

(論文)

加古川製鉄所における全量溶銑予備処理とスラグ・ダストの有効利用

木村雅保*・中島慎一*・三村 毅*・星川郁生**・小野玲児***・瀬村康一郎****

*鉄鋼部門・加古川製鉄所・製鋼部 **鉄鋼部門・加古川製鉄所・技術研究センター ***鉄鋼部門・加古川製鉄所・製鉄部
****鉄鋼部門・生産本部・生産技術部

Hot Metal Pretreatment Utilizing Recycled Slag and Dust at the Kakogawa Works

Masayasu Kimura・Shinichi Nakajima・Tsuoyoshi Mimura・Ikuo Hoshikawa・Reiji Ono・Kouichiro Semura

A hot metal pretreatment process that enables dephosphorization of all hot metal started up at the Kakogawa Works in February 1999. The process consists of desiliconization at the BF hot metal runner, and dephosphorization and desulfurization in the torpedo car. This process produces high-grade steels at low cost with recycled converted slag, in-house dust and sludge as dephosphorizing agents. Moreover, the amount of waste disposed from the works was greatly reduced.

まえがき = 加古川製鉄所では、1985年に混銑車方式による溶銑脱りん処理設備を稼働させて以来、コストメリットの大きな極低りん鋼と高炭素鋼を中心に、約20%の溶銑に対して脱りん処理を実施してきた¹⁾。

近年、転炉スラグおよびダストを脱りん剤として使用することにより、脱りん処理コストを低減し、汎用鋼に対しても転炉を含めたトータルコストメリットがえられるようになってきた。また、近年の環境問題への対応として、製鉄所から発生する産業廃棄物を低減することが重要な課題となっており、製鋼段階で発生するスラグ、および所内各工程で発生するダスト・スラッジをリサイクル使用することが求められている。

以上のことから、加古川製鉄所において、溶銑の全量を対象として脱りん処理が実施できるように設備増強を実施し、1999年2月に操業を開始した²⁾。その結果、転炉スラグおよび所内発生ダスト・スラッジを有効活用し、高品質の鋼材を低コストで生産するプロセスを確立したので報告する。

1. プロセスと設備の概要

溶銑脱りん処理プロセスとしては、転炉方式、混銑車方式、取鍋方式があるが、今回の増強においては、

- 1) 従来から混銑車脱りん処理を実施しており技術的に確立できている
- 2) 既設の混銑車脱硫設備を改造して脱りん処理設備に

活用できる

などの理由から、混銑車方式による能力増強とした。

また、脱珪プロセスは、脱りん処理を実施する予定の混銑車に対して脱珪剤インジェクションによる処理を実施していたが、今回の増強では、脱珪処理を分離して、高炉での鑄床脱珪を採用することとした。今回の溶銑予備処理プロセスの変更内容を第1図に示す。鑄床脱珪と脱りん・脱硫連続処理の採用により、簡略なプロセスとするとともに、高炉から転炉までの物流の円滑化を図った。

設備増強の内容は、おもに次の3点である。

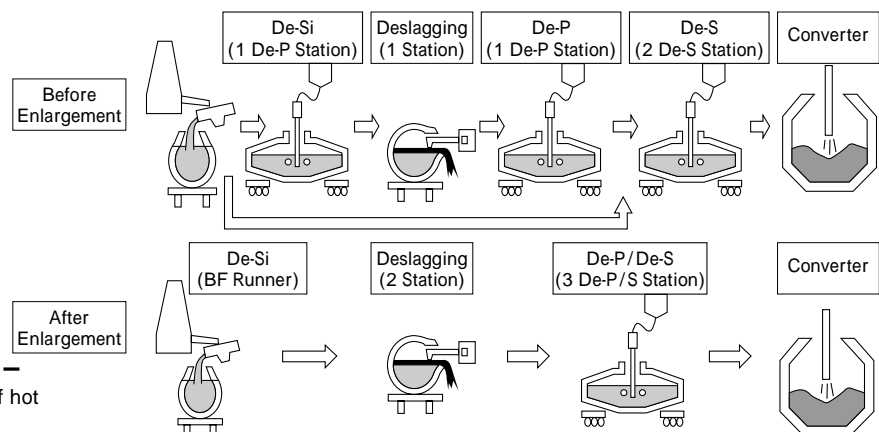
1) 高炉鑄床脱珪設備の設置

高炉鑄床脱珪設備は、脱珪剤を中といに上まきする方式とした³⁾。

2) 既設溶銑予備処理設備の改造

脱りん脱硫処理設備は、既設の脱りん棟(1ステーション)と脱硫棟(2ステーション)を改造して、全てのステーションで脱りん・脱硫処理ができるようにした。第1表に改造後の主仕様を示す。

粉体吹込み設備は、複数の銘柄の剤を配管内部で混合しながら吹込む方式を採用した。また第2溶銑処理棟(旧脱硫棟)の排ガス処理設備は、第1溶銑処理棟(旧脱りん棟)と同様のボイラ方式とし、脱りん処理中に発生する排ガス顕熱を蒸気として回収することとした。また、脱珪スラグを除去するための除滓設備(ドラッガー方式)



第1図 全量溶銑予備処理のプロセスフロー
Fig. 1 Schematic process flow diagram of hot metal pretreatment

第1表 脱りん脱硫処理設備概要

Table 1 Specifications of dephosphorization and desulfurization shop

	No.1 Shop (Former De-P Shop)	No.2 Shop (Former De-S Shop)
Station	1	2
Type of Pretreatment	Powder Injection O ₂ top blowing + O ₂ injection	Powder Injection O ₂ top blowing + O ₂ injection
O ₂ Flow Rate	max. 75Nm ³ /min	max. 100Nm ³ /min
Powder Injection Rate	max. 800kg/min	max. 800kg/min
No. of Agent	8	6
De-P Agent	Lime, LD Slag, Dust	Lime, LD Slag, Dust
De-S Agent	CaO, CaC ₂	CaO, CaC ₂
Mixing of Agent	Post-mix Type	Post-mix Type
Offgas Treatment	Boiler (Existing)	Boiler (New)

を1基新設した。この結果除滓場は2ステーションとなったが、操作室を統合し、遠隔操作により2基の除滓機を1名で運転できるようにした。

3) 混鉄車の鉄皮拡大

鑄床脱珪実施時には脱珪スラグのフォーミングのため、混鉄車の溶銑積載量が低下する。この対策として、混鉄車の鉄皮を長さ 600mm、直径 400mm 拡大し、溶銑搬送能力の増強を図った。

2. 操業状況

2.1 脱珪処理³⁾

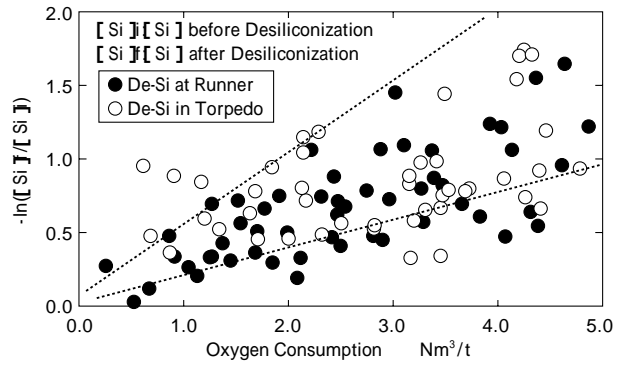
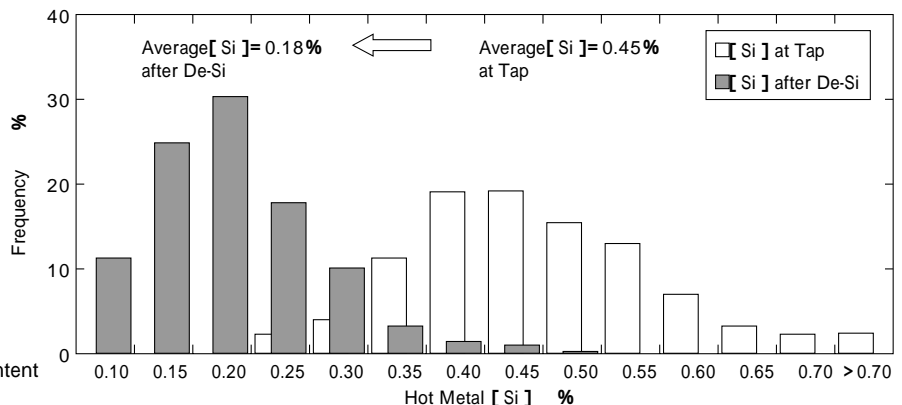
鑄床脱珪前後の [Si] の分布を第2図に示す。高炉鑄床の中とい上に脱珪剤を上方添加する方式を採用したが、脱珪後 [Si] は約 0.18% まで低下している。ここで、脱珪反応を一次反応と仮定して、鑄床脱珪処理と混鉄車におけるインジェクション脱珪処理の反応効率について比較した結果を第3図に示す。鑄床脱珪処理における脱珪反応効率は、混鉄車でのインジェクション脱珪処理と同程度であることがわかる。これは中といから混鉄車までの落差が大きいことによる強力な攪拌力が寄与しているためと考えられる。

2.2 脱りん処理

今回の設備増強において、脱りん剤の吹込み速度を従来の最大 600kg/min から 800kg/min に増強した。また、処理前 [Si]、処理後目標 [P] などの条件に応じて各種脱りん剤の配合を変更できるポストミックス方式を採用しており、スラグフォーミングを抑制しながら、安定した高速処理が可能となった。その結果、第4図に示すように脱りん処理時間は従来の 42.3 分から 23.5 分へと飛躍的に短縮することができた。

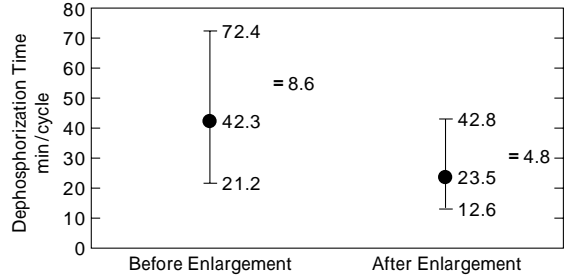
第2図 出銑 [Si] と脱珪後 [Si] の分布

Fig. 2 Distribution of hot metal [Si] content at tap and after desilicization



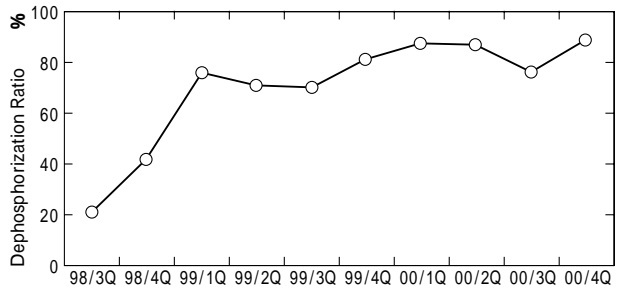
第3図 酸素原単位と $-\ln([Si]₀/[Si])$ の関係

Fig. 3 Relationship between oxygen consumption and $-\ln([Si]₀/[Si])$



第4図 脱りん処理時間の短縮

Fig. 4 Reduction of dephosphorization time



第5図 脱りん処理比率の推移

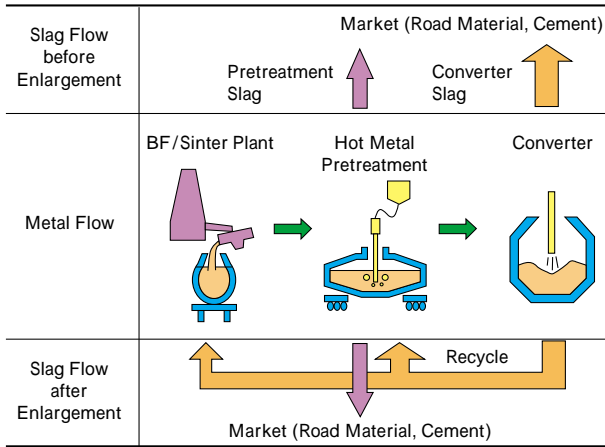
Fig. 5 Change in dephosphorization ratio

第5図に設備増強後の脱りん処理比率の推移を示す。安定した脱珪処理と高速脱りん処理により、脱りん処理比率は従来の 20% から 90% へと向上している。

3. 転炉スラグの有効利用

3.1 リサイクル方法

転炉スラグを溶銑脱りん剤としてリサイクルすることにより、スラグ排出量を低減するとともに、脱りん処理コストを低減することが増強の主眼の一つである。転炉スラグリサイクルの考え方を第6図に示す。転炉スラグ



第6図 全量予備処理によるスラグフローの変化
Fig. 6 Change in slag flow

のリサイクル方法としては、高炉ないしその事前処理工程（焼結又はペレット）で使用する場合と、溶銑脱りん処理で使用する場合があります。どちらで使用しても同程度のスラグ排出量低減効果がえられるが、溶銑脱りん処理で使用する方が出銑[P]を上昇させず、かつ生石灰使用量低減によるコスト効果も大きいので、主に溶銑脱りん処理で使用する事とした。

3.2 転炉スラグ使用時の脱りん挙動¹⁾

転炉スラグは、第2表に示すようにP₂O₅濃度が高く、脱りん剤として多配合使用すると、持込まれるP₂O₅量が増加するため、脱りん率の低下をまねく可能性がある。そこで、転炉スラグ配合率と脱りん率の関係を調査した結果を第7図に示す。ここで、転炉スラグ配合率は、次式で定義される。

$$\text{転炉スラグ配合率} = \frac{\text{転炉スラグ中 CaO 分}}{\text{転炉スラグ中 CaO 分} + \text{生石灰中 CaO 分}} \times 100$$

転炉スラグ配合率の増加にともなって、持込まれるP₂O₅量が増加するにもかかわらず、脱りん率は上昇する結果となった。また、第8図に単位酸素量当たりの石灰量(CaO/O)と脱りん石灰効率 $\ln([P]/[P])/CaO$ の関係を示す。転炉スラグを50%配合した場合、転炉スラグを配合しない場合と比較し、脱りん石灰効率は向上する。

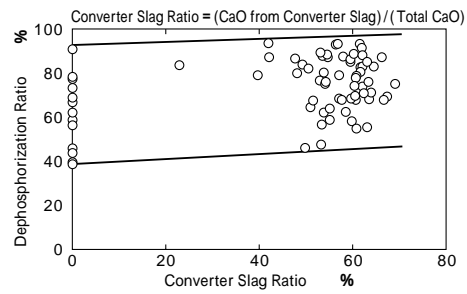
この原因を明らかにするため、脱りん処理後のスラグを調査した。第9図に脱りん処理後スラグ中に含まれる遊離CaO濃度を調査した結果を示す。転炉スラグ配合率を上げるにより、スラグ中の遊離CaO濃度が大幅に減少していることがわかる。すなわち、転炉においてすでに滓化溶解された転炉スラグを脱りん剤に配合することにより、脱りん剤中の生石灰の滓化が促進され、その結果脱りん石灰効率が向上したと考えられる。また、転炉スラグを配合した場合の脱りん処理後スラグの鉱物相を調査した結果を写真1に示す。A相は4CaO・P₂O₅、B相は2CaO・SiO₂である。B相中のりん濃度は0.8%であり、転炉スラグ中の2CaO・SiO₂中のりん濃度とほぼ同等であることから、転炉スラグ中の2CaO・SiO₂の脱りんへの寄与はほとんど無いと推定できる。したがって、転炉スラグ中の鉱物相で脱りに寄与しているものは2CaO・Fe₂O₃相、Lime相、Wustite相と考えられる。

現在、転炉スラグ配合率は約60%であり、この結果生

第2表 代表的な転炉スラグ組成

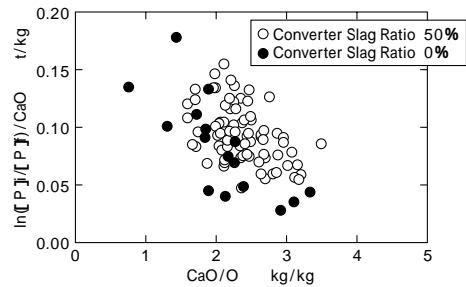
Table 2 Typical compositions of converter slag

T. Fe	SiO ₂	CaO	MnO	P ₂ O ₅	mass%	
					C/S	
16.5	14.0	46.8	3.4	1.4		3.3



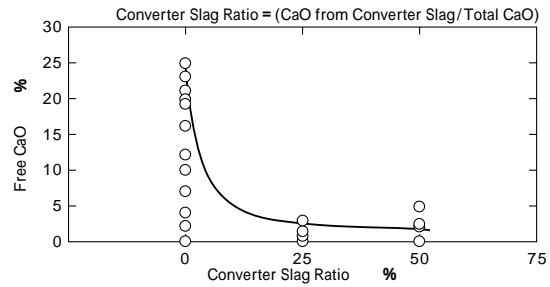
第7図 転炉スラグ配合率と脱りん率の関係

Fig. 7 Relationship between converter slag ratio and dephosphorization ratio



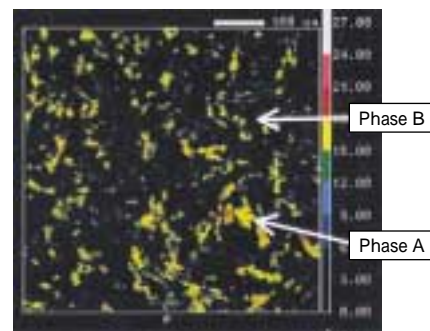
第8図 転炉スラグ配合による脱りん石灰効率の変化

Fig. 8 Change in dephosphorization efficiency according to addition of converter slag



第9図 転炉スラグ配合による脱りん処理後スラグ中遊離CaO濃度の変化

Fig. 9 Change in free CaO content of dephosphorization slag by means of addition of converter slag



(Converter Slag Ratio : 60%)

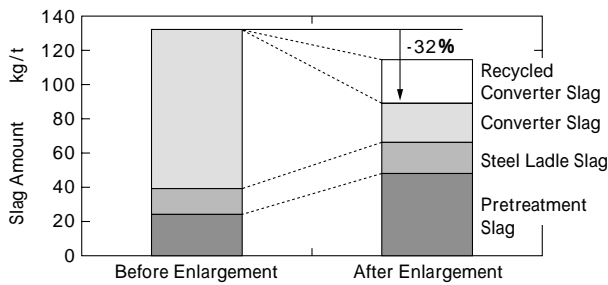
写真1 脱りん処理後スラグのP濃度分布

Photo 1 Phosphorus distribution of slag after dephosphorization

石灰原単位は従来の40%に減少した。

3.3 スラグ発生量

製鋼工程から発生するスラグ量の変化を第10図に示す。溶銑脱りん処理の実施により、転炉スラグの発生量



第10図 全量予備処理による製鋼スラグ発生量の変化
Fig. 10 Change in amount of steelmaking slag

は従来の53%となっており、さらにその53%を溶銑脱りん処理およびペレット原料にリサイクル使用している結果、製鋼スラグの排出量は従来から32%減少した。

4. 製鉄所内発生ダストの有効利用

4.1 ダスト銘柄とリサイクル方法

加古川製鉄所において発生するダスト・スラッジの内訳を第11図に示す。焼結集塵ダスト、ペレット集塵ダスト、高炉乾ダスト、転炉OG細粒ダストは、ペレットおよび焼結原料などとして従来からリサイクル使用しており、所内リサイクル利用率は74%であった。

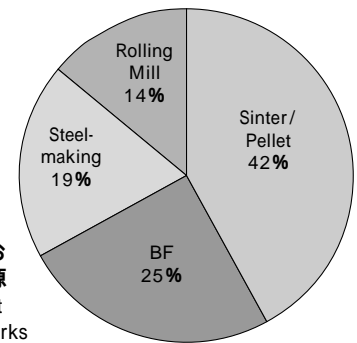
従来、溶銑脱りん処理においてダストの使用はおこなっていなかったが、今回の増強において、リサイクル使用されずに所内埋立て処理ないしは滞貨していたダスト・スラッジ類を、溶銑脱りん処理における酸化鉄源として利用することとした。現在、高炉鑄床集塵ダスト、転炉建屋集塵ダスト、製鋼各工程の集塵ダストなどを溶銑脱りん剤として使用している。高炉鑄床集塵ダストは、従来湿式で回収し、セメント原料としていたが、今回、鑄床脱珪の実施により発生量が増加することから、乾式回収に変更した。転炉建屋集塵ダスト、製鋼各工程の集塵ダストは、所内滞貨となっていたが、これらを乾式のまま回収し、脱りん処理剤に利用している。

リサイクル使用しているダストの一例として、転炉建屋集塵ダストの組成および粒度分布を第3表、第12図に示す。一部のダストは、平均粒径が3 μ mと微細であり、単独では安定した吹込みが不可能であったが、転炉スラグを脱りん剤用に乾燥・粉砕する時に、ダストを一定比率で混合することにより、安定した吹込みが可能となった。

4.2 所内リサイクル率

現在、溶銑脱りん処理において利用しているダスト・スラッジ量は4,000t/月以上であり、第13図に示すように所内リサイクル率は88%に達している。所内リサイクル使用ができていない最大のものは、高炉湿ダストである。高炉の亜鉛制約から現在セメント原料となっているが、2001年4月に稼働したFASTMETプロセスにより一部の高炉湿ダストの脱亜鉛と塊成化をおこない、製造した還元鉄を製鋼工程で使用する計画である。

むすび=加古川製鉄所において、溶銑の全量を対象として脱りん処理をおこなう全量溶銑予備処理化を実施し、転炉スラグおよび所内発生ダストなどを脱りん処理剤として有効活用しつつ、高品質の鋼材を低コストで生産す

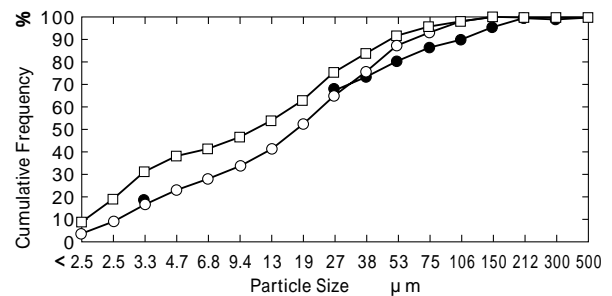


第11図 加古川製鉄所におけるダスト発生源
Fig. 11 Dust generation at the Kakogawa Works

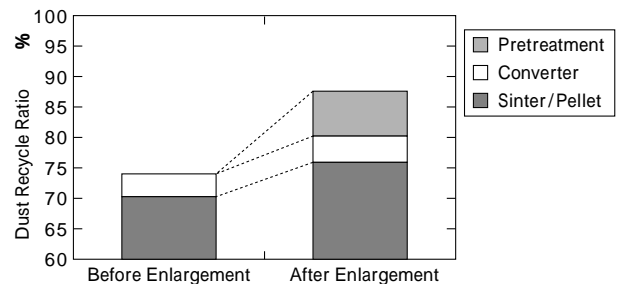
第3表 転炉建屋集塵ダストの組成例

Table 3 Typical composition of converter bag house dust

mass%							
T. Fe	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	C/S
43	15	4.7	13	6.3	4.0	0.17	2.8



第12図 転炉建屋集塵ダストの粒度分布
Fig. 12 Size distribution of converter bag house dust



第13図 全量予備処理によるダストリサイクル率の変化
Fig. 13 Change in dust recycle ratio according to enlargement of hot metal pretreatment

るプロセスを確立した。加古川製鉄所において1999年5月から取り組んできたゼロエミッション活動「ECOST-21」により、所内発生品30万トン/月のリサイクル使用を進め、リサイクル率を従来の96%から99.4%に上げた。全量溶銑予備処理によるリサイクル率の向上は1.5%に達しており、ECOST-21活動の柱の一つとして貢献した。製鉄所の2001年度末ゼロエミッションに向けて、今後さらにプロセス効率を高めて発生量を削減するとともに、リサイクル使用を推進していく。

参考文献

- 1) 副島利行ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.36, No.1 (1986) p.14.
- 2) 床並徹二ほか: 材料とプロセス, Vol.12, No.4 (1999) p.733.
- 3) 宮川一也ほか: 材料とプロセス, Vol.12, No.1 (1999) p.129.
- 4) 上山泰一ほか: 材料とプロセス, Vol.13, No.4 (2000) p.868.