

一緒に散歩を愉しむロボット〈iBones〉の提案 ～コンヴィヴィアルなかかわりに着目して～

“iBones”: A Robot for Enjoying Walks Together
～Focusing on Convivial Relationships～

西村 駿^{1*} 長谷川 孔明¹ 岡田 美智男¹

Shun Nishimura¹, Komei Hasegawa¹, and Michio Okada¹

¹豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

¹Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

Abstract: だれかと一緒に散歩するのは、なぜか嬉しい。これはどうしてなのだろう？ 一方的に案内されるだけでは、こちらの経験や能力が活かされず生き生きとしない。それは立場が反対でも同様だろう。本研究では、人と自律移動ロボットと一緒に散歩するような場面に焦点をあて、お互いの主体性や創造性を奪うことなく、ゆるく支え合う中で生まれる、生き生きとした幸せな状態(=ウェルビーイング)や安心感、そこから生きるロボットの社会的受容性について議論する。

1. はじめに

だれかと一緒に散歩するのは、なぜだかとても嬉しい。これはどうしてなのだろう。例えば、どこか目的地に向かおうとするとき、一方的に手を引かれて案内されていたのでは、こちらの意思や経験などが十分に反映されず具合がよくない。それは反対の立場でも同様だろう。「相手のために！」との強い思いを抱いて、一方的に相手の手を引いて案内するのもいいけれど、それでは相手の主体性や創造性を奪ってしまい、必ずしも「相手のために！」とはならない。一緒に散歩をしていて嬉しいのは、お互いの主体性や創造性を奪うことなく、ゆるく支え合う中で生まれる、生き生きとした幸せな感じ(=ウェルビーイング)や安心感、つながり感などのためだろう。

このことは、ブラインドマラソンなどにおいて、視覚障害者であるランナーとその手を握りながらエスコートする伴走者とのかかわり方としても議論されている[1]。ランナーの安全確保のために、その手を強く握って走るならば、安全に走れるのかもしれない。しかし、その強く握りしめた手はむしろランナーの主体性や創造性を奪ってしまい、これまで培われてきた経験や工夫などを上手に反映できない。この観点から「きずな」と呼ばれる伴走ロープが工夫されてきた。この伴走ロープにあるわずかな「ゆ

るみ」によって、相手の主体性や創造性を奪うことなく、必要に応じてランナーをエスコートできるのだという。

このような事態は、人と人が一緒に散歩したり、一緒に走ったりする場合に限られない。例えば、自動運転システムと搭乗者との関係に当てはめると、自動運転の判断に任せれば、安心して目的地まで移動できる一方で、その見方を変えるなら、搭乗者は自動運転システムの判断に隷属しているともいえる。その一方で、自らの運転操作や判断に拘ってばかりでは、その利便性は失われてしまう。このことは、様々なサービスロボットとユーザーとのかかわりに



図 1 〈iBones〉と一緒に散歩する人

* 連絡先：豊橋技術科学大学 情報・知能工学系
〒441-8154 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1
E-mail:nishimura.shun.nt@tut.jp

も当てはまることだろう。

これまでのサービスロボットの多くはユーザーのために動くことを前提にデザインされており、「する側」と「される側」など、その役割が線引きされた〈対峙しあう関係〉であることが多い。そのため、ロボットは独りよがりな行動となりやすく、それに付き合う人の主体性や人らしさを奪ってしまうなどの課題がある。これは、イヴァン・イリイチが『コンヴィヴィアリティのための道具』で指摘したことも重なる。

そこで本研究では、これまでのサービスロボットにおける課題をイヴァン・イリイチが指摘した「コンヴィヴィアルなかかわり」の観点から整理する。そして、人とロボットとのインタラクションデザインに「自立共生(conviviality)」の観点を取り入れ、お互いの主体性・創造性を奪わない程度にゆるく依存しあう関係性について議論する。

特に本稿では、人とロボットとが一緒に歩くタスクに焦点を当て、両者がお互いに譲り合う関係性を、能力だけでは目的を果たせないものの、他者からのアシストを上手に引き出すことで目的を果たそうとする〈弱いロボット〉[2]である〈iBones〉[3]をもとに、人と一緒に歩く〈iBones〉を再構築した(図 1)。そして、〈iBones〉と一緒に歩いた際の印象評価やウェルビーイングを評価するための評価実験を行った結果を述べる。

2. 研究背景

2.1. サービスロボットにおける課題

さまざまな便利なサービスロボットが開発されているが[4~6]、それらは利便性を追求する価値観から、ロボットの機能を完全に備えるアプローチを取られている。これにより、ロボットと人とのかかわりは〈〇〇してくれるロボット〉と〈〇〇してもらう人〉とに役割が分かれてしまうことが多く〈対峙しあう関係〉となる[7]。このように役割の間に線が引かれた途端に、わたしたちは何も手が出せず、サービスを受けるだけの存在となってしまう。その結果、お互いの間に距離が生まれ、相手に対する共感性も薄れてしまう傾向がある[8]。さらに、「相手のために！」という強い思いは、ロボットの独りよがりな行動を引き出し、それに付き合う人の主体性や本来持っている能力を奪ってしまうことも考えられる。

これまでの価値観を見直し、人とロボットの双方の能力を十分に生かし合い、互いの能力を引き出せるような関係性を築けば、双方の距離も縮まり、人々により受け入れられるのではないだろうか。

2.2. コンヴィヴィアリティ（自立共生）

これらの課題は、思想家イヴァン・イリイチが『コンヴィヴィアリティのための道具』で指摘したこと重なる[9]。イリイチは、行き過ぎた産業文明によって、人間が自ら生み出した技術や制度といった道具に隷属されていると指摘した。つまり、人間は道具を使っているつもりでも、実際には道具に使われていると述べた。しかし、未来の道具は人間の本来性を損なうことなく、他者や自然との関係性の中でその自由を享受し、創造性を最大限に発揮しながら共に生きるためのものでなければならぬと強調し、それが『コンヴィヴィアリティのための道具』であると指摘した。

イリイチはまた、人間の自発的な能力や創造性を高めるコンヴィヴィアルな道具と、人間から主体性を奪い隷属させる支配的な道具を区別するために、「二つの分水嶺」という考え方を提唱した。これまで道具は1つの分岐点でその良し悪しを議論されてきたが、イリイチは道具を使いこなすことで人の自由度を高める段階を「第一の分水嶺」、次第に人が道具に隷属し、自由が奪われ始める段階を「第二の分水嶺」と捉え、二つの分岐点があると主張した。「第二の分水嶺」を超えたかどうかを見極める基準として、生物学的退化 (Biological Degradation)、根元的独占 (Radical Monopoly)、過剰な計画 (Overprogramming)、二極化 (Polarization)、陳腐化 (Obsolescence)、フラストレーション (Frustration) の6つの視点の「多次元的なバランス」挙げられている。イリイチは、この「多次元的なバランス」が保たれているかどうかを重要だと述べている。

そして、これら6つの視点を、現代におけるテクノロジーに当てはめると、次のような問いかけができる[10]。

- そのテクノロジーは、人間から自然環境の中で生きる力を奪っていないか？ (生物学的退化)
- そのテクノロジーは、他にかわるものがない独占をもたらし、人間を依存させていないか？ (根元的独占)
- そのテクノロジーは、プログラム通りに人間を操作し、人間を思考停止にさせていないか？ (過剰な計画)
- そのテクノロジーは、操作する側と操作される側という二極化と格差を生んでいないか？ (二極化)
- そのテクノロジーは、すでにあるものの価値を過剰な速さでただ陳腐化させていないか？ (陳腐化)
- そのテクノロジーに、わたしたちはフラストレ

ーションや違和感を感じてはいないか？

(フラストレーション)

これらの視点を〈〇〇してくれるロボット〉と〈〇〇してもらう人〉の関係に立って見てみると、根元的独占や過剰な計画、二極化、フラストレーションが見られ、適度なバランスが保たれていないことが分かる。これはちょうどいい範囲を逸脱した「過剰なテクノロジー」であると言える。

そこで、ロボットと人の関係においても、自立した存在が互いの主体性を損なわず、ゆるく依存した関係性である「自立共生」を目指すことが考えられる。このような中で、互いが自らの能力を十分に生かし、生き生きとした幸せな状態（ウェルビーイング）を築き上げることができないだろうか。

2.3. ウェルビーイング

私たちは、病気などで自分がどれくらい「悪い状態」なのかについて考えたりするが、どれだけ「良い状態」なのかについては深く考えたりしないという。この身体的にも精神的にも満足できる「良い状態」のことはウェルビーイングと呼ばれている。人生に意義を見出し、自分の潜在能力を最大限に発揮している状態のことともいえる[11]。

ウェルビーイングには、心身の機能が不全でないかを問う「医学的ウェルビーイング」、現在の気分のよしあしや快・不快など、一時的、かつ主観的な感情に関する「快樂的ウェルビーイング」、人間が心身の存在能力を発揮し、意義を感じ、周囲の人との関係の中でいきいきと活動している状態を指す「持続的ウェルビーイング」の3つの側面を持つという[11]。また、これらのウェルビーイングを向上させる要因を検討したものに、エドワード・デシとリチャード・ライアンが提唱する自己決定理論がある。これによれば、自らの行動を決定する欲求「自律性」、自らの能力とその証明に対する欲求「有能感」、周囲との関係に対する欲求「関係性」の3つの欲求がウェルビーイングを向上させる要因として挙げている[13]。

利便性の高いものや相手のために動くサービスロボットはどうだろうか。私たちの本来持っている主体性や創造性を奪ってしまう側面もある。自己決定論に当てはめるなら、そのロボットがもたらす強制感が個人の自律性を損ねている可能性がある。また、そこで有能感を覚えることもないし、マニュアルに添って動くロボットとは、なんらかの関係性が生まれるとも考えにくい。そこからウェルビーイングな感覚を生み出すことは期待できないだろう。

しかし、ヨタヨタした〈iBones〉とタスクを達成しようとする場面では、その印象はまた違ったものに



図2 〈iBones〉の外観

なる。一つには、それほど強いられた感じはしない。

〈iBones〉と協力してタスクを進めるかは、こちらの判断で決めることができる(=自律性の担保)。また、このロボットの手助けを行えた、ロボットとの間でタイミングを調整できたという点で、有能感や自己肯定感、そしてわずかな達成感を覚えることができる。そして、ロボットとの関係性の構築である。タイミングを調整しながら、「心を一つにできた」という経験は、ロボットとのつながり感や一体感を生み出す可能性がある。つまり、この〈弱いロボット〉の一つである〈iBones〉とのかかわりでは、ウェルビーイングをアップさせる3つの要因が揃っていると考えられる。

3. 研究プラットフォーム〈iBones〉

本研究では、人と一緒に並んで歩くロボット〈iBones〉を研究プラットフォームとして構築した。その外観を図2に示す。「一緒に並んで歩く」場面では、様々なコミュニケーションが行われるが、本研究では速度や方向などの歩調を合わせる関わりに着目し、振る舞いの実装を行った。ここでは〈iBones〉のデザインコンセプト、ハードウェア構成、ソフトウェア構成について述べる。また、〈iBones〉が人とどのようにコミュニケーションを図り、歩調を合わせるかについても述べる。

3.1. デザインコンセプト

ソーシャルなインタラクションを指向するロボットを構築する上で、周囲の人から対人的反応を引き出す設計が重要である[14]。また、共同行為を行う上では意図の共有が重要である[15]。このため、ロボットが人々とソーシャルなインタラクションを組織化するためには、まわりの人々から反応を引き出す設

計が不可欠である。ロボットに対人的反応を引き起こさせるためには、ロボットに対して何か意思や欲求に基づいて行動しているのだらうと解釈しようとする「志向的な構え (intentional stance)」[16]で捉えてもらう必要がある。そのため、他者から参照可能な形で自身の状態を表示する「社会的表示」と、他者の状態を参照する「社会的参照」の要素が必要となる[17]。これらの要素を踏まえ (iBones) は、自身の状態や意図を外部に表示し、周囲の状況を理解しその状況に応じて行動を調整するように設計されている。このように、お互いの状態を他者からも参照可能なように社会的に表示し合うことでソーシャルなインタラクションを実現している。

また (iBones) は「ミニマルデザイン (minimal design)」[18]と呼ばれる考え方に基いてデザインされている。「ミニマルデザイン」とは、必要最低限の情報や機能を提供することによって、ユーザーの想像力や主体性を引き出す設計手法である。具体的には、外観や機能に制約を与えることで、周囲の状況の変化に対する人の意味付け行為を利用して、人からの積極的なかわりを引き出しつつ、その解釈を方向付ける最少の手がかりを「ミニマルな手がかり (minimal cues)」としてデザインする方法論を指す。

(iBones) の外観デザインは人と横に並んで一緒に歩くための移動機構と身体および腕から構成されている。また、発話や表情の変化によって感情や自身の状態を伝える機能は持たないため、インタラクションは身体的なやり取りに限定される。これらの制約により、人からの積極的な解釈を引き出しながらインタラクションを行うことを狙っている。

3.2. ハードウェア構成

(iBones) のコンセプトを実現するため、図 3 に示す構成でハードウェアを構築した。

(iBones) は、「骨」をモチーフにした丸みを帯びた 6 つのパーツ、腕、手から構成されている。ロボットの全長を幼児よりも低い身長である約 600mm とすることで、幼児から大人まで親近感を抱きやすくなっている。

人間の腰にあたる連結部分には大きめのコイルスプリングを使用し、生き物らしさやその動きの柔らかさを生み出している。これにより、(iBones) が動くたびに「バイオロジカルモーション (biological motion)」[19]としてのヨタヨタとした揺れが生まれ、生き物らしさを感じさせることができる。

ロボット全体を支える足回り部分には、iRobot 社の iRobot Create を使用しており、水平な床を移動することが可能である。その上に搭載されている小型 PC は、計 5 つのサーボモータの制御や各種センサー

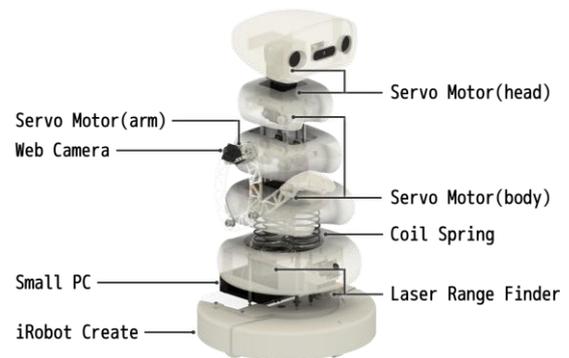


図 3 (iBones) のハードウェア構成

からのデータを処理するために十分な処理能力を有している。

最下部にある骨の外装の中に、スキャニングレーザー距離計 (Laser Range Finder, 以下 LRF と略記) を前後 1 つずつ搭載しており、周囲との距離を測ることが可能である。搭載している LRF の走査角度は 360 度 (各分解能 0.54 度) であり、走査周期は 10Hz、測距距離は 20~12000mm の範囲である。これにより、周囲の状況を詳細に把握し、適切な行動を取ることが可能である。また、人間の右肩にあたる部分に魚眼レンズがついた Web Camera が搭載されており、周囲の環境情報を取得できる。この Web Camera により、広範囲の視界を確保し、詳細な環境情報を得ることができる。

(iBones) の各関節に計 5 つのサーボモータが搭載されており、社会的表示・参照が可能となっている。頭部には 2 つのサーボモータが搭載されており、上下左右の 2 軸の自由度を持ち、顔を動かすことが可能である。これにより顔を動かし、気になる物体や行きたい方向に視線を向けることができる。上肢には 2 つの平行リンク機構のサーボモータを搭載しており、胴体の屈伸が可能である。右肩には 1 つのサーボモータを搭載しており、手を前後に動かすことが可能である。これらのサーボモータを適切に動作させることにより、さまざまなジェスチャーを行うことができ、より自然なインタラクションが可能となっている。

3.3. ソフトウェア構成

(iBones) は ROS2 (Robot Operating System 2)[20] を用いてシステムを構成している。ROS2 の特徴は、各ハードウェアを制御するプログラムがノードという単位で独立していることである。そのため、非同期的な処理を行うことが簡単であり、ハードウェア

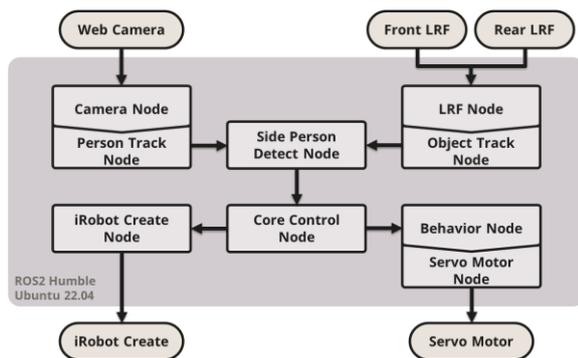


図 4 <iBones> のソフトウェア構成

ごとにプログラムを作成、検証することがスムーズである。その ROS2 で実装した、<iBones> の簡略化したソフトウェア構成図を図 4 に示す。

<iBones> と一緒に歩いている人物との位置関係の検出は、図 4 の上半分で行っている。

Camera Node と Person Track Node では、Web Camera から得られる画像データから <iBones> と一緒に歩いている人物がいるかを検出している。具体的には、Camera Node は、<iBones> の右肩に取り付けられた Web Camera から画像データを取得し、これを Person Track Node に送信する。Person Track Node では、Camera Node から送られてきた画像をリアルタイム物体検出アルゴリズムの YOLOv10(You Only Look Once)[21]による人物検出を行っている。このアルゴリズムは、高速かつ高精度で画像内の人物を検出することができる。その後、信頼度が低い検出結果に対しても追跡を適用することで高い追跡精度とシンプルでリアルタイム処理が可能な複数物体追跡手法(MOT: Multiple Object Tracking)ByteTrack [22]アルゴリズムを適用してトラッキングを行っている。

LRF Node と Object Track Node では、LRF から得られる距離データから <iBones> の周囲にある物体との位置関係を推定している。LRF Node は、<iBones> の前後に取り付けられた LRF から距離データを取得し、これを Object Track Node に送信する。また、それぞれの距離データは LRF が取り付けられている座標から測定したものであるため、<iBones> 中心からの距離データに変換している。Object Track Node では、LRF Node から送られてきた距離データを基に、周囲にある物体の検出を行い、ByteTrack アルゴリズムを適用してトラッキングを行っている。

Side Person Track Node では、Person Track Node と Object Track Node から送られてきた検出結果を比較し、<iBones> の隣にいる人との位置関係を推定

している。人の位置をリアルタイムで更新し、正確な位置情報を Core Control Node に提供する役割を担っている。

Core Control Node では、Side Person Detect Node から受け取った情報を基に移動や振る舞いの内容を決定し、iRobot Create Node と Behavior Node に指令を出している。これにより、<iBones> は周囲の状況に応じて適切な行動を取ることができる。それぞれの詳細は 3.4 節と 3.5 節で述べる。

3.4. 移動制御

<iBones> の歩きだす方向は、<iBones> の意思で歩きたい方向と <iBones> の隣にいる人が歩きたいと思う方向の両者の合成方向である。<iBones> の意思で歩きたい方向は、3 秒間隔で角度が正面を 0 度としたときに ± 60 度、速度の出力が 50% から 100% の間でランダムに変化する。<iBones> の隣にいる人が歩きたいと思う方向は、Side Person Track Node で推定された <iBones> の隣にいる人との位置関係によって決定される。<iBones> の後ろから見て、中心から右方向に 800mm のところを基準点とし、その基準点から左右方向にずれた値に比例して歩きたい方向を決定し、前後方向のずれた値に比例した値を速度で出力する。このようにして <iBones> の隣にいる人が歩きたいと思う方向を決定している。この両者の歩きたい方向を合成したものが <iBones> の歩きだす方向である。この値を iRobot Create Node に指令として出し、移動を可能としている。

3.5. 振る舞い制御

<iBones> と一緒に歩く人からの生物的意思や志向的な構えを引き出すために、人が歩くときに行う振る舞いを <iBones> にも実装をした。

具体的には、歩行中に腕を振ることは体のバランスを取るための補助的な動作であり、歩行のスムーズさや安定性を向上させると言われている[23]。そこで、<iBones> においても腕を振る、振る舞いを実装した。バランスを取っているとユーザーに思われるために、速度に応じて腕を振る速度と振り幅を大きくした。

また、歩行中の前傾姿勢になることは、股関節伸展トルクやトルクパワーが大きくなり、安定性が向上すると言われている[24]。そこで、<iBones> においても進行速度が速くなるにつれ前傾姿勢になる振る舞いを実装し、努力して歩いているとユーザーに思われることを狙っている。

さらに、人は歩くときに進みたい方向や曲がり角などの対象に視線を向けるほか、興味のあるものへ視線を向けることがわかっている[25][26]。そこで、

〈iBones〉においても進行方向や〈iBones〉が歩きたい方向、人が歩きたい方向に視線を向ける振る舞いを実装している。また、人に興味を示すために人に視線を向け、お互いに依存しあいながら調整しているのがわかるように相手の顔を見るようにしている。これらの環境や周囲の人々に対して興味を示す振る舞いを加えることで、〈iBones〉が意識や意図を持って動いている印象を周囲に与えることができる。

このようにして〈iBones〉の内部状態の社会的参照と社会的表示を行い、人からの志向的構えを引き出し、社会的なつながりを強化することを目指している。

4. インタラクション実験

4.1. 実験目的と仮説

本実験の目的は、人とロボット間でのコンヴィヴィアルなかかわりの構築を目指し、人とロボットとが横に並んで一緒に歩く場面において、主体性の所在の違いにより実験参加者の抱く印象がどのように変化するかを明らかにすることである。具体的には、実験参加者には以下の項目についてロボットとのインタラクションを評価してもらう。これらの項目は、生命性、擬人化、好ましさ、知性の知覚、志向性、疎通性、安心感、自律性、有能感、関係性、満足度である。また、人とロボットのどちらに主体性があったと感じたかを実験参加者の主観評価に基づいて検証し、人とロボットがお互いにゆるく依存しあう関係を構築できるかどうかを検証する。

また、人とロボットがお互いに支え合う関係性が構築された結果、双方の能力が十分に生かされ、生き生きとした幸せな状態であるウェルビーイングが生まれるとの仮説を立てた。

4.2. 実験環境

本実験の実験環境を図 5 に示す。スタートとゴール

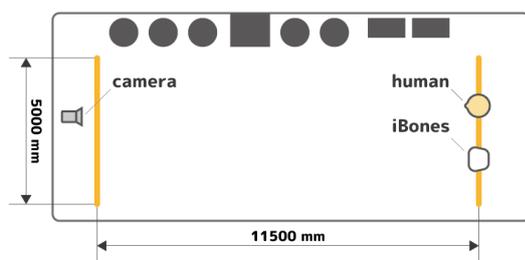


図 5 実験環境

ルのラインは、床にテープを張って表示した。歩くスペースは、横 11500mm×縦 5000mm である。部屋の左手奥にはビデオカメラが設置されており、インタラクションの様相を記録する。アンケートの回答と口頭インタビューは、部屋の右手にある机で行う。

4.3. 実験条件

〈iBones〉と人が歩く際の主体性の所在の違いに基づく人の印象の違いを調べるため、〈iBones〉の歩き方と振る舞いが異なる 3 種類の条件を用意した。

4.3.1. 条件 1：人主体条件

人主体条件は、人が進行方向を主導し、〈iBones〉が人の判断に一方向的に依存する条件である。本条件の〈iBones〉は、意思をもって好きな方向に歩こうとせず、人に従う。これにより、人は好きな方向に自由に歩くことができる。〈iBones〉の振る舞いは、歩く速度に比例して変化し、右手の振り幅と姿勢が前屈になる。また、〈iBones〉の頭部の振る舞いは、進行方向や隣にいる人の方向に向く。

4.3.2. 条件 2：相互主体条件

相互主体条件は、〈iBones〉と人がお互いに進みたい方向を主導し、ゆるく依存しあう条件である。本条件の〈iBones〉は、好きな方向に歩きたい意思を持ちつつ、人の歩きたい方向も把握する。それぞれの歩きたい方向の合成方向に〈iBones〉は進む。〈iBones〉の振る舞いは、歩く速度に比例して変化し、右手の振り幅と姿勢が前屈になる。また、〈iBones〉の頭部の振る舞いは、お互いの進みたい方向や進行方向、隣にいる人の方向に向く。このため、〈iBones〉が進みたい方向を主張する一方で、人が進みたい方向を調整する余地を残しており、人と〈iBones〉の位置関係によって、〈iBones〉の進行方向や移動速度が変化する。

4.3.3. 条件 3：ロボット主体条件

ロボット主体条件は、〈iBones〉が進行方向を主導し、人が〈iBones〉の判断に一方向的に依存する条件である。本条件の〈iBones〉は、好きな方向に歩きたい意思を持ち、人の歩きたい方向は考慮されない。そのため、人は進行方向や歩く速度を調整する余地がなく、〈iBones〉についていく関係となる。〈iBones〉の振る舞いは、歩く速度に比例して変化し、右手の振り幅と姿勢が前屈になる。また、頭部の振る舞いは進行方向に向く。

4.4. 実験手順

実験参加者に実験の流れを説明し、属性調査アン

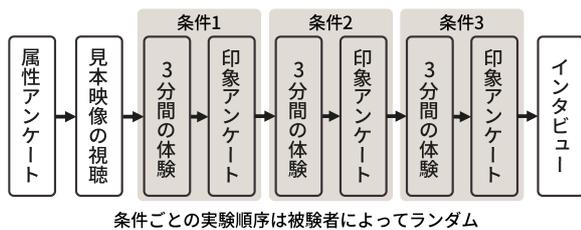


図 6 実験の流れ

ケートの回答を求めた。その後、以下の教示を実験参加者に説明した。

- A) 3分間〈iBones〉と横に並んで一緒に歩いてもらうインタラクションを行うこと。
- B) 〈iBones〉と振る舞いや歩き方が異なる3つの条件で歩いてもらうこと。
- C) スタートラインからゴールラインに向かって歩いてもらうこと。制限時間内にゴールラインに辿り着いた際は、ロボットの向きを変えてゴールラインからスタートラインに向かって歩いていただき、時間が許す限り繰り返すこと。
- D) インタラクション中は〈iBones〉の振る舞いに注意していただきたいこと。
- E) ロボットの右側をすり足かつ小股で歩いていただきたいこと。
- F) 手を伸ばしたらロボットが届く距離感を保ちながら、指定した範囲内で歩いていただきたいこと。
- G) 逆走はしないでいただきたいこと。
- H) 危険時や歩行が困難になった際には、一時中断し、ロボットを移動させてから再開することがあること。
- I) 実験の様子と口頭インタビューの様子をビデオカメラで撮影させていただくこと。

説明後、歩き方のイメージをつかんでいただくために見本映像を教示した。ここで使用する〈iBones〉の動きは、人主体条件である。見本映像を視聴する目的は、人とロボットの距離感をつかんでいただき、実験参加者が〈iBones〉を歩きたい方向に誘導する方法を理解してもらうためである。視聴後、スタート地点に記されている位置に移動してもらい、実験実施者の合図とともに〈iBones〉と一緒に歩くインタラクションを開始する。3分経過後には、実験実施者が終了の合図を出し、アンケートに答えてもらう。この3分間のインタラクションとアンケートの回答を3つの条件分行い、最後にインタラクション全体を通しての口頭インタビューを行った。その流れを図6に示す。また、カウンターバランスを考慮し、実験参加者ごとに行う実験の順序を入れ替えた。

表 1 質問項目

	質問内容	分類
Q1	ロボットに生き物らしさを感じた	生命性
Q2	ロボットの振る舞いに人間らしさを感じた	擬人化
Q3	一緒に歩いたことでこのロボットが好きになった	好ましさ
Q4	このロボットとは関わりたくない (-)	
Q5	ロボットの振る舞いに親しみを感じた	
Q6	ロボットの振る舞いが賢そうに見えた	知性の
Q7	ロボットの振る舞いが単純に感じた (-)	知覚
Q8	ロボットの振る舞いに思いやりを感じた	安心感
Q9	ロボットと一緒に歩くとストレスを感じた (-)	
Q10	ロボットは自らの意思をもって歩いているように感じた	志向性
Q11	ロボットから私に関わろうとする意志を感じた	
Q12	ロボットの行きたい方向が伝わってきた	疎通性
Q13	ロボットは私の行きたい方向に動いてくれそうと思った	
Q14	ロボットと気持ちを通わせながら歩くことができた	
Q15	ロボットは私の意思を組んでくれた (-)	自律性
Q16	ロボットは私の意思を尊重してくれた	
Q17	ロボットからのプレッシャーを感じずに歩くことができた	
Q18	ロボットの意思に添って歩けたことがうれしかった	有能感
Q19	ロボットが私の意志に添って歩いてくれてうれしかった	
Q20	ロボットとお互いに譲り合って歩けたことがうれしかった	
Q21	私はロボットについていった	主体性
Q22	ロボットは私に追従して歩いていた	
Q23	ロボットとお互いに譲り合って歩いた (主体性)	関係性
Q24	ロボットとお互いに協力して歩いた	
Q25	ロボットと楽しんで歩くことができた (関係性)	満足度
Q26	ロボットと歩くことに満足感を覚えた	

4.5. 質問項目

属性調査アンケートでは、性別、年齢、家庭に ai bo やお掃除ロボット、スマートスピーカーなどのロボットを所持しているか、ロボットに対してどのような役割を期待しているかを尋ねた。

各条件において実験参加者が〈iBones〉に対して抱



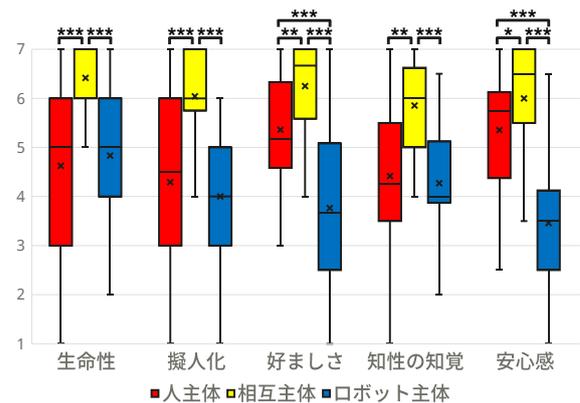
図 7 実験の様子

いた印象を評価するために、表 1 の独自項目の質問を 26 個設けた。各項目はそれぞれ (1) 生命性 (Q1), (2) 擬人化 (Q2), (3) 好ましさ (Q3~Q5), (4) 知性の知覚 (Q6, Q7), (5) 安心感 (Q8, Q9), (6) 志向性 (Q10, Q11), (7) 疎通性 (Q12~Q14), (8) 自律性 (Q15~Q17), (9) 有能感 (Q18~Q20), (10) 主体性 (Q21~Q23), (11) 関係性 (Q23~Q25), (12) 満足度 (Q25, Q26) を確認するものである。これらすべての質問項目に対して、実験参加者は 7 段階評価 (7: 非常に当てはまる~1: 全く当てはまらない) を行った。生命性・擬人化・好ましさ・知性の知覚の質問項目には、GodSpeed 質問法[27]での形容詞対を文形式に置き換えた項目も含まれている。また、各実験条件による「iBones」とのインタラクションの印象や感想について自由に記述するための回答欄を設けた。

口頭インタビューは半構造化インタビューとして実施した。3 つの条件にはそれぞれどんな違いがあったか、また歩くとしたらどの条件の「iBones」と歩きたいか、表 1 に示した質問項目で気になった結果についての理由を聞いた。インタビューは録音を行い、後日書き起こしを行った。

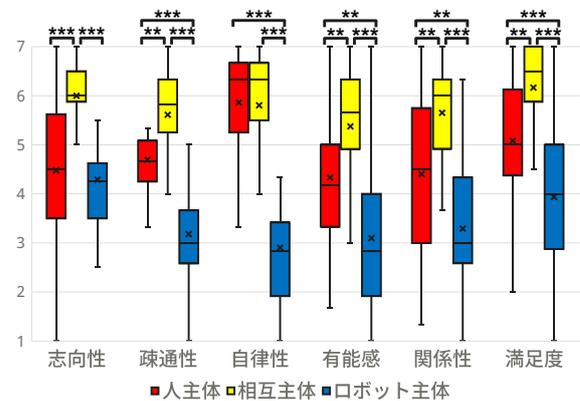
5. 実験結果

実験参加者には 18 歳以上の成人を対象に参加者を募り、計 27 名が参加した。そのうち、体格が大きく認識が外れやすい方と教示を守らずロボットとの距離が大きく離れ認識が外れてしまった方を除外し、最終的に計 24 名(男性 10 名, 女性 14 名, 平均年齢 39.6 歳, SD = 16.5)で実験結果の分析を行った。実験参加者は全員、本実験において初めて「iBones」と一緒に歩いた。実験の様子を図 7 に示す。本実験は被験者内計画で行い、実験参加者にランダムな順番で 3 つの条件でのインタラクションを行ってもらった。そのためアンケートの分析として、「iBones」の



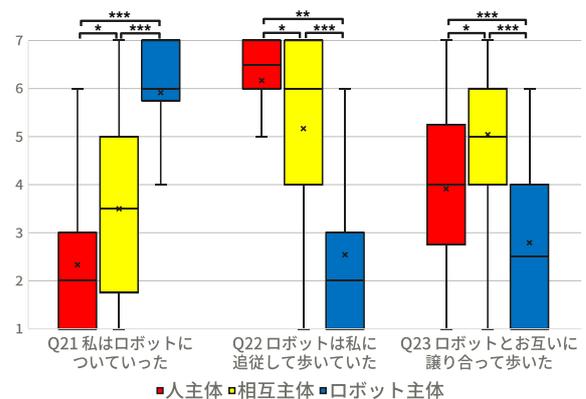
*p < .05, **p < .01, ***p < .001

図 8 ロボットの印象に関する結果



*p < .05, **p < .01, ***p < .001

図 9 インタラクションの印象に関する結果



*p < .05, **p < .01, ***p < .001

図 10 主体性に関する結果

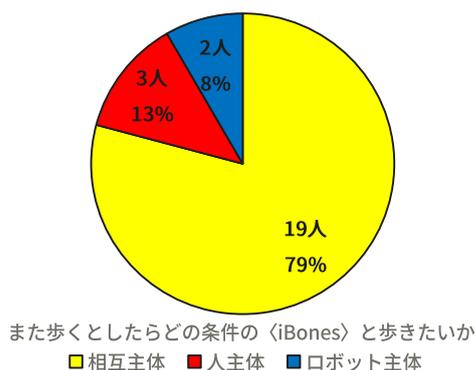


図 11 また歩きたい条件の割合

主体性を要因とする一元配置反復測定分散分析を行うことで条件による印象の変化を検討した。ただし、事前に球面性検定を行い、球面性が仮定できない場合はグリーンハウス＝ガイザー推定による補正を行った。事後検定として、ホルム法により多重比較を行った。有意水準は5%未満とした。

分散分析の結果、全ての質問において条件間の平均値に有意な差があることが確認された。生命性・擬人化・好ましさ・知性の知覚・安心感の平均得点および多重比較の結果を図 8、志向性・疎通性・自律性・有能感・関係性・満足度の平均得点および多重比較の結果を図 9 に示す。また、主体性の所在に関する質問についての平均得点および多重比較の結果を図 10 に示す。さらに、「また歩くとしたらどの条件の〈iBones〉と歩きたいか」という口頭インタビューで選ばれた条件の数と割合を図 11 に示す。

6. 考察

6.1. 自立した存在

図 8 に示した「生命性」、「擬人化」、「知性の知覚」において、相互主体条件と他の条件の平均値に有意差が認められた。また、図 9 の「志向性」、「疎通性」に関しても、同様に相互主体条件と他の条件との間で有意な差異が確認された。これらの結果から、相互主体条件下では、単なるロボットや機械以上の存在として捉えられ、人間のような意図や感情を持つと感じられたことが示唆される。具体的には、〈iBones〉が意思を持ち、自立した存在として認識された可能性がある。

6.2. 主体性の所在

図 10 に示した、主体の所在に関する質問 Q21~Q23 は、インタラクション中に実験参加者と

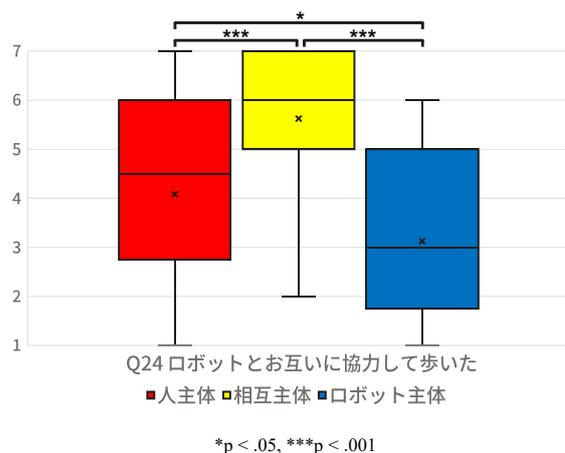


図 12 図 24 の実験結果

〈iBones〉のどちらが主体をもって歩いたかを測るものである。Q21 の「私はロボットについていった」において、ロボット主体条件と相互主体条件の平均値に有意差が認められた。これから相互主体条件では、行先方向を〈iBones〉が一方的に決めていないと感じられたことが分かる。次に、Q22 の「ロボットは私に追従して歩いた」において、人主体条件と相互主体条件の平均値に有意差が認められた。これから相互主体条件では、行先方向を実験参加者が一方的に決めていないと感じられたことが分かる。最後に、Q23 の「ロボットとお互いに譲り合って歩いた」において、相互主体条件と他の条件の平均値に有意差が認められた。これから相互主体条件では、行先方向をお互いに決めていたと感じられたことが分かる。これらの結果から、〈iBones〉と人がお互いに進みたい方向を主導し、ゆるく依存しあう相互主体条件では、〈iBones〉と人の中で役割の明確な線引きがなく、双方に主体性があり、行先方向を調整しあう共同行為が実現されていたと考えられる。また図 12 に示す、Q24 の「ロボットとお互いに協力して歩いた」において、相互主体条件と他の条件の平均値に有意差が認められたことから、相互主体条件では互いに協力して歩いていた関係性が感じられたと言える。そのため、これらの結果を総合すると、双方の主体性を保ちながら支え合う関係性が構築されていたと考えられる。

さらに、人が進行方向を主導し、〈iBones〉が人に一方的に依存する条件である人主体条件では、人に主体性があり、一方的に〈iBones〉を誘導するような関係になっていたことが推測できる。また、〈iBones〉が進行方向を主導し、人が〈iBones〉に一方的に依存する条件であるロボット主体条件では、〈iBones〉に主体性があり、一方的に人を誘導するような関

係となっていたと考えられる。

一方で、Q21とQ22において人主体条件と相互主体条件の平均値の差が大きくと予想していたが、実際には小さい結果となった。その理由として、相互主体条件の〈iBones〉の歩き方が、人とロボットの行きたい方向の合成方向であったことが挙げられる。例えば、人が正面から見て右60度方向に歩きたいと思っており、〈iBones〉が正面から見て左30度方向に歩きたいと思っていた場合、正面から見て右30度方向に歩くことになる。そのため、〈iBones〉は素直についてきていないが、人が歩きたい方向と同じ方向に進むため、相互主体条件の平均値が高まったと考えられる。また、Q23においても人主体条件と相互主体条件の平均値の差が想定していた値よりも小さい結果となった。この質問の意図としては、〈iBones〉と人がお互いに行先方向を譲り合いながら歩いているかを測るものであった。しかし、実験参加者に口頭インタビューを行ったところ、人主体条件において「私の行きたい方向に歩かせてもらう」という点で〈iBones〉から譲られたと感じ、〈iBones〉の移動速度が人の歩く速度よりも遅いため「その速度に人が合わせて歩く」という点で〈iBones〉に譲ったと感じた方が一定数いた。そのため、人主体条件の平均値が高くなり、相互主体条件との差が小さくなったと考えられる。

6.3. ウェルビーイング

図9に示した「自律性」の項目において、ロボット主体条件と他の条件の平均値に有意差が認められた。これにより、人主体条件と相互主体条件では、参加者が自らの意志や考えに基づいて行動を選ぶ自律性を感じられたことがわかる。次に「有能感」の項目において、相互主体条件と他の条件の平均値に有意差が認められた。これにより、相互主体条件では、参加者の能力が引き出され、役に立つ存在だと自覚する有能感を覚えたことがわかる。最後に「関係性」の項目において、相互主体条件と他の条件の平均値に有意差が認められた。これにより、相互主体条件では、参加者と〈iBones〉の間で良好な関係を築き、つながりを感じたことがわかる。これらの自律性・有能感・関係性は、人が自発的に行動を続けるために満たす必要な3つの基本欲求であり、自己決定理論[13]では、これらの欲求が満たされるとことで、ウェルビーイングが向上すると言われている。そのため、相互主体条件では、ウェルビーイングを向上させる3つの要素が満たされ、お互いの能力が十分に生かされ、生き生きとした幸せな状態が生まれていたと考えられる。また「満足度」の項目において、相互主体条件と他の条件の平均値に有意差が

認められた。これは相互主体条件において、ウェルビーイングな関係が生まれ、心身ともに満たされた状態になったため、満足度が高くなったと考えられる。

6.4. コンヴィヴィアリティ

6.1節、6.2節、6.3節の結果から、相互主体条件下では、〈iBones〉は意思を持った自立した存在であると認識された。これにより、〈iBones〉と人の中では役割の明確な線引きがなく、双方が主体性を持ち、行先方向を調整しあう共同行為が実現した。この結果、双方の主体性を保ちながら支え合う関係性が築かれ、お互いの能力が十分に発揮された。これにより、充実感と満足度が高い状態が生まれたと考えられる。

また、自立共生的なインタラクションにおいては、お互いの主体性や創造性を尊重し、支え合う中で安心感やつながり感が生まれた。〈iBones〉と人との関係は単なる主従関係を超越し、協力的なパートナーシップとして機能していたと言える。

さらに、人とロボットが互いに支え合う関係が構築された結果、双方の能力が十分に発揮され、ウェルビーイングが向上するという仮説が立証された。

6.5. 社会的受容性

図8に示す「好ましさ」と「安心感」の項目において、相互主体条件と他の条件の平均値に有意差が認められた。また図10で示した、口頭インタビューで行った「また歩くとしたらどの条件の〈iBones〉と歩きたいか」の質問において、約8割の方が相互主体条件の〈iBones〉と歩きたいと答えた。これらにより、相互主体条件では、「好ましさ」や「安心感」を感じさせ、多くの人がまた歩きたいと思わせていた。また、参加者が自らの意志や考えに基づいて行動を選ぶ自律性を感じられたことがわかる。これらの要因は、Heerinkらが提案したモデルにおいて、エージェントが人々に受け入れられる要因として挙げられている[28]。そのため、双方の主体性を保つ共同行為は社会的受容性が高いとも言える。

このような関係性は、今後の人とロボットの共生社会において重要な役割を果たすと考えている。

7. おわりに

本研究では、従来のサービスロボットの課題を整理し、コンヴィヴィアルなかかわりの考え方を取り入れたインタラクションデザインを提案した。このコンヴィヴィアルなかかわりを備えた、人と一緒に歩く移動ロボット〈iBones〉のコンセプト、システム

構成, および実装内容について述べた. さらに, (iBones) と一緒に歩いた際の印象評価やウェルビーイングを評価するための評価実験についても詳述した.

実験の結果, ロボットと人がお互いの主体性を保ちながら実現する共同行為より, 支えあう関係性が構築され, ウェルビーイングな関係が生まれ, 社会的受容性が高まることを確認した. 一方で, 今回行ったインタラクション内容は, すべてのサービスロボットの活躍場面に適用できるわけではない. そのため, 実際にサービスロボットが活躍する場面においても, コンヴィヴィアルなかわりをどのようにすれば生み出すことができるのか議論を深める必要がある.

ロボットが社会的に広く賛同を得て受け入れられるためには, これまでのインタラクションデザインを見直す必要がある. これを考える上で, コンヴィヴィアルなかわりを目指すロボットの社会的受容性は, ロボットと共生していくうえで重要であると考えられる. 今後は, 様々な場面での検証実験を通じて, その可能性を探っていく予定である.

謝辞

本研究の一部は, 科研費・基盤研究(B)「自律性と操作性をあわせ持つパーソナルビークルの構築とその療育支援への応用」, および基盤研究(C)「人とロボットの(相互主体的な関係)を目指した構成論的・分析的手法によるモデル構築」により行われた. ここに記して感謝の意を表す.

参考文献

- [1] 伊藤亜紗: 『手の倫理』, 講談社, (2020).
- [2] 岡田美智男: 『(弱いロボット)の思考 わたし・身体・コミュニケーション』, 講談社現代新書, (2017).
- [3] 西村駿, 長谷川孔明, 大島直樹, 岡田美智男: (iBones) との小さな協働から生まれるウェルビーイングな関係, ポスター発表, HAI シンポジウム 2022, P-39 (2022).
- [4] ZMP: DeliRo (online), Available from (<https://www.zmp.co.jp/products/lrb/deliro>) (accessed 2024-11/10).
- [5] PUDU: BellaBot (online), Available from (<https://www.pudurobotics.com/jp/products/bellabot>) (accessed 2024-11/10).
- [6] SEQSENSE: SQ-2, (online), Available from (<https://www.seqsense.com/product>) (accessed 2024-11/10).
- [7] 長谷川孔明, 林直樹, 岡田美智男: マコにて: 並ぶ関係に基づく原初的コミュニケーションの研究, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 21, No. 3,

pp. 279-292, (2019).

- [8] 岡田美智男: 『(弱いロボット)から考える 人・社会・生きること』, 岩波書店, (2024).
- [9] イヴァン・イリイチ, 渡辺京二, 渡辺梨佐: 『コンヴィヴィアリティのための道具』, 筑摩書房, (2015).
- [10] 緒方壽人: 『コンヴィヴィアル・テクノロジー 人間とテクノロジーが共に生きる社会へ』, ビー・エヌ・エヌ, (2021).
- [11] 渡邊淳司, ドミニク・チェン, 安藤英由樹, 坂倉杏介, 村田藍子: 『わたしたちのウェルビーイングをつくりあうために: その思想, 実践, 技術』, ビー・エヌ・エヌ新社, (2020).
- [12] ラファエル・A・カルヴォ, ドリアン・ピーターズ: 『ウェルビーイングの設計論 人がよりよく生きるための情報技術』, ビー・エヌ・エヌ新社, (2017).
- [13] Richard M. Ryan, Edward L. Deci: Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being, *American Psychologist*, Vol.55, No.1, pp.68-78, (2000).
- [14] 竹内勇剛: 人工物の人らしさと社会的インタラクション, *人工知能学会誌*, Vol. 16, No. 6, pp. 826-833, (2001).
- [15] Bratman M.: "Shared Agency," in C. Mantzavinos (ed.), *Philosophy of the Social Sciences*, pp.41-59, (2009).
- [16] Dennett, D.C.: *Kinds of Minds: Toward an Understanding of Consciousness*, Basic Books, (1996).
- [17] 平井一誠, 植野慎介, 長谷川孔明, 大島直樹, 岡田美智男: Walking-Bones: 子どもたちは移動ロボットとどう関わるのか? 小学校でのフィールドワークに基づく行動分析, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 23, No. 3, pp. 255-266, (2021).
- [18] 岡田美智男, 松本信義, 塩瀬隆之, 藤井洋之, 李銘義, 三嶋博之: ロボットとのコミュニケーションにおけるミニマルデザイン, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 7, No. 2, pp. 189-197, (2005).
- [19] Balkemore, S-J., Decety, J. : From the perception of action to the understanding of intention, *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 2, pp. 561-567, (2001).
- [20] ROS 2 Documentation: Humble (online), Available from (<https://docs.ros.org/en/humble/index.html>), (accessed 2024-10-28).
- [21] Ao Wang, Hui Chen, Lihao Liu, Kai Chen, Zijia Lin, Jungong Han, Guiguang Ding, YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection, arXiv:2405.14458, (2024).
- [22] Y.Zhang, P.Sun, Y.Jiang, D.Yu, F.Weng, Z.Yuan, P.Luo, W.Liu, and X.Wang, ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box, arXiv:2110.

06864, (2021).

- [23] Long J, Groner J, Eastwood D, et al.: Implications of Arm Restraint on Lower Extremity Kinetics During Gait. *J Exp and Clin Med*, Vol. 3: pp200-206, (2011).
- [24] 佐久間亨, 阿江道良: 体幹の前後傾が歩行動作に及ぼす影響に関するバイオメカニクス的研究, *バイオメカニズム学会誌*, Vol. 34, No. 4, pp325-332, (2010).
- [25] 黒岩将人, 岡崎甚幸, 吉岡陽介: 視野制限下と通常視野での注視行動の比較: 廊下および階段の歩行時において, *人間工学*, Vol. 37, No.1, pp.29-40, (2001).
- [26] 長澤朋哉, 野本弘平: 歩行時の注視の空間分布における習慣的訪問者と初回訪問者との比較; 知能と情報 (日本知能情報フレンジイ学会誌), Vol. 31, No. 1, p p. 608-612, (2019).
- [27] Bartneck, C., Croft, E., Kulic, D. and Zoghbi, S. : Measurement instruments for the anthropomorphism, Animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots, *Int. J. Social Robotics*, Vol. 1, No. 1, pp. 71-81 (2009).
- [28] M. Heerink, B. Kröse, V. Evers and B. Wielinga: Assessing Acceptance of Assistive Social Agent Technology by Older Adults: the Almere Model, *International Journal of Social Robotics*, vol.2, pp.361–375, (2010).