

バイオフィードバックを用いた学習支援ロボット Ovot の開発

- 実機体とバーチャルエージェントの比較 -

日大生産工(院) ○柴崎 大勝 日大生産工 柳澤 一機

1. 緒言

近年、ロボットを用いた学習支援が注目されている。例えば、学習塾ではロボットが教師の代わりに授業を行う学習支援を活用している。しかし、学習支援に使用されるロボットの多くは疲れやストレスなどの状態を考慮せず支援を行ってしまうという問題がある。学習中のストレス状態はヤーキーズ・ドッドソンの法則によりパフォーマンスと関係があるとされているため、ユーザのストレス状態を考慮することが必要である。

ヤーキーズ・ドッドソンの法則とは、Fig.1に示すように、横軸をストレス、縦軸にパフォーマンスとした際に、逆U字の関係を示す法則である。疲れや飽きなどが原因とされる低ストレスや、過剰な緊張などが原因とされる高ストレス時にはパフォーマンスが低下する。自身のストレス状態を制御し、適切なストレス状態を維持することで、高いパフォーマンスを実現することができる」と知られている。

自身のストレス状態を把握し、制御する方法としてバイオフィードバック (BioFeedBack:以降BFB) が挙げられる。BFBとは脳波や心拍情報、呼吸、筋肉活動、皮膚温度などの生理学的活動を計測し、ユーザへとフィードバックを行い、健康とパフォーマンスを向上させることを目的として生理学的活動を変化させる方法である¹⁾。しかし、BFBの課題点として、単調な呈示方法ではBFBに対する関心・意欲が低下することが示されている²⁾。

この問題を解決する方法として、ロボットやバーチャルエージェントを利用してユーザのストレス状態をフィードバックする方法が提案されている。葦川らは心拍間隔 (R-R Interval:以降RRI) からストレス状態を分析し、BFBを行う学習支援ロボット『Ovot』を開発し、学習者のパフォーマンスが向上する可能性を示した³⁾。また、Tanjaらは画面に映し出すバーチャルエージェントを用いてストレス制御トレーニングを行うシステムの開発を行った。ストレス状態の呈示を人間の代わりにバー

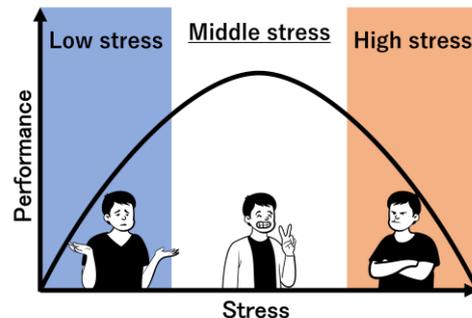


Fig.1 Yerkes-Dodson's law

チャルエージェントを利用する方法を検討し、人間と同程度の効果が見込めることを示した⁴⁾。

従来のBFB研究とは異なり、学習支援を目的とした場合、ユーザは学習作業を行いながらBFBに取り組む。つまり、ある種の副次課題としてBFBを行う。そのため、実際に存在するロボットと画面に表示されるバーチャルエージェントで存在感が異なることにより、ユーザの作業効率に影響を与える可能性が考えられる。

本研究では、BFBを用いた学習支援ロボットの物理的な身体がユーザにどのような影響を与えるのか調査することを目的として、葦川らの開発した学習支援ロボット『Ovot』³⁾とバーチャルエージェントを用いた学習支援を行い、パフォーマンスがどのように変化するか検証する。

2. 学習支援ロボット『Ovot』

2.1. 学習支援ロボット『Ovot』の概要

葦川らの開発した学習支援ロボット『Ovot』はラグビーボールほどの大きさのロボットである。ユーザのRRIを用いてストレス状態を分析し、ロボット上部に取り付けられたフルカラーLEDの色の変化と、ロボットの上部が昇降することによりフィードバックを行う。RRIの計測にはPolar社製の心拍センサPolar H10を使用する。Polar H10は専用のバンドをユーザの胸部に巻き付けるように装着することで、RRIを非侵襲的に計測することが可能である。

2.2. ローレンツプロットの面積によるストレス評価

一般に、ヒトは高いストレスが負荷されることによりRRIが小さな値で安定するため、心拍数が大きくなることが知られている。一方で低ストレス状態では、RRIのバラつきが大きくなるため、心拍数は小さくなる。この特徴を利用したストレス状態を分析する方法として、ローレンツプロットの面積に注目する方法が挙げられる。

ローレンツプロットとはFig.2に示すようにRRIの時系列データの n 番目を横軸、 $n+1$ 番目のデータを縦軸にプロットする手法である。プロットされた点を $y=x$ 軸と $y=-x$ 軸に投影を行い、原点から $y=x$ 軸における距離の標準偏差 σ_x と、 $y=-x$ 軸における距離の標準偏差 σ_{-x} を用いて、(1)式により面積 S を算出する事が可能である⁵⁾。

$$S = \pi \times \sigma_x \times \sigma_{-x} \quad (1)$$

高ストレス状態のRRIは小さな値で安定するため、プロットされる範囲は小さくなり、低ストレス状態ではRRIのバラつきが大きくなるため、プロットされる範囲は大きくなる事が知られている。

Ovotはこの特徴を利用し、計測時点のローレンツプロットの面積 LP_n 、計測時点までの最大の面積 LP_{max} 、最小の面積 LP_{min} を用いて正規化を行い、(2)式により0~100段階のストレス指標 V を算出する。

$$V = 100 - \frac{LP_n - LP_{min}}{LP_{max} - LP_{min}} \times 100 \quad (2)$$

ストレス指標 V の値を用いてFig.3に示すロボットの上部の昇降とフルカラーLEDの色の変化を用いたフィードバックを行う。

2.3. バーチャルエージェントの仕様

本研究では、学習支援ロボット『Ovot』を用いた学習支援の対比条件として、Ovotを模したバーチャルエージェントを開発した。開発したバーチャルエージェントは3DCADソフトFusion 360で作成されたOvotの3Dモデルデータを用いてUnityにより作成を行い、Android端末で使用することを想定し、Flutterによりアプリケーションを作成した。

Fig.4にバーチャルエージェントのシステム構成を示す。ストレス状態の計測には心拍センサPolar H10を使用する。ユーザに装着されたPolar H10はBLE通信によって心拍情報を送信する。

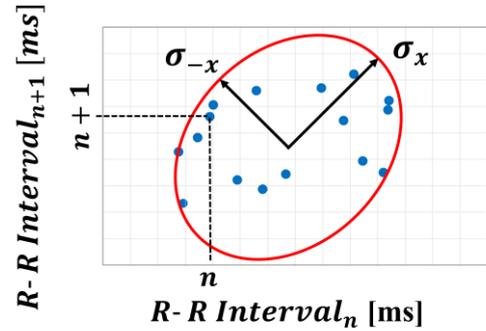


Fig.2 Lorenz plot in RRI

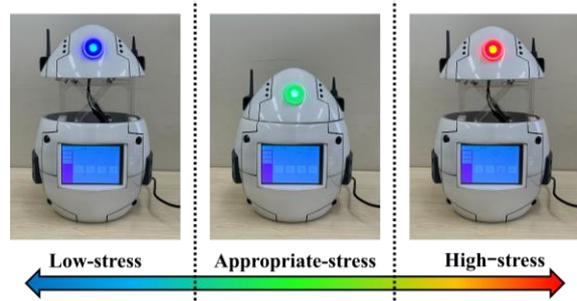


Fig.3 Feedback method of Ovot

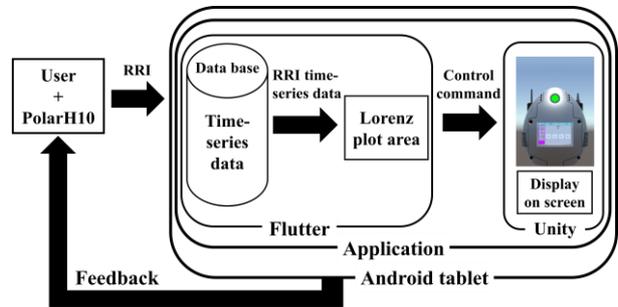


Fig.4 System diagram of a virtual agent

アプリケーションでは、受信した心拍情報からRRIのデータを抽出し、時系列データとして格納する。格納されたRRIデータの内、最新の60秒のデータを用いたローレンツプロットの面積によりストレス指標 V を算出し、バーチャルエージェントへ制御命令を送信する。

バーチャルエージェントの制御命令は、Ovot上部の上昇・下降の2種類の制御命令と、フルカラーLEDの色が連続的に変化するようにストレス指標 V を変換した値を送信した。

Fig.5にバーチャルエージェントが動作した様子を示す。ユーザが低ストレス状態の場合、バーチャルエージェント上部が上昇し、LED部分が青色に変化する。適切なストレス状態ではバーチャルエージェント上部は閉じた状態になり、LED部分は緑色に変化する。高ストレス状態では、バーチャルエージェント上部は上昇し、LED部分は赤色に変化する。

3. 実験方法

3.1. 実験概要

本実験は、日本大学生産工学部の倫理委員会（課題番号：S2023-003，バイオフィードバックを用いた学習支援パートナーロボットの効果検証）の承認を得て実施し，インフォームドコンセントを得た20代男性6名を対象に実験を行った。

実験条件は学習支援ロボット『Ovot』とAndroidタブレットに表示されるバーチャルエージェントを用いた学習支援の2条件をそれぞれ1回ずつ実施した。実験条件は順序効果を考慮して参加者ごとにランダムに設定した。2回目の実験は1回目の実験日から最低1日を空けることとした。

バーチャルエージェントはOvotと同サイズで表示する事を目的として，表示には高さ約250mm，幅約160mmの画面のAndroidタブレットを使用した。

3.2. 実験手順

実験手順をFig.6に示す。実験説明を行った後，後述するストループ・逆ストループ課題を実施した。その後，ロボット，またはバーチャルエージェントを用いてストレス状態をフィードバックしながら学習を行う時間を1時間設けた。学習作業後に再度ストループ・逆ストループ課題を実施した。実験後には，使用したロボット，バーチャルエージェントについて自由記述アンケートを行った。

3.3. ストループ・逆ストループ課題

ストループ課題とは色名を表す文字とその文字の色が異なる状態で表示された際に，文字の色を解答する課題であり，逆ストループ課題は文字の意味を解答する課題である。ストループ課題を利用してパフォーマンスを評価した例としてByunらは，10分間の軽運動による実行機能への影響をストループ課題の反応時間を用いて評価した⁹⁾。本研究では，実行機能の向上をパフォーマンスの向上と定義し，ストループ・逆ストループ課題の平均反応時間と誤答数から学習支援効果を評価した。

本実験で使用したストループ・逆ストループ課題は『あか』，『あお』，『きいろ』，『みどり』の4色を使用し，表示は仮名文字で色と意味が不一致の状態を表示することとした。ストループ，逆ストループ課題はいずれも32問，合計64問をランダムで出題した。

3.4. 学習時のフィードバック条件

学習時間はロボットまたはバーチャルエージェントを実験参加者の視界に入るように設置し，実験参加者に普段行っているレポート作

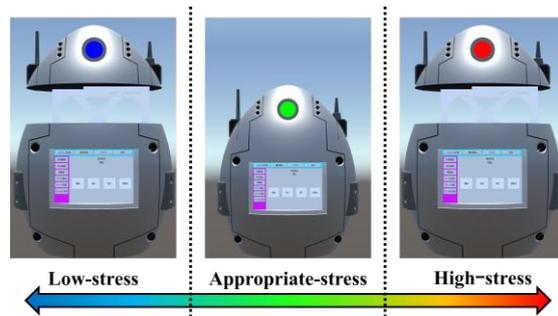


Fig.5 Feedback method of virtual agent

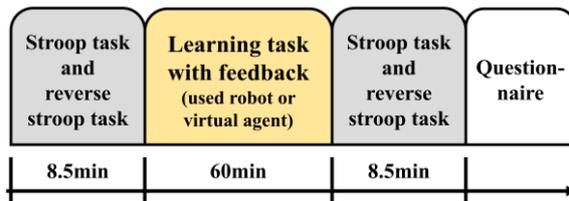


Fig.6 Experimental protocol

成や講義課題などの学習作業を行うよう教示した。作業中にパフォーマンスが低下する可能性がある高ストレス状態，低ストレス状態になった場合は，ストレス状態に応じて休憩などのストレス管理を行うように教示した。

4. 実験結果

本実験で計測した6名の内，計測不良であった1名を除き，5名を対象に分析を行った。

4.1. ストループ・逆ストループ課題の結果

ロボット，またはバーチャルエージェントによるBFB後のストループ・逆ストループ課題の反応時間，誤答数とフィードバック前の反応時間，誤答数の差分を両条件で比較した。フィードバック前後で反応時間が減少した場合，反応時間の差分は負の値を示し，パフォーマンスが向上したことを表している。また，フィードバック前後で誤答数が減少した場合も誤答数の差分は負の値を示し，パフォーマンスが向上したことを表している。

参加者5名の平均反応時間をFig.7(a)，誤答数の平均をFig.7(b)に示す。いずれの条件についても，誤答数，反応時間ともに負の値を示しており，一定の学習支援効果が確認できた。

4.2. 実験後アンケートの結果

自由記述アンケートの結果より，実験参加者はロボットを用いた条件では，『かわいらしい』という肯定的な印象だけでなく，『昇降の音に驚く』という否定的な印象も得ていた。エージェントを用いた条件では，『威圧感ではなく，悪くない』という肯定的な印象に対して『存在感がないため，気付きにくい』という否定的な印象を得ていたことが確認できたため，実験参

加者がロボットやバーチャルエージェントに感じる印象には個人差があることを確認した。

Fig.8はロボットに否定的な印象を得た代表参加者1名の反応時間の差分, Fig.9はエージェントに否定的な意見を得た代表参加者1名の反応時間の差分を各条件で表した結果である。その結果, ロボットに否定的な印象を得た参加者であっても, ロボットを用いた条件で反応時間が多く減少しており, パフォーマンスが向上していることが確認できた。また, バーチャルエージェントに否定的な印象を得た参加者であっても, バーチャルエージェントを用いた条件で反応時間が多く減少しており, パフォーマンスが向上していることが確認できた。

この結果より, 必ずしも否定的な印象を得た呈示条件でストループ・逆ストループ課題の反応時間が増加し, パフォーマンスが低下するとは言えず, 主観評価と反応時間の結果に明確な関係性がない可能性が示された。

5. 結言

本研究では, BFBを用いた学習支援ロボットの物理的な身体がユーザにどのような影響を与えるのか調査する事を目的として, 葦川らの開発した学習支援ロボット『Ovot』とバーチャルエージェントを用いた学習支援を行い, パフォーマンスがどのように変化するか検証を行った。

その結果, ロボットを用いた条件, バーチャルエージェントを用いた条件のどちらでも一定の学習支援の効果が確認できた。また, 主観評価で否定的な印象を得た呈示条件であっても, 反応時間がより短くなり, パフォーマンスが向上している場合があり, 参加者のBFBの呈示方法に対する印象とパフォーマンスの向上は関係しない可能性がある。

今後は実験を継続して行い, BFBを用いた学習支援ロボットの物理的な身体がユーザにどのような影響を与えるのか統計解析を行う。

参考文献

- 1) AAPB(Assoc.for Applied Psychophysiology & Biofeedback), About BioFeedback, https://aapb.org/About_BioFeedback, (参照 2023-9-29)
- 2) 渡辺真, 宍戸道明, 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, 科学・技術研究, Vol.5, No.1, (2016), pp.41-46.
- 3) 葦川颯人 他, バイオフィードバックを用いた学習支援ロボットOvotの開発と検証, ヒ

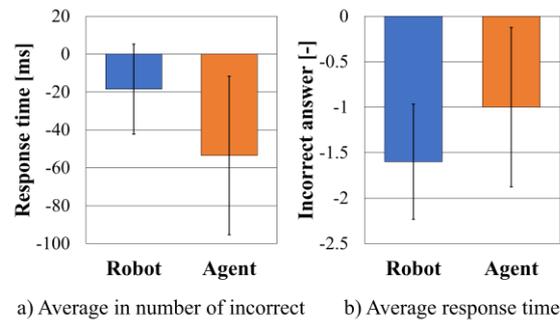


Fig.7 Comparison of the performance of five valid participants

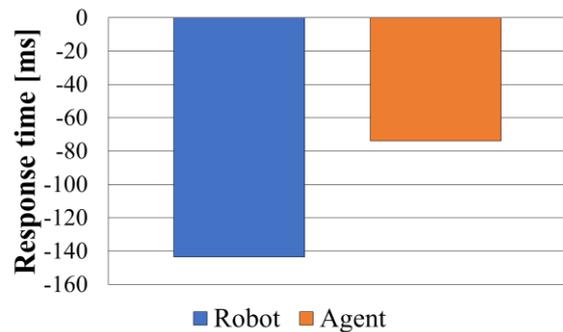


Fig.8 Negative impression of the robot

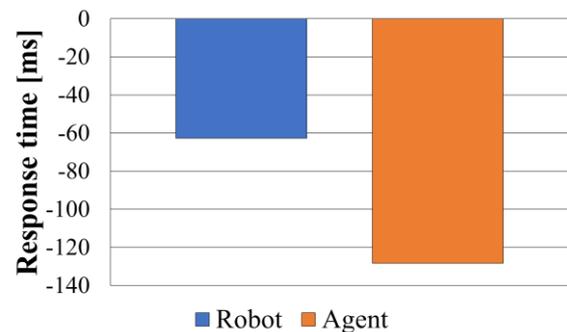


Fig.9 Negative impression of the agent

ューマンインターフェースシンポジウム 2023(2023), pp.631-634.

- 4) Schneberger, T., Sauerwein, N., et al., "Stress Management Training using Biofeedback guided by Social Agents", IUI '21: 26th International Conference on Intelligent User Interfaces(2021), pp.564-574.
- 5) 豊福史 他, 心電図RR間隔のローレンツプロットによる副交感神経活動の簡易推定法の開発, 人間工学, Vol.43, No.4, (2007), pp.185-192.
- 6) Byun, K, et al, "Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. NeuroImage", Vol.98, (2014), pp.336-345.