

3D計測によるプラント施設の点検・診断に関する基礎的研究

長崎大学 学生会員 青木翔大
長崎大学 正会員 松田浩 山口浩平 出水享

1. はじめに

火力発電プラント内にあるボイラ設備では、ボイラ炉内の配管にクリンカと呼ばれる灰が付着し、堆積する（写真 1）。クリンカが落下すると、設備の損傷や点検時の作業員との接触など重大な事故に繋がる可能性がある。また、設備の劣化に伴う亀裂などの損傷を早急に発見する必要がある。そのためプラントでは、定期的な点検が必要となる。現在は、安全にクリンカの付着、堆積状況を検査するためにドローンを使い、動画や画像と図面を比較する段階である。しかしながら、損傷部位やクリンカ付着部位に関する定量的な評価の段階には至っていない。定量的な評価を行うことで、クリンカの掃除、除去の指標を作ることが可能となり、プラントの停止期間の短縮につながり、メンテナンス費の削減および電力の安定供給につながることを期待できる。

本研究では、3D 計測によるプラント施設の効率的な点検・診断手法の開発を目的とする。そこで、基礎的な実験として、配管に付着し堆積したクリンカを模擬した試験体を作成し、SfM（Structure from Motion）/MVS（Multi-View Stereo）技術を用いて 3D 計測を行った。

2. 計測概要²⁾

クリンカの付着、堆積状態を再現するために、発泡ウレタンスプレーを塗布して試験体を作成した。発泡ウレタンスプレーは、塗布することでクリンカの付着、堆積状況を再現しやすいため使用した。試験体は、サイズと形状を変えた 4 種類である。試験体 1（300×300×100）、試験体 2（150×150×50）、試験体 3（300×300）、試験体 4（150×150）で作成した（写真 2）。試験体の大きさによる精度の差を確認するために試験体 2, 4 を小さくした。また、クリンカの付着、堆積状況をより再現するため、試験体 3, 4 は上部を盛り上げた形とした。

試験体を GoPro HERO11 を使って撮影し、SfM で 3D 化した。実寸法と比較することで、3D モデル上の寸法が正確に表示されているか評価した。なお、3D レーザースキャナ（FARO）による計測もあわせて行った。SfM、レーザースキャナの計測位置を図 2 に示す。

SfM とは、多視点から撮影した画像をもとに、対象物の 3D モデルを構築する技術である。撮影条件としてまず、撮影距離は 30cm とし、ラップ率は 90%、画素数は 5568×4872p で設定し、1 秒間隔のタイムラプスで撮影を行う。カメラの仕様を表 1 に示す。また、



写真 1 クリンカ付着、堆積状況¹⁾



写真 2 試験体



図 1 GoProHERO11

表 1 GoProHERO11 の仕様

イメージセンサー	1/1.9 インチ CMOS
有効画素数	27.6MP
解像度	5568×4872p
ISO 感度	100～1300

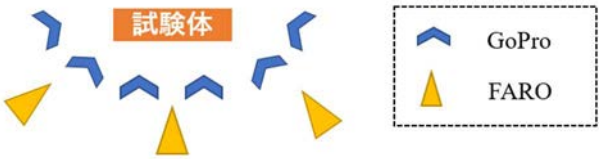


図 2 計測位置



写真 3 実寸法の計測の様子 写真 4 FARO による計測の様子

室内を照明で照らした状態の通常環境と室内の照明を消し、LEDライトで対象物を照らした状態の暗所環境の2パターンで計測した。暗所環境の計測は、実際のボイラ設備内での点検状況を再現するためである。

実寸法はメジャーにより計測した（写真3）。

3Dレーザースキャナは FARO® Laser Scanner Focus3D X 330 である。SfM の撮影と同様、通常環境と暗所環境の2パターンで計測した（写真4）。得られた点群データは点群処理ソフト SCENE によって3Dモデル化する。

3. 計測結果

SfM で作成した3Dモデル、3Dレーザースキャナによる計測から得られた3Dモデルを、それぞれ図3、4に示す。

各試験体の実寸法との差を表2に示す。3Dモデルと実寸法の差は（3Dモデルの寸法－実寸法）とした。まず通常環境と暗所環境を比較すると、通常環境の方が全体的に精度は高くなった。これは、2つの状況で撮影した写真の明るさにムラがあったためであると考えられる。写真5は通常環境で撮影したもので、写真の明るさにムラがないことがわかる。写真6は暗所環境で撮影したもので、写真の明るさにムラがあることがわかる。明るさにムラがある写真で解析すると、3Dモデルの精度が下がることが一般的である。そのため、暗所環境で計測して得られた3Dモデルの精度が低くなったと考えられる。

次に、縦、横、高さの寸法の差を比較してみる。最大値は、縦は-4mm、横は-5mm、高さは6mmと、どの方向にも同様の精度が得られた。また、試験体毎の差はほとんどないことがわかる。

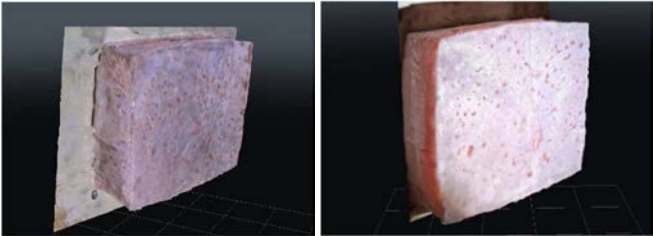
最後に、FARO による3Dモデルと、SfM による3Dモデルの差の違いを比較してみると、大差はないことがわかる。このことから、SfM による3Dモデル化でも FARO による3Dモデルと同程度の精度を得られているということがわかる。

4. おわりに

クリンカの付着、堆積状態を模擬した試験体を4体作成し、それぞれの3Dモデル化を行い、寸法を測定した。

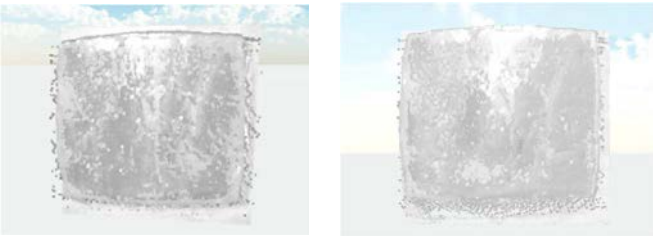
それぞれの試験体で、3DレーザースキャナとSfMから作成したモデルに大きな差は見られず、十分な計測精度を得ることができた。

今後は、実際にドローン搭載カメラより取得した動画からボイラ炉内におけるクリンカの付着、堆積状況を画像処理にて精度検証を重ねていく。また、クリンカの付着、堆積状況の体積を算出し、3Dモデルのボリュームの精度検証を行っていく。最終的には、クリンカの付着、堆積状況を定量的に評価するプログラムの開発を行う。



(a)通常環境 (b)暗所環境

図3 SfMによる3Dモデル



(a)通常環境 (b)暗所環境

図4 FAROによる3Dモデル

表2 試験体の実寸法との差

		SfM		FARO	
		通常環境	暗所環境	通常環境	暗所環境
試験体①	縦(mm)	-2	-3	3	1
	横(mm)	-4	-5	-5	-2
	高さ(mm)	-1	-4	-6	-4
試験体②	縦(mm)	1	0	3	0
	横(mm)	2	3	4	4
	高さ(mm)	0	0	0	-4
試験体③	縦(mm)	-1	0	-2	-1
	横(mm)	-4	-4	8	5
	高さ(mm)	6	6	6	-2
試験体④	縦(mm)	3	-4	5	-5
	横(mm)	-1	-1	10	8
	高さ(mm)	-4	-4	-2	-4



写真5 通常環境



写真6 暗所環境

参考文献

1) 太平式クリンカ落とし工法

2) FARO®Laser Scanner Focus3D X 330 マニュアル