

# 画像処理技術を用いた前方障害物検知装置の開発

中曾根 隆太\* 長峯 望\* 鵜飼 正人\*\*  
向嶋 宏記# 出口 大輔# 村瀬 洋#

Frontal Obstacle Detection by means of Background Subtraction and Frame Registration

Ryuta NAKASONE Nozomi NAGAMINE Masato UKAI  
Hiroki MUKOUJIMA Daisuke DEGUCHI Hiroshi MURASE

Systems such as ATP (Automatic Train Protection) and railway blocks provide protection against collision between rolling stock, but collisions against unexpected obstacles in front of the train are prevented only by the driver's eyes. In an effort to lighten the burden of train drivers and to improve the safety of passengers, we propose an obstacle detection method using a camera and image processing. Under the method proposed, we use background subtraction of images obtained by other trains operating earlier on the same track, registered on a database, from the real-time image obtained from the cab. The difference between the two images are defined as obstacles in front of the train. Furthermore, the performance of the method was verified by conducting experiments using rolling stock and imitated obstacles.

キーワード：障害物検知，画像処理，背景差分，オプティカルフロー

## 1. はじめに

列車事故のうち車両の追突や衝突事故は閉そく装置やATS等のシステムにより防がれているが、落石等に対する列車防護は障害物検知装置と特殊信号発光機との組み合わせによる運転士の目視での情報伝達と、運転士によるブレーキ操作によっているのが現状であり、しかも全ての区間にこれらが設備されている訳ではない。そこで、乗務員の負担軽減および旅客の安全性向上を目的とした列車前方用の障害物検知装置の開発が求められている。

本稿では、過去の走行時に撮影した列車前方映像と走行中に撮影した現在の映像を用いて、両者の背景差分を利用する画像処理による障害物検知手法を提案する。また所内試験線にて行った性能評価の結果を報告する。

## 2. 研究の背景と目的

### 2.1 背景

近年では様々な分野において画像センサが活用されている。特に自動車業界では画像センサを用いたアプリケーションの実用化が進み、事故防止等の効果が広く認

知されはじめている<sup>1)</sup>。また鉄道業界においても列車へのカメラの導入が進められつつあり<sup>2)</sup>、今後は取得映像の更なる活用が見込まれる。

昨今の自動車におけるカメラ映像を用いた障害物検知装置は、ステレオカメラを用いたもの、もしくは単眼カメラと機械学習を組み合わせたものが主である。しかしながら、前者は対象物が遠方に存在する場合は視差の算出が困難である点や、後者は事前に対象とする障害物の選定や膨大な映像量や学習コストが必要であり、対象として考慮していない物体の検知が難しいことなどが課題として存在する。

### 2.2 目的

鉄道環境において列車が遭遇しうる障害物は人物や動物のほか、落石や倒木、土砂等の自然災害が想定される。

近年の事故を運輸安全委員会の鉄道事故報告書<sup>3)</sup>から調べた結果、2001年以降においてはこれら不定形の障害物が原因となった列車脱線事故が10件以上発生している。事故をまとめたものを表1に示す。衝突事故の内、対象が人物や動物に関しては造形が決まっているため学習による対応もある程度は可能であるが、落石や倒木等の不定形な事象に関しては事前学習が困難である。鉄道線路空間内に存在しうる障害物を全て定義し、個々に対して対応することは困難であるため、鉄道用途においては障害物を限定しない手法を用いることが望ましい。

\* 信号・情報技術研究部 信号システム研究室

\*\* 信号・情報技術研究部

# 名古屋大学

表1 衝突脱線事故一覧

発生年	複線/単線	天候	速度 (km/h)	発見時の対象までの距離 (m)	対象
2004	単線	曇り	62	130	倒木
2006	単線	雪	60	100	倒木
2014	単線	雪	70	50	倒木
2014	単線	雨	50	60	倒木 (土砂あり)
2002	単線	雨	120	100	落石
2003	単線	-	43	10	落石
2004	単線	-	45	80	落石
2005	単線	晴	50	100	落石
2011	単線	-	35	27	落石
2012	単線	晴	20	7	落石
2012	単線	-	60	30	落石

カメラを用いた不特定の障害物の検知には、原理的には背景映像との差分を用いる手法が有効である。これは、ある地点の障害物のない映像と同一地点の現在の映像とを比較し、映像の違いから障害物を検知する方法である。しかし、観測者が移動する状況では二つの映像の背景差分を正しく行えず、通常であれば移動する列車への適用は困難である。

本研究においては、列車が常に固定されたレール上を走行することを利用し、過去に走行した同経路の映像をデータベースに保持し、これを参照することで、現在の映像と現在地の過去の映像との差分を算出し、線路空間上に存在しうる不特定の障害物の検知を行う手法を提案する。

### 3. センシング技術

#### 3.1 技術動向

センサ技術を活用した他分野での実績として、近年自動車業界における衝突回避や自動運転技術がめざましい発達を遂げている<sup>4)</sup>。自動車業界で利用されているセンシング技術は大きく分けて、空間内における自車位置の推定のためのものと、走行する際の衝突回避（障害物検知）<sup>5)</sup>の二つがあり、自動運転はこれらを組み合わせて利用している。自動運転は三次元地図空間における自車位置の推定を行い、走行経路を計算したうえでセンシングによる周辺環境の情報を統合し、衝突回避や車線変更を行うことで達成されている。

自動車用の衝突回避のためのセンサは赤外線やミリ波を用いたレーダ等のアクティブセンサやカメラを用いたパッシブセンサが使用されている。それぞれの方式にメリットやデメリットがあるが、現在主流のセンサ類に関して、鉄道への応用を視野に整理した。

#### 3.2 LiDAR

近年の自動運転技術では、特に都市部等の車や人が密集している地域でのセンシングツールとしてLiDAR (Light Detection and Ranging) への期待が高まりつつある。このセンサは電波の代わりにレーザー光線を使用したレーダであり、一般的にレーザーレーダと呼ばれているものである。通常のレーダは電波を用いて物体までの距離を計測するのに対し、レーザーレーダではレーザー光線を用いてこれを計測する。レーザー光線を用いる利点としては、レーザー光のスポットサイズを絞ることで精密な計測が可能となることや、電波の反射しにくい非金属物体等の検知が可能となる事などがある。

LiDARには対象範囲を予め設定する固定センサ方式のものと、車の屋上等に設置する回転式の360度視野のものが存在し、いずれの場合においても測定範囲内（～150m）において、センチメートル級の高解像度の三次元データが得られる<sup>6)</sup>。ただし、色の識別等は行えず、用途によってはカメラ等の他センサとの併用が必要である。

#### 3.3 ステレオカメラ

カメラ方式の衝突防止システムとしていち早く実用化され、現在ではその有効性が広く認識され始めているものにステレオカメラを用いた方式<sup>7)</sup>がある。

この方式では二台のカメラの光軸を平行に設置し、撮像面を一致させた状態でそれぞれのカメラを同期させ、同時に撮影した映像を用いて対象物体の画面上での位置の違い（視差）と焦点距離からその物体までの距離、および立体的な形状を算出する。

一台のカメラであっても映像中から白線や障害物の抽出は可能ではあるが、三次元空間の情報を一度二次元に落とし込むため、そこから三次元へ復元するには様々な工夫が必要である。ステレオカメラ方式では、三次元空間をそのまま三次元で捉えることができることが大きな

利点であるが、対象が遠方であるほど有効な視差の算出が困難なことや、設置の精度やキャリブレーションが必要なこと等の問題がある。

### 3.4 単眼カメラ（学習型）

ステレオカメラ方式と比較して省スペースでありコスト面でも優位なことから、単眼カメラと学習型の識別機を用いた人物検知アルゴリズムの研究がある。

単眼カメラを用いたシステムは人物検知アルゴリズムによる障害物候補領域の抽出を行った後、その障害物の位置を推定する必要がある。従来の人物検知は、画像中の人物らしさを HOG 特徴量（Histograms of Oriented Gradients）等で記述し、SVM（Support Vector Machine）などの統計的な学習手法を用いて行われており、また近年では、特徴量を自身で学習し識別機を形成できる CNN（Convolutional Neural Network）を用いた手法が良好な結果を出している<sup>8)</sup>。

学習型のシステムは検知目標を限定することで高い性能を発揮しうが、逆に不定形な障害物等に対応することが困難である。

### 3.5 鉄道への応用

鉄道に用いるセンサおよびアルゴリズムは以下の条件を満たすことが重要である。

- (1) 可能な限り遠方から検知できること
- (2) 不特定の障害物に対応可能であること
- (3) 検知に失敗した理由が把握できること

自動車の衝突回避システムと最も異なる点は検知距離の問題であり、自動車であれば 100m 程度で停止できる速度であっても、列車の場合は停止まで数百メートルの制動距離が必要となるため、可能な限りの遠方をセンシングする必要がある。3.2 および 3.3 の方式では有効距離が百数十 m 程度であり、200m を超える距離のセンシングは困難であるため、提案手法では単眼カメラを用いることとした。

鉄道においては列車の進路が前方のレール上に限定されるため、提案手法ではカメラを用いて前方を撮影し、レール抽出<sup>9)</sup>を行うことで検知範囲の限定を行った。

## 4. 提案手法

本研究では、データベースに保管された過去の映像と現在のカメラ映像とを比較することにより、過去には存在しなかった映像中の物体（障害物）を検知する手法を提案する。

同一経路を走行する列車であっても、同じキロ程にて異なる時刻に取得した映像は、実際には車体の動揺やカメラ映像のサンプリング間隔による映像取得位置の微

小なズレが存在しており、このままではノイズを多分に含むため、有意な差分結果を得ることはできない。提案手法では、まずデータベースより現在地から最近傍地点の映像を探索し、次にデータベースから探索した映像フレームと現在の映像とで画素単位での密な位置合わせを行い、最後に二つの異なる差分手法での映像差分結果を統合する事で障害物領域の抽出を行う。

### 4.1 データベース探索

データベースには過去に同一線区を走行した際に取得した前方映像が格納されている。提案手法では、この過去に「走行してきた」ことから「障害物の存在しない」と定義される映像フレームをもとに、現在走行中の映像フレームとの間で差分を取得する。このためにはまず、膨大な映像フレーム数を保持するデータベースから効率良く、かつ高い精度をもって現在の映像と最も近い地点での映像（最も似ている映像）を探索する必要がある。

データベースの探索は過去の走行映像と現在の二つの映像が最もよく一致するフレームを、データベース映像の時間軸を非線形に伸縮しながら照合ができる動的計画法（Dynamic Programming）を用いて選択している。この方法は DP マッチングと呼ばれ、一般的に音声照合等様々な分野で使用されている。探索の際の評価値は、距離によって二つの画像中の対応する物体の見え方が異なることを用いて行っている。概念を図 1 および図 2 に示す。仮に図 1 の位置関係にあったとき、現在の位置と近い場所の映像は図 2 (a) のように、距離の遠い場所からは図 2 (b) のように見える。図中の矢印は対応する特徴点同士の移動方向を示す。

### 4.2 画像の位置合わせ

データベースから誤差なく現在地に一番近い映像を探索できた場合であっても、車両動揺等による横方向の位置ずれや、現在と過去の映像取得タイミングの違いによ

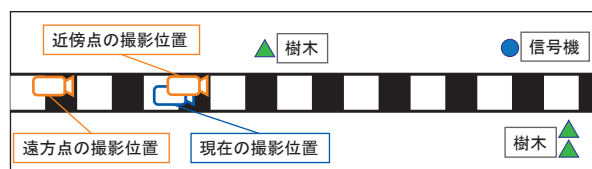
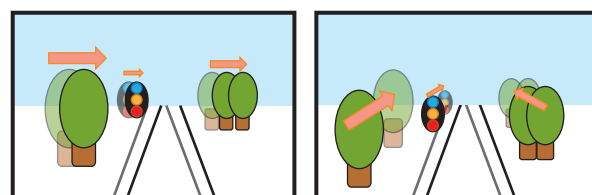


図 1 位置関係の俯瞰図



(a) 近傍点 (b) 遠方点

図 2 遠近の参照結果

特集：信号通信技術

る進行方向の位置に微妙な差が生じる。この場合、二つの映像間では画素単位での微小な違いが存在するため、この状態のままでは有意な結果を得ることは難しい。

そこで、提案手法では現在の映像とデータベースの映像の間で微細な調整を行い、互いの映像を合わせ込むことで取得映像の僅かな誤差を吸収する。これはオプティカルフローを用いて、映像の画素ごとに独立した移動量をパラメータとして割り当てることでなされる。

オプティカルフローでは二枚の画像を比較し、片方の画像の各画素がもう一方の画像のどの画素に移動したかを、各画素の周囲の様子および周辺のフローベクトルを考慮しながら予測する。予測されたフローをもとに、一方の画像を変形させ、もう一方の画像に合わせこむことで、微細な映像の違いを吸収することができる。画像の位置合わせを行う前後での結果を図3および図4に示す。図3においては遠方に存在する人物がノイズに埋もれているが、調整後の図4においては有意な差として存在している。

4.3 差分手法

障害物の検知は、画素単位での調整が行われた二枚の画像に対し、映像の差の絶対値を適切に閾値処理するこ

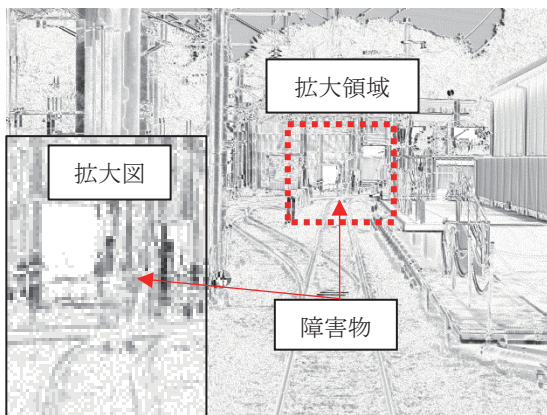


図3 位置合わせ前

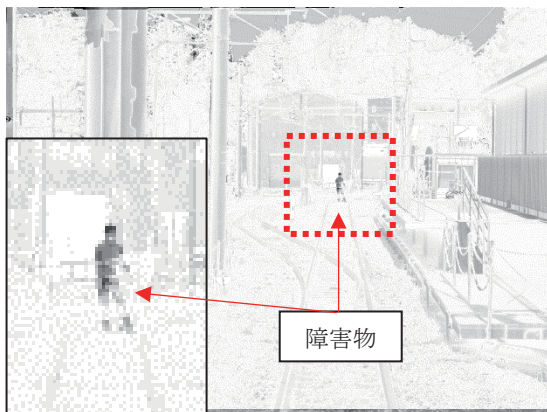
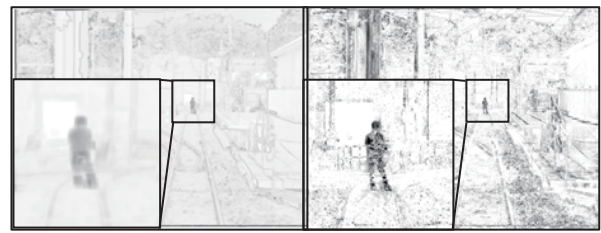


図4 位置合わせ後



(a) 輝度による差分 (b) テクスチャによる差分

図5 差分手法

とにより行われる。提案手法では映像の異なる二要素の差に着目して障害物の検出を行う。

映像の異なる二要素とは、ひとつは色の違いであり、もう一つは映り込んでいる物体のテクスチャの違いである。色の違いに着目した差分手法では、画像上のすべての明度（輝度）の違いを障害物領域として抽出する。しかし、このままでは候補領域が多すぎるため、この結果と照明変化に対して頑強な要素であるテクスチャの類似性に着目した差分結果を統合して検出を行う。

この場合のテクスチャの類似性とは、各画素単位での値の類似性ではなく、注目画素とその周辺画素の画素値の空間的な分布の形の類似性をさしている。テクスチャパターンに注目した差分の欠点としては、白地の背景の前に黒い様な物体が存在した場合、背景と障害物のテクスチャパターンが類似しており対象の検出が行えないことなどがあげられる。それぞれの差分手法による結果を図5に示す。

これら異なる二つの差分手法を統合することで、効果的な不特定の障害物の検出を目指した。

5. 提案手法の評価

5.1 試験構成

提案手法の評価のため、所内試験線にて試験車両を用いたデータ取得を行った。試験線は直線であり、線間に設置した障害物からは250m程度の視程がある。カメラは車両端の貫通扉に設置し、車両を一定速度で後退させながら映像撮影を行った。使用したカメラはCCDカラーカメラでイメージャーサイズ2/3in、セルサイズ4.54 μmであり、1920 × 1440画素で映像を取得した。取得した映像にはすべてのフレームに障害物からの距離情報を付与している。試験の様子を図6～図8に示す。

取得した映像にはすべてのフレームに障害物からの距離情報を付与している。

障害物は正対した人物の他、落石を模した幅110cm × 高さ70cmの写真、および、倒木を模した幅300cm × 高さ30cmの写真を発泡スチロールに張り付けて設置した。



図6 倒木を模した障害物



図7 落石を模した障害物



図8 取得シーン例

### 5.2 評価方法

提案手法により正しく障害物が検知できたか否かを評価するためには、取得した映像に対し、画面上の障害物の位置の正解付けをする必要がある。この作業は人の手で行い、障害物の存在する映像フレームに対し、障害物を外接矩形で囲んだうえで、その左上の座標値および幅と高さを記録した。

アルゴリズムの出力は以下の5通りの場合がある

- (1) アルゴリズムが障害物なしと判定した場合：
  - (a) 候補領域を出力しない
- (2) アルゴリズムが障害物ありと判定した場合：
  - (b) 障害物以外の領域を候補領域として出力
  - (c) 障害物領域の一部のみを候補領域として出力
  - (d) 障害物を覆うもしくは一部を覆う大きな領域を候補領域として出力

ここで、障害物の存在する映像に対し開発アルゴリズムによる判定を行った場合、出力される値は映像フレーム毎に障害物の有無および、障害物ありと判定された場合の障害物領域である。

これらの出力のなかで、条件 (a) は未検知であり条件 (b) は誤検知であるが、条件 (c) の場合は僅かなノイズによる出力を、条件 (d) の場合は画面全体を候補領域として出力した場合に正しく検知したと誤って判断

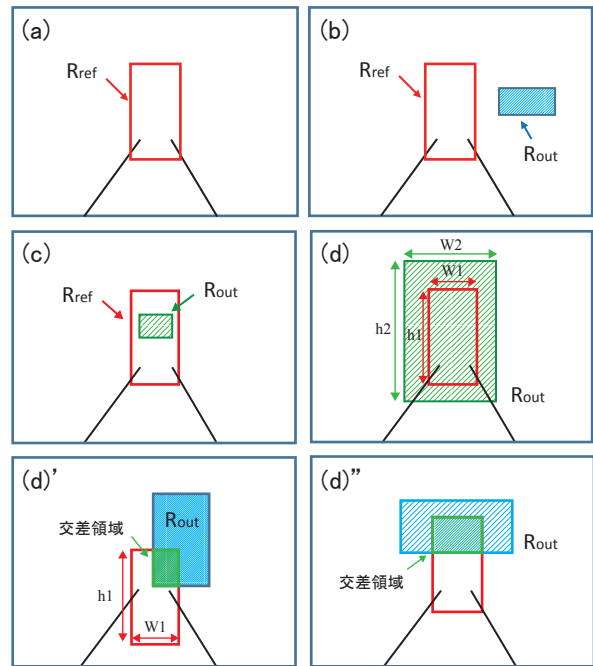


図9 評価方法概念

してしまうため、一定の閾値を設ける必要がある。

そこで、今回の評価においては条件 (c) や (d) の場合に式 (1) および式 (2) の閾値を設けた。

$$\sum R_{out} \geq 10\% \text{ of } R_{ref} \tag{1}$$

$$w_2 \leq 2w_1 \text{ and } h_2 \leq 2h_1 \tag{2}$$

これらの概念を図9に示す。ここで  $R_{ref}$  は正解矩形の面積、 $R_{out}$  はプログラム出力による候補領域、 $w_1$  および  $h_1$  はそれぞれ正解矩形の高さおよび幅 (pixel)、 $w_2$  および  $h_2$  はプログラム出力による候補領域の幅および高さとする。

条件 (c) および (d) に関しては式 (1) および式 (2) の and 条件を適用した。今回の評価においては、正解矩形の10%以上をカバーし、なおかつ候補領域が正解矩形の縦横倍以内だった場合に正しく検知したと判定した。

### 5.3 試験結果

以下の走行データを用いて評価を行った。

- (1) 障害物のない背景用映像：4 走行
- (2) 障害物として人物が存在する映像：9 走行
- (3) 障害物として人物以外が存在する映像：8 走行

データベースから参照する過去の走行映像は直近に取得した背景映像とした。一回の走行からは各フレームに対して検知したか否かの二値の結果のみが得られるため、

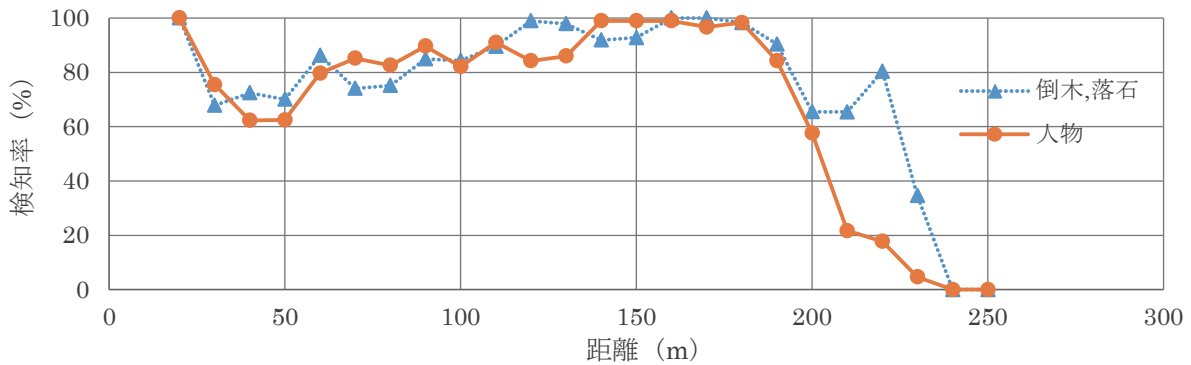


図 10 距離別の検知率

検知率の算出は式 (3) より行った。

$$\text{検知率} = \frac{\text{障害物を正しく検知したフレーム数}}{\text{単位距離あたりのフレーム数}} \quad (3)$$

なお単位距離を 10m として算出した。解析対象とした映像は 1 走行あたり 400 フレーム弱であり、障害物が人物時およびそれ以外の時の各 2500 フレームを評価した。評価結果を図 10 に示す。

提案手法は事前学習を行う必要がなく、検知能力に関しては、対象物が人物また非人物に関わらず同等の性能であり、距離 150m 前後で非常に良好な結果が得られた。また、検知距離においても最遠方では 200m 以遠の遠方から検知に成功した。ただし、誤検知に関しては距離に関わらず一定量発生している。これに関しては現在、単一フレームでのみ障害物の判定を行っているため、時間方向の複数フレーム処理によりある程度の改善が見込める。

評価対象とした試番は、日差しの影響の少ない冬季のデータであり、異なる季節データを用いた場合は本稿で示した性能が出ない可能性がある。

## 6. おわりに

単眼カメラと背景差分を用いた障害物の種類によらない検知手法として過去に走行した映像と現在の映像を用いた背景差分を提案し、所内試験線にて車両を用いた性能検証を行った。検証の結果、検知性能としては有効距離、検知率共に良好な結果が得られたが、誤検知率の低減に向けて改良の必要がある。

今後は複数フレームでの総合的な検知有無の判断や、リアルタイム化へ向けた改良を行うとともに、様々な季

節によるデータや、夜間における評価や参照映像の更新方法等について進めていく。

## 文 献

- 1) 富士重工株式会社：スバルアイサイト搭載車の事故件数調査結果について、2016 年 1 月  
[http://www.fhi.co.jp/press/news/2016\\_01\\_26\\_1794/](http://www.fhi.co.jp/press/news/2016_01_26_1794/)  
(参照日：2016 年 12 月 1 日)
- 2) 水間毅ほか：運転状況記録装置（映像型）の開発、鉄道技術連合シンポジウム（J-Rail2006）講演論文集，pp.409-412，2006
- 3) 国土交通省：運輸安全委員会，2016  
<http://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/railway/>  
(参照日：2016 年 12 月 1 日)
- 4) Intel Corporation：“Telecommunications and auto-motive players form global cross-industry 5G automotive association”，2016 年 9 月。  
<https://newsroom.intel.com/news-releases/>  
(参照日：2016 年月 12 月 1 日)
- 5) 小島祥子：自動車運転支援のための高精度自車位置推定に関する研究，名古屋大学，2015
- 6) 竹川博夫ほか：小型 3D 測域センサの開発と性能確認，第 15 回計測自動制御学会，1M1-2，pp.0946-0951，2014
- 7) 志磨健ほか：自動車向け画像認識技術とステレオカメラによる距離計測，応用物理学会，光学 41（5），pp.287-291，2012
- 8) 山下隆義ほか：回帰型 Deep Convolutional Neural Network による人検出と部位の位置推定，画像センシングシンポジウム，2015
- 9) 鶴飼正人ほか：光学画像センサによる列車前方の監視手法，鉄道総研報告，Vol.26，No.7，pp.29-34，2012