

## 製鋼技術の進展と今後の展望

## Progress and Future Prospect of the Steelmaking Technology

曾根 英彰\*  
Hideaki SONE加藤 雄一郎  
Yuichiro KATO熊倉 誠治  
Seiji KUMAKURA

## 抄 録

製鋼工程の課題として、国際的コスト競争力の確保、変動する鉄鋼需要への対応、ハイエンド鋼材の安定生産への取り組みに加え、精錬工程では製鋼スラグの系外排出量削減や炭酸ガス発生削減、集塵強化等の環境調和課題への取り組み、そして連続 casting 工程では難製造材を含めた铸片の高品位かつ高い生産性での作り込みへの取り組みを推進すべく技術開発を推進してきた。製鋼技術のこれまでの取り組みの概要、各工程におけるプロセス技術開発状況や操業改善状況を概説し、今後の展望について述べた。

## Abstract

The development of steelmaking technologies has been prompted continuously for dealing with the facing severe conditions such as the global competition, the fluctuating demands of the steel products and the requirement to stable production of the high grade steels. Additionally, in refining process, several environmental issues have been worked on, for example, reducing the amount of slag disposal, reducing carbon-dioxide emission and reducing the dust included in exhaust gas. On the other hand, in continuous casting process, improving the manufacturing technique of high grade steels with high productivity has been struggled. In this paper, an outline of our development of the process technologies and improvement of the operation is written, and then the future prospect is described.

## 1. 緒 言

前回の新日鉄技報(2012年)<sup>1,2)</sup>に精錬技術及び連続 casting (以下、連铸またはCCと略す)技術の進歩と展望が掲載されて7年が経過し、鉄鋼業を取り巻く環境は大きく変化した。世界の粗鋼生産量は拡大し、中国では自国内の汎用鋼を中心とした旺盛な需要を背景に年々増加し9億tを超え、またインドでも1億tを超えて2018年には日本を抜き世界第2位となるまでに至っている<sup>3)</sup>。こうした、生産規模の拡大した諸外国の新興ミルとの競争の中、製造コスト低減の必要性は益々高まっている。また、顧客の鋼材に対する要求特性は、自動車分野では環境規制強化に伴う軽量化のため高強度鋼(以下、ハイテンと略す)化ニーズが高まり<sup>4)</sup>、また厚板分野でも構造物の巨大化や複雑化、劣悪環境への対応のため、高張力鋼(以下、ハイテンと略す)化に加え低温靱性や極厚化のニーズが高まる<sup>5)</sup>など、高度化が進んでいる。

こうした経営環境の変化を背景に、2012年に旧新日本製

鉄(株)と旧住友金属工業(株)とが統合し、新日鐵住金(株)が発足した(2019年に日本製鉄(株)に商号変更)。以降、それぞれにおいて培った製造ノウハウを集結し展開することが可能となり、各所の製鋼部のみならず、製鋼研究部や箇所技術研究部の製鋼研究グループも加わった全社横断的な活動により、技術開発を継続している。本報では、そうした統合シナジー効果も含めた技術の変遷について述べる。

## 2. 精錬技術の変遷

精錬工程においては、先に述べた製品のハイエンド化に加え、原料劣質化に伴う溶銑中不純物元素の増加も相まって精錬負荷が増大しているため、スラグの発生量増加を抑制しつつ、高級鋼を高効率かつ安定的、そして安価に製造する技術開発が進められてきた。以下に、この精錬技術の変遷と今後の展望について述べる。

## 2.1 精錬工程における課題への対応

近年における精錬工程の開発の方向性としては以下の4

\* 製鋼技術部 製鋼技術室 主幹 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

点である。①溶銑予備処理プロセスの見直しを行い、4工程分離（溶銑脱珪工程、溶銑脱硫工程、溶銑脱磷工程、脱炭工程の分離）の徹底、各工程の効率向上による副原料系コストの削減、スラグ排出量の削減。②主原料自由度向上を実現しながら熱的裕度を向上させ上記溶銑予備処理比率を高位に維持すること。③ハイエンド鋼種の安定供給として近年のハイテン化、高加工性、高靱性化などの要求に応えること。④高生産構造を維持しながら炭酸ガス排出抑制に寄与する省エネルギー化や、建屋からの発塵防止等の環境対策を推進すること。

これらの課題に取り組み、脱磷工程については転炉型溶銑脱磷プロセスに収斂し、二次精錬については各品種の要請に応じた脱ガス能力の確保や、不純物及び非金属介在物（以下、介在物と略す）低減プロセス開発を実施してきた。加えて、新日鐵住金発足後は、互いの技術を導入し合うことで統合シナジー効果を生み出してきた。以下に、これらの視点で各技術の変遷について述べる。表1に近年の精錬技術の変遷について示す。

## 2.2 精錬機能分担の進歩

### 2.2.1 概要

日本製鉄においては、トピードカー（以下、TPCと略す）、溶銑鍋、転炉を精錬容器として利用し、脱炭処理の前に溶銑段階で脱珪、脱硫、脱磷を行う溶銑予備処理による分割精錬プロセスを1980年代までに確立した<sup>6)</sup>。その後、溶銑

脱硫工程分離、溶銑脱磷・脱炭工程分離、反応容器としての転炉を用いたふっ素を使用しない脱磷プロセスの開発、各工程における反応効率の向上、スラグリサイクル利用、溶銑Siが高い場合の調整脱珪、転炉における脱磷処理を実施する場合の転炉能力向上等の課題に取り組んできた。

### 2.2.2 溶銑脱硫工程

脱硫は還元反応であり、脱磷処理時の酸化性雰囲気における脱硫では効率が低下するため、精錬効率向上の点から、酸化精錬である溶銑脱磷とは工程を分離している。

脱硫法としては、高い脱硫能を持つCaO-Mg系フラックスのインジェクション法<sup>7)</sup>及び精錬効率の高い機械攪拌方式のKR (Kanbara Reactor) 法<sup>8)</sup>を有しており、現在、日本製鉄の製鋼工場では、箇所の設備基盤状況に応じ2種類の溶銑脱硫方式から何れかを選択し実機化している。また、Al添加による溶銑脱硫反応の促進効果<sup>9)</sup>を活用し、インジェクション法においては、Mgよりも安価なAlを用いたCaO-Al系フラックスによる脱硫も採用し、要求されるS規格に応じた使い分けも行っている。

脱硫工程を分離した結果、溶銑払い出し後直ちに高温条件にて溶銑鍋における脱硫を実施することが可能となり、脱硫効率が向上した。また、分離回収された脱硫スラグの焼結工程リサイクルが可能となり、一部の箇所を除き実行している。

表1 精錬工程の課題と取り組み状況  
Themes of refining processes and the solutions

A.D.	Special mentions on the subjects					Special mentions on the processes			
	Raw materials	Heat recovery	Production	Energy saving	Environment	De[S]	De[P]	De[C]	Secondly refining
1990									
2000									
2010									
2012									
2020									

### 2.2.3 溶銑脱磷・脱炭工程分離

従来の TPC や溶銑鍋を反応容器として使用した溶銑予備処理法は、低磷低硫鋼種の安定製造を可能にした反面、転炉脱炭工程における熱的裕度を奪い、スクラップ使用量に制約を受けていた<sup>6)</sup>。そのため、反応容器としてフリーボードが大きく強撈拌下で気体酸素を用いた高速脱磷精錬が可能であると共に、スクラップ溶解能力も高い、転炉を用いた脱磷処理法が箇所既設設備のローカリティに応じて開発され、各所に導入されている。

1つは、名古屋製鉄所製鋼工場で1989年にいち早く導入された転炉方式予備処理；LD-ORP (LD-Optimized Refining Process) 方式<sup>10,11)</sup>である。この方式は、溶銑脱磷処理用転炉に溶銑を装入して、TPC にはない大きなフリーボードを利用し、主に気体酸素を使って脱磷・脱磷精錬を行った後スラグカットし、その後、別の脱炭用転炉に移し替えて再度脱炭精錬をするという方式となっている。溶銑移し替えを伴うが、CaO 削減や歩留向上、転炉の安定高速処理が可能であり、名古屋製鉄所での実施に加えて、君津製鉄所、八幡製鉄所及び室蘭製鉄所でも極低磷鋼の精錬用に活用されている (図1<sup>12)</sup>)。

また、もう1つの方法として、1基の転炉で脱磷吹錬と脱炭吹錬とを中間排滓を介して連続して行う MURC (Multi-Refining Converter) 法を開発した<sup>13-15)</sup>。本プロセスは、転炉の持つ強撈拌と高速送酸機能を利用して高酸素ポテンシャル下で効率的な低 CaO/SiO<sub>2</sub> (以下、塩基度と記す) にて脱磷を行うと共に、脱炭スラグは炉内に残したまま次チャージの脱磷精錬を行うため、最小限の熱ロスで向流精錬が可能となり、スラグ量も大幅に低減可能である (図1<sup>12)</sup>)。

しかしながら、同一転炉で脱磷処理と脱炭処理とを連続して行うため処理時間が延長し、量産工場に適用するには MURC 処理時間の短縮が必須であったが、現状では1サイクルを35~37分程度で実施するレベルまで実力が向上している。また、この方式は、一般鋼 (極低磷鋼を除く) 精

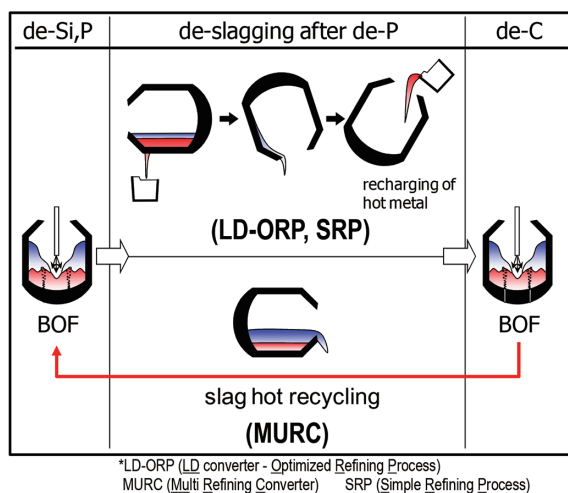
錬には CaO 削減、スラグ削減、熱的裕度活用などにおいて非常に効率的な製造方法であり、室蘭製鉄所で開発した後、大分製鉄所、君津製鉄所、八幡製鉄所などで広く適用されている。さらに、旧新日本製鐵と旧住友金属工業との統合後はシナジー効果として鹿島製鉄所第2製鋼工場にも MURC の適用が決定し導入中である。

なお、鹿島製鉄所第1製鋼工場及び和歌山製鉄所、八幡製鉄所小倉地区にて適用されている SRP (Simple Refining Process) 法<sup>16)</sup>は LD-ORP とプロセスフロー自体は同じであるが、高圧ガス設備を伴う SA (Single Annular) 羽口を用いた、非常に強い底吹き撈拌による高効率脱磷を特徴としている。

2000年代に入り、土壤環境基準にふっ素規制が適用され、ふっ素を使用しない脱磷プロセスの開発を推進した。TPC や溶銑鍋等の従来の反応容器においては、容器容量の制約から低スラグ量、高塩基度でふっ素に頼る溶銑脱磷処理が必要であり、ふっ素を使用しない場合、脱磷効率が著しく低下した。このため容積の大きな転炉において高スラグ量、低塩基度においてスラグを溶解した条件で、ふっ素を使用せず脱磷を行うことを特長とする転炉型溶銑脱磷処理を拡大してきた。

このように、転炉の長所を活用した予備処理が1990年代から急速に発達してきた結果、TPC や溶銑鍋を使った溶銑脱磷処理方法に代わって、転炉を用いた LD-ORP 法、SRP 法及び MURC 法の3つが予備処理の主流となっている。

新日鐵住金発足後の溶銑予備処比率は鹿島製鉄所第2製鋼工場にて予備処理が行われていなかったこともあり、全社で80%程度であったが、鹿島製鉄所第2製鋼工場で導入中の MURC フルアップ後は95%レベルまで拡大する。今後は、引き続き全社100%溶銑予備処理化を目指し、転炉脱磷処理の高効率化に取り組むと共に、脱磷反応の高効率化を指向して更なる精錬効率化を目指す。



\*LD-ORP (LD converter - Optimized Refining Process)  
 MURC (Multi Refining Converter) SRP (Simple Refining Process)

図1 転炉型溶銑脱磷処理プロセス<sup>12)</sup>

Converter type hot metal dephosphorization processes

### 2.2.4 溶銑脱珪工程

高炉溶銑中の珪素濃度の上昇は製鋼の CaO 使用量増大やそれに伴う排出スラグ量の増大を伴い、環境負荷への影響が大きい。TPC や溶銑鍋における脱磷では容器容量制約から低スラグ量が必要であり、事前脱珪処理により珪素を極小化し、脱珪スラグを除去した後に高塩基度・高融点条件でふっ素を使用した脱磷精錬を行っていた<sup>17)</sup>。前述のように転炉型溶銑脱磷処理を採用した場合は、大きな反応容器を活用し比較的低塩基・低融点条件で、ふっ素レスでの脱珪、脱磷吹錬が可能である。このため溶銑 Si を極小化する必要はなく脱磷に必要な適正 Si 値が存在する。そこで、この Si 値を超える溶銑 Si の場合に事前脱珪を実施することとしている。近年は図2に示すように高炉出銑珪素の上昇に伴い、脱珪能力が不足している状態であり、製鋼スラ



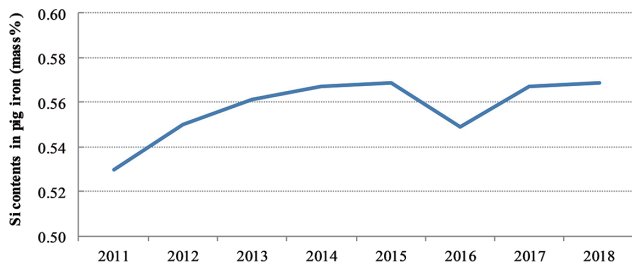


図2 高炉出銑珪素の推移  
Transition of Si contents in pig iron

Works	Separation of the 4 refining processes			
	De[Si]	De[S]	De[P]	De[C]
Muroran	Torpedo	Torpedo (De[S] in LF)	Converter LD-ORP MURC	Converter
Kashima	Ladle (in charging)	Ladle KR	Converter SRP MURC	Converter
Kimitsu	Torpedo	Ladle KR Partially Torpedo	Converter LD-ORP MURC	Converter
Nagoya	Torpedo 2018-	Converter Desulfurization Furnace	Converter LD-ORP	Converter
Wakayama	Ladle (in charging)	Ladle KR	Converter SRP	Converter
Yawata (Kokura)		Ladle KR	Converter SRP	Converter
Yawata (Tobata)	Torpedo	Ladle KR Injection	Converter Partially Torpedo MURC	Converter
Oita	Torpedo	Ladle Injection	Converter Partially Ladle MURC	Converter

図3 日本製鉄における精錬反応の分離状況  
Separation of refining processes in Nippon Steel

グ排出量の削減や、溶鋼歩留向上などを目的にこの技術を拡大中である。2018年には名古屋製鉄所にてTPC脱珪設備を立上げ、大分製鉄所でも2020年立上げ予定で、TPC脱珪設備の増設を推進中である。

以上に述べたように、精錬反応の基本4工程である脱珪、脱硫、脱磷、脱炭工程を分離することにより各反応効率を高めると共に、発生するスラグを分別回収、リサイクルすることで更なるコスト削減、スラグ系外排出量削減に取り組んできた。各所の状況を図3に示す。各事業所においては、各既存設備の持つ特長を活かしながら4工程の分離を指向している。

### 2.2.5 スラグリサイクルの推進とスラグ系外排出量削減

脱炭工程で発生する脱炭スラグは、比較的高塩基度であるが高温の転炉吹止条件におけるスラグであり磷酸濃度は低い。これを低温の溶銑脱磷工程において再利用することにより、脱磷工程におけるCaO使用量を削減することが可能でありコスト削減に寄与する。このため、脱炭スラグを分別回収し脱磷工程にリサイクル使用している。MURC法においては、脱炭スラグを炉内固化し次チャージのMURC

法の脱磷工程においてそのまま使用する、スラグホットリサイクルが可能であり、各所で実行されている。さらに脱炭スラグが余剰となる場合には焼結工程へのリサイクルも可能である。脱炭スラグリサイクルは、溶銑脱磷処理の実施による脱磷・脱炭工程分離が前提になる。また、高塩基度スラグの低塩基度処理へのリサイクルによるCaO使用量削減の考え方はTPC脱珪にも適用でき、大分製鉄所などで脱炭スラグのTPC脱珪へのリサイクルが実施されている。

このように日本製鉄では溶銑脱磷処理比率の拡大とこれに伴う脱炭スラグリサイクル、溶銑の調整脱珪によりスラグの系外排出量を削減している。

### 2.2.6 計算モデルを活用した精錬反応解析の推進

精錬反応プロセスは、脱硫、脱磷、脱炭に加えSiやMn、Feの酸化、還元反応が同時に進行する。このプロセスを解析もしくは最適化するために従来から反応計算モデルが考案されてきた。日本製鉄においても競合反応モデル<sup>18)</sup>をベースに総合反応解析モデル(MACSIM)<sup>19)</sup>を開発し操業解析に活用してきた。一方、脱磷反応においてはスラグ中の固相と液相間の磷の分配がスラグ中酸化鉄濃度に影響される<sup>20)</sup>ことから、日本鉄鋼協会の研究会において競合反応モデルをベースに、スラグ中の固相、液相、メタルの3相における物質移動を計算するマルチフェーズ計算モデルが構築された<sup>21,22)</sup>。現在の転炉脱磷操業においては、マルチフェーズスラグ解析の結果に従い、脱磷中期のスラグ中酸化鉄濃度最適化による脱磷率向上を図っている。

また、精錬反応の到達点である平衡状態を計算する熱力学モデルについては、日本製鉄の先端技術研究所を中心にIRSID社との共同で開発が進められた<sup>23,24)</sup>セルモデルをベースとし、これまで蓄積された多数の熱力学データベースを駆使した汎用熱力学計算モデルが使用可能となっており、現場における研究開発の基礎検討に重要な役割を果たしている。しかしながら、いくつかの元素系のデータベースについては、更なる精度向上に向けた開発が期待されている。

さらに、各種プロセスにおける熱及び物質移動についても、精度よく計算できるようになってきた。数値計算によるシミュレーション解析は現在広く用いられ、現場の操業、開発検討に利用されている。後述の転炉吹止における酸素ジェット噴流解析や、転炉への溶銑装入時における発塵とその後の含塵量の定量的解析などに対し、十分な精度で計算が可能となっている。

加えて、近年においては排ガスのCO、CO<sub>2</sub>分析値を解析に取り込むことで脱炭反応速度を求め、脱炭反応速度係数を推定することによって精度を高めた排ガスダイナミックモデルを開発<sup>25)</sup>し、転炉吹止時の溶鋼中炭素濃度の推定精度を向上させている(図4)。

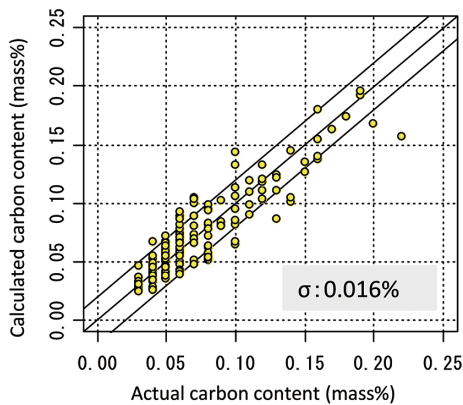


図4 吹止炭素濃度の推定精度  
Accuracy of carbon content estimation

## 2.3 転炉生産性の向上

### 2.3.1 背景

前述のようにふっ素規制導入により転炉における溶銑脱燐処理を志向したため、TPCや溶銑鍋における脱燐処理と比較して、熱的裕度が拡大したことが挙げられる。これにより、HMR (Hot Metal Ratio) を低減しスクラップを使用しながら溶銑脱燐処理を行うことが可能となった。一方で、転炉において脱燐処理を導入することで、転炉の稼働時間を一部脱燐処理に割くこととなり、特にMURC操業の転炉にて生産性が低下した。加えて、2015年度末の君津製鉄所第3高炉休止に伴い、君津製鉄所第1製鋼工場においても2号転炉を休止し転炉2/3基操業から1/2基操業に変化する構造改革があり、特に君津製鉄所において転炉の生産性向上が大きな課題となった。

これらの課題を解決するために、転炉能力を抜本的に向上する必要があり、ヒートサイズアップ、稼働率向上、サイクルタイム短縮の3つの視点で取り組んだ。

### 2.3.2 転炉能力の向上

ヒートサイズアップについては転炉炉体更新に同期した転炉炉容積拡大や、各クレーンの老朽更新に同期した格上げ更新を実行することにより設備基盤を整備し、各鋼を大型化するタイミングで実行してきた。

稼働率向上については、補修材溶射機や吹き付け機等の炉補修装備やスラグブラッシュコーティング設備の導入による炉補修時間の短縮、出鋼孔の迅速な補修装置導入による孔巻き替え時間短縮、専用ランス設置による転炉炉口地金切断の時間短縮等を行うことで、非稼働時間を短縮してきた。

一方、サイクルタイム短縮については、主に脱炭吹錬における送酸速度向上による吹錬時間短縮を志向してきた。溶銑予備処理の適用拡大に伴い、近年では特に吹錬時間短縮のニーズが高まっており、ランスノズル設計や、送酸速度、ランス高さの吹錬パターン改善の重要性が増している。

特に、送酸速度を向上させるとダスト発生量が増加し歩

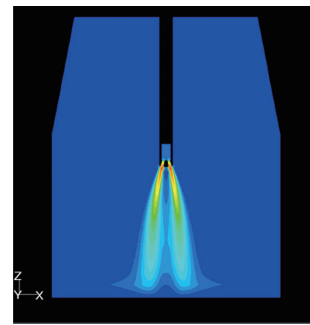


図5 上吹き噴流計算例  
Example of the calculation result of top blown jet

留低下の要因となる。そこで、超音速噴流の膨張特性を利用して浴面における酸素ジェットの動圧を抑制したランスチップ<sup>26,27)</sup>や、ノズルを転炉半径方向だけでなく円周方向にも傾斜させることで動圧のピーク位置や分布をコントロールし、スピitting発生を抑制するランスチップ<sup>28)</sup>の開発を進め、ダスト発生抑制と送酸速度向上を両立させる高速送酸技術を向上させてきた。この開発にあたっては、近年著しく進歩した数値解析技術を用いることで噴流特性を予測しながらランスチップを設計し、開発スピードを速めている(図5)。

### 2.3.3 転炉精錬技術の発展

#### (1) 転炉上吹き技術

転炉上吹きランスは前述の通り、脱炭吹錬においてダスト発生を抑制しながら送酸速度を高める形で技術開発を進めてきたが、一方で、脱燐吹錬においては脱燐反応促進のために微粉生石灰を吹錬用ランスから吹き込むLD-AC (LD-Arbed CNRM) 法を改善して脱燐効率を向上してきた。LD-AC法は脱燐吹錬において高い脱燐促進効果が得られることで知られており<sup>29)</sup>、未設置であった君津製鉄所第1・第2製鋼工場においても脱燐負荷の高い鋼種の易製造化のために、近年導入を完了した。

#### (2) 転炉底吹き攪拌技術

転炉底吹き攪拌の方法については、旧日本製鐵では吹錬用酸素の一部を底吹きするLD-OB (LD-Oxygen Bottom Blowing)、不活性ガスを底吹きするLD-CB (LD-CO<sub>2</sub>-Bottom Bubbling)、媒溶材の粉体を底吹きするLD-PB (LD-Powder Bottom Blowing)の開発を、旧住友金属工業では高圧の不活性ガスを大流量で供給するLD-STB (LD-Sumitomo Top and Bottom Blowing)の開発を1980年代までに終え、技術の特長に合わせて各工場にて採用している<sup>1,16)</sup>。

旧日本製鐵の各所では鋼浴の強攪拌を指向する八幡製鉄所、名古屋製鉄所の脱炭炉、君津製鉄所第2製鋼工場、大分製鉄所にLD-OB法を導入、鋼種制約から高炭吹錬を必要とし底吹きガス流量を吹錬中に低下させる必要のある君津製鉄所第1製鋼工場、室蘭製鉄所にLD-CB法を採用した。広畑製鉄所においては、後述する冷鉄源溶解法の脱

炭炉においてLD-CB法を採用し現在に至っている。名古屋製鉄所のORP炉には脱磷に有利なLD-PB法を活用している<sup>9)</sup>。旧住友金属工業の各所では全ての転炉でLD-STBが採用されているが、前述の通り高圧ガス設備を伴うSA羽口を用いており、大流量の非常に強い攪拌から低流量の弱い攪拌まで流量可変範囲が広いことが特徴となっている。

LD-OB法の底吹きガス流量は現在0.15～0.20Nm<sup>3</sup>/t/min程度であるが、LD-STB法では最大0.35Nm<sup>3</sup>/t/min程度まで流量を上げることができ、強攪拌が必要な場合にはLD-STB法が有利と言える。一方で、LD-OB法においては2重管を用いて、内側に酸素、外側に冷却ガスを供給することで酸素の供給と冷却とを両立しており、羽口の溶損速度が低位となっている。

### (3) センシングによる吹錬精度向上

転炉炉内の情報をセンシングすることにより吹錬精度を向上させるべく開発を行ってきた。溶銑装入後のメタル面を把握するためにマイクロ波レベル計を導入し、短時間でサブランスを使用せずに湯面を測定してランス-湯面間距離の測定頻度を向上させ、吹錬精度を向上させている。

またスラグ面を検知するために音圧レベルを把握するセンサーを設置し、音圧低下を検知してランス先端がスラグに隠れるタイミングを把握することを可能としている。

転炉耐火物の溶損を検出するために導入したレーザープロファイルメータを固定式とし、短時間、高頻度にて測定を実施することで耐火物の局所損耗を把握し補修効率を向上させている。

さらに、前述の通り、既存のセンシング技術である排ガス分析の実測値をダイナミック制御のモデルに取り込む、排ガスダイナミックモデルも開発された。

これらのセンシング技術により、転炉吹錬の安定化、転炉耐火物の安定化、操業トラブルの抑制等の効果を得ている。溶銑脱磷処理による吹錬安定化効果も併せ、転炉炉内における吹錬末期のサブランスによる測温サンプリングをベースとしたダイナミック制御の精度が向上し、吹錬停止後に吹止測温サンプリングを実施せずに出鋼する、いわゆるサブランス1本/チャージ操業を可能としている<sup>30)</sup>。

## 2.4 二次精錬機能の向上

### 2.4.1 脱ガス処理プロセスの適用拡大

日本製鉄においては、従来からの厚板向け溶鋼の脱水素処理ニーズに加えて、自動車用冷間圧延鋼板の連続焼鈍化に伴い、IF (Interstitial Free) 鋼など真空脱炭処理を必要とする鋼材が急増した。また、自動車向け鋼板の幅広化や、連铸の高速製造化に伴い、二次精錬処理時間の短縮が必須となり、脱炭速度向上のための技術改善が進んだ。真空脱ガス設備RH (Ruhrstahl-Heraeus) においては、処理時間の短縮を狙って、浸漬管口径の拡大及び還流ガス量のアッ

プによる還流速度向上や真空排気系の増強などの要素技術開発を実施してきた。特に、処理初期の真空到達時間短縮を狙い、処理槽と後段の真空排気系とを仕切って、後段を事前に真空排気しておく方法; 予備真空技術が広く採用されている<sup>31)</sup>。

真空排気系自体も高性能ブースターやエジェクターの導入に加え、高効率メカニカルポンプを組み合わせることで高性能化しており、このような高性能の真空排気系を備えたRH設備を名古屋製鉄所3RH (2007年)、君津製鉄所3RH (2010年)<sup>32)</sup>に増設した。これらによりRH処理時間を短縮しIF鋼の多量生産を可能としてきた。またRH増設により、連铸機との対応を改善し、極低炭鋼を同一RHにおいて連続処理することでCコンタミネーションの軽減効果も得られる。さらに、脱炭処理の終了タイミングを計算で求め、過剰な脱炭処理を防止するべく、種々の脱炭モデルを構築し実機化してきた<sup>33)</sup>。

また、RHでは、処理中の脱炭及び昇温用酸素上吹きや、真空槽の保温のためのMFB (Multi Function Burner) を設置している。MFBは、RH槽内に挿入された同一のランスから燃料及び酸素の吹き込みを可能とするもので、真空処理中及び大気圧下の双方において保熱が可能であると共に、処理中の酸素吹き込みによるアルミニウム昇熱操業が可能である。保熱の効果により槽内地金の軽減効果も得られ、極低炭鋼の処理時間短縮にも寄与すると共に、吹止温度の低減にも寄与している<sup>34,35)</sup>。

日本製鉄の有するもう1つの真空脱ガス設備であるREDA (Revolutionary Degassing Activator) は、1本の大径浸漬管を溶鋼に浸漬し、取鍋からボトムバブリングすることで高い攪拌力によって反応を促進し、脱ガス処理を連続的に効率よく行うものであり、DH (Dortmund-Hörde) の装備を流用して開発され、DHの周期的反応プロセスと比較して非常に処理効率が高いことを特徴とする技術である。八幡製鉄所の戸畑製鋼工場(T鋼)と君津製鉄所第1製鋼工場が有していたDHは、1997年までにREDAに置き換えられ現在に至っている<sup>36)</sup>。また、脱ガス所要鋼種の増加を受け2007年に増設された戸畑製鋼工場(T鋼)の2REDAは、当初排気系をIREDAと共有していたが、更なる所要増加を受けて2018年から真空排気系を2系統化し、独立した真空脱ガス設備として稼動している。

なお、RH処理プロセスは連続的に使用することで槽内温度の維持による耐火物コスト低減、転炉吹止温度の低減を可能としている。そこで、一般汎用鋼種へのRH軽処理適用の拡大を推進しており、RH処理能力が転炉能力とバランスする大分製鉄所、君津製鉄所においては全量RH処理を指向している。

### 2.4.2 CAS-OB装置の役割

従来の転炉出鋼後の鍋バブリングによる脱酸・成分調整



処理に代わる簡易な二次精錬方法として CAS-OB (Composition Adjustment by Sealed Argon Bubbling-Oxygen Blowing) 設備が普及し、脱ガスを要しない鋼種に適用されている。近年は前述のように RH 処理比率の拡大を指向し、RH 軽処理比率を向上させると共に CAS-OB 処理比率は低下傾向である。特に大分製鉄所においては、全量 RH 処理を実現しており、底吹きポーラスプラグも廃止したため、CAS-OB 処理は現状行われていない。

#### 2.4.3 LF 設備の増設

日本製鉄においては二次精錬の高速処理の観点から、一般鋼は LF (Ladle Furnace) 設備によらない製造方式を採用しているが、極低酸素レベルを要求される鋼種や熱付加が避けられない棒鋼、線材、特殊鋼厚板、高炭鋼用に LF 設備を有している。室蘭製鉄所製鋼工場においては特殊鋼における介在物制御に対する要求の高度化に対応するため、従来の LF 1 基体制から、さらに 1 基を増設し全量 LF 処理を可能とした製造工程を完成している。

また、八幡製鉄所の戸畑製鋼工場 (T 鋼) においては、転炉吹止温度が高い軌条や機械用鋼などの高炭材の転炉負荷軽減や、小倉地区の鉄源工程休止後の棒鋼、線材の製造を目的に LF を新設し、2018 年より稼動開始している。

#### 2.4.4 高純度鋼の安定生産

極低磷低硫の耐サワー鋼管、低硫ハイテン薄板、低磷低硫厚板等のハイエンド鋼材の需要は拡大しつつあり、高純度化の量産要求に応えるべく開発を行ってきた。

##### (1) 極低磷鋼

極低磷鋼については、転炉型溶銑脱磷プロセスである LD-ORP 法もしくは SRP 法を用いるか、TPC や溶銑鍋による溶銑脱磷処理を行うことにより安定溶製することが可能であり、P 規格上限 54ppm の製品の製造が可能である。

##### (2) 極低硫鋼

極低硫鋼については溶鋼脱硫プロセスを開発し、RH における脱硫処理である RH インジェクション法<sup>37)</sup> や RH-PB 法 (RH-Powder top Blowing)<sup>16)</sup>、溶鋼鍋におけるインジェクション脱硫法 (KIP: Kimitsu Injection Process) により安定生産している。

RH インジェクション法は RH 処理中に J 型の耐火物製ランスから脱硫フラックスを RH の上昇管内に吹き込み、同一ステーションにおいて脱ガス及び脱硫を実施可能としたものである。一方、RH-PB 法は、逆に RH 処理中に脱硫フラックスを上方から吹き付けることで脱硫処理を実施する。また、溶鋼鍋インジェクション法は、溶鋼鍋において耐火物製ランスから脱硫フラックスを吹き込むものであり、君津製鉄所において KIP 及び真空槽内にてこれを行う V-KIP<sup>38)</sup> を開発し、S 規格上限 7ppm の極低硫鋼の安定生産を可能としている。これらのプロセスは、多機能二次精

錬法として 1990 年代までに開発してきた技術である<sup>1,16)</sup>。

P 及び S の除去限界については、日本鉄鋼協会にて不純物元素の規格上限推移として 10 年毎にフォローしているが<sup>39)</sup>、国内各社とも 1990 年代までにそのプロセス開発を実施し現在に至っている。

## 2.5 ステンレス鋼製造技術の進展

日本製鉄においては、八幡製鉄所、室蘭製鉄所にて転炉を用いて溶銑にフェロクロムを溶解した上で粗脱炭処理し、後工程の脱ガス処理で仕上げ脱炭処理を実施するステンレス鋼溶製を行っていたが、室蘭製鉄所の熱間圧延工程休止 (1987 年) に伴いステンレス鋼製造を八幡製鉄所に一本化した。当初、八幡製鉄所において仕上げ脱炭は VOD (Vacuum Oxygen Decarburization) を用いていたが、REDA が開発された後は、ステンレス溶鋼の脱炭にも脱ガス効率がよく吸窒も少ない REDA を適用している<sup>40)</sup>。

また 2010 年には、八幡製鉄所においてステンレス鋼の製造用に、フェロクロムとステンレス鋼屑を溶解し、高クロム溶湯を製造する電気炉を装備した。得られた高クロム溶湯は、その後溶銑と混合し、転炉における脱炭吹錬に供給される。この電気炉においては、酸化クロム含有量の多い、未還元転炉スラグを還元する機能もあり、安価なフェロクロム原料の使用や所内発生ステンレス鋼屑の再利用促進のみならず、系外へのクロム資源の排出を極限まで低減することが可能となっている。この高効率のクロム資源活用技術が評価され、2017 年度の第 64 回大河内賞にて最高賞“大河内記念生産特賞”を受賞するに至った。

## 2.6 自動化、省力化

1990 年以降、製鋼各工程において、1970 年頃の建設当初から設置していた各種制御装置については老朽更新時期を迎えた。そこで、当時技術確立された DDC (Direct Digital Control) を採用した制御装置が更新に合わせて導入され、各事業所において溶銑予備処理操作室の統合、転炉操作室の統合、二次精錬操作室の統合等を実現し現在に至っている。プロセスの運転要員としては、転炉は 1 炉 3 名/シフト、二次精錬は 1 基 1 名/シフトがベースとなっている<sup>41)</sup>。

近年ではこの DDC をベースに、前述の計算モデルを活用した精錬反応解析による精度の高い終点予測を組み合わせることで、従来のオペレータの感覚に近い制御が可能となってきており、将来的な自動化を見据えて更なる改善に取り組んでいる。

## 2.7 製鋼ダストリサイクルの促進

製鋼工程で発生するダストの再利用については、転炉へのリサイクルに加え、プロセス開発を行い拡大してきた。君津製鉄所、広畑製鉄所、山口製造所光エリア (日鉄ステ

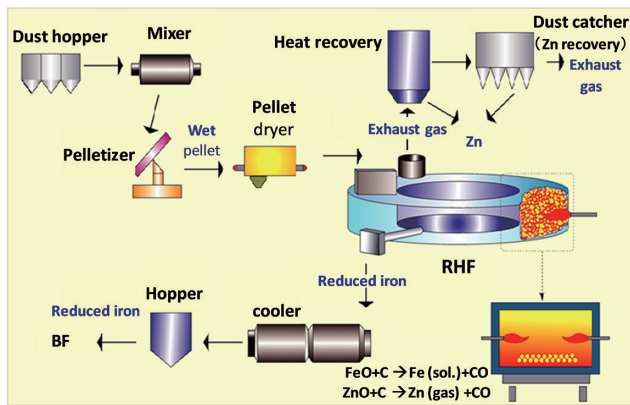


図6 RHFプロセスフローの例(君津製鉄所)  
Example of RHF process flow (Kimitsu Works)

ンレス(株)に分社)において、RHF(Rotary Hearth Furnace)を用いたダスト還元処理を実機化しており、特に君津製鉄所においては3基のRHFを設置し、所内発生ダストを還元・脱亜鉛処理し製鉄工程にて再利用している。また、山口製造所光エリアにおいてはステンレス鋼ダストをRHFにて還元し電気炉原料として再利用している。君津製鉄所のRHFプロセスを図6に示す。

広畑製鉄所においては、冷鉄源溶解法(SMP:Scrap Melting Process)<sup>42)</sup>をプロパー化し1993年に高炉を休止した後は、購入スクラップ及びダストを中心とする社内鉄源を溶解するプロセスにて溶銑を製造し、これを従来通りの転炉において吹錬する方法を構築した。以後、RHFとの組み合わせにより、RHFにて製造したHBI(Hot Briquette Iron)を冷鉄源溶解法で溶解するプロセスを構築しダスト原料の比率を拡大しながら現在に至っている。しかしながら、製造コストが高く鉄源としての競争力に課題が生じてきたため、現行の溶解炉・転炉による冷鉄源溶解プロセスから、エネルギー効率に優れ、よりフレキシブルな生産が可能な電気炉プロセスへの刷新を計画している。

## 2.8 省エネルギー、環境調和への取り組み

### 2.8.1 省エネルギーへの取り組み

エネルギーコスト削減及び炭酸ガス排出削減に寄与するべく、省エネルギーに取り組み、蒸気回収、LDG(LD Gas)回収量の増加を図った。OG(Oxygen Converter Gas Recovery System)ボイラについては、OGフード老朽更新のタイミングを捉えるなどしてフードのボイラ化改造を行ってきており<sup>43)</sup>、主要工場に既に装備され80kg/t超レベルの蒸気回収を実施している。LDG回収については、転炉ガス分析時間の短縮による回収タイミングの早期化など操業努力を行い、回収増加を図っている。

また、大型の電動機を使用する集塵機においては、常時運転していても操業に応じて必要風量が増えるため、可変電圧可変周波数(VVVF)制御導入により集塵風量を制御し、省電力化を推進している。

### 2.8.2 建屋からの発塵対策

製鋼工場建屋からの発塵については、生産量増大に際してHMRを低減しスクラップを使用拡大する際に対策を講じた。発塵の要因として、転炉溶銑装入時の発塵をOGによる一次集塵、炉口フードからの局所集塵だけでは吸引しきれない場合があったため、対策として建屋集塵機の設置を検討した。この際、建屋内のガス及び粉塵の流動シミュレーションを行い炉口及び建屋からの集塵に必要な風量を計算で求める手法を用いた。実機立上げの結果、粉塵濃度の計算値と実測値は十分整合することがわかり、以降はこの手法を用いて集塵機の設計を実施している<sup>44,45)</sup>。直近では室蘭製鉄所製鋼工場において赤煙対策を検討し、集塵機を増設中である。

## 2.9 精錬技術の今後の取り組み

2012年の報告に記載された、精錬機能分割の最適化や主原料自由度の拡大、環境調和等の課題項目については、これまでにある程度の回答を見出し、実操業において対策を実現してきたと考える。一方で、今後20年を考えた場合は、益々悪化する経営環境に対応すべく、ハイエンド鋼種の精錬コスト削減と共に、汎用鋼の精錬コスト削減に引き続き取り組む。精錬反応は、脱硫、脱燐反応の石灰利用率を見てもまだ改善の余地は多い。スラグリサイクル等の推進に加えて、反応効率向上の視点をさらに追求する。

この場合、既に述べたようにこれまで開発されてきた種々の計算手法を活用していくことも重要と考える。また、操業中の反応工程の計算根拠となる、反応容器内のセンシング技術有効活用についても今後の課題である。さらに、今後は鉄鉱石の劣質化による溶銑燐の上昇が見込まれており、ほぼ全量予備処理が進んだ足下の状況においては、予備処理そのもの高効率化が急務となっている。ふっ素レス化後、低塩基度による脱燐操業を志向してきたが、吹錬時間の短い脱燐吹錬において、さらに脱燐効率を上げるには、滓化の早期化を狙う必要があり、今後は滓化促進に最適なスラグ組成や媒溶材の追及を中心に、予備処理の高効率化を目指す。

## 3. 連鑄技術の変遷

連鑄工程においては、先に述べた製品のハイエンド化ニーズに応えるべく、難製造材を含めた鑄片を高品位かつ高い生産性で製造する作り込み技術の開発が進められてきた。以下に、その技術開発の取り組み内容の概要を示すと共に、統合以降で新設した八幡製鉄所戸畑地区の3CCの建設立上げについて述べる。

### 3.1 連鑄の生産性向上

連鑄機の生産能力の決定因子は、平均鑄造速度と断面サイズと注入時間の積である。これまで、最高鑄造速度向上



表2 主要スラブ連続機の主仕様一覧  
Main specifications of the main slab continuous caster

	Kashima		Kimitsu			Nagoya		Wakayama		Yawata		Oita	
	2CC	3CC	2CC	3CC	6CC	1CC	2CC	0st	2st	2st	3st	4CC	5CC
Type	VB	VB	VB	VB	VB	VB	VB	VB	VB	VB	VB	VB	VB
Strand	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2
Machine radius (m)	9.4	10.5	9	9	10	7.7	9.5	11.8	11.8	7.55	7.73	7.5	7.5
Metallurgical length (m)	28.3	42.7	34.3	43.0	41.2	35.8	48.4	32.6	32.6	38.7	31.7	44.5	44.5
Start-up	1974.05	1983.06	1980.03	1982.01	2006.11	1970.11	1980.11	2012.07	1981.11	1979.04	1982.12	1976.03	1976.08
Revamping [VB]	2000.05	-	-	-	-	2000.03	1990.09	-	1996.04	2005.08	1991.12	1995.07	1998.04
Revamping [metallurgical length extension]	-	-	-	1996.03	-	2007.04	-	-	-	-	-	-	-
Tundish shape	Boat	Boat	Boat	Boat	Boat	H-shape	H-shape	Boat	Boat	Boat	Triangle	Boat	Boat
Tundish capacity (t)	32	85	60	60	60	45	60	35	35	30	23	70	70
Casting thickness (mm)	250, 300	250	240 (300)	240	240, 300	250	250	250	250	250	250	282	282
Width range (mm)	1240-	700-	980-	700-	980-	900-	900-	1100-1970	1100-1970	650-	960-	1100-	1100-
[twin casting]	2300	1625	2300	2050	2300	2150	1630	[700-1280]	[900-1280]	1900	1650	2150	2150

のため、垂直曲げ化改造などと合わせて機長延長を図ってきており、2000年代までにはほぼ対応を完了させてきた。表2に主要スラブ連続機の主仕様一覧を示す。また、最大機長を有効に活用し平均铸造速度を向上する取り組みとして、鍋溶鋼温度管理技術の強化、タンディッシュ（以下、TDと略す）でのプラズマや誘導加熱による溶鋼温度一定化、非定常バルジング発生防止による湯面レベル安定化、鑄型のテーパ見直しによるモールド抜熱安定化などを図ってきた。これらの取り組みは初期凝固安定化に寄与するものであるが、全社横断的に進められ、生産性向上と共にブレイクアウト（以下、BOと略す）トラブル発生率の低減など操業安定化にも繋がり、統合シナジー効果として享受している。図7に全社の主要連続機のBO件数推移を示す。

個別要素技術として、鍋溶鋼温度管理技術については、数理最適化手法を適用したアルゴリズムによる製鋼スケジュール立案、溶鋼温度最適化モデルを構築<sup>46)</sup>しており、今後の活用が期待される。また、TDでのプラズマ加熱装置については、用途によりシングルタッチとツイントーチの使い分けを行い、ツイントーチ化することで高出力まで対応可能としている<sup>47)</sup>。加えて、冷却が必要な金属製のトーチから冷却が不要となる黒鉛トーチへの変換も検討され、電極部のみ黒鉛とし、TDカバー近傍のトーチ部は金属（冷却実施）とするハイブリッドトーチとすることで設備化が可能となり、最大出力及び着熱効率の向上を達成している<sup>48)</sup>。現在、和歌山製鉄所で稼働しており、今後順次その他の連続機へ展開していく計画である。

### 3.2 品質高度化への対応

鋼材に対する要求特性が高度化してきており、ハイテン化に伴う合金添加量の増大など、従来と比較して難製造鋼

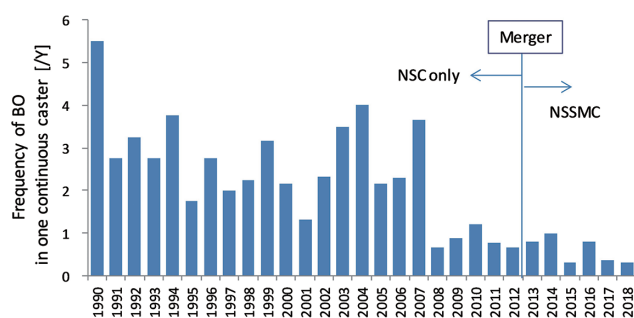


図7 日本製鉄の主要連続機のBO件数推移  
Transition of the frequency of break out in main continuous casters

種が増えてきている。そのニーズに応えるべく高品位な鑄片を安定して製造する作り込み技術の開発が重要となっており、その対応を以下に述べる。

#### 3.2.1 表面疵対策

連続起因の表面疵は、鑄片表層に捕捉された介在物と、鑄片表層割れが主な原因である。

介在物を起因とした表面疵の対策については、その起源となる介在物を極力モールド内に持ち込ませないために、介在物の浮上分離を狙いTDの大型化、プラズマや誘導加熱による溶鋼加熱の適用などの改善が図られてきた。また、モールド内での改善として、湯面レベル制御技術の向上、モールドフラックス（以下、パウダーと記す）技術の向上、浸漬ノズルなどの注入系の詰り防止対策に加え、凝固シェルへの介在物付着を防止するため鑄型内電磁攪拌が導入され、表面品位向上に寄与してきた<sup>49-51)</sup>。一方で、鑄型内での溶鋼流動は、鑄造幅や鑄造速度、浸漬ノズル径や吐出孔角度などの条件に加え、電磁攪拌装置の電力条件によっても大きく変化する。その適正化に向け、近年計算機能力や解析手法が飛躍的に高度化するコンピュータシミュレー

ションを用い、統合シナジー効果として過去の鋳片調査結果との比較検討から高精度化した電磁流動解析ツールを活用することで、鋳片品質を精度よく予測可能になってきており、これを用いた操業条件の改善を図っている。

鋳片表面割れを起因とした表面疵の対策については、要求鋼材特性の高度化ニーズもあり、対応の難易度が上がってきている。すなわち、ハイテン化に伴う合金添加の増大などによる高温脆化域の拡大に伴う、いわゆるⅢ領域脆化割れへの対応や、強度と延性や靱性など相反する特性を両立させるためなどで選定される亜包晶鋼での鋳片縦割れへの対応などである。Ⅲ領域脆化割れについては、鋳型振動の適正化、パウダー条件の適正化、二次冷却のミストスプレー化による緩冷却や鋳片コーナー部冷却の適正化など、改善が図られてきた。

加えて、連鋳機内において急冷復熱し、表面組織を $\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma$ 変態させ微細粒化することで強靱化する対策も図っており、後述する。鋳片縦割れについては、鋳型振動の適正化、パウダー条件の適正化などが図られてきた。特に、パウダー条件の適正化については、モールド内冷却の緩冷却が重要となり、カスピダインを積極的に晶出させる高塩基度パウダーを適用<sup>52)</sup>し改善を図ってきた。さらには、パウダー巻き込み防止機能も付与するため高粘性でかつ高塩基度なパウダーを開発し、課題となった操業安定性については、カスピダイン以外の安定的な結晶相として $Al_2O_3$ と $MgO$ を含む化合物となるメリライトを析出させることで、改善を図ってきた<sup>53)</sup>。

### 3.2.2 内部欠陥対策

鋳片の内部欠陥は、連鋳鋳片の内部に捕捉される介在物やArガス気泡などが原因である。IF鋼特有のブローホール防止対策のため、社内の主要スラブ連鋳機は全て垂直曲げ型としてきた。加えて、浸漬ノズルの吐出流によって生じる下向き溶鋼流動を制御するため、一部の連鋳機では、電磁ブレーキ(LMF: Level Magnetic Field, EMBr: Electro Magnetic Brake)を導入している。電磁ブレーキは、モールド内に静磁場を印加することで、導電体である溶鋼の進行方向と逆向きに制動力が発生する原理を利用して下降流速を弱め、介在物浮上を促進させる。

また、名古屋製鉄所ではトンネル堰で仕切られた完全2槽構造となるH型TDを適用し、継目なし操業、TD内での介在物の浮上促進に寄与している<sup>54)</sup>。さらに、全社的な鋳造スループット拡大の中、各所ともTD内での介在物浮上時間確保や、注入流のショートパス回避を狙って、計算機シミュレーションを用いたTDの設計見直しが進められており、TD容量の拡大、形状の最適化を進めている。

### 3.2.3 中心偏析・ポロシティ対策

厚板・鋼管向け鋼板の中心偏析対策は、連鋳機端の最終

凝固部軽圧下を狙って、CORD (CC Optimum Reduction by Divided roll) 等の稠密分割ロールやSEFT (Segregation Free Technology) などの面圧下での軽圧下技術による偏析改善技術<sup>55)</sup>を経て、君津製鉄所の6CCにその技術を結集し偏析対策に優れた連鋳機を実機化し、UO鋼管パイプ材、海洋構造物材などの中心偏析厳格材の量産製造に寄与している<sup>56)</sup>。また、製品板厚が100mmを超えるような極厚材等の内質健全性を要求される鋼種については、圧下比(鋳造厚み÷製品厚み)が確保できないことより、圧延による鋳片中心ポロシティが圧着され難く、鋳片段階での品位向上が必要となる。その対策として、連鋳機内の凝固末期に強圧下する技術となるPCCS (Porosity Control of Casting Slab)法を開発し、鹿島製鉄所の2CCに実機適用し製造可能としてきている。

棒線向けの中心偏析対策は、電磁攪拌による凝固組織の等軸晶化とディスクロールによる軽圧下となる。統合以降で新設した八幡製鉄所戸畑地区の3CCでは、この全社知見を集結し設計、設置してきた。2018年度末に立上げが完了し、現在品質確性などを進めており、今後棒線向けのハイグレード材の量産に寄与する予定である。

### 3.2.4 オキサイドメタラジ

欠陥の原因となる介在物を除去する一方で、脱酸条件を制御し、微細酸化物を鋼中に分散させることで、製品の特性を向上させるオキサイドメタラジ<sup>57,58)</sup>を開発してきた。これは、微細酸化物を粒内 $\alpha$ 変態の核生成サイト等として活用するもので、例えば厚板の溶接熱影響部の靱性を向上させる目的に適用されており、海洋構造物等に広く用いられている。また、最近では数10nmの酸化物を分散させ、結晶粒成長を抑制する粒子として活用する超大入熱溶接用鋼(H-TUFF鋼)も開発された。これらの技術は統合シナジー効果として各所へ展開され、鋼材の付加価値を大きく高めている。

## 3.3 八幡製鉄所戸畑地区3CCの設置

八幡製鉄所では戸畑地区及び小倉地区の2か所に製鋼工場を有するが、小倉地区の鉄源工程を戸畑地区に移管して鉄源生産構造を最適化しコスト改善を図ると共に、棒線、軌条の生産性及び商品競争力を向上させることを目的に、新たなブルーム連鋳機を2018年度末に戸畑製鋼工場(T鋼)に設置している。新設にあたり、日本製鉄初となる連鋳設備全体の機械安全設計に取り組んでいる<sup>59)</sup>。鋳込み床においては、モールド周辺、TDカーとダミーバーカー全体を防護フェンスで覆い、安全扉を設置した。また、ダミーバー挿入中と鋳込み作業中では、設備の可動エリアが異なることより、観音式の安全扉を設置し、作業エリアを分離し、本質的安全設計を取り入れた。図8に安全対策設備の概要を示す。さらには、建屋内に導入した無線通信により、

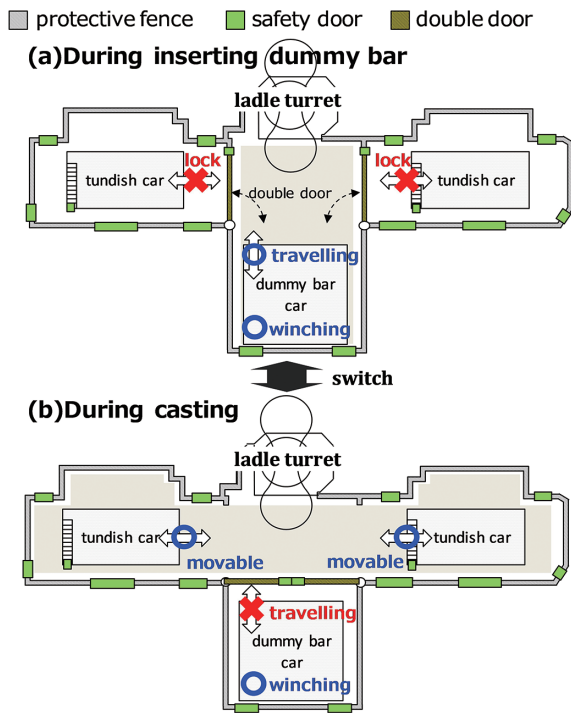


図8 安全対策設備の概要  
General aspects of safety equipments

作業者の位置や動きを把握できるシステムや設備状況の管理などのIoT技術も試験導入しており、今後他のマシンへの導入などを検討している。

### 3.4 連铸技術の今後の展望

ここまで連铸工程における取り組みとして、難製造材を含めた铸片を高品位かつ高い生産性で製造する作り込み技術の開発について述べた。先に述べたように、新興国の継続的な成長の中にあって競争の激化が進む中、更なる発展を遂げるために、これまで培ってきた技術を深化させることが重要である。加えて、世の中で進んでいる情報技術も併せて活用することも重要になると考える。すなわち、従来単に画像としてモニタリングしていたデータは、解析によりセンシングツールとなり、そこから出る多量なデータを既存のセンシングデータと連携し解析することも比較的安価な計算機で可能となってきている。そのデータをどのように解釈し活用するかについては、AIでの解析も可能であるが、これまで愚直に積み重ねてきた知見であったり操業ノウハウと合わせることで大きな価値を生むツールになると考える。

## 4. 結 言

前報からの7年間で、新興ミルの拡大など世界情勢の変化もあり、競争の激化が益々進んできた。その中で、日本製鉄では経営統合による規模の拡大を図っており、製鋼技術分野では、その統合シナジー効果を技術や操業ノウハウの横展開を行うことで享受してきた。さらに、米中の貿易

摩擦を中心として世界経済が大きく変動する中、更なる環境変化への対応が必要になることが想定される。今後も、これまで培ってきた技術力をさらに絶え間なく研鑽することに加え、世の中で進んでいる情報技術も併せて活用し、激動する環境に対応していく。

### 参考文献

- 1) 熊倉政宣：新日鉄技報. (394), 3 (2012)
- 2) 山口純：新日鉄技報. (394), 4 (2012)
- 3) 日本鉄鋼連盟：主要国粗鋼生産. <http://www.jisf.or.jp/data/jikeiretsu/syuyoukoku.html>
- 4) 中澤嘉明 ほか：日本製鉄技報. (412), 2 (2019)
- 5) 野見山裕治 ほか：新日鉄住金技報. (400), 8 (2014)
- 6) 北村信也 ほか：鉄と鋼. 76, 1801 (1990)
- 7) 鷲巢敏 ほか：CAMP-ISIJ. 15, 876 (2002)
- 8) 例えば 秦啓二 ほか：CAMP-ISIJ. 13, 867 (2000)
- 9) 長谷川将克 ほか：鉄と鋼. 100, 516 (2014)
- 10) 例えば 加藤郁 ほか：CAMP-ISIJ. 4, 1153 (1991)
- 11) 務川進 ほか：鉄と鋼. 80, 207 (1994)
- 12) 岩崎正樹 ほか：新日鉄技報. (391), 88 (2011)
- 13) 林浩明 ほか：CAMP-ISIJ. 15, 139 (2002)
- 14) 久米康介 ほか：CAMP-ISIJ. 16, 116 (2003)
- 15) 小川雄司 ほか：鉄と鋼. 87, 21 (2001)
- 16) 山口進：住友金属. 50 (2), 12 (1998)
- 17) 米澤公敏：製鋼スラグ極小化研究会最終報告書. 日本鉄鋼協会, 1999, p.50
- 18) Ohguchi, S. et al.: Ironmaking Steelmaking. 11, 202 (1984)
- 19) 例えば 北村信也 ほか：CAMP-ISIJ. 4, 202 (1991)
- 20) 伊藤公久 ほか：鉄と鋼. 68, 342 (1982)
- 21) 北村信也 ほか：鉄と鋼. 95, 313 (2009)
- 22) 宮本健一郎 ほか：鉄と鋼. 95, 199 (2009)
- 23) 山田亘 ほか：新日鉄技報. (342), 38 (1991)
- 24) 山田亘 ほか：CAMP-ISIJ. 8, 792 (1995)
- 25) 森田彰 ほか：新日鉄住金技報. (411), 14 (2018)
- 26) 内藤憲一郎 ほか：CAMP-ISIJ. 11, 146 (1998)
- 27) 内藤憲一郎 ほか：CAMP-ISIJ. 10, 168 (1997)
- 28) 小野慎平 ほか：CAMP-ISIJ. 32, 144 (2019)
- 29) 岸田正夫 ほか：鉄と鋼. 52, 1481 (1966)
- 30) 福田佳之 ほか：CAMP-ISIJ. 7, 1121 (1994)
- 31) 國武意智 ほか：CAMP-ISIJ. 7, 216 (1994)
- 32) 東豊一郎 ほか：CAMP-ISIJ. 24, 165 (2011)
- 33) 北村信也 ほか：鉄と鋼. 80, 213 (1994)
- 34) 大貫一雄 ほか：CAMP-ISIJ. 7, 240 (1994)
- 35) 矢野正孝 ほか：新日鉄技報. (351), 15 (1994)
- 36) 沖森麻佑巳：新日鉄技報. (374), 47 (2001)
- 37) 遠藤公一 ほか：製鉄研究. (335), 20 (1989)
- 38) 桑嶋周次 ほか：鉄と鋼. 72, S250 (1986)
- 39) 雀部実：ふえらむ. 15, 562 (2010)



- 40) 宮本健一郎 ほか：CAMP-ISIJ. 12, 748 (1999)  
41) 例えば 森健一 ほか：CAMP-ISIJ. 12, 739 (1999)  
42) 大貫一雄 ほか：CAMP-ISIJ. 6, 1028 (1993)  
43) 森岡昌邦 ほか：CAMP-ISIJ. 5, 219 (1992)  
44) 三村義人 ほか：新日鉄技報. (394), 75 (2012)  
45) 川人健二 ほか：新日鉄技報. (391), 122 (2012)  
46) 伊藤邦春 ほか：新日鉄住金技報. (411), 36 (2018)  
47) 新日鐵住金(株)名古屋製鉄所：日本鉄鋼協会第 149 回製鋼部  
会提出資料. 2013  
48) 日鉄エンジニアリング(株)：日鉄エンジニアリング技報. 11,  
66 (2020)  
49) 竹内栄一 ほか：鉄と鋼. 69, 1615 (1983)  
50) 中島潤二 ほか：新日鉄技報. (376), 57 (2002)  
51) 原田寛 ほか：材料とプロセス. 18 (1), 217 (2005)  
52) 花尾方史 ほか：鉄と鋼. 88, 23 (2002)  
53) 塚口友一 ほか：鉄と鋼. 97, 433 (2011)  
54) 木村秀明 ほか：新日鉄技報. (351), 21 (1994)  
55) 松崎孝文 ほか：CAMP-ISIJ. 2, 1150 (1989)  
56) 植山信二郎 ほか：新日鉄技報. (394), 103 (2012)  
57) 萩林成章 ほか：新日鉄技報. (351), 64 (1994)  
58) 児島明彦 ほか：新日鉄技報. (380), 33 (2004)  
59) 新日鐵住金(株)八幡製鉄所：日本鉄鋼協会第 161 回製鋼部会  
提出資料. 2019



曾根英彰 Hideaki SONE  
製鋼技術部 製鋼技術室 主幹  
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



熊倉誠治 Seiji KUMAKURA  
製鋼技術部 製鋼技術室長



加藤雄一郎 Yuichiro KATO  
製鋼技術部 製鋼技術室 主幹