

バイオフィードバックによる居眠り運転防止方法の評価*

Biofeedback method for preventing doze in driving*

荒木学**・屋井鉄雄***・平田輝満****

By Manabu ARAKI**・Tetsuo YAI***・Terumitsu HIRATA****

1. 序論

居眠りは、睡眠不足や慢性疲労・病気などが原因で覚醒水準が低下したときに起こる。万が一、自動車の運転中に居眠り状態になると、回避操作を行うことができなくなる可能性が非常に高く、重大な事故につながりやすい。例えば、東名高速道路においては、居眠り運転の大型トラックが渋滞の最後尾に追突し、4人が死亡、11人が重軽傷を負う事故も発生している（朝日新聞, 2003）。

このような居眠り運転による事故を未然に防ぐための対策として、これまでは、居眠りしないよう注意を喚起させる標識を呈示するか、運転者の個人的努力に期待する場合がほとんどであった。しかし、これらの対策だけでは、居眠り運転に起因する事故の大幅な削減は実現し難しい。

本研究では、人間の注意力だけには頼らず、バイオフィードバック法という医学的方法による運転時の覚醒水準の維持可能性について考察する。バイオフィードバック法とは、知覚しにくい生体反応を、適当な工学的手段によって検出し、その情報を知覚に訴えることにより、訓練を通じてその制御能力を獲得できるようにする手法である（南雲ら, 1981）。ここでいう知覚しにくい生体反応として、覚醒水準の指標となる皮膚電位反応を用いることにより、覚醒水準のフィードバックによる覚醒維持方法の有効性を検証することが本研究の具体的な目的である。

2. 居眠り対策についての既往知見の整理と本研究の位置付け

*キーワード: バイオフィードバック, 居眠り, 皮膚電位反応
**学生員, 工修, 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻(横浜市緑区長津田町 4259-G3-14, TEL045-924-5675 araki@plan.cv.titech.ac.jp)
***正員, 工博, 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻
****学生員, 工修, 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻

睡眠に関する研究としては、快適な睡眠のための研究（鳥居, 2002：日本睡眠学会, 1994 など）は多く行われているものの、睡眠防止のための研究は少ない。そのような中、北島（1998）は、自動車運転時の眠気発生の特徴とその検出手法の検討を行っている。西田ら（2003）は自動車運転時の疲労をドライビングシミュレータを用いた実験により評価している。

覚醒水準維持のためのバイオフィードバックをおこなっている研究として西村ら(1984)がある。試走行路における実道走行において、皮膚電位による覚醒水準がある閾値以下になると、実験者が被験者に直接声をかけて起こすという実験である。彼らは、この実験を通じてフィードバックによる覚醒水準維持の効果があると結論付けている。これに対して本研究では、システム化を想定し、電子音警告や水準の呈示による覚醒水準維持の効果の検討を行う。

3. 覚醒に関する検討

(1) 覚醒の定義

覚醒とは、目が覚めた状態、あるいは刺激に対して準備が出来た状態と定義する。即ち睡眠の反対である。睡眠にも「深い眠り」「浅い眠り」があるように、覚醒にも「高覚醒」「低覚醒」などといったレベル、即ち「覚醒水準」が存在する。また、「覚醒水準」は、脳波や皮膚電位などの客観的な指標で表すことが可能である。

(2) 覚醒水準指標の比較

覚醒水準の指標となる生体反応に関して図 - 1 に示す。本研究では、これら生体反応のうち拘束性が少なくかつ指標としての信頼度の高い皮膚電位反応を覚醒水準の指標として皮膚電位反応を用いる。

(3) 予備実験

身体の動きや脳の活動による皮膚電位への影響を確認するための予備実験を行った。その結果の一部を図 2 に示す。また一連の予備実験から判明した皮膚電位反応の特徴を図 3 にまとめる。特にパターンに分類することによって居眠りの危険度を評価できることが判明した(図 4)。

	方法・原理	長所	短所
脳波	ニューロンの活動による電位変動を周波数解析	信頼度は高い	頭部の拘束が必要で動きのある実験には不適
瞬き	覚醒水準が低くなるほど瞬きが回数が多くなる	計測が簡便	瞬きは意識的にも刺激によっても生じるので、信頼度は低い。
皮膚電位反応	腕の内側を基準とした電位差で精神性発汗を計測	信頼度はやや高い	腕に電極を装着することが必要

図 1 覚醒水準の指標となる生体反応

4. バイオフィードバックに関する知見の整理と覚醒水準維持仮説の構築

バイオフィードバックとは、行動療法が対象とする自律神経系の反応を報酬や処罰で治療する行為である(石川, 1981)。治療例として、筋電図・皮膚温のフィードバックによる頭痛の緩和・血圧のフィードバックによる高血圧症の緩和・アルファ波のフィードバックによる精神状態のリラクスの獲得がある。

これらの例を踏まえ、居眠りへのバイオフィードバックの適応を想定する。まず、覚醒水準のフィードバックに関して、図 5 のようなメカニズムが予期できる。即ち、バイオフィードバックによる警告そのものが刺激となり、交感神経が活性化し、覚醒反応に至る場合、バイオフィードバックにより、覚醒水準を知覚して、覚醒意図が活性化し、伸びなどの外的手段による刺激により、交感神経の活性化、覚醒反応に至る場合、あるいは覚醒意図が活性化し、内的努力による脳の活動の活性化、交感神経の活性化、覚醒反応に至る場合が想定される。

このメカニズムから以下の仮説が演繹される。

仮説 1) 居眠りに陥る前に、覚醒水準の低下を知らせる音刺激を受けることによって、覚醒を維持できる。

仮説 2) 覚醒水準の変化を被験者が常時的に把握することによって、覚醒を維持できる。

以上、2つの仮説を検証するための実験を行う。

5 バイオフィードバックによる居眠り防止メカニズムに関する仮説の検証実験

(1) 概要

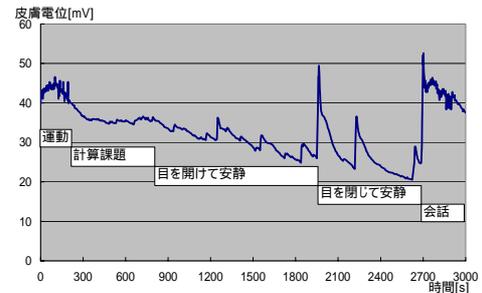


図 2 様々な行為をしたときの皮膚電位反応

- 入眠とともに皮膚電位は低下。
- 安静にすると皮膚電位は低下。
- 屈伸などの運動をすると上昇し、微細な変動大
- 刺激を与えると皮膚電位は上昇
- 安静状態から急に身体を動かすと急上昇。
- 疲労していると刺激に対し鈍感。
- 身体は安静にしたままで、暗算課題を行うと皮膚電位は高水準を維持。
- パターンにより分類可能

図 3 皮膚電位反応の特徴

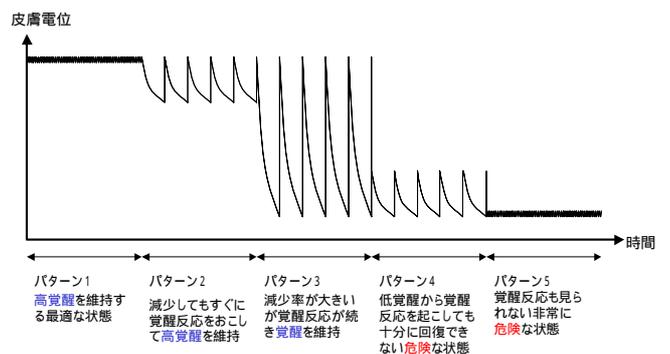


図 4 皮膚電位変化のパターン分類

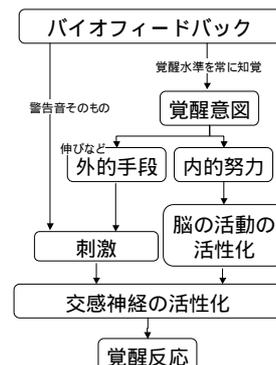


図 - 5 バイオフィードバックによる覚醒メカニズム

12名の学生被験者（平均年齢23歳）に対して、条件統制を行うことが容易なドライビングシミュレータを用いて実験を行った。フィードバックの方法としては、仮説 1) から、音声で覚醒水準の低下を知らせることによって覚醒水準を維持させる場合と、仮説 2) から、覚醒水準の変化をグラフによって呈示し、それによって被験者の起きようとする内的努力を助長する場合の2つを設定した。すなわち、各被験者に与える条件は、(1) 基準としての統制条件、(2) 音声による警告条件、(3) グラフの呈示条件の3つである。これら条件間の比較により、仮説の検証を試みる。各条件の下で、ドライビングシミュレータによる単調な追従走行を1時間程度行い、その際の皮膚電位の変化を記録した。各被験者に対して上記3条件下での走行実験は別日に行ったが、やむを得ず同日に行う場合には、間に十分な休憩をとらせた。なお、実験前には睡眠尺度 KSS（石原ら、1982）による眠気のアンケート調査や試験走行、そして、安静時の皮膚電位反応の取得を行っている。音声による警告は、安静時の値から閾値を5段階設定し、皮膚電位が低くなるにつれて、警告の頻度が高くなるように設定した。

(2) 実験結果

12人×3回の合計36回の実験を行い、皮膚電位の変化データを得た（図6）。この結果に対し、各走行の条件毎の平均に対し、対応のある2群のt検定を行ったところ、統制条件と呈示条件に対し片側検定で1%有意、統制条件と警告条件に対し、片側検定で10%有意となった。したがって、全体的な傾向として、フィードバックは覚醒維持に効果があることが確認された。

続いて、変動の違いをパターンに分類した。例として図7のように被験者F平均的には条件間に差は見られないが分類することによってちがいが明確になった。そこでパターン分類の危険度と各パターンの累積時間を乗して、居眠り危険度指標を導出する。

$$(\text{居眠り})\text{危険度指標} = (\text{パターンの危険度}) \times (\text{累積時間})$$

居眠り危険度指標は、図8のように求められた。この居眠り危険度指標に対し、対応のある2群のt検定を行ったところ、統制条件と呈示条件に対

	統制	警告	呈示
被験者A	22.3	21.9	27.9
被験者B	18.8	25.5	27.4
被験者C	21.4	25.3	22.1
被験者D	18.5	25.4	26.4
被験者E	40.6	35.2	40.6
被験者F	20.6	22.4	23.2
被験者G	35.5	38.6	43.7
被験者H	17.8	21.2	19.6
被験者I	20.4	17.4	20.6
被験者J	30.2	31.1	35.1
被験者K	32.0	32.9	39.1
被験者L	27.8	28.9	22.4
平均	25.5	27.2	29.0
標準偏差	7.23	6.04	8.08

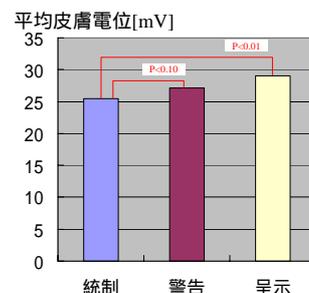


図6 条件毎の皮膚電位の平均とその検定

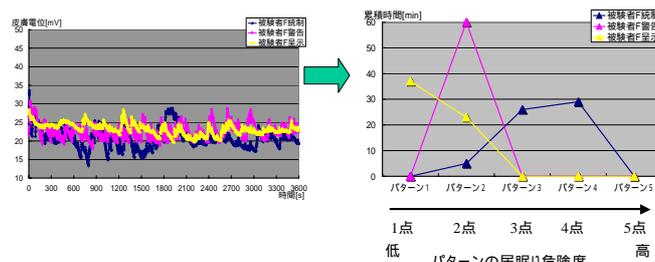


図7 被験者Fのパターン分類

	統制	警告	呈示
A	171	213	183
B	267	216	134
C	237	124	120
D	215	143	186
E	60	97	73
F	204	120	83
G	180	60	120
H	300	238	269
I	264	282	243
J	180	134	120
K	288	118	118
L	117	120	232
平均	207	155	157
標準偏差	68.0	63.1	61.8

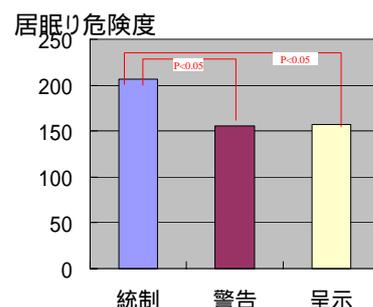


図8 居眠り危険度指標とその検定

し片側検定で5%有意、統制条件と警告条件に対し片側検定で5%有意となり、バイオフィードバックの効果が確認された。

皮膚電位の変化の詳細を観察すると、データ変動の特徴から被験者を以下の3グループに分けることができる。まず、長周期で変化するB・D、次に、短周期で激しく変動するA・F・G・I・J・L、そして、変動が少ないC・E・H・Kである。順を追って説明する。

長周期で変化する被験者Bの条件毎の皮膚電位の変化を図9に示す。統制条件では、覚醒意図による覚醒反応が見られる（パターン3）。600秒以降は低い水準を停滞している。警告条件では、20mVからの警告音で覚醒反応が生じ、覚醒水準を維持している（パターン3）。その後、高水準を推移する

(パターン2). 呈示条件では, 呈示により覚醒反応が生じ, 覚醒水準を維持(パターン3)し, その後, 高覚醒を維持(パターン2)している. したがって, 警告条件と呈示条件の両方で覚醒維持の効果が見られた.

短周期で激しく変動する被験者Fの条件毎の皮膚電位の変化を図-10に示す. では, 統制条件においては, 低下傾向でパターン3で推移するのに対し, 警告条件では, 警告音が鳴ったときに覚醒反応が起こるパターン2で推移している. さらに, 呈示条件では, 常時把握できることによるパターン1の高水準維持が見られる.

最後に, 被験者C・E・H・Kに関しては, 長期的あるいは短期的な変化が見られず, 条件間の明確な差が確認されなかった. その理由として, そもそも実験中に眠気が生じる状況ではなかった, 或いは皮膚電位への反応が鈍かったことが考えられる.

以上の分析により, 被験者によって効果の程度は異なるものの, バイオフィードバックによって覚醒水準を維持できる可能性があることは確認されたと考える. すなわち, 4章で構築した仮説を確認する結果が得られた.

6. まとめと課題

本研究では, バイオフィードバックによる覚醒水準維持の効果を検証した. 課題として, より一般性のある指標の構築, 1時間以上計測の変化, 実道の走行での効果, 実道での安全性の検討, 呈示・警告方法の検討, データの蓄積, 計測装置の簡便化などが上げられる.

<参考文献>

朝日新聞 (2003) 運転手、時速90キロで居眠り 新城・東名多重衝突事故.07月23日.
 南雲仁一・西村千秋 (1981) バイオフィードバック. 電気学会雑誌, 101(6), 37-40.
 北島洋樹 (1998) 自動車運転時の眠気発生の特徴とその検出手法 居眠り運転の予防にむけて. ワークサイエンスリポート No.1531・1532.
 西田泰・白井泰仁・大坪敬幸 (2003) 長時間運転による疲労の評価 実験用運転シミュレータ・プログラムの開発. 第23回交通工学研究発表会論文報告集, 97-100.
 西村千秋・小坂明生・常光和子・吉沢修治・南雲仁一 (1984) 自動車運転時における覚醒水準のフィードバック制御. バイオフィードバック研究 11, 28-33.
 奥平進之 (1994) 睡眠と自律神経機能. in 日本睡眠学会, 睡眠学ハンドブック. 朝倉書店.
 宮田洋 (1998) 新生理心理学1巻 生理心理学の基礎, 北王路書房.
 石川中 (1981) 心理療法とバイオフィードバック. 計測と制御 20(5), 70-73.
 石原金由・斎藤 敬・宮田 洋 (1982) 眠けの尺度とその実験的検討. 心理学研究 52(6), 362-365.

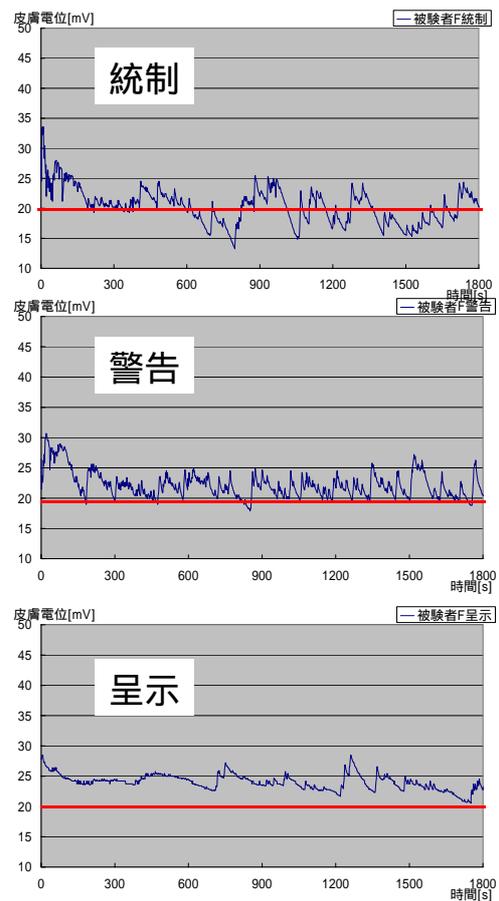


図 9 被験者 B の条件毎の皮膚電位の変化

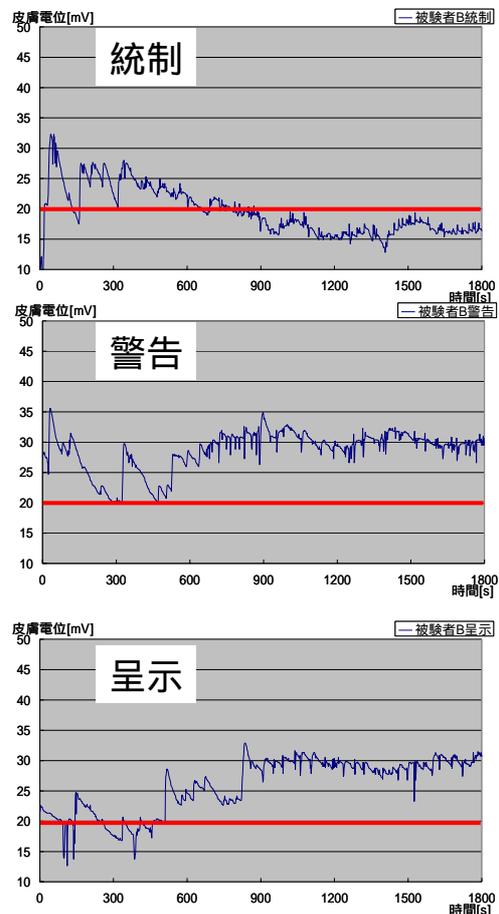


図 10 被験者 F の条件毎の皮膚電位の変化