

平成 26 年 4 月 11 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22310101

研究課題名(和文) 安心感を高める自動車用コックピット・モジュール設計基盤技術

研究課題名(英文) Basic Technologies for Automotive Cockpit Module Design that enhances Safety and Comfort of Drivers

研究代表者

村田 厚生 (Murata, Atsuo)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：10200289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,600,000円、(間接経費) 2,280,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ドライバーの安心感を高めるための警報システムの人間工学的設計基盤技術、居眠りによる自動車事故防止のための基盤を確立し、ドライバーの反応の正確さ・迅速さを保証するための触覚警報提示方法を同定した。また、ベイズ推定、多項ロジスティック回帰モデルを用いた居眠り予測ロジックを提案し、運転シミュレータを用いた検証実験によって、90-96%の高い予測精度を得た。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research was to get insights for automotive cockpit module design that enhances safety and comfort of drivers. More concretely, this research was conducted to obtain the basis for the development of preventive warning system and the detection system of drowsy driving. The tactile warning presentation that satisfies both accuracy and speed of drivers' response to hazards was identified for the effective tactile warning design. Moreover, as a result of proposing drowsiness prediction logistics by Bayesian estimation and multinomial logistic regression, higher prediction accuracy from 90% to 96% was obtained.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：製品・設備・システム安全 コックピット・モジュール設計 自動車人間工学 警報システム 居眠り
検出

A. 前後の危険に対する自動車用触覚警報システムに関する基礎的研究

1. 研究開始当初の背景

車の運転では、情報の知覚・認知でミスが生じた場合、事故へとつながる危険性がある。自動車運転中の情報の90%以上が視覚であり、カーナビゲーションシステムや携帯電話などの車載情報機器の普及により、ドライバーの知覚・認知の負担が増加傾向にある。このような状況を受けて、自動車の安全運転支援システムの研究が行われているが、支援情報を視覚によって提示するものが多く、運転支援システムによる視覚情報の知覚・認知への過大な負担が事故の危険性を高める。したがって、視覚情報の知覚・認知への負担を増加させることなく安全運転を支援するには、視覚以外の感覚への警報提示が有効であると考えられる。運転環境においては、ほとんどの情報は視覚、聴覚によって提示されるため、危険状況の警報が視覚または聴覚によって提示された場合には、危険情報と警報が同種の感覚情報として与えられるため、同種の感覚情報同士の干渉現象が生じる可能性がある。触覚警報では、このような干渉が少なく、有効性を発揮することが期待される。

触覚に関しては、方向性のある警報提示を行った場合の反応時間が最も短く、効果的に警報提示を行うには方向性のある提示が重要な役割を果たすことが示されているため、振動刺激によって方向性のある警報提示を行うことが有効であると考えられる。例えば、時間差をもって振動刺激を与える仮現運動による方向提示が反応をさらに促進できると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、年齢、刺激提示法(警報なし、仮現運動による警報、単一振動刺激による警報)、刺激部位(大腿部(大腿二頭筋)、腕(下腕部)、背中(胸椎第7椎)、腹部(第6肋間))がトラッキング作業、スイッチ押し作業の正答率、前後方向の危険場面への反応時間・反応精度へ及ぼす影響を明らかにした。また、触覚による自動車用警報システム開発のためのデザイン指針について考察した。

3. 研究の方法

3.1 被験者

普通自動車免許を所持している健常な若年者10名(21歳~24歳)、高齢者10名(65歳~76歳)の計20名を被験者とした。

3.2 作業内容

本作業では以下に示す3つの作業を被験者に課した。作業時間は1回10分とし、警報の種類を7種類(警報なしを含む)とした。警報の種類に関しては(3)で述べる。作業の詳細

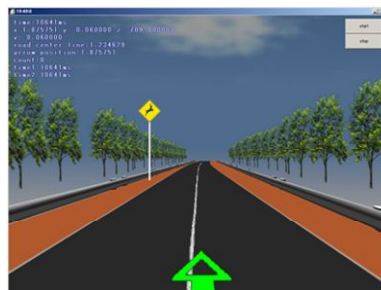


図 A.1 実験作業画面

細な説明は以下の通りである。

(1)トラッキング作業(主作業)

トラッキング作業画面を図A.1に示す。矢印を操作対象、道路の真ん中に描かれた中心線を追従対象とした。走行道路は緩やかに左右交互にカーブする形状とし、提示画面中に他の車は存在しない走行条件とした。トラッキング作業では、矢印の頂点を道路の中心線にできるだけ正確に合わせるように被験者に指示した。

(2)スイッチ押し作業(副次作業)

ハンドルに取り付けられたスイッチを押すことにより、ハンドル前方に設置されたディスプレイに表示される課題に回答する作業を被験者に課した。課題は10秒につき1課題出題され、10秒以内に回答するように指示した。被験者には、速く回答することは要求せず、10秒以内であれば押し直しを認めた。課題はライト、ワイパー、ハザード、オートロックの4種類がランダムに表示され、表示されたものに対応するスイッチを押す作業である。

(3)危険場面に対する反応作業(副次作業)

自車の前方および後方に出現する危険に対し適切に反応する作業を課した。前方に出現する危険は、危険を促す標識に対する判断、後方に出現する危険は、後続車の行動に対する判断とした。前方の危険場面に対する判断作業では、トラッキング作業画面内に表示される6種類の標識のうち、「すべりやすい」、「動物が飛び出すおそれあり」、「落石のおそれあり」が表示された場合にブレーキ側のフットスイッチを踏んで反応するように指示し、その他の標識については反応しないように指示した。後方の危険場面に対する判断作業では、後方スクリーンからバックミラーを介して映し出される後続車との車間距離変化(後続車が一定の車間距離を保って追従している画面、接近して来た画面、後退して行った画面の3パターン)のうち、接近して来た場合にアクセル側のフットスイッチを踏んで反応するように指示した。

スイッチ操作は10秒に1回の間隔、危険判断作業はランダムな時間間隔で被験者に提示したため、2つの作業が同時に出現する場合がある。被験者には、事前に2つの作業

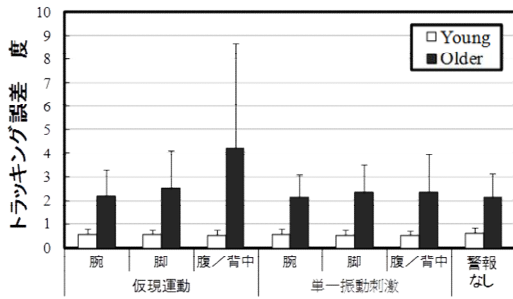


図 A.2 年齢，刺激提示方法，刺激提示部位によるトラッキング誤差の比較

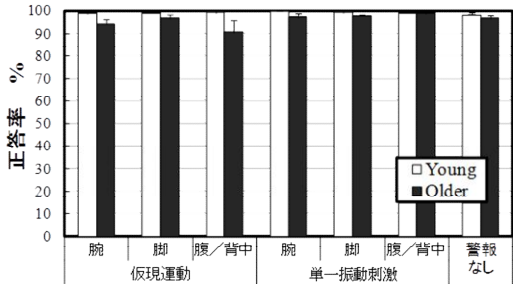


図 A.3 年齢，刺激提示方法，刺激提示部位によるスイッチ操作作業の正答率の比較

がオーバーラップした場合は危険判断作業を最優先に行うように指示した。

3.3 実験要因

年齢，刺激提示法，刺激提示部位の3つを実験要因とした。年齢は被験者間要因，その他の要因は被験者内要因である。実験条件は，刺激提示法の2水準（仮現運動による警報提示，単一振動による警報提示），刺激提示部位の3水準（腕，脚，背中/腹部）の組み合わせによる6条件と，警報なしの1条件を加えた計7条件とした。

3.4 評価指標

以下の4指標を評価指標として用いた。

(1) トラッキング誤差

0.1秒ごとに計測した矢印の中心と中心線との偏差の作業終了時における平均値。

(2) スイッチ操作の正答率

面に示された作業を正しく遂行できた割合で，前述の通り素早く回答することを求めず，制限時間（10秒）以内であれば押し直しを認めた。押し直しをした場合は，最後に押したボタンを被験者が選択した回答とした。

(3) 危険場面に対する反応時間

前方および後方画面に危険場面が表示されてからフットスイッチを踏むまでの時間。

(4) 危険場面に対する反応率

表示された危険場面に対して，反応すべき場面で正しく反応した割合。

4. 研究成果

4.1 実験結果

図 A.2 にトラッキング誤差の結果を示す。トラッキング誤差に対して年齢，刺激提示方法（仮現運動の腕，脚，背中と腹部と単一振動刺激の腕，脚，背中と腹部，振動刺激なしの7水準）を要因とする2元配置の分散分析を行った結果，年齢($F(1,18)=19.760, p<0.01$)，年齢と刺激提示方法の交互作用($F(6,18)=2.284, p<0.05$)に有意差が確認された。危険に対する反応時間の結果に関しても同様の傾向が確認され，年齢の主効果ならびに年齢と刺激提示方法の交互作用に有意差が確認された。

図 A.3 にスイッチ操作作業の正答率の結果を示す。同様の分散分析を実施した結果，年齢にのみ有意差が確認された。危険に対する反応の正答率に関しても同様の傾向が確認された。

4.2 考察

正答率（スイッチ操作，危険に対する反応）に関しては年齢の影響があまり大きく見られなかった。年齢の影響はトラッキング誤差，反応時間で顕著に確認され，高齢者の知覚・認知・運動機能の低下がこれら評価指標に反映された。全ての評価指標において，高齢者は刺激部位の影響を受けやすい傾向が確認されたが，若年者ではそのような傾向は確認されなかった。

高齢者，若年者のデータを総合すると，前方の危険場面に対する反応時間に関しては，刺激提示方法（仮現運動と単一振動刺激）で有意差は認められなかったが，後方の危険場面に対する反応時間に関しては，単一振動刺激のほうが仮現運動よりも反応時間が有意に短くなり，仮現運動により方向性を有する触覚警報が必ずしも速い反応につながるとは限らないことが明らかになった。

高齢者に関しては，仮現運動による刺激を背中/腹部に与えた場合にトラッキング誤差が最大となっている点，後方の危険場面に対して腕と背中/腹部に仮現運動または単一の振動刺激による触覚警報を与えた場合に反応時間が長くなった点，仮現運動または単一の振動刺激による触覚警報を腕に提示を与えた場合に後方の危険場面に対する正答率が低下した点から，仮現運動（背中/腹部），仮現運動（腕），単一振動刺激（腕），単一振動刺激（背中/腹部）の警報条件は，高齢者に対しては不適切であると考えられる。一方，高齢者では，両提示法（仮現運動，単一振動刺激）ともに刺激提示を脚に与えることにより，危険に対して正確かつ速くに反応できることが確認された。以上より，ユニバーサルデザインの観点から，高齢者に合わせて若年者の触覚警報をデザインする場合には，刺激提示部位は，脚が望ましいと考えられる。

B. 行動指標を従属変数とした回帰モデルによる客観的覚醒水準低下予測の試み

1. 研究開始当初の背景

自動車保有台数や運転免許保有人口の増加に伴い車社会は一層の進展を示している。今後も自動車を保有する人がさらに増加し、車社会が益々の発展を遂げることが予想される。しかしながら、そのような社会的状況の中で交通事故による死者は日々報告されている。警察庁の調査によると平成 25 年度上半期における原付以上運転者（第 1 当事者）の法令違反別死亡事故のうち居眠り運転を含む漫然運転は構成比 16.8%を占めている。記憶に新しいところでは、2012 年 4 月に発生した関越自動車道での高速バス事故も原因は運転者の居眠り運転であるといわれている。このように、居眠り運転は死亡事故を引き起こす要因であるとともに、死亡事故や重傷事故に発展する可能性も非常に高い。また、居眠り運転がこのような事故を引き起こす要因の一つとしてドライバーの意識だけで居眠り状態を回避できないことが挙げられる。そこでドライバーの居眠りを検知し、警告を出して覚醒を促すシステムの開発が求められており、ドライバーが入眠期に入るタイミングの検知にまでは至っていない。

これまでの研究において、居眠りの検知には脳波、心電図といった生理指標がよく用いられてきた。しかしこれら生理指標の計測にはドライバーの体に直接器具を取り付けて計測する必要があり、彼らに拘束感や不快感を与えることが問題視されている。カメラを用いた顔や眼球運動の検知も眼鏡等で視力矯正を行っているドライバーでは計測が困難とされている。そこで、行動指標に焦点を当て、行動指標を用いて居眠りの検知ができないかを検討した。過去の研究において、ドライバーの姿勢制御機能が低下することに着目し、ドライバーの首の屈曲角度と座圧荷重中心位置から覚醒度の低下を検出する試みやドライバーの座席シートの背もたれにかかる圧力（背圧）、アクセル・ブレーキペダル操作時の足の裏にかかる圧力（足圧）から覚醒度の低下を検出する試みを行っており、これら行動指標から居眠り運転を予測することができることを確認されている。

2. 研究の目的

ドライバーの運転中に背もたれにかかる圧力（背圧）、ペダル操作時の足の圧力（足圧）、運転姿勢（座面座圧分布及び首の屈曲角度）の変化及びトラッキング誤差に着目した。これらの行動指標は覚醒低下状態になるにつれ一定の傾向を示すと考え、行動指標を従属変数、時間を独立変数とする回帰モデルを作

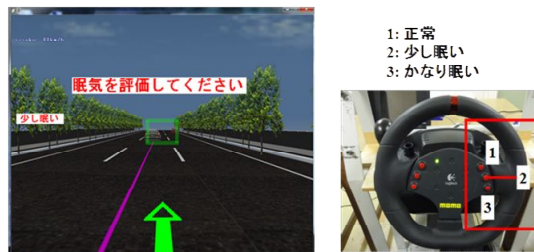


図 B.1 実験作業画面およびボタン位置と眠気評価の内容

成し、覚醒水準低下時における各指標の時系列変化を分析した。

3. 研究の方法

3.1 被験者

普通自動車運転免許証を所持している健康な若年男性 10 名とした（21 歳～24 歳）。

3.2 作業内容

実験の事前準備として、被験者に実験前日に徹夜をし、覚醒水準が低い状態で作業を実施した。作業時間は 1 人当たり 30 分～60 分とした。前述の通り、本作業は覚醒水準が低い状態で実施したため、作業中に完全に眠ってしまう被験者もみられた。そのため、実験時間が 30 分を経過し、かつ被験者が完全に眠ったと実験者が判断した状態で実験終了とした。作業画面を図 B.1 に示すとともに、実験で実施した作業を以下で説明する。

(1) 運転模擬作業（主作業）

図 B.1 において第 2 通行帯の中央にある中央線（図 B.1 における紫色の線）と制御部（図 B.1 における緑色の矢印）の先端を追従させる作業である。道路はカーブがほとんどない直線道路とした。これは高速道路催眠現象（高速道路ではカーブが少なく、信号機が無いことから一方向に一定速度で走行する状況が続き、走行中は同じ風景が続くために眠気を誘発し、判断力や注意力などの鈍麻から運転意識の低下を招いたりする現象）が発生しやすい状況を作り出すためである。

(2) 眠気判断作業（副次作業）

作業画面内に 1 分に 1 回の割合で提示される眠気の主観評価を促す質問に回答する作業。回答はステアリングに搭載されたボタンを用いて行わせた（ボタン位置および評価内容は図 B.1 参照）。なお、眠ったかどうかの判断は、眠気判断作業において「データなし」が連続で続いた場合とした。

(3) 車間距離維持作業（副次作業）

自車と先行車との車間距離を一定の範囲内に維持し続ける作業である。自車と先行車の先行車の距離は作業画面上の先行車の周りに提示された枠の色で判断できる。枠の色が緑の場合は車間距離が適切、赤の場合は車間距離が短い、青の場合は車間距離が長いこ

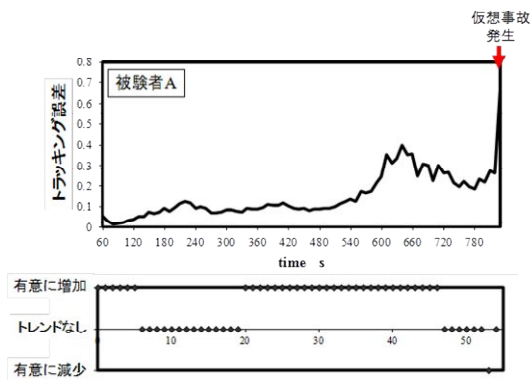


図 B.2 トラッキング誤差の時系列変化とトレンド分析の結果 (被験者 A)

とを示している。被験者には枠の色が青の状態を維持し続けるように指示した。

3.3 評価指標

評価は以下の 4 指標に眠気の主観評価を加えた計 5 指標を用いた。

(1) トラッキング誤差

中央線と制御部の先端との偏差。

(2) 首屈曲角度

作業中の首の曲がり具合。正面を見ているときの値を 0 度とし、左右方向、前後方向にどれだけ傾いたかを計測した。

(3) 座圧荷重中心移動量

座圧荷重分布を計測し、そこから座圧荷重中心を算出する。作業中の座圧荷重中心の移動量を評価指標として用いた。

(4) 足圧および背圧

圧力センサを靴の中敷きおよび座席シートの背中が当たる部分に設置し、作業中のセンサにかかる圧力を評価指標とした。

3.4 眠気の予測

本研究では、ビデオカメラで撮影した実験の様子およびトラッキング誤差の傾向から仮想事故発生時刻を推定し、そこに至るまでの各評価指標の変化から眠気を予測することを試みた。本研究では各指標の仮想事故発生までの傾向を、行動指標を従属変数、時間を独立変数とする単回帰直線の傾きの増減 (トレンド) を求めることによって調査した。解析に用いる値は得られた生データではなく、6 点移動平均した値を用い、単回帰分析の分析対象範囲は 240 秒とした。

4. 研究成果

4.1 実験結果

データは仮想事故が発生するまでとし、そこにいたるまでの時系列データおよびトレンド分析結果を検証する。図 B.2 に被験者 A のトラッキング誤差の時系列データならびにトレンド分析結果を示す。本指標の場合、仮想事故前に有意に増加するトレンドが確認されていることがみてとれる。紙面の都合

上、他の評価指標のデータに関しては掲載を省略するが、トラッキング誤差と同様に仮想事故前に有意な変化が見られることが確認された。

4.2 考察

本研究では居眠り運転防止のため、ドライバーに拘束感を与えることのある生理指標に代わる指標として、行動指標に着目し、各指標の傾向の時間変化を調査した。実験結果を踏まえ、「トラッキング誤差が有意に増加を始めてから座圧荷重中心移動量、首屈曲角度、背圧差分値のうち 2 指標において有意な増加が始まり、1 分間の有意な増加が認められた時点」を危険場面と定義し、危険場面が隠された時間から仮想運転発生までの時間の差を調査した結果、40 秒～8 分前までには危険な兆候がつかむ事が出来た。このことから、行動指標を従属変数とする回帰モデルでの覚醒低下時の傾向分析及び危険場面予測は有効であると考えられる。

本実験では区間 240 秒の回帰分析及び区間 60 秒の移動平均法を用いているため、初めの 5 分間の傾向は分析できていない。被験者によっては比較的早い段階で強い眠気を感じている者もいたため、開始付近の傾向を読み取ることも課題の 1 つである。

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 32 件)

A.MURATA(他 3 名): On Learning Characteristics of Automotive Integrated Switch System using Face Direction, Journal of Convergence Information Technology, 査読あり, Vol.8, No.11, pp.759-766, 2013, DOI: 10.4156/jcit.vol8.issue11.85.

村田厚生(他 2 名): 前後の危険に対する自動車用触覚警報システムに関する基礎的研究, 人間工学, 査読あり, Vol.47, No.5, pp.198-208, 2011, DOI: 10.5100/jje.47.198.

A.MURARA: Effects of state of eye movement before saccade on efficiency of response to stimulus -Comparison of search efficiency between fixation and smooth pursuit states-, International Journal of Knowledge Engineering and Soft Data Paradigms, 査読あり, Vol.3, No.1, pp.85-94, 2011, DOI: 10.1504/IJKESDP.2011.039881.

[学会発表](計 47 件)

A.MURATA, T.KORIYAMA, T.ENDOH and T.HAYAMI: Prediction of Drowsy Driving Using Behavioral Measures of Drivers -Change of Neck Bending Angle and Sitting Pressure Distribution, Proceedings of HCI2013, 2013.7.25, Las Vegas, Vol.22, pp.178-187, 2013.

A.MURATA, S.KEMORI, T.HAYAMI and M.MORIWAKA: Basic Study on Automotive Warning Presentation to Front/Rear Hazard by Vibrotactile Stimulation, Proceedings of AHFE2012, San Francisco, 2012.7.23, pp.421-430, 2012.

A.MURATA, Y.OHKUBO, M.MORIWAKA and T.HAYAMI: Prediction of Drowsiness using Multivariate Analysis of Biological Information and Driving Performance, Proceedings of SICE2011, Tokyo, 2011.9.14, pp.52-57, 2011.

〔図書〕(計2件)

村田厚生：ヒューマン・エラー学の視点 - 想定外の畏から脱却するために - , 現代書館 , 2012.

村田厚生：福島第一原発事故・検証と提言 - ヒューマン・エラー学の視点から - , 新曜社 , 2011.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6 . 研究組織

(1)研究代表者

村田 厚生 (MURATA ATSUO)

岡山大学大学院・自然科学研究科・教授

研究者番号：10200289

(2)研究分担者

早見 武人 (HAYAMI TAKEHITO)

岡山大学大学院・自然科学研究科・講師

研究者番号：60364113