

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

藤井 綺香^{1,a)} 木村 正子^{2,3,b)}

受付日 2019年1月31日, 採録日 2019年9月11日

概要: ロボットの社会進出が急速に進む現代において、人と同じ環境を利用可能な身体構造を持ち汎用性が高い等身大ヒューマノイドロボットが、今後一般社会に普及していくことが予想される。アニメなどの影響で人型のロボットに親近感を抱く日本人は、ヒューマノイドロボットに対してパートナーのような役割も求めると考えられる。人とロボットが協調・共存するためには、ロボットが人に親しみやすい存在になるとともに、人がロボットの存在を考慮に入れた社会を築くことが重要である。本論文では、将来におけるロボットとの関係性や規範を考える契機となることを目指し制作したメディアアートとして、ロボットとの恋愛や子孫繁栄が可能な未来を描いた「Robot Love」、人とロボットが身体的な触れ合いを行う「Electric World」の2作品を紹介し、それらのコンセプトや概要および等身大ヒューマノイドを活用したシステム構成について説明する。また親しみを感じるロボットシステムの構築を目指し、展示会での評価実験を通じてヒューマノイドロボットの動作におけるどのような要素が人に安心感を与えることにつながるかを検証した。その結果、強すぎると感じる接触動作は人に緊張感や不安を与えること、ロボットと触れ合った経験の少ない人に対しては密着しすぎない方が安心感を高められること、ロボットと触れ合った経験に応じて動作の密着度を変えることが好ましいことが示唆された。

キーワード: ヒューマノイドロボット, ヒューマンロボットインタラクション, 触覚, メディアアート, VR

Contents of Media Art Using Life-sized Humanoid Robot Towards the Future in which Human Live Together with Robots

AYAKA FUJII^{1,a)} SHOKO KIMURA^{2,3,b)}

Received: January 31, 2019, Accepted: September 11, 2019

Abstract: Robots have rapidly made advance into society in recent years. It is expected that life-sized humanoid robots, which are versatile and have same body structure as human are widely used in society in the future. Japanese people who have affinity for humanoid robots due to the influence of animation are likely to expect a role like a partner to humanoid robots. In order to cooperate and coexist with robots, it is important that not only do robots behave friendly to human but human build a society which takes the existence of robots into consideration. In this thesis, we introduce two works of media art which we made good use of the life-sized humanoid robot to make an opportunity to consider the relationship and the norm with robots in the future. In “Robot Love”, we imagine and express the future that human can romance and leave offspring with robots. In “Electric World”, people can communicate with robots by touching. Through the exhibition of the work, we researched what kind of elements in the action of humanoid robots could give humans some peace of mind with the aim of constructing the human-friendly robot system.

Keywords: humanoid robot, human robot interaction, sense of touch, media art, VR

¹ 東京大学
The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 101-0064, Japan

² 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology, Meguro, Tokyo 152-8550, Japan

³ 日本サード・パーティ株式会社
Japan Third Party Co., Ltd., Shinagawa, Tokyo 140-0001, Japan

a) a-fujii@jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp

b) shokokm@ieee.org

1. はじめに

近年、多種多様なロボットが人間社会における様々な場面で活躍している。以前はロボットといえば、工場などの限られた環境で使用される産業用のものが主であり、素早く正確に作業を行うことだけが求められていた。しかし2000年頃からは人間の生活環境に進出し、対話やスキンシップなどのコミュニケーションを行うようになるなど、より人間に馴染み深い存在へと変容しつつある。1999年にはAIBOが発売されロボットの家庭進出の先駆けとなった[1]。1993年から産業技術総合研究所により、ペットのような触れ合いを通じて癒しを与えるロボットとして開発されてきたパロは、2005年に一般発売された。医療施設や介護施設などで認知症の高齢者や自閉症を持つ子供達などに、その柔らかい感触と鳴き声や動作で癒し効果を与えている[2]。2005年に開催された愛知万博では受付ロボットとして株式会社ココロのアクトロイド[3]が登場し、会場の案内などを行った。また2008年にはフランス・Aldebaran社のNAO[4]が販売開始となり、価格1万ユーロと小型ヒューマノイドを比較的手軽に手に入れられるようになった。2019年現在まで世界で約2万台のNAOが販売されている。2014年にSoftBank Robotics社より大衆向けに発売されたPepper[5]は、クラウドと連携することで対話機能を充実させ、店頭の商品寄せや受付などに活用されている。2018年にはGROOVE X社より人に癒しを与えることを目指した家族型ロボットであるLOVOT[6]が発表された。LOVOTは排熱を利用し皮膚表面に温かみが出るように工夫がなされている。このように、コミュニケーションロボットを中心に様々なロボットが人間社会に進出してきているが、今後の少子高齢化やそれにとまなう労働人口の減少により、ロボットの社会進出はよりいっそう急速に進むと考えられる。また、ロボットに求められる役割も、業務支援や生活支援、介護支援など多岐に渡ると考えられる。これらのタスクをこなすことのできる汎用性を持ち、人間と同じ社会環境を利用することが可能な身体構造を持つロボットとして等身大ヒューマノイドロボットがあげられる。

これまでの等身大ヒューマノイドロボットの研究はBoston Dynamics社に代表される二足歩行、運動制御[7]や物品の運搬や収納などのタスク実現[8]などの分野が主であった。しかし、アニメ・ゲームや映画などの影響により人型のロボットに親近感を持つ日本社会において[9]、等身大ヒューマノイドロボットが社会進出した際には、人間との言語的および身体的コミュニケーションも重要となると考えられる。また近年、人間に似た身体性を持つロボットの「心」や立場、権利と義務などに関する倫理的な検討も行われ始めている。

本論文では、人間と等身大ヒューマノイドの身体的な触

れ合いを用いたコミュニケーションに着目したメディアアート作品を通じて、今後訪れるであろう等身大ヒューマノイドと共存する社会におけるロボットとの関係性や規範を考えるきっかけを作るとともに、将来的に人間とロボットがより良く共生するためには、どのようなアプローチが有効であるかを検証する。2章で先行研究との関連性および本研究の位置付けについて述べ、3章でロボットとの恋愛や子孫を残すことが可能な未来を表現した作品「Robot Love」、4章で人とロボットが密接に触れ合う作品「Electric World」について記す。最後に5章でこれら2つのメディアアート作品についてまとめ、今後の展望を述べる。

2. 関連研究

2.1 等身大ヒューマノイドによるコミュニケーション

人はロボットに対して最初に期待していた機能よりも実際に体験した性能が低いと、そのロボットを信頼しにくくなるということが知られている[10]。そのため、第一印象ではあまり高い能力を期待されないであろう動物型やキャラクター型の従来のコミュニケーションロボットにおいて開発されてきた人間とのインタラクションに関する理論やシステムが、高性能と想像されやすい等身大ヒューマノイドロボットに必ずしもすべて適用できるわけではないと考えられる。たとえば対話を行うときに、キャラクター型ロボットの場合は間違えた応答をしても「愛嬌があり可愛らしい」と思われやすいのに対し、等身大ヒューマノイドの場合は「性能が低い」、「役に立たない」という評価につながりかねない。したがって、等身大ヒューマノイドにおける人間とのコミュニケーションに関する知見を深めていくことが必要であると考えられる。

現在までも等身大ヒューマノイドと人間のコミュニケーションに関して、視覚と音声によるマルチモーダルな対話システムの構築に関する研究[11]や全身動作による感情表出に関する研究[12]などが行われてきている。本論文ではこれまでにあまり注目されてこなかった、等身大ヒューマノイドに特有の人間と同程度のサイズやプロポーションを備えた身体を活かした触れ合いによるコミュニケーションに着目した。

2.2 人とロボットの身体接触をとまなうコミュニケーション

人間と身体的な触れ合いを行うロボットに関しては、東京工業大学の高瀬らによる芯まで柔らかなぬいぐるみ型ロボット[13]などデザインや設計的な観点からの研究や、ペンシルバニア大学のBlockらによるパーソナルロボットPR2にハグされた際に温かみを感じる方がロボットに対しての印象が良くなるという報告[14]やKAISTのEunilらによる恐竜型ロボットPleoが温もりを持つ方がその親近感や社会的存在感が高まるという報告[15]などの温度に

関する研究など、様々な要素に関する検討が行われてきている。

ロボットとの身体接触が人間の感情や行動に与える影響については、アムステルダム大学のCramerらによる積極的な提案を行うロボットにおいてはハイタッチなどの身体接触をともなう動作を行った方が信頼性が上がるという報告 [16] や奈良先端科学技術大学の塩見らによる人と同程度の大きさの熊の形をしたぬいぐるみロボット Moffuly が人間の抱擁に対して抱き返し動作を行うことで自己開示を促すことができるという報告 [17] など、ロボットへの印象や接し方の変化に関する研究などが行われている。

また、身体接触を行うロボットを応用したアプリケーションとしては、塩見らにより開発された Moffuly と VR 映像を組み合わせてバーチャルエージェントとのハグを可能にする Metahug [18] や、CMU の DiSalvo らにより開発された離れた場所にいるユーザがそれぞれのデバイスを抱きしめてその背中をなでたり叩いたりする動作を互いに伝えながら会話を行うことのできる The Hug [19] などが存在する。

以上のように人間とロボットの身体接触に関する研究はこれまでも様々な観点から行われてきているが、実験室などの限られた環境で少数の被験者を対象としたものが大多数である。しかし実社会でコミュニケーションロボットが利用される際には、何らかの文脈の中で意図や理由を持って身体接触を行うことが多いと想定される。また大勢の人からの感想を得ることで、より一般化された知見を得ることができるとともに、多様な体験者のバックグラウンドに基づく考察を加えることができると考えられる。本論文では多数の人がロボットと不自然でない文脈で身体接触を行う手段としてメディアアートという表現手法に着目するとともに、その身体接触が人間の感情やロボットへの印象に与える影響について調べた。

2.3 情愛の対象としてのロボット

AIBO に対して本当のペットのように家族の一員ととらえる人がいるように [20]、人間に近い見た目や体格の等身大ヒューマノイドロボットに対し、今後は実際の家族や恋人のように感じる人も存在するようになると予想される。国立台北大学の Samani らの調査によると、「ロボットを愛することができると思いますか」という質問に対して「はい」や「おそらく」と答えた人の割合が 55%、「ロボットに愛されることができると思いますか」という質問に対して「はい」や「おそらく」と答えた人の割合が 77%であった [21]。2018 年には Realbotix 社から、ラブドールに表情を変えたり人を認識することのできる AI 搭載ヘッドシステムを取り付けたロボット Harmony [22] が発売されるなど、性愛の対象としてロボットを扱う動向もある。

このような恋人ロボットが普及した際の倫理的懸念事項

として西條はまやかしの愛情や心理的依存などをあげている [23]。ロボットとの共生が始まりつつある現在、人とロボットがよりよく協調・共存するために、ロボット倫理学の発展とロボットの存在を考慮に入れた社会基盤の構築や法整備が必要であると考えられる。有識者の中でこれらの議論がなされることはあるが [24]、これまでにロボットとの関係の在り方を考えたことのない人々にもこれらの課題を認識させることは意義深いことであると考えられる。本論文では、多くの人々に等身大ヒューマノイドロボットと身体的に触れ合う機会を提供することで、ロボットに対する印象や感情を刺激し、これらの倫理的問題やロボットとの関係性を考えるきっかけを作ることを目指して制作したメディアアート作品について述べる。

3. 未来におけるロボットとの関係性に焦点を当てた作品：Robot Love

3.1 コンセプト

本作品は「もしも、ロボットと人間が恋に堕ちたら、その先にはどんな未来が待ち受けているのだろうか？そして、子供として人間とロボットのハイブリッドな存在の誕生はありうるのだろうか？」をテーマとしている。ロボットと人間の恋愛や身体的な愛情表現、そして生命と非生命の子孫を残すことのできる未来を疑似体験することにより、今後のロボットとの関係性を考えるきっかけとなることを目指した作品である。

3.2 体験の概要

VR 映像と実際のロボットを使用することで、バーチャル世界と現実世界での体験をリンクさせる。体験者はまず、VR 内でロボットから愛の告白を受ける。その後 VR 内で体験者が精子となり、ロボットが入った卵子に向かって進み、卵子に到達すると同時に現実世界では卵子の形をしたバルーンに入ったロボットに包まれることで受精が行われることを表現する。また VR 体験終了後には、人間とロボットの間にも生まれたハイブリッドな存在として子供ロボットが現れ、手を繋いで歩くインタラクションを行うことができる。「東京大学制作展 Extra2018 Dest-logy」[25] における展示の様子を図 1 に、VR 映像の一部を図 2 に示す。また該当動画を脚注*1に示す。

3.3 システム構成

(1) 等身大ヒューマノイドロボット HRP-4R

恋愛をする対象のロボットとして HRP-4R [26] を使用した。HRP-4R は「スリム・アスリート」をコンセプトとして開発された等身大ヒューマノイドロボットである。身長

*1 情報学広場から付録データ「Robot Love」を参照。一部「受精卵と胎児の成長」(<https://www.youtube.com/watch?v=VqJ5B0NFryc&t=8s>)より転載(許可済)。



図 1 Robot Love の展示風景

Fig. 1 Scenes in the exhibition of “Robot Love”.

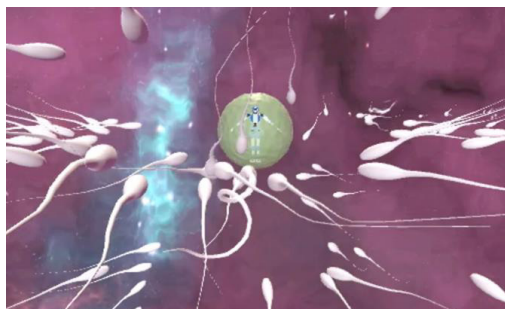


図 2 Robot Love での VR 映像

Fig. 2 Scenes in VR of “Robot Love”.

151.4 [cm], 体重 39 [kg] と比較的軽量かつ細身であり, 全身の関節自由度は 34 自由度である. また安全性を考慮して, 労働安全衛生規則 (第 36 条第 31 号) における産業用ロボットの適用除外となる定格出力 80 [W] 以下のモータ

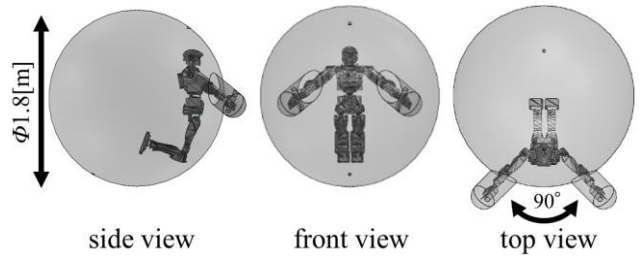


図 3 HRP-4R 用卵子型バルーン的设计

Fig. 3 Design of ovum-shaped balloon for HRP-4R.

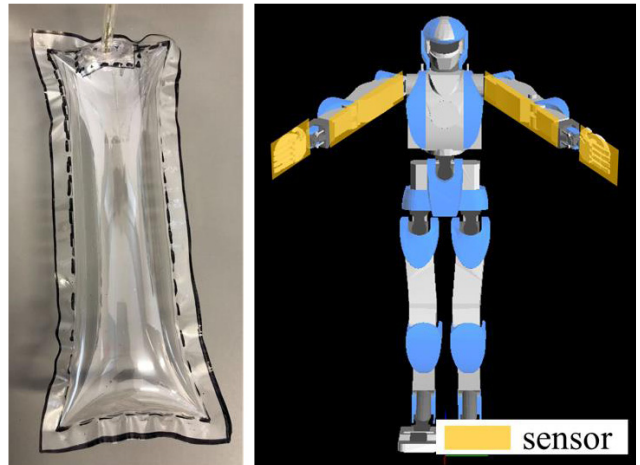


図 4 空気室型柔軟触覚センサの概要と配置

Fig. 4 Appearance and arrangement of air-filled sensor.

が, すべての関節軸に採用されている.

(2) 卵子型バルーン

HRP-4R が中に入り体験者を包み込むための卵子型バルーンについて説明する. このバルーンには, 体験者が接触した際に柔らかい触感を付与するとともに, 体験者以外の観覧者に作品の内容を理解しやすくするという意図もある. 卵子のような球体に近い形状かつ, HRP-4R が人間を抱きしめる動作を行うことが可能な空間的余裕を持つという設計仕様に基づき, バルーンのデザインを行った (図 3). 直径 1.8 [m] の球体をベースにして, バルーンの真上から見たときに 90 度腕を開いた状態で HRP-4R が両腕を出すことのできる空間を作成した. 背面に HRP-4R を出し入れするためのファスナを取り付けるとともに, 上面にはクレーンに吊るすための紐を通す穴, 背面下部には配線を通す穴を設けることにより空気の出入りが可能な状態にし, つねに外部から送風し続けることで形状を保ちつつも HRP-4R の動きに追従して柔軟に変形可能な構造とした.

(3) 空気室型柔軟触覚センサを用いたセンシング

体験者の体格に応じて適切な力で抱きしめるために, 空気室型柔軟触覚センサを作成し, HRP-4R の両腕と両手先に合計 4 個配置した (図 4). この空気室型柔軟触覚センサは, 厚み 0.1 [mm] のポリウレタンフィルムを 2 枚重ねて周辺部を熱溶着した袋に, 浮き輪の口などに使用されて

いるストッパーが取り付けられたものである。ストッパーを介して空気圧配管を行い、空気の出し入れを可能にするとともに、配管経路の途中に配置された空気圧センサにより圧力変化を感知することで接触を検出する。このセンサは、出力の大きくないモータに負荷をかけない軽量性を持ち、またその厚みによりロボットの関節部に卵型バルーンや体験者の衣服などが巻き込まれることを防ぐ役割も果たしている。このセンサシステムを利用して、両腕を開いた状態から閉じる方向に両肩関節を動かした後に、両手首関節を体験者に寄せる側に動かすことで、体験者を包み込む動作を行った。

3.4 体験者の反応や感想などに基づく考察

体験後に、HRP-4R や子供ロボットに対して話しかけたり積極的に触れ合おうとする人がたびたびみられた。特に子供ロボットとして使用した豊橋技術科学大学のましろあゆみ [27] に対しては、成人女性が「ママと一緒に夕飯買いに行こうか？」などすぐに打ち解けてまるで本物の親子のようになる様子や、息子が体験する様子を見ていた母親が「孫ができたような気持ちになった」と話す様子が見られた。本作品はロボットとの恋愛から子孫を残すことのできる未来を疑似体験させることで関係性を考える契機となることを目指したものであるが、ロボットへの恋愛感情というよりは家族の一員になるという方に体験者の意識が向けられることが多かったと考えられる。展示会におけるアンケートでは、「ロボットとの未来を感じさせる内容だった」との回答もあり、ロボットとの将来を考えるきっかけを作ることができたのではないかと考えられる。

また HRP-4R の抱擁動作に関して、「物足りなかった」と感じた人もいた一方で、「人間とのハグとは違う感じがして良かった」という意見もあった。ロボットに対して人間のように振る舞うことを求めるのではなく、人間とは違うことをそのまま受け入れつつ好意的にとらえる人がいたことも印象的であった。そのほかにも「斬新なアイデアが良かった」、「触覚を使った表現が良かった」など、コンセプトや表現方法に対しても好評価を得ることができた。

4. 密接な触れ合いを通じて人とロボットが歩み寄ることを目指した作品：

Electric World

4.1 コンセプト

本作品では、大規模なコンピュータウイルスが発生した世界において、全世界のロボットが動かなくなったという設定で物語が始まる。世界をやり直すためにはロボットが人の心を知る必要があり、鳥かごに守られた2体のロボットだけが動くことができるという状況である。体験者は鳥かごの中のヒューマノイドロボットの隣に座り、ロボットからの抱擁により身体的なコミュニケーションを行う。ロ

ボットと人間がともに生きるために触れ合い、新しい科学技術の世界を作り出していくことを描いた作品である。該当動画を脚注*2に示す。

4.2 体験の概要

巨大な鳥かごの中に2人がけのソファがあり、ソファの右側に等身大ヒューマノイドロボットが左腕を広げた状態で座っている。体験者がソファの左側に座ってロボットの胸を叩くと、ロボットが「こんにちは、私に抱きついてください」という。体験者がロボットに抱きつくと、ロボットが「肩を抱きますね」といってから左腕を動かして体験者を抱きしめる。数秒抱きしめた後に、「ありがとう、そろそろ手を離しますね」といって左腕を元の位置に戻し、「バイバイ、また会いましょう」という。また、等身大ヒューマノイドロボットとの体験が終了した後に、もう1台のロボットもしくはタブレット端末を利用してアンケートを行うことで、ロボットが人の気持ちを知りたいと思っていることを表現するとともに、ロボットの動作におけるどのような要素が人に安心感を与えることにつながるかを調査した。この際のアンケート回答は任意とした。「第20回東京大学制作展 Dest-logy REBUILD」[28]における展示の様子を図5に示す。

4.3 システム構成

(1) HRP-4R が着用するための衣服型外装

本作品では身体的なインタラクションを行う等身大ヒューマノイドロボットとして、前述の HRP-4R を使用した。体験者の隣に座って密接な接触動作を行うことを考慮し、前述の空気室型柔軟触覚センサを上半身96カ所に配置した衣服型外装を作成して HRP-4R に着用させた(図6, 図7)。この衣服型外装は空気室型柔軟触覚センサおよび電装、空気配管などを備えたインナーと、その上を覆うセンサの保護と意匠性の向上を目的としたアウターの二重構造である(図6)。アウターのデザインは HRP-4R 従来の外装の色合いを意識している。インナー・アウターともに、両側の手から体幹部側面の2カ所、および体幹部中央1カ所の合計3カ所にファスナーを取り付け、HRP-4R に容易に着脱することができる構造とした。また、空気の循環および排出による冷却を目的としたファンを合計3個、インナーの内側に配置した。実際の展示においては、主に左腕と体幹部前部に人間が接触することを考慮し、全体のセンサの半分である48個を使用して、人間との接触を検知しながら触れ合い動作を行った。

(2) Sanbot Nano を活用したアンケート調査

アンケートにより人の気持ちを聞くためのロボットとして、タブレット機能が搭載された Sanbot Nano [29] (図8)

*2 情報学広場から付録データ「Electric World」を参照。

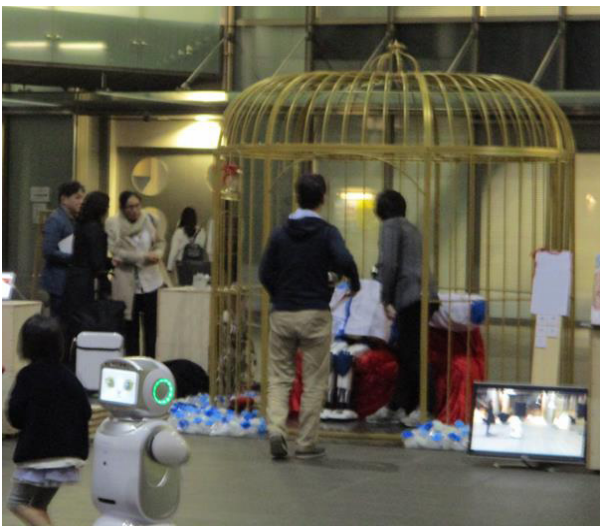


図 5 Electric World の展示風景

Fig. 5 Scenes in the exhibition of “Electric World”.

を利用した。タブレット端末は通常の入力や通信などが可能であるとともに、使用されていない時にはロボットの顔としての役割も果たす。ダンスやゲームもできるエンタテインメントロボットであり、展示会において空き時間にダンスを踊ることで集客を行うこともあった。また、HRP-4Rとのインタラクションにかかる時間よりもアンケート回答時間の方が長くなるのが予想されたため、より多くの人に展示を体験してもらうために、Sanbot Nano の他にタブレット端末も用意してアンケート収集を行った。Sanbot Nano, タブレット合計で 285 件のアンケート回答を得ることができた。

4.4 等身大ヒューマノイドロボットの動作における人に安心感を与える要素の解析

「第 20 回東京大学制作展 Dest-logy REBUILD」において行ったアンケートをもとに、等身大ヒューマノイドロボットの動作におけるどのような要素が安心感につながるかの調査を行った。アンケートは、上出らによる「ヒュー



図 6 空気室型柔軟触覚センサを備えた HRP-4R 用衣服型外装の概要

Fig. 6 Jacket with air-filled sensors for HRP-4R.

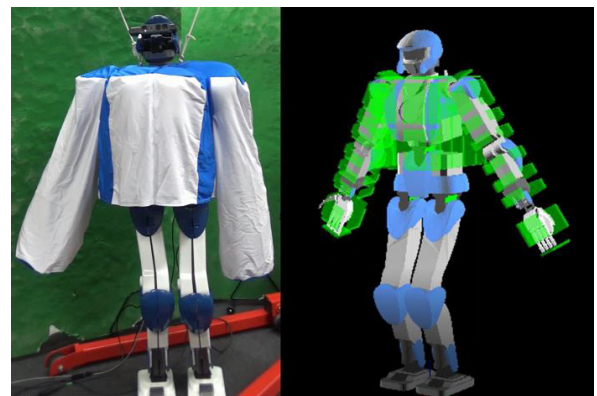


図 7 衣服型外装を着用した HRP-4R およびモデル図

Fig. 7 Appearance and model of HRP-4R with the jacket.



図 8 タブレット機能が搭載された Sanbot Nano

Fig. 8 A Sanbot Nano has tablet.

マノイドロボットに対する心理的安心感評価[30]をもとに作成した。この評価尺度は、ロボットに対する安心感は、「快適性」、「ストレス」、「性能の高さ」、「統制可能性」、「ロボットらしさ」の5個の要素から構成されるとするものである。「快適性」、「性能の高さ」、「統制可能性」に関しては高いほど安心感が高く、「ストレス」に関しては低いほど安心感が高い。「ロボットらしさ」に関してはロボットにより得点の意味が異なる場合があり、これは「不気味の谷」[31]の影響であると考えられる。HRP-4Rのような見た目がロボットらしいロボットでは、人間らしく感じられロボットらしさが少ない方が安心感が高い。逆に、人間に近い見た目をしたアンドロイドのようなロボットの場合には、人間らしく感じられてロボットらしさが少ない方が不安に思うことがある。この評価尺度に基づき以下の7項目を質問した。

- ① このロボットは、自分のことを癒してくれそうだ。
- ② このロボットには安心感を感じる。
- ③ このロボットと一緒にいると、気持ちが落ち着かない。
- ④ このロボットは、対象に見合った力加減をしてくれそうだ。
- ⑤ このロボットは、人間と意志の疎通ができそうだ。
- ⑥ このロボットは、人間の身体に危害を加えそうにない。
- ⑦ このロボットと接すると、人間を相手にしているような気になりそうだ。

①と②は「快適性」に関する項目、③は「ストレス」に関する項目、④と⑤は「性能の高さ」に関する項目、⑥は「統制可能性」に関する項目、⑦は「ロボットらしさ」に関する項目である。それぞれの項目に対して、1（まったく当てはまらない）から7（非常に当てはまる）までの7段階のリッカート尺度を用いて評価を行った。このほかに、ロボットの使用経験や肩を抱く強さはどうだったかなどについても質問を行うとともに、任意で感想を記入する自由回答欄も設けた。

また、本節での統計処理は統計ソフト EZR [32] を利用した。7段階のリッカート尺度を順序尺度と考えてノンパラメトリック検定を使用し、有意水準は $p < .050$ とした。

本節では以下の2つの仮説に対して検証し考察を行った。

- (1) ロボットが接触する強さがちょうど良いと感じた方が、弱いと感じた場合や強いと感じた場合と比較して安心感を増すことができる。
- (2) ロボットとの接触動作における密着度により安心感に差が生まれる。

(1) 動作の強さと安心感の比較

ロボットに抱かれる強さをどのように感じたかに応じて、ロボットに対する安心感が変わるかを調べる。HRP-4R が衣服型外装を着用した状態で、左腕の肘関節と手首関節を動かすことで抱きしめる動作を行った群 85 人（男性 62 人、女性 22 人、そのほか 1 人）を対象とする。この際、弱

いと感じた人は 18 人（男性 13 人、女性 5 人）、ちょうど良いと感じた人は 49 人（男性 35 人、女性 13 人、そのほか 1 人）、強いと感じた人は 18 人（男性 14 人、女性 4 人）であった。これら 3 群において Kruskal-Wallis 検定および post-hoc 検定として Steel-Dwass の多重比較を行った結果を表 1 に示す。また箱ひげを図 9 に示す。

ちょうど良いと感じた場合と強いと感じた場合においては、ちょうど良いと感じた場合の方が安心感が高いという有意差が質問①、質問③、質問⑥で認められた。ちょうど良いと感じた場合と弱いと感じた場合においては有意差がなく、強いと感じた場合と弱いと感じた場合においては質問③で有意差が認められた。特に「快適性」、「ストレス」、「統制可能性」に関わる項目で有意差がみられ、強すぎる接触動作は人に緊張や不安を与えることで、快適さを損ない安心感を減少させるのではないかと考えられる。

また、ロボット側が同じ動作をしているつもりでも人に

表 1 主観的なロボットの動作の強さと安心感に関する検定結果
Table 1 Result of statistical test of the relationship between subjective contact strength of the humanoid robot and the sense of “Anshin” for the humanoid.

	Kruskal-Wallis	post-hoc ちょうど と強い	post-hoc ちょうど と弱い	post-hoc 強い と弱い
質問①	p=.0107	p=.0112	p=.273	p=.376
質問②	p=.0762	p=.0668	p=.617	p=.498
質問③	p<.001	p<.001	p=.613	p=.0256
質問④	p=.0892	p=.134	p=.368	p=.452
質問⑤	p=.0478	p=.0616	p=.276	p=.743
質問⑥	p=.0133	p=.00767	p=.439	p=.573
質問⑦	p=.0588	p=.107	p=.185	p=.983

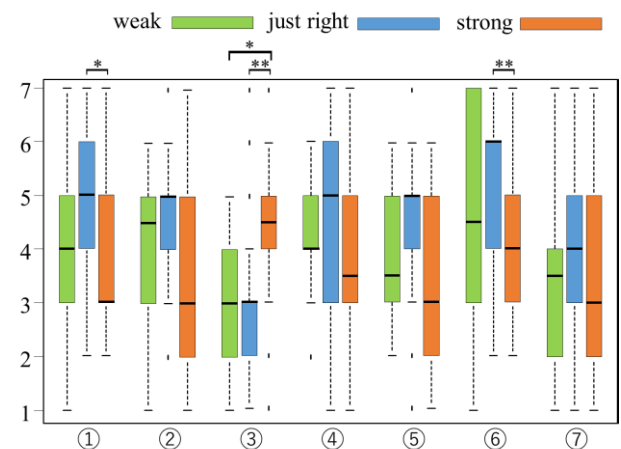


図 9 ロボットの動作の強さと安心感の関係 (* : $p < .050$, ** : $p < .010$)

Fig. 9 Relationship between subjective contact strength of the humanoid robot and the sense of “Anshin” (*: $p < .050$, **: $p < .010$).

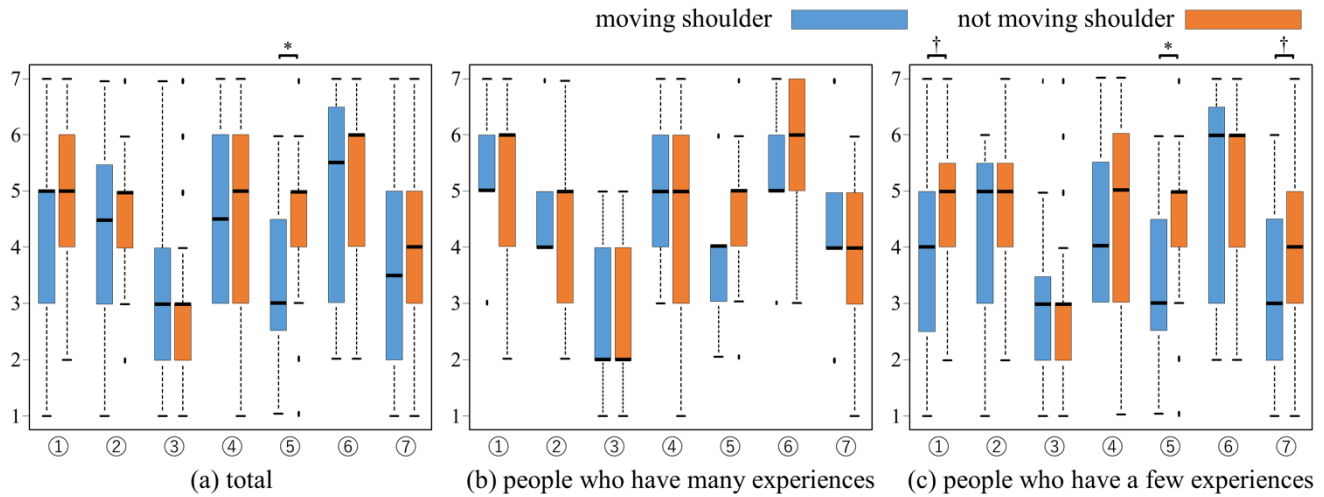


図 10 ロボットの動作の密着度と安心感の関係 (*: $p < .050$, †: $p < .10$)

Fig. 10 Relationship between contact closeness of the humanoid robot and the sense of “Anshin” (*: $p < .050$, †: $p < .10$).

よって「強かった」、「弱かった」と感じた人がいた理由について考察していく。まず今回の展示ではセンサが故障した際の安全面を考慮に入れ、センサ値が閾値に達しない場合でもロボットの関節角度が一定を超えると動作を止めるようにしていた。このため、体験者の体格やロボットに抱きつく姿勢によっては、センサが人間に触れる前に最大関節角度に達して動作を終えてしまった場合があると考えられる。また人間同士でハグする際に、同じ強さで抱きしめられても強いと感じる人と弱いと感じる人がいるように、個人の嗜好も大きく影響していると考えられる。多様な体験者に対応するためには、人間がロボットを抱きしめる強さに応じてセンサの閾値を変えることや、人間の表情や言葉などから力加減を調節できるようになることが今後必要であると考えられる。

(2) 動作の密着度と安心感の比較

HRP-4R が肩を抱く際に肘関節と手首関節のみを動かすと、HRP-4R の体幹部に抱きついている状態の体験者の視界の外で腕が動くため、突然前腕部や手先が体験者に触れることで抱かれていることを認識する場合があった。そのため、HRP-4R の肘関節と手首関節を動かす前に肩関節をわずかに動かして上腕部を体験者に近寄せることで、これから腕を動かすという意味表示をするとともに、より密着度の高い動作を行った場合における安心感の変化を調べる。肩を寄せて密着度の高い動作を行った群 20 人 (男性 15 人, 女性 5 人), 肩を動かさずに動作を行った群 49 人 (男性 35 人, 女性 13 人, そのほか 1 人) に関して比較を行った。主観的な強さが安心感に与える影響を排除するために、いずれの群もロボットが肩を抱く強さがちょうど良かったと回答した人のみを対象としている。それぞれの群全体における両側の Mann-Whitney の U 検定結果を表 2 に、箱ひげ図を図 10 (a) に示す。質問⑤において密着度の低い方が $p < .05$ で有意に当てはまるという結果となった。

表 2 主観的なロボットの動作の密着度と安心感に関する検定結果
Table 2 Result of statistical test of the Relationship between contact closeness of the humanoid robot and the sense of “Anshin” for the humanoid.

	全体	ロボット経験者	ロボット初心者
質問①	p=.170	p=1.00	p=0.0918
質問②	p=.383	p=.919	p=.343
質問③	p=.624	p=.959	p=.600
質問④	p=.952	p=.582	p=.665
質問⑤	p=.0182	p=.365	p=.0296
質問⑥	p=.489	p=.577	p=.633
質問⑦	p=.157	p=.88	p=.0863

さらに、ロボットと触れ合った経験が多い人と少ない人に分けて考察していく。ここでロボットと触れ合った経験が多い人とはアンケートのロボットの使用経験に関する項目において、「ロボット関連の仕事・研究をしている」、「家庭や職場にロボットがいる」、「趣味やサークルなどでロボットを扱った経験がある」のいずれか 1 つでも回答した人とする。以降、この群を「ロボット経験者」と呼ぶ。また、そのほかの人をロボットと触れ合った経験が少ないと見なし、「ロボット初心者」と呼ぶ。ロボット経験者における比較 (密着度高 5 人, 密着度低 13 人) を図 10 (b) に、ロボット初心者における比較 (密着度高 15 人, 密着度低 36 人) を図 10 (c) に示す。ロボット初心者においては質問⑤において密着度の低いほうが安心感が高いという有意差が認められた。また、 $p < .050$ での有意差は認められなかったものの質問①と質問⑦において密着度の低い方が当てはまるという $p < .10$ の有意傾向がみられたため、今後「ヒューマノイドロボットに対する心理的安心感評価」における「快適性」や「ロボットらしさ」に関する別項目について、さらなる調査が必要であると考えられる。

また、ロボット経験者においては密着度による安心感の有意差はみられなかったため、ロボットと触れ合った経験に応じて動作の密着度を変える必要があることも示唆される。しかし、ロボット経験者に関しては今回の展示における評価実験で得られたサンプル数が少なかったため、今後さらなる検証を行いたいと考えている。

4.5 体験者の感想や反応などに基づく考察

展示期間全体を通して収集したアンケートの中で、任意回答の自由記述欄に記載があったものが29件あった。そのうち、ロボットとのインタラクションによる感情の変化や感想について述べているものが12件、将来のロボットとの関係性について書かれているものが3件、体験デザインに関するものが2件、ロボットの動き方や触れた感触に関するものが8件、ロボットの見た目や音声に関するものが5件、その他作品全体の世界観などに関するものが5件あった。なお、自由記述のカテゴリ分類は著者らが行い、同一回答者の記述で複数項目について述べられているものはそれぞれに分けてカウントしている。

ロボットとのインタラクションによる感情の変化や感想に関する自由記述の内容を表3に示す。12件中半数の6件が「ドキドキした」、「初めてロボットとハグできて楽しかった」など、ロボットに対して好感を寄せるものであった。

表3 ロボットとのインタラクションによる感情の変化や感想に関する自由記述

Table 3 Free description about emotional change and impression about interaction with the robot.

【好感】
初めてロボットとハグできて恥ずかしかったです
ドキドキしました
妙な安心感がありました
人肌を感じました
礼儀正しくてびっくり
ロボット側から人の気持ちに寄り添う感じが新しいなと思いました
【非日常感】
人間とロボットのインタラクティブは、なんだか不思議な気持ちになった
不思議な体験でした、老人にも喜ばれそうですね
到底抱きしめるといふ感覚からは遠い抱擁だったのに不気味の谷的な感情を掻き立てられるところがあった
【機械感】
無機質感を感じる
若干機械的な感じがあった
【その他】
Impression has changed after trying demo!

また四半分にあたる3件が、「不思議な気持ちになった」など非日常体験に心を動かされたというものであった。実際の展示において、最初は等身大ヒューマノイドのすぐ隣に座り不安そうな表情をする体験者でも、ロボットが肩を抱く動作を行うと落ち着いた様子となる人や笑顔を見せる人がみられたことから、ロボットと触れ合うことを通じて人の感情を刺激することができたと考えられる。

一方、「無機質感を感じる」などロボットの機械的な部分を印象的に感じたという回答が2件あり、体験デザインに関しても「できれば何か一辺倒な反応ではなく、多様な反応があるといいなと思いました」という意見がみられた。これらのことから、ロボットとの密接な触れ合いを通じて人の感情を動かし未来を考えるきっかけを作るという目的をより達成するためには、今後ロボットの応答や動作をさらに自然なものにしていく必要があると考えられた。

そのほかに、ロボットとの将来について書かれた記述には「まくらやふとんになってくれると手放せない存在になりそう」とロボットとより密接に触れ合う未来を想像する人や、「人工物とのコミュニケーションもノンバーバルな分野がキーになりそう」とコミュニケーション方法の多様性について考えた人もおり、今後のロボットとの関係性や付き合い方に関して考えを巡らせる機会となることができたのではないかと推測される。また「慣れると変わりそう」という意見もあり、4.4節においてロボットと触れ合った経験に応じて動作の密着度を変える必要があることが示唆されたことから、実際の社会でロボットと人間が触れ合う際には、よく接する人を認識し、その人の嗜好や触れ合った回数などに応じてパーソナライゼーションされた動作を行うことが望ましいと考えられる。

以上より、この作品を通じて体験者にロボットとの将来を想像させるとともに、ロボットが人間に安心感を与える動作に関して解析したことで、人間とロボットが双方から歩み寄るきっかけを作ることができたと考えられる。

5. おわりに

本論文ではロボットと協調・共存する将来へ向けて制作した、等身大ヒューマノイドロボットを活用したメディアアートとして、「Robot Love」と「Electric World」の2作品に関して述べた。「Robot Love」ではロボットとの恋愛や子孫を残すことができる未来を疑似体験させることにより、体験者にロボットが家族の一員となりうるという将来像を意識させることで、未来におけるロボットとの関係の在り方を考えるきっかけを作ることができた。「Electric World」ではロボットとの密接な身体的触れ合いを通じて人の感情を動かし、ロボットとのコミュニケーションや距離感などに関する将来を考える機会となることができた。

また展示を通じて、ロボットの動作のどのような要素が安心感につながるかを検証した結果、強すぎると感じる接

触動作は人に緊張感や不安を与えること、ロボットと触れ合った経験の少ない人に対しては密着度の低い方が安心感を高められること、ロボットと触れ合った経験に応じて動作の密着度を変えることが好ましいことが示唆された。これらの知見の一般性を高めるために、ロボットの顔の特徴や身長、体型などの外見の変化によりどの程度変化するか、ロボットと接する状況によりどのように変わりうるのか、などに関して今後追実験を行うことが必要であると考えている。また本論文では個別の要因ごとの評価しか行うことができなかったが、アンケートの質問数を増やしてロボットに対する安心感に関する各要素の得点を累積し、パラメトリック検定を適用して多変量分散分析などを行うことができれば、さらなる知見が得られた可能性がある。他にも、本論文の実験では短期間の展示会という性質上、1人1度しか体験できなかったが、同じ人が複数回体験することでどのようにロボットに対する印象が変わっていくかについての調査も今後行いたいと考えている。

本等身大ヒューマノイドロボットを活用したメディアアートの改善点として、性別、身長、体格に合わせた抱きつき方をロボットが行えるように工夫することで、よりロボットへの親しみやすさが向上すると考えられる。そして、視覚や聴覚に基づく情報と触力覚に基づく情報を統合して体験者個々に対して微調整したインタラクションを行うことができれば、より密接なロボットと人間のスキンシップコミュニケーションにつながると予測される。

将来的には、今回の実験結果を元に、より人に親しみを与えることのできる等身大ヒューマノイドロボットシステムの構築と検証を行うとともに、様々な場での展示を通じて、多くの人にこれらの作品を体験してもらいつつ、ロボットが人間とより良く共生するためにさらなる検証を進め実現していきたいと考えている。

そして、人間とロボットが恋愛をしたり、ロボットが家族の一員として迎えられ、娯楽や寝食をともにするなど、ロボットがより人間らしい生活を送れるようになることを期待する。

本論文で述べた作品は現実社会では得がたい経験を提供するものであり、体験者に少なからず印象を残すことができたのではないかと推測される。我々の作品における体験が、遠くない将来に訪れるであろう人間とロボットとの関係性や規範を考える際に一助となれば幸いである。

謝辞 作品制作に協力していただいた秋山秀郎氏、近藤恭平氏、安西渉氏、吉岡大輔氏、山上紘世氏、伊藤美穂氏、里見恵里嘉氏、坪井理人氏、児島響氏、および機材協力をしていただいた株式会社 FOVE、日本サード・パーティ株式会社、謹んで感謝の意を表す。また、本論文執筆にあたり助言をいただいた北陸先端科学技術大学院大学の宮田一乗教授に深謝する。

参考文献

- [1] 藤田雅博：エンタテインメントロボット：AIBO, 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.5, pp.657–661 (2000).
- [2] 柴田崇徳：メンタルコミットロボット「パロ」の開発と普及 認知症等の非薬物療法のイノベーション, 情報管理, Vol.60, No.4, pp.217–428 (2017).
- [3] アクトロイド, 入手先 (https://www.kokoro-dreams.co.jp/rt_tokutyu/actroid/) (参照 2019-01-29).
- [4] NAO, available from (<https://www.softbankrobotics.com/emea/en/nao>) (accessed 2019-01-29).
- [5] Pepper, available from (<https://www.softbank.jp/robot/pepper/>) (accessed 2019-01-29).
- [6] LOVOT, available from (<https://lovot.life/>) (accessed 2019-01-29).
- [7] Gabe, N. et al.: PETMAN: A Humanoid Robot for Testing Chemical Protective Clothing, *Journal of the Robotics Society of Japan*, Vol.30, No.4, pp.372–377 (2012).
- [8] 室岡雅樹ほか：等身大ヒューマノイドにおける物体状態・操作力オンライン推定制御法に基づく大型重量物ロボット運搬行動の実現, 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.7, pp.595–602 (2014).
- [9] 日戸浩之, 谷山大介, 稲垣仁美：ロボット・AI技術の導入をめぐる生活者の受容性と課題 日米独3カ国調査からの示唆, 知的資産創造, Vol.24, No.5, pp.108–125 (2016).
- [10] Komatsu, T. et al.: How Does the Difference Between Users' Expectations and Perceptions About a Robotic Agent Affect Their Behavior?, *International Journal of Social Robotics*, Vol.4, No.2, pp.109–116 (2012).
- [11] 怡土順一ほか：HRP-2によるマルチモーダルインタラクション～視覚と音声を利用した対話システムの構築～, 第23回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 1H12 (2005).
- [12] Kishi, T. et al.: Impression survey of the emotion expression humanoid robot with mental model based dynamic emotions, *Proc. 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.1663–1668 (2013).
- [13] 高瀬 裕ほか：多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.3, pp.327–336 (2013).
- [14] Block, A.E. et al.: Softness, Warmth, and Responsiveness Improve Robot Hugs, *International Journal of Social Robotics*, Vol.11, pp.49–64 (2019).
- [15] Park, E. et al.: I am a warm robot: The effects of temperature in physical human–robot Interaction, *Robotica*, Vol.32, pp.133–142 (2014).
- [16] Cramer, H. et al.: Give me a hug: The effects of touch and autonomy on people's responses to embodied social agents, *Computer Animation and Virtual Worlds*, Vol.20, pp.437–445 (2009).
- [17] 塩見昌裕ほか：ロボットとの身体的接触は自己開示を促すか, *The 31st Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, pp.2N2–2 (2017).
- [18] Shiomi, M. et al.: Audio-Visual Stimuli Change not Only Robot's Hug Impressions but Also Its Stress-Buffering Effects, *International Journal of Social Robotics* (2019).
- [19] DiSalvo, C. et al.: The hug: An exploration of robotic form for intimate communication, *Proc. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp.403–408 (2003).
- [20] 久保明教：ロボットの人類学—二〇世紀日本の機械と人間, 世界思想社 (2015).
- [21] Semani, H. et al.: A Design Process for Lovotics, *Proc. International Conference on Human-Robot Personal*

- Relationships*, pp.118–125 (2010).
- [22] Harmony, available from (<https://realbotix.com/Harmony>) (accessed 2019-05-28).
- [23] 西條玲奈：性愛の対象としてのロボットをめぐる社会状況と倫理的懸念，*社会と倫理*，No.28，pp.37–49 (2013).
- [24] 岡本慎平：日本におけるロボット倫理学，*社会と倫理*，No.28，pp.5–19 (2013).
- [25] 東京大学制作展 Extra2018 Dest-logy，入手先 (<http://iiiexhibition.com/log/iiiEx2018/>) (参照 2019-01-29).
- [26] Kaneko, K. et al.: Humanoid robot hrp-4-humanoid robotics platform with lightweight and slim body, *Proc. 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.4400–4407 (2011).
- [27] MaSiRo プロジェクト，入手先 (<https://sites.google.com/site/tutmonodzukuricircle/home/che-lun-shi-ren-xing-zhui-congrobotto-kai-fa>) (参照 2019-06-01).
- [28] 第 20 回東京大学制作展 Dest-logy REBUILD，入手先 (<http://iiiexhibition.com/log/i3e20/>) (参照 2019-01-29).
- [29] Sanbot Nano, available from (<http://en.sanbot.com/product/sanbot-nano/performance>) (accessed 2019-01-29).
- [30] Kamide, H. et al.: Anshin as a concept of subjective well-being between humans and robots in japan, *Advanced Robotics*, Vol.29, No.24, pp.1624–1636 (2015).
- [31] Mori, M.: The uncanny valley, *Energy*, Vol.7, No.4, pp.33–35 (1970).
- [32] Kanda, Y.: Investigation of the freely available easy-to-use software ‘EZR’ for medical statistics, *Bone Marrow Transplantation*, Vol.48, No.3, pp.452–458 (2012).



藤井 綺香 (学生会員)

2015 年東京大学医学部卒業。2019 年東京大学大学院学際情報学府修士課程修了。現在，東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程在学中。ヒューマンロボットインタラクション，ソフトロボティクスの研究に従事。日本ロボット学会および IEEE の学生会員。



木村 正子 (学生会員)

2009 年日本大学工学部物質科学工学科卒業。2015 年山形大学大学院機械システム科学研究員。2016 年東京工業大学環境・社会理工学院科目等履修生入学。現在，在学とともに 2018 年日本サード・パーティ株式会社にてロボットクリエイターとなる。ヒューマンロボットインタラクション，脳科学，AR/VR，STEM 教育，ロボットを活用した研究開発と教育に従事。日本バーチャルリアリティ学会および IEEE の学生会員。