量に合わせた。Fig. 16 に [Si]<sub>i</sub> を変更したときの脱珪酸素効率  $\eta_{\text{Si}}$ , 脱炭酸素効率  $\eta_{\text{C}}$  の変化を示す。[Si]<sub>i</sub> の低下に伴う  $\eta_{\text{Si}}$  の低下,  $\eta_{\text{C}}$  の上昇がうまくシミュレートできた。粒子が気泡を突き破って溶銑中に侵入するためには, ノズル先端での粒子速度を高くする必要がある。ノズルが横向きに付いたランスではガス量および粒子径が一定であれば, ノズル先端での粒子速度はノズル径と横方向のノズル長さ (加速距離  $L$ ) によって決まる。Fig. 17 にはノズル径を変更したときの  $\eta_{\text{Si}}$  と脱珪剤原単位の関係を示す。ノズル径を小さくにしたが  $\eta_{\text{Si}}$  は改善されるが, 基準条件ではノズル径 15~20 mm でこの効果は飽和する。これは脱珪剤粒子のノズル先端速度が十分高くなり, ほとんどの脱珪剤が溶銑中に侵入するようになったためである。Fig. 18 には  $L$  を変更した場合の  $\eta_{\text{Si}}$  と脱珪剤原単位の関係を示す。 $L$  が大きくなるにしたが  $\eta_{\text{Si}}$  も改善されるが, 基準条件では  $L=80\sim$

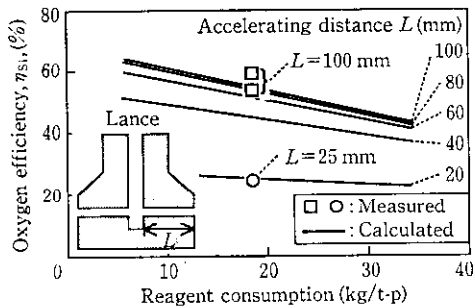


Fig. 18 Effect of accelerating distance on oxygen efficiency in desilicization

100 mm でこの効果は飽和する。このように、ノズル先端での粒子速度を決定するランス形状等のインジェクション条件は鑄床脱珪操作において非常に重要である。そこで、実作業においてはノズル径を 25.0 mm から 19.4 mm に変更し、加速距離も 25 mm から 100 mm に変更し、それぞれ Fig. 17 および 18 に示したように  $\eta_{Si}$  の改善を図った。

#### 4 結 言

当社では溶銑の脱珪処理に不可欠である脱珪に関し、高炉鑄床脱珪法を開発してきた。各製鉄所あるいは各々の高炉に要求される脱珪量、脱珪スラグの除滓設備の有無、既存設備条件等のローカルな

条件に応じて最適な脱珪方法を検討した。特に重要な点を以下にまとめると。

- (1) 鑄床で除滓を行わない脱珪法では、傾注種までの反応効率が低いとトビード内でフォーミングが生じ、受銑量が低下するため、脱珪剤投入速度に上限がある。また、傾注種での投射式脱珪法ではスプラッシュが発生し、脱珪剤投入密度に上限がある。したがって、要求される  $[Si]_c$  の低下と脱珪剤投入速度の上昇に伴い、上置き法、傾注種での 1 段投射法、溶銑種と傾注種の 2 箇所に脱珪剤投入位置を分割する 2 段投射法など、それぞれ条件に適した脱珪技術を採用する必要がある。各方法での脱珪剤投入速度はそれぞれ 85、123 および 190 kg/min である。
- (2) 高炉～溶銑予備処理センター間に除滓設備がない場合には、溶銑種の除滓式反応槽に、浸漬ランスを用いて、脱珪剤をインジェクションするインジェクション脱珪法が有効である。この場合、スラグフォーミング、スプラッシュ等の問題はなく、脱珪剤投入速度に制限がない。反面、鑄床で未反応の脱珪スラグを除去してしまうため、反応効率の向上対策に工夫が必要である。
- (3) 反応槽でのインジェクション脱珪モデルを開発し反応効率の向上を図った。脱珪酸素効率  $\eta_{Si}$  および脱炭酸素効率  $\eta_c$  へおよび処理前 Si 濃度  $[Si]$  とランスノズル径、ノズル長さ（加速距離）等のランス形状の影響をモデルを用いて定量化し、特に脱珪剤粒子が溶銑中に侵入するようにランス形状を最適化することが  $\eta_{Si}$  向上に有効であることを示した。その結果、反応槽での  $\eta_{Si}$  を 60% まで向上することができた。

#### 参 考 文 献

- 1) 水藤政人, 大宮 茂, 日和佐章一, 北川伸和, 上田 新, 武 英雄: 川崎製鉄技報, 19 (1984) 4, 222
- 2) 篠原幸一, 秋月英美, 山崎 信, 金子憲一, 妹尾義和, 松尾秀夫: 川崎製鉄技報, 19 (1987) 3, 162
- 3) 鎌野秀行, 皆川俊則, 松本敏行, 柳沢克彦, 一藤和夫, 小幡晃志: 材料とプロセス, 2 (1989), 98
- 4) 妹尾義和, 西村博文, 早瀬雅之, 松尾秀夫, 飯田 修: 材料とプロセス, 2 (1989), 99
- 5) 私信 (第 68 回製鉄部会資料)
- 6) M. Saino, K. Okumura, Y. Ikeda, T. Minakawa, K. Takeda and Y. Sakaguchi: *Iron Steelmaker*, Oct. (1986), 20
- 7) 成田貴一, 牧野武久, 松本 洋, 小川兼広: 鉄と鋼, 69 (1983) 3, 392
- 8) 潘 偉, 佐野正道, 平沢政広, 森 一美: 鉄と鋼, 74 (1988) 1, 61