

精錬用耐火物の長寿命化の取り組み

Improvement of refractories life for refining process

高橋 一樹*
Kazuki Takahashi浦本 和孝*
Kazutaka Uramoto生方 貴*
Takashi Ubukata鈴木 忠*
Tadashi Suzuki古澤 栄二**
Eiji Kozawa柳 憲治**
Kenji Yanagi

要 旨

精錬工程に用いられる取鍋精錬炉では取鍋煉瓦や脱ガス天井、ポーラスプラグなどに耐火物が使用されている。近年中国の環境規制強化に伴い耐火物原料となる MgO の採掘量が低下している。この MgO 採掘量低下に起因する耐火物単価の急激な高騰により製鋼工場の耐火物コスト増加が問題となっていた。そこで、耐火物コストを低減するために脱ガス天井の材質変更や取鍋補修方法の見直しにより耐火物の長寿命化に取り組んだ。これにより耐火物の耐用回数の延長および補修頻度を減らすことが可能となり耐火物原単位を低減することが出来た。

— Synopsis —

A ladle furnace for steel refining process uses refractories, such as ladle bricks, vacuum cover of ladle, porous plug and so on. Output of MgO that is raw material for refractories has decreased in recent years owing to tightening Chinese environment regulations. Escalating of refractory unit prices due to the decrease of MgO output raises refractory cost in our steel making shop. Modification of chemical composition of the vacuum cover and improvement of repair method of ladle bricks were dealt with to reduce the refractory cost. They enabled to increase the life of the refractories and reduce frequency of the repair, accordingly the specific refractory consumption could be decreased.

1. 緒 言

当社製鋼工場では電気炉：EF (Electric Furnace) を1基、取鍋精錬炉：LF (Ladle Furnace) を4基保有しており、LF では脱ガス：VD (Vacuum Degassing) 天井や取鍋煉瓦などに耐火物が使用されている。一方、近年中国

の環境規制に伴い耐火物原料となる MgO の採掘量が低下し、耐火物単価が急激に高騰しており、製鋼工場における耐火物費用の上昇が問題となっていた。そこで、VD 天井の材質変更、取鍋敷煉瓦補修方法の見直しにより精錬用耐火物の寿命延長に取り組んだ。

*: 室蘭製作所
Muroran Plant**: 株式会社 TYK
TYK Corp.

2. LF の概要

表1に当社製鋼工場のLF設備概要を示す。当社ではインゴット casting IC : (Ingot Casting) により大型鍛鋼品を中心に製造している。LFでは電気炉から取鍋に受鍋した溶鋼をスラグ脱酸・VDによる還元精錬で溶鋼清浄度を向上させ、铸造へ向けた成分・温度調整を行っている。LFでは溶接構造物であるVD用カバーを溶損、変形から保護するため取鍋上端にVD天井と呼ばれる耐火物で施工された通気孔のある天井を設置する。そして、スチームエゼクターにより取鍋内を減圧してVDを行っている。

表1 当社製鋼工場のLF設備概要

精錬炉 Refining furnace	No.1 LRF	No.2 LRF	No.3 LRF	30T LRF
公称能力 Capacity	(取鍋容量) 60、100、130、150T			(取鍋容量) 15、30T
トランス容量 transformer	15.0MVA	8.0MVA	15.0MVA	5.0MVA
電極径 Electrode diameter	φ 14inch	φ 12inch	φ 14inch	φ 10inch
排気方式 vacuum station type	真空カバー式 head cover	真空タンク式 tank	真空タンク式 tank	真空カバー式 head cover
集塵能力 Dust collector	直接吸引 電気炉と兼用	直接吸引 2,000m ³ /min	直接吸引 5,000m ³ /min	直接吸引 2,000m ³ /min
付帯設備 equipments	・130T VOD 脱酸吹精装置 Max.2,000m ³ /hr ・合金鉄自動秤量装置 automatic alloy feeder ・水素迅速分析装置 (Hydria)	・60T VOD 脱酸吹精装置 Max.2,000m ³ /hr ・合金鉄自動秤量装置 automatic alloy feeder ・水素迅速分析装置 (Hydria)	・60T VOD 脱酸吹精装置 Max.2,000m ³ /hr ・合金鉄自動秤量装置 automatic alloy feeder ・水素迅速分析装置 (Hydria) ・酸素吹込装置 oxygen blower	・30T VOD 脱酸吹精装置 Max.1,000m ³ /hr

3. LF で使用される耐火物の特徴と問題点、対策

3-1. VD 天井

図1にVD天井の断面図と耐火物の欠損メカニズムを示す。VD天井はAl₂O₃-MgO-C系の耐火物を使用しており、半円形状の2分割構造となっている。VD中は溶鋼中のCO反応および底吹きArによる強攪拌によりスブラッシュが大量に発生し、耐火物表面にスブラッシュが付着、スポーリングにより欠損していると考えられる。図2にVD天井の耐用回数を示す。VD天井の耐用回数は平均67ヒートである。前述したようにVD天井の表面にはスブラッシュが多く付着しており、鉄皮が見えるまで使用し続けるため交換基準が不明確であった。

そこで、VD天井の試作品を製作し、長寿命化試験を行った。試作品は、耐熱スポーリング性の向上を目的としたMgO含有量の調整による耐火材質の変更と、溶損の激しい中心部に交換基準を明確化するため終点判定煉瓦を設置した。また、原材料費のコスト低減として耐火物原料に粉砕した使用済みのSN (Sliding Nozzle) プレートに50%使用した。SNは1回使用後に選別して状態の良いも

のはリユースしている。選別にて、リユース不可能と判断されたプレートを粉砕して天井の原料としてリサイクルした。

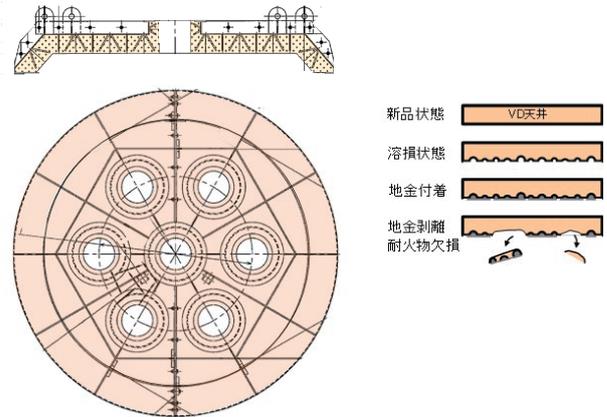


図1 VD天井の断面図と耐火物の欠損メカニズム

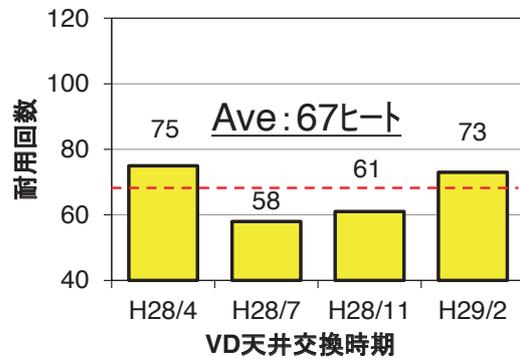


図2 VD天井の耐用回数

3-2. 取鍋補修方法

図3に取鍋煉瓦新張から内張交換までの1ライフの流れと従来の補修方法を示す。当社では取鍋の1ライフはおよそ40ヒートであり、その間にも10ヒート毎にスラグライン：S.L. (Slag Line) 煉瓦やノズル、ポーラスプラグ羽口煉瓦を、20ヒート毎に敷煉瓦を部分交換している。また、40ヒート中6ヒートの頻度で取鍋は連続使用(予熱レス)している。MgO系の吹付補修材を200kg/回使用して20回/40ヒートの頻度で吹付補修を行っている。吹付補修は使用直後の取鍋を傾転させ、取鍋外部からランスパイプを用いて敷煉瓦部分へ補修材を吹き付ける補修方法であり、使用直後の熱間においても作業が可能のため煉瓦の冷却を待つ必要が無いことから採用しているが、写真に示すように水分を含んでいる補修材は高温の煉瓦に吹き付けると水分の蒸発により煉瓦から補修材が剥離しやすくリバウンドロスが発生し歩留は85%と低い。そこで、冷間でのキャストブル補修を適用した。図3の写真にキャストブル補修状況を示す。キャストブル補修は手作業のため溶損箇所へ直接補修が可能であり、リバウンドロスが発生しない。ただし、熱間での作業はできないため、取鍋を連続使用しない時に限った補修方法である。

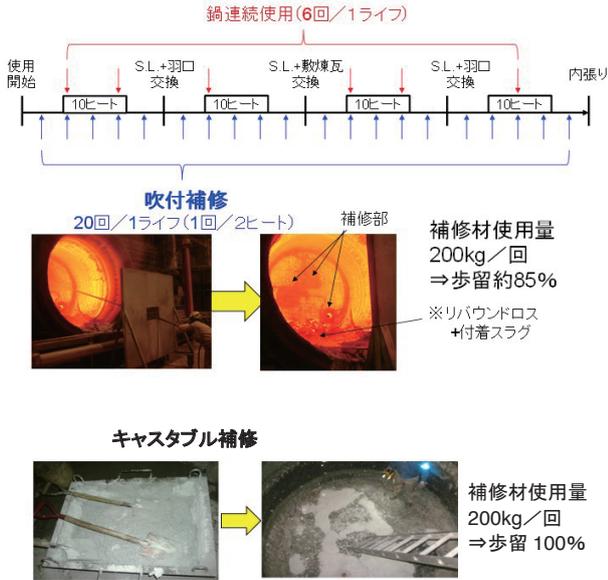


図3 取鍋煉瓦新張から内張交換までの1ライフの流れと補修方法

4. 試験結果

4-1. VD天井

図4に従来品と試作品のVD天井使用状況を示す。試作品は耐熱スポーリング性を向上させたことにより溶損による凹凸が減少し、耐火物表面の平滑が保たれることでブラッシュの付着量(刺さり込み)が従来品よりも少なかった。また、使用末期においては終点判定煉瓦が確認されたことからVD天井を交換している。その結果、耐用回数102ヒートと従来の1.5倍に長寿命化し、原単位が36%低減できた。図5に102ヒート使用後のVD天井試作品の断面形状を示す。VD天井の最も溶損の大きい箇所の中心部から径方向の残寸法を測定(①~⑨)した結果、中心部の溶損が最も多く、VD天井交換は中心部の溶損が律速となっていることがわかった。従って、中心部近傍に設置した終点判定煉瓦の位置は適切であったと考えられ、使用後の解体調査結果よりVD天井の鉄皮部に溶損は認められず、リユース可能と判断された。また、耐火物残寸法の測定結果から溶損速度の低下も確認できた。ただし、耐火物残寸法は見た目に非対称であり、Arポーラス側の溶

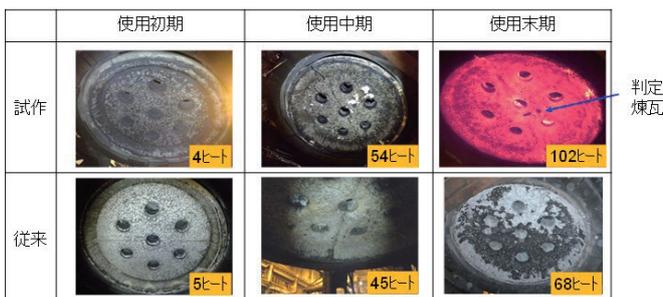


図4 VD天井従来品および試作品の使用状況

損量が大きくなっていた。これは攪拌用底吹き Ar ガスによる局所的なスプラッシュの発生による影響と考えられる。

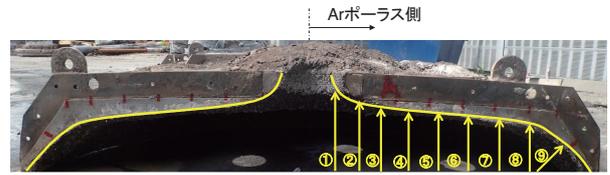


図5 102ヒート使用後のVD天井試作品断面形状

4-2. 取鍋補修方法

図6にキャストابل補修適用時の取鍋煉瓦新張りから内張交換までの1ライフの流れを、図7に補修材原単位と補修頻度の推移を示す。キャストابل補修部位では煉瓦の溶損が少なく吹付け補修が不要となり、リバウンドロスも無いことから耐火物原単位を低減することができた。これにより、吹付け、キャストابل補修を合わせた補修頻度は12回/40ヒートと40%低減でき、補修材原単位は29%低減できた。

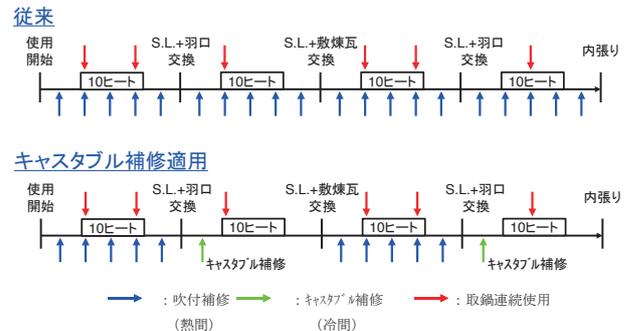


図6 キャスタブル補修適用時の取鍋煉瓦新張りから内張交換までの1ライフの流れ

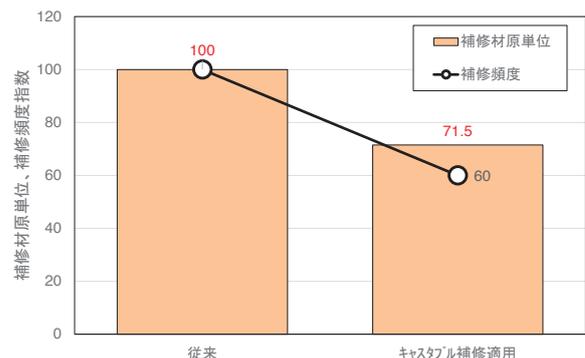


図7 キャスタブル補修適用によるコスト、作業頻度の低減効果

5. Ar ガス底吹きによるVD天井局所溶損の防止方法について

前項で記述したように使用後のVD天井試作品において耐火物残寸法が非対称であることがわかった。これは、攪拌用底吹き Ar ガスにより局所的にスプラッシュ量が多い箇所耐火物溶損が多いことが原因と考えられる。当社で使用しているVD天井は2分割セパレート構造であることから、ある程度の回数を使用した段階でVD天井を反転して再セットすることで耐火物の溶損を均一化でき、更なる耐用回数向上が可能と考えられる。

以上の検討から、追加試験としてVD天井よりも耐用回数の少ないVOD (Vacuum Oxygen Decarburization) 天井を用いて実施した。VODはVD同様に減圧した取鍋内の溶鋼表面に酸素吹精する脱炭プロセスであることから跳ね返りのスプラッシュ量が非常に多く、且つ溶鋼温度が1700℃以上と高温であることから耐用回数はVDよりも少ない。図8に対策前後の耐用回数を示す。VOD天井の反転再セットの適用により耐用回数が約1.7倍(原単位40%低減)に延長できた。VD天井へは未適用であるが、同様に耐用回数の更なる延長効果が期待できる。

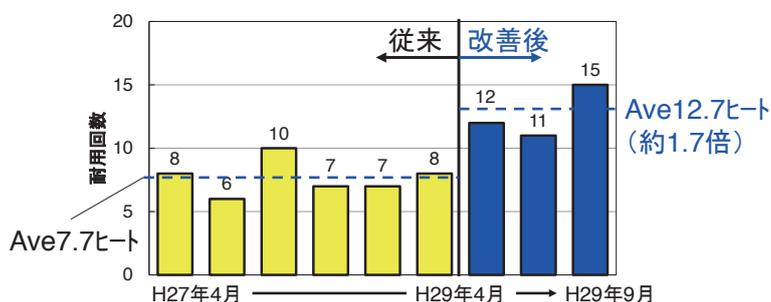


図8 VOD天井の反転再セットによる耐用回数の変化

6. 結 言

耐火物の価格高騰への対策として耐火物原単位の低減を目的にVD天井の材質変更、使用方法、取鍋の補修方法の見直しを行った結果、以下の効果が得られた。

- ・VD天井の材質変更により耐用回数が1.5倍(原単位36%低減)に延長できた。
- ・VD天井に終点判定煉瓦を設置したことにより、VD天井の交換時期が明確化でき、鉄皮部のリユース化を実現できた。
- ・攪拌用底吹き Ar ガスによりVD天井に局所的な溶損が確認されたが、対策として2分割構造を利用した反転再セットを行うことで溶損が均一化され、耐用回数がさらに1.7倍に延長できる可能性を見出した。
- ・取鍋補修方法を吹付け補修からキャストブル補修を適用することにより補修頻度を40%低減、補修材原単位を29%低減できた。