

ToolShaker: 日用品自体を駆動する情報提示手法の提案

道具駿斗^{†1} 沖真帆^{†1} 塚田浩二^{†1}

概要: 近年、日常生活における情報提示手法のひとつとして、日用品を活用する取り組みが行われている。これらの研究では、日用品にセンサやアクチュエータなどを組み込み、日用品自体をロボット化/ディスプレイ化することで、日用品の用途/機能に合わせた適切な「情報提示機能」を付加することができる。しかし一方で、サイズ/重量への影響が大きく、特に小型の日用品では使い勝手が悪くなる問題があった。本研究では、食器/工具等の「磁性を持つ日用品」に着目し、日用品自体に手を加えること無く「情報提示機能」を付加できる手法を提案する。具体的には、壁面や机上に収納/設置されたこれらの日用品に対して外部から磁力を加えて、日用品を物理的に「動かす」ことで、様々な情報提示を行うシステム「ToolShaker」を提案する。

ToolShaker: Presentation Technique using “as-is” Daily Commodities by Physically Controlling Them using Electromagnet

HAYATO DOGAI^{†1} MAHO OKI^{†1}
KOJI TSUKADA^{†1}

Abstract: Recently, many research projects proposed presentation techniques in daily environments using commodities. These projects provide proper presentation techniques for daily lives, by embedding sensors and actuators to daily commodities and using them as a robot or a display. However, in particular small commodities, such projects have difficulty to keeping the usability of daily commodities because these projects have significant influence to size and weight of them. In this study, we focus on ferromagnetic commodities, and propose a presentation technique using “as-is” daily commodities while keeping size and weight. Specifically, we propose a new display system “ToolShaker” that physically controls ferromagnetic commodities placed on wall surface using magnetic force from external electromagnets.

1. 背景

近年、日常生活における情報提示手法のひとつとして、日用品を活用する取り組みが行われている[1][2]。これらの取り組みでは、日用品自体をロボット化/ディスプレイ化することで、日用品の用途/機能に合わせた適切な「情報提示機能」を付加している。このように、「日用品を用いた情報提示」を行うことによって、日常生活の中でも、ユーザにとってより印象的な情報提示を行うことができたり、ユーザが直感的に対象物を想起できるような情報提示を行うことできる、というメリットがある。

しかし、こうした研究の多くは、日用品にセンサやアクチュエータなどを組み込むため、日用品のサイズ/重量への影響が大きく、特に小型の日用品では使い勝手が悪くなったり、そもそも組み込みが困難となる問題があった。

本研究では、上記の問題を解決するために、日用品自体に手を加えることなく、日用品の新しい機能として「情報提示機能」を付加できる手法を提案する。我々はまず、日用品の中から、食器/工具等の「磁性を持つ日用品」に着目した。また、これらの「磁性を持つ日用品」が、壁面等に整然と収納されている状況にも着目した。本研究では、壁面や机上に収納/配置されたこれらの日用品に対して、

外部から電磁石で磁力を発生させて、日用品を物理的に「動かす」ことで、様々な情報提示を行うシステム「ToolShaker」を提案する(図1)。



図1 本提案のコンセプト。

壁面等に収納された工具/食器等を外部から「動かす」ことで、情報提示機能を付加する。

2. 関連研究

本章では、本研究に関する研究事例について、「日用品を用いた情報提示手法」「電磁石を用いたインタラクション手法」という2つの領域から紹介する。

2.1 日用品を用いた情報提示手法

PotPet[1]は、センサや車輪を搭載した植木鉢型ロボットである。例えば、植物に必要な水分が不足してきた際に、

^{†1} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

植木鉢自身が動き回ることで、ユーザに対して水分不足の情報提示を行う。SyncDecor[2]は、室内のゴミ箱や照明などの日用品の挙動を、遠隔地にある日用品の挙動と同期させることで、遠隔地間でユーザの活動状況を共有するシステムである。 Lover's cup[3]は、センサやLED、振動モーターなどを組み込んだコップ型デバイスである。コップに残っている飲み物の量や、コップの動作状況などを、遠隔地にある同様のコップデバイスに提示するシステムである。

Peek-A-Drawer[4]は、タンスの引き出しの中身を、2点の遠隔地間で共有する情報共有システムである。ユーザが引き出しの中に物を収納した際に自動で写真を撮影し、そのデータを遠隔地にある同様のタンスの引き出しの中に出力することで、引き出しの中身を共有する。Webmo[5]は、Wi-Fi経由で Javascript による制御が可能なステッピングモーターである。応用として、ものづくりレシピと連動して、次に使う材料をユーザに提示する電子工作部品ケースを提案している。AffordanceLight[6]は、Fab 施設等のものづくり環境において、光を用いてユーザを誘導するデスクライト型のシステムである。例えば、ユーザが使用した道具を認識し、次に使う可能性の高い道具の位置を提示する。

これらの研究で提案されたデバイスやシステムでは、日用品自体にセンサやアクチュエータを組み込んでいるのに対し、本研究では日用品自体に手を加えることなく、日用品に情報提示機能を付加する。

2.2 電磁石を用いたインタラクション

Actuated Workbench[7]は、テーブルトップ状に配置した電磁石を制御することで、机上の物体移動を可能にした。Proactive Desk[8]では、テーブルトップ状に配置した電磁石が、ユーザの手に装着した金属片に対して磁力を発生させることで、机上でユーザの手に対する力覚提示を行った。ZeroN[9]は、三次元空間上での磁性物体の物理的な動きの制御が可能である。FluxPaper[10]は、裏面に磁性パウダーを薄く塗布した「紙媒体」と、壁面型の「電磁石制御装置」を組み合わせることで、壁面上での紙の「移動」や「貼付」等の制御を可能にした。

これらの研究では、電磁石から磁力を発生させ、机上／壁面上の磁性物体を駆動させることで、磁性物体との新しいインタラクションを実現している。本研究では、電磁石で駆動させる対象を、磁性を持つ日用品に限定し、新たな情報提示手法を提案する。

3. ToolShaker

本章では、提案システムのコンセプト及びシステム構成について述べる。

3.1 磁力を用いた日用品の駆動方式

本研究では、日用品の従来のサイズ／重量／形状を維持したまま、日用品に「情報提示機能」を付加することを目指す。その実現手段として、日用品自体には手を加えずに、

環境側から日用品に外力を加える手法が考えられる。

我々は、食器や工具などの「磁性を持つ日用品」を対象とし、これらを電磁石を用いて駆動することで情報提示に活用できるのではないかと考えた。これらの日用品の収納状態として、棚上／机上／壁面などが考えられるが、本研究では、壁面に吊り下げて収納されることに着目した。本研究では、壁面に設置されたこれらの日用品に対して、環境側の電磁石から磁力を発生させて物理的に「動かす」ことで、日用品自体を用いた新たな情報提示手法を提案する。

3.2 日用品の動きを利用した情報提示

次に、具体的な日用品の駆動方式と情報提示手法について説明する。本システムでは、壁面上でフックに吊り下げた日用品の下部に電磁石を設置し、この電磁石を駆動させることで、フックを支点として振り子状に日用品を動かす(図2)。この際、電磁石の駆動周期などを制御することで、次の3種類の情報提示を行える可能性がある。

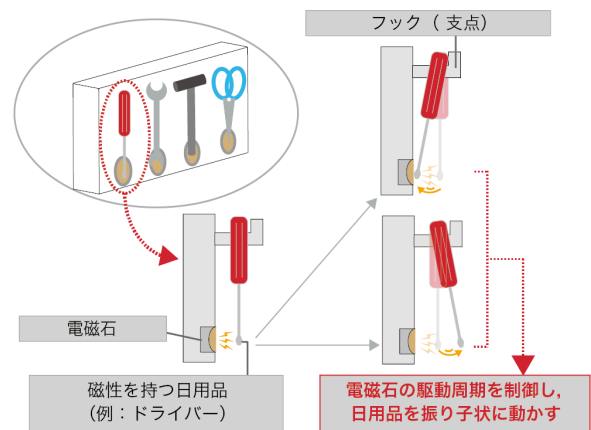


図2 ToolShaker の情報提示手法

● 視覚的な情報提示

本システムでは、電磁石を駆動させることで、日用品を振り子状に動かすことができる。この「日用品の動き」を利用して、ユーザに対して視覚的な情報提示を行う。例えば、本システムを工具に応用した場合、ユーザが行うものづくりの過程に合わせて、「次に使うべき工具」を動かすことで、直接的に提示することができる。また、電磁石の駆動周波数を調整することで、日用品の動きの速度を調整することもできる。さらに、フック部の設計を工夫することで、安定した動き／不安定な動きなどを作れる可能性がある。

● 聴覚的な情報提示

本システムでは、電磁石に日用品が接触する際に接触音が発生するため、ユーザは日用品を直視しなくても、情報を取得できる。例えば、この音を利用して、タイマーやリマインダーのような音を用いた情報提示を行える可能性がある。また、電磁石の駆動周波数や、電磁石表面の素材などを調整することで、音の種類をある程度変更できる可能

性もある。

● 触覚的な情報提示

本システムでは、電磁石を適切なタイミングで駆動することで、日用品を壁面の特定の場所に固定しやすくしたり、取り外しにくくしたりすることができる。これにより、適切な場所への日用品の収納を促す等の応用例に繋がる可能性がある。

3.3 システム構成

本システムは、実際に日用品を駆動させるツールハンガー型デバイス、ツールハンガー型デバイスを制御するホスト PC、及びホスト PC と連携してツールハンガー型デバイスを外部から制御する外部アプリケーションから構成される。システム全体の構成を図 3 に示す。

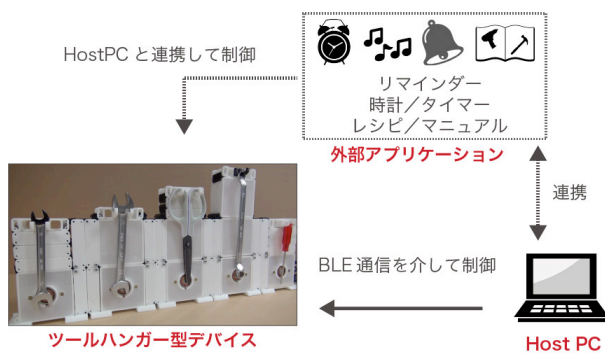


図 3 システム構成

ツールハンガー型デバイスは、電磁石/マイコン等を組み込んだ「電磁石モジュール」と、日用品を固定するための「フックモジュール」から構成され、一つのツールハンガー型デバイスにつき、一つの日用品を駆動させることができる。ツールハンガー型デバイスに組み込まれているマイコン及び電磁石の制御は、ホスト PC 上のホストプログラムから統括的に行われる。

4. 実装

本章では、プロトタイプハードウェア/ソフトウェアについて説明する。

4.1 ハードウェア：電磁石モジュール

電磁石モジュールは、70mm×70mm×25mm の立方体とし、電磁石と基板を組み込んだ（図 4）。電磁石は立方体の表面（壁面側）に、基板は立方体の内部に固定した。電磁石は、TMN-2613S（φ26×15mm、60N～175N、ギガテコ）を使用した。基板上には、マイコン/モータードライバ/電磁石用コネクタ/電源用コネクタを搭載した。マイコンには、BlendMicro を使用し、ホストプログラムとの BLE 通信や、モータードライバを介した最大 2 つまでの電磁石の制御を行う。モータードライバには、NJM2670D2（最大出力電流 1.3A、2 チャンネル）を使用した。電源は、DC15V、0.8A の AC アダプタを使用した。

また、電磁石モジュール本体の側面には、マイコン及び電磁石の電源ケーブルを通すための穴を開けた。なお、3D プリンターを用いて ABS 樹脂で外装を作り、アクリルの天板をはめ込んで作製した。

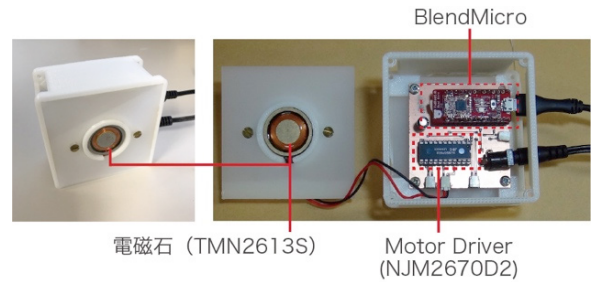


図 4 電磁石モジュールの構成図

4.2 ハードウェア：フックモジュール

フックモジュールでは、フックに吊り下げられるようにして日用品を固定する（図 5）。また、多様な日用品に対応できるように、フック部を取り外し可能な設計とし、高さ調整のためのパーツを 2 種類（小パーツ：高さ 175mm、大パーツ：750mm）を作製した。こうすることで、吊り下げた日用品の磁性部分が、下部の電磁石モジュールの電磁石の正面に配置され、十分な磁力を加えられるように設計した。

現在作製したプロトタイプでは、合計 4 種類の工具に対応したフックモジュールを作製し、各デバイスを相互に、連結できるように設計した（図 6）。

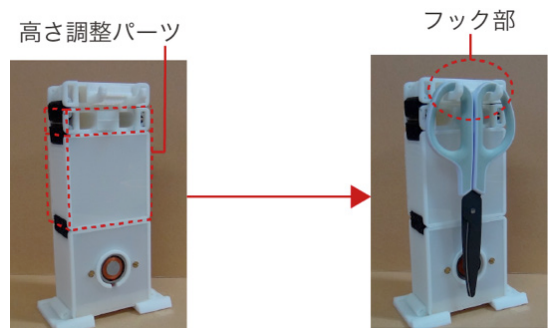


図 5 フックモジュールの利用例

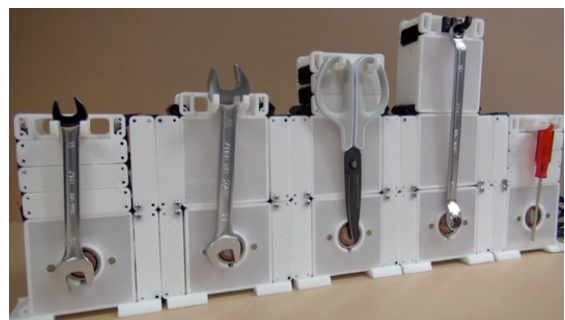


図 6 複数工具への対応事例

4.3 ソフトウェア：ホスト PC

ホストプログラムは、Web ブラウザ上で動作する SPA（シ

シングルページ Web アプリケーション)として実装した。ホストプログラムは、電磁石の ON/OFF や駆動周期などを個別に制御できる。具体的には、Node.js を用いて、BlendMicro と Bluetooth 通信を行い、電磁石を制御する。今後は、システム構成図 (図 3) に示したように、外部サービスなどと連携して動作できるように拡張を進める。

5. 応用例

本章では、本システムの応用例について述べる。本システムの応用指針として、「エンターテイメントとしての応用」と「実用的な応用」の二つを検討している。

エンターテイメントとしての応用では「日用品そのものが動いて情報提示することの面白さ」を活用する。例えば、壁面に収納した3つの日用品をそれぞれ、秒/分/時間周期で駆動させることで、日用品の動きで時間を表現する時計やタイマーとしての応用が考えられる (図 7)。また、工具によって接触音が異なることに注目し、リズムマシンを構築できる可能性がある。例えば、軽い工具 (ドライバー等) をハイハット、重い工具 (スパナ等) をバスドラムに見立てたり、電磁石の表面素材を工夫することで、様々なリズムを刻める可能性がある。

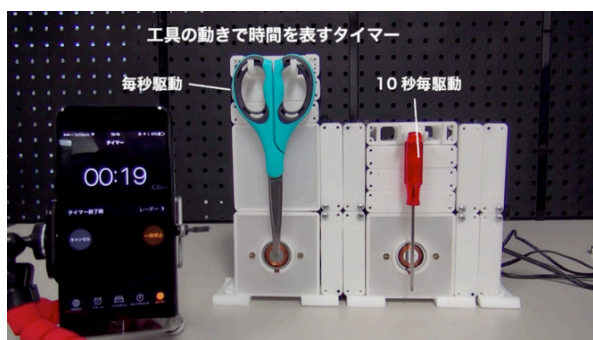


図 7 工具を用いたタイマーへの応用例

実用的な応用としては、日用品を直接動かすことで、対象を想起させることが容易である点を活用した情報提示を行う。例えば、外部のマニュアルサービスと連携し、ものづくりのレシピに合わせてユーザーが次に使うべき工具を直接動かすことによって提示する「ものづくり支援システム」等の応用が考えられる (図 8)。また、RFID タグ等と組み合わせることで、収納支援システム等に活用できる可能性がある。RFID を用いて工具の種類を認識し、正しい収納場所に近づけば電磁石を駆動して収納しやすいように誘導する。逆に、誤った場所に収納してしまった場合は、工具を激しく駆動させて間違いを通知することができる。ただし、RFID タグ等を日用品自体に組み込む際には、実用性と日用品の取り回しのバランスを考慮して設計を行う必要がある。



図 8 ものづくりレシピに合わせて必要な工具を駆動させる応用例

6. 議論

本章では、ToolShaker のプロトタイプを用いた「電磁石の周波数に関する予備実験」について説明し、そのほかの課題について議論する。

6.1 予備実験

6.1.1 目的

本実験は、現在作製した ToolShaker のプロトタイプの基礎的な性能の評価を目的とする。具体的には、複数の工具を対象として、電磁石の駆動周期を変化させることで、動きや接触音が十分確認できる範囲を調査する

6.1.2 手法

まず、図 6 のように、ToolShaker のプロトタイプに 5 種類の工具を吊り下げる。次に、実験者は書く工具の電磁石を 6 段階の駆動周期で駆動させ、対象の工具に「視覚的な動き」と「接触音」を確認できたかどうかを記録する。

工具は、スパナ 2 種類 (小:長さ 15cm, 大:長さ 19.5cm)、はさみ (長さ 17cm)、レンチ (長さ 21cm)、ドライバー (長さ 13.5cm) の計 5 種類を用意した。これらの工具は、磁性体を含みつつ、フックに吊るすための突起や穴があることを前提として、長さ/形状/重さ等が異なるものを選択した。各工具に対応したフックモジュールは、工具の磁性部分が適切に電磁石の正面に来るように、高さ等を調整した。また、駆動周期は、1.0秒、0.5秒、0.1秒、0.05秒、0.01秒、0.005秒、の 6 段階とし、工具毎に 1 分間駆動し続ける作業を 1 回ずつ行なった。

6.1.3 結果/考察

実験の結果を表 1 に示す。実験結果について、電磁石の駆動周期が 1.0 秒及び 0.5 秒のケースでは、5 種類全ての工具の動きと接触音が確認できた。

しかし、0.1 秒以下の周期では、工具ごとに結果が異なった。スパナ (小・大) では、0.01 秒~0.1 秒の周期で接触音は確認できたが、動きは確認できなかった。はさみは、0.1 秒の周期から動きと接触音が共に不安定になり、0.01

表1 予備実験結果.

(○…駆動を確認できた, △…駆動することもあったが, 不安定だった, ×…駆動が確認できなかった)
結果欄のフォーマット…「動き/音」

工具 周期	スパナ (小)	スパナ (大)	はさみ	レンチ	ドライバー
1.0 [s]	○(視)/○(聴)	○/○	○/○	○/○	○/○
0.5 [s]	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○
0.1 [s]	×/○	×/○	△/△	△/×	△/△
0.05 [s]	×/○	×/○	△/×	×/×	△/△
0.01 [s]	×/○	×/○	×/×	×/×	×/×
0.005 [s]	×/×	×/×	×/×	×/×	×/×

秒の周期では, どちらも確認できなかった. レンチは, 0.1 秒の周期で動きが不安定/接触音がしなくなり, 0.05 秒の周期ではどちらも確認出来なかった. ドライバーでは, 0.05 秒~0.1 秒の周期で動き・接触音共に不安定になり, 0.01 秒の周期では, どちらも確認できなかった.

以上の結果より, 動きを用いた視覚的な情報提示を行う場合は, 0.5 秒以上の駆動周期であれば安定して動作すると考えられる. また, 接触音を用いた聴覚的な情報提示を行う場合は, 工具の個体差にもよるが, 0.01 秒の駆動周期でも実現できると考えられる.

6.2 筐体設計の課題

予備実験の結果から, 同じ電磁石の駆動周期でも, 工具の種類によって, 動きの精度に差が生じることがわかった. 現在の筐体では, 工具の長さやフックへの掛け方の違いしか考慮しておらず, 工具の形状によっては動作が不安定になっていたためだと考えられる. 具体的には, 工具をつり下げるフック部の奥行き方向にあそびが大きい場合があった. 1 分間工具を駆動させ, 振り子状の動きを繰り返しているうちに, 工具がフックの先端の方に徐々に移動してしまい, 電磁石と磁性部分の距離が変化してしまうことがあった. 今後は, 工具の動きを考慮した上で, 工具が奥行き方向にずれないようにフックの形状を調整することで改善を図りたい.

また, 紙や布等の薄い素材を電磁石表面に張り付けて日用品を駆動した場合, 接触音が素材により変化することが確認できた. 聴覚的な情報提示の拡張に繋がる可能性があるため, 電磁石表面に薄い素材を挟み込む機構の設計を検討していく.

6.3 駆動対象の日用品

現在の ToolShaker のプロトタイプは, 主に工具を対象として実装した. 第一章で述べたように, 工具だけでなく, 食器類などにも展開を予定している. 駆動対象の食器類としては, フライパン/お玉等の調理器具や, フォーク/スプーン等のカトラリー類が考えられる. 特に調理器具は壁面に吊り下げて収納することも多いため, 適応しやすいと考えている. 具体的には, 料理レシピサービス等と連動することで, 次に使用する調理器具を揺らして指示したり, 器具の接触音で調理時間を通知したりするような使い方ができると考えている.

また工具/食器類に限らず, 原理的には, 鉄や強磁性ステンレス素材の日用品全般に対応でき, 多様な動きを作り出せる可能性があるため, 様々な日用品で動作検証を進めていく. 例えば文房具類や, 鍵などの一部も, 本提案の対象として扱うことができると考えている. 試験的に, ネジ/キーホルダー/クリップを本システムの電磁石部の前に設置して駆動したところ, 電磁石に吸い付く/離れる周期的な動きを繰り返し, 微細な接触音も発生することを確認した(図9). このように, 視覚的/聴覚的な情報提示に利用できる可能性があるため, 現在小物を格納/駆動するための固定具の実装も進めている.

一方で, スマートフォンや電子部品等の磁力が悪影響を及ぼす日用品は, 磁性体を含めば駆動できる可能性はあるが, 本システムの対象とするには適さないと考える.

6.4 既存の情報提示手法との比較

本章で説明した予備実験では, 現在作製した ToolShaker のプロトタイプを用いて, 視覚的/聴覚的に「日用品を用いた情報提示」を行うことが可能な電磁石の駆動周期を調

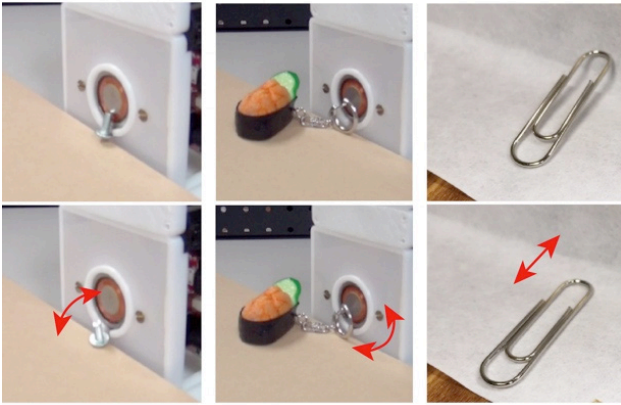


図 9 ネジ／キーホルダー／クリップへの試験的な適応。
矢印方向への周期的な動きを確認した。

査した。一方で、「日用品そのものを駆動させて情報提示を行うこと」の有用性やシステムのメリット／デメリット等も今後検証していく必要があると考える。

例えば、プロジェクターや可動式照明を用いて任意の道具を照らすような手法と比較すると、本システムは一つの日用品につき一つのデバイスが必要となるため、大規模化等には不向きな面がある。一方、日用品自体の動きや音で情報提示を行う手法は、より直接的な表現や（コンピュータを用いた）魔法的な表現に繋がる可能性があると考えられる。こうした多様な側面について、評価／議論を進めていきたい。

7. まとめと今後の展望

本研究では、日用品自体に手を加えることなく、日用品に「情報提示機能」を付加する手法に着目し、壁面に収納／配置された工具等に対して、外部から電磁石で磁力を加えて日用品を物理的に「動かす」ことで、視覚／聴覚／触覚的な情報提示を行うシステム「ToolShaker」を提案・試作した。

本提案システムは、実際に日用品を固定／駆動させる「ツールハンガー型デバイス」と、制御用のホストプログラム、及び外部アプリケーションから構成される。現在作成したプロトタイプでは、ツールハンガー型デバイスとホストプログラムを作成した段階であり、4種類の工具に対して基礎的な動作を確認した。

今後は、現在のプロトタイプと外部アプリケーションを連携させ、前述した応用例の実装や、より多様な日用品に対応するツールハンガー型デバイスの作製等を行う。その後、それらのシステム基礎的な性能の評価、及び既存の日用品を用いた情報提示との比較実験等を行い、最終的には、ToolShaker の実際の日常生活への応用を目指す。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 JP25700019の助成を受けた。

参考文献

- [1] A. Kawakami, K. Tsukada, K. Kambara and I. Siiro. PotPet: Pet-like Flowerpot Robot. In *Proceedings of Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, TEI '11*, pp.263-264, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [2] H. Tsujita, K. Tsukada, and I. Siiro. SyncDecor: Communication appliances for virtual cohabitation. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interface, AVI '08*, pp.449-453, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [3] H. Chung, C-H Jackie Lee, and T. Selker. Lover's cups: connecting you and your love one. In *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '06*, pp.375-380, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [4] I. Siiro, J. Rowan, and E. Mynatt. Peek-A-Drawer: Communication by Furniture. In *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '02*, pp.582-583, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [5] 原 健太, 渡邊 恵太, Webmo: Wifi と WebAPI をパッケージングしたステッピングモーター. *WISS '15*, pp.215-216.
- [6] 白石 晃一, 平塚 晃美, 大島 裕明, 山本 岳洋. AffordanceLight: ファブ施設における How-to の誘導. *WISS '16*, pp.287-288.
- [7] G. Pangaro, D. Mayes-Aminzade, and H. Ishii. The actuated workbench: Computer-controlled actuation in tabletop tangible interfaces. In *Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '02*, pp.181-190, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [8] H. Noma, Y. Yanagia, and N. Tetsutani. The proactive desk: A new force display system for a digital desk using a 2-dof linear induction motor. In *IEEE Virtual Reality 2003, VR '03. Proceedings.*, pp.217-22, March 2003.
- [9] J. Lee, R. Post, and H. Ishii. ZeroN: Mid-air tangible interaction enabled by computer controlled magnetic levitation. In *Proceedings of the 24th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '11*, pp.327-336, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [10] M. Ogata and M. Fukumoto. Fluxpaper: Reinventing paper with dynamic actuation powered by magnetic flux. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, pp.29-38, New York, NY, USA 2015. ACM.