

能動的行為を伴うシステムを用いたドライバの覚醒支援

伊部 達朗¹ 平岡 敏洋^{1,a)} 阿部 恵里花¹ 藤原 幸一¹ 山川 俊貴²

概要: 本研究では、眠気が誘発されやすい単調な交通環境においてドライバの覚醒度を維持するために、能動的行為によりゲーム操作を行う覚醒維持支援システム (WKSS: Wakefulness Keeping Support System) を構築し、覚醒維持効果や、運転の安全性、受容性を調べた。WKSS は体動、または発話の 2 種類の操作方法があり、効果音の導入など楽しさを促す設計がなされている。WKSS を搭載したドライビングシミュレータを用いた実験を行い、体動、発話の 2 種類の操作方法を比較した結果、体動による操作は発話による操作に比べて覚醒維持効果が高い一方で、運転の安全性が損なわれやすいことが確認された。一方、WKSS の受容性はどちらにおいても高かった。

Wakefulness Support While Driving by System Involving Active Action

IBE TATSURO¹ HIRAOKA TOSHIHIRO^{1,a)} ABE ERIKA¹ FUJIWARA KOICHI¹ YAMAKAWA TOSHITAKA²

1. はじめに

自動車は生活の利便性を向上させる一方で、交通事故に関する問題の多くは未だ解決されていない。警察庁が発表した平成 26 年度の交通事故統計 [1] によると、日本における交通事故の数は、増加傾向にはないが、総数は 3268 件と未だ多い。また、死亡事故において漫然運転による事故が 17.9% を占め、全原因の中で最も多くなっている。漫然運転とは、居眠り運転や無気力運転など、眠気や疲労によって運転能力を欠いた状態における運転を指す。

居眠り運転防止のために、これまでに様々な研究がなされてきた。なかでも運転中の眠気や疲労を推定する方法については数多く提案されている。代表的なものに、目の動きなどのドライバの挙動 [2] や、生理指標 [3] の解析によって検出する手法がある。検出の精度は年々高くなっている一方で、誤報や欠報を完全に失くすことは難しい。とくに、実応用の際には眠気を見逃さないために、誤報が多くなったとしても欠報を減らすように閾値を設定する。そのような設定では、ドライバが眠気を感じていないにも関わらず

警報などのシステムによる介入が行われ、システムに対して煩わしさが伴う恐れがある。そのため、検出された眠気を伝えるときにはドライバが煩わしさを感ぜないように工夫する必要がある。

眠気検出の他に、居眠りを防止する方法に関する研究がなされている。居眠り運転防止の中でも、とくにドライバの覚醒度を維持することを目的とした覚醒維持支援が注目されている。従来の方法では、窓を開けたり音楽を聴く [4] など、受動的な刺激によりドライバを覚醒する方法が提案されていた。しかし、これらの方法では、一時的な覚醒維持効果が期待できたとしても、刺激に対して慣れることにより覚醒維持効果が低減される恐れがある。それに対し、能動的な行為を伴う覚醒維持方法が注目を集めている。先行研究において、カラオケをする行為 [5] や打楽器の演奏 [6] が、受動的な刺激による覚醒方法よりも覚醒維持効果があることが確認されている。しかし、どの研究においても単一の方法における評価にすぎず、能動的行為のうちどのような行為が効果的であるのかといった詳細な点については調べられていない。

先行研究における課題や問題点を踏まえて、本研究では、1) 誤報に対しても煩わしくない覚醒維持支援を行うこと、2) 能動的行為を伴うシステムを複数用意して性能を比較すること、の 2 点を目的とした覚醒維持支援システム

¹ 京都大学
Kyoto University

² 熊本大学
Kumamoto University

a) hiraoka@sys.i.kyoto-u.ac.jp

(WKSS: Wakefulness Keeping Support System) を構築する。WKSS の構築には生理学や認知科学、心理学の知見を活用する。WKSS を搭載したドライビングシミュレータを用いた実験によって、WKSS のユーザに対する受容性と、能動的行為の種類による覚醒維持効果や安全性への影響を検証する。

2. 覚醒維持支援システムの設計指針に関連する先行研究

2.1 眠気と自律神経系

睡眠と自律神経系に関するサーカディアンリズムの研究 [7] から、1 日の睡眠リズムと自律神経系の活動の密接な関わりが知られている。また、日中の眠気や睡眠時無呼吸症候群などの睡眠障害も自律神経系の活動が関係しており [8]、睡眠に関する研究では自律神経系の活動が重要な役割を持つ。

自律神経系と眠気の関係について考えることは、ドライバの覚醒維持支援方法を考えるうえでも有用であると考えられる。日中の覚醒時や活動時には交感神経系が副交感神経系に対して優位となることが知られている。Arai ら [9] によると、サイクルエルゴメータを用いた運動を行ったところ、運動中に副交感神経系の活動が急激に減退し、運動後、徐々に通常状態付近まで回復した。

睡眠のメカニズムは明らかになっていない部分が多いものの、これらの先行研究からたとえば、体を動かすことなどが自律神経系を刺激し、覚醒維持に貢献すると期待される。

2.2 Multiple Resource Model

人がある情報を知覚し、それを処理した結果に基づいてなんらかの応答を行うことを認知的作業と呼ぶ。認知的作業を行うためには精神的な労力が必要であることが知られている。Wickens [10] によると、その精神的な労力の総量を認知資源と呼び、認知資源が認知的作業における目的の達成度を決定する。たとえば、自動車の運転においては、信号や経路案内などの情報を受け取り、ドライバが処理を行ってハンドルやアクセルペダルを操作する。このとき、疲労や眠気、運転への不慣れなどにより、精神的な労力を十分に確保することができない場面では、車線維持ができないなど、運転作業に影響を与えることがある。

認知資源の概念を拡張したモデルに Wickens の Multiple Resource Model がある [10]。Multiple Resource Model では、認知資源は複数存在すると定義しており、代表的なものに視覚と聴覚がある。一度に複数の声を聞き分けることが困難であるのに対し、映像を見ながら音声を聞くことが容易であるのは、視覚と聴覚では異なる認知資源からの労力の供給を必要とするからである。

本研究ではこのモデルを用いて能動的行為を分類する。

認知的作業のうち、受け取った情報に対して応答を行う段階が、本研究で考える能動的行為に相当する。Multiple Resource Model では、応答には 2 種類の様式があり、それぞれ異なる認知資源を持つとしている。一つはラジオのチューニング操作などに対応する手動応答と呼ばれる応答様式であり、もう一つはナビゲーションシステムにおける音声入力などに相当する言語応答と呼ばれる応答様式である。自動車の運転は複合的な応答の労力を要する認知的作業であるため、運転の他に、手動応答と言語応答のどちらの応答様式に関する労力を追加で活用することで、覚醒維持に貢献するのか、もしくは安全性を損なうのかを調べることが有用である。

そこで、本研究では手動応答、言語応答のそれぞれの認知資源の活用によって、体動と発話の二つの能動的行為によって操作できるシステムをそれぞれ用意する。二つの操作方法を比較し、覚醒維持効果や安全性の観点からより良い能動的行為を検討する。

2.3 ゲームニクス理論

ユーザを惹きつけるインタフェースの設計論に、サイトウが提唱するゲームニクス理論 [11] がある。ゲームニクス理論は、テレビゲーム開発における各種のノウハウを体系化したものであり、設計における具体的な方法論を示す。ゲームニクス理論で述べられているシステム設計の原則は四つあり、1) 直感的な UI (User Interface)、2) マニュアル不要の操作理解、3) はまる演出と段階的学習効果、4) ゲームの外部化がある。

本研究では楽しさを誘発するゲーム設計にするために、ゲームニクス理論の設計原則のうち、一つ目の「直感的な UI」に着目する。UI の直感性は、車載機器の操作による運転への影響を低減するために重要であり、わかりやすい入力デバイスの形を実現することが望まれる。また、三つ目の「はまる演出と段階的学習効果」にも着目する。はまる演出を導入することは、ゲームを楽しみと感じてもらうために重要である。ゲームニクス理論の設計原則に基づいてシステムを構築することで、システムのユーザにとって負担にならず、楽しいと感じられるシステムとなることが期待できる。

3. 能動的な操作を伴う覚醒維持支援システム

本章では、本研究で提案する WKSS について説明する。WKSS は眠気検出システム (DDS: Drowsiness Detection System) と能動的ゲームシステム (AGS: Active Game System) を組み合わせ、DDS で検出された眠気を元に AGS が作動し、ドライバの覚醒維持を支援する。DDS には Abe ら [12] が提案するアルゴリズム *1 を用いる。

*1 覚醒度推定アルゴリズムについては先行研究 [12] を参照されたい。

表 1 音声の種類と性質

動物の音声	操作すべき音声	ライオンの鳴き声
	無視すべき音声	ネコの鳴き声
合図	正解の合図	コインの音
	不正解の合図	ブザーの音
	攻撃の合図	打撃音

3.1 AGS

AGS の構築では、1) ゲームニクス理論に基づいて設計することで AGS のユーザに対する受容性を高める、2) ドライバの能動的行為を促進することで覚醒維持を支援する、という 2 点を目指す。これら二つの目的を達成するために、本研究では運転中に能動的行為によって操作するゲームを提案する。

3.1.1 ゲームの流れ

以下に、ゲームの流れを記す。

1. 眠気があると判定されるとゲームを起動する。
2. 音楽が流れ始め、ゲームがスタートする。
3. 動物の音声が前・右・左のいずれかの方向から聞こえる。
4. 動物の音声の方向に応じ、前・右・左に対応する操作を行う。なお、音声には操作すべき音声と無視すべき音声がある。
5. 操作すべき音声に対して反応許容時間以内に操作する。
6. ゲーム終了まで約 60 秒間、上記の 2~4 を繰り返す。

音声はソフトウェアの処理により、音源の位置が調整され、前・右・左の 3 方向のいずれかから聞こえる。音声ならびに応答音の種類を表 1 にまとめる。

3.1.2 ゲーム操作系

ゲームは前・右・左に対応した 3 種類の操作を必要とする。そのような操作の実現のために、本研究では 2.2 節で決定した体動と発話の 2 種類の能動的行為による操作系を構築する。

1) 体を動かすことによる操作

運転を阻害することなく動かせる体の部位は限られるが、その一つの候補として頭が挙げられる。そこで本研究では、頭を動かすことによって操作する方法を実装する。

頭の動きによる操作を実現するために、顔の向きを検出する必要がある。そこで本研究では、深度センサやマイクロホンアレイ付きのカメラである Microsoft Kinect v2 (以下、Kinect) を用いる。Kinect によって測定された顔の角度を用いて、前・右・左の操作に対応する、傾き、右、左の傾げを検出する。

2) 発話による操作

発話による操作の実現のために、Kinect に内蔵されたマイクロホンアレイを用いて声を取得する。操作のために、「前(まえ)」、「右(みぎ)」、「左(ひだり)」といった 3 種類の発話を検出する。

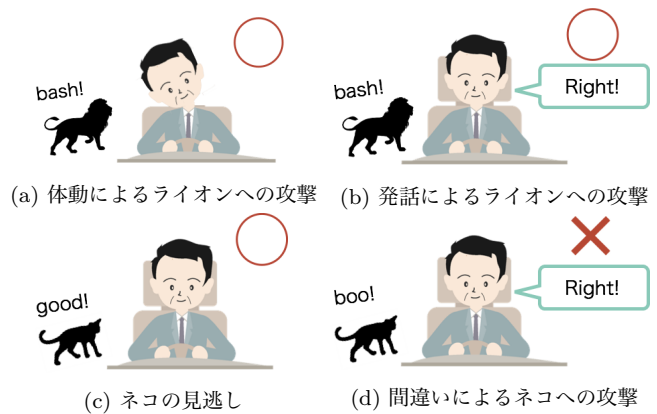


図 1 操作と効果音のイメージ画像

3.1.3 ゲームニクス理論に基づく設計

ゲーム操作のイメージを図 1 に示す。ライオンの鳴き声がある方向に対して頭を動かす、方向を声に出すといった直感的な操作方法を実現することや、わかりやすい効果音による操作の教示を行うことで、本ゲームの使用が運転の負担にはならないことが期待できる。

ゲームの効果音は、ゲーム操作にとって教示の役割に加え、ゲームを盛り上げる役割がある。正解・不正解時のコインとブザーの音に加え、図 1 (a), (b) に示すように、打撃音を加えるなど操作による爽快感を促す効果音を導入した。

4. 覚醒維持支援システムの検証実験

4.1 実験参加者

実験参加者は謝金雇用を行った 16 名 (男性 12 名、女性 4 名) であり、事前のインフォームドコンセントにより実験参加への同意を得た。参加者の年齢は 18 歳~40 歳 (平均 23.38, 標準偏差 2.13) であり、普通自動車の運転免許証を所持し、運転歴は 11 ヶ月~85 ヶ月 (平均 33.81, 標準偏差 21.29) であった。

実験参加のためのスクリーニングとして、Epworth Sleepiness Scale (ESS) の日本語版 [13] を用い、合計点が極端に高い (15 点以上) 希望者は睡眠時無呼吸症候群の可能性があり、実験結果に対する影響を考慮して参加を見送った。なお、本実験内容については、「京都大学大学院工学研究科ヒトを対象とする工学研究実施要項」に基づき、工学研究倫理委員会において審議されて承認 (第 201515 号) を受けている。

4.2 実験設備

実験環境は図 2 に示すドライビングシミュレータ (DS: Driving Simulator) を用いて構築した。本実験では単調で平坦な、疲労や眠気を誘発しやすいコースとして半径 5000m のゆるやかな円弧コースを作成した。車線は 2 車線の一方通行路で、車線幅は 3.5m である。信号や交差点、停止線などはない。夜間での走行を想定し映像内の空は暗

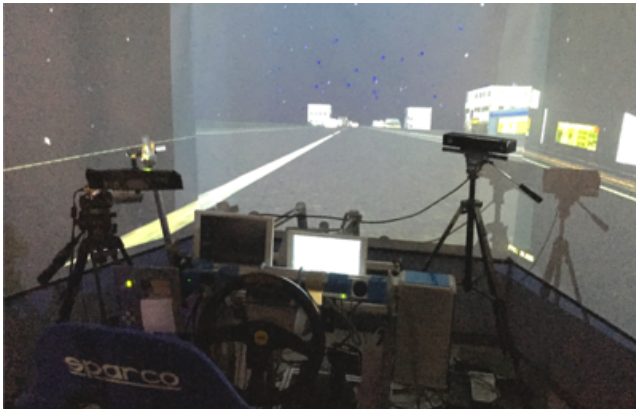


図 2 ドライビングシミュレータ

く設定し、部屋の明かりは消灯した。速度や走行コースを統一するために、実験参加者は一定速度 (90km/h) で走行する先行車に対して一定距離を保って追従しながら、右車線中央を走行するように教示された。

4.3 実験条件

本研究では実験参加者を二つの群に分け、実験参加者を8名ずつ割り当てた。できる限り群間の運転特性にばらつきがないように群分けを行った。二つの群の実験参加者はそれぞれ異なる種類の WKSS を使用して運転を行った。

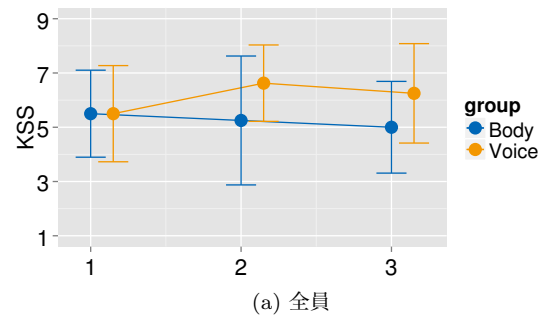
WKSS-Body: 体動によってゲームを操作する

WKSS-Voice: 発話によってゲームを操作する

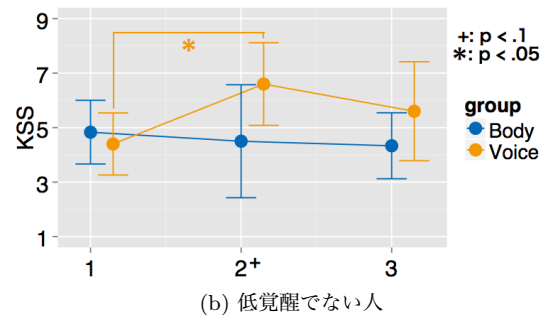
二つのシステム、WKSS-Body, WKSS-Voice を使用する群をそれぞれ Body 群, Voice 群と呼ぶ。WKSS-Body, WKSS-Voice は、WKSS のうち、AGS において 3.1.2 節で説明した 2 種類の操作方法を実装したものに对应する。なお、DDS についてはいずれの WKSS においても、心拍計から取得する心拍データを元に眠気を検出する Abe ら [12] のシステムを利用した。心拍データの取得には山川らが開発した遠隔測定デバイス [14] を使用した。なお、覚醒時の心拍データを元に、事前に個人毎に眠気判定のための閾値を設定する必要がある。閾値は眠気を見逃す欠報を減らし、誤報が多くなるとしても、少しでも眠気があると疑われる場合はゲームを起動するように設定した。

4.4 実験手順

睡眠、眠気に関するアンケートを記入した後、DS の操作方法や、走行コース・ルール、AGS について教示を行った。教示された内容に基づいて実際に DS を用いた運転練習、AGS を用いた運転練習を行う。その後、心拍計を装着し、前節で述べた DDS における閾値設定のための 10 分間の走行を行う。このとき WKSS は用いない。本番走行は WKSS を用いて 50 分間行うが、本番走行の前になるべく眠気がある状態となるように 10 分間暗室で目を閉じて待機する。本番走行終了後にアンケートを実施した。



(a) 全員



(b) 低覚醒でない人

図 3 KSS

5. 実験結果

5.1 眠気に関する指標

眠気に関する 9 段階の主観評価指標である KSS (Karolinska Sleepiness Scale) [15] を用いた質問の結果を図 3 に示す。運転開始時 (0 分時)、運転の中盤 (25 分~35 分頃)、運転の終了時 (50 分時) における KSS の評価値を取得した。なお、運転の中盤の眠気の評価は運転終了時に行った。図 3 (a) に、Body, Voice 群における KSS の評価取得時間ごとの評価値を示す。2 要因分散分析の結果、群と評価値取得時間それぞれの主効果と、それらの交互作用ともに認められなかった。

ドライバの覚醒維持を目的としたシステムは、低覚醒に陥りかけている眠気の初期段階においてドライバの覚醒維持を支援することが重要である。つまり、本研究で提案する WKSS は覚醒状態にあるドライバが低覚醒に陥ることを防ぐことが最大の目的である。

そこで、運転開始時に KSS が 6 以下のドライバ (低覚醒でないドライバ) 11 人 (Body: 6 人, Voice: 5 人) についての KSS の結果を図 3 (b) に示す。群と評価値取得時間それぞれの主効果は認められなかったが、それらの交互作用の p 値は .11 ($F(2, 18) = 2.47$) となり、下位検定の結果、運転の中盤において Voice 群が Body 群よりも KSS が高い傾向にあり ($F(1, 9) = 3.53, p < .1$)、Voice 群において運転開始時よりも運転の中盤において KSS が有意に高かった ($p < .05$)。

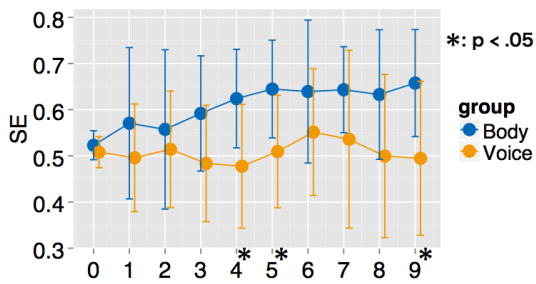


図 4 SE

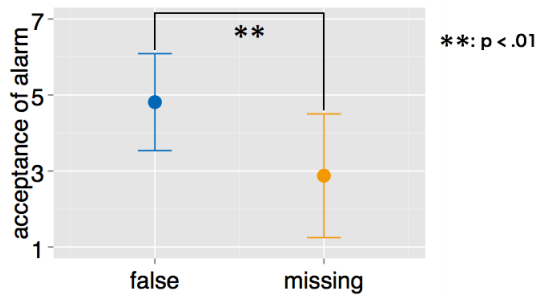


図 5 眠気判定の誤報感・欠報感

5.2 安全性に関する指標

安全性に関する指標は、識別器構築時を 0 ブロック目とし、本番走行開始後 4 分 50 秒から 49 分 50 秒までを 5 分ごとに 9 分割したものと合わせた 10 ブロック分取得した。データは各区間における平均値を求めることで取得した。評価には操舵の滑らかさを表す指標であるステアリングエントロピー (SE: Steering Entropy) [16] を用いた。

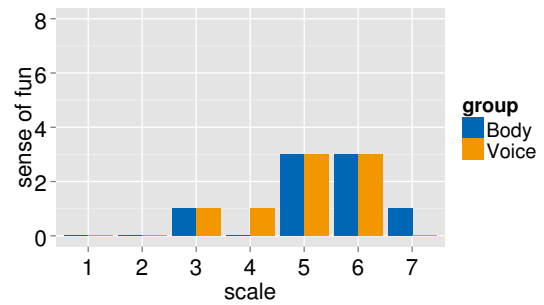
図 4 に Body, Voice 群におけるブロックごとの SE を示す。2 要因分散分析の結果、群とブロックそれぞれの主効果があった ($F(1, 14) = 3.18, p < .1, F(9, 126) = 2.15, p < .05$)。またそれらの交互作用の p 値は .11 ($F(9, 126) = 1.63$) となり、下位検定の結果、4, 5, 9 ブロック目において Body 群が Voice 群に比べて有意に高かった ($p < .05$)。

5.3 システム設計について

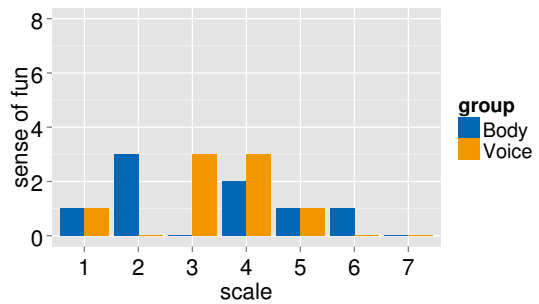
DDS には誤報や欠報が必ず含まれており、本研究においては実応用時の有効性を考慮し、できる限り欠報を減らすために、誤報を増やす閾値設定とした。

「眠気がないときにゲームが起動された」という誤報感に関する質問と、「眠気があるときなのにゲームが起動されないときがあった」という欠報感に関する質問に対する 7 段階の主観評価を行った。それぞれ群間に有意差は認められなかった。参加者全体で誤報感と欠報感について分散分析を行った結果、図 5 に示すように、欠報感に比べて誤報感が有意に高かった ($F(1, 15) = 9.69, p < .01$)。

「ゲームを楽しめた」という質問に対する 7 段階の主観評価の結果を図 6 (a) に示す。当てはまる (7 段階中 5 以上) と回答した実験参加者は Body, Voice 群それぞれにお



(a) ゲームの楽しさ



(b) ゲームの煩わしさ

図 6 主観評価指標

いて 7 人, 6 人で、当てはまらない (7 段階中 3 以下) と回答した実験参加者は Body, Voice 群それぞれにおいて 1 人, 1 人であった。群間の有意差は認められなかった。

「ゲームが煩わしく感じた」という質問に対する 7 段階の主観評価の結果を図 6 (b) に示す。当てはまる (7 段階中 5 以上) と回答した実験参加者は Body, Voice 群それぞれにおいて 2 人, 1 人で、当てはまらない (7 段階中 3 以下) と回答した実験参加者は Body, Voice 群それぞれにおいて 4 人, 4 人であった。群間の有意差は認められなかった。

5.4 考察

図 3 に示された KSS の結果より、WKSS-Body による覚醒維持効果が確認できる。とくに、低覚醒でないドライバにおいて、Body 群で覚醒維持効果が顕著であった。WKSS-Voice が WKSS-Body に比べて覚醒維持効果が低かったことから、覚醒維持には発話による応答よりも体動による応答の方が効果的であることが示唆される。

しかしながら、WKSS-Body, WKSS-Voice どちらにおいても覚醒水準を向上させる効果は見られず、運転開始時から眠気があるドライバを覚醒させる働きはどちらにおいても期待できない。したがって、ドライバを覚醒することを主眼に置いたシステムには限界があることを理解しなければならない。つまり、適度な休憩が重要であって、本提案システムはあくまで眠気の初期段階における短期的な対策として位置づける必要がある。

眠気と安全性の議論に関して、Takayama らの研究 [17] では発話によるシステムとのインタラクションによって眠

気があるドライバの安全性を向上させるとあったが、本研究においても図4に見られるように発話を要するVoice群においてSEが低く保たれる傾向があった。しかしながら、Voice群よりも覚醒維持効果があったBody群ではSEがやや損なわれた。これは、頭を動かす動作のうち、左右の傾げ方向の動きによってハンドル操作に悪影響があったのではないかと推測される。今後の対策としては、ハンドル操作と干渉しにくい部位や動きを考えることが考えられる。

図5に示すように、眠気判定に関する主観評価の結果では、事前に想定された通りに、眠気判定に対する誤報感が高く、欠報感は低かった。ただし、図6(b)に示すように、いずれのWKSSにおいても、誤報が多くなることによってゲーム起動への煩わしさが高まることはなかった。Body、Voice群において煩わしさが低かった原因としては図6(a)に示すようにAGSを使用する楽しさが高かったことが影響したと考えられる。

6. おわりに

本研究は、居眠り運転防止を目的としたシステムとして、体動や発話などの能動的な行為を伴う覚醒維持支援システム(WKSS-Body, WKSS-Voice)を構築し、実験により有効性を検証した。実験の結果、WKSS-Voiceに比べ、WKSS-Bodyにおいて覚醒維持効果が見られた。しかし、低覚醒度のドライバを覚醒させることはできなかった。安全面においてはWKSS-Voiceにおいて安全性が改善された一方で、WKSS-Bodyでは運転の安全性が若干損なわれた。また、ゲームニクス設計によりWKSSのユーザに対する受容性が改善された。以上の結果から、覚醒維持を目的とした体動を伴うシステムを構築する際には、運転に影響を与えにくい安全な体動方法を見つけることが重要であることが示された。

参考文献

- [1] 警察庁交通局交通企画課：交通事故統計（平成26年11月末）、政府統計の総合窓口（2014）。
- [2] Vural, E., Cetin, M., Ercil, A., Littlewort, G., Bartlett, M. and Movellan, J.: Drowsy driver detection through facial movement analysis, *Human-Computer Interaction, Springer Berlin Heidelberg*, pp. 6-18 (2010).
- [3] Yang, G., Lin, Y. and Bhattacharya, P.: A driver fatigue recognition model based on information fusion and dynamic Bayesian network, *Information Sciences*, Vol. 180, pp. 1942-1954 (2010).
- [4] Schwarz, J. F., Ingre, M., Fors, C., Anund, A., Kecklund, G., Taillard, J., ... and Åkerstedt, T.: In-car countermeasures open window and music revisited on the real road: popular but hardly effective against driver sleepiness, *Journal of Sleep Research*, Vol. 21, No. 5, pp. 595-599 (2012).
- [5] Arimitsu, S., Sasaki, K., Hosaka, H., Itoh, M., Ishida, K. and Ito, A.: Seat belt vibration as a stimulating device for awakening drivers, *IEEE/ASME Transactions ON Mechatronics*, Vol. 12, No. 5, pp. 511-518 (2007).

- [6] 小川洋明, 石田健二, 大須賀美恵子: ドライバの能動的行動に基づく覚醒維持手法に関する研究: パーカッション演奏効果の実験的検討, *自動車技術会論文集*, Vol. 44, No. 6, pp. 1459-1464 (2013).
- [7] Bonnemeier, H., Wiegand, U. K., Brandes, A., Kluge, N., Katus, H. A., Richardt, G. and Potratz, J.: Circadian profile of cardiac autonomic nervous modulation in healthy subjects, *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, Vol. 14, No. 8, pp. 791-799 (2003).
- [8] Morishima, H., Sugiyama, E., Matsushita, M., Uruha, S., Ito, S., Abe, Y., ... and Takeda, M.: How is autonomic nervous system activity in subjects who are sleepy but are unable to sleep in the daytime?, *Sleep and Biological Rhythms*, Vol. 7, pp. 23-30 (2009).
- [9] Arai, Y., Saul, J. P., Albrecht, P., Hartley, L. H., Lilly, L. S., Cohen, R. J. and Colucci, W. S.: Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise, *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, Vol. 256, No. 1, pp. 132-141 (1989).
- [10] Wickens, C. D.: Multiple resources and mental workload, *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 50, No. 3, pp. 449-455 (2008).
- [11] サイトウ: ゲームニクスとは何か 日本発、世界基準のものづくり法則, *幻冬舎* (2007).
- [12] Abe, E., Fujiwara, K., Hiraoka, T., Yamakawa, T. and Kano, M.: Development of drowsy driving accident prediction by heart rate variability analysis, *Asia-Pacific Signal and Information Processing Association, 2014 Annual Summit and Conference (APSIPA)*. *IEEE*, pp. 1-4 (2014).
- [13] Takegami, M., Suzukamo, Y., Wakita, T., Noguchi, H., Chin, K., Kadotani, H., ... and Johns, M. W.: Development of a Japanese version of the Epworth Sleepiness Scale (JESS) based on item response theory, *Sleep Medicine*, Vol. 10, No. 5, pp. 556-565 (2009).
- [14] Yamakawa, T., Fujiwara, K., Kano, M., Miyajima, M., Suzuki, Y., Maehara, T., ... and Matsushima, E.: Development of a wearable HRV telemetry system to be operated by non-experts in daily life, *Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), 2013 Asia-Pacific*, *IEEE*, pp. 1-4 (2013).
- [15] Kaida, K., Takahashi, M., Åkerstedt, T., Nakata, A., Otsuka, Y., Haratani, T. and Fukasawa, K.: Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables, *Clinical Neurophysiology*, Vol. 117, No. 7, pp. 1574-1581 (2006).
- [16] Nakayama, O., Futami, T., Nakamura, T. and Boer, E. R.: Development of a steering entropy method for evaluating driver workload, *SAE Technical Paper*, Vol. 1999-01-0892 (1999).
- [17] Takayama, L. and Nass, C.: Assessing the effectiveness of interactive media in improving drowsy driver safety, *Human Factors*, Vol. 50, No. 5, pp. 772-781 (2008).