

植物を取り入れたセラピーロボットの改良と評価

—長期的なストレス軽減効果を測定する実験方法の提案—

日大生産工(院) ○中村 真盛 日大生産工 (学部) 藤本 雅規
日大生産工 (学部) 王 曜然 日大生産工 (学部) 広瀬 健太郎 日大生産工 柳澤 一機

1. 緒言

セラピーロボットとのふれあいは、ストレス軽減効果をもたらす。しかし、既存のセラピーロボットはコミュニケーションや仕草によって癒し効果を与えるが、言動が容易に予測できることから飽きやすいものが多いと指摘されている¹⁾。

これに対し、根本は、植物とセラピーロボットを組み合わせることで、世話の必要性と外見の変化によって飽きを抑制することを目的とした『パタフィ』を開発した²⁾。Fig.1にロボットの外観を示す。このロボットによる1か月間の長期的なストレス軽減効果の検証を目的とした実験を行った。その結果、既存のセラピーロボットと同程度のストレス軽減効果は確認できたが、長期的には効果が持続しにくいことが明らかとなった。この原因に対して、①実験期間中に植物が枯死する場合があったこと、②感情表現動作が単純であったこと、③実験デザイン上、ユーザに世話の必要性を十分に感じさせられなかつたことの3点が考えられる。

本研究では、改良した『パタフィ』と新しい実験方法によって、長期的なストレス軽減効果を検証することを目的とする。本稿では、植物を枯死させないための機能の追加、鳴き声の追加による感情表出動作の改良、世話の必要性をユーザに感じさせる実験方法についての3つの提案を行う。

2. 『パタフィ』の仕様と改良点

2.1 システム概要

Fig.2にロボットのシステム構成を示す。図内の赤文字で示されている機器が、本研究で改良のために追加した機器である。従来は、土壤センサを用いた土壤水分量のみのセンシングであったため、植物が枯死する場合があった。そのため本研究では、光量も測定対象に加えることで、植物の状態を把握した。光量は光センサの一種であるCdSセル(Cadmium Sulfide cell)



Fig.1 『パタフィ』の外観

を使用して測定した。Fig.3に左断面図による、土壤センサとCdSセルの配置場所を示す。土壤センサは、植物を植える鉢内に差し込み、CdSセルはFig.1をロボットの正面とした時、外殻で挟み込むように固定する場所を作り、配置した。

ふれあいは、外装に内側に設置した圧力センサで検知する。圧力値と圧力がかかっている時間に閾値を設定し、ユーザが閾値以上の圧力で、一定時間以上ロボットをなでた時に、ユーザがロボットとふれあつたと判定するようにした。ふれあいを検知した際に、土壤水分量と光量の値を、RTC(Real Time Clock)による現在時刻の情報を考慮した上で、Arduino microにより、植物の状態を判定した。判定結果を元に、スピーカー、サーボモータ、フルカラーLED、DCモータを制御し、ロボットの感情表出動作を行う。動作の種類で、ユーザに植物の状態をフィードバックする仕様にした。

2.2 状態判定機能

植物の状態判定は必要な要素の充足状況が把握しやすくするために、重み付き平均法を採用した。1秒ごとに計測値と重みをかけた値を累積していく、光量と土壤水分量ともに、1時間当たりの重み付き平均値を参照して状態判定した。重みの設定は、植物を育てる環境において、土壤水分量と光量ともに適正であるか否かで変えた。適正であった場合に、より大きい重みが付く設定にした。また、光量の重み設定は昼間と夜間で入れ替えることで、時間帯に合わせた状態適正判定を可能とした。

Improvement and Evaluation of a Therapy Robot Incorporating Plants

— Proposing an Experimental Method to

Measure Long-Term Stress Reduction Effects —

Mamoru NAKAMURA, Masaki FUJIMOTO, Iran WAN, Kentarou HIROSE,
and Kazuki YANAGISAWA

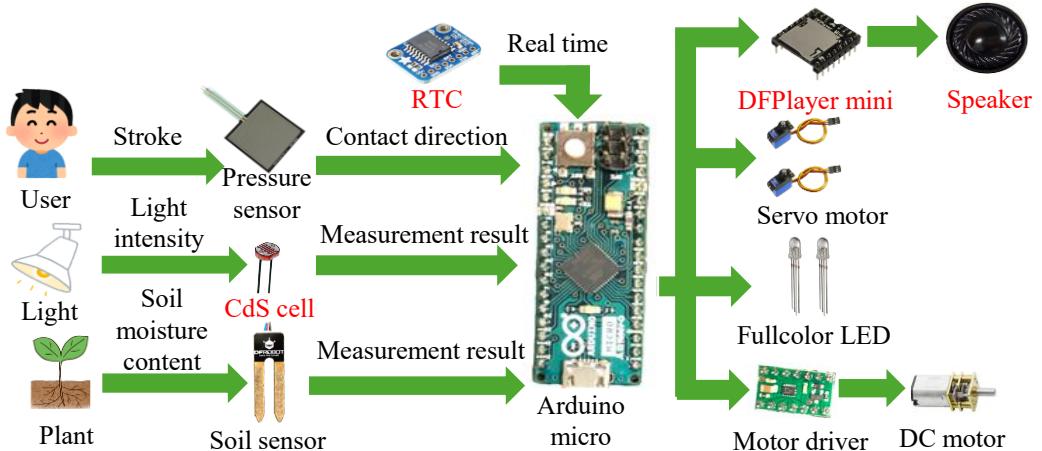


Fig.2 改良した『パタフィ』のシステム図

水やり後にユーザがロボットとふれあった場合には、鉢内の土壤水分量の変化を感情表出動作へ反映させるために、リアルタイムで計測された重みをかけていない計測値を参照する仕様にした。Arduino microには、5V供給で、土壤センサの値は10bitで返される。値が300~700であった時、適正だと判断した³⁾。

2.3 感情表出動作の改良

2.3.1 感情の種類

改良した『パタフィ』は、植物を育てる環境において、土壤水分量が適正であるか、あるいは多寡が生じているかにより、表出する感情が変化する。水分量が少ない場合は哀しみの感情、適正の場合は喜びの感情、多い場合は拒絶の感情を表する。哀しみの感情では、ユーザに水やりを促し、拒絶の感情では水やりを辞めさせる。

光量の適正度は、感情表出動作時のフルカラーLEDの明るさによってユーザに伝える。光量が適正でない場合は、適正時よりも暗い光を示し、昼間では明るい場所へ、夜間では暗い場所へロボットを移動させるようユーザに促す。

2.3.2 感情表出動作の機能

感情表出動作の機能は、従来²⁾のフルカラーLEDによる色と点灯間隔の制御、DCモータによる回転行動、サーボモータによる葉っぱの上下動作に加え、スピーカーによる鳴き声を新たに追加した。

ロボットの動作において井上は、AIBOを用いて、「大きい - 小さい」、「速い - 遅い」に基づいた動作を作成し、ロボットの動作の特徴と動作を見た人間に与えた感情との関係性を示した⁴⁾。本研究では、先行研究を参考に、喜びの動作では動きを大きく - 速くし、哀しみの動作は小さく - 遅い動作にした。拒絶の動作は、喜びの

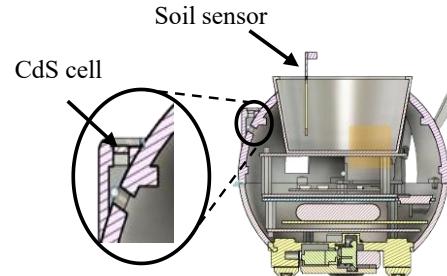


Fig.3 『パタフィ』の左断面図

動作と対比を持たせる為に動きを小さく - 速く設定した。

鳴き声においてStobbeらは、交通騒音と鳥の鳴き声が気分、被害妄想傾向、認知能力に及ぼす影響を調査し、鳥の鳴き声が有意な改善をもたらすと仮定して、音声を聞く前後で実験参加者の感情状態指標を比較した結果、鳥の鳴き声は不安や被害妄想を軽減させることを示した⁵⁾。本研究では、先行研究を参考に、鳥の鳴き声をベースにして作成した。

感情表出動作は単純を取り除くために、喜びは計3種類、哀しみと拒絶はそれぞれ1種類作成した。また、鳴き声は計7種類作成し、各動作に合わせて、使用する鳴き声の数、種類、鳴くタイミングを変えて挿入した。

3 ストレス評価指標

長期的なストレス軽減効果の検証を行うために、POMS2と印象評価アンケートによる主観的評価と、生体計測による客観的評価を用いた。

3.1 NIRS による脳活動計測

近赤外分光法(NIRS : Near-Infrared Spectroscopy)は、「生体の窓」と呼ばれている

生体等価性が高い近赤外光(700~900nm)を用いて、非侵襲的に脳血流中の酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)の濃度変化を計測する方法である⁶⁾。神経活動が生じた際の局所的な血流量の増加からわかるため、脳活動状態の評価が可能である。

ストレスと脳活動の関係として、Ishikawaらは、NIRSを用いた脳活動計測から、前頭前野の左右活動のバランスがストレス反応を制御しており、高ストレス状態の場合は右前頭前野の脳活動が優位になり、低ストレス状態の場合は左前頭前野の脳活動が優位になることを明らかにした⁷⁾。

さらに、山岸は送光部から距離の異なる受光部2点を測定し、酸素飽和度を算出することができる空間分解分光法(SRS:Spatially Resolved Spectroscopy)から算出した脳の酸素飽和度(StO_2)の左右差からストレス状態を評価するLIR_{StO₂}を提案した⁸⁾。値が高い場合は右前頭前野の方が活発である事から高ストレス状態、低い場合は左前頭前野の方が活発であることから低ストレス状態であることを意味する。セラピーロボットのストレス軽減効果がある場合、ふれあい後のLIR_{StO₂}の値は、ふれあい前と比較して低下する。

3.2 心拍計測

拍動間隔(RRI:R-R interval)を計測し、副交感神経活動指標であるRMSSD(Root Mean Square of Successive Differences of RR intervals)を求ることによりストレス状態を評価できる⁹⁾。RMSSDは連続して隣接するRRIデータの差の平均2乗平方根を導出することでデータのばらつきを評価する。RMSSDが大きいほど、副交感神経が優位であり、ストレスが低い状態であることを意味する。セラピーロボットのストレス軽減効果がある場合、ふれあい前に対し、ふれあい後のRMSSDが上がる。

4 実験デザイン

従来の実験デザインでは、既存のセラピーロボットとの比較を目的に、参加者は指定された曜日に実験室にて、『パタフィ』とふれあつた²⁾。このデザインによって、参加者は限定的かつ自発的でないふれあい方になったことで、世話の必要性を感じさせることができなかつた可能性がある。本研究では、実験期間内は日常生活内で自発的にふれあってもらうことで、参

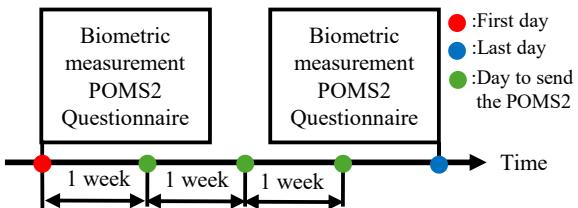


Fig.4 実験期間中のスケジュール

加者に世話の必要性を感じさせることを目的とした実験方法を提案した。

4.1 実験概要

本実験は、日本大学生産工学部の倫理委員会の承認(植物を取り入れたセラピーロボットの開発とストレス軽減効果の検証_倫理委員会:S2025-005)を受け、実験参加者に対してインフォームドコンセントを得て実施する。研究対象者は健常な20代10名で、『パタフィ』を使用する群と、比較対象としてロボットのみで使用する群の2群に分かれ、それぞれ5名ずつ1か月間実験を行う。以下、『パタフィ』使用群と比較対象群とする。実験参加者は、後述する気分感情状態を測るPOMS2に回答してもらい、2群間の気分感情状態に大きな差が生じないように各群に振り分ける。

実験デザインは、実験参加者に自発的に触れ合ってもらう機会を設けるよう変更する必要があると考え、Chalmin-Puiらの実験デザインを参考にした¹⁰⁾。Chalmin-Puiらは、前庭に何も植えられてない住民を対象に、手入れを推奨するための説明書とともに観葉植物を渡し、住民のストレスを介入前と3か月後で比較した結果、有意的な低下を示した¹⁰⁾。本研究では、先行研究を参考に、ロボットを預ける前後でストレス軽減効果を比較する実験デザインにした。

Fig.4に実験期間中のスケジュールを示す。本研究は、初日と5週目にあたる最終日に生体計測を行う。生体計測は脳活動計測と心拍計測を行う。初日と最終日の間は、参加者にロボットを預け、日常生活内でふれあってもらう。『パタフィ』使用群には、植物育成用のライトや、推奨するふれあい方や植物の生育方法を書いた説明書も同梱した上で預ける。説明書には主に、毎日ロボットとふれあって植物の状態を確認すること、水をあげすぎないために少量ずつ水やりをすることを記した。また、2, 3, 4週目の毎週月曜日には、参加者に後述するPOMS2とロボットに対する印象評価アンケートを行う。

4.2 POMS2

POMS2(Profile of Mood States 2nd Edition)とは、参加者の回答を基に[緊張・不安], [抑鬱

- 落ち込み], [怒り - 敵意], [混乱 - 当惑], [疲労 - 無気力], [活気 - 活力], [友好] から成る7つのPOM因子とTMD(Total Mood Disturbance)得点から気分感情状態を評価する質問紙である¹¹⁾. TMD得点は友好を除いた6つのPOMS因子から求め, TMD得点が小さいほど気分感情状態がポジティブな状態を示す.

4.3 印象評価アンケート

印象評価アンケートは, どちらの群も共通で, 「可愛い」, 「飽きない」, 「癒された」, 「煩わしい」, 「愛着が湧く」, 「退屈である」, 「親しみが持てる」, の計7項目を設定した. 『パタフィ』使用群はこの7項目に「植物が好き」, 「植物に興味がある」を加えた計9項目を設定した. 「とてもそう思う」を7, 「全くそう思わない」を1とした7件法を用いた. これに加え, ロボット全体に対する印象や意見についての自由記述欄も設けた.

4.4 生体計測日の流れ

Fig.5に初日の実験の流れを示す. 生体計測は脳活動計測と心拍計測を, ロボットとの触れ合いの前後にそれぞれ安静状態で3分間行う. 暗算課題を行う目的は, まず高ストレス状態を誘発し, その状態から開発したセラピーロボットとのふれあいによりストレスがどの程度軽減するかを検証するためである. 暗算課題は4桁引く2桁の計算を行い, その答えからさらに同じ2桁の数を引き続けるという内容であり, 1問1分間で計3問行う. また, 実験参加者には素早く正確に解くよう教示し, 間違えた際は再度間違えた問題を暗算してもらい, 正解するまで繰り返し解答してもらう.

4.5 計測装置

脳活動計測は, 株式会社アステムのウェアラブルNIRS Hb-132を使用する. チャンネル数は5チャンネルであり, サンプリング間隔は0.5秒で行う. 左右差の評価に使用するチャンネルは左前頭前野を測定する1ch, 右前頭前野を測定する3chとする. 心拍計測には, ユニオンツール株式会社のmyBeat WHS-1を使用する.

5 まとめ

本稿では, 植物を組み合わせたセラピーロボット『パタフィ』の長期的なストレス軽減効果を検証することを目的として, 植物を枯死させないための機能の追加, 鳴き声の追加による感情表出動作の改良, 世話の必要性を感じさせる実験方法についての3つの提案を行った. 今後は, 今回提案した実験方法による『パタフィ』の長期のストレス軽減効果の検証を行う.

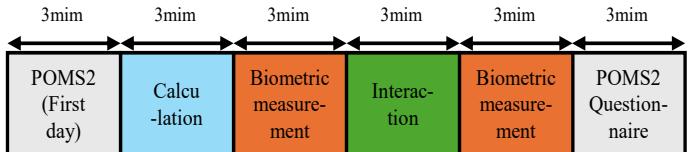


Fig.5 実験の流れ

参考文献

- 1) 南保英孝, 他, 癒し型ペットロボットの飼い主判別手法の改善, 電気学会論文誌, Vol.129, No.9, (2009), pp.1662-1668.
- 2) 根本瑛仁, 植物一体型セラピーロボットの開発と生体計測を用いた定量的評価に関する研究, 日本大学大学院生産工学研究科修士論文, (2024).
- 3) DFROBOT DRIVE THE FUTURE, Moisure Sensor SKU SEN0114 , https://wiki.dfrobot.com/Moisture_Sensor_SKU_SEN0114_, (2025/10/14)
- 4) 井上博行, 「大きい・小さい」「速い・遅い」に基づいたペット型ロボットの動作とその感性分析, 日本感性工学会論文誌, Vol.15, No.1, (2016), pp.183-191.
- 5) Stobbe, E. , et al., Birdsongs alleviate anxiety and paranoia in healthy participants, Scientific Reports, Vol.12, (2022), 16414.
- 6) Jöbsis, FF. , Non-invasive infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters, Science, Vol.198, (1977), pp.1264-1267.
- 7) Ishikawa, W. , et al., New Method of Analyzing NIRS Data from Prefrontal Cortex at Rest, Advances in Experimental Medicine and Biology, Vol.789, (2013), pp.391- 397.
- 8) 山岸恒平, ウェアラブル NIRS を用いたストレス状態の評価に関する研究, 日本大学大学院生産工学研究科修士論文, (2021).
- 9) Nunan, D. , et al. , A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults, Pacing and Clinical Electrophysiology , (2010) , pp.1407-1417.
- 10) Chalmin-Pui, L.S. , et al. , "It made me feel brighter in myself" - The health and well-being impacts of a residential front garden horticultural intervention , Landscape and Urban Planning, Vol.205, (2021), 103958.
- 11) Juvia P. Heuchert, Ph.D. , 他, POMS2 日本語版マニュアル, 金子書房出版, (2015).