

# 列車前頭の夜間撮影画像による 線路周辺 3 次元点群の作成とその活用法に関する検討

昆野 修平\* 箕浦 慎太郎 清水 惇 (鉄道総合技術研究所)  
中島 昇 小野 善将 (NEC ソリューションイノベータ)

A Study on Application of 3D Point Cloud Reconstructed from Night-vision Images Taken by Railway Dashboard Camera  
Shuhei Konno\*, Shintaro Minoura, Atsushi Shimizu, (Railway Technical Research Institute)  
Noboru Nakajima, Yoshimasa Ono, (NEC Solution Innovators)

Maintenance work of railroad tracks involves manual labor on site for patrols and inspections. To make such work more efficient, we are developing image analysis techniques to reconstruct 3D point cloud data from images taken by a stereo camera mounted in the driver's compartment of a train. This paper reports a field test result of night vision imaging using infrared illumination and the verification of the accuracy of 3D point clouds constructed from the images.

キーワード : 3 次元点群, ステレオカメラ, 画像解析技術, 赤外線照明, 夜間撮影, 軌道の維持管理,  
(3D point cloud, stereo camera, image analysis technique, infrared illumination, night-vision image, railway track maintenance)

## 1. はじめに

軌道の維持管理においては巡視や検査の場面で現地での確認や測定を必要とする作業が多く存在する。このような作業に対して、作業員や熟練者が不足していること、日中は列車走行により作業時間が確保できないこと、山中や橋りょう上などアクセス困難な場所があることなどの課題が存在する。これらの課題に対して、筆者らは列車前頭に設置したステレオカメラの撮影画像から軌道の維持管理を支援するための画像解析技術の開発に取り組んできた。そのうち、列車巡視支援を目的とした線路周辺画像解析エンジンは、その一部機能が JR 九州の列車巡視支援システムで既に活用されている<sup>(1)(2)(3)</sup>。

一方、開発した画像解析技術は日中の明かり区間での撮影を適用対象としており、夜間やトンネル内の撮影画像は適用の対象外であった。したがって、撮影可能な時間帯や区間に制約があり、本技術の更なる展開には、夜間やトンネル内撮影への適用拡大が重要な課題であった。

そこで、これまで開発してきた画像解析技術の夜間撮影への適用可能性や活用法を検討するため、夜間の営業線で近赤外線投光器を用いた列車前頭画像の撮影試験を行い、取得した夜間撮影画像から復元される線路周辺の 3 次元点群 (3 次元空間座標と RGB 値等の色情報を持つ点の集まり) 内での距離計測の精度を検証した。本稿では、その結果について述べる。

## 2. 線路周辺 3 次元点群の作成方法の概要

これまでに開発した線路周辺画像解析エンジン<sup>(1)(2)</sup>は、「建築限界支障物の検知」と「2 時期画像の差分検知」の機能をもつ。ここでは本エンジンを構成する画像解析技術のうち、「建築限界支障物の検知」で用いる線路周辺の 3 次元点群を作成する画像解析技術の概要を記す。本技術は列車巡視で目視確認している建築限界支障物の有無を検知することを目的に開発したものであるが、作成される線路周辺の 3 次元点群は軌道の検査等にも活用可能性はあるものと考えている。

〈2・1〉 自己位置推定 ステレオカメラによる撮影画像のみを用いて、連続する画像フレーム上の特徴点の位置関係からカメラの位置や姿勢の変化を推定する。本技術の主な特徴として、駅構内や高架上等の類似するシーンが連続し、自己位置推定の精度が悪化し易いと考えられる場面において、誤対応したと考えられる特徴点を計算から除外することで精度の悪化を軽減することなどが可能である。

〈2・2〉 多視点ステレオによる 3 次元点群の作成 上記の自己位置推定により得られるカメラの位置・姿勢変化の推定結果と、ステレオ画像において対になる画像間で対応付けられる特徴点の視差情報を利用して、複数の画像フレームで共通して撮影される被写体の 3 次元空間情報を“高密度”かつ“広範囲”に復元する。このような 3 次元空間情報の復元結果は、3 次元点群データとして作成される。

### 3. 撮影試験

営業線において近赤外線投光器を用いた夜間撮影を行った。併せて、比較のため、同区間の昼間撮影を行った。

〈3・1〉 昼間撮影方法 図1に示すように、営業車にステレオカメラ等の撮影機器を設置し、営業走行により撮影した。

表1に、撮影で使用したカメラのスペックおよび設定を示す。カメラは、線路周辺画像解析エンジンの開発で用いていたのと同形式のカメラを用いた<sup>(1)</sup>。

〈3・2〉 夜間撮影方法 図2に示すように、昼間撮影に使用したステレオカメラに2台の近赤外線投光器を加えた機器構成とし、これを軌道モーターカーに設置して撮影した。撮影時のモーターカーの走行速度は時速10~20kmとした。

表2に、使用した近赤外線投光器のスペックを示す。撮影シーン全体の概形を捉えるために広範囲型の投光器を照射しつつ、撮影シーン中心部にはスポット型の投光器を照射することで、レール付近の物体に対しては高精細な画像の取得を目指した。また、ステレオカメラは昼間撮影と同様の機器を用いたが、昼間撮影時は、人の目によって捉えられる可視光領域のみで画像取得するため赤外遮断フィルタを用いたのに対して、夜間撮影時は、人の目では捉えられない赤外光を画像で捉えるため赤外遮断フィルタを外して撮影した。

### 4. 3次元点群による距離計測精度の検証と考察

3章で取得した昼間と夜間の撮影画像(図3)に対して、2章に記した方法で3次元点群を作成し、その点群による距離計測の精度を調べた。



図1 設置した撮影機器(昼間撮影)

表1 カメラのスペック

解像度:	1920×1200 [px]
フレームレート:	15 または 30 [fps]
ゲイン:	自動調整(0~10 [dB])
シャッタースピード:	自動調整(50~700 [μs])
フォーカス:	20 [m]
焦点距離:	8 [mm]
絞り:	F2.8
寸法(カメラ1台):	W50×H50×D100 [mm]

〈4・1〉 検証方法 ホーム内の撮影画像より作成した3次元点群から、線路の2次元断面データを作成し、ホームの離れおよび高さの距離を計測した値に対して、同日現場で手測定した値と比較することで3次元点群の精度検証を行った。手測定は、図4に示すような測定機器を使用し、6つの測定断面を検証の対象とした。

3次元点群のデータ処理のフローを次に示す。

- 1) 測定点のラベル付け:現場でのホーム離れ・高さ測定の際に基準とした測定点に対応する3次元点群上の点にラベル付けを行う(図5)。同図は3次元点群上で視認可能な測定点の例であるが、視認不可能な測定点に対しては視認可能な測定点からの距離に応じてラベル付けを行った。
- 2) 線路断面点群の抽出:3次元点群内の点の疎密を平準化

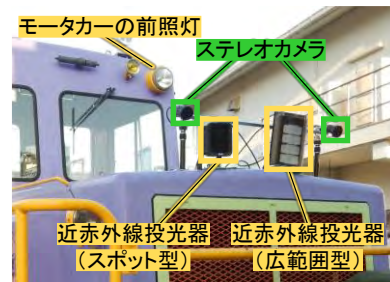


図2 設置した撮影機器(夜間撮影)

表2 近赤外線投光器のスペック

項目	広範囲型	スポット型
照射角度(水平方向)	120度	50度
照射角度(鉛直方向)	30度	30度
照射距離	65m	200m
寸法	W180×H280 ×D80 [mm]	W130×H170 ×D100 [mm]



図3 撮影画像例(左:昼間画像, 右:夜間画像)



図4 手測定の作業写真



図 5 測定点のラベル付け

するため、ラベル付けした各測定点のレール長手方向の座標から、線路断面に相当する点群を抽出する(図 6)。本検討においては、断面の厚さ(図 6(b))は 1.0m(測定点のレール長手方向の座標から前後片側 0.5m)とした。また、点群処理ソフトウェアで抽出した線路断面点群の目視確認を行い、計測に不要な点や明らかに誤って復元された点を選択・削除した。

- 3) 2次元断面データの作成: 2)で抽出した線路断面点群は、断面の厚さ内で鉛直方向にばらつきを持った点群の集合であることから、鉛直方向に一定間隔で区切って、各範囲内の鉛直座標の代表値で表される2次元断面データを作成する。本検討においては、1mm間隔で区切り、中央値を代表値とした(図 7)。
- 4) ホーム離れ・高さの距離計測: 3)で作成した2次元断面データから、ホーム端とホーム反対側にあるレールに相当する点を選択し、その鉛直および水平座標(図 7上)から、ホームの離れ・高さの距離を算出する。ホーム離れは、軌道中心線を基準とする値に換算するため、本検討においては、ホーム端とレールの座標より計測される離れ距離から、軌間設計値(1067mm)の半分の値を差し引いた。

なお、図 5~7 は昼間画像から作成した 3 次元点群(以下、昼間点群)による処理結果を示しているが、夜間画像から作成した 3 次元点群(以下、夜間点群)に対しても同様の処理を行った。ただし、夜間点群では、「1) 測定点のラベル付け」において既存の測定点の視認が困難であったため、ホーム上の塗装やまくらぎ端などの特徴となる点により昼間点群と夜間点群間の位置合わせを行い、昼間点群上の測定点のラベルを夜間点群のラベルとして用いた。また、図 7 は、ホーム下方の形状が適切に復元されていないが、これは図 4 左からわかるように、日照条件によって当該箇所の昼間画像領域がいわゆる黒つぶれしてしまったためである。撮影方法や画像解析方法を変更すれば、このような誤った点群の復元は抑制できると考えられるが、本検討に必要なホーム端やレールの形状は適切に復元できていたためそのままとした。さらに、夜間点群は、「近赤外線投光器のみ」を照射して撮影した画像から作成した点群(夜間点群 A)と、「近赤外線投光器とモーターの前照灯の両方」を照射して撮



(a) 抽出前



(b) 抽出後

図 6 線路断面点群の抽出

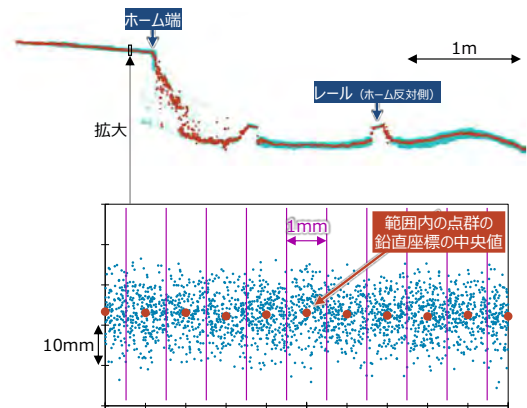
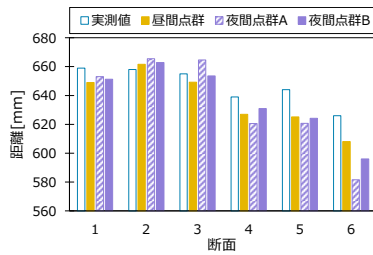


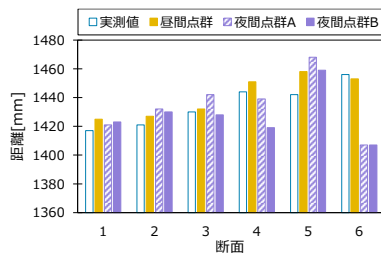
図 7 線路断面点群の 2 次元プロット(水色)と 2 次元断面データ(赤色)

影した画像から作成した点群(夜間点群 B)の 2 パターンを作成した。

〈4・2〉 検証結果 図 8 に、各断面におけるホーム離れ・高さの手測定による実測値と点群からの計測値を、表 3 に、点群からの計測値の実測値からの誤差を示す。各断面のホーム離れと高さを計測した結果、昼間画像および夜間画像 A、B のいずれにおいても、点群からの計測値はホーム離れ・高さの実測値を概ね捉えられており、昼間点群の誤差は最大で 18mm、夜間点群の誤差は A、B のいずれにおいても最大で 49mm であった。ここで、図 9 に、最大の誤差が見られた夜間点群 A の断面 6 における 2 次元断面データと線路断面点群を示す。同図より 3 次元点群においてホーム端の断面形状が正しく復元されていないことがわかる。この理由として、夜間画像は昼間画像よりも画像上の明暗が不明確であるため、3 次元復元時に画像特徴点の誤対応が多く生じたことが考えられる。精度向上のためには、誤対応を抑制する画像解析方法や、明暗をより明確に捉えられる夜間撮影方法を検討する必要があると考えられる。



(a) ホーム高さ



(b) ホーム離れ

図 8 手測定による実測値および点群からの計測値の比較

〈4・3〉 考察 以上の結果から、夜間画像から作成した 3 次元点群による距離計測は、昼間画像に比べると実測値との誤差が大きくなるが、実測値の傾向は捉えることができる。また、撮影機器を取り付けた車両の運用次第では高頻度な測定が可能であることから、今回行ったホーム離れ・高さ測定等の検査において、要注意箇所のスクリーニング等への活用可能性を有していると考えられる。また、3 次元点群の距離計測精度は、線路周辺画像解析エンジンの「建築限界支障物の検知」の検知精度に直結すると考えられることから、今回確認された程度の誤差をもって支障物の検知が可能であると考えられる。なお、同エンジンのもう 1 つの機能である「2 時期画像の差分検知」に関しては、既往の研究<sup>(4)</sup>において、本稿と同様の機器構成で夜間撮影にも適用可能であることが示されている。今回の試験で用いた近赤外線投光器は営業車にも十分搭載可能な大きさであり、赤外遮断フィルタの有無を除けば昼間撮影と夜間撮影では同じカメラを使用していることから、昼間撮影用の機器構成を大きく変えずに営業車で昼間・夜間両方の撮影が可能であり、またその撮影画像を各種画像解析へ適用可能であることが確認された。

ただし、図 9 で示したように、夜間画像から復元した 3 次元点群は、昼間画像を用いた場合と比べて、点群の復元精度が悪化するケースがあるため、夜間画像を用いた点群復元の精度向上のための画像解析方法や夜間撮影方法の改良を今後検討していきたい。

## 6. まとめ

本稿のまとめは次のとおりである。

表 3 手測定との誤差 (単位 : mm)

断面	高さ			離れ		
	昼間点群	夜間点群 A	夜間点群 B	昼間点群	夜間点群 A	夜間点群 B
1	-10	-6	-8	8	4	6
2	4	7	5	6	11	9
3	-6	10	-1	2	12	-2
4	-12	-18	-8	7	-5	-25
5	-19	-23	-20	16	26	17
6	-18	-44	-30	-3	-49	-49
絶対値の平均	11	18	12	7	18	18

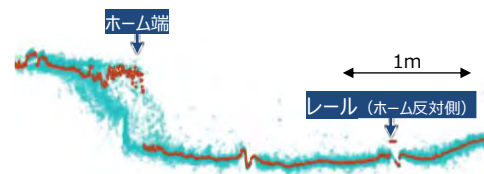


図 9 夜間点群 A-測定点 6 の 2 次元断面データと線路断面点群の 2 次元プロット

- 1) 軌道の維持管理効率化のために開発してきた画像解析技術を、夜間やトンネル内の撮影に対して適用可能かを検討するため、夜間の営業線で近赤外線投光器を用いた列車前頭画像の撮影試験を行った。
- 2) 列車前頭画像を用いて作成した線路周辺 3 次元点群から、任意の線路の 2 次元断面データを作成し、ホーム離れ・高さの距離を計測する方法を示した。
- 3) 夜間および昼間の列車前頭画像より作成した線路周辺 3 次元点群から、6 断面のホーム離れ・高さの距離を計測し、手測定による実測値と比較することで、点群の距離計測精度を調べた。その結果、計測誤差は昼間画像で最大 19mm、夜間画像で最大 49mm であった。

今後の課題として、画像解析方法と夜間撮影方法の両面で、夜間撮影による 3 次元復元の精度向上を検討する。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

## 文 献

- (1) 昆野修平・川崎恭平・三島健吾・三和雅史・清水惇・中島昇：「列車巡視支援のための線路周辺画像解析エンジンの開発」, 鉄道総研報告, Vol.36, No.3 pp.5-10 (2022)
- (2) 昆野修平・川崎恭平・清水惇・箕浦慎太郎：「列車巡視を省力化するための線路周辺画像解析エンジンの開発」, JREA, Vol.65, No.3 pp.45846-45849 (2022)
- (3) 猿木雄三：「列車巡視支援システムの導入」, 第 57 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集 論文番号 411 (2020)
- (4) 昆野修平, 箕浦慎太郎, 中島昇：「線路周辺差分検知プログラムの暗所画像への適用拡大に向けた検討」, 鉄道工学シンポジウム論文集, No.26 pp.121-128 (2022)