

ステアリングホイール振動と車体振動音を模擬した刺激による ドライバーの眠気遅延効果検証

梅村紀夫^{*1}, 河中治樹^{*2}, 小栗宏次^{*3}

Sleepiness Delay Effect Inspection of the Driver by the Stimulation that Simulated Steering Wheel Vibration and a Body Vibration Sound

Norio Umemura^{*1}, Haruki Kawanaka^{*2}, Koji Oguri^{*3}

要旨

最近の交通事故原因の中で居眠りを含む漫然運転は、ドライバーの意識レベルが低いため重大な事故に繋がりがやすい。このような事故を防ぐために、ドライバーの居眠り検知システムが開発され、ディスプレイ表示や警報音による注意喚起をするシステムが採用され始めているが、覚醒維持や覚醒促進を行うためには十分でない。

今回、覚醒作用向上の一手段として、ステアリングホイールによる振動刺激と車体振動音を模擬した刺激による研究結果について報告する。

Abstract

Among the causes of traffic accidents in recent years, inattentive driving including dozing tends to lead to more serious accidents because of the low level of consciousness of the driver. Driver doze detection systems are being developed to prevent such accidents, and systems that warn drivers by display indications or warning sounds are being adopted. However, these systems are still insufficient in terms of maintaining and facilitating alertness.

We report the results of a study using vibratory stimulation from the steering wheel and stimulation that simulates vehicle body vibration sounds as means of increasing alertness effect.

*1 商品企画センター 商品開発部 ユニット開発室

*2 愛知県立大学 情報科学部 情報システム学科 准教授

*3 愛知県立大学 情報科学部 情報システム学科 教授

1. はじめに

日本国内の交通事故による死者数は年々減少しているものの、その減少幅は頭打ち傾向にある（図-1）。その原因のうち日本国内の交通事故死者数を法令違反別に見ると（図-2）居眠りを含む漫然運転がもっとも多く17.8%となっている。またそのドライバーの意識レベルは非常に低いため重大な事故に繋がりがやすい。

これらの人に起因する事故を予防する手段として、運転支援システムの技術進化、普及が急激に進んでいる。ステアリングホイールについても、ドライバーとのインターフェイスとしての新たな機能が必要と考え開発に取り組んでいる。

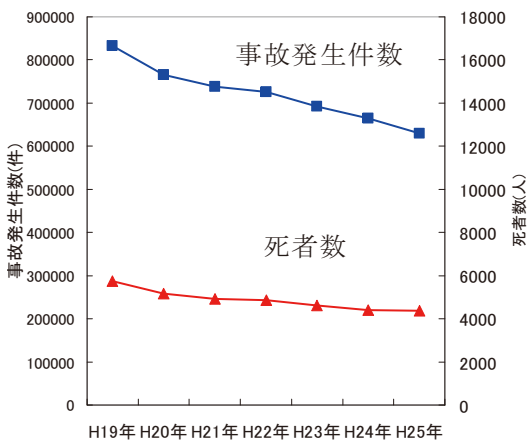


図-1 交通事故死者数

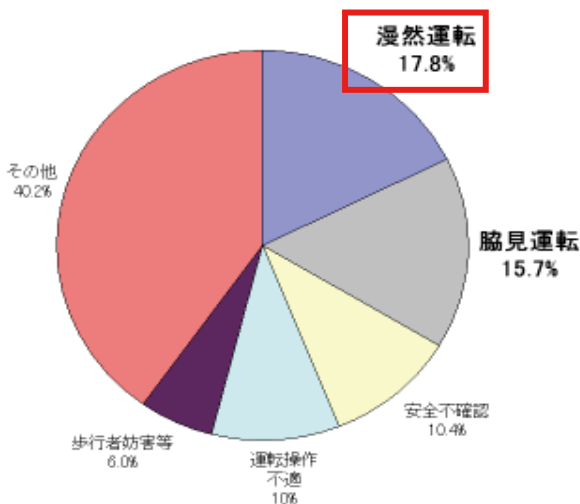


図-2 法令違反割合

2. 本研究の目的

本研究ではグルーピング（図-3）によって生じる刺激を仮想的に車輻からドライバーへ提示する事でドライバーの眠気の高まりに対して適応的に警告を提示することを考える。これはグルーピングと同じ効果が得られる刺激を任意のタイミングで与えるヴァーチャルグルーピングである。



図-3 グルーピング工法が施された路面

ドライバーに提示する刺激としては、ステアリングホイールによる振動刺激とカーオーディオ用スピーカによる車体振動の模擬音とからなる複合刺激を利用する。音や振動のそれぞれ単一の刺激ではなく、これらの複合刺激を同時に同じリズムで提示する事で聴覚と触覚から同時に刺激を受容し、あたかもグルーピングの上を走行したような感覚を得ることが覚醒の維持に高い効果を与えると考えている。

本論文では、ヴァーチャルグルーピング用の複合刺激の与え方を提案するとともに、眠気を帯びたドライバーに対して複合刺激を提示した際の覚醒維持効果について、ドライビングシミュレータを用いた模擬走行実験を行い、下記の3つの評価方法にて検証し、それぞれの評価において覚醒刺激としての複合刺激の有効性が示されたので、各評価方法を含め、3章以降より、その研究の詳細内容を報告する。

- 1) 顔表情
- 2) 走行位置ずれ量
- 3) 脳波

3. 覚醒度評価法

自動車のドライバーを対象とした運転時の眠気評価方法を選定する際には、運転環境での計測の可否を考慮する事が非常に重要である。そうした観点から、アンケート、PET（生体中陽電子による生体反応測定）、fMRI（脳内神経活動のMRI測定）などによる指標は、運転中の眠気評価を行う

手法としては適していない。それに対し、ビデオカメラで撮影する眠気表情評定値やドライビングシミュレータのログデータから取得可能な走行位置横偏位、電気信号に由来する生体信号（ECG：心電図， EEG：脳波， EOG：眼球電位図）による指標は、シミュレータ環境であれば問題なく計測することが可能である。また、刺激による覚醒度の変化を見るためには時間分解能も高くなければいけない。






以上より、本研究ではドライバーの顔表情から算出する覚醒維持時間、生体信号である脳波（EEG）から算出するα波含有率、車両挙動から算出する走行位置ずれ量の3つの方法により覚醒維持効果の検証を行う。本章ではまずこれらの覚醒度評価方法について述べる。

3-1. 顔表情による評価

第三者の主観による眠気・覚醒度の評価方法として、ドライバーの瞼の開度、瞬目および視線移動などの顔表情からドライバーの眠気を5段階に評価する方法が北島らやZilbergらによって考案されている。北島らにより考案された顔表情からの眠気評定値の評定基準を表-1に示す。なお、表-1には評定基準と共に目安となるドライバーの顔表情の一例を併せて記す。ドライバーの顔表情から眠気評定値を評定する方法には、ドライバーに運転動作以外の動作を行わせる事なく、眠気の評定が可能という利点がある。その為、ドライバーの覚醒度評価および居眠り検知や覚醒刺激に対する覚醒効果の評価を行う際に頻繁に用いられている。ドライバーの顔表情からの眠気評定は、ドライバーの主観による眠気とR=0.80の高い相関がある事が報告されている。沼田らによる事故直前の眠気表情値調査によると、事故発生直前のドライバーの眠気表情値は4.56であり、事故発生直前60秒間の平均眠気表情値は3.20であったと報告されている。この結果から、覚醒刺激を提示するタイミングとして眠気表情値が3に到達した際が適切であるとしている。

北島らによる手法は、2名以上の検査者により20秒以下の間隔で眠気表情値の評定を行う事を推奨しているため、本研究では熟練した2名の検査者により10秒毎に眠気表情値の評定を行い、2名の検査者の眠気表情値の平均を眠気レベルとして定義した。

表-1 顔表情からの眠気評定基準

Level	状態	表情の例
1：眠くなさそう	視線移動が速い 視線移動が頻発 瞬目周期が安定	
2：少し眠そう	唇が開いている 視線の動きが速い	
3：眠そう	瞬目がゆっくりと頻発 口の動きがある 顔に手をやる	
4：かなり眠そう	意識的な瞬目がある 無用な体の動き あくびの頻発	
5：非常に眠そう	頭が前に傾く 頭が後ろに倒れる マイクロスリープの発生	

3-2. 走行位置ずれ量による評価

眠気が増加すると車輛の横偏位が増加する事が知られている。そこで、通常時の走行位置からのずれ量を算出して覚醒度の評価を行う。まず、コースの形状による影響を受けない事と眠気の発生による横偏位の増加の影響を受けない事を考慮して、被験者毎に実験開始から一定時間における横偏位の平均値を算出し、それを走行基準位置として定義する。その際、算出する時間幅が短いとコースの形状による影響を大きく受ける事が予想される。

実際に数人の被験者で算出時間と走行基準位置の変化を見たところ、図-4のように時間幅が増加するにつれて徐々に走行基準位置の変動が安定し、時間幅が50秒以上あれば安定する事がわかった。一方、本研究における実験環境では、実験開始から眠気レベルが2に上昇するまでの時間は110±50秒程度であった。以上より、走行基準位置を算出する時間幅を60秒とした。刺激提示による車輛挙動の変化を評価するために、刺激提示の前後10秒間の走行位置ずれ量の平均を算出し、刺激提示前後での値を比較する事で各刺激が走行位置ずれ量に与える影響について検証する。走行位置ずれ量の減少量が大きい刺激であるほど、覚醒維持効果が高い刺激となる。

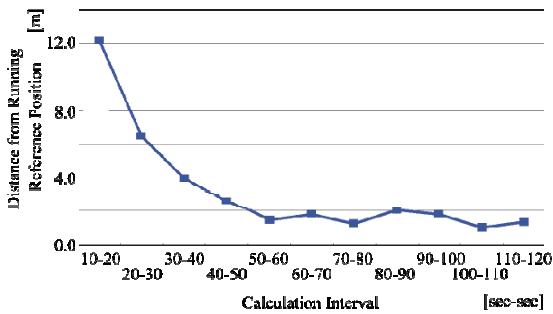


図-4 走行基準位置と算出窓幅の関係

3-3. 脳波による評価

人間の覚醒度が低下すると、脳の活動が低下し脳波の周波数が低下する事が知られている。覚醒状態が高い時には、13~40[Hz]の周波数帯（β波）が脳波の多くを占めるのに対し、覚醒度が低下すると8~13[Hz]の周波数帯（α波）の割合が増加する。実際にドライバーを計測対象とした多くの先行研究においても、眠気の増加に伴うα波の増加が報告されている。

生体信号（EEG：脳波）の計測には、TEAC社製のPolymateを用い、サンプリング周波数1000[Hz]で計測する。計測箇所は国際10-20法（電極の配置位置基準 図-5に示す）に基づきPZとし、A2を基準電極とした単極誘導法により導出した。EEG波形に対して、解析区間長10秒、シフト長10秒で短時間フーリエ変換を用いた時間一周波数解析を行い、10秒毎のEEG全体（4~30[Hz]）に占めるα波（8~13[Hz]）の割合（α-Ratio）を算出する。刺激提示によるα-Ratioの変化を評価する為に刺激提示の前後10秒間のα-Ratioの平均を算出し、刺激提示前後での値を比較する事で各刺激がα-Ratioに与える影響について検証する。α-Ratioの減少量が大きい刺激であるほど、覚醒維持効果が高い刺激と言える。

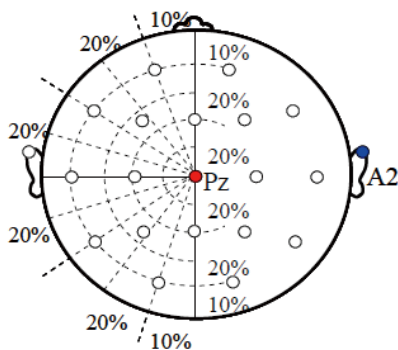


図-5 国際10-20法に基づく計測箇所

4. グルーピングを模擬した振動および音の複合刺激

4-1. ステアリングホイールの振動パターン

我々が実験に用いたステアリングホイールは、図-6のような左右の握り手部分にコイン型振動モーターが内蔵されており、このモーターを振動させることでドライバーに振動刺激を提示することができる。仕様として、振動提示を開始してから振動量が最大になるまでに200[ms]の時間を要する。ここから、振動ONの最小時間は200[ms]となる。また、ステアリングホイールに内蔵されたモーターの回転周波数は200[Hz]であるが、これは手のひらに存在する振動刺激の受容体（パチニ小体）の感度が最も良い周波数帯（200~300[Hz]）に含まれる。



図-6 ステアリングホイール振動箇所とコイン型振動モーター

まず、この振動機能付きステアリングホイールを用いて振動刺激を与えるに際して、どのような振動パターンが適しているかを調査した。覚醒刺激として用いるステアリングホイールの振動パターンの候補として、表-2に示すようなパターンA~Eの5つとした。パターンAは、振動ON時間を振動パワーが最大となるために必要となる最小時間（200[ms]）とし、振動OFF時間もその時間に合わせた。パターンB~Eはそれよりも少しずつ長い周期であり、パターンDが携帯電話での目覚ましアラームの振動に類似している。

表-2 ステアリング振動パターン

単位:ms

パターン	ON	OFF	5 秒間
A	200	200	
B	400	300	
C	400	600	
D	600	400	
E	800	200	

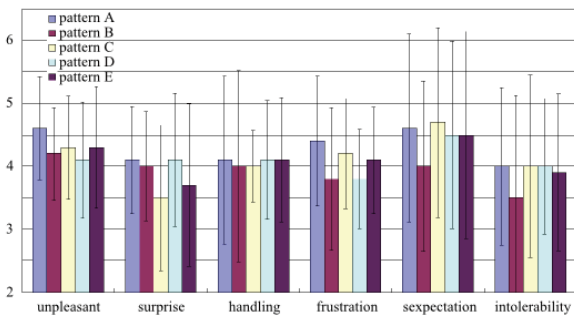


図-7 振動体験アンケート結果

21～24歳の男性7名と女性3名に対して、様々な振動パターンを体験してもらい、一つの振動を提示する毎にアンケートに回答させた。振動の提示は着座安静状態で行い、ステアリングの握り方は普段自動車を運転するときと同様に把持することを指示した。アンケートの内容は快適／不快、冷静／驚き、リラックス／イライラ、運転しやすそう／しにくそう、覚醒効果がありそう／なさそう、気にならない／耐えがたいの6項目を7段階評価で行った。アンケートの結果（平均±標準偏差）を図-7に示す。7段階評価の4.0は「どちらでもない」といった評価であり、この結果から、いずれの振動パターンもあまり差はなく、ドライバーの運転操作に支障をきたすことはないと考えられる。

その中でもイライラに着目すると、パターンBとDが最低値（3.8）であり、パターンAが最大値（4.4）となった。また、覚醒効果については、相対的にパターンBが最も効果が得られるという結果となった。さらに、耐えがたさについては、パターンBが最も振動が気にならないという結果となった。以上の結果からは、パターンBが覚醒刺激として最も適した振動であると判断した。

4-2. 振動と音の複合刺激

振動刺激のリズムは、4-1節で選出されたパターンBを採用し、図-8に示すように、400[ms]連続してモーターを振動させた後、次の振動まで300[ms]間隔を開け、このリズムを4900[ms]（7回）繰り返す。このステアリングホイールの振動による提示刺激を振動刺激と呼ぶ。

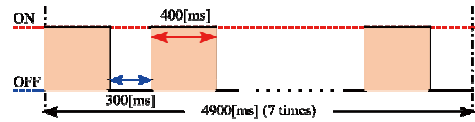


図-8 刺激の提示リズム

グルーピングが施工された路面上を走行した際に発生した音を録音して、周波数成分を調査した結果が公開されている。この調査結果によると、発生した振動音は160[Hz]の基本周波数とその倍音成分によって構成されている。そこで被験者へ提示する聴覚刺激として、160[Hz]の基本周波数とその倍音（ただし上限は1120[Hz]）からなるsin波の合成波を作成した。提示する際の音圧は乗用車の車内の騒音が60[dB]程度であるため、車内でも十分に聞える音圧である65[dB]に設定した。また音刺激のリズムは図-8と同様とした。この提示刺激を音刺激と呼ぶ。

グルーピングによる刺激は車体の振動とそれにより発生する音が同時にドライバーに伝達され、これによりドライバーの覚醒維持が行われる。そこで振動刺激と音刺激とをタイミングを揃えて同時に提示する事で、模擬的なグルーピング刺激を作成する。この提示刺激を複合刺激と呼ぶ。

複合刺激の覚醒維持効果を検証する為に、振動刺激と音刺激の提示するタイミングをずらした刺激を作成した。具体的には、音刺激を提示した後およそ400[ms]後にステアリングホイールによる振動刺激の提示を行う。この提示刺激を非同期刺激と呼ぶ。複合刺激および非同期刺激における振動刺激と音刺激の提示リズムを図-9に示す。

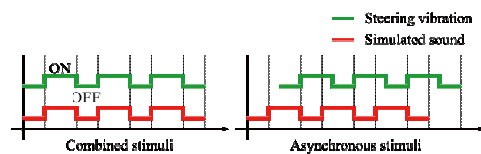


図-9 複合刺激（同期）と非同期刺激の提示リズム

4-3. 刺激提示タイミング

シミュレータを用いた走行実験において、事故発生直前から60秒前までの眠気表情値の平均値が3.2であった事が報告されている。その為、居眠り運転による事故の発生を防止する為には眠気表情値を3より増加させない事が重要となると考えられる。そこで我々は、図-10のように覚醒維持刺激をドライバーへ提示するタイミングを眠気レベルが3以上と評定された場合とした。

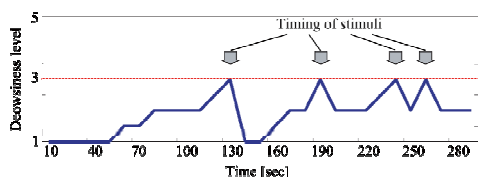


図-10 刺激の提示タイミング



図-12 走行コース映像とコース概形

5. 複合刺激による覚醒維持効果の検証

5-1. 計測方法と実験条件

走行実験は、HONDA社製の6軸搭載型ドライビングシミュレータ（DS）を利用して行った。DSの外観を図-11に示す。実験では、ゆるやかなカーブが存在する片側二車線の単調な高速道路を模擬したコースを利用した。被験者に眠気を誘発させるために、実験室の電気を消灯し夜間を想定した暗いコースを用いて実験を行った。また、提示刺激以外の外的刺激による被験者への覚醒効果を排除する為に、走行車両を自車両のみとし、被験者に与える外的刺激を出来る限り排除した。実験で利用したコースの画面とコースの概形を図-12に示す。被験者に左側の車線を80[km/h]を目安として走行させ、車線変更を行わないよう指示した。計測を開始するタイミングは、車両の速度が80[km/h]程度で安定した時点とした。尚、被験者には実験を行う前に十分な慣らし運転を行わせ、DSの操作を十分に習熟させた上で検証実験を行った。



図-11 ドライビングシミュレータ

刺激走行において被験者へ刺激を提示するタイミングを決定する為に、実験を行いながら被験者の眠気レベルを評定する必要がある。そこで、ダッシュボードの上にネットワークカメラを設置し、DSに据付のコンピュータを経由して被験者の顔表情をモニタに表示する事で眠気レベルを評定した。加えて車輛挙動としてDSの走行ログデータから車輛の中心とセンターラインとの距離をサンプリング周波数10[Hz]で取得した。

健全な被験者6名（男性4名、女性2名、 22.2 ± 0.8 歳）に対して、十分に実験の趣旨を説明し実験実施の承諾を得た上で、各刺激の提示による覚醒効果の検証実験を行った。

検証実験は、被験者に刺激を提示する走行（刺激走行）と刺激を提示しない走行（無刺激走行）とを行った。尚、刺激走行で提示する刺激は振動刺激、音刺激、複合刺激、非同期刺激の計4種類とした。それぞれの被験者に対して各刺激毎に1試行、計4試行の刺激走行と、1試行の無刺激走行との合計5試行の検証実験を行った。

また、検証実験の終了条件を次のように定めた。下記1)～3)の条件の内、無刺激走行では1)もしくは2)のどちらか一方を、刺激走行では1)～3)のいずれかひとつを満たした時点で検証実験を終了した。

- 1) 壁や中央分離帯に衝突する事故が発生
- 2) 検証実験を開始してから20分経過
- 3) 眠気レベルが4以上と評価された

5-2. 実験結果

被験者6名による合計30回の走行実験のうち28試行において、20分以内に被験者の眠気レベルが4以上に達した。この結果から、本実験環境は被験者に眠気を誘発させるのに十分な環境である事が確認された。

5-2-1. 覚醒維持時間の増加

先行研究の事故発生直前の眠気表情値の調査結果から、我々は眠気レベルが3以上になると事故の発生する可能性が高まると考えた。そこで本研

究では、眠気レベルが最初に3以上と評定されてから4以上と評定されるまでの時間を“覚醒維持時間”として定義した(図-13)。覚醒維持時間が長い刺激であるほど、覚醒維持効果が高い刺激と言える。

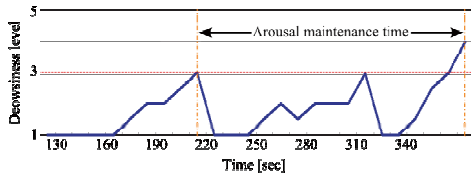


図-13 覚醒維持時間の定義

実験を開始してから20分が経過するまでに一度も眠気レベルが4に達しなかった1名(被験者F)を除いた5名における無刺激走行及び刺激走行毎の被験者毎の覚醒維持時間を表-3に示す。平均覚醒維持時間は、眠気が増加した際であっても刺激を提示しない走行の際には平均156秒であったのに対して、振動刺激を提示した場合には114秒、音刺激では240秒、複合刺激では264秒、非同期刺激では188秒であった(図-14)。

表-3 覚醒維持時間

被験者	無刺激	振動	音	複合	非同期
A	80	110	400	440	270
B	360	70	120	240	150
C	70	200	210	230	120
D	30	90	280	230	210
E	240	100	190	180	190
平均	156	114	240	264	188

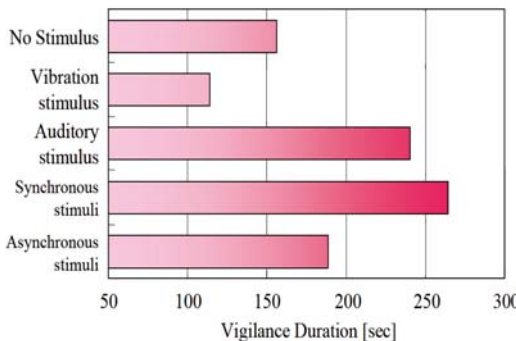


図-14 刺激毎の平均覚醒維持時間

眠気レベルから算出した覚醒維持時間は複合刺激を提示した場合が最長であり、次いで音刺激、非同期刺激、無刺激走行、振動刺激の順となった。音刺激と併用して、提示するタイミングとリズム

を揃えて提示する事により覚醒維持時間が音刺激を単独で提示した際と比較してより増加する結果となった。この事から、複合刺激の提示による覚醒維持時間の増加は振動刺激が持つ覚醒維持効果と音刺激が持つ覚醒維持効果の単純な足し合わせによる結果ではない事が分かった。また、複合刺激及び非同期刺激を提示した際の覚醒維持時間を比較すると複合刺激の方がより覚醒維持時間が長くなる結果となった。以上の2点から複合刺激には効果的に覚醒維持時間を増加させる効果がある事が示された。

尚、今回の結果では振動刺激のみを提示した際の覚醒維持時間が無刺激時と比べてより短くなる結果となった。覚醒維持時間が短くなった明確な原因は定かではないが、原因の一つに本研究で用いた振動刺激の強度が考えられる。今回使用したステアリングホイールは、振動を提示した際に操舵に悪影響を与えないために振動強度を弱く設計している。実際に、実験終了後に、「振動が気持ちよく感じて眠くなった」と述べた被験者がいた。この事から、振動刺激の強度が原因で覚醒維持時間が減少した可能性が考えられる。

5-2-2. α波含有率の減少

アーチファクトの混入によりEEGの解析が行えなかった2名の被験者(被験者CおよびD)を除いた4名における各刺激提示時のα波含有率の変化率を表-4に示す。α-Ratioの変化の割合は、振動刺激を提示した場合には $2.14 \pm 3.33[\%]$ 、音刺激では $-6.16 \pm 3.57[\%]$ 、複合刺激では $-8.32 \pm 0.65[\%]$ 、非同期刺激では $-4.77 \pm 3.53[\%]$ であった。

表-4 α波含有率の変化

被験者	振動	音	複合	非同期
A	-0.88	-0.88	-0.85	-0.94
B	7.77	-2.72	-9.17	-5.56
E	0.60	-2.57	-7.36	-4.66
F	1.05	-10.5	-8.26	-0.53
平均	2.14	-6.16	-8.32	-4.77

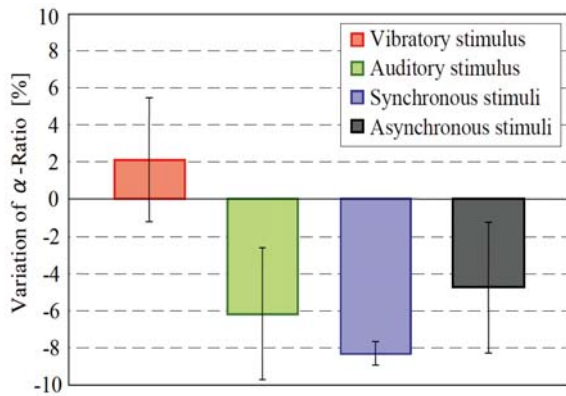


図-15 刺激毎の平均 α -Ratioの変化率

各刺激の提示によるEEGから得られる α -Ratioの変化率は振動刺激提示時のみ増加が見られ、それ以外の刺激を提示した際には減少が見られた。この結果から振動刺激を除く3種類の刺激には α -Ratioを減少させる効果がある事が示された。

音刺激、複合刺激、非同期刺激による α -Ratioの減少量を比較すると、平均値は複合刺激が一番減少量が多く、次いで音刺激、非同期刺激の順であった。また標準偏差は複合刺激が一番小さく、次いで非同期刺激、音刺激の順であった。 α -Ratioの平均減少量は複合刺激を提示した際が一番多く、また標準偏差も複合刺激が一番小さい。この事から、複合刺激の α -Ratio減少効果は他の刺激と比較して高く、またその効果も個人差が他の刺激と比較して少ない事が示された(図-15)。

5-2-3. 走行位置ずれ量の減少

6名の被験者における各刺激提示時の走行位置ずれ量の変化率を表-5に示す(図-16)。

表-5 走行位置ずれ量の変化率

被験者	振動	音	複合	非同期
A	0.00	30.00	-26.67	-5.56
B	-2.86	-12.20	-13.33	11.11
C	18.75	4.00	0.00	11.11
D	15.79	7.69	-23.81	16.67
E	5.88	3.13	0.00	20.00
F	10.87	17.39	-10.64	-17.24
平均	8.07	8.34	-12.41	13.14

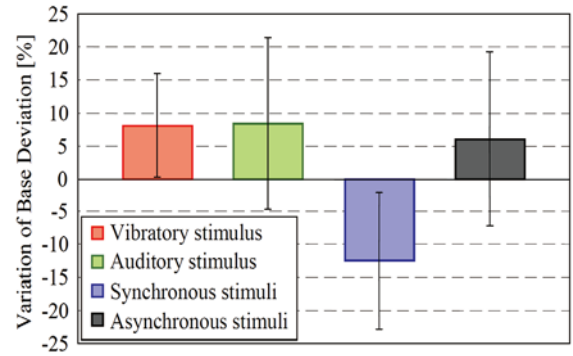


図-16 刺激毎の平均車線逸脱量の変化率

走行位置ずれ量は、振動刺激を提示した場合には $8.07 \pm 7.86[\%]$ 、音刺激では $8.34 \pm 13.03[\%]$ 、複合刺激では $-12.41 \pm 10.37[\%]$ 、非同期刺激では $6.02 \pm 13.14[\%]$ であった。

各刺激の提示による車線挙動から得られる走行位置ずれ量の変化率は複合刺激を除く3種類の刺激を提示した際には増加が見られた。一方で複合刺激を提示した際には約12[%]の減少が見られた。各刺激毎に刺激提示後の走行位置ずれ量がそれぞれ増加、減少、変化なしであった人数を表-6に記す。

表-6 走行位置ずれ量増減の被験者数

	振動	音	複合	非同期
増加	4	5	0	4
減少	1	1	4	2
変化なし	1	0	2	0

表-6より、複合刺激以外の刺激では、半数以上の被験者が刺激提示後に走行位置ずれ量が増加している事が分かる。一方で、複合刺激のみ半数以上の被験者において走行位置ずれ量に減少が見られる。また、複合刺激では走行位置ずれ量が増加した被験者はいなかった。この結果から、複合刺激には他の刺激と比較してより走行位置ずれ量を減少させる効果が高い事が示された。

5-3. 触覚刺激と聴覚刺激の複合効果の可能性

覚醒維持時間、 α -Ratioの変化、走行位置ずれ量の変化のいずれの評価方法においても、複合刺激による覚醒維持効果がステアリングホイールによる振動および車体振動模擬音を単一で提示するよりも高い効果が得られる事が示された。また、振

動刺激と音刺激の提示するタイミングを揃えた複合刺激とずらした非同期刺激による覚醒維持効果を比較すると、複合刺激の方がいずれの評価方法においても、より高い覚醒維持効果が得られる事が示された。

振動刺激と音刺激による複合刺激を提示する事でより高い覚醒維持効果が得られた生理学的な原因は明確には分かっていない。しかし原因の一つに、ヒトが外部から与えられた刺激を“どのように捉えるか”が影響している可能性が考えられる。複合刺激を提示する走行を行った際に、実験終了後に被験者から「聞こえてきた音が、ステアリングホイールの振動によって発生しているのだと思った」との感想が得られた。つまり、振動刺激と音刺激の個々の刺激が独立して提示されたのではなく、一つの刺激として提示されると被験者が錯覚した事が推測される。このような錯覚が起こったがために、複合刺激を提示する事で振動刺激や音刺激を単独で提示した場合や提示するタイミングをずらして提示した場合よりも高い覚醒維持効果が得られた可能性が考えられる。

また、非同期刺激を提示する刺激走行を行った際に、実験終了後に「刺激のリズムがずれていて気持ちが悪かった」との感想を述べる被験者がいた。この事からも、複合刺激が単に複数の刺激を被験者に提示した場合とは異なっている可能性が考えられる。

6. まとめ

本研究では、重大な交通事故の原因となり、かつ非常に身近な事故原因でもある居眠り運転を防止する為の手法として、ヴァーチャルグルーピングを提案した。現在、グルーピングはインフラとして提供されており、その設置により事故の発生件数が減少したことが報告されているが、ヴァーチャルグルーピングではそれをステアリングホイールの振動（触覚刺激）と振動音（聴覚刺激）という車両に搭載した装置のみで模擬する。本論文では、その際の覚醒刺激の提案と、ドライビングシミュレータを用いた模擬走行実験による複合刺激の覚醒維持効果の検証を行った。

検証は、ステアリングホイールの振動と振動模擬音との複合刺激と、それぞれを単独で提示した場合、及び両刺激を提示するタイミングをずらし

た刺激とで覚醒維持効果を比較した。また、それは、覚醒維持時間、 α 波含有率、走行位置ずれ量の3つの評価方法を用いて実施した。その結果、覚醒維持時間は複合刺激を提示した際に最大となり、顔表情評価から覚醒刺激としての複合刺激の有効性が示された。また α 波含有率は、複合刺激を提示した際に他の刺激を提示した場合よりも高い減少率が見られ、生体信号の側面からも覚醒刺激としての複合刺激の有効性が示された。走行位置ずれ量は、複合刺激を提示した際に他の刺激を提示した場合よりも高い減少率が見られ、車輛挙動の側面からも覚醒刺激としての複合刺激の有効性が示された。尚、ステアリング振動と振動音のリズムをずらして提示した場合、提案刺激と比較していずれの検証方法においても覚醒効果に低下が見られた。この結果から、ヴァーチャルグルーピングは錯覚を有効に利用していると考えられる。

7. おわりに

今後の課題は、振動強度による覚醒維持時間の違いや、覚醒維持により効果のある振動パターンの検討である。また、事象関連電位などの脳波（EEG）の詳細な検証や近赤外光脳機能計測装置（NIRS）などで計測した脳活動をさらに解析して、複合刺激による脳活性効果を調査することである。クルマの予防安全として「運転支援システム」が急速に普及し、「自動運転」へ向けて進化していくと予測される。その進化に求められる「ドライバーの運転を支援する」機能を付与した更なる高機能なステアリングホイールを開発し提供していきたい。

参考文献

- 1) 警視庁 交通事故統計（平成25年9月）
- 2) 平成25年度 交通安全白書
- 3) 前野隆司, “ヒトの指腹部と触覚受容器の構造と機能,” 日本ロボット学会誌, vol.18, no.6, pp.772-775, 2000.

- 4) 八尋勇次, 川口孝太郎, 藤田栄三, 小川康夫, “グルーピングによる高速道路の交通安全対策,” 第19回日本道路会議論文集, pp.596–597, 1991.
- 5) 北島洋樹, 沼田仲穂, 山本恵一, 五井美博, “自動車運転時の眠気の予測手法についての研究: 第1報 眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について,” 日本機械学会論文集 (C編), vol.63, no.613, pp.1059–1066, 1997.
- 6) E. Zilberg, Z.M. Xu, D. Burton, M. Karrar, and S.Lal, “Methodology and initial analysis results for development of non-invasive and hybrid driver drowsiness detection systems,” The 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications, p.16, 2007.
- 7) A. Tsuchida, M.S. Bhuiyan, and K. Oguri, “Estimation of drowsiness level based on eyelid closure and heart rate variability,” International IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.2543–2546, 2009.
- 8) 中野泰彦, 宮川あゆ, 佐野 聡, “ドライバの覚醒度検知技術,” FUJITSU, vol.59, no.4, pp.416–420, 2008.
- 9) 横山真由, 小栗宏次, “ドライバに対する音楽の聴取音圧の覚醒維持効果,” 第7回ITSシンポジウム2008, pp.141–145, 2008.
- 10) M. Yokoyama and K. Oguri, “Effect of sound pressure levels of music on driver’s drowsiness,” 15th ITS World Congress, 2008.
- 11) S. Arimitsu, “Seat belt vibration as a stimulating device for awakening drivers,” IEEE/ASME transactions on mechatronics, vol.12, no.5, pp.511–518, 2007.
- 12) 沼田仲穂, 北島洋樹, 五井美博, 山本恵一, “自動車運転時の眠気の予測手法についての研究: 第2報, 眠気変動の予測と居眠り警報タイミングの決定,” 日本機械学会論文集 (C編), vol.63, no.613, pp.3067–3074, 1997.
- 13) 福井勝彦, “連続運転時における操舵機能低下の評価法,” 豊田中央研究所R&Dレビュー, vol.30, no.3, pp.57–65, 1995.
- 14) 萩原啓荒, 木和 典, 道盛章弘, 斎藤正己, “覚醒度の定量的評価方法とその応用に関する研究,” 精神神経学雑誌, vol.99, no.1, pp.23–34, 1997.
- 15) Y. Liu, T. Yuasa, A. Maeda, and Y. Motohashi, “Diurnal variations in alpha power density and subjective sleepiness while performing repeated vigilance tasks,” Clinical Neurophysiology, vol.112, pp.997–1000, 2001. Issue 6.
- 16) S.J. Bolanowski Jr, G.A. Gescheider, R.T. Verrillo, and C.M. Checkowsky, “Four channels mediate the mechanical aspects of touch,” Journal of the Acoustic Society of America, vol.84, no.5, pp.1680–1694, 1988.
- 17) 田矢晃一, “音の出る舗装について,” (財)小林理学研究所, 小林理研ニュース, no.34, 1991.
<http://www.kobayasiriken.or.jp/news/No34/343.htm>, 参照Apr. 1, 2012
- 18) 河村亮太, 河中治樹, Md. Shoaib Bhuiyan, 小栗宏次: ステアリング振動と車体振動模擬音の組み合わせによるドライバ覚醒維持効果の多角的検証, 第8回情報学ワークショップ (WiNF2010), pp.17–22, 名古屋工業大学, 2010/12

著者



梅村紀夫



河中治樹



小栗宏次