

## 心拍計測と LF/HF に基づく映像視聴時 ロボットによるユーザへの生理現象フィードバック

### Robot's Physiological Phenomena Based on User's Heart rate and LF/HF Ratio During Watching Video Clips

吉田 直人<sup>1,2\*</sup>      米澤 朋子<sup>1</sup>  
Naoto Yoshida<sup>1</sup>      Tomoko Yonezawa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 関西大学

<sup>1</sup> Kansai University

<sup>2</sup> 日本学術振興会特別研究員

<sup>2</sup> Research Fellowships for Young Scientists

**Abstract:** This research aims at mental improvement of a user by giving feedback of artificial physiological phenomenon of the robot. In this paper, we describe the basic study on the expressive method of the robot's physiological phenomena based on the user's physiological state. The robot changes its heart rate, heart-rate variation rate, respiration rate, and inspiration / expiration ratio based on the autonomic nervous activity calculated from the user's heart rate and heart rate variability. We compare the normal feedback based on the proposed method and the emphasized feedback of the physiological state of the user and discuss the subjective impression for the robot's physiological condition with the user's physiological condition.

## 1 はじめに

近年、医療・福祉における患者のメンタルケアや高齢者のコミュニケーション機会の提供を目的とした様々なロボットが開発されており [1, 2, 3], このようなロボットと患者や高齢者のインタラクションを通じたポジティブな感情状態の喚起・誘導が望まれている。

本研究では、ユーザの心理状態に働きかける新たなコミュニケーションモダリティとしてロボットの生理現象表現に着目し、ロボットの生理現象による感情表現と、ユーザへの影響について様々な評価を行ってきた [4, 5, 6, 7]. 生理現象は感情の表象に伴って生じる不随意的現象 [4] であることから、表情や音声、身体動作などの意図性のあるロボットの表現モダリティと異なる不随意的内部状態の表現と捉えることができ、これを触覚等を介してユーザに伝達することで、心的な交流が実現すると考えている。

これらの取り組みでは、あらかじめデザインされたロボットの生理現象の変化は、ユーザにロボットの異なる内部状態を推測させ、ユーザの日常的な体験時にロボットの生理現象を提示することにより、体験時の

ユーザの感情に変化を与えるほか、体験を共有したロボットとの親近感に影響を与える可能性が示唆された。

このことから、ロボットの生理現象によるメンタルケアを目的とした次段階として、ユーザの実際の心的状態に合わせたロボットの生理現象提示の必要性が考えられる。そこで、基礎的検討としてユーザ生理現象状態に合わせたロボットの生理現象を提示する手法を検討する。生理現象は心的状態に伴って変化することから、まずはユーザの生理現象に倣ってロボットが生理現象表現することが求められる。

ユーザの生理現象状態に近いロボットの生理現象状態を実現する必要性として、呼吸や心拍などに関して他者のそれらの生理状態のリズムに同調する「引き込み」[8] が挙げられる。また、自他の生理現象の混同や虚偽の生理現象提示による錯覚 [9, 10] による、生理現象への無意識的な影響の可能性についても報告されている。これによって、ユーザの生理現象状態を基準とし、ロボット強調的／抑制的生理現象による段階的な誘導によって、ユーザの生理現象状態を変化させ、心的状態を向上させることができるのではないかと考える。

しかしながら、ロボットの生理現象の同期を実現するにあたって、ユーザへの侵襲を伴う多数の計測機器の装着はユーザへの負荷が大きい。本稿では、ユーザへの負荷が少ない計測手法として、腹部ベルト型セン

\*連絡先：関西大学大学院総合情報学研究所  
〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1  
E-mail: naoto.yoshida.7010@gmail.com

サによる呼吸の計測と赤外線を用いた光電脈波法による透過型脈波測定を用いて、ロボットの心拍数と心拍変動を含む心拍間隔変化による心拍状態と、呼吸数と吸気／呼気時間比率変化による呼吸状態の表現を実装し、ユーザの生理現象状態に近いロボットの生理現象状態としての適用を検討する。

## 2 計測に基づく生理表現生成

### 2.1 計測方法

本研究では、ユーザへの負荷が少ない計測手法を検討する。非侵襲あるいは低侵襲な計測方法として、腹部ベルト型センサによる呼吸の計測と赤外線を用いた光電脈波法による透過型脈波測定を用いる。

我々のこれまでの試みでは、非侵襲な生理計測手法として Microsoft Kinect[11]を用いた Depth 画像解析による呼吸・心拍計測[12]を取り入れたロボットの生理現象生成を行った。しかしながら、この手法ではユーザの体動による計測データへの影響が大きいため、計測中はユーザの身体動作が制限されるほか、安静状態を維持することによる精神的負荷が大きいと考えられる。さらに、身体胸側の Depth 画像を必要とするため、ロボットとのインタラクションには適さないと判断した。

その他計測手法として、ベッドの床面にシート型や薄型エアバッグを敷くことにより計測を行う手法[13, 14]や、着衣型のセンサ[15]なども存在する。ベッド設置型のセンサは寝たきり高齢者などの仰臥位のユーザに対して、ロボットとのインタラクションを実現する場合に有効だと考えられるほか、着衣型センサはユーザの行動を制限することがないため、インタラクションに支障を与える可能性は低い。

一方で、本研究においては医療・福祉施設等での一定時間内における利用を想定して、着脱の簡便さと清掃のしやすさ、ユーザの異なる体系等の汎用性を考慮し、腹部に装着するベルト型腹囲計測センサと耳朶に装着する透過型脈波センサ 1 を用いることとした。

各センサデータの取得は ARM マイコン (Arduino Uno R3) を用いて取得し、シリアル通信によりコンピュータへ送信し、コンピュータ上のプログラム (Processing 3 上で動作) において処理される。

### 2.2 計測データ処理

腹部に装着するベルト型腹囲計測センサで計測した呼吸に伴う腹部の膨張／収縮によるデバイスへの圧力変化から、呼吸状態を算出する。センサ値の加速度が閾値を超えた後の極大 ( $t_n$ ) と前回の極大 ( $t_{n-1}$ ) の間隔 ( $t_n - t_{n-1}$ ) を 1 回の呼吸間隔とする。直近の 3



[1] ベルト型呼吸センサ

[2] 透過型脈波センサ

図 1: 生理計測用センサ

回の呼吸間隔の平均を求め、1 分間あたりの呼吸数を算出する。

赤外線を用いた光電脈波法による透過型脈波センサから取得した脈波から心拍間隔 (RR) を算出する。記録した脈波から波形の立ち上がり時の値 (T) と極大値 (P) の 1/2 の値をとる波形上の点 ( $t_n$ ) と前回値 ( $t_{n-1}$ ) の間隔 ( $t_n - t_{n-1}$ ) を 1 回の心拍間隔 (RR) とする。10 回分の移動平均から 1 分間あたりの呼吸数を算出する。

また、次に MEM (Maximum Entropy Method) 法による心拍変動周波数解析から低周波領域 (0.04–0.15Hz) と高周波領域 (0.15–0.5Hz) のパワー比 (LF/HF) の関係性を明らかにする。

### 2.3 ロボット生理現象表現

本稿では、ユーザへの負荷が少ない計測手法を用いて、得られたデータからユーザの生理現象状態に近いロボットの生理現象状態を表現することを目的としている。

本手法では、計測データに基づき、呼吸数と心拍数を取得するが、その他にも人間の生理現象は様々な内部状態に基づく変化が生じる。特に、人間生理現象に影響を与える要素として、自律神経の作用が挙げられる。

そこで、呼吸に関する自律神経の影響として、吸気／呼気時間比率に着目した。吸気／呼気時間比率は自律神経の興奮／沈静に影響を与えることが示されており [16, 17]、意図的な呼吸法として深呼吸やヨガなどが挙げられる。対して、極度の緊張やストレス時に発生する過呼吸は極度の交感神経の活性によって生じるとされている [17, 18]。さらに、交感神経が優位になることで、早く浅い呼吸が誘発される [19]。このことから、交感神経と副交感神経のバランスが作用する吸気／呼気時間比率によって、緊張やストレスなどによる興奮状態とリラックス状態の違いが現れると考えた。

さらに、心拍に関する自律神経の影響として、心拍変動に着目した。心拍変動も交感神経と副交感神経の

バランスによって変化する要素 [20, 21] である。副交感神経が活性化している場合に現れる高周波成分 (HF 成分) と、交感神経の活性・副交感神経の活性のいずれの場合でも現れる低周波成分 (LF 成分) によって心拍変動が生じ、心拍間隔 (RR) が変化する。

このことから、自律神経活動の指標として用いられる LF/HF を算出し、これに基づきロボットの吸気/呼気時間比率と心拍変動を制御することとした。

ユーザの生理現象状態をそのまま正確に再現するには、計測した心拍間隔や吸気/呼気状態の値を使用してそのままロボットを動作させる手法も考えられるが、計測におけるノイズやユーザの発話や行動に伴う一時的な生理現象の乱れを特に行動を伴わないロボットが表現することは不自然であると考えられるため、計算した LF/HF に基づき吸気/呼気時間比率と心拍変動を擬似的に再度生成することとした。

### 3 予備検証と考察

#### 3.1 検証システム

予備的検証として、ユーザの生理計測に基づくロボットの生理現象状態としての本手法の印象を評価した。

予備的評価システムとして、計測データに基づき算出したユーザの生理指標データを、先行研究 [6, 7] と同型のぬいぐるみロボットを用いて表現させる。このロボットは、心拍数、呼吸数、LF/HF パラメータの各値に基づいて、心拍数、心拍変動、呼吸数、吸気/呼気比率を変化させて表現することができる。コンピュータ上のプログラム (Processing 3 上で動作) において処理された心拍数、呼吸数、LF/HF パラメータの各値をシリアル通信を介して、ロボットを制御する ARM マイコン (Arduino Uno R3) に送信する。LF/HF パラメータは計測データ処理において LF と HF の合計におけるそれぞれの割合を 0-1 に変換したものをを用いる。

LF/HF パラメータの各値に基づいて、心拍変動を考慮した心拍間隔 (RR) は次のように求める。

$$RR = bRR \left\{ RRV \left[ \frac{HF}{1} \sin \left( \frac{1}{2} \pi x \right) + \frac{LF}{1} \sin \left( \frac{1}{5} \pi x \right) \right] \right\}$$

加齢に伴う自律神経による心拍間隔変動率 (RRV) は 10% と仮定して設定する。自律神経活動による影響 (bRR) は 20% とし仮定して設定した。

#### 3.2 条件

比較条件として、(a) 心拍数、心拍変動、呼吸数、吸気/呼気比率を固定したもの、(b) 算出された心拍数、呼吸数に LF/HF パラメータに基づく心拍変動と吸気/呼気比率変動を加えたもの、(c) 心拍数、呼吸数、LF/HF

パラメータに基づく心拍変動、吸気/呼気比率変動の変化を強調したものの 3 条件を設定した。

次に各条件におけるロボットの生理現象設定について述べる。条件 (a) においては、心拍数 60、呼吸数を 15 に固定し、LF パラメータ値を 0.4、HF パラメータ値を 0.6 で固定することにより、吸気時間を 1.6 秒、呼気時間を 2.4 秒とした。条件 (b) においては、心拍数、呼吸数は算出された値を用い、吸気/呼気時間は呼吸間隔に LF/HF の各パラメータ値を乗算したものをを用いた。条件 (c) においては、心拍数は 60、呼吸数は 15、LF パラメータ値と HF パラメータ値は 0.5 を基準として算出値と基準の差を 1.5 倍にした値を基準値に加えた (差し引いた)。

12 名の実験参加者に対し、(a) から (c) の 3 条件を各 2 試行提示した。実験参加者の情動に伴う生理現象状態を変化させるため、実験参加者には 6 種類の映像 (およそ 6 分から 9 分) を各 1 回提示した。条件および映像の提示順序はすべて事前に順序交差を施した。

#### 3.3 結果と考察

条件 (a) から (c) に対する主観評価項目 (1: 全くそう思わない-7: 強くそう思う) の 7 段階で当てはまる度合いを回答) を比較した結果、評価項目「ロボットの呼吸は変化していた」に対し、条件 (c) と条件 (b)、条件 (c) と条件 (a) 間に有意な差が見られ、評価項目「ロボットの心拍は変化していた」に対し、条件 (c) と条件 (a) 間に有意な差が見られた。

ロボットの印象に関する自由記述の回答から、条件 (a) に対しては、「落ち着いている」という回答が多く見られた一方、「自分と呼吸が同じ」という回答が 1 件存在した。条件 (b) に対しては、「生きているように感じた」、「人間味を感じた」、「一緒にいる感じがする」、「安心する」といった種類の回答が多く見られた一方で、「おとなしかった」という回答も複数見られた。条件 (c) に対しては、「自分の感情とロボットの呼吸や心臓の音が一致しているように感じた」、「自分と似たような変化をした」、「共感した」、「自分と同じ場面で変化した」という回答が非常に多く、「激しくてきつい印象」という回答が 1 件あった。

このことから、ユーザの生理計測に基づくロボットの生理現象変化に関して、ユーザの生理現象状態と近い生理現象の再現では、ユーザはユーザ自身の生理現象との関連性を感じ取りづらい可能性が考えられる。対して、ユーザの生理現象を誇張して表現することにより、ロボットの生理現象の変化を感じ取りやすく、ユーザ自身の生理現象と似ているような感覚を与えられることが示唆された。一方で、誇張した表現からはロボットの生理現象が激しい印象も与える可能性も考えられ、ロ

ボットの生物らしさのリアリティを表現するのに、ユーザの生理現象状態に近い提示が有効であるとも考えられる。

これに対し、映像視聴中の実験参加者自身の状態に対する主観評価項目にはいずれも有意な差は見られなかった。また、映像と一緒に視聴したロボットの性格や愛着などの印象に関する印象にも有意な差は見られなかった。これには、映像の種類に対して評価のばらつきが大きい可能性や、映像に集中することによりロボットに対する印象を強く持たなかった可能性が考えられる。

今後、映像視聴時の実験参加者の生理指標を分析することにより、主観評価で得られなかった条件間での無意識的な生理現象の変化や、ロボットの生理現象の強調的提示による誘導や増幅が生じているかなどを明らかにし、実験参加者の視聴時の情動や共感への影響についても考察する必要があると考える。

## 4 おわりに

本稿では、ユーザへの負荷が少ない計測手法として、腹部ベルト型センサによる呼吸の計測と赤外線を用いた光電脈波法による透過型脈波測定を用いて、ロボットの心拍数と心拍変動を含む心拍間隔変化による心拍状態と、呼吸数と吸気/呼気時間比率変化による呼吸状態の表現を実装し、ユーザの生理現象状態に基づくロボットの生理現象表現手法について検討した。

ロボットの生理現象提示条件について、(a) 心拍数、心拍変動、呼吸数、吸気/呼気比率を固定したものの、(b) 計測から算出された心拍数、呼吸数に LF/HF パラメータに基づく心拍変動と吸気/呼気比率変動を加えたものの、(c) 各変化を強調したものを比較した結果、ユーザの生理現象を誇張して表現することにより自身の生理現象と似ているような感覚を与えられると考えられる一方で、ユーザの生理現象状態と近い生理現象の再現では生物らしさや人間らしい変化を感じさせる可能性が示唆された。

今後、映像視聴時の実験参加者の生理指標を分析することにより、ロボットの生理現象変化による無意識的な生理現象への影響や、強調的提示による誘導や増幅の効果について議論する必要がある。

## 謝辞

本研究は科研費 15H01698 および特別研究員奨励費 17J00704 の助成を受け実施したものである。

## 参考文献

- [1] David M Berger. *Clinical empathy*. Jason Aronson, 1987.
- [2] Stewart W Mercer and William J Reynolds. Empathy and quality of care. *British Journal of General Practice*, Vol. 52, No. Suppl, pp. S9–12, 2002.
- [3] Takanori Shibata and Kazuyoshi Wada. Robot therapy: A new approach for mental health-care of the elderly—a mini-review. *Gerontology*, Vol. 57, No. 4, pp. 378–386, 2010.
- [4] Naoto Yoshida and Tomoko Yonezawa. Investigating breathing expression of a stuffed-toy robot based on body-emotion model. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction*, HAI '16, pp. 139–144, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [5] Naoto Yoshida and Tomoko Yonezawa. Physiological expression of robots enhancing users' emotion in direct and indirect communication. In *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction*, HAI '17, pp. 505–509, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [6] Naoto Yoshida and Tomoko Yonezawa. Arousal and valence in robot's emotional expression of breathing and heartbeat. pp. 330–332, 12 2018.
- [7] 吉田直人, 米澤朋子. コンテンツ鑑賞時ユーザに対するロボットの生理的働きかけによる感情増幅と親近感への影響. HAI シンポジウム 2017, pp. D-3, 2017.
- [8] 富夫渡辺, 雅史大久保. コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価. 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1225–1231, may 1998.
- [9] Stuart Valins. Cognitive effects of false heart-rate feedback. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 4, No. 4, p. 400, 1966.
- [10] Hideyuki Ando, Junji Watanabe, and Masahiko Sato. Empathetic heartbeat. In *Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia*, pp. 1489–1490. ACM, 2012.
- [11] Zhengyou Zhang. Microsoft kinect sensor and its effect. *IEEE multimedia*, Vol. 19, No. 2, pp. 4–10, 2012.

- [12] 中村薫, 杉浦司, 高田智広, 上田智章. Kinect for windows sdk プログラミング kinect for windows v2 センサー対応版, 2015.
- [13] 斉藤義明, 堀潤一, 木竜徹. 磁気センサを用いた無意識呼吸心拍動検出装置の開発. 医用電子と生体工学, Vol. 38, No. 2, pp. 102–110, 2000.
- [14] 久野弘明, 高島充, 大川井宏明. 空気動圧センサによる臥床時の呼吸・心拍・体動情報の計測. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 124, No. 4, pp. 935–940, 2004.
- [15] 桑原啓, 高河原和彦. 「hitoe」生体情報計測ウェアと超小型血流センサの技術と応用展開. エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 18, No. 6, pp. 417–421, 2015.
- [16] 片岡秋子, 渋谷菜穂子. 腹式呼吸における呼息一吸息時間の変化が及ぼす自律神経系への影響. 日本看護医療学会雑誌, Vol. 4, No. 1, pp. 14–18, 2002.
- [17] 神津玲. 呼吸理学療法のススタンダードと新たな展開. 理学療法学, Vol. 41, No. 4, pp. 222–225, 2014.
- [18] 黒原彰, 梅沢章男. ポリグラフ検査で出現する抑制性呼吸の発現機序. 生理心理学と精神生理学, Vol. 27, No. 1, pp. 35–44, 2009.
- [19] Widdicombe JG and Sterling GM. The autonomic nervous system and breathing. *Archives of Internal Medicine*, Vol. 126, No. 2, pp. 311–329, 1970.
- [20] 早野順一郎, 岡田暁宣, 安間文彦. 心拍のゆらぎ: そのメカニズムと意義. 人工臓器, Vol. 25, No. 5, pp. 870–880, 1996.
- [21] 松本佳昭, 森信彰, 三田尻涼, 江鐘偉. 心拍揺らぎによる精神的ストレス評価法に関する研究. ライフサポート, Vol. 22, No. 3, pp. 105–111, 2010.