

鉄道総研報告  
RTRI REPORT

## 列車前方画像を用いた駅ホーム高さ・離れ計測手法の開発

松岡 弘大\* 中田 悠貴\*\* 加藤 聖\*\*\*

## Development of a Method for Measuring Platform Height and Gap Using Forward-View Train Images

Kodai MATSUOKA Yuki NAKADA Sho KATO

This study proposes a method for measuring platform height and gap using forward-facing images captured by commercial trains. The method employs ground markers to identify coplanar regions in the image depth direction. An algorithm was developed to automatically estimate platform height and gap from these images. Field tests were then conducted on a commercial railway line to evaluate its accuracy and practical applicability. The results indicated that while gap errors remained within 10 mm at five of the seven locations, height errors exceeded 10 mm at five. The sources of these errors were analyzed, and potential strategies for improvement are also proposed.

キーワード：列車前方画像，駅ホーム計測，画像計測，現地試験

## 1. はじめに

労働人口の減少が進む中で課題となっている鉄道設備の保守業務省人化を進めるため、既存業務の調査やデジタル技術の活用、系統横断でのデータ共有などが進められている。例えば、四国旅客鉄道株式会社（以下、JR 四国）では、現在実施されている保守業務の内容や費用・労働力の投入量が調査され<sup>1) 2) 3)</sup>、既存業務を効率化できる可能性のある新技術の考察がされている。田尾ら<sup>2)</sup>は、保線系統における列車巡視時の軌道状態把握に携帯情報端末のカメラで撮影した動画<sup>4)</sup>（以下、列車前方画像）を利用できることを指摘し、実業務での列車前方画像の取得と、得られた画像に基づく劣化や変状の判定手法の開発が進められている<sup>5) 6) 7)</sup>。また、列車前方画像とともに記録できる加速度を用いた動揺管理への活用も模索されている<sup>8)</sup>。加えて、ある系統が取得した維持管理情報を他系統へ共有・活用可能とする統合分析プラットフォーム<sup>9) 10)</sup>の開発と試行も進められており、系統を問わず保守省力化のために前方画像を活用可能な環境が整いつつある。

このような状況の中、矢野ら<sup>1)</sup>は土木系統を対象として、既存業務の実態調査結果を整理し、列車前方画像の活用による省力化効果が大きい業務として、駅ホームの高さ・離れ計測をあげている。この駅ホームの高さ・離れは4年に一度、各駅ホームに対して5mもしくは10m間隔で計測される。また、軌道整正の実施後や輸送繁忙期前などにも実施されるが、技術者が専用機器を用いて地上で直接計測しており、多大な労力を要している。したがって、系統横断でのデータ共有により利用可能な列車前方画像から画像処理により駅ホームの高さ・離れを計測できれば現地へ行く手間も含めて大幅な省力化が見込まれる。ただし、列車前方画像では画像奥行方向の位置推定精度が低く、駅ホーム高さ・離れを十分な精度で計測できないといった課題が存在した。

本研究では、列車前方画像を用いた高精度な駅ホーム高さ・離れ計測を実現するために、画像奥行方向の同一平面を認識する基準として地上マーカを用いる手法を提案する。また、列車前方画像から自動的に駅ホーム高さ・離れ計測を行うアルゴリズムを開発するとともに、実路線での検証試験を実施し、提案手法

\* 情報通信技術研究部 情報解析研究室

\*\* 構造物技術研究部 コンクリート構造研究室

\*\*\* 四国旅客鉄道株式会社

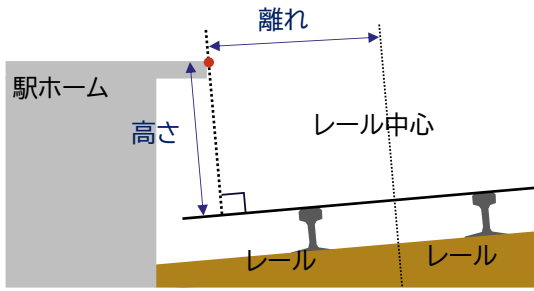


図1 駅ホーム高さ・離れの管理値の定義



図2 駅ホーム高さ・離れの計測方法の例

の精度や有効性，課題について整理した。

## 2. 駅ホーム高さ・離れ計測と既往研究

### 2.1 駅ホーム高さ・離れ計測

駅ホームは列車に近接する設備であるため，レールからの離れおよび高さを比較的精緻に管理する必要がある。図1に駅ホーム高さ・離れの管理値の定義を示す。駅ホーム高さは両レール頭頂部からホーム上面端（図中赤点）までの高さであり，両レール頭頂部を通る直線に対して定義される。駅ホーム離れはレール中心からホーム上面端までの距離である。既存業務では図2に示すような接触式の機器<sup>11)</sup>により地上から手作業で計測される場合も多い。接触式の機器自体が有する計測精度は±1mm程度である<sup>11)</sup>。このほか，地上から非接触で計測可能なレーザ距離計<sup>12)</sup>や光切断法などの3次元形状計測を用いた計測手法<sup>13) 14)</sup>も開発されている。接触式と比較した誤差は文献12および13ともに1mm程度となっている。

### 2.2 既往研究

駅ホームの位置計測技術の多くは，建築限界<sup>15)</sup>確認の観点から開発されてきた。近年では特に省力化効果の大きい手法として車上からの計測手法が検討されており，LiDAR<sup>16)</sup>などのレーザスキャナを搭載したMMS（Mobile Mapping System）による誤差10mm程度の計測手法<sup>17) 18)</sup>が開発されている。列車前方画像を用いた車上計測はMMSと比較して低コストで実現可能であり，ステレオカメラを用いた支障物検出手法<sup>19)</sup>，単眼ステレオ技術によるホーム高さ・離れ計測手法<sup>20)</sup>が提案されている。ただし，携帯情報端末のような単眼での撮影では奥行き方向の位置推定に課題があり，文献20では平均誤差でも40mmを超えることが報告されている。

本研究で現地試験を実施したJR四国の健全度区分では，離れについて10mm程度で異なる健全度に区分される場合が存在する。これを踏まえると，許容される誤差は最大でも10mm程度と考えられ，携帯情報端末のカメラを用いた安価な手法での既存業務の置き換えは困難な課題であるといえる。本研究では，携帯情報端末で撮影された列車前方画像から高精度にホーム高さ・離れを推定するため，駅ホームおよび対応するまくらぎに独自の地上マーカを設置し，これを利用して奥行き方向の位置推定に関する問題を回避し，誤差10mm以下となるような高精度なホーム高さ・離れ計測手法の開発を試みた。

## 3. ホーム高さ・離れ計測手法

### 3.1 地上マーカの製作

列車前方画像は2次元であるため，画像内の奥行き方向となるホーム位置と対応するレール位置を高精度

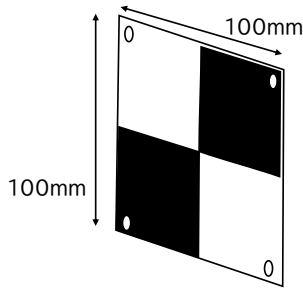


図3 ホームマーカ

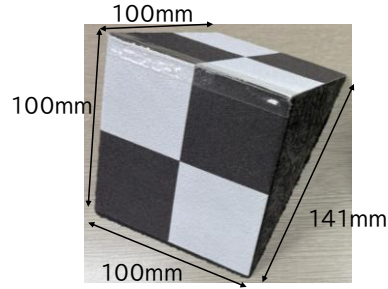


図4 まくらぎマーカ



図5 マーカ設置状況

に推定することが難しい。そこで計測対象とするホーム位置とそこに対応するレール位置に地上マーカを設置することで、精度確保が難しい奥行方向の位置推定に関する問題を回避し、単純な2次元画像処理問題に帰着させることで高精度化を図る。本研究では、予備試験を実施したうえで、図3および図4に示すホームマーカおよびまくらぎマーカを製作した。図3に示すホームマーカは厚さ1mm、縦横100mmのアルミ板で製作した。白黒格子は列車前方画像での視認性の観点からそれぞれ50×50mmとしている。本マーカはホーム計測箇所のホーム上端側面にアンカーにより設置する。図4に示すまくらぎマーカは絶縁性や他作業への支障を最低限にする観点、および上下どちらの列車からも検知できるように三角柱の樹脂製とした。起点および終点側の100mm×100mmの2面にホームマーカと同じ白黒格子を工業用シールにより設置している。まくらぎマーカは接着剤によりまくらぎ両端上面に設置する。ホームマーカ上端からホーム上端までの距離、まくらぎマーカ上端からレール頭頂部までの距離は変化しないと仮定し、マーカ設置時に別途計測のうえ記録しておき、以下で説明する列車前方画像によるホーム高さ・離れ計測に利用する。

### 3.2 地上マーカの検知

列車前方画像から上述のマーカを利用して駅ホーム高さ・離れを計測するためには、長い動画内から地上マーカが存在する画像および画像内のホームマーカおよびまくらぎマーカの大まかな位置を特定する必要がある。本研究では今後の自動化を見据え、機械学習を利用してホームマーカおよびまくらぎマーカとそれらの大まかな位置を自動で抽出できるようにした。

本研究ではマーカ検出のためのネットワークアーキテクチャとしてYOLOv4<sup>21)</sup>を用いた。YOLOv4は深層学習における物体の検出と識別を同時に実施するネットワークモデルであり、画像から物体カテゴリ、カテゴリクラスの信頼度、横位置座標、縦位置座標、横幅、縦幅が得られる<sup>21)</sup>。本研究では、ホームマーカおよびまくらぎマーカ設置後の列車前方画像3580枚を利用し、これらの画像内に写ったホームマーカおよびまくらぎマーカ計19954個に対して正解値を付与するアノテーションを行った。また、画像内で斜めにゆがむ傾向にあるホームマーカの検知精度を上げるため、学習にはせん断変形させた画像を1割程度混



図6 YOLOv4によるマーカ検知の例

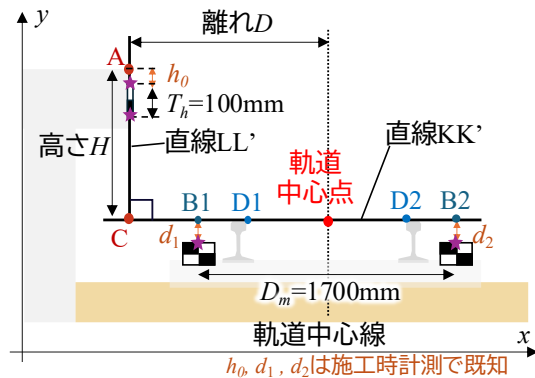


図7 高さ・離れ計測用の座標系

入させた。そのほか、影などの影響を抑制するために彩度、明度、コントラストをランダムに修正した学習画像を混入させている。図6に構築したYOLOv4による地上マーカの検知例を示す。未使用のテストデータ(113枚)を用いた検証の結果、適合率82.3%、再現率84.0%、F値83.1%で地上マーカを検知できることを確認している。なお、検知できていない場合のほとんどはマーカが画像上側の遠方にある場合であり、列車が接近しマーカに近づいた状況ではほぼ100%マーカを検知できる。

### 3.3 画像処理手法

#### 3.3.1 地上マーカ位置・寸法の同定

図6に示す通り、前節で示したYOLOv4により検知できるのはマーカを含む大まかな画像内の位置(図中黄色範囲)であるが、ホーム高さ・離れ計測には各マーカの正確な位置および寸法が必要となる。そこでYOLOv4により検知された大まかな画像内の位置を利用し、デジタル画像相関法(DIC)<sup>22)</sup>により各マーカの画像内の位置および寸法の精緻な推定を行った。DICはパターンマッチングの一種であり、事前に設定した対象物の参照画像と対象画像の2次元相関を指標として、画像の中から対象物の位置および寸法を推定する方法である<sup>23)</sup>。ここでは、参照画像として列車前方画像に写ったホームマーカ、およびまくらぎマーカをそれぞれ設定し、各マーカの左右中心、上端および下端位置を推定した。

#### 3.3.2 寸法換算

図7に高さ・離れ計測用の座標系を示す。前項で推定されたホームマーカ上下端および両まくらぎ上端を図7中に紫星で示す。なお、図1のようにカントを有する場合でも基本的には同じ方法で計測可能である。画像上で得られるピクセル単位の長さを実際の寸法に変換する。高さ方向は、ホームマーカ高さ $T_h=100\text{mm}$ であることを利用し、画像から推定したホームマーカ上下端の高さ方向距離により換算を行った。水平方向は長さ2mのPCまくらぎの両端内側15cm位置にまくらぎマーカ中心が一致するように設置したため、まくらぎマーカ間の距離 $D_w$ が1700mmとなることを利用して換算を行った。さらに、マーカ施工時にホームマーカ上端から駅ホーム上端までの距離 $h_0$ 、マーカ上端からレール上面までの距離 $d_1$ および $d_2$ を計測している。このため、これらに高さ方向の換算係数を乗じ、次項で示す画像上でのホーム高さ・離れの計算に利用した。

#### 3.3.3 ホーム高さ・離れ計算

図7に示す幾何関係をもとに、これまでに画像内から収集した情報から、ホーム高さ・離れを推定する。まず、まくらぎマーカの左右中心上端位置から上方向に、事前に計測し、寸法換算したレール上面までの高さ(ピクセル単位)を足し、図中の点B1とB2を定める。これらの点B1とB2を通る直線KK'、直線

KK'に直角で点 A を通る直線 LL'を算出し、直線 LL'上の点 A から点 C、および直線 KK'上の点 C から軌道中心点の距離を計算したうえで、実際の寸法に換算すれば、駅ホーム高さ・離れを計算できる。なお、軌道中心点は 2 つのまくらぎマーカの間として計算することもできるが、ここではより正確にレール内側の点 D1 および D2 を推定したうえで軌道中心点を算出した。なお、レール内側は対象画像のハフ変換により抽出し、レール内側直線と直線 KK'の交点から点 D1 および D2 を算出している。

以上で説明した列車前方画像による駅ホーム高さ・離れ計測手法は、平行して開発を進める統合分析プラットフォーム<sup>10)</sup>の環境下で動作するプログラムとして実装予定である。本プラットフォームでは系統横断での列車前方画像の共有が可能であり、当該プログラムを実装した場合には最新の列車前方画像に対して、マーカ検知以降の処理が実施され、計測結果は統合分析プラットフォームの維持管理データの一つとして閲覧できるようにする予定である。

#### 4. 現地試験による検証

本研究で提案した手法の有効性を検証するため、JR 四国の実路線における駅で試験施工と列車前方画像の撮影試験を実施した。対象駅は単線線区に存在する。ここでは 2 番線での結果について報告する。

##### 4.1 地上マーカ施工と列車前方画像撮影試験

3.1 節で製作したホームおよびまくらぎマーカを実路線駅のホームおよびまくらぎに設置した。図 8 に地上マーカ施工の様子を示す。施工においてはまくらぎマーカの頂点とホームマーカの中心が同一平面上になるようレーザー墨出し器を用いて位置出しを行ったうえで実施した。図 9 に地上マーカ施工後の様子を示す。施工は昼間の間合い作業として実施したが 1 か所あたり 15 分程度であった。また、駅ホーム離れに余裕がない箇所についてはアルミ板の厚みが離れの状態を悪化させる可能性があったため、アルミ板ではなく、塗料によるペイントによりホームマーカを代替した。また、施工時にまくらぎマーカからレール上面までの高さ、ホームマーカから駅ホーム上面までの高さを計測し、それぞれ記録した。最後に駅ホーム高さ・離れの正解値と把握する目的で、図 2 に示した既存手法による駅ホーム高さ・離れ計測を実施した。

地上マーカの施工後、列車前方画像の撮影を実施した。図 10 に撮影の様子を示す。列車前方画像は鉄道総研が開発している携帯情報端末を用いた列車巡視支援アプリ (Train Patroller)<sup>8)</sup>を用いて実施した。携帯情報端末は吸盤を用いた治具により列車前方の貫通扉窓に設置した。対象列車は当該駅の 2 番線を通す



図 8 地上マーカ施工の様子



図 9 地上マーカ施工後の様子



図 10 列車前方画像の撮影

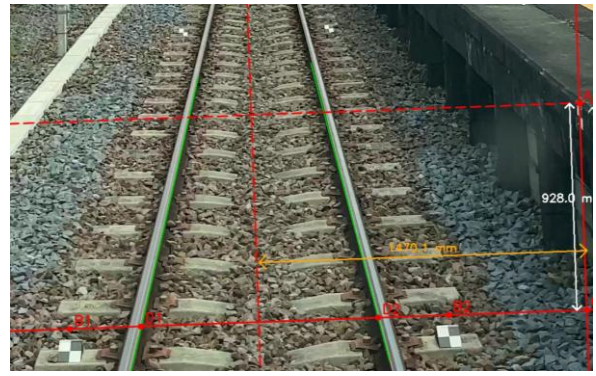
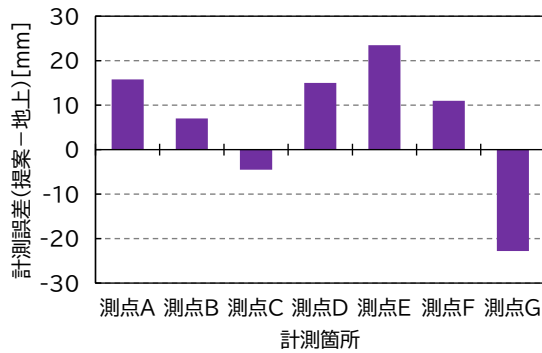
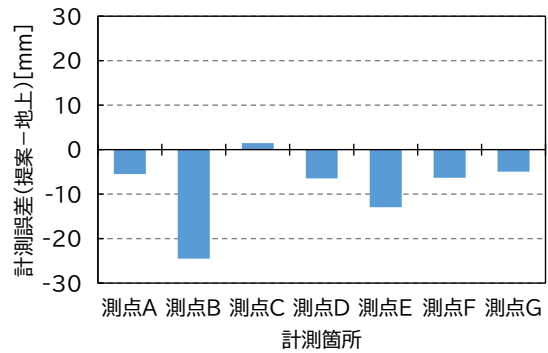


図 11 駅ホーム高さ・離れ計測結果の出力例



(a) 高さ



(b) 離れ

図 12 列車前方画像による駅ホーム高さ・離れの計測誤差

る特急列車とし、動画は通常の列車巡視で撮影を行う場合と同様に 30fps の Full HD で撮影した。Train Patroller の詳細は文献 8 を参照されたい。得られた列車前方画像のうち、当該駅通過部分の動画を抽出し、3 章で示した提案手法を適用した。YOLOv4 によるマーカ検知の結果は図 6 を参照されたい。

#### 4.2 ホーム高さ・離れの計測結果

図 11 に得られた列車前方画像に基づき提案手法により出力される駅ホーム高さ・離れの推計結果の出力例を示す。最終的な駅ホーム高さ・離れの推定結果だけでなく、各処理の適切性を判断できるように、処理に利用した画像内の点および直線を合わせて描画している。同図からホームマーカおよび 2 つのまくらぎマーカの直上にそれぞれ点 A、点 B1 および B2 が表示されており、地上マーカを正確に認識できていること、ハフ変換によりレール内側が適切に抽出されていることを確認できる。

図 12 に当該ホームの 7 箇所（測点 A～G）の高さおよび離れの計測誤差を示す。なお、計測誤差は同時に実施した地上での駅ホーム高さ・離れの計測結果との差（mm）とした。図 12 から駅ホーム離れに比べ高さの計測誤差が大きいことがわかる。駅ホーム高さは 7 箇所のうち 5 箇所ですべて誤差が 10mm 以上となっており、もっとも誤差が大きい箇所は -23mm であった。一方、駅ホーム離れは 7 箇所のうち 5 箇所ですべて誤差が 10mm 以下であった。ただし、誤差が最も大きい箇所は高さと同様の -24mm であった。なお、駅ホーム離れの計測誤差は負側で生じており、評価としては安全側となっている。以上から、提案手法による駅ホーム高さ計測については計測精度の改善が必要であるものの、駅ホーム離れ計測については多くの箇所です用上問題ない精度を有することを確認できた。以下では今後の精度改善のために、高さおよび離れのそれぞれについて計測誤差の発生要因を考察した。

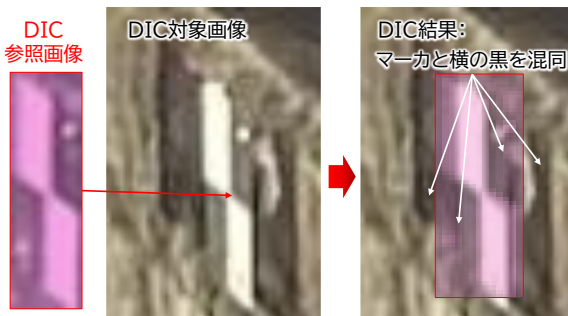


図13 ホームマーカの位置・寸法推定誤差

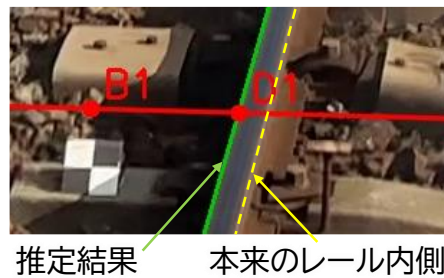


図14 レール抽出における誤差

### 4.3 ホーム高さ・離れの計測誤差に関する考察

以下では、駅ホーム高さ・離れの計測結果に見られた誤差の要因について、高さおよび離れについてそれぞれ考察を加え、今後の改善方針を検討した。

図13に主に高さ計測の誤差の要因と成り得るDICによるホームマーカの位置・寸法計測結果の例(測点G)を示す。測点GではDICの対象画像におけるマーカ横のホーム側面が黒くなっている。このホーム側面の黒とホームマーカにおける黒が混同され、寸法を大きく推定している。これにより寸法換算に誤差が生じ、高さ計測結果にも10mmを超える誤差が生じてしまっている。なお、寸法の推定誤差自体はホームマーカ高さ100mmに対して2mm程度とごくわずかであるが、高さ計測時に寸法換算係数として乗じるため、約1m弱のホーム高さの計測においては20mm程度の誤差となる。改善策として、ホームマーカに白色の枠を設置する、ホームマーカ周辺を合わせて着色するなどが考えられる。また、現在は前方画像からマーカ部を切り出して参照画像として用いているが、白黒の境界などをより明確化するためにより細かいピクセルで参照画像を作成し参照画像に用いることで、DIC自体の精度を向上させることも考えられる。

ホームマーカの位置・寸法推定誤差は高さ計測の精度に大きく影響するが、離れ計測誤差にはほとんど影響しない。離れ方向においては寸法換算に際して、まくらぎ両端のマーカ中心間の距離(1700mm)を用いているため、仮に各マーカで2mm程度の誤差が生じた場合でも換算係数に及ぼす誤差は0.1~0.2%程度となる。これは約1.5m程度の離れに対して1.8~3.5mm程度の誤差にしかならない。一方で測点Bでは20mmを超える誤差が生じている。この誤差について一連の処理を確認した結果、レール内側の推定に誤差が生じた場合に駅ホーム離れの計測誤差が大きくなることが判明した。

図14に離れ計測の誤差が大きい測定Bにおける左レールの推定結果を示す。本来、図中黄色点線で推定されるべきレール内側ではなく、レール外側が内側として誤って推計されてしまうことがわかる。これにより駅ホーム離れを20mm以上過少評価してしまっていることがわかる。なお、同じく離れ計測誤差が10mmを超える測点Eではレール内側ではなくレール踏面を内側として推定していることを確認している。本研究ではハフ変換による直線検出を利用してレール内側を推定しているが、今回の結果によりレールや画像の状態、影などによっては適切にレール内側を検知できない場合があることが判明した。改善策として、マーカの位置推定と同様にDICを用いる方法や複数の直線を推定する方法、複数の直線を候補として抽出したうえで最も内側の直線をレール内側として採用する方法、などが考えられる。

以上の駅ホーム高さ・離れ計測における課題については現在、改善策の試行および計測プログラムへの実装を進めている。これらの詳細については結果が整理でき次第、別紙にて論じることとしたい。

## 5. まとめ

本研究では、列車前方画像を用いた駅ホーム高さ・離れ計測を実現するために、画像奥行き方向の同一平面を認識するための地上マーカを用いた手法を提案した。また、列車前方画像から自動的に駅ホーム高さ・離れ計測を行うアルゴリズムを開発するとともに、実路線での検証試験を実施し、提案手法の精度や有効性、課題について整理した。実路線での検証試験の結果、駅ホーム高さは7箇所のうち5箇所で誤差が10mm以上となった。一方、駅ホーム離れは7箇所のうち5箇所で誤差が目標とした10mm以下であった。また、駅ホーム高さの計測誤差はホームマーカの位置・寸法推定の誤差に起因する一方、駅ホーム離れの計測誤差はレール内側の推定誤差に起因することを明らかにし、それぞれ改善方針を示した。

本研究では、今後の改良が必要ではあるものの、列車前方画像を用いた高精度での駅ホーム高さ・離れ計測を実現できる可能性が示されたと考える。一方で、実運用で利用していくためには本研究で検討した課題以外にもいくつかの留意事項に対応していく必要がある。まず、画像処理を用いる以上、天候などの影響は避けられないが、本研究では昼間の晴天時での試験結果のみの検証となっている。今後、様々な環境条件で試験を実施し、適用条件を明らかにしていく必要がある。同様に、今回の対象駅はほぼ直線のバラスト軌道であったが、曲線やスラブ軌道における適用性の検証も必要となる。そのほか、今回は最も厳しい条件として当該駅を通過する特急列車での試験結果のみを示したが、当該駅で停車する列車や上下方向など走行条件の違いが及ぼす影響についても確認していく必要がある。これらの課題については手法自体の高度化と並行して現在検討を進めており、今回の対象駅での継続的な試験に加え、別駅での試験による検証を予定している。

## 謝 辞

本研究はデジタル技術を用いた設備等のメンテナンスに関する四国旅客鉄道株式会社・公益財団法人鉄道総合技術研究所による共同研究の一環として実施されたものである。

本研究における地上マーカ製作においては株式会社鉄道用品商会 山本氏および株式会社コノエ 大橋氏に多大なご協力をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

## 文 献

- 1) 矢野貴洋, 岩本啓貴, 宇野匡和, 立花拓也, 松岡弘大: 鉄道土木系設備の保守効率化のための実態調査と課題, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.28, No.1, pp.124-127, 2024
- 2) 田尾圭吾, 齋藤航, 片山雄一郎, 川口昭人, 森健矢, 田中博文, 松岡弘大: 鉄道保線系設備の保守効率化のための実態調査と展望, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.28, No.1, pp.128-135, 2024
- 3) 高橋和樹, 下木健児, 三崎友樹, 蝶野武志, 為広重行, 松岡弘大: 鉄道電気系設備の保守効率化のための実態調査と展望, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.28, No.1, pp.136-143, 2024
- 4) 長峯望, 鶴飼正人: 列車前方画像を用いた地上設備の設置位置検討のための視覚シミュレーション手法, 電気学会論文誌 D, Vol.136, No.2, pp.134-144, 2016
- 5) 前田梨帆, 長峯望, 合田航, 坪川洋友, 加藤爽: 列車前方画像を用いた木まくらぎ劣化度判定 AI システムの開発, 電気学会論文誌 D, Vol.144, No.3, pp.79-86, 2024
- 6) 高原恵男, 坪川洋友, 加藤爽, 長峯望, 合田航, 前田梨帆: 列車前方画像を活用した軌道部材状態評価システムの構築, AI・データサイエンス論文集, Vol.5, No.3, pp.769-777, 2024
- 7) 合田航, 糸井謙介, 長峯望, 坪川洋友: ハンディカメラによる列車前方映像からの遊間計測手法, 電気学会論文誌 D, Vol.143, No.1, pp.46-55, 2023

- 8) 田中博文, 趙博宇, 蘇迪, 長山智則: 携帯情報端末を活用した鉄道線路維持管理用の低コストな列車巡視支援方法の実用化に関する研究, AI・データサイエンス論文集, Vol.5, No.1, pp.56-65, 2024
- 9) 流王智子, 河村裕介, 羽田明生, 栗田いづみ: 分野をまたがるメンテナンスデータの統合分析プラットフォームの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.8, pp.51-56, 2022
- 10) 流王智子, 河村裕介: 鉄道向け統合分析プラットフォーム, JREA, Vol.68, No.3, pp.48646-48649, 2025
- 11) カネコ: 可動式ホーム柵用走行式建築限界測定器: <https://www.kaneko-ks.co.jp/products/genkai/ks6022.html> (参照日: 2025年10月4日)
- 12) 青山正博, 中村大輔, 齊藤岳季: 新型ホーム限界測定装置の開発, JR EAST Technical Review, No.17, pp.64-67, 2006
- 13) 木村元哉, 山田裕一, 泉並良二: 光切断法を用いたホーム限界測定装置の開発, 日本機械学会第10回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, No.03-51, pp.199-202, 2003
- 14) 向井鷹則, 栗林賢一, 秋山保行: メンテナンスDXに向けた点群データ利活用に関する開発, JR EAST Technical Review, No.67, pp.25-30, 2022
- 15) 芳賀昭弘, 榎本衛, 石塚弘道, 新井泰, 高井秀之: ホーム付近の建築限界と車両限界の変遷, 鉄道総研報告, Vol.25, No.1, pp.49-54, 2011
- 16) 影山椋, 長峯望, 向嶋宏記: カメラとLiDARセンサを統合した列車前方支障物検知手法, 鉄道総研報告, Vol.35, No.10, pp.17-22, 2021
- 17) 山本耕平, 矢尾板啓, 矢吹信喜: 2台のレール直上レーザスキャナを用いた鉄道建築限界モデル作成手法に関する研究, 土木学会論文集F3, Vol.74, No.2, I\_70-I\_81, 2018
- 18) 松本康寿, 平松孝晋, 上西大樹: 鉄道分野におけるMMS導入とその活用, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.3, No.1, pp.235-241, 2024
- 19) 清水惇, 昆野修平, 箕浦慎太郎, 新田猛: 新幹線軌道における線路周辺画像解析エンジンを用いた建築限界確認, インフラメンテナンス実践研究論文集, Vol.3, No.1, pp.53-61, 2024
- 20) 桶谷栄一, 今西進也, 新名恭仁, 福井義弘: 単眼ステレオ視を活用した列車巡視システムの開発, 土木学会第70回年次学術講演会概要集, VI-147, pp.293-294, 2015
- 21) Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y. and Liao, H.-Y. M.: YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection, arXiv preprint, arXiv:2004.10934, 2020.
- 22) 四井陽貴, 松岡弘大, 貝戸清之: サブピクセル推定誤差発生メカニズムに着目した橋りょう変位の全視野画像計測の実用的改善法, 土木学会論文集, Vol.79, No.15, 22-1504, 2023