

レーザカッタにより発生した端材の再利用システム

林 初実¹ 宮下 芳明¹

概要: 本稿ではレーザカッタ作業によって発生してしまう端材群から、指定した図形を切り出せるものを画像処理によって選定するシステムを提案する。また本稿では、複数の図形を切り出せる端材を選定するまでの時間やユーザへの負担について評価する実験を行い、その有効性を確認した。

Reuse System of the Remnant Material from the Laser Cutter

HAYASHI HATSUMI¹ MIYASHITA HOMEI¹

Abstract: In this paper, we propose the system which selects remnant materials that can cut out specified graphics from a group of remnant materials generated by the laser cutter operation, by image processing. We conducted experiments to evaluate the time to select remnant materials that can cut out multiple figures and the burden on users, and confirmed the effectiveness of the system.

1. はじめに

現在、デジタルファブリケーションは日本に浸透しつつある。低価格なレーザカッタ [6] が登場するなど、個人での利用も盛んになることが予想される。しかし、特に研究目的において、プロトタイプのために木材やアクリルなどの材料が特殊な形状で切り出されることがままある。その結果、まだ何らかの図形が切り出せそうな中途半端な形状の材料が大量に発生し、秩序なく放置されている (図 1)。これは、「デジタルファブリケーションは (中略) 大量生産から適量生産・変量生産への更新を促進する動きとして期待されている。一方で、結果として、大量消費に繋がってしまう」と津田らが危惧した状況になっている [3]。本稿では、このような中途半端な形状の材料を端材と呼ぶ。

既に、端材などからものづくりをするイベントが開催される [4]、端材で引き出しを作ったというブログ記事が投稿される [5] など、端材に利用価値を見出し、再利用している者もいる。しかし、このような再利用の機会は、変わった形を活かすなど、ユーザが端材に合わせてものづくりをした結果、生み出されたものである。



図 1 レーザカッタにより発生した端材

Fig. 1 The remnant material from the laser cutter.

一方、ユーザが自分の希望通りのサイズの図形を切り出すために、端材を再利用する場合、3章の予備実験で詳細に述べるが、端材の選定には過度な時間と手間がかかる。そこで本稿では、ユーザが工夫する必要なく端材を最低一度は再利用する機会を作り出すために、図形が切り出し可能な端材を選定するシステムを提案する。このシステムは端材の図面の画像データ (以降、図面とする) を元に、ユーザの指定した図形 (以降、指定図形とする) が切り出せる端材を選定するものである。提案システムの利用により、ユーザは時間や手間をかけることなく、適当な端材を使用することができる。第一の目的である端材の削減だけでなく、材料調達の手間も省けるため、より早くプロトタイプを作成できるという点で、デジタルファブリケーションに

¹ 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science, Faculty of Interdisciplinary Mathematical Sciences at Meiji University

よるモノの試作のペースアップにも効果が期待できる。

2. 関連研究

福地ら [2] は、材料の形・配置位置に関わらずレーザーカッタを目的通り使用することを可能にした。福地らは、レーザーカッタの上部にカメラを設置し、撮影した画像に対し画像処理を行うことで、食材に対し的確にレーザーカッタを動かしている。また、剛体シミュレーション・スナッピングを利用したユーザインタフェースによる効率の良い手動レイアウトシステムとして、Saakes らの PacCAM[1] がある。PacCAM は、簡単な操作により図面をまとめることができ、配置によっては材料を無駄なく使うことができる。ユーザが選定した端材を機械にセットすることで、端材に対しても手動レイアウトシステムが働く。提案システムでは、端材のデータを複数蓄えることで、ユーザが選定する必要なく複数の端材に対して再利用の機会を与えている。

河井ら [7] は盲人用の支援システムにおいて、中沢ら [8] は旋削部品の図面自動入力において、CCD カメラでの撮影による図面入力を行っている。石井ら [9] は確率的弛緩法およびファジィ積分を用いて線分を解釈し、設備図面データの入力自動化を可能とした。有木ら [10] はモノクロの既存の図面に対し、画像処理で線分・接続点を抽出し構造を把握、加えて構造記述と画像の 2 階層変換を行うことにより、高機能な変換を可能とした。

3. 予備実験

人力で指定図形を切り出せる端材を選定するのに、どれだけ時間や手間がかかるのかを調べるために予備実験を行った。実験参加者には、複数の端材に対し複数の指定図形を切り出せる範囲があるかどうかの試行をさせた。今回は、端材の厚さ・色・種類は気にしないものとし、端材のうち貫通している範囲を使用済み、それ以外は全て未使用範囲とした。

3.1 実験内容

今回は、実際にレーザーカッタの横に放置されていた端材を 23 枚用意した。また、いくつかの端材の切り出し済みのシルエットから指定図形を作成し、全部で 17 個用意した。指定図形には識別のためにランダムに番号を振った。実験参加者は端材・指定図形を見たことのない大学生 6 名 (男性 2 名、女性 4 名) である。実験参加者には、端材群に対し、ノートパソコンの画面に表示された指定図形が切り出せる範囲があるかの判定をさせた。実験参加者には 1m と 15cm の 2 本のものさし・筆記用具を渡し、作業スペースとして長机 2 つを L 字型に配置した (図 2)。

指定図形は、Adobe Illustrator で展開されており、1mm

単位のものさし・グリッドやパスの縦横幅の表示から、実寸を知ることができる。実験開始時の画面は、全ての指定図形を一目で見られるように設定した (図 3)。また、Illustrator の別ウィンドウには、図面が表示されており、図面を用いてノートパソコンの画面内で指定図形が切り出せる位置があるかを試行することも可とした。判定の際は、指定図形のサイズと同等以上の未使用の範囲があるか、必ずものさしや指などを用いて確認するよう指示した。指定図形を切り出せる範囲があると判断した場合は、筆記用具で印を付け、どの指定図形を切り出すのかを番号で示させた。この印は選定のための最低限のもので構わないことを伝え、印の付け方は実験参加者の判断に任せた。印を元に実験参加者が選定した端材が指定図形を切り出せる未使用範囲を持つか、実験終了後に実験監督者が確認した。端材は予め布で隠し、実験監督者が布を外した瞬間から計測を開始した。全ての指定図形に対して試行をし、切り出し可能な端材を仕分けきったタイミングで「終わった」と発言させ、発言した瞬間に計測を終了した。計測終了後、切り出せないと判断した指定図形があった場合のみ、口頭でその番号を伝えさせた。実験は全てビデオカメラで録画した。実験終了後に、どのような戦略で選定をしたのかと感想の 2 項目について自由記述のアンケートを取った。



図 2 人力選定の様子

Fig. 2 Selection by human.

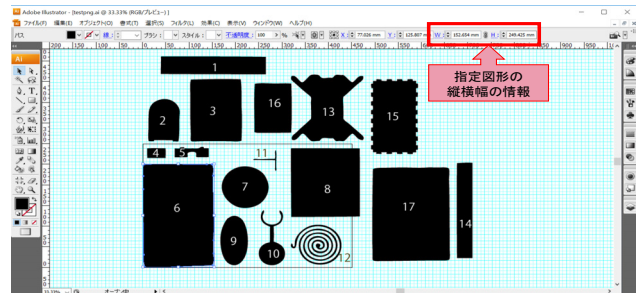


図 3 指定図形の表示画面

Fig. 3 The screen which indicated specified graphics.

表 1 予備実験

Table 1 The preliminary experiment.

| 実験参加者 | 選定時間 | 端材数 (枚) | 接触回数 | 画面確認回数 | 備考 |
|-------|---------|---------|------|--------|----------------------|
| a | 16m 55s | 9 | 12 | 96 | 全指定図形の切り出し成功 |
| b | 18m 20s | 4 | 5 | 79 | 6, 13 切り出せず |
| c | 28m 46s | 9 | 2 | 89 | 全指定図形の切り出し成功 |
| d | 30m 02s | 6 | 4 | 123 | 17 切り出せず |
| e | 31m 02s | 6 | 4 | 96 | 6 切り出せず |
| f | 35m 27s | 8 | 11 | 109 | 印付け不十分で 2, 14 の位置が被る |
| 平均 | 26m 46s | 7 | 6 | 99 | |
| 標準偏差 | 7m26s | 2 | 2 | 15 | |

3.2 予備実験結果

人力での選定時間を表 1 に示す。

まず、指定図形を切り出せた数について述べる。実験参加者 6 人のうち全ての指定図形を切り出せると判断した者は実験参加者 a, c, f の 3 人であった。しかし、実験参加者 f は印を簡素なものにしていたため、指定図形を切り出す位置が被ってしまっていた。レーザーカッターで指定図形を切り出す際に使用する位置が被っていた場合、再度切り出し可能な端材を選定する必要があるため、二度手間になってしまう。また、実験参加者 b は 2 つ、実験参加者 d, e は 1 つの指定図形が切り出せないと判断した。いずれも、実験で用いた指定図形のうち特にサイズの大きい 6, 17 のどちらかを切り出せないと判断している。また、実験参加者 a, f はアンケートで「最初は 6 を最も広いスペースのある端材に置いていたが、後から 6 が入る第二の位置を見つけた。6 を移動させることで 17 も切り出せる位置が見つかった。」と答えている。このことから、サイズの大きい指定図形が複数ある場合、切り出し可能な端材の候補を全て挙げてから選定を開始するのが望ましいと考えられる。

次に実験参加者の戦略について述べる。大きな指定図形を優先して探したと答えた実験参加者は 5 人 (a, b, d, e, f) であった。いずれも、目視で大きな未使用範囲のある端材を優先して使用していた。小さな指定図形を優先して探したのは、実験参加者 c のみであった。そのため、実験参加者 c は未使用範囲が小さい端材を優先して使用していた。以上から、戦略で重要なのは、大きい指定図形には大きい未使用範囲のある端材を当てる、など端材と指定図形のサイズの比較であることがわかった。

最後に選定中の様子について述べる。録画を元に、実験参加者が端材群に接触した回数 (以降、接触回数) とノートパソコンの画面を見た回数 (以降、画面確認回数) を数えたものを表 1 にまとめた。接触回数は、端材群から 1 枚以上の端材を引き出し、端材群から手を離すまでを 1 回として数えた。画面確認回数は、ノートパソコンの画面を見てから、ものさしを端材に当てるなど、指定図形のサイズの確認以外の他の作業を開始するまでを 1 回として数えた。接

触回数は、実験参加者の戦略によって大きく異なったが、画面確認回数は参加者平均で 99 回と、いずれの参加者も繰り返し行った動作であることがわかる。実験参加者 d のみ、図面を用いてノートパソコンの画面内での選定に挑戦していたが、3 分程度で諦め、端材を用いた選定に切り替えていた。また、アンケートの感想の項目では、「Illustrator の使い方がわかりにくかった」とイラストソフトに使いづらさを感じる実験参加者や、「15cm を超える指定図形はものさしの大きさから測るのも大変だった」「面倒だった。実験でなければ、新品の材料を使いたい」など、選定作業の煩わしさについて述べる実験参加者がいた。以上から、人力での選定においては、過度な時間と手間がかかることがわかった。この時間や手間が、ユーザにとってデメリットであり、端材を再利用するメリットよりも大きいことが、端材の再利用の機会を減らしていると考えられる。

3.3 予備調査

予備実験で用いた端材 23 枚に対して、使用率を調査した。結果を表 2 にまとめる。平均して約 46%しか使用されていなかった。これにより、デジタルファブリケーションによって無駄の多い大量消費が行われていることが明らかとなった。

4. 提案システム

本稿では、端材を再利用する機会を作るために、図面を元に指定図形が切り出せる端材を選定し、ユーザに向けて利用可能な端材を提示するシステムを提案する。実装は全て Processing で行った。本システムでは図面の左上・端材の左上・レーザーカッターの左上は常にぴったり合わせ、端材は図形を切り出した後も常に 1 枚に繋がっているものとする。今回は予備実験時と同様、端材の厚さ・色・種類は気にしないものとし、端材のうち貫通している範囲を使用済み、それ以外は全て未使用範囲とした。また、画像は全て png 形式・解像度 72dpi で統一する。

表 2 予備調査

Table 2 The preliminary investigation.

| 端材番号 | 使用率 (%) | 端材番号 | 使用率 (%) |
|------|---------|------|---------|
| 1 | 10.4 | 13 | 42.4 |
| 2 | 18.8 | 14 | 43.5 |
| 3 | 19.6 | 15 | 52.0 |
| 4 | 22.7 | 16 | 55.8 |
| 5 | 27.6 | 17 | 57.0 |
| 6 | 31.5 | 18 | 57.2 |
| 7 | 36.3 | 19 | 59.8 |
| 8 | 37.4 | 20 | 60.1 |
| 9 | 39.5 | 21 | 64.9 |
| 10 | 41.8 | 22 | 66.6 |
| 11 | 42.0 | 23 | 71.4 |
| 12 | 42.0 | | |
| 平均 | 46.2 | 標準偏差 | 14.6 |

4.1 端材の図面化

提案システムを運用するには、端材の図面化が不可欠である。そこで、新品の板から何らかの図形を切り出した後、端材を積み重ねる前に、webカメラで端材を撮影し図面化するシステムを利用する。この端材図面化システムは、新品の板を切り出した後の恒常的な作業として取り入れるものとする。

端材図面化システムは撮影画像から端材の4つの頂点を特定して長方形に切り出し、二値化を用いて既に切り落とされた使用済みの範囲を白色、未使用の範囲を黒色に塗りつぶすものである。この時得られた画像は図面と識別するために、特定の文字列を先頭にした名前で作成される。頂点は、平行な2辺と垂直な2辺が存在すれば推測可能であるため、様々な形状の端材に対応することができる。光が反射しづらい黒色のタイルの上に端材を置き、システムの指示に従って撮影、端材の縦横幅を入力することで、図面が得られる(図4)。撮影は、端材に対し垂直・地面に対し平行な位置にwebカメラを設置して行うのが望ましい。

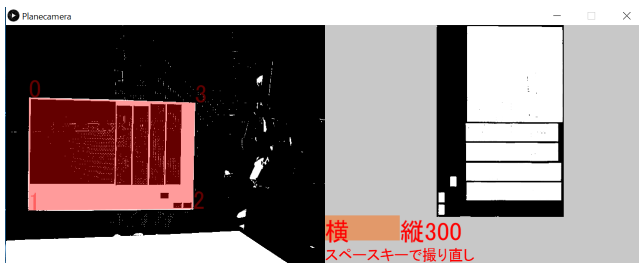


図 4 端材図面化システムの画面

Fig. 4 The screen of the system to change the remnant material to the image.

4.2 事前準備

新規に切り出したい形を不透明、余白部分を透明にした

画像を指定図形とする。ファイル名の先頭の特定の文字列を元に図面か指定図形かを判断するため、図面のファイル名を変更したり、指定図形のファイル名の先頭に特定の文字列を用いたりしてはならない。指定図形と4.1節で得られた図面に対し、事前準備のためのシステムでそれぞれに処理を行う。図面は、黒色のピクセル数が多い順に読み込みされるよう、名前が書き換えられる。指定図形は、図面に対し荒い探索を行い、配置可能な位置が少ない順に読み込みされるよう、名前が書き換えられる。ただし、配置可能な位置が多い場合はサイズが大きい順に読み込みされるように、名前が書き換えられる。さらに、任意の度数ごとに回転させた画像が生成され、これらの画像は、新規のフォルダに保存される。事前準備システムでの探索の荒さと配置可能な位置の多さの基準は、ユーザが設定することができる。なお、荒い探索とは提案システムと比べ、簡単な探索を行っていることを示す。

この事前準備システムは、提案システムを利用する直前に動かすものとする。

4.3 提案システムの手順

提案システムを起動し、4.2節で得られた新規のフォルダを選択する。フォルダから画像が読み込まれ、図面から指定図形を切り出せるかの判定が始まる。切り出せると判定した場合、その図面を選定したものとし、切り出し線をPDFで出力する(図5左)。切り出せないと判定した場合、切り出せない指定図形を案内するテキストが生成される。全ての指定図形に対し探索が終わると、画面に選定された図面が表示され、そのシルエットを元にユーザが端材を選ぶことで、端材の選定が完了する。

なお、レーザによる材料の縮みなどにも臨機応変に対応できるように、指定図形に対し十分に余裕のある切り出し位置を探索することも可能である。

4.3.1 実装

まず、色情報を元に、図面上で指定図形の不透明部分の輪郭線と同等の線が黒色である場所を探索する。黒色である場所が見つかった場合、指定図形と同等の範囲が全て黒色であるかの判定を行う。もし、全て黒色であった場合、図面には指定図形を切り出せる範囲があると判定し、切り出し線をPDFに出力する。出力後、図面は指定図形と同等の形が白色に塗りつぶされ、同名で保存される(図5右)。もし、条件に合致する場所が見つからなかった場合、指定図形を4.2節で生成した別角度の画像での探索に切り替える。もし、360度分の探索をしても全て黒色である場所が見つからなかった場合は、次の図面に切り替え、また0度の指定図形から探索を始める。以上を、全ての指定図形に対して行う。

探索は、実行速度を速めるために、格子状に間隔を開け

て行われる。この間隔は指定図形のサイズと精度に依存する。精度は、探索の間隔に関する独自のパラメータであり、例えば、精度 10 は、指定図形のサイズの 1/10 の縦横幅の間隔を開けて探索が行われることを意味する。精度の初期値と探索切り上げの上限はユーザが決定する。もし、全ての画像を探索しても、条件に合致する場所が見つからなかった場合、精度を 30 上げて再び探索を始める。

精度を上限まで上げて、条件に合致する場所が見つからなかった場合、見つからなかった指定図形を案内するテキストが生成される。

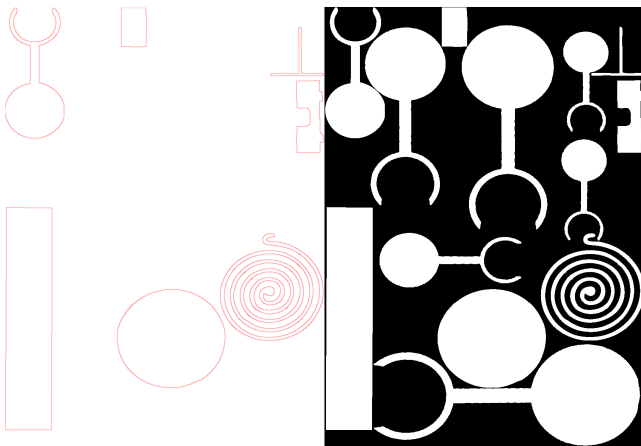


図 5 出力された PDF(左) と図面(右)
Fig. 5 PDF(Left) and the image(Right).

5. 評価実験

提案システムにより、端材選定までの時間や手間を省略できるかどうかを調べるために、評価実験を行った。実験参加者には、画面に表示された複数の図面を元に、同じのシルエットの端材を探させた。

5.1 実験内容

実験は、3章の端材 23 枚と指定図形 17 個を引き続き用いて行った。実験参加者は端材を見たことのない大学生 6 名(男性 2 名、女性 4 名)である。作業スペースとして長机 2 つを L 字型に配置した。端材は予め布で隠し、実験監督者が布を外した瞬間から計測を開始した。画面に表示された図面と一致する端材を見つけ出し、端材を仕分けきったタイミングで「終わった」と発言させ、発言した瞬間に計測を終了した。提案システムが画像を読み込んだ直後から終了するまでの時間と準備時間に実験参加者が端材を全て見つけ出すまでの時間を足したものを、提案システム利用時の選定時間とした。実験の様子は全てビデオカメラで録画し、実験終了後に戦略や感想を自由記述のアンケートを行った。

本実験での提案システムのパラメータは、指定図形の回

転度数は 10 度ごと、精度の初期値は 10、上限は指定図形のサイズの 1/5 までとした。以上の条件において、提案システムの所要時間は 1 分 47 秒、準備時間は 3 分 16 秒であった。また、提案システムが提示した図面の枚数は 7 枚であった。

5.2 結果と考察

実験参加者が端材を見つけ出すまでの時間と選定時間に加え、録画を元に実験参加者が端材群を探索した回数(以降、探索回数)と画面確認回数を数えたものを表 3 にまとめた。探索回数は、端材群を順番に探索し、端材群から手を離すまで、もしくは端材群を全て確認し終えるまでを 1 回として数えた。画面確認回数は、ノートパソコンの画面を見てから、いずれかの端材に目を向けるまでを 1 回として数えた。なお、提案システムが提示した図面の枚数が 7 枚であったことから、接触回数はいずれの実験参加者も 7 回となった。

まず、画面に表示された複数の図面を元に、同じのシルエットの端材を見つけ出すことができたかについて述べる。実験参加者 D を除いた 5 人の実験参加者が全ての端材を見つけ出すことができた。実験参加者 D は 1 枚の端材を他の端材と取り違えてしまっていた。次に、実験参加者の戦略と感想について述べる。実験参加者 B, D, E, F は「図面の大きな特徴を捉え、似ているものを見つけた場合に細部の確認をした」と答えた。そのため、感想では「四角形など特徴の少ない図形が切り出された端材は選択が難しかった」とも答えている。また、実験参加者 C は「表示された枚数が多く、どれを探していたかわからなくなった」と答えた。以上から、図面をただ表示するだけでなく、通し番号を振るなどして、よりユーザが端材を探し出しやすい仕組みを作る必要があることがわかった。

しかし、実験参加者 E が「パズルのようで楽しかった」と答えていることや、実験参加者 A と C が戦略について無記入であったことから、時間や手間をかけて考えずとも端材を選定できるシステムであることが示された。また、3章の人力での選定時間と本実験の合計選定時間に対し、両側検定の t 検定を行ったところ、 $t(5)=-6.4$, $p<.01$ であり、有意差が認められた。同様に、画面確認回数に対し、両側検定の t 検定を行ったところ、 $t(10)=10.4$, $p<.001$ であり、有意差が認められた。従って、提案システムを利用することで、時間や手間のかからない端材選定が可能になったことから、端材の再利用の機会を作ることができると言える。

最後に、提案システム使用後の端材の使用率の変化について、本システムが選定した 7 枚の端材に対してのみ表 4 にまとめた。

表 3 評価実験

Table 3 The evaluation experiment.

| 実験参加者 | 端材選択時間 | 合計選定時間 | 探索回数 | 画面確認回数 | 備考 |
|-------|--------|--------|------|--------|--------|
| A | 1m 42s | 6m 45s | 2 | 21 | 1 枚間違い |
| B | 2m 06s | 7m 09s | 1 | 34 | |
| C | 2m 16s | 7m 19s | 2 | 28 | |
| D | 2m 16s | 7m 19s | 2 | 11 | |
| E | 2m 38s | 7m 41s | 2 | 27 | |
| F | 3m 00s | 8m 03s | 5 | 12 | |
| 平均 | 2m 20s | 7m 22s | 2.3 | 22 | |
| 標準偏差 | 27s | 27s | 1.4 | 9.2 | |

表 4 使用率の変化

Table 4 The changing in the usage rate

| 端材番号 | システム使用前 (%) | システム使用后 (%) |
|------|-------------|-------------|
| 3 | 19.6 | 61.8 |
| 4 | 22.7 | 42.8 |
| 5 | 27.6 | 82.8 |
| 6 | 31.5 | 61.8 |
| 7 | 36.3 | 48.6 |
| 12 | 42.0 | 53.1 |
| 16 | 55.8 | 74.1 |

6. 展望

今回、複数の指定図形を切り出せる複数の端材の選定において、提案システムの利用により、選定までの時間や手間を省略できることが示された。提案システムをレーザーカッターの利用に恒常的に組み込むことで、ユーザに負担をかけることなく端材の再利用の機会を作ることができ、新たに生み出される端材を削減することが可能となる。加えて、材料調達の手間を省くことも可能となり、様々な作業のペースアップも見込める。

また、本稿では提案システムを最低一度の端材再利用のためのものとしたが、より効率の良いアルゴリズムを追及することで、再々利用も可能となる。更に、提案システムが選定した端材の表示方法や管理方法を工夫することで、よりユーザに使いやすいシステムを構築することができる。以上2つの改善点を始めとして、よりユーザに負担がなく、かつ端材の使用済み範囲の割合も上がるシステムへと改善していきたい。

7. まとめ

デジタルファブリケーションの浸透により、レーザーカッターの利用により中途半端な形状の材料、端材が大量に発生している。これらは未使用の範囲が多いため蓄積されているものの、ユーザの希望に合致する端材を選定するためにかかる時間や手間が、端材の再利用の機会を減らしてい

る。そこで、端材の再利用の機会を増やすため、端材の画像データを元に、ユーザの指定した図形が切り出せる端材を選定するシステムを提案した。

本稿では、複数の図形が切り出せる複数の端材の選定について提案システムを利用した評価実験を行った。実験の結果、端材選定までの時間や手間を省略できることが示された。今後は、システムが提示した端材を選びやすくする方法やアルゴリズムの改善についても検討したい。

参考文献

- [1] Daniel Saakes, Thomas Cambazard, Jun Mitani, and Takeo Igarashi. *PacCAM: Material Capture and Interactive 2D Packing for Efficient Material Usage on CNC Cutting Machines*, UIST'13, pp. 441-446, 2013.
- [2] 福地 健太郎, 富山 彰史, 城 一裕. *Laser-Cooking: レーザカッターを用いた自動調理法の開発*, HCI, Vol. 144, No. 19, pp. 55-58, 2011.
- [3] 津田 和俊, 福重 真一. 406 デジタルファブリケーションによる資源循環型生産システムの構築に向けて, 日本機械学会生産システム部門講演会講演論文集, pp. 65-66, 2013.
- [4] ファブラボ大宰府: 「イベント 廃材ファブ」(online), 入手先 (<http://fablabdazaifu.com/archives/event/openlab-廃材ファブ/>)(2016. 11. 13).
- [5] FabLab SENDAI - FLAT: 「あまり素材で引き出しを作りました!」, (online), 入手先 (<http://fablabsendai-flat.com/あまり素材で引き出しを作りました!/>)(2016. 11. 13).
- [6] FABOOL Laser Mini, (online), 入手先 (<http://www.smartdiys.com/fabool-laser-mini/>)(2016. 11. 13).
- [7] 河井 良浩, 大西 昇, 杉江 昇. 盲人用図面認識支援システム, 電子情報通信学会論文誌 D-, Vol. J72-D-, No. 9, pp. 1526-1533, 1989.
- [8] 中沢 弘, 金山 和則. 旋削部品の図面自動入力による生産システムの開発, 精密工学会誌, Vol. 54(1988), No. 1, pp. 151-156, 1988.
- [9] 石井 利明, 星野 文彦, 下辻 成佳, 堀 修. 確率的弛緩法およびファジィ積分を用いた設備図面自動解釈, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 113(1993), No. 12, pp. 1079-1086, 1993.
- [10] 有木 康雄, 脇本 浩司, 謝 輝, 坂井 利之. 構造記述に基づく図面画像の高速変換処理, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J69-D, No. 11, pp. 1732-1742, 1986.