

D-06

人々の興味を引きつける案内ロボット

- 後ろ向きに移動する案内の効果 - How to encourage people to listen to a guide robot?

塩見 昌裕† 神田 崇行† 石黒 浩‡ 萩田 紀博†
Masahiro Shiomi Takayuki Kanda Hiroshi Ishiguro Norihiro Hagita

1. はじめに

近年、人とのインタラクションを通じて生活支援を行う、コミュニケーションロボットに関する研究開発が進んでいる。特に、日常環境下で一般の人々に対する情報提供を目的としたロボットの研究が進んでおり、商業施設内[1]や科学博物館[2]、万博会場[3]や病院[4]といった環境で活動するロボットが開発されている。これらのロボットに共通する重要なタスクの一つに、人々を案内する、というものがあげられる。例えば、移動可能なロボットを用いた博物館内の展示案内や、万博会場の展示案内といったタスクの重要性が、過去の論文で示されている[2,3,5,6,7]。

人間がこのような施設内での案内を行う際には、特定の人々（例えば案内料を払った人々）のみに対するサービスとなることが多い。これに対して、過去に行われてきたロボットによる案内サービスは、公共な場所で不特定多数の参加を容認した自由参加型が主であった[2,3,5,6,7]。また、ロボットが不特定多数の人々へ情報提供を行う事で、人々の購買行動を促進させる、といった研究結果も報告されている[1]。このような、不特定多数を対象とする情報提供や案内等を行う状況下においては、ロボットとインタラクションをしている対象以外の、周囲に存在する人々の注意を引きつけることが重要になると考える（図1）。

しかし、ロボットが不特定多数の人々を案内するという状況下において、周囲に存在する人々が自発的に案内に参加したり、その様子を観察したりすることを促すための、ロボットの振る舞いに関する研究はこれまでになされていなかった。我々は、周囲に存在する人々の注意を、ロボットの案内やインタラクションの様子に向けさせることで、不特定多数に対するロボットサービスがより効率よく実現できるのではないかと考える。実際に、過去に行われたいくつかの実証実験において、ロボットとは直接インタラクションを行わず、他者とロボットとのインタラクションの様子や、案内する様子を観察している人々の存在が報告されている[1,8]。これらの人々は、ロボットとの直接的なインタラクションは行わないものの、ロボットに対する観察を行っていた[9]。そのため、不特定多数の参加が可能な案内サービスにおいては、そのような人々の注意を引くような振る舞いを行うことで、より多くの人々がロボットの様子を観察することが可能になり、結果的に多くの人々へロボットがサービスを提供することが可能になる、と考えた。

本研究では、ロボットが後ろ向きに人々を案内することで、周囲の人々の振るまいがどのように変化し、案内への

自発的な参加がより多く発生するかどうかについて検証を行う。後ろ向きにロボットが移動することで、案内の様子やロボットと他者との対話を行う様子を観察することが、周囲の人々にとって容易になるため、注意をより引きつける効果が予想される。我々はショッピングモール内で、開店を目前に控えた店舗への案内と宣伝を行うロボットを用いた実証実験を行った。我々はシンプルな案内アルゴリズムをロボットに実装し、前向きと後ろ向きの案内による効果の比較を行った。その結果、後ろ向きの案内がより人々の注意を引きつけることが示された。

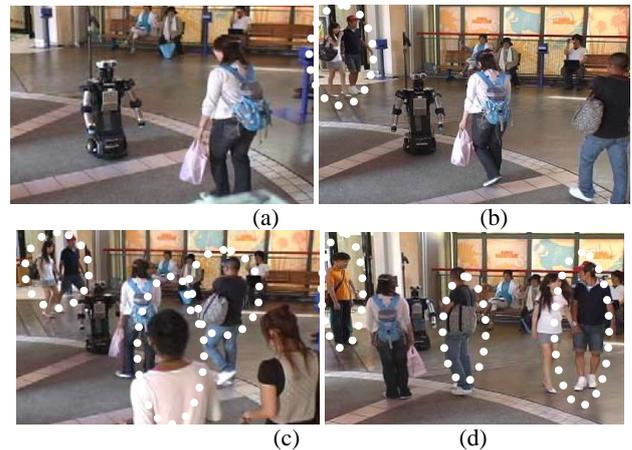


図1 ロボットの案内を観察する人々

2. システムの構成

2.1 Robovie

図2に、本研究で用いたヒューマノイドロボット、Robovieを示す[10]。ロボットの身長は120cm、重量は40Kgである。両腕に各4自由度、首に3自由度、移動台車部分に2自由度を持ち、人々との対話に必要な身体表現が可能である。頭部には2つのCCDカメラとスピーカが設置されており、アイコンタクトや音声対話が可能となっている。

移動台車には、Pioneer-3DXを用いた。本研究では、ロボットの安全性や環境内の床面向上を考慮し、最高速度を2.5km/h (700mm/second)に設定した。この値は、環境内に存在する人々の移動速度や、安全製を考慮して決定された。

案内ロボットにとって重要な機能となる、障害物回避を実現するため、移動台車部分に北陽製のLRF (URG-04LX)を設置した。ロボットに取り付けられたLRFは、主にロボット周囲に存在する障害物検出に用いられる。後述する環境センサでも障害物の検出を行っているが、背の低い子供など、環境センサでは検出が困難な移動障害物の検出を行い、ロボットの安全性向上を試みた。

† ATR-IRC

‡ 大阪大学, ATR-IRC

2.2 環境センサ

本研究では、環境中に設置された複数のセンサを用いて、案内ロボットのセンシング能力を向上させた[11]。センサを設置した環境は、ユニバーサルスタジオジャパン(USJ)の入り口付近にあるショッピングモールである。ロボットの活動範囲は、そのショッピングモールの通路の一部、服の販売店の前の20m程の長さの部分である、その領域を取り囲むように、6台のLRF(SICK製LMS-200)を高さ85cmの位置に設置した(図3)。位置計測の手法は、本稿の範囲外であるため詳しくは[12]に示すが、胸の高さの位置において、背景スキャンを分離することにより得られた移動物体を、パーティクルフィルタにより追跡している。37Hzの周期で、x-y位置の情報が計算される。この環境において安定した人位置追跡を実演しており、その位置計測誤差は6cmであった。

本研究では、これらの環境センサを用いて、ロボットの自己位置推定も行った。これにより、人々とロボットとの正確な距離関係を計測することが可能になった。上述した、ロボットに取り付けられたLRFと、環境中に設置されたLRFを利用することで、ロボットによる安全な案内が実現可能になった。

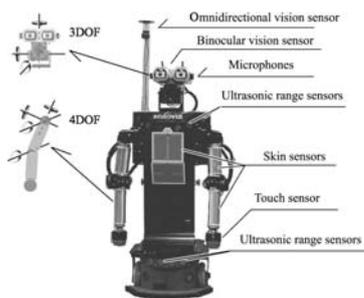


図2 Robovie



図3 実験環境におけるLRFの設置場所

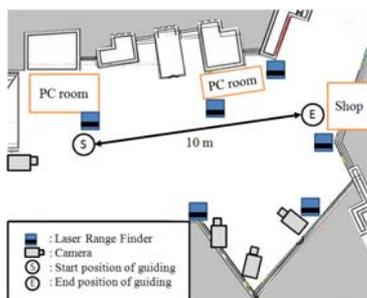


図4 センサの配置図

3. ショッピングモールでの実証実験

案内時におけるロボットの体の向きが、人々の自発的な案内への参加にどのような影響を与えるかを検証するため

に、ショッピングモール内でロボットが案内を行う実証実験を行った。実証実験では、ロボットが前向きに移動する場合と、後ろ向きに移動する場合の、2条件での比較を行った。

3.1 実験

3.1.1 仮説

我々は、ロボットが適切に移動速度や回転速度を調整して案内を行うことで、体の向きに影響なく人々を案内することが可能であると考えた。また、ロボットが後ろ向きに移動することで、ロボットが前向きに移動した場合よりも多くの人々が自発的に案内に参加する、と考える。これらの考察をもとに、本実験では以下の2つの仮説を検証する。

仮説 1: ロボットが後ろ向きに移動する場合において、案内が成功する割合は、ロボットが前向きに移動する場合の成功する割合と比べて、有意な差はない。

仮説 2: ロボットが後ろ向きに移動する場合において、Bystanderと分類される人々の数は、ロボットが前向きに移動する場合と比べて、有意に大きい数となる。

3.1.2 実験環境

本実験は、2008年8月に、ユニバーサルスタジオジャパン(USJ)の入り口付近にあるショッピングモールの通路で行われた。この通路は、期間中1時間に約400人程度が通過する場所であった。図4に、実験環境の俯瞰図と、我々が設置したLRFおよびカメラの位置を示す。ロボットはStart Positionにて人々を待ち受けており、案内動作時には店舗の前まで移動を行い、情報提供を行う。ロボットが移動する距離は、およそ10mである。

なお、この実験は研究目的にのみ利用するという条件の下で、ショッピングモールの管理者の承認を得て行われた。この手続きについては、所内の倫理審査委員会により承認済みである。

3.1.3 被験者

ショッピングモールを訪れる来訪者らの多くは、子供連れの家族やカップル、および観光客であり、人々はロボットと自由に対話を開始することが出来た。我々は、被験者を以下の4つのカテゴリに分類した。

Pedestrian:

我々は、実験環境内に10秒以上滞在した人々を、Pedestrianとして分類した。なお、環境内のベンチに座っていた人々は、Pedestrianを含む全てのカテゴリへの分類を行わなかった。

Addressee:

ロボットに話しかけた人々を、Addresseeとして分類した。

Side-participant:

Addresseeがロボットに話しかけた際に、Addresseeと一緒にロボットの挨拶を聞いていた人々を、Side-participantとして分類した。

Bystander:

Pedestrianとして分類された人々の中で、ロボットが案内動作をしている最中に、立ち止まって3秒以上ロボットを注視した人々や、ロボットと一緒に移動を行った人々を、Bystanderとして分類した。

以下に、被験者の分類例を示す。ロボットが、3 人の人々から構成されるグループに対して案内を行った場合に、その人々は 1 人の Addressee (ロボットから最も近い人) と、2 人の Side-participant として分類された。さらに、ロボットが案内動作を行っている最中に、他の人々がロボットの案内動作を 3 秒以上立ち止まって観察していた場合には、その人々を bystander として分類した。

被験者を上記のカテゴリに分類するために、1 人のコードが、実験中に観測された 269 人に対して上記のルールに従って分類を行った。分類作業の妥当性を検証するために、異なる 1 人のコードが、ランダムに選択された 50 人の人々に対する分類作業を行った。複数人で行われた主観評価による分類作業の一致度合いを示す、 κ 係数[13]を計測した所、その値は 0.647 となり、分類作業の妥当性が示された。なお、分類作業には実験時に記録された映像と人位置データを用いた。

3.1.4 実験手順

実験では、曜日による利用者数の違いや、昼夜の利用者数の違いによる結果の偏りを避けるため、一日を昼間 (主に人々が昼食や買い物を行ったり、USJ に向かって移動する時間帯)、および夜 (主に人々が夕食や買い物を行ったり、駅に向かって帰路につく時間帯) の二つに分け、各条件が両時間帯に含まれるようにローテーションを組んだ。

実験は、ロボットに興味を持った人がロボットに話しかけた時点から開始された。案内動作と情報提供動作は、それぞれ約 20 秒程度で終了した。挨拶動作から情報提供動作までの一連の動作は、全て自律的に実行された。

3.1.5 実験条件

本実験では、以下に示す 2 条件を用いて、ロボットが移動する際の体の向きによる影響を比較した。

Forward condition:

ロボットは、前向きに移動しながら人々を案内する (図 5 - a)。案内動作を開始する前に、ロボットは「あなたに、面白い物を紹介してあげるね。案内するから、横に並んでついてきてね」と発話した。

Backward condition:

ロボットは、後ろ向きに移動しながら人々を案内する (図 5 - b)。案内動作を開始する前に、ロボットは「あなたに、面白い物を紹介してあげるね。案内するから、僕についてきてね」と発話した。



(a) Forward condition (b) Backward condition

図 5 実験風景

3.2 評価項目

3.2.1 案内の成功率

ロボットが案内動作を開始した場合に、Addressee と Side-participant がそれぞれ店舗前まで移動した場合を案内成功とし、その割合を計測した。案内動作の途中で人々が立ち去った場合には、失敗とした。この計測には、録画された映像を用いた。

3.2.2 案内時の Bystander の人数

ロボットが案内動作を開始してから店舗前まで移動する間に存在した、Bystander の数を計測した。つまり、ロボットが人々を案内している間に、どれだけ他の人々に対して興味を持たせることが出来たかを計測した。案内中のロボットの体の向きに関する影響を評価するため、この評価項目に情報提供動作中の Bystander の人数を含めなかった。この計測には、記録された映像と位置推定結果を用いた。

3.3 実験結果

表 1 に、各条件において各カテゴリに分類された被験者の数を示す。Forward condition の実験回数は 19 回、Backward condition の実験回数は 18 回であった。なお、本仮説を検証するために、2 人のコードが Addressee と Side-participant に対する案内の成功と失敗の割合を評価した。1 人目のコードは、95 人 (Addressee と Side-participant の総数) の被験者に対する各カテゴリへの分類作業を行い、2 人目のコードはランダムに選択された 18 人の被験者に対する各カテゴリへの分類作業を行った。2 人の分類作業における κ 係数は 0.74 と高い一致度合いを示しており、仮説を支持するデータの妥当性が示された。この分類の結果、Forward 条件では 19 人の Addressee のうち 15 人と、32 人の Side-participant のうち 26 人が案内成功と分類された。また、Backward 条件では、18 人の Addressee のうち 11 人と、Side-participant のうち 19 人が案内成功と分類された。

3.3.1 仮説 1 の検証

各条件における Addressee に関する案内成功率に対して、カイ 2 乗検定を行った結果、条件間で有意な差が見られなかった ($\chi^2(1) = 2.501, p = 0.114$)。同様に、Side-participant に関する案内成功率に対して、カイ 2 乗検定を行った結果、有意な差が見られなかった ($\chi^2(1) = 0.551, p = 0.458$)。これらの結果から、仮説 1 が検証された。しかし、Addressee に関するカイ 2 乗検定から得られた p 値は比較的小さい値であり、実験回数の増加によって異なる結果が導き出される可能性も示された。

3.3.2 仮説 2 の検証

各条件における Bystander の人数に対して、カイ 2 乗検定を行った結果、Backward condition 条件における Bystander の人数が、Forward condition 条件における Bystander の人数よりも有意に多いことが示された ($\chi^2(1) = 7.802, p < 0.01$)。この結果から、仮説 2 が検証された。つまり、ロボットが後ろ向きに移動して案内を行うことで、前向きに移動して案内を行う場合よりも、より多くの人々がロボットの案内に興味を持ったことが示された。

表1 案内時における被験者の役割分類結果

	Addressee		Side-participant		Pedestrian	
	案内に最後まで参加した人数	案内の途中で立ち去った人数	案内に最後まで参加した人数	案内の途中で立ち去った人数	Bystanderとして案内に参加した人数	Bystanderとして案内に参加しなかった人数
Forward	15 (78.9%)	4 (21.1%)	26 (81.2%)	6 (18.8%)	15 (20.5%)	58 (79.5%)
Backward	11 (61.1%)	7 (38.9%)	19 (73.1%)	7 (26.9%)	41 (40.6%)	60 (59.4%)

4. おわりに

本研究では、ロボットが人々の案内を行っている際に、より多くの人々に興味を持たせ、自発的な案内への参加を誘発する振る舞いを実現した。ロボットが前向きに移動するのではなく、後ろ向きに移動することで、人々のより自発的な案内参加を誘発することが可能であると考えた。

この仮説を検証するために、本研究では一般の人々が利用するショッピングモール内での実証実験を行った。また、環境内に設置されたセンサと連動して、安全に人々の案内を行うことが可能なロボットシステムを開発した。実験では、ロボットは特定の店舗まで人々を案内し、情報提供を行うという商業的なタスクを与えた。実験結果から、ロボットが後ろ向きに移動して人々を案内することで、ロボットが前向きに移動する場合よりもより多くの人々が、ロボットの案内に興味を持った事が示された。

謝辞

実験環境を提供していただき、様々なご支援をいただいた住商アーバン開発株式会社の皆様に厚く感謝申し上げます。なお、本研究は、総務省の研究委託により実施したものである。

参考文献

- 1) 神田崇行, Dylan F. Glas, 塩見昌裕, 萩田紀博, 移動する人にサービス提供するロボットのための環境情報構造化, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 5, 2009.(掲載決定)
- 2) R. Siegwart et al., Robox at expo.02: A Large Scale Installation of Personal Robots, Robotics and Autonomous Systems, 42(3), pp. 203-222, 2003.
- 3) S. Thrun et al., Minerva: A second-generation museum tour-guide robot, in Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 1999, pp. 1999-2005.
- 4) B. Mutlu and J. Forlizzi, Robots in Organizations: The Role of Workflow, Social, and Environmental Factors in Human-Robot Interaction, HRI2008, pp. 287-3294, 2008.
- 5) C. Becker, S. Kopp, N. Pfeiffer-Lessmann, and I. Wachsmuth, Virtual humans growing up: From primary toward secondary emotions, Künstliche Intelligenz, pp. 23-27, 2008.
- 6) W. Burgard et al., The interactive museum tour-guide robot, Proc. Of National Conference on Artificial Intelligence, pp. 11-18, 1998.

7) 塩見昌裕, 神田崇行, ダニエル イートン, 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

8) M. Shiomi et al., A Semi-autonomous Communication Robot -A Field Trial at a Train Station -, HRI2008, pp. 303-310, 2008.

9) N. Bergström et al. Modeling of Natural Human-Robot Encounters, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008.

10) 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 前田武志, 中津良平, 研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット “Robovie” の開発, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J85-D-I, No.4, pp.380-389, 2002.

11) S. Nishio et al., Robotic Platforms Structuring Information on People and Environment, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008.

12) D. F. Glas et al., Laser Tracking of Human Body Motion Using Adaptive Shape Modeling In Proc. Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp. 602-608. 2007.

13) J. Carletta.: ”Assessing agreement on classification tasks: the kappa statistic,” Computational Linguistics, Vol. 22(2), 249-254, 1996