

バーチャルロボットヘッドと人の社会的距離の有効性と視線推定の正確性に関する研究

Accuracy of Social Distance and Line of Sight Between a Virtual Robot Head and Humans

峯岸朋弥¹ 大澤博隆¹

Tomoya Minegishi¹ and Hirotaka Osawa¹

¹筑波大学

¹University of Tsukuba

Abstract: 本研究では、バーチャルロボットヘッドと人の社会的距離の有効性と人によるバーチャルロボットヘッドの視線推定の正確性について検討する。人間に動きを知覚させることが可能なバーチャルロボットヘッドとして、裸眼立体視可能なディスプレイを用いることを提案する。バーチャルロボットヘッドに箱を被せ、観察者に身体を想起させることにより、社会的距離が適用されることがわかった。また身体を想起させることは、観察者の視線推定に効果的に働いたことがわかった。

1 序論

人の生活空間内である博物館やオフィス、住居で人間とコミュニケーションを行う、ソーシャルロボットと呼ばれる可動型ロボットの需要が増えている。ソーシャルロボットは、人間と同じような身体を持つロボットである。身体を持つことにより、言葉以外にジェスチャーなどによる非言語情報を使ったコミュニケーションや、対象物を指し示すなどの動作を行うことができる利点がある。

ソーシャルロボットが人間の生活空間で活動するために、人間に不快感を与えないようロボットが人間を避ける方法が研究されている。しかしながら、人間を避けるのみでは不十分である場面が存在する。例えば美術館の展示作品を案内するロボットは、作品に関する案内を聞いてもらえるよう、適切な場所に立ち、適切に目を向けてユーザの注視を促す必要がある[1][2]。デジタルサイネージなどに表示される物理的動作がない平面ディスプレイ上のオンスクリーンエージェントは、観察者が視点を変えても平面ディスプレイに表示されたエージェントから見つめられているように感じてしまうモノリザ効果が発生する[3]ため、美術館案内には不適である。よって美術館案内ロボットは、人間を回避するのみでは最適な対応が行えない。人間に避けてもらう方法として声をかけることが考えられる。しかしながら、博物館案内を行うロボットが人間に声掛けを行ったが人

間に距離をとってもらえなかったことを示す研究がある[4]。よって美術館案内ロボットによる声掛けではなく、人間に自発的に遠ざかってもらう方法が必要である。

人間に自発的に遠ざかってもらう方法として、人間の密接距離に接近することが挙げられる。密接距離とは Hall[5]により分類された社会的距離のうちの一つである。社会的距離とは、人間がコミュニケーション時にとる距離を相手との親しさにより4段階に分類したものである。密接距離は、恋人や家族のような最も親しい人間と取る距離である。よって親しくない人間が 0.45m 以内の密接距離に介入すると不快を感じ、相手との距離を調整する。社会的距離はソーシャルロボットと人間の間にも適用されることが示されている[6][7][8]。

しかしながら、ソーシャルロボットによる密接距離への接近は、人間に危害を与える可能性がある。例えば美術館案内ロボットにおいても、不用意な衝突が起きるなど、人間に危害を加える可能性があるため接近動作は危険である。物理的な危害を避けつつ、存在感を与え、自発的にユーザに避けてもらう方法が望まれる。

本研究では、美術館案内ロボットに求められる危害を加えず接近し、人間に自発的に動いてもらう課題の解決方法として、裸眼立体視ディスプレイを使用しロボットヘッドを提示することを提案する。物理的な動きがなくても観察者はロボットヘッドの動

きを知覚できる。よって観察者は実際の距離より近く・遠くに居ると知覚できる可能性がある(図1)。ロボットヘッドの動作を映像で表示するため、素早い動きの提示を実現することができる。また映像を立体的に表示するため、モノリザ効果が発生しない。以下、裸眼立体視可能なディスプレイに表示されたロボットヘッドを、バーチャルロボットヘッドと呼ぶ。

本研究では、バーチャルロボットヘッドが人間を自発的に遠ざけることが可能か、参加者とバーチャルロボットヘッドの間の距離を測定することで調査した。またモノリザ効果発生の有無について、観察者による視線推定誤差を測定することで調査した。

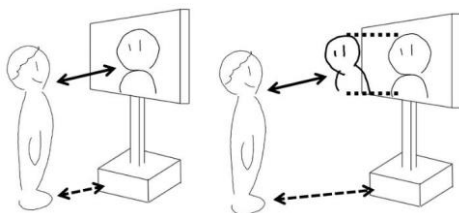


図1: バーチャルロボットヘッドの例

2 関連研究

人間が快適にコミュニケーションを行うためには、Hallによって定義された社会的距離を適切に維持する必要がある。社会的距離とはHall[5]により分類されたパーソナルスペースのことである。人間はコミュニケーションを行う際、相手との親密度により対人距離を決める。この対人距離を文化人類学者のHallは社会的距離と定義した。例えば恋人や家族のような親しい関係ではない人間が0.45m以内の密接距離に侵入すると、侵入された人間は不快を感じる。親しい関係ではない人間同士が快適にコミュニケーションを行うには、両者は1.2m-3.6m離れる必要がある。

社会的距離は人間とロボットがコミュニケーションをとる場面においても適用されることが示されており[6][7][8]、維持できない場合は人間に不快感を与えることが示されている[8]。しかしながら、ソーシャルロボットによる密接距離への接近は、人間に危害を与える可能性がある。

ソーシャルロボットの接近に関する危険性を避ける最も簡単な方法として、ディスプレイに実質的な身体を映し出すオンスクリーンエージェントを用いることが挙げられる[9][10][11]。オンスクリーンエージェントはソーシャルロボットと異なり、ディスプレイなどに表示することにより、その場に実在しているように感じることができる。またオンスクリー

ンエージェントは、物理的な動きがなくても言葉以外のジェスチャーなどの表現を豊かに行える。ソーシャルロボットより低コストで、かつ短い時間で実装することができることも利点である。しかしながら平面画面に表示されたオンスクリーンエージェントには、観察者が視点を変えても平面ディスプレイに表示されたエージェントから見つめられているように感じてしまうモノリザ効果が発生する[3]。またHedayatiら[9]は、オンスクリーンエージェントと人間の間には社会的距離が適用されないことを示した。

3 提案手法

本研究では、裸眼立体視ディスプレイを使用したバーチャルロボットヘッドを提案する。裸眼立体視可能なディスプレイ上に、人型の3Dモデルを表示し、これをバーチャルロボットヘッドとする。参加者がHMDなどのウェアラブルデバイスを装着する必要がないことから認知的負荷がかからない。

本研究は裸眼立体視ディスプレイを用いたバーチャルロボットヘッドにより2つの目的を達成し得る。

(1)参加者に物理的動作を想起させることにより、参加者の立ち位置を無意識に移動させることができると考えられる。

(2)参加者に対し、正確に場所の提示を行うことができると考えられる。

本研究では2つの可能性について検証する。

4 設計と実装

裸眼立体視ディスプレイに表示する3Dモデルは、現実空間で人の顔と同程度の大きさになるように表示する必要がある。エージェントを現実空間の人間と同程度の大きさに表示することで人間との距離を操作できる[12]。よって人と同程度の大きさの顔を用意し、社会的距離を操作することで参加者を無意識に移動させることができると考えられる。

表示する3Dモデルは人に似たものを使用する必要がある。人間はエージェントの顔が人に似ているほど正確に視線推定できる[13][14][15][16]。人に似た3Dモデルを使用することで、参加者は正確に場所を推定できると考えられる。

4.1 ハードウェアとソフトウェア

裸眼立体視ディスプレイはLooking Glassを使用した。これはLooking Glass Factory社により開発された3Dホログラムディスプレイである[17]。左右の目に異なる映像を表示することにより裸眼で立体視

を可能にしている。表示領域は正面水平方向約 50 度であり、これを 45 個の視点に分けている。

表示するバーチャルロボットヘッドは Unity により開発したプログラムにより制御する[18]。Unity はゲームエンジンであり、3D モデル制御を得意とする。人間に似た 3D モデルが Unity に読み込まれ、Looking Glass に表示される (図 2)。



図 2: 実装したバーチャルロボットヘッド

4.2 3D モデルの制御

バーチャルロボットヘッドは Wizard of Oz 法により動作させる。これは実験者がバーチャルロボットヘッドを操作することで、実験参加者からは自律エージェントのように見えるよう動作させる手法である。

バーチャルロボットヘッドは、参加者に近づいたり遠ざかったりすることができ、視線を使用して指示することができるよう実装した。バーチャルロボットヘッドは実験者の操作により、頭の位置と視線を変更することができ、言葉を話すことができるよう実装した。口の動きは一定だが、用意された音声ファイルを読み込むことができ、実験者がボタンを押すことにより読み上げを開始する。

5 身体性調査

バーチャルロボットヘッドに裸眼立体視ディスプレイ部分が抜かれた箱を被せる場合と、箱を被せない場合の 2 条件を調査した (図 3)。実装したバーチャルロボットヘッドは顔の上下が見切れていることから、観察者がバーチャルロボットヘッドの身体を想起できない可能性がある。人間は、オンスクリーンエージェントが実質的な身体を持つことで信頼し、存在感があると感じる[19][20]。また身体は人間が快適にコミュニケーションを行うためにも必要であることが示されている[21][22][23]。箱を被せることにより、観察者は身体を想起し、バーチャルロボットヘッドが穴から覗いているように知覚できることを

狙う。しかしながら、箱を被せることで身体が想起できるか自明ではないため、身体性を含めた印象調査を行った。

Amazon Mechanical Turk を使用し、20 名の参加者を募った。全参加者に、箱を被せたバーチャルロボットヘッドと箱を被せないバーチャルロボットヘッドのそれぞれが、美術館案内を行うシーンを撮影した動画を見てもらった。動画視聴後アンケートに答えてもらった。それぞれの項目に 7 段階のリッカートスケールにより答える。アンケートの項目は Hoffmann ら[24]を参考にした。オンスクリーンエージェントの行動の知覚と解釈(Q1)、物体との作用(Q2)、非言語情報の表現(Q3)、身体性を評価(Q4)することができる。

4 つの質問の回答それぞれ 2 条件間で差があるか調べるため Wilcoxon の符号順位検定を行った。バーチャルロボットヘッドに対する印象調査結果を図 3 に示す。

箱を被せたバーチャルロボットヘッド (以下 Embodied 条件という) は、箱を被せないバーチャルロボットヘッド (以下 Skeleton 条件という) と比べ、有意に身体性があると評価された ($p < .05$) (Skeleton : Mean = 4.85, SEM = 0.31, Embodied : Mean = 5.45, SEM = 0.27)。参加者にバーチャルロボットヘッドの身体を想起させるには、ディスプレイ部分が抜かれた箱を被せることが有効であることがわかった。

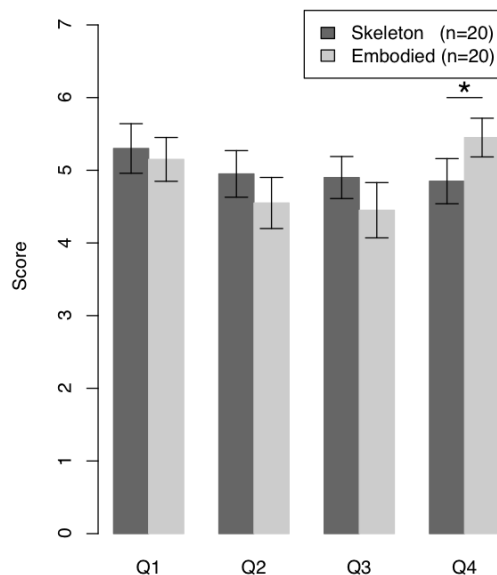


図 3: アンケート結果 (*は $p < .05$, エラーバーは $\text{mean} \pm \text{SEM}$ を示す)

6 対人実験

実装したバーチャルロボットヘッドが物理的な動

きなしで対人距離を縮めることで人間に遠ざかってもらうことは可能か、また人間による視線推定精度を実験により調査した。

6.1 3D モデルの制御

参加者が美術館案内エージェントから、作品紹介を受ける、指示されるシナリオを作った。このシナリオでは、参加者が自由に動けること、視線を推定しやすいことが重要である。大きく分けて2つのタスクを実行した。

1つ目は説明を聞きたい場所まで移動するタスクである。参加者は最初に、バーチャルロボットヘッドが置かれた机の手前 10cm 程度まで近づくよう指示される。参加者は、バーチャルロボットヘッドの横に置かれた作品について説明を受けている途中で、聞きやすい位置まで移動するよう指示される。バーチャルロボットヘッドは説明の開始とともに参加者との距離を大きく詰める。これにより、バーチャルロボットヘッドが参加者の密接距離に介入したとき、参加者は距離を取るか実験条件ごとに比較する。

2つ目はポール設置タスクである。参加者は、バーチャルロボットヘッドが見つめる先にポールを設置するよう求められる。合計で2つのポールを設置するが、どちらのポールも一度置くよう指示されたあともう一度移動するよう指示される。1つ目のポールは参加者右奥方向に設置し、2つ目のポールは参加者左手前方向に設置するよう指示される。合計4つの視線推定を行い、その平均を視線推定誤差として扱う。2つのポールを設置・移動できたところでタスクが終了する

6.2 実験空間

実験空間には、バーチャルロボットヘッドを置くための机、美術館に保管されていることを想定したマグカップ、ポール2つを配置した。机の上には高さ調整が可能な台座の上に Looking Glass を配置した。また Looking Glass の背後には音声を流すためのスピーカーを配置した。空間は参加者が十分動き回れるような広さを保った。壁の上部には、記録用のビデオカメラを設置した。バーチャルロボットヘッドは、実験者が参加者の動きに合わせて操作する Wizard of Oz 法で動作させるため、実験者が参加者を観察できるよう、Web カメラを設置した (図 4)。実際の実験環境を図 5 に示す。

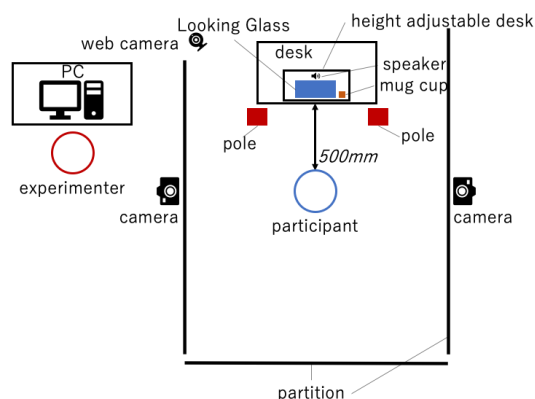


図 4: 実験環境

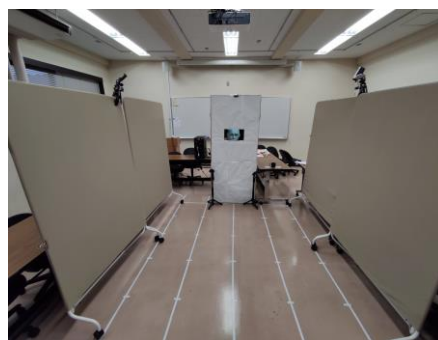


図 5: 実際の実験環境

6.3 実験条件

実験は、Looking Glass の 3D 表示有効の場合 (3D 条件) と 3D 表示無効の場合 (2D 条件) の全 2 条件でおこなった。

6.4 実験参加者

実験参加者は 10 人の大学生・大学院生であった。3D 表示有効、無効の 2 条件でタスクを実行してもらった。

6.5 評価内容

タスク 1 では、参加者の初期位置からバーチャルロボットヘッドまでの距離と、密接距離に介入され移動した位置からバーチャルロボットヘッドまでの距離を測定する。タスク 2 では、バーチャルロボットヘッドが見つめる先と参加者が実際にポールを設置した場所の誤差を測定する。これらを比較し評価する。

6.6 仮説

参加者はバーチャルロボットヘッドによる美術館作品案内を、3D条件の方がより距離を取って聞くと仮説を立てた。提案するバーチャルロボットヘッドは立体的に見えるため、社会的距離が成立すると考えられる。

参加者はバーチャルロボットヘッドの視線を、3D条件のほうが誤差を小さく推定できると仮説を立てた。立体的に見えるバーチャルロボットヘッドはモナリザ効果が発生しないと考えられる。3D条件の方が、参加者はバーチャルロボットヘッドの視線の推定が可能であり、ポールの設置場所の誤差が小さくなると仮説を立てた。

7 実験結果

7.1 社会的距離

参加者は3D条件において、バーチャルロボットヘッドから有意に遠くに移動した(Moved distance)。参加者の社会的距離の結果を図6に示す。10名の参加者の2Dおよび3D条件のデータを取得しそれぞれの条件間の差を調べるためWilcoxonの符号順位検定を行ったところ、参加者が説明中に移動した場所からバーチャルロボットヘッドまでの距離は、3D条件の方が有意に大きいことがわかった($p < .01$) (3D: Mean = 1.28m, SEM = 1.36, 2D: Mean = 1.02m, SEM = 0.74)。加えて、参加者の初期位置から説明後

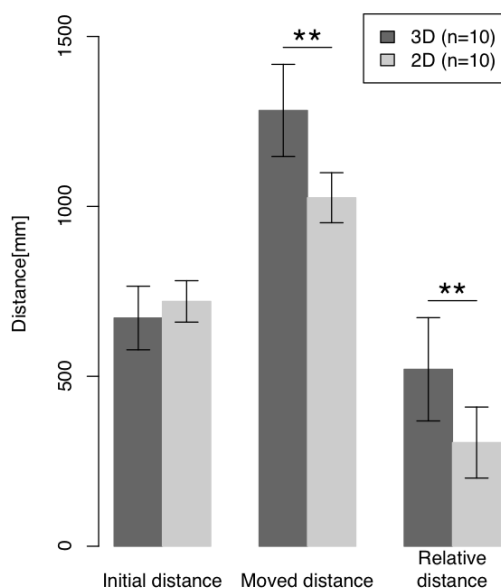


図7: 社会的距離の結果 (**は $p < .01$, エラーバーは $\text{mean} \pm \text{SEM}$ を示す)

の位置までの相対移動距離(Relative distance)において、3D条件のほうが有意に大きいことがわかった($p < .01$) (3D: Mean = 0.52m, SEM = 1.52, 2D: Mean = 0.31m, SEM = 1.04)。

7.2 視線推定

参加者は3D条件において、バーチャルロボットヘッドの視線を有意に誤差が小さく推定できた。参加者によるバーチャルロボットヘッドの視線推定誤差に関する結果を図7に示す。10名の参加者の2Dおよび3D条件のデータを取得しそれぞれの条件間の差を調べるためWilcoxonの符号順位検定を行ったところ、参加者は3D条件において、バーチャルロボットヘッドの視線を有意に誤差が小さく推定できることがわかった($p < .01$) (3D: Mean = 0.64m, SEM = 0.68, 2D: Mean = 0.96m, SEM = 0.49)。

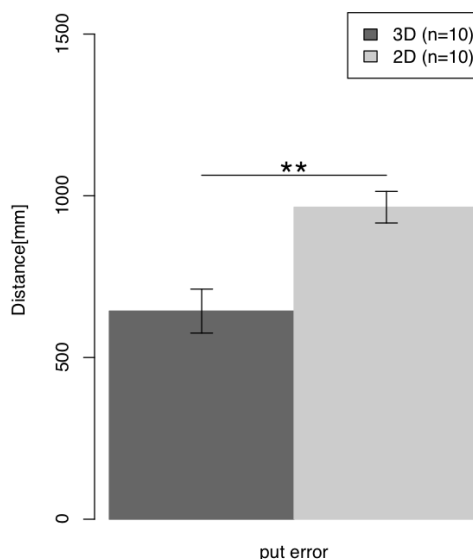


図6: 視線推定の結果 (**は $p < .01$, エラーバーは $\text{mean} \pm \text{SEM}$ を示す)

8 考察

参加者は、立体表示されたバーチャルロボットヘッドから有意に遠くに移動した($p < .01$)。よって仮説が支持された。バーチャルロボットヘッドが密接距離に介入したとき、驚きの表情を示した参加者がいた。また2D条件においては、初期位置から移動しない参加者がいたが、3D条件では全ての参加者が移動しバーチャルロボットヘッドから距離をとった。物理的な動きなしで人間の密接距離に介入し、人間を自発的に遠ざけるためにはバーチャルロボットヘッドを立体的に表示する必要があることがわかった。

参加者は、立体表示されたバーチャルロボットヘッドの視線を有意に誤差が小さく推定できることがわかった。よって仮説は支持された。箱を被せることで観察者は身体を想起することができ、視線推定に影響が出たと考えられる。バーチャルロボットヘッドの視線を誤差が小さく推定してもらうには、バーチャルロボットヘッドを立体的に表示する必要があることがわかった。

9 結論

本研究では、現実世界に物理的な動きがなくても人間に動きを知覚させることが可能なバーチャルロボットヘッドを実現することを目的とし、裸眼立体視可能なディスプレイを用いたバーチャルロボットヘッドを提案した。提案したバーチャルロボットヘッドと人間の間に社会的距離が適用されるか、また観察者によるバーチャルロボットヘッドの視線推定誤差について、タスクにより調査を行った。調査の結果、立体的に表示したバーチャルロボットヘッドに箱を被せ、観察者に身体を想起させることで、バーチャルロボットヘッドと人間の間に社会的距離が適用されることがわかった。また、バーチャルロボットヘッドに箱を被せ、立体表示することで視線推定誤差を減少させることがわかった。

本研究でバーチャルロボットヘッドの身体を想起させる方法として箱を被せることを提案したが、より良い身体性想起方法を考える必要がある。箱以外の手法により身体を想起させることは可能か調査し、社会的距離と視線推定に影響があるか調査する必要がある。

参考文献

- [1] A. Yamazaki, K. Yamazaki, T. Ohyama, Y. Kobayashi, and Y. Kuno: A techno-sociological solution for designing a museum guide robot: Regarding choosing an appropriate visitor, HRI'12 - Proc. 7th Annu. ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact., pp. 309–316, (2012).
- [2] N. Kirchner, A. Alempijevic, and G. Dissanayake: Nonverbal robot-group interaction using an imitated gaze cue, HRI 2011 - Proc. 6th ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact., pp. 497–504, (2011).
- [3] S. Al Moubayed, J. Edlund, and J. Beskow: Taming Mona Lisa: Communicating gaze faithfully in 2D and 3D facial projections, ACM Trans. Interact. Intell. Syst., vol. 1, no. 2, pp. 1–25, (2012).
- [4] M. Shiomi, T. Kanda, S. Koizumi, H. Ishiguro, and N. Hagita: Group attention control for communication robots with wizard of OZ approach, HRI 2007 - Proc. 2007 ACM/IEEE Conf. Human-Robot Interact. - Robot as Team Memb., pp. 121–128, (2007).
- [5] E. T. Hall: The Hidden Dimension, vol. 6, no. 1. Doubleday, (1966).
- [6] J. Mumm and B. Mutlu: Human-robot proxemics: Physical and psychological distancing in human-robot interaction, HRI 2011 - Proc. 6th ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact., pp. 331–338, (2011).
- [7] L. Takayama and C. Pantofaru: Influences on proxemic behaviors in human-robot interaction, 2009 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. IROS 2009, no. November 2009, pp. 5495–5502, (2009).
- [8] E. Senft, S. Satake, and T. Kanda: Would You Mind Me if I Pass by You?, in Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, (2020).
- [9] H. Hedayati and J. Kennedy: Comparing F-Formations Between Humans and On-Screen Agents group together may provide agents with greater insights into, pp. 1–9, (2020).
- [10] T. Komatsu and N. Kuki: Investigating the contributing factors to make users react toward an on-screen agent as if they are reacting toward a robotic agent, Proc. - IEEE Int. Work. Robot Hum. Interact. Commun., no. Figure 1, pp. 651–656, (2009).
- [11] T. Komatsu and Y. Seki: Users' reactions toward an on-screen agent appearing on different media, 5th ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact. HRI 2010, pp. 163–164, (2010).
- [12] R. Aramaki and M. Murakami: Investigating appropriate spatial relationship between user and ar character agent for communication using AR WoZ system, ICMI 2013 - Proc. 2013 ACM Int. Conf. Multimodal Interact., pp. 397–404, (2013).
- [13] F. Delaunay, J. De Greeff, and T. Belpaeme: A study of a retro-projected robotic face and its effectiveness for gaze reading by humans, 5th ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact. HRI 2010, pp. 39–44, (2010).
- [14] N. Yoshida and T. Yonezawa: Spatial communication and recognition in human-agent interaction using motion-parallax-based 3DCG virtual agent, HAI 2015 - Proc. 3rd Int. Conf. Human-Agent Interact., pp. 97–103, (2015).
- [15] D. Sirkin and W. Ju: Consistency in physical and on-screen action improves perceptions of telepresence robots, HRI'12 - Proc. 7th Annu. ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact., pp. 57–64, (2012).
- [16] T. Koda, T. Hirano, and T. Ishioh: Development and Perception Evaluation of Culturespecific Gaze Behaviors

of Virtual Agents, International Conference on Intelligent Virtual Agents, pp. 213–222, (2017).

- [17] Looking Glass Factory · The World's Leading Holographic Display. Retrieved December 17, 2020 from <https://lookingglassfactory.com>
- [18] Unity · Real-Time Development Platform. Retrieved December 17, 2020 from <https://unity.com>
- [19] M. Guimarães, R. Prada, P. A. Santos, J. Dias, A. Jhala, and S. Mascarenhas: The Impact of Virtual Reality in the Social Presence of a Virtual Agent, pp. 1–8, (2020).
- [20] N. Yoshida, S. Hanasaki, and T. Yonezawa: Attracting attention and changing behavior toward wall advertisements with a walking virtual agent, HAI 2018 - Proc. 6th Int. Conf. Human-Agent Interact., pp. 61–66, (2018).
- [21] S. V. Suzuki and S. Yamada: Persuasion through overheard communication by life-like agents, Proc. - IEEE/WIC/ACM Int. Conf. Intell. Agent Technol. IAT 2004, pp. 225–231, (2004).
- [22] K. Kim, L. Boelling, S. Haesler, J. Bailenson, G. Bruder, and G. F. Welch: Does a Digital Assistant Need a Body? the Influence of Visual Embodiment and Social Behavior on the Perception of Intelligent Virtual Agents in AR, Proc. 2018 IEEE Int. Symp. Mix. Augment. Reality, ISMAR 2018, no. 2013, pp. 105–114, (2019).
- [23] N. Yee, J. N. Bailenson, and K. Rickertsen: A meta-analysis of the impact of the inclusion and realism of human-like faces on user experiences in interfaces, Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc., pp. 1–10, (2007).
- [24] L. Hoffmann, N. Bock, and A. M. Rosenthal v.d. Pütten: The Peculiarities of Robot Embodiment (EmCorp-Scale),” ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact., pp. 370–378, (2018).