

LiDAR センサを活用した列車巡回業務補助システムの開発

東日本旅客鉄道(株) ○ 非会員 辻澤 伊吹
東日本旅客鉄道(株) 非会員 木原 竜
東日本旅客鉄道(株) 正会員 明見 正雄

東日本旅客鉄道(株) 正会員 金塚 智洋
(株)モルフォ AI ソリューションズ 非会員 古川 祐督

1. はじめに

鉄道設備の維持管理は、安全・安定輸送を確保するために定期的な検査と継続的な保守作業が不可欠である。一方で労働人口減少等を背景に効率的な維持管理が求められ、新技術を活用した効率的な点検手法のニーズが高まっている。

特に落石区間の巡視・点検や豪雪線区の落雪等点検業務では、列車前頭部に社員が添乗し、走行中に沿線状況を目視で確認する巡回業務（以降、「列車巡回業務」という）が実施されている。これは安全・安定輸送の確保において重要な業務である一方、多大な人的資源を必要とする。

例えば JR 東日本新潟支社においては、山間線区の巡回を週 1 回（1 線区：通年）、豪雪線区の巡回を週 2 回（5 線区：冬季）実施しており、駅までの移動時間を考慮すると平均 4 時間以上の時間を要するため、巡回の省力化が課題となっている。

本研究では、自動車の自動運転技術に用いられる LiDAR（Light Detection and Ranging）機器を列車前頭部に搭載し、降雪下でもデータ取得可能な列車巡回業務補助システムを開発した。走行中の営業列車内から沿線点群データを取得する事例は少なく、特に降雪環境での取得やデータ精度については知見が蓄積されていない。本稿では開発システムの概要及び実証試験結果について報告する。

2. システム概要

本システムは列車巡回業務における現場でのデータ取得を機械で代替し、添乗不要とすることを目的としている。列車運転台付近の窓部に機器を設置して列車内からデータを取得した（図 1）。後から巡回結果を見返すことを容易にするため、LiDAR による点群取得と併行してカメラによる動画撮影も実施し、位置情報で両者をリンクさせることで同時に確認可能なシステムとした。鉄道設備は線路キロ程で管理されていることから、本システムではデータ取得後、計測を開始/終了した地点のキロ程情報を入力し、取得データ全体にキロ程情報を付加する処理を行う。これにより異なる時期の点群データであっても、キロ程情報を基に比較することが可能なる（図 2）。データの取得は将来的にはクラウドへの自動アップロード等、



図 1 システム概要及び機器設置状況

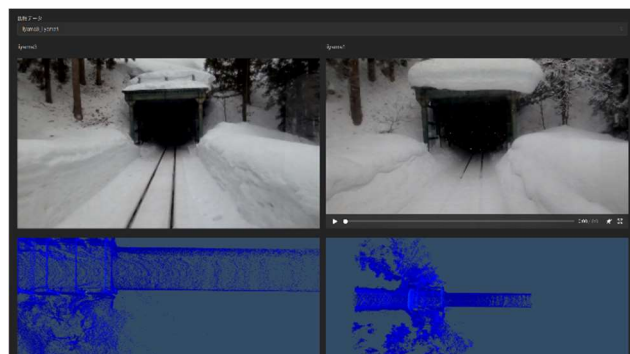


図 2 システム画面（映像・点群による比較画面）

人為的操作が不要なシステムが望ましいが、本試験においては調査員が添乗し、機器操作及びデータの取得を行った。

3. 試験概要

実証試験は飯山線 森宮野原駅から十日町駅間を対象とした。トンネル坑口の積雪量は、降雪量と除雪作業からの経過日数に依存する。除雪作業からの経過日数に応じて 3 パターンの条件（除雪直前/除雪から数日経過/除雪直後）を設定した。点群データの取得には Livox 社製 LiDAR「HAP」を使用した。主要諸元を表 1 に示す。

表 1 LiDAR 機器の主要諸元

Laser Wavelength	905 nm
Laser Safety	Class 1 (IEC60825-1:2014)(Eye Safety)
Detection Range (@ 100 klx)	150 m @ 10% reflectivity
FOV	120° (Horizontal) × 25° (Vertical)
Distance Random Error (1σ @ 20m)	< 2 cm ¹
Angular Random Error (1σ)	< 0.1°
Beam Divergence	0.28° (Vertical) × 0.03° (Horizontal)
Angular Resolution @ROI	0.23° (Vertical) × 0.18° (Horizontal)
Point Rate	452,000 points/s (first or strongest return)
False Alarm Rate (@ 100 klx) ²	< 0.01%

4. 試験結果

撮影時には最大2 mm/h程度の降雪が確認されたが、LiDARによる点群データの取得には顕著な影響は認められず、安定した計測が可能であった。

取得した点群データが人による点検の代替となるかを検証するため、点群データの2時期比較を行った。点群データの比較解析には、オープンソースの三次元点群処理ソフトウェアであるCloudCompareを用いた。CloudCompareは点群間の差分評価や形状変化の検出に有効な「Compute cloud/cloud distance」機能を備えており、積雪量の差が大きかった2時期を対象として、Compute cloud/cloud distanceによる比較解析を実施した。

解析の結果、雪底の発達が大きかったトンネルの例を図3に、雪底の発達が小さかったトンネルの例を図4に示す。それぞれの写真のみでは落雪の危険性について比較することは困難であるが、点群データを解析することで図3では1.1m、図4では0.25mの張り出しが確認され、画像のみでは判別困難な危険性を定量的に比較可能となった。

課題としては一部のトンネル区間において、点群データのマッピング処理が失敗するケースがあった。トンネル入口から直線が続くこと、トンネルが長く（走行時間が概ね1分以上）出口が見通せないこと等の条件を満たすとき、正常な点群が生成されない場合があることが分かった。

5. 精度検証

取得データの精度を検証するため、雪底を模したサンプルを用いた比較検証を行った（図5）。大きさが異なる3種類のサンプルを線路上方に設置し、45 km/hで走行する列車からデータを取得した。検証の結果について表2に示す。対象物の大きさが300 mm以上のサンプルにおいては、2時期間の比較による検出が容易であったが、100 mmのサンプルでは検出は可能であるものの、点群密度が低く可読性に課題が残った。

6. 点検業務への活用に向けた評価と課題

雪底の処理については、気象条件に左右されるものの、概ね1 mを除雪の目安としており、本実験においては、300 mm以上の差分抽出が可能であったことから、実務上必要とされる精度を満たしていると言える。実測値との誤差も50 mm以内に収まっており、土木構造物の点検のみならず電力設備・線路設備等、他分野での利活用も期待される。

また定量的評価により、大雪発生時の除雪計画効率化や、作業の平準化による作業員不足の解決に資すると考えられる。

本研究は実証試験の位置づけであるため、取得データはローカル環境にて回収・解析を行ったが、実業務への応用に際しては、クラウド上への自動アップロード機能を含む、非属人的なデータ解析システムの設計が求められる。また、今回は座標

が既知であるトンネルを主対象としたが、今後の適用性向上に向けては、差分量の大きい箇所の自動抽出機能や、AIによる事前処理による対象区分機能の実装が有効である。

今後は、これらの改良を加えることで、安全かつ省力的な鉄道設備点検手法の確立を目指す。

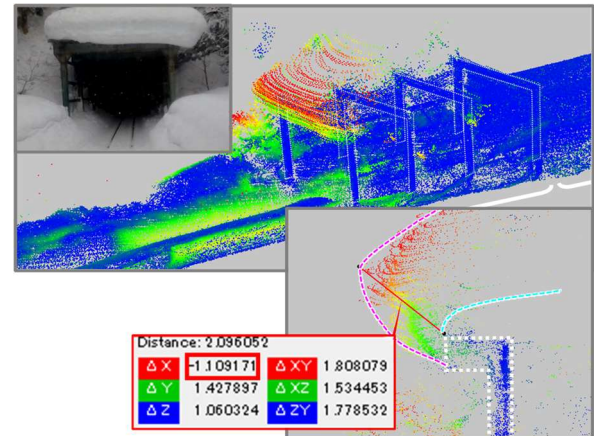


図3 2時期比較結果（雪底発達大）

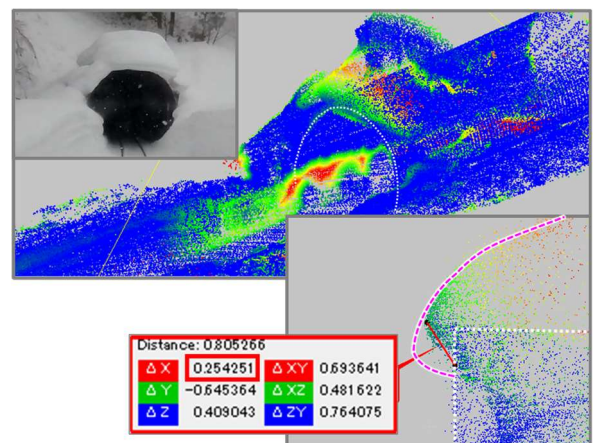


図4 2時期比較結果（雪底発達小）

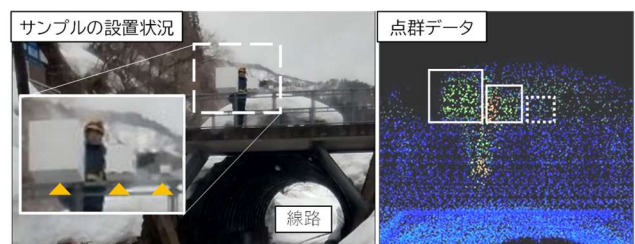


図5 精度検証試験状況

表2 精度検証結果

サンプルサイズ	データ可読性	実測値	点群データ計測値	誤差
500mm×500mm	○	500mm	452mm	△48mm
300mm×300mm	○	299mm	249mm	△50mm
100mm×100mm	△	98mm	116mm	18mm