

# 討13 タンディッシュメタラジの今後の展開

神戸製鋼所

技術情報企画部 ○尾上俊雄

鉄鋼技術センター 植村健一郎、綾田研三、小川兼広

## 1. 緒言

取鍋精錬技術の開発が一段落した今日、最終精錬容器としてのタンディッシュの役割に着目した技術開発が進められつつある。本報ではまず、タンディッシュの役割の変遷と背景について触れたあと、これを支える主要な技術の動向と問題点および今後の課題について概説し、最後に、今後の方向を展望する。

## 2. タンディッシュの役割の変遷

タンディッシュの役割の変遷とその背景、ならびに関連する技術、手段を、併せて表1. に示した。連铸プロセスの導入以来、今日まで、溶鋼分配容器としてのタンディッシュの役割は、本質的には変わらないものの、生産性の拡大や、清浄鋼製造の要求にともなう、漸次新たな機能が付加されてきた。

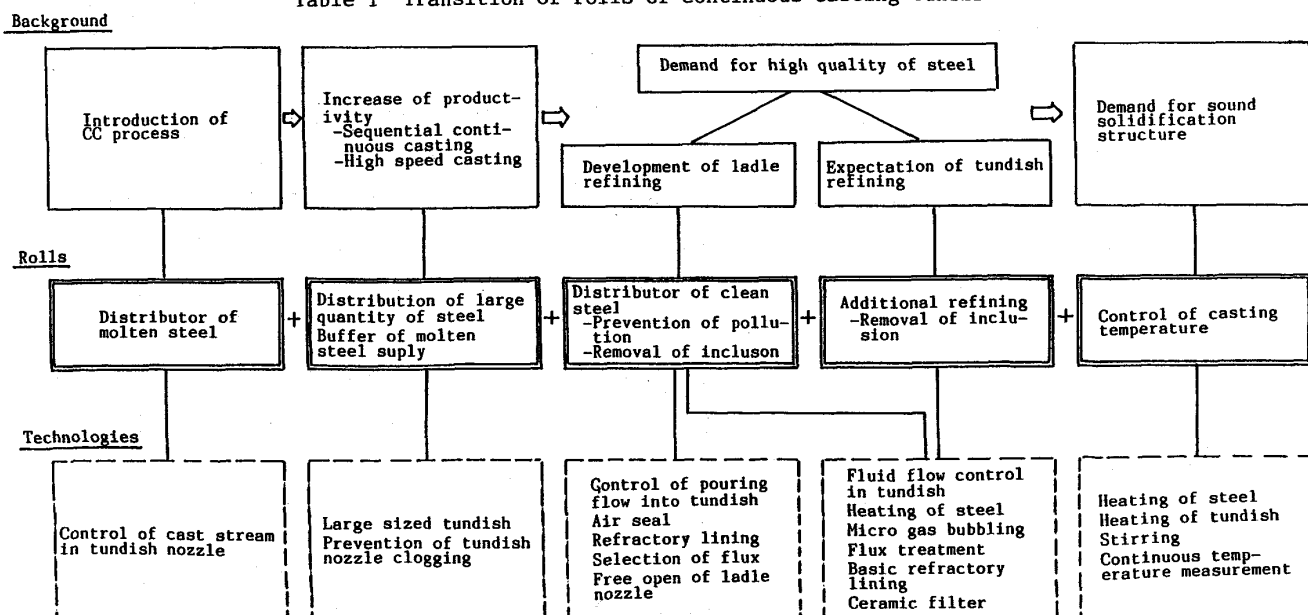
最近では、炉外精錬の範囲をタンディッシュにまで拡張し、溶鋼の清浄化と温度調節の機能を、最終製品に最も近い反応容器であるタンディッシュに付与することによって、溶鋼品質と铸片組織のいっそうの向上と均質化をはかる試みが始まっており、タンディッシュの新たな役割に対する期待が高まりつつある。

## 3. タンディッシュにおける新しい技術の動向と問題点

### 3-1. タンディッシュにおける溶鋼汚染防止

取鍋精錬技術の発達により、溶鋼品質が向上するにともなう、タンディッシュ内での汚染の問題が顕在化してきた。汚染の原因としてはタンディッシュ内雰囲気による二次酸化、耐火物の溶損、あるいは

Table 1 Transition of rolls of continuous casting tundish



は耐火物スラグの巻き込み等が考えられるが、鑄造初期や鍋交換時の非定常部においては、特にこの傾向が顕著であり、さらに溶鋼温度の低下も加わって、この部分の鑄片品質は定常部に比較して、著しく劣る事が確認されている。汚染を防止する技術は表1. に示したとおりであるが、このうち、タンディッシュを密閉化し、ロングノズルを用いて断気鑄造をおこなった場合の介在物レベルの変化を図1に示した。この結果鑄造初期の介在物レベルの低減に大きな効果が認められた。<sup>1)</sup>

汚染された溶鋼を清浄化する手段として、非定常部溶鋼の加熱による介在物浮上分離の促進、あるいはセラミックフィルターによる介在物の濾過等が考えられている。

### 3-2. 溶鋼流動制御による介在物の除去

介在物の浮上分離に対して、タンディッシュ内での溶鋼流制御は極めて有効な手段のひとつと考えられている。この観点から、従来よりタンディッシュの形状や堰の構造の決定にあたっては、コールドモデル実験や、数値計算にもとづいた流動解析がおこなわれたきた。

堰の効果に関する水モデル実験結果の一例を図2に示した<sup>2)</sup>。タンディッシュノズルからの、トレーサー粒子の流出量におよぼす堰設置の効果、ならびに堰孔径の影響を調査したものであるが、介在物相当径によって効果の程度が異なることがわかる。このような報告は、これまで数多くなされているが、導かれた結論は、報告者によって、必ずしも一致しているとはいえず、また実機における効果も十分に確認されているとはいえない。この理由として、水モデル実験の場合には、実験に用いたタンディッシュの形状、堰の配置あるいは流量等の実験条件の違いのほか、相似則の設定、トレーサーの種類あるいは効果の評価方法等の実験手法上の違いが上げられる。また実機における溶鋼流動の効果については、タンディッシュ内での溶鋼の汚染や、温度分布、堰あるいは耐火物表面への介在物の付着等の影響を分離して解析する必要がある。

いずれにしても、溶鋼流動解析にもとづいた介在物浮上分離条件の理論的究明と、実機における効果の検証が、今後の大きな課題として残されている。さらに、ガスバブリングや電磁気力の応用など、動的な流動制御手段との組合せについても検討してゆく必要がある。

### 3-3. 溶鋼加熱

タンディッシュにおいて、溶鋼温度とその変動幅を任意に制御することが可能であるならば、定常、

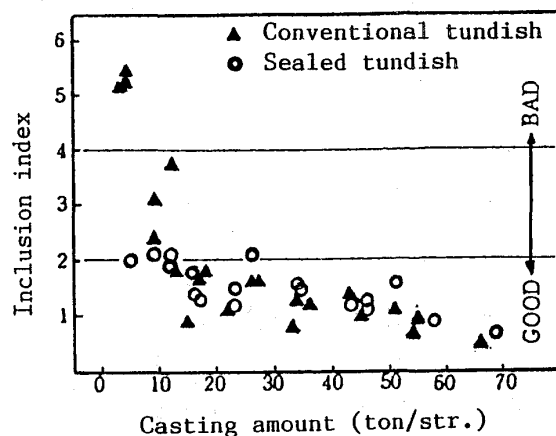


Fig.1 The effect of sealed tundish on the inclusion level

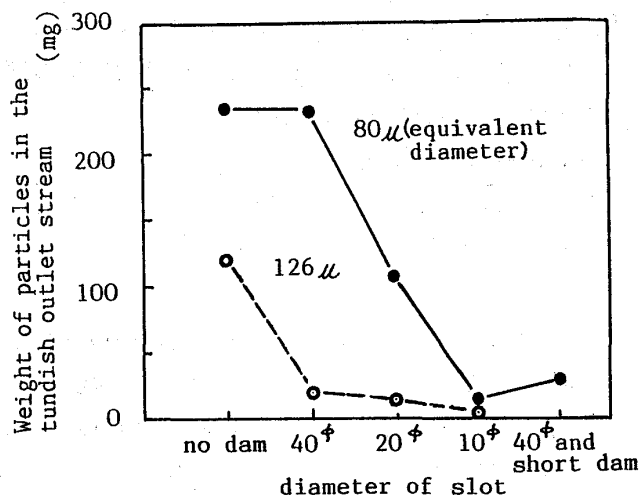


Fig.2 The effect of dam and weir

非定常部にかかわらず、鑄造の全期間にわたって、溶鋼品質の維持と、凝固組織の改善がはかれるため、高品質鑄片の製造と良塊歩留りの向上に、大きく寄与するものと期待される。この場合、溶鋼温度をいかに設定するかが、重要な問題となる。加熱方法として、誘導加熱<sup>3)</sup>あるいはプラズマ加熱<sup>4)</sup>の適用が報告されているが、方式の選定にあたっては、温度制御性、熱効率のほか、耐火物構造、保守の容易さ等を考慮する必要がある。図3は、照射部の局部的高温が予想されるプラズマ加熱を想定し、コールドモデルにおいて、温水表面をガスバーナーで加熱した場合の、熱効率についての調査結果を示す。熱効率を高めるためには、Arバブリング等による攪拌ならびにバーナーフードの設置が不可欠であることがわかる。しかしながら、攪拌が大きすぎる場合には、タンディッシュ内でのフラックスの巻き込み、あるいは耐火物粒の離脱、流出等による汚染が懸念されるため、実機においては、溶鋼の加熱パターンにおうじた最適の攪拌条件の設定が必要である。

当面、溶鋼の温度制御を目的とした技術開発が主体となろうが、将来的には、プラズマ照射による、還元雰囲気、超高温を利用した精錬技術へと発展する可能性もあり、この面での基礎的な研究が望まれる。

一方、注入初期の非定常部における溶鋼温度降下を低減するためには、予熱によるタンディッシュ耐火物の均一高蓄熱化が望ましい。そこで、コーナー部の均一加熱を目的としたコーナーバーナーの設置、開口部からの放熱を低減するためのタンディッシュの密閉化、ならびに排ガス顕熱による燃烧空気の予熱が可能な高効率加熱バーナー（エジェクタ方式レキュベレータ付バーナー）の開発を進めた結果、図4に示したように、短時間で高温均一なタンディッシュの予熱が可能となった<sup>5)</sup>。今後、溶鋼品質への影響を見極めてゆきたい。

またこのような高効率加熱バーナーあるいは、プラズマトーチによる加熱技術は、鑄造終了後、タンディッシュに付着したスラグ、メタルの融解除去にも応用できるものと考えられる。

### 3-4. セラミックフィルターによる介在物濾過

溶鋼中に懸濁する介在物を、セラミックフィルターを用いて濾過により除去する技術の開発が進められている。セラミックフィルターはアルミニウム、銅等の非鉄金属の分野で広く利用され、介在物の低減に大きな効果をあげているが、鉄鋼分野においては現在のところ、ステンレス鋼を除いて定常的に使用されるまでには至っていない。この理由として、鉄の場合には、高温かつ大量の溶鋼を処理する必要があるため、鑄造中のフィルターの耐久性や、介在物が付着した場合の通液性の確保に、なお問題が残されていること、何よりも、アルミニウムの場合ほど顕著な介在物低減効果が得られていないことがあげられる。後者については、介在物の形態や、濾過機構の違いによるところが大きいと考えられる。

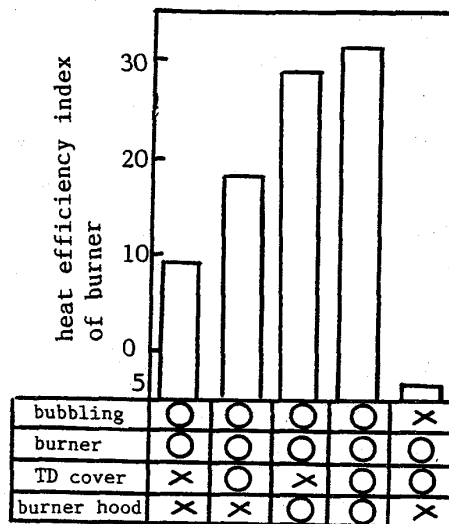


Fig.3 Heat efficiency of burner in cold model

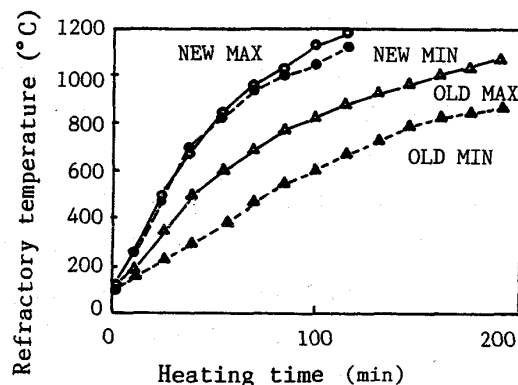


Fig.4 Comparison of refractory temperature by new and old types of tundish heating

図5に当社開発の糸積層型セラミックフィルターを用いた小型実験結果の例を示した。糸径4mmφの比較的に目の粗いフィルターを用いたためT・〔O〕の低下量は0～10ppm程度であったが、顕微鏡観察の結果では、15～130μ程度の大きさの介在物の低減に効果が認められた。

今後、セラミックフィルターを、量産鋼に適用してゆくためには、セラミックフィルターの機能と特性を十分に把握したうえで、もっとも効果的な使用方法を確立してゆく必要がある。

そのほか、タンディッシュ耐火物および堰材質の塩基性化、微細気泡の吹き込み<sup>6)</sup>あるいはフラックス処理等、さまざまな技術開発が進められている。今後、効果の定量的な把握と、反応機構の解明が進むものと考えられる。また、タンディッシュノズル閉塞防止のため、従来より、ノズル材質や構造の検討、あるいは、介在物の形態制御のため、カルシウム添加がおこなわれ、かなり改善されてはきたが、現場的には、なお問題となっており、新たな観点からの対応が要求されている。

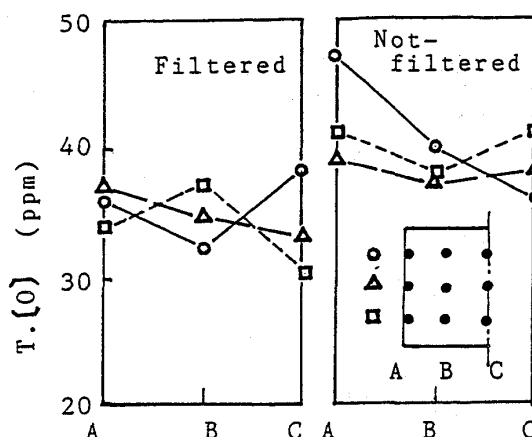


Fig.5 The effect of filtration on T.[O] in ingot sample

#### 4. 今後の展開

前章において、連鑄タンディッシュの変遷と、これを取り巻く最近の技術動向について概説した。

現在までのところ、鑄造初期の非定常部における溶鋼汚染の問題は、タンディッシュの密閉化、あるいは溶鋼加熱により、一応、解決の見通しが得られつつあることから、今後は、定常部における溶鋼の清浄化、凝固組織の改善、場合によっては、成分調整まで含めた精錬技術の開発が主体となるであろう。

精錬容器としてのタンディッシュの特徴を、取鍋と対比して考えると、タンディッシュの場合には、(1)溶鋼の一方向の流れに対する連続処理プロセスであること、(2)主たる精錬容器である取鍋の後に位置し、かつ、(3)鑄型あるいは製品にもっとも近い精錬プロセスであること、などがあげられる。

タンディッシュ精錬技術の開発にあたっては、これらの特徴を十分に認識しながら、タンディッシュの具備すべき精錬機能と、その限界をみきわめてゆく必要がある。さらに、この結果にもとづいて、溶鋼精錬における、取鍋、脱ガス設備、タンディッシュさらには、鑄型の各プロセスの役割分担を明確にするとともに、機能の最適化をはかっていくことが、今後の重要な課題になるものと考えられる。

経済情勢の変化やユーザーニーズの多様化によって、今後、製鋼プロセス自体が大きく変革すると考えられるがそのなかで、タンディッシュの役割の変化を予想することはきわめて困難である。しかしながら、現在予測できる、あらゆる変化に対応できるだけの、技術の開発と蓄積が、今日われわれに課せられた義務であると考えられる。

#### <参 考 文 献>

- 1) 副島ら：鉄と鋼 '87-S279
- 2) 喜多村ら：鉄と鋼 '81-S146
- 3) 小原ら：鉄と鋼 '83-S208
- 4) Pietro Tolve et al: Fifth Int. Iron and Steel Congress 69('86)P689
- 5) 南ら：鉄と鋼 '87-S250
- 6) 今村ら：鉄と鋼 '87-S281

高島ら：鉄と鋼 '87-S252