

アクションスローピングによるロボットの気づきやすい機能の設計

小林 一樹[†] 北村 泰彦^{††} 山田 誠二^{†††}

[†] 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

^{††} 関西学院大学 理工学部 情報科学科

〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2-1

^{†††} 国立情報学研究所

〒 101-8430 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2

E-mail: [†]kby@ksc.kwansei.ac.jp, ^{††}ykitamura@ksc.kwansei.ac.jp, ^{†††}seiji@nii.ac.jp

あらまし 家庭用ロボットが多機能化したとき、ユーザはそれらの機能を把握し理解するために、マニュアルを読むことに多くの労力を費やすことになるだろう。もし、ユーザがマニュアルを読まずに、自然にロボットの機能に気づくことができれば、負担の軽減や作業効率の向上につながる。本研究では、マニュアルを読まずに使えるロボットの設計方法として、アクションスローピングを提案する。アクションスローピングとは、ロボットのリアクション（フィードバック）を、ユーザの行為に応じて段階的に変化させ、ユーザの行為を機能の発見へと導く手法である。実験では、ロボットのセンサに1秒間接触し続けたときに実行される機能（簡単な動作）を見つける課題を設定し、実験参加者が機能を見つけるまでの時間と行動を記録した。アクションスローピングの有無による違いを分析したところ、発見するまでの時間に関して、提案手法の有効性を示唆する結果を得た。また、参加者の行動に関しては、アクションスローピングが実装されていないセンサに対する接触継続時間が増加するという現象が観察され、フィードバックの実装を検討する上で重要なデータを得た。

キーワード ヒューマンロボットインタラクション、機能発見、ロボットデザイン

Action Sloping as a Way for Users to Notice a Robot's Function

Kazuki KOBAYASHI[†], Yasuhiko KITAMURA^{††}, and Seiji YAMADA^{†††}

[†] Graduate School of Science and Technology, Research Center for Human Media, Kwansei Gakuin University
2-1 Gakuen, Sanda, Hyogo, 669-1377, Japan

^{††} Department of Informatics, School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University
2-1 Gakuen, Sanda, Hyogo, 669-1377, Japan

^{†††} National Institute of Informatics
2-1-2 Hitotsubashi, Chiyoda, Tokyo, 101-8430, Japan

E-mail: [†]kby@ksc.kwansei.ac.jp, ^{††}ykitamura@ksc.kwansei.ac.jp, ^{†††}seiji@nii.ac.jp

Abstract This paper deals with the problem that will arise in the near future from robots with multiple functions. Users will have to read thick operation manuals of them. If users can use robots without reading manuals, it will improve the efficiency of tasks. In this paper, we propose “Action Sloping” as a way for users to notice a robot’s function. It provides gradual feedback for users. In the experiments, we made three kind of behavior in a dog like robot according to Action Sloping, and participants tried to find a robot’s function. The analysis based on measuring latencies of their finding behavior have showed the difference between a group of Action Sloping and the control group. In addition we have found that durations of touching in the group significantly differ among the location of sensors on the robot.

Key words Human-Robot Interaction, Function Awareness, Robot Design

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 [1]。特に、FriendlyRobotics 社の自律芝刈りロボット Robomow^(注1) や iRobot 社の自律掃除ロボット Roomba^(注2) 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。

これまで、人工物設計に関する研究として、ノーマン [2] が提案するアフォーダンス [3] を利用した人工物の設計方法、サッチマン [4] による、機械に対する人間の行動特性に関する研究、コンピュータをメディアとして考えたときの人間の自動的な対人的反応に関する研究 [5], [6] などがある。また、より具体的なものでは、ユーザに人工物の状態を知らせる報知音 [7] やサイン音 [8] の研究があり、JIS:S0013 [9] では家電製品の報知音が規格化されている。また、ロボットの設計に関しては、ユーザとロボットの親和性を高める方法 [10]、人間の自然な行為によってロボットを制御する方法 [11]、ロボットの状態提示方法に関する研究 [12] がある。しかし、これらの研究では、ユーザにとって未知の機能に気づかせる方法についての議論は行われていない。

ユーザがマニュアルを読まなくても、使用しているうちにロボットの機能に自然に気づき、それを使いこなすことができれば、負担の軽減や作業効率の向上につながる。そこで、本研究では、機能の気づきやすさに焦点を当て、ロボットによるユーザへのフィードバック方法と、機能の気づきやすさの関係について調査を行う。ここでは、ユーザの行為に応じてフィードバックを変化させるアクションスローピングという手法を提案し、犬型ロボットを用いた実験によって有効性を検証する。

2. アクションスローピングによる機能発見

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。ここで前提としているのは、ロボットから人間に与える情報はノンバーバル情報のみという点である。ロボットが音声や表示装置によってバーバル情報を提示することは可能であるが、それではマニュアルを読むという負担を軽減していることにはならない。ここでは、図 1 に示すように、ロボットからのノンバーバル情報の提示とユーザの行為、ロボットの行為を繰り返すことで、ユーザは自分の行為とロボットの行為（機能の実行）の対応関係を理解することが可能だと考えている。このような対応関係の発見を、機能発見 (Function Awareness) と呼ぶ。

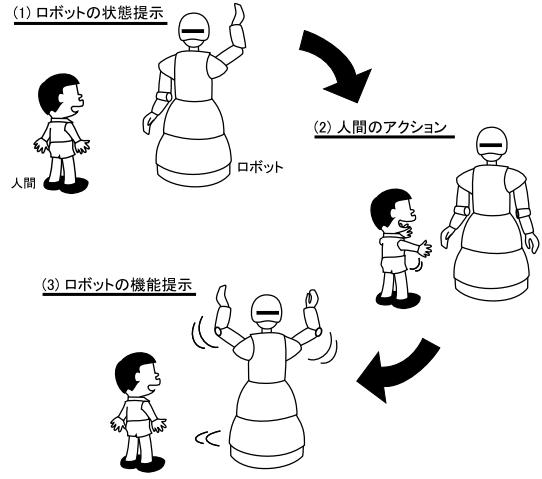


図 1 機能発見

Fig. 1 Function Awareness.

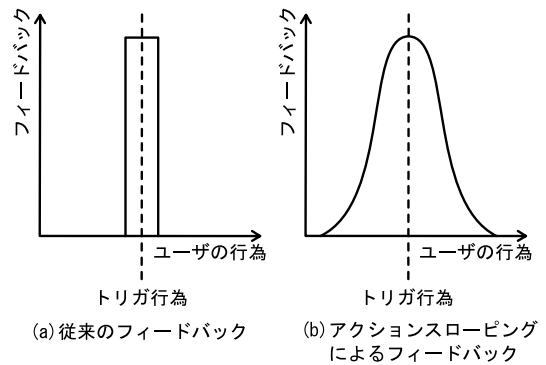


図 2 フィードバック方法の比較

Fig. 2 Feedback methods.

提案するアクションスローピング (Action Sloping) によるフィードバック方法は、ユーザの行為に応じて、ロボットが表出する情報を段階的に変化させるものである。図 2(a) に示すように、従来のフィードバック方法では、ロボットの機能を実行させるユーザの行為（以降、トリガ行為と呼ぶ）が行われたとき、ユーザはロボットの機能の実行を観察することで、対応関係を発見する。つまり、トリガ行為以外の行為をした場合にはフィードバックが得られず、トリガ行為が行われたときにはじめて機能の存在に気づく。それに対し、図 2(b) に示すアクションスローピングによるフィードバックでは、トリガ行為の周辺においてもフィードバックが得られるため、ユーザはロボットとのインタラクションを繰り返すことで、トリガ行為を行いやすくなると考えられる。たとえば、ロボットから一定の距離に近づいたときに実行される機能を実装した場合には、ユーザがロボットに近づくにつれて、ロボットから発せられる音を高くしたり、光を強くすることで、ユーザの行為をトリガ行為（この場合はロボットから一定の距離に近づく）に導くことが可能だと考えられる。

次節では、このアクションスローピングを犬型ロボットに実装し、音、光、動作の 3 つのモダリティにおいて有効性を検証する予備的な実験について述べる。

(注1): <http://www.friendlyrobotics.com/robomow/>

(注2): <http://www.irobot.com/>



図3 SONY AIBO (ERS-7)
Fig.3 SONY AIBO (ERS-7).

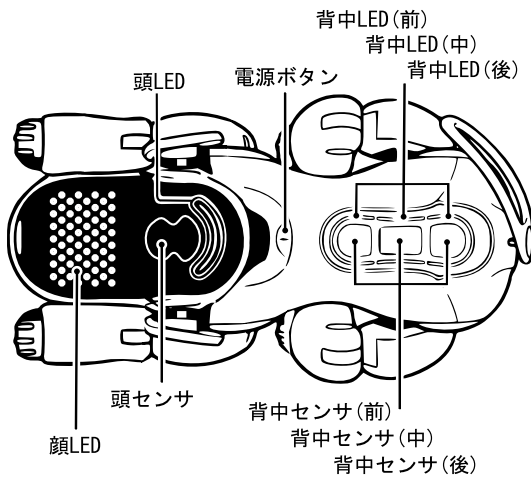


図4 ERS-7のセンサ配置
Fig.4 Sensor arrangement of ERS-7.

3. 実験

実験では、アクションスローピングが実装されたロボットと、実装されていないロボットを実験参加者に使用させ、参加者の振る舞いを比較することで評価を行う。参加者には、ロボットに実装された、ある1つの機能を探索する課題が与えられ、その機能を発見するまでの時間とロボットに対する行為を記録する。アクションスローピングは3種類のモダリティによるものが用意され、アクションスローピングの実装なしとの間で比較される。以下に実験の詳細を示す。

3.1 ロボット

アクションスローピングを実装するロボットとして、図3に示す SONY AIBO ERS-7 (色: 白, 外形寸法: 約幅 180 mm, 高さ 278 mm, 奥行 319 mm, 重量: 約 1.6Kg) を採用した。AIBO は 18 自由度の関節 (足 4 本 × 各 3, 首 × 3, 尻尾 × 2, 口 × 1) を持ち、無線 LAN 通信機能, ビデオカメラ, ステレオマイク, モノラルスピーカ, 赤外線センサ × 3, 加速度センサ, LED ライト × 28, 接触センサ (頭 × 1, 背中 × 3, あご) を備える。各センサ情報は 32 ミリ秒ごとに取得可能である。図4に ERS-7 が備える代表的なセンサとその配置を示す。

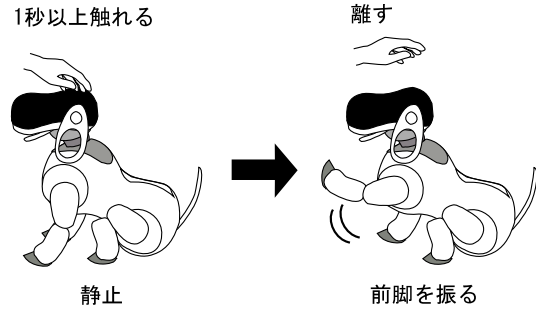


図5 ロボットの機能 (前足を振る行為)
Fig.5 Robot's Function.

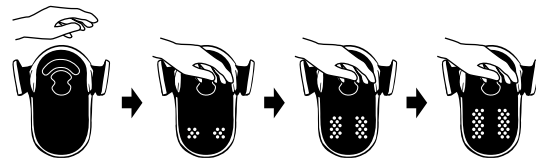


図6 光によるフィードバック
Fig.6 Feedback by LED light.

ロボットの機能として、図5に示す「前足を振る」行為を実装した。この機能は、ユーザがロボットの頭センサ部に1秒以上接触し、離れたときに実行される。よって、実験参加者が行うトリガ行為は「1秒以上接触し、離す」となる。このような操作は、数の限られたボタンを効率的に利用する方法であり、多く携帯電話で「長押し」操作として採用されている。ロボットは、トリガ行為が行われたときのみのこの機能を実行し、それ以外は反応しない。

3.2 アクションスローピング

ロボットの機能の発見を促進するために、アクションスローピングに基づくフィードバック方法を実装した。ここでは、光、音声、動作による3つのモダリティを採用した。ロボットの機能は、頭センサを1秒以上接触あとに実行されるため、頭を触っている時間に比例して変化する行為によって、ユーザへのフィードバックを行う。まず、光フィードバックとして、図6に示すように、顔LEDの点灯面積を1秒の間に4段階増加させる方法を採用した。次に、音声フィードバックとして、1秒間に440Hz(ラ)から880Hz(ラ)まで正弦波の音声を線形に変化させる方法を採用した。この周波数はNHKの時報でも採用されており、聞きとりやすいものと考えた。最後に、動作フィードバックとして、図7に示すように、機能の実行で使用される前足を、1秒間で肩まで上げる動作を採用した。いずれのフィードバック方法も、ユーザが1秒を越えて頭センサに接触している場合、ロボットは最終状態をそのまま継続し、ユーザが1秒未満で頭センサから手を離れた場合、フィードバックはそこで中断され、再度触ったときには最初から実行される。

本実験では、技術的な問題により排除できなかった ERS-7 の既定フィードバックを、アクションスローピングによる各フィードバックに加えて使用している。図4に示すように、頭センサに触れたときに頭LEDが、各背中センサに接触したときにはそれぞれに対応した背中LEDが点灯する。点灯は、接

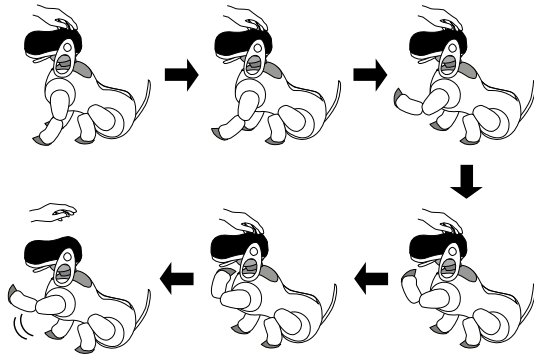


図 7 動作によるフィードバック
Fig. 7 Feedback by motion.

触している間続き、手を離すと消える。頭センサと背中センサは静電容量センサであるため、人間の皮膚が接触したときに反応する。実験では、各アクションスローピングと比較するために、フィードバック無し条件を採用しているが、その場合には、上に述べた既定フィードバックのみが実行される。

3.3 参加者

実験への参加者は 20 歳代の男女 34 名であり、使用するロボットのフィードバック方法に応じて、以下の 4 つのグループにランダムに分けられた。

(1) フィードバック無し条件：男性 10 名、平均年齢 23.4 歳、標準偏差 2.6 歳であり、ロボットを使用した経験がある者は 1 名であった。

(2) 光フィードバック条件：男性 5 名、女性 3 名、平均年齢 23.1 歳、標準偏差 2.2 歳であり、ロボットを使用した経験がある者は 1 名であった。

(3) 動作フィードバック条件：男性 8 名、平均年齢 22.8 歳、標準偏差 1.2 歳であり、ロボットを使用した経験のある者はいなかった。

(4) 音声フィードバック条件：男性 7 名、女性 1 名、平均年齢 21.9 歳、標準偏差 0.6 歳であり、ロボットを使用した経験がある者は 1 名であった。

3.4 実験手順

実験は関西学院大学において、周囲から区切られた実験室内で行われた。1 回に 1 名のみが入室し、ロボットを使用する。ロボットは、椅子に座った状態の参加者に対し、机の上に横向き（頭が左側を向き）に設置された。実験室に案内された参加者は、実験概要を説明されたのち、ロボットを机の上に配置され、注意事項を教示される。参加者への教示内容は、(1) ロボットは自分からは何も行動を開始しない、(2) ロボットは、参加者が何かをしたときにある行動を行う、(3) 何をしたときに、ロボットがどういう行動をするのかを見つけること、(4) ロボットの行動は 1 つだけである、(5) 実験者の合図で実験が開始され、およそ 5 分後の合図で終了される、の 5 項目である。また、制限事項として、(1) ロボットを持ち上げないこと、(2) 強く押したり、部品を取り外さないこと、(3) 関節は固定されているので、無理に曲げないこと、(4) 電源ボタンを押さないこと、の 4 点を説明した。実験者は実験開始の合図を行ったのち、実験

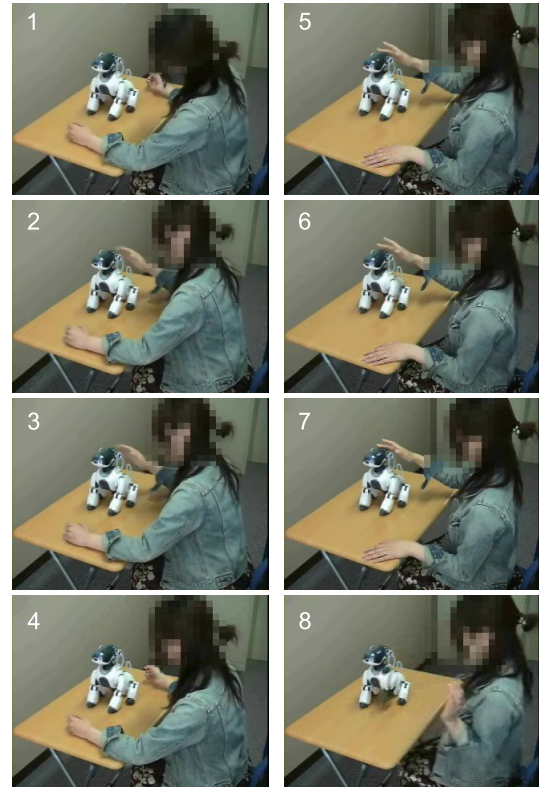


図 8 実験の様子
Fig. 8 Photos of an experiment.

室から退室した。終了の合図は、実験者が実験室に入室すると同時に行った。図 8 に実験の様子を示す。

3.5 実験結果

フィードバック無し条件では 10 人中 4 人が、光フィードバック条件では 8 人中 1 名が制限時間（4 分）以内にロボットの機能を発見することができなかった。動作フィードバック条件と音声フィードバック条件では全員が時間内に機能を発見した。

図 9 に参加者が機能を発見するまでに要した時間の平均を示す。ここでは、参加者が発見したか思わなかったかに関わらず、実験開始からロボットの機能がはじめて実行されるまでの時間を測定した。時間の測定は、ビデオ映像を観察し、参加者がトリガ行為を開始した時刻を記録した。また、制限時間内に機能が発見できなかった参加者のデータは除外した。分散分析の結果、全体に有意な差が認められた ($F_{3,25} = 4.65, p = 0.01$)。HSD 法による多重比較の結果、フィードバック無し-音声間 ($p < 0.05$) と光-音声間 ($p < 0.05$) に有意な差が認められた。これにより、音声フィードバック条件は、フィードバック無し条件と光フィードバック条件に比較して、機能の発見が早くなっていることがわかる。

図 10 に参加者が機能の発見前にロボットに接触した頻度（接触回数/秒）を示す。データは、ロボットが備えているセンサ情報を記録したものである。データには機能を発見できなかった参加者のデータも含まれている。また、実験機器の不備により、光フィードバック条件と動作フィードバック条件において、センサ情報を記録することができなかった。図 10 では音声フィードバック条件とフィードバック無し条件のみの結果を示してい

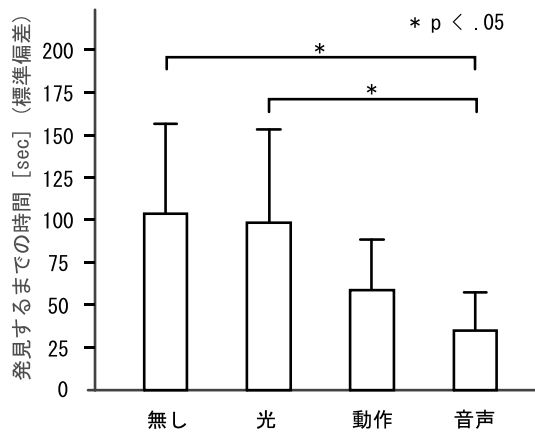


図 9 機能を見出すまでの時間
Fig. 9 Time to find the function.

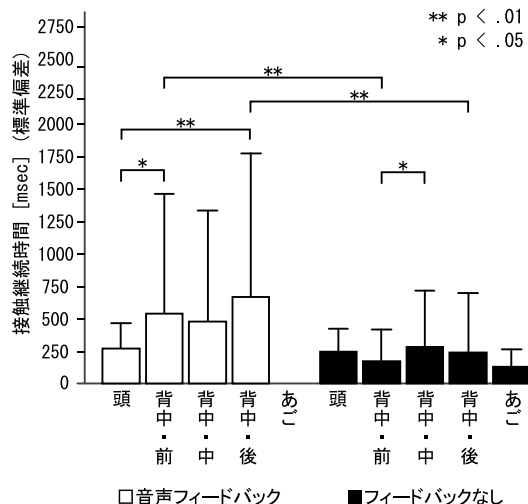


図 11 ロボットへの接触時間
Fig. 11 Duration of touching.

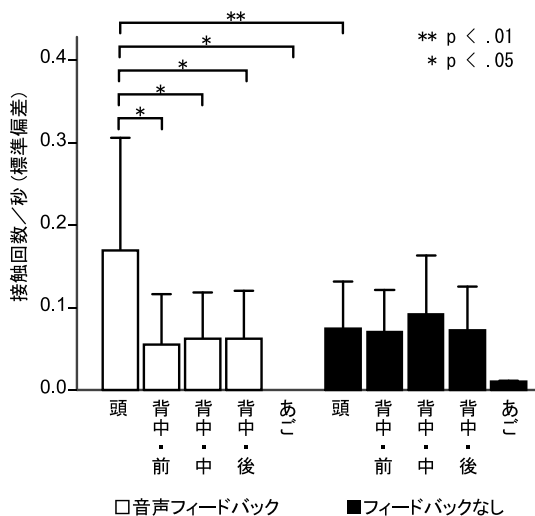


図 10 ロボットへの接触回数
Fig. 10 Frequency of touching.

る。ロボットの部位とフィードバック方法の2つに関して、2要因の分散分析を行った結果、部位の主効果に有意な差が認められ ($F_{4,64} = 2.64, p < 0.05$)、フィードバック方法と部位の交互作用に有意な傾向が認められた ($F_{4,64} = 2.13, p = 0.087$)。単純主効果の検定を行った結果、頭センサに関して、音声フィードバック-フィードバック無し間で有意な差が認められた ($p < 0.01$)。また、音声フィードバックに関して、頭-背中(前)間 ($p < 0.05$)、頭-背中(中)間 ($p < 0.05$)、頭-背中(後)間 ($p < 0.05$)、頭-あご間 ($p < 0.05$) に有意な差が認められた。これにより、音声フィードバックに関して、背中、あごに比較して頭を頻繁に触るのに対し、フィードバックなしでは特定の部位だけを選択的に触っていないことがわかる。

図 11 に参加者が機能の見出し前にロボットに接触したときの継続時間の平均を示す。接触頻度のデータと同様に、ロボットのセンサを情報を記録したデータを用いている。また、機能を見出できなかった参加者のデータを含んでおり、音声フィードバックとフィードバック無し条件のみである。ロボットの部位とフィードバック方法の2つに関して、2要因の分散分析を行った結果、フィードバック方法の主効果 ($F_{1,604} = 25.2, p < 0.01$) と

フィードバック方法と部位の交互作用 ($F_{3,604} = 3.64, p < 0.05$) に有意な差が認められた。単純主効果の検定を行った結果、音声フィードバックに関して、頭-背中(前)間 ($p < 0.05$)、頭-背中(後)間 ($p < 0.01$) に有意な差が認められ、フィードバック無しに関しては、背中(前)-背中(中)間 ($p < 0.05$) に有意な差が認められた。また、音声フィードバックとフィードバック無し間では、背中(前)同士 ($p < 0.01$) と背中(後)同士 ($P < 0.01$) に有意な差が認められた。これにより、音声フィードバックに関しては、頭に接触したときのみ音声が発せられているにもかかわらず、音声を発しない背中を長く触っていることがわかる。また、このような傾向はフィードバック無しの場合では生じていない。

4. 考察

4.1 アクションスローピングの有効性に関して

実験の結果、機能を見出すまでの時間に関して、音声フィードバックが最も早くユーザのトリガ行為を導いていることがわかった。しかし、提案手法であるアクションスローピングの有効性を直接支持している訳ではない。アクションスローピングは、ユーザの行為に応じて段階的に変化させるフィードバック方法であるが、今回の実験では、変化が要因となって機能の見出しに至ったかどうかを示せていない。そのため、少なくとも、音声をフィードバックし、その音声を接触時間に応じて変化させる条件においては、ユーザに機能に気づきやすくする効果が認められるが、その主効果が音声にあるのか、変化にあるのかを特定できていない。今後、詳細な調査を行うことでその要因を特定する必要がある。

4.2 フィードバック方法の違いによる参加者の行為に関して

実験の結果、参加者は、音声フィードバックがある頭センサを頻繁に触っていたことがわかった。フィードバックなし条件の頭センサと比較した場合でも有意な差があるため、部位に依存しているというよりは、音声フィードバックの有無が影響していると考えられる。これは、フィードバックの重要性を指摘

する先行研究 [2] と一致する結果である。しかし、今回の実験では、機能を発見するためには、接触継続時間が重要である。そこで、接触継続時間をみてみると、音声フィードバック条件において、頭センサに対する接触は、背中センサよりも有意に短いことがわかる。さらに、音声フィードバック条件での背中への接触継続時間は、フィードバックなし条件での背中への接触よりも有意に長い。つまり、部位（なでやすい、触りやすいなど）が継続時間を長くする要因ではなく、音声フィードバックが要因である可能性が高い。背中センサに触れたときには音声フィードバックがないにもかかわらず、接触継続時間が長くなっており、興味深い。分析結果は機能発見前のものであるため、この時点で参加者は長く触ることと、ロボットが機能を実行することに関しては因果関係を知らない。この結果は、他の部位に接触継続時間に対するフィードバックが実装されていれば、当該のセンサにフィードバックを実装しなくても、長く接触する可能が高く、そのときに別の機能に気づきやすくてできることを示唆している。このような知見は、ロボットを設計する上で重要な役割を果たすと考えられる。今後、周波数を変化させない音声フィードバックと比較したり、機能を発見するという課題に特有の現象であるかなどを調査し、要因を特定することが望まれる。

4.3 実験の制約と今後の課題

この実験結果は、実験時の制約のもとで示されたことに注意する必要がある。まず、実験参加者にロボットを持ち上げてはならないという制約を課している点が問題である。この制約は、ロボットを乱暴に扱われないようにする目的であったが、実際にこのサイズのロボットを使用する場合には、持ち上げるという行為が自然に生じる可能性が高い。たとえば、頻繁にロボットを持ち上げるのであれば、把持しやすい箇所が頻繁に接触されることが容易に予想できる。

参加者には、「何をしたらロボットがどういう行動をするのかを発見せよ」と教示している。そのため、観察された行為は、ある作業中に特定の機能を探している状況というよりは、ロボットと遊んでいるような状況に近い。今回の実験では、あるときは人間の作業を支援し、あるときは人間と遊ぶといったロボットの使用方法を前提としている。よって、作業中を想定した、特定の機能を探す状況下での実験も行うことで、より汎用性を高めることができる。

また、参加者に「ロボットの行動は1つだけである」という教示をしているが、現実的なロボットを想定したときのギャップが大きい。本来はロボットに多くの機能が実装された状況を設定するのが望ましいが、本研究のような機能の発見に関する調査が行われていないため、シンプル設定にした。今後、多機能なロボットを用いた実験が望まれる。

さらに、分析対象とした参加者の行為は、ロボットのセンサによって取得できるものに限られていた。記録したビデオ映像を分析することで、他の部位に対する接触など、より詳細なデータを得ることが可能である。しかし、より詳細な分析を行うには、人間の行為を効率的に記録する技術が不可欠であり、ロボット全身に接触センサを配置するなどの工夫が必要である。

5. ま と め

ユーザがマニュアルを読まずに、自然にロボットの機能に気づくことができれば、負担の軽減や作業効率の向上につながり有益である。そのためのロボットの設計方法として、アクションスローピングを提案した。アクションスローピングは、ロボットのフィードバックを、ユーザの行為に応じて段階的に変化させ、ユーザの行為を機能の発見へと導く手法である。実験では、ロボットのセンサに1秒間接触し続けたときに実行される機能（簡単な動作）を見つける課題を設定し、実験参加者が機能を見つけるまでの時間と行動を記録した。光、音声、動作の3つのモダリティにおいてアクションスローピングを犬型ロボットに実装し、アクションスローピングを実装しない場合との比較を行った。実験の結果、音声を聞いたものが最も発見するまでの時間が早くなり、提案手法の有効性を示唆する結果を得た。また、参加者の行動に関しては、音声によるアクションスローピングにおいて、音声で再生されないセンサに対する接触継続時間が増加するという現象が観察され、ロボットを設計する上で有益なデータを得た。今後、実験データの詳細な分析を行うとともに、体系的な調査を実施し、マニュアルフリーロボットの設計指針を構築する予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金・若手研究(スタートアップ)(課題番号:18800067)からの研究助成を受けました。ここに謝意を記します。

文 献

- [1] United Nations Economic Commission for Europe and International Federation of Robotics: “World Robotics 2004 – Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment”, Palais des Nations (2004).
- [2] D. A. Norman: “The Psychology of Everyday Things”, Basic Books (1988).
- [3] J. J. Gibson: “The Ecological Approach to Visual Perception”, Lawrence Erlbaum Associates Inc. (1979).
- [4] L. A. Suchman: “Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication”, Cambridge University Press (1987).
- [5] B. Reeves and C. Nass: “The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places”, Cambridge University Press (1996).
- [6] 竹内, 片桐: “人-コンピュータ間の社会的インタラクションとその文化依存性—互惠性に基づく対人的反応—”, 認知科学, 5, 1, pp. 26–38 (1998).
- [7] 和氣, 上窪, 福住, 旭, 広明: “音響インタフェース設計手法” 報知音多次元設計手法” 確立への一考察”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J82-D-II, 10, pp. 1721–1728 (1999).
- [8] 山内, 岩宮: “振幅変調音の擬音語表現とサイン音としての機能イメージ”, 日本音響学会誌, 60, 7, pp. 358–367 (2004).
- [9] 日本規格協会 (編): “JIS ハンドブック高齢者・障害者等 アクセシブル・デザイン”, 日本規格協会 (2005).
- [10] T. Ono, M. Imai and R. Nakatsu: “Reading a robot’s mind: A model of utterance understanding based on the theory of mind mechanism”, International Journal of Advanced Robotics, 14, 4, pp. 311–326 (2000).
- [11] 小林, 山田: “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, 21, 1, pp. 63–72 (2006).
- [12] 小林, 山田: “擬人化したモーションによるロボットのマインド表出”, 人工知能学会論文誌, 21, 4, pp. 380–387 (2006).