

PartsSweeper: 電子部品や工具をさりげなく整理するインタラクティブ・デスクの試作と応用

折原 征幸* 塚田 浩二*

概要. デスクワーク等を行う作業机, 特に電子工作では多数の電子部品や工具が机の上に配置され, それらを組み合わせて使用するために煩雑になりやすい. 本研究では, 電子工作等の作業机に着目し, さりげなく机上の工具/部品等を移動・整理するシステム「PartsSweeper」を提案する. 本システムは, 机の裏に設置した XY プロッター, ヘッド部の永久磁石と昇降機構, 及び作業空間を入力するタブレット端末を中心に構成される. 特別なセンシングを行うことなく, 工具と電子部品を個別に移動/整理することを目指す. 本論文ではデバイスやシミュレータの実装と, 基礎的な動作検証, また応用例について報告する.

1 はじめに

デスクワークを行う作業机には, 文房具や書類, コンピュータ等の大きさや形の異なる様々な日用品が置かれている. そうした作業机では手を動かしていくうちに常にモノの配置が変化し, 煩雑になりやすい. 作業中にモノを見失い, 探索に無駄な時間を使ってしまった経験のある人も多いであろう.

特に電子工作では, 多数の細かい電子部品や複雑な形の工具が机の上に配置され, 部品同士を組み合わせたり工具を使い分けたりしながら作業を進めていく. そのため作業を進めるほど, 机上に部品や工具が散乱しやすい傾向がある. 部品や工具を使い終わるたびに丁寧に再配置すればこうした問題は軽減できるが, 作業中は回路図/設計図等の理解や繊細な作業に気を取られ, 整理整頓を心掛けることは難しい.

こうした問題を解決するために, 本研究では作業机がさりげなく机上の工具/部品を移動/整理するシステム「PartsSweeper」を提案する (図 1).

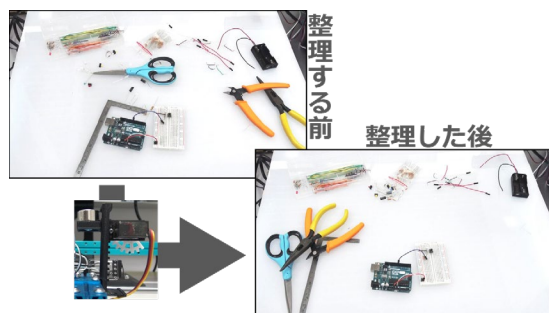


図 1 磁石による机上の電子部品/工具の整理

2 関連研究

本研究の関連研究を「机上のモノを物理的に移動させるシステム」, 「モノ探しや整理を支援するシステム」の 2 つの視点から紹介する.

2.1 机上のモノを物理的に移動させるシステム

机上のモノを物理的に移動するシステムについて紹介する. Cooky[1]は机上に複数の小型ロボットを配置し, 作業を分担して調理を行えるシステムである. 調理過程で人とロボットが柔軟に協調作業を行うことを目指している. TRANSFORM[2]はインタラクティブに形状が変化する家具である. 机上の凹凸を機械的に制御することで, 物体の移動を可能としている.

次に, 磁力を用いてモノを移動させるシステムについて紹介する. ToolShaker[3]は, 日用品に情報提示機能を付加できる手法を提案している. 具体的には, 壁面や机上に収納/配置された日用品に対して, 外部から電磁石で磁力を発生させて動かしている. また Actuated Workbench[4]は, 机の下に格子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. 砂鉄を電磁石で制御し, 絵を描画するなどの活用例も示している. dePENd[5]は, ユーザの持つボールペンの動きを机裏面に設置した磁石で制御することで, 「こっくりさん」のような新たな体験の創出や, 描写スキルの向上を目指すシステムである. またインテリジェントデスク[6]は, 電磁石を備えた XY テーブルを机の裏側に配置して, 底面に磁石をつけた食器などを机上で移動させるシステムである. カメラでの画像認識を組み合わせることで, 物体の衝突を検知して障害物を避けている.

2.2 モノ探しや整理を支援するシステム

モノ探しや整理を支援するシステムについて紹介する。DrawerFinder[7]は、1つの棚に格納された複数の収納箱を対象としたモノ探し支援システムである。収納箱を開け閉めする際の中身と周辺状況を自動で撮影し、Webブラウザ上で手軽に確認することができる。Limpid Desk[8]は机の上に積み重ねられた書類に関して下層の書類の映像を机の上に設置したカメラで取得し、あたかも上層の書類が透けるかのように処理した映像をプロジェクタ投影するシステムである。

次に、ロボットによる整理支援を行う研究を紹介する。郷古ら[9]は、机の上に置かれたロボットが机の上の物体を落とすという振る舞いによって、作業者の片づけの動機付けを促せることを実験によって示した。木下ら[10]は机上の工具を探索するロボットを制作した。車輪型ロボットで工具板から足りない工具の情報を取得し、室内を巡回してカメラで机に放置された工具の探索を行う。

2.3 本研究の特徴

本研究では、電子工作を行う作業机に焦点を当てる。机上の電子部品や工具をさりげなく移動／整理することで作業者を支援する。また少数の磁石ヘッドを移動させるシンプルな駆動方式も特徴である。

3 PartsSweeper

PartsSweeperの主要なコンセプトは以下の3点である。

1. 電子部品／工具を移動して整理
 2. ユーザの作業への配慮
 3. 既存の作業机を拡張
- 以下、それぞれの詳細について説明する。

3.1 電子部品／工具を移動して整理

電子工作を行う作業机の上に多数置かれる受動部品（抵抗／コンデンサ等）や工具（ニッパー／ペンチ等）の移動と整理を行う。我々はこの部品や工具の多くが強磁性体であり、磁石に反応することに着目した。磁力を調節しながら磁石を前後左右に移動させることで部品や工具を任意の場所に移動させることを目指す。

なお、本論文では整理について、「部品と工具が分類されて数ヶ所にまとめられ、作業空間が確保されている状態」と定義する。

3.2 ユーザの作業への配慮

本稿のタイトルにもあるように、本研究では「さりげない」整理を行う。本研究における「さりげない」とは、システムの存在感が少なく、ユーザの作業を阻害しにくいことを意図している。すなわち、

ユーザがシステムの動作に気づきにくく、また気づいたとしても介入しやすい手法を利用する。具体的には、机の下側から磁力を用いて部品や工具を移動させる方式を採用する。移動ロボットやロボットアーム等を用いる場合と比較して、システムやその動作が目立たないため心理的な負担が少なく、運搬力が相対的に弱い介入しやすい（例えば移動を防いだり、手動で移動させたりしやすい）と考える。

またユーザによっては、図2に示すように普段から机上で部品／工具の配置を決めている場合がある。勝手に位置を変えてユーザを混乱させないように、好みの作業空間をレイアウトするための入力インタフェースを用意する。位置／移動経路／タイミングなどを事前に指定して、個々のユーザの好みに合わせられるように配慮する。

3.3 既存の作業机を拡張

既存の作業机の拡張を前提として、導入が容易なシンプルなシステム構築を採用する。具体的には、天板の裏面に2軸の駆動機構を搭載し、ヘッド部に磁石を搭載することで、机上の部品／工具に対して磁力を出力する。また磁石には永久磁石／電磁石の2種類の選択肢があるが、本研究では永久磁石を利用する。電磁石は距離による吸着力の減衰が大きいため天板を挟んだ設置には向かず、強い磁力を得るのに大容量の電源が必要になるため設置コストが高くなると考えた。

4 実装

本システムは、天板の裏面に設置された磁力制御機構とそれを操作するタブレット端末から構成される。ここでは本論文を書くにあたって使用したプロトタイプのシステム構成について紹介する。

4.1 磁力制御機構

基本的な駆動機構としては、前述したコンセプトを踏まえ、XYプロッター（MakeBlock「XY-Plotter ロボットキット V2.0」）を採用した。XYプロッターは2台のステッピングモーターとタイミングベルト



図2 作業空間設計の例

を用いてヘッド部をコンピュータ制御で2軸方向に動かせる装置である。ヘッド部の構成を変えることで様々な用途に使用でき、ペンを取り付けるとペンプロッターに、レーザーを取り付けるとレーザーカッターとして使用することができる。

我々はヘッド部に磁石を搭載し、磁石自体を上下させ、図3のように厚さ5mmのアクリル板を上部に設置した。そうすることでアクリル板を机の天板に見立て、机上の任意の個所に磁力を発生/停止させることにした。磁石を上げたままヘッド部を移動させることで、机上の部品/工具の強磁性体を引きずって移動させることができ、磁石を下げることで部品/工具を移動させた場所に留まらせることができる。磁石を十分に机から離さないで磁力の影響が机上に残りうるため、サーボモータの回転運動を昇降運動に変換する機器を自作することにした(図4)。

さらに、磁力を調節することで部品/工具を選択して運搬する。すなわち、磁力を弱めることで工具は移動できず、部品のみを移動させるという状態にすれば、ヘッドの移動のみで部品/工具を分けて整理できる。実装方式として、磁力の違う2種類の磁石を使う方法や、天板との距離を調節することで吸着力を制御する方法にこれまで取り組んできた。本稿では、磁石と昇降機構が1つずつで済むためヘッド部がコンパクトになるという点から、後者の方式を中心に説明する(図4)。

4.2 タブレット端末

タブレット端末は、部品/工具を整理するための入力インタフェースを提供する。入力インタフェースのソフトウェアはProcessingで実装した。例えば磁石を昇降する高さや、ヘッド部を平面移動させる位置などを直接指定できる動作検証用ソフトウェアや前述した作業空間をレイアウトするソフトウェアを構築した(図5A)。

また動作のタイミングもソフトウェア上で指定することができる。常に稼働/一定間隔で稼働/一度だけ稼働など複数の条件でヘッド部を動作させる。

4.3 移動シミュレータ

磁力によるヘッド部の移動パターンを試行するた



図3 プロトタイプの外観

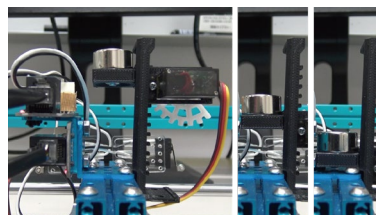


図4 ヘッド部の外観と動作例。左から右に行くほどヘッド位置が下がる。

めの移動シミュレータに関して述べる。実機では最大動作速度の制約があり、部品等の初期位置を統一することも困難であるため、様々なヘッドの移動経路を試行錯誤することが難しい。

そこでソフトウェア上で移動経路の検証を行うための移動シミュレータを用意する。机上に同じ部品が大量にあり、その部品を1~2か所に集めることを想定している。このシミュレータを用いて、効率的に部品を移動できる経路を検証し、実機での実装に生かしていく。

実装はProcessingで行い、磁力を再現するために群衆アルゴリズム(Boids)を利用している。Boidsとはオブジェクトに分離・整列・結合といった3つの動作原則を与え、多数を同時に動かして群れの振る舞いをシミュレーションするアルゴリズムである。図5Bにて、シミュレータの機能を説明する。左上の大きな円をヘッド部の磁石、小さな円を強磁性体の部品とする。大きな円が小さな円に接近すると小さな円を引き付ける。小さな円同士はお互いに引き付け合わないが、接触したらぶつかり弾かれ重なることはない。右側のメニューは、0から7の数字のボタンは事前に設定した動作パターンを選択できる。また、その下に全体のリセットボタン、磁力のオンオフの状態を示す表示等が配置される。

5 予備実験

ここでは、「移動可能な部品/工具の調査」と、「移動シミュレータと実機での動作テスト」について述べる。

5.1 移動可能な部品/工具の調査

磁力で移動可能な部品/工具の調査を行った。今回対象にした部品/工具は図6にあるように、単色LED、抵抗、積層セラミックコンデンサ、ボルトとナット、はさみ、ニッパー、けがき針である。調査方法は対象となる電子部品または工具をPartsSweeperの天板の上に置き、ヘッドを動かし磁力を用いて30cm離れた2点間を移動させた。な

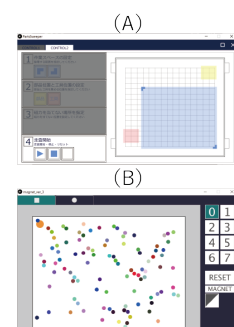


図5 ソフトウェアの画面

お、実験は強・弱 2 種類の磁石ヘッドを備えた前身のプロトタイプで行った。

結果を表 1 に示す。対象となる物体が移動できる場合が「○」、吸着はするが移動できない場合を「△」、吸着自体ができない場合を「×」としている。単色 LED と積層コンデンサはどちらの磁石でも移動でき、けがき針とはさみは強い磁石のみ移動が確認できたので、これらの部品／工具は選択的な移動対象とできると考える。なお抵抗の脚は磁石につかないが、皮膜の部分は磁石に反応した。ニッパーの移動ができなかったのは、持ち手の滑り止めにより摩擦が強く働いたことが原因だと考える。

5.2 移動シミュレータと実機での動作テスト

机全体に散らばった部品を一部に移動させるような経路を考案し、移動シミュレータで実装した。作成した 7 種類の経路を図 7 に示す。今回、その中でうまく想定通りの位置に集められたパターン 2 とうまくいかなかったパターン 1 を実際の環境で試し、移動シミュレータの有用性と、実機での特徴を調べる。

まず事前に行った移動シミュレータでの結果を示す（図 8 上段）。パターン 2 はほとんどの部品が指定個所に集められた。成功要因として、部品を少量ずつ 1 辺に集めていることが挙げられる。制御の観点だと、磁力を切り替えつつ、磁力オンの状態ではヘッドを同一方向に周期的に移動させる点が特徴である。パターン 1 では移動の途中でヘッドから遠い部品がはじかれてこぼれてしまう様子が見られた。これらの結果から、ヘッドは一度に運べる量に限界があるため、すべての部品を一筆書きのように一気に集める経路は向かないことが分かった。

続いて実際の環境での動作テストを行った。PartsSweeper のヘッド部を移動シミュレータと同じ移動経路で動かし、天板に乗せた電子部品を 1 か所に集める。電子部品は、全体が磁石で付く部品 60 個（LED×30 個、コンデンサ×30）と部分的に磁石で付く部品 40 個（抵抗×20、タクトスイッチ×20）の計 100 個を用意した。試行回数は 5 回とした。

結果として、実機でもパターン 2 ではほとんどの部品を最後まで移動できた反面、パターン 1 では取りこぼしが多い傾向があった（図 8 下段）。今後、各移動パターンについて実機での詳細な検証を行い、シミュレータの再現性を検証していきたい。また実機での特徴として、取りこぼしの少ないパターン 2 であっても、磁石で付きにくい抵抗やタクトスイッチは 3 個程度取りこぼしが見られた。

6 応用例

本章では、目的である机上の整理以外に本システムで実現可能な応用例として、電子工作支援、はん

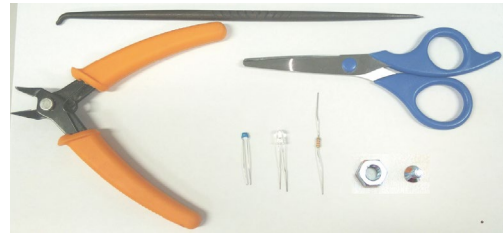


図 6 調査対象の部品／工具

表 1 部品／工具の移動結果

対象	弱磁石	強磁石
部品		
単色 LED	○	○
抵抗	△	○
積層コンデンサ	○	○
ボルトとナット	△	○
工具		
けがき針	△	○
はさみ	×	○
ニッパー	×	△

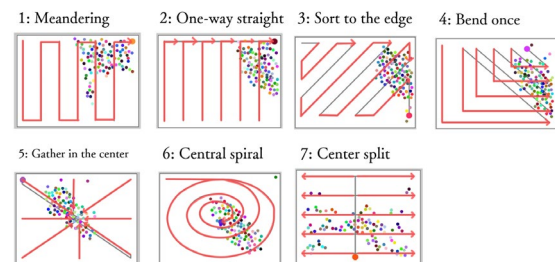


図 7 用意した移動パターン。

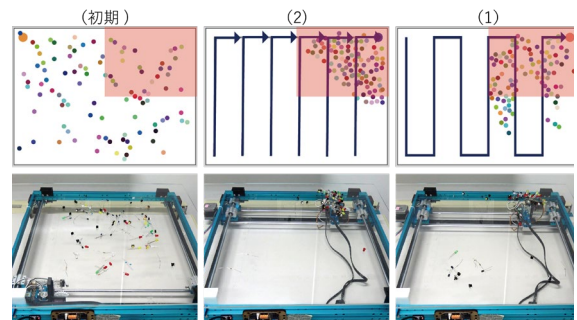


図 8 移動シミュレータでの結果（上段）と実機での結果（下段）。右から初期状態、パターン 2、パターン 1。

だづけの支援、天板の拭き掃除を紹介する。なお、応用例の一部（電子工作支援、はん付け支援）は提案技術の可能性を広めるために実装しており、コンセプトの「さりげなさ」とは矛盾する点があるため、本格的な導入については今後議論していきたい。

6.1 電子工作支援

特に学習段階の電子工作においては、ステップ毎に 1 つずつ電子部品を使って組み立てる方法が一般的である。例えば、初めに LED を点灯し、次に可変

抵抗を利用して光量を調節し、さらにタクトスイッチを利用して LED をオンオフする、といった具合である。また、初学者にとって抵抗やコンデンサは区別が難しく、間違った部品を取り付けてしまうと回路がショートする恐れもある。

こうした初学者の電子工作支援のために、事前に用意した部品を 1 つずつ手元に運ぶ応用例を実装した (図 9)。机奥のディスプレイに現在の組み立て手順が表示される。指示に沿って工作を行っていくと、部品を組み込む際、所定の位置に用意した部品が自動で手元に届く。これによって逐一部品を探す必要がなくスムーズに電子工作を行え、さらには部品の選択ミスをなくすることができる。

6.2 はんだづけの支援

はんだづけを行う際は、はんだ、小手、部品の最低 3 つを保持する必要があるため、様々な固定具を活用することが多い。そこで、磁石で部品を固定することで、はんだ付けを支援する応用例を実装した (図 10)。磁石を特定の場所に移動させ、天板に近づけることで、その近くに置いた部品を磁力で引き付けることができる。図 10 は、LED を固定した例である。クリップのような強固な把持力は持たないが、部品を同じ場所／向きで留められることを確認した。

また、部品の磁化を利用して、はんだごての先に部品を引き付けたり、逆に磁石を離すことで引き離せたりできる可能性がある。

一方、今回はアクリルの天板を利用しており、またネオジム磁石自体も熱に弱いので、長期的な運用には検証が必要である。

6.3 天板の拭き掃除

工作机は部品の散乱以外にも、ほこりなどで汚れやすい。そこで、提案システムで自動的に拭き掃除を行う応用例を実装した。まず、図 11 の右側のように、食器洗い用のスポンジに磁石の付いた板を取り付けた。これを天板上に配置することで、磁石がヘッド部に吸着してスポンジを移動させることができ

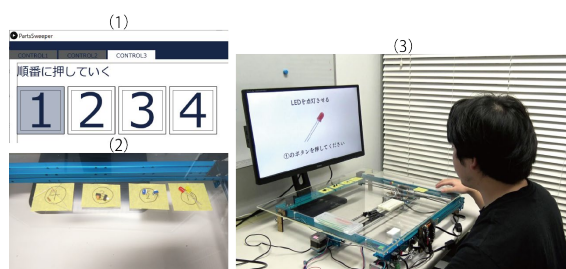


図 9 電子工作学習の操作支援の様子。(1)操作すると(2)図のように配置された部品が手元に来る。(3)はスライドに合わせて学習している様子。

る。事前にスポンジに洗剤や水をつけることで、天板がきれいに磨かれることを確認した。

この仕組み単体では掃除機ロボットなどでも代用可能であるが、スポンジの配置位置などを工夫することで、机の上の整理→拭き掃除といった一連の作業を自動化できる可能性がある。

7 議論

7.1 適切な分類方法の設計

提案システムでは原理的には工具と部品を個別に移動可能である。すなわち、先に弱い磁力で部品を移動させ、次に強い磁力で工具を移動させる。一方、実際にこの手順でシステムを運用すると、部品が工具に引っかかって止まってしまう場合が散見された。このための解決策としては、(1)カメラなどで工具を認識して移動経路を設定する、(2)工具を(部品と一緒に)先に移動させ、移動先の機構で部品と分類するといった方式が考えられる。本研究ではシンプルなシステムを検討しているため、主に(2)の方式を中心に対策を検討したい。たとえば、工具などを格納するための机の周辺部に小さな穴を開けることで、部品だけを振り落として下にまとめるような機構が考えられる。また、机の一部に物理的なパターン(例:幅の異なる凹凸や摩擦力の異なるテクスチャ)を配置することで、電子部品の重さや形状に応じて、ふるいにかけるような細かい分類もできる可能性がある。

7.2 非磁性体の移動

提案システムは永久磁石を用いて強磁性体のみを移動させる。電子部品や工具の多くが強磁性体であることが研究の着眼点ではあるものの、実際には工作机の上にも非磁性体の部品等が存在している。こうした非磁性体を整理する方法として、(1)非磁性体を金属のトレイに載せてまとめる、(2)角材に金属板を張り付けて横に滑らせることで非磁性体をまとめて移動させる。といった方式が考えられる。一方で、こうした対策は机の上に元来不要なモノを増やすことになるので、ユーザへの負担に配慮しつつ実



図 10 磁力で固定しはんだごてをしている様子

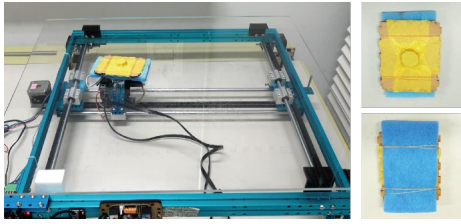


図 11 拭き掃除の様子と加工したスポンジ

現可能性を探っていききたい。

7.3 さりげない動作に向けて

本提案のコンセプトであるさりげない動作を実現するための、動作タイミングや介入時のフィードバック等について議論する。

動作タイミングとしては、作業者の着座状況等は簡単なセンサで検出でき、離席時は直接的に作業を邪魔する心配がないためシステムを動作させやすいと考える。しかし、必ずしも作業の終了を意味するわけではないため、戻ってきたユーザが不快に感じる可能性もある。もちろん、整理ボタンを用意しておき、ユーザが任意のタイミングでボタンを押すことで動作を開始する仕組みは現実的な方法であるが、さりげない動作からはやや離れてしまう。このように動作タイミングは一長一短であるため、任意に調整できるような方式を整理していききたい。

介入しやすさの観点では、現状のシステムでは運搬力が弱くデバイスに直接接触しないため、ユーザが安全に介入することはできる。一方、ユーザの介入状態をセンシングする仕組みは存在しないため、簡易なセンサでユーザの介入を検出し、システムの動作を変更するような手法を検討していききたい。

また、はんだ付けの支援のような応用例ではシステムのサポート状態を明示する（さりげなさを抑える）方がよい可能性もある。こうした例を本研究の対象とする場合、システムの存在感を調整するような仕組み（例：ヘッド部に LED を付けて動作状態を提示する）も併せて議論していききたい。

7.4 磁力による影響の考慮

電子部品などの精密部品の中には磁力の影響を受けやすいものも存在する。特に磁気センサや低周波帯の RFID のようなインダクタンスを扱う部品の利用には注意が必要である。

現時点の対処方法としては、机の一部に物理的に高さのある台や磁気シールド素材を設置する、ソフトウェア的に磁石を上げることのできない非緩衝空間を設定する、といった対応を検討している。一方、これらの手法はさりげない利用の観点では悪影響があるため、今後上述した部品への磁力の影響を調査し、対応を検討していききたい。

8 おわりに

本研究では、電子工作等の作業机に着目し、さりげなく机上の部品／工具を移動／整理するシステム **PartsSweeper** を提案／試作した。**PartsSweeper** は天板の裏面に設置した XY プロッターと、磁石と昇降機構からなるヘッド部、作業空間を入力するタブレット端末を中心に構成される。今回基本的な動作検証を行った。またプロトタイプと移動シミュレータを制作し、ヘッド部の移動パターンの模索／検証を行い、3つの応用例を紹介した。今後はシミュレータと実機を連動して実装／検証し、移動と天板上の物理的な機構を組み合わせる整理を行えるような経路を見つける。また実際の電子工作環境での運用を通して、システムの効果を検証したい。

謝辞

本研究の一部は、科研費 20H04231 の支援を受けた。

参考文献

- [1]Y. Sugiura, D. Sakamoto, A. Withana, M. Inami, and T. Igarashi, "Cooking with Robots: Designing a Household System Working in Open Environments," In Proceedings of CHI' 10, pp. 2427-2430, Apr. 2010.
- [2]L. Vink, V. Kan, K. Nakagaki, D. Leithinger, S. Follmer, P. Schoessler, A. Zoran, and H. Ishii, "TRANSFORM as Dynamic and Adaptive Furniture," In Proceedings of CHI' 15, pp. 183, Apr. 2015.
- [3]道貝 駿斗, 沖 真帆, 塚田 浩二, "ToolShaker: 日用品自体を駆動する情報提示手法の提案," 情報処理学会論文誌, vol. 60, no. 2, pp. 385-396, Feb. 2019.
- [4]G. Pangaro, D. Mayes-Aminzade, and H. Ishii, "The actuated workbench: Computer-controlled actuation in tabletop tangible interfaces," Proc. UIST '02, pp. 181-190, Oct. 2002.
- [5]山岡 潤一, 箕 康明, "dePEND: ボールペンの強磁性を利用した手描き制御システム," 情報処理学会論文誌, vol. 55, no. 4, pp. 1237-1245, Apr. 2014.
- [6]蓮本 諒介, 樋田 基紘, 尾形 正泰, 今井 倫太, "XY テーブルを用いた卓上アクチュエーションシステム," 第 78 回全国大会講演論文集, vol. 2016, no. 1, pp. 215-216, Mar. 2016.
- [7]M. Komatsuzaki, K. Tsukada, I. Siio, "DrawerFinder: finding items in storage boxes using pictures and visual markers," In Proceedings of IUI' 11, pp. 363-366, Feb. 2011.
- [8]岩井 大輔, 佐藤宏介, "Limpid Desk: 投影型複合現実感による机上書類の透過化," 情報処理学会論文誌, vol. 48, no. 3, pp. 1294-1306, Mar. 2007.
- [9]郷古 学, 金 天海, "テーブル上の物体の片付けを促すためのロボットの振る舞い," 人工知能学会論文誌, vol. 32, no.5, pp. E-H31_1-8, Sep. 2017.
- [10]木下 和樹, 油田 信一, 坪内 孝司, "画像により机上の工具を探索する移動ロボット-自律片付けロボットの開発-, 計測自動制御学会論文誌, vol. 49, no.1, pp. 111-118, Jan. 2013.