

### 3D 画像解析踏切監視システム導入実証

#### —3D ステレオカメラを用いた踏切安全対策の実現に向けた実証実験—

#### 1. はじめに

かねてから踏切内における事故が社会的に注目されており、西武鉄道(株) (以下、当社)においても、過去に踏切内での痛ましい事故が発生している。多くの踏切には支障検知装置(以下、障検)が設置されているが、障検は基本的に自動車等を検知する目的で設計されたものであり、人など、自動車と比較し小さい支障物の検知を期待できるものではない。近年は、3次元レーザー式障検や2次元レーザー式障検といった踏切内を立体的にあるいは一定の高さの平面で検知する手法も開発されており、それらは人などの検知を期待できるが、いずれも高価な設備である。当社は全線で340箇所もの踏切を擁しており、多くの踏切に設置するためには巨額の設備投資が必要となる。また、上述したように障検とは基本的に自動車を検知対象として設置される設備との前提から、当社の、自動車の通行が禁止されている踏切、いわゆる人道踏切65箇所には障検を設置していない。それら人道踏切で事故につながるような状況が発生した場合には、他者による非常報知押しボタンの扱い以外に運転士に危険を知らせる方法はなく、これらの人道踏切の安全対策も課題である。

今回、3Dステレオカメラによる3D画像解析技術を用いて、踏切内に取り残された通行者や障害物などの踏切内の異常状態を検知するシステムを開発、踏切事故を未然に防止する可能性と実用化を検証する目的で、導入試験を表-1のとおり4段階に分けて行ったので紹介する。

なお、当社では、今回のようにカメラの画像解析により踏切内の異常を検知する装置を、踏切異常検知装置と称し導入試験を実施している。

表-1 検証ステップ

<b>第1段階：基本性能検証</b>
2018年4月25日から2020年9月6日
<b>第2段階：比較検証</b>
2020年9月7日から2021年9月12日
<b>第3段階：運用検証</b>
2021年12月28日から2022年4月10日
<b>第4段階：応用性能検証</b>
2022年4月11日から2022年6月

#### 2. 「3Dカメラ画像解析システム」について

今回開発した踏切異常検知装置には、(株)コンピュータシステム研究所(以下、「CST」という)が提供する「3Dカメラ画像解析システム アルゴス・セーバー」(以下、アルゴス・

サーバーという) を用いた。

(1) アルゴス・サーバーについて

①デュアルレンズ映像の 3D データの再構築

アルゴス・サーバーは、2つのレンズ（デュアルレンズ）で取得される 3D データを解析し、各レンズの動画の差分、すなわち視差により検知エリア内の物体を正確に把握することができる。イメージを図-1 に示す。

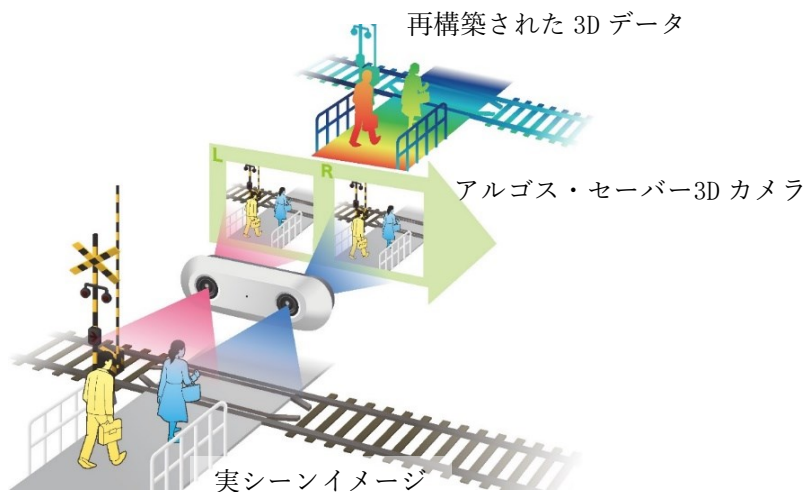


図-1 アルゴス・サーバー 画像処理イメージ①

②光や影を検知しないため、「夜間や屋外」での使用に強い

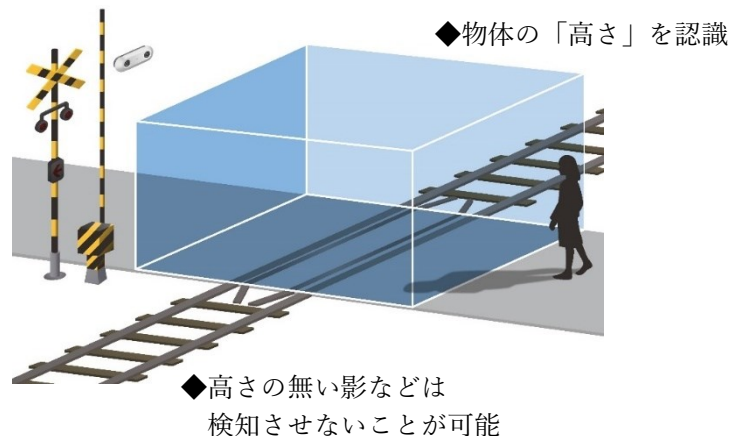


図-2 アルゴス・サーバー 画像処理イメージ②

図-2 のとおり、アルゴス・サーバーの 3D 画像解析技術は、3D カメラで物体を立体的に捉え、高さを認識するので、ライトや日差しや影、夜間の車のヘッドライトなど、2D 画像解析で過検知の原因になりやすい、高さが無いもの（体積が無いもの）を誤認識する事がほとんどない。

③実際の大きさを認識できるため、「自然環境」での外乱に強い

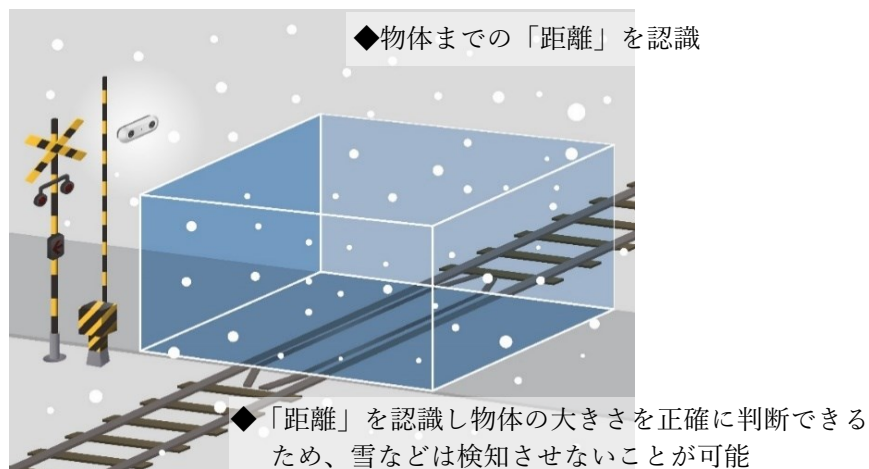


図-3 アルゴス・セーバー 画像処理イメージ③

図-3のとおり、3Dカメラからの奥行きを認識し、物体までの距離を正確に捉える事ができる。3Dカメラの近くの雪や雨、虫なども実際の大きさを認識し、検知対象ではないと判断できるため、使用環境に左右されない。

### 3. 第1段階の検証

#### (1) 検証の概要

新宿線井荻第2号踏切にて、踏切遮断時に踏切内の滞留物体を正確に検知し、正確な発報が可能であるか検証した。

#### (2) 検証実施期間

2018年4月25日から2020年9月6日 正味774日間

#### (3) 検知実施仕様

##### ①機器構成 (図-4)

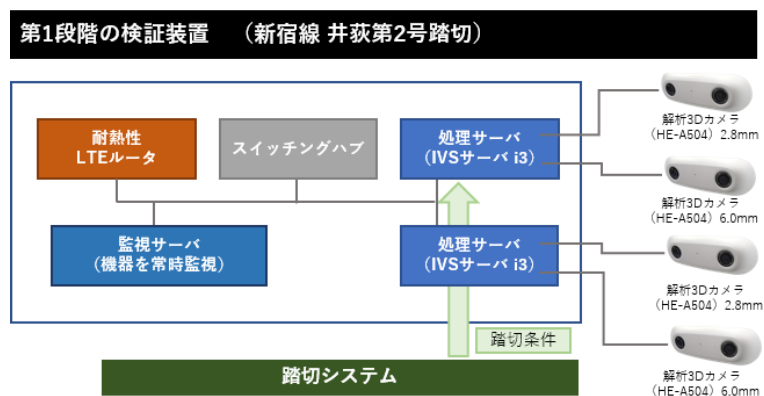
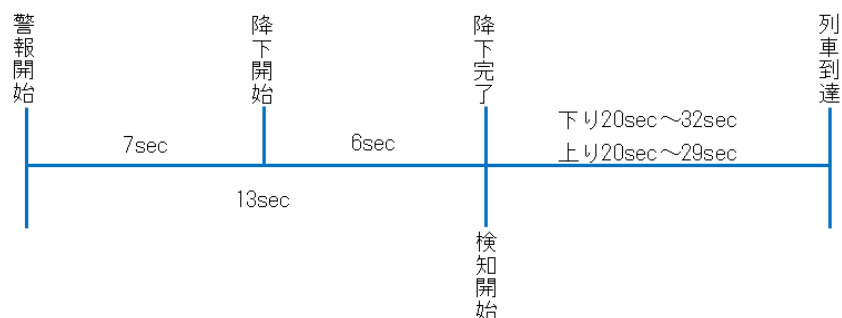


図-4 新宿線井荻第2号踏切 機器構成

## ②検知タイミング（図－５）



図－５ 第1段階 検知タイミング

図－４の機器構成で、踏切の条件により検知開始/発報/検知終了できることと、誤検知が無い事を確認することを目的として、検知するタイミングを踏切内に通行者がいなくなると思われる時期以降（図－５）に限定した。後日、発報時の映像を確認して状況の確認と有効性を検証した。

## （４）検証結果

### ①検証結果内容

- ・合計発報数：3,332回（平均4.3回/日）
- ・誤検知合計：94回（約2.8%）

第1段階の検証で、通行者の検知が概ね良好であることを示せた。また、通行者量が多く踏切内で人が滞留するなどの要因で踏切進出が遅くなり、踏切遮断完了直後に、遮断桿を押したり、くぐるなどして脱出する場合の瞬間的な発報が多いことがわかった。誤検知の内訳は表－２に示す。

表－２ 誤検知パターン別件数

誤検知パターン	誤検知項目	誤検知回数	誤検知率	誤検知状況特記事項
1	アプリ間通信遅延	32	1.0%	アプリ間通信遅延
2	機器障害	32	1.0%	機器障害発生時一時的に誤検知が連続発生
3	検知ソフト障害	30	1.0%	3D画像解析アプリの不具合
合計		94	2.8%	

### ②誤検知パターンの内容

#### 【誤検知パターン1：アプリ間通信の遅延】

検知アプリで検知した対象物が、エリア内かエリア外であるかを発報アプリへ通知し、条件を満たしていた場合発報するが、そのアプリ間で時刻の同期がとれていなかったため、不要な発報をしたケースがあった。具体的には、検知アプリで検知した対象物が検知

エリア外に出たタイミングが、警報開始から 13sec 未満であったにもかかわらず、発報アプリでは 13sec 経過後と判断し発報していた。アプリ間で時刻の同期を実施することにより問題を解決した。

#### 【誤検知パターン 2：機器障害】

写真-1 のように、豪雨時にカメラ内に水が侵入し視差を正確に計算することができなくなり誤報が発生した。完全防水（IP68）対応カメラに交換することで解決した。



写真-1 誤検知パターン 2 水滴の侵入

#### 【誤検知パターン 3：検知ソフト障害】

写真-2 のように何も無い空間に 3D データノイズを物体として判断し誤検知するケースがあった。このような 3D データノイズの動作を特定し、検知判断ロジックに干渉しないように修正した。



写真-2 誤検知パターン 3 線路の誤検知

### 4. 第 2 段階の検証

#### (1) 検証の概要

既設の障検（2D レーザー式）が運用されている池袋線東長崎第 8 号踏切にて、誤検知および失報（見逃し）の比較検証を実施した。既設の障検と 3D カメラでは、検知エリアおよび発報ロジックが完全に同一ではないため、それぞれの発報時の映像を元に、3D カメラの誤検知および見逃しを確認し検証した。

#### (2) 検証実施期間

2020年9月7日から2021年9月12日 正味332日間

### (3) 検知実施仕様

#### ①機器構成 (図-6)

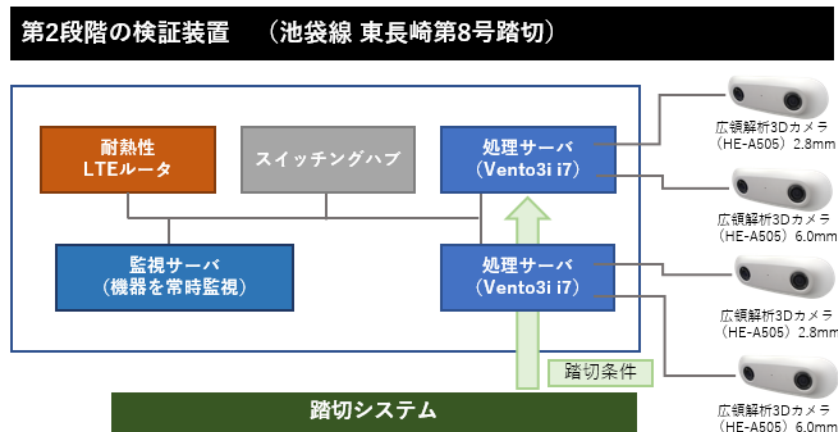


図-6 池袋線東長崎第8号踏切 機器構成

#### ②検知タイミング (図-7)



図-7 第2段階 検知タイミング

### (4) 検証結果

#### ①検証結果内容

- ・合計発報数：3,753回 (平均11.3回/日)
- ・誤検知合計：101回 (約2.8%)
- ・失報 (見逃し)：0回

既設障検のみ発報しアルゴス・セーバーが発報しなかったケース全ての映像を確認し、発報しなければならないシーンでの失報 (見逃し) は無かったことがわかった。また、検知タイミングを見直したため、多発していた遮断完了時の瞬間的な発報に対し一定の効果があったと思われるが、それでもなお、踏切進出際にわずかに発報するケースが多かった。誤検知の内訳は表-3のとおり。



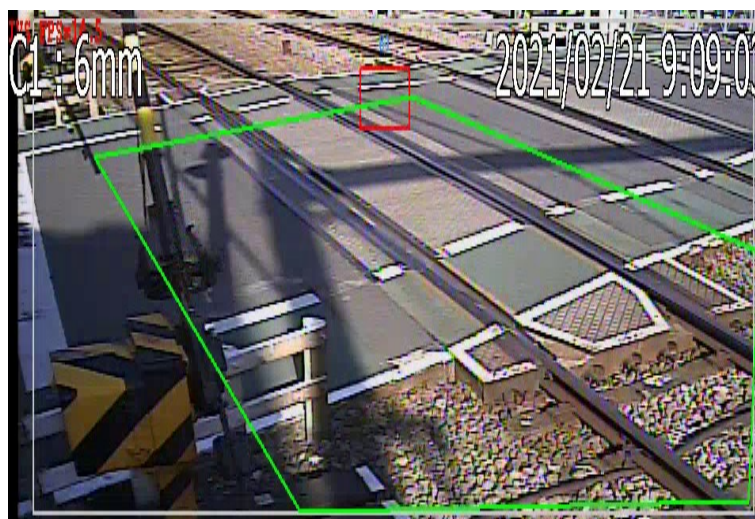
表－3 誤検知パターン別件数

誤検知パターン	誤検知項目	誤検知回数	誤検知率	誤検知状況特記事項
1	検知ソフト障害	72	2.0%	3D画像解析アプリの不具合
2	機器障害	29	0.8%	機器障害発生時一時的に誤検知が連続発生
合計		101	2.8%	

## ②誤検知パターンの内容

### 【誤検知パターン1：検知ソフト障害】

3Dデータのノイズを特定する機能が完全ではなく、多くの誤報が発生する可能性があったため、第2段階の検証開始当初は、その機能を無効化していた。その間に、写真－3のとおり何も無いところに動体があると判断し発報した。その後、3Dデータのノイズを特定する機能を改良し、これに起因する誤報は発生しなくなった。



写真－3 誤検知パターン1

### 【誤検知パターン2：機器障害】

3Dカメラの2つレンズの内1つのレンズで映像データの取得が不可となり、左右の映像の差分を取得できなくなったため、一時的に連続して誤報が発生した。カメラ交換を実施し、その後は安定稼働した。

## 5. 第3段階の検証

### (1) 概要

第1、2段階を踏まえ、運用上の問題点を洗い出す目的として、図－8のように、踏切内で対象物を検出した際に特殊信号発光機を動作させ、接近する電車へ停止信号を伝えることで、実運用と同様の条件で導入試験を実施した。また、システム故障時には、管理者にメール送信すると同時に集中監視装置（指令所や保守区で現場設備の故障を確認できる端末）

に故障信号を通知する機能をシステムに追加した。

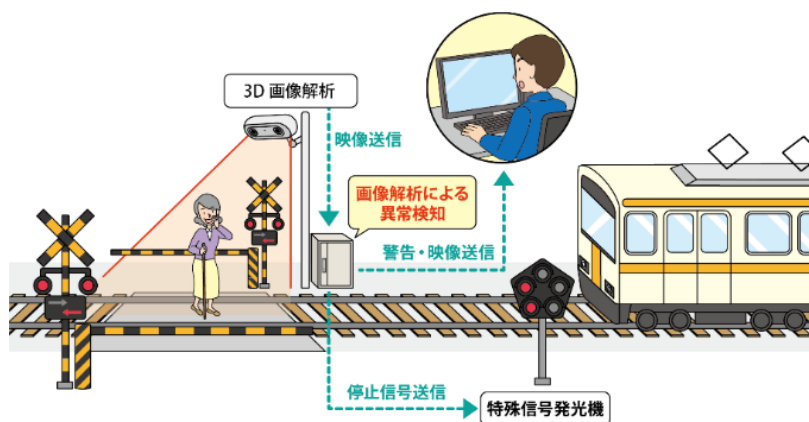


図-8 第3段階 システム概要

(2) 検証実施期間

2021年12月28日から2022年4月10日 正味104日間

(3) 検知実施仕様

①機器構成 (図-9)

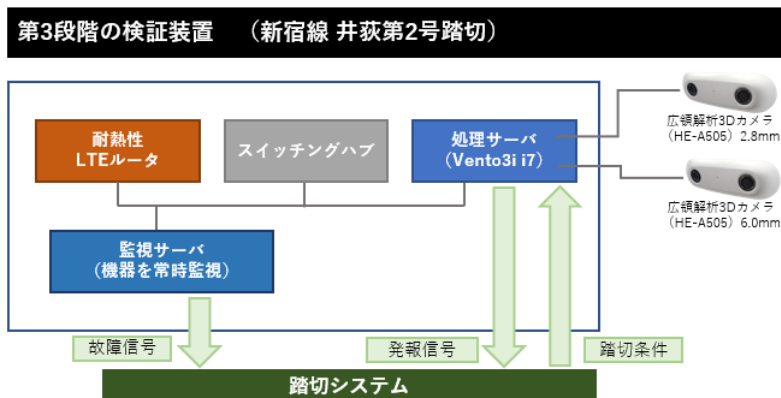


図-9 新宿線井荻第2号踏切 機器構成

②検知タイミング (図-10)

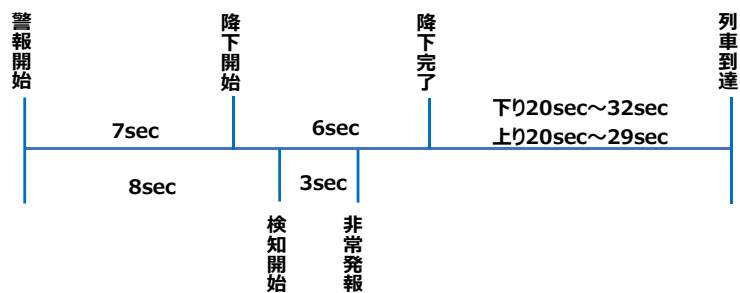


図-10 第3段階 検知タイミング



#### (4) 検証結果

##### ①検証結果内容

- ・合計発報数：3,753 回（平均 11.3 回/日）
- ・誤検知合計：0 回
- ・誤った故障信号送信：3 回

第 2 段階同様、遮断完了時の瞬間的な発報の割合は多かったものの、誤検知は 1 件も無く、踏切に接近する電車へ停止信号を的確に伝えることを確認できた。誤った故障信号については表-4 に示すとおり。

表-4 誤った故障信号

原因	回数
死活監視リトライ回数	1 回
機器起動順序	2 回

##### ②誤った故障信号の内容

###### 【死活監視リトライ回数】

処理サーバの故障が発生した際に、イーサネットの構造上、時間内に応答がないことが稀に発生する。第 3 段階の検証開始当初は、各機器の死活監視リトライ回数を 0 回に設定していたため、1 度の死活チェック失敗で故障信号が送信された。死活チェックのリトライ回数を 3 回（5 秒周期）に変更した。

###### 【機器起動順序】

停電復旧時に各機器が機能するまでに時間差があり、処理サーバが立ち上がる前に、監視サーバが死活監視を開始したことで故障信号が送信された。機器の起動順序を考慮し電源復旧時の死活監視チェックに遅延を設定した。

それぞれ対策を施したことにより、それ以降誤った故障信号は発生していない。

#### 6. 第 4 段階の検証

##### (1) 概要

今回、より安価で、既存設備の改修を最小限とすることで、容易にシステム展開が可能となる AI キャンセル機能の検証を実施した。既存の障検では、電車通過による発報（自縛）を防ぐために、踏切近傍の軌道回路条件より電車通過時に特殊信号発光機を動作させない回路を組んでいる。AI キャンセル機能は、軌道回路条件を使わずに、3D 画像解析と AI 画像解析を組み合わせて、検知した物体が電車であることを識別し、自縛を防ぐものである。

##### (2) 検証結果

2022 年 4 月 11 日から 2022 年 6 月

##### (3) 検証結果

###### ①検証結果内容

・電車見逃しによる誤発報：1回

## ②誤発報詳細

### 【電車見逃しによる誤発報】

写真-4のように、車両上部が露出過多となり、電車と判断できず自縛させた。5フレーム連続(335msec間)で電車を判別すれば電車と判断し、1フレームでも電車ではないと判別した場合は、電車が通過完了したと判断していた。電車検知後、5フレーム連続で電車ではないと判別された場合に電車が通過完了したと判断するように修正することで解決した。



写真-4 電車見逃しによる誤発報

## 7. まとめと今後の展望について

2018年から4年以上の検証と課題解決において、検知すべき通行者の見逃しは無かった。また、特殊信号発光機と連動したことにより、実際に事故になりかねない状況を未然に防いだ事例も発生した。これにより、3D画像解析踏切監視システムの有効性と実用性を示せた。過剰なコストを避けるために保安装置としていないが、検知能力は既存の障検に劣らず、踏切を通行する「人」の検知により事故防止に役立てるものと確認できた。また、比較的安価に構築できる点や、自縛防止のキャンセル軌道回路の新設を不要とすることなど、システム構成をミニマムにすることで優位性も示すことができた。

一方で、通行者の踏切横断行動の特徴から、遮断完了時の瞬間的な特発動作の多さは検討の余地があり、検知タイミングの更なる適正化や、踏切遮断完了直前の横断を排除する処理の検討など今後の発展次第では、障検以上の検知能力が期待できる。

現時点で安定稼働しており、踏切の安全性向上に寄与するシステムであることが確認できたので、今後は障検を必要としない踏切の安全対策の一つとして導入を計画していく。

萩倉保宏（ハギクラヤスヒロ）

西武鉄道 電気部 上石神井電気所

TEL : 03-3920-6862

Y.HAGIKURA@seibu-group.co.jp