画像解析 AI を活用したホーム安全確認手法の開発と検証

小田急電鉄株式会社　遠藤　直人
吉弘　健太
株式会社サイバーコア　玉木　由浩
グイン　クオック　チン

1.　はじめに

近年、鉄道業界では地方を中心に人手不足が深刻化しており、列車の減便や運休といった運行への影響が顕在化している。生産人口減少時代に向けて持続可能な運営体制の構築は、鉄道事業者にとって喫緊の課題であり、業務の省力化・高度化に向けた技術開発・導入が求められている。

小田急電鉄では、中期経営計画の交通領域における重点施策として「持続可能な運営体制の強化」を掲げており、その中でも駅業務の効率化や安全確認作業の高度化に向けて、ホーム上における画像解析 AI の活用の検討を進めている。特に、列車出発時のホーム上における安全確認は、駅係員と乗務員が協力して行っているが、将来的な人員体制の変化を見据え、AI による安全確認の代替・補完が必要と考えている。

以上のような背景のもと、2024 年 8 月 21 日から 2025 年 2 月にかけて、小田急線新百合ヶ丘駅 5 番ホームにて、画像解析 AI を活用した安全確認に資するシステムの実証実験を実施した。本実験では、株式会社サイバーコアと共同開発した「Universal Anomaly Detection(汎用異常検知)」アルゴリズムを用い、列車出発時の危険状態を自動検知する仕組みの構築と検証を行った。

本論文では、画像解析 AI による安全確認手法の開発経緯と実証結果を報告するとともに、検知精度の評価、課題の抽出、今後の展望について考察する。

2.　現行のホーム上の安全確認方法とシステム開発要件

列車出発時のホーム上における安全確認は、図 1 の安全確認フローに従い駅係員と乗務員が基本的に目視で行っているが、ホーム長が長い場合や曲線など見通しの悪いホームなどではカメラ映像を用いて、ホーム全長に渡り確認を行っている(図 2)。

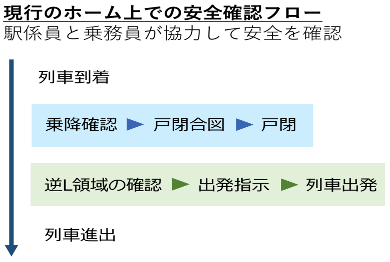

図 1　現行の安全確認フロー

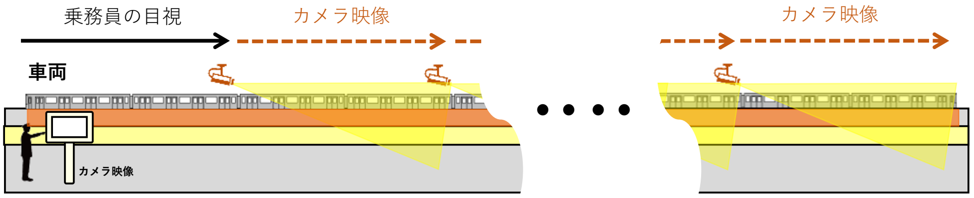

図 2　安全確認方法(10 両編成)の一例

小田急電鉄では、2007 年に発生させてしまった鉄道人身傷害事故を受け、「ホームの黄線より列車側に人がいる場合は、危険であり、列車を出発させてはならない」と危険判断基準を明確化していることから、以下の2つの危険状態を自動検知することを本システムの開発要件とした [1]。1 つ目は、ホーム端の黄色い点状ブロックと車両の間(以下、逆 L 領域)に人物が存在する状態(図 3)、2 つ目は、車両扉が閉まった後に傘や鞄などの物体が挟まっている状態である。

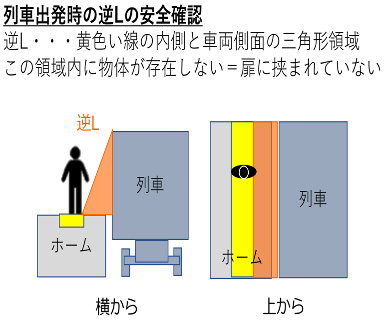

図 3　逆 L 領域の定義

3. システム構成と検知対象

ホーム上の乗客の状況をカメラ映像により確認するには、カメラ本体を車両側面またはホーム上に設置する方法がある。小田急電鉄では、車両側の改造を必要とせず、本導入時の柔軟性と保守性の観点から、ホーム上に設置する方法にて検討を進めている。また、カメラ 1 台では 2 両程度の範囲しかカバーできないことから、ホーム全長に渡り危険状態を判定するには複数台のカメラが必要になる。図 4 のように複数台のカメラがある場合は、人物などが同時に複数の画角に入る場合があり、連携した画像処理が必要であることから、検証には 2 台以上のカメラが必要である。

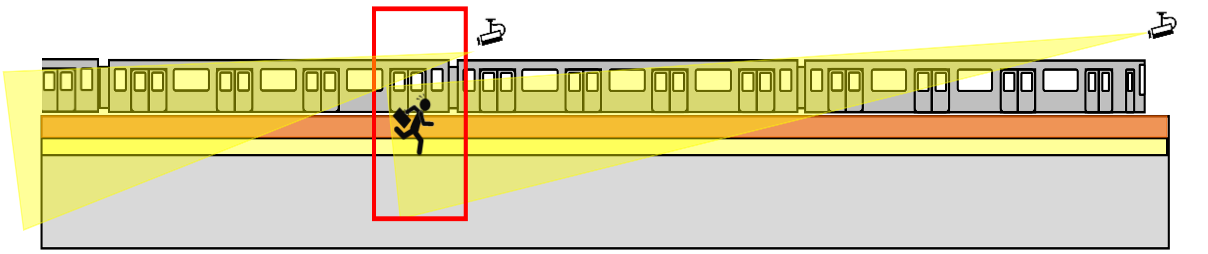

図 4 複数カメラによる連携検知の構成図

本実証実験では、汎用 IP カメラを 2 台ホーム上に設置し、駅事務室内に AI 処理用 PC を配置するリアルタイム映像解析が可能な機器構成を採用した。検知対象は、以下の 4 種類に分類される(図 5)。

(1) 人物(乗客、車椅子利用者、転倒者など)
(2) 物体(傘、鞄など)
(3) 車両(列車の進入・停車・出発)
(4) 車両扉(開扉・閉扉・部分閉扉)

これらの検知対象を統合的に解析することで、危険状態の判定を行う。「逆 L 領域」を危険領域として定義し、この領域内に人物や物体が存在する場合を危険状態と判定する。

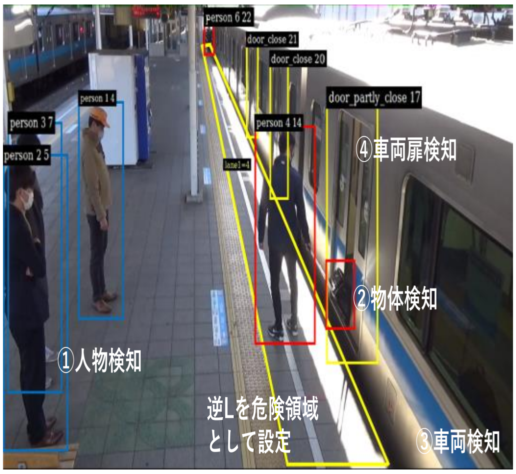

図 5 検知対象と逆 L 領域の定義図

4. AI アルゴリズムの構成と特徴

株式会社サイバーコアがこれまでに開発してきた「DetectEye®」(正例判定技術)をベースに、2023 年度より小田急電鉄社員のホーム上の安全確認ノウハウを融合し、小田急線の既設の監視カメラ映像により強化学習をさせることで、「逆 L 領域に支障する人物の検知」と「扉に挟まれた物体の検知」するアルゴリズム「Universal Anomaly Detection(汎用異常検知)」を共同開発した [2)]。これにより、条件が良ければ、最大 50m先の遠距離においても、人物・物体・車両・扉の状態をリアルタイムに検知することが可能となった。

AI アルゴリズムは以下の 4 つの検知モジュールで構成されている。

(1) 人物検知:逆 L 領域内に人物が存在するかを判定。ホーム端にいる人物や車椅子利用者、転倒者などを対象とし、追加学習により検知精度を向上させた。具体的には、約 300 枚の画像を用いた追加学習とチューニングを実施し、検知率の改善を図っている。

(2) 物体検知:扉に挟まれた傘や鞄などの物体を検知。扉の閉状態と物体の重なりを条件に異常判定を行う。営業時間では通常発生しない挙動であるため、終電後の夜間に撮影した画像を用いて、遠方の車両側面における物体検知の精度向上を図っている。

(3) 車両検知:列車の進入・停車・出発状態を判定。ドア検知が困難な場合でも、車両の動きから状

態を補完する。新たに車両検知 AI を組み込み、ホーム進入やホーム進出などの状態判定をサポートするよう改良している。

⑷ 扉検知:開扉・閉扉・部分閉扉の状態を判定。人物や物体との重なりを検知し、危険状態を識別する。ドアへの人物のかぶさりやホーム柵、高速移動中の車両、雨天などの厳しい条件下でも検知可能となるよう、追加学習によるロバスト性向上を図っている。

これらの検知結果をもとに、状態判定ロジックが構築されている(図 6)。列車の状態(到着中・停車中・発車中)、扉の状態(開・閉)、人物の位置(危険領域内・外)、物体の有無(挟み込みあり・なし)を組み合わせて、危険状態を判定する仕組みである(図 7)。

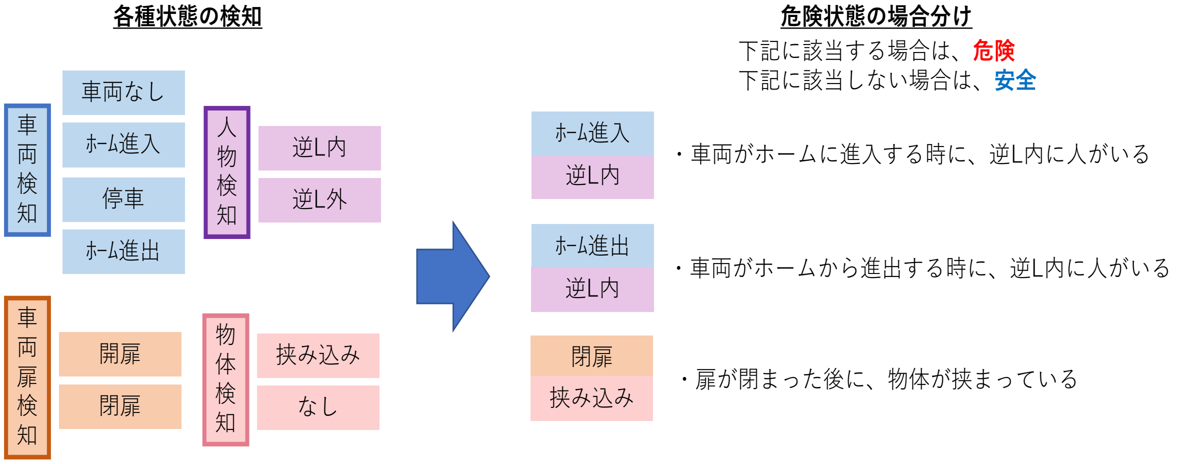

図 6 状態判定ロジック

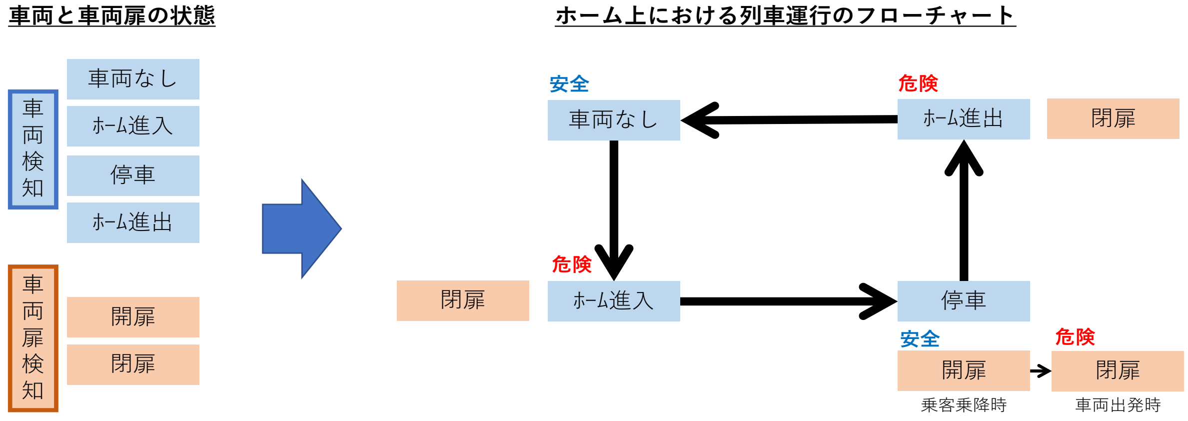

図 7 危険状態の分類図(人物・物体の危険状態)

5. 実証実験の概要と結果

5.1 実施概要

2024 年 8 月 21 日から 2025 年 2 月にかけて、小田急線新百合ヶ丘駅 5 番ホームにて、画像解析 AI を活用した安全確認に資するシステムの実証実験を実施した。新百合ヶ丘駅は 1 日平均乗車人員が 10 万人以上と多く、かつ 5 番ホームが直線で見通しが良好であることから、最初の検証環境として選定した。本実験では、2023 年度から開発を進めている「Universal Anomaly Detection」アルゴリズムが、実際の駅環境で正しく動作するかを確認した。また、複数カメラによる連携検知の有効性についても検証を行った。 なお、物体の扉挟み込みや車椅子利用者、転倒者の検知については、営業時間内において対象事象が発生しなかったため、終電後の夜間に改めて撮影を行い検証および学習を実施した(図 8)。

図 8 検証環境(左:営業時間内による映像、右:夜間検証による映像)

5.2 定量評価

実証実験における AI の性能評価では、以下のような定量的な成果が得られた。

(1) 人物検知:営業時間内における特定時間を対象に精度検証を実施した結果、再現率は 100%を示した。一方で、検知したものが本当に正しかった割合を示す適合率や精度と再現性のバランスを測る F1 スコアにおいても高い数値を得たものの、安全側への誤検知が一部発生したことにより、過剰検知となった。

(2) 物体挟み込み検知:終電後の映像を用いた検証で再現率 100%を確認(図 9)。ただし、営業時間内の実環境では物挟み事象の発生がなく、適合率の測定は未実施である。

(3) 検知時間・処理速度:平均 33ms であり、駅業務に支障をきたさない水準であることを確認した。

図 9 扉挟み検知(左:傘、右:鞄の持ち手)

5.3 検知性能に関する課題の抽出

実証実験を通じて、AI による人物・物体検知において高い精度が確認された一方で、以下のような検知上の課題が明らかとなった。

(1) 人物と扉の重なりによる誤認識:映像内で人物が扉の前に重なった際、扉に物体が挟まれていると誤って検知されるケースが確認された 。

(2) 音止め(走行中の風圧で扉がバタつかないようにするための出入口中央部床にある突起部品)を異物と誤検知する傾向が見られた。

(3) 小物体の検出困難:鞄の持ち手や傘など、細長く一部のみが映像に映る物体については、検知が不安定となる傾向が見られた 。

(4) 姿勢変化への脆弱性:倒れた人物など、骨格が通常と異なる状態では、AI が人物として認識できない場合があった 。

これらの課題は、学習データの偏りや検知アルゴリズムの構造的制約に起因しており、今後の追加学習およびロジック改良が必要である。

5.4 実証実験を通じて得られた検知精度向上の改善策

上記以外の課題に対し、実証実験では以下のような具体的な対策が講じ、一定の改善を確認した。

⑴ 横長検知枠の除外処理：頭部のみが映った人物に対して横長の検知枠が生成され、逆 L 領域を支障することで誤検知が発生する事例に対し、一定以上の横長比率を持つ検知枠を対象外とするとともに後方カメラを併用することで全身を捉え、正確な人物認識を実現した。(図 10)。

図 10 横長検知枠の除外処理

⑵ 危険エリア判定ロジックの改良：改善前の人物検知システムでは、バウンディングボックス（画像内の物体の位置と大きさを囲む、四角形の枠線）下端の中央点（50 ポイント）のみを参照し、当該点が危険エリアに含まれるか否かによって人物の危険状態を判定していた。しかし、この単一点判定では、逆 L 領域外に人物が存在していても、検知枠が逆 L 領域にかかることで誤検知が発生していた。特に、駅員が腕を上げて合図を行う場合や、乗降時に利用者が黄色い点状ブロック上を歩行する場合などにおいて、誤って危険と判定されるケースが確認された。この問題に対し、バウンディングボックス下端上に複数の参照点を設定し(図 11)、列車の進入方向に応じて異なる判定ロジックを適用する「判定ポイント」を導入した。これにより、人物の体幹位置を複数の基準点から推定し、局所的な動作変化やバウンディングボックス形状の揺らぎに対しても安定した判定が可能となることで、駅員の左手を挙げる動作(図 12)や歩行中の重心移動（図 13）に対しても高い検知安定性を示した。

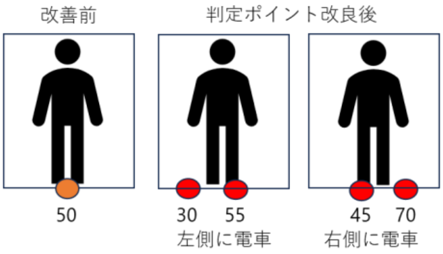

図 11 判定ポイント

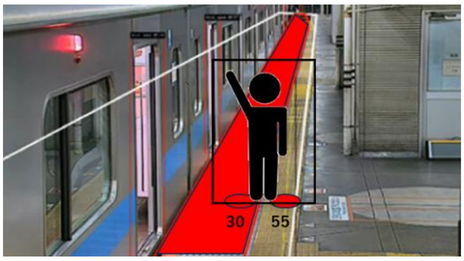

図 12 対象人物が手を左側に挙げた場合

※「30 ポイント」は危険であるが、「55 ポイント」は危険ではないため、この人物は危険ではない

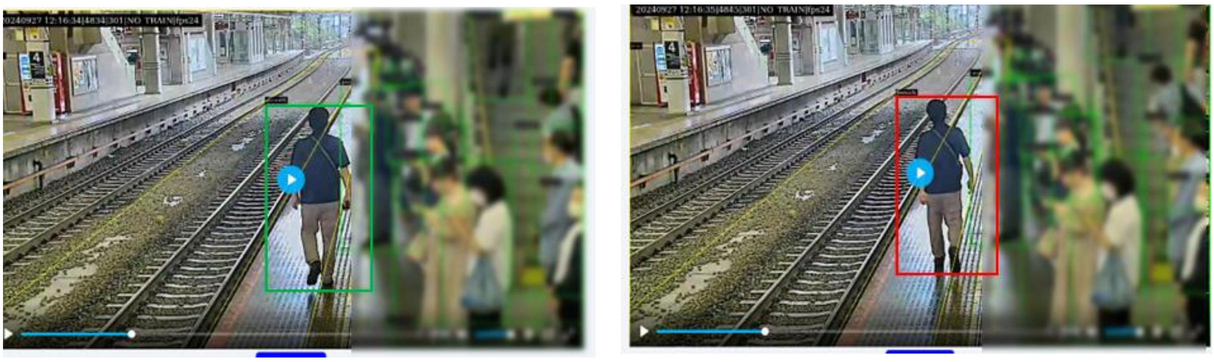

図 13 判定ポイントによる歩行中の人物検知

6. 課題と今後の展開

本実証実験を通じて、特定環境下での画像解析 AI による人物・物体検知の精度は高水準に達しており、ホーム上の安全確認に資する技術としての有効性が確認された。一方で、さらなる精度向上や環境適応性の強化に向けた課題も明らかとなった。今後の展開に向けては、以下の 3 項目に重点をおいて推進していく必要がある。

6.1 多様な環境下での検証の必要性

2024 年度の実証実験は、新百合ヶ丘駅 5 番ホームという直線かつ橋上駅舎という好環境で実施した。

これは見通しが良く、日光や雨の影響を受けにくい理想的な条件であるが、今後の実用化に向けては以下のような環境での検証が不可欠である。

⑴ 曲線ホーム：見通しの悪化や人物の重なりが多くなることによる視認性の低下(図 14)。

⑵ 屋根のないホーム：日光による映像の白飛びや雨天など天候状況による映像品質の低下(図 15)。

⑶ 夜間・早朝の低照度環境：照度変化に強い検知性能の確保が必要。

⑷ ホームドアなどホーム上の旅客と車両の間に遮るものがあった場合の処理方法の確立

これらの条件下での検証を通じて、AI のロバスト性と汎用性を高めることが、今後の展開において重要なステップとなる。

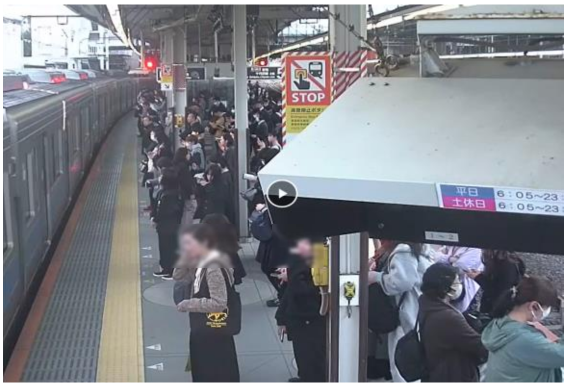

図 14 曲線ホーム

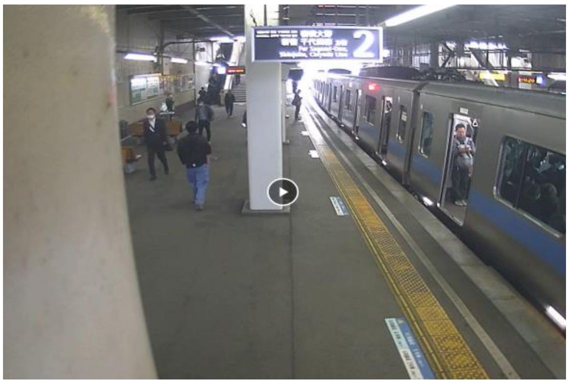

図 15 日光による映像の白飛び

6.2 運用現場への展開と応用可能性

本技術は、ホームドアの有無にかかわらず、列車出発時における安全確認の支援に活用可能である。特に以下のような場面での導入が期待される。

⑴ ホームドア未設置駅：駅係員・乗務員の目視確認を補完し、安全性を向上。

⑵ ワンマン運転導入駅：乗務員の負担軽減と出発判断支援。

⑶ 混雑駅：迅速な安全確認による定時運行の確保。

⑷ バリアフリー対応：車椅子利用者やベビーカーなどへの配慮強化。

さらに、駅構内の異常行動検知や、複数カメラによる人物追跡(Re-ID)技術との連携により、包括的な安全管理システムへの発展も視野に入れている。これにより、駅係員・乗務員の負担軽減とともに、持続可能な運行体制の構築に寄与することが期待される。

6.3 総括と展望

本研究では、画像解析 AI を活用した安全確認に資するシステムの構築と実証を通じて、鉄道現場における AI 技術の有効性を示すことができた。特に、逆 L 領域における人物検知や扉挟み込みの物体検知といった AI が定量的かつ即時に検知できる点は大きな成果である。

今後は、検知精度のさらなる向上とともに、環境別の適応性検証、危険状態を検知した場合の乗務員や駅係員への通知方法を含めた列車出発体制の検討、他駅への展開を通じて、社会実装に向けた取り組みを加速させる必要がある。本技術は、鉄道業界が直面する人手不足や安全性向上の課題に対し、持続可能な解決策を提供するものであり、一日でも早い本システムの実用化に向けて取り組んでいく。

【参考文献】

1） 小田急電鉄株式会社，安全報告書 2008，P15-16，2008-9

2） 堀田 健仁，グイン クオック チン， プリマ オキ デイツキ アルディアンシャー．全天球画像を用いた自動外観検査手法の検討．JST，Vol 50，2022．