

# 保線作業の自動化のための異物検出センサの配置検討

日大生産工(院) ○高谷 隼輔

日大生産工 内田 康之

## 1. まえがき

近年、鉄道保線作業に従事する作業員の減少が深刻化している。これは、作業に高度な技術や経験が求められることに加え、労働環境や少子高齢化が一因と考えられる。また、毎年発生している脱線事故の現状を鑑みると、鉄道の保線作業における効率化と安全性の向上が早急の課題となっている。この課題に対処すべく、鉄道保線作業を効率化するロボット技術が求められている。

これまでの研究では、レール点検作業の一部工程を自動化することを目的に、レール上を自律走行するユニット式ロボットを開発し、異物検出センサの構成と配置を検討してきた<sup>1)</sup>。赤外線ToFセンサを片側に二基搭載し、4×4行列として取得される距離データに基づき、レール側方の異物識別と障害物の検知、ならびにその位置同定の妥当性を評価した。実験では、模擬レンチ等を対象として計測値に有意な変化が確認され、障害物の認識が概ね可能であることを示した。位置同定については若干の誤差を伴うものの、実用上おおよその位置把握が達成できることも確認した。一方で、環境光や路面反射特性の影響、車輪スリップに起因する位置ずれ、および処理時間の観点からリアルタイム性に余裕が小さい点が課題として残った。本研究では、ToFセンサの向きを地面に対して水平な姿勢に変更して搭載し、鉛直方向の距離変化に着目した異物検知手法の有効性を新たに検討する。

## 2. 走行ロボットについて

本研究で設計をしたロボットを Fig.1 及び Table.1 に示す。

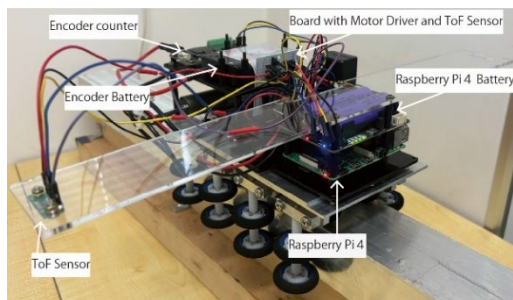


Fig.1 Exterior of the Robot

このロボットはモータにより駆動輪を回転させることで、レールの上を跨座式で走行する構造となっている。機体の左右に取り付けられた二本の案内輪はレールを挟み込むことで常にレールに沿った走行を可能にした。案内輪の左右間隔は 50 kg N レールに対応させるため 0.65 m とした<sup>2)</sup>。ロボットの天板は、複数のモジュールを連結することで搭載面積を増やすことができるため、モータやセンサ、制御装置などの必要機器を自由に天板上に搭載でき、作業に応じた機能の拡張を可能とすることを特徴としている。

Table 1 Specifications of the Robot

Specifications Table		
Dimensions and Mass	Overall Length	0.074(m)
	Overall Length (When 4 Units Are Coupled)	0.245(m)
	Overall Height	0.121(m)
	Overall Width	0.132(m)
	Mass	0.232(kg)

## 3. 異物の検出手法

本研究では、異物検出に赤外線測距センサ VL53L5X を採用した。このセンサは最大 4 m の距離を 45° の視野角で測定可能で、縦横 8×8 または 4×4 のマトリクスに分割して 2 次元的な距離データを取得する。異物検出は、水平な地面を基準に、基準値に対する凹凸の違いで判断した。センサを片側に搭載し、レールの側方方向約 0.2 m の範囲で異物を検出する設計である。

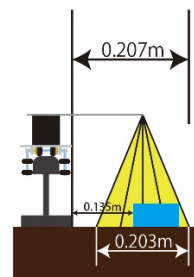


Fig.2 ToF Sensor Measurement Area

実験では、ロボットを模擬レール上に搭載し、走行速度 0.104 m/s で直線走行させた。レール側方の評価位置として、スタート位置から 0.9 m およびレール側方方向に 0.135 m の位

置に、寸法 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m} \times 0.05\text{ m}$ の立方体を配置し、ToFセンサによる検出可否を評価した。具体的には、距離行列（ $4 \times 4$ ）の時系列変化から基準面との差分を算出して異常判定を行った。実験で得られた値の中でToFセンサのゾーン2、6、10、14のグラフの値を検証に用いて、実験結果を基に検出手法の有用性を判断する。ToFセンサのゾーンマップを図3に、実験時の異物位置の様子を図4に示す。

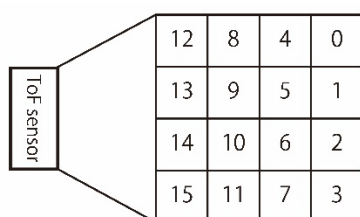


Fig. 3 Zone mapping in 4x4

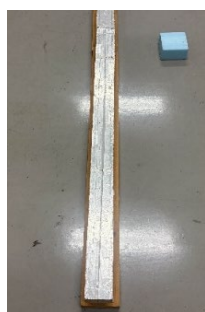


Fig. 4 Experiment Overview

#### 4. 実験結果

模擬レール上を走行するロボットにToFセンサVL53L5CX（ $4 \times 4$ ）を搭載し、地面までの距離 $0.245\text{ m}$ を保ったまま計測した。スタートから $0.9\text{ m}$ 地点に寸法 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m} \times 0.05\text{ m}$ のブロックを設置すると、 $9 \sim 10\text{ s}$ 付近で3つのゾーン（2/6/10）に距離低下が生じ、その後に基準の約 $0.25\text{ m}$ へ戻った。その後基準の約 $0.25\text{ m}$ へ復帰した。低下幅は約 $0.045 \sim 0.05\text{ m}$ 、継続は $0.9 \sim 1.0\text{ s}$ であり、走行速度と物体奥行の関係から妥当である。図2の地面投影幅は $0.203\text{ m}$ であるため、1ゾーン当たりの幅は $0.051\text{ m}$ となる。同図から障害物が3つのゾーンをまたがっているため、3ゾーンで低下が見えることも妥当である。低下量が $0.05\text{ m}$ 未満なのは視野内で地面反射とブロック上面が混在したためと考えられる。一方、ゾーン14はレール側の最内を計測しており、図2の配置ではブロックが視野外であったため変化は生じなかった。今後は時間分解能向上、エンコーダ距離に基づくリサンプリングにより、横位置と寸法の推定精度を高める。

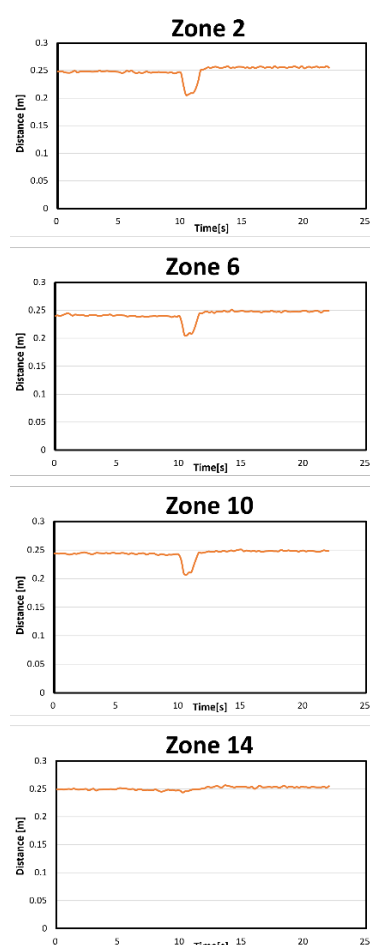


Fig.5 Experimental Result

#### 5. 結言

本研究では、モジュール型ロボットを試作し、ToFセンサによる側方異物検出の基本性能を評価した。スタートから $0.9\text{ m}$ 、側方 $0.135\text{ m}$ に設置した寸法 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m} \times 0.05\text{ m}$ ブロックに対し、 $9 \sim 10\text{ s}$ 付近で複数ゾーンの距離が一過性に低下し、検出が可能であることを確認した。低下幅や継続時間は走行速度や物体寸法と整合し、横位置推定の手がかりも得られた。一方で時間分解能の不足が課題である。今後は、センサの処理速度の高速化、ゾーン別の簡易校正、エンコーダによる移動距離の推定と位置同定を確実にできるように改善していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 高谷隼輔, 田中慎人, 内田康之, 線路側方の異物検出と位置同定の自動化について, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2P2-F04, 2025.
- 2) JFEスチール株式会社, 普通レール, (2021) [https://www.jfe-steel.co.jp/products/katakou/rail/rail\\_a.html](https://www.jfe-steel.co.jp/products/katakou/rail/rail_a.html), (参照2025-10-14)