

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

# 無線による踏切制御手法

踏切事故の防止は、鉄道の安全性や安定性を確保するうえで重要な課題です。踏切事故防止に関して、これまでもさまざまな対策が実施されていますが、障害物を検知してから列車防護を行うまでの総合的な対策については、取り組む余地が大きいと考えられます。ここでは、現在開発を進めている無線通信技術を活用した車上主体の踏切制御手法について、踏切道内に障害物による支障がある場合（以下、踏切支障時）に列車を進入させない防護手法ならびに警報制御手法を中心にシステムの概要を紹介します。



**藤田 浩由**  
Hiroyuki Fujita  
信号・情報技術研究部  
信号システム研究室  
副主任研究員  
【専門分野】ATS、雷害、  
電子機器の劣化・寿命  
評価



**新井 英樹**  
Hideki Arai  
信号・情報技術研究部  
信号システム研究室  
室長  
【専門分野】信号システム一般

## はじめに

国土交通省が公表した2015年度の鉄軌道輸送の安全にかかわる情報のうち、踏切事故の発生状況を見ると、**図1**に示すように踏切障害件数は236件であり、運転事故全体の32.5%という高い割合を占めていることがわかります<sup>1)</sup>。したがって、踏切障害を防止することは、運転事故件数の大幅削減に寄与できるといえます。

また、踏切事故は列車脱線などの重大事故につながるおそれがあるため、踏切事故の防止は鉄道の安全性ならびに安定性を確保するうえで重要な課題となっています。

## 踏切安全性向上のための取り組み

踏切事故の実態を把握するために、2002年度から2015年度までの踏切数

と踏切事故件数の推移を整理しました。結果を**図2**に示します。踏切数の減少とともに自動車の踏切事故件数は減少していますが、歩行者ならびに自転車、二輪・原付などの軽車両の件数は横ばい傾向であることがわかります。そのため、踏切事故防止には、引き続き自動車への対策を行うとともに、とくに歩行者や軽車両への対策を行うことが必要となります。

そこで、踏切安全性向上のための取り組みとして、**図3**に示す踏切道内の障害物を「検知して（検知）」、列車に「伝えて（伝送）」確実に「止める（防護）」ための2つの開発を行っています。

(1) 無遮断事故の解消ならびに障害物を検知した際に確実に列車防護を行うための車上主体踏切制御システムの開発（伝送、防護）、(2) 従来よりも細かいものを検出することを目的とした画

### 踏切障害物検知装置

踏切内の障害物を自動的に検知し、その検知情報をもとに踏切に支障があることを知らせる装置です。主な検知方式には、踏切道上に光線網を配光し、障害物によって一時的に光線が遮断されることで検知する光電式と、踏切道の地面下に埋めたコイル上に自動車などの金属物が近づき、コイルのインダクタンスが変化することにより検知するループコイル式などがあります。

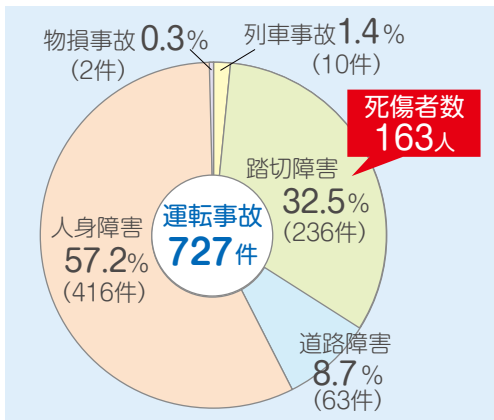


図1 運転事故の種類別件数 (2015年度)  
(出典：国交省「鉄軌道輸送の安全にかかわる情報 (平成27年度)」)

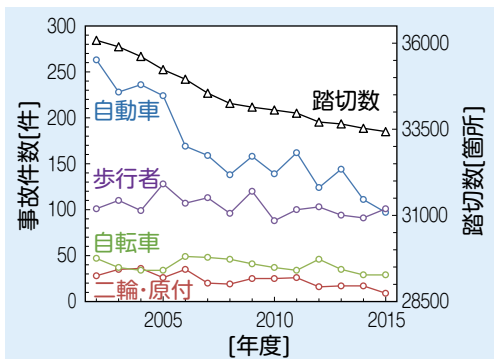


図2 踏切箇所数と踏切事故件数の推移  
(国交省「鉄軌道輸送の安全にかかわる情報 (平成14年度～27年度)」より作成)

像式踏切障害物検知装置の開発(検知)です。ここでは主に(1)の開発内容を紹介しますが、安全性向上のためには障害物検出の精度向上も不可欠です。(2)は、従来の踏切障害物検知装置(以下、障検(☞参照))よりも細かいものを検出する方式として、遠赤外線カメラによる画像検知方式とすることを検討しています。

### 車上主体踏切制御システムの構成

現在、開発を進めている車上主体踏切制御システムは、障検との連携により踏切支障時は確実に列車を踏切に進入させないよう、システムによる制御介入を行うことで踏切安全性を向上さ

#### ☞ 特殊信号発光機

踏切障害物検知装置と連動し、動作した場合に停止を現示する信号機です。

せることを目的としています。これにより、これまでの踏切支障時に特殊信号発光機(☞参照)の点滅を運転士が視認し、ブレーキを扱う方式と比較して、安全性の向上に寄与できます。

システム構成としては、車上/地上間の情報伝送に無線通信を採用することとし、鉄道総研で開発したATS-Dxなどの車上データベース(以下、車上DB)方式の保安装置<sup>2)</sup>搭載車両による運用を前提としました。システム構成を図4に示します。

地上装置は踏切周辺に設置し、障検や踏切支障報知装置(踏切付近に設置された押しボタン)などの踏切関連リレーとの入出力機能をもつとともに、車上装置と伝送を行うための無線機をもつものとします。一方、車上装置は、同様に無線機をもつとともに、車上で走行位置を認識する機能および踏切に対する速度照査パターン(車上で安全

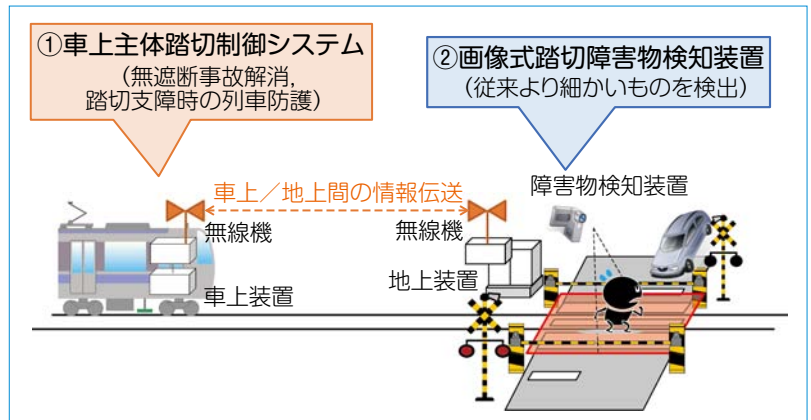


図3 踏切安全性向上のための取り組み

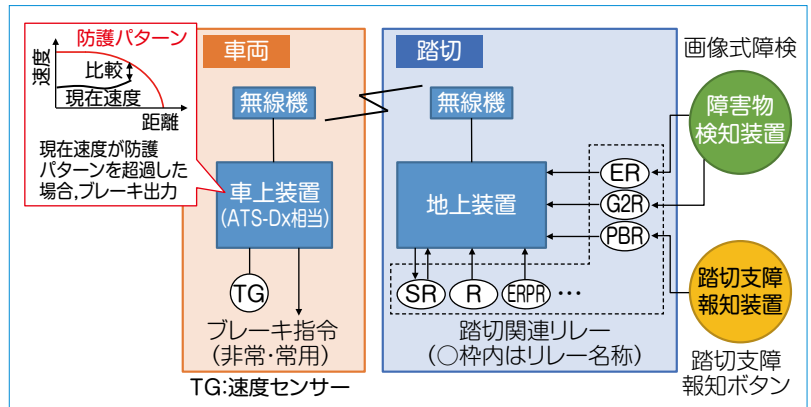


図4 車上主体踏切制御システム構成

に走行できる速度を演算し、その速度と現在速度を連続的に比較することで安全を担保する方式、以下、防護パターン)制御機能などの保安装置相当の機能を有するものとしています。地上装置ならびに車上装置は、いずれもフェールセーフな装置で構成される必要があります<sup>3)</sup>。

### 車上主体踏切制御システムの概要

#### (1) 制御に必要な情報

車上主体警報制御ならびに適切な防護パターン制御を実施するにあたって必要な情報は図5のように整理されます。防護パターンの作成などを行うための情報として、車上DBに車両性能(ブレーキ減速度、車両最高速度など)、線路情報を保有し、線路情報には通信を行う範囲や対象踏切の設置位置、踏切幅、設定警報時間(列車の先頭が踏切に到達するまでにかかる時間)など

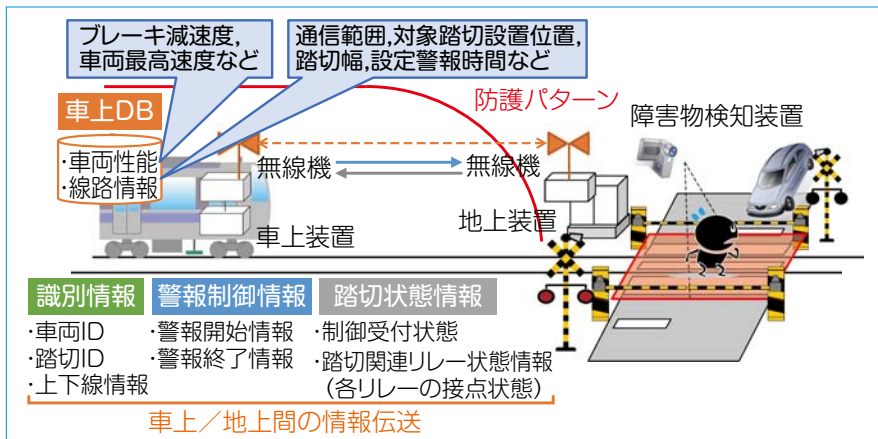


図5 制御に必要な情報

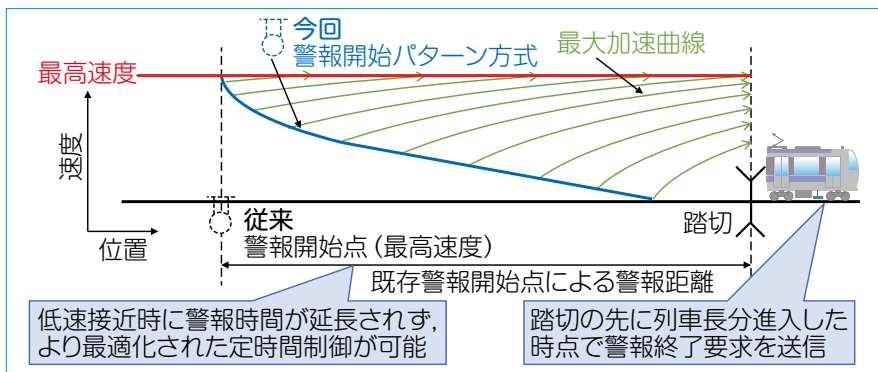


図6 踏切警報制御

表1 踏切状態と防護パターン制御の主な組み合わせ

踏切支障状態	踏切状態				防護パターン制御
	踏切支障報知ボタン扱い	障検検知	画像式障検抜け判断	遮断かん異常位置検知	
① 操作器扱い	あり	—	—	—	即時非常停止
② 障検検知	—	あり	なし	—	
③ 遮断異常	—	—	—	あり	
④ 障検検知	なし	あり	あり	なし	防護パターン継続
⑤ 正常	なし	なし	なし	なし	防護パターン消去

を登録します。また、車上/地上間の情報伝送として、識別情報(車両ID, 地上ID)をもち、車上から地上に対しては警報開始や終了情報などの警報制御情報を送信します。一方、地上から車上に対してはリレー状態などの踏切状態情報を送信します。

**(2) 踏切警報制御**

車上主体の踏切警報制御として、警報開始パターン方式を採用しています。本方式は、車上DBにあらかじめ登録した警報開始パターンを超過した場合に、警報開始要求を車上から地上へ送信する方式です。警報開始パターンは、図6に示すように踏切に対して任意の速度

からの最大加速度を考慮した設定警報時間を確保する地点を結んだ軌跡として計算されます。従来の警報開始点(固定位置)の場合、速度によらず最高速度で位置が決められているため、低速接近時に警報時間が長くなる傾向にありました。今回の警報開始パターン方式では、低速接近時に警報開始時間が延長されず、より最適化された定時間制御を可能としています。また、踏切の先に列車長分進入した時点で警報終了要求を送信することとしています。

**(3) 防護パターン制御**

防護パターンは、任意地点において車上DBより発生させます。列車速度

がその地点における防護パターンを超過した場合、車両側でブレーキを動作させることで、列車の踏切への進入を防護します。また、防護パターンは、踏切状態と列車走行位置にもとづきパターンの継続、消去、即時非常停止の制御判断を行うこととしています。たとえば、異常時の例として、踏切支障報知ボタン扱い時、障検検知時、遮断かん異常位置検知時などがあげられ、このような踏切状態を防護パターン制御に反映させます。踏切状態の取得は、踏切関連リレーとの入出力機能にて行います。ここで、踏切状態と防護パターン制御の主な組み合わせを表1に示します。基本的に踏切支障を検知すると、即時非常停止制御とし、安全を確保します(①, ②, ③)。一方で、踏切支障状況によっては、列車運行への支障が大きい即時非常停止ではなく、防護パターンを継続することで安全を確保する方式を採用することとしています。現在開発している画像式踏切障検においては、踏切支障物が遮断完了までに抜けられるかどうかを判断(表1の画像式障検抜け判断)し、抜けられると判断した場合は防護パターン継続(④)、抜けられないと判断した場合は即時非常停止制御(②)とすることを検討しています。なお、踏切が正常に遮断し、踏切支障状態とならなければ防護パターンを消去することとしています(⑤)(図7)。

また、今回検討を行った防護パターン制御においては、列車運行に支障しない範囲で防護パターンを継続させる点が特長となっています。これは、無線通信を使用している都合上、伝送遅延を考慮する必要があるためです。万一、防護パターン消去後に踏切支障が発生した場合には、伝送遅延は列車防護に直接的な影響を及ぼします。そのため、極力防護パターンを継続させ



ることで、直前の踏切支障に対する保安度の向上を図ることとしました。

### 車主体踏切制御システムの適用踏切条件

前述した踏切警報制御ならびに防護パターン制御機能の適用可能な踏切には条件があります。防護パターン制御機能に関しては、いずれの踏切においても適用可能ですが、警報制御機能の適用可否は、踏切設置位置と停車位置の関係で決まります。適用踏切条件を図8に示します。停車目標（以下、停止目標）から制御対象踏切までの距離を $L_1$ 、制御対象踏切と警報開始パターンの0km/h位置までの距離を $L_2$ とすると、 $L_1 > L_2$ の場合は、制御適用可能な踏切となります。一方、 $L_1 < L_2$ の場合は、ホーム停車時にすでに警報開始パターンを超過し、踏切が警報開始してしまうため、車主体制御による警報時間の適正化が困難となります。そのため、現行通り地上側で警報制御を行う必要があります。

### 試作装置による検証試験

今回検討した車主体踏切制御システムの検証を行うため、プロトタイプ装置を試作しました。試作した車主体踏切制御システムを図9に示します。車上装置は、車上DB方式の保安装置であるATS-Dx車上送受信器を基本に試作を行いました。また、無線通信には、以前に開発した拠点無線式列車制御システムの無線装置を用いることとし、2.4GHz帯の無線を使用しています。

この試作装置を用いて、屋内での機能検証試験および屋外での電波伝搬確認試験を実施しました。機能検証試験では、主に前述した車主体踏切制御として、踏切警報制御および防護パターン制御について、正常時、異常時を想定した検証を行いました。試験の

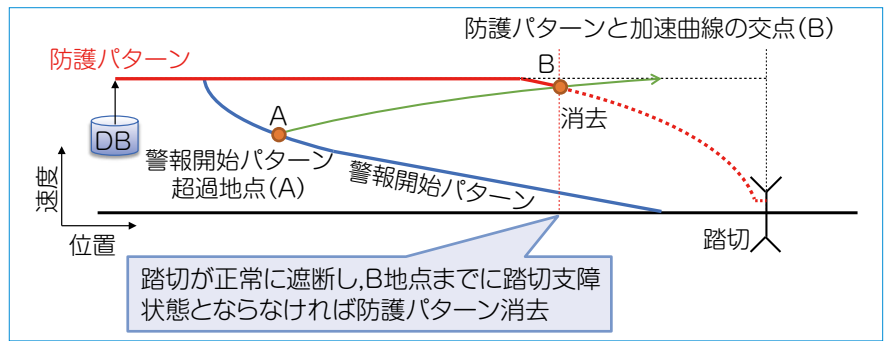


図7 防護パターン制御イメージ

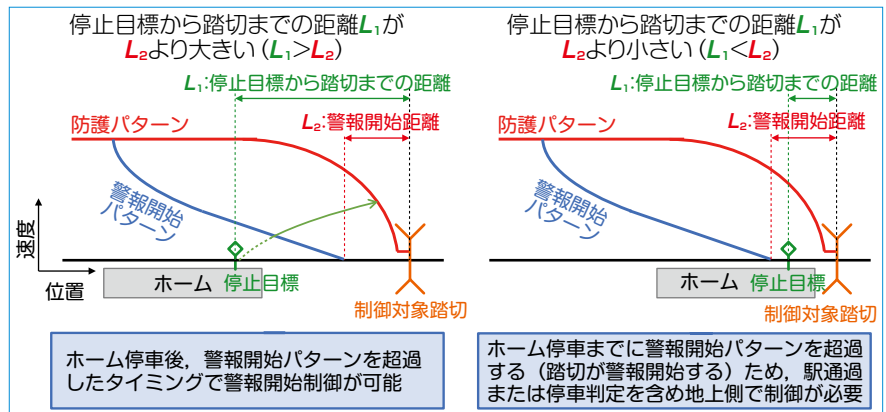


図8 適用踏切条件



図9 試作装置イメージ

結果、それぞれシステム仕様通りに動作することを確認しました。また、電波伝搬確認試験では、鉄道総研の構内試験線において無線通信ができることの確認を行い、安定した通信環境であることがわかりました。

### 今後の展開

今回開発した車主体踏切制御システムは、防護パターン制御による踏切無遮断事故の防止ならびに踏切支障時の保安度向上を実現するとともに、車主体踏切警報制御による踏切定時間制御の最適化にも貢献できます。

今後は、現在開発を進めている画像

式踏切障検との統合試験を実施し、障害物検知から列車防護にいたる総合的な対策の実現を目指します。[RRR]

### 文献

- 国土交通省鉄道局：鉄軌道輸送の安全にかかわる情報（平成27年度），国土交通省HP，2016
- 藤田浩由，新井英樹，佐藤和敏，門脇雅明，貞効路也：車上データベースを用いたATS-Dxの開発，鉄道総研報告，Vol.24，No.3，pp.5-10，2010
- 藤田浩由，比澤庸平，紫尾豪氏，宮下優，新井英樹，砂場真，石毛隆晴，佐藤和敏：無線を活用した踏切防護・警報制御手法の検討，平成28年電気学会全国大会，Vol.5，pp.248-249，2016