

車両側面カメラによる安全確認支援装置の開発

合田 航* 向嶋 宏記 長峯 望 (鉄道総合技術研究所)

成松 宏樹 宮浦 祐允 池内 康太 (九州旅客鉄道)

Development of Safety Confirmation Support Device Using Vehicle Side Cameras
Wataru Goda*, Hiroki Mukojima, Nozomi Nagamine (Railway Technical Research Institute)
Hiroki Narimatsu, Yusuke Miyaura, Kota Ikeuchi (Kyushu Railway Company)

The operation of railway vehicles with side cameras has started mainly in the one-man operation section. The driver visually confirms the safety on the platform by looking at these cameras' images. For the purpose of enhancing safety, we have developed the safety confirmation support device using vehicle side cameras. In this paper, we report the safety confirmation support device and the results of an operation experiment.

キーワード：車両側面カメラ，深層学習，人物検出，ホーム
(Keywords, Side camera, Deep learning, Person detection, Station platform)

1. はじめに

列車発車時等のホーム上の安全確認については，これまで乗務員の目視によって行われてきた。これに対して近年では，特にワンマン運転において，乗務員による安全確認をカメラ映像で支援する車両側面カメラを搭載した車両が一部区間で運用され始めている。

一般的な車両側面カメラは，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 1 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。それぞれのカメラの設置条件は，車両ドア

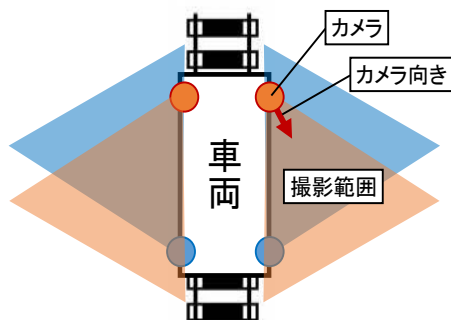


図 1 車両全体に対する車両側面カメラの配置

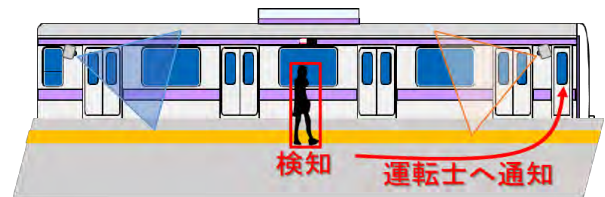


図 2 車両側面カメラによる安全確認支援装置

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。また，車両が駅に進入～進出している間，カメラ映像が表示され，それ以外では表示がオフとなる。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。

このような車両側面カメラを活用してさらなる安全性の向上を目指すため，カメラ映像からホーム上旅客の接近をリアルタイムでディープラーニングにより検知し，乗務員への通知（図 2）が可能な車載装置の開発を行っている。本装置により，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。さらに，開発装置は，コスト，排熱性，車載性等も考慮し，GPU は使用せず CPU のみで処理を行うものとした。

本稿では，これらの車両側面カメラによる安全確認支援手法⁽¹⁾とその手法を実装した安全確認支援装置および実際の車両を使用した動作確認試験，検知対象の拡張に関する検証について報告する。

2. 車両側面カメラによる安全確認支援手法

〈2・1〉全体の処理フロー 車両側面カメラによる安全確認手法は、図3のような処理フローとなり、大きく分けて3つの処理によって構成される。はじめに、取得した1車両から得られるホーム側前後2カメラの映像中に映っている人物をディープラーニングにより検知および追跡する。次にその人物の接近状態を知るため、画像中の座標から実距離の座標へ変換し、車両への接近距離を算出する。最後に、前後2カメラ分の映像から得られた旅客の接近距離に対して事前に設定した閾値から、「注意」や「危険」といった判定を行う。

次節以降で、処理の具体的な内容について述べる。

〈2・2〉人物の検知・追跡 人物の検知には、ディープラーニングによる物体検知アルゴリズムであるYOLOX⁽²⁾を採用した。これは、GPU等の高価な計算リソースがない場合でも、リアルタイム性を損なわず比較的高速に処理が可能であるためである。学習には、鉄道環境を模擬した鉄道総研内の設備である駅シミュレータを活用し独自に撮影した画像と一般的な人物画像のデータセットの合計20万枚程度の画像を使用した。

次に、検知した人物に対して過去の数フレームから同一人物であることを特定し、追跡を行う。追跡のアルゴリズムにはBytetrack⁽³⁾を採用した。Bytetrackによる追跡を行う理由としては、図4のように人物検知の出力で確度(人間らしさ)が過去フレームにおいて高かった人物が遮蔽等により一時的に確度が下がっても、過去フレームから予測できる追跡により位置を推定することで見逃さずに検知することが可能となるためである。

また、将来的には人物が接近してきた際に、追跡により、どのような経路で接近してきたかを判断可能にし、駆け込み等で急激に接近してきたのか長時間接近しているのかといった情報による乗務員支援へも活用できる。

〈2・3〉座標変換 人物の車両への接近距離を算出するた

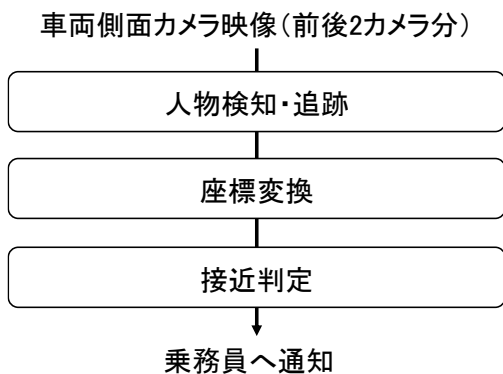


図3 安全確認支援手法の処理フロー

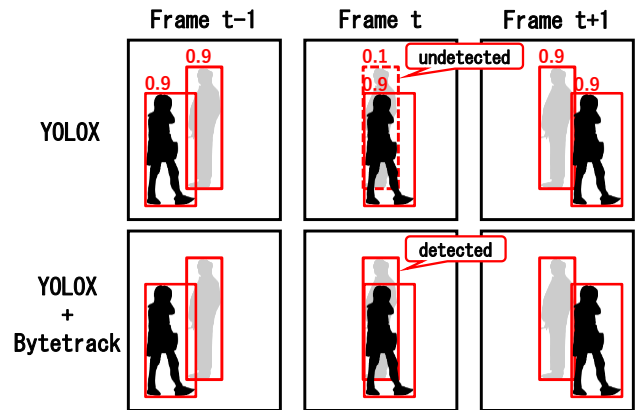


図4 Bytetrackによる追跡のイメージ図 (数字はYOLOXによる検知の確度(0~1の範囲))



図5 車両側面カメラ映像に対する射影変換

め画像中の座標から実距離への座標変換を行う。座標変換には、射影変換⁽⁴⁾を使用する。射影変換では、画像座標系において、撮影された平面上の任意の点 $X_{cam} \in \mathbb{R}^2$ に対して、実平面座標系における対応点 $X_{real} \in \mathbb{R}^2$ とすると、2点間の写像は、ホモグラフィ行列 $H \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ によって

$$\begin{bmatrix} X'_{real} \\ W' \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} X_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

$$X_{real} = \frac{X'_{real}}{W'} \dots\dots\dots(2)$$

と表すことができる。ここで、 $W' \in \mathbb{R}$ は $W' \neq 0$ を満たす任意の実数である。(2)式は(1)式の H を任意に実数倍しても満たすことから、いずれかの要素が1となるように実数 s でスケール変換され8変数で構成される H' により(1)式は以下

に変形できる。

$$s \begin{bmatrix} X'_{real} \\ W' \end{bmatrix} = H' \begin{bmatrix} X_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1)'$$

上式より、未知変数は 8 つであるので、対応する X_{cam} , X_{real} が 4 点存在すれば H' は一意に定まる。

これを利用し、画像上のホーム床面上に存在する点字ブロック (ブロックの数は任意) の矩形の頂点となる 4 点とその点字ブロックの実寸の頂点等の実寸が既知である画像上の 4 点を使用することで画像座標をホーム床面座標に変換することができる。これらの対応する 4 点によって射影変換を行うと図 5 のようになる。今回の変換は図 5 中、青の点と線で囲われた点字ブロック (40cm×30cm)3 つによって行い、1pixel = 1cm となるように変換を行っている。図 5 中ホーム床面画像の足元座標 (緑点) は実空間と対応しているため人物がホーム床面座標上でどこに存在するかが算出できる。なお、点字ブロックではなく AR マーカー等での変換も可能である⁽⁵⁾。ここで、射影変換のための対応する 4 点の情報は、走行区間のホーム高さが乗降の安全のためにおおよそ揃っているため、車両側面カメラの取り付け時や取り付け角度が変わった際のみ 4 点の情報を与えればよい。

(2・4) 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といった考え方がある。しかし、本手法では、点字ブロックの内外ではなく、車両と人物の接近距離を算出している。したがって、通常の点字ブロックによる基準と合うように、車両から 100cm (車両とホームの隙間 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、100cm ~ 140cm (内方線付き点字ブロックの幅 40cm を想定) を注意、それ以外を安全とする判定基準を暫定的に採用している。この判定基準は任意に変更可能であり、点字ブロックの設置位置が駅ごとに異なる場合や点字ブロックが設置されていない場合でも、統一した接近距離という基準で安全性を判定できるというメリットがある。

3. 車両側面カメラによる安全確認支援装置

2 章で述べた手法を車上でリアルタイムに実行するための安全確認支援装置のプロトタイプを製作した。

制作にあたって、コスト、排熱性、車載性等も考慮し、高価な GPU は使用せず CPU のみで処理することを前提とし設計を行った。

CPU の選定には、YOLOX+Bytetrack を使用した際の動作速度を確認し、リアルタイム性を確保するため最大の処理時間が 100ms (10fps) を超えないものを選定した。

実際の装置の外観と仕様を図 6、表 1 に示す。



(a) 安全確認支援装置プロトタイプの前面



(b) 安全確認支援装置プロトタイプの背面

図 6 安全確認支援装置プロトタイプの外観

表 1 安全確認支援装置プロトタイプの仕様

仕様一覧	
入力電圧	DC100V (+10%, -30%)
消費電力	最大 100W
使用温度	-10~50℃
使用湿度	20%~90% (結露無きこと)
外形(W×D×H)	360mm×260mm×70mm
設計質量	5kg 以下
搭載 CPU ボード	CPU : core i7-1185GRE (4Cores) CLK : 1.8GHz TDP : 15W メインメモリ : 8GB
ネットワーク	100BASE-TX 3 ポート (M12D コネクタ)

4. 実車両を使用した安全確認支援装置の動作確認試験

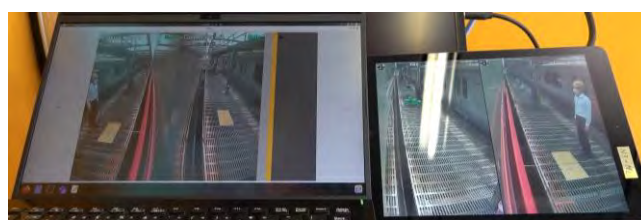
製作した安全確認支援装置のプロトタイプの動作確認試験を行うため、JR 九州の車両側面カメラが搭載された 815 系の車両を使用し、車両センター内で機器の接続を行った (図 7)。

装置による接近判断の基準としては、点字ブロックを一時的に設置し、点字ブロック上を注意領域、さらに車両に接近した領域を危険領域、それ以外を安全領域として設定した。

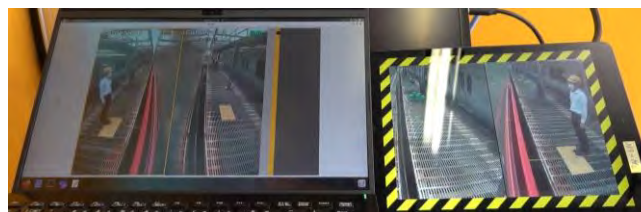
さらに、既設の車両側面カメラシステムと干渉が起きな



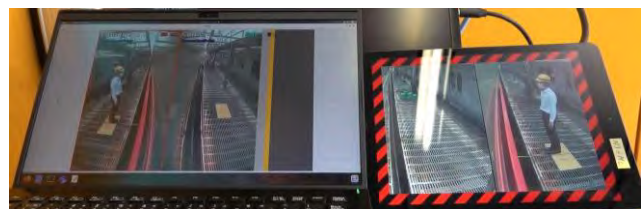
図 7 動作確認試験の様子



(a) 安全領域



(b) 注意領域



(c) 危険領域

【左】処理結果 (デバッグ用) 【右】表示用の iPad

図 8 動作確認試験の様子

いこと、および連携が可能なことを確認するため、接近状態に応じ「注意」、「危険」と判断した際には、実際の車両側面カメラ映像を運転士が見るための iPad に情報を送信し、iPad での発報までリアルタイム (10fps) で実行可能なことを確認した。これらの様子を図 8 に示す。これにより、人物の接近状態に応じて機器が正常に動作し、安全確認支援装置⇄車両側面カメラシステム⇄表示用 iPad における連携と情報の送信が可能になったことが確認できた。

5. 検知対象の拡張

開発した手法および装置を活用し、さらなる安全性の向上を図るため、学習データを追加することで検知対象の拡

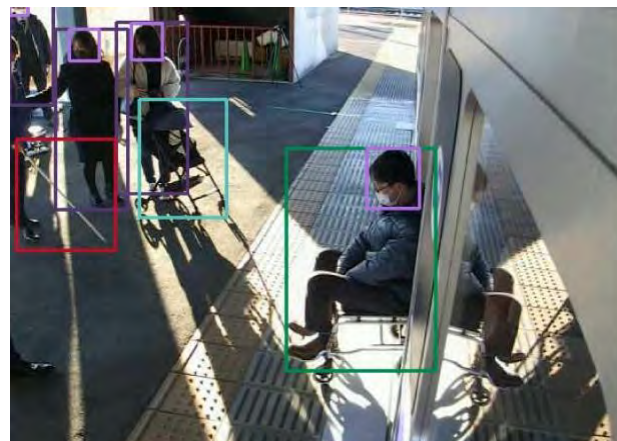


図 9 対象を拡張した検知の様子
(人物、頭部、車いす、ベビーカー、白杖)

張を進めている。検知対象を人物の全身だけでなく、頭部、車いす、ベビーカー、白杖にも拡張し、これらの検知が可能であることを鉄道総研内の駅を模擬した設備で検証した。その様子を図 9 に示す。図 9 より拡張した対象物が検知できていることが確認できる。

6. おわりに

本稿では、車両側面カメラによる安全確認支援手法とその手法を実装した安全確認支援装置および実際の車両を使用した動作確認試験、検知対象の拡張に関する検証について報告した。

今後は、走行試験等を行い、実用化に向け動作確認、性能評価試験を進めていく方針である。

さらに、乗降人数のカウントなどの機能を追加し、利便性にも寄与できる装置の開発を行う予定である。

謝辞

本開発を進めるにあたり、車両側面カメラシステムとの連携等に関して、八幡電気産業株式会社の関係各位に多大なるご協力を戴いた。ここに記し感謝の意を表す。

文 献

- (1) 合田航, 長峯望, 向嶋宏記: 「車両側面カメラを用いた安全確認手法」, 鉄道総研報告, Vol.35, No.10 pp.23-28 (2021)
- (2) Ge, Zheng, et al. "Yolox: Exceeding yolo series in 2021." arXiv preprint arXiv:2107.08430 (2021).
- (3) Zhang, Yifu, et al. "Bytetrack: Multi-object tracking by associating every detection box." arXiv preprint arXiv:2110.06864 (2021).
- (4) David A. Forsyth, et.al : コンピュータビジョン, 共立出版, 2017
- (5) 吉野純樹, 長峯望, 向嶋宏記, 合田航: AR マーカーを用いた車両側面カメラ画像変換パラメータの算出手法, 電気学会研究会資料 交通・電気鉄道研究会, TER-21-067, 2021