

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04648

研究課題名（和文）自動運転社会への過渡期における交通安全対策に関する研究

研究課題名（英文）Traffic safety analysis in the transition period towards the autonomous society

研究代表者

濱岡 秀勝（Hamaoka, Hidekatsu）

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70262269

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）：近年、暫定二車線高速道路にはワイヤーロープが整備され、正面衝突事故の危険性は大きく低下した。しかしながら、軽微な接触事故は多く発生しており社会問題となっている。その原因として運転者の注意力低下が考えられるため、本研究では脳波計測に基づきその定量化を試みた。アルファ波の周波数を三分割する方法の提案により、ある程度の注意力低下状況を明らかにすることができた。この結果を踏まえ、ワイヤーロープ接触事故防止対策をDSを用いた被験者実験により評価したところ、本研究で提案する道路上に緑線を示し走行位置を支援する誘導線が最も良い結果であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、最終的に暫定二車線高速道路に整備されているワイヤーロープへの接触事故防止対策を提示できたことにある。運転中の左右ブレを減少させ、安定的にワイヤーロープから離れて走行できる環境を構築できたことは、今後の交通事故減少に大きく貢献する。一方で、暫定二車線高速道路では橋梁やトンネル部など、まだワイヤーロープが整備されていない区間もあるため、そこへ導入することも考えられる。仮に導入された場合は、暫定二車線区間のすべてが誘導線となるため、運転者にとって位置合わせのためのストレスが大きくなる（疲労感が高くなる）恐れもある。今後は、それも軽減できる対策を検討していゆきたい。

研究成果の概要（英文）：In recent years, wire ropes have been installed on two-lane expressways, significantly reducing the risk of head-on collisions. However, there has been an increase in minor contact accidents, which have become a social issue. Driver distraction is considered a major cause of these accidents. Therefore, in this study, we attempted to quantify driver distraction based on brainwave measurements. By proposing a method to divide the frequency of alpha waves into three segments, we were able to reveal the extent of attentional decline. Based on these results, we evaluated accident prevention measures involving wire rope contact using a subject experiment with a driving simulator. It was revealed that the proposed approach of displaying a green guiding line on the road to assist in maintaining the driving position, as suggested in this study, yielded the best results.

研究分野：交通工学

キーワード：交通安全 脳波 ドライビングシミュレータ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

高速道路は一般道路と比べて緩やかな線形が続き、信号による停止や歩行者等の影響を受けないため走行がしやすい。しかし、単調な走行により、ドライバの覚醒度が低下し漫然運転が誘発されやすい状態になる。漫然運転とは、集中力・注意力が低下した状態での運転のことである。漫然運転は自動車事故の主な要因の一つであり、ワイヤーロープ等への衝突事故発生や、死亡事故につながる恐れがある。そのため、漫然運転を解消する対策案が必須である。対策を考案する場合、ドライバの覚醒度を把握する必要がある。覚醒度の評価方法の1つとして生体信号を用いられる。生体信号の代表例としては、心電図、筋電図、脳波などが挙げられる。その中でも脳波は様々な分野で覚醒度を検知するために使われている。しかし、運転中の覚醒度低下時の脳波の最適な分析方法は確立していない。

### 2. 研究の目的

本研究ではノイズ補正を行い、走行中における漫然状態の推定方法を検討する。走行中の脳波を取得するため、高速道路走行動画視聴実験やドライビングシミュレータ（以降DSとする）を用いた走行実験、高速道路走行実験を実施する。取得した脳波データは、ノイズを低減させるため窓関数をかけ、周波数解析を行う。また、今回使用する脳波計はノイズ補正を行う機能を搭載している。漫然状態の脳波の特徴を明らかにするため、睡眠を含んだ脳波データを使用する。覚醒時と睡眠時の脳波に着目し、パワースペクトルを比較する。また、覚醒時と睡眠時の中間部分が漫然状態と仮定し、その特徴を明らかにした上で、着目していたワイヤーロープ接触事故を防ぐ安全対策を検討する。

### 3. 研究の方法

脳波のパワースペクトルは $\theta$ 波帯域（4~7Hz）、 $\alpha$ 波帯域（7~13Hz）、 $\beta$ 波帯域（13~20Hz）に分類して考える。 $\beta$ 波帯域に関しては13~30Hzを用いることが多いが、21~30Hzは興奮状態に現れることが多いため、本研究では除外した。さらに、漫然状態で優位に現れると考えられる $\alpha$ 波について、より細かい変動を確認するために、 $\alpha$ 波を $\alpha 1$ （7~8Hz）、 $\alpha 2$ （8~11Hz）、 $\alpha 3$ （11~13Hz）の帯域に分けた。 $\alpha 1$ は睡眠状態に現れる $\theta$ 波に近い挙動を示し、 $\alpha 3$ は覚醒状態に強く現れる $\beta$ 波に近い挙動を示すのではないかと考えられる。また、帯域毎で周波数の幅が異なるため合計値を用いるのは適切ではないと考えた。そこで帯域毎にパワーの平均値を求め、代表値として用いた。眠気は主観的なものであり一般化するのが難しいため、本研究では覚醒時（脳波測定開始から10分間）の脳波と睡眠時（被験者が眠っている状態）の脳波で覚醒度の差を検討。覚醒時と睡眠時の中間部分を漫然状態と判断する。

これまで実施した研究では主観の眠気をもとに覚醒度を評価したが、主観の覚醒度は被験者ごとに異なり、個人差が生じる恐れがある。そこで、睡眠を含む脳波データを対象に、覚醒時と睡眠時での脳波の波形に着目し、覚醒度を判断する。覚醒時の波形の特徴として、眼球運動の波形が出現する。また、睡眠時の波形の特徴として、周波数が減少する、波の連続性がなくなる、頭蓋頂一過性鋭波が出現する等の特徴がある。これらに着目して、覚醒度を分析することにした。

これら研究結果をふまえて、ワイヤーロープ接触危険性を低下するための方策についてDS実験により明らかにする。

### 4. 研究成果

走行中における覚醒度低下時の脳波の特徴を明らかにするために、高速道路走行動画視聴実験、DS走行実験、高速道路走行実験を行った。本研究では、覚醒時と睡眠時の脳波の特徴を明らかにするため、眠気を含んだ状態で運転を行う場合がある。そのため安全面を考慮して室内での実験（動画視聴実験、DS走行実験）を行った。また、実際の高速道路の走行と違いがないか検証するために高速道路の走行も行った。今回の高速道路走行実験の場合、睡眠状態や漫然状態を誘発する目的ではなく、脳波計のノイズに差異はないか確認するため実施する。

高速道路走行動画視聴実験においては、被験者は脳波計を装着し、高速道路走行動画を再生したディスプレイを視聴させた。高速道路走行動画の視聴実験は全4回実施した。本実験では脳波の乱れによるノイズ混入を考慮し、飲食や私語は禁止とした。また、覚醒度の低下を促すため、被験者には走行音とリラククス音楽を聞かせた。

また、DS走行実験においては、被験者は脳波計を装着し、約20kmの周回コースの走行を実施した。走行区間は全て4車線となっており、走行車両がある環境を設定した。縦断勾配は0.0%とした。走行速度は80km/h前後とした。DS走行実験では全11回実施した。DS走行では大きいモニターを長時間視聴するため、眼疲労により脳波に影響を及ぼす可能性がある。そこで、室内の照明を暗くした場合と明るくした場合の環境を設置した。また、脳波の乱れによるノイズ混入を考慮し、飲食や私語は禁止とした。さらに覚醒度の低下を促すため、被験者には走行音とリラククス音楽を聞かせた。

まず、覚醒時と睡眠時での各周波数帯の変化を分析するための正規化したパワースペクトル値を求める。左側の橙が覚醒時（脳波測定開始10分間）の正規化したパワースペクトルの平均値、右側の青が睡眠時の正規化したパワースペクトルの平均値を表している。パワースペクトル

において $\theta$ 波、 $\alpha 1$ に着目すると睡眠時に上昇する。 $\beta$ 波、 $\alpha 3$ に着目すると睡眠時に減少する。 $\alpha 2$ に着目するとデータによって上昇、または減少する。これは、 $\alpha 1$ と $\alpha 3$ の中間に位置しているため、個人差により上昇、または減少すると考えられる。覚醒・睡眠時における各周波数帯のパワーの平均値の差の検定を実施した。No. 4では $\theta$ 波、 $\beta$ 波、 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ の覚醒・睡眠時が有意水準1%で有意差が確認できた(図-1)。No. 8では $\beta$ 波、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ の覚醒・睡眠時が有意水準1%で有意差が確認できた(図-2)。No. 12では $\theta$ 波、 $\alpha 2$ の覚醒・睡眠時が有意水準1%で有意差が確認できた(図-3)。しかし、データによっては $\theta$ 波、 $\alpha 1$ において覚醒・睡眠時における各周波数帯のパワーの平均値の差が出なかったものがある。そこで、正規化したパワースペクトルではなく、正規化していないパワースペクトルで覚醒・睡眠の分布で分析した。

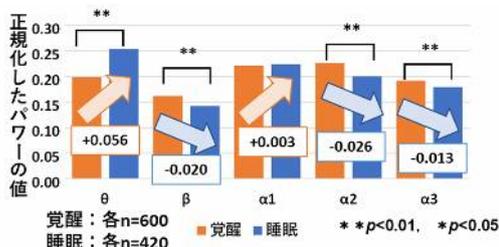


図-1 No. 4の各周波数帯の覚醒・睡眠の平均値

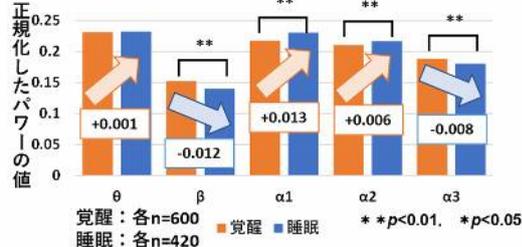


図-2 No. 8の各周波数帯の覚醒・睡眠の平均値

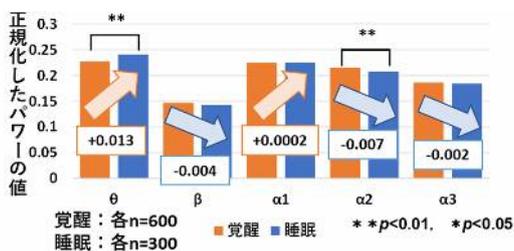


図-3 No. 12の各周波数帯の覚醒・睡眠の平均値

覚醒時と睡眠時のパワーを比較すると、覚醒時より睡眠時のほうが $\theta$ 波、 $\alpha 1$ の値が高くなると思われる。そこで $\theta$ 波、 $\alpha 1$ の睡眠を含む3データの分布の挙動を示す。 $\theta$ 波において3データとも覚醒時より睡眠時のほうがパワースペクトルの値が高く分布している。覚醒時と睡眠時の中央値に着目すると、No. 4での覚醒時・睡眠時のパワーの中央値はそれぞれ0.315、0.52であった(図-4)。No. 8での覚醒時・睡眠時のパワーの中央値はそれぞれ0.37、0.435であった(図-5)。No. 12での覚醒時・睡眠時のパワーの中央値はそれぞれ0.375、0.435であった(図-6)。これより、覚醒時よりも睡眠時のほうが $\theta$ 波のパワーの値が高いことが確認できる。3データにおいて、覚醒・睡眠時におけるパワー平均値の差の検定を実施した。結果、有意水準1%で有意差が確認できた。したがって、 $\theta$ 波に着目すると、覚醒時より睡眠時の方がパワーの値が高くなることが明らかとなった。

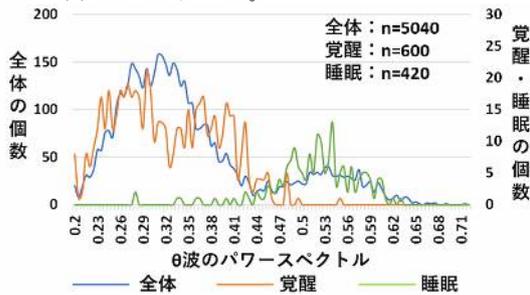


図-4 No. 4の $\theta$ 波の覚醒・睡眠のパワーの分布

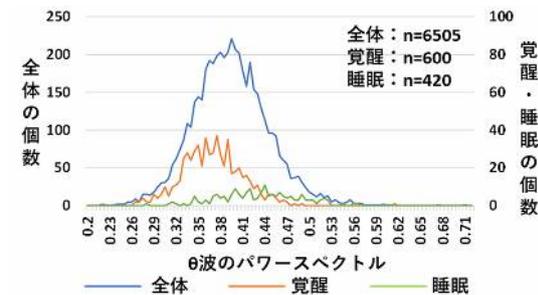


図-5 No. 8の $\theta$ 波の覚醒・睡眠のパワーの分布

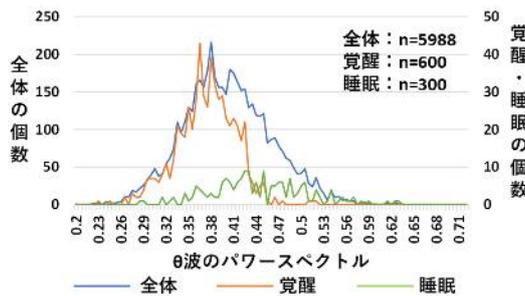


図-6 No. 12の $\theta$ 波の覚醒・睡眠のパワーの分布

$\alpha 1$ において3データとも覚醒時より睡眠時のほうがパワースペクトルの値が高く分布している。覚醒・睡眠時の中央値に着目すると、No. 4での覚醒時・睡眠時のパワーの中央値はそれ

ぞれ 0.355、0.425 であった (図-7)。No. 8 での覚醒時・睡眠時のパワーの中央値はそれぞれ 0.35、0.385 であった (図-8)。No. 12 での覚醒時・睡眠時のパワーの中央値はそれぞれ 0.37、0.375 であった (図-9)。これにより、覚醒時よりも睡眠時のほうが  $\alpha 1$  のパワーの値が高いことが確認できる。3 データにおいて、覚醒・睡眠時におけるパワー平均値の差の検定を実施した。結果、3 データとも有意水準 1% で有意差が確認できた。したがって、 $\alpha 1$  に着目すると、覚醒時より睡眠時の方がパワーの値が高くなることが明らかとなった。

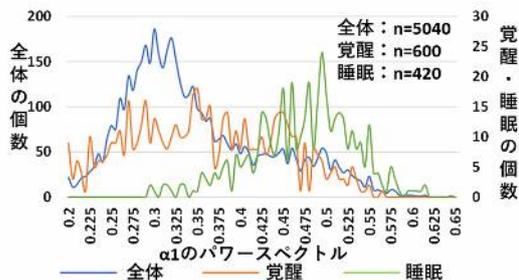


図-7 No. 4 の  $\alpha 1$  の覚醒・睡眠のパワーの分布

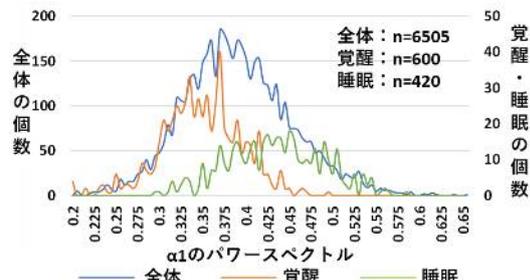


図-8 No. 8 の  $\alpha 1$  の覚醒・睡眠のパワーの分布

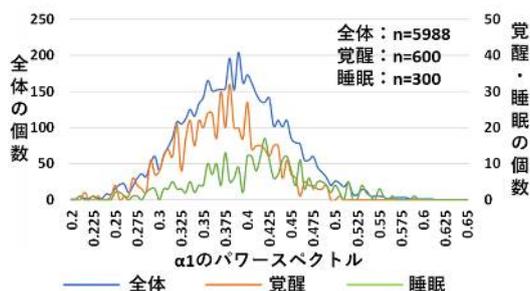


図-9 No. 12 の  $\alpha 1$  の覚醒・睡眠のパワーの分布

以上の結果を踏まえ、ワイヤーロープ接触事故の危険性を低下させる方策について、DS 実験をもとに検討した。DS 実験においては、既存の安全対策を設置したコースを 6 種類、独自対策を設置したコースを 1 種類作成した。コースの様子を図-10 に走行実験の様子を図-11 に示す。

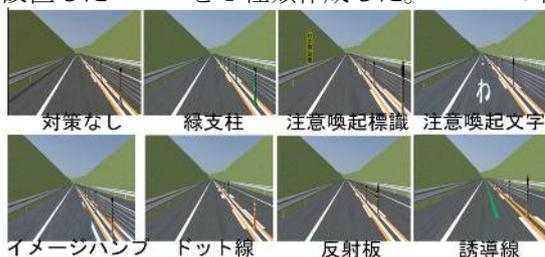


図-10 走行コースの様子

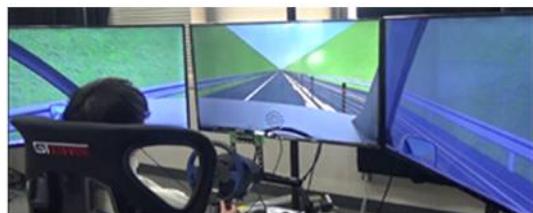


図-11 走行実験の様子

ワイヤーロープ区間の直線部における走行位置について、安全対策の有無や各種安全対策による比較を行う。安全対策を設置していない場合と各種安全対策における走行位置を 10 cm ごとに集計した (図-12)。その結果、誘導線は、他と比較して、ワイヤーロープから離れて走行した傾向が見られ、残りのコースは似たような分布形状となった。各被験者の走行コースごと平均走行位置を求めると、安全対策を設置していない場合の平均走行位置は、69.6 cm であった。この平均走行位置と各安全対策の平均走行位置を比較すると、誘導線の平均走行位置は 98.2 cm、ドット線の平均走行位置は 95.0 cm であった。これら 2 つの安全対策は、安全対策を設置していない場合よりもワイヤーロープから離れて走行する効果が特に高いことを確認できる。また、誘導線やドット線の安全対策ほどではないが、イメージハンブと反射板の安全対策についても安全対策を設置していない場合よりもワイヤーロープから離れて走行する効果が確認できた。また、平均走行位置に関して、平均値の差の検定を行い、各コースの有意差を確認した。その結果、誘導線は、他の 6 つの安全対策との p 値が 0.05 未満であったことより、有意差を確認できた。また、ドット線も同様に他の 6 つの安全対策との p 値が 0.05 未満であったため、有意差を確認できた。

次に、走行位置の分散を安全対策の有無や各種安全対策ごとに比較する。走行位置の分散は、走行中の安定具合を表し、分散の値が小さいほど走行位置の安定した走行をしたと解釈できる。走行位置の分散を図-13 に示す。その結果、安全対策を設置していない場合の平均分散は、782.1  $\text{cm}^2$  であった。各安全対策との平均分散を比較すると、誘導線が 441.4  $\text{cm}^2$ 、イメージハンブが 460.1  $\text{cm}^2$ 、ドット線が 459.6  $\text{cm}^2$ 、反射板が 461.8  $\text{cm}^2$  であった。これら 4 つの安全対策は、安定した走行をしやすい安全対策であることが確認できた。これら成果を考えると、誘導線はワイヤーロープから離れている状態かつ、走行位置が安定していることから事故を起こしにくい安全対策と言える。また、平均走行位置と同様に平均値の差の検定を行った。その結果、誘導線は、他の 6

つの安全対策との p 値が 0.05 未満であったことより、有意差を確認できた。また、イメージハンブ、ドット線、反射板は、互いの安全対策との p 値が 0.05 以上であり、有意差は確認できなかった。

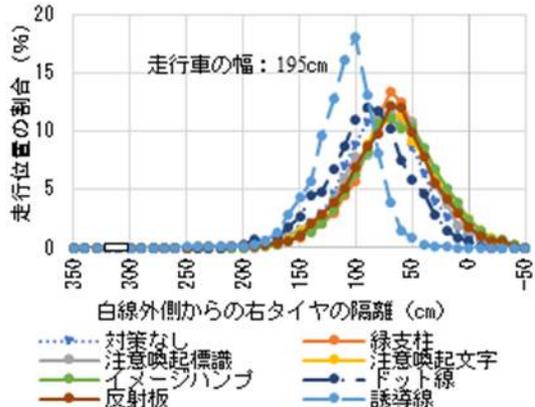


図-12 直線区間の走行位置の分布

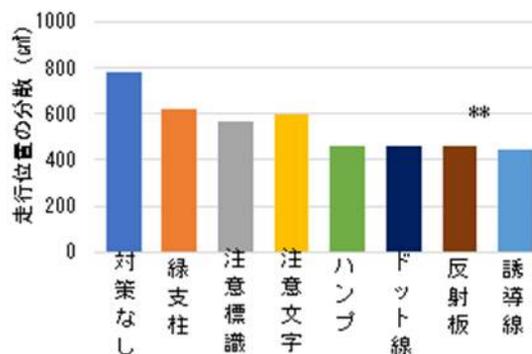


図-13 各被験者の走行位置の分散

安全対策の効果を評価する上で、客観的な運転行動のデータ以外に、被験者の感じる主観的な評価も重要である。そのため、実験時にアンケート調査も実施した。アンケート調査は、各安全対策を設置したコース走行後と全 8 回の走行実験終了後に実施した。各安全対策を設置したコース走行後のアンケート調査では、走行中の安全対策への気づき、設置している安全対策の意味を理解していたかに関して被験者に回答してもらった。また、全 8 回の走行実験終了後のアンケート調査では、各安全対策の比較および、シミュレータ自体に関する質問、個人に関する質問項目に回答いただいた。

各種安全対策を設置したコースの走行後に実施したアンケート調査の結果からの効果を検討する。安全対策を設置していないコースと比較し、ワイヤロープから離れて走行していたと感じた安全対策を複数回答可能で回答してもらった (図-14)。その結果、唯一誘導線のみが全被験者の過半数以上となる 25 人 (全体の 83%) が安全対策を設置していない場合と比較し、走行中にワイヤロープからの隔離を感じていた。このことから、被験者の主観的な評価の観点から誘導線は、走行中にワイヤロープからの隔離を感じる効果が確認できる。

全コース走行後のアンケート調査として、事故に気を付けて走行したコースを並び替えて回答いただいた (図-15)。その結果、誘導線は 4 割以上の被験者が最も事故に気を付けて走行したコースと回答されていた。これより、誘導線は走行中の運転者へ事故に対し、気をつけさせる効果があり、事故を減らす効果があると考えられる。さらに、このアンケート調査から全コースの評価点を求めた。評価点に関しては、最も事故に気を付けて走行したと回答したコースを 8 点、最も事故に気を付けて走行できなかったと回答したコースを 1 点とし、その平均値としている。その結果、誘導線の評価点は 6.06 点であり、最も評価点が高いことから、誘導線は最も事故に気を付けて走行しやすい効果があると考えられる。



図-14 ワイヤロープからの隔離を感じた安全対策

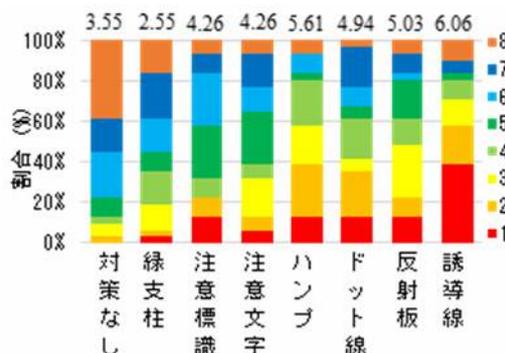


図-15 事故に気を付けて走行したコース

以上の結果まとめると、DS による限定された条件下ではあるが、被験者の主観やワイヤロープから離れて走行する効果や走行位置の安定性の観点から、誘導線の安全対策は、本実験で再現した既存のどの安全対策よりも、ワイヤロープへの接触事故を減らす効果があることが明らかとなった。しかし、実際のワイヤロープ間における接触事故はドライバーの不注意によるものであると考えられる。より現実的に効果があるのかを検討するには実験の際に被験者の意識が低下した環境での検証が必要と考えている。それを脳波計測により確認した上で、望ましい環境下での実験を実施し、最も有効な対策を明らかにしたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安養寺巧人、浜岡秀勝
2. 発表標題 高速道路走行時の漫然運転が脳波に与える影響の分析
3. 学会等名 土木学会東北支部技術発表会論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大濱駿輔、浜岡秀勝
2. 発表標題 脳波を用いた高速道路走行時の漫然運転について
3. 学会等名 2019年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部舜哉、浜岡秀勝
2. 発表標題 ドライビングシミュレータを用いたワイヤロープ区間の安全対策の評価
3. 学会等名 土木学会、土木計画学・春大会
4. 発表年 2023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
---------	---------