

# ロボットの能動的な行動設計によるユーザの印象評価の向上

岡田 明帆<sup>†1</sup> 菅谷 みどり<sup>†1</sup>

**概要:** ロボットと人とのインタラクションに関する研究は進化が著しい。インタラクションにおけるロボットの印象評価の研究の従来手法の多くは、ユーザが主体であり、ロボットの反応動作を評価するものとなっている。これに対し、ロボットが主体で、ユーザに対して能動行動をとった場合の人の印象評価という観点での研究は、十分ではない。我々はロボットと人とのインタラクションを見直し、ロボットがユーザに対して明示的に能動行動を取った場合のインタラクションについて、その行動設計モデルの提示と、それに基づいて実装した挨拶行動の印象評価を検証することを研究目的とした。挨拶行動の有無による印象評価の差異を検証した結果、活動性、親近性、意図性の有意性が示された。

## Improvement of Impression Evaluation of the User by the Active Behavior of Robot

AKIHO OKADA<sup>†1</sup> MIDORI SUGAYA<sup>†1</sup>

**Abstract:** In recent years, research on the interaction between the robot and human evolution is remarkable. Many of the techniques used in the study of impression of the robot in the interaction, the user was to evaluate the response of the robot when it is given a contact action or something action to the robot. Conversely, when it may change the impression is observed by performing an active action to the user from the robot we have assumed.

We have obtained in the investigation of previous research that the user expect action in the passive attitude to the robot. Therefore, I was predictable that the active actions of the robot leads to improvement of impression of the user. However, studies comparing the impression evaluation with and without the active actions of eye control, a problem that there is an indicator that a significant difference cannot be obtained was left. To solve this problem, we have implemented the robot greeting behavior as active behavior that users expect to the robot. As a result, the activity, Affinity, intentionality, significance of it was shown.

### 1. はじめに

近年、人とのインタラクションを主としたコミュニケーションを行うロボットが広く普及する中、新分野への応用の模索やヒューマノイド型プラットフォーム、知能型エンターテインメント等を目的とする、人型ロボットが多く提案されている。これに先立ち、人とロボットのインタラクションの研究でも、人に対するロボットの印象評価の研究が数多く提案されている。中田らは、人への手の接触に対するロボットの反応から、対人受容的行動の印象評価を行った。この結果、ロボットが人に反応してなつくといった対人受容的な行動を行った場合、ユーザがロボットに対して好意的印象を持つことを明らかにした [1]。垣尾らは、ヒューマノイドロボットを用いてユーザがロボットを押しした際のロボットの跳ね返り反応による印象の違いを調査し、動作の結果ロボットに異なる印象を持つことを明らかにした [2]。こうした印象評価の多くの研究は、ユーザからロボットに対して何らかの動作を与え、それを受ける側のロボットが何らかの反応をおこす、いわばロボットが受動的な行動を行った際の印象評価が主である。本来、人と人と

のコミュニケーションでは、動作を起こす側（能動行動を行う側）と反応する側（受動行動を行う側）の二つの立場があるが、従来の研究では、能動行動をロボット側が行う点が十分に検討されていない。そこで我々は、ロボットがユーザに対して先行的に動作を起こすことを能動行動と定義し、能動行動の有無による印象の変化を研究対象とするものとした。さらに、能動行動を行うロボットの行動モデルを行動状態の変化として示した。ロボットと人のインタラクションの研究は数多く提示されているが[1][2][3][5]、本研究で示したように、ロボットのインタラクションにおける行動を「受動」「能動」観点でとらえ、行動指針となる基礎的な動作を状態モデルで提示している研究はまだ十分提示されているとはいえない。

本研究では、能動行動の状態モデルに従い、挨拶行動を実装した。挨拶は、能動行動の中でもその意図が伝わりやすい行動と考えた。これは、先行研究の人がいる方向に目を向ける、というロボットの動作を視線制御とした研究にて[3]、視線制御行動の有無による「活動性」「親近性」「愉快性」の評価項目で、印象評価の統計的な有意差が得られないという課題について、考察した結果にもとづいている。

結果より、能動行動であればどのような部位でも良いということではなく、ある一定の能動行動として認識される

<sup>†1</sup> 芝浦工業大学  
Shibaura Institute of Technology University

能動行動の有無による印象評価向上に繋がる適切な能動行動として、「挨拶」行動に着目し、これをロボットに実装した。

挨拶行動の実現のために、RAPIRO[4]に2つの光センサを取り付け、ユーザが触れることで何らかの反応を返すというユーザとロボットの接触インタラクション実装し、接触インタラクションの前のステップに、能動行動として視線制御動作と腕の上げ下げによる挨拶動作を実装した。実験では、ロボットがユーザに対して能動行動を行う場合と行わない場合でのロボットの印象評価をアンケートにて行った。その結果、親和性、活動性、意図性に有意差があることが統計的に示された。このことから、人とロボットのインタラクションにおいて、ロボットがユーザの期待する能動行動を示すことで、ユーザが抱くロボットの印象を改善することが示唆できた。

本論文の構成は、以下の通りとする。2章にて先行研究の課題を示し、3章にて人型ロボットを用いた能動行動の提案、および設計を示し、4章にて実装、実験、考察、5章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 先行研究

### 2.1 能動行動の仮説

人型ロボットへの応用は十分考慮されていない。一方、垣尾らのヒューマノイドロボットを用いたユーザからの押しの動作に対する反応の印象を調査し、ロボットが自分の状況を自然に伝えることを目指した研究や[2]、矢野らのロボットの腕の上げ下げ行動において、速度を変化させることでユーザが受ける印象も異なることを研究する[5]など、人型ロボットを想定した印象評価の研究では、いずれもユーザからロボットへ先行した能動行動を必須とし、その動作に対するロボットの反応をユーザが評価をするという点が共通している。すなわち、先行研究の数多くはロボットがユーザに対して受動的である場合の印象評価であると考えられる。

我々は従来の手法の人とロボットのインタラクションの関係を「受動」「能動」という形で明示的にとらえ直し、ロボットが能動的な行動の印象評価を行うことを研究の目的とした。最終的には、この結果をもとに、ロボットの行動設計におけるインタラクションモデルの構築を目指す。

### 2.2 ロボットが能動的であることの期待性

ユーザがロボットに対してどのような場面で愉快さや親近性を感じるのかについて、ユーザの意見を KJ 法により集めた研究[6]がある。この研究で、『人間がロボットと初めて対面した時に期待する行動』『人間が受けるロボットの面白い・または癒される動きとは』について収集した意見は、

1. 挨拶行動（おじぎや握手名前を教えてくれる）
  2. エンターテイメント（ダンスやアクロバティック）
  3. 人間的動作（人間と同じようななめらかな動き）
  4. 日常の補佐（話し相手、部屋の掃除など）
  5. 欲望（趣味を共有する、頭を撫でてくれるなど）
- の5つの段階にまとめられた。

### 2.3 能動行動による効果

神田らは、ロボットが先行的に行う動作として視線の制御を実装したロボットによる印象評価の例を示した [3]。神田らは、ユーザからの直接的な働きかけを必要とせず、ロボットが収集したセンサ情報を元に自律的に行動する機能を実装することにより、人に知的な印象を与えることを目的とした研究を行っており、本研究で示した能動行動の定義にあてはまる。神田らの研究では、生徒が歩く廊下に視線制御付きロボットを設置し、ロボットにも自由に廊下の行き来をさせた際、人とのすれ違いを検知して生徒の方に視線を向けるという視線制御をロボットに行わせ、その有無による印象評価の差を比較した。この結果、視線制御（ユーザーの方に視線を向ける）という「能動行動」では、活動性、愉快性、親近性に統計的な有意差が見られなかったことが示された。

本結果をもとに考慮すると、ロボットの「能動行動」が必ずしも印象向上につながるとはいえない。我々は神田らの研究から得られた『活動性、愉快性、親近性に統計的な有意差が得られなかった』という点を問題としてとりあげ、次章にて課題、目的の設定を行うものとした。

## 3. 目的と設計

### 3.1 課題・目的

神田らの研究で示された、活動性、愉快性、親近性に統計的な有意差が得られなかった理由として、我々は以下の2点が主な要因と考えた。

- 視線制御は、KJ 法にて得られたユーザがロボットに期待する行動を満たしていなかった。
- ロボットの行動の意図がユーザに伝わっておらず、その行動自体にユーザが意味を見いだせなかった。

本研究では、2.2 節で示した『KJ 法にて得られた、ユーザがロボットに期待する行動』=ロボットの能動行動と考え、ロボットがユーザに期待された行動を能動的に行うことで、ユーザからの印象評価の向上が得られると考えた。このことから、本研究では、ロボットと人とのインタラクションにおける、人が期待する能動行動による印象評価の検証を行うものとした。

### 3.2 提案

我々は、ロボットがユーザに対して、先行研究[6]で得られた5つの段階に示された行動を能動的に行うことで、信頼感や親近感などの印象評価の向上が得られると考えた。

我々が定義するロボットの能動行動とは、ユーザの先行

的な働きを必要とせず、ロボットが先行的にユーザに対して行動を起こすこととする。この先行行動は、人でいう自発行動にあたる。ロボット自体は自発性をもたないため、その自発行動を実現するには、何らかの手順が必要となる。ここでは、センサから人の情報を読み取る、といった何らかの人の状態の観察と、その観察に基づく行動を「能動行動」とし、それを議論の対象とした。

### 3.3 設計

2.2 節で示した先行研究によりグルーピングされたロボットへの期待行動をロボットの能動行動と定義し、各段階を能動行動のレベルとする。今回は第1段階の挨拶行動を能動行動レベル1とし、行動設計を行うものとした。ロボット側の行動としては、人の行動待ち（人の非接行動の観察）、能動行動、接触待ち（人の接触行動の観察）3つの状態として定義した（図1参照）。

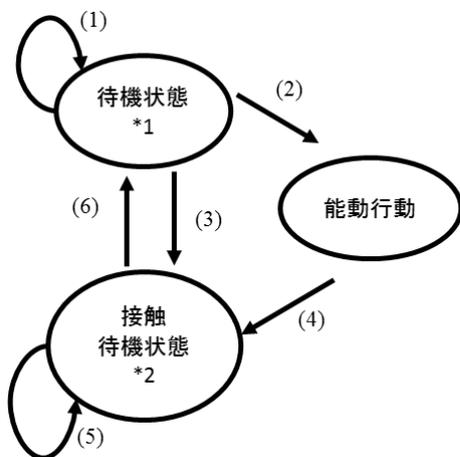


図1 ロボット能動行動設計の全体図

(\*1 人の非接触行動の観察, \*2 人の接触行動の観察)

Figure 1 Overall view of robot design

(Observation of non-contact behavior of people \*1,

Observation of contact behavior of people \*2)

図1の(1)-(6)は下記の通りとなる。

- (1) 人の非接触状態での行動検知
- (2) 行動検知かつ能動行動設定あり
- (3) 行動検知かつ能動行動設計なし
- (4) 能動行動から、接触待ちへ
- (5) 人の接触状態の行動検知と反応行動
- (6) 人の接触終了、離脱

2.2 節で述べたように、ロボットの能動行動は、ロボットが先行的にユーザに対して行動を起こすことである。しかし、ロボットは自発性を持ち得ないため、それを擬似的に実現するために、非接触の状態にて、人の行動の観察を行う待機行動状態を設けた。また、次の状態への遷移は(1)の人の非接触状態での行動検知とし、これが(2)能動行動

のきっかけとなる行動であった場合でかつ、能動行動が定義されている場合、次の能動行動へ遷移するものとした。もし、(3)能動行動が定義されていない場合には、そのまま相互接触行動に移行する。(4)にて能動行動が終了すると、接触待ちへ遷移し、(5)接触待ち状態で何らかの人からの接触行動と反応を行うものとした。もし(6)にて人の接触が終了（一定時間の反応がないなど）した場合、離脱と見なし(5)の状態から状態遷移する。これを、通常のロボットの動作に対して、能動行動を追加した行動モデルとして定義し、以降は本モデルに従って具体的な行動実装を行うものとした。

#### 3.3.1 挨拶行動の手順

今回、我々は人が期待するロボットの能動行動として、挨拶をロボットの能動行動として実装することにした。一般的に人同士の挨拶は、

- (1) 相手に気づく。
- (2) 手をふる又は言葉を発する。

という手順となる。ロボットが挨拶という能動行動を先行的に起こすためには、挨拶の対象となる人の非接触での行動を観察し、それに対応する能動動作が必要である。これは、3.2 節に示した行動モデルと合致する。

本研究では、(2)の手をふるという挨拶動作だけではなく、より自然に人同士のコミュニケーションを模擬するために、(1)の視線制御動作も、能動行動とした。

具体的には、ロボットが人の接近を検知することで人に気づく動作(振り向きの視線制御)と、その後手を振るという行動を行わせ、より能動行動が明示的にしめされるようにした。図1における状態遷移モデルに従って、挨拶行動を示した場合の詳細を以下の通りとした。

- (1) 人の接近検知(人の非接触状態の観察)
- (2) 人の接近検知かつ能動行動設定あり
- (3) 人の接近検知かつ能動行動設計なし
- (4) 能動行動（視線制御動作、挨拶動作）
- (5) 接触検知（人の接触状態の観察）
- (6) 離脱検知

このモデルに従い、ロボットは行動を起こすものとする。

#### 3.3.2 挨拶行動における距離の設計

今回の挨拶行動は、人とロボットがインタラクションを行う前のステップとして用いた。つまり、人がロボットとインタラクションを行うことを望んだ上での接近と想定し、視線制御動作、挨拶動作を実装した。この際に双方に適した距離を定める必要がある。

我々はこの距離をパーソナル空間の定義に従って定義した。エドワード・ホールによって4つのゾーンと近接相と遠方相の2つに分類されたパーソナル空間[7]のうち、人の接近検知は社会距離の近接相(1.2~2m)、振り向きの視線制御動作を始める距離は個体距離の遠方相(75~120cm)、挨拶動作は互いが正面で向き合う個体距離の近接相

(45~75cm)に従った。これらの距離は、西出の対人距離において 50 cm~ 1.5m は普通の会話が行われる会話領域[8]という主張にも含まれるため、妥当性があると判断した。

### 3.4 実装

#### 3.4.1 ロボット

Kiruct 社によって開発された人型ロボットキットの RAPIRO を使用。全長 250×200×155(単位ミリメートル)。頭・首・肩・肘・手のひら・腰・足・足首の 13 か所に付けられたモーターは、RAPIRO 内に載せた専用の Arduino によって動作の指定が可能となっている。また、本体の中に LED が仕込まれており、RGB 値の変更にて色の調節可能。目となる部分から光が漏れるため、外観から色の変化が分かるようになっている。

今回の実験では、色には個人の好みなどがあり、挨拶行動以外の比較対象として実験に影響を与えてしまう可能性があるためと判断し、LED は使用していない。

#### 3.4.2 センサ

被験者の接近を検知するためのセンサは超音波距離センサモジュール (3cm~4m) を 2 つ使用。RAPIRO 本体に取り付けた光センサは CDS セル (5mm タイプ) を 2 つ使用した。

#### 3.4.3 動作設定

RAPIRO には以下の動作を設定した (図 2 参照)。

			
①待機状態	②視線制御動作(右)	③視線制御動作(左)	④挨拶動作
			
⑤接触インタラクション動作 1	⑥接触インタラクション動作 2	⑦接触インタラクション動作 3	

図 2 RAPIRO の設定動作

Figure 2 Setting operation of RAPIRO

- 待機状態の動作を 1 種類 (①)。
- 被験者の接近を検知して振り向く視線制御動作を左右で 1 種類ずつ (②, ③)。
- 挨拶動作を 1 種類 (④)。
- 被験者が光センサを触ることにより RAPIRO がリアクションを返す、接触インタラクション中の動作を 3

種類 (⑤, ⑥, ⑦)。

待機状態は両足と両腕を少しだけ広げて元に戻るといふ動作を繰り返す。視線制御動作は、左右どちらからか、被験者が近づいてきた方向に顔だけを 50 度回転させ、2 秒後に正面に向き直す。被験者が RAPIRO の正面に立った際の挨拶動作は、右腕を上げて 2 秒間左右に振ったあと待機状態に戻る。接触インタラクション中の動作は、

- 左右の手を上下交互に振る。
- 手足を小刻みに動かす。
- 左右の手を万歳した状態から左右に動かす。

以上の 3 種類である。この接触インタラクション中の動作は全被験者共通であり、ランダム性も入れていない。今回の実験は挨拶行動の有無による比較のため、接触インタラクション内容で差がつかないようにした。

## 4. 実験と結果

### 4.1 目的

ユーザとロボットの接触インタラクションの前に、ロボットから能動的に挨拶行動を起こすことで、ロボットの印象評価の向上を検証する。

### 4.2 実験内容

#### 4.2.1 被験者数

被験者数は本校の男子生徒 6 人と女子生徒 4 人の計 10 名。今回の実験では 5 人ずつにチーム分けを行い、ロボットの挨拶行動の有無を体験する順番でチーム分けを行い、実験手順による差異を考慮できるようにした。

- A チーム：あり→なし
- B チーム：なし→あり

#### 4.2.2 評価方法

挨拶行動あり、なしの各々を体験した直後にアンケートに答えてもらった。設問は 4. とてもそう感じた, 3. まあそう感じた, 2. あまり感じなかった, 1. 全く感じなかった, の 4 段階評価で行い、設問 1~5 はそれぞれ活動性、愉快性、親近性、意図性、継続性を問うものであり、内容は以下の通りとなっている。

- 1) ロボットが活動的だと思いましたか。
- 2) ロボットが自分を楽しませてくれましたか。
- 3) ロボットに足しして親しみを感じましたか。
- 4) ロボットに何かしらの意図があると感じましたか。
- 5) ロボットと継続的に遊んでみたいと思いましたか。
- 6) ロボットに接近した際の、ロボットが手を振る動作は何を表していると感じましたか。
- 7) 自由記述欄

今回は被験者に「挨拶行動」ではなく「能動行動を起こす」と伝えていたため、ロボットの能動行動をどのように捉えたのかを調査する目的で設問 6 を用意した。

#### 4.2.3 全体図

場所は本研究室前の幅 2m 程の廊下。RAPIRO は頭のモ

ーターが上下に動かせないため、被験者との視線が同一になるように台を置いて高さを調節した。

被験者接近と離脱の検知は超音波センサにて行った。RAPIRO を壁際に置き、それを中心として壁沿い左右160cm の位置に超音波センサを設置、被験者の初期位置は両サイドの超音波センサより外側とし、今回は約 2.5m 離れた地点を初期位置とする。この際、スタートは左右どちらからでも構わないとした。

ロボットの初期状態、人の非接触状態を観察する状態となっており、被験者の接近を検知すると、ロボットが能動行動設計ありの場合は能動行動を、能動行動設計なしの場合は接触検知を行うモードに切り替わる。反対側の超音波センサにて被験者の離脱を検知すると、接触検知を行わないモード、つまり初期の非接触状態を観察する状態に切り

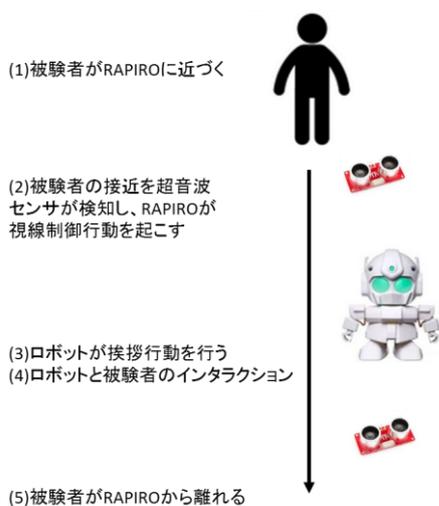


図 3 実験の流れ

Figure 3 Flow experiments

替わる。よって、被験者が接近してきたという経緯がない場合は光センサに触れても反応しないようになっている。

被験者には一定の速度で歩くよう実験前に練習してもらい、立ち止まるのは RAPIRO の前だけと事前に伝えておいた。これは、RAPIRO の視線制御動作から正面を向いて挨拶動作を行う一連の流れをプログラム内の delay() をかけることによって実現しており、被験者が正面に立ったという判定を今回の実験では行っていない。そのため、被験者が一定の速度で歩くことで視線制御動作から挨拶動作までのタイミングの調節を目的としている。

#### 4.2.4 実験の流れ (図 3 参照)

- (1) 被験者は超音波センサの外側 (左右のどちらか) に立ち、RAPIRO に向かって真っすぐ歩き始める。
- (2) 超音波センサが反応し、RAPIRO が被験者に視線制御動作を行う。
- (3) 被験者が RAPIRO の正面近くになると RAPIRO が挨拶動作を起こす。

(4) 被験者が RAPIRO の光センサに触れることによる接触インタラクションを行う。

(5) 被験者が RAPIRO から離れる

被験者が RAPIRO から離れる (近づいてきた方と反対側へ直進して離れる)。この際、反対側の超音波センサを通り過ぎるように指示をした。能動行動なしの場合は、RAPIRO が(2)~(3)を行わないとする。

被験者にはこの一連の動作を 3 往復行ってもらった。被験者が RAPIRO に背を向けている際の超音波センサからの情報は無視し、RAPIRO が視線制御動作を行わないようにプログラミングしている。なお、接触インタラクションの時間は決めていない。

#### 4.3 結果

図 4 に、能動行動の有無による印象評価の結果をグラフにまとめ、それぞれの統計的な有意差を右下に示した。

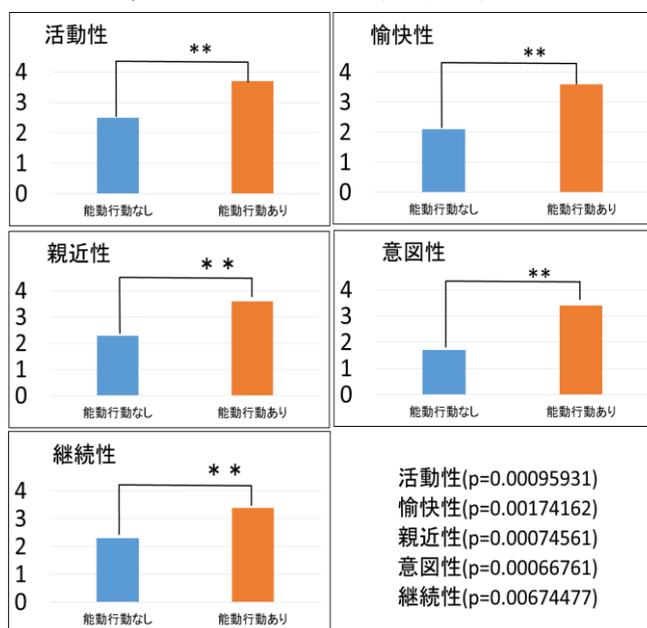


図 4 能動行動の有無による印象評価

Figure 4 Significant difference due to the presence or absence of active behavior

結果1: 予備実験で使用した活動性、愉快性、親近性、意図性、継続性すべての指標について統計的な有意差が見られた。 (\*\*<0.01)

また、指標別にチームごとの平均をまとめたグラフと設問 6 の回答結果を図 5 に示す。

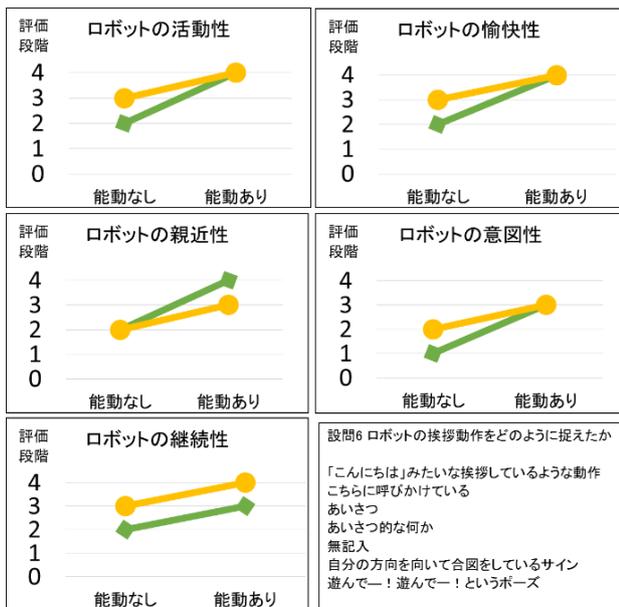


図 5 チームごとの設問別評価平均  
 (先端◇印：チーム A 先端○印：チーム B)

Figure 5 Question another evaluation average for each team  
 (tip ◇ mark: Team A / tip ○ mark: Team B)

結果2:能動行動の有無の評価平均の変化を表すグラフの傾きが、継続性以外のすべてにおいてチーム A とチーム B で差が出ていることがわかる。

#### 4.4 考察

本節にて考察をまとめた。考察 1-5 は、それぞれ 4.3 節で得られた結果の 1-5 までに対応している。

考察1:ロボットの能動行動の有無における印象評価は、「活動性」「愉快性」「親近性」「愉快性」「継続性」全ての指標について全て統計的な有意差が得られた。このことから、ロボットの行動設計における能動行動として、挨拶行動は、印象評価に好印象な影響を与える要因となりうるといえる。

考察2:結果 2 より、ロボットの能動行動の有無の体験順序が、人の印象評価に影響していることがわかった。継続性以外の指標は、チーム A は 2 段階の評価が減少、チーム B は 1 段階の評価上昇が見られた。これに対して、継続性は両チームとも傾きは同一であった。このことから、インタラクションにおける体験手順が、評価に影響することが分かる。例えば、能動行動ありから無しを体験したチーム A の方が、全体として評価が下がっているのは、期待していたインタラクションが得られなかった時の失望感が反映していると考えられる。また、逆に先に能動行動なしを体験したチーム B は、期待していなかったインタラクションが得られ、印象が向上したと考えられる。ただし、これらの

期待による印象の違いも、「継続性」という指標では差があまり得られなかった。ロボットと人の関係が日常のかつ継続的なものであるものと考えた際、一度ではなく複数回のインタラクションが予測される。コミュニケーションという継続的な相互活動における印象の評価を行う際は、改めてどのようにすると、こうした指標においても、印象向上がのぞめるかを検討する必要がある。

#### 5. まとめと今後の課題

本研究ではロボットの能動行動に着目し、ロボットの能動行動の行動設計モデルを示し、ユーザがロボットに期待する行動をロボットの能動行動に設定することで、ロボットの印象評価の向上を目指した。実験では、能動行動レベル 1 の挨拶行動をロボットに実装し、挨拶行動の有無によるロボットの印象評価の比較を行った。結果、活動性、親近性、愉快性、意図性、継続性にて有意性が得られた。

今回設定した視線制御動作や挨拶動作というものは我々が定めたものであり、挨拶の表現は声や表情、その他多数の要素によっても表現可能である。また、挨拶表現のパターンが多くなることでユーザが過剰だと感じる挨拶行動では印象評価が低下する可能性も考えられる。より印象の向上が大きく見られる要素、または組み合わせを変更して検証が必要である。さらに、今回提案した行動モデルを検証するために、挨拶以外の実装をおこなうことで、より汎用的に、ロボットと人のインタラクションにおけるロボットの行動モデルの構築を目指す。

#### 参考文献

- 1) 中田亨, 佐藤知正, 森武俊, 溝口博: ロボットの対人行動による親和感の演出, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.7, pp.1068~1074(1997)
- 2) 垣尾政之, 宮下敬宏, 光永法明, 石黒浩, 萩田紀博: ヒューマノイドロボットの反応動作に対する人の印象, 日本ロボット学会誌, vol.26, no.6, pp.485-492 (2008)
- 3) 神田崇行, 石黒浩, 石田亨: 人間 - ロボット間相互作用にかかわる心理学的評価, 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 3, pp. 362~371 (2001)
- 4) RAPIRO 公式 HP: <http://www.rapiro.com/ja/> (2015)
- 5) 矢野雄也, 池田悠平, 岡田明帆, 中野美由紀, 菅谷みどり: ロボットハンドモーションによる感情伝達, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル DICOMO シンポジウム 2015, 7 月(2015)
- 6) 木屋亮: 人間共生を目指したロボット行動の評価実験, 修士研究報告(2012)
- 7) Edward T. Hall: The Hidden Dimension. Doub - leday(1966) (日高敏隆, 佐藤信行, 訳 かくれた次元 (1970))
- 8) 西出和彦: 人と人との間の距離, 人間の心理・生態からの建築計画(1), 建築と実務, No.5, pp.95-99 (1985)

