
鑄床脱珪による低 Si 銑の製造

Production of Low-Si Hot Metal by Casthouse Desiliconization

篠原 幸一(Koichi Shinohara) 秋月 英美(Hidemi Akizuki) 山崎 信(Makoto Yamazaki) 金子 憲一(Kenichi Kaneko) 妹尾 義和(Yoshikazu Senoo) 松尾 秀夫(Hideo Matsuo)

要旨：

水島製鉄所では、低磷銑を中心とする高級鋼ニーズに対応するため 1985 年 3 月第 4 高炉に傾注樋での投射方式鑄床脱珪設備を導入し低 Si 銑の製造を開始した。操業の特徴は、可動式ランスによる脱珪剤投入位置コントロールを実施したことである。この制御によって、反応効率は低出銑 Si(=0.25%)域においても 60%まで向上した。また、スラグフォーミングは反応効率の向上とともに減少し現在では抑止剤添加の必要はない。設備稼働以来処理量は順調に増加し、現在では出銑量の 90%以上を脱珪処理している。

Synopsis：

The blasting-method desiliconization equipment was installed in the casthouse of No.4 blast furnace at Mizushima Works to fulfill the low-P hot metal demand for high grade steel. The blasting lance position control is the feature of this operation. The lance can be moved to any position and controlled continuously. As a result of this control, the desiliconization reaction efficiency can be maintained as high as 60% even for low-Si content hot metal ($\sim 0.25\%$). Because of the high reaction efficiency and small slag foaming, it is not necessary to use anti-slag-foaming flux. Since it was introduced in March 1985, the production has been increasing. Presently average monthly treatment ratios have been maintained more than 90%.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Production of Low-Si Hot Metal by Casthouse Desiliconization



篠原 幸一
Koichi Shinohara
水島製鉄所 製鉄部製
鉄技術室



秋月 英美
Hidemi Akizuki
水島製鉄所 製鉄部 部
長



山崎 信
Makoto Yamazaki
水島製鉄所 製鉄部製
鉄技術室 主査(課長)



金子 憲一
Kenichi Kaneko
水島製鉄所 製鉄部製
鉄課 課長



妹尾 義和
Yoshikazu Senoo
水島製鉄所 製鉄部製
鉄課 主任部員(課長
補)



松尾 秀夫
Hideo Matsuo
水島製鉄所 設備部設
備技術室

1 緒 言

製鋼工程の溶銑品質に対する要求は、低磷銑を中心とする高級鋼比率の高まりから近年ますます厳しくなっている。このニーズに対し、製鉄部門では高炉出銑 Si を低下させていくとともに鑄床脱珪設備の導入を図っている。

これまでに各社で導入された脱珪設備は、溶銑樋上から脱珪剤を自然落下させる自然落下方式²⁾と溶銑樋途中の反応槽または傾注樋において脱珪剤をキャリアガスにより加速添加する投射方式³⁾の2つに分けられる。一般に、投射方式は自然落下方式に比較して脱珪剤の溶銑への侵入距離が大きく、滞留時間が延びるため反応効率は高い⁴⁾。また、脱珪場所については傾注樋とする方がさらに高い反応効率が期待できる。これは、傾注樋の溶銑落下流によるまき込み効果により微粉の脱珪剤をキャリアガスの増量なしに、容易に使用できるからである。

以上の考え方にに基づき、水島製鉄所でも1985年3月に第4高炉へ傾注樋投射式脱珪設備を導入した⁵⁾。本稿では、反応効率向上のための操業上の特徴、操業改善経過および最近の操業状況について報告する。

* 昭和62年6月1日原稿受付

要旨

水島製鉄所では、低磷銑を中心とする高級鋼ニーズに対応するため1985年3月第4高炉に傾注樋での投射方式鑄床脱珪設備を導入し低 Si 銑の製造を開始した。

操業の特徴は、可動式ランスによる脱珪剤投入位置コントロールを実施したことである。この制御によって、反応効率は低出銑 Si ($\approx 0.25\%$) 域においても60%まで向上した。また、スラグフォーミングは反応効率の向上とともに減少し現在では抑止剤添加の必要はない。

設備稼働以来処理量は順調に増加し、現在では出銑量の90%以上を脱珪処理している。

Synopsis:

The blasting-method desiliconization equipment was installed in the casthouse of No. 4 blast furnace at Mizushima Works to fulfill the low-P hot metal demand for high grade steel. The blasting lance position control is the feature of this operation. The lance can be moved to any position and controlled continuously. As a result of this control, the desiliconization reaction efficiency can be maintained as high as 60% even for low-Si content hot metal ($\approx 0.25\%$). Because of the high reaction efficiency and small slag foaming, it is not necessary to use anti-slag-foaming flux.

Since it was introduced in March 1985, the production has been increasing. Presently average monthly treatment ratios have been maintained more than 90%.

2 脱珪処理方法の特徴

2.1 処理方法の決定

当所では、スラグフォーミング抑制を念頭において微粉脱珪剤を傾注樋に投射する方法を採用した。以下に、その検討経過を述べる。

Phot 1 には、投射場所を決定するために行った水モデル実験の結果を示す。実験には、幅10 cm、高さ5 cmの樋を接続できる高さ50 cm、幅50 cm、長さ120 cmの透明アクリル製の水槽を使用した。この写真は、流量36 l/minの水を樋から水槽へ落下させた場合の落下流の水槽内への侵入挙動である。落下距離 H は夜面から樋内の流水の上面までの距離である。

落下距離が0.2 cmの場合には流入水が水槽内表面近傍しか流れていないのに対し、4.0 cmの場合には、35 cmの深さにまで落下流は侵入していることがわかる。

以上の実験より、わずかの落差が大きな下降流を発生させることが明らかになった。

投射法において、溶銑中への脱珪剤侵入距離を大きくするためにはキャリアガスの増量が必要であるが、投射場所を落下流の発生している所へ選定し、脱珪剤を落下流に巻き込ますことで侵入距離の

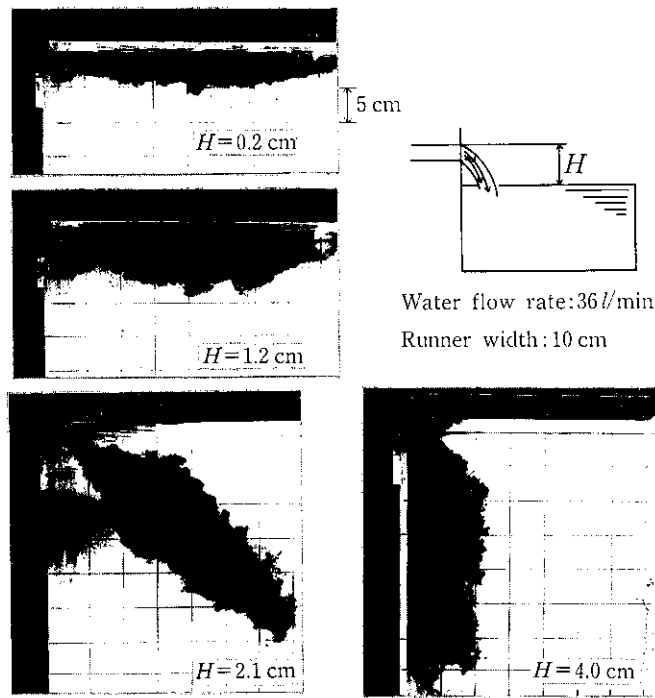


Photo 1 Vertical sectional views of falling water flow in a tank

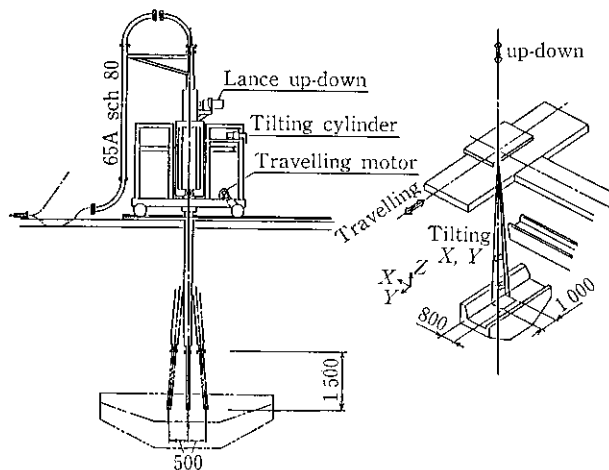


Fig. 1 Lance driving device

確保は容易となる。また、この手法を用いると、非常に粒子径の小さい添加剤をも容易に溶鉄中に分散させることが可能となり、脱珪剤として使用する場合非常に速い反応速度を得ることが出来る。その結果、混鉄車へ入るまでの反応効率は反応槽での投射より高められ、スラグフォーミングは最小限に抑えられる。以上より、投射位置を落下流の発生場所に合わせることが重要となる。

一方、傾注樋への溶鉄落下軌跡は出鉄初期と末期とでは両者の出鉄速度の違いにより大きく変化する。そこで、溶鉄落下流を有効に利用するため Fig. 1 に示すように、投入位置を任意の位置すなわち上下、左右（傾注樋での溶鉄流れ方向）、前後（傾注樋での溶鉄流れ直角方向）に変更できるランス装置を採用した。

2.2 脱珪剤の選定

自然落下方式の脱珪処理では、3 mm 以下の脱珪剤が一般的に用

Table 1 Agents size distribution (%)

Size (mm)	+0.150	+0.125	+0.062	+0.040	+0.020	-0.020
Sinter dust	—	8.3	21.1	10.8	38.0	21.8
CaCO ₃	2.1	7.7	15.0	15.3	25.4	34.5

いられている⁸⁾。一方、投射方式において 0.2~0.3 mm の脱珪剤が使用されるため⁹⁾、自然落下方式に比べて反応速度は速い。以上の理由により、自然落下方式においては混鉄車に入るまでに反応は多く進まない。その結果、混鉄車内で滞留する脱珪スラグ中に未反応の FeO が増加し、溶鉄中 C と反応して CO ガスを発生する。さらに、処理末期には、スラグ量の増加が加わりフォーミングが生じてしまう。当所では、脱珪反応を促進しスラグフォーミングを抑制する目的で脱珪主剤には、焼結工場で発生する微粉焼結ダストを採用した。また、副剤には脱珪スラグ塩基度調整の目的で CaCO₃ を採用した。

Table 1 に、焼結ダストおよび CaCO₃ それぞれの粒度分布を示すが両者とも 0.15 mm 以下の粒子を中心とする微粉剤である。

2.3 傾注樋形状の変更

反応場所として選定した傾注樋の本来の目的は、混鉄車への連続受鉄の補助であり樋内での製錬反応の促進を期待したものではない。したがって、脱珪設備導入を機に傾注樋形状を改造し、中央部の溶鉄深さを 300 mm から 450 mm へ増やし、脱珪剤の溶鉄中滞留時間増を図った。

2.4 溶鉄中での脱珪剤密度（面積当りの投入量）コントロール

ランスを固定して多量に脱珪剤を投射した場合には、周辺設備へ

のスプラッシュの飛散および付着生長を抑制することが重要である。スプラッシュは、脱珪剤の供給速度が大きすぎた場合に脱炭速度の急増およびスラグ粘性変化などにより発生すると推定される⁹⁾ため脱珪剤密度コントロールが望まれる。当所では、ランス連続移動投入を採用し溶鉄中での脱珪剤密度コントロールを可能とした。

2.5 脱珪スラグ成分調整

脱珪反応を効率よく進めるには脱珪スラグの塩基度調整も重要である。塩基度コントロールの考え方をFig. 2示す。副剤を使用し塩基度を上げることにより以下の優位性が得られる。

(1) 脱珪スラグの融点低下

(2) a_{FeO} , a_{MgO} の上昇, a_{SiO_2} の低下による反応速度上昇

当所では脱珪スラグ塩基度を高目に管理し、脱珪反応速度の上昇を図っている。

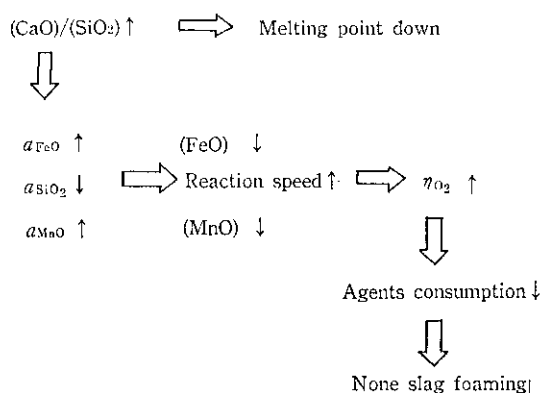


Fig. 2 Concept of slag basicity control ($\uparrow$, increase; $\downarrow$, decrease)

3 操業経過および操業技術の改善

3.1 操業経過

3.1.1 処理量の推移

第4高炉鑄床脱珪操業の推移をFig. 3に示す。1985年3月の本格稼動以来、脱珪処理量は順調に増加し、最近の月間平均処理率は90%以上に達している。また、脱珪後Siは出鉄Siが0.25%程度ま

で低下して安定していることもあり、製鋼要求の脱珪後Siは0.14%以下を満足している。

また、脱珪後Siの低位安定にともない、溶鉄予備処理センターPTC(Pretreatment Center for hot metal)での混鉄車脱珪処理量も順調に増加しており最近では月間15万tに達している。

3.1.2 溶鉄品質管理

鑄床脱珪後のSi目標値は、当初、PTCでの脱珪処理用あるいは第2製鋼工場K-BOP用のいずれにも適用できるように平均0.15%としていた。しかし、現在では高炉の出鉄Siの低下および脱珪操業技術の向上などにより対象鋼種、工場ごとにSi目標値を設定し、脱珪向鉄Si 0.14%以下、K-BOP用鉄Si 0.14%~0.23%を合格範囲とする管理を混鉄車ごとに実施している。

ここで、溶鉄Si命令は混鉄車運行管理システム⁹⁾に基づいて、製鋼工場よりオンラインで伝送されており、対象鋼種、工場ごとの溶鉄品質管理を行うためには、出鉄Siに基づいた脱珪剤の投入量制御が必要である。しかし、混鉄車単位で精度よく出鉄Siを予測することは現状では難しく、シリコンメーターで実測することも人手とコストが大きくかかる。したがって、当所では出鉄Siが低位に安定していることから直近受鉄混鉄車の実績Si分析値を参考にして脱珪剤投入量を決定している。現状の出鉄Siと脱珪後Siの分布をFig. 4に示すが、対象鋼種ごとに精度よく管理できている。

3.1.3 溶鉄充填レベル管理

混鉄車脱珪を行う場合、脱珪剤の多量吹込みにもなるスロッピング防止のため、混鉄車の溶鉄充填レベルは、脱珪処理を行わない場合より0.2~0.4m下げなければならない。このため、非脱珪鉄では口元下0.8m、脱珪向鉄では1.2mを管理基準に設定し、マイクロ波レベル計を使用し管理している。

3.2 操業技術の改善

3.2.1 スプラッシュの抑制

ランスを1箇所固定し脱珪剤を投射すると、Fig. 5に示すように脱珪剤投入密度(面積当りの投入量)に比例してスプラッシュは増加するため、投入密度を低下させて投射しなければならない。しかし、単に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。この改善策として、ランス連続移動投入を実施した。中心から傾注樋での溶鉄流れ方向へのランス振幅と珪脱剤供給速度の最大値との関係をFig. 6に示す。振幅を大きくする程、スプラッシュによる投入量制限は緩和され、最大供給速度の増加が図られた。

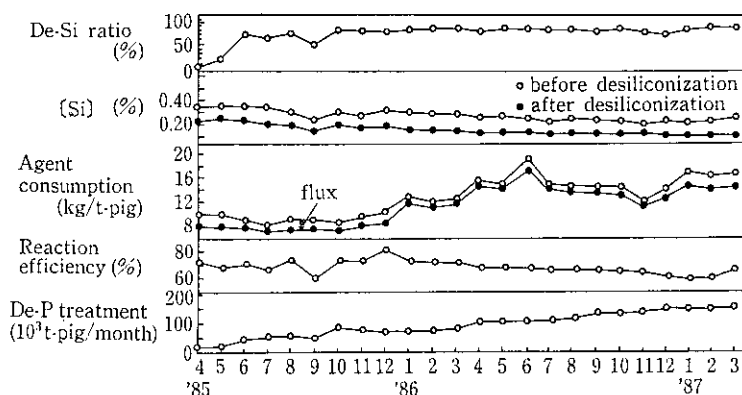


Fig. 3 Transition of the Mizushima No. 4 BF desiliconization operation

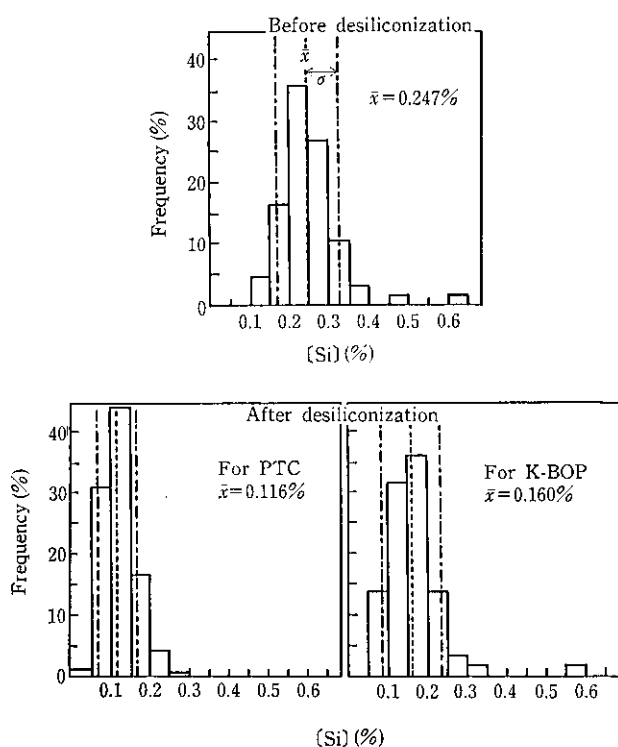


Fig. 4 Distribution of [Si] concentration before and after desiliconization

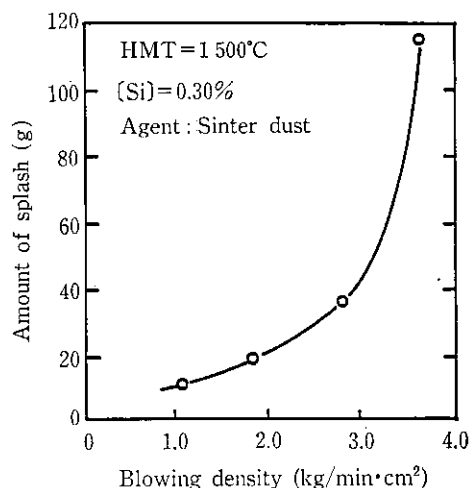


Fig. 5 Relationship between amount of splash and blowing density

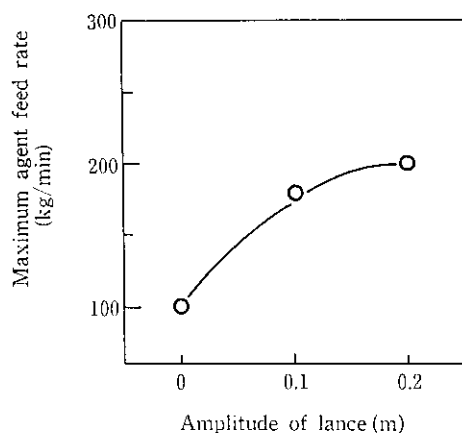


Fig. 6 Effect of continuous lance control on agent feed rate

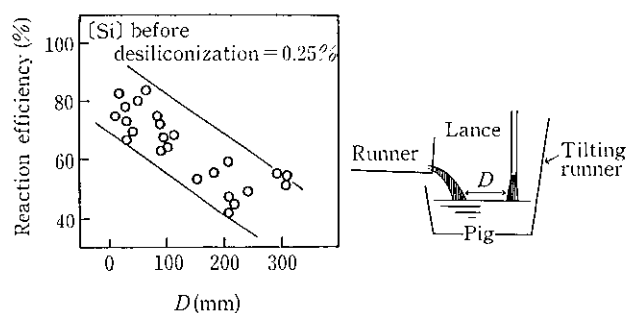
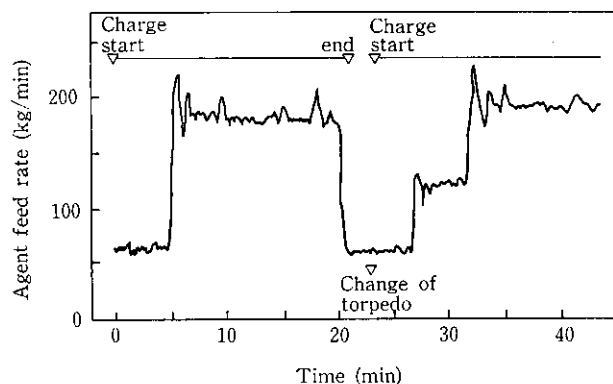

 Fig. 7 Relationship between reaction efficiency and lance point D from hot metal falling point


Fig. 8 Example of desiliconizing operation

3.2.2 反応効率の向上

傾注樋への溶鉄落下位置が変化するため、脱珪剤の投入位置は反応効率に大きな影響を及ぼす。Fig. 7 には脱珪剤投入位置と反応効率との関係を示す。溶鉄落下位置に近づけて投入する程反応効率が高くなる傾向があり、これは溶鉄落下位置近傍に発生する下降流によって脱珪剤の侵入が促進された結果と考えている。以上より、脱珪剤投入位置は溶鉄落下位置の変化に追従させている。

投入位置制御に加えて、脱珪剤供給速度制御も反応効率の向上には重要である。投入パターンの一例をFig. 8 に示す。供給速度は目視による出鉄速度の変化に対応させ、過剰投入による反応効率低下を防いでいる。供給速度は、ロータリーフィーダー回転数変更により行うため瞬時の変更が可能である。混鉄車の入れ替え時には、安全を期するため供給速度は低くするが、受鉄時間に対する投給時間の割合はほぼ100%に達している。

以上の結果、Fig. 9 に示すように、反応効率は低Si域 ($\approx 0.25\%$) においても60%程度の高水準を維持することが可能となった。

3.2.3 スラグフォーミングの抑制

スラグフォーミングが発生した場合には、混鉄車受鉄量の大幅な低下が生じ混鉄車の運行管理上障害となる。スラグフォーミングを抑制するには、フォーミング防止剤の添加が一般的であるが、防止剤が高価なためコストアップの要因となる。Fig. 10 には、スラグフォーミング発生による混鉄車受鉄量の減少量と反応効率の関係を示す。反応効率が高い程受鉄量の低下は小さく、フォーミング抑制には反応効率の高目維持が最も重要である。反応効率が60%確保できている現状では、フォーミング防止剤使用の必要はなく、受鉄量もほとんど低下しない。

また、フォーミングは、従来から設置しているマイクロ波溶鉄レベル計により十分検出が可能である。

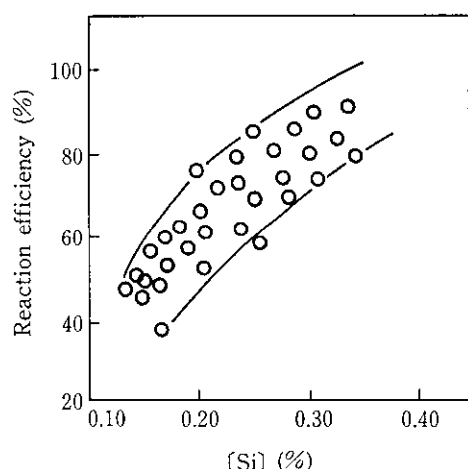


Fig. 9 Relationship between reaction efficiency and [Si] before desiliconization

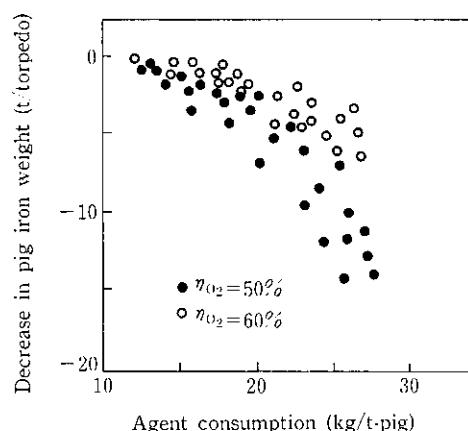


Fig. 10 Effect of agent consumption and oxygen efficiency on decrease in pig iron weight in torpedo

4 結 論

高級鋼ニーズに基づく低Si鉄製造要求に応えるため、水島製鉄所第4高炉に投射方式の鑄床脱珪設備を導入し、1985年3月より操業を開始した。この脱珪設備は、脱珪スラグのフォーミング防止を念頭において反応効率向上を図っており、以下の特徴を持つ。

- (1) 反応場所は、溶鉄落下流による脱珪剤まき込み効果を脱珪反応に有効に利用するため傾注樋とした。
- (2) 脱珪剤は焼結ダストを使用し、微粉剤により脱珪反応速度を速めた。
- (3) 反応場所である傾注樋は、中央部浴深さを300 mmから450 mmに改造し、脱珪剤の鉄中滞留時間を増加させた。
- (4) 任意の位置に設定可能なランス装置を用いて落下流近傍への投射で反応効率を向上させた。また、ランス連続移動投入による脱珪剤投入密度コントロールを行い、スプラッシュを低減し脱珪剤多量投入を可能にした。
- (5) 塩基度調整の目的でCaCO₃を副剤に採用し、スラグ活量コントロールで効率的に反応を進めた。

以上の結果、低出鉄Siレベル(～0.25%)においても脱珪酸素効率率は、60%程度の高水準が維持できておりスラグフォーミングの発生も少ない。

本鑄床脱珪設備の処理量は順調に増加し、現在の月間平均処理率は90%以上に達しており、そのうち15万tは溶鉄予備処理センターで脱磷処理されている。

参 考 文 献

- 1) 西村博文, 秋月英美, 山崎 信, 金子憲一: 鉄と鋼, **73** (1987) 4, S93
- 2) 永田俊介, 阿部幸弘, 山口一成, 野瀬正照, 榎 実生, 古川高司: 鉄と鋼, **69** (1983) 12, S902
- 3) 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, S106
- 4) 中村博己, 梶川脩二, 大槻 満, 小倉英彦, 山田健三, 岩崎克博: 鉄と鋼, **68** (1982) 11, S946
- 5) 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, 334
- 6) 永田俊介, 阿部幸弘, 山口一成, 野瀬正照, 榎 実生, 古川高司: 鉄と鋼, **69** (1983) 12, S902
- 7) 岩崎克博, 山田健三, 大槻 満, 中村博己: 鉄と鋼, **69** (1983) 4, S132
- 8) 国分春生, 稲谷稔宏, 小口征男, 篠原幸一: 鉄と鋼, **73** (1987) 4, S137
- 9) 早瀬雅之, 児子精佑, 菅原英世, 金子憲一: 鉄と鋼, **72** (1986) 12, S867