

保線作業の効率化のための異物検出センサに関する研究

日大生産工(院) ○高谷 隼輔 日大生産工(学部) 田中 慎人
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できるロボットの実現を目標として、ロボットが鉄道レール上を移動するための走行機構が設計されている。また、赤外線測距センサから得られる4×4のマトリクスデータとカメラを組み合わせ、物体の三次元構造を把握し、物体認識を行う手法が提案されている。しかし、これらのセンサやカメラの安定性の確保および本体への取り付け手法については、実装が十分に行われていないという課題があった。本研究では、これらの課題に対処するため、センサの検出範囲の拡大と異物検出手法の改良を行い、その有用性を示すことを目的とする。

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。

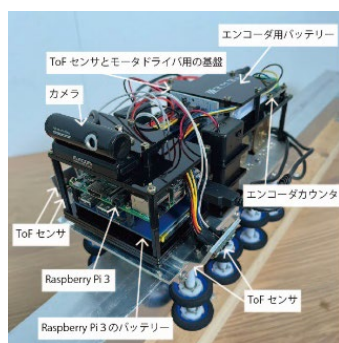


Fig. 1 跨座式走行ロボット

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 0.65mとした¹⁾。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 走行ロボット諸元

諸元表		
寸法, 質量	全長	0.074(m)
	4 台連結時全長	0.245(m)
	全高	0.121(m)
	全幅	0.135(m)
	質量	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4m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、検出範囲はレールから0.7m以内とした。この数値は国際標準軌間1.435mの半分に基いている。2つのセンサを片側に搭載し、各センサは0m～0.19mと0.2m～4mの範囲で異物を検出する設計である。

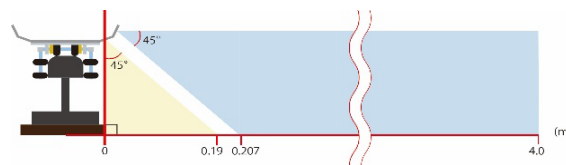


Fig. 2 センサの検出範囲

ここでは、ロボットを動かさず障害物を検出する実験と異なる4種の障害物（立方体、円筒、直方体、正四角柱）を設置しロボットの走行時に検出する実験を行った。障害物の配置はレールから0.1m～0.7mを設定し、計測を5回行った。各センサの距離情報は4×4マトリ

クスとして16分割され、走行速度は安定性を考慮してPWM制御で10%に制御した。

4. 異物の検出実験

提案した検出手法の検証を行った。実験では床面に計測対象となる異物を配置し、赤外線センサにより距離を測定する。測定はそれぞれ5回行い、得られた値の平均値を検証に用いる。計測値と障害物なしでの計測の値の差を計算し、マトリクス同士で得られた値の差から異物の有無を判断する。そして、実験結果を基に検出手法の有用性を判断する。

4.1 《実験①》静止状態での実験

本実験では、距離の変化による異物検出精度の確認を目的とする。静止実験の計測対象は、0.1m四方の立方体のみを使用する。機体を動かさずに障害物をレール端から0.1m離して設置し、計測を実施する。次に、障害物を0.2m、0.3mと0.1mごとに遠ざけ、最終的に0.7m離れた状態でも検出が可能かを評価する。

計測結果をFig.3に示す。赤外線センサによる計測結果の例として、立方体の障害物を0.1m離れた位置に置いた場合の結果をFig.3の左に、直方体の障害物を0.7m離れた位置に置いた場合の結果をFig.3の右に示す。計測結果は、センサのマトリクスをx軸とz軸に、障害物の高さをy軸にとり、棒グラフで可視化した。左4列が近距離用、右4列が遠距離用を表す。

計測距離0.1mでの計測では、左から3列目から6列目の棒グラフに大きな凸部が確認され、最大で0.0143mの隆起を検出した。一方、計測距離0.7mでの計測では、8列目に1.414mの隆起が検出された。

この結果から、距離が近いほどより正確な計測が可能であることが分かった。これは、距離が離れるとセンサの視野が広がり、角度の変化が計測精度に影響を及ぼしたためと考えられる。

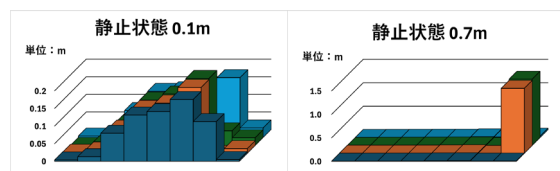


Fig.3 計測結果①

4.2 《実験②》走行実験

次に、ロボットの走行状態における異物検知能力を評価するための実験を行った。この実験では、静止状態で使用した立方体に加え、新たに円柱形および2種類の直方体の障害物を

使用し、合計4種類の障害物を用いた。具体的な実験設定としては、障害物をレールの端から0.1m～0.4mの範囲に配置した場合、および0.5m～0.7mの範囲に配置した場合の2パターンで実験を行った。

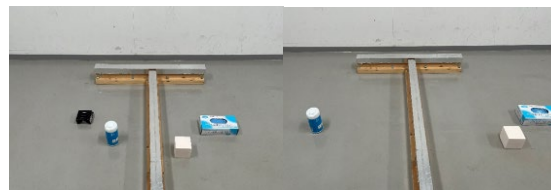


Fig.4 実験②の様子

計測結果をFig.5に示す。計測結果をFig.5に示す。走行実験においても、計測距離0.1mでは静止実験と同様に左から3列目から6列目の棒グラフに大きな凸部が確認され、最大で0.185mの隆起が検出された。また、0.7mの計測距離でも、静止状態と同様に8列目に2.001mの隆起が確認された。

これら2つの実験結果からも、距離が近いほど正確な計測が可能であることが確認され、走行実験でも概ね異物の検出が成功したと考えられる。

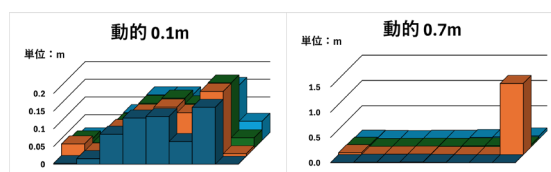


Fig.5 計測結果②

5. 結言

保線作業の効率化を目的とし、レール上を自動で走行可能するモジュール型のロボットを試作し、その外観とシステムを示した。周囲の障害物を検出するセンサとして赤外線センサを片側に2つ搭載し、それらの計測範囲を示した。4種の障害物を対象に計測実験を行い、計測値に変化が見られたことで概ね認識できることを示した。今後は、コンピュータの性能向上、走行中の連続計測による作業の効率化、赤外線センサによる自動認識と走行中に取得したカメラ画像との同期方法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 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, (参照2021-10-05)