

令和 6 年 4 月 26 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04353

研究課題名（和文）拡張空間を使った視線コントロールと高齢者の福祉車両の操作性向上に関する応用研究

研究課題名（英文）Research on gaze control using Mixed Reality and operational performance improvement of welfare vehicles for the elderly

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） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：身体機能の低下した障害者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、パーソナルビークル(PV)が広く使われ始めている。複合現実(MR)を使ってPVの操作環境を改善すると共に、利用者の注意を制御できれば、現実世界での操作性と安全性は改善すると思われる。本研究では、MCVオブザーバを用いて、運転中の視線位置の計測と分析を行った。MRを利用して注目すべきエリアを実時間で強調することで、視線を誘導するトレーニングシステムのプロトタイプを作成した。最後に、NASA-TLXの実験結果から、初心者にとって視線の動きがPVの操作の上達に深く関連していることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MR上の仮想PVを見ながら運転することで、PVの操作性を改善する人間機械系の設計スキームが注目されている。安全なシステムの構築には、利用者の注意を常に一定のレベルに維持し、安全性を担保する必要もある。近年のウェアラブルセンサの進化により、実時間での視線計測が可能となり、拡張空間の仮想オブジェクトを効果的に修飾することができるようになった。この結果、的確なトレーニングを施すことで、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。今後、世界に先駆けて超高齢社会に突入する我が国においては、高齢者の自立支援のために常に学習を促進するスキームに取り組む必要がある。

研究成果の概要（英文）：Personal vehicles (PVs) are becoming widely used to support people with mobility handicaps, such as disabled people with reduced physical function and elderly people who require support. If mixed reality (MR) can be used to improve the operating environment of PV and control the user's attention, it is thought that controllability and safety in the real world will be improved. In this study, we used the MCV Observer to measure and analyze gaze position while driving. Next, we created a prototype training system that uses MR to guide the driver's gaze by highlighting areas of interest in real time. Finally, the results of the NASA-TLX experiment showed that novices' eye movements were strongly related to their improvement in PV operation.

研究分野：人間機械システム

キーワード：ビジュアルアシスト制御 複合現実 空間 トレーニング 自立支援 パーソナルビークル 仮想隊列制御 視線コントロール 拡張空間

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

身体機能の低下した障害者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、電動車椅子型のパーソナルビークル(PV)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が自力でPVの運転ができるようになれば、活動範囲が拡大し、そのQOLは大幅に向上する。高齢者がPVを活用していくには、情報技術による支援は不可欠である。単純な走行環境では、カメラやLiDAR等の高機能センサーを使ったPVの自動走行が実現している。しかし、歩行者空間は様々な移動体との混合交通で自動化が困難なため、手動操作との併用が求められる。

これに対して、複合現実(MR)を使ってヘッドマウントディスプレイ(HMD)上の仮想PVを操作することで、PVの操作性を改善するスキームが提案されている[1]。しかし利用者が漫然と操作すると、どんなに優秀なシステムでも周辺の障害物との衝突や転倒などの危険が伴う。そのため、常に利用者の注意を一定のレベルに維持し、安全性を担保するために利用者の状態観測の必要があると思われる。

近年のウェアラブルセンサーの進化により実時間で視線計測が可能となり、拡張空間を使って様々な仮想オブジェクトの動的な修飾が実時間でできるようになった。今後は、仮想空間を使ったPVの制御と併せて、利用者の実時間の状態を反映した人間機械システムの動的な設計が求められる。

仮想環境からの環境情報やインストラクタからの認知の支援を受けることで、自ら運転ができるようになるであろう高齢者は、相当数にのぼると考えられる。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トレーニングシステムの開発に取り組む必要がある。

2. 研究の目的

これまでのPVの高性能化は、自動運転のアルゴリズムやPVの機構や制御系設計に注目されていたが、PVの運動に大きく影響する利用者の状態は設計の対象外であった。PVの操作においては、利用者の運動および認知能力を向上させ、制御システム全体のパフォーマンスを向上させる必要がある。人間を含むシステム全体(人間機械システム)に注目すると、HMD上の拡張空間を利用すれば、環境センシングで得られる情報を使って視線を可視化し、制御することで利用者の行動を誘発できると考える。

本研究では、現実世界に仮想現実を融合するMRを利用する。利用者の視線コントロールを制御工学的にとらえ、視線を可視化し利用者の操作を誘発する視線制御により、人間機械システムの性能改善や安全性の向上が期待できる。また、高齢者の認知能力や操作能力を維持向上するトレーニングの効果についても言及する。

3. 研究の方法

本研究では、利用者の操縦訓練を行うためにMRを用いた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) 仮想空間を利用するビジュアルアシスト制御系では、図1に示す様に、仮想車両を使って第三者視点で後方から操作する「仮想隊列制御」を用いる。後方からの視点となるため、全体の位置関係が鳥瞰でき、車両と障害物との隙間が視認しやすい。また、HMD内で利用者の視線を可視化し、MRを使った仮想オブジェクトと併用して視線操作も可能になる。

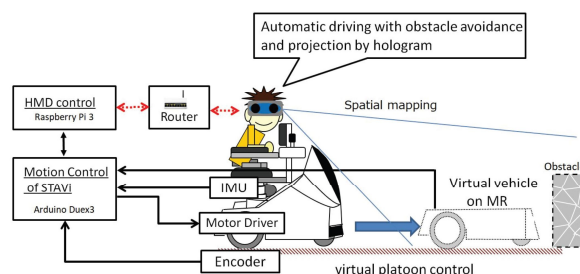


図1 仮想隊列制御

本研究では、HMDを使ってガイドする目標軌道や障害物の動的な強調表示を行う事で、利用者の視線誘導を検討する。

- (2) 利用者は周辺を見ながらその視線はランダムに動く。特に、瞬目や眼球の跳躍性眼球運動(サッカード)により、視線は頻繁に跳躍する。視線コントロールでは、視線の実時間でのフィルタリングが不可欠である。そこで、筆者らが開発した外れ値やデータ欠落に強い状態推定オブザーバを使って、実時間でのロバストな視線検出を試みる。
- (3) 障害物の少ない安全領域では、利用者の視界も広く視線の移動も大きい。複雑な作業が求められる危険領域では視野は狭くなり、視線の変動も少なくなる。つまり、視線が集中することで精緻な動作が実現できるが、周辺視野では詳細な状況判断が困難で周辺で起こった事象に気がつかず対処が遅れることも考えられる。そこでPVに搭載したセンサー群によ

り環境センシングを行い、実時間で目標軌道を計算し提示するとともに、危険な動作が見られる場合は、安全な方向に視線を誘導し回避動作を誘発する。

- (4) MR の仮想空間を使ってトレーニングを行う場合、利用者以外はHMD に映る利用者のトレーニング状況は把握できないため、操作の習熟に時間を要するという課題があった。練習中にインストラクタからの効果的なアドバイスが得られれば、短時間での習熟も期待ができる。そこで、インストラクタと利用者で相互指導が可能な拡張空間の共有システムを構築し、トレーニングに利用することを考える。

4. 研究成果

- (1) PV を上手に操縦するには、訓練が必要になる。HMD では仮想世界の障害物を任意の場所に配置できるので、実際の障害物に比べ安全な訓練走行が可能になる。

図2左に、訓練イメージを示す。同図では後方に立つインストラクタの指示で、目印になるピンの間を走行させる訓練を行っている例である。

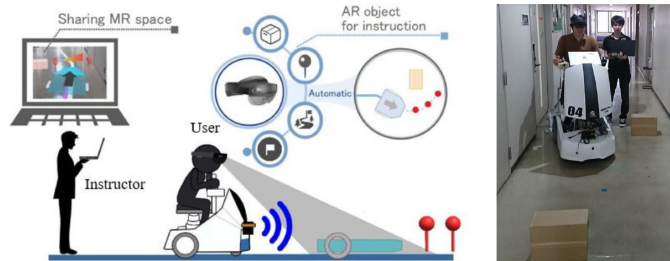


図2 拡張空間でのトレーニング・支援

る。仮想物体はHMDを装着しないと目視できないが、Miracastを使うことでインストラクタとの仮想世界の共有も可能になる。同図右は実障害物を使ってトレーニングを行う様子で、車両に搭載した深度センサーで空間マッピングしトレーニングを行っている。

- (2) 図3はビジュアルアシスト制御の操作画面である。図3左は、利用者とインストラクタのHMDから見えるスタート地点からの訓練コースを示す。トレーニングに使う路上の白色の箱が仮想障害物である。仮想障害物や壁を空間マッピングした環境の情報から目標軌道を計算し、それを床面に薄青線を表示している。操縦する仮想PVは後方からの操縦の妨げになるため、同右図のように矢印の書かれたブルーのフットプリントで表示する。

目標軌道を実時間でA*を使って求める。障害物に接近すると、同図右のように注意すべき仮想障害物の色が赤く変わり警告されると共に、走行の際の目印のピンが出現する。利用者は、このピンの中に仮想車両を通すようにすれば、その後方から隊列を組んだ自車も安全に通過する。インストラクタも、利用者の視点から見るができるため、タイムリーな操作タイミングで動作のアドバイスが可能となる。

図4に、実際の段ボールを配置しトレーニングする場合を示す。センサの性能によって検出できない場合には、同左図のコースに示すように目標軌道は直線になるが、障害物や壁が新たに空間マッピングされると、右図のように目標コースの青い目標軌道も変更される[2]。なお、実際の障害物を使った訓練に比べ、仮想空間では自由に障害物を配置し、状態により色で修飾することができるため、利用者にとってわかりやすい訓練を行うことができる。



図3 HMDから見える様子

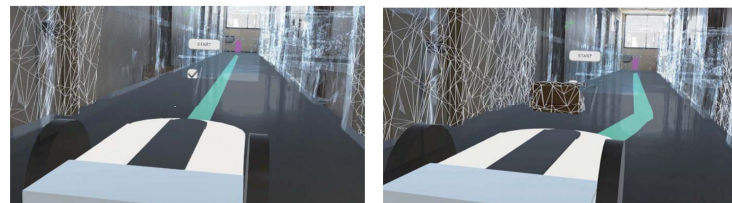


図4 実環境の空間マッピング例

- (3) ビジュアルアシスト制御系は、MRを使って操縦をアシストする技術であり、高齢者にも利用可能な手法である。操縦の上達においては、視線のコントロールを行うことが重要と考えられるため、PVを走行中の視線位置の計測を実時間で行った。

図5, 6は、それぞれ熟練者と初心者の軌跡である。同図で、注視点(青丸)と視線(黒線)PVの軌跡(赤丸)理想軌道(緑線)を示す。床面に経路を表示する場合は、両者とも理想経路近くに視線が集中している。経路を表示しない場合は、特に熟練者の視線は周辺を見渡しておりバラバラに動く。視線の集中は、熟練者の場合は走行していく空間(経路の左側)に視線が向いているのに対して、初心者の場合は避けようとする物体(右側の障害物)に視線を向ける傾向があることがわかった。ピンの表示を工夫(色変化、複数表示)すること

でトレーニング中の視線のコントロールに利用できることがわかった。

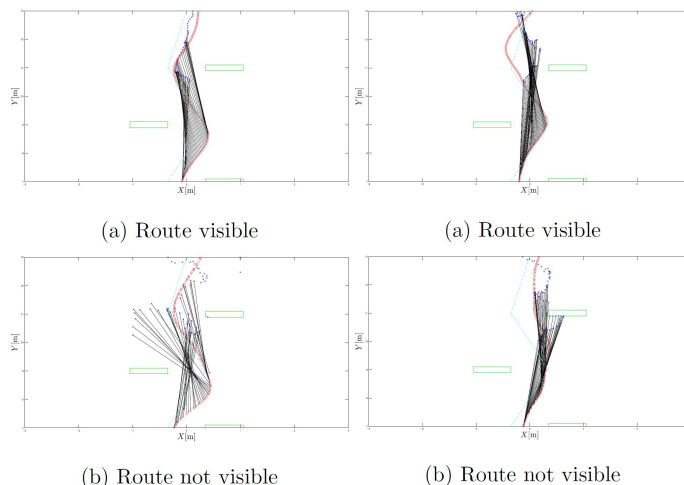


図5 熟練者の視線移動

図6 初心者の視線移動

- (4) 初心者にとって、視線の動きが上達に深く関連していることがわかったが、注視している点以外の眼球の動き（視線の外れ値）を除去するロバストな視線推定機構（オブザーバ）が必要である。Okajimaらは、視線の推定のためにメディアンフィルタを利用した MCV オブザーバの設計法を提案している [3]。本研究では、PV の運転時の視線の外れ値を抑制する MCV オブザーバを構成して、ロバストな検出システムを制御システムに実装した。
- (5) MR の仮想空間を使って、利用者のトレーニング効果を評価した。実験では、利用者の HMD の画面をインストラクタと共有し仮想空間を使って指示される Group A と、従来の仮想隊列制御を使って操縦を行う Group B を比較する。操縦支援システムの上達過程を、メンタルワークロードの主観的評価法である NASA-TLX を使って評価した。詳細は省略するが、図7から、従来の仮想隊列制御を使った支援システムに比して、仮想空間を使って指示される方が操縦ミスも少なく、成功回数の差は有意であることがわかった[4]。

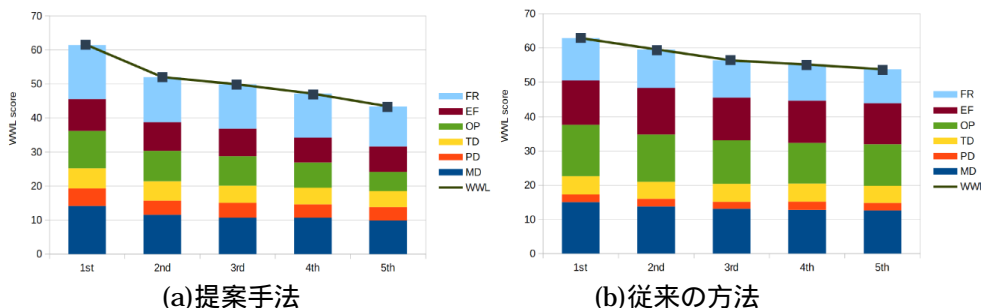


図7 各試行回数における WWL スコア

- (6) 提案するビジュアルアシスト制御では、トレーニングを積んでも必ずしも安全性は担保できない。本研究では、より安全な制御法を目指し、人間の手による手動操作の代わりに BMI デバイスと MR を使う自動運転のスキームについて検討を行った。

< 引用文献 >

[1] 松永, 岡島, MR を使った福祉車両の運転支援システム, 日本機械学会, 2021 https://doi.org/10.11509/isciesci.65.9_364

[2] 松永 他, MR を用いた走行環境の空間マッピングによる福祉車両の障害物回避システムの一構成法, 日本機械学会, 2021 <https://doi.org/10.1299/transjsme.20-00033>

[3] Okajima et al., State estimation method using median of multiple candidates for observation signals including Outliers, SICE JCMSI, 2021 <https://doi.org/10.1080/18824889.2021.1985702>

[4] 松永 他, MR を用いた福祉車両の操縦支援システムに対する NASA-TLX を用いた初心者の障害物回避操作の訓練回数ごとの習熟分析, 日本機械学会, 2022 <https://doi.org/10.1299/transjsme.21-00241>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Matsunaga Nobutomo、Yamamoto Ikuo、Okajima Hiroshi	4. 巻 35
2. 論文標題 Navigation System for Personal Mobility Vehicles Following a Cluster of Pedestrians in a Corridor Using Median of Candidate Vectors Observer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1562 ~ 1572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2023.p1562	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 Matsunaga Nobutomo、Murata Kazuhi、Okajima Hiroshi	4. 巻 35
2. 論文標題 Robust Cooperative Transport System with Model Error Compensator Using Multiple Robots with Suction Cups	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1583 ~ 1592
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2023.p1583	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 Okajima Hiroshi、Arinaga Kenta、Hayashida Atsuo	4. 巻 11
2. 論文標題 Design of Observer-Based Feedback Controller for Multi-Rate Systems With Various Sampling Periods Using Cyclic Reformulation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 121956 ~ 121965
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3329117	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 Okajima Hiroshi、Hosoe Yohei、Hagiwara Tomomichi	4. 巻 11
2. 論文標題 State Observer Under Multi-Rate Sensing Environment and Its Design Using l_2 -Induced Norm	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 20079 ~ 20087
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2023.3249187	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 Okajima Hiroshi	4. 巻 56
2. 論文標題 Model Error Compensator for adding Robustness toward Existing Control Systems?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 3622 ~ 3629
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2023.10.1524	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 Ikuo Yamamoto, Kouich Nakamura, Nobutomo Matsunaga and Hiroshi Okajima	4. 巻
2. 論文標題 Crowd Tracking of Electric Wheelchair using RGB-D Camera with Median of Candidate Vectors Observer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SICE2002	6. 最初と最後の頁 174-178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/SICE56594.2022.9905807	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、岡島 寛	4. 巻 65
2. 論文標題 MRを使った福祉車両の運転支援システム	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 システム / 制御 / 情報	6. 最初と最後の頁 364 ~ 369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11509/isciesci.65.9_364	査読の有無 無
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 Okajima Hiroshi, Kaneda Yasuaki, Matsunaga Nobutomo	4. 巻 14
2. 論文標題 State estimation method using median of multiple candidates for observation signals including outliers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 257 ~ 267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/18824889.2021.1985702	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 Fujimoto Satoshi、Matsunaga Nobutomo	4. 巻 227
2. 論文標題 Deep Feature-based RGB-D Odometry using SuperPoint and SuperGlue	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 1127 ~ 1134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procs.2023.10.624	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、中村怜央、武内雄大、岡島 寛	4. 巻 88
2. 論文標題 MRを用いた福祉車両の操縦支援システムに対するNASA-TLXを用いた初心者の障害物回避操作の訓練回数ごとの習熟分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本機械学会	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00241	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 Ide-Okochi Ayako、Matsunaga Nobutomo、Sato Hiro	4. 巻 9
2. 論文標題 A Preliminary Study of Assessing Gaze, Interoception and School Performance among Children with Neurodevelopmental Disorders: The Feasibility of VR Classroom	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Children	6. 最初と最後の頁 250 ~ 250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/children9020250	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、武内雄大、岡島寛	4. 巻 87
2. 論文標題 MRを用いた走行環境の空間マッピングによる福祉車両の障害物回避システムの一構成法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	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.20-00033	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本郁生, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 混雑環境におけるMCVオブザーバを使った福祉車両の歩行者群追従制御
3. 学会等名 第23回 S I C E システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥園康太, 森千紘, 松永信智
2. 発表標題 自動運転アルゴリズムを利用した福祉車両のセーフマニュアル制御の提案
3. 学会等名 計測自動制御学会SICE九州支部
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 時枝 朋史, 松永信智
2. 発表標題 透過型HMDと振動グローブを用いたアバターとの共同作業の訓練システム
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村怜央, 武内雄大, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 NASA-TLXを用いたMRによる福祉車両の操作支援系の訓練度の分析
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村怜央, 奥園康太, 松永信智
2. 発表標題 福祉車両の操縦支援システムにおける複合環境での視線分析
3. 学会等名 SICE九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本郁生, 松永信智
2. 発表標題 人混みにおける移動ロボットの最適な走行位置の探索アルゴリズム
3. 学会等名 SICE九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥園康太, 中村怜央, 松永信智
2. 発表標題 MRを用いた福祉車両の操縦支援システムの初心者と熟練者の視覚的注意領域の比較
3. 学会等名 SICE システムインテグレーション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本田拓也, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 ドライバの脇見を考慮した運転状態の分類とその評価
3. 学会等名 第21回 S I C E システムインテグレーション部門講演会, 1H1-11
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武内雄大, 松永信智, 岡島寛
2. 発表標題 複合現実を用いた福祉車両の操縦支援システムのNASA-TLXによる評価
3. 学会等名 第21回 S I C E システムインテグレーション部門講演会, 3G3-11
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

System Integration and Control Lab http://ictrl.cs.kumamoto-u.ac.jp/research.html

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
---------	---------