

視覚障害者を対象としたディスプレイ操作を必要とする家庭用 3Dプリンタ操作支援システム

田川 直弥*¹ 岩村 雅一*² 南谷 和範*³ 黄瀬 浩一*⁴

Home-use 3D printer operation support system requiring display operation for the visually impaired

Naoya Tagawa*¹, Masakazu Iwamura*², Kazunori Minatani*³ and Koichi Kise*⁴

Abstract – Home-use 3D printers that have appeared in recent years have the potential to make tactile perception, in which the shape of an object is understood by hand, more accessible. However, it is difficult for the visually impaired to handle 3D printers because the operation of the 3D printer heavily depends on vision (i.e., it assumes visibility of the display). Therefore, we propose an operation support system that recognizes the text on the display of the 3D printer and reads it out. In a preliminary experiment, we asked the blind author to perform five tasks of operating the 3D printer using the proposed system and a recognition application on a smartphone and compared the times required to complete them. As a result, the completion times were shorter with the proposed system than with the smartphone application.

Keywords : visually impaired, 3D printer, text to speech, and character recognition

1. はじめに

表示される文字情報を元に操作するインターフェースは数多くあり、その文字情報を読み上げるデバイスが欲しいという視覚障害者からの声がある。操作を音声でガイドする家電製品もあるが、その種類は少なく高価である。家庭用3Dプリンタにも図1のような文字情報を表示するディスプレイがあり、この情報を元に操作する必要がある。現在視覚障害者向けの家庭用3Dプリンタは販売されていない。そのため、文字情報を読み上げるデバイスの開発対象として、家庭用3Dプリンタに注目した。

近年登場した家庭用3Dプリンタは二つの観点で視覚障害者から注目を浴びている。一つ目は、触察の機会を増やすという点である。触察とは、手や指で触ることによって物の形や特徴を把握することである。触察の授業では、世界の著名な建造物など実物に触れることが難しい物の形や特徴を理解するために立体模型が使用される^[2]。最近まで、触察に使用できる立体模型は販売されているものに限られていたが、家庭用3Dプリンタの登場で様々な形状の立体模型を比較的簡単

に入手できるようになった。3Dプリンタでは、3次元ソフトウェアで作成された3次元データを元にスライスされた2次元の層を積み重ねることによって、立体模型を作成できる。そのため、3Dプリンタと形を知りたい物の3次元データさえあれば、誰でも自由に立体模型を得られて触ることができるようになった。家庭用3Dプリンタの登場は、障害者と晴眼者の間にある「感じるができるリアリティ」の差を埋める要因になりえると考えられる。二つ目は、自助具の作成である。障害の程度は人それぞれなので、障害者のニーズを一番知っているのはその障害者自身といえる。したがって家庭用3Dプリンタは、障害者自身が自らの自助具を制作することが一番最適な「かゆいところに手の届く」道具を作る方法といえる。

しかし、現在3Dプリンタを視覚障害者が扱うのは難しく、立体模型を容易に印刷できない。3Dプリンタは晴眼者向けに作られているため、印刷に必要な3Dプリンタのディスプレイの操作は視覚に大きく依存している。視覚障害者にとって、ディスプレイが何を示しているのかを目で見て判断することは難しい。視覚障害者が自らの手で3Dプリンタを動かすには、視覚障害者に合った操作支援を行う必要がある。また、3Dプリンタを視覚障害者自らの手で使用できるようになれば、自分の知りたいものや欲しいものを自由に手に入れることができる。触察で使用する立体模型を自身の手で作れるようになると知る権利を、自分に合った自助具を3Dプリンタで作成できるようになれば生活の質を保障するのに一役買うことができる。以上の2

*1: 大阪府立大学 工学域

*2: 大阪公立大学 大学院情報学研究科

*3: 大学入試センター 研究開発部

*4: 大阪公立大学 大学院情報学研究科

*1: School of Engineering, Osaka Prefecture University

*2: Graduate School of Informatics, Osaka Metropolitan University

*3: Research and Development Department, National Center for University Entrance Examinations

*4: Graduate School of Informatics, Osaka Metropolitan University

点は視覚障害者にとって大きな意味がある。

そこで視覚障害者でも容易に3Dプリンタを扱えるように、ディスプレイの表示を認識してそれを音声で出力するような3Dプリンタのディスプレイの操作を支援するシステムを考える。本稿ではリアルタイムでディスプレイの表示に対して文字認識を行い、現在のディスプレイの表示を音声出力するシステムを提案する。そして実験では情報伝達アプリと提案システムを視覚障害のある著者1名に実際に使用してもらい、本システムの有用性を確かめる。

晴眼者は必要に応じて文字に対する注意の向け方を変え、情報の優先順位を決めている。図2は3Dプリンタの印刷状況を表す画面において、観察された文字の機能を表している。図2a中の赤枠で囲まれた文字は印刷が進もうと常に表示されており、印刷状況とは何の関係もない。したがって、この情報を伝える必要はない。図2b中の赤枠で囲まれた文字は、印刷の進行状況が全体の何%進んだかを示すものである。このようなユーザーの操作に対して反応し変化する情報は、すぐに伝えて欲しい情報である。図2c中の赤枠で囲まれた文字はノズルの温度を表しており、印刷に深く関わる部分ではあるが、大きく変化したときに知ることができればよい。このような現状を表す情報は必要な時に知りたい情報といえる。以上のように一つの画面内にも、伝える必要のない情報、即座に教えて欲しい情報、必要に応じて教えて欲しい情報があることがわかる。提案システムでは、このような「文字が持つ機能」を考慮して情報を伝える。

視覚障害者が既存の視覚情報伝達アプリを使用する際の問題点として、カメラの画角に被写体を収めることが難しい点、画角に入るテキストを読み続けるだけで操作に必要な情報が伝わりにくい点の二つがある。既存の視覚情報伝達アプリの具体例として、Seeing AI^[3] や Lookout^[4] などがある。これらの問題点に対して、情報伝達アプリを視覚障害者が扱う上で非常にストレスに感じている。提案システムではこの二つの問題点を解決する。実験では3Dプリンタの複数の操作タスクを、既存の情報伝達アプリと提案システムをそれぞれ用いて行ってもらい、比較する。

本研究の貢献は以下の3つとなる。

- 家庭用3Dプリンタの操作支援システムを提案することによって視覚障害者の操作の負担軽減
- 3Dプリンタの画面に現れる文字の機能とその伝え方についての考察
- 提案システムと情報伝達アプリとの比較と評価



図1: Prusaの3Dプリンタの操作ディスプレイ¹
Fig.1 Prusa 3D printer operating display.

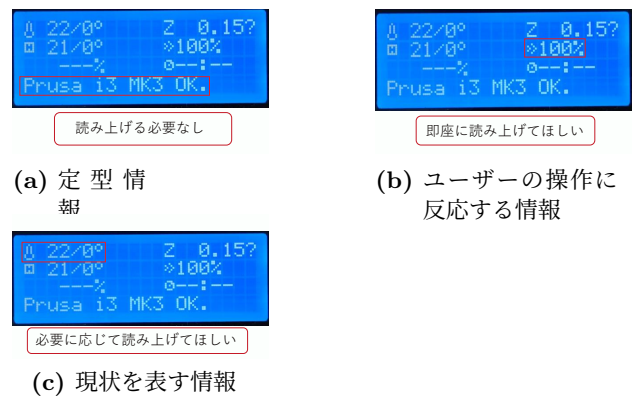


図2: 3Dプリンタの印刷状況を表す表示にて観察された文字の機能
Fig.2 Text functions observed in the 3D printer's print status display.

2. 関連研究

本節では、関連研究として視覚障害者の扱いにくいインタフェースの操作支援を行うGuoらの手法とカメラの画角に入った文字情報を読み取る既存の情報伝達アプリに関して述べる。

2.1 Guoらの研究

Guoら^[1]は、カメラ画像とラベル付きの参照画像と照合し、インタフェースにおけるユーザーの操作を認識して音声によるフィードバックを返すVisLensというシステムを提案した。図3はこの論文の提案システムであるVizLensの概要図である。このシステムでは、使用する機器を撮影した画像に対してクラウドワーカーがラベル付けを行うことで、カメラが使用機器のボタンの位置や種類を検知することができる。検知した情報を音声出力することにより、ユーザーが行おうとしている操作に対するフィードバックを提供できる。また、VizLensにはインタフェースがカメラの画角に入るようにガイドする機能もあり、カメラの位置合わせが楽になる。しかし、Guoらが提案するシステムはボタンを用いて操作するインタフェースに対して効果があるが、本稿の3Dプリンタのディスプレイのようにダイヤルを回して画面がスクロールする

¹ <https://prusa3d.jp/>

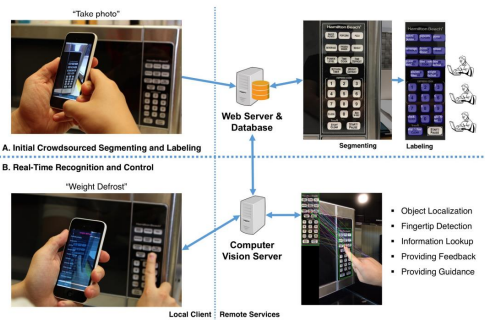


図 3: Guo らの手法 ([1] より引用)
Fig. 3 Methods of Guo (cited from [1]).

ようなインターフェースには向いていない。また、音声出力に対するユーザーインターフェースをあまり考慮していない点、クラウドワーカーによるラベル付けと参照画像との照合に演算能力の高い GPU を介してリモートかつオンラインで行わなければいけない点が問題点である。

2.2 Seeing AI

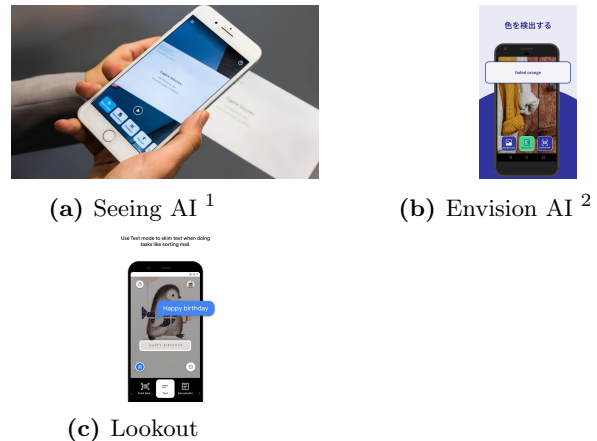
Seeing AI は、図 4a に示すようにスマートフォンのカメラ内に映った物体や文字、文章を読み取り、その情報を音声で伝達してくれるアプリである。認識できる対象は、文字情報に加え、通貨・色・人など多岐にわたる。しかし、認識した情報をすべて伝達するため、伝達される情報が非常に多い、画角に入る文章を読み続けるという問題が起こり得る。

2.3 Envision AI

Envision AI^[5] は、図 4b に示すように、スマートフォンを用いた視覚障害者向けの文字認識 (OCR) アプリである。文字情報に加えバーコードや色なども認識できる。伝達する情報の詳細さを設定することもできるなど、多機能であるが、認識した情報にアクセスできないので、ユーザが欲しい情報を選べない。

2.4 Lookout

Lookout^[4] は、図 4c に示すように、カメラ内に写った物体や文字、文章を読み取り、その情報を音声で伝達する視覚障害者向けの android のスマートフォン専用のアプリである。色の判別や食品のパッケージから食品を判断する機能もある。Seeing AI と同様に、認識した情報をすべて伝達するため、伝達される情報が非常に多くなり、画角に入る文章を読み続けるという問題が起こり得る。



(a) Seeing AI¹

(b) Envision AI²

(c) Lookout

図 4: 情報伝達を行うスマートフォンアプリの例
Fig. 4 Example of a smartphone application that communicates information.

3. 3D プリンタのディスプレイ上の情報の取得方法

本節では、2 節で述べた、周囲の視覚情報を音声で伝達するスマートフォンアプリを用いて家庭用 3D プリンタのディスプレイの情報を読み取り、操作する方法について述べる。

3.1 家庭用 3D プリンタのディスプレイと操作の特徴

家庭用 3D プリンタのディスプレイと操作の基本的な特徴を述べる。図 5 は家庭用 3D プリンタ Prusa i3 MK3S¹ のディスプレイである。図 5 のコントロールタブを時計回りに回すことでカーソルが下に動き、反時計回りに回すことでカーソルが上に動く。図 5 のようにディスプレイ上には 4 行まで表示することができ、コントロールタブを回し続けることで上下にスクロールしてすべての選択肢を見ることができる。また、コントロールタブを押すことでカーソルが指す情報を選択でき、次の画面に遷移する。図 5 のリセットボタンを押すことで印刷をキャンセルできる。

3.2 情報伝達アプリを用いたディスプレイの情報取得

先天盲である共同研究者の南谷は、2 節で述べた Lookout という周囲のテキスト情報を読み上げるスマートフォンアプリを用いてこの 3D プリンタを操作している。2 節で述べた読み上げアプリはカメラの画角に入るテキスト情報を読むことしかできないので、現在のカーソル位置がどの項目を指しているのかを伝えることができない。したがって、南谷は読み上げられるテキスト情報を聞いて項目とその並びを記憶することで、3D プリンタを操作している。南谷は以下の操作を順に繰り返すことで項目と項目の並びを把握し、現在のカーソルがどの項目を指しているかを理解して

1: <https://news.livedoor.com/article/detail/17471532/>

2: <https://dotapps.jp/products/com-envision-beta>

3: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.accessibility.reveal>

1: <https://help.prusa3d.com/ja/tag/mk3s>

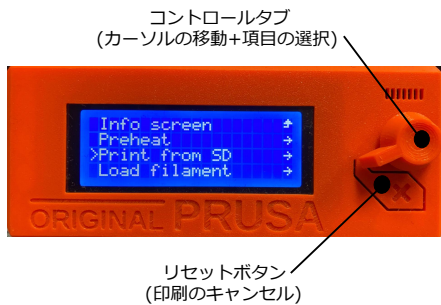


図 5: 家庭用 3D プリンタ Prusa のディスプレイ
Fig. 5 Display of Prusa 3D printer for home use.

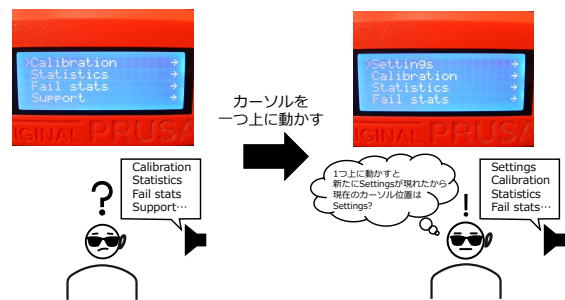


図 6: 読み上げられるテキスト情報から項目の位置を把握する
Fig. 6 Figure out the location of an item from the text information that is read out.

いる。

1. 上下にカーソルを動かす、スクロールさせることで、読み上げられるテキスト情報がどう変化するかを聞き分けることで、項目の並び方を大体把握する。
2. 把握した項目の並び方が合っているか、一度把握したと思う項目を選択する。読み上げられる内容がその項目と関係ありそうなら、把握した項目の並びは合っている、関係なさそうなら把握した項目の並びは違うので 1. に戻る。

以下では例を用いて上記の操作について述べる。図 6 は上記の 1. の操作を示している。図 6 では伝達アプリから「Calibration → Statistics → Fail stats → Support」と繰り返し読み上げられている。ここでカーソルを一つ上に動かすと、伝達アプリが「Settings → Calibration → Statistics → Fail stats」と読み上げた。このとき、上にカーソルを動かすと新たな項目である Settings が読み上げられたことから、動かす前のカーソルはディスプレイに表示されている 4 つの項目の 1 番上を指しており、現在カーソルは Settings を指していることが推察できる。図 7 は上記 2. の操作を示している。1. で推察した項目が合っているかどうか、推察した項目を選択してみる。選択後、伝達アプリが「Main → Temperature → Move axis → Disable steps」と読み上げる。Temperature や Move axis は推察した項目である Settings と関連していそうなので、推察は合っていたことがわかる。一方、選択後の読み上げられる内容が Settings と明らかに関係なさそうなら、推察が間違っていたことがわかるので、1. の操作を引き続き行わなければならない。

上記の操作を繰り返し行って、現在カーソルがどの項目を指しているか把握するのは困難を極める。繰り返し読み上げられるテキストの変化を長時間聞き分け続け、さらに項目と項目の並びを記憶し続ける精神的

負担は計り知れない。実際の項目の並びが記憶していたものと違っていることが分かれば、初めから項目を把握し直す必要がある。また、視覚障害者は手元のカメラが今どこを映しているのかが分かりにくいので、アプリがテキスト情報をうまく読み取れないことが多い。この点も 3D プリンタの操作難易度を上げている。このように視覚障害者と聴覚者の間には 3D プリンタの操作の難易度に大きなギャップがあることが分かる。

上記の視覚障害者の読み上げアプリを使った 3D プリンタ操作の負担を減らすには、以下の 2 つの点に関して読み上げアプリを改善する必要がある。

1. 読み上げる回数を減らし、操作に必要な情報だけを知らせる。
2. 簡単な操作でテキスト情報をカメラの画角に収められること。

画角に入るテキストを繰り返し読み続けること、カメラの画角にテキストを入れるのが難しいことが、2 節で述べた情報伝達アプリの問題点として挙げられる。上記の 1. によって、項目と項目の並びを記憶する必要なく、操作に必要な現在のディスプレイ上の情報を知ることができる。上記の 2. によって、視覚障害者がカメラの位置合わせをする際の負担を減少することができる。

4. 提案手法

本節では、従来の読み上げアプリの問題点を踏まえて視覚障害者が 3D プリンタを操作する際の負担を減らす提案手法について述べる。3 節で述べた読み上げアプリの問題点を踏まえ、提案手法では読み上げ回数を減らしつつ操作に必要な情報を伝え、カメラの位置合わせを簡単な操作で行えるようにする。また、3D プリンタの文字の機能に配慮しながら読み上げ方を工夫する。

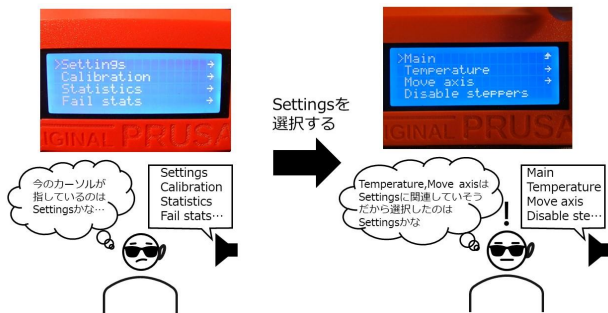


図 7: 把握した項目があっているか確かめる
Fig. 7 Make sure you have the items you have identified.

4.1 提案手法と従来手法との違い

3D プリンタのディスプレイを操作するために、従来の読み上げアプリの改善案を 3 節で述べた。以下の 2 つである。

1. 現在のカーソルが指す情報を知らせ、ディスプレイ上の情報が変化するときだけ読み上げを行うこと。
2. 簡単な操作でテキスト情報をカメラの画角に収められること。

提案手法では上記の 2 つの機能を以下の 2 つの方法を行うことで実現している。

1. 前のフレーム画像と現在のフレーム画像との差分を取り、差分があったところのみを読み上げる。
2. 画角調整が簡単な台の作成。

前後のフレームの差分のみを読み上げることにより、ディスプレイ上で変化した情報を必要最小限度の情報量に抑えることができる。具体的に、この方法により実現できる機能は次の 3 つである。

1. 画面の表示がすべて変わった場合、変化先のディスプレイの情報すべてを読み上げる。
2. カーソルだけ変わった場合、新たなカーソルが指す部分だけを読み上げる。
3. 画面がスクロールした場合、スクロールによって新たに表示された部分だけを読み上げる。

以下、提案手法の 2 つの方法の詳細について順に述べる。

4.2 差分の検知

前後のフレームの移動平均画像を算出することで、1. のフレームの差分を検知する。図 8、図 9 はカメラで撮影したディスプレイの画像を二値化したもので、図 8 が 1 つ前のフレーム画像で図 9 が現在のフレーム画像である。この 2 枚のフレーム画像に関して移動平均を算出し、差分画像を算出する。これにより、前のフレームから変化した場所がないかを検出する。図 10 は図 8 と図 9 の差分を取った結果を示している。また、



図 8: 前のフレーム画像を二値化したもの
Fig. 8 Binarized previous frame image.



図 9: 現在のフレーム画像を二値化したもの
Fig. 9 Binarized current frame image.

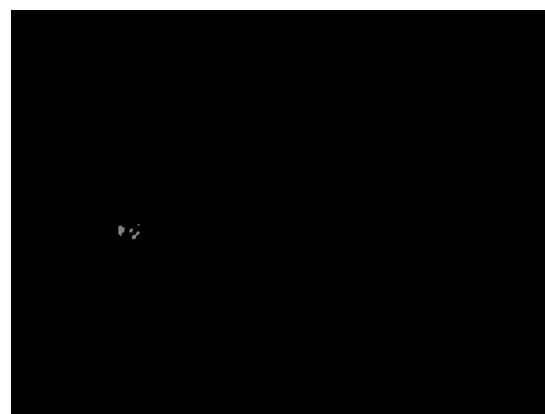
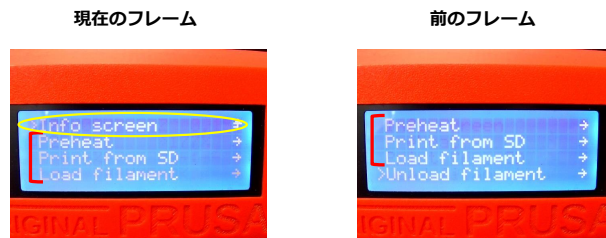


図 10: 差分をとった結果
Fig. 10 Result of taking the difference.

図 11 は赤枠で囲まれた列に差分があったことを示している。そして、差分があった列と前のフレーム画像との差分を列ごとに算出することで、前後のフレームにどちらもあり、位置だけが変わっている列に対して文字認識を行わない。例えば、図 12 において、赤枠のところは変化前後で一致しており、位置だけが変わっているので、文字認識は行わない。



図 11: 差分があった列を赤枠で示したもの
Fig. 11 Column with differences is indicated by a red box.



赤枠のところは前後で一致しているため
文字認識せず黄色の枠だけ認識

図 12: フレームの前後で一致する列がある場合
Fig. 12 A case that the same column exists in the previous and current frame.

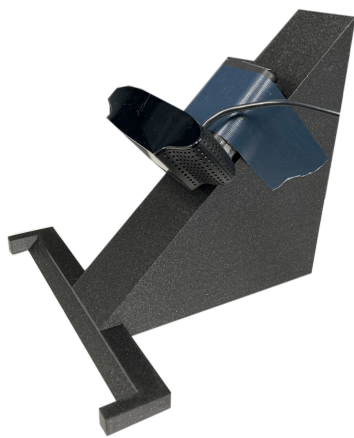


図 13: 3D プリンタで作成したウェブカメラ用の台
Fig. 13 Platform for a web camera created with a 3D printer.

4.3 台でカメラを固定する

視覚障害者はカメラの画角に対象物を収めることが難しいので、カメラの位置合わせが簡単にできる台を作成した。図 13 が 3D プリンタで作成した、カメラを固定する台である。作成した台の下側には突起がついており、これにより台を 3D プリンタのディスプレイにはめ込める。実際に接着してみたのが図 14 であり、視覚障害者でも簡単にカメラの位置合わせができるようになっている。

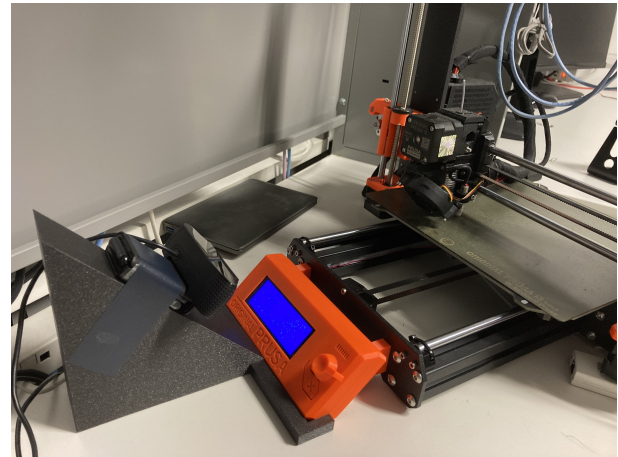


図 14: 作成した台を家庭用 3D プリンタに取り付けた様子
Fig. 14 The created stand attached to a home-use 3D printer.

4.4 提案手法の手順

提案手法はメインスレッドとサブスレッドに分かれており、メインプログラムでは画像取得と差分の検知、サブプログラムでは文字認識、テキスト出力、音声出力を行う。図 15 は提案手法のフロー図である。以下では、音声出力と文字認識およびそれに必要な文字の検知と画像処理について詳しく述べる。

4.4.1 画像処理

Prusa の 3D プリンタは一定時間のうちに輝度が細かく変動するため、フレーム間の差分を取った際に表示は変化していないのに輝度値の変化が原因で差分が出てしまう。輝度値を安定させるため、取得した画像の直近 5 枚の平均画像を算出し、前後のフレームの平均画像同士で差分を取る。

4.4.2 文字の検知

メインプログラムで差分を検知すると、差分があった列の画像を切り抜き、サブプログラムに切り抜いた画像を渡す。水平方向と鉛直方向に対してその画像の射影分布を算出し、文字を検出する。射影分布とは画像をある方向に投影したときに計測される白画素の度数分布で、度数分布の山となる部分に文字が存在している。文字の検知は次の文字認識で文字の切り出しを行うために必要な処理である。

4.4.3 テンプレートマッチングによる文字認識

テンプレートマッチングを用いて文字認識を行う。テンプレートマッチングとは、事前に作成したテンプレートと似ている位置を画像の中から探す処理である。まず、先ほど検知した文字の位置を元に一文字ずつ切り抜く。次に、事前に作成したテンプレートと照合し、最も類似度が高いものを認識結果とし、そのテンプレートに紐づけられたラベルをテキストとして出力する。テンプレートマッチングを用いることで、高速に

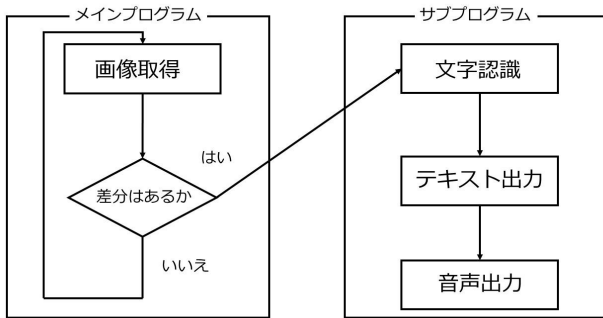


図 15: 提案手法のフロー図

Fig. 15 Flow diagram of the proposed method.

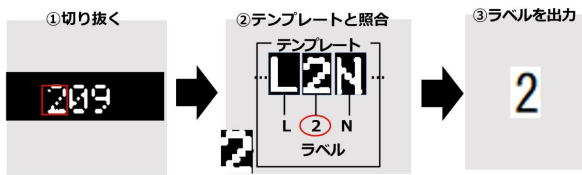


図 16: テンプレートマッチングによる文字認識

Fig. 16 Character recognition by template matching.

文字認識を行うことができる。図 16 はテンプレートマッチングを用いた文字認識の様子を表した図である。

4.4.4 音声出力

出力したテキストを元に音声ファイルを作成し、再生することで音声出力を行う。新たな差分画像がメインスレッドから送られてくると、現在の音声出力を停止し、新たなテキストの音声ファイルを再生する。これは、ユーザーの操作に素早く反応するための処理である。音声ファイルを作成するのに使用したライブラリは pytttsx3 であり、音声ファイルを再生するのに pyaudio というライブラリを使用する。

4.5 3D プリンタに見られた文字の機能と読み上げの工夫

晴眼者は必要に応じて文字に対する注意の向け方を変え、情報の優先順位を決めている。3D プリンタの画面にも様々な文字と文字の機能がみられる。文字の機能は、読み上げる必要のない情報、即座に教えて欲しい情報、必要に応じて教えて欲しい情報の三つに分けられる。以下では、3D プリンタで見られた文字とその機能を紹介する。

4.5.1 読み上げる必要のない情報

常に変化せず、印刷にほとんど関係のない情報は読み上げる必要のない情報である。図 17 は印刷状況を表す画面であるが、赤枠で囲まれた文字は印刷とは関係なく、変化しない情報である。

4.5.2 即座に教えて欲しい情報

1. カーソルが指す情報

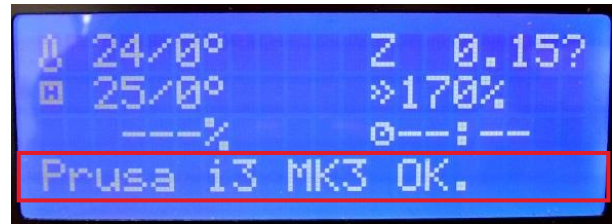
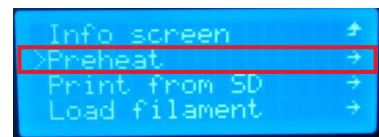
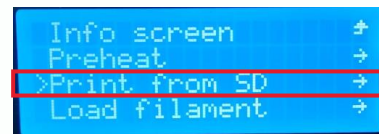


図 17: 常に変化せず、印刷処理に有用でない情報

Fig. 17 Information that is always displayed and is not useful to printing operation.



カーソルが移動



カーソル移動先の項目を読み上げ

図 18: カーソル移動したときは、カーソルの移動先の項目を読み上げる

Fig. 18 When the cursor is moved, the text at the new position of the cursor is read out.

2. 画面遷移後の情報

3. ユーザーの操作に反応して変化する情報

図 18 は一つ目の例で、メニュー画面でカーソルが移動したときの状態を示す。移動後のカーソルが指す情報はすぐに読み上げる必要のある情報である。図 19 は二つ目の例で、「Preheat」の項目を選択し、画面が遷移した状態を示す。遷移後の画面には新たな情報しか表示されないの、これはすぐに読み上げるべき情報である。図 20 は三つ目の例で、つまみを回すことで数値を変化させた状態を示す。

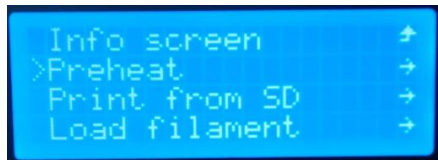
4.5.3 必要に応じて教えて欲しい情報

1. 短い間で変化し続ける情報

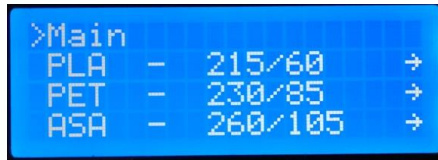
2. カーソルが指す情報

3. 画面すべての情報

図 21 は一つ目の例で、フィラメントを溶かすための機械の温度が変化している状態を示す。このような情報は変化する度に知る必要はなく、知りたいときに教えて欲しい情報といえる。二つ目と三つ目は一度読み上げただけでは画面の情報を把握するのは難しいため、必要時に教えるべき情報だといえる。また、二つ目は



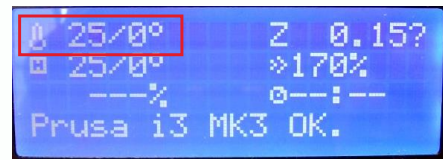
画面が遷移



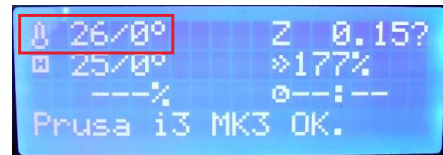
画面すべての情報を読み上げる

図 19: 画面が遷移したときには、すべての情報を読み上げる

Fig. 19 When the screen transitions, all the information is read out because the whole content is new.



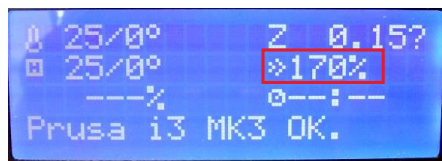
温度が毎秒変化



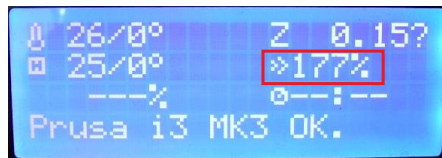
必要なときのみ読み上げ

図 21: 数値が毎秒変化するとき、必要なときだけ読み上げる。

Fig. 21 When a value changes every second, it is read out when necessary.



つまみを回し
数値を変化させる



変化した数値のみ読み上げる

図 20: つまみを回して数値を変化させたときには、変化した数値のみを読み上げる

Fig. 20 When a value is changed by turning the knob, only the value changed is read out.

忘れたときに教えて欲しい情報でもあり、即座に教えて欲しい情報であるともいえる。

以上、3Dプリンタで見られた文字を三つの機能に分けて紹介した。今回のシステムでは変化がある度に読み上げを行うので、「即座に教えて欲しい情報」をすぐに伝えることはできるが、「読み上げる必要のない情報」、「必要に応じて教えて欲しい情報」に関しては、まだその情報に応じて読み上げ方を工夫できていない。残りの部分は後々実装する予定である。

5. 実験

本節では、提案手法と2節で述べた情報伝達アプリを用いたディスプレイの情報取得方法(以下、従来手法と呼ぶ)との比較実験の内容、およびその結果と考察について述べる。

5.1 実験概要

実験では、こちらが用意した3Dプリンタの操作タスクを提案手法と従来手法のそれぞれで行ってもらった。実験参加者は共同研究者である南谷1人である。従来手法で使用した情報伝達アプリは、実験参加者が普段使用しているLookout^[4]である。

5種類の操作タスクをそれぞれの手法で5回ずつ、計10回行い、操作完了までにかかる時間を計測する。同じタスクを別々の手法で行う場合、先に行う手法の方で項目の順番を覚えてしまい、後に行う手法が有利になる可能性がある。そこで、提案手法と従来手法を交互に変えてタスクを行い、それぞれの手法のタスクの順番もランダムにする。図22は従来手法を用いて操作タスクを行っている様子で、図23は提案手法を用いて操作タスクを行っている様子である。

操作タスクは最初の画面の1番最初の項目である「Info screen」から始めることとし、提示した項目を選択した時点で操作タスクの完了とする。図24は行った操作タスクの一例である。図24のように言語設定を行う場合、settings → select language → Englishの順に選択していく必要がある。本実験では、操作タスクを完了するまでの選択すべき項目とその順番について事前に伝える。図24を例にすると、settings → select language → Englishの順に項目を選択するように伝え

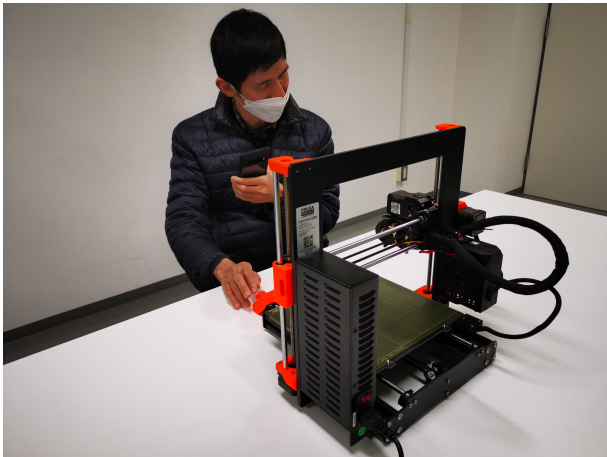


図 22: 従来手法で操作タスクを行う様子
Fig. 22 Performing an operation task with the conventional method.

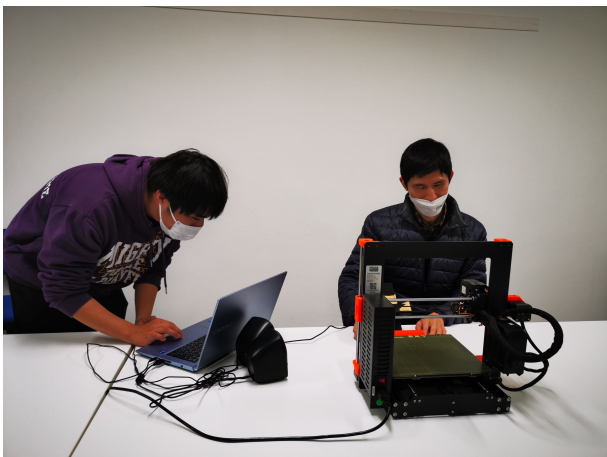


図 23: 提案手法で操作タスクを行う様子
Fig. 23 Performing the manipulation task with the proposed method.

操作タスクの例: 言語の設定



タスク完了までにかかった時間を計測

図 24: 操作タスクの例
Fig. 24 Examples of Operation Tasks.

る。複数の画面遷移をまたぐ操作タスクの場合、間違えた項目を選択した時点でそれを指摘し、前の画面に戻ってもらい、引き続き実験を行った。表 1 は実験で行った 5 種類の操作タスクの内容を示し、表 2 はタスクと手法関係と手法の順番を示す。

表 1: 操作タスクの種類

Table 1 Operation Task Type.

操作タスク	操作タスクを完了するまでの手順
Cooldown	最初の画面で Preheat を選び 次の画面で Cooldown を選択
Support	最初の画面で Support を選択
Load filament	最初の画面で Load filament を選択
Wizard	最初の画面で Calibration を選択し 次の画面で Wizard を選択
English	最初の画面で Settings, 次の画面で Select language を選択 さらに次の画面で English を選択

表 2: 操作タスクの順番と行った手法

Table 2 Order of operation tasks and methods performed.

順番	操作タスク	行った手法
1	Cooldown	従来手法
2	Support	提案手法
3	Load filament	従来手法
4	Wizard	提案手法
5	Support	従来手法
6	English	提案手法
7	Wizard	従来手法
8	Cooldown	提案手法
9	English	従来手法
10	Load filament	提案手法

5.2 結果

実験結果を図 25 に示す。全体として、提案手法の方が従来手法と比べて操作にかかる時間が短くなった。また、どちらの手法も操作タスクに画面の遷移が多くなるにつれ、操作にかかる時間が長くなった。

実験参加者のコメントを以下に示す。「提案手法の方が従来手法よりも操作の難易度がかなり低く、操作する際に感じる精神的負担も減少した。提案手法では画面が変化しないと読み上げを行わないので、任意で画面全体とカーソルが指す部分を読み上げる機能が欲しい。読み上げを任意でも行えるようになってくれると、より簡単に操作できる。」

5.3 考察

実験全体として提案手法の方が操作にかかる時間が短くなるという結果を得た。操作タスクのうち画面遷移が多いものほど、提案手法と従来手法の結果に差が小さかった。例えば、最初の画面 → Support の操作タスクと複数の画面遷移を行う必要のある Settings → Select language → English の結果を比べると、Support の方が提案手法と従来手法との結果に大きな差が出ている。より多くの操作が必要なタスクほど、手順が増えるだけでなく、提案手法の認識誤りも増えているからだと考えられる。認識精度の向上は今後の課題である。また、Calibration → Wizard の操作タスクで

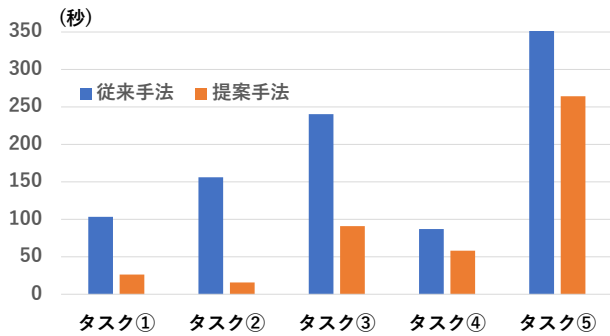


図 25: 実験結果
Fig. 25 Experimental result.

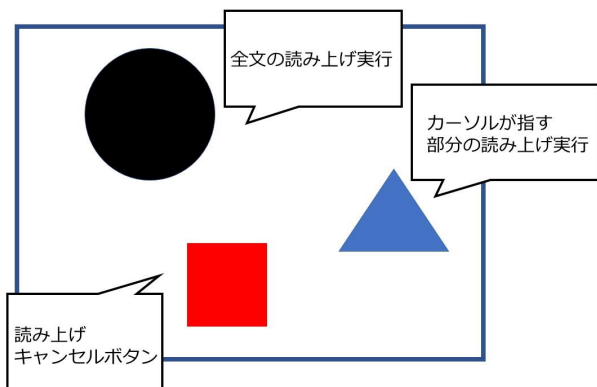


図 26: 任意読み上げ機能の実装例
Fig. 26 Example of implementation of an optional readout function.

は、実験参加者の手が当たって台がずれてしまい、認識精度が著しく落ちてしまった。実験では操作時間を元に提案手法の評価を行ったが、使用者の精神的負担について客観的評価を得ることはできていない。今後は使用者の精神的負担を客観的評価することで、提案手法の良し悪しを見極まる必要がある。

また、実験参加者からのコメントに「任意で画面全体とカーソルが指す部分の読み上げを行う機能が欲しい」というものがあった。提案手法は画面が変化するときのみ画面の情報を読み上げるので、画面すべてを読み上げるのはディスプレイの画面がすべて変化するときのみである。このような機能は視覚障害者が3Dプリンタを扱う上で感じる操作の負担を軽減させるものである。図 26 は読み上げ機能の実装例である。左上に画面全体の読み上げを行うボタン、右上にカーソルが指す部分の読み上げを行うボタン、左下に読み上げを停止するボタンがあり、これを提案手法に取り付ける。ボタンの形をそれぞれ特徴的なものにするので、どの形状のボタンがどんな機能をもつのか視覚障害者が理解しやすくなる。

6. 結論

本稿では、視覚障害者における3Dプリンタの重要性および現在の家庭用3Dプリンタの操作性についての問題点について指摘した。また、周囲のテキスト情報を伝達するアプリを用いて家庭用3Dプリンタを操作する方法とその問題点についても説明した。そして、その問題点に対する解決策および、それを実装した提案手法を提示した。さらに実験として、提案手法と情報伝達アプリを用いた手法それぞれ用いて、家庭用3Dプリンタの実際に行う操作を複数行ってもらった。その際、操作に要する時間を測定することで、提案手法と情報伝達アプリを用いた手法を比較した。その結果、提案手法の方が操作を行う所要時間が短くなった。また、実験参加者より、提案手法の方が3Dプリンタの操作の際に感じる精神的負担が小さいというコメントがあった。したがって、提案手法を用いることで操作の所要時間が短くなり、使用者のストレス減少にも繋がったことが実験から分かった。

今後の課題として、提案手法の認識精度の向上と実験参加者の精神的負担を客観的に評価する指標を取り入れた実験が必要であると考えられる。また、今回実装できなかった毎秒変化する温度計や横にスクロールするSDカード内のファイル名の読み上げを行う機能の設計を考える必要がある。

謝辞

本研究は、JST RISTEX「SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム(ソリューション創出フェーズ)」JPMJRX21I5ならびにJSPS科研費22H00540の補助を受けて実施した。

参考文献

- [1] Anhong Guo, Xiang 'Anthony' Chen, Haoran Qi, Samuel White, Suman Ghosh, Chieko Asakawa, and Jeffrey P. Bigham. Vizlens: A robust and interactive screen reader for interfaces in the real world. UIST '16, p. 651–664, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [2] 金子研一, 福井哲也. 3次元造形機による触察模型の製作. 日本義肢装具学会誌, Vol. 32, No. 3, pp. 166–171, 2016.
- [3] Seeing AI. <https://www.microsoft.com/ja-jp/ai/seeing-ai>.
- [4] Lookout. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.accessibility.reveal>
- [5] Envision AI. <https://www.letsenvision.com/envision-glasses>.

(発行日 2023年3月20日)

(C) NPO法人ヒューマンインタフェース学会