

# 連続铸造タンディッシュにおける技術革新

## Technological Innovations in Tundish at Continuous Casting

木 村 秀 明 <sup>*(1)</sup> Hideaki KIMURA	上 原 彰 夫 <sup>*(2)</sup> Akio UEHARA	森 正 晃 <sup>*(3)</sup> Masateru MORI	田 中 宏 幸 <sup>*(4)</sup> Hiroyuki TANAKA
三 浦 龍 介 <sup>*(5)</sup> Ryusuke MIURA	白 井 登 喜 也 <sup>*(6)</sup> Tokinari SHIRAI	菅 原 健 <sup>*(7)</sup> Ken SUGAWARA	

### 抄 録

連続铸造プロセスは製鋼の最終工程に位置し鋼材品質に直結することから、製品の品質要求の厳格化・高級化や抜本的な価格切下げ、そして究極的なロット対応など多種多様の役割を担っている。これらのニーズに応えるべく、新日本製鐵では連铸工程において精錬機能が可能なタンディッシュの多機能化への取り組みを進めてきた。本稿では1)タンディッシュ内での介在物挙動モデルの構築とその実機応用例、2)量産型連铸機における大容量溶鋼加熱設備、3)タンディッシュ熱間回転、4)タンディッシュ活用によるロット製造の弾力化について述べ、最後にタンディッシュに関わる今後の技術動向について述べた。

### Abstract

The continuous casting process is the final process of steelmaking which is directly related to the quality of steel products. Accordingly, this process is required to meet diversifying needs, such as increasingly sophisticated quality requirements, drastic cost reduction, and innovative lot production. To meet these needs, Nippon Steel Corporation has promoted the development of multi-functionnal tundish which can fulfill a refining function in the CC process. This paper describes 1) the development and practical application of a model for studying the behaviors of inclusions in the tundish, 2) large-capacity molten steel heating equipment for mass-production type continuous casting, 3) continuous recycle operation of hot condition, and 4) flexibility in lot production with composition adjustment in the tundish. Finally, future prospects of tundish innovations are described.

## 1. 緒 言

現在の連続铸造（以下、連铸と記す）法においては溶鋼鍋と連铸モールドとの間にタンディッシュ（以下、TDと記す）という中間容器を配置している。このTDの役割は従来から複数モールドへの溶鋼供給、鍋交換時の溶鋼供給バッファ、介在物の浮上分離等が考えられてきたが、一段と厳格化する品質要求に応じてTDは徐々に大型化の傾向にある一方、ロットの弾力生産化への対応も必要になり、TDの機能も多様化している。新日本製鐵はこうしたニーズに応えるべく、TD内の諸現象の解明とその実用化の取組みを進めてきた。本稿では1)TD内での介在物挙動モデルの構築とその実機応用例、2)量産型連铸機における大容量溶鋼加熱設備、3)TD熱間回転、4)TD活用によるロット製造の弾力化について述べ、最後にTDに関わる今後の技術動向について述べることにしたい。

## 2. TDメタラジীর解明

高纯净度鋼を安定して製造するには、TD内での溶鋼中の介在物の挙動メカニズムを定量的に把握して介在物制御を可能にするTDメタラジীর解明がまず必要である。従来、TD内の溶鋼中介在物挙動を考える場合は、主として介在物の浮上除去に着目したアプローチが試みられてきたが、最近の溶鋼清浄性調査結果によれば、この介在物浮上除去の観点のみでは充分でないことが明らかになってきた。すなわち、実際の溶鋼清浄性の铸造長さ方向の経時変化、特に鍋交換部などの非定常部における変化を十分に説明することができず、TD内の溶鋼汚染挙動を加味する必要があると考えられる。

### 2.1 TD内介在物挙動モデルの構築

一般にTDの操業基準は定常部と非定常部の铸片部位により層別されるが、製品の表面欠陥や内部欠陥を調査すると、非定常部の铸

\*<sup>(1)</sup> 名古屋製鐵所 設備部 次長  
 \*<sup>(2)</sup> 名古屋製鐵所 製鋼部 部長代理  
 \*<sup>(3)</sup> 名古屋製鐵所 設備部 掛長  
 \*<sup>(4)</sup> 技術開発本部 八幡技術研究部 主任研究員

\*<sup>(5)</sup> 八幡製鐵所 製鋼部  
 \*<sup>(6)</sup> 広畑製鐵所 製鋼部 掛長  
 \*<sup>(7)</sup> 室蘭製鐵所 製鋼部 部長代理

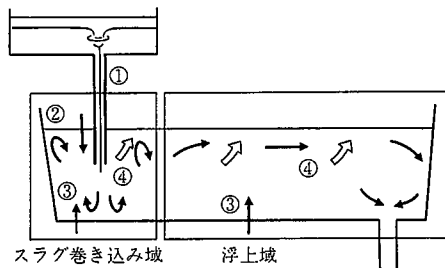
片品質は劣化する傾向にある。そこで、特に鍋交換時のTD溶鋼の汚染・清浄化挙動を定量的に把握するために、図1に示すような“TD内介在物挙動モデル”を構築した。鍋交換部付近におけるTD内での溶鋼汚染と清浄化については四つの要因が挙げられる。本モデルでは要素①②③による溶鋼汚染と要素④による清浄化反応が同時に進行しており、①～④の各要素の影響度合いによりTD出側の溶鋼清浄性が決まると仮定した。定常部では③と④の要素が、非定常部では①と②の要素がそれぞれ大きく影響していると考えられる。

## 2.2 TD内溶鋼清浄性の定量的調査

前述したTD内介在物挙動モデルに基づき、一般的な舟型TD内での溶鋼汚染要因とそれぞれの寄与率を定量的に把握するために、八幡第三製鋼工場1号連铸機(2ストランド60t TD)において溶鋼清浄性の調査解析を実施した<sup>2)</sup>。

### 2.2.1 TD内溶鋼清浄性調査方法

実験水準を表1に示す。実験は低炭Al-k鋼3ヒートを対象として、1ヒート目については溶鋼鍋のスライディングノズル詰物(以下、鍋詰物と記す)と溶鋼鍋スラグ等をTD内に流出させない条件で実験を行った。介在物挙動の調査はTD内における鍋ロングノズルの位置(以下、TD流入部と記す)とTDの浸漬ノズル位置(以下、TD流出部と記す)において溶鋼をサンプリングして、光学顕微鏡にて個数を測定した(以下、検鏡と記す)。検鏡の個数測定は10 $\mu$ m以上の介在物を形状(クラスター、塊状、球状)と粒径別に行い、さらにEPMAで組成を調査した。



清浄化要素	特 性
①鍋溶鋼の清浄性	鍋注入末期のスラグ流出
②TD注入点での溶鋼汚染	後鍋注入開始時のスラグ巻き込み
③その他の汚染	スラグ保温材、空気酸化等による溶鋼中のAlの酸化
④介在物浮上除去	

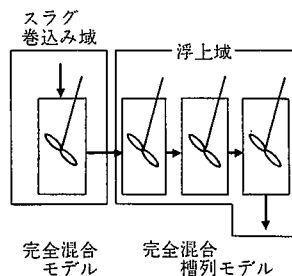


図1 TD内介在物挙動モデル

表1 実機試験条件

ヒートサイズ	320t/ヒート
連々鋳	3ヒート/キャスト
鋳造条件	1鍋目:最初の10tと最後の20tの溶鋼を除いて鋳造 2鍋目、3鍋目:全溶解分(320t)を鋳造
TDシール	鋳造中Ar吹込み( $P_{O_2} \approx 0.05$ atm)
TDフラックス	MgO
TDコーティング材	MgO
スラグ組成	FeO $\approx$ 5%

### 2.2.2 調査結果

#### (1) TD内介在物組成

TD内溶鋼中介在物の組成をEPMAで調査した結果、クラスター状、塊状の介在物はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であり、球状介在物の組成についてはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はまれで、大半はCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系であった。TD流入部と流出部の球状介在物の組成を図2に示す。このことから球状介在物はTD内に混入した取鍋スラグと見なすことができる(以下、クラスター状、塊状介在物をアルミナ系介在物、球状介在物をスラグ系介在物と称する)。又、図2よりTD流入部と流出部における介在物組成の変化は比較的小さいことが分かる。しかし、流出部においてMgO濃度が高くなっており、TD耐火物起因と考えられるが、その増加量は4%程度で小さく、耐火物溶損量は無視できる程度である。

#### (2) TD内介在物個数

図3にアルミナ系とスラグ系介在物の1ヒートから3ヒートまでの個数推移を示す。TD流入部のアルミナ系介在物、スラグ系介在物の個数はともにヒート数に伴い増加している。一方、TD内における介在物の個数の推移を見ると、スラグ系は流入部と流出部ではほぼ同様の経時変化を示しており、さらに流入部より流出部の個数がわずかではあるが少なくなっている。このことから、TD内に流入したスラグ系介在物の一部は浮上除去されていると考えられる。一方、アルミナ系介在物はTD内で増加しており、酸化物系スラグ、

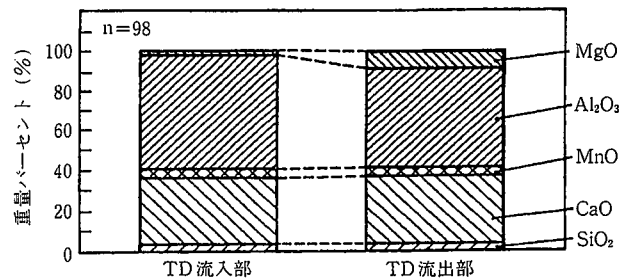


図2 TD内におけるスラグ系介在物の組成

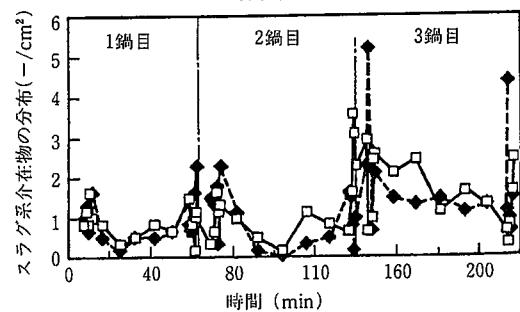
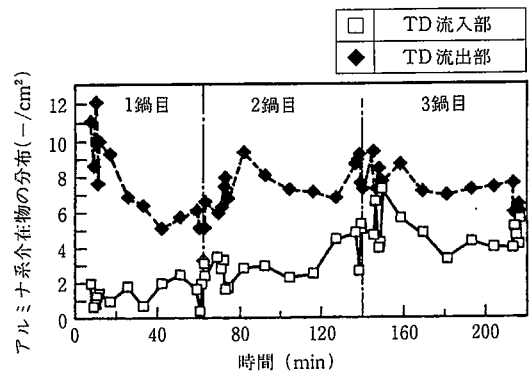


図3 TD内における介在物(>10 $\mu$ m)濃度の推移

鍋詰物などの[Al]による還元あるいは空気酸化等の要因が考えられる。

### 2.2.3 考 察

TD内溶鋼の汚染要因の影響を定量的に評価するために(1)式に示すTD内注入部溶鋼の清浄化と汚染の同時進行を考慮した。又、本解析では検鏡により求めた $10\mu\text{m}$ 以上の介在物個数を溶鋼の介在物濃度に換算して清浄性の指標とした。

TD流出部溶鋼清浄性＝

$$\text{TD流入部溶鋼清浄性} + \text{TD内汚染量} \cdots (1)$$

ここで、

TD流入部溶鋼清浄性＝

$$\Sigma (\text{粒径ごとの介在物面積率} \times \text{粒径ごとのTD内残留率})$$

#### (1) 介在物粒径ごとの浮上率

図3に示したスラグ系介在物のTD内流入部と流出部の個数変化より、介在物粒径ごとの浮上率を求めた結果を図4に示す。図4より介在物粒径が大きくなるにつれて浮上率は向上し、 $200\mu\text{m}$ 以上の介在物はTD内でほぼ完全に浮上分離すると考えられる。

#### (2) TD内溶鋼汚染要因の定量化

TD流出部の理論溶鋼清浄性と実測溶鋼清浄性との比較を図5に示す。これらの差はTD流入部と流出部間の溶鋼の汚染量を意味する。又、理論溶鋼清浄性のヒート内経時変化はTD流入部での溶鋼汚染量の時間的変化を示している。

##### (i) 空気酸化

図5よりTD流出部の実測と理論溶鋼清浄性との差を求め、図6に示した。TD内溶鋼汚染要因は空気酸化、TD内混入スラグと溶鋼との反応、TD耐火物の影響が考えられる。ここで、図2で前述したようにTD内溶鋼汚染は主に溶鋼の空気酸化であると考えられる。この空気酸化量はヒート内定常部では一定に推移しているが、1ヒート目の製造開始時と各ヒート間の鋼交換時では汚染量が増加しており、各ヒートの製造時間の2/3近くまで影響していることがわかる。

##### (ii) 取鍋スラグ、鍋詰物の影響

TD流出部の理論溶鋼汚染清浄性を図6に示す。取鍋スラグ、鍋詰物の混入を防止した1ヒート目の汚染量は少なく、又ヒート内の推移もほぼ一定で安定している。

一方、2ヒート目は製造初期から1/3程度までの間、汚染量が増加しており、TD内に混入した鍋詰物(98%  $\text{SiO}_2$ )による汚染が見られる。次に一旦、汚染量が低減したあと、製造末期には取鍋スラグの流入によると見られる汚染量が増加している。さらに3ヒート目ではTD内へのスラグ蓄積のために2ヒート目の汚染量に加算する形で汚染が進行し、2ヒート目とほぼ同様の傾向を示している。

### 2.3 TD内溶鋼清浄性改善の対策

以上のTD内介在物挙動モデルと実機TD内溶鋼清浄性調査の結果、

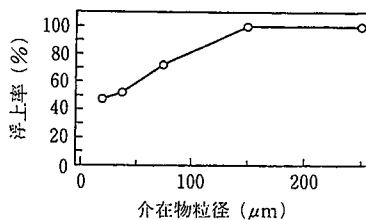


図4 介在物浮上率に及ぼす介在物粒径の影響

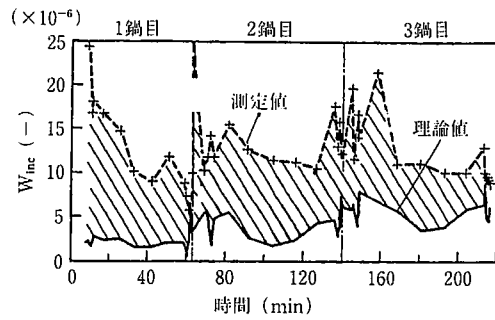


図5 鋳造中のTDにおける鋼清浄度の推移

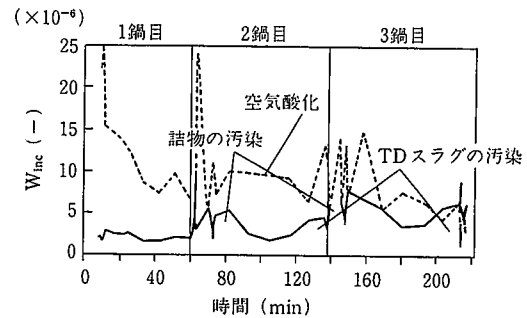


図6 鋳造中の介在物の量に及ぼす空気酸化とスラグ汚染の影響

果、高 cleanliness 溶鋼を製造するためには、従来からのTD内での介在物浮上除去促進に加え、TDでの溶鋼汚染防止の観点から、鍋詰物と鍋からの流出スラグの無害化、TD内への取鍋スラグの流出抑制と溶鋼の空気酸化防止が重要であることが分かった。名古屋製鐵所では一層の介在物浮上促進を狙ったTDのロングパス化及び二層構造によるTD内ショートパス防止、鍋詰物と鍋からの流出スラグの無害化を狙った鋼交換部での2鍋同時注法(取鍋ノズルの絞り注入が可能)が有効であると考え、H型TDを導入し、スラグによる溶鋼汚染を大幅に抑制することができた。又、取鍋スラグ混入防止のためのスラグ流出検知技術や空気汚染防止を完全にするシールドTDなどが各所に導入されており、連続の標準装備となりつつある。

### 3. 最近のTDの革新技術

前述したTD内の溶鋼清浄化を目的とした諸技術に加え、新日本製鐵ではさらなるTD革新技術として、1) 量産型連铸機における大容量溶鋼加熱設備、2) TD熱間回転、3) TD活用によるロットの弾力化技術の開発に取り組み、各所の実機設備において順次戦力化を図っている。以下、その概要を紹介する。

#### 3.1 TD内大容量溶鋼加熱技術の開発導入と品質改善

量産型連铸機における継目(非定常)部の極少化を狙ったTD溶鋼加熱技術は室蘭製鐵所と広畑製鐵所において進められてきたが、最近、名古屋製鐵所に大容量プラズマ加熱設備を、八幡製鐵所に電磁誘導加熱設備を導入して実機化したので、その概要を述べる。

##### 3.1.1 プラズマ加熱技術

連铸操業と铸片品質の安定化に直結した鋳造溶鋼温度の高精度制御を目的に、高出力型プラズマ加熱装置<sup>3)</sup>が名古屋製鐵所第2連铸機に導入された。

##### (1) 高出力型プラズマ加熱設備の概要

本設備の概要を図7に示す。H型TD二層目中央部に2本のプラズマトーチを設置し、各ストランドの鋳込み溶鋼速度に対応した温

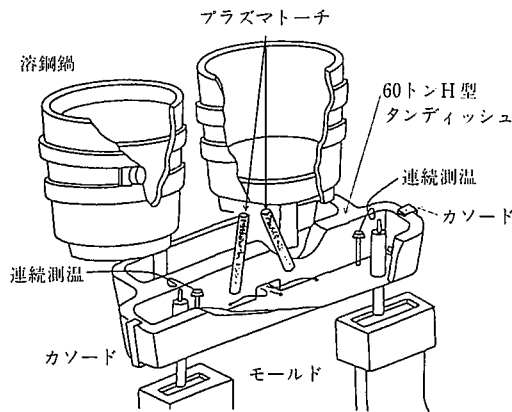


図7 TDプラズマ加熱装置

度制御ができるのが特色である。設備仕様を表2に示すが、最大出力は2.35MWでトーチと溶鋼湯面との距離は自動制御している。

### (2) プラズマ加熱適用による操業・品質改善効果

図8にプラズマ加熱を適用した時としない時の操業比較例を示した。元来、取鍋交換時にはある程度の溶鋼温度変動を余儀無くされてきたが、プラズマ加熱を適用すると鍋交換時でも前後ヒート間の温度変動を5℃以内に制御することが可能である。この適用により、低温鋳造部での浸漬ノズル詰まりを大幅に防止することができ、その結果、図9に内部欠陥発生率の減少例を示したように、ブリキなど高級薄板材の品質向上に大きく寄与している。

### 3.1.2 電磁誘導加熱技術

八幡製鉄所第三製鋼工場第2連続機ではIF鋼、ブリキなどの高級薄板材の一定温度鋳造による品質向上と小断面ブルーム材の温度補償による長時間安定鋳造を目的として、TD電磁誘導加熱設備が導入された。前述したように本技術は室蘭製鉄所において開発された

表2 プラズマトーチの仕様

形式	直流移行型アーク
最大電流	5 000A/トーチ×2
最大出力	2.35MW/トーチ×2
プラズマガス流量	Ar 2 300L/min×2 N <sub>2</sub> 700L/min×2
冷却水	450L/min×2

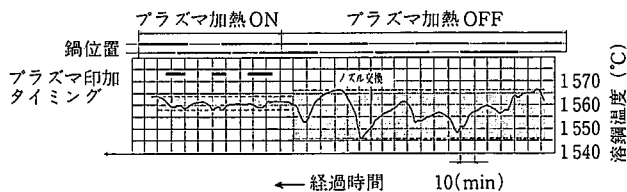


図8 TDにおける溶鋼温度制御へのプラズマ加熱の効果

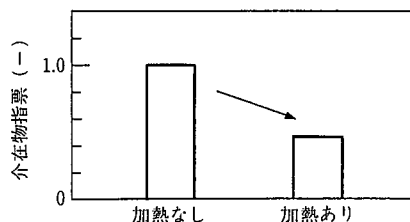


図9 製品の内部欠陥へのプラズマ加熱の影響

中間溝型低周波誘導加熱方式を採用しており、1993年1月以降順調な操業を継続している。八幡第三製鋼の誘導加熱設備の概略を図10、設備仕様を表3に示す。TDは溶鋼の流入室と流出室からなり、その両室を連結する湯溝（スリーブ煉瓦）部にて誘導加熱される。スリーブは耐火性、耐溶損性のほか電磁誘導を起こさない材質としてアルミナ・スピネル系の材質が用いられる。又、加熱投入電力はTD溶鋼流出室の温度をフィードバックする自動制御方式である。加熱効率の例を図11に示した。両室別の溶鋼温度と取鍋溶鋼温度との差異（溶鋼加熱度）は誘導加熱投入電力に比例して増加するが、加熱効率は溶鋼流入室で40%、流出室で50%あり、合わせた総合加熱効率は90%という高さになっている。ブルーム鋳造時のTD溶鋼流出部の溶鋼清浄度レベルを図12に示す。TD誘導加熱の適用により、TD内溶鋼清浄度が向上している。これは誘導加熱時に形成される上昇流による介在物浮上効果と電磁力（ピンチ力）による介在物除去の効果とと考えられるが、さらに、複合的な改善効果の定量化を進め、一層の鋳片品質向上を図っていく所存である。

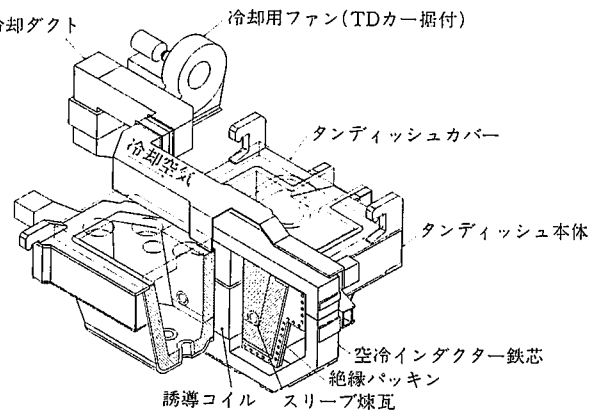


図10 誘導加熱タンディッシュ設備概要

表3 設備主仕様

項目	仕様	
	3ストランド	4ストランド
t/ヒート	350 t	350 t
適用鋼種	スラブ	ブルーム
タンディッシュ容量	30 t	30 t
加熱能力	1 000 kW	1 500 kW
誘導加熱スリーブ	耐火物	アルミナスピネル質
加熱制御	自動制御	自動制御

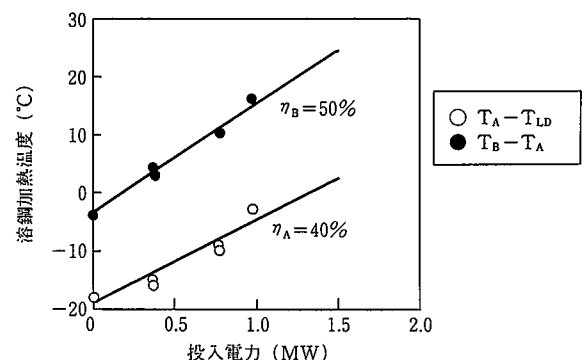


図11 誘導加熱装置の溶鋼加熱効率

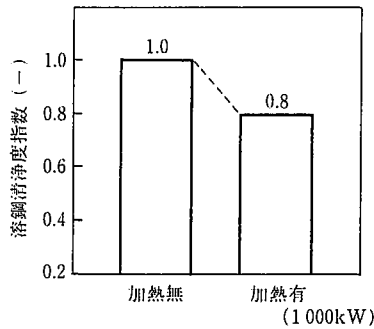


図 12 溶鋼清浄度比較

### 3.2 TD熱間回転技術の開発導入

連铸非定常部鑄片の品質向上, TDの抜本的なコスト削減, TD整備作業の3K排除を目的にTD熱間回転設備を1992年10月に広畑製鐵所に導入した。

#### 3.2.1 TD熱間回転作業フローの概要

図13に作業フローを示す。鑄造終了後, 迅速にTD内残湯が排出される。その後, モールド浸漬ノズル (IN) をTDストッパーで押し抜いて取り除いた後, IN交換装置にて直ちに新しいINがセットされて, TD整備作業が完了するという極めて簡潔な作業フローである。

#### 3.2.2 TD熱間回転方式の特徴と主要技術

新日本製鐵の熱間回転方式の特徴としては,

(1) 予熱を完全に省略していること

このためには1300°Cに予熱したINを迅速に交換する技術が必要となるが, 広畑製鐵所では高温特性を有するモルタルの開発や種々のIN交換方式に工夫を加え, 実用化した。

(2) 一体型INと完全シールド構造TDにより溶鋼酸化を防止してい

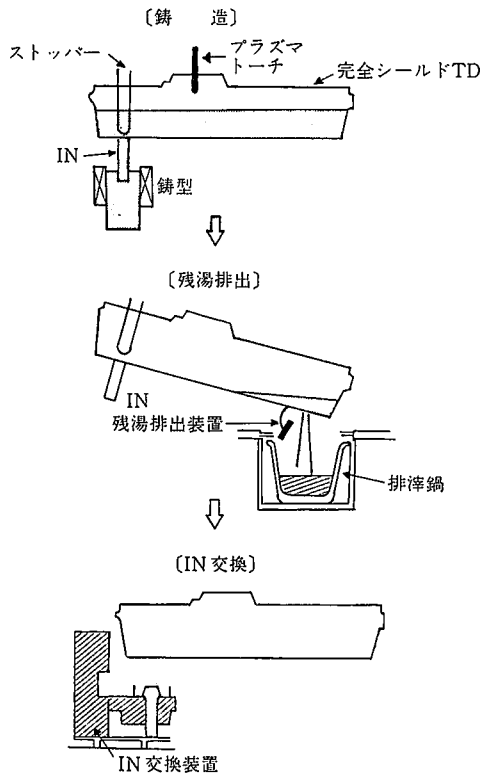


図 13 TD熱間回転作業フロー

ること

これにより空気漏れを防止でき, 又TD保温材の廃止も可能となった。

(3) 残湯やスラグの迅速な排出が可能なこと

鑄造終了後, 2分以内にTD内残湯を排出するため, 図14に示すようなTD底部に取り付けたフラッパーにより迅速に排出する技術を開発した。

等が挙げられるが, 鋼材の品質にもっとも考慮された方式が採られている。

#### 3.2.3 TD熱間回転操作の結果

鑄造終了後のTDれんがの表面温度推移を図15に示す。次ヒートの鑄造開始までの待機時間40分後の温度は, 1450°Cであり, 従来のTDの冷却補修後に予熱した温度1200°Cより遙かに高く, 予熱を完全に廃止することが可能となった。又, 図16に示すように, TD内溶鋼温度変化に対しても効果がみとめられる。

熱間回転TDを長期間連続使用していると, TD内への付着物の堆積現象が当初認められた。しかし, 鑄造末期でのTDプラズマ溶鋼加熱とTD内へのフラックス添加によるスラグの低融点化により解決され, 1993年2月には561ヒート/TDという連続操作を達成した。その結果, TD耐火物コストも従来の1/3程度に改善された。

#### 3.3 誘導加熱TDによる小ロット製造技術

鋼材の多様化, 高級化の進展により多品種・小ロット生産への需

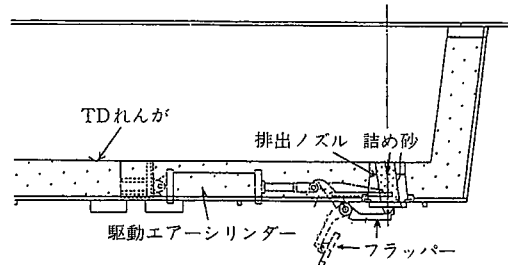


図 14 残湯排出装置の概要

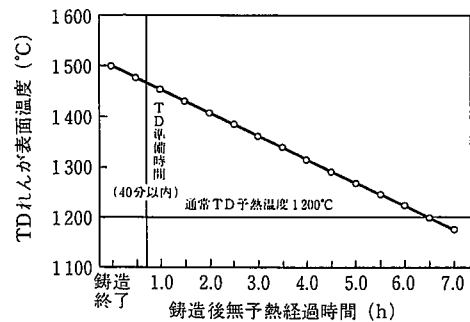


図 15 鑄造終了後からのれんが表面温度

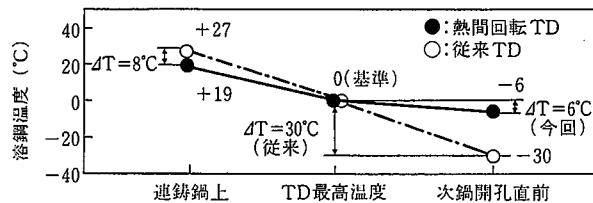


図 16 TD熱間回転時の溶鋼温度低下改善

要家要求は益々強くなる傾向にある。一方、通常の転炉～二次精錬～連铸プロセスでの小ロット製造は余材の発生を招き、製造コスト増の原因となっている。このような背景から、室蘭製鉄所では連铸TDを活用した成分調整による小ロット製造技術を開発し、実機化している。

### 3.3.1 プロセスの概要（誘導加熱TDによる合金添加技術）

小ロット材は転炉～二次精錬工程を経由した溶鋼をTDに分湯し、TD誘導加熱の熱裕度、フラックス精錬機能を活かして製造される。誘導加熱TDは中核の設備で、その概要図を図17に、設備仕様を表4に示す。本設備の最大投入電力は2.0MWで、TD内溶鋼重量が20tの場合、昇温能力は4.2(°C/min・静止溶鋼)である。加熱時間と溶解可能な合金鉄量との関係を図18に示す。加熱時間10分では約2% (0.5t) の合金溶解が可能である。

### 3.3.2 小ロット製造の実績

#### (1)成分の均一性

溶製パターンを図19に示すようにTD分湯から製造開始まで10分間で処理の完了が可能である。この場合、[C]や[Mn]を各々0.03%、0.30%変更するケースであるが、合金添加後約3分間で目標成分に達しており、極めて短時間で均一成分が得られることが確認されている。

#### (2)清浄度

合金鉄を多量(600kg)に添加した場合のTD内溶鋼のT[O]の推移を図20に示す。溶製時間の経過とともに誘導加熱時の攪拌効果によりT[O]が低下しており、高清浄度鋼が得られる。

#### (3)ガス成分への影響

TD内での静止溶鋼の小ロット処理は耐火物や添加合金からの水素や窒素の吸収が懸念されるが、耐火物の水分管理とTD内フラックスによる表面被覆管理により問題ないことが確認された。

### 3.3.3 ま と め

誘導加熱TDによる小ロット製造技術を開発した。この技術により特殊鋼棒線材の需要家小ロットニーズに応えとともに、需要家ニーズに迅速に対応できる高品質鋼材製造が可能となった。

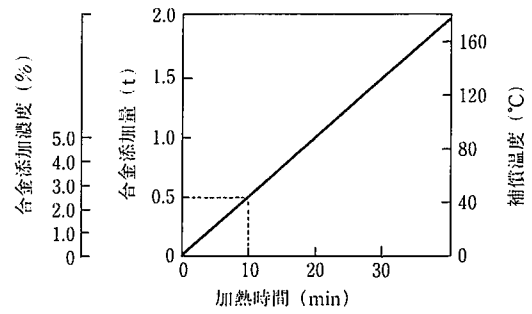


図 18 合金添加量と加熱時間

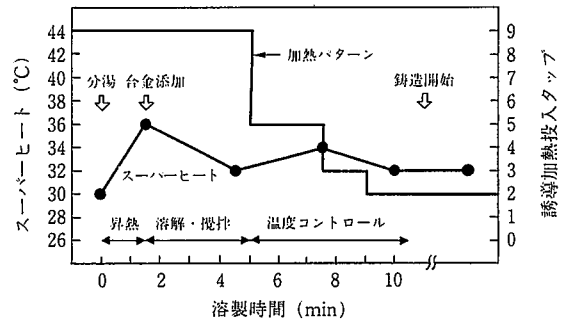


図 19 TD溶製パターン

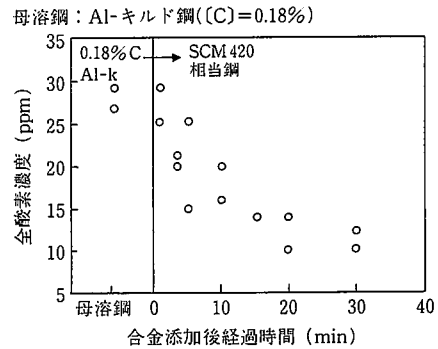


図 20 溶製中のTD内T[O]の推移

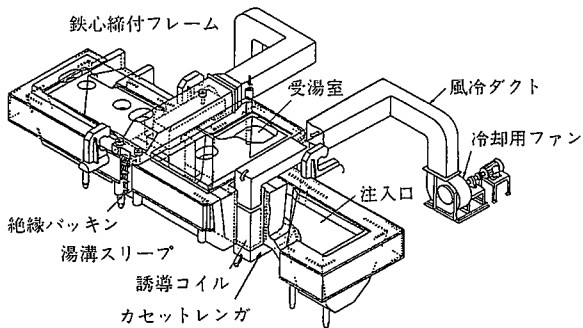


図 17 TD誘導加熱装置概要

表 4 誘導加熱装置仕様

項 目	仕 様
型 式	風冷式中間溝型誘導加熱
電力容量	1 000kW×2 ストランド
昇温能力	4.2°C/min (静止溶鋼)
制御方式	タップ切替え方式

## 4. TD革新技術の今後の展望

以上、最近新日本製鐵が開発してきたTDの革新技術について述べてきた。

これらの技術は今回紹介した製鉄所のみに留まらず、今後の製造工程の直行化、品質高級化、小ロット化、3K 作業排除等に対応可能な有力な要素技術として各所へトランスファーを図っていく予定である。このようにTDの多機能化に関する技術改善は、積極的に進められていくと予測されるが、今後の取鍋スラグの流出防止技術やTDへの電磁気力の適用、TD内溶鋼流動のモニタリング技術などの進展によって飛躍的に発展することも予測される。そして、二次精錬処理工程の負荷軽減や集約、一層の連铸の安定操業と高品質製造技術が発展していくことが期待される。

### 参 照 文 献

- 1) 木村 秀明 ほか：材料とプロセス.4,1198 (1991)
- 2) 田中 宏幸 ほか：鉄と鋼.78,T201 (1992)
- 3) 例えば 原 賢一 ほか：材料とプロセス.5,1324 (1992)
- 4) 谷口 尚司：材料とプロセス.6, 3(1993)