

機械設備におけるモバイル端末を用いた 3次元データ取得に関する検証

田中 洋一

関東地方整備局 霞ヶ浦導水工事事務所 工務第二課 (〒300-0818茨城県土浦市下高津2-1-3)

BIM/CIMの実施が進んでいくなかで、新規に3次元データを作成するためには、調査・設計段階にて多くの時間と労力を要している。また、i-constructionにおいては、モバイル端末を用いて簡便に3次元データを作成し、出来形管理に活用することが認められている。この現状を踏まえて、既存の機械設備においてもモバイル端末（iphone）のLidar機能を使って、簡便に3次元データ取得が可能であるかを検証する。

計測時におけるLidarの特性や取得に関する留意事項を確認した上で、機械設備の特性（形状の複雑さ・建物内の狭い箇所へ配置されているなど）を考慮した取得方法を明らかにしていく。

キーワード BIM/CIM, 機械設備, モバイル端末, 3次元データ, LiDAR

1. はじめに

国土交通省では、BIM/CIMの推進により調査・設計段階からの3次元データ構築を実施している。機械設備においても、同様に調査・設計段階における3次元データを構築するための要領・基準¹⁾が发出されている。しかし、機械設備は、調査・設計を実施できる新規施設よりもすでに管理段階に移行した既存の施設を多く保有している。そのため、既存の施設においても3次元データを構築するためには、時間と費用をかけて新たに作成する必要がある。また、3次元データを作成するためには、レーザースキャナによる点群データを取得する方法が多く用いられる。機械設備は、細かい部品の組み合わせで構成されており、部品の形状が複雑でありレーザースキャナによる3次元データの取得では、部品の重なりによりレーザが当たらない場所ができてしまいデータを効率よく取得することが難しい。さらに機械設備は、狭い箇所に設置されているため、レーザが確実に当たるようにレーザースキャナを設置するために、最良の場所に置こうとしても設置場所を確保できないことがある。

一方、i-Constructionにおいては、レーザースキャナに加えてモバイル端末を用いた出来形管理が推奨されている。モバイル端末は、小型であるため狭い箇所においても簡便に3次元データを取得できる技術として活用が期待されている。

この現状を踏まえて、既存の機械設備に対してモバイル端末を活用することにより簡便に3次元データを取得できるかについて検証する。

2. モバイル端末における計測

(1) 計測技術

モバイル端末は、主に二つの技術により計測対象までの距離や対象物の形状を計測ができる。一つ目の技術は、LiDAR (Light Detection And Ranging) と呼ばれるレーザ光を照射して計測する技術である。LiDARは、レーザースキャナと同様なレーザ光により距離を計測し、モバイル端末にある加速度計 (IMU) から移動に関する情報を組み合わせて3次元データを構築する技術である。二つ目の技術は、Photogrammetryと呼ばれるカメラ画像を用いた技術である。Photogrammetryは、写真測量と同様にカメラから得られる画像情報を元にモバイル端末の移動情報と組み合わせて3次元データを構築する技術である。モバイル端末は、この二つの技術のうちいずれかの技術、もしくは技術を組み合わせることで3次元データを構築している。そして、3次元データ構築を行えるよう3Dスキャンアプリとして提供されている。表-1に主な3次元データスキャンアプリの一覧を示す。

表-1 3次元データスキャンアプリの一例

アプリ					
価格	無償	有償	有償	無償	有償
スキャンモード	LiDAR/Photogrammetry/TrueDepth	LiDAR/Photogrammetry	LiDAR/Photogrammetry	LiDAR/Photogrammetry	LiDAR/Photogrammetry
出力	点群/メッシュ	点群/メッシュ	点群/メッシュ	点群/メッシュ	点群/メッシュ

(2) 計測時の留意点

i-Constructionの出来形管理においては、モバイル端末の計測範囲を、平面では10m×5m、高さは約3m程度を推奨²⁾している。これは、3次元データを構築するために必要となる計算をできるだけ少なくし、モバイル端末の発熱による暴走を抑えるためである。また、計測範囲を囲むように検証点及び評定点を設置することで精度を得ることを基本としている。図-1にモバイル端末における計測範囲について示す。

そして、モバイル端末による計測方法の留意点としては、対象物の距離は1.5~2.0mとすることが推奨されている。水平面を計測する場合は、水平面とモバイル端末が30度以下の角度になるようにし、レーザーの反射がしやすいように留意する必要がある。図-2にモバイル端末における計測時の留意点について示す。

(3) 3次元データ作成

モバイル端末では、計測した結果をファイルとして保存することができる。一つは、i-Constructionでなじみのある点群データであり、他方は、メッシュデータである。点群データは、点の座標位置とカメラより得られた色情報をもっており、点群が多ければ多いほど計測物に

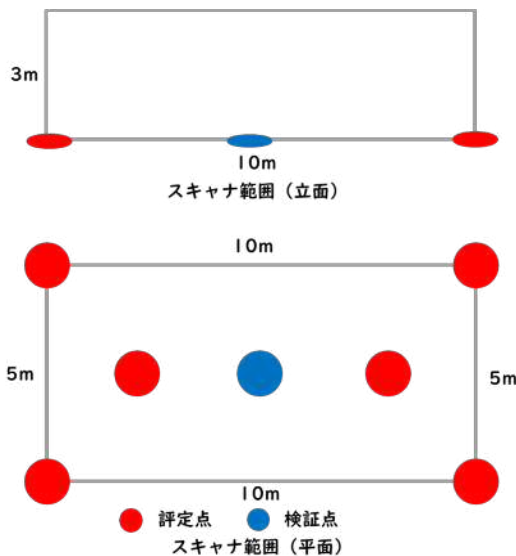


図-1 モバイル端末の計測範囲



図-2 モバイル端末における計測時の留意点

近い状態を再現できる。メッシュデータは、点群を線分により結んだ面を構成し、カメラより得られた画像情報を面に張り込むことで3次元データを表現する。そのため見た目はより計測対象物に近い状態を再現できる。図-3に点群データの事例とメッシュデータの事例を示す。

3. 計測実験の条件

計測実験の対象は、揚水ポンプ設備の電動機および減速機とした。複雑に機器が配置されている部分もあるが、単純な面により構成されている箇所もあるため、計測結果の比較ができればと考えた。また、計測対象の大きさが4m×4m×2.7mであり、計測範囲が推奨範囲の10m×5m×3mに収まっており、計測対象として手頃な大きさでもあった。図-4に計測対象の写真を示す。

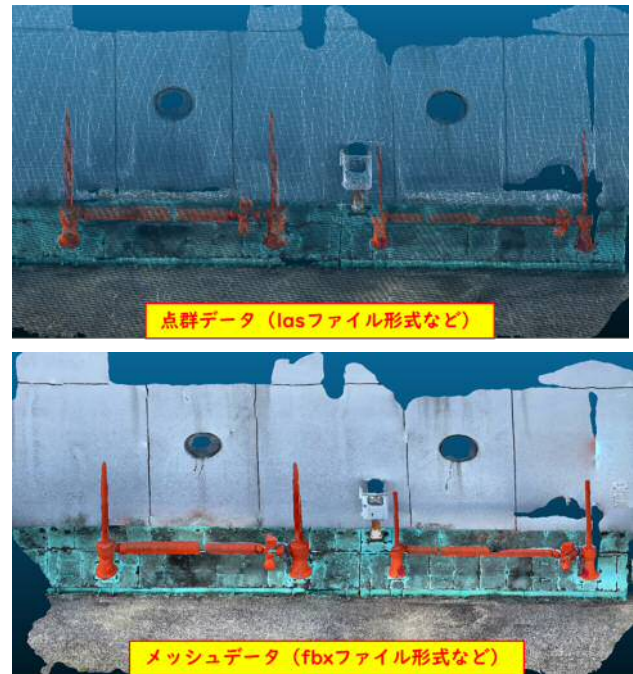


図-3 点群データとメッシュデータの例



図-4 計測対象

計測機器としては、iPhone13proを使用した。このモバイル端末は、LiDAR機能を持っており、Photogrammetryよりも精度の高い位置データを取得することが可能となる。

3Dスキャンアプリは、フリーで使用可能なScaniverseを使用した。Scaniverseは、エッジ（面と面より作成される角）が立ちやすいので、機械設備には向いていると判断したためである。図-5にScaniverseのmode選択画面を示す。Scaniverseは、計測対象の大きさによりSmall Object・Medium Object・Large Objectの3つのモードがある。モードの違いは、LiDARの範囲がそれぞれ0.8m・2.5m・5mまでを計測範囲として認識し計測する。

今回は、計測対象の大きさからMediumを使用して計測を行った。計測を行った後、3次元データの作成するためのデータ処理を実施する。こちらも3つのモードが

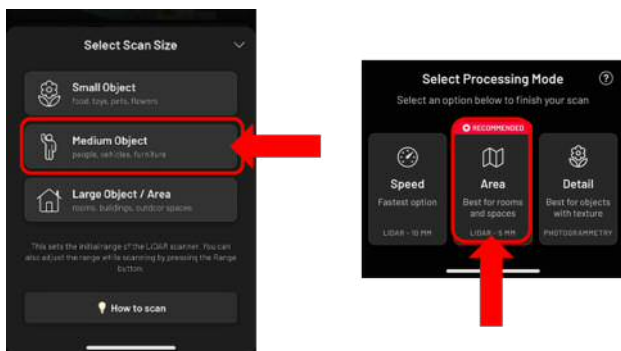


図-5 Scaniverseのmode選択画面

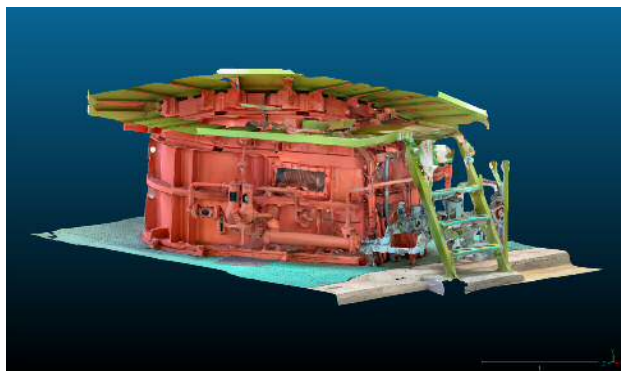


図-6 計測結果（1段階目）

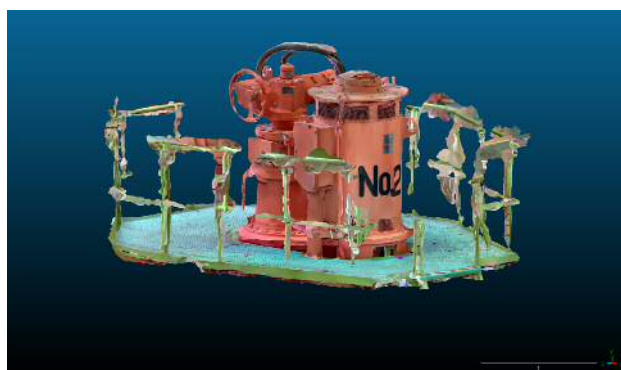


図-7 計測結果（2段階目）

あり、Speed・Area・Detailの3つのモードがあり、それぞれLiDAR10mm間隔・LiDAR5mm間隔・Photogrammetryにて3次元データの計算を行う。今回は、LiDARのデータを使って詳細な3次元データを作成できるAreaにて計算した結果を示す。

4. 計測結果

計測は、計測対象を2段に分けて撮影した。計測した結果を図-6・7に示す。データ容量としては、1段目が約23MB（メガバイト）程度、2段目は、約19MBになった。一見すると大まかな形状表現は、問題なく取得することができているが、2点ほど形状に関して問題があることを確認した。

(1) 開始点と終了点における不整合

平面の開始点と終了点にて、不整合が見られた。図-8に不整合の事例を示す。LiDARは、IMUの移動量を使って3次元の座標値を計算する。そのため、IMUは、移動するたびに計測誤差が生じ、その誤差を累積してしまうため不整合が生じる。そのため、評定点を設置して座標値を用いて補正をすることとで問題は解決すると考える。

(2) 細い部材の再現性

LiDARの特性としてレーザー光が当たったところは距離を計測できるが、当たらない面や当たりが少ない箇所は情報が少ないまま面を構築してしまいゆがんだ形状となっている。また、手すりなどの細い部材部分は、レーザー光の反射が少なくなり写真からの背景面情報が表示

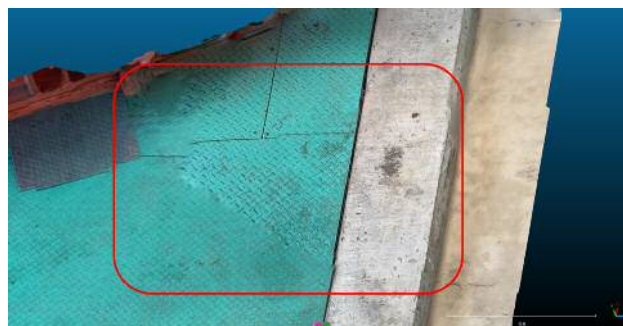


図-8 不整合の事例

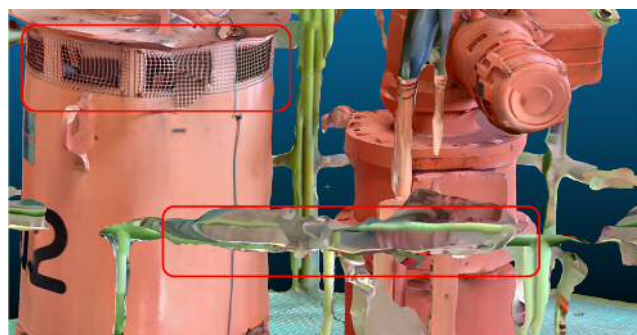


図-9 細い部材の再現状況

されてしまい形状を再現できていない。図-9に細い部材の再現状況を示す。細い部材については、できるだけレーザー光を当てるようにするため、LiDARの範囲を狭めて計測することで3次元データの作成が可能となる。図-10にLiDARの範囲（2.5mから0.8mに）を狭めて細い部材を計測した状況を示す。この場合は、配管などの細い部材の計測することが確認できたが、手すりなどのさらに細かい部材については計測することが困難となっている。さらに高い計測精度を得るためには、細い部材を判別できるような仕組み（アルゴリズム）が必要であると考えられる。

(3) 部品毎の結合

計測範囲が推奨範囲10m×5m×3mに限定されたり、計測精度を上げるため部分毎に計測した場合は、計測範囲や部品を図-11あるように結合させていく必要がある。そのためには、簡便に組み合わせるソフトが必要となる。そして、評定点を設置して、評定点を活用して3次元データの結合をする必要がある。

5. おわりに

モバイル端末による機械設備の3次元データの取得を

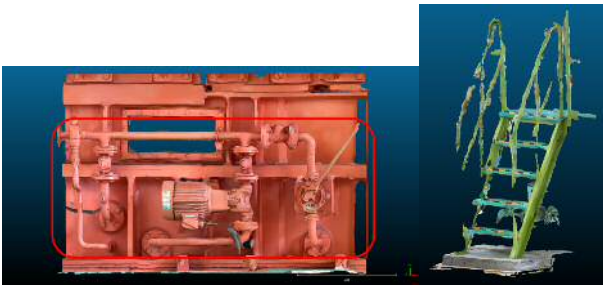


図-10 LiDARの範囲（2.5mから0.8mに）を変更した結果

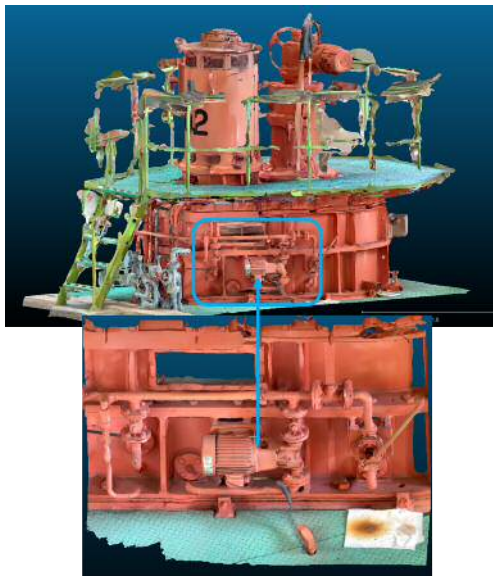


図-11 データ結合の事例

実施した。取得した3次元データは、表-2にあるBIM/CIMモデルにおける揚排水ポンプ設備の詳細度100程度のモデルを作成できることを確認した。そして、3次元データを活用するためには機械設備をmm（ミリメートル）単位で表現できることが必要になると考える。しかし、mm単位精度の3次元データを構築するためには、開始点と終了点の整合や手すりなどの細い形状部分について、不整合のないデータを構築できる計測方法や3次元データの結合方法を検証する必要がある。今後は、それらを明らかにして、詳細度200のモデル作成することを目標としたい。

当面は、詳細度100でも十分な活用方法を考える必要がある。活用方法としては、日常点検や定期点検結果について3次元モデルによる経過報告や故障した箇所・部品をデジタル記録として機械設備維持管理システムに記録していくことが考えられる。さらに、3次元データが流通するようになれば、点検結果などの情報を付与することで形状による経年劣化の判断や傾向管理等の活用が考えられる。加えて、劣化による形状変化があった場合は、事象の前後を比較することで、よりわかりやすい説明資料の作成に寄与するものと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：BIM/CIM関連基準・要領等（令和4年3月）https://www.mlit.go.jp/tec/tec_fr_000102.html
- 2) モバイルスキャン協会：モバイル端末スキャンマニュアル<https://mobilescan.jp/>
- 3) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン第6編機械設備編，pp.9, 2022

表-2 揚水ポンプ設備の詳細度³⁾

詳細度	共通定義	工種別の定義	
		揚水ポンプ設備のモデル化	サンプル（主ポンプ）
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	主要装置・機器の配置、大きさが分かる程度の直方体、立方体あるいは矩形平面を有するモデル	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスイープさせて作成する程度の表現。	主要装置・機器の台数、配置、形状が分かる程度のモデル。主要装置は、直方体、立方体、球、円筒、円錐等の簡易な形状あるいはその組み合わせで構成する。	
300	附帯工等の細部構造、接続構造を除き、対象の外形状を正確に表現したモデル。	主要装置・機器・主要配管の配置及び大きさを正確に表し、土木・建築構造との取合い、施工方法、維持管理方法の確認ができるモデル。	
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度300に加え、主要装置・構成機器の形状を、施工時及び維持管理における活用目的を達成できるレベルまで正確に表したモデル。	
500	対象の現実の形状を表現したモデル。	完成形状を想定あるいは反映したモデル。	-