

# 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・デスクの研究

折原 征幸<sup>1</sup> 塚田 浩二<sup>1,a)</sup>

受付日 2021年5月5日, 採録日 2021年11月2日

**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，机上の工具/部品等のさりげない移動・整理を目指すシステム「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，ヘッド部の永久磁石と昇降機構，およ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，コンセプトを整理した後，プロトタイプや応用例を制作する．さらに，性能評価とユーザテストを通してプロトタイプの基礎的な性能やその動作に対する印象等を調査する．

**キーワード：**作業机，整理支援，インタラクション，磁石

## PartsSweeper: Research on Interactive Workbench to Casually Organize Electronic Parts and Tools

MASAYUKI ORIHARA<sup>1</sup> KOJI TSUKADA<sup>1,a)</sup>

Received: May 5, 2021, Accepted: November 2, 2021

**Abstract:** Workbenches for electronic work are often cumbersome because many electronic parts and tools are placed and used together. To solve the problem, we propose a system called “PartsSweeper”, which aims to casually move and organize tools and parts on a desk. The system mainly consists of a XY plotter installed behind the desk, a permanent magnet and a lifting mechanism in the head, and a tablet computer for inputting the work space. The system aims to move and organize tools and parts separately without special sensing. In this paper, we propose concepts and develop a prototype and applications. Then we conduct a performance evaluation and user study to investigate the basic performance of the system and subjective impression of users.

**Keywords:** workbench, organizing support, interaction, magnet

### 1. 背景

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，つね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，部品どうし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に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，実際には作業中は回路図/設計図等の理解や繊細な作業に気をとられ，整理整頓を心がけることは難しい．こうした問題を解決するために，本研究では作業机上の工具/部品等のさりげない移動・整理を目指すシステム『PartsSweeper』を提案・試作する (図 1)．次に，システムで利用可能な工具/部品の調査を中心とし

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学  
Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido, 041-8655,  
Japan

a) tsuka@acm.org

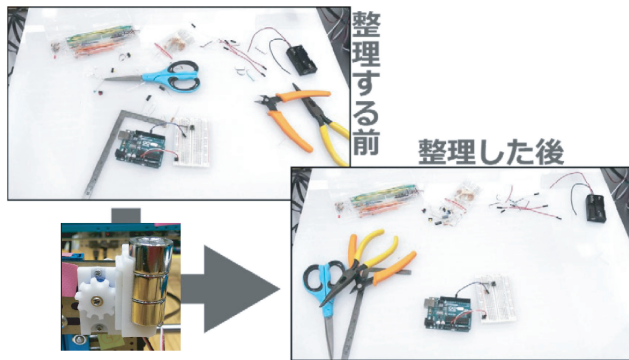


図 1 PartsSweeper の概要. 磁石を用いて机上の電子部品/工具のさりげない整理を目指す

Fig. 1 Overview of the PartsSweeper.

て、デバイスの基礎的な性能を検証する。さらに、ユーザテストを通して、システムの動作に対する印象や効果を確認する。

## 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

まず、磁力以外を用いて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。inForm [3] は、多数のモータ搭載スライダとリンク機構を組み合わせて、格子状に並べられたピンアレイを上下に移動させ、物体の移動等が行える情報提示手法である。TRANSFORM [2] はこれをインタラクティブに形状が変わる家具として発展させ、机上のピンアレイを上下させて物体の移動等を行うことができる。これらの研究と比較して、本研究では、XYプロッタと磁石を組み合わせて天板の下に設置するシンプルなシステム構成をとる。3.1.2項で述べるように、可動部を隠すことでシステムの存在感を減らし、さりげない整理を目指す。MouseTutor [4] は、XYステージ上に固定したマウスをステージごと移動させることによって、マウス操作を多用するペイント/3Dモデリングソフトウェア等の理解促進を目指している。本研究では、同様のXYプロッタのヘッド部を加工して磁石の昇降機構を設置している。電子部品や工具に強磁性体が多いことに注目して、電子工作機の整理に活用する点が異なる。

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 [5] 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 [6] 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、絵を描画する等の活用例も示している。ZeroN [7] は、対象となる物体に上下から磁力を当てることにより、三次元空間上での磁性物体の動きの制御が可能である。応用例として、球体の位置に応じた3Dアプリケーションの視点操作や、プロジェクションマッピングを併用した惑星配置の表現を構築した。dePENd [8] 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。これらの研究では、磁力によるモノの移動自体を新たな表現や情報提示に活用するのに対して、本研究では電子工作機の整理に活用する点が異なる。

インテリジェントデスク [9] 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等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。FluxPaper [10] では、裏面に薄く磁性パウダーを塗布した紙と16個の電磁石からなるヘッド部を組み合わせて、ホワイトボード上で紙を移動/引き離し/折り畳みができるシステムが提案されている。これらの研究では、XYプロッタと電磁石を備えたヘッド部を利用して、食器や付箋の移動等に应用している。本研究では、電子工作機の整理を目的としており、(1)電子部品や工具に強磁性体が多いことに着目し、原則別の磁性体を用意する点がない、(2)永久磁石を上下に移動させて磁力を段階的に制御し、部品/工具を別々に移動できる、といった特徴がある。

### 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 [11] は、1つの棚に格納された複数の収納箱を対象としたもの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 [12] は机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。ユーザが上層の書類に手で接触したことを検出して投影を開始することで、机上の書類探索作業の能率向上を目指している。これらの研究では、モノ探しや書類整理を視覚的な情報提示を介して支援するのに対して、本研究では物理的に電子部品や工具を動かすことで支援する。

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 [13] は、机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 [14] 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。そして一連の実験により、机上に放置された工具をある程度探索可能であることを確認した。これらのシステムでは、実際の道具の移動/整理はユーザーが行う必要があるのに対して、本研究ではシステムが移動/整理を行う点が異なる。

### 3. 提案：PartsSweeper

PartsSweeper は、電子工作等の作業机に着目し、システムがさりげなく机上の部品/工具等を移動/整理するシステムである。この章では、PartsSweeper のコンセプトとシステム構成に関して述べる。

#### 3.1 コンセプト

PartsSweeper の主要なコンセプトは、「電子部品/工具を移動/整理」、「ユーザーの作業への配慮」、「既存の作業机への導入」の3点である。以下、詳細について述べる。

##### 3.1.1 電子部品/工具を移動/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/ペンチ等）の移動と整理を行う。我々はこうした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/整頓について、以下のように定義する。整理とは、部品等が数カ所にまとまっており、作業空間が確保されている状態である。整頓とは、整理された部品等を分類し、必要なモノをすぐにとれる状態とする。本研究では机上が整理整頓された状態を目指すことが最終的な目的だが、現状では整理された状態を目指している。

##### 3.1.2 ユーザーの作業への配慮

本研究では「さりげない」整理を目標とする。本研究における「さりげない」とは、ユビキタス・コンピューティングの理念における「Calmness」[15]と同様に、システムの存在感が少なく、ユーザーの注意を引き付けにくいこと、作業を阻害しにくいことを意図している。すなわち、ユーザーがシステムの存在や動作に気づきにくく、また動作に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。机上に移動ロボットやロボットアームを設置する場合と比較して、システム自体やその動作が目立たないことで、(1)ユーザーの注意を引き付けにくい、(2)非利用時に周囲の景観に影響しにくい、といった特徴がある。また、運搬力が相対的に弱い（たとえば意図しない移動を手動で防ぎやすい）と考える。

また、図2に一例を示すように、ユーザーによって机上での部品/工具の配置方法（作業空間の設計）は異なると考えられる。よって、ユーザーごとに任意の作業空間をレイア

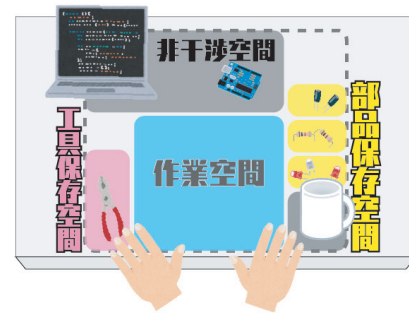


図2 作業空間設計の例

Fig. 2 Example layout of a work space.

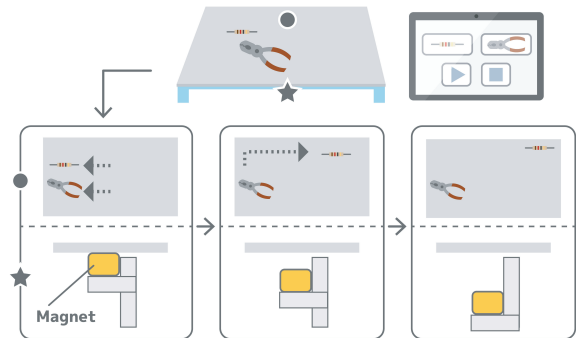


図3 PartsSweeper の構成。タブレット端末からの入力をもとに、工作机下部に設置したXYプロッタと磁石を制御して、パーツや工具を選択的に移動/整理する

Fig. 3 Concepts of the PartsSweeper.

ウトするための入力インターフェースを用意する。収納位置/移動経路等を事前に指定して、ユーザーの好みに合わせられるように配慮する。

##### 3.1.3 既存の作業机への導入

既存の作業机に対して、導入が容易なシンプルなシステム構成を採用する。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。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。

なお現在のプロトタイプでは、実装や実験の容易さをふまえて、PartsSweeper 自体に天板を備えた構成としている。この状態でも、作業机の上に設置して利用可能であるが、3.1.2項で述べた「さりげなさ」の観点等で問題がある。将来的には、既存の作業机の天板の裏に直接システムを組み込んで利用できる構成を目指す。

#### 3.2 システム構成

本システムは、天板の裏面に設置された磁力制御機構と作業空間を入力するタブレット端末から構成される(図3)。



### 3.2.1 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ふまえて、XYプロッタを採用した。XYプロッタは2台のステップモータとタイミングベルト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。

我々はヘッド部に磁石を搭載し、磁石自体を上下させることで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とどまらせることができる。なお、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。

また磁力の発生/停止による移動に加えて、磁力を調節することで部品/工具を選択して運搬する。磁力を弱めることで工具は移動せず、部品のみが移動す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可能性がある。具体的には、磁力の違う2種類の磁石を使う方法や、天板と磁石との距離を調節することで吸着力を制御する方法を考案する。

### 3.2.2 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。たとえば図2のような「部品保存空間」「工具保存空間」の位置をタブレット端末から入力することで、システムの動作を設定することができる。具体的には、

- 弱い磁力モードでヘッドを移動し、電子部品を「部品保存空間」に移動する。
- 強い磁力モードでヘッド移動し、工具を「工具保存空間」に移動する。

といった制御が可能になる。また動作のタイミングもタブレット端末から指定する。つねに稼働/一定間隔で稼働/1度だけ稼働等複数の条件でヘッド部を動作させる。さらに電子部品等の精密部品の中には磁力の影響で異変が起きやすいモノも存在しうると考える。そこで、机上に磁力の発生しない個所を用意するために、磁石を天板に近づけないような「非干渉空間」を指定できる。また、ヘッド部の移動経路を直接指定すれば、任意の場所をピンポイントで避けることもできる。

## 4. 実装

ここでは実装したプロトタイプについて述べる。プロトタイプは主にXYプロッタ、磁力ヘッド部、ソフトウェアから構成される。また移動経路を調査するために制作した移動シミュレータを紹介する。

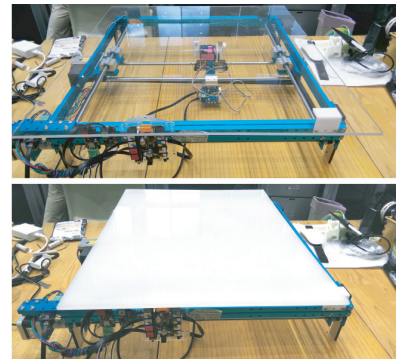


図4 プロトタイプの外観。XYプロッタを上下逆に設置して脚部を取り付け、5mmの亚克力天板を配置した。上側：クリア天板、下側：乳白色天板

Fig. 4 Appearance of the prototype.

### 4.1 ハードウェア

ここではプロトタイプのハードウェアとして、XYプロッタとヘッド部に関して説明する。

#### 4.1.1 XYプロッタ

MakeBlockの「XY-Plotter ロボットキット V2.0 (以下XYプロッタ)」を上下逆さに設置し、その上に厚さ5mmの亚克力板を配置した(図4)。この亚克力板が作業机の天板となる。天板として亚克力板を選定した理由は、比較的入手しやすく、加工が容易であったためである。天板を含めたXYプロッタの寸法は600mm×550mm×12mm(幅×奥行×高さ)で、ヘッド部の可動域は310mm×390mm(幅×奥行)ほどである。なお、ヘッド部の最高動作速度は50mm/秒、最小移動精度は0.1mmである。今回の実装ではつねにヘッドが最大速度で動くように設計した。XYプロッタの制御マイコンはArduino互換機であり、容易に制御が可能である。たとえば、シリアル通信を用いてヘッド位置を制御でき、座標入力による絶対制御と移動量による相対制御が可能である。

なお、天板のサイズ(600mm×550mm)はXYプロッタのフレームのサイズにあわせて設定したが、研究室内の電子工作機の作業スペース(約600mm×500mm)と同等である点から、プロトタイプとしては十分と判断した。

#### 4.1.2 ヘッド部

XYプロッタのヘッド部にはサーボモータを設置し、永久磁石と昇降機構を取り付けた。昇降機構とはサーボモータの回転運動をギアで昇降運動に変換し、永久磁石を上下に駆動するラック・ピニオン機構である。磁石が上昇状態では机上への磁力の影響が大きくなり、下降状態では小さくなる。本研究では2種類のヘッド部を実装したため、それぞれ説明する。

ヘッド部1は、磁力に差がある2つの永久磁石とその形に対応した昇降機構を取り付けたヘッドである。図5左側の黒い昇降機構は磁力が弱い磁石(NSC0028)を備え、右側の白い昇降機構は磁力が強い磁石(NDC0130)を備えて



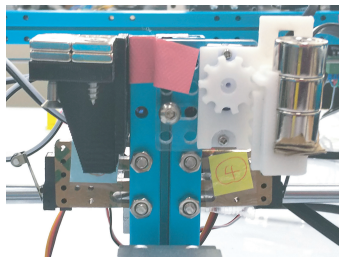


図 5 ヘッド部 1 の外観

Fig. 5 Appearance of the head (ver. 1).

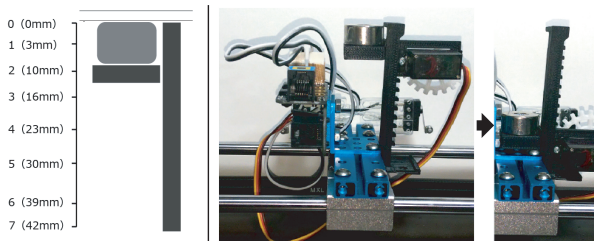


図 6 ヘッド部 2 の外観と昇降範囲

Fig. 6 Appearance of the head (ver. 2).

いる。NSC0028 は単体では吸着力が弱く、複数の部品を 1 度に運べないため水平に 4 つ、垂直に 2 つずつ並べることで吸着範囲と吸着力を上げている。NDC0130 も吸着力を上げるために垂直に 3 つ重ねている。磁力の違うこれら 2 つの磁石を使って部品/工具を選択的に移動させる。

ここで、NSC0130 と NSC0028 の距離による磁束密度の減衰をガウスメータを用いて調査した。磁石の表面から計測位置までの距離を  $X1$  とする。  $X1$  が 5 mm のとき、NDC0130 の磁束密度は 4625 ガウスであり、部品/工具の双方の移動が確認できた。一方、NSC0028 の磁束密度は 960 ガウスであり、部品のみの移動が確認できた。さらに、  $X1$  が 9 mm のとき、NDC0130 の磁束密度は 962 ガウスとなり、NSC0028 ( $X1=5$  mm) とほぼ同じとなることが分かった。ここから、天板と磁石との距離を利用することで 1 種類の磁石で部品/工具を選択的に移動できる可能性が示唆されたため、ヘッド部 2 を実装することとした。

ヘッド部 2 は 1 個の磁石を用いて、天板との距離で磁力の差を生み出すヘッドである (図 6)。サーボモータを 360 度回転できるものに変更し、昇降機構の歯車を大型化した。その結果、ヘッド部 1 のときは天板との距離を 20 mm まで離すことができたのに対し、ヘッド部 2 では 45 mm まで離すことができ、さらに位置を 8 段階に調節できるようになった。また永久磁石は、予備的な実験を経て、NDC0019 (直径 20 mm, 吸着力 80.1~90.0 N) を 1 つ使用することにした。磁石の選定基準については、「吸着力の距離による減衰」「水平方向の吸着範囲 (磁石の直径)」「磁石の設置しやすさ (薄さやネジ穴)」に配慮して、入手性が高く吸着力の強いネオジウム磁石から選定した。実験の詳細は割愛するが、まず、磁石の直径は電子部品等を吸着する範囲に

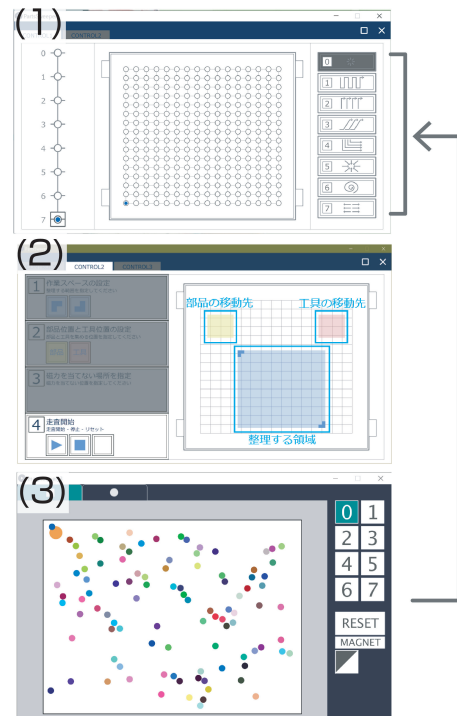


図 7 ソフトウェアのスクリーンショット。(1) 動作検証用, (2) 作業空間設定, (3) 移動シミュレータ

Fig. 7 Screenshots of the software.

影響し、大きすぎると部品の個別移動が難しくなるため、工具等も移動可能な吸着力を持つ、直径 20 mm のネオジウム磁石 (マグファイン社\*1) を 5 種類選定した。これらは形状や薄さ、ネジ穴の有無が異なる。次に、ネジ穴の有無が天板を挟んだ状態の磁束密度に影響しないことを確認したうえで、ヘッドの移動距離による磁束密度の減衰をガウスメータで計測し、どの距離でも最も磁束密度が高かった NDC0019 を選択した。前述した NDC0130 (直径 15 mm, 吸着力 50.1~60.0 N) を 3 つ使用していた場合と比較すると、1 つでも十分な吸着力を持ち、工具等も移動することができる。

#### 4.2 ソフトウェア

タブレット端末から制御できるように、Processing でヘッド部の座標や昇降機構を手軽に操作できるソフトウェアを実装した (図 7(1))。左側で磁石の昇降の制御ができる。下から上まで 8 段階あり、磁石や移動したいモノに応じて天板との距離を調整できる仕様とした。また画面中央はヘッド部を机上で平面移動させるインタフェースであり、グリッド座標上で指定した位置に移動させることができる。さらに画面右側はシミュレータで作成/検証した移動経路を筐体で試すことができる。1 つのボタンに 1 つ移動パターンが割り振られている。

また 3.2.2 項で説明したような、部品/工具を整理するた

\*1 <https://www.magfine.com/ja/>

めのソフトウェアも実装した (図 7(2))。画面左側の赤と黄色のボタンを用いて、部品/工具の保管場所を指定できる。各色のボタンを押した後、画面右側のマス目を選択することで、マス目付近が同色に塗り分けられ、部品/工具の保管場所として設定される。設定完了後、画面左下のボタンを押すことで、マス目上の青い四角の中に置かれた部品/工具を、それぞれの保管場所に移動するようにシステムが動作する。

### 4.3 移動シミュレータ

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実装した。机上に同じ部品が大量にあり、その部品を 1, 2 カ所に集めることを想定している。

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舞いをシミュレーションするアルゴリズムである。図 7(3) により、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。小さな円どうしはお互いに引き付けられないが、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、ヘッドの位置リセットボタンが配置される。

また、前述したように、移動シミュレータで作成/検証した移動経路は、図 7(1) の動作検証用ソフトウェア上のボタンに割り当てることができる。

## 5. 性能評価

PartsSweeper のプロトタイプのパフォーマンスを評価するために、移動可能な電子部品/工具の調査と、移動シミュレータと実機を用いた移動経路の検証を行った。

### 5.1 移動可能な電子部品/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/工具を図 8 に示す。

部品と工具は、ジャンルや入手性を考慮して選択した。部品については、受動部品、センサ、アクチュエータ、電源部品、配線部品等、一般的な電子工作に利用される部品のジャンルを考慮して選定した。工具については、はんだ付工具、筐体組み立てや加工に使う工具、切断用の文房具等の作業を考慮して選定した。いずれの部品/工具も、日常的に電子工作を行う著者らの研究室で元々利用されてい



図 8 調査対象とした部品/工具の一覧

Fig. 8 List of parts/tools for the evaluation.

たもので、日本で一般的に入手できるものである。

調査方法は、電子部品または工具の重量と大きさを記録したのち、PartsSweeper の天板の上に置き、ヘッド部を 30 cm 離れた終点まで動かした。終点に対象の部品/工具が触れたら移動成功とし、試行回数は 5 回とした。磁石と天板の距離で磁力を制御するヘッド部 2 を利用し、距離 8 段階での成功率を調べた。

なお、部品/工具の向きは図 8 のように配置し、上下方向に移動した。また、部品/工具の磁化の影響を避けるために、移動を行うごとに消磁機で消磁を行った。

#### 5.1.1 結果と考察

結果を表 1 に示す。5 回中 1 度以上移動に成功した場合は成功率を % で表記し、動いたが 1 度も移動に成功しなかった (終点まで到達しなかった) 場合を Δ、始点から 1 度も微動だにしなかった場合を × として表記した。最上段の 0-7 は、磁石と天板との距離段階を示し、0 が最も天板に近い (高い) 位置である (図 6 参照)。

まず全体的な傾向として、磁石の位置が 6 段階目以下では部品/工具ともにいっさい移動しておらず、距離を調整することで磁力を遮断できていることがうかがえる。次に、成功率の高い部品は 2 段階目以上、工具は 1 段階目以上に集中しており、磁石が天板に近いほど成功率が高くなっている。特に、2 段階目の成功率は、工具はすべて 0%/部品は 7 つが 100% であり、部品と工具が混在する状況で、2 段階目を用いれば部品だけを移動できる可能性が示唆されている。

次に、部品/工具に分けて詳しく見ていく。部品では、単色 LED/抵抗 0Ω をはじめとした 7 種類の部品が 2 段階目で 100% 移動に成功しており、1 段階目/0 段階目のみを含めると、マトリクス LED/タクトスイッチ等更に 9 種

表 1 今回対象にした部品/工具の移動成功率(%). 7-0は8段階の距離. ×はまったく動かず, △は移動するが終点に到達しなかった

Table 1 Success rate of the movement of parts/tools.

名称	7	6	5	4	3	2	1	0
単色 LED	×	×	×	△	△	100	100	100
フルカラー LED	×	×	×	×	×	×	×	×
抵抗 0Ω	×	×	△	20	△	100	100	100
抵抗 1.0kΩ	×	×	×	×	×	×	100	100
タクトスイッチ	×	×	×	×	×	×	80	100
DIP スイッチ 4P	×	×	×	×	×	×	×	×
大型スイッチ	×	×	×	×	×	100	100	100
マトリクス LED	×	×	×	×	×	20	100	100
フォトリフレクタ	×	×	×	×	△	100	100	100
積層セラコン	×	×	×	×	20	100	100	100
アルミ電解コン	×	×	△	△	△	△	100	100
トランジスタ	×	×	×	×	×	×	×	×
CdS	×	×	×	×	×	×	×	×
PTC サーミスタ	×	×	△	△	60	100	100	100
マイクロサーボ	×	×	×	×	×	×	△	100
DC モータ	×	×	×	×	×	△	100	100
スピーカ	×	×	×	×	×	100	100	100
電池 BOX	×	×	×	×	×	×	100	100
電源コネクタ	×	×	×	×	×	×	×	×
ミノムシコード	×	×	×	×	×	×	80	100
ジャンパワイヤ	×	×	×	×	×	×	△	100
カッタ	×	×	×	×	×	△	△	60
ハサミ	×	×	×	×	×	×	100	100
ドライバ (大)	×	×	×	×	×	×	×	100
ドライバ (小)	×	×	×	×	×	△	100	100
ラジオペンチ	×	×	×	×	×	×	40	60
ニッパ	×	×	×	×	×	×	20	60
ハンドドリル	×	×	×	×	×	×	△	100
やすり	×	×	×	×	×	×	40	100
ハンマ	×	×	×	×	×	×	×	△
はんだごて	×	×	×	×	×	×	×	△
こて台	×	×	×	×	×	×	×	×

類の部品が100%移動に成功している。一方、フルカラーLED/DIPスイッチ/トランジスタ等の5種類の部品は0段階目でもまったく磁石に反応せず、全体としては21種類中16種類の部品の移動に成功した。このように移動成功率が異なる要因としては、磁性体の保有や構成の違いが主に影響していると考えられる。たとえば、単色LED/フルカラーLEDは非常によく似た形状/質感であるが、実は端子の素材が異なり、今回のフルカラーLEDの端子部は磁性体を含んでいないと考えられる。また、2段階目で100%移動に成功した単色LED/積層セラミックコンデンサ等は部品全体が磁石に吸着するのに対して、1段階目以下で移動に成功した抵抗1.0kΩ/タクトスイッチ等は一部のみが吸着していた。なお、多くの部品は4段階目以下では磁石に反応しなかったが、抵抗0Ω/アルミ電解コンデンサ/PTCサーミスタは5段階目で磁力に反応して若干の移動が確認され

た。こうした特徴を活用すれば、部品内でもヘッド距離の違いで選択的な移動ができる可能性があると考えられる。

工具では、ハサミ/ドライバ(小)の2種類は1段階目で100%移動に成功しており、ドライバ(大)/ハンドドリル/やすりの3種類は0段階目で100%移動に成功した。また、カッタ/ラジオペンチ/ニッパの3種類は、0段階目で60%移動に成功した。一方、ハンマ/はんだごて/こて台は0段階目でも1度も移動に成功しなかった。このように、全体としては11種類中8種類の工具を一定の確率で移動させることができた。このように移動成功率が異なる要因としては、主に重量や構成の違いが影響していると考えられる。1段階目で移動に成功したドライバ(小)やハサミは工具の中では重量が軽いのに対し、1度も移動に成功しなかったハンマやこて台は磁性体である金属部分も多いためヘッドに吸着はするが、重量が重すぎて十分に移動することができなかった。また、0段階目で60%の成功率にとどまった工具の中で、ラジオペンチ/ニッパは、持ち手にゴムの滑り止めがついており、移動しにくい傾向があった。カッタは、磁性体である金属部分がプラスチックで覆われて天板から少し離れており、金属部分を天板に吸いつけて引きずるように移動しており、途中の向きの変化によって移動に失敗する様子が見られた。なお、工具は電子工作で使用するものはある程度限定されるため、PartsSweeperの移動に適した工具セットを用意する等の対策も今後検討していきたい。

### 5.2 シミュレータと実機の移動経路の検証

制作した移動シミュレータと実機で、できるだけ多くの部品を1カ所に集めるような移動経路の検証を行った。机上のどの位置に部品を集めるかを決め、移動経路のパターンを変化させて整理を行う。

まず移動シミュレータで移動パターンの検証を行った。右上、右側、中央、両側の4つを移動先の位置(移動箇所)とし、移動経路を合計7パターン用意した(図9左、図10)。シミュレータでは部品に見立てた100個の小さい円が毎回ランダムに配置され、ヘッドに見立てた大きい円が初期位置から指定経路どおりに移動する。なお、図9では、移動箇所を水色で示している。

続いて、移動シミュレータの経路を実機に適用した動作検証を行った。PartsSweeperのヘッド部を図10の6つの移動経路で移動させ\*2、天板に乗せた電子部品を右上/右側/中央の何れか1カ所に集める(図9右)。電子部品は全体が磁石で付く部品60個(LED×30、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、天板の上は無作為に配置した。

\*2 パターン7はシミュレータでの成功率が低かったため、実機では動作検証の対象外とした。



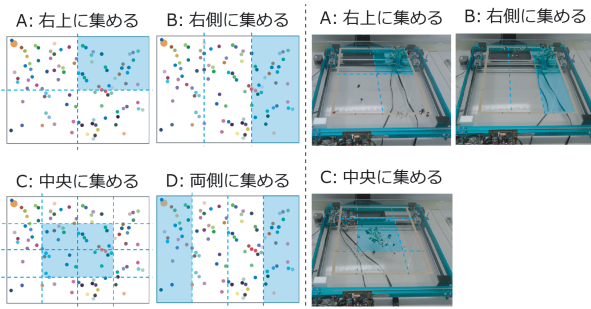


図 9 移動シミュレータ/実機での部品の移動箇所

Fig. 9 Destination of parts in the simulator/prototype.

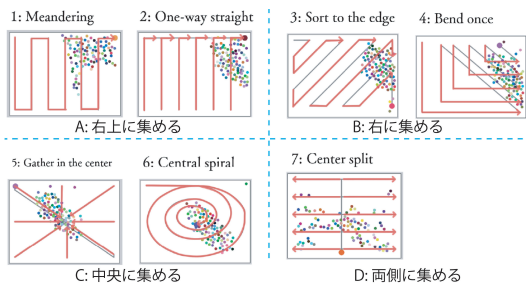


図 10 シミュレータ用の移動経路 7 パターン

Fig. 10 7 movement patterns for the simulator.

表 2 移動シミュレータ/実機での移動経路ごとの移動完了率 (平均と標準偏差) と成功率 (9 割以上移動した割合). 単位は%

Table 2 Success rate of movement in simulator/prototype.

移動経路	シミュレータ		実機	
	移動完了率	成功率	移動完了率	成功率
1:	79.0(7.5)	20	73.8(5.3)	0
2:	88.2(7.7)	60	91.6(4.3)	80
3:	99.0(0.9)	100	84.0(4.6)	20
4:	98.4(1.4)	100	97.8(1.6)	100
5:	80.6(7.6)	20	86.6(3.7)	20
6:	83.6(4.0)	20	79.7(2.6)	20
7:	42.8(2.6)	0	-	-

調査する指標は、移動完了率 (100 個中何個の部品が移動箇所へ移動できたか) と、成功率 (実際の利用場面を想定した独自基準) とした。成功率は、移動箇所へシミュレータでは小さな円、実機では部品が 90%以上入ったときを成功として、試行回数 (各 5 回) 中の成功回数を調査した。

### 5.2.1 結果と考察

移動シミュレータ/実機における、移動完了率と成功率を表 2 に示す。

まず、成功率 60%以上のパターンに注目する。移動シミュレータではパターン 2 (成功率 60%)/3 (成功率 100%)/4 (成功率 100%) が、実機ではパターン 2 (成功率 80%)/4 (成功率 100%) が該当する。シミュレータ/実機での移動完了率についても、パターン 2 は平均 88.2% (s.d.=7.7)/平均 91.6% (s.d.=4.3)、パターン 4 は平均 98.4% (s.d.=1.4)/97.8% (s.d.=1.6) とともに高い結果となった。実際の移

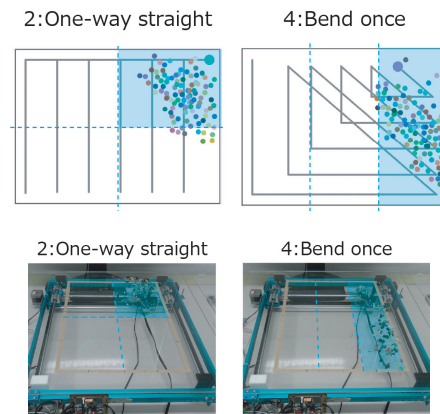


図 11 移動シミュレータ/実機での成功例：パターン 2 と 4

Fig. 11 Success example: pattern 2 and 4.

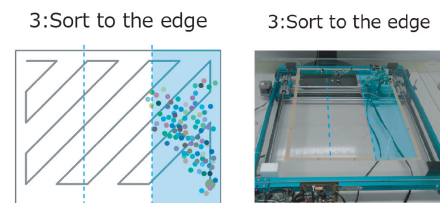


図 12 移動シミュレータと実機の結果が異なる例：パターン 3

Fig. 12 Differing example: pattern 3.

動結果の例を図 11 に示す。これらのパターンに共通している点は、磁力のオン/オフを切り替えつつ、磁力オンの状態でヘッドを同一方向に周期的に移動させることで、部品を少量ずつ 1 辺に集めていることがあげられる (2 は上側 → 右側, 4 は右側)。

なお、パターン 3 はシミュレータと実機での結果が異なっていた。シミュレータ/実機において、成功率はそれぞれ 100%/20%となり、移動完了率も平均 99.0% (s.d.=0.9)/平均 84.0% (s.d.=4.6) と異なっていた。実際の移動結果の例を図 12 に示す。シミュレータでは右上～右下まで幅広く集められていてとりこぼしもほとんどないが、実機では右上にまとまって集められており、中央上部等には多くの部品が取り残されている。この要因として、実機では実装上の理由でヘッド部の斜め移動に制約があり、斜め 45 度に移動 → 縦方向に移動を繰り返すことになり、細かい移動経路の変化により部品をとりこぼしやすくなっていた可能性がある\*3。

次に、失敗例としてパターン 1 と 7 に着目する。パターン 1 の成功率/移動完了率は、移動シミュレータでは 20%/平均 79.0% (s.d.=7.5)、実機では 0%/平均 73.8% (s.d.=5.3) であり、パターン 7 については移動シミュレータで 0%/平均 42.8% (s.d.=2.6) であった。パターン 7 はシミュレータでの成功率/移動完了率が著しく低かったため、実機での検証は省略した。実際の移動結果の例を図 13 に示す。パターン 1 ではシミュレータ/実機ともに、移動途中でヘッ

\*3 シミュレータと実機は縦横比が異なるため、パターン 3 は実機では斜め 60 度程度で移動する。

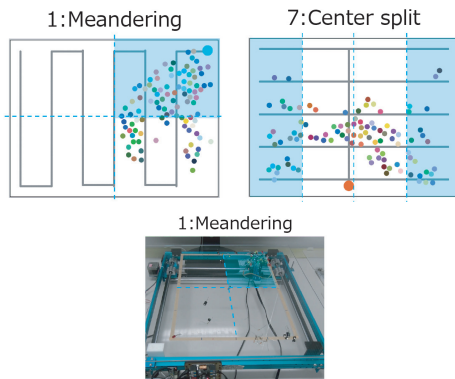


図 13 移動シミュレータ/実機での失敗例：パターン 1 と 7  
 Fig. 13 Failure example: pattern 1 and 7.

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。この結果から、ヘッドは 1 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ような経路は向かないと考える。パターン 7 では、1 度移動箇所到達した部品が、再度戻ってきたヘッドに引き寄せられて、中途半端な位置でとどまってしまう様子が見られた。この結果から、移動箇所付近の経路設定は移動済みの部品への干渉を考慮して、慎重に行う必要があると考える。

なお、中央に集めるパターン 5/6 については、大きな優劣や特徴が見られなかったため、割愛する。

### 5.3 まとめ

性能評価実験で得られた知見を簡潔に整理する。部品/工具の移動については以下のような知見が得られた。

- 全体として、21 種類中 16 種類の部品と、11 種類中 8 種類の工具の移動に成功した。
- 移動に成功した際の磁石の位置は、部品は 2 段階目以上、工具は 1 段階目以上に集中していた。

この知見から、部品の移動時には磁石を図 6 の上から 2 段階目、工具の移動時は 1 段階目として初期設定し、必要に応じて調整するような方法が適すと考える。

また、ヘッドの移動経路については以下のような知見が得られた。

- 適切：磁力のオン/オフを切り替えつつ、磁力オンの状態でヘッドを同一方向に周期的に移動させる。
- 不適切：ヘッドは 1 度に運べる量に限界があり、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。
- 不適切：移動先付近の経路設定は移動済みの部品への干渉を考慮して、慎重に行う必要がある。

これらの知見から、適切な移動経路を今後の初期設定としつつ、部品の移動が難しい経路を設定した場合に警告を出す等、工夫していきたい。

## 6. ユーザテスト

被験者に本研究のプロトタイプ動作を観察してもらい、アンケート形式で回答を得るユーザテストを行った。以下に目的と手法、結果と考察を説明する。

### 6.1 目的

本研究では整理の効果やさりげなさを主軸としておいている。そこでプロトタイプで整理の様子を見せて印象を聞き、使用者が本システムの動作を見ているときと見ていないときの反応の違いを調べる。具体的には整理の印象や動作中の煩わしさ、また動きの楽しさやモータ音の大きさといった主観の評価をアンケート形式によって得る。なお、見ているとき/見ていないときは、本システムの主な動作タイミングである作業の区切り時において、着席中/離席中の状況を想定して設定した。動作タイミングについては、8.2 節で詳しく議論する。

### 6.2 手法

実験は 4.1 節で説明したプロトタイプと、4.2 節で説明した動作検証用ソフトウェアを用いて行った。移動の対象として、10 個の電子部品（単色 LED5 個、タクトスイッチ 5 個）を利用した。また毎回動作前後の机上の状態を写真で記録し、プロトタイプの動作時間を計測した。さらに実験は、プロトタイプの動作を見ている場合/見ていない場合で 2 回行い、その順序は被験者ごとにランダムに変更した。以下に動作を見ていない場合の実験手順を記す。動作を見ている場合も基本的な手順は同一である。

- (1) 事前アンケートに工作経験等を記入してもらう。
- (2) PartsSweeper について簡単な説明を行い、移動箇所を右上（パターン 2）、右側（パターン 4）、中央（パターン 5）の 3 カ所から選んでもらう。
- (3) 電子部品を 10 個渡し、稼働領域内の自由な位置に配置してもらう。
- (4) 被験者に同じ研究スペース内のプロトタイプが見えない位置に待機してもらった後、実験者が実行ボタンを押す。
- (5) 数分後、元の位置に戻ってきてもらい、動作後の机上の状態を見てアンケートに記述してもらう。

なお、ユーザに移動箇所を選定させた理由は、本研究のコンセプトの 1 つである「ユーザが自分の好みの作業環境で利用できる」点をふまえつつ、選択された移動箇所を調査するためである。上記の手順を用いて、被験者 8 名に実験を行った。被験者は 22 歳から 23 歳の男女（男性 6 名、女性 2 名）で、全員が工作や電子工作を行う頻度は年に数回以下であり、個人で工作用の作業機は持っていなかった。

表 3 移動箇所ごとの動作平均時間と被験者に選ばれた回数、および部品の移動完了率 (表中では移動率と表記)

Table 3 Time and success rate of the movement.

移動箇所	動作時間	選択数	移動率(見た)	移動率(見ない)
右上	03:06	5	84%	100%
右側	02:44	1	100%	100%
中央	02:02	1	90%	70%
平均	02:52	-	87.1%	95.7%

表 4 アンケートの質問項目。「1.まったくあてはまらない~5.よくあてはまる」の5段階で回答を得た

Table 4 Questions in the user test.

A	前と比べて整理されたと感じるか
B	部品が1カ所にまとまっていると感じるか
C	前と比べて作業しやすい状態になったと感じるか
D	部品の移動が煩わしくないと感じたか
E	待ち時間は長くないと感じたか
F	部品の移動が楽しいと感じたか
G	モータ音は気にならなかったか
H	今後このデバイスを使ってみたいか

### 6.3 結果と考察

表 3 は移動箇所ごとの平均動作時間と被験者に選ばれた回数、見ているとき/見えていないときの移動完了率を示す。動作時間とは、ヘッドの移動が開始してから、移動箇所へ到達するまでの時間を示す。位置ごとの平均動作時間は右上が約3分と最も長く、中央が約2分と最も短かった。また被験者に選ばれた回数は右上が5回と最も多く、1カ所に集めて整理する場合、端の方にまとめたいと考えるのではないかと推察する。

なお、中央に集める/見えていない条件のとき、PartsSweeper が近くに置かれた部品ケースを巻き込むトラブルが発生し、部品が2つしか移動できないことがあった。この際、モータ音がけたたましく鳴る等想定外の動作が起これ、アンケートへの影響が考えられたため、この表を含めて、分析はこの被験者を除いた7名の結果を対象とした。部品の移動完了率は、見ているときで平均87.1%、見えていないときで95.7%となり、全体的に高かった。

次に、アンケートの項目を表 4、結果をグラフにまとめたものを図 14 に示す。

まず整理結果の印象(質問A~C)について、動作を見たとき/見えていないときの順で述べる。質問A「整理されたか」は平均4.3/4.3、質問B「まとまりがあるか」は平均4.1/4.1、質問C「作業しやすいか」は平均4.4/4.4と、見たとき/見えていないときの差もほとんどなく、全体的に高評価であった。この結果から、動作を見たとき/見えていないときのどちらも、PartsSweeperの動作により机の上が整理され、作業しやすくなったという印象を与えられたと考える。

次に、デバイスの印象(質問D~H)について、動作を

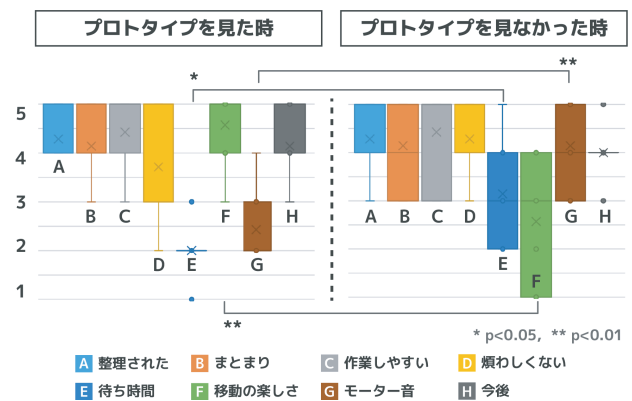


図 14 ユーザテストのアンケート結果

Fig. 14 Results of the user test.

見たとき/見えていないときの順で述べる。質問D「煩わしさ」は平均3.7/4.3であり、どちらも好評であったが、見えていないときの方がやや評価が高かった。質問E「待ち時間」は平均2.0/3.1、質問G「モータ音」は平均2.4/4.1であり、いずれも見えていたときは平均以下となり、見えていないときは平均~好評であった。質問F「移動の楽しさ」は平均4.6/2.6で、見えていたときの方が高く好評であった。質問H「今後利用したいか」は、平均4.1/4.0とどちらも好評であった。

見えていたときと見ないときの回答平均値に差があるかを確認するために、対応のあるt検定を実施した結果、質問E「待ち時間」、F「移動の楽しさ」、G「モータ音」に有意差が認められた(Eは $t(6) = 2.83, p = 0.030$ , Fは $t(6) = 4.58, p = 0.003$ , Gは $t(6) = 4.08, p = 0.006$ )。質問A~D, Hでは有意差はみられなかった。

こうした結果から、離席時等のデバイスを見えていない状況では、E「待ち時間」とG「モータ音」の評価は平均以上かつ、着席時より有意に高くなっており、さりげない動作をある程度達成できていたと考える。逆に着席時のようにデバイスを見ているときは、E「待ち時間」とG「モータ音」の評価は離席時より有意に低くなり、さりげない動作には課題が残る。その一方、F「移動の楽しさ」は離席時よりも有意に高く平均4.6と好評であり、H「今後利用したいか」が平均4.1で見えていないときと有意差がないことを考えると、部品の動きの可愛らしさやエンタテインメント性でフォローできる可能性があると考えられる。

最後に、ユーザテストの制約について述べる。本ユーザテストは、被験者の属性と設定タスクの点で制約がある。被験者は情報科学を専攻する大学生であり、電子工作の最低限の知識はあるが、日常的に電子工作を行うユーザは含まれていない。また、設定タスクはシステムの動作や動作前後の部品の配置変化を観察するものであり、電子工作作業自体はともなっていない。今後は、こうした実践的なユーザ層/作業タスクを想定した調査を進めていきたい。



## 7. 応用例

本システムの応用例として、プロトタイプの整理対象や用途を広げるために実装した、整理拡張ツールを3つ紹介する。本研究では強磁性体を磁石で引き付けて移動させるため、非磁性体は直接移動させることができない。そこで非磁性体を間接的に移動するために作成したツールを2つ、および天板を掃除するためのツールを1つ紹介する。

### 7.1 移動トレイ

箱の底面の裏側に強磁性体（ステンレスシート）を張り付けた移動トレイを作成した（図 15 (1)）。箱の中に非磁性体や細かい部品を入れることで、まとめて一気に移動することができる。基礎的な性能を検証するため、4段階で内容物の量を変化させて、安定した移動が可能かを調査した。内容物は空、小型部品10個（5.5g）、工具少数（123.1g）、工具多数（254.8g）とし、磁石を一番上に上げた状態でヘッド部を30cm移動するタスクを5回行った。ここで、最後まで移動できた場合を成功とし、成功率を調査した（図 16）。なお、移動トレイ自体の重さは45.2gであった。結果としては、123.1gまでの条件では、100%移動に成功したが、254.8gの時点では成功率が60%となり、やや不安定な動作となった。このことから、重量に制限はあるが、小型の電子部品を数十個程度運ぶことは十分可能であると考える。

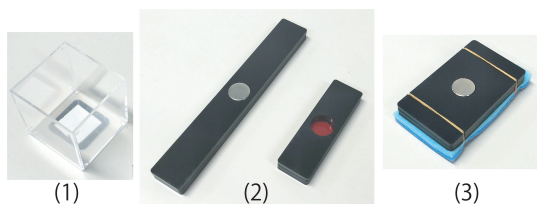


図 15 整理拡張ツールの外観。(1) ステンレス板が付いた移動トレイ、(2) 長さ 20 cm/10 cm の除去バー、(3) マグネット付きスポンジ

Fig. 15 Appearance of the external tools.

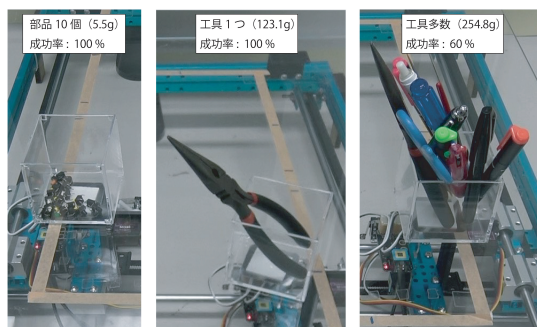


図 16 移動トレイの性能検証。左から部品/工具少数/工具多数

Fig. 16 Performance of the moving tray.

### 7.2 除去バー

中心に強力な永久磁石を仕込んだアクリル製の細長い板を除去バーとして作成した（図 15 (2)）。長さ 10 cm の除去バー小、長さ 20 cm の除去バー大の2つ用意した。抵抗の脚やはんだの余り等、電子工作を行った天板には磁石に付かない多くのゴミが発生する。除去バーはそれらのゴミを作業空間の外へまとめて移動するために実装した。

基礎的な性能検証として、ヘッド部に除去バーを吸着させ、直線的に 30 cm ほど移動させるタスクを実施した。除去バーの経路に、1 cm ほどはんだクズを 10 個ランダムに配置し、終点まで移動できた個数を計測した。試行回数は除去バー 2 種類 × 5 回とした。結果として、除去バー（小/大）の成功数はそれぞれ平均 2.6 回 (SD=3.04)/0.2 回 (SD=0.45) と全体的に低い結果となった。原因として、除去バーが移動していくにつれ回転してしまい、はんだを押し出すことができなかったことが主要な原因と考える。除去バー（小）では1度だけ8個のはんだを移動することができたが、この際は偶然回転が起きなかった。よって、除去バーの設計の改善方法として、熊手のような重心が後ろにある形状にすることで回転しにくくする方式等を今後検討していく。

### 7.3 マグネット付きスポンジ

工作机は部品の散乱以外にもほこり等で汚れやすい。そこで、自動的に拭き掃除を行うようにマグネット付きスポンジを作成した。まず、図 15 (3) のように、食器洗い用のスポンジに磁石を中央に埋め込んだアクリル板を輪ゴムで取り付けた。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る。事前にスポンジに水や洗剤を付けておけば、アクリル製の天板をある程度綺麗に磨けることを確認した。

なお、この仕組み単体では掃除機ロボット等でも代用可能であるが、スポンジの配置位置等を工夫することで、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。

## 8. 議論

### 8.1 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) カメラ等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、工具等を格納するための

機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、機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。こうした機構と、磁力による移動を組み合わせることで、部品や工具を選択的に移動させ、複数箇所整理できるように工夫していきたい。

## 8.2 さりげない動作に向けて

本研究の目標であるさりげない整理とは、3.1.2項で述べたように、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指す。本研究では、天板の下から電子部品や工具を移動可能なプロトタイプシステムを構成し、一定範囲の部品/工具を移動できることや、ユーザがシステムの動作後に機が整理されたと感じること等を確認した。一方、机に着席した状態ではモータ音が気になる等、静音性の向上に課題があるため、静音モータの利用等を検討していく。さらに、さりげない整理を実現するために必要となる、適切な動作タイミングや介入時のフィードバックについてはまだ実現できていない。ここでは、これらの項目について議論する。

提案システムの主な動作タイミングとしては、はんだ付けや組み立て等の工作作業が一区切りした状態を想定している。一般にこれらの作業中は作業に使う部品や工具を机の上に雑多に並べて置くことが多く、必要な部品と不要な部品が混在している。また、切り取った抵抗の足をはんだ付けに利用する等、ゴミのように見える部品も（作業中に限れば）必要なことがある。作業が一区切りした段階におけるユーザの動作は、着座したまま基板や作品を確認したり、離席して休憩する等が考えられ、こうしたタイミングでシステムを動作させることが望ましいと考える。

最も簡易な実現手法としては、整理ボタンを用意しておく、ユーザが休憩時等にボタンを押すことで動作を開始する仕組みがある。作業の区切りでの確実な動作が期待できるが、さりげない整理からはやや離れてしまう。次に、作業者の着座状況を赤外線距離センサ等で検出し、離席時にシステムを動作させる手法が考えられる。離席中は直接的に作業を邪魔する心配はないが、作業途中で離席する可能性も考えられるため、意図しないタイミングで整理が行われる可能性もある。最後に、机の上の動作状況（動きがあるかどうか）を焦電センサ等で検出し、一定時間動きが見られなくなった時点でシステムを動作させる手法が考えられる。この手法だと、着席時/離席時の双方の作業の区切りで動作できる可能性があるが、細かいはんだ付けが続く場面等、動きが少ないときには誤動作する可能性もある。このように、さりげない動作タイミングを実現する手法は一長一短であるため、ユーザの作業習慣等に合わせて任意

の手法を選択できるような方式を用意していきたい。

介入しやすさの観点では、現状のシステムでも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。たとえば、着座中にシステムの動作が始まった際に、意図しない部品の移動があれば手で直接部品を取ったり、別の場所に動かしたりすることができる。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たい。

## 8.3 磁力による電子部品の影響への考慮

電子部品等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。現時点では、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ことができる。これに加えて、機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、といった対応も検討している。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りうるため、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たい。

## 9. まとめと今後の展開

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を提案した。PartsSweeperは天板の裏面に設置したXYプロッタと、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PartsSweeperのプロトタイプやタブレット端末で操作するためのソフトウェア、移動シミュレータを実装した。また性能評価やユーザテストを通してシステムの基礎的な性能や整理結果やさりげなさ/楽しさ等の印象を確認した。

今後は、本研究の目指すさりげない整理を実現するために、8.2節で述べたように適切な動作タイミングや介入時のフィードバックの検討を進めていく。さらに、シミュレータと実機を動的に連動させつつ、ヘッドの移動と天板上の物理的な機構を組み合わせた手法を提案し、部品/工具を移動先で細かく整理できるようなシステムを構築することで、電子工作机を発展させていきたい。

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] Sugiura, Y., Sakamoto, D., Withana, A., Inami, M. and Igarashi, T.: Cooking with Robots: Designing a Household System Working in Open Environments, *Proc. CHI'10*, pp.2427-2430 (2010).
- [2] Vink, L., Kan, V., Nakagaki, K., Leithinger, D., Follmer, S., Schoessler, P., Zoran, A. and Ishii, H.:

- TRANSFORM as Dynamic and Adaptive Furniture, *Proc. CHI'15*, p.183 (2015).
- [3] Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Hogge, A. and Ishii, H.: InFORM: Dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation, *Proc. UIST'13*, pp.417-426 (2013).
- [4] 塩出研史, 宮下芳明: MouseTutor: マウスに手を動かされるチュートリアル, *インタラクシオン 2017 論文集*, pp.206-211 (2017).
- [5] 道具駿斗, 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 (2019).
- [6] Pangaro, G., Mayes-Aminzade, D. and Ishii, H.: The actuated workbench: Computer-controlled actuation in tabletop tangible interfaces, *Proc. UIST'02*, pp.181-190 (2002).
- [7] Lee, J., Post, R. and Ishii, H.: ZeroN: Mid-air tangible interaction enabled by computer controlled magnetic levitation, *Proc. UIST'11*, pp.327-336 (2011).
- [8] 山岡潤一, 笥 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 (2014).
- [9] 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 (2016).
- [10] Ogata, M. and Fukumoto, M.: Fluxpaper: Reinventing paper with dynamic actuation powered by magnetic flux, *Proc. CHI'15*, pp.29-38 (2015).
- [11] Komatsuzaki, M., Tsukada, K. and Siio, I.: DrawerFinder: Finding items in storage boxes using pictures and visual markers, *Proc. IUI'11*, pp.363-366 (2011).
- [12] 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 (2007).
- [13] 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 (2017).
- [14] 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集*, Vol.49, No.1, pp.111-118 (2013).
- [15] Weiser, M. and Brown, J.S.: The Coming Age of Calm Technology, *Xerox PARC* (1996).



塚田 浩二 (正会員)

1977年生。2005年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程修了。博士(政策・メディア)。産業技術総合研究所, お茶の水女子大学, 科学技術振興機構さきがけ研究員を経て, 2013年より公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科准教授。日用品インタフェース, マテリアルインタラクシオン等の研究に従事。2012年イグノーベル賞(音響学)受賞。



折原 征幸

1996年生。2019年公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科卒業。2021年同大学大学院システム情報科学研究科博士前期課程修了。