

# 動作過程に着目したアンドロイドによる内部状態表現の検証

## Verification Of Internal State Representation By Androids Focusing On The Motion Process

中野 百花<sup>1,2\*</sup> 境 くりま<sup>2</sup>

Nakano Momoka<sup>1,2</sup> Sakai Kurima<sup>2</sup>

港 隆史<sup>3</sup> 石黒 浩<sup>2,4</sup>

Minato Takashi<sup>3</sup> Ishiguro Hiroshi<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学 基礎工学部

<sup>1</sup> School of Engineering Science, Osaka University

<sup>2</sup> 国際電気通信基礎技術研究所 石黒浩特別研究所

<sup>2</sup> ATR Hiroshi Ishiguro Lab, Japan

<sup>3</sup> 理化学研究所 情報統合本部ガーディアンロボットプロジェクト

<sup>3</sup> Guardian Robot Project, RIKEN, Japan

<sup>4</sup> 大阪大学大学院 基礎工学研究科

<sup>4</sup> Graduate School of Engineering Science, Osaka University

**Abstract:** 本研究は、三者対話の場面で視線移動の動作過程を制御することで、ロボットに内部状態を表現させることを目的とした。内部状態としては、注視対象への関心度とどの対象を優先して扱うかの優先度を想定し、それらを表現する視線移動動作を調査した。ここで、視線移動は、対象に体幹ごと向く度合いと部位の動作開始タイミングのずれ(位相差)で表現されるとした。その結果、位相差と内部状態の間の関係に明確な傾向は見られなかったが、従来知見が示すように関心度が高い対象には体幹ごと向く傾向は見られた。さらに、内部状態を大きく表現する被験者からのデータに限定して分析すると、優先すべき対象への視線が長くなるように位相差が変わるという傾向も見られた。

## 1 はじめに

人の姿を模し、高い自由度を持つアンドロイドは、人に近い身振り手振りや表情、話し方などによって存在感や親近感を表すことができ、社会の一員として活用されることが期待される。ロボットが人とインタラクションを行い、より深くコミュニケーションをとるためには、ロボットの意図や感情などの内部状態を表現することが必要である。アンドロイドは多数の動作自由度を有しているため、身体動作により様々な内部状態が表現できると考えられる。特に視線の動きは、人の内部状態推定にも利用されており、内部状態との結びつきが強い[1, 2, 3]。

これまで、対象に目を向ける際の静止姿勢と内部状態

の関係について調査した研究はあるが、視線移動の過程における動作に着目した研究はなかった。しかしながら、視線を変える上では、眼球だけでなく、頭部や体幹の向きも変えることとなり、その際、それぞれの動きの速さだけでなく、頭部と体幹の動きの位相差なども内部状態を反映している。逆に、人は他者の視線動作のそのような特徴から他者の内部状態を推定している可能性がある。したがって、例えばアンドロイドを含めた三者対話の場合、つまり注視対象候補が複数存在する場合を考えると、アンドロイドが視線を変える際に、常に視線変更前の姿勢と変更後の姿勢を線形補間で変化させるような動きしか示さないなら、機械らしい印象を与えてしまい、社会的存在ではないと判断される可能性がある。そこで本研究では、アンドロイドを含む三者対話を想定し、注視対象切り替え、つまり視線移動の際の動作過程に着目し、その動作と内部状態の関係に傾向を見つけることを目的とした。

そのために、特定の内部状態がどのような視線移動の

\* 連絡先：大阪大学基礎工学部

〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

E-mail: ki-kyomu@office.osaka-u.ac.jp

動作と結びつくのかを調査した。

## 2 関連研究

視線と内部状態の関係についての研究は既にいくつか行われている。

CG エージェント (上半身まで) の注視姿勢から注視対象への関心度を評価する実験では、関心度と身体の内じりは比例関係にあるという結果が得られた [4]。つまり、目だけ動作、目と頭だけ動作、目と頭と上半身が動作、というように対象に体幹ごとに向く度合いが大きくなるのに伴い、注視対象への関心度が高いように見せることができる。

また、ロボットが社会的立場に上下のある 2 人の人間 (VIP とそのフォロワー) と三者対話する実験では、ロボットが視線を向ける時間割合が高い方の人間が優先的に扱われていると感じ、優先順位を理解しているロボットと認識されて肯定的な評価を受けた [5]。

## 3 手法

まず、関連研究を踏まえて本研究で使用する内部状態パラメータと動作パラメータを決定した。本研究では、関連研究で言及された視線を向ける時間割合について、素早く目を動かして対象を見る場合または目以外を動作させた後対象を見る (後ろ髪を引かれるような動き) 場合の、各部位を動作させるタイミングの差 (位相差) で表現することを試みた。

よって、内部状態パラメータは切り替え先の注視対象への関心度、アンドロイド以外の 2 者を比較した優先度の 2 つ、動作パラメータは対象に体幹ごとに向く度合いと位相差の 2 つとした。

動作過程と内部状態の関係として、以下のような仮説を立てた。

**仮説** 三者対話の場面でアンドロイドが注視対象を切り替える際、切り替える先の対象の優先度が高いほど、目が先に動くような位相差が大きくなる

第三者が見たときの内部状態と動作パラメータの関係を調べるため、以下のような実験を行った。まず被験者に複数種類の状況を提示し、その状況下におけるアンドロイドの立場での内部状態を回答させ、与えられた動作パラメータを調整してアンドロイドを繰り返し動作させ、その内部状態を表現すると考える動作を探索させた。

### 3.1 使用するアンドロイド

図 1 は、本研究で使用したアンドロイドである。アンドロイドは、眼球、首、胴体を動かすことができる。足裏は固定されているため足先の方向転換を伴う動作は出来ない、上半身の動きに連動して腰を動かすことが出来るため、下半身を含めた全身での回旋運動が可能である。



図 1 アンドロイド

### 3.2 実験環境

図 2 のように、アンドロイドの正面に対象 A、真横 (正面から左側に向けて 90 度) に対象 B が存在する三者対話の場面を仮定した。そして、注視対象を A から B に切り替わる場合を想定した。

また、対象 A、B は 2 つのモニターに人やモノのイラストを表示し、必要に応じてセリフを再生することで、3.3.4 で説明する状況設定を再現した。

### 3.3 実験準備

#### 3.3.1 動作特徴空間

関連研究から、動作要素として位相差と対象に体幹ごとに向く度合いに注目し、図 3 のような動作特徴空間を考えた。図 3 の縦軸は対象に体幹ごとに向く度合いを表し、値が大きいほど体幹ごと大きく動き、対象 B の方を向く。一方、横軸は位相差を表し、原点から離れるほど位相差が大きくなる。原点より右側は、体幹→頭→目の方向の位相差を、左側は、目→頭→体幹の方向の位相差を表す。

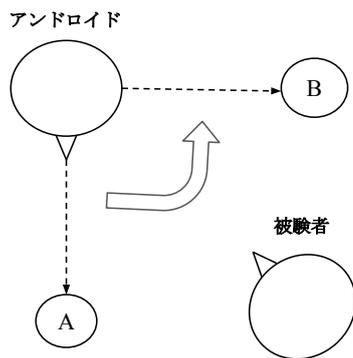


図2 配置図

被験者の位置から見たアンドロイドの初期姿勢 (注視対象は A) を図 4 に示す。また、対象に体幹ごと向く度合いの大きさにより、最終姿勢 (注視対象は B) は図 5~7 のように変化する。

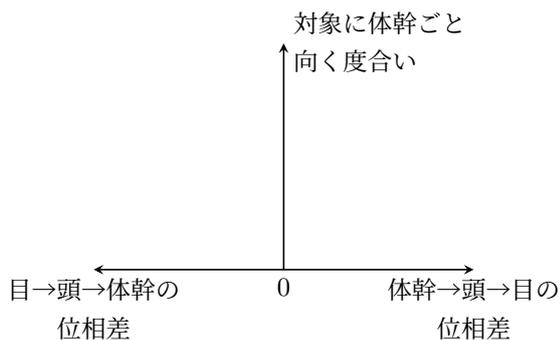


図3 動作特徴空間



図4 初期姿勢

### 3.3.2 内部状態特徴空間

関連研究から、動作に関係する内部状態として、注視対象への関心度と優先度に注目し、図 8 のような内部状態特徴空間を考えた。図 8 の縦軸は対象 B に対する関心度を表し、値が大きいほど関心度が高いことを表す。



図5 対象に体幹ごと向く度合い：小



図6 対象に体幹ごと向く度合い：中



図7 対象に体幹ごと向く度合い：大

一方、横軸は優先度を表し、値が大きいほど対象 A への優先度が高い (値が小さいほど対象 B への優先度が高い) ことを表す。

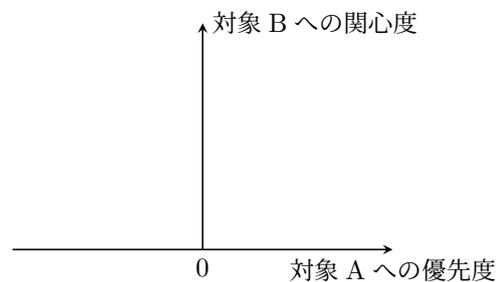


図8 内部状態特徴空間

### 3.3.3 制御方法

まず、動作特徴空間の縦軸にあたる対象に体幹ごと向く度合いの制御について記す。対象に体幹ごと向く度合いは 0 から 1.0 の範囲に設定した。本研究で扱うアンドロイドが注視対象を切り替える際に動かすことができる部位は、目、頭、胴体の 3 つであるため、対象に体幹ごと向く度合いが大きくなるにつれ、目だけ動作、目と頭だけ動作、目と頭と胴体すべてが動作する、というように制御する。そのため、動作する部位数を決定するための閾値を設けた。閾値の設定は、動作する部位の質量が軽いほど動かしやすと考え、目、頭、胴体それぞれの質量に基づいて行った。本研究では、目 (筋肉なども含む) を 20[g]、頭を体重の 10% とした。また、実験では足裏を地面から離さずに動作することを前提としているので、簡単のため胴体を体重の 50% として扱った。体重が 50[kg] と仮定して、表 1 のように閾値を定めた。動作部位に胴体を含む場合は、対象に体幹ごと向く度合い  $y = 0.2$  のとき上半身だけをねじり (下半身の寄与率 0%),  $y = 1$  のとき腰も上半身と同じだけねじる (下半身の寄与率 100%) ように線形変換を行った。被験者は状況に応じて対象に体幹ごと向く度合いのみを調整する。

対象に体幹ごとに向く度合いが指定されれば、上記の法則に従って、アンドロイドの眼球、頭部、胴体の動かす割合を決定する。

表1 対象に体幹ごとに向く度合いと対応する動作部位

| 対象に体幹ごとに向く度合い $y$     | 動作部位     |
|-----------------------|----------|
| $0 \leq y \leq 0.001$ | 目        |
| $0.001 < y \leq 0.2$  | 目, 頭     |
| $0.2 < y \leq 1$      | 目, 頭, 胴体 |

また、位相差は目、頭、胴体が動き始める時間的ずれ(ミリ秒)を表し、最初に動く部位の動作開始時から指定された位相差だけ遅れて次の部位が動く。3つの部位が動く場合は、指定された位相差の50%の時間遅れを設定した。

また、各部位の角速度は表2のように定めた。これは、端坐位での振り向き動作についての研究[6]で、座った状態で90度の振り向きためには約1秒かかり、頭頸部は40度、胸腰椎は30度回旋したという結果に基づくものである。

表2 各部位の角速度

| 部位 | 角速度 [deg/s] |
|----|-------------|
| 目  | 40          |
| 頭  | 40          |
| 胴体 | 30          |

よって、例えば図9のように、動作部位が3つで目が最初に動く場合の各部位の動作の流れは図10のようになる。

被験者は状況に応じて位相差も調整する。位相差の値が指定されれば、対象に体幹ごとに向く度合いで決まる動作軸と動作量と、上記の時間遅れに従って、アンドロイドの眼球、頭部、胴体を制御して、視線移動の動作を実行して、被験者に提示する。

### 3.3.4 状況設定

実験では、注視対象が対象Aから対象Bに切り替わる複数種類の状況を被験者に提示し、状況に合った動作を探索させた。この状況設定は、内部状態と動作パラメータの幅広いデータを得るため、図11のように関心度と優先度に差が出るように9種類用意した(付録)。ただし、各状況を設定する際に想定した内部状態を被験者に伝えずに実験を行った。

また、状況設定のセリフやアンドロイドが動作するタイミングは事前に用意したXMLファイルから読み取

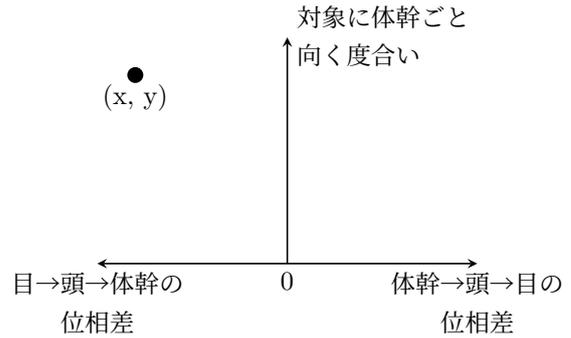


図9 動作部位が3つで目が最初に動く場合 (x: 位相差, y: 対象に体幹ごとに向く度合い)

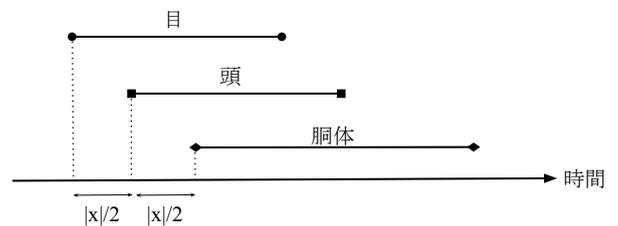


図10 位相差つき動作の流れ

り、被験者の調整によってアンドロイドの動作のみ変化するようにした。

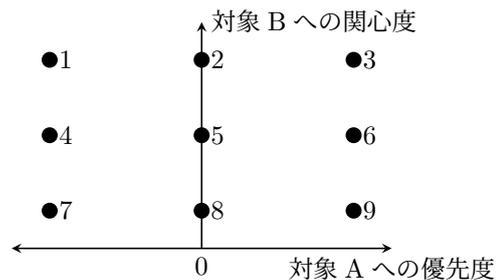


図11 用意した状況設定の内部状態特徴空間内の想定位置 (数字は状況番号)

### 3.3.5 パターン分け

実験時間の都合上、各被験者が9種類の状況に対して動作探索を行うことが困難だったため、以下のように実験パターンを3種類用意し、各被験者は6種類の状況の動作探索を行った。被験者に割り当てる実験パターンに

は偏りが出ないように注意し、各状況のデータを均等に収集するようにした。

- パターン A: 状況 1~6
- パターン B: 状況 1~3, 7~9
- パターン C: 状況 4~9

### 3.4 実験前アンケート

実験では、動作探索前に被験者が実験前アンケートに回答した。質問項目は以下の通りである。

- 項目 1: 性別
- 項目 2: 性格調査 (TIPI-J)
- 項目 3: 各状況 (9 種類) の内部状態調査

項目 3 では、被験者が各状況でのアンドロイドの立場にいると仮定し、関心度、優先度、ポジティブネガティブ度を図 12 のように 7 段階評価で調査した。

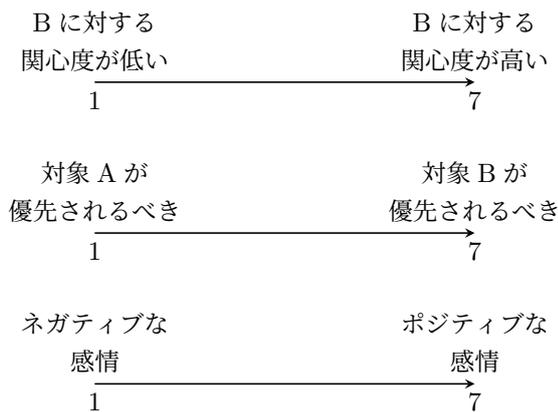


図 12 実験前アンケート

### 3.5 実験後アンケート

実験では、動作探索後に被験者が実験後アンケートに回答した。質問項目は以下の通りである。

- 項目 1: 動作探索時の考え方 (自由記述)
- 項目 2: うまく動作を探索出来たと感じたか

項目 1 は被験者が探索したデータを考察する際の手がかりにすることを目的とし、項目 2 は被験者が内部状態を表現する際に、与えられた動作パラメータは十分であると感ぜられたかを確認することを目的とした。項目 2 は「出来た」「おおむね出来た」「あまり出来なかった」「出来なかった」で評価するものとした。

## 3.6 被験者情報

平均年齢 21.0 歳の男女 23 名 (男性 13 名, 女性 10 名) を実験対象とした。

## 4 結果

### 4.1 動作データのクラスター分析

得られた被験者のデータの内、以下の条件 1 または条件 2 を満たすデータを有効でない被験者データとした。条件 2 を設定したのは、複数の動作を比較して選ばれた動作に限定した方が、信頼性の高いデータを得られると判断したためである。

条件 1 実験後アンケートの項目 2 で「出来なかった」と回答

条件 2 探索試行回数が 1 回以下

条件 1 を満たす被験者が 1 名, 条件 2 を満たす被験者が 6 名となったため, 残り 16 名のデータを有効な被験者データとなった。動作データを優先度/関心度別にクラスター分析した結果が, 図 13~16 である。ただし, 目→頭→体幹の方向の位相差を負の値, 体幹→頭→目の方向の位相差を正の値で表している。x はクラスターの中心, 赤い直線は回帰直線を示し, クラスターサイズによって色分けしている。なお, クラスター分析の手法には DBSCAN を使い, 計算の際の半径距離, クラスターと判定する閾値は試行錯誤で決定した。

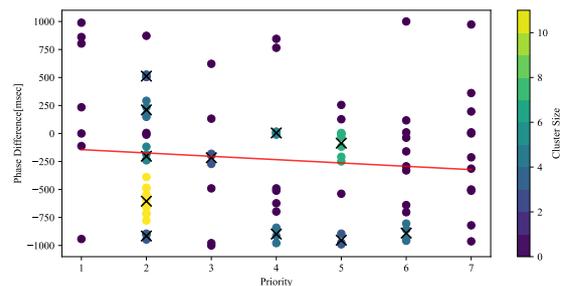


図 13 優先度-位相差のクラスター分析結果 (横軸: 優先度, 縦軸: 位相差)

図 16 に注目すると, 関心度と対象に体幹ごと向く度合いの間の関係には比例傾向が見られた。一方, 図 13, 15 より, 位相差と内部状態の間の関係には傾向を見つけれなかった。そのため, 項目を追加してさらにデータの解析を行った。

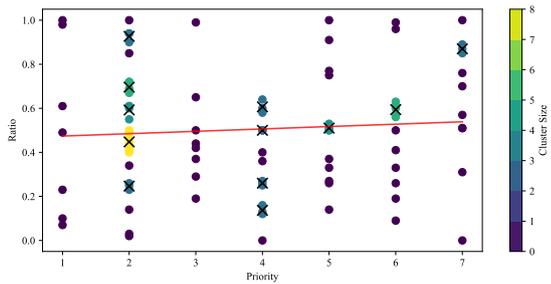


図 14 優先度-対象に体幹ごと向く度合いのクラスター分析結果 (横軸：優先度, 縦軸：対象に体幹ごと向く度合い)

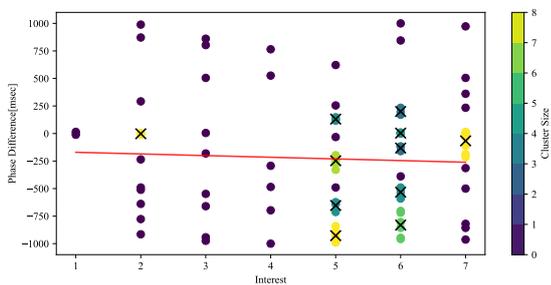


図 15 関心度-位相差のクラスター分析結果 (横軸：関心度, 縦軸：位相差)

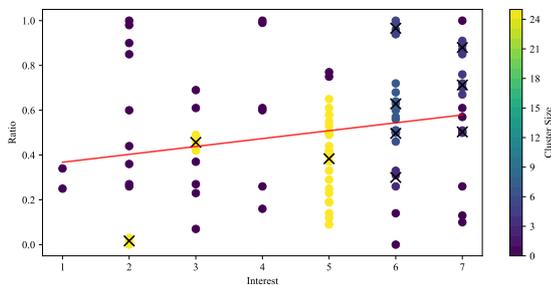


図 16 関心度-対象に体幹ごと向く度合いのクラスター分析結果 (横軸：関心度, 縦軸：対象に体幹ごと向く度合い)

## 4.2 内部状態を動作で表現し分ける被験者の動作データの解析

被験者が探索した動作データの分散に着目して、さらに解析を行った。動作データの分散に着目した理由は、動作データのバラつきが大きい被験者は内部状態を動作で表現するのが得意である想定し、そのような被験者がどのように表現するかを調べるためである。

16名の動作データそれぞれにスケーリング、標準化処理を行って共分散行列を計算した。楕円の長軸の長さを動作データのバラつきの大きさとして比較し、長軸の長さが平均以上の8データに限定した。4.1節と同様に優先度/関心度別にクラスター分析した結果が、図17~20である。

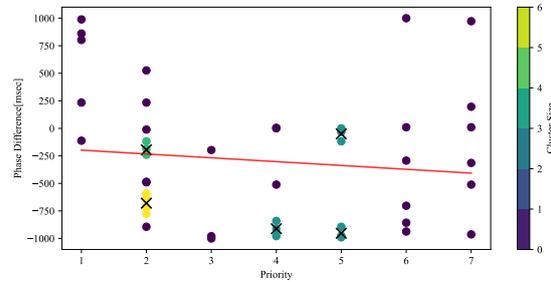


図 17 8データの優先度-位相差のクラスター分析結果 (横軸：優先度, 縦軸：位相差)

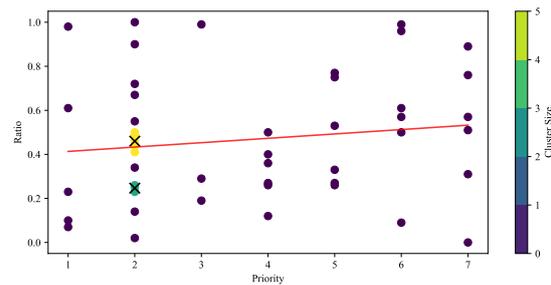


図 18 8データの優先度-対象に体幹ごと向く度合いのクラスター分析結果 (横軸：優先度, 縦軸：対象に体幹ごと向く度合い)

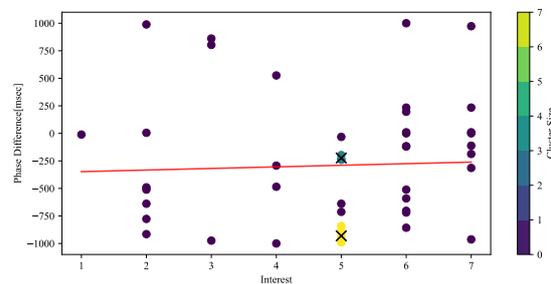


図 19 8データの関心度-位相差のクラスター分析結果 (横軸：関心度, 縦軸：位相差)

分析から、関心度と対象に体幹ごと向く度合いについて、図20に注目すると、図16と同様に比例傾向が見

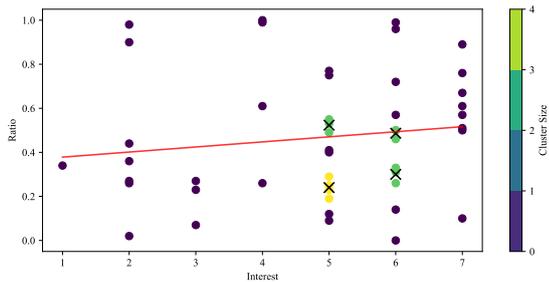


図 20 8 データの関心度-対象に体幹ごとに向く度合いのクラスター分析結果 (横軸：関心度，縦軸：対象に体幹ごとに向く度合い)

られた。一方，位相差と優先度については，図 13 と比較すると，図 17 では，仮説と矛盾する外れ値 (優先度 4～7 で位相差が大きいデータなど) が減少した。しかし，全体的に目が先に動く動作 (位相差が負の値) が多く，仮説通りの傾向が明確には見つけられない結果となった。

## 5 考察

仮説と異なる結果が得られた原因について，以下のよう  
に考察した。

実験後アンケートで調査した動作探索時の考え方に，与えられた状況設定において「アンドロイドが能動的に動作する場面か受動的に動作する場面かに注目して動かし方を変えた」という回答が複数あった。例えば，アンドロイドが対象 B に話しかけるために意図して動作するのは能動的な場面であり，突然話し始めた対象 B を見るために動作するのは受動的な場面である。今回行った実験では 9 種類の状況設定を用意したが，アンドロイドが能動的ふるまいをする状況と受動的ふるまいをする状況の両方が混在していた。そのため，内部状態パラメータとして用意した関心度と優先度以外の要因が影響した可能性がある。また，「アンドロイドのふるまいが能動的な場合は胴体から動かし，受動的な場合は目から動かし」という具体的な回答もあった。これには，多人数インタラクションでの主要関与と副次的関与の考え方が関係しているのではないかと考える。身体の部位が向く方向は，人がどの活動にどの程度関与しようとしているかを知る手がかりになり，安定性の高い下半身の方向付けは主要関与，一時的な上半身の方向付けは副次的関与に関係する [7, 8]。このため，アンドロイドが自発的に意図して動作する際 (能動的ふるまい) は主要関与を表すために胴体から動かし，外的要因により動作する際 (受動的ふるまい) は副次的関与を表すために目から

動かすようにしたのではないかと考えた。被験者の回答から，振る舞いの能動性・受動性が，位相差に関係していることが考えられるため，今後，能動性・受動性を考慮した実験，解析を行うことで，アンドロイドの内部状態と位相差との関係性を見つけだすことができると考えられる。

## 6 むすび

アンドロイドを含む三者対話を想定し，視線移動の際の動作過程に着目し，その動作と内部状態の関係に傾向を見つけることを目的として実験を行った。三者対話の場面でアンドロイドが注視対象を切り替える際，切り替える先の対象の優先度が高いほど，目が先に動くような位相差が大きくなるという仮説を立てた。実験では，被験者に 9 種類の状況設定を提示し，その時のアンドロイドの内部状態とその状況に合った動作を探索させた。その結果，関心度と対象に体幹ごとに向く度合いには比例傾向が見られたが，位相差と優先度については，位相差が負の値となるデータが多く，仮説通りの傾向は認められなかった。この原因として，被験者に提示した状況設定の中に，アンドロイドが能動的ふるまいをする状況と受動的ふるまいをする状況の両方が混在していたことを挙げた。

## 謝辞

本研究の一部は，JST ムーンショット型研究開発事業，JPMJMS2011 の支援を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 若井祐介，鷺見和彦，松山隆司. 画像を用いた人の選択行動の興味度合推定. *ViEW*, pp. 32–37, 2005.
- [2] 高橋宣裕，羽倉淳，樽松理樹，藤田ハミドほか. 視線と頭部姿勢に着目したユーザの興味推定. 全国大会講演論文集，インタフェース，pp. 177–178, 2010.
- [3] 中村隼，竹内勇剛. 人型ロボットの視線と身体の状態からの関心の高さの推定. 人工知能学会全国大会論文集 第 30 回 (2016), pp. 2N4OS29a1–2N4OS29a1. 一般社団法人 人工知能学会, 2016.
- [4] Tomislav Pejosa, Sean Andrist, Michael Gleicher, and Bilge Mutlu. Gaze and attention management for embodied conversational agents. *ACM Trans. Interact. Intell. Syst.*, Vol. 5, No. 1, March 2015.
- [5] Honoka Arai, Mitsuhiko Kimoto, Takamasa Iio,

Katsunori Shimohara, Reo Matsumura, and Masahiro Shiomi. How can robot's gaze ratio and body direction show an awareness of priority to the people with whom it is interacting? *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 4, No. 4, pp. 3798–3805, 2019.

- [6] 福田守, 樋口朝美, 富澤義志, 鈴木博人, 川上真吾, 鈴木誠, 藤澤宏幸. 端坐位での振り向き動作における頭頸部と体幹の協調性に関する研究. *東北理学療法学*, Vol. 28, pp. 46–54, 2016.
- [7] Emanuel A Schegloff. Body torque. *Social research*, pp. 535–596, 1998.
- [8] 坊農真弓. 会話構造理解のための分析単位: F 陣形 (<連載チュートリアル> 多人数インタラクションの分析手法 [第 6 回]). *人工知能*, Vol. 23, No. 4, pp. 545–551, 2008.

## 付録

実際に被験者に提示した状況設定を以下に記す。被験者は、これらが印刷された紙を見ながらアンケートへの回答、動作の探索を行った。

### 状況 1

アンドロイドが MC をしている。A を見て A の話を聞き終わったあと、B に対して話を振る。

A 「私は学費の無償化に賛成しています」  
アンドロイド 「B さんはどう思いますか？」  
B 「そうですね。もっと現実的に考えるべき課題だと思います」

### 状況 2

アンドロイドが MC をしている。A が新商品 B を紹介したので B を見る。

A 「ではここで、わが社の新商品を紹介いたします」

### 状況 3

アンドロイドが MC をしている。A の話を聞きながら、A に言及された人物 B を見る。

A 「この問題については、B さんの言う通り...」  
アンドロイド (B さんを見る)  
A 「慎重に考えるべき課題だと思います」

### 状況 4

アンドロイドが講演者をしている。発表の際に観衆 A に向けて少し話したあと、スクリーン B を見る。

アンドロイド 「このようなロボットいじめは、世界各国で報告されています。(B を見ながら) 次のスライドでは、どのような場合にいじめが起こりやすいのかを説明します」

### 状況 5

アンドロイドが受付をしている。A の位置にいた人が B の位置に移動するのを目で追いかける。

(セリフなし)

### 状況 6

アンドロイドが MC をしている。A を見て A の話を聞いている途中で、B がかぶせて話し始めたので、B の方を見る。

A 「インターネットの匿名性が、いじめを増やす原因になっていて...」  
B 「いやいや、実名登録制にしている国でもいじめは防げていませんよ」

### 状況 7

アンドロイドが受付をしている。来客 A の接客を終えた後、離れた位置にいる群衆 B を見る。

アンドロイド 「ごゆっくりどうぞー」  
B 「(ガヤガヤ)」

### 状況 8

アンドロイドが受付をしている。暇なときに、群衆 A から群衆 B に目を向ける。

A, B 「(ガヤガヤ)」

### 状況 9

アンドロイドが受付をしている。来客 A に道を聞かれて、ドア B に案内する。

A 「すみません。お手洗いはどこですか？」  
アンドロイド 「お手洗いはこのドア B を出てすぐのところにありますよ」