

RoboClock: 壁時計型ロボットを用いた インタクション手法

今泉 友宏^{*1} 鈴木 陽亮^{*1} 沖 真帆^{*1} 塚田 浩二^{*1}

RoboClock: Interaction technique for Clock-type robot on the wall

Tomohiro Imaizumi^{*1}, Yosuke Suzuki^{*1} Maho Oki^{*1} Koji Tsukada^{*1}

Abstract – In recent years, domestic robots have become gradually popular. There are variety of domestic robots, such as supporting housework (e. g., cleaning) or communicating with people for entertainment. However, people sometimes have difficulty to use these domestic robots in home, since they requires "flat" floors. For example, a user often needs to clean up obstacles on the floor before he/she uses a cleaning robot. In this study, we focused on the walls as spaces for domestic robots, and we propose a clock-type robot, "RoboClock", that presents various information with a visual display and physical movements on the wall.

Keywords : Robot, wall clock, home, display

1. はじめに

近年, iRobot 社の Roomba¹ や SoftBank 社の Pepper など家庭用ロボットの開発が進み, 一般家庭にも徐々に普及しつつある. そこでは, 掃除などの家事を支援したり, 人とコミュニケーションを取って心を癒したりと, 多彩な機能/効果を持つロボットが登場している. 一方, 多くのロボットは床面を移動するため, 日本の都市部のように狭い家屋が多い状況では, 使い勝手が悪い場合が多い. 例えば, 前述の掃除ロボット Roomba を例にすると, ちょっとした段差やケーブルに引っかかってしまうため, 「掃除ロボットののために予め掃除をする」といった状況も多くみられる (図 1). 特に日本では和室を中心として床に直接モノを置くことが多いため, ロボットの動作範囲が限られやすい. そこで, 本研究では, ロボットを設置/活用する場所として壁面に着目する. 多くの家庭では壁面は床のようにモノが配置されておらず, ロボットの活動空間として扱いやすいと考えた. 次に, 壁面にふさわしいロボットの形状について検討する. 家庭内に導入することを考えると, 既存の日用品の形状や機能を拡張することで導入の敷居を下げ, 活用場面を明確化できると考える. そこで, 多くの家庭の壁面に設置される壁時計に着目する. 壁時計は長い歴史を持つが, 置時計や腕時計と比べると機能的にはあまり進化しておらず, コンピュータやロボット技術で拡張できる余地が大きいと考えた. こうした理由から, 本研究では, 壁面を移動可能な壁時計型ロボット「RoboClock」を提案し,

壁面上の位置を活用したインタクション手法や応用事例について検討する.



図 1 iRobot 社の Roomba の利用例. 細かな障害物が多い環境だと不具合が起きやすい.

Fig. 1 Cleaning robots (e.g., iRobot Roomba) often have problems with obstacles on the floor.

2. 関連研究

近年, 新しい家庭用ロボットの活用や, ロボットの操作インタフェースに関する研究は多数行われている. ここでは, それらの研究事例を紹介し, 本研究との差分を述べる.

2.1 家庭用ロボットの活用

柔軟素材を活用した新しいロボットの提案としては, PINOCKY, Calmate などがある. PINOCKY^[1] は, ぬいぐるみなど手や足に取り付けることで, ぬいぐるみを動かすことのできるデバイスである. リング型をしており, アクセサリー感覚でぬいぐるみに取り付けることができる. Calmate^[2] は, スマートフォンやアバターを活用して, カップル間における負の感情を共有し, 緩和を目的としたコミュニケーションシステム

^{*1}: 公立はこだて未来大学 情報アーキテクチャ学科

^{*1}: Department of Media Architecture, Future University Hakodate

1: <http://www.irobot-jp.com/>

である。家庭内でロボットを活用した提案としては、Cooky, Foldy, IteMinder などがある。Cooky^[3] は、タッチパネルの GUI に手順を入力することでユーザとロボットが平行して作業を行う事ができるシステムである。キッチンでロボットがユーザと同時に走り回り作業を行う。Foldy^[4] は、ユーザが服のたたみ方を入力する GUI を使いたたたみ方を指示すると、ロボットがそれを実現するというものである。IteMinder^[5] は、タグ付けされた物を 4 輪ロボットが部屋内を走り回り、部屋内のどこにあるのかをデータベース化する。ユーザはその情報をいつでも閲覧することができ、場所の把握が可能になる。

これらのロボットの多くは床面や机上での動作を対象とするものだが、本研究では壁面を対象とし、壁時計型のロボットを提案する。

2.2 ロボットの操作インタフェース

ロボットへの移動経路指示手法として、直接ユーザが経路を指定しているものとして Sketch and Run, Laser Gestures が挙げられる。Sketch and Run^[6] は、ロボットの移動経路の指示をディスプレイ上に直接書き込むことで行うものである。ディスプレイ上には部屋の俯瞰画面が表示されており、リアルタイムで映像が再生されている。Laser Gestures^[7] は、レーザーポインタを使用し、部屋にあるものを選択して経路を描くことでロボットがその経路通りに選択したものを運んでくれるというシステムである。

本研究では、主に自律的に移動するロボットを想定しているが、壁面を移動するロボットとのインタラクション技法を探求する上で、これらの既存研究のアプローチを参考にしていきたい。

3. RoboClock

RoboClock は、壁面を移動可能な壁時計型ロボットであり、壁時計に見立てたスマートフォン端末と、壁面移動型ロボット、及びグラデーションパターンを印刷した壁紙から構成される (図 2)。壁面移動型ロボットは、磁石により金属製の壁面に張り付きながら、前後に移動/回転を行うことができる。また、スマートフォン端末と連携するための無線通信機能や、壁面の色を読み取るセンサ機能等を備える。スマートフォン端末上では独自に製作したアプリが稼働しており、通常の時計表示/アラーム機能に加えて、無線経由で壁面移動型ロボット制御することができる。また、用途に応じてアプリを切り替えることで、様々な応用に対応できる。壁紙は、RoboClock を利用する壁面に貼り付けて、絶対位置の検出に利用する。たとえば、図 3 のようなグレースケールのグラデーションパターンとフォトトリフレクタを利用すれば一次元の位置情報を

取得でき、フルカラーのグラデーションパターンとカラーセンサを利用すれば二次元の位置情報を取得できる。このように、壁面上での現在位置を把握しつつ、自由に移動可能なロボットをスマートフォンから制御することで、時間情報やネットワーク上の情報 (例:SNS やニュースのアップデート)、及び壁面上の位置情報等に基づいてインタラクティブに動作する壁時計型ロボットを構築する。



図 2 RoboClock の外観。グラデーションパターンの壁紙を張り付けた壁面上で動作する。

Fig. 2 The appearance of RoboClock. Working on a wall with gradation pattern.

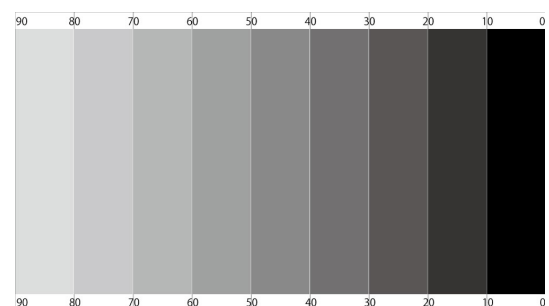


図 3 壁紙に使用したグラデーションパターン

Fig. 3 Gradation pattern used for wallpaper.

4. 実装

本章では、RoboClock のハードウェアとソフトウェアについて説明する。

4.1 ハードウェア

RoboClock のハードウェアは、スマートフォン端末と壁面移動型ロボット、及び壁紙などの周辺部から構成される。プロトタイプの外観を図 4 に示す。まず、スマートフォン端末としては Android OS 4.1.2 を搭載する SONY 社の Xperia AX を利用する。壁面移動

ロボットとしては、市販のキットである「WallBot²」をベースに実装することとした。WallBot は、裏面中央に取り付けられた磁石で金属製の壁面に張り付きつつ、2つのモーターによって左右の車輪を駆動し、前後移動や回転を行うことができる。WallBot の制御は、mbed で行う。mbed は Web ブラウザ上で動作するオンラインコンパイラや統合開発環境を備えたユニークなマイコンであり、C++ライクな言語で制御することができる。一般的な Arduino やそのベースとなる Atmel 社の AVR マイコンと比較するとパワフルでネットワーク周りに強いのが特徴であり、Ethernet 機能を内蔵していたり、パソコン用の Wi-Fi / Bluetooth の USB ドングルを手軽に扱うことができる。本研究では、mbed に独自のプログラムを書き込むことで、Android 端末と無線通信しつつ、WallBot を制御している。無線通信には、今回は Bluetooth を選択し、USB ドングルとしては、iBUFFARO 社の BSBT4D09BK を利用した。また、RoboClock では壁面にグラデーションパターンを貼り付け、ロボット背面のセンサで色を読み取ることで、壁面上の絶対位置を検出する。今回は、モノクロのグラデーションパターンと WallBot に標準搭載されるフォトリフレクタを利用することにした。この組み合わせの場合、一軸の位置情報(上下または左右)しか取得できないという制約はあるが、用途に応じてグラデーションの向きやデザインを変更することで、ある程度実用的な位置検出手法として利用できると考えた。なお、Android 端末は WallBot の上部を覆うように配置し、時計のような外観となるように配慮した。ここでは、スパーサーとレーザーカッターで切断したアクリル板、及び 3D プリンタで出力した固定具を組み合わせることで、端末を容易に取り外しでき、またある程度サイズの異なる端末にも対応できる構造とした(図5)。

4.2 ソフトウェア

ここでは、mbed と Android アプリの動作の流れを説明する。まず mbed では、(1)Bluetooth 経由で Android アプリから送られるコマンドを受けとり、WallBot の「前進」「後退」「回転」等を制御する、(2)フォトリフレクタのアナログ入力値を Bluetooth 経由で送信する、といったシンプルな入出力を行う。Android アプリでは、(1)Bluetooth 経由で移動の指示情報をコマンド送信し、(2)mbed から受け取ったフォトリフレクタの入力値に基づいて位置判別する。加えて、アプリの用途に応じた機能を実装する。たとえば、基本的な壁時計アプリでは、(3)現在時刻の表示、(4)アラーム提示などを行う。また、Android 端末の加速度セン

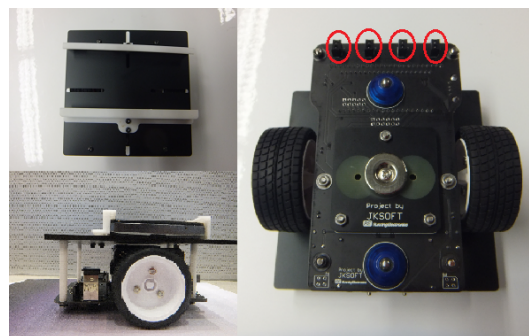


図4 プロトタイプの三面図。下面にはフォトリフレクタが4個搭載されており、壁面上の位置認識に利用する。

Fig. 4 The appearance of the prototype. Four photo-reflectors are attached on the bottom.

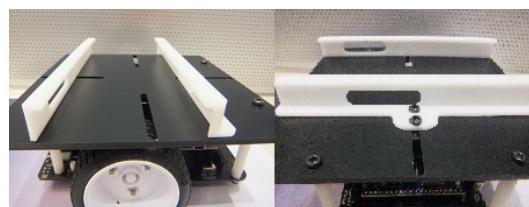


図5 プロトタイプ上部に搭載した固定具の外観。左右に固定具の幅を調整でき、様々なサイズの Android 端末を固定できる。

Fig. 5 The appearance of the parts to fix various Android smartphones.

サを利用することで、RoboClock の壁面での傾きや動きを検知し、移動方向の補正や画面表示の変更に活用する。目覚まし時計を想定したアラーム機能では、枕の側の壁面の下部でアラームを鳴らすが、スヌーズを使用する度に、少しずつ壁を上がり、ユーザが寝床から起き上がらないとアラームを止めることができなくなるような機能を実現できる(図6)。このように寝室のベット上部の壁面のスペースを活用した壁時計ロボットを用いることで、新しい起床支援手法を提案できると考える。

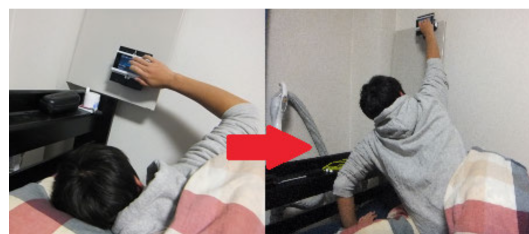


図6 アラーム機能の使用例。スヌーズ機能を使用する度に壁面を登り、ユーザが起き上がらないとアラームを止められなくなる。

Fig. 6 Example of the alarm-clock application. When a user stops the alarm, the RoboClock climbs the wall each time to make the user physically wake up.

5. 性能評価実験

「RoboClock」の基礎的な性能を評価するために、「フォトリフレクタの性能評価」と「駆動部制御の性能評価」の2つの実験を行った。それぞれについて、目的／手法／結果を述べ、考察する。

5.1 フォトリフレクタの性能評価

ここでは、WallBot に標準搭載されているフォトリフレクタが、特定のグラデーションを安定して読み込むことができるかどうかの性能評価を行う。

5.1.1 方法

印刷したグラデーションパターンに 10cm ごとに目盛を振り、その目盛に合わせ、計 10 箇所フォトリフレクタの値を取得する。また、環境光の影響を考慮し、外光のみの当たる場所、蛍光灯のみの当たる場所、暗所の3つの場合で値の取得を行う。それぞれ壁面にグラデーションパターンの0が上に来るよう縦に配置した。値は、同じ場所で複数回取得し、グラデーションパターンの0(黒い部分)の位置から90(白い部分)の位置へ10cm刻みで値を計測し、そこから平均値を割り出す。本検証では、1箇所につき25回分の値を取得し、平均値を割り出すこととした。また、本検証ではより細かく値を取得するため、実装の章で説明したもののよりなめらかに変化するグラデーションパターンを使用した(図7)。

5.1.2 結果と考察

実験結果について、各地点における平均値をグラフ化したものを図8に示す。次に、「フォトリフレクタの正確性」の観点から考察する。

フォトリフレクタの正確性

本検証では、グラデーションパターンの0(黒い部分)の位置から90(白い部分)の位置へ10cm刻みで値を計測した。そのため、理論的には検出値は徐々に小さくなり、グラフは右肩下がりとなることが予想される。外光あり／蛍光灯のみ／暗所の3箇所での比較結果を示す。まず、外光のある場所では、フォトリフレクタの値はグラデーションパターンの目盛30以降急激に値が低下し、予想値とは大きく異なる結果となった。一方、同じ場所で測定した25回の値の中ではばらつきは非常に小さく、同一箇所では安定して値を読み取ることができた。次に、蛍光灯のみの場合には、おおよそ右肩下がりとなっているが、目盛60／80の辺りで例外的な値が見られた。これは、蛍光灯の安定した明かりのみの場所であっても、明かりのあたり方や影によって若干の誤差が生まれてしまうためだと考えられる。最後に、明かりの無い暗所で値の検出を行った場合は、値が徐々に小さくなっており、完全に右肩下がりとなった。この検証によって、WallBot に標準搭

載されているフォトリフレクタは、基本的には期待通りの検出性能を持つものの、外光に影響される場合があるということ、室内でも光源位置によって多少の誤差が生まれることが分かった。

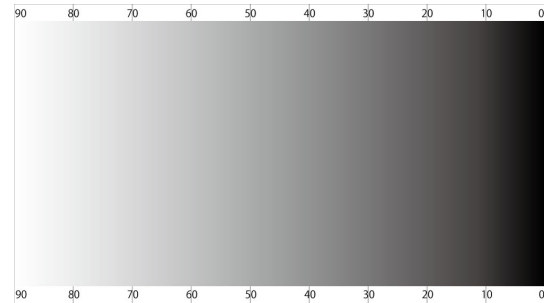


図7 実験で使ったなめらかなグラデーションパターン。

Fig.7 Smooth gradation pattern used in the evaluation.

5.2 駆動部制御の性能評価

ここでは、RoboClockがフォトリフレクタの値を参照し、グラデーションパターン上を意図したとおりに移動できるかどうかを調査する。照明条件としては、一般的な利用条件を考え、蛍光灯を利用した。

5.2.1 方法

方法としては、前の実験と同様の付きグラデーションパターンを利用し、薄いステンレス板に貼り付けて壁面に固定した。その目盛の位置で一時停止して次の目盛まで進み、また一時停止するという動作を繰り返す。具体的には、前の実験結果からグラデーションパターンの濃淡を数値化し、フォトリフレクタで読み取った値と随時比較することで、目盛10毎に一時停止するようにプログラミングした。ロボットの移動方向としては、重力の影響を加味するため、上から下、下から上、右から左、左から右の4方向について検証することにした。なお、各試行毎にグラデーションパターンは向きを変えて貼り直した。ロボットはグラデーションパターン0の位置からスタートし、90の位置で停止するまで、スタート時を含めて合計10回停止するはずである。この予測される停止位置と実際の停止位置との誤差をビデオ撮影して観察した。

5.2.2 結果と考察

各移動方向における実験結果を図9、10の表に示す。ここでは、「移動方向の制御」「移動距離の制御」の観点から考察する。

移動方向の制御

全体の傾向として、スタート位置から予測される目標地点に到達できないケースが多いことが分かった。まず、上下方向の移動については、進行方向の左側に曲がってしまう傾向があった。特に下から上の場合には誤差が大きく、パターンの中央からスタートしたの

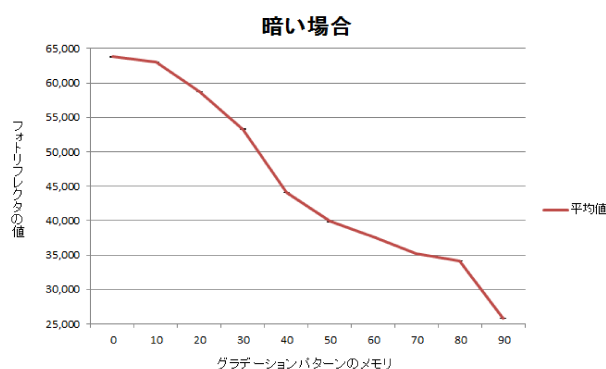
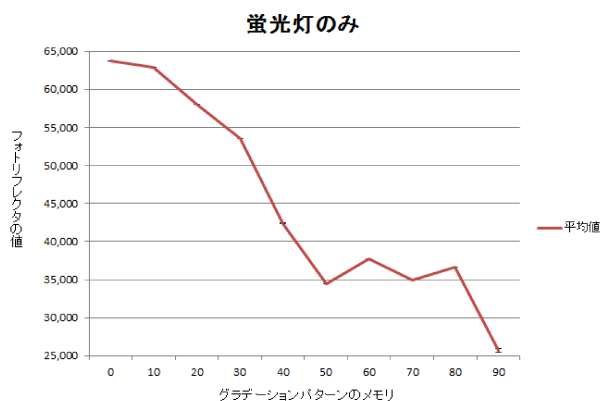
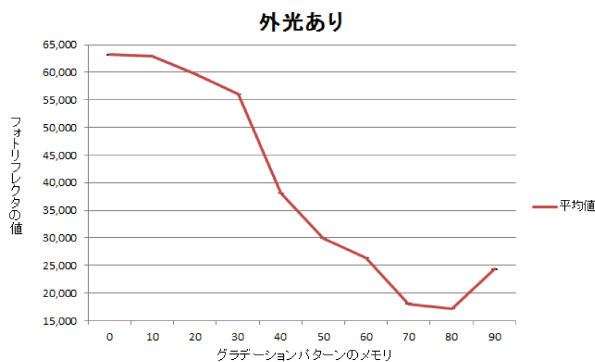


図8 フォトリフレクタの性能評価の結果。太陽光／蛍光灯／暗所の3条件で検証した。
Fig. 8 The result of the evaluation of photo-reflector performance.

に、到達点ではパターンの左端まで曲がることもあった。考え得る原因として、追加したスマートフォン等のハードウェアにより、重心のバランスが崩れていることが考えられるため、今後デバイスの固定方法を工夫して、バランスを見直していきたい。また、左右方向の移動については、どちらも目標位置に到達することなく、目盛70前後で床に落ちてしまった。これは、WallBot単体の時と比較して重量が増加しているため、標準搭載の磁石では吸着力が不足し、重力と直交する

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
10	○	○	○	○	×	○	△	○	○	○	
20	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	
30	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
40	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	
50	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	
60	○	△	○	○	○	○	△	○	○	○	
70	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○:意図通り停止
80	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
90	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△:意図しない場所での停止

図9 駆動部制御の実験結果。下から上への移動した際の停止状況

Fig. 9 The result of the evaluation of moving performance. (bottom to top)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
0	△	○	○	△	○	△	○	△	△	△	
10	○	△	△	×	△	△	×	△	×	×	
20	×	○	△	△	△	×	△	×	△	○	
30	△	△	×	○	△	×	△	×	○	○	
40	○	△	○	△	○	○	○	△	△	△	
50	○	○	△	○	×	○	△	○	○	○	
60	△	○	△	○	△	△	○	○	○	△	
70		△			△		△			△	○:意図通り停止
80											×
90											△:意図しない場所での停止

図10 駆動部制御の実験結果。右から左への移動した際の停止状況。空欄はロボットが床に落ちてしまったことを示す。

Fig. 10 In the case of moving from the The result of the evaluation of moving performance. (right to the left.)

水平方向へ移動し続けることが難しかったためと思われる。磁石を追加する等して、吸着力を調整する方法を検討していきたい。

移動距離の制御

移動距離の制御としては、前の実験で数値化したグラデーションパターンを元に、想定通りの位置でロボットが停止するかを検証した。検証の結果、上下方向の移動の場合はおおよそ9割ほどの確率で目的の位置で停止した。一方、1割程度の確率で、意図しない位置で停止してしまったり、停止すべき位置を通過してしまったり。一方、左右方向の移動の場合は、かなりの確率で誤作動が起き、特に同じ色の範囲内で複数回停止することが散見された。これは、ロボットが横方向に移動するときはフォトリフレクタが上下に並ぶため、蛍光灯の影響がフォトリフレクタの位置によって変化してしまったりが一因だと考えられる。さらに、前述したように左右方向ではロボットが極端に曲がって走行して最後には脱落してしまったりのため、パターンを正常に読み込めなかった可能性もある。これらの解決策については、次章で議論する。

6. 議論

本章では、RoboClock について、「動作の安定性」「フォトリフレクタの安定化」「デバイスの傾き補正」

「今後の展望」といった視点から議論する。

6.1 動作の安定性

本稿では、ロボットの動作領域として壁面を利用し、磁石によって壁面に張り付くロボット「WallBot」を使用した。そのため、金属面の磁石の付き具合によって移動距離や動作に差が出てしまうことがある。そのため、使用する壁面によって動作の最小単位の調整などが必要になってくる。金属面の磁力に対する接着力によっては重力に負け、動作と同時に下方向へ下がってしてしまう場合もあるため、利用状況によって壁面の金属板や WallBot 側の磁石を交換し、磁力を調整する必要がある。

6.2 フォトリフレクタの安定化

現在、グラデーションパターンの値を取得するために、WallBot に標準搭載されている 4 つのフォトリフレクタを使用している。その 4 つの値を、1 秒に 10 回の周期で Android 端末へ送信し、その平均値を制御に使用している。しかし、光の当たり方や影の影響により、1 部のフォトリフレクタが大きく異なる値を出力する場合があります。平均値のブレや誤動作に繋がってしまう。今後は、一部のフォトリフレクタの異常値を検出し、利用しないようにするようなアルゴリズムを工夫していきたい。また、外光や影による検出値の変化については、フォトリフレクタの周囲に覆いを作り、外光が入らないような筐体設計を工夫することで、影響を最小限に抑えることができる可能性がある。

6.3 デバイスの傾きの補正

RoboClock では壁面を移動するため、重力の影響を考慮する必要がある。そうしないと、水平方向の移動の時に重力によって下に引きずられてしまったり、上る動作と下る動作では同じ距離を動かすために必要なパラメーターが変化してくる。こうした問題を解決するために、RoboClock の現在の向きをスマートフォンの加速度センサー／ジャイロセンサーで取得し、パラメーターを随時調整して移動方向／距離を補正する機能の実装を進めている。

6.4 今後の展望

今後の展望としては、寝室での利用の他に家庭内の様々な場面での応用例が考えられる。例えば、キッチンの壁面を動き回りレシピを提示してくれるロボットを検討している。移動しながら次の調理手順を表示したり、キッチンタイマーとして動作する機能を想定している。特に、物理的な位置情報とディスプレイ情報を同時に利用することで、ディスプレイ単体ではできない情報提示が期待できる。たとえば、同時に 2 つの鍋を利用している時、大きくキッチンタイマーを提示しつつ、ロボットの位置に応じて画面表示を切り替えることで、どちらの鍋の調理時間を示しているか直観

的に伝達できると考える。

また、RoboClock は金属面であればどこでも動作することができるため、壁面に限らず天井など様々な場面で応用することができる。一方、現在使用しているグラデーションパターンでは、1 軸方向しか検出することができないため、今後はグラデーションをフルカラーで作成すると共に、カラーセンサを WallBot の下面に追加することで、2 軸の位置検出を行う方法も検討していきたい。

7. おわりに

本研究では、壁面を移動可能な壁時計型ロボット「Robo-Clock」を提案し、壁面上の位置を活用したインタラクション手法や活用事例について検討した。今後は基本機能を安定化するとともに、様々な応用事例の実装に取り組む。さらに、家庭内に実際に RoboClock を導入して実証実験を行いたい。

謝辞

本研究は JST CREST の支援を受けた。

参考文献

- [1] Yuta Sugiura, Calista Lee, Masayasu Ogata, Anusha Withana, Yasutoshi Makino, Daisuke Sakamoto, Masahiko Inami, Takeo Igarashi : " PINOKY: a ring that animates your plush toys " ; Proceedings of CHI 2012, pp.725-734,(2012).
- [2] Maki Nakagawa, Koji Tsukada, Itiro Siio: Calmate : Communication support system for couples using a calm avatar ; Adjunct proceedings of Ubicomp2012, pp. 604- 605,(2012).
- [3] Yuta Sugiura,Daisuke Sakamoto,Anusha Indra jith Withana, Masahiko Inami and Takeo Igarashi,Cooking with Robots : Designing a Household System Working in Open Environments ; Proceedings of CHI2010,pp.2427- 2430,(2010).
- [4] 杉浦裕太, 坂本大介,Tabare Gowon, 高橋大樹, 稲見昌彦, 五十嵐健夫,Foldy : GUI 操作によるロボットへの服の畳 み方の教示,WISS 2010,(2010).
- [5] Mizuho Komatsuzaki, Koji Tsukada, Itiro Siio, Pertti Verronen, Mika Luimula, and Sakari Pieska : Ite- Minder:Finding Items in a Room using Passive RFID Tags and an Autonomous Robot. Adjunct Proceedings of Ubicomp2011,pp. 599-600,(2011).
- [6] Daisuke Sakamoto, Koichiro Honda, Masahiko Inami, Takeo Igarashi : Sketch and Run: A Stroke-based Inter- face for Home Robots, Proceedings of CHI 2009 ,pp.197- 200 ,(2009).
- [7] Kentaro Ishii, Shengdong Zhao, Masahiko Inami, Takeo Igarashi, and Michita Imai : Designing Laser Gesture Interface for Robot Control ; Proceedings of INTER- ACT2009, pp.479-492, (2009).