

車両側面カメラを用いた安全確認手法

合田 航* 長峯 望* 向嶋 宏記*

Station Platform Safety Check Method for Driver Using Side Camera on Rolling Stock

Wataru GODA Nozomi NAGAMINE Hiroki MUKOJIMA

In recent years, trains equipped with cameras on the side of rolling stock have begun to be introduced to assist driver's safety check work for passengers on station platform in one-man sections. To further improve the utilization of the side cameras, we propose the safety confirmation method that detects the approach of passengers to the vehicle by image processing and notifies the driver of the danger. In this paper, we report the details of the proposed safety check algorithm, its evaluation, and the results of the train running test.

キーワード：車両側面カメラ，ワンマン運転，安全確認，画像処理，ディープラーニング

1. はじめに

現在，ワンマン運転を実施している列車では，旅客の安全確認はプラットホーム上に設置されているホームミラーを使用した運転士の目視によって行なわれている。

これに対して近年，運転士による安全確認の支援を目的として，車両側面カメラを搭載した車両の運用が一部ワンマン運転区間で始まっている。このような区間では，車両側面カメラにより得られた映像を運転台に表示し，乗務員はこの映像を見ることでホーム上の安全確認を行っている。また，将来的にこれらを活用した長編成ワンマン運転や自動運転などの運用を踏まえ，映像の目視だけでなく画像処理技術を用いた安全確認支援技術の需要が高まっている。

鉄道総研ではこれらの背景を踏まえ，安全性のさらなる向上を目指して，車両側面カメラの映像に対して画像処理を施すことで，人物の接近位置情報をリアルタイムで取得し，運転士に通知することでホーム上の安全確認を支援するシステム（図1）の開発を行った^{1) 2) 3)}。本システムにより，ドア開閉時の安全確認の負担が軽減されるだけでなく，ホーム進入時や出発時などの運転士がカメラの映像のみを注視することが難しいタイミングでも安全確認の支援が可能となる。本稿では，この提案す

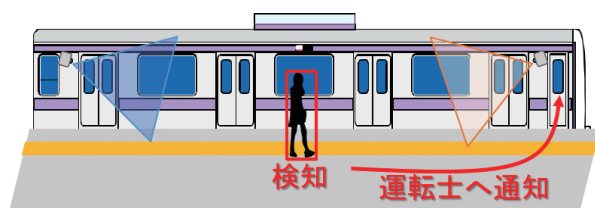


図1 車両側面カメラによる安全確認支援システム

る車両側面カメラによる安全確認手法について試作装置による試験結果とともに報告する。

2. 車両側面カメラの概要

車両側面カメラは，車両の前後左右の4箇所に設置されており，車両進行方向に対して，車両の後方から前方を監視するカメラ（左右）と，車両の前方から後方を監視するカメラ（左右）がある。車両を真上から俯瞰した図を図2に示す。丸のシンボルがそれぞれ車両側面カメラを表しており，三角はカメラが監視している領域を示している。また，車両が同図上方向に走行するとした際に，青い丸が，車両後部に設置したカメラ，オレンジ色の丸が車両前方に設置したカメラである。

運転台に表示するカメラ映像は，車両の進行方向に対して，前方から後方を撮影する映像を表示している。車両が駅に停車し，ドアが開くとカメラ映像が表示され，発車後設定した速度に達すると表示がオフとなる。また，表示される映像はドアが開閉された側（ホーム側）のカメラが表示されるようになっている。

次に，実際の車両側面カメラ設置状況の例を図3に示

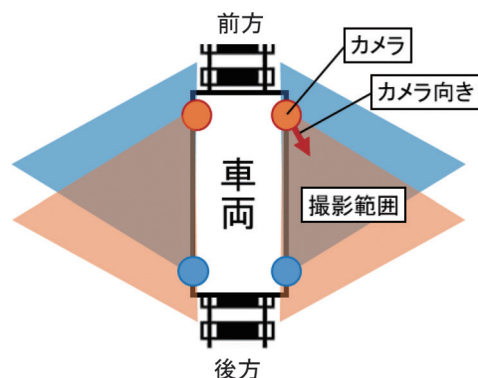


図2 車両全体に対する車両側面カメラの配置

* 信号・情報技術研究部 画像・IT研究室



図3 車両側面カメラの設置状況の例

す。それぞれのカメラの設置条件は、車両ドアの高さ程度に設置されており、斜め下に向けてプラットフォーム全体を監視できるような俯角、画角で設置されている。

3. 提案する安全確認手法

3.1 装置構成

装置構成を図4に示す。図4中、青の実線で接続されている部分は、車両側面カメラを搭載した車両に既に設置されている設備である。本稿で提案する安全確認支援システムは、同図中の紫の線で示した処理装置（GPU搭載）と表示装置の2つの機器を追加設置して接続する構成となる。

本装置構成では、搭載された車両側面カメラシステムに対して装置を追加設置する形となるため、大規模な改修等は不要である。

処理装置については、人物の接近をリアルタイム検知する必要があるため、計算量の多い画像処理に適したGPU（Graphics Processing Unit）を搭載したものを使用

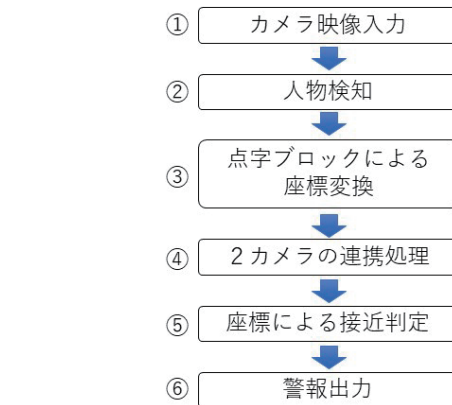


図5 安全確認アルゴリズムの処理の流れ

する。この処理装置によって、車内のネットワークを介してカメラ映像を受信し、映像に映る人物の接近状態を算出、さらに注意／危険（停止）の情報を表示装置へ送信する。

表示装置では、受信した情報をもとに運転士に注意／危険（停止）の表示を行う。ここで、運転士への通知は、さまざまな方法が考えられる。本開発では、表示装置を3種類試作した（図4右）。試作した表示装置は、いずれもリアルタイム表示が可能である。

3.2 安全確認アルゴリズム

提案する安全確認アルゴリズムの処理の流れを図5に示す。以下にこの流れに沿ってアルゴリズムの内容について述べる。

① カメラ映像入力

カメラ映像をネットワークを通じてリアルタイムで取得する。カメラ映像の解像度は1,280 × 720 pixelあるいは960 × 540 pixel程度を想定しており、カメラの設置方法に対応して映像が正しい方向にな

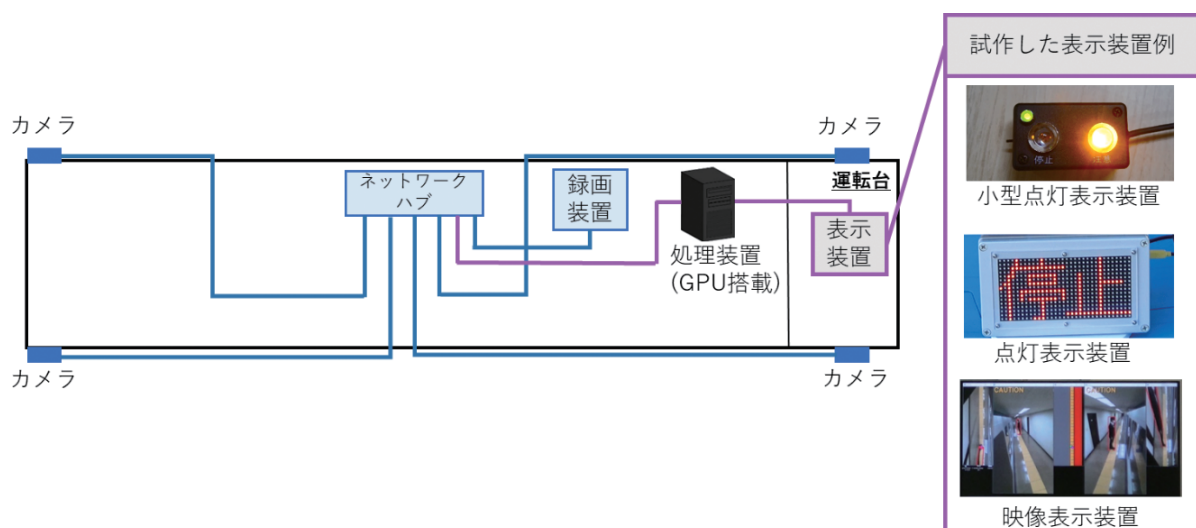


図4 車両側面カメラを用いた安全確認手法の装置構成

るようにプログラム側で適宜回転補正を行う。

② 人物検知

取得されたカメラ映像に対して、ディープラーニングによる人物検知を行う。検知された人物を外接矩形で囲み、この外接矩形の底辺中心を人物の立っている足元座標として算出する。実際の検知の様子を示したものが図6 (a) である。赤い枠線が外接矩形であり、緑の点が足元座標である。

③ 点字ブロックによる座標変換

人物検知された映像に対して、射影変換⁴⁾を用いて、実距離と対応したホーム俯瞰画像を作成する。ホーム俯瞰画像中の足元座標が、人物の位置となり、人物と車両の離隔距離の算出が可能となる。実距離と対応する射影変換を行うためには、サイズが既知である視覚障害者誘導用ブロック（以下、点字ブロック）数個分の四角形を画像中で探索し、これを基準として変換式を計算する。この探索は、事前に手作業で行う必要があるが、車両側面カメラの設置位置が変わらない限りは一度行えばよく、駅のホーム高さが一定の基準で保たれていれば、駅ごとに設定する必要もない。最後に射影変換を行うと図6 (b) のように俯瞰画像が得られる。また、必要に応じて、レンズや設置位置に対する座標の補正処理³⁾を行う。

④ 2カメラ連携処理

2台のカメラを使って、車両長である約20mにおける3ドアの範囲の安全確認を行うため、これらの連携処理を行う。2台のカメラの検知領域を図6 (c) のように車両の半分より少し長い範囲を設定する。これは、カメラに対して人物が遠いほど位置算出精度が低下することから、それぞれのカメラに対して近い領域側を検知対象としたものである。また、2台のカメラの両方の検知領域が重複する部分が車両の中央ドア付近に存在するように設定し、境界付近で検知漏れが発生することを防ぐ。この時、両方の検知領域が重なる部分について、同じ人物を二重に検知する可能性があるが、見落としを防ぐ観点からは安全側の誤差であり、問題がない。

⑤ 座標による接近判定

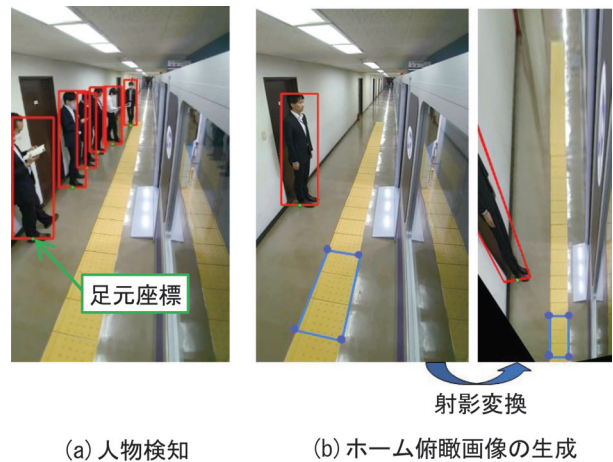
一般的には、点字ブロックの内側は安全、点字ブロック上は注意、点字ブロックの外側は危険（停止）といった考え方がある。しかし、本質的には危険な状態とは人物が車両に接近している状態であるため、判定に関して点字ブロックの内外を基準とするのではなく、車両と人物の離隔距離を基準とする。例としては、車両から100cm（車両とホームの間隔20cm+ホーム端から点字ブロックまでの距離80cmと想定）までを危険（停止）領域、100cm～

140cm（内方線付き点字ブロックの幅40cmを想定）を注意領域、それ以外を安全領域とする基準が考えられる。そのほかにも、車掌の安全確認の分析⁵⁾による基準も考えられる。

⑥ 警報出力

⑤の判定結果に基づいて、リアルタイムで運転士に警報などの通知を行う。

上記のアルゴリズムをフレームごと実行し、人物の接近を車両側面カメラから判定、その結果を運転士に対して通知することで、安全確認の支援が可能である。



(a) 人物検知

(b) ホーム俯瞰画像の生成



(c) カメラ間連携処理

図6 安全確認アルゴリズム

4. 安全確認アルゴリズムの精度評価

4.1 屋内実験による位置算出精度評価方法

3章で述べたアルゴリズムによる処理の精度評価を行うため、1台のカメラを使用して屋内での実験を行った。実験環境を図7に示す。この実験環境では、床面をホーム、壁面を車両側面として模擬しており、カメラ位置を原点として車両接近方向をx軸、車両奥行方向をy軸とする座標系を床面上に定義した。この床面座標のうちグリッドの交わる12点に人物を模擬したマネキンを一列ずつ順に設置し、人物の検出位置の精度評価を行った。

設置したカメラの高さは床面から1.98mであり、実際の車両側面カメラのホームからの高さを模擬している。俯角（床面への角度）は 36.8° 、水平角（壁面からの角度）は 16.6° であり、画角は垂直画角 96.0° 、水平画角が 60.5° である。また映像サイズは 540×960 pixelとした。明るさについては、照度計によって測定し、 $6 \sim 27$ lxであった。これは、JIS照度基準（JIS Z 9110）⁶⁾に示されている、夜間の上屋根の無い駅ホームの明るさ程度である。

射影変換の変換行列を求めるために使用する点字ブロックは内方線付きの $40\text{cm} \times 30\text{cm}$ とし、この点字ブロック8個を囲む4点を入力パラメータとして使用した。

4.2 人物と車両との離隔距離の算出誤差

カメラに対する、y軸方向の距離を2.0m、7.0m、12.0mの3段階に分け、各段階に4点ある計測点でそれぞれ100フレームずつ計400フレームに対する車両との離隔距離算出の平均誤差と最大誤差を求めた結果は、図8のようになる。この結果から、人物の距離が離れるほど精

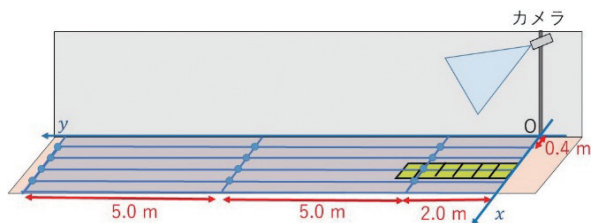


図7 精度評価のための実験環境

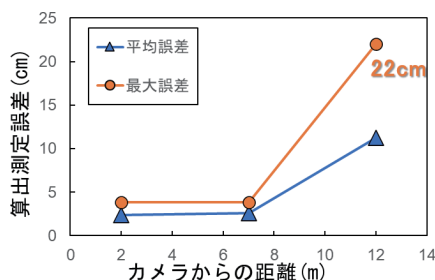


図8 車両との離隔距離の算出誤差

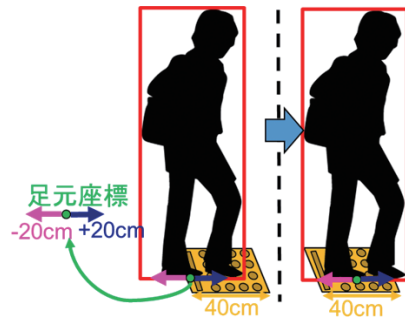


図9 最大算出誤差に対する人物の接近状態

度が低下し、車両長の半分である10mより少し遠い12mまでを検知範囲と仮定すると、最大で22cmの誤差が発生することとなる。内方線付き点字ブロックの幅が40cmであるので、最大誤差はその半分の20cm程度となる。これは、点字ブロックを基準としたとき、誤差が最大時でも点字ブロックの半分程度まで侵入すればその侵入を検知できることを示している（図9）。すなわち、20cmの誤差でも点字ブロックの外側に侵入する前までに、検知が可能であり、実用可能な精度であると考えられる。

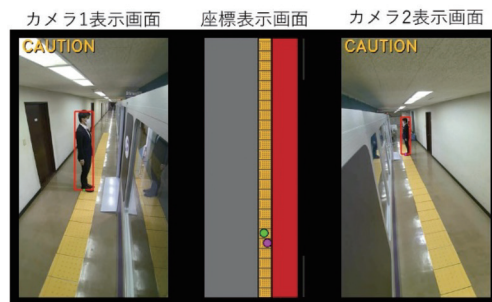
5. 安全確認支援システムの試作装置

5.1 表示装置の試作

検知された結果を運転士に通知するため表示装置の試作を行った。図10(a)の表示装置は、文字と音で通知を行い、大きさは $250 \times 100 \times 150\text{mm}$ である。運転台への設置においては、さらに小型のほうが良い場合があると考え、図10(b)のような光と音で通知を行う小型表示装置の試作を行った。大きさは、 $60 \times 20 \times 30\text{mm}$ である。最後に図10(c)のような、ディスプレイ型表示装置の試作も行った。これは、カメラ映像上の人物を通知するだ



(a) 表示装置（文字と音） (b) 小型表示装置（光と音）



(c) ディスプレイ型表示装置

図10 試作した表示装置

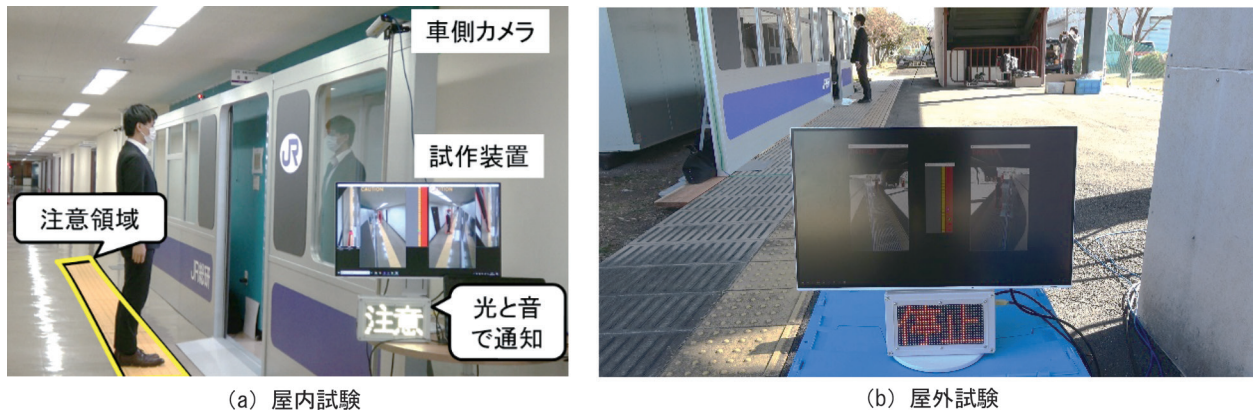


図 11 鉄道総研内での動作確認試験の様子

けでなく、ホームを俯瞰から見た際の人物の座標を表示することで、より直感的に人物接近の把握が可能となる。

5.2 試作装置の動作確認試験

試作装置の動作確認を行うため、屋内、屋外の両方で試験を行った。まず、図 11 (a) のように、屋内でホーム環境を模擬した試験を鉄道総研内で行い、リアルタイム (10fps) で正常に動作することを確認した。次に、図 11 (b) では、鉄道総研の所有する駅環境を模擬した屋外設備を使用し、屋外 (上屋根あり) の日差しが差し込む環境下でも正常に動作することを確認した。



図 12 非干渉性確認試験 (人物は試験関係者)

5.3 車両側面カメラシステムとの非干渉性確認試験

本支援システムは、車両に搭載されている既存の車両側面カメラシステムに対して追加することで、Ethernet を通じて映像を取得している。この時、カメラに対しては、既存の映像表示システムと本試作装置の両方から映像を要求する形となる。この場合にも、干渉せずに正常に動作可能であることを試験によって確認した。図 12 のように、タブレット上の画面が本来の車両側面カメラシステムによる表示画面であり、PC 上の映像が本試作装置の映像である。どちらも正常に動作し、システム同士が干渉しないことを確認した。



図 13 815系の試運転列車 (人物は試験関係者)

また、表示画面や試作装置を途中で ON/OFF しても、相互に影響がないことを確認した。

5.4 実車両による走行試験

試作装置の現車での動作確認を行うため、実車両による走行試験を実施した。試験では、JR 九州 鹿児島本線 (熊本～八代) を試運転列車 (815系) として走行し、駅に停車した際に動作確認を行った (図 13)。

試験で使用した列車は 2 両編成であり、1 両あたり 4 台のカメラが設置されている。ホーム停車時に試作装置で処理するカメラは 2 両分のホーム側である計 4 台である (図 14)。

また、運転台には小型表示装置 (図 10 (b)) とディ

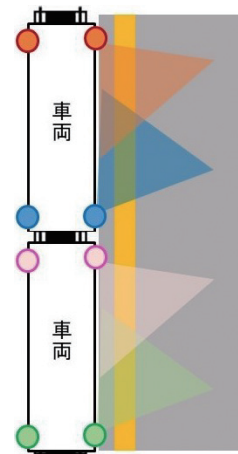


図 14 試運転列車のカメラ設置位置

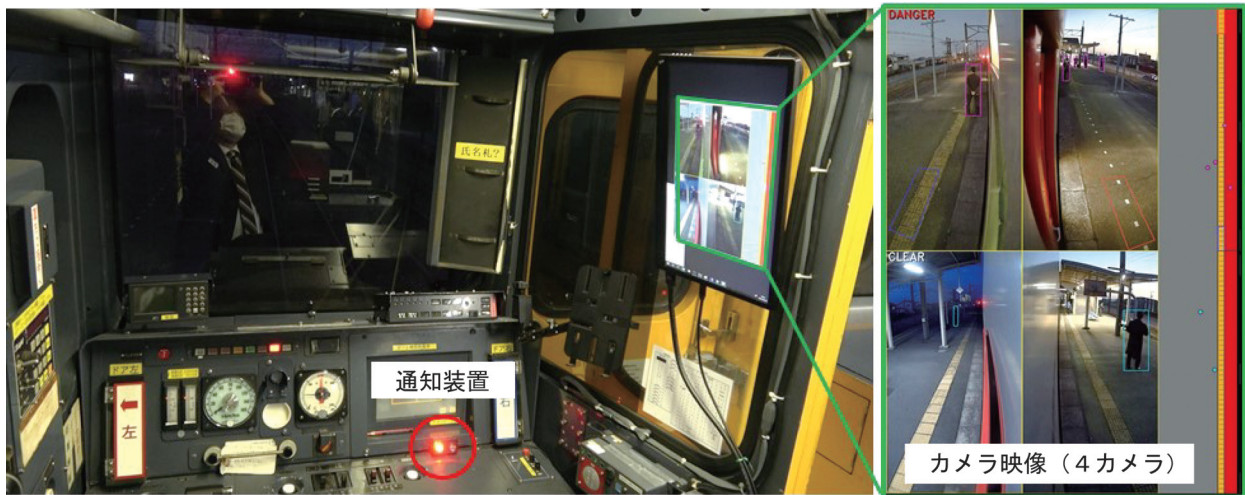


図 15 実車両による走行試験の様子（人物は試験関係者）

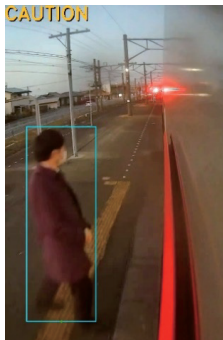


図 16 駅進入時の検知の様子（人物は試験関係者）

スプレイ型表示装置（図 11 (c)）を試験的に設置した。試験時の運転台の様子を図 15 に示す。実際の駅で試験要員の人物が接近した場合にも、試作装置がリアルタイム（10fps）で正常に動作することを確認した。

最後に、列車が駅に進入して停車するまでの動いた状態においても、図 16 に示す通り、検知可能であることを確認した。

6. まとめ

本稿では、ワンマン運転における運転士の支援を目的として、車両側面カメラを用いた安全確認手法の提案を行った。具体的な手法としては、ディープラーニングによる人物検知と実距離に対応した射影変換を組み合わせることによって人物と車両の離隔距離を算出した。これにより、運転士の安全確認の支援を可能とした。提案した手法による検知精度の評価実験を行ったところ、人物と車両の離隔距離は誤差 20cm 程度であり、点字ブロックの外側に進入する前に検知可能であることを確認した。

また、試作装置を製作し、屋内外での試験および実車両による走行試験を実施し、正常に動作することを確認した。

今後は、車載装置化および検知対象の拡大（車いすやベビーカーなど）を行い、実用化に向けて検討を進める予定である。

謝 辞

本研究における走行試験の実施にあたり、九州旅客鉄道株式会社の関係者には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ます。

文 献

- 1) 向嶋宏記, 長峯望, 合田航, 中曽根隆太, 北原康平, 福留健二, 吉村一喜: 車両側面カメラを用いたホーム上の安全確認手法の開発, 電気学会研究会資料 交通・電気鉄道研究会, TER-20-057, 2020
- 2) 合田航, 長峯望, 向嶋宏記, 成松宏樹, 福留健二, 案納亮一, 太田健成: 車両側面カメラを用いたホーム上の安全確認手法の精度評価, 電気学会研究会資料 交通・電気鉄道研究会, TER-20-064, 2020
- 3) 合田航, 長峯望, 向嶋宏記, 成松宏樹, 福留健二, 案納亮一, 太田健成: 補正処理による車両側面カメラの人物検出精度の向上, 電気学会研究会資料 交通・電気鉄道研究会, TER-20-077, 2020
- 4) David A. Forsyth: コンピュータビジョン, 共立出版, 2017
- 5) 河村達彦, 芦高勇氣, 杉田憲亮, 武内寛子, 三宅翔太: 列車出発時におけるホーム上の旅客に対する車掌の安全確認に影響する要因, 電気学会論文誌 D(産業応用部門誌), Vol.141, No.6, pp.438-444, 2021
- 6) 日本産業標準調査会 (JISC) 照明基準総則: <https://kikakurui.com/z9/Z9110-2011-01.html> (参照日: 2021年6月25日)