

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

折原 征幸^{1, a)} 塚田 浩二^{1, b)}

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, 基礎的な動作検証について報告する.

キーワード: 作業机, 整理支援, インタラクション

PartsSweeper: Development of interactive workbench to casually organize electronic parts and tools

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程に机上に部品や工具が散乱しやすい傾向がある (図 1). こうした部品は尖っているものもあり, 放置していると指に刺さる等の危険もある. 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 電子工作時の作業机の例

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. MouseTutor[3]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.

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[4]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[5]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. ZeroN[6]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物理的な動きの制御が可能である. 応用例として, 球体の位置に応じて 3D アプリケーションの視点操作を行った他, プロジェクションマッピングを併用して惑星の配置を表現する事例を構築した. dePEND[7]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

1 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

a) g2119010@fun.ac.jp

b) tsuka@acm.org

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[8]は、電磁石を備えた XY テーブルを機の裏側に配置して、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

まず、モノ探しを支援するシステムについて紹介する。DrawerFinder[9]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[10]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。

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[11]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[12]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。

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 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。この項では、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以下の3点である。

1. 電子部品／工具を移動／整理
2. ユーザの作業への配慮
3. 既存の作業机を拡張

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（ニッパー／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、部品等が数か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取りれる状態とする。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。『さりげない』とは何事もないように振る舞うさまである。

しかし、机上を整理する手段として移動ロボットやロボットアーム等を用いると、デバイスの存在感が強すぎてさりげない整理は難しい。そこで本研究では、整理の手段として机の下側から磁力を利用することで、ユーザにデバイスを意識させることなく作業を邪魔しない整理を目指す。

またユーザによっては普段から机上での部品／工具の配置を決めている場合がある。そこで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（図2）。位置／移動経路／磁力の出力／移動のタイミングなどを事前に指定させて、個々のユーザの好みに合わせられるように配慮する。



図2 作業空間設計の例

3.1.3 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。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、PartsSweeper 自体が天板を備え、既存の作業机の上に設置する形状としている。詳細は実装の章で述べる。

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)。

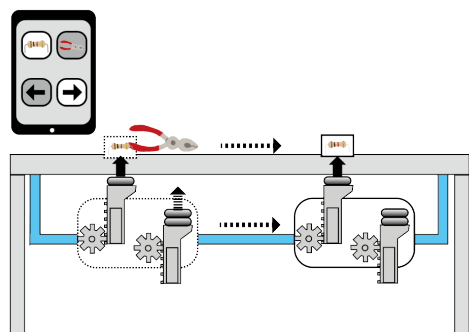


図3 PartsSweeper の構成

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踏まえ、XYプロッターを採用した。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(図4)。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。

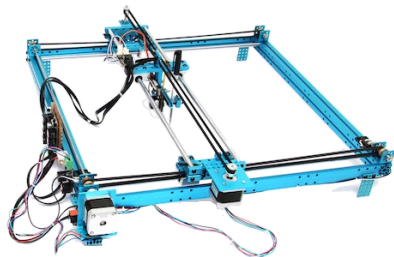


図4 XYプロッターの外観

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留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と磁力の影響が机上に残りうるため、サーボモーターの

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／停止による移動を行っているが、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／工具を分けることができ整理を行える。具体的な方法として、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、距離による減衰を利用して吸着力を制御する方法を考えている。

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ーフェースを提供する。例えば図2のようにタブレット端末から「部品保存空間」「工具保存空間」を入力することで、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をタブレット端末から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。

さらに電子部品など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。

3.3 移動シミュレータ

システムの動作に必須ではないが、磁力によるヘッド部の移動パターンを試行するた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。

詳細は4.実装の章で述べる。

4. 実装

ここでは現在制作中のプロトタイプについて述べる。プロトタイプは主にXYプロッター、磁力ヘッド部、ソフトウェア、移動シミュレータから構成される。

4.1 XYプロッター

MakeBlock の「XY-Plotter ロボットキット V2.0 (以下 XY プロッター)」を上下逆さに設置し、その上に厚さ 5mm のアクリル板を配置した (図 5)．このアクリル板が作業機の天板となる．天板を含めた XY プロッターの寸法は 600mm × 550mm × 12mm (幅 × 奥行 × 高さ) で、ヘッド部の可動域は 310mm × 390mm (X × Y) ほどである．なお、ヘッド部の最高動作速度は 50mm/s、最小移動精度は 0.1mm である．XY プロッターの制御マイコンは Arduino 互換機であり、容易に制御が可能である．例えば、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．

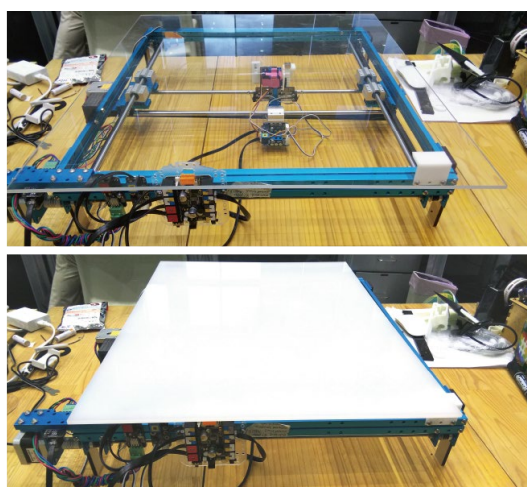


図 5 プロトタイプの外観

4.2 磁力ヘッド部

XY プロッター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．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．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．

4.2.1 ヘッド部 1

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 6 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) を備えている．NSC0028 は単体では吸着力が弱く、複数の部品を一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．3.2.1 で述べたように、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．

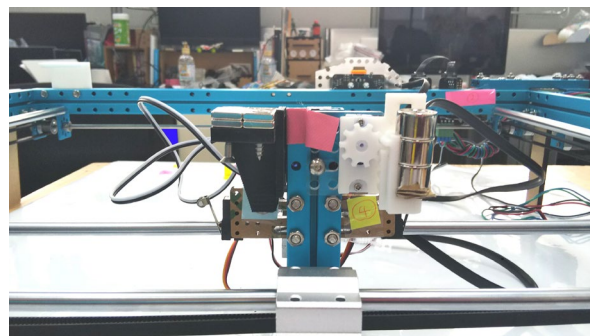


図 6 ヘッド部 1 の外観

ここで、NSC0130 と NSC0028 の距離による磁束密度の減衰について調査した．表 1 は磁石の表面から距離 X_1 に応じた磁束密度の測定結果である． X_1 が 5mm の時、NDC0130 の磁束密度は 4625 ガウスであり、部品／工具の双方を移動できる．一方、NSC0028 の磁束密度は 960 ガウスであり、部品のみを移動できる．さらに、 X_1 が 9mm の時、NDC0130 の磁束密度は 962 ガウスとなり、NSC0028 ($X_1=5\text{mm}$) 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．

表 1 永久磁石の磁束密度の減衰

	$X_1 = 5\text{mm}$	$X_1 = 9\text{mm}$
NDC0130	4625 Gauss	960 Gauss
NSC0028	962 Gauss	0 Gauss

4.2.2 ヘッド部 2

ヘッド部 2 はタイプの違う磁石ではなく、磁石の天板との距離で磁力の差を出したヘッドである．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 45mm まで離すことができ、さらに位置を段階的に調節できるように設計した．なおサーボモータは 360 度回転できるものを使用している．永久磁石は NDC0019 (直径 20mm, 吸着力 80.1~90.0N) を 1 つ使用している．前述した NDC0130 (直径 15mm, 吸着力 50.1~60.0N) と比較すると、1 つでも十分な吸着力を持ち、工具等を移動できる点を重視して選択した．

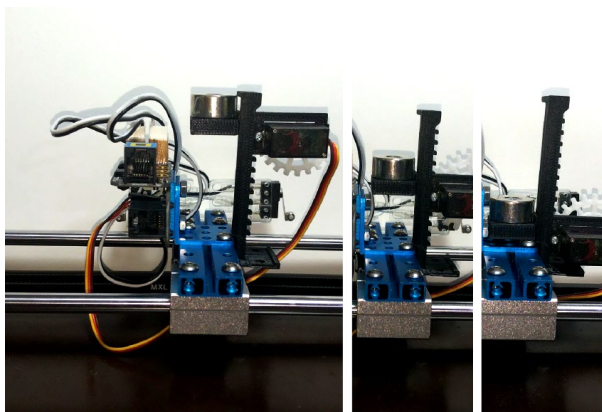


図 7 ヘッド部 2 の外観と動作例

4.3 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 8 の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。

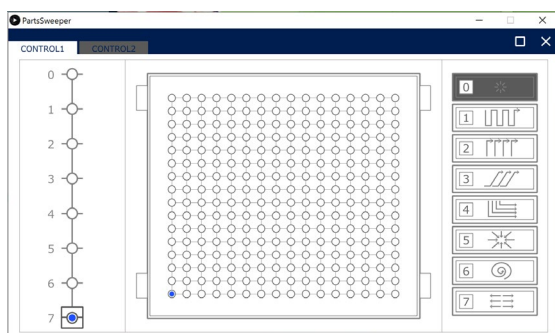


図 8 動作検証用ソフトウェアの画面

また 3.2 節 (2) タブレット端末で説明したような、部品／工具を整理するためのソフトウェアも実装した (図 9)。画面上部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。各色のボタンをタップした後、画面下部のマスをタップすることで、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、画面左上の青のボタンをタップすることで、画面下部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へ移動するようにシステムが動作する。

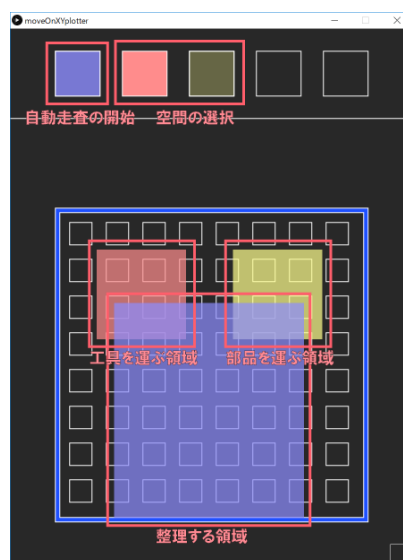


図 9 作業空間設定ソフトウェアの画面

4.4 移動シミュレータ

3.3 節で述べた移動シミュレータの実装について述べる。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る舞いをシミュレーションするアルゴリズムである。図 10 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ませんが、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。

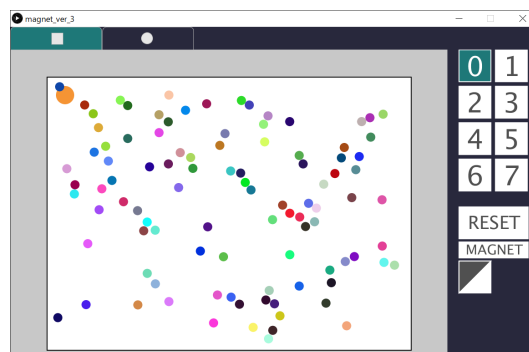


図 10 移動シミュレータの画面

5. 予備実験

この章では本研究で行った検証とその結果や考察を述べる。

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 11 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移動させた．また 1 つの部品／工具に対してヘッド部 1 を備える 2 つの磁石で検証した．

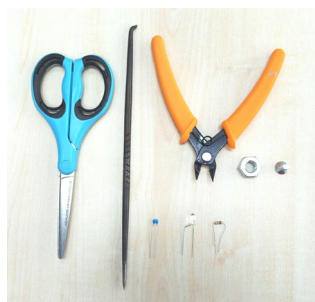


図 11 移動調査の対象部品／工具

結果を表 2 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「△」，吸着も移動もできない場合を「×」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／工具は選択的移動の対象に適すると判断した．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．

表 2 部品／工具の移動結果

	対象となる物体	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	×	△

5.2 移動シミュレータでの移動経路の模索

制作した移動シミュレータで移動経路の模索を行った．まず画面のどの位置に集めるかを決め，移動経路を合計 7 パターン用意した（図 12，図 13）．図 10 の状態から移動経路 7 パターンをそれぞれ 5 回ずつ行い記録した．

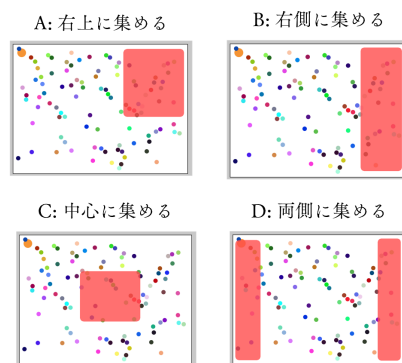


図 12 移動後に部品を集める位置

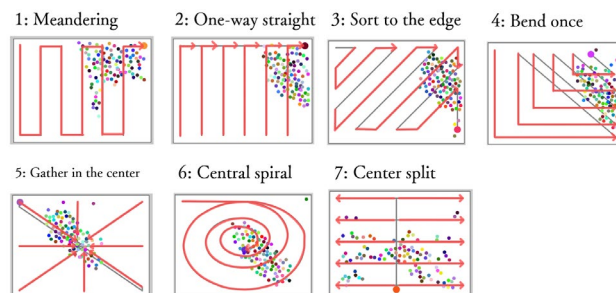


図 13 用意した移動パターンの移動後．図 12 と対応しており，1 と 2 が A，3 と 4 が B，5 と 6 が C，7 が D と対応する．

結果と考察

A) 成功例

指定個所に集めることができたパターン 2，3，4 を成功例として挙げる．これらのパターンは同じく指定個所に集められた．図 13 の中で右上に集めることを目的とした 1 と 2 を見比べると，2 の方が右上にまとまっているのが分かる．右側に集める 3 と 4 は，多少分布の傾向に違いはあるがどちらも右側にまとまっている．これらのパターンに共通している点は，部品を少量ずつ 1 辺に集めていることが挙げられる（2 と 3 は上側，4 は右側）．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．

B) 失敗例

移動後に部品の散らばりが見られたパターン 1，7 を失敗例として挙げる．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．またパターン 7 では一度収納場所に移動した部品が戻ってきたヘッドに引き寄せられて，中途半端な位置で留まっ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，すべての部品を一気に集めるような経路は向かないことが分かった．またまた移動後の部品に干渉しないように，特に収納場所付近の経路設定は慎重に行う必要があると考える．

C) その他の特徴的な例

パターン5,6は中央1か所にまとめるパターンだが,5のように外側から中心にかき集める方が,6のように渦巻き状に移動させる場合と比べて移動後の部品の位置が安定していた.図14は,それぞれのパターン5回分の部品の最終位置を囲んで重ねたものである.パターン6では左右に大きくブレが見て取れるが,パターン5では比較的まとまっている.外側からかき集める移動の方が中心位置はぶれにくい.

5. Gather in the center 6. Central spiral

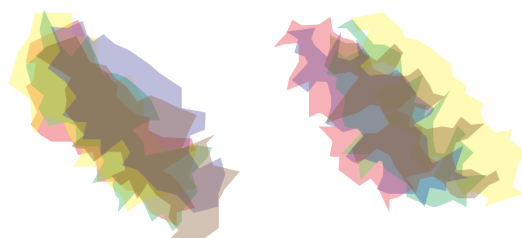


図 14 パターン 5, 6 の最終位置の比較

6. 議論

ここでは, PartsSweeper のプロトタイプの問題について議論する.

現状のプロトタイプは独自の天板を備えており,作業机の上に設置している.一方,この方式だと作業机の高さをもともと適切だった場合,天板が高くなり作業が行いにくくなる可能性がある.よって,デバイスの高さをできる限り低く抑えるか,当初のコンセプト通り机の下に設置する形を今後検討していく.

また,現状のシミュレータ上では工具と部品を個別に制御できない.さらに,シミュレータと制御ソフトウェアは完全に統合されていないため,新しい経路をすぐに実機で試すことができない.今後は,シミュレータの機能拡張を図るとともに,シミュレータと制御ソフトウェアを統合し,様々な条件で動作検証を行えるようにしていきたい.

さらに,現状では工具と部品を大まかに区別して運ぶことしかできず,工具同士/部品同士を分類することは困難である.

今後は,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)を配置するなどして,整理だけでなく整頓の機能も実現していきたい.

7. 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.2種類のヘッドを持つ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/検証を行った.今後はシミュレータと実機を連動して実装/検証し,移動のみで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] 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," インタラクション2017論文集, pp. 206-211, Mar. 2017.
- [4] 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, Feb. 2019.
- [5] 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.
- [6] J. Lee, R. Post, and H. Ishii, "ZeroN: Mid-air tangible interaction enabled by computer controlled magnetic levitation," Proc. UIST '11, pp. 327-336, Oct. 2011.
- [7] 山岡 潤一, 筑 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.
- [8] 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.
- [9] M. Komatsuzaki, K. Tsukada, I. Sio, "DrawerFinder: finding items in storage boxes using pictures and visual markers," In Proceedings of IUI' 11, pp. 363-366, Feb. 2011.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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, Jan. 2013.