

# 肩乗りロボットの模倣動作がユーザの印象に与える影響

## Effects on User's Impression by Shoulder Robot's Imitation

弦本賢人<sup>1\*</sup> 奥岡耕平<sup>1</sup> 篠澤一彦<sup>2</sup> 今井倫太<sup>1</sup>Kento Tsurumoto<sup>1</sup>, Kohei Okuoka<sup>1</sup>, Kazuhiko Shinozawa<sup>2</sup> and Michita Imai<sup>1</sup><sup>1</sup> 慶應義塾大学<sup>1</sup> Keio University<sup>2</sup> 大阪教育大学<sup>2</sup> Osaka Kyoiku University

**Abstract:** 肩乗りロボットは肩に装着することであらゆる場所でのインタラクションが可能である。本研究では、対話において他者の動作を模倣することで被模倣者が模倣者に対して好印象を持つカメレオン効果に着目し、肩乗りロボットにおけるカメレオン効果について調査を行った。実験として、装着者の対話相手の頭部および胴体の体動を模倣する肩乗りロボットを作成し、対話相手による印象評価を行った。

## 1 序論

肩乗りロボットはユーザの肩に装着してコミュニケーションすることで、場所を問わずインタラクションが可能なコミュニケーションロボットである [7]。モビリティの高さに加え、肩に装着することで装着者と視界を共有しながら対話することができるため、周囲の環境情報を参照した対話をする手段としても用いられている [10]。一方で、ロボットの身振り手振りなどの非言語的コミュニケーションがもたらす影響について、ヒューマノイドロボットに比べ十分に研究されていない。本研究では、非言語的コミュニケーションである身体動作によって生じる現象であるカメレオン効果に着目し、肩乗りロボットにおけるカメレオン効果の影響について調査した。

カメレオン効果は人間同士のインタラクションにおいて、対話相手の振る舞いを無意識に模倣することで被模倣者が模倣者に対して好印象を抱く現象である [2]。カメレオン効果は、人間同士だけではなく人間とロボットのインタラクションにおいても生じることが分かっている [5, 9]。嶋田らは、ユーザの首の動きを模倣するロボットを開発し、模倣をしなかった場合と比べてユーザがロボットに対して親近感や好印象を抱くことを示している [8]。

一方で、コミュニケーションロボットにおけるカメレオン効果に関する研究はほとんどがヒューマノイドを用いている。しかしながら、ヒューマノイドと異なり肩



図 1: 肩乗りロボットとのインタラクション

乗りロボットは厳密な人型ではなく、関節の数に制限がある。そのため、肩乗りロボットにおいて模倣動作を設計する際に対話者をどのように模倣すれば良いか不明である。

そこで本論文では、肩乗りロボットにおいて対話者の頭部および胴体の体動を模倣するシステム ShoRIoH を開発し、肩乗りロボットにおいて引き出せるカメレオン効果を最大化するような模倣の方法を調査する実験を行った。肩乗りロボットにおいて効果的にカメレオン効果を引き出す動作設計について検証することで、よりユーザに好印象を与える肩乗りロボットを用いたインタラクションが可能になる。

\*連絡先： 慶應義塾大学

〒 223-0061 神奈川県横浜市港北区日吉 3 丁目 1 4 -

## 2 関連研究

### 2.1 肩乗りロボット

Human-Robot Interaction の分野において、肩乗りロボットを用いたインタラクションに関して様々な研究が行われている。柏原らは、肩乗りアバタ TEROOS を用いてフィールドテストを行い、TEROOS の装着者と遠隔地にいる操作者との自然なコミュニケーションを支援できることを示した [7]。また後藤らは、天使と悪魔に見立てた2台のロボットを両肩に装着させ、装着者の意思決定に介入する形でヒューマンロボットインタラクションを行うユースケースを提案している [3]。

### 2.2 カメレオン効果

人間は、対話相手の姿勢や癖、表情などの行動を無意識に模倣してしまう。これをカメレオン効果 [2] という。Chartrand らは、カメレオン効果によってインタラクションがより円滑になり、対話相手からの好感度が上昇することを明らかにした [2]。

また、カメレオン効果はエージェントとのインタラクションにおいても有用であることが示されている [8]。Bailenson らは、CG エージェントが模倣を行った場合、そうでない場合と比べて CG エージェントの説得力が増すことを示した [1]。また、蓮本らは、ロボットのジェスチャーに対話相手の模倣動作を適切な塩梅で組み合わせることで好印象を得られることを示した [4]。

人間同士のインタラクションにおいてカメレオン効果は発見され、それを CG エージェントやヒューマノイドに応用できることが明らかとなった。しかし、これらのエージェントはあくまで人型に非常に近い形をしたものであり、肩乗りロボットにおいてカメレオン効果を引き出せる模倣動作についての知見はまだまだ不十分である。そこで本研究では、肩乗りロボットと装着者および二者に向かい合う対話者の三者でのインタラクションを想定した対話実験を行い、肩乗りロボットが対話者の頭部および胴体の体動の模倣をすることでカメレオン効果が適用できないかを検証する。

## 3 ShoRIoH

本論文では、肩乗りロボットの動作システムとして、装着者と向かい合う対話者の頭部および胴体の体動の模倣を行うシステムである ShoRIoH (Shoulder Robot Imitation of Human) を提案する。システム構成図を図2に示す。以下にシステムの子細について述べる。

### 3.1 肩乗りロボット

本研究では、図1に示す肩乗りロボットを用いた。ロボットは、眼球の上下方向と左右方向の回転、まぶたの開閉、および体の roll, pitch, yaw 軸の回転が可能である。なお、眼球の動作とまぶたの動作は左目と右目の動作が同期されているため、ロボットの自由度は6である。

### 3.2 ボディトラッキング

本論文では、RGBD カメラとして Azure Kinect DK を用いて、RGBD 映像を取得した。また、Azure Kinect DK を用いるためのライブラリ pyKinectAzure (<https://github.com/ibaiGorordo/pyKinectAzure>) を用いて RGBD 画像から映っている人物の関節位置を検出した。各関節位置は図3で表される通りである。

### 3.3 胴体および頭部の方向の算出

胴体および頭部の方向を表す3次元ベクトルは、トラッキングデータに含まれる各点のカメラ空間内の  $x, y, z$  座標から求まる。

ここで、カメラ座標系において人間の胴体あるいは頭部の左右方向の単位ベクトルをそれぞれ  $x_{body}$  および  $x_{head}$ 、上下方向の単位ベクトルをそれぞれ  $y_{body}$  および  $y_{head}$ 、前後方向の単位ベクトルをそれぞれ  $z_{body}$  および  $z_{head}$  とする。

また、点  $NOSE$  に対応する座標を  $P_{NOSE}$  と表し、点  $A$  と点  $B$  の中点座標を  $M_{A,B}$  と表す。さらに、 $normalize(\mathbf{v})$  を、ベクトル  $\mathbf{v}$  を正規化する関数と定義する。このとき、ボディトラッキングによって得られた図3における各点の座標を用いて、胴体方向の各単位ベクトルは以下のように表せる。

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{body} &= \text{normalize}(\overrightarrow{P_{SR}P_{SL}}) \\ \mathbf{y}_{body} &= \text{normalize}(\overrightarrow{P_{SC}P_{SN}} - \overrightarrow{P_{SC}P_{SN}} \cdot \mathbf{x}_{body}) \\ \mathbf{z}_{body} &= \mathbf{x}_{body} \times \mathbf{y}_{body} \end{aligned}$$

また、頭部方向を表す単位ベクトルは以下のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{head} &= \text{normalize}(\overrightarrow{P_{ER}P_{EL}}) \\ \mathbf{z}_{head} &= \text{normalize}(\overrightarrow{P_N M_{EL,ER}} - \overrightarrow{P_N M_{EL,ER}} \cdot \mathbf{x}_{head}) \\ \mathbf{y}_{head} &= \mathbf{z}_{head} \times \mathbf{x}_{head} \end{aligned}$$

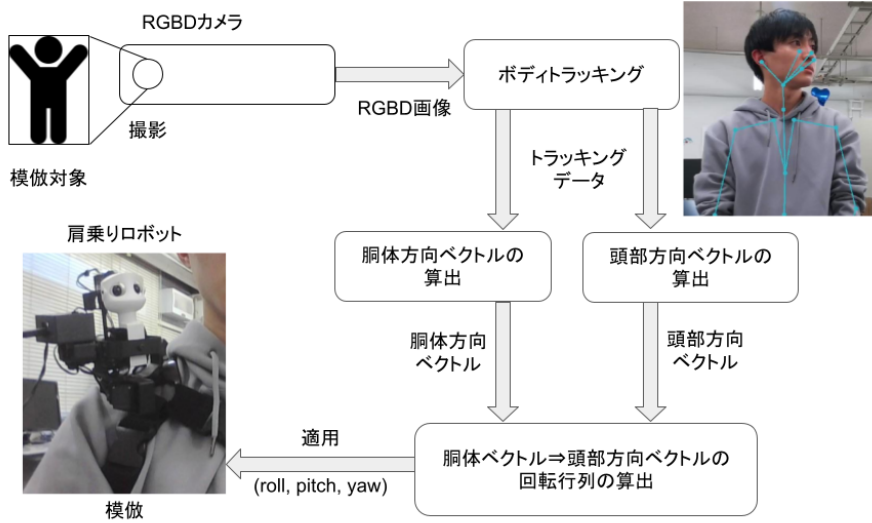


図 2: SHoRIoH のシステム構成図

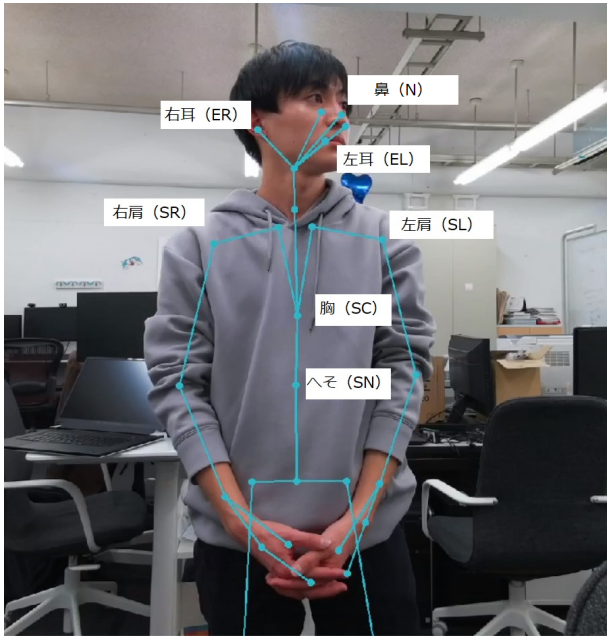


図 3: SHoRIoH で用いる関節座標

### 3.4 カメラ座標の 3 軸を頭部ベクトルおよび胴体ベクトルに変換する回転行列の算出

カメラ座標の 3 軸を頭部の向きあるいは胴体の向きを表す 3 ベクトルへ変換する回転行列を求める。回転行列を  $R$  とすると、損失関数

$$L(R) = \frac{1}{2} \sum_{v=\{x,y,z\}} \|v_{camera} - Rv_r\|^2$$

が最小となるような  $R$  を求める。ただし、 $v_{camera}$  はカメラ座標の 3 軸に対応する単位ベクトル、 $r \in \{body, head\}$  とする。本論文では、Kabsch algorithm[6] によって求めた。以下の数式で回転行列  $R$  が求められる。回転行列  $R$  は、roll, pitch, yaw の 3 軸に変換して肩乗りロボットに適用する。

$$H = (x_{camera} \ y_{camera} \ z_{camera})(x_r \ y_r \ z_r)^T$$

$$R = (H^T H)^{\frac{1}{2}} H^{-1}$$

## 4 実験

本研究では、ShoRIoH を用いた肩乗りロボットの模倣により装着者と対話する対話者が肩乗りロボットへ抱く印象の変化について調査するため、図 4 に示すような、肩乗りロボット、肩乗りロボットを装着した装着者、対話者の三者間の対話実験を行った。対話内容としては、肩乗りロボットが装着者とともに、あるテーマについて対話者にスピーチするという状況を想定して実験を行った。

### 4.1 実験条件

カメレオン効果を引き出すのに有効な模倣部位を調査するため、対話者の頭部を模倣する頭部条件と胴体を模倣する胴体条件を用意した。加えて、模倣による影響を評価するためにベースラインとして模倣をしない模倣無し条件を用意し、頭部条件・胴体条件・模倣無し条件の 3 条件で対話者が抱く印象を比較した。なお、全ての条件で対話者の顔を追従する動作と不定期の瞬き動作を行った。

## 4.2 アンケート

アンケートは、各条件間で肩乗りロボットの主張に対する説得力や肩乗りロボット自身の印象に有意差が見られるか調査するために、Bailenson ら [1] が使用しているエージェントの主張に対する Agreement についての 4 項目およびエージェント自身への Impression についての 13 項目に関して 7 段階のリッカート尺度で回答を得た。

## 4.3 実験手続き

まず初めに、実験参加者に肩乗りロボットのスピーチを聞くよう説明した。また実験中は、図 4 のように装着者および実験参加者は机を介して起立するようにした。

対話は、まず装着者がスピーチのテーマを提示し、肩乗りロボットにスピーチを開始するよう促す。その後、肩乗りロボットがテーマについて 180 秒程度のスピーチを行い、スピーチが終了する。なお、肩乗りロボットの発話中は、肩乗りロボットが発話しているのを実験参加者に印象付けるため、装着者は肩乗りロボットの方を向くようにした。スピーチの終了後、実験参加者はアンケートに回答した。スピーチとアンケート回答を 1 セットとして、動作条件を変えて 3 セット行った。なお、順序効果を考慮して動作条件の提示順序はラテン方格を用いて決定した。また、スピーチのテーマは「毎朝のランニングの習慣化」「オンライン授業の廃止」「大学在学中の留学の義務化」の 3 種類を用意し、3 セットそれぞれ異なるテーマでスピーチを行った。

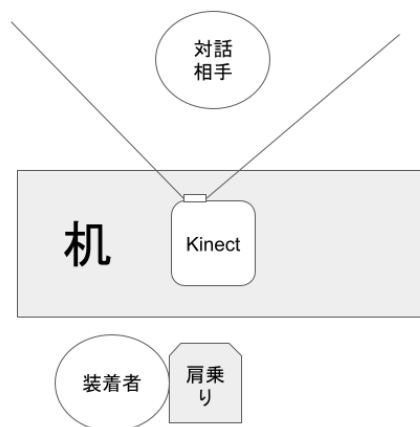


図 4: 実験環境

## 4.4 実験参加者

実験には対話者として実験参加者 6 名（男性 5 名、女性 1 名；平均年齢 22 歳）が参加した。また、装着者には第 1 著者の 22 歳の男性 1 名が全ての実験に装着者として参加した。

## 4.5 実験結果

Agreement および Impression に関するアンケートの結果について図 5 に示す。アンケート結果に対して対応のある一元配置分散分析を行った結果、Agreement の評価においては条件の違いによる主効果は認められなかった ( $F(2,10)=2.27$ ,  $p=0.154$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.312$ )。また、Impression の評価においても条件の違いによる主効果は認められなかった ( $F(2,10)=0.513$ ,  $p=0.614$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.093$ )。

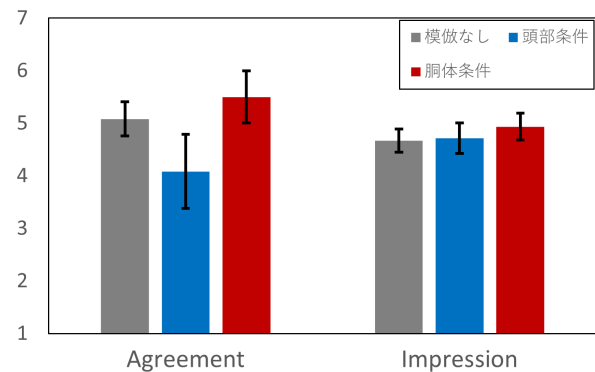


図 5: 各条件における Agreement と Impression の平均値

## 5 考察

実験では、Agreement の全項目の平均および Impression の全項目の平均については模倣による有意差は見られなかった。しかしながら、図 5 に示す通り、Agreement および Impression の両方について、胴体条件が最も大きい値をとっており、特に Agreement では頭部条件に比べて胴体条件の方が高い。そのため、肩乗りロボットがカメレオン効果を引き出すために模倣を行う際は、頭部よりも胴体の模倣を行った方が効果的である可能性がある。

Agreement および Impression について有意差が見られなかった原因として、肩乗りロボットの外見が考えられる。先行研究においては、人間や人型のエージェントについてカメレオン効果を見出していた。一方肩乗りロボットは関節の数が少なく、サイズが小さいという点

で先行研究の研究対象と性質が異なる。外見に関する性質が人間とかけ離れていることにより、そもそもカメレオン効果が生じにくかった可能性がある。

また、肩乗りロボットでは装着者が存在するため、肩乗りロボットの発話中も装着者に気を取られ肩乗りロボットへの注意が散漫になっている可能性がある。ただし、Agreement については  $p=0.154$  と有意傾向に近い値が得られており、今後実験参加者の数を増やすことで有意差が見られる可能性がある。

## 6 結論

HRI 分野において、ヒューマノイド型のロボットが対話者の動作を模倣することでカメレオン効果を生じさせることが分かっていたが、自由度が大きく異なる肩乗りロボットにおいてカメレオン効果を生じさせるために必要な模倣動作の設計についての知見は不十分であった。そこで本論文では、肩乗りロボットの動作として装着者と向かい合う対話者の頭部および胴体の体動の模倣を行うシステム ShoRIoH を提案した。また、ShoRIoH を用いて、模倣箇所の違いにより肩乗りロボットに対するカメレオン効果に影響が見られるか検証する実験を行った。実験の結果、頭部の模倣よりも胴体の模倣の方がわずかに好印象を得られたが、模倣条件と非模倣条件とで有意差は見られなかった。

## 参考文献

- [1] J. Bailenson and N. Yee. Digital chameleons: Automatic assimilation of nonverbal gestures in immersive virtual environments. *Psychological Science*, Vol. 16, pp. 814–819, 01 2005.
- [2] Tanya L Chartrand and John A Bargh. The chameleon effect: the perception–behavior link and social interaction. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 76, No. 6, p. 893, 1999.
- [3] Kento Goto, Kazuki Mizumaru, Daisuke Sakamoto, and Tetsuo Ono. Adios: Angel and devil on the shoulder for encouraging human decision making. In *2022 17th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 1192–1193, 2022.
- [4] Ryosuke Hasumoto, Kazuhiro Nakadai, and Michita Imai. Reactive chameleon: A method to mimic conversation partner’s body sway for a robot. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 12, , 01 2020.
- [5] Hannah Ierardi, Michael Pilling, Nigel T Crook, et al. Influence of upper body pose mirroring in human-robot interaction. In *International Conference on Social Robotics*, pp. 214–223. Springer, 2015.
- [6] W. Kabsch. A solution for the best rotation to relate two sets of vectors. *Acta Crystallographica Section A*, Vol. 32, No. 5, pp. 922–923, Sep 1976.
- [7] Tadakazu Kashiwabara, Hirotaka Osawa, Kazuhiko Shinozawa, and Michita Imai. Teroos: A wearable avatar to enhance joint activities. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI ’12*, p. 2001–2004, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [8] Michihiro Shimada, Kazunori Yamauchi, Takashi Minato, Hiroshi Ishiguro, and Shoji Itakura. Studying the influence of the chameleon effect on humans using an android. In *2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 767–772, 2008.
- [9] Yumiko Shinohara, Katsuhiko Kubo, Momoyo Nozawa, Misa Yoshizaki, Tomomi Takahashi, Hirofumi Hayakawa, Atsushi Hirota, Yukiko Nishizaki, and Natsuki Oka. The optimum rate of mimicry in human-agent interaction. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction*, pp. 367–370, 2016.
- [10] Taichi Sono, Satoru Satake, Takayuki Kanda, and Michita Imai. Walking partner robot chatting about scenery. *Advanced Robotics*, Vol. 33, pp. 1–14, 04 2019.