



# 情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システム (第 4 報) : e スポーツプレイヤーの存在感増強を目指した生理反応の提示

Augmentation of Emotional Experience with Vibrotactile Feedback Representing Heartbeat IV:  
Biofeedback for Enhancing Presence of Esports Players

森理樹<sup>1)</sup>, 高田崇天<sup>1)</sup>, 梶浦雅之<sup>1)</sup>, ハサンモダル<sup>1)</sup>, 蜂須拓<sup>1)</sup>

Yoshiki MORI, Sota TAKADA, Masayuki KAJIURA, Taku HACHISU and Modar HASSAN

1) 筑波大学 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

**概要:** e スポーツはインターネットを通じて遠隔地にいる人々とも競技や協力を楽しむことで、コミュニティ形成や対人交流を促進する。しかし、オンラインで e スポーツをしているときに対戦・協力相手がいるにもかかわらず孤独感を体験する人は少なくない。本研究では、e スポーツにおける相手プレイヤーの社会的存在感を強化することを目的とする。我々はこれまでにリモートコミュニケーションにおける社会的信号を触覚的に伝達するために、感情(感情価・覚醒度)の時間的変化(情動)を想起させる人工的な心拍を模した振動刺激(疑似心拍振動)の設計に取り組んできた。本稿では、プレイヤーの生理反応としてスマートウォッチから心拍数および皮膚電気活動を計測し、インターネットを介して実時間でブレスレット型デバイスからの疑似心拍振動刺激によって遠隔のプレイヤーへ相互に伝達する手法を評価する実験システムの設計について報告する。

**キーワード:** 心拍, 生体情報, リモートコミュニケーション, e スポーツ

## 1. はじめに

e スポーツは対面だけでなくインターネットを通じて遠隔地にいる人々ともゲームで競ったり、協力し合ったりする環境を提供しており、コミュニティの形成や対人交流の促進に貢献する。また、e スポーツは年齢や性別、障害の有無等といった個人の違いに関わらず同じ条件でプレイすることが可能である。これにより、幅広い背景を持つ人々が出会い、互いに交流する機会を提供する場の創出に寄与することが期待できる。

しかし、オンラインで e スポーツをしているときに対戦・協力相手がいるにもかかわらず孤独感を体験する人は少なくない。この理由として、我々は社会的関係性と直接的なコミュニケーションの不足を考える。前者については、相手の匿名性や一時的な関係性より親密になりにくいことに起因すると考えられる。後者については、ビデオ通話等を駆使することで緩和可能と考えられるが、カメラ・ディスプレイやマイク・スピーカ等の入出力デバイスおよび通信帯域の制約による画質・音質の低下に加え、ゲームに視聴覚を割いていることに起因すると考えられる。

本研究では、e スポーツ中の相手プレイヤーの社会的存在感を強化することを目的とする。我々はプレイヤー間で相互に存在感を増強するために、プレイヤーの生理反応を心拍を模した振動(疑似心拍振動)刺激により相互に伝達することを考えた。生理反応は赤面や発汗等目視できるものや心拍数上

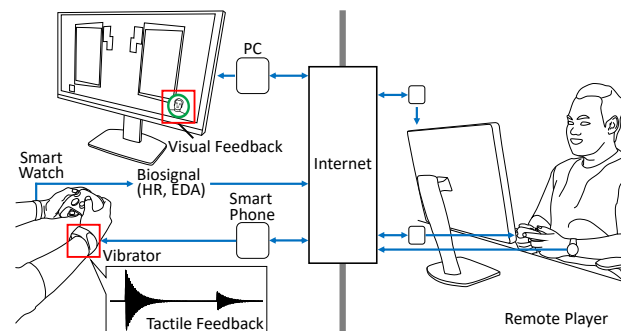


図 1: オンライン対戦ゲームにおいてプレイヤーの生理反応を実時間で相互に伝達するシステム

昇等接触することで分かるものがあり、他者に伝わることで配慮を誘発する等の行動の変容を促す社会的信号となりうる [1]。この生理反応の相互伝達は互いの内的な状態の共有であり、ゲームのプレイ状況によるその変動を感じることで社会的存在感の増強が容易になることが期待される。さらに振動刺激による伝達はゲームに従事する視聴覚を阻害しない。本稿では、本手法の有効性を評価するために 1 対 1 のオンライン対戦型ゲームを想定し、先行研究 [2] の生体信号を視覚的に相互に伝達するシステムに我々がこれまでに設計した二次元的な感情(覚醒度: 覚醒-非覚醒; 感情価: 快-不快) [3] を表現する疑似心拍振動モデル [4, 5] を組み合わせた実験システム(図 1)の設計・開発について報告する。

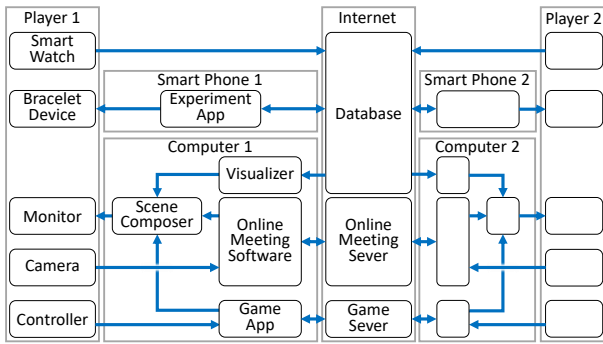


図 2: システム構成

本システムでは、覚醒度の表現に心拍数 (Heart Rate; HR) を、感情価の表現に皮膚電気活動 (Electro Dermal Activity; EDA) を反映する。

## 2. 実験システム

### 2.1 設計

プレイヤーが 1 対 1 で対戦または協力するオンラインゲームを対象に、3 つの設計要件：1) 生理反応を実時間で計測し遠隔地の相手プレイヤーに視覚・触覚を介して提示できること；2) プレイヤーのゲームプレイを妨げないこと；3) 将来的に一般的なオンラインゲームと併用可能であること；を設定した。ただし、ここでは生理反応をゲームプレイ中のゲーム内のイベントに限らない刺激に対するプレイヤーの生体情報の変化とし、相手プレイヤーがプレイヤーの身体・精神的状態の変化に対して気づきやすくなることを期待する。また、生理反応の視覚を介した提示は触覚を介した提示との比較のために実装する。

### 2.2 システム

図 2 に示すように、本システムをスマートウォッチ、ブレスレット型デバイス、モニター、カメラ、コントローラ、スマートフォン、およびホストコンピュータより構成する。

スマートウォッチは生理反応を計測し、計測値をインターネット上のリアルタイムデータベース (Google LLC, Firebase Realtime Database) にアップロードする。本稿では、HR および EDA を計測可能である Google Pixel Watch 2 (Google LLC) を採用する。計測用プログラムでセンサの計測値を取得し、1 秒に 1 回程度の頻度でアップロードする。

スマートフォン (Google LLC, Google Pixel 5a(5G)) はデータベースから対戦相手の HR と EDA を取得し、これらを基に疑似心拍振動を音声信号として生成・出力する。音声信号の生成方法の詳細については 2.3 節で述べる。

ブレスレット型デバイスを振動子 (Acouve Laboratory, Vp210) を内蔵した筐体、筐体を手首に固定するバンド、およびオーディオアンプ (FX-AUDIO-, FX202A/FX-36APRO) から構成する。スマートフォンからの音声信号をオーディオアンプで増幅し、振動子を駆動する。現在はスマートフォンや電源との有線接続を必要とするが、将来的には無線化し、プレイヤーのゲームプレイを妨げないようにする。上記

のとおり、触覚を介した刺激を提示するシステムはスマートウォッチ、スマートフォン、およびブレスレット型デバイスより構成されるため、下記に述べるデスクトップコンピュータ等を使用した一般的なオンラインゲームとの併用は容易と考える。

ホストコンピュータ (ASUS, ROG Strix SCAR 16 G634JZ) はオンラインゲームアプリケーションに加え、オンラインミーティングアプリケーション (Zoom)、生理反応の可視化プログラム、および映像統合アプリケーション (Open Broadcaster Software) を実行する。統合した映像はモニターへ出力する (図 3A)。カメラ (Logicool, C920n HD Pro) で撮影したプレイヤーのビデオ (顔映像) のオンラインミーティングアプリケーションを介した相手プレイヤーへの提示および生理反応の可視化方法の詳細については 2.4 節で述べる。

### 2.3 疑似心拍振動信号の生成

図 1 に示すように、プレイヤーの手首に装着させたブレスレット型デバイスより疑似心拍振動を提示する。前報 [6] では、我々は心拍振動を心臓の弁の開閉による 2 つのインパルス応答とみなし、信号電圧  $V(t')$  を減衰正弦波の和によって生成した：

$$V(t') = V_1(t') + V_2(t'),$$

with

$$V_1(t') = A \exp(-Bt') \sin(2\pi f t'),$$

$$V_2(t') = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq t' < \varphi \\ CV_1(t' - \varphi) & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (1)$$

$$t' = t - 60/H \text{ floor} \left( \frac{t}{60/H} \right)$$

ただし  $V_1(t')$  および  $V_2(t')$  はそれぞれ心音図における時刻  $t'$  の I 音および II 音に相当する信号電圧 [V] を示す。また、 $A$  は初期振幅 [V]、 $B$  は減衰率 [ $s^{-1}$ ]、 $C$  は I 音と II 音の振幅の比 [-]、 $\varphi$  は I 音と II 音のオンセット時間差 [s]、 $f$  は振動周波数 [Hz]、 $H$  は心拍数 [BPM]、 $t$  は時刻 [s] である。本モデルにより想起される情動を検証した実験の結果より、先行研究 [7] と同様に  $H$  の上昇が覚醒度の上昇を想起させることに加えて、 $f$  の上昇が感情価の下降を連想させることを示した [6]。

本研究では、データベース上の HR および EDA の値をそれぞれ覚醒度および感情価、つまり  $H$  と  $f$  の指標として疑似心拍振動の信号をスマートフォン上で生成する。ただし、表 1 に示すように、 $B$ 、 $C$ 、および  $\varphi$  は予備実験より著者らが心拍らしく感じられる定数に設定する。また、 $A$  はプレイヤーが振動を感じることができ、振動を強すぎると感じない程度に調節する。

$H$  はデータベース上の HR の値  $h$  とゲーム開始前のキャリブレーション時に計測する安静時の HR の値  $h_l$  の差  $\Delta h = h - h_l$  に従い、次のように設定する：

$$H = H_0 + k_H X_H,$$

with

$$X_H = \begin{cases} 0 & \text{if } \alpha < 1 \\ \alpha & \text{if } 1 \leq \alpha < \alpha_u - 1 \\ \alpha_u - 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\alpha = \left\lfloor \frac{\alpha_u \Delta h}{h_u - h_l} \right\rfloor$$

ただし、 $H_0$  は疑似心拍振動の心拍数の基準値 [BPM]、 $k_H$  は  $\Delta h$  に基づき算出されるプレイヤーの心拍数変動指標  $X_H$  に対する心拍数の変化量 [BPM]、 $\alpha_u$  と  $h_u$  はそれぞれ  $H$  を離散的にし、上限値を設定するための変数である。本研究では、プレイヤーによって安静時および覚醒時の心拍数が異なること、相手プレイヤーの心拍数の変化を気づきやすくすることを考慮し、 $H$  を一般的な安静時の心拍数である 60 BPM から 120 BPM の間で 5 段階で離散的に大きく変化するように設定する。以上より、 $H_0$  を 60 BPM、 $k_H$  を 1 より大きい値 15、 $\alpha_u$  を 5、 $h_u$  を  $1.5h_l$  BPM に設定する。これらの値は予備的に著者らが設定した値であり、今後調整の必要がある。

$f$  はデータベース上の EDA の値  $e$  とゲーム開始前のキャリブレーション時に計測する安静時の EDA の値  $e_l$  の差  $\Delta e = e - e_l$  および暗算課題実施時の EDA の値  $e_u$  に従い、次のように設定する：

$$f = f_0 + k_f X_f$$

with

$$X_f = \begin{cases} 0 & \text{if } \beta < 1 \\ \beta & \text{if } 1 \leq \beta < \beta_u - 1 \\ \beta_u - 1 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3)$$

$$\beta = \left\lfloor \frac{\beta_u \Delta e}{e_u - e_l} \right\rfloor$$

ただし、 $f_0$  は疑似心拍振動の周波数の基準値 [Hz]、 $k_f$  は  $\Delta e$  に基づき算出されるプレイヤーの EDA 変動指数  $X_f$  に対する周波数の変化量 [Hz]、 $\beta_u$  は  $f$  を離散的にし、上限値を設定するための変数である。本研究では、相手プレイヤーの EDA の変化を気づきやすくすることを考慮し、 $f$  を 100 Hz から 300 Hz の間で 5 段階で離散的に大きく変化するように設定する。以上より、 $f_0$  を 100 Hz、 $k_f$  を 1 より大きい値 50、 $\beta_u$  を 5 に設定する。これらの値は予備的に著者らが設定した値であり、今後調整の必要がある。

#### 2.4 顔映像の提示および生理反応の可視化

図 3A に示すように、ゲーム映像が表示されたモニタの右下に相手プレイヤーの顔映像と生理反応を可視化したリングを重ね合わせて表示する。図 3B に示すように、円形にトリミングした相手プレイヤーの顔映像の周囲にリングを表示する。

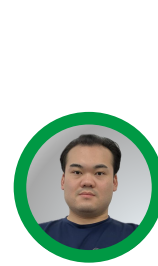
表 1: 疑似心拍振動信号のパラメータ

A [V]	Adjusted by players
B [s <sup>-1</sup> ]	30
C [-]	0.3
$\varphi$ [s]	0.3
H [BPM]	Follow Eq.(2)
f [Hz]	Follow Eq.(3)

A



B



C

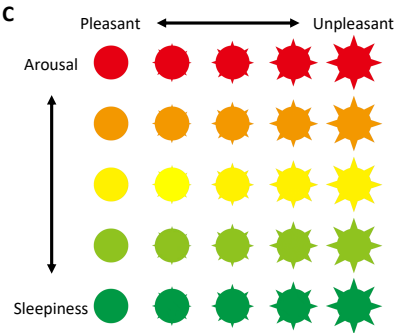


図 3: 視覚刺激による生理反応の提示：A) 画面表示；B) 相手プレイヤーの顔映像とリング状アニメーション；C) 覚醒度、感情価によるリングの色および形状の変化

図 3C に示すように、生理反応を可視化したリングをデータベース上の相手プレイヤーの HR および EDA の値に基づいて生成する。2.3 節で述べた疑似心拍振動信号の生成と同様にデータベース上の HR および EDA の値の上昇をそれぞれ覚醒度の上昇および感情価の下降に対応付けて離散的に色および形状に反映させる。リングの色は式 (2) の  $X_H$  の値 (0-4) に対応させ緑、黄緑、黄、橙、赤の 5 段階に設定する。リングの形状は式 (3) の  $X_f$  の値に対応させ、0 のときは円形、1-4 のときは円周から 8 つの鋭角な三角形が等間隔で放射状に突出し、値に応じて突出部が 4 段階で大きくなる計 5 段階に設定する。

### 3. おわりに

本稿では、e スポーツにおける相手プレイヤーの社会的存在感を強化することを目的に、プレイヤーの生理反応をインターネットを介して実時間でブレスレット型デバイスからの疑似心拍振動刺激によって遠隔のプレイヤーへ相互に伝達

する手法を評価する実験システムの設計について報告した。本システムでは、生理反応としてスマートウォッチより計測する HR および EDA を採用し、覚醒度と感情価を表現する疑似心拍振動のパラメータに反映させる。また触覚的伝達の有効性を検証するための比較として、覚醒度と感情価を表現する生理反応の可視化方法を採用し、オンラインゲームと統合する。

今後は疑似心拍振動信号に関するパラメータの調整やブレスレット型デバイスを無線化等のシステムの改良を行うとともに、本手法の有効性を検証するための実験を設計する。実験参加者が主観的に感じる社会的存在感を評価するためのアンケートの設計や客観的指標を得るための生体情報および行動を計測するデバイスのシステムへの実装等を検討している。その後、実験参加者を募って実験を実施し、統計学的に本手法の有効性を示す。

#### 4. 謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP21004）の結果得られたものです。

#### 参考文献

- [1] A. Vinciarelli: “Introduction: Social Signal Processing”, p. 1–8, Cambridge University Press (2017).
- [2] M. Hassan, M. Kennard, S. Yoshitake, K. Ishac, S. Takahashi, S. Kim, T. Matsui and M. Hirokawa: “Augmenting the sense of social presence in online video games through the sharing of biosignals”, Available at SSRN 4409781 (2023).
- [3] J. Russell: “A circumplex model of affect”, *Journal of Personality and Social Psychology*, **39**, pp. 1161–1178 (1980).
- [4] 平野廉, 蜂須拓: “情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システムの基礎検討”, ハプティクス研究委員会 第 27 回研究会 (2021).
- [5] 平野廉真, 蜂須拓: “情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システム (第 2 報): 疑似心拍振動から想起される情動の評価の基礎検討”, 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2022).
- [6] 森理樹, 蜂須拓: “情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システム (第 3 報): 減衰正弦波に基づく疑似心拍振動の心拍数と周波数の効果”, ハプティクス研究委員会 第 32 回研究会 (2024).
- [7] R. T. Azevedo, N. Bennett, A. Bilicki, J. Hooper, F. Markopoulou and M. Tsakiris: “The calming effect of a new wearable device during the anticipation of public speech”, *Scientific Reports*, **7**, (2017).