

Kadebo : 家事を楽しくする家電装着型ロボット

大野敬子^{†1} 塚田浩二^{†2 †3} 椎尾一郎^{†1}

本研究では、任意の家電に「装着」することで、家電の状態等を動作で表現し、家事を楽しくしてくれる小型ロボット Kadebo を提案する。本ロボットは、家電の状態を認識するセンサ/家電固定部、状態に基づき動作を生成する制御部、マッスルワイヤーやサーボモータを用いた駆動部、さまざまなぬいぐるみを付け替えることができる外装部を中心に構成される。例えば、掃除機に Kadebo を装着すると、掃除機の動作を加速度センサ等で取得し、Kadebo の動きに反映させることで、ユーザは Kadebo と共に掃除を楽しめる。本論文では、研究のコンセプト、試作したハードウェア、家電製品への応用、評価実験について述べる。

Kadebo: A small robot attached on home appliances for joyful household chores

KEIKO OONO^{†1} KOJI TSUKADA^{†2 †3} ITIRO SHIO^{†1}

Kadebo is a small robot that can be attached on various home appliances and simply moves based on the state of the appliance. The goal of Kadebo is to help users perform household chores joyfully. Kadebo mainly consists of a sensor part, an actuator part, a control part, and a puppet part. First, the sensor part can recognize the state of a home appliance. Next, the control part selects a moving pattern based on the state. Finally, the actuator part generates physical movements using muscle wires or a servomotor. Users can also replace puppets easily depending on their preferences. For example, when Kadebo is attached on a cleaner, the system detects its movement using an accelerometer and performs physical feedbacks to motivate a user for joyful cleaning. In this paper, we explain concepts, prototypes, applications, and evaluation of the Kadebo.

1. はじめに

一般に、家事は単調であり、孤独で辛い作業になりがちである。こうした問題を軽減するために、我々は、任意の家電に装着し、その状態を穏やかな動きで表現する小型ロボット Kadebo を提案する (図 1)。本システムを用いて、ロボットと共に家事を行うことで、ユーザの孤独感を軽減し、家電やロボットに愛着を持たせて、家事を楽しくする効果を狙う。

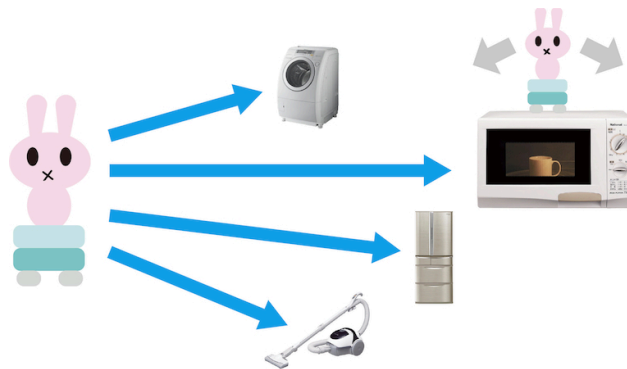


図 1 Kadebo のコンセプト : 様々な家電に手軽に装着でき、家電の状態に応じて動作する。

2. Kadebo

Kadebo は、任意の家電に装着することで、家電の状態を穏やかな動きで表現する家電装着型ロボットである。Kadebo の特徴は以下の 3 点である。

- 家電の状態に応じた動作表現
- 様々な家電に手軽に装着
- 外装/入出力基盤を交換可能

図 2 の中央に、プロトタイプの外観を示す。

^{†1} お茶の水女子大学
Ochanomizu University
^{†2} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate
^{†3} 科学技術振興機構 さきがけ
JST PRESTO



図 2 Kadebo のプロトタイプの外観：外装部，駆動部，制御部，センサ／家電固定部から構成される。

3. 実装

本章では，Kadebo のプロトタイプについて説明する。Kadebo は，外装部，駆動部，制御部，センサ／家電固定部の 4 層から構成される（図 2）。以下，各層について詳しく説明する。

センサ／家電固定部

センサ／家電固定部は，その名の通り，センサ機能と家電への固定機能を持つ。センサとしては，3 軸加速度センサ（KXM52-1050）に加えて，任意のセンサ（アナログ×2 系統：マイクロフォン，フォトダイオードなど）を取り付けることが可能である。センサはピンヘッダで着脱可能であり，装着する家電に応じて簡単に交換できる。

家電への固定機能としては，マグネットと吸盤の 2 種類を用意した。金属製の家電にはマグネットで，表面のなめらかな家電には吸盤で固定することができる。

駆動部

駆動部には，2 種類のアクチュエータ（静音アクチュエータとサーボモータ）を用意して，家電に応じて取り替えられる構成とした。

静音アクチュエータは，複数の線状の形状記憶合金（トキコーポレーション バイオメタル BMF75）を，シリコンチューブに組み込んだものを利用する（図 2 駆動部 右側）。シリコンチューブは，直径 5.0mm で，中心に直径 1.1mm の穴が 1 つ，その周りに直径 0.7mm の穴が 6 つある。我々は，周りの穴のうち 120 度間隔の 3 つにバイオメタルを通し，中央の穴には 30AWG の銅線を通すことで，3 系統の PWM（Pulse Width Modulation）信号を用いて 360 度範囲で動作する静音アクチュエータを実装した。なお，基盤にはチューブと同径の穴を開けており，静音アクチュエータを基盤に垂直に固定できるよう工夫した。

サーボモータは，小型のサーボモータを強力粘着テープによって直接基板上に固定し，サーボホーンの片方の形状を，時間経過で硬化するシリコンパテ（Suguru）で整えた

（図 2 駆動部 左側）。サーボモータは，制御部のマイコンから直接 PWM で制御している。

静音アクチュエータは，360 度全方位に静かで穏やかな動きをするが，可動幅が小さく，発熱の問題から連続稼働時間にも制限がある。一方，サーボモータは，可動幅は大きい，モータ音がうるさく，また，一軸上でしか動けない。このように，各アクチュエータは異なる特徴を持つ。静音アクチュエータは可動幅が小さいが動きの自由度が高いことから，洗濯機や空気清浄機などのユーザが直接動かさない家電に利用する。サーボモータは，可動幅の大きさから，掃除機やドライヤーなどユーザが直接動かす家電に利用する。

制御部

制御部には，マイコン（Arduino Pro Mini），バッテリー，電源スイッチ等を実装した。駆動部・センサ部は，制御部に対してピンヘッダで接続され，マイコンから制御される。電源については，静音アクチュエータの可動幅とバッテリーのサイズを考慮し，3.7V のリチウムバッテリーを 5V に昇圧させて利用している。

外装部

外装部は，駆動部のアクチュエータ上に内部が空洞の人形をはめ込んで固定する。直径 6mm 程度の穴が空いている人形であれば好みのものを利用し，簡単に着脱できる。現在のプロトタイプでは，市販の指人形（ペネロペうっかりすごろくのコマ）の内部形状を前述のシリコンパテで整えたものを利用している。

4. 動作設計

本研究では，家電とユーザの関係性に着目して，以下の 3 つの観点からロボットの動作を設計した。

ユーザと一緒に仕事をする家電

ユーザが主体となって家電を道具のように扱い，一緒に家事をするような家電である。例として，掃除機，アイロン，ドライヤー等がある。ユーザが主体的に家電を動かすことから，センサによって「家電の動き」を取得する。ユーザを運転手，家電を乗り物と見立て，ロボットが乗り物に乗っているような動きを設計する。

ユーザに対して奉仕をする家電

動作することによって，ユーザに影響を与えるような家電である。例として，TV，ラジオ，エアコン等がある。家電がユーザに対して仕事をすることから，家電を使用することによってユーザの状態に変化があると考えられる。そのため，センサによって「ユーザの状態」を取得する。ユーザの状態を穏やかに知らせるために，ロボットがユーザの状態を表現する動きを設計する。

ユーザが仕事を任せる家電

ユーザがボタンを押すだけで、勝手に仕事をするような家電である。例として、洗濯機、空気清浄機、電子レンジ等がある。家電を見た時、家電がどのような仕事をしているのかわかるように、センサによって「家電の状態」を取得し、ロボットが家電の状態を表す動きを設計する。

5. 応用

Kadebo を掃除機に装着した様子を図 3 に示す。また、以下に、2 種類の家電製品に Kadebo を取り付けた例を説明する。



図 3 掃除機に装着した様子

● 掃除機

掃除機は、上記の分類の“ユーザと一緒に仕事をする家電”にあたる。センサによって掃除機の動きを取得し、掃除機を車と見立て、ロボットがドライブをしているイメージで動作を設計した。掃除機が大きく動くことから、駆動部は、可動範囲の大きいサーボモータを使用した。センサは、掃除機の ON/OFF を取得するためのマイクロフォンと、動きを取得するための加速度センサを用いている。次に、掃除機の状態に応じた動作設計例を示す。動作は、丁度良いペースで、心地よく掃除機をかけられることを目標に設計した。



図 4 掃除機に装着した際の動作例

起動時 (図 4(a))

エンジンが始動するイメージで設計した。短時間、素早く左右に小さく震える。

掃除機の動きが止まっている時 (図 4(b))

ロボットがつまらなさそうにガラガラしているイメージで設計した。横に傾いてから、上下に小さくゆっくりと動く。

掃除機の動きが速すぎる時 (図 4(c))

ロボットが速さで吹き飛ばされ、怯えているイメージで設計した。大きく横に傾いてから、左右に小刻みに揺れながら中心に戻ってくる。

掃除機の動きが丁度良い時 (図 4(d))

ロボットがドライブを楽しんでいるイメージで設計した。掃除機が前後に動くタイミングに合わせて、左右に動く。

掃除機を壁等にぶつけた時 (図 4(e))

ロボットがイテッとなっているイメージで設計した。素早く横に動いてから、中心に戻ってくる。

● 洗濯機

洗濯機は、上記の分類の“ユーザが仕事を任せる家電”にあたる。センサによって家電の状態を取得し、家電の状態を表す動作を設計する。洗濯機の動作を表現するために、アクチュエータは、360 度の範囲で可動する静音アクチュエータを使用した。センサについては、現在のプロトタイプでは未実装だが、フォトダイオードを用いて洗濯機の LED を読み取ることや、加速度センサを用いて洗濯機の振動を読み取ること等を検討している。次に、洗濯機の状態に応じた動作設計例を示す。普段、あまり目につかない洗濯機の様子を、ロボットを通して伝えることを目標に動作を設計した。

開始時

掃除機の場合と同様に、エンジンが始動するイメージで設計した。短時間、素早く左右に小さく震える。

洗濯時

洗濯機の中で洗濯物が回っている様子を表現した。左右交互に円を描くように回る。

脱水時

洗濯機の中で洗濯物が洗濯時よりも素早く回っている様子を表現した。左右に素早く揺れる。

乾燥時

洗濯機の中で洗濯物が穏やかに回って乾かされていく様子を表現した。ゆっくりと左右に揺れる。

終了時

一仕事終え、「よっこらせ」となっている様子を表現した。前方に倒れてから、後方に倒れ、中心に戻る。

6. 評価実験

パナソニック株式会社の協力を得て、30 代～50 代の主

婦五人に対して評価実験を行った。評価実験の目的は、家電を使用する頻度が多い主婦が、本システムに対してどのような印象を持つのか調査することである。評価実験は、本システムのプロトタイプを用いて、被験者一人ずつに対し、下記のような手順で行った。

1. デモビデオ（掃除機に装着）を見せる
2. 実機（掃除機に装着）を見せる
3. 掃除機に装着した様子についてインタビュー
4. アンケート記入
5. アンケート内容についてインタビュー
6. デモビデオ（洗濯機に装着）を見せる
7. 洗濯機に装着した様子についてインタビュー

なお、インタビュー等は第三者によって行われ、我々はマジックミラー越しに様子を観察した。

6.1 インタビュー結果

インタビューでは、肯定的な意見として「掃除が楽しくなりそう」という意見が3人から得られた。これは、当初の家事を楽しくしたいという目的に合致している。また、「子供が喜びそう」、「子供が掃除を手伝ってくれるようになりそう」などの意見も3人から得られ、子供が手伝いをするようになるという我々が意図していなかった効果が期待できることがわかった。

否定的な意見としては、掃除機／洗濯機の事例共に、「装着場所が悪い」という意見が3人から得られた。掃除機では、図3のように手元につけていたため、あまり目に入らないということであったので、今後はヘッド部分に装着するなど工夫していきたい。洗濯機では、洗濯機の上にロボットを装着したのに対し、洗濯機を見に行くことがあまりないため、ロボットを見かける機会も少ないという意見があった。これは、普段洗濯機をどこに設置しているか（生活の動線上にあるか）に関係しているように思われたため、今後対象とする家電を選択する際の参考にしていきたい。

その他の意見として、「喋ってほしい」、「音が鳴ると良い」、「動きが小さくてわかりづらい」といった意見が挙げられた。これらの意見については、短期間の実験室評価では被験者が短期的な驚きやインパクトを求めている部分もあるように感じられた。我々の方針として、生活に干渉しすぎない穏やかな動きのロボットを設計する目的があったため、今後実際の家庭環境での実験を通してより深く検討して行きたい。

6.2 アンケート結果と考察

アンケートでは、ロボットを掃除機に装着した場合の印象について、以下の15項目から質問し、7段階（1～7）で回答を得た。

質問1. 惹かれますか

- 質問2. 親しみやすいですか
- 質問3. さわりたいですか
- 質問4. 感情があるように感じますか
- 質問5. あたたかみを感じますか
- 質問6. 好感を持てますか
- 質問7. 飽きずに使用できそうですか
- 質問8. 愛着を持てますか
- 質問9. 心が通じるように感じますか
- 質問10. 表現が豊かだと思えますか
- 質問11. 役に立ちそうですか
- 質問12. 機能がわかりやすいですか
- 質問13. 生物的な一面を感じますか
- 質問14. 掃除機とロボットに一体感がありますか
- 質問15. 掃除が楽しくなりますか

各質問に対する回答の平均値、最大値、最小値を図5に示す。

質問2の「親しみやすいですか」と、質問15の「掃除が楽しくなりますか」は、それぞれ、平均5.6点、6.2点と高評価であった。質問15が高評価であったことから、本システムによって掃除を楽しむ可能性があることがわかる。また、質問2が高評価であったことから、ロボットに対する拒否感は少なく、家庭へ導入しやすいことが伺える。

比較的低評価だった質問には、質問10の「表現が豊かだと思えますか」と、質問13の「生物的な一面を感じますか」が挙げられる。質問10が低評価だったのは、掃除機に装着したロボットがアクチュエータにサーボモータを使用したものだったために、左右にしか動けないことが原因ではないかと考えている。質問13については、サーボモータの動きと音が原因となっているのではないかと考えている。静音アクチュエータに比べ、サーボモータによる動きはぎこちなく、また、モータ音が目立ってしまう。

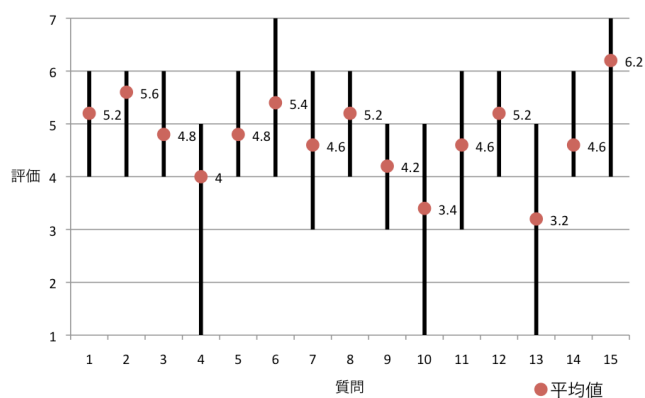


図5 掃除機に装着したKadeboの印象に対するアンケート結果

6.3 まとめ

今回の評価実験では、本システムが掃除を楽しむために一定の有効性があることがわかった。今後は、装着場所や表現方法といった評価実験で指摘された課題を修正し、家庭内での運用などを行なっていきたい。

7. 関連研究

マッスルワイヤーを用いた静音アクチュエータには、辰田らの研究 [1]等がある。本研究では、利用するバイオメタルの形状をコイル型からワイヤー型に変更することで動作速度を向上させ、シリコンチューブを用いることで、滑らかな動きを可能にした。また、マッスルワイヤーを用いた応用例として福地らの *AwareCover* [2]がある。これは、ペットをメタファとし、タブレット端末の様子を表すものであり、動物の耳や尻尾を表現するために、マッスルワイヤーが用いられている。家電に装着するインタフェースとして、*Attachable Computer* [3]では、家電の操作を補佐する情報などを提示している。一方、本研究では、家事を楽しむことを目的とし、ロボットの動作によって家電の状態やユーザの状態を提示している。また、インタラクティブな掃除機 [4] は、掃除機を改造することで、掃除を楽しむようとしている。一方、本研究では、家電製品を加工することなく、着脱可能な装着型のデバイスを目指した。

8. まとめと今後の予定

本論文では、任意の家電に装着し、その状態を穏やかな動きで表現する小型ロボットを提案し、ハードウェアの実装と基礎的な動作設計を行った上で、基礎的な評価実験を行った。今後は、家電やユーザの状態のセンシング精度の向上や家電の識別を目指す。家電の識別は、RFID を用いる方法や、家電の音や振動パターンから推測する方法などを検討している。また、表現方法として、音や光などを用いることを検討する。

謝辞

本研究はパナソニック株式会社、及び科学技術振興機構さきがけプログラムの支援を受けた。

参考文献

- 1) 辰田恵美, 塚田浩二, 椎尾一郎, ビーズアクチュエータの試作とその応用, 情報処理学会第73回全国大会講演論文集, Vol. 2011, No. 1, pp. 241-243 (2011).
- 2) Ayumi Fukuchi, Koji Tsukada, Itiro Siio, *AwareCover: Interactive Cover of the Smartphone for Awareness Sharing*
- 3) 伊賀総一郎, 安村通晃, 装着型コンピュータ: 家庭 電化製品のユーザインタフェース用超小型計算機, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 2, pp. 381-388 (1999).
- 4) 山木妙子, 小笠原遼子, 塚田浩二, 渡邊恵太, 椎尾一郎, インタラクティブな掃除機による情報提示, 情報処理学会第70回全国