

## 自律移動型ロボットによる床点検調査研究

正会員 ○加瀬 崇敦\*

床	タイル	段差
ロボット	センサ	アルゴリズム

## 1 背景・概要

駅舎の床タイル等に生じる段差は、利用者の転倒につながる不具合事象である。しかし、段差を発見するための目視等点検の頻度を将来にわたり維持するのは、労働生産人口の減少を考慮すると困難である。本研究では、自立移動型ロボットに加速度センサ、変位センサを搭載し、ロボット走行時のセンサデータから床段差を検出することで床点検の自動化に取り組んだ。

## 2 使用センサ

本研究で用いたロボットは、車輪を有する下部の台車部分と、コンピュータやバッテリーを搭載した上部の筐体部分をサスペンションで接続する構造を持つ。ロボットに図1の通り、変位センサと加速度センサを合計7つ搭載し、走行時にセンサ値を記録できる機構を構築した。

図1 自律移動型ロボット<sup>1</sup>と搭載センサの計測箇所

## 3 模擬段差によるデータ取得

センサ値に対して単純に閾値を設定する手法では、ロボットの旋回時や加減速時に生じる波形変化が誤検知を招き高精度な床段差検出は困難である。そこでセンサ値の波形の変化をアルゴリズムに判定させ、床段差を検出する手法に取り組むこととした。水平な床から急激に高さ方向の変化が生じる箇所を段差と定義し、アルゴリズム構築に必要なデータを収集するため、駅環境を模した実験棟に、図2の構造で模擬段差を作成した。先行研究<sup>2</sup>と、国土交通省の住宅品質評価方法基準<sup>3</sup>を参考に、検出目標とする3mm、より特徴量の大きなデータ収集を目的とする6mm、段差のない0mm、3つの段差量を設定しデータ収集における模擬段差の段差量を管理した。

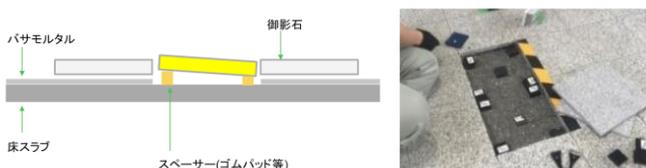


図2 作成した模擬段差の構造

段差量、使用センサ、サンプリング周波数を変化させてロボット走行時のセンサデータを収集した。データ収集ではロボット最高走行速度を時速1kmまたは時速3kmに制限し、駅構内を走行する条件に合わせた。また、床設備と床段差の判別のため、5mmの凸部を複数持つ警告・誘導ブロック上を走行した際のデータを取得した。

## 4 センサ取得パラメータの検討

サンプリング周波数を10Hz、20Hz、50Hzで設定し、変位センサのデータを確認すると、10Hz設定時に図3の通り疑似段差上走行時に波形に変化が生じない場合があった。そのため、床段差を検出するためには20Hz以上のサンプリング周波数でデータを取得する必要があると判断した。

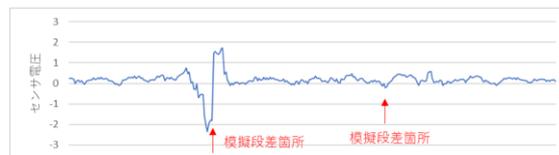


図3 10Hz設定、模擬段差上走行時の変位センサ(3CH)の波形

使用機材の仕様上、サンプリング周波数20Hzではセンサを接続できるCH数が5以下に制限されるため、段差検知に寄与するセンサの絞り込みを検討した。

中央の台車床間変位を計測するCH4は、模擬段差上を走行した際に変化が生じない場合がある、加減速時に大きな変化を生じる、以上2点より床段差検出に寄与しないと判断した。次に加速度センサについて、変位センサと比較して模擬段差上走行時に変化が生じない、加減速時に大きな波形変化が生じる、以上2点より床段差検出に寄与しないと判断した。しかし加速度センサはロボットの停止、直進、旋回の各挙動時に対応した波形を確認でき、その特徴の左右差は微小であったため、データ確認、分析時に有効であると考えCH6のみを計測することとした。

以上より、サンプリング周波数20Hz、表1の5つのセンサで取得したデータを以降の検討で使用する。

表1 段差検知に寄与するセンサCHと計測箇所

CH	センサ種別	計測箇所
1	変位	台車筐体間(右)
2	変位	台車筐体間(左)
3	変位	台車床間(右)
5	変位	台車床間(左)
6	加速度	台車加速度Z軸(右)

## 5 床段差検知アルゴリズムの構築と評価

最大速度3km/h、段差量3mmの条件のもと、前項内容

で取得したデータに対し、映像情報をもとにラベリング作業、整形処理を行った。上記データを学習用データと検証用データに分け、学習用データを用いて深層学習を用いた床段差検出アルゴリズムを構築し、検証用データに対して床段差を検出させ、検出結果とラベルデータとの突合せを行うことでアルゴリズム精度の検証を行った。アルゴリズムは最も多くのデータを参照できる CH1, 2, 3, 5 の 4 つの変位センサデータを使用したものと、サスペンションのない他ロボット等への応用を考慮した CH3, 5 の 2 つの変位センサデータを使用した 2 種を構築した。

アルゴリズムの精度検証として混合行列を用い、誤検出に対する精度である適合率(Precision)、見逃しに対する精度である再現率(Recall)を算出した結果を表 2 に示す。

表 2 混合行列を用いたアルゴリズムの精度指標

	適合率(Precision)	再現率(Recall)
CH1, 2, 3, 5 使用	0.866	0.942
CH3, 5 使用	0.883	0.933

作成した二つのアルゴリズムは適合率、再現率ともに十分に高い精度を示した。以降の検証では再現率のより高い CH1, 2, 3, 5 を使用したアルゴリズムを用いた。

## 6 床段差検出アルゴリズムを用いた床点検の検証

前章で説明したアルゴリズムを用いた検出結果を床点検結果として有効に出力できるか検証した。

A 駅コンコースに矩形の走行エリアを設け、エリア一部に 3mm 厚、1.2m×0.9m のアクリル板を模擬段差として設置した。ロボットの走行軌跡でエリアを塗潰すように経路設定し、取得した走行時のセンサデータを用いてアルゴリズムによる床段差の検出結果を出力する。床段差検出結果と自律移動型ロボットが持つ座標情報を、時刻情報を基に結合し、段差検出箇所を赤色、非検出箇所を灰色で図面上にプロットして床点検結果として出力する。

ロボットの走行経路は、床目地に対して必ず直行方向から進入するが非効率な十字走行経路と、床目地に対して斜めに進入するが効率的な斜め走行経路の 2 つを設定した。2 つの走行経路をそれぞれ 5 回ずつ走行し、床段差のプロットを重ねた結果を図 4、図 5 に示す。

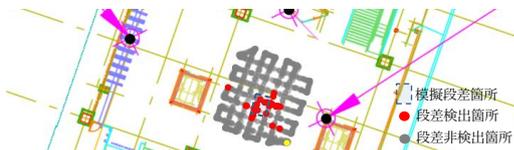


図 4 十字走行経路のプロット結果



図 5 斜め走行経路のプロット結果

床段差検出のプロットは模擬段差設置箇所の周囲 2m 程度に分布し、床点検結果として有効であると確認できた。しかし、ロボットが旋回した位置では実際には段差がないが、偶発的に床段差が検出されている。この課題は、アルゴリズムにロボットの挙動を参照するよう改良することで、今後の解決が見込まれる。

次に、アルゴリズムを加工し、不具合としての床段差と、床面に設置されている警告・誘導ブロックを判別することが可能か検証した。先ほどとは別の範囲に誘導ブロックを含む走行エリアを設け、先ほどと同様の模擬段差を設置して、同一走行の中で両者の判別を試みた。段差検出箇所を赤、非検出箇所を灰色、誘導ブロック検出箇所を黄色でプロットした結果を図 6 に示す。



図 6 誘導ブロックと模擬段差の識別検証結果

プロット結果から誘導ブロックが敷設されている範囲を、床面異常状態と別に検出できていることがわかる。アルゴリズムのパラメータを変更することで誘導ブロックを床段差として検出せず、実際に床面に段差が生じている箇所のみを検出できることを示すことができた。

また、偶発的に生じる誤検出への対策として、ヒートマップを用いた床段差検出結果のプロット手法を図 7 の通り検討した。近傍箇所で複数回床段差を検出した際、その箇所を色濃く出力するこの手法は、日常的に繰り返しロボット等が走行する環境では偶発的な誤検出を除外する良好な手法であると考えられる。



図 7 床段差検出結果のヒートマップ方式による出力 7 まとめ

本研究では自律移動型ロボットに搭載したセンサを活用し、床点検自動化の可能性を検証した。実験を通し、床段差検出に必要なセンサデータと、アルゴリズムを用いた床段差検出が可能であることを明らかにした。さらに、床段差検出結果を座標情報と結合し、点検結果として可視化、検査結果として出力することで運用上の有効性を明らかにした。また、床目地に対して斜めに走行することで効率的な床点検が可能であると明らかにした。

<sup>1</sup> 及川大介, 斎藤武, 小西勇介, 三田哲也, 佐久間賢, 石間計夫(2021)「自律移動型駅サービスロボットのプロトタイプ開発」『サイバネティクス No.26-No.3』, 47-54

<sup>2</sup> 久下晴己, 國府勝郎, 秋山哲夫(1999)「高齢者の歩行特性とブロック系舗装の目地部許容段差に関する考察」『土木学会論文集 No.627/V-44』, 67-76

<sup>3</sup> 令和元年 1 月 15 日国土交通省告示第 781 号「評価方法基準」