

## 無言のロボットによる注意誘導の研究

鈴木 祐也\*<sup>1</sup> 葛岡 英明\*<sup>1</sup> 山下 淳\*<sup>1</sup> 山崎 敬一\*<sup>2</sup> 山崎 晶子\*<sup>3</sup> 久野 義徳\*<sup>4</sup>

Study on Drawing Attention by a Speechless Robot

Yuya Suzuki\*<sup>1</sup> Hideaki Kuzuoka\*<sup>1</sup> Jun Yamashita\*<sup>1</sup> Keiichi Yamazaki\*<sup>2</sup> Akiko Yamazaki\*<sup>3</sup> and Yoshinori Kuno\*<sup>4</sup>

**Abstract** – In human to human communication, joint attention is achieved by head movement and arm gesture. The purpose of this study is to find the appropriate body movements of a speechless small robot that are effective on achieving joint attention between human and a small robot. This paper focuses on eye-contact and hand posture. The experiments showed that eye-contact like head movement and pointing hand posture are effective.

**Keywords** : robot, joint attention

### 1. はじめに

筆者らは2006年12月3日～17日に科学技術館で開催された、児玉幸子と竹野美奈子による「ウニのかくれんぼ ダイナミック・フルイド」展において、インタラクティブアートに対する人々の鑑賞行動の調査を実施した。この展示会では、作品とのインタラクションの仕方やそこに使われている技術を解説したパネルを用意したが、作品の芸術性を損なわないために、パネルは作品のすぐそばに設置せず、少し離れた場所に設置した。しかしこのパネルに気づかずに、作品とどのように相互作用をすれば良いのかわからなかった鑑賞者や、作品の近くに待機していた監視員に仕組みを尋ねる例が見られた。

この問題はインタラクティブアートに限らない。他の美術館においても、空間的な制約や芸術性の観点から、詳細な解説パネルを作品の近くに設置しない例が多く見られる。この場合、作品と解説とを結びつけることが困難になることが予想される。こうした分析と考察から、作品の芸術性を損なわずに、鑑賞者の注意を解説パネルへと向ける方法を考案する必要が生じた。

さて、ある対象についての意識を共有したい場合、相手の頭部の動作と腕の動作からどの対象を見ているのか認識し、同じ対象を見ることでお互いに注目する対象を共有できる<sup>[1]</sup>。このように、人間同士が同じ対

象を見て、注目する対象を共有することを共同注意という<sup>[2]</sup>。最近のロボットの研究から、ロボットに身体を持たせ、適切な動作をおこなわせることによって、人間と自然で円滑なコミュニケーションを行えることが明らかになりつつある<sup>[3]</sup>。

そこで、本研究では、小型のロボットを作品の近くに設置し、そのロボットを無言で動作させることによって鑑賞者の注意を解説パネルの方向へ誘導する方法を提案する。小型のロボットを採用するのは、ロボット自身が目立ちすぎないように配慮したためである。また、無言で動作させるのは、美術館において音声を発生する装置が好ましくないことと、できる限り芸術性を損なわないように配慮したためである。

本論文では、発話を伴わない小型ロボットを用いた場合、人間の注意を誘導するためにはどのような身体動作が効果的であるかを明らかにすることを目的とする。次節においてまず関連研究について述べる。続いて、実験による観察結果を述べ、最後に考察を述べる。

### 2. 関連研究

これまでに、博物館や美術館で展示物の鑑賞支援を試みようとするさまざまな研究が行われてきた。例えば、ロボットを用いて展示物の鑑賞支援をする研究として、博物館案内ロボット<sup>[4]</sup>や科学館に構築したユビキタスセンサネットワークを利用して鑑賞者と相互作用を行うロボット<sup>[7]</sup>がある。これらの研究は、展示物の案内機能や人間との相互作用に注目しており、作品の芸術性を損なわずに、鑑賞者の注意を解説へと向けることを目的としたものではない。

また、携帯情報端末であるPDAを用いて展示物の鑑賞を支援する研究として、Musex<sup>[6]</sup>や、Pibook<sup>[5]</sup>がある。これらの研究では、展示されている作品の前に立つと、その解説がPDAの画面上に表示されたり、

\*1: 筑波大学大学院 システム情報工学研究科

\*2: 埼玉大学教養学部

\*3: 公立はこだて未来大学 システム情報科学部

\*4: 埼玉大学大学院 理工学研究科

\*1: Graduate School of System and Information Engineering, University of Tsukuba

\*2: Faculty of Liberal Arts, Saitama University

\*3: School of Systems Information Science, Future University Hakodate

\*4: Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

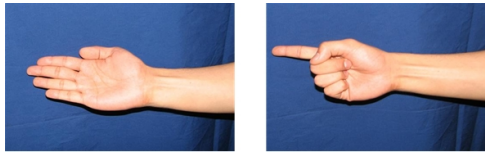


図 1 開いた手 (左) と指差し (右)  
Fig.1 open-hand(left) pointing(right).

関連する音声の流れたりするが、鑑賞者に物を持たせなければならない。

一方、今井らは自発的に発話を生成するヒューマノイドである Robovie<sup>[8]</sup>を開発し、ロボットが注意を向けている対象を人間に気づかせる機能により共同注意を達成した。この研究では、発話に伴う頭部及び腕の動作によって共同注意を達成し、人間とヒューマノイドの間のアイコンタクトが共同注意を達成させる要因として重要であることを明らかにした。しかし、無言のロボットの場合、注意の誘導においてアイコンタクトが重要であるという知見が得られるかは自明でない。

ところで、人間が腕の動作によって対象への注意を表出する場合、手の形状が重要な役割をしている。例えば、開いた手と指差しである(図 1)。人間同士の場合、一般的な場所での会話では指さしが用いられることが多いが、美術館などにおけるギャラリートークでは、上向きに開いた手を対象物の方に向けることが多い。しかし、このような手の形状の効果について関連研究では述べられていない。そこで、小型ロボットが人間の注意を誘導する際に、手の形状が効果をもつかを確認する必要があると考えた。

以上の考察に基づき、本論文では、発話を伴わない小型ロボットが人間の注意を誘導するために必要な身体動作として、アイコンタクトと手の形状の効果を実験により確認する。

### 3. 実験

本節では、小型ロボットが人間の注意を誘導する場合における、アイコンタクトの効果と、手の形状の効果进行调查するための実験について述べる。

#### 3.1 小型ロボットシステム

小型ロボットにはソニー社製の AIBO (ERS-7) を用いた。小型ロボットを遠隔操作するためのユーザインタフェースを外部 PC に用意し、ボタンをクリックすることで、あらかじめ定義された身体動作を小型ロボットに起こさせるようにした。将来的にはロボットは自律的に動作することを目標としているが、本論文における実験では、ロボットが確実に動作する必要があるため、このような機能を実装した。しかし、もし小型ロボットが遠隔から操作されていることを被験者に伝えてしまうと、小型ロボットに対する被験者の印

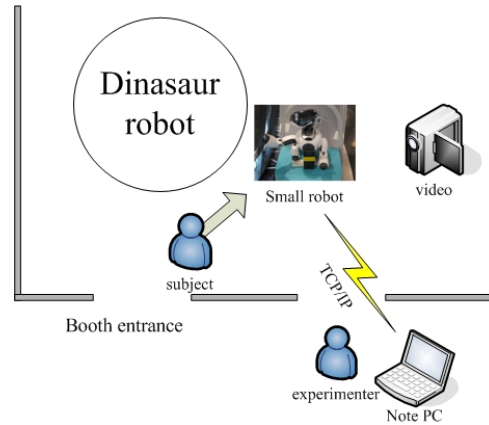


図 2 実験環境  
Fig.2 Experimental environment.

象や反応が、自律的に動作するロボットに対する場合とは異なってしまふ可能性がある。そこで、ロボットの遠隔操作を、鑑賞者からは見えない場所から行うこととし、鑑賞者にはそのことを意識させないようにした。これは Wizard of Oz 手法 (WOZ 法) と言われる方法である<sup>[9]</sup>。WOZ 法では、被験者には、ある機能が実装されていると仮定してもらったり信じさせたりして実験を行う。そのため、設計段階で有効なフィードバックを得ることができ、システム開発を効果的に進められるという利点がある。

#### 3.2 実験環境

本実験は、東京の科学技術館 4 階の NEDO ブースで行った。ブース内に小型ロボットシステムを配置し、被験者の小型ロボットに対する行動を分析した。実験環境を図 2 に示す。小型ロボットは、会場に展示されていた恐竜ロボットのすぐ横に設置し、来館者にこの恐竜ロボットに注意を向けさせることを目的とした。小型ロボットは最初、両手をおろし、下を向いた状態で待機する(図 3-a)。鑑賞者が偶然ロボットに関心を持ち、正面付近に立ったときに、実験者がコントローラを操作することで小型ロボットは動作する。まず頭部を上方に向ける動作で擬似的なアイコンタクトをおこなう(図 3-b)。次に、対象の方を向く動作と腕をその対象へ伸ばす動作で対象への注意を表出する(図 3-c)。小型ロボットによるアイコンタクトと対象への注意表出により、人間が対象へ注意を誘導されるかどうかを確認する。

#### 3.3 実験条件

小型ロボットのアイコンタクトと手の形状の効果を確認するために、アイコンタクトについて 2 条件、手の形状について 3 条件設定した。

まず、アイコンタクトの条件は以下の 2 つである。

1. アイコンタクトあり：小型ロボットは下を向いた状態(図 3-a)から、まず正面を向く(図 3-b)。

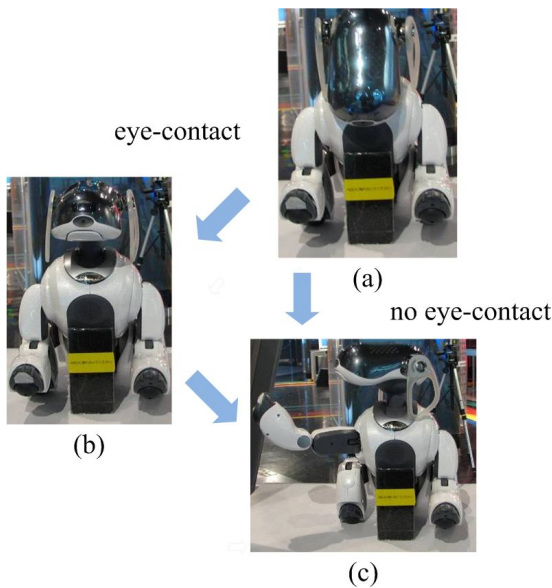


図3 小型ロボットの頭部動作  
Fig.3 Head movement of small robot.

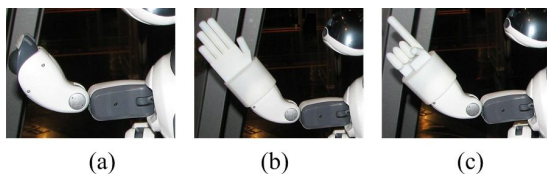


図4 小型ロボットの手の形状  
Fig.4 Hand posture of small robot.

この動作で人間とアイコンタクトを行う。次に、対象の方を向き（図 3-c）、このとき腕の動作も行う。

- アイコンタクトなし：小型ロボットは下を向いた状態（図 3-a）から対象の方を向き（図 3-c）、このとき腕の動作も行う。

次に、手の形状は以下の 3 条件である。

- もとのアイボの腕のみ（図 4-a）
- 開いた手（図 4-b）
- 指差し（図 4-c）

小型ロボットにあらかじめ作成した手の形状のモデルを取り付けることで、開いた手と指差しの条件とした。また、3 条件ともに腕の動作は等しいものとした。

上述したアイコンタクトの条件と手の形状の条件により、6 種類の実験条件を設定し、各実験条件で被験者数は 20 前後であった。また、被験者の大半は小学生であった。

### 3.4 実験結果

実験では、被験者と小型ロボットに対する被験者の反応をビデオカメラで撮影した。このデータをもとに、被験者の注意が対象へ誘導されたかを調べた。

まず、被験者が小型ロボットの動作によって恐竜口

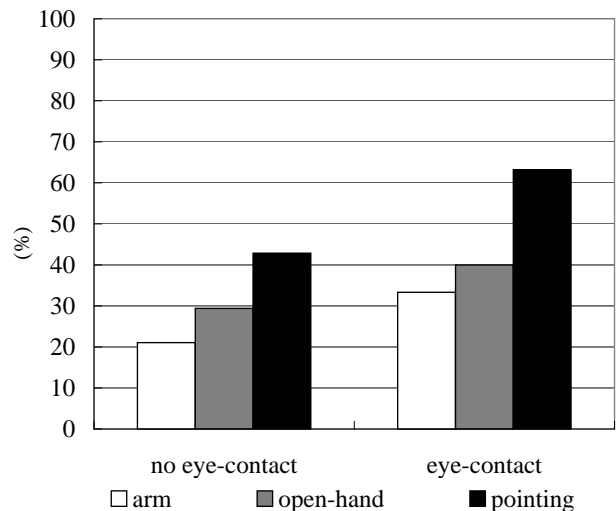


図5 恐竜ロボットを見た被験者の割合  
Fig.5 Rate of subject watching dinosaur robot.

ロボットを見た場合、注意の誘導が成功したと判断した。一方、被験者が恐竜ロボット以外の方向を見たか、そのまま小型ロボットを注視していた場合には、注意の誘導が失敗したと判断した。また、被験者がはじめから恐竜ロボットを見る場合や被験者の視線が明確にわからなかった場合はデータとして用いなかった。

各実験条件において、小型ロボットと注意の誘導が成功したした被験者の割合を図 8 に示す。小型ロボットのアイコンタクトと手の形状の効果を確認するため、各条件の恐竜ロボットを見た被験者の割合を逆正弦変換法により角変換し、2 要因による分散分析を行った（表 1）。

実験結果を分析した結果、アイコンタクトの主効果が有意な傾向を示した ( $p < .1$ )。この結果から、アイコンタクトが重要となる可能性があることがわかった。

また、手の形状の主効果が有意であった ( $p < .05$ )。そこで、条件間での比較として Ryan 法による多重比較を行った。その結果、腕のみの条件と指差しの条件の間で有意な差が認められた ( $p < .05$ )。以上の結果から、手の形状が重要であり、特に指差しの効果が高いことが確認された。

## 4. 考察

本節では、実験結果の考察を述べる。

### 4.1 アイコンタクトの効果

実験結果から、発話を伴わない小型ロボットがアイコンタクトを行うことで、被験者の対象への注意を誘導できる割合が高くなることがわかった。

アイコンタクトというのは、お互いの視線を交わらせることであり、お互いに相手を意識していることを相互理解させるものである。しかし、本実験では、小

表 1 逆正弦変換によるアイコンタクトと手の形状の 2 要因分散分析

Table 1 Result of two-way(eye-contact, hand posture) ANOVA transformed inverse sine.

変動因	平方和	df	$\chi^2$	p 値	判定
アイコンタクト	106.983	1	2.756	0.0969	+
手の形状	238.546	2	6.144	0.0463	*
交互作用	5.482	2	0.141	0.932	n.s

調和平均：21.147 群内分散：38.824

\*：有意である (p < .05) +：有意傾向である (p < .1) n.s：有意でない

型ロボットの視線ではなく、正面を向く動作によってアイコンタクトを行った。また、小型ロボットにはアイコンタクトが成立したかを判定する機能は実装されてなかった。そのため、厳密な意味でのアイコンタクトが成立したとはいえない。しかし、実験では、小型ロボットが正面を向く動作を行うことによって、小型ロボットが人間を意識していると認識させることができ、対象への注意誘導につながったと考えられる。

#### 4.2 手の形状

実験により、小型ロボットの手の形状が対象への注意を誘導する効果をもち、特に指差しの効果が高いことがわかった。つまり、人間同士のコミュニケーションにおいて、対象への注意を表出する効果をもつ手の形状が、小型ロボットにおいても同じように効果をもった。

博物館や美術館のような場所では、説明者が開いた手を用いて鑑賞者の視線を誘導することが多い。しかし、実験で用いた発話を伴わない小型ロボットにおいては、対象への注意を表出する上で、指さしが非常に高い効果をもったことは興味深い。

#### 4.3 被験者の行動

小型ロボットの動作によって恐竜ロボットへ視線を向けなかった被験者に見られた特徴的な行動について述べる。

まず、小型ロボットが対象への注意を表出したときに、小型ロボットの指に注目する行動が見られた。この場合、被験者は小型ロボットの腕が動作したことに注目し、小型ロボットの身体動作から意図を感じなかったと考えられる。また、小型ロボットに指が取り付けられていることに注目した可能性もある。

次に、小型ロボットが動作しているとき、または、動作が終わったときに、小型ロボットの頭部に向けて手をかざしたり手を振ったりする行動が見られた。被験者は、小型ロボットに働きかけることで、小型ロボットが動作すると考えたと推測できる。

それから、恐竜ロボットに視線を向けなかった被験者の多くは、小型ロボットの動作に対して何も反応しなかった。この場合、被験者は、小型ロボットの動作からその意図が理解できなかったか、あるいは特定の意味のない動作をしていると考えた可能性がある。今

後、注意誘導の意図を明確に示すためのより効果的な動作、あるいはロボットのデザインについてさらに考察が必要である。

#### 5. おわりに

本論文では、インタラクティブアートの鑑賞支援を目指し、発話を伴わない小型ロボットが人間の注意を誘導するために必要な身体動作について考察した。小型ロボットシステムを構築し、小型ロボットの動作として、アイコンタクトと手の形状に着目して実験を行った。その結果、アイコンタクトの効果と手の形状の効果を確認し、特に指差しが注意誘導の効果が高いことを確認した。

#### 参考文献

- [1] マジョリー・F・ヴァーカス:非言語コミュニケーション, 新潮選書 (1987)
- [2] Moore,C.and Dunham,P.J.:Joint Attention: Its origins and Role in Development,Lawrence Erlbaum(1995). 大神英裕監訳: ジョイント・アテンション:心の起源とその発達を探る,ナカニシヤ出版 (1999).
- [3] 渡辺 富夫, 大久保 雅史, 小川 浩基:発話音声に基づく身体的インタラクシオンロボットシステム, 日本機械学会論文集 . C 編, Vol.66, No.648, pp.2721-2728(2000).
- [4] W. Burgard, A. B. Cremers, D. Fox, D. Hahnel, G. Lakemeyer,D. Schulz, W. Steiner, and S. Thrun:The Interactive MuseumTour-Guide Robot, Proc. National Conference on ArtificialIntelligence,(1998).
- [5] 矢谷 浩司, 大沼 真弓, 杉本 雅則, 楠 房子:Musex:博物館における PDA を用いた協調学習支援システム, 電子情報通信学会論文誌 . D-I, 情報・システム, Vol.J86-D-I, No.10, pp.773-782(2003).
- [6] 楠 房子, 矢谷 浩司, 石川 葵, 石山 琢子, 山口 尚子, 杉本 雅則, 博物館における展示支援 Pibook, 電子情報通信学会技術研究報告 . HIP, ヒューマン情報処理, Vol.103, No.166, pp.11-15(2003).
- [7] 塩見 昌裕, 神田 崇行, イートン ダニエル, 石黒 浩, 萩田 紀博:RFID タグを用いたコミュニケーションロボットによる科学館での展示案内, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.4, pp.489-496(2006).
- [8] Imai,M.,Ono,T.and Ishiguro,H.:Physical relation and expression:Joint attention for human-robot interaction.IEEE Trans.Industrial Electronics,Vol.50,No.4(2003).
- [9] Fraser,N.M.,Gilbert,G.N.:Simulating speech systems, Computer Speech and Language,Vol.5, No.1, pp.81-99(1991).