

3508 鉄道運行との連携による踏切遮断時間(警報時分)の短縮 (出発信号機化、PRCによる適時制御)

播磨 義憲(大同信号) 〇斉藤 修一郎(大同信号)
六車 尚修(琴平電鉄) 幡歩 浩司 (交通計画協会)

A policy aiming to reduce railroad crossing blocking time by developing railway operation.
(Utilization of Starting signal and PRC system)

Yoshinori HARIMA, Daido-Signal Co. Shuichiro SAITO, Daido-Signal Co
Yoshinobu MUGURUMA, Kotoden Co. Kouzi HATABU, JTPA

To reduce the blocking time at railroad crossings which ahead of intermediate stations in a block section, we changed the blocking signal which is equivalent to a Starting signal into semi-automatic Starting signal, and developed a control program of PRC system for signaling, and optimized the control constant.

We demonstrated this signaling method at Motomachi railroad crossing operated by Takamatsu-Kotohira Electric Railroad Co., Ltd., and it showed that we could reduce about 20% of the blocking time of up track in the morning rush hours (AM8:00 to 9:00), and improved the traffic volume.

This policy even requires collaboration between railroad crossing control management and railway operation, but in terms of the study, we present that both blocking time reduction and train punctuality or cost management should be compatible.

Keywords: railroad crossing, railroad crossing control, warning control, warning time, railway operation, prc

1. はじめに

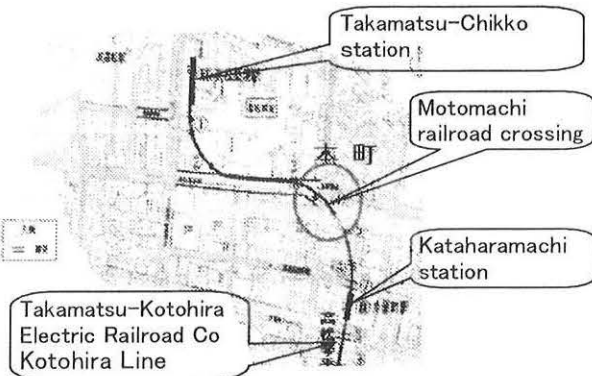
「開かずの踏切」等における速効対策として、踏切遮断時間(以下、警報時分と呼ぶ)を短縮するためには、踏切制御と鉄道運行との連携など、踏切制御に係るシステム全体の高度化を推進することの必要性が指摘されている。

この要請に応える案件として、高松琴平電気鉄道(株) (“ことでん”)の高松市市街地にある「本町踏切」の警報時分の短縮を列車の出発の時機を適時に行なうことにより実現した。

本町踏切は、踏切遮断交通量が 50,000 時台/日を超えるボトルネックの踏切であるが、朝8時台のピーク時の警報時分が改良前の約 30 分から 26 分に短縮された。

この施策は、2008 年度、国土交通省 都市・地域整備局殿が公募した「踏切制御システムの高度化推進に関する検討業務」の一環として実施したものである。

2. 対象踏切(本町踏切)の主な緒元



- ・ 踏切遮断交通量が 50,000 時台/日を超えるボトルネックの踏切である。
- ・ 琴平線と長尾線の列車が通過し、旅客列車本数は、1日あたり、上り 129 本、下り 130 本と多く、特に朝のラッシュ時間帯は 2 分間隔が多い。
- ・ 道路が多方面から集合する複雑な形状で、また鉄道線路も急カーブが S 字状に連なる。列車の走行速度は 35km/h に制限されている。

3. 改良前の踏切制御方式と課題

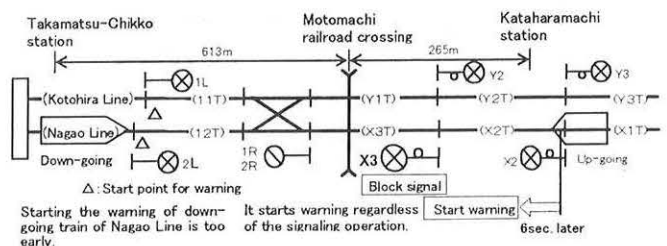


Fig-1 Warning control status before improvement

3.1 上り列車による警報

上り列車の先頭部が片原町駅のホームトラック(X2T)に進入して6秒後に無条件に警報開始する。

片原町駅は閉そく区間の中間駅で上り出発信号機相当の信号機は閉そく信号機X3である。警報開始条件に信号機の条件が関連付けられておらず、例えば、先行列車が存在して閉そく信号機X3が停止信号で出発できない場合、あるいはX3が

注意信号で出発した列車が高松築港駅の場合、信号1R/2Rの停止信号（両駅間は1閉そく区間）により、その手前の本町踏切付近で停車する可能性が大きい場合にも警報するので、長い間警報が継続することが多い。

3.2 下り列車による警報

高松築港駅を出発する琴平線、長尾線の下り列車とも、それぞれの出発信号機の内方（11T あるいは 12T）に進入した時点で警報を開始するが、長尾線は踏切に至る道程が長いので琴平線の下り列車に比べ警報時分が長い。

4. 警報時分の短縮策

4.1 上り列車による警報

- ① 閉そく信号機X3を半自動信号機である出発信号機（5R）化し、5Rの制御をPRC（プログラム式進路制御装置）により適時に行なう。
- ② 本町踏切の警報開始時機は、列車がホームトラック（X2T）に在線上5Rを反位に制御したときとする。
PRCは、各列車の運行計画（列車ダイヤ）に基き、列車の位置や信号機などの情報を総合的に判断して信号機を制御するので、出発信号機5Rを反位に制御、つまりは本町踏切の警報開始が列車運行と連携し適時に行なわれることになる。
- ③ 5Rに現示時素 γ 秒（最終値＝17秒）を付加し、また「現示時素打ち切り機能」を実現した。
5R反位制御時に警報開始するが、本町踏切までの距離が短いので5Rに現示時素を付加することにより、所定の警報時分を確保した。一方、下り列車により既に警報して現示時素に達した場合には、直ちに注意あるいは進行信号を現示して列車の遅れを回避する機能を実現した。
- ④ 踏切用のATS（自動列車停止装置）を新設し、安全性を向上させた。
本町踏切の手前にATS地上子を新設し、万一踏切が遮断していない時には列車を止める。

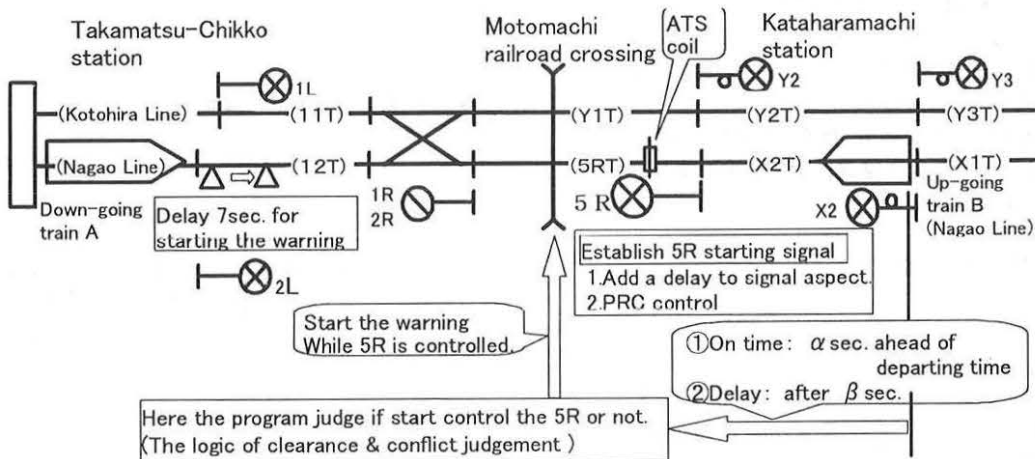


Fig-2 Warning control status after improvement

4.2 PRCによる5Rの適時制御

5Rを反位に制御時に上りの警報を開始するので、警報時分を適正化するためには5Rを反位に制御する時機（タイミング）が重要で、PRCの制御論理の構築と制御パラメータの決定がポイントとなる。

4.2.1 制御論理（「他列車との支障・競合判断論理」）

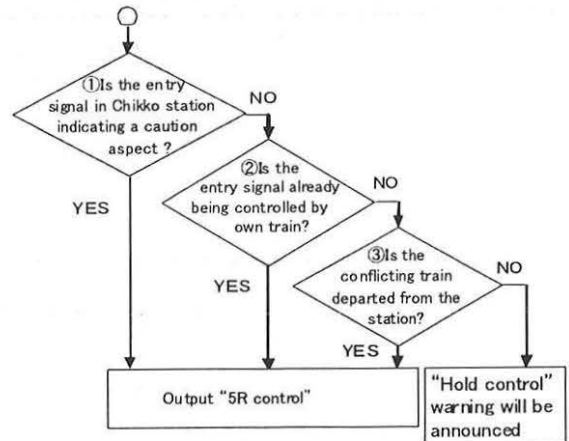


Fig-3 Flow of the signaling transaction

5Rの制御にあたり、3.1 項の課題を解決するために、片原町駅における自列車のダイヤを参照することの他に、高松築港駅及び両駅間に在線する他列車との支障・競合を判断する論理を構築した。その判断論理の概念を図-3フローチャートに示す。

他の列車との支障・競合する例を下記に示す。

- (1) 実施例1 : 高松築港駅に競合する下り列車が存在する場合の例

図-2において、片原町駅に停車中の上り列車Bは長尾線の列車とする。築港駅の長尾線の到着線には下り列車Aが存在するので競合する。この状態で列車Bが片原町駅を出発すると、築港駅の場合、信号の停止信号によりその手前、本町踏切付近に停車せざるを得ない場合が多々ある。本判断論理では、5Rの制御を保留し、下り列車Aが出発し 12T に進入した時点で5Rを制御する。このタイミングで制御すると両列車が近い時機に踏切に接近し通過する。

- (2) 実施例2 : 先行する上りの列車が走行中の場合の例

数珠繋ぎに連続して2本目の上り列車が片原町駅に到着した場合、先行する列車が存在するので5Rの制御を保留する。

4.2.2 制御パラメータ

PRCにおいて、制御論理を起動するタイミングを決める定数で、主に次の2通りがある。

列車がホームトラック(X2T)に完全に進入したタイミングで、当該列車が列車ダイヤ通りに定刻で到着したか、遅れたかを判断する。

- ① 列車が定刻で到着した場合には、
ダイヤ上の出発時刻の一定時分(α 秒)前に、
- ② 遅れて到着した場合には、
その時点から一定時分(β 秒)後に、
制御論理を起動する。

α 、 β 及び現示時素の γ の最適値を求めるために、片原町駅において、上り列車がホームトラックX2Tに完全に進入してから停車するまでの時間、乗降のために停車している時間、ドアが空いている時間を、朝のラッシュ時間帯、昼間の時間帯、夕方のラッシュ時間帯にそれぞれ実測した。

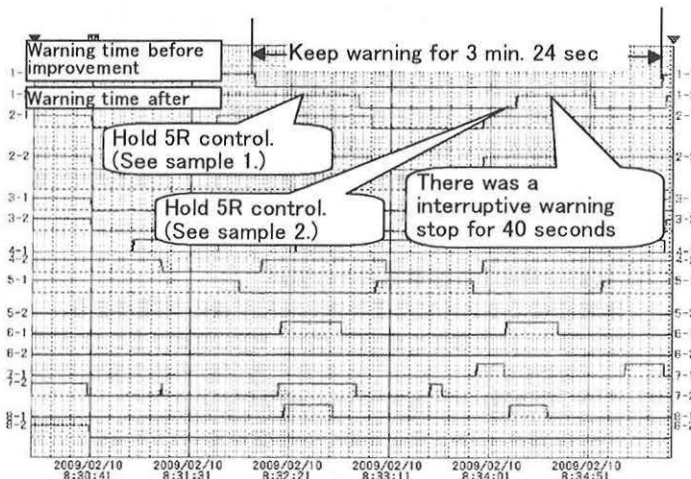
その結果、及び改良前後のシステムを並列に稼働させたモニターラン試験においてカットアンドトライを繰り返し、最終的には次の通りに設定した。

- ① α 秒=20秒
- ② β 秒=13秒
- ③ γ 秒=17秒

4.2.3 制御論理、制御パラメータの評価

前述の「他列車との支障・競合判断論理」及び制御パラメータを投入したPRC(改良後のシステム)と、改良前のシステムとを並列に稼働させたモニターラン試験において収集したデータの一部を図—4に示す。

実施例1と実施例2が連続して発生した例であり、改良前のシステムでは3分24秒もの間、踏切が遮断されていた。改良後は本論理が機能し、1本目の列車の警報開始が50秒ほど抑止(保留)され、また2本目の列車との間に、約40秒間踏切遮断が開放された。



Fig—4 Term chart around the time of improvement

4.3 長尾線の下り列車による警報

警報開始時機を、最終的には7秒遅らせた。

5. 評価、考察

5.1 警報時分の短縮効果

5.1.1 警報時分の総括表

改良前後の警報時分を比較した総括を次ページの表—1に示す。

改良前後の比較とは、

改良前の2月10日、12日、13日、16日、17日の平日の5日間、改良後の3月2日、3日、4日、5日、6日の平日の5日間、それぞれの

- (a) 上下列車を纏めた本町踏切としての平均の警報時分の短縮時分
- (b) 上り列車のみに着目した上り列車単独の平均の警報時分の短縮時分
- (c) 長尾線の下り列車のみに着目した長尾線の下り列車単独の平均の警報時分の短縮時分

5.1.2 警報時分の分布

改良前、改良後の両システムの朝タラッシュ時間帯、昼間の時間帯における上り列車の警報時分の分布を図—5に示す。警報時分が短くなり、短い方に集約されたことが示されている。

5.2 評価

5.2.1 警報時分の短縮時分

- ① 踏切全体((a)欄の合計)としては、1日の平均警報時分は改良前の16749秒に対して、改良後は15512秒となり、1236秒短縮された。改良前を100とした場合、約7.4%の短縮である。
- ② 朝夕のラッシュ時間帯における警報時分の短縮効果が大きい。
特に、列車本数(密度)、道路渋滞量とも大きい8時台の短縮効果が13%と大きい。
- ③ ラッシュ以外の閑散時間帯では短縮効果が小さい。
- ④ 今回の主要テーマであった上り列車に対する短縮策は、ラッシュ時間の朝8時台に大きな効果を発揮し、21%短縮された。
- ⑤ 長尾線の下り列車による警報時分の短縮は、一律7~8秒であった。
- ⑥ 踏切全体((a)欄)の短縮時分が、上り列車((b)欄)と長尾線下り列車((c)欄)の短縮時分の合計値に比べ小さい理由は、上下列車による警報が重なることにより短縮時分が吸収されたためと判断している。

5.2.2 時間帯で短縮時分が違う理由

- ① 朝夕のラッシュ時間帯における警報時分の短縮効果が大きい理由：
今回、新たに開発し投入した「他の列車との支障・競合判断論理」が有効に機能したものと考えられる。
- ② ラッシュ時間帯以外の閑散時間帯では短縮効果が小さい理由：
 - a. 閑散時間帯では「他の列車との支障・競合判断論理」が機能するチャンス少ないこと。
 - b. 現示時素($\gamma=17$ 秒)により列車の出発時機が数秒遅れ、この分警報時分が長くなる。
出発の遅れは、乗降時間が長い朝のラッシュ時間帯には無視できるが、それ以外の時間帯では、改良前より約8秒程度遅れると推定している。

Table 1. Summary of blocking time reduction

Time	(1)Blocking time before improvement (Sec.) (Numbers of train)			(2)Blocking time after improvement (Sec.)			(3)Reduced time ((1)-(2))(Sec.) (Per train) <(3)/(1)>		
	(a)Up and Down track			(b)Up-going train			(c)Nagao Line, down-going train		
The initial train ~ 06:59	③30.7 (2.6)	<4.0%		③40.0 (6.7)	<8.8%		③22.2 (7.4)	<11.3%	
07:00~07:59	③92.9 (5.5)	<8.3%		③98.1 (10.9)	<13.3%		③22.6 (5.6)	<9.0%	
08:00~08:59	①1791.8	[26 trains]		①1140.0	[13 trains]		①328.4	[5 trains]	
	②1546.1			②896.6			②285.4		
09:00~09:59	③245.7 (9.5)	<13.7%		③243.4 (18.7)	<21.4%		③43.0 (8.6)	<13.1%	
	③58.4 (3.4)	<5.5%		③78.6 (9.8)	<12.6%		③37.1 (7.4)	<11.6%	
10:00~16:59	③297.2 (3.0)	<4.7%		③291.2 (5.9)	<8.1%		③167.1 (8.0)	<12.4%	
17:00~17:59	③149.5 (7.9)	<12.4%		③141.0 (14.1)	<17.7%		③39.0 (7.8)	<12.2%	
18:00~18:59	①1017.4	[16 trains]		①638.4	[8 trains]		①256.2	[4 trains]	
	②878.6			②535.6			②226.0		
19:00~19:59	③138.8 (8.7)	<13.6%		③102.8 (12.9)	<16.1%		③30.2 (7.6)	<11.8%	
	③97.5 (5.7)	<9.2%		③113.4 (14.2)	<17.4%		③48.4 (9.7)	<14.7%	
20:00~The last train	③126.2 (3.3)	<5.1%		③99.8 (5.3)	<7.5%		③64.4 (8.1)	<12.2%	
Total	①16749.1	[260 trains]		①9968.0	[130 trains]		①3874.0	[60 trains]	
	②15512.4			②8759.7			②3400.1		
	③1236.7 (4.8)	<7.47%		③1208.3 (9.3)	<12.1%		③473.9 (7.9)	<12.2%	

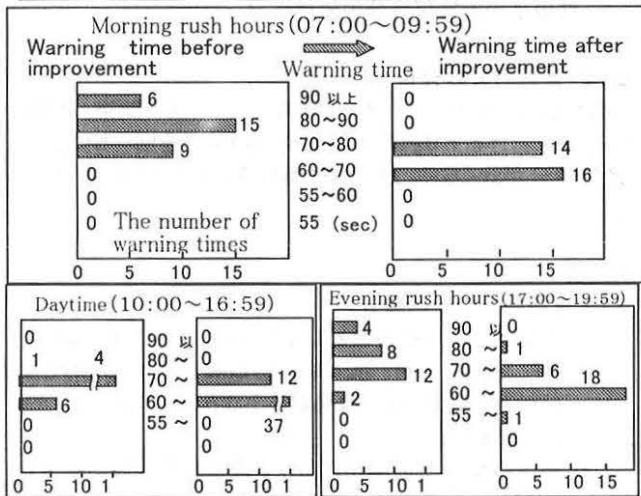


Fig-5 A distribution graph of warning time

5.2.3 「現示時素打ち機能」の発生頻度

高松築港駅からの下り出発時刻と片原町駅からの上り出発時刻が近い上り列車において、1日に7、8回発生している。「現示時素打ち論理」が機能したときには、直ちに進行信号が現示され、乗降が終われば直ちに出發できる。

この機能が働いたときには、出發の遅れが増すことがないことが確認できた。

5.2.4 列車運行の定時性に対する影響の検証

今回の警報時分短縮対策を行なうことによって、列車の遅れが発生したか、あるいは遅れが増すことになったか否かを検証した。

(1) 現示時素付加による影響

片原町駅の改良前の出發信号機相当のX3は閉そく信号機であり、通常は注意信号あるいは進行信号である。列車が遅れて到着し、かつ乗降時間が短い場合には、ドアが閉じれば直ちに出發できる。

一方、改良後は、17秒の現示時素が付加したために、乗降が済んでも、出發信号機が注意信号あるいは進行信号になるまで、出發が待たされ遅れになる。

観測データから乗降の少ない時間帯における遅れの時分は、改良前との単純比較で平均8秒程度と推定している。

(2) 「他列車との支障・競合判断論理」による影響

「他列車との支障・競合判断論理」が機能した列車について、片原町駅のホーム進入から高松築港駅のホーム進入までの時間を、改良前の同列車の時間と比較した。その結果は、支障・競合状況が同じであっても、支障・競合状態がどの時点で解消するかによって、列車の遅れが発生しない場合と遅れが発生する場合があり一律には評価できない。

6. 更なる短縮案

6.1 改良後のシステムの課題

出發の時機が遅れる場合がある。この遅れの分だけ警報時分が長くなる。この事象として、出發信号機5Rに17秒の現示時素を付加したことが誘因の場合と、「他列車との支障・競合判断論理」が逆作用した場合とがある。

6.2 改善方策

① 制御パラメータβは、現在は13秒で一律であるが、これを朝のラッシュ時間帯用と、乗降時間が短い、それ以外の時間帯用に2つ持つ。朝のラッシュ時間帯以外のβを短くし、出發時機の遅れを軽減する。

② 上下列車が踏切を同時通過する制御論理を構築する。PRCの制御論理として、片原町駅の上り列車と高松築港駅の下り列車の出發時機を調整し、上下列車をほぼ同時に本町踏切を通過させる論理を開発する。

警報時分を短縮する理想的な方式であるが、一方、定刻で出發できる列車の出發を遅らせることになるので、鉄道事業者との調整が必要である。

7. 道路管理者と鉄道事業者との協調

本町踏切では大きな効果が得られたが次の課題がある。

① 閉そく信号機を出發信号機化、PRC制御するには多額の費用がかかること、出發信号機が故障時の運転取扱いが煩雑になり運転再開に時間がかかる。

② 列車の出發を抑止することに繋がる。今回、隣接の築港駅は折り返し駅で、折り返しの余裕時分により折り返し列車の出發に遅れが発生せず、線区全体の運行に支障がない好条件であった。

本施策を実施するにあたり、出發の遅れが運行全体に与える影響に対する評価、警報時分の短縮効果と費用負担や鉄道運行の定時性の確保などについて、道路管理者と鉄道事業者との協調が必要である。(以上)