

Recent Progress of Refractories in Highly Efficient Continuous Casting



中澤 大地
Taichi Nakazawa
千葉製鉄所 製鋼部耐火
材技術室



桑山 道弘
Michihiro Kuwayama
千葉製鉄所 製鋼部耐火
材技術室長



今飯田 泰夫
Yasuo Imaiida
川崎耐火材料 築炉工事
グループ 課長

要旨

川崎製鉄では、連鑄の高能率化を支える耐火物技術として以下の開発を行った。千葉製鉄所第3連鑄工場の更なる生産性向上を図るべく、タンディッシュ連々指数向上のために、材質改善により浸漬ノズルの寿命を向上させ、またタンディッシュの補修作業軽減のためには、MgO コーティング材との焼き付きが少ない内張りキャストブル耐火物を開発し、更に耐火物の支持構造を改善することにより内張り耐火物の不定形化を実施した。一方、水島製鉄所第4連鑄工場では、生産性向上、省エネルギー、および耐火物の有効使用率向上を目的にタンディッシュの熱間繰り返し使用を実施し、450 回までの繰り返し使用を実現し、従来の連鑄機に比べ大幅なコスト削減を達成した。

Synopsis:

Kawasaki Steel has developed several new refractory technologies to support higher efficiency in continuous casting. To improve the productivity of Chiba Works No. 3 Continuous Casting Shop, the life of the submerged nozzle was extended by improving the nozzle material properties in order to raise the continuous-continuous index of the tundish; a castable lining refractory characterized by little burning with the MgO coating was developed; and monolithic refractory material was adopted to the tundish lining following an improvement in the refractory supporting structure. On the other hand, Mizushima Works No. 4 Continuous Casting Shop has adopted hot recycling of the tundish in order to enhance productivity, save energy, and raise the effective use ratio of refractories. With this technique, the tundish has been reused as many as 450 times, achieving a substantial cost reduction in comparison with conventional continuous casting machines.

1 緒 言

現在の鉄鋼業の高生産性は、鋼の連続鑄造化により飛躍的に向上してきた。今後更に生産性を向上させるためには、連鑄技術の一層の高能率化への改善が必要であり、連鑄耐火物の分野では

- (1) タンディッシュ連々指数及び使用回数の向上
- (2) 耐火物の有効使用率向上

が指向されており、浸漬ノズルの改善、タンディッシュ本体の不定形化による継ぎ足し補修技術^{1,2)}、及びタンディッシュの熱間再使用³⁻⁵⁾等が行われている。

千葉製鉄所第3連鑄工場（以下3連鑄）では、1基のスラブ連鑄機で普通鋼の製造を行っており、生産性の向上及び耐火物コストダウンを進めてゆく上で、タンディッシュ連々指数の向上は重要な課題であった。そこで連々指数を決定している浸漬ノズルの耐久性の向上を行うことにより、耐火物コストの低減を目指し、更にタンディッシュ補修作業軽減のための本体不定形化を行った。

一方、水島製鉄所第4連鑄工場（以下4連鑄）では、生産性向上、省エネルギー、および耐火物の有効使用率向上を目的にタンディッシュの熱間繰り返し使用技術を開発した。タンディッシュの断熱化、スラグラインの高耐食性化、および加熱冷却と酸素洗浄に強

いスライディングプレート材質の改善により、熱間連続使用回数の増大を実現した。

本報では、これらの高能率連鑄を支える耐火物技術について報告する。

2 浸漬ノズル寿命の向上

3連鑄では、生産性を向上させるためにはタンディッシュ連々指数の向上が必要であり、そのためには浸漬ノズル寿命の向上が必要であった。連鑄用浸漬ノズル寿命向上の課題としては、

- (1) Al_2O_3 介在物等の詰まり防止
- (2) ノズル耐火物の損傷抑止

があり、(1)については鋼の清浄化⁶⁾により改善を行ってきた。

一方、(2)はパウダーライン部の ZrO_2 -C 材質の溶損抑止が特に重要な課題である。

パウダーライン部では、パウダー中の SiO_2 、 Na_2O 等の成分が液相として ZrO_2 粒子中へ浸潤し、安定化剤の CaO 成分の離溶により、 ZrO_2 粒子は粒外周部より細粒化して溶出してゆく⁷⁾。このことから、安定化剤の CaO 成分を含まない未安定化 ZrO_2 (m - ZrO_2) の使用比率を増やした浸漬ノズル A、B を試作し実機に適用した。Table 1 に、テスト品の品質を示す。

Fig. 1 に低炭アルミキルド調鑄造時に使用したノズルのパウダーラインの損傷状況を示す。 m - ZrO_2 の使用比率を増やしたノズル B は、

* 平成8年1月16日原稿受付

Table 1 Properties of submerged nozzles

	A	B
Chemical composition (%)		
Al ₂ O ₃	0.4	0.3
SiO ₂ +SiC	5.1	14.9
ZrO ₂	69.6	69.1
CaO	5.2	1.8
F. C.	17.3	14.5
m-ZrO ₂ ratio in ZrO ₂ (%)	12.7	88.9
Apparent porosity (%)	14.4	17.3
Bulk density (g/cm ³)	3.49	3.42
Modulus of rupture (MPa)	12.1	10.4

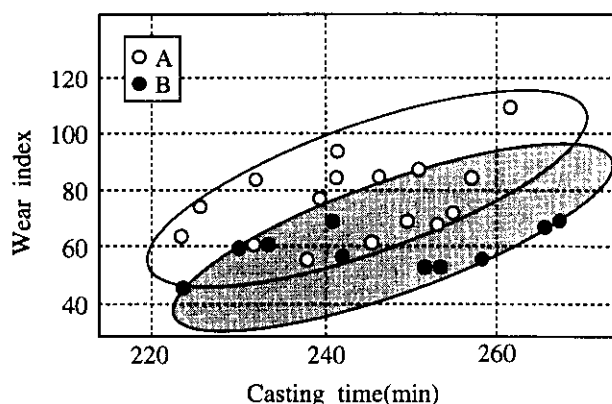


Fig. 1 Relation between casting time and wear of submerged nozzle at powder line

鋳込み時間の増加にもかかわらず安定した損傷を示し、20%の損傷抑制効果が得られた。

以上の改善の結果、浸漬ノズルは最大10回まで安定使用が可能となり、タンディッシュ連々指数も従来平均4回であったものが、平均7回まで向上している。

3 タンディッシュ本体不定形化

3連鋳タンディッシュは、稼働当初より本体耐火物としてロウ石レンガを使用していた。しかし施工（レンガ積み）に時間を要すること、長時間鋳込み時にコーティングと焼き付くこと、更に使用回数が増加すると目地から側壁背面への溶鋼侵入により側壁が迫り出すこと等の問題もあった。

これらの改善方法として、材料開発、側壁支持構造を検討した上で、本体耐火物の不定形化を推進した。

3.1 材料開発

3.1.1 MgO コーティング材との焼き付き防止

3連鋳ではMgO コーティング材を使用しており、不定形材料として取鍋などで一般的に使用されているAl₂O₃-SiO₂系の材料との反応性を考えると、Al₂O₃量が多いとMgO·Al₂O₃を、Al₂O₃量が少ない（SiO₂量が多い）とMgO·SiO₂を生成し、どちらの場合もコーティング材との焼き付きが発生する。そこで、Fig. 2に示す実験方法で不定形材料の最適Al₂O₃（SiO₂）量の検討を行った。

結果をFig. 3に示す。Al₂O₃量40～55%の範囲で、最もMgOコ

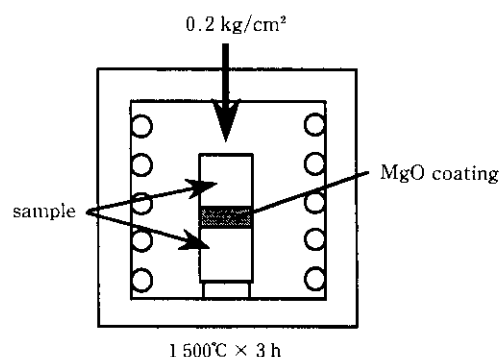


Fig. 2 Method of baked test

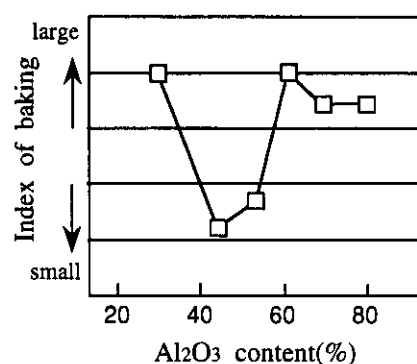


Fig. 3 Result of baked test

ーティング材との焼き付きが少ないことが判明した。

3.1.2 容積安定性の付与（亀裂発生防止）

不定形材料では、繰返し使用時の収縮亀裂と、それに起因する剝離損傷抑制が重要であり、以下の改善を図った。

- (1) 熱膨張変化量の抑止…低フラックス原料（Fe₂O₃+TiO₂=1.2%）使用
- (2) 残存膨張性付与…微粉に膨張性アルミナ配合

Fig. 4に開発品の熱膨張曲線を示す。従来のAl₂O₃-SiO₂系の材料に比べ、1500℃での膨張率が小さく、かつ同程度の残存膨張を有している。

3.2 側壁支持構造の検討

一般に、側壁に不定形耐火物を施工する場合、施工体の倒れ防止として鉄製のアンカーを使用するが、アンカーからの漏鋼事故防止

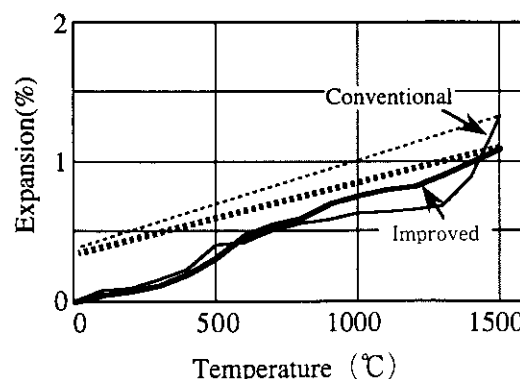


Fig. 4 Curve of thermal-expansion

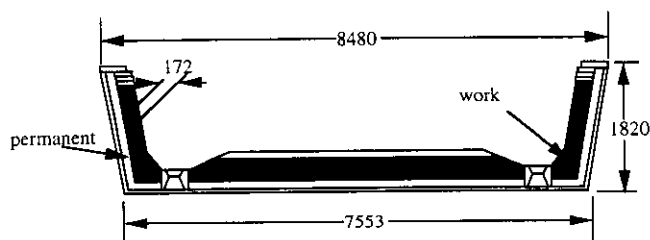


Fig. 5 Profile of 3 C C tundish

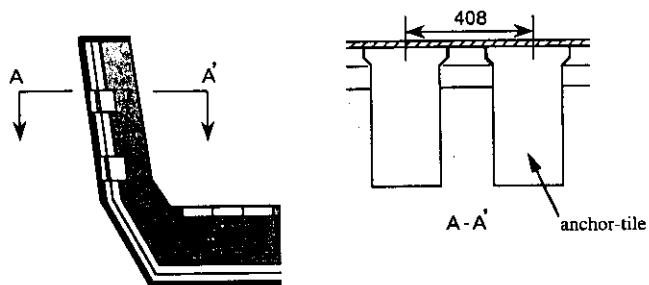


Fig. 6 Wall-support structure

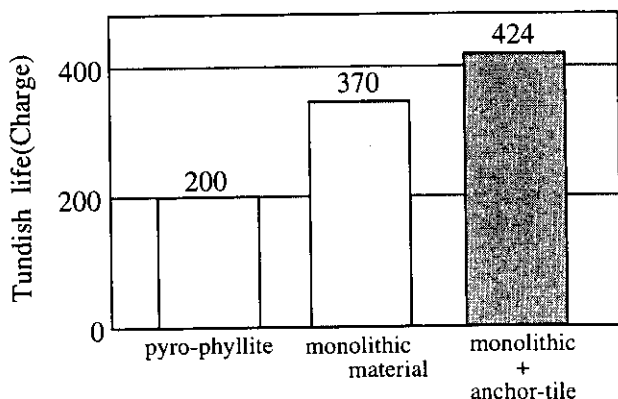


Fig. 7 Effect of improvement

のため溶湯レベルより上部にのみ使用していた。

3連鋳タンディッシュはFig. 5に示すような大型タンディッシュであり、側壁を不定形化する場合、側壁のせり出し、倒壊が懸念され、溶湯レベル以下にも何らかの支持構造が必要であると考えた。そこで、Fig. 6に示す耐火物製の支持構造（アンカータイル）を溶湯レベル以下に設けて支持することとした。

3.3 不定形化の効果

以上の検討をもとに、タンディッシュ本体の不定形化を実施した。Fig. 7に、タンディッシュの寿命を示す。側壁寿命は不定形化によりレンガに比べ大幅に向上し、更に側壁支持構造変更により側壁寿命424回を達成した。

4 タンディッシュ熱間繰り返し使用

連続鋳造の新技術として、タンディッシュの熱間繰り返し使用が各社で行われており、当社水島製鉄所においても1993年1月に稼働開始した⁴⁾4連鋳で熱間繰り返し使用を導入した。

熱間繰り返し使用法とは、生産性向上や、耐火物コストの削減を

目的として、ノズル耐火物を熱間のオンラインで交換しつつ、残鋼の排出を繰り返ししながらタンディッシュを連続使用するものである。したがって、タンディッシュには従来のMgOの表面被覆がないため、内張り耐火物はタンディッシュパウダーに対する高耐食性が要求され、残鋼をうまく排出するためのタンディッシュの内形状および適正な耐火物材質の配置が必要となる。またスライディングノズルも、加熱冷却の繰り返し、地金の酸素洗浄による酸化鉄の影響等、使用条件が過酷になる。これらの問題点を以下に述べるように耐火物のライニング構造と材質の改善により解決し、4連鋳において450回までのタンディッシュ熱間繰り返し使用法に成功し、従来の連鋳機に比べ大幅なコストダウンを可能にした。

4.1 タンディッシュの熱間繰り返し使用方法

タンディッシュの熱間繰り返し使用方法としては、鋳造終了後のタンディッシュの浸漬ノズルを取り外した後、回転台車により回転し、残鋼をポットに排出する。次に上ノズル内を酸素洗浄し、スライディングノズル、上ノズルが再使用可能であれば次の鋳造チャンスに使用し、耐火物の損傷が大きければ交換を行う。このようにして、タンディッシュを冷却することなく連続して使用するが、タンディッシュ耐火物の損傷が大きくなった場合には、修理ヤードにてタンディッシュ内の耐火物の補修を行う。

4.2 タンディッシュ耐火物材質の検討

タンディッシュの繰り返し使用回数を増していくためには、タンディッシュ傾転排滓時にタンディッシュ内の残鋼とタンディッシュ添加パウダーを効率良く排出することが必要である。そこで以下の改善を行った。

4.2.1 タンディッシュ断熱化

熱計算を行ったところ、Fig. 8に示すように鉄皮～パーマレンガ間に断熱レンガを施工することにより、鋳造終了後のタンディッシュ耐火物の温度降下を低減できることが推測された。タンディッシュパウダー及び残鋼の排出を容易にするために温度降下を低減することは重要であり、実機テストを行ったところ計算通りの効果が認められたため、実機に適用した。

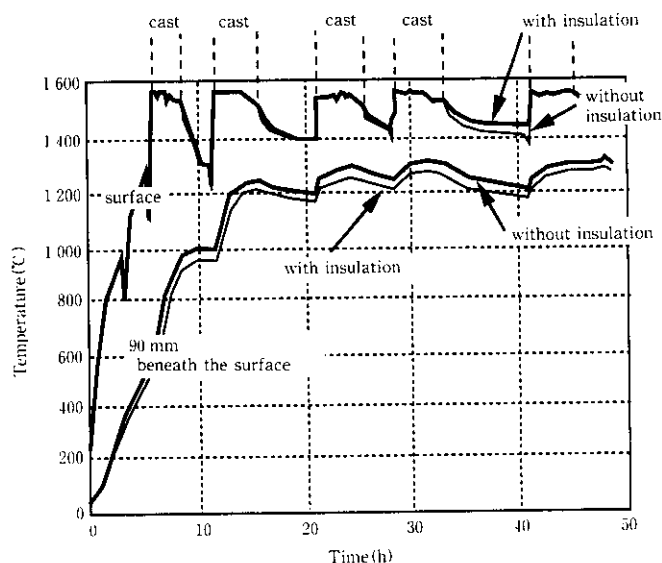


Fig. 8 Result of heat-calculation of tundish

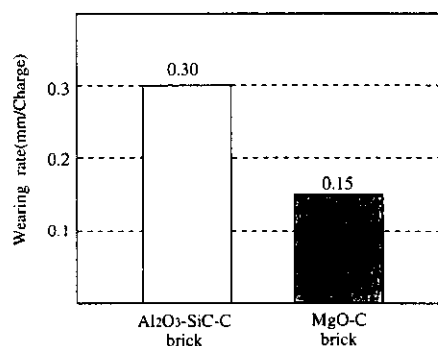


Fig. 9 Improvement of tundish slag-line refractories

4.2.2 タンディッシュパウダー変更

鋼品質を保证するためパウダー塩基度を8に設定すると共に、CaF₂とNa₂Oを合わせて20%以上含有させることにより、低融点化を図った。

しかし、排出性改善のためタンディッシュパウダーの組成変更を行なうと、パウダーライン部の損傷増加が懸念されるため、パウダーライン部にパウダーと濡れにくいAl₂O₃-SiC-Cレンガを適用した。また、更なる損傷抑止のためMgO-Cレンガを適用し、Fig. 9に示すようにパウダーライン部の大幅な損耗速度低減効果が得られた。

4.3 スライディングノズルプレート材質の改善

4 連鋳稼働当初スライディングノズルプレートは従来の連鋳機と同じ材質のものを使用していた。タンディッシュ本体の熱間繰り返し使用により、スライディングノズルの使用回数が増加すると、摺動面に垂直な亀裂と、その部位からの溶損が顕著となった。

従来品はAl₂O₃を主体とし、フェノール樹脂をバインダーとして使用した不焼成品であるため、常温から1000℃までの中間温度域での強度不足が考えられる。そこで中間温度域での強度向上を図るため、Al₂O₃の他にZrO₂を含有し、C量を従来より増やして焼成したテスト品を試作し実機に適用した。Table 2に、テスト品の品質を示す。

Fig. 10に従来品と改善品の注入孔のエッジ損傷量の比較を示す。従来品はエッジの溶損が大きく7～8回が使用限界であったのに対し、改善品は亀裂が小さく、その亀裂に伴う溶損も小さいため、最高20回まで使用可能であることが明らかとなった。

5 結 言

千葉製鉄所第3連鋳工場において、連鋳の高能率操業を支える耐火物技術として以下の成果が得られた。

Table 2 Quality of sliding-nozzle

	Improved	Conventional
Chemical composition (%)		
Al ₂ O ₃	76.9	96.0
SiO ₂	3.5	2.0
ZrO ₂	9.3	—
F. C.	8.4	3.5
Bulk density (g/cm ³)	3.33	3.17
Apparent porosity (%)	4.3	7.5
Compression strength (MPa)	220	127
Bending stresses (MPa)		
room temp.	43.2	27.3
600℃	39.1	28.4
800℃	50.2	43.9
1000℃	52.7	42.4
1400℃	19.6	34.3
Thermal expansion (%)	+1.04	+1.21
Index of damage after heat-treatment*	80	100

*Blasting of Al₂O₃ particle (0.7 mm)

after metal dipping test (1600℃ × 3 cycle)

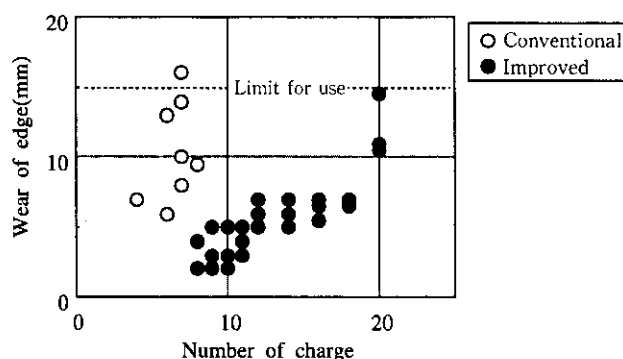


Fig. 10 Effect of using improved sliding-nozzle

- (1) パウダーライン部のZrO₂-C材中の未安定化ZrO₂の使用量を増加することにより浸漬ノズル寿命を延長した。
- (2) MgOコーティング材との焼き付きが少ない内張りキャストブル耐火物を開発し、更に耐火物の支持構造を改善することにより内張り耐火物の不定形化を実現し、側壁寿命424回を達成した。また、水島製鉄所第4連鋳工場で、
- (3) 耐火物のライニング構造と材質の改善によりタンディッシュの熱間で450回まで繰り返し使用を可能とした。

参 考 文 献

- 1) 桐生幸雄, 八百井英雄, 祐成史郎, 井出 武, 橋本秀樹: 耐火物, 39(1987)2, 77-83
- 2) 広木伸好, 城口 弘, 引間 弘, 田中輝男, 吉井正徳: 耐火物, 44(1992)7, 392-403
- 3) 大熊賢一, 江波戸絃一, 大島隆三, 大手 彰, 木村雅保, 新田正樹: 耐火物, 45(1993)10, 576-577
- 4) 山本慎一, 高橋達人, 白山 章, 久保田淳: 耐火物, 47(1995)11, 557-558
- 5) 馬田 一, 松川敏胤, 後藤信孝, 櫛田孝一, 松井功夫, 油原 晋: CAMP-ISIJ, 6(1993)4, 1114
- 6) 森岡信彦, 鷲尾 勝, 浜上和久, 小倉 滋, 西川 廣, 朝徳隆一: 鉄と鋼, 73(1987)4, S280
- 7) 池田順一, 倉田浩輔, 安藤貞一, 中村幸弘, 今若 寛: 耐火物, 39(1987)3, 130-135
- 8) 渡辺好紀, 小山内寿, 蓮沼純一, 馬田 一, 日和佐章一, 山本武見: CAMP-ISIJ, 7(1994)4, 1201