

JFE スチール東日本製鉄所（京浜地区）における 省資源型製鋼技術

Resource Saving Steelmaking Technologies in East Japan Works (Keihin), JFE Steel

前田 孝彦 MAEDA Takahiko JFE スチール 東日本製鉄所（京浜地区）製鋼部製鋼技術室主任部員（課長）
田野 学 TANO Manabu JFE スチール 東日本製鉄所（京浜地区）製鋼部製鋼技術室長（部長）
奥山 悟郎 OKUYAMA Goro JFE スチール 経営企画部 海外事業統括室 主任部員（部長）・博士（工学）

要旨

東日本製鉄所（京浜地区）製鋼工場では 2004 年に溶銑脱硫工程，2005 年に溶銑脱りん工程における精錬剤として蛍石を用いない操業に切り替えた。蛍石を用いない溶銑脱硫剤の反応効率向上技術として，機械攪拌型溶銑脱硫において，石灰投射技術を開発し，脱硫剤使用量を低減した。溶銑脱りん工程では，Double-slag Refining Process (DRP[®]) の導入と，実施率向上のための処理ピッチ短縮により媒溶材を削減した。これらの改善により，溶銑配合率の低減と同時に，蛍石を使用していた当時の 90% まで媒溶材を削減することができた。

Abstract:

Hot metal desulfurization and dephosphorization processes were switched from with flour spar to without flour spar operation in 2004 and 2005, respectively, at East Japan Works, Keihin District. CaO blasting was applied, and flux consumption was reduced in hot metal desulfurization without flour spar. Double-slag Refining Process (DRP[®]) introduced and its operation speed was increased to improve application rate, which resulted in decreasing flux consumption. Flux consumption decreased by 10% compared with that in the case with flour spar at the condition of lower hot metal ratio.

1. 緒言

自動車・造船等の製造業向け，エネルギー関連向け等の高級鋼においては，中国等新興市場の成長を背景にいずれの分野も需要が拡大している。

石油，天然ガスなどのエネルギーの生産，輸送，貯蔵には鋼材が多用されている。天然ガスを地中から取り出す油井管，海上における掘削用リグに使用される海洋構造物用鋼材，ガス田から消費地まで輸送するためのラインパイプ，石油タンカーおよび LNG 船用鋼材，また，ガスを蓄えておく圧力容器用鋼材などである。エネルギー産業における鋼材の重要性はますます増している。

パイプラインに使用される材料を例に取れば，その性能に対する要求は年々高度化しており，エネルギー需要の増加に対応するために，これまでは開発されなかったような深い井戸や，腐食環境の厳しい井戸が開発されるようになってきた。CO₂ の多い井戸では CO₂ 腐食が，また，H₂S の多い井戸では水素誘起割れ(HIC)や硫化物応力腐食割れ(SSC)が問題となる。また，サハリンやアラスカ，北海などの寒冷地の井戸に使用する低温韌性に優れた構造物材料やライン

パイプ材が求められており，これらの環境に対応するため，鋼材の低りん，低硫化が求められている。

一方，環境負荷物質排出に関する法規制の強化に伴い，水質汚濁に係る環境基準が 2009 年に，同じく土壤汚染に係る環境基準が 2011 年にそれぞれ改正され，F の基準項目が新たに追加されている。それにより，F を含む製鋼スラグを路盤材等に再利用すると，溶出した F により周辺の土壌もしくは水質が許容量を超過する可能性が指摘されている。循環型社会の構築を推進するためには，F 含有スラグの排出量を低減して製鋼スラグの再利用可能性を向上させる必要がある。

京浜地区製鋼工場では F 含有スラグの排出量低減を目的として，2004 年に溶銑脱硫を，2005 年に転炉型脱りん予備処理を F レス化して製鋼工程での完全 F レス化を達成し¹⁾，さらにスラグ発生量の低減が必要となっており，媒溶材使用量の削減が求められている。

鋼材の低りん，低硫化と媒溶材削減の両立には，精錬プロセスの効率化が必要である。本報告では，京浜地区製鋼工場において F レスでの脱りんプロセス，脱硫プロセスの効率化により，媒溶材を削減した結果について報告する。

2. 京浜地区の概要

2.1 京浜地区製鋼工場の概要

京浜地区製鋼工場のプロセスフローを図1に示す。高炉およびシャフト炉より出銑された溶銑を溶銑鍋で受け、除滓した後にKRで脱硫処理を行い、脱りん専用転炉で脱りん処理をおこなっている。脱りん処理を行った溶銑は装入鍋に出湯し、その後脱炭専用転炉で脱炭処理を行う。脱炭処理を行った溶銑は溶鋼鍋に出鋼し、鋼種に応じた2次精錬設備を経て、3つの連続铸造機でスラブと丸ビレットを製造している。1CCM および3CCM はスラブ連铸機、5CCM は丸ビレット連铸機となっている。

2.2 京浜地区製鋼工場におけるFレス化

京浜地区製鋼工場では循環型社会構築の推進を目的として、製鋼スラグの再利用可能性を向上させるために、F含有スラグの排出量ゼロを目標とし、2004年に溶銑脱硫工程、2005年に溶銑脱りん工程をFレス化し、製鋼工場の完全Fレス化を達成した。

しかしながら、Fレス化により媒溶材使用量が增大した。図2にFレス化前後の媒溶材原単位を示す。Fレス化にと

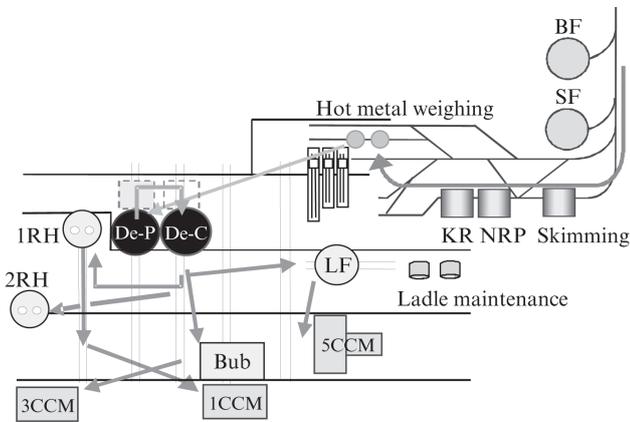


図1 京浜地区製鋼工場のレイアウト

Fig. 1 Layout of steelmaking in Keihin district

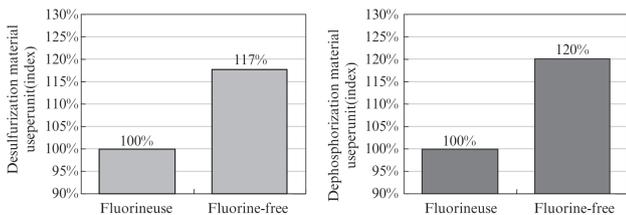


図2 溶銑脱硫、溶銑脱りんプロセスにおける蛍石使用、蛍石使用なしの操業における媒溶材原単位比較

Fig. 2 Comparison of flux consumption between with and without flour spar in hot metal desulfurization and dephosphorization

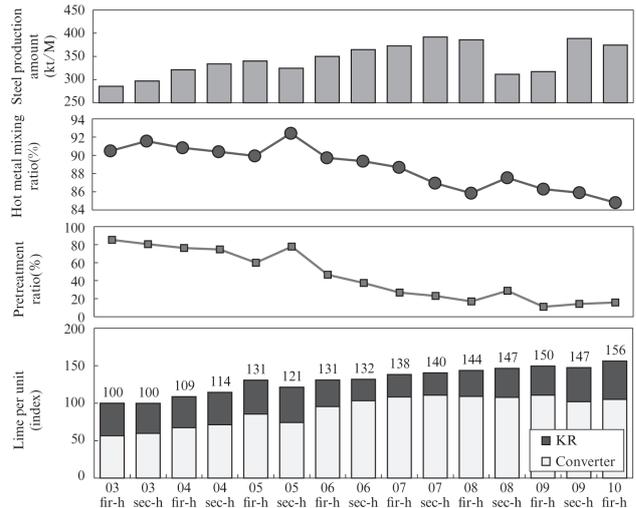


図3 2003年以降の生産量、溶銑配合率、予備処理比率、石灰使用原単位推移

Fig. 3 The transition of crude steel production amount in the Keihin steel steelmaking plant, hot metal mixing ratio, Pretreatment ratio and lime per unit

もない脱硫材原単位は17%増加し、脱P媒溶材原単位は20%増加した¹⁾。

2.3 京浜地区製鋼工場における媒溶材原単位

図3に京浜地区製鋼工場における粗鋼生産量、溶銑配合率、予備処理比率、媒溶材量の推移を示す。媒溶材量は2003年上期を100とした指数で表示している。2004年に溶銑脱硫工程、2005年に溶銑脱りん工程をFレス化したことにより、脱硫、脱りんの媒溶材使用量は増大した。さらに、脱硫工程では2008年8月のシャフト炉稼働による処理前Sの上昇にともない、媒溶材使用量が増大した。脱りん工程においては、2007年上期からの生産量増大に対応するため、高炉1基操業の京浜地区製鋼工場では溶銑配合率の低減により粗鋼生産量を増大させた。溶銑配合率を低減するため、熱余裕が必要となり、予備処理比率を低減させた。

製鋼工場全体での媒溶材使用量は2003年上期を100とすると、2010年上期には156まで増大した。

本報告では、京浜地区製鋼工場において、媒溶材使用量削減に取り組んだ内容について報告する。

3. KR 石灰投射による媒溶材削減

3.1 脱硫材投入方法の変更による脱硫効率向上

KRの媒溶材削減ために、脱硫効率の向上が求められる。一般に脱硫反応は以下の式で表される。

$$-d[S]/dt = a/V \cdot K \cdot [S] \dots\dots\dots (1)$$

[S]: 溶銑S濃度, a: 反応界面積, V: 溶銑体積, K: 物質移動係数

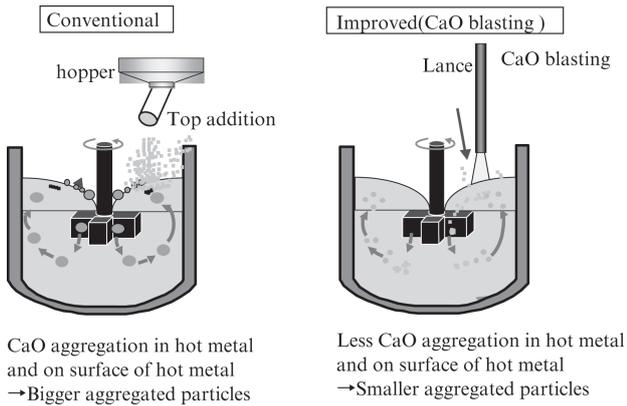


図4 溶銑脱硫プロセスにおける従来・改良法の比較

Fig. 4 Comparison between conventional and improved techniques in hot metal desulfurization

溶銑脱硫の反応率向上のために添加フラックスと溶銑の界面積を確保することが重要であることがよく知られているため、1 mm 以下の脱硫材を用いて処理を行っている。しかし、反応界面積を増大させるために、更なる小径化を行った場合は、脱硫材添加時の飛散が増大してしまう。

飛散を防止しつつ、小径な脱硫材を溶銑浴中へ添加させるための方法として、中井らの溶解炉実験投射添加の結果²⁾から、フラックス添加時の分散促進と凝集抑制効果による脱硫効率が向上することを確認した。図4に石灰投射設備の模式図、石灰添加方法の比較を示す。本章では京浜1KRにおける脱硫材投射化の結果について報告する。

3.2 1KR 脱硫材投射化概要

京浜地区製鋼工場1KRにおいては2009年8月に石灰投射設備を導入した。設備概要を図5に示す。投射ランスは、インペラーのキャリッジに設置した。また、既存の石灰投入方法である上添加の併用を可能とするため、既存のサービスタンクとディスペンサー間にバイパスラインを設置した。

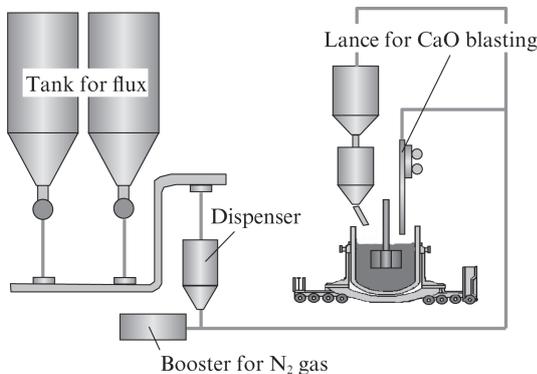


図5 石灰投射設備の概要

Fig. 5 Schematic diagram of CaO blasting facilities in mechanical stirring process at East Japan Works (Keihin District)

表1 石灰投射設備の仕様

Table 1 Conditions of CaO blasting

Gas flow rate for CaO blasting	6-20 m ³ -norm./min
Lance height	0.3-1.4 m
Feeding rate of desulfurization flux	100-400 kg/min
Capacity of dispenser	5 m ³

石灰投射設備の仕様を表1に示す。

3.3 脱硫材投射による媒溶材削減

図6に脱硫石灰効率と溶銑温度の関係を示す。脱硫効率は $\ln([S]_i/[S]_f)/(CaO \text{ 原単位})$ で表される。投射の場合、上添加と比較して脱硫効率が高位である。また、溶銑温度が低位の場合ほど、投射の脱硫石灰効率が優位であった。ここで [S]_iは初期、[S]_fは終了S濃度を示している。

図7に上添加と投射の脱硫材原単位を示す。石灰投射を使用することにより、上添加の81%まで媒溶材使用量を削減することができた¹⁾。

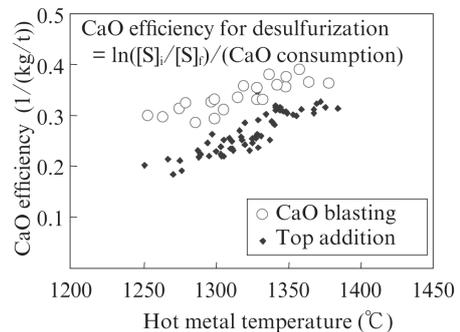


図6 脱硫石灰効率と溶銑温度の関係

Fig. 6 Relationship between hot metal temperature and CaO efficiency for desulfurization

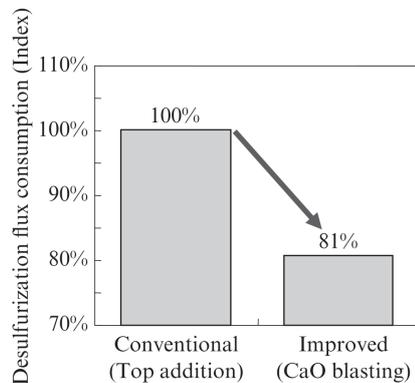


図7 脱硫効率と石灰添加方法の関係

Fig. 7 Effect of powder blasting on desulfurization flux consumption

4. DRP[®] による媒溶材削減

4.1 DRP[®] プロセス概要

京浜地区製鋼工場では転炉を2基有している。転炉 2/2 基稼動期間は精錬コストが有利な転炉型脱りんプロセス (LD-NRP) + 脱炭炉, 転炉 1/2 基稼動期間は普通吹錬 (1 回吹錬) を実施していた。京浜地区では高炉 1 基での操業のため, 生産量の増大には溶銑配合率の低減が必要であるが, LD-NRP では, 溶銑 Si の増大にともない脱りん効率が低下することから, 鍋 NRP 設備にて脱珪処理を実施している。また, 出湯による熱ロスが大きいため熱余裕創出が課題となっていた。途中での出湯工程を必要としない普通吹錬では, 熱余裕を拡大できるが, 必要な T. CaO 量の増大と, 脱炭工程への P 持込により Mn 鉱石還元, 高炭吹き止めのメリットが得られないことが課題である。

図 8 に京浜地区製鋼工場での転炉プロセスを示す。上記の課題を解決するため, 鍋脱珪を実施しない溶銑を転炉へ装入し, 脱珪処理後に中間排滓を実施し, 高 SiO₂ のスラグを炉外に排出した後に, 脱りん吹錬を実施する Double-slag Refining Process (DRP[®]) を開発した。鍋 NRP で脱珪を行う場合, 処理中放熱ロスや処理後の除滓での熱ロスが発生するため, NRP 脱珪を行わない DRP は LD-NRP に比べ熱的に有利である。

LD-NRP と DRP の熱バランスを整理した結果, DRP プロセスでは鍋脱珪を実施しないため, Input 熱量が増大し, 不明熱 (炉体, 大気中への熱放散等) は LD-NRP プロセスと同程度であった。LD-NRP と DRP の溶銑配合率を整理した結果, 上記の熱余裕拡大により, LD-NRP では 90% であった溶銑配合率を DRP では 82% まで低減させることができた。LD-NRP と DRP の出鋼歩留を整理した結果, LD-NRP の出

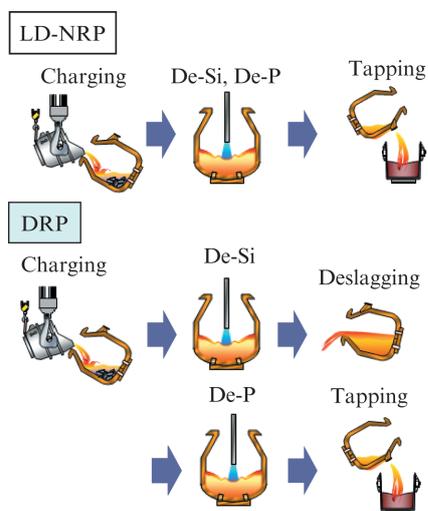


図 8 新転炉型溶銑脱珪プロセス (DRP[®]) の概要

Fig. 8 Schematic image of new hot metal dephosphorization process using converter (DRP[®])

鋼歩留を 100 とした場合, DRP では 102.1 へ出鋼歩留を向上させることができた。これは, 中間排滓で排出されるスラグと脱りん処理完了後のスラグを比較し, CaO/SiO₂ が低いことから, スラグ中に懸濁している粒鉄の比率低減されたためと考える。

4.2 DRP[®] による媒溶材削減

図 9 に LD-NRP と DRP の装入 Si と T. CaO の関係を示す。LD-NRP では, 溶銑 Si の増加にともない, T. CaO が増加したが, DRP では中間排滓で高 SiO₂ のスラグを排出することにより, 溶銑 Si によらず, CaO 必要量が一定となっている。

図 10 に LD-NRP と DRP の出湯 P と出湯 C の関係を示す。DRP の出湯 P は工程の LD-NRP と同程度となっている。

4.3 DRP[®] プロセス実施率向上の取組

媒溶材削減と生産性向上の両立のため, DRP 処理ピッチ短縮に取り組んだ。当初の 51 分に対する DRP 処理ピッチ短縮の打ち手として, ①クレーン待ち時間短縮, ②出湯鍋の炉下通過待ち時間削減, ③, ④中間排滓時間短縮 (シャッター設置効果, スラグ鍋大型化), ⑤出湯口径拡大に取り組んだ内容について報告する。

① クレーン待ち時間短縮

定格荷重 465 t の #1 クレーンで脱りん炉への溶銑装入,

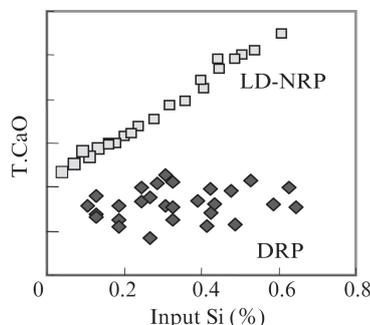


図 9 LD-NRP と DRP[®] における装入 Si と T. CaO の関係

Fig. 9 Relationship between [Si] and total CaO consumption in LD-NRP and DRP[®]

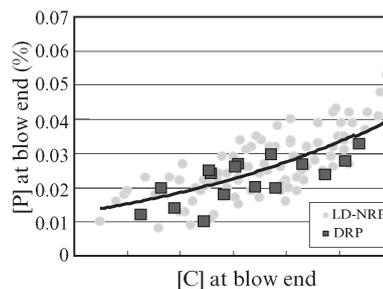


図 10 LD-NRP と DRP[®] における出湯 P と出湯 C の関係

Fig. 10 Relationship between [C] and [P] at blowend of LD-NRP and DRP[®]

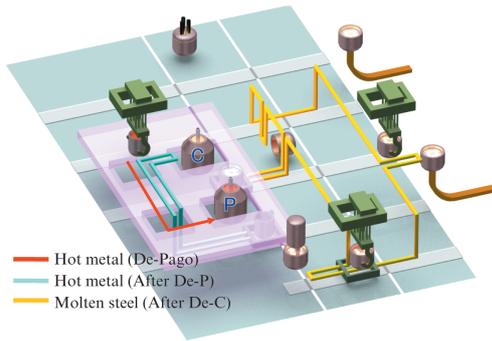


図 11 溶銑，溶鋼鍋の動き

Fig. 11 Movement of ladles for hot metal and molten steel

脱炭炉への脱りん銑装入を行い、#2 クレーンで脱りん炉へのスクラップ装入を実施していたため、脱炭炉へ脱りん銑を装入し、脱りん炉へ戻すまで、脱りん炉での出湯を待つ時間が9分発生していた。

そのため、#2 クレーンを定格荷重 465 t へ格上げすることにより、#2 クレーンでの溶銑ハンドリングが可能となり、#2 クレーンは脱りん炉へスクラップを装入した後、すぐに脱りん銑を脱炭炉へ装入することが可能となった。この改善により、脱りん出湯から次チャージ装入までの時間を 12 分から 3 分にすることができた。

② 出湯鋼の炉下通過待ち時間削減

図 11 に京浜地区製鋼工場での溶銑，溶鋼の動きを示す。脱りん処理前の溶銑はクレーンで脱りん炉に装入される。脱りん処理を終えた鍋は、炉裏側でサンプリングを実施し、台車で炉前側の開口部まで移動し、クレーンで吊り上げ脱炭炉に装入される。脱炭炉から出鋼された溶鋼は台車で炉裏側へ運ぶ。

問題点として炉垂直の状態では、脱りん炉下を出湯鍋が通過できないため、溶銑装入—脱珪吹錬間に待ち時間が発生していたため、出湯鍋のくぼし部分を 500 mm 切断することにより、炉垂直状態で脱りん炉の炉下を出湯鍋が通過できるようになった。

この改善により、炉下通過時間 5 分を 0 分に短縮し、DRP ピッチを 5 分短縮することができた。

③ 中間排滓時間短縮（遮蔽扉（シャッター）設備設置）

京浜地区製鋼工場の転炉ではシャッターが使用できていなかったため、中間排滓実施時に炉前床に熱滓・溶銑が飛散する危険性があった。そのため、脱 Si 吹錬終了後に、スラグを十分に沈静してから中間排滓をおこなっていた。炉前床への熱滓・溶銑飛散リスクの低減と中間排滓時間の短縮を目的として、炉前シャッターを設置し、中間排滓時間は 12 分から 6 分となり、DRP ピッチを 6 分短縮することができた。

④ 中間排滓時間短縮（大型スラグ鍋導入）

脱珪スラグの流滓時間短縮のために、スラグ鍋大型化を

図った。従来の脱珪スラグの流滓では、ノロパン内でのスラグフォーミングによりスラグが溢れることがネックとなり高速でスラグを排出することが困難であったため、ノロパン容量増によりフリーボード確保した。ノロパン容量については、クレーン容量から 40 m³-norm. に決定した。外径，トランニオン間隔は変更せず容量が 35 m³-norm. → 40 m³-norm. となるよう嵩上げを実施した。さらに容量アップに伴いトランニオン位置も併せて変更し、重心の安定性を担保した。効果として、流滓時間 6 分から 5 分となり DRP ピッチを 1 分短縮できた。

⑤ 出湯口径拡大

DRP 操業を行う脱りん炉は、脱炭炉バックアップのために、脱炭炉と同様の出鋼口径としており、出湯時間は約 5 分かかっていたが、上述の DRP 処理ピッチ短縮により、脱炭バックアップ頻度が低下できたため、出湯口スリーブの大径化を実施した。工程スリーブの内径が 240 mm なのに対し、大径スリーブの内径は 290 mm と 50 mm 増加させることで、出湯時間を 1 分短縮できた。外形も拡大したため内径拡大による出湯口寿命の低下は見られない。

図 12 に改善前後の DRP 処理ピッチの内訳，表 2 に項目別の打ち手と改善前後のピッチを示す。上述の種々の改善により、DRP 操業ピッチを 51 分から 28 分に、23 分短縮することができた。

図 13 に DRP 処理ピッチの推移，図 14 に DRP 日間最大処理チャージの推移をそれぞれ示す。ピッチを 28 分まで短

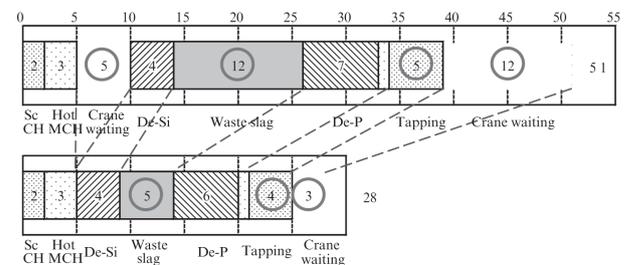


図 12 従来・改良法における DRP[®] 操業の生産性比較

Fig. 12 Comparison between conventional and improved productivities in DRP[®] operation

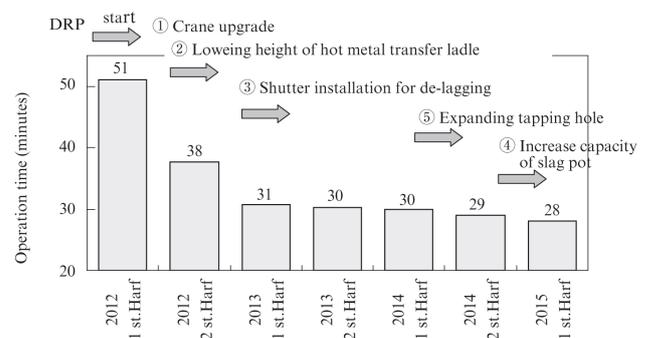


図 13 DRP[®] ピッチ短縮推移

Fig. 13 Operation pitch of DRP[®] process

表2 項目別の打ち手と改善前後のピッチ
Table 2 DRP® operation pitch shortening result

Item	Before improvement (min)	Countermeasures	After improvement (min)
Scrap charging	2	—	2
Hot metal charged	3	—	3
Ladle passing time	5	② Avoidance of interference with the furnace body by tapping pot height change	0
De-Si blowing	4	Oxygen-flow-rate expansion (in the future)	4
Waste slag	12	③ Dregs shatterproof by the shutter installation ④ Slag pot large	5
De-P blowing	7	Oxygen-flow-rate expansion	6
Tapping waiting	1	Tapping preparation time reduction (in the future)	1
Tapping	5	⑤ Tapping diameter expansion	4
Crane waiting	12	① Handling improvement by crane downgrades Shortening wait-slag-off time (in the future)	3

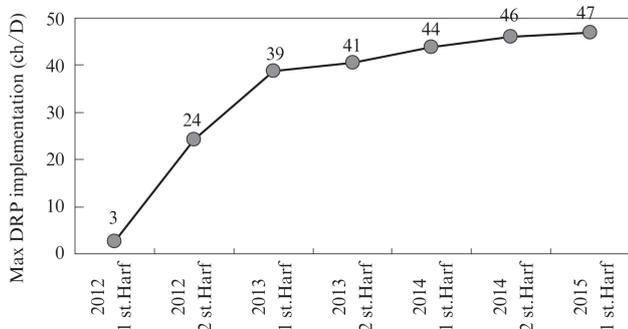


図14 DRP® 生産性の推移
Fig. 14 Productivity trend of DRP®

縮したことにより、DRP 日間処理数は47チャージ/dayまで向上し、生産量増加対応が可能となった。

5. 結言

京浜地区製鋼工場では2004年に溶銹脱硫工程、2005年に溶銹脱りん工程をFレス化し、製鋼工場での完全Fレス化を達成した。図15に京浜製鋼工場における粗鋼生産量、溶銹配合率、予備処理比率、媒溶材量の推移を示す。脱硫、脱りん工程のFレス化にともない媒溶材原単位は大幅に増加した。

脱硫工程では、上述した技術開発に合わせて、高炉鍋の大型化による処理前温度向上、脱硫スラグの熱間リサイクル等により媒溶材を削減した。

脱りん工程では、上述した技術開発に合わせて、溶銹鍋ダイレクト装入による処理前温度向上、FeO制御による脱りん効率の向上等により媒溶材を削減した。

これらの改善により、2015年上期では、溶銹配合率の低減と同時にFレス化以前の90%まで媒溶材を削減することができた。

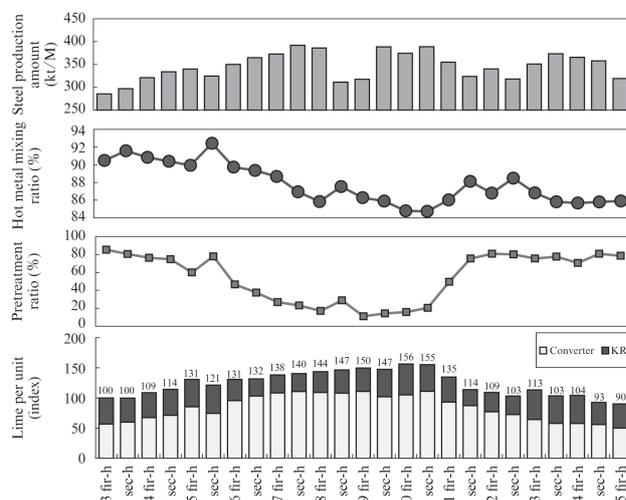


図15 2003年以降の生産量、溶銹配合率、予備処理比率、石灰使用原単位推移

Fig. 15 The transition of crude steel production amount in the Keihin steel steelmaking plant, hot metal mixing ratio, Pretreatment ratio and lime per unit

参考文献

- 1) Tanaka, K. 2015 SE AISI Conference & Exhibition, 30.
- 2) Nakai, Y.; Uchida, Y.; Miki, Y.; Sumi, I.; Tanaka, K. CAMP-ISIJ. 2014, vol. 27, p. 645.



前田 孝彦



田野 学



奥山 悟郎