

# 都市高速道路の出入口での誤進入を防ぐ立入り者検知システム

False Approach Detection System to Prevent Accidents at Entrances and Exits of Urban Expressways

倉田 亮一      渡部 泰成      和田 亮

■ KURATA Ryoichi      ■ WATANABE Yasunari      ■ WADA Akira

都市高速道路は、出入口から本線までの距離が比較的短く、かつ一般道と区別が付きにくいという特徴がある。このため、進入が許可されていない、歩行者、自転車、原動機付自転車、及び排気量125cc以下の自動二輪車の“立入り”（誤進入）を原因とした出入口での事故が発生している。

東芝は、首都高速道路(株)との共同研究で、これらの立入りによる重大事故の発生を防止するため、立入り者を自動で検知して警告を発するとともに、交通管制室に対して発報を行う“立入り者検知システム”の研究開発を実施した。このシステムを実際の高速道路出入口に設置して試行運用を行った結果、その有効性を確認した。

Traffic accidents may occur at the entrances and exits of urban expressways due to the false approach of a pedestrian, bicycle, or vehicle that is not permitted to run on expressways, including motor-assisted bicycles and motorcycles under 125 cc, because the entrances and exits of urban expressways are often connected to the main line by a road of relatively short length and it is sometimes difficult to distinguish between the ramp and public road.

In order to prevent such traffic accidents, Toshiba, in cooperation with Metropolitan Expressway Co., Ltd., has been engaged in the research and development of a false approach detection system consisting of the following subsystems: a detection subsystem to automatically detect an erroneous entry, an on-site warning subsystem to issue a warnings by voice and display, and an alarm receiving and popup display subsystem as well as a video recording subsystem installed at the traffic control center. We have confirmed the effectiveness of this system through experimental trials using an actual entrance and exit of an urban expressway.

## 1 まえがき

近年、高速道路では高齢者による逆走運転が問題となっており、更に歩行者や自転車などの立入りによる重大事故発生への対策も急務となっている。そのようななかで、首都高速道路(株)は、高速道路の出入口で発生する立入り（歩行者、自転車、原動機付自転車、及び排気量125cc以下の自動二輪車の誤進入）による重大事故の発生を防止するため、立入りの自動検知を可能にし、初動対応の判断を支援するシステムの構築を目的とした共同研究を公募した。

東芝は、2014年7月から2017年3月までこの共同研究に参画し、立入り者検知システムの研究開発を実施した。この中で2015年3月末から約1年間にわたって、首都高速2号目黒線の目黒出入口（以下、目黒出入口と略記）に、当社が開発した立入り者検知システムを設置して試行運用を行い、その性能評価、有効性の検証、及び性能向上を行った。

ここでは、首都高速道路(株)との共同研究で開発した立入り者検知システムの概要や、その性能評価の結果などについて述べる。



## 2 共同研究の概要

### 2.1 試行運用フィールドの特徴

当社が立入り者検知システムを設置して試行運用を行ったフィールドは、目黒出入口である（図1）。

目黒出入口は一般道の庭園美術館西 交差点近傍にあり、歩道や一般道を左折した歩行者、自転車、原動機付自転車、

及び排気量125cc以下の自動二輪車が、誤って目黒入口から首都高速2号目黒線の本線に立ち入る可能性がある(図1の①)。目黒入口の手前には、この先が首都高速道路であることを警告する案内板の門柱(以下、案内板門柱と略記)が、更にその先にはETC(自動料金収受システム)用のアンテナなどが取り付けられた門柱(以下、ETC門柱と略記)が、それぞれ設置されている。

また、目黒出口においても交差点を右折してきた歩行者や自転車などが、誤ってそのまま首都高速2号目黒線の本線に立ち入る可能性がある(図1の②)。こちらにも、目黒出口のすぐ近くにETC門柱が設置されている。

## 2.2 立入り者検知システムの概要

今回開発した立入り者検知システムは、歩行者などの立入りを事前に検知し、現場で警告を行うことで立入りの抑止を図るとともに、首都高速道路(株)の交通管制室及び本社に対して発報を行い、立入り者の保護などの現場対応を促すものである。また出口においては、立入りだけでなく逆走運転(図1の③)による誤進入車両(排気量125ccを超える自動二輪車、及び自動車)の検知も行い、同様に交通管制室及び本社に発報する。

このシステムは、立入りを検知する“検知サブシステム”、現場で立入り者に警告を発する“現場警告サブシステム”、首都高速道路(株)の交通管制室及び本社に立入りの発生を通知する“発報サブシステム”、及び立入り発生の状況を録画した映像を確認するための“映像記録サブシステム”で構成されている。

各サブシステムの構成、設置場所、及び機能を、表1、表2、表3、及び表4に示す。また、開発した立入り者検知システムの構成を、図2に示す。

目黒入口には、2台の検知サブシステムを設置した。そのうちの1台は案内板門柱に設置して、比較的速度の遅い歩行者及び自転車を検知対象とし、もう1台はETC門柱に設置して、比較的速度の速い原動機付自転車及び排気量125cc以下の自動二輪車を検知対象とする構成にした。ここで入口の検知サブシステムで検知対象を分けた理由は、歩行者及び自転車は速度が遅いため検出範囲を広く設定する必要はなく、でき

るだけ大きく撮像して検知精度を高めるためである。一方、原動機付自転車及び排気量125cc以下の自動二輪車は速度が速いため、検出範囲をできるだけ広く設定しないと撮像範囲を一瞬で通過してしまうためである。いずれかの検知サブシステムで立入りを検知した場合には、現場警告サブシステムで警告表示及び音声警告を行う。

目黒出口には、1台の検知サブシステムを設置し、歩行者などの立入りと逆走運転による誤進入車両を検知する。立入りや誤進入車両を検知した場合には、同様に現場警告サブシステムで警告表示及び音声警告を行う構成にしている。

## 2.3 試行運用における評価指標

開発した立入り者検知システムでは、2015年3月27日から2016年2月19日までの327日間、このシステムの性能評価を

表2. 現場警告サブシステム

On-site warning subsystem

項目	内容
構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>警告表示板</li> <li>スピーカー</li> <li>統合処理部</li> <li>音声処理部</li> </ul>
設置箇所	<ul style="list-style-type: none"> <li>警告表示板及びスピーカー：目黒入口の案内板門柱とETC門柱、及び目黒出口のETC門柱に設置</li> <li>統合処理部及び音声処理部：屋外筐体に収容し、目黒出入口近傍に設置</li> </ul>
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>検知サブシステムからの警告通知を受信</li> <li>警告受信時に、立入り者に対して警告表示板に文字や図形を表示して警告</li> <li>警告受信時に、立入り者に対して録音された自動音声による警告をスピーカーで発報</li> <li>交通管制室からの警告(拡声声)も可能</li> </ul>

表3. 発報サブシステム

Alarm receiving and popup display subsystem

項目	内容
構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>操作端末</li> <li>統合処理部</li> </ul>
設置箇所	<ul style="list-style-type: none"> <li>操作端末：首都高速道路(株)の交通管制室及び本社に設置</li> <li>統合処理部：屋外筐体に収容し、目黒出入口近傍に設置</li> </ul>
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>検知サブシステムからの警告通知を受信</li> <li>立入りを検知したときの録画映像(静止画及び動画)を受信</li> <li>発報を受信したら、操作端末の画面上に文字、図形、及び検知対象の静止画をポップアップ表示</li> </ul>

表4. 映像記録サブシステム

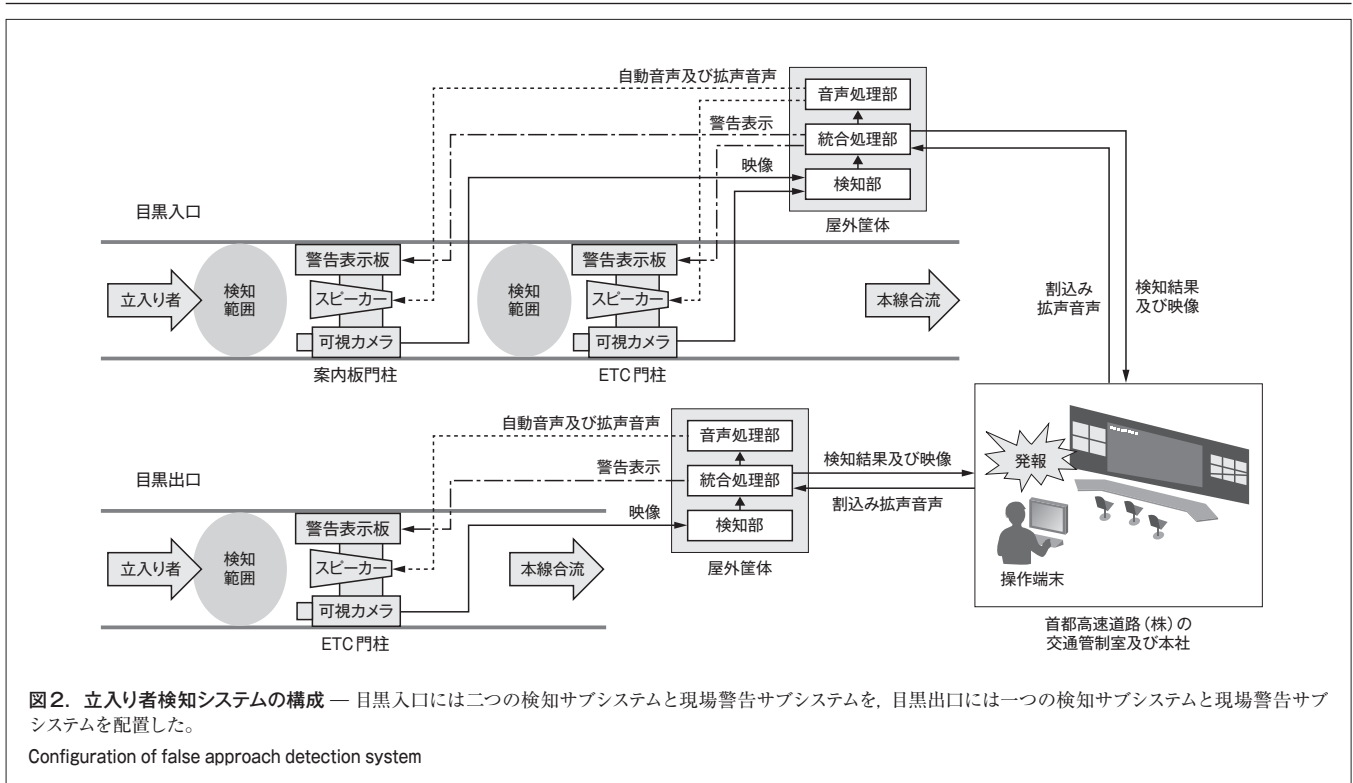
Video recording subsystem

項目	内容
構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>検知部</li> <li>統合処理部</li> <li>操作端末</li> </ul>
設置箇所	<ul style="list-style-type: none"> <li>検知部及び統合処理部：屋外筐体に収容し、目黒出入口近傍に設置</li> <li>操作端末：首都高速道路(株)の交通管制室及び本社に設置</li> </ul>
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>検知時の静止画と、検知前5秒から検知後35秒までの動画を記録</li> <li>監視員などによる静止画の確認及び動画の再生</li> <li>検知ログと検知時の静止画の閲覧や参照、及び動画の再生</li> </ul>

表1. 検知サブシステム

Detection subsystem

項目	内容
構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>可視カメラ</li> <li>検知部</li> </ul>
設置箇所	<ul style="list-style-type: none"> <li>可視カメラ：目黒入口の案内板門柱とETC門柱、及び目黒出口のETC門柱に設置</li> <li>検知部：屋外筐体(きょうたい)に収容し、目黒出入口近傍に設置</li> </ul>
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>可視カメラで撮像された画像内に存在する検知対象を抽出</li> <li>検知対象を推定し、(歩行者、自転車、排気量125cc以下の自動二輪車、排気量125ccを超える自動二輪車、自動車)に分類</li> <li>検知対象が本線方向に進行していることを判断して、立入りを判定</li> <li>立入りと判定したら、現場警告サブシステム及び発報サブシステムに通知</li> </ul>



行った。

評価指標については、首都高速道路(株)との協議のうえ、評価項目、評価方法、及び性能目標を設定した(表5)。ここで、表5中の未検知、正検知、及び誤検知の定義は、それぞれ以下のとおりである。

- (1) 未検知 実際には立入りが発生したにもかかわらず、検知できなかった事象
- (2) 正検知 実際に発生した立入りを正しく検知した事象
- (3) 誤検知 実際には立入りが発生していないにもかかわらず、立入りが発生したと間違えた事象

対象サブシステム	評価項目	性能目標	評価方法
検知サブシステム	未検知	0件	指定期間7日間の映像を目視で確認し、未検知がないことを確認
	正検知	立入り者を正しく検知	現場の検知ログを採取し、個々のログの動画像及び静止画を目視で確認し、発生日時・状況を把握
	誤検知	1,000台当たり、0.1件以下	現場の検知ログを採取し、検知対象以外の誤検知を、1日当たりの誤検知件数、及び通過車両1,000台当たりの誤検知件数で把握
現場警告サブシステム	抑止効果	警報板の表示及び音声通知によって、立入り者がみずから引き返すこと	現場の検知対象に対して、警告後の対象者の挙動について図面上へのプロットにて確認し、引返しなどの行動を促すことができたか否かを確認
発報サブシステム	保護件数及び出動件数	適切な初動対応が行えること	試行運用の期間中の保護件数と出動件数を確認し、このシステムの稼働前と比較

### 3 評価結果

開発した立入り者検知システムの評価結果を、以下に述べる。

#### 3.1 検知サブシステム

(1) 未検知 目黒出口は2015年9月6日から同年9月12日まで、目黒入口は2015年12月7日から同年12月13日までのそれぞれ7日間を評価期間として、録画映像を目視で確認し未検知の検証を行った。その結果、この評価期間において、目黒出入口での立入り者の未検知は0件であった。

(2) 正検知 評価期間における立入り者の正検知件数を図3に、また目黒入口と目黒出口における正検知の例を図4に示す。目黒出口よりも目黒入口のほうが、正検知件数が多い傾向が見られた。

(3) 誤検知 評価期間における通過車両1,000台当たりの誤検知件数を、図5に示す。特に目黒出口では、2015年4月25日から同年8月6日までの通過車両1,000台当たりの誤検知件数が多いことがわかる。

今回の共同研究の過程で、目黒出口での渋滞による誤検知と、雨天時のヘッドライトの路面反射などによる誤検知が多発した。以下にその原因究明と誤検知の低減方法について述べる。

(1) 渋滞による誤検知 目黒出口では、朝方(7:00～10:00)及び夕方(15:00～19:00)の時間帯に、渋滞が頻繁に発生していた。この状況において、数珠つなぎ状態の複数の自動車が塊の状態での低速走行する際の挙動

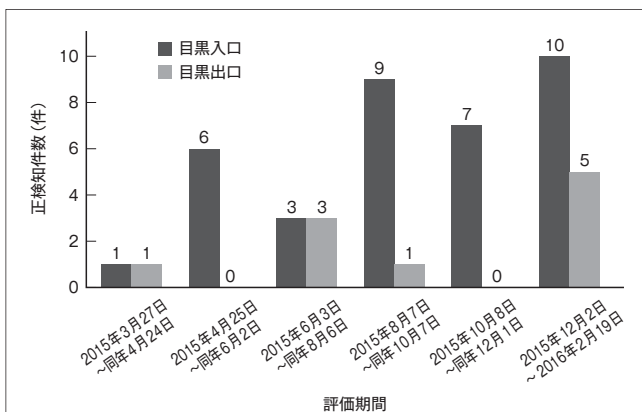


図3. 正検知件数の評価結果 — 目黒出口よりも目黒入口のほうが、正検知件数は多い傾向が見られた。

Results of evaluation of number of normal detections



図4. 立入り者の正検知の例 — 目黒出入口において、歩行者や自転車の立入りを検知した。

Examples of normal detection images

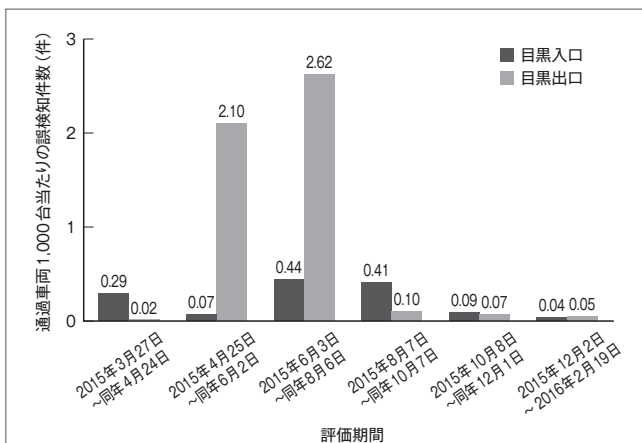


図5. 通過車両1,000台当たりの誤検知件数 — 目黒出口では、2015年4月25日から同年8月6日までの件数が多いことがわかる。

Results of evaluation of number of erroneous detections per 1,000 passing vehicles

を、逆走車両と誤検知している場合があった。

これを改善するために、輝度分布(対象の明るさの違い、及びその空間的な配置)を抽出して輝度(明るさ)の類似性を判定する機能を追加した。すなわち、類似した

輝度分布を利用して対象の進行方向を判定することで、逆走の誤検知を低減した。

(2) 路面反射などによる誤検知 雨天時において、隣接する一般道を走行する車両のヘッドライトが路面に反射するなどの外乱が発生した場合に、その反射光の輝度が変化した領域を立入り者と誤判定する事象が発生した。また、車両の一部が日陰に入り込むことで、輝度が変化した領域を立入り者と誤検知する事象も発生した。

これらの事象に対応するために、出口での渋滞による誤検知の低減方法と同様に、輝度分布の類似性を判定する機能を適用して外乱による輝度の変化を除去することで、誤検知を低減した。

これらの方法を実施した結果、誤検知を1日当たり0.5件程度まで、通過車両1,000台当たりの換算値で0.1件未満にまで低減できた。

### 3.2 現場警告サブシステム

目黒入口における評価期間中の対象発報件数と、警告により本線に進入せずに引き返した件数を表6に示す。

また、目黒出口における評価期間中の対象発報件数と、警告により本線に進入せずに引き返した件数を表7に示す。

抑止率は、全ての立入りに対して警告表示板を通過する前に引き返した、すなわち本線への進入を抑止した割合と定義した。

目黒入口では警告にもかかわらず、16件の立入りが発生した。保護された自転車2件は外国籍の人物であったことから、警告内容が理解できなかった可能性が高い。また、スポーツ自転車を含む、速度の速い立入り者は、警告表示を見落とした場合や警告アナウンスが聞き取れなかった場合などが考えられる。更に、目黒出口で保護された歩行者は泥酔者であり、警告が判断できなかったものと推測される。

### 3.3 発報サブシステム

開発したシステムの、試行運用の有無による出動件数と保護件数の変化を、図6に示す。

試行運用によって、検知状況の動画像を確認することで出動可否が判断できるようになり、出動件数が減少した。

表6. 目黒入口での警告後における立入り者の行動と保護件数

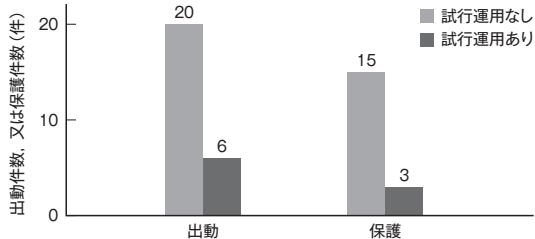
Results of evaluation of number of cases of returns before and after passing warning panel and cases of protective intervention at Meguro Entrance

検知対象	対象発報件数	警告表示板通過前に引返し	警告表示板通過後に引返し	保護件数
歩行者 (件)	3	2	1	0
自転車 (件)	54	39	13	2
排気量125cc以下の自動二輪車 (件)	6	4	2	0
合計 (件)	63	45	16	2
抑止率 (%)	—	71.4	—	—

表7. 目黒出口での警告後における立入り者の行動と保護件数

Results of evaluation of number of cases of returns before and after passing warning panel and cases of protective intervention at Meguro Exit

検知対象	対象発報件数	警告表示板通過前に引返し	警告表示板通過後に引返し	保護件数
歩行者 (件)	6	4	0	2
自転車 (件)	1	0	1	0
排気量125cc以下の自動二輪車 (件)	0	0	0	0
排気量125ccを超える自動二輪車 (件)	0	0	0	0
自動車 (件)	0	0	0	0
合計 (件)	7	4	1	2
抑止率 (%)	-	57.1	-	-



\* 試行運用なしの評価期間は、2014年4月から2015年3月まで。試行運用ありの評価期間は、目黒出口が2015年8月から2016年2月まで、及び目黒入口が2015年10月から2016年2月まで。

図6. 試行運用の有無による出動件数と保護件数の変化 — 開発したシステムの試行運用により、出動件数が減少した。

Changes in number of emergency services and cases of protective intervention before and after trial operation

## 4 検証結果

### 4.1 対策などを含めた有効性の確認

立入り者に対する警告により抑止効果があるかどうかを調査した結果、目黒入口では71.4%、目黒出口では57.1%の抑止率であった。いずれも更なる改善の余地はあるが、このシステムが立入りの抑止に対して効果があることを確認した。

### 4.2 立入り者発生時の対応

交通管制室において、管制員が操作端末を用いて検知時の静止画や動画を確認することで、検知対象の速やかな分類が可能になり、的確な初動対応に活用できることを確認した。

## 5 今後の課題

今回の試行運用で、以下の課題を抽出した。

- (1) 外国語対応 外国籍の立入り者などへの警告として、外国語対応やその言語の種類などを検討する余地がある。
- (2) 立入り後の状況確認手段 開発した立入り者検知システムでは、立入り者の検知前5秒から検知後35秒まで

の動画を記録しているが、検知後35秒以降の立入り者についてはその挙動を確認できない。そのため、旋回ズーム監視カメラなどを別途設置することが望ましいと考えられる。

- (3) 立入り後の警告や情報提供 目黒入口においては、案内板門柱とETC門柱の2か所で表示と音声による警告を実施したが、これらの警告にもかかわらず本線へ進入する立入り者が散見された。本線進入後の重大事故を防止する観点から、本線上のドライバーへの情報提供手段として可変表示板を設置し、立入り者の検知と連動させた情報提供をすることが望まれる。

## 6 あとがき

今回の共同研究で開発した立入り者検知システムでは、立入り者の検知から立入り者への警告、そして交通管制室への発報までの運用全般について性能評価と有効性の検証を行い、導入による効果を確認できた。

当社は、更に検知サブシステムの性能向上を図り、高速道路路上での事故防止などに役立つシステムを提供していく。

## 謝辞

今回の共同研究の実施にあたり、フィールドの提供と開発したシステムの性能評価にご支援とご指導をいただいた、首都高速道路(株)並びに首都高電気メンテナンス(株)の関係各位に、深く感謝の意を表します。



倉田 亮一 KURATA Ryoichi

インフラシステムソリューション社 社会システム事業部 道路ソリューション技術部参事。高速道路の施設管制システム及び交通管制システムの設計・開発に従事。  
Social Systems Div.



渡部 泰成 WATANABE Yasunari

東芝テリー(株) システム・ソリューション技術部主査。映像監視システム及び画像処理システムの設計・開発に従事。  
Toshiba Teli Corp.



和田 亮 WADA Akira

東芝テリー(株) 映像コンポーネント開発部主査。映像関連システム機器のファームウェア開発に従事。  
Toshiba Teli Corp.