

鉄道向け 3次元計測技術サービスの紹介

大 釜 弘 志

少子高齢化が進む社会において鉄道施設を管理する鉄道事業者は、ICTを中心とした維持管理・更新業務の効率化への取り組みを強化している。その取り組みの一つとして施設の維持管理場面での仮想空間の利用が盛んになってきているが、一層の普及には誰でも実施可能な3次元データ整備手法の確立やデータ利活用の進展が重要である。本報では道路分野で培った点群計測・処理技術を鉄道用にパッケージ化して提供している鉄道向け3次元計測技術サービスについて報告する。

キーワード：3次元計測, 省力化, 維持管理, BIM/CIM

1. はじめに

近年、鉄道分野に限らず建設分野において現場の安全性や生産性の向上のためBIM/CIMへの取り組みが普及し、3次元点群データを活用した工事や維持管理が増えている。国土交通省からは「3次元モデル成果物作成要領(案)」や「発注者におけるBIM/CIM実施要領(案)」といったBIM/CIMに関する各種ガイドラインが制定され、また鉄道分野では鉄道建設・運輸施設整備支援機構が「BIM/CIM活用ガイドライン(案)」を策定しており、施工や維持管理の場面での3次元点群データの利活用が進んでいる。

こういった流れはデジタルツインの進展やAIの活用とともに進行しているが、データやシステムの活用には高性能PCが必要となり、ソフトウェア操作には習熟が必要になるなど課題もある。また3次元点群データの整備は、複数枚の画像から生成するSLAMや手持ち型のレーザを利用したSfMなどの計測手法も普及してきているが、これらは鉄道のような延長の長い計測には適しておらず、各計測箇所を取得した3次元点群データは統合されず個別に管理され二次利用が進まないなど効率的な利用は進んでいなかった。

本稿では道路分野で利活用されてきたMMS(Mobile Mapping System)技術を鉄道分野に応用し、鉄道沿線において広範囲を高速に計測でき、高精度な3次元点群データを整備し、また工事計画や維持管理へ簡易に利用可能なシステムを開発した取り組みについて紹介する。

2. 概要

(1) MMSとは

MMSはレーザ計測装置、GNSS(衛星測位システム)、IMU(慣性計測装置)、カメラなどの様々なセンサが一体化された計測装置である。MMS計測は計測装置を車両に搭載し、移動しながら計測することで周辺の空間情報を取得する技術である(図-1)。この計測装置により取得され設備や構造物の形状を再現した点群データは、一点ごとに地理的な座標値を持っており、PC上に再現した3次元空間内において距離や面積の計測が可能となる。また点群データには反射強度と呼ばれる対象物からの反射光の強弱の情報を取得できるほか、後処理で点ごとに属性付けしたり、カメラから得られた画像と点群データを同期させてビューアで表示したりすることも可能である(図-2)。



図-1 MMS計測装置



図-2 反射強度で表現された点群データ（左）と画像データ（右）

また3次元点群データからは平面図や縦横断面など図面の作成も可能である。

(2) 鉄道分野へのMMS導入の取り組み

鉄道分野でのMMS活用に向け、2014年度から鉄道空間でのMMS適用検討に着手し、これまで基地線や営業線での精度検証、鉄道事業者向けのシステムを開発してきた。従来道路で利用されてきたMMSを鉄道へ適用するため、点群データからレール位置を特定する技術や、レール位置をもとに建築限界、ホーム限界を測定する機能などの開発を行ってきた。また西日本旅客鉄道（以下「JR西日本」と称する）では鉄道施設の維持管理の高度化・効率化を目的に、全線にわたり3次元点群データを整備しているが、この取り組みでは既存のレール探傷車（走行しながらレール損傷等を計測する車両）にMMSを搭載した専用の台車を連結し、2020年から毎年ほぼ全線にわたり計測を行っている（写真-1）。1年間の走行距離は10,000kmを超え、これらの取り組みで得た知見はJR西日本での運用だけでなく他の鉄道事業者での計測やデータ提供の際に活かされている。

(3) 3次元点群データの利活用例

当社が鉄道事業者へ提供している鉄道MMSを中心とした3次元計測技術サービスのユーザにおける主な利活用事例は以下のとおりである。

- ・ 建築限界、ホーム限界測定
- ・ 気かり箇所の確認等現地状況把握
- ・ 事故防止検討会等で使用するビジュアル資料への活用
- ・ 点群データからの平面図作成
- ・ 修繕工事設計における数量調査
- ・ 線路内作業計画時における足取り行程の検討
- ・ 内空断面、余盛り断面、壁の傾斜等縦横断面形状把握

3次元点群データが整備されると現地状況の確認が点群データで行えるようになり、また工事時の受発注者間の意思疎通がスムーズになる。

システム開発はこれまで上記のような鉄道事業者か



写真-1 鉄道MMS専用台車の外観

らの要望に合わせて改良を行ってきた。システムの主な機能については後述する。

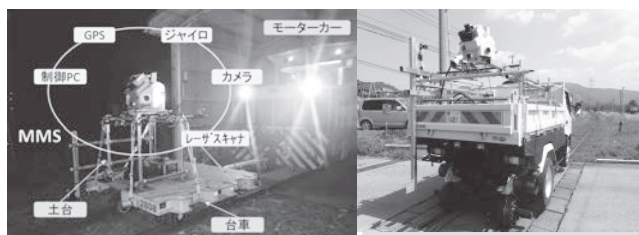
3. MMSによる3次元点群データ取得方法

MMSでは3次元点群データを取得するために、機材を車両等に搭載し計測を行っているが、鉄道線路内では鉄道用トロ台車や軌陸車などに機材を取り付け計測し線路・周辺設備の点群データを取得している。

台車への取付は車両限界内に収まり、器具等が計測中に脱落しないよう強固に固定している。計測は鉄道事業者や計測対象線の状況にもよるが、安全面を考慮し基本的に夜間行われる（写真-2, 3）。

計測開始時にはGNSSやIMUの初期化のため、上空視界の開けた場所での5分程度の静止や計測車両の前後移動が必要となる。装置の初期化終了後、計測を開始するが、走行速度は基本的には運航車両の制限速度に合わせている。なおレーザ計測装置は1秒間に200回転するミラーにあてながら100万点/秒の計測を行っており、走行速度が速くなると進行方向の点群密度が低下するため、事前に3次元点群データの利用目的に合わせて走行速度の上限を考慮しておく必要がある。なお計測装置にはカメラが取り付けられているが、夜間だと周辺の光量が不足し画質面で満足した写真が撮れないため、撮影した画像データは利用できない。

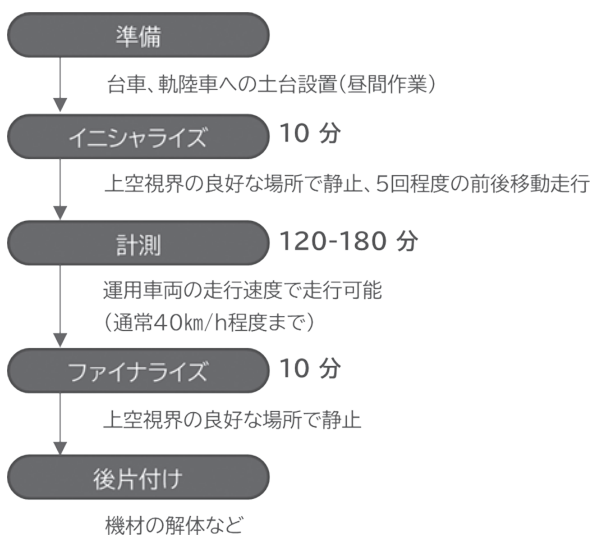
レーザ計測終了後、計測車両を5分間静止し計測は終了となる。なお計測装置の防水性の面や、満足する点群データを取得できないことから雨天時は計測しておらず、また降雪時は3次元点群データ中に雪を計測したノイズ状の点が多く取得されるため推奨していない（図-3）。



写真—2 計測装置



写真—3 計測状況



図—3 計測フロー

4. データ処理, 解析

計測装置で取得したデータは事務所内で3次元点群データへの変換処理を行う。変換処理は専用のソフトを利用し、GNSSやIMUで取得したデータを解析処理し、可能な限り確からしい位置精度を持った軌跡データを作成する。作成した軌跡データには位置と角度、時間情報等が記載されている。この軌跡データとレーザデータを時間情報で紐づけることにより3次元点群データを作成している。なお軌跡データや3次元点群データの作成にあたってはこれまでJR西日本で

の検討・運用で培ってきた様々な補正技術を活用し精度向上を図っている。処理解析した3次元点群データは一般的な点群データフォーマットであるLas形式だが、点群上のレール位置特定や限界計測処理のため専用のシステム形式にデータ変換される。

システムでは新名ら¹⁾が開発した理想的なレール断面形状と取得した点群データとの間で点群マッチング処理を行い、レールのゲージコーナーの位置を半自動で特定しており、特定したレール位置を基準にホーム限界測定、建築限界測定を行っている(図—4, 表—1, 2)。

5. 3次元点群データビューアシステム

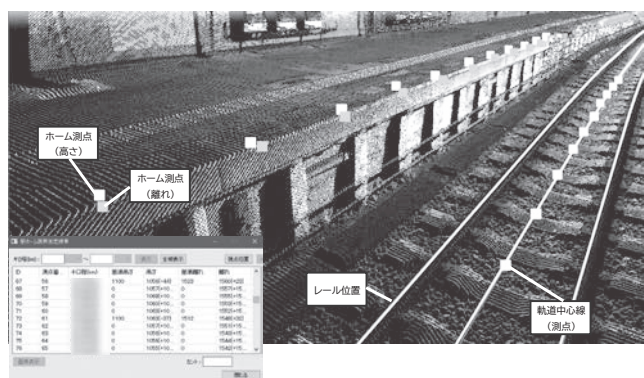
これまで防災や環境分野での利用が中心だった3次元点群データビューアは、点群表示やパンニングなどの移動表示に関し高速性の面で優れていたが鉄道事業者向けの機能が無く、鉄道分野での利活用促進のためキロ程情報の表示や限界計測機能などの各種鉄道専用の機能を追加開発した。以下に主な機能を述べる。

(1) キロ程表示機能

線路設備の位置はキロ程で表示・管理されることが一般的だが、システムでは鉄道事業者から提供されたキロ程情報をシステム上に反映させることにより、3次元点群データにおける各種設備のキロ程を把握することが可能である。また点群データから設備位置・形状を特定し、キロ程と関連付けた架線柱、レール継目、まくらぎ等各種の台帳を作成することも可能である(図—5)。

(2) 各種距離測定機能

2点間の距離だけでなく、隣接線データを複数読み込み一線ずつ抽出した軌道中心線同士の距離を測定す



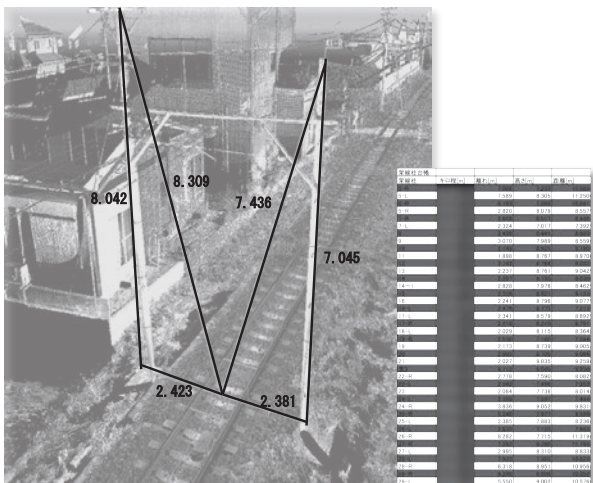
図—4 ホーム限界測定結果

表一 ホーム限界測定台帳

ホーム限界測定確認			
MMS走行日	2021/**/**	路線名	〇〇線
区別	下り	支社等	〇〇
保線区	〇〇保線区	管理室	〇〇保線管理室
駅名	〇〇	番線	本線下り
ホーム番号	1	幅寸法	30.0
測点番号	8	キ口程	**K**m
離れ測定値(mm)	1638.0	高さ測定値(mm)	935.0
断面画像		俯瞰画像	

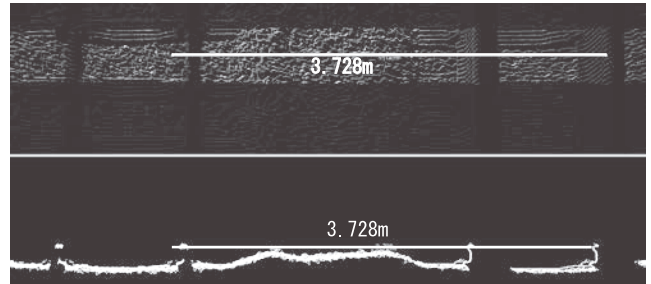
表二 建築限界測定台帳

建築限界支障箇所リスト	
概要	断面図
計測日: 2020/11/19 プロジェクト名: 〇〇線下り車線 駅名: 〇〇 キ口程: 〇〇〇m付近 種別: 点検 駅種(駅名): **駅 支障物: 柱等	
コメント: 駅構内 限界支障箇所	※終点から起点

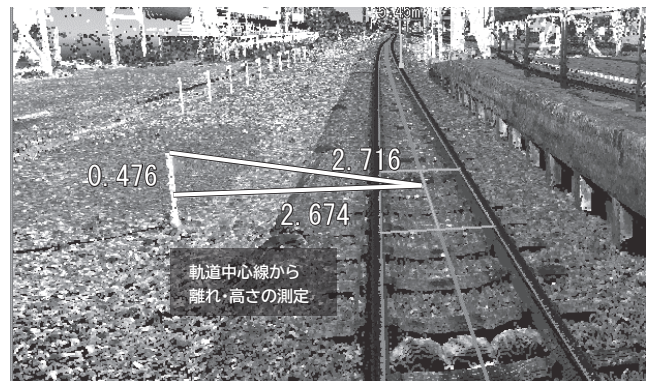


図一五 架線柱測定結果と台帳

ことで隣接線間の距離を求めることや、接触限界標の軌道中心線からの距離を測定することが可能である(図一6)。また軌道中心線からの離れ・高さ・距離測定や、建築限界枠から任意箇所までの測定も可能である(図一7, 8)。その他には地上子と踏切や信号などについて線路に沿った2点間の距離の確認もすることができる。



図一六 軌道中心線間隔測定



図一七 軌道中心線からの離れ・高さ測定



図一八 建築限界枠からの任意箇所離隔測定

(3) 3Dモデル作成・配置

3次元点群データ利用の利点の1つに現地の空間をサイバー空間で表現できることにあり、MMSで計測したデータは現地の寸法等も忠実に再現している。この利点を活かし、工所用重機の3次元モデルをCAD

等で作成しシステムに取り込むことで、任意の箇所での3次元モデルを配置することができる(図-9)。

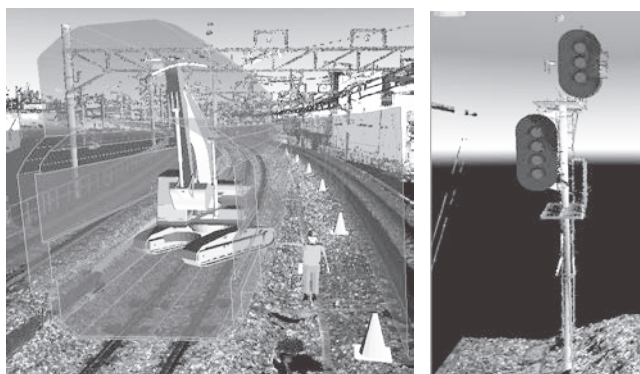


図-9 モデル配置

6. 3次元点群データの利活用

整備された3次元点群データは上記のとおり限界測定だけでなく様々な用途に利用されており、その例を以下に述べる。

(1) 図面整備

MMSで計測し解析処理された3次元点群データは公共測量への適応も可能なほど高い位置精度を持っており、平面図や縦横断図などの作成も可能である(図-10～12)。線路内の図面整備は一般的に線路内での測量作業が必要となり、対象範囲が広い場合は多くの作業日数や人員を要している。一方MMSを活用し3次元点群データから図面整備を行う場合、現地作業は数日のMMS計測と補備測量のみとなり大幅に線路内での作業工数を削減することができる。なお複線区間や広域な範囲を対象とする場合は隣接線の点群データとの位置合わせ処理を行う必要がある。また図面の絶対位置精度を高めるためには基準点座標への位置補正も必要となる。なお現状では3次元点群データからの図面作業に時間を要しているため、当該作業の効率化や自動化が今後の課題である。

(2) 設備の3次元モデル作成

3次元点群データでも各種設備の形状の把握や寸法の取得は可能だが、データ容量が大きい場合大規模の設備ではデータの取り扱いが難しい。また点群データで設備を表現しようとすると点のばらつきにより同じ寸法を持ったものでも計測箇所で値が異なるなど設備更新の検討には適さないことがある。その他にも計測時に計測装置から死角となる箇所については点群が取得できないなどの問題があるが、3次元点群データに

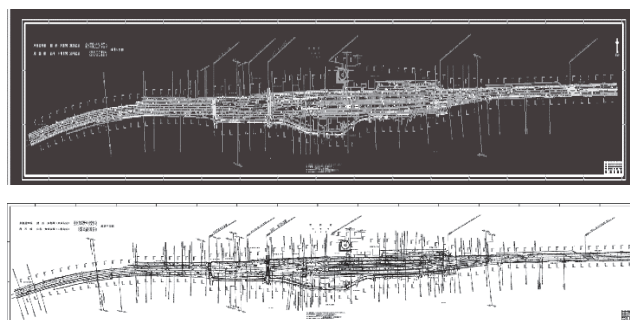


図-10 点群データから作成した平面図

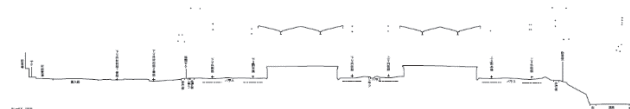


図-11 点群データから作成した横断図

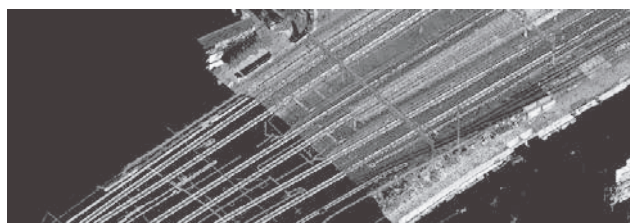


図-12 点群データと図面データの重ね合わせ

加えSLAMやSfM等による補測データや設計図面を利用し3Dモデル化を行うことで、これらの問題を解消することができる。現在では送配電設備などの電力施設について3Dモデル化を行うことで設備更新検討が容易となっており、設備管理のBIM/CIM化に貢献している(図-13)。

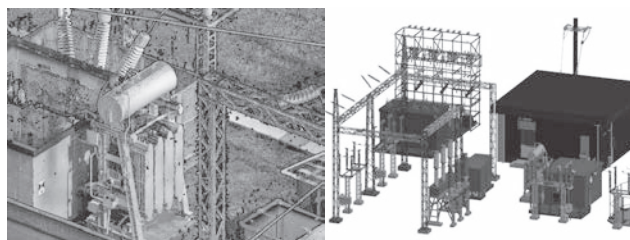


図-13 3Dモデル化された電力施設

(3) 点群合成

前述のSfMやSLAMといった計測技術の普及により、鉄道事業者で小範囲の3次元点群データを取得することが増えてきている。MMSで取得したデータに鉄道事業者が必要な部分だけ追加で計測したデータを統合しシステムに読み込ませることで、効率的に広範囲な3次元点群データの整備が可能である。

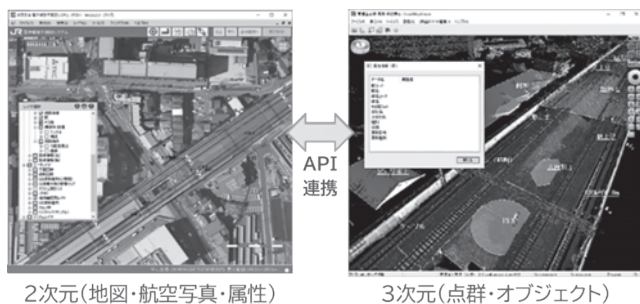
7. その他の利活用事例

MMSとは異なる手押し型レーザ計測装置を使えば、トンネルや地下空間などのGNSSを受信できない環境においても効率的かつ高精度に3次元点群データを取得できることを確認した(写真—4)。この計測装置は軌道検測を目的に開発された台車を使用しており、点群データの取得以外にも軌道狂い(軌間, 水準, 通り, 高低)の測定が可能である。また、点群データの位置座標精度が高いことから、駅ホーム改良工事などの出来形検査への適用も期待できる。

その他には本システムと各鉄道事業者が独自に整備した各種設備の管理システムとの連携開発も行っており、JR西日本では電子線路平面図システム(GIS-W)との間で表示位置連動、および描画図形データを双方



写真—4 手押し型レーザ計測装置



図—14 他システムとの連携

で共有する機能を開発し、多くの属性情報を持つGIS-Wと、設備の実寸等の取得が容易な本システムを連携させることで効率的な設備管理につなげている(図—14)。

8. おわりに

鉄道向け3次元計測技術サービスではMMSにより広範囲を精度良く3次元点群データを整備する事が可能で、3次元点群データはホーム限界管理への利用に耐えうる精度を有している。これは複数年にわたる鉄道分野でのMMS運用により計測精度の向上に関する取り組みで得られた成果であり、その他工事用図面作成などへも利用が広がっている。またシステムも改良を加え鉄道事業者が維持管理に利用しやすいよう計測機能を充実させ、台帳管理もできる機能も付加するなど設備管理の効率化に寄与している。

一方で鉄道事業者の維持管理の更なる高度化といった面では、今後も設備管理者のニーズに合わせたシステムの改良や、普及活動が不可欠である。システムを導入した鉄道事業者からは現場作業回数の減少も報告されているが、BIM/CIMを利用した設備管理にはシステム導入者側での意識改革も必要であり、サービス提供者としては導入に向けたサポートにも取り組んでいく必要がある。また鉄道事業者の規模によっても必要とする機能に違いがあり、各事業者の希望に合わせた機能開発も必要である。今後は各鉄道設備管理の効率化に向け、ニーズに合わせたシステムの機能開発と導入サポートに努め、持続可能な鉄道事業運営に貢献できるよう努めていきたい。

JICMA

《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

【筆者紹介】

大釜 弘志 (おおがま ひろし)
アジア航測(株)
社会インフラマネジメント事業部 鉄道事業推進部
部長

