

障害物検知装置（MT型）の垂直面監視による、
踏切道遮断かん近傍安全対策

○前 友章（大同信号）

村松 鋼二郎（大同信号） 西村 真樹（大同信号）

Safety Measure for Level Crossing Entrances
Using MT Vertical-Scan LiDAR System

○Tomoaki Mae(Daido Signal)

Kohjiro Muramatsu(Daido Signal) Masaki Nishimura(Daido Signal)

Near level crossing entrances, there has been many safety risks such as left behind rear body of vehicles, pedestrians staying near the barrier or looking inside the crossing, which may cause train collision accidents. Conventional obstacle detectors including photoelectric type and three dimensional type has not been a optimal solution of these issues due to performance or cost. To solve these issues, we improved our product “MT (Multiple Tracking) Obstacle Detector”. By adding vertical-scan LiDAR to our system, we realized more cost-balanced method for obstacle detection nearby crossing barriers. The following explanations are about unique issues of monitoring by vertical-scan LiDAR and in addition, field trials analysis carried out at level crossings.

キーワード：踏切道，障害物検知装置，MT 障害物検知装置，ライダー，

Key Words：Level Crossing, Obstacle Detector, MT Obstacle Detector, LiDAR

1. はじめに

踏切道の障害物を検知し，列車への支障を防止するための装置として，従来から踏切障害物検知装置（以下，障検と略記）が設備されている．広く用いられている光電式は光線の遮断によって物体を検知する方式であり，長年の実績があるが，踏切道の安全性向上を求める声が年々高まっている．要求に応えるため，我々は，踏切道を平面で監視する踏切障害物検知装置（MT 型）[多重追跡型踏切障害物検知装置：Multiple Tracking LiDAR System for Level Crossing]（以下，MT 障検）を開発した^{1)～3)}．

MT 障検では水平面を監視するため 2D ライダー（二次元赤外線レーザレーダ．以下「LiDAR」と略記）を用いている．距離によっては雨滴など数 mm 程度の物体も測距されるため，過剰検知の抑制を目的として，検知対象の測距点密度を評価するグルーピング処理と，物体速度の評価等を目的としたトラッキング処理といった物体検知処理を備えている．

今回開発した垂直面監視機能は，水平面では捉えられない遮断かん近傍を監視することで，交通渋滞などによる運搬車両の後部残りや，人の覗き込みなどを検出し安全性向上を目的としている．また，MT 障検の拡張機能としたことで，性能とコストのバランスを両立している．

本稿では前述の物体検知処理機能が，垂直面監視でも有効であることを示すとともに，踏切道での実証試験結果も報告する．

2. 従来の遮断かん近傍監視方法

（1）光電式

光線を発・受光しておき，遮光されたら障害物有りとする方式であり，線検知方式とも言われる．遮断かん近傍の監視として，光軸高 600～750mm 程度を標準として配置する．更に，交通量の多い箇所など，前述のような支障要因が想定される場合，1100～1400mm 程度を光軸高とする．「ハイビーム」等と呼ばれることもある．

課題として，標準高とハイビーム以外の高さに物体があ

っても検知が出来ない点がある。

(2) 3D式

踏切道の3次元空間を3D LiDAR (三次元赤外線レーザレーダ) を用いて測距し、物体を捉える方式。線検知方式に対して、隙間無く検知可能であるため面検知方式と言われることもある。3D 検知の原理上、遮断かん近傍の監視性能を有している。

課題として、高コストであること、時間・空間分解能を高めにくい点がある。

3. MT 障検の垂直面監視機能拡張

3.1 システム構成

(1) 基本構成

MT 障検では2D LiDAR を用いているため、水平面の監視高さはおよそ光電式と同様である。遮断かん近傍でも、監視高さを超えた物体は検知できない。そこで、LiDAR 掃引面を踏切道面に対し垂直として、遮断かんと平行に配置することで、遮断かん近傍を垂直平面で監視することとした。図1に設置イメージを示す。

この配置形態そのものは一般的な手法であるが、踏切道に適用する際には、後述の課題をクリアする必要がある。

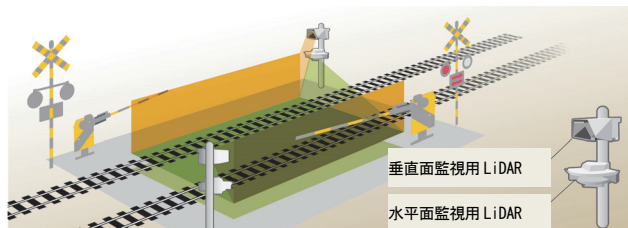


図1.設置イメージ

(2) 検知性能目標

遮断かん近傍では、滞った通行者に加えて、運搬車両の積み荷のはみ出し、覗き込んだ人といった、水平面監視よりも小型の物体が支障する可能性がある。設計目標として、ユーザからの要請等を勘案し、直径50mm程度の鋼管柱の検知性能を目指した。

(3) システム構成

システム構成を図2に示す。MT 障検の基本構成は、水平面監視のみの場合、CPU ユニット当たり1台のLiDARを接続し、これを2式用いる事で機器及び検知の冗長性を確保している。CPU ユニットは最大2台のLiDARを制御可能につき、垂直面監視用LiDARはCPU ユニットの増設することなく制御が可能である。

監視箇所は遮断かん近傍であるため、踏切道出入りに計2台の垂直面監視用LiDARを設置、水平面監視で用いているCPU ユニット2台に接続することでシステムを構成した。

垂直面監視用LiDARの掃引面は、遮断かん内方が見通せる、車両建築限界外を満たす立方領域内に配置する。マージンを見て遮断かんから200~400mm程度の離隔を確保する。設置高さは、作業員が容易に取り付けられ、保守

性も考慮して、レール面上から1500mm程度とした。

検知領域は、水平面と同様、四角形を標準とした多角形で定義し、その領域内に発生した測距点に対して、物体検知処理を行う。

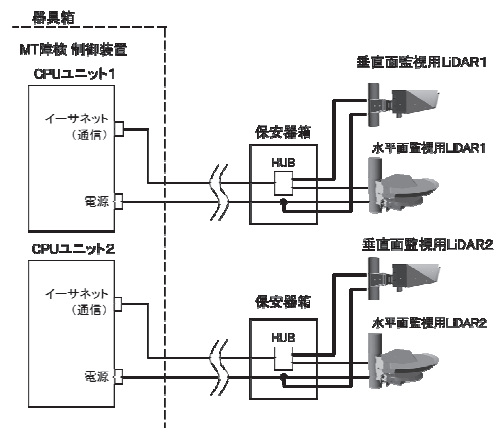


図2.システム構成

3.2 予想される課題

垂直面で検知可能な物体サイズは、水平面よりも小さく設定する必要があることから、過剰検知が水平面より顕在化しやすいことが予想された。また、垂直面は降雨や降雪の落下方向と平行であり、特に降雪は水平面と比べて面内での滞留時間が長くなり、過剰検知の増加が予想された。路面や列車通過時の雨飛沫の影響も懸念された。

3.3 特徴

(1) 踏切道の実態に即した構成の選択

水平面監視に対し垂直面監視の機能拡張は、LiDAR 及び付帯設備の増設となり、標準構成に加え30%強のコストで提供できる。踏切道毎に垂直面監視機能が選択できるため、踏切道の安全要求に応じたコスト設定が可能。

(2) 機能の独立性確保

水平面の主な検知対象は自動車、実力性能は人としているが、垂直面は更に小型物体とする必要がある。このため、検知可能な物体サイズや検知時素は、検知面毎に独立したパラメータで設定可能。

(3) 保守性が高い

3D方式に比べて低所の設置であり、設置・保守・故障復旧は容易。

4. 性能基礎検証

図3, 4に降雨及び降雪環境下の障害物検知状況を示す。検知領域は垂直面として、地面から300mm~1500mm(幅1200mm)を検知領域としている。検知対象は直径50mmの模擬試験体とした。

図3はグルーピング処理で雨滴を排除し、静止した試験体を検知している様子である。測距点の密度を評価し、設定密度を超えた場合のみ固体物体として認識する、グルーピング機能の有効性を確認した。

図4はトラッキング処理で模擬降雪を排除し、静止した試験体を検知している様子である。模擬降雪は、 $0.6 \sim 0.8\text{m/s}$ の等速としている。領域高さ幅 1200mm につき、検知時素1秒とした場合、 1.2m/s 以下の落下物体は検知される。設定速度による時素設定が可能であり、例では 0.5m/s 以下は静止物体として1秒で検知させ、以上の場合3秒と設定することで、模擬降雪の排除効果を確認した。

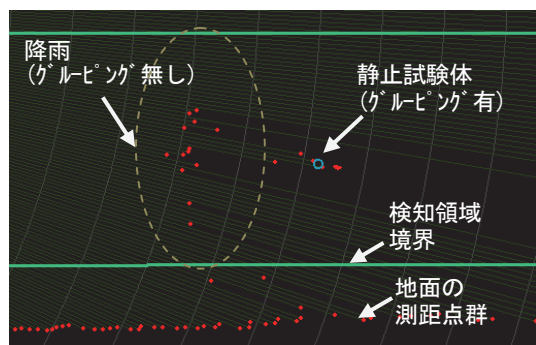


図3.降雨環境下検知状況

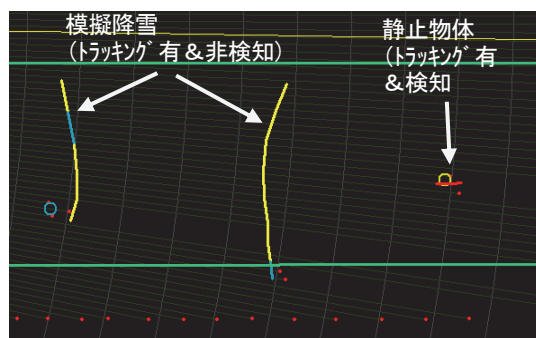


図4.降雪環境下検知状況

5. 実証試験

5.1 試験構成

(1) 試験場所

場所：京阪電気鉄道株式会社 京阪本線 丹波橋通踏切
跨線数：4、幅員：6m、踏切長：23m
試験期間：2018年2月より1年間

図5に踏切構成を示す。

(2) 試験目的と設定

目的は垂直面監視の安定稼働性確認、環境外乱の影響把握等である。想定している環境外乱として、降雨、降雪、霧、直射日光などがある。

実証試験では、検知発生事象を把握するため、障害物・環境外乱に関わらず検知を発生しやすい設定とした。検知時素は踏切警報開始直後から段階的に短くし、最終的に1秒検知とした。検知領域下限、上限は踏切道から各 150mm 、 1500mm と設定し、列車通過時も検知継続とした。写真1に設置状況と検知領域について示す。

また、データ収集後、適宜変更を実施し、過剰検知抑制効果についても検証を実施した。

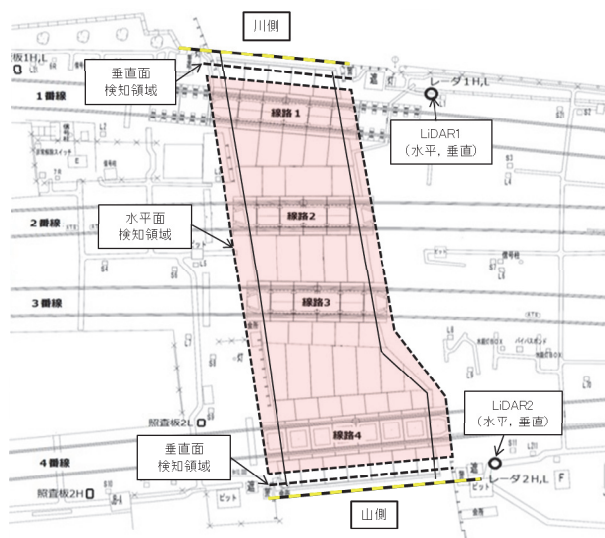


図5.踏切構成

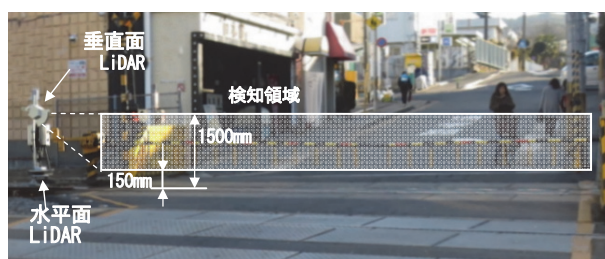


写真1.設置状況 (山側)

5.2 試験結果

(1) 障害物検知事例

図6に障害物検知事例を示す。高齢者がフレーム状のカートを持って遮断かん付近に取り残されている(同図(a))。水平面監視ではカートが十分検知領域内であったが、フレーム状であったため安定した測距ができず検知有無が繰り返された。一方、垂直面監視では、高齢者の体で多くの測距点が得られ、安定的に検知された(同図(b))。典型的な遮断かん近傍の支障事例であるが、垂直面監視の有効性が確認できた。

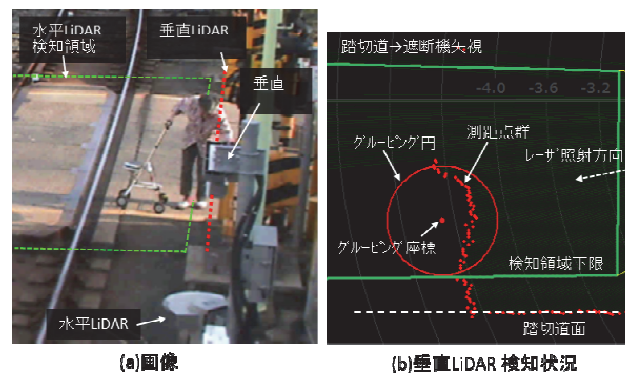


図6.障害物検知事例 (川側)

(2) 降雨発生時の様子

降雨時に路面飛沫の過剰検知傾向を分析した。降雨量は付近の気象データより、42mm/h 相当の激しい雨であることが推定された。抽出データは、障害物検知機能が有効となる、踏切警報中の一定期間のデータとした。

図 7 に、発生したグルーピング代表座標の分布を示す。プロット色は、対応するトラッキング ID 番号に対応している。参考として、代表的な 1 フレームの雨滴の測距点もプロットした。

雨滴の測距点は検知領域上限まで発生しているが、低密度な測距点群を排除するグルーピング処理の結果、代表座標は発生していない。一方、路面飛沫は高密度と考えられ、検知領域下限付近で高頻度に発生している。このとき発生した代表座標の最大高さは約 400mm であった。

なお、当該踏切では図 7 の飛沫発生傾向に基づき、検知領域下限を 400mm 程度に変更し、過剰検知の抑制を図った。

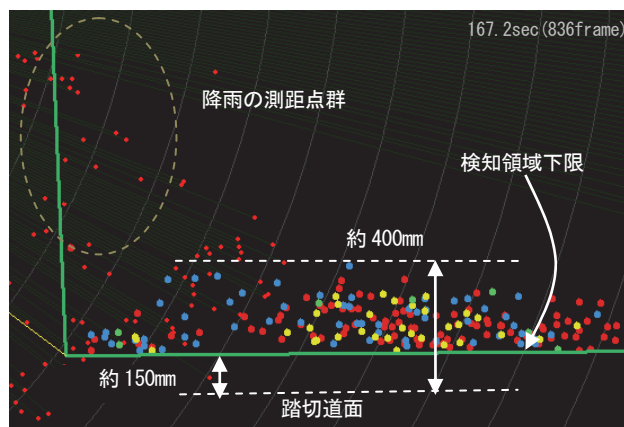


図 7. 飛沫グルーピング軌跡

図 8 に、発生したトラッキング軌跡を示す。

トラック数は 189[トラック・回]であった。検知確定に至ったトラックが図中の赤ラインで示されており、10[トラック・回](5.3%)、そのうち、4 秒以上が 2[トラック・回](1.1%)、最長検知時間は 7.2 秒であった。なお、黄ラインは検知に至る前の追跡状態、青ラインは前記状態から追跡物体が無くなり自走している状態を示している。

MT 障検では、速度を閾値として速度別に時素設定が可能である。静止物体検知を主体として考えた場合、動体は検知時素を長く、解除時素を短くすることで、過剰検知時間を短縮する考え方がある。例えば、検知確定の 10[トラック・回]全てにおいて、動体の目安である 0.5~1.0m/s の速度が発生しており、速度閾値をこの程度に設定し時素を割り当てることで、過剰検知時間を短縮できる余地がある。

5.3 その他課題

冬期に列車通過待ちなどで踏切道出入り口付近に停車している自動車から発生する、白い水蒸気混じりの排気ガス

の他、濃霧、列車通過時の雨飛沫による過剰検知が発生している。水平面監視でも生じている事象であり、パラメータ等を見直すことで低減策を検討している。

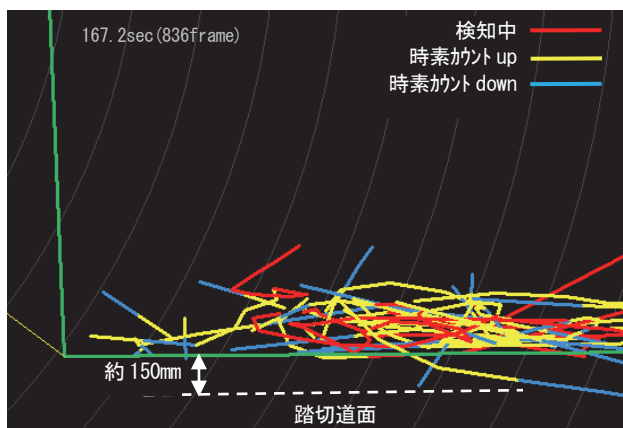


図 8. 飛沫トラッキング軌跡

6. おわりに

本稿では、遮断かん近傍の安全性を向上を目的として、MT 障検の水平面監視機能に加えて、適切なコストで垂直面監視機能を拡張できることを述べた。ユーザは踏切道の実情に応じて、垂直面監視の有無を考慮して障検システムを構成することができる。

MT 障検の物体検知処理は、確実な検知と環境外乱除去の両立を目指した技術であるが、パラメータや検知条件の最適値を得るためには調整の余地があると考えている。また、降雨や飛沫のような自然現象を定量的に捉えることが可能なため、事象の分析性向上に加えて、環境監視機能など、装置の付加価値向上に寄与するものと考えている。

最後に、本論文を執筆するにあたり、実証試験データの提供をいただいた京阪電気鉄道株式会社様には、この場を借りてお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 前友章, 村松鋼二郎, 西村真樹, 桐野江由輔: MT 障害物検知装置の開発, 第 54 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, CD-ROM, 2017.
- 2) 前友章, 桐野江由輔, 犬塚隆晴, 植木敏広, 木村厚亮: MT 障害物検知装置の低掃引面運用における実証試験結果, 第 55 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, CD-ROM, 2018.
- 3) 犬塚隆晴, 植木敏広, 木村厚亮, 前友章: MT 障害物検知装置の低掃引面運用による踏切人身事故防止, 鉄道と電気技術, 2019 年 12 月号, pp.47-51, 2019.