

# 接触型セラピーロボットの実現に向けた半自律接触手法の提案

## Semi-autonomous touching method toward realization of touch therapy robot

光岡 稜真<sup>1\*</sup> 窪田 智徳<sup>1</sup> 佐藤 理史<sup>1</sup> 小川 浩平<sup>1</sup>  
Ryoma Mitsuoka<sup>1</sup> Tomonori Kubota<sup>1</sup> Satoshi Sato<sup>1</sup> Kohei Ogawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering, Nagoya University

**Abstract:** セラピーロボットが自律して人に接触することで、人のストレスを緩和することが期待される。しかし、ロボットからの自律した接触は人に不快感を与える可能性がある。そこで、本研究ではロボットからの自律した接触とユーザの操作に従った接触を融合させる半自律接触手法を提案した。実験により本手法によって、ロボットに触られている感覚を維持したまま、自律した接触と比べてユーザの不快感を低減でき、操作に従った接触と比べて飽きやすさを低減できることを示した。

## 1 序論

高齢者や若年者の抑うつ状態、孤独感を緩和させるためのメンタルヘルスクエアが求められている [1, 2, 3, 4, 5]。この問題を解決するために、メンタルヘルス不調を解消するためのセラピーロボットの研究がなされている [6, 7, 8, 9]。例えば、セラピーロボットのパロを利用してメンタルヘルスを改善できることが示されている [10, 11]。

上記で述べたセラピーロボットは、人がロボットに触れることによる効果を用いてメンタルヘルスクエアを行っている。一方で、人は他者に触れられることでもメンタルヘルスが改善されることも明らかになっている [12]。特に医療現場では、看護師が患者に触れることがよくあり [13, 14]、これにより患者が心地よく感じたり [15]、心拍や状態不安を低減したり [16] することが報告されている。さらに、メンタルヘルスが不調な人が他者に触れられる場合、触れられた人はメンタルヘルスを改善するための行動を起こさなくてもメンタルヘルスを改善することができると言える。このように触れられることによるポジティブな効果が報告されているため、セラピーロボットも自律して人に接触することによってストレス緩和などの効果の向上が期待できる。

ロボットから人に接触した際にどのような効果があるのかを調べた研究も報告されている [17, 18, 19, 20, 21]。しかしながら中には、ロボットからの接触を不快に感じる [22, 23, 24] と報告した研究もある。

ロボットからの接触を不快に感じる要因は様々考え

られる。その中でも、人にどのような刺激をどのくらい与えるかといった接触方法は考慮すべき要素であると考えられる。自律型ロボットからユーザに接触する場合、必ずしもユーザが希望する接触方法で触れることができるとは言えない。これが、ロボットからの接触を不快に感じることに繋がっていると可能性がある。

ここで、接触に対する不快感を低減させるために、ユーザ自身でロボットを操作し、ロボットがその操作に従ってユーザに触れる要素を取り入れる方法が考えられる。例えば、自分の右手で自分の左腕に触れる場合、不快には感じにくい。しかしながら、ユーザ自身の操作に従った接触だけでは、他者に触れているようには感じないことに加え、飽きが生じやすい可能性がある。

そこで、本研究ではロボットの自律した接触に、ユーザ自身の操作に従った接触を融合した半自律接触手法を提案する。この接触手法はロボットの自律した接触とユーザ自身の操作に従った接触のそれぞれのメリットを両方活かす手法である。これによって、上記の不快感の問題を解決し、ロボットからの自律した接触によるストレス緩和などの効果を与えられることが期待できる。本研究では半自律接触手法の有効性を、実装するプロトタイプロボットを用いて検証することで、不快感や飽きやすさを軽減でき、他者に触れられているように感じるかを確認する。

\*連絡先： 名古屋大学大学院工学研究科  
〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町  
E-mail: mitsuoka.ryoma.t5@s.mail.nagoya-u.ac.jp

## 2 関連研究

### 2.1 自律型ロボットからの接触

本節では、人が自律型ロボットからの接触を不快に感じる場合があるという短所と、自律型ロボットとの接触を伴うインタラクションへの飽きが抑制されるという長所があることを、関連研究から述べる。ここではユーザが自律的に動いているように見えるロボットを自律型ロボットと定義する。つまり、実験者などの第三者が操作しているロボットで、誰かがロボットを操作していることをユーザに知らせないよう工夫している場合も、そのロボットを自律型ロボットと呼ぶ。

自律型ロボットからの接触はポジティブな効果だけでなく [17, 18, 19, 20, 21], ネガティブな効果も報告されている。例えば、平野らの研究 [22] では、男性の参加者がロボットに触れられることは、参加者がロボットに触れることよりも快適に感じず、親しみも感じないことが示された。また、ロボットから触れた際の快適さや親しみやすさの評定はどちらも男女ともにネガティブな感覚を覚えたと報告されている。さらに、Chen らの研究 [23] によると、ロボットが思いやるような声かけをしながら触れることは、説明的な声かけをしながら触れるよりも楽しさを与えずらく、接触の必要性が低く感じられることが示された。加えて、藤井らの研究 [24] では、ロボットから抱擁を返す際の力が強いと感じた参加者は、快適性や持続可能性が低く、ストレスが高いことが示された。このようにロボットからの自律した接触は時に人に不快感を与える可能性がある。

次に、ロボットから自律して接触する場合の飽きの抑制について、塩見らの研究 [21] では、ロボットと相互に抱擁をした参加者は、より長くインタラクション時間を延長することが示された。これは、参加者のインタラクションへの飽きがロボットからの接触によって抑制され、より長い時間触れ合いたいと感じさせることができたのではないかと考える。

このように、自律型ロボットからの接触はインタラクションの飽きが抑制され、他者に触れられているように感じる可能性がある。しかし、自律型ロボットからの接触は不快感を与える可能性もある。

### 2.2 操作型ロボットからの接触

本節では、人は操作型ロボットによる接触を快適に感じる場合があるという長所と、操作型ロボットの接触ではインタラクション中の飽きが生じ、また他者に触れられているように感じられないという短所があることを、関連研究から述べる。ここで、触れられるユーザが操作することで動作するロボットを操作型ロボ

ットと定義する。つまり、操作型ロボットはユーザの操作に従ってユーザに触れるロボットのことを指す。

操作型ロボットはユーザの操作がそのままロボットの動きに反映されるため、ユーザが自由に自身が快適に感じる方法でロボットに接触してもらうことができる。ここで、自分の右手で自分の左腕に触れることを考える。この接触は自分の好きなように右手で左手に触れることができるため、不快には感じにくい。これは右手でロボットを操作して左手に触れる場合でも、自分の好きなようにロボットを操作して、左手に触れることができるため、不快に感じにくいと考える。自分で自分を触れることはセルフタッチと呼ばれており、その効果も報告されている [25]。操作型ロボットによる接触は、セルフタッチの一種であると考えられることができるため、ユーザがロボットからの接触を快適に感じることができると思う。

操作型ロボットによる接触と他者からの接触は異なる。なぜなら、操作型ロボットからの接触を他者からの接触のように感じることは、Blakemore らが報告している、自分が操作している刺激機器から触れられる場合と他人が操作している刺激機器から触れられる場合で脳の活性化が異なる [26, 27] という研究からも難しいと考える。

加えて、操作型ロボットからの接触はユーザの飽きを抑制できない可能性がある。ユーザの操作がそのまま反映されてロボットが接触することから、ロボットの動きをユーザは容易に予測できるからである。この予測可能性の高さはタスクへの飽きの発生につながるということが知られている [28]。そのため、単に操作ロボットによる接触では飽きが生じてしまい、ロボットからの接触の効果が低減すると考える。

このように、操作型ロボットからの接触はインタラクションの飽きを抑制できず、他者に触れられているように感じられない可能性がある。一方で、操作型ロボットからの接触には、不快感を与えにくいという長所もある。そこで本研究では、ロボットの自律した接触にユーザ自身の操作に従った接触を融合し、自律型ロボットからの接触の長所である、インタラクションの飽きの抑制と、他者に触れられているように感じることに加えて、操作型ロボットからの接触の長所である不快に感じにくいことを統合する、半自律接触手法を提案する。

### 2.3 接触に影響する要素

本節では、ロボットが人と適切な接触を伴うインタラクションを実現するためには接触する位置や強弱、ロボットの温度などの、ロボットからの接触方法を考慮する必要がある。本節では、これに関連する研究につ

いて述べる。

2.1 節で述べたように、人はロボットからの接触を不快に感じる場合がある。これは、ロボットの見かけ [29, 30] だけではなく、人同士の接触の研究で明らかにされている、触れる人との関係性 [31]、触れられる人のこれまでの接触に関わる経験 [32, 33, 34, 35]、触れる人が行う接触方法 [31, 36] などにも影響していると考えられる。

それらの中でも、接触方法は重要な要素であると考えられる。Suvilehto ら [31] は、人に触られる際に抵抗を感じにくい体の部位が明らかにしている。Etzi らの研究 [36] では、人にゆっくり撫でられる接触は、速く撫でられる接触や軽く叩かれるような接触と比較して、リラックスできることが報告されている。これらの知見はロボットから人に接触する場合にも適用できる可能性がある。そのため、たとえロボットと良好な関係性が構築されていたとしても、接触の方法を間違えると、全ての要素がネガティブに感じられる可能性がある。そのため本研究では、ロボットから人への接触方法に着目する。

ロボットからユーザーに接触する際に、接触方法に着目して研究がなされているものが報告されている。過去の研究では、抱擁の方法 [37] やロボットの材質や接触時間 [38] に着目したり、人が人に触れる際の方法を応用したり [39, 40] されてきた。

しかし、これらの手法はユーザーが快適に感じる方法に個人差があることが考慮されていない。そのため、これらの手法では必ずしもユーザーが快適に感じるとは限らない。本研究で提案する半自律接触手法は、ユーザーが自由に自身が快適に感じる方法でロボットに接触することができるため、ロボットから接触される際に不快に感じにくいことが期待できる。

## 2.4 半自律化の方法

本節では、操作と自律の混合方法について、ロボットからの自律した接触が主であることを述べ、過去に提案されたロボットの自律化のレベルのうち “Shared Control with Human Initiative” に該当することを述べる。

自律と操作の両方を組み合わせた半自律型ロボットの研究がなされている。その中には、Katyal らの研究 [41] のように人間がロボットを遠隔操作することによって実行しているタスクをロボットが補助する形で半自律化を実現している研究が存在する。他には、望月らの研究 [42] のように、ロボットがタスクの実行が困難なときに人間のオペレータが遠隔操作する形で半自律化を実現している研究も存在する。

しかし、半自律接触手法は、1 章で述べたようにロ

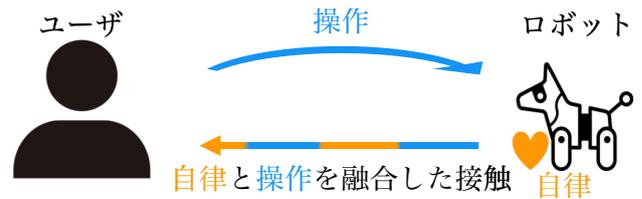


図 1: 半自律接触手法の概念図

ットからの自律した接触が主であるため、上記の例は半自律化と手法が異なる。具体的に、前者は、人間の操作が主である点、つまり人間が常時ロボットの動作方針を決定している点で半自律接触手法と異なる。後者は、ロボットの自律性が断続的である点、つまりロボットの自律が連続的ではなく、部分的に人間の操作と切り替えている点で半自律接触手法と異なる。

このようなロボットの自律と人間による操作の混合方法について、ロボットが自動化しているレベルで段階分けをして分類する方法が存在する [43]。半自律接触手法は、“Shared Control with Human Initiative” に分類されると考える。この分類は、ロボットが自律的に周囲の環境を検知して、ロボット自身で動作を実行するが、人がロボットに介入してロボットの動作方針を設定することができるという分類である。

## 3 半自律接触手法

半自律接触手法をロボットからの自律した接触とユーザー自身の操作による接触を融合させた手法と定義する。図 1 に半自律接触手法の概念図を示す。この手法ではユーザーはロボットを操作できる。ロボットはユーザーからの操作に従った接触と自律アルゴリズムによって生みだされた接触を融合して、ユーザーに接触する。

この半自律接触手法は、ユーザーに以下の 3 点の効果があると考えられる。

1. ロボットからの接触を不快に感じない、つまり快適性を満たす
2. ロボットとのインタラクションを継続したいと感じる、つまり継続性を満たす
3. 他者に触れられているように感じる、つまり他者性を満たす

まず、快適性について、半自律接触手法にあるユーザー自身の操作による接触（以降、操作接触手法と呼ぶ）の要素によって、ユーザー自身に不快感を与えない、つまり快適性を満たす方法で接触できると考える。次に、継続性について、半自律接触手法にあるロボットからの自律した接触（以降、自律接触手法と呼ぶ）の要素に

よって、ユーザがロボットの動きを完全に予想できないためインタラクションの飽きが抑制され、継続性を満たすことができると考えられる。最後に、他者性について、半自律接触手法にある自律接触手法の要素によって、自律して接触するため他人から接触されているように感じるため、他者性を満たすことができると考える。このように、半自律接触手法は快適性、継続性、他者性を満たし、ユーザのストレスを緩和することができることが期待できる。

## 4 実験

本実験では、3章で提案した半自律接触手法が、快適性、継続性、他者性を満たすことができるかについて検証した。なお、本実験は著者らの所属機関における倫理審査の承認を得て行った。

### 4.1 仮説

本研究では下記三つの仮説が成立するかを検証した。

- H1 半自律接触手法は自律接触手法に比べて快適性が高い
- H2 半自律接触手法は操作接触手法に比べて継続性が高い
- H3 半自律接触手法は操作接触手法に比べて他者性が高い

### 4.2 実験条件

H1, H2, H3 を検証するため、本実験では下記の3条件を設定した。参加者内比較とし、参加者はこの3条件による接触を全て経験した。

**操作接触条件** ロボットのユーザへの接触動作が、ユーザの操作に完全に従って動作する。すなわち、操作接触手法であり、操作型ロボットが人に接触を行う条件である。

**半自律接触条件** ロボットのユーザへの接触動作において、ロボットの自律的な動作とユーザの操作による動作が融合される。本条件が、3章で述べた半自律接触手法を実装した条件である。

**自律接触条件** ロボットのユーザへの接触動作が、ユーザの意思にかかわらず、自律して動作する。すなわち、自律接触手法であり、自律型ロボットが人に接触を行う条件である。



図 2: 実験状況



図 3: 2 台の接触型ロボットの配置

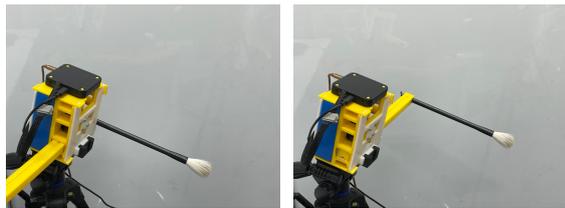
### 4.3 実験状況

本実験は、2台のロボットが参加者の左右の首筋を筆で撫でるように接触する状況を用意して行った(図2)。すなわち、参加者はロボットに首筋をくすぐられるような接触を体験した。このような状況を用いた理由は、参加者が一定程度の不快感や継続したくなさを感じる接触方法でなければ、シーリング効果またはフロア効果によって快適性や継続性を測定できないと考えたためである。例えば、十分に快適あるいは継続したいと感じられる可能性のある接触を行う場合、いずれの条件においても十分高い評価が得られてしまい、条件間の違いが観測できない可能性が考えられる。

実験では、同じロボットを2台実装し、参加者の左右の首筋に接触するため、図3のように設置した。ロボットはそれぞれ1本の筆を備えており、筆を前後方向に動かすことで、ユーザの首筋を撫でるように接触することができる。ロボットの構造としては、筆を保持しているパーツの両端に結ばれているテグスをモータ<sup>1</sup>で巻き取ることで、筆を前後に移動できるようにした(図4a, 図4b)。

次に、各条件におけるロボットの動作アルゴリズム、すなわち筆の動きの制御方法を説明する。まず操作接触条件では、参加者に自分がロボットを操作しているという感じてもらえるようにするアルゴリズムにした。具体的には、コントローラ(図4c)のジョイスティック

<sup>1</sup><https://keigan-motor.com/km-1s/>



(a) 収縮状態

(b) 伸長状態



(c) コントローラ

図 4: 接触型ロボット

クの前後の傾きの角度によって、筆を前後に動かせるようにした。これにより、参加者が自由に筆の位置を操作できるようにした。

自律接触条件では、参加者にロボットが自律的に動いているように感じてもらえるようにするアルゴリズムにした。具体的には、 $\sin$  関数に従って自律して筆が動くようにした。 $\sin$  関数の4つのパラメータ（振幅、周波数、初期位相、初期位置）のうち、振幅、周波数はランダムに決定し、初期位置は Lévy 分布に従ったランダムで決定している。これは様々な生き物の運動パターンが Lévy 分布によるランダムウォークに似ている [44] という知見があるためである。ただし、振幅および周波数は0になる、つまりロボットの動作が一定期間停止することがある。パラメータの再設定は同じパラメータで2秒以上動作している、かつ  $\sin$  関数に入力する角度が0度に近い場合に、85%の確率で行う。ただし、ロボットの動作が停止している場合は、最長で10秒後でパラメータの再設定を行う。これにより、初期位相を実質的に決定することに加え、筆の動きが常に一定にならないようにした。

半自律接触条件では、参加者に自分がロボットを操作していることとロボットが自律的に動いていることの両方を感じてもらえるようにするアルゴリズムにした。具体的には、ロボットが自律接触条件と同じ方法で自律して動く筆を、コントローラのジョイスティックの傾きに従って、筆が1秒間に何回、どの程度の幅で往復するかを操作できるようにした。この操作方法は、 $\sin$  関数のパラメータの振幅と周波数を、ジョイスティックの傾きをFFT解析して決定することで実現した。これにより、筆の自律的な動作と操作による動作を混ぜることで、半自律接触動作を実現した。

また本実験はロボットが参加者に触れるため安全対策を設けることが推奨される。そのため、ロボットの



図 5: 正しくセッティングした様子

コントローラ（図 4c）のボタンにはロボットを非常停止することができる機能を搭載した。

#### 4.4 実験手順

まず、参加者には筆の素材にアレルギーがないか等の安全上の確認を行い、同意書にサインしてもらった。実験内容の説明として、参加者に接触型ロボットを示しながら、ロボットが筆を前後に動かして首筋への接触を行うことを伝えた。またロボットの接触がくすぐったかったり、チクチクしたりするかもしれないことも伝えた。その後、設置した椅子（図 3 参照）に参加者に座ってもらい、図 5 のように参加者の首筋に筆が当たるよう、実験者が参加者の体格に合わせてロボットをセッティングした。また、実験中に問題があった場合にロボットを非常停止する方法を参加者に説明し、実際に動作するロボットを非常停止する体験してもらった。その際、参加者にはロボットが非常停止する様子を見ることができる姿勢をとってもらった。

次に、参加者には全3条件の接触手法を体験してもらい、各条件終了ごとに質問紙（4.5 節）に回答してもらった。ロボットの筆が参加者の首筋に接触する時間は、全条件で2分間に統一した。なお、3条件の順番はカウンターバランスを取った。

各条件の最初には、各条件の最初にその条件の内容と操作方法を説明し、ロボットがどのように動作するかを理解してもらった。条件の内容としては、操作接触条件では「あなたの操作に従ってロボットが接触すること、自律接触条件では「ロボットが自分で考えて接触すること、半自律接触条件では「基本、ロボットが自分で考えて接触するが、ロボットにどのように触ってほしいかを伝えて触れ方を変えてもらうことができる」ことを伝えた。操作接触条件と半自律接触条件においては操作方法の説明も行い、4.3 節の通りにジョイスティックで筆の動きを操作できることを伝え、参加者が操作方法を理解したことが確認できるまで操作を練習してもらった。特に半自律接触条件は、参加者の操作がロボットの動きに反映されるまで時間がかかることも理解しているか確認できるまで操作を練習して

もらった。このとき、参加者にはロボットの実際の動きを見ながら練習してもらい、またロボットの筆が参加者に首筋に触れないようにした。

また追加の注意事項として、操作接触条件では、操作しなければロボットが止まったままになってしまうため、実験中は常に左右いずれかのジョイスティックは動かすよう指示した。半自律接触条件でも、参加者が操作してロボットに希望の触れ方を伝えている状況を実現するために、実験中は常に左右いずれかのジョイスティックは動かすよう指示した。自律接触条件では、他の2条件と参加者の姿勢を統制するためおよび参加者がロボットを非常停止できるようにするために参加者にコントローラを渡していたが、ジョイスティックを動かしても操作できないことを伝え、ジョイスティックには触らないよう指示した。

上記の説明後、参加者にはセッティング時と同様の筆が首筋に当たる姿勢に戻ってもらい、各条件でのロボットの接触中はその姿勢を維持してもらった。各条件終了後、参加者には質問紙(4.5節)に回答してもらった。なお、アンケート回答時は参加者に対して姿勢の制限は行わず、自由な姿勢をとってもらった。また、アンケート回答時に受けた接触条件の感想を任意でもとめた。全条件終了後に参加者にインタビューを行った。

#### 4.5 測定項目

各条件終了後に回答した質問は、マニピュレーションチェックに関する内容と仮説に関する内容の2種類を用意した。参加者は全ての質問項目に7段階のリッカート尺度で回答した。また、条件の感想を任意で求めた。

マニピュレーションチェックとして、それぞれの条件が問題なく設定できていたかを確認する質問に回答してもらった。

**質問1** あなたはロボットの動き方に自分の操作が反映されているように感じましたか？

**質問2** あなたはロボットの動き方にロボットの判断が反映されてように感じましたか？

マニピュレーションチェックの通過条件は、以下全てを満たすことである。

**M1** 質問1の回答において操作接触条件が自律接触条件よりも高い

**M2** 質問2の回答において自律接触条件が操作接触条件よりも高い

**M3** 質問1の回答において半自律接触条件が自律接触条件よりも低くない、かつ質問2の回答において半自律接触条件が操作接触条件よりも低くない

M1はロボットの動き方に参加者の操作が操作接触条件の方が自律接触条件よりも反映されていると感じるかを調べている。操作接触手法は参加者の操作に従って接触する手法なので、自律接触条件では操作接触条件と同程度以上に参加者の操作が反映されていると感じる場合は、操作接触条件が成立していない可能性がある。

M2はロボットの動き方にロボットの判断が自律接触条件の方が操作接触条件よりも反映されていると感じるかを調べている。自律接触手法はロボットが自律して接触する手法なので、操作接触条件では自律接触条件と同程度以上にロボットの判断が反映されていると感じる場合は、自律接触条件が成立していない可能性がある。

M3は半自律接触条件は自律接触条件と同程度以上に自分の操作が反映されていると感じ、操作接触条件と同程度以上にロボットの判断が反映されていると感じるかを調べている。半自律接触手法は自律接触手法に操作接触手法を融合させた手法なので、自律接触条件よりも参加者の操作が反映されていると感じられず、操作接触条件よりもロボットの判断が反映されているように感じられない場合は、半自律接触条件が成立していない可能性がある。この三つの確認によって、3条件が問題なく設定できていたかを確認することができる。

仮説が支持されるかを明らかにするために以下の質問に回答してもらった。

**質問3** あなたはロボットからの接触を不快に感じましたか？

**質問4** あなたはロボットから接触されることに飽きましたか？

質問3は快適性、質問4は継続性に関する質問である。他者性に関しては、評価内容が質問2と同内容であるため、質問2を他者性の評価とした。H1は質問3に、H2は質問4に、H3は質問2で聞いている内容に該当する。

全条件終了後にはインタビューを行い、刺激への耐性や好みの接触条件について聞いた。刺激への耐性は、快適性の結果に偏りを生むような参加者の集まりでなかったかを調べるために「あなたはくすぐりのような刺激に耐性がありますか？」と聞いた。好みの接触条件は、どの条件が好まれるのかを調べるために聞いた。好みの接触条件は「何番目に行った条件が好きでしたか？」と聞き、理由も求めた。

#### 4.6 解析方法

4.5節で示した各質問項目の解析において、条件間の差の検定には、回答の分布から正規性が見られない

ことを確認し、R (バージョン 4.3.0) [45] の coin パッケージ [46, 47] を用いて、Wilcoxon signed-rank test を行った。多重性を考慮する必要がある場合は、p 値を Holm の方法で調整した。すべての検定で有意水準は 5% とした。また、効果量として Cohen's  $r$  [48] を算出した。

仮説 H1~H3 の各解析においては、仮説に関する次の条件間でのみ検定を行った。

- H1：自律接触条件と半自律接触条件
- H2：操作接触条件と半自律接触条件
- H3：操作接触条件と半自律接触条件

インタビューで得られた結果について、刺激への耐性は、得られた回答を“耐性がある”，“耐性がない”，“どちらともいえない”に著者が分類し、それぞれの分布に偏りが無いかを  $\chi^2$  検定で検定した。効果量として Cramer's  $V$  を算出した。

また好みの接触条件は、得られた回答を  $\chi^2$  検定で検定した。効果量として Cramer's  $V$  を計算した。

## 4.7 参加者

名古屋大学内で実験参加者を募集し大学生 30 人が実験に参加した。この中から、接触型ロボットの不具合や実験者のセッティングミスがあった場合と教示に従わなかった参加者を除いた、24 人分 (年齢 18~26 歳、平均: 20.58 歳、標準偏差: 2.33 歳) のデータを得た。参加者 24 人の性別の内訳は男性が 11 人、女性が 12 人、回答しなかった人が 1 人であった。参加者は 1500 円の謝金を受け取った。

## 5 結果

### 5.1 マニピュレーションチェック

図 6, 図 7 にマニピュレーションチェックの結果を示す。図 6 は質問 1 の結果であり、図 7 は質問 2 の結果である。

まず、図 6 に示した質問 1 の結果について検定を行った。データの分布から正規性はないと判断し、Holm の方法の下で Wilcoxon signed-rank 検定をしたところ、操作接触条件は自律接触条件より有意に高く ( $Z = 5.295$ ,  $p < 0.001$ , Cohen's  $r = 0.764$ )<sup>2</sup>、半自律接触条件は自律接触条件より有意に高く ( $Z = 4.857$ ,  $p < 0.001$ , Cohen's  $r = 0.701$ )、操作接触条件は半自律接触条件よりも有意に高かった ( $Z = 2.475$ ,  $p = 0.013$ , Cohen's

<sup>2</sup>Holm の方法の下で多重比較を行っていた検定は、調整値をかけた後の p 値を記載している

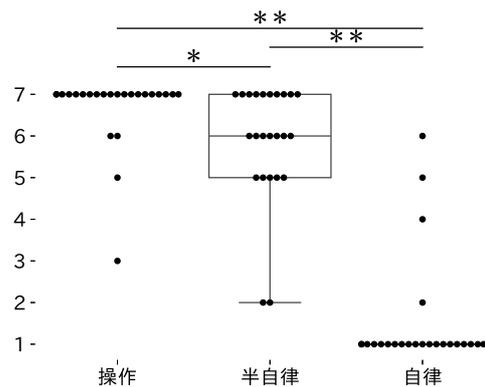


図 6: 質問 1 「あなたはロボットの動き方に自分の操作が反映されているように感じましたか?」の結果。図中の黒点は参加者の回答を示す。(\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ )

$r = 0.357$ )。そのため、操作接触条件、半自律接触条件、自律接触条件の順に、ロボットの動き方に参加者自身の操作が反映されていると感じやすくなっていた。また、それぞれの条件の中央値は操作接触条件が 7、半自律接触条件が 6、自律接触条件が 1 となっていた。

次に、図 7 に示した質問 2 の結果について検定を行った。データの分布から正規性はないと判断し、Holm の方法の下で Wilcoxon signed-rank 検定をしたところ、半自律接触条件は操作接触条件より有意に高く ( $Z = 4.790$ ,  $p < 0.001$ , Cohen's  $r = 0.691$ )、自律接触条件は操作接触条件より有意に高かったが ( $Z = 3.393$ ,  $p = 0.001$ , Cohen's  $r = 0.489$ )、自律接触条件と半自律接触条件の間には有意差が認められなかった ( $Z = 1.100$ ,  $p = 0.271$ , Cohen's  $r = 0.158$ )。そのため、自律接触条件と半自律接触条件は操作接触条件よりも、ロボットの動き方にロボットの判断が反映されていると感じやすくなっていた。また、それぞれの条件の中央値は操作接触条件が 1、半自律接触条件が 5.5、自律接触条件が 5.5 となっていた。自律接触条件で 5 人の参加者が 1 と回答し、ロボットの動き方にロボットの判断が反映されていないように感じていることがわかった。評定の理由をインタビューで詳しく聞いたところ、ロボットがランダムに動いているように感じた、事前プログラム通りに動いているように感じたという回答を得た。

質問 1 の結果から、操作接触条件は自律接触条件より自分の操作が反映されているように感じることを示されたことから M1 を通過した。操作接触条件の中央値は質問 1 では 4 よりも高く、質問 2 では 4 よりも低くなっており、自分の操作が反映されるがロボットの判断は反映されているように感じられない条件だったことが推測される。質問 2 の結果から、自律接触条件

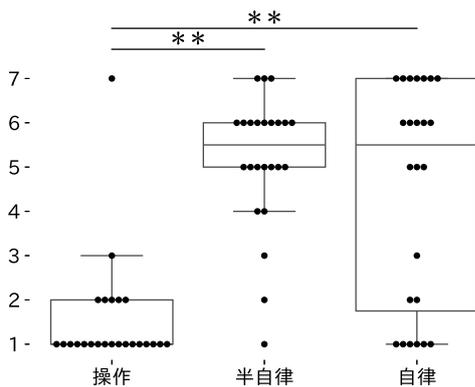


図 7: 質問 2「あなたはロボットの動き方にロボットの判断が反映されているように感じましたか?」の結果。図中の黒点は参加者の回答を示す。(\*\*:  $p < 0.01$ )

は操作接触条件よりもロボットの判断が反映されているように感じる事が示されたことから M2 を通過した。自律接触条件の中央値は質問 1 では 4 よりも低く、質問 2 では 4 よりも高くなっており、ロボットの判断が反映されるが自分の操作は反映されているように感じられない条件だったことが推測される。また、質問 1 の結果から、半自律接触条件は自律接触条件よりも有意に自分の操作が反映されているように感じる事が示され、質問 2 の結果から半自律接触条件は操作接触条件よりも有意にロボットの判断が反映されているように感じる事が示されたことから M3 を通過した。半自律接触条件の中央値は質問 1 では 4 よりも高く、質問 2 でも 4 よりも高くなっており、自分の操作もロボットの判断も反映されているように感じられる条件だったことが推測される。よってマニピュレーションチェックは通過し、実験条件の設定に問題はなかったと考える。

## 5.2 快適性, 継続性, 他者性

図 8 は質問 3 の結果である。今回は検定しないが、操作接触条件でロボットからの接触をどのくらい不快さを感じたかの結果を参考として図 8 内に示す。図 9 は質問 4 の結果である。今回は検定しないが、自律接触条件でロボットからの接触にどのくらい飽きたかを感じたかの結果を参考として図 9 内に示す。他者性については 4.5 節で示したように、質問 2 の評定値を用いるため、結果は図 7 で示している。

まず、快適性について報告する。質問 3 の結果については H1 を確認するために、興味がある半自律接触条件と自律接触条件間についてのみ検定した。データ

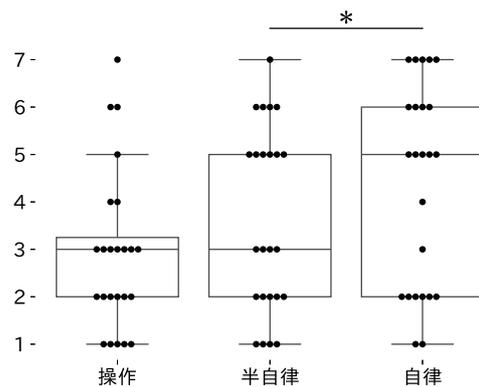


図 8: 質問 3「あなたはロボットからの接触を不快に感じましたか?」の結果。半自律接触条件と自律接触条件の間のみ検定を行なっている。図中の黒点は参加者の回答を示す。(\*:  $p < 0.05$ )

の分布から正規性はないと判断し、Wilcoxon signed-rank 検定をしたところ、半自律接触条件は自律接触条件と比較して有意に低く、不快に感じづらくなっていた ( $Z = 2.089, p = 0.037, \text{Cohen's } r = 0.301$ )。

条件ごとの感想について任意で求めた。感想に 3 条件以上回答した参加者 10 名に絞ると、操作接触条件はくすぐったさを感じなかったという回答を 2 件得た一方で、半自律接触条件や自律接触条件はくすぐったさを感じるという回答を半自律接触条件で 2 件、自律接触条件で 4 件得た。このくすぐったさについて、自律接触条件の方が半自律接触条件よりもくすぐったさを感じたと回答した参加者が 1 名いた。加えて、自律接触条件は痛みを感じたという回答をした参加者が 1 名いたものの、半自律接触条件では痛みを感じたと回答をした参加者がいなかった。ただし、全ての回答を見ると、不安や痛みを感じたといったネガティブな意見が全ての条件で確認されていた。

次に、継続性について報告する。質問 4 の結果については H2 を確認するために、興味がある半自律接触条件と操作接触条件間についてのみ検定する。データの分布から正規性はないと判断し、Wilcoxon signed-rank 検定をしたところ、半自律接触条件は操作接触条件と比較して有意に低く、飽きづらくなっていた ( $Z = 3.325, p < 0.001, \text{Cohen's } r = 0.480$ )。

最後に、他者性について報告する。質問 2 については既に 5.1 節で Holm の方法の下で Wilcoxon signed-rank 検定を行った結果を示している。H3 を確認するために興味のある半自律接触条件と操作接触条件間の結果を確認すると、半自律接触条件は操作接触条件と比較して有意に高く、ロボットの動き方にロボットの判断が反映されているように感じやすくなっていた ( $Z = 4.790,$

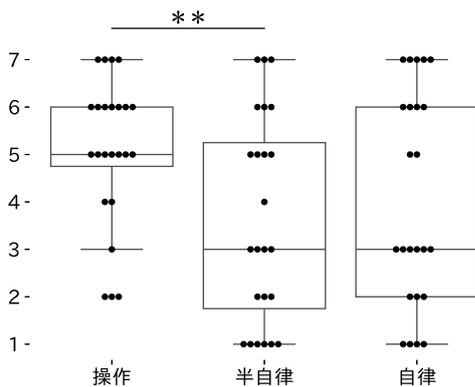


図 9: 質問 4「あなたはロボットから接触されることに飽きましたか?」の結果。操作接触条件と半自律接触条件の間のみ検討を行なっている。図中の黒点は参加者の回答を示す。(\*\*:  $p < 0.01$ )

$p < 0.001$ , Cohen's  $r = 0.691$ 。

### 5.3 刺激への耐性

快適性の結果に偏りを生むような参加者の集まりであったかを調べるために、インタビューで首筋へのくすぐり刺激への耐性があるか聞いた結果を“耐性がある”, “耐性がない”, “どちらともいえない”に分類した。分類方法として“耐性がある”は「ある」, または「強い」と回答した人に対して, “耐性がない”は「ない」, 「弱い」, 「強くない」, 「あんまり」と回答した人に対して, “どちらとも言えない”は「普通」, または「わからない」と回答した人に対してアノテートした。その結果, “耐性がある”に該当した人が 7 人, “耐性がない”に該当した人が 13 人, “どちらともいえない”に該当した人が 4 人であった。この結果について,  $\chi^2$  検定をしたところ, 群間に有意な偏りは確認されなかった。( $\chi^2(2) = 5.25$ ,  $p = 0.072$ , Cramer's  $V = 0.331$ )。

### 5.4 好まれる接触手法

インタビューで, 3 条件の中でどの接触条件がもっとも好みかについて聞いた結果を示す。その結果, 操作接触条件が 8 人, 半自律接触条件が 9 人, 自律接触条件が 7 人であった。この結果について,  $\chi^2$  検定をしたところ, 群間に偏りはなかった ( $\chi^2(2) = 0.25$ ,  $p = 0.883$ , Cramer's  $V = 0.072$ )。

それぞれの接触条件が好きな理由を聞いたところ, 操作接触条件は操作通りに接触をしてくれることが理由として 8 名中 7 名と最も多く挙げられた。自律接触条

件は操作しなくても接触をしてくれることが理由として 7 名中 4 名と最も多く挙げられた。半自律接触条件はロボットの判断と参加者自身の操作が両方反映されていることが理由として 9 名中 7 名と最も多く挙げられた。ただし, 条件ごとの感想において, 半自律接触条件で操作が反応するまでに間があることが気になるといった回答も得た。

## 6 考察

### 6.1 快適性, 継続性, 他者性

本実験では, 参加者の首筋に接触型ロボットが筆を使って接触する際の動作決定方法が半自律接触手法の場合, 自律接触手法よりも快適に感じ (H1), 操作接触手法よりも飽きが抑制され (H2), 他者に触れられているように感じる (H3) かを調べた。

質問 3 の結果から, 半自律接触手法は自律接触手法よりも有意に不快に感じなかったことから, H1 が支持された。条件ごとの感想で, 自律接触条件において半自律接触条件にはなかった痛みを感じた参加者や半自律接触条件以上のくすぐったさを感じた参加者がそれぞれ 1 名いたことから, 不快感が軽減されていることが示唆される。効果量 Cohen's  $r$  は 0.301 であり, 一定の意味のある差を検出できていると考える。半自律接触手法は自律接触手法よりも有意に不快に感じなかったのは, 半自律接触手法にある操作接触手法の要素によって, 参加者は一部ロボットを操作できたことが影響していると考えられる。

質問 4 の結果から, 半自律接触手法は操作接触手法よりも有意に飽きにくかったため, H2 が支持された。効果量 Cohen's  $r$  も 0.480 であり, 半自律接触手法は操作接触手法よりも飽きを強く抑制できると考える。これは, 半自律接触手法にある自律接触手法の要素によって, 参加者がロボットの動きを完全に予測できなかったことが影響していると考えられる。

質問 2 の結果から, 半自律接触手法は操作接触手法よりも有意に他者に触れられていると感じたため, H3 が支持された。効果量 Cohen's  $r$  も 0.691 であり, 半自律接触手法は操作接触手法よりも他者に触れられているようにより強く感じる事が考えられる。これも, 参加者がロボットの動きを完全に予測できなかったことが影響していると考えられる。

また, インタビューで質問した刺激への耐性の結果から, 参加者の耐性の有無に偏りのないことがわかった。ここで, 刺激耐性の有無は効果量 Cramer's  $V$  が 0.331 であったが, これは“わからない”の分類が他の分類と比較して小さめであることが影響していると考えられる。このため快適性, 継続性, 他者性の結果はくす

ぐり刺激について耐性の有無は偏りのないサンプルから得られた結果であることが示唆される。

以上のことから、半自律接触手法は自律接触手法よりも快適性を持ち、操作接触手法よりもインタラクションの飽きが抑制でき、他者性をもつと言える。このため、半自律接触手法は自律接触手法と操作接触手法のそれぞれの良さを生かした手法であると考えられる。

ここからは、今後の半自律接触手法を用いたロボットを作成する設計指針を得るために、半自律接触条件で得られた結果における評価の個人差について考察する。今回は快適性および継続性に個人差がある可能性があるため、その2点を考察する。

まず快適性について、仮説 H1 は支持された一方で、半自律接触条件においてロボットの接触を不快と感じた参加者も 24 人中 11 人と半分近くいた。つまり、約半数の参加者は半自律接触条件で不快でないと感じたが、残りの参加者は不快であると回答した。参加者ごとに着目すると、半自律接触条件と自律接触条件の両方で、4 より高く、すなわち不快であると回答した参加者が 10 人いた。そのうち、操作接触条件でも 4 より高く、不快さを高く感じたと回答した参加者は 4 人いた。よって、この参加者にとっては、首筋を筆で触れるという接触方法がそもそも不快であった可能性がある。一方で、操作接触条件では 4 以下と、不快さを高く感じなかったと回答した参加者は 6 人いた。すなわち、この参加者にとって、今回の半自律接触条件は不快感を低減するには不十分だったが、操作接触条件では不快に感じなかったようだ。このことから、こういった参加者で半自律接触条件によって不快感を低減するには、操作者自身の操作通りに動く要素をより加えることで、不快感を低減できると考える。今回の半自律接触手法で不快でないと感じた参加者もいるが、不快であると感じた参加者もいることから、今回の半自律接触条件にユーザの好みに合わせて参加者自身の操作通りに動く要素を変化させることで、さらに不快感を軽減できると考える。

次に継続性について、仮説 H2 は支持された一方で、半自律接触条件でロボットから接触されることに飽きた参加者も 24 人中 10 人と半分に近い人数いた。つまり、約半数の参加者は半自律接触条件で飽きなかったと回答したが、残りの参加者は飽きたと回答した。参加者ごとに着目すると、半自律接触条件と操作接触条件の両方で、4 より高く、すなわち飽きたと回答した参加者が 10 人いた。そのうち、自律接触条件でも 4 より高く、飽きを高く感じたと回答した参加者は 7 人いた。よって、この参加者にとっては、首筋を筆で触れるという接触方法が、そもそも継続したくなさを感じるような接触方法であった可能性がある。これは、今回の接触型ロボットは撫でる範囲が小さかったことから、参加者が触れ方の変化を感じ取りにくかったことが影

響していると考えられる。一方で、自律接触条件では 4 より低い、すなわち飽きを低く感じたという回答した参加者が 3 人いた。すなわち、その参加者にとって、半自律接触条件は飽きを生じなくするには不十分であったが、自律接触条件では飽きなかったようだ。このことから、こういった参加者で半自律接触条件によって飽きを低減するには、ロボットの動きを予測できない要素をより加えることで、飽きを低減できると考える。今回の半自律接触手法で飽きを高く感じなかった参加者もいるが、飽きを高く感じた参加者もいることから、今回の半自律接触条件にユーザの好みに合わせてロボットの動きを予測できない要素を変化させることで、さらに飽きを抑制できると考える。

上記で述べたとおり、ユーザの好みに合わせて参加者自身の操作通りに動く要素やロボットの動きを予測できない要素を変化させることで、不快感の低減や飽きの低減につながると考える。しかし、この2要素はトレードオフの関係にあるため、参加者自身の操作通りに動く要素をより加えると飽きることに、ロボットの動きを予測できない要素をより加えると不快に感じることにつながる可能性がある。そのため、ユーザの好みに合わせて2要素をどの程度混合させるかについては、さらなる調査が必要であると考えられる。

## 6.2 好まれる接触手法

本実験ではどの接触手法が好まれるかを調べるために、インタビューにて三つの接触条件のうち好みであった条件を各参加者に一つ挙げてもらった。5.4 節の結果から接触手法の好みに偏りがなく、突出している好まれた接触手法が存在しないことがわかった。半自律接触手法は快適性、継続性、他者性を満たしてはいたものの、特別好まれることはなかった。

より半自律接触手法が好まれるようにするためには、操作を参加者の好きなタイミングでできるようにするという変更が考えられる。今回の半自律接触条件では実験の都合上必ず操作してもらったために、参加者が常にどちらかのロボットを操作してもらっていた。自律接触手法が好みの理由として、操作しなくて良いことを挙げた参加者が 7 名中 4 名いる。そのため、常に操作するのではなく好きなタイミングで操作できるようにすることで、半自律接触手法が好みになると考える。

加えて、操作のラグの軽減も、より半自律接触手法が好まれるようにするために考えられる変更の一つである。今回の半自律接触条件は参加者の操作を反映するタイミングが、自律接触条件が触れ方を変えるタイミングと同じになるようにしていたため、反映されるまでの間が気になると回答した参加者もいた。そのため、今回と似たような方法で混合する場合は、参加者

の操作がロボットの動作に反映されるまでの時間を短くする必要があると考える。

### 6.3 制限事項

本実験はシーリング効果やフロア効果が出ることを避けるために、一定程度の不快さおよび飽きやすさがあるロボットを採用したため、一般性には限界がある。そのため、元々快適で飽きづらい接触ロボットにおいても効果があるのかを今後検証する必要がある。

本実験は参加者を大学生に限定していたため、一般性には限界がある。そのため、幅広い層でも半自律接触手法が快適性や継続性、他者性を満たすのか、および接触型セラピーロボットに搭載することでストレス緩和などの接触の効果があるのかを将来的に検証する必要がある。さらに、今回は参加者の性別の影響を考慮しなかったが、性別で接触の効果に差があることが報告されている [22, 34] ため、半自律接触手法の効果は性別によって差がある可能性があることを今後考慮する必要があると考える。加えて、2.3 節で触れた、参加者のこれまでの接触に関わる経験やロボットとの関係性といった、ロボットが人と適切な接触を伴うインタラクションの実現のために影響する他の要素も今後考慮する必要があると考える。

本実験の半自律接触手法の混合元である自律接触手法と操作接触手法は、それぞれより効果的な方法が存在する可能性がある。例えば、自律接触手法では、自律アルゴリズムが参加者の状態をフィードバックする機能を持つことで、接触の不快感が軽減する可能性がある。また、操作接触手法では、ボタン操作や音声入力といった操作方法にすることで、ロボットとのインタラクションへの飽きを抑制できる可能性がある。これらの変更を加えた自律接触手法や操作接触手法を混合することで、半自律接触手法がより接触の不快感を軽減し、飽きを抑制できる可能性があるため、今後考慮する必要があると考える。

## 7 結論と展望

本研究では、接触型セラピーロボットが人に接触することでストレス緩和などの効果の向上を目指し、ロボットから接触する際に接触を不快に感じない性質である快適性、インタラクションを継続したいと感じる性質である継続性、他者に触れられているように感じる性質である他者性をそれぞれ満たすことによる高い接触効果を獲得するために、自律接触手法と操作接触手法を融合した半自律接触手法を提案した。また、その半自律接触手法が快適性、継続性、他者性を満たすかを検証するための実験を行い、既存手法と比較を行った。

実験の結果、半自律接触手法は自律接触手法よりも不快に感じづらく、快適性が満たされることがわかった。また、半自律接触手法は操作接触手法よりもインタラクションの飽きが抑制され、継続性が満たされることがわかった。さらに、半自律接触手法は操作接触手法よりも他者に触れられているように感じ、他者性が満たされることがわかった。このことから、半自律接触手法は自律して動作するロボットに、操作に従って接触する要素を加えることで、ロボットからの接触を不快に感じにくく、インタラクションを継続でき、他者に触れられることによる効果を付与できる手法であることがわかった。よって、本手法を接触型セラピーロボットに応用することで、他者に触れられることによる効果を不快に感じづらく、かつその接触を伴うインタラクションを継続して行えることが期待できる。

今後の展望として、半自律接触手法を応用したセラピーロボットを作成し、このロボットが快適性や継続性、他者性を満たすのかに加え、ストレス緩和などの接触による効果があるのかを調べたいと考えている。本稿の実験では、半自律接触手法の妥当性を検証するため、一定程度の不快さおよび飽きやすさがある状況に絞った実験を行った。将来は半自律接触手法を用いたセラピーロボット作成し、生理指標を用いた評価により精緻な知見を得たり、フィールドでの長期実験を通じて、長期的なストレス緩和効果まで含めて検証したりしたい。

## 謝辞

本研究は JST ムーンショット型研究開発事業、JP-MJMS2011 の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] Alexopoulos, G. S.: Depression in the elderly, *The Lancet*, Vol. 365, No. 9475, pp. 1961–1970 (2005).
- [2] Craig, T. K. J. and Boardman, A. P.: ABC of mental health: Common mental health problems in primary care, *BMJ*, Vol. 314, No. 7094, p. 1609 (1997), Publisher: BMJ Publishing Group Ltd \_eprint: <https://www.bmj.com/content>.
- [3] Kroenke, K. and Price, R. K.: Symptoms in the Community: Prevalence, Classification, and Psychiatric Comorbidity, *Archives of Internal Medicine*, Vol. 153, No. 21, pp. 2474–2480 (1993).
- [4] Christiansen, J., Qualter, P., Friis, K., Pedersen, S. S., Lund, R., Andersen, C. M., Bekker-Jepesen, M., and Lasgaard, M.: Associations of loneliness and social isolation with physical and mental health among adolescents and young adults, *Perspectives in Public Health*, Vol. 141, No. 4, pp. 226–236 (2021), \_eprint: <https://doi.org/10.1177/17579139211016077>.

- [5] Hards, E., Loades, M. E., Higson-Sweeney, N., Shafran, R., Serafimova, T., Brigden, A., Reynolds, S., Crawley, E., Chatburn, E., Linney, C., McManus, M., and Borwick, C.: Loneliness and mental health in children and adolescents with pre-existing mental health problems: A rapid systematic review, *The British Journal of Clinical Psychology*, Vol. 61, No. 2, pp. 313–334 (2022).
- [6] Stiehl, W., Lieberman, J., Breazeal, C., Basel, L., Lalla, L., and Wolf, M.: Design of a therapeutic robotic companion for relational, affective touch, in *ROMAN 2005. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 2005., pp. 408–415, Nashville, TN, USA (2005), IEEE.
- [7] Sefidgar, Y. S., MacLean, K. E., Yohanan, S., Loos, Van der H. M., Croft, E. A., and Garland, E. J.: Design and Evaluation of a Touch-Centered Calming Interaction with a Social Robot, *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 7, No. 2, pp. 108–121 (2016).
- [8] Hayashi, R. and Kato, S.: Psychological effects of physical embodiment in artificial pet therapy, *Artificial Life and Robotics*, Vol. 22, No. 1, pp. 58–63 (2017).
- [9] Dinesen, B., Hansen, H. K., Grønborg, G. B., Dyrvig, A.-K., Leisted, S. D., Stenstrup, H., Schacksen, C. S., and Oestergaard, C.: Use of a Social Robot (LOVOT) for Persons With Dementia: Exploratory Study, *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, Vol. 9, No. 3, p. e36505 (2022), Company: JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies Distributor: JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies Institution: JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies Label: JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies Publisher: JMIR Publications Inc., Toronto, Canada.
- [10] Wada, K. and Shibata, T.: Robot therapy in a care house - its sociopsychological and physiological effects on the residents, in *Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2006. ICRA 2006., (2006), ISSN: 1050-4729.
- [11] Geva, N., Uzevovsky, F., and Levy-Tzedek, S.: Touching the social robot PARO reduces pain perception and salivary oxytocin levels, *Scientific Reports*, Vol. 10, No. 1, p. 9814 (2020), Number: 1 Publisher: Nature Publishing Group.
- [12] Drescher, V. M., Gantt, H. W., and Whitehead, W. E.: Heart Rate Response to Touch, *Psychosomatic Medicine*, Vol. 42, No. 6, pp. 559–565 (1980).
- [13] Pepito, J. A. T., Babate, F. J. G., and Dator, W. L. T.: The nurses' touch: An irreplaceable component of caring, *Nursing Open*, Vol. 10, No. 9, pp. 5838–5842 (2023), eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/nop2.1860>.
- [14] 川原 由佳里, 奥田 清子: 看護におけるタッチ/マッサージの研究: 文献レビュー, *日本看護技術学会誌*, Vol. 8, No. 3, pp. 91–100 (2009).
- [15] Routasalo, P. and Isola, A.: The Right to Touch and Be Touched, *Nursing Ethics*, Vol. 3, No. 2, pp. 165–176 (1996), eprint: <https://doi.org/10.1177/096973309600300209>.
- [16] Weiss, S. J.: Effects of differential touch on nervous system arousal of patients recovering from cardiac disease, *Heart & lung*, Vol. 19, No. 5 Pt 1, pp. 474–480 (1990).
- [17] Yonezawa, T., Yamazoe, H., and Abe, S.: Physical contact using haptic and gestural expressions for ubiquitous partner robot, in *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (2013), ISSN: 2153-0866.
- [18] Shiomi, M., Nakata, A., Kanbara, M., and Hagita, N.: A hug from a robot encourages prosocial behavior, in *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, (2017), ISSN: 1944-9437.
- [19] Willemse, C. J. A. M. and Erp, van J. B. F.: Social Touch in Human – Robot Interaction: Robot-Initiated Touches can Induce Positive Responses without Extensive Prior Bonding, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 11, No. 2, pp. 285–304 (2019).
- [20] Hoffmann, L. and Krämer, N. C.: The persuasive power of robot touch. Behavioral and evaluative consequences of non-functional touch from a robot, *PLOS ONE*, Vol. 16, No. 5, p. e0249554 (2021), Publisher: Public Library of Science.
- [21] Shiomi, M., Nakata, A., Kanbara, M., and Hagita, N.: Robot Reciprocation of Hugs Increases Both Interacting Times and Self-disclosures, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 13, No. 2, pp. 353–361 (2021).
- [22] Hirano, T., Shiomi, M., Iio, T., Kimoto, M., Tanev, I., Shimohara, K., and Hagita, N.: How Do Communication Cues Change Impressions of Human – Robot Touch Interaction?, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 10, No. 1, pp. 21–31 (2018).
- [23] Chen, T. L., King, C.-H., Thomaz, A. L., and Kemp, C. C.: Touched by a robot: an investigation of subjective responses to robot-initiated touch, in *Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction*, pp. 457–464, Lausanne Switzerland (2011), ACM.
- [24] 藤井 綺香, 木村 正子: 等身大ヒューマノイドを活用したロボットと共生する未来へ向けたメディアアートコンテンツ, *情報処理学会論文誌*, Vol. 60, No. 11, pp. 2019–2029 (2019).
- [25] Dreisoerner, A., Junker, N. M., Schlotz, W., Heinrich, J., Bloemeke, S., Ditzen, B., and Dick, van R.: Self-soothing touch and being hugged reduce cortisol responses to stress: A randomized controlled trial on stress, physical touch, and social identity, *Comprehensive Psychoneuroendocrinology*, Vol. 8, p. 100091 (2021).
- [26] Blakemore, S.-J., Wolpert, D. M., and Frith, C. D.: Central cancellation of self-produced tickle sensation, *Nature Neuroscience*, Vol. 1, No. 7, pp. 635–640 (1998).
- [27] Blakemore, S.-J., Wolpert, D. M., and Frith, C. D.: The Cerebellum Contributes to Somatosensory Cortical Activity during Self-Produced Tactile Stimulation, *NeuroImage*, Vol. 10, No. 4, pp. 448–459 (1999).
- [28] Kruk, M., Pawlak, M., and Zawodniak, J.: Another look at boredom in language instruction: The role of the predictable and the unexpected, *Studies in Second Language Learning and Teaching*, Vol. 11, No. 1, pp. 15–40 (2021).
- [29] Mori, M., MacDorman, K. F., and Kageki, N.: The Uncanny Valley [From the Field], *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 19, No. 2, pp. 98–100 (2012), Conference Name: IEEE Robotics & Automation Magazine.

- [30] Löffler, D., Dörrenbächer, J., and Hassenzahl, M.: The Uncanny Valley Effect in Zoomorphic Robots: The U-Shaped Relation Between Animal Likeness and Likeability, in Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '20, pp. 261–270, New York, NY, USA (2020), Association for Computing Machinery.
- [31] Suvilehto, J. T., Glerean, E., Dunbar, R. I. M., Hari, R., and Nummenmaa, L.: Topography of social touching depends on emotional bonds between humans, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 112, No. 45, pp. 13811–13816 (2015), Publisher: Proceedings of the National Academy of Sciences.
- [32] Fromme, D. K., Jaynes, W. E., Taylor, D. K., Hanold, E. G., Daniell, J., Rountree, J. R., and Fromme, M. L.: Nonverbal behavior and attitudes toward touch, Journal of Nonverbal Behavior, Vol. 13, No. 1, pp. 3–14 (1989).
- [33] Jones, S. E. and Brown, B. C.: Touch attitudes and behaviors, recollections of early childhood touch, and social self-confidence, Journal of Nonverbal Behavior, Vol. 20, No. 3, pp. 147–163 (1996).
- [34] Webb, A. and Peck, J.: Individual differences in interpersonal touch: On the development, validation, and use of the “comfort with interpersonal touch” (CIT) scale, Journal of Consumer Psychology, Vol. 25, No. 1, pp. 60–77 (2015), eprint:<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1016/j.jcps.2014.07.002>.
- [35] Maier, A., Gieling, C., Heinen-Ludwig, L., Stefan, V., Schultz, J., Güntürkün, O., Becker, B., Hurlemann, R., and Scheele, D.: Association of Childhood Maltreatment With Interpersonal Distance and Social Touch Preferences in Adulthood, American Journal of Psychiatry, Vol. 177, No. 1, pp. 37–46 (2020), Publisher: American Psychiatric Publishing.
- [36] Etzi, R., Carta, C., and Gallace, A.: Stroking and tapping the skin: behavioral and electrodermal effects, Experimental Brain Research, Vol. 236, No. 2, pp. 453–461 (2018).
- [37] Onishi, Y., Sumioka, H., and Shiomi, M.: Moffuly-II: A Robot that Hugs and Rubs Heads, International Journal of Social Robotics (2023).
- [38] Block, A. E. and Kuchenbecker, K. J.: Softness, Warmth, and Responsiveness Improve Robot Hugs, International Journal of Social Robotics, Vol. 11, No. 1, pp. 49–64 (2019).
- [39] Luo, R. C. and Hsieh, K. C.: Tapping motion detection incorporate with impedance control of robotics tapotement massage on human tissue, in 2018 IEEE 15th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC), (2018), ISSN: 1943-6580.
- [40] Ishikura, T., Kitamura, Y., Sato, W., Takamatsu, J., Yuguchi, A., Cho, S.-G., Ding, M., Yoshikawa, S., and Ogasawara, T.: Pleasant Stroke Touch on Human Back by a Human and a Robot, Sensors, Vol. 23, No. 3, p. 1136 (2023).
- [41] Katyal, K. D., Brown, C. Y., Hechtman, S. A., Para, M. P., McGee, T. G., Wolfe, K. C., Murphy, R. J., Kutzer, M. D., Tunstel, E. W., McLoughlin, M. P., and Johannes, M. S.: Approaches to robotic teleoperation in a disaster scenario: From supervised autonomy to direct control, in 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (2014).
- [42] Mochizuki, S., Yamashita, S., Kawasaki, K., Yuasa, R., Kubota, T., Ogawa, K., Baba, J., and Higashinaka, R.: Investigating the Intervention in Parallel Conversations, in Proceedings of the 11th International Conference on Human-Agent Interaction, HAI '23, pp. 30–38, New York, NY, USA (2023), Association for Computing Machinery.
- [43] Beer, J. M., Fisk, A. D., and Rogers, W. A.: Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction, Journal of human-robot interaction, Vol. 3, No. 2, pp. 74–99 (2014).
- [44] Reynolds, A. M.: Current status and future directions of Lévy walk research, Biology Open, Vol. 7, No. 1, p. bio030106 (2018).
- [45] R Core Team, : Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2023).
- [46] Hothorn, T., Hornik, K., van de Wiel, M. A., and Zeileis, A.: A Lego system for conditional inference, The American Statistician, Vol. 60, No. 3, pp. 257–263 (2006).
- [47] Hothorn, T., Hornik, K., van de Wiel, M. A., and Zeileis, A.: Implementing a class of permutation tests: The coin package, Journal of Statistical Software, Vol. 28, No. 8, pp. 1–23 (2008).
- [48] Cohen, J.: Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, Routledge, New York, 2 edition (1988).