

# 講演 1. 地方鉄道を対象とした自動運転技術活用に関する基礎検討

交通システム研究部

※竹内 俊裕

長谷川 智紀

山口 大助

渡邊 翔一郎

篠田 憲幸（客員研究員）

## 1. まえがき

地方鉄道においては、人口減少に伴う要員の減少や鉄道分野における従事者の大量退職（図1）の影響から、自動運転への期待が高まりつつあるのに加えて、運転に伴うヒューマンエラーを防止するためにも自動運転技術導入の機運も広がっている。

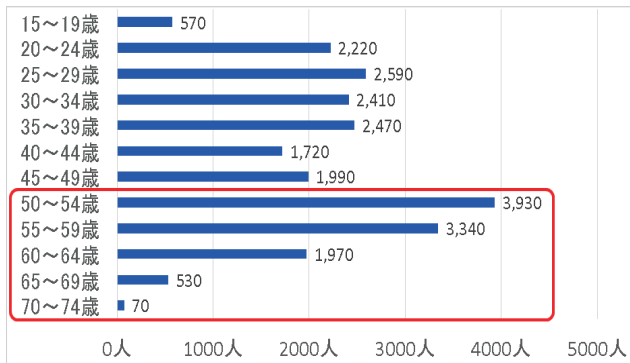


図1 鉄道線路工事従事者数<sup>1)</sup>

鉄道分野における自動運転は、前方監視を運転士が行い加減速制御のみを自動制御するものから無人自動運転まで、新交通システムを中心に長年の実績があるものの、踏切やオープンプラットホームのある地方鉄道にそのまま適用することは困難な面が多い。

一方、自動車の自動運転技術の進歩には著しいものがあり、中でも障害物を検知する技術として、画像センサ（ステレオカメラにより、測定対象との距離を測定）、ミリ波レーダ（ミリ波が対象物に反射して戻る波の位相差を利用して距離を測定）、及びLiDARセンサ（Light Detection and Ranging：投影したレーザーが対象物に反射して返るまでの時間から距離を測定）等が単独または組み合わせて幅広く活用されており、さらに高性能化や低価格化を目標として技術開発が進められている。最近では、線路内障害物監視システム<sup>2)</sup>へのミリ波レーダの採用や、踏切障害物検知装置<sup>3)</sup>へのLiDARセンサの採用などといったように、自動車の技術が鉄道分野へも活用され始めている。

そこで、これらの自動車の分野で汎用化された技術

を活用することで、列車運行上の障害となる事象が線路上で発生した際の警報等、運転支援の可能性が考えられる。そのため、経営環境が厳しさを増している地方鉄道においても、列車運行に係る安全性の向上が見込まれることから、自動車の自動運転で採用されているセンサを地方鉄道へ活用するための基礎検討を始めることとした。

## 2. センサの比較

検討に際して、自動車の自動運転で採用されているセンサについて比較検討を行った結果を表1に示す。

表1 センサの比較

	画像センサ	ミリ波レーダセンサ	LiDARセンサ
検出距離	○	◎	◎
物体検出	◎	○	◎
検出精度	○	△	◎
物体識別	◎	△	○
天候影響	△	◎	△
周囲環境 (逆光、夜間)	△	◎	◎
コスト	○	○	△

自動車の自動運転で採用されている主なセンサとしては、画像センサ、ミリ波レーダセンサ、LiDARセンサがある。これらのセンサを対象として、物体を検出可能な距離、物体検出の可否とその精度、検出した物体の大きさ等の識別の可否、雨や雪等の天候の影響、逆光や夜間等周辺環境の影響、導入のためのコストについて比較した。

その結果、画像センサは測定距離が100m程度で物体の識別は可能であるが、逆光や濃霧等周辺環境や天候の影響を受けやすく、ミリ波レーダは周辺環境や天候に左右されずに長距離の測定が可能であるが、検出時の分解能が他のセンサと比較して劣るため物体の識別は難しいという特徴を有している。また、LiDARセンサは、ミリ波レーダでは検出できない物体の検出

が可能であり、周囲の環境に左右されずに対象物との距離を測定することが可能であるが、悪天候時に検出性能が低下するという特徴を有している。

各センサを比較検討し、鉄道での活用を考慮した結果、検出距離、物体検出、検出精度および周囲環境において有利なLiDARセンサに着目し、性能評価を実施することとした。なお、現行のLiDARセンサはレーザを照射するためにモータなどの可動部が必要となることから、このことが低価格化及び小型化の障害となっているが、現在、モータなどを使用しないメカレス方式を採用したセンサの開発が進められており、将来的には低価格化及び小型化が期待されることも選定理由の一つとした。

### 3. LiDAR センサ仕様

選定したLiDARセンサは表2に示す仕様の4レイヤスキャニングセンサで、図2に示すように垂直方向に4本のレイヤが出力され、高さの高い順に黄色、緑色、青色、赤色で色分けして3次元を表現するセンサである。このセンサの検出可能距離は、0.5m～最大 300mとなっている。なお、選定したLiDARセンサが発するレーザ光は、レーザクラス1<sup>4)</sup>であり、公衆への影響はないタイプである。

表2 センサの比較

	仕様
レーザ波長	905nm
レーザクラス	クラス1 (IEC 60825-1:2014)
開口角	85°
垂直操作角度	3.2°
スキャン周期	12.5～50Hz
角度分解能	0.125°, 0.25°, 0.5°
検出可能距離	0.5m～300m
反射率10%での検出距離	50m

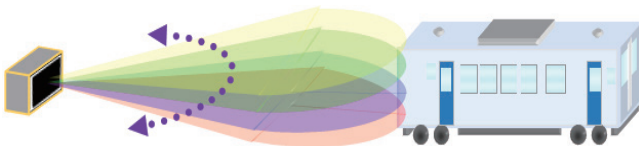


図2 スキャンイメージ

### 4. 性能確認実験の実施

LiDARセンサを鉄道へ活用することに関しては、列車運行上の障害となる事象の検知が期待される。具体的には、踏切で停滞している自動車や歩行者等、線路沿線からの侵入物や飛来物、プラットホームからの転

落などが想定されるが、それらをできる限り早期に検知し、走行中の列車を停止させることが必要となる。

そこで、それらの事象を想定した場合の検知状況を確認するために、図3に示すようにLiDARセンサを実際の車両に設置して実験を実施した。

実験は、豊橋鉄道市内線の試験車両で赤岩口電停～駅前電停間を走行しながら、試験車両の前方を走行、横断する自動車や歩行者などを障害物と見立てて、その検知状況や検出距離について確認することとした。

実験に使用した装置構成は、図4に示すように、試験車両の運転台横に設置したLiDARセンサとノートパソコンで構成され、センサ本体からの情報を専用アプリケーション上で距離と高さ別で点群データで表示することで物体を検知、識別するものである。



図3 実験車両 (左) と設置したLiDARセンサ

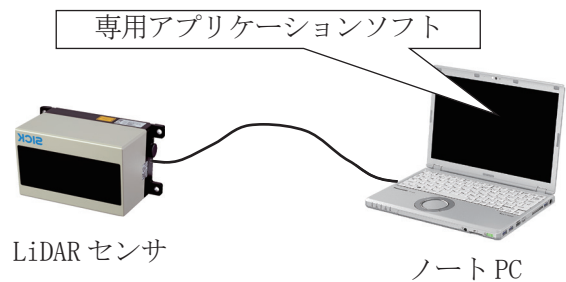


図4 実験装置構成

### 5. 実験結果

停止している物体の検知状況についての実験の結果、図5に示すように、前方の交差点で停止している路面電車1両(図5①)と自動車3台(図5②～④)について、図6に示すように距離20m～30mの範囲に存在していることが検知できることが確認された。



図5 停止している物体検知時の画像

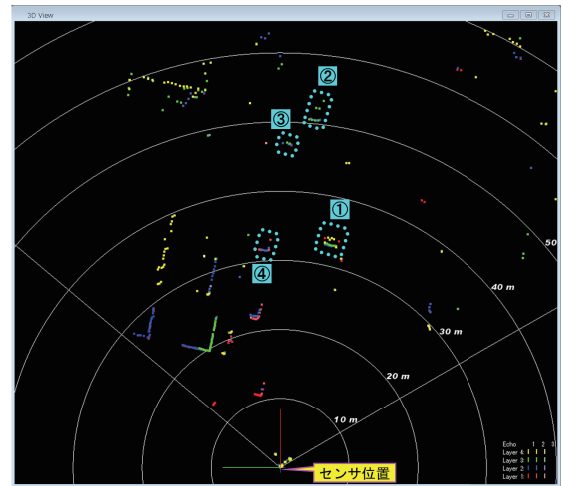


図8 動き出した物体の検知状況



図6 停止している物体の検知状況

また、図7のように、交差点の信号が青現示になり、路面電車や自動車が進出した後についても、図8に示すように追従検知できていることが確認された。



図7 動き出した物体検知時の画像

さらに、図9のように、前方の線路を横断する歩行者や自転車についても、図10に示すように検知できることが確認された。特に、歩行者については、複数名が重なっているように見える状況においても、個別に検知できることが確認された。

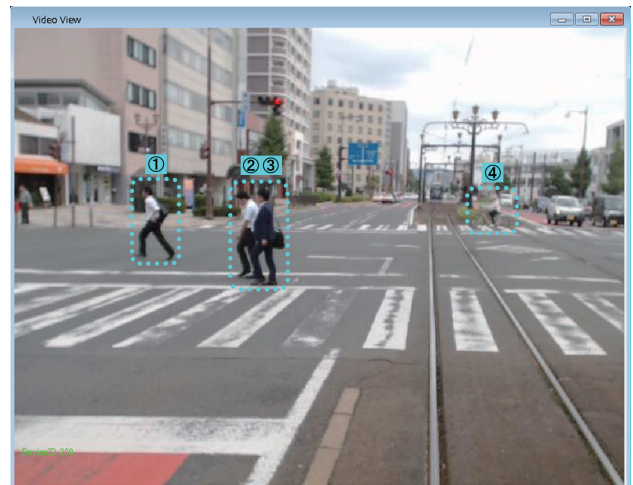


図9 歩行者や自転車の検知時の画像



図10 歩行者や自転車の検知状況

次に、検出距離についての実験の結果について示す。実験の方法は、試験車両が交差点で停車している



状況で、交差点を右方向から進入して右折し、試験車両の進行方向に遠ざかっていく自動車(図1-1)を追従検知し、検知できなくなった時点の距離を測定することとした。その結果、図1-2のように200m程度までは追従検知できることが確認された。なお、検出距離に関して、センサのスペック上では300mまで検知できるとのことであるが、今回の実験時の環境では200m程度であったことから、車両のフロントガラスの影響や設置方法の影響によるものと推測される。



図1-1 検出距離測定対象自動車の画像

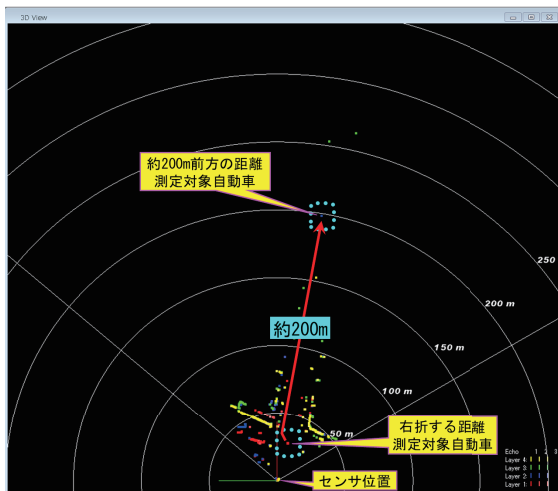


図1-2 検出距離測定状況

以上のように、LiDARセンサを実際の車両に設置して検知状況を確認するための実験を実施した結果、沿線を走行、横断する自動車や歩行者等を正確に検知できることが確認された。また、検出距離については、約200m先の自動車を検知できることが確認された。なお、検知した物体の識別については、センサから出力される物体の位置情報や物体の長さ情報等から解析することで可能となると思われるが、実際の識別状況については、今回の実験では対象外とした。

## 6. 今後の予定

今後の予定としては、今回の実験の対象外とした識別機能の確認、検出距離精度の確認、天候や時間帯による影響の確認等について実施した後、車両に長期間設置してデータを取得可能な図1-3に示す装置を製作し、その製作した装置を実際の車両に設置し、長期的なモニターランで多種多様なデータを取得し、そのデータを元に列車運行上の障害となる事象の抽出と、その検知状況について解析を行う予定である。

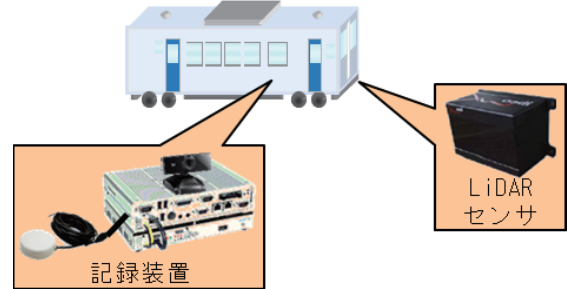


図1-3 データ取得装置イメージ

## 7. まとめ

自動車の自動運転で採用されているセンサを地方鉄道へ活用するための基礎検討を開始した。

自動車の自動運転で採用されているセンサについて比較検討を行い、鉄道での活用を考慮した結果、LiDARセンサに着目し、その性能確認のための実験を実施した。

LiDARセンサを実際の車両に設置して実験を実施した結果、障害物と見立てた自動車や歩行者等の検知が可能であること、距離が200m程度離れても検知が可能であることが確認された。

引き続きLiDARセンサを車両に設置して走行中のデータの取得・解析を進め、自動運転における新技術を地方鉄道等に導入する際に、安全性の観点から技術評価を行うための標準的な試験法を提案することを目的として検討を進める予定である。

## 参考文献

- 1) 平成22年国勢調査
- 2) 中村一成, 「90GHz帯ミリ波による鉄道線路内監視システム」, 鉄道総研月例発表会講演要旨, pp. 290-19 - 290-22
- 3) 久光他, 「三次元レーザーレーダ式踏切障害物検知装置の実用化」, IHI技報 Vol. 48 No. 1 (2008-3), pp. 1 - 6
- 4) JIS C 6802:2001, 「レーザー製品の安全基準」