

# 機能発見のためのヒューマンロボットインタラクション

## Human-Robot Interaction for Function Discovering

小林 一樹\*<sup>1</sup> 山田 誠二\*<sup>1\*2</sup>  
Kazuki KOBAYASHI Seiji YAMADA

\*<sup>1</sup>関西学院大学 Kwansei Gakuin University  
\*<sup>2</sup>国立情報学研究所 National Institute of Informatics

In this paper, we deal with a problem which will be caused by robots with a lot of functions in the near future. The problem is that a user using the robots has to read its thick manuals. We then design an interaction in order for users to discover robot's functions easily without reading manuals. The function discovering is defined as "to find relationship between a user's act and a robot's function." We propose a guideline for designing robot's actions, "action sloping", which allows a robot to express its internal state gradually and also allows a user to discover a robot's function naturally by observing robot's actions. We design a concrete robot's action for a sweeping robot, and the robot changes the velocity of the motion for indicating its internal state according to the distance between the robot and its user. In an experiment, we investigated users' behavior when they interacted with the sweeping robot.

### 1. はじめに

掃除ロボットやペットロボットに代表されるホームロボットが一般家庭に普及しつつある [WR 04]. 特に, FriendlyRobotics 社の自律芝刈りロボット Robomow\*<sup>1</sup> や iRobot 社の自律掃除ロボット Roomba\*<sup>2</sup> など, 娯楽としてではなく, 一般家庭向けの実用ロボットが開発されている. このようなロボットが家庭に普及したとき, 現状の家電製品と同様に, 高機能化・多機能化していくと考えられる. しかし, ロボットが多機能化すると, ユーザビリティの面で弊害が生じる可能性がある. ロボットが様々な機能を持つため, ユーザは膨大なマニュアルに目を通さなくてはならず, それが大きな負担となる.

本研究では, ユーザがマニュアルを読まなくてもロボットとのインタラクションを通して, 自然にロボットの機能を発見するための方法を検討する. ここでは, ユーザの行為とロボットの機能との対応関係の発見を「機能発見」と呼ぶ. つまり, ユーザのある行為がロボットのある機能と対応している状況を考える. よって, ユーザに機能を発見させるために, ロボットはユーザの行為を適切なものに導く必要がある. これまでに, ユーザの行為を促す方法に関連して, ユーザとロボットの親和性を高める方法 [Ono 00], ロボットの状態提示方法に関する研究 [Kobayashi 05b] があるが, 機能発見に関する議論はない.

ユーザがロボットの機能を自然に発見するためには, どのようにしてユーザの行為を適切なものに導き, ロボットの機能を実行させるかが鍵となる. そこで, 本研究では, ユーザの行為に対応するロボットの内部状態を段階的に提示し, ユーザの行為を適切なものに導く「アクションスローピング」というロボットの行動設計方法を提案する. 以下ではアクションスローピングによる機能発見について説明し, ペットロボットを用いた実験計画について述べる.

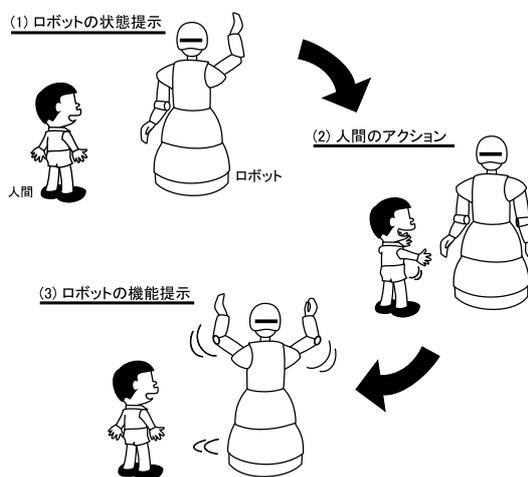


図 1: 機能発見

### 2. アクションスローピングによる機能発見

本節では, ユーザの行為を適切なものに導く手法である「アクションスローピング」を用いた機能発見について説明する.

#### 2.1 ユーザによるロボットの機能発見

ユーザが事前知識なしにロボットの機能を理解する手順として, 以下のような 3 段階で構成されるインタラクションを考える (図 1).

- (1) ロボットの状態提示 ロボットは自身の状態を人間に提示し, ユーザの介入を促す.
- (2) ユーザのアクション ユーザは, (1) のロボットの状態を理解し, 適切な行動をとる.
- (3) ロボットの機能提示 ロボットは, (2) の人間の行動やその結果に対し, 適切な作業を実行することで機能を提示する.

この手順に従うことで, ユーザは自分の行動とロボットの行動の対応関係を発見できると考えられる. この対応関係の発見

連絡先: 小林一樹, 関西学院大学 理工学研究科  
ヒューマンメディア研究センター,  
〒669-1337 兵庫県三田市学園 2 - 1,  
Tel:079-565-8300, E-mail: kby@ksc.kwansei.ac.jp

\*1 <http://www.friendlyrobotics.com/robomow/>

\*2 <http://www.irobot.com/consumer/>

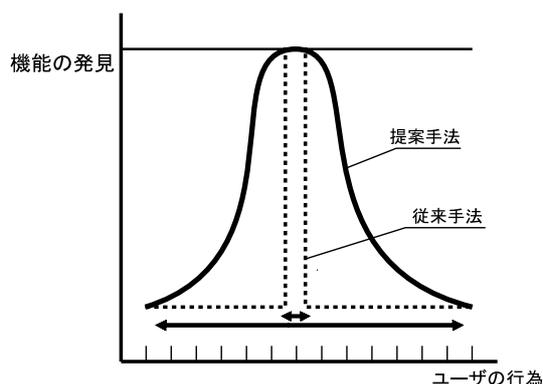


図 2: 機能発見のモデル

を、機能発見 (function discovery) と定義する。

## 2.2 非言語情報による状態提示

本研究では、言語情報を用いてロボットの状態を伝達する方法は、特定の言語に依存し、実装コストも大きいという理由から、非言語情報を用いる。非言語情報によって確実な情報伝達が可能であるかという問題があるが、非言語コミュニケーションによって豊かな情報がやりとりされていることを示す先行研究がある。渡辺ら [渡辺 99] は、うなずきなどの頭の動きが対話において重要な役割を果たしていることを示し、松丸ら [Matsumaru 05] は移動ロボットによる進行方向の提示に、レーザーポインタや目のアニメーションを用いた場合のユーザの対応を評価し、その有効性を示している。非言語情報は人間とロボットの社会的インタラクション [Fong 03] にとって必須の要素であり、ロボットへの教示に用いられている事例 [Kuniyoshi 94, Nicolescu 01] もある。また、ヒューマンエージェントインタラクション [山田 02] の目的である、人間とエージェント (ロボット) 間の自然なインタラクションの実現という意味でも、非言語情報を用いる意義がある。さらに、心の理論も人間同士による非言語コミュニケーションを対象にしている。このように、非言語情報を用いた場合でも、伝達される情報は十分な質を保っていると判断できる。

非言語情報といっても、光の点滅や、ピープ音などを用いた様々な状態表現が考えられるが、本研究ではロボットの動きによる表現を採用する。動きを用いたロボットの状態提示に関する研究 [Kobayashi 05b] では、LED の点滅やピープ音による表現と比較して、ロボットの動きによる表現が有意にユーザの行動を促す結果が示されている。

## 2.3 アクションスローピング

ロボットの機能を発見させるために、ユーザにロボットの機能に対応した行為を行わせる必要がある。ここでは、アクションスローピング (action sloping) による機能発見を提案する。アクションスローピングとは、ロボットのリアクションを一連の段階的なものにする事で、ユーザの行為をある機能に対応したものに導く手法である。図 2 に示すように、従来手法 (点線) では、ある 1 つのユーザの行為がある機能に対応しているため、ユーザが様々な行為を試みたとき、どの行為が実行された機能と関係があったかを把握しにくい。それに対し、アクションスローピング (実線) では、ロボットが関連度に応じて段階的にリアクションをとるため、1 つの機能に対して複数のユーザによる行為を関連付けることができる。このように、ユーザによる行為を傾斜させ、ある機能を発見させるという意

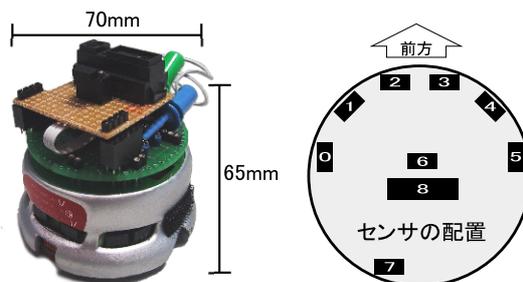


図 3: KheperaII

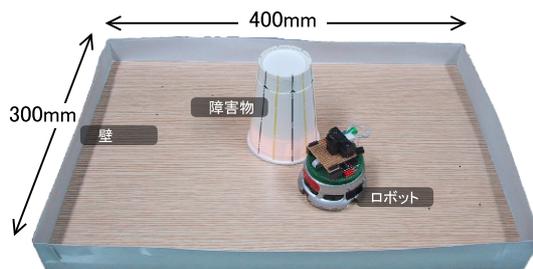


図 4: 実験環境

味で、アクションスローピングと呼ぶ。

## 3. 実験

アクションスローピングの効果を検証するため、予備実験を行った。

### 3.1 ネガ / ポジの提示によるアクションスローピング

アクションスローピングを実現するために、ロボットのリアクションをネガティブなものからポジティブなものに段階的に変化させる方法を採用した。実験では、掃除ロボットとして小型移動ロボット KheperaII (図 3) を用い、図 4 に示す実験環境において、被験者に掃除ロボットの作業に協力するようにと指示し、掃除ロボットが備える機能を発見するかどうかを観察した。

掃除ロボットは、図 5 に示す優先掃除機能を備えており、ロボットの頭上に物体が位置している間、その物体の下の領域を優先的に掃除する [小林 06]。被験者には、このような機能がロボットに実装されていることを一切伝えていない。

優先掃除機能は、ロボットの上部から一定の距離に物体があるときに実行される。それ以外の範囲に物体がある場合は実行されないため、ユーザにとって事前知識なしに優先掃除を実行することは難しい。そこで、この優先掃除を発見させるために、図 6 に示すネガ / ポジの提示によるアクションスローピングを導入する。ロボットは、優先掃除が実行される距離から物体の位置が離れているほどネガティブな行動をとり、実行される範囲に近づくほどポジティブな行動をとる。物体との距離は、ロボットの上部に取り付けられた赤外線センサによって取得される。

ネガ / ポジは、ロボットが左右に回転する速度を変化させることで表現される。ネガティブな状態を表すとき、ロボットは左右に素早い回転を繰り返す。ポジティブな状態を表すとき、ロボットは左右にゆっくりと回転を繰り返す。これは、素早い動きによって故障というネガティブな状態を表現しており、そ

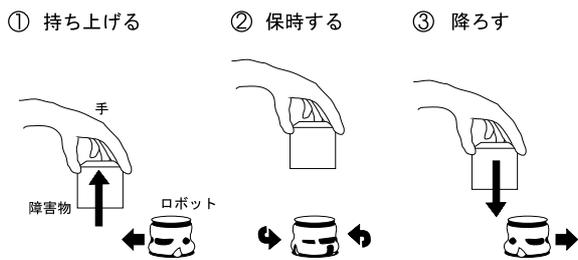


図 5: 優先掃除機能

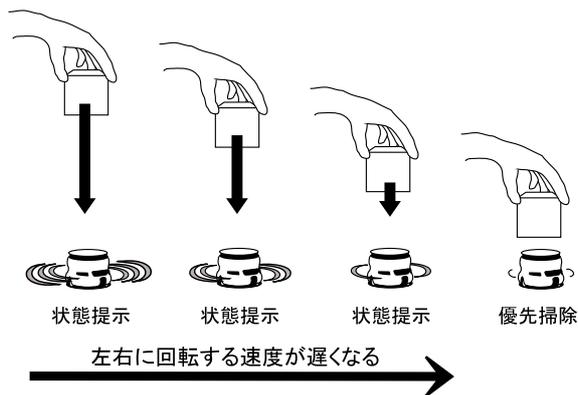


図 6: アクションスローピングによる状態提示

れが修復されるという意味で、ゆっくりな動きによってポジティブな状態を表現している。

### 3.2 ロボットの行動

ロボットは壁でランダムな方向転換を繰り返し、環境中を自律的に移動し、床の掃除を行う。実装が困難であるため、ロボットには実際にゴミを回収する能力はないが、ここでは移動箇所が掃除されるものとみなす。また、ロボットが障害物の周囲に達したとき、その形に沿って移動を行う。これはユーザに物体の移動を促すことを目的とする行為である。障害物の周囲に沿って移動しているとき、ユーザがその障害物を移動すると、ロボットはアクションスローピングによる状態提示を行うため、その場所で停止し、左右の回転を行う。ロボットの行動はサブサンクションアーキテクチャ[Brooks 86]を採用し、図 7 に示す 3 層から構成されるルールにより制御される。詳細は動作実験の報告 [小林 05a] と同様である。

### 3.3 予備実験の結果

被験者は 20 代から 30 代の女性 4 名、男性 3 名である。被験者へは、ロボットが掃除ロボットであること、ゴミを吸い取る機能はないが、移動した箇所が掃除されること、ロボットは壁で反射を繰り返して掃除することを説明し、もし必要であればロボットに協力するように依頼した。

実験では、ネガティブな状態を示すときに素早く左右に回転する動き (A1) のほかに、ネガ/ポジを反転させた、停止状態から段階的に素早く回転する動き (A2) を実装した。また、被験者の反応を検討し、説明を付加するなど、いくつかの条件を試行した。

表 1 に実験の条件とその結果を示すとおり、優先掃除機能を発見した被験者はいなかった。しかし、「ロボットは頭上をみている (B3)」と説明した場合は、機能発見につながると考

#### 第 1 層: 障害物回避

- 前進しているとき、前方に物体があれば停止。
- 後進しているとき、後方に物体があれば停止。

#### 第 2 層: ランダム方向転換と壁沿い

- 前方に物体がないとき、直進。
- 左前方に光る物体があるとき、反時計周りに壁沿い。
- 右前方に光る物体があるとき、時計周りに壁沿い。
- 左前方に物体があるとき、90° から 180° の範囲で右回転。
- 右前方に物体があるとき、90° から 180° の範囲で左回転。

#### 第 3 層: インタラクション

- 壁沿い中に障害物が移動されたとき、状態提示行動。
- 状態提示中に頭上の物体を検出したとき、直進。
- 頭上の物体が離れたとき、一定距離後退して 90° から 180° の間で右回転。
- 頭上の至近距離に物体があるとき、直進。

図 7: 各層の条件と行動

表 1: 実験結果

| ID | 動き | 説明       | 物体をかざした | 発見 |
|----|----|----------|---------|----|
| 1  | A1 |          | ×       | ×  |
| 2  | A1 | B1       | ×       | ×  |
| 3  | A1 | B1,B2    | ×       | ×  |
| 4  | A1 | B1,B2    | ×       | ×  |
| 5  | A1 | B1,B2,B3 |         | ×  |
| 6  | A2 | B1,B2,B3 | ×       | ×  |
| 7  | A2 | B1,B2,B3 |         | ×  |

A1: ネガティブな行動 = 素早く動く

A2: ネガティブな行動 = 停止

B1: ロボットを移動してはいけない

B2: 余程のことでは故障しない

B3: ロボットは頭上を見ている

えられる、物体をロボットの頭上にかざす行為をした。

## 4. 考察

### 4.1 被験者の反応に関して

実験において、優先掃除機能を発見した被験者は一人もいなかった。これは、被験者がロボットに物体の下を優先的に掃除させることを思いつく前に、ロボットが状態提示をしたことに起因する可能性がある。ユーザは、より便利な機能や必要な機能など、明確な目的をもって機器を操作する場合があるが、実験ではロボットがあらかじめ動作した状態でインタラクションを行っているため、被験者は受け身の状態になっていると考えられる。

実験では、ほとんど被験者に対して「ロボットは余程のことでは故障しない (B2)」という説明を行った。これは、「ロボットを移動してはいけない (B1)」という条件下では、被験者は状態提示を繰り返すだけのロボットに対して、何をしても良いかわからず、故障したと思い実験を中断した例があったためである。しかし、このような説明を行うことは、機能発見のインタラクションとして望ましくない。ロボットが故障したと勘違いさせる設計は、ユーザを不安にさせ、多くのユーザはそこでインタラクションを中断すると考えられる。

また、被験者に「ロボットは上を見ている (B3)」と説明した場合は、3 人中 2 人が物体をロボットの頭上に位置させている。この説明は、ロボットのセンサを可視化することで対処可能である。「ロボットは上を見ている」と説明されていない被験者は、物体をロボットの側面に近づけたり遠ざけたりす

る行為を行うことが観察された。これは、ロボットが自律的に壁で反射を繰り返すため、「側面を見ている」と理解した結果だと考えられる。よって、ロボットが頭上の状態で自律的な行動をとるか、外観を工夫して側面と上面とで外界をセンシングしていることを示せばよいと考えられる。しかし、上記のように説明した場合でも、優先掃除機能の発見には至っていない。物体をロボットの頭上で維持するという行為自体が非常に思い付きにくく、困難な課題である可能性がある。被験者の多くは、物体を水平方向に移動することはあっても、上下方向に移動することは観察されなかった。よって、ロボットの上面を中心に、広い範囲をセンシングして、その距離に応じてリアクションをとることで改善できると考えられる。

今回の予備実験では、ロボットにネガティブ/ポジティブを表現させることでユーザの行為を導こうとしたが、内部状態を表現する方法を他のものに変更したり、複数の方法を組み合わせることでユーザにとってより理解しやすいものになると考えられる。

#### 4.2 複数の機能の実装

動作実験においても、計画中の被験者実験においても、ロボットに実装されている機能は「優先掃除機能」の1つのみである。ユーザによる機能発見は、多くの機能が実装され、マニュアルを読んでも全機能の把握が困難な状況において本来の意味を持つ解決方法である。よって、現在、複数の機能を持つロボットの開発を計画中である。ロボット機能の実装は、ハードウェアに依存する部分が大きいため、KheperaIIではなく、SONYのAIBOを使用した実験を準備している。赤外線距離センサに代わり、AIBOのCMOSカメラなどを用いることで、より広い範囲を一度にセンシングできるため、アクションスローピングと組み合わせることで、ユーザによる機能発見がより容易になると考えられる。

また、今回の実験は距離に応じて機能が実行されるというものであったが、距離に限らず、接触や音声なども視野に入れたアクションスローピングの実装が望まれる。

#### 5. まとめ

本研究では、家庭用ロボットが多機能化したとき、それらの機能を把握し理解するユーザの負担が大きくなる問題に着目し、ユーザがマニュアルを読まずに、自然にロボットの機能を発見するインタラクション設計を行った。ユーザが自然にロボットの機能を発見する方法として、ユーザの行為とそれに対応するロボットの機能との対応関係を明確にするアプローチをとり、ロボットの内部状態を段階的に提示することで機能を発見させやすくするアクションスローピングというロボットの行動設計方法を提案した。具体的なロボットの行動として、ユーザとロボットとの距離に応じて、ロボットの状態提示の速度を変化させるという行動を設計し、小型掃除ロボットに実装した。さらに、予備実験を実施し、被験者が掃除ロボットの機能を発見できるかを調査した。実験により、いくつかの問題点が明らかになったが、他の実装による提案手法の調査計画を進めている。

#### 参考文献

[Brooks 86] Brooks, R. A.: A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 2, No. 1, pp. 14-23 (1986)

[Fong 03] Fong, T. W., Nourbakhsh, I., and Dautenhahn, K.: A survey of socially interactive robots, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 42, No. 3-4, pp. 143-166 (2003)

[小林 05a] 小林 一樹, 山田 誠二: ロボットが持つ機能の発見を促進するインタラクション設計, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2005 (JAWS2005), pp. 561-567 (2005)

[Kobayashi 05b] Kobayashi, K. and Yamada, S.: Informing a User of Robot's Mind by Actions, in *Proc. of the third International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems* (2005)

[小林 06] 小林 一樹, 山田 誠二: 行為に埋め込まれたコマンドによる人間とロボットの協調, 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 63-72 (2006)

[Kuniyoshi 94] Kuniyoshi, Y., Inaba, M., and Inoue, H.: Learning by watching: extracting reusable task knowledge from visual observation of human performance, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 6, pp. 799-822 (1994)

[Matsumaru 05] Matsumaru, T., Iwase, K., Akiyama, K., Kusada, T., and Ito, T.: Mobile Robot with Eyeball Expression as the Preliminary-Announcement and Display of the Robot's Following Motion, *Autonomous Robots*, Vol. 18, No. 2, pp. 231-246 (2005)

[Nicolescu 01] Nicolescu, M. and Mataric, M.: Learning and interacting in human-robot domains, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, Vol. 31, No. 5, pp. 419-430 (2001)

[Ono 00] Ono, T., Imai, M., and Nakatsu, R.: Reading a Robot's Mind: A Model of Utterance Understanding based on the Theory of Mind Mechanism, *International Journal of Advanced Robotics*, Vol. 14, No. 4, pp. 311-326 (2000)

[山田 02] 山田 誠二, 角所 考: 適応としてのHAI, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 6, pp. 658-664 (2002)

[渡辺 99] 渡辺 富夫, 大久保 雅史: 身体的コミュニケーション解析のためのバーチャルコミュニケーションシステム, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 2, pp. 670-676 (1999)

[WR 04] *World Robotics 2004 - Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment*, Palais des Nations (2004)