

列車前方カメラを用いた特殊信号発光機の明滅検知手法

向嶋 宏記* 長峯 望* 野村 拓也** 市川 武*

Blinking Detection for Obstruction Warning Signal using Front Camera

Hiroki MUKOJIMA Nozomi NAGAMINE Takuya NOMURA Takeshi ICHIKAWA

When a situation occurs that hinders train operation at a level crossing and the like, obstruction warning signals indicate a stop signal. At present there are risks such as oversight, since this system relies on the driver's visual observation. Therefore, this research aims to make this system more secure. In this paper, we propose a detection method for the blinking of obstruction warning signals and perform the evaluation tests. As a result of the evaluation tests, they are detected with a detection rate of about 90 percent at a distance equivalent to 600 meters under running conditions.

キーワード：特殊信号発光機、画像処理、明滅検知、列車前方映像、踏切

1. はじめに

踏切等において列車の運行に支障を与える事態が発生した場合に、その異常を運転士に伝える手段として特殊信号発光機がある。特殊信号発光機は、発光信号を運転士が目視で視認することによって安全を確保しており、多くの事業者においてATS（自動列車停止装置）とは連動していない。そこで、見落とし防止等を含むさらなる安全性の向上のために、特殊信号発光機の動作を乗務員に伝達する支援技術の需要が高まっている。

運転士を支援する方法として、地上設備の改良が考えられる。例えば、無線やレール伝送を利用して列車を防護するシステムの研究がなされている¹⁾。また、実際に踏切の非常ボタンと連動した列車制御システムが導入されている路線もある。一方で、車載カメラを利用した方法も考えられる。車載カメラによる運転支援システムは、地上設備の増設が不要であるというメリットがある。近年では列車にも車載カメラ型の運転状況記録装置の開発や取り付けが進み、鉄道においても車載カメラによる運転支援技術の実現に期待が寄せられている。

筆者らはこれまでに、特殊信号発光機の見通し検査のために、近赤外LEDを特定周期で発光させ、特殊信号発光機の明滅を検知する手法を提案している²⁾。この手法では、フレーム平均値との差分によって特殊信号発光機の近赤外LED発光パターンを認識しているが、検査を目的とした手法であり、リアルタイムに特殊信号発光機の明滅を検知することはできない。

そこで本研究では、特殊信号発光機をリアルタイムに認識し、音や光などによる通知で乗務員を支援するシステムを目標として開発を行った（図1）。

* 信号・情報技術研究部 画像・IT研究室

** 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

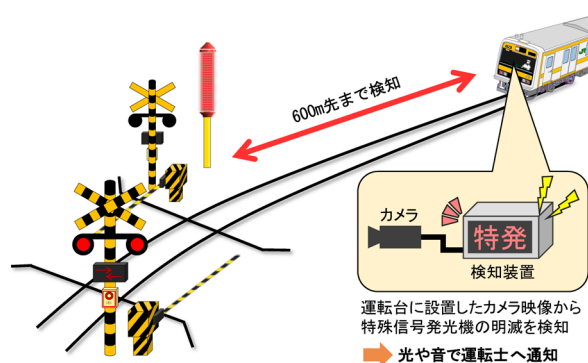


図1 開発システムの概念図

2. 踏切の安全と特殊信号発光機

2.1 踏切事故の現状と対策

踏切事故は長期的には減少傾向にあるものの、鉄道運転事故全体で見ると約3割を占めている³⁾。事業者では、踏切事故を防止するために、踏切障害物検知装置の高性能化や踏切支障報知装置の整備、事故防止の啓発活動など、様々な事故防止策が推進されている。基本的には踏切障害物検知装置や踏切支障報知装置と連動して特殊信号発光機が動作することで、運転士に踏切の異常を伝達する仕組みとなっているため、踏切事故防止策の施策によって特殊信号発光機も増設される傾向にある。

2.2 特殊信号発光機

2.2.1 特殊信号発光機の概要

特殊信号発光機とは、落石や踏切等において列車運行に支障を与える事態が発生した場合に、その異常を運転士に伝え、車両を緊急停止させる役割を持つ。平常時は滅灯しており、踏切支障報知装置（操作器）、踏切障害物検知装置、限界支障報知装置、落石警報装置等と連動して、これらが動作した場合に発光信号を現示して列車



図2 点滅形と回転形の特特殊信号発光機

を緊急に停止させるものである。特殊信号発光機は、棒状で1分間に500回程度(8.3Hz)の点滅をする点滅形と、正五角形に並んだ五つの赤色灯が2灯ずつ反時計回りに点灯する回転形の2種類が存在する(図2)。どちらも見通し距離が800m以上となるように設置される。現在は主に点滅形が多く使用されていることから、本研究では点滅形の特特殊信号発光機を認識対象とした。

点滅形の特特殊信号発光機はDC電源と専用の制御器によって制御されており、明滅周波数は500±50回/分である。赤色発光の拡散角度は半値角15度である。

2.2.2 特殊信号発光機と赤色発光物体の違い

鉄道沿線環境において特殊信号発光機と同様に赤色で明滅発光し、ノイズとなり得る設備を調査した⁴⁾。代表的なノイズである踏切警報灯やパトランプなどの明滅周波数を、特殊信号発光機の周波数と併せて図3に示す。前述した通り特殊信号発光機が500回/分の明滅周波数であるのに対し、踏切警報灯や道路環境にある点滅式の信号機および標識、ハザードランプやパトランプは50~250回/分程度、鉄道信号機や道路信号機は6,000回/分もしくは7,200回/分の明滅周波数であった。これらの調査結果から、特殊信号発光機の明滅周波数はノイズとなり得る設備とは異なる周波数であることが分かった。

3. 特殊信号発光機の明滅検知手法

3.1 装置構成

3.1.1 カメラの選定

カメラの解像度が高いほど遠方での特殊信号発光機の像が大きく映るため明滅は検知しやすくなるが、一方で計算時間が大きくなる。また、解像度が大きくなるほど、撮像素子を小さくしなければならず、受光感度が低くなる傾向にある。これらを考慮し、本研究では1,920×1,200画素で撮影できるカメラを選定した。なお、レンズについては25.3°の画角となるように25mmのレンズを選定した。

機器	回/分
特殊信号発光機	500
踏切警報灯	50
交通信号機(点滅式)	60
止まれ標識(点滅式)	60
緊急自動車用パトランプ	50~250
自動車ハザードランプ	50~120
工用パトランプ	120 or 170
鉄道信号機	6,000 or 7,200
道路交通信号機	6,000 or 7,200

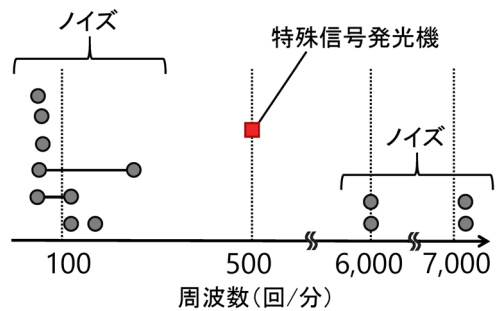


図3 沿線の赤色発光設備の明滅周波数



図4 バンドパスフィルタを使用して撮影した画像

3.1.2 光学フィルタの選定

前章で述べたとおり、線路沿線に存在する常置信号機や踏切警報灯などの赤く明滅するノイズと、特殊信号発光機の明滅周波数は異なっている。ところが周波数の違いだけに着目した識別には課題がある。カラーカメラで撮影した場合、偽色と呼ばれる本来存在しない色が画像上に生じる現象によって、本来赤色でない物体が赤色で撮像される場合がある。この場合、特殊信号発光機以外の物体で誤検知する可能性がある。

そこで、これまでに筆者らはモノクロカメラと光学フィルタを用いてこれらのノイズの影響を低減させる方法を提案した⁵⁾。光学フィルタとは、特定の性質を持つ光のみを透過する光学素子である。特殊信号発光機に使用されているLEDの赤色波長に合わせ、おおよそ625~675nmの範囲の波長を透過するバンドパスフィルタを選定した。図4にバンドパスフィルタを使用してモノクロカメラで撮影した画像を示す。



図5 試作した運転士への通知装置

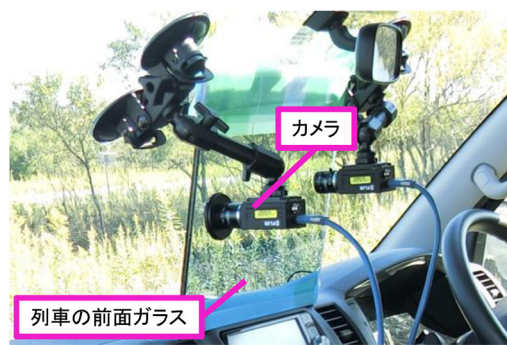


図7 カメラを設置している様子

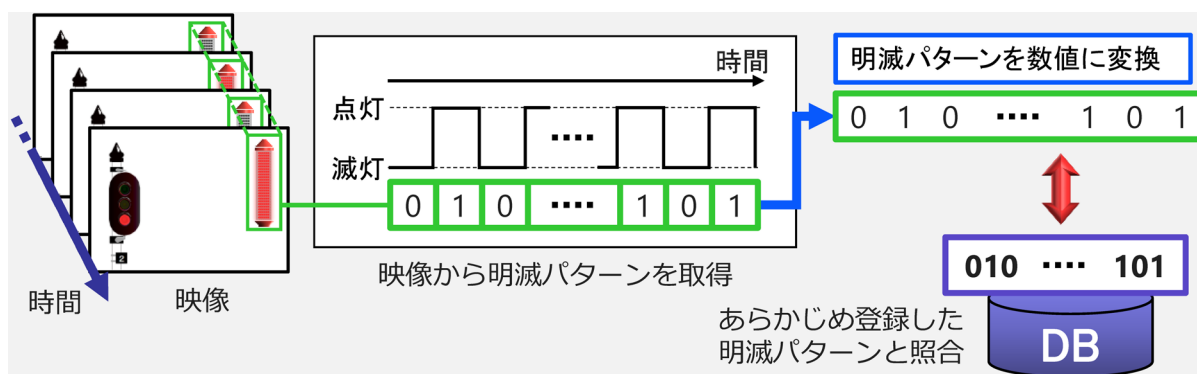


図6 提案手法の処理の概念図

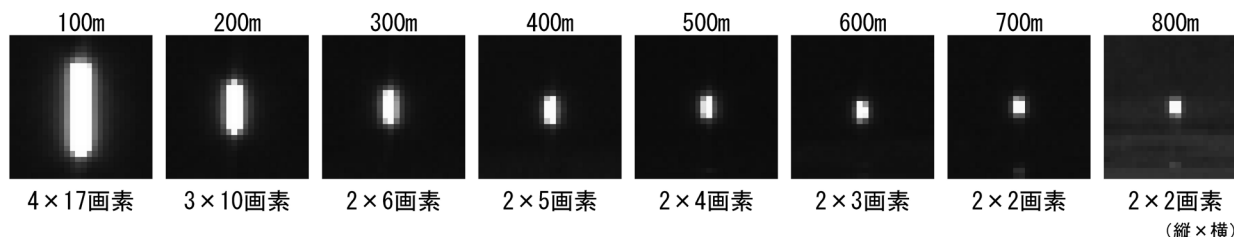


図8 距離毎の特殊信号発光機の映り方

3.1.3 運転士への通知装置

運転士に対して特殊信号発光機の動作を光と音で通知する通知装置を試作した。試作した通知装置を図5に示す。通知装置にはLEDマトリックスを使用し、表示のパターンと色を変更できるように設計した。図5では「特発」の文字を表示させている。また、通知音についても変更可能である。通知装置はコンピュータと接続し、シリアル通信によって通知/非通知を制御できる。

3.2 明滅検知アルゴリズム

筆者らはこれまでに特殊信号発光機の明滅検知手法を提案してきた^{4) 5) 6)}。提案手法の概念図を図6に示す。提案手法ではカメラから得られた映像に対して点灯/滅灯の情報を1/0の二値に変換し、複数フレーム分の1/0の時間変化(明滅パターン)を数値に変換する。そして、あらかじめ登録された明滅パターンと照合することで、特殊信号発光機の500回/分という明滅パターンを検知する。

4. 性能評価試験

4.1 静止条件における性能評価

4.1.1 データセット

文献6で用いたデータセットである特殊信号発光機のみが明滅している映像とノイズ源のみが明滅している映像に加えて、特殊信号発光機とノイズ源が同時に明滅する映像を用いて評価試験を実施した。自動車の前面にカメラを取り付け、自動車のフロントガラスとカメラの間に鉄道車両で実際に使用されている前面ガラスを設置した。これにより赤色光の透過状況を実車と同等の条件で試験することができる。カメラを設置している様子を図7に示す。

評価に用いるデータセットは表1に示す特殊信号発光機およびノイズ源が明滅する映像である。特殊信号発光機のみデータは、特殊信号発光機から100m～800m離れた距離で100mごとに静止した状態で撮影した。距離に応じた特殊信号発光機の画像中での映り方を図8に

表1 静止条件におけるデータセット

特殊信号発光機	ノイズ	距離 [m]	試番数	合計フレーム数
○		800~100 (100m 毎)	40 試番 (各 5 試番)	72,000
○	○	100	6 試番	10,800
	○	100	13 試番	13,400

示す。また、ノイズ源を含む映像は、次の5つのノイズ源が明滅している映像を100mの距離で撮影した。

- ① 踏切警報灯 (50回/分)
- ② 工事用パトランプ：電球式 (170回/分)
- ③ 工事用パトランプ：LED式 (120回/分)
- ④ 自動車のテールランプ
(任意のタイミングでブレーキ操作)
- ⑤ 自動車のハザードランプ (90回/分)

撮影対象の地上構成とカメラでの撮影例を図9に示す。

各試番は撮影時間を1,800フレーム(1分)で区切って撮影している。また、データセットの一部において、降雨があったため降雨の有無で評価を分けている。

4.1.2 評価結果

静止条件下において、降雨がないデータについては800mまでの距離において99%以上の精度で特殊信号発光機の明滅を検知できた。

一方で降雨があった試番のうち最低の検知率は約35%であった。これは雨滴による視界不良が原因である。ガラス面に付着した雨滴により、特殊信号発光機の領域にボケが発生したため、明滅が検知できなかった。雨滴が付着している様子を図10に示す。雨滴に対する対策としては、カメラをワイパーの動作範囲内に設置し、物理的に除去することが有効だと考えられる。

また、ノイズ源を含む全てのデータについて、誤検知は発生せず、ノイズ源と共に撮影した特殊信号発光機についても特殊信号発光機の明滅だけを正しく検知した。

4.2 走行条件における性能評価

4.2.1 評価方法

走行条件における評価は、鉄道総研内の試験線における明滅検知性能の評価と実環境におけるノイズの影響評価の2種類を実施した。

前者の明滅検知性能評価については、鉄道総研所有の試験線において走行試験を実施した。試験線では直線距離が最大で200m程度しか確保できないため、小型の特殊信号発光機(以下、ミニ特殊信号発光機)を製作した。ミニ特殊信号発光機は、通常の特光機を約3倍遠方から撮影した場合と同等になるように、縦横を約3分の1で素子数を約9分の1とした(図11)。また、通常の特光機と同じLED素子を用いた。

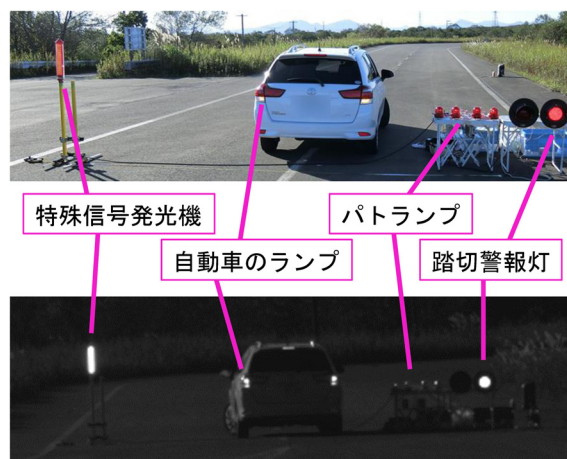


図9 撮影対象の地上構成と撮影画像の例



図10 雨滴がガラス面に付着した画像例

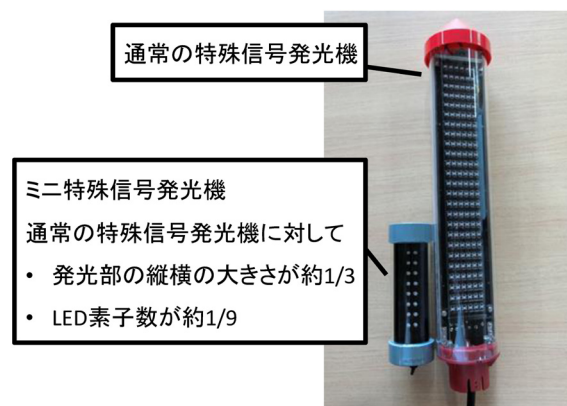


図11 ミニと通常の特光機

車両の前方に吸盤を用いてカメラを設置し、明滅発光するミニ特殊信号発光機に対して前進する映像を撮影した。走行速度は最高で40km/hである。走行試験の様子を図12に示す。撮影したモノクロ画像の例を図13に示す。朝から夕方まで走行試験を実施し、20試番分の評価用映像を取得した。



図12 試験線での走行試験の様子

後者の実環境におけるノイズの影響評価では、常置信号機や踏切警報灯などを誤って検知しないことを確認するために、営業線において撮影試験を実施し、実際の沿線環境映像を取得した。撮影試験の様子を図14に示す。列車が折り返し後進するデータも撮影し、データ数は38試番（約17時間）である。また、特殊信号発光機が発光している映像も含まれる。

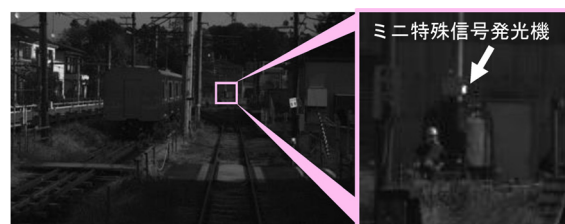


図13 試験線で撮影した画像例

4.2.2 評価結果

ミニ特殊信号発光機のスケール比から検知距離を3倍相当にした際の、距離に対する検知率の結果を図15に示す。600m相当の距離において90%以上の検知率で検知できている。600mを超えたところで、大幅に性能が低下しているのは、距離が遠いことに加え、試験線に急カーブがあるためと考えられる。



図14 営業線での撮影試験の様子

営業線で撮影した実環境の映像において誤検知は発生しなかった。事前調査の通り、特殊信号発光機の明滅周波数である500回/分で明滅する物体が存在せず、その他のノイズもバンドパスフィルタと検知時素によって排除されたものと考えられる。また、走行中に明滅した特殊信号発光機についても検知できた。検知している様子を図16に示す。

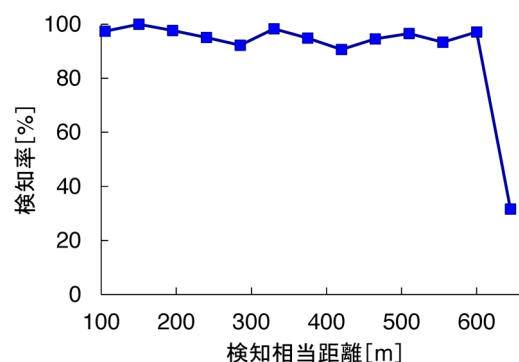


図15 走行条件における距離に対する検知率

4.2.3 明滅検知装置の動作確認試験

3章で述べた通知装置を用いて、実際に走行する車両内で特殊信号発光機の明滅を検知し、運転士に通知する明滅検知装置を試作した。この試作装置の動作確認試験を、ミニ特殊信号発光機を用いて鉄道総研内の所内試験線で実施した。

試作装置はカメラと表2に示すデスクトップパソコン、通知装置で構成される。また、提案手法をリアルタイムに処理するためにGPUによってプログラムを高速化している。試作装置を図17に示す。

動作試験の結果、特殊信号発光機の明滅から通知までリアルタイムに動作することを確認した。試作装置が動作している様子を図18に示す。

表2 デスクトップパソコンの性能

項目	性能
CPU	Xeon W-2155
GPU	Quadro RTX 5000
メモリ	128 GB
ストレージ	1T SSD + 4T HDD
OS	Windows10 64bit

5. まとめ

踏切等における異常時に列車防護のために発光する特殊信号発光機は、運転士の目視確認に依存しているため、ヒューマンエラーにより見落とす可能性がある。そこで、さらなる安全性の向上のために、車載カメラを用いて特殊信号発光機の明滅を車上から認識する手法を



図 16 営業線において明滅を検知した例

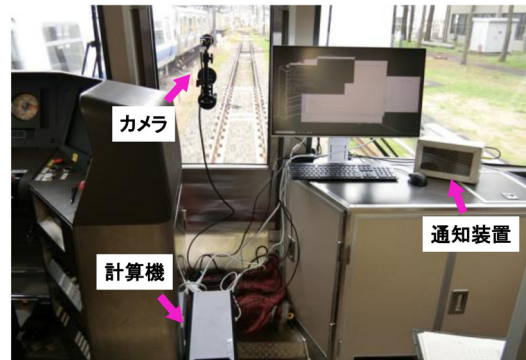


図 17 明滅検知装置の構成

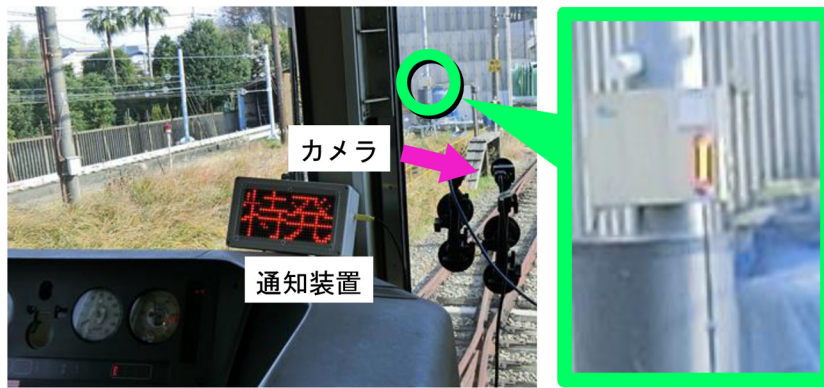


図 18 特殊信号発光機の動作を運転士に通知している様子

開発した。

特殊信号発光機の明滅周波数が他の赤色発光物体とは異なる点に着目し、カメラによって撮影した特殊信号発光機の明滅をあらかじめ登録した明滅パターンと照合して検知する手法を提案した。

開発手法について評価試験を実施した結果、静止条件では 800m までの距離で 99% 以上の検知率であった。一方、走行条件では 1/3 サイズのミニ特殊信号発光機を用いて同様に評価した結果、600m 相当までの距離で約 90% の検知率であった。また、営業線での現車試験ではノイズ源を誤って検知しないことを確認した。特殊信号発光機の明滅を運転士へ通知する明滅検知装置も試作し、動作確認試験を実施した結果、リアルタイムに運転士への通知が可能であることを確認した。今後、試作装置を小型化し、実環境での走行試験を実施すると共に、回転形の特殊信号発光機の検知手法も検討していく予定である。

文 献

1) 藤田浩由, 新井英樹, 大森達也, 竹内恵一, 榎本暁人, 糸

谷聡, 鈴木義尚: 踏切支障時における列車防護手法選定に関する検討, 交通・電気鉄道研究会, TER-18-061, 2018

2) 長峯望, 片桐崇史, 榎本暁人, 小口克佳, 杉本経嗣, 曾田学: 特殊信号発光機の見通し検査システムの開発, 鉄道と電気技術, Vol.29, No.2, pp.60-65, 2018

3) 国土交通省: 鉄道輸送の安全にかかわる情報(平成 30 年度)の公表について:

http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr8_000035.html

(参照日: 2020 年 4 月 3 日)

4) 向嶋宏記, 長峯望, 野村拓也, 中曽根隆太, 石月正明, 田中雄也: 「ビットシフトによる特殊信号発光機のリアルタイム明滅検知手法」, 交通・電気鉄道研究会資料, TER-18-34, pp.49-54 (2018)

5) 向嶋宏記, 長峯望, 野村拓也, 田中雄也, 久保田裕之: 「特殊信号発光機の明滅検知手法における実映像でのノイズ影響評価」, 交通・電気鉄道研究会資料, TER-19-026, pp.39-44 (2019)

6) 向嶋宏記, 長峯望, 野村拓也, 田中雄也, 久保田裕之: 「特殊信号発光機の明滅検知手法の検知性能評価」, 第 26 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2019), S2-4-5, pp.90-93 (2019)