

Construction of New Stainless Steelmaking Shop
with Highly Flexible Raw Material Choice

——Construction and Operation of No.4 Steelmaking Shop at Chiba Works——



鍋島 祐樹

Yuki Nabeshima
千葉製鉄所 製鋼部製
鋼技術室 主査(課長
補)

小倉 滋

Shigeru Ogura
千葉製鉄所 製鋼部製
鋼技術室 主査(課長)

山田 純夫

Sumio Yamada
鉄鋼技術部 主査(部
長)

要旨

千葉製鉄所では、21世紀に向け、薄板に特化した都市型製鉄所を目指すリフレッシュ計画を進めてきた。製鋼部門では、老朽化した第一製鋼工場の代替として、西工場地区にステンレス鋼を中心とした特殊鋼専用の製鋼工場を新設した。ステンレス鋼製造プロセスとして、原料選択の自由度の高い溶融還元—脱炭プロセスを選択するとともに、極低炭素化、品質の厳格化ニーズに対応するべくVOD—垂直曲げ型連铸機を採用した。本工場は、1994年7月に稼働を開始し、以後順調な操業を続けており、ステンレス鋼の生産性、品質の向上および製造コストの低減に寄与している。

Synopsis:

Kawasaki Steel started materialization of modernization project of the Chiba Works to establish environment-friendly iron and steel works directing toward the 21st century. This project includes construction of No.4 steelmaking shop and No.3 hot strip mill, and reorganization of the east area of the works. No.4 steelmaking shop, located at the west area of the works, was designed to produce especially stainless steel and high carbon steel and to replace the old No.1 steelmaking shop. In the steelmaking process, an introduction of smelting reduction-decarburization process realizes a wide range of raw material choice. To meet the demand for a clean ultra low carbon stainless steel, VOD and vertical-bending type continuous caster were adopted. The operation of this new steelmaking shop started in July 1994 and has successfully contributed to the improvement of productivity, product quality and reduction in costs.

1 緒 言

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、製鋼・熱延設備の建設を行ってきた。製鋼部門では、幾多の改造工事を行ったものの稼働以来40年を経過し、能力・品質の点で限界に近づきつつあった第一製鋼工場の代替として、千葉製鉄所の主力工場である第6高炉、第3製鋼工場の位置する西工場地区にステンレス鋼を中心とした特殊鋼専用の新製鋼工場(第4製鋼工場)を建設した。

第4製鋼工場は、1992年4月の杭打ち開始後、27ヶ月の工期を経て、1994年7月に竣工し、稼働を開始した。

稼働後のステンレス鋼生産量および溶融還元法による生産比率の推移をFig.1に示す。立ち上げ以降、種々の設備の機能確認および製品であるスラブ品質の確性を経ながら順調に生産量を延ばし、約1年で旧第1製鋼工場からの100%移行を果たした。また、生Cr鉱石の溶融還元プロセスによる出鋼比率も70%を越え、現在では市況によって変動するCr原料の価格に応じて使用原料を柔軟に変化させる操業を実施している。

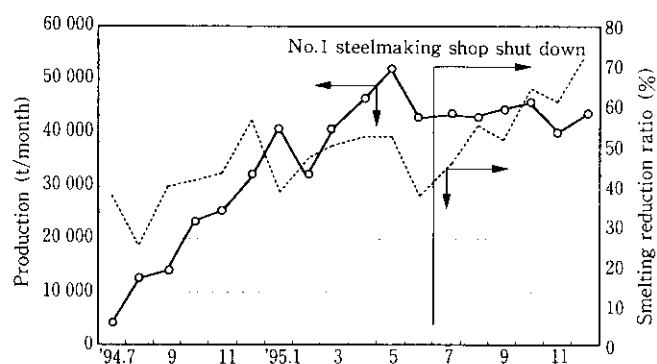


Fig. 1 Trend of stainless steel production and smelting reduction ratio in No.4 steelmaking shop

本報告では、第4製鋼工場の建設コンセプトとそれを実行するための技術・設備の概要および操業結果について報告する¹⁻³⁾。

2 第4製鋼工場の基本構想とプロセス設計

第4製鋼工場建設の基本構想とプロセスおよび設備の設計コンセ

* 平成8年10月7日原稿受付

プトを Fig. 2 に示す。既存設備であった第 1 製鋼工場での問題点と限界をクリアし、薄板に特化した最新製鉄所をささえる製鋼工場として 21 世紀に通用する設備、プロセスを構築することを目標とした。

2.1 製造プロセス

製品のコスト・品質を左右する製造プロセスの決定においては、ステンレス鋼の製造コストの大半を占める Cr, Ni などの主原料の選択にフレキシビリティを持たせることと高機能の二次精錬および連続鋳造機を組み合わせることを主眼とした。電力多消費型の製品であ

る高炭素 FeCr 合金の利用を低減するために、安価な酸素、コークスが利用でき転炉排ガスも有効に利用できる製鉄所立地の有利さを活かし、石炭エネルギーによる Cr 鉱石の溶融還元プロセスを採用した。さらには、使用原料のフレキシビリティを高めるため、ステンレススクラップの多量使用についても十分に考慮した。また、厳格化する品質要求への対応あるいは極低炭素、極低窒素ステンレス鋼の需要増大に対応するため、二次精錬設備には、真空脱炭プロセス (VOD) を採用するとともにスラブの気泡性欠陥の解消を狙って垂直曲げ型の連続鋳造機を導入した。

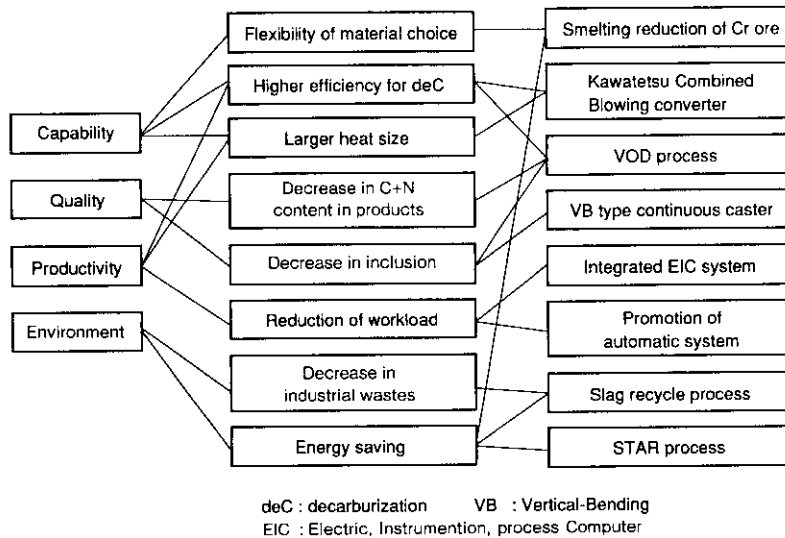


Fig. 2 Basic design concept of new steelmaking shop

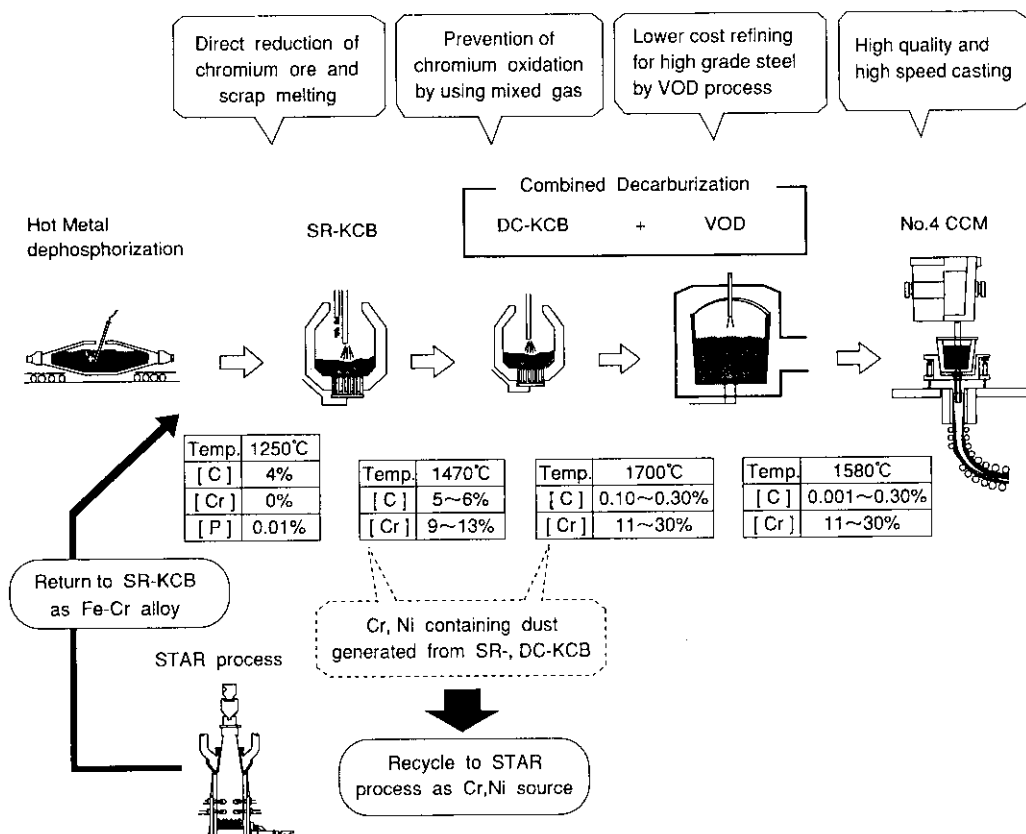


Fig. 3 Outline of stainless steelmaking process

Fig. 3 には、上述の基本構想のもとに選択したステンレス鋼製造プロセスの概要を示す。図中には、各プロセスの特徴と溶湯の成分、温度の推移を並記した。

2.2 労働生産性

労働生産性の向上に関しては、大ヒートサイズ化など基本的な工場設計による生産能力の増強に加えて、既存第3製鋼工場、第3連铸工場に隣接して新設備を配置することで設備・要員の共有化を図った。また、新規導入設備においては極力自動化・遠隔操作化を進め、操作室の統合化などの効率化を行った。第3製鋼工場と第4製鋼工場との隣接は、連铸機への溶鋼供給ルートの複数化という柔軟な生産体制作りにも効果をもたらした。

2.3 環境保全

都市型製鉄所として環境重視の観点から、製鋼工場にて発生するダスト、スラグについては完全なリサイクル体制の確立を目指した。ダスト中に含有される有価金属であるCr、Niを還元回収するSTAR炉を合わせて建設し、溶融還元炉にメタルとしてリサイクル可能なプロセスとした。スラグに関してはSTAR炉など製鉄部門へのフラックスとしてのリサイクル利用と路盤材として商品化する処理プロセスを構築した。

3 第4製鋼工場のレイアウト

第4製鋼工場および第4連铸工場のレイアウトをFig. 4に示す。第4製鋼工場は、普通鋼を主体に生産を行っている既存第3製鋼工場の取鍋段取りヤードを北側に延長して二次精錬ヤードとし、そのさらに北側に二次精錬ヤードと直角に転炉棟、原料棟を配置した。この配置により、取鍋ハンドリングクレーンを共用できるとともに、取鍋メンテナンスに関する設備、要員の共有化と外部から製鋼工場各所へのアクセスルートの確保が可能となった。また、溶銑鍋、取鍋、タンディッシュの解体、施工を行う耐火物センターを第3製鋼工場に隣接して建設することで、耐火物メンテナンスについても統合化を果たした⁹⁾。

原料棟には溶銑予備処理を終えたトビードカーを受け入れるステーションとステンレススクラップを多銘柄積み込み可能なスクラップヤードを併設させ、効率的な原料供給が可能な配置とした。また、

転炉・原料棟と隣接した位置にスラグセンターを配置し、転炉出鋼後移送したスラグを迅速に冷却固化することにより高温溶融物の製鉄所内輸送を最小限にした。

第4連铸工場は、既存の第3連铸工場と同一鑄床に並列配置することで操作室を統合し、非定常作業時対応の要員のプール化を図るとともに、トーチ切断、スラブ搬出の遠隔監視・自動制御化を実現している。隣接した3、4CCスラブヤードでは自動クレーンによるスラブの物流管理がなされ、第3熱間圧延工場との直結運転を可能としている。

4 各プロセスの設備と操業結果概要

4.1 Cr 鉱石溶融還元プロセス

4.1.1 溶融還元炉 (SR-KCB) 設備

Table 1 に溶融還元炉の設備主仕様を示す。

炉体は8本の純酸素底吹二重管羽口を備えた炉底着脱式の強撹拌型上底吹転炉であり、溶融還元精錬時に生成する多量のスラグに対応した容積を持つ。上吹ランスおよび送酸設備も、生Cr鉱石の溶融還元に必要な容量としたため、通常の転炉に比べて大容量なものになっている。また、砂状のCr鉱石を直接炉内に投入するために、炉内に挿入する水冷のCr鉱石添加ランスを開発した。

さらに排ガス処理系には、フード上部をメンブレン形式の水管ボイラーとしたOG設備を採用するとともに、上部ボイラーの煙道内には接触ボイラーを配置することによって排ガスの顕熱エネルギーの回収効率を高めた。

4.1.2 溶融還元操業結果^{9,10)}

Table 2 に第4製鋼工場にて使用しているCr鉱石の代表例を第1製鋼工場で使用していた半還元Crペレットと比較して示す。第1製鋼工場で使用していた半還元Crペレットでは60～70%予備還元されていたが、第4製鋼工場で使用する生Cr鉱石ではFe、Crの酸化物が未還元のまま存在するため、転炉炉内では還元吸熱分の熱補償量が多量となること、また還元性も劣るため、脈石分を含む酸化物の迅速な溶融が必要とされる。また、粒度に関しても、南アフリカを中心とする大部分の鉱石が細粒の砂状であるため、転炉への直接投入には飛散を防止する添加方法の開発が必要であった。

第4製鋼工場では、第1製鋼工場での実機実験および炉内ガス流

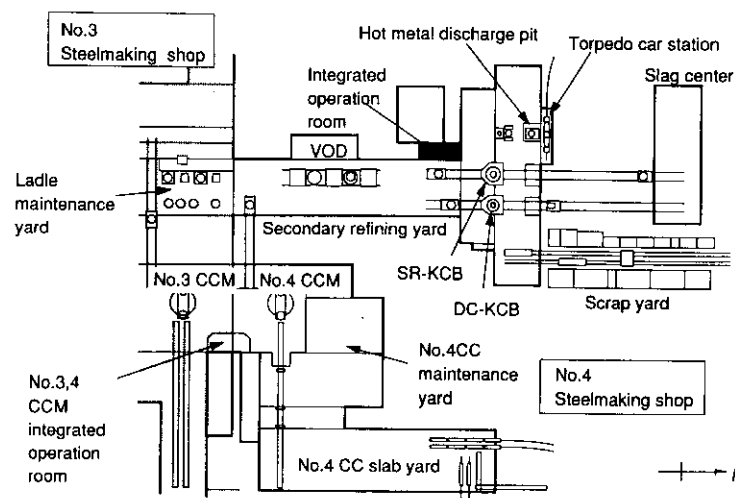


Fig. 4 Schematic view of No.4 steelmaking shop

Table 2 Comparison of typical chemical composition between pre-reduced Cr pellet and Cr ore (wt%)

	Cr ₂ O ₃	Metallic Cr	Fe ₂ O ₃	FeO	Metallic Fe	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	CaO
Pre-reduced Cr pellet in No.1 steelmaking shop	18	20	tr	1	20	17	11	5	1
Cr ore in No.4 steelmaking shop	45	tr	6	20	tr	15	10	2	tr

Table 1 Specifications of SR-KCB

Facilities	Items	Specifications
Vessel	Type	Strongly-stirred-type combined blowing converter
	Heat size	Ave. 178.0 t/ch
	Capacity	Height 9 105 mm Diameter 8 260 mm Volume 372 m ³
Top blowing	Type	Water cooled lance
	O ₂ flow rate	Max. 950 Nm ³ /min
Bottom blowing	Tuyser type	Duplicated tube × 8
	Gas species	Inner : O ₂ , N ₂ , Ar Annulus : Propane, N ₂ , Ar
	Gas flow rate	0.5~1.2 Nm ³ /min · t
OG system	Suction capacity	Max. 165 000 Nm ³ /h
	Dust collector	Saturater + RSW (Cooling water 750 m ³ /h)
	Boiler system	Lower, upper boiler and 1~4 th contact boiler
	Induction fan	2 by series(P = 2 650 MPa)
Cr ore lance	Type	Water cooled lance with inner lining by ceramic

速分布のコンピューター解析により決定した専用ランスによる砂状 Cr 鉱石の炉内添加法を採用することにより、98% 以上の添加歩留を得ることができた。また、還元挙動についても、上吹大流量送酸における熱補償と溶湯温度、スラグ組成の適正化により、従来当社で実施していた半還元 Cr ペレット法に比べて 2.5 ~ 3.0 倍にあたる 5.5 ~ 6.5 kg/min·t の Cr₂O₃ 添加速度に対しても、還元不良となることなく Cr 鉱石からの Cr 歩留は 90% を確保しており、スラグ中の (Cr₂O₃) 濃度も 1.0% 以下を維持している。

この結果、ステンレス鋼への Cr ソースは、その 70% 以上を Cr 鉱石とステンレススクラップに代替することが可能になった。Fig. 5 にオーステナイト系ステンレス鋼 (AISI 304) での Cr ソースの内訳の例を半還元 Cr ペレットを使用した従来プロセスと比較して示す。未還元クロム酸化物からの還元回収量が増大し、スクラップ使用量増大の効果を含め FeCr 使用量の低減が可能となっている。

4.2 複合脱炭プロセス

4.2.1 脱炭炉 (DC-KCB) 設備

Table 3 に脱炭炉の設備主仕様を示す。

脱炭炉は、溶融還元炉より出湯された [Cr] = 9~13% の粗溶鋼を、二次精錬設備である VOD との複合脱炭における最適濃度である

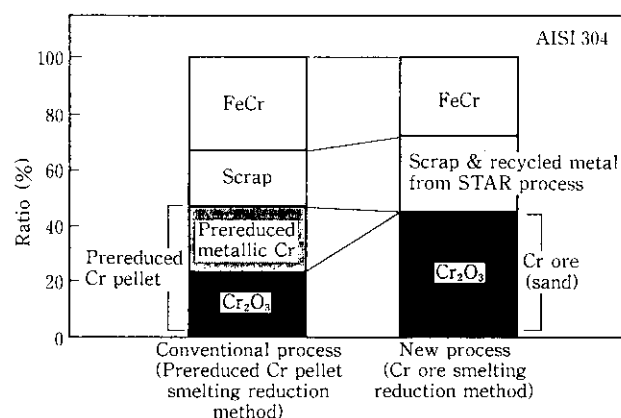


Fig. 5 Comparison of Cr balance between two processes

Table 3 Specifications of DC-KCB

Facilities	Items	Specifications
Vessel	Type	Strongly-stirred-type combined blowing converter
	Heat size	Ave. 178.0 t/ch
	Capacity	Height 8 905 mm Diameter 6 740 mm Volume 242 m ³
Top blowing	Type	Water cooled lance
	O ₂ flow rate	Max. 400 Nm ³ /min
Bottom blowing	Tuyser type	Duplicated tube × 8
	Gas species	Inner : O ₂ , N ₂ , Ar Annulus : Propane, N ₂ , Ar
	Gas flow rate	0.5~1.2 Nm ³ /min · t
OG system	Suction capacity	Max. 90 000 Nm ³ /h
	Dust collector	Saturater + RSW (Cooling water 390 m ³ /h)
	Boiler system	Lower, upper boiler and 1~4 th contact boiler
	Induction fan	2 by series(P = 2 650 MPa)
Slag stopper	Type	Pneumatic
	Detector	EMLI-type slag detector

[C] = 0.10~0.30% まで、Cr の酸化を抑制しつつ粗脱炭可能なように、希釈ガス吹き込みが可能な強撈拌型純酸素上底吹転炉とした。転炉本体および上底吹き形式は溶融還元炉と同方式とし、着脱式のボトムに関しては交換設備および予備品の共有化を考慮し、共通のものとした。

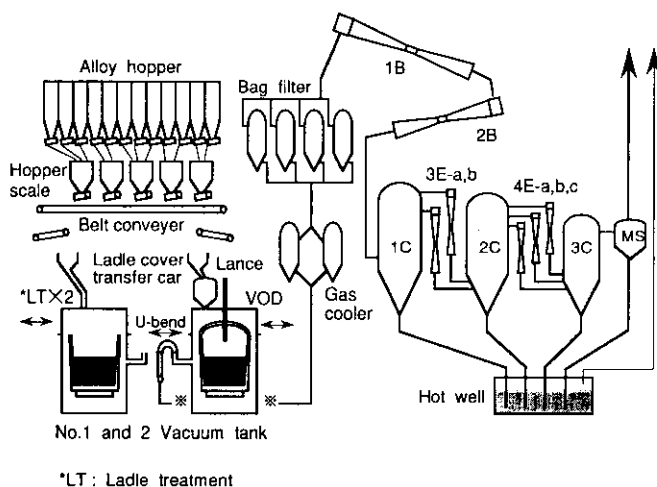


Fig. 6 Schematic view of VOD equipment

Table 4 Specifications of VOD

Item	Specification
Type	Twin tank and single vacuum unit
Ladle cover transfer car	3 for 1 VOD cover and 2 LT covers
Heat size	178 t
Vacuum unit	2 boosters and 2 step - 5 ejectors
Suction capacity	6 800 kg/h at 186 hPa 700 kg/h at 0.7 hPa
Vacuum attainable	0.3 hPa
Dedusting system	Dry type
O ₂ lance	Multi holes water-cooled type
O ₂ blowing	Max. 60 Nm ³ /min
Agitation gas	50~3 600 NI/min (Ar and/or N ₂)
Freeboard of ladle	1 530 mm (at 178 t/ch, new lining)
Number of alloy hopper	20

炉体寸法、ガス供給設備、排ガス処理設備等の仕様は、溶融還元精錬とステンレス鋼の脱炭精錬との相違が過大であるために共通のものとはせず、吹錬中に発生するガス、スラグ量に応じた最適なものとした。また、脱炭の進行に伴う脱炭効率の低下に対応して送酸速度、酸素希釈比および排ガス吸引量が制御可能な電気計装システムとした。

4.2.2 二次精錬設備 (VOD)

ステンレス鋼の脱炭プロセスは、転炉での高生産性の達成と二次精錬での真空脱炭によるCr酸化量低減およびAr使用量の削減の優位性から複合脱炭とした。二次精錬設備は、今後益々高まると予測される極低炭、極低窒素ステンレス鋼へのニーズに対応することを目的としてVODを導入した。

Fig. 6 および Table 4 に VOD の設備概要と主仕様を示す。

VOD 設備は、真空脱炭時間の長い極低炭ステンレス鋼の生産性を考慮し、1基の真空排気系に対して2基の真空処理タンクと2台の大型処理台車を設け、真空処理間隔の短縮および真空処理と大気処理のラップ処理を可能とした。また、フェライト系ステンレス鋼の高Cr域までの極低炭、極低窒素化を可能とすべく、大排気量の真空排気設備と大流量の底吹ガス吹込設備とした。

さらに、排ガス処理設備は、ガスクーラーとバグフィルターによ

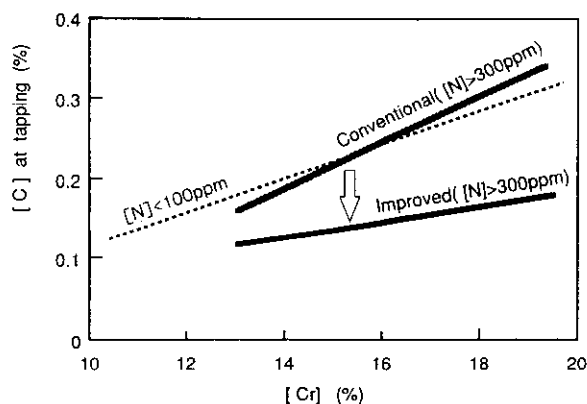


Fig. 7 Relation between optimum carbon content at tapping and chromium, nitrogen content level in combined decarburization process

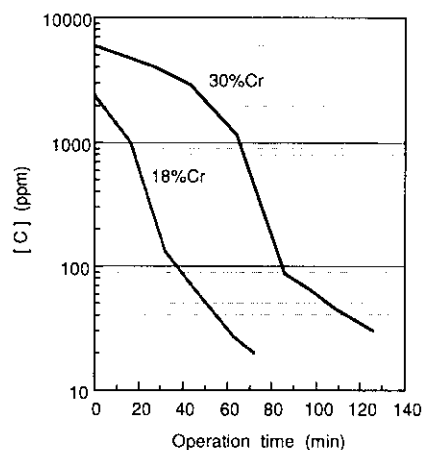


Fig. 8 Result of VOD operation for super ferritic stainless steel

る乾式集塵設備を採用し、ブースターへのダスト付着による排気能力の低下を防止するとともに、水処理設備の負荷を軽減した。

4.2.3 複合脱炭操業結果

複合脱炭プロセスにおいては、転炉とVODそれぞれの特徴を活かしつつプロセストータルを最適化するための改善を行った。すなわち、当社特有の強撈拌型純酸素上底吹転炉の利点を最大限に利用し、転炉での脱炭範囲を拡大すべく、低炭素領域でのCr酸化量低減を図った⁹⁾。

生産性と脱炭精錬コストの両面を考慮して決定した転炉出鋼[C](=VOD処理前[C])と目標[Cr]および[N]の関係をFig. 7に示す。Cr濃度の増大に伴い平衡N濃度が上昇し脱炭が困難となるため、VODでの脱炭量確保を目的として転炉出鋼[C]を上昇させてはいるが、転炉でのCr酸化量低減技術を利用し、第4製鋼工場ではCr酸化量を増大させることなく、高効率にVOD処理前[C]の低下が実現できた。これによるVODでの脱炭負荷低減は、VOD処理後の鋼中全酸素濃度の低減にも効果があり、その他脱炭処理の適正化も合わせて、Si脱炭のAISI 304系においても安定して[O]<60 ppmが達成され、冷延鋼板の品質向上に寄与している⁹⁾。

4.2.4 極低炭ステンレス鋼の高効率製造

新VODにおける18%Crおよび30%Crのスーパーフェライトステンレス鋼のVODでの脱炭処理結果をFig. 8に示す。大流量スリットプラグを利用した底吹強撈拌と脱炭処理中の高真空度制御によ

り、スーパーフェライトステンレス鋼専用であった旧第1製鋼工場VODを凌駕する脱炭速度での処理を大ヒートサイズで実現することができ、 $\text{Cr} \geq 16\%$ 、 $[\text{C}] + [\text{N}] \leq 120 \text{ ppm}$ クラスのスーパーフェライトステンレス鋼の生産性は大幅に増大した。

4.3 鑄造プロセス^{2,3)}

4.3.1 連続鑄造設備 (No.4 CCM)

第4連鑄機は、ステンレス鋼・高炭素鋼の品質要求の多様化・厳格化に対応すると同時に、効率的な生産を可能とするために、特に以下の3点のコンセプトを主眼に建設を行った。

- (1) 操業の効率化 (低コスト・高性能)
- (2) スラブの高品質化
- (3) 自動化

第4連鑄機の設備概要と主仕様を Fig. 9 および Table 5 に示す。

最大 185 t/ch までの大ヒートサイズのステンレス鋼を1ストランド連鑄機で鑄造するには 1.6 m/min の高速鑄造が必須であり、品質対応から決めた垂直曲げ型連鑄機の設計には千葉、水島でのスラブ連鑄技術の蓄積を活用することが必要であった。特に熱間強度の大きな AISI 316 から熱間靱性が小さいフェライト系ステンレス鋼までを同一マシンで安定に鑄造するためのロール設計には細心の注意を払った。またスラブの高品質化については取鍋からマシン本体に至る各設備において Table 6 に示す機能を付加した。小ロット対応も第4連鑄機のポイントであり、耐火物コストの増大を抑制するために

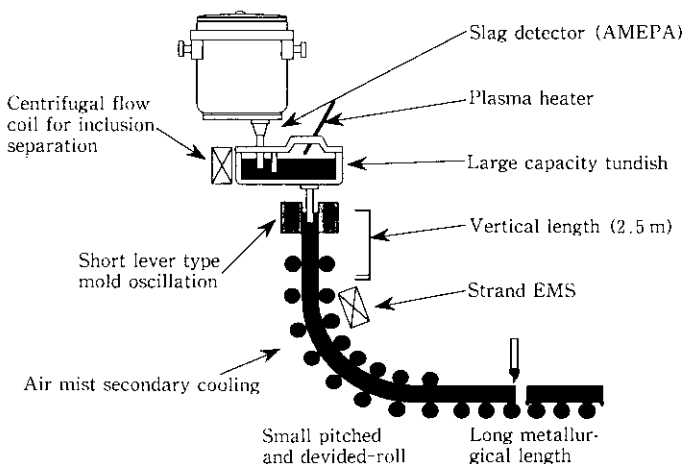


Fig. 9 Schematic illustration of representative facilities in No. 4 CCM

Table 5 Specifications of No.4 CCM

Item	Specification
Machine type	Vertical bending
Number of strand	1
Metallurgical length (m)	25.6
Vertical length (m)	2.5
Curve radius (m)	9.6
Bending points	7
Unbending points	10
Slab thickness (mm)	200, 260
Slab width (mm)	650~1 650
Slab length (mm)	4 500~12 500
Casting speed (m/min)	Max.1.6
Tundish capacity (t)	30
Secondary cooling	Air mist spray

Table 6 Functions installed to improve slab quality

Facilities	Invested functions
Ladle	AMEPA type slag detector Triple-plates sliding nozzle
Tundish	DC twin type plasma heater Large capacity tundish Centrifugal flow tundish
Mold	Twin type eddy current level detector High cycle oscillation
Machine	Vertical bending type (multi-bending and-unbending) Small pitched and devided rolls Air mist secondary cooling Strand EMS

タンディッシュ熱間再利用技術を採用し、タンディッシュ傾転台車、スライディングノズル交換台車、タンディッシュ予熱装置などの設備により迅速な再セッティングを可能とした。自動化についても、モールドパウダー自動投入、鑄造条件のプロセスコンピューターによる全自動設定の採用などによる対応を図るとともに、既存第3連鑄機との操作室の統合化によってオペレーターのプール化を図った。

4.3.2 ステンレス鋼の高速鑄造¹⁰⁾

ステンレス鋼の連続鑄造においては、従来 1.0~1.2 m/min が最大であったため、マシンスペックである 1.6 m/min の達成にはモールドパウダー、オシレーション、モールド湯面制御、二次冷却条件等の総合的な鑄造技術の開発により、鑄造の安定性と品質の確性が必要であった。

第4連鑄機では稼働以来この課題に取り組み、

- (1) 二次冷却条件の適正化
- (2) オシレーション条件の適正化
- (3) 浸漬ノズル吐出角の適正化
- (4) モールド湯面制御へのオブザーバー制御の適用

により、均一冷却による高温出片、モールドパウダー消費量の確保によるスティッキングの防止、オシレーションマーク部への偏析の軽減および湯面変動量の増大防止を図り、安定的な高速鑄造を実現した。

Table 7 にステンレス鋼の代表鋼種である AISI 304 と AISI 430 の鑄造速度を旧第1連鑄機と比較して示す。いずれも本鋼種においては、世界最高速の鑄造速度での工程生産が可能となった。

4.3.3 高潔浄化

スラブの高品質化については、前述の設備・機能の採用によって対応を図っているが、ここでは遠心分離タンディッシュ(CF タンディッシュ)¹¹⁾による効果について示す。

Al 脱酸のステンレス鋼においては脱酸生成物であるアルミナ起因の欠陥比率が高く、その低減は品質向上の重要課題である。リニアモーターの原理により連鑄タンディッシュ内の溶鋼に回転力を与え、

Table 7 Comparison of maximum casting speed between No.4 and No.1 CCM

	Maximum casting speed (m/min)	
	No.4 CCM	No.1 CCM
AISI 304	1.6	1.0
AISI 430	1.3	0.9

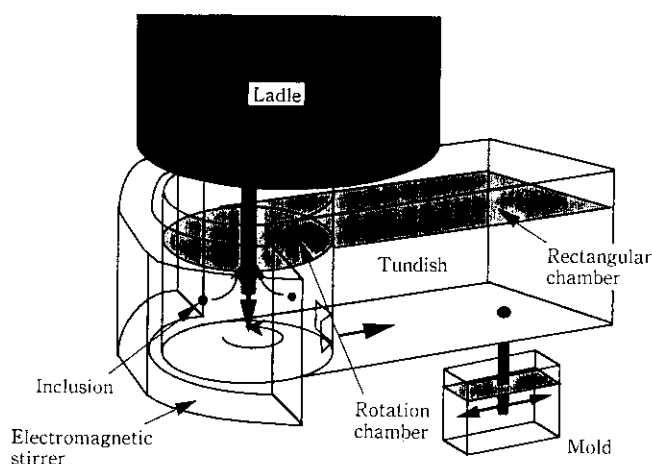


Fig. 10 Schematic illustration of centrifugal flow tundish

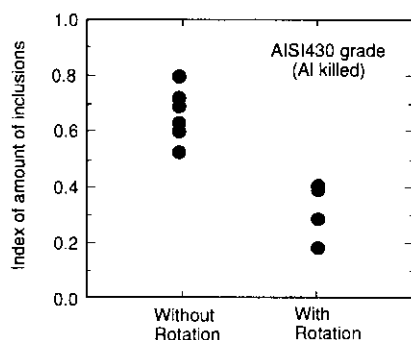


Fig. 11 Effect of rotation in CF tundish on decrease of inclusions in molten steel at rectangular chamber

その非金属介在物を分離する技術は第1連铸機で原理確認を終えていたが、今回第4連铸機において実機化することができた。

Fig. 10に第4連铸機に採用した遠心分離タンディッシュの概要を示す。回転槽内で電磁コイルにより回転力を与えられた溶鋼は、比重の小さい非金属介在物が中央に凝集分離された後、分配槽に流入することで清浄化が果たされる。Fig. 11に示すように遠心分離タン

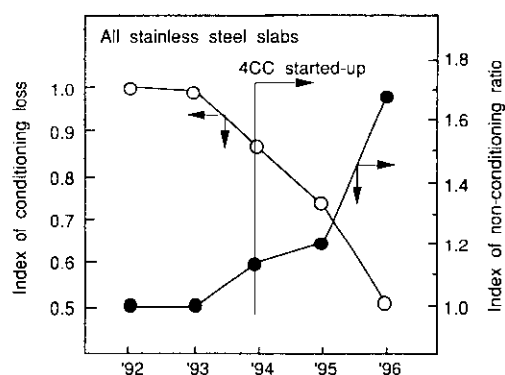


Fig. 12 Trend of conditioning loss and non-conditioning ratio in stainless steel slab

ディッシュを利用することによって、溶鋼全酸素量を半減することが可能となった。

第4連铸機では、この遠心分離タンディッシュをAl脱酸の全ステンレス鋼に適用し、品質の向上に寄与している。

4.3.4 スラブの無手入れ化

第4製鋼工場では、前章に示したVODによる溶鋼の清浄化とスラブの高品質化を目的として導入した垂直曲げ型連铸機による種々の品質改善によってスラブ手入れの簡略化を推進してきた。Fig. 12に第1製鋼工場以来の全ステンレス鋼の無手入れ比率と手入れによる歩留ロス率の推移を示す。操業条件の適正化を図ることにより従来レベルの半減を達成することができた。

5 結 言

21世紀に向け、薄板に特化した都市型製鉄所を目指すリフレッシュ計画の一環として実施した千葉製鉄所第4製鋼工場の建設コンセプトと設備仕様の概要および立ち上げ後の操業状況について示した。第4製鋼工場は稼働以来、順調な操業を続けており、今後は、その設備機能を最大限に活かして、変動するステンレス原料価格に対応した柔軟な原料選択とさらなる生産性向上と品質改善により、合理的な製造体質を構築していく。

参 考 文 献

- 1) 鍋島祐樹, 田岡啓造, 山田純夫, 浜田俊二, 櫻井美弦, 増田康男: *CAMP-ISIJ*, 8(1995)4, 1139
- 2) 杉澤元達, 小倉 滋, 安川 登, 茨木通雄, 櫻井美弦: *CAMP-ISIJ*, 8(1995)1, 275
- 3) 杉澤元達, 小倉 滋, 荒谷 誠: *川崎製鉄技報*, 28(1996)1, 14
- 4) 長谷川伸二, 兒子精祐, 桃川秀行, 野村 真, 小林敬二, 板谷 宏: *CAMP-ISIJ*, 8(1995)4, 897
- 5) 中澤大地, 鈴木 一, 今飯田泰夫, 金谷利雄: *CAMP-ISIJ*, 8(1995)4, 942
- 6) 寺島知道, 鍋島祐樹, 岸本康夫, 北野嘉久, 亀山恭一, 西川 廣: *CAMP-ISIJ*, 9(1996)1, 169
- 7) 寺島知道, 鍋島祐樹, 岸本康夫, 北野嘉久, 亀山恭一, 西川 廣: *CAMP-ISIJ*, 9(1996)4, 721
- 8) 廣田哲仁, 寺島知道, 岸本康夫, 北野嘉久, 西川 廣, 菊池直樹: *CAMP-ISIJ*, 9(1996)4, 717
- 9) 廣田哲仁, 中里和樹, 岸本康夫, 民田彰輝, 西川 廣, 奥山悟郎: *CAMP-ISIJ*, 9(1996)1, 89
- 10) 高士昌樹, 民田彰輝, 大杉 仁, 持田哲男, 三木祐司, 糸山登司: *CAMP-ISIJ*, 8(1995)4, 1039
- 11) 三木祐司, 小倉 滋, 藤井徹也: *川崎製鉄技報*, 28(1996)1, 52