

公開資料

戦略的創造研究推進事業  
(社会技術研究開発)

研究開発実施終了報告書

SDGs の達成に向けた共創的研究開発プログラム

シナリオ創出フェーズ

「共創的支援を促進する視覚障害者のための  
3D 造形物配信・出力エコシステムの構築」

研究代表者 南谷 和範  
(大学入試センター 研究開発部 教授)

協働実施者 渡辺 哲也  
(新潟大学 工学部 教授)

## 目次

<b>I. 本研究開発実施報告書サマリー</b> .....	<b>3</b>
<b>II. 本編</b> .....	<b>4</b>
<b>1. 研究開発プロジェクトの目標</b> .....	<b>4</b>
1-1. 研究開発プロジェクト全体の目標 .....	4
1-2. プロジェクトの位置づけ .....	4
<b>2. 研究開発の実施内容</b> .....	<b>6</b>
2-1. 実施項目およびその全体像 .....	6
2-2. 実施内容.....	12
<b>3. 研究開発成果</b> .....	<b>17</b>
3-1. 目標の達成状況.....	17
3-2. 研究開発成果 .....	23
<b>4. 研究開発の実施体制</b> .....	<b>28</b>
4-1. 研究開発実施体制 .....	28
4-2. 研究開発実施者.....	30
4-3. 研究開発の協力者 .....	31
<b>5. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など</b> .....	<b>32</b>
5-1. シンポジウム等.....	32
5-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など .....	32
5-3. 論文発表.....	33
5-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表） .....	33
5-5. 新聞報道・投稿、受賞など .....	34
5-6. 特許出願.....	34
<b>6. その他（任意）</b> .....	<b>34</b>

## I. 本研究開発実施報告書サマリー

写真・イラストなどを通じてやり取りされている事物について、視覚障害者が観察・理解する手段は未だ厳しく制約されている。こうした制約を直接解消する手段として中核的な役割を果たすのは、視覚障害者にとってリアリティをもたらすもの、つまり触れて理解できる（触察できる）模型（3D モデル）を提供することである。本研究はこの 3D モデル提供のための技術的インフラ整備と機能する体制作りを総合したエコシステムの創出を行うものであり、プロジェクトの目標として 1. 「生活者 3D プリンタ」の開発と、2. パイロットサービス運用による本格サービスのレジリエンスの実証を設定する。

「生活者 3D プリンタ」の開発として、中核的要素技術である音声出力による 3D プリンタ UI の実装と、造形エラーの自動検出機能の開発を実施した。パイロットサービスを通じた検証：全国の視覚障害者のリクエスト（総計 100 件程度を目途）に応じて、任意の 3D モデルを出力・送付するサービスを運用し、サービスのレジリエンス検証とニーズの把握を実施した。さらに、広報手段としてのシンポジウムを新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点からオンラインに移行しつつ 3D モデルを参加者に事前送付する形態で開催し、サービスの意義やニーズを探る場としても活用した。

「生活者 3D プリンタ」の開発については、企図した要素技術の一通りの開発を進め、それらを活用して学会コンテストにて受賞することで有効性を例証した。パイロットサービスには 198 件のリクエストを受け付け、現段階で 132 件が送付済みの状態にある。半数程度が建築物 3D モデルのリクエストであった。目標件数を大きく超える実施となり、利用者のニーズ把握とサービスの運用上の課題の認識を深化させた。オンラインシンポジウムの実施から得た想定外の知見は多くあるが、特に触察習熟者群・中間層・無関心群からなる視覚障害者の人口統計学的な像を定式化したことと、これらの層横断的な 3D モデルの回覧活動を発見したことは今後のサービスモデルを構築する上で重要な成果である。

他方で、期間中に申し出のあった事業者とサービス運用に関わる課題を検討する中で、研究者の立場にある協働実施者から、今後サービスを移管するに際しては、

1. 模型作成機材(3D プリンタ)運用・保守の技術サポート
  2. サービス実施のノウハウ習得
- がボトルネックとなることが認識された。

## II. 本編

### 1. 研究開発プロジェクトの目標

#### 1-1. 研究開発プロジェクト全体の目標

1. 「生活者 3D プリンタ」の開発と、2. KPI 評価に裏打ちされたパイロットサービス運用による本格サービスのレジリエンスの実証を目標とする。

1. 「生活者 3D プリンタ」の開発：音声出力による 3D プリンタ UI (ユーザインターフェース) の実装 (2020 年度第 1 四半期から第 3 四半期、大学入試センター南谷研究室)、造形エラーの自動検出機能の開発 (同、大阪府立大学岩村研究室担当) を行う。両者を実装した誰でも運用できる 3D プリンタを、全国の有志視覚障害者 10 名程度と、盲学校・支援団体 5 箇所程度に数か月スパンで貸し出し、日常生活での運用性を検証する (2021 年度前半、南谷研究室担当)。
2. パイロットサービスを通じた検証：全国の視覚障害者のリクエスト (総計 100 件程度を目途) に応じて、任意の 3D モデルを出力・送付するサービスを運用し (2019 年度 11 月から)、3D モデル図書館運用の KPI 評価 (2020 年度以降) を含めつつ、サービスのレジリエンスを検証する。あげっぱなしになりかねない提供サービスに比して、貸し出し型の図書館サービスは双方向性があり、SDGs の理念との親和性からも重視する。これらのサービスは、次フェーズで全国各所の支援施設と共に展開するもののパイロットケースであり、その観点から運用実績を分析する (2021 年度前半、渡辺・南谷担当)。構想するエコシステムイメージは、関与するグループ 3 者が水平面上で相互に関係を取り結ぶ「大三角形」モデルである。このモデルの構成イメージについては「3-1. プロジェクトの達成目標」に示し、あわせて参照されたい。

#### 1-2. プロジェクトの位置づけ

写真・イラストなどを通じてやり取りされている事物について、視覚障害者が観察・理解する手段は未だ厳しく制約されている。例えば、写真が利用できない点字教科書を用いる世界史の学習において、パルテノン神殿はドーリス・イオニア式の建築物であるということは丸暗記の対象であって美的印象を伴わない。ノートルダム大聖堂焼損のニュースは、パリの観光名所への大打撃としてしか理解できず、建物の壮大さに裏打ちされた喪失の実感は生じない。視覚表現による直感性は広く追求されてきたものであるが、それは近年の VR/AR 技術の実用化進展により新たな段階へ入ろうとしている。この潮流は、期せずして視覚障害者に一層の情報格差、リアリティの格差をもたらしかねない。これらいわばリアリティアクセスの制約を直接解消する手段として中核的な役割を果たすのは、視覚障害者にとってリアリティをもたらすもの、つまり触れて理解できる (触察できる) 模型 (3D モデル) を提供することである。

本研究はこの 3D モデル提供のための技術的インフラ整備と機能する体制作りを総合した

エコシステム—全国規模の 3D モデルのリクエスト・作成・配信ネットワークとそれを支える人材—の創出を行う。

### 「技術的インフラ整備」について

現状の 3D プリンタは、視覚障害者は元より、特段の知識を持たない健常者にも容易に運用できるものではない。既に視覚特別支援学校（盲学校）で 3D プリンタを活用する試みは散発的に存在したが、それらが安定的な成果につながらなかったのもこの運用難易度による。この問題を解決するために一般消費者がカジュアルに利用できるような「生活者 3D プリンタ」の開発をはじめとする技術開発が求められる。

### 「機能する体制作り」について

3D モデルの提供のためには 3D モデルデータの造形ないし探索、3D プリンタを用いた印刷などの一連の過程を経る必要がある。この過程をサービスととらえ、これを担う人材や組織体制を整備する必要がある。また、将来的に視覚障害者が自身で 3D プリンタを操作し 3D モデルを印刷するフローが実現するにしても、3D データを蓄積するクラウドサービスとその運営母体の設置は不可欠で、視覚障害者への 3D モデル提供を中核的に担えるような人材・体制創出が不可欠である。

新型コロナウイルス感染症拡大防止の諸要請は、人々に接触、触れることを控えることを求めた。こうした要請と、触れることが大きな役割を果たす視覚障害者の生活、とりわけ我々が注目する触察による理解という活動とのコンフリクトは明白である。また、新型コロナウイルス感染症拡大防止に寄与する DX の一環として利用が大きく進展した遠隔コミュニケーションでは、直接触れるという要素が欠落する。他方で我々が注目する触察の意義・有効性自体は不変のものであり、これら新状況への応答—触れることの忌避への対応、遠隔コミュニケーションへの触察の導入—が求められる。新型コロナウイルス感染症予防のためには、人々が科学的知見の実感を持って理解しそれに則った行動を行うことが大切であることが痛切に示された。このことは当然視覚障害者にも当てはまり、視覚障害者が科学的知見の実感を持って理解する手段としての 3D モデル提供の重要性は一層注目される。

ここまで述べてきたビジョンを実体化すべく本研究が具体的に目指すのは、「視覚障害者が知りたいものをいつでもどこでも自由に手に入れ触れられる社会」の 2030 年実現である。これを、DIY の発想に基づく 3D モデルのリクエスト・出力・配信ネットワークという形態で実現する。具体的には、3D モデルに関心を持つ視覚障害者と研究者、点字図書館に代表される支援団体が協働し、望まれる 3D モデルをユニバーサルデザイン志向の 3D プリンタを活用して必要とする視覚障害者に提供する体制を実現する。対象とする地理的範囲は、一義的には全国（日本国内）である。その一方で、3D モデルのニーズが普遍的なものであることと本体制が多様な社会状況下でも実現可能であることに鑑み、国際的な発信を重視す

る。

## 2. 研究開発の実施内容

### 2-1. 実施項目およびその全体像

#### 大項目 A：「生活者 3D プリンタ」の開発

##### 中項目 1：ベース 3D プリンタの評価・選定

Ultimaker 社の UM3 と RepRap プロジェクトの Prusa i3 MK3S を評価する。前者は、高性能であるが、特定企業の製品のため、開発する諸機能の統合方法やサポート体制を熟考する必要がある。後者は、オープンソースハードウェアのためシステムソフトウェアの改変が可能で、開発物の高度な統合を期待できる。造形品質の評価結果に留意しつつ、後者を優先的な選択肢として検討を進める。

- ・ 期間：令和元年 11 月～令和 2 年 3 月
- ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）
- ・ 対象：機器の開発であるため該当しない（以下も同じ）

##### 中項目 2：音声出力による 3D プリンタ UI の実装

A1 の 3D プリンタはいずれも本体上に設けられたボタンや液晶、タッチパネルを用いて基本制御を行う。こうした制御の大半はメニュー形式の対話処理であり、研究代表者が蓄積した知見を用いてユーザインターフェイスを設計する。

- ・ 期間：令和 2 年 1 月～令和 2 年 8 月
- ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）
- ・ 対象：該当しない

##### 中項目 3：造形エラー自動検出機能の開発

物体認識シーズを活用し、造形エラーを検知し、適宜自動停止させるシステムを実現する。造形エラーは独特の形状を示すため、深層学習で汎用的な判定ができ、この方式を優先して実装する（プラン A）。実用性を評価し、個別の 3D モデルデータとその造形の食い違いを検出する従来型のパターン認識での実装に適宜切り替える（プラン B）。

- ・ 期間：令和 2 年 1 月～令和 2 年 8 月
- ・ 実施者：岩村雅一（大阪府立大学・准教授）
- ・ 対象：該当しない

##### 中項目 4：中項目 A2,3 を統合し「生活者 3D プリンタ」を実装

3D プリンタの制御は、リアルタイムマイコンシステムで行われるため、不用意なプログラムコードの挿入は動作不良をもたらす。そこで、制御に副作用を及ぼさない形で SBC（シングルボードコンピュータ、Raspberry Pi など）を追加し、これを用いて必要機能を実装す

る。SBC の処理能力の制約に対応した A2, A3 の修正を行う。

- ・ 期間：令和 2 年 9 月～令和 2 年 12 月
- ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）、岩村 雅一（大阪府立大学・准教授）
- ・ 対象：該当しない

#### 中項目 5：3D プリンタ利用モニター調査

新型コロナウイルス感染症による移動の制約に留意しつつ、視覚障害者及び支援施設に数か月単位での日常的運用を委嘱。終了後、質問紙調査とグループインタビューを行う。運用中のトラブルサポート（メール・電話・訪問）も詳細に記録する。このトラブルサポートに（有）JTR（協力組織）を適宜伴い、視覚障害分野で 3D プリンタを取り扱う場合のビジネス上の課題を洗い出す。

- ・ 期間：令和 3 年 1 月～令和 3 年 5 月
- ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）、渡辺 哲也（新潟大学・准教授）
- ・ 対象：首都圏所在者・施設から選定。模型触察への関心が高い視覚障害者 5 名以上、支援施設は点字図書館・NPO 法人・盲学校 2 か所以上。

#### 中項目 6：中項目 A5 を踏まえた実装

プロダクトレベルの 3D プリンタのスペックを確定する。SDGs の理念に鑑み、ユニバーサルな「生活者 3D プリンタ」を目指す。ここまでの開発・評価の結果を踏まえ、場合によっては触察 3D モデル造形機能への集中（対応樹脂の限定、精細度の妥協など）を行う（プラン B）。

- ・ 期間：令和 3 年 5 月～令和 3 年 10 月
- ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）、岩村 雅一（大阪府立大学・准教授）
- ・ 対象：該当しない

### 大項目 B：KPI 評価を取り入れたパイロットサービスのレジリエンス検証

#### 中項目 1：3D モデルリクエスト出力サービスの開始

新潟大渡辺研究室にて、全国の視覚障害者のリクエストに応じ任意の 3D モデルデータの造形出力・送付を行うサービスを開始する。CAD による 3D モデルのゼロからの製作はせず、一般に流通するデータに適宜加工を加えて提供。本中項目は、その期間全体に占める役割に従い、(1) イニシャルセットアップ期（令和 2 年 3 月まで）、(2) KPI ドリブン運用実施期（令和 2 年 3 月以降）に細分される。なお、大項目 A の課題も含めて、我々のビジョンや提供可能サービスについて、予算を踏まえた国際的発信を心がける。

- ・ 期間：令和元年 12 月～令和 3 年 6 月
- ・ 実施者：渡辺 哲也（新潟大学・准教授）
- ・ 対象：全国の視覚障害者（最大 100 名程度）

### 中項目 2：B1 のサービス利用者からのフィードバックの分析

サービス利用者には、準備する質問紙に従った造形物の触りやすさを中心に主観評価を求め、質問にはサービス利用者の視覚障害が先天性か後天性かに関する問いを含めることで、先天性／後天性の違いによる 3D モデル利用の有効性の違いを見出す試みを行う。

- ・ 期間：令和元年 12 月～令和 3 年 6 月
- ・ 実施者：渡辺 哲也（新潟大学・准教授）、南谷和範（大学入試センター・准教授）
- ・ 対象：3D モデル出力・送付サービスを受けた全国の視覚障害者（最大 100 名程度）

### 中項目 3：3D モデル図書館立ち上げのための準備

協力組織において、サービスを実施すべく、機器整備、技術指導、貸し出し・運用ルール策定を行う。これらを踏まえて評価のための KPI を設定する。

- ・ 期間：令和 2 年 1 月～令和 2 年 8 月
- ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）、渡辺 哲也（新潟大学・准教授）
- ・ 対象：埼玉福社会図書館事業部

### 中項目 4：3D モデル図書館の運用

協力組織を通じて 3D モデル図書館を運用する。運用ポリシーの設定・分析（南谷）、技術指導・サポート（渡辺）に留意する。適宜、（有）JTR（協力組織）の関与を求め、点字図書館で 3D プリンタを取り扱う場合のビジネス上の課題を洗い出す。

- ・ 期間：令和 2 年 12 月～令和 3 年 8 月
- ・ 実施者：渡辺 哲也（新潟大学・准教授）、南谷和範（大学入試センター・准教授）
- ・ 対象：埼玉福社会図書館事業部、（有）JTR、図書館利用者登録した視覚障害者最大 100 名程度

### 中項目 5：B4 サービス運用実績の分析・総括

KPI に基づく 3D モデル図書館サービスの評価を行う。KPI を

- a. 3D モデル制作に要する時間
- b. 所蔵予定数(50 程度を想定)に対する達成度
- c. 所蔵物ごとの回転率

といった観点を軸に設定し評価する。これらを踏まえ、利用者の満足度、サービス運用の技術的難易度を検証する。特に後者については支援施設関係者の意見を傾聴し、次フェーズの安定的サービス運用に支障を生じないようなスキームに時間をかけて（半年）立案する。

- ・ 期間：令和 3 年 5 月～令和 3 年 10 月
- ・ 実施者：渡辺 哲也（新潟大学・准教授）、南谷和範（大学入試センター・准教授）
- ・ 対象：協力視覚障害支援組織（NPO 法人・点字図書館・盲学校）



## 大項目 C：実証・広報・調査

### 中項目 1：本格エコシステム構築に向けた論点整理、パートナーシップ育成

シナリオフェーズで運用する体制からソリューションフェーズで構築を試みるエコシステムへの橋渡しが円滑にできるよう論点整理を行い、特に期待されるアクター候補との認識・目標の共有を深める。B1, B4 のサービスの日々の運用状況をこれらアクター候補に随時報告し、将来的な運用に向けた方策を案出する（事情が許せば定期的なミーティングの形をとる）。これを B1, B4 に反映し、提供するサービスへの影響を検証する PDCA サイクルの形でソリューションフェーズに向けた体制整備を行う。

- ・ 期間：令和 2 年 4 月～令和 3 年 6 月
- ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）、渡辺 哲也（新潟大学・准教授）
- ・ 対象：協力組織（埼玉福祉会、(有) JTR、日本点字図書館、渡辺崇史研究室（日本福祉大学）、元木章博研究室（鶴見大学））、関連 NPO 法人及び視覚障害教育専門家

### 中項目 2：広報・人材育成

年間 3 回以上のペースでシンポジウム・市民報告会を開催し（オンラインを含む）、新規の関与者のリクルートを進める。異同の制約が緩和した場合、全国で視覚障害関連の支援者・教育者を対象とした「3D プリンティングキャラバン」を実施し、現場での 3D プリンタ運用能力を育成する。これらの内容を、C1 の統計的分析を含めた報告書と直感性のある動画コンテンツにまとめる。

- ・ 期間：令和 2 年 4 月～令和 3 年 10 月
- ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）、渡辺 哲也（新潟大学・准教授）、岩村 雅一（大阪府立大学・准教授）
- ・ 対象：開催案内に応じる視覚障害者、視覚障害関連の支援者・教育者

### 中項目 3：国際的サービス展開の検証

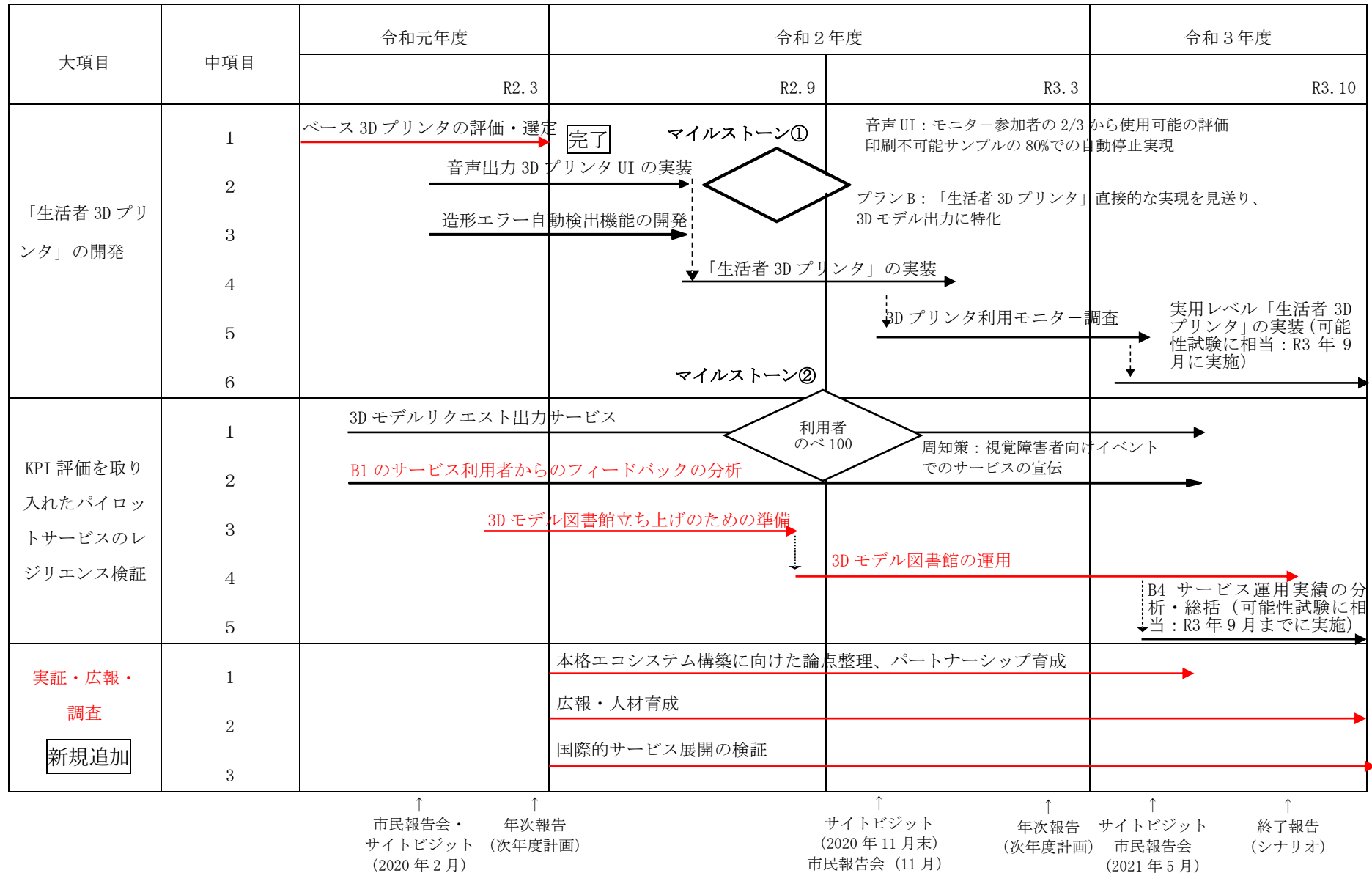
3D モデル提供サービスの国際的展開を視野に入れ、各国のニーズの把握やサービス提供の具体的な手段、現地カウンターパートの探索を行う。国際的な移動・会議参加可否の状況が許す範囲で以下を推進する。

- (1) 世界最大の障害者向け ICT 機器展示会である CSUN Conference において、サービス紹介と C2 の「3D プリンティングキャラバン」国際版を内容とするワークショップを開催する（2021 年 3 月、アメリカ）。
- (2) 本プロジェクトの中間検証を触察国際会議 Tactile Reading conference（2021 年 4 月、オスロ）で報告する。報告を通じて、各国視覚障害教育関係者の関心喚起・共同体性構築を行う。
- (3) 世界盲人大会にて本サービスのプレゼンテーションを行う（2020 年 6 月、マドリッド）。

同地に所在し世界有数の彫刻模型コレクションを有する「ONCE 触る博物館」を併せて訪問し協力可能性を探る。

- (4) 上記(1)から(3)における各国からの反応を勘案し、国際的に求められる標準的なサービス像と各国・各地域の個別ニーズを整理する。特に、非先進国においてDIY福祉機器が果たす役割を定式化し、本プロジェクトの共創的意義を集中的に示す。
- ・ 期間：令和2年4月～令和3年10月
  - ・ 実施者：南谷和範（大学入試センター・准教授）、渡辺 哲也（新潟大学・准教授）、岩村 雅一（大阪府立大学・准教授）
  - ・ 対象：各国視覚障害団体代表、ワークショップに参集する視覚障害関連の支援者・ボランティア

研究期間中のスケジュール



## 2-2. 実施内容

### 大項目 A：「生活者 3D プリンタ」の開発

#### 中項目 1：ベース 3D プリンタの評価・選定

- (1) 内容・方法・活動：開発ベースの候補として選定した市販 3D プリンタについて、本体上のボタンと液晶パネルを用いた操作や 3D モデル材料(フィラメント)の搭載、撤去、交換などの作業のプロセスを分析し、視覚障害者を含む一般生活者の運用難易度を検証した。
- (2) 結果：初期開発のベースとする 3D プリンタとして、Prusa 社が開発・販売する 3D プリンタ Original Prusa i3 MK3S が有望であるという結論を得た。

3D プリンタの運用に際しては、3D モデル材料(フィラメント)の搭載、撤去、交換などの作業が日常的に求められる。これらの作業は、ユーザが本体上のボタンでの入力と液晶パネルに示される指示に従って行うものであるが、ユーザに対して 3D プリンティングについての技術的習熟を要求する。また、液晶パネルに示される指示が確認できない視覚障害者には不可能である。「生活者 3D プリンタ」の実現には、我々が想定するユーザ（視覚障害者を含む一般消費者）にとって十分容易な操作性の実現が課題となる。当該製品は、オープンソースハードウェアとして、製作に用いられている部品やマイコン、回路図の情報が公開されている。加えて、マイコン上で動作するシステムソフトウェア（ファームウェア）のソースコード一式も提供されている。そのためシステムソフトウェアの改変が可能である。これらの特性を活用すれば、生活者が容易に運用できる操作性を実現できる。

当該 3D プリンタの基礎的な設定調整やメンテナンスは本体搭載のダイヤルを用いる。現状、このダイヤルを用いた操作は視覚障害者には実施できないことが確認された。他方で、操作体系を分析した結果、視覚障害者の操作を実現する報知音フィードバックを用いたユーザインターフェイスの実現は比較的容易と判断された。報知音フィードバックを用いたユーザインターフェイスは、共用品として販売される電化製品での実績があり、それらの実例から学ぶことで本研究でも実装可能という見通しを得た。

並行して各種 3D モデルの出力テストを行い、出力精度やイールドレイト(歩留り)を調査した。これらの点で、一般向け 3D プリンタの中では優れたグループに分類される Ultimaker 社 Ultimaker s3 に迫る性能が観察された。よって、総合的に判断して、本プロジェクトの開発プラットフォームとしての優位性が確認された。

なお、Ultimaker 社 Ultimaker s3 については、3D モデル提供サービスの機材として導入し、継続して操作性や出力精度を検証する。

#### 中項目 2：音声出力による 3D プリンタ UI の実装

- (1) 内容・方法・活動：①開発ベースとして選定した市販 3D プリンタについて、視覚障害者を含む生活者が運用できるような操作性、特に音声ガイドによる操作を実現するた

めの方策を検討した。3D プリンタは一般にメーカーが提供する専用のソフトウェアをパソコンにインストールし利用する。このソフトウェアを用いて 3D モデルデータの個別 3D プリンタ用データへの変換（gcode スライス）や、3D プリンタへの転送、出力開始の指示を行う。視覚障害者はスクリーンリーダと呼ばれるソフトウェアを用いて画面の内容を音声読み上げさせてパソコンを操作する。技巧的なグラフィック表示を多用するメーカー提供の 3D プリンタ用ソフトウェアをスクリーンリーダを用いて操作することは現実的ではない。この状況を打開しうる方法、ソフトウェアを探索・評価した。②3D プリンタ管理ソフトウェア Octoprint のウェブユーザインターフェイスを改変・拡張する形での実装を進めた。

- (2) 結果：①3D プリンタ管理ソフトウェア OctoPrint を改良することで、視覚障害者を含む一般消費者に 3D モデルの出力作業が可能であるという知見を得た。OctoPrint は 3D プリンタが接続されたサーバコンピュータ上でウェブサーバとして動作する。ユーザはこの OctoPrint が提供するウェブサイトにウェブブラウザでアクセスして、3D モデルデータの個別 3D プリンタ用データへの変換や、3D プリンタへの転送、出力開始の指示を行う。視覚障害者のためのウェブアクセシビリティ向上の研究開発にはかなりの実績がある。そのため、ウェブページとして読み上げさせることのできる OctoPrint の操作画面は視覚障害者にとって比較的利用可能性が高い。この仮説に基づき、OctoPrint が実際に提供するウェブサイトのアクセシビリティを検証した。現状、OctoPrint ではアクセシビリティがほとんど考慮されておらず、視覚障害者の操作性は決して高くないことが確認された。しかしながら、OctoPrint はソースコードが公開されており、自由に改変できる。よって、独自にアクセシビリティ向上の改変は可能であり、本研究の「生活者 3D プリンタ」を構成する要素として最有力のソフトウェアと判断した。

②3D プリンタ管理ソフトウェア Octoprint のウェブユーザインターフェイスを改変・拡張する形で、視覚障害者が単独で日常的な運用の多くを行える環境を実現した。オープンソースで開発されているソフトウェアの視覚障害者対応、いわば UD 化という方向性の有効性が知られた。

### 中項目 3： 造形エラー自動検出機能の開発

- (1) 内容・方法・活動：①造形エラー検出の基礎となる造形時の様子を動画撮影するための技術を調査・評価した。
- ②物体認識シーズを活用し、造形エラーを検知し、適宜自動停止させるシステムの開発を進めた。実用性と着実な開発のために、個別の 3D モデルデータとその造形の食い違いを検出する従来型のパターン認識での実装を採用した。開発手順としては、造形エラー画像データの収集・蓄積、エラー判定フレームワークの構築、データ学習、性能評価、適宜ルーチンの修正というプロセスを進めた。

- (2) 結果：①OctoPrint に実装されたモニター機能を拡張することで、本研究の推進に必要な造形時の動画撮影が可能であるという結論を得た。加えて、基礎的な撮影システムを実現した。造形エラー自動検出のためには、3D プリンタでの 3D モデル出力の進捗を随時監視し、原型の 3D モデルデータとの比較を繰り返す必要がある。具体的には 3D モデル出力の様子を連続撮影する必要がある。OctoPrint にはウェブカメラを用いて 3D プリンタの状態をモニターする機能がある。この機能を転用し改良することで、本研究の用途での利用が可能であることを確認した。基礎的な連続撮影システムの実装までを行った。
- ②フィラメント（造形素材）のフィード（送り）の状態の適正を判定することを中心に研究を進めた。フィラメントのフィードが悪化すると異音が発生する。エラーを視認できない研究代表者はこの異音でフィードエラーを認知しており、その経験値を科学的に活用する試みとして研究を進めた。結果は学会発表の形でまとめている。

#### 中項目 4：中項目 A2,3 を統合し「生活者 3D プリンタ」を実装

- (1) 内容・方法・活動：SBC(シングルボードコンピュータ、Raspberry Pi などの総称)の処理能力の制約に対応した A2, A3 の修正を行った。
- (2) 結果：SBC の処理能力の制約に対応した A2, A3 の修正を進め、Octoprint を SBC 上で動作させ、これら 2 モジュールを利用できるようにする環境整備を行った。期間中に当初開発ターゲットとして設定していた Original Prusa i3 MK3S の姉妹機という位置づけで Original Prusa MINI が販売開始された。同機種を評価した結果、本プロジェクトでの活用により適しているという結論を得て、開発環境の移行を進めた。

#### 中項目 5：3D プリンタ利用モニター調査

- (1) 内容・方法・活動：視覚障害者及び支援施設に数か月単位での日常的運用を委嘱。終了後、質問紙調査とグループインタビューを行う。運用中のトラブルサポート（メール・電話・訪問）も詳細に記録する。
- (2) 結果：現段階で全面的に視覚障害者単独での運用を評価機として保証することには限界が伴うことが予想された。こうした認識を踏まえつつ、委嘱可能なパワーユーザを探索し 2 名を選定した。

### 大項目 B：KPI 評価を取り入れたパイロットサービスのレジリエンス検証

#### 中項目 1：3D モデルリクエスト出力サービスの開始

- (1) 内容・方法・活動：新潟大渡辺研究室にて、全国の視覚障害者のリクエストに応じ任意の 3D モデルデータの造形出力・送付を行うサービスを実施した。CAD による 3D モデルのゼロからの製作はせず、一般に流通するデータに適宜加工を加えて提供した。本中項

目は、その期間全体に占める役割に従い、①イニシャルセットアップ期（令和 2 年 3 月まで）、②KPI ドリブン運用実施期（令和 2 年 3 月以降）に細分される。

- (2) 結果：2019 年 11 月後半のサービス開始から、2020 年 3 月末までの段階で 9 件のリクエストを受け、13 点の 3D モデルを送付した。その後も 3D モデルリクエスト出力サービスは軌道に乗り、安定的にリクエストを受け付けた。144 件のリクエストに対応し、開始時の期間内目標 100 点を既に達成した。

サービスを紹介する市民報告会を 2020 年 2 月 16 日に都内で実施した。来場者は 55 名、そのうち視覚障害者 22 名であった。サービスを紹介するためのパンフレットを日本語、英語で準備し、それぞれ活字版と点字版を製作・配布した。2020 年 3 月末の段階で、日本語活字版を 102 部、日本語点字版を 32 部、英語活字版を 180 部、英語点字版を 10 部配布した。

#### 中項目 2：B1 のサービス利用者からのフィードバックの分析

- (1) 内容・方法・活動：①B1 の 3D モデルリクエスト出力サービスで送付した 3D モデルに対するフィードバックを随時分析した。

②サービス利用者へ、準備する質問紙に従った造形物の触りやすさを中心に主観評価を求めた。質問にはサービス利用者の視覚障害が先天性か後天性かに関する問いを含めることで、先天性／後天性の違いによる 3D モデル利用の有効性の違いを見出す作業を進めた。

- (2) 結果：①3D モデルリクエスト出力サービスで送付した 3D モデルに対するフィードバックを分析し、利用者ニーズの把握と今後のサービス運営方針の検討を行った。オンラインシンポジウムに伴う配布物については、同一の造形物で効果や感想を比較する貴重な機会であり、専用のアンケートを用いて調査した。オンラインシンポジウムに伴い視覚障害者に配布した造形物は、2020 年 8 月のシンポジウムで 33 人に各 2 点で総計 66 点、2021 年 2 月シンポジウムで 43 人に各 3 点で総計 125 点（一部造形が間に合わず割愛）であった。これらは、自発的なリクエストを前提とする期間内サービスの目標提供点数（100 点）にはカウントしない。しかしながら、サービス運用のための造形・発送に関わる作業フローの検証や負担の解明という点で大きな知見を生んだ。また建築物合計 30 点のリクエストを寄せた利用者があり、当該建築物中で、無料で 3D モデルが入手可能なもの、有料で入手可能なもの、入手困難なものをそれぞれ調査した。結果は、有(無料)が 12 点、有(有料)が 4 点、無が 14 点で、今後期待できるサービスカバー率を概算する基礎データとした。

②サービス利用者へ、造形物の触りやすさを中心に主観評価を求めた。当初、我々は先天性・後天性の間の差異を触察能力という観点から注目した。他方で、サービスを運用する中で後天性の視覚障害者の間に際立った触察への意欲が見られることが知られた。触察能力に限らない触察意欲という観点からの分析を進める。

### 中項目 3：3D モデル図書館立ち上げのための準備

- (1) 内容・方法・活動：協力組織において、サービスを実施すべく、機器整備、技術指導、貸し出し・運用ルール策定を行った。これらを踏まえて評価のための KPI の設定を進めた。
- (2) 結果：協力組織にベンチマークとなる建築物 3D モデル 5 点の実験的出力作業を依頼し、その作業に関するレポートを受領した。これを材料として、評価のための KPI 設定を進めた。3D プリンタ運用のノウハウ取得の学習曲線を把握する必要性が浮上した。

### 中項目 4：3D モデル図書館の運用

- (1) 内容・方法・活動：協力組織を通じた 3D モデル図書館の運用に着手した。運用ポリシーの設定・分析（南谷）、技術指導・サポート（渡辺）に留意する。適宜、(株) JTR(協力組織)の関与を求め、点字図書館で 3D プリンタを取り扱う場合のビジネス上の課題の洗い出しを行った。
- (2) 結果：協力組織を通じた 3D モデル図書館運用に向けた準備を進めた。候補となりうる公共図書館 3 館、点字図書館 1 館、美術館 1 館、博物館 2 館と具体的な条件検討を行った。担当者の意欲、組織の行政上の位置づけ、サービス対象者へのアクセスチャネル確保の重要性などの諸条件が知られた。

## 大項目 C：実証・広報・調査

### 中項目 1：本格エコシステム構築に向けた論点整理、パートナーシップ育成

- (1) 内容・方法・活動：シナリオフェーズで運用する体制からソリューションフェーズで構築を試みるエコシステムへの橋渡しが円滑にできるよう論点整理を行い、特に期待されるアクター候補との認識・目標の共有を深めた。B1, B4 のサービスの日々の運用状況をこれらアクター候補に随時報告し、将来的な運用に向けた方策の案出を試みた。これを B1, B4 に反映し、提供するサービスへの影響を検証する PDCA サイクルの形でソリューションフェーズに向けた体制検討を行った。
- (2) 結果：新規候補アクターの探索を特に地域に密着したサービス可能性の探求という観点で集中的に行った。3 館の公共図書館と実際のサービス内容に踏み込んだ実施プランを議論した。現地視察が叶わない中での検討であったが、高知オーテピアと 2021 年度のサービスインの準備を進めた。

### 中項目 2：広報・人材育成

- (1) 内容・方法・活動：移動の制約の緩和に留意しつつ、全国で視覚障害関連の支援者・教育者を対象とした現場での 3D プリンタ運用能力育成を行うプログラムの開発を進めた。



- (2) 結果：実会場での市民報告会として計画していたシンポジウムを新型コロナウイルス感染症防止に関わる制約から実施を見送った。これに変わる実験的・開拓的な試みとして造形物の郵送提供を伴うオンラインシンポジウムを実施し、想定外の反響を得た。本プロジェクトを駆動させる位置づけのものとしての役割を果たしている。
- 2020 年 8 月に実施したオンラインシンポジウムは、オンライン実施の現実性を探ることとコロナ禍における本プロジェクトの意義を考えることを目的とした。申込者は 132 人、そのうち視覚障害者 55 人(41%)であった。
- 続いて 2021 年 2 月に実施したオンラインシンポジウムでは、SDGs の枠組みから本プロジェクトが発信するメッセージとして重要な触る体験の障害の有無を越えた意義の掘り下げとアピールを主たる目的として実施した。適切な周知のチャンネル開拓が間に合わなかったことが反省点だが、申込者 105 人、そのうち視覚障害者 56 人(53%)を数えた。話題の重心を非視覚障害者に移すことから、視覚障害者の関心低下を警戒したが、むしろ申込者に占める比率は上昇している。今後の発信の基礎固めが進められた。
- (3) 両シンポジウムでの造形物の事前郵送提供希望者は、前者が 47 人、後者が 51 人であった。

### 中項目 3： 国際的サービス展開の検証

- (1) 内容・方法・活動：3D モデル提供サービスの国際的展開を視野に入れ、各国のニーズの把握やサービス提供の具体的な手段、現地カウンターパートの探索を行った。国際的に求められる標準的なサービス像と各国・各地域の個別ニーズを整理した。特に、非先進国において DIY 福祉機器が果たす役割を、本プロジェクトの共創的意義の一つの集約点として整理した。
- (2) 結果：3D モデル提供サービスの国際的展開を視野に入れ、各国のニーズの把握やサービス提供の具体的な手段、現地カウンターパートの探索を計画したが、新型コロナウイルス感染症防止に関わる制約からスムーズに遂行することができなかった。
- 他方、タイ王国で少数民族、障害児を含めた児童の読書充実に取り組む NGO「アークどこでも本読み隊」と接点を確保し、本プロジェクトの非先進国での意義や転回可能性について助言を得た。

## 3. 研究開発成果

### 3-1. 目標の達成状況

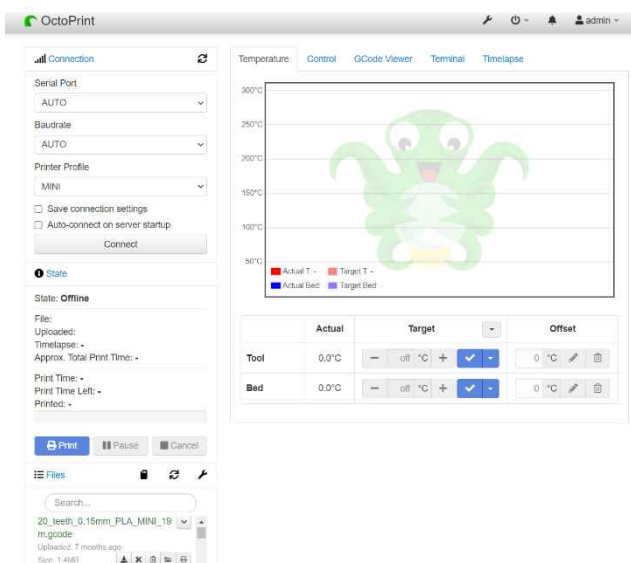
以下、「1. プロジェクトの達成目標」に掲げた「生活者 3D プリンタ」の開発とパイロットサービスを通じた検証についての達成詳細と、当初の目標に限らない得られた成果としてオンラインシンポジウム開催の成果を述べる。

#### 1. 「生活者 3D プリンタ」の開発について

(1) 音声出力による 3D プリンタ UI (ユーザインターフェイス) の実装、(2) 造形エラーの自動検出機能の開発、(3) モニター調査とその代替検証に分けて記述する。

(1) 当初我々は、独自の 3D プリンタファームウェアを開発することで 3D プリンタから音声でメッセージを出力するユーザインターフェイス (UI) を開発することを計画し調査を進めた。その調査過程で 3D プリンタに SBC (Small Board Computer, Raspberry PI に代表される限定的な性能の汎用性のある小型コンピュータ基板) を接続し、その SBC 上でウェブサーバ形態の制御システムを動かす方式を発見した。当該方式ではウェブブラウザで SBC 上のサーバにアクセスし 3D プリンタを制御する。ウェブブラウザ及びウェブのアクセシビリティは以前から広く追求されており、スクリーンリーダ (画面読み上げソフト) での操作性も比較的高い。そこで我々はこの SBC 利用方式の代表的な実装である OctoPrint を用いて音声 UI の実現を進めることとした。OctoPrint にはウェブアクセシビリティを十分考慮していない部分が少なくなく、適宜その修正作業を行った。これにより、当初の目標であった音声 UI の実現は達成されたと判断できる。以下に、ウェブブラウザを用いた 3D プリンタ制御環境の現段階の UI の表示例を示す。

図 ウェブブラウザを用いた 3D プリンタ制御環境の現段階の UI の表示例



(2) 本研究で中心的に用いる FFF 方式の 3D プリンタの運用で課題となるのは、印刷素材として用いるプラスチック樹脂 (フィラメント) の詰まりとその対処である。この詰まりは早い段階で検知し対応すればメンテナンスが容易であるが、対応が遅れると復旧作業が複雑化し利用者側での対応が困難となり販売業者への保守依頼を必要とすることともなる。特に長時間を必要とする印刷物の場合、利用者が継続的に監視を行うことは現実的でない。そのため、特に自動化が求められる課題と判断し優先的に自動検知システムの開発に取り組んだ。当初我々は

画像認識によるフィラメント詰まり検知の可能性を追求し、先行研究の調査を行い基礎実装に着手した。他方で、この研究の過程でフィラメント詰まりに至る過程で独特の異音がフィードギアから発生することが判明した。音によるエラー検知は、画像認識による検知と比較して明暗や照明の角度など環境要素に左右される部分が少なく安定して機能することが期待できる。よって本研究でも異音を検知することでフィラメント詰まりの可能性上昇を予見し、利用者に警告する方向に開発の重点を移した。要素技術

としての開発の段階を終了し、実用的な実装に向けた作業を進めた。

(3) (1)と(2)を総合した環境として、『生活者3Dプリンタ』の開発の一通りの課題を推進したが、新型コロナウイルス感染症拡大防止のための諸対応（たとえば、点字図書館における来館利用の停止や、盲学校における休校など）により組織的なモニター調査の実施が困難な状況が続いた。そこで、後述のオンラインシンポジウムなどで特に興味を示した視覚障害者への個別紹介・聞き取りを行った。加えて、達成度を具体的に広報・確認する目的で、今回開発したシステムを用いて、日本図学会第12回デジタルモデリングコンテストに「パラメトリック・ピサの斜塔—視覚障害者のCAD手法の実例として—」にて応募した。当該作品は同コンテストで最優秀賞を受賞し、学術的な立場から今回開発したシステムが目的を果たすものとして機能していることを確認されたと判断できる。

写真 パラメトリック・ピサの斜塔



## 2. パイロットサービスを通じた検証

結果的には198件のリクエストを受け付け、現段階で132件が送付済みの状態にある。数値目標は十分に達成したものとする。なお、例えばリクエストとしては1件と数える日本列島地図がモデル点数としては陸地単位の場合最低5点、都道府県別の分割の場合47点の3Dモデルとなるように、実際の送付点数は件数を上回る。以下、リクエストと対応の詳細を示す。

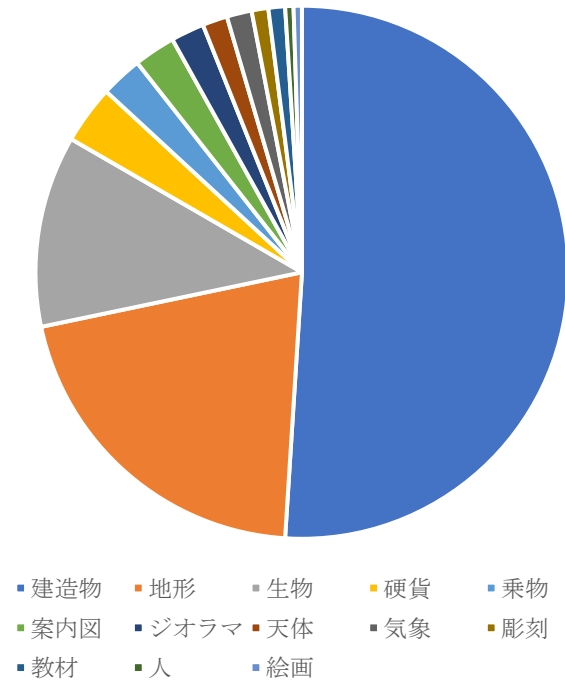
リクエストを寄せたのは、総計89人であった。内訳は、当事者が81人、支援者が8人であった。

リクエストされた 3D モデルを種別ごとに分類した結果について、点数を表に、割合をグラフに示す。建築物が過半を占めた。なお、これらはいくまでリクエストであり、すぐ後に述べるように実際の提供物ではない。

表 リクエスト 3D モデル点数

種別	点数
建築物	101
地形	41
生物	23
硬貨	7
乗物	5
案内図	5
ジオラマ	4
天体	3
気象	3
彫刻	2
教材	2
人	1
絵画	1

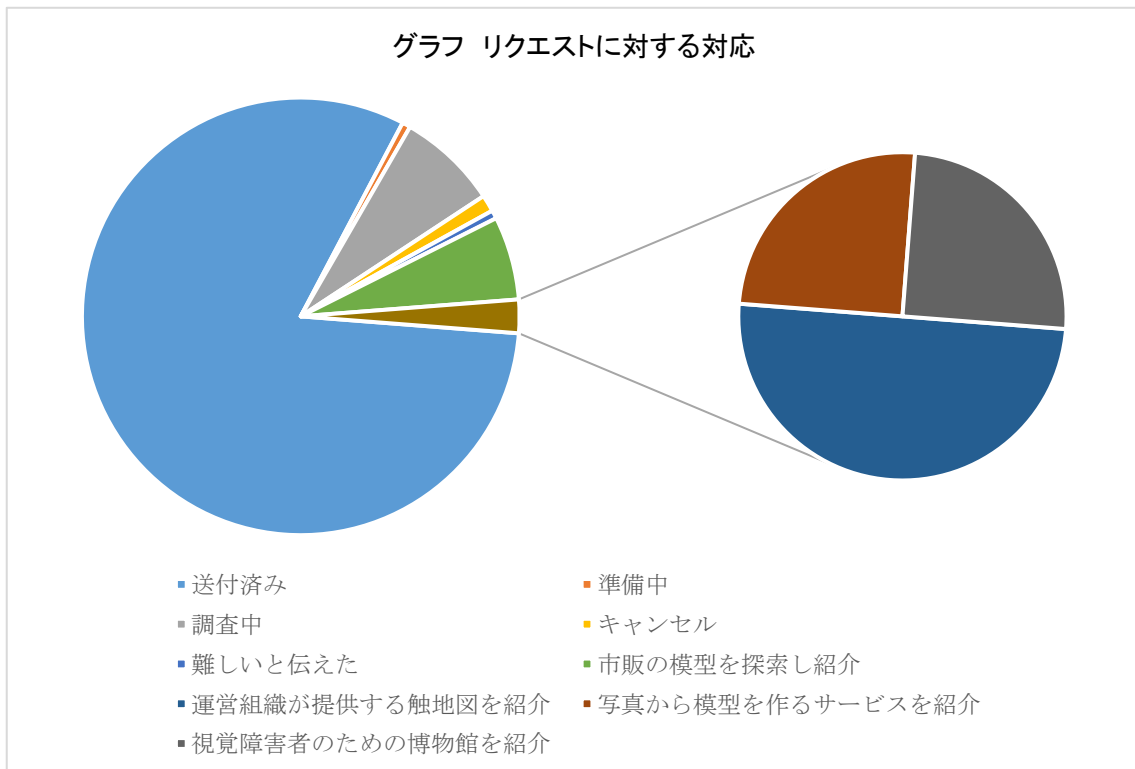
グラフ リクエスト 3D モデル点数



リクエストに対する対応を示す。複数のリクエストを同時に寄せた利用者に対して一括で対応した案件を含むため、リクエスト件数と対応件数は一致しない。我々は、視覚障害者がこれまで知ることのできなかつたものを知る機会を提供することを主眼においている。そのため、既存の提供物や流通品で対応可能なものについては、それらを紹介する方針とした。10%弱がそうした対応となった製作不能という形で利用者の意に沿わない対応となったのは 1 件であり、1%以下に留まる（調査中、キャンセルは含まない）。

表 リクエストに対する対応

対応の種類	件数
送付済み	132
準備中	1
調査中	12
キャンセル	2
難しいと伝えた	1
市販の模型を探索し紹介	10
運営組織が提供する触地図を紹介	2
写真から模型を作るサービスの紹介	1
視覚障害者のための博物館を紹介	1



### 3. オンラインシンポジウムの開催について

我々は当初より、パイロットサービスの広報の目的で、実際に参加者に 3D モデルに触れる機会を提供するハンズオン形式の対面シンポジウムを計画していた。この方針に従い第 1 回を 2020 年 2 月に開催した。

しかしながら、当該第 1 回シンポジウム開催直後より新型コロナウイルス感染症防止のための移動・社会活動の制限が本格化した。これにより、第 1 回と同様の実会場対面形態でのシンポジウム開催が不可能な期間が続いた。我々の研究プロジェクトを推進する上で、サービス利用者確保は必須であり、そのためのシンポジウムによる周知も不可欠である。そこで、コロナ禍での対応として多く行われることとなった Zoom を用いたオンライン形態でシンポジウムを開催することとした。ただし、我々が第 1 回で実施した 3D モデルに実際に触れながら行うハンズオン形式の存続が問題となった。無論、純然たるオンラインのシンポジウムでは 3D モデルを参加者に回覧することはできない。他方で、我々のシンポジウムが 3D モデルに触れることがもたらす意義を実感ある形で周知することを目的としている以上、オンライン開催を理由に 3D モデルに触れる体験を安易に割愛することは開催意義を揺るがせる。こうした認識の下で検討を重ねた結果、オンライン開催となった 2020 年 8 月の第 2 回シンポジウムにおいて我々は、希望者に事前に当日取り上げる 3D モデルを送付することによって、ハンズオン形式のシンポジウムをオンラインで実現した。

第 2 回から第 4 回の各オンラインシンポジウムは、その都度テーマを設定し、ゲストスピーカーによるテーマに関わる話題提供の後、送付した 3D モデルを取り上げるトピックを研

究グループメンバーが論じるという形式をとった。各回、Zoom ミーティングないし Zoom ウェビナーを用いて開催し、開催時間は 2 時間から 3 時間とした。表にオンラインシンポジウムの開催概要を示す。

**表 オンラインシンポジウムの開催概要**

回	開催日	サブタイトル	ゲストスピーカー	送付 3D モデル
2	2020 年 8 月 8 日	コロナの時代に 考える触ること の大切さ	広瀬浩二郎（国立民族学博 物館）	コロナウイルス スフィンクス カタツムリ
3	2021 年 2 月 6 日	触ることからの メッセージ	柳楽未来(毎日新聞記者)	日本列島地図セット 国会議事堂 新国立競技場 ピサの斜塔
4	2021 年 8 月 13 日	触れる体験の今 とこれから	川又若菜（視覚障がい者の ための手でみる博物館） 伊藤宣真（日本点字図書館・ ふれる博物館） 広瀬浩二郎（国立民族学博 物館）	赤血球 旧国立競技場 広島県産業奨励館 原爆ドーム

写真 送付 3D モデルの例（左上：コロナウイル  
ス、右上：ピサの斜塔、下の左：広島県産業奨  
励館、下の右：原爆ドーム）



図に送付 3D モデルの事例を示す。  
表に各回シンポジウムの参加者とそ  
のうちの視覚障害者、3D モデル被送  
付者とそのうちの視覚障害者、3D モ  
デル返却者の数を示す。3D モデル送  
付は、先着順とし、それ以上の希望が  
あった場合には可能な範囲で対応と  
していたが、連絡事項に不備があっ  
たものを除いて各回希望者全員に送  
付した。結果、全 3 回のオンラインシ  
ンポジウムで 600 点を超える 3D モデ  
ルを印刷し、延べ 175 人に送付した。

表 各回シンポジウムの参加者数、3D モデル被送付者数の概要

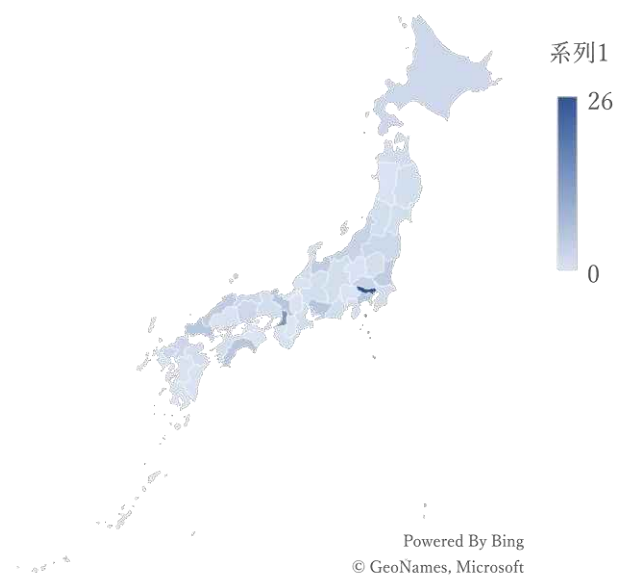
回	参加申込者数	うち視覚障害者	3D モデル被送付者数	うち視覚障害者	返却者数
1	55	22	—	—	—
2	125	41	49	35	17
3	105	56	52	40	8
4	139	59	74	57	7

参加者の地域分布について、第 4 回シンポジウムの都道府県別分布を表と図で示す。

表 第 4 回シンポジウム参加者の都道府県別人数

都道府県	人数
東京都	26
大阪府	14
神奈川県・愛知県・京都府・山口県・高知県	5
茨城県・富山県・島根県	4
埼玉県・新潟県	3
北海道・福島県・鳥取県・岡山県・福岡県・佐賀県	2
青森県・岩手県・宮城県・山形県・栃木県・千葉県・長野県・岐阜県・石川県・静岡県・三重県・兵庫県・愛媛県・大分県	1
その他	54
不明	30
合計	139

図 第4回シンポジウム参加者の都道府県別分布



### 3-2. 研究開発成果

#### 成果 「生活者 3D プリンタ」要素技術

##### (1) 内容

音声出力による 3D プリンタ UI と造形エラーの自動検出機能の開発を行い、それぞれ要素技術としての必要条件を整えた。前者は視覚障害者が 3D プリンタを操作する上で必須のものであり、後者は消費者一般に相当するような特段の技術的知識や関心を有さない人々がカジュアルに 3D プリンタを運用するためのピースとして不可欠の要素である。よって、本成果については、受益者と担い手（ユーザー）の区別は存在せず、前者が視覚障害者、後者が消費者全般となる。なお、本研究の関心からは、後者については特に 3D モデル提供サービスの潜在的担い手としての支援者が注目されるが、消費者一般（生活者）全般に利益が及ぶ形での開発を進めているため、対象に包含される。

視覚障害者の 3D プリンタ利用を目的とする音声出力による 3D プリンタ UI の開発については、前例がない。造形エラーの自動検出については、散発的に部分的な先行研究が確認できる。しかしながら、本研究のように画像認識に加えて異音検知を組み合わせる多角的なアプローチで実用性の確保を目指す研究は前例がない。

## (2) 活用・展開

本件は技術開発であり、直接的には人材確保や活動資金の目処というような形での基盤整備にはつながるものではないが、3-1 に述べたように開発技術を活用した造形物が日本図学会第 12 回デジタルモデリングコンテストにて受賞しており、その有効性・効率性は学術的に認められていると考える。当該コンテストにおける審査員コメントが本件の現状の意義と今後の可能性を客観的な立場から定式化したものにとらえられ、以下引用する。

- ・ 視力 0 という条件における、3 次元モデル作成の方法論について論じていることに、大きな価値がある。触覚を用いた形状認識方法と 3D CAD の組み合わせは、アクセシビリティの観点からも大きな価値がある。発展性が高く今後楽しみな研究である。
- ・ 良くない例として言われている「群盲象」に鑑みていえば、これを逆手にとって、断面形状に要約してパラメトリックな形状を評価しようとする考え方が「個の事実」から対象全体を立体的にとらえようとする手法と触覚による形状イメージの把握がどのように繋がれているかを考えるうえで興味深い。
- ・ CAD 利用による形状に対する主観評価によるさらなる発展が期待できる。

## (3) その他

3D プリンタがフィラメント詰まりに至る過程で独特の異音を発生することは、目視でフィラメントの状態を確認できない視覚障害者である研究代表者が独力での 3D プリンタ運用を試みている中で気付いた事実である。この現象を主たる実施者である岩村の研究室で計算機科学の観点から学術的に整理し異音検知の開発を進めた。この過程は障害者の認識と研究者の知見の生産的な融合として、(当初想定したものではないが) 研究開発の方法論として一定の意義があると考えられる。

## 成果 3D モデル製作・提供ノウハウの集積一定量の観点一

### (1) 内容

3D プリンタを用いて視覚障害者が求める 3D モデルを製作・提供（送付）するノウハウを蓄積した。当初我々は、総計 100 件程度を目標に、全国の視覚障害者からの 3D モデル提供リクエストを受け付け、それに対応する中で今後のサービスのあり方についての方向性を導出することを目指した。期間内（2 年）で 100 件という目標は、協働実



施者の先立つ触地図作成提供サービスでの提供実績が 10 年間で 180 件程度であることを踏まえつつ、

- ・ 提供される研究費規模に応じて高いハードルを設定する
- ・ 定量的な分析に耐える規模の件数を確保する

といった要素を考慮し決めた。結果的には 198 件のリクエストを受け付けており、これは当初目標の 2 倍に相当し、十分に目標を達成したと考える。これは受益者（視覚障害者）が利益（3D モデルの触察体験）を享受する仕組みそのものであり、また担い手（支援者）が提供サービスを実施するノウハウでもある。3D モデル提供サービスは世界的にも前例がなく、この点での新規性があるとともに、利用者から好評を持って迎えられていることはその有効性を示すものである。

さらに、オンラインシンポジウム開催に伴い、600 点を超える 3D モデル印刷と、延べ 175 人への送付を実施しており、ノウハウという点でのこの活動の意義も大きい。

## (2) 活用・展開

提供サービスに必要なリソース、特に人的リソースの性質・規模がある程度把握され、今後のサービスの運営・展開に資することができる。4-1-2 に述べるように提供サービスのパイロット運用は、実質的に協働実施者単独で行った。これは、3D プリンタの運用と視覚障害者の触察特性を理解した人材であれば、一高負担となるが一別に本務を有する立場でもこの規模のサービス実施が不可能ではないことを例証したものと見える。

また、オンラインシンポジウムのための 3D モデル 600 点送付という活動からも、同種の知見が引き出せる。つまり、当該送付は協働実施者、研究代表者とその補佐員、主たる実施者で手分けして行い実施した。3 回のオンラインシンポジウムのそれぞれ先立つ 1 か月程度で機能的な作業分担をすることでこの規模の送付が可能であることが確認された。今後の集中的製作・提供作業のモデルケースとすることができる。

## (3) その他

期間中に、社会福祉法人から提供サービスを実施したいという申し出を受けた。これは当初想定しなかった申し出であり適宜対応を試みたが、十分な結果に結びつかなかった。これは逆説的に提供サービスの担い手に求められる条件を示すこととなった。4-2-3 に詳述する。

## 成果 3D モデル製作・提供ノウハウの集積一定性的観点一

### (1) 内容

視覚障害者が 3D モデルとして触察を求めるものの種別・性質について、全般的な知見を得た。3-1 に示したように、種別としては建築物への関心が高い。ただし、これは

建築物の 3D モデルが 3D プリンタで比較的安定的に出力可能で、我々が出力サンプルとして建築物を多く用いたことが影響している可能性を留保する必要がある。3D モデルの対象の性質別に見た場合の特徴としては、

- ・ 新型コロナウイルスや赤血球など小さすぎて触れないもの
- ・ 建築物に代表される大きすぎて触れないもの
- ・ 地図のように疑似的に立体化することで触察が可能となるもの
- ・ 雲や花火のように、本来触れられる形状として把握できないもの

のように分類できる。新型コロナウイルスへの興味からは、社会的関心事と触察物への要求の連動性が理解された。また、雲や花火のような視覚体験として広く印象がいきわたっているものを触察対象として期待する要求は、視覚障害者である利用者のニーズの特質として留意すべきものであった。

これらの知見は、受益者（視覚障害者）のニーズの把握に他ならず、これを踏まえることが受益者にとって有効なサービスとなるとともに、担い手（支援者）にとっては、効率的なサービス提供を実現するものである。

この規模、この種別範囲での 3D モデル提供には世界的にも前例がなく、こうした利用者ニーズの知見の新規性は高い。

## (2) 活用・展開

提供サービスを実体化して行く上で、どのような種別の 3D モデルの準備が必要かについての知見を把握できたことは今後の展開に肝要である。つまり、健常者の間でも関心・ニーズのある 3D モデルについては、既存の 3D モデルデータを探索し活用することで一定程度対応ができる。例えば、建造物や新型コロナウイルスがこの区分に該当し、実際、本研究でも多くを既存の 3D モデルデータを活用することで対応した。また、この区分に属する 3D モデルがリクエスト数に占める割合は高い。

他方で、雲や花火のような視覚体験として広く印象がいきわたっているものの 3D モデルデータが既に存在することは期待したい。これらはリクエストの比率としては大きくはないものの、要望に応じるためにはサービス提供者側での製作が求められる点が重要である。つまり、包括的なサービス提供への発展のためには、担い手側に

- ・ 視覚体験であって本来触れられる形状として把握できないものを触察物に変換する技法
- ・ 視覚障害者の触察についての知識
- ・ 3D CAD ソフトウェアによる造形能力

が必要となることが認識された。これは今後のサービス体制設計に活用できる知見である。

## (3) その他

本研究の当初計画しなかった活動として特に重要なのは 3D モデル事前送付を伴うオンラインシンポジウムである。このオンラインシンポジウムと提供サービスのパイロット運用からは種々の副次的効果・知見が得られた。

#### 1. 中途視覚障害者の関心

従来、中途視覚障害者は触覚認知において先天の重度視覚障害者より不利な立場にあると考えられ、この点から 3D モデルのような触察教材への関心も低調であるような類推が行われてきた。しかしながら、今回の一連のシンポジウムでの我々の経験からは、少なくとも興味関心という点では中途視覚障害者もサービス利用者の重要な一角をなす集団と考えられる。

また、当初想定しなかった関心層としては、他に盲ろう者一視覚と聴覚の重複障害者一の継続的なシンポジウム参加があった（ただし、音声言語による伝達が困難な盲ろう者は視覚障害者以上に 3D モデルによる情報アクセスを必要としているともいえる）。聴覚障害者や肢体不自由者など、視覚表現へのアクセス困難が特段の障壁とならない人々からの参加も観察された。

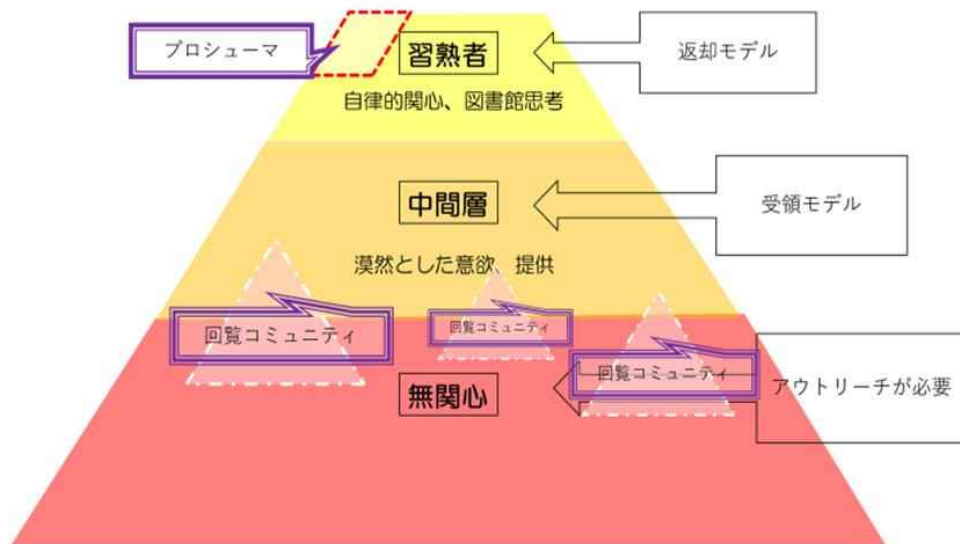
#### 2. 回覧コミュニティの発見

3D モデルの返却率は、最も高い第 2 回シンポジウムでも 3 割中盤に留まり、概して低い。返却を行わなかった被送付者からは、3D モデルを自分の周囲の視覚障害者や健常者に触らせたいので返却を見送るという連絡が寄せられもした。これは 3D モデルの回覧を通じたある種のコミュニティ形成ともいえる側面がある現象といえる。また、ICT に頼らない広報という観点では、ICT 利用に習熟した視覚障害者がオンラインシンポジウムに参加し、受け取った 3D モデルや得た情報を周囲の視覚障害者に伝達するという点で、図らずもその目的がある程度達成された点も注目したい。

#### 3. 触察の観点から見た視覚障害者の人口統計学的な像

図に示すような視覚障害利用者の人口統計学的な像を導いた。触察習熟者群は、提供を望む 3D モデルを具体的に指定するような自律的関心を有しており、鑑賞後の返却に積極的であるため図書館思考のサービスが適当である。「生活者 3D プリンタ」による DIY 福祉機器製作への先鋭な意欲を持つプロシューマ人材はこの中に存在する。中間層は、模型に触れてきた経験が多くなく漠然とした意欲を持ち、提供される 3D モデルを受領することを望む。なお、この意欲は軽視すべきでなく、たとえば前述 1. のように、当初触察能力の限界が警戒された中途視覚障害者群が際立った意欲を有することが確認されている。彼らは当事者団体（地域の会や教師の会）への訴求も担っている。無関心群は現状触察への特段の興味を持たない今後アウトリーチが必要な層である。中間層が手元に留め置いた 3D モデルを周囲の無関心群の視覚障害者や健常者へ回覧する活動が多く観察された。これは強度の地域密着型の触察集団の形成—自制的回覧コミュニティ(2. 参照)—であり、サービ

表 サービス運用経験から考えられる視覚障害利用者の人口統計学的な分布イメージ



ス受益者が提供者も兼ねるプロシューマ転換が認められる点からも、本研究の目指す一つの理想形といえる。

#### 4. 利用者の関心の高さと支援者の不活性

3D モデル提供サービスへのリクエストは 9 割が視覚障害者自身であった。シンポジウム参加者の 4 割を視覚障害者が占める—社会的弱者の課題を扱うシンポジウムでのこの当事者の参加割合は高いと言える—。シンポジウムの質疑応答で発言したものの大半は視覚障害者であった。これらからは、利用者となる視覚障害者の関心の高さが確認できる。他方で、サービスの担い手となることが期待される支援者においては、3D モデル活用の関心が未だ不活性とも見受けられ、今後の働きかけが課題と考えられる。

### 4. 研究開発の実施体制

#### 4-1. 研究開発実施体制

##### 4-1-1. グループの役割と概要

###### 開発グループ

**役割：**「生活者 3D プリンタ」を開発する。

**概要：**視覚障害者自身が音声ユーザインタフェースで操作可能な 3D プリンタを開発する。  
**必要性：**障害者のニーズを最もよく知っているのは障害者自身と考えられ、障害者自身が自分に必要な模型や自助具を出力できるように「生活者 3D プリンタ」を開発して、DIY 支援を推進する。

###### サービス評価グループ

**役割：**3D モデル提供サービスと貸し出し図書館を試験運用する。

**概要：**視覚障害者からのニーズに応じて 3D モデル（立体模型）を作成し、送付するサービスの試験運用である。

**必要性：**言葉だけで説明されても正しく理解できない視覚障害者にとってのリアリティには、3D モデルを通じてようやくアクセスできる。その手段を提供する。

#### 4-1-2. 協働上の成果

協働実施者には 3D モデル提供サービスのパイロット運用の実施とその過程での利用者（視覚障害者）のニーズや特性の把握、サービス運用のノウハウ蓄積が期待された。本研究期間中、協働実施者は当該役割を十全と果たした。加えてシンポジウム実施、特にその 3D モデル事前送付のための諸作業にも自発的・積極的に関与した。

当初、協働実施者は作業者を有期雇用し、3D モデルデータの探索・3D プリンタでの印刷・利用者への発送を移管し、本人はサービス実施状況の分析やノウハウの定式化に注力することを予定していた。しかしながら、新型コロナウイルス感染症対策の一環として、奉職する大学での研究補助員雇用ができない状態となり、上に示した諸作業を全て担当することとなった。教育活動や大学行政の合間を縫う形で提供サービスに取り組むこととなったが、寄せられたリクエスト 198 件に対しては、いずれも何らかの形で対応し、70%程度のリクエストで実際の送付を実施している。この実績は、3D プリンティングについての技術的習熟や視覚障害者の触察についての理解、サービスへの意欲があれば、実際に我々の企図するサービスは実施可能であることを例証したという点で重要である。

研究代表者と協働実施者は 10 年以上に渡り各種の研究を分担して実施してきた。この蓄積により本研究も相補的な推進が可能となった。新型コロナウイルス感染症拡大防止のための移動の制約により、2 年間の期間中、対面で議論の場を持ったのは 3 回（2019 年末のキックオフミーティング、2020 年 2 月の第 1 回シンポジウム、2021 年 10 月末の点字図書館視察）に留まったが、オンラインシンポジウムなどの活動を十分に連携して行った。

#### 4-1-3. 協働上の課題

##### 二つのボトルネックについて

今後、研究者の立場にある協働実施者から、事業主体にサービスを移管するに際しては、

1. 模型作成機材(3D プリンタ)運用・保守の技術サポート
2. サービス実施のノウハウ習得

がボトルネックとなることが認識された。期間中、社会福祉法人より提供サービスを実施したいという申し出を受けた。当該法人は、図書館物品流通にも強く本サービスとの親和性も認められた。しかしながら、3D プリンタの安定運用が容易でないこと、利用者との直接対応経験が豊富ではないことが問題点として浮上した。これらのボトルネック解消、ないし会費の手段として、

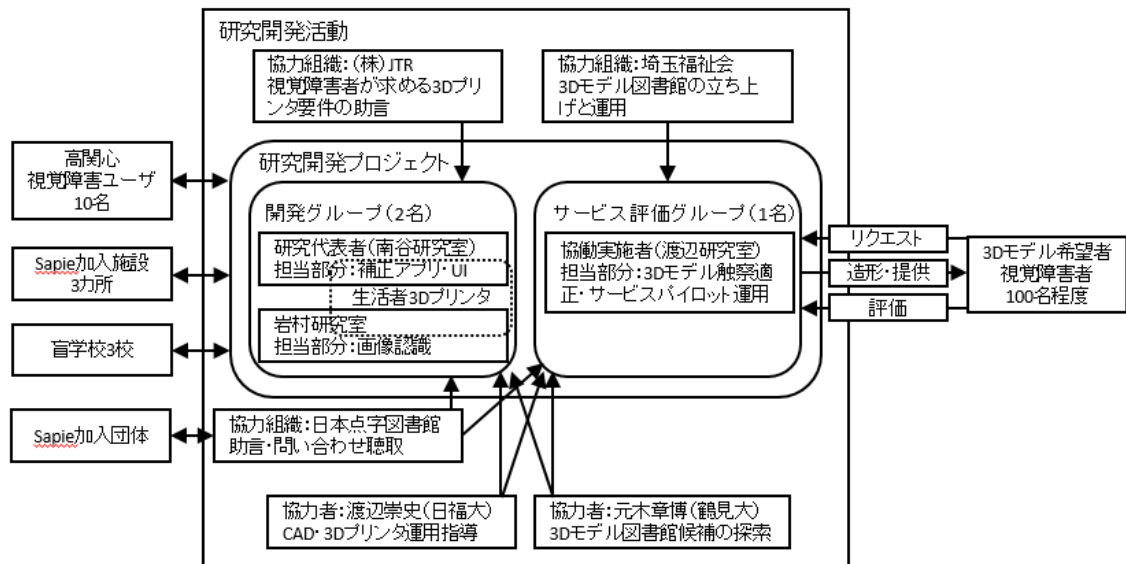
1. 3D プリンタの安定運用のためのファブラボ（共創工作施設）との協働

2. 視覚障害者を含む多様な利用者を考慮したユニバーサルサービス志向の図書館・博物館のサービス主体化が有効と考える。

### 人口統計学的像の精緻化とサービスモデルの導出について

前述したように、我々は触察の観点から、触察習熟者群（プロシューマ層を含む）・中間層・無関心群からなる視覚障害者の人口統計学的な像を導いた。今後、この像に年代などの要素を重ね合わせ一層精緻化したユーザイメージを持つことが必要であろう。また、このイメージ上に形成されるユーザクラスそれぞれにフォーカスするような形でのサービス創出が課題となる。

#### 4-1-4. 事業終了時点でのステークホルダーマップ



#### 4-2. 研究開発実施者

- (1) 開発グループ（リーダー氏名：南谷和範）

役割：「生活者 3D プリンタ」を開発する

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
南谷和範	ミナタニカズノリ	大学入試センター	研究開発部	准教授 ※2021年7月より教授
岩村雅一	イワムラマサカズ	大阪府立大学	工学研究科	准教授

- (2) サービス評価グループ（リーダー氏名：渡辺哲也）

役割：3D モデル提供サービスと貸し出し図書館を試験運用する。

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
渡辺哲也	ワタナベテツヤ	新潟大学	工学部	教授

#### 4-3. 研究開発の協力者

氏名	フリガナ	所属	役職（身分）	協力内容
渡辺崇史	ワタナベタカシ	日本福祉大学	健康科学部教授	CAD・3D プリンタ運用指導
和田勉	ワダツトム	日本点字図書館	図書制作部長	助言・問い合わせ聴取
国重清香	クニシゲサヤカ	埼玉福祉会	図書館事業部	3D モデル図書館の立ち上げと運用
岡村巧	オカモトタクミ	株式会社 JTR		3D プリンタ要件の助言
元木章博	モトキアキヒロ	鶴見大学	文学部教授	3D モデル図書館候補の探索

機関名	部署	協力内容
独立行政法人 大学入試センター	研究開発部	共同で研究開発成果を創出する 調査を共同で実施し、得られた調査データを共有する 特定の参画機関が所有する非公開データ等 を閲覧・活用する
国立大学法人 新潟大学	工学部福祉人間工学科	共同で研究開発成果を創出する 調査を共同で実施し、得られた調査データを共有する 特定の参画機関が所有する非公開データ等 を閲覧・活用する
公立大学法人大阪	大阪府立大学大学院工学研究科	共同で研究開発成果を創出する 調査を共同で実施し、得られた調査データを共有する 特定の参画機関が所有する非公開データ等 を閲覧・活用する

## 5. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

### 5-1. シンポジウム等

#### 5-1-1. プロジェクトで主催したイベント（シンポジウム・ワークショップなど）

年月日	名称	場所	概要・反響など	参加人数
2020/2/16	あなたの触りたいものを届けます	キャンパス・イノベーションセンター東京	研究概要・ビジョン、具体的なサービスを紹介し、3D モデル 10 数点を回覧	55
2020/8/8	コロナの時代に考える触ることの大切さ	オンライン	ゲストスピーカー：広瀬浩二郎（国立民族学博物館） 送付 3D モデル：コロナウイルス、スフィックス、カタツムリ	125
2021/2/6	触ることからのメッセージ	オンライン	ゲストスピーカー：柳楽未来（毎日新聞記者） 送付 3D モデル：日本列島地図セット、国会議事堂、新国立競技場、ピサの斜塔	105
2021/8/13	触れる体験の今とこれから	オンライン	ゲストスピーカー：川又若菜（視覚障がい者のための手でみる博物館）、伊藤宣真（日本点字図書館・ふれる博物館）、広瀬浩二郎（国立民族学博物館） 送付 3D モデル：赤血球、旧国立競技場、広島県産業奨励館、原爆ドーム	139

### 5-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

#### 5-2-1. 書籍、フリーペーパー、DVD など論文以外に発行したもの

- (1) 南谷和範、希望をつくる教育デザイン第 6 回 建物から考える「言葉で表し切れないものを知るることの大切さ」教育と医学、2020 年 5・6 月号、pp. 74-81、2020 年 5 月。
- (2) 南谷和範、希望をつくる教育デザイン第 7 回 3D プリンタが開く DIY 支援機器の世界、教育と医学、2020 年 7・8 月号、pp. 68-75、2020 年 7 月。



#### 5-2-2. ウェブメディアの開設・運営

なし

#### 5-2-3. 学会以外のシンポジウムなどでの招へい講演 など

なし

#### 5-3. 論文発表

##### 5-3-1. 査読付き ( 4 件)

- (1) Masakazu Iwamura, Yoshihiko Inoue, Kazunori Minatani, Koichi Kise, Suitable Camera and Rotation Navigation for People with Visual Impairment on Looking for Something Using Object Detection Technique, Lecture Notes in Computer Science, Proc. 17th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2020), pp. 495-509, 2020.
- (2) 岩村雅一・平林直樹・程征・南谷和範・黄瀬浩一、全方位カメラを用いた視覚障害者の写真撮影支援、知能と情報、32(3)、pp. 80-86 日本知能情報ファジィ学会、2020 年。
- (3) 岩村雅一・平林直樹・程征・南谷和範・黄瀬浩一、全方位カメラでの撮影とその後処理による視覚障害者の写真撮影支援、電子情報通信学会論文誌 D、104-D(8)、pp. 663-677、2021 年。
- (4) 渡辺哲也・細川陽一・丹下裕・大内進・金子健・南谷和範・橋本芳宏、視覚障害教育のための 3D プリンタによる立体模型の制作(1)、視覚リハビリテーション研究、10(2)、pp. 35-40、2021 年。

##### 5-3-2. 査読なし ( 0 件)

#### 5-4. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

##### 5-4-1. 招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

##### 5-4-2. 口頭発表 (国内会議 2 件、国際会議 3 件)

- (1) Masakazu Iwamura, Naoki Hirabayashi, Zheng Cheng, Kazunori Minatani, Koichi Kise, VisPhoto: Photography for People with Visual Impairment as Post-Production of Omni-Directional Camera Image, Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2020/4/25.
- (2) Kazunori Minatani, Construction of 3D model distribution and output ecosystem for visually impaired people, International Conference on Innovative Practices and Researches for Education and Rehabilitation of Persons with Visual Impairment (Divyangjan), Atal Auditorium, DSMNR University, Lucknow, UP, 2020/2/27.
- (3) Kazunori Minatani, Gen\_braille: Development of a Braille Pattern Printing Method for Parametric 3D CAD Modeling, HCII 2020 2020/7/10.

- (4) 岩村雅一・平林直樹・程征・南谷和範・黄瀬浩一、全方位カメラを用いた視覚障害者のための写真撮影支援システム VisPhoto、情報アクセシビリティをめぐる諸問題に関する研究集会、2020年2月。
- (5) 南谷和範・渡辺哲也・岩村雅一、視覚障害者のための3D造形物 配信・出力エコシステム構築に向けて、情報アクセシビリティをめぐる諸問題に関する研究集会、日本大学理工学部駿河台校舎タワースコラ3階 S304 教室、2020年2月23日。

#### 5-4-3. ポスター発表（国内会議 0 件、国際会議 0 件）

#### 5-5. 新聞報道・投稿、受賞など

##### 5-5-1. 新聞報道・投稿

- (1) 点字ジャーナル、51(4)、pp. 17-21、2020年4月25日、あなたの触りたいものを届けます——3Dモデルから広がる世界——。
- (2) 毎日新聞、2021年8月26日、東京2020+1:「四感」観戦記/2 世界変える雄姿に触れ。
- (3) 点字毎日、2021年9月5日、ルポ・最前線を行く「触る」意義を考える 先月13日、オンラインでシンポジウム。

##### 5-5-2. 受賞

- (1) 南谷和範、日本図学会第12回デジタルモデリングコンテスト最優秀賞、パラメトリック・ピサの斜塔—視覚障害者のCAD手法の実例として—、2020年12月。

##### 5-5-3. その他

なし

#### 5-6. 特許出願

##### 5-6-1. 国内出願（0 件）

##### 5-6-2. 海外出願（0 件）

#### 6. その他（任意）

なし