

福島第一原発 BIM データを活用した配管点群認識と炉内映像点群への適用

加藤 徹[†] 高橋 弘毅[†] 山下 圏[†] 土井 章男[‡]

[†]フリーランス [‡]岩手県立大学

E-mail: [†] {katoul2011, iwkt.t.hiroki, yamashita.hie}@gmail.com, [‡] doia@iwate-pu.ac.jp

Pipe Point Cloud Recognition Using BIM Data from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant and Its Application to Reactor Interior Video Point Clouds

Toru Kato[†] Hiroki Takahashi[†] Meguru Yamashita[†] and Akio Doi[‡]

[†] Freelance [‡] Iwate Prefectural University

E-mail: [†] {katoul2011, iwkt.t.hiroki, yamashita.hie}@gmail.com, [‡] doia@iwate-pu.ac.jp

1. はじめに

福島第一原発（以下，1F）の線量率低減を目的として、3D デジタルモデルの構築とシミュレーション技術の開発を進めている。これまでに 3D レーザスキャナによる高密度点群データの取得と構造物形状の認識・モデル化を経て、線量率推定を行う手法を確立した。[1] しかしながら、細系で高所に多数存在するマカロニ配管と呼ばれる配管類が 3D レーザスキャナでは十分に点群を獲得できず、詳細なモデル化が困難である。本研究では、1F3 号機の図面から作成した配管類の BIM データを基盤とし、配管本体・継手・バルブの 3 種類に分類する学習器を PointNeXt により構築した。さらに、3 号機建屋の北中央および南中央エリアのマカロニ配管周辺点群の他、応用事例として水中炉内映像点群に対し、形状認識と評価を実施した。

2. BIM データの整備・学習データ作成

2.1. BIM データの細分化・点群取得

1F3 号機には BIM データと同じ位置に対応する計測点群データが測定されているが、天井付近の多くの配管類は一部の方向点群しか計測されていないため、配管形状の全方位をカバーしている BIM データから点群データを生成した。BIM データは配管本体・継手・バルブの 3 種に分類されており、各 BIM データをメッシュに変換後、点群を補間する三角形の細分化処理を行うことでクラス別の高密度な点群を生成した。継手は、パイプ同士の繋ぎ目を指し、斜めや T 字型である。次に、各頂点に対し最近傍探索で最も近い計測点の RGB を自動的に付与することで実際の計測点群に近いデータを再現した。

2.2. 学習データ作成

2.1 で生成した 1F3 号機全域の配管点群を互いにオーバーラップするようにデータを空間分割し、3D レーザスキャナで得られる部分データに近い学習データを合計 10 箇所分生成した。学習データは BIM データを基に配管 (ID0:赤)、継手 (ID1:紫)、バルブ (ID2:緑) の 3 種類のラベル付を実施した。作成した学習データは図 1 の通りである。

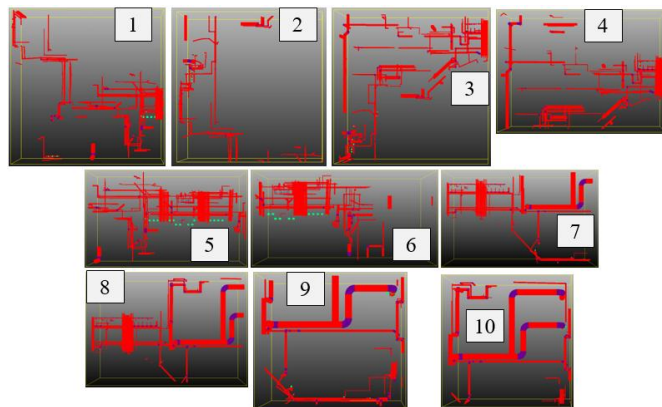


図 1 配管類の学習データ生成・ID 別色分け表示

2.3. 点群認識用の学習器作成

2.2 で生成した学習データを使用し、表 1 の計算環境にて PointNeXt を用いて点群の深層学習を行い、学習器を作成した。学習パラメータは代表的な建屋データセットの 1 つである S3DIS Dataset 学習時の設定に準拠しており、バッチサイズ 16、学習率 1e-03(0.001) で今回の 1F3 号機データにも採用している。[2][3]

表 1 計算環境

機種	Deep Learning Box II Workstation
OS	Ubuntu 22.04 LTS
GPU	Quadro RTX A6000(48GB)×3

3. 点群の形状認識・評価

3.1. 3号機配管類の認識

1F3号機の北中央エリアおよび南中央エリアに位置するマカロニ配管と周辺の配管類に対しそれぞれ点群の形状認識を実施した。今回は3号機の部品別BIMデータを正解データとしてクラス別のmIoUを算出した。北中央エリアは配管98.4%,南中央エリアは配管98.0%のmIoUを記録し、マカロニ配管も含めて正しく認識された。継手は北中央が75.5%,南中央が77.6%であり、配管よりも数値は低いが斜めの繋ぎ目が正しく分類されている。但しバルブについては、北中央が50.5%,南中央が70.5%に留まった(図2,表2)

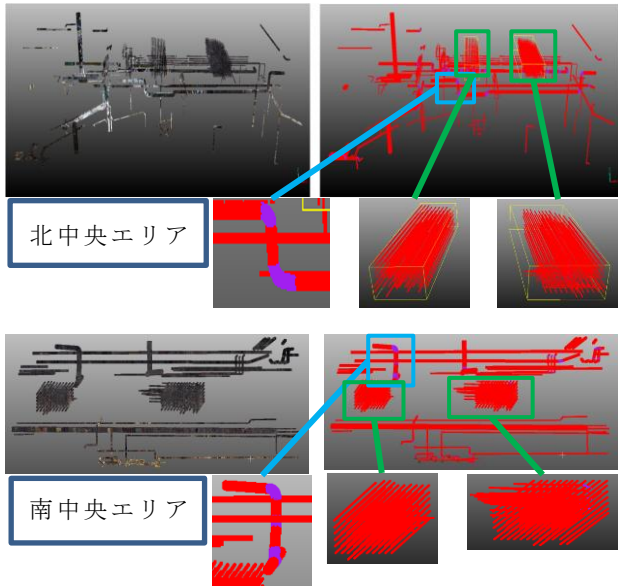


図 2 3号機マカロニ配管周辺の認識結果(上:北中央エリア,下:南中央エリア)

表 2 3号機マカロニ配管周辺の認識結果(mIoU)

クラス	北中央 mIoU	南中央 mIoU
配管	0.984	0.980
継手	0.755	0.776
バルブ	0.505	0.705

3.2. 水中炉内映像から取得した点群の認識

東電がホームページで公開している水中炉内映像を入力とし、SfM(Structure-from-Motion)手法によりカメラ軌跡と三次元構造を推定するGLOMAPを用いて点群生成を実施した。これにより、傾斜のある配管とバルブの点群が抽出された。[4][5]形状認識では、配管の傾斜付近を継手(斜めの繋ぎ目)

と認識しており、その有効性を確認したが、下部のバルブについては認識できなかった。

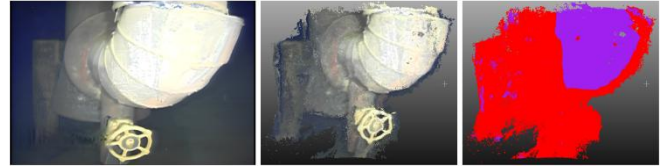


図 3 動画画像からの点群取得と形状認識(左:炉内映像,中央:生成点群,右:認識結果[赤:配管,紫:継手])

4. おわりに

本研究では、1F3号機のBIMを用いた配管類の学習器生成手順と炉内映像を含む適用事例において、配管・継手の分類有効性を確認した。しかしながら、バルブの形状についてはmIoUが低く、炉内映像の点群からも認識できなかった。要因としてバルブの学習データ不足が挙げられ、総量を増やす工夫が必要である。バルブについては、公開BIMデータの活用検討も含めて3Dモデル化に繋がる点群認識の精度向上を継続的に推進していく。

5. 謝辞

本研究は、令和5年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業(文科省)課題名「動画画像からの特徴量抽出結果に基づいた高速3次元炉内環境モデリング」から研究支援を得ました。また、経済産業省「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(原子炉建屋内の環境改善のための技術開発(被ばく低減のための環境・線源分布のデジタル化技術の高機能化開発)」に係る補助事業実施主体の日本原子力開発機構より1F3号機の配管BIMデータのご提供をいただきました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- [1] Akio Doi, Meguru Yamashita, Hiroki Takahashi, Toru Kato, Takashi Imabuchi, "Development and evaluation of an automatic update system for 3D-CAD models using point cloud data", 30th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 30th 2025), pp. 1350-1353(OS13-1), B-Con PLAZA, Beppu, 22-24 January, 2025.
- [2] Guocheng Qian, Yuchen Li, Houwen Peng, Jinjie Mai, Hasan Hammoud, Mohamed Elhoseiny, and Bernard Ghanem. "Pointnext: Revisiting pointnet++ with improved training and scaling strategies", In NeurIPS, 2022.
- [3] PointNeXt github code: <https://github.com/guochengqian/PointNeXt>
- [4] TEPCO 動画アーカイブ: <https://www.tepco.co.jp/library/movie/index-j.html>
- [5] Linfei Pan, Dániel Baráth, Marc Pollefeys, Johannes L. Schönberger, "Global Structure-from-Motion Revisited", ECCV2024