

# 美術鑑賞支援のための注意誘導ロボットの研究

－ 無言のロボットの身振りによる来館者の注意誘導－

## Study on an Attention Drawing Robot to Support Art Appreciation

－ Drawing Visitor's Attention by a Wordless Robot's Gestures－

葛岡英明, 鈴木祐也, 山下淳/筑波大学システム情報工学研究科, 山崎敬一/埼玉大学教養学部, 久野義徳/埼玉大学工学部, 山崎晶子/公立ほこだて未来大学システム情報科学部  
Kuzuoka, Hideaki., Suzuki, Yuya., Yamashita, Jun/University of Tsukuba, Yamazaki, Keiichi., Kuno, Yoshinori/Saitama University, Yamazaki, Akiko/Future University-Hakodate

In human to human communication, joint attention is achieved by head movement and arm gesture. The purpose of this study is to find the effective body movements of a speech-less small robot that draws a visitor's attention toward a certain object. This paper focuses on eye-contact and hand posture. The experiments showed that eye-contact like head movement and pointing hand posture are effective.

### 1. はじめに

筆者らは 2006 年に科学技術館で開催されたインタラクティブアートの展示会において、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、パネルは作品から少し離れた場所に設置した。しかし鑑賞者の中にはこのパネルに気づかず、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り、作品の近くに待機していた監視員に仕組みを尋ねたりする例が見られた。一般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、やはり作品と解説とを結びつけることが困難になることがある。こうした問題を解決するためには、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が望まれる。

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を認識し、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)4)</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ためである。

本論文では、発話を伴わない小型ロボットに注目し、そのようなロボットを用いた場合、人間と注意を誘導するためにはどのような身体動作が効果的なのかを明らかにすることを目的とする。次節ではまず共同注意について述べ、次に関連した研究を紹介する。それにつづいて、本研究において利用した小型ロボットシステムについて説明する。最後に、実験結果と考察を述べる。

### 2. 共同注意

相手が注意を向けている対象に自分も注意を向けること、または、ある対象へ他者の注意を向けさせることによって相手と同じ対象についての注意を共有することを共同注意といい、共同注意をおこなう 2 人と、注意が向けられている対象の 3 つの間関係を三項関係という<sup>2)</sup>。三項関係において、相手の注意と自分の注意は以下のような関係にある。

- (1) 自分と相手がお互いに気づいている
- (2) お互いが同じ対象に注目している
- (3) 同じ対象に相手が注目していることをお互いが気づいている

本来の三項関係の成立にはこのような複雑な相互認識が必要である。しかし、本論文では、共同注意の達成に効果的な小型ロボットの身体動作を明らかにすることを目的とするため、上記の(1)、(2)についてのみ考慮することにした。

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はたしている。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。そこで、人間と小型ロボットの共同注意において、どのような手の形状が適しているの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と共同注意を達成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. 関連研究

これまでも、博物館や美術館における鑑賞支援を試み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>6)</sup>や、科学博物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>9)</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>8)</sup>や、Pibook<sup>7)</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、関連する音声が流れたりするが、鑑賞者に物を持たせるといった負担をおわせている点が本論文と異なる。

一方、人間とロボットが共同注意を達成するためにロボットに必要となる機能は、

(1) ロボットが人間の注意を認識する機能

(2) ロボットの注意を表出する機能

であるといわれている<sup>5)</sup>。まず(1)は人間が注意を向けている対象を認識する機能である。この機能は人間の顔の向きや視線を手がかりに、注意を向けている対象を認識するというものである。そして、人間が注意を向けている対象にロボットも注意を向けることで共同注意を達成できる。このような研究として、人間の視線及び頭部動作を認識して共同注意を実現するロボット<sup>10)11)</sup>や養育者との相互作用を通して共同注意の能力を獲得するロボット<sup>12)13)</sup>があるが、これらの研究は

人間が注意を向けている対象を認識し、その対象にロボットも注意を向けるというものであり、ロボットの注意を人間に認識させるものではない。

一方、(2)は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である。この機能により、人間はロボットが注意を向けている対象を意識し、その方向を見ることで共同注意が達成される。このようなロボットの研究として、自発的に発話を生成するヒューマノイドがある<sup>14)</sup>。この研究によって、ロボットによるアイコンタクトが共同注意の達成に対して重要であることが明らかにされた。しかし、発話を伴わない小型ロボットの場合のアイコンタクトの効果については自明ではない。また、手の形状の効果についても調査はなされていない。

### 4. 小型ロボットシステム

本節では実験のために利用した小型ロボットシステムについて述べる。

#### 4.1 小型ロボットシステムの概要

小型ロボットにはソニー社製の AIBO (ERS-7) を用いた。小型ロボットのプログラムは、開発環境である OPEN-R SDK を用いて作成した。小型ロボットは外部の PC から、無線 LAN を介してモーションデータを逐次送信することによって制御することにした。外部 PC には、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。最終的にはロボットは自律的に動作することが好ましいが、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。

#### 4.2 小型ロボットの身体動作

小型ロボットの身体動作は頭部と腕の動作によって行う。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。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、まず頭部を上方向に向ける動作で擬似的なアイコンタクトをおこなう。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。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。

## 5. 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、手の形状の効果を調査するための実験について述べる。

### 5.1 Wizard of Oz 手法

本実験では、小型ロボットを遠隔操作するが、将来はロボットを自律的に動作させることを目標としている。従って、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、小型ロボットに対する被験者の印象や反応が、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いう可能性がある。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する、Wizard of Oz 手法 (WOZ 法) を採用することとした<sup>15)</sup>。WOZ 法では、ある機能が実装されていると被験者に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。

### 5.2 実験環境

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 (来館者) の小型ロボットに対する行動を分析した。実験環境を図 1 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。そのとなりに小型ロボットを配置した。ここで、実験者は被験者の様子を確認できる位置にいたが、被験者は後ろを振り返らない限り実験者を見ることはできなかった。また、小型ロボットが操作されていることを被験者には知らせなかった。

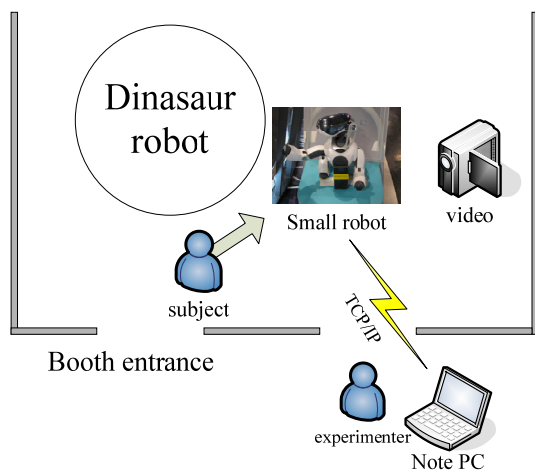


図 1. 実験環境概観

実験は、被験者が小型ロボットに近づき、小型ロボットに注目していると実験者が判断したときに、コントローラを操作して小型ロボットを動作させるという手順で行った。

### 5.3 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。

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：小型ロボットはあらかじめ下を向いた状態 (図 2-a) から、まず正面を向く (図 2-b)。次に、対象の方を向き (図 2-c)、このとき腕の動作も行う。この条件では、正面を向く動作で人間への注意を表出し、対象を向く動作と腕の動作によって対象への注意を表出する。
- (2) アイコンタクトなし：小型ロボットはあらかじめ下を向いた状態 (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。この条件では、対象を向く動作と腕の動作によって対象への注意を表出するのみである。

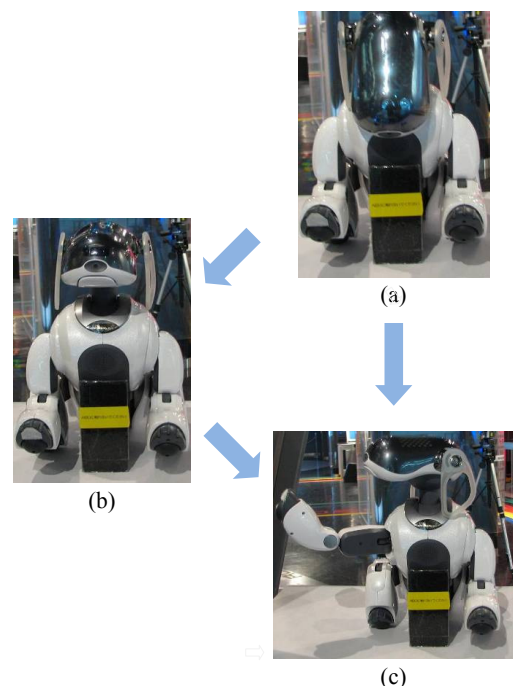


図 2. 小型ロボットの動作

手の形状は以下の 3 条件である。

- (1) もとのアイボの腕のみ (図 3-a)
- (2) 開いた手 (図 3-b)
- (3) 指さし (図 3-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た。各実験条件と、条件ごとの被験者数を表1に示す。被験者の大半は小学生であった。

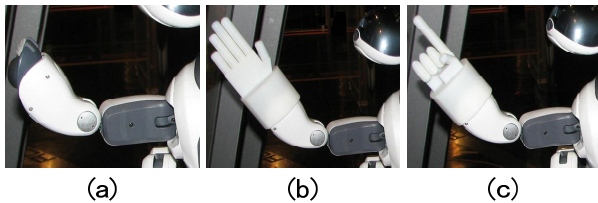


図3. 小型ロボットの手の形状

表1. 実験条件ごとの被験者数

手の形状 アイコンタクト	腕のみ	開いた手	指さし
あり	19	17	21
なし	27	25	19

#### 5.4 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、被験者の視線が対象へ誘導されたかどうかを調べた。まず、被験者が小型ロボットの動作によって恐竜ロボットを見た場合、視線の誘導が成功したと判断した(図4)。一方、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た場合には、視線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た場合や被験者の視線が明確にわからない場合はデータとして用いなかった。

各実験条件において、小型ロボットと視線の誘導が成功した被験者の割合を図5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。その結果、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であることが確認された。

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。



図4. 視線の誘導が成功した例

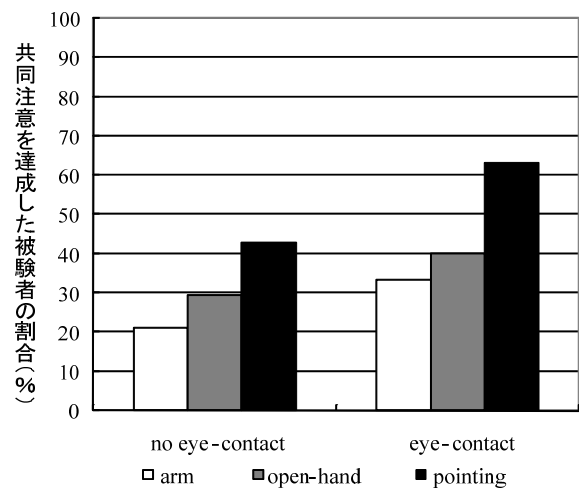


図5. 恐竜ロボットに注意を誘導した被験者の割合の比較

## 6. 考察

### 6.1 アイコンタクトの効果

本実験では、発話を伴わない小型ロボットの、対象への視線誘導におけるアイコンタクトの効果を確認するために、アイコンタクトをしない条件とアイコンタクトをする条件を設定した。そして実験結果から、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、被験者の対象への視線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資源である。しかし、本実験では、小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ことを判

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、対象への視線誘導につながったと考えられる。

## 6.2 手の形状

実験では、小型ロボットの対象への視線誘導における手の形状の効果を確認するために3つの実験条件を設定した。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持ったのである。

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共同注意を達成することが多いが、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持ったことは興味深い。

## 6.3 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、小型ロボットの指自体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。

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、視線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。

## 7. おわりに

本論文では、美術作品の鑑賞支援を目指し、発話を伴わない小型ロボットによる人間の注意誘導を達成するために必要な身体動作を明らかにすることを目的とした。小型ロボットシステムを利用し、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、アイコンタクトをすることと指差し形状の手が、注意誘導に対する効果が高いことを確認した。

このように、ロボットが対象へ注意を誘導するための効果的な身体動作を確認することは、美術館や博物館での鑑賞支援をするガイドロボットの設計にも役立つと考えられる。大きさやデザインが異なるガイドロボットにおいても、本論文で明らかにした身体動作の知見が活かせることが期待できるが、今後、様々なロボットを利用したより詳細な実験を積み重ねる必要がある。

本論文で行った実験では、小型ロボットがアイコンタクトを行い、指差しによる注意表出を行った条件でも、被験者の注意を対象へ誘導できたのは6割程度だった。そのため、注意の誘導を失敗した場合に、被験者の注意を対象へ向けることができる小型ロボットの修正動作を考える必要がある。また、今回の実験では、被験者が小型ロボットに注意を向けたときに動作させたが、積極的に被験者の注意を引くために必要な動作を明らかにする必要がある。

## 謝辞

本研究は日本科学技術振興財団/科学技術館、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度、沖電気工業株式会社の支援によって実施された。

## 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) 小野哲雄：ヒューマノイドにおける意図の伝達（〈特集〉意図研究のスペクトル），人工知能学会誌，Vol. 20, No. 4, pp. 401-406 (2005)。

- 4) 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).
- 5) 今井倫太 : ロボットの注意機構と発話生成そして身体表現, 情報処理, Vol. 44, No. 12, pp. 1221-1226 (2003).
- 6) W. Burgard, A. B. Cremers, D. Fox, D. Hahnel, G. Lakemeyer, D. Schulz, W. Steiner, and S. Thrun: The Interactive Museum Tour-Guide Robot, Proc. International Conference of Artificial Intelligence, (1998).
- 7) 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).
- 8) 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).
- 9) 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).
- 10) 早川俊介, 元方康二, 伊藤昭, 寺田和慶 : 共同注意実現を目指した視線及び頭部動作を認識するロボットの開発, 電子情報通信学会研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 103, No. 453, pp. 31-36 (2003).
- 11) Kojima, H.: Infanoid a babybot that explores the social environment, In Dautenhahn, K., et al. (eds), Socially Intelligent Agents: Creating Relationship with Computers and Robots, Kluwer in press (2001).
- 12) 長井志江, 浅田稔, 細田耕 : ロボットと教育者の相互作用に基づく発達の学習モデルによる共同注意の獲得, 人工知能学会論文誌, Vol. 18, pp. 122-130 (2003).
- 13) Yukie Nagai, Koh Hosoda, and Minoru Asada: Joint Attention Emerges through Bootstrap Learning, In Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS' 03), pp. 168-173 (2003).
- 14) 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).
- 15) Fraser, N. M., Gilbert, G. N.: Simulating speech systems, Computer Speech and Language, Vol. 5, No. 1, pp. 81-99 (1991).