

## 溶鋼鍋の耐火物技術

## Refractory Technology of Ladle

松井 剛\* 多喜徳雄  
Tsuyoshi MATSUI Norio TAKI

## 抄 録

溶鋼鍋の機能と、その機能を満足するための耐火物ライニング技術、並びに、溶鋼と接する側壁に施工される耐火物の材料改善技術の変遷について解説した。そして、側壁を不定形化するための施工方法と乾燥方法を紹介した。加えて、溶鋼鍋の寿命を支配する不定形耐火物に関しては、損傷機構を基にした材料改善の事例や補修技術についても触れた。最後に、溶鋼鍋の安定稼働の達成に不可欠となる湯漏れ防止技術を紹介した。

## Abstract

In this report, firstly, we described the functions and the refractory lining technology of the ladle, and the historical change in the improving material technology of refractories installed to the side wall of the ladle. And the casting technique and the drying technique were introduced to install monolithic refractories to the side wall of the ladle. In addition, we referred to the examples of improving materials based on the damage mechanism of refractories and repairing technique with regard to monolithic refractories controlling the life of the ladle. Finally, we introduced the technique to avoid leaking molten steel from the ladle which is essential to the safety use for the steel-making plants.

## 1. はじめに

溶鋼鍋は以下の3つの機能を有する設備である。

- (1) 転炉、電気炉より1500℃後半から1700℃後半の温度で出湯された溶鋼を連続鋳造、造塊工程に輸送する搬送設備
- (2) 溶鋼品質の向上を目的とした二次精錬処理を実施する反応設備
- (3) 連続鋳造、造塊工程でタンディッシュ、鋳型に流量可変的に注湯する溶鋼供給設備

## 2. 溶鋼鍋の耐火物ライニング

図1に代表的な溶鋼鍋の耐火物ライニングを示す。スラグと接するスラグライン部位には耐食性と耐構造スポーリング性に優れたマグネシア・カーボン質れんがを、溶鋼と接する部位(側壁、並びに、敷)には構造安定性に優れたアルミナ・マグネシア質不定形耐火物を施工している。なお、転炉、電気炉からの出湯時に、溶鋼鍋底部に溶鋼が落下衝突する湯当たり部位には耐衝撃性を確保するために

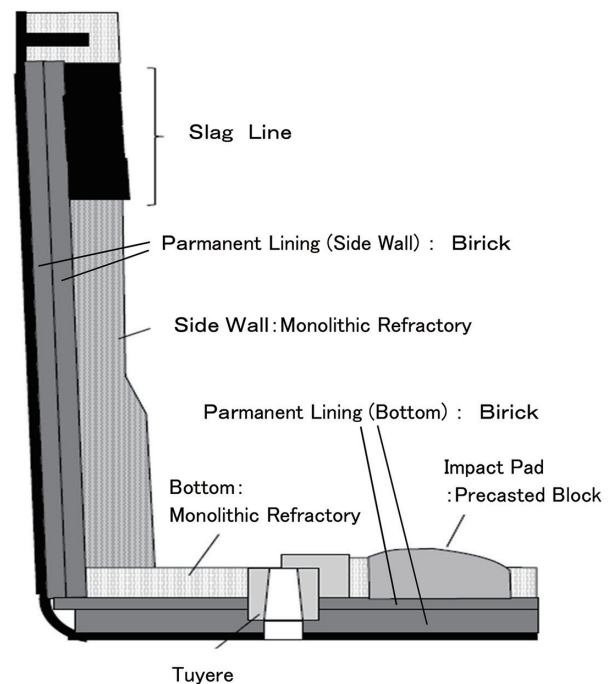


図1 取鍋の耐火物ライニング<sup>1)</sup>  
Refractory lining of ladle<sup>1)</sup>

\* 設備・保全技術センター 無機材料技術部 無機材料技術室 主幹研究員 博士 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

緻密な組織が得られるアルミナ・マグネシア質不定形耐火物のプレキャストブロック<sup>2)</sup>を施工している。

溶鋼と接する部位には当初、高珪酸質(ろう石質)れんがを使用していたが1960年代からの二次精錬・連続铸造法の普及により、耐火物の使用条件が苛酷化したため、ジルコン質れんがに切り替えた。そして1970年頃からの築炉作業の機械化、省力化を目的とした耐火物の不定形化と、高纯净度鋼のニーズに対応するための耐火物のシリカレス化を背景として1980年代後半に開発されたアルミナ・スピネル質不定形耐火物を実用化した。

そして、アルミナ・スピネル質不定形耐火物の構造スポーリング(スラグ浸透層の剥離)を抑制し、耐用を向上させるため1990年代前半に現在のアルミナ・マグネシア質不定形耐火物を実用化してきた経緯がある<sup>3)</sup>。アルミナ・マグネシア質不定形耐火物の特徴は、使用中に体積膨張を伴う $MgO \cdot Al_2O_3$ や $CaO \cdot 6Al_2O_3$ を生成することによる組織の緻密化効果により、スラグの浸透を防止できることにある。アルミナ・マグネシア質不定形耐火物の実用化過程では、使用中の過度な体積膨張によるせり割れを抑制するために、 $MgO$ 、 $CaO$ 、 $SiO_2$ の化学成分や原料粒度配合の最適化を行ってきた。

また、スラグと接する部位には、過去にはマグネシア・ジルコン質およびマグネシア・ジルコニア質合成クリンカーを使用した不定形耐火物を実用化し、溶鋼鍋内張りの全不定形化を達成した<sup>4)</sup>。しかし、構造スポーリングが解消されないこともあり、現在では、再びマグネシア・カーボン質れんがを施工するに至っている。

次に、溶鋼鍋は溶鋼の二次精錬処理を行う反応設備としての機能の効率化を目的に、底部には図2に示すポーラスプラグ装置<sup>5)</sup>が設置されている場合がある。図2において①で示されるポーラスれんがを通してアルゴンガスを溶鋼中に吹き込むことにより、溶鋼攪拌作用を生み出し、精錬反応を促進させている。このポーラスれんがの材質には、その使用条件や求められる耐用度によりムライト質、アルミナ質、マグクロ質およびマグネシア質などが使い分けられている。

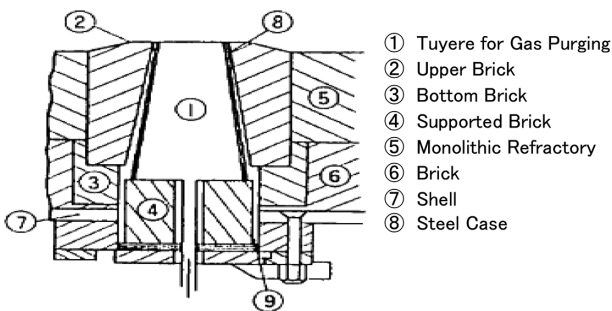


図2 取鍋底部ポーラスプラグ装置構造<sup>5)</sup>

Schematic diagram of gas purging instrument installed at the ladle bottom<sup>5)</sup>

さらに、溶鋼鍋はタンディッシュ、鑄型への溶鋼供給設備としての機能から、底部には図3に示すような溶鋼注入装置が設置されている。図3には溶鋼注入方式としてスライディングノズル方式<sup>6)</sup>の構造例を示す。図中のボトムプレート・スライドプレート<sup>7)</sup>や上ノズル・下ノズル<sup>8)</sup>には、主としてアルミナ・カーボン系の材質が使用されている。

### 3. 側壁不定形耐火物の施工・乾燥方法

側壁に不定形耐火物を施工するために開発した流し込み装置<sup>9)</sup>を図4に示す。以下に施工手順を述べる。型枠を装着した溶鋼鍋に、走行車を駆動して流し込み装置を溶鋼鍋上に移動させる。次に、旋回シュートのセンタリング装置にて施工箇所へ合わせる。走行台車にある混練水自動供給装置および混練装置によって不定形耐火物を混練した後、前記旋回シュートを介して溶鋼鍋の内壁面と型枠とで形成される空間部に不定形耐火物を充填する。充填中または充填後にバイブレーターにより振動を付与することにより、不定形耐火物に巻き込まれる気泡を脱気させる。この操作

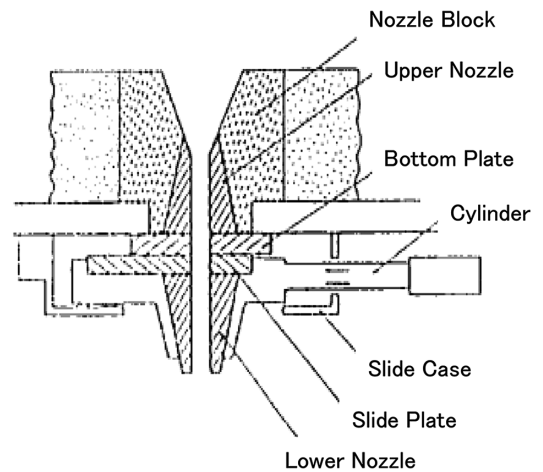


図3 スライディングノズル方式の構造例<sup>6)</sup>  
Typical parts arrangement of sliding nozzle<sup>6)</sup>

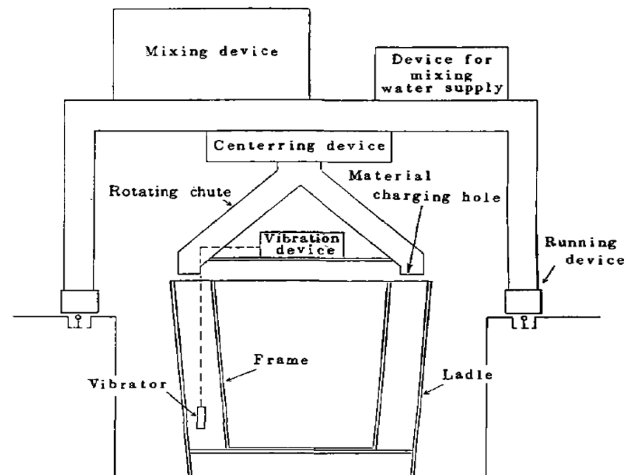


図4 流し込み施工装置<sup>9)</sup>  
Schematic diagram of casting instrument<sup>9)</sup>

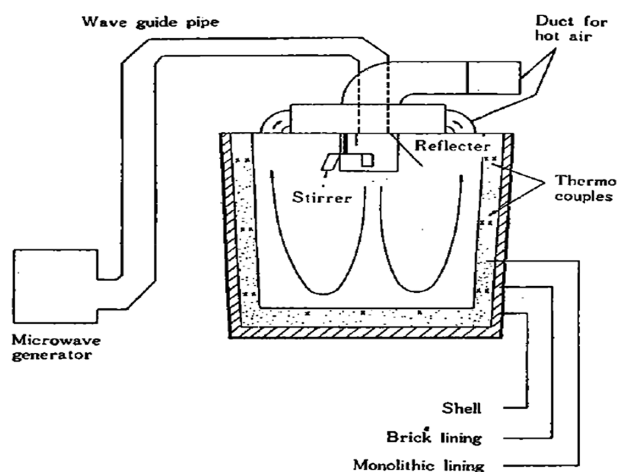


図5 マイクロ波乾燥装置<sup>10)</sup>

Schematic diagram of micro-wave drying instrument<sup>10)</sup>

を繰り返すことにより、側壁に不定形耐火物を施工する。

側壁に施工された不定形耐火物の乾燥は、通常はバーナー燃焼により生じた熱風を熱源として行われる。しかし、この方式では、乾燥中の不定形耐火物の爆裂を防止するためには緩やかな昇温が必要なため、乾燥を完了させるのには長時間を要するという課題がある。この課題解決に開発したのが内部加熱を特徴とするマイクロ波乾燥法<sup>10)</sup>である。図5にマイクロ波乾燥装置を示す。発信器から導波管を介してマイクロ波を、スターラーおよび反射板の組み合わせにより、溶鋼鍋内に均一に照射すると共に、熱風を補助熱源として循環供給する構造からなっている。

#### 4. 不定形耐火物の損傷と補修

側壁に使用されるアルミナ・マグネシア質不定形耐火物の損傷原因は、スラグによる侵食、熱スポーリング、並びに、過焼結に起因して発生する剥離である。高耐食性化には、次の2点の取組を実施した。1点目は、耐火物の耐熱性向上を目的とした、アルミナセメントを含有しないバインダー<sup>11)</sup>やアルミナセメントよりも高融点の酸化ストロンチウム-酸化アルミニウム系化合物からなるセメント<sup>12,13)</sup>を適用した不定形耐火物の開発である。2点目は、耐火物の組織緻密化を目的に、コンクリートで実用化された高性能分散剤を使用し、従来よりも少ない混練水量で施工ができる不定形耐火物の実用化である。

耐熱スポーリング性の向上には、発生熱応力を支配する弾性率に着眼し、1500℃で3時間焼成後の室温音速弾性率、または、1000℃における熱間圧縮弾性率を規定した不定形耐火物を開発した<sup>14,15)</sup>。過焼結に起因して発生する剥離の抑制には、線変化率の温度依存性に着目し、図6<sup>16)</sup>に示すように高温下で生成するCaO・6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(CA6)の形態を柱状に制御することにより、図7<sup>17)</sup>に示すような線変化率が極大値を持つ従来材とは異なり、線変化率が焼成温度の増大と共に増加する試験材のように、線変化率の温度依存性を

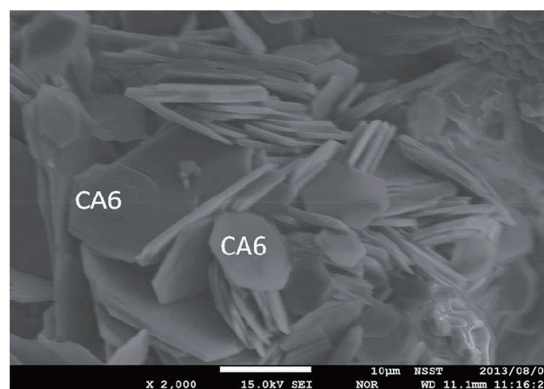


図6 高温下で生成したCaO・6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(CA6)の形態<sup>16)</sup>  
Morphology of CaO・6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(CA6) generated at high temperature<sup>16)</sup>

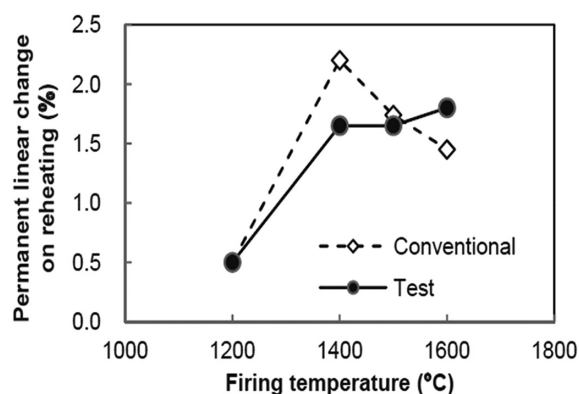


図7 線変化率の温度依存性<sup>17)</sup>

Time-dependence on permanent linear change<sup>17)</sup>

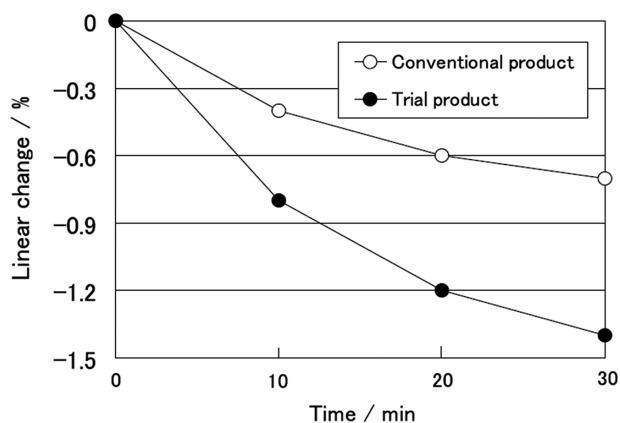


図8 1500℃でのクリープ挙動<sup>18)</sup>

Creep behavior under pressure of 0.2 MPa at 1500℃<sup>18)</sup>

改善した不定形耐火物を実用化した<sup>17)</sup>。

湯当りに使用されるアルミナ・マグネシア質不定形耐火物のプレキャストブロックは、使用中にき裂を起点とした剥離により損傷が進行する。この剥離損傷を抑制するために、耐熱スポーリング性に加え、高温下での液相生成挙動を制御することにより、図8に示すように1500℃でのクリープ性を改良した材料を開発した<sup>18)</sup>。

損傷した部位には、冷間にて湿式吹付け補修法<sup>19)</sup>や連続・



瞬間混練吹付け補修法<sup>20)</sup>による復元補修を実施している。また、熱間にて側壁部の耐火物の残存厚みをレーザープロフィールメーターにより計測することにより早期に損傷した部位を発見し、損傷した当該部位を熱間吹付けにより補修し、耐火物の損傷を抑制して安定稼働を図るような補修方法も実施している<sup>21, 22)</sup>。

## 5. 溶鋼鍋の湯漏れ防止

溶鋼鍋は、転炉、電気炉で出湯された1500℃を超える溶鋼を保持して二次精錬処理を経て連続鑄造機に搬送する設備であり、その搬送中に内張りの耐火物が消失し炉殻鉄皮が開孔して溶鋼が漏れ出すような事態（いわゆる湯漏れ事故）は重大事故であり、安全・防災上あってはならない。そのため、溶鋼鍋の側壁および敷（底）の内張り耐火物には背面にパーマネントライニングと呼ばれる耐火物れんが層を施工している（図1）。このパーマネントライニングにおける湯漏れ防止機能は以下の2点である。

- ①ウェア耐火物が溶損等により消失した際に点検にて目視等で確認できる警報機能
- ②使用中にウェア耐火物が消失した場合でもその当該チャージを安全に操業することができる保証機能

この2つの機能を十分に担保するため、パーマネントライニングに用いられる耐火物の材質や構造については十分に留意する必要がある。使用時の溶鋼温度、接触する溶鋼、溶滓の成分、二次精錬処理等での攪拌の有無等の操業条件を考慮して適用する材質を検討する必要がある。一般的には高アルミナ質れんがを選択するケースが多いが、溶鋼攪拌がない場合はろう石質れんがも選択肢となりうる<sup>23)</sup>。

また、高温で塩基度の高いスラグが接触する場合は焼成マグネシア質れんがやマグネシア-クロム質れんがを選択する場合もある。一方、構造としては信頼性の観点から2層以上を設けることが望ましく、1層あたりの厚みも薄すぎると剥落や欠け落ちが生じる場合がある。また、パーマネントライニングはその名に示す通り長期間交換せずに使用することが想定されている。交換する場合は工期や費用がかかることもあり、交換基準を明確化すると共に、その基準を確実に遵守することでパーマネントライニングを健全に保つことも非常に重要である。

近年は赤外線カメラ（サーモビューア）による鉄皮温度

監視システムやレーザープロフィールメーターによる耐火物残存測定がオンラインで行われるようになり、定量的な耐火物の残存管理技術が広まってきた。このような診断技術とパーマネントライニングの適正化、健全化とを併せることで湯漏れ事故の発生リスクを可能な限り低減していくことが求められている。

## 6. 今後の課題

溶鋼鍋を安定に長期間稼働させるには、溶鋼鍋の寿命律速部位である側壁の不定形耐火物の高耐用化を図ると共に、操炉技術のレベルアップや新たなセンシング技術を活用した湯漏れ防止技術を確立して行くことが重要である。

### 参考文献

- 1) 多喜徳雄 ほか：耐火物. 65 (2), 72 (2016)
- 2) 八反田浩勝 ほか：耐火物. 51 (4), 211 (1999)
- 3) 松井剛：耐火物. 64 (7), 335 (2012)
- 4) 八百井英雄 ほか：耐火物. 45 (9), 521 (1993)
- 5) 林武志：第48・49回西山記念技術講座テキスト. 日本鉄鋼協会編. 1977, 109p
- 6) 植村卓郎：耐火物. 21, 472 (1969)
- 7) 山広実留 ほか：耐火物. 30, 233 (1978)
- 8) 古海宏一 ほか：耐火物. 32, 616 (1980)
- 9) 高橋敏夫：耐火物. 37 (11), 649 (1985)
- 10) 落合常巳：耐火物. 33 (7), 365 (1981)
- 11) 日本特許出願登録 特許第4744066. 2011年5月20日
- 12) 日本特許出願公開 2008-290934. 2008年12月4日
- 13) 日本特許出願公開 2003-171183. 2003年6月17日
- 14) 日本特許出願公開 2017-066025. 2017年4月6日
- 15) 日本特許出願公開 2004-142957. 2004年5月20日
- 16) 窪田泰大 ほか：耐火物. 67 (6), 281 (2015)
- 17) 高島章伍 ほか：耐火物. 68 (3), 129 (2016)
- 18) 松井剛 ほか：耐火物. 62 (10), 567 (2010)
- 19) 日本特許出願公告 昭57-7350. 1982年2月10日
- 20) 花桐誠司 ほか：耐火物. 65 (1), 30 (2013)
- 21) 新保章弘 ほか：耐火物. 61 (3), 143 (2009)
- 22) 飯尾裕太郎 ほか：耐火物. 70 (11), 547 (2018)
- 23) Kimura, S. et al.: Proc. UNITECR2019, YOKOHAMA, 2019-10, 739p



松井 剛 Tsuyoshi MATSUI  
設備・保全技術センター 無機材料技術部  
無機材料技術室 主幹研究員 博士  
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



多喜徳雄 Norio TAKI  
設備・保全技術センター 無機材料技術部  
無機材料技術室長