

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月10日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22615039

研究課題名（和文）人の生体情報との対話機能を有する車室内空間デザインに関する研究

研究課題名（英文）Study on designing vehicle cabin equipping devices responding to physiological and psychological information.

研究代表者

横山 清子（YOKOYAMA KIYOKO）

名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授

研究者番号：50174868

研究成果の概要（和文）：1)心拍・呼吸により、眠気、不快感、覚醒低下の推定を行った。2)血中酸素飽和度と覚醒度合との関係を検証した。3)覚醒低下時に、心拍同期振動刺激を付与することで、血中酸素濃度を上昇させ、覚醒度向上効果が得られた。心拍同期振動刺激は、ストレスなく作業への集中度を高める可能性を有していることを確認した。4)シート埋め込みセンサーから検出した心電図と呼吸により覚醒低下を判定し、心拍同期振動刺激を用いて、適切な覚醒度を維持する自動車シートを試作した。

研究成果の概要（英文）：1) Drowsiness, discomfort and low arousal level were estimated based on heart rate variability and respiratory time series. 2) The relationship between blood oxygen saturation level and arousal level was examined. 3) The blood oxygen saturation level was increased by the vibration stimulus synchronized with heart rate. The stimulus has the effect of improving the arousal level. The vibration stimulus has the effect to concentrate on work without stress. 4) The prototype of automotive seat with drowsy driving preventing function was designed. Low arousal level is estimated from ECG and respiration, which are measured by the embedded sensor in the seat, and optimal arousal level is maintained by the vibration stimulus synchronized with heart rate.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2010年度 | 2,000,000 | 600,000 | 2,600,000 |
| 2011年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2012年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：時限

科研費の分科・細目：デザイン学

キーワード：車室内空間デザイン、自動車運転、居眠り防止、疲労低減、生体信号、心拍変動、振動刺激、バイオフィードバック

1. 研究開始当初の背景

自動車走行における運転者や搭乗者の快適性を高めるための車室内デザインの提案や快適性評価については、多くの研究が行わ

れ、社会的な要請が高いテーマである。国内では、自動車技術会の論文集に関連論文が多数発表され、国際的には ITS 関連の論文誌に発表されている。その内容は、シートの乗り

心地、車内の音環境、温熱環境、振動などを対象としたものである。快適性の評価は、官能検査やSD法など心理学的手法を用いるものと、生理計測の手法を用いるものがある。しかし、本研究で実施を予定しているような、運転者や搭乗者の生体信号から身体の状態を推定し、その状態に応じて実時間で適切な働きかけを、シート、ハンドル、エアコンやオーディオ機器を介して行うという提案やその評価に関する研究は例をみない。

本研究は、研究代表者のこれまでの研究実績である、(1)生体信号処理による自動車や二輪車運転の生体負担度、疲労評価方法の開発、(2)操作者自身の心拍数を音として伝達することによる精神作業負担低減効果を、「安全・快適なモビリティの実現」という社会的な要請の高い研究テーマに応用するものである。

2. 研究の目的

(1)心拍変動、呼吸、まばたきなどの生体情報を用いた、運転者の眠気、緊張感、走行に伴う生体負担度・疲労、リラックス度の推定について、映像視聴時、安静座位、および、自動車運転シミュレータによる走行模擬時の生体信号測定、心理評価、作業成績測定実験により、その方法を確立する。

(2)自動車運転時の覚醒度維持装置を開発するために、覚醒度低下時、および、覚醒度向上時の身体状態を解析し、覚醒度変動に関わる生理的なメカニズム推定を試みる。

(3)ハンドルやシートからの振動や圧力を、生体信号からの身体状態の推定結果、あるいは、生体信号自体の変動を実時間に反映して制御を行う刺激付与装置のデザインと試作。

(4)身体状態の推定結果、あるいは、生体信号自体の変動に対する、振動、圧力の制御方法について、試作した刺激付与装置を用いて、覚醒度向上、緊張感やリラックス感の誘発、疲労感軽減、心理的な安心感や楽しさの誘発効果を、主観評価および生体信号測定実験により評価する。

(5)シートから測定した心拍変動と呼吸変動により覚醒度を推定し、その低下時に生体情報をリアルタイムに反映した振動刺激を付与する覚醒度維持システムをデザインする。

3. 研究の方法

(1)生体情報を用いた、眠気、緊張感、走行に伴う生体負担度・疲労、リラックス度推定方法の検討

①被験者20名を対象とし、自動車運転シミュレータを用い、各々1時間の運転動作を、

異日に3種類のシートを用いて実験した。

生体信号は、心電図、肩・腰・背中・大腿の筋電図、呼吸、脳波を計測した。運転姿勢の変化を測定するためのビデオカメラによるモーションキャプチャも合わせて測定している。1時間の動作中15分間隔で測定した「疲労の自覚症しらべ」による心理測定と、ステアリング動作も測定している。

生体信号の時間変動と、シートの相違による差に基づく、疲労評価指標の抽出と、生体信号による疲労の主観評価値推定を行った。②被験者40名を対象とし、自動車運転シミュレータを用いた1時間の運転動作中の、心電図、呼吸、脳波、SpO₂、眼球運動と、主観的眠気度、表情による客観的眠気判定(NEDO指標)の測定実験を行った。生体信号指標による覚醒度推定モデルの構築を行った。

(2)覚醒度変動に関わる生理的なメカニズム推定

①10名の被験者を対象とし、自動車シートに閉眼安静で2時間座位を保つ場合と、同様に2時間自動車運転シミュレータで運転動作を行う場合の、心電図、呼吸、脳波、SpO₂、眼振図の測定実験を行った。被験者の動作をビデオ映像として撮影すると同時に、運転動作時は、NEDO指標による表情の客観評価を行った。自然睡眠と眠気に抗する状態での、入眠期の生体信号の特徴の比較を行った。

②被験者40名を対象として、高覚醒時と入眠期、および、低覚醒時の心拍・呼吸同期とSpO₂との関連の解析を行った。

(3)身体状態を制御する刺激付与装置のデザインと試作、および、その効果検証

①覚醒度を適性レベルに維持する刺激の種類(振動、圧力、香り)の選定を行うために15名の被験者を対象に、ドライビングシミュレータによる1時間の運転動作中の心電図、呼吸、SpO₂、NEDO指標による顔表情の測定実験を行った。

②7名の被験者を対象として、刺激の強さや付与位置、刺激の付与方法(連続、一定間隔、心拍同期、ランダム)を実験による選定した。

③呼吸の呼気と吸気のタイミングの心拍への同期による血中酸素飽和度の上昇効果と、それに伴う覚醒度向上効果を10名の被験者を対象として、心電図、呼吸、SpO₂、呼気分析による酸素濃度、二酸化炭素濃度の測定実験により検証した。

④注意集中度合を維持し、かつ、心理的なリラックス効果が高い刺激として、振動刺激の付与間隔を、一定間隔、ランダム間隔、心拍同期、鳥の鳴き声との同期の4種類の比較実験を、14名の被験者を対象として行った。

(4)シートから測定した心拍変動と呼吸変動

により覚醒度を推定し、その低下時に心拍に同期して振動刺激を付与する覚醒度維持システムを試作した。

4. 研究成果

(1) 生体状態の推定方法の検討

① 「疲労の自覚症しらべ」による主観評価値の心拍変動指標によるモデル化

自動車運転シミュレータによる1時間の運転動作中に15分間隔で測定した疲労に関する主観評価値を直前5分間の心拍変動指標によりモデル化を行った。心拍変動は、シート埋め込みの容量結合型センサーで測定可能であることが確認されているため、実車での生体状態推定装置への展開が可能である。

被験者9名の3回の実験27例を対象とした。主観評価のデータ数は、27例×4データとなるが、モデル構築に半数のデータを、残り半数を評価に用いるため、54データでモデル構築を行った。表1がそのモデル式と、測定値とモデルから算定した推定値との相関係数である重相関係数を示している。

重相関係数が高いのは、「横になりたい」「頭がボンヤリする」である。眠気を表す「横になりたい」は、副交感神経活動指標であるave(拍動間隔の平均値)とcv(拍動間隔の変動係数)が負の係数であり、自然睡眠と異なり、眠気に抗するストレス状態と推測される。不快を表す「頭がボンヤリする」は、副交感神経活動指標であるhf(拍動間隔時系列の高周波成分のパワー値)とcvの係数が負となり、不快感の増大による副交感神経活動の抑制という先行研究を支持する結果であった。

表1 「疲労の自覚症しらべ」の主観評価の心拍変動指標によるモデル化の結果

| | モデル式 | 重相関 |
|-----------|--------------------------------------|------|
| ねむい | $0.020331f+1.2$ | 0.48 |
| 横になりたい | $-0.003085ave+0.121sd-0.812cv+3.226$ | 0.82 |
| 考えがまとまり難い | $0.01489sd+0.838$ | 0.48 |
| 頭がボンヤリする | $0.05582sd-0.04348hf-0.159cv+0.778$ | 0.75 |
| 肩がこる | $-6.382e_ch+1.236cor+0.719$ | 0.45 |
| 腕がだるい | $-3.72cor+0.05545sdsd+1.505$ | 0.47 |
| 腰が痛い | $0.022171f+0.002256ave-0.527$ | 0.58 |
| 足が痛い | $6.901e_ch+1.835$ | 0.44 |
| 目がしょぼつく | $-1.046hf+3.093$ | 0.34 |

②自動車運転シミュレータを用いた1時間の運転操作中15分間隔で測定した眠気の5段階の主観評価(全く眠くないを1、非常に眠いを5)に対する心拍数、HF(副交感神経活動指標)を図1に示す。被験者は12名で、48例のデータを解析した。2指標いずれも1元配置分散分析の有意変動に対して、p値は0.01以下である。

全く眠気を感じない状態からやや感じる状態(主観評価値1から2への変化)では、心拍数の上昇、HFの減少、呼吸が速くなるなど、交感神経活動の賦活化が推測される。こ

れは、眠気に抗して作業を継続することによるストレス状態と考えられる。眠気度が2以上となり、特に眠気度が非常に大きい主観評価値5では顕著に、心拍数の減少、HFの増加、呼吸速度の減少が認められ、副交感神経活動の亢進が推測される。

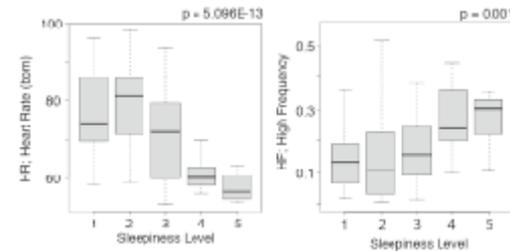


図1 眠気度合に対する心拍数(左)、HF:副交感神経活動指標(右)の変動

(2) 覚醒度変動時の生理的なメカニズム推定

①図2は、16名の被験者を対象とした、自動車運転シミュレータによる1時間の運転操作時の、眠気度合の主観評価(全く眠くないを0、非常に眠いを100) [SED]と顔表情から眠気を客観評価するNEDO指標 [NEDO]に対して、5分間での眠気の増加時(a)と眠気解消時(b)の酸素飽和度(SpO2)の変化を示す。SpO2は額で測定している

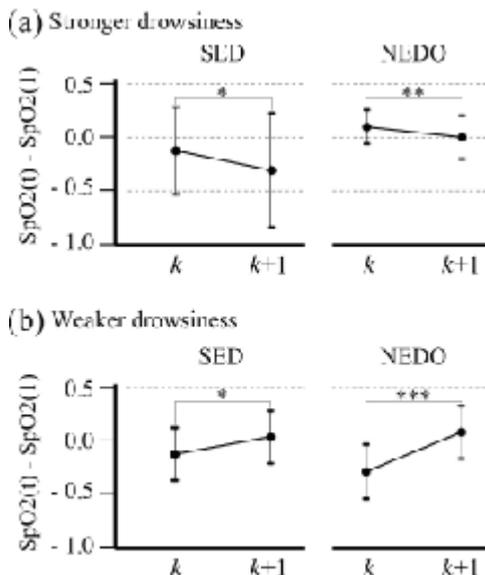


図2 主観評価(SED)とNEDO指標による表情判定(NEDO)による眠気上昇時(a)と、眠気解消時(b)のSpO2の変化(*: p<0.05、**: p<0.01、***: p<0.001)

眠気増加時は、有意にSpO2が減少、眠気解消時は、有意にSpO2が増加する。これは、眠気を反映すると考えられる生体信号(心拍

変動の副交感活動指標、瞬き)においても同様の結果であった。この結果は、眠気増大時に血中の酸素飽和度が減少するという先行研究の結果を支持するものである。また、覚醒度を向上させるためには、血中酸素飽和度を向上させる刺激付与方法が効果的であることが示唆される。

②16名の被験者を対象として、主観評価、表情判定、瞬き(PERCLOS)、心拍変動(HF, LF/HF)から前後5分間で眠気解消が推測された時点、および、深呼吸実施、呼吸タイミングを心拍に同期する音で制御した場合について、前後5分間の血中酸素飽和度(SpO2)の変化を図3に示す。CRPSで示す、呼吸タイミングを心拍と同期させた場合に、顕著にSpO2の増加率が高くなっている。この結果は、呼吸タイミングを心拍に同期して行うことで、意図的に血中酸素飽和度を増加させることが可能であることを示している。また、無意識に眠気が解消した時と比較して、酸素飽和度が高くなっていることが分かる。

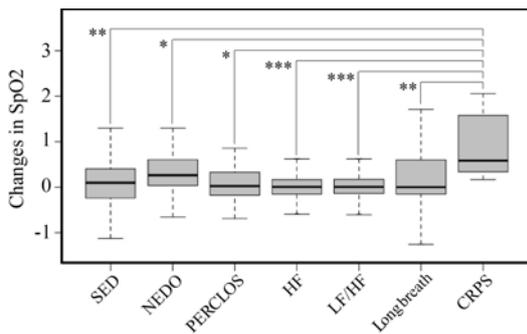


図3 眠気解消時(SED:主観評価による判定、NEDO:表情判定、PERCLOS:瞬き、HF:心拍副交感神経活動指標、LF/HF:心拍交感神経活動指標)、Long breath:深呼吸、CRPS:呼吸タイミングの心拍同期におけるSpO2変化率の変動

(3) 刺激付与装置の試作と効果検証

①16名の被験者を対象として、自動車運転シミュレータを用いた1時間の運転操作時において、30分経過後と45分経過後に覚醒度向上刺激の付与を行った。対象とした刺激は、

表2 刺激付与前後で有意差の認められた指標とそのp値

| | 振動 | 香り | 圧力 |
|-------|--------|--------|--------|
| 主観評価 | p<0.01 | p<0.01 | p<0.01 |
| SpO2 | p<0.01 | × | p<0.05 |
| LF/HF | p<0.01 | × | p<0.1 |
| 呼吸変動 | p<0.05 | p<0.05 | × |

座面からの振動刺激、香り(シトラス)、シートの下もたれが膨張する圧力の3種類である。表2は、刺激付与前後に有意差が認められた指標を示す。眠気に対する主観評価は、どの刺激においても減少している。SpO2も同様に増加し、覚醒度が向上していることが分かる。交感神経活動の賦活を表すLF/HFは、振動と圧力で増加した。呼吸の変動(乱れ)は、振動と香りで増加している。この結果から、座面からの振動刺激を、覚醒度向上刺激として用いることとした。

②振動刺激の付与方法として、規則的な間隔、心拍同期、連続の3種類を主観評価で比較した。心拍同期が「気持ちよく」「落ち着く」という評価であった。振動加速度はいずれも同一であったが、連続刺激は振動を強く感じる傾向にあった。

③表3は、呼吸タイミングを制御した場合と制御しない自発呼吸時の血中酸素飽和度(SpO2)を比較した結果である。被験者は10名であり、5分間の自発呼吸、5分間のタイミング制御で比較を行った。自発呼吸との間でSpO2に5%水準で有意差が認められたのは、表中灰色の網掛けで示した部分である。一定間隔、ランダム間隔と比較して、心拍同期で有意にSpO2が高い。また、心拍同期での比較については、心拍2拍で呼気、心拍2拍で吸気を同期する方法が、1拍、3拍での同期と比較して有意にSpO2が高い結果であった。

表3 呼吸タイミング制御時と自発呼吸時の血中酸素飽和度(SpO2)の平均値。灰色網掛け部分は5%水準で有意差ありを示す

| | 自発呼吸 | 呼吸制御 |
|------|------|------|
| 一定間隔 | 95.7 | 95.9 |
| ランダム | 96.4 | 96.4 |
| 心拍同期 | 96.1 | 97 |
| 1:1 | 96.4 | 97.3 |
| 2:2 | 96.1 | 97 |
| 3:3 | 97 | 97.4 |

④被験者14名を対象として、計算作業実施中の振動刺激の付与間隔を、一定、ランダム、心拍同期、鳥の鳴き声との同期の4種類の比較実験を行った。刺激の変化に対して有意な変動は、心拍変動の標準偏差、脳波のα波、SMR波の含有率であった。図4に示す心拍変動の標準偏差は、刺激無と比較して、一定間隔、鳥の鳴き声においてp<0.1で有意に値が大きい結果であった。一定間隔、あるいは、鳥の声に同期する振動刺激を加えることで、作業中の緊張感が緩和できたと考えられる。脳波のα波は、一定間隔に対して、鳥の鳴き声への同期で高い値を示し、鳥の鳴き声に同

期した振動刺激のリラクゼーション効果が示唆できた。作業への緊張感を表す脳波のSMR波は、ランダムの間隔で付与された振動刺激において(刺激無 $p < 0.05$ 、一定 $p < 0.1$)高い結果となった。

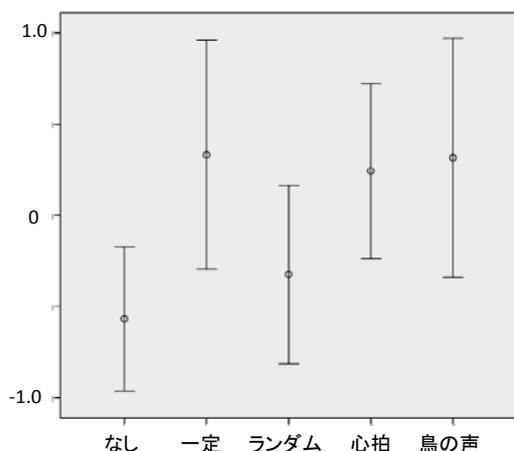


図4 振動刺激の付与方法に対する作業中の心拍標準偏差の変動。縦軸は標準化係数

(4) 試作を行った覚醒度維持向上システムは、
 ①眠気判定を、心拍と呼吸により行う。心拍は、シートに内蔵した容量結合型電極により心電図を測定する。呼吸は、シート背もたれに内蔵した圧力センサーにより測定する。
 ②眠気判定は、心拍から算出したAC(交感神経活動指標)と拍動間隔の平均値、および、呼吸間隔の平均値と標準偏差を用いて行う。5分前の値と比較し、心拍の平均値の低下、ACの増加、呼吸間隔の平均値と標準偏差の増加時点を、覚醒度低下として検出する。覚醒度がやや低下し、眠気に抗する状態である。
 ③覚醒度低下時点で、心拍に同期した間隔でシート座面の振動モータを駆動し、振動を1分間付与する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① I. Takahashi, H. Ohashi, K. Yokoyama, Driver's arousal level preservation system using bio-signals, Proc. 2010 3rd IEEE RAS&EMBS Int. Conf. Bio-medical Robotics and Biomechatronics, 査読有, Vol.1, 2010, pp.785-789.
- ② I. Takahashi, H. Ohashi, K. Yokoyama, Optimum arousal level preservation system using biological rhythms while driving, Proc. Int. Conf. 40th Anniv. Human Ergology Soc., 査読有,

vol.1, 2010, pp.55-66.

- ③ I. Takahashi, H. Ohashi, K. Yokoyama, Optimum arousal level preservation system using biosignals, Journal of Human Ergology, 査読有, Vol.40, No.1-2, 2011, pp.1-10
- ④ I. Takahashi, K. Yokoyama, Development of a feedback stimulation for drowsy driver using heartbeat rhythms., Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 査読有, 2011, pp.4153-4158
- ⑤ I. Takahashi, K. Yokoyama, Preventing drowsiness by heartbeat-synchronized vibration, Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 査読有, 2012, pp.3065-3068
DOI: 10.1109/EMBC.2012.6346611

[学会発表] (計3件)

- ① 田端元気、横山清子、手のひらへの振動刺激による生体状態制御に関する研究、日本人間工学会東海支部研究大会、2010年10月30日、名古屋工業大学
- ② 夫馬司貴、横山清子、バイオフィリア効果に対するヒトの生体反応の評価と精神作業時負担軽減・作業効率向上への応用、日本人間工学会第54回大会、2013年6月1日、日本大学津田沼校舎
- ③ 横山清子、生体情報から快適社会や健康をデザインするシステム開発、電気関係学会東海支部連合大会シンポジウム(招待講演)、2013年9月25日、静岡大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 清子 (YOKOYAMA KIYOKO)

名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授

研究者番号：50174868