

# 道路交通流の阻害低減のための踏切群制御手法

厚田 和也\* 中川 伸吾\*\* 熊澤 一将\*\*\*

Control Method of Multiple Level Crossings for Obstruction Reduction of Road Traffic Flow

Kazuya ATSUTA Shingo NAKAGAWA Kazumasa KUMAZAWA

So far several methods for reducing warning time of level crossings have been studied to decrease the obstruction of road traffic flow during rush hours. However, the influence of the warning time reduction on the road traffic flow has been not sufficiently considered in these methods. For this problem, we propose a multiple level crossing group control method which considers the traffic flow of road network. Furthermore, to evaluate the effectiveness of the proposed method, we develop two simulators: level crossing and train operation simulator, and road traffic flow simulator. As a result of evaluation by coupling these two simulators, we confirm that the obstruction of road traffic flow can be effectively reduced by using the proposed method.

キーワード：踏切制御，警報時間短縮，列車走行制御，交通渋滞緩和

## 1. はじめに

列車本数と道路交通量が多いラッシュ時間帯では、踏切遮断による道路交通流の利便性低下が問題となっている。国土交通省が2016年に公表した踏切安全通行カルテ<sup>1)</sup>によれば、「ピーク時間の遮断時間が1時間あたり40分以上の踏切」（開かずの踏切）の数は全国で532ヶ所にのぼる。この問題は立体交差化により踏切を廃止することで根本的に解決できるが、その実現には多くの時間や費用が必要であり、現実的に困難な場合もある。

踏切存続を前提とした解決方法として、踏切制御方法の工夫が挙げられる。踏切の警報時間の短縮を図る手法として、これまでも、複線区間における上下列車の踏切通過タイミングを調整する手法<sup>2) 3)</sup>、車上装置と踏切装置との連続的な無線伝送により車上側が把握する列車の位置情報に基づき警報制御を行う手法<sup>4)</sup>、各踏切の交通渋滞量を推定した結果に基づき踏切を選定して列車の走行速度の調整を図る手法<sup>5)</sup>などが提案されている。しかし、これらの手法は警報時間（警報開始から警報終了までの時間）の短縮を目的としており、道路交通や列車運行に与える影響を考慮した踏切制御に課題があった。

そこで筆者らは、鉄道総研が提案した信号保安と運行管理を融合した新しい列車制御システム<sup>6)</sup>を踏切制御に適用することで踏切の警報時間を短縮し、道路交通流の阻害を低減する「踏切・列車群制御手法」を構築した。この手法は、複数の踏切を含む区間において、道路交通量を用いて推定した各踏切の交通渋滞量に基づいて、交

通渋滞を低減すべき踏切を選定し、当該踏切に接近する列車に対して走行速度の調整を行い警報時間の短縮を図るものである。列車運行への影響と道路交通流阻害を同時に考慮する点が特長である。併せて、この手法の適用効果を評価するために、踏切と列車の動作を模擬するシミュレータと、踏切道内および周辺の道路交通流を模擬するシミュレータをそれぞれ構築した。本稿では、この踏切・列車群制御手法について紹介するとともに、構築したシミュレータにより確認した、警報時間の短縮効果と、道路交通流の阻害を低減する効果について述べる。

## 2. 踏切・列車群制御手法

構築した踏切・列車群制御手法（以下、提案手法と記す）の概要を図1に示す。まず、対象区間における各踏切の道路交通量から交通渋滞量を推定し、その結果に基づき各踏切の評価値を算出する。この評価値が一定の閾値を超過した踏切の中から1つを、警報時間の短縮を行う対象として選定する。そして、選定された踏切に接近する列車に対して走行速度の調整（以下、走行制御と記す）を行うことで、警報時間の短縮、道路交通流の阻害低減を図る。

この提案手法は、1章で述べたように新しい列車制御システムを踏切制御に適用することを前提とする。システムの概要を図2に示す。このシステムは、中央装置と列車（車上装置）の間の双方向無線通信により移動閉そくを実現するものである。中央装置は各列車の位置と運転曲線を把握し、必要に応じて運転曲線を再計算して列車に指示する。この中央装置の情報と踏切制御を連動させることで、より緻密な、警報時間を必要最小限にとどめる踏切制御が可能となる。

\* 信号・情報技術研究部 列車制御研究室（現 西日本旅客鉄道株式会社）

\*\* 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

\*\*\* 信号・情報技術研究部 運転システム研究室

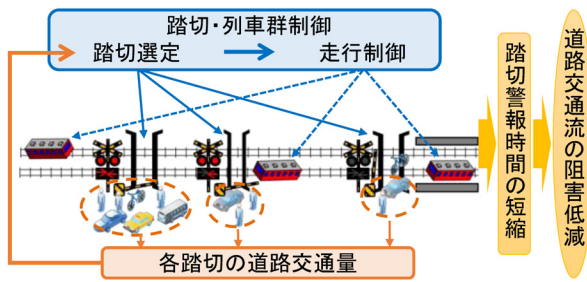


図1 踏切・列車群制御手法の概要

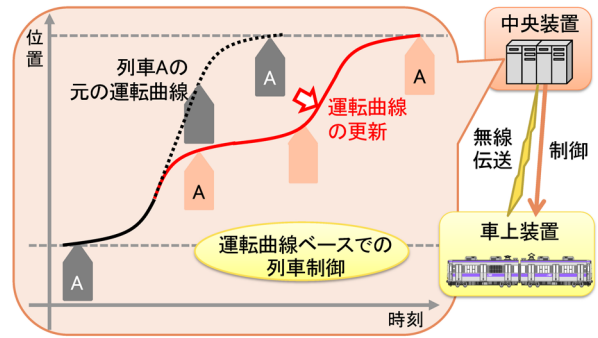


図2 新しい列車制御システム

以下、提案手法による走行制御の方法について述べる。

### 2.1 踏切の評価値

評価値を用いて踏切の交通渋滞の状況の評価し、これに基づいて制御対象踏切を選定する方法が既存研究<sup>5)</sup>にて提案されている。本研究ではこれを応用し、時間帯の概念を含んだ評価値  $F_{k,n}$  を提案して時間経過ともなう道路交通量の変化を考慮できるようにした。 $F_{k,n}$  は式(1)で表される。

$$F_{k,n} = w_k \cdot J_{k,n} = w_k \{ (a_{k,n-1} \cdot T + J'_{k,n-1}) - c_k \cdot t_{k,n} \} \quad (1)$$

ただし

$k$  : 踏切の番号

$n$  : 時間帯の番号

$w_k$  : 踏切  $k$  の重要度を表す係数

$J_{k,n}$  : 時間帯  $n$  における踏切  $k$  での渋滞量の推定値

$a_{k,n}$  : 時間帯  $n$  における踏切  $k$  での道路交通量 (踏切進入側の自動車や歩行者等の数)

$c_k$  : 踏切  $k$  が警報していないときの単位時間あたりの通行可能量

$T$  : 1つの時間帯の長さ

$t_{k,n}$  : 時間帯  $n$  における踏切  $k$  の通行可能時間 (警報していない時間)

$J'_{k,n-1}$  : 時間帯  $n-1$  で解消し切れなかった踏切  $k$  の残留渋滞量, すなわち  $\max\{J_{k,n-1}, 0\}$

この  $F_{k,n}$  は各踏切における道路交通の渋滞量の推定値をもとにしており、値が大きいくほど、踏切での渋滞を低減すべき状況にあるといえる。

### 2.2 制御対象踏切の選定

走行制御は、2.1節で述べた評価値を低減することを目的として行われるべきである。そこで、基本的には評価値が大きい踏切を制御対象として選定し、その踏切の警報時間を短縮するよう走行制御を行うのが妥当である。しかし、1つの踏切の警報時間の短縮を図ると、周囲の踏切で警報時間が長くなる可能性がある。そこで本手法では、踏切を群としてとらえ、全体最適を図る観点から、以下の方法で制御対象踏切を選定する。

評価値  $F_{k,n}$  があらかじめ設定する閾値を超過している踏切 (複数ある場合は、そのそれぞれ) について、その踏切を制御対象としたときの全踏切の評価値の合計  $\sum_k F_{k,n}$  を計算する。また、走行制御を適用しなかったときの  $\sum_k F_{k,n}$  を計算する。そして、 $\sum_k F_{k,n}$  が最小になるような踏切を制御対象として選定する。走行制御を適用しなかったときに最小になる場合や、評価値があらかじめ設定する閾値を超過している踏切が無い場合は、走行制御を適用しない。

### 2.3 踏切・列車群制御手法の効果

提案手法では、道路交通流を考慮しつつ、警報時間短縮と列車遅延抑制を図る。その効果、およびそれを実現する方法について述べる。

#### 2.3.1 新しい列車制御システムによる警報時間短縮

本章冒頭で述べたように、新しい列車制御システムは移動閉そくを用いる。これにより踏切の警報開始を現行方式より遅くできる。具体的には、「中央装置で把握する運転曲線をもとに算出した、踏切到達までの時間が所定の必要鳴動時間と同じになる時点」まで、警報開始を遅くでき、これにより警報時間を短縮できる。

#### 2.3.2 走行制御および警報時間短縮

提案手法では、既存研究<sup>4)</sup>での警報時間短縮手法を応用した走行制御を適用する。具体的には、以下の2種類の走行制御を行い、警報時間の短縮を図る。

- ・列車の踏切通過速度を向上させることで、各列車の通過による警報時間を短縮する。
- ・複線区間において、上り列車の通過による警報時間と下り列車の通過による警報時間を重ねることで、列車1本あたりの警報時間を短縮する。

ただし、特に列車が頻繁に通過する区間では、走行制御を行っても、踏切の警報終了後すぐに次の警報が始まることありうる。通常、踏切の警報終了・開扉の直後には、開扉を待っていた通行者が踏切に進入するため混雑が起きやすい。その状況で警報が始まることは、通行者の安全性の低下や不満の上昇、あるいは無理な踏切通行を誘発するおそれがある。そこで、このような事態を

防ぐため、1回の連続開扉時間が一定の閾値以上確保できることを制約として設ける。複線区間の一般的な踏切では、通行者の踏切通行に7秒弱を要する<sup>7)</sup>ことをふまえて、閾値は8秒とするが、4章で述べるケーススタディにおいては、余裕を加えて10秒とした。

### 2.3.3 列車遅延の抑制

列車運行を考慮せず走行制御を行った場合、対向列車と踏切通過タイミングを合わせるために過剰な減速や駅間停車が発生するなどして、列車遅延につながる可能性がある。そこで本手法の走行制御の計算では、計画ダイヤにおける各駅の所定発車時刻を遵守することを制約とする。具体的には、全ての列車は、全ての駅に、(その駅の所定発車時刻) - (その駅での最小停車時分) までに到着しなければならないという制約を設ける。これにより列車遅延をもたらさない走行制御が可能となる。なお当然ながら、定められた最高速度を超えないことも制約とする。

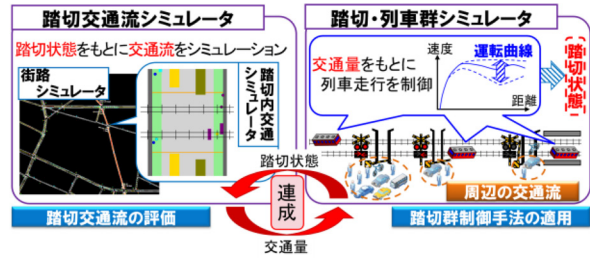


図3 シミュレータの連成

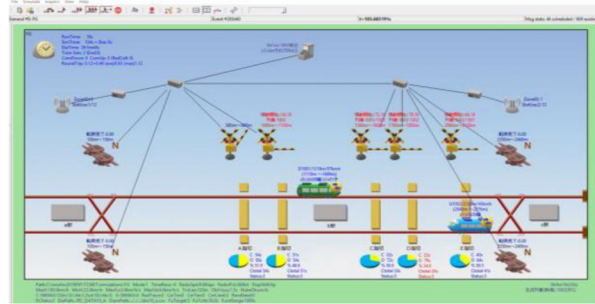


図4 踏切・列車群 sim の画面例

## 3. 評価シミュレータの構築

提案手法の適用効果を評価するためのツールとして、踏切と列車の動作を模擬する踏切・列車群シミュレータ(以下、踏切・列車群 sim と記す)と、踏切道内と周辺の道路交通を模擬する踏切交通流シミュレータ(以下、踏切交通流 sim と記す)をそれぞれ構築した。さらに、図3に示すようにこれらを相互に連成させることで、提案手法による警報時間の短縮効果と、これに伴う道路交通の阻害低減効果について評価可能とした。

### 3.1 踏切・列車群シミュレータ

踏切・列車群 sim は、提案手法にしたがって踏切、列車、中央装置の動作、およびこれらの間の無線伝送を模擬するものである。画面例を図4に示す。2章で述べた方法や条件に基づいて、走行制御を計算し、それを適用した場合の各踏切の開閉ダイヤ(警報の開始・終了、遮断かん降下の開始・完了などの時刻情報)などを出力する。

なお、提案手法との比較のため、以下の2種類の計算もできるようにしてある。

- ① 走行制御を行わない計算モード。各列車は所与の計画ダイヤにしたがった運転曲線のとおり走行する。踏切の制御もこれにしたがう。
- ② 単一の踏切の評価値低減のみを考慮する計算モード。2.2節で述べたように、提案手法では制御対象踏切の選定に際して、1つの踏切を制御対象とするとときに他の踏切が受ける影響を考慮する。これに対し、この計算モードではその影響を考慮せず、他の踏切の警報時間の長大化を許容し、評価値  $F_{kn}$  が最大、かつあらかじめ設定する閾値を超

過している踏切を制御対象として選定する。

### 3.2 踏切交通流シミュレータ

踏切交通流 sim は図3に示すように、単一の踏切道内の交通を模擬する踏切内交通シミュレータ(以下、踏切内交通 sim と記す)と、周辺を含めた道路ネットワーク全体の交通を模擬する街路シミュレータ(以下、街路 sim と記す)を組み合わせたものである。

踏切内交通 sim は、各踏切の構造、通行者(歩行者、自転車、自動車の3タイプとする)の交通量・速度分布などの諸元、および踏切の開閉ダイヤを入力として、各通行者の通行挙動のシミュレーションを行うものである。0.5秒を1ステップとして、各ステップで、各通行者が前ステップからどのように動くかを計算して更新していく。通行者は通常は一定の速度でまっすぐ踏切を渡ろうとするが、そのほかに、他の通行者との衝突や接近の回避、通行中に警報開始した場合の加速やUターン、警報中の踏切への進入などの行動を、所与のパラメータ(加速の程度や、選択割合など)にしたがって行うものとする。踏切内交通 sim は、計算した各通行者の各ステップでの位置、および集計したデータ(通行速度や、自動車の通行可能台数など)を出力する。出力を描画した例を図5に示す。なお、踏切内交通 sim は踏切の改善施策が踏切通行者の行動に与える影響の検証などの用途にも単独で活用できる。

街路 sim は、一定範囲の道路ネットワーク上の自動車交通を再現するものであり、名古屋大学で開発され、(株)道路計画が運用している交通流シミュレータ INSPECTOR (Integrated Network Simulator for Performance

Evaluation on Comprehensive Traffic Operation) <sup>8)</sup> を、同社の許諾を受けてカスタマイズしたものである。IN-

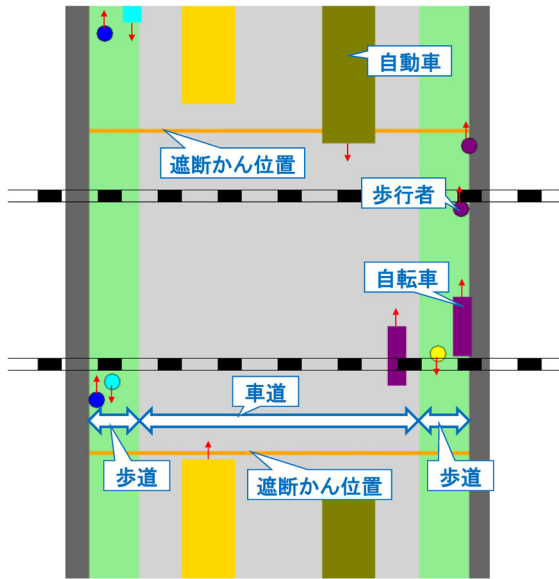


図5 踏切内交通 sim の計算結果の例 (実際の画面に吹き出し・矢印・線路を加筆)

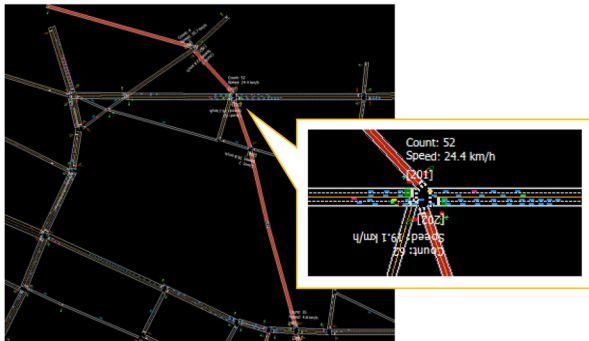


図6 街路 sim の描画例 (実際の画面をトリミング)

SPECTOR では、道路ネットワークを交差点等のノードと、ノード同士を結ぶリンクで表す。街路 sim は、このノードの一種として踏切ノードを実装するなどの改良を INSPECTOR に対して施したものである。踏切ノードは交通容量低下をもたらすボトルネックとして位置付けられ、その交通容量は、踏切内交通 sim が計算した各踏切の自動車通行可能台数となる。描画例を図6に示す。計算実行後、街路 sim は踏切での渋滞量 (式(1)における  $J'_{k,n-1}$ ) や交通量 (同  $a_{k,n-1} \cdot T$ ) などを出力する。

### 3.3 シミュレータの連成

シミュレータを連成した評価の流れを図7に示す。

まず、最初の時間帯1については初期状態として、計画ダイヤにしたがった踏切開閉ダイヤを踏切・列車群 sim から踏切交通流 sim に渡す。その上で時間帯1の道路交通量を街路 sim で計算する。その結果に基づき時間帯1の道路交通量 (各踏切を通行する自動車、自転車、歩行者の数) を踏切交通流 sim から踏切・列車群 sim に渡す。踏切・列車群 sim では受け取った道路交通量に基づき次の時間帯2の各踏切の評価値  $F_{k,n}$  を算出し、提案手法の適用有無を判断して、時間帯2の列車の運転曲線、およびこれに基づく踏切開閉ダイヤを決定する。以降、これを繰り返して、1つの時間帯ごとにシミュレーションを進めていく。

なお、踏切・列車群 sim において時間帯  $n$  ( $n \geq 2$ ) の走行制御を決定する際、時間帯  $n$  の道路交通の円滑化を図るため、本来はその時間帯  $n$  の道路交通量を用いて計算すべきである。しかしこの時点では時間帯  $n$  は未来であるため、その道路交通量は不明である。そこで、道路交通量は短時間で大きく変化しないという前提により、1つ前の時間帯  $n-1$  の道路交通量を用いて計算を行う。

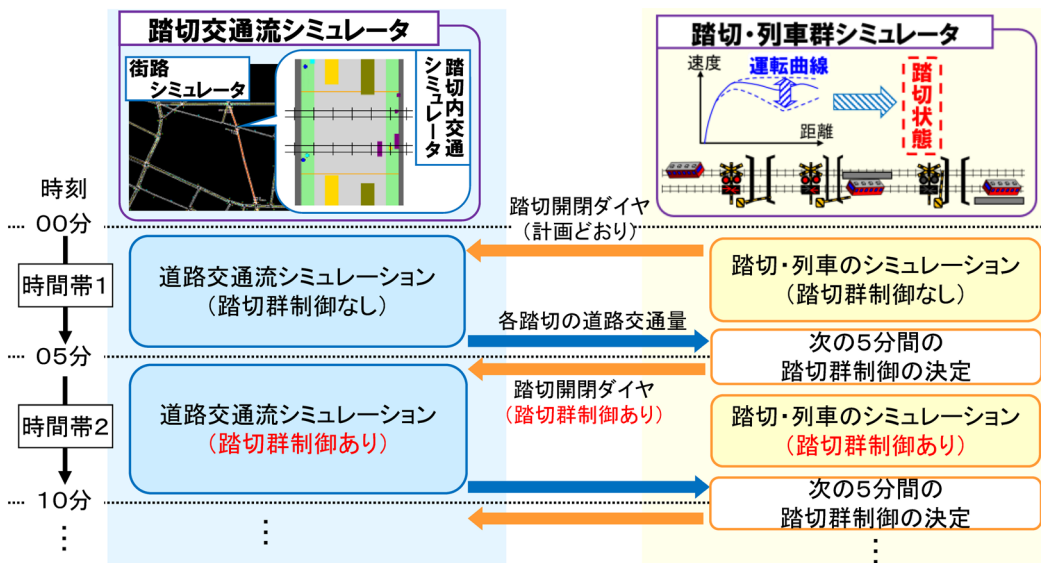


図7 シミュレータ間の情報の流れ (T=5分の場合の例)

## 4. 提案手法の評価

提案手法の効果を評価するため、構築したシミュレータを用いてケーススタディを実施した。本章ではその内容と結果について述べる。

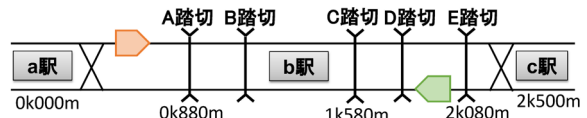


図8 ケーススタディ対象区間

### 4.1 ケーススタディの計算条件

評価の目的をふまえ、国土交通省が指定する「緊急に対策の検討が必要な踏切」<sup>1)</sup>が存在する大都市圏の区間を選定し、この区間および周辺の道路ネットワークを模擬した仮想エリアをケーススタディの対象とした。対象区間の概要を図8に示す。この区間は全長2.5kmで、両端を含め3駅、5踏切が存在する。

表1 ケーススタディ対象とする列車ダイヤ

ダイヤ	運転時隔
1	3分(平行ダイヤ)
2	下り:5分(平行ダイヤ) 上り:基本は3分、ただしb駅通過便の1分後に各駅停車便が通行するケースあり

列車ダイヤ(計画ダイヤ)については、当該区間や周辺路線の実際のダイヤを参考にして、表1に示す2パターンのダイヤをケーススタディ対象とした。

表2 開扉率の変化(ダイヤ1)

	踏切	A	B	C	D	E
制御無しモード	開扉率[%]	66.1	58.3	63.9	58.9	38.9
	選定回数	0	4	0	1	1
単一踏切モード	開扉率[%]	59.2	62.5	63.6	57.4	40.7
	比較	-6.9	+4.1	-0.3	-1.5	+1.8
提案手法モード	選定回数	2	2	0	2	0
	開扉率[%]	64.6	60.0	63.2	62.2	44.4
	比較	-1.5	+1.6	-0.7	+3.3	+5.5

シミュレーションにおける1つの時間帯の長さ、すなわち式(1)における $T$ は5分間とし、計算対象時間は30分間(3.3節に示す初期状態の5分間を除く)とした。また、提案手法を適用した場合(以下、提案手法モードと記す)のほか、3.1節の①②に示す計算モード(以下、①を制御無しモード、②を単一踏切モードと記す)でもシミュレーションを実施した。

表3 開扉率の変化(ダイヤ2)

	踏切	A	B	C	D	E
制御無しモード	開扉率[%]	52.4	51.9	52.4	51.0	51.8
	選定回数	0	4	1	0	1
単一踏切モード	開扉率[%]	51.7	56.2	52.2	51.2	52.3
	比較	-0.6	+4.4	-0.2	+0.2	+0.5
提案手法モード	選定回数	0	0	3	3	0
	開扉率[%]	54.4	55.0	51.4	54.5	52.0
	比較	+2.0	+3.2	-1.0	+3.5	+0.2

## 4.2 評価結果

### 4.2.1 警報時間の短縮効果

各踏切の開扉率を表2、表3に示す。これは30分間のうち通行者が通行可能な時間(つまり警報時間以外)の割合であり、大きいほど良いといえる指標である。

※「比較」は制御無しモードとの開扉率の差であり、端数処理のため表中の値の差とは異なる場合がある。

単一踏切モードでは、ダイヤ1、ダイヤ2ともに、踏切Bが6回中4回、つまり30分間のうち20分間で制御対象に選定されており、開扉率が上昇している。一方で制御対象でない踏切への影響を考慮していないことから、他の踏切では効果が小さい、または開扉率が低下する結果となった。

踏切を通行しやすくした場合でも、出発済みの自動車の経路選択には影響を与えないことが理由として考えられる。開扉率を上げた踏切に自動車を誘導するには、出発後の自動車に対してリアルタイムに交通情報を提供することが有効と考えられるが、一方で情報提供は交通状況の改善につながる場合もあるという知見<sup>9)</sup>もあり、有効な情報提供のタイミングや内容についてはなお検討を要する。

これに対し提案手法モードでは、一部で開扉率低下が見られるものの、5踏切全体としては開扉率が上昇することが確認できた。

滞留台数については、大幅な減少は見られなかったものの、列車運行頻度の高いダイヤ2では、提案手法の適用により5踏切全てで滞留台数を制御無しモードと同数以下に抑え、5踏切合計で10%の滞留台数減少となる結果を得た。

### 4.2.2 道路交通流の阻害低減効果

踏切交通流simでの計算結果について述べる。踏切を通過した自動車の台数(30分間の合計)を表4と表5に、踏切手前で滞留した自動車の台数(同)を表6と表7に、それぞれ示す。

なお、歩行者の安全性の観点で、トリコ(本稿では、歩行者が遮断完了時点で踏切内に残ってしまうことをさす)の発生頻度についても確認した。歩行者の発生人数

まず自動車通過台数の増減は、開扉率の上昇・低下と必ずしも一致していない。この通過台数は、発着地点が決まっている自動車の経路選択の結果として定まるものである。街路simの経路選択は出発時点での各経路の所要時間情報などに依存している<sup>8)</sup>ことから、開扉率を上げて

表4 自動車通過台数の変化（ダイヤ1）

	踏切	A	B	C	D	E
制御無しモード	台数[台]	210	462	21	624	44
単一踏切モード	台数[台]	201	459	19	580	43
	比較	-9	-3	-2	-44	-1
提案手法モード	台数[台]	215	452	30	604	29
	比較	+5	-10	+9	-20	-15

表5 自動車通過台数の変化（ダイヤ2）

	踏切	A	B	C	D	E
制御無しモード	台数[台]	205	445	24	602	44
単一踏切モード	台数[台]	223	429	22	568	45
	比較	+18	-16	-2	-34	+1
提案手法モード	台数[台]	209	438	23	610	29
	比較	+4	-7	-1	+8	-15

表6 自動車滞留台数の変化（ダイヤ1）

	踏切	A	B	C	D	E
制御無しモード	台数[台]	48	61	6	118	6
単一踏切モード	台数[台]	57	51	5	131	6
	比較	+9	-10	-1	+13	0
提案手法モード	台数[台]	41	57	6	136	8
	比較	-7	-4	0	+18	+2

表7 自動車滞留台数の変化（ダイヤ2）

	踏切	A	B	C	D	E
制御無しモード	台数[台]	46	53	11	152	5
単一踏切モード	台数[台]	55	60	4	141	6
	比較	+9	+7	-7	-11	+1
提案手法モード	台数[台]	40	40	8	147	5
	比較	-6	-13	-3	-5	0

※「比較」は制御無しモードとの台数の差。

を多く設定したため、歩道が狭い踏切ではトリコ発生率が高くなったが、特に列車運行頻度の高いダイヤ2では、提案手法により全体にトリコ率が減少する結果を得た。なお、踏切内交通 sim のみを用いて別途実施した基礎実験で、激しい混雑の際に、対向する通行者が互いに回避行動をとれず立ち往生してしまう事象が踏切開閉ダイヤによらず起こることが確認されている。本ケーススタディでもこのような立ち往生の発生によってトリコ率を過大評価している可能性がある。踏切内交通 sim での再現性は概ね妥当であることも確認できてはいるが<sup>10)</sup>、回避行動をとりやすくするための行動ルールの追加など、さらなる精緻化が今後の課題である。

## 5. まとめ

本稿では、踏切遮断による道路交通流の阻害低減を

目的として、列車の走行制御により踏切の警報時間を短縮することで道路交通流の阻害低減を図る踏切・列車群制御手法を提案した。そして、提案手法の適用効果を評価するためにシミュレータを構築し、ある都市圏線区のラッシュ時間帯をケーススタディとして評価を実施した。その結果、提案手法の適用による警報時間短縮、踏切手前での自動車滞留台数の減少を確認し、道路交通流の阻害を低減する効果があることを示した。

提案手法における課題としては、駅間での速度制限、旅客流動の変化に伴う駅停車時間への影響、ダイヤ乱れなどの考慮が挙げられる。また、4.2.2項で述べたような、シミュレーションの精緻化も課題である。これらへの対応を図り、実際の列車走行への適用可能性を広げるとともに、様々なケースでの評価を実施することで、提案手法の深度化を図っていきたい。

## 文 献

- 1) 国土交通省：踏切安全通行カルテ、  
[https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/fumikiri/fu\\_03.html](https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/fumikiri/fu_03.html)  
(参照日：2020年11月19日)
- 2) 斉藤敏，曾根悟，高野奏：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，電気学会研究会資料(TER-03-14)，pp.37-42，2003
- 3) 上田圭太ほか：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)講演論文集，S9-14，pp.373-374，2007
- 4) 水野健司，菅原宏之，山本春生：無線式踏切制御における警報時間短縮のための走行制御の検討，電気学会論文誌D，Vol.132，No.2，pp.140-147，2012
- 5) 福田光芳：無線式踏切制御におけるダイヤ乱れと交通渋滞を考慮した警報制御方法の検討，電気学会研究会資料(ITS-14-40)，pp.1-6，2014
- 6) Fukuda, M., Sugiyama, Y., Kunimatsu, T., Tatsui, D., "Improvement of train traffic control functions," WCRR, No.842, 2016.
- 7) 国土交通省鉄道局 監修，電気関係技術基準調査研究会 編：解説 鉄道に関する技術基準（電気編）第三版，日本鉄道電気技術協会，p.446，2014
- 8) 中村英樹，鈴木一史：街路ネットワーク交通流シミュレータ INSPECTOR の開発と駐車料金施策評価への適用，交通工学，Vol.39，No.4，pp.72-83，2004
- 9) 吉井稔雄，桑原雅夫：リアルタイム交通情報の提供効果，土木学会論文集，No.653/IV-48，pp.39-48，2000
- 10) Nakagawa, S., "Traffic flow analysis considering the effects of features of level crossing and road passers," Computers in Railways XVII (COMPRAIL2020), pp.303-314, 2020.