

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04739

研究課題名（和文）車両振動による運転者と乗員の振動乗り心地と疲労感の評価指標に関する研究

研究課題名（英文）Evaluation index of ride comfort and fatigue for drivers and occupants by vehicle vibration

研究代表者

松田 礼（MATSUDA, Hiroshi）

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：30469580

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は自動車走行時における運転者と乗員の両方を対象として、振動乗り心地と疲労感を定量的に評価する指標の確立を目的とした実験的研究である。実験は試験路に設置した1周約400mの周回コースで3時間の連続走行を実施した。振動乗り心地と疲労感は運転者と乗員のいずれも走行時間が長くなると増加し、乗員よりも運転者の方が振動乗り心地を悪く感じ、疲労感が大きくなる傾向であった。運転者は走行時間が長くなると運転操作の繰り返しがストレッサーとなり、交感神経系優位の状態になると考えられる。生理反応量と心理反応量の相関関係から、心拍数と皮膚表面温度を指標とすれば運転者と乗員の疲労感を推定できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特色は、自動車の乗車している運転者と乗員の両方を対象として、振動乗り心地と疲労感の両方を定量的に評価できる同一の指標を検討したことである。本研究の成果によって自動車走行中の運転者と乗員の生理心理反応量と振動乗り心地、疲労感との詳細な関係が明らかになれば、小型生体反応センシング技術と組み合わせることで車両に搭載できるモニタリング・警告システムの開発に寄与でき、運転者の疲労状態をリアルタイムに検知できる。さらに、自動運転化レベル3以上の自動運転車において運転操作をしていない運転者がシステムから運転操作を引き継ぐ状態かを監視し、警報を発する機能を有するHMIの開発にも発展すると予想される。

研究成果の概要（英文）：This study is experimental research to establish an index for quantitative evaluation of vibration ride quality and fatigue for drivers and occupants in moving automobiles. Driver and occupant ran continuously for 3 hours on about 400 m per cycle course. The driver and occupant tended to feel bad vibration ride quality and increased the feeling of fatigue as the traveling time got longer. The driver felt that the vibration ride quality was worse than that of the occupant, and the feeling of fatigue increased. It is considered that the driver maintains a state of sympathetic nervous system predominance due to the stressor caused by repeated driving operations as the traveling time gets longer. From the relationship between the amount of physiological and psychological responses, it was suggested that the feeling of fatigue of driver and occupant could be estimated by measuring the time change of heart rate and skin surface temperature.

研究分野：人間工学

キーワード：車両振動 疲労感 振動乗り心地 生理心理反応

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

乗り心地とは、車両の走行によって乗員に生じる総合的な感覚を指すが、車両の走行に伴って生じる振動に起因する感覚は、振動乗り心地と定義されている。自動車は道路状況（一般道、高速道路等）によって振動環境が異なり、振動の伝達経路や波形も様々であるため、これまでに多くの評価指標が提案されている。例えば、車両の前後方向加減速との関係を主観的評定実験で検討した例（引用文献）等が挙げられる。また、走行中の車両速度と生理反応（心拍、呼吸、唾液分泌）との関係から振動乗り心地について検討した例（引用文献）や、脳波の複数の周波数帯域における優勢率を用いて振動乗り心地を評価する方法を提案している例（引用文献）等が挙げられる。

運転の疲労感とは、運転操作や着座姿勢等の負荷によって生体に負担が生じ、それが一定時間持続することによって生じる感覚である。自動車運転は、認知・判断・行動の一連のプロセスを処理する複雑な作業である。そのため、運転者が疲労状態になると処理能力が低下し、ヒューマンエラーが引き起こされて交通事故へ繋がっていると考えられる。運転者の疲労に応じて生体情報から運転者の状態を推定する方法は複数提案されている。例えば、長距離運転時の疲労感（R-R 間隔（RRI）と尿中カテコールアミンの変動率から評価可能であることを示した例（引用文献）等が挙げられる。その一方で、RRI の変化のみを測定しても自動車運転によるストレス指標としては不十分であるとの報告（引用文献）や、血中や尿から採取されるカテコールアミンの場合、血中採取は実験協力者に対して侵襲的であり、尿採取はどの時点での影響かを明確に判断できない問題がある（引用文献）等、運転疲労の客観的な評価や測定方法には多くの課題が残されている。

以上のように、自動車の振動乗り心地と運転疲労は多くの研究例があり、様々な生理反応、心理反応の指標を用いて振動を構成する物理量との関係について検討されているが、現時点で確立された評価指標はなく、生理心理学的なメカニズムも明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では、自動車に乗車している運転者と乗員の生理心理反応を測定し、振動乗り心地および疲労感との関係を実車実験により明らかにする。これらの結果を踏まえて、運転者と乗員の両方を対象とした振動乗り心地と疲労感の定量的な評価指標の確立を本研究の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験環境と実験方法

本研究の実験は、日本大学工学部交通総合試験路（幅 30 m、全長 618 m の直線路、密粒度アスファルトコンクリート舗装）で実施した。試験路内に 1 周約 400m の周回コースを設置した。実験に使用した車両は、トヨタ・レジアスエースバン（全長 4695 × 全幅 1695 × 全高 1980 mm、車両重量 1670 kg、総排気量 1998 L、乗車定員 6 人）である。

1 回の実験は 3 時間の連続走行で、一般道路走行を想定している。運転者には直線区間は 40km/h の定速度、カーブ区間は任意の速度で走行するよう指示し、助手席に同乗する乗員には着座姿勢を維持させた。実験条件は、周回コースを周回するだけの走行（タスク無し）と、直線区間に設置した停止指示燈の点灯の有無により停止目標位置に停止またはそのまま通過するタスクを課した走行（タスク有り）の 2 種類である。図 1 に示すように、タスク有りの実験条件において、実験協力者には 2 個の停止指示燈のいずれかが点灯したら停止目標位置に急制動にならないよう配慮して停止し、どちらも点灯しない場合はそのまま通過するように指示した。実験協力者には点灯パターンや点灯タイミングは教示せず、連続 3 時間の運転であることのみを事前に教示した。実験協力者は健康状態が良好な大学生のべ 20 名で、運転免許取得後 1 年以上経過しており、かつ週 1 回程度の頻度で運転を行っている運転に習熟している者を選出した。実験時間帯はサーカディアンリズムの影響を考慮して 12 時～16 時に統一した。

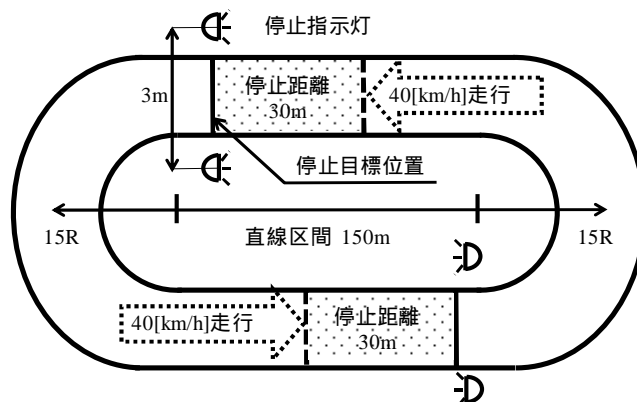


図 1 周回コースの概要

(2) 生理心理反応の測定項目

生理反応の測定項目

生理反応は、自律神経系の活動度を調べるために心電図、皮膚表面温度および唾液アミラーゼ活性値を測定し、運転操作と時間の関係を調べるために単純反応時間を測定した。以下に、それぞれの測定項目について述べる。

心電図からは、心拍数と LF/HF を算出した。心拍数は 1 分あたりの R 波の数である。隣接する R 波と R 波の時間である RRI を 1 分あたりの心拍数に換算し、瞬時心拍数を求める。精神的な作業負荷等により交感神経系の活動が活性化すると RRI が短縮し、心拍数は上昇する。LF/HF は心拍変動の周波数解析から得られたパワースペクトル成分比である。心電図の RRI 変動に対して FFT によるスペクトル分析を行い、LF 成分 (0.04~0.15Hz) と HF 成分 (0.15~0.4Hz) に対応する周波数帯のスペクトルを積分してパワー計算し、その比を求めるもので、交感神経活動の指標とされる (引用文献)。

皮膚表面温度は額部温度を基準とした鼻頭部との温度差を指し、サーミスタ式の温度計を用いて測定した。本研究では、額部と鼻頭部との温度差が大きくなると交感神経が優位、小さくなると副交感神経が優位と評価した。心拍数、LF/HF および皮膚表面温度いずれも自動車走行前 3 分間の安静時を基準値として走行中 1 分毎の平均値との変化比率を算出し、変化比率が 100% 以上の場合は交感神経系優位、100% 未満では副交感神経系優位と判断した。

唾液アミラーゼ活性値 (SAA 値) は、唾液腺から分泌される消化酵素である α -アミラーゼ (唾液アミラーゼ) の濃度を評価している。本実験では走行前と走行 1 時間毎に唾液アミラーゼ活性値を測定し、走行前安静時を基準として変化比率が 100% 以上の場合は交感神経系優位、100% 未満では副交感神経系優位と判断した。

単純反応時間とは受容器がある刺激を受けてから効果器を動かして反応するまでの時間を指す。本研究では、運転疲労および着座姿勢の維持による疲労が反応速度に及ぼす影響を調べるために、音刺激を提示してからそれを認知してボタンを押すまでの時間を測定し、運転疲労が反応速度に及ぼす影響を評価した。単純反応時間は自動車走行前の安静時を基準値として走行中の平均値との変化比率を算出した。

心理反応の測定項目

心理反応は、自覚症しらべにより主観的な疲労感、NASA-TLX により精神的な作業負荷を測定し、7 段階評定尺度法により振動の快・不快から車両の振動乗り心地を調べた。

自覚症しらべ (日本産業衛生学会産業疲労研究会, 2002 年度版) の質問項目は、ねむけ感やだるさ感等の 5 群に分類されており、各群に 5 個、合計 25 個の質問項目がある。各質問項目は、「まったくあてはまらない (1)」から「非常によくあてはまる (5)」の数値が割り当てられている。走行前と走行 1 時間毎に計 4 回測定し、走行前を基準とした変化比率を算出した。

NASA-TLX は最もよく使用されている主観的作業負荷を評価するための尺度である (引用文献)。知的・知覚的要求、身体的要求等の 6 項目から構成され、各項目について、小さい/大きい等を両極とした線分上に丸印をつけて評価する。NASA-TLX は運転後に実施し、AWWL 得点を算出した。AWWL 得点とは 6 項目の評価値に重みづけ係数を掛けて算出する総合値で、この得点が高いと作業負荷が高いと感じていることを示す。

振動乗り心地は自動車走行時における車両の加速度や振動を対象として評定尺度法による心理アンケートを用いて測定した。評定尺度は両極 7 段階で、非常に不快 (-3)、かなり不快 (-2)、やや不快 (-1)、全く感じない (0)、やや快 (+1)、かなり快 (+2)、非常に快 (+3) として数字を割り当て、走行中に感じた振動乗り心地の快・不快感を直感で回答させた。

4. 研究成果

(1) 生理反応の測定結果

図 2 に運転者と乗員の生理反応量の経時変化を 1 時間毎にまとめた結果を示す。タスクの有無によらず運転者の LF/HF と皮膚表面温度は大部分が変化比率 100% を超えており、運転時間が長くなると変化比率が増加する傾向がみられた。これは、連続した運転操作がストレスとなり、交感神経系優位の状態が持続したと考えられる。また、運転者は乗員よりも経時的な生理反応量の変化比率が大きい傾向であった。

図 3 にタスク無しでの運転者と乗員の心拍数の時系列変化について、直線区間と加減速が生じるカーブ区間の 7 周分をまとめた結果を示す。灰色で示した区間がカーブ走行でそれ以外が直線走行を示す。この結果から、運転者は直線区間の走行中に心拍数が減少し、カーブ区間の走行中に上昇する傾向がみられ、心拍数が高い状態と低い状態を繰り返すことが分かった。これに対して、乗員は周回コース区間の違いによる心拍数の変化は小さかった。したがって、運転者のカーブ走行中の心拍数の上昇は運転操作が原因であると考えられる。

(2) 心理反応の測定結果

図 4 に自覚症しらべによる疲労感の経時変化を 1 時間毎にまとめた結果を示す。変化比率が 100% 以上になると走行前よりも疲労感は増加し、100% 未満の場合は走行前よりも疲労感は減少したと判断する。図 4 によると、自覚症しらべの 群 ~ 群の変化比率は走行前よりも増加し、経時的に上昇する傾向がみられた。各群の安静時に対する統計的な有意差を t 検定によって確

認した結果、全ての群で有意に上昇した ($p < 0.05$)。運転者または乗員に対して自覚症しらべの各群におけるタスクの有無の違いによる差を t 検定により調べたところ有意差は認められなかった。また、同じタスクの実験条件において自覚症しらべの各群の運転者と乗員の平均値の差を t 検定により調べた結果、タスク無しのだるさ感のみで有意差が認められた ($p < 0.05$)。

NASA-TLX による AWWL 得点は乗員よりも運転者の方が大きく、運転者は走行時間が 2 時間を超えると AWWL 得点が増加する傾向がみられた。運転者と乗員の差を t 検定により検定した結果、全項目で有意差が認められた ($p < 0.05$)。

振動乗り心地は乗員よりも運転者の方が悪く感じ、減速中とカーブ走行中に振動乗り心地が悪くなる傾向がみられた。また、タスク有りではタスクなしと比較して運転者と同乗者のいずれも経時的に振動乗り心地が悪くなる傾向がみられた。

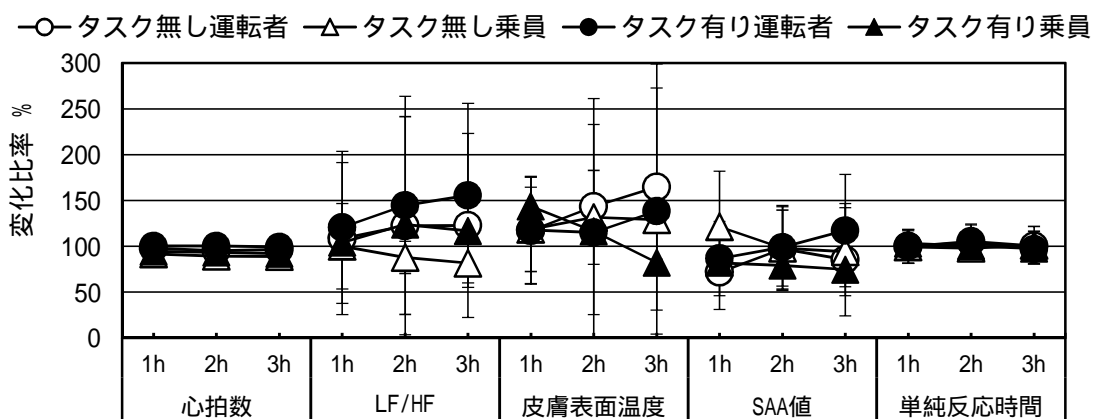


図 2 運転者と乗員の生理反応量の経時変化

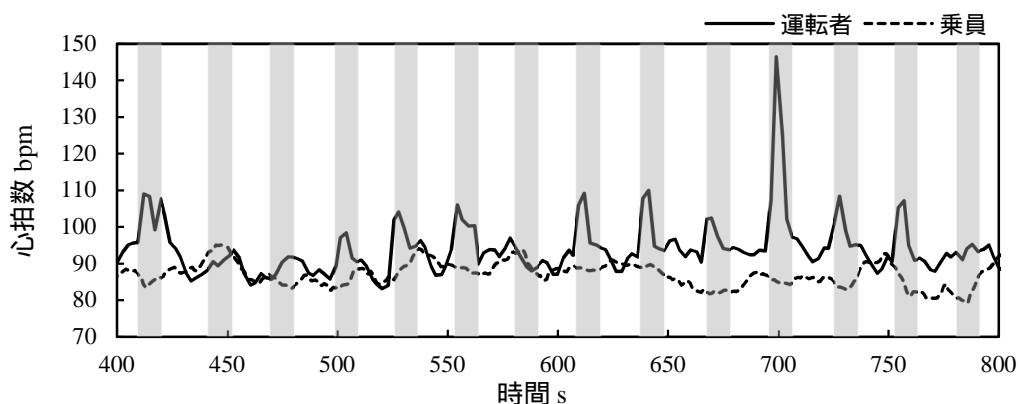


図 3 運転者と乗員の心拍数の時系列変化の一例 (タスク無し, 周回コース 7 周分)

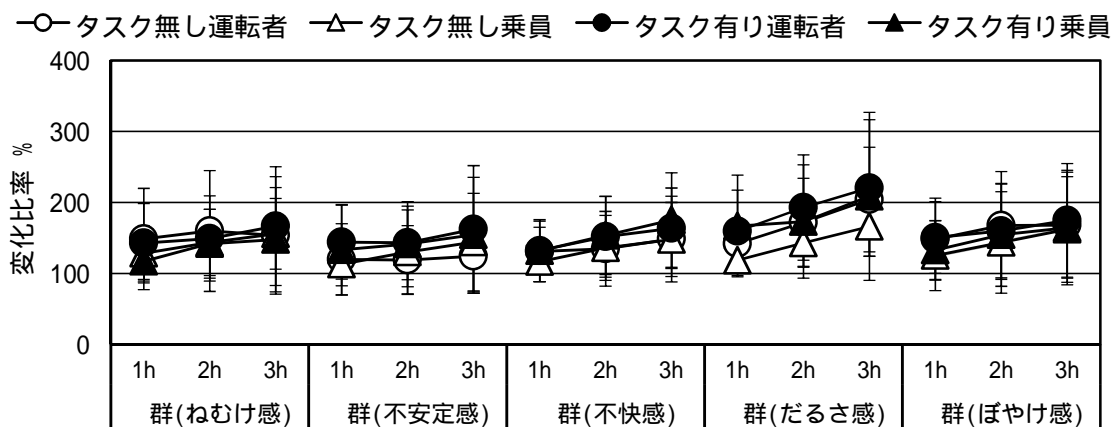
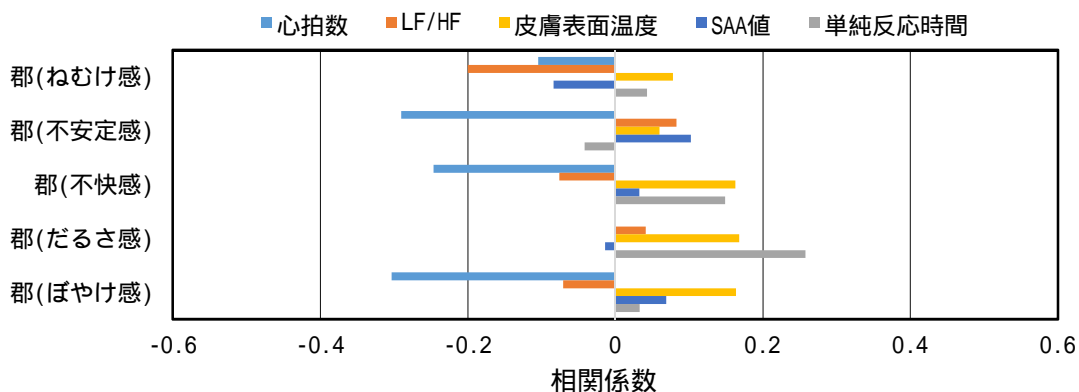


図 4 運転者と乗員の自覚症しらべによる主観的疲労感の経時変化

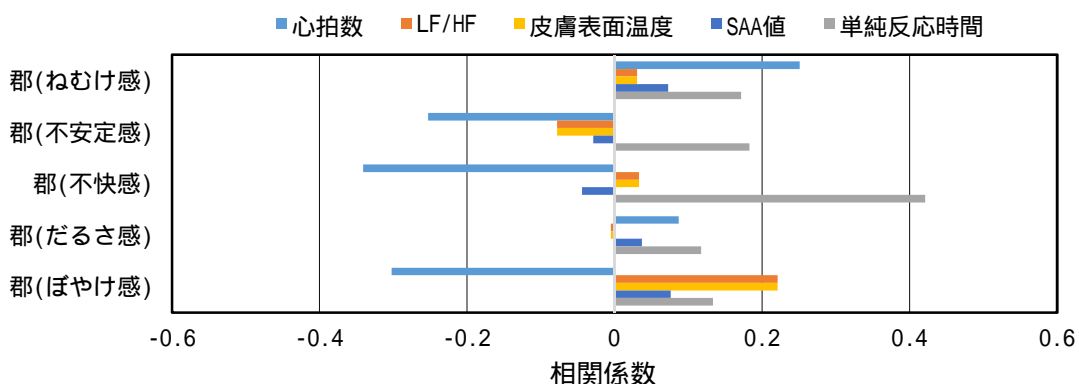
(3) 生理反応と心理反応の相関関係

図 5 にタスク無しにおける生理反応の測定項目と自覚症しらべの各群スコアの相関係数をまとめた結果を示す。同図(a)は運転者, (b)は乗員である。相関係数が正の場合は生理反応量が増

加すると疲労感は増加し、負の場合は生理反応量が減少すると疲労感が増加したことを示す。図5によると、運転者と乗員の心拍数と自覚症しらのぼやけ感や不安定感等の多くの群で相関係数0.3程度の弱い負の相関がみられた。よって、心拍数と疲労感には負の相関があり、心拍数を指標として自動車走行時の運転者と乗員の疲労感を推定できる可能性が示唆された。タスク有りと同様の解析を行った結果、乗員において皮膚表面温度と自覚症しらの不安定感、不快感、ぼやけ感等の群で弱い負の相関がみられた。よって、皮膚表面温度を指標として自動車走行時における乗員の疲労感を推定できる可能性が示唆された。



(a) 運転者の生理反応量と自覚症しらの各群スコアの相関係数



(b) 乗員の生理反応量と自覚症しらの各群スコアの相関係数

図5 運転者と乗員の生理反応量と自覚症しらの相関関係 (タスク無し)

<引用文献>

王鋒, 佐川貢一, 猪岡光, 自動車の加減速と乗り心地の関係に関する研究, 人間工学, vol. 36, no. 4, 2000, 191-200
 吉田義之, 伊藤彰亮, 町田信夫, 自動車の乗り心地の一計測法について, 精密機械, vol. 40, no. 9, 1974, 779-784
 芝崎智貴, 吉原健太, 鋤柄あかね, 倉橋貴彦, 池田富士雄, 脳波の測定結果を用いた自動車の乗り心地評価, 長岡工業高等専門学校研究紀要, vol. 55, 2019, 11-16
 永田晟, 津田行代, 長距離運転時における尿中カテコールアミンと心電図 R-R 間隔の変動, 自動車技術, vol. 50, no. 7, 1996, 49-54
 林克樹, 小栗宏次, 生体情報解析による自動車運転時の精神負荷推定, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 103, no. 489, 2003, 13-18
 岩倉成志, 西脇正倫, 安藤章, 長距離トリップに伴う運転ストレスの測定 - AHS の便益計測を念頭に -, 土木計画学研究・論文集, vol. 18, 2001, 439-444
 早野順一郎, 岡田暁宣, 安間文彦, 心拍のゆらぎ: そのメカニズムと意義, 人工臓器, vol. 25, no. 5, 1996, 870-880
 芳賀繁, 水上直樹, 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定, 人間工学, vol. 32, no. 2, 1996, 71-79

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 戸田優雅, 付国旭, 松田礼, 町田信夫
2. 発表標題 自動車走行時における運転者と同乗者の生体反応測定に関する研究
3. 学会等名 第57回日本交通科学学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田優雅, 付国旭, 松田礼, 町田信夫
2. 発表標題 自動車走行時における運転者と同乗者の心理・生理反応の経時変化
3. 学会等名 第65回日本大学理工学部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田礼, 町田信夫
2. 発表標題 自動車走行時における運転者と乗員の疲労測定
3. 学会等名 2021年日本設計工学会春季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村政也, 松田礼, 町田信夫
2. 発表標題 自動車走行中の運転者と乗員の疲労と振動の影響に関する検討
3. 学会等名 2019年日本騒音制御工学会秋季研究発表会
4. 発表年 2019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
---------	---------