自発的に話しかける対話ロボットの 話しかけの一手法†

石井 健太郎*1・鳩 康彦*2・Thomas KANOLD*2,3・今井 倫太*4

本稿では、自発的に話しかけるロボットの話しかけ手法として、機能紹介対話手法を提案する。機能紹介対話手法は、ロボットが自身を持つ機能を見てもか尋ねることにより、情報提供を受ける意図はないが、ロボットが持つ機能を見てもかと思ふ人間を対話に引き付けることを狙う手法である。機能紹介対話手法を実装した案内ロボットを大学の入学センターで運用し、ロボットとの対話ログ・対話後のアンケートデータを解析した。対話ログの解析から、通常対話を行うロボットと比較して、機能紹介対話を行うロボットは、より多く案内を開始し、かつ、対話の終了を示す発話を認識した。さらに、アンケートデータの解析から、機能紹介対話を行うロボットが、自分の活動を邪魔されたという印象を低減していることが認められた。

キーワード：対話ロボット、ヒューマンロボットインタラクション、機能紹介対話

1. はじめに

近年、人間に対するサービスを人間の代わりに行うインタラクティブロボットが開発されている。特に、展示場や販売店といった公共の場で動作するインタラクティブロボットが多く開発されている[1, 2, 3]。公共の場で動作するインタラクティブロボットは、コンピュータに慣れていない人間でもロボットとやり取りができるよう、人間にとって自然なインタラクション手段である音声対話ができるものが多い。このようなロボットは、ロボットから自発的に働きかけ、人間が知り得なかった新しい情報を提供できるという点で、従来のコンピュータに比べて幅広い活躍が期待されている。

音声対話ロボットの実現のためには、音声認識・自然言語解析や音声合成が必要不可欠である。しかし、これらの要素技術を組み合わせただけでは、人間とロボットの適切な対話を実現することができない。現在公共の場で動作するロボットは、ロボットの動作をロ

ボットに詳しい人間に見守られており、対話する人間はロボットの動作を聞いてからロボットと対話する場合が多い。例えば、博物館の展示において、対話ロボットの展示に説明員がついていて、対話の方法を説明するような場合である。一方、ペットロボットのような家庭用のロボットは、対話する以前から対話中も含めて、パッケージや説明書により人間はどのように対話すればいいかを理解することができる。このような場合は、対話する人間はロボットと適切に対話することが容易になる。しかし、ロボットの説明員や説明書がない状況で対話する場合には、人間とロボットの間にで行われる対話はより困難になる。Onoらの研究では、見ず知らずのロボットが現れて人間に依頼をしても、人間がロボットの発話を理解しにくいことが報告されている[4]。人間同士の対話でも、見ず知らずの人に突然話しかけられたら、真剣に受け止めない場合があるのと同じように、ロボットが自発的に人間に働きかけ、人間の知らない情報を提供しようとしても、正しく聞いてもらえなければ役割をはたすことができない。将来ロボットが様々な場面で利用される際には、このように事前の説明なしに対話が行われることが想定されるため、要素技術だけではなく対話の心理的な側面から、人間とロボットの対話を考慮する必要がある。

心理的な側面から、人間とロボットの対話を扱った研究には以下がある。今井らの研究では、人間の五感を利用した発話によって、ロボットの発話を人間が真剣にとらえるようになることが報告されている[5]。

† A Speaking Technique for Self-Driven Interactive Robot
Kentaro ISHII, Yasuhiko HATO, Thomas KANOLD and Michita IMAI

*1 科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト

Japan Science and Technology Agency, ERATO, IGARASHI Design Interface Project

*2 慶應義塾大学大学院 理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University

*3 Technische Universität Darmstadt

*4 慶應義塾大学 理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

塩見らの研究では、あらかじめ人間に取り付けられた無線タグで対話相手を識別し、相手によって発話内容を変化させることで、科学館の来館者の科学技術への興味が増したことが示されている[6]。また、無線タグに関連付けられている相手の名前を呼ぶ行動が、来館者に好意的に受け入れられたことも報告されている。

これらの研究で明らかにされていない点は、あらかじめロボットと対話することを想定していない状況で、ロボットからの話しかけによる対話が有効に働くかということである。なぜならば上述の研究は、実験室実験であるか、フィールド実験であってもロボットと対話することがあることを事前に人間に伝えている状況での研究である。ロボットが様々な場面、特に公共の場で利用され、現在人間が果たしている役割を担うようになった際には、人間はロボットの存在をあらかじめ知らないことも想定される。そのような場合に、ロボットからの話しかけが有効に働くかを検証することが必要である。

本稿では、人間の活動環境において自ら人間に働きかけるロボットの話しかけ手法として、機能紹介対話手法を提案する。機能紹介対話手法では、話しかけの際に、情報提供することを伝えるのではなく、自身が持つ機能を見ているか尋ねる発話を行う。このことにより、情報提供を受けるつもりはないが、ロボットが持つ機能を見たいと思う人間を対話に引き付けることを狙う。ロボットが持つ機能を見たいと思うことの効果は、ロボットが普及するにつれ、薄まる可能性があるが、本研究は現時点の有効性の提案と検証を目的とする。

大学の入学センターに配置されている受付案内ロボット用いて、大学の情報を自発的に来場者に提供するロボットを開発し、提案手法で話しかけるロボットと、情報提供することを伝えるロボットを比較するフィールド実験を行う。実験の対象となった対話者は、あらかじめ実験と知らされて集められたのではなく、自分自身の活動中にロボットに話しかけられてフィールド実験に参加する。

本稿の構成は以下の通りである。2章では本研究の背景となるロボットからの話しかけの可能性と課題について述べ、関連研究との比較をまとめる。3章ではロボットの存在をあらかじめ知っているとは限らない人間に対する話しかけ手法を提案する。4章では自発的に情報提供するロボットによる話しかけを比較したフィールド実験について述べる。5章において実験結果を考察する。6章において本稿を結論づける。

2. 背景

2.1 ロボットの自発的な話しかけ

従来のコンピュータと比較したロボットの特長は、種々のアクチュエータを用いて実世界に働きかけることができるということである。たとえば、アームつきの移動ロボットは、アームを用いて実世界の物体をつかみ移動させることができる。

対話ロボットにおいてもこの特長が活かされる。対話ロボットは自らが持つ移動機構によって、人間が意図していなくても自ら近づいていき話しかけることができる。これはコンピュータにおけるポップアップ広告が人間がコンピュータを用いて作業していることを前提としていることと大きく異なる。この特長は、駅やショッピングモールのような多くの人が集まる場所で、案内や宣伝のためにロボットを利用する動機になりうる。現在のところ、安全性・信頼性・費用の問題から、実際に自発的に移動し話しかけるロボットの利用は限られているが、技術の発達とともに多くの応用が期待されるロボットの利用法である。

2.2 本稿で取り組む課題

2.1節で示した通り、自ら移動できる対話ロボットは案内や宣伝に利用することが期待できる。しかし、話しかけられる人間が自分の活動をさえぎる話しかけを受け入れるかはわからない。佐竹らの実験の結果では、公共の場で単純に人間のもとに近づき話しかけるロボットが、対話に失敗することが示されている[7]。この結果から示されているように、ロボットが話しかけても多くの人間が自分の活動を優先してロボットの働きかけを無視することがあり、この問題を解決することが自ら案内や宣伝を行うロボットを有効に利用するために重要である。

本稿では案内や宣伝の場面を想定し、今井らの研究[5]・塩見らの研究[6]とは異なり、実験参加者がロボットと対話することをあらかじめ想定していない状況で有効に働く話しかけ手法を提案することを課題とする。佐竹らの研究[7]では、自然に発生するヒューマンロボットインタラクションに焦点を当て、ロボットの存在に気づかない人間も実験の対象としており、本研究と課題を共有しているといえる。

2.3 関連研究との比較

ロボットからの自発的な話しかけ手法を提案したものとして、翠らの研究[8]・佐竹らの研究[7]が挙げられる。

翠らの研究では、ロボットからの自発的な話しかけ

は2種類ある。1つは、対話の開始時にユーザを顔画像認識で識別し、ロボットから名前を呼びかける。もう1つは、対話中にユーザからの発話が一時間ない場合に、ロボットから情報推薦を行う。翠らの自発的な話しかけによる効果は、既存の手法と比較して、情報推薦が受理されやすく、対話が長く継続することである。ただし、ユーザはロボットの前にいることが前提となっており、ロボットと対話することをあらかじめ想定していない状況におけるロボットの話しかけを目的とする本研究とは課題が異なる。

佐竹らの研究では、事前に蓄積された人間の移動軌跡・速度に基づいた行動予測によって、話しかけ相手の選択方法・人間に気づかれやすい移動方法・ノンバーバルな対話意図の表出方法が提案されており、有効性が示されている。ただし、佐竹らが人間の移動軌跡・速度に基づく手法を提案しているのに対して、本研究は発話の内容に基づく提案であり、手法が異なる。また、佐竹らの研究が環境にレーザレンジファインダを配置しているのに対して、本研究ではロボットに搭載されたセンサのみで動作する点も異なる。

3. ロボットからの話しかけ手法

3.1 機能紹介対話手法

本稿で提案する話しかけ手法は「私がどんな機能を持っているか見てみませんか?」と話しかける手法である。この手法を機能紹介対話手法と呼び、この話しかけを機能紹介対話と呼ぶ。例えば大学の紹介を行うロボットであれば、通常の話しかけは「大学について紹介しましょうか?」というものである。しかし、通常の話しかけでは話しかけられた人間の意図がロボットの発話内容と一致していなければ対話には応じないことが予想できるが、そのような人間でもロボットの機能は見てみたいと思っている人間をロボットとの対話に引き付けることを狙う(図1)。現在のところ、公共の場所でロボットから自発的に話しかけられることはそれほど多くないため、「機能を見てみませんか?」と聞かれれば、それに応じる人間が存在することが期待できる。

図1 機能紹介対話手法

3.2 実装

本研究では、受付案内ロボットKEITA[9]を用いる。KEITAは、大学の入学センターにおける来訪者に対する用件の受付と大学の案内を目的として開発された人型ロボットである(図2)。

以下に、機能紹介対話手法を実装したKEITAの動作手順を示す¹。

1. レーザレンジファインダで周囲を監視し、移動物体を検知した場合は体の向きを移動物体に向ける。
2. カメラにより人間の顔を認識すると、移動物体を来訪者と判断し、来訪者に近づく。
3. 来訪者の近くまで到達すると「こんにちは。私は案内ロボットKEITAです。」と発話し、あいさつと簡易な自己紹介を行う。
4. 「私がどんな機能を持っているか見てみませんか?」と来訪者に問いかける。
5. 来訪者が4.の問いかけに対して「はい。」と音声認識した場合は、大学の案内を開始する。問いかけに対して「いいえ。」と音声認識した場合は、または、しばらく問いかけに応じない場合は、「案内が必要な場合は話しかけてください。」と発話し、元に位置に戻る。
6. 案内コンテンツは来訪者が「はい。」と答える限り永続的に続き、案内途中に起こる続きや他の案内を聞くかの問いかけに対して「もうけっこうです。」と音声認識した場合、または、しばらく問いかけに応じない場合は、「ありがとうございました。案内が必要な場合は話しかけてください。」と発話し、元の位置に戻る。

太字で示した手順4.の発話が、機能紹介対話が4

図2 受付案内ロボットKEITA

1 ここに示した音声認識の語は典型的な例であり、例えば、「はい。」に代わりに「お願いします。」、「いいえ。」の代わりに「けっこうです。」といった語も同様に認識される。

章で比較する通常対話と異なる点である。通常対話の実装は、手順4.の発話を「大学について紹介しましょうか?」に変更したものであり、来訪者の判定方法・来訪者に近づく方法・あいさつや自己紹介・案内を開始する条件・案内の内容はすべて同一である。

4. 実験

4.1 実験環境

機能紹介対話手法の有効性を確かめる実験を、大学の入学センターで行った。入学センターは、キャンパス体験イベントや入学試験に関する業務が行われている。キャンパス紹介や学部紹介のパンフレットやビデオが設置されているほか、過去の入学試験問題を閲覧することができる。大学・入学試験の資料を求めて来訪する受験生やその家族が最も多く、大学見学会イベントの打ち合わせのために来訪する大学・高校関係者も多い。

3.2節で述べた、機能紹介対話と通常対話を実装したKEITAを動作させ、機能紹介対話を行った対話者を実験群とし、通常対話を行った対話者を対照群として、KEITAの動作を切り替えながら実験を行った。

実験時の部屋の配置は図3の通りである。実験者は対話者の位置からは見えないように柱の影におり、対話セッションが終了するまで姿を現さない。対話の様子は部屋の隅に取り付けられたビデオカメラによって撮影されている。

4.2 実験手順

実験の手順は以下の通りである。

- 3.2節で述べた条件で来訪者を認識した場合には、KEITAはバッテリステーションから離れて人間に話しかける。
- 人間の認識が失敗した場合には以下の測定には

図3 実験環境

考慮にいれない。

- 対話が終了し、KEITAがバッテリステーションに向かって動き出した時点で、1つの実験セッションを終了とする。
- 実験セッションが終了したら、直ちに実験者は対話者にアンケートと映像・画像の利用許諾を求める。
対話者によっては、アンケート・利用許諾をいずれかまたは両方断ることがある。
- KEITAは、バッテリステーションに戻ったら直ちに移動物体の監視をはじめ、次の来訪者が来るまで待機する。

4.3 収集データ

実験で収集するデータは以下の3つである。

- KEITAの発話と人間の発話の認識結果を記録した対話ログ
 - 実験の様子を撮影したビデオ
 - 対話後に対話者に対して行ったアンケートデータ
- 対話ログは、KEITAを制御するコンピュータにテキスト形式で自動的に保存される。対話データはそのときのタイムスタンプとともに記録される。

ビデオは実験期間中録画しており、撮影範囲はKEITAが移動できる範囲をカバーしている。対話後、後述のアンケート用紙に時刻と対話者の特徴(着ている服の色・性別)を記入することによって、他のデータとビデオデータを対応付けた。

対話後のアンケートでは、以下の項目を質問した。

- ロボットとの対話経験
ロボットとの対話経験を、ロボットと直接対話したことがある・ロボットを直接見たことがある・ロボットをテレビや雑誌で見たことがある・ないの4項目から選んでもらった。
- 来訪の目的
対話者が入学センターに来訪した目的を自由記述で回答してもらった。
- ロボットに興味を持ったか
ロボットに興味を持った度合いを1～5までの5段階尺度で評価してもらった。
- ロボットに邪魔されたと感じたか
ロボットに邪魔されたと感じた度合いを1～5までの5段階尺度で評価してもらった。

4.4 実験結果

実験は平日の午前9時から午後17時まで、2週間にわたって行われた。実験期間中、KEITAは26名の来訪者に話しかけた(図4)。そのうち、15名を実験群と

して機能紹介対話で動作させ、11名を対照群として通常対話で動作させた。

実験対象となる26名のうち、19名からアンケート回答を得た。内訳は、実験群8名・対照群11名である。アンケート回答者のすべてが、直接ロボットと対話するのは初めてであると答えた。この結果から、以下のアンケートデータについて、ロボットとの対話経験がデータに与える影響は少ないと考える。

実験対象となる26名のうち、KEITAのことをあらかじめ知っており、KEITAを見ることが目的で来訪した参加者が2名いた。男性・女性それぞれ1名の大学卒業生で、どちらも対照群に含まれていた。2.2節で示したとおり、本実験の条件はロボットと対話することをあらかじめ想定していない人間に対して話しかけが有効に働くかを検証することであるため、この2名を以降の解析から除外する。

表1、2、3は、実験参加者の性別・職業・来訪目的の分布を示したものである。本実験はフィールド実験であり、実験参加者を統制できなかったため、分布に偏りがある。いずれの実験参加者もロボットとの対話とは異なる用事で入学センターに来訪しているが、分布の偏りについて他の実験結果に基づき考察する必要がある。

対話ログを解析し、ロボットが大学の案内を開始し、かつ、対話の終了を示す発話を認識したかを検証する。大学の案内の開始は、3.2節の動作手順5.で「はい。」と認識した場合にあたり、実験参加者が最初のロボットの問いかけに応じたことを表す。対話の終了を示す発話は、3.2節の動作手順6.で「もうけっこうです。」と認識した場合にあたり、ロボットの問いかけに応じて対話を終了したことを表す。

結果は、機能紹介対話では15名中13名であるのに対して、通常対話では9名中2名であった(表4)。

図4 入学センターでの実験

フィッシャーの正確確率検定で検定し、ロボットが大学の案内を開始し、かつ、対話の終了を示す発話を認識した割合に、有意差が認められた($p<0.05$)。

図5に興味を持ったか、図6に邪魔と感じたかのアンケート結果を示す。マン・ホイットニーのU検定で検定し、興味を持った度合いには有意差は認められなかったが、邪魔と感じた度合いには有意差が認められた($p<0.05$)。

表1 実験参加者の性別

	実験群	対照群
男性	10	3
女性	5	6

表2 実験参加者の職業

	実験群	対照群
受験生	8	1
受験生の保護者	3	1
大学生	0	3
大学職員	4	2
高校関係者	0	2

表3 実験参加者の来訪目的

	実験群	対照群
入学資料の収集	11	2
入学センターの催しに参加	0	3
会議・打ち合わせ	4	4

表4 大学の案内を開始し、かつ、対話の終了を示す発話を認識したか($p<0.05$)

	実験群	対照群
該当	13	2
該当せず	2	7

図5 興味を持ったか(n.s.)

図6 邪魔と感じたか ($p < 0.05$)

5. 考察

実験で得られた結果は、最初のロボットの問いかけに応じ、かつ、対話を終了する発話を行った実験参加者の割合が、機能紹介対話で話しかけられた場合に高かった ($p < 0.05$) ことを示している。この条件に該当する実験参加者は、対話終了までロボットの問いかけに応じ続けたことになる。なぜならば、ロボットの問いかけに応じない場合は、その時点で対話が終了し、対話の終了を示す発話が認識されないためである。このことを考えると、この条件に該当する実験参加者は、最初のロボットの問いかけに応じてから対話の終了を示す発話を行うまで、大学の案内を聞いていたと考えられる。したがって、機能紹介対話手法が、案内の達成率を向上させる手段として有効であると考えられる。

アンケート結果より、ロボットに対して興味を持った度合いに有意差は認められなかった。このことより、実験群と対照群の実験参加者の間にロボットに対する興味の偏りはなく、興味の度合いが実験結果に影響を与えたとはいえない。

アンケート結果より、機能紹介対話で話しかけられた実験参加者は活動を邪魔されたという印象を受けにくい ($p < 0.05$) ことを示している。これは、本質的に人間の活動に割り込む宣伝ロボットにとって、実用的な特長である。

6. まとめ

本稿では、自発的に話しかけるロボットの話しかけ手法として、機能紹介対話手法を提案した。機能紹介対話手法は、ロボットが自身が持つ機能を見てもか尋ねることにより、情報提供を受ける意図はないが、ロボットが持つ機能を見たいと思う人間を対話に引き付けることを狙う手法である。

機能紹介対話手法を実装したロボットを大学の入学センターで運用し、ロボットとの対話ログ・対話後の

アンケートデータを解析した。対話ログの解析から、通常対話を行うロボットと比較して、機能紹介対話を行うロボットは、より多く大学の案内を開始し、かつ、対話の終了を示す発話を認識した。さらに、アンケートデータの解析から、機能紹介対話を行うロボットが、自分の活動を邪魔されたという印象を低減していることが認められた。

謝辞

本研究の一部は文部科学省グローバルCOEプログラム「環境共生・安全システムデザインの先導拠点」に依るものであることを記し、謝意を表す。

参考文献

- [1] 宮下善太, 神田崇行, 塩見昌裕, 石黒浩, 萩田紀博, “顧客と顔見知りになるショッピングモール案内ロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.7, pp.103-114, 2008.
- [2] M.P. Michalowski, S. Sabanovic, C. DiSalvo, D. Busquets, L.M. Hiatt, N.A. Melchior, R. Simmons, “Socially Distributed Perception: GRACE plays social tag at AAAI 2005,” Autonomous Robots, Vol.22, No.4, pp.385-397, 2007.
- [3] M. Shiomi, D. Sakamoto, T. Kanda, C.T. Ishii, H. Ishiguro, and N. Hagita, “A Semiautonomous Communication Robot – Field Trial at a Train Station –,” Proc. of the 3rd ACM/IEEE Intl. Conf. on Human-Robot Interaction, pp.303-310, 2008.
- [4] T. Ono and M. Imai, “Reading a Robot’s Mind: A Model of Utterance Understanding based on the Theory of Mind Mechanism,” Proc. of AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp.142-148, 2000.
- [5] 今井倫太, 鳴海真里子, “人間の五感を利用したロボットとのコミュニケーションへの没入の実現”, 計測自動制御学会論文集, Vol.42, No.4, pp.342-350, 2006.
- [6] 塩見昌裕, 神田崇行, ダニエルイトン, 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.
- [7] 佐竹聡, 神田崇行, Dylan F. Glas, 塩見昌裕, 石黒浩, 萩田紀博, “環境情報を理解してサービス提供を行うロボットの実現”, インタラクション 2009 論文集, pp.173-180, 2009.
- [8] 翠輝久, 河原達也, 正司哲朗, 美濃導彦, “質問応答・情報推薦機能を備えた音声による情報案内システム”, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp.3602-3611, 2007.
- [9] 村田機械株式会社, “慶應義塾大学入学センターの受付ロボット『KEITA』について”, <http://www.muratec.net/jp/news/news051025.html> (2009年2月17日 受付)
(2009年8月7日 採録)

[問い合わせ先]

〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

慶應義塾大学大学院 理工学研究科

石井 健太郎

TEL: 045-560-1070

E-mail: kenta@ayu.ics.keio.ac.jp

著者紹介

いし い けん たろう
石井 健太郎 [非会員]

2003年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。2005年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。2009年同大学大学院理工学研究科博士課程所定単位取得退学。現在、科学技術振興機構ERATO五十嵐デザインインタフェースプロジェクト技術員。ヒューマンロボットインタラクション、ユーザインタフェース、コンピュータビジョンの研究に興味を持つ。

はと やすひこ
鳩 康彦 [非会員]

2008年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院開放環境科学専攻前期博士課程在学中。ヒューマンロボットインタラクションに関する研究に興味を持つ。

Thomas KANOLD [非会員]

Thomas Kanold is studying for his Master of Computer Science at the Technische Universität Darmstadt. He was an exchange student at Keio University in 2008 to 2009.

いま い みち た
今井 倫太 [非会員]

1992年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1994年同大学院理工学研究科計算機科学専攻修士課程修了。同年、NTTヒューマンインタフェース研究所に入社。1997年ATR知能映像通信研究所へ出向。2002年慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻博士課程修了。現在、慶應義塾大学理工学部情報工学科准教授及び、ATR知能ロボティクス研究所客員研究員。人型ロボットとのインタラクションの研究に従事。電子情報処理学会、情報処理学会、人工知能学会、日本認知科学会、ヒューマンインタフェース学会、ACM、IEEE各会員、博士（工学）。

A Speaking Technique for Self - Driven Interactive Robot

by

Kentaro ISHII, Yasuhiko HATO, Thomas KANOLD and Michita IMAI

Abstract :

This paper proposes a function introduction interaction, which encourages human-robot interaction on first contact with a self-driven interactive robot. The function introduction interaction aims to cause a person's interest by asking the person to watch the robot's interactive function. We developed a promotion robot and conducted a field experiment to verify effectiveness of the function introduction interaction, and analyzed interaction logs, and questionnaire answers. The results showed that the function introduction interaction enabled the robot to perform its task and decreased the feeling of being interrupted.

Keywords : Interactive Robot, Human - Robot Interaction, Function Introduction Interaction

Contact Address : **Kentaro ISHII**

Graduate School of Science and Technology, Keio University
Hiyoshi 3-14-1, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, JAPAN
TEL : 045-560-1070
E-mail : kenta@ayu.ics.keio.ac.jp