

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 目に見えない光で信号設備の見通し検査をする

特殊信号発光機は、主に踏切に設置され、異常時に赤色に点滅発光することによって運転士に異常を知らせて列車を停止させるもので、踏切の安全を確保する上で重要な信号設備です。したがって、運転士により遠方から特殊信号発光機が見える状態であること（見通しを確保すること）が安全上重要になります。現在の見通し検査は、夜間に地上作業員の目視によって行われているため、人的・時間的コストが多くかかっています。これを解決するために開発した、目に見えない光を用いて日中帯に車上から特殊信号発光機の見通し検査が可能な「見通し検査システム」について紹介します。



**長峯 望**  
Nozomi Nagamine  
信号・情報技術研究部  
信号システム研究室  
主任研究員  
[専門分野] 画像処理,  
信号システム



**鵜飼 正人**  
Masato Ukai  
信号・情報技術研究部  
主管研究員  
[専門分野] 画像処理,  
画像認識, 情報処理



**中曽根 隆太**  
Ryuta Nakasone  
信号・情報技術研究部  
信号システム研究室  
研究員  
[専門分野] 画像処理,  
信号システム

## はじめに

近年、自動車の分野では、自動運転に関する技術開発が盛んになされており、中でも画像を利用した前方監視技術が注目を集めています。鉄道においても、現在、運転状況記録装置として、列車前方を記録撮影するカメラの導入が進められています。このようなカメラで得られる列車前方の画像を、運転状況の記録以外の用途に利用することにより、列車運行の安全性の向上およびメンテナンスに対するコスト低減などへの貢献が期待されます。また、カメラを使うと、これまで運転士などが担っていた役割の一部をコンピューターに置き換えることが可能となるため、作業員の負担や誤りを減らすことも期待されます。ここでは、列車前方の画像を用いた検査の省力化の具体例として、人間の目に見えない光と特殊カメラを用いた信号設備（特殊信号発光機）の検査への適用について紹介します。特殊信号発光機は、赤色の光が棒状に点滅する「点滅形」と、回転点灯する「回転形」がありますが、ここでは、「点滅形」を対象として開発を実施しました（図1、図2）。

## 特殊信号発光機の見通し検査の現状

踏切支障などの列車運転に支障する事態が発生した場合に、その異常を運転士に伝え緊急停止させる手段として特殊信号発光機があります。特殊信号発光機は、踏切支障報知装置（押しボタン式）、障害物検知装置、限界支障報知装置、落石警報装置などと連動して発光信号を現示するものであり、安全確保のための重要な設備です。したがって、運転士により遠方から特殊信号発光機が見える状態であること（見通しを確保すること）が安全上重要になります。

また、信号が常に現示されている常置信号機とは異なり、列車を停止させる必要が生じたときのみ信号を現示するため、特殊信号発光機が正常に現示されること、正しい方向を向いていること、見通せていることを平常時に運転士が確認することはできない設備となっています。

特殊信号発光機は、支障している箇所までに停止することができる距離以上の視認距離を有するものとされています。たとえば、ある鉄道事業者にお



図1 特殊信号発光機  
(点滅形)



図2 特殊信号発光機(回転形)  
株式会社三工社HPより

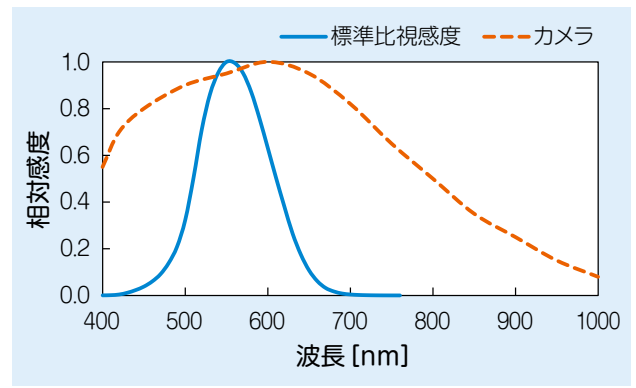


図3 人とカメラ(一例)の波長に対する相対感度

いては、800m以上の視認距離が必要となります。特殊信号発光機の見直し検査は、新設や交換、または定期検査などの際に地上作業員の目視によって行われており、確認の際には、発光機を実際に発光させて肉眼で確認する必要があります。しかし、発光させると列車運行に影響を与えることから、多くの場合、夜間に検査する必要があります。そのため、検査には、人的・時間的コストが多くかかっていました。また、このような従来の「見える」か「見えない」といった検査が、作業員の主観に依存しているため、客観的な評価とは言えません。さらに、特殊信号発光機の設置総数も相当数にのぼるため、高効率な見直し検査手法の開発が強く望まれています。

上記の問題解決として、運転時間帯でも列車運行に支障を与えず、かつ、作業員の主観によらず定量的に確認するために、人間には見えない(☞参照)近赤外線という不可視光線のLEDを用いて、特定周期で点滅させる機能を有する特殊信号発光機と、その点滅を特殊カメラで撮影して列車運行に支障せず効率的に検査する「見直し検査システム<sup>1),2)</sup>」を開発しました。

### 人間とカメラの感度特性

人間の目が光の波長ごとに感じる明るさの大きさを比視感度といいます。比視感度には個人差があるため、国際照明委員会(CIE)が標準比視感度を定

めています。標準比視感度では波長555nmを中心とした山状の感度曲線となります。

カメラの感度特性は人間よりも広帯域であり、一般に300nm~1200nm程度まで感度があるものがあり、ピーク波長はカメラによって異なります(図3)。カメラのセンサーにおけるピーク波長の感度を“1”としたときの波長ごとの感度を相対感度といいます。

この感度の違いを用いることで、人間の目には見えなくとも見直し検査の実施をすることが可能となります。

### 見直し検査システムの基本構成

運転時間帯でも列車運行に支障をきたさずに見直し検査をする方法として、不可視光線を特殊信号発光機から送信/発光し、その到達状態を確認する方法が考えられます。不可視光線は特殊カメラを用いることで結果が可視映像として得られるため、誤検知や未検知

といった事象が発生した場合に人間が映像を見ることで容易に状況の確認ができます。

不可視光線としては紫外線側と赤外線側(☞参照)がありますが、紫外線側は人体への影響が危惧されるので、LEDを用いて赤外線側の波長の光を発光させる方式を採用しました。入手のしやすさや、カメラの感度特性は波長が長くなるにつれて低下することを考慮し、ピーク波長940nmの近赤外線LEDを用いることとしました。受光側についてはLEDのピーク波長に感度を有する近赤外線対応のカメラおよびレンズを用いることにしました。

普通に点灯した近赤外線LEDを800m離れた地点から、近赤外線の帯域に感度のあるカメラで撮影した場合、集積させたLEDの形状を多少変化させても、映像中ではほとんど点のような状態(ドット)としてしか映りません。また、太陽光には可視光以外にも

#### ☞ 可視光線

電磁波のうち、人間の目に見える波長のものを可視光線といいます。JIS Z 8120では、可視光線の波長範囲の短波長限界を360~400nm、長波長限界を760~830nmとしています。可視光線より波長の短いものを紫外線、長いものを赤外線と呼んでいます。紫外線や赤外線も、人間の眼には見えませんが「可視光線」と物理的性質が同じ電磁波です。

#### ☞ 紫外線と赤外線

可視域の中での最短波長よりも短い波長の電磁波は紫色の光(360~400nm)の外側の波長の光であるので「紫外(ultra-violet)」と呼ばれています。また、可視域の中での最長波長よりも長い波長の電磁波は赤色の光(760~830nm)の外側の波長の光であるので「赤外(infra-red)」と呼ばれています。また、紫外線と赤外線を総じて不可視光線と呼ぶこともあります。

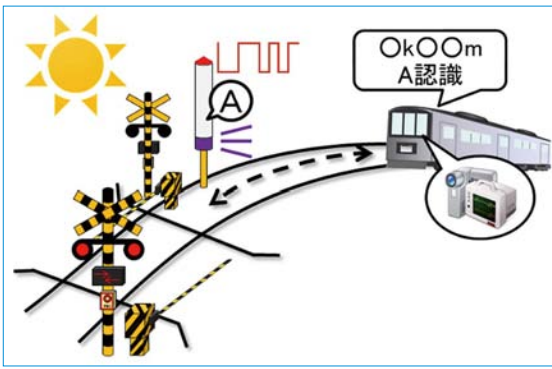


図4 見通し検査システムの概念図

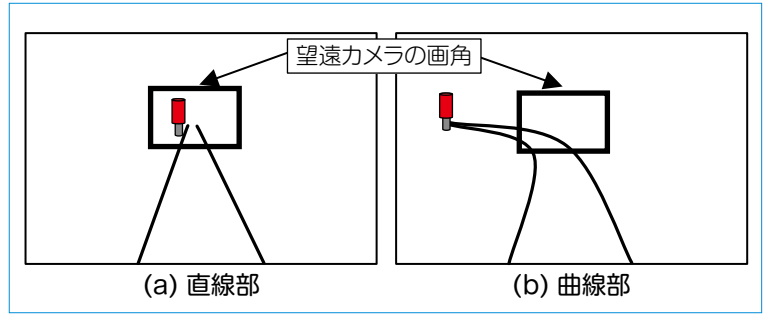


図5 曲線区間において視野が外れる様子

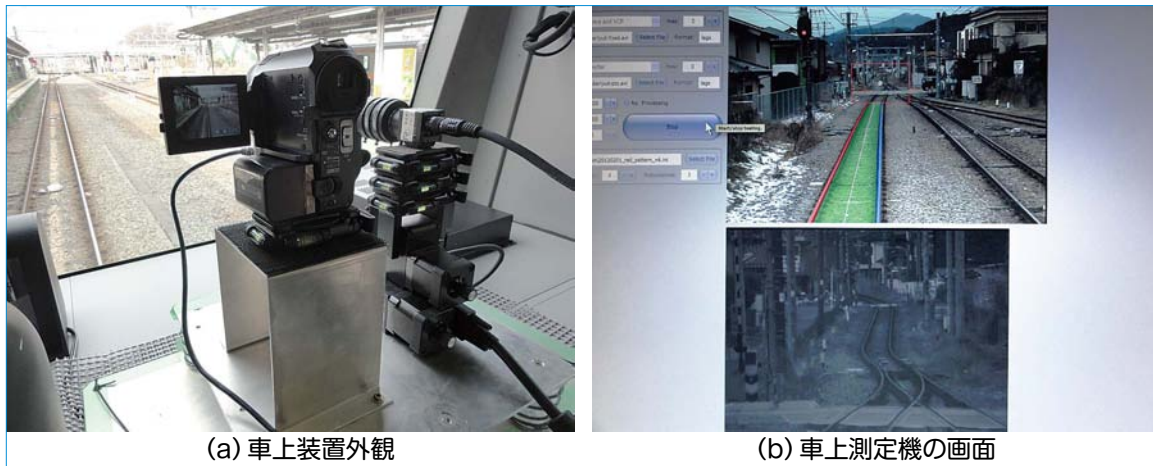


図6 車上装置

赤外線長波長光も大量に含まれていますので、LED光源を単純に点灯させただけでは、太陽光に含まれるこれらの周辺光と区別して認識することは困難です。さらに鉄道沿線においては、目標の特殊信号発光機以外に信号機や標識、沿線の店舗のネオン、街灯など、さまざまな波長の光が混在しています。このように外乱光が多い中で、近赤外線LEDを正しく認識し、検知する必要があります。そこで、近赤外線LEDを特定のパターンで点滅させ、その点滅パターンを画像処理にて認識することで外乱の影響を受けず、当該LEDを特定することで見通し検査を行うこととしました。この手法の基本的な概念は可視光通信分野におけるイメージセンサー通信と同等ですが、認識距離が遠方であること、できる限り広範囲を撮像すること、検査結果として映像ログを残すため高速度カメラを使用しないこと、複数の送信源(特殊信号発

光機)を区別して認識すること、といった観点から他のイメージセンサー通信とは異なっています。

検査システムの概念図を図4に示します。特殊信号発光機が「自分は特殊信号発光機である」というID (identification)を“0”or“1”の01のビット列に変換した符号に基づいて、近赤外線LEDをON/OFFさせ、この点滅を列車運転台に搭載した近赤外線カメラで撮影し、撮影映像を画像処理することにより点滅IDを認識します。IDを認識できた場合に、その特殊信号発光機の見通し検査を「良」とします。すなわち「特殊信号発光機」という電文(データ)を車上に送り、電文を受けられるかどうかで見通し検査をするものです。この際、特殊信号発光機ごとにIDを変えることで、10cm程度まで隣接していても個体識別して認識することが可能ですが、あまりに多種類の特殊信号発光機IDを設定可能に

すると、現場設定の管理が煩雑となってしまうため、保持するパターンを2つのパターンのみとしました。基本パターンを“A”とし、システムによる検査がうまく行かない場合などの特別な事情があれば“B”パターンを例外的に設定可能としました。

### 近赤外線カメラの視野制御

望遠をしない広角カメラで800m先を見ると、撮影画像の1画素あたりの横幅が数10cm～1mとなり、特殊信号発光機が1画素以下に埋もれてしまうため、点滅させたとしても認識することは困難です。そのため、検査装置側は望遠カメラを用いて撮像しますが、望遠カメラを使用した場合、画角は、数度程度の狭角となります。このような望遠カメラで前方を見た場合の撮影範囲は図5(a)に示すような運転台からの視線の中央の四角で囲った範囲の部分となり、全体を撮影できませ

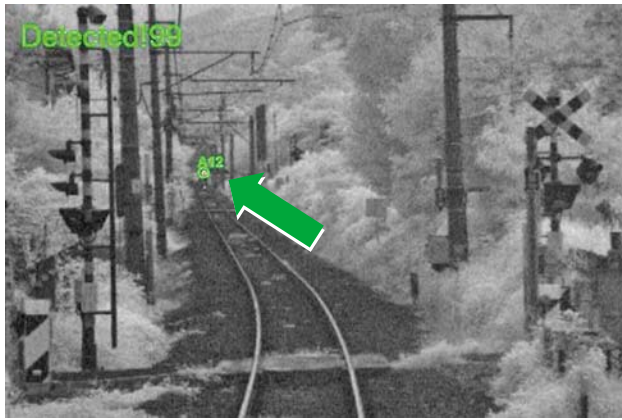


図7 検知結果の例(正常に検知)

ん。直線区間ではこの図のように遠方においても運転士の注視点を捕捉できていますが、図5(b)のような曲線区間の先に特殊信号発光機がある場合は、運転士の注視点は左の特殊信号発光機を見ているはずであり、この場合は望遠カメラでは特殊信号発光機を捕捉できません。したがって、800mの遠方をカメラで捕捉しようとする、曲線などにおける列車進行方向を認識し、望遠カメラの視野制御を行う必要があります。そこで広角カメラの映像からレールを抽出し、レール消失点を求めることで視線方向を定めて、望遠カメラの視野制御を行う手法を開発しました。車上装置を図6に示します。

### システムによる検査結果

検査結果は、キロ程ごとに見通し検査がされた設備の名称を表形式で出力しますので、各設備が所定の視認距離を確保できているか否かの判断を行えます。また、検査結果は検査ログを映像として記録することができ、図7に示すような映像データとして閲覧できるため、検査結果がNGとなった場合に、草木で遮蔽されているのか、設置方向が悪いのか、そもそもの見通しが悪いのか、などの状況把握ができます。また、中継する特殊信号発光機を設置する際に、どこに設置すると連続して視認できるか、といった対策検討にも

役立てます。

また、近赤外線が発光した状態を通常のカメラで撮影したものと、近赤外線を撮影できる特殊カメラで撮影したものを図8に示します。このように人間では発光していることが知覚できませんが、特殊カメラを用いることで発光を撮影できます。

### 制御器・発光機の構成

発光機については、従来の赤色に発光するLEDに対して近赤外線LEDが追加される分、7cm程度高さ方向に延びるだけです。そのため、現行の特殊信号発光機の支持柱に設置が可能です。

制御器については、見通し検査の検査中に、支障報知装置(押しボタン)が扱われたり、障害物検知装置が動作した際に、特殊信号発光機の発光が優先されるようにしています。そのため、入力条件となるリレーに対して、支障報知装置(押しボタン)と障害物検知装置の条件を直列に挿入しています。また、発光機については、システム導入の際の施工負担を考慮し、現行の1ペアケーブルで構築可能とするために、赤色用LEDと近赤外線用LEDを逆極性で並列に構成し、順方向に電流が流れるとき赤色に、逆方向に電流が流れるときに近赤外線が発光するように構成しています。

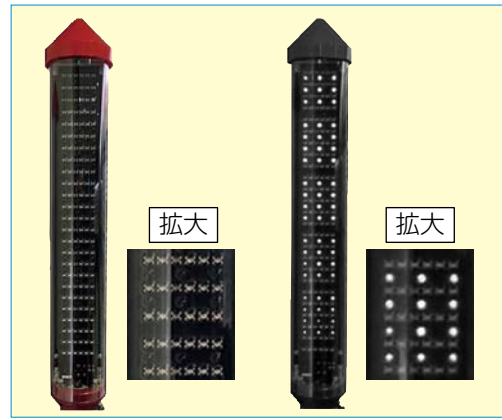


図8 通常のカメラ(左)と特殊カメラ(右)による特殊信号発光機の近赤外線発光状態の撮影

### おわりに

特殊信号発光機の見通し検査手法を効率化するために、目に見えない不可視光線と画像処理を用いることで、列車運行を支障せずにかつ効率的に検査が行える見通し検査システムを開発しました。本手法の導入効果は、以下のとおりです。

- ・検査時に列車運行を支障しない
- ・1回の走行で線区全体の検査が可能
- ・NG時の状況把握が容易
- ・連続した見通し距離が測定可能
- ・現行の1ペアケーブルで構築可能
- ・現行の特殊信号発光機の支持柱に設置が可能

本システムを導入するには、線区全体の特殊信号発光機を交換するなど、初期投資が必要ですが、検査に要するコストが大幅に削減できるため、導入の効果は高いと考えています。

本システムは現在、営業線にて導入効果の検証を実施しています。[RRR]

### 文献

- 1) 長峯望, 會田学, 中曽根隆太, 鶴飼正人: 特殊信号発光機の視認性確認システムと設置支援手法, 鉄道総研報告, Vol.30, No.1, pp.17-22, 2016
- 2) 長峯望, 鶴飼正人: 特殊信号発光機の視認確認手法の車上への適用, 鉄道総研報告, Vol.26, No.7, pp.23-28, 2012