

特殊信号発光機 見通し自動確認システムの開発

技術開発部 信号通信技術チーム 保安システムグループ グループリーダー 関口 正宏
 技術開発部 信号通信技術チーム 鉄道通信グループ 主幹研究員 吉岡 龍一

1 はじめに

当社の在来線では、踏切などで異常が発生した際、付近の列車の運転士に異常を知らせるため、特殊信号発光機（以下、特発）を全線に設置しています（写真 1）。特発は、主に踏切付近に設置されており、踏切非常用押しボタンが押された場合や、踏切内で動けなくなった自動車を検知した場合などに赤色灯を発光する設備です。運転士は、特発の明滅する赤色灯を確認した場合、直ちに停止手配をとることで、列車を安全に停止させます（図 1）。そのため、特発は運転士が最長 800m 手前から継続的に視認できるような状態に保つ必要があります。直線箇所などの見通しの良い区間では、遠方からでも踏切付近に設置した特発 1 基のみで視認できますが、曲線箇所など、1 基では継続して視認できない場合は、中継する特発を設け、継続して視認できるようにしています（図 2）。このように特発は踏切道内の安全確保のために重要な役割を果たしており、草木などで特発の見通しが阻害されることのないように、維持、管理する必要があります。現在は徒歩巡回のほか、検測車（ドクター東海）で撮影したカメラ映像の確認、係員が列車の先頭に添乗しての確認により、特発の見通しが阻害されていないか定期的に確認しています。しかし、特発は約 8,000 基と数が多く、沿線に広く設置されているため、確認作業には多大な労力を要しています。そこで技術開発部では、将来の労働人口の減少を見据え、効率的な業務執行体制の構築を目的とした業務改革の一環として、AI、画像処理技術を活用し、地上設備を改良することなく、特発の見通し確認を自動で判定するシステムの開発に取り組んできました。本稿では、今回開発したシステムの概要について紹介します。



写真 1 特発の例（左：五灯形、右：単灯形）

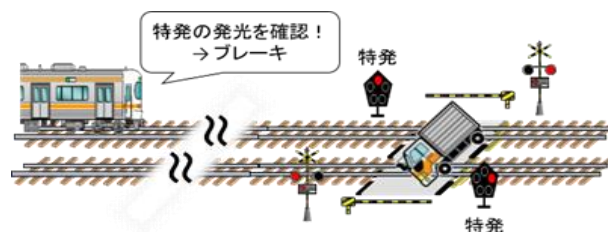
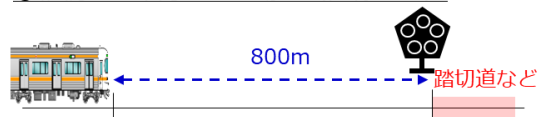


図 1 特発の発光と停止手配の流れ

①継続して確認できる場合（直線区間）



②継続して確認できない場合（曲線箇所等）

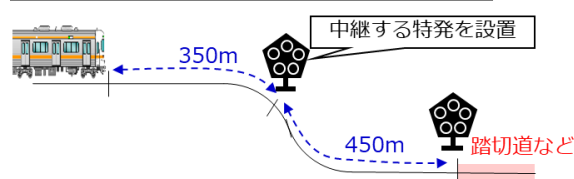


図 2 特発の設置例

2 見通し自動確認システムの全体構想

見通し自動確認システムの全体構想を図 3 に示します。列車の前方映像を取得し、AI、画像処理技術を活用することで、見通しの良否を自動で判定します。

まず映像の取得では、先頭車両の前面ガラスに望遠、広角の 2 台のカメラを取り付け、列車の前方映像を取得します。本システムで最長 800m 先の特発を検出す

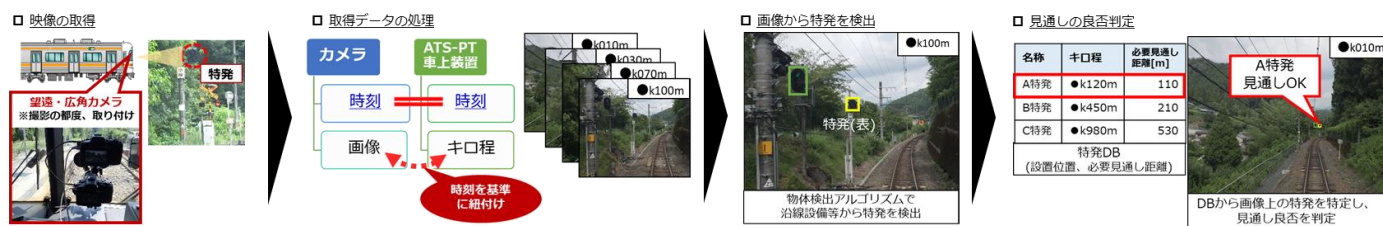


図3 見通し自動確認システムの全体構想

るためには、高精細な画像が必要になるため、望遠カメラを使用しています。しかし、望遠カメラだけでは画角が狭く、特に曲線箇所では数百 m 先の特発でも画角内に捉えることが困難な箇所がありました。そこで、より広範囲の画像を得るための広角カメラを加え、2 台で列車前方映像を取得することにしました（図 4）。

次に取得データの処理では、取得した映像（動画）を画像（静止画）に変換するとともに、画像に写った特発がどの特発であるかを特定するため、画像ごとに撮影箇所の位置情報（キロ程情報）を付与します。キロ程情報を付与する方法としては、画像上から列車が動き出した時刻を検出し、ATS-PT 車上装置が持つ列車の動き出しの時刻と同期させることで、車上装置が持つキロ程情報を付与します。この列車が動き出したキロ程情報をもとに、全画像へキロ程情報を付与します。今回、画像上での列車の動き出しの検出には、オプティカルフロー²を用いました（図 5）。

次にキロ程情報を付与した画像から特発を検出するために、画像に対して機械学習を用いた画像処理技術（物体検出アルゴリズム）による推論処理を行います。特発を検出するための推論モデルの学習用画像には、これまで撮影した画像を使用しました。特発五灯形と特徴量が似ている他の信号機が沿線に多数存在しており、特発でない物体を誤って特発として検出することを避けるため、学習用画像には特発だけでなく、特発と類似度の高い信号機も別クラスとして定義しました。アノテーション³済みの画像のうち、約 9 割を学習用、残り 1 割をモデル性

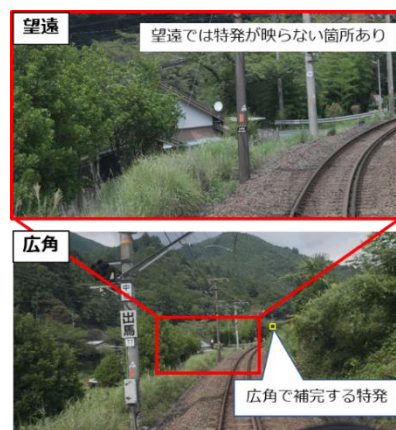


図4 カメラの違いによる画角の例

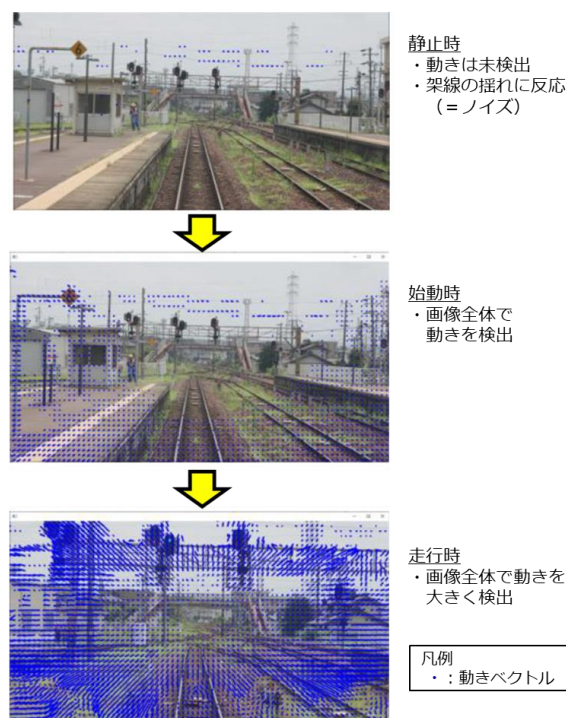


図5 オプティカルフローによる列車の動き出し

¹ 線区の起点駅からの距離情報

² 連続する画像から物体の動きを算出する技術

³ データ（画像）に、検出したい物体の情報（今回の場合は、特発やその他信号機の情報）を付与する作業

能検証用として使用しています。推論処理により、画像中に赤枠にて特発（表面）が検出されたことを図 6 に示します。

最後に、検出した特発に対して必要な見通しが確保されているか良否判定を行います。この際、特発ごとに必要な見通し距離は設置環境に応じて異なるため、検出した特発がどの特発であるかを特定します。具体的な特定方法は、まず、特発ごとの「特発名称、設置キロ程、必要見通し距離」のデータベース（特発 DB）を用意します。次に撮影位置であるキロ程情報と画像上のピクセル数から特発までの相対距離を算出します。特発の大きさは既知であるため、画像上の特発の大きさ（ピクセル数）が分かれば、式（1）より対象物の相対距離が算出できます。（ d ：相対距離[mm]、 w_r ：カメラの水平解像度、 w_s ：特発の横幅[mm]、 f ：レンズの焦点距離[mm]、 w_t ：特発の画像上の大きさ（ピクセル数）、 w_p ：カメラセンサの水平サイズ[mm]）

$$d = \frac{w_r w_s f}{w_t w_p} [mm] \tag{1}$$

これより、画像に付与したキロ程情報に、算出した相対距離を加減算することで特発の設置位置（設置キロ程）が推定されます。特発 DB の設置キロ程の中から、推定した特発設置キロ程と最も距離が近い特発を照合することで、画像中の特発が特定されます。特発の特定後は、画像毎に検出した特発の確信度（画像に写っている物体が特定のクラスに属している可能性を示す確率の値）や色情報を用いた異常判別など、複数のアルゴリズムを組み合わせて見通しの良否判定を行います。最終的な特発毎の見通しの良否判定は、見通し範囲内にある各画像の良否判定結果をもとに、見通し範囲内で連続して特発の視認が出来ているかを判定します（図 7）。判定の結果、例えば、草木が特発の見通しを障害している場合には、当該の不良箇所の映像とともに、保守区へ伐採等の処置をするよう通知します。

3 フィールド試験の評価結果

2024 年度に飯田線豊橋駅から飯田駅までの列車前方



図 6 推論処理による特発検出結果

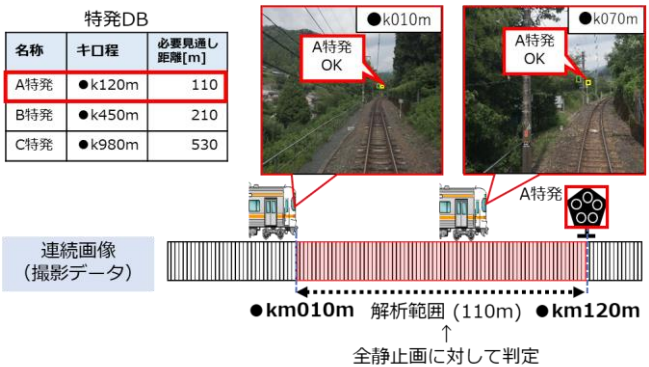


図 7 見通し良否判定のイメージ

映像を撮影し、システムによる見通し良否判定を行いました。システム判定精度の分析のため、システムでの判定結果（映像）を目視で確認し、以下の 4 つに分けて集計しました。

- ①システム判定 OK かつ 目視確認 OK } 正判定
 - システム判定 NG かつ 目視確認 NG }
 - ②システム判定 OK かつ 目視確認 NG → 誤判定 A
 - ③システム判定 NG かつ 目視確認 OK → 誤判定 B
- システム判定と目視確認の結果が一致した確率（正判定率）は約 90%であり、高いシステム判定精度を確認できました。一方で、誤判定としてはシステム判定 OK・目視確認 NG（誤判定 A）率が約 2%、システム判定 NG・目視確認 OK（誤判定 B）率が約 8%となりました。また、①の正判定のなかには、確認対象の特発が視野外や草木などで隠れている場合であっても、近傍の別の特発へ判定対象が乗り移り、見通し OK とする事例（以下、乗り移り）が確認されました。今回の場合、判定対象が

乗り移り後も、もとの判定対象の特発の見通しが OK であったため、結果的に正判定となりました。しかし、実運用では、システム判定 NG の特発は目視による映像確認を行います。システム判定 OK の特発は映像確認を行わないため、乗り移りの事例は見過ごされることになり、危険側の判定になる可能性があります。このため、②③の誤判定に加え、①の正判定のうち乗り移りをピックアップし、課題として整理することにしました。結果的に乗り移り事例は、正判定のなかに約 2%含まれていました。

本システムを実際の見通し確認作業に置き換えるため、本来確認しなければならない特発が確認できない「システム判定 OK・目視確認 NG（誤判定 A）率及び正判定 システム不良率 0」を目指しています。そこで誤判定 A やシステム不良が発生した事例を分析したところ、誤判定 A やシステム不良の大部分は、推論モデルの改良や異常判定アルゴリズムの深度化により改善が見込まれると考えています。一方で、複数の特発が近接している場合など、現在のアルゴリズムでは正しく判定することが難しいケースがわずかながら存在することがわかってきました。今後は 2024 年度の飯田線でのフィールド試験にて得られた改善点を検証するとともに、改善が難しい特発については運用面でのカバーを含め、「システム判定 OK・目視確認 NG（誤判定 A）率及び正判定 システム不良率 0」を目指し、実運用に向けシステムのブラッシュアップをしてまいります。

4 おわりに

本稿では、将来の労働人口の減少を見据え、作業の省力化を目的とした、特殊信号発光機の見通し自動確認システムの開発について紹介しました。今後は、在来線全線において営業列車で試使用を開始し、更なる精度向上など本システムの活用に向けた検討を進め、実作業への導入を目指します。



関口 正宏
信号通信技術チーム
保安システムグループ
電気学会員

画像解析を行う AI 技術を活用し、設備点検の自動化・高度化、信号システムの安全性向上に貢献していきたいと考えています。



吉岡 龍一
信号通信技術チーム
鉄道通信グループ

今後も新たな技術を応用して、持続可能な鉄道システムの構築に貢献できるよう技術開発に取り組みます。