

物理シミュレーションと条件付き箱詰めアルゴリズムに基づく引き出し内の片付け支援システム

古田達彦¹ 寺田 努^{1,2} 塚本昌彦¹

概要: 引き出しへの片付けについて注目すると、スペースを無駄にしまいしまい全てのものを詰め切れなかったり、よく使うものを奥に片付けてしまい、取り出す際に他のものは邪魔になって取り出しにくいなど様々な問題点が考えられる。そのような背景を受け、これまでに筆者らは、条件付き箱詰めアルゴリズムに基づく片付け配置の評価手法を提案してきた。しかし、従来手法では実際に片付けをして引き出しを開け閉めするとき、どの程度ものが動き、配置が崩れるかを考慮できなかった。また、システムによる評価内容をユーザーにわかりやすく伝えることができなかった。そこで本研究では、各々のものの位置を変化させながら片付け配置をリアルタイムに評価できるシステムを提案し、3次元物理シミュレーションを用いて実装する。物理シミュレーションを用いることにより、引き出し開閉時のものの動きも再現できるようになり、従来システムでは実現できなかった評価値「配置の乱れやすさ」を新たに実装し、その妥当性を評価する。

1. はじめに

近年、片付け本が多数出版され、ベストセラーを獲得する書籍もあり [1]、片付けに関する注目が集まっている。片付けは日常生活や社会で生きていく上で重要なスキルであり、片付けができない人は他人にだらしない、仕事ができないといった悪いイメージをもたれてしまう。片付けができるようになり、必要なものがすぐに取り出せるようになれば自分の時間が3割増えるともいわれる [2]。これは、ものを探す時間そのものが減ることに加え、探しもののために作業を中断する必要も無くなり、大幅に無駄な時間をカットできるためである。

片付けの中でも引き出しへの片付けに注目すると、スペースを無駄にしまいしまい全てのものを詰め切れなかったり、よく使うものを奥に片付けてしまい、取り出す際に他のものは邪魔になって取り出しにくいなど様々な問題点が考えられる。このような場合、一度ものを片付けた後に問題点に気づくことが多く、再度詰め方を考えながら片付けをするのは煩雑である。

そこでこれまでに筆者らは、片付けるものを登録して、ユーザに引き出しへの適切な片付け方法を提示するシステムを提案している [3]。この従来システムでは、実際にPC画面に片付け配置図を表示することで、ユーザは完成図を

視覚的に確認しながら片付けに取り組める。しかし、従来システムで配置の評価基準となったのは使用頻度・グループ・容量・上からの見やすさのみであり、実際に片付けをして引き出しを開け閉めするとき、どの程度ものが動き、配置が崩れるかを考慮できなかった。また、提示された配置をアレンジしてより自分好みのものにしたり、ものを動かしたときにそれぞれの評価値がどのように変化するかを知ることができなかった。これではユーザはシステムに従って片付けるのみであり、細かい好みを反映できず、片付けにおいて必要なことが何なのかも考えられない。

そこで本研究では、各々のものの位置を変化させながら片付け配置をリアルタイムに評価できるシステムを提案し、3次元物理シミュレーションを用いて実装する。物理シミュレーションを用いることにより、引き出し開閉時のものの動きも再現できるようになり、従来システムでは実現できなかった評価値「配置の乱れやすさ」を新たに実装する。

以降、2章で関連研究を紹介し、3章では提案システムについて述べる。4章で片付け配置に関するアルゴリズム、5章でシステムの実装について述べ、6章で評価実験を行う。最後に7章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

2.1 もの探し・もの管理

もの探しや、ものの管理などの日常的に使うものを扱う研究は数多く行われている。上岡らのシステム I'm Here! [4]

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University
² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

では、頭部に装着したウェアラブルカメラを用いて、あらかじめ登録しておいたものが最後に視界映像に映った瞬間を認識・記録することでユーザのものの探しを支援する提案をしている。栗原らの研究 [5] では、マイクロソフト社の Kinect を用いて、ものの移動を監視して記録することにより、ユーザのものの探しを支援するシステムを提案している。Komatsuzaki らのシステム DrawerFinder[6] では、引き出しに 2 次元コードを取りつけ引き出しの開閉の瞬間を認識しカメラで撮影して写真を一覧表示することで、引き出し内に何が入っているかを分かりやすくし、ユーザのものの探しを支援している。加藤らの BOZAAR[7] では、携帯電話のカメラとメールを用いて、人物とものの貸し借りを手軽に記録するシステムを提案している。Fujioka らは、引き出し内で RFID タグをものにつけて記録・管理するシステム [8] を提案している。Funk らは、倉庫のピッキング作業において、取り出しの棚を Kinect で認識し、プロジェクターで個数等の作業に必要な情報を投影することで作業の支援を実現している [9]。Siio らは、カメラを用いて引き出し内のものの写真を撮り、遠く離れた親族でも引き出し内の状態を確認できるシステムを開発した [10]。しかしこれらはものの居場所のみを記録・管理する研究であり、本研究で述べているものの片付け配置を支援することは難しい。

2.2 箱詰め・積み付け

オンライン通販の発展などにより貨物輸送において郵送効率を高めることへの需要が増しており、貨物の容積率を高めることを目的に 3 次元空間に複数の箱・荷物を詰め込むアルゴリズムに関しての研究が数多く行われている [11], [12]。川島らの研究 [13] では、3 次元箱詰めによく使われる配置アルゴリズムにおいて、最適解にたどり着くまでの計算時間を減らす方法を提案している。遠藤らの研究 [14] では、積み付けにおいては箱詰めの最適化という側面からだけではなく、作業者が習得した知識をシステムに取り入れることが必要であるとし、貨物のグループ化に注目したアルゴリズムを提案している。Bischoff らの研究 [15] では、貨物輸送には容積率の他にも、重心や強度、臭いのある貨物は特定のものと近くに配置しないなど、様々な条件を考える必要があると述べられている。

積み付けが要求される場面は数多くあり、それぞれの用途に見合った条件を考えた積み付けシステムも多く研究されている。Yada らは航空貨物の輸送に着目した積み付けシステム [16] を提案している。航空機への貨物の積み付けは、その形状から貨物庫が流線型の場合があり、貨物の固定、重心なども考えなければならず、それらを出発時刻までの限られた時間で人手で考案するのが困難であるが、システムの導入により、積み付けの効率を高めることに成功した。米沢の研究 [17] では、海上での貨物輸送を支援するシステムを提案している。海上コンテナ特有の条件を考慮

した上で、実用的な計算時間を保ちつつ容積率を高めることに成功した。

また、i-Caps[18]、パンニングマスター [19]、NEUFRECS[20] のような積み付けプランを自動で作成するシステムも存在している。これらのシステムも貨物の重心、追い積み、優先度などを考慮して画面上に積載効率の良い積み付け図を表示することで、貨物の詰め込みを支援する。

しかし、いずれの研究も貨物輸送に着目したもので、引き出しの片付けに関して着目したものはない。これらの先行研究を参考にしつつ、引き出しの片付けならではの条件を反映させたアルゴリズムを提案し、システムを実装していく。

3. システム設計

筆者の先行研究で提案した内容も含め、システム全体の設計内容について説明する。本研究では、片付けるものの画像、大きさ、名前、使用頻度、グループ名 (例:本, 調理器具) などの情報を登録し、片付け配置図を PC 画面に表示するシステムの構築を目指す。片付けるものは円柱・直方体などの様々な形が考えられるが、本論文では簡単化のため、直方体状のもののみを扱う。

3.1 登録

片付けるものの情報をシステムに登録する。ものの画像と大きさはカメラ映像と深度センサを用いて取得し、使用頻度、グループ名、重さはユーザが入力する。大きさはカメラ映像上の登録したいもののピクセル数と実際の長さを対応させることで取得する。センサからの距離が遠くなるとカメラには小さく映るなど、同じ長さでもセンサからの距離によって取得した深度と縦横のピクセル数が異なるので、深度と縦横ピクセル数と、実際の大きさの関係を求めておく。ユーザは、登録画面でもものの前面が入り、背景が入らないような深度を指定し、ものを撮影する。図 1 は、テーブルや壁などの背景を消し (緑の領域)、ティッシュ箱前面の深度を指定した画面である。直方体を想定しているため、平行でない 3 つの平面をそれぞれ撮影する。

ものの名前の登録については、従来研究ではユーザーによる手入力としていたが、画像検索を用いて自動取得することにより、登録の際のユーザの手間を軽減することを目指す。

3.2 表示

登録したものの情報を元に、登録したものから引き出しに入れるものを選択し、片付けの配置図を画面上に表示する。引き出しの大きさはユーザが指定する。図 2 に本システムにより提示された片付けの例を示す。配置は、次章で詳述するアルゴリズムに基づいて決定する。与えられた配



図 1 深度の可視化



図 2 システムにより提示された片付け例



図 3 実際の片付け

置に対して、個々のものの配置を変えたり、新たにものを追加する機能が必要である。配置図は視点を回転させることが可能で、全方向から配置図を見渡せる。また、選択したもの以外を半透明で表示するなど、下に配置されているものが何なのか分かりやすくする機能も必要である。配置図に従って、図 3 のように実際に片付ける。

更に従来システムからの新規点として、物理シミュレーションを用いて、引き出しを開閉したときのものの挙動を再現し、それぞれのものがどう動くか確認できるようにする。その際、ものの動きに対して、片付け配置の評価値の変化を表示することにより、ものの配置と片付け条件の関係を理解できる形にする。

4. 配置アルゴリズム

提案システムで表示されるものの配置は本研究で提案する条件付き箱詰めアルゴリズムによって決定される。本章では引き出しの奥行き、幅、高さをそれぞれ D, W, H とし、ものの奥行き、幅、高さをそれぞれ d, w, h とする。本研究では、基本的な配置に BDL 法を用い、様々な片付けの条件を反映させるために使用頻度、グループ、容量、上からの見やすさ、配置の乱れやすさの 5 つについて点数化し、局所探索法を用いて最適な配置を求める。

4.1 BDL 法

ものの基本的な配置には BDL 法 [16] を用いる。BDL 法とは、片付けるもの全てに番号をつけ、その番号順にできる限り下 (Bottom)、奥 (Depth)、左 (Left) に詰め込むことを繰り返して配置する方法である。

ものを詰める順番を i 、ものの頂点の中で最も原点に近い頂点を (x_i, y_i, z_i) 、ものの奥行き、幅、高さをそれぞれ d_i ,

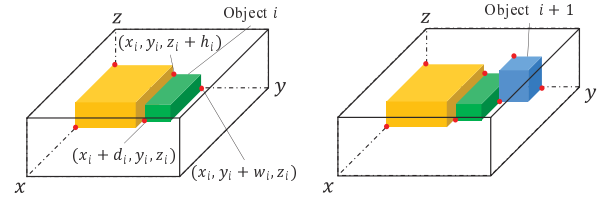


図 4 もの i ともの $i+1$ のとき

w_i, h_i とすると、 i 番目のものを配置した際、 $(x_i + d_i, y_i, z_i)$, $(x_i, y_i + w_i, z_i)$, $(x_i, y_i, z_i + h_i)$ を $(i+1)$ 番目以降のものを配置する際の始点の候補に加え、 (x_i, y_i, z_i) を始点の候補から削除する。 i 番目のものと $(i+1)$ 番目のものを配置している様子を図 4 に示す。赤い点が始点の候補である。また、ものを重ねて配置する際、上になるものの重心が外れないようにするため、重心 $(x_i + d_i/2, y_i + w_i/2, z_i)$ が下のものの上面に接していることを配置の条件に加える。

BDL 法は性質上、配置の順番で配置が一意に決まる。ある並び順に対する配置の善し悪しを決めるための評価について次節で詳述する。

4.2 評価パラメータの定義

BDL 法で決まる配置はものを詰める順番に依存するため、ある並び順に対する評価を行う必要がある。評価には、使用頻度・グループ・容量・上からの見やすさ、配置の乱れやすさの 5 つの条件を考慮する。

使用頻度

片付けるものそれぞれの使用頻度を考慮し、手軽にものを取り出しやすい引き出しの手前には使用頻度の高いものを、ものを取り出すのに時間がかかる引き出しの奥には使用頻度の低いものを配置する。

使用頻度を評価するために、ものを取り出す際の手間を取り出しコストと定義する。引き出しの奥にあり、重なって下になっているものほどコストが高く、手前で上に乗っているものほどコストが低いと考えることができる。それにユーザが設定した使用頻度を乗じた数がそのものの取り出しコストである。ものそれぞれの取り出しコストを p_i 、使用頻度を f_i (1~5 の整数)、上に乗っているものの番号を k として、ものの x 方向の重心が引き出しのどこにあるかを考えると、 p_i は以下のように定義できる。

$$p_i = f_i * (D - (x_i + d_i/2)) / D + \sum_k p_k \quad (1)$$

よって、片付けるものの数を n とすると、全てのものの取り出しコスト P は以下のように表せる。

$$P = \sum_i^n p_i \quad (2)$$

この P が小さいほど、より使用頻度を反映した配置である

と考えられる。

グループ

ものをグループごとにまとめて片付けたいケースが考えられる。例えば同じシリーズの本の1, 2, 3巻を片付けるときは、バラバラに配置するよりも向きを揃えてまとめて配置した方が取り出すときに便利である。また、調理用品・掃除用品・文具などの種類ごとにまとめたり、同時に使用するものを同じところに片付けることも考えられる。

グループの評価は、同じグループ名のものが隣接しているか、向きが揃っているかで行う。隣接しているかの評価は、もののそれぞれの隣接のスコアを $g_{n,i}$ として、同じグループ名のものが隣接して配置されていれば $g_{n,i} = 1$ 、接していなければ $g_{n,i} = 0$ とする。ただし、同名のグループのものが接していなくても、片付けるものの中に同じグループ名のものが一つしかない場合、またグループ名が登録されていない場合も $g_{n,i} = 0$ とする。

また、同じグループ名のものが隣接して配置されている ($g_{n,i} = 1$) とき、それらの向きが揃っているかどうかのスコア $g_{o,i}$ は、隣接しているものの番号を k 、許容偏差を σ として、ものの辺の分散値を考えた以下の式を満たすとき $g_{o,i} = 1$ とする。

$$\sqrt{(d_i - d_k)^2 + (w_i - w_k)^2 + (h_i - h_k)^2} < \sigma \quad (3)$$

満たさない場合、または $g_{n,i} = 0$ の場合は $g_{o,i} = 0$ とする。

$g_{n,i}$, $g_{o,i}$ より、全てのもののグループのスコア G は以下のように表せる。

$$G = \sum_i^n (g_{n,i} + g_{o,i}) \quad (4)$$

この G が大きいほど、よりグループのまとまりが反映された配置であると考えられる。

容量

ものをできるだけ多く積めたいケースが考えられる。例えば季節に関係するものなど、長期間使わないものは取り出しのことを考えるよりも、とにかくスペースに無駄が無いように詰め込むことのほうが優先度が高い。引き出し内に収まりきったものの数を C とすると、 C が大きいほど、より多くのものが入る配置であると考えられる。

上からの見やすさ

引き出しを開けたとき、上から見やすい配置であるのが好ましい。2つのものが重ねられて片付けられているとき、下になっているものが上のもので完全に隠されてしまうと、下のものが何なのか確認できず、いちいち上のものをどけなければならないので不便である。また、上から見たときに本のタイトルやもののラベルが見えればそのものが何であるか一目で分かる。よって、上から見たときにより多くのものを見渡し、判別できるように配置する必要がある。

それぞれのものの、上から見える面積を s_i とすると、上

から見える割合 r_i は、

$$r_i = s_i / (d_i * w_i) \quad (5)$$

と表せる。 r_i を許容する下限を R とすると、それぞれのものが上から見えるかのスコア $u_{r,i}$ は

$$u_{r,i} = 1(r_i \geq R) u_{r,i} = 0(r_i < R) \quad (6)$$

と表せる。

また、本のタイトル部分などのものを判別する要素が見えているのかのスコア $u_{l,i}$ は、判別に必要な部分が s_i に含まれるとき $u_{l,i} = 1$ 、含まれないとき $u_{l,i} = 0$ とする。

$u_{r,i}$, $u_{l,i}$ より、引き出し全体の上から見やすさのスコア U は以下のように表せる。

$$U = \sum_i^n (u_{r,i} + u_{l,i}) \quad (7)$$

配置の乱れやすさ

引き出しの開閉動作で、どれくらいものが動くのかを考慮する。せっかく引き出しの中に綺麗に片付けても、その配置がすぐに乱れてしまつては台無しであるため、多少の開閉動作では配置が乱れないほうが好ましいと考えられる。具体的な評価方法としては、基準となる1つの配置に対して、物理シミュレーション上で引き出しに適当な初速を与えてものを動かし、それぞれのものがどれくらい動いたかを考える。引き出しのもの全体がそのままスライドするような動きは配置が乱れていないと考え、すべてのものの位置の平均からどれくらい外れた動きをしたかで評価する。それぞれのものが基準となった配置から移動した変位量を (dx_i, dy_i, dz_i) として、式にすると総変位量 M は以下のようになる。

$$M = \sum_i |(dx_i, dy_i, dz_i) - ((\sum_k dx_k), (\sum_k dy_k), (\sum_k dz_k))| \quad (8)$$

M の値が小さいほど全体の動きが乱れておらず、配置が乱れにくいと考えられる。

4.3 局所探索法

BDL法はものを片付ける順番で配置が一意に決まってしまうため、よりよい配置を実現するものの並び順を得るために局所探索法を用いる。局所探索法とは、あるものの並び順に対し、2つのものの順番を入れ替え、入れ替えたあとの並び順が良ければ入れ替えたあとの並び順を、悪ければ入れ替える前の並び順を採用し、この操作を指定した回数繰り返す方法である。

また、並び順だけでなく、ものの回転(向き)についても同様の操作を行う。すなわち、片付けるものの中から1つを選択し、そのものの向きを替えて評価を行う。直方体で

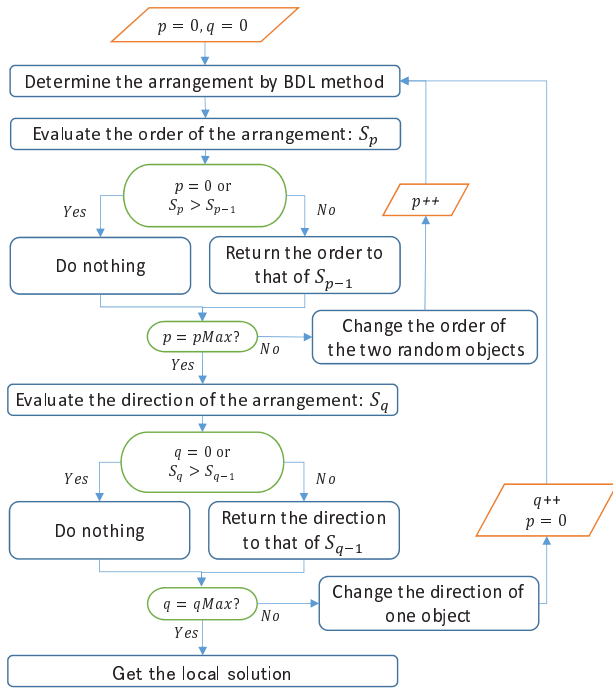


図 5 処理の流れ

あるので、回転の方向としては 6 通りが考えられる。

局所探索法で用いる評価値 S は、 p_0, g_0, c_0, u_0, m_0 を重み付け定数として以下のように定義する。

$$S = -p_0 * P + g_0 * G + c_0 * C + u_0 * U - m_0 * M \quad (9)$$

処理の流れを表したフローチャートを図 5 に示す。 $pMax$ は並び順を入れ替える回数、 $qMax$ は向きを入れ替える回数であり、 p, q は変数である。BDL 法でまず配置を決めた後、指定回数並び順を入れ替える局所探索法を行い、最も評価値の高い並び順を得る。この並びのうち、ひとつのものを選択して向きをランダムに回転させ、また並び順を入れ替える局所探索法を行う。回転させる前後の二つで評価値を比較し、回転後の評価値が高ければそのまま、低ければ回転したものを元の向きに戻し、また他のものを回転させて並び順を評価する操作をを繰り返していく。最終的に得られた向き・並び順が、評価に最も適したものとなる。

5. 実装

前章までに述べたシステムのプロトタイプを実装した。紙面枚数の都合上、筆者の先行研究 [3] を受けて、新たに取り組んだ内容についてのみ言及する。

5.1 登録画面

筆者の先行研究では、ものの名前については登録時に自分で入力する必要があるが、入力が面倒であった。そこで、カメラ画像からものの名前を取得するため、Google 画像検索^{*1} を用いて名前予測機能を実装した。ただし、Google

^{*1} Google Search by Image, https://images.google.com/imghp?hl=en&gws_rd=ssl

画像検索の API が存在しなかったため、UWSC^{*2} という Windows の制御を自動化するツールを用いて撮影した画像を自動アップロードできるようにした。アップロードする画像は 3 回撮影するうちの 3 番目の画像としたため、ユーザはラベルやタイトルなどが見やすい面を 3 番目に撮影する必要がある。画像検索の結果の HTML から「この画像の最良の推測結果：」と表示されたところから、名前を取得する。名前の取得に失敗した場合、ユーザが自身で名前を入力する必要がある。

5.2 片付け配置表示画面

片付け配置の表示画面については、実装順序・環境の都合により、OpenTK で実装されたアプリ α と Unity で実装されたアプリ β の 2 つに分けて作成されている。どちらも使用言語は C# である。

アプリ α については、筆者の先行研究で既に実装したのであり、片付けるものを指定し、重み付けの係数を指定することで片付け配置を探索・表示する。4.2 章で述べた 5 つのパラメータのうち、配置の乱れやすさ M についてはこちらでは未実装である。これは、OpenTK に、物理演算の機能が無く実装できなかったためである。

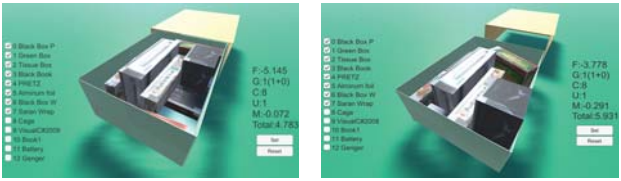
そこで、Unity を用いて新たに実装したアプリ β の片付け配置表示画面を図 6 に示す。先述のアプリ α で計算された片付け配置を読み込み、画面上に表示している。アプリ β では片付け配置の探索はできない。それぞれのものはマウスドラッグで動かすことができ、その動きに合わせて片付け配置についての 5 つの評価値とその総計がリアルタイムに変化し、表示される。ものを新たに追加して片付けることも可能である。また、物理演算を用いて、引き出しの開閉時に中のものがどう動くかをシミュレーションできる機能を実装した (図 6(a), 6(b))。このときの摩擦係数や反発係数については、それぞれのものの面同士でいちいち設定するのは手間がかかる上困難であるため、一律に設定するようにした。引き出しに与える初速度については可変である。この設定によりシミュレーションの挙動と実際の開閉動作の挙動が合致するののかという問題が考えられるが、筆者が何度か試行して比較した結果、概ねシミュレーションと実際の動きは一致しており、配置の乱れやすさを評価する上では問題ないと判断した。図 7 にシミュレーションと実際の動きの比較例を示す。

表 1 は、片付け配置表示アプリ α と β の違いについてまとめたものである。

6. 評価実験

提案アルゴリズムのうち、筆者の先行研究では未実装であった評価パラメータ「配置の乱れやすさ」について、妥

^{*2} UWSC, <http://www.uwsc.info/>



(a) 引き出しを動かす前 (b) 引き出しを動かした後

図 6 片付け配置の表示画面 (アプリ β)



(a) シミュレーション (動かす前) (b) 現実 (動かす前)

(c) シミュレーション (動かした後) (d) 現実 (動かした後)

図 7 シミュレーションと実際の引き出し開閉動作の比較

表 1 片付け配置表示アプリ α と β の比較

実装内容	アプリ α	アプリ β
システムによる配置探索	○	×
物理演算と引き出し開閉シミュレーション	×	○
評価パラメータ：配置の乱れやすさ以外	○	○
評価パラメータ：配置の乱れやすさ	×	○
配置のアレンジ・新たなものの追加片付け	×	○
評価値のリアルタイム表示	×	○

当性を評価するための実験をアプリ β を用いて行った。

6.1 実験内容

本実験で片付けるものの情報を表 2 に示す。今回の実験では配置の乱れやすさのみを評価するため、使用頻度等の他パラメータは無視した。まず、アプリ α により計算された配置 5 つを用意し、アプリ β 上で表示する。この際、重み付けの係数はランダムに指定した。この 5 つの配置に対して、被験者 21 名に 1～5 点の得点をつけてもらった。パ

表 2 実験 2 のものの情報

ものの名前	サイズ $d * w * h$ [mm]	重さ [kg]
赤と緑の箱	173 * 48 * 105	0.05
ティッシュ箱	234 * 50 * 116	0.10
アルミホイル	263 * 42 * 42	0.15
本	189 * 141 * 22	0.50
黒い箱 W	103 * 76 * 113	0.20
ラップ	234 * 45 * 46	0.15
PRETZ	162 * 29 * 86	0.05
黒い箱 P	160 * 50 * 83	0.20
引き出し	355 * 244 * 130	—

ラメータなどは一切見せず、見た目の好みのみで選んでもらった。次に、それぞれの配置に対してシミュレーション上で引き出しの開閉動作を 5 回繰り返す、ものが動いたあとの配置画面に t 対して同被験者 21 名に 1～5 点の得点をつけてもらった。そして、引き出し開閉前後での得点の変化と、各配置に対応した配置の乱れやすさ M の値との関係を調査した。被験者は 21-27 才の男女で、全員研究室の学生である。

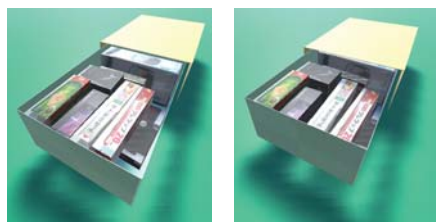
6.2 実験結果

実験に用いた片付け配置 A～E を図 8～12 に示す。それぞれの配置における配置の乱れやすさ $M[m]$ の値は A:0.114, B:0.255, C:0.207, D:0.267, E:0.140 であった。また、引き出しを動かす前の配置 A～E の得点の票数について集計した結果を表 3、引き出しを動かした後の結果を表 4 に示す。

引き出しを動かす前後での各配置の得点について変化があるかを調べるため、統計解析を行った。まず、配置 A～E の引き出しを動かす前後それぞれの得点に対して有意水準 5% で正規性の検定を行ったところ、配置 A, C, D, E については正規性を仮定できることがわかり、配置 B に関しては引き出しを動かした後の得点に正規性が確認できなかった。正規性を仮定できる配置 A, C, D, E に対して、対応のある t 検定を有意水準 5% の両側検定で行ったところ、配置 E に関しては $|t(20)| = 6.00, p < 0.05$ で有意に平均点が変化したという結果になった。配置 A, C, D についてはそれぞれ $|t(20)| = 0.188, p > 0.05$, $|t(20)| = 2.33, p > 0.05$, $|t(20)| = 1.56, p > 0.05$ となり、得点の平均点に有意な変化は見られなかった。配置 C に関しては $0.05 < p < 0.10$ であり、有意傾向は見られた。正規性を確認できなかった配置 B に対しては、ウィルコクソンの符号付順位和検定を行ったところ、 $|z| = 4.05, p < 0.05$ となり、中央値が有意に変化したという結果になった。

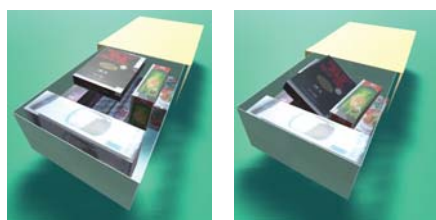
6.3 結果の考察

配置 A に関しては、引き出しを動かす前後でほとんど配置が動いておらず M の値も最小で、評価にもほぼ変化は



(a) 引き出しを動かす前 (b) 引き出しを動かした後

図 8 配置 A ($M = 0.114$)



(a) 引き出しを動かす前 (b) 引き出しを動かした後

図 9 配置 B ($M = 0.255$)



(a) 引き出しを動かす前 (b) 引き出しを動かした後

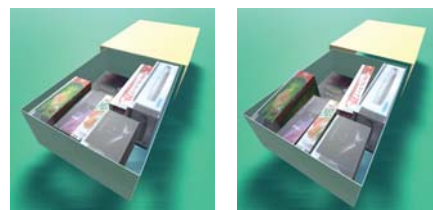
図 10 配置 C ($M = 0.207$)



(a) 引き出しを動かす前 (b) 引き出しを動かした後

図 11 配置 D ($M = 0.267$)

見られなかった。他に比べて動かす前後双方で評価が高めであるが、隙間なく敷き詰められているのが良いとの感想が複数見られた。配置 B に関しては、引き出しを動かす前については得点がばらついていて、動かした後は明確に得



(a) 引き出しを動かす前 (b) 引き出しを動かした後

図 12 配置 E ($M = 0.140$)

表 3 各得点の票数と平均得点 (引き出しを動かす前)

得点	配置 A	配置 B	配置 C	配置 D	配置 E
5pt	9	1	0	0	7
4pt	5	5	2	1	11
3pt	7	5	5	6	2
2pt	0	4	12	10	1
1pt	0	6	2	4	0
平均得点	3.94	2.56	2.38	2.19	4.13

表 4 各得点の票数と平均得点 (引き出しを動かした後)

得点	配置 A	配置 B	配置 C	配置 D	配置 E
5pt	10	0	0	1	1
4pt	5	1	5	3	2
3pt	5	1	6	6	6
2pt	1	4	8	8	8
1pt	0	15	1	3	4
平均得点	4.19	1.38	2.81	2.25	2.50

点が下がった。 M の値も比較的大きく、感想によると本が傾いているのが特に不評だった。配置 C に関しては、引き出しを動かした後で、有意差はないが得点が上昇している。「ティッシュ箱」のみ全体の動きからずれて大きく動いており、他はあまり動いていないため M の値は配置 A～E のの中では中央値となっているが、評価に影響したとは考えにくい。得点が上昇した理由としては、引き出しを動かした後の他配置に比べて相対的に綺麗だと判断されたためと推測される。配置 D に関しては、「ティッシュ箱」が大きく手前側に動き、それと逆向きに移動するものもあり、全体のズレが大きく M の値は 5 つの配置で最大となっているが、引き出しを動かす前後での評価の差はあまり見られなかった。斜めであることが気になるという被験者の中でも得点のばらつきがあり、配置 D に関する被験者内での判断基準にもあまり一貫性が見られなかった。配置 E に関しては、引き出しを動かす前後での配置のズレが少なく M の値も 2 番目に小さいが、得点は明確に低下した。引き出しを開けたときの勢いで「赤と緑の箱」が跳ね、傾いたまま配置されているが、被験者の感想によれば、これが引き出しの高さを超えているため、スムーズに引き出しが閉まらないのではないかと考えていたようである。

各配置の評価を総合的に考察すると、提案した配置の乱れやすさ M の値が配置の得点に影響していたとは考えにくい。引き出しを動かす前の各配置の評価基準については、隙間が無いほうが綺麗、ものの辺がそろっていると好き、ものが取り出しやすそうなのが良い、ものの向きが揃っているほうが美しい、もののラベルが見やすい方がよいなどの様々な意見が見られた。引き出しを動かした後の各配置について被験者の感想で最も多かったのは、ものが斜めになったり傾いていないかが気になるという内容であり、ものの位置の変化よりも崩れ度合いに注目したようである。次に多かったのは、引き出しがちゃんと閉まるかで判断したという内容であった。

本実験の結果と感想を考えれば、引き出しの開閉動作によるものの動きについて、考慮すべきなのはものの位置変化やズレよりも傾きや飛び出してしまうことであるため、今後新たにそういった方向性で作り直すことが必要である。

7. まとめ

本論文では、引き出しへの片付け方法を提示するシステムについて研究した筆者の従来研究を受け、新たに物理シミュレーションを用いることにより、引き出し開閉時のものの動きを再現し、片付け配置をリアルタイムに評価できるシステムを提案した。評価実験では、新たに実装した評価パラメータ「配置の乱れやすさ」についての妥当性を調査した。

今後の課題としては、今回の実験結果を受けて提案したパラメータ「配置の乱れやすさ」について再考する必要がある。また、今回のシステムでは単一の引き出しへの片付けを想定していたが、複数の引き出しへの片付けをするケースも考えられた方がシステムとして好ましい。更に、システムの利用によりユーザの片付け能力が実際に向上するかどうかの調査も必要である。

謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)および文部科学省科学研究費補助金挑戦的萌芽研究(25540084)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 近藤麻理恵: 人生がときめく片づけの魔法, サンマーク出版 (Jan. 2011).
- [2] 池田暁子: 必要なものがスグに! 取り出せる整理術!, メディアファクトリー (Aug. 2008).
- [3] 古田達彦, 寺田 努, 塚本昌彦: 条件付き箱詰めアルゴリズムを用いた引き出し内の片付け支援システム, DICOMO2015 論文集, Vol. 2015, pp. 1458-1465 (2015).
- [4] T. Ueoka, T. Kawamura, Y. Kono, M. Kideode: I'm Here!: A Wearable Object Remembrance Support System, Human-Computer Interaction with Mobile Devices

- and Services 5th International Symposium (Mobile HCI 2003), pp. 422-427 (Sep. 2003).
- [5] 栗原竜矢, 岡部 誠, 尾内理紀夫: Kinect センサを用いた物探し支援システムの試作, 第 19 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2011) 論文集, pp. 218-220 (Dec. 2011).
- [6] M. Komatsuzaki, K. Tsukada, I. Siio, DrawerFinder: Finding Items in Storage Boxes using Pictures and Visual Markers, Proceedings of 2011 International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI2011), pp. 363-366 (Jan. 2011).
- [7] 加藤貴之, 中西泰人, 服部隆志, 萩野達也: 写真からのオブジェクト抽出を利用した物品貸し借りプラットフォームの提案, 情報処理学会研究報告 (UBI), Vol. 2007, No. 74, pp. 53-58 (July 2007).
- [8] T. Fujita, Y. Numata, T. Yoshimi: A Study of Intelligent Drawer with RFID Tag Information Reading System for Intelligent Space, proceedings of 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 533-538 (Aug. 2012).
- [9] M. Funk, A. S. Shirazi, S. Mayer, L. Lischke, A. Schmidt: Pick from Here! - An Interactive Mobile Cart using In-Situ Projection for Order Picking, Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2015), pp. 601-609 (Sep. 2015).
- [10] I. Siio, J. Rowan, E. Mynatt: Peek-a-drawer communication by furniture, Proceeding of CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.582-583 (2002).
- [11] 高原茂幸: 多スタート局所探索法による 3 次元箱詰め問題の解法, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集 2008, pp. 88-89 (Sep. 2009).
- [12] 川上 敬, 皆川雅章, 嘉数佑昇: GA による 3 次元箱詰め戦略の自動チューニングとルールベースの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 33, No. 6, pp. 761-768 (June 1992).
- [13] 川島大貴: 3 次元箱詰め問題に対する 2 つの構築型解法の効率的実現法, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 57, No. 12, pp. 706-707 (Dec. 2012).
- [14] 遠藤靖典, 半澤光希, 濱砂幸裕: グループ化を用いた貨物積み付けにおけるメタ戦略アルゴリズム, 知能と情報: 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 18, No. 6, pp. 859-866 (Dec. 2006).
- [15] E. E. Bischoff and M. S. W. Racliff: Issues in the Development of Approaches to Container Loading, The International Journal of Management Science, Vol. 23, No. 4, pp. 377-390 (Aug. 1995).
- [16] N. Yano, T. Morinaga, T. Saito: Packing Optimization for Cargo Containers, SICE Annual Conference 2008, pp. 3479-3482 (Aug. 2008).
- [17] 米沢 隆: 整数計画法によるコンテナ積み付け最適化, Provision, No. 48, pp. 86-92 (2006).
- [18] i-Caps 最適積み付けシステム, <http://www.kke.co.jp/solution/theme/i-caps.html>.
- [19] 積み付け最適化計算システム バンニングマスター, <http://www.netloc.co.jp/vanning-master.html>.
- [20] 積付計画支援システム NEUFRECS, <http://www.hitachi-ics.co.jp/product/logistics/neufrec.html>.