

令和 3 年 5 月 25 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06231

研究課題名（和文）超高齢社会での安全な福祉車両の運転を実現するビジュアルアシスト制御の効果分析

研究課題名（英文）Analysis of visual assist control to realize safety driving in super-aged society

研究代表者

松永 信智（Matsunaga, Nobutomo）

熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・教授

研究者番号：10363508

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：超高齢社会では支援の必要な高齢者でも、福祉車両の運転ができればQOLは大幅に向上する。しかし福祉車両の走行する歩行者空間は様々な移動体との混合交通となり、環境が複雑で自動走行が困難なため、手動操作との併用が求められる。本研究課題では認知能力の支援を目的として、複合現実(MR)を用いた福祉車両の操縦システムの設計を行う。MRを用いて利用者を含むシステム全体の操縦性能を向上するビジュアルアシスト制御系を構築し、利用者の自立に向けた福祉車両の運転支援システムの効果の分析を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでは、主に福祉車両の駆動系やその制御系設計が注目されており、操作する利用者の身体的衰え、認知能力、学習能力は考慮されていなかった。特に高齢者の操作スキルの不足は「慣れの問題」と考えられる事が多く、積極的なアシストは行われていなかった。認知系や判断系を同時に支援するためには、仮想空間の利用が鍵になる。本研究課題ではMRを用いて利用者を含むシステム全体の操縦性能を向上するビジュアルアシスト制御系を構築し、利用者の自立に向けたトレーニングなど福祉車両の運転支援システムの分析を行った。今後は運動・認知・判断能力の理解がさらに進み、新たな支援法も進展するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In a super-aging society, even elderly people who need support can significantly improve their QOL if they can drive a welfare vehicle. However, the pedestrian space in which the welfare vehicle travels is a mixed traffic with various moving objects, and the environment is complicated and automatic driving is difficult, so it is required to use it in combination with manual operation. In this research, we design a welfare vehicle driving system using mixed reality (MR) for assisting cognitive ability. The visual assist control system that improves driving performance is proposed using MR. And the effectiveness of the welfare vehicle driving support system is evaluated for the independence of users.

研究分野：制御工学

キーワード：ビジュアルアシスト制御 拡張現実感 複合現実 福祉車両 仮想隊列制御

### 1. 研究開始当初の背景

障がいなどで身体機能の低下した人や支援の必要な高齢者など、モビリティハンディキャップのある人々を支援するために電動車椅子型の福祉車両が広く使われ始めている。超高齢社会では、支援の必要な高齢者でも自力で福祉車両の運転ができるようになれば、活動範囲が拡大されQOLは大幅に向上する。高齢者の運動スキルの衰えは従来のパワーアシストで補償できる部分もある。しかし、特に操作スキルの学習の遅さは今まで「慣れの問題」と考えられる事が多く、視覚的な認知能力や判断能力は積極的なアシストはされていなかった。高齢者は、新たな福祉車両の運転の習熟が困難になり、運転時のふらつきや狭路での壁への衝突、方向転換で身動きができなくなるなどの危険な状態が発生する。高齢者の運転では、特に車両と障害物の位置関係の把握が難しくなるため認知能力の支援が有効である。超高齢社会では、普段の移動に介助者の支援が必要な人々であっても、機械からの積極的な支援を受けることで自ら運転ができるようになる高齢者はかなりの数に達すると考えられる。世界に先駆けて超高齢社会に突入した我が国においては、高齢者の自立支援のために操縦しやすい運転支援系の開発や、運転スキルの学習を促進するスキームなど、情報デバイスを利用して高齢者を活性化する新たな技術に取り組む必要がある。

### 2. 研究の目的

高齢社会では支援の必要な高齢者でも、福祉車両の運転ができればQOLは大幅に向上する。しかし福祉車両の走行する歩行者空間は様々な移動体との混合交通となり、環境が複雑で自動走行が困難であることから手動操作との併用が求められる。これまでは、主に福祉車両のジョイスティックやタイヤなどの駆動系やその制御系設計に注目されており、操作する利用者の身体的衰え、認知能力、学習能力は考慮されていなかった。人間を含むシステムに注目すると、環境センシングから得られる「情報」を用いて、利用者の注意を誘導し安全な操作を誘発することで、システム全体での性能改善が期待できる。

本研究課題では認知能力の支援を目的として、複合現実(MR)を用いた福祉車両の操縦システムの設計を行う。MRを用いて高齢者を含むシステム全体の操縦性能を向上するビジュアルアシスト制御系を構築し、高齢者の自立に向けた福祉車両の運転支援システムの効果分析を行う。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、MRを用いて操縦性能を向上するビジュアルアシスト制御系を次の手順で構築し評価する。

1. 福祉用パーソナルビークルの運転支援システムとして HMD に投影される前方の仮想車両との隊列技術を用いたビジュアルアシスト制御系を構築する。ドライバは HMD を装着し福祉車両を操作する。
2. ドライバや環境によらない操縦しやすい口バスタな仮想隊列制御系を構築する。
3. 「仮想先行車両を操作して動かす方が運転は容易になり学習も早く進む」という仮説を検証する。狭い廊下にダンボールを配置した経路を初心者が行う実験を行い、障害物との接触について分析する。
4. 人間の操作支援の観点から MR を使った支援法について検討を行う。HMD を使った走行環境の空間マッピングの手法を示し、ジョイスティック操作を補正することで障害物を回避するアルゴリズムを示す。最後に、初心者の操縦を例に客観視点を使って安全な回避走行ができることを示す。

以下、文献(松永他, 2019)に従って説明を行う。

### 4. 研究成果

**(a) ビジュアルアシスト制御の構築:** 本研究では、MRを用いて仮想車両を投影し利用者の操縦視点で客観視し遠隔操縦する仮想隊列制御を構成する。仮想隊列制御の概念を図1に示す。利用者は透過型 HMD を装着しており、仮想車両は HMD 上にホログラム投影される。仮想隊列は、図中の HMD に投影された仮想車両と福祉車両 STAVi との間で構成される。利用者はジョイスティックを用いて後方から仮想車両を遠隔制御し、その後方に隊列を組む STAVi は専用のコントローラで自動運転される。

MRは現実世界の画像上にCGなどの仮想物体を重ね合わせることで表現することができる。HMD上で仮想車両を投影するためには、投影点や投影イメージをリアルタイムで計算

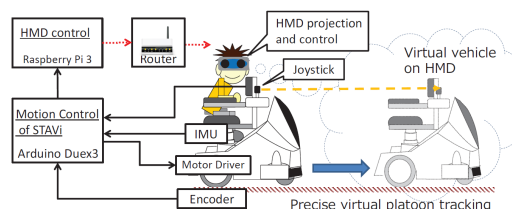


図1 実験システムの構成



図2 STAViの全景

しなければならない。そのためには、STAVi の位置姿勢だけでなく利用者の頭部の動きを取得する必要がある。利用者が HMD を装着して操縦している様子を図 2 に示す。様々な HMD デバイスがあるが、本研究では Microsoft の HoloLens を使用する。HoloLens は Holographic 技術を採用した HMD で、CPU や GPU が組み込まれた専用の PC である。MR はデジタルコンテンツが現実世界に組み込まれたように表示するだけでなく、カメラやセンサを駆使することで現実世界と仮想世界をより密接に融合させて情報を利用していく技術である。

制御システムは 2 つのコントローラから構成され、1 つは STAVi のモーションコントローラであり、もう 1 つは HMD で仮想車両を投影するビジュアルコントローラである。モーションコントローラでは、Arduino Due が STAVi の速度、舵角、位置、姿勢を制御する。STAVi の情報は、Raspberry Pi3 から Wi-Fi 経由で HMD に送られる。一方、ドライバの頭部姿勢は HMD の慣性計測装置 (IMU) によって計測される。HMD では STAVi と同じ動特性を持つ仮想車両画像が、風景上にホログラムを使って合成される。また、HMD にはカメラや深度センサが内蔵されており、空間マッピングに利用される。

**(b)仮想隊列制御系の設計：**構築した制御システムを図 3 に示す。実験に使う STAVi は前輪がキャストの後輪駆動車両であるため、仮想車両も同様の構造でモデル化する。実車両の誘導には、非線型システムに強いモデル誤差補償器(MEC)を用いた高精度隊列制御を利用した。次に、この仮想モデルを MEC の規範モデルに用いることにする。同図の青点線の部分が MEC のブロックである。STAVi の規範モデル  $P_M$  を実車両と同じ動特性に設定し、コントローラのゲイン  $C^*$  はモデル誤差を抑制するようにハイゲインに設定することで、STAVi は常に仮想車両と同じ特性で操作できる。

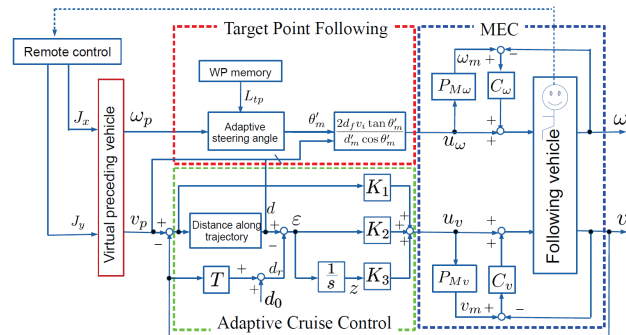


図 3 実装した制御システム

仮想先行車両は後方から遠隔制御され、STAVi は先行車両を精密に追従する。詳細は省略するが、仮想隊列制御のために、ACC(Adaptive Cruise Control)アルゴリズムと TPF(Target Point Following)アルゴリズムを用いる。ACC は車両の相対速度を制御することによって仮想隊列の車間距離を制御し、TPF では仮想車両を追従することができる。

**(c)客観視点は学習は早く進むか？**：高齢になるほどスキル習熟が困難となる予想される。初心者にとっては、「失敗を繰り返し学習するより仮想車両を操作して動かしていく方が運転は容易になり、学習も早く進む」と予想される。以上の学習仮説を、走行実験により検証する。図 4 に実験風景を示す。左が前方を走行する仮想車両、右が走行風景である。

実験の結果、提案する客観視点の操作では一回目で失敗ししても二回目で全て障害物を避けて全被験者がゴールまで短期間で到達した。しかし、従来の主観視点では一回目で成功しても三回目でも失敗し到達できない場合があり、明らかに成功回数は少なかった。熟練者と被験者の平均 2 乗誤差(MSE)や成功回数での分析を行ったが、統計的には有意な結果が得られなかった。その理由としては、健常者に事前に 10 分ほどの練習走行を課していることが考えられる。健常者の学習速度思ったより速く、主観視点と客観視点での操作の差異も顕著ではないと考えられる。

実験走行の終了後に、操縦の印象と操作性の評価および実験に関するアンケート調査を行った。t 検定を用いて検定した結果、「障害物とのクリアランスが確認できる」という設問に関して仮想車両を使う事で有意差が認められた。また、「STAVi の動きが予測できる」という設問に対しても同様に有意差が認められた。以上より、仮想車両を使うと障害物とのクリアランスが認識しやすく、STAVi の経路が明示されるため動きが予測しやすいことが示唆された。

これらの考察から、スキルのない初心者であっても、仮想車両が障害物と接触しないようにジョイスティックの操作量を補正することができれば、主観視点での操作より明らかに走行失敗はなくなり大幅な安全性の改善が期待できる。

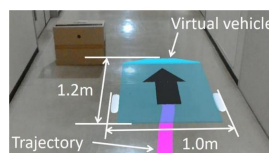


図 4 実験風景

**(d)空間マッピング情報による衝突回避：**ドライバはHMDを装着し仮想車両を操作することでSTAViを操縦するが、途中の壁やダンボールなど障害物との接触により必ずしもゴールに到達できない。MRを用いた仮想隊列の特徴は、HMD上で仮想車両を表示するだけでなく、HMDを使って環境の空間マッピング情報も入手できる点にある。そこで、事前に走行環境の走行可能領域(Safety Area, SA)を求め、走行不可能領域(Hazardous Area, HA)に入るとジョイスティック操作量を補正するアルゴリズムを構築した。

モデリングした走行環境を使って壁や静止障害物を回避しながら仮想車両を操作することが出来れば、それに追従する車両も安全な回避動作が可能になる。図5左は廊下全体の三次元マップを示す。同右図は、走行エリアを上部から見たマップであり、緑のエリアは仮想車両が壁や障害物と接触せずに走行可能なSA、白いエリアはSTAViと干渉するHAである。そこで、仮想車両がHAにある場合は、ジョイスティック操作は車両がSAに戻るよう補正する。図6に操作補正の概念を示す。

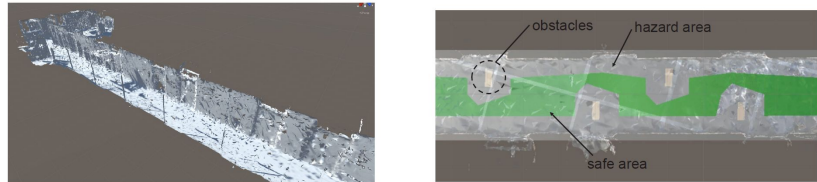


図5 構築した制御システム

初心者が仮想車両を操縦して壁に接触する走行事例を図7(a)に示す。HAに侵入したのは約10sで、仮想車両はまず4番目のダンボールの前で右側のHAに、さらに12sで4番目の段ボールを過ぎて左側のHAに接触しようとしていることがわかる。その動作を適切に修正して仮想車両は赤点線に示す様な軌道とり壁への接触が回避されていることがわかる。

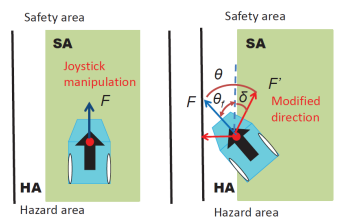
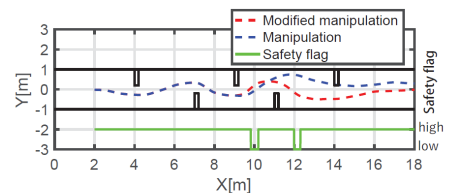
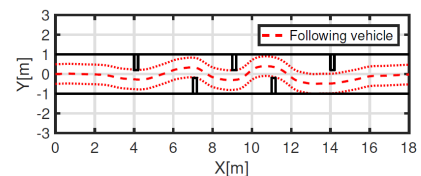


図6 構築した制御システム



(a)Trajectory of virtual vehicle



(b)Trajectory of STAVi

図7 構築した制御システム

なお、同図(a)の青点線が補正されない場合の仮想車両の経路で、補正されない場合は障害物と接触していたことがわかる。図7(b)は仮想車両を追従するSTAViの走行軌道を示しており、ジョイスティック操作を補正することで安全な走行ができることがわかった。

以上のように、「走行環境を空間マッピングすることで安全なシステムを構成し、仮想車両を使って客観視点からSTAViを操作する提案手法」は安全な運転支援システムを実現する有効な方法の一つと考えられる。

## 引用文献

松永信智, 木村亮太, 岡島寛, Mixed Reality を用いた仮想隊列走行制御による福祉用パーソナルビークルの操縦支援システム, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.872, 2019  
[DOI: 10.1299/transjsme.18-00479]

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 松永信智, 木村亮太, 岡島寛	4. 巻 Vol. 85, No. 872
2. 論文標題 Mixed Reality を用いた仮想隊列走行制御による福祉用パーソナルビークルの操縦支援システム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.18-00479	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nobutomo Matsunaga, Yudai Takeuchi, Hiroshi Okajima	4. 巻
2. 論文標題 Driver's Gaze-point Analysis of Virtual Platoon Driving for Welfare Vehicle using Direct Eye Measurement Device with HMD	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of the 12th Asian Control Conference	6. 最初と最後の頁 856-860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kazuya Tanaka, Shunpei Fukumoto, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima	4. 巻
2. 論文標題 Obstacle Avoidance of Welfare Vehicle with Head Mounted Display using Spatial Mapping of Driving Environment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 19th International Conference on Control, Automation and Systems	6. 最初と最後の頁 1222-1227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICCAS47443.2019.8971541	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yudai Takeuchi, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima	4. 巻
2. 論文標題 Driving Instruction and Training of Welfare Vehicle controlled by Virtual Platoon Scheme using Sharing System of AR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 19th International Conference on Control, Automation and Systems	6. 最初と最後の頁 1438-1443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICCAS47443.2019.8971764	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takuya Honda, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima	4. 巻
2. 論文標題 Hybrid Steering Model depending on Driver 's Gazing Point to detect Inattentive Driving using Machine Learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 19th International Conference on Control, Automation and Systems	6. 最初と最後の頁 1344-1349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICCAS47443.2019.8971669	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nobutomo Matsunaga, Ryota Kimura, Haruya Ishiguro, Hiroshi Okajima	4. 巻 -
2. 論文標題 Driving Assistance of Welfare Vehicle with Virtual Platoon Control Method which has Collision Avoidance Function using Mixed Reality	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMC.2018.00331	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松永信智, 田中友樹, 岡島寛, 坂本一将	4. 巻 84
2. 論文標題 モデル誤差抑制補償器を用いた福祉用SSVの走行支援制御系による屋外走行実験	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.17-00349	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 松永信智, 岡島寛, 松野大亮, 志田裕紀	4. 巻 83
2. 論文標題 ドライビングシミュレータを用いた注視距離依存型操舵モデルの推定と評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本機械学会	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.16-00519	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 本田拓也, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 機械学習を用いた注視点依存型ハイブリッド操舵モデルの検討
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武内雄大, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 拡張現実のシェアリングシステムによる福祉車両の操縦支援システムの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中良弥, 福本俊平, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 HMDを用いた空間マッピングによる福祉車両の障害物回避
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yudai Takeuchi, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima
2. 発表標題 Driving Instruction and Training of Welfare Vehicle Controlled by Virtual Platoon Scheme using Sharing System of AR
3. 学会等名 19th International Conference on Control, Automation and Systems
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuya Tanaka, Shunpei Fukumoto, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima
2. 発表標題 Obstacle Avoidance of Welfare Vehicle with Head Mounted Display using Spatial Mapping of Driving Environment
3. 学会等名 Proc. of 19th International Conference on Control, Automation and Systems
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Honda, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima
2. 発表標題 Hybrid Steering Model Depending on Driver 's Gazing Point to Detect Inattentive Driving using Machine Learning
3. 学会等名 Proc. of 19th International Conference on Control, Automation and Systems
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yudai Takeuchi, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima
2. 発表標題 Driver 's Gaze-point Analysis of Virtual Platoon Driving for Welfare Vehicle using Direct Eye Measurement Device with HMD
3. 学会等名 Proc. of the 12th Asian Control Conference
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoichi Sakamoto, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima
2. 発表標題 Hybrid Steering Model Estimated by Particle Swarm Optimization Based on Driver 's Eye Tracking Information
3. 学会等名 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Nobutomo Matsunaga, Ryota Kimura, Haruya Ishiguro, Hiroshi Okajima
2. 発表標題 Driving Assistance of Welfare Vehicle with Virtual Platoon Control Method which has Collision Avoidance Function using Mixed Reality
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松永信智
2. 発表標題 超高齢社会での福祉車両の安全な運転を支援するビジュアルアシスト制御
3. 学会等名 地域ケアリング, Vol.20, No.11
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石黒晴也, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 HoloLens を用いた福祉車両の自動運転システム的设计
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本雄斗, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 角膜反射法を使った拡張現実世界における眼球運動の直接計測
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂本将一, 進拓也, 岡島寛, 松永信智
2. 発表標題 連続カーブ区間におけるドライバの注視点依存型操舵モデルの推定
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村大亮, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 拡張現実を用いた福祉車両の操縦支援システム
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryota Kimura, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima, Gou Koutaki
2. 発表標題 Design of Virtual Platoon Control System using Augmented Reality to Assist Welfare Vehicle Users
3. 学会等名 Proc. of 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村亮太, 小柳俊博, 松永信智, 岡島寛, 上瀧剛
2. 発表標題 拡張現実感技術による仮想隊列制御を用いた操縦支援の評価
3. 学会等名 第35回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryota Kimura, Nobutomo Matsunaga, Hiroshi Okajima, Gou Koutaki
2. 発表標題 Driving Assistance System for Welfare Vehicle using Virtual Platoon Control with Augmented Reality
3. 学会等名 Proc. of Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shoichi Sakamoto, Tomoki Tanaka, Hiroshi Okajima, Nobutomo Matsunaga
2. 発表標題 Maneuverability Evaluation of Skid Steer Welfare Vehicle for Robust Assistance Control with Model Error Compensator
3. 学会等名 Proc. of 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本雄斗, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 Dynamic Window Approachを用いた全方向移動ロボットの障害物回避支援法の検討
3. 学会等名 第35回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

System Integration and Control Lab. <a href="http://ictrl.cs.kumamoto-u.ac.jp/">http://ictrl.cs.kumamoto-u.ac.jp/</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	岡島 寛  (Okajima Hiroshi)  (40452883)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授    (17401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関