

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330205

研究課題名(和文) 移動ロボットのためのJAUS準拠サブシステムの開発と統合に関する研究

研究課題名(英文) A Study of Integration of JAUS-compliant sub-system for the mobile robot

研究代表者

小林 一行 (KOBAYASHI, Kazuyuki)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：50287843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：移動ロボットのためのJAUS準拠サブシステムの開発と統合に関する研究を行うため、JAUS Referenceに基づき、サブシステムの開発・実装を行った。その実証、デモンストレーションの場としてつくばチャレンジ、Intelligent Ground Vehicle Competitionにて実験を行った。特にJAUSの実装では、IGVC2013のJAUS Challengeで優勝、IGVC2014のInterOperability Profiles Challengeで優勝、IGVC2015のIOP Challengeで6位入賞を果たし、実装において互換性のレベルの高さを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we develop a JAUS compliant subsystem for intelligent mobile robots. Based on JAUS Reference Architecture AS6009 (Mobility Service Set), AS6040 (HMI Service set), AS6057 (Manipulation Service set), AS6062 (Mission Spooling Service set), AS6060 (Environment Sensing set), we develop various types of JAUS compliant subsystems which are required for both IGVC and Tsukuba Challenge during the period from 2013 to 2015. Especially, practical implementation of JAUS in IGVC2013, we achieve 1st prize award at JAUS challenge. And also in IGVC2014, we achieve 1st prize award at Interoperability profiles challenge (which changed name from JAUS challenge). In IGVC2015, we achieve 6th prize award at Interoperability profiles challenge that demonstrates high level interoperability of our implementation about the JAUS.

研究分野：移動ロボット

キーワード：IGVC JAUS つくばチャレンジ Interoperability 移動ロボット

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化社会を迎え労働力が不足する我が国日本において人と共存できる安全な自律型移動ロボット(災害時におけるレスキューロボット、偵察ロボット、パーソナルモビリティロボット、高齢者移動支援のインテリジェントロボットなど)の開発は喫緊の課題である。

我が国の自律型移動ロボットに関する研究レベルは高いが、サブシステムを統合する相互接続については考慮されていない。そのため、未曾有の大規模災害となった東日本大震災においても、ロボットの実用的な運用ができないなど日本のロボットのプレゼンスの低さが露呈された。

サブシステムの相互接続に関する考慮は、情報機器のコモディティ化に代表されるように、サブシステムの低コスト化と開発期間の短縮など、一般への普及において重要な働きを持つ。

移動ロボットに関して米国では、すでに1995年から国防総省が主導し JAUS の開発をスタートしている。2004年には、無人飛行ロボットの規格を策定、実機に適用し、センシングと制御をサブシステム化することで、移動ロボットのコストダウンおよび開発サイクルの短縮などのメリットを生かしている。

日本では、同様のアプローチを指向している RT-Middleware が見られる程度である。米国のアプローチは、サブシステム間のメッセージのみの規定であるため、インターフェースが統一しやすく、相互接続が容易である。

移動ロボット分野でどちらが主導権を握るかを考えた場合、米国国防総省の出資で開発されたインターネット、GPS が当初、軍事目的で開発され民生用として広く普及し、世界のデファクトスタンダードとなったように、この JAUS も今後、移動ロボットにおけるデファクトスタンダードとして普及していく可能性は十分高いであろうと想定される。JAUS は、DARPA Grand Challenge などに出場している移動ロボットにも採用され成功を収めている。申請者ら研究グループでは、JAUS に関する実装および研究を、2005年から着手しており、毎年参加している IGVC 大会で開催された JAUS Challenge において2010、2012年には、準優勝、2011年には優勝するなど JAUS 実装においては実績がある。

2. 研究の目的

人と共存できる安全な自律型移動ロボットの開発は、米国はもちろん、我が国日本においても、現在盛んに行われている研究の一つである。特に屋外を含む実環境での技術チャレンジは、トピックとして注目されており、日本では、つくばチャレンジ、米国では、Intelligent Ground Vehicle Competition などが開催され、自律型移動ロボットのための技術開発および実証実験の場となっている。本研

究では、米国のデファクトスタンダードとなりつつある移動ロボットの規格である JAUS(Joint Architecture for Unmanned Systems)を、ロボット内サブシステム間通信に適用することで、相互接続を重視した JAUS 準拠ロボットのための要素技術の開発・検討を行う。

3. 研究の方法

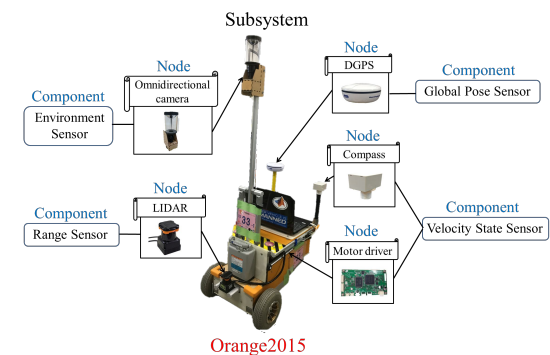
2009年以降に策定された、最新 JAUS リファレンスである AS6009(Mobility Service Set), AS6040(HMI Service set), AS6057(Manipulation Service set), AS6062(Mission Spooling Service set), AS6060(Environment Sensing set)に基づき、以下の3つのサブシステムの開発・実装を行う。本研究は、主として研究代表者および、大学院生 修士課程 8名程度および学部生により実施する予定である。過去16年間の IGVC 大会の参加実績に基づき、計画的に役割分担を行い、本目的を達成するために以下の3つのサブテーマについての研究を行った。

- (1)JAUS 準拠制御サブシステムの開発
- (2)JAUS 準拠環境センシングサブシステム開発
- (3)JAUS 準拠安全走行システムの統合

4. 研究成果

(1)JAUS 準拠制御サブシステムの開発

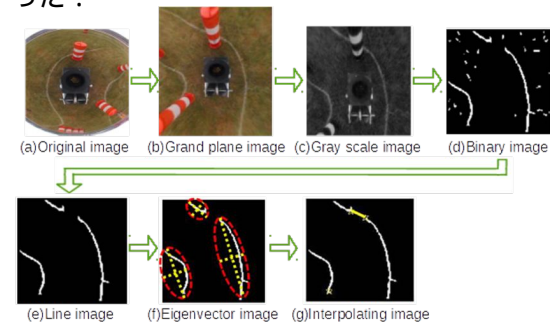
JAUS 準拠制御サブシステムを構築し、つくばチャレンジ、IGVC などの競技大会で、その検証実験を行った。

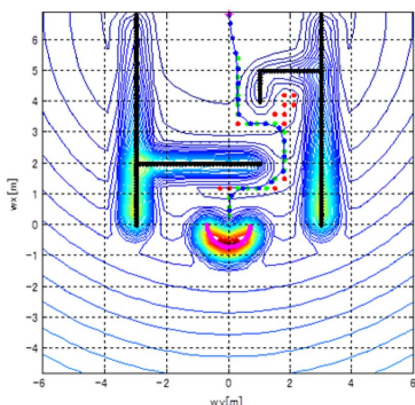


主な研究成果 [論文, 学会発表, , , , , ③⑩]

(2)JAUS 準拠環境センシングサブシステム開発

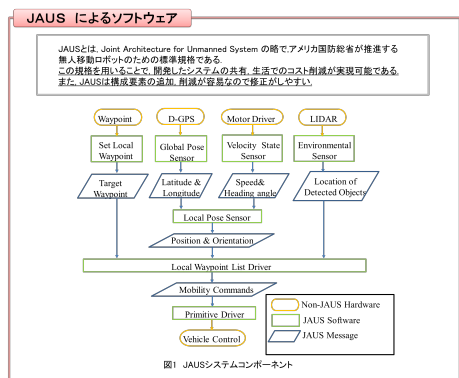
つくばチャレンジ、IGVC などの競技大会などでの環境認識に必要な JAUS 準拠環境センシングサブシステムを構築し、その検証を行った。





主な研究成果 [論文, 学会発表, , , , ,  
②④,②⑤,②⑨,③①,③④,③⑦,③⑨,④①,④②]

(3)JAUS 準拠安全走行システムの統合  
JAUS 準拠制御サブシステムおよび環境セン  
シングサブシステムを統合し,つくばチャレ  
ンジ,IGVC などの競技大会でその実証実験  
を行った.



主な研究成果 [論文, ,学会発表, , , , , , , , , , ,  
③⑧,④①]

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

小林一行, 人追尾ロボットの MATLAB 信号処理,Interface, 査読無, CQ 出版, Vol.42, No.2, 96-106, 2016

Hideyuki Saito, Kazuyuki Kobayashi, Kajiyo Watanabe, and Tetsuo Kinoshita, New Lane Detection Algorithm that Emulates Human Color Recognition, Journal of Robotics and Mechatronics,査読有, Vol.27, No.4, 382-391, DOI: 10.20965/jrm.2015.p0382, 2015

Kentaro Ueno, Tetsuo Kinoshita, Kazuyuki Kobayashi, and Kajiyo Watanabe, Development of a Robust Path-Planning Algorithm Using Virtual Obstacles for an Autonomous Mobile Robot, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.27, No.3, 286-292, 2015

DOI: 10.20965/jrm.2015.p0286, 2015

高橋 一成, 小林一行, 渡辺 嘉二郎, 栗原 陽介, IGVC の走行環境を考慮した LRF ベース高速自己位置推定アルゴリズムの提案, 計測自動制御学会誌,査読有, Vol.50, No.2, 155-161, 2014

[学会発表](計 42 件)  
堀地恒生, 木下哲郎, 吉田智哉, 小林一行, ロボットの移動を考慮した距離補正アルゴリズムの開発, 第 42 回ファジィ・ワークショップ, 査読無, Mar.19, 首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス(東京都・千代田区), 51-52, 2016

福田一輝, 竹内 泰人, 竹林洋亮, 堀地恒生, 下川純佳, 木下哲郎, 吉田智哉, 小林一行, JAUS 準拠移動ロボット「Orange2015」の開発, つくばチャレンジ 2015 開催記念シンポジウム参加レポート集, 査読無, Jan.5, 筑波大学(茨城県・つくば市), 118-119, 2016

福田一輝, 竹林洋亮, 竹内泰人, 堀地恒生, 下川純佳, 木下哲郎, 吉田智哉, 小林一行, つくばチャレンジ 2015 における自律移動ロボット「Orange2015」の開発, 第 16 回システムインテグレーション部門講演会(SI2015), 査読無, Dec.14-16, 名古屋国際会議場(愛知県・名古屋市), 394-396, 2015

松島羽純, 小林一行, ROS を使ったシミュレーション環境の構築, 第 68 回知的システム研究会(SIC2015-2), 査読無, Dec. 5, 法政大学小金井キャンパス(東京都・小金井市), 27-28, 2015

下川純佳, 小林一行, JAUS メッセージ解析ツールの開発, 第 68 回知的システム研究会(SIC2015-2), 査読無, Dec. 5, 法政大学小金井キャンパス(東京都・小金井市), 19-20, 2015

竹林洋亮, 堀地恒生, 木下哲郎, 吉田智哉, 福田一輝, 竹内泰人, 下川純佳, 小林一行, IGVC2015 のための JAUS 準拠自律走行車の開発, SICE 産業応用部門 2015 年度大会, 査読無, Oct. 27, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都・目黒区), 65-67, 2015

竹林洋亮, 吉田智哉, 小林一行, 木下哲郎, 移動ロボットのスライディングモード制御の適用, 31st Fuzzy System Symposium, 査読無, Sep. 2-4, 電気通信大学(東京都・調布市), 155-156, 2015

Kazuki Fukuda, Tetsuo Kinoshita, Tomoya Yoshida and Kazuyuki Kobayashi, A study of obstacle-free node generation for mobile robot navigation, SICE Annual Conference 2015, 査読有, Jul.28-30, Hangzhou, China, 1362-1365, 2015

山崎岳, 福田一輝, 木下哲郎, 吉田智哉, 小林一行, ロボ剣大会に向けた剣道ロボットの開発, 第 67 回知的システム研究会(SIC2015-1), 査読無, Jul. 11, 法政大学市ヶ谷キャンパス(東京都・千代田区), 11-12, 2015

石川輝, 木下哲郎, 吉田智哉, 小林一行,

Segway における遠隔制御装置の開発, 第 67 回知的システム研究会(SIC2015-1), 査読無, Jul. 11, 法政大学市ヶ谷キャンパス (東京都・千代田区), 9-10, 2015

堀地恒生, 木下哲郎, 吉田智哉, 福田一輝, 竹林洋亮, 竹内泰人, 下川純佳, 小林一行, IGVC2015 出場へ向けた JAUS 準拠自律走行車の開発, 第 67 回知的システム研究会(SIC2015-1), 査読無, Jul. 11, 法政大学市ヶ谷キャンパス(東京都・千代田区), 7-8, 2015

竹林洋亮, 福田吉孝, 小林一行, スライディングモード制御に基づく移動ロボットの速度制御の開発, 第 41 回ファジィ・ワークショップ, 査読無, Mar. 6, 首都大学東京南大沢キャンパス(東京都・八王子市), 51-52, 2015

福田一輝, 小林一行, 移動ロボットのための高速走行可能領域検出法の一提案, 第 41 回ファジィ・ワークショップ, 査読無, Mar. 6, 首都大学東京南大沢キャンパス(京都・八王子市), 49-50, 2015

菊地彩花, 下川純佳, 小林一行, 渡辺嘉二郎, JAUS コンポーネントと RT-Middleware コンポーネントの比較, 第 41 回ファジィ・ワークショップ, 査読無, Mar. 6, 首都大学東京南大沢キャンパス(東京都・八王子市), 45-48, 2015

徳田真之佑, 高橋幹人, 福田吉孝, 竹林洋亮, 福田一輝, 木下哲郎, 小林一行, 渡辺嘉二郎, JAUS 準拠移動ロボット「Active2014」の開発, つくばチャレンジ 2014 開催記念シンポジウム参加レポート集, 査読無, Jan. 6, 筑波大学(茨城県・つくば市), 57-58, 2015

徳田真之佑, 福田吉孝, 高橋幹人, 福田一輝, 竹林洋亮, 木下哲郎, 小林一行, 渡辺嘉二郎, JAUS 準拠自律移動ロボット Active2014 の開発, 第 15 回システムインテグレーション部門講演会(SI2014), 査読無, Dec. 14-17, 東京ビックサイト(東京都・江東区), 394-396, 2014

Yoshitaka Fukuda, Kazuyuki Kobayashi, Kajiro Watanabe and Tetsuo Kinoshita, LIDAR based target object classification by using reflection intensity, SCIS-ISIS 2014, 査読有, Dec. 3-6, Kitakyushu Japan, 569-572, 2014

Shinnosuke Tokuda, Tetsuo Kinoshita, Kazuyuki Kobayashi, and Kajiro Watanabe, Development of collision-free-area detection algorithm for mobile robot, SCIS-ISIS 2014, 査読有, Dec. 3-6, Kitakyushu Japan, 565-568, 2014

Mikito Takahashi, Kazuyuki Kobayashi, Kajiro Watanabe and Tetsuo Kinoshita, Development of prediction based emergency obstacle avoidance module by using LIDAR for mobile robot, SCIS-ISIS 2014, 査読有, Dec. 3-6, Kitakyushu Japan, 561-564, 2014

Tetsuo Kinoshita, Kazuyuki Kobayashi and Kajiro Watanabe, Development of a fast self-localization algorithm based on laser range finders, SCIS-ISIS 2014, 査読有, Dec. 3-6, Kitakyushu Japan, 555-560, 2014

② 菊地彩花, 伊東一輝, 小林一行, 渡辺嘉二郎, 無人移動ロボットのための JAUS, RT-Middleware コンポーネントの比較, 第 66 回知的システム研究会(SIC2014-2), 査読無, Nov. 29, 筑波大学(東京都・文京区), 9-12, 2014

② 上町亮介, 小林一行, 渡辺嘉二郎, 路面環境に対応したメカナムホイールロボットのデッドレコニング, 第 66 回知的システム研究会(SIC2014-2), 査読無, Nov. 29, 筑波大学(東京都・文京区), 5-8, 2014

③ 福田一輝, 小林一行, 渡辺嘉二郎, 移動ロボットのための走行可能な領域の検出およびノード生成法の一提案, 第 66 回知的システム研究会(SIC2014-2), 査読無, Nov. 29, 筑波大学(東京都・文京区), 1-4, 2014

④ Fukuda Yoshitaka, Kobayashi Kazuyuki, Watanabe Kajiro, Kinoshita Tetsuo, Target Object Classification Based on a Fusion of LIDAR Range and Intensity Data, SICE Annual Conference 2014, 査読有, Sep. 9-12, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 1312-1317, 2014

⑤ Tokuda Shinnosuke, Watanabe Kajiro, Kobayashi Kazuyuki, Kinoshita Tetsuo, A Study of Collision Free Area Detection System for Autonomous Mobile Robot, SICE Annual Conference 2014, 査読有, Sep. 9-12, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 1308-1311, 2014

⑥ Takahashi Mikito, Kobayashi Kazuyuki, Watanabe Kajiro, Kinoshita Tetsuo, Development of Emergency Obstacle Avoidance Module for Mobile Robot in a Practical Real World Environment, SICE Annual Conference 2014, 査読有, Sep. 9-12, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 52-55, 2014

⑦ 竹林洋亮, 刈谷啓伸, 植野健太郎, 齋藤秀幸, 吉田智哉, 伊東一輝, 徳田真之佑, 高橋幹人, 福田吉孝, 福田一輝, 小林一行, 渡辺嘉二郎, IGVC2014 出場へ向けた JAUS 準拠自律走行車の開発, 第 65 回知的システム研究会(SIC2014-1), 査読無, Jul. 5, 法政大学小金井キャンパス(東京都・小金井市), 5-6, 2014

⑧ 菊地彩花, 伊東一輝, 福田吉孝, 小林一行, 渡辺嘉二郎, IGVC2014 の IOP チャレンジのための JUAS IDL に基づいた解析ツールとコントローラの開発, 第 65 回知的システム研究会(SIC2014-1), 査読無, Jul. 5, 法政大学小金井キャンパス(東京都・小金井市), 1-4, 2014

⑨ 福田吉孝, 小林一行, 渡辺嘉二郎, LIDAR

の距離情報と反射強度情報を用いた標識の発見, 第 40 回ファジィ・ワークショップ, 査読無, Mar. 7-8, 首都大学東京 南大沢キャンパス(東京都・八王子市), 67-68, 2014

③⑩高橋幹人, 小林一行, 渡辺嘉二郎, 実環境における自律移動ロボットの緊急回避モジュールの開発, 第 40 回ファジィ・ワークショップ, 査読無, Mar. 7-8, 首都大学東京 南大沢キャンパス(東京都・八王子市), 65-66, 2014

③⑪徳田真之佑, 小林一行, 渡辺嘉二郎, 深度センサを用いた走行可能領域の検出, 第 40 回ファジィ・ワークショップ, 査読無, Mar. 7-8, 首都大学東京 南大沢キャンパス(東京都・八王子市), 63-64, 2014

③⑫刈谷啓伸, 伊東一輝, 植野健太郎, 齋藤秀幸, 吉田智哉, 高橋幹人, 徳田真之佑, 福田吉孝, 小林一行, 渡辺嘉二郎, JAUS 準拠の自律移動ロボット「Orange2013」の開発, つくばチャレンジ 2013 開催記念シンポジウム参加レポート集, 査読無, Jan.7, 筑波大学(茨城県・つくば市), 39-40, 2014

③⑬刈谷啓伸, 伊東一輝, 植野健太郎, 齋藤秀幸, 吉田智哉, 福田吉孝, 徳田真之佑, 高橋幹人, 小林一行, 渡辺嘉二郎, つくばチャレンジ 2013 における自律移動ロボット「Orange2013」の開発, 第 14 回システムインテグレーション部門講演会(SI2013), 査読無, Dec.18-20, 神戸国際会議場(兵庫県・神戸市), 6-10, 2013

③⑭吉田智哉, 小林一行, 渡辺嘉二郎, 3DLRF を用いたつくばチャレンジにおけるターゲット発見法の一提案, 第 64 回知的システム研究会(SIC2013-2), 査読無, Dec 7, 法政大学市ヶ谷キャンパス(東京都・千代田区), 5-6, 2013

③⑮高橋幹人, 植野健太郎, 小林一行, 渡辺嘉二郎, 実環境における自律走行ロボットの緊急回避モジュールの開発, 第 64 回知的システム研究会(SIC2013-2), 査読無, Dec 7, 法政大学市ヶ谷キャンパス(東京都・千代田区), 1-2, 2013

③⑯ Kariya Hironobu, Amano Ryosuke, Moriyama Naruhito, Kobayashi Kazuyuki, Watanabe Kajiro, Development of a Laser Range Finder Based Local-Pose Component for JAUS-Compliant Mobile Robots in Dynamic Indoor Environments, SICE Annual Conference 2013, 査読有, Sep.14-17, Nagoya University, Nagoya, Japan, 1073-1079, 2013

③⑰ Ito Kazuki, Kobayashi Kazuyuki, Watanabe Kajiro, Amano Ryosuke, Moriyama Naruhito, Development of JAUS-Compliant Sensor Module for Autonomous Mobile Robots, SICE Annual Conference 2013, 査読有, Sep. 14-17, Nagoya University, Nagoya, Japan, 365-370, 2013

③⑱ Ueno Kentaro, Kobayashi Kazuyuki, Watanabe Kajiro, Amano Ryosuke, Moriyama

Naruhito, Development of JAUS Compliant Autonomous Robot Platform, SICE Annual Conference 2013, 査読有, Sep. 14-17, Nagoya University, Nagoya, Japan, 359-364, 2013

③⑲ Saito Hideyuki, Amano Ryosuke, Moriyama Naruhito, Kobayashi Kazuyuki, Watanabe Kajiro, Emergency Obstacle Avoidance Module for Mobile Robots Using a Laser Range Finder, SICE Annual Conference 2013, 査読有, Sep. 14-17, Nagoya University, Nagoya, Japan, 348-353, 2013

④⑰ Yoshida, Tomoya, Amano Ryosuke, Moriyama Naruhito, Kobayashi Kazuyuki, Watanabe Kajiro, Development of a New Rotational Swing Mechanism for Mobile Robot, SICE Annual Conference 2013, 査読有, Sep. 14-17, Nagoya University, Nagoya, Japan, 342-347, 2013

④⑱ 徳田真之佑, 天野亮佑, 森山成仁, 齋藤秀幸, 刈谷啓伸, 吉田智哉, 植野健太郎, 伊東一輝, 高橋幹人, 福田吉孝, 小林一行, 渡辺嘉二郎, IGVC2013 出場へ向けた JAUS 準拠自律走行車の開発, 第 63 回知的システム研究会(SIC2013-1), 査読無, Jul. 6, 筑波大学(茨城県・つくば市), 19-20, 2013

④⑳ 吉田智哉, 小林一行, 渡辺嘉二郎, 揺動機構を用いたセンサ検出範囲の拡張, 第 63 回知的システム研究会(SIC2013-1), Jul. 6, 筑波大学(茨城県・つくば市), 査読無, 17-18, 2013

〔その他〕

(1) Orange2015, 23th Intelligent Ground Vehicle Competition 参加出場 IOP Challenge 6 位, Design Competition 6 位, Oakland Univ. ,Jun. 5-8, 2015

(2) 自由自在な福祉用自律移動型ロボット, 青少年のための科学の祭典東京大会 in 小金井, 出展, 東京学芸大学, Oct 4, 2015

(3) Orange2015, Orange mini 2015, つくばチャレンジ 2015 参加出場, 走行距離 200.0m(10min35sec)/35m(35sec), Nov 8, 2015

(4) 山崎 岳, ロボット名「ケンコバ」, 第三回 ROBO-剣大会 参加出場, ダイナマイザー賞 受賞, Dec.5, 2015

(5) Orange2014, 22th Intelligent Ground Vehicle Competition 参加出場 総合 3 位, AutoNav Challenge 4 位, IOP Challenge 優勝, Oakland Univ. ,Jun. 6-10, 2014

(6) 自由自在な福祉用自律移動型ロボット, 青少年のための科学の祭典東京大会 in 小金井, 出展, 東京学芸大学, Aug. 31, 2014

(7) Orange2014, つくばチャレンジ 2014 参加出場, 走行距離 358.4m(11min24sec), 人発見 1/5, Nov. 17, 2014

(8) 山崎 岳, ロボット名「ケンコバ」, 第二回 ROBO-剣大会 参加出場, ベスト 8 画像処理テクニク賞, Dec.20, 2014

(9) Orange2013, 21th Intelligent Ground Vehicle Competition 参加出場 総合準優勝, AutoNav

Challenge 4 位, JAUS Challenge 優勝, Oakland Univ. ,Jun. 6-10, 2013.

(10)自由自在な福祉用自律移動型ロボット, 青少年のための科学の祭典東京大会 in 小金井, 出展, 東京学芸大学, Sep 8, 2013.

(11)Orange2013, つくばチャレンジ2013 参加出場,走行距離 974m, つくば市公道 Nov. 17, 2013.

ホームページ等

<http://www.ikko.k.hosei.ac.jp>

<http://www.arl.k.hosei.ac.jp>

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

小林 一行 ( KOBAYASHI, Kazuyuki )

法政大学・理工学部・教授

研究者番号 : 50287843