

特集 「生体信号計測の人工知能分野への応用」

# ポジティブバイオフィードバックのエンタテインメント利用

## Positive Biofeedback for Entertainment Applications

小松 孝徳  
Takanori Komatsu

信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点  
Fiber-Nanotech Young Researcher Empowerment Center, Shinshu University.  
tkomat@shinshu-u.ac.jp, <http://www.wakate-shinshu.com>

棟方 渚  
Nagisa Munekata

公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科  
Graduate School of Systems Information Science, Future University-Hakodate.  
g3106012@fun.ac.jp

**Keywords:** biofeedback, physiological data, entertainment.

### 1. はじめに

#### 1.1 バイオフィードバックとは

インターネット上のフリーの百科事典である Wikipedia[ウィキペディア 07]によると、バイオフィードバック (Biofeedback) とは、『本来感知することのできない生理学的な指標を科学的に捉え、対象者に知覚できるようにフィードバックして体内状態を制御する技術、技法。主に「リラックスした状態」などをフィードバックすることによって、その状態自体を把握し、すばやくアクセスできるようにし、不安な状態に拮抗させることが目的である』と説明されている。言い換えれば、ある人から測定した生体信号を何らかの方法でその人にフィードバックし、自らの状態を客観的に認識させることで、自らの状態をセルフコントロールする補助をするものである。バイオフィードバックという考え方は、1950 年代後半におけるサイバネティクス、生理心理学、ストレスの行動療法といったさまざまな分野から同時多発的に発生したといわれており、そのルーツは定かではない。このようにさまざまなルーツや応用分野をもつバイオフィードバックに関しては、安全な利用法や統一的な基準を設けるために、The Biofeedback Certification Institute of America (BCIA) [BCIA], The Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback[AAPB], 日本バイオフィードバック学会 [JSBF] といった組織によって、各団体が認証した臨床訓練や教育が行われており、また年次総会やワークショップなども開催されている。

#### 1.2 バイオフィードバックの構成要素

一般的に、バイオフィードバックとは

- (1) 興味ある生理学的な情報を何らかの方法によって客観的な情報として測定し

(2) その測定された情報を意味ある情報として呈示するという、二つの要素から構成されるものである。バイオフィードバックを構成する (1) の要素である、「興味ある生理学的な情報」としては、以下のような情報を使用することが多い。

- 表面筋電図 (Surface Electromyography: Surface EMG または単に EMG) : 筋線維を収縮させるために脊髄神経にて生成される電気信号を採取したものの、特定の筋肉の動きを測定することができる。
- 抹消温度 (Peripheral Temperature) : 指や爪先などの抹消部分の温度を測定したもの。抹消血管収縮 (Vasoconstriction) の影響を測定することができる。同様の情報は、光電脈波センサによる指先からの脈波 (Pulse Wave) の測定によっても得ることができる。
- 皮膚コンダクタンス活動 (Skin Conductance Activity) : 汗腺の活動によって分泌された汗により変化する皮膚の抵抗値を計測したもの。
- 脳波 (Electroencephalogram: EEG) : 脳活動によって生じる電気信号を測定したもの。頭皮上に複数の電極を貼り付けて測定することが多い。脳波の周波数成分を分析することで、さまざまな生理学的な情報を理解することができる。特に、脳波を用いたバイオフィードバックは、ニューロフィードバック (Neurofeedback) と呼ばれることもある。
- 心電図 (Electrocardiogram: ECG) : 心臓をはさんだ体表に電極を置き、その心臓の活動を電氣的に記録したもの。この情報から心拍数 (Heart Rate)、心拍変動成分 (Heart Rate Variability) などを解析することが可能となる。

これらの情報は人体を侵襲することなく測定が可能というメリットがあるが [宮田 98], 応用する分野によっては体内に挿入した電極から生理学的な情報を測定する場合もある。

バイオフィードバックを構成する(2)の要素である、「測定された情報の意味ある呈示」方法としては、実際に医療分野で使用されているようなリアルタイムで情報が表示されるポリグラフの画面を直接その人に呈示することが多い。その際には、バイオフィードバック技術についての専門家が、その測定されたデータについて詳しく説明することで、その人自身の状態を理解させることが必要となる。

1.3 バイオフィードバックの応用事例

実際に、バイオフィードバック技術を最も積極的に利用しているのが医療の分野であり、具体的には表1のような症例に効果があると報告されている [Schwartz 03a]。このようなバイオフィードバック技術を利用した医療技術は、バイオフィードバック療法と呼ばれている。例えば慢性的頭痛および偏頭痛の治療の際には、首の後ろや前頭部の筋肉を緊張させたり弛緩させたりした際の筋電図や体温を、患者に測定データとともに説明することで、どのような状態のときに自分が緊張状態になり、またそれが緩和されるのかを理解させ、その転換方法を学習させることが行われている [Schwartz 03b]。また、注意欠陥他動性障害 (ADHD) の治療の際には、脳波成分のうち人間がリラックスしている際に多く見られるアルファ波および集中している際に多く見られるベータ波の存在を、脳波計に現れる波形そのものや脳波成分を音情報に変換させた情報によって患者自身が確認することによって、緊張状態からリラックス状態へと、どのようにセルフコントロールするのかを学習させることが行われている [Lubar 03]。

また、リハビリテーションの分野にもバイオフィードバック療法は応用されており、脳卒中後の片麻痺患者に対しては、筋電情報のフィードバックによって筋緊張の軽減や筋力増強、自動関節可動域の改善、さらには嚥下機能の改善にも応用されている。また、顔面神経麻痺などの末梢神経障害が引き起こす、異常共同運動の改善などにも応用されている [Fogel 03]。これらの処置は主に病院の心療内科や神経内科などで行われている正当な医療行為であるが、個人的なストレスへの対処や瞑想などの活動の一助となるようなツールも数多く開発されている。例えば、アメリカのベンチャー企業である Mind

Modulations 社 [MindModulation] では、耳たぶや指先から測定できる脈波を利用して、リラックス状態にセルフコントロールすることを学習できるような日常生活でもち歩けるサイズのバイオフィードバック機器を“Stress Eraser”、“Stress Reliever” などといった商標にて販売している。

そのほかにも、脳波をフィードバックすることによるメンタルトレーニング方法が開発され、実際に一流のプロスポーツ選手にも用いられており [Sime 03]、さらには冷静な判断が常に求められるパイロットの育成のためのフライトシミュレータにもバイオフィードバック技術が応用されている [Cowings 93]。

2. バイオフィードバックのエンタテインメント利用

このように特に医療分野での利用が顕著に目立つバイオフィードバック技術ではあるが、その応用分野はエンタテインメント分野にも広がってきている。その中でも最も有名なのがビデオゲームシリーズ：“The Journey to Wild Divine (Wild Divine)” [Wild Divine] であろう。このゲームシリーズには、ロールプレイングゲームや3Dグラフィック描画ソフトなどの数種類のゲームのラインナップがある。この Wild Divine には“A dairy mind & body practice for healthy living” というキャッチコピーが付されており、精神と肉体の健康のための呼吸法および瞑想方法をバイオフィードバックによって習得できるような仕組みになっている。そのため、これらシリーズのゲーム設定としては、精神統一やリラックスするとゲームが先のステージに進むようなものになっている。具体的には、ロールプレイングゲームの主人公がある洞窟の扉を開けるためには、精神統一状態を一定時間保つことが必要であったり、描画ソフトにおいてはリラックス状態になるとスムーズできれいな色の曲線が描けるといったものであり、これらのビデオゲームは divine (神学者) というゲームのネーミングから想像できるような「東洋の神秘」、「ヨガ」、「瞑想」のようなコンセプトで統一されている。このビデオゲームでは、指先につけたセンサから、心拍変動成分、心拍数、皮膚電気抵抗の3種類の生理学的な情報を取得することができ、ゲームの種類によってそれぞれ使用する生理学的な情報を使い分けている。

また日本においても、バイオフィードバック技術を利用したビデオゲームがいくつか開発されている。例えば1998年にコンシューマ用 (一般発売用) ビデオゲームとして発売されたパズルゲーム「テトリス 64」には、一つのゲームモードとして「バイオテトリス」が用意された。この「バイオテトリス」では、ユーザの耳たぶから測定された脈波情報をもとにユーザの精神状態を判定し、リラックス状態にある場合には四角形一つなどといったシンプルな形状のブロックが落下し、そうでない場

表1 バイオフィードバックによって治療効果があるとされている症状や疾病の一例

A. 非常に効果的	B. 効果的	C. やや効果的
緊張性頭痛 偏頭痛 夜尿症 大便・小便失禁 骨盤底障害 幻肢痛 高血圧	不眠症 不安症、恐怖症 PTSD 注意欠陥・多動性障害 てんかん 吐き気 過敏性腸症候群 ぜんそく 歯ぎしり 耳鳴り レイノー症候群 呼吸亢進 繊維筋痛 慢性痛	職業性まいれん 斜視 眼瞼まいれん 糖尿病 姿勢維持訓練 皮膚病 閉経によるのぼせ 機能亢進障害 ストレス性失神 高熱 反射性交感神経性ジストロフィ 精神活性物質乱用



図1 “The Journey to Wild Divine” のセット内容

合には非常に複雑な（ほかのブロックと組み合わせるのが不可能な）形状のブロックが落下してくるものである。また、アーケード用（業務用）ビデオゲームとしては、同じく1998年に恋愛シミュレーションゲーム「ときめきメモリアル～おしえて Your Heart～」が発売されている。このゲームにおいては、コントローラに内蔵された脈波センサによって中指の脈波を測定し、ユーザの興奮状態に応じてゲームの進み方が変化するというものであった。

### 3. ポジティブバイオフィードバックとは

前章まで、バイオフィードバックについての基本的な背景および、その応用例について説明してきた。人工知能学会誌にて詳しく説明する必要もないと思われるが、「フィードバック」という考え方は、自動制御回路や演算回路などのエレクトロニクス分野で多く使われているものであり、基本的には入力と出力が存在する系において、出力が入力に何らかの影響を与えるシステムであることを指している[金子 92]。そのうち、出力の増加が入力や操作を促進する場合をポジティブフィードバック、逆に、出力の増加が入力や操作を阻害することをネガティブフィードバックと呼ぶ。ネガティブフィードバックが働く場合は、出力の増加が入力操作を阻害し、逆に出力が低下すると入力操作が増加するため、出力を一定に保つことができる。一般に機械制御などの分野では、フィードバックによって制御量と目標値を比較して、それらを一致させるように訂正動作を行うネガティブフィードバックによる制御を、フィードバック制御と呼んでおり、一般的なフィードバックとはネガティブフィードバックのことを指すことが多い。その一方、ポジティブフィードバックが働く場合、出力の増加がさらなる入力操作を増加させるため、最終的に系に対して何らかの破綻をもたらすことが多く、電気回路のコンパレータや化学反応などの用途で使われている例はあるものの、一般的な制御などで使われることはほとんどないといえる。

これまで紹介してきたバイオフィードバックは、ある人から測定した生理学的情報をその人にフィードバックすることで、その人をリラックスした状態などの望まし

い状態へと誘導し安定させることを目的としている。つまりこれは、リラックス状態という目標値になるように自分の内部状態を制御するといった操作に相当するため、ネガティブバイオフィードバックとも呼ぶことができよう。よって、このネガティブバイオフィードバックは、リラックスした状態を学習することによってさまざまな症状を緩和するような医療目的もしくはストレス緩和目的のビデオゲームに応用する際には、非常に理にかなったものであるといえる。

しかしながら、ネガティブバイオフィードバックをビデオゲームなどに使用する際には、前述の Wild Divine のように精神統一や瞑想などの設定をゲームに取り込むことが必要となり、そのような設定をエンタテインメントとして使用するには限界があると考えられる。なぜなら、本来、エンタテインメントとは、人間をリラックスさせるよりもエキサイトさせる場合のほうが多いからである。つまり、意図的にユーザを興奮状態に導けるようなシステムのほうが、エンタテインメント分野への応用が期待できると考えられる。そこで著者らは、出力の増幅を目的とした従来のポジティブフィードバックをバイオフィードバックに取り入れることで、ユーザの内部状態を発散もしくは暴発させる方向に作用するポジティブバイオフィードバック方式を提案した。これによって、ユーザから検知された内部状態を、従来の技術のように抑えることでリラックス状態に導くのではなく、逆にその状態を発散させることで、ユーザを大きなストレス・興奮状態に誘導することが可能となり、エンタテインメントとしての用途が大きく期待されると考えられよう。以降の章にて、著者らがこれまでに開発したポジティブバイオフィードバックを用いたビデオゲームを具体的事例として紹介する。

### 4. ポジティブバイオフィードバックを利用したビデオゲーム

本章では、著者の一人である棟方が主に開発したポジティブバイオフィードバックを利用した二つのビデオゲーム「Balloon Trip」[Sakurazawa 04]、「びっくりくまさんのゲーム」[棟方 06a]を紹介する。これらのゲームではプレイヤーから測定する生理学的情報として、手掌部の皮膚表面抵抗を測定した。これらのゲームでは、ポジティブバイオフィードバックが効果的にプレイヤーに作用するため、自らの皮膚表面抵抗の変動に対して操作対象となるキャラクタの存在している環境が過剰に反応するようなシステムを構築した。具体的には、自らの皮膚表面抵抗が大きく変動した際に、ゲーム画面上のキャラクタが危機的状況に直面するようにした。

#### 4.1 Balloon Trip

このゲームは、プレイヤーの操作するキャラクタが一定

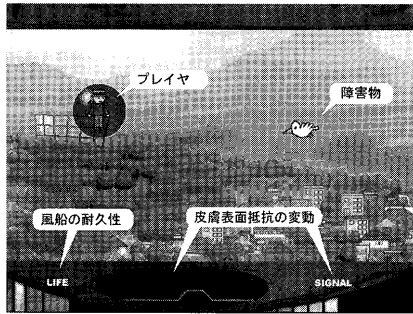


図2 Balloon Trip のスクリーンショット

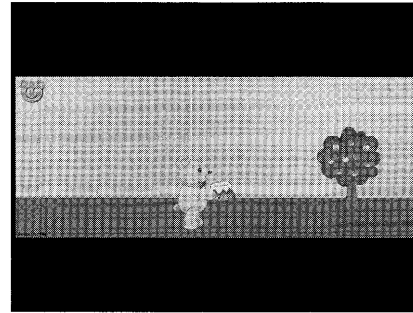


図4 びっくりくまさんのゲームのスクリーンショット

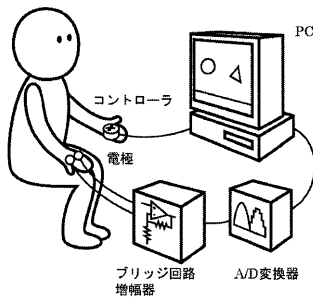


図3 Balloon Trip システム構成

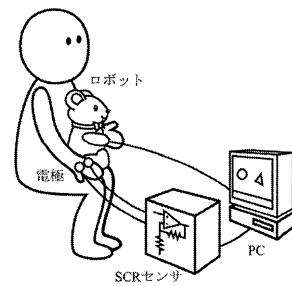


図5 びっくりくまさんのゲームのシステム構成

の速度で左にスクロールする中、次々に現れる障害物を避けながらゴールに向けて旅をするというものである。キャラクターは風船の中に入って浮かんでいるために、障害物となる鳥や建物をうまく避けて進まなければならない(図2)。プレイヤーは片方の手掌に電極を装着し、もう片方の手で十字キーが付いたコンピュータゲーム用のコントローラをもつことでゲーム画面上のキャラクターを上下左右に操作する(図3)。プレイヤーが障害物に5回当たると、ゲームオーバーとなる。プレイヤーがゲーム中に緊張や興奮などを感じた場合に、敵の鳥や建物の数が増え、結果としてゲームのクリアが難しくなるようにポジティブバイオフィードバックを設定した。また、ゲーム画面下方中央には、皮膚表面抵抗の変動をオシロスコープのように表示させ、下方右側にその変動をグラフィックスで表すことで、より効果的にプレイヤーが自らの状態を把握できるようなデザインを採用した。

このゲームと、このゲームからバイオフィードバック機能を除外したゲームとを実際にプレイした被験者の行動および主観的印象を確認する比較実験を行ったところ、バイオフィードバック機能が備わったゲームを体験したプレイヤーは大きな興奮を示していたことが確認され、また非常に楽しくプレイできたとの印象を報告していた[棟方 05]。よって、著者らの提案したポジティブバイオフィードバック方式は、ビデオゲームといったエンタテインメント用途に有効に作用していたといえよう。

#### 4.2 びっくりくまさんのゲーム

このゲームは、画面上のクマのキャラクターが蜂の巣から盗んだ蜂蜜の壺をこっそりと自分の家にもち帰ろうと

するのを、ただただ見守るというものである。このゲームのプレイヤーは、キャラクターを操作するコントローラを使用しない。画面上に現れるクマを見守っている間に、蜂蜜を取戻しにきた蜂に動揺しなければクマは無事に家に蜂蜜の壺をもち帰ることができ、動揺してしまうと蜂に襲われて壺を落としてしまうといった設定になっている(図4)。

この「びっくりくまさんのゲーム」では、Balloon Tripのように鳥や障害物が画面上に増えるといった視覚的なバイオフィードバックだけではなく、触覚的に体で感じられるような体感的なバイオフィードバック機能を追加した。具体的には、ぬいぐるみ型ロボットのモーションによるバイオフィードバック機能を実装し、ゲーム画面上のキャラクターが危機を感じるアクションを表出すると同時に、プレイヤーの膝の上に置かれたぬいぐるみ型ロボットも危機を感じているような振舞いをするような設定とした(図5)。

このゲームは、ゲーム中のプレイヤーの動揺や興奮を皮膚表面抵抗によって観測し、その様子をリアルタイムでゲーム画面上のインジケータに表示するとともに、皮膚表面抵抗の変動量に応じてロボットが動くようにした。プレイヤーの片方の手掌に電極を装着し、もう片方の手で膝の上に置いたロボットを抱えさせることとした(図5)。ぬいぐるみ型ロボットとしては、イワヤ株式会社のテディベア型のロボット IP ROBOT PHONE[関口 05]を使用し、プレイヤーの皮膚表面抵抗の変動量に応じてロボットが両腕を開き、頭を後ろに仰げ反るように動作させ、あたかもプレイヤーの情動に応じて、ロボットが驚いているような動きを実装した。特にその変動量が多いと、プ

レイヤが興奮状態に陥ったと判断し、ロボットも大きく両腕をバタつかせて頭を後ろに反らせてしまうといった行動を表出する。

このゲームのストーリーは、蜂の巣から蜂蜜の壺を盗んだクマが、その壺をこっそりと家へもち帰るところから始まる。クマが蜂蜜の壺を家へもち帰っている途中に、プレイヤーが何らかの理由で動揺または緊張を感じ皮膚表面抵抗が変動した場合、ゲーム画面上のクマも動揺し、壺を地面に落としてしまう。そこで、蜂に気づかれ、さらに蜂に刺されてしまうという設定にした。また、プレイヤーの皮膚表面抵抗の変動に合わせて膝の上に置いているロボットも動き、プレイヤーには、自分自身の生体信号の変動が、視覚的および体感的にフィードバックされる。例えば、視覚的なフィードバックとしてはゲーム画面上から判断できる生体信号の状態を示すインジケータ、画面上のクマの行動、蜂の出現、また、体感的なフィードバックとしては、プレイヤーの膝の上にあるロボットのモーションがある。ゲーム画面上のキャラクタは左から右へ一定の速度で移動している。

ゲーム画面は図 4 のような画面構成とし、上方右側では皮膚表面抵抗の変動をオシロスコープのように表示させ、上方左側には何度蜂に刺されたかを表すクマの表情のグラフィックスを表示した。皮膚表面抵抗の変動が小さい場合は何も起こらず、クマは蜂蜜の壺を無事家にもち帰ることができるが、変動が生じた場合は蜂に刺され、3 回蜂に刺されると気絶したようなモーションを表出し、ゲームオーバーとなる。

このゲームにおいてもバイオフィードバックの有無、ロボットのモーションによるフィードバックの有無を統制した環境において、プレイヤーがどのような反応を示し、どのような印象をもったのかを比較する実験を行った。その結果、上記で説明したようなデフォルトの実験設定である、ポジティブバイオフィードバックあり、さらにモーションのフィードバックありの条件において、プレイヤーが最も興奮しており、また最も楽しくプレイできていたことが確認された [Munekata 06]。

## 5. おわりに

前章で紹介した著者らが開発したポジティブバイオフィードバック方式を利用したビデオゲームは、プレイヤーに対してエンタテインメント性の高いゲーム環境を提供していたことが実験的に確認された。つまり、ポジティブバイオフィードバック方式は、プレイヤーをそのゲーム環境に没入させることに大きな役割をしており、その結果、そのプレイヤーはビデオゲームに対して楽しさを感じていたと考えられた。

このことから、ポジティブバイオフィードバック技術には、人間を特定の環境に没入させることができるといった効果が期待でき、エンタテインメント分野以外への応

用も可能だと考えられる。例えば、ユーザと人工物との円滑なインタラクション構築を追求している HAI 研究分野 [山田 07] にこのよう技術を応用すると、ユーザを人工物とのインタラクションに没入させることによって人間と人工物との間に円滑かつ持続的なインタラクションが実現できるとも期待できる。また、介護福祉分野において介護者などを適度に興奮させることができるようなポジティブバイオフィードバックを用いたビデオゲームなどが開発されれば、被介護者の生活の質 (Quality of Life: QOL) を向上できる一助になるかもしれない。

ただし、既存のビデオゲームに対して、単にポジティブバイオフィードバック機能を付与するだけでは、そのユーザに対して興奮状態を引き起こせるわけではない。特に著者らは先の「Balloon Trip」, 「びっくりくまさんのゲーム」の開発において

- (1) 自らの生体信号がどのようにゲームのシステムに影響を与えているのかが、ユーザにとって明確であること
- (2) ゲームを構成している要素のうちどのような要素にバイオフィードバックを付与するのか、といったデザインが直感的に理解できること

の二点を満たすことが、ポジティブバイオフィードバックによってユーザにエンタテインメント性を与えられるのか否かが大きく左右されるという知見を実験的に獲得している [Munekata 07]。よって、具体的にどのような環境において、どのようにしてバイオフィードバック技術を適用するのかについても、慎重にデザインする必要があると考えられる。また、すでに高いエンタテインメント性を有しているビデオゲームへのバイオフィードバック機能の追加についても、慎重を期する必要がある。例えば前述の「バイオテトリス」では、ユーザがリラックス状態では四角形一つといった単純な形状のブロックが落下し、そうでない場合にはどのブロックとも組み合わせられないような複雑な形状のブロックが落下するゲーム設定になっている。しかしスタンダードな状態のテトリス自体が非常に高いエンタテインメント性を有しているため、単純すぎる形状のブロックや複雑すぎる形状のブロックが落ちてくることは、その高いエンタテインメント性をさらに高めることができず、逆にエンタテインメント性を低下させる要因になっていると指摘されている [棟方 06b]。

さらにバイオフィードバック技術を使用する際に最も重要となるのは、被測定者への安全確保である。特にバイオフィードバックで測定される生理学的な情報は、電源に接続された測定機器に直結した電極を体に取り付けることが必要となり、被測定者に対して電氣的な安全を確保することが不可欠となる。市販されている ME (Medical Engineering) 機器は、「JIS T 0601-1 医用電気機器の電氣的安全性」という規格のもとで厳密に管理されており、自作の増幅器などで生理学的な情報を測

定する場合にもこの規格に準ずることが望ましい。また、皮膚表面抵抗の測定に関しては、米国精神生理学会 (Society for Psychophysiological Research: SRP) [SPR] が推奨する勧告回路 [Fowles 81] が公表されているために、この場合には勧告回路を使用するのが望ましい。また、実験を行う際には、電気生理学の専門家もしくは医師の監督・指導を受けられる体制を準備することが最も安全かつ確実な方法である。我々のような工学出身の研究者には非常に面倒な準備とはなるが、実際の人間に電気が流れる恐れのある装置を取り付けることで (皮膚表面抵抗の測定の場合には、実際に電極間にて微弱な電流が流れている)、被測定者に危害を与える可能性がある、という点を念頭に置いたうえでの慎重な研究活動が求められよう。

謝 辞

本解説論文にて紹介した「Balloon Trip」, 「びっくりくまさんのゲーム」の開発においては、公立はこだて未来大学・塚原保夫名誉教授, 松原 仁教授, 櫻沢 繁准教授に多大なるご指導をいただいた。なお本稿の内容の一部は、JST の CREST「デジタルメディアの制作を支援する基盤技術」(領域総括: 東京大学・原島 博教授)の「オンラインゲームの制作支援と評価」(研究代表: 公立はこだて未来大学・松原 仁教授)の研究の一環として実施されたものである。関係者各位に感謝する。

◇ 参 考 文 献 ◇

[AAPB] Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback : <http://www.aapb.org>.  
 [BCIA] The Biofeedback Certification Institute of America: <http://www.bcia.org>.  
 [Cowings 93] Cowings, P. S., Toscano, W. B., Miller, N. E., Pickering, T. and Shapiro, D.: Autogenic-Feedback Training: A Potential treatment for post-flight orthostatic intolerance in aerospace crews, *Journal of Clinical Pharmacology* Vol. 34, No. 6, pp. 599-608 (1993)  
 [Culbert 03] Culbert, T. P. and Banez, G. A.: Pediatric applications other than headache, M. S. Schwartz and F. Andrasik (Eds.), *Biofeedback* (3rd Edition), pp. 696-724, The Guilford Press (2003)  
 [Fogel 03] Fogel, E. R.: Biofeedback-assisted musculoskeletal therapy and neuromuscular reeducation, M. S. Schwartz and F. Andrasik (Eds.), *Biofeedback* (3rd Edition), pp. 515-544, The Guilford Press (2003)  
 [Fowles 81] Fowles, D. C., Christie, M. J., Edelberg, R., Grings, W. W., Lykken, D. T. and Venables, P. H.: Publication recommendations for electrodermal measurements, *Psychophysiology*, Vol. 18, No. 3, pp. 232-239 (1981)  
 [金子 92] 金子敏夫: やさしい機械制御, 日刊工業新聞社 (1992)  
 [Lubar 03] Lubar, J. F.: Neurofeedback for the management of attention deficit disorders, M. S. Schwartz and F. Andrasik (Eds.), *Biofeedback* (3rd Edition), pp. 409-437, The Guilford Press (2003)  
 [MindModulation] MindModulation.com: <http://www.mindmodulations.com>.  
 [宮田 98] 宮田 洋 監修: 新生理心理学, 第 1 巻, 北大路書房 (1998)  
 [棟方 05] 棟方 渚, 吉田直史, 櫻沢 繁, 塚原保夫, 松原 仁: 生体信号を利用したゲームにおけるバイオフィードバックの効果, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 17, No. 2, pp. 243-249 (2005)

[棟方 06a] 棟方 渚, 吉田直史, 櫻沢 繁, 塚原保夫, 松原 仁: モーションメディアコンテンツを利用したバイオフィードバックデザイン, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 11, No. 2, pp. 275-282 (2006)  
 [棟方 06b] 棟方 渚: 生体信号を用いたゲームの有用性, 2006 テレビゲーム産業白書, 株式会社メディアクリエイト (編) (2006)  
 [Munekata 06] Munekata, N., Yoshida, N., Sakurazawa, S., Tsukahara, Y. and Matsubara, H.: Design of positive biofeedback using a robot's behaviors as motion media, *Proc. IFIP 5th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2006)*, pp.340-349 (2006)  
 [Munekata 07] Munekata, N., Komatsu, T. and Matsubara, H.: Marching bear: An interface system encouraging user's emotional attachment and providing an immersive experience, *Proc. IFIP 6th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2007)*, pp. 363-373 (2007)  
 [JSBF] 日本バイオフィードバック学会: <http://wwwsoc.nii.ac.jp/bf>.  
 [Sakurazawa 04] Sakurazawa, S., Yoshida, N., Munekata, N., Tsukahara, Y. and Matsubara, H.: Entertainment feature of the computer game using a skin conductance response, *Proc. ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2004)*, pp.181-186 (2004)  
 [Schwartz 03a] Schwartz, M. S.: Intake decisions and preparation of patients for therapy, M. S. Schwartz and F. Andrasik (Eds.), *Biofeedback* (3rd Edition), pp. 105-127, The Guilford Press (2003)  
 [Schwartz 03b] Schwartz, M. S. and Andrasik, F.: Headache, M. S. Schwartz and F. Andrasik (Eds.), *Biofeedback* (3rd Edition), pp. 275-348, The Guilford Press (2003)  
 [関口 05] 関口大陸, 稲見昌彦, 中野八千穂, 中野殖夫, 館日 章: 「IP ロボットフォン」の製品化, 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 159-164 (2005)  
 [Sime 03] Sime, W.: Sports psychology applications of biofeedback and neurofeedback, M. S. Schwartz and F. Andrasik (Eds.), *Biofeedback* (3rd Edition), pp. 560-588, The Guilford Press (2003)  
 [SPR] Society for Psychophysiological Research: <http://www.sprweb.org>.  
 [ウィキペディア 07] バイオフィードバック: <http://ja.wikipedia.org/wiki/バイオフィードバック> (2007)  
 [Wild Divine] The Wild Divine Project: <http://www.wilddivine.com>.  
 [山田 07] 山田誠二 監著: 人とロボットの〈間〉をデザインする, 東京電機大学出版局 (2007)

2008 年 2 月 25 日 受理

著 者 紹 介



小松 孝徳 (正会員)

1974 年生。2003 年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。同年、公立はこだて未来大学システム情報科学部助手, 2007 年信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点助教, 現在に至る。人間の直感的認知特性という切り口から、人間と人工物との間のインタラクションを捉える研究活動に従事。日本認知科学会, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM, IEEE などの各会員。博士 (学術)。



棟方 渚

1981 年生。2006 年公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士前期課程修了。同年、同大学院博士後期課程入学, 現在に至る。生体信号, バイオフィードバック, エンタテインメントコンピューティング, 人間と人工物の持続可能なインタラクションの構築に興味をもつ。ACM student member, 情報処理学会学生会員。