

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

# 踏切の異常を知らせる信号をカメラで捉える

緊急時に列車を止める必要がある場合に備えて、踏切には非常ボタンの設置が進められています。非常ボタンを押すと、特殊信号発光機とよばれる発光機が点滅して、運転士に異常が伝わるようになっています。一般的に、鉄道では赤信号の状態に進んだ場合、急ブレーキがかかる安全装置が導入されていますが、特殊信号発光機については、運転士が直接、目で確認することで安全が保たれています。ここでは、さらなる鉄道の安全を目指して、特殊信号発光機の点滅をカメラで認識し、運転士に通知するシステムを開発しましたので、その概要を紹介します。



**向嶋 宏記**  
Hiroki Mukojima  
信号・情報技術研究部  
画像・IT研究室  
研究員  
【専門分野】コンピュータビジョン、画像処理



**長峯 望**  
Nozomi Nagamine  
信号・情報技術研究部  
画像・IT研究室  
主任研究員  
【専門分野】コンピュータビジョン、画像処理、信号保安



**野村 拓也**  
Takuya Nomura  
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】信号保安



**市川 武**  
Takeshi Ichikawa  
信号・情報技術研究部  
画像・IT研究室  
副主任研究員  
【専門分野】信号保安

## はじめに

近年、自動車業界においては、自動運転に関する技術開発が盛んに行われています。中でも、車載カメラを使った画像認識技術の発展は目覚ましいものがあり、道路標識などを認識してドライバーに通知するシステムなどがすでに実用化されています。鉄道においても、運転状況記録装置として、列車前方を撮影する車載カメラの導入が進められています。車載カメラによって得られる画像を活用することで、運転士の支援による鉄道のさらなる安全性の向上や、メンテナンスの省力化など、さまざまな貢献が期待されています。

鉄道総研ではこれまでに、目に見えない光を使って特殊信号発光機とよばれる信号設備の検査をする手法を開発しました<sup>1)</sup>。しかし、検査向けの手法であるため、リアルタイムに特殊信号発光機の点滅を検知する必要がある運転支援には適用できませんでした。ここでは、運転士の支援を目的として、列車前方に設置した車載カメラを用いて、特殊信号発光機の点滅をリアルタイムに検知する手法<sup>2)</sup>を開発しましたので紹介します。

## 踏切の異常を運転士に知らせる特殊信号発光機

踏切に異常があるなど、列車運行に支障する事態が発生した場合に、運転士に対して異常を知らせて列車を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、通常時には滅灯しており、踏切支障報知装置(非常ボタン)、障害物検知装置などと連動して発光します。主信号機とよばれる運転士に車両の進行や停止を伝えている信号機は、自動列車停止装置(ATIS: Automatic Train Stop)によって防護されていますが、一部の線区を除き、特殊信号発光機は運転士が目視で確認することで安全が保たれています。そこで、より安全な列車運行と運転士の負担軽減のために、車載カメラを用いた特殊信号発光機の点滅検知手法を開発しました。

なお、特殊信号発光機は、筒状で1分間に500回(8.3Hz)程度で点滅する点滅形(図1)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滅する回転形(図2)の2種類が存在しますが、今回は、点滅形の特殊信号発光機を対象として開発を実施しました。

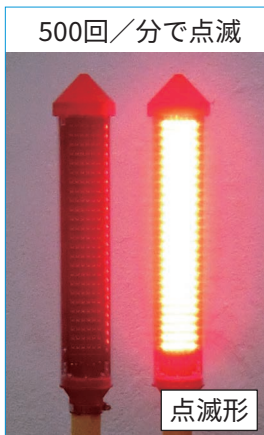


図1 特殊信号発光機 (点滅形)



図2 特殊信号発光機 (回転形)

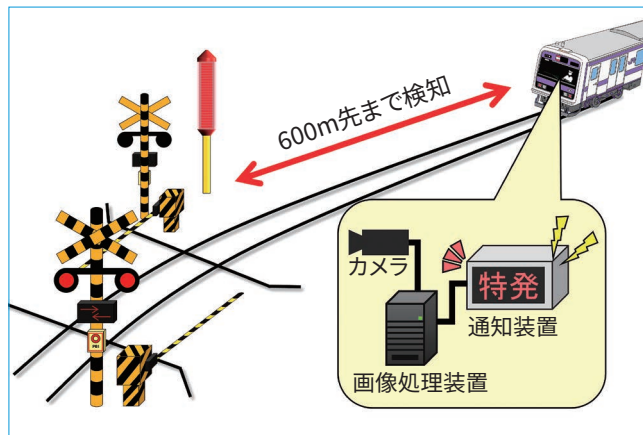


図3 点滅検知システムの概要

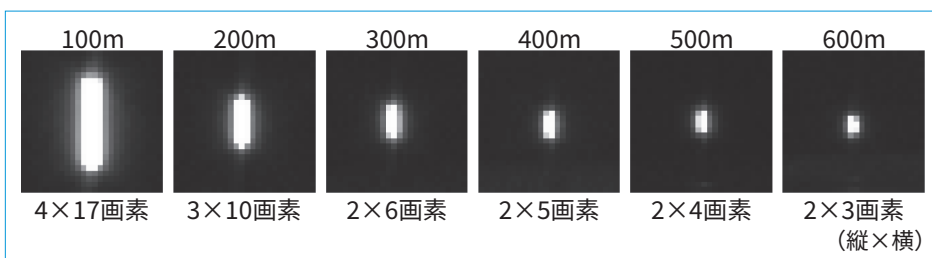


図4 距離に対する特殊信号発光機の大きさ

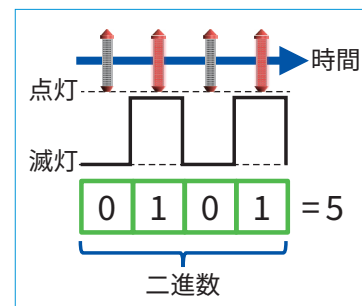


図5 点滅パターンの考え方

### 点滅検知システムの全体構成

特殊信号発光機の点滅を検知する点滅検知システムはカメラと画像処理装置、通知装置で構成されます(図3)。開発手法では、特殊信号発光機に使用されているLEDの波長に合わせた光学フィルター(※参照)を取り付けることで、ノイズによる誤検知を抑えています。カメラは30fps(※参照)で前方の動画を撮影し、画像処理装置が処理した結果を通知装置によってLEDによる光や音で運転士へ通知します。また、在来線における非常ブレーキによる列車の制動距離である600mをシステムの検知目標距離として設定しました。

### 画像処理による特殊信号発光機の点滅検知方法

カメラで撮影された動画像に対して画像処理を施すことで、特殊信号発光機の点滅を検知します。カメラで点滅している特殊信号発光機を撮影すると、点灯しているフレームと減灯しているフレームが撮影されます。特殊信号発

光機が減灯している状態では、画像内のどこに存在するのかわかりません。また、特殊信号発光機を遠方から撮影した場合、ほとんど一つの点のように映ります。距離に対する特殊信号発光機の画像内での大きさが変化する様子を図4に示します。2×3画素程度の大きさでは濃淡や形状を使ったパターンマッチングとよばれる画像処理手法では検知することが難しいです。そこで、1分間に500回(8.3Hz)点滅してい

ることを活用して、特殊信号発光機の点滅を検知する手法を開発しました。

具体的には点灯を「1」、減灯を「0」と定義し、点滅の時系列変化を二進数(※参照)の値と考えて数値化します。考え方の概念を図5に示します。この場合、「減灯、点灯、減灯、点灯」の順に点滅しているので二進数で表現すると「0101」となります。これを十進数に変換すると「5」となるので、図5は点滅パターンが5となります。この

#### ※ 光学フィルター

特定の性質をもつ光だけを透過し、それ以外を透過しないものを光学フィルターといいます。

#### ※ fps (frame per second)

カメラで撮影した動画は、静止画を連続で撮影した画像で構成されています。そのうち1枚の画像をフレームといい、1秒に撮影されるフレームの数をfpsとして表します。

#### ※ 二進数

普段私たちが数えている数字は10個の集まりごとに、一つ位が上がります。この数字の表現を十進法といい、十進法で表現された数字を十進数といいます。一方で、コンピューターの世界では、1と0(ONとOFF)の2つで数を数えています。2個の集まりごとに、位上がる数字の表現を二進法といい、二進法で表される数字を二進数といいます。

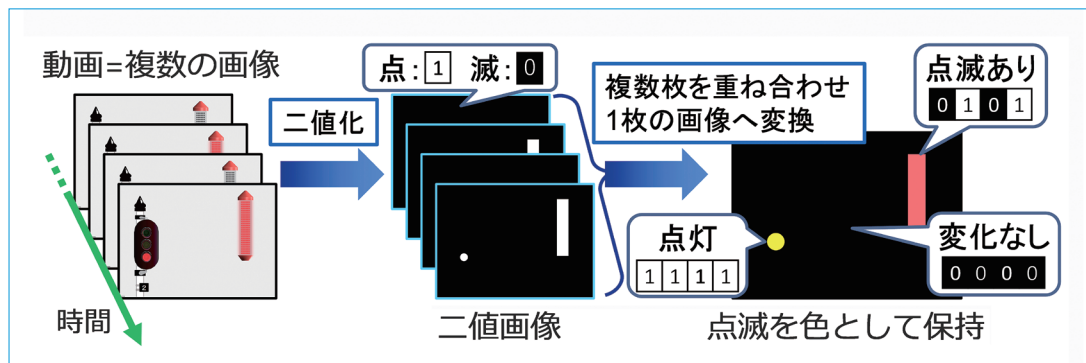


図6 点滅検知手法の概念図

ように点滅の時系列変化を一つの数値に変換すると、複数フレームからなる動画の点滅のパターンを1枚の画像に変換することができます(図6)。実際には、前述した点灯と滅灯の時系列変化が、画像内の各領域で発生します。そこで、まずは図6に示すように画像全体を二値化し、各領域で点灯と滅灯に分けた二値画像を生成します。この二値画像を複数のフレームで重ね合わせると、画像内の各画素(ドット)で「滅灯、点灯、滅灯、点灯」のような時系列の情報をもつことがわかります。この各画素での時系列の情報(二進数)を十進数とみなして、一つの数値とし、その数値を画像の色としてもつ1枚の画像に変換します。つまり、変換後の画像は、時系列情報である点滅を色としてもつ画像です。その後、変換後の画像に特殊信号発光機の点滅パターンと一致する領域があるか探すことで点滅を検知します。点滅パターンを探す処理は、ルックアップテーブル(☞参照)を参照する方法で実現しています。これらの工夫により高速な点滅検知を実現しました。具体的には発光から検知するまでの遅延が1秒以内です。

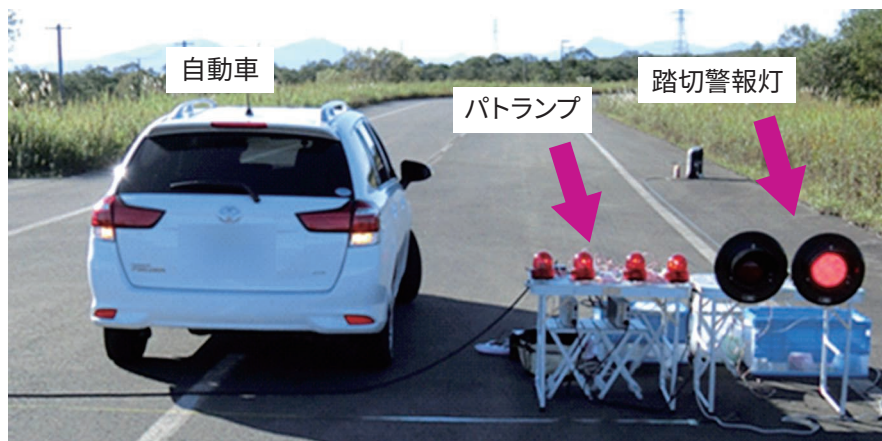


図7 ノイズ源の撮影試験の様子

### ノイズ源に対する耐性の評価

線路沿線には開発手法にとってノイズ源となる信号機や踏切警報灯、パトランプなど、特殊信号発光機以外にも赤色で点滅する設備があります。しかし、調査の結果、これらの設備は特殊信号発光機の点滅周波数とは異なることがわかりました。つまり、検知する点滅パターンを500回/分(8.3Hz)の点滅周波数に限定することで、誤検知なく特殊信号発光機だけを検知することができます。

実際に赤色発光するノイズ源を使って誤って点滅を検知しないか実験をしました。その結果、特殊信号発光機以

外のもので誤検知しないことを確認しています(図7)。また、営業列車での撮影試験も実施し、実環境においても誤検知が発生しないことを確認すると同時に、点滅の周波数を100回/分~1000回/分まで変化させて特殊信号発光機以外の周波数で誤検知しないことを確認しています。

一方で、雨の影響で特殊信号発光機の点滅が検知できなくなることがわかりました。雨滴がフロントガラスに付着し、特殊信号発光機の領域がぼけてしまうと、画像処理では検知することができません。雨の対策としては、ワイパーを動作させて物理的に雨滴を除去する方法が有効であると考えられます。ワイパーを最高速度で動かすと1秒で1往復程度の速度になるので、カメラの視界がたまに隠れてしましますが、雨滴によって長時間検知できない状態にいることは避けられます。雨滴

#### ☞ ルックアップテーブル

ルックアップテーブルとは、コンピューターで複雑な計算を省略するための処理方法の一つです。ある値に対して複雑な計算があるとき、先にその答えを計算して計算結果を保存しておきます。実際に処理をするときには、保存した答えを取り出すことで複雑な計算を省略できるので、処理を高速化できます。



図8 営業線において点滅を検知した例

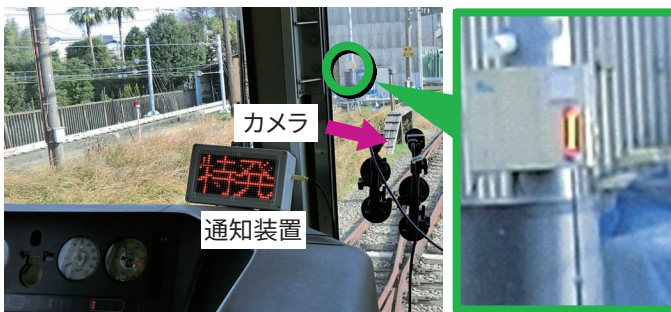


図10 運転士に通知している様子

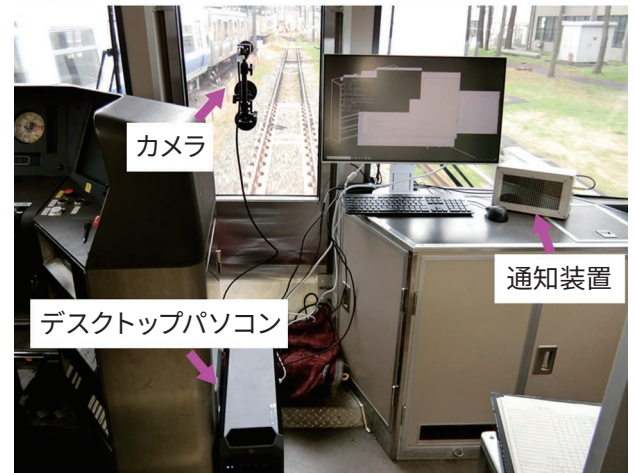
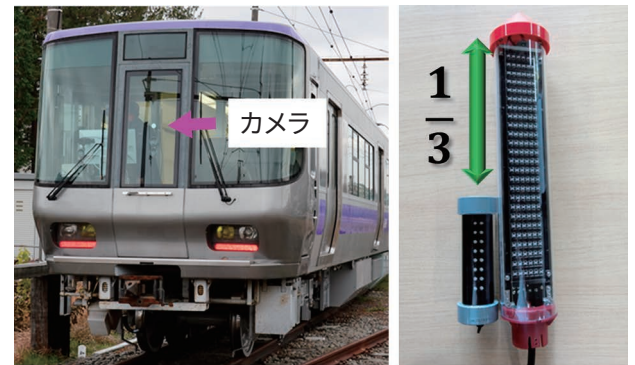


図9 試験線での動作試験

対策のためには、車載カメラをワイパーの動作範囲内に設置する必要があります。

### 点滅検知手法の性能評価

撮影試験を実施し、600m遠方から特殊信号発光機の点滅を検知できることを確認しました。また、営業線において実際に撮影した特殊信号発光機の点滅についても検知することができました(図8)。

点滅検知装置を試作し、鉄道総研所内試験線にて走行試験を実施しました。画像処理装置にはデスクトップパソコンを用いています。通知装置はLEDと音によって運転士へ特殊信号発光機の点滅を通知するようになっており、LEDの表示や通知音は自由に変更可能な設計となっています。走行試験の様子を図9に示します。

なお、試験線では直線部で200m程

度の距離しか確保できないため、実際の特殊信号発光機の1/3のミニチュアモデルの特殊信号発光機を製作し、走行試験での撮影距離が実距離の3倍相当(600m程度)となるようにしました。走行試験においては、600m相当の距離で車体の揺れなどがあっても安定して点滅を検知できることを確認しました。リアルタイムで特殊信号発光機の点滅を検知している様子を図10に示します。今後の課題として、現在の試作装置が大型であるため、実際の列車に搭載する際には小型化する必要があります。

### おわりに

より安全な列車運行のために、特殊信号発光機の点滅を車載カメラで認識し、運転士へ通知する手法を開発しました。試作装置の動作確認試験を実施し、走行環境においても特殊信号発光

機をリアルタイムに検知し、運転士へ通知できることを確認しました。今後は、実用化に向けて、装置の小型化に取り組んでいく予定です。

今回は点滅形の特殊信号発光機を対象としましたが、車載カメラの応用分野は幅広いと考えています。回転形の特殊信号発光機の点滅検知を含め、車載カメラを応用した技術についても研究を進めていきます。[RRR]

### 文献

- 1) 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
- 2) 向嶋宏記, 長峯望, 野村拓也, 市川武: 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, 鉄道総研報告, Vol.34, No.7, pp.17-22, 2020