

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

# 車上・地上間の無線制御により踏切の安全性を向上する

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取り組みの一つであり、鉄道事業者各社において警報機の視認性向上や、踏切道内の支障物を検出する障害物検知装置の設置などさまざまな対策が実施されています。一方で、個々の要素技術の高度化も重要ですが、踏切システム全体としての対策にも取り組む必要があります。ここでは、車上・地上間の無線通信技術を活用することで、列車接近時の踏切警報制御手法ならびに踏切道内に支障物がある場合に列車を進入させない防護手法を中心に、開発したシステムの概要と試作装置を用いた制御機能試験結果について紹介します。



**藤田 浩由**  
Hiroyuki Fujita  
信号・情報技術研究部  
信号システム研究室  
主任研究員



**新井 英樹**  
Hideki Arai  
前 信号・情報技術研究部  
信号システム研究室長  
(現 研究開発推進部  
計画課長)

## はじめに

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利用者と道路交通者の双方に対する安全性向上を図るうえで重要な課題です。

国土交通省が公表した2019年度の鉄軌道輸送の安全にかかわる情報によれば、踏切障害事故(☞参照)は208件発生しており(図1)、運転事故全体の33.8%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、踏切障害事故を防止できれば、運転事故件数を大幅に削減することができます。そこで、踏切障害事故を防止するため、無線を活用した新しい踏切制御の仕組みを開発しました。

## 踏切安全性向上のための取り組み

踏切障害事故を防止するためには、「①踏切を確実に動作」させるとともに、「②踏切道内の支障物を精度よく検知」し、支障物を検知した際は「③列車に伝えて確実に防護(踏切までに停止)」する総合的な対策が必要です。そこで、①～③の3点を実現するため、(1)列車接近時に踏切が遮断しない事象(以下、無遮断事象)を解消するとともに支障物を検知した際に確実に列車防護を行う「車上主体踏切制御システム」(①、③)、(2)従来の踏切障害物検知装置(以下、障検)では検知が難しい車より小さいものが検出できる「画像式踏切内異常検知装置」(②)を開発しました<sup>2)3)</sup>。(2)については、現在開発中のため、ここではおもに(1)の開発内容を紹介いたします。

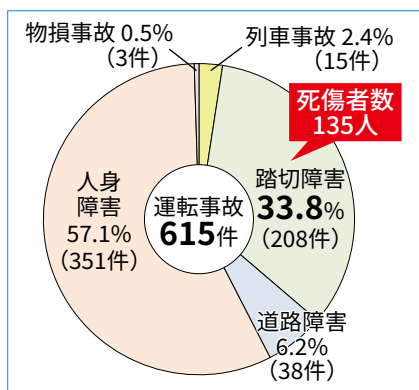


図1 運転事故の種類別件数

### ☞ 踏切障害事故

踏切道において、列車または車両が道路を通行する人または車両などと衝突し、または接触した事故のことを指します。

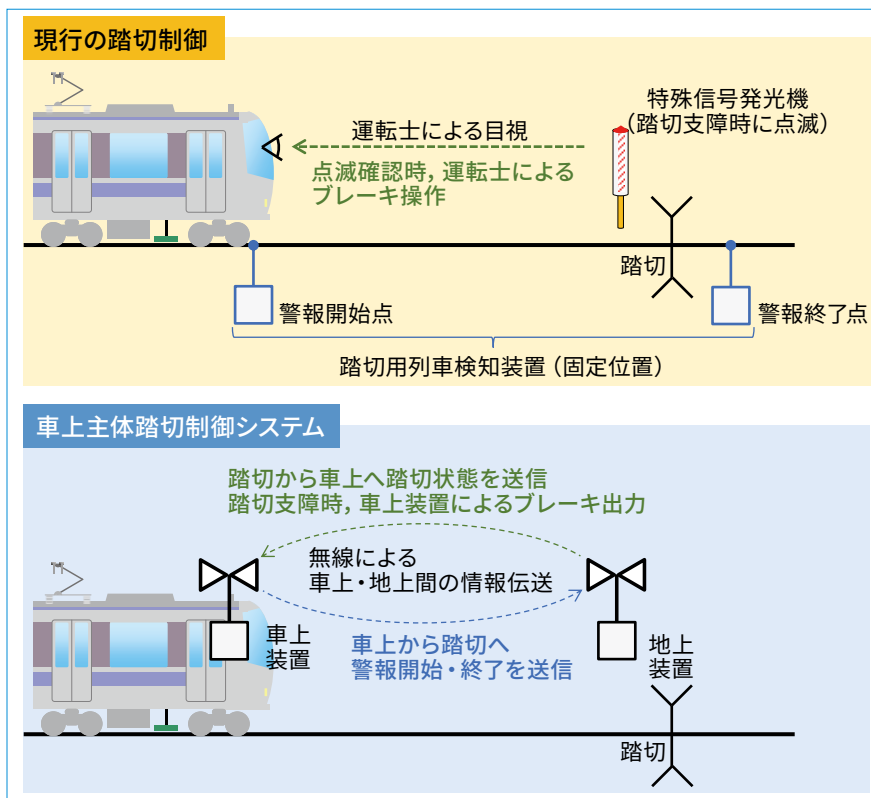


図2 現行の踏切制御と車上主体踏切制御の制御イメージ

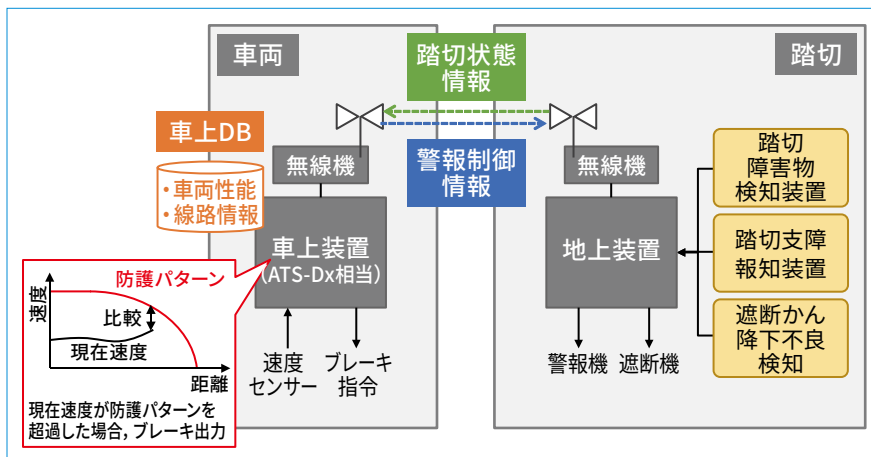


図3 車上主体踏切制御システム構成

### 車上主体踏切制御システムの構成

現行の踏切制御と今回開発した車上主体踏切制御システムの制御イメージを図2に示します。現行の踏切制御では、地上側に設置した警報開始点で列車を検知したタイミングで踏切を遮断させます。また、踏切が遮断中に障検が支障物を検知すると特殊信号発光機が点滅し、運転士が点滅を視認すると

ブレーキを扱う方式が主流となっています。このため、踏切制御における安全性は、列車検知の確実性と運転士の視認性に頼っています。一方、車上主体踏切制御システムでは、車上から踏切の警報制御を行い、万一警報制御ができなかった場合は、踏切手前までに列車を停止させることで、無遮断事象の発生を防ぎます。さらに、踏切支障時は列車を踏切の手前で確実に停止さ

せるよう、障検での検知結果を無線で列車に伝えて車上の装置が自動的にブレーキを出力することで踏切安全性を向上させています。

システムの構成を図3に示します。車上・地上間の情報伝送に無線通信を採用し、鉄道総研が開発したATS-Dx<sup>4)</sup>などの車上データベース（以下、車上DB）方式の保安装置（※参照）が搭載されていることを前提としているのが特徴です。

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）など踏切の異常を検知する各種装置と接続できる入力インターフェースと、車上装置へ踏切の状態情報を送信するための無線機と接続されます。一方、車上装置は、列車の走行位置を認識して踏切に対する警報開始・終了の制御と、ブレーキパターン（以下、防護パターン）と現在速度の比較によるブレーキ制御を行う機能を持ち、地上装置との間で制御に必要な情報を伝送するための無線機に接続されます。ブレーキ減速度などの車両性能や、踏切設置位置などの線路情報といった制御に必要な情報は、車上DBに登録されます。

### 制御概要

車上主体踏切制御システムは、踏切警報制御機能と防護パターン制御機能の2つに分けられます。

#### (1) 踏切警報制御

車上主体の踏切警報制御を実現するため、車上DBにあらかじめ踏切位置

#### ※ ATS-Dx

JR北海道、JR九州の在来線に導入されている自動列車停止装置の一種です。車上DBに曲線や分岐などの線路設備データを登録し、走行位置を常に認識することで、地上設備によらずに速度制限をかけることができます。

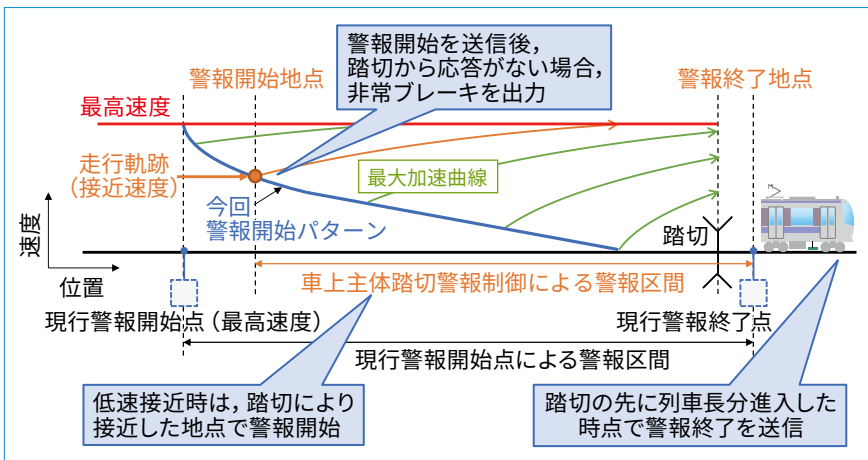


図4 踏切警報制御の概要

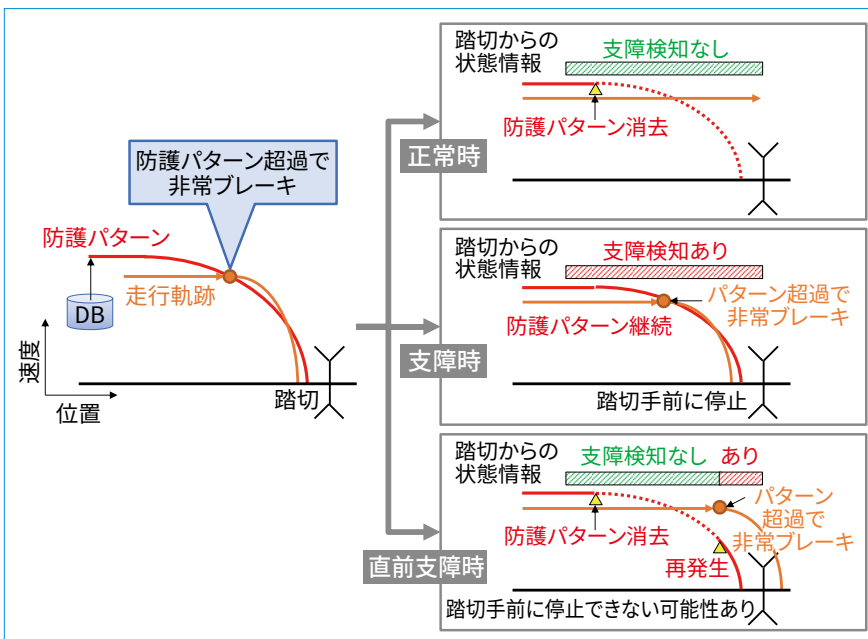


図5 防護パターン制御の概要

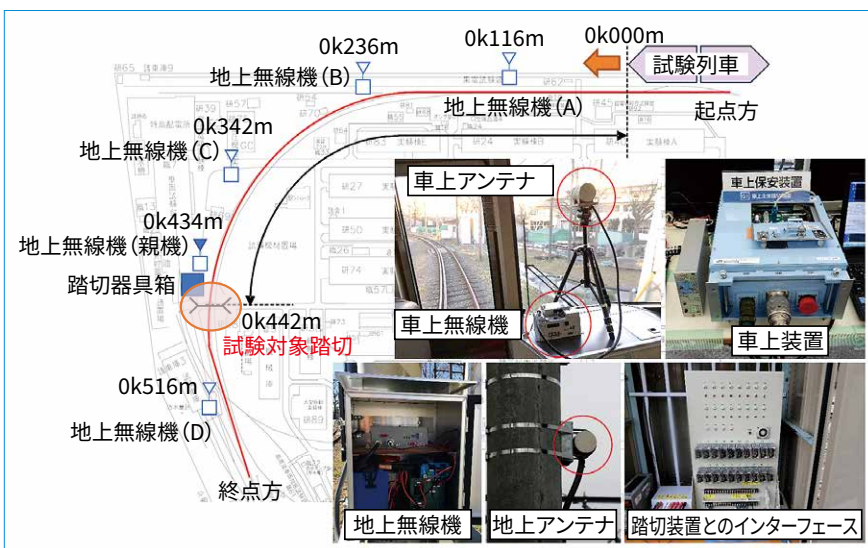


図6 制御機能試験構成

を登録し、踏切に接近した際に車上から踏切に対して警報開始を送信することで踏切を遮断させる仕組みとしています。警報開始を送信したにもかかわらず、踏切側からの応答がない場合は、正しく制御情報が伝わっていないと判断し、非常ブレーキを出力します。これにより、遮断していない踏切への列車進入を防止できることから、安全性を向上させています。

ここで、車上主体の踏切警報制御の概要を図4に示します。警報開始を送信するタイミングは、列車の接近速度に応じて可変させることで、いずれの接近速度であっても極力警報時間が一定となるようにしています。具体的には、踏切に対して任意の速度からの最大加速度に基づき設定警報時間を確保する地点を結んだ軌跡(以下、警報開始パターン、図4中の青線)として計算されます。警報開始パターンを超過すると、警報開始を車上から踏切に対して送信します。また、踏切道から列車長分進出した時点で警報終了を送信する仕組みとしています。

## (2) 防護パターン制御

車上装置は、車上DBに登録したブレーキ減速度や踏切設置位置などの情報に基づき、図5に示すように踏切に対して防護パターンを発生させます。防護パターンは、列車がブレーキをかけた際に踏切手前までに停止できる上限速度と位置の関係を結んだ軌跡を指します。列車の速度が防護パターン速度を超過すると、自動的に非常ブレーキを出力する仕組みとしています。

正常時は、踏切からの状態情報として、「支障検知なし」を受信し、防護パターンを消去することで、列車を通過させます。一方、踏切支障時は「支障検知あり」を受信し、防護パターンを発生したまま(継続)とすることで、万一、運転士がブレーキ操作を失念したとし

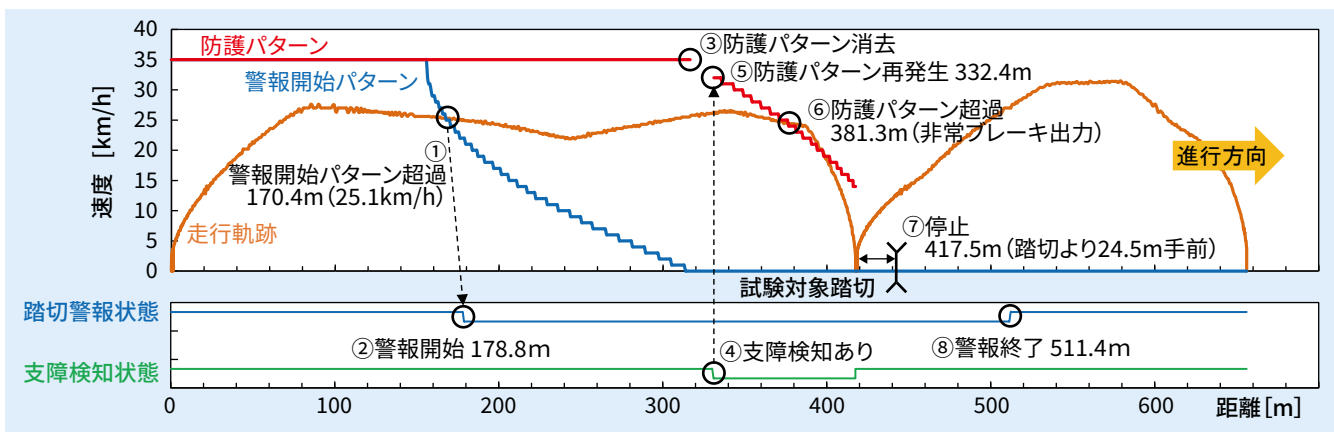


図7 制御結果(障検による踏切支障検知時)

でも、防護パターンにより列車を踏切手前に確実に停止させることができます。ただし、列車が踏切に進入する直前に支障を検知した場合は、「支障検知あり」を受信すると同時に防護パターンを再発生させ、非常ブレーキを出力しますが、検知タイミングによっては踏切手前に停止できない可能性があります(図5の直前支障時の例)。これは、現行の特殊信号発光機の点滅を運転士が視認する方式でも同様であり、本システムでは、防護パターンより手前で支障検知できれば防護可能となります。

## 制御機能試験

### (1) 試験構成

今回検討した車上主体踏切制御システムの検証を行うため、鉄道総研試験線において制御機能試験を実施しました。試験構成を図6に示します。

車上装置は、ATS-Dx車上送受信器を基本に試作を行いました。また、無線通信は、列車制御への使用実績のある2.4GHz帯の無線装置を用いています。地上装置は、試験対象踏切近傍に設置し、地上側の無線機は親機を含め5台で無線エリアを確保することとしました。

### (2) 試験内容・結果

制御機能試験では、正常時のほか、障検や踏切支障報知装置により踏切支

障を検知した場合、無線通信が不良となった場合などの異常時についても模擬しました。ここで、障検による踏切支障検知時のケースについて、図7に制御結果を示します。図7では、横軸を距離、縦軸を速度として、警報開始パターンを青線、防護パターンを赤線、走行軌跡を橙線で示しています。また、踏切側での踏切警報状態と支障検知状態を合わせて示しています。

走行開始後、①警報開始パターンを超過(170.4m地点)したことで、車上から踏切へ警報開始が送信され、この情報を元に②踏切が警報開始(178.8m地点)していることがわかります。続いて、防護パターンは、「支障検知なし」を受信しているため、③いったん消去されていますが、④障検が支障検知し、踏切から車上へ「支障検知あり」が送信されたことで、⑤再発生(332.4m地点)しています。その後、⑥列車の速度が防護パターンを超過(381.3m地点)したことで、非常ブレーキが出力され、⑦踏切より24.5m手前に停止しました。これにより、障検での支障検知結果が踏切から車上に送信されることで、踏切までに列車を停止可能であることが確認できました。なお、踏切道通過後、設定列車長分走行した地点で、車上からの警報終了送信により、⑧踏切が遮断終了(511.4m地点)

したことも確認しました。

このような確認をその他の試験でも実施し、検討した仕様どおり問題なく機能していることを確認しました。

## おわりに

今回開発した車上主体踏切制御システムは、踏切無遮断事象の防止ならびに踏切支障時の安全性向上を実現できます。さらに、現在開発中の支障物を精度よく検知可能な画像式踏切内異常検知装置と組み合わせることで、踏切障害事故防止のための総合的な対策にも貢献できるといえます。

無線を使用したシステムのため、今後は無線式列車制御システム(CBTC)における踏切制御の一手法として適用できると考えています。[RRR]

## 文献

- 1) 国土交通省鉄道局：鉄軌道輸送の安全にかかわる情報(令和元年度), [https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo\\_fr8\\_000037.html](https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr8_000037.html)(入手日: 2021/7/26)
- 2) 長峯望, 向嶋宏記, 市川武: 遠赤外線カメラを用いた踏切内異常検知アルゴリズムの開発, J-rail2020, S6-4-4, 2020
- 3) 藤田浩由, 新井英樹: 無線による踏切制御手法, RRR, Vol.74, No.1, pp.24-27, 2017
- 4) 藤田浩由, 新井英樹, 佐藤和敏, 門脇雅明, 貞川路也: 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