

技術報告

八幡製鐵所における多品種造り分け製造プロセスの確立

Development of Steelmaking Process for Producing Various High Quality Steel Grades at Yawata Works

楠 伸太郎* 西原良治 加藤勝彦 坂上仁志
 Shintaro KUSUNOKI Ryoji NISHIHARA Katsuhiko KATO Hitoshi SAKAGAMI
 福永新一 平嶋直樹
 Shinichi FUKUNAGA Naoki HIRASHIMA

抄 録

八幡製鐵所の鉄源部門の戸畑地区移管がほぼ完了した1980年の初め、製鋼工程は3つの製鋼工場で薄板、電磁鋼板、軌条、形鋼、鋼管、ステンレス鋼等の成分、用途の大きく異なる品種を生産していた。その後、高炉一基化に伴う生産体質の抜本的見直しや高級鋼ニーズ拡大等の要請に対応すべく、新技術の開発、導入を積極的に推進し、生産性や品種毎の製造技術を飛躍的に向上させた。これら対策により、生産設備を大幅に集約し、高効率に多種多様な高級鋼を造り分ける製造プロセスを確立した。

Abstract

In the early 1980s, when all of the ironmaking and steelmaking plants at Yawata Works were transferred from the Yawata area to the Tobata area, three steelmaking plants had been producing various type of steel grades, such as sheets, electrical steels, rails, shapes, pipes and stainless steels. After that, it became necessary to meet the growing demand for producing high-grade steel and to restructure the production process by reducing the number of blast furnaces. Therefore, new technologies have been actively developed and introduced to drastically improve the productivity and the steelmaking technologies. These measures enabled us to streamline the production facilities and to establish a highly-efficient steelmaking process which can offer a wide variety of high-grade steel.

1. 緒 言

現在の製鋼分野を支える技術は数多くあるものの、その中でも核となっている技術は平炉を終焉させた転炉、二次精錬における脱ガス、そして造塊を終焉させた連続铸造(以下、連铸又はCC)である。日本において、これらの技術は1960年代の粗鋼生産の増大に対応し、転炉は大型化とともに積極的な導入が図られ、さらに1970年代の二度にわたるオイルショックや円高を契機に、歩留、生産性およびエネルギーコストが優れている連铸機の導入が加速された。こうした時代背景の中、八幡製鐵所も、八幡地区にあった小型製鋼工場をリプレースする形で、1979年戸畑地区に製鋼工場が集約された。

その後、高炉1基化により製鋼工程の生産体質を抜本的に見直すことが必要になるとともに、その間、需要家からの鋼材特性要求は飛躍的に高度化し、高級品(高純度、高清浄度)製造技術の確立も急務であった。とりわけ多品種

を製造している八幡製鐵所製鋼工程においては、製鋼工場の統合や分塊工場の休止、連铸機の集約と同時に、品種製造技術を開発、導入しながら効率的な生産プロセスの確立が求められた(図1)。

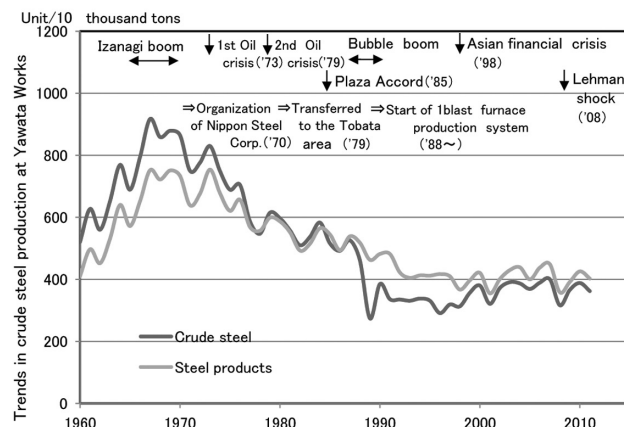


図1 八幡製鐵所における粗鋼生産量推移
 Trends in crude steel production at Yawata Works

* 八幡製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ グループリーダー 福岡県北九州市戸畑区飛幡町1-1 〒804-8501

本稿では、1980年代以降から現在に至る30年間の八幡製鐵所製鋼工場の変遷を踏まえた多品種造り分け製造技術について述べる。

2. 八幡製鐵所製鋼工場の変遷

1980年代の八幡製鐵所は、当時新鋭の堺、君津製鐵所等に比べ、生産体質の脆弱さを立て直すべく、八幡製鐵所マスタープラン(1969年)を策定し、その実行がほぼ完了した時期にあたる。製鋼工程では、戸畑地区に大型製鋼工場である第三製鋼工場を建設し²⁾、これにより鉄路部門の戸畑集約が完了した。その結果、八幡製鐵所の製鋼工場は、第一製鋼工場(C鋼)、第二製鋼工場(N鋼)、そして第三製鋼工場(T鋼)の3工場体制となり、これら製鋼工場で多種多様な鋼材の生産を実施していた。各製鋼工場には、転炉および各種炉外精錬の精錬工程と造塊および連铸機の铸造工程を有し、C鋼では軌条、形鋼、シームレス鋼管等ブルーム系の品種を、N鋼では薄板、厚板、電磁鋼板、ステンレス鋼等のスラブ系の品種を、大型転炉を有するT鋼では薄板、条鋼等のスケールメリットを享受できる品種を製造していた。

その後、生産量の横ばいが続く中で、品種選択、更なる効率化および需要家からの品質要求に応えるべく設備を集約し、現在のT鋼を中心とした生産体制に至っている。これら生産プロセスの変遷を図2に、また1980年代と現在の品種構成推移を図3に示す。

以降、多品種造り分け製造プロセスを可能としてきた精錬、分塊、連铸工程の変遷と製造技術について述べる。

3. 工程別製造技術について

3.1 精錬工程の集約と機能分化^{1,3)}

戸畑地区のC鋼、N鋼そして当時最新鋭高効率工場で

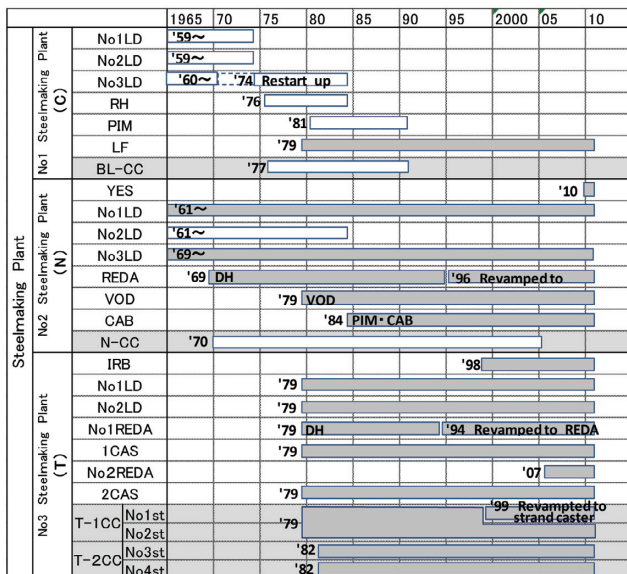


図2 製鋼工場における生産プロセスの変遷
Changes in the steelmaking process at Yawata Works

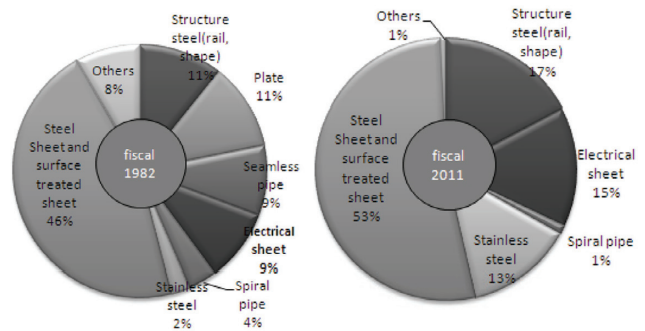


図3 品種構成推移
Changes in product mix

あったT鋼の3つの製鋼工場が完成した後に、まず着手したのは、C鋼精錬工程のN鋼集約⁴⁾と高炉1基化を契機としたN鋼普通鋼精錬工程のT鋼移管であった。その結果、普通鋼精錬プロセスはT鋼に、ステンレス鋼精錬プロセスはN鋼に集約、特化された。

以降、T鋼精錬プロセスである普通鋼精錬技術とN鋼プロセスであるステンレス鋼精錬技術について、その変遷を踏まえながら述べる。

(1) 普通鋼精錬技術

普通鋼製造の特徴は多種多様な生産品種にあり、薄板、電磁鋼板、軌条、形鋼、鋼管等、極低炭素鋼から高炭素鋼までを同一精錬工程で造り分け、連続铸造工程にタイムリーに溶鋼を供給する事にある。図4に普通鋼精錬技術の変遷を示すように、製造品種の要求仕様に応じ、精錬各工程の機能分担の最適化を図ってきた。

溶銑予備処理では、精錬機能の分割最適化を目的に1983年にトーピードカー上吹脱硫法(以下、TDS法: Torpedo car Desulphurization)を実機稼働させ、低硫高純度鋼の大量生産を開始し⁵⁾、1986年には転炉での熱裕度拡大を図るべく気体酸素使用を実用化した⁶⁾。

TDS法での脱燐処理時に課題となるスロッピングの予知・抑制技術も開発し、トーピードカーでの安定した脱燐処理技術を確立した^{7,8)}。その後、極低硫鋼の脱硫処理を目的に1995年にマグネシウム脱硫設備を設置し⁹⁾、更に環境規制の高まりからスラグ中の脱フッ素化要請に応えるべく、

A.D.	Hot metal pretreatment	Primary refining	Secondary refining
	deSi, deS, deP	deC, deP	Ultra-low-carbon processing Degassing, Deoxidation
~1983	deSi, deC, deP (LD-OB)		DH-CAS
1983~	deSi, deS, deP in TPC (TDS)	deC, deP (LD-OB)	DH-CAS
1995~	deSi, deS, deP in TPC (TDS)	deS in ladle (Inj.)	REDA-CAS
1994~	deS in ladle (KR/Mg-inj.)	MURC / deC, deP (LD-OB)	REDA-CAS

図4 八幡製鐵所における普通鋼精錬技術の変遷
Transition of ordinary steel refining technology at Yawata Works

脱珪脱磷処理の転炉型予備処理法への転換¹⁰⁾、脱硫効率に優れた機械攪拌式脱硫設備(以下、KR:Kanbara Reactor)を新設¹¹⁾し、現在に至っている。

一次精錬では、T鋼建設に向けて大型転炉での上底吹精錬に関する種々の研究開発が行われた¹²⁻¹⁷⁾。1977年から1979年にかけて上底吹き転炉の開発試験が実施され、T鋼立上げの翌年1980年に国内実機第一号のLD-OB(LD-Oxygen Bottom Blowing)法として350t大型転炉が稼働した¹⁸⁾。その2か月後にはN鋼170t転炉でも稼働を開始し、後述するステンレス鋼精錬への適用へと繋がった。その後、大型転炉LD-OB法精錬技術を確立し、鉄、マンガン等金属元素の酸化ロス低減やスロッピング低減等の冶金特性が改善され¹⁹⁻²³⁾、マンガン鉱石還元技術の導入^{24,25)}へと繋がった。操業面でもサブランスによるダイナミックコントロールを中心とした自動吹錬システムやOG(Oxygen Converter Recovery Process Gas)自動運転システムを導入し、完全自動吹錬を確立した²⁶⁾。1989年の高炉1基化以降は、限られた溶銑で最大限の粗鋼量生産を達成するため、極低溶銑比操業技術(以下、SULHO:Super Ultra Low HMR Operation)を確立した^{27,28)}。

さらに出銑能力と出鋼能力のアンバランスが高炉と製鋼工場間のスムーズな物流を阻害し、連続製造工程までが稼働制約を受ける状況であったため、図5に示す世界最大規模の誘導加熱装置付き貯銑炉(以下、IRB:Iron Reserve Barrel)を1998年に稼働させた²⁹⁾。この結果、生産速度の異なる品種を铸造する4基の連銑機に対し多連銑前提でタイムリーに供給することが可能となった。同時に、溶銑バッファー機能により、高炉からの溶銑輸送装置であるトーピードカーの稼働台数を半減すると共に、高炉不調時や増出鋼要請時には、型銑やスクラップ等冷鉄源の溶解機能による擬似溶銑の製造が可能であり、多様な品種に応じた主原料の最適選定により、高品位で高効率な製造を実現している。

二次精錬では、合金歩留向上、成分適中率向上や高纯净度化を目的に簡易取鋼精錬法(以下、CAS:Composition Adjustment by Sealed argon bubbling)を開発し³⁰⁾、1977年にN鋼へ、1979年にはT鋼へ導入し、成分規格の厳しい鋼種の易製造化を達成した。その後、簡易な設備で昇熱機

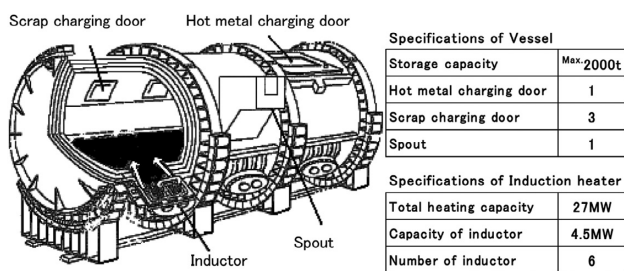


図5 誘導加熱装置付き貯銑炉
Iron reserve barrel with induction heater

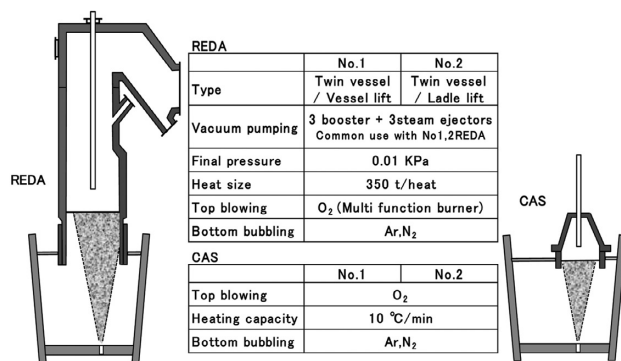


図6 T鋼における二次精錬設備^{32,41)}
Secondary steel refining facilities in No.3 steelmaking plant

能を有したCAS-OB法³¹⁻³³⁾やCAS-Inj.法³⁴⁾へと発展し、救済昇熱や転炉吹き止温度低減、溶銑脱硫処理までも可能とした。一方、鉄鋼開発途上国との品質差別化のために、超高純度鋼溶製に必要な真空精錬法として、日本で初めてDH設備を導入した八幡製鐵所では、1979年のT鋼稼働に併せて大量・迅速処理を前提とした改良型DHを開発導入し³⁵⁾、その5年後の1984年にはN鋼DH設備を改良型へ改造した^{36,37)}。この結果、脱[C]・脱[N]・脱[H]の高純度化レベルは著しく向上し、脱[O]については多量軽処理が可能となった。

その後、RHの急速な脱ガス性能向上への技術開発に追従するため、図6に示すDH設備をベースに大型浸漬管底吹き脱ガス炉(以下、REDA:Revolutional Degassing Activator)を開発した³⁸⁻⁴¹⁾。

八幡製鐵所での真空精錬設備は、[C] ≤ 10ppmの極低炭素鋼から[C] ≥ 1%の高炭素鋼、軌条までの多品種を造り分ける技術が要求される。構造的に真空槽底部が無く、前処理チャージからのコンタミネーションの影響を少なく処理できるREDA設備は、極低炭素鋼と高炭素鋼の連続処理が可能であり、多様な品種製造に適した脱ガス設備であるといえる。現在では、真空精錬ニーズの高まりからREDA設備を2基体制としている。

(2) ステンレス鋼精錬技術

八幡製鐵所でのステンレス鋼製造は、八幡地区でのEF-VOD(Electric Furnace Vacuum Oxygen Decarburization)法からEF-LD-VOD法へ、1979年戸畑地区にあるN鋼への移管で、高炉-LD-VOD法への変遷を経て、現プロセスである高炉・EF-LD-REDA/VOD法へと至っている。この間、全社的鉄源集約の動きの中で、室蘭からの移管、住友金属工業(株)と日新製鋼(株)との相互供給体制化により、その生産量も大幅な増加を遂げ、現在、新日鐵住金ステンレス(株)へフェライト系ステンレス鋼の供給を行っている。図7にステンレス鋼精錬技術の変遷について示す。

製造するステンレス鋼品種はフェライト系及びマルテン

A.D.	Hot metal pretreatment	Primary refining	Secondary refining
	deSi,deS,deP	deC・Cr-addition	Ultra-low-carbon processing Degassing, Deoxidation
~1980	deSi,deP (LD)	deC・Cr-addition (LD-OB)	VOD
1980~	deSi,deS,deP in ladle (SIDP)	deC・Cr-addition (LD-OB)	VOD
1983~	deSi,deS,deP in TPC (TDS)	deC・Cr-addition (LD-OB)	VOD-CAB
1995~	deSi,deS,deP in TPC (TDS)	deC・Cr-addition (LD-OB)	REDA/VOD-CAB
1994~	deSi,deS,deP in TPC (TDS)	deC・Cr-addition (YES+LD-OB)	REDA/VOD-CAB

図7 八幡製鐵所におけるステンレス鋼精錬技術の変遷
Transition of stainless steel refining technology at Yawata Works

Main specifications of furnace	Type
	Three-phase AC
Heat size	90 t/ch
Stirring	Bottom blowing gas stirring
Capacity of Transformer	90 MVA
Electrode size	24 inch
Type of Tapping	Gutter pouring
Auxiliary burner	O2-COg burner

図8 合金鉄溶解炉
Iron alloy melting furnace

サイト系ステンレス鋼であり、その大半が高純フェライト系ステンレス鋼と呼ばれる極低炭低窒素鋼である。ステンレス鋼製造は、コスト的に有利な高炉溶銑を用いた溶銑予備処理技術と高純化技術の確立を中心に、高効率な製造プロセスへの変革を図ってきた。

溶銑予備処理は、取鍋での脱珪，ソーダ灰インジェクション脱磷法(以下、SIDP法:Soda Injection Dephosphorization)を開発し、普通鋼に先立ってステンレス鋼製造で実機化した⁴²⁾。しかし、ナトリウム含有スラグ処理課題や設備の腐蝕課題等により、TDS法による溶銑脱Pプロセスを確立した。

一次精錬では、N鋼へのステンレス鋼製造において、上底吹転炉でのステンレス鋼精錬法を開発し、より効率的な製造技術を確立した⁴³⁻⁴⁷⁾。ステンレス鋼製造のポイントは、製造コストを大きく左右するクロム原料を含む主原料の選定である。そのため、クロム原料自由度向上技術として、クロム鉱石溶融還元法も開発した⁴⁸⁻⁵³⁾が、投資面、環境負荷面から実機化は断念し、フェロクロム合金の転炉炉上連続投入法による高効率操業を指向した。更にフェロクロム合金の海外調達化、クロム含有屑リサイクルを目的に、図8に示す合金鉄溶解プロセス(以下、YES: Yawata Environment-friendly Smelter)を導入し⁵⁴⁾、環境調和型の循環システムを構築した⁵⁵⁾。

二次精錬では、ステンレス鋼精錬特有となる減圧(低CO分圧)下での吹酸処理の高効率化がポイントである。

そのため、VOD設備のN鋼導入⁵⁶⁾以降、吹酸ランスの水酸化、高速脱炭技術による転炉との脱炭負荷配分最適化⁵⁷⁾、VOD設備のピット化改造⁵⁸⁾、CAB(Capped Argon Bubbling)仕上精錬機能分割化を実施した。更に、高効率真空脱炭特性を有するREDA設備を導入し、VOD/REDAの同時稼働対策により、ステンレス鋼生産能力の上方弾力性を確保した。また、製造プロセスの変革と並行して、耐火物材質、補修技術の改善、発生物リサイクル技術の確立等も行った。

以上述べてきた通り、八幡精錬工程では、自動車用鋼板(IF: Interstitial Free 鋼)、ぶりき、電磁、高炭素鋼、軌条、形鋼など多品種を高効率に溶製する普通鋼プロセスと、特殊鋼であるステンレス鋼を溶製するプロセスを確立し、現在に至っている。

3.2 分塊工程の終焉

八幡製鐵所における分塊工程休止に向けての起点は、1980年代より10年程遡る。その時代は鉄源部門の八幡地区から戸畑地区への集約にあわせ、八幡製鐵所としては初めてのスラブ連铸機(N-CC, 1970年稼働)およびブルーム連铸機(C-BL-CC 1977年稼働)が相次いで生産を開始し、老朽化した八幡地区の分塊工場を随時合理化していった時代である。1975年当時、5つの分塊工場(八幡地区の3工場、戸畑地区の2工場)は、1980年には3つの工場になり、さらに1984年には八幡6分塊工場および戸畑2分塊工場が設備の老朽化・エネルギー問題等により休止し、残るは戸畑1分塊工場のみとなった。この節では分塊圧延工程が終焉に至る変遷を踏まえ、分塊圧延技術が残した生産設備、製造方法について述べる(図9)。

(1) インゴット圧延技術

インゴット材は、全て連铸化することで分塊圧延工程を省略していった。受託圧延である普通鋼インゴット材はT-ICCでの受託鑄造に切り替えるため、溶鋼を輸送するN

Material before processing	Material after processing	Steel grades & Distinctions	year				
			1975	1980	1985	1990	1995
Ingot	Slab	Steel for HOT Strip Mill					
		Steel for Plate Mill					
		Titanium					
	Bloom	Steel for rail & shape					
Strainless steel for SML							
Steel for Hikari Works							
Slab & Bloom of CC	Slab	Steel for HOT Strip Mill					
		Strainless steel for Hot					
		High alloyed steel for Plate Mill					
	Bloom	Steel for SML Pipe Mill					
Crude shape steel for Sakai							
Steel for Hikari works							
Slab, Bloom & Billet Making Mill	Billet	Round billet for Hikari works					
		No6 Billet Mill at Yawata Area					
		No7SL&BL Mill at Yawata Area					
		Atsuta Mill at Yawata Area					
Slab, Bloom & Billet Making Mill	Billet	No1SL&BL Mill at Tobata Area					
		No2 Slab Mill at Tobata Area					
		Bloom made by Yawata BL-CC					
		Bloom made by Yawata T-4st and Kimitsu CCM					

図9 圧延品種の経緯
Changes in types of semi-finished casting products for primary rolling

鋼-T鋼間溶鋼輸送線の物流対策を実施した。

尚、このインゴット圧延が無くなる過程において、圧延の余裕時間を歩留向上に変えられないかと言う発想の転換で、片パス圧延法やダブル片パス圧延法などの特殊圧延法を開発し、分塊圧延歩留を飛躍的に向上させた。中でも主力であったキャップド鋼の分塊歩留は、3%近くも向上したものの¹⁾連鑄化の流れを押し止めることはなかった。

(2) CC-分塊圧延法 (CC ブレークダウン)

当初、スラブミルとして建設された戸畑1分塊工場は、分塊合理化に伴い、多品種、多形状を圧延するスラブ・ブルーム兼用ミルに変貌して行った。1983年4月の小径シームレス工場の立上げに合わせ、T鋼No.4ストランド鑄造の大断面ブルーム(320mm×450mm)を小断面ブルーム(□220mm, □290mm)にサイズブレークダウン(CCブレークダウン)した。また、約40000トン/月の生産を行うべく、1984年1月には復熱炉を建設し³⁾、分塊工程でのCCブレークダウン材の量拡大に対応し、連鑄機の生産性向上に寄与した。

その後、連鑄機による小断面ブルーム鑄造(アズキャスト化技術の確立)と熱間圧延向フェライト系ステンレス鋼へのHCR(Hot Charge Rolling)法の適用により、自所材の分塊圧延は全てなくなり、堺向け大型粗形鋼片(VIII B型)、異形粗形鋼片(Z型)、光向け熱間押出用丸鋼のブレークダウン圧延、チタン材の圧延も他製鐵所への移管により、1995年7月に戸畑1分塊工場は休止し、八幡製鐵所の分塊圧延工程は終焉した。この分塊休止過程で構築したN鋼-T鋼間溶鋼輸送線、HCR法が後の精鍊、連鑄工程の設備集約へ繋がっていくことになる。

3.3 連鑄工程の機能分化と生産集約

1979年T鋼の建設に同期して1レードル-2ストラ

ンドのT-1CCスラブ連鑄機が稼働し^{59,60)}、3年後の1982年に2基の1レードル多条スラブ・ブルーム兼用であるT-2CC No.3ストランドとNo.4ストランド連鑄機が稼働した⁶¹⁾。その後T-1CCのストランド分離や垂直曲げ化等の改造等を行い、No.1ストランドからNo.4ストランドの4機の特徴を持ったシングルストランド連鑄機を用いて(表1)、汎用鋼から、高級ぶりき、自動車用鋼板等の薄板高級鋼、電磁鋼、ステンレス鋼、高炭素鋼等のスラブ材、軌条、形鋼、鋼矢板等のブルーム材を製造している。このように、生産性や品質、コスト等から見て最適な連鑄機で製造する事により競争力を強化している。これらを可能にしている鑄造技術を1)特殊鋼鑄造技術、2)普通鋼鑄造技術、3)ブルーム鑄造技術の観点から、それらの変遷を踏まえながら述べる。

(1) 特殊鋼鑄造技術 (No.1ストランド)

No.1ストランドは、ステンレス鋼、高炭素鋼(いずれもスラブ)さらに13%Crシームレス鋼管(ブルーム)まで製造可能な特殊鋼鑄造用連鑄機である。この連鑄機は2ストランドマシンであった旧T-1CCをストランド分離し、約40m程度移動した位置にスラブ・ブルーム兼用連鑄機として新しく移設、改造したものである。従来、ステンレス鋼や高炭素鋼等は、等軸晶組織の形成、内部割れ及び非金属介在物対策として、N鋼に建設したソ連式の垂直型2ストランドスラブ連鑄機(N-CC)による極低速鑄造で製造を行っていたが、品種に対応した鑄造・設備技術の導入により、No.1ストランド連鑄機での製造を可能とし、生産性を飛躍的に向上させた。これらの鑄造および設備技術を図10に示す⁶²⁾。

設備技術として、350トンと160トンの異なる容量の溶鋼鍋を搭載可能なレードルターレットを採用している。これによりステンレス鋼は160トンの溶鋼鍋で、普通鋼は

表1 連鑄機主仕様
Main specifications of continuous casters

	No.1 strand	No.2 strand	No.3 strand	No.4 strand
Type	Slab (single) Bloom (triple) Curved	Slab (single) VB	Slab (single) VB	Slab (single,twin) Bloom (triple) Curved
Strand	1	1	1	1
Heat size (ton)	160, 350	350	350	350
Casting size (mm)	250 × 650-1650 290 × 1900 □ 220, □ 290	250 × 650-1900	250 × 960-1650	250 × 960-1800 200 × 480, 640 320 × 380
Bending radius (m)	10.5	7.55	7.73	10.5
Vertical length (m)	—	2.5	2.5	—
Machine length (m)	30.7	38.7	31.7	30.4
Tundish capacity (ton)	30	30	23	23
Tundish heater	Plasma heater	—	Induction heater	Induction heater
EMS	M-EMS S-EMS	M-EMS S-EMS	M-EMS	S-EMS

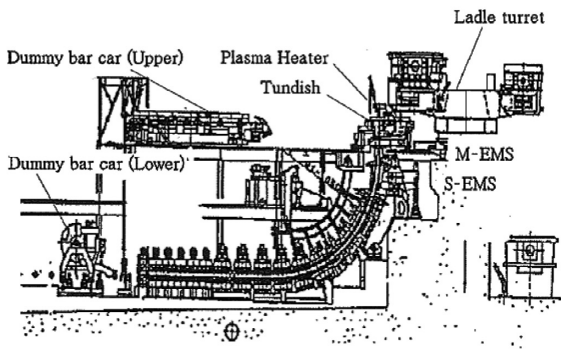


図10 No. 1 ストランドの設備技術
Key technologies in No.1 strand caster

350トンの溶鋼鍋で供給している。次に、シングルスラブ
 鋳造及びトリプレットブルーム鋳造を可能とするため、タ
 ンディッシュ (TD) 形状、スプレーノズル配置、ダミー
 バー上方及び下方挿入設備を装備する等の効率的な設計を
 行った。また、ステンレス鋼や高炭素鋼スラブの鋳造対策
 として、鋳型内およびストランド内電磁攪拌装置、内部割
 れ対策としての小径分割ロールによるロールピッチ短縮
 化、長時間安定鋳造を可能とするTDプラズマ加熱装置導
 入等々を実施した⁶³⁾。

更に、上記の技術に加え、No. 4 ストランド連鋳機で確
 立した軽圧下技術を用いて□220mm小断面13%Crシーム
 レス鋼管用ブルーム材の偏析やセンターポロシティを大
 幅に改善させ、分塊でのブレイクダウンを省略するアズ
 キャスト化技術を確立した⁶⁴⁾。尚、この13%Crシームレ
 ス鋼管材は、2001年のシームレス鋼管生産休止により現
 在は製造していない。

これらにより、垂直型のN-CCに最後まで残ったステ
 ンレス鋼、高炭素鋼はNo. 1ストランドへ移管され、N-CC
 は2006年3月に休止した。

(2) 普通鋼鋳造技術 (No. 2ストランド, No. 3スト
 ランド)

No. 2ストランドは、現在の熱間圧延工場(1982年稼働)
 とローラーテーブルで連結され、連鋳機から出片された高
 温鋳片を加熱炉に装入するHCR操業を前提とした設備配
 置となっている。1982年頃から低炭素アルミニウムキ
 ルド鋼や電磁鋼のHCRを実現し、その後熱間圧延工場とT-
 ICCをスラブ高速台車によって連結した遠隔地DR (Direct
 Rolling) 設備を導入し、スラブ直送圧延技術にまで発展さ
 せていった⁶⁵⁾。

特に、電磁鋼の3%Si鋼については、普通鋼よりも固液
 共存領域が広く内部割れが発生し易いため、二次冷却パ
 ターンの最適化が進められ、1.5~1.7m/minの高速鋳造技
 術を確立した⁶⁶⁾。

また、高速鋳造安定化対策として、ニューロコンピュー
 ターを活用したブレイクアウト (BO) 予知技術⁶⁷⁾、オート

チューニング機能を持つ湯面制御技術⁶⁸⁾、エキスパートシ
 ステム等の導入による1基の連鋳機を4名で稼働させる省
 力化技術^{66,69)}等々の技術を確立してきた。そして、上記開
 発した数々の高生産かつ安定生産の技術を基に、2005年ス
 トランド分割後のNo. 2ストランド連鋳機に対し、品質対
 応力を強化すべく鋳型内電磁攪拌、垂直部長さ2.5mを有
 する垂直曲げ型連鋳機への抜本的な改造が図られ、汎用鋼
 から高級ぶりき、自動車用鋼板等の高級薄板鋼まで、更に
 電磁鋼、高炭素鋼等の多品種の鋳造を行えるシングルスト
 ランドのスラブ専用連鋳機への変貌を遂げている。

一方、No. 3ストランドは、ツインスラブ及びトリプ
 レットブルームの兼用連鋳機として1982年にスタートし
 たものの、その後の高浄化ニーズに対応すべく、垂直部
 長さの検討を踏まえ⁷⁰⁾1991年に垂直曲げ型連鋳機に改造
 し、高級ぶりき、自動車用鋼板等の高級薄板鋼を中心に製
 造している^{71,72)}。その後、本連鋳機に鋳型内電磁攪拌装置
 および図11に示す誘導加熱タンディッシュを導入し、最適
 な鋳造温度のもとで非金属介在物を浮上分離する技術を確
 立している^{73,74)}。図12に誘導加熱タンディッシュ導入前
 後のタンディッシュ内溶鋼温度分布を示す⁷⁵⁾。

これら対策以外にも、共通の溶鋼浄化対策として、取
 鍋スラグ検知技術、取鍋詰物の無害化技術⁷⁶⁾、TDシール
 技術、鋳型内浸漬ノズル周辺のボイル対策としての一体型
 浸漬ノズルによるストッパー制御技術⁷⁷⁾、更に鋳型内での

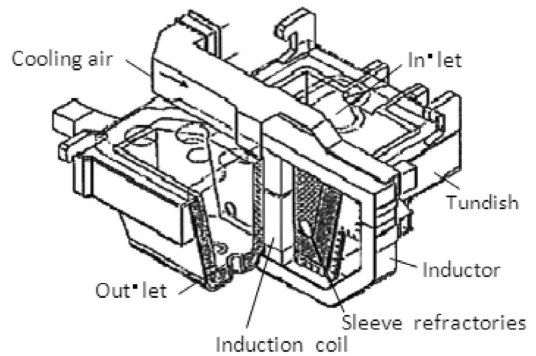


図11 誘導加熱タンディッシュ
Tundish with induction heater

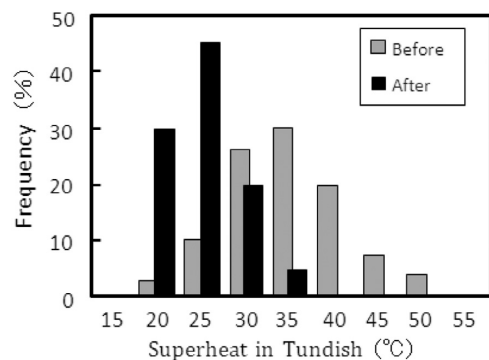


図12 導入前後のタンディッシュ内溶鋼温度分布
Temperature drop in tundish with and without induction heating

パウダー巻き込み防止技術^{78,79)}等々を適用し、高潔度を要求される高級薄板鋼の製造を可能にしている。

(3) ブルーム鑄造技術 (No. 4 ストランド)

No. 4 ストランドは、1983年にスラブ・ブルーム兼用連鑄機として建設され、ワン・ペアのロールで多様なサイズの鑄片をシングル、ツイン、更にトリプレットで鑄造できるスラブ・ブルーム兼用機である。鑄造サイズの型替えは、天井クレーンを用いモールドとその下方のサポートロール部分を一括で交換できる構造であり、スラブ、ブルームの生産量に応じた効率的な生産が行えるようになっている⁶¹⁾。図13にその概念図を示す。

建設当初のトリプレットブルームの鑄造サイズは320mm×450mmの大断面を採用し、その鑄片を分塊工場でサイズブレイクダウンしてシームレス鋼管等に供給していた。ブルーム材の偏析やセンターポロシティ対策として、二次冷却帯上部での電磁攪拌装置適用による等軸晶確保や水平部における軽圧下技術を開発し⁸⁰⁾、高炭素鋼である軌条、鋼矢板等の大断面ブルームの安定製造技術を確立した。

その後、大断面ブルームのサイズブレイクダウンを省略する220mmのアズキャスト(1ヒート)化鑄造技術を確立し、効率的なブルーム生産体制を構築した。特に、この小断面化に伴う1ヒートあたり3時間を超える長時間鑄造対策として、誘導加熱タンディッシュ(IH-TD)の導入及び高速鑄造技術等を開発し、安定した製造技術を確立した。図14には小断面トリプレット鑄造時の鑄造時間とTD内

溶鋼温度、加熱電力の推移^{74,75)}を示す。

これによりC鋼の小断面ブルーム専用連鑄機(C-BL-CC)を1992年7月に休止し、唯一残っていた分塊工場の休止に向けた一つの課題をクリアすることにもつながった。

尚、前述したようにシームレス鋼管材は、2001年の生産休止により、現在では製造していないが、これらブルーム鑄造技術は現在のブルーム製造技術を支えている。

4. 結 言

以上のように、八幡製鐵所製鋼工程における最近30年の変遷とそれを支えた製造技術について述べてきた。今後も、日々激しさを増す市場ニーズに果敢に挑戦し、進化発展を続けていく。

参考文献

- 1) 八幡製鐵所八十年史 部門史. 上巻. 1980
- 2) 西野 靖 ほか:鉄と鋼. 66, S249 (1980)
- 3) 世紀を超えて—八幡製鐵所の百年—. 2001
- 4) 山下幸介 ほか:鉄と鋼. 71, S197 (1985)
- 5) 佐藤宣雄 ほか:鉄と鋼. 69, S958 (1983)
- 6) 迫村良一 ほか:鉄と鋼. 72, S208 (1986)
- 7) 古田仁司 ほか:材料とプロセス. 4, 47 (1991)
- 8) 古田仁司 ほか:材料とプロセス. 4, 1151 (1991)
- 9) 笹川真司 ほか:材料とプロセス. 9, 223 (1996)
- 10) 和田敏之 ほか:材料とプロセス. 16, 1063 (2003)
- 11) 吉田和道 ほか:材料とプロセス. 16, 1062 (2003)
- 12) 大河平和男 ほか:鉄と鋼. 66, S233 (1980)
- 13) 佐藤宣雄 ほか:鉄と鋼. 66, S234 (1980)
- 14) 樋口満雄 ほか:鉄と鋼. 66, S882 (1980)
- 15) 大河平和男 ほか:鉄と鋼. 66, S883 (1980)
- 16) 樋口満雄 ほか:鉄と鋼. 67, S864 (1981)
- 17) 山浦健司 ほか:鉄と鋼. 67, S879 (1981)
- 18) 遠藤公一:新日鉄技報. 351, 3 (1994)
- 19) 村上昌三 ほか:鉄と鋼. 66, S235 (1980)
- 20) 村上昌三 ほか:鉄と鋼. 67, S10 (1981)
- 21) 青木裕幸 ほか:鉄と鋼. 67, S874 (1981)
- 22) 沖森真弓 ほか:鉄と鋼. 67, S875 (1981)
- 23) 大河平和男 ほか:鉄と鋼. 68, A37 (1982)
- 24) 迫村良一 ほか:鉄と鋼. 71, S145 (1985)
- 25) 平嶋直樹 ほか:鉄と鋼. 72, S178 (1986)
- 26) 青木裕幸 ほか:鉄と鋼. 66, S765 (1980)
- 27) 宮本浩一 ほか:鉄と鋼. 72, S1046 (1986)
- 28) 平嶋直樹 ほか:材料とプロセス. 2, 1085 (1989)
- 29) 日本鉄鋼協会共同研究会第123回製鋼部会. 2000, 私信
- 30) 原口 博 ほか:鉄と鋼. 61, S135 (1975)
- 31) 青木裕幸 ほか:鉄と鋼. 71, S1086 (1985)
- 32) 笹川正智 ほか:鉄と鋼. 72, S244 (1986)
- 33) 佐々木健一 ほか:鉄と鋼. 72, S1100 (1986)

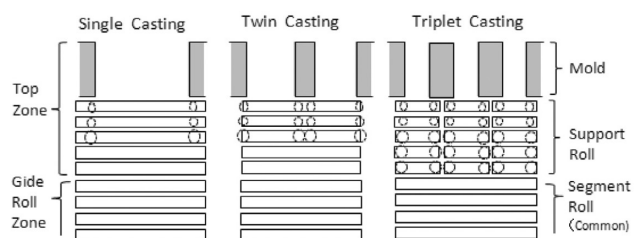


図13 スラブ・ブルーム兼用鑄造機の鑄型構造
Structure of mold for slab and bloom caster

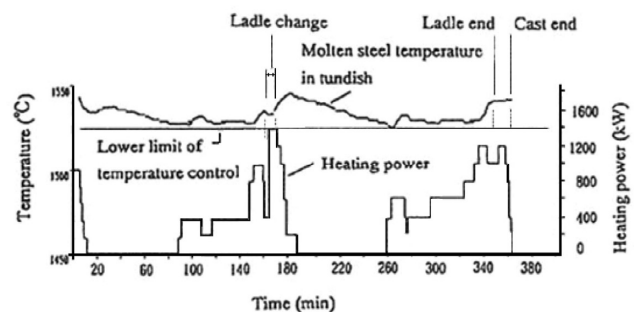


図14 小断面トリプレット鑄造時の鑄造時間, TD内溶鋼温度および加熱電力の推移
Changes in temperature and heating power in tundish during triplet casting of small size bloom

- 34) 半澤和文 ほか:材料とプロセス. 1, 233 (1988)
 35) 武田欣明 ほか:鉄と鋼. 66, S250 (1980)
 36) 川西晴之 ほか:鉄と鋼. 70, S978 (1984)
 37) 沖森麻佑巳:鉄と鋼. 79, 1-9 (1992)
 38) 宮本健一郎 ほか:材料とプロセス. 11, 756 (1998)
 39) 古田仁司 ほか:材料とプロセス. 11, 757 (1998)
 40) 藤原邦彦 ほか:材料とプロセス. 11, 758 (1998)
 41) 日本鉄鋼協会共同研究会第119回製鋼部会. 1998, 私信
 42) 鹿子木公春 ほか:鉄と鋼. 69, S143 (1980)
 43) 青木裕幸 ほか:鉄と鋼. 70, S1017 (1984)
 44) 北村信也 ほか:鉄と鋼. 70, S1018 (1984)
 45) 北村信也 ほか:鉄と鋼. 70, S1019 (1984)
 46) 北村信也 ほか:鉄と鋼. 71, S181 (1985)
 47) 青木裕幸 ほか:鉄と鋼. 71, S182 (1985)
 48) 新井貴士 ほか:鉄と鋼. 71, S927 (1985)
 49) 平田 浩 ほか:鉄と鋼. 73, S874 (1987)
 50) 新井貴士 ほか:鉄と鋼. 73, S875 (1987)
 51) 北村信也 ほか:鉄と鋼. 73, S876 (1987)
 52) 宮本浩一 ほか:材料とプロセス. 1, 1079 (1988)
 53) 平田 浩 ほか:材料とプロセス. 1, 1080 (1988)
 54) 日本鉄鋼協会共同研究会第131回特殊鋼部会. 2011, 私信
 55) 日本鉄鋼連盟 技術・環境本部 地球環境グループ:地球温暖化対策における高炉・電炉業の役割について. 日本鉄鋼連盟パンフレット, 2010
 56) 松崎秀生 ほか:鉄と鋼. 66, S837 (1980)
 57) 菅野浩至 ほか:材料とプロセス. 5, 278 (1992)
 58) 大西憲二 ほか:材料とプロセス. 18, 1019 (2005)
 59) 原淵孝司 ほか:鉄と鋼. 66 (4), S251 (1980)
 60) 草野昭彦 ほか:鉄と鋼. 67 (4), S169 (1981)
 61) 武居博道 ほか:鉄と鋼. 69 (12), S982 (1983)
 62) 福永新一 ほか:材料とプロセス. 13 (4), 947 (2000)
 63) 三村義人 ほか:材料とプロセス. 13 (4), 948 (2000)
 64) 田中和久 ほか:材料とプロセス. 13 (4), 940 (2000)
 65) 森玉直徳 ほか:鉄と鋼. 74 (7), 1227-1234 (1988)
 66) 沖森麻佑巳:新日鉄技報. (361), 67-75 (1996)
 67) 鎌田憲幸 ほか:材料とプロセス. 3 (15), 1248 (1990)
 68) 稲田知光 ほか:材料とプロセス. 7 (1), 333 (1994)
 69) 浜口千代勝 ほか:材料とプロセス. 5 (5), 1388 (1992)
 70) 田中宏幸 ほか:鉄と鋼. 78 (9), 1464-1471 (1992)
 71) 西原良治 ほか:材料とプロセス. 5 (4), 1342 (1992)
 72) 小西淳平 ほか:材料とプロセス. 5 (4), 1343 (1992)
 73) 三浦龍介 ほか:材料とプロセス. 6 (4), 1156 (1993)
 74) 三浦龍介 ほか:鉄と鋼. 81, T30-T33 (1995)
 75) 日本鉄鋼協会共同研究会第109回製鋼部会. 1993, 私信
 76) 田中宏幸 ほか:鉄と鋼. 78 (11), T201-T204 (1992)
 77) 北川逸朗 ほか:材料とプロセス. 4 (1), 47 (1991)
 78) 草野昭彦 ほか:鉄と鋼. 86 (5), 315-322 (2000)
 79) 草野昭彦 ほか:鉄と鋼. 86 (5), 323-328 (2000)
 80) 沖森麻佑巳 ほか:鉄と鋼. 80 (8), T120-T123 (1994)



楠伸太郎 Shintaro KUSUNOKI
 八幡製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ
 グループリーダー
 福岡県北九州市戸畑区飛幡町1-1 〒804-8501



坂上仁志 Hitoshi SAKAGAMI
 八幡製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ
 マネジャー



西原良治 Ryoji NISHIHARA
 八幡製鐵所 製鋼部 マネジャー



福永新一 Shinichi FUKUNAGA
 八幡製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ
 マネジャー



加藤勝彦 Katsuhiko KATO
 八幡製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ
 マネジャー



平嶋直樹 Naoki HIRASHIMA
 八幡製鐵所 製鋼部長