

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15252

研究課題名（和文）準自動運転におけるドライバーのリスク補償行動への理解と対策

研究課題名（英文）Understanding and counter measures for driver's risk compensation in semi-automated driving

研究代表者

土井 俊央 (Doi, Toshihisa)

岡山大学・自然科学学域・助教

研究者番号：20794077

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）：準自動運転状況では、単調な監視作業が続く中で、注意力が低下してしまうことが懸念される。Level 2やLevel 3の自動運転レベルでは、システムが加減速・ステアリングを制御するとはいえ、その範囲は限定的であり、ドライバーの注意力が低下した状態が続くことは好ましくない。本研究では、長時間の準自動運転状況の安全性向上を図るために、長時間の自動運転がドライバーのビジランスや覚醒水準に与える影響を調査し、ビジランスを維持し、監視作業のパフォーマンスを高めるための方策を検討した。また、ドライバーの生理指標の時系列的な変化に基づいて、ドライバーの覚醒水準の度合を推定するための基礎的検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動運転車についての研究開発の進展は目覚ましく、Level 2、Level 3の自動運転車はすでに市場に多く登場している。これらはドライバーの負担を軽減し、快適性・安全性を向上させることが期待されているが、ドライバーに要求される作業が異なることによる安全上の課題も懸念される。本研究では、自動運転中の監視作業がドライバーの挙動やパフォーマンスに与える影響を理解し、自動運転車の安全性向上に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：In semi-automatic driving situations, there is a concern that the driver's attention may decrease during the monotonous monitoring task. In the Level 2 and Level 3 automatic driving levels, even though the system controls acceleration/deceleration and steering, the range is limited. Therefore, it is undesirable for the driver's attention to continue to be decreased for safe driving. In order to improve safety in long-term semi-automated driving situations, this study investigated the effects of long-term semi-automated driving on driver vigilance and arousal level. Moreover, this study examined how to maintain vigilance and improve the performance of monitoring tasks. In addition, a fundamental study was conducted to estimate the driver arousal level based on the trends in the driver's physiological indices over time.

研究分野：人間工学，人間機械系，人間中心設計

キーワード：ビジランス 自動運転 覚醒水準 監視作業

1. 研究開始当初の背景

昨今、運転支援や自動運転の技術開発が進められている。Society of Automotive Engineers (SAE)の定義する自動運転のうち Level 2 では、ステアリングと加減速の連携操作をシステム側が自動で行うが、ドライバによる監視義務がある。Level 3 では、システム側の責任において自動で運転タスクが行われるが、緊急時にはドライバが運転操作へ復帰する必要がある、運転席に着席する必要がある。また、いずれも高速道路などの特定の状況下での利用に限られる。これらの準自動運転状況では、ドライバに要求されるタスクは従来までの運転作業と異なり監視作業となるため、ドライバと準自動運転技術のインタフェースにおいて新たな安全上の課題が起り得る。

準自動運転において考慮すべき最も重要な課題の一つが、人間のリスク補償行動である。リスク補償行動とは、たとえ技術的な革新などによりシステムの安全性が高まっても、ユーザがその代わりに取ってしまうリスクの高い行動のことであり、結果として人間-システム系のリスク水準が変わらなくなることがある。準自動とは Level 2 ではドライバに監視義務があり、また Level 3 でも緊急時の運転操作への復帰を想定すると運転状況を監視し、状況を把握しておくことは安全上重要である。しかし、システムが自動で運転制御をする状況になれば、例えば運転中に別の作業を行う、注意散漫で別の考え事をしてしまう、注意力が低下していても運転を継続してしまう、などといった不安全なリスク補償行動をとりやすくなることが懸念されている。

ここ数年、準自動運転時のドライバ挙動に関する研究は盛んになってきているが、特に注目されているのは自動運転から運転操作へ復帰する際の運転パフォーマンスであり、その前段階として重要になる監視作業パフォーマンスについての検討は少ない。また準自動運転中の副次作業や注意散漫状態がドライバの挙動やパフォーマンスに与える影響については十分な検討が行われておらず、これらのリスク補償行動に対しての具体的対策も確立されているわけではない。

2. 研究の目的

本研究では、「ドライバのリスク補償行動はドライバの監視作業にどのような影響を与えるのか」、「どうすれば監視作業におけるビジランス低下を抑制できるか」を検討するために、以下3点について検討した。研究の枠組みは以下の図1に示すとおりである。

- (1) 副次作業および警報が危険検知パフォーマンスに及ぼす影響の検討
- (2) 準自動運転状況においてビジランスの低下を抑制する方策の検討
- (3) ドライバの覚醒水準評価方法の検討

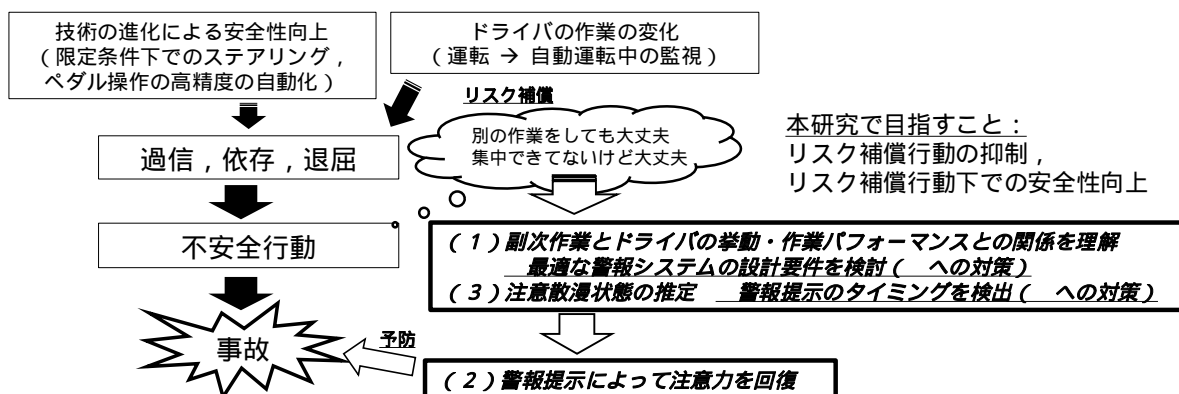


図1 本研究の枠組み

3. 研究の方法

(1) ~ (3) いずれの目的に対してもドライビングシミュレータを用いた実験を行った。それぞれの方法について以下に述べる。使用したドライビングシミュレータの画面例を図2に示す。

(1) ドライビングシミュレータを用いて、運転作業中に視覚課題(車載GUIの読み取り)と聴覚課題(車内ラジオの聞き取り)の2種類の副次作業の遂行が、自車周囲に提示される危険場面の検知パフォーマンス(反応時間, ミス率)に及ぼす影響を調査した。また、これらの副次作業遂行中の警報システムの有効性を検証するため、警報なし, 視覚警報, 聴覚警報, 触覚警報の各条件についても実験を行った。

(2) ドライビングシミュレータを用いて、長時間運転時にビジランスを推定するためのパフォーマンス(刺激への反応時間, ミス率)やドライバの主観的な覚醒水準がどのように変化するかを調べた。また、同様の条件において、聴覚・触覚刺激の提示やガム咀嚼を一定時間ごとに行なった場合のビジランス低下抑制効果を検証した。

(3) ドライビングシミュレータを用いて、運転中のドライバの生理指標(脳波, 瞳孔径, 心拍変動性指標(HRV), PERCLOS, 瞬目等)を測定した。また、これと並行してドライバの主観的な覚醒状態を30秒ごとに口頭で回答させた。これらのデータから、ドライバの生理指標と主観的な覚醒状態の時系列変化との対応関係を調査した。

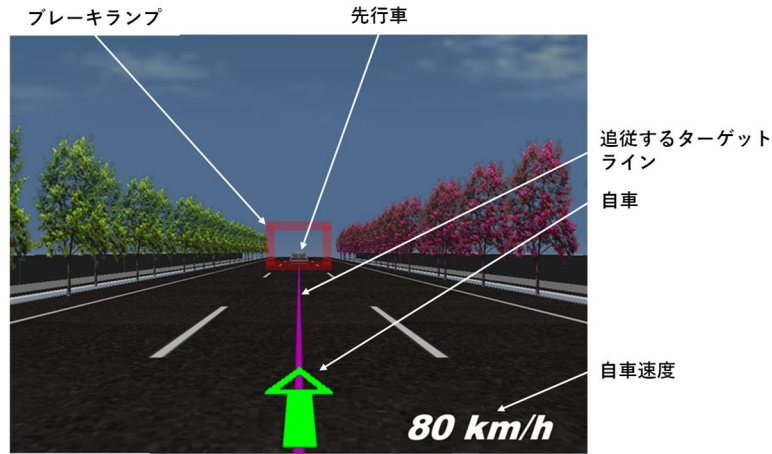


図2 ドライビングシミュレータの画面例

4. 研究成果

(1) ~ (3) について、以下のような成果が得られた。

- (1) 警報の種類(視覚, 聴覚, 触覚)に関わらず、警報提示をすることで危険検知パフォーマンスは大きく向上する。特に、視覚的な副次作業, 聴覚的な副次作業とモーダリティが重ならない触覚警報が、危険検知パフォーマンスを高めるうえで最も有効である。逆に、副次作業と警報のモーダリティが重なる場合(例: 視覚的な副次作業と視覚警報の組み合わせ), 危険検知の反応時間が増加する傾向がある。結果の一例として、図3に警報と副次作業のモーダリティの各組合せにおける危険場面(この例では、先行車の急停止)への反応時間を示す。

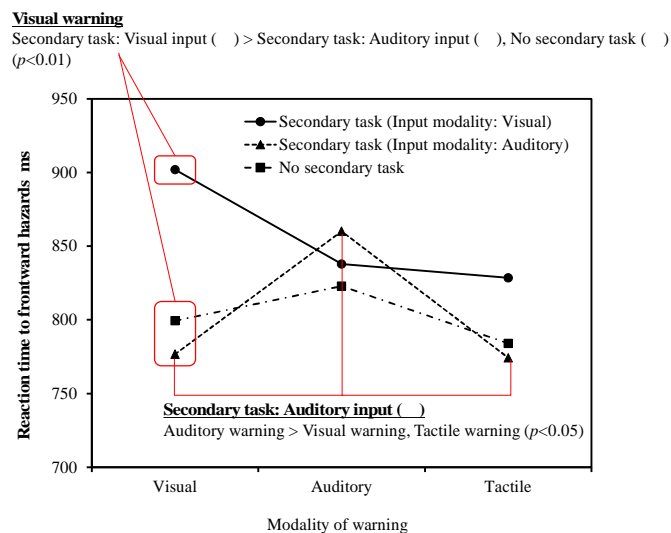


図3 警報と副次作業のモーダリティが異なる各条件での危険場面に対する反応時間

- (2) 手動運転, 自動運転いずれの運転状況においても、1時間の運転を行った際には時間経過とともにビジランスおよび覚醒水準の低下がある。特に、自動運転の条件の方がビジランス・覚醒水準の低下の程度が大きいと考えられる。結果の一例として、図4に自動

運転と手動運転を1時間連続して行った際の刺激に対するミス率の変化(左)と60分間での平均値の比較(右)を示す。また、いずれの条件においても、5分間隔で聴覚・触覚刺激の提示、もしくは15分間隔でのガム咀嚼、を行った場合、これらを行わない条件よりもビジランス低下の程度が少ない。

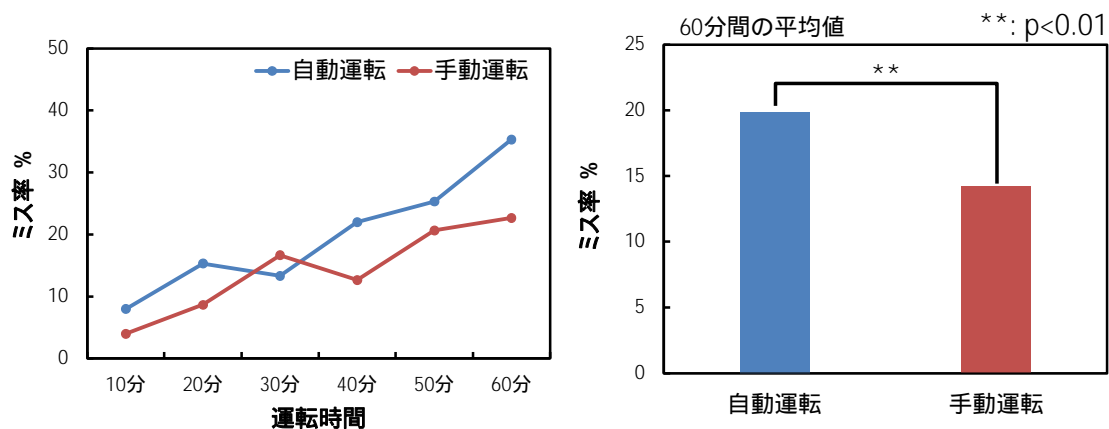


図4 自動運転と手動運転におけるミス率の比較

(3) 運転中のドライバーの主観的な覚醒水準をカロリンスカ眠気尺度(KSS)によって測定し、その値との対応関係を分析したところ、いずれの生理指標ともKSSの対応関係が確認することができた。特に、瞳孔径のスペクトル解析指標(MPF, LF/HF, HF), PERCLOS70(1分間で目の閉眼度合が70%以上になった時間の割合)は、KSSの値との関連度合が高く、覚醒水準の推定に利用可能な指標であると考えられる。結果の一例として、図5に各KSSの評価値ごとの瞳孔径のパワースペクトル(左)と各被験者のMPF(瞳孔径)の平均値とKSS評価値の関係(右)を示す。

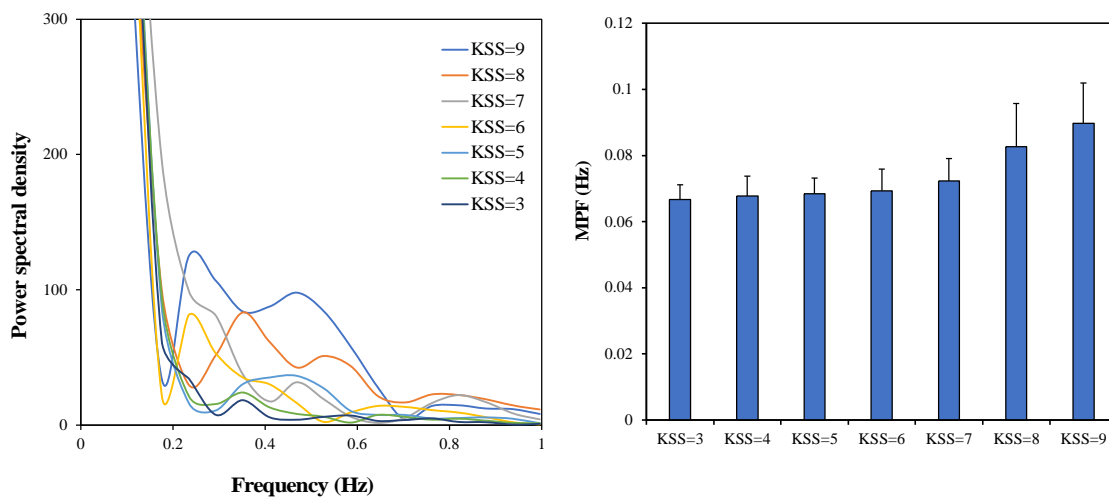


図5 瞳孔径のスペクトル解析結果とKSS評価値との関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 土井俊央, 村田厚生	4. 巻 26(1)
2. 論文標題 警報と副次作業の感覚モダリティが自動車運転時の視覚的な危険検知に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ヒューマンファクターズ	6. 最初と最後の頁 9-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11443/jphf.26.1_9	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 Toshihisa Doi	4. 巻 11(15)
2. 論文標題 Usability textual data analysis: A Formulaic Coding Think-Aloud Protocol Method for Usability Evaluation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 7047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11157047	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 Toshihisa Doi	4. 巻 -
2. 論文標題 Effective highlighting modes of graphical user interfaces in visual information search	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Universal Access in the Information Society	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) 10.1007/s10209-021-00827-x	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 Doi Toshihisa	4. 巻 13
2. 論文標題 Effects of Asymmetry between Design Models and User Models on Subjective Comprehension of User Interface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 795 ~ 795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym13050795	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 土井 俊央、村田 厚生	4. 巻 26
2. 論文標題 警報と副次作業の感覚モダリティが自動車運転時の視覚的な危険検知に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ヒューマンファクターズ	6. 最初と最後の頁 9~24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11443/jphf.26.1_9	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 Doi Toshihisa	4. 巻 11
2. 論文標題 Usability Textual Data Analysis: A Formulaic Coding Think-Aloud Protocol Method for Usability Evaluation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 7047~7047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11157047	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 Doi Toshihisa、Murata Atsuo	4. 巻 273
2. 論文標題 Examining the Cultural Differences of Users' Characteristics Between the United States and Japan Related to User Interface Design	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 391~396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-80713-9_49	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 土井俊央、村田厚生	4. 巻 25(1)
2. 論文標題 視線入力システムでのポインティング作業のユーザビリティ評価におけるThroughputの有効性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ヒューマンファクターズ	6. 最初と最後の頁 21-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11443/jphf.25.1_21	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 土井俊央, 村田厚生	4. 巻 66(4)
2. 論文標題 駐車場に設置されたフラップ板の種類と設置位置がドライバのバック駐車行動に与える影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 デザイン学研究	6. 最初と最後の頁 67-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11247/jssdj.66.4_67	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 土井俊央, 村田厚生, 陰山和司	4. 巻 24(2)
2. 論文標題 視線入力システムにおけるカーソルの移動軌跡によるターゲット予測法の有効性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ヒューマンファクターズ	6. 最初と最後の頁 45-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11443/jphf.24.2_45	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 土井俊央, 村田厚生	4. 巻 18(5)
2. 論文標題 携帯電話による通話および同乗者との会話が自動車運転に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本感性工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 371-180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5057/jjske.TJSKE-D-19-00041	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 Toshihisa Doi	4. 巻 48(1)
2. 論文標題 Mental model formation in users with high and low comprehension of a graphical user interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Human Ergology	6. 最初と最後の頁 9-24
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 オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 土井俊央, 村田厚生, 陰山和司	4. 巻 24(2)
2. 論文標題 視線入力システムにおけるカーソルの移動軌跡によるターゲット予測法の有効性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ヒューマンファクターズ	6. 最初と最後の頁 45-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11443/jphf.24.2_45	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11件(うち招待講演 0件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Toshiyuki Wakimizu, Atsuo Murata, Toshihisa Doi
2. 発表標題 Effects of spectral distribution in light sources and physical properties of discrimination samples on discrimination of depth
3. 学会等名 AHFE2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshihisa Doi, Atsuo Murata
2. 発表標題 Comparative analysis of website usability between United States and Japan
3. 学会等名 AHFE2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹部豪, 土井俊央, 村田厚生
2. 発表標題 自動車速度, 障害物との距離, 後続車の位置が車線変更の安全性に及ぼす影響 サイドミラー代替ディスプレイと触覚警報の有効性
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 甲藤柊介, 土井俊央, 村田厚生
2. 発表標題 トレンド分析を用いた居眠り運転のリスクが高まる区間の予測
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野上和真, 土井俊央, 村田厚生
2. 発表標題 ファジィ言語パターンを用いた画面評価方法の有効性の検証
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野卓紘, 土井俊央, 村田厚生
2. 発表標題 行動指標とPERCLOS70を用いた運転手の覚醒水準推定
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森山冬馬, 土井俊央, 村田厚生
2. 発表標題 作業負担が小さくなるコンテナの持ち手形状の検討
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshihisa Doi, Atsuo Murata
2. 発表標題 Cross-cultural Analysis of Top Page Design among Brazilian, Chinese, Japanese and United States Web Sites
3. 学会等名 10th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野慎也, 土井俊央, 村田厚生
2. 発表標題 閉眼状態を用いた覚醒水準の評価
3. 学会等名 第52回日本人間工学会中国・四国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長上拓実, 土井俊央, 村田厚生
2. 発表標題 車載機器の操作とサイドミラー代替ディスプレイによる危険判断が同時に発生する場合の安全性 - 画面の近接性, 触覚警報, 音声入力による影響 -
3. 学会等名 日本人間工学会第60回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Doi, T., Murata, A.
2. 発表標題 Examining the Cultural Differences of Users' Characteristics Between the United States and Japan Related to User Interface Design
3. 学会等名 AHFE2020 (国際学会)
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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