

3D レーザースキャナーを用いた取鍋耐火物の残厚測定

Quantitative Evaluation of Ladle Refractory Erosion
Using a 3D Measuring Instrument阿部 裕貴*
Yuuki Abe高橋 一樹*
Kazuki Takahashi関 佑太*
Yuuta Seki博士(工学) 梶川 耕司*
Dr. Koji Kajikawa山本 卓*
Suguru Yamamoto

要 旨

取鍋のワーク煉瓦溶損量の評価は使用回数や目視によるチェック、簡易的な測定によって継続使用可否を評価しているが、作業員間の判断や測定誤差によるばらつきが大きいという問題がある。溶損量の定量評価ができておらず、漏鋼防止のため耐用回数に余裕をもって前倒して煉瓦の張替えを行っている。

これらの問題を解決し煉瓦耐用回数の増加を目的として、煉瓦溶損量の可視化のためレーザースキャナーを導入した。その結果、取鍋内の耐火物プロフィールを 3D データとすることで溶損量の把握ができた。また主な製造鋼種である CrMoV 鋼や高 Cr 鋼で精錬時の保湯時間や使用間隔、耐火物組成など使用条件を含めて解析を行うことで、1 回あたりの計画溶損量の予測が可能となり耐用回数増加を達成した。

— Synopsis —

Currently, the amount of brick erosion of ladle is evaluated by visual check and simple measurement, but however, there is a problem of a large variation due to differences in judgment among measurers and measurement errors. Thus, the amount of erosion loss is possibly assessed inappropriately, causing too early replacement of the bricks.

To address the problem and elongate the usable life of bricks, a laser scanner was introduced to visualize the amount of refractory erosion in the ladle. The laser scanner provides 3D data of the refractory profile in the ladle, then estimates the precise amount of melt loss compared to the unused condition. Furthermore, for our main products of CrMoV and high-Cr steels, the melt loss of refractory during an operation can be predicted by the advanced analysis counting such operating conditions as refining time, usage interval and the chemical compositions of refractories.

*: 日本製鋼所 M&E (株) 室蘭製作所 素形材製造部

1. 緒 言

当社の精錬工程に使用する取鍋は図 1 のように、側面および底面共に鉄皮側より裏張煉瓦とワーク煉瓦が施工されている。ワーク煉瓦は精錬工程時に溶鋼やスラグによる溶損によって損耗していくため、使用後に都度確認を行い状態に応じて補修や交換を行っている。また取鍋は、取鍋ごとに施工する耐火物メーカーが異なることから煉瓦組成や施工方法は均一でなく形状も異なるため、湯量や鋼種に応じて使い分けを行っている。

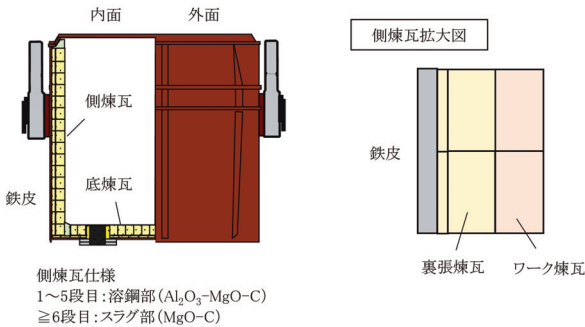


図 1 取鍋の耐火物施工状況

従来の煉瓦溶損量の測定は、煉瓦交換前にレーザー距離計を用いて各段の内径を計測することで張替え後の内径と比較して煉瓦残厚を算出している(図 2)。この方法では煉瓦の溶損による凹凸を精度よく測定できないことに加えて、局所的に最も溶損が大きい箇所を目視にて判別し計測するため精度が低く正確な値を把握できていない。またレーザー距離計での計測では取鍋内に作業者が入る必要があるため、使用直後の熱間状態では測定できず頻度が少ない。そのため取鍋から離れた目の視確認や使用回数での管理を行ってきたものの、作業者の経験と感覚による部分が大きく、経験を積んだ特定の作業者のみの対応となるため多能化や作業負荷平準化の障害となっている。また耐火物の残厚に余裕がある場合にも定量的な溶損量が把握できていないため、前倒しでの煉瓦交換となることが度々生じている。直近の耐火物コスト高騰もあり、煉瓦交換頻度の低減につながる耐火物溶損量の定量的な把握が喫緊の課題であった。

表 1 測定器仕様

製品名	Leica RTC360
測定可能距離	0.5 m～130 m
精測精度	±1.9 mm
測定範囲	360°
測定に要する時間	26 sec.



図 2 レーザー距離計を用いた従来の煉瓦測定方法

2. 3D レーザースキャナーを使用した耐火物厚さの測定方法

耐火物厚さ測定技術は 3D レーザースキャナーを用いた方法が一般的になりつつあり、取鍋にも広く適用されている。当社が導入した測定機器の仕様は表 1 の通りとなっており、非接触かつ短時間で広範囲を測定可能である。そのため図 3 のように取鍋から離れた位置で測定できる。

また図 4 のように 3D レーザースキャナーは 1.9 mm 間隔で座標データを得ることができ、レーザー距離計を使用した従来方式と比較して凹凸を精度よく測定することが可能となっている。取鍋内面を正面から計測するだけでは死角が生じる恐れがあるため取鍋の正面に加えて、図 5 のように左斜め前面、右斜め前面の計 3 箇所測定しデータを合成している。また輻射熱の影響によって機器損傷が生じないよう取鍋から距離を取り対応している。

3D レーザースキャナーを実操業にて使用する際、煉瓦溶損量を測定してから可視化するまで膨大なデータを整理する必要がある。さらに取鍋容量が 30 t～150 t となり取鍋の形状が異なることや、取鍋整備場所が工場内に 3 箇所あるため基準データを複数準備する必要がある。特にデータ整理は、①測定データの合成、②測定データと基準データの合成、③測定データと基準データの差より溶損量を算出、④溶損量のカラーマップ化の 4 ステップに分かれているが、手動操作で都度行うことは作業負荷が非常に大きい。よって 3D レーザースキャナーとあわせて、耐火物残厚測定システムを導入しデータ整理に伴う業務負荷の極小化を図った。



図3 3D レーザー測定状況

が生じている場合には手動でのデータ合成が必要となる。そのため計測時は測定誤差の極小化のため、測定場所の固定化が必要である。

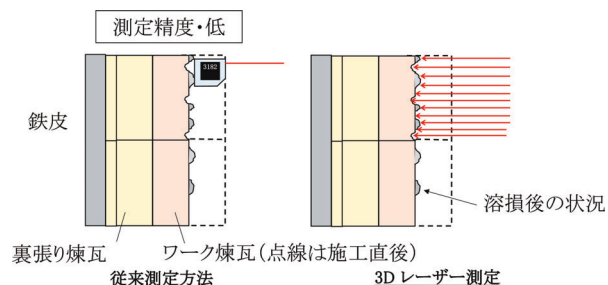


図4 従来計測方法と3Dレーザー測定の差異

3. 内張煉瓦測定の基準位置設定と画像合成方法

内張煉瓦の溶損量は、煉瓦張替え後を基準データとして使用毎に測定したデータと合成することでカラーマップとして表示可能である。具体的な流れとしては①取鍋内面を死角なくデータ化するため取鍋正面、左斜め前面、右斜め前面の計3箇所から計測し、Cyclone REGISTER360 PLUSを用いて測定データを点群データ化した上で合成(自動)、② Polyworks Inspector™を用いて基準データとの統合と分析(図6、条件付きで自動)、③エクセルへデータ出力しマクロを使用して溶損量の可視化を行っている。基準データとの統合は、あらかじめ基準データ上に取鍋外周の補強用リブなど任意複数点を選択し自動調整により行う。但し、比較データの自動位置調整は基準データに対して 300 mm 以下 (± 150 mm) のずれまで許容されるが、それ以上にずれ

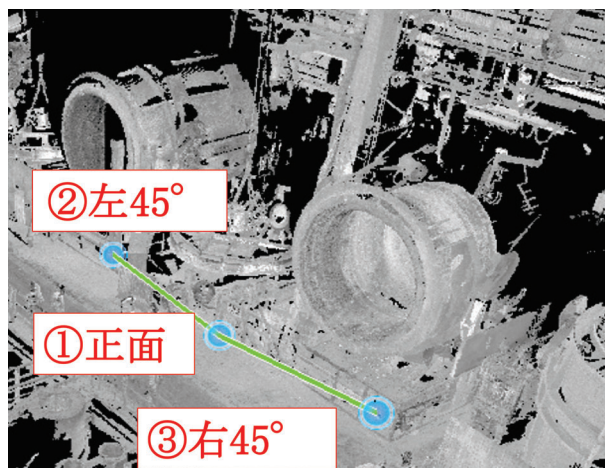
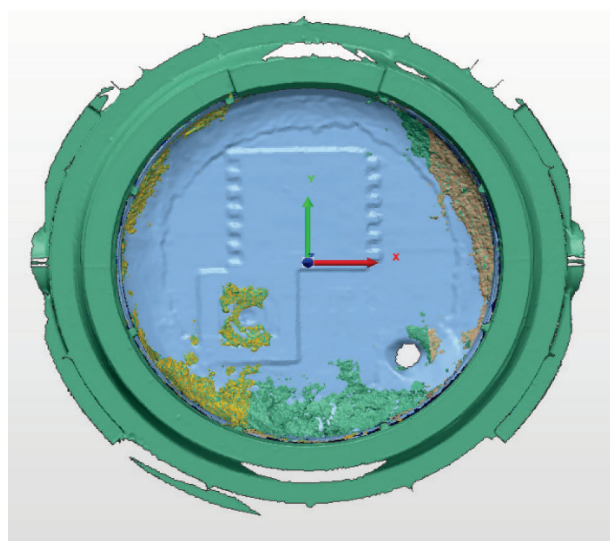
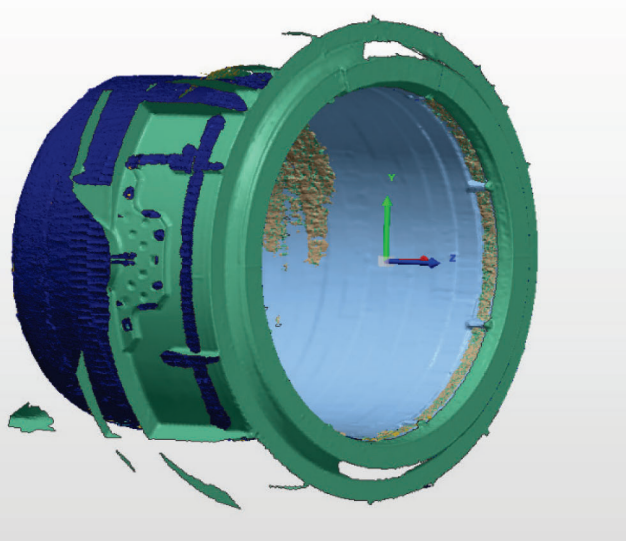


図5 取鍋内張煉瓦 測定位置



a) 測定位置正面



b) 左斜め前面位置

図6 測定画像合成後の状態

4. 煉瓦内径測定結果

ワーク煉瓦の張替えから溶鋼部 32 回、スラグ部 7 回使用後の煉瓦残厚を測定した結果を図 7 に示す。測定結果は取鍋内側面と底面で分けて表示される。特に側面は溶損量を展開図として表示しており、溶損量を色分けして示すことにより可視化していることに加えて各段の最小残厚位置が矢印で表示される。また 3D レーザースキャナーの測定結果と実際に解体後の煉瓦残厚を比較したところ、残厚の予実差は側煉瓦で最大 4 mm と小さく高精度な計測が可能となったことが確認できた。従来は溶損が最も大きい場所を目視で判断し測定していたため、複数箇所の煉瓦残厚の状態を把握できていなかった。しかし、3D レーザースキャナーを用いた煉瓦厚さ測定方法により煉瓦全体の溶損傾向と最も薄い煉瓦を確実に判別できるようになった。また測定及びデータ整理時間は従来方法に比べて短く、取鍋の使用準備に支障をきたすことなく残存状況の測定が可能となった。

5. 3D レーザースキャナーの導入効果

従来の計測方法では煉瓦溶損量の定量把握ができておらず、漏鋼発生を懸念し十分な煉瓦残厚がある状態でも煉瓦の張替えを行っていたため耐用回数を伸ばすことができなかった。本測定方法の導入によって煉瓦の残厚を定量的に把握できるようになったため、溶損状況に応じた修理計画とし使用回数増加を進めている。これによって、取鍋耐火物コストは低合金鋼に使用する大小取鍋 7 基で年間 6.5 % の低減を予測している。

また溶損量の定量把握が可能となったため、各種精錬条件の煉瓦溶損量への影響について評価することが可能と

なった。活用例として使用毎の精錬時間と 3D レーザースキャナーを使用し測定した煉瓦残厚を用いて図 8 のように整理した。評価時の適用鋼種は主に低合金鋼であるが、一部高 Cr 鋼など精錬条件が異なる鋼種を含むものの溶鋼部、スラグライン共に溶損量は線形に推移した。そのため煉瓦溶損量は累積の保湯時間で予測することが可能となった。今後はデータ数を増やし溶損速度から耐用回数を予測することに加えて、煉瓦組成を含めて各種試験の評価へ活用を進めていく。

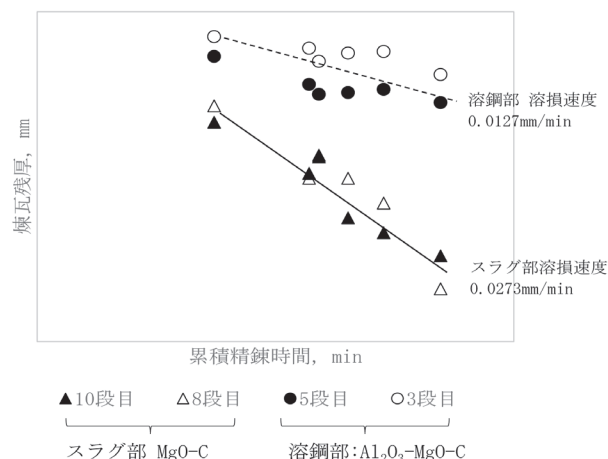


図 8 精錬時間と溶損量の関係

6. 結 言

汎用の 3D レーザースキャナーを用いて取鍋内張煉瓦の測定が可能となり、定量的な評価手法を得ることができた。今後は測定データを用いて吹付補修材の使用量低減や、電気炉や大型鋼塊用鑄型の内容積評価など活用範囲を拡大し、さらなるコスト削減を進めていく。

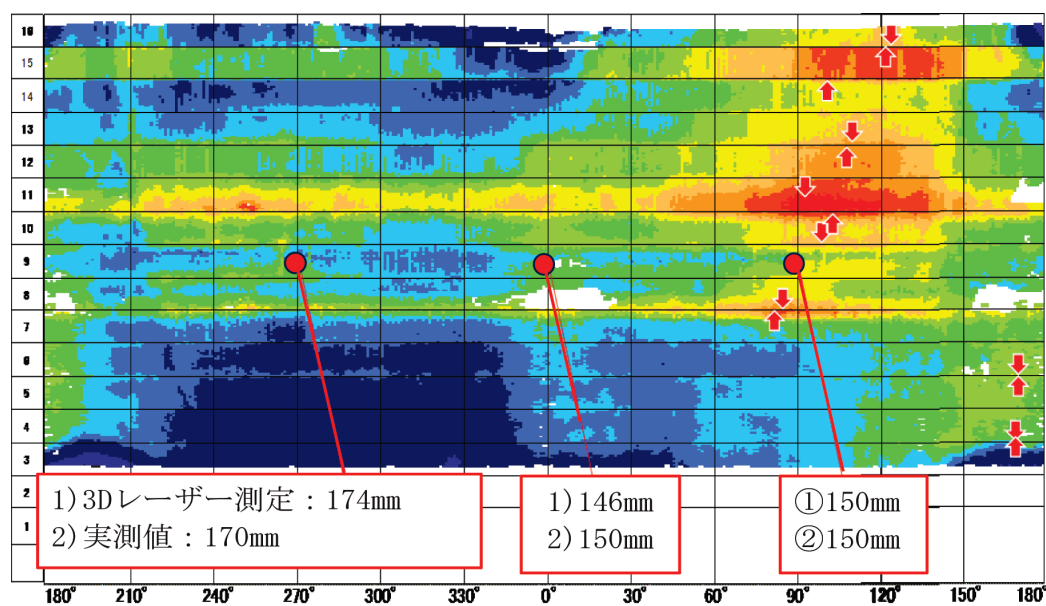


図 7 ワーク煉瓦の溶損状況