

講演概要 鉄道MMSの位置精度の検証

近藤 健一¹・桶谷 栄一¹・毛利 史明¹・大釜 弘志²・平松 孝晋²・土屋 剛²

¹正会員 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 (〒530-8341 大阪市北区芝田 2-4-24)

E-mail: kenichi-kondou02@westjr.co.jp, eiichi-oketani@westjnir.co.jp, fumiaki-mouri@westjr.co.jp

²正会員 アジア航測株式会社 鉄道事業本部 鉄道空間情報課 (〒530-6029 大阪市北区天満橋 1-8-30)

E-mail: hrs.ogama@ajiko.co.jp, tkh.hiramatsu@ajiko.co.jp, tys.tsuchiya@ajiko.co.jp

JR西日本では、ICT技術を活用した生産性の向上と働き方改革に取り組んでおり、その一環として、道路分野で利活用が進むMMS (Mobile Mapping System) 技術の鉄道への適用を進めてきた。当社はこれまでに、MMSの三次元点群データを用いた軌道中心線の抽出、建築限界支障検知、ホーム限界測定などのアプリケーションを開発してきた。その結果、安全で効率的な測定作業が実現する見込みができたことから、当社はMMSの定期的な運用に向けた準備を進めているところである。

本稿では、鉄道におけるMMS点群データの更なる活用に向け、国土交通省が推進しているBIM/CIM(Building and Construction Information Modeling/Management)への展開を目指し、駅構内において取得したMMS点群データと現地実測データとの位置精度に関する比較検証を行ったので報告する。

Key Words: Mobile Mapping System, LiDAR, Point Cloud, GNSS/IMU, BIM/CIM, Position Accuracy

1. はじめに

現在、鉄道建設工事に伴う線路内の測量作業は、主に夜間の列車間合いの中の限られた作業時間で実施しており、多大な労力がかかっている。そのため、線路内作業を効率化、省人化するための技術の導入が急務となっている。

JR西日本(以下、「当社」とする。)では、ICT技術を活用した生産性の向上と働き方改革に取り組んでおり、その一環として、道路分野の測量技術であるMMS (Mobile Mapping System) の鉄道への適用を検討してきた。当社はこれまでに、MMSの三次元点群データを用いた軌道中心線の抽出¹⁾、建築限界支障検知²⁾、ホーム限界測定³⁾などのアプリケーションを開発してきた⁴⁾。その結果、安全で効率的な測定作業が実現する見込みができたことから、当社はMMSの定期的な運用に向けた準備を進めているところである。

本稿では、鉄道建設工事へのMMS技術の適用可能性を検討することを目的に、MMSで取得した点群データの絶対位置精度と合成精度について検証する。その上で、合成後の点群データを用いた設計図面の点群図化方法について評価する。

2. MMSについて

MMSは、車両等の移動体に搭載した各種センサを用いて、周辺の三次元形状を計測する技術である(図-1)。

自車の位置と姿勢は、GNSS(全地球航法衛星システム)、IMU(慣性計測装置)、オドメータ(走行距離計)によって、走行軌跡として記録される。周辺の三次元形状は、レーザ測距装置(LiDAR)と全周囲カメラによって計測される。これらのデータを統合することで、地球上の絶対座標(緯度、経度、標高)における周辺設備の位置および形状データを取得することができる。

3. 試験計測

鉄道建設工事へのMMS点群データの活用を検討することを目的に、6線区間の駅構内を含む約1.5kmの区間

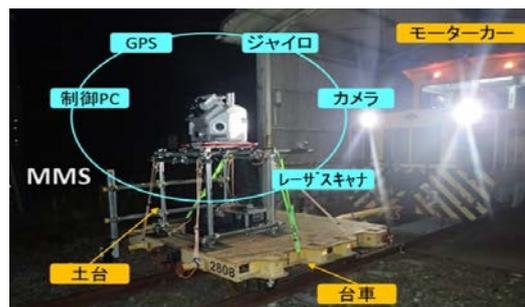


図-1 MMS搭載設置の一例

について MMS による線路内三次元計測を実施した (図-2) . MMS 計測装置は軽便トロリに取り付け、軌道自動自転車により対象区間を牽引走行した (図-3) . MMS 計測装置はライカジオシステムズ社の Pegasus:Two Ultimate を使用している . 計測実施にあたっては、MMS 計測の精度検証における調整点および検証点とするための標定点の設置作業を行った . MMS の計測データから特定しやすいよう標定点とする杭や鉤にターゲット板を設置した (図-3) . また、固定局の違いによる精度評価を実施するため、独自固定局による観測を駅周辺 (線路外) にて実施した .

4. データ処理

データ処理フローを図4 に示す . 1 次処理として、2 種類の固定局 (電子基準点、独自固定局) で走行軌跡解析を行い、それぞれの三次元点群データを作成した . 2 次処理として、線別、番線ごとに取得した点群データの合成処理を行い、調整点により絶対位置調整処理を行った . 解析処理として、新名 (2015) の手法 ¹⁾ によるレール位置抽出解析を行った . 合成後の点群データを図5 に示す .

5. 位置精度の検証

(1) 固定局の違いによる絶対位置精度比較

使用する固定局の違いによる絶対位置精度比較を行うため、2種類の固定局 (電子基準点、独自固定局) によ

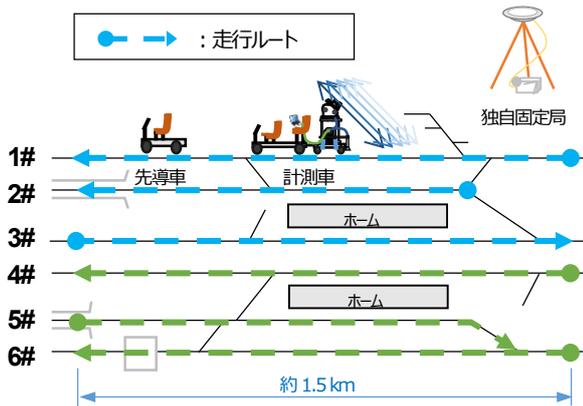


図-2 試験計測概要

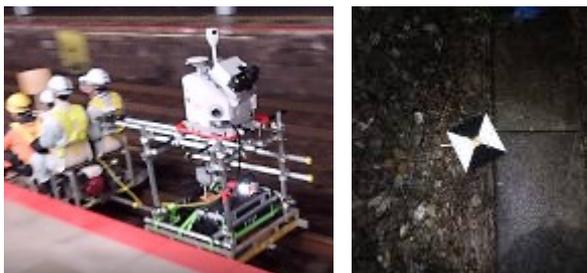


図-3 計測状況 (左) とターゲット板 (右)

りそれぞれ作成した三次元点群データから、標定点に設置したターゲットの中心座標を点群データから取得し、現地基準点測量結果と比較した (表-1) . 独自固定局を使用した点群データは、標準偏差が水平52mm、高さ68mmとなり、電子基準点を使用した点群データよりも平面・高さともに20~30mm程度精度が良い結果となった . 使用した電子基準点は駅から北西に約7.7kmの位置にあるのに対して、独自固定局は駅近傍に設置したため、走行軌跡解析の精度が良くなったと考えられる .

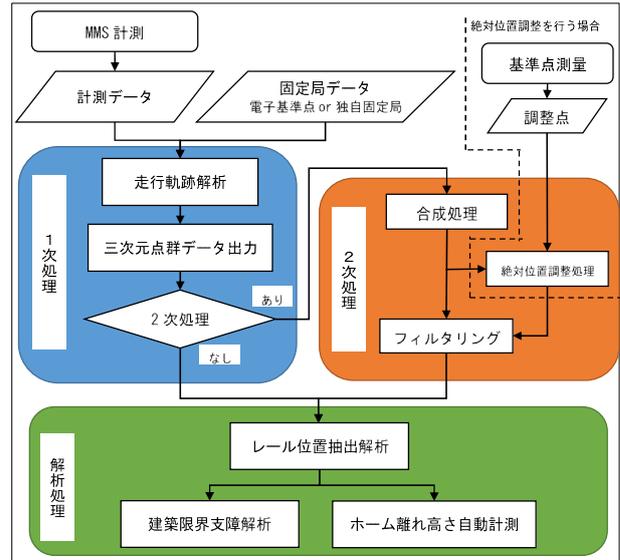


図-4 データ処理フロー

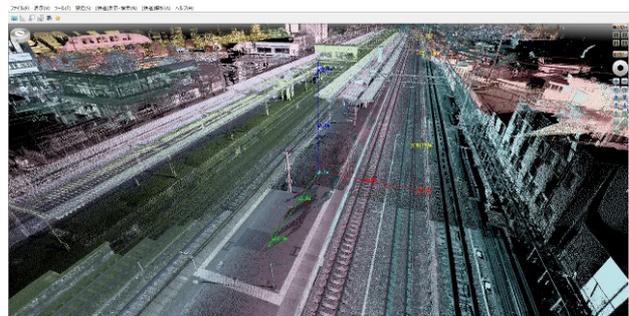


図-5 合成後点群データ

表-1 電子基準点と独自固定局の絶対位置精度比較結果

		電子基準点 (合成・調整前)				
		X	Y	Z	Dxy	Dz
検証数		68	68	68	68	68
最小値		-0.148	-0.170	-0.072	0.000	0.001
最大値		0.168	0.111	0.236	0.196	0.236
平均値		0.003	-0.025	0.057	0.065	0.065
標準偏差					0.084	0.091

(単位:m)

		独自固定局 (400m合成・調整後)				
		X	Y	Z	Dxy	Dz
検証数		68	68	68	68	68
最小値		-0.052	-0.107	-0.081	0.011	0.022
最大値		0.065	0.117	0.186	0.124	0.186
平均値		0.009	-0.007	0.005	0.044	0.062
標準偏差					0.052	0.068

(単位:m)

(2) 合成精度比較

独自固定局を使用した点群データに対して、レール長手方向に約30m間隔でタイポイントを設置し、合成処理を行った。合成処理後、タイポイント取得位置（141箇所）および較差検証位置（88箇所）での合成精度を確認した。タイポイント設置箇所の標準偏差は水平(Dxy)・高さ(Dz)ともに0mmとなり、合成処理には問題が無かった。較差検証は、タイポイントとは別に設置した特徴点で評価した。その結果、較差検証位置での標準偏差は、水平7mm、高さ4mmであった。

(3) 絶対位置精度の検証

独自固定局により解析を行った三次元点群データを使用し、標定点に設置したターゲットの中心座標を点群データから取得し、調整前後の絶対位置精度の検証を行った。また、効率的な標定点の配点間隔を検討するため、100m・200m・400m 間隔で絶対位置調整処理を行い、較差を算出した（表-2）。水平方向の標準偏差は100～400m でいずれもほぼ同等の結果であった。高さ方向の標準偏差は100m 間隔であれば、1cm 以下まで抑えることができた。

5. 点群データによる設計図面の図化評価

(1) 点群図化方法の検討

絶対位置調整処理を施した点群データを用いて、設計図面の図化方法を検討し、図化素図を試作した。点群の図化方法は、使用するソフトウェアの図形描画機能（手

表-2 絶対位置精度比較表

(単位:m)

	独自固定局(合成・調整前)				
	X	Y	Z	Dxy	Dz
検証数	68	68	68	68	68
最小値	-0.052	-0.107	-0.081	0.011	0.022
最大値	0.065	0.117	0.186	0.124	0.186
平均値	0.009	-0.007	0.005	0.044	0.062
標準偏差				0.052	0.068
	独自固定局(400m合成・調整後)				
	X	Y	Z	Dxy	Dz
検証数	60	60	60	60	60
最小値	-0.017	-0.119	-0.019	0.003	0.000
最大値	0.056	0.027	0.195	0.120	0.195
平均値	0.013	-0.010	0.006	0.025	0.017
標準偏差				0.030	0.035
	独自固定局(200m合成・調整後)				
	X	Y	Z	Dxy	Dz
検証数	53	53	53	53	53
最小値	-0.035	-0.094	-0.032	0.001	0.000
最大値	0.065	0.016	0.131	0.096	0.131
平均値	0.005	-0.005	-0.001	0.022	0.012
標準偏差				0.027	0.023
	独自固定局(100m合成・調整後)				
	X	Y	Z	Dxy	Dz
検証数	35	35	35	35	35
最小値	-0.034	-0.036	-0.040	0.003	0.001
最大値	0.053	0.013	0.009	0.053	0.040
平均値	0.002	-0.006	-0.002	0.021	0.006
標準偏差				0.023	0.009

動または自動)、図化背景の構造（点群または画像）、描画時の次元（二次元または三次元）により方法が異なる。図化方法は①三次元CADによる図化、②反射強度オルソ画像による二次元トレースデジタイズなどがあるが、今回、三次元CADによる図化方法を採用した。作成した図化素図と点群データの重ね図を図6に示す。

(2) 点群図化の評価

現地実測平面図とMMS点群図化の差異について、平面精度、横断図のずれ、地物取得の漏れ・ずれの3つの観点で評価した。

平面精度は、実測平面図（ $s=1/500$ ）の線路中心線と、MMS 点群から抽出した軌道中心線との間の水平位置の較差により評価した。20m チェイン位置（334 箇所）で差を集計したところ、標準偏差 18mm 程度であり、地図情報レベル 500 の精度（250mm）を満たしていた。

横断図のずれの評価は、MMS点群から手動図化した横断図と、現地実測に基づく横断図（横1/250、縦1/100）の重ね図上で目視確認することとした。全体的にホーム端部やレール位置などの構造物の高さについては、おおむねよく一致していることが確認された。一方、道床形状や、ホーム形状などでは乖離が見られ、経年変化や、断面位置の取得箇所の違いによるものと思われる。例えば図-7では、ホーム端や線路外側の柵が一致しているが、ホーム下の形状が異なっている。これは、MMS 点群図化が点群断面を忠実にトレースするのに対し、実測断面では座標取得した端点の間の形状を規格寸法等を参照しながら描いているためと考えられる。

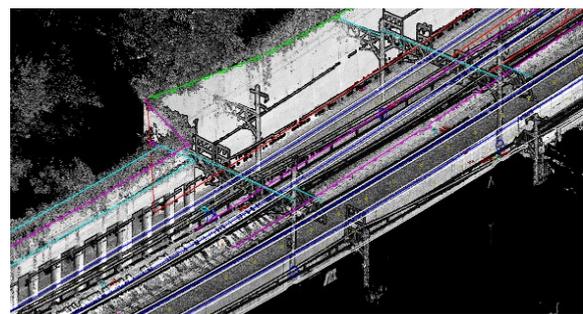


図-6 図化素図と点群データの重ね図（鳥瞰表示）

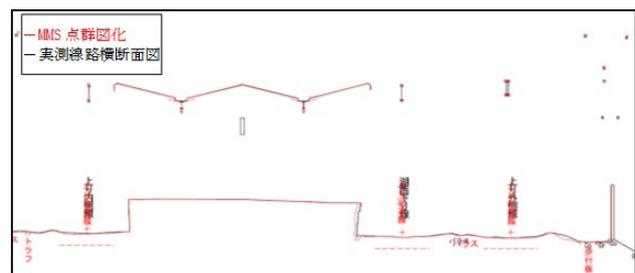


図-7 横断図の重ね図

地物取得の漏れ・ずれの評価については、実測平面図上に、MMS 点群図化素図を赤色で重畳した重ね図上（図-8）において、双方の差異を確認した。また、図化による地物取得状況を確認するため、MMS 点群図化素図を赤色、実測平面図を黒色、背景に点群オルソ画像を表示した重ね図を作成した（図-9）。

全体的にみて、MMS 点群図化素図と実測平面図はよく一致していた。また、複数時期の測量成果図面を統合した実測線路平面図に比べて、MMS 点群図化のほうが、範囲内の構造物、地物、小物体を一様かつ均質に網羅できていた。ただし、チェーンやキロ程については、長手

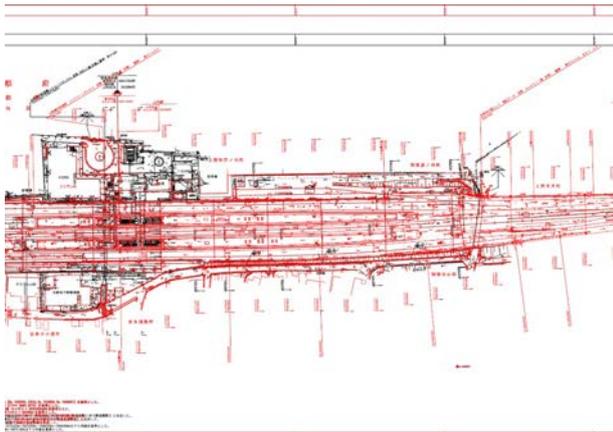


図-8 点群図化素図，現地実測平面図重ね図

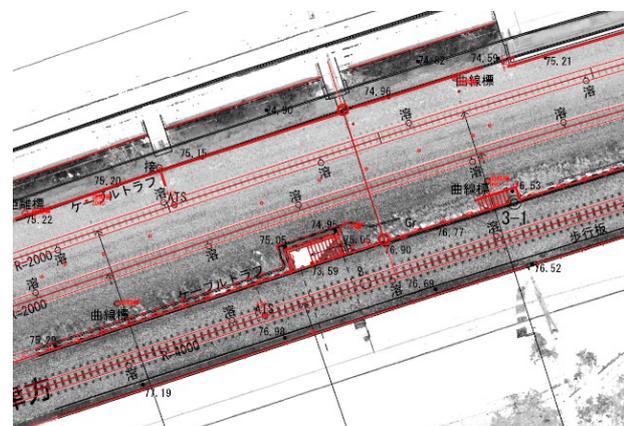


図-9 点群図化素図，実測平面図，反射強度オルソ重ね図

方向に若干のずれが見られた。また、継ぎ目板は確認できたが、溶接位置については MMS 点群では確認できず、継ぎ目位置は図化できなかった。また、標識や信号などの小物体の種別は区別することができなかった。

6. おわりに

本稿では、鉄道における MMS の位置精度および図化方法について検証を行い、一例ではあるが、鉄道における測量、設計、工事場面への活用の可能性を示せたと考えている。

MMS データは、基準点による絶対位置補正や、既存の GIS データとの整合を図ることで、線路平面図の更新や、BIM/CIM 等の三次元モデルの作成、列車制御用データベースの構築の基礎データとして使用できる可能性がある。将来的には線路周辺の 3 次元地理情報を整備することによる、さらなる利用展開を考えている。

参考文献

- 1) 新名恭仁，今西進也，桶谷栄一，本間亮平，辻求，近藤健一：MMS(Mobile Mapping System)による点群データからのレール抽出と点群の鉄道での活用に関する考察，第 19 回鉄道工学シンポジウム論文集，2015
- 2) 新名恭仁，桶谷栄一，横内広高，本間亮平，辻求，近藤健一：MMS による鉄道設備のモニタリング，写真測量とリモートセンシング，55 巻 2 号，pp. 95-99，2016
- 3) 宮下純平，犬飼洋平，平松孝晋，政井一仁，本間雄一：新駅設置工事の出来形測定における 3D 点群データの活用について，土木学会第 73 回年次学術講演会，VI-730，2018
- 4) 平松孝晋，桶谷栄一，北健志，宮下純平，近藤健一：MMS(Mobile Mapping System)を用いた鉄道構造物の検査・測定に関する精度評価，第 23 回鉄道工学シンポジウム論文集，2019

(2020.4.3 受付)

POSITION ACCURACY EVALUATION OF MOBILE MAPPING SYSTEM FOR RAILWAYS

Ken-ichi KONDO, Eiichi OKETANI, Fumiaki MOURI, Hiroshi Ogama, Takahiro HIRAMATSU and Tsuyoshi Tsuchiya

JR West has been working on improving productivity and working style reform using ICT technology. As part of this effort, JR West has been applying MMS (Mobile Mapping System) technology to railways.

In this paper, we aim to further expand the use of MMS point cloud data obtained in station premises, aiming to expand it to BIM / CIM (Building and Construction Information Modeling / Management). We report on the comparison and verification of the position accuracy between the 3d digital mapping by point cloud data and the actual field survey data.