

人間とロボットのコミュニケーションにおける顔の向き情報の利用

山崎 千寿[†] 久野 義徳[†] 中村 明生[‡]

[†] 埼玉大学工学部 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255

[‡] 東京電機大学 〒101-8457 東京都千代田区神田錦町 2-2

E-mail: [†] kuno@cv.ics.saitama-u.ac.jp, [‡] nkmr-a@cck.dendai.ac.jp

あらまし 人間とロボットの円滑なコミュニケーションのためには言語以外の行動による情報の伝達も考える必要がある。ここでは、このような非言語的行動のうち、“顔の向き”の利用について、“受け手”と“話し手”という二つの立場にわけて分析し、その結果に基づくロボットシステムをそれぞれ開発した。“受け手”としてのロボットとしては“指示語による命令を受け、指示された物体を取ってくるロボット”を想定した。指示語の理解のためには、“共同注視 (Joint Attention)”の概念を取り入れた。共同注視とは、“相手の視線を辿ることにより、相手が注意を払っている物体に注意を払う”ことを指す。一方、“話し手”としてのロボットとして、“博物館でガイドをするロボット”を想定した。まず人間同士の場合による実験を行った。そして、実験の分析結果から得られた行動パターンを実現するシステムを開発した。

キーワード 非言語的行動, 対話, 共同注視, サービスロボット, 顔の向き, 視線

Use of Face Direction Information in Human-Robot Communication

Chizu YAMAZAKI[†] Yoshinori KUNO[†] and Akio NAKAMURA[‡]

[†] Faculty of Engineering, Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan

[‡] Faculty of Engineering, Tokyo Denki University 2-2 Kanda-Nishiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8457 Japan

E-mail: [†] kuno@cv.ics.saitama-u.ac.jp, [‡] nkmr-a@cck.dendai.ac.jp

Abstract Face direction plays an important role in our daily conversation. This paper addresses the problem of using face direction information in human-robot communication. Conversation needs a talker and a receiver. The receiver can understand the target objects in the talker's utterances by watching the talker's face direction. The talker occasionally turns his/her face toward the receiver to obtain and to keep the receiver's attention. We have developed a robot system to understand the target objects by observing the human's face. We have also developed a museum guide robot that can move its face in accordance with the situation.

Keyword Nonverbal behavior, Conversation, Joint attention, Service robot, Face direction, Gaze

1. はじめに

人とコミュニケーションするロボットを考える際に、大きな課題となるのはそのぎこちなさである。何故ぎこちないかというと、ロボット自身の行動を決定するための情報の獲得手段が人間に比べ極端に少ないためである。

現在までに研究されている情報の獲得手段として、第一に挙げられるのが“言語”、つまり、対話によるコミュニケーションである[1][2]。対話によるコミュニケーションには、“疑問に答える”・“間違いを正せる”・

“詳細な補足説明ができる”といった利点がある。その反面、対話のみで全ての情報を獲得しようとする、膨大な説明をユーザに強いることになり、煩雑だという印象を与えることになる。また、単語の意味するものをいかに蓄積・理解・連想させるかというデータベースとしての問題に直面することになる[3][4]。そこで、他の情報の獲得手段を講じることにより欠点を補うことが考えられた。

まず考えられたのが、それまでの会話の流れを記憶・参照することである。しかし、これも先に述べた

データベースとしての問題にあたることにはかわりがない。また、人間同士の会話においては、しばしば前後の会話と関連の無いものが唐突にのぼることがある。

このような状況に対応するため、少しでも状況や前後の会話に関係のない独立した情報が必要である。その一つとしてジェスチャの利用が考えられた[5][5]。

ジェスチャとは身体で表現される“言葉（音声）ではない言語”（ノンバーバルコミュニケーション）である。本論文における“ジェスチャ”という言葉は、“大きく手を振って『さようなら』の合図”などの高度な動きはもちろん、“前傾姿勢で話を聞く（＝興味がある）”などの本人が意図せずに行った動きも含む。また、ジェスチャである定義は、“本人の意識・無意識に関わらず他人が意図を推測できる動き”であるとする。高度なジェスチャになると、その解釈は育った文化の影響を大きくうけるが、基本的なジェスチャの解釈はその限りではない。指差しによる物体の位置情報の取得なども多く研究されている。

本研究では、“顔の動き”をジェスチャとしてとらえ、人間と対話するロボットへの応用を考える。“顔を向ける”ということは、我々が何かを視認するために必要不可欠な動作であると同時に、第三者に自らの意思を知らせるための表現手段でもある[7][8][9]。

本稿では、実時間で動作するロボットを想定し、ユーザとの円滑なコミュニケーションのために“顔の向き情報”を利用するインタラクションについて研究した成果を述べる。

このインタラクションは、顔の動きのパターンを“受け手”と“話し手”の二つの要素に分けて考えた。ここでいう“受け手”とは、会話を聞く者、命令を受ける者、つまりは、受動的に対話者の視線を類推する者のことである。対して、“話し手”とは、会話のイニシアチブ（主導権）を持つ者、つまりは、対話者の視線を誘導する者のことである。

2. 受け手としてのロボット

命令の受け手として、『物を取ってくるロボット』を想定する。人間同士の対話においては、それまで会話で触れられていない物体に対しても「あれとって」で通じることがある。こうした指示語による省略型の命令に対応するために、『共同注視（joint attention）』の概念を取り入れることを考える。共同注視とは、“相手の視線を辿ることによって、相手が注意を払っている物体に注意を払う”ことである[7][8][9][10][11]。

共同注視のメカニズムを取り入れることにより、より一般的な話し言葉に近い形で簡略化された命令への対応ができると考えられる。簡略化された命令を人間の行動を認識することにより理解することについては

先に報告されているが[7]、今回は、そこで取り上げられた4つの行動のうちの視線、その概略情報である顔の向きについて、さらに発話と視線（顔の向き）の関係について実験を進め、その結果に基づきシステムを改良した。

2.1. 音声と視線の関連

共同注視を組み込んだシステムを実現するためには、“ユーザの顔の向きの把握”と、“どの時点の向きを参照するか（タイミング）”の2点が重要である。システム上で実現可能な特徴があるかどうかを調査するために、“依頼文（「あれとって」）の前後でユーザは物体を視認しているはずだ”という推測のもと、音声との対応について2種類の実験を行った。

2.1.1. 実験1：依頼文発声時の依頼者の顔方向 実験の目的

人間の“顔の動き”と“発話タイミング”との関連の調査を目的とする。

実験方法

被験者にロボットに対して、物を取ってくるように指示してもらう。ただし、以下の条件をあらかじめ被験者に与える。

- ・依頼文は「あれとって」であること。
- ・指示する物体は被験者の自由とする。
- ・指差しによる指示は禁止する。

その際の顔の動きと、発話タイミングとの関連をビデオ録画し、調査する。本実験では50サンプル採取した。

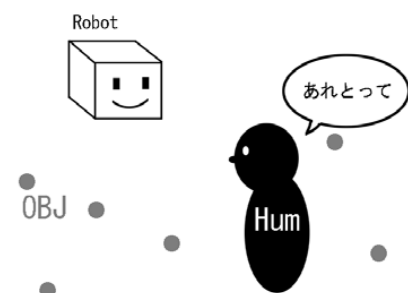


図 1. 実験環境

実験結果

図2は、ユーザが「あれとって」とロボットへ命令をした場合の顔の向き（50サンプルの平均）である。総和が100%を超える箇所があるのは、ロボットと物体が同方向に含まれるなどの場合において、双方にカウントしているためである。

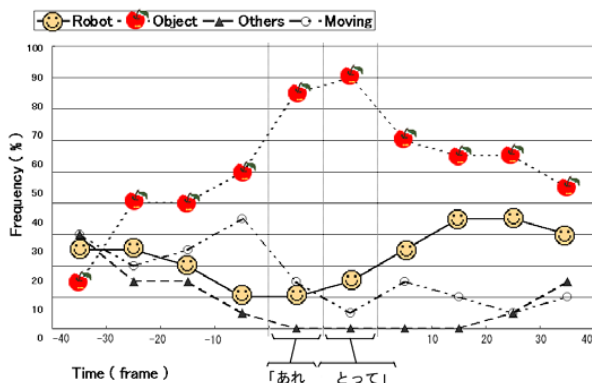


図 2. 発話のタイミングと顔の向き

図 2より、「とって」と依頼するときの顔の向きが、約 8 割の確率で対象物体に向いていることがわかる。

しかし、当実験では、被験者がカメラを意識してわざとわかりやすい動作をする、または、人間でも想像が困難な示し方をするなど、自然な状況でのサンプルが得られにくく、また、状況への依存が激しいため、データとしての信憑性に欠けるという問題点がある。

2.1.2. 実験 2：顔の向き情報の取得条件の調査実験の目的

人間の“顔の動き”と“発話タイミング”の関連について、“指示をする人間”の観察だけで情報工学的な特徴を得るのは困難であるのは、実験 1 で示したとおりである。そこで、観察対象を“指示をする人間”から“指示される人間”へ変更する。つまり、被験者は、ロボットに「あれをとってください」と依頼される。

“ロボットによる単純化された顔方向”に被験者がなんらかの意図を感じるかどうかを調査することにより、“指示をする人間”の特徴を推測しようという意図である。

実験環境

首振り可能なカメラとスピーカーを使い、ロボット頭部と見立てる。

ロボット頭部は被験者に見えないところで、実験者が操作する。

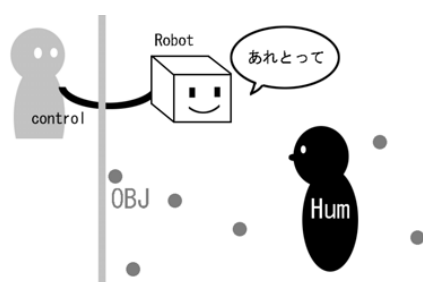


図 3. 実験環境

実験方法

実験者はどの物体を指示するか任意で決定する。決定後、いくつかのパターンでロボット頭部を操作し、被験者に物体を指示する。パターンの詳細は実験結果の項目に記述する。

被験者は、指示された物体がなんだろうかと回答する。本実験では、18 サンプル採取した。

実験結果

本実験で得られた結果は以下の通りである。図 4 は、依頼文を「あれをとってください」という単純なものに固定し、ロボットの顔を動かすタイミングのみ変化させた場合に、被験者が“あれ”がなんであるか推定できるかどうかを調べたものである。図 4 において、a から e は時系列を表し、それぞれ

a～b：発話する前

b～c：「あれを」と発話している間

c～d：「とってください」と発話している間

d～e：発話した後

を表す。

さらに、リンゴのマークのついた矢印が、“ロボットが対象物体に顔を向けている間”を表す。それ以外の部分では、ロボットは被験者に顔を向けている。

中央値の推移より、対象物体にロボットの顔を向けている間が発話後半であればあるほど、一回で正解する（つまりすぐに物体を推測できる）確率が高くなっていることがわかる。

なお、<8>において、一度中央値が落ちているが、平均値は<7>と同じである。

図 5 は a～b、b～c、c～d、d～e のタイミングそれぞれについて別々の物体にロボットの顔を向けたとき、被験者がどのタイミングの物体を示していると思ったかを調べたものである。

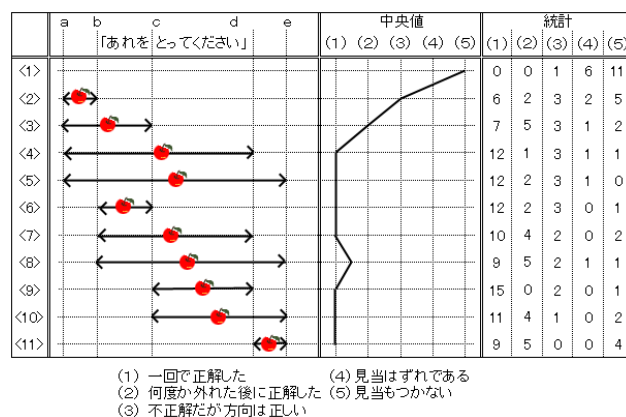


図 4. 発話のタイミングによる意図の理解 1





	a	b	c	d	e	不明
						
<12>	1 5.6%	9 50.0%		1 5.6%	2 11.0%	5 27.8%

図 5. 発話のタイミングによる意図の理解 2

「あれを」と発話したときロボットの顔を向けていた物体が 50% となっており、一番高い。次いで高いのは 27.8% の不明(どの物体かわからなかった)である。このことから、候補が多く推測に迷う場合、指示語の発話時の向きを優先していると推測できる。

図 6 は「あれを」と「とってください」の発話の間でそれぞれ別の物体に顔を向けた時、どちらの物体を示していると被験者が感じるかを調べたものである。<13>と<14>の違いは発話の順番である。

これにより、“指示語発話時の顔の向き”と“発話後半の顔の向き”では、“発話後半の顔の向き”を優先していることがわかる。





<13>	「あれを」 	「とってください」 
	7 39%	11 61%
<14>	「とってください」 	「あれを」 
	1 6%	17 94%

図 6. 発話のタイミングによる意図の理解 3

以上の結果より、顔の向きでの指示物体の理解には、発話の最後の顔の向きの情報と、指示語を発話した時の顔の向きが有効であることがわかる。発話の最後と指示語の発話時の顔の向きが異なる場合は、発話の最後の顔の向きが参照される。

これは実験 1 の結果とも一致する。よって、人間同士の顔の向きによる指示はおおむね発話後半に示されると考えられる。

2.2. システム構成

二つの実験の結果、推測される指示物体の第一候補は依頼文の発話後半、第二候補は指示語を発話した時の顔の向き直線上にあることが多いという知見を得た。(これは、「とって！あれを！」など、発話内容の順序を逆にした場合でも同様であった)

この知見を元に、“タイミング”は発話後半にトリガを得るものとし、実際に顔の向き情報を得、注視物体を探索するシステムを開発した。図 7 に示すように、

2 台で 1 組とするカメラを 2 組用いる。カメラは組ごとにそれぞれ独立で動く。下段のカメラでユーザの顔を追い、音声トリガを得たときの顔の向き情報を元に、上段のカメラでその方向を探索する。このシステムにおいては、ユーザの顔を見るカメラと物体を検索するカメラを別の組としてわけたことにより、カメラ制御時間遅れへの対処ができ、また、ロボットがどこを見ているかユーザが直感的に理解し、それにより訂正・肯定を行える双方向性を得ることができる。

下段のカメラで顔を検出し、その 3 次元方向を求める。そして、その方向上にある物体を上段のカメラで Zero disparity filter[12]を用いて求める。この部分の処理は[7]と同様なので詳細は省略する。

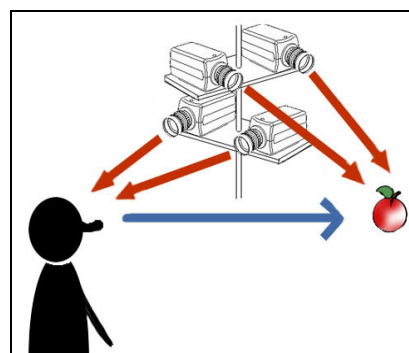


図 7. システム概念図

2.3. 評価

開発したシステムを 20 回試行したところ、4 割の正解率で物体を検出することができた。なお、試行は以下の条件で行った。

- ・被験者は「あれをとって」と発話。机上の物体のどれかを顔の向きで示す。
- ・あらかじめ手振りは禁止する。
- ・音声トリガとして「とって」が発話された後の画像を元に処理をする。

正解率の低さは、“カメラの稼動範囲外の物体であったこと”と、“顔及び目鼻の検出ミス”、そして、“物体が小さすぎる、あるいは、細かい模様があるなどして物体発見ができなかったこと”が主な原因であった。

カメラの可動範囲はハードウェアの問題であるから除外するが、残りの二つは今後の大きな課題である。ただし、このシステムは人間との対話の中で用いられるものであり、失敗したとしても人間との対話の中で、それをリカバーすることができる。人間でも「あれをとって」と言われただけではわからずに、「あれってなに」と聞き返すことはよくある。ただし、顔や物体に対する視覚情報処理能力の向上は必要である。

3. 話し手としてのロボット

会話のイニシアチブ（主導権）を持つ話し手として、『博物館でガイドするロボット』を想定する。まず、人間同士の場合による実験を行い、ロボットがどう振舞うべきかを調査した。

3.1. 実験3:博物館での観賞行動調査

実験の目的

博物館における観賞行動を調査する。

実験環境

展示物について説明するガイド1人と、観賞者1人からなる。また、記録用として、ビデオカメラを図8および表1に示すように設置する。

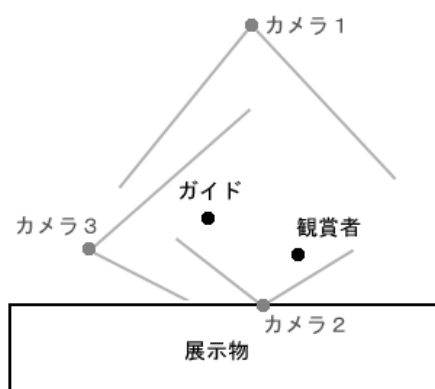


図 8. 実験環境

表 1. ビデオカメラの配置

カメラ1	固定	後方から全体を撮る
カメラ2	固定	展示ケースの上に設置し、上方から接近して撮る
カメラ3	手持ち	側方から、カメラ1・2では撮れない部分を補いながら撮る

実験方法

ガイド1人に対し観賞者1人の条件で、展示物の説明を行った。その様子を3箇所に設置したビデオカメラで録画し、解析を行う。

本実験では、15分の説明を4サンプル（ガイドは1人、鑑賞者は計4人）、30分の説明を2サンプル（同じガイド、鑑賞者は別の2人）からなる、計6サンプル取得した。なお、ガイドは展示物（古代朝鮮半島の瓦）の専門家で、鑑賞者は大学の学部および大学院生である。

実験結果

図9に実験風景やカメラ画像の一部を示す。撮影したビデオを解析した結果、観賞者とガイドの行動につ

いていくつかのパターンがあることがわかった。ガイドは、“物体を指示した後”、“観賞者が疑問を持つ可能性のある単語の発話の後”、および、“区切りのいい所（つまり発話の終了時）”に鑑賞者の顔の向きを見るために振り返る。このとき、鑑賞者が指示物体を見ている場合はそのまま説明を続行する。鑑賞者がガイドを注視している場合、質問があると判断する。説明を続行する場合、振り返ったガイドは、すぐに説明の対象である物体に顔を向ける。鑑賞者に顔を向けたままの場合、鑑賞者が自分自身に話があると判断し振り向く。そして、ガイド、あるいは鑑賞者についての対話が始まる。

以上より、“ガイドの顔の向きによる誘導”と、“ユーザの注意方向を確認していることの表現”、“ユーザの注意方向による意図の認識”の3点が行われていると分かる。



図 9. 実験風景 カメラからの画像

3.2. システム

実験3より得た知見から、図10に示すような人間のガイドと同様の動作をするロボットを開発した。このロボットは、1対1でのガイドを前提においた“博物館でガイドをするロボット”である。このシステムはユーザの顔の向きを検知するためのカメラ1台と、上下左右に回転する頭部からなる。ロボット頭部は、コミュニケーションツールとして観賞者にロボットの意図を伝えるためだけに存在し、上下左右に頭部を向ける。また、頭部とは別に用意したカメラは、常に観賞者の“顔の向き”（つまり、観賞者の注意）を監視している。

ロボットは、あらかじめ決められた説明を発話していくが、“説明に疑問・あるいはロボット自身への別の話題を観賞者が持っている”と判断した場合、説明を中断し疑問の有無について問いかける。

システムは、図11に示すようにユーザの注視情報を取得する“カメラ画像の解析”と、説明を発話する“発話制御”、ロボット頭部を動かす“頭部制御”、説明文を解析し行動を決定する“メインルーチン”の4つで構成される。なお、各要素はそれぞれスレッドとプロセス間通信を用いて並列に動作する。

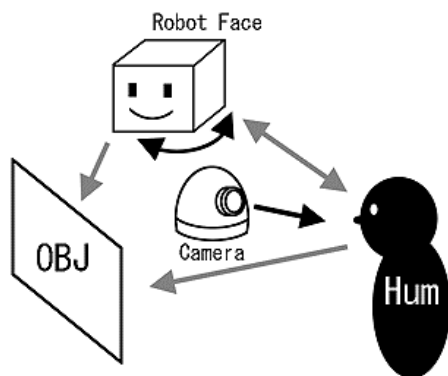


図 10. ガイドロボットシステム

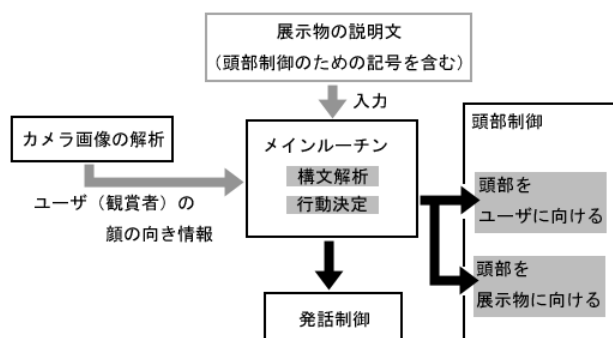


図 11. システム構成

3.2.1. 入力

このシステムでは、まず“展示物の説明文”を入力する。この説明文には、頭部制御のための記号を含む。制御記号の種類は表 2に示すとおりである。

制御記号を受けた時、システムはそれぞれ図 12、13、14 に示すように動作する。

表 2. 制御記号と動作

記号	動作
@	頭部をユーザに向けユーザの注視方向を確認した後、展示物に向ける
¥	頭部をユーザに向ける
%	頭部の方向はそのまま。ウェイトだけを入れる

入力：「この文章はサンプルです@この文章は…」

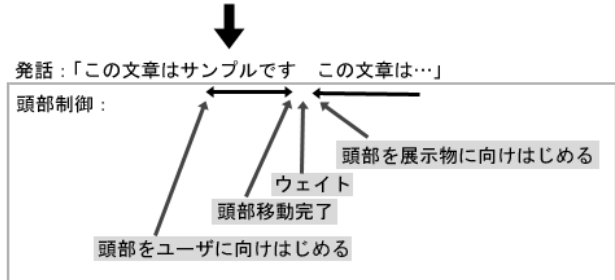


図 12. 制御記号と頭部制御——“@”

入力：「この文章はサンプルです¥この文章は…」

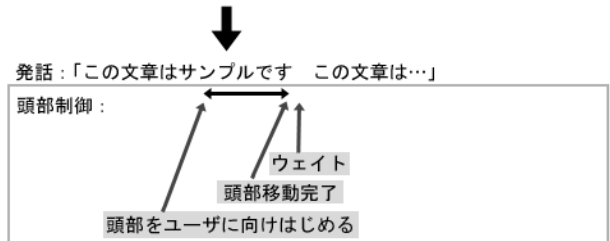


図 13. 制御記号と頭部制御——“¥”

入力：「この文章はサンプルです%この文章は…」

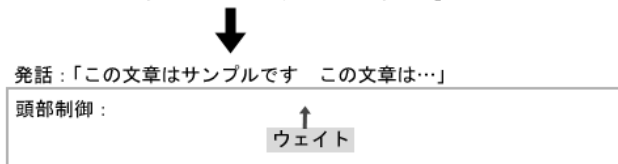


図 14. 制御記号と頭部制御——“%”

3.2.2. メインルーチン

前節に示したような“展示物の説明文”を受け取り、それをもとに頭部制御・発話制御部分への命令を送る。

まず入力された文章を制御記号ごとに分解し、分解した単位ごとに処理を繰り返していく。処理の手順を図 14 に示す。

3.2.3. 発話制御

発話には、IBM 社の ViaVoice を利用する。通信を監視し、送られてきた文字列を読み上げる。

3.2.4. 頭部制御

ロボット頭部は、“ユーザに頭部を向ける”、“展示物 (= 会話の対象物体) に頭部を向ける”という2つの動作をする。通信を監視し、命令を受け取ると、た

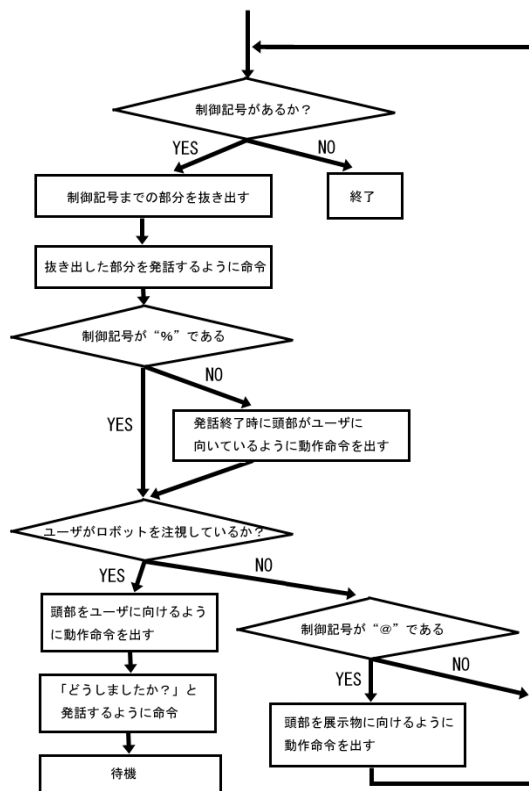


図 14. メインルーチンのフローチャート

だちに頭部を命令されたとおりの対象へと向ける。このとき、既に対象に頭部が向いている状態であれば、動かずに待機する。

3.2.5. カメラ画像の解析

ユーザーの注視方向を常に監視し、注視対象が変わるたびにメインルーチンへその情報を送信する。ユーザーの顔検出部分には東芝が開発した顔認識システムを利用した[13]。

3.3. 評価実験

実験の目的

展示物の説明において、ガイドするロボットが無駄な動きをすれば、観賞者の邪魔をし、不快感を与える。ロボットが動かない場合と比較して、不快であるかどうかを調査することでシステムの評価実験とした。

実験方法

図 15 示すようにロボットにより研究を紹介したパネルを説明させた。提案の方法による説明として、以下のような制御記号入りの文を用いた。

説明文: ㊦こんにちは。ガイドを務めます公次郎です。

よろしくお願いします。まず、このパネルを見てください@「顔方向と指差しによるアクティ

ブヒューマンインターフェース」と書かれていますね。@これは、物をとるロボットについての研究です。@「あれ・これ・それ」といった指示語@その命令をいかに理解するかを研究した結果です。@おわり㊦

この入力文に基づく動作をパターンAとする。比較のために、同一文を発話するが、常に頭部を鑑賞者に向けたままで説明する場合（パターンAの制御記号@を㊦に変更）と、常に展示物に向けたままで説明する場合（パターンAの最初の㊦を@に、すべての@を%に変更）の2つのパターンを用意した。前者をパターンB、後者をパターンCとする。これらの3パターンが被験者ごとにランダムな順序で現れるようにした。被験者は学部学生、大学院学生で9名である。3パターンの説明に対して、説明のわかりやすさを5段階（1：わかりにくい、5：わかりやすい）で評価してもらった。また、提案手法のパターンAの場合に使用感を3段階（気にならない、やや不快、不快）で評価し、コメントがあれば述べてもらった。

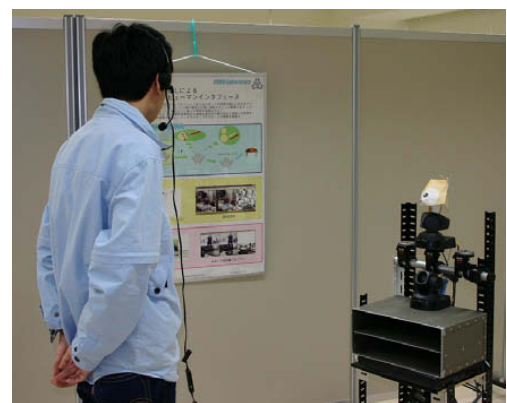


図 15. ガイドロボットの実験

実験結果

説明のわかりやすさについての実験結果を表3に示す。また、パターンAの場合の使用感についての結果を表4に示す。

まだ少数例による予備的な実験であるが、表3から、適当なタイミングで相手の方を見るような動作を入れた提案の方法が、説明をわかりやすくしていることがわかる。また、使用感については、表4に示すように、頭部が動き過ぎるというコメントも少しあったが、不快感を引き起こすということにはなかったと判断できる。簡単な説明文による実験だけであり、断定的なことはまだ言えないが、適切に顔を動かすことが親しみやすい、わかりやすいガイドロボットを実現するにあたって、重要な要素の一つであり、提案の方法が、その実現法として有望であることが確認できた。

表 3. 説明のわかりやすさ調査結果

	パターン		
	A	B	C
1: わかりにくい	0	7	0
2: 少しわかりにくい	0	2	4
3: 普通	1	0	4
4: 少しはわかりやすい	6	0	1
5: わかりやすい	2	0	0
中央値	4	1	3
平均値	4.1	1.2	2.7

表 4. 使用感調査

使用感	回答数	意見
気にならない	7	
やや不快	2	振り向く頻度が多く感じた
不快	0	

4. まとめ

ロボットとユーザとの円滑なコミュニケーションのために、“顔の向き情報”の利用を考えた。

受け手としてのロボットの実現には、顔の向きの把握と、どの時点の顔の向きを参照するかというタイミングの2点が重要である。指示語を用いた文脈上既知でない物体に関する命令を受けるとき、推測される指示物体の第一候補は依頼文の発話後半・第二候補は指示語を発話した時の顔の向き直線上にあることが多く、これは、「とって！あれを！」など、発話内容の順序を逆にした場合でも同様であることがわかった。また、この知見を元にしたシステムを開発した。

話し手としてのロボットの実現には、“ロボットの顔の向きによる誘導”と、“ユーザの注意方向を確認していることの表現”、“ユーザの注意方向による意図の認識”の3点を行う必要があるとわかった。また、この知見を元にしたシステムを開発した。

5. 今後の課題

本研究では“受け手”と“話し手”の二つの要素に分けて分析し、それぞれを実現するシステムを開発した。今後は、この二つの要素を統合したシステムの開発が大きな課題となる。

個々の課題としては、“受け手”を実現するシステムは“顔及び目鼻の検出ミス”、そして、“物体が小さすぎる、あるいは細かい模様があるなどして物体発見ができなかったこと”による失敗の解決が課題である。また、“話し手”を実現するシステムは、日本語であることを前提として開発を行った。そのため、英語に代

表されるような文章構造の異なる他の言語の場合でも有効であるためには、検証と調整が必要である[14]。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金(14350127)、日本学術振興会人文・社会科学振興プロジェクト研究「日本の文化政策とミュージアムの未来」、埼玉大学21世紀総合研究機構研究プロジェクトによる。

文 献

- [1] B.Graf and M.Hagele, “Dependable interaction with an intelligent home care robot,” Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2001), pp.21-26, 2001
- [2] L. Seabra Lopes and A. Teixeira, “Human-robot interaction through spoken language dialog,” Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000), pp.72-79, 2002.
- [3] 山本和英, 隅田英一郎, “決定木学習による日本語対話文の各要素省略補完,” 自然言語処理, vol. 6, no. 1, pp.3-28, 1999.
- [4] 堂下 修司, 新美 康永, 白井 克彦, 田中 穂積, 溝口 理一郎, “音声による人間と機械の対話,” オーム社, 1998.
- [5] 川崎広一, 久野義徳, “行動認識を用いた記憶支援システム,” 第7回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.351-356, 2001.
- [6] 入江耕太, 梅田和昇, “濃淡値の時系列変化を利用した画像からの手振りの検出,” 日本ロボット学会誌, Vol. 21, No. 8, pp. 923-931, 2003. 11.
- [7] ザリヤナ・モハマド・ハナフィア, 山崎千寿, 中村 明生, 久野義徳, “視覚によるサービスロボットのための簡略化発話の理解,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J88-D-II, no.3, pp.605-618, 2005.
- [8] 山崎千寿, “共同注視のための顔及び視線の方向検出システム,” 平成14年度埼玉大学工学部卒業論文, 2003.
- [9] 山崎千寿, “人間とロボットのコミュニケーションにおける顔の向き情報の利用,” 平成16年度埼玉大学理工学研究科修士論文, 2005.
- [10] Brian Scassellati, “Imitation and mechanisms of joint attention: developmental structure for building social skills on a humanoid robot,” C. Nehaniv Ed., Computation for Metaphors, Analogy, and Agents, LNCS 1562, pp.176-195, Springer-Verlag, 1999.
- [11] 長井志江, 浅田 稔, “「心の理論」に基づくヒューマン-ロボットコミュニケーションー共同注意のための発達のモデル,” 第19回ロボット学会学術講演会, pp.117-118, 2001.
- [12] D. Coombs and C. Brown, “Real-time binocular smooth pursuit,” Int. Journal on Computer Vision, vol.11, no.2, pp.147-164, 1993.
- [13] 福井和広, 山口 修, “形状抽出とパターン照合の組合せによる顔特徴点抽出,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J80-D2, no.8, pp.2170 - 2177, 1997.
- [14] 田中博子, “発話構造の日英比較,” 筑波大学「東西言語文化の類型論」特別プロジェクト研究報告書, 平成11年度Ⅲ, 2000.