

ITを活用した電力プラントエンジニアリング業務の支援システム

野中 洋一
Nonaka Youichi

山本 典明
Yamamoto Noriaki

大家 健司
Oya Kenji

榎本 敦子
Enomoto Atsuko

関 洋
Seki Hiroshi

電力プラントの信頼性向上とコストダウンの要求に応え、かつ安全・安心な運転を維持するため、新設やリプレース・保守の工事計画を迅速かつ精緻に見積もることが重要であり、最新ITを活用した技術開発を進めている。リプレース工事では、新旧の機器を搬送する際の経路や展開箇所の現況を正しく計測することが課題であり、3D

計測に基づく部品認識技術を開発した。また原子力発電プラントの廃止措置に対しては、放射性廃棄物を扱ううえで被ばく低減を考慮し、安全に効率よく作業するという課題に対し、線量見積もり結果を3Dモデルに反映し搬出入の最適経路を高速計算する技術を開発した。本開発事例の取り組み概要を紹介する。

1. はじめに

発電、製鉄、化学、石油精製などのプラントの新設では、顧客要件や立地条件が複雑に絡んでおり、環境アセスメント、土木建築、機器設計、機器手配・据付、試運転・引き渡しなど、非常に多くのエンジニアリング業務が必要である。またプラントの保全では、構成する設備・装置・機器を診断し、安全かつ安定した運転を維持するために適切な修理・交換を行う高度できめ細かいエンジニアリング業務が必要である。さらに顧客向けに新設・保全のエンジニアリングサービスを提供するときは、コストと工期を迅速かつ精緻に見積もる必要がある。このような背景から最新のIT (Information Technology) を駆使したエンジニアリング高度化の技術開発を推進している。

本稿では、特にプラントの保全・リプレース工事に焦点を当てる。設置から30～50年経ったプラントは、当時の設計図が2次元図だけであったり、度重なる保全により新設図面とは異なる配管や機器が設置されている場合がある。そのため、現況に基づく工事計画が重要となる。

このような課題に対して、2章では3D (Three-dimensional) 計測に基づくas-builtモデリング技術、3章では3Dモデルを活用した施工・廃止措置計画技術の開発事例を紹介する。

2. 現地調査の効率向上に向けた取り組み

電力プラントのリプレース工事では主に、更新対象物の

撤去と新たな機器の設置を行う。それぞれの作業を計画する際、撤去から新設までの搬送経路上に干渉するものがないか、既設物との着実な接続ができるかなど、大規模なプラント実環境の現況を把握することが重要となる。具体的には、追加・移動された箇所の把握や、長年の稼働による変形箇所の把握など、現地調査結果を踏まえた構造設計および工程設計を行う。これら設計から施工までの一連の作業の効率化と現地調査のスキルレス化をねらいとして、現況を迅速に計測可能な長距離非接触レーザスキャナによる3D計測の活用に取り組んでいる。

近年、レーザスキャナは、土木、建築、測量など幅広い分野で活用されている。しかし、計測した点群にはノイズも含まれ、また点群データは膨大であるため、as-builtモデルを生成するには多くの手作業を要している。本章では、現地調査から顧客への設計提案を迅速に行うことをねらいとして、計測点群からの部品認識技術と計測点群から3Dプリント用データを生成するリバースエンジニアリング技術を紹介する。

2.1 計測点群からのas-builtモデリング技術

計測点群と参照3Dモデルの乖(かい)離を検出し、実形状に即したas-builtモデルを自動生成する技術を開発した¹⁾。具体的には以下の3つのステップとした。

まず、前処理として3Dモデルをポリゴン形状に変換し、

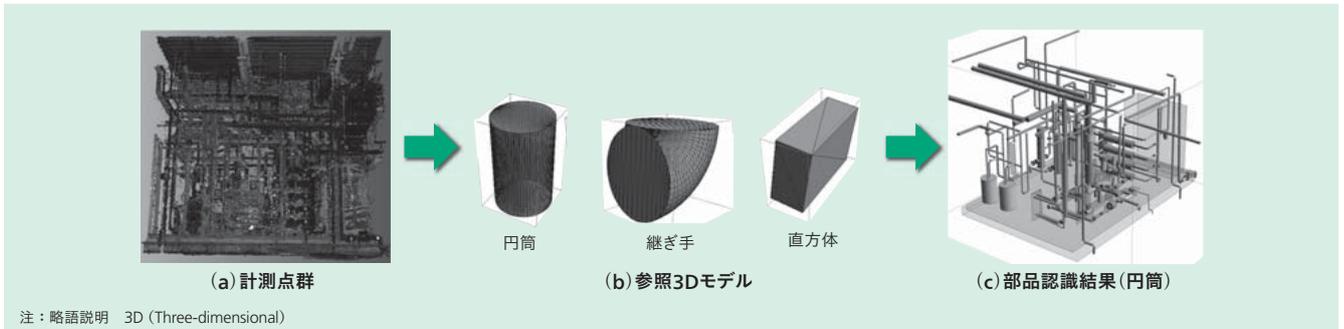


図1 | 計測点群からの部品認識

(a) に配管設備の計測点群 (25計測箇所, 2.5億計測点群) を, (b) に円筒, 継ぎ手, 直方体などの基本形状の参照3Dモデルを, (c) に計測点群から円筒を自動認識した結果の例をそれぞれ示す。

ポリゴン形状を三角メッシュに分割する。次に, 分割した三角メッシュの連結関係をグラフネットワークモデルに変換する。最後に, ネットワーク分析により, 円筒, 継ぎ手, 直方体などの基本形状を認識し, 認識した基本形状ごとに計測情報との距離を最小化し, as-builtモデルを生成する。

本開発技術について, 配管設備の計測点群 (25計測箇所, 2.5億計測点群) と参照3Dモデル (円筒, 継ぎ手, 直方体) を用いて検証した。部品認識の処理時間は315分で, 今回対象の部品463個のうち, 440個 (95%) の部品を認識できることを確認した (図1参照)。

本研究成果は, ハンガリー科学アカデミーとの共同研究成果に基づく¹⁾。

2.2 計測点群に基づくデータ補填処理技術

計測点群を3Dプリントするためには, 点群に面情報を付加する必要がある。その方法として三角メッシュを生成する方法がある。しかし, 点群データが多い場合は, 計算量が莫大に増えるといった問題がある。さらに計測点群に含まれたノイズが影響し, 本来の形状とは異なる面情報が生成されてしまう。また, 複雑な凹凸がある場合は, 1か所の3D計測では死角が存在するため, 複数箇所の3D計測の点群を統合する必要がある。

今回, プラント設備 (幅約5.1 m×高さ約3.3 m×奥行き約20.0 m) を対象に, レーザスキャナで3D計測した計測点群を基に3Dプリント用データを生成する技術を開発した。対象とした計測点群は, 対象設備の周囲11か所より計測した結果を統合したものであり, 全体で約10億点の点群データとなる。

計測点群は複数箇所での計測データを統合することで死角を削減することができるが, 構造上のすべての欠損がないように点群を取得することは現実的に困難である。そこで, 欠損を含んだ計測点群においても, 構造上の断絶部を補填 (ほてん) して3Dプリント用データを生成する技術を開発した。

具体的には, 以下の4つのステップとした。初めに, 点群データを所定寸法の単位格子 (ボクセル) データに変換する。次に, 各ボクセル内に点群データが一定数存在するボクセルのみを抽出する。そして, 各ボクセルに対して, 3D計測時のレーザスキャナ位置から計測アングルを求め, 計測アングルを用いて物体の内側領域を計算する [図2 (a) 参照]。最後に, 物体の内側方向にボクセルを補充する。

開発方式にて, プラント設備の計測点群を3Dプリントした結果, 内側方向で欠落した箇所のデータ補充が可能となった [図2 (b), (c) 参照]。

本技術の適用前後での3Dプリント結果の模型から構造が断絶した箇所を調査した結果, 適用前の120か所の断絶に対し, 適用後は20か所の断絶にとどまっていることを確認し, 欠損を自動補填できたことを確認した。

従来, データ補填処理は計測点群から三角メッシュを生成した後, as-built情報と異なる部分を写真などから目視で確認し, 人手で修正するといった方法を取っていることが多く, 1か月程度の時間を要していた。本3Dプリント用データ生成技術により, これを約7分で実現した。

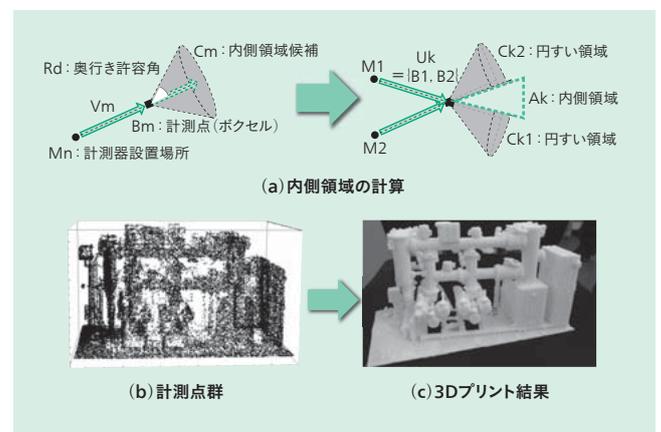


図2 | 計測点群に基づくデータ補填処理技術

(a) 計測器設置場所から計測点群の内側領域を計算した。(b) 計測点群に対し, 本技術に基づき (c) 3Dプリントした結果, 欠損を補填 (ほてん) できることを確認した。

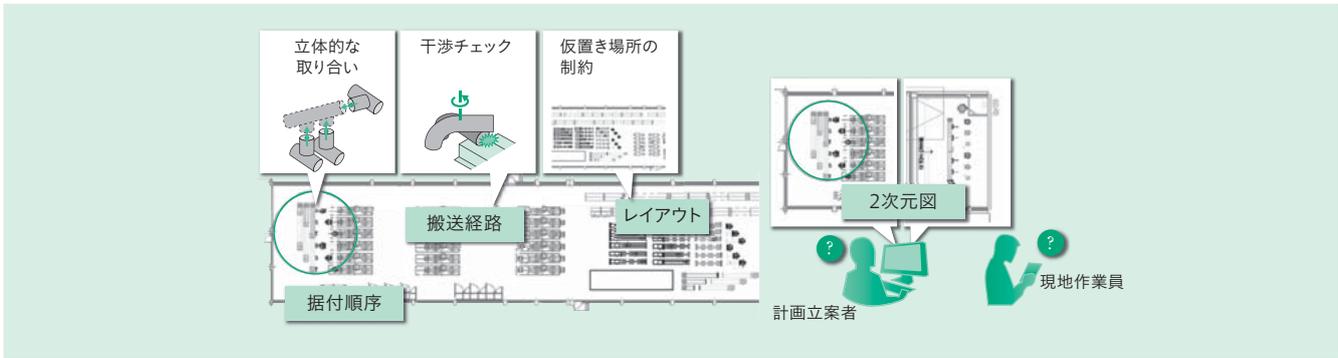


図3 搬入据付作業計画の課題

立体的な取り合い、作業動作上の干渉、仮置きレイアウトなどさまざまなケースの事前検討が必要である。

3. 施工・廃止措置計画高度化に向けた取り組み

3.1 搬入据付作業計画シミュレータ

変電機器の新設やリプレースの据付工事では、工場にて組み立てて検査した多くの機器を現地に順次搬入して据付作業を行う。各機器は重量物であり、クレーンなどで吊り上げて搬送、位置決め、接続作業を行う。このとき、他の機器との立体的な取り合いや現地に着荷した機器を仮置きした状態も考慮したうえで、据付順序を検討し作業計画を作成する。このように、さまざまなケースの想定は2D (Two-dimensional) 図面では困難であり、また、多くの経験と専門知識が必要となる(図3参照)。そこで、搬入据付作業をシミュレーション可能な3Dモデルの活用に取り組み、3Dアニメーションを自動生成する技術を開発した²⁾。

具体的に本技術は、工事対象の3Dモデルから各機器間の隣接関係を自動解析し、その隣接する面の法線方向を分解動作可能な方向として導出する。また、据付途中や機器を仮置きした状態の配置関係を基に、動作経路上での干渉検出を行うことで据付順序を生成する(図4参照)。生成した順序を基に、現地での搬送順序、仮置きレイアウト、天井クレーン動作などを反映した3Dアニメーションを作成し作業の事前検討を行うことで、安全で品質の高い据付作業が可能となる。

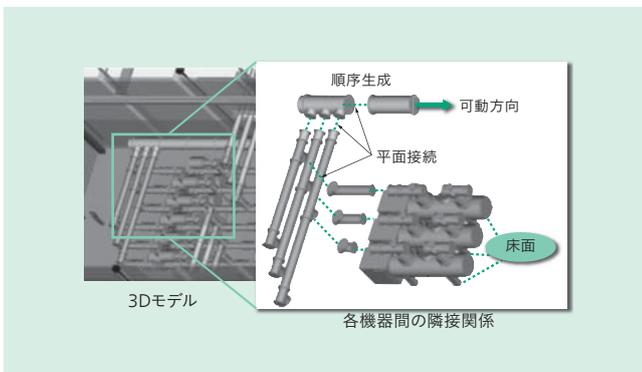


図4 3Dモデルの隣接関係を基にした据付順序の自動生成

3Dモデルの隣接関係の解析結果を基に、搬送する機器の分解可能な動作方向と分解順序を導出し、据付順序に変換する。

3.2 大型機器の搬出入シミュレータ

電力プラントの保守や廃止措置では、大型機器を搬入する作業の工数見積もりを精度よく行うことが難しく、工事期間の遅延の一因となることがある。実際のプラント建屋では放射線保護のために複雑で狭隘(あい)な場所が多いため、配置の微妙なずれが搬出入の妨げとなる場合がある。この問題に対して、現場の状況に応じた代替え経路案を生成する技術を開発した³⁾。

図5に大型の熱交換器を対象に代替え経路案生成方式を示す。まず建屋のポリゴンモデル空間を直方体に細かく分割する。ここで建屋のポリゴンに含まない直方体を通り、最も曲がり回数が少なくかつ最も空間余裕の大きな最適経路をダイクストラ法に基づき探索する。実際の現場では、最適経路の途中で障害物がある場合、その障害物を含む直方体を削除し、代替えの最適経路を探索する。

障害物のデータとしては、現場で計測した点群データを

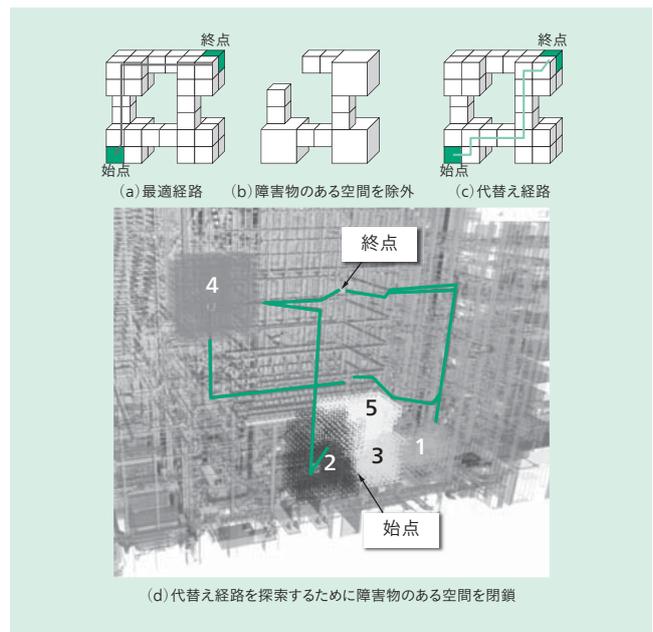


図5 代替え経路案生成方式

(a)に最適経路を、(b)に障害空間を除外した空間を、(c)に代替え経路を、(d)に代替え経路探索のために除外された障害空間をそれぞれ示す。

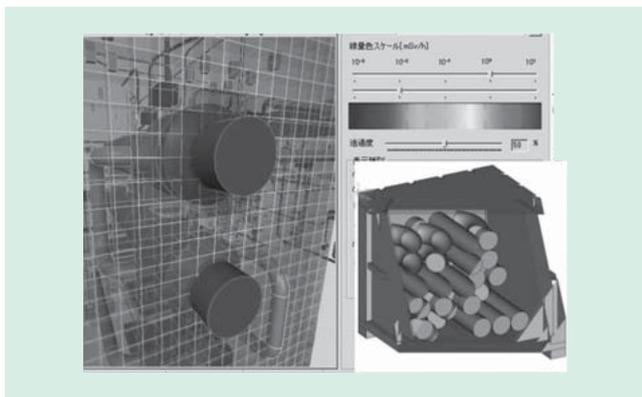


図6 | 空間線量率と廃棄物収納容器の可視化例

空間線量率の計算結果を3D CAD (Computer Aided Design) システムに取り込み、作業環境を可視化した。また、切断した廃棄物を収納容器に格納した状態をモデル化した。

インターネットで受け取る。これに対し、代替え経路案を即時に現場にフィードバックするには、高速な経路探索技術が必要である。プラント建屋のポリゴンデータは10ギガバイトに及ぶこともある。本技術では、グラフィックプロセッサ(GPU: Graphics Processing Unit)上で並列演算することにより、1経路1分以内の高速処理を実現した。これにより1コアのCPU (Central Processing Unit) に対し約200倍の高速な処理を実現した。

3.3 大規模廃棄物物量算出の自動化

廃止措置の際の放射性廃棄物物量を算出するため、3Dモデルを用いた線量率の空間分布のデータベース(DB: Database)化を検討した。ここでは、放射線輸送計算コードPhits⁴⁾を用いて計算した空間線量率をDBに格納して利用することにした。さらにCAD (Computer Aided Design) システムを用いて、計算結果の線量を可視化し、一定以上の線量率の空間範囲をフィルタリング表示する機能を検討し、インテリジェント3Dモデルとして構築した⁵⁾。

空間線量率と切断配管の収納容器への格納結果を図6に示す。ここでは空間線量率の計算結果をCADシステムで可視化するだけでなく、配管の切断寸法を変更することで、収納容器の個数の増減を計算できることを確認した。従来、質量ベースで確認していた放射性廃棄物物量を体積および収納容器個数でも算出可能とした。放射能レベルが高めの放射性廃棄物は300年間、地中管理することになっている。廃棄体に個別管理するためのタグや、収納容器周辺を計測する線量計を配置することによりIoT (Internet of Things) を活用した廃棄物の長期管理を可能とする。

4. おわりに

本稿では、プラントの保全・リプレースに関して、現地調査に基づくプラント構造のリバースエンジニアリングと

プラントモデルを利用した施工作業の事前エンジニアリングにおける最新ITを活用した技術開発事例を述べた。現在、海外火力プラントでの適用が進み、国内変電所のリプレース案件での試行も開始された。また原子力廃止措置では具体的なプラントデータを使ったエンジニアリングでの詳細検討が始まった。ITがさらに進化し、モノだけでなく作業者の振る舞いを認識する機能が実用化段階に入ってくると、複雑に入り組んだ保全・リプレース計画に対してITシステムでリアルタイムに進行管理することも重要となる。これらによりプラント稼働率を高めて高寿命化させることで、高効率で安全・安心な社会インフラ基盤が構築・維持できる。この目標のためにさらなる技術開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) G. Erdős, et al.: Recognition of complex engineering objects from large-scale point clouds, CIRP General Assembly (2015)
- 2) 榎本, 外: 分解順番先送りアルゴリズムによる組立アニメーションと3D作業指示図の高速自動生成技術の開発と実用化, 精密工学会誌, 79 (2) (2013)
- 3) A. Enomoto, et al.: Multiple Path Finding System for Replacement Tasks, 9th CIRP ICME (2014)
- 4) T. Sato, et al.: Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, Version 2.52, J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013)
- 5) H. Seki, et al.: Estimation and Visualization of Decommissioning Wastes based on Plant 3D Model, ICON23-1015 (2015)

執筆者紹介



野中 洋一

日立製作所 研究開発グループ 生産イノベーションセンタ 所属
現在, SCM (Supply Chain Management), 生産制御, デジタルエンジニアリングの研究に従事
工学博士
精密工学会会員, 計測自動制御学会会員, 機械学会会員, 国際生産工学会アカデミー(CIRP) 会員



山本 典明

日立製作所 研究開発グループ 生産イノベーションセンタ
生産システム研究部 所属
現在, デジタルエンジニアリングの研究に従事
精密工学会会員



大家 健司

日立製作所 研究開発グループ 生産イノベーションセンタ
生産システム研究部 所属
現在, 3D計測の研究に従事
精密工学会会員



榎本 敦子

日立製作所 研究開発グループ 生産イノベーションセンタ
生産システム研究部 所属
現在, デジタルエンジニアリングの研究に従事
工学博士
日本機械学会会員, 精密工学会会員, 計測自動制御学会会員, 日本原子力学会会員



関 洋

日立製作所 研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ
エネルギーマネジメント研究部 所属
現在, 原子力プラントの建設/廃炉のIT支援の研究に従事
電気学会会員, 日本原子力学会会員