

# 卒業研究論文

題 目

視覚障害者を対象とした  
3Dプリンタ操作支援システム

第3グループ

指導教員 岩村 雅一 准教授

令和5年(2023年)度卒業

(No. 1191201072) 田川 直弥

大阪府立大学工学域電気電子系学類情報工学課程

# 視覚障害者を対象とした 3D プリンタ操作支援システム

第 3 グループ 田川直弥

## 1. はじめに

表示される文字情報をもと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 のように文字情報を表示する画面があり、現在視覚障害者用の 3D プリンタは販売されていない。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。

家庭用 3D プリンタは二つの点で視覚障害者から注目を浴びる。一つ目は、手で物の形状を理解する触察の機会を増やすという点である。触察では立体模型がよく使用され [1]、家庭用 3D プリンタにより作成できる立体模型の幅が広がった。家庭用 3D プリンタの登場は、障害者と晴眼者との間にある「感じられるリアリティ」の差を埋める要因になりえる。二つ目は、自助具の作成である。障害の程度は個人差があり、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い。図 1 のようなインターフェースは視覚に大きく依存しているため、視覚障害者が自ら 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。

そこで本論文では視覚障害者でも容易に 3D プリンタを扱えるように、操作支援システムを考える。ディスプレイの表示に対して文字認識、音声出力するシステムを提案する。

## 2. 提案システム

視覚障害者はディスプレイの情報を得るために Seeing AI<sup>1</sup>などのスマートフォンの情報伝達アプリが使用できる。実はこれらのアプリは大きな二つの問題点を抱える。その問題点とは、被写体をカメラの画角に入れるのが難しい点、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である。提案システムでは、前者の問題点はカメラを台に固定することによって解決する。3D プリンタのディスプレイの形状に合わせた台を 3D プリンタで作成し、その上にカメラを固定することでストレスなくディスプレイがカメラの画角に入るようになる。後者の問題点は画面の表示が変化したときのみ音声出力することで解決する。画面の表示が変化したときのみ音声出力することにより具体的に次の 3 つの機能が実現できる。

1. 画面の表示がすべて変わった場合、画面の情報すべてを読み上げる。
2. カーソルだけが分かった場合、新たなカーソルが指す部分だけ読み上げる。
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。

上記の三つの機能により、何度も同じ文章を読み上げられるストレスをなくしつつ、操作に必要な情報だけを知らせることができる。

## 3. 実験

スマートフォンの既存の視覚情報伝達アプリを用いた方法と提案システムを使った方法の両方で操作タスクを全盲の共

<sup>1</sup><https://www.microsoft.com/en-us/seeing-ai>

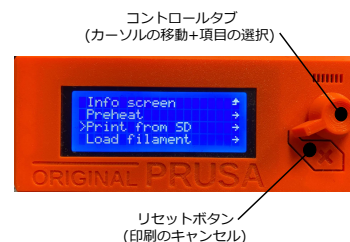


図 1: 3D プリンタの操作ディスプレイ

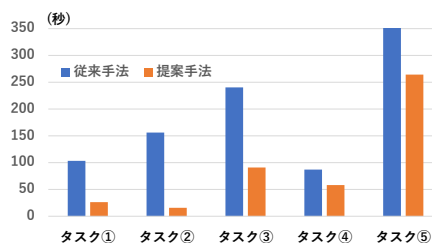


図 2: 実験結果

同研究者一人に行ってもらい、操作タスクが完了するまでに要する時間を比較することで提案システムの有用性を調査する。使用した視覚情報伝達アプリは Lookout<sup>2</sup>である。操作タスクは 5 種類であり、提案手法と既存の視覚情報伝達アプリを用いた手法のそれぞれ 5 回ずつ、計 10 回行う。手法の順番はランダムに決定する。操作タスクの例として言語の設定を取り上げる。この場合、Settings → Select language → English の順に選択する必要がある。今回は、たどり着きたい画面までどのように画面遷移していけばいいのかを伝えることとした。すなわち、「Settings → Select language → English」の順に押してくださいと伝える。

結果を図 2 に示す。全てのタスク提案手法の方が操作タスクの所要時間が短くなった。また、提案手法の方が画面の項目の配列を覚える必要がないため、精神的負担が少ないというコメントを実験協力者から頂いた。以上から提案手法によって操作の所要時間が短くなり、使用者のストレス減少にもつながった。

## 4. まとめ

本論文では、視覚障害者を対象とした 3D プリンタ操作支援システムとして、3D プリンタのディスプレイの表示をリアルタイムで音声として出力するシステムを提案して実装し、また操作の所要時間に関して既存の手法と比較する予備実験を行った。そして、実験により提案システムが既存の手法と比べて操作の所要時間および使用者の負担を減少させるという面で優れていることがわかった。

## 参考文献

- [1] 金子, 福井. 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, 32(3):166-171, 2016.

<sup>2</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.accessibility.reveal>

# 目次

<b>第1章 緒論</b>	<b>1</b>
<b>第2章 関連研究</b>	<b>5</b>
2.1 Guo らの手法	5
2.2 情報伝達を行うスマートフォンアプリ	7
2.2.1 Seeing AI	7
2.2.2 Envision AI	7
2.2.3 Lookout	7
<b>第3章 3D プリンタのディスプレイ上の情報の取得方法</b>	<b>9</b>
3.1 家庭用3Dプリンタのディスプレイと操作の特徴	9
3.2 情報伝達アプリを用いたディスプレイの情報取得	9
<b>第4章 提案手法</b>	<b>15</b>
4.1 提案手法と従来手法との違い	15
4.1.1 差分の検知	16
4.1.2 台でカメラを固定する	16
4.2 提案手法の手順	21
4.2.1 画像処理	21
4.2.2 文字の検知	21
4.2.3 テンプレートマッチングによる文字認識	21
4.2.4 音声出力	22
4.3 3Dプリンタに見られた文字の機能と読み上げの工夫	22
4.3.1 読み上げる必要のない情報	22
4.3.2 即座に教えて欲しい情報	22
4.3.3 必要に応じて教えて欲しい情報	25

<b>第 5 章 実験</b>	<b>29</b>
5.1 実験概要 . . . . .	29
5.2 結果 . . . . .	33
5.3 考察 . . . . .	33
<b>第 6 章 結論</b>	<b>37</b>
<b>謝辞</b>	<b>39</b>
<b>参考文献</b>	<b>41</b>



# 目 次

1.1 Prusa の 3D プリンタの操作ディスプレイ . . . . .	4
1.2 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 . . . . .	4
2.1 Guo らの手法 ( [1] より引用) . . . . .	6
2.2 情報伝達を行うスマートフォンアプリの例 . . . . .	8
3.1 家庭用 3D プリンタ Prusa のディスプレイ . . . . .	10
3.2 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 . . . . .	12
3.3 把握した項目があっているか確かめる . . . . .	13
4.1 前のフレーム画像を二値化したもの . . . . .	17
4.2 現在のフレーム画像を二値化したもの . . . . .	17
4.3 差分をとった結果 . . . . .	18
4.4 差分があった列を赤枠で示したもの . . . . .	18
4.5 フレームの前後で一致する列がある場合 . . . . .	19
4.6 3D プリンタで作成した台 . . . . .	19
4.7 作成した台を家庭用 3D プリンタに取り付けた様子 . . . . .	20
4.8 提案手法のフロー図 . . . . .	23
4.9 テンプレートマッチングによる文字認識 . . . . .	23
4.10 常に変化せず印刷に関係のない情報 . . . . .	24
4.11 カーソル移動したとき . . . . .	26
4.12 画面が遷移したとき . . . . .	26
4.13 つまみを回して数値を変化させたとき . . . . .	27
4.14 数値が毎秒変化するとき . . . . .	27
5.1 従来手法で操作タスクを行う様子 . . . . .	30

---

5.2	提案手法で操作タスクを行う様子 . . . . .	31
5.3	操作タスクの例 . . . . .	32
5.4	実験結果 . . . . .	35
5.5	任意読み上げ機能の実装例 . . . . .	35

# 表 目 次

5.1 操作タスクの種類 . . . . .	30
5.2 操作タスクの順番と行った手法 . . . . .	32

# 第1章 緒論

表示される文字情報をもと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1.1のような文字情報を表示するディスプレイがあり、この情報をもと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。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]。近年まで、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。本論文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者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 1.2 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 1.2a 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 1.2b 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 1.2c 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の中にも、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。提案システムでは文字の機能に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している。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を行った。

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

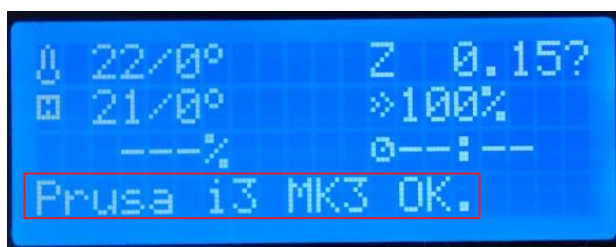
の負担軽減

- 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

以降、2章で関連研究、3章で情報伝達アプリを用いたディスプレイの情報取得、4章で提案システムについて述べ、5章で実験及びその結果を説明し、6章で結論を述べる。

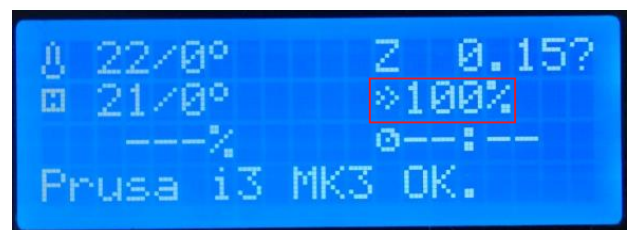


図 1.1: Prusa の 3D プリンタの操作ディスプレイ



読み上げる必要なし

(a) 定型情報



即座に読み上げてほしい

(b) ユーザーの操作に反応する情報



必要に応じて読み上げてほしい

(c) 現状を表す情報

図 1.2: 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

## 第2章 関連研究

本章では、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 らの手法

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 2.1 は提案システムである VizLens の概要図である。この提案システムでは、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することができる。また、VizLens にはインター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ーフェースに対して効果があるが、本論文の 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。



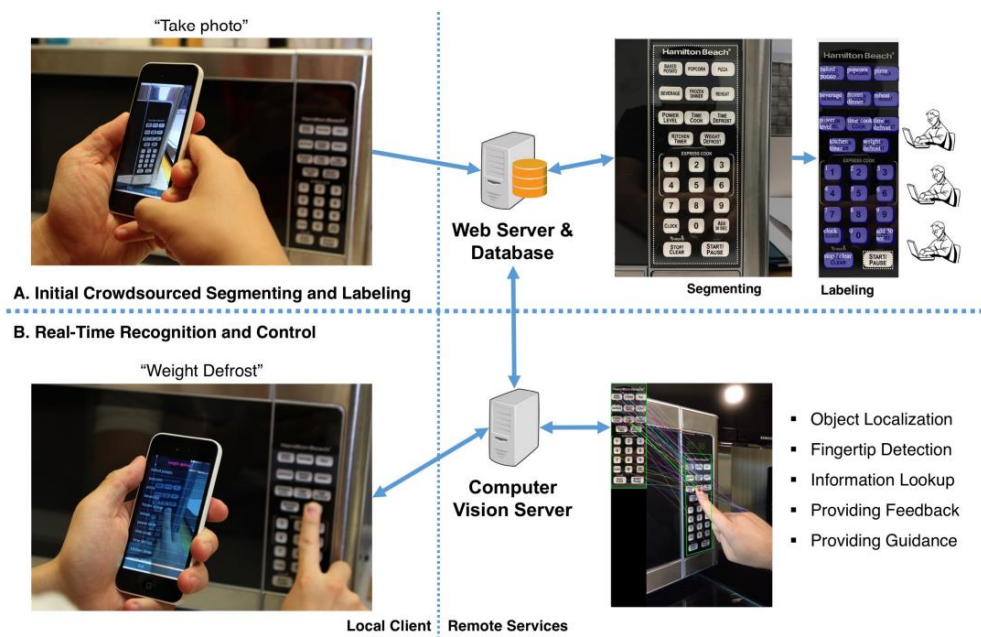


図 2.1: Guo らの手法 ( [1] より引用)

## 2.2 情報伝達を行うスマートフォンアプリ

視覚障害者の間で広く知られている、または使用されている既存のスマートフォンのアプリの中で周囲の文字情報や環境の情報を音声伝達するアプリを取り上げる。

### 2.2.1 Seeing AI

Seeing AI は、図 2.2a 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くなる、画角に入る文章を読み続けるという問題が起り得る。

### 2.2.2 Envision AI

Envision AI [5] は、図 2.2b に示すように視覚障害者向けのスマートフォン 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なものになっているが、認識した情報に対してアクセスすることはできないのでユーザが欲しい情報を選ぶなどはできない。

### 2.2.3 Lookout

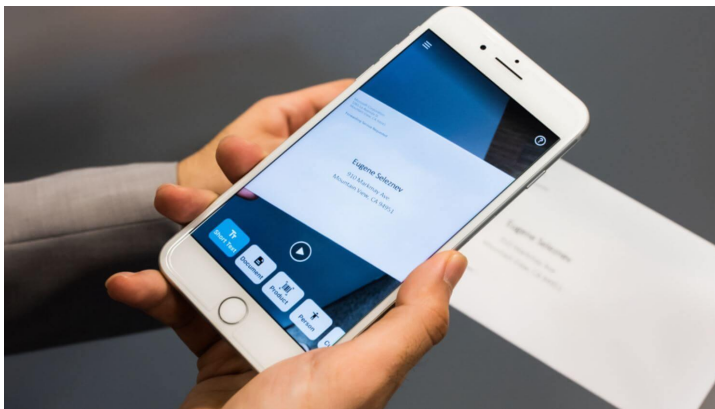
Lookout [4] は、図 2.2c に示すように視覚障害者向けの android のスマートフォン専用のカメラ内に映った物体や文字、文章を読み取りその情報を音声で伝達してくれるアプリである。色の判別や食品のパッケージから食品を判断する機能もある。Seeing AI と同様に認識した情報をすべて伝達するため、伝達される情報が非常に多くなる、画角に入る文章を読み続けるという問題が起り得る。

---

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

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

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

(a) Seeing AI<sup>1</sup>

Use Text mode to skim text when doing tasks like sorting mail.

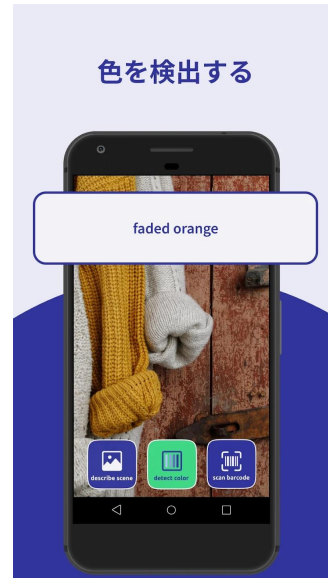
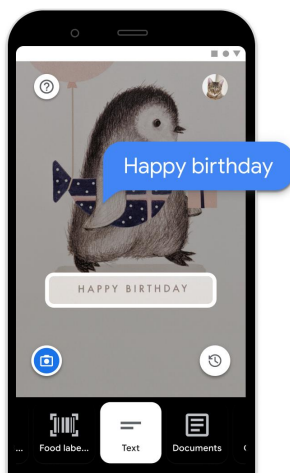
(b) Envision AI<sup>2</sup>(c) Lookout<sup>3</sup>

図 2.2: 情報伝達を行うスマートフォンアプリの例

## 第3章 3Dプリンタのディスプレイ上の情報の取得方法

本章では、2章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について述べる。図3.1は家庭用3Dプリンタ Prusa i3 MK3S<sup>1</sup>のディスプレイである。図3.1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3.1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項目を選択することができ、次の画面に遷移する。図3.1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章で述べた Lookout という周囲のテキスト情報の読み上げを行う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章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

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

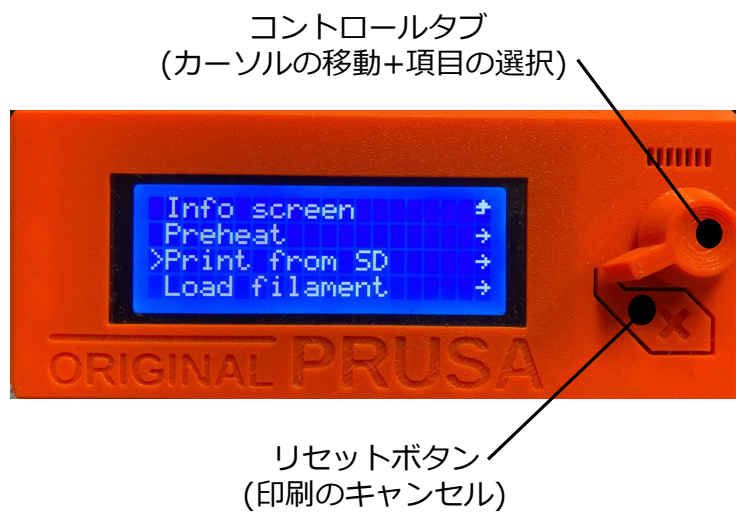


図 3.1: 家庭用 3D プリンタ Prusa のディスプレイ

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いる。

1. 上下にカーソルを動かし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 3.2 は上記の 1. の操作を示している。図 3.2 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1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 3.3 は上記の 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 steppers」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分かるので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いため、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晴眼者の間には 3D プリンタの操作難易度に関して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章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。

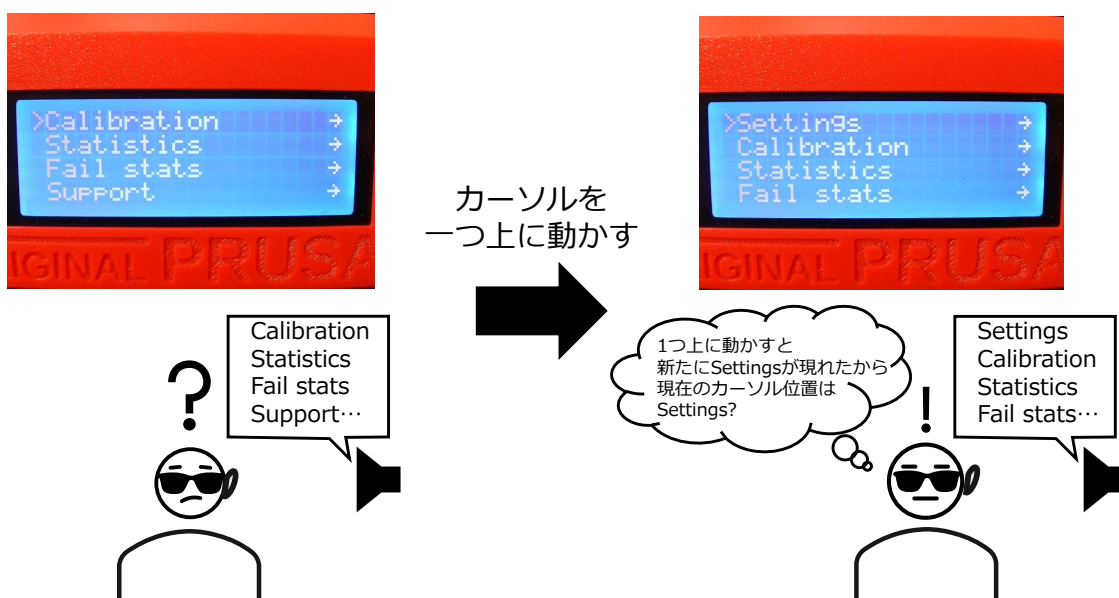


図 3.2: 読み上げられるテキスト情報から項目の位置を把握する

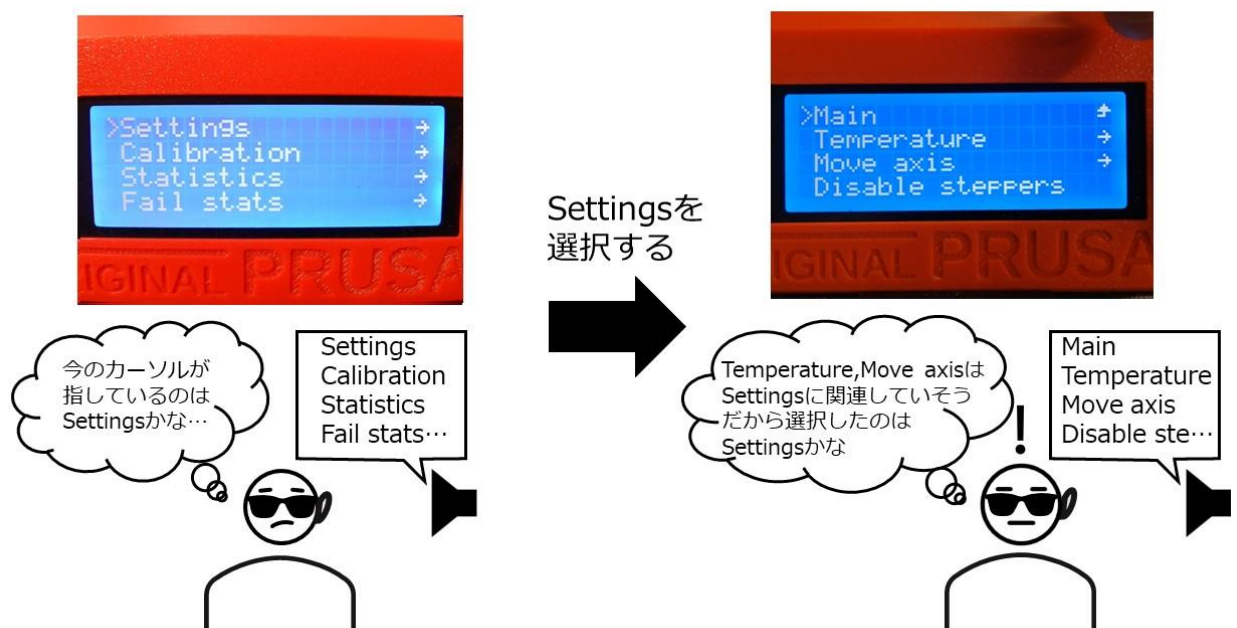


図 3.3: 把握した項目があっているか確かめる





## 第4章 提案手法

本章では、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章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。

### 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操作するために、従来の読み上げアプリの改善案を3章で述べた。以下の2つである。

1. 現在のカーソルが指す項目を知らせ、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な最小限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．

#### 4.1.1 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.のフレームの差分の検知を行う．図 4.1，図 4.2 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 4.1 が1つ前のフレーム画像で図 4.2 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はないか検出する．図 4.3 は図 4.1 と図 4.2 の差分を取った結果を示している．また，図 4.4 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も行うことで，前後のフレームにどちらもあり位置だけ変わっている列に関して文字認識を行わないようになっている．例えば，図 4.5 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変わっているので文字認識は行わない．

#### 4.1.2 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 4.6 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接着することができる．実際に接着してみたのが図 4.7 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 4.1: 前のフレーム画像を二値化したもの



図 4.2: 現在のフレーム画像を二値化したもの

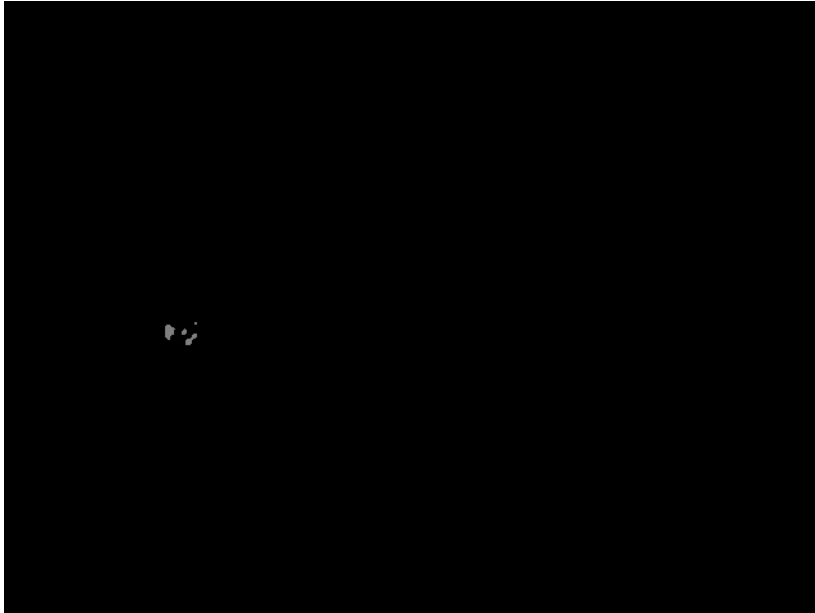


図 4.3: 差分をとった結果

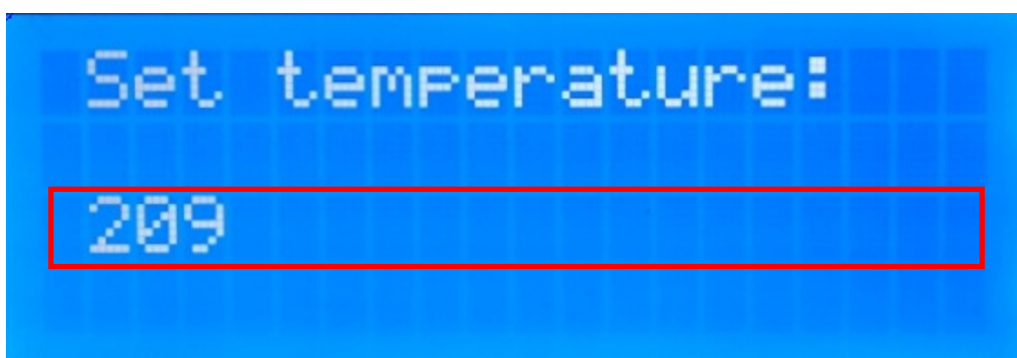


図 4.4: 差分があった列を赤枠で示したもの

## 現在のフレーム



## 前のフレーム



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 4.5: フレームの前後で一致する列がある場合

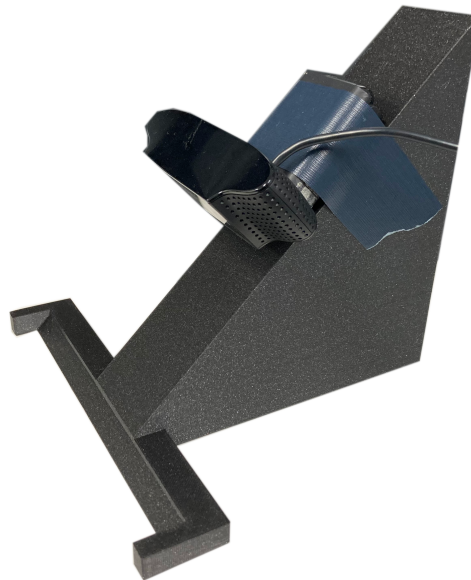


図 4.6: 3D プリンタで作成した台

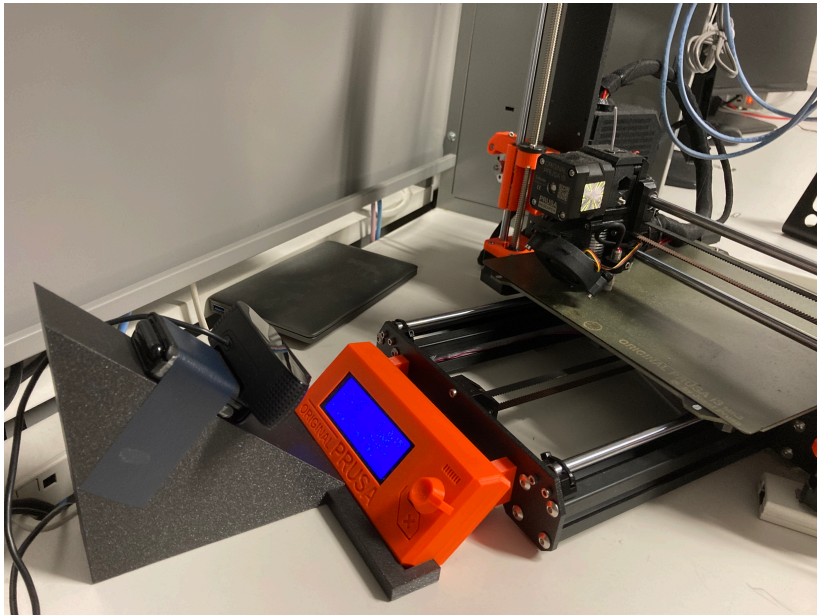


図 4.7: 作成した台を家庭用 3D プリンタに取り付けた様子

## 4.2 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、音声出力を行っている。図 4.8 は提案手法のフロー図である。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。

### 4.2.1 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得られてしまう。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どうしで差分を取るようにする。

### 4.2.2 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だからである。

### 4.2.3 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画像の中から事前に作成したテンプレートと似ている位置を探すものである。まず、先ほど検知した文字の位置をもと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、高速に文字認識を行うことができる。図 4.9 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。

#### 4.2.4 音声出力

出力したテキストをもと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、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。音声ファイルを作成するのに使用したライブラリは `pyttsx3` 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。

### 4.3 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役割がみられる。文字の役割は、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3Dプリンタで見られた文字とその役割を紹介する。

#### 4.3.1 読み上げる必要のない情報

読み上げるべき必要のない情報は常に変化せず印刷にほとんど関係のない情報である。図 4.10 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。

#### 4.3.2 即座に教えて欲しい情報

1. カーソルが指す情報
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 4.11 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

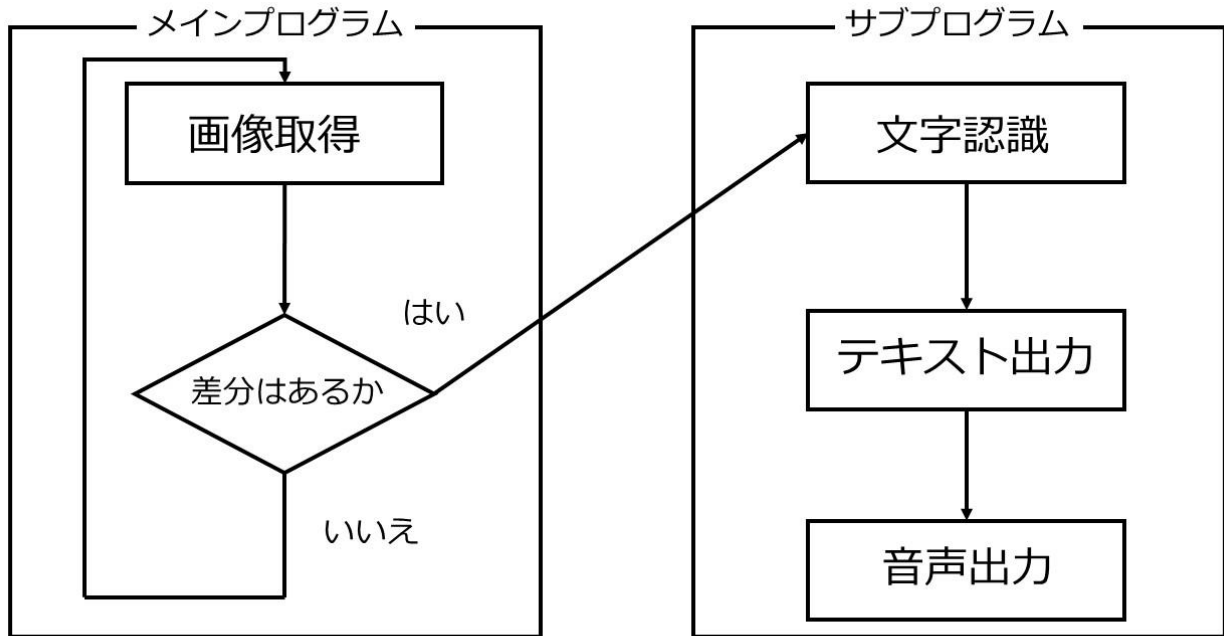


図 4.8: 提案手法のフロー図

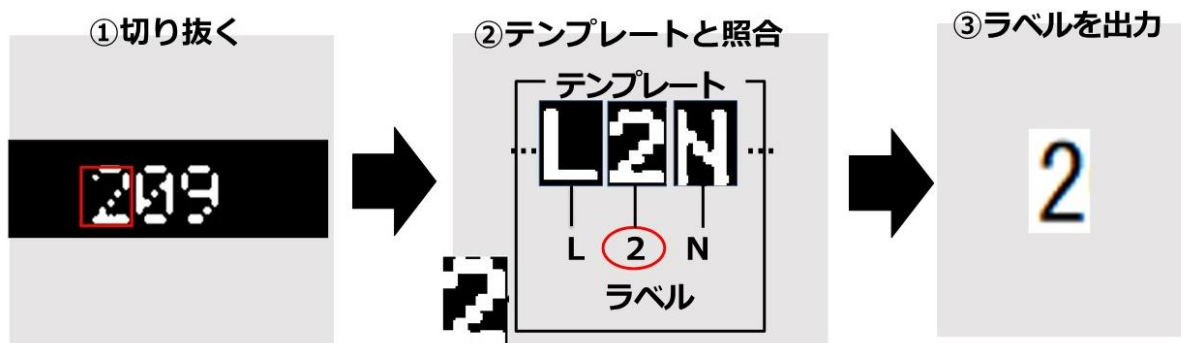


図 4.9: テンプレートマッチングによる文字認識

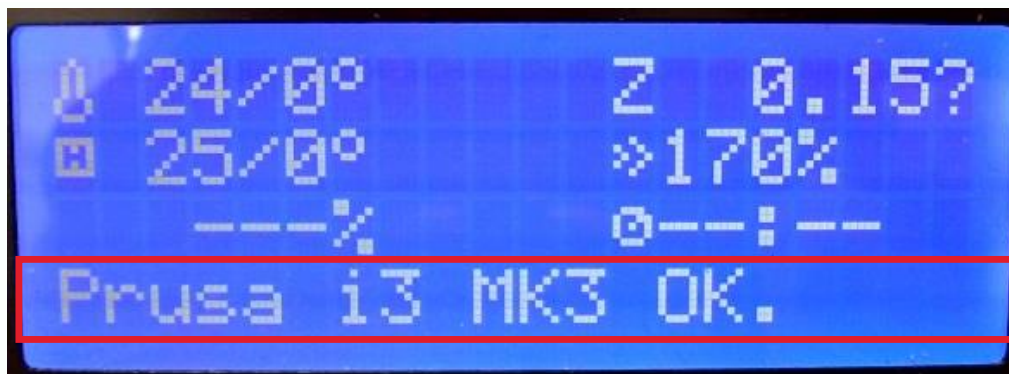


図 4.10: 常に変化せず印刷に関係のない情報

のカーソルが指す項目はすぐに読み上げる必要のある情報である。図 4.12 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ので、これはすぐに読み上げるべき情報である。図 4.13 は三つの例で、つまみを回すことで数値を変化させた状態を示す。

### 4.3.3 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. カーソルが指す項目
3. 画面すべての情報図 4.14 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。

以上、3D プリンタで見られた文字を三つの役割に分けて紹介した。今回のシステムでは変化があるたび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。

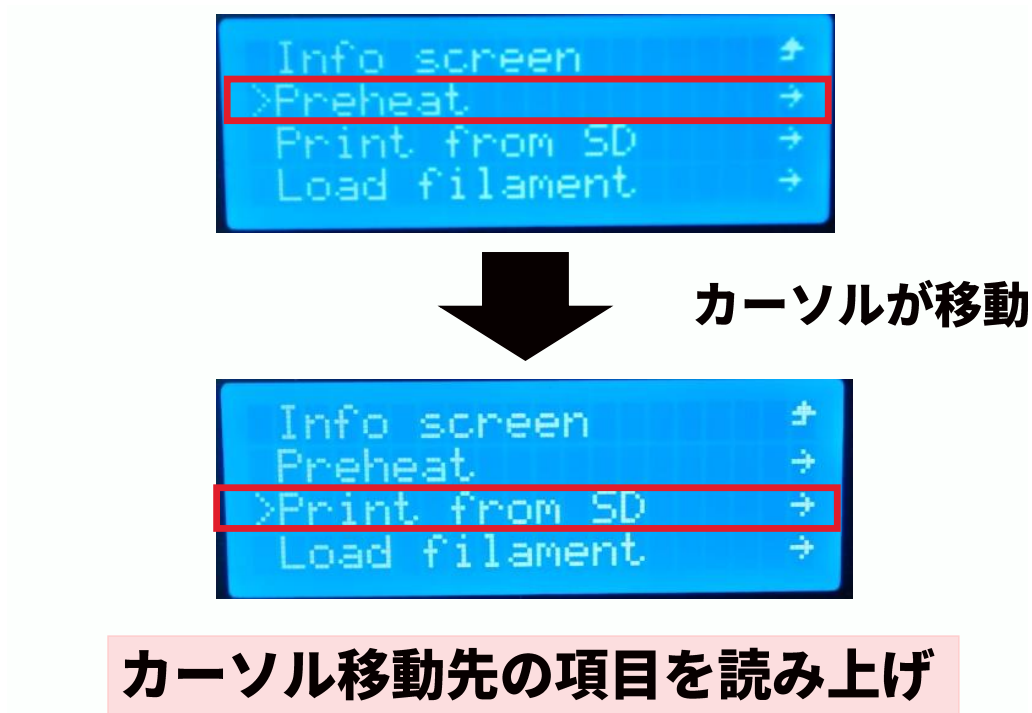


図 4.11: カーソル移動したとき

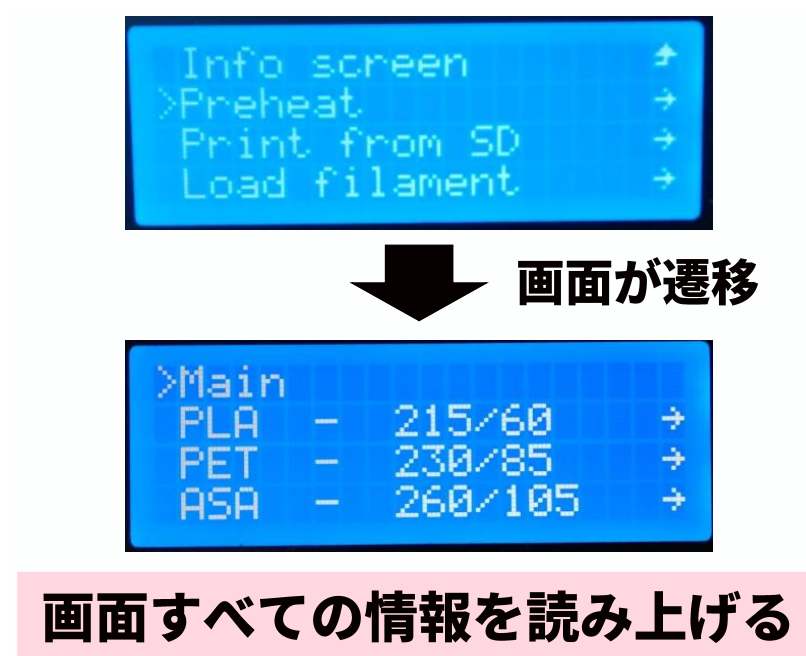


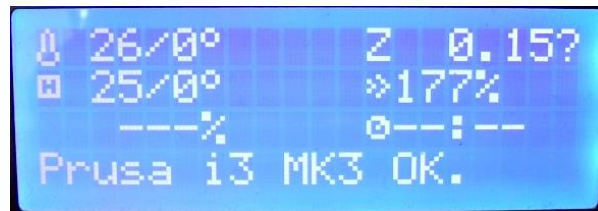
図 4.12: 画面が遷移したとき



0 25/0° Z 0.15?  
0 25/0° ※170%  
---% 0--:--  
Prusa i3 MK3 OK.



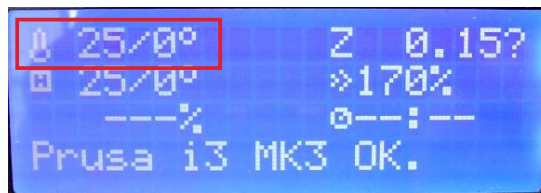
つまみを回し  
数値を変化させる



0 26/0° Z 0.15?  
0 25/0° ※177%  
---% 0--:--  
Prusa i3 MK3 OK.

### 変化した数値のみ読み上げる

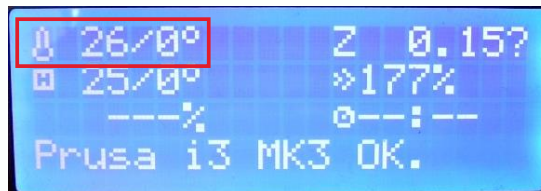
図 4.13: つまみを回して数値を変化させたとき



0 25/0° Z 0.15?  
0 25/0° ※170%  
---% 0--:--  
Prusa i3 MK3 OK.



温度が毎秒変化



0 26/0° Z 0.15?  
0 25/0° ※177%  
---% 0--:--  
Prusa i3 MK3 OK.

### 必要なときのみ読み上げ

図 4.14: 数値が毎秒変化するとき



## 第5章 実験

本章では、提案手法と2章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、南谷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5.1は従来手法を用いて操作タスクを行っている様子で、図5.2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5.3は行った操作タスクの一例である。図5.3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た。図5.3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再開した。表5.1は実験で行った5種類の操作タスクの内容を示し、表5.2はタスクと手法関係と手法の順番を示している。



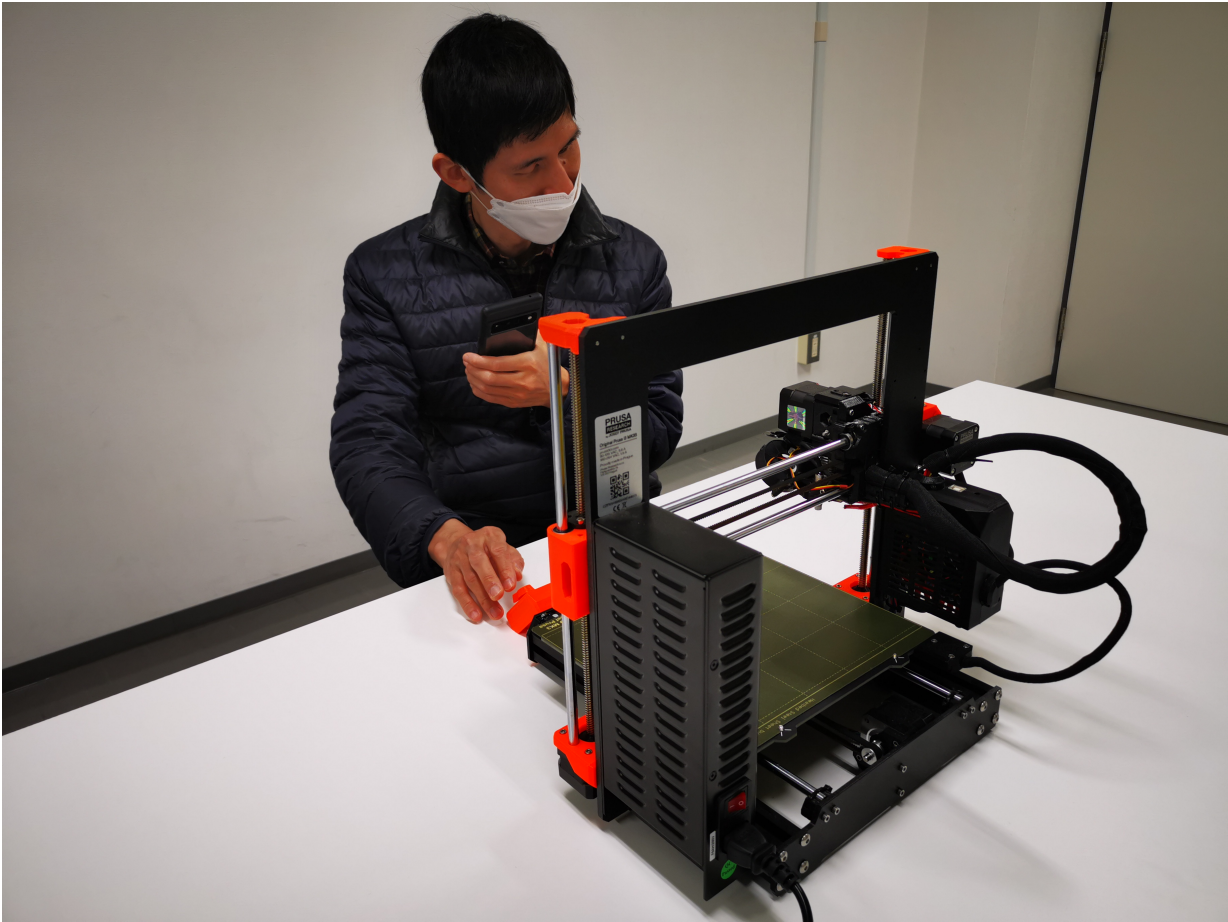


図 5.1: 従来手法で操作タスクを行う様子

表 5.1: 操作タスクの種類

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

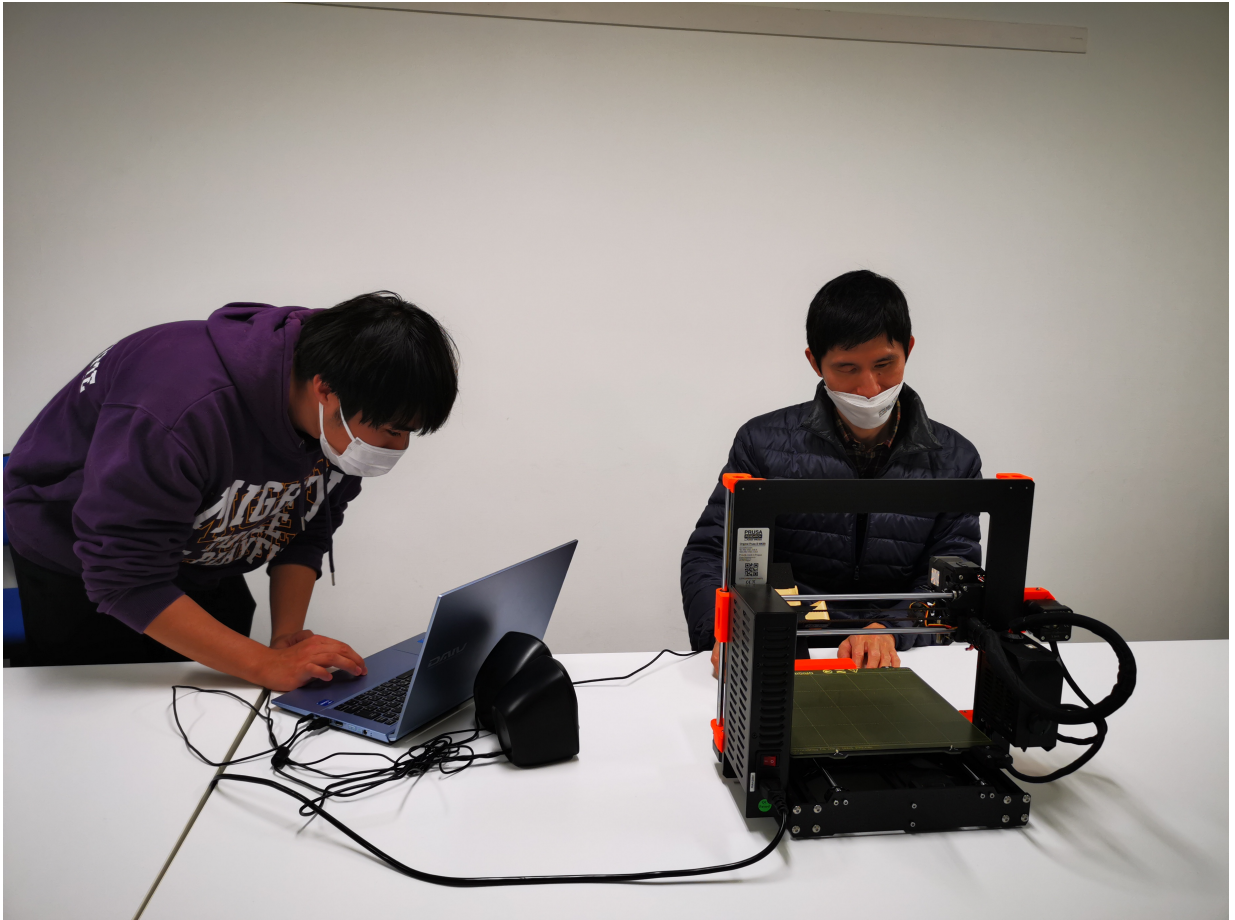


図 5.2: 提案手法で操作タスクを行う様子

## 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 5.3: 操作タスクの例

表 5.2: 操作タスクの順番と行った手法

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 5.4 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。

実験協力者の南谷から頂いたコメントを以下に紹介する。「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してくれると、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大きく表れなかった。例えば最初の画面にある Support 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差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 の操作タスクでは、実験協力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もと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、実験協力者から頂いたコメントに「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」というものがあつた。提案手法は画面が変化したときのみ画面の情報の読み上げを行うので、画面すべての読み上げを行うのはディスプレイの画面がすべて変化したときのみである。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 5.5 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こゝで、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。

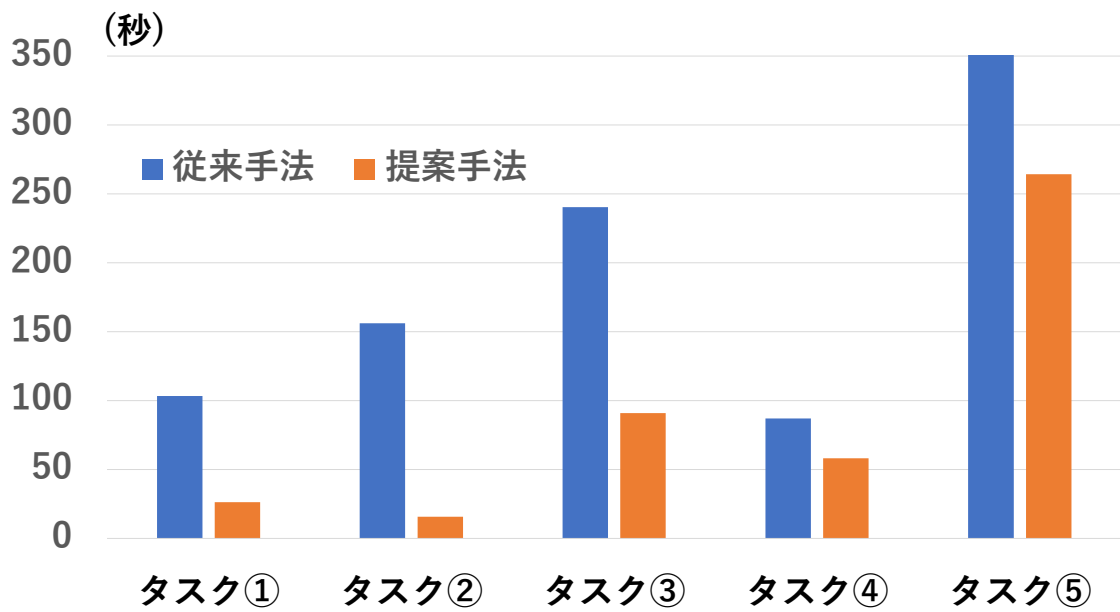


図 5.4: 実験結果

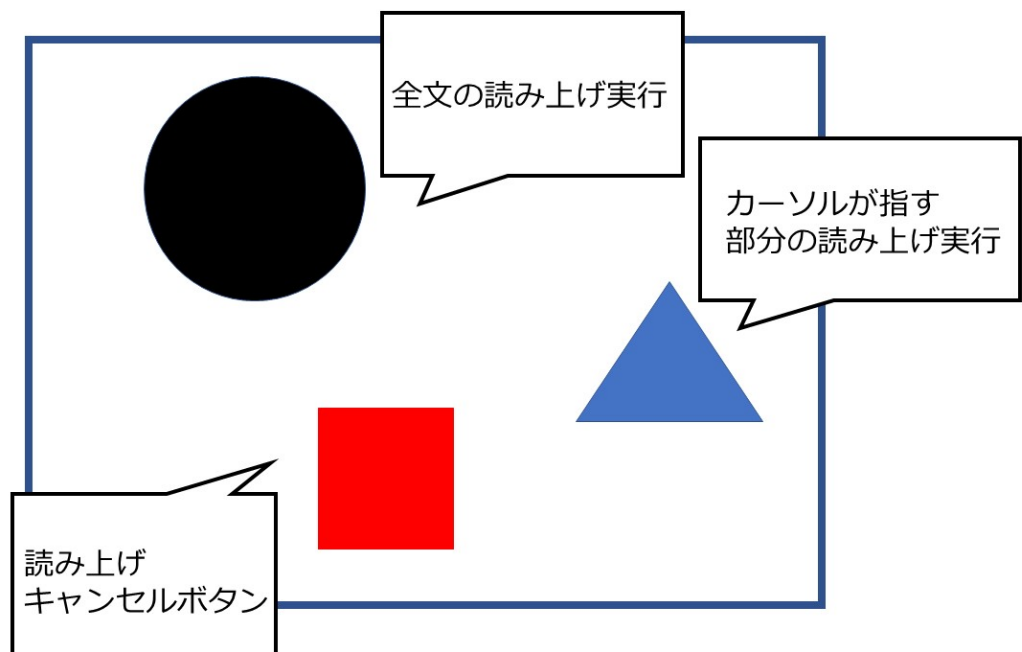


図 5.5: 任意読み上げ機能の実装例



## 第6章 結論

本論文では、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を用いて、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。また、操作を行う所要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とを比較し評価した。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。また実験協力者より、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を頂いた。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つながったことが実験によって分かった。

今後の課題として、提案手法の認識精度の向上と実験協力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をする必要があると考えられる。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

本研究を進めるにあたって、直接御指導いただいた岩村 雅一准教授には、研究内容や論文の書き方、発表方法、資料の作成に関して多くの御指導、御助言を賜りましたことを深く感謝致します。大学入試センター 南谷 和範教授には、提案手法のデザイン設計に関する御助言や実験協力を賜りましたことを深く感謝いたします。また、黄瀬 浩一教授をはじめ、岩田 基準教授、内海 ゆづ子講師には研究発表会等で様々な御指摘、及び御助言を賜りましたことを深く感謝致します。

最後になりましたが、研究開始当初から発表練習や発表資料に関して多くの御指導、御助言を頂いた高橋 敬氏、高嶋 慶伍氏をはじめとする視覚障害者支援班の皆様、公私にわたり様々な支援及び御助言をくださった知能メディア処理研究グループの皆様に深く感謝致します。

2022 年 2 月 24 日



## 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次元造型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.re>
- [5] Envision AI. <https://www.letsenvision.com/envision-glasses>.