

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420213

研究課題名(和文) マイクロモビリティ高齢者ドライバを支えるアクティブセーフティセンシングシステム

研究課題名(英文) Active safety sensing system supporting elderly driver of micro mobility

研究代表者

橋本 雅文 (HASHIMOTO, MASAFUMI)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：10145815

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：超高齢化社会における超小型電気自動車(マイクロモビリティ)に関して、高齢者ドライバの安全快適な運転を支援する予防安全の基礎研究として、自車両や周辺車両、環境インフラが装備するレーザスキャナからのセンシング情報をクラウド上に集約することで、見通しの悪い環境においても死角を軽減して静止障害物や移動障害物を検出し、移動障害物(移動物体)の位置や速度、大きさを高精度に認識するとともに、車両の急発進や急旋回、蛇行運転、人物の転倒など、交通環境における移動物体に対する様々な突発異常挙動を認識する方法を検討し、特性評価実験を行った。

研究成果の概要(英文)：As a fundamental study to achieve active safety supporting elderly drivers of micro mobility (small electric vehicle), we studied the following sensing systems: cooperative recognition of moving objects, such as people, cars, and bicycles, by fusing sensing data from in-vehicle laser scanners and ground laser scanners, in order to improve the recognition accuracy and reliability even in crowded environments where many occlusions often occur. sudden anomaly behavior recognition of moving objects, such as sudden starting, turn, and meandering motions of vehicles and falling motion of people. We evaluated the proposed sensing system through experiments using mobile robots' platform (a micro mobility and electric wheelchair) equipped with multilayer laser scanner.

研究分野：ロボティクス, メカトロニクス, ITS, 知覚情報処理

キーワード：マイクロモビリティ, アクティブセーフティ, レーザスキャナ, 環境センシング, 移動物体認識, 協調型認識, 異常挙動認識

### 1. 研究開始当初の背景

高齢社会を迎えた先進国において、高齢者ドライバによる交通事故の低減には、事故等の異常事態を未然に防ぐアクティブセーフティ（予防安全）に基づく運転支援システムの実現が重要である。

予防安全の実現には、時々刻々変化する多様な状況下においても、走行環境や自車の状況を信頼性高く認識できるセンシング技術の確立が重要な課題である。特にクラッシュブルゾーンが小さなマイクロモビリティでは、従来に比べてより高度なセンシング・認識技術に基づく予防安全が要望されている。

しかし、①走行環境センシングに関して、見通しの良い環境における障害物（静止障害物、移動障害物）の認識技術は成熟しつつあるものの、死角が頻繁に生じる見通しの悪い雑踏環境において、車自らが障害物を高精度で認識する技術はいまだ不十分である。また、②暴走等の車両の異常状態を車自らがモニターする車両異常事象センシングに関してはほとんどなされておらず、早急な技術開発が望まれている。

### 2. 研究の目的

本研究では、車載センサやインフラセンサとして、近年、その精度から急速に注目されているマルチレイザレーザスキャナを対象として、以下のセンシング手法を開発し、カー・ロボティクスにおけるアクティブセーフティ分野の発展・進展に寄与する。

#### (1) 協調移動物体認識センシング

自車両のセンシング情報と周辺車両や環境インフラからの周辺環境のセンシング情報をクラウド上に集約して死角を軽減し、高精度の周辺環境を認識（特に自動車、二輪車、人物などの移動物体認識）するセンシング手法の開発

#### (2) 車両異常事象センシング

自車両のセンシング情報、周辺車両や環境インフラからのセンシング情報により車両の急旋回や蛇行運転、人物の転倒など、交通環境における自動車、二輪車、人物などの移動物体に対する様々な突発異常挙動を検出するセンシング手法の開発

#### (3) 実験プラットフォームの構築と評価実験

### 3. 研究の方法

#### (1) 協調移動物体認識センシング

##### ① 階層型移動物体認識

2台のロボット（車両）による協調移動物体認識の構成を図1に示す。世界座標系で表現した環境地図として、自車周辺の平面を格子状のセルに分割し、各セルに高さ情報を登録した格子地図を用いる。

各ロボットはレーザスキャナにより周囲環境をセンシングし、センサ座標系で得たレーザ観測点群（スキャンデータ）を自己姿勢情報を用いて格子地図にマッピングする。次にセル占有時間に基づく占有グリッド法を

用いて、移動物体に関するレーザ観測点が占有するセル（移動セル）、静止物体に関するレーザ観測点が占有するセル（静止セル）を検出する。そして、隣接する移動セルをグループ化する。

各ロボットは移動グループ検出の処理が終わると、移動グループ情報をもとに移動物体を追跡し、移動物体認識情報（物体の大きさ、位置、速度情報など）をサーバに送信する。サーバは各ロボットから送信されてきた移動物体認識情報を統合する。

なお、本研究では、認識物体の形状を直方体で表現し、高さは移動グループの高さ情報をそのまま用いる。幅、長さの大きさ推定は移動グループにより作られる長方形を観測値としてベイズフィルタにより推定する。

他方、移動物体の位置・速度は、大きさ推定で求めた長方形の重心位置を観測値として、カルマンフィルタにより求める。

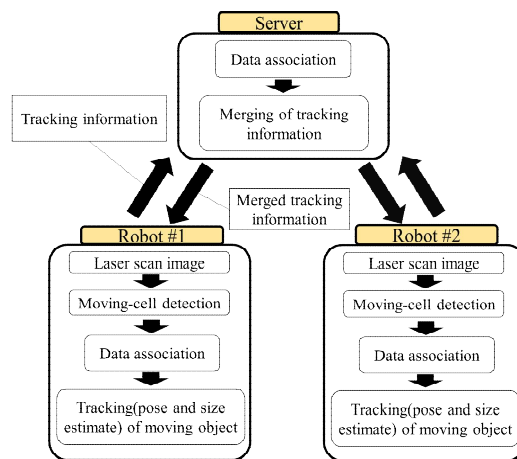


図1 階層型協調移動物体認識の構成

##### ② 非GNSS環境下での移動物体認識

上述した協調移動物体認識では世界座標系での正確な自己姿勢推定情報が必要となる。非GNSS(global navigation satellite system)環境下のように、自己姿勢推定情報が不正確となり、推定精度が2台のロボット間で異なる場合、同一物体に対するスキャンデータを格子地図上へマッピングする結果に誤差が生じ、正確な協調移動物体認識が困難となる。

そこで、2台のロボット間の相対姿勢を推定して自己姿勢情報を修正することで正確な協調移動物体認識を行う。

相対姿勢の推定は、ロボットが近接する場合、2台のレーザスキャナの共通視野が存在することから、その共通視野内のスキャンデータを協調スキャンマッチングすることで実現する。協調スキャンマッチングの方法として、4PCS(4 points congruent sets)法によりランドマークマッチングを行って粗な相対姿勢を推定し、それを初期相対姿勢としてICP(iterative closest point)法を用いることで正確な相対姿勢を求める。

非GNSS環境下での協調移動物体認識の構

成を図2に示す。なお、議論を簡単にするため、協調移動物体認識の形態としては上述の階層型とは異なり、ロボット上での移動物体検出情報をサーバ上に集約した上で移動物体認識を行う集中型移動物体認識を想定している。

ロボット1が協調スキャンマッチングに必要な情報（タイムスタンプ、自己姿勢情報、共通視野内のスキャンデータ情報、共通視野内で検出されたランドマーク数とその位置情報）をロボット2に送信する。ロボット2はそれらの情報と自身のスキャンデータをもとに、協調スキャンマッチングによりロボットの相対姿勢を推定する。そして、相対姿勢推定情報とロボット1の自己姿勢情報をもとに、ロボット2の自己姿勢を修正する。

そして、修正された自己姿勢情報を用いて移動物体認識を行う。

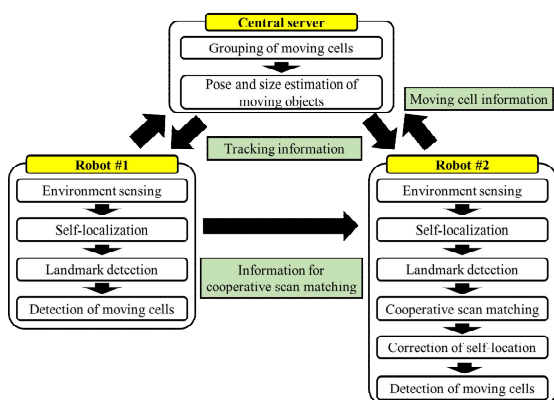


図2 非GNSS環境における協調移動物体認識の構成

## (2) 車両異常事象センシング

移動物体認識において、認識物体の位置や速度、大きさ情報以外に物体の急加減速（急発進や急停止）や急旋回、蛇行走行などの危険挙動を瞬時に認識できれば、衝突予防安全の性能は大きく向上する。

急加減速や急旋回は、時々刻々に計測される移動物体の位置情報をもとにベイズフィルタにおけるIMM (Interacting multiple model) 法により認識する。IMM法では追跡物体の運動モデル（状態モデル）として、直進一定速度モデル、直進加減速モデル（急加減速モデル）、旋回一定速度モデル、旋回加減速モデル（急旋回モデル）など、想定される追跡物体の運動モデルを多数準備し、それぞれのモデルにカルマンフィルタを適用して、各モデルの状態推定とともにモデル生起確率を推定する。

そして、生起確率推定値が最大となった運動モードが現在生じている状態と判定する。例えば急旋回モードの生起確率推定値が大きくなった場合、移動物体は急旋回をしていると判定する。なお、IMM法による状態推定値 $\hat{x}$ は各モデル状態推定値の重み付き線形和で算出する。

$$\hat{x} = \sum_{i=1}^n \hat{\mu}_i \hat{x}_i$$

ただし、 $\hat{x}_i$ 、 $\hat{\mu}_i$ はそれぞれ、モデル $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )の状態推定値と生起確率。

## (3) 実験プラットフォームの構築

試作した移動ロボットの外観を図3に示す。ロボットはマイクロモビリティと電動車いすをベースに構築している。環境認識センサとして車体上部にレーザスキャナ(Velodyne製 HDL-32E)とRTK-GPS (NovAtel社製 GPS-702-CG)を搭載している。

レーザスキャナ情報とGPS情報のサンプリング周期はともに0.1[s]である。各ロボットは無線LANによりロボット相互、サーバとの通信が可能である。

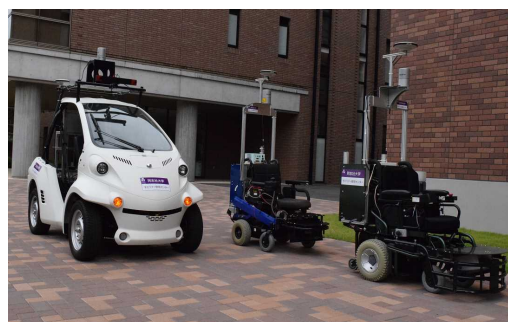


図3 実験プラットフォーム（移動ロボット）の外観

## 4. 研究成果

### (1) 協調移動物体認識センシング

#### ① 階層型移動物体認識

図4に示す環境において、2台の移動ロボットにより1台の自動車、1台の二輪車、1人の歩行者を追跡する実験を行った。ロボット1は約4[km/h]で移動し、ロボット2は静止させている。自動車、二輪車はともに約15[km/h]、歩行者は約10[km/h]で移動する。

図5(a), (b)にそれぞれ、階層型認識法、従来の集中型認識法による移動物体の走行推定軌跡と大きさ推定結果を示す。各ロボットは建物の陰になり移動物体を一時的にしか認識できていないが、協調認識では常に移動物体を追跡できるようになる。また、図5から階層型認識法と集中型認識法は同程度の認識性能を持つことが分かる。

表1にロボットからサーバへのデータ送信量を示す。階層型認識法は従来の集中型認識法と比較して、ロボット、サーバ間の送受信データ量が低減できているのが分かる。

ロボット上での移動物体検出情報をサーバ上に集約した上で移動物体認識を行うこれまでの集中型認識法はサーバ故障やサーバ・センサノード間の通信系の故障に対しては脆弱であるとともにロボットの台数が増えるにつれて、通信量やサーバでの計算負荷が大きくなる欠点があった。本研究で提案した階層型認識法はこれらの欠点を軽減することが可能となった。

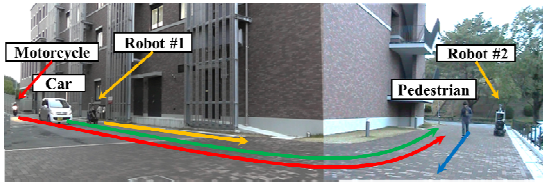
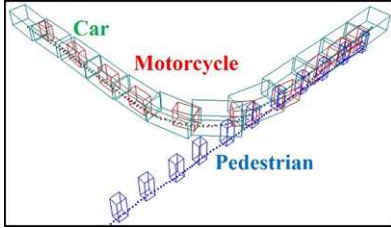
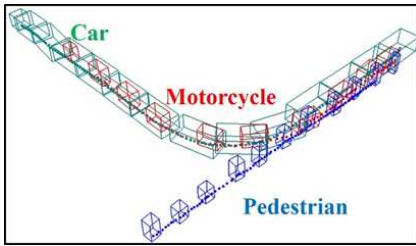


図 4 実験環境



(a) 階層型認識



(b) 集中型認識

図 5 移動物体認識結果

表 1 ロボットからサーバへの送信データ量

	Hierarchical method			Centralized Method		
	Max. [byte]	Min. [byte]	Mean [byte]	Max. [byte]	Min. [byte]	Mean [byte]
Robot #1	72	8	36	620	8	272
Robot #2	168	8	59	584	8	231

## ②非 GNSS 環境下での移動物体認識

図 6 に示す環境において、2 台のロボットにより歩行者 1 人、自動車 1 台、二輪車 1 台を追跡する。図 7 にこれら移動物体の移動経路を示す。ロボット 1 は静止させ、ロボット 2 のみを約 0.5 [m/s] で走行させた。歩行者は約 2.1 [m/s]、二輪車と自動車は約 4.2 [m/s] で移動している。

図 8(a) に提案手法による移動物体の推定走行軌跡と大きさ推定結果を示す。比較のため、ロボット 2 がデッドレコングにより移動中の自己姿勢を推定し、協調移動物体追跡を行った結果を図 8(b) に示す。

協調スキャンマッチングを行わない場合は、図 8(b) に示すように、デッドレコングによるロボット 2 の自己姿勢推定に誤差が生じ、ロボット 1 との相対姿勢が不正確となる。そのため、同一移動物体に対するスキャンデータのマッピングに誤差が生じ、自動車や歩行者の大きさが実際より大きく推定され、また、二輪車のように同一物体であるにもかかわらず、途中、異なる物体として追跡される。

他方、提案手法による協調スキャンマッチングを用いた協調移動物体追跡では、図 8(a) に示すように、自動車の大きさが実際の大きさに近い値に推定でき、また、同一物体を異なる物体として誤認することはなくなる。

今後の課題としては、広域で煩雑な実環境での検証実験、粗な相対姿勢推定時における任意形状のランドマークの利用、協調自己姿勢認識に基づくロボットの自己姿勢認識法の確立などが挙げられる。



図 6 実験環境

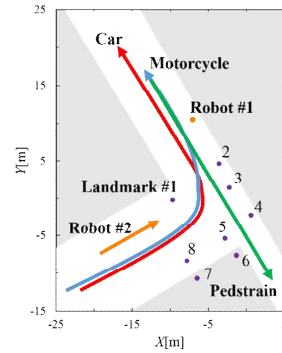
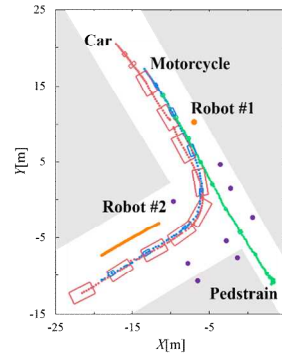
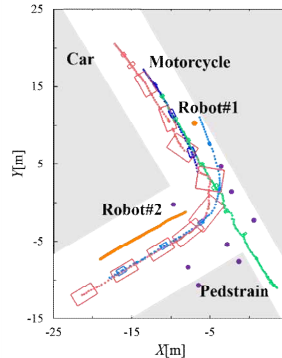


図 7 移動経路



(a) 協調スキャンマッチングあり



(b) 協調スキャンマッチングなし

図 8 移動物体認識結果

## (2) 車両異常事象センシング

図9 に示す環境において、自動車が走行中に急に右旋回を行った場合、IMM法により行った急旋回の認識結果を図10(a)に示す。図中の太線の直方体が危険挙動を検出した部分である。

移動物体の蛇行状態は、移動物体認識時に推定した移動物体の旋回速度情報を用いる。移動物体が蛇行すると、通常走行時よりも旋回速度の変動が大きくなる。そこで旋回速度推定値の変動（標準偏差）を求め、標準偏差値が大きくなった場合に蛇行状態と判定する。自動車が走行中に蛇行を行った場合の認識結果を図10 (b) に示す。

自動車の危険挙動は2次元的な挙動のみであるが、二輪車や人物は転倒等の3次元的な危険挙動も生じる。3次元的な危険挙動もIMM法により検出できる。

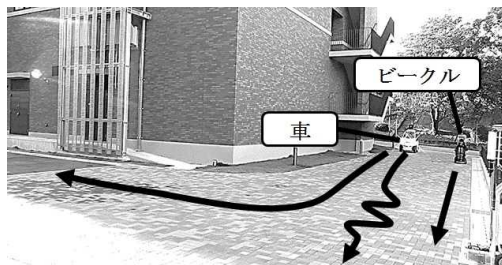
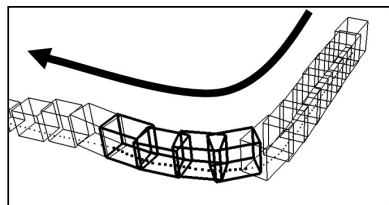
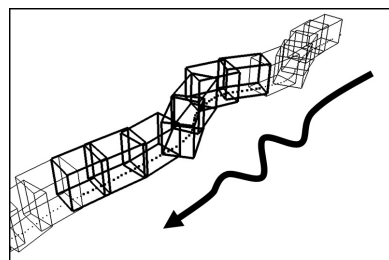


図9 実験環境



(a) 急旋回認識結果



(b) 蛇行状態認識結果

図10 突発挙動認識

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

- ① 金生 翔太, 橋本 雅文, 余田 侑仁, 高橋 和彦, レーザスキャナを搭載する複数移動ロボットによる非 GNSS 環境下での協調移動物体追跡, 日本機械学会論文集, Vol. 83, 2017, DOI:10.1299/transjsme. 17-00138, 査読有
- ② 乾 公昭, 森川 昌英, 橋本 雅文, 所谷 康

平, 高橋 和彦, NDT スキャンマッチングに基づく車載レーザスキャナ観測点群の歪補正, 日本機械学会論文集, Vol. 83, 2017, DOI:10.1299/transjsme.17-00061, 査読有

- ③ Kimiaki Inui, Masahide Morikawa, Masafumi Hashimoto, and Kazuhiko Takahashi, Distortion Correction of Laser Scan Data from In-vehicle Laser Scanner based on Kalman Filter and NDT Scan Matching, Proc. of the 14th Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics, pp.329-334, 2017, DOI: 10.5220/0006422303290334, 査読有
- ④ Shota Kanaki, Masafumi Hashimoto, Yuto Yoden, and Kazuhiko Takahashi, Laser-based Cooperative Tracking of Vehicles and People by Multiple Mobile Robots in GNSS-denied Environments, Proc. of IEEE Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 1228-1233, 2017, DOI: 10.1109/AIM.2017.8014186, 査読有
- ⑤ Yuto Tamura, Ryohei Murabayashi, Masafumi Hashimoto, and Kazuhiko Takahashi, Hierarchical Cooperative Tracking of Vehicles and People Using Laser Scanners Mounted on Multiple Mobile Robots, Int. J. on Advances in Intelligent Systems, Vol. 10, pp. 90-101, 2017, [https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=intsys\\_v10\\_n12\\_2017\\_9](https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=intsys_v10_n12_2017_9), 査読有
- ⑥ Masafumi Hashimoto, Mitsuo Yuminaka, and Kazuhiko Takahashi, Laser-based People Tracking System using Multiple Ground Laser Scanners, Proc. of the first IASTED Int. Conf. on Intelligent Systems and Robotics, pp. 95-101, 2016, 査読有
- ⑦ Shota Kanaki, Ryohei Murabayashi, Koki Fujishita, Kimiaki Inui, Masafumi Hashimoto, and Kazuhiko Takahashi, Cooperative Moving- Object Tracking with Multiple Mobile Sensor Nodes -Size and Posture Estimation of Moving Objects using In-vehicle Multilayer Laser Scanner-, Proc. of 2016 IEEE Int. Conf. on Industrial Technology, pp. 59-64, 2016, DOI: 10.1109/ICIT.2016.7474726, 査読有
- ⑧ 泉 竜之輔, 橋本 雅文, 田村 祐人, 高橋 和彦, 複数台の移動ロボットによるレーザ距離計測に基づく移動物体大きさ・姿勢推定法, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.81, 2015, DOI:10.1299/transjsme.14-00388, 査読有
- ⑨ Masafumi Hashimoto, Azusa Nishio, Asushi, Tsuji, and Kazuhiko Takahashi, Laser-Based Tracking of Group of People with Sudden Change in Motion, Proc. of 2015 IEEE Int. Conf. on Industrial Technology, pp. 315-320,

2015, DOI: 10.1109/ICIT.2015.7125117, 査読有

[学会発表] (計 24 件)

- ① 余田 侑仁, 橋本 雅文, 高橋 和彦, レーザスキャナを搭載する複数移動ロボットによる協調移動物体追跡に関する研究—非 GNSS 環境における協調自己姿勢推定情報に基づく追跡—, 日本機械学会第 26 回 交通・物流部門大会, 2017
- ② 林 振滄, 橋本雅文, 高橋和彦, 高解像度マルチレイヤレーザスキャナによるサポートベクトルマシンに基づくビークルと人物認識, 日本機械学会第 26 回 交通・物流部門大会, 2017
- ③ 村林諒平, 小谷 涼, 橋本雅文, 高橋和彦, レーザスキャナを搭載する複数移動ロボットによる協調移動物体追跡, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2017
- ④ 金生翔太, 橋本雅文, 余田侑仁, 高橋和彦, レーザスキャナを搭載する複数移動ロボットによる非 GNSS 環境下での協調移動物体追跡, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2017
- ⑤ 乾 公昭, 森川昌英, 橋本雅文, 所谷康平, 高橋和彦, NDT スキャンマッチングに基づく車載レーザスキャナ観測点群の歪補正, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2017
- ⑥ 村林諒平, 金生翔太, 橋本雅文, 高橋和彦, レーザスキャナを搭載する複数移動ロボットによる階層型協調移動物体追跡, 第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2016
- ⑦ 金生翔太, 村林諒平, 橋本雅文, 高橋和彦, レーザスキャナを搭載する複数移動ロボットによる協調移動物体追跡—非 GNSS 環境におけるロボット相対姿勢情報に基づく協調追跡—, 第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2016
- ⑧ 山本健人, 辻 篤史, 橋本雅文, 高橋和彦, 高解像度マルチレイヤレーザスキャナによる人物の追跡と突発挙動認識, 第 60 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2016
- ⑨ 藤下攻輝, 橋本雅文, 高橋和彦, 車載マルチレイヤレーザスキャナによる移動物体追跡と挙動検出, 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 2016
- ⑩ 弓中光雄, 橋本雅文, 高橋和彦, 複数インフラセンサノードによるレーザベースト人物追跡, 日本機械学会 第 24 回 交通・物流部門大会, 2015
- ⑪ 田村 祐人, 橋本 雅文, 高橋 和彦, 複数の移動センサノードによる協調移動物体追跡—車載レーザスキャナに基づく分散型移動物体大きさ・姿勢推定—, 第 16 回

計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2015

- ⑫ 安部雄太, 辻篤史, 橋本雅文, 高橋和彦, 複数の 4 層レーザスキャナによるレーザベースト人物追跡, 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 2015
- ⑬ 泉 竜之輔, 田村祐人, 橋本雅文, 高橋和彦, マルチ移動ロボットによるレーザベーストな移動物体大きさ・姿勢推定法, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2014

[図書] (計 2 件)

- ① 橋本雅文 他, シーエムシー出版, 自動運転車・ミラーレス車用カメラ・センサの技術と市場, 「第 3 章レーザスキャナによる移動物体認識技術を分担執筆」, 2018, 229pp. (担当 pp.24-34)
- ② 橋本雅文 他, 技術情報協会, 車載センシング技術の開発と ADAS・自動運転システムへの応用, 「第 5 章第 2 節レーザスキャナによる移動物体認識技術を分担執筆」, 2017, 518pp. (担当 pp.173-183)

[その他]

- ① 展示・デモ: Laser Tracker~目に見えない光で環境内の動くものをみる~, 池田泉州銀行ビジネスエンカレッジフェア, 大阪国際会議場, 2015. 12. 3~12. 4
- ③ 展示・デモ: 目に見えない光で環境内の動くものをみる Laser Tracker: レーザレーダによる歩行者や自動車等の移動物体認識, けいはんな情報通信 フェア 2015, けいはんなプラザ, 2015. 10. 29~10. 31
- ② テレビ取材: 夢の車が現実に! ? 自動運転システムの最前線!, J:COM 関西 TODAY ジモト watch, 2015.7.8 放映
- ④ 展示・デモ: 移動物体認識システム, 京都スマートシティエキスポ 2015, けいはんなオープンイノベーションセンター(KICK), 2015.5.21~5.22, <https://www.kyoto-smartcity.com/result.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

橋本 雅文 (HASHIMOTO, Masafumi)  
同志社大学・理工学部・教授  
研究者番号: 10145815

### (2) 研究分担者

菅沼 直樹 (SUGANUMA, Naoki)  
金沢大学・新学術創成研究機構・准教授  
研究者番号: 50361978

### (3) 連携研究者

高橋 和彦 (TAKAHASHI, Kazuhiko)  
同志社大学・理工学部・教授  
研究者番号: 90332808