

# スマートフォンとテレプレゼンスロボットの遠隔会議システムにおける存在感と擬人化の影響

## Smartphone and Telepresence Robot: which influences presence and anthropomorphism in telecommunication?

尹 寧得<sup>1,2\*</sup> 山田 誠二<sup>2,1</sup>  
Nungduk Yun<sup>1,2</sup> Seiji Yamada<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> 総合研究大学院大学

<sup>1</sup>The Graduate University for Advanced Studies(SOKENDAI)

<sup>2</sup> 国立情報学研究所

<sup>2</sup>National Institute of Informatics

**Abstract:** 近年, 人々は Zoom や Skype のような遠隔会議システムを使って社会的なコミュニケーションを楽しんだり, インターネットを介して他の人と画面越しにお酒を飲んだりしている. また, Beam のようなテレプレゼンスロボットと呼ばれる遠隔操作が可能な遠隔会議システムを使い始める人もいる. これまでの研究では, 社会的存在感や擬人化の観点から, 例えば人間とロボットを比較するようなシステムの比較は行われてこなかった. そこで, このようなシステムの存在感や擬人化が人にどのような影響を与えるのかについて検証した. そこで, オンライン上で実験を行い, 一元配置分散分析を行った(スマートフォン vs. テレプレゼンスロボットのモーションあり vs. モーションなし). テレプレゼンスロボットは遠隔地に臨場感をもたらすと感じる人もいる. 検証の結果, スマートフォンとテレプレゼンスロボットによるテレビ会議システムでは, 臨場感は得られなかったが, 擬人化に関しては, テレビ会議システムの方が人間らしさを感じた.

## 1 はじめに

近年では, Zoom や Skype などのテレコンファレンスシステムを利用して, 遠く離れた人々とコミュニケーションを取ることや, インターネットを通じて他者とオンラインで飲み会を楽しむことが一般的となっています. また, 一部の人は Beam ロボットなどのテレプレゼンスロボットというロボットシステムの利用をしています. 近年では, 学校でもテレプレゼンスロボットが学生の学習に利用されており, また病院などのケースでは, 医師が患者を訪れるためにロボットを使用しています.

しかしながら, これらのシステムに関しては, 過去の研究において社会的存在感や人間らしさなどの観点で徹底的な比較が行われていませんでした. 例えば, ロボットとスマートフォンを比較するようなものです. そのため, 我々はこうしたシステムの存在感と人間らしさが人々にどのように影響するかについて検討することとしました. そのため, Web ベースの実験を実施し, 一

元配置分散分析(スマートフォン, テレプレゼンスロボットのモーションあり, モーションなし)を行いました. 我々は図 1 に示す Rapiro プラットフォームを使用し, さらに図 2 に示すように Rapiro を改造したものを実験に使用しました. この改造版の Rapiro が本研究におけるテレプレゼンスロボットとして使用します.

## 2 関連研究

### 2.1 HRI におけるテレプレゼンスロボット

以前の研究では, non-verbal は人間-ロボットインタラクション(HRI)において重要な要素となりつつあることが示されています. これらの手がかりは人間同士の対話においても重要な役割を果たしており, 運動の動きを通じて社会的な表現を示すテレプレゼンスロボットはユーザーがより関与感を感じ, ロボットが好ましい存在であると感じさせることができる [4]. 社会的な表現を備えた Orhime-D などの他のシステムは, 障がいを持つ人々が社会やイベントに積極的に参加するのを支援することができます [21]. テレプレゼンスロボットの空間構成とボディの向きは, 人々が配置する方法に影

\*連絡先: 総合研究大学院大学  
東京都千代田区  
E-mail: ndyun@nii.ac.jp



図 1: Rapiro

響を与え、ロボットは人間らしい動作を模倣し周囲の動きを検出する傾向があります [15]. これは人間とロボットとの相互作用の質を大幅に向上させます. ウィザード・オブ・オズ法 (WoZ) でテレオペレーションされたロボットを使用したある研究では、参加者の楽しみはプログラムによる制御か人間による制御かの知識に影響されなかったと報告されています [23]. 山田らは、ロボットが低い自信でアドバイスをする前に人間にゆっくりと躊躇する運動ベースの人工微妙な表現 (ASE) を提案し、長いまたは短い待機表現がロボットの自信を表現するのに役立つ可能性があり、速いまたは遅いモーション ASE がそのような表現にはより適していると結論付けました [22]. 別の研究では、画面上と空間内のジェスチャーを同期させることが、画面上または空間内のジェスチャー単独よりも行動の解釈を有意に向上させ、プロキシモーションの追加も協力の知覚の尺度を向上させることが示されました [20]. また、空間内のジェスチャーは地元およびリモートの参加者の認識に肯定的な影響を与えることが分かりました [20]. Neustaedterらは、会議に参加するために Beam と呼ばれるテレプレゼンスロボットを使用することについて議論し、その結果、テレプレゼンスロボットが出席をサポートしたことが示されました [18]. Fitterらは、表現豊かな腕の動き、表現のない動き、軽い表現の動きの比較実験を行いました [13]. その結果、参加者は軽い通知の利点を感じ、動きが増加するとロボットの人間らしい具現化の知覚が向上すると感じました [13]. 本実験で使用するロボットでは二本の腕の動きを表現することができるため、異なる結果が得られる可能性があります.

## 2.2 HRIにおける擬人化

擬人化は HRI において重要な要素の一つです. Duffyらの研究は、ロボットと人々の社会的相互作用の発展において擬人化が鍵となることについて議論しています [11]. 社会的ロボットの発展における擬人化の要因について、擬人化が採用すべきメカニズムを検討しています [11]. さらに、他の研究者は HRI の心理学及び哲学的視点から擬人化されたロボットの利点について議論し、人間のような機械を現実世界に統合するのに役立つと信じています [25]. また、擬人化が HRI に関連する心理的ストレスを軽減する可能性があり、参加者が人間のようなロボットと機械のようなロボットとの相互作用を予測した場合と予測しなかった場合を比較検討しました [14]. その結果、予測はロボットの種類に関係なく心理的ストレスを増加させることが示されました [14]. EDGAR は表現表示とジェスチャーのアバターロボットの頭文字であり、また社会的表現のために設計された擬人化されたテレプレゼンスロボットです [7].

## 3 仮説

実験による二つの仮説を立てました. 先述のように、スマートフォン (smartphone condition) とテレプレゼンスロボットのモーションあり (motion condition) とモーションなし (static condition) の間で実施された被験者間デザインを用い、存在感と擬人化にどの要因が重要な影響を与えるかを調査しました. 以前の研究では、ロボットの腕の動作がコミュニケーションにおいてより効果的であると報告されています [4]. 以下には H1 と H2 の二つの仮説を示します.

- **H1:** ロボットに動作がある場合、存在感が他の二つの条件よりも影響が多い.
- **H2:** ロボットに動作がある場合、擬人化に影響が多い.

## 4 実験方法

### 4.1 タスク

参加者は、図 4a,4b,4c に示されているように、3つの異なる条件の動画を1つずつ視聴しました. モーション条件では、改造版 Rapiro が腕の動きや表5にリストされた動きを表現しました. スタティックモーションでは、この条件ではいかなる動きも再生されませんでした. スマートフォン条件では、通常のテレコンフェレンスシステムのように、リモートユーザーの顔だけが表示されました.

表 1: アイテムのランキング

	実験者	遠隔操作者
1	酸素タンク	酸素タンク
2	月面地図	水
3	ナイロンロープ	食物濃縮物
4	パラシュート	応急手当キット
5	救命いかだ	月面地図

私たちは、遠隔操作者がテレプレゼンスロボットを介してコミュニケーションし、人が月面での生存とアイテムのランキングについて話す一連のディスカッションビデオを作成しました。私たちは、Desert Survival Problem の改造版を使用しました [16]。これは NASA のエクササイズとしても知られており [1]、Desert Survival Problem は多くの社会学者やロボット工学の研究者によって使用されています [4][6][8][19][24]。ビデオのシナリオは、月に不時着した宇宙飛行士が、帰還するために残された 15 アイテムから 5 つのアイテムを選択する方法について話しているものでした。ビデオの長さの制約のため、私たちは 5 つのアイテムまでのランキングについてしか議論しておらず、15 アイテムまで議論していた場合、ビデオの長さが長すぎたでしょう。5 つのアイテムのランキングは表 1 に示されています。

## 4.2 アンケート

3 つの条件で存在感と擬人化を測定するために、Godspeed シリーズからの 1 つのアンケートと、存在感を測定するための社会的存在感用のものの 2 つの異なるアンケートを使用しました。Godspeed は HRI (Human-Robot Interaction) のための標準化された測定ツールであり、その測定には擬人化、生命力、好感度、知性の知覚、および安全性の知覚の 5 つのキーポイントがありますが、この研究では擬人化のみを使用しました。第二のアンケートについては、存在感の尺度である Networked Minds の社会的存在感の尺度を使用しました [6]。実験に適合しないいくつかの文言があったため、このアンケートを修正しました。第一および第二のアンケートからの質問のいくつかは、表 1 および表 2 にリストされています。

表 2: GODSPEED のアンケート

	擬人化	
1	(smartphone condition)	自然
2	機械的	人間的
3	認識を持たない	意識を持っている
4	人工的	生物的

表 3: Networked Minds 社会的存在感尺度のアンケート

	社会的存在感
1	私はよく一人だと感じていた
2	私は他の個人がよく一人だと感じていた
3	私は環境の中の他の人によく気づいていた
4	他の人はよく私に気づいていた
5	他の個人は私に注意を払っていた
6	私は他の個人に注意を払っていた
7	他の個人は私を無視する傾向があった
8	私の行動は他者の行動に直接的な反応でした
9	他者の行動は私の行動に直接的な反応でした
10	パートナーはあまり助けくれませんでした
11	私はあまり他者を助けませんでした

表 4: スマートフォンの仕様

モデル	5.2, ZE520KL 64GB
ブランド	Asus
スクリーンサイズ	5.2 インチ
サイズ (幅 x 高さ)	73.98 x 146.87mm
ディスプレイの解像度	1080x1920 ピクセル
システムバージョン	Android 6.0
CPU	Qualcomm Snapdragon 625

## 4.3 参加者

合計 216 人の参加者がオンライン実験に参加しました (男性: 130 人, 女性: 70 人)。参加者の年齢は 18 歳から 63 歳までの範囲で、平均は 44.2 歳、標準偏差は 10.6 です。参加者は Yahoo! Crowd-sourcing から募集しました。これは Yahoo! Japan が提供するサービスです。

## 4.4 プラットフォーム

異なるアプリケーションや教育および趣味用途などで広く使用されているヒューマノイドロボットである Rapiro [2] を使用しました [3][10]。ロボット内の Arduino および Raspberry Pi は、ユーザー (開発者) が PC からコマンド信号を送信するだけでロボットと通信できるようにし、システムを簡単に拡張できるようにもしています。そのため、このロボットを実験のためのテレプレゼンスロボットとして使用しました。実験では、色のバイアスがあるため、Rapiro の目の色を青に固定しました。また、実験用のプロトタイプとして Rapiro の頭部を改造しました。その他の条件では、一般的に使用されている約 5.2 インチのシンプルなスマートフォン (図 3 に示す) を使用し、すべての条件でリモートユーザーの顔が表示されるようにしました。



図 2: 改造版の Rapiro



図 3: スマートフォン

#### 4.5 ハードウェア

Rapiro[2] は 12 自由度 (DoF), 額に USB カメラ, マイク, 頭部内にスピーカーを搭載しています. 図 1 は Rapiro の概要を示しています. Rapiro の変更点として, 別の Rapiro の頭部を改造してリモートユーザーの顔を表示できるようにしました. 5 インチのポータブルモニターを使用し, 頭部は 3D プリンタを使用して PLA で作られています. この Rapiro もまた 12 の DoF, USB カメラ, マイク, および頭部内のスピーカーを備えています. 図 2 は改造された Rapiro の概要を示しています. ポータブルモニターのサイズに合わせるために, 5.2 インチのスクリーンサイズのほぼ同じスマートフォンを使用しました. さらに, スマートフォンの仕様は表 4 に示されています.



(a) Motion Condition.



(b) Static Condition.



(c) Smartphone Condition.

図 4: Experimental Conditions.

#### 4.6 ユーザーインターフェース

Rapiro を動かすために, キーボード入力インターフェースを作成しました. 遠隔のオペレーターがキーボードで数字「2」を押すと, ローカルの PC がオペレーターの場合からの信号を Wi-Fi 経由で受信し, ロボットはその特定の動作を行います.

次に示す原則に従ってロボットの動作を生成しました. 両方のロボットに対して, 実験のために開発した「手を上げる」や「両手を振る」などの事前設定された動作とオリジナルの動作を使用しました. ビデオタスクでは合計で 6 つの動作を使用し, 動作のリストは表 5 に示されています. 事前設定された動作には前進や後退のような動きも含まれていましたが, この実験では使用していません. スマートフォンの状態では, リモートユーザーの顔が表示されます.

### 5 結果

G\*Power の計算 [12] では, サンプルサイズは 159 でした. 各条件について, 解析には 53 人の参加者が使用

表 5: 動作のリスト

動作	
1	両手を上げる
2	両手を振る
3	右手を伸ばす
4	両手を握る
5	左手を上げる
6	両手をフラフラさせる

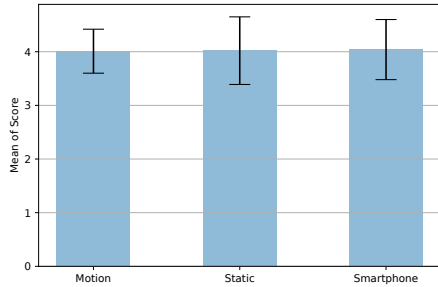


図 5: 3つの条件における存在感の平均 (MEAN)

されました。元々は 216 人の参加者が実験に参加しましたが、いくつかのエラーが発生したため、サンプルサイズを一致させるためにデータを削除しました。

擬人化を測定するために Godspeed アンケートシリーズから擬人化を使用しました [5]。存在感を測定するためには、Networked Minds 社会的存在感尺度のアンケートを使用しました [6]。さらに、両方のアンケートから平均点を計算しました。

すべての従属変数の平均値と標準偏差 (S.D.) は、Fig.5 および Fig.6、Table 7 および Table 6 に示されています。

仮説を検証するために、実験条件を問題材要因とした一元配置分散分析 (one-way ANOVA) でデータを分析しました。結果として存在感に関しては、一元配置分散分析ではすべての条件で統計的に有意な差がなかったことが明らかになりました ( $F(2,156) = 0.04, p = 0.96$ )。

擬人化に関しては、他の条件で少なくとも 2 つのグループ間に統計的に有意な差がありました ( $F(2,156) = 36.04, p = 0.00$ )。Shaffer の逐次棄却多重検定手法による多重比較では、擬人化の平均値はモーションとスマートフォン間で統計的に有意に異なることがわかりました ( $p = 0.00$ )。さらに、擬人化にはスタティックとスマートフォンの条件間 ( $p = 0.00$ )、およびモーションとスタティックの条件間 ( $p = 0.00$ ) で統計的に有意な差がありました。

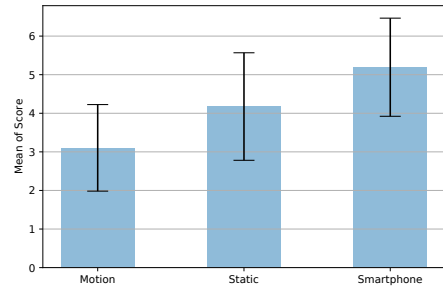


図 6: 3つの条件における擬人化の平均 (MEAN)

表 6: 存在感による S.D. and Mean

Condition	MEAN	S.D.
motion	4.01	0.41
static	4.02	0.63
smartphone	4.04	0.56

## 6 仮説の要約

実験の結果に関する 2 つの仮説を設定しました。以下にその結果を示します。H1, ロボットに動作がある場合、存在感が他の二つの条件よりも影響が多いの仮説は、以前の研究でロボットの腕の動きがコミュニケーションにより効果的であることが示されていたため、他の 2 つの条件よりも存在感に影響を与えると予想されました [4]。しかし、この仮説は成立しませんでした。有意な交互作用は見られなかった。動作 (motion) の要因については有意な差が見られなかったからです ( $F(2,156) = 0.04, p = 0.96$ )。

H2, ロボットに動作がある場合、擬人化に影響が多いと仮定しました [4]。しかし、この仮説も成立しませんでした。まず、有意な交互作用は見られなかった。擬人化にはすべての条件で有意な差が見られたからです。ただし、表 6 の平均値を見ると、動作条件 (motion condition) では擬人化が最も低い値でした。我々の結果には特定的一般性があり、ここで提示されている研究にはこれらの一般性に影響を与える可能性のある制限があります。

表 7: 擬人化による S.D. and Mean

Condition	MEAN	S.D.
motion	3.10	1.12
static	4.17	1.39
smartphone	5.19	1.27

## 7 議論

まず Rapiro をロボットプラットフォームとして使用したことは、特定の2つのロボットで実験を行ったため一般性に影響を与える可能性があります。各種のロボットはアクチュエータの数による制限があります。さらに、Rapiro プラットフォームはプロトタイプ用の低価格なロボットプラットフォームであり、アクチュエータがプラスチック製の歯車を備えた劣化した DC モーターであるため、動作に騒音も発生しました。ただし、ロボットに一般化されるとは限りません [17]。そして、動作に関する仮説への説明不足していました。なぜなら、我々が選んだ動作は人間の生活からの一般的な動きであったからです。さらに、動作を生成するには慎重である必要がありました。機械的な動きは影響を与え、また実験から動作 (motion) 条件の擬人化が他の2つの条件と比較して最も低い平均値であったため、擬人化も難しかったです。また、遠隔操作者の発話と動作再生速度の遅延は、存在感や擬人化の認識に影響を与えた可能性があります。ロボットの頭部の設計が一般性に影響を与えた可能性があります。また、一般的なオンライン実験に関しては、Crump ら [9] が Web 上で使用したオンラインデータは実験手法がしっかりしていれば、主に実験室の結果と一致すると示しています。ビデオタスクにおいては、人間らしさと機械らしさに関するいくつかの問題がありました。頭部がロボットのような場合、ロボットはロボットに慣れていない参加者にとっても人間らしく見え、ロボットが話す方法も人間らしく聞こえました。顔が人間のものであるため、参加者はロボットを不気味に感じました。これは不気味な谷に関連している可能性があります。さらに、ほとんどの参加者はスマートフォン (smartphone) 条件ではビデオチャットをしているかのように感じました。将来の研究では、この研究で使用した条件と方法を使用して対面実験を行います。最後に、どのロボットを使用しても、単純な動作でも存在感を感じることができるという結果が得られました。将来のテレプレゼンスロボットのデザインは、人間らしさか存在感に重点を置くかによって変わるでしょう。

## 8 おわりに

人々は一般的に遠く離れた人々とコミュニケーションをとるために遠隔会議システムをよく使用しています。テレプレゼンスロボットなどの使用はまだ一部の人のためのみです。我々はこのようなシステムの存在感と擬人化が人々にどのように影響するかを知りたいと考えました。Web ベースの実験を行い、スマートフォン、テレプレゼンスロボットのモーションあり、モーションなしの一元配置分散分析を行いました。一部の人は

テレプレゼンスロボットが遠隔地に存在感をもたらすと感じています。しかし、結果からは、スマートフォンとテレプレゼンスロボットを使用したビデオ遠隔会議システムは存在感を生み出さなかった。一方で、擬人化に関しては、参加者はスマートフォン条件でより人間らしさを感じたという結果が得られました。

## 参考文献

- [1] Nasa exercise: Ranking survival objects for the moon. <https://www.psychologicalscience.org/observer/nasa-exercise>.
- [2] Rapiro. <http://www.rapiro.com/ja/>.
- [3] ABIRI, R., MCBRIDE, J., ZHAO, X., AND JIANG, Y. A real-time brainwave based neuro-feedback system for cognitive enhancement. *ASME 2015 Dynamic Systems and Control Conference, DSCC 2015 1*, September 2016 (2015).
- [4] ADALGEIRSSON, S. O., AND BREAZEL, C. MeBot: A robotic platform for socially embodied presence. *5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI 2010* (2010), 15–22.
- [5] BARTNECK, C., KULI, D., AND CROFT, E. Measurement Instruments for the Anthropomorphism, Animacy, Likeability, Perceived Intelligence, and Perceived Safety of Robots. 71–81.
- [6] BIOCCA, F., HARMS, C., AND GREGG, J. The Networked Minds Measure of Social Presence: Pilot Test of the Factor Structure and Concurrent Validity Co-Presence.
- [7] CHING, P. W., YUE, W. C., AND LEE, G. S. G. Design and development of edgar - a telepresence humanoid for robot-mediated communication and social applications. In *2016 IEEE International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)* (Apr. 2016), pp. 1–4.
- [8] CHOI, M., KORNFELD, R., TAKAYAMA, L., AND MUTLU, B. Movement matters: Effects of motion and mimicry on perception of similarity and closeness in robot-mediated communication. 325–335.
- [9] CRUMP, M. J. C., MCDONNELL, J. V., AND GURECKIS, T. M. Evaluating amazon’s mechanical turk as a tool for experimental behavioral research. *PLOS ONE* 8, 3 (03 2013), 1–18.

- [10] D'AURIA, D., SICILIANO, B., PERSIA, F., BETTINI, F., AND HELMER, S. SARRI: A SmArt Rapiro robot integrating a framework for automatic high-level surveillance event detection. *Proceedings - 2nd IEEE International Conference on Robotic Computing, IRC 2018 2018-Janua* (2018), 238–241.
- [11] DUFFY, B. R. Anthropomorphism and the social robot. *Rob. Auton. Syst.* 42, 3 (Mar. 2003), 177–190.
- [12] ERDFELDER, E., FAUL, F., BUCHNER, A., AND LANG, A. G. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods* 41, 4 (2009), 1149–1160.
- [13] FITTER, N. T., JOUNG, Y., DEMETER, M., HU, Z., AND MATARIĆ, M. J. Design and evaluation of expressive turn-taking hardware for a telepresence robot. In *2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* (2019), pp. 1–8.
- [14] KUCHENBRANDT, D., RIETHER, N., AND EYSSEL, F. Does anthropomorphism reduce stress in HRI? In *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction* (New York, NY, USA, Mar. 2014), HRI '14, Association for Computing Machinery, pp. 218–219.
- [15] KUZUOKA, H., SUZUKI, Y., YAMASHITA, J., AND YAMAZAKI, K. Reconfiguring spatial formation arrangement by robot body orientation. *5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI 2010* (2010), 285–292.
- [16] LAFFERTY, J. C., EADY, AND ELMERS, J. The desert survival problem.
- [17] MOLLAHOSSEINI, A., ABDOLLAHI, H., SWEENEY, T. D., COLE, R., AND MAHOOR, M. H. Role of embodiment and presence in human perception of robots' facial cues. *International Journal of Human Computer Studies* 116, April (2018), 25–39.
- [18] NEUSTAEDTER, C., VENOLIA, G., PROCYK, J., AND HAWKINS, D. To beam or not to beam: A study of remote telepresence attendance at an academic conference. *CSCW '16, Association for Computing Machinery*, p. 418–431.
- [19] RAE, I., TAKAYAMA, L., AND MUTLU, B. The influence of height in robot-mediated communication. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction* (2013), 1–8.
- [20] SIRKIN, D., AND JU, W. Consistency in physical and on-screen action improves perceptions of telepresence robots. *HRI'12 - Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction* (2012), 57–64.
- [21] TAKEUCHI, K., YAMAZAKI, Y., AND YOSHIFUJI, K. Avatar work: Telework for disabled people unable to go outside by using avatar robots. *Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction* (2020), 53–60.
- [22] YAMADA, S., KOMATSU, T., TERADA, K., FUNAKOSHI, K., KOBAYASH, K., AND NAKANO, M. Expressing a Robot's Confidence with Motion-based Artificial Subtle Expressions. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings 2013-April* (2013), 1023–1028.
- [23] YAMAOKA, F., KANDA, T., ISHIGURO, H., AND HAGITA, N. Interacting with a human or a humanoid robot? *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems* (2007), 2685–2691.
- [24] YONEZU, S., AND OSAWA, H. Telepresence robot with behavior synchrony: Merging the emotions and behaviors of users. *RO-MAN 2017 - 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication 2017-Janua* (2017), 213–218.
- [25] ZŁOTOWSKI, J., PROUDFOOT, D., YOGESWARAN, K., AND BARTNECK, C. Anthropomorphism: Opportunities and challenges in Human-Robot interaction. *International Journal of Social Robotics* 7, 3 (June 2015), 347–360.