

無線式踏切制御における警報時間短縮のための速度制御の検討

水野 健司* 菅原 宏之 山本 春生 (鉄道総合技術研究所)

Examination of Speed Control for Reducing Warning Times in Level Crossing Control for CBTC

Kenji MIZUNO*, Hiroyuki SUGAHARA, Haruo YAMAMOTO, (Railway Technical Research Institute)

In previous work, we have examined analytically the quantitative relations between the maximum train speed, its running speed, and the warning start position considering a method for level crossing control in a Communications-Based Train Control system (CBTC). In this paper, we examine the application of a control scheme that takes into account the characteristics of the train speed at level crossing control in a CBTC to a technique which was proposed earlier for reducing the warning time at level crossings when a train comes from the opposite direction. We then show the reduction of warning times by using this method for speed control.

キーワード：踏切制御，警報開始点，警報時間短縮，無線式列車制御，速度制御

(level-crossing control, warning beginning point, reduction of warning time, Communications-Based Train Control system, speed control)

1. はじめに

踏切制御において，開かずの踏切問題は依然大きな社会問題である。既設の全踏切の立体化が難しい中，踏切警報時間の短縮は社会的要請の強い課題である。これに対し，現状，列車選別を始め，閉そく信号機の現示や車軸検知器で検知した列車の加減速を踏切制御に反映する手法⁽¹⁾⁽²⁾等の対策がなされているが，これら対策においても列車速度の連続的な監視が困難なため警報時間短縮には限界があり，付帯地上設備も増大傾向にあるので，必ずしも全踏切で理想的な警報時間を実現できていない。

そこで筆者らは，実用化が近づく無線式列車制御システム⁽³⁾⁽⁴⁾向け踏切制御手法^{(4)~(7)}における列車速度と警報開始位置との関係を検討しており⁽⁸⁾，これが安全側制御のために列車の加速を想定することから，この特性を利用した警報時間短縮とその効果を求めたので報告する。

2. 無線式踏切制御

〈2・1〉無線式列車制御システム 近年，開発が活発に行われている無線式列車制御システムは，無線を利用して列車の在線検知を行い，間隔制御に関する情報を地上から車上に無線送信するシステムである。在線検知や間隔制御の方法にバリエーションがあるものの，一般的特徴としては，列車自身が路線上の在線位置を検知する車上位位置検知と，無線による地上一車上間の双方向通信が挙げられる。これを踏切制御に適用した場合，車上装置から踏切に対して車上位位置検知結果と速度照査に用いる列車速度を連続的に送信することが可能となり，踏切で列車位置と速度を連

続監視することができるようになる。

〈2・2〉無線式踏切制御の特性 無線式踏切制御では，列車が現在位置，現在速度から最大加速度と最高速度の範囲内で最速で踏切に到達した場合に，警報開始から列車の踏切到達までの時間が所定の最小値を満たすよう警報を開始する。または，列車が踏切から余裕距離分手前に停止するための限界位置に最速で接近した場合に，警報開始から遮断かん降下と障害物検知装置等による安全確認が完了するように警報を開始する。この結果より，電車列車の加速特性と最大非常制動距離を反映すると，図 1 に太実線で示す警報開始パターンが得られ，特に列車が踏切接近中に加速する場合に踏切制御子による警報制御と比較して警報時間短縮に顕著な効果がある。

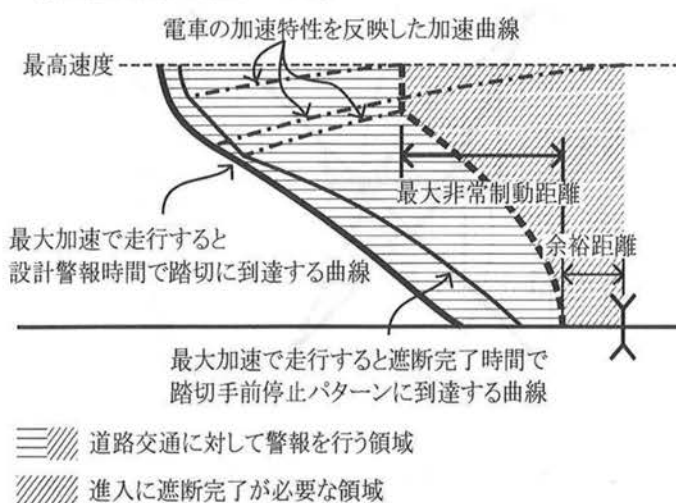


図 1 踏切警報開始パターン (速度制限なし)

3. 警報時間短縮のための走行制御

〈3・1〉 踏切制御子による場合の走行制御 踏切制御子による場合の警報時間短縮手法として、列車選別の他に以下の2種類の速度制御方法が提案されている⁹⁾¹⁰⁾。

(1) 続行列車への速度制御として、ダイヤ上、高速走行できないラッシュ時の優等列車等に対して、警報開始点の通過を遅らせ、先行列車による警報制御と自列車の警報制御の間に、警報停止時間を作る方法がある。図2に示す。

(2) 対向列車への速度制御として、列車が踏切上ですれ違うと両方向の列車に対する警報制御が重複することに着目し、ボトルネック踏切においては極力踏切上ですれ違うように先に踏切に到達する列車を遅延させる方法(図3)と、逆に後から到達する列車を遅延させ、先に到達する列車の警報制御と後から到達する列車の警報制御の間に、警報停止時間を作る方法がある。

既存の手法の場合、列車選別はあるにせよ、警報開始点が列車速度によらずに固定であるので、単純に警報開始点の通過を遅らせる以外の制御は難しい。

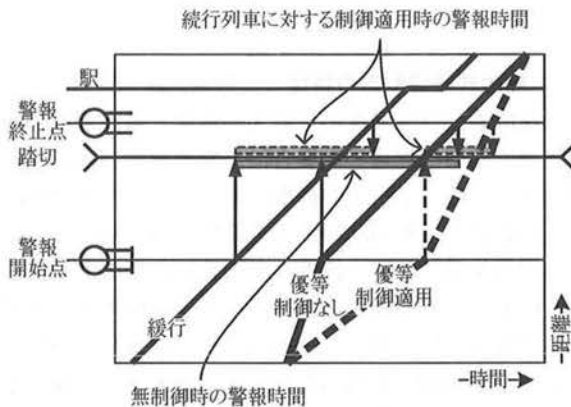


図2 続行列車に対する速度制御

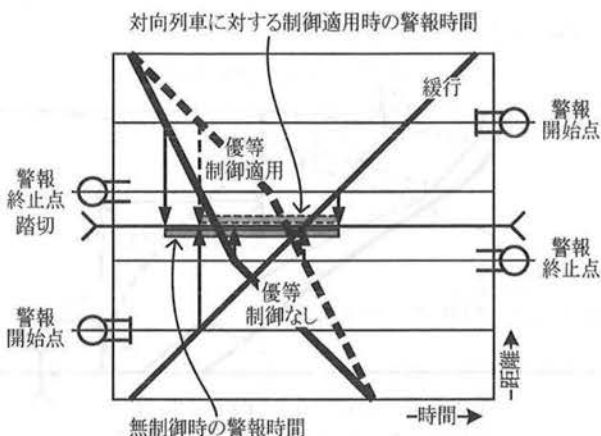


図3 対向列車に対する速度制御

〈3・2〉 無線式踏切制御の場合の走行制御 無線式踏切制御では警報開始の判断に列車速度を反映することと、地上一車上間の無線通信が可能であることより、採用できる方法が増え、複数列車に対する制御のみならず、単独列車に対しても警報時間を短縮する走行制御が可能となる。

単独列車に対する方法は、大別して以下の2種類がある。

(1) 全ての列車に対して、線区最高速度と固定速度制限や車両性能の条件を、一律または車両形式別に適用した固定の警報開始パターンを作成し、この下で列車が図4のように走行して警報時間を短縮する方法がある。警報開始パターンは安全側制御のため列車の加速を想定しており、これに合わせて列車を踏切手前で(必要に応じて一旦減速後に)加速させて警報時間を短縮する。設置位置が固定の踏切制御子に対する走行制御に近い考え方で、警報開始パターンを通過するタイミングをずらす制御となる。

(2) 列車の今後の走行を決定し、最適な警報開始パターンを都度作成する図5のような方法もある。先行列車による間隔制御や速度低下、臨時速度制限、ダイヤ上の最高速度等を反映して常に最適な警報時間の実現を可能にするが、設定した走行パターンに対する速度照査や、間隔制御に関しては先行列車の進行による走行許可範囲の前進も考慮する必要がある。地上側で今後の走行パターンを決定する場合は、列車位置の伝送遅延や速度照査を担保する仕組みが課題となり、車上側で今後の走行パターンを決定する場合は、先行列車の進行の予測が課題となる。

上記の単独列車に対する方法に加えて、踏切制御子による場合の走行制御と同様に、誤通過防止制御を前提とした列車選別と、対向列車への速度制御を組み合わせれば、より一層の警報時間短縮が見込められると考えられる。

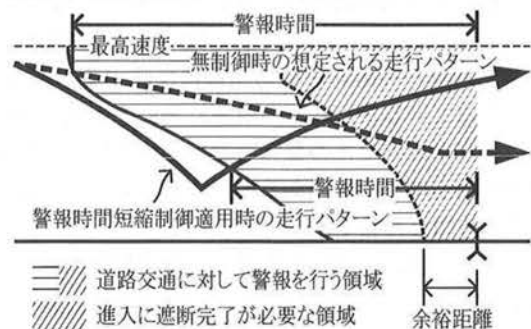


図4 固定の警報開始パターンでの速度制御

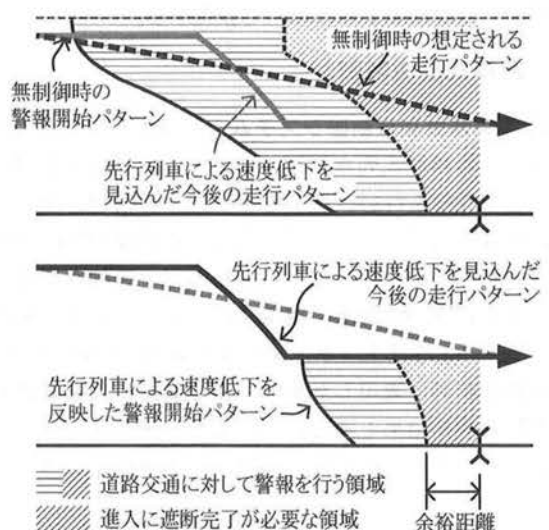


図5 今後の列車走行に応じた警報開始パターン作成

4. 警報時間短縮効果のケーススタディ

〈4・1〉 走行制御パターン 本稿は走行制御の第一歩として、無線式踏切制御の導入のみで運転方法の工夫により実現できる、固定の警報開始パターンの下で踏切手前での列車加速による方法を扱う。しかし、この条件でも検討すべき項目が多岐に渡るため、走行制御の現実性にもある程度考慮して更に表 1 の制約条件を設け、図 6 に示す走行パターンを適用した場合で、列車が等速走行を行った場合に対しての警報時間短縮のケーススタディを行った。

表 1 制約条件

制御の現実性に関する課題	設定した制約
踏切手前での加速により列車が早着する可能性がある。	走行制御の範囲を定めて、進入・進出時の速度と時刻が、当該範囲を等速で走行した場合と同一になるように、踏切手前で一旦減速後に加速することとした。
先行列車との間隔制御により加速できない可能性がある。	走行制御の範囲内では、列車位置が等速走行時より先行しない制御とした。
1km/h 単位での速度調節は非現実的である。	乗務員への速度指示を想定し、速度制御の目標速度は 5km/h 刻みとした。
頻繁な加減速は煩雑である。	加減速回数を極力少なくし、走行制御の範囲内で加速が 1 回、減速が 2 回とした。
踏切手前で停止するとダイヤへの影響が大きい。	踏切手前で一旦減速する際の制限速度に下限値を設けた。

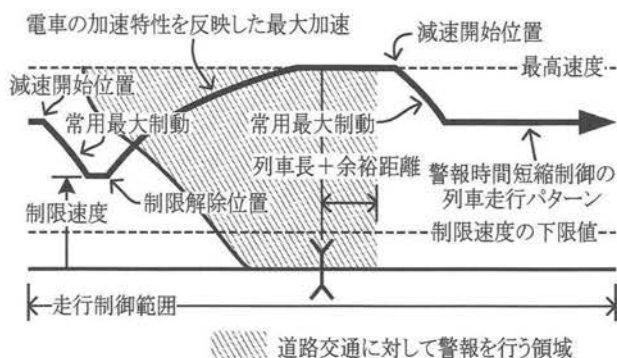


図 6 本稿での警報時間短縮制御の走行パターン

以上の制約より、走行制御範囲や線区最高速度、車両性能、設計警報時間等が与えられると、制限速度への減速開始位置、制限速度、制限解除位置、最高到達速度、最高到達速度からの減速開始位置がパラメータとなり、これらが与えられると警報開始・警報終了が求まり、無制御時や踏切制御子による方法と比較が可能となる。

〈4・2〉 単独列車での警報時間短縮効果 対向列車を考慮しない場合は、踏切手前で一旦減速し、踏切接近中は最大加速（または線区最高速度で走行）し、踏切通過中も線区最高速度で走行できれば、当該踏切に関して最適な警報時間を実現できる。前項の制約に基づき、表 2 に示す車両性能、線区条件での警報時間短縮効果を図 7 に示す。

図 7 より、踏切前後での列車平均速度が 40km/h 以上の実用的な速度域では最適な警報時間を実現している。40km/h 未満でも踏切制御子による場合に比べて最大で 60 秒以上、無線式で走行制御無しの場合と比較しても最大で 40 秒以上、割合にするとそれぞれ約 58%、約 49%短縮と、極めて顕著な警報時間短縮効果が得られている。

表 2 踏切および車両の諸元

線区最高速度	90 km/h
制限速度の下限値	25 km/h
起動加速度	3.0 km/h/s
定加速領域終端速度	40 km/h
定出力領域終端速度	60 km/h
常用最大減速度	4.0 km/h/s
列車長+余裕距離	210 m
設計警報時間	35 s
制御範囲（踏切が中心）	3000 m
勾配	0 ‰

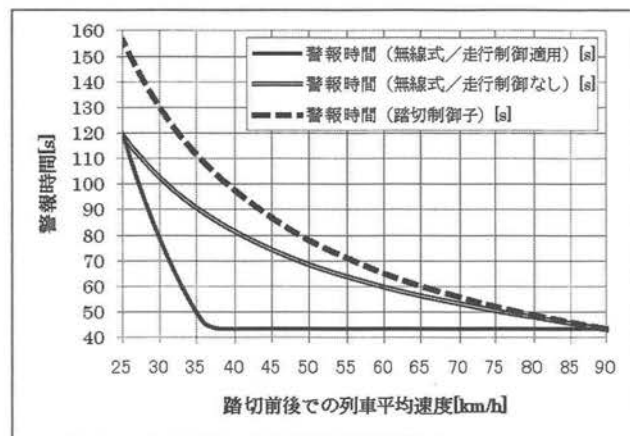


図 7 単独列車での警報時間短縮効果

〈4・3〉 対向列車での警報時間短縮効果 無線式踏切制御で対向列車とすれ違う場合は、双方の列車速度の組合せごとに検討する必要がある。双方の列車の踏切制御のための踏切到達予測時間に基づいて走行制御情報を求め、車上へ送信することとなるが、踏切制御子による場合は制御区間への進入タイミングだけがパラメータであることと比べて、検討すべきパラメータの組合せは膨大化する。本稿では、単独列車での警報時間短縮を基に、双方の列車の走行制御範囲への進入タイミングが同時の場合、15 秒差となる場合、30 秒差となる場合について、その警報時間の算出を行った。先行列車と対向列車の速度差によっては、警報制御が連続しない場合もあるが、この場合は双方の列車の警報時間を合算している。

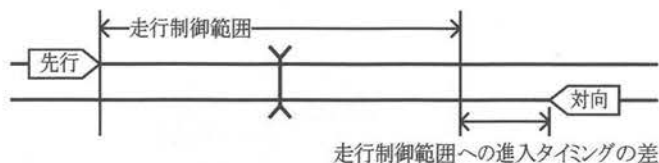


図 8 制御範囲への進入タイミング

今回の検討では、〈4・2〉で求めた単独列車で最短の警報時間を実現する走行制御を基本とし、なるべく踏切上ですれ違うような走行制御を行っている。図 9～11 に示す結果によると、走行制御の適用で全体的に警報時間が短縮されており、踏切前後の走行速度が 40km/h 程度以上で警報時間が本ケーススタディでの最適警報時間である 43.4 秒の 2 倍以内に収まっている。特に 2 列車の速度差が 20km/h 程度までの場合には警報時間を概ね最適化できているので、踏切上ですれ違うためのタイミング合わせ調整範囲も広く取れていることがわかる。

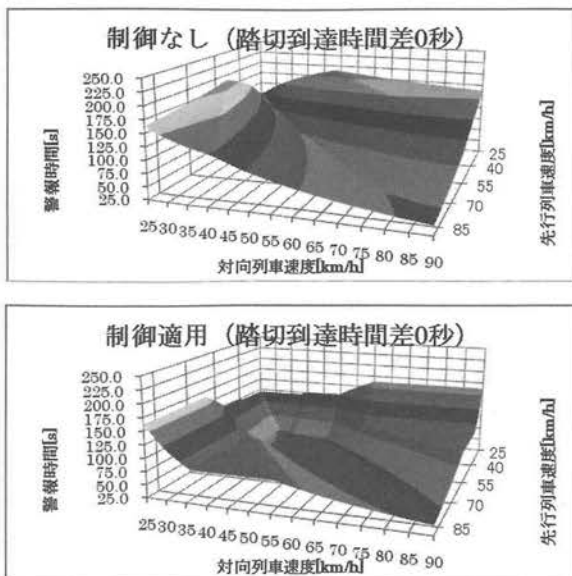


図 9 踏切到達予測時間が同時の場合

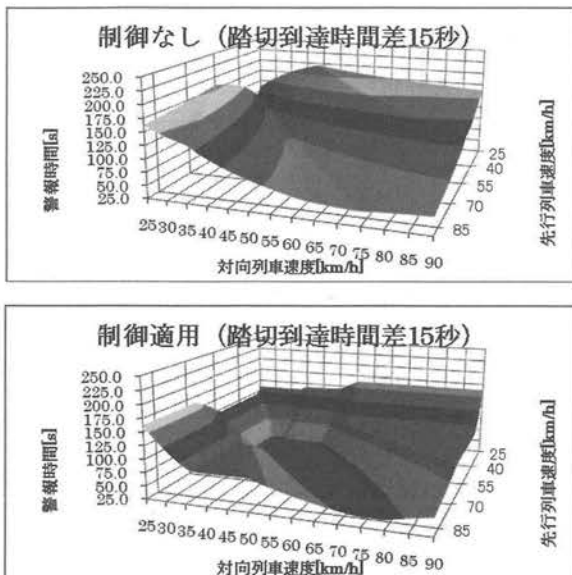


図 10 踏切到達予測時間が 15 秒差の場合

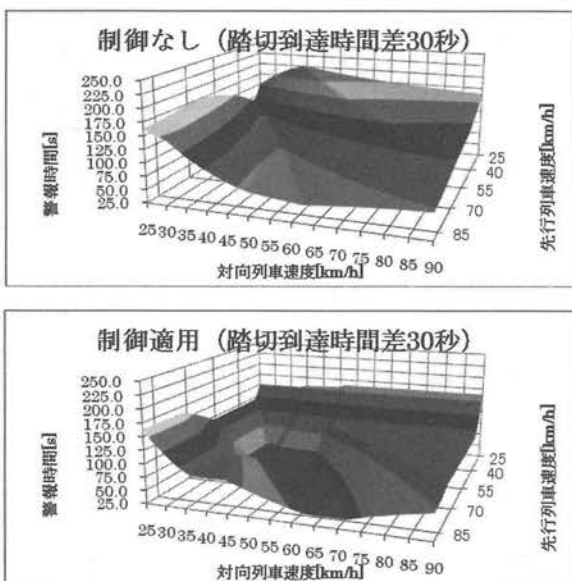


図 11 踏切到達予測時間が 30 秒差の場合

〈4・4〉 走行制御の実路線への適用 今回の検討では警報時間の短縮効果は得られたが、走行制御の方法が踏切の警報時間短縮のために列車を大きく減速させるため、現状の列車運行に対して影響を及ぼす可能性が高い。しかし、優等列車が先行列車の駅停車により低速走行を強いられるラッシュ時に、ボトルネック踏切の警報時間を大幅に短縮するなど、特定の目的には適用可能と思われる。また、ダイヤ上の余裕の範囲での走行制御の適用で、最適な警報時間とはならずとも、大幅な警報時間短縮効果が見込める。

5. おわりに

今回の検討は、限られた条件の範囲内での解析的な計算に留まるが、無線式踏切制御における走行制御が警報時間短縮に極めて効果的であることは示せたと考えている。

今後の更なる検討課題は以下に示すように、

- 通信遅延や途絶がない理想的な通信状態での計算なので、通信環境を考慮した場合の効果
- 運転操作の誤差がない前提の計算なので、実用的な走行制御を行うための乗務員への指示方法
- 短い間隔で続行する複数の列車に対して走行制御を行った場合のダイヤへの影響
- “列車群” 対 “踏切群” での群制御手法の検討
- 種々の線路条件下において実時間で有用な速度制御の目標値を算出する方法

等が挙げられる。また、加減速に伴う消費エネルギーについても本稿の検討の範囲外としているが、踏切待ちの自動車で失われるエネルギー消費が削減できるので、総合的に見れば相殺されると思われる。今後は多方面からの検討の深度化を図ることが望ましいと考える。

文 献

- (1) 小林：「小田急電鉄の首都圏踏切定時間制御システム」、鉄道と電気技術、Vol.8, No. 1 pp32-35 (1997.1)
- (2) 梅津：「駅近傍の踏切警報時間の改善 シミュレーションにより機器の最適配置と改善の事前予測」、京三サーキュラー、Vol.49, No.1 pp10-15 (1998.1)
- (3) 黒岩篤・梅津知史・伊藤徹理・森井明・馬場裕一・中山恒・今野信三：「仙石線における ATACS の実用化」、JR EAST Technical Review, No.28-SUMMER.2009, pp41-46 (2009.8)
- (4) 社団法人 日本鉄道電気技術協会：「JRTC (Japan Radio Train Control system) システム要求仕様書 (SRS) 解説 (参考)」, 無線による列車制御システム規格化検討委員会 報告書 (2008.12)
- (5) 熊谷・平尾・長谷川：「次世代踏切制御方式」、鉄道総研報告, Vol.4, No.11 pp42-49 (1990.11)
- (6) 平尾・西堀・南・長谷川：「次世代運転制御システム (CARAT) における踏切制御」、鉄道総研報告, Vol.7, No.5 pp25-31 (1993.5)
- (7) 池田・齋藤：「GPS を利用した踏切定時間制御システム」、平成 13 年 鉄道技術連合シンポジウム, S7-1-7, pp325-328 (2001.12)
- (8) 水野・菅原・山本：「無線式列車制御システムにおける踏切制御に関する一考察」、電気学会研究会, TER-10-37/LD-10-26, pp41-46 (2010.7)
- (9) 斉藤・曾根・高野：「複線区間における開かずの踏切の開扉時間を確保する列車群制御法」、電気学会研究会, TER-03-14/ITS-03-07, pp37-42 (2003.3)
- (10) 上田・望月・中村・坂井・佐藤：「踏切遮断時間短縮を目的とした列車ダイヤの最適化」、第 14 回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2007), S9-14, pp373-374 (2007)