

## 多人数場面において受容者の予期を支援する ケアサービスロボット

小林 貴 訓<sup>†1</sup> 行 田 将 彦<sup>†1</sup> 田 畠 知 弥<sup>†1</sup>  
久 野 義 徳<sup>†1</sup> 山 崎 敬 一<sup>†1</sup> 渋谷 百 代<sup>†1</sup>  
関 由 起 子<sup>†1</sup> 山 崎 晶 子<sup>†2</sup>

介護支援を目的としたサービスロボットへの期待が高まっている。介護施設での食事などの多人数場面では、介護者は複数のユーザから同時にサービスを要求されることがある。このとき、お茶配りなどの同時に複数人に提供できないサービスでは、誰か1人の客（受容者）に対してだけより良く対応しようとすると、他の客（受容者）の不満が高まる場合がある。そこで、本稿では、このお茶配りタスクに着目し、実際の介護施設でのデイケアの場面の分析に基づいて、複数人からの要求に対して、適切な非言語行動を用いて対応することで、ユーザ全体が互いに許容可能なサービスを提供できるケアサービスロボットを提案する。具体的には、ロボットは、複数のユーザの周囲を巡回し、ユーザからのサービス要求があれば、そのユーザに近づく。そして、ロボットは、特定のユーザにサービスを提供している間でも、他のユーザからのサービス要求があれば、顔を向けて、次の順番をサービス要求者と周囲の人々に予告させる。実際にロボットを試作し、ユーザの印象調査実験を行い、この振舞いの有効性を確認した。

### Considerate Care Robot which Supports Projectability of Users in Multi-party Settings

YOSHINORI KOBAYASHI,<sup>†1</sup> MASAHIKO GYODA,<sup>†1</sup>  
TOMOYA TABATA,<sup>†1</sup> YOSHINORI KUNO,<sup>†1</sup>  
KEIICHI YAMAZAKI,<sup>†1</sup> MOMOYO SHIBUYA,<sup>†1</sup>  
YUKIKO SEKI<sup>†1</sup> and AKIKO YAMAZAKI<sup>†2</sup>

This paper presents a service robot that provides assisted-care, such as serving tea to the elderly in care facilities. In multi-party settings, a robot is required to be able to deal with requests from multiple individuals simultaneously. In

particular, when the service robot is concentrating on taking care of a specific person, other people who want to initiate interaction may feel frustrated with the robot. To a considerable extent this may be caused by the robot's behavior, which does not indicate any response to subsequent requests while preoccupied with the first. Therefore, we developed a robot that can project the order of the service to each person who wants to initiate interaction in a socially acceptable manner. In this paper we focus on the task of tea-serving, and introduce a robot able to bring tea to multiple users while accepting multiple requests. The robot can detect persons' requests indicated by raising their hands and move around people using its mobile functions while avoiding obstacles. When the robot detects a person's request while serving tea to another person, it projects the order of the services by indicating "you are the next" through a nonverbal action such as gazing. Because it can project the order of the services and indicate its acknowledgement of their requests socially, people will likely feel more satisfied with the robot even when it cannot immediately address their needs. We confirm the effectiveness of our robot through the experiment.

#### 1. はじめに

近年、ヒューマンロボットインタラクションの研究において、ロボットを実世界の環境の中で、人々の支援に用いようという研究関心がある。その1つとして、高齢者のケア場面や、店舗でのショッピング場面、レストランでのサービス場面など、ケアやサービスを受ける受容者が同じ場所に複数いる場面で、ケアやサービスを提供するロボットシステムへの関心が生まれている。

しかしこうした場面では、従来のロボットと人間が1対1の関係で、ケアやサービスを提供する場合とは異なった問題を考える必要がある。1対1の関係では、ロボットは対象となる受容者に対して、より良い対応を行えばよかった。しかしケアやサービスを受ける受容者が複数いる場面では、1人の受容者へのより良い対応が、受容者全体の不満を逆に高めてしまう場合もある。

たとえば、レストランでの注文場面を考えてみよう。図1で示したように、レストランでは、1人のウェイタに対して複数の要求が同時に発生することがよくある。このとき、このウェイタが今注文を受けている誰か1人の客（受容者）にだけ時間をとり、より良く対応

<sup>†1</sup> 埼玉大学  
Saitama University

<sup>†2</sup> 東京工科大学  
Tokyo University of Technology

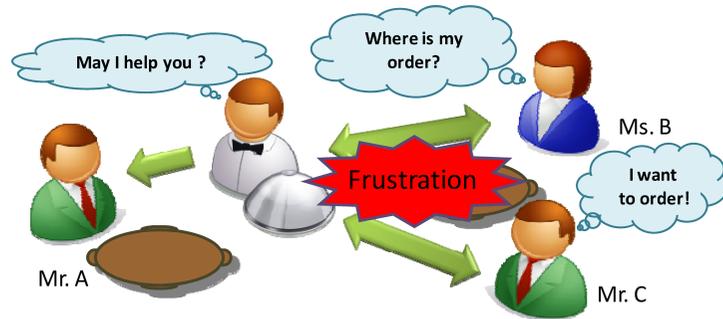


図 1 レストランシーンにおける複数人からの要求の例  
Fig. 1 An example scene a waiter deals with multiple requests at a restaurant.

しようとする、逆に他の客（受容者）から不満が出ることになる。しかし、良いウェイタは、周りの客に、上手に気を配ることによって、こうした不満を生じさせないようにしている。しかし、良いウェイタがないレストランでは客の不満が大きくなってしまおう。

我々は、こうした複数の人への気遣いがどのような身体的技巧を通して行われるのかを、実際に複数の受容者に対してケアやサービスを提供する必要のある、高齢者施設でのデイケア場面のフィールドワーク調査から明らかにした。

本稿では、これらの調査から得られた知見を生かし、お茶を配るというタスクに着目し、ロボットが複数人からの要求に対して適切な非言語行動を用いて対応することで、ユーザ全体が互いに許容可能なサービスを提供できるケアサービスロボットを提案する。実際にロボットを試作し、提案する非言語行動の有効性を実験により示す。

## 2. 順番と予期

多人数がケアやサービスを受ける場面では、互いに許容可能な形でお互いの関係や順番を整理することが必要である。では、多人数場面で、人々は、どのようにしてお互いに不満を感じないような仕方順番を整理しているのだろうか。Sacks らは、こうした問題を順番取りの問題としてとらえ、日常の会話における順番取りシステムを明らかにした<sup>11)</sup>。では、こうした多人数ケア・サービス場面では順番取りはどのような仕方で行われているのだろうか。

我々は、奈良県や埼玉県の高齢者施設を対象に、4年間、ビデオを用いたエスノグラフィ的調査を行っている。1つの場面で最低3台のカメラを設置し、多方向から高齢者施設で自

然に生じる様々なインタラクションの場面を撮影している。またこのビデオ調査によって人々のインタラクションの仕方を明らかにし、その分析をもとにロボットシステムの開発を行っている。

こうした手法は、ワークのエスノメソドロジとも呼ばれ、CSCW や HCI の分野で現在さかんに行われている。Yamazaki らは、高齢者施設の研究から、多人数での食事場面におけるケアワーカーへの高齢者の依頼の開始場面を研究し、ケアワーカーの身体的行動、特に高齢者それぞれへの見まわし行動が重要な役割を果たしていることを明らかにしている<sup>15),16)</sup>。また、Quan らは、ロボットシステムにおいても、頭部と視線をそれぞれの受容者へ向けるとい見まわし行動が、単なる頭部や視線の回転運動よりも、大きな効果を持つことを明らかにしている<sup>14)</sup>。

今回、我々は主に奈良県の比較的大規模な高齢者施設で、4年間延べ 200 時間以上にわたってビデオ撮影されたデイケアの場面から、ケアワーカーが多人数場面で複数の高齢者から依頼を受ける場面を分析した。また特に、毎朝、高齢者施設にやってきた高齢者の血圧や体温を測るバイタルサインの測定の場面を分析した。日本の高齢者施設のデイケアの場面では、高齢者の数よりもケアワーカーの数が少なく、1人のケアワーカーが複数の高齢者に対応することが多くなっている。特に、バイタルサインの測定場面では、それを行うことができる看護師資格を持つ者の数がケアワーカーの中でも少なく、この施設では主に2人の看護師が、多数の高齢者のバイタルサインの測定を行っていた。このバイタルサインの測定場面では、1人1人が決まった順番でバイタルサインの測定を受けるのではなく、同時に複数の高齢者が体温や血圧を測り、終わった人から順番に看護師がバイタルサインの測定や健康状態の確認を行う。看護師は、高齢者が血圧を測り終わっているか、また自分に対して依頼をしようとしているかを観察し、順番に1人ずつ高齢者に対応していた。こうした場面の分析から明らかになったのは、順番の整理においても、ケアワーカーの頭部の移動をともなった視線移動が重要な役割を果たしていることである。ケアワーカーは、次の順番の高齢者に、まず首を動かして視線を向け、それから相手に近づき対応を行っていた。さらにビデオデータを詳しく分析してみると、ケアワーカーの高齢者への視線移動は、その直後の順番移行を示すだけでなく、次の順番はあなたですよという次の順番への予期の効果も持っていることが分かった。

ここで、図2に示すデータを見てみよう。図2 #1では1人の看護師Aが、高齢者Bに対応している。ちょうどそのとき、反対側にいる高齢者Cが血圧を測り終わり、血圧計を外している(図2 #2)。図2 #3では、看護師Aは高齢者Bの荷物を運んでいる。このとき、高齢者Cは、身体を前に乗り出し、血圧を測り終わったことを示している。また、看



図 2 介護施設において、看護師が視線によって次の順番を示す例

Fig. 2 An example scene when the nurse A gives her gaze toward the next elderly C before approaching C.

看護師 A は荷物を運ぶ途中であるが、高齢者 C に向けて首を回すことで視線を向け、軽くうなずいている。そのあと、看護師 A はすぐに高齢者 C の方には向かわず、まず荷物を置きに行き (図 2 #4)、その帰りに高齢者 C の方向に向かい (図 2 #5)、高齢者 C への対応を始める (図 2 #6)。

ここで注目したいのは、看護師 A の首を高齢者 C の方向に向けることによる、「次の順番はあなたですよ、そのままちょっと待っていてください」という次の順番の指定と「次の順番には来るだろうから待つか」という高齢者の予期である。看護師は、言葉は使わず視線を動かし、軽くうなずくだけで、このような次の順番の予期を生み出している。

本研究では、このように、実際に多くの人が働く現場での相互行為を観察し、複数の人々によって相互行為的にかつ継的に組織化される身体的な行為を選び出し、それをロボットに実装するという方法をとる。

視線が、次の順番を指定する効果を持つことは Sacks らも会話の順番取りシステムの議論において論じている。さらに、Sacks らは順番取りシステムは、その順番の終わりとの次の順番の予期をもたらすとも述べている<sup>11)</sup>。また、相互行為分析と呼ばれる研究において、近年、身体行動の持つ予期の効果についての関心が高まっている。「予期について」という論文を書いた Streeck は、順番の終わり、次の順番への予期が身体行動、特に視線によってなされていることを指摘している<sup>12)</sup>。また、Dausendschon-Gay らは、視線の持つ予期の幅広い効果を、レストランのカウンタでの複数の顧客への対応場面において分析し、「視線と期待」について分析している<sup>2)</sup>。また、Kuzuoka らは、遠隔操作ロボットの研究において、操作者の視線の動きを遠隔地にいるロボットに伝えることで、ロボットと一緒にいる人が、操作者の次に行う行動を予期できることを示した<sup>7)</sup>。

これらに対して本稿では、自律ロボットの視線の動きが、多人数場面で受容者に次の順番を予期させる効果を持つかどうかに着目する。そして、視線や身体の動きで他者に対する配慮を示すケアサービスロボット (Considerate Care Robot=CCR) を開発し、複数の受容者にお茶を配るというシーンを想定した実験により、ロボットの視線の動きが次の順番を予期させる効果を持つことを示す。

### 3. ロボットシステム

近年のロボット技術の発展にともない、多くの研究者が人と円滑なインタラクションを行うロボットの研究を行っている<sup>3),4),10),13)</sup>。また、人との密接なコミュニケーションが求められる介護分野においても、支援ロボットの実用化への期待は高い。Yamazaki らは、人間同士の相互行為を社会的に分析し、得られた知見をロボットに実装し、人とロボットの関係を社会的に評価する。という 3 段階のアプローチによるロボット開発を、ミュージアムガイドロボットや介護支援ロボットに焦点をあてて行っている<sup>14)-16)</sup>。本章では、これまでに述べた背景の下、今回開発した介護施設において巡回しながらサービスを提供するロボットシステム (CCR) について述べる。特に、本稿では、介護施設において複数の高齢者からの依頼に応じて、お茶を配るサービスを想定し、ロボットの開発を行った。図 3 に開発したロボットシステムの概観を示す。

ロボットは、スムーズな巡回を可能とするために、移動機構に Segway RMP50 を採用し、

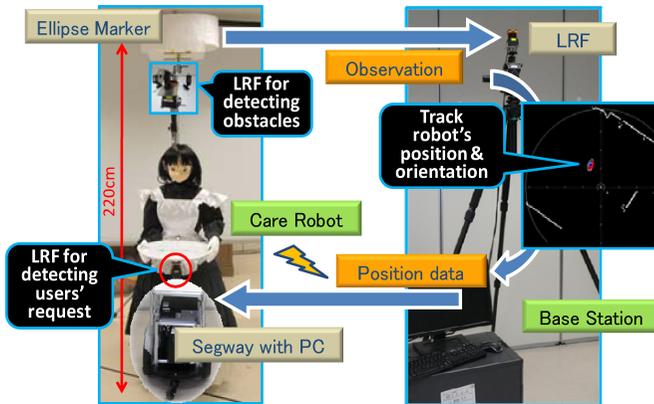


図3 ロボットシステム概観

Fig. 3 Overview of our robot system. The robot can recognize its position and orientation by receiving the information from the base station observing the ellipse marker.

それを土台に手作りでロボットのボディを作成した。胴体上部には、肩と肘で4自由度の関節を持つ腕、パンチルトユニット (Directed Perception 社製 PTU-D46-17) を内蔵した頭部を取り付け、外装によって人型の外見にしている。胴体下部には、PC と UPS を格納し、後述する位置測定システムから得られるロボットの現在位置に基づいて、移動機構の制御や上体の各関節の制御、センサ情報の処理などを行っている。

移動中のロボットの位置を同定するために、断面が楕円形状の発泡スチロール製のマーカを、ロボットの背中に取り付け高さ約 2.2m のポールの上に設置した。この楕円マーカは、室内の同じ高さに設置されたレーザ測域センサ (北陽電機製 UTM-30LX) により、その位置と向きが追跡される。そして、計測された楕円マーカの位置と向きは無線によりロボットに送信され、移動中のロボットは自身の位置と向きを把握する。この手法では、楕円マーカの位置を周囲の移動体に比べて十分高く設置できるため、ロボットの位置同定が周囲の影響を受けずに行えるという特徴がある。また、室内環境に設置するセンサも 1 台のみであるため、実験環境への設置も容易である。

レーザ測域センサによる楕円マーカの追跡には、パーティクルフィルタを用いている。レーザ測域センサは周囲 270 度、距離 30m の計測範囲を 30 fps、±1 cm の精度で計測することができる。レーザ測域センサから得られる距離情報を、画像にマップ (これをレーザ画像と呼ぶ) すると、ロボットに設置した楕円マーカは、ロボットとレーザ測域センサの位置関係

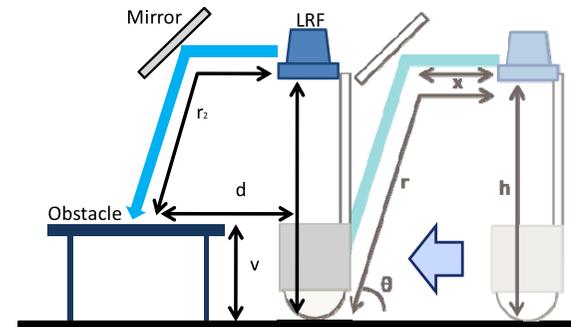


図4 ロボットの障害物検出手法

Fig. 4 Obstacle detection techniques for CCR. The system can detect table tops or seat surfaces to avoid them.

により計測できる部分が変化する楕円の輪郭の一部として観察される。そこで、この変化を考慮した楕円形をモデルとして、パーティクルフィルタを用いて楕円マーカの位置と向きを追跡する。追跡手法の詳細については、文献 6) を参照されたい。このようにして得られたロボットの位置と向きの情報を用いて、あらかじめ定めた巡回経路に沿って移動するよう、PC で Segway の制御を行う。

ロボットは、指定された経路を移動中、障害物があれば回避する必要がある。そのため、障害物検知用のレーザ測域センサを、図 3 に示すように、楕円マーカの直下に設置し、周囲に 3 枚の表面反射鏡を取り付けた。介護施設の食堂などでの移動では、テーブルや椅子を避けなくてはならないが、一般に、机や椅子は、脚と天板で構成されており、多くの移動ロボットが採用しているようにレーザ測域センサを床近くの低い位置に水平に設置した場合、それらの脚のみが観察されてしまう。観察された脚の位置情報のみから避けるべきテーブルや椅子の天板の形状を予測することは難しいため、本システムでは、レーザ測域センサをロボット上方に設置し、鏡を用いてロボットの前 180° の範囲でレーザを床に向かって斜めに照射することで、テーブルや椅子の天板の位置形状を計測している。具体的には、図 4 に示す  $r_2$  を計測することで、障害物までの距離  $d$  およびその高さ  $v$  を次式によって得る。

$$\begin{aligned} d &= (r_2 - x) \cos \theta + x \\ v &= (r - r_2) \sin \theta \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $x$  はレーザ測域センサと鏡の距離であり、 $r$  はレーザ測域センサで床面を計測した

際の距離である。本システムでは、レーザの照射角度  $\theta$  とレーザ測域センサを設置する高さ  $h$  を調整することで、障害物の検出可能距離を変更できるが、レーザが水平に照射されるように設置する場合に比べると、検出できる障害物までの距離は短くなる。一方、レーザを斜めに照射することによって障害物の高さ情報を得ることができるため、ロボットの移動にともなってセンサが水平移動すると、その履歴からおおよその物体の3次元形状を取得することができる。また、Kinectなどの二次元距離センサに比べて広範囲を計測ことができ、超音波センサを用いる場合に比べて高精度なデータが得られる。

図5に、本システムを用いてロボットが自律移動した際の移動経路と、障害物の検出結果を示す。青線が指定した経路であり、緑線が実際に移動した経路、赤点が検出された障害物の3次元位置である。図5より、ロボットは、障害物を避けながら、指定した経路を移動できていることが分かる。また、赤い楕円で示した部分は、実際に椅子があった場所であるが、計測結果から、椅子のおおよその形を見てとることができる。なお、障害物の回避アルゴリズムには、Vector Field Histogram<sup>1)</sup>を用いた。

さらに、ユーザからの要求を検知するため、図3に示すように、ロボットの腰の高さ付近にも、レーザ測域センサを設置している。これは、ちょうど椅子に座っている人の肩の高さ程度の位置となっており、ユーザが手を挙げる、身体を大きく動かすなどのロボットを呼ぶ動作を行うと、レーザ画像中で得られている人物形状が大きく変化する。本システムでは、

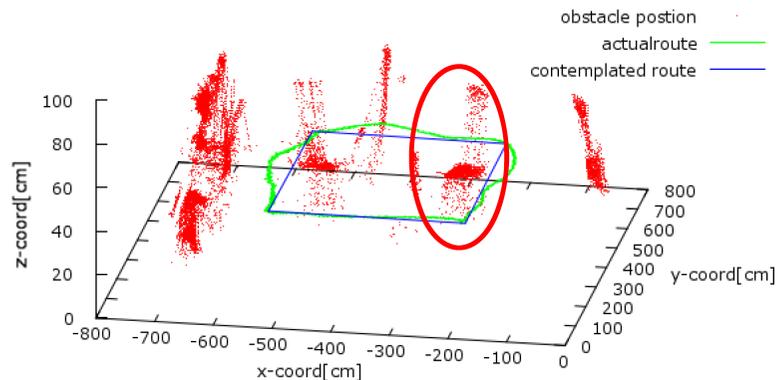


図5 ロボットの自律移動実験の結果

Fig. 5 An experiment of mobile functions. Blue line indicates predetermined route, green line indicates actual trajectories of CCR. Red points indicate detected positions of objects. The group of red points in the circle seems to be projecting the shape of a chair.

この変化を検出することで、ユーザからの要求を検知する。

#### 4. ロボットの振る舞い

ユーザからの要求に適切に対応し、インタラクションを行うことはサービスロボットにとって重要な機能である。特に、複数人環境では、ロボットが次にサービスを提供する相手を示すことが重要である。複数人へのサービス提供の順番は、“first-come, first-served”が基本であるが、このルールに則るだけでは、複数のユーザ全体の満足度の向上には不十分であると思われる。たとえば、前に述べたレストランの例で、ウェイタがロボットであることを考えると、ロボットが特定の客に対して丁寧に対応すると、注文をしたい他の客は、自身のことを省みてくれないので、ロボットのサービスに不満を感じてしまう。これに対して、実際には1度に1人にしかサービスを提供できないような場合でも、他のユーザからの要求に反応し、次にサービスを行う順番を「次はあなたですよ」とロボットが示すことは、他のユーザの不満を和らげることに効果があると考えられる。

本稿では、ロボットが提供するサービスとしてお茶配りに着目している。そこで、提案するロボットの振る舞いの例を図6に示す。図6(左)は、他のユーザからの要求には反応せず、ロボットが最初にお茶を配りに行くユーザのみに集中して行動している様子である。このように振る舞うと、他のユーザは、ロボットが自身の要求を省みてくれないので、不満に感じてしまう。一方、図6(右)は、最初のユーザにお茶を配りに行っている途中でも、他のユーザからの要求があった場合には、顔をそのユーザに向けて要求を受け付けたことを示している。このように振る舞うと、他のユーザは、自分の要求がロボットに受け付けられたこ



図6 ロボットの振る舞いの例

Fig. 6 The robot concentrates on serving tea to a specific person (left). The robot displays an acknowledgement to the next person (right).

と、およびサービスの順番が次であることを予期することができると予想される。

一部のレストランなどでは、ウェイタを呼ぶボタンなどが設置されていることがある。しかし、このようなレストランでは、ウェイタが客の様子に気を配るといふ配慮が低下するといわれており、良いサービスの実現への課題となっている。また、介護施設の高齢者はケアワーカーの支援を求めることをためらう心情があり、ケアワーカーがその心情を察してサービスを提供するという環境が定着している。そこで、このような環境にも対応できるよう、ユーザからの自然な非言語行動を察知し、それに対する反応を非言語的に行うことで、人間同士の自然なインタラクションを継承できるロボットシステムを目指すことは重要であると考えられる。

一方、自然なインタラクションという点では、アイコンタクトによるサービス要求をロボットが受理する必要性も考えられる。Miyachiらは、このようなアイコンタクトによるサービス要求について、ロボットを用いた検討を行っている<sup>(8),(9)</sup>。しかし、本稿で想定している介護施設のように、複数の人が同時に存在する自然な環境での複数人からのサービス要求を考えると、ロボットがユーザからのアイコンタクトを確実に認識することは難しい。また、次の順番を予期させるという点では、その場にいる他のユーザも判別や理解が容易な振舞いを用いて要求を提示することが望ましいと考えられる。そこで、本稿では、ユーザの手上げ動作をユーザ要求の提示手法として仮定し、ユーザ全体の不満を和らげるロボットの振舞いについて検討する。

これらのことから、本稿では複数のユーザに対してお茶を配るといふタスクを想定し、次のように振る舞うことで、ロボットは複数のユーザが互いに許容可能なサービスを提供する。

- (1) ロボットは、複数のユーザの周囲を、見回しながら巡回し、サービス要求を受け付け可能であることを示す。
- (2) ロボットは、手上げ動作の認識によって、ユーザからのサービス要求を検出すると、そのユーザにお茶を配りに行く。
- (3) ロボットは最初のユーザにお茶を配りに行く間でも、次のユーザからの要求が検出された場合は、一時停止し、次のユーザの方向を向き、要求を受付けたことを示す。
- (4) ロボットは、最初のユーザにお茶を配り終えた後、次のユーザにお茶を配りに行く。このように振る舞うことで、すぐにサービスを受けられないユーザも、次に自身にサービスが提供されることを予期することができ、複数のユーザ全体の不満を和らげることができると考えられる。

## 5. 実験

2章で示したように、高齢者施設の多数の高齢者のバイタルサインの測定場面における、看護師の視線の動きと軽いうなずきは、潜在的な次の順番の高齢者に対する、相手の行動の認識 (acknowledgement) と次の順番への予示を与えていた。高齢者は、自分への視線の動きを認識することで、次が自分の順番であることを予期して、自分の順番を待っていた。我々は、こうしたことが、ロボットシステムにおいても重要であると考え、ロボットの視線の動きが、これらの機能を果たすかどうかを確認するために、ロボットが次のユーザに振り向く場合と振り向かない場合で、ユーザの行動や印象に差があるかを実験により検証した。

### 5.1 実験の設定

実験では、2人のユーザにお菓子を運ぶという状況を仮定した(高齢者施設ではお茶配りを想定しているが、多数の実験を行う際には、お茶のような液体より扱いやすいので、お菓子を用いた。図7)。

- (1) ユーザ A は停止状態のロボットに対して手を挙げて呼ぶ。
- (2) ロボットは、停止状態からユーザ A の手挙げ動作に応じてお菓子を運ぶために動き出す。
- (3) ユーザ B は、ロボットがユーザ A に向かって移動している間に、手を挙げてロボッ

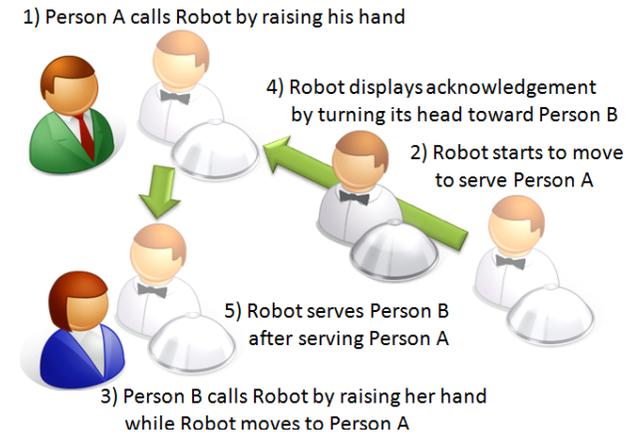


図7 実験時のロボットの動作

Fig. 7 The robot behaviors in the experiment.

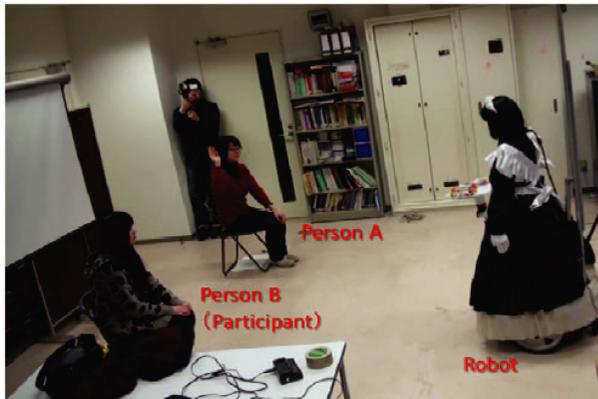


図 8 実験の様子

Fig. 8 An example scene of the experiments.

トを呼ぶ。

- (4) ロボットは、ユーザ B から呼ばれると、一時停止し、ユーザ B の方向に顔を向け、その後、再びユーザ A にお菓子を運ぶために移動する。
- (5) ロボットは、ユーザ A にお菓子を運び終わったのち、ユーザ B にお菓子を配りに行く。

ここで、ユーザ A は、実験のシナリオを構成するための仮想ユーザであり、実験内容を熟知している。一方、ユーザ B は被験者であり、ユーザ B に対しては、「ロボットは手を挙げて呼ぶとお菓子を持ってきてくれます」「ロボットが動き出したら、お菓子を貰うために手を挙げてロボットを呼んでください」とだけ説明を行った。

次のユーザに呼ばれたときに顔を向けるという振舞いの有効性を確認するため、ロボットにはユーザ B から呼ばれた場合に振り向く場合と振り向かない場合の 2 種類の動作をさせた。被験者の大学生 40 人（男性 10 人、女性 30 人、19 歳～24 歳）を 2 つのグループに分け、ユーザ B の役割で被験者となってもらい、ロボットの 2 種類の動作をそれぞれ体験してもらった。実験の様子を図 8 に示す。ユーザ A とユーザ B はお互いに 3 m 程度、ロボットから 5 m 程度離れて座ってもらった。振り向く場合のロボットは、ユーザ B の要求に応じて振り向く際に一時停止をして、ユーザ B に振り向くときの顔を向ける速度やユーザ B を見ている時間を、実験を通じて一定としている。また、ユーザ要求の誤認識を防ぐため、

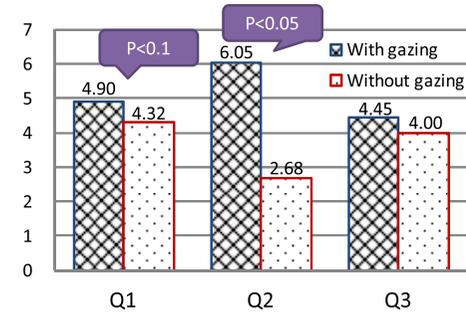


図 9 アンケート回答の平均点

Fig. 9 Average scores of the answers.

ロボットによるユーザの手挙げ判定については WoZ 法によって行った。

実験後、被験者には次の質問に 7 段階の評価尺度（1：まったくそう思わない，7：非常にそう思う）で答えてもらった。

Q1：「ロボットは周囲に気を配っていると感じましたか？」

Q2：「ロボットはあなたが呼んでいることにすぐ気づきましたか？」

Q3：「ロボットのサービスに満足しましたか？」

また、上記の質問に加え、ロボットの振舞いの印象調査のため「暖かい-冷たい」などの 28 組の形容詞対に対しても、7 段階でどちらの印象に近いかを答えてもらった。

## 5.2 実験結果

2 グループのそれぞれのアンケート回答の平均点を図 9 に示す。すべての質問について、ロボットが顔を向けた場合の被験者の平均点が高かった。また、t 検定を行ったところ、Q1 については有意傾向 ( $p < 0.1$ )、Q2 については有意差 ( $p < 0.05$ ) があった。

これらの結果から、ロボットがユーザから呼ばれたときに顔を向けるという動作は、ロボットがユーザの依頼に気づいていることを示すのに有効であったと考えられる。

Q1 については、「気を配る」という評価的要素を含む設問であるため、ロボットが見回すなどの動作を行ったり、顔を向けた際に頷くなどの行動をしたりすることで、さらに顕著な差がでたと予想されるが、今回は、呼ばれたときに顔を向けるという動作に焦点化しているため、Q1 については有意傾向にとどまっていると考えられる。

また、Q3 に関しては、被験者にはどちらかの振舞いをするロボットを 1 回だけ体験してもらったため、また、被験者は、日常生活においてロボットに何か持ってきてもらうという

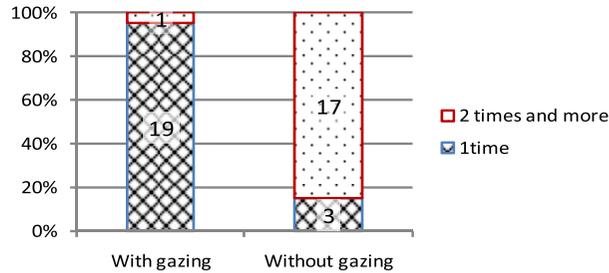


図 10 手を挙げた回数

Fig. 10 Number of times of raising hands in the experiment.

体験をしていないことから、今回のロボットの能力を比較評価できず、有意差を見出すことができなかったと考えられる。

さらに、異なる視点からの 2 台のビデオカメラで録画した実験映像を分析してみると、2 種類のロボットの振舞いにより、被験者が手を挙げてロボットを呼ぶ動作に違いがあることが分かった。ロボットがユーザ A にお菓子を届け終わるまでに、被験者が手を挙げる様子を観察すると、被験者がロボットを呼んだときに、ロボットが振り向かない場合は、その後手を挙げ続けたり、何度も手を挙げ直したり、手を挙げる動作がだんだん大きくなったりした。被験者が手を挙げた回数を 1 回と 2 回以上に分けて、それぞれのロボットの振舞いごとに、被験者数を計数したものを図 10 に示す。被験者が呼んだときに振り向くロボットでは、1 回だけ手を挙げる場合が 19 人であった。残りの 1 人は、実験開始後、ロボットが動き出す前に手を挙げてしまったため、複数回の計数となったもので、このケースを除けば、すべての被験者が、ロボットを呼ぶために手を挙げた回数は 1 回だけであった。これは、手を挙げてロボットが振り向いた後、1 人目のユーザにお菓子を運ぶ間、被験者は再び手を挙げずに待っていたことを示しており、ロボットが次に自分に来てくれることを被験者が予期できていたと考えられる。一方、自身の要求がロボットに受け入れられたことをユーザがすぐに認識できているかどうかについては、ロボットが振り向いたあと、すぐ手を下ろした被験者は半数程度であったため、ロボットが振り向くだけでは不十分であったと考えられる。この認識は、前述した高齢者施設での看護師の振舞いのように、ロボットが振り向いたあとに、頷くなどの動作を行うことによって、向上させることができると考えられる。このような個々の動作の効果とそれらの組合せによる相乗効果や不整合による否定的な効果などについては、今後、検討を行う予定である。

これに対して、呼ばれたときに振り向かないロボットの場合、被験者 20 人中 17 人が 2 回以上手を挙げた。これは、ロボットが何の反応も示さないことから、被験者は不安になり、何度も呼ぶ動作を繰り返したと考えられる。さらに、このグループの被験者の様子を詳しく観察すると、手を挙げる動作が徐々に大きくなったり、手を挙げるだけでなく、手を振る動作をしたり、手を挙げるとともに、「すみません」などの発話をする被験者がいた。これらの振舞いは、手を挙げてもロボットが反応しないことに不信感（ロボットの能力に関する疑い）をいただいている被験者が、ロボットの反応を引き出そうとした結果であると考えられる。

ロボットの振舞いの違いによる被験者の動作の違いの例を図 11 に示す。図 11 左列は、ロボットが振り向く場合の例であり、右列はロボットが振り向かない場合の例である。左列の #3 では被験者は手を下げているのに対して、右列の #3 では、被験者は手を大きく振っており、1 人目にサービスが終わるまで手を下ろさない (#4)。

これらのことから、振り向くロボットは、ユーザの要求に気づいていることを示すことができることから、ユーザに不信感を持たせず、同時に次の順番を予期させることができることから、ユーザの不満を低減できる可能性があると考えられる。

### 5.3 印象評価

2 種類のロボットの振舞いの違いがユーザにどのような印象を与えるのかについて、SD 法 (Semantic Differential Method) を用いた印象調査を行った。被験者には、それぞれのロボット実験を体験してもらった後、図 12 に示す 28 組の形容詞対 (これらの形容詞対は文献 5), 14) を参考にした) を用い、7 段階でどちらの印象に近いかを評価してもらった。収集した結果を分析し、ロボットの振舞いがユーザに与える印象の違いを分析した。

得られた解答の被験者グループごとの平均と、全体の平均を図 12 に示す。全体的に、安全な (危険な)、興味深い (退屈な)、良い (悪い) などの形容詞で比較的高い値となり、反対に、はげしい (おだやかな)、人間的な (機械的な)、すばやい (のろい)、速い (遅い) などが比較的低い値となった。2 グループで比較してみると、良い-悪い (マージン: 1.05)、分かりやすい-分かりにくい (マージン: 1.00)、好きな-嫌いな (マージン: 0.70)、積極的な-消極的な (マージン: 0.60) で差が大きく、反対に、近づきやすい-近づきたい (マージン: 0.00)、陽気な-陰気な (マージン: 0.05)、感じの良い-感じの悪い (マージン: 0.10) はほとんど差がなかった。これらの結果から、ロボットが顔を向ける振舞いは、ユーザに肯定的な印象を与えらると思われる。

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 基準、および固有値に基づいて、「興味深い-退屈な」、「感

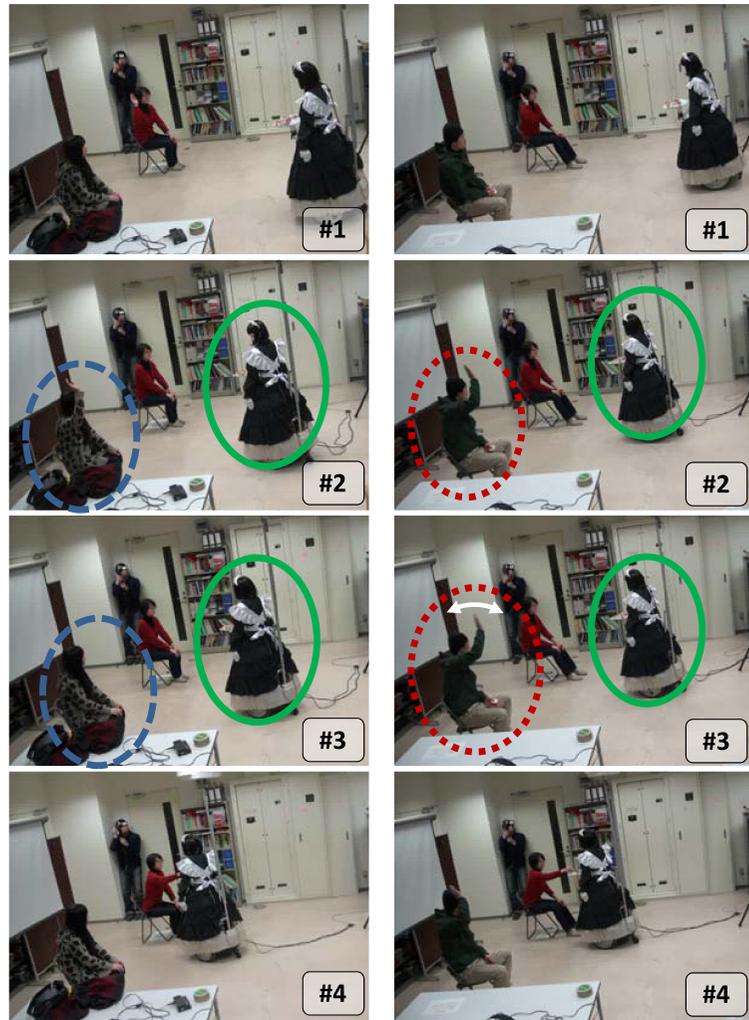


図 11 振舞いの異なるロボットによる実験の例  
 Fig. 11 Example scenes of the experiment using different types of robots.

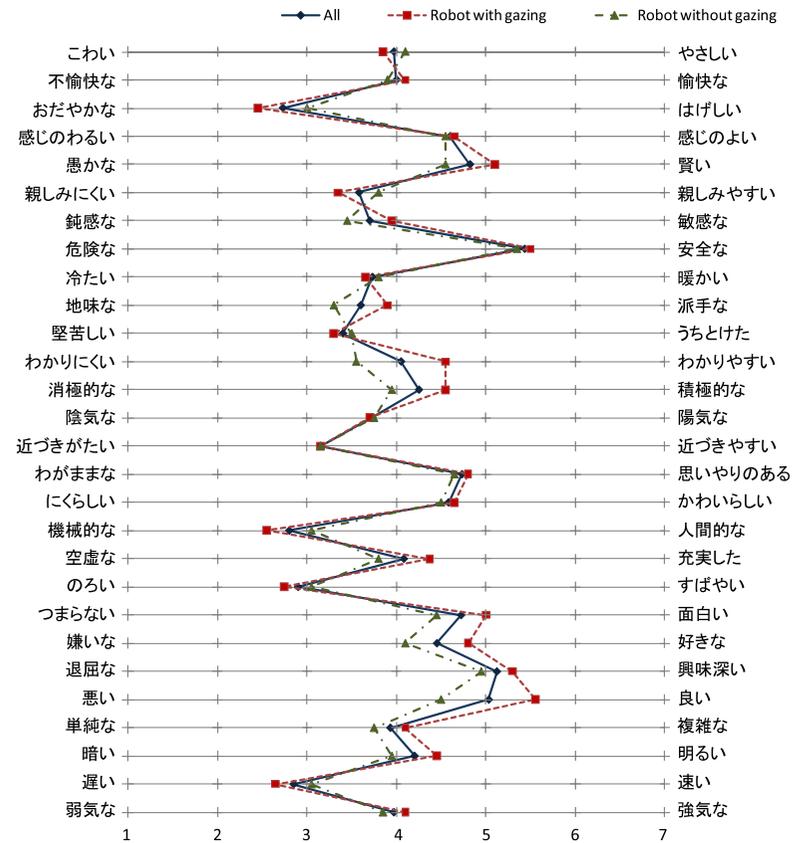


図 12 形容詞対の平均得点  
 Fig. 12 Bipolar adjective pairs and mean values of each.

じの良い-感じの悪い」、「かわいらしい-にくらしい」、「分かりやすい-分かりにくい」、「愉快な-不愉快な」の5つの形容詞対を対象から除いて7因子を抽出した。2つのグループの因子負荷量を表1および表2に示す。ロボットが顔を向けたグループからは、親近性(例: 近づきやすい, うちとけた, 陽気な), 明朗性(例: 積極的な, 賢い), 優美性(例: 複雑な, 鈍感な), 能動性(例: 速い, すばやい), 充足性(例: 充実した, 面白い), 評価性(例: 良い, おだやかな), 安心性(例: 安全な, やさしい)と命名した因子を抽出した。一方,

表 1 因子負荷量 (ロボットが顔を向けた被験者グループ)

Table 1 Factor loading in case of the robot gazing to the participants.

形容詞対	親近性	明朗性	優美性	能動性	充足性	評価性	安心性
近づきやすい-近づきたい	<i>0.868</i>	0.182	-0.002	0.172	-0.022	0.150	0.077
うちとけた-堅苦しい	<i>0.776</i>	0.247	0.199	0.401	0.038	-0.045	-0.129
陽気な-陰気な	<i>0.699</i>	-0.041	0.070	0.027	0.492	-0.026	0.355
暖かい-冷たい	<i>0.637</i>	-0.176	<i>0.566</i>	-0.107	0.286	0.226	0.236
人間的な-機械的な	<i>0.636</i>	0.117	0.014	<i>0.504</i>	-0.167	-0.101	0.385
親しみやすい-親しみにくい	<i>0.597</i>	<i>0.559</i>	0.262	0.012	0.051	0.204	0.326
思いやりのある-わがままな	<i>0.531</i>	0.411	-0.074	-0.262	0.492	0.004	0.195
積極的な-消極的な	0.277	<i>0.799</i>	-0.159	0.055	0.143	-0.154	0.025
賢い-愚かな	0.013	<i>0.792</i>	-0.016	-0.197	0.126	0.192	0.049
強気な-弱気な	0.021	<i>0.589</i>	0.021	-0.063	-0.087	-0.167	<i>-0.634</i>
複雑な-単純な	0.109	0.038	<i>0.818</i>	-0.099	0.045	0.053	0.169
敏感な-鈍感な	0.087	0.423	<i>-0.734</i>	0.043	-0.117	0.052	0.186
すばやい-のろい	0.320	0.012	-0.119	<i>0.876</i>	0.040	0.113	0.043
速い-遅い	-0.041	-0.313	-0.009	<i>0.837</i>	0.045	-0.028	0.072
明るい-暗い	0.164	0.274	0.561	<i>0.501</i>	0.279	0.316	0.173
充実した-空虚な	-0.004	0.034	0.066	0.008	<i>0.937</i>	0.146	-0.097
面白い-つまらない	0.075	0.258	0.425	0.208	<i>0.690</i>	0.189	0.287
はげしい-おだやかな	-0.030	0.036	-0.031	-0.031	-0.113	<i>-0.861</i>	-0.318
良い-悪い	0.332	0.264	0.219	0.169	0.294	<i>0.766</i>	0.014
派手な-地味な	0.299	0.442	-0.045	0.500	0.025	<i>-0.602</i>	-0.020
安全な-危険な	0.221	0.268	0.075	0.160	0.090	0.183	<i>0.762</i>
やさしい-こわい	0.437	-0.066	0.492	-0.070	-0.154	0.248	<i>0.619</i>
好きな-嫌いな	0.346	0.367	0.494	0.234	0.463	0.357	-0.069

表 2 因子負荷量 (ロボットが顔を向けなかった被験者グループ)

Table 2 Factor loading in case of the robot NOT gazing to the participants.

形容詞対	評価性	親近性	活動性	能動性	無謀性	猛進性	知能性
良い-悪い	<i>0.861</i>	-0.004	-0.222	-0.116	0.137	0.099	0.076
暖かい-冷たい	<i>0.838</i>	0.204	0.115	0.123	-0.172	0.019	0.054
近づきやすい-近づきたい	<i>0.802</i>	-0.015	-0.067	0.339	0.027	-0.137	-0.281
好きな-嫌いな	<i>0.770</i>	0.231	-0.116	-0.028	-0.009	-0.008	0.299
充実した-空虚な	<i>0.669</i>	-0.500	0.114	0.116	0.108	-0.170	0.092
親しみやすい-親しみにくい	<i>0.632</i>	0.566	0.229	0.322	-0.097	0.086	-0.032
明るい-暗い	<i>0.632</i>	0.420	0.295	-0.015	0.078	0.029	0.212
うちとけた-堅苦しい	0.003	<i>0.929</i>	0.080	-0.077	0.206	-0.069	-0.035
やさしい-こわい	0.406	<i>0.688</i>	-0.285	0.151	-0.143	-0.185	0.166
はげしい-おだやかな	-0.152	-0.008	<i>0.919</i>	0.100	0.081	0.023	0.054
派手な-地味な	-0.016	0.013	<i>0.723</i>	0.245	0.290	-0.206	0.026
陽気な-陰気な	0.383	-0.226	<i>0.531</i>	-0.056	<i>0.529</i>	0.211	-0.037
速い-遅い	-0.089	0.012	0.041	<i>0.932</i>	0.120	-0.066	0.193
すばやい-のろい	0.303	0.036	0.183	<i>0.708</i>	0.130	0.247	0.242
人間的な-機械的な	0.321	-0.072	0.442	<i>0.580</i>	-0.342	-0.108	-0.067
積極的な-消極的な	-0.091	-0.027	0.224	0.108	<i>0.769</i>	0.341	0.254
安全な-危険な	0.082	-0.173	-0.349	-0.103	<i>-0.737</i>	0.309	0.289
思いやりのある-わがままな	-0.219	-0.556	0.179	-0.012	<i>-0.630</i>	0.238	0.179
面白い-つまらない	0.038	-0.088	-0.093	-0.046	-0.009	<i>0.946</i>	-0.125
強気な-弱気な	<i>-0.659</i>	0.099	0.137	0.045	0.052	<i>0.608</i>	-0.003
複雑な-単純な	0.068	0.452	0.492	-0.275	-0.041	<i>-0.601</i>	-0.066
敏感な-鈍感な	-0.020	-0.228	-0.077	0.309	0.033	-0.157	<i>0.858</i>
賢い-愚かな	0.209	0.162	0.097	0.068	-0.063	0.016	<i>0.770</i>

ロボットが顔を向けないグループからは、評価性 (例: 良い, 好きな, 近づきやすい, 暖かい), 親近性 (例: うちとけた, やさしい), 活動性 (例: はげしい, 派手な), 能動性 (例: 速い, すばやい), 無謀性 (例: 危険な, 積極的な), 猛進性 (例: 面白い, 強気な, 単純な), 知能性 (例: 敏感な, 賢い) と名付けた因子を抽出した。

いくつかの因子は2つのグループで共通に抽出されているが、ロボットが顔を向けたグループからは、優美性や充足性, 安心性の因子が抽出されているのに対して、ロボットが顔を向けないグループからは、無謀性や猛進性の因子が抽出されている。これらのことから、ロボットが顔を向けなかったグループよりも、顔を向けたグループの方が、サービスを提供するロボットに適した印象をユーザに与えていると考えられる。また同時に、ユーザが、サービスの順番を待つことを、受け入れやすい状況を作り出していると思われる。

なお、今回は基礎検討の段階なので実験実施の容易さから大学生を被験者にした。そのため、高齢者に対しても同様な結果となるとは断定できないおそれがある。しかし、今回の実験では、振り向く場合と振り向かない場合では、手を挙げた回数などで明らかな差異があり、被験者の属性を変更しても、差異の大きさなどは変動するかもしれないが、振り向くロボットに対して否定的な結果となるようなことにはならないと考えられる。今回の結果をもとにロボットをさらに改良し、最終的には実際の高齢者介護施設で実験を行い、有効性を確認する予定である。なお、本研究の成果は介護ロボットだけでなく複数人に対応する他のサービスロボットにも適用可能なものである。その場合は、今回の被験者層もユーザに含まれるので結果は有用なものといえる。

これまでの実験と分析により、ユーザが要求を提示したときに、ロボットが顔を向けることで、ロボットがユーザの要求に「気づいた」ことを示すことができ、ロボットがユーザに次の順番を「予期」させることができることが確認できた。しかしながら、ロボットが「要求を受理した」ことをユーザが認識できたかどうかは、実験を通じて確認できておらず、ロボットの振舞いがユーザに「ロボットは要求に気づいたが無視した」と解釈される可能性は否定できない。このような否定的な印象は、本実験の印象評価には表れていないが、「顔を向ける」と「うなずく」などの複数の動作の組合せの効果とともに、今後、検討する予定である。

## 6. おわりに

本稿では、介護施設において高齢者にお茶を配るタスクを想定し、複数のユーザからの要求に対応できるケアサービスロボットを提案した。ロボットが複数のユーザに対して1度に

サービスを提供できない場合、特定のユーザに対してのみ丁寧に対応すると、他のユーザの不満が高まる場合がある。そこで、介護施設での実際の介護者の振舞いを分析し、得られた知見に基づいて複数のユーザからの要求に適切に対応するロボットを作成した。具体的には、ロボットが特定のユーザに対してサービスを提供している間でも、他のユーザからのサービスの要求があれば、そのユーザに顔を向けることで、次の順番をユーザに予告させる。また、このように振る舞うことで、すぐにサービスを受けられないユーザの不満を和らげることができると予想し、実際にロボットを用いて、次の順番のユーザに顔を向ける場合と向けない場合で比較実験を行った。実験の結果、ロボットが顔を向けた場合の被験者は、ロボットが顔を向けない場合の被験者に比べて、ロボットに好ましい印象を持つことが分かった。

今後は、ロボットがユーザからの要求を受け取った際にそのユーザに対して顔を向けるだけではなく、同時にうなずいた場合などの複数の振舞いの組合せの効果を検討する予定である。また、作成したロボットを実際の介護施設に持ち込み、実験を行う予定である。

本稿では視線に注目し、複数人環境で要求を受ける際の人の視線が持つ「気づき」と「予期」という役割をロボットに実装するというを試みたが、このような役割についての目着目するならば、人間の形をしたロボットでなくても、同様の機能を持たせられる可能性がある。しかし、これを明らかにするためには、さらなる多くの検討が必要である。

謝辞 本研究の一部は、科研費(21013009, 22243037)の助成による。

## 参 考 文 献

- 1) Borenstein, J. and Koren, Y.: The vector field histogram: First obstacle avoidance for mobile robot, *Trans. Robotics and Automation*, Vol.7, No.3, pp.278–288 (1991).
- 2) Dausendschon-Gay, U. and Krafft, U.: Preparing Next Actions in Routine Activities, *Discourse Processes*, Vol.46, Issue 2&3, pp.247–268 (2009).
- 3) 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, pp.636–643 (2002).
- 4) Jouppi, N.: First steps towards mutually immersive mobile telepresence, *Proc. CSCW2002*, pp.354–363 (2002).
- 5) Kanda, T., Ishiguro, H., Ono, T., Imai, M. and Nakatsu, R.: An evaluation on interaction between humans and an autonomous robot Robovie, *Journal of Robotics Society of Japan*, Vol.20, No.3, pp.93–101 (2002).
- 6) Kobayashi, Y., Kinpara, Y., Shibusawa, T. and Kuno, Y.: Robotic wheelchair based on observations of people using integrated sensors, *Proc. IROS2009*, pp.2013–2018 (2009).

- 7) Kuzuoka, H., Kosaka, J., Yamazaki, K., Yamazaki, A. and Suga, Y.: Dual ecologies of robot as communication media: Thoughts on coordinating orientations and projectability, *Proc. CHI2004*, pp.183–190 (2004).
- 8) Miyauchi, D., Sakurai, A., Nakamura, A. and Kuno, Y.: Active eye contact for human-robot communication, *CHI2004 Extended Abstracts*, pp.1099–1102 (2004).
- 9) Miyauchi, D., Sakurai, A., Nakamura, A. and Kuno, Y.: Bidirectional eye contact for human-robot communication, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.E88-D, No.11, pp.2509–2516 (2005).
- 10) Mutlu, B., Forlizzi, J. and Hodgins, J.: A storytelling robot: Modeling and evaluation of human-like gaze behavior, *Proc. HUMANOIDS'06*, pp.518–523 (2006).
- 11) Sacks, H., Schegloff, E. and Jefferson, G.: A simplest systematic for the organization of turn-taking in conversation, *Language*, Vol.50, No.4, pp.696–735 (1978).
- 12) Streeck, J.: On projection, *Social Intelligence and Interaction*, Goody, E. (Ed.), pp.87–110, Cambridge University Press (1995).
- 13) Ido, J., Matsumoto, Y., Ogasawara, T. and Nisimura, R.: Humanoid with interaction ability using vision and speech information, *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2006)*, pp.1316–1321 (2006).
- 14) Quan, W., Niwa, H., Ishikawa, N., Kobayashi, Y. and Kuno, Y.: Assisted-care robot based on sociological interaction analysis, *Computers in Human Behavior*, Elsevier (2010).
- 15) Yamazaki, A., Yamazaki, K., Kuno, Y., Burdelski, M., Kawashima, M. and Kuzuoka, H.: Precision timing in human-robot interaction: Coordination of head movement and utterance, *Proc. CHI2008*, pp.131–140 (2008).
- 16) Yamazaki, K., Kawashima, M., Kuno, Y., Akiya, N., Burdelski, M., Yamazaki, A. and Kuzuoka, H.: Prior-to-request and request behaviors within elderly day care: Implications for developing service robots for use in multiparty settings, *Proc. ECSCW2007*, pp.61–78 (2007).

(平成 23 年 4 月 12 日受付)

(平成 23 年 9 月 12 日採録)



小林 貴訓 (正会員)

2000年電気通信大学大学院情報システム学研究科修士課程修了。2000～2004年三菱電機(株)設計システム技術センターにて、ソフトウェア生産技術の開発に従事。2007年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。博士(情報理工学)。現在、埼玉大学大学院理工学研究科助教。コンピュータビジョン、ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する研究に従事。電子情報通信学会、映像情報メディア学会、IEEE、ACM各会員。



行田 将彦

2010年埼玉大学工学部卒業。現在、埼玉大学大学院理工学研究科修士課程在学中。



田島 知弥

2011年埼玉大学工学部卒業。現在、埼玉大学大学院理工学研究科修士課程在学中。



久野 義徳 (正会員)

1977年東京大学工学部電気工学科卒業。1982年同大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年(株)東芝入社。1987～1988年カーネギーメロン大学計算機科学科客員研究員。1993年大阪大学工学部電子制御機械工学科助教授。2000年より埼玉大学工学部情報システム工学科教授。現在、同大学大学院理工学研究科数理電子情報部門教授。工学博士。コンピュータビジョン、知能ロボット、ヒューマンインタフェースの研究に従事。電子情報通信学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会、人工知能学会、電気学会、日本機械学会、IEEE、ACM各会員。



山崎 敬一

埼玉大学教養学部教授。専門は社会学、エスノメソドロジ、会話分析、CSCW、CHI、ロボットヒューマンインタラクション。主な著書として『モバイルコミュニケーション』(編著、大修館、2006年)、『社会理論としてのエスノメソドロジ』(ハーベスト社、2004年)、『実践エスノメソドロジ入門』(編著、有斐閣、2004年)。ACM会員。



渋谷 百代

1996年東京女子大学大学院現代文化研究課修士課程修了、2002年豪国立マクコーリー大学メディア&コミュニケーション学部国際コミュニケーション研究専攻Ph.D.コース修了。2003～2005年NHK。スペシャル番組センターで国際マクロデータのGIS分析に従事。2006～2007年(株)ベネッセコーポレーション。教育研究開発センターで、子どもの学習、ICT利用の調査およびテスト開発に従事。2007年より埼玉大学経済学部国際交流担当専任講師。現在、同大学経済学部准教授。Ph.D.。国際・民族紛争解決におけるメディア戦略、移民メディア、異文化コミュニケーションの研究に従事。AAS(アジア研究学会)会員、多文化関係学会(理事)。



関 由起子

東京大学大学院医学系研究科健康科学・看護学専攻健康社会学分野修了。現在、埼玉大学教育学部准教授。病気を持つ、持たないにかかわらず、様々な人々の健康や保健に関する問題を社会学的手法により研究。ACM会員。



山崎 晶子

東京都立大学大学院修士課程修了。2000年より公立はこだて未来大学情報システム科学部講師、2006年助教、2007年准教授、2008年4月より東京工科大学メディア学部教授。専門は社会学、相互行為分析、ヒューマンインタラクション、ヒューマンコンピュータインタラクション。ACM会員。