

画像処理による踏切用人物検知に関する検討

中曾根 隆太* 長峯 望* 向嶋 宏記*
 押味 良和**

**Basic Study on Pedestrian Detection Device for Railway Crossings
 in means of Infrared Camera and Image Processing**

Ryuta NAKASONE Nozomi NAGAMINE Hiroki MUKOJIMA
 Yoshikazu OSHIMI

Of all the railway operation accidents that occurred in 2017 throughout Japan, 40% of the cases and casualties happened at the railway crossing. In order to reduce the accidents and achieve safer train operation for both train operators and to the public, we are developing a pedestrian detection device for railway crossings using a far-infrared camera and image processing. This paper shows a basic study on the hardware and the outline of basic detection algorithm, and reports the verification results.

キーワード：踏切障検，画像処理，遠赤外線

1. はじめに

わが国における踏切数は年々減少しており，これに伴い踏切事故の発生件数も減少傾向にある。直近の10年前と比較した場合，踏切数自体が全体で約4%程度減少しており，内訳として第一種踏切は1%，第三種や第四種踏切においては20%以上減少している。これは立体交差化事業に代表される根本的な解消や，第三種踏切や第四種踏切の第一種化事業等，国や自治体，鉄道事業者の施策の成果である。しかしながら，踏切事故における犠牲者の数（死傷者数の推移）に関しては，年間200人程度で横ばいの状態が続いている（図1）。

平成29年度に発生した踏切事故の内訳を見ると，衝撃物別では自動車以外の対象が総件数の6割以上を占めている。さらに原因別では，エンストや脱輪による車両故障が3割，無理な横断によるものが5割以上を占めている¹⁾（図2）。これは，自動車等の大型対象物に関しては既存の踏切障害物検知装置（以下，踏切障検とよぶ。）等による防護措置が取られているが，小型対象物等に対しては踏切支障報知装置等の整備は進んでいるものの，事故を防ぐ有効な手段とは必ずしもなっていないことを示している。

これらの事情を踏まえ，踏切における死傷事故の低減のためには列車接近時において踏切道に侵入した自動車未満の大きさの物体（特に人物の検知）を対象とした踏

切内異常検知装置が必要である。このため，本研究においては既存踏切に追加する形で設置可能な，カメラと画像処理による異常検知装置（以下，人物検知装置とよぶ。）の開発に取り組んでいる。平成30年度末までは，ニューラルネット等を用いた学習型アルゴリズムによるアプローチを実施²⁾してきたが，学習データの作成などの課題が見えてきたため，検知アルゴリズム等を刷新した。本稿では新たに開発している装置の基本構成や検知アルゴリズム，評価方法，基礎的な試験の結果を報告する。

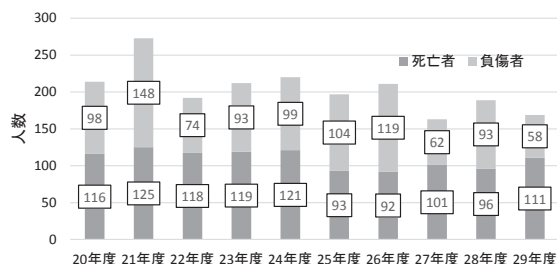


図1 踏切事故における死傷者数の推移

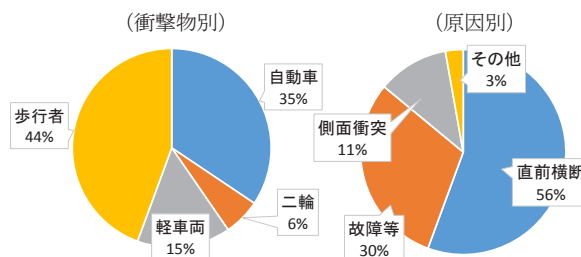


図2 踏切事故の発生状況（平成29年度）

* 信号・情報技術研究部 画像・IT研究室

** 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

表1 障検装置の使用センサ

	光電式	ループコイル式	ミリ波式	レーザーレーダ式		開発装置
				(二次元)	(三次元)	
使用センサの波長帯	940nm	(電磁作用)	1-10mm	0.9μm	0.9μm	7-14μm
最小検知サイズ*	自動車	自動車	軽自動車以上 φ160mm, h1100mm 以上	走査高さにおける人物	1m × 1m × 1m	φ300mm, h1000mm
降雨に対する耐性	○	○	○	○	○	○
積雪に対する耐性	×	○	△	△	△	○ (ロードヒータ設置 箇所は対応不可)
特徴	線検知	金属物体の検知	一定高さでの走査	一定高さでの走査	一定高さ以上の検知	カメラに写る画像中の設定範囲

*文献^{3)~6)}をもとに作成

2. 開発装置

踏切障検は、列車接近時に踏切道を支障する自動車の検知を目的とした保安装置相当であるとされている。従来の装置は、閉ループ制御を用いた光センサ式のもの主流であり、これらの設置が困難な豪雪地帯においてはループコイル式が導入されている状況である。最も普及している光センサ式ものは、投光部から送った光信号を受光部と光ファイバを通して閉ループを形成し、このループが維持される事をもって送受信部間に支障物がないこと、および故障していないことを検知している。しかし、これらの装置は導入に際し大規模な踏切工事が必要であり、センシング範囲が限定されていることなどから、近年ではより検知能力の高い（空間分解能が高い）ミリ波やレーザーレーダを用いた装置の導入が進んでいる。

ミリ波やレーザーレーダを用いた装置は面や空間でのセンシング領域を持つため、光センサ方式等と比べて歩行者や自転車等のより小さな物体を検知しやすい特性を持つ。ただし、一定高さ以下の物体の検知が困難という性質をもち、現状においては転倒した人物等を認識できる踏切保安装置は存在しない。既存設備および開発装置のセンシング方式を表1にまとめる。

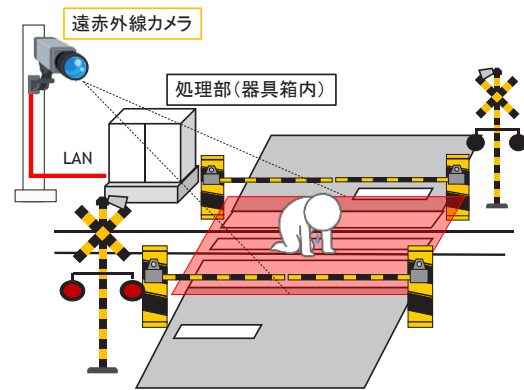


図3 システム概要

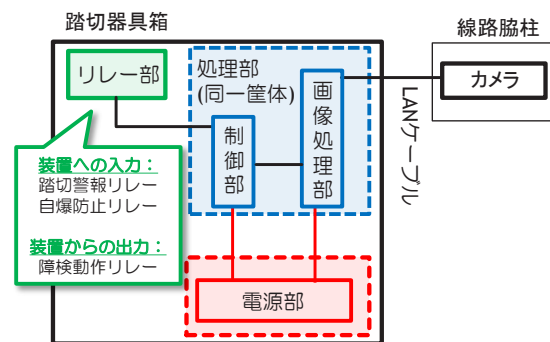


図4 機器構成

2.1 開発装置のシステム概要

本研究では、遠赤外線カメラおよび画像処理による人物検知装置の開発に取り組んでいる。システム概要を図3に、装置構成を図4に示す。提案システムでは可視光カメラと異なり、遠赤外線に感度のあるカメラから取得された映像を用いることで、外部照明を省略

すると共に影による影響を最小化する。また、カメラ画像を用いることで、処理領域内であれば対象の高さ情報に関わらず検知処理を行うため、事故に繋がらず倒れた状態の人物であっても検出することが可能である。現在の装置案では、処理部を器具箱内に設

置し、外部への敷設機器はカメラおよび支持柱（電化柱等に取り付ける事で省略可）、ケーブルのみとなるため、線間工事等の大規模工事を必要としない事も利点である。

2.2 センサ部

人物検知のセンサは、遠赤外線波長域に感度のあるネットワークカメラを選定している。遠赤外線カメラは、対象の温度情報を映像に変換する（例：高温箇所を白、低温箇所を黒で表現するグレースケール画像等）センサであり、一般的な可視光カメラと異なり夜間の低照度環境下であっても外部光源を用いずに映像取得が可能ことや、従来の画像処理において誤検知の要因となる影が発生しにくいという特徴が挙げられる。また、当該波長域は光の透過率が高く、水蒸気等の大気による影響を受けにくい「大気の窓」と呼ばれる帯域である。

カメラをセンサに用いるため、何らかの事故等が発生した場合においては、映像データのログが残る。これを用いることで状況確認の機能（監視カメラ機能）を実現できるが、人物は温度分布として映像化されるため、映像のみからの個人の特定等は不可能である。

2.3 処理アルゴリズム

遠赤外線カメラによって取得された踏切道の温度画像は 640 × 480 画素の映像として処理部へ入力される。入力画像は各ドット 8 ビット（256 階調）の輝度階調で画面内における相対温度を表している。

入力された画像に対して過去 20 フレーム分の映像をもとに背景画像を生成し、生成された背景画像に対して現在のフレームとの差分をとる処理アルゴリズムで、踏切内に留まった人物の検知を行う。差分を行う際に、単純な引き算では外乱ノイズなどを誤検知するおそれがあるため、テクスチャとしての差分を行える特徴量に変換した上で差分を実施する。

得られた差分結果に対し、ラベリング処理を行い、抽出されたラベルが人物か否かの検定処理を、人体の統計的な情報量をもとに実施する。また、踏切道内に長時間留まると、前景である検知対象の人物が背景である踏切画像へ同化する「溶け込み」が発生してしまうため、これを防ぐため溶け込み防止処理を行う。

最終的には、得られた検知結果に対して、検知対象が設定した検知エリアに存在するか否かの判定を行う。検知結果は、事後解析を可能とするため、プログラム出力の外接矩形の座標情報と共に歩行軌跡の出力も合わせて行う。処理の流れを図 5 に示す。

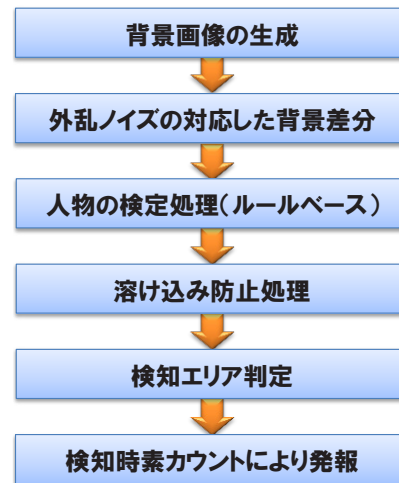


図 5 アルゴリズム概要

3. 時素の考え方

開発装置は踏切事故を防ぐため、設定した検知エリア内に人物が存在すると判断した場合、特殊信号発光機等を介して列車に対し停止信号を送信する。このため、仮に検知アルゴリズムの誤認識（誤検知）により装置の誤発報があった場合、鉄道事業者にとっては列車運行の阻害行為となってしまいます。本開発ではこれを最小化するため、ノイズ等による瞬間的な発報をマスクする時素の考え方を適用している。

3.1 前提条件

3.1.1 装置の出力

装置は画像処理部（検知プログラム）と制御部に分かれており、各部は以下の動作を行う。

- ・ 検知プログラム：

一定周期毎にカメラから画像を取得し、同周期内で検知エリア内に検知対象（人物）が存在するかの有無を制御部へ 2 値 [0,1] で出力する。

- ・ 制御部：

検知プログラムからの結果を得て、出力“1”（検知エリア内に人物あり）の場合に一定時間（n）保持する。同時に、出力“1”が継続している時間をカウントし、カウントが設定値（m）を超えた場合、装置として検知エリア内に人物ありと判断し、外部信号機等へ発報する。

このように、検知プログラムは単一フレームでの人物の有無を、制御部では装置としての総合的な判断を行う。

3.1.2 踏切の状態

開発装置は障害物が検知エリアに存在すると判断した場合は“1”を、存在しないと判断した場合は“0”を出力するものとする。システムのとり得る状態と実際の状況（真値）は表 2 の関係にある。

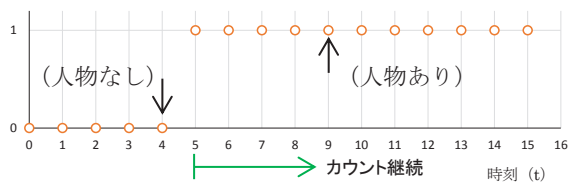
特集：信号通信技術

3.2 未検知が存在する状況

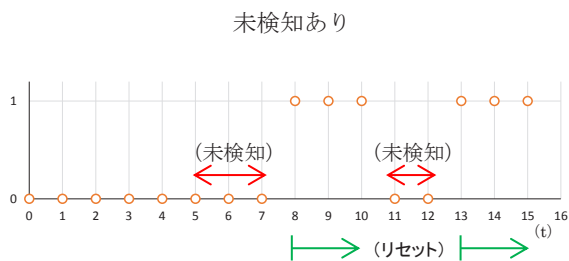
検知対象が瞬間的に背景と同化した状態においては、実際に人物が検知エリア内に存在するにも関わらず、検知プログラムからは“0”が出力される場合がある（未検知：False Negative）。本装置では、瞬間的な見逃しによる装置の未発報事象を防ぐ為、プログラムの出力が“1”とされた場合、これを制御装置側で一定時間保持する機能を有する。この際の挙動を図6に示す。

表2 システムの状態

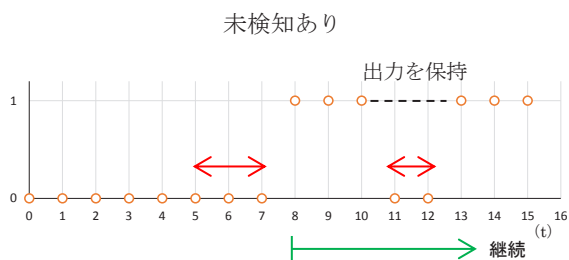
		真値 (踏切の状態, 対象物の有無)	
		あり	なし
プログラム	1	True Positive	False Positive
出力	0	False Negative	True Negative



(a) 真の状態



(b) 出力を保持しない場合



(c) 出力を保持する場合

図6 未検知発生時の挙動

仮に時刻 $t=5$ において検知エリア内に対象が侵入し、そこに滞留したものとす。

検知プログラムが正しくこれを検知した場合、制御部のカウントは $t=5$ から始まり、設定値を超えた時に装置は正しく発報する(図6(a))。次に、検知プログラムに未検知が発生した場合について図6(b)示す。偶発的な要因(カメラノイズ等)により、時刻 $t=5 \sim 7, 11, 12$ に検知プログラムによる未検知が発生したとする。この場合、一度 $t=8$ で始まったカウントは $t=11$ でリセットされ、再度 $t=13$ よりカウントが始まる状態となる。断続的に未検知が発生する状況においては、カウントが設定数まで継続せず装置としての見逃しが発生しうる。

制御部による出力の保持機能がある状況(図6(c))では、断続的な未検知が発生する状況であっても発報に必要なカウントが継続するため、装置は正しく発報する。ただし、出力を保持する時間を適切に設定しない場合、カメラノイズ等による検知プログラムの誤検知が装置の誤発報に繋がる危険性がある。

3.3 誤検知が装置の誤発報に繋がる状況

検知プログラムに誤検知が発生する場合を考える。真の状況を図6(a)とした場合、誤検知が発生した際の挙動例を図7に示す。検知プログラムに誤検知が存在する状況において、検知エリア内に実際に人物が存在する状況では以下の二つの問題が想定される。

- ・人物が検知エリアに侵入する前に誤検知が発生した場合、想定しているより短い時間で装置が発報する。
- ・人物が検知エリアから退出した後に誤検知が発生した場合、検知エリアに対象が存在しないにも関わらず発報が継続する。

ただし、これらは実施に人物が存在する時間の前後数秒程度で発生する事象であるため、検知プログラムによる誤検知確率が十分に小さい場合においては問題となりにくい。

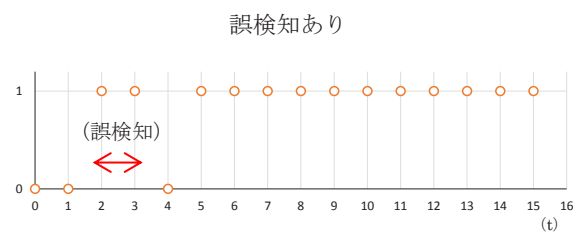


図7 正検知と誤検知の混在する状態

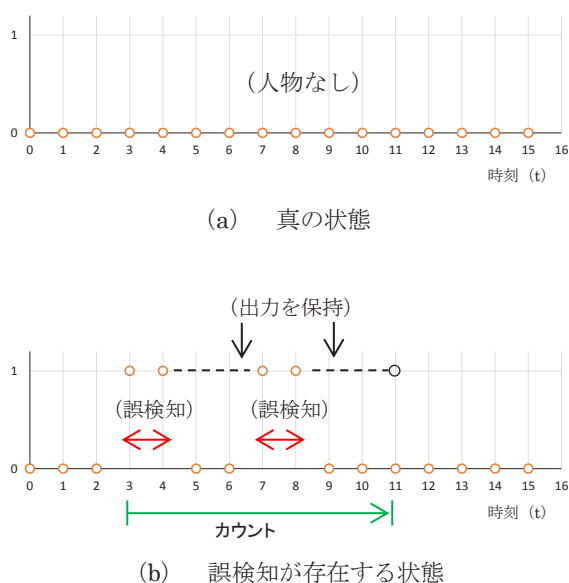


図8 誤検知発生時の挙動

次に検知エリアに人物が存在しない状況において検知プログラムによる誤検知が発生した場合の挙動を図8に示す。検知エリア内に実際に人物が存在しない状況においては、以下の事象が想定される。

- ・ 時刻 t に誤検知が発生し、その出力が保持される間に更に誤検知が発生する。その間、出力に必要なカウントが継続することで誤発報に繋がる。

図8(b)においては誤検知が $t=3,4,7,8$ に発生しているものとする。制御部の出力保持 $n=3$ とした場合、装置の検知カウントは $t=3$ から $t=11$ まで継続することになるため、 $m=9$ の場合装置は誤検知による誤発報が発生してしまう。

3.4 誤検知が誤発報に繋がる確率

具体的に検知プログラムによる誤検知が装置の誤発報に繋がる確率を算出する。出力の保持回数を $n=7$ 、装置の発報に必要なカウントを $m=10$ 、検知プログラムの誤検知率を $P(fp)=1\%$ とした場合において「時刻 t に発生した誤検知が装置の誤発報に繋がらない確率」を考える。なお、検知プログラムによる誤検知はカメラノイズ等による完全にランダムな事象とする。この条件において、検知プログラムの誤検知が装置の誤発報に繋がらないパターン（出力“0”が $n+1$ 回連続する）は以下の計3通りである。

- ・ 出力0が8回連続する事象：2通り
- ・ 出力0が9回連続する事象：1通り

上記条件において、時刻 $t=0$ に発生した誤検知が、装置の誤発報に繋がらない確率は式(1)で求められる。

$$P(err) = 2 \times P(fp) (1-P(fp))^8 + (1-P(fp))^9 \quad (1)$$

$n=7, m=10, P(fp)=1\%$ とした場合における $P(err)$ は式1より約93.2%であるため、時刻 t に誤検知が発生し、これが装置の誤発報に繋がる可能性は $P(fp) \times (1-P(err)) \cong 0.068\%$ となる。このように、適切に時素を設定することで単独フレームのみで結果を計算する場合と比較して、未検知事象の発生を抑制すると共に、検知プログラムの誤検知による装置の誤発報確率を低減することができる。

4. 試験および評価

4.1 評価項目

検知アルゴリズムの評価においては以下の二点を評価基準とする。

- ・ 誤検知率：人物以外の検知枠が出現したフレーム数 ÷ 全処理フレーム数
- ・ 未検知の継続：人物が検知エリアに存在する状況下での検知プログラムによる未検出の継続

前節より未検知に関しては、確率ではなく継続時間の評価を実施する。これは、検知プログラムによる未検知が出力の保持回数以内であれば装置の見逃しに繋がらないが、保持回数以上に未検知状態が継続してしまった場合は装置の見逃しに繋がってしまうためであり、確率のみでは適正に評価できないためである。

4.2 評価データの作成

評価における正解データの作成方法および結果の判断は下記の通りとする。

- ・ 正解データ：人間の目視により設定範囲に人物が侵入してから退出するまでの時刻（フレーム数）。侵入および退出の判断は対象の外接矩形の中心が対象エリアを跨いだタイミングとする。
- ・ 未検知：正解データが存在する状況において、検知出力が存在しない、もしくは正解の外接矩形と重複しない位置での検知出力があったフレーム
- ・ 誤検知：全評価データ中、検知対象が居ない状態で外接矩形が出力されたフレーム

ただし、同一フレーム内に複数の検知出力があった場合（人物に検知出力があり、なおかつ正解矩形に重複しない箇所でも検知出力があった場合）誤検知としてはカウントするが、未検知としては扱わない。

4.3 評価試験

検知アルゴリズムの評価を行うため、所内の試験踏切および積雪環境下の実踏切において基礎的な検証を実施した。カメラは踏切中心から7m離し高さ4.5mの位置に設置した。取得映像における遮断かんの映り込みを最小化するため、カメラは線路から遮断かんと同等程度の

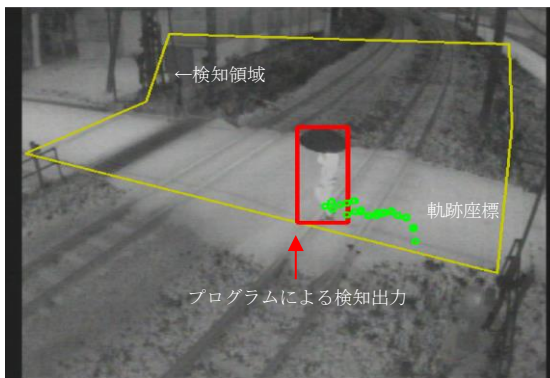
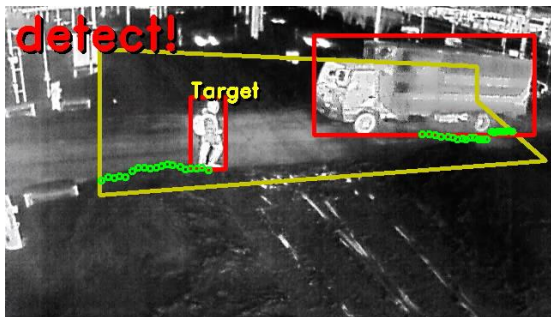


図9 試験踏切での検知例
(雨天、傘使用時)



(a) 積雪下での検知例



(b) 車両通過後の誤検知

図10 豪雪地域での検知例

離れた位置に設置した。雨天時の試験では傘を透明なビニール傘、色のついた布傘、合羽を着た人物の3通りの状況で実施した。取得映像を用いたプログラムによる検知例を図9(所内踏切)および図10(現地踏切)に示す。

検証の結果、評価した映像中において未検知は0件であったが、状況によっては誤検知が継続する状況が見られた。特に外気温が氷点下以下の積雪地帯においては、車両が踏切通過時にできた“わだち”を車両通過後も一定時間継続して検知する状況が見られた(図10(b))。ただし、実際の装置においては、踏切内に対象が存在し

ないと発生しないこと、同事象が1秒程度で消えること、進出側の時素で容易に防げることから問題とならない。

本試験における検知プログラム単体での結果は以下の通りである。

- ・誤検知率：0.13% (13/9889)
- ・未検知の連続フレーム：0フレーム

誤検知は9,889フレーム中13フレーム発生し(いずれもわだちによる)、踏切内に対象が存在するフレーム中、未検知は発生しなかった。今後は季節や設置条件の異なる実踏切の映像を用いた詳細検証を進めていく。

5. まとめ

本稿では遠赤外線カメラおよび画像処理を用いた踏切用人物検知の概要および評価や装置の時素の考え方、所内試験線等での基礎的な評価試験について述べた。検討の結果、制御部において適切な時素を適用することで、検知アルゴリズム単体での未検知や誤検知が発生する状況下においても、装置としての影響を最小化できることを示した。

本検証試験は限られた条件下でのものであるため、今後は様々な天候や外気温等の条件における現地踏切での映像を用いて検証を継続する。

謝辞

本研究の検証試験の実施にあたり、JR北海道、JR東日本、JR九州の各担当者殿においては多大なご協力を頂いている。ここに感謝の意を表する。

文献

- 1) 鉄軌道輸送の安全に関わる情報(平成29年度), 国土交通省鉄道局, 2018
- 2) 中曽根隆太ほか: 画像処理による踏切内異常検知装置の開発, JREA, 62巻3号, 2019
- 3) 鈴木純朗ほか: 光電式踏切障害物検出器, 日本信号技報, Vol.2 No.2, 1978
- 4) 中村聡ほか: ミリ波踏切障害物検知装置, 鉄道と電気技術, Vol.22 No.12, 2011
- 5) 石毛隆晴ほか: 2次元走査レーザーレーダによる踏切障害物検知装置の開発, 平成28年電気学会全国大会論文集, No.5-152, 2016
- 6) 久光豊ほか: 三次元レーザーレーダ式踏切障害物検知装置の実用化, IHI 技法, Vol.48 No.1, 2008