

ショートノート

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†

棟方 渚*・吉田 直史*・櫻沢 繁*・塚原 保夫*・松原 仁*

近年、コンピュータシステムの急速な普及により、老若男女、多様なユーザー層がコンピュータを利用している。このようなIT技術の進展の中で、ユーザがコンピュータを道具として使用するばかりではなく、コンピュータがユーザの身体情報に基づいてユーザと相互作用することにより、人と機械の間にコミュニケーションを生み出すような新しいインタフェースを開発する試みがある[1]。しかし、人の身体情報の意味が十分に理解されつくしてはいないこと、また、相互のコミュニケーションを可能とするには両者が能動的であることが要求されるため、そこに新しいコミュニケーションを生み出すことは困難である。本研究では、人の生体信号をゲームに取り入れることで人とコンピュータの新しいインタラクションの実現を試みた。数ある生体信号の中でも皮膚表面抵抗に着目した。実験では、プレイヤーの皮膚表面抵抗の変動から心理状態の変化を読み取り、それをプレイヤーに提示する一種のバイオフィードバック系を利用したゲームを作成した。このゲームは、プレイヤーの皮膚表面抵抗の変動を測定し、その変動が大きいほど敵が多く現れ、ゲーム画面上のオシロスコープやインジケータにリアルタイムに皮膚表面抵抗の変動をプレイヤー自身へ提示する仕組みとした。実験はこのゲームのバイオフィードバックの構成法やゲーム画面等の状態を変え、プレイヤーの皮膚表面抵抗の変動を測定しそれらを比較した。比較は二通りの実験により行い、一方はバイオフィードバックの有無によって皮膚表面抵抗の変動に与える効果を比較した。もう一方の実験では、ゲーム画面上に設けたオシロスコープやインジケータに、プレイヤーの皮膚表面抵抗の信号を遅延させて表示し、リアルタイム表示の場合との変動の仕方を比較した。実験の結果では、バイオフィードバックがあるゲームと無いゲームではバイオフィードバックを使用したゲームの方がプレイヤーの皮膚表面抵抗の変動が大きかった。また、バイオフィードバックを遅延させた表示のゲームよりもリアルタイムに表示させたゲームのプレイヤーの方が、ゲーム中の皮膚表面抵抗の変動が大きかった。これらの結果から生体信号を用いたゲームにおいて、生体信号をゲームの進行に反映させることの他に、ゲーム画面上のバイオフィードバックの表示を行うことが重要な要素であることがわかった。特に、遅延表示の実験では、表示を遅延したことに気付いた者はいなかったが、変動量にはそれぞれ差がでたことから、リアルタイムにゲームの進行に反映させることや、バイオフィードバックの表示を行うことも重要であることがわかった。このような結果となったのは、ゲームを通じて無意識の自分自身を意識することが、更に皮膚表面抵抗の変動を生じさせたからであると推測される。

キーワード：生体信号、バイオフィードバック、人と機械のコミュニケーション

1. はじめに

生体信号には、脳波、心電図、筋電図、眼振図、心拍、皮膚表面抵抗等と様々なものがあるが、これらは簡単に取得できる身体の情報として、医学や心理学でも多く利用されている。例えば、皮膚表面抵抗は、手掌に一对の電極を装着しその電極間に微弱な電流を流すことで得られる。この皮膚表面抵抗は、人が心理的に緊張や興奮をする事で交感神経の働きにより手掌に精神性発汗が生じるためバイオフィードバックを利用したリラクゼーションにも有効である。最近では、バ

イオフィードバックを用いた不安や緊張を取り除くセルフコントロール器具の開発がさかんに行われている[2]。また、皮膚表面抵抗は、日本の犯罪捜査に導入されているポリグラフ(嘘発見器)を扱った虚偽検出においても重要な生理指標の一つである。

一方、近年では生体信号の工学的な応用が注目されている。例えば、コンピュータが普及したことでユーザのニーズも多種多様となり、ユーザがコンピュータをより利用し易くするための新たなインタラクティブ・システムの実現が望まれている。様々な次世代インタフェースへの利用を期待させる生体信号は、人それぞれの個人差が非常に大きいという問題がある。

我々は、生体信号を利用したゲームを作成し、プレイヤーに自分自身の生体信号を提示することで、人とコンピュータの新しいインタラクションについて考えた自分自身の生体信号を視覚的にフィードバックするという事は、日常生活において存在し得ない体験であり

† The Effect of Biofeedback in the Game Using Biological Signal
Nagisa MUNEKATA, Naofumi YOSHIDA, Shigeru SAKURAZAWA, Yasuo TSUKAHARA, Hitoshi MATSUBARA

* 公立はこだて未来大学
Future University-Hakodate

興味深いものであるが、生体信号を利用した既存のゲームについて考えると、生体信号を取り入れる事で必ずしもゲームがおもしろくなるとは限らない。例えば、ゲーム機 NINTENDO64のソフトとして販売された TETRIS64(1998, セタ)[3]は、世界的にも有名なパズルゲームであるテトリスに、プレイヤーの心拍数を取り入れたゲームである。このゲームと心拍数の関係は、心拍数が多いほど落ちてくるブロックが歪で大きな形になり、心拍数が少ないほどブロックが小さく便利な形に変形する仕組みとなっている。心拍数の取得はこのゲームの周辺機器であるバイオセンサ(NINTENDO64対応)を使用する。生体信号を利用するといった新しい試みをゲームに反映させているという、新感覚なゲームであるが、バイオセンサ対応ソフトは TETRIS64のみであったこと、また、バイオセンサの生産も打ち切りとなったことから判断すると、このゲームが成功したとは言えない。こういったゲームの問題点は、生体信号を取得する装置の信頼性が非常に低いことのほかに、生体信号がゲームの中で効果的に反映されていないということが原因で、かえってゲームをつまらなくしてしまう結果となったのではないかと我々は考える。我々は独自に生体信号を利用したゲームを作成し[4]、そのゲームにおけるバイオフィードバックの効果やゲームへの影響を観察し考察をした。

2. 皮膚表面抵抗

人の手掌や足底は、緊張や動揺などの心的興奮によって汗がにじみ出る。「手に汗握る」という言葉どおり、危ない場面や緊迫した場面でハラハラしたり、緊張や興奮をしたりするときなど、手掌に精神性発汗が生じる。これらの精神性発汗は、自分では感じられないほどの微量のものから、手掌が湿ってしまうほどの大量の発汗まで様々である。一方、夏場の暑い日などにも感じられる全身の発汗もあるが、これは温熱性発汗とよばれ体温の恒常性を維持するために必要な生理的反応である[5]。

手掌の皮膚表面抵抗は、交感神経による汗腺の活動をとらえているため、人の情動状態を評価する方法として調べられている。皮膚表面抵抗は、手掌に装着した一対の電極間に微弱な電流を流し、皮膚の抵抗値の変動を測定したものである。例えば精神的ストレスの指標や、感情の指標、その他医学的あるいは心理学的な研究等に活用されている[6]。

3. 生体信号を利用したゲーム

我々が作成したゲームでは、ゲーム内でプレイヤーの心の動きである動揺や興奮の指標として皮膚表面抵抗

の変動を取得し、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共に、ゲームの進行に反映させている。ゲームの全体的なシステム構成は、図1のようになっている。

このゲームはプレイヤーの操作するキャラクターが、一定の速度で左にスクロールするフィールドで、次々に現わ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非常に単純なゲームをベースとしている。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持ち、ゲーム上のキャラクターを上下左右に操作できるようにした。ゲームは図2のような画面構成で、障害物は建物や鳥など複数種類あり、それらの障害物に5回当たるとゲームオーバーとなる。ゲーム画面は、下方中央で皮膚表面抵抗の変動をオシロスコープで表示させ、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バイオフィードバックを感じられるデザインとした。

このシステムは常にプレイヤーの皮膚表面抵抗の変動を監視し、変動が小さい場合は図2のように最小限の

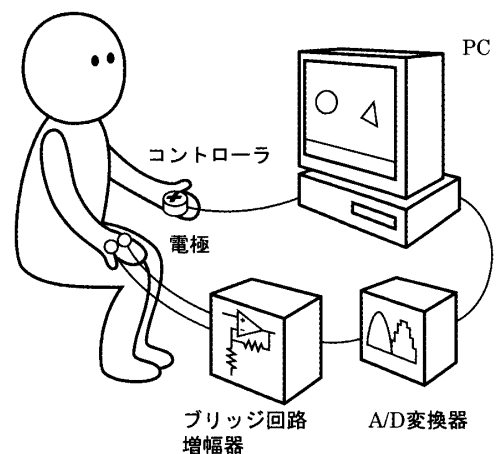


図1 ゲームの全体的なシステム構成



図2 皮膚表面抵抗の変動が小さい時のゲーム画面

障害物を送り出すが、図3のように変動の大きい場合にはリアルタイムにその変動の大きさに応じて多数の障害物を出現させる。[4]

4. 皮膚表面抵抗の取得装置とその方法

実験で使用した皮膚表面抵抗の取得装置は、一对の電極を装着した手掌から、ホイートストーンブリッジ回路によって電極間の抵抗の変動を検知する。その信号を、10倍の非反転増幅回路、0.5Hzのハイパスフィルタ、5Hzのローパスフィルタ、1~100倍の可変非反転増幅器によって構成される増幅器で増幅する。取得した皮膚表面抵抗の値はノイズを除去し増幅した後、PICマイコンのA/D変換器(PIC16F873, 分解能8bit, USARTモジュール使用RS232通信速度19600bps)を介してPCに転送した。

皮膚表面抵抗の測定は、汚れを落とすため石鹼で洗いエタノールを染み込ませた脱脂綿で拭いた手掌に、ペースト(日本光電脳波用電極ペーストエレフィックス)を充填させた一对の電極(日本光電脳波用皿電極Ag/AgCl)を図4のように貼り付け、電極が外れたり動いた

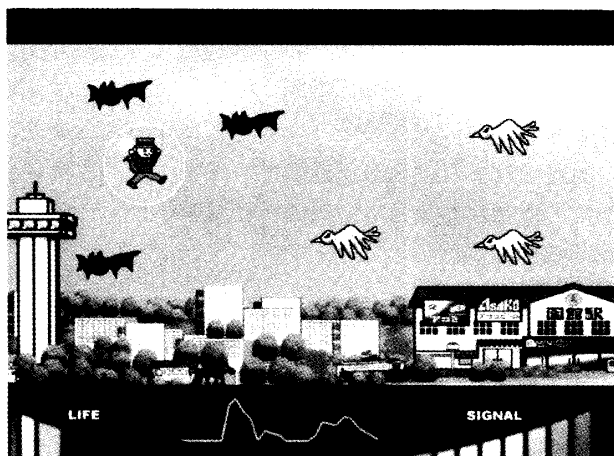


図3 皮膚表面抵抗の変動が大きい時のゲーム画面

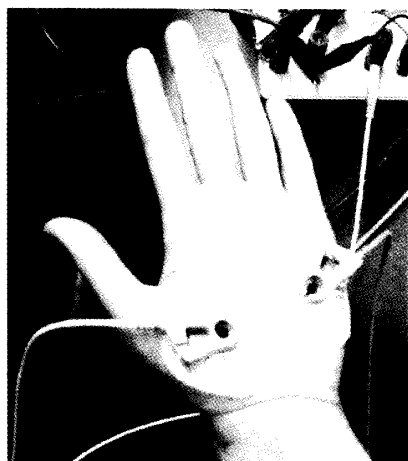


図4 皮膚表面抵抗の取得

りしないようテープ等で固定した状態で行う。

被験者は椅子に座りリラックスした状態で行う。計測器を装着している手を動かしたり力を入れたりしてしまうと正常な信号が取得できないため、電極を装着させた手は楽な体勢にした状態で膝の上におき固定させる。また、信号を取得する装置はノイズの発生源からなるべく離して置き、信号取得中は被験者に足を動かさないように注意するなど、ノイズの混入を防ぐよう留意する。

5. 実験の説明と結果

5.1. バイオフィードバックの有無

ゲームのバイオフィードバックの効果を調べるために、自作したゲームを使用し、皮膚表面抵抗の変動をプレイヤにフィードバックした場合としない場合のゲーム中の皮膚表面抵抗の変動量(プレイ時間あたりの皮膚表面抵抗値の積分)を比較した。フィードバックした場合については通常のゲームを使用し、フィードバックが無い場合の実験については、ゲーム画面上のオシロスコープとインジケータを表示させず、通常、皮膚表面抵抗の変動時に鳴らされる効果音も鳴らさずに行った。また、フィードバックをしないゲームについては、敵をランダムに出現させ、皮膚表面抵抗の変動をゲームに反映させなかった。被験者は全て大学の学生で年齢は18~23歳であり、どちらの場合の実験でも男性2名、女性2名の計4名とし、同じ条件のゲームを続けて3回行った。それらの結果を図5に記した。

ゲーム終了時に以下の質問を記載したアンケートを実施し Yes, No で回答させ統計を行った。

1. ゲーム中に動揺や緊張、興奮などを感じた。
2. 視覚的なバイオフィードバック無しでも皮膚表面抵抗の変動を認識することはできるか。

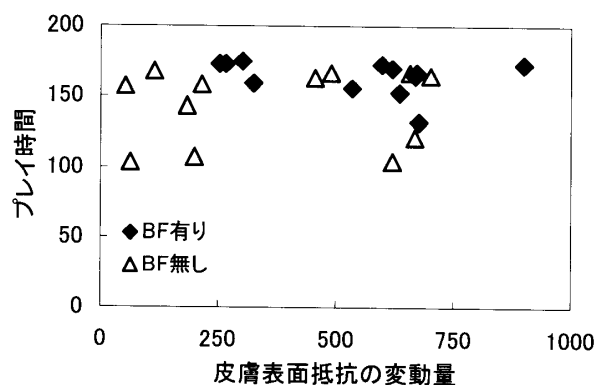


図5 バイオフィードバック(BF)の効果による皮膚表面抵抗の変動量の比較

表1 BFの有無についての実験のアンケート結果
(100*YESの数/総回答数)

質問	BF有	BF無
1.	100	100
2.	80	88

単位：%

これらの質問に対する被験者の回答をまとめた。(フィードバックしたグループ：BF有, フィードバックしないグループ：BF無, で記述)

実験の結果では, バイオフィードバックした場合としない場合について, $P < 0.05$ で有意差が認められた。また, このゲームは約170秒でゲームクリアとなるため, それよりもプレイ時間が短いものは障害物に5回接触し, ゲームオーバーとなったものである。

5.2. バイオフィードバックの遅延表示

自分自身の皮膚表面抵抗の変動をグラフで表示し, プレイヤにフィードバックする効果を調べるために, ゲーム画面の下方に表示されたグラフやインジケータの効果について, 信号を遅らせて表示した実験を行い, プレイヤの皮膚表面抵抗の変動に与える影響を調べた。

皮膚表面抵抗の変動をリアルタイムに表示したノーマル群と, 4秒遅延した4秒遅延群, 8秒遅延した8秒遅延群とで, 皮膚表面抵抗の変動量の比較を行った結果を図5に示す。被験者は全てこのゲームを初めて体験した, 大学の学生で年齢は18~23歳であった。ノーマル群では男性2名, 女性3名, 遅延4秒群では男性3名, 女性5名, 遅延8秒群では男性4名, 女性2名であった。各被験者はどれか一つの群に所属し, 所属する群の条件のゲームを連続して3回行った。

それぞれの群について, プレイ時間のばらつきにはほぼ差はないものの, 皮膚表面抵抗の変動量にはノーマル群と遅延4秒群, ノーマル群と遅延8秒群との間にそれぞれ $P < 0.01$, 遅延4秒群と遅延8秒群との間に $P < 0.05$ で有意差が認められた。それらの結果を図6に記した。

以下のアンケートについて解答を求めた。

1. ゲーム中に動揺や緊張, 興奮などを感じた。
2. 何も感じていないのにインジケータが変動したことがあった。
3. 動揺や緊張, 興奮などを感じているのにインジケータが反応しないことがあった。
4. 自分自身の生体信号の変動を見て, 更に動揺や緊張, 興奮を感じたことがあった。
5. インジケータの変動の前に自分の動揺に気付くことができた。

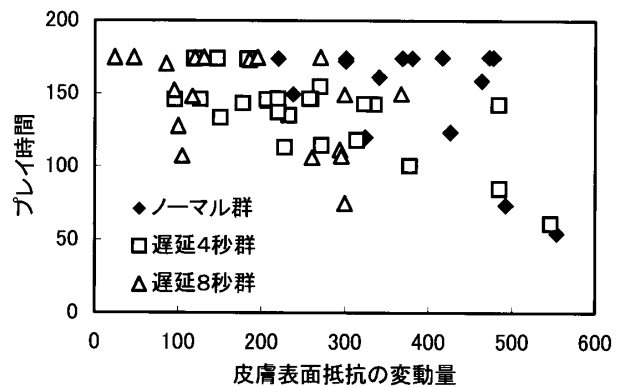


図6 皮膚表面抵抗の変動量の比較

表2 遅延実験のアンケート結果
(100*YESの数/総回答数)

質問	ノーマル群	遅延4秒群	遅延8秒群
1.	100	100	100
2.	80	88	84
3.	20	25	17
4.	100	50	50
5.	60	63	50

単位：%

これらの質問に対する被験者の回答をまとめた。

アンケート結果では, 質問4の回答以外ノーマル群と遅延群の間に大きな差は認められなかった。また, 4秒遅延群または8秒遅延群で, 表示された皮膚表面抵抗の変動が遅延していたことに気付いたものはいなかった。

6. 考察

バイオフィードバックの有無による影響を調べた実験の結果では, フィードバックをしているゲームの方が, 皮膚表面抵抗の変動量は大きかった。信号の遅延表示の実験では, 遅延する時間が長いほど, 皮膚表面抵抗の変動量が小さかった。これらの結果から生体信号を用いたゲームにおいて, 生体信号をゲームの進行に反映させることの他に, ゲーム画面上の信号の表示を行うことが重要な要素であることがわかった。特に遅延表示の実験では, 表示を遅延したことに気付いた者はいなかったが, 変動量にはそれぞれ差がでたことから, リアルタイムにゲームの進行に反映させることや, バイオフィードバックの表示を行うことも重要であることがわかった。

これらの結果から考察すると, 表示した生体信号の遅延時間が長いほど, 皮膚表面抵抗の変動量が小さくなったのは, ゲームを通して感じられる“自分の存在感”が薄れたためであると考えられる。ここでいう“自

分の存在感”とは、オシロスコープやインジケータに表示された生体信号の変動が、自分自身の生体信号である、という無意識の認識である。ここで「無意識」と記述したのは、被験者は意識上では遅延表示した生体信号を「自分自身の信号である」と思い込んでおり、ゲームを体験した被験者の感想等からはリアルタイム表示群と、遅延表示群とでは差がみられなかったためである。しかし、実験の結果では皮膚表面抵抗の変動量にはそれぞれ差があり、かつ、リアルタイム表示群の方が、「ゲーム画面上の自分自身の生体信号の変動を見ることで更に動揺や緊張、興奮を感じた」と答えた者が多かったところを見ると、無意識の認識に差が出たのではないかと考えられる。

ここで、このゲームにおけるプレイヤーの無意識の認識について可能なモデルを以下のように提言する。

まず、プレイヤーはゲームを始める前やゲーム中に、自分の生体信号がどのように変動するかを頭の中で想像し、空想の自分像を作り上げる。ゲームのオシロスコープやインジケータで可視化された現実の自分の生体信号を見て、空想の自分像と現実の自分とのギャップに驚く。そして、プレイヤーは客観的に示されたこのギャップを不思議に感じることで、そこにおもしろさを感じ、またそれらの思い通りにならない自分の反応を楽しむ。このゲームは、生体信号が変動すると敵が増え、敵が増えることで更に生体信号が変動するというシステムとしたため、生体信号の変動を促す事がプレイヤーをゲームに没入させる鍵となる。それらの仕組みや、プレイヤーとゲームの関わりを図7に記した。

プレイヤーは空想の自分像を持ち、自分の存在感をこのゲームに求める。そして、現実の自分の生体信号の変動を知り、空想の自分像とのギャップを楽しむと同時に、無意識の身体的レベルで、ゲームにおける自分の存在感を感じる。つまり、プレイヤーは身体的に自分自身の生体信号の変動を感じると共に、ゲーム画面上のオシロスコープやインジケータで可視化された自分の生体信号を客観的に確かめることで、自分の信号で

あることを確認し、このゲームの中に自分の存在があることを認識する。

無意識に変動する生体信号を利用することで、プレイヤーは意識的なギャップと無意識な身体的ギャップを同時に感ずる。それらが意識へ働きかけることで、意識的または無意識的な身体レベルで自分の存在感をこのゲームから感ずるのではないだろうか。

このようにモデル化され得る無意識の認識を考慮すると、ゲームに生体信号を効果的に用いるためには、このような生体信号を利用したゲームとプレイヤーとの関わり方がることが必要なのではないかと考えられる。また、このゲームは生体信号を利用することで、プレイヤーはゲーム(コンピュータ)の中に自分の存在感を感じ、人とコンピュータとの間にコミュニケーションを生み出す。生体信号を効果的にゲームに用いるためには、プレイヤーがフィードバックされた生体信号を、「自分自身の生体信号である」と認識することが重要であり、生体信号を表示するバイオフィードバックデザインの考察が重要である。

7. おわりに

本研究で論じたプレイヤーとバイオフィードバックとの関わりや、無意識の働きについては、本論分に記述したバイオフィードバックの有無や遅延表示の実験だけでは判断できず、更に実験を行い、得られた結果を元に考察を深めることが必要である。

生体信号は外的・内的刺激による人間の偽りのない直接的な反応であり、バイオフィードバックの働き以外にも考察の価値が十分にある。また、生体信号は人とコンピュータだけでなく、人と人の新たなインタラクション実現において、重要な要素となり得る。

参 考 文 献

- [1] Blue eyes project
<http://www.almaden.ibm.com/cs/BlueEyes/index.html>
- [2] My heart project
<http://www.extra.research.philips.com/euprojects/myheart/>
- [3] TETORIS64 (1998, セタ)
- [4] Entertainment Feature of a Computer Game Using Biological Signal to Realize a Battle with Oneself: Shigeru Sakurazawa, Nagisa Munekata, Yoshida Naofumi, Yasuo Tsukahara, Hitoshi Matsubara, 345-350, ICEC2004)
- [5] 新生理心理学 1 巻：藤澤清・柿木昇治・山崎勝男/編集, 宮田洋/監修, 北大路書房
- [6] 新生理心理学 3 巻：山崎勝男・藤澤清・柿木昇治/編集, 宮田洋/監修, 北大路書房

(2004年9月15日 受付)

(2004年12月24日 採録)

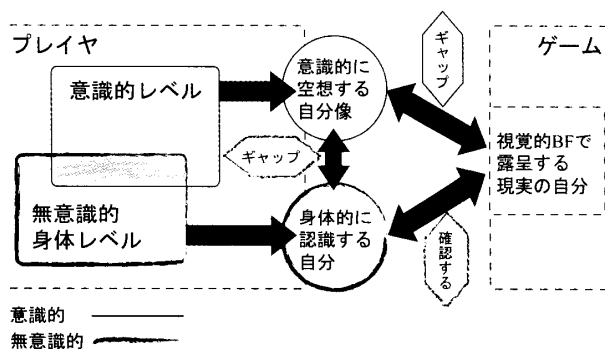


図7 プレイヤーとゲームの関わり

[連絡先]

〒041-8655 北海道函館市亀田中野町116-2
システム情報科学部複雑系科学科
櫻沢 繁

TEL : 0138-34-6335

FAX : 0138-34-6301

Email : sakura@fun.ac.jp

著者紹介



むねかた なぎさ
棟方 渚 [非会員]

1981年 北海道生まれ、2004年 公立はこだて未来大学 システム情報科学部 複雑系科学科卒業、同年同大学大学院入学、エンタテインメントコンピューティング、グラフィックデザインに興味を持つ。



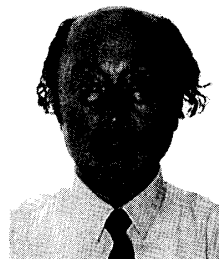
よしだ なおふみ
吉田 直史 [非会員]

1981年 北海道生まれ、2004年 公立はこだて未来大学 システム情報科学部 複雑系科学科卒業、同年同大学大学院入学、エンタテインメントコンピューティング、ゲームに興味を持つ。



さくらざわ しげる
櫻沢 繁 [非会員]

1969年 新潟生まれ、1990年 長岡高専電気工学科卒業、1997年 長岡技術科学大学大学院工学研究科 生物機能工学課程 (博士前期) 情報・制御工学課程 (博士後期) 修了、博士 (工学)、同年 生命工学工業技術研究所科学技術特別研究員、2000年 公立はこだて未来大学システム情報科学部 複雑系科学科講師、生物物理学、生命の起源、筋肉、タンパク質結晶成長、医用工学、エンタテインメントコンピューティングなどに興味を持つ、日本生物物理学会、生命の起源と進化学会、日本化学会などの会員。



つかはら やすお
塚原 保夫 [非会員]

1936年 山形県生まれ、1961年 東北大学医学部卒業、1966年 同大学院医学系研究科博士課程修了、医学博士、1975年 同大学応用情報学研究センター教授、1993年 同大学大学院情報科学研究科教授、2000年 公立はこだて未来大学システム情報科学部 複雑系科学科教授、ブレインサイエンス、感覚受容、Image Safety、自律神経系の反応を利用した装置やゲームの作成などに興味を持つ、実験とともに啓蒙も行っている、生理学会、神経科学学会、生物物理学会、時間生物学会などの会員。



まつばら ひとし
松原 仁 [正会員]

1959年 東京生まれ、1981年 東京大学理学部 情報科学科卒業、1986年 同大学院工学系研究科 情報工学専門博士課程修了、工学博士、1986年 電子技術総合研究所入所、2000年 公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科教授、ゲーム情報学、ロボカップ、エンタテインメントコンピューティング、災害救助支援システムなどに興味を持つ、情報処理学会、ロボット学会、日本認知科学会、人工知能学会などの会員。

The effect of biofeedback in the game using biological signal

by

**Nagisa MUNEKATA, Naofumi YOSHIDA, Shigeru SAKURAZAWA,
Yasuo TSUKAHARA, Hitoshi MATSUBARA**

Abstract :

There are many computer games in the world, but all players of the games take on the computer or the other players on many person games. In view of the strong connectivity between communication and entertainment which has been advocated in the field of entertainment computing, the use of biological signals for computer game is interesting. Here, a new type of game using a biological signal was developed as an entertainment device. Skin conductance change caused by mental sweating was selected as the signal to reflect player's agitation into the game. This type of game has the following characteristics from the viewpoint of communication. First, the player of the

game takes on oneself due to viewing the biological signals detected from oneself. In this situation, a kind of self-reference system is constructed. Second, the environments in which the game is played change how to make the game enjoyable. Third, the game system reveals differences of context between the player and the observer. From these characteristics, it is thought that the biological signals are available for the entertainment computing.

Keywords : biological signal, self-reference system, communication

Contact Address : **Shigeru SAKURAZAWA**

Future University-Hakodate

116-2 Kamedanakano-cho, Hakodate, Hokkaido, 041-8655 Japan

TEL : 0138-34-6335

FAX : 0138-34-6301

Email : sakura@fun.ac.jp