

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）における 精錬プロセス再構築による溶銑配合率低減の取り組み

Reduction of Hot Metal Ratio through Reconstruction of Refining Process in JFE Steel West Japan Works (Fukuyama)

渡久地祐輝 TOGUCHI Yuki JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） 製鋼部 製鋼技術室
石割 正敏 ISHIWARI Masatoshi JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） 製鋼部 製鋼技術室長
五十川 徹 IKAGAWA Toru JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） 製鋼部長

要旨

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）では、カーボンニュートラル実現、CO₂ 排出量削減のために溶銑配合率の低減を図ってきた。その施策として、転炉型予備処理プロセスである Double-slag Refining Process (DRP[®]) を活用し、高炉鍋脱珪処理の省略により高炉鍋の受銑から払い出しまでの溶銑放熱ロスの低減に取り組んだ。また、高炉鍋耐火物の放熱ロスの一部をスクラップの予熱として回収する、高炉鍋スクラップ入れ置き量の増加に取り組んだ。その結果、高炉鍋脱珪処理の省略により 15%、高炉鍋スクラップ入れ置き量の増加により 2% の溶銑熱ロスを低減した。福山地区の溶銑配合率は、2015 年の 87.6% から、2023 年に 84.8% まで低減した。

Abstract:

JFE Steel West Japan Works (Fukuyama) has been working to reduce the hot metal ratio to achieve carbon neutrality and reduce CO₂ emissions. The Double-slag Refining Process (DRP[®]), which is a converter type pretreatment process, was utilized to reduce hot metal heat loss by omitting the De-Si treatment in the blast furnace pot and to recover dissipating heat by increasing the amount of scrap placed in the pot. As a result, a 15% reduction in heat loss was achieved by omitting the Blast furnace pot De-Si process, and a 2% reduction in heat loss was achieved by increasing the amount of scrap in the blast furnace pot. The hot metal ratio in Fukuyama District has been decreased from 87.6% in 2015 to 84.8% in 2023.

1. はじめに

地球規模の課題である気候変動問題の解決に向けて、2015 年にパリ協定が採択され、「世界的な平均気温上昇を工業化以前に比べて 2℃より十分低く保つとともに（2℃目標）、1.5℃に抑える努力を追求すること（1.5℃目標）」が世界共通の長期目標とされており、温室効果ガスの排出を実質ゼロにするカーボンニュートラルの取り組みが国際的に行われている。

高炉転炉法プロセスにおけるカーボンニュートラルへの取り組みでは、とりわけ CO₂ 排出量の削減が求められる。高炉転炉法プロセスにおける CO₂ 排出量の大部分は高炉による鉄鉱石還元プロセスに由来するため、製鋼工場では高炉溶銑を冷鉄源へ置き換える（溶銑配合率を低減する）ことが極めて重要である。

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）では、1990 年代からの高級鋼ニーズおよび発生スラグ量低減ニーズの高まりに伴い、ゼロスラグ製鋼法（Zero Slag Process: ZSP¹）を開

発し、溶銑輸送容器（以下、高炉鍋）で脱珪・脱りん処理を実施していた。近年、カーボンニュートラルのニーズの高まりに伴い、転炉型予備処理プロセスである Double-slag Refining Process (DRP[®])² を活用し、高炉鍋における溶銑予備処理工程を省略することで放熱ロスを低減する取り組み、および高炉鍋耐火物から大気中への放熱ロスの一部をスクラップの予熱として回収する高炉鍋スクラップ入れ置き量を増加させる取り組みにより、溶銑配合率を低減させた。

本稿では、福山地区における CO₂ 削減に向けた取り組みとして、高炉鍋脱珪処理の省略および高炉鍋スクラップ入れ置き量の増加による溶銑配合率低減について報告する。

2. 福山地区製鋼工場生産フロー

図 1 に福山地区の製鋼工場生産フローを示す。福山地区では、DRP 実施のため 2015 年 1 月に第 3 製鋼工場に転炉を 1 基増設した。現在は第 2 製鋼工場、第 3 製鋼工場ともに転炉 3 基体制で DRP を実施している。後述のとおり、高炉鍋脱珪処理設備である No. 1 脱珪ステーション（No. 1 De-Si

2024 年 9 月 27 日受付

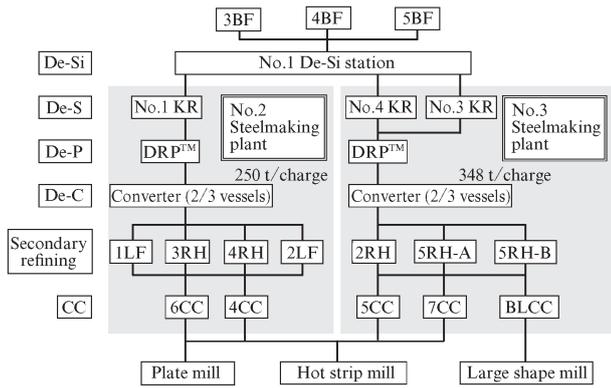


図1 福山地区製造プロセスフロー

Fig. 1 Production flow in Fukuyama District

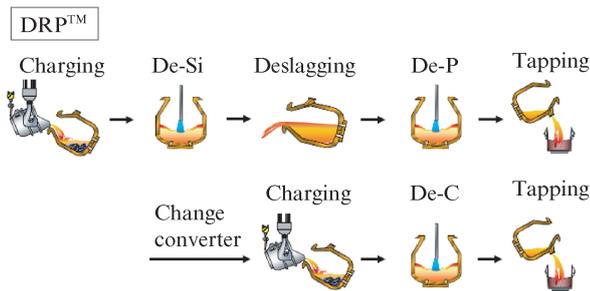


図2 DRP[®]プロセスの概要

Fig. 2 Schematic image of DRP[™] process

station) は、DRP の活用により現在は設備を停止している。

3. DRP[®]法と高炉鍋スクラップ入れ置き

3.1 DRP[®]法の概要

DRP 法の概要を図2に示す。DRP では、脱珪吹錬後に SiO₂ 含有量の高いスラグの中間排滓を行うことで、高 Si 溶銑の場合も新規石灰を増加させることなく脱りん処理ができる³⁾。また、高炉鍋における溶銑予備処理工程を省略することで製鋼工場までの溶銑輸送時間が短縮され、かつ溶銑 Si の燃焼熱を有効利用できるため、放熱ロスを低減することで溶銑配合率を低下させることができる。

3.2 高炉鍋スクラップ入れ置きの概要

高炉鍋スクラップ入れ置きの概要を図3に示す。製鋼工場場で溶銑を払い出した空の高炉鍋へスクラップの入れ置きを行うことにより、高炉鍋耐火物から大気中への放熱ロスの一部をスクラップへの予熱として回収できる⁴⁾。図4に、スクラップ使用量とスクラップ溶解による溶銑温度降下量の関係を示す。高炉鍋スクラップ入れ置きは、転炉におけるスクラップ使用時と比較して、溶銑温度降下量をスクラップ単位量あたり約35%低減できる。

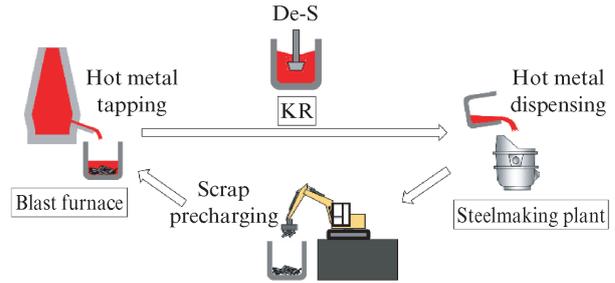


図3 高炉鍋スクラップ入れ置きの概要

Fig. 3 Schematic image of scrap precharging process

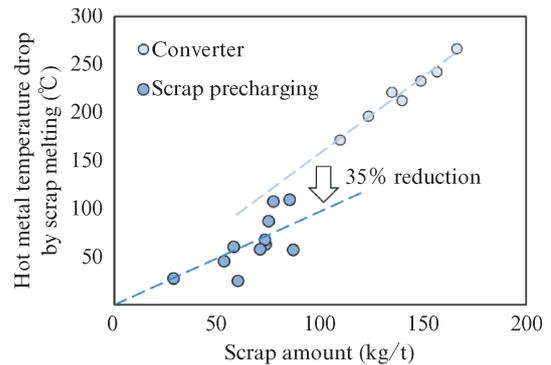


図4 スクラップ量と溶銑温度降下量の関係

Fig. 4 Relationship between scrap amount and temperature drop due to scrap melting

4. 福山地区における溶銑配合率低減

4.1 高炉鍋脱珪処理の省略

4.1.1 ヘビー屑切断機改造

DRP 法を活用し、放熱ロス低減効果を最大限活用するため、高炉鍋脱珪処理の省略に取り組んだ。福山地区では、所内スクラップの有効利用のため、ヘビー屑（スラブ切断屑）を高炉鍋スクラップ入れ置きに使用している。高炉鍋スクラップ入れ置きを実施した際に高炉鍋脱珪処理を省略すると、ヘビー屑が溶け残り、機械攪拌式脱硫装置（以下、KR）による脱硫処理でインペラー破損が多発した。そのため、高炉鍋スクラップ入れ置きを実施する場合は、ヘビー屑溶解促進のため、No. 1 脱珪ステーションでの事前処理を実施していた。

高炉鍋スクラップ入れ置きと高炉鍋脱珪処理省略による熱ロス低減効果とともに享受するためには、KR 処理前にヘビー屑を溶解させ、インペラーの破損を防止するため、ヘビー屑の厚さ低減に取り組んだ。Gaye らの一次元伝熱モデル⁵⁾に基づく溶解モデルを用い、高炉鍋脱珪処理を実施せずに KR 処理をおこなう際に溶解可能となるヘビー屑厚さを試算した。試算結果をもとに、図5に示すとおり、ヘビー屑切断機の切断トーチ幅を狭くする改造を実施した。

図6に、ヘビー屑切断機改造前後の KR インペラー寿命を示す。ヘビー屑の切断トーチ幅を縮小することにより、高

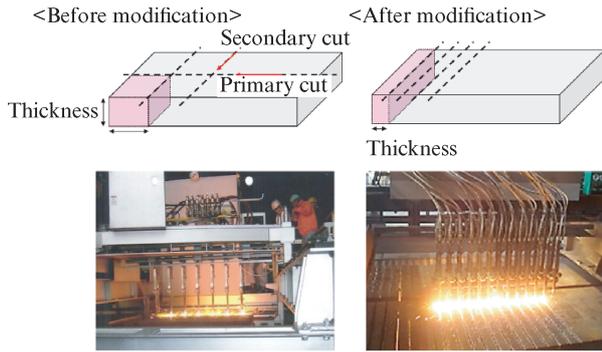


図5 ヘビー屑切断機トーチ増設概要図

Fig. 5 Outline of modification of heavy scrap cutting machine

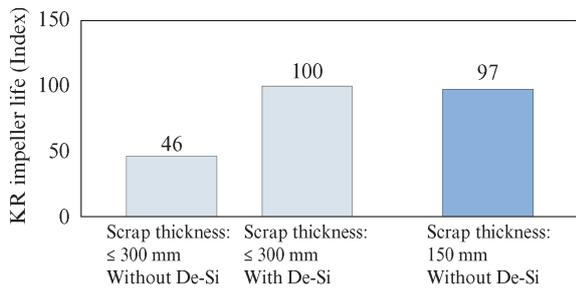


図6 高炉鍋脱珪処理の省略によるインペラー寿命影響

Fig. 6 Impeller life by omission of De-Si Process

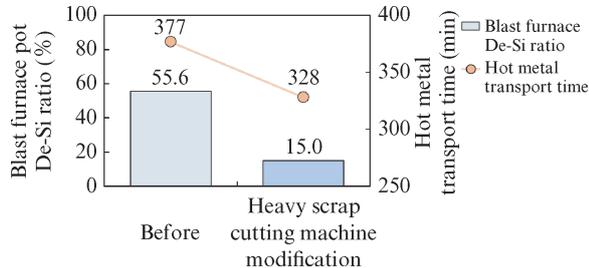


図7 ヘビー屑薄肉化による高炉鍋脱珪処理の実施率変化

Fig. 7 Change in blast furnace De-Si ratio by scrap thickness reduction

炉鍋脱珪処理を実施せずともスクラップを溶解でき、インペラー寿命は高炉鍋脱珪処理実施時と変わらなかった。また、図7に工事前後の高炉鍋脱珪処理の実施率および溶銑輸送時間（出鉄から製鋼工場払い出しまで）を示す。高炉鍋脱珪処理の実施率は、55.6%から15.0%まで低減できた。また、溶銑輸送時間を377分から328分まで短縮した。

4.1.2 第2製鋼工場転炉炉前シャッター改造

4.1.1項の取り組み後も、DRPですべての脱珪処理をまかなうことはできず、15%は高炉鍋脱珪処理を実施していた。そこで、DRPの処理量向上のため、処理時間短縮に取り組んだ。その概要を図8に示す。第2製鋼工場転炉は、転炉の炉口-炉前シャッター間のクリアランスが狭く、排滓流の炉前床侵入リスクがあるため、脱珪処理後の中間排滓工程

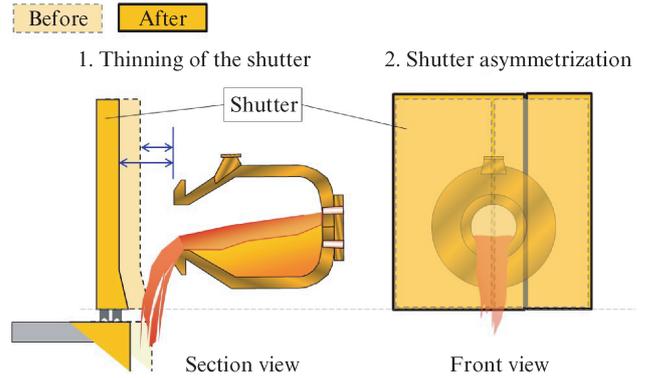


図8 第2製鋼工場転炉炉前シャッター改造概要図

Fig. 8 Schematic image of modification of front furnace shutter at no. 2 steelmaking plant

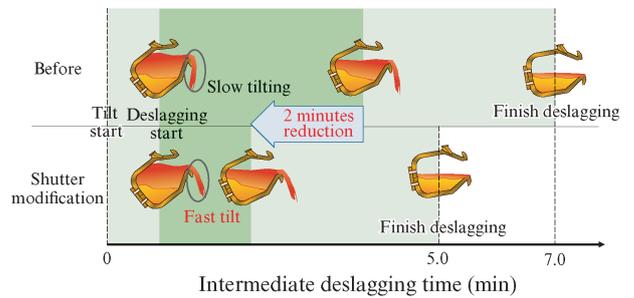


図9 転炉炉前シャッター改造前後の中間排滓時間

Fig. 9 Intermediate deslagging time before and after furnace front shutter modification

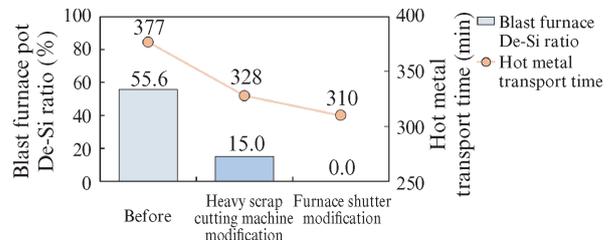


図10 転炉炉前シャッター改造による高炉鍋脱珪処理の実施率変化

Fig. 10 Change in blast furnace De-Si ratio by shutter modification

で転炉傾動速度を制限しており、その結果第2製鋼工場の中間排滓時間は長かった。今回、中間排滓時間短縮のために炉前シャッターの薄肉化工事を行い、炉口-炉前シャッター間のクリアランスを約1.4倍に増加させた。また、排滓流の炉前床侵入リスクを防止するため、図8の正面図に示すとおり、炉前シャッターの左右を非対称とした。図9に示すとおり、本工事により中間排滓時の転炉傾動速度が上昇したことで、中間排滓時間を7.0分から5.0分に短縮できた。図10に、工事前後の福山地区の高炉鍋脱珪処理の実施率および溶銑輸送時間を示す。本工事によってDRPの処理量が

増加したことにより、高炉鍋脱珪処理実施率を 15%から 0% に低減させ、溶銑輸送時間を 328 分から 310 分まで短縮した。高炉鍋脱珪処理の停止に伴い、現在は No.1 脱珪ステーションを停止している。

4.2 高炉鍋スクラップ入れ置き量の増加

3.1 節で示したとおり、高炉鍋スクラップ入れ置きにより高炉鍋耐火物の放熱ロスの一部をスクラップへの予熱として回収できる。そのため、高炉鍋スクラップ入れ置き量の増加に取り組んだ。図 11 に、高炉鍋スクラップ入れ置きの実施理由の内訳を示す。未実施理由のうち、42%を溶銑残りが占めている。図 12 に示すとおり、高炉鍋の溶銑払い出し口付近に地金が付着している場合、高炉鍋内の溶銑を装入鍋に払い出す際に地金が堰となり、溶銑が完全に払い出せず高炉鍋内に残る。溶銑が残った状態で高炉鍋スクラップ入れ置きを実施すると、スクラップ投入時の溶銑飛散リスクがあるため、溶銑が残った高炉鍋に対してはスクラップの入れ置きを中止していた。今回、高炉鍋スクラップ入れ置き量の増加のため、溶銑が残った高炉鍋へのコークス投入による溶銑の表面固めを実施した。溶銑固めに必要なコークスの量 (W_c) は、固める溶銑量を W_m として、

$$W_c = W_m \times a \times \Delta T / b \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W_m = A \times L \times \rho \quad \dots\dots\dots (2)$$

a : 溶銑熱量, ΔT : (溶銑温度) - (溶銑凝固温度),
 b : コークス熱量, A : 残留溶銑表面積, L : 固める溶銑厚さ, ρ : 溶銑比重

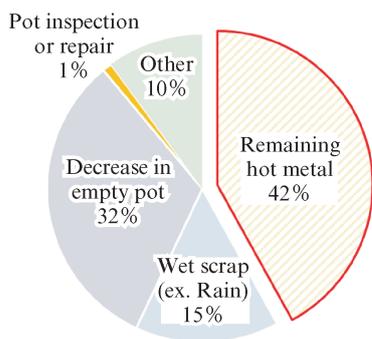


図 11 高炉鍋スクラップ入れ置き未実施理由の内訳
 Fig. 11 Breakdown of reasons for non-precharging scrap

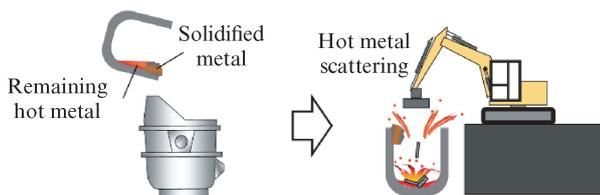


図 12 溶銑残りによる入れ置き時の溶銑飛散概略図
 Fig. 12 Schematic image of hot metal scattering at scrap precharging

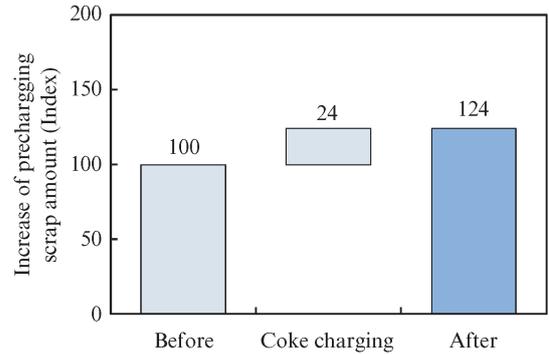


図 13 高炉鍋スクラップ入れ置き量増加効果
 Fig. 13 Effect of increasing precharging scrap amount

と表される。式 (1) および式 (2) を用いて、溶銑残りが発生した鍋にコークスを投入したところ、高炉鍋スクラップ入れ置き実施中に溶銑飛散は発生しなかった。溶銑が残った高炉鍋へコークスを投入することにより、高炉鍋スクラップ入れ置き実施中の溶銑飛散リスクを低減させ、図 13 に示すとおり、高炉鍋スクラップ入れ置き実施率が向上することで高炉鍋入れ置きスクラップ量を約 24% 増加させた。

4.3 福山地区の熱ロスと溶銑配合率

図 14 に、福山地区における溶銑輸送時間および溶銑熱ロスの低減効果を示す。ヘビー屑切断機改造および第 2 製鋼工場転炉炉前シャッター改造により高炉鍋脱珪処理を省略できたため、溶銑輸送時間が大幅に低減し、15%の熱ロス低減効果を得た。また、高炉鍋スクラップ入れ置き量の増加のためにコークス投入を実施し、2%の熱ロス低減効果を得た。図 15 に、福山地区の溶銑配合率の推移を示す。福山地区の溶銑配合率は、2015 年の 87.6%から 2023 年に 84.8%まで低減した。今後は、高炉鍋スクラップ入れ置き量増加の取り組みを強化し、さらなる溶銑配合率低減による CO₂ 排出量削減を図っていく。

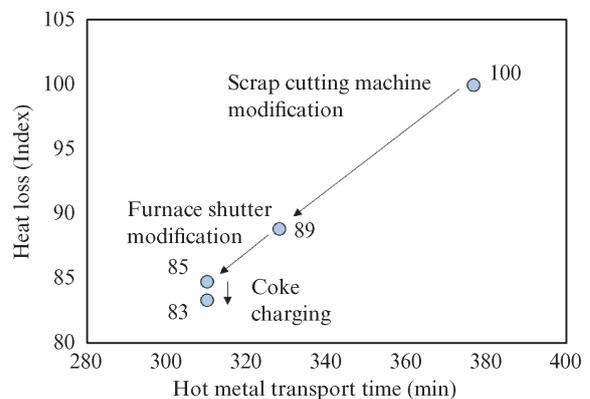


図 14 福山地区の熱ロス低減効果
 Fig. 14 Reduction of heat loss in Fukuyama District

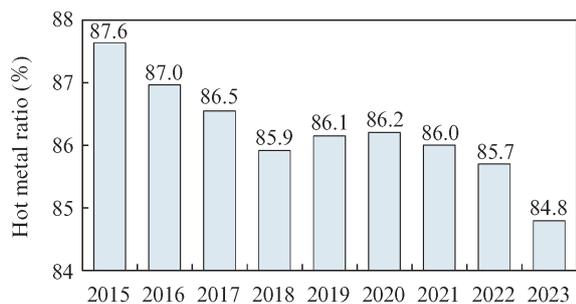


図 15 福山地区の溶銑配合率

Fig. 15 Hot metal ratio in Fukuyama District

5. おわりに

福山地区において溶銑配合率低減を目的として、高炉鍋脱珪処理省略による溶銑熱ロス低減および高炉鍋へのスクラップ入れ置き量増加による放熱回収に取り組んだ結果、以下の成果を得た。

- (1) 高炉鍋スクラップ入れ置きに使用するヘビー層の切断幅を狭くすることで、KR 処理開始前にスクラップを溶解させることができ、高炉鍋脱珪処理実施率を 55.6% から 15.0% まで低減した。
- (2) 第 2 製鋼工場転炉の炉口—炉前シャッター間クリアランスを拡大することにより DRP 処理量を増加させ、高

炉鍋脱珪処理設備である No. 1 脱珪ステーションを停止した。

- (3) 容器内に溶銑が残留した高炉鍋へコークスを投入し溶銑表面を固め、高炉鍋スクラップ入れ置き実施時の溶銑飛散を抑止することで、高炉鍋入れ置きスクラップ量が 24% 増加した。
- (4) 溶銑熱ロス低減の取り組みを行った結果、高炉鍋脱珪処理の省略により 15%、高炉鍋入れ置きスクラップ量増加により 2% の熱ロス低減効果を実現した。
- (5) 上記の取り組みにより、福山地区の溶銑配合率は、2015 年の 87.6% から 2023 年に 84.8% まで低減した。

参考文献

- 1) 川畑涼, 小平悟史, 渡辺敦, 川嶋一斗, 井澤智生, 松野英寿, 菊地良輝. 転炉ゼロスラグ吹錬による環境調和型新製鋼プロセス. NKK 技報. 2002, no. 178, p. 1-5.
- 2) 井上周大, 加茂百紀, 錦織正規. JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）における製鋼工場の一貫生産能力向上対策. JFE 技報. 2016, no. 38, p. 91-95.
- 3) 前田孝彦, 田野学, 奥山悟郎. 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. JFE 技報. 2016, no. 38, p. 81-86.
- 4) 多田光宏, 石川博章, 広瀬俊幸, 梶谷英雄, 桑野清吾. 溶銑鍋による冷鉄源の大量溶解試験. 材料とプロセス. 1991, vol. 4, no. 4, p. 1297.
- 5) Gaye, H.; Wanin, M.; Gugliemina, P.; Schittly, PH. Kinetics of scrap dissolution in the converter. Theoretical model and plant experimentation. Steelmaking Conf. Proc. 1985, vol. 68, p. 91-104.