

高速道路出入口における逆走・誤進入検知警告システムの開発 Development of Detection and Warning System about Wrong-Way Driving and Accidental Entry at Entrance/Exit Ramp to Expressway

須川 清諒¹, 中山 裕昭², 石川 光³, 織田 穰⁴

Kiyoaki SUGAWA¹, Hiroaki NAKAYAMA², Hikaru ISHIKAWA³ and Minori ORITA⁴

高速道路本線や出入口での逆走や誤進入は、交通事故に直結する重大事案である。その発生を正確に検知し、速やかにお客様に警告することができれば、事故や二次被害を抑制することが可能となる。著者らは都市部の高速道路出入口に、三次元レーザレーダを用いて逆走・誤進入を検知するシステムを設置し実証実験を行った。この実験では、逆走・誤進入の検知や誤進入者を識別するロジックを構築し、その結果、逆走や誤進入を実用上十分な精度で検知できることを確認した。また、誤進入者に警告する機能の構築、逆走や誤進入の発生を交通管制室や料金所に通知する機能の構築を行い、これらシステム導入が高速道路の安全性向上に寄与していることを確認した。

Keywords: 高速道路, 逆走, 誤進入, 検知, 三次元レーザレーダ

1. はじめに

道路環境の整備や自動車の安全技術の向上により、ここ20年間で、日本国内の交通事故発生件数と交通事故死者数は概ね減少を続けている¹⁾。しかしながら、道路交通事故に関連する法令、ドライバーや歩行者のバックグラウンド、自動車の安全技術や自動運転技術等、道路交通を取り巻く状況は多様化や複雑化の一途をたどっている。

高速道路上において、重大な交通事故につながる危険性が高い事案の一つに、車両の逆走や、通行を禁止されている歩行者、自転車、原動機付き自転車および125cc以下の自動二輪車（以下、原付等）の誤進入がある。

名古屋高速道路ではこれら事案を未然に防止するため、路面標示や注意喚起看板の設置など、様々な対策を実施してきた²⁾（図1）。しかしながら逆走・誤進入事案は大きく減少しておらず、万が一事案が発生した場合は、交通管制室で速やかに状況を把握し、誤進入者の安全を確保するとともに、通行車両に逆走車や誤進入者の存在を知らせる等、迅速な対応が求められる。したがって、天候・明かり等の道路周辺環境の影響を受けにくく、高精度に事案を検知可能なシステムが求められた。

著者らは踏切障害物検知装置として運用実績のある³⁾、三次元レーザレーダを活用して高速道路出入口における逆走・誤進入事案の検知を試みるため、約1年にわたり実証実験を行い検知ロジックの改良を重ねた。また事案検知時には、誤進入者への警告、交通管制室や料金所へ

の通知を行うシステムを併せて整備し、2024年5月より実運用を開始した。

2. 三次元レーザレーダの動作原理

三次元レーザレーダは、パルスレーザ光を物体に照射し、反射光が帰還するまでの時間を測定するタイムオブフライト方式によって物体までの距離を求めるものである。特徴として、検知の際に天候や日照の影響を受けにくいことがある。

図2に三次元レーザレーダによる物体の検知方法を示す。パルスレーザ光を水平・垂直方向にスキャンして検知エリア全体に照射し、そこから戻ってきた反射光から



図1 高針入口における誤進入対策実施状況

1 正会員, 修士 (工学), 名古屋高速道路公社
〒462-0844 愛知県名古屋市中区清水四丁目 17-30
Phone: 052-919-3214

2 正会員, 学士 (工学), 名古屋高速道路公社

3 修士 (工学), (株)IHI

4 学士 (工学), (株)IHI

e-mail: Kiyoaki.Sugawa@nagoya-expressway.or.jp

各点の三次元座標値を計測する．次に各点の座標値から路面に対して高さをもつ座標を抽出し，近接した点群を1つのかたまりとして認識することで，物体の位置およびサイズを算出する．これらの動作と信号処理を繰り返し行うことで，リアルタイムに物体の位置，サイズを認識し，検知・追尾を行うことで，普通自動車，大型自動車，自動二輪車，自転車，歩行者等の種別判定が可能となる．

さらに，物体の位置の変化量から，速度や移動方向などを算出することで，設定した検知エリア内の逆走・誤進入事案の発生を検知することが可能となる．

3. 実証実験概要

三次元レーザレーダを用いて逆走・誤進入物体を検知するため，名古屋高速道路2号東山線高針出入口において実証実験を実施した．実験期間は2022年8月から2023年11月とした．なお，後述するロジックの改良後から運用を開始する2024年4月までを仮運用期間とした．図3に2019～2023年度に発生した高針入口における誤進入事案（未遂含む）件数を示す．ここで誤進入とは誤進入者が本線上に進入した事案を，誤進入未遂とは誤進入者を料金所で制止し本線上への進入を阻止した事案をいう．なお，同期間中に交通管制室で確認した高針出口における逆走事案はなかった．図より，2019年から継続して路面標示や看板等による誤進入対策を実施しているものの，主に原付等の誤進入未遂事案が年間6件以上発生していることが分かる．これは高針料金所が入口ランプを上がった先にあり，一般道から料金所が見えない構造であること，一般道の牧の原南交差点から直進するとそのまま入口ランプに進入する線形であることが一因と考えられる（図1）．また，高針料金所は約100m先からトンネル区間が始まる場所に位置しており，誤進入事案が発生した場合は料金所で確実に制止するとともに，可能な限り入口ランプを進入する前に現地から立ち去るよう警告が可能なシステムの開発が求められた．図4に機器設置状況を示す．三次元レーザレーダおよび検知状況を記録する検証用カメラを，出入口部を跨ぐ門型柱の梁上中央に設置することで，誤進入と同時に出口車線を本線方向に向かって走行する逆走の検証も実施した．

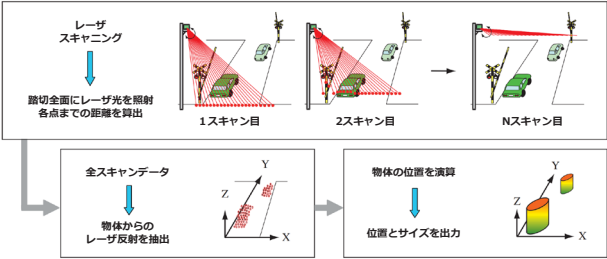


図2 三次元レーザレーダによる物体の検知方法

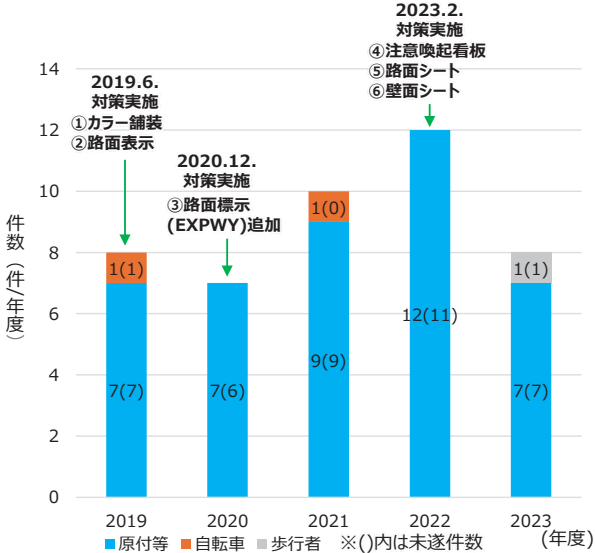


図3 高針入口の誤進入事案（未遂含む）件数

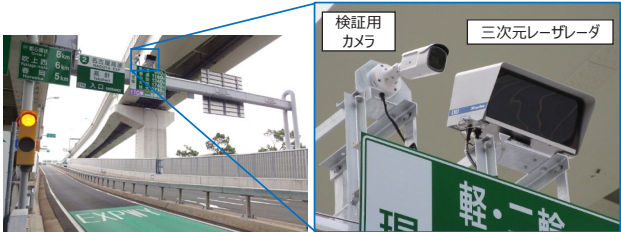


図4 機器設置状況

表1 システムの目標性能

逆走	正検知率	99% 以上
	誤検知頻度	1件/月 以下
誤進入	正検知率	99% 以上
	誤検知頻度	1件/月 以下

表2 検知結果の定義

		ロジックの判断	
		検知	検知せず
実際	事案発生	正検知	未検知
	発生せず	誤検知	—

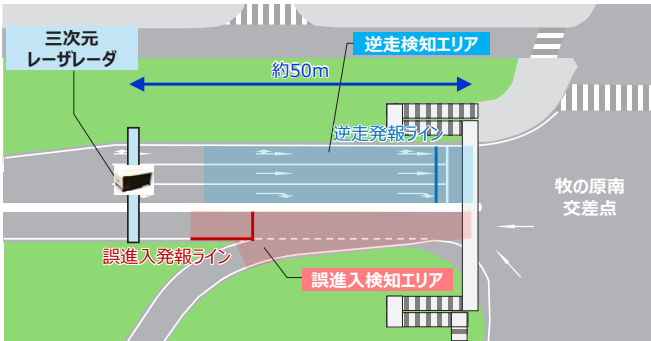


図5 実験初期のシステム検知範囲

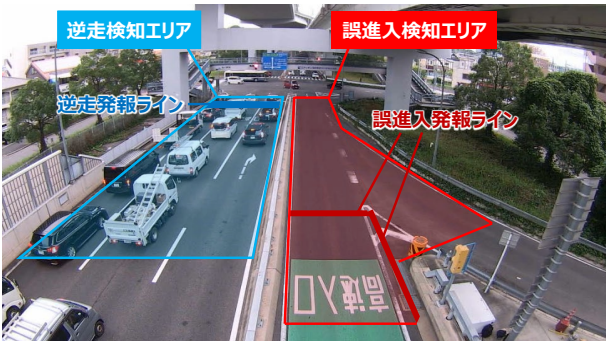


表 1 に実験開始時に設定したシステムの目標性能を示す。逆走・誤進入ともに正検知率は 99% 以上、誤検知頻度は月に 1 件以下となることを目指しシステム開発に着手した。

ここで事案の検知結果に関する用語を、実際の事案発生状況とロジックの判断により、正検知、未検知、誤検知の 3 種類に定義する（表 2）。

- 正検知：実際に逆走・誤進入が発生し、ロジックがそれを検知と判断した場合
- 未検知：実際には逆走・誤進入が発生したが、ロジックがそれを検知と判断しなかった場合
- 誤検知：実際には逆走・誤進入が発生しなかったが、ロジックが検知と判断した場合

図 5 に実験初期のシステム検知範囲を示す。出口車線に逆走検知エリアを設定し、高速道路本線に向かう物体が逆走発報ラインを通過した場合、逆走発生と判断するロジックとした。また、入口車線に誤進入検知エリアを設定し、料金所に向かう誤進入者が誤進入発報ラインを通過した場合、誤進入発生と判断するロジックとした。

4. 検知ロジックの改良および効果検証

4.1 逆走検知

(1)初期の検証結果

2022 年 11 月 1 日～11 月 30 日を対象に逆走検知状況を確認した。ロジックは 12 件を検知と判断したが、実際には正検知が 1 件、誤検知が 11 件であった。なお、未検知は発生しなかった。

正検知は出口車線を入口車線と誤り、実際に逆走発報ラインを通過し、その後出口ランプ上で U ターンして退出した逆走未遂事案であった。誤検知の発生頻度は、交差点近辺や出口交差点の信号による車列の滞留が発生している状況下において高かった。

(2)主なロジックの改良

初期のロジックでは、交差点近辺において、停止線からはみ出した信号待ち車両が後退し停車位置を修正する状況を逆走と誤検知するケースがあった。

これに対し、逆走発生と判断する逆走発報ラインをより高速道路本線側に移動した。図 6 にその状況を示す。

また、車列が滞留している状況では、センサの視界が手前の物体に遮られ、点群形状から物体の位置を正確に把握することが困難であり、進行方向を誤って検知する状況が発生するケースがあった。

これに対し、物体点群形状から物体の位置とその変化量をより正確に推定するロジックを開発し適用した。

4.2 誤進入検知

(1)AI 識別による誤進入物体の種別判定

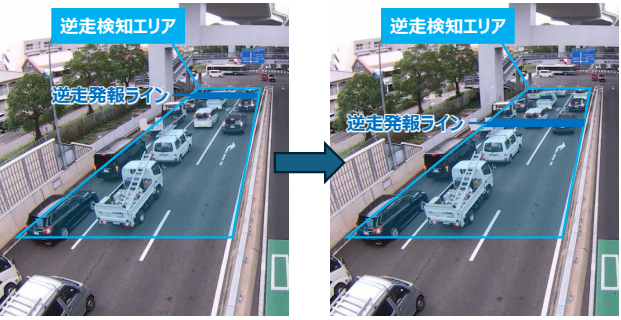


図 6 逆走発報ラインの位置変更

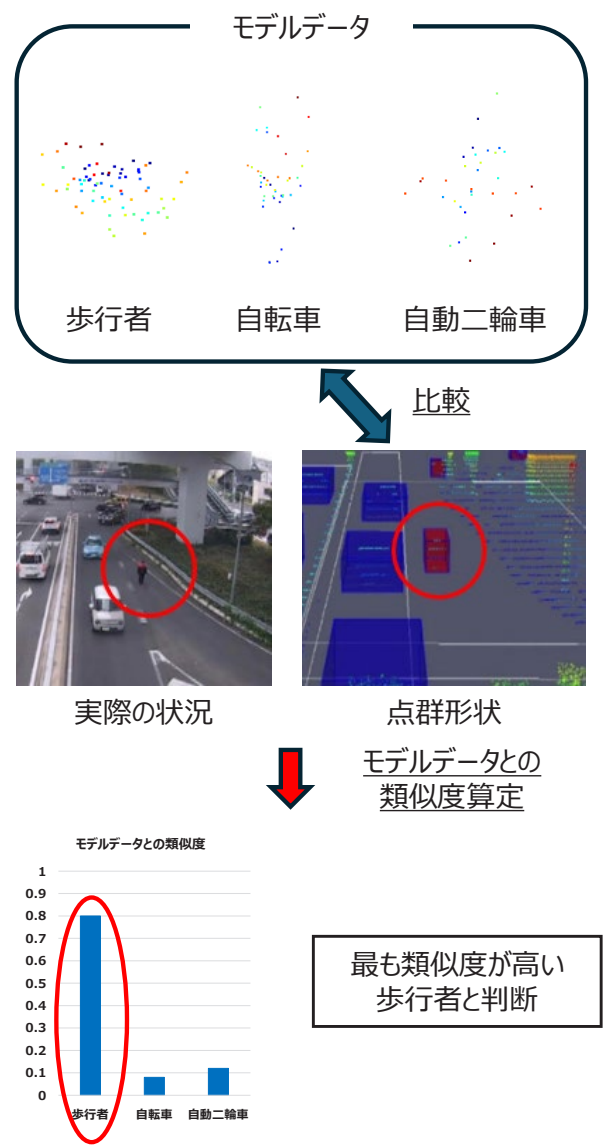


図 7 AI 識別の概念

誤進入検知における物体の種別判定は、AI による形状マッチングを用いている。図 7 に AI 識別の概念を示す。このロジックでは、別箇所の公道に設置されている三次元レーザレーダで計測した通行物体の点群形状と、その物体の種別（カメラ映像にて目視で確認）のセットを学習データとして AI に入力しモデルデータを作成した。次に、三次元レーザレーダで計測した検知対象物体の点群形状をモデルデータと比較し、類似度から物体の種別

を推定する。

(2)初期の検証結果

2022年11月1日～11月30日を対象に誤進入検知状況を確認した。ロジックは19件を検知と判断したが、実際には全て誤検知であり、17件は自動二輪車を自転車と誤識別したもの、2件は大型トラックの一部を自転車と誤識別したものであった。

(3)主なロジックの改良

誤進入の誤検知はすべて物体の種別を誤って判断したものであった。判断の精度向上のため、実証実験期間中に取得した自動二輪車の点群データおよび、入口ランプの路肩を規制したうえでテスト走行させた歩行者や自転車の点群データをモデルデータに追加し更新した。

また、AI識別の結果、歩行者・自転車・自動二輪車と判断された物体に全幅や速度も加味するロジックの追加と誤進入発生と判断する誤進入発報ラインをより一般道路側に移動する変更を適用した。

4.3 ロジック改良後の効果検証

表3に改良後のロジックによる逆走・誤進入の検証結果を示す。はじめに逆走について、正検知率の検証では実際に発生した逆走未遂1台と、2022年11月9日、23日に入口車線を通行した151台のデータを用い、入口車線を模擬的に出口車線と扱い検証を行った。また、誤検知頻度の検証では2022年11月1日～11月30日（30日間）のデータおよび2023年6月27日～8月15日（50日間）のデータを用いた。その結果、正検知率100%、誤検知頻度は0件だった。

次に誤進入について、歩行者および自転車の正検知率の検証では、テスト走行時の2022年9月29日および2023年10月11日のデータ（歩行者28人、自転車21台）を用いた。また自動二輪車の検証では、2022年11月の6日間および2023年7月の2日間のデータ（82台）を用いた。また、誤検知頻度の検証では、2023年6月27月～8月15月（50日間）のデータを用いた。その結果、歩行者・自転車・自動二輪車全てで正検知率は100%、誤検知頻度は0件となった。なお、逆走・誤進入ともに未検知は発生しなかった。

以上の結果より、ロジックを改良しその後約半年間の仮運用期間を経て、当初設定したシステムの目標性能（表1）を満足する検知精度を得たことが確認できた。

なお、自動二輪車の中でも原付等の識別を確実に行うことは現時点では困難であるため、図8に示すように日本の二輪車メーカ4社の125cc以下の自動二輪車全52車種の全幅を集計し、その最大値である820mmから10mm拡張した830mmを閾値とすることとした。これにより125cc超の自動二輪車を原付等と判断する場合もあるが、これを含めて交通管制室や料金所に通知し、目視による

表3 ロジック改良後の検証結果

逆走			
正検知率	100% (152/152台)		
誤検知頻度	0件 (80日)		
誤進入			
	歩行者	自転車	自動二輪車
正検知率	100%	100%	100%
	※ (28/28人)	※ (21/21台)	(82/82台)
誤検知頻度	0件	0件	0件
	(50日)	(50日)	(50日)

※テスト走行時のデータを使用

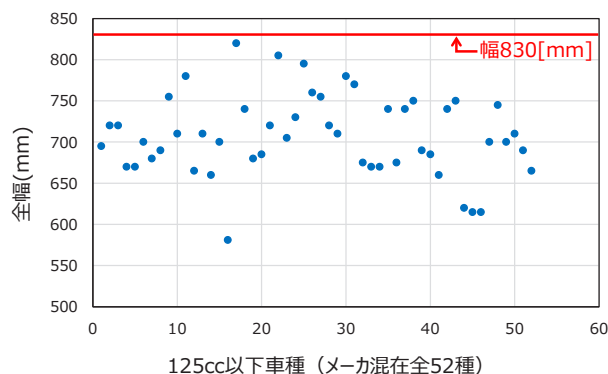


図8 125cc以下の自動二輪車全幅

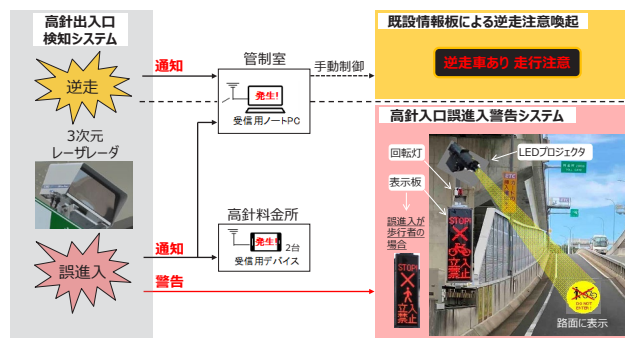


図9 構築した逆走・誤進入検知警告システム

対応を支援する形で運用することとした。

5. 警告および通知機能

次に誤進入者に対する現地での警告および交通管制室や料金所への通知機能の構築（図9）を行った。

5.1 警告機能

在留外国人やインバウンド旅行者といった日本語では意図が伝わりにくいドライバーや歩行者による逆走・誤進入が増加傾向にあるため、誰にでもわかりやすい警告表示の方法を検討した。その結果、回転灯の動作、LED表示板によるピクトグラムの表示、LEDプロジェクタによる道路面へのピクトグラムの投影を同時に行う方法を採用した。なお、対象の誤進入者は歩行者・自転車である。

5.2 通知機能

高速道路本線への誤進入の防止や本線通行車両への情報展開のため、逆走・誤進入の発生を交通管制室や料金所に通知する必要がある。そこで事案の発生およびシステムの動作状態を常時送信する機能を実装した。逆走・誤進入やシステムの異常発生時は、ノート PC やタブレット PC の画面表示および音声によって通知される。図 10 に逆走事案発生時の通知画面を示す。

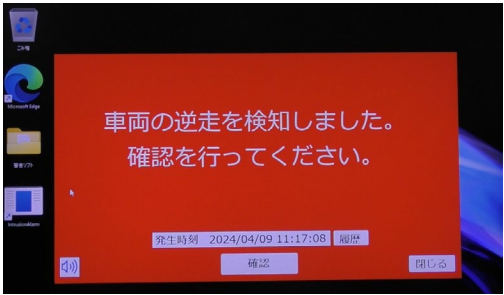


図 10 通知画面

6. おわりに

前章までに述べた、逆走・誤進入の検知警告および通知機能を実装後、2024 年 5 月より実運用を開始した。表 4 に実運用開始から 2025 年 3 月までの約 10 か月間の検知実績を示す。図より、逆走事案の発生は 0 件、誤進入事案は原付等による未遂事案が 9 件発生した。発生した未遂事案は全て 3 次元レーザレーダで正確に検知しており、交通管制室および料金所へ通知された。このうち料金所で制止した件数は 7 件であり、残り 2 件は誤進入した入口へ U ターンし立ち去っていた。料金所収受員から、システムの通知により誤進入者を制止する準備ができたという報告があり、本システムが高速道路の安全性向上に寄与していることが伺えた。なお、集計期間中に未検知事案は無かった。

また、4.3 にて前述した自動二輪車について、125cc 以下の原付等と誤識別し通知するものは、日平均 8 件程度発生しており、今後は自動二輪車の識別性能の更なる向上を図りたい。なお、歩行者・自転車の誤進入事案が発生していないことから、入口の警告機能については今後、長期的な運用により効果検証を行う予定である。

本システムは他の出入口にも今後適用を考えているが、現状は道路形状や機器設置状況に応じて、機能の追加や調整が必要となるため、汎用性が高いシステムとなるよう引き続き開発を進めていく。

表 4 実運用後約 10 か月間の検知実績

内訳		件数(未遂件数)	
逆走		検知	0
		事案	0
誤進入	歩行者	検知	0
		事案	0
	自転車	検知	0
		事案	0
	原付等	検知	9
		事案	9(9)

参考文献

1) 内閣府：道路交通事故の長期的推移，令和 6 年交通安全白書（全文） - 内閣府，
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r06kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_1.html, 2024.（2025 年 4 月 17 日）

2) 名古屋高速道路公社：交通安全対策の取り組み，「名古屋高速道路」交通安全対策の取り組み，
<https://www.nagoya-expressway.or.jp/cms/wp-content/uploads/2024/07/koutsuanzentaisaku.pdf>, 2024.（2025 年 4 月 23 日）

3) 久光豊，関本清英，永田宏一郎，上原実，大田栄一：三次元レーザレーダ式踏切障害物検知装置の実用化，IHI 技報，Vol.48 No.1, p.1-6, 2008.