

# 3D 測定を活用した工期短縮技術

## Shortening Method of Construction Period Using 3D Measurement

種村 一輝 TANEMURA Kazuteru JFE スチール 東日本製鉄所 (京浜地区) 設備部 設備技術室 主任部員 (副課長)  
経塚 敏勝 KYOZUKA Toshikatsu JFE スチール 東日本製鉄所 (京浜地区) 設備部 製鋼設備室長 (副部長)  
神田 純一 KANDA Junichi JFE スチール 東日本製鉄所 (京浜地区) 設備部 製鋼設備室 主任部員 (係長)

### 要旨

製鉄所が建設されてから 50 年ほどが経過し、設備の老朽劣化が進行している。更新工事を実施すれば、故障の顕在化による操業影響は回避できるが、工事は生産停止を伴うため期間の短縮が求められる。また、周囲には既に稼働中の設備が多数存在するため、建設時の工事手法を採用できず、新たに工事手法を考案しなければならない場合も多い。本報では、3D 光学測定 (3D スキャン) を転炉排ガス処理設備の水冷ダクト更新に活用した、大型機器搬入時の周囲干渉物確認効率化および据付位置の事前決定による現地調整最小化について報告する。

### Abstract:

About 50 years have elapsed since the majority of steel works in Japan were constructed, and deterioration of aging facilities is proceeding. Although it is necessary to carry out renewal work to avoid the impact on operations, shortening of the construction period is required due to production stops. Also, since many facilities that are already in operation were constructed in the surrounding area, construction methods used at initial construction time cannot be adopted, and it is often necessary to devise new method. In this report, the effectiveness of 3D optical measurement for the improvement of the efficiency of the confirmation of the surrounding interferers when carrying in the large equipment, and the minimization of the field adjustment by the preset determination of the installation position in the case of updating the water cooling duct of the converter exhaust gas treatment facility are reported.

## 1. はじめに

国内の大規模臨海製鉄所は 1960 年代前後に建設したものが多く、稼働から 50 年を経た設備もある。製鉄機械のように、大荷重・高頻度・高温といった過酷な環境下で稼働する設備においては、適切なメンテナンスを施していてもなお老朽化は進行するうえ、その程度が未知の領域に達しており、想定していなかった劣化の顕在化によって大きな操業影響を引き起こしてしまう場合がある。JFE スチールでは近年、生産基盤の強化と製造実力の強靱化に力を注ぎ、必要に応じて大規模な設備更新工事を実施してきた。

更新工事は、当該設備での生産を停止する必要があることから、工期の短縮が求められる。類似のバックアップ設備を保有している場合においても、バックアップ設備自体にトラブルが発生すれば同じく生産停止に陥るため、リスク最小化の観点から工期短縮の要請は避けられない。しかしながら、建設当時と異なり周囲設備が操業を継続している中での工事は、特に大型機器の更新において形状や据付基準の制約が大きく、小部品に分割して現地で組み立てる工法が一般的で、どうしても長期間の工事となってしまう。また、

過去の痛ましい労働災害を教訓として安全レベルが向上した今日においては、工事の各段階で確実な安全対策を施す必要があり、それらを省略した危険作業は許されない。

一方で、情報技術の発達に伴い、測定装置からレーザーを全周に照射しその距離と角度を測定することで、所用時間数分以内で、誤差 1 mm 以下の精度で周囲環境を膨大な点群の三次元座標として得られるようになった。さらに、こうして得られたデータサイズ数百 GB におよぶ点群データから、コンピュータ上に仮想の工場を再現できるようになった。これを現場融合型エンジニアリングという<sup>1,2)</sup>。

本稿においては、東日本製鉄所 (京浜地区) 製鋼工場転炉排ガス処理設備の水冷ダクト老朽更新について報告する。工事に際して、従来では図面検討や実物と同外形の簡易モデルによる実搬入テストが必要だった大ブロック搬入について、効率化を目指し、点群による仮想設備と CAD モデルを用いた搬入ルート探索を行った。さらに、更新範囲外の流用機器との位置関係をあらかじめ決定しておくことで、現地での修正工事を最小化し、工期の短縮を達成できた。

## 2. 大ブロック工法への取り組み

### 2.1 転炉排ガス処理設備の概要

転炉プロセスでは、ランスと呼ばれる水冷筒から酸素ジェットを溶けた銑鉄に吹き付けて炭素を除去することで鋼に精錬しているが、この際に高温で高含塵かつ可燃性の排ガスが発生するため、それを処理する設備が必要である。この排ガス処理設備のうち、高温ガスを湿式除塵器まで導く水冷ダクトは、排ガスの熱を蒸気としてエネルギー回収するため、**図1**に示すとおり排ガスの流れ方向に並べた数百本のボイラチューブをフィンでつないだパネル式水冷壁（メンブレンウォール）で構成されるのが一般的である。発電所などのボイラとは異なり、転炉廃ガス処理設備では数十分の精錬ピッチでの加熱/冷却繰り返しによる熱疲労亀裂と、酸化鉄を主成分とする粉塵によるエロージョンにより

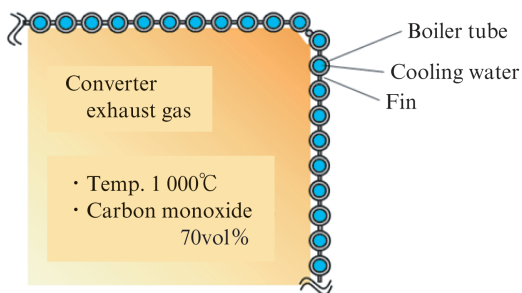


図1 転炉排ガス処理設備水冷ダクトの模式

Fig. 1 Schematic diagram of converter exhaust gas treatment facility water cooling duct

チューブが劣化するため、おおむね10年ほどで水冷ダクト更新が必要となる。

### 2.2 従来工法における課題

京浜地区転炉排ガス処理設備の全体配置を**図2**に示す。水冷ダクトはスカート、下部フード、上部フード、第一輻射部および第二輻射部で構成される。工場建設時の工事では、転炉本体の据付前に水冷ダクト類を上から順に大ブロックで搬入、設置が可能であった。しかし、設備稼働中の現在ではベルトコンベアやホッパーおよびそれらの計装機器、配線が存在するため、当時の工法の採用は困難であり、水冷ダクトのパネル分割が必要になる。ところが、水冷ダクトをパネル分割すると、数百本のボイラチューブを現地で突合せ溶接で接合することが必要になり、ミリメートル単位での位置修正と溶接作業に長い時間を費やさねばならなくなってしまった。

京浜地区では、水冷ダクト類のうち、スカートと下部フードは比較的規模が小さいため一体更新工法が可能であり、第二輻射部は建屋最奥に位置し隣接稼働設備に囲まれていることから、搬入可能なサイズによるパネル分割更新工法が選択された。一方、上部フードは、過去にも一体更新の構想があったものの、建屋寸法と上部フード組立寸法の取り合い（通過）に余裕がなく、工事着工後にフード通過不能が発覚して工事中止となるリスクが大きいため、採用を見送ってきた経緯がある。また、第一輻射部は、上部フードよりもさらに大型であるため一体更新は困難であるものの、工期短縮のためには、可能な限り分割数を少なくすることが求

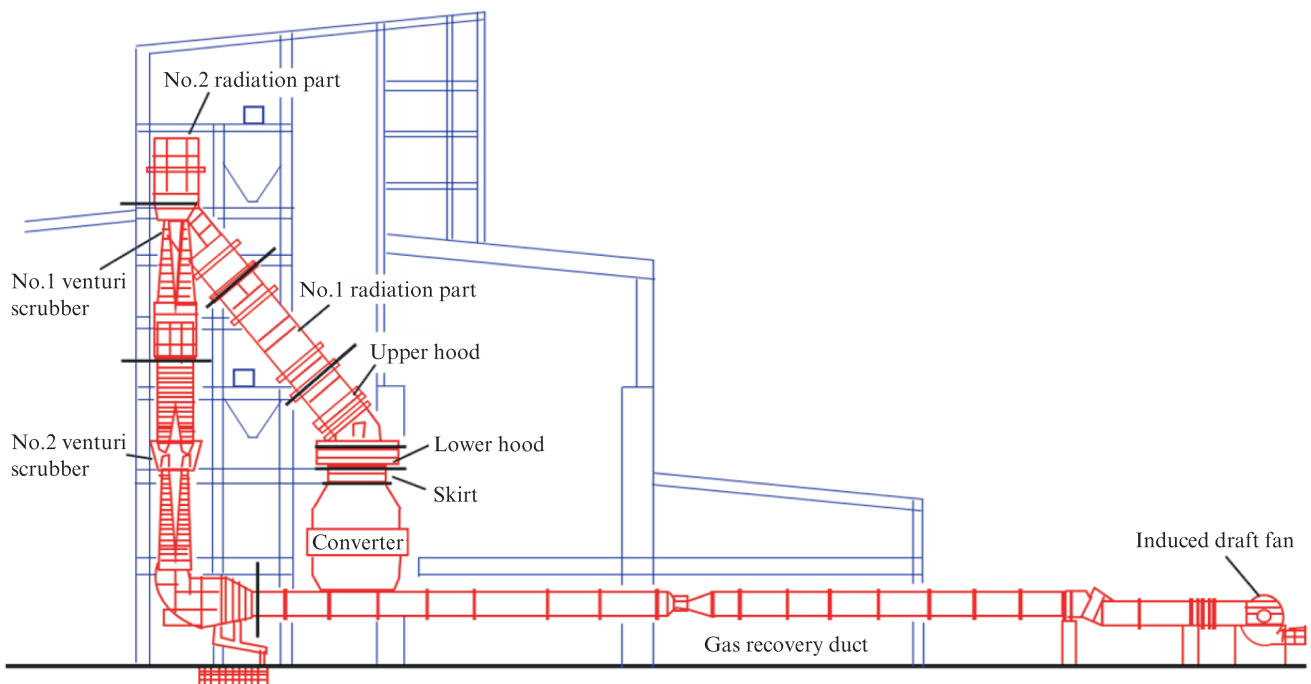


図2 転炉排ガス処理設備全体模式図

Fig. 2 Schematic diagram of overall converter exhaust gas treatment facility

められた。

一体更新もしくは大ブロック更新を行うためには、搬入および据付作業時に干渉するものを全て把握しなければならない。建屋や設備それぞれの図面は手書きであるため、それらを統合したデータを作成したうえで、更新機器の位置や姿勢を連続的に変化させての検討となり、多大な労力が必要であった。また、過去には実物大のモデルを形鋼組み合わせ溶接で製作し搬入テストを行った事例もあったが、多大な費用と労力がかかることが課題であった。

### 2.3 3D 測定を用いた施工方法検討

周囲設備との位置関係を詳細かつ簡便に把握するため、3D レーザースキャンを転炉建屋に適用した。周囲環境を三次元座標を持つ微細な点の集合として得る 3D スキャンは、図面情報とは違って実物を測定できるため、図面上で必ずしも図示されていないホースやケーブル、小径配管類、建屋柱のタラップ、各フロアに置いてある予備品や各種用器具についても、もれなく正確に短時間でデータ化できる優れた手法である。ただし、転炉建屋の場合には空气中に微細なダストが浮遊していることがあり、これにスキャンレーザーが反射すると、実物が何もない空間でもデータ上は干渉対象物が発生してしまう。これをノイズとして除去するためには、複数回のスキャンデータを重ね合わせるとともに、現地をよく認識している担当者がノイズ判定することが有効である。

図3は、第一輻射部更新に大ブロック工法を適用するため、スキャンデータから構築した仮想空間内に4本の吊ワイヤを加えた更新機器のCADデータモデルを取り込み、天井クレーンを用いて建屋内に搬入することが可能かどうかを検討した際の画像である。今回使用したソフトでは、CADモデル内部に測定点群が入り込むとモデルが青色透明に変化するとともに、入り込んだ点群が赤く表示されるため、実物で搬入機器と干渉するものが、除去可能であるか操業上必要なものであるかを判別できる。干渉物が除去可能であれば事前に除去し、必要なものであればデータ上で回避ルートを探索することで、現地工事の段階で通過不能といった重大な事態におちいるリスクを大幅に低減できる。また、現地据付での姿勢変更時などでも、図面検討ではいくつかの角度に限られることが多いが、3D スキャンを用いたこの手法であれば、連続的に角度変化させることで吊ワイヤと周囲設備との干渉有無まで詳細に確認することが可能である。

これらのデータを工事会社に提示し画像を見ながら工法を検討すれば、搬入作業時において干渉に注意を要する地点へ監視人を配置したり、より適切な吊り具を選定することで、確実な工事の遂行が可能になる。さらに、工事手順を動画として提示できるので、作業員一人ひとりの理解が深まり、工事安全化への寄与も図れる。

京浜地区ではこの手法を用いて上部フード一体更新および大ブロックでの第一輻射部更新を実施し、従来手法に比べて大幅な工期短縮を完全無災害で達成できた。

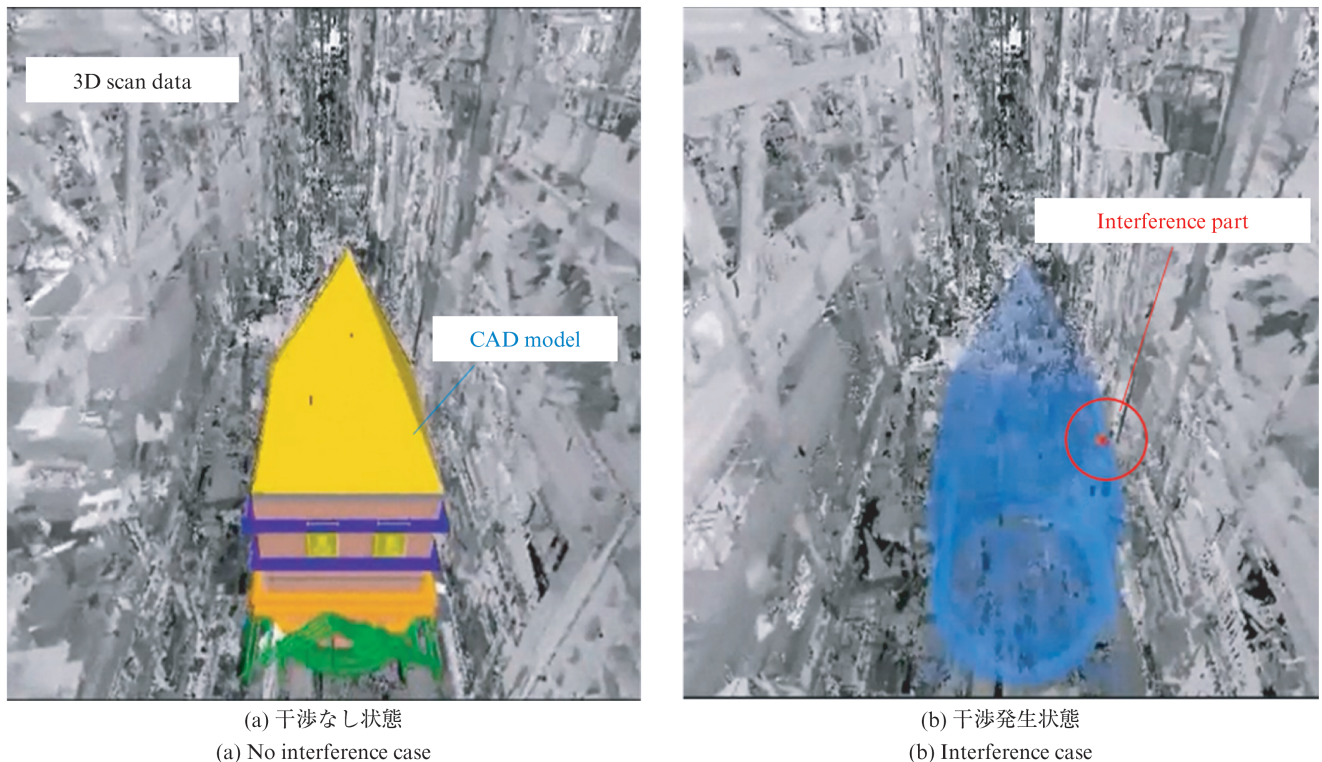


図3 3D スキャンデータと CAD モデルを用いた搬入検討図

Fig. 3 Study of bring in using 3D scan data and CAD model

### 3. 据付位置調整効率化への取り組み

#### 3.1 上部フード位置調整効率化

上部フードは転炉炉体の上方を覆う形になっているため、炉内の耐熱レンガ積み替え作業時には横方向へ退避する構造になっている。また、**図4**に示すように、上部フードにはランス通過孔、炉内サンプリングプローブ通過孔、石灰などの副原料供給孔があり、前後の水冷ダクト（下部フードおよび第一輻射部）との接続も含め、これらが更新後の作業位置で正しい位置になればならない。作業位置で調整すれば、目標物との位置を実際に測定できるため位置調整は比較的容易であるが、その間はレンガ積み替え作業ができない。そのため、退避位置で位置調整を行うことになるが、目標物が無いため大まかな調整しかできず、結局は作業位置での最終調整が必要であった。

そこで、目標物をあらかじめ3D スキャンにてデータ化し、フード移動方向に座標変換することで、退避位置において仮想的な目標物を構築して位置調整を行った。

これにより、レンガ積み替え作業と上部フード位置調整を同時に実施でき、作業位置に復帰した際には、各接続部を修正することなく、確認するだけで工事を完了できた。

#### 3.2 第一輻射部位置調整効率化

第一輻射部の接続対象は、比較的調整が容易な小径配管を除けば、上部フードおよび第二輻射部のみである。更新工事では三分割の大ブロック工法を採用し、上—中—下ダクトの順に搬入、据付を実施した。

第一輻射部の各ブロックを一体化する際はボイラチューブを突合せ溶接するため、第二輻射部と接続される上ダク

トの位置と姿勢によって、最後に設置する下ダクトと上部フードとの接続部の位置が決まる。接続部が低いと上部フードと干渉してしまい、接続部が高かったり中心位置が一致しないと隙間から転炉排ガスが漏洩してしまうため、許容値を超える場合には位置調整を行う必要がある。しかし、第一輻射部は大型であるので、一体化した後に据付位置を調整するためには多くの器具、人員と工期が必要となる。

上ダクトの据付で第一輻射部全体の位置調整要否が決まるため、3D スキャンした上ダクトの中、下ダクトを仮想的に一体化して、上部フードとの接続部位置が許容範囲内であるかを確認した。**図5**はその一例である。

上ダクト単体での位置調整は比較的容易であるため、この段階である程度作業時間を要したが一体化後の全体位置調整は不要となり、工期を短縮できた。

#### 3.3 第二輻射部基準パネル位置決定効率化

第二輻射部は、水冷ダクトを100枚程度の小面積パネルに分割して更新する必要がある。取り替えるパネル部分だけを撤去し新品を取り付ける方法を繰り返せば、全体としての位置や形状は維持されるため位置調整を行わなくてよい。しかし、古いダクトが残っているため搬入パネルの大きさに制約が生じ、また新旧パネルのボイラチューブを接続しなければならず、工事期間が長くなる。

これより、工期短縮を図るべく、第二輻射部を一旦全て撤去し、中間に位置するパネルを据え付けた後、上下に同時並行で新規パネルを接続していく工法を採用した。ただ

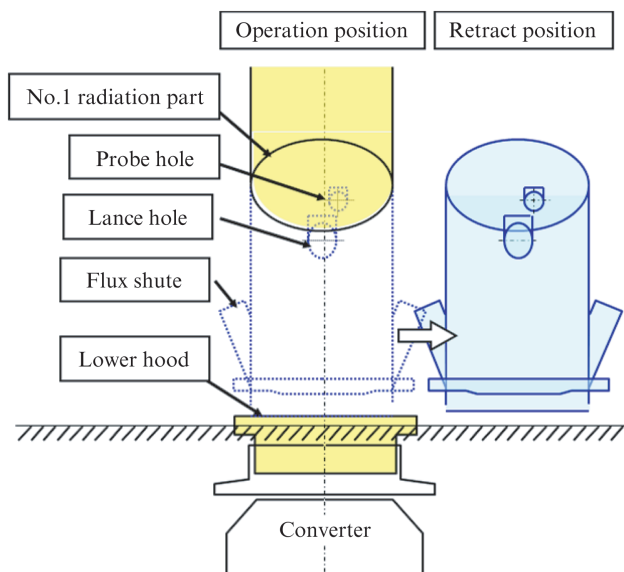


図4 上部フードの各種接続部と退避位置

Fig. 4 Various connections of upper hood and retracted position

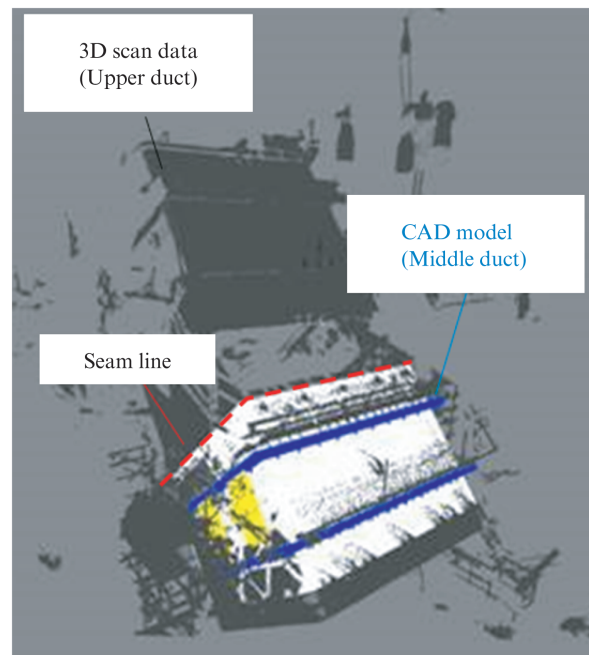


図5 第一輻射部の上ダクトと中ダクトの位置検討例

Fig. 5 Position examination of upper duct and middle duct of No.1 radiation part

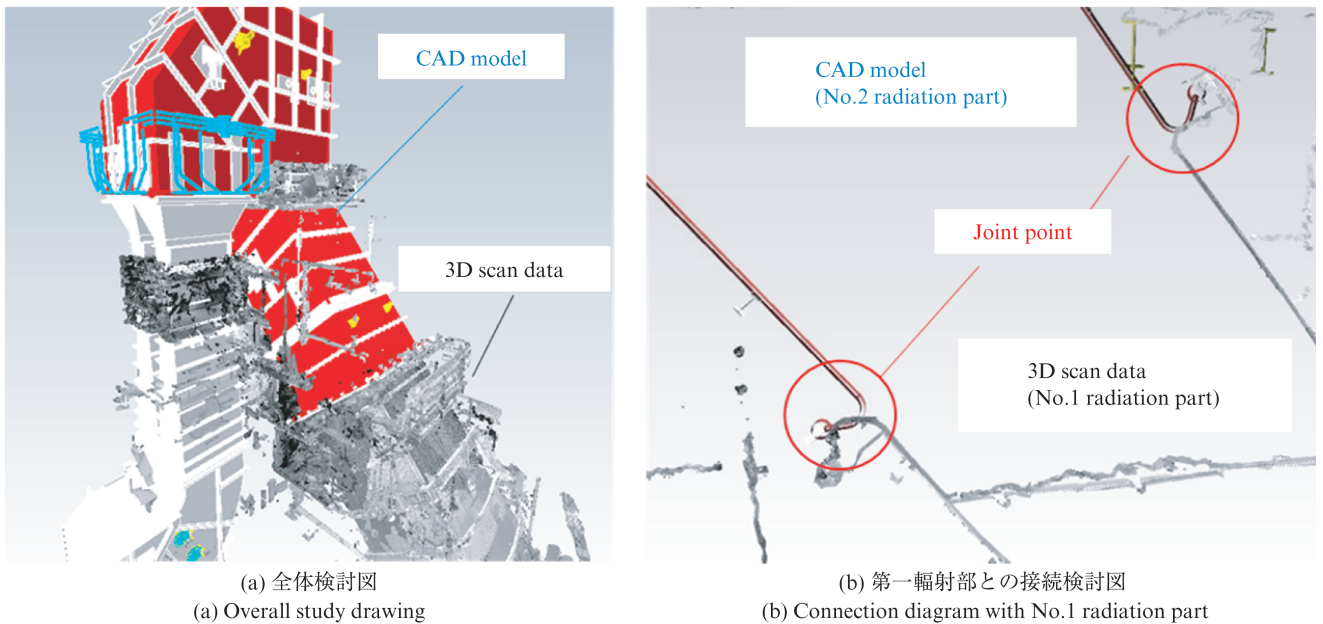


図6 第二輻射部のスキャンデータとCADモデルの組み合わせ例  
Fig. 6 Combination example of scan data of No. 2 radiation part and CAD model

し、この場合は最初に取り付ける中間パネルの位置によって、前段である第一輻射部や後段の湿式除塵器との接続可否が決まってしまう。このため、図6に示すように、これまで述べてきた手法と同様に実物の3Dスキャンと更新部のCADモデルを組み合わせることで中間パネルの位置を定めた。第二輻射部のように複数フロアにおよぶ機器では、従来のメジャーや下げ振りだけでなくレーザー距離計やレーザー水準器を用いても接続部の位置を測定するのは手間がかかるが、3Dスキャンであれば簡単に任意の場所の寸法や角度を得られるため、特に有用な手法である。今回採用した工法により、従来に比べて工期を25%程度短縮できた。

#### 4. おわりに

3D レーザースキャンとCADモデルの組み合わせを転炉排ガス処理設備の水冷ダクト更新に活用した工期短縮技術について述べた。

(1) 操業中の設備が隣接する建屋内での工事について、更新機器を一体品もしくは大ブロック分割で搬入し、現

地組み立て工程を短縮できた。

(2) 更新機器の据付時において、各種流用機器との接続部位置をあらかじめデータ上で確認しておくことで、工事終盤における位置修正作業を回避できた。

#### 参考文献

- 1) 鈴木宏正. 3次元計測とデジタルエンジニアリングの融合. 精密工学会誌. 2005, vol. 71, no. 10, p. 1205-1208.
- 2) 岩田章裕. レーザ計測の工場やプラント保守への応用. 精密工学会誌. 2013, vol. 79, no. 5, p. 392-396.



種村 一輝



経塚 敏勝



神田 純一