

ボタンひとつで3Dプリントが体験できるシステムの提案と運用

高橋 治輝* 白井 義人* 松村 耕平*

概要. 新しい技術を人に使ってもらうことは難しい。ましてや研究段階のシステムとなるとなおさらである。本稿では、3Dプリンタに興味のない人たちに3Dプリントを体験させることを目的として、簡単なボタン操作のみで3Dプリンタのすべての工程を体験可能なシステムを提案する。ボタンを押すことで3Dプリンタは自動で造形を開始し、造形中の造形速度を変化させる。システムを1ヶ月間に渡って運用したところ、オペレータ不在の状態であるにも関わらず166回の造形が行われた。また、体験者へのインタビューからシステムによって3Dプリンタに関する理解や興味が深まったことが示された。

1 はじめに

3Dプリンタは、ここ数十年で著しく進歩したデジタルファブリケーション技術のひとつであり、2009年の熱溶解積層方式(FDM)3Dプリンタの特許満了を皮切りに、より扱いやすく安価になった。結果として、パーソナルファブリケーション[5]と呼ばれる潮流が生まれ、さまざまなトレンドも生み出した[8]。HCI分野でも数多くの研究があり[2]、たとえば、3Dプリンタを用いたデバイスの設計は主要な研究領域である[1]。2024年現在、Bambu Lab¹が手掛けた3Dプリンタが大きな注目を集めている。洗練されたマシンは、キャリブレーションやエラー検知の自動化、高速造形、自動素材供給システムによるカラー造形をも実現しており、TIME誌のThe Best Inventions of 2022に選出される成功を収めた。低速でしばしば造形に失敗する従来の3Dプリンタ像は、払拭されつつあると言って良いだろう。

こうした進歩がある一方で、依然として3Dプリンタを使用するまでにはさまざまな障壁がある。3Dプリンタがいくら扱いやすくなっても、自分が作りたいものの3Dデータを入手する作業が残っている。また、パラメータの選択や材料の選定といった、3Dプリンタに関する最低限の知識、安全な利用方法やトラブル対応についても知る必要があるだろう。さらに、3Dプリンタの購入や利用可能な場所へのアクセス、そして積極的にその環境を利用するという動機も必要である。いくら安価で扱いやすくなろうとも、その人が「3Dプリンタで作る」という動機を持っていない限りは使用に至らない。依然として3Dプリンタを使用したことのない人は多くおり、その結果、大学の施設やファブスペースが上手く活用されずに閑散としてしまうことが起こり得る。

本稿では、3Dプリンタを「どんな形であれ一度でいいから試してみる」ことが重要だという考えに

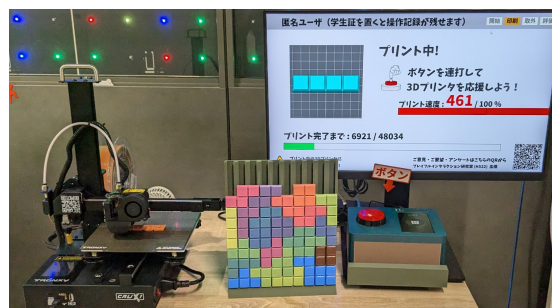


図 1. 提案システム。ボタン操作だけで3Dプリントが体験可能なシステムを大学の廊下で長期運用した。

基づき、興味がない・知らない人たちに3Dプリントを体験させるシステムを提案する。一度でも体験することができれば、そのユーザは3Dプリンタを使ったことがあると主張したり、知った気になれたりする。また、自分でも使ってみようという動機にも繋がるだろう。提案システムは、ボタン操作(押下、連打、長押し)のみで3Dプリンタの工程に関わることができる設計とした(図1)。ボタン操作によって、体験者は造形対象をルーレットで選び、造形中の3Dプリンタを応援し、造形物の仕上がりを値踏みできる。造形物はテトリスのブロックになっており、ホルダーに移す作業を組み込むことで造形物の取り外しを動機づける。これにより、事前の知識や3Dプリンタを管理するオペレータも不要な運用の仕組みを実現した。立命館大学の廊下で1ヶ月間の実運用したところ、166回の造形が行われ、ボタンは約2.7万回押下された。体験者に対して半構造化インタビューを実施し、システムの利用のされ方を明らかにした。

2 システムデザイン

2.1 3Dプリンタ体験システムの要件

先行研究や3Dプリンタの性質を踏まえ、3Dプリンタを体験させるシステムの要件を整理する。

Copyright is held by the author(s).

* 立命館大学

¹ <https://bambulab.com/>

単純かつ簡単に操作可能なインターフェース (D1): 3D プリンタのユーザは、3D モデリングソフトウェア、造形データを作成するスライサ、3D プリンタのホストアプリケーションなどを横断的に使用する。こうしたツールの一部は初心者でも利用可能な“low thresholds”な設計 [9] になっているが、ソフトウェアの準備と習熟という環境構築に対する障壁は残っている。本稿では、3D プリンタに触れ合える体験を提供することを目指すことから、こうしたソフトウェアの使用を排除する。体験者にはボタンとシステムの状態を表示するディスプレイという単純かつ簡単に操作可能なインターフェースのみを与える。

事前準備をせずとも利用可能 (D2): 3D プリンタを利用するためには、前述のようなソフトウェアを準備するか、環境構築された据え置き PC にアクセスしなければならない。そして、自分が行いたい造形に関して最低限の知識が求められ、作りたいものの 3D モデルを準備する作業も必要である。しかし、初心者はこうしたすべての段階で躓く可能性があることが知られている [6]。提案システムでは、この事前準備すら排除しており、造形データは事前にパラメータ調整をした状態でシステム側が提供する。3D モデルの選択方法はルーレットになっており、ボタン押下によってランダムに選出される。

体験者へのフィードバック (D3): 3D プリンタにはコンピュータ黎明期のバッチ処理 [2] のような側面があり、しばしば動作に関するフィードバックに欠けている。たとえば、温度の上昇など時間のかかる処理は何が行われているかがわかりづらく、ボタンを押しても何も反応しないように感じるという問題が生じ得る。そこで、温度の制御が必要な工程に至った際には、現在と目標の温度を示すインターフェースを表示する。さらに、温度を上昇させる命令を送信すると同時に、ベッド全体を周回するダミーの挙動も加えた。これによって、3D プリンタがボタン押下に即座に反応したと見せかける。

オペレータ不在でも利用可能 (D4): 3D プリンタに精通したオペレータは、初心者の 3D プリンタ利用において重要な役割を担っており、彼らから十分なサポートが得られないと、初心者はさまざまな障壁に直面してしまう [6, 4]。メイカースペースなどであれば精通したユーザが多くいるが、こうした空間で居心地の悪さを感じる人もいることが報告されている [10]。提案システムは、オペレータが不在でも利用可能なように設計しており、かつ誰でもアクセス可能なオープンな場所で運用する。体験者が必要な作業を極力取り除き、もし作業を求める場合はその旨をディスプレイに表示する仕組みとした。

いつでも体験可能 (D5): 造形中の 3D プリンタに対しては何も体験することがなく、完了するまで 3D プリンタを眺める時間になってしまう。Willis が指摘するように、素材への直接的なはたらきかけ



図 2. 提案システムが出力するテトリスのブロックと Rainbow Filament による色の变化。

のない工作機械は、伝統的な手芸・工芸で見られた創造的プロセスや材料の理解といった機会を損失している [13]。さらに、造形が完了したあとの出力物を回収しなければ、次の造形を体験することができない。提案システムは、いつでも体験可能な仕組みとして、ひとりのユーザに全工程を達成させるのではなく、その場に居合わせた体験者がその時に必要な作業に従事するという分担を目指した。そして、造形中の 3D プリンタに対して、ボタン連打によって造形速度が上昇する「応援」を実装した。つまり、造形の開始、造形中の速度変更、造形物の回収と次の造形の準備をした人がすべて異なる可能性がある。

造形失敗の回避 (D6): 造形失敗は、造形が中断されるだけでなく、3D プリンタに幻滅してしまう原因になり得る。ハードウェアの整備不良、材料不足、物理的なトラブルなどさまざまな原因によって生じ、それらを突き止めて解決するためにも知識やスキル [11]、オンラインヘルプの有効活用 [7] が求められる。Benedetti らが、初心者向けペイントシステムの要件として最低限の品質を保証する Safe playground [3] が重要であると述べたように、造形の失敗を恐れずに体験できる仕組みが必要である。完全な失敗の回避は難しいが、提案システムでは、造形データは比較的造形が容易な形状にして、3D プリンタのベッドに PEI シートを採用して造形の安定性を高める予防策を講じた。このシートは高温時に溶解したプラスチックと強固に接着し、低温時に容易に剥がれるという特性がある。

プレイフルな操作・出力結果 (D7): 事前に用意したデータを造形させるだけでは、3D プリンタに対する十分な関心が得られないかもしれない。また、造形失敗の回避のために単純な立方体や円柱などの造形物を選ぶと、出力物を魅力的に感じず、取り外し作業に従事してもらえないかもしれない。すなわち、提案システムで体験できる操作や造形結果は体験者の興味関心を引くものでなければならない。そこで、提案システムには、プレイフルな 3D プリンタ体験を目指したエンタテインメント要素を導入した。まず、ルーレットで選択される対象にはテトリスのブロックを採用し、3D プリンタとともにホルダーを展示する (図 2 左)。ブロックの形状は造形が容易であり、テトリスの進行具合に合わせてルーレットを止めたり、テトリスで遊ぶために出力物を回収したりする動機付けにもなる。そして、材料は造形

ボタンひとつで3Dプリントが体験できるシステムの提案と運用



図 3. ディスプレイに表示されるシステム画面. ユーザのボタン操作や3Dプリンタの造形工程に応じて画面を書き換える.

を繰り返すたびに色が変わっていく iSANMATE の PLA+ Rainbow Filament² を選択した (図 2 右). さらに, ボタンの脇に配置した NFC リーダに学生証を乗せることで, 自分が各操作を行ったことを記録して主張できる仕組み, 造形物を回収したあとにその出来を値踏みできる工程を実装した.

2.2 造形工程ごとのデザイン

前述の要件に従ってデザインした提案システムの造形工程について述べる. 対象となる造形工程は, 造形開始, 造形中, 造形完了であり, ディスプレイの画面は図 3 のように遷移する.

造形開始: 提案システムは, ルーレットを表示し (図 3: 造形開始), 体験者がボタンを押下する選択することで造形データが選択される. 造形データは, テトリスの 7 つ基本形状に加えて, デバッグ用に用意した「R」の輪郭を押し出した形状の 8 種類である. なお, この「R」の造形データは, 数日間の動作検証後に削除予定であったが, 体験者の意見を反映してそのまま残した. 詳細は考察を参照されたい.

造形中: 造形データが選択されると, 提案システムはノズルとベッドの温度上昇を伝える表示 (温度を示す 2 つのバーとそれぞれの目標温度を示すインジケータ) へと画面を切り替える. また, 温度上昇命令を送信すると同時に, ノズルを原点へ移動させ, ベッドの周囲を 2 周分だけ周回させる. これによって, ボタン操作に即座に反応したように感じさせ, 温度上昇中の待機時間を極力短く感じさせる. 温度上昇が完了すると, 提案システムは造形の情報を伝える画面へと切り替えて, 造形速度を示すバーと進捗を示すプログレスバー, ボタン連打で 3D プリンタを応援できる旨のメッセージを表示する (図 3: 造形中). 造形速度は 50% から始まり, ボタン押下で 10% だけ, 最大でバーの最大値をはみ出して 500% まで上昇する. また, 操作せずに放置すると毎秒 1% ずつ, 50% まで減少する仕組みとした.

造形完了後: 造形が完了すると, 提案システムは造形物をベッドから取り外す指示を表示する. 3D プリンタの冷却を待ち, 取り外しが正しく行われたか確認させる必要があることため, 複数の写真と説明文で構成された画面とした (図 3: 造形完了). 画

面上部のメッセージは, 温度が 40 度を下回るまでは「冷却中」, 下回ったあとは「取り外しにご協力ください」と表示が切り替わる. すべての作業を終えたあと, ボタンを 3 秒間長押しで次の画面へと進む. 最後に, プリントした造形物の評価を行う画面が表示される (図 3: 評価). Good と Bad の項目の間を赤い枠が交互に移動し, 体験者はボタンの長押しでいずれかの評価を下す. なお, この画面で放置し続けると自動的に開始画面へと戻る. また, 評価項目の下部には, 造形に関わった体験者の情報を表示するようにした.

3 評価実験

提案システムの体験者が, 3D プリンタに対して示す反応を知るために評価実験を実施した.

3.1 実験方法および環境

提案システムを立命館大学大阪いばらきキャンパス H 棟 5F の廊下に設置し, 通りかかった人たちに体験させる方法を採用した. このフロアには, 同大学の情報理工学部 (実世界情報コース) が配置されており, 各研究室のメンバーや講義を受ける学生の往来がある. また, 運用中にボタンを押した人を無作為に選んで半構造化インタビューを実施した. 提案システムの通知機能を使用し, ボタンが押されたと同時に著者が体験者にインタビューを申し込み, 合意が得られた人に対してのみデータを収集した. そのため, 複数の体験者に対して同時にインタビューを行うことがあった. なお, システムにアンケートの QR コードを表示していたが, ほとんど回答されなかったため評価には用いないこととした.

3.2 データの収集と分析

提案システムは, 選択された 3D モデル, ボタン押下の時刻と回数, 各工程が完了した時刻をログに書き出す. 分析の対象は, 2024 年 7 月 11 日から約 1ヶ月後の 8 月 9 日までとする. 造形中にトラブルが発生したもの (造形完了が記録されていないログ) は分析対象から除いている. インタビューの項目として, 名前と所属, 3D プリンタの使用経験, システムをはじめて利用したか, システムの体験で 3D プリンタについて理解できたことはあるか, 自分が作った感があるかを尋ねた. ボタンを押すタイミングは

² <https://www.isanmate.com/product/pla-plus-matte-rainbow-color-3d-filament>

体験者によるため、造形の状況や体験者の返答に応じてインタビュー内容を掘り下げ、適宜システムの補足説明を行った。インタビューの内容は合意を得た時点から録音を開始し、書き起こしてコーディングを行った。

3.3 結果

造形記録

図4に造形回数を示す。合計で166回造形され、平均は21回、95%信頼区間は15から26回である。また、実験開始時に用意した材料を7月29日に使い果たしたため、同種のフィラメントへ交換した。

各工程に要した時間を図5に示す。このデータには、提案システムの前を通りかかる人物がほとんどいないと思われる夜間の時間や造形に問題が生じた日付(次節を参照)も含まれる。そこで、夜間の時間として19時30分から9時³と8月4日、6日を除いたフィルタ済データも同図に掲載した。各ブロックの造形には、平均で2時間6分33秒かかっており、最短で1時間5分6秒、最長で2時間36分19秒であった。なお、「R」の造形は平均で23分5秒である。完了から取り外し、すなわち造形物を回収して図3の「造形完了」画面の作業を終えるまでに要した時間は、中央値が24分1秒、最長で17時間20分14秒であった。フィルタ済データでは、中央値が19分6秒、最長で14時間19分23秒である。取り外しから次の造形、すなわちルーレット画面が表示されている時間は、中央値が9秒、最長で13時間13分16秒であった。フィルタ済データでは、中央値が11秒、最長で3時間59分52秒である。

実験中に生じた問題

実験期間中、何度か造形を中断せざるを得なかった問題が生じた。図6aは、体験者が造形物を残したまま次の造形を行ったため、ノズルと造形物の衝突および造形位置のずれが生じた。実験初日に起こった問題であり、これを受けて取り外し作業のボタン押下を長押しにするなどの対策を講じた。図6bでは、途中まで造形した造形物を残してノズルが後方にずれてしまっており、同様な問題が実験期間中に2度発生した。調査したところ、これは3Dプリンタの電源が瞬間的に落ちたためであることがかった⁴。図6cのように、X軸の端点を固定するネジに緩みが生じている様子も発見した。いずれの問題も、発見から数時間程度で対応し、造形失敗した造形物の回収と各種点検、システムの修正を行った。

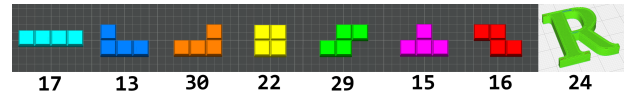


図4. 造形回数. 約1ヶ月間で166回の造形が行われた。

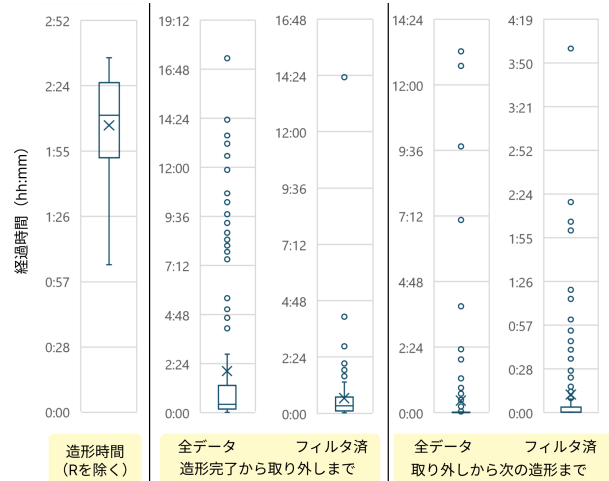


図5. 各工程に要した時間. フィルタ済みデータでは夜間と問題があった8月4、6日を除いた。

ボタンの操作記録

ボタン押下の合計回数は27,735回、その中で造形中の連打は26,173回であった。NFCリーダーによって12名(著者らのものを除く)の教職員証および学生証番号が記録されていたが、26,769回は匿名状態での押下であった。造形速度に注目すると、最もボタンが多く押されたのは490%から500%と表示されているときであり、その回数は2,446回となっている。次点が50%から60%のときで817回、これら以外の造形速度のときはいずれも約400回であった。

一日あたりの押下回数が最も多かったのは7月16日の3,012回であり、大学の定期試験や夏期休暇期間となる翌週以降は押下回数が減少している。休日は押下回数が少なくなる傾向があり、一日あたりの最低回数を記録した7月21日(1回)、次点で少なかった7月28日(77回)はいずれも日曜日であった。

インタビュー結果

合計で10組に対して実施され、回答者は15名(男性13名、女性2名)ですべて大学生であった。タイミングは、4組が造形中のボタン連打時、6組が造形完了および造形開始時であった。8名がシステムの体験以前に3Dプリンタの利用経験があり、9名がインタビューを受けた時点でシステムを初めて体験したと回答した。システムへの反応は概ね好意的で、3名が外で展示されていて誰でも体験できる点やボタンを押すだけで参加できる点を評価した。

ボタンを押した理由として主だったものは、「ボタン押下を促すメッセージが表示されていたため」、

³ 夜間の時間は、立命館大学の講義時間を参考に決定した。

⁴ 8月4、6日に実験実施地周辺で落雷による瞬間停電があった。図6bを発見する1時間程度前に報告されている。

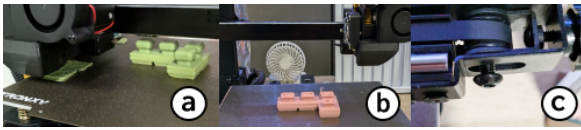


図 6. 運用中に生じた造形エラー

「ボタンがあったらつい押ししてしまう」、「面白そうだと思ったため」である。システムを複数回体験している者の中には、「造形完了のタイミングを狙って押しに来ている」、「前を通りかかるたびに押ししている」といった回答もあった。1名（ペアでインタビューを受けた者の片方）が、「ボタン押下で不利益があると思って自分は押さなかった」と答えた。

3Dプリントを体験したことによる発見について、3Dプリント未経験者からは、「ボタン押下で造形速度が変化する」、「出力したものが意外と硬い」、「線を引くように内部を造形している」ことが理解できたと回答があった。3Dプリンタ利用経験がある者は、「造形中でも造形速度が変えられる」、「テトリスの形状がサポート無しで造形可能である」、「色が変化する材料がある」ことを新しい発見として報告した。また、ボタンを連打しても造形速度の変化がわからなかったという体験者が1名あった。

造形された（あるいは造形中の）ものに自作感があるか尋ねたところ、11名が「自作感はない」と回答し、4名がどちらとも言えない反応を示した（悩んだ末に不明瞭な返答があったか、一緒にインタビューを受けた者に同意した）。自作感の要因として最も重要視されたのは、「自分がデザインしたものが作れるかどうか」であり、これに類するコメントが8名から得られた。また、「造形物を部品のように使って自分なりの作品ができれば自作感がある」、「関与したことで結果により大きな変化があれば自作感が得られる」という意見も得られた。

4 考察

4.1 システムの長期運用について

実験結果より、提案システムが十分に長期運用可能であることが確認された。この期間中、著者らはログや通知をチェックする以外の監視は行っていない。したがって、オペレータ不在で（D4）、いつでも体験可能（D5）な3Dプリント体験システムが実現できたとと言えるだろう。造形失敗の回避（D6）について、図6で示した問題が生じたものの、週1回程度のメンテナンスと停電などへの対策を講じることで十分に対応可能であると考えている。また、3Dプリンタの造形エリア周辺を監視するカメラを設置することで監視体制を強化することも可能である。

4.2 3Dプリント体験の機会提供

インタビュー結果より、ボタンひとつで操作可能なインタフェース（D1）によって、事前準備なし

（D2）で3Dプリンタに触れる機会を提供できたことがわかった。さらに、ボタン押下で速度が変化するフィードバック（D3）によって、体験者は造形速度の変化について理解することができた。一方で、提案システムで3Dプリントを体験できたとしても出力物に自作感はない。これは提案システムの課題のひとつである一方で、3Dプリンタを知った・体験したことによって生じた興味や欲求であるとも考えられる。体験者からは「ブロックの形状を設定できると良い」、「絵に描いたものが出力できると面白い」といったコメントが得られている。また、こうした簡易的な3Dモデリング機能を組み込むのは容易だが、新たな手間や障壁が生まれてしまっただけは本末転倒であるため、本来の目的の「3Dプリント体験」に必要なものを十分に検討すべきである。

造形記録の結果によれば、造形に約2時間、完了から回収に約20分、回収から次の造形までに約10秒の間隔がある。つまり、体験者が遭遇するのは造形中の3Dプリンタである場合が高く、ここに関わることができる機能を拡充することで体験を豊かにできる可能性がある。たとえば、「線を引くように内部を造形している」ことが理解できた体験者があったため、一時的にノズルを寄せて造形の様子を見せる「観察」が有用かもしれない。また、「結果により大きな変化があれば自作感が得られる」という意見を採用し、ノズルの動きや押し出し量を変化させて造形物の表面に「エフェクト」を付与する手法[12]を適用する機能も考えられる。一方で、造形物の回収と造形開始がセットになっており、体験者が造形開始（ルーレット）画面にのみ立ち会う機会はほとんどなかったことが考えられる。造形開始時点には、3Dモデルの選択やノズルの加熱、1層目の造形など、3Dプリンタの理解に関わる要素が含まれているため、これら上手く体験させる仕組みが必要である。

4.3 自発的なオペレータの登場

提案システムの想定利用者は3Dプリンタに興味がない人たちであるが、インタビュー結果によると、利用経験がある人たちにも利用されていた。これは、ルーレットによる選択やテトリスという題材、ボタン押下による介入といったプレイフルな操作と出力（D7）によって、経験者にとっても新鮮な体験になったためだと考えられる。「前を通りかかるたびに押ししている」というコメントや各工程の時間間隔から伺えるように、こうしたユーザは頻繁にシステムにアクセスし、回収や造形中のボタン押下を行っている。また、図6の造形エラー内の1件は、頻繁に体験している者から報告されたものであった。彼らは自発的にオペレータの役割を担ってくれており、3Dプリンタの維持やメンテナンスにも貢献していた。

興味深いことに、テトリスブロックではない「R」の造形物はすべて持ち帰られていた。インタビュー

を実施していく中で、この「R」を「当たり」と捉えてルーレットを止め、いち早く回収することに面白さや提案システム利用の動機を見出している体験者がいることが明らかとなった（多い者は10個近く造形物を回収していた）。このような反応は意図していなかったが、3Dプリンタに興味をもたせる方法のひとつとして非常に面白い知見であると考えている。ある種の競技性や運要素を取り込むことで、さらにシステムを発展させることができるだろう。

5 本研究の制約および展望

提案システムを設置した場所の都合上、体験者のほとんどが理系（情報系）の大学生だったという偏りがある。インタビューで得られたように、多くの体験者が3Dプリンタの存在を知っており、約半数は使用経験もあった。また、実験期間中に大学のオープンキャンパスなどの行事があり、外部の体験者もあったと思われるが、ログから分析できた情報以外は得られていない。さらに、ボタン押下に抵抗を感じた者はそもそもインタビューの対象となっていないため、提案システムに対する意見を得られていない。また、NFCリーダで読み取った情報は十分に活用できておらず改善の余地がある。

展望として、提案システムで3Dプリンタを体験したユーザをどのように次のステップに進めるか、という課題が考えられる。まず、システムに3Dプリンタに関する情報や知識を提供する仕組みが実装可能である。造形データ（3DモデルやG-code）や3Dモデル共有サイトの情報、使用される材料の知識などに関するTipsを各画面で表示することで、3Dプリンタに対する興味をもたせることができるかもしれない。そして、3Dプリンタをどこで利用できるかを示すことも重要である。著者らの大学では、ものづくりスペース「KOBO」が運営されており、学生は3Dプリンタやレーザーカッターなどが利用できる。こうした施設の存在を知らせれば、3Dプリンタの体験から実践につなげることができるだろう。さらに、システムを体験した人同士でメッセージを残すなどのコミュニケーションをとれる仕組みが実現できるのではないかと考えている。交流の場としての利用が促進できれば、体験者間の共同制作などに発展させることができるだろう。

6 実装

6.1 ハードウェア

提案システムは、3Dプリンタとボタン、ディスプレイ、小型コンピュータ（HP EliteDesk 800 G1 Mini PC）で構成されている。提案システムで使用する3Dプリンタは、シリアル通信によって造形命令（G-code）のやり取りが可能であればどのような

3Dプリンタでも構わない。本稿では、TRONXY⁵ CruX1を使用した。ボタンはタクトスイッチと押下部分からなっており、押しやすさと印象を重視して大きめのもの（直径60mm）を採用した。また、ボタン内部のLEDを点滅させるプログラムを書き込んだArduinoを接続している。学生証を読み取るためのNFCリーダには、SONY RC-S380/Sを使用した。これらを3Dプリンタで制作したケースに収納し、小型PCの上部に設置した。

6.2 ソフトウェア

実装にはPythonを使用しており、ユーザインタフェースやボタンの入力処理の実装にPygame、3DプリンタへのG-codeの送信にPyserialを用いた。提案システムは、造形対象となるG-codeをリストとして読み込んだ後、その内容を3Dプリンタに送信し続ける。造形中にボタンが押されたとき、システムはこのリストの先頭に造形速度を変更するためのG-code（M220）を追加する。システムの運用および分析のため、Loggerを用いてログを記録する。ひとつのログファイルは造形が開始された時点で生成され、ボタン操作、完了および取り外しのタイミングを記録する。また、ログの記録タイミングに合わせてSlackにメッセージを送信する機能も実装した。

6.3 3Dモデル

テトリスの3DモデルはRhinocerosとGrasshopperを用いて設計した。形状やホルダーに装着可能とする仕組みは、Thingiverseで共有されているAnalog Tetris⁶を参考にした。3DモデルのスライスにはUltimaker Curaを使用し、基準となる造形速度を50mm/sに設定してスライスした。なお、各ブロックの造形には100%の造形速度で約80分要する。

7 おわりに

3Dプリンタに興味がない人を対象として、ボタンひとつで3Dプリント体験が可能なシステムを提案した。体験者は、ルーレットを止めることで造形を開始したり、造形中の3Dプリンタをボタン連打で応援したりする方法で3Dプリンタに関わることができる。評価実験として、提案システムを誰でもアクセス可能な場所で1ヶ月間運用した。造形されたデータを記録し、体験者へインタビューでシステムの利用され方について明らかにした。さまざまな新興技術が利用可能になる一方で、それらを知らなかったり、体験する機会がなかったりする人は依然として多い。本研究は、3Dプリンタを題材として、そういった技術を「一度でいいから試してみる」ための機会を提供するためのシステムを目指した。

⁵ <https://www.tronxy3dprinter.com/>

⁶ <https://www.thingiverse.com/thing:2974176>

参考文献

- [1] R. Ballagas, S. Ghosh, and J. Landay. The Design Space of 3D Printable Interactivity. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 2(2), jul 2018.
- [2] P. Baudisch and S. Mueller. Personal Fabrication. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 10(3-4):165-293, 2017.
- [3] L. Benedetti, H. Winnemöller, M. Corsini, and R. Scopigno. Painting with Bob: assisted creativity for novices. *UIST '14*, p. 419-428, 2014.
- [4] A. Berman, F. Quek, R. Woodward, O. Okundaye, and J. Kim. “Anyone Can Print”: Supporting Collaborations with 3D Printing Services to Empower Broader Participation in Personal Fabrication. *NordiCHI '20*, 2020.
- [5] N. Gershenfeld, 田中浩也, 糸川洋. Fab—パーソナルコンピュータからパーソナルファブリケーションへ. *オライリージャパン*, 2012.
- [6] N. Hudson, C. Alcock, and P. K. Chilana. Understanding Newcomers to 3D Printing: Motivations, Workflows, and Barriers of Casual Makers. *CHI '16*, p. 384-396, 2016.
- [7] N. Kwon, T. S. Sun, Y. Gao, L. Zhao, X. Wang, J. Kim, and S. R. Hong. 3DPFIX: Improving Remote Novices' 3D Printing Troubleshooting through Human-AI Collaboration Design. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, 8(CSCW1), apr 2024.
- [8] C. Mota. The rise of personal fabrication. *C&C '11*, p. 279-288, 2011.
- [9] B. Shneiderman. Creativity support tools: accelerating discovery and innovation. *Commun. ACM*, 50(12):20-32, dec 2007.
- [10] D. Smit, G. Regal, and C. Gerdenitsch. Making Your Makerspace: A Tale of Tension. *TEI '24*, 2024.
- [11] B. Subbaraman and N. Peek. 3D Printers Don't Fix Themselves: How Maintenance is Part of Digital Fabrication. *DIS '23*, p. 2050-2065, 2023.
- [12] H. Takahashi and H. Miyashita. Expressive Fused Deposition Modeling by Controlling Extruder Height and Extrusion Amount. *CHI '17*, p. 5065-5074, 2017.
- [13] K. D. Willis, C. Xu, K.-J. Wu, G. Levin, and M. D. Gross. Interactive fabrication: new interfaces for digital fabrication. *TEI '11*, p. 69-72, 2010.