

# 3D 形状計測技術活用による設備の設計・点検・取替効率化

## Efficient Design, Inspection and Replacement of Equipment by Utilizing 3D Shape Measurement Technology

西名 慶晃 NISHINA Yoshiaki JFE スチール スチール研究所 サイバーフィジカルシステム研究開発部 主任研究員 (副部長)  
今野 寛之 KONNO Hiroyuki JFE プラントエンジ 倉敷事業所 建設センター 機械プラント部 設計室 (係長)  
鈴木 雅大 SUZUKI Masahiro JFE プラントエンジ 千葉事業所 保全センター 機械メンテナンス部 圧延工事業 (副課長)

### 要旨

最新の 3D 形状計測技術を活用して製鉄所内の設備の 3 次元形状を測定し、設備や配管等の設計、点検、並びに取替を効率化する技術開発に取り組んでいる。3D 形状計測技術活用による転炉炉底部の部分取替工事の効率化、炉内ラジアントチューブの点検・取替の効率化、3D 技術の組合せによる配管設計工事の業務効率化に取り組み、鉄鋼設備の設計、点検、取替の効率化を実現するとともに、プラントエンジニアリング事業へも展開している。

### Abstract:

Technologies relating to design, inspection, and replacement efficiency of equipment has been developed by measuring three-dimensional shape of equipment utilizing the latest 3D Shape measurement technology. Through the use of 3D measurement technology to improve efficiency of partial replacement work at the bottom of the converter furnace, to improve efficiency of inspection and replacement of radiant tubes in the furnace, and to improve efficiency of piping design work by combining 3D technology, efficient design, inspection and replacement of equipment was archived. Some selected technologies have been currently applied to plant engineering business of JFE Steel Group.

## 1. はじめに

JFE スチールグループでは、設備や配管等の設計、点検、並びに取替の効率化を目的とした取り組みのひとつとして、最新の 3 次元 (3D) 計測技術を活用した技術開発に取り組んでいる。3D 計測技術は、3D レーザスキャナーの登場により、大量に高速でかつ高精度の 3 次元情報が採取できることからさまざまな領域で活用が始まった<sup>1,4)</sup>。3D レーザスキャナーが登場し始めたころは、モデル化に人手がかかることが普及のネックとなっていた。しかし、ここ数年、形状自動認識によるモデル化技術が急速に進歩したこと、点群密度の向上と CAD ソフトウェアの機能向上によりモデル化せずにデザインレビューや干渉チェックが可能となったこと、更に、デジタル画像の大幅な精度向上と処理ソフトウェアの高度化もあり、3D レーザスキャナーの普及が進んだ。3D レーザスキャナーは、ミラーでレーザを偏光させ計測対象物とセンサの間でレーザパルスを往復させることで距離を計測し、同時にレーザビームを放射した方向を計測することで、計測対象物の 3 次元座標を取得する手法である。測定方式は、レーザが測定対象物で反射して帰ってくるまでの時間から距離を算出するとともにレーザの移動方向角度から角度を算出し、算出した距離と角度情報から 3 次元位置情報を求

める「Time of flight 方式」と、数種類のレーザ波長の「位相差 (干渉波)」で計測距離を算出する「フェーズシフト方式」の 2 種類がある<sup>5)</sup>。Time of flight 方式は長距離・広範囲の測定に向いており、一方でフェーズシフト方式は大量な点群データを短時間で取得できる特徴があるため、目的に応じて両方式を使い分けることが重要である。

本稿では、最新の 3D 計測技術活用による設計、点検、並びに取替の効率化に関する開発事例及び応用例について紹介する。

## 2. 3D 形状計測技術の活用による転炉炉底部の部分更新工事の効率化

転炉炉底部の部分更新工事では、**図 1** に示すように、旧炉体の炉底部を切断した上で旧炉体の膨張に合わせて新炉底を接合する必要がある。3D 計測技術を活用し、溶接接合面の目違いを 40 mm 以下に事前に造り込み、現地での接合面の追加加工時間を省略することで転炉炉底部の部分更新工事の工期短縮化を実現した開発事例を紹介する。

### 2.1 部分更新工事の問題点

汎用レーザ距離計で切断部近傍の内径を 22.5°ごとに計 16 点測定した結果、**図面寸法**に対して最大 240 mm 以上膨張していることが判明した。しかし、距離計では、炉体が傾い

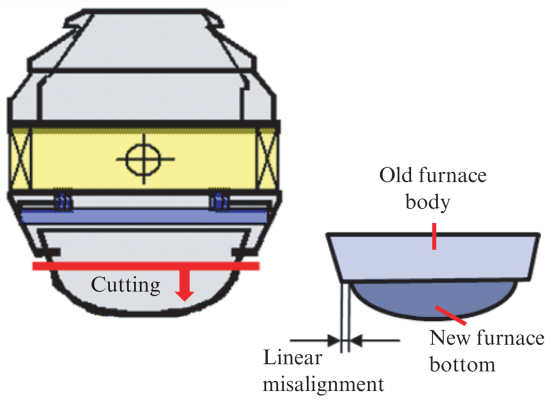
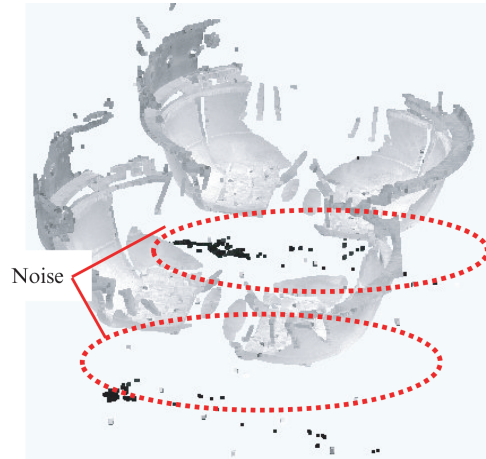


図1 転炉炉底部の部分更新の概要

Fig. 1 Outline of partial update of converter furnace bottom



(a) 4箇所からの測定データ

(a) Measurement data from 4 places

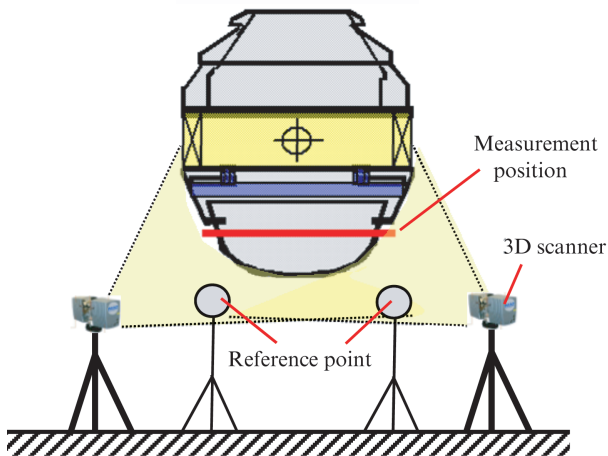
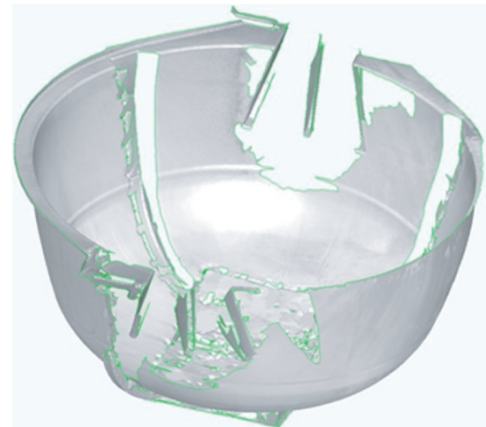


図2 複数箇所からの3D形状測定状況

Fig. 2 Outline of 3D shape measurements from multiple places



(b) 平滑化画像合成処理後

(b) After smoothing image synthesis process

図3 基準点を用いた平滑化画像合成

Fig. 3 Smoothing image synthesis using reference points

ている場合は十分な測定精度が得られないという問題があった。

## 2.2 3D形状計測技術の活用による部分更新工事

旧炉体の膨張に合わせて、溶接による接合面の目違いを40 mm以下になるように新炉底部を事前に造り込むため、旧炉体の切断面相当部の周囲360°の炉体形状を3Dスキャナーを活用して効率的かつ精度良く現地測定することにした。図2に示すように、基準点を設け複数箇所から3D形状計測を実施した。

3D形状計測は、1箇所あたり12万点/sの速度で約1分間実施した。図3(a)に示すように4箇所からの測定データを平滑化画像合成処理することで、測定ノイズ除去及び不足データの近似処理を行い、図3(b)に示すように周囲360°の炉体形状モデルを構築した。

構築した炉体形状モデルから切断面の旧炉体形状を取得し、図4に示すように、真円で新作した炉底を旧炉体形状に合わせて異円形にプレス加工し、旧炉体との接合面の目

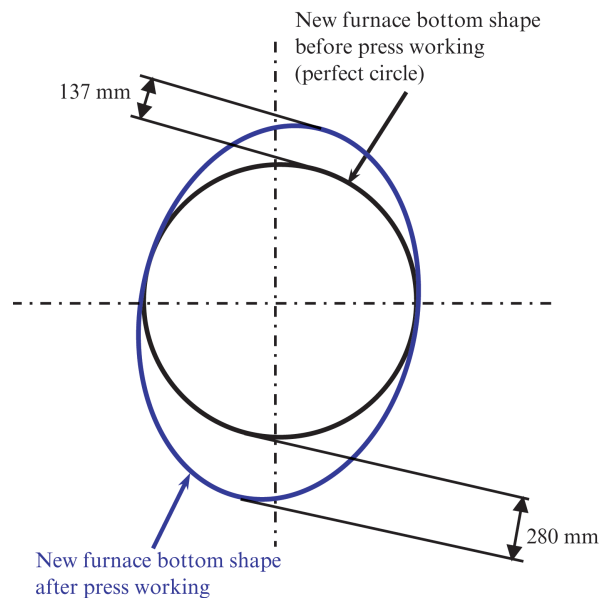


図4 新炉底のプレス加工状況

Fig. 4 Outline of press working at the new furnace bottom

違いを最大約 10 mm 以下に修正した。更にプレス加工後の接合面の 3 次元形状を測定した上で、旧炉体の切断時に再計測を実施し、プレス加工後の接合面との目違いが最小となる位置を選定した。その結果、現地での接合面の追加工なしで、新旧炉体の接合面の溶接が可能となった。

### 2.3 まとめ

転炉炉底部の部分更新工事に際し、旧炉体の炉底複数箇所から 3D 形状計測を実施し、基準点を用いた平滑化画像合成技術により 3 次元炉体形状モデルを構築する、旧炉体切断面の膨張量演算技術を開発した。演算結果に基づき新炉底の形状を事前に造り込み、現地での溶接接合面の目違いを目標の 40 mm 以下とすることにより、現地での接合面の追加工を省略し、転炉炉底部部分更新工事の工期を 3.5 日短縮した。本開発の 3D 形状計測技術を活用し、受託測定業務やプラントエンジニアリング業務の外販も実施している。

## 3. 3D 計測技術の活用による炉内ラジアントチューブ点検・取替の効率化

図 5、図 6 に示す冷延工場の縦型焼鈍炉内に配置されているラジアントチューブ（以下 RT とする）は、高温環境下で使用されるため、顕著な熱変形が生じる。RT は、高所、

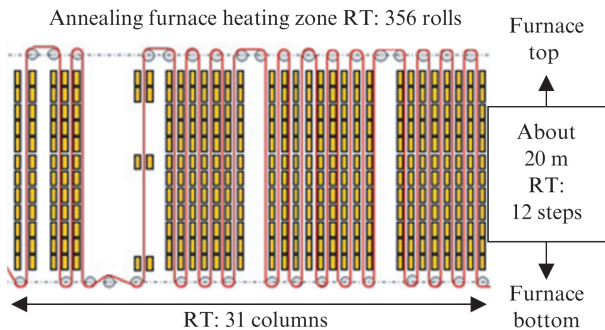


図 5 焼鈍炉加熱帯 RT 配置図

Fig. 5 RT layout of annealing furnace heating zone

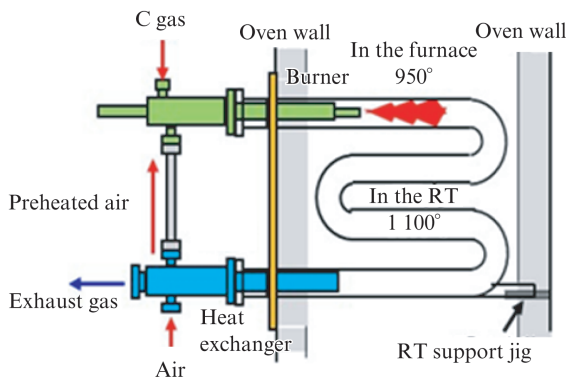


図 6 RT 燃焼原理と温度

Fig. 6 RT combustion principle and temperature

暗所、狭所に多数配置されているため、的確な点検作業が不可能であることから適切な保全計画ができず、鋼板と RT との接触による操業トラブルにつながりかねない。そこで、3D 計測技術を活用し、炉内全数の RT 変形量の点検方法を開発した。RT 変形量の把握が可能になったことで、保全管理基準を見直し、効率的な大修理工事計画および安定操業に寄与することができた。

### 3.1 従来の RT 保全の問題点

図 7 に示すように、従来の点検作業は大修理工事期間中の作業員による目視点検が主体であり、点検結果は写真や記憶などに頼るものが多く、定量的でない信頼性の低いものであった。RT は大修理工事期間中しか取り替えられないにも関わらず、取替対象 RT の選定は信頼性の低い点検結果と使用周期（6 年）に基づき行われ、最も重要な指標である変形量に応じた取替計画は策定できていなかった。

### 3.2 3D 計測技術の活用による RT 点検・取替作業

3D 計測技術の長所を最大限に活用することにより、これまで不可能であった炉内全数の RT 変形量の点検手法の開発を試みた。

計測方法は、図 8 に示すような炉底レベルと炉中レベルでの 2 段階計測とし、図 9 に示す解析において基準とする

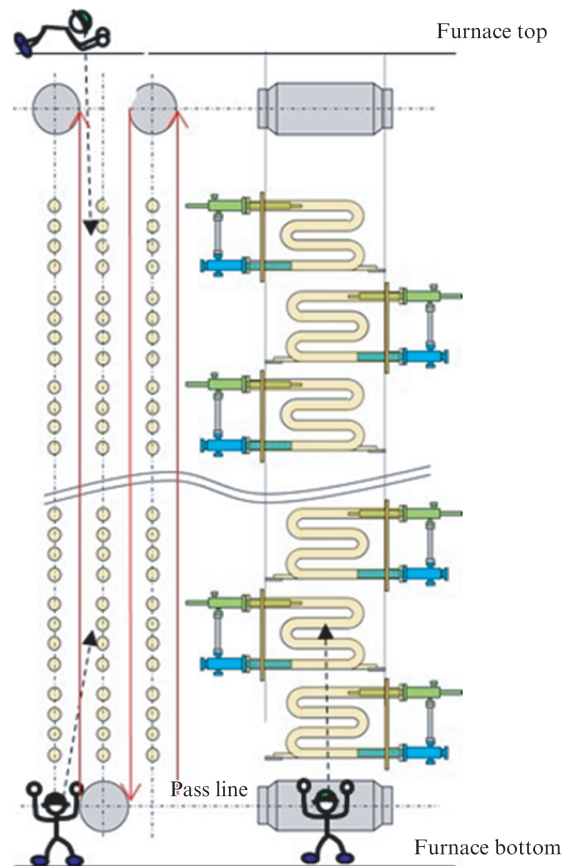


図 7 炉内側面図及び断面図

Fig. 7 Inner side and cross-sectional view of furnace

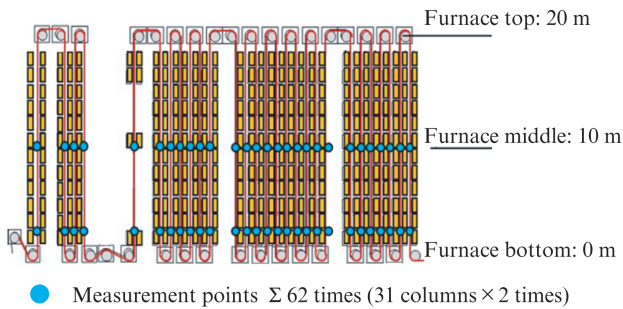


図 8 3D 計測点

Fig. 8 3D measurement points

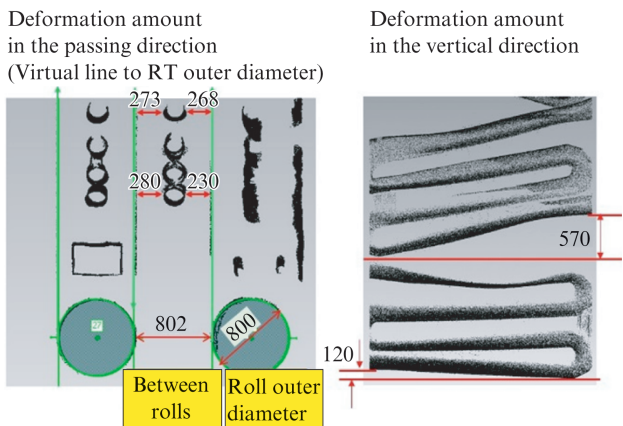


図 9 3D 点群データ全景

Fig. 9 Full view of 3D point cloud data (Unit: mm)

上下ロールの点群データを取得した。この点群データの信頼性を確認するため、ロール間距離、ロール径を図寸と解析値と比較し、精度±3 mm 以内で問題ないことを確認した。その結果、図9のように RT の変形方向と定量的な変形量を把握できるようになり、変形量に応じた RT 取替計画を策定できた。更に複数回の点検結果から RT 本体の経時的な熱変形のメカニズムを特定し、RT 取替基準の見直しと RT 本体強靱化への提言に至った。

### 3.3 まとめ

3D 計測技術を活用した炉内 RT 変形量の点検手法を開発した。今後、同様の設備に本手法を適用することで、お客様の CBM (Condition Based Maintenance) にご活用いただければと考えている。

また、炉内の保全業務の課題として、仕切板や炉壁板の変形による鋼板との接触トラブルが挙げられる。RT のみならず炉内全域の点検手法を開発し、更なる保全業務の効率化につなげていく所存である。

## 4. 3D 技術の組合せによる配管設計工事の業務効率化

広大な製鉄所における既設設備の改修工事や補修工事において、近年、設備等をスキャンしモデル化する 3D スキャン及び点群編集ソフトの有効性が実証されている。また配管応力解析ソフトなどの解析ソフトの利用も年々拡大しつつある。しかし、それらの 3D ソフト及び解析ソフトは、主にそれぞれ単独で利用されていた。組み合わせようとしても、受け渡しデータの互換性がないためモデルを各ソフトで作成する必要があり二度手間となるなど、効率的に利用できていなかった。今回、これらのソフト間に 3D-CAD ソフトをコンバーターとして組み込むことで、ソフト間のデータの送受を可能とする新システムを構築した。このシステムは、設計上の効率化のみならず、現場での打合せ資料への活用など、工事全体の業務効率を向上させていくベースとなりうるものである。ここに紹介する。

### 4.1 3D 技術の組合せによる配管設計

#### 4.1.1 新システムによる設計業務効率化

本システムでは、図 10 に示すように配管応力解析ソフトに AutoPIPE (以下 AP), 3D スキャン点群データ操作ソフトに GalaxyEYE(以下 GE), 3DCAD ソフトに SolidWorks(以下 SW) を使用した。SW をコンバーターとして AP-GE 間に組み込むことで、従来困難だったデータ送受の簡易化を実現した。これにより、「3D スキャンで計測した現地情報上に作成したモデルを AP で強度解析」、「AP にて解析済みのモデルを GE にて現地情報に組み込み、取り合い確認」といったことが可能となり、作業時間短縮につながった。また両ソフトで作成したモデルは SW にて図面化できるため、設計業務の効率化を図ることができた。

#### 4.1.2 新システムによる工事全体の業務効率化

本システムでは、作図や取合い検討、強度検討だけでなく、作成したモデルを図 11 に示すような 3D-PDF へ変換したり、既存設備について 3D スキャン点群データを含めたキャプ

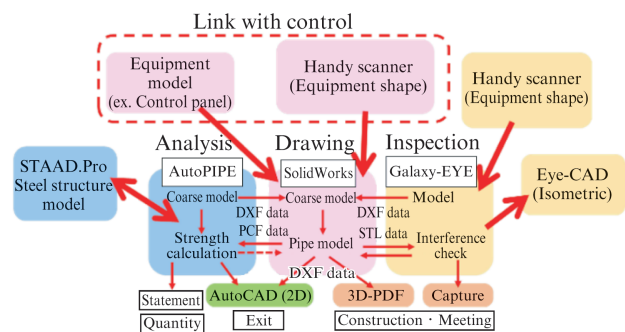


図 10 新設計モデル

Fig. 10 New design model

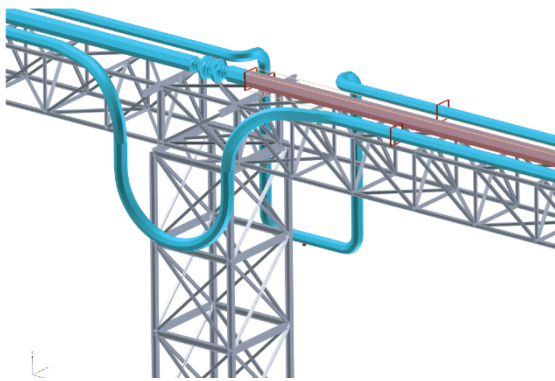


図 11 3次元 PDF 図面

Fig. 11 3-dimensional PDF drawing

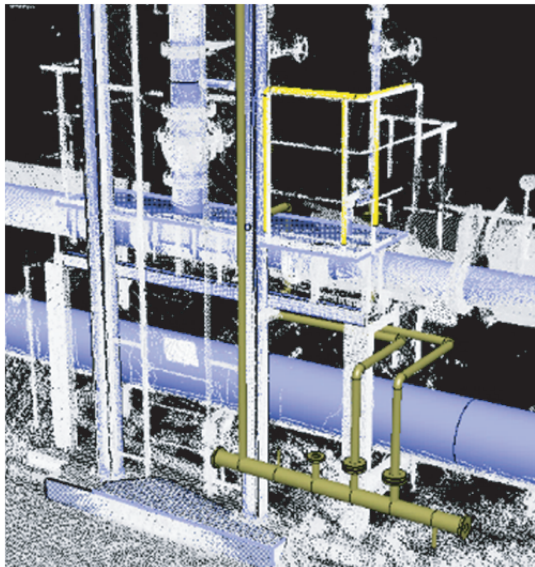


図 12 既存設備の 3D スキャン点群データキャプチャ

Fig. 12 3D scanner point cloud data capture of existing equipment

チャなどの視覚的資料を出力したりすることも可能である。  
 その結果、図 12 に示すように既存設備との関係性を視覚的に確認することが可能となった。これらは CAD などの特別なビューワーが不要で、一般的なビューソフト (AdobeReader 等) で誰でも閲覧、3D 操作が可能のため、打合せ用資料としての活用や施工部署・業者との確認・調整における伝達ミスの防止などに有効と考える。

#### 4.2 まとめ

今後、配管敷設業務フローについて、本システムの利用を盛り込んだ見直しを行う。また、図 13 に示すとおり本システムは骨組構造物解析ソフト (STAAD.Pro) や、EYE-CAD など他のさまざまなソフトともリンク可能である。こ

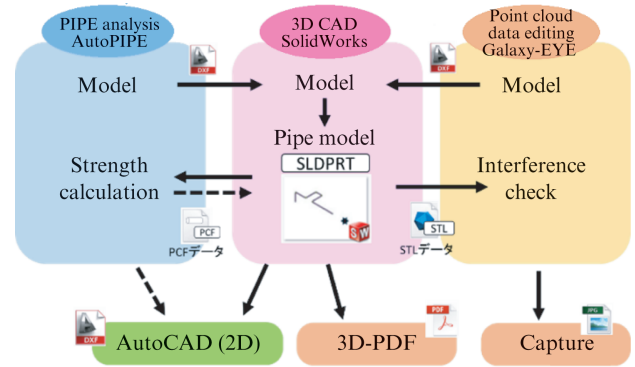


図 13 システムの発展性

Fig. 13 Expansibility of system

れらを活用すれば、配管、構造物、配線等を含めた機電一体型の工事においても、取合い検討、強度検討、作図等の設計作業の精度向上と短縮化、および視覚的資料による諸調整の効率化が可能となる。今後、本システムの利用実績を積み上げ、システムの適用範囲の拡大を図る所存である。

## 5. おわりに

本稿では、最新の 3D 計測技術活用による転炉炉底部部分更新工事の効率化、炉内ラジアントチューブの点検・取替の効率化、3D 技術の組合せによる配管設計工事の業務効率化に関する開発事例と応用例を紹介した。今後、鉄鋼設備の設計、点検、取替の効率化を実現するとともに、プラントエンジニアリング事業への一層の展開も進めていく。

#### 参考文献

- 1) 大澤尊光, 高辻利之, 佐藤理. モノづくり産業を支える高精度三次元形状測定. Synthesiology. 2009, vol. 2, no. 2, p. 101-112.
- 2) 福森秀晃, 佐田達典, 石塚隆, 清水哲也, 村山盛行. 3次元レーザスキャナーを用いた路面形状計測に関する研究. 土木情報利用技術論文集. 2008, vol. 17, p. 225-232.
- 3) 前田憲治, 織野祥徳, 横手了, 岡本良徳. 地上型レーザスキャナーの精度検証. 土木学会第 66 回年次学術講演会. 2012, IV-008, p. 15-16.
- 4) 篠田達也, 永田優次. 3D 計測技術の動向とその応用. コマツ技報. 2015, vol. 61, no. 168, p. 13-17.
- 5) 河村幸二. 3次元計測の最近技術と市場動向. 精密工学会誌. 2013, vol. 79, no. 5, p. 388-391.



西名 慶晃



今野 寛之



鈴木 雅大