

ロボットの接触インタラクションにおいて 動作速度が観察者の印象に与える影響の調査

平山太一^{1,2} 岡田優花^{1,2} 木本充彦¹ 飯尾尊優^{1,2}
下原勝憲^{1,2} 塩見昌裕¹

概要：複数のエージェントやロボットを用いたインタラクション設計において、人とエージェントが直接対話するインタラクションと同様に、エージェントが対話の様子を人に観察してもらうことで情報を提供する間接的なインタラクションの有効性が示されつつある。しかし、ロボットのような物理的なエージェントのインタラクションにおける、触れ合い動作のデザインはあまり着目されていない。同じ動作であってもその動作速度が異なることで、人が感じるロボットの関係性は変化するであろう。そこで本研究では、ロボットの接触における動作速度の効果に着目した。ロボットの動作速度が印象に及ぼす影響について、Web アンケート実験を実施した。実験では、ロボットの接触が「軽く叩く（友好的な接触）」または「平手打ち（攻撃的な接触）」と捉えられる2つのピーク速度が示された。ロボットの運動速度に関する知見は、ロボットの物理的インタラクションの設計に貢献すると考えられる。

1. はじめに

ヒューマンエージェントインタラクションの研究分野では、複数のエージェントを用い、インタラクションをデザインすることが一般的なアプローチになりつつある[1-3]。複数のエージェントを用いる利点の一つは、エージェント間のインタラクションを、人と直接対話するのではなく、テレビのような受動的なインタラクションの形で見せることができることである。このようなインタラクションのスタイルにより、エージェントは容易に人々とのインタラクションに主導権をとることが可能となる。例えば、過去のいくつかの研究では、音声認識の失敗を補うために、エージェント間の会話コンテンツをデザインしている[4, 5]。また、複数エージェントを用いるメリットはエラーリカバリーにとどまらず、情報提供タスクにおいて複数のロボットによる会話の有効であることを示した研究もある[6, 7]。また、褒めることによるパフォーマンスの向上[8]、話をするることによる集中力の向上[9]など、情報量が同じでも単一エージェントより複数エージェントの方が人の行動に影響を与えることを示す研究もある。

しかし、複数エージェント間のインタラクションデザインは、主にその会話によるインタラクションに焦点が当てられている。ロボットなどの物理的なエージェントを用いる場合、エージェント間のインタラクションを観察する人の印象を変化させるため、触れるなどの物理的なインタラクションが有効であると考えられる。過去にロボット間の触れ合いインタラクションの有効性を検討した研究[10]があるが、著者らはエージェント間の触れ合いのインタラクションの有無にのみ着目している。我々は、接触動作のパラメータ、特に動作速度の指針は、接触動作の意図に影響を与えるために不可欠な情報であると考えられる。例えば、手の平で他のロボットを触ると同じ動作であっても、そ

の速度の違いによって、友好的な動作である「軽く叩く」や攻撃的な動作である「平手打ち」といった異なる反応が発生する可能性がある（図1）。

そこで、本研究では「軽く叩く」と「平手打ち」という2つのロボット動作の速度差に着目した。このような動作速度の違いに対する人々の認識を理解することは、ロボットの接触行動を設計し、観察者の誤解を回避するために有用な知見を提供することになる。「軽く叩く」動作が「平手打ち」動作に変化する境界線について、Web アンケートを実施した。



図1 手を振り下ろす動作

2. 実験

初めに、Web アンケートを通じて、異なる接触がどのような印象を及ぼすのか、動作速度の影響を調べた。

2.1 視覚刺激・条件

本実験では、Pepper（ソフトバンクロボティクス）を使用した。手の平で触れる動作速度を変更して行う動画を10本用意し、それらを用いてWeb アンケートを実施した。Pepperは身長121cm、体重29kg、自由度20のロボットである。各映像の解像度は960×540ピクセル、fpsは30である。

本実験では、1つの要因（速度：0.5～1.4 s、解像度：0.1 s）を用意し、10本の動画を撮影した。異なる速度の動きの動画を別々に撮影し、それらを1つの動画にまとめた（図2）。これらの映像の順番は固定（左下：0.5 s、右下：1.4 s）である。また、ロボットの接触行動の開始タイミングはすべての動画で同じである。

¹ ATR
² 同志社大学

2.2 測定

動作に関する質問項目は、「軽く叩く」と「平手打ち」に対する評価の2項目で構成した。各質問に対してそれぞれの速度に対応した10個のチェックボックスがあり、複数の選択が可能である。例えば、0.5 sと0.6 sの接触がともに「平手打ち」であると判断した場合、0.5 sと0.6 sの両方にチェックすることが可能である。なお「軽く叩く」と「平手打ち」のどちらにも該当しないと判断した場合は、チェックを行わないこととした。

2.3 手順

本実験は、株式会社 国際電気通信基礎技術研究所の倫理委員会の承認の下で実施された。まず、参加者は実験の詳細な説明を受け、練習問題に答えて回答方法を確認した。

次に、被験者はビデオを視聴し、その行動を「軽く叩く」と「平手打ち」のどちらかと評価するかについての2つのアンケートに回答した。アンケートに答えながら、繰り返しビデオを視聴することが可能である。

また、Webアンケートでは回答が不正確な被験者を除外する必要があることが先行研究において報告されていることから[11, 12]、動画をどれだけ注意深く見ているかを確認し、回答の質を評価するために、ダミーの質問を用意した。

2.4 参加者

実験は、日本の調査会社の参加者名簿を利用して行われた。参加者は205名。女性104名、男性99名、匿名希望2名であった。ダミー質問において回答が不正確だった参加者を除外した結果、女性84名、男性80名、匿名希望者2名の合計166名となった。最終的な参加者の平均年齢は40.5歳、標準偏差は9.96であった。

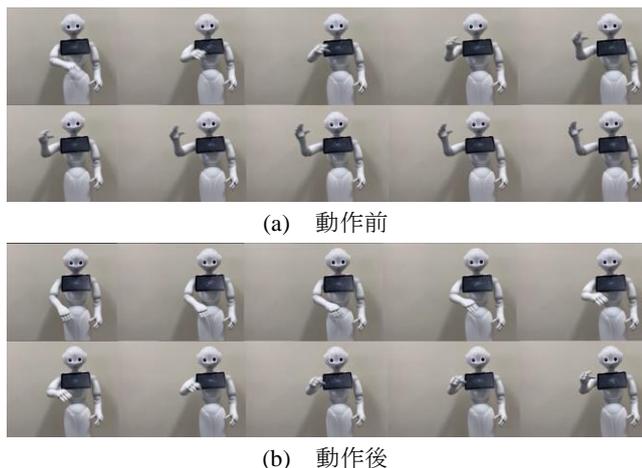


図2 実験の視覚刺激：左上の動画は0.5 sの動作，右下の動画は1.4 sの動作

2.5 実験のアンケート結果

図3は、ロボットの接触行動のアンケート結果である。縦軸はアンケート参加者の人数、横軸は手のひらで接触する動作速度である。まず、軽く叩く動作と判断した人数についてコクランのQ検定を行ったところ、速度の違いによる有意差が見られた。1.2 sと1.3 sでは有意差はなかったが、1.0 sと1.3 sではより遅い速度で多くの参加者が軽く叩く動作であると感じた ($p < 0.05$)。

また、平手打ち動作と判断した人数についてコクランのQ検定を行ったところ、速度の違いによる有意差が見られた。0.5 sと0.6 sでは有意差はなかったが、0.7 s~1.4 sに比べ平手打ち動作であると感じた被験者の数は有意に多かった ($p < 0.05$)。

2.6 実験の考察

実験の結果、接触動作の速度が被験者の印象に影響を与えることが明らかになった。図4は動作速度と「軽く叩く」・「平手打ち」と判断した人数に関する回帰分析の結果である。速度が速いほど「平手打ち」、速度が遅いほど「軽く叩く」と感じると評価されることが示唆されている。実際には、ロボットの機械的な構造上、過度に速い速度は難しく、遅い速度では不自然さが増す可能性がある。ハードウェアの制約と条件数の関係から0.5 sから1.4 sまでの速度しか調査していない。

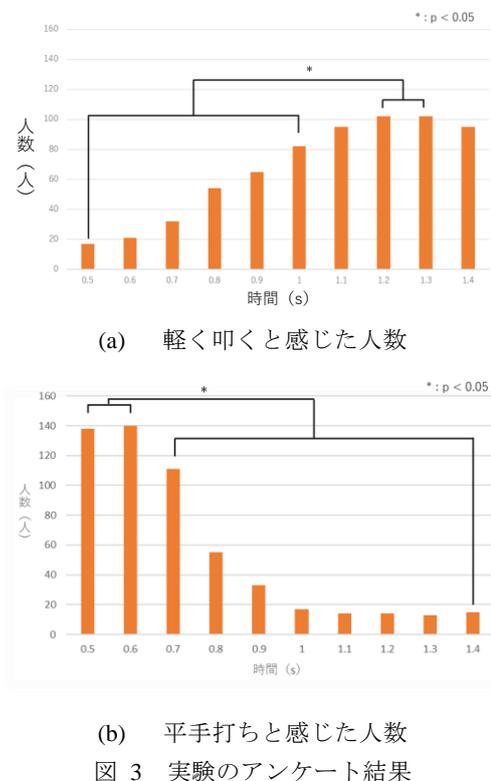


図3 実験のアンケート結果

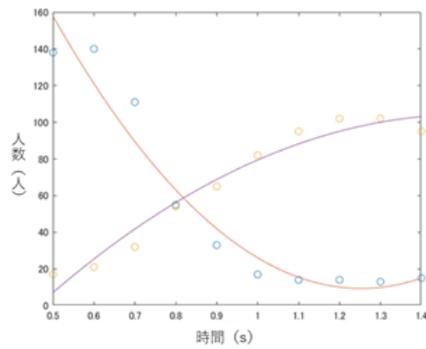


図 4 動作を軽く叩くと感じた人数の回帰分析の結果

(黄色の丸とオレンジ色の線,

$y = -95.0758x^2 + 287.25x - 112.7379$, $R^2 = 0.950$, $p < 0.001$),

動作を平手打ちと感じた人数の回帰分析の結果

(青色の丸と紫色色の線, $y = 262.1212x^2 - 656.8182x + 420.7879$,

$R^2 = 0.927$, $p < 0.001$)

3. 考察

この実験から、ロボットの接触インタラクションのデザインにいくつかの示唆を得ることができた。実験結果は、速度の違いが平手打ちや軽く叩く動作の印象に影響を及ぼすことを示した。この情報は、異なる印象を表現する社会的ロボットの接触動作を設計するために有用である。

他の研究では、ロボットの接触が観察者の信頼にどのような影響を与えるかが報告されている[13]。ロボットの動作速度は、観察者に対して異なる信頼感を与える可能性がある。また、触れる場所によっても観察者に与える印象は異なる。いくつかの研究では、人間の接触インタラクションにおける触れられる体の部位の関係[14, 15]や、人間とロボットの接触インタラクションにおける感情的接触や触れる場所の関係[16-18]が研究されている。また、人間の触覚に対するロボットの反応は、自然さや好ましさの印象に影響を与えるため、ロボットの反応行動も観察者に影響を与える[19, 20]。

本研究から得られた知見の適応限界について議論する。本研究では特定のロボットと特定の接触行動のみを用いて行った。今後、アンドロイド[21-23]やペット型ロボット[24, 25]など、より人間に近いロボットや触れ方、手の甲を含む様々な触れ方の影響を調査する予定である。また、軽く叩く動作や平手打ち動作の速度差を識別しやすくするために、10本の映像を組み合わせる際に映像の順番を固定したが、ランダムな順番では異なる結果が得られる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、接触動作の速度が印象に及ぼす影響について検討した。本研究では、Web アンケートを実施した。実験では、接触動作の速度と「軽く叩く」「平手打ち」といっ

た動作の印象の関係について調査した。その結果、0.5 / 0.6 s の接触動作は「平手打ち」、1.2 / 1.3 s の接触動作は「軽く叩く」と印象を受けることが明らかとなった。

この知見は、ロボットの接触動作の速度やロボットの接触時の関係性の設計、人間とロボットの接触インタラクションのための行動設計に役立つと考えられる。

謝辞 本研究は、JST CREST JPMJCR18A1 の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] X. Z. Tan, S. Regi, E. J. Carter, and A. Steinfeld, "From one to another: how robot-robot interaction affects users' perceptions following a transition between robots," in 2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), pp. 114-122, 2019.
- [2] M. R. Fauna, B. C. Foisted, C. E. Sembrowski, K. A. Gates, M. M. Krupp, and S. Šabanović, "Effects of robot-human versus robot-robot behavior and entitativity on anthropomorphism and willingness to interact," *Computers in Human Behavior*, vol. 105, pp. 106220, 2020.
- [3] H. Erel, Y. Cohen, K. Shafir, S. D. Levy, I. D. Vidra, T. Shem Tov, and O. Zuckerman, "Excluded by Robots: Can Robot-Robot-Human Interaction Lead to Ostracism?," in Proceedings of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pp. 312-321, 2021.
- [4] T. Iio, Y. Yoshikawa, and H. Ishiguro, "Pre-scheduled Turn-Taking between Robots to Make Conversation Coherent," in Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction, Biopolis, Singapore, pp. 19-25, 2016.
- [5] T. Iio, Y. Yoshikawa, and H. Ishiguro, "Double-meaning agreements by two robots to conceal incoherent agreements to user's opinions," *Advanced Robotics*, vol. 35, no. 19, pp. 1145-1155, 2021.
- [6] D. Sakamoto, K. Hayashi, T. Kanda, M. Shiomi, S. Koizumi, H. Ishiguro, T. Ogasawara, and N. Hagita, "Humanoid Robots as a Broadcasting Communication Medium in Open Public Spaces," *International Journal of Social Robotics*, vol. 1, no. 2, pp. 157-169, 2009.
- [7] T. Iio, Y. Yoshikawa, and H. Ishiguro, "Retaining Human-Robots Conversation: Comparing Single Robot to Multiple Robots in a Real Event," *Journal of Advanced Computational Intelligence Intelligent Informatics*, vol. 21, no. 4, pp. 675-685, 2017.
- [8] M. Shiomi, S. Okumura, M. Kimoto, T. Iio, and K. Shimohara, "Two is better than one: Social rewards from two agents enhance offline improvements in motor skills more than single agent," *PloS one*, vol. 15, no. 11, pp. e0240622, 2020.
- [9] Y. Tamura, M. Shiomi, M. Kimoto, T. Iio, K. Shimohara, and N. Hagita, "Robots as an interactive-social medium in storytelling to multiple children," *Interaction Studies*, vol. 22, no. 1, pp. 110-140, 2021.
- [10] Y. Okada, R. Taniguchi, A. Tatsumi, M. Okubo, M. Kimoto, T. Iio, K. Shimohara, and M. Shiomi, "Effects of Touch Behaviors and Whispering Voices in Robot-Robot Interaction for Information Providing Tasks," in 2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 7-13.
- [11] J. S. Downs, M. B. Holbrook, S. Sheng, and L. F. Cranor, "Are your participants gaming the system? screening mechanical turk

- workers,” in Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Atlanta, Georgia, USA, pp. 2399–2402, 2010.
- [12] D. M. Oppenheimer, T. Meyvis, and N. Davidenko, “Instructional manipulation checks: Detecting satisficing to increase statistical power,” *Journal of experimental social psychology*, vol. 45, no. 4, pp. 867–872, 2009.
- [13] T. Law, B. F. Malle, and M. Scheutz, “A touching connection: how observing robotic touch can affect human trust in a robot,” *International Journal of Social Robotics*, vol. 13, no. 8, pp. 2003–2019, 2021.
- [14] J. T. Suvilehto, E. Glerean, R. I. M. Dunbar, R. Hari, and L. Nummenmaa, “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.
- [15] J. T. Suvilehto, L. Nummenmaa, T. Harada, R. I. Dunbar, R. Hari, R. Turner, N. Sadato, and R. Kitada, “Cross-cultural similarity in relationship-specific social touching,” *Journal of Proceedings of the Royal Society B*, vol. 286, no. 1901, pp. 20190467, 2019.
- [16] C. J. A. M. Willemsse, A. Toet, and J. B. F. van Erp, “Affective and Behavioral Responses to Robot-Initiated Social Touch: Toward Understanding the Opportunities and Limitations of Physical Contact in Human–Robot Interaction,” *Frontiers in ICT*, vol. 4, no. 12, 2017.
- [17] B. Alenljung, R. Andreasson, R. Lowe, E. Billing, and J. Lindblom, “Conveying Emotions by Touch to the Nao Robot: A User Experience Perspective,” *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 2, no. 4, pp. 82, 2018.
- [18] X. Zheng, M. Shiomi, T. Minato, and H. Ishiguro, “What Kinds of Robot's Touch Will Match Expressed Emotions?,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, pp. 127–134, 2019.
- [19] M. Shiomi, K. Shatani, T. Minato, and H. Ishiguro, “Does a Robot's Subtle Pause in Reaction Time to People's Touch Contribute to Positive Influences?,” in 2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 364–369, 2018.
- [20] M. Shiomi, K. Shatani, T. Minato, and H. Ishiguro, “How should a Robot React before People's Touch?: Modeling a Pre-Touch Reaction Distance for a Robot's Face,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 3, no. 4, pp. 3773–3780, 2018.
- [21] D. Sakamoto, and H. Ishiguro, “Geminoid: Remote-controlled android system for studying human presence,” *Kansei Engineering International*, vol. 8, no. 1, pp. 3–9, 2009.
- [22] D. F. Glas, T. Minato, C. T. Ishi, T. Kawahara, and H. Ishiguro, “Erica: The erato intelligent conversational android,” in *Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 2016 25th IEEE International Symposium on, pp. 22–29, 2016.
- [23] M. Shiomi, H. Sumioka, K. Sakai, T. Funayama, and T. Minato, “SŌTO: An Android Platform with a Masculine Appearance for Social Touch Interaction,” in *Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, Cambridge, United Kingdom, pp. 447–449, 2020.
- [24] R. Yu, E. Hui, J. Lee, D. Poon, A. Ng, K. Sit, K. Ip, F. Yeung, M. Wong, and T. Shibata, “Use of a Therapeutic, Socially Assistive Pet Robot (PARO) in Improving Mood and Stimulating Social Interaction and Communication for People With Dementia: Study Protocol for a Randomized Controlled Trial,” *JMIR research protocols*, vol. 4, no. 2, 2015.
- [25] N. Yoshida, S. Yonemura, M. Emoto, K. Kawai, N. Numaguchi, H. Nakazato, S. Otsubo, M. Takada, and K. Hayashi, “Production of character animation in a home robot: A case study of lovt,” *International Journal of Social Robotics*, vol. 14, no. 1, pp. 39–54, 2022.