

## 視覚と聴覚のバイオフィードバックにおける集中力向上効果の比較検討

渡部 真 (鶴岡工業高等専門学校 機械電気システム工学専攻, s140118@edu.tsuruoka-nct.ac.jp)

宍戸 道明 (鶴岡工業高等専門学校 創造工学科, m-shishido@tsuruoka-nct.ac.jp)

### Comparison of improving effect of concentration in biofeedback of visual and auditory

Shin Watanabe (Department of Mechanical and Electrical Engineering, National Institute of Technology, Tsuruoka College, Japan)

Michiaki Shishido (Department of Creative Engineering, National Institute of Technology, Tsuruoka College, Japan)

#### 要約

人間の精神状態はスポーツや知的作業の結果に影響を与え、とくに高い集中状態のとき良好な結果を得ることができる。この集中力向上のアプローチのひとつにバイオフィードバック (Biofeedback: BF) が挙げられる。BFは、工学的な手法を用いて生体情報を利用者の視覚あるいは聴覚へとフィードバックし、心身の随意的制御を可能とする技法である。このとき、生体情報の呈示手法の違いにより集中力向上効果には差異が生じると考えられる。そこで本研究では、集中力向上を目的としたBFの装置の開発設計を行い、視覚と聴覚のBFにおける集中力の向上効果を比較した。とくに (1) BF前後における集中力の向上度、(2) 継続的なBFによる平均集中力の推移について評価した。実験 (1) では、被験者は12名とし呈示手法により6名ずつに分け、各被験者の安静時とBF時の平均集中力を比較した。その結果、視覚呈示法は6名中5名、聴覚呈示法は6名全員の集中力が向上した。一方、実験 (2) では被験者3名とし、実験 (1) と同様の実験を10日間継続して行った。その結果、両呈示手法にて集中力の向上が確認された。しかし、関心意欲の低下や、聴覚呈示法が困難であるために向上効果にばらつきが生じるなどの問題点が明らかとなった。以上の結果より、BFの効果は感覚器官の特性に依存しないことが明らかとなった。そのため、BFの装置の設計では呈示手法のデザインが重要であるといえる。

#### キーワード

バイオフィードバック, 集中力, オペラント条件付け, 脳波信号, 感覚器官

#### 1. 緒言

人間の精神集中力は、スポーツや知的作業に影響を与えとくに高い精神集中力により良好な成績を得ることができる。例として、村上他(2000)は、テニス選手に対しメンタルトレーニングを実施したところ、集中力が増強され競技においても有効であると報告がなされている。また研究機関やオフィスにおいては、精神的負荷による作業効率の低下が問題となっている。その改善策として、夫馬・横山(2013)は振動によるバイオフィリア効果により精神的負荷を軽減することで知的生産性を向上させた例がある。

集中力を向上させる方法として、植物由来の精油を吸入するアロマセラピー(上条・大森, 2014)や、音楽傾聴(池田, 1992)がある。これらは感覚器官に対し刺激を与えることにより精神状態を変化させる受動的な方法といえる。しかし、多様な状況に応じて集中力を向上させることを想定した場合、受動的ではなく能動的な方法が望ましいといえる。その能動的な方法のひとつに挙げられるバイオフィードバック (Biofeedback: BF) は、生体情報を工学的な手法を用いて利用者にフィードバックすることにより、自らの心身状態の随意的制御を可能とする技法である(西村, 2009; 平井, 1976)。これらとはとりわけ、医療や福祉の分野で利用されている(石川, 1982; 南雲・西村, 1981)が、近年ではスポーツ選手のメンタルトレーニングとしても用いられており注目を集めている(竹林, 2011; 辻下, 2011)。とくに集中力を向上させるには精神状態の評価が可能な脳波が適していると考えられる。

脳波とは脳表面の大脳質の活動を指し、頭皮電極から微弱な電位として計測される生体パラメータである。脳波は主にてんかんや睡眠障害における病名特定に用いられているが、近年では脳波より人間の感性や情動を評価する技術が注目されている(市川, 2006)。その応用として、脳波を生体指標としたBFのメンタルトレーニングがある。

表1に脳波における各周波数帯域と心身状態を示す。脳波は周波数成分として表現され、その優位律動によりヒトの心身状態を評価することができる。とくに、精神集中活動時にはβ波が優位律動として出現する(小杉, 2000)。脳波を用いたBFは、このような優位律動をもとに精神状態を評価し、セルフコントロールやオープンフォーカストレーニングに利用されている。

表1: 脳波における各周波数帯域と心身状態

名称	周波数 (Hz)	心身状態
δ波	0.5 ~ 3	深い眠り
θ波	3.5 ~ 7	浅い眠り
α波	8 ~ 13	安静状態
β波	14 ~ 30	集中・緊張状態

BFの基礎として、オペラント条件付けという行動心理学の理論がある。これは、特定の行動に強化刺激を随伴させることにより、その反応頻度を変容させる(安藤他, 1999)条件付けの手法である。被験者に対する刺激を強化子といい、生起率を高める刺激を正の強化子、逆に生起率を低下させる刺激を負の強化子という。BFでは、生体反応が生じた直後にその状態を被験者の視覚あるいは聴覚へと呈示することで生起

頻度の強化を促している。このとき、フィードバックする感覚器官や呈示手法の違いにより、被験者へ与えられる強化子が異なるためBFの効果に差異が生じると考えられる。しかし、異なる呈示手法によるBFの効果と比較した研究例は少ないため、適切な呈示手法についての検討は不十分といえる。

本研究では、視覚と聴覚の呈示方法の違いによる集中力向上効果を比較した。とくに(1) BF前後における集中力の向上度(2) 継続的なBFによる平均集中力の推移について視覚呈示法と聴覚呈示法にて比較した。これにより、BFの呈示方法についての知見が深まり、今後のBF装置への応用が期待される。

## 2. 実験装置

### 2.1 脳波の取得方法

集中力の評価には、主にスポーツ分野のメンタルトレーニングへの応用が目的である簡易脳波計 (Brain Athlete, B-bridge) を利用した。この簡易脳波計は、前額部の電極と耳朶の基準電極の電位差により脳波を計測しており、各周波数帯域の優勢度を算出することができる。また、搭載されているeSenseアルゴリズムにより、人間の集中力を0～100の値で評価することが可能である。このとき、eSenseアルゴリズムを開発したNeuroSkyでは、集中力の評価値が60以上のときに高い集中状態と定めている (NeuroSky, 2009)。そのため、本装置では集中力の評価値60以上を高集中度状態と定義し、BFの呈示情報として利用した。

### 2.2 BF装置概要

図1にBFの装置構成概略図を示す。BFの装置は、簡易脳波計、マイクロコンピュータ (Arduino Uno R3, Arduino)、PCで構成されている。まず、簡易脳波計より脳波のサンプリングを行い、集中力の評価値を導出した。その後、マイクロコンピュータにて計測データをバイト型から整数型へ変換し、PCにより計測データの記録及び被験者への呈示を行った。このとき、簡易脳波計とマイクロコンピュータ間はBluetooth2.0による無線通信によりデータの送信を行い、マイクロコン

ピュータとPC間はUSBケーブルによる有線通信にてデータの送受信を行った。

### 2.3 生体情報の呈示方法

被験者への呈示情報は、デザインアートに特化したソフトウェアであるProcessingにて制作した。BFでは自己効力感の形成が求められ、そのためには具体的かつ明確な目標を設定する必要がある。よって、本装置では高集中度状態 (集中度60以上)の維持を目標とし、装置の仕様として定めた。

図2に視覚呈示法の概略図について示す。(a)が視覚呈示法の画面例、(b)が視覚呈示法の流れを示している。視覚呈示法では、画面の最下部を集中度0、最上部を集中度100とし、集中度の高さに対応した棒グラフを左から右へと表示するアニメーションを描画した。また、BFの参考として高集中度状態である60と80の位置に基準線を表示した。聴覚呈示法では、高集中度状態である集中度60以上のときにスピーカより音楽が発生する仕様とした。音楽は集中度60以下になると停止し、再び集中度60以上になると始めから再生される。また、聴覚呈示法では支配的な知覚である視覚により外乱が生じる可能性がある。そのため、音楽を呈示するとともに視線を一点に集中させる円を画面に表示させた。

## 3. 実験方法

### 3.1 実験条件

実験は外部からの影響を最小限に抑えられ、電磁的ノイズに強いことから、2.7 m × 2.6 m × 2.0 mの電磁シールドルーム内にて実施した。室内環境の不快感による集中度の低下を防ぐために、室内温度を23～25℃、湿度を50%以下に維持した。室内には、呈示画面モニタを設置するための机と被験者用の椅子を準備し、呈示用のモニタは、345 mm × 194 mmのワイド型ディスプレイとした。

### 3.2 実験手順

図3に実験タイムチャートを示す。BF時間を90 sec、その

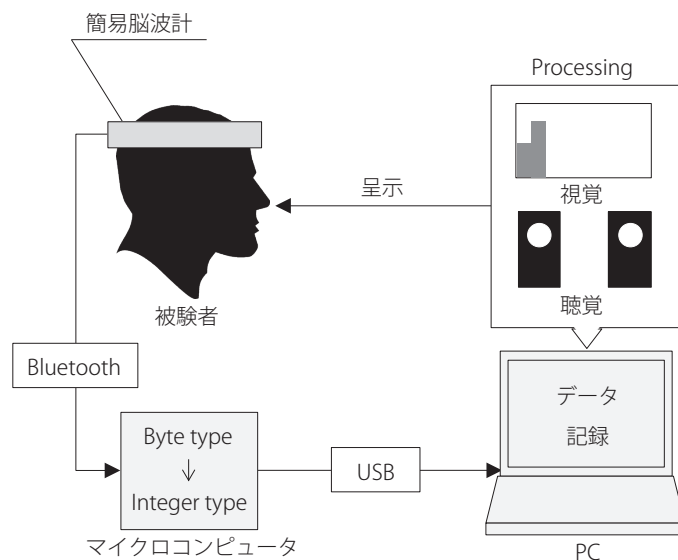
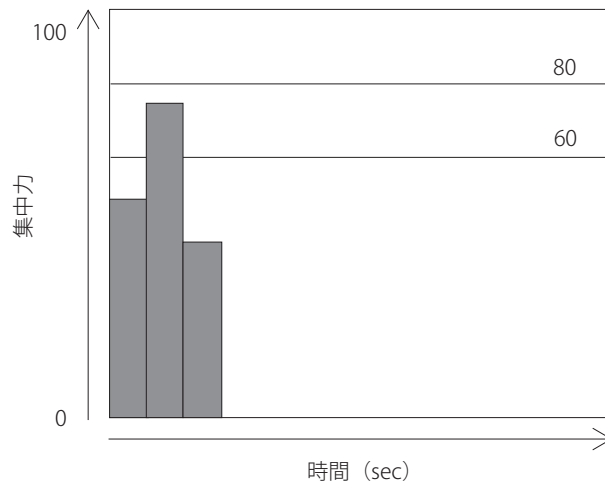
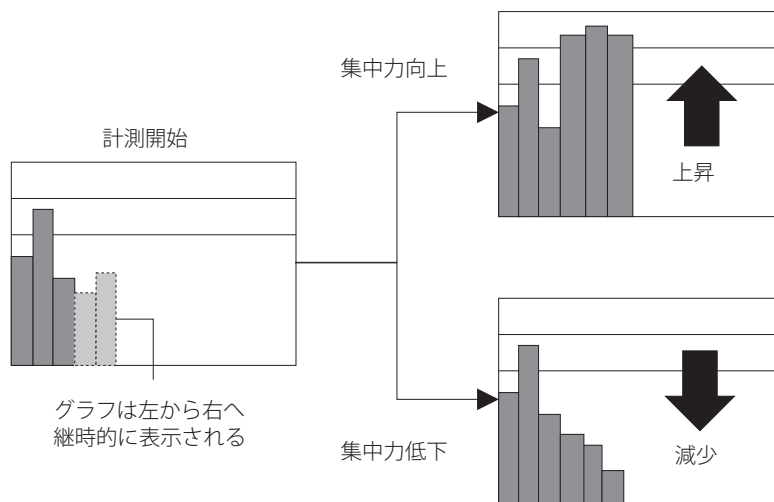


図1：BF装置の装置構成概略図



(a) 視覚呈示法の画面例



(b) 視覚呈示法の流れ

図2：視覚呈示法の概略図

安静時間	BF時間	安静時間
閉眼座位姿勢	開眼座位姿勢	閉眼座位姿勢
60 sec	90 sec	60 sec

図3：実験タイムチャート

前後の安静時間60 secとし、全実験時間を210 secとした。安静時間は興奮状態の脳波を安静状態にさせることが目的である。そのため、被験者は60 secの間リラックスできる姿勢を維持した。さらに、体動や眼球運動による脳波のノイズ混入を防ぐために、閉眼座位姿勢では体動を控えるように指示した。また、安静時は課題と無関連な思考であるマインドワンダリングが生じることにより、集中力が増大する可能性がある。そのため、被験者には1～10を繰り返しカウントする

課題を指示し、そのときの脳波信号を安静状態と定義した。

BF時間は自らの集中力の変化を反映させたアニメーションや音楽を呈示し、集中力向上のBFを行った。一般的に、脳波を利用したBFは一度のセッションに40～50 minの時間を必要とする。本実験は集中力を意識的に高めるため、長時間の実験であると心身の疲労から被験者が心理的負荷を感じる可能性がある。そこで、計測時間は40～50 minの長時間ではなく、簡易的なメンタルトレーニングを参考に90 secとした。

### 3.3 評価方法

実験(1)では、異なる感覚器官に生体情報をフィードバックしたときの集中力の向上効果を比較する。対象は、健康な学生12名(平均年齢 $20 \pm 0.73$ )とし、事前に実験の主旨と方法について説明し十分な理解を得た。同被験者に対して2種類の実験を行うとき、後半の実験に習熟効果が加わり前半より良好な結果を得る可能性がある。そのため、被験者を6名ずつの2群にランダムに分け、それぞれ視覚呈示法、聴覚呈示法の実験を行った。その後、各被験者の安静時とBF時の平均集中力を算出し、BFの前後における集中力を比較した。また、

BFによる集中力向上効果であることを確認するためにWelchのt検定を行った。検定は、両側検定であり有意水準は1%、有意傾向は5%とした。

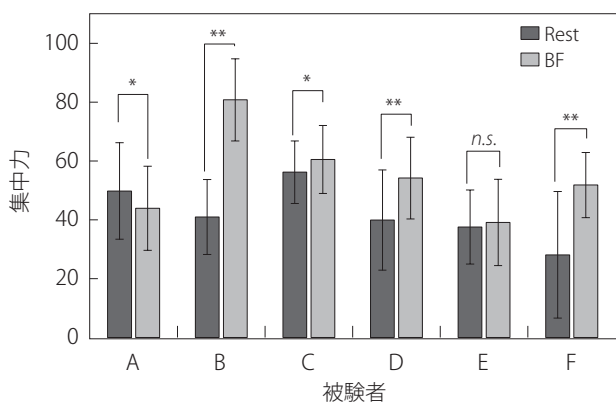
実験(2)では、継続的なBFによる集中力の推移を比較した。被験者は男性3名(平均年齢19±0.81)であり、視覚呈示法と聴覚呈示法のBFを10日間実施し、各呈示手法の平均集中力の推移を記録した。

実験開始後とBF開始後では意識の切り替わりや眼の開閉により、脳波情報にノイズが混入する可能性がある。そのため、実験開始後とBF開始後の10secは解析範囲外とし、安静時50、BF時80のデータ長にて平均集中力の導出および検定を行った。

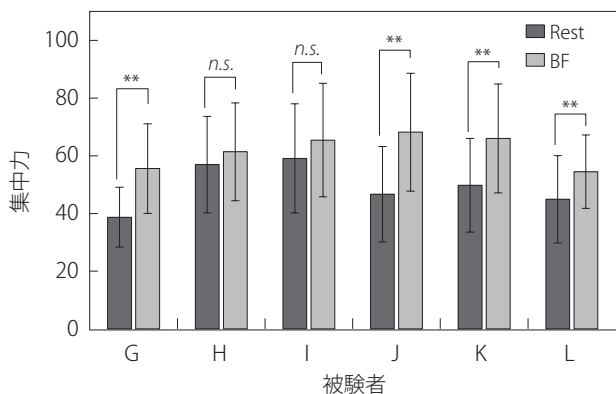
#### 4. 実験結果及び考察

##### 4.1 BF 前後における集中力の向上効果

図4に各被験者の安静時とBF時の平均集中力を示す。(a)は視覚呈示法、(b)は聴覚呈示法における平均集中力の変化を示している。視覚呈示法では6名中5名の集中力が向上した。とくに、被験者B、D、Fにおいて有意に向上した( $t(129) = , p < .01$ )。また、被験者Cは集中力の向上に有意傾向を示し( $p < .05$ )、被験者Eは僅かに向上したが、有意差は確認されなかった。一方で、聴覚呈示法では6名全ての被験者の集中力が向上した。とくに、被験者N、Q、R、Sが有意に向上した( $p$



(a) 視覚呈示法



(b) 聴覚呈示法

図4：各被験者の安静時とBF時の平均集中力

注：Mean ± S.D., \*,  $p < .05$  \*\*,  $p < .01$  n.s.: not significant

<.01)。以上より、両呈示手法に同等の集中力向上効果が認められ、BFの効果は感覚器官の特性に依存しないことが明らかとなった。BF装置の仕様である高集中度状態の維持を達成できたのは、視覚呈示法では被験者6名中2名であり、聴覚呈示法では6名中4名であった。聴覚呈示法が優位な結果であるのは、オペラント条件付けが有効に作用したことが要因として考えられる。聴覚呈示法では、集中度の評価値が60以上になると音楽が発生し、60以下になると音楽が停止する。つまり、聴覚呈示法では『高集中度状態に音楽が発生した』という正の強化子と『高集中度状態以外は音楽が停止した』という負の強化子が与えられている。これらのふたつの強化子が条件付けの効果を強め、被験者は音楽を長時間発生させることに強い関心を抱いたと推測される。

##### 4.2 継続的なBFにおける向上効果の推移

図5に各呈示手法における平均集中力の推移を示す。(a)が視覚呈示法、(b)が聴覚呈示法の結果を示している。視覚呈示法では、1日目と10日目の集中度を比較すると被験者M、Oの集中度が向上した。一方で、聴覚呈示法では被験者M、Nの集中度が向上した。これらの結果から、継続的なBFにより集中度が向上していくことが確認された。視覚呈示法では4日目に集中度が低下し、その後向上する傾向がみられた。これは、視覚呈示法で得られる情報が単調であるために、被験者のBFに対する関心や意欲が低下したことが原因として推測される。また、被験者に対する内観調査により『視覚呈示法の呈示情報が単調であるために飽きが生じる』といった意見から、継続的なBFには意欲・関心を向上させる工夫が求められる。また、異なる原因として被験者に共通した何らかの外乱が生じたと推測される。

両呈示手法において集中度向上効果にばらつきが生じ、とくに視覚呈示法と比較すると聴覚呈示法のばらつきは大きい。これは、聴覚呈示法の認知できる情報量が低いことが原因として考えられる。視覚呈示法は、棒グラフのアニメーションを表示することにより集中度の変化をリアルタイムで認知できる。しかし、聴覚呈示法では集中度の推移変化を認知できない。そのため、被験者からすると聴覚呈示法は困難となり、BFの向上効果にばらつきが生じる原因となった。また、聴覚呈示法の実験結果より、3日目以降に集中度が向上する傾向がみられた。これは聴覚呈示法が困難であるため、被験者がBFに慣れるまでに時間を要したことが考えられる。

実験(1)では両呈示手法のBFの効果に大きな差異は生じず、感覚器官の特性とBFの効果に相関性はないと推測していた。しかし、継続的にBFを実施したところ、視覚呈示法は聴覚呈示法より集中度向上効果のばらつきが小さく、安定した効果を得ることが可能であった。そのため、継続的にBFを行う場合には視覚呈示法が有効的であると考えられる。

##### 4.3 BFの呈示手法

実験(1)の結果より、BFの効果は感覚器官の特性に依存しないことが明らかとなった。このことから、BFの装置において重要なのは、生体情報を呈示する感覚器官の選択ではなく、呈示情報の条件付けであるといえる。このとき、実験(2)の



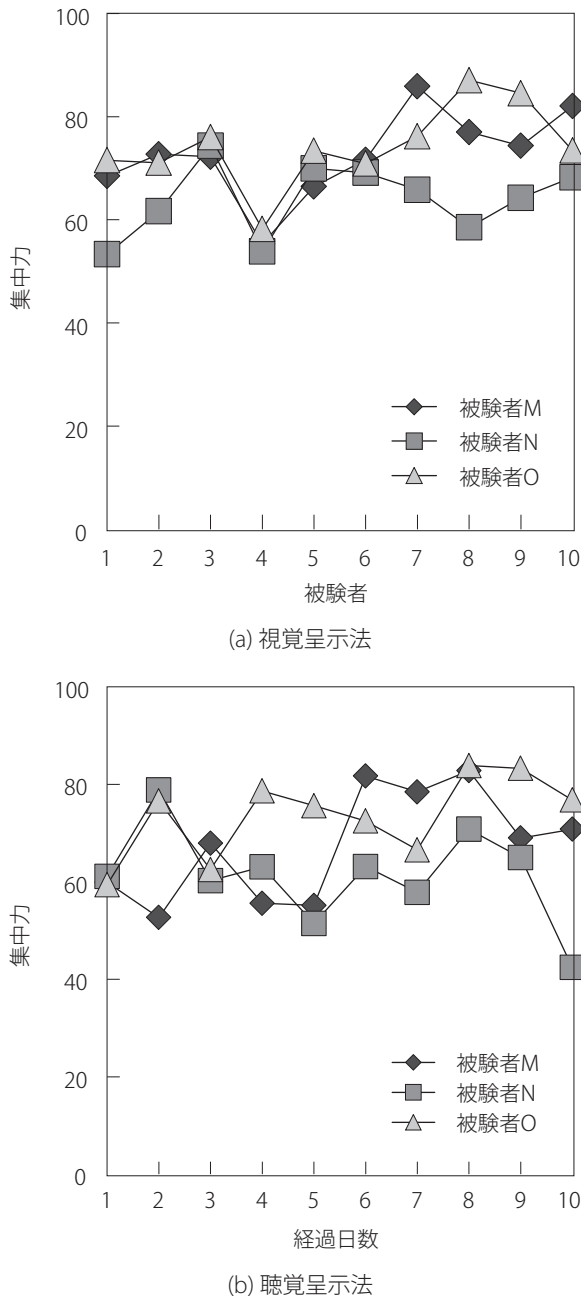


図5：継続的なBFにおける平均集中力の推移

結果より、継続的なBFの問題点として、1) 単調な呈示手法であると被験者のBFに対する関心・意欲が低下する、2) 聴覚呈示法が困難であるために向上効果にばらつきが生じ、BFに慣れるまでに時間を要することが挙げられた。これらの問題点を解消することで、より集中力を向上させるBFの装置開発が可能となる。

そこで、BFの装置にゲームや玩具といった『娯楽』要素の応用が提案される。近年では、ゲームの人間を熱中させる要素をほかの物事に応用し、意欲や関心を高めるゲーミフィケーションという考え方が注目されている(松村, 2014)。このゲーミフィケーションをBFの呈示手法に応用することで、BFに対する関心・意欲の持続的な向上が可能となり、向上効果を示すまでの時間短縮が期待される。なお、聴覚呈示法が困難

な被験者には、BFの難易度を調整することにより向上効果のばらつきが低下すると考えられる。また、オペラント条件付けの観点から推測すると、被験者に対して有効な条件付けの手法として強化子に『報酬』の要素の導入が提案される。そのため、ゲーミフィケーションの要素である『スコア表示』などにより、被験者の集中力の変化に『報酬』を与えることが有効と考えられる。

しかし、ゲーミフィケーションを有効視する一方で、ゲーム要素が強いためにコンテンツ本来の効果が弱くなるといった指摘がある(藤本, 2011)。そのため、ゲーミフィケーションを取り入れる際には、BFの目的や期待する効果を明確にし、そのニーズに即した適切なゲーム要素を導入することが重要である。

### 5. 結言

本研究は、生体情報を異なる感覚器官にフィードバックしたときの集中力向上効果について比較検討した。とくに、BF前後における集中力向上効果と継続的なBFによる平均集中力の推移を視覚と聴覚にて比較した。得られた結果の要約を以下に示す。

- ・ 安静時とBF時の平均集中力を比較すると、両呈示手法にて集中力が向上し、とくに聴覚呈示法は6名中4名が高集中力状態を示した。
- ・ 継続的なBFより、視覚呈示法ではBFに対する意欲・関心の低下が問題となり、聴覚呈示法では慣れるまでに時間を要した。向上効果のばらつきから、継続的なBFでは視覚呈示法が適していると推測される。
- ・ BFの効果は感覚器官に依存しないため、今後のBF装置の設計では呈示手法が重要となる。とくに、呈示情報に娯楽の要素を導入し、継続的なBFの問題点の解消が求められる。

### 引用文献

秋葉光俊・宮本芳文・岡本真紀(1992). バイオフィードバックによるα波活性促進に関する研究. バイオフィードバック研究, Vol. 19, 29-33.

安藤清志・子安増生・坂野雄二・立花政雄・箱田祐司・中島義明・繁耕算男(1999). 心理学辞典. 有斐閣.

池田妙子(1992). 音響刺激による集中性効果と時間の過小評価について. 心理学研究, Vol. 63, No. 3, 157-162.

石川中(1982). MEの未来バイオフィードバック. 医用電子と生体工学, Vol. 20, No. 2, 118-125.

市川忠彦(2006). 新版 脳波の旅へ誘い 第2版. 星和書店

内山尚志(2007). バイオフィードバック研究に必要な工学的基礎. バイオフィードバック研究, Vol. 34, No.2, 39-42.

上条美和子・大森隆司(2014). 精油芳香の学習への影響とERPによる検証. 日本感性工学会論文誌, Vol. 13, No. 1, 45-48.

小杉幸夫・武者利光(2000). 電子情報通信工学シリーズ 第1版. 森北出版.

夫馬司貴・横山清子(2013). バイオフィリア効果に対するヒ

- 
- トの生体反応の評価と精神作業時負担軽減・作業効率向上への応用. 人間工学, Vol. 49, 特別号, 210-211.
- 竹林直紀(2011). 補完・代替医療 バイオフィードバックとリラクゼーション法 第1版. 金芳堂.
- 辻下守弘(2011). 薬を使わず病のなおすバイオフィードバック入門 第1版. 秀和システム.
- 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, Vol. 20, No. 7, 602-603.
- 西村千秋(2009). バイオフィードバックにみる, 意識上一意識下間の学習と制御. 心身健康科学, Vol. 5, No. 1, 15-21.
- NeuroSky(2009). Mindset取扱説明書. [http://developer.neurosky.com/docs/lib/exe/fetch.php?media=mindset\\_instruction\\_manual\\_jp.pdf](http://developer.neurosky.com/docs/lib/exe/fetch.php?media=mindset_instruction_manual_jp.pdf). (閲覧日2016/04/21)
- 平井久(1976). バイオフィードバック. 医用電子と生体工学, Vol. 14, No. 4, 279-288.
- 藤本徹(2011). 効果的なデジタルゲーム利用教育のための考え方. コンピュータ&エデュケーション, Vol. 31, 10-15.
- 松村多恵(2014). ゲーミフィケーションとシリアスゲームの相違点について. 情報の科学と技術, Vol. 64, No. 11, 481-484.
- 村上貴聡・岩崎健一・徳永幹雄(2000). テニス選手に対するメンタルトレーニングの実施と効用性. 健康科学, Vol. 22, 183-190.

(受稿：2016年3月28日 受理：2016年5月7日)