

## 君津製鉄所第2製鋼工場における生産性向上\*1

## Improvement of Productivity at Kimitsu No.2 Steelmaking Plant

浅見 千裕\*  
Chihiro ASAMI宮本 浩一  
Kohichi MIYAMOTO安藝 弘  
Hiroshi AKI東豊 一郎  
Toyoichiro HIGASHI松本 孝志  
Takashi MATSUMOTO

## 抄 録

君津製鉄所第2製鋼工場では、従来、転炉3基稼働を主体に、炉修時のみ2/3基操業の形態としてきた。転炉の生産性向上に取り組み、同一生産量の下での完全2/3基化と全量予備処理化の両立を果たすことにより、耐火物、および副原料原単位削減による改善、2次精錬簡略化(全量RH化、KIP処理省略)による転炉吹止温度低減、2次精錬コスト低減等の効果を得た。主な改善点は、1)LD-ORP実施鋼種のMURC代替、そのための成分規制緩和、2)MURC Blow1送酸速度アップによるサイクルタイム短縮と塩基度最適化による脱りん能向上、3)RHの生産性向上による吹止温度低減、4)溶鋼ヒートサイズアップの4点である。

## Abstract

Kimitsu No.2 steelmaking plant was operated with 3 converters, and 2/3 units have been operated only during the repair of converter. This time, complete 2/3 operation and the pre-treatment of the whole amount of hot metal were made possible by converter productivity improvement, and have been obtained these merits which are the cost reduction by reducing refractory and submaterials. And also, refining simplification (only RH treatment, KIP suspended) resulted in reduction of converter blow end temperature and secondary refining cost. The main improvement issue are shown below. 1) MURC replacement of LD-ORP for steel grades, deregulation of components, 2) Increase in oxygen supply rate at MURC Blow1, cycle time reduction and basicity optimization to improve dephosphorization, 3) RH productivity improvement, 4) Increasing molten steel ladle heat size.

## 1. 緒 言

君津製鉄所第2製鋼工場では従来、転炉3基稼働を主体に炉修時のみ2基稼働とする転炉2/3基操業の形態をとってきた。そこで、転炉の生産性向上に取り組み、完全な転炉2/3基操業を可能とすることで、転炉稼働集約と設備安定化を図った。本報告では転炉の生産性向上を主体とした第2製鋼工場の一貫能力向上への取り組みについて述べる。

## 2. 君津製鉄所第2製鋼工場の生産構造と課題

君津製鉄所の生産フローを図1に示す。君津製鉄所は2つの製鋼工場を有しており、第1製鋼工場では線材工場・

大形工場向けのブルームを製造している。

第2製鋼工場は転炉-真空脱ガス(RH)-連続铸造機(CC)を3系列有している。熱間圧延工場向けの素材は2RHと3RHの脱ガス工程を経由した後、2CCと3CCで铸造を行っている。また、厚板工場向けの素材は1RHを経由して6CCで铸造を行っている。転炉3基稼働時およびRH3基稼働時の精錬系生産能力はCC3基稼働時の連続铸造系生産能力を上回る能力を有している。

第2製鋼工場の従来の操業形態は、転炉では、LD-ORP、MURC(Multi-Refining Converter)、普通銑吹錬(1回吹錬)の3つの吹錬法を組み合わせて操業を行っていた(図2)。各吹錬法の特徴を表1に示す。LD-ORPとMURCは脱珪、脱りんを目的とした転炉型の溶銑予備処理(ORP:Optimized Refining Process)を行うプロセスであり、T.CaO削減や歩留向上などにおいて効果的である。両吹錬法は、

\*1 日本鉄鋼協会 製鋼部会 第149回部会大会発表資料を転載

Blow1(脱珪, 脱りんを目的としたORP吹錬)とBlow2(脱炭吹錬)を同一の転炉で実施するが, Blow1後の排滓方法が異なる。

LD-ORPでは再装鍋へ溶銑を一度出湯し, スラグを完全に排滓した後, 転炉へ溶銑を再装入するのに対して, MURCではBlow1後に溶銑を炉内に残したまま, スラグを炉口から排滓する。そのため, LD-ORPの方が排滓率が高く低りん鋼の溶製に有利であるが, サイクルタイムはMURCより長く(約1.3倍), 更に出湯, 再装入による熱口

スも大きいため, Blow2での昇熱材使用量が増加し, 精錬コストも劣位である。一方, 溶銑予備処理吹錬を行わない普通鉄吹錬は, サイクルタイムはMURCより更に短い, 吹錬時のインプット[Si]が高いため, T.CaOが増加しコストは大幅に悪化する。

以上のことから, 第2製鋼工場ではMURCを指向した操業を行っており, 転炉3基稼働時はMURCでの溶製が困難な厳格材(①製品規格[P]の厳しい極低りん鋼, ②高合金・極低硫鋼などの吹止温度が高い鋼種)のみLD-ORP

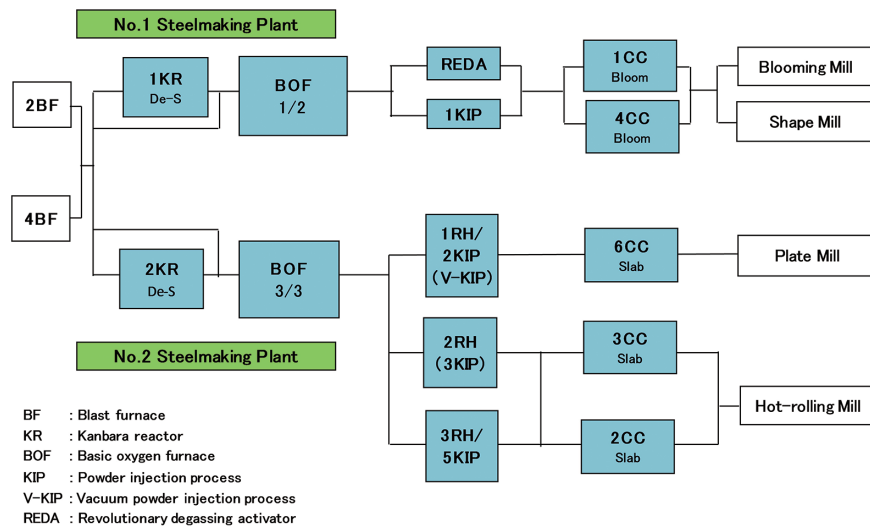


図1 君津製鉄所の生産フロー  
Steel manufacturing process at Kimitsu Works

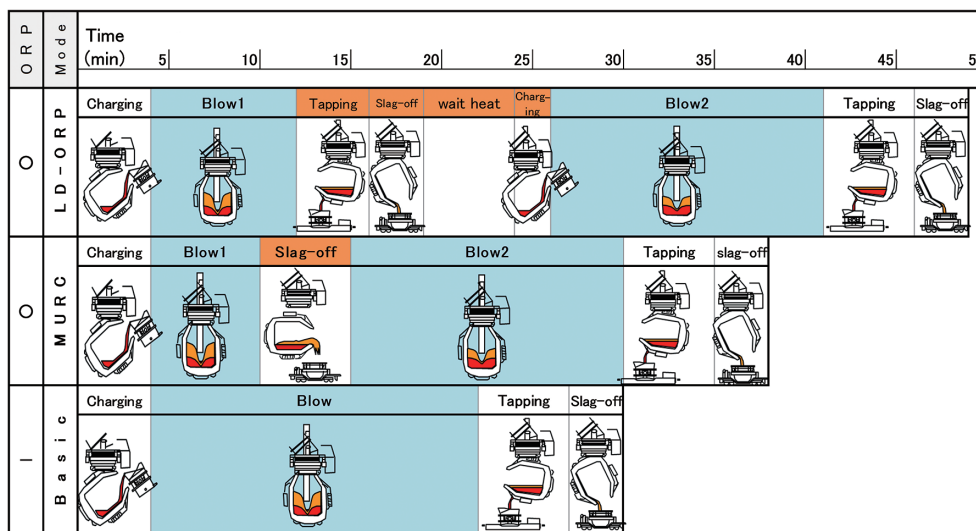


図2 各吹錬法の概略フロー  
Operational flow-diagram of BOF operation

表1 各吹錬法の特徴  
Characteristics of BOF operation mode

ORP	Operation mode	Dephosphorizing capacity	Productivity	Opex	Utilization of BOF's (%)		
					3 BOF's (base)	2 BOF's (base)	2 BOF's (improved)
○	LD-ORP	Very good	Low	Good	30	30	10
○	MURC	Good	High	Very good	70	10	90
-	Basic	Poor	Very high	Poor	0	60	0

を適用していた。一方、転炉2基稼働時は転炉の能力が低下するため、MURCの一部を普通鉄吹錬に変更することで能力低下影響を緩和するとともに、製鋼-圧延間の鋼片在庫を調整することで対応していた。

2次精錬ではRHとKIP (Kimitsu Injection Process) を併用した操業を行っていた。RHとKIPの特徴を表2に示す。脱ガスを必須とする鋼種ではRH単身処理、溶鋼脱硫、Ca添加を必須とする鋼種ではKIP単身処理、どちらも必要とする鋼種(重処理材)ではダブル処理(KIP→RH)、トリプル処理(KIP→RH→KIP)を行っていた。また、成分調整のみの汎用鋼(軽処理材)では転炉-CC間の物流整流化のため、RHとKIPで時間ロスが発生しない方の処理を選択しており、2次精錬での昇熱は変動調整のみを限定的に実施していた。

以上をまとめると、精錬工程では、①転炉2基稼働時にORP比率が低下し、精錬コストが悪化、②転炉2基稼働時の生産量低下により、製鋼-圧延間の生産最適化が図れ

ず、在庫の増加やHCR (Hot Charge Rolling) の低下などが課題であった。加えて、③転炉3基稼働期間比率最大化のため、転炉炉修期間の極小化を指向してきたが、必要十分な整備が行えず、転炉3基稼働中に設備トラブルが散発するなど操業安定化を阻害する、という課題も発生していた。

そこで第2製鋼工場では、転炉2基稼働時の全量ORP化と転炉稼働設備集約による用役および固定費の削減を図ると同時に、完全な2/3基操業による必要炉修期間の確保と転炉稼働安定化を図ることを目的に、転炉の生産性向上に取り組んだ。取り組みの全体概要は、図3に示すように生産性向上およびコスト削減を目的に改善活動を行ってきた。主要な取り組みである転炉のサイクルタイム短縮と溶鋼ヒートサイズの拡大について報告する。

### 3. 転炉のサイクルタイム短縮

転炉のサイクルタイム短縮では主にMURCのサイクルタイム短縮と、LD-ORP対象鋼種のMURC溶製化のため、

表2 RHとKIPの特徴  
Comparison of secondary refining process

Process	Vessels	De-gas	De-S	Ca treatment	Addition of alloy	Temperature control (heating)		
						Equipment	Up to	
RH	3	Yes	No	No	Yes	Yes	~ 50°C	
KIP	3	No	Yes	Yes	Yes	2KIP	No	-
						3KIP	Yes	~ 20°C
						5KIP	No	-

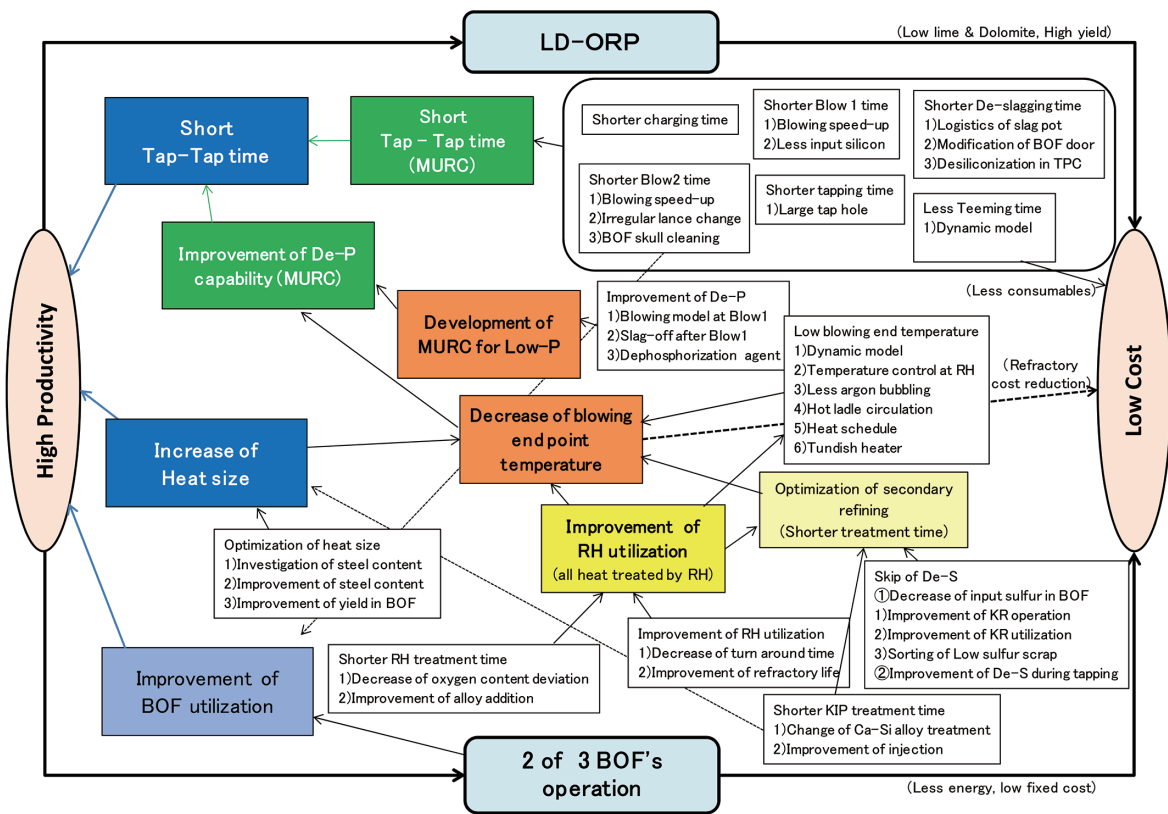


図3 転炉の生産性向上活動の全体概要  
Outline of improvement activity for high BOF productivity

MURCの脱りん能改善と転炉の吹止温度低減に取り組んできた。

### 3.1 MURCのサイクルタイム短縮

従来のMURCのサイクルタイムを図4に示す。MURCのサイクルタイム短縮では、①送酸速度拡大によるBlow1の短縮、②送酸速度拡大によるBlow2の短縮、③ダイレクトタップ比率拡大と再吹錬比率低減による鎮静時間の短縮、④溶銑装入鍋の熱間地金取り効率化による装入時間の短縮、⑤出鋼孔径拡大による出鋼時間の短縮などに取り組んできた。主要な活動である①～③について述べる。

まず、Blow1での送酸速度拡大によるサイクルタイム短縮に取り組んだ。MURCではBlow1終了後、スラグのフォーミングを維持した状態で速やかに中間排滓に移行する必要がある。しかし、スラグが過剰にフォーミングすると、激しいスロッピング(スラグ、地金が炉口から溢れ出る現象)が発生するため、目標酸素原単位前にオペレーターの判断により吹錬停止を行わなければならない場合がしばしば発生する。しかしその判断情報は、炉口や出鋼孔からのスラグの吹き出し状況のみであったため、送酸速度を拡大することで吹錬を停止するタイミングの判断がより困難になっていた。吹錬の停止が遅れてスロッピングが発生すると、スロッピングが抑制されるまで中間排滓へ移行できずにサイクルタイムが延長し、また炉下軌条へ流出したスラグを重機で清掃する時間も延長する。

そこで、新たな吹錬停止の判断情報として、既設の炉況音響メーターの活用を行った。従来、オペレーターは炉況音響レベルを瞬時値のみしか確認できなかったため、変動する音響レベルから吹錬停止タイミングを判断するのが困

難であった。そのため、オペレーターが監視する画面に送酸素量と紐付いた炉況音響レベルをトレンドで表示されるように改造し、スラグのフォーミング状況を吹錬中に傾向として判断できるようにした。また、各オペレーターが吹錬を停止したタイミングの炉況音響レベルをオペレーター間で共有化することで、吹錬停止の判断レベル向上を図った。

加えて、Blow1では送酸速度上限規制値が設定されており、送酸速度の拡大を制約していたため、この緩和にも取り組んだ。この上限規制は、従来吹錬初期の発塵の防止などを目的に設定された制約であったが、その後集塵設備の増設などの設備改善が完了しており、操業中の発塵状況を確認しながら段階的に設定値(吹錬初期の送酸速度上限規制値と上限規制タイマー)を緩和していった。これらの活動により、Blow1の送酸速度を28000Nm<sup>3</sup>/hから55000Nm<sup>3</sup>/hまで高速化することを達成し、Blow1の時間を0.9min短縮した(図5)。

Blow2でも同様に送酸速度拡大によるサイクルタイム短縮に取り組んだ(図6)。Blow2の送酸速度拡大の課題は溶鋼の吹き上げによるランスへの地金付きであった。特に送酸速度の拡大に伴い、ランスへの地金付きによるランス交換頻度が急増したため、この対策に取り組んだ。具体的な取り組みは、①ランスへの地金付き成長速度の管理、②ランス整備品質の向上、③ランス交換基準の見直し、の3点である。ランスへの地金付き成長速度の管理では既設のランス秤量機を活用して、図7に示すようなランス重量からチャージ(CH)毎のランス地金付き管理表を作成し、ランスへの地金付きの傾向を分析した。

その結果、ランス毎に地金が付きにくいランス、地金が

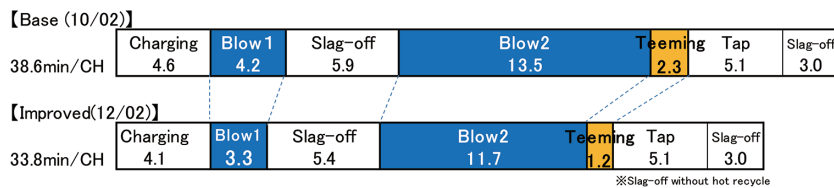


図4 改善前後のMURCのサイクルタイム  
Result of tap-tap time in MURC operation

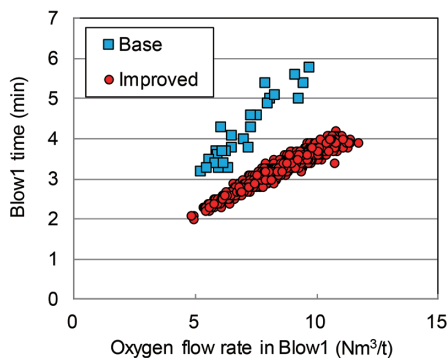


図5 改善前後のBlow1時間  
Reduction of oxygen blowing time (Blow1)

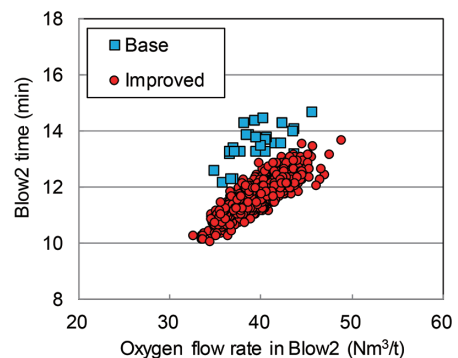


図6 改善前後のBlow2時間  
Reduction of oxygen blowing time (Blow2)



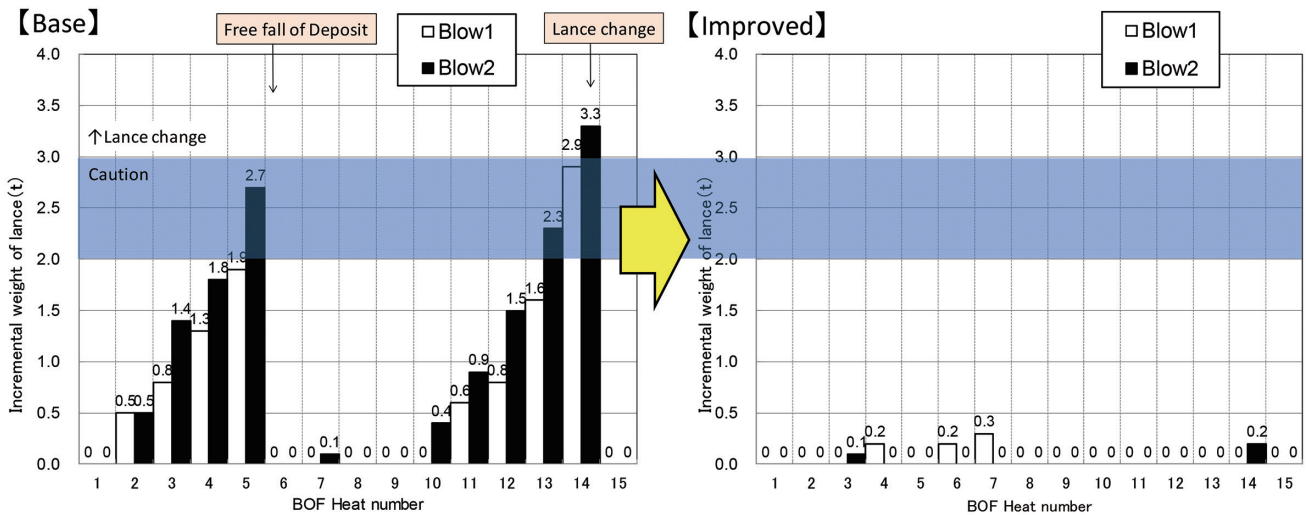


図7 ランスへの地金付き管理表の実例  
Example of skull deposition on oxygen lance

付きやすいが落ちやすいランス、地金が付きやすく落ちにくいランスなどの特徴があることを確認した。そこでこの傾向を活用して、地金が付きにくいランスから優先的に使用していく運用管理方法を導入した。また、地金が付きやすく落ちにくいランスは地金が付き始めると5CH程度で交換が必要になるほど地金の成長が著しいため、この原因調査に取り組んだ。地金が付きやすく落ちにくいランスの現物を確認していくと、ランスの羽口溶接部位から地金が成長していることを確認した。羽口溶接部位は羽口を交換する時にビード溶接する箇所であり、溶接箇所は研磨仕上げを実施しているが、現物を確認すると凸部が残存していた。

そこで、羽口溶接部位のグラインダー研磨方法を見直し、凸部が最小となるまで研磨を行う整備運用を実施するとともに、整備完了の確認をオペレーターが現認し、状況を写真で管理することで整備品質の向上を図った。加えて、地金の付着によりランスがランス孔から抜けなくなるといった操業影響が大きいトラブルを回避するため、ランス交換基準を見直し、地金付き管理表を活用した定量的なランス重量によるランス交換基準を設けた。

具体的には、2t以上のランス地金付きでCHのBlow1、Blow2毎にランスをランス孔から引き抜き目視で地金付き状況を確認すること（状況によりランスの交換を行う）と、3t以上のランス地金付きでランス交換を義務付けた。また、これらの活動に加えて、操業の安定化を図るため、2011年4月に立ち上げた地金溶流ランスを活用した炉口の面積維持と、サブランスによる湯面測定頻度の拡大によるランス高さ管理の改善を行った。これらの活動により、Blow2の送酸速度を65000Nm<sup>3</sup>/hから68000Nm<sup>3</sup>/hまで安定して高速化が行えるようになり、Blow2の時間を1.8min短縮した（図6）。

鎮静時間の短縮ではダイレクトタップ比率拡大と再吹錬比率低減に取り組んできた。鎮静時間とはBlow2の吹錬終

了から出鋼の傾動操作開始までの時間である。この時間では、従来Blow2の吹止测温サンプリングを実施し温度と[C]の確認を行い、目標に対して実績の差が大きければ再度吹錬を実施していた。ダイレクトタップはBlow2の吹止测温サンプリングを行わずに出鋼に移行することで鎮静時間の短縮が可能である。従来、ダイレクトタップを推進できなかった理由は、転炉で温度を合わせて、2次精錬では極力温度調整（特に昇熱）を行わない操業を指向してきたためである。

そこで、後述する全量RH処理を前提に、ダイレクトタップによる取鍋温度のばらつきをRHでの昇熱で担保する操業変更を行った。この取り組みを進める上で、ダイレクトタップではBlow2吹錬中の测温サンプリング（ダイナミック）からダイレクトタップ実施可否を判別する基準を設けた。また、再吹錬の実施が必要な温度範囲（目標吹止温度に対する実績吹止温度）も従来から緩和した基準に見直した。これらの活動によりダイレクトタップ比率は6%から60%まで向上（図8）、再吹錬比率は6.5%から2.0%まで減少し（図9）、この結果、鎮静時間を2.3minから1.2minまで短縮した。以上のサイクルタイム短縮活動に取り組み、MURCのサイクルタイムを従来の38.6min/CHから33.8min/CHまで改善した（図4）。

### 3.2 MURCの脱りん能改善

次にLD-ORP対象鋼種のMURC溶製化による転炉のサイクルタイム短縮の取り組みについて述べる。LD-ORPは、吹止[P]が低く、吹止温度が高い鋼種に適用され、その比率は30%程度であった。LD-ORPをMURCにて溶製にあたり、①MURCの脱りん能改善、②転炉の吹止温度低減、③製品規格[P]やその他成分の緩和、の3つの視点で取り組んだ。①MURCの脱りん能改善として導入した低りん鋼用MURCについて述べる。

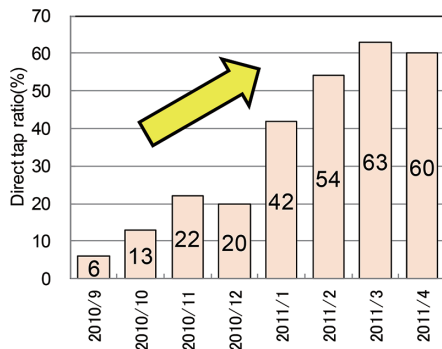


図8 ダイレクトタップ比率の推移  
Increase of direct tap\* ratio  
\*No measurement at blowing end point

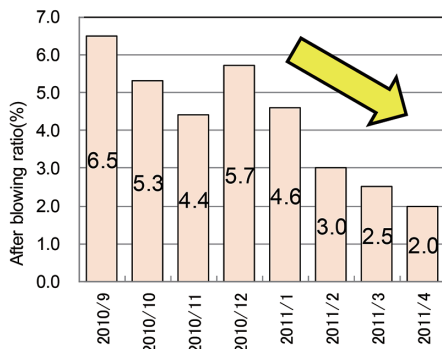


図9 再吹錬比率の推移  
Decrease of after blowing ratio

表3 低りん鋼用 MURC の特徴  
Concept of MURC for low-P operation mode

BOF operation mode	De-P capability		Productivity	T.CaO consumption
	Ultra low-P	Low-P		
LD-ORP	Yes	Yes	Low	Low
MURC for low-P	No	Yes	Middle	Low
MURC	No	No	High	Very low

従来より実施してきたLD-ORPとMURCおよび導入した低りん鋼用MURCの特徴を表3に示す。MURCとLD-ORPではBlow1の吹錬設計が異なっている。MURCではBlow1後にスラグのフォーミングを維持した状態で中間排滓に移行する必要があるため、Blow1の装入塩基度を下げた操業を指向している。一方、LD-ORPではBlow1の脱りん反応を進行させるため、目標とする酸素原単位が大きく、吹錬中のスロッピングにより吹錬が中断しないようにBlow1の装入塩基度を上げてスラグのフォーミングを抑制する操業を指向している。

LD-ORPとMURCでは以上のような特徴があるが、MURCにて脱りん能を改善するためには、酸素原単位を拡大しつつ、Blow1後にスラグのフォーミングを維持させなければならない。そこで、低りん鋼用MURCでは、酸素原単位の拡大とスラグのフォーミングを両立する装入塩基度を採した。まずBlow1の装入塩基度を上げることで、従来のMURCと比較してスラグのフォーミングタイミングを

遅らせ酸素原単位を確保し、Blow1後[P]の低減を試みた。この条件で先述した炉況音響メーターを活用した吹錬停止を行い、酸素原単位の拡大代と中間排滓時のスラグのフォーミング状況を確認しながら装入塩基度を上昇させていき、MURCでの到達[P]レベルを確認した。この活動により、低りん鋼用MURCにて、T.CaOはLD-ORPと同等レベルで、約9%のLD-ORP対象鋼種のMURC溶製を可能とした。

### 3.3 転炉の吹止温度低減

#### 3.3.1 RHの生産性向上

第2製鋼工場では更なるMURC比率拡大を図るため、転炉工程の改善に加えて、溶銑予備処理から铸造工程までの製鋼一貫での転炉吹止温度低減に取り組んできた。その中で最も重要な操業改善は、従来の転炉で温度を担保する操業から、生産裕度があるRHを活用した操業に変更することによる転炉の温度負荷軽減であった。具体的には、RHに設けられたトップランスからの上吹き送酸による昇熱機能を最大活用することと、RHの連続稼働による処理槽からの熱ロスを抑制することを狙って、全量RH処理化に取り組んだ。

第2製鋼工場には1RH、2RH、3RHの3系列あり、2CC、3CC向けの処理は2RHと3RHで実施し、6CC向けの処理は1RHで実施している(図1)。この内、2RHは真空槽が1つしか無く、真空槽の耐火物を補修するタイミングで必ず非稼働期間が発生する。そのため従来の操業では3KIPでの処理を併用していたが、全量RH処理を実現するためには3RHから2CCと3CC向けに処理を行う必要があり、3RHの生産性向上が必要であった。そこで、RHの生産性向上として、①3RHのサイクルタイム短縮、②2RHの非稼働時間短縮に取り組んだ(図10)。

3RHのサイクルタイム短縮では、軽処理材の処理時間短縮に取り組んだ。改善前後の3RHでの軽処理材の処理フローを図11に示す。従来の軽処理材の処理は、成分狙い精度の向上のため、始めに合金を投入して成分を大まかに合わせた後、中間サンプリングを行って成分を確認して、再度合金を投入し成分の微調整を行う二段階処理を実施していた。そこで、中間サンプリング、成分確認を廃止して、最終成分確認のみとする一段階処理による処理時間短縮に取り組んだ。

一段階処理の課題はRH処理後[Al]値がばらつくことによる成分外れであり、RH処理前の酸素値のばらつき抑制とRH処理時の合金狙い精度向上が必要であった。酸素値にばらつきが生じる原因は、主に前工程である転炉吹止[C]のばらつきであったため、転炉吹止[C]値に応じた脱酸材投入量の基準化を行った。またRH処理時の合金狙い精度向上のためには、一段階処理時の合金歩留を分析し、実績をオペレーター間で共有化することで実力向上を図り、一

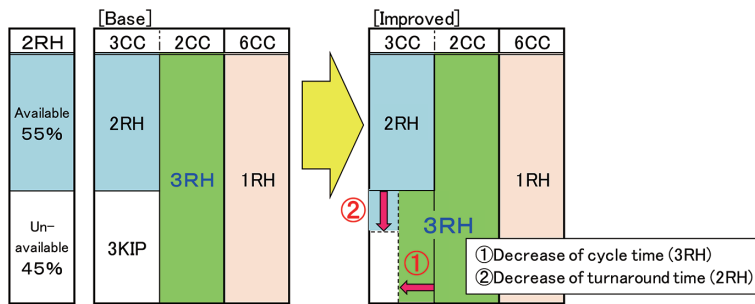


図 10 RH の生産性向上の考え方  
Schematic view of RH productivity improvement

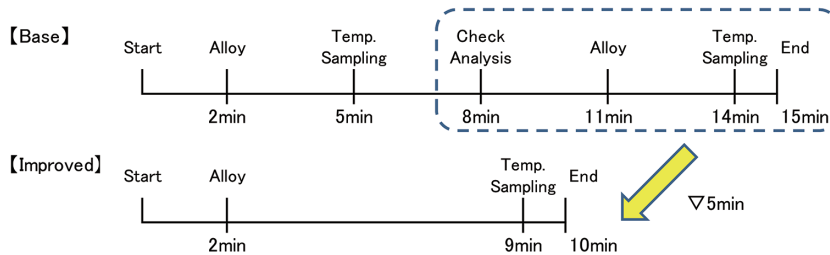


図 11 改善前後の 3RH の軽処理材の処理フロー  
Example of treatment flow diagram (3RH)

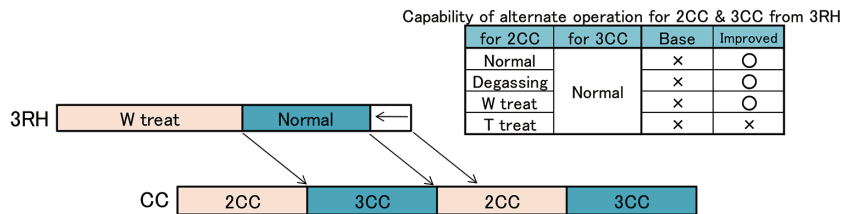


図 12 3RH から 2CC, 3CC への処理プロセスの例と適用可能条件  
Capability of alternate operation for 2CC & 3CC from 3RH

段階処理を行う対象鋼種を段階的に拡大した。この改善により軽処理材の処理時間を 15min/CH から 10min/CH まで短縮した (図 11)。

従来、3RH から 2CC, 3CC 向けへの処理は困難であったが、上記の 3RH のサイクルタイム短縮により、2CC, 3CC への処理が可能となった (図 12)。しかし、トリプル処理などの重処理には対応できないため、生産スケジュールの制約が発生する。そこで、2RH の非稼働時間短縮を行うことで、生産スケジュールの制約極小化を図り、全量 RH 処理の達成を試みた。具体的には、① 2RH の寿命延長、② 整備時間の短縮に取り組んだ。① 2RH の寿命延長としては、トップバーナーによる下部槽の処理間加熱条件の適正化による耐火物溶損の抑制に取り組んだ。保熱・地金付き抑制のための過度な処理間加熱が耐火物の溶損を進行させていたため、薄く地金、スラグが残るような操業を目指して、加熱条件の LPG 流量、酸素/LPG 比率、加熱時間上限値の見直しを行うことで下部槽寿命の延長を図った。

以上の改善に加えて耐火物材質の改善を並行して進めることで、下部槽耐用 CH 数を 400 回から 1000 回まで改善した。② 整備時間の短縮としては、下部槽交換時の地金溶

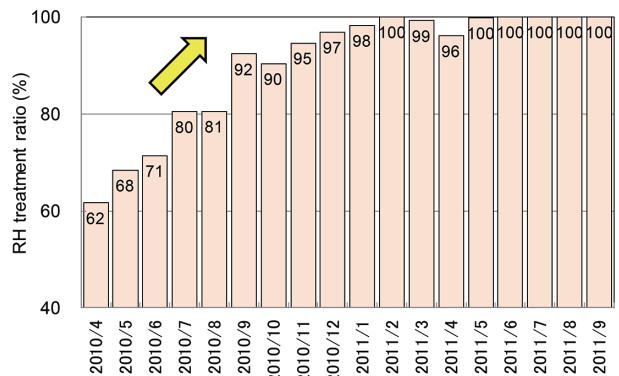


図 13 RH 処理比率の推移  
Increase of RH treatment ratio

流時間の短縮に取り組んだ。下部槽交換前に洗い処理や処理間での地金溶流を行うことで、約 13 時間要していた地金溶流時間を約 5 時間まで短縮 (約 8 時間削減) した。これらの活動により、2RH の非稼働期間は 45% から 35% まで短縮した。

以上の活動により、RH 処理比率を 60% から 100% まで改善した (図 13)。そして 2011 年 5 月以降は安定して RH 処理比率 100% の操業を継続している。



### 3.3.2 RH 処理を前提とした工場一貫での改善

全量 RH 処理を達成したことにより、第2製鋼工場では RH 処理を活用して工場一貫での転炉の吹止温度低減活動に取り組んできた。その中で主要な活動である、①RH 昇熱の拡大、②取鍋 Ar バブリングの廃止、③取鍋の稼働調整について述べる。

転炉では RH での昇熱拡大と、ダイレクトタップ比率拡大による吹止温度低減に取り組んだ。ダイレクトタップは Blow2 の吹止测温サンプリングを廃止することで、吹止から出鋼開始までの鎮静時間を短縮し、鎮静中の放熱を抑制することを目的としている。これらの吹止温度低減活動は以下の3ステップにより推進した。

- ①ダイレクトタップ実施による温度のばらつきを RH での昇熱で担保する (RH での救済昇熱前提の操業)
- ②転炉の吹錬精度を向上することで温度のばらつきを抑制する (転炉での温度的中精度の向上)
- ③RH での昇熱を前提に吹止温度を決定する (RH での計画昇熱前提の操業)

①に関しては、前述した通り全量 RH 処理を活用してダイレクトタップ比率の拡大に取り組んできた。②に関しては、目標とする吹止温度に合わせるための熱バランス計算の精度向上を行った。従来、熱バランス計算は吹止测温サンプリングを実施した CH のみを基準データ化して、当該 CH と基準 CH を比較して計算を行っている。そのため、ダイレクトタップ比率の拡大により、基準データが低下し、熱バランス計算の精度が低下していた。そこで、ダイレクトタップを実施した CH も基準データとして反映されるようにシステムを改造し、転炉での吹止温度的中精度の向上を行った。③に関しては、②の温度的的中精度改善により、更なる RH の昇熱活用として、RH で 10℃昇熱 (酸素供給量: 100Nm<sup>3</sup>/CH) を前提に転炉への温度要求を行うことで

吹止温度低減を図った。これらの活動によりダイレクトタップ比率を 6% から 60% まで向上し (図 8)、転炉の吹止温度低減とサイクルタイムの短縮を推進した。

また、全量 RH 処理を活用して取鍋 Ar バブリングの廃止 (ポーラスプラグ廃止) に取り組んだ。取鍋 Ar バブリングは鍋底から Ar ガスを吹き込むことで溶鋼を攪拌し取鍋内の温度を均一化することが可能である。そのため従来は、3KIP での昇熱実施時の取鍋スラグラインの溶損を抑制するため、また CC ターレットでの低熱 (偏熱) による casting のノズルクローズを防止するために実施してきた。

CC ターレット上での Ar バブリングはキャストスタート CH など約 30% の CH で実施してきたが、Ar バブリング実施による熱ロスが吹止温度に上乘せされることに加えて、取鍋ポーラスの本体施工費や Ar ガス使用による用役コストの悪化に繋がっていた。そこで、真空下での攪拌により取鍋内の偏熱抑制に有利な RH での全量処理を活用して、取鍋 Ar バブリングの廃止に取り組んだ。表 4 に従来実施していた取鍋 Ar バブリング実施条件と改善施策を示す。キャストスタート CH を除く取鍋 Ar バブリング実施条件に関しては、全量 RH 処理による廃止および RH の処理時間を延長することで取鍋 Ar バブリング実施規制を緩和した。

また、キャストスタート CH では测温する取鍋上部と取鍋下部の偏熱を補正したキャストスタート温度に見直し、取鍋 Ar バブリングレス操業を行った。取鍋 Ar バブリングレス操業開始当初は、キャストスタート CH でマッチング時間大や取鍋温度高などにより取鍋 Ar バブリングを実施する CH が発生していたが、表 4 に示すようなキャスト編成や casting 開始時間の調整を行うことで、取鍋 Ar バブリング比率低減に取り組んだ。この結果、図 14 に示すように Ar バブリング実施比率はゼロにまで低減し、2011 年 4 月からは取鍋のポーラスプラグの完全廃止を達成した。

表 4 従来の取鍋 Ar バブリング実施条件と改善施策  
Countermeasures for elimination of argon bubbling in ladle

Argon bubbling in ladle		Problem	Measures	
Process	Apply			
3KIP	During chemical heating	Inhomogeneous temperature in ladle (erosion of slag line refractory)	No use of 3KIP by increase of RH utilization	
CC	Heat from 3KIP	Inhomogeneous temperature in ladle (temperature gap between ladle top & bottom)	No use of 3KIP by increase of RH utilization	
	Heat from BOF (without secondary refining)	Inhomogeneous temperature in ladle (temperature gap between ladle top & bottom)	Increase of RH utilization	
	Uncirculated ladle (first heat after relining etc.)	Temperature drop during casting	Prevention of heat radiation by extension of RH treatment time	
	Cast start		Inhomogeneous temperature in ladle (temperature gap between ladle top & bottom)	Proper aiming temperature control
		Problem without argon bubbling	Inhomogeneous temperature in ladle while waiting at CC	Optimization of cast schedule
	High superheat		Optimization of cast schedule Proper aiming temperature control	
		Temperature drop from RH dispatch to CC arrival	Prevention of heat radiation by extension of RH treatment time	



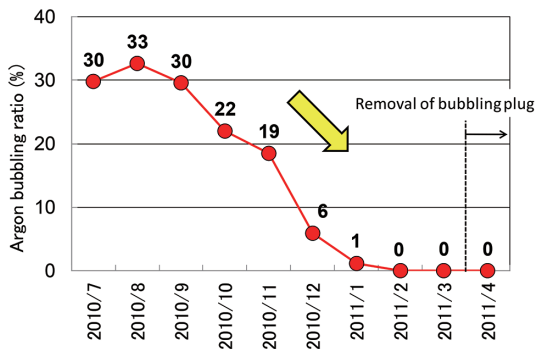


図 14 鑄造前の Ar バブリング実施比率の推移  
Decrease of argon bubbling ratio

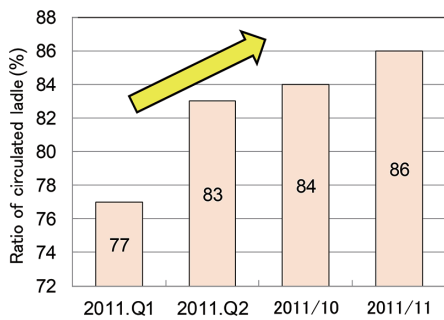


図 15 温鍋比率の推移  
Ratio of circulated ladle during hot condition

また、吹止温度の徹底低減のため、取鍋物流を担当する鍋調整とも連携した吹止温度低減活動に取り組んだ。鍋調整は、従来転炉の出鋼タイミングに安定して取鍋を供給することを優先した作業を行ってきた。しかしその結果、稼働鍋基数に余力が発生し吹止温度を上昇させる一因になっていた。そこで、吹止温度低減のため取鍋の稼働調整による熱ロス低減活動に取り組んだ。具体的には、①生産速度に応じた溶鋼鍋稼働基数を設定することで稼働基数のミニマム化を図ること、②待機鍋が発生した時に小まめに保熱する作業を行ってきた。また、取鍋条件による適正なCC要求温度の設定を鑄込調整と連携し実施することで鑄造中の温度降下設定のミニマム化を図ってきた。これら活動により、温鍋比率（鑄造完了から転炉受鋼までの時間が180min以内の取鍋比率）を77%から86%まで改善した（図15）。

以上の転炉の吹止温度低減活動により、吹止温度を1681℃から1662℃まで低減し、LD-ORP比率を27.7%から10.7%まで改善した（図16）。

#### 4. 溶鋼ヒートサイズの拡大

第2製鋼工場の溶鋼ヒートサイズは取鍋の容量によって上限が制約されており、従来から取鍋容量最大化を指向し、溶鋼ヒートサイズを決定してきた。しかし、溶鋼ヒートサイズ決定の前提条件である鍋下がり基準が一部不明確であり、オペレーターの溶鋼ヒートサイズの設定方法も個人差が生じていた。そこで、溶鋼ヒートサイズの拡大に取り組んだ。表5に溶鋼ヒートサイズの決定手順と改善内容を示

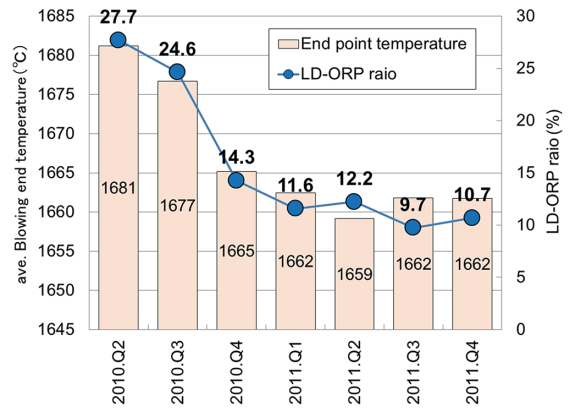


図 16 吹止温度とLD-ORP比率の推移  
Improvement of LD-ORP blowing operation

す。主要な改善である、①鍋下がり条件の見直し、②転炉へ要求する溶鋼ヒートサイズ決定方法の改善、③転炉での歩留設定方法の改善について述べる。

鍋下がり条件の見直しでは、①鍋下がり基準の見直し、②目標鍋下がりの見直しを行った。鍋下がりには以前から、転炉出鋼後、2次精錬処理前および鍋整備時に測定しており、2次精錬処理前と鍋整備時の測定値を参考に次CHの溶鋼ヒートサイズを決定していた。しかし、工程毎、オペレーター毎に異なる基準で測定しており、適切な鍋下がりを設定することが困難であった。そこでまず、転炉、2次精錬および鍋整備共通の鍋下がりの測定部位の統一を行った。測定の起点を最上段れんがとし、終点をスラグ/メタルラインとした。また、転炉と2次精錬では鍋下がりの測定方法を目視で行っており個人差が大きかったため、一部のオペレーターが実施していた定量的に測定が可能な方法を基準化した。転炉ではスラグ厚測定用の昇降設備を用いた測定方法、2次精錬ではRHでの処理槽を浸漬する時の鍋昇高から鍋下がり決定する方法にて運用を行った。

また、決定した鍋下がり基準に則って、目標鍋下がりの見直しを行った。目標鍋下がり基準は表6に示すように従来はRH・KIP単身処理とそれ以外で分類されていた。そこで、2次精錬処理パターン毎に鍋下がりによる処理可否の確認、見直しを行った。その結果、鍋下がり基準を見直し、また鍋下がりに余力があった工程の目標鍋下がり値を変更した。

転炉へ要求する溶鋼ヒートサイズ決定に関しては、①処理可能上限鍋下がりの基準化、②要求溶鋼ヒートサイズの設定値と実績値の管理を行うことで改善を図った。処理可能上限鍋下がりの基準を設けた理由は、目標鍋下がり基準を明確にしたものの、転炉への要求溶鋼ヒートサイズを決定する際にオペレーターが目標鍋下がりに対して、少し余力をもって溶鋼ヒートサイズを決定する傾向があったためである。この原因は鍋下がりが小さいと、RH処理槽を浸漬できずに溶鋼を放流する作業が発生し、大きな操業障害

表5 溶鋼ヒートサイズの決定手順と改善施策  
Improvement of decision procedure of heat size

Step	Incharge	Procedure	Problem	Measures
1	BOF	Weighing empty ladle at steel receiving car	Accuracy of weighing device	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Maintenance of weighing device</li> <li>• Cleaning of receiving car</li> <li>• Cross-check between the receiving cars</li> </ul>
2		Weighing steel ladle at steel receiving car after tapping		
3		Measurement of free board in the ladle	Accurate measurement	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Improvement of free board measurement</li> <li>• Definition of measurement point (BOF, secondary refining and ladle shop)</li> <li>• Definition of measurement method (BOF and secondary refining)</li> </ul>
4	Secondary refining	Measurement of free board in the ladle		
5		Measurement of free board in the ladle		
6	Ladle shop	Check aiming free board of next heat	Classification of aiming free board	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Improvement of aiming free board</li> <li>• Classification depending on steel grade</li> <li>• Revision of aiming free board</li> </ul>
7		Correction of heat size depending on ladle life	Deviation between individuals	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Improvement of correction method by refractory erosion of ladle</li> <li>• Revision of correction value depending on ladle life</li> </ul>
8		Correction of heat size by measurement of free board	Accurate correction	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Decision of minimum free board for secondary refining operation</li> <li>○ Check of heat size between set value and actual value</li> </ul>
9	BOF	Correction of charging weight by yield	Accurate correction	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Operation support system (yield correction)</li> <li>○ Check of yield between set value and actual value</li> </ul>

表6 改善前後の鍋下がり基準  
Standard of free board in the ladle

Process		RH	KIP	W treat	W, T treat
Base	Aiming free board	mm	400		500
	Improvement	Aiming free board	mm	300	350
Revision	Minimum free board	mm	200	250	300

に繋がるためであった。

そこで、RH 処理不可の基準として、処理可能上限鍋下がりと処理不可発生時の処理方法（溶鋼放流実施基準と放流頻度増加時に操業可能な放流ピットの管理方法）を明確にすることで、溶鋼ヒートサイズの拡大を図った。また、要求溶鋼ヒートサイズの設定値と実績値の管理では、この値と鍋下がりの実績値から、要求通りの溶鋼量であった場合の鍋下がりを毎 CH 分析し、次回の要求溶鋼ヒートサイズに反映させることで要求溶鋼ヒートサイズの精度向上を

図った。これらの活動により、RH 単身処理材の鍋下がりを約 40mm (約 5t/CH) 改善した (図 17)。

転炉での歩留設定方法に関しては、①転炉歩留推奨値の精度向上、②転炉歩留の設定値と実績値の管理を行うことで改善を図った。転炉への装入量（溶銑、スクラップおよび型銑）は、要求溶鋼ヒートサイズから転炉工程にて転炉歩留を条件補正して決定している。しかし、第2製鋼工場では多種多様な品種の製造を行うため、オペレーターが CH 毎に転炉歩留を計算して修正するのに大きな負荷がかかっていた。そこで、これまで十分に機能していなかった転炉歩留設定推奨値を再整備し、オペレーターのサポート機能として運用することで転炉歩留計算精度の向上を図った。

具体的には、①吹錬法、②規格成分から計算した合金投入量、③推定鉄銹石使用量を用いて転炉歩留推奨値を計算するようにシステムの改善を行った。また、転炉工程でも鍋整備工程同様に、転炉歩留の設定値と実績値から、CH 毎に次回の転炉歩留を修正することで、要求溶鋼ヒートサ

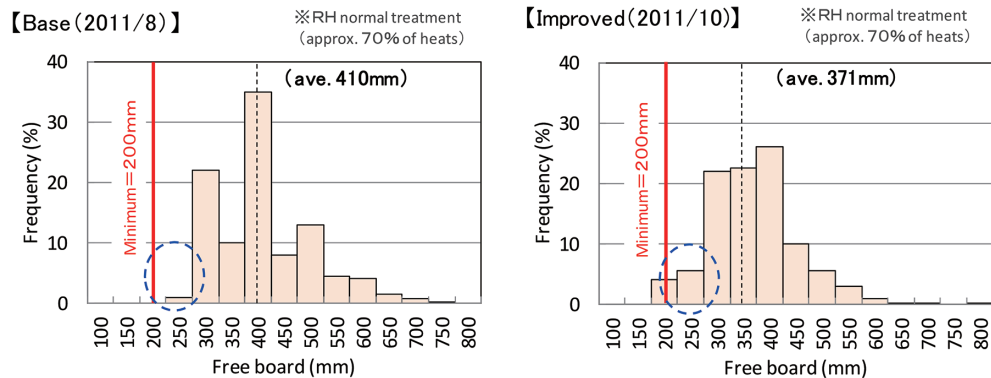


図 17 改善前後の RH 単身処理材の鍋下がり  
Measurement results of free board in ladle

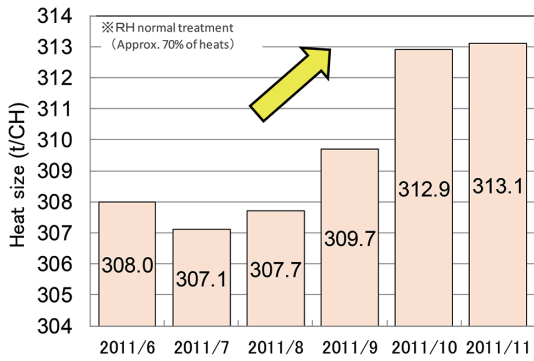


図 18 RH 単身処理材の秤量溶鋼量の推移  
Improvement of heat size (RH normal treatment heat)

イズに対する実績溶鋼ヒートサイズの精度向上を図った。以上の活動を実施し、RH 単身処理材の秤量溶鋼量を約 5t/CH 改善した (図 18)。

## 5. 結 言

第 2 製鋼工場の転炉稼働集約と設備安定化を図るため、転炉の生産性向上に取り組んだ。転炉 2 基稼働時の生産量 (日別の実績出鋼 CH 数から算出) と ORP 比率の関係を図 19 に示すように、本改善により転炉 2 基稼働の生産性は格段に向上した。そこで第 2 製鋼工場では完全な転炉 2/3 基操業体制確立に向けて、転炉 2/3 基操業期間の拡大を進めた。この結果、第 2 製鋼工場では 2010 年度第 4 四半期より全量 ORP 体制を確立し、更に 2011 年度第 3 四半期からは完全な転炉 2/3 基操業へ移行した (図 20)。そして、現在に至るまで全量 ORP での転炉 2/3 基操業を継続している。

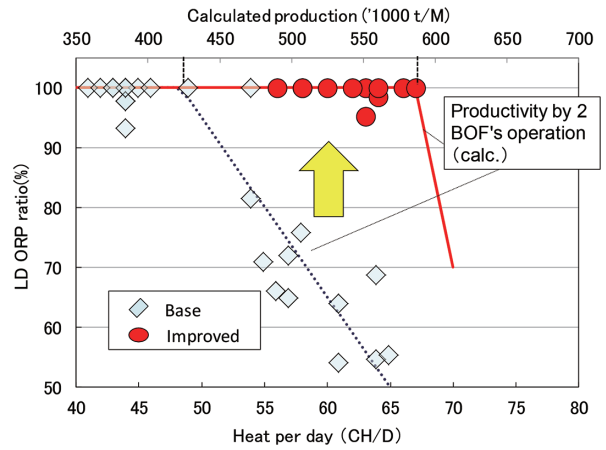


図 19 転炉 2 基稼働時の生産量と ORP 比率の関係  
Relation between productivity by 2 BOF's operation and LD-ORP ratio

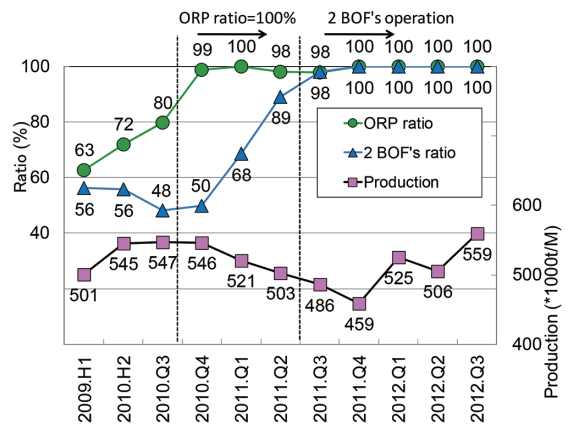


図 20 ORP 比率と転炉 2 基操業比率の推移  
Improvement of productivity by 2 BOF's operation and LD-ORP ratio



浅見千裕 Chihiro ASAMI  
君津製鉄所 製鋼部 第2製鋼工場  
第2精錬課長  
千葉県君津市君津1 〒299-1141



東豊一郎 Toyochiro HIGASHI  
君津製鉄所 製鋼部 精錬技術室 主幹



宮本浩一 Kohichi MIYAMOTO  
君津製鉄所 製鋼部 精錬技術室長



松本孝志 Takashi MATSUMOTO  
君津製鉄所 製鋼部長



安藝 弘 Hiroshi AKI  
君津製鉄所 製鋼部 第2製鋼工場長