

講演 2. 障害物検知センサを活用した鉄軌道における 衝突事故防止に関する取組

交通システム研究部 ※竹内 俊裕 長谷川 智紀 山口 大助

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高齢化から、省力化への期待が高まりつつある一方で、平成 30 年度には中小民鉄では 48 件の踏切障害事故が発生（図 1）し、路面電車では 21 件の道路障害事故と 4 件の車両衝突事故が発生（図 2）しており、さらなる事故防止の取組みが必要な状況である。

こうした中で、人間のミスによる事故等を防止するため、センシングやモニタリング等の最新技術を導入した新たな運行管理システムやドライバレス自動運転などの技術開発も推進されている。

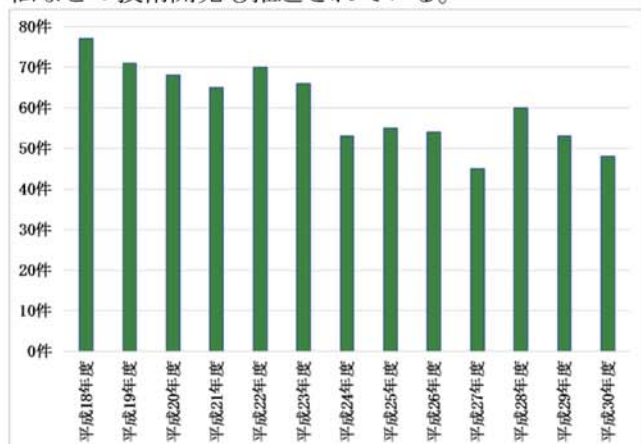


図 1 中小民鉄の踏切障害事故件数¹⁾

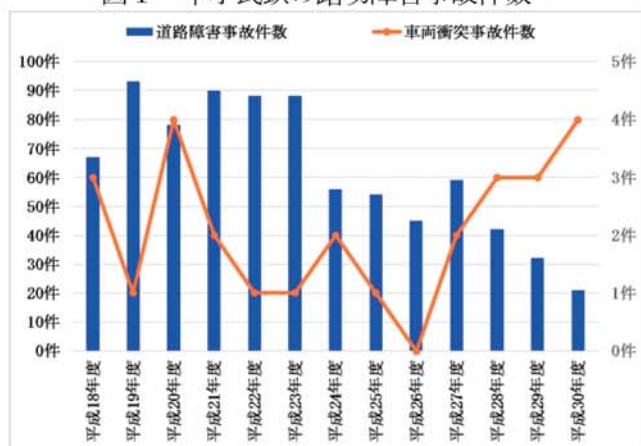


図 2 路面電車の道路障害事故と車両衝突事故件数¹⁾

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。

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、自動車の自動運転で採用されている各センサについて比較検討を行い²⁾、地方鉄道での活用を考慮した結果、検出距離、検出精度などの性能や、将来的に小型化や低価格化が見込まれる LiDAR センサを選定し、障害物検知センサとして活用するための取組を行ってきたので紹介する。

2. LiDAR センサ性能評価実験

選定した LiDAR センサは表 1 に示す仕様のスキャニングセンサで、図 3 に示すように垂直方向に 4 本のレイヤが上下交互に 2 組出力され、高さにより色分けされて 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、0～200m 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 1³⁾であり、公衆への影響はないタイプである。

表 1 センサの仕様

項目	仕様
レーザクラス	クラス 1 (IEC 60825-1:2014)
レーザ波長	905nm
開口角	110°
垂直走査角度	6.4°
レイヤ数	8 レイヤ (4 レイヤ×2)

スキャン周期	25Hz
角度分解能	0.8°
検出距離	0.3m~200m
距離分解能	4cm

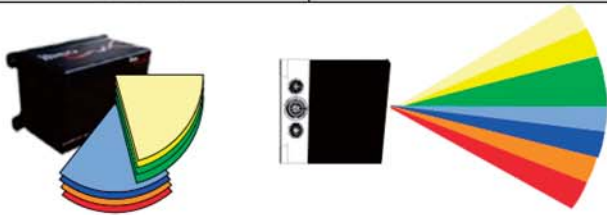


図3 スキャンイメージ

このセンサの性能を評価するために、交通安全環境研究所の敷地内で測定を行った。測定は、敷地内の直線道路において、LiDAR センサを定置し、遠ざかる実験車両を検知できる距離について測定した。その結果、距離が離れるにつれて点群の数は少なくなるものの、スペック通り 200m まで検知できることが確認された (図4)。

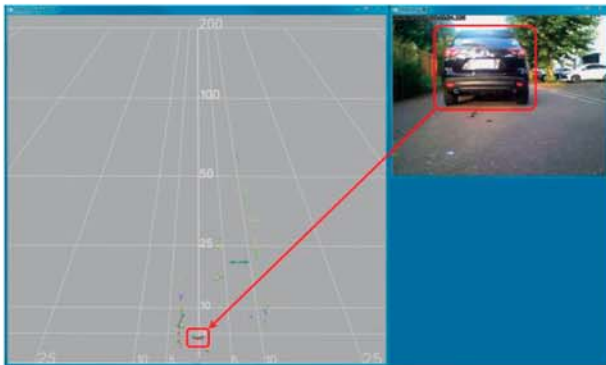


図4 距離測定の様子

3. 地方鉄道における実証実験の実施

地方鉄道におけるLiDARセンサの活用法の一つとして、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、プラットフォ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、走行データ収集装置を開発した。走行データ収集装置は、前方障害物を検知するためのLiDAR センサ、自車両位置を把握するためのGNSS 受信機、前方映像を撮影するためのWEB カメラ、各機器の情報を収集し、障害物判定を行う機能を有する専用アプリケーションソフトがインストールされた組込用パソコンで構成される (図5)。

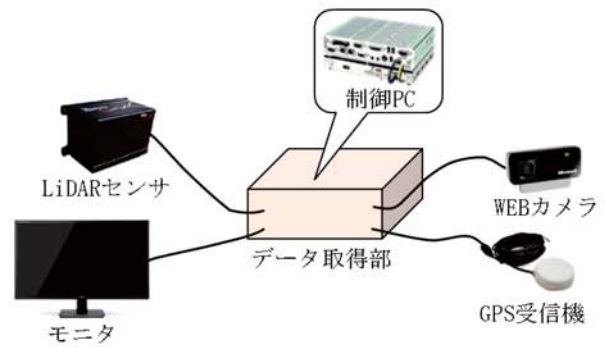


図5 走行データ収集装置の構成

専用アプリケーションソフトは、建築限界に合わせて設定された障害物検知エリア内に、LiDAR センサで検知した点群が一定数以上認められた場合に障害物ありと判定し、障害物検知エリアを赤色表示する機能を有している。また、鉄軌道は線路以外走行しないことから、GNSS 受信機により検知した自車両位置より、あらかじめ保持している路線図データを参照し、進行方向の線路形状に合わせて障害物検知エリアを変化させることで、直線部のみならず曲線部における障害物の検知 (図6) も可能とする機能を有している。

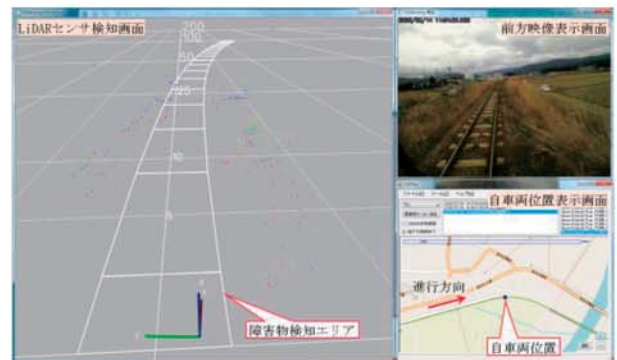


図6 アプリケーションソフト画面



図7 試験風景

開発した走行データ収集装置を使用して、山形鉄道フラワー長井線において、試験車両の荒砥方排障器上

にLiDAR センサを固定し、運転席横にデータ取得装置を設置し、長井駅から荒砥駅への走行時に実証実験を実施した(図7)。

LiDAR センサにより検知される線路沿線の物体について実験で確認するとともに、各駅へ到着する際の駅舎ならびに駅ホームの検知状況について確認した。なお、営業運転中に障害物を進路上に設置することは、安全上難しいことから、建築限界の設定値を通常より大きく設定することにより駅ホームや線路沿線の草木等を障害物として検知することとした。

実験の結果、列車が駅への進入時に、50m 程度手前から駅舎や駅のホーム端を明確に検知可能であり(図8)、近距離の障害物については確実に検知できることが確認された。

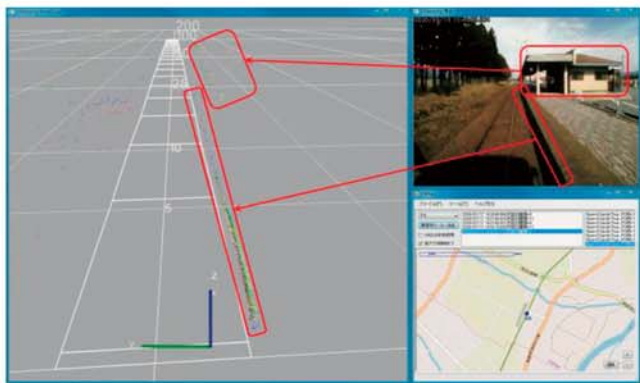


図8 ホーム端の検知状況

また、約60km/h で走行中に50m 程度手前から障害物検知エリア内に入り込んだ線路沿線の草木等が、一定数以上の点群数で認識された場合に、障害物ありと検知できることが確認された(図9)。

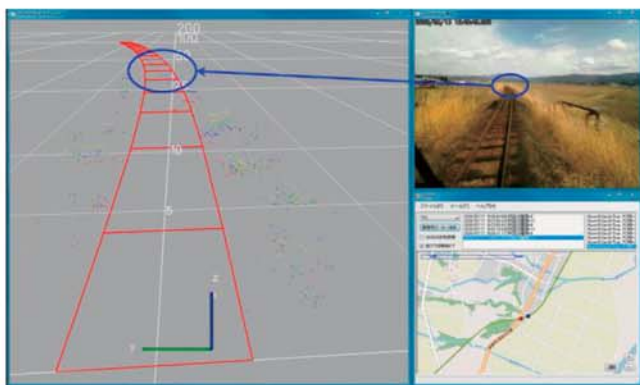


図9 障害物の検知例

しかしながら、今回の実験では、障害物を検知する距離を100m に設定して実施したが、実際に障害物として認識し、検知できたのは50m 程度であったことから、車上から遠方(例えば100m 先)の障害物を検知することは非常に難しいという課題も確認された。さ

らに、試験を実施した山形鉄道の最高速度は75km/h のため、常用制動時の制動距離が約400m、非常制動時でも約300m となることから、センサの検出可能距離である200m 先の障害物が検知できたとしても衝突事故を防止することは難しい。そのため、LiDAR センサを障害物検知センサとしてこうした最高速度の線区で使用する場合には、LiDAR センサ単独ではなく、異なる方式のセンサ等と組み合わせることが望ましいと思われる。

4. 路面電車における実証実験の実施

前章の鉄道における実験結果より、LiDAR センサについては、近距離での障害物の検知性能が優れていることが確認されたことから、最高速度が40km/h の路面電車での検知状況を確認するために、広島電鉄市内線において実証実験を実施した。実験は、過年度までに取組みを行ってきた路面電車-自動車間衝突事故防止支援システム⁴⁾にLiDAR センサを加え、先行路面電車との距離に応じて情報提供等の支援を行うことで衝突事故を防止する先行路面電車への衝突防止支援機能について実施した。路面電車-自動車間衝突事故防止支援システムは、LiDAR センサ、運転士への支援情報を表示する支援モニタ、制御用パソコンと車車間通信用無線機で構成され(図10)、それぞれ試験車両の排障器、運転席横のスペース、座席上に設置した。



図10 試験風景

また、先行路面電車への衝突防止支援機能は、試験車両の前を走行する先行路面電車との距離をLiDAR センサにより常時監視し、車間距離が50m 以下で情報提供、30m 以下で注意喚起を支援モニタに表示すると

もに音声メッセージで支援する機能である(図11)。

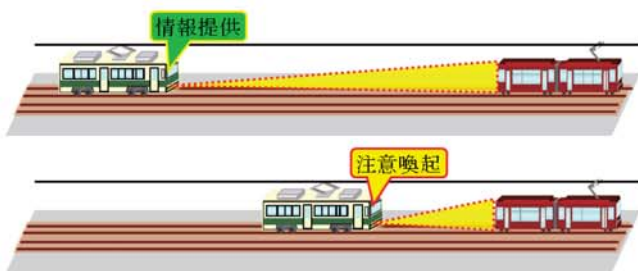


図11 先行路面電車への衝突防止支援機能

実験は、広電本社前電停～広島駅電停間を走行しながら、先行路面電車が交差点赤信号で停車するごとに、試験車両との距離を測定しながら実施した。

その結果、先行路面電車への衝突防止支援機能は約120mの位置から先行路面電車を検知し始め、50m以下で情報提供、30m以下で注意喚起が画面表示と音声メッセージで動作することが確認され(図12)、LiDARセンサによる先行路面電車への衝突防止支援については、有効であることが確認された。

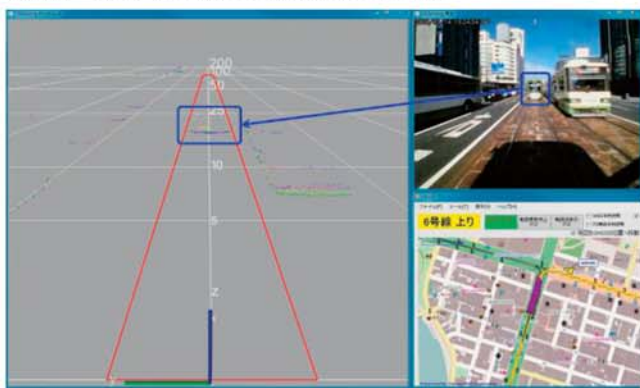


図12 先行路面電車の検知状況

5. まとめ

自動車の自動運転で採用されているLiDARセンサを障害物検知センサとして、鉄軌道へ活用するための取組みについて紹介した。

まず、鉄道での活用を検討するために、列車運行上の障害となる事象を想定した場合の検知状況を確認する走行データ収集装置を開発し、山形鉄道フラワー長井線荒砥駅～長井駅間で実証実験を実施した。その結果、駅舎や駅のホーム端など近距離の障害物については確実に検知できることが確認された。しかしながら、その距離は50m程度であり、100m先の障害物については、点群数が少なく、障害物と認識することは難しいという課題も確認され、こうした場合は他のセンサ等と組み合わせることが望ましいことも確認され

た。

次に、路面電車での活用を検討し、先行路面電車への接近を常時監視し、衝突の防止を距離に応じて支援する先行路面電車への衝突防止支援機能を検証するために、広島電鉄市内線において実証実験を実施した。その結果、予め設定された距離に応じて、情報提供や注意喚起の支援が行われることを確認し、最高速度が40km/hの路面電車へのLiDARセンサの活用は有効であることが確認された。

今後、鉄道での活用については、開発した走行データ収集装置を実列車に設置し、数ヶ月程度のモニターランでデータを取得し、障害物検知状況を確認することにより、LiDARセンサの評価を進める予定である。

また、路面電車での活用については、今回実験を行った先行路面電車への衝突防止支援機能とともに、自動車と路面電車の衝突事故防止のため、過年度まで実施していた車車間通信を活用した通信利用型運転支援機能と組み合わせ、より高精度な支援を行うシステム(図13)に改修を行い、実証実験を通して有効性を確認していく予定である。

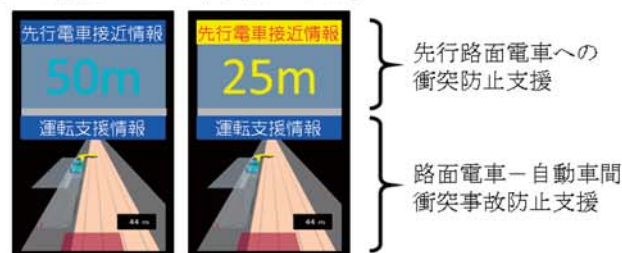


図13 システムの改修案

さらに、それらの結果を元に、自動車の自動運転で採用されてい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について検討を進めていく予定である。

最後に、実証実験に多大なるご協力を賜った山形鉄道株式会社と広島電鉄株式会社に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 鉄軌道輸送の安全に関わる情報, 平成18年度～平成30年度, 国土交通省鉄道局
- 2) 竹内他, 「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」, 交通安全環境研究所フォーラム2018, pp. 3-6(2018)
- 3) JIS C 6802:2001, 「レーザ製品の安全基準」
- 4) 竹内他, 「通信技術等を活用した路面電車・自動車間における安全性向上に関する取組」, 交通安全環境研究所フォーラム2017, pp. 3-6(2017)