

# PartsSweeper を拡張した部品整理手法の提案

阿保 信宏<sup>1,a)</sup> 塚田 浩二<sup>1,b)</sup>

**概要：**本研究は、先行研究である「PartsSweeper」を拡張し、実用性の向上を図る。PartsSweeper は、工作機の裏に磁石を設置して動かすことで、机の上に散乱しやすい部品／工具等をさりげなく移動・整理するシステムである。一方、机上のゴミ等の非磁性体の移動や、部品や工具の細やかな分類には課題が残っていた。本研究では、こうした課題を解決するために、非磁性体を移動するための拡張パーツや、天板へのテクスチャ付与による分類手法を提案する。

## 1. 背景と目的

電子工作では、多数の細かい部品や複雑な形状の工具が机の上に配置され、それらの組み合わせや使い分けによって作業を進めていく。しかし、作業するうちに部品や工具が机の上に散乱しやすい傾向にあり、見失ったモノの探索に無駄な時間を取られたり、尖っている部品が指に刺さったりなどの危険がある。

『PartsSweeper』[1] は、こうした問題を解決するために、作業機がさりげなく机上の工具／部品を移動／整理するシステムである（図1）。電子工作を行う作業机の上に置かれる部品（抵抗／コンデンサ等）や工具（ニッパー／ペンチ等）に強磁性体が多く、磁石に反応することに着目している。机下に設置した磁石を前後左右に移動させながら磁力を調節することで、部品や工具を任意の位置に移動させることができる。

しかし先行研究では、電子工作時に発生する非磁性体のゴミ（抵抗の足／はんだの余り等）を移動／整理することや、部品／工具を細やかに分類する手法には課題がある。

本研究では、こうした課題を解決するために、非磁性体を移動するための拡張パーツや、天板へのテクスチャ付与による分類手法を提案する。

## 2. 関連研究

### 2.1 机上等で物体を移動させるシステム

机上等で物体を移動させることを目的としたシステムについて紹介する。

MouseTutor[3] は、3D モデリングや画像処理、ペイント等のマウス操作を多用するソフトウェア等のチュートリ

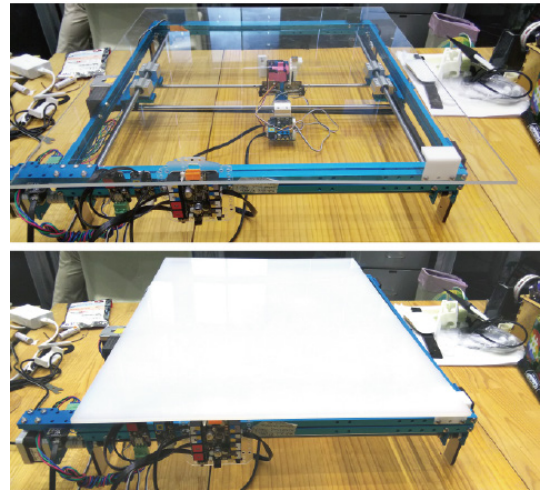


図1 先行研究：PartsSweeper のプロトタイプ  
(上：透明天板，下：乳白色天板)

アルを行う際に、画面上のカーソルに連動させてマウスも動かすことで、視覚情報と聴覚情報だけではなく、物理的な情報も得るシステムである。これにより、クリックやドラッグのタイミングや操作のスピードを体感することができ、より深い理解を促すことができる。

卓上アクチュエーションシステム [4] は、テーブルの下に電磁石を設置し、底面に磁石を張り付けたガラス等の物体を移動させ、卓上の整理やユーザへの配達などを行うシステムである。電磁石を複数個使用することで、多人数のユーザでの利用や、複数の物体の運搬を可能にしている。

ToolShaker[5] は、磁性を持つ日用品に対して、日用品自体には手を加えずに情報提示機能を付加し、壁面や机の上に収納／配置された日用品を外から電磁石で磁力を発生させて物理的に動かすシステムである。具体的には、壁面上にフックで吊り下げた日用品の下部に電磁石を設置し駆動することによって、フックを支点として振り子状に日用品

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学

<sup>a)</sup> b1018086@fun.ac.jp

<sup>b)</sup> tsuka@fun.ac.jp

を動かし、視覚的な情報提示を行う。

dePENd[6]は、ボールペンのペン先の磁性体に着目し、机内部の磁石の位置をXYステージとコンピュータで制御することでペンを引きつけ、ペンの動きを制御するシステムである。これにより、あらかじめコンピュータに入力した図形などを、ペンの動きに任せて紙上に手で描くことができる。

## 2.2 表面テクスチャに関する研究

原ら[7]は、多くの樹脂製品の表面に施されているしぼテクスチャを、触針式の形状測定機及び共焦点レーザー顕微鏡によって測定し、そのデータから得た多層のプリントパターンをUV硬化型インクジェットプリンタを用いて作成・重畳することで、凹凸のある表面テクスチャを付加可能であることを示した。

松田ら[8]は、表面上に形成された凹凸パターンが及ぼす心理的影響や印象の変化などを定量的に表すことを目指し、また実験結果から、質感の違いを引き起こす物理量や心理反応量について検討している。

河田ら[9]は、ロータリ切削工具の特徴である切れ刃に対して、テクスチャの角度やテクスチャの深さなどが摩擦に与える影響について調査し、その結果、速度比が大きくなるに従って切削抵抗が0に近づき、摩擦係数が小さくなること、摩擦係数はテクスチャの角度や深さに影響し、効果が異なることを示した。

本研究では、机上に置いた磁性体を動かすことで非磁性体を正確に移動/整理することや、机上に付加されたテクスチャによって部品/工具を個別に運搬/整理することを目指す。

## 3. 先行研究「PartsSweeper」の概要

先行研究であるPartsSweeperの概要について紹介する。

### 3.1 コンセプト

電子部品/工具の移動/整理、ユーザの電子工作を妨げない配慮、既存の作業機を拡張したシンプルな構造の3点をコンセプトとしてシステムが構築されている。

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システムを実現するため、机の下側から磁力を調節することで部品や工具を移動させる方式が採用されている。また、ユーザ自身の好みに合わせて独自の作業空間をレイアウトするための入力インターフェースを用意することで、位置/移動経路/タイミングなどを自由にカスタマイズすることを可能にしている。

### 3.2 システム構成

天板の裏面に設置された、永久磁石と昇降機構からなる磁力制御機構と、作業空間を入力するためのタブレット端

末から構成される。

磁力制御機構には、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XYプロッターが採用されており、そのヘッド部に磁石が搭載されている。磁石は昇降機構(図2)によって上下し、磁石を上げたままヘッド部を動かすことで強磁性体の部品/工具を移動させ、磁石を下げたままヘッド部を動かすことによって、移動させた部品/工具を留まらせることができる。

また、磁石の高さを調整することで、部品のみ、または工具のみを移動させることが可能である。しかし、部品/工具を同時に移動させる場合に、それらを分類して別々の場所に移動させる、といったことは十分検証されていない。

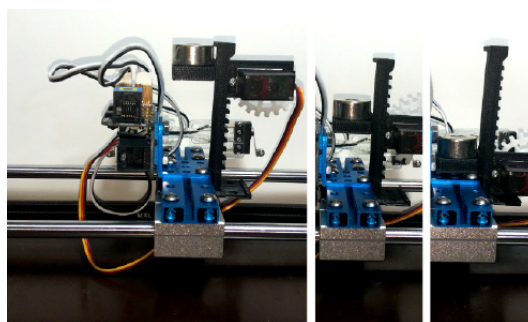


図2 先行研究：昇降機構の外観と動作例

### 3.3 ソフトウェア

タブレット端末からの制御を可能とするため、Processingを用いてヘッド部の座標や昇降機構を手軽に操作できるツール等、複数のソフトウェアが実装されている。昇降機構には下から上まで高さが8段階用意されており、ユーザが任意に高さを決定することができる。

### 3.4 除去バー

PartsSweeperには、整理対象や用途を広げるための拡張ツールが実装されており、その中から、本研究で扱う除去バーについて紹介する。

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で、長さ10cmと20cmの2種類が用意されている。抵抗の足やはんだの余りなど、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ため、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させることを目的として製作された(図3)。

しかしこれらの除去バーの性能実験では、ゴミを全体の3割弱しか移動させることができず、成功率が極めて低いことが分かっている。

## 4. 除去バーの改善

ゴミを安定して移動/整理するため、除去バーを改善し、



図 3 先行研究：除去バーの外観

ゴミの移動成功率を向上させることを目指す。

#### 4.1 形状などの検討

既存の除去バーの成功率が低い原因として、除去バーが移動中に回転してしまうため、拾ったゴミを取りこぼしてしまい、目的の位置に運搬できないことが考えられた。

そのため、ゴミを取りこぼしにくく、ゴミの回収に最適と考えられる形状／磁性体／大きさといった要因を検討し、除去バーの改善を目指した。

##### 4.1.1 形状の検討

ゴミを確実に回収しやすくするために、回転しない形状、または回転してもゴミを取りこぼしにくい形状とすることを目標とした。図 3 の形状を I 字型と呼称し、その他の形状候補として、T 字型、C 字型、E 字型、X 字型（十字型）を考案した（図 4）。これらの形状は、4.1.3 章で述べるように、正方形のアクリルパーツを貼り合わせて作成した。



図 4 各形状の除去バー  
(左から順に T 字型, C 字型, E 字型, X 字型)

##### 4.1.2 採用する磁性体の検討

先行研究では除去バーの中央部にヘッド部の磁石と連動させるための強力な磁石を設置している。磁石の下部には薄いアクリル板が配置され、直接天板に接触しない構成にはなっていたものの、まだ吸着力が強すぎると感じられた。具体的には、ヘッド部の磁石と強引に吸着することで昇降機構に負荷がかかり、破損する恐れがあった。そのため、連動の容易性は維持しながら、昇降機構に負荷をかけにくい磁性体を新たに検討することとした。

磁性体には、マグネットシート、ステンステープ、ステンレス板を用意した（図 5）。

##### 4.1.3 大きさの検討

最適な大きさを検証するため、厚さ 5mm のアクリル板

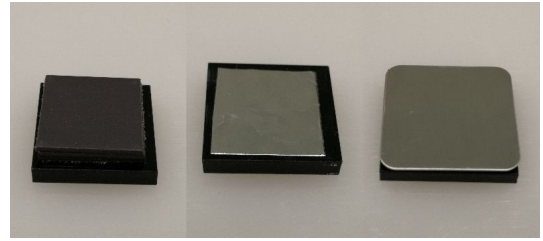


図 5 各磁性体を取り付けたアクリル板（左から順にマグネットシート、ステンステープ、ステンレス板）

を、1 辺の長さが 3cm, 4cm, 5cm の 3 段階の大きさとなるようにレーザーカッターで切り出し、十分な個数を用意した（図 6）。また取り付ける磁性体によって厚さが変化することから、厚さを調節しやすくするため、厚さ 2mm のアクリル板も同様の大きさ／個数を用意することとした。

これらのアクリルパーツを図 4 に示すように組み合わせ、テープで仮止めすることによって、複数の形状／大きさの組み合わせを検証する。なお重心バランスの観点から、異なる大きさのアクリル板を組み合わせることはせず、同じ大きさのアクリル板のみを組み合わせ使用使用する。

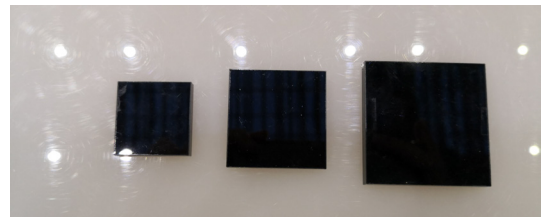


図 6 各大きさのアクリルパーツ（左から順に 3cm, 4cm, 5cm）

#### 4.2 実験

ここでは、形状／磁性体／大きさの 3 つの予備実験と、これらを元に改善した除去バーを用いた先行研究との比較実験を行った。

##### 4.2.1 形状の予備実験

回転しない形状、または回転してもゴミを取りこぼしにくい形状を目指し、図 4 に示した除去バーを用いて実験を行った。実験は、除去バーに取り付けた磁性体がヘッド部の磁石の真上に来るように置き、十分な距離を動かして除去バーの様子を観察して行った。

実験の結果、T 字型、C 字型、E 字型は、90 度ほど回転してしまうため意図した箇所でゴミを引っ掛けることができず、取りこぼしてしまうことや、引っ掛けやすい面が少ないため、そもそもゴミを引っ掛けられない場合があることが分かった。一方で、X 字型は回転が少なく、引っ掛けられる面も多いため、安定してゴミを運搬しやすいことが分かった。X 字型を動かした様子を図 7 に示す。開始位置と終了位置で除去バーが 20 度程度しか回転しておらず、机上にある 10 個のゴミを移動させることに成功した。





図 7 X 字型除去バーの開始位置（上）と終了位置（下）

#### 4.2.2 磁性体の予備実験

磁性体は、マグネットシート、ステンステープ、ステンレス板を除去バーの中央部に貼り付け、4.2.1 章と同様の手法で実験を行った。実際の実験に使用した除去バーは図 4 に示した通りである。

実験の結果、マグネットシート、ステンステープはヘッド部の磁石にほとんど吸着せず、除去バーを移動させることができなかった。しかしステンレス板は、ヘッド部の磁石に十分に吸着し、除去バーの移動を問題なく行うことができた。

#### 4.2.3 大きさの予備実験

4.2.1 章と 4.2.2 章で実験を行う際、形状や磁性体を検討するだけでなく、アクリルパーツの大きさが 3cm, 4cm, 5cm の除去バーをそれぞれ用意し、大きさも検討した。実験の結果、大きさによる挙動の差はほとんど見られないことが分かった。そのため、使用する磁性体の大きさに合わせることにし、今回の実験に使用したステンレス板が 4cm の大きさであることから、除去バーの大きさも 4cm とした。

#### 4.3 改善した除去バーと比較実験

以上の結果から、除去バーは X 字型とし、磁性体にはステンレス板を使用し、大きさは 4cm とした。実験に用いた除去バーは仮止めしたものであるため、上記条件を満たす除去バーを改めて製作した（図 8）。

ステンレス板を中央部に取り付けると、中央部のみ 2mm ほど浮いてしまうため、中央部以外には同じ厚さのアクリル板をアクリサンデーにより下部に貼り付け、厚さが等しくなるよう調整している。なお、アクリサンデーで貼り付けやすくするため、下部のアクリル板には小さい穴を 2 か所ずつ開けた。

先行研究では除去バーの性能実験として、除去バーの経

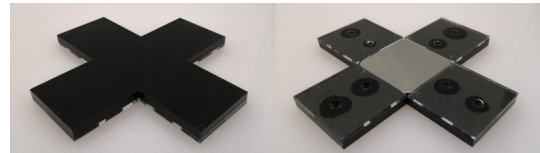


図 8 改善した除去バー、上面（左）と下面（右）

表 1 除去バーのゴミ移動成功数の平均値  
(括弧内は標準偏差)

先行研究	改善後
2.8(2.64)	9.5(1.55)

路上に置いたゴミの移動成功数を調査しているため、本研究で改善した除去バーでも同様の実験を行った。1cm 程度のゴミ 10 個を除去バーの経路上に設置し、移動させることのできた個数を計測した。これを改善後の除去バー（図 8）それぞれで 5 回行った。その平均個数と標準偏差を表 1 に示す。なお、先行研究の除去バーについては文献 [2] より参照し、成功率の高い 10cm のものを比較対象としている。先行研究では 10 個のゴミを平均 2.8 個しか移動できていなかったが、改善後は平均 9.5 個の移動に成功しており、大きく改善することに成功した。

#### 4.4 考察

改善後の除去バーによる非磁性体の移動成功率は高く、実用性が向上していると言える。

X 字型が上手く安定した要因として、他形状と異なり上下および左右が共に線対象であることから、除去バーの重心が常に中央に置かれていたからではないかと考える。これにより、回転が少なく安定した動作を実現することができたと推察する。

改善後の除去バーの移動成功平均数が 10 とならなかったのは、回転することによって事前に想定していた経路から僅かにずれてしまい、ゴミを拾いあげること自体ができなかった場合があることが原因と考えられる。

### 5. 天板へのテクスチャ付加

先述した通り、先行研究では部品／工具の運搬に関して、部品のみ、または工具のみを移動したい場合には、磁石と天板の距離を調整することで可能となっている。しかし、工具と部品を同時に移動しつつ、細やかに分類することはできていない。

そのため、机上にある部品／工具を、簡易的な操作で分類し整理する手法として、UV プリンタにより天板の表面にテクスチャを付加し、その凹凸によって部品／工具を個別の細やかな分類を実現する手法を提案する。なお、UV プリンタは、紫外線を当てて瞬時にインクを硬化させ、平面に独特の質感や立体感を表現できるデジタル工作機器である。

## 5.1 テクスチャの検討

現在、摩擦力によって効果的に部品／工具を分類できるテクスチャを検討中である。検討したテクスチャは斜線、円形ドット、四角形ドット、逆格子、全面ドットの5種である(図9)。テクスチャはまず1重で印刷し、5.2章に示す実験結果から、有効に摩擦力が働いているように見られた逆格子と全面ドットについては、改めて4重で印刷し、摩擦力の増加を図った。なお4重としたのは、指で触った際に一定の摩擦力を感じられたためである。



図9 検討したテクスチャの候補  
上段：左から斜線，円形ドット，四角形ドット（各1重）  
下段：左から逆格子，全面ドット（各4重）

## 5.2 表面テクスチャの予備実験

テクスチャは、UVプリンタによりA4サイズの透明の用紙に印刷し、天板上に設置する形で実装した。部品として1cm程度のネジと発光ダイオード、工具としてハサミとニッパーを用意し、予備実験を行った。図10は、逆格子テクスチャ上でハサミを動かしている様子であり、黒枠で囲んでいる箇所にテクスチャが印刷されている。

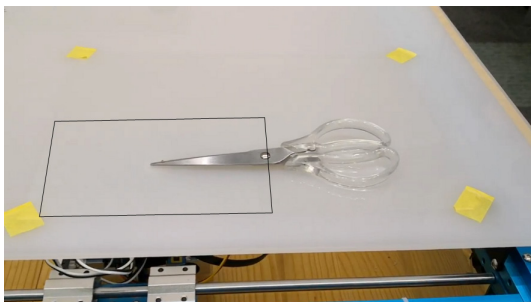


図10 テクスチャの予備実験（ハサミ）の様子

図9に示した5種のテクスチャ（1重）の中で、逆格子、全体ドットの2種は、ネジと発光ダイオードの動きに影響が無いのに対し、ハサミとニッパーの動きは鈍くなり、一瞬だが停止する様子も見られるなど、摩擦による効果が異なることが分かった。しかし、逆格子、全体ドットの2種を4重にしても、工具の動きを完全に停止させるまでには至っていないため、今後も検討を続けていく所存である。

## 6. まとめと今後の展望

本研究は、先行研究のPartsSweeperの課題点を解決し、実用性を向上することを目指している。非磁性体を移動するための拡張パーツや、天板へのテクスチャ付与による分類手法を提案した。

除去バーについては十分な成果が得ることができたため、今後は部品／工具を細やかに分類するテクスチャを検討し、天板に付加して性能実験やユーザ実験の実施を予定している。その実験結果から最適なテクスチャを選定し、部品／工具の個別整理の実現を目指す。

**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] 折原征幸, 塚田 浩二, 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, WISS2020 予稿集, pp.67-72, 登壇発表(ショート), 2020-12.
- [2] 折原征幸, 塚田 浩二, 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, 公立はこだて未来大学修士論文, 2021-1.
- [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.216-221, 2017.
- [4] 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, HAI シンポジウム2015, pp.141-143, 2015.
- [5] 道具駿斗, 塚田浩二, 沖真帆, ToolShaker: 電磁石を用いて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] 山岡順一, 筑康明, dePENd: ボールペンの強磁性を利用した手書き補助システム, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.4, pp.1237-1245, 2014.
- [7] 原精一郎, 王宇ハン, 笹島和幸, UV硬化型インクジェットプリンタによる表面テクスチャの作成に関する研究, 精密工学会秋期大会学術講演論文集, 2013, pp.201-202.
- [8] 松田礼, 澤田政志, 野々村拓郎, 町田信夫, 表面テクスチャの評価に与える視覚と触覚の影響, 人間工学, vol.49, 特別号, 2013, pp.334-335.
- [9] 河田圭一, 石川和昌, ロータリ切削工具に付与した表面テクスチャ形状が摩擦に及ぼす影響, あいち産業科学技術総合センター研究報告, pp.8-11, 2013.