

3D センサによる立入禁止エリア侵入検知システム ～実現場でのデータ採取～

中村 征史*1・斉藤 栄治*2・篠野 正樹*3
青木 教之*4・上野 悟己*4・澤井 伸介*4

概 要

都市部の鉄道工事では、段階的に線路閉鎖を行いながら作業を実施することが多く、作業員や軌陸車が誤認や連絡ミス等により線路閉鎖未着手の線路内に立ち入る危険性がある。このようなヒューマンエラーによる事故を防止するために、3D センサを用いた立入禁止エリア侵入検知システムを開発した。これまでは検知エリア設定や時間帯による検知エリアの変更、検知精度等の基本性能を確認し良好な結果が得られた。そこで、実用化を目指して実現場での検証試験を行い、各種設定の検証、センサ設置位置や現場特有の条件に起因する不具合の確認と解消、風雨による影響の有無の確認等を実施し有効性を確認した。

キーワード：3D センサ、点群データ、立入禁止措置

A 3D SENSOR SYSTEM TO DETECT ENTRY INTO RESTRICTED AREAS

Seishi NAKAMURA *1, Hideharu SAITOU *2, Masaki SASANO *3
Noriyuki AOKI *4, Satoki UENO *4, Shinsuke SAWAI *4

Abstract

At railway construction sites, track protection nets and other measures are employed to prevent people being hit by trains. However, during work hours when the tracks are closed, there is a risk of entry into restricted areas due to human error. In particular, in urban areas where there are quadruple tracks or more in a railway site, it is necessary to close the traffic track by track, so there may be times when one track is off-limits, while trains are still running on adjacent lines. In these circumstances, there will be a higher risk of mistaken entry. In order to reduce risks during construction work when tracks are closed, we developed a system to detect entry into restricted areas that relies on an analysis of point group data captured with a 3D sensor, and performance tests were performed on the system.

Keywords: 3D sensor, Point group data, Off-limits entry

*1 Manager, Construction Technology Group, Research & Development Center

*2 General Manager, Safety Planning Department, Safety Promotion Office

*3 Project Manager, Tokyo Railway Project Branch

*4 NEC Communication Systems,Ltd

3D センサによる立入禁止エリア侵入検知システム ～実現場でのデータ採取～

中村 征史*1・斉藤 栄治*2・篠野 正樹*3
青木 教之*4・上野 悟己*4・澤井 伸介*4

1. はじめに

都市部の鉄道工事では、段階的に線路閉鎖を行いながら作業を実施することが多く、作業員や軌陸車が誤認や連絡ミス等により線路閉鎖未着手の線路内に立ち入る危険性がある。このようなヒューマンエラーによる事故を防止するために、3D センサを用いた立入禁止エリア侵入検知システムを開発した¹⁾。開発したシステムは、図-1 に示すように設定した立入禁止エリア内にヒトやモノの侵入を検知した場合、即座にアラートを発報することで関係者へ危険を知らせるものである。また、線路毎の線路閉鎖間合いに合わせて立入禁止エリアと時間帯を複数設定できる仕様としている。これまでは立入禁止エリアと時間帯の設定方法、ヒトやモノの侵入検知精度等の基本性能を確認し良好な結果を得た。それに加えて、検知物の大きさに閾値を設け、小動物や飛散する塵芥等の比較的小さい侵入物や鉄道車両等の大

きい侵入物を検知対象から除外することで誤検知を減らし、検知精度を高めた。そこで本報では、実用化を目指して実現場での長期検証試験を行い、各種設定値の検証、センサ設置位置や現場特有の条件に起因する不具合の確認と解消、風雨による影響の有無の確認等を実施して有効性を確認したのでその結果を報告する。

2. システム概要

本システムは 3D センサにより採取した点群データを NEC3 次元物体検知ソフトウェアを用いて解析し、ヒトやモノの立入禁止エリアへの侵入を識別した場合は即座にパトランプやブザー等のアラートを発報するものである。立入禁止エリアは複数設定することができ、立入禁止時間もそれぞれのエリアごとに異なる時間帯を設定することが可能な仕様としている。本システムにより、鉄道工事において段階的に線路閉鎖を実施す

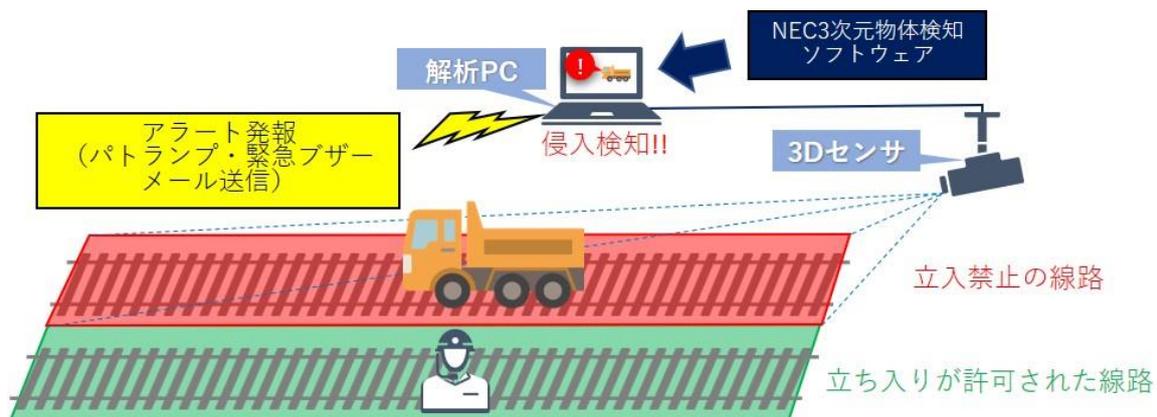


図-1 システム概要図

- *1 研究開発センター 施工技術グループ グループリーダー
*2 安全推進室 安全企画部 部長
*3 東京鉄道支店 作業所長
*4 日本電気通信システム株式会社

る現場でも、時間により変化する立入禁止エリアに対応した監視が可能となり、線路閉鎖未着手線路への立ち入りが生じた際にも、直ちにアラートを発報することで安全を確保している。

本システムでは図-2に示すようにパソコンの点群データ解析画面上で立入禁止エリアを設定する。設定された立入禁止エリアは黄色い枠で表示される。3Dセンサで採取した点群データを解析し、ヒトやモノの立入禁止エリアへの侵入を検知すると、その点群データが緑の枠で囲まれ、3Dセンサからの離隔距離とともに表示され、アラートが発報される。侵入者や侵入物は、点群データの解析において直方体にモデル化され、その三辺の長さや体積が数値化される。この数値に閾値を設定し、小動物や塵芥のような小さい対象を除外するように調整した。それと同様に、線路内は列車が走行するため、列車を侵入物として検知しないように一定の大きさや長さを超えるものは列車として判定し検知対象から除外するように調整した。これにより侵入に対する誤検知を減らすことで検知精度を高めている。

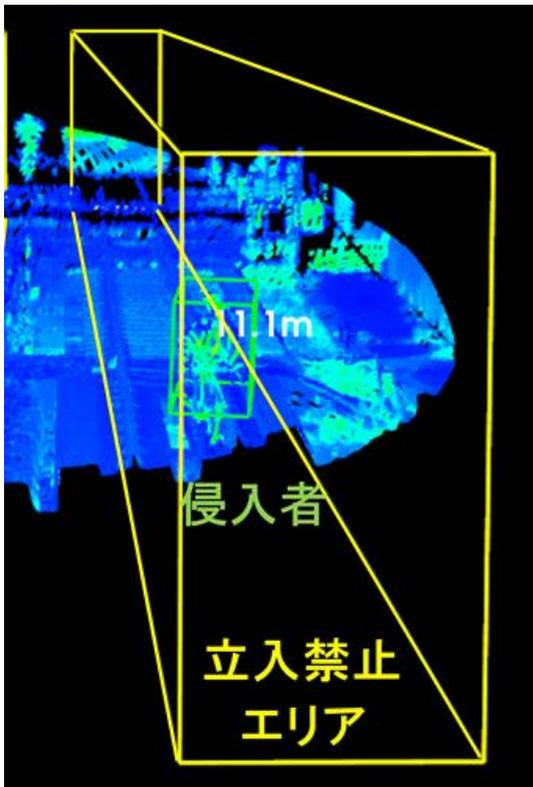


図-2 パソコン画面上での解析イメージ

3. 実現場での検証試験

3.1 検証試験概要

検証試験は、首都圏にある3ヶ所の載線場で実施した。図-3には、線路6線の載線場の例を示す。この他に、線路4線の載線場および駅ホームに近接した載線場を対象とした。これらの検証試験は線路閉鎖後に実施したが、システムの検証のためにシステム上で線路閉鎖前の状態を仮定し、侵入する列車や作業員および軌陸車に対して侵入物検知の検証を行った。

3.2 確認項目

本試験ではそれぞれの載線場にて以下の項目について確認を行った。

- (1) 作業員や軌陸車の検知漏れや誤検知の有無
- (2) 侵入可能エリアと立入禁止エリアが混在する場合の検知漏れや誤検知の有無
- (3) 鉄道列車の検知漏れや誤検知の有無
- (4) 風雨による検知性能への影響
- (5) 点群データの乱反射による検知性能への影響
- (6) 現場特有の条件による検知性能への影響

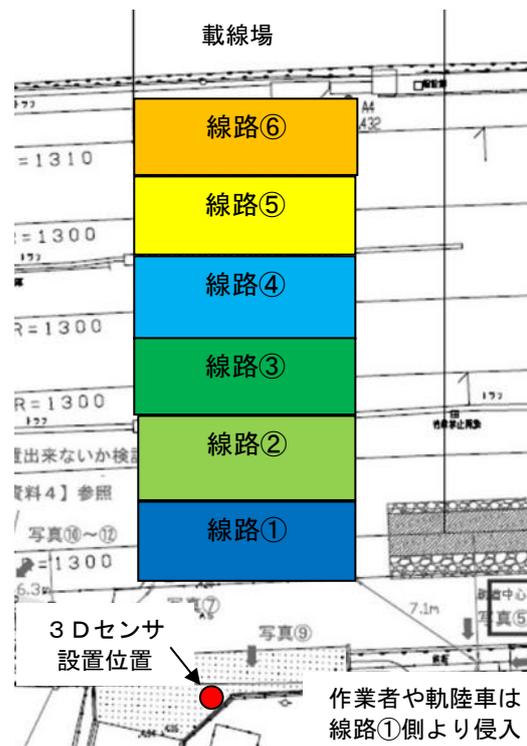


図-3 載線場平面図(線路6線)

3. 3 試験結果

(1) 作業人や軌陸車の検知性能

作業人の侵入については支障なく検知することができたが、軌陸車の侵入については図-4に示すような高所作業車タイプの一部車両に、設定していた高さの閾値を超えるものがあった。高さが閾値を超えた場合は列車と判定して検知対象から除外されるため、侵入物の検知漏れとなった。その対応として高さの閾値を調整することで検知対象から除外されないことを確認した(図-5参照)。

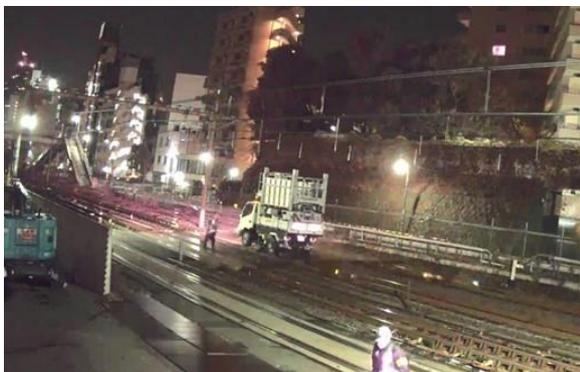


図-4 車高が高い軌陸車例 (RGB画像)

(2) 侵入可能エリアと立入禁止エリアが混在する場合の検知性能

線路毎に段階的に線路閉鎖に着手する場合を想定した6線の載線場において、線路①, ②が侵入可能なエリア, 線路③~⑥の4線が立入禁止エリアであると仮定して、トラックを侵入させた。その結果, 図-6(左)に示すように、トラックは侵入可能エリア内では侵入物として検知されることはなく、立入禁止エリアに入ると図-6(右)のように、トラックの点群が枠で囲われてアラートが発報されることを確認した。



図-5 車高が高い軌陸車再解析画面

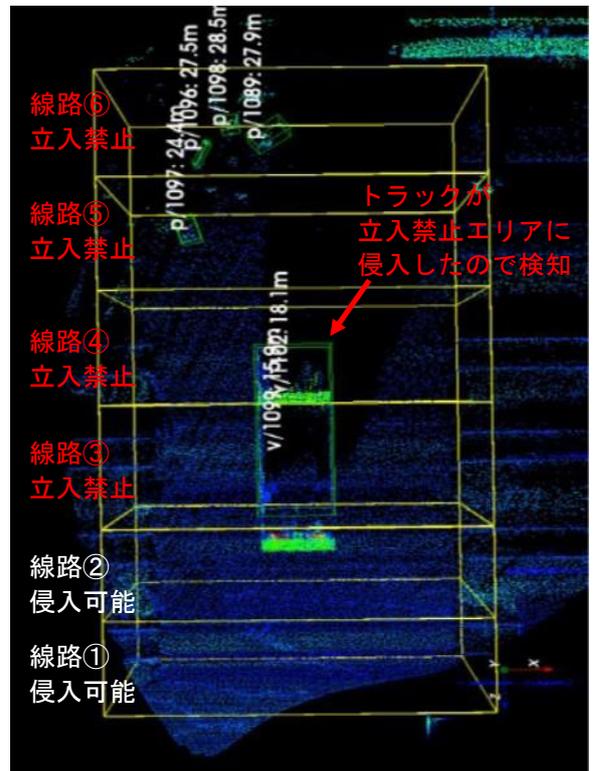


図-6 侵入可能エリアと立入禁止エリア設定が混在した場合の解析画面
(左: 立入禁止エリア侵入前, 右: 侵入後)

(3) 鉄道列車の検知性能

立入禁止エリアは線路上であるため、鉄道営業時間帯は列車が走行している。列車は侵入物ではないため検知対象から除外しなければならない。先述した通り検知物の大きさに閾値を設け、一定の高さと長さを超えた場合は列車と判断し検知対象から除外するように設定している。解析データを確認したところ、**図-7**に示すような断面形状の変化が少ない旅客列車を始め、**図-8**に示すような凹凸が多い貨物列車でも検知対象から除

外できていることを確認した。

(4) 風雨による検知性能への影響

本試験では1現場に最長3ヶ月間3Dセンサを設置してデータ採取を実施した。その間に**図-9**に示すような雨天や強風の日はあったが、3Dセンサが故障したり、点群データが乱れて検知精度が低下するような事象は見られなかった。なお、当該期間中の最大風速(10分平均)は12.4m/s、最大降水量(1時間)は31.5mmを記録している。



図-7 旅客列車の通過状況 (RGB 画像)



図-8 貨物列車の通過状況 (RGB 画像)



図-9 雨天時の作業状況 (RGB 画像)

(5) 点群データの乱反射による検知性能への影響

点群データはガラスや鏡での反射に起因して虚像を検知することがある。本試験においても列車が立入禁止エリアを通過している最中に、物理上点群データを採取することができない列車の影となる位置に虚像が発生し、ヒトの侵入を誤検知する事象があった(図-10 参照)。これは図-11 に示すように立入禁止エリア外の線路脇で待機していた作業者が列車の窓ガラスに反射した虚像を作業者として検知したものであった。原因は図-12 に示すように 3D センサの設置位置が地面から 2.0m と低く、列車の窓ガラスに作業者

が反射しやすい状況となっていたためである。別の載線場においては図-13 に示すように 3D センサを地面から 3.5m と高い位置に設置したことで反射による虚像発生リスクを抑え、誤検知が生じないことを確認した。



図-11 虚像発生時の状況 (RGB 画像)

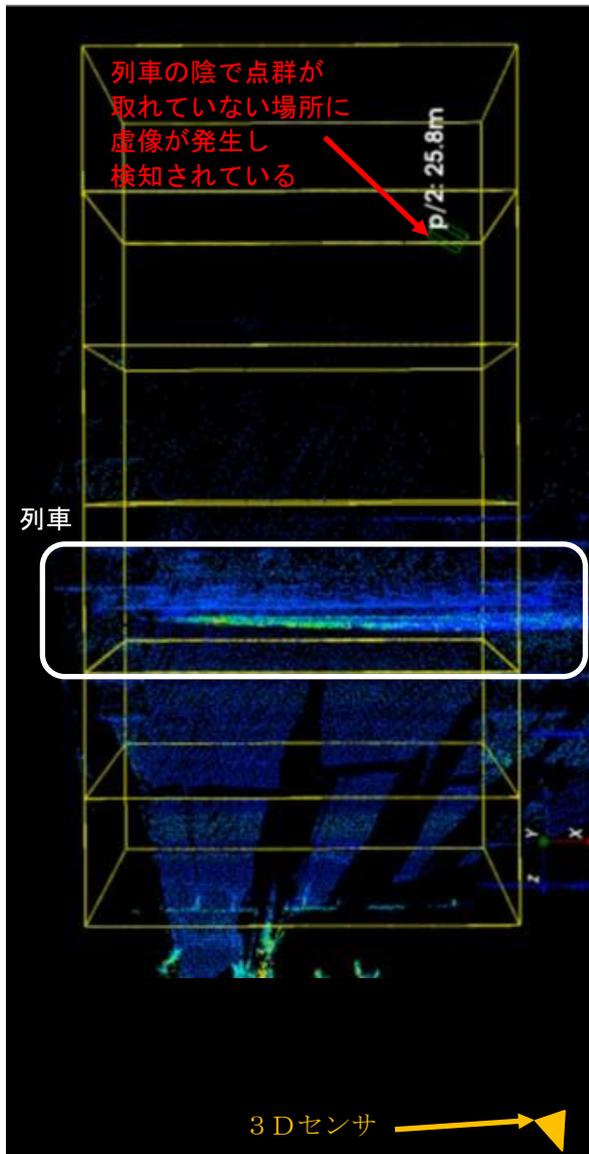


図-10 虚像発生時の状況 (解析画面)

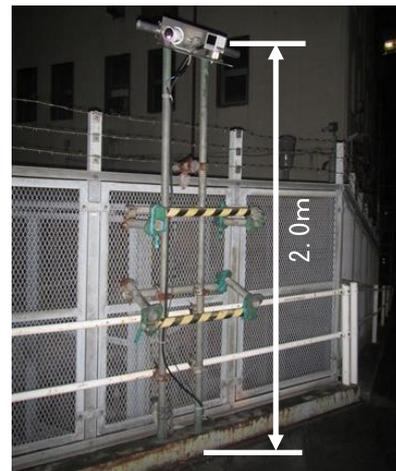


図-12 虚像が発生した 3D センサ高さ



図-13 虚像発生リスクが低い 3D センサ高さ

(6) 現場特有の条件による検知性能への影響

駅ホーム近傍の載線場でのデータにおいて、列車を検知対象から除外するのに約 1 秒のタイムラグが生じる事象が見られた。検知対象から除外されるまではアラートが発報されており、実際の運用に向けては対応を要する事象である。当該載線場は図-14 に示すように図中の右側に階段があり、右側から左側へ走行する列車については、階段を通過するまで列車を視認できない状況であった。当該現場では階段の陰から列車を徐々に確認できる状況であったため、十分な長さを検知するまでは侵入物としていることが判った(図-15 参照)。このような場合の対応策として、3D センサは列車が立入禁止エリアに侵入する前にそ

の長さが見通せる位置に設置することで解決した。

4. まとめ

本試験を通じて 3D センサは立入禁止エリア付近を俯瞰する見通しがよい位置に設置することでより高い検知性能が得られることがわかった。

今後も現場への導入を通じてさらなる安全性向上に役立てる。

参考文献

- 1) 中村征史ほか: 3Dセンサによる立入禁止エリア侵入検知システム, 鉄建技術報告No.35, p.2, 2021.12



図-14 駅ホーム近傍の載線場 (RGB 画像)

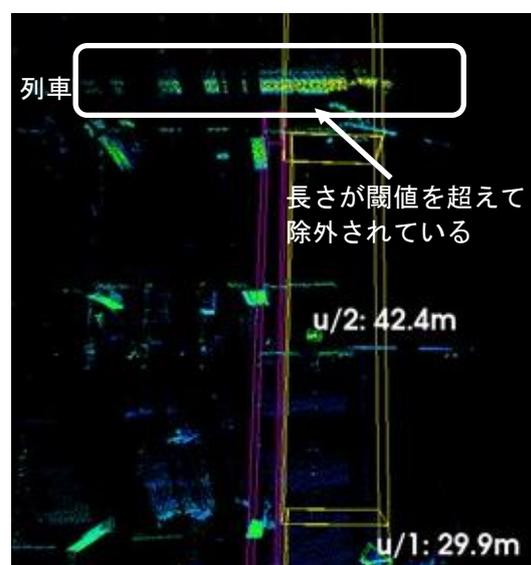
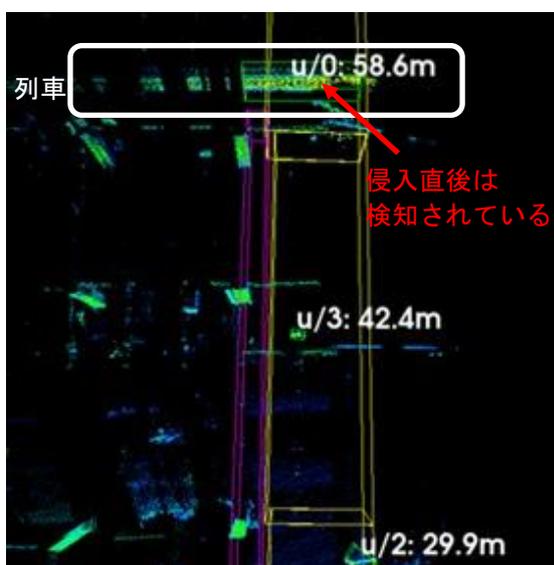


図-15 駅ホーム近傍の載線場での解析結果 (左: 列車侵入直後, 右: 侵入後 1 秒経過)