

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03757

研究課題名（和文）日本版シェアード・スペースに適した道路環境デザインの要件と適用範囲の抽出

研究課題名（英文）Requirements for Road Design Suitable for Japanese version of Shared Space

研究代表者

山本 早里（Yamamoto, Sari）

筑波大学・芸術系・教授

研究者番号：90300029

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：シェアード・スペースの国内実施を目標に、国内外の現地調査やリスク評価実験、動揺付きドライビングシミュレータを用いた実験などを行い、道路の舗装デザイン、振動、速度が運転者に及ぼす影響を明らかにした。その結果、歩道と車道の区別がなく斜め線の模様が施されたデザインは、従来の歩車分離の舗装よりも有意に「緊張する」「速すぎる」などと評価され、この模様振動が加わると低速では「不快」ではないが、高速では「不快」になることが示された。このため、模様があり振動がある環境下では自然に低速になる可能性が推測された。この実験他の結果等を、日本版シェアード・スペースに適した道路環境デザインの要件とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果によって、シェアード・スペースにおいて視覚的な刺激に加え振動も含めると車両運転者のスピード感が増すことが示された。結果としてこのような舗装を施すことによって自然と車両速度が減じられることを予測することができた。ラストワンマイルの空間における車両速度を減じるための手法を提案できたことは学術的・社会的意義が大きい。さらに舗装のパターンの幅や凹凸についても実験を通して具体的に提案できた点は意義が大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：With the goal of implementing Shared Space, field surveys in Japan and overseas, pedestrian risk assessment experiments, and experiments using a driving simulator with sway were conducted to determine the effects of road pavement design, vibration, and speed on drivers' impressions. The results showed that a design with a diagonal line pattern without a distinction between sidewalk and roadway was rated significantly more "tense," and "too fast" than conventional pavements with a separation between sidewalk and roadway, and that vibration added to this pattern was not "unpleasant" at low speeds but "unpleasant" at high speeds. Therefore, it was inferred that vehicle speed may naturally slowdown in an environment with a diagonal pattern and vibration. These results were summarized to extract the requirements and scope of application of road environment design suitable for the Japanese version of Shared Space.

研究分野：デザイン

キーワード：道路環境デザイン 舗装 振動 歩車共存 リスクマネジメント

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

シェアード・スペースはオランダの交通技術者 Hans Monderman が 1979 年以降にオランダで試行してきたもので、歩道・車道の一体化を進め、道路標識や信号機も撤去し、主に歩行者・車両運転者双方のアイコンタクトによって安全を図ろうとするものである¹⁾。その後、欧州で関心が高まり、EU が事業費の半額を受け持つなど積極的に導入が進められている²⁾。我が国においては病院・商業施設・住宅街などラストワンマイルの空間ではシェアード・スペースが不可避であることが論じられてきた³⁾。交通関連の研究者によってシェアード・スペースの紹介が行われたり、一部試行的に京都で社会実験が行われたりしている⁴⁾が、シェアード・スペースの関心に比して学術的な研究はまだ少ない。そのような中で我々は主にデザイン学の立場から道路環境の安全と美観の関係を中心としてシェアード・スペースに着目し、日本への適応を検討するため、科学研究費補助金によって欧州において調査を行い、また学内の共同研究を通じて一部実験も行ってきた^{5,6,7)}。「欧州でのシェアード・スペースを、価値観や道路環境の事情が異なる日本においても実現できるのか、実現するためにはどのような要素を解決しなければならないか」という問いに対する解決に向けた道路環境デザインの最適解の提供が求められている。

2. 研究の目的

本研究は、シェアード・スペースを日本に本格実装するための諸要件を、主に道路環境デザインの特に実際の舗装条件、リスクを考慮した空間特性の適用範囲、運転者と歩行者相互の条件の3点から明らかにし、これを統合し、日本のラストワンマイルにおけるシェアード・スペース化に資する資料を提供することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、欧州から始まったシェアード・スペースを日本にも適応するための必要要件を、道路環境デザインの主に舗装デザインと、自動車と歩行者の関係を検討し、リスク評価を行って検証した。

まず、国内外の現地調査を行い、海外ではシェアード・スペース・ナレッジセンターの専門家 Pieter de Hann 氏と意見交換を行った。本研究の仮説である「振動と路面デザイン」が車両の減速に効果がある点に賛同を得た。

上記を踏まえて動揺装置付きドライビングシミュレータを用いて印象評価実験を行った。また、筑波大学で保有する大型没入ディスプレイ“Large Space”（複数人の被験者がゴーグルを装着し、計算機内のバーチャルなシェアード・スペースを等身大で体験できる実験環境）において、車両運転者と歩行者の関係に関して、自動車のスピード、歩行者の挙動、歩車の距離などの条件も明らかにした。

4. 研究成果

(1) 動揺装置付きドライビングシミュレータによる印象評価実験

舗装道路の凹凸等の触覚や振動について、動揺装置付きドライビングシミュレータ(図1、2)を用いて表現する方法について検討を行い、シミュレーションの時間幅と車両の想定される走行速度を用いて効率の良い路面凹凸モデルを試作した。また、路面凹凸が走行速度に与える影響についての予備的な実験を行い、統計的に有意な効果は確認できなかったものの、路面凹凸が速度に影響を与える可能性を確認した(図3)。また、shared space において路面デザインを含めた空間のデザインの違いによってドライバの視行動への影響を分析する方法を検討し、横方向、縦方向の視線位置の標準偏差という指標に視行動の変化が現れうることを確認した(図4)。



図1 動揺装置付きドライビングシミュレータ



図2 動揺装置付きドライビングシミュレータの内部と前方に見えるシミュレート路面

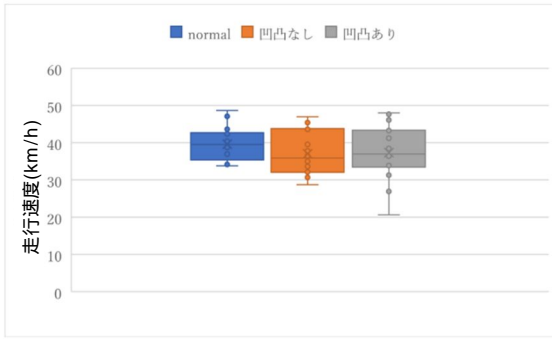


図3 路面デザインと凹凸の有無が走行速度に与える影響 (normal: 標準的なアスファルト路面、凹凸なし: 石畳風のデザインで路面凹凸なし、凹凸あり: 石畳風のデザインで路面凹凸あり)

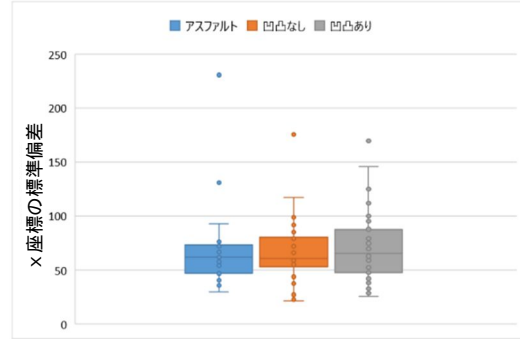


図4 路面デザインと凹凸の有無が視行動に与える影響 統計的に有意傾向あり

なお、試作した路面凹凸モデルでは速度を上げたときにむしろ振動を感じづらくなることがあることが分かったため、本研究で提案する路面舗装に近い実際の路面を走行して取得したデータに基づいて路面凹凸の模擬を行う方法に切り替えることとした。

上記の実験を受け、次に日本自動車研究所が保有する全方位視野ドライビングシミュレータを使用した実験を行った。このドライビングシミュレータはヘキサポッドとターンテーブルで構成される動揺装置を備えており、路面の振動を疑似的に再現することができる(図5)。実験ではこのドライビングシミュレータを用いて実験参加者が運転者として舗装デザインや振動が異なる様々なシナリオの道路環境を走行した。シナリオは表1に示すように、道路の舗装デザイン(模様無・模様有)、振動(有・無)、自動車の走行速度(低速 20km/h・高速 45km/h)が異なる計8種である。図6・7に道路の舗装デザインを示す。商店街を想定し、道路幅6m歩道幅2m(図6)である。



図5 全方位視野ドライビングシミュレータ(動揺装置付)



図6 舗装デザインの模様無の道路(シナリオ No.1,2,3,4)



図7 舗装デザインの模様有の道路(シナリオ No.5,6,7,8)

表1 実験に用いたシナリオ8種

シナリオ No.	舗装デザインの模様	振動	速度
1	無	無	低速20km/h
2	無	無	高速45km/h
3	無	有	低速20km/h
4	無	有	高速45km/h
5	有	無	低速20km/h
6	有	無	高速45km/h
7	有	有	低速20km/h
8	有	有	高速45km/h

「振動無」は No.1,2,5,6 とともに実際には一般的なアスファルト舗装と同等の振動と騒音を与えないようにしている。

「振動有」は No.3,4 はアスファルトとして、No.7,8 はインターロッキングとしてそれぞれ不自然でない程度に振動を大きく再現したため厳密には同じ振動ではない。

各シナリオの走行時間は約 30 秒あり、実験参加者はシナリオごとに設けられた走行速度で走り続ける。そのため走行距離は走行速度によって異なり、低速 20km/h では約 165m、高速 45km/h では約 375m である。この走行速度は、実験参加者がアクセルを踏みシナリオに設けられた速度まで加速するとそれ以降は一定の速度で進み続ける仕組みとしている。各シナリオで実験参加者の走行データや印象評価アンケートの回答結果を記録した。印象評価アンケートは10個の形容詞対(表2)について7段階で回答するものであった。実験中、実験参加者は眼鏡型の視線追跡装置を装着し視線の計測を行った。

実験参加者はドライビングシミュレータに慣れるために、練習走行を 5 分程度行い、その後本実験へと移行し、8つのシナリオを各2回ずつ計16回体験した。シナリオはランダムに提示した。一走行ごとに体験・停止したのち、印象評価アンケートに回答することで1シナリ

オが終了となる。実験説明や練習走行等を含めて平均2 時間弱の実験であった。実験参加者は20代18名、30代1名、50代1名の普通運転免許保持者の学生及び社会人、男性13名女性7名であった。実験は2024年2月に日本自動車研究所内で行った。

各シナリオ2回の平均値で分析を行った。特に男女の差は見られなかったため、20名全員のデータを用いて三元配置の分散分析を行った。舗装デザイン、振動、速度の違いによる有意差の結果を表2に示す。車道と歩道の区別がなく斜め線の舗装がされたデザイン(図7)は、従来の歩車分離で中央線があるアスファルトの舗装(図6)よりも「危険な」「不快な」「集中できない」「緊張する」「不安な」「騒々しい」「面白い」「自由な」「速すぎる」印象となることが認められた($p<0.01$)。速度でも高速の方が低速よりもほぼ同様の印象であった。シェアード・スペースでは、運転者が運転に注意深くなり、その空間で自分が中心ではないと感じることを趣旨としているため、このような「緊張する」「速すぎる」印象を与える舗装デザインはシェアード・スペースにふさわしいことが確認された。

振動は振動が大きい方が「不快」($p<0.01$)で「騒々しい」($p<0.05$)と評価された。また、交互作用は「快適な - 不快な」の評価のみ、模様×振動、振動×速度、模様×振動×速度で有意差が認められた($p<0.05$)。図8に各シナリオの「快適な - 不快な」の評価を示す。この図から路面の振動は低速では不快ではないが、模様があり振動があると高速では不快になることが分かる。つまり、模様があり振動がある環境では速度を自然に下げることが期待できることが示された。視線追跡装置による計測結果からは、中央線がある模様無の場合には左側の歩行者を見る傾向があり、中央線がない模様有の場合には左右の歩行者を見る傾向があることが分かった。

表2 印象評価の有意差の結果

	舗装デザインの模様	振動	速度
安全な - 危険な	**	-	**
快適な - 不快な	**	**	*
美的な - 美的でない	-	-	-
集中できる - 集中できない	**	-	**
リラックスする - 緊張する	**	-	**
安心な - 不安な	**	-	**
静かな - 騒々しい	**	*	**
退屈な - 面白い	**	-	**
不自由な - 自由な	**	-	-
遅い - 速い	**	-	**

** <0.01 * <0.05

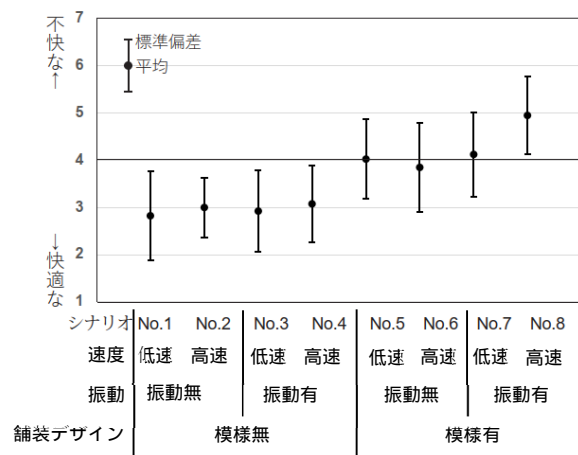


図8 「快適な - 不快な」の印象評価の結果

(2) タイルによる凹凸を再現した実在路面とVRによる実験

次に、実際にタイルを用いてシェアード・スペースの振動を体感する実験を行った。視覚情報に頼らず区間路面の状態を場所ごとに変えることによって運転感覚を変化させてシェアード・スペースに進入したことを運転手に認知させるため、図9に示すように、シェアード・スペースにアプローチする通常の路面(A区間)から路面を1cmほど下げ(B区間)、シェアード・スペースの境界に石畳(C区間)を設置する路面パターンを提案する。入り口付近を走行する際に、自身の進入を認知しつつ区間周囲に注意を向ける必要があるため、車両や歩行者に過大な負荷がかからない程度のシンプルな振動が加わる路面パターンを考えた。シェアード・スペースを想定したVR空間において走行実験を行えるよう、大型の没入型ディスプレイ「Large Space」内に提案する路面パターンとして、C区間には厚さ1cmで10cm角のコンクリートタイルを敷き詰め、B区間の長さを変化させて段差の昇降に伴う振動の間隔を変えられるようにした。実際に電動カートで2m/sで走行させて、シェアード・スペースへの進入を知覚しつつ周辺の歩行者の動向を運転手が捉えられるかどうか、シェアード・スペース内に進入した瞬間から進行方向左右に配置された4人の歩行者モデルのうちどれか1つが進路方向に動き出す様子を捉えるまでの時間を計測する実験を行った。実験の様子を図10に示す。

実験のアンケート結果から、シェアード・スペースに進入したことが認識できること、4人の人モデルのうち1体の動きを目視で捉えることが可能であること、運転手、歩行者共に周囲の状

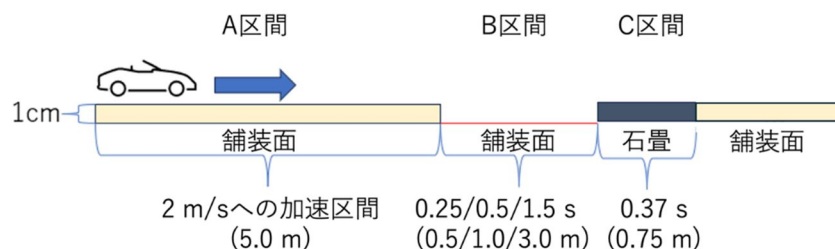


図9 提案する路面パターン(距離は2m/sで走行した場合)

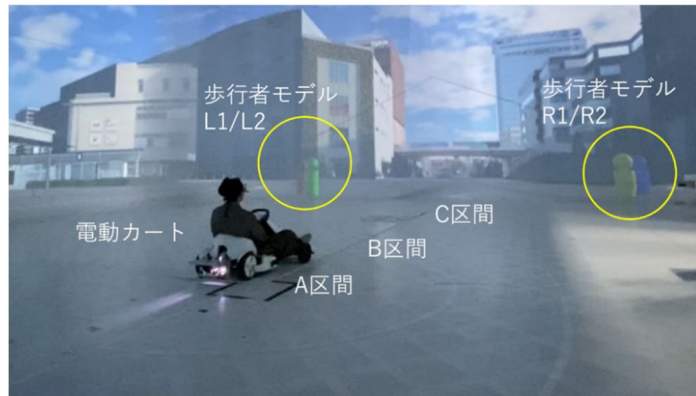


図 10 通行実験の様子

況に気を配る動作に影響を与えないことが示唆された。一方区間路面を 1 cm 下げた場所から再び 1 cm の高さの石畳の区間までの長さに関しては個人差があるものの区間 3 m ほどの長さがある方が、より周囲を見る余裕があることが示唆された。

図 11 に 4 名分の運転手の行動を分析した結果を示す。B 区間の間隔が短い(段差昇降に 0.25 秒)場合は、発見するまでの時間にばらつきが大きくなった。走行中に段差を見ながら周囲を見るには 0.25 秒は短すぎると言える。間隔が 0.5 秒以上になるとそれほど差がなくなった。また、1.5 秒を境に 2 つのクラスタが見られた。これは、石畳に乗り上げた瞬間に周囲を確認する場合(1.3 秒以下)と石畳に乗り上げた後に減速をしながら周囲を観察する場合(1.5 秒以上)の 2 種類の運転手の歩行者発見戦略の違いと考えられる。

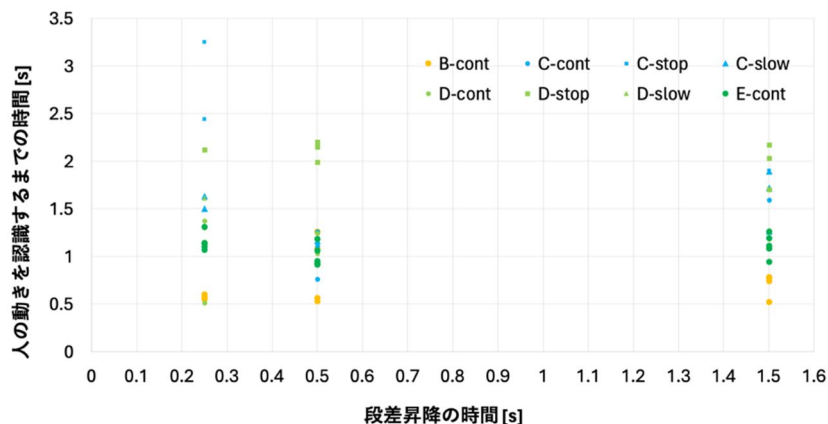


図 11 段差昇降の時間 (B 区間の長さと同比例) と石畳に入ると人の動きを認識するまでの時間

以上より、図 9 の提案手法は、シェアード・スペースに進入したことを認識しつつ、歩行者の発見に大きな影響はないことが示唆された。

このように研究が進んだことから、歩行者の側から見た、シェアード・スペースにおける自動運転車両接近時のリスク知覚についても検討を行った。歩行者のリスク知覚をモデル化する手法を構築し、その妥当性を VR 環境下の実験によって検証した結果、知覚されるリスク場を簡単な統計モデルで表現できることを確認した。

これらをシェアード・スペースに適した道路環境デザインの要件とした。

引用文献

- 1) Tom Vanderbilt "Traffic", AA.Knopf, 2008 等
- 2) Ben Hamilton Baillie: Shared Space the alternative approach to calming traffic, Tec September 2006 等
- 3) 山本早里:シェアード・スペースと安全：未来社会に向けた道路環境デザイン, 自動車技術, 72(3), pp.6-12, 2018
- 4) 藤井聡ら, 京都の三条通の実験など:「信号撤去したら事故減った 京都の中心部 安全意識向上も」京都新聞(2016年6月28日)
- 5) 基盤研究(C), 標識撤去による美的で安全な道路環境「Shared Space」に関する研究, 研究代表者西川潔, 2010年~12年
- 6) 基盤研究(B), 日本版シェアードスペースのためのデザインシステム構築, 研究代表者山本早里, 2018~2020年
- 7) 尾崎拓磨・山本早里・伊藤誠・川本雅之:走行速度を抑制する路面デザイン - シェアード・スペースのためのデザイン提案 -, デザイン学会研究発表大会概要集, No.64, pp.272-273, 2017

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Zhangyijing Chen, Makoto Itoh, Moe Maeda, Sari Yamamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of Traffic Signs on Road Surface on Pedestrian Safety during Interactions with Autonomous Vehicles in Shared Spaces	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. 5th HFEM Biennial Conference on Human Factors and Ergonomics(HFEMC2023)	6. 最初と最後の頁 -
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 Yichen Dong, Andrijanto, Hiroaki Yano, and Makoto Itoh	4. 巻 -
2. 論文標題 Elderly Pedestrian-Crossing Strategy When Perceiving an Autonomous Vehicle in a Shared Space	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. The 4th IEEE International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)	6. 最初と最後の頁 -
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 山本早里・伊藤礼登・呉雲輝・矢野博明・佐藤健治・安部原也・伊藤誠	4. 巻 71
2. 論文標題 シェアード・スペースにおける道路舗装の揺動とデザインに関する研究:印象評価を中心として	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本デザイン学会研究発表大会概要集	6. 最初と最後の頁 -
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 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 Chen Xi and Yamamoto Sari	4. 巻 71
2. 論文標題 Pavement Design for Shared Space Oriented to Improve the Pedestrian Experience	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本デザイン学会研究発表大会概要集	6. 最初と最後の頁 -
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 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 呉雲輝・山本早里	4. 巻 71
2. 論文標題 ドライバーの視覚運動と路面デザインの関係：日本版シェアード・スペースを構築するための提案	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本デザイン学会研究発表大会概要集	6. 最初と最後の頁 -
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 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 伊藤誠	4. 巻 52(3)
2. 論文標題 歩車共有空間を走行する自動運転の価値と安全の共創	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 品質	6. 最初と最後の頁 141-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20684/quality.52.3_141	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 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Zhangyijing Chen, Makoto Itoh, Moe Maeda, Sari Yamamoto
2. 発表標題 Effects of Traffic Signs on Road Surface on Pedestrian Safety during Interactions with Autonomous Vehicles in Shared Spaces
3. 学会等名 5th HFEM Biennial Conference on Human Factors and Ergonomics(HFEMC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Makoto Itoh
2. 発表標題 Human Factors in Road Traffic Safety in Japan: Understanding of pedestrian 's behavior in shared space
3. 学会等名 Indonesia Transportation: From Research to Practice (R2P), The Indonesian Ergonomics Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岸 将史、伊藤 誠、齊藤 裕一、矢野 博明、山本 早里
2. 発表標題 歩車共存道路における空間デザインの違いがドライバの視行動に及ぼす影響
3. 学会等名 計測自動制御学会知能システムシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤誠
2. 発表標題 歩車共有空間を走行する自動運転の価値と安全の共創
3. 学会等名 クオリティトーク（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	伊藤 誠 (Itoh Makoto) (00282343)	筑波大学・システム情報系・教授 (12102)	
研究 分担者	矢野 博明 (Yano Hiroaki) (80312825)	筑波大学・システム情報系・教授 (12102)	

	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 協力者	Chen Zhangyijing (Chen Zhangyijing)	筑波大学 (12102)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	Chen Xi (Chen Xi)	筑波大学 (12102)	
研究協力者	呉 雲輝 (Wu Yunhui)	筑波大学 (12102)	
研究協力者	伊藤 礼登 (Itoh Ayato)	筑波大学 (12102)	
研究協力者	植松 航平 (Uematsu Kohei)	筑波大学 (12102)	
研究協力者	大木 幹生 (Ohki Mikio)	筑波大学 (12102)	
研究協力者	徳永 桂太郎 (Tokunaga Keitaro)	筑波大学 (12102)	

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