

3Dセンサによる立入禁止エリア侵入検知システム

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

概 要

鉄道工事現場では、触車事故防止のために線路防護網等の立入禁止措置が講じられている。しかし、線路閉鎖間作業ではヒューマンエラーによる立入禁止エリアへの侵入リスクがある。特に都市部の複々線以上の線路が存在する箇所では線別に線路閉鎖手続きを行うため、立入可能な線路と隣接して列車が走行している線路が混在する時間帯が生じ、誤認による侵入リスクはさらに高いものとなる。線路閉鎖間作業でのリスクを低減するために、3Dセンサで採取した点群データを解析する手法を用いた立入禁止エリア侵入検知システムを考案し、実用化に向けての性能確認試験を実施した。

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, Masaki SASANO *2, Takayuki FUSE *3
 Noriyuki AOKI *4, Satoki UENO *4, Shinsuke SAWAI *4

Abstract

At railway construction sites, measures including track protection nets are taken to prevent people coming in contact with trains. However, during work hours when the tracks are closed, there is a risk of entry into off-limits 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 may 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 by a 3D sensor, and the system was subjected to performance tests for practical application.

Keywords: 3D sensor, point group data, off-limits entry

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

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

*3 General Manager, Railway Safety Department, 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

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

1. はじめに

鉄道工事現場では、触車事故防止のために線路防護網等により、線路内への立入禁止措置が講じられている。しかし、線路閉鎖間合作業ではヒューマンエラーによる立入禁止エリアへの侵入リスクがある。特に都市部の複々線以上の線路が存在する箇所では線別に線路閉鎖手続きを行うため、立入可能な線路と隣接して列車が走行している線路が混在する時間帯が生じ、誤認による侵入リスクはさらに高いものとなる。

筆者らは2018年度より立入禁止エリア侵入検知システムの開発を始め、ビーコンやAIカメラによる画像解析等の検討を行ってきた。その中で3Dセンサを用いて採取した点群データを解析する手法が最も実用的であると判断し、「NEC 3次元物体検知ソフトウェア」（以下、ソフトウェアという）を用いた立入禁止エリア侵入検知システムを考案した（図-1参照）。

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ソフトウェアを用いて解析し、人やモノの立入禁止エリアへの侵入を識別した場合にパトライトやサイレン等のアラートを発報するものである。

3Dセンサによるデータ採取とソフトウェアによる点群データ解析は、アラートを即時に発報できる機器で構成されている。

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る現場でも、時間帯ごとに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する。

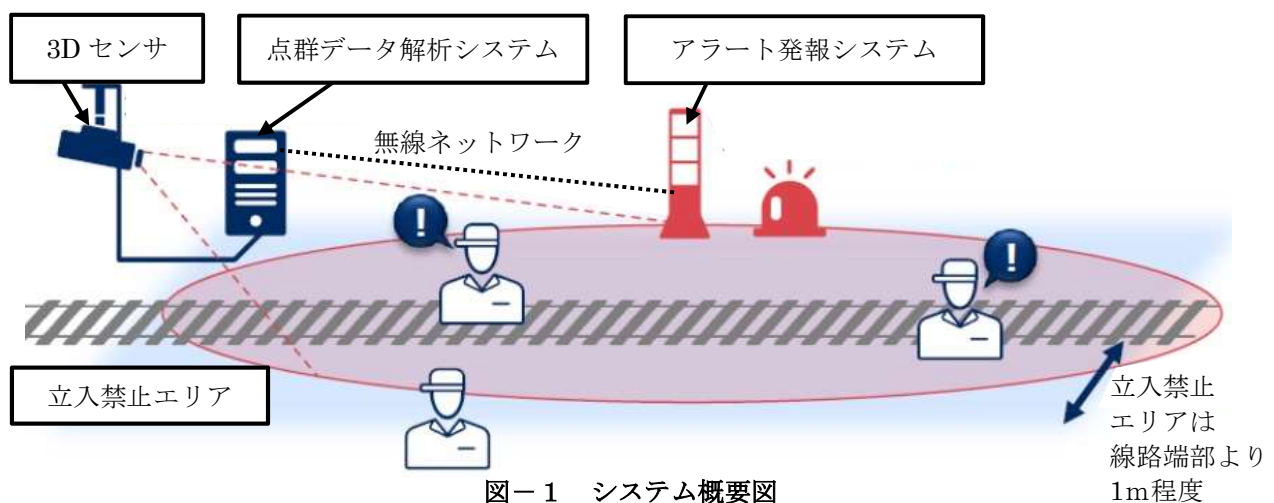


図-1 システム概要図

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 施工技術グループ

*2 安全推進室 安全企画部 部長

*3 東京鉄道支店 鉄道安全部 部長

*4 日本電気通信システム株式会社

3. 建設技術総合センター研修軌道における性能確認試験

3. 1 試験概要

本システムの基本性能を確認するために、図-2に示す建設技術総合センターの研修軌道を利用して性能確認試験を実施した。複線のそれぞれ軌道内を立入禁止エリアと設定し、地上から軌道を水平に見る場合とこ線橋の上から俯瞰して見る場合の2パターンで3Dセンサによるデータ採取を実施した。

3. 2 システム設定と検知表示

本システムでは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、人やモノの侵入を検知すると、その点群データは緑枠または赤枠で囲まれ、3Dセンサからの離隔距離とともに表示される。

侵入検知については、点群データの解析において対象物を立方体にモデル化し、その三辺の長さや体積を閾値として設定している。この閾値を調整することで例えば動物(イヌやネコ等)やごみ(空き缶や紙くず等)のような、小さいものを検知対象から除外することができ、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。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侵入検知しないように閾値を設定している。

3. 3 確認項目

本試験では以下の項目について確認を行った。

- ・3Dセンサの点群データ収集能力(検知距離)
- ・人やモノの立入禁止エリアへの侵入判定
- ・3Dセンサ設置位置による検知能力の差異

3. 4 試験結果

(1) 検知距離

検知距離の確認は、地上から軌道を水平に見るパターンにおいて、侵入者が3Dセンサから遠ざかりながらもどこまで検知可能か試験を行った。その結果、敷地の端部である123mまで検知が可能であった(図-3参照)。使用した3Dセンサのメーカーが公表している検知距離は260mであるため、さらに遠方での検知も可能であると考えられる。工事現場は工事用踏切や載線場等での使用を想定しており、必要な最大検知距離は50m程度を見込んでいる。そのため、検知能力は十分にあることが確認できた。

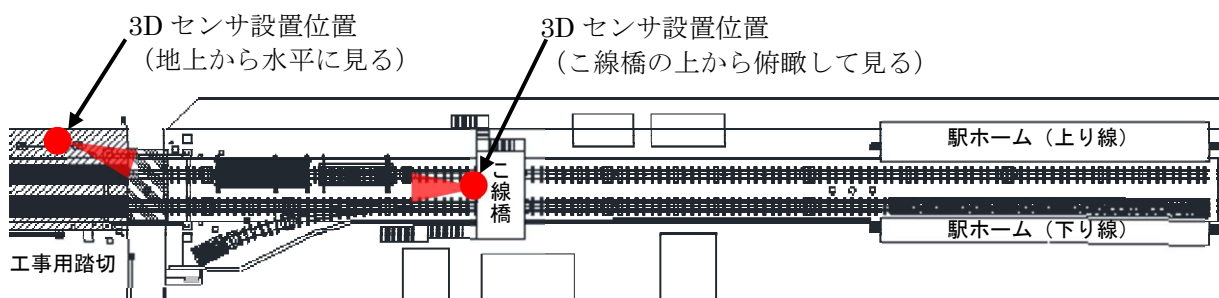


図-2 研修軌道平面図

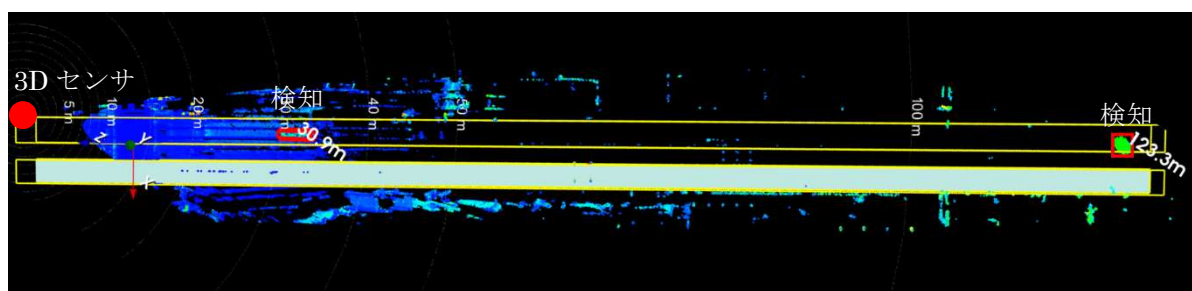


図-3 検知距離解析画面

(2) 侵入判定

人の侵入については図-4に示すように立入禁止エリアである軌道内と立入可能な軌道間に人を配置し、立入禁止エリアへの侵入者だけをリアルタイムに検知できるか試験を行った。その結果、立入禁止エリアの侵入者だけを検知してアラートを発報することが確認できた(図-5参照)。

車両・重機の侵入についてもリアルタイムに侵入検知が可能であり、複数のエリアにまたがって侵入した場合にも、それぞれのエリア毎に侵入検知とアラート発報が確認できた(図-6, 図-7参照)。同様に長尺物(はしご)を持った人が複数のエリアに侵入した場合でも立入禁止エリアの侵入物(はしご)だけを検知した(図-8, 図-9参照)。



図-4 人の侵入検知試験状況

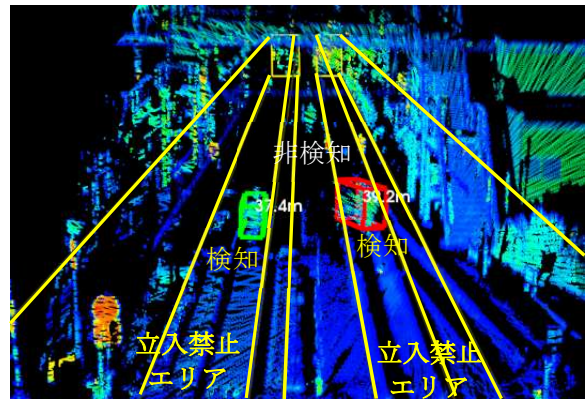


図-5 人の侵入検知試験解析画面



図-6 重機・車両の侵入検知試験状況

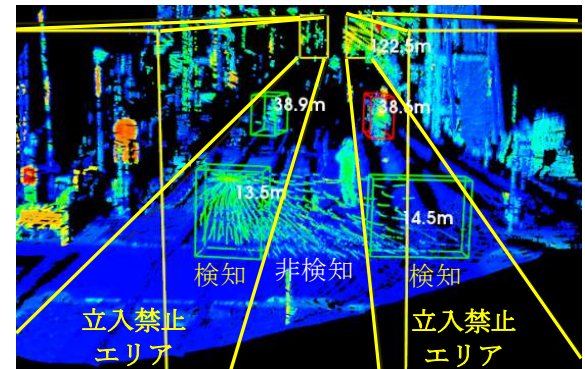


図-7 重機・車両の侵入検知試験解析画面

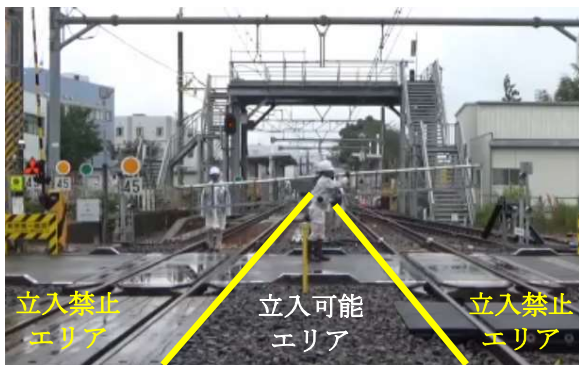


図-8 長尺物を持った人の侵入検知試験状況

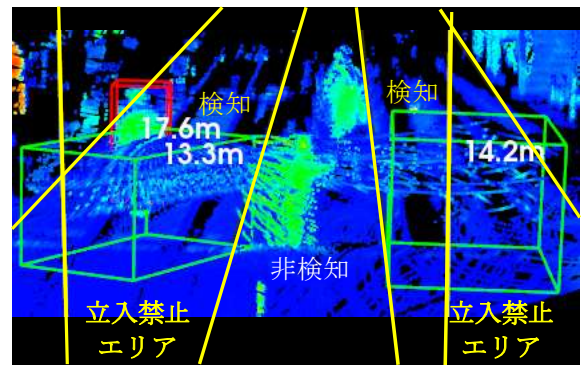


図-9 長尺物を持った人の侵入検知試験解析画面

(3) 3D センサ設置位置の違いによる差異

3D センサを軌道に対して水平に設置した場合と俯瞰的に設置した場合の差異として、水平に設置した場合は図-4、図-5に示すように侵入者の誤判定は起きなかったが、俯瞰的に設置した場合は図-10に示すように侵入者と架線が重なった状態で点群データが採取されることから、解析時に侵入者と架線をひとつの物体として捉えて列車と判定し、検知対象から除外してしまう事象が発生した。

その対応として、ソフトウェアのフィルタリング機能を使用した。フィルタリング機能は指定したエリアの点群データを解析対象から除外するもので、今回は一定高さより上空のものを除外する設定とした。その結果、図-11に示すように点群データの解析対象から架線が除外され、侵入者を列車と判定することはなくなった。

以上の結果から、現場導入も可能であると判断して実現場での性能確認試験を実施することとした。



図-10 軌道を俯瞰的に監視した場合の画像

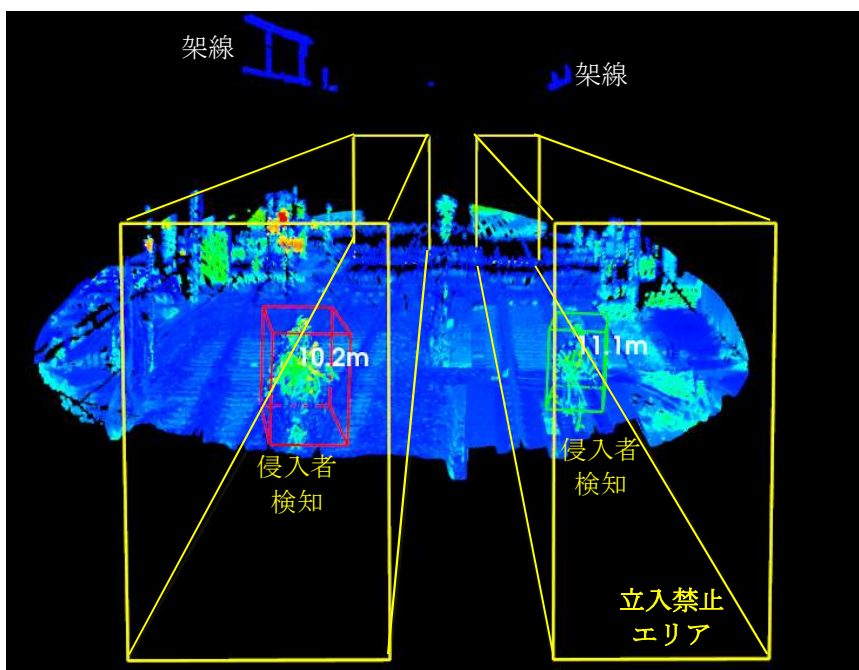


図-11 フィルタリング機能を使用した侵入検知試験解析画面

4. 実現場における性能確認試験

4. 1 試験概要

実現場での使用を想定し、鉄道工事現場の載線場を利用して性能確認試験を実施した。研修軌道での試験と同様に軌道内を立入禁止エリアと設定し、地上から軌道を水平に見る場合と線橋の上から俯瞰して見る場合の2パターンで3Dセンサによるデータ採取を実施した。

4. 2 確認項目

本試験では以下の項目について確認を行った。

- ・列車を検知対象から除外する
- ・列車に起因する影響の有無（電圧・電流・磁場等）
- ・乱反射による虚像データ発生の有無

4. 3 試験結果

(1) 列車の検知対象からの除外

本システムは3章で示したように点群データよりその物体の大きさを求め、閾値との比較で侵入物であるかを判断している。列車を侵入物と判断することがないようにあらかじめ閾値を設定してデータ採取を実施した。その結果、立入禁止エリアに侵入している列車を侵入物として検知することはなく、アラートも発報しないことを確認した（図-12 参照）。

(2) 列車による影響と乱反射

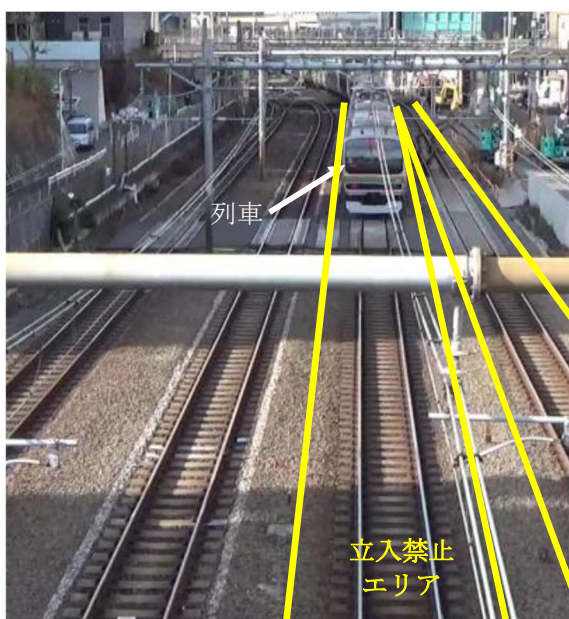
列車の走行時に採取した点群データにおいて、特異データや乱反射による虚像の発生は見られなかった。ただし、今回は短期のデータ採取であり、今後の長期試験や別現場での諸条件によっては特異データが計測される可能性もあるため、これらの点については今後も注視すべき事項と考えている。

5. まとめ

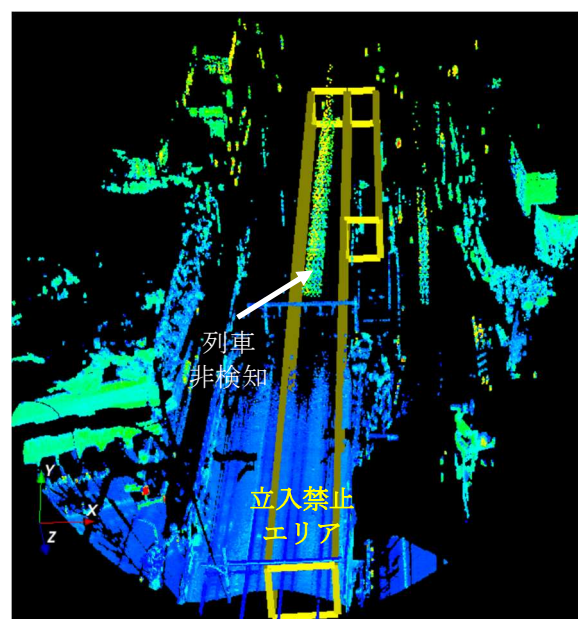
本試験を通じてシステムの機能は実用化レベルに達していることが確認できた。今後の現場導入に向けて以下の点について開発と確認、対策を実施する。

- ・現場で立入禁止エリアと立入禁止時間帯を簡易に設定できるソフトの開発
- ・機器類の長期耐久性と耐候性の確認
- ・風雨等による検知エラーの有無の確認
- ・現場周辺環境（建物や施設等）による虚像の発生等影響の有無の確認
- ・検知漏れや過検知が出た際の原因究明と対策
- ・ソフトの品質向上及び製品化

以上を進めてシステム精度の向上を図り、現場導入を目指す。



(a)RGB 画像



(b)解析画面

図-12 列車の立入禁止エリアへの侵入検知試験状況