

(解説)

連続鋳造におけるタンディッシュ熱間繰り返し使用技術の確立

木村雅保・中島慎一・上田 輝・中尾 勝

鉄鋼部門・加古川製鉄所・製鋼部

Developments of High-repetition Tundish Operation under Hot Conditions in Continuous Casters

Masayasu Kimura・Shinichi Nakajima・Hikaru Ueta・Masaru Nakao

Small lot production in continuous casters is expensive and yields poor quality steel. To prevent this, high-repetition tundish operation under hot conditions was developed for the first time in the world at Kobe Steel's Kakogawa Works in 1989. In this process, reduction of FeO and MnO in tundish is achieved by repeated tundish operation without pre-heating on slag conditioning. High-repetition tundish operation reduces inclusions in the slab and produce defect-free clean steel .

まえがき = 今日の粗鋼生産の主流となっている連続鋳造（以下連鋳）プロセスは、国内で第 1 号機が 1955 年に稼動してからわずか半世紀が経過したにすぎない。その間、従来の造塊法に比較して生産性・コストに優れる連鋳プロセスは、粗鋼増産の波に乗ってめざましい発展をとげてきた。

当社においても、1966 年に神戸製鉄所に 8 スtrand のピレット連鋳機を、また 1973 年に加古川製鉄所に 2 スtrand のスラブ連鋳設備を導入して以降、連鋳比率の拡大を図ってきた結果、今日では当社の粗鋼生産量の 97.5% が連鋳プロセスで製造されている。

しかし、1980 年代に入り、ユーザの品質要求の厳格化、小ロット多品種オーダの増加などが進み、従来の連鋳プロセスでは生産性と歩留の低下、コストアップがいちじるしくなり、さらなる生産効率の向上が課題となった。とくに、小ロットオーダの増加は、タンディッシュ（以下 TD）の使用台数が増加し、連々鋳率 = CH/TD（1 台のタンディッシュで受鋼するチャージ数で、溶鋼を供給する取鍋ごとにチャージと呼ぶ）の低下によるタンディッシュ耐火物コストの大幅なアップと非定常部鋳片の増加による歩留まりの低下をもたらした。また、同時に非金属介在物の浮上分離を促進するために大型 TD の探

用が進み、CH/TD の低下はいつもの耐火物コストの上昇を招くこととなった。

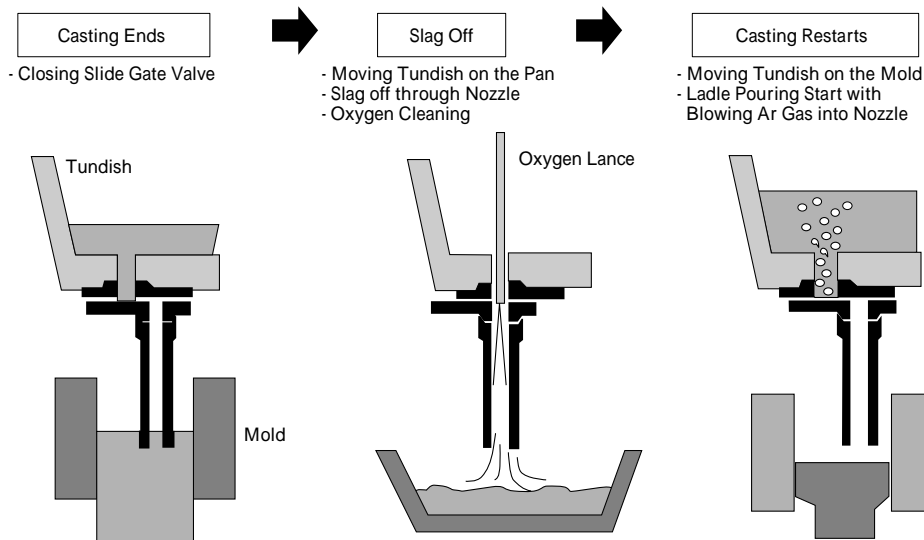
当社では 1980 年代後半からこれらの課題に取り組み、高品質スラブを低コストで製造可能とする新プロセスとして、大型 TD をもちいた TD 熱間繰り返し使用プロセスを世界に先駆けて開発し、1989 年に加古川製鉄所 4 号連鋳 No.1 スtrand 設備（以下 4-1CC）および 1992 年に同 No.2 スtrand 設備（以下 4-2CC）に実用化した。

本プロセスは、従来の連鋳プロセスが類似鋼種の連々鋳を基本としていたのに対して、1 台の TD を約 1 カ月以上の長期間にわたって繰り返して使用し、成分の異なる鋼種を排滓しながら間欠的に鋳造することを特徴としている。

1. 当社における小ロット対策

本来連鋳プロセスは単一鋼種の大量生産を主目的として開発され、1 台の TD で同一鋼種を最大限に受鋼し CH/TD を向上することによって、低コストおよび高品質を実現してきた。

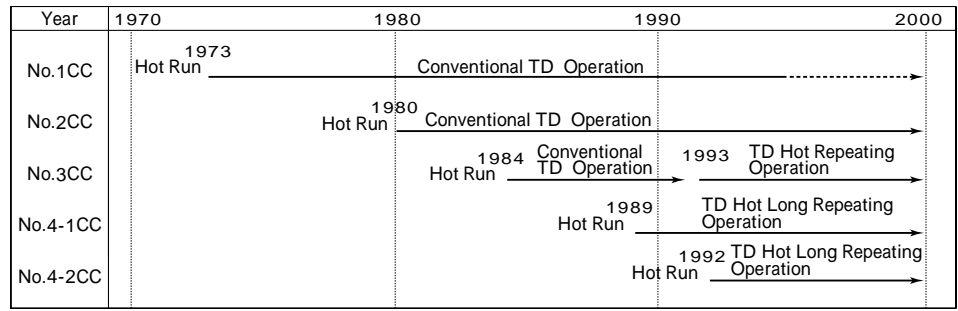
しかし、従来の連鋳プロセスでは品種ごとに TD を交換するため、小ロット多品種材の鋳造が増加した場合、



第 1 図 従来の TD 再使用プロセス
Fig. 1 Usual procedure of tundish reusing process

第2図 加古川製鉄所の連鑄操作の変化

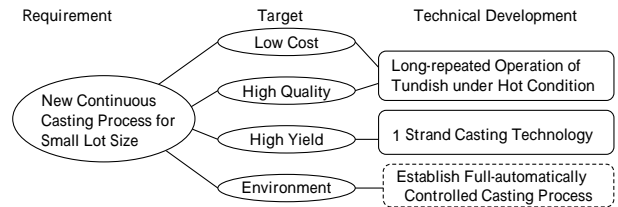
Fig. 2 Transition of continuous caster operation in at Kakogawa Works



TD 使用台数が増加することにより、耐火物コストおよびTD 整備要員が大幅に増加する。この対策として、各社ともCH/TD を拡大するために同一TD による異鋼種連々鑄やTD 再使用などを指向し、第1図に示すTD 熱間再使用法などが実用化された。これは鑄造終了後にオンラインでTD 内の残鋼滓をノズル部から排出し、そのままTD を再使用する操作方法である。しかし、本法は数回程度の再使用が限界であること、残鋼滓の排出に限界があり、鑄造初期の溶鋼の清浄度が低下するなどいくつかの課題が残されていた。

第2図に当社加古川製鉄所における連鑄操作の変遷を示す。当社では4-1CC の建設企画に際し、小ロット多品種材の鑄造において、高品質、低コスト、高生産性を可能とする連鑄プロセスの開発を目標に、第3図に示すTD 熱間繰り返し使用技術を柱とする基本コンセプトを設定した。4-1CC では高品質鋼を製造するために、溶鋼中の介在物浮上分離時間を確保するのに十分な容量80トンの大型TD を採用したため、小ロット材の鑄造におけるコストアップ、鑄造開始時のボトム品質の劣化等を防止しなければならなかった。

第4図に当社が実用化したTD 熱間繰り返し使用技術のフローを従来方式と比較して示す。当方式では、鑄造を終了したTD は鑄床で約90°傾転されて内部に残留し



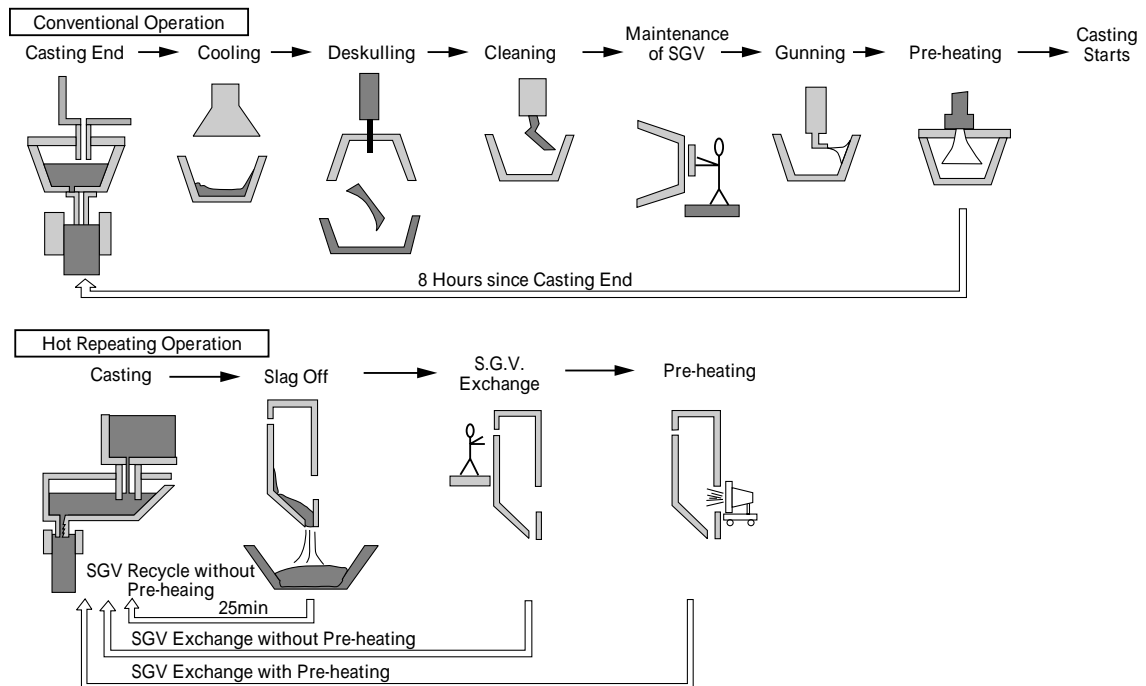
第3図 高能率連鑄機の基本コンセプト

Fig. 3 Concept of high efficiency continuous caster for small lot production

ている地金およびスラグを排出する。次に、注入に使用するノズル周りの耐火物(スライドバルブ、以下SV)を寿命に応じて交換、整備した後、次回の鑄造を開始する。SV 耐火物の寿命向上、TD 加熱の省略および鑄造準備作業時間の短縮などにより、鑄造終了から開始までの鑄造準備時間は最短で25分を達成しており、従来方式と比較してTD 整備時間の大幅短縮を実現し、省力、省エネルギーにも大きく寄与している¹⁾。

2. TD 熱間繰り返し使用技術の開発

本プロセスは1台のTD を繰り返し使用するため、前回鑄造時のTD 内残留スラグ中および地金の酸化によって生じた低級酸化物(FeO, MnO)が次回鑄造時に溶鋼を汚染する。この課題を克服するために、最適なTD 形



第4図 TD 熱間繰り返し使用プロセス

Fig. 4 Basic flow of continuous hot repeating operation of tundish

状の設計とTD内残留スラグおよび地金による影響のミニマム化に取り組んだ。

2.1 最適なTD形状の決定

TD内残留スラグの影響を排除するためには、鑄造直後にTDを傾転することによってスラグを可能な限り排出できるTD形状でなければならない。そこで、TD本来の介在物浮上分離機能だけでなく排滓性にも優れる形状として、深く長い大型（最大容量80トン）で、かつ堰を省略したシンプルな構造を実現した²⁾³⁾。とくに、介在物の浮上分離を促進するために従来のTDに適用されてきた堰については、第5図に示すように溶鋼流動解析と介在物の挙動解析をおこない、本TDの場合は堰がないほうが介在物がTD湯面に浮上しやすいことを確認した。

2.2 TD内残留スラグおよび地金の影響のミニマム化

第6図にTD熱間繰返し使用における鑄造開始から終了までのTD内浮遊スラグ量の推移を生成起源別に示す。浮遊スラグは、前回鑄造時の残留スラグと鑄造準備時間中に生成された残留地金の酸化物を起源としている。また、鑄造開始後10分間で大部分の残留スラグおよび酸化物が浮上することから、この間にTD内附着物の剥離および溶鋼との反応が急速に進行することがわかる⁴⁾。本知見をもとに、TD内残留スラグの影響を最小化するため以下の技術開発に取り組んだ^{5)~8)}。

前回鑄造時の溶鋼およびスラグの完全排出

鑄造準備作業の酸化物の生成防止

鑄造開始直前のTD内での溶鋼保持

鑄造時のTD内浮遊スラグ中の低級酸化物の低減

2.2.1 TDの排滓性向上

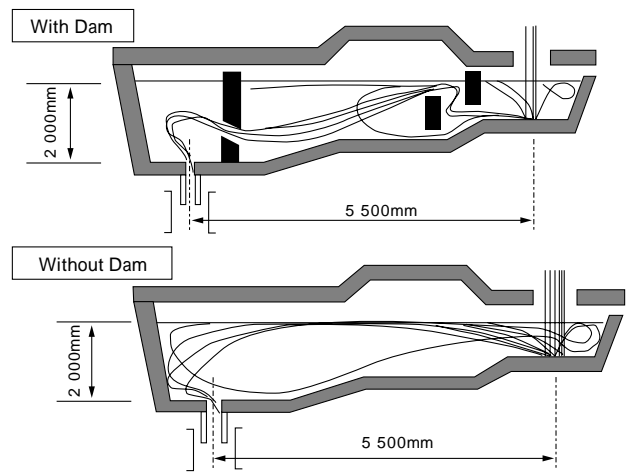
鑄造中のTD内スラグは Al_2O_3 と SiO_2 を主成分としており、融点が非常に高いために流動性がきわめて悪い。そのため、鑄造後の排滓時にTD内に大量に残留し、次回鑄造開始時に溶鋼を酸化して介在物を生成する。そこで、TD内に適正なフラックスを添加することによって、スラグの低融点化を図り排滓性を向上した。

2.2.2 TD無加熱操業の適用

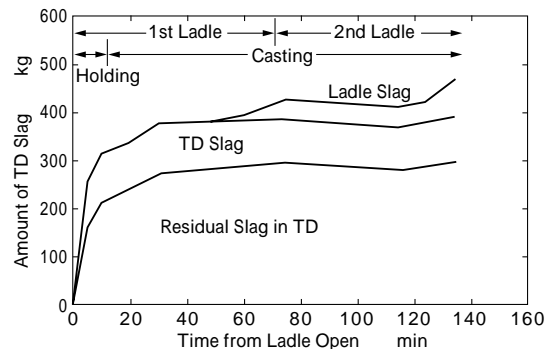
鑄造準備時間中における残留地金の酸化はバーナによるTD加熱中にいちじるしく進む。これを低減するため、TD加熱を省略し、かつ鑄造準備時間を短縮（約45分、約25分）したTD無加熱操業を工程化した。本効果を実鑄造で確認するために、TD内浮遊スラグを採取して低級酸化物（FeO、MnO）の濃度を調査した結果、第7図に示すようにTD無加熱操業によって低級酸化物の濃度を従来より半減できることを確認した⁹⁾。このTD無加熱操業の開発により、TD熱間繰返し使用のメリットを最大限に活かした究極の連鑄操業を確立した¹⁰⁾。

2.2.3 鑄造開始直前のTD内での溶鋼保持

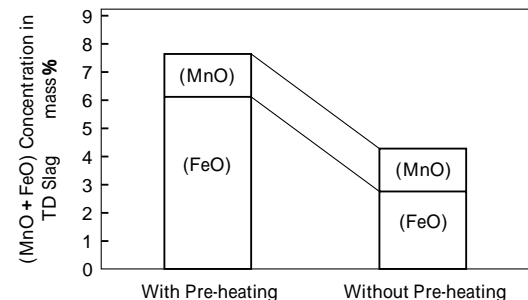
前述したようにTD内残留スラグの浮上および介在物の生成は鑄造開始後の10分間にいちじるしく進む。そこで、鑄造初期の介在物を低減するために、鑄造開始前にTD内に溶鋼を一定時間保持して介在物の浮上分離を促進したのち、鑄造を開始するスタート方法を開発した¹¹⁾。第8図に実機テストの結果を示す。鑄造開始前の



第5図 溶鋼流動解析によるタンディッシュ内での介在物の挙動
Fig. 5 Behavior of inclusions in tundish by numerical analysis



第6図 鑄造中のTD内スラグ量の推移
Fig. 6 Change in amount TD slag during casting

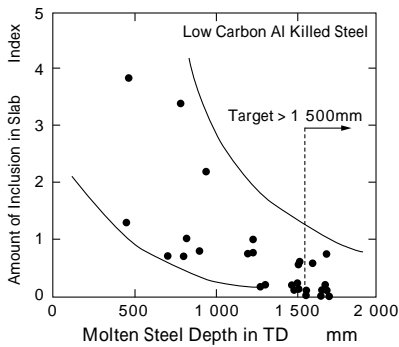


第7図 鑄造中のTD内スラグ量の推移
Fig. 7 Change in amount TD slag during casting

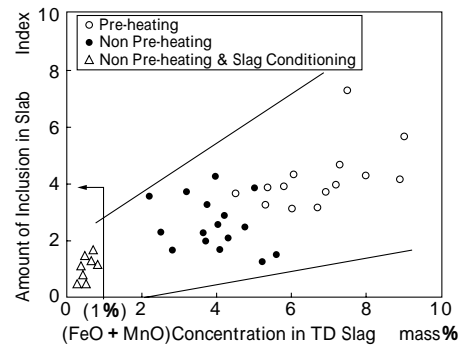
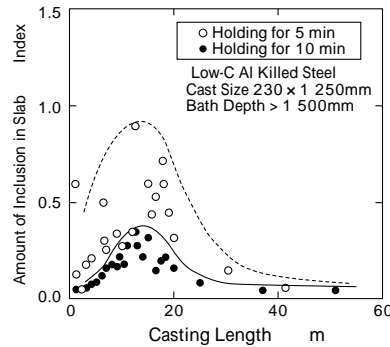
TD内の溶鋼保持時間の延長（5分～10分）と溶鋼深さの確保（1500mm以上）により、介在物の浮上分離を促進し鑄片内に残留する介在物のレベルを低減できている²⁾。

2.2.4 TD内浮遊スラグ中の低級酸化物の低減

TDの排滓性向上、TD内無加熱操業の適用などによりTD内浮遊スラグ中の低級酸化物は減少し品質改善が図られたが、一部の介在物厳格材での鑄造に対してはさらに低級酸化物を低減しなければならない。実験により溶鋼中のAlの酸化はスラグ中のFeO、MnOの濃度に依存するが、各酸化物の濃度がそれぞれ1%以下の領域では鋼中のAlの酸化速度が停滞することが確認された。そこで、実機におけるTD内浮遊スラグ中の低級酸化物濃度を低減するため、金属Al入りのフラックスをTD湯溜め中にスラグ上へ添加し、Alにより低級酸化物を



第8図 铸造初期のTD湯溜による品質改善効果
Fig. 8 Effect of preserving time in TD at start of casting



第9図 TDスラグ中の低級酸化物濃度と鑄片残留介在物
Fig. 9 Relation between inclusion in slab and (FeO + MnO) in TD slag

還元した。その結果、第9図に示すようにTD無加熱操業とスラグ改質の複合により、TD内浮遊スラグ中の低級酸化物の濃度を当初の5%以上のレベルから1%以下にコントロールし、介在物を低減できた。

以上の各技術の開発により、第10図に示すように定常部だけでなく非定常部スラブの品質も大幅に向上できた。その結果、製品(熱延、冷延コイル)における不良発生率も大きく改善でき、物流の安定化とコストダウンに寄与している¹²⁾。

3. 既設連続設備への応用

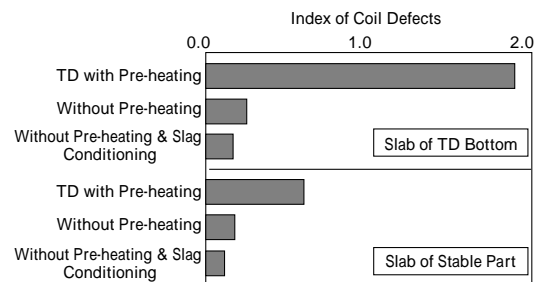
当社加古川製鉄所では、世界で初めて4-1CCで確立したTD熱間繰返し使用技術を、1992年に稼働した4-2CCへも適用した^{13),14)}。また、本技術の開発で培った熱間TDのノウハウを既設連続機の3号連続(スラブ連続)へも適用し、TD内の残留スラグおよび地金を排出後、無加熱で数回再使用するTD熱間再使用操業を確立し、小ロット多品種オーダの鑄造においてTD耐火物コストの低減、生産性の向上を図っている。

4. 今後の展望

当社が業界で初めてタンディッシュ熱間繰返し使用技術を実用化して以降、国内の各社とも本技術を導入してきた。本技術のパイオニアとして今後とも当社が品質、生産効率およびコストにおいて優位性を維持していくために、本技術を発展させて、TD内スラグの無害化などさらなる品質向上、生産性の向上を追求したい。とくに、1基のタンディッシュにおける生産性の向上、タンディッシュ内スラグの無害化の追求を引き続いて推進していく所存である。

むすび=近年ますます増加する小ロット多品種オーダを低コスト、高品質、高生産性で鑄造可能な連続操業方法として、当社加古川製鉄所では世界で初めてTD熱間繰返し使用技術を実用化した。とくにTD内残留スラグおよび地金の影響を最小化するために、各種製造技術の開発に努めた結果、薄板向け介在物厳格材の安定製造が可能となり、高級鋼を低コスト、高効率で製造できる連続プロセスを確立した^{15)~18)}。

当社が確立したTD熱間繰返し使用技術を柱とする



第10図 製品不良率の低減効果
Fig. 10 Relation between coil defects and casting conditions

高能率連続鑄造プロセスは、新しい連続操業への道を開いた革新的技術として、その独創性と業界への貢献が高く評価された結果、第42回(平成7年度)大河内記念生産賞を授賞した。

参考文献

- 1) 横山秀明ほか: CAMP-ISIJ, Vol.2 (1989) p.1211.
- 2) 大熊賢一ほか: CAMP-ISIJ, Vol.3 (1990) p.198.
- 3) M. Maeda et al.: 1st European conference on continuous casting (1991) p.210.
- 4) 中峠 宏ほか: 鉄と鋼, Vol.81, No.7 (1995) p.709.
- 5) 前田昌宏ほか: CAMP-ISIJ, Vol.3 (1990) p.199.
- 6) 前田昌宏ほか: CAMP-ISIJ, Vol.3 (1990) p.1124.
- 7) H. Fujimoto et al.: 6th International Iron and steel Congress (1990) p.235.
- 8) 大熊賢一ほか: 耐火物, Vol.42, No.11 (1990) p.663.
- 9) 瀬村康一郎ほか: CAMP-ISIJ, Vol.5 (1992) p.1325.
- 10) 沖田寛己ほか: CAMP-ISIJ, Vol.7 (1994) p.323.
- 11) 瀬村康一郎ほか: CAMP-ISIJ, Vol.6 (1993) p.267.
- 12) 前田昌宏ほか: CAMP-ISIJ, Vol.7 (1994) p.246.
- 13) H. Okita et al.: AIME 76th Steelmaking Conference (1993) p.237.
- 14) M. Nakao et al.: METEC Congress 1994 2nd European Continuous Casting Conference (1994) p.180.
- 15) 江波戸紘一ほか: 鉄と鋼, Vol.78 (1992) p.T133.
- 16) 中峠 宏ほか: 鉄と鋼, Vol.78 (1992) p.T205.
- 17) 中尾 勝ほか: CAMP-ISIJ, Vol.8 (1995) p.1061.
- 18) T. Ishikura et al.: AIME 9th Process Technology Conference, (1990) p.115.