

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12074

研究課題名（和文）人と機械が調和した交通社会実現のための運転支援技術の開発

研究課題名（英文）Advanced Driving Support System Encouraging Human-Machine Harmony for Safe Transportation Environment

研究代表者

多田 昌裕（Tada, Masahiro）

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：40418520

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）：自動運転技術はヒューマンエラーによる交通事故減少に寄与することが期待されている。レベル2の準自動運転技術では、従来、人が担ってきた車両速度制御や操舵制御を機械が担うようになる一方で、周辺監視の役割はこれまで通りドライバーが担う。本研究では、機械が人のタスクを代替することにより、ドライバーの覚醒度が低下せずとも、周囲に十分な注意を払わない注意散漫状態が生起するおそれがあることを明らかにした。また、本研究ではドライバーモニタリング技術を用い、ドライバーが本来果たすべき周辺監視を怠るなどの兆候が認められた際にはリアルタイムに情報介入を行う安全運転支援システムを試作し、実証実験により有用性を確かめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、機械が人のタスクを代替することによってドライバーの注意低下が誘発され、自動運転技術が新たな事故リスクを生まないよう、ドライバーの周辺監視レベルをモニタリングする技術およびリアルタイムにドライバーに対して情報を提供・介入する技術開発を行った。従来、自動運転機能によりドライバーの覚醒度の低下が生じることは知られていたが、本研究ではドライバーが眠気を感じていなくても周辺監視レベルが低下し注意散漫状態に陥るおそれがあることを示すとともに、注意散漫状態の兆候を検知した場合にはリアルタイムに情報介入することで、過信や不信を生じない、人と機械が調和した安全運転支援法の提案を行った点に意義がある。

研究成果の概要（英文）：Autonomous driving technology is expected to reduce traffic accidents caused by human error. At SAE Level 2, whereas the human continues to monitor the driving environment, the system conducts two driving tasks, i.e. maintaining vehicle speed and distance to the car ahead and steering control. In this study, we have found out that drivers tend to look aside as well as the number of drivers' utterance which corresponds to drivers' attention towards surrounding vehicles significantly decrease as time proceeds while using SAE Level 2 driving support system. The results indicates the risk that SAE Level 2 driving support system could cause drivers' distraction even when drivers do not feel drowsy. Therefore, in this study, we have developed a driving support system that monitors driving behavior and giving safety driving advice in real-time when the system detects initial signs of drivers' distraction, such as not performing scanning behavior even at potentially dangerous intersections.

研究分野：交通情報学

キーワード：自動運転 運転支援システム 人と機械の調和

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

人工知能技術やセンシング技術の急速な発展に伴い、自動走行システムを搭載した車両が当たり前のように走行する交通社会の到来が間近に迫っている。自動運転技術は、機械が担う運転タスクの程度によって SAE レベル 0 から 5 までに分類されている。機械が車両速度制御、操舵制御、周辺監視の全てを担う完全自動運転は SAE レベル 4 以降だが、一般道においては人が周辺監視を担う SAE レベル 2 の部分自動運転車両が今後も主になるとされている。自動車の運転は、人と機械とが役割分担しつつ協調して働く「人間-機械系」のシステムである。SAE レベル 2 の部分自動運転技術では、従来、人が担ってきた車両速度制御や操舵制御を機械が担うようになる一方で、周辺監視の役割はこれまで通りドライバーが担う。すなわち、部分自動運転では、運転において人が担うべき役割は軽減されるものの、完全自動運転のように人が運転タスクから解放されるわけではない。部分自動運転技術により、車両速度制御や操舵制御から解放されたドライバーは、生まれた余裕を周辺監視に振り向けることが期待されている。一方で、部分自動運転技術がドライバーの漫然運転を誘発するなど、自動化による新たな事故リスクが生起するおそれも指摘されている。人と機械が調和する将来の社会デザインを検討するためにも、また今後のヒューマン・コンピュータインタラクション、ヒューマンインタフェースの設計を考える上でも、基礎的知見を蓄積することは重要な課題であると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、部分自動運転車両の実走実験やドライビングシミュレータ走行実験を実施し、機械が人のタスクを代替することが人の振る舞いにどのような影響を与えるのか明らかにすることを目的とする。また、ドライバーの周辺監視状況をモニタリングする技術、そしてリアルタイムにドライバーに対して情報を提供し介入する技術の研究開発を行う。これにより、人と機械が調和した運転支援を図る上で、人に対してどのような内容・手段・頻度の情報介入を行うべきか明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

研究構想段階では部分自動運転車両の実走実験を主として実施し、機械が人のタスクを代替することが人の振る舞いにどのような影響を与えるのか明らかにする予定であった。しかしながら、COVID-19 感染症対策の観点から、多くのスタッフが集まり必然的に密となる実走実験の実施が一部困難となった。そのため、本研究では、実走実験に加え、ドライビングシミュレータを用いた検討も併せて実施した。

本研究では、機械が人のタスクを代替することが人の振る舞いにどのような影響を与えるのか明らかにするため、運転中のドライバーの注意配布状態やストレスを視線計測機器や心電・脳波などの生理計測機器で計測し、部分自動運転機能使用の有無によってどのような違いが生じるのか、その把握を試みる。またドライバーの状況、状態、運転特性に合わせた安全アドバイスをリアルタイム提供するシステムを開発し、実証実験によりその効果を検証する。

### 4. 研究成果

#### (1) 部分自動運転機能がドライバーに与える影響検討（実交通環境での検討）

実交通環境下において SAE レベル 2 の運転支援システム搭載車両を用いた走行実験データ（文献①）を用い、部分自動運転機能がドライバーに与える影響の検討を行った。利用した走行実験データは、高齢者 15 名、非高齢者 15 名が札幌自動車道を運転した際の運転行動を、オムロン社が開発したビジョンベースのドライバモニタリングセンサで計測したものである。今回用いたドライバモニタリングセンサは内蔵カメラで撮影した人物画像から、顔向き角度や瞼の開閉状態を 15Hz で算出・記録することができる。

本研究では、漫然運転指標として 15Hz で計測した瞼の開閉状態データから、単位時間当たりの閉眼時間割合を表す PERCLOS(Percent of Eyelid Closure) と瞬目回数を算出し、覚醒度の定量的把握を行った。PERCLOS は覚醒度が低下するほど値が増加し、瞬目は覚醒水準が低下すると回数が増加する。今回は 15Hz で計測した瞼の開閉状態データが「開眼」から「閉眼」へ遷移した時、瞬目回数を 1 回とみなす。

各実験参加者の往路・復路の PERCLOS および瞬目回数を比較したところ、SAE レベル 2 の運転支援システム使用時には時間経過とともに両指標の値が増加したのに対し、非使用時にはそのような傾向は認められなかったことから、運転支援システム使用時は時間が経過するに伴い覚醒度が低下し、漫然状態が誘発されることが示唆された。併せて、走行後のアンケートでは、眠気を申告しなかった実験参加者であっても、運転支援システム使用時には時間経過に伴い、非使用時と比較して有意に安全確認への意識（周辺監視レベル）が薄れたという結果が得られた。

#### (2) 部分自動運転機能がドライバーに与える影響検討（シミュレータ環境での検討）

先行研究の多くはドライバーの眠気や覚醒度の低下を伴う漫然運転に着目している。しかし

ながら、実交通環境での検討の結果、ドライバーが眠気を訴えていない場合であっても、周辺監視レベルが低下する（本研究では、以降、覚醒度の低下を伴わずに自車両周辺に対する周辺監視レベルの低下が生じる状態を注意散漫状態と呼称する）可能性があることが示唆された。

そこで本研究では視線など運転行動指標に加えて、ドライバーのリラックス状態を計測するための生理指標や運転中に注意していた対象物や注意のレベルに関する主観評価指標など様々な指標・尺度を計測したドライビングシミュレータ運転行動データの解析を行い、眠気を伴わない注意散漫状態の生起可能性を含めて自動運転機能がドライバーに与える影響の把握を試みた。

本研究で用いた運転行動データは、全長 11.05km の高速道路モデル上を走行したものであり、道路モデルには仮想的にキロポストを付与してある。この道路モデルは、5.0kp から 7.0kp にかけては最大 2.82% の上り勾配を有するものの緩やかな平面曲線のため高速で走行しやすい区間、その先の 9.0kp 付近に R=400 のカーブがあり、カーブを始点とした減速の伝播による速度低下や、それに伴う周辺車両との車間距離の縮小など、周辺車両との位置関係に注意を要する区間となっている。

実験参加者は一般募集した日常的に運転する 30~49 歳の男性 20 名であり、各参加者に SAE レベル 1 の定速走行・車間距離制御装置（ACC：Adaptive Cruise Control）搭載車両（以下、ACC 車両）と、通常の車両（以下、MD 車両）をそれぞれ 3 回ずつ走行してもらった。走行の際、参加者には、行動指標としてアイカメラ（ナックイメーজテクノロジー社、EMR-9）を装着してもらい運転中の視線データを計測したほか、生理指標として心電計（キッセイコムテック株式会社、NeXus-10 MARKII）を用いて走行中の心拍変動を計測した。各走行後には、カロリンスカ尺度を用いた眠気の主観的評価データのほか、走行中に気になっていた対象やリスク評価をヒアリングした。ヒアリングを行う箇所は 4.0kp、5.5kp、7.5kp、9.0kp とした。

図 1 は車両条件別（MD 車両、ACC 車両）、地点別（4.0~5.5kp、5.5~7.5kp、7.5~9.0kp）に 1 試行あたりのわき見回数の平均値を示したものである。

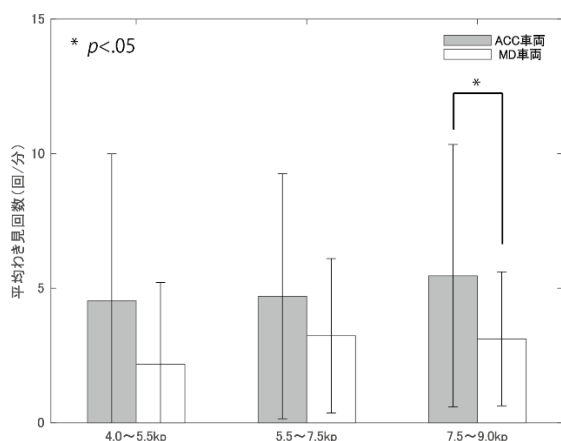


図 1 地点別、車両条件別のわき見回数平均

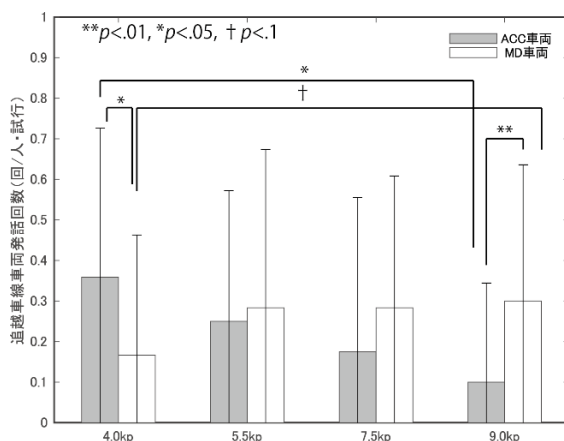


図 2 周辺車両への注意に関する発話数の比較

車両条件（ACC 車両・MD 車両）×地点（4.0~5.5kp・5.5~7.5kp・7.5~9.0kp）での 2 要因分散分析および多重比較（Bonferroni 法）を行ない、各条件間においてわき見回数に差があるか検討した結果、7.5~9.0kp 地点において、ACC 車両条件のわき見回数（平均 5.5 回/分、SD=4.88）は MD 車両条件（平均 3.1 回/分、SD=2.49）よりも有意に多かった（ $p<.05$ ）。R=400 のカーブ手前の 7.5~9.0kp 区間において MD 車両条件よりもわき見が有意に多いことに着目すると、先行車両との車間距離維持や速度制御タスクから解放されたことにより、前後および隣接車線の車両との位置関係、道路線形に本来は注意すべき区間に入っても、ドライバーがわき見を続けることにつながったのではないかと推察される。

生理指標としては、運転支援システムによるドライバーの負荷軽減効果の有無を把握するため、実験参加者がどの程度リラックスしているかを示す心拍ゆらぎ（文献②）に着目し、解析を行った結果、5.5~7.5kp 地点において、ACC 車両条件のリラックス指標は MD 車両条件よりも有意に大きくなり、ACC 機能によりドライバーの心的負荷が軽減されるという正の効果を示唆する結果が得られた。

ヒアリングデータ解析では、4.0kp、5.5kp、7.5kp、9.0kp の各地点において走行中に気になっていた対象物を自由発話形式で発話を求めたデータから、「追越車が車線変更するかもしれないと思い注意した」など、本来ドライバーが周辺監視を担うべき他の車線の車両への注意に関する発話数を車両条件間、地点間で比較した。車両条件（ACC・MD）×地点（4.0kp・5.5kp・7.5kp・9.0kp）での 2 要因分散分析および多重比較（Bonferroni 法）を行なった結果（図 2）、ACC 車両条件では 9.0kp の周辺車両発話量（平均 0.10 回、SD=0.24）が 4.0kp（平均 0.36 回、SD=0.37）よりも有意に少ない一方（ $p<.05$ ）、MD 車両条件では 9.0kp の周辺車両発話量（平均 0.30 回、

$SD=0.34$ ) が 4.0kp (平均 0.17 回,  $SD=0.30$ ) よりも有意に多い傾向となった( $p<.1$ ). また, 4.0kp においては ACC 車両条件 (平均 0.36 回,  $SD=0.37$ ) の方が MD 車両条件 (平均 0.17 回,  $SD=0.30$ ) よりも有意に周辺車両発話量が多かったが ( $p<.05$ ), 逆に 9.0kp においては ACC 車両条件 (平均 0.10 回,  $SD=0.24$ ) の方が MD 車両条件 (平均 0.30 回,  $SD=0.34$ ) よりも有意に周辺車両発話量が少なくなった ( $p<.01$ ).

以上より, ACC 機能により車間距離維持・速度制御タスクから解放されたドライバーは, 走行開始直後はその余裕を周辺監視に振り向けるものの, 時間経過とともに徐々に注意の低下が生じ, 覚醒度の低下を伴わない注意散漫状態に陥るおそれがあることが示唆される.

### (3) ドライバモニタリングセンサを用いたリアルタイム安全アドバイス提供システム

本研究では, ドライバーの周辺監視状況をモニタリングする技術に基づき, ドライバーの周辺監視レベルが低下したことを検知すると, リアルタイムにドライバーに対して情報を提供し介入するシステムを開発した. 提案システムは画像処理型のドライバモニタリングセンサ, ジャイロセンサ, GPS 受信機とノートパソコンで構成されている (図 3).

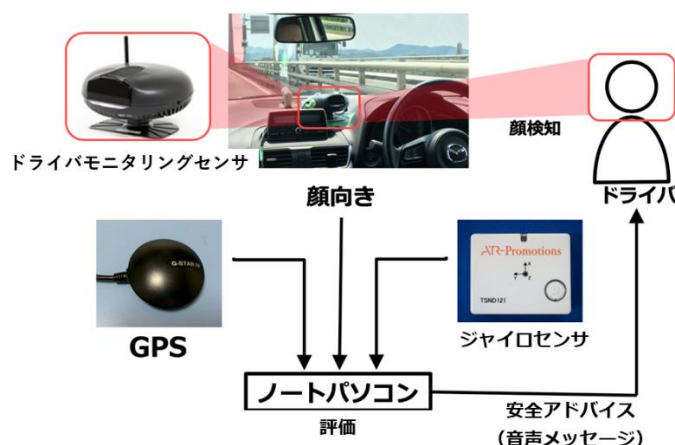


図 3 リアルタイム安全アドバイス提供システム概要

ドライバモニタリングセンサによりドライバーの顔向きと視線を計測 (15Hz) するほか, ジャイロセンサで車両角速度データ (25Hz), GPS で車両の位置情報 (1Hz) を計測する. これらのデータをノートパソコン上で取りまとめてドライバーの周辺監視レベルを評価し, 評価結果に応じた運転アドバイスを音声でドライバーにリアルタイムに通知する仕組みとなっている.

これまで述べてきたように, 覚醒度の低下がなくてもドライバーの周辺監視レベルが低下することがあることを踏まえ, リアルタイム安全アドバイス提供システムでは交差点部において, ドライバーが適切な方向に対して, 適切なタイミングかつ周辺に潜む危険源 (ハザード) を見つけ出すことが可能なだけの時間をかけて安全確認行動をしているかという観点で周辺監視レベルの評価を行う. なお, 各交差点においてどのような安全確認行動をすべきかという評価尺度は, 文献③に倣い, 自動車教習所指導員の安全運転知識に基づき定義した.

本システムによる周辺監視レベルの評価プロセスは, 以下に示す (1) ~ (6) の手順で行う.

- (1) GPS 車両位置データをモニタリングし, 事前に設定しておいた交差点に車両が接近したことを検知した時点で, 以下の評価プロセスを開始する.
- (2) ドライバモニタリングセンサデータからドライバーの顔向き角度を算出し, 安全確認行動の生起を検出する. 同時にジャイロセンサで計測した車両角速度データから, 交差点における車両の挙動 (直進, 右折, 左折) を判定する.
- (3) ドライバモニタリングセンサデータと車両角速度データから, 安全確認行動の生起回数, 確認角度, 確認時間, 確認のタイミング (交差点進入前・進入中, 進出後) を算出する.
- (4) GPS 車両位置データから車両速度を算出する.
- (5) (2)~(4)で検出された運転行動を, 交差点ごとに設定された評価基準と比較し, 基準をどの程度達成できていたかという観点から周辺監視レベルを評価・得点化する.
- (6) 評価基準の達成度に応じて, 当該箇所における周辺監視レベルを 5 段階 (A: 良~E: 悪) で評価する. また, 改善すべき点があった場合はその内容に応じて, 音声による安全アドバイスをリアルタイムに提供する.

提案したシステムの有用性を評価するため, 本研究ではシステムを, 山城自動車教習所が実施している事業用自動車ドライバー向けの安全運転講習の現場に導入し, 実証実験を行った. 実験参加者は事業用自動車ドライバー 20~70 歳 (平均年齢 44.2 歳,  $SD=11.98$ ) の男性 30 名である. 実証実験では, 公道上に設定した 1 周約 5km のコース (走行時間約 12 分) を実験参加者に運転

してもらい、システムによる評価と安全アドバイスの提供を行った。使用した車両は教習所の車両（1,500cc、オートマチック車）であり、助手席には教習所の指導員が同乗して安全確保に努めた。コース中には事前に指導員が周辺への安全確認をすべき箇所と判断した交差点を9箇所（信号あり：3箇所、信号なし：6箇所）設定し、各箇所を進行するたびに周辺監視レベルの評価と安全アドバイスの提供を行った。なお、今回のコースは9箇所の交差点を、交差点A～Iの順で通過する。走行後には、システムに関するアンケート調査を行い、安全アドバイスの理解度や安全への寄与度について5件法で回答を求めた。

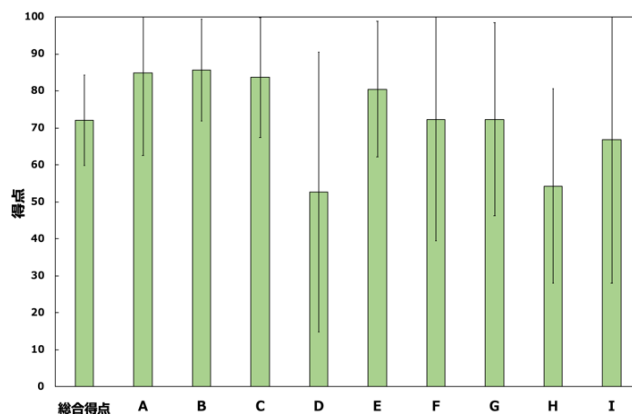


図4 交差点別の周辺監視レベル評価結果

図4に9箇所の交差点それぞれにおける周辺監視レベル評価（100点満点）の実験参加者平均（エラーバーは標準偏差）を示す。図4を見ると、交差点によって周辺監視レベル評価に変化が認められ、特に歩行者、自転車乗用者の周辺監視レベルが低下する見通しの悪い交差点を直進する場面（交差点D）においてドライバーの周辺監視レベルも低い（平均52.7点、 $SD=37.79$ ）、すなわち歩行者、自転車との事故リスクが高まることが示唆される。

安全アドバイス提供による情報介入がドライバーの周辺監視レベルに与える影響に関してみると、見通しの悪い交差点を直進する場面（交差点D）以後、それと同様の地形的特性（生活道路・無信号交差点直進・十字路）を備えた交差点F、Iにおける運転評価はそれぞれ平均72.3点（ $SD=32.79$ ）、66.9点（ $SD=38.89$ ）となっており、情報介入がドライバーの周辺監視レベルの改善に一定の効果があることが見て取れる。

表1 実験参加者へのアンケート結果

	平均	S.D.
アドバイス提供を受けて、要改善点を修正しようと思ったか？	4.4	0.63
安全運転に有用か？	4.5	0.63

実験参加者へのアンケート結果（5件法、表1）をみると「アドバイス提供を受けて要改善点を修正しようと思ったか」「安全運転に有用か」という、いずれの項目においても平均点4.3点以上となり、周辺監視レベルを計測・評価し、安全アドバイスを提供することがドライバーの周辺監視レベルの維持に一定の効果があることを示す結果となった。

<引用文献>

- ① S.Wada, T.Hagiwara, H.Hamaoka, Y.Ninomiya, M.Tada, T.Ohiro : Differences in Situational Awareness Between Elderly and Middle-Aged Drivers in Level 2 Automated Vehicles Versus Nonautomated Vehicles, Asian Transport Studies, Vol.6, 100014, 2020.
- ② 牧川 方昭, 南部 雅幸, 塩澤 成弘, 岡田 志麻, 吉田 正樹 : ヒト心身状態の計測技術, コロナ社, 2010.
- ③ M. Tada, H. Noma, A. Utsumi, M. Segawa, M. Okada, K. Renge : Elderly driver retraining using automatic evaluation system of safe driving skill, IET Intelligent Transport Systems, Vol.8, Issue 3, pp.266-272, 2014.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 0件）

1. 著者名 多田昌裕、小出瑞、西田将之、飯田克弘、澤田英郎	4. 巻 76
2. 論文標題 生理指標と行動指標を用いた部分自動運転機能使用時のドライバーの運転特性把握	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3（土木計画学）	6. 最初と最後の頁 I_739 ~ I_746
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejipm.76.5_I_739	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 多田昌裕、平尾健介、塚本哲也、朴啓彰、岡田昌也、蓮花一己	4. 巻 8
2. 論文標題 ドライバモニタリング技術を用いた高齢者の日常運転行動計測と一時停止交差点における運転行動解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 交通工学論文集	6. 最初と最後の頁 A_203 ~ A_212
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14954/jste.8.2_A_203	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12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 二階堂雄大
2. 発表標題 眼鏡型デバイスを用いた歩行者・自転車・自動車向け交通安全支援システムの開発
3. 学会等名 第18回ITSシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣嶋衛大
2. 発表標題 実世界運転データに基づくドライバー特性の把握と焦りが運転行動に及ぼす影響の分析
3. 学会等名 第18回ITSシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小出瑞
2. 発表標題 視線計測手法を用いたACC機能使用時の運転行動特性把握
3. 学会等名 映像情報メディア学会メディア工学研究会学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岩淳
2. 発表標題 視線計測装置を用いた高齢タクシードライバーの運転特性分析
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲谷圭介
2. 発表標題 視線計測型ハザード知覚テストを用いた高齢者の認知機能と運転特性の関連性検討
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平尾健介
2. 発表標題 高齢者の日常運転行動計測に基づく生活道路での運転特性把握の試み
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小出 瑞
2. 発表標題 生理指標を用いた準自動運転機能使用時のドライバーの運転特性把握の試み
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣嶋 衛大
2. 発表標題 日常運転時におけるドライバーの運転特性分類手法の検討
3. 学会等名 第17回ITSシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二階堂 雄大
2. 発表標題 装着型センサを用いた歩行者・自転車向けリアルタイム安全アドバイス提供システムの開発
3. 学会等名 第17回ITSシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田 将之
2. 発表標題 画像処理型センサを用いたリアルタイム安全アドバイスシステムの試作
3. 学会等名 第17回ITSシンポジウム2019
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 多田 昌裕
2. 発表標題 ドライバモニタリング技術を用いた高齢者の日常運転行動計測と一時停止交差点における運転行動解析
3. 学会等名 第41回交通工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平尾 健介
2. 発表標題 ドライバモニタリング技術を用いた高齢者の無信号交差点における日常運転行動解析
3. 学会等名 第64回土木計画学研究発表会
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