

## 技術報告

## 大分製鐵所における一貫能力向上対策

## Improvement in Production Capacity at Oita Works

橋本 肇\* 飯星 弘昭 久米 康介 白神 孝之  
 Tadashi HASHIMOTO Hiroaki IIBOSHI Kohsuke KUME Takayuki SHIRAKAMI  
 原田 寛  
 Hiroshi HARADA

## 抄 録

大分製鐵所製鋼工場では1972年にオール連続鋳造で操業を開始以降、1980年に直結プロセスVと称する4, 5号連続鋳造機大断面一定幅鋳造-サイジングミル幅大圧下プロセスを立ち上げ、また2002年に従来の鍋型脱Pプロセスに変わる多機能転炉法を採用し、品質造り込み能力の向上、生産性の向上、コスト低減、圧延工程への高位HCRを図ってきた。その結果2010年度に9,634kt/y、2011年3月には905kt/monthの粗鋼生産量新記録を達成し、単一製鋼工場で世界最高レベルの1,000万t/y生産体制を確立した。2005年から2010年迄の6年間で約12万t/monthの一貫能力向上を果たした内容について精錬工程、連続鋳造・サイジングミル工程の主要施策について述べた。

## Abstract

In Oita steelmaking plant, after an operation was started with all continuous casting processes in 1972, the process which linked No.4 and No.5 continuous casting machines and a sizing mill directly was built in 1980 to make it possible to cast the large section slabs in fixed width. On the contrary, in refining process, multi refining converter (MURC) process was adopted for replacement of ladle dephosphorization in 2002. Aiming at the further improvement in productivity and slab quality, the further cost reduction and the realization of high hot charge rolling (HCR) ratio, various technological developments have been done. As a result, new records in crude steel production of 905,000 ton per month and 9.634 million ton per year, attained in March, 2011. Namely, the integrated production system, in which only one steelmaking plant can produce 10 Million ton of crude steel per year, has been established. Especially, the productive capacity reinforcement of 120,000 tons of monthly productions was achieved in six years from 2005 through 2010. In this paper, main technologies which were developed in refining and continuous casting & sizing process have been reviewed.

## 1. 緒 言

新日本製鐵大分製鐵所製鋼工場(以下大分製鋼工場)では、1972年に“オール連続鋳造化”での操業開始以降、1980年に“直結プロセスV”と称する4, 5号連続鋳造機(以下4CC, 5CC)大断面一定幅鋳造-サイジングミル(以下SM)幅大圧下プロセスを立ち上げ、また2002年には従来の鍋型脱Pプロセスに変わる多機能転炉法(Multi-function Refining Converter: 以下MURC法)を採用し、品質造り込み能力の向上、生産性の向上、コスト低減を図ってきた<sup>1)6)</sup>。図1に操業開始以来の年度粗鋼生産量及びSM圧延処理量推移を示す。2010年度においては9,634kt/yの粗鋼生産量を達成、月産においても2011年3月には905kt/

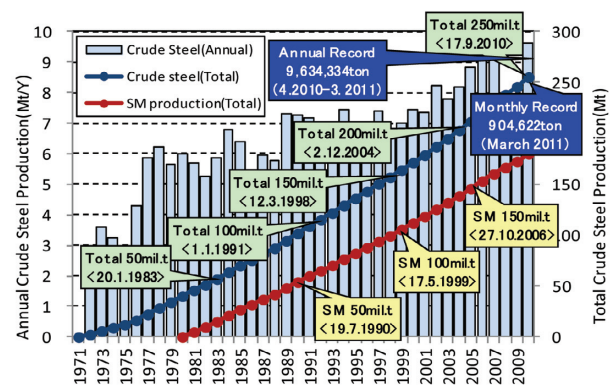


図1 粗鋼生産量とSM処理量の推移  
 Production of crude steel at Oita Works and rolled steel at sizing mill

\* 大分製鐵所 製鋼部 マネージャー 大分県大分市大字西ノ洲1 〒870-0992

monthの粗鋼新記録を達成し、単一製鋼工場では世界最高レベルである1000万t/yの生産体制を確立し、新日本製鐵の中核製鋼工場として順調に稼働中である。

本論文においては、2005年から2010年までの6年間で新ライン増設等の大規模投資なく約120kt/monthの製鋼工場一貫能力向上を果たした精錬工程、連続鋳造（以下連続）・SM工程の主要施策を報告する。

## 2. 大分製鋼工場一貫能力の考え方

図2に大分製鋼工場の製造プロセスを示す。大分製鋼工場は、I(転炉)-II(RH)-III(CC)-IV(SM)-V(圧延)の5プロセスが直結直行する“直結プロセスV”をベースに、2002年のMURC法導入による全量転炉型予備処理化、全量RH処理化等の精錬工程の最適化を図った結果、品質優位性、高い生産性、コスト競争力、圧延工程への高位Hot Charge Rolling (HCR)を実現している。

その上更に、約120kt/monthの製鋼一貫能力向上に取り組んだ。具体的には、精錬工程においては、ヒートサイズ拡大、転炉サイクルタイム短縮、転炉稼働率の向上を図った。一方、連続・SM工程においては、4CC・5CCについては、鋳造速度向上、鋳造幅拡大による鋳造時間短縮とそれに対応したSM能力向上及び連々鋳回数向上、連続鋳稼働率向上、鋳造歩留改善を図り、1CCについてはHCRルートを新設することで生産性向上を図った。その結果、約120kt/monthの製鋼一貫能力向上を実施し、880kt/monthの生産能力を確立した。以下、その詳細を述べる。

## 3. 精錬工程における生産性向上の考え方

### 3.1 精錬工程の位置付け及び生産性向上施策

これまで大分精錬工程では、2002年以降、高生産かつ低溶銑配合比操業においても、予備処理効果を最大限に享受することを目的として、転炉型予備処理技術であるMURC法の適用を推進してきた<sup>4)</sup>。MURC法は、図3に示すように同一転炉において脱Si脱P吹錬と脱C吹錬とを中間排滓工程を介して連続的に行うプロセスである。本プロセスでは、脱Si脱Pスラグの中間排滓やホットリサイクルする脱Cスラグの冷却固化を行うため、転炉単体の生産性低下を招きやすいという課題があった。そこで、精錬

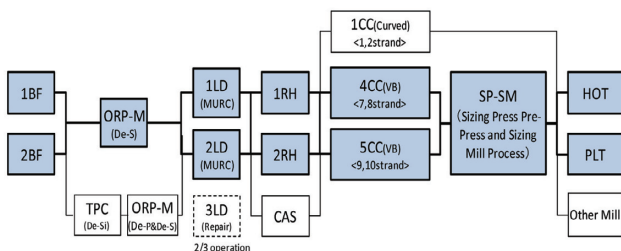


図2 大分製鋼工場の製造プロセス  
Production process at Oita steelmaking plant

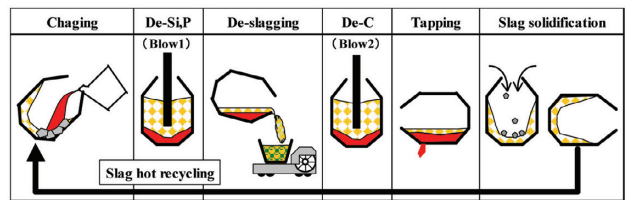


図3 多機能転炉法(MURC法)操業フロー  
MURC process flow

表1 転炉生産効率向上に向けた取組み  
Projects for improving BOF productivity

Content	BOF productivity		
	Heat Size <sup>※</sup>	Cycle time	Utilization
Conventional (2003)	375t/ch	37.0min	86%
New Ladle, Crane Upgrade	+28t/ch	+1.0min	
Bigger De-slugging Pot		-1.4min	
Time reduction of Slag solidification		-0.2min	
IDF Upgrade(1LD and 2LD)		-1.2min	
Refractory-Repair Improvement			+1.9%
Improved (2009~)	403t/ch	35.2min	87.9%

※Casted Slab volume

生産性向上対策を検討する上では、単に生産性を向上するだけでなく、増産時においても溶銑予備処理比率を高位に維持しつつ、製造コストならびに発生物のミニマム化が可能な方法の実現を目指した。

ここで、製鋼880kt/month達成に向け、精錬工程で取り組んだ内容について表1に示す。高炉拡大改修と連続工程のスループットとのバランスをとるべく、①ヒートサイズ拡大、②転炉サイクルタイム短縮、③転炉稼働率向上を実施した。以上の対策により、高い溶銑予備処理比率を維持し生産性向上を実現することができた。

### 3.2 ヒートサイズ拡大

大分製鋼工場では、図4に示すように、ここ10年間で2回の溶鋼ヒートサイズ拡大を実施した。1回目は、先に述べた2002年のMURC法の導入時に実施したものである。普通銑吹錬に対して脱Si脱P吹錬でのスラグ排出工程である中間排滓時間とホットリサイクルのための脱Cスラグ固化時間によるサイクルタイム延長での転炉生産能力

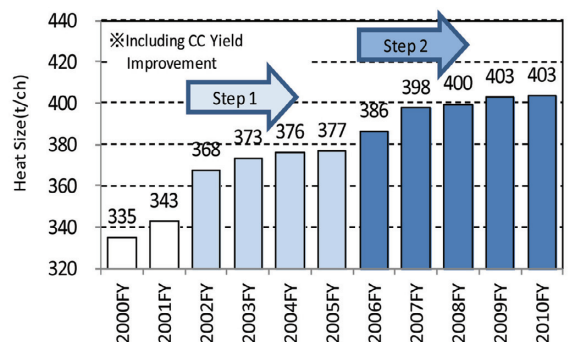


図4 ヒートサイズ推移  
Change of heat size

の低下の抑制を目的とし、当時の連鑄能力とバランスする+35t/chの拡大を図った。2回目は、2006年に375t/chから更に+20t/chの拡大を実施した。ここでは、溶鋼鍋の新作、注入棟クレーンの格上げ改造を実施した。2回の大規模な溶鋼ヒートサイズ拡大対策と連鑄工程の良铸件歩留向上対策等により、従来340t/chであったヒートサイズは、直近では403t/chまで拡大した。

### 3.3 転炉サイクルタイム短縮

これまで炉内センシング技術を活用した転炉内可視化対策などにより転炉サイクルタイム短縮を実施してきた<sup>9)</sup>。加えて、MURC法における中間排滓及び脱Cスラグ固化時間と、サイクルタイム占有比率の高い脱C吹錬時間に着目し、更なる転炉サイクルタイムの短縮を図った。

#### (1) 中間排滓時間短縮

先ず、MURC法では、中間排滓工程として脱Si脱P吹錬後、溶銑を炉内に保持したまま、発生COガスによるスラグのフォーミングを利用して、炉を傾動しながら炉下の排滓鍋に自然排滓を行う。排滓鍋では排滓時のフォーミングを続けるスラグを受けとめるだけの容量が必要であるが、従来の排滓鍋の容積が小さいがゆえに排滓傾動速度に制約が課せられていた。その上、排滓量が不十分の場合、脱C吹錬へのPの持込量が増加するため、必要CaO量やスラグ量が増え好ましくない。そこで、排滓鍋容量を拡大することで、炉傾動速度を速くし排滓時間短縮を図るとともに排滓量を低下させることなくMURC法の効果を十分に享受可能な対策を実施した。

図5に対策内容を模式的に示す。排滓鍋は、転炉本体等との干渉を回避した上で、対策前と比較して約1.5倍に拡大した。結果、中間排滓時の傾動速度を向上させることが可能となり、平均1.4分中間排滓時間を短縮することができた。次に、脱Cスラグ固化工程の時間短縮については、固化材の炉内投入時間が切出し量に依存していた振動フィーダー方式から、一括投入可能なカットゲート方式の専用ラインを設けることで、平均0.2分時間短縮できた。

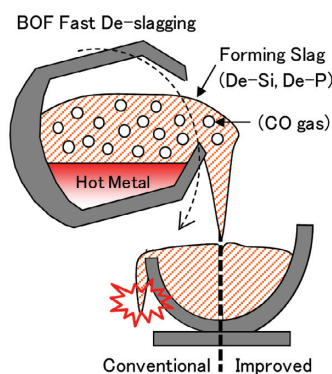


図5 中間排滓時間短縮のイメージ  
Concept for reducing time of intermediate de-slagging

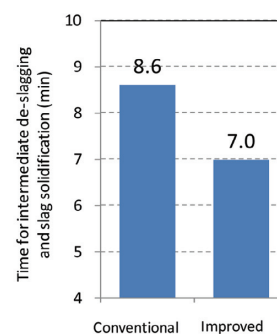


図6 中間排滓＋スラグ固化時間短縮効果  
Change of time for intermediate de-slagging and slag solidification

その結果、これらMURC法特有処理の時間短縮対策にて計1.6分のサイクルタイム短縮を実現した(図6)。

#### (2) 脱炭工程の時間短縮

次に、大分製鋼工場はOxygen Converter Gas Recover System (OG) 設備を有した転炉を2/3基稼働し操作を実施しているが、各転炉のInduced Draft Fan (IDF) 能力及びOGダクト径が異なることから、排ガス吸引能力として1号転炉及び2号転炉は242 000Nm<sup>3</sup>/h、3号転炉は313 000 Nm<sup>3</sup>/hであった。従って、脱C吹錬における最大送酸速度は、送酸側の設備能力から3号転炉が95 000Nm<sup>3</sup>/hであるのに対し、1号転炉及び2号転炉についてはOGの排ガス吸引能力から80 000Nm<sup>3</sup>/hと低位であった。また、転炉2/3基稼働において、酸素の供給能力から転炉脱C吹錬のラップは不可能であるがために、全転炉の最大送酸速度は80 000Nm<sup>3</sup>/hとして稼働炉のTap-Tapを合わせた操業を余儀なくされていた。

そこで、1号転炉及び2号転炉のIDFの増強を実施し、排ガス吸引能力を272 000Nm<sup>3</sup>/hまで向上させることで、送酸側の設備能力から決まる最大酸素供給速度95 000Nm<sup>3</sup>/hを可能にした。また高速吹錬を実操業に適用する上では、メインランスノズル径の拡大およびランスギャップの最適化を行うことで脱C吹錬の高速吹錬化を図り、平均1.2分のサイクルタイム短縮を実現した。

### 3.4 稼働率向上

2005年までにセンシング技術等の導入により転炉非稼働率を約14%まで低減してきた<sup>9)</sup>。残された非稼働時間の中で転炉耐火物補修の占める割合が最も高い。具体的には溶射と吹付け補修、装入側のコーティング補修の占める時間が大きく、この2点について対策を実施した。

先ず、溶射補修の課題は実際の補修に割ける時間が短いため、短時間で効率よい溶射補修が必要な点である。そこで、溶射機準備作業時間を短縮するとともに、溶射装置の改造により1回あたりの補修可能量を従来の2倍に増やす事で、補修頻度を低減し稼働率向上を図った。また、吹付

け補修については、稼働式吹付け機による補修を実施していたものの、吹付け機の移動及び位置合わせに時間を要し補修準備時間が長い点が課題であった。そこで、固定式補修機を炉裏位置へ常設することで補修準備時間を短縮し、これら耐火物補修起因の非稼働率に対して平均0.9%の改善を実現した。

装入側のコーティング補修は、スクラップシュートによるコーティング材を装入する方法であったため、次ヒートのスクラップ装入を阻害し、結果的に転炉稼働率を低下させることが課題であった。そのため、装入側コーティング専用クレーンを既設スクラップクレーンに連結し、コーティング材投入専用シュートを新たに設け、コーティング材とスクラップの同時搬送を可能とすることで、装入側のコーティング補修時間を短縮でき、平均1.0%転炉稼働率が向上した。

### 3.5 小括

以上のヒートサイズアップ、転炉サイクルタイム短縮、転炉稼働率向上により、転炉生産能力として以前の762 kt/monthから880 kt/monthに能力増強が図れ、2011年3月において904 622 t/monthの生産新記録を達成した。また、図7に示すように増産対策後においても高い予備処理率を維持しており、転炉生産性向上、環境調和、製造コスト削減、労働生産性の高位維持を実現した。

## 4. 連鑄工程における生産性向上の考え方

### 4.1 連鑄工程の生産性向上施策

直近5年間に実行してきた連鑄生産性向上の取り組みを表2に示す。4 CC、5 CCについては、機長最大鑄造速度の向上と鑄造幅拡大による鑄造時間短縮及び鑄造時間短縮に見合ったSM圧延能力向上を図った。また4 CCと5 CCとでは、一部の設備仕様が異なっていたため、鑄造鋼種制約があったが、同一設備仕様化によりキャスト配置自由度を拡大し連々鑄回数向上を図った。一方、1 CCについては、HCR対策を実施することで厚板材の鑄造を可

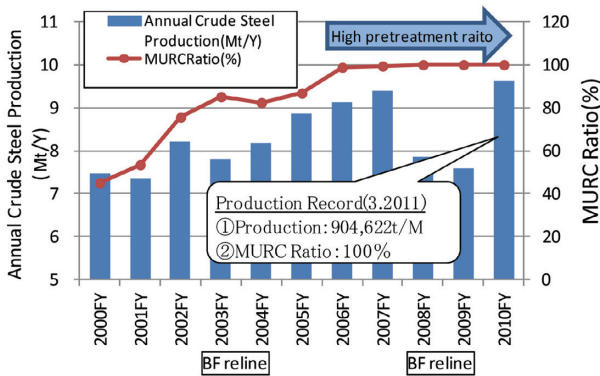


図7 粗鋼生産量とMURC実施率  
Crude steel production and MURC ratio

表2 連鑄生産性向上に向けた取り組み  
Projects for improving CC productivity

CC	Year	Projects	CC Productivity		
			Casting time	Heat/DB	Utilization
4CC & 5CC	Conventional		40.5min/ch	9.5ch/DB	87.9%
	2006	Enlargement of Casting Width for Plate (Revamping only 4cc)	▲0.3min/ch		
	2006~2009	Max Casting Speed 1.5→1.8mpm (2-Slit Nozzle, UBP Roll-pitch-Shortening and Revamp of second colling after UBP)	▲1.0min/ch		
	2009	Enlargement of casting width (Upgrade of SM-RF and Rolling Stand)	▲0.9min/ch		
	2009	Enlargement of Casting Width for Plate (Revamping 5cc for easy cast positioning)		○0.5ch/DB	
	2009	Wider Plate Casting(4cc and 5cc)	▲0.3min/ch		
	2010	Revamp for Best Product Mix (1cc-HCR Operation)	▲0.1min/ch		
	2010	Reduction of preparing time for casting (4cc and 5cc)			○0.6%
	Improved		37.9min/ch	10.0ch/DB	88.6%
	1CC	Conventional		79.1min/ch	2.0ch/DB
2010FY		Revamping for Best Product Mix, Plate casting (1cc-HCR Operation)	▲0.7min/ch		
2010FY		Revamping for Best Product Mix, Plate casting (1cc-HCR Operation)		○0.3ch/DB	
Improved		78.4min/ch	2.3ch/DB		

表3 1条冷却ノズルと新2条冷却ノズルの比較  
Figures of single and double slit nozzles

	1-Slit Nozzle (Conventional)	2-Slit Nozzle (Developed)
Design Concept	Uniform cooling for width direction	Expand cooling zone for casting direction
Shape of Nozzle Injection pattern (Casting Direction)		
Water Distribution (Casting Direction)		
Influence of water volume	Reduction of Cooling Area at high water volume	Uniform Cooling Area
Turndown	~20	~20
Heat transfer Coefficient	Base	Base x 1.3
Picture of Injection		
Others	-	•Uniform and Wide Cooling Area •Small Nozzle Head→Easy Application
Evaluation	Base	◎

能とし、鑄造時間短縮、連々鑄回数向上を図った。以下、主要な取り組み内容について述べる。

### 4.2 4 CC・5 CC高スループット化

#### (1) 機長最大速度 1.8 m/min 化技術

機長最大速度の向上を図るべく高冷却型の2条ノズルの開発に取り組んだ。従来の冷却ノズルでは、スプレー冷却の鑄造方向における散水領域が狭いため、冷却能力が十分ではなかった。新たに開発した新冷却ノズルの考え方を表3に示す。新冷却ノズルではノズル吐出流の衝突により散水面積を拡大することでスプレー冷却領域を増加すると同時に、冷却領域前後の放冷領域が減少するため復熱の抑制も図ることができ、結果として冷却効率を高めることを狙った。図8にノズル条件と実測した熱伝達係数との関係を示す。高水量域では冷却効率が従来ノズルに比較して約30%アップできることがわかった。さらに、本ノズルの特

徴としてノズル径が小さく全ゾーンで適用可能で、また従来通りの気水比を確保することができるため、二次冷却の主体である湾曲部全てに実装した。この結果、機長最大速度を1.5m/minから1.7m/minまで向上できた。更なる速度向上を狙い、水平帯のセグメントについて従来のロール外冷方式を鑄片内部冷却化することで冷却強化を図った。さらに、鑄片内部割れ対策としてNo. 5セグメントのロールピッチを短縮した。従来、鑄造速度を向上した際、No. 5

セグメントにおいて内部割れの発生が懸念されたが、ロールピッチ短縮により総合歪を限界歪以下に抑制でき(図9)、機長最大速度を1.7m/minから1.8m/minまで高速化が図れた。

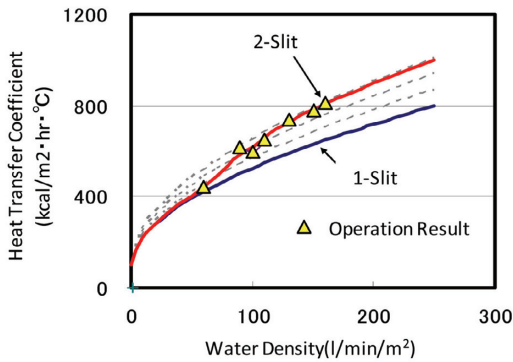


図8 ノズル条件が熱伝達係数に及ぼす影響  
Change of heat transfer coefficient

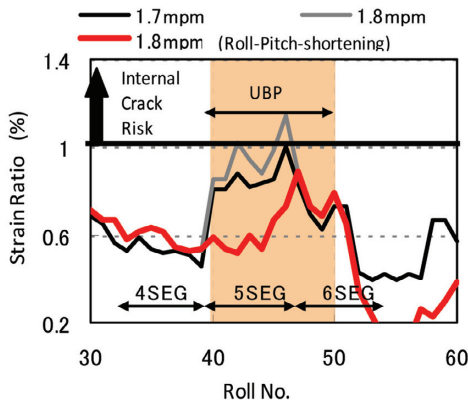


図9 ロールピッチ短縮による総合歪低減効果(計算結果)  
Strain effect of UBPs roll-pitch-shortening

(2) 鑄造幅拡大

4 CC・5 CCで鑄造された鑄片は、図10に模式的に示すSMにて幅大圧下延した後に圧延工程に供給される。この特長を活かし、①SM加熱炉増強、②SM-H(水平)ミルモーター更新並びに③サイジングプレス、(以下SP)導入により、SMライン全体の能力を増強することで、高歩留を維持したうえで鑄造幅を拡大し高生産性化をはかった。SM加熱炉増強については、COG・燃焼エアーにブローを設置するとともに、排ガス用のIDFを設置し排ガスのドラフト力を強化した。

この結果、20 000 Nm³/hから24 500 Nm³/hにCOG流量を増強することで炉温実績より算定する昇温率は5℃/minの能力を確保でき、各パス当たりの強圧下が可能となった。更に、SM-Hミルモーターを全面的に更新することで、約26%圧延速度を高速化することができ、1スラブあたり0.5分サイクルタイムを短縮した。また、表4に示すように、幅大圧下時には、フロント、テイルに発生するフィッシュテイル状のクランプが従来から課題で

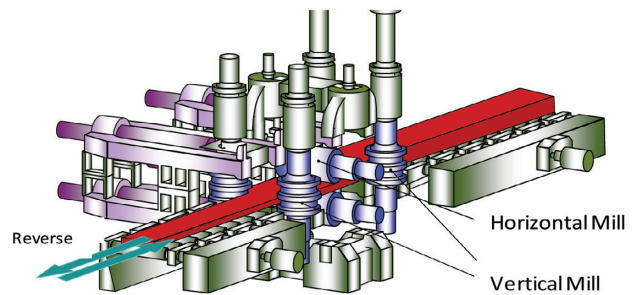


図10 SMプロセスの概要  
Overview of sizing mill process

表4 幅圧下によるクランプ成長メカニズム  
Mechanism of fishtail growing in rolling at sizing mill and measure for reducing fishtail

Heavy Width Reduction with Roll (Conventional)	Pre-Press Process (Improved)
<p>Dog-borne shape</p>	<p>Sinle bulge</p>
<p>Width Reduction with Roll</p>	<p>Width Reduction with Press</p>
<p>Horizontal Reduction</p>	<p>Horizontal Reduction</p>
<p>Fish-tail Shape (Front and tail Crop)</p>	<p>Flat Shape (Front and tail Crop)</p>

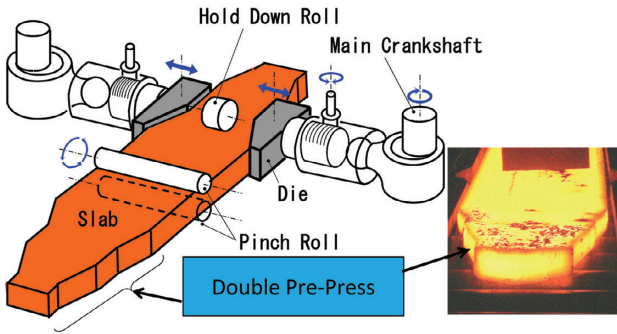


図11 サイジングプレスによる予成形圧下  
Prepress width reduction at sizing press

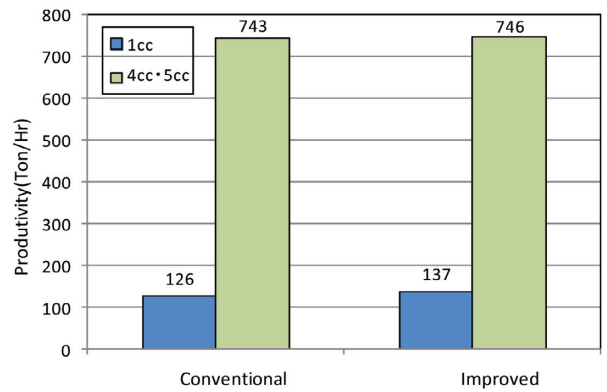
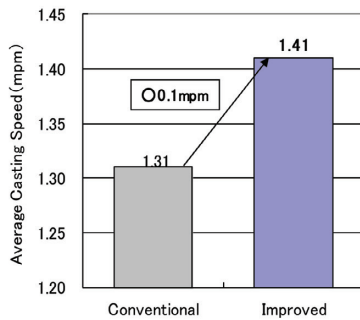
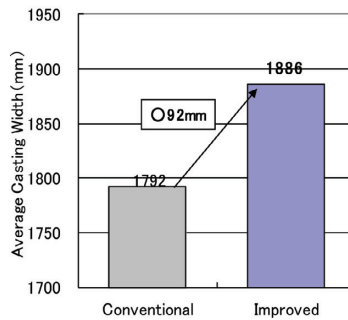


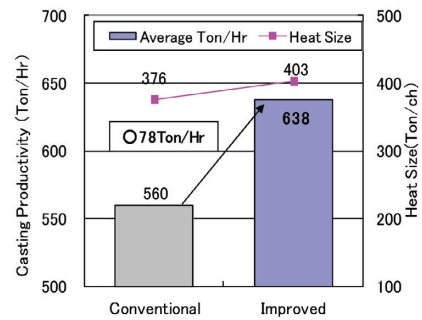
図12 1 CCのHCRルート新設による生産性向上効果  
Effect of HCR operation at 1CC



(a) Change of Average Casting Speed (4,5cc)



(b) Change of Average Casting Width (4,5cc)



(c) Change of Average Casting T/Hr (4,5cc)

図13 操業指標の改善効果  
Improvement of operation results

あった。そこで、図11に示すように、サイジングプレスを導入し、前後端をSM大圧下圧延に対応した二段大圧下予成形を実施することで、従来発生していたクロップの約65%を削減することに成功し、歩留ロスを招くことなく幅大圧下が可能となった。

### (3) 4 CC・5 CC 準備時間短縮

casting preparation time reduction for 5 & 6 zone division to suppress overcooling of cast slab, top crop part only strong cooling to be possible and to shorten the time. In addition, the shortening of dummy length (14.7m → 12m) and together, the preparation time of 37 minutes was shortened to 33.4 minutes, 3.6 minutes of shortening was achieved.

### 4.3 連鑄機別品種配分最適化

従来1CCは、薄板材、スラブ分譲材を中心に、出片直後のクーラーで冷却、空冷後、手入れライン経由でスラブヤードへ搬送するHCRルートを持しない冷片マシンであった。そこで、薄板、厚板両方に対応可能なHCRルートを新設した。具体的には従来物流を阻害しないように別のルートを採用し、そこに検査機能、搬送機能(自動搬出クレーン、キャリア・パレット搬送)、厚板材の切断設備を

設置した。この設備をもとに、1CC/4CC・5CCの最適品種配分をおこなった結果、鑄造幅の広い厚板材を1CCに、大断面高ton/h鑄造が可能な薄板一般材を4CC・5CCに移管することによって、両マシンとも約100ton/hの向上が図れ、合計14kt/monthの生産能力増強を図ることができた(図12)。

### 4.4 小括

以上述べた連鑄・SM対策により、4CC・5CC系列の操業緒元は図13(a)～(c)に示す通り大きく改善した。また一連の対策で連鑄能力は約110kt/monthの増強を図ることができ、880kt/month体制を構築した。

## 5. 結 言

以上、大分製鋼工場では、精錬工程、連鑄・SM工程で種々の能力増強対策を実施してきた結果、2005年から2010年までの6年間で約120kt/monthの一貫能力向上を果たし(図14)、2010年度末の2011年3月には、904622t/monthの粗鋼月間新記録を達成し、単一製鋼工場では世界最高レベルである1000万t/yの生産体制を構築した。今後は更なる生産性向上の施策を追及するとともに、品

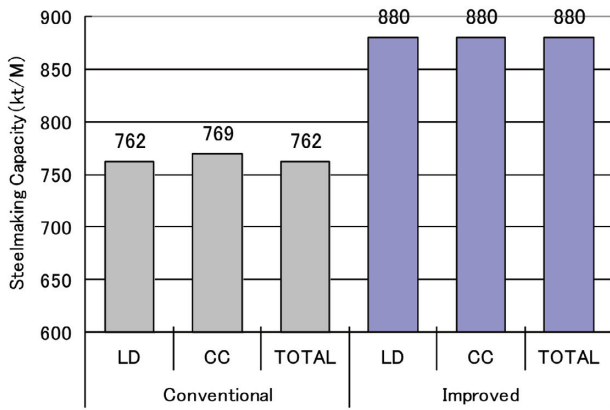


図14 精錬・連铸・一貫生産能力変化(2005~2010)  
Improvement of total capacity of steelmaking plant (2005~2010)

質，コスト含めた製造実力でも真の世界一級製鋼工場の実現を目指してさらに努力していきたい。

参照文献

- 1) 新日本製鐵大分製鐵所:128回製鋼部会提出資料. 2002, 私信
- 2) 新日本製鐵大分製鐵所:132回製鋼部会提出資料. 2005, 私信
- 3) 新日本製鐵大分製鐵所:135回製鋼部会提出資料. 2006, 私信
- 4) 新日本製鐵大分製鐵所:127回製鋼部会提出資料. 2002, 私信
- 5) 新日本製鐵大分製鐵所:131回製鋼部会提出資料. 2004, 私信
- 6) 新日本製鐵大分製鐵所:136回製鋼部会提出資料. 2007, 私信
- 7) 新日本製鐵大分製鐵所:141回製鋼部会提出資料. 2009, 私信



橋本 肇 Tadashi HASHIMOTO  
大分製鐵所 製鋼部 マネジャー  
大分県大分市大字西ノ洲1 〒870-0992



白神孝之 Takayuki SHIRAKAMI  
大分製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ  
グループリーダー



飯星弘昭 Hiroaki IIBOSHI  
人事・労政部 部長



原田 寛 Hiroshi HARADA  
大分技術研究部 主幹研究員 工学博士



久米康介 Kohsuke KUME  
大分製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ  
マネジャー