

表面欠陥フリーステンレス鋼の高速連続鑄造技術 ——千葉第4連鑄機の建設と操業——*

川崎製鉄技報
28 (1996) 1, 14-19

High Speed Continuous Casting Technology for Surface Defects Free Stainless Steel Strand ——Construction and Operation of the Chiba No.4 Continuous Caster——



杉澤 元達

Mototatsu Sugizawa
千葉製鉄所 製鋼部製
鋼課 主任部員(掛長)



小倉 滋

Sigeru Ogura
千葉製鉄所 製鋼部製
鋼技術室 主査(課長)



荒谷 誠

Makoto Aratani
千葉製鉄所 管理部荷
用鋼板管理室 主査
(掛長)

要旨

川崎製鉄千葉製鉄所では、都市型製鉄所を目指すリフレッシュ計画の一環として、老朽化した千葉No.1連続鑄造機の代替となるステンレス鋼を中心とした特殊鋼専用の千葉No.4連鑄機を建設した。平成6年7月の稼動以後、現在順調な操業を行なっている。本連鑄機は垂直曲げ型・タンディッシュの大型化等の導入によるステンレス鋼及び高炭素鋼のスラブ品質向上、及び自動化設備の導入による作業性、生産性の向上を目的としている。

Synopsis:

At Kawasaki Steel Chiba Works, as part of a modernization program aimed at creating an “urban steel works”, No.4 continuous caster was constructed as a replacement for Chiba’s super annuated No.1 continuous caster. The new caster is used exclusively for speciality steels, centering on stainless, and has functioned smoothly since the start of its operation in July 1994, realizing an improvement in the quality of stainless and high-carbon steel slabs by the introduction of a vertical bending type machine, a larger tundish and other features, and promoting enhancement of productivity by the adoption of automatic equipment.

1 緒 言

当社千葉製鉄所では、21世紀に向け、都市型製鉄所を目指すリフレッシュ計画の一環として、新製鋼・熱延工場の建設を行なってきた。このうち製鋼部門では、老朽化した第一製鋼工場の代替としてステンレス鋼を中心とした特殊鋼専用の製鋼工場（第4製鋼工場と称す）を建設し、平成6年7月の稼動以後、現在順調な操業を行なっている。本報告では第4製鋼工場の新設備の中で、ステンレス鋼及び高炭素鋼の品質要求の多様化・厳格化への対応、及び効率的な操業、作業環境の改善を主な目的として建設した千葉No.4連続鑄造機（4CCM）の建設及び操業状況について報告する。

2 製鋼工場全体レイアウト

Fig. 1に第4製鋼工場のレイアウトを示す。

普通鋼を主体として生産を行なっている第3製鋼工場を北側に延長した形で第4製鋼工場を建設した。4CCMは、Fig. 2に示す様に、溶融還元炉→脱炭炉→VODにて溶製されたステンレス鋼・高炭素鋼

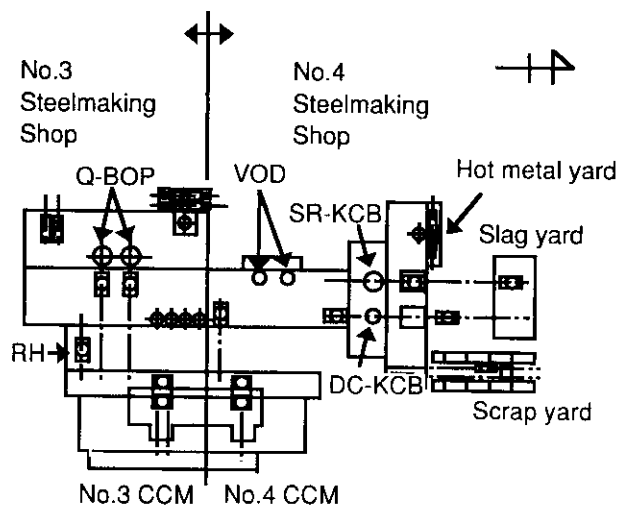


Fig. 1 Layout of steelmaking shop

の鑄造を基本に、既設のQ-BOP→RHにて溶製された普通鋼の鑄造も可能な配置となっており、第3製鋼と第4製鋼のフレキシブルな操業が可能となっている。

* 平成8年2月8日原稿受付

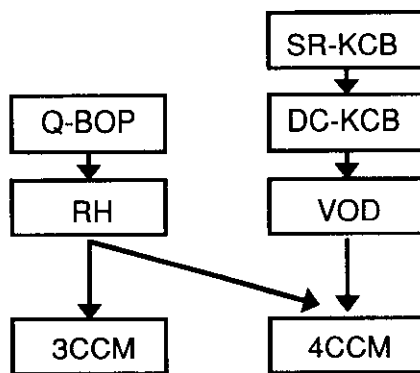


Fig. 2 Process of steelmaking at Chiba Works

Table 1 Specification of 4 CCM and 1 CCM

	4 CCM	1 CCM
Machine Type	Vertical bending	Curved
No. of strand	1	1
Machine length (m)	25.6	19.6
Curve radius (m)	9.6	10.0
Length of vertical strand (m)	2.5	—
Slab width (mm)	650-1 650	700-1 600
Slab thickness (mm)	200, 260	200, 260
Casting speed (m/min)	Max. 1.6	Max. 1.1
Tundish capacity (t)	30	10
Secondary cooling	Air-mist	Flat-spray
Start up	July, 1994	July, 1971

3 4 CCM 建設コンセプト及び設備仕様

4 CCM は以下に示すコンセプトを主眼において建設を行った。

- (1) 自動化設備の導入による生産性の向上
- (2) ステンレス鋼を中心としたスラブの高品質化
(定常スラブ、非定常スラブの高品質化)
- (3) 小ロットオーダーへの対応

4 CCM の設備仕様と既設第1製鋼工場のNo.1連続铸造機(1 CCM)の比較をTable 1にまとめた。ステンレス鋼・高炭素鋼の高速铸造化を図るために機長を19.6 mより25.6 mに延長した。また、スラブの高品質化を図るため、ロールプロフィールを垂直曲げ型と

し、タンディッシュの大型化を行なった。3 CCM と並列に配置した4 CCM のレイアウトをFig. 3に示す。铸床設備の特徴としては、タンディッシュターレット独立旋回方式を採用し、タンディッシュ予熱装置、タンディッシュ傾転排滓装置、ロングノズル予熱装置は各1設備ずつの構成としている。

4 設備及び操業の特徴

4.1 自動化への対応技術

効率的な操業を少人数で達成するためには、自動化技術の導入が必要不可欠であると考え、Table 2に铸床作業への自動化対応技術

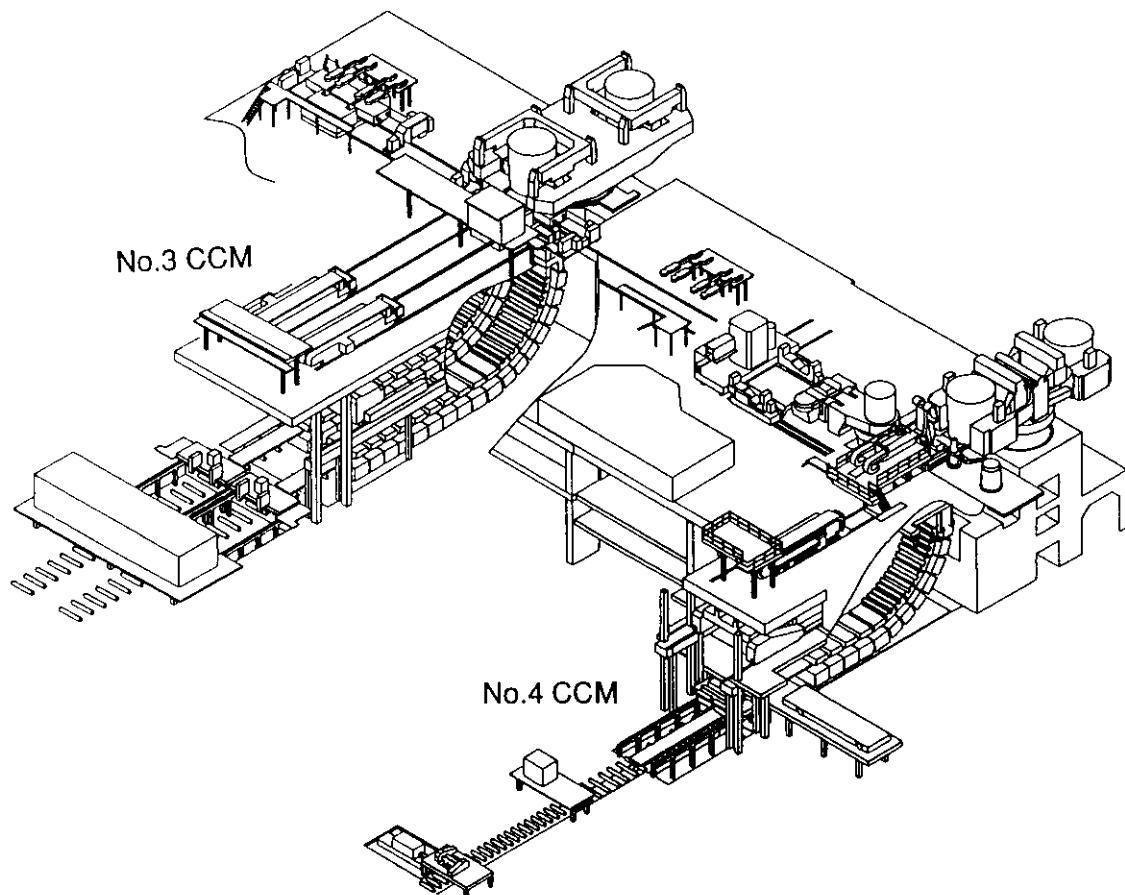


Fig. 3 Schematic view of No.3 and No.4 slab caster

Table 2 Automatic system of No. 4 CCM

Ladle	Automatic connector Long nozzle automatic jointor
Tundish	Submerged nozzle automatic changer Coolant automatic setter Automatic connector
Mold	Automatic mold powder feeder Automatic mold width changer
	Torch bur remover

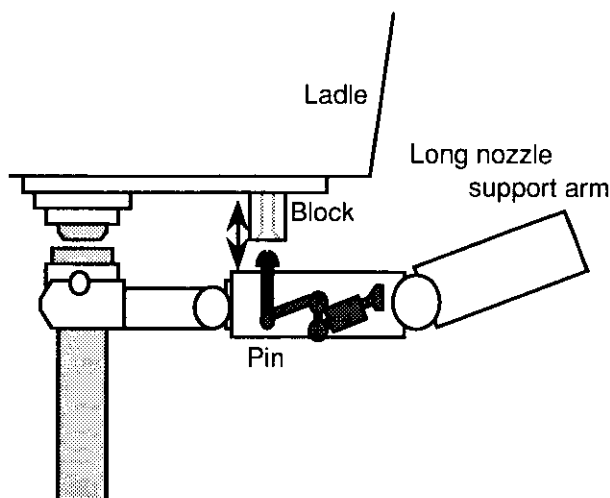


Fig. 4 Long nozzle automatic joint system

についての一覧を示す。これらの中で特に、ロングノズル自動着脱装置、モールドパウダー自動走行投入装置及びトーチダレ自動除去装置、操作室の統合化、プロコンによる鋳造条件全自動設定機能について説明を行なう。

4.1.1 取鍋—ロングノズル自動着脱装置

Fig. 4に取鍋—ロングノズル自動着脱装置の概要を示す。取鍋スライディングノズルカセット下部に設置された位置決めブロックに、ロングノズル支持装置に配置した昇降可能な位置決めピンを上昇させ、自動的に位置決めを行う。このことにより、従来オペレーターの目視に頼っていた取鍋—ロングノズル・セッティング作業の自動化を達成した。

4.1.2 モールドパウダー自動走行投入装置

Fig. 5にモールドパウダー自動走行投入装置の概要を示す。鋳床に電磁誘導線を埋設し、モールドパウダー投入機の下部に位置検出センサーを取り付けることにより、中央操作室からの遠隔自動走行及びモールドパウダーの自動投入を可能とした。

4.1.3 トーチダレ自動除去装置

Fig. 6にトーチダレ自動除去装置の概要を示す。トーチダレを完全に除去する事は、スラブを無手入で下工程に発送する上で非常に重要な条件である。本建設では、スラブ端面形状、トーチダレ形状の影響を受けずに完全にトーチダレを除去する手段として、カッターディスク揺動式トーチダレ自動除去装置を採用した。また、除去したダレをコンベアで自動的にライン外に搬出させる方式を採用したこと、除去装置を本体テーブルライン外に移動可能としたことで、生産を阻害せずにダレの回収・カッター等のメンテナンスを行なうことが可能となった。

Automatic powder feeder

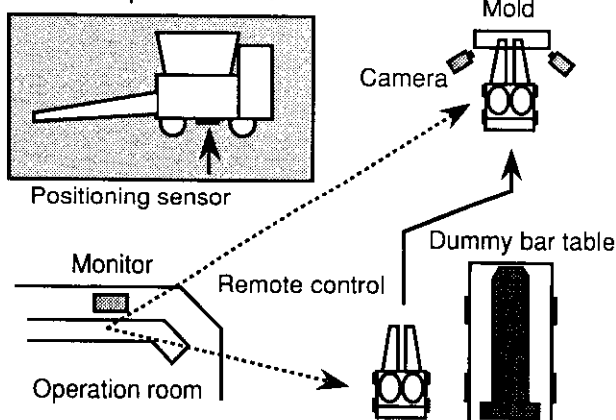


Fig. 5 Powder feeder remote control system

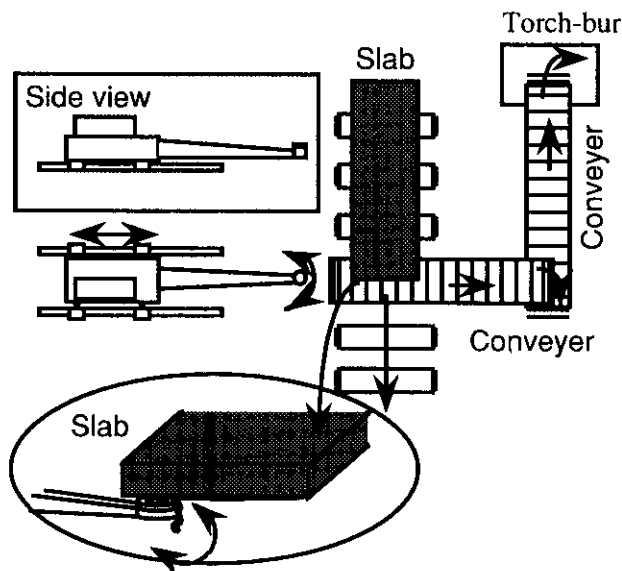


Fig. 6 Outline of torch-bur-remover

4.1.4 操作室の統合

Fig. 7に操作室のレイアウトを示す。今回設置した4 CCMは、3 CCMとオペレーターのプール化を図るため（特に非定常作業時）、鋳込床の高さを3 CCMと同じとし、中央操作室も3 CCMと同室にした。また、トーチ切断制御・搬出制御の自動化により、中央操作室とトーチ操作室の統合（1名作業化）を達成した。

4.1.5 プロコンによる鋳造条件全自動設定

小人数での操業を可能とすべく、全ての設備の操作と監視を集中的にCRTにて行えるようにEICの統合を実現した。また、鋼種毎に設定される鋳造条件の設定は、オペレーターの負担増になるばかりでなく、設定ミスは品質管理上及び操業に大きな問題となる。そこで今回の建設では、50パターン以上に及ぶ鋳造条件をプロコンによって全自動化設定している。設定フローをFig. 8に示す。

4.2 スラブ高品質化、高生産性技術

4.2.1 垂直曲げ型連铸機の導入、タンディッシュの大型化

既設の1 CCMは全湾曲型連铸機であり、タンディッシュの容量も10 tと小さいため、スラブ中の介在物・気泡の浮上効果が小さく、介在物性欠陥・気泡性欠陥（フクレ欠陥）が問題となることがあった。このため特に、鍋交換部のスラブについては充当規制・スルーブッ

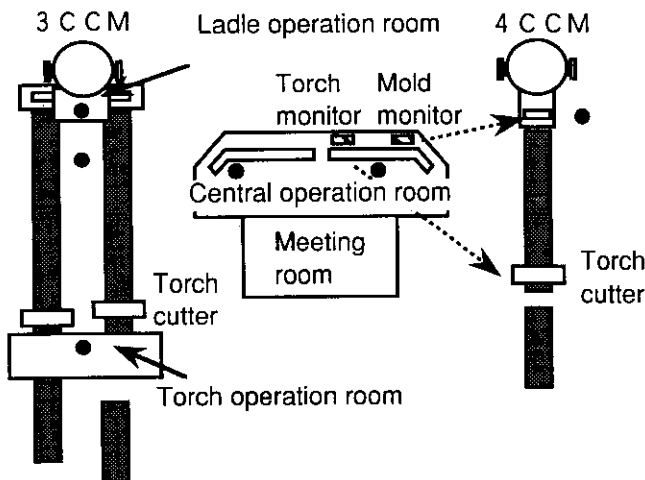


Fig. 7 Layout of No.3 CCM and No.4 CCM

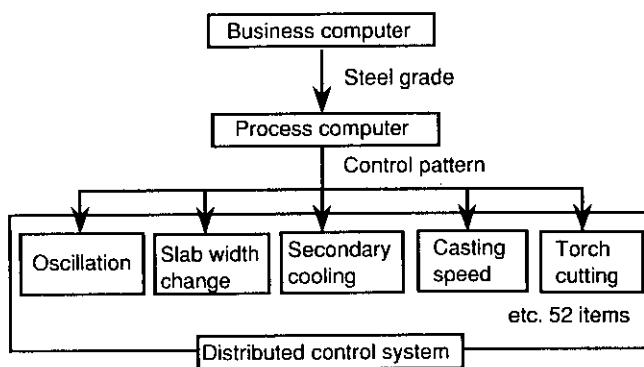


Fig. 8 Outline of No.4 CCM control system

ト規制等により対応せざるをえなかった。

今回建設した4 CCM では、ステンレス鋼・高炭素鋼におけるスラブ中の介在物・気泡の一層の浮上分離を目的として、垂直曲げ型連鋳機を導入した。垂直部の長さは、ステンレス鋼・高炭素鋼のスループットを考慮した計算より、2.5 m と決定した。又、表面割れ・内部割れ感受性の高い、高炭素鋼等の鋼種を安定的に鋳造するため、多点曲げ・多点矯正（7点曲げ・10点矯正）、並びに分割ロールによるロール剛性アップ等の発生歪み緩和対策を図った。

また、タンディッシュの容量を30 t と大型化する事により、高速鋳造時でも鍋交換部のスラブ品質を定常部並に保つ設計とした。Fig. 9 には連鋳機別の溶鋼清浄度の比較を示した。同一 Al 濃度で比較した場合、溶鋼清浄度は1 CCM の2/3～1/2 に低減している事がわかる。Fig. 10 には連鋳機別のフレ欠陥発生状況の比較を示した。垂直曲げ型連鋳機の導入によりフレ欠陥に関する問題は全く発生していない。Fig. 11 は連鋳機別のコイル表面欠陥発生状況を鍋交換部と定常部に分けて比較したものである。タンディッシュの容量を30 t と大型化する事により、鍋交換部のスラブ品質も定常部と同レベルとなり、充当規制・スループット規制等を行なう必要がなくなった。このため、歩留り、生産性の向上が図られ、又、オーダー編成を行なう際にも大きく貢献している。

4.2.2 遠心分離タンディッシュの適用によるスラブ高品質化

さらに近年、需要家からの品質要求の高まりに対応するために、当社の固有技術である遠心分離タンディッシュ（Centrifugal Flow Tundish, CF タンディッシュ）¹⁾²⁾を工程設備として初めて採用した。

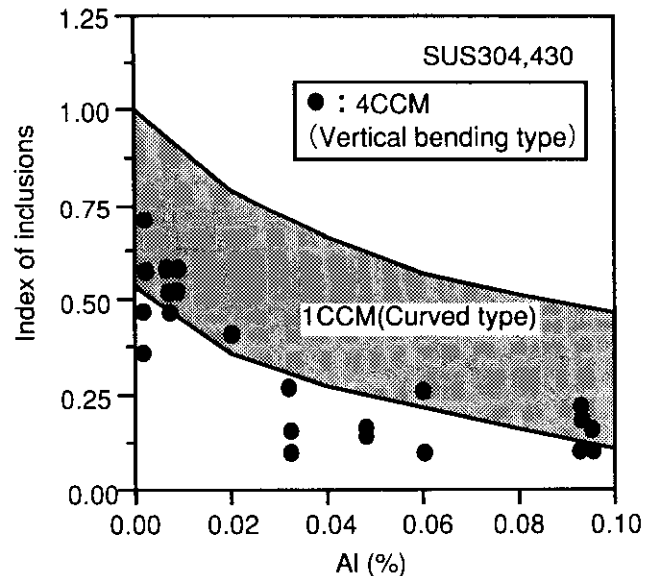


Fig. 9 Comparison of inclusions in slab between No.4 CCM and No.1 CCM

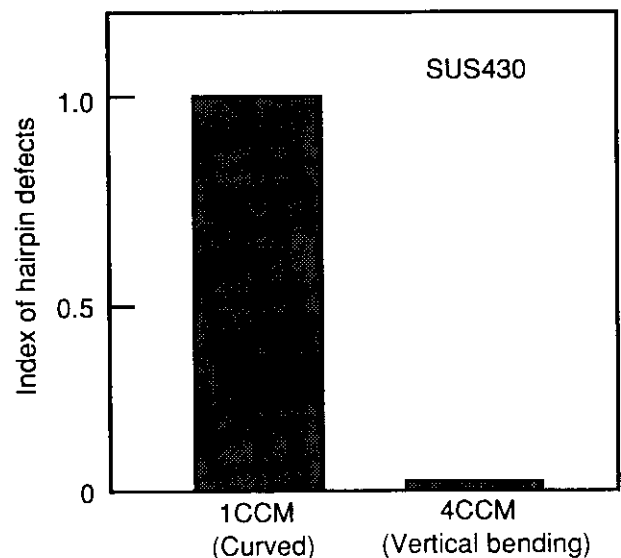


Fig. 10 Comparison of hairpin defects between No.4 CCM and No.1 CCM

Fig. 12 に取鍋内溶鋼の酸素値とタンディッシュ内容鋼の酸素値の関係を示す。CF タンディッシュを適用することによりタンディッシュ内溶鋼酸素値は半減されることが確認された。

4.2.3 高速鋳造化技術

既設の1 CCM は全湾曲型であり、又機長も19.6 m と短いため、ステンレス鋼の最大鋳造速度は品質上・設備能力上0.9 m/min に規制されていた。今回建設した4 CCM では垂直曲げ型の導入、機長の延長（25.6 m）に加え、以下の操業検討及び改善を行ないステンレス鋼の最大鋳造速度を1.6 m/min に引き上げる事に成功した³⁾。このことにより、ステンレス鋼の生産性を大幅に向上させることができた。

(1) 2次冷却方式の改善

2次冷却帯全ゾーンにミストスプレーを導入、更にスプレー巾切り制御（上部…3段階巾切り制御、下部…ノズル昇降式中

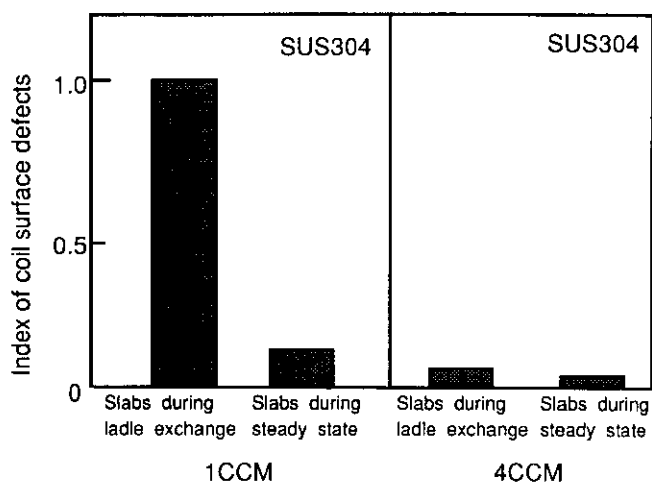


Fig. 11 Comparison of coil surface defects between No.4 CCM and No.1 CCM

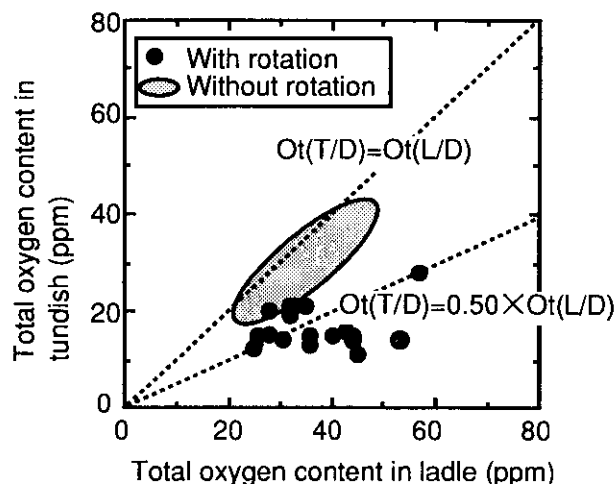


Fig. 12 Relationship between total oxygen content of molten steel in ladle and that in tundish

切り制御)の導入することにより、スラブ表面温度を巾方向均等に制御することも可能となった。Fig. 13にはSUS 304の1.6 m/min 鋳造時における、3次元凝固計算によるスラブ中央での凝固シェル厚みとスラブ表面温度の計算結果及び鋳打ち、放射温度計による実測値を示す。計算結果と実測値は良く一致し、最大鋳造速度1.6 m/minに於ても、鋳片を機長内で完全に凝固させ、表面温度を高温に保った鋳片を製造する事が可能となった。

(2) オシレーション駆動方式の改善

オシレーションには、油圧駆動式ショートレバー方式を採用した。また、本システムは鋼種毎・速度毎に有する最適振動条件のオンライン設定が可能である。Fig. 14にはSUS 304の鋳造速度に対するオシレーションマーク谷部の偏析深さを示した。SUS 304のコイル表面欠陥低減には、オシレーションマーク谷部の偏析深さを浅くすることが有効であることが知られているが、今回の建設では、鋳造速度の向上及び最適オシレーション振動条件の設定により、オシレーションマーク谷部の偏析深さを浅くすることが可能となり、SUS 304の無手入れ化に貢献している。

(3) イメージングノズルの改良

鋳造速度の増加に伴うモールドパウダーの巻き込みを防止す

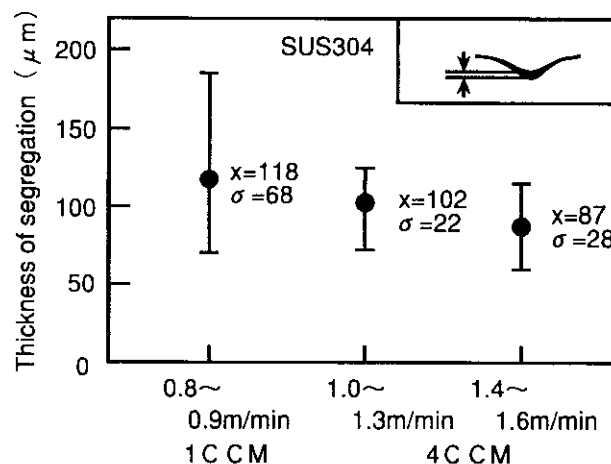


Fig. 14 Comparison of thickness of segregation between No.4 CCM and No.1 CCM

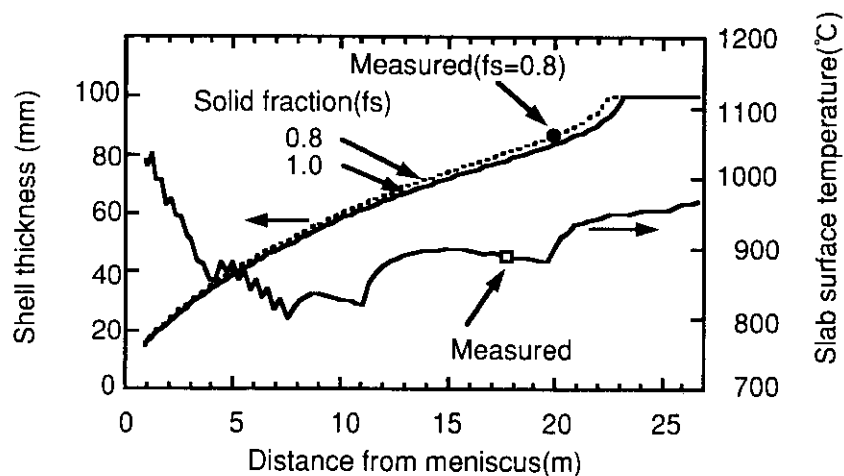


Fig. 13 Shell thickness and slab surface temperature calculated at slab width center (SUS 304 Casting speed 1.6 m/min)

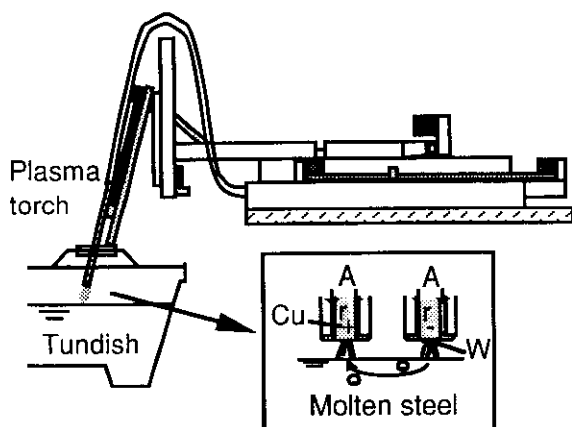


Fig. 15 Outline of the plasma heater

Table 3 Main specification of plasma heater

Tundish capacity	(t)	30
Casting speed	(m/min)	Max. 1.6
Plasma type		DC transfer Twin torch type
Power	(MW)	1.2[3.5 kA×350 V]
Plasma gas		Ar pure(O ₂ 0.1%)

るため、イマージョンノズルの吐出角を従来の上向き5°から下向き35°に変更した。鋳造速度の増加によりメニスカスの表面温度は1 CCMと同様のレベルであり、最大鋳造速度1.6 m/minに於ても、安定鋳造を達成している。

(4) プラズマヒーターの導入

4 CCMでは、1ストランドでの長時間安定鋳造を行うために、タンディッシュ溶鋼加熱装置として直流ツイントーチ型のプラズマヒーターの建設を行った。Fig. 15に概略図を示す。又、基本スペックをTable 3に示す。ツイントーチ型はシングルトーチ型がタンディッシュ側対極が必要であるのに対して、陽極トーチを配置し、陰極→溶鋼→陽極間でプラズマを流通して溶鋼を加熱するものである。直流ツイントーチを選定したのは、タンディッシュ内の対極のメンテナンスが不要であることと（独立した設備でありトーチのみのメンテナンスを行う）交流タイプに比べて騒音が低いことによる。

Fig. 16には鋳造中のタンディッシュ内溶鋼温度の推移例を示す。鋳造開始から溶鋼温度は次第に低下するが、通常は温度降下が大きい鍋交換直前の領域でプラズマの印加を実施している。この図において、鋳造時間の比較的短いチャージ（1st Ch）では、溶鋼温度の降下量は小さいが、鋳造時間の長いチャージ（2nd Ch）では温度降下量が大きくなるため、鋳造末期から取鍋終了後の非定常部においてプラズマ印加を実施した。この際0.9 MWで25 min印加することにより約15℃の温度補償が可能となった。このように、直流ツイントーチ型プラズマ加熱時の印加条件の適正化を図ることにより安定して長時間鋳造を行うことが可能になった。

4.3 小ロット対応技術

鋼種の多品種化及びユーザーへの納期の短縮化等の目的により、製鋼へのオーダーは年々小ロットとなってきた。小ロット化に

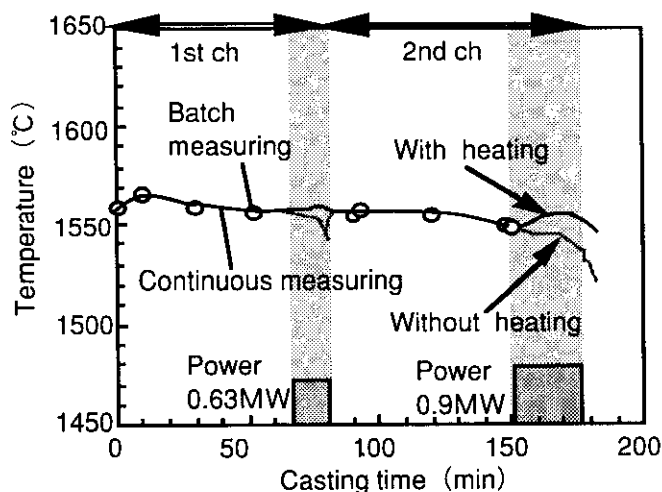


Fig. 16 Effect of plasma heater on temperature of molten steel in tundish

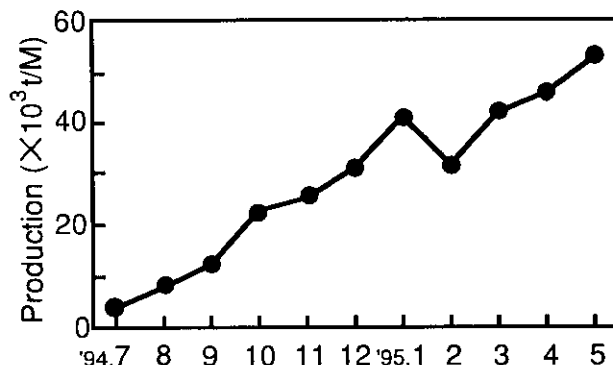


Fig. 17 Trend of production

より発生するタンディッシュ使用本数の増加に対応するため4 CCMではタンディッシュ耐火物熱間再利用が可能な設備となっている。

5 結 言

ステンレス鋼及び高炭素鋼の品質要求の多様化、厳格化への対応及び効率的な操業、作業環境の改善を主な目的として建設した千葉No.4連続鋳造機は、平成6年7月度より稼動し現在順調に操業を行なっている。Fig. 17に生産量の伸びを示す。今後は、鋼種毎の最適鋳造条件を見極め、さらなる品質改善及び生産性向上を進めてゆく。

参 考 文 献

- 1) 三木祐司, 北岡英就, 桜谷敏和, 鍋島祐樹, 小倉 滋, 富山淑郎: CAMP-ISIJ, 8(1995)1, 276
- 2) 三木祐司, 小倉 滋, 藤井徹也: 川崎製鉄技報, 28(1996)1, 52
- 3) 高土昌樹, 民田彰輝, 大杉 仁, 持田哲男, 三木祐司, 糸山啓司: CAMP-ISIJ, 8(1995)4, 1039
- 4) 神山明典, 小倉 滋, 桜井美弦, 山田正弦, 三木祐司, 木村政彦: CAMP-ISIJ, 8(1995)4, 1043