

## 低周波漸増型装置を用いた居眠り運転防止システムの研究

## Research of Doze Driving Prevention System with Low Frequency Gradual Increase Type Device

足立 智也 †

宮地 泰造 ‡

Tomoya Adachi

Taizo Miyachi

## 1. はじめに

現在、居眠り・わき見運転で交通事故を起こすケースが多々ある。警察庁の調査[1]によれば、2001年～2005年に発生した死亡事故3万4490件のうち居眠り事故が1215件となっている。1215人以上の人に車・運転ということに恐怖を植え付けている可能性が高い。原因は様々であるが、これを回避する手段が少ない。既存のシステムでは目の開閉や頭の傾きにより検知し警報を鳴らすもの、身体を揺らすものがある。しかし、これらは人間に不快感を与えたり、眠気を検知したときにはすでに寝ているなどの問題が生じている。これらの状況を踏まえた上で生理学的に眠気を抑える、もしくは眠気を解消するシステムを考えていく必要がある。

本稿では、車中の居眠りを想定し、眠気検知後、低周波漸増型装置を用いて不快感を与えずに眠気を解消する居眠り防止システムの研究を報告する。

## 2. 居眠り防止システムの現状

居眠り防止システムには、眠りを検知して覚醒させるものと眠気を検知して覚醒させるものがある。

眠りを検知してから覚醒させる装置としては、頭が一定角度以上に傾くと耳かけ部に取り付けられた(1)バイブレーターが振動、または(2)警戒音が眠気を覚ます装置[2]がある。

眠気を検知して覚醒させるシステムとしては、(3)ドライバーの心拍数を計測、眠気を予測しカーナビで音楽を使って注意を喚起するシステムがある。さらに、(4)警戒音と同時にメーターパネルやナビに警告文字の表示を出すシステムや、(5)シートベルトを「グイ!グイ!」と引き込むシステム、(6)シートを振動させ警報を鳴らすシステムなどがある。

しかし、上記のシステムは人間に不快感を与える。また人間は性質上、シートの揺れや音の大音量には順応してしまい居眠り防止効果が期待できなくなる可能性がある。人間の生理学的な状況に基づいて、不快感を与えずに人間が順応できない居眠り防止システムとして、低周波漸増型装置のパルス波によるシステムを研究する。

## 3. 覚醒と睡眠の生体変化

パルス波・LF/HF比・皮膚温度は、睡眠や覚醒において変化する生体情報である。本研究ではパルス波刺激を使用して、生体情報であるLF/HF比・皮膚温度変化の観点から評価し、これらの実験前と実験後の変化を眠気解消の尺度としていく。

## 3.1 パルス波

パルス波(脳波)は、脳の神経細胞どうしが信号を伝え合う

† (学) 東海大学大学院工学研究科, Tokai University graduate school engineering research course

‡ (社) 東海大学大学院工学研究科, Tokai University graduate school engineering research course

時に発生する波のことである。人が覚醒しているときは、20～30Hzのパルス波を出している。覚醒と眠りの境は、脳波14Hzで、ここから徐々に0Hzに下がり深い眠りにつく。逆に14Hz以上のパルス波を出している時は覚醒していると判断しても妥当である。パルス波[3]には $\gamma$ 波・ $\beta$ 波・ $\alpha$ 波・ $\theta$ 波・ $\delta$ 波という5つの波がある。表1で示すように $\gamma$ 波は30Hz以上の周波数でイライラしている時やストレスを感じている状態である。 $\beta$ 波は14～30Hzの周波数で普通の日常生活で目が覚めている状態である。また $\alpha$ 波はリラックスして集中している状態、 $\theta$ 波は深いリラックス状態、 $\delta$ 波は睡眠状態に入る。「いかに眠気を解消させるか」という目的のためには、 $\alpha$ 波より高周波の波で、かつ、より眠気から遠ざけたいので $\gamma$ 波を使用することが最善だと考える。

表1. 5種類のパルス波

脳波の種類	周波数	活動領域
$\gamma$ 波	30Hz以上	興奮した状態
$\beta$ 波	14～30Hz	普通の生活している状態
$\alpha$ 波	8～14Hz	リラックスした状態
$\theta$ 波	4～8Hz	入眠した状態
$\delta$ 波	0.5～4Hz	熟睡した状態

本研究では低周波漸増型装置のパルス波刺激を用いて眠気を解消する。この装置を使用している際の覚醒効果の報告として、手の温度の低下や交感神経機能の亢進[4]、さらに唾液中のMHPGの増加[5]や一次体性感覚野・二次体性感覚野・運動野の賦活[6]がある。実験部位や出力などを変えることにより更なる覚醒効果が期待できる。

## 3.2 R-R間隔とLF/HF比

R-R間隔(R-R Interval)[7]とは、図1のように心電図でよく見かけるピーク(心電図で波が突出している部分)の間隔を指している。R-R間隔は100ms(1秒の1000分の1)という細かい単位で変動し、交感神経系および副交感神経系によって短縮あるいは延長される。

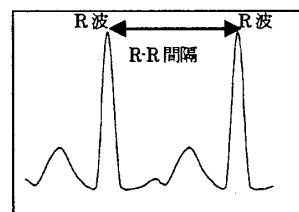


図1. R-R間隔

R-R間隔の変動とは、心電図など測定した時の1拍ずつ収縮

する間の時間のことである。心拍数が上昇すると変動が少なくなるが、安静時においては変動を確認することができる。R-R間隔の変動を特別な解析方法で分析すると、自律神経の働き具合(LF・HF)が解明できるという研究[8]が数多く報告されている。R-R間隔の変動の周期性を利用して、周波数分析(スペクトル変換など)をすると、図2のようにおよそ0.1Hzと0.25Hz付近にパワーのピークが現れる。

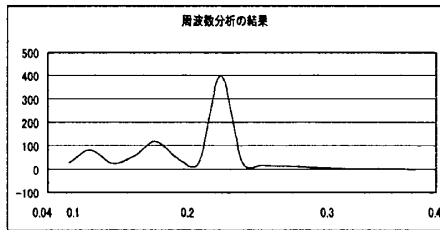


図2. 周波数分析の結果

LF(Low Frequency)とは、パワーのピークが0.15Hz未満の領域のこと呼び、交感神経と副交感神経の両方の働き具合が分かる。HF(High Frequency)とは、パワーのピークが0.15Hzを越える領域のことを呼び、副交感神経の働き具合が分かる。従って、LF/HF比を計算し、これをもって交感神経活動の指標となる。交感神経活動の亢進は、エネルギーを発散するように働き、血圧の上昇、瞳孔の拡大、鼓動・呼吸を速くする効果を持っている。すなわち、LF/HF比が大きくなるほど交感神経活動の亢進が起こり、覚醒時に近付いて眠気が解消できていると考えられる。

### 3.3 体温と皮膚温度

低周波漸増型装置において、手の皮膚温度の低下が確認された報告[9]があり、覚醒効果が期待できる。人は眠気がある際[10]、深部体温が覚醒時よりも低下する。つまり、脳から末梢神経に対して、体温を下げるような指令が発せられる。そのような指令が発せられると、体内の余分な熱を放出するために、末梢部の血管は拡張し、末梢部を流れる血液の量(血流量)は増加する。末梢部の血流量が増加すると、末梢部の皮膚温度は上昇する。そのため、皮膚温度が上昇した分だけ、末梢部の放熱量は増大する。このことから手・足の皮膚温度を下げることにより、入眠を妨げ、眠気を解消できるのではないかと考えられる。

### 3.4 眠気解消効果のあるツボ

人体には、経穴と呼ばれるツボが約350個(東洋医学)あり、手だけでもたくさんのツボがある。その中でも眠気解消に関わってくるのが、労宮のツボと井穴・中衝のツボ[11]である。そこで、眠気を解消するようなツボ付近を刺激することにより眠気を解消する方法を検討する。労宮のツボ(手のひらの中央よりやや親指寄り。親指のつけ根と同じぐらいの位置)は血行を良くして酸素供給量を増やし、さらに、疲れに効果があり循環器系統を保護する作用もあるので眠気解消に関係する。次に、井穴・中衝のツボ(手の爪の生え際に位置し、まさに経路のエネルギーのわき出る場所)で、刺激すると心身のパワーがアップし眠気解消に繋がるのではないかと考える。ツボと装置を併用することで眠気が解消しやすくなれば効果的である。

## 4. 実験

脳の同調性を利用して一定時間刺激を与える。これは、脳が

$\theta$ 波や $\alpha$ 波などの眠い時の波を出している時も、 $\gamma$ 波の刺激が続く事によって脳波が $\gamma$ 波に近づく事を目的とする。結果は交感神経活動指標のLF/HF比と皮膚温度の変化で評価した。

### 4.1 実験器具

実験器具には主に3種類の低周波漸増型装置・心拍計・皮膚温度計を使用する。

(1) 低周波漸増型装置は株式会社ホームイオン研究所製: Stress Remover Pulse eggを用いた。機器の仕様については、出力電圧が最大60Vであり、出力周波数に関して、出力モードがリラクスマード時においては、パルス14Hz~1Hzの漸減性(3分間×5サイクル)、アクティブモード時においては30Hz~70Hzの漸増性(1分間×15サイクル)である。また、本機器の重量は30gであり、1回あたりの通電時間は出力調整時間を含めて15分間であった。実験では覚醒効果を得たいので漸増性のあるアクティブモードのみを使用する。周波数の変化は神経の活動を活性化させ、思考力や気持ちを高める効果がある。

(2) 心拍計はPolar社製: RS800sdを用いた。機器の仕様については、胸部に装着したトランスミッターが、心臓から発する電気信号(ECG)をキャッチし、手首等につけたレシーバーにリアルタイムで送信し、ディスプレイに心拍数を表示する。レシーバーについているボタンを押す事で低周波漸増型装置を使用した実験開始時間と終了時間を記憶することもできる。最大18時間のメモリを記録する事ができ、データも赤外線パソコンに転送することができる。それによりパソコン上で心拍数やLF/HF比、R-R間隔などを分析・解析することができる。

(3) 皮膚温度計は株式会社日本テクニメッド社製: サーモフォーカスを用いた。日本唯一の薬事承認をとった非接触型体温計である。機器の仕様については、人体表面から出ている5~14 $\mu$ mの赤外線を検出部でとらえ、また内臓サーミスターで室温を測定し、その2つのデータから体表面温度に変換し表示する。測定ボタンを押しながら、検温部へ焦点を合わせてボタンを離すだけで測定可能で、誤差 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ で測定を行う機器である。

### 4.2 実験部位

運転中はどのような状況になってもハンドルを放さないということを想定して、ハンドルを握っている「手のひら」を実験部位とする。手のひらは第二の脳とも言われ敏感に脳に刺激を伝達する。

また、実験は右手で行う。なぜなら、右手の刺激はまず左脳に伝達[12](左手の刺激はまず右脳に伝達)される。「左脳は理屈、右脳は感覚」と言われている。「左脳で言葉を考える」→「左脳で物事を考える」→「左脳で理屈を考える」→「左脳は理論的なものに使う」となる。右脳は上記と逆の考えとなり、理屈的なことを考えているときには左脳の活動が活発になり、芸術的な絵を見たり音楽を聞いたりしているときには右脳の活動が活発になる。従って、右手への刺激が最適であると考えた。

右手の中でも主に二箇所で行う。部位Iとしては、3.4で論じた手のひら中央付近の労宮のツボ付近を刺激する。部位IIとしては、同様に井穴や中衝のツボ付近で人差し指・中指・薬指の先端を刺激する。これら二つの部位で実験する事により眠気解消となる最善の部位を選んでいく。

### 4.3 実験条件・手順

心拍は姿勢や気温、精神状態などにより変化するが、運転時は姿勢や周囲温度があまり変わらないと報告[13]がある。この

車中における状況と同じシチュエーションを作る。ただし、実験の時間帯は問わず、被験者は3人で行った。睡眠時間は5~8時間とし、実験と実験との間は10分以上間を空けて安全にも配慮した。被験者には座位で開眼安静状態を保たせた。

- ①実験を行う室温は15~25℃とした
- ②手の届く場所にパルスエッグを置いておく
- ③トランスミッターを胸部に、レシーバーを腕に装着し、測定を開始する。
- ④座位で20分以上安静状態にいる
- ⑤眠気を感じたらレシーバーで心拍数を確認し、落ち着いたら(心拍数65~80:個人により異なる)パルスエッグを持ち実験を始める
- ⑥座位の安静状態は保ったままパルスエッグを握る前に手の皮膚温度を測る(手のひら中央付近)
- ⑦右手にパルスエッグを持ち実験部位IかIIを刺激(出力を痛くない程度に調整)する
- ⑧電源が切れたらパルスエッグを置く
- ⑨手の皮膚温度を測る(手のひら中央付近)
- ⑩実験後も座位で安静状態を5分以上続ける
- ⑪レシーバー等を身体から外しパソコンにデータを転送後、分析・解析する

#### 4.4 評価方法

実験前と実験後と比較しての皮膚温度の低下、LF/HF比の増加を評価する。LF/HF比に関しては、交感神経活動の亢進を評価したいため、増加傾向か減少傾向かを確認し数値の値を評価対象にはしなかった。

### 5. 実験結果

LF/HF比の実験は、部位Iで16回、部位IIで11回の計27回の実験で評価した。皮膚温度の実験は部位I・部位II共に12回で計24回の実験を評価した。被験者は3人で、結果において全員から覚醒効果を見出せたため、パルス波による覚醒効果が得られたと言える。

表2.睡眠時のLF/HF比の平均値を146.2とし、表3.座位による覚醒時の平均値を451.9として比較すると、睡眠時と座位における覚醒時にはLF/HF比に大きな値の差があった。

表2. 睡眠時のLF/HF比

睡眠中	LF [ms(%)]	HF [ms(%)]	LF/HF [%]
浅い睡眠	372.79(3.3)	771.67(6.8)	48.4
熟睡i	697.88(1.5)	483.89(1.0)	144.3
熟睡i:二度寝	1156.48(2.1)	654.18(1.2)	176.8
熟睡ii	619.12(1.4)	511.26(1.1)	121.1
熟睡ii:二度寝	1237.91(1.3)	515.35(0.5)	240.3

表3. 座位における覚醒時のLF/HF比

覚醒中(座位)	LF [ms(%)]	HF [ms(%)]	LF/HF [%]
覚醒1	984.47(2.1)	161.68(0.3)	608.9
覚醒2	986.06(1.3)	259.17(0.3)	380.5
覚醒3	787.15(2.0)	180.90(0.5)	435.2
覚醒4	480.69(1.9)	112.14(0.5)	428.7
覚醒5	897.19(1.7)	220.87(0.4)	406.3

実験では、交感神経活動の亢進を評価しなかったため、実験前にすでに数値が300を越えているものもあったが数値にはこだわらずに評価を行い、増加傾向か減少傾向かだけを確認した。

表4は眠気が強いと思われる時でLF/HF比が低い時であるが、実験後には値が増加していた。

表4. 実験前にLF/HF比が低いときの結果

実験A	LF [ms(%)]	HF [ms(%)]	LF/HF [%]
実験前	371.44(1.2)	156.72(0.5)	237.1
実験中	417.49(2.1)	142.95(0.7)	292.1

また、表5のように実験前の値が高い時もあったが、同様に実験後にはLF/HF比が増加していた。

表5. 実験前にLF/HF比が高いときの結果

実験B	LF [ms(%)]	HF [ms(%)]	LF/HF [%]
実験前	994.67(0.8)	178.56(0.1)	557.1
実験中	1415.74(3.9)	228.74(0.6)	619

実験結果の中には覚醒効果が得られなかった結果もあった。表6はその一つでLF/HF比が実験中に減少してしまった結果である。

表6. 実験前よりLF/HF比の値が減少した結果

実験C	LF [ms(%)]	HF [ms(%)]	LF/HF [%]
実験前	884.67(1.6)	232.81(0.4)	380.0%
実験中	775.61(2.2)	237.55(0.7)	326.6%

LF/HF比の評価を集計・分析した結果、実験部位I・IIの表7・表8両部位において80%以上の精度で覚醒効果の傾向が見られた。LF/HF比においては部位による差はほぼなかった。

表7. 部位Iへの刺激(LF/HF比)

LF/HF比: 部位I	
増加(眠気解消)	81.3%
減少(眠気変化なしor増し)	18.7%

表8. 部位IIへの刺激(LF/HF比)

LF/HF比: 部位II	
増加(眠気解消)	81.8%
減少(眠気変化なしor増し)	18.2%

表9は実験後に皮膚温度が低下した結果で、表10は上昇してしまった結果である。室温は日にちにより異なるが、実験前と実験中は一定に保った。

表9. 実験後に皮膚温度が低下した結果

実験部位	実験前	実験後
I	35.2℃	35.0℃
II	34.7℃	34.5℃

表 10. 実験後に皮膚温度が上昇した結果

実験部位	実験前	実験後
I	33.5℃	33.7℃
II	34.4℃	34.8℃

皮膚温度の評価を集計・分析した結果、部位IIの方が覚醒効果の傾向が大きく見られた。表11.部位Iでは60%に満たない精度での覚醒効果となったが、表12.部位IIでは75%の精度での覚醒効果の傾向が見られた。

表 11. 部位Iへの刺激(皮膚温度)

皮膚温度：部位I	
低下(眠気解消)	58.3%
上昇(眠気変化なし&増し)	41.7%

表 12. 部位IIへの刺激(皮膚温度)

皮膚温度：部位II	
低下(眠気解消)	75.0%
上昇(眠気変化なし&増し)	25.0%

## 6. 議論

现阶段では、LF/HF比・皮膚温度での実験を主に行っている。覚醒効果が数値として得られなかった場合の原因としては、実験測定方法が確立できていないことや装置の出力の弱さなどであると考えられる。被験者の状態の差として考えられることは、被験者が締め切り仕事を抱えていたために緊張状態が続いていた期間があったことも考えられる。

また、皮膚温度の低下においては、実験部位Iではあまり覚醒効果が得られなかったため、今後は実験部位IIを主とするか、もしくはさらに他の部位を実験に取り入れて進める必要がある。また、今後は体温や検査方法を加えて評価対象を増やして実験を行っていくことで覚醒効果があることを立証していきたいと考えている。

## 7. まとめ

LF/HF比では80%以上で交感神経活動の亢進を確認することができた。また、皮膚温度でも60~75%で温度の低下が確認できた。しかし、全ての人が居眠りで事故を起こさないことを目標としているので、数値だけ見ても不十分である。実験を重ねた上で、実験に用いられる装置だけでは眠気解消が妥当ではないと考えられる場合、音や香りなど他の覚醒効果のある装置と併用して眠気解消に取り組んでいきたい。そして、被験者の数も増やしていき全ての人に覚醒効果のあるシステムを目指す。

今回実験を行った時間帯は様々であるが、実験の数を増やしていくことにより時間帯ごとの評価も行い、ドライバーが最も事故を起こしやすい時間に対応できるシステムが重要であると考える。最終的には居眠り運転事故が多いとされる長時間運転のドライバーから良い評価を受けられることを目指している。

目標は、不快感を与えずに全てのドライバーがいつのまにか眠気が解消できているシステムである。

## 参考文献

- [1] 井上 雄一, 塩見 利明, 三島 和夫, 長江 啓泰, 松浦 常夫, 矢野 伸裕, 中村 彰宏, 寺崎 信夫, “睡眠障害と安全運転に関する調査研究”, 平成18年度警察庁委託調査研究報告書, 27-32(2006).
- [2] Takanoha&Co.,Ltd, “NAP ALARM”, <http://www.takanoha.info>, (2005).
- [3] 小林 稔, 高倉 実, 小橋川 久光, 宮城 政也, 神谷 章平, “手掌部低周波皮膚電気刺激の心理効果に関する研究”, 琉球大学教育学部紀要, no.61, 185-191(2002).
- [4] “睡眠治療システム・Bio Potential Generator System”, <http://f36.aaa.livedoor.jp/~darkel/f36/Theta.htm>
- [5] 宮城 政也, 高倉 実, 神谷 章平, 小林 稔, 小橋川 久光, “精神性作業能力に対する手掌部低周波皮膚電気刺激の作用”, 琉球大学教育学部紀要, no.64, 201-204(2004).
- [6] 富永 大悟, 富永 大介, “fMRIによる手掌電気刺激時の脳活動部位の同定”, 日本基礎心理学会, vol22, 235(2004).
- [7] 青木 和夫, “心拍変動による自律神経機能の測定に関する研究”, [http://www.kenjm.cst.nihon-u.ac.jp/rik\\_news/jiritu\\_aoki.html](http://www.kenjm.cst.nihon-u.ac.jp/rik_news/jiritu_aoki.html)
- [8] 石原 俊一, 牧田 茂, 野原 隆司, “虚血性心疾患患者の自律神経系反応と心理学的要因・ホルター心電図によるパワースペクトル解析”, 人間科学研究, 文教大学人間科学部, 第25号(2003).
- [9] 中山 訓彦, 神谷 章平, 秋本 龍二, 高橋 千明, 栗尾 直美, “振動工具使用によって発症した白ろう指に対する低周波手掌通電の効果”, 日本職業・災害医学学会誌, 第52巻臨時増刊号(2004).
- [10] 松浦 哲哉, 松島 潤治, 吉見 教史, 駒野 宏, “入眠促進装置”, J-TOKKYO, A-61M, JP2002-119596(2002).
- [11] 坪田 聡, “会議中にコソソリ実行! 眠気を覚ます技”, <http://allabout.co.jp/gs/goodsleep/closeup/CU20070402A/index2.htm>(2007).
- [12] 鈴木 賢治, “技術教育の研究”, <http://kikai.ed.niigata-u.ac.jp/text/tec-edu.pdf>, 17-20(2002).
- [13] 柳平 雅俊, 安土 光男, “運転状態推定技術の開発-心拍解析による眠気状態の検出”, PIONEER R&D, vol.14, No.3, 17-27(2008).