

ものづくりにおける基礎技能習得と
制作意欲維持を目的とした
デジタルファブリケーション
体験の設計

総合情報学研究科
知識情報学専攻

インタラクティブデザインの理論と実践

20M7103

小林 光

論文要旨

1 はじめに

デジタルファブ리케이션とは、デジタルデータをもとにデジタル工作機器を用いてモノを制作する技術である。近年、この技術を利用できる施設は企業や大学に留まらず、コストの低下によって一般家庭でも利用できるようになっている。一方で、デジタルファブ리케이션には新規参入が難しいという問題がある。これは、「難しそう」などの先入観と、「データ作成」や「作品の構想づくり」など実際の制作における問題が要因として挙げられる。これらの要因が制作意欲に影響するため、新規参入が難しいとが考えられる。そのため、初学者が制作意欲を失わずにデジタルファブ리케이션を用いたモノづくりを行うことが可能な体験を設計する必要がある。

そこで、本研究ではデジタルファブ리케이션に利用されるデジタル工作機器の一つである3Dプリンタを対象に、基礎技能習得と制作意欲維持を目的として一通りの創作活動を行う体験の設計を行う。

2 体験設計

Hudsonらは、3Dプリンタにおける初学者の特徴として、初学者は3D空間に不慣れである点や、ツールに関わる知識量の欠乏を挙げている[1]。知識量の欠乏とは、専門家が新しい技術やツールを使用することから制作物を考えるのに対し、初学者は自分の望むものを制作することからツールを用いるため、制作するまでツールの難しさを知らないことである。そのため、初学者は自分の望むものを上手く制作できないため、制作意欲の維持が難しいと考えられる。

そこで、これらの初学者の特徴を考慮しつつ、本研究は初学者が自由な制作をするための体験プロセスを4つのStepで設計した。Step1は、3DCADの操作を内包したゲーム「3DMaze(図1)」を実装する。ユーザは3DMazeをプレイしながら3D空間に順応する。Step2は、体験の制作に必要な操作を学習する動画を実装する。ユーザはその動画を視聴しつつ操作を学ぶ。Step3は、アイデアの創出を行う。ユーザのアイデアの創出を促すために、使用できる3Dデータの制限を設けた。また、3Dデータを画像から選択可能なオブジェクト選択ツールを実装する。この選択ツールを用いて、ユーザは使用する3Dデータを選びつつアイデアの創出を行う。Step4では、ユーザは動画で学んだ3DCADの基本的な操作を用いて、オブジェクト選択ツールで選択した3Dデータを元に、オブジェクト同士を組み合わせることで3Dデータの制作を行う。

この体験プロセスから、興味の獲得などに用いられるストーリーテリング手法による体験のストーリー構築を行った。ストーリー構築には、ナラティブ・アークという物語の構造理論を用いた。この手法では「提示部」、「上昇展開」、「クライマックス」、「下降展開」、「大団円」の5つの展開でストーリーを構成する。構築した体験ストーリーを図2に示す。提示部では、3Dプリンタに関する知識について説明を行い、上昇展開では体験プロセスの「3D空間への順応」、「3DCADの学習」、「アイデアの創出」を行う。クライマックスでは、「3Dデータの制作」を行い、下降展開では、体験の振り返りアンケートを行う。これらの体験を経て、ユーザは本研究目的である基礎技能習得と制作意欲維持を達成する。

3 実験

本研究で設計した体験の目的が達成可能であるかを確認するために、ユーザによる評価実験を行った。実験参加者は情報系の大学生男女10名であった。実験参加者は本研究で設計された体験

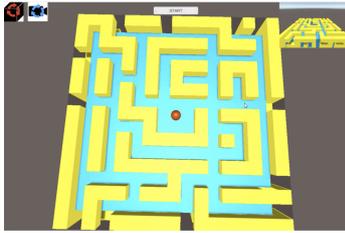


図 1: 3DMaze

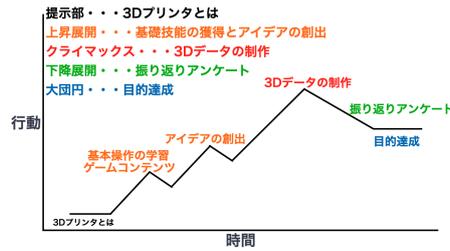


図 2: 体験ストーリー

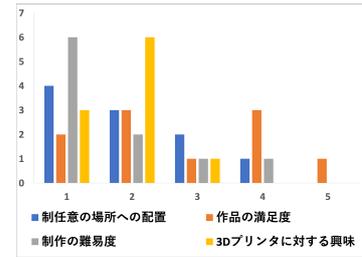


図 3: 制作に関する 5 段階評価

のストーリーに沿って体験を行ってもらい、評価は、3DMaze、操作学習動画、オブジェクト選択ツール、3D データの制作の各コンテンツについて評価してもらい、評価結果から本研究全体の評価を行った。制作する題材はペン立てを題材とした。

実験の結果、まず 3DMaze の評価として、適した難易度であると回答した参加者は 9 名であった。一方で、3DMaze 後の 3DCAD の印象について、10 名中 7 名が特になしと回答した。次に操作学習動画では、操作を学ぶ上で適した動画だったかという質問に対し、8 名から適していると回答が得られた。次に、オブジェクト選択ツールはアイデアの整理が可能かについて、7 名から可能であるという回答が得られた。また、参加者は各々で選択基準を設けて選択していることが確認された。最後に 3D データ制作では、オブジェクトを配置できたか、作品の満足度、制作の難易度、3D プリンタに対する興味が生まれたかの 4 件について、5 段階評価で回答してもらった。結果、図 3 のように 1 や 2 の高い回答が多く得られた。また、ユーザ観察にて、制作に使用する基本的な操作を問題なく扱う様子と、複数の参加者で本研究では取り扱っていない操作が行われたことを確認した。一方で、制作の難易度が難しいと回答した参加者からは、オブジェクトの微調整が難しいという回答が得られた。また、作品の満足度が低かった参加者からは、長い時間をかけて制作したいという回答が得られた。

以上の結果を踏まえて、制作時のユーザ観察において、全ての参加者が制作に必要な基本的な操作を問題なく使用できていたこと、複数の参加者が本研究では取り扱っていない操作を行ったことを確認した。特に本研究で取り扱っていない操作が確認されたことは、参加者が自身の作品を良くするために意欲的に行われたと考えられる。これらの結果から、本研究で提案した初学者の基礎技能の習得と制作意欲を獲得・維持が可能であることが結論づけられる。

4 おわりに

本研究では、3D プリンタを対象に、基礎技能習得と制作意欲維持を目的として一通りの創作活動を行う体験の設計を行った。実験の結果、本研究で設計された体験は、初学者が基礎技能の習得と制作意欲の獲得・維持が可能な体験であると示唆される結果が得られた。今後は、本体験で用いたコンテンツを改良することで体験の改善を行う。

参考文献

[1] Hudson, N. *et al.*: Understanding Newcomers to 3D Printing: Motivations, Workflows, and Barriers of Casual Makers, *Proc. CHI'16*, pp. 384-396 (2016).

目次

1	序論	1
1.1	デジタルファブ리케이션とは	1
1.2	デジタルファブ리케이션における課題	2
1.3	本研究の目的	3
2	関連研究	4
2.1	初学者が抱える問題	4
2.2	デジタルファブ리케이션に関する研究	6
2.3	体験者のモチベーションを考慮した研究	8
2.4	本研究の立ち位置	11
3	デザイン指針	13
3.1	解くべき問題の制約条件	13
3.2	デジタルファブ리케이션プロセスの設計	13
3.3	体験コンテンツのデザイン指針	21
3.4	ナラティブ・アーク	22
4	体験コンテンツの実装	25
4.1	3DMaze	25
4.2	操作説明動画	26
4.3	アイデア構想支援	26
4.4	体験ストーリーの構築	27
5	実験	31
5.1	実験指針	31
5.2	予備実験	31
5.3	予備実験結果	31
5.4	本実験	35
5.5	本実験結果	36
6	3D データの評価	43
6.1	評価方法	43
6.2	評価結果	43
7	議論	46
7.1	考察	46
7.2	体験の一般化	47
8	結論	50

1 序論

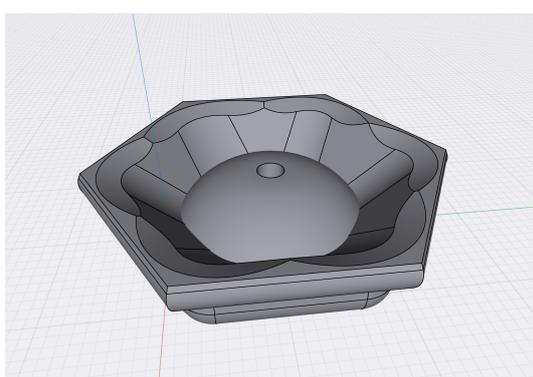
本章では、近年のデジタルファブリケーションと世界や日本におけるデジタルファブリケーションへの取り組みや課題について述べ、本研究の目的を明確にする。

1.1 デジタルファブリケーションとは

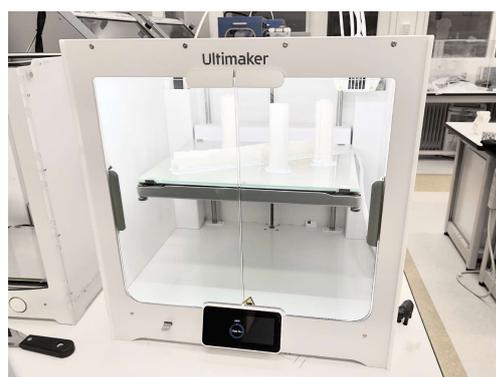
デジタルファブリケーションとは、3Dデータやaiデータ¹などのデジタルデータ（図1.1aをもとに、3Dプリンタやレーザカッタなどのデジタル工作機器（図1.1b）によってモノを製作する技術のことを指している [15]。また、物質を情報化したり、情報を物質化する技術の総称であり、デジタル化一辺倒ではなくどちらの方向へも自由に行き来するための技術とされている [23]。

近年の傾向として、矢野経済研究所が行った3Dプリンタ世界市場に関する調査²では、3Dプリンタ世界市場規模推移と予測を行った（図1.2）。この調査の結果、世界市場規模はCOVID-19の影響により2020年は前年比より減少する結果となった一方で、2021年以降需要が増加する見込みがなされている。この理由として、COVID-19による緊急事態によるサプライチェーンの分断によって利用する場の近くで製造できる点を挙げている。その他の傾向として、デジタルファブリケーションを一般利用可能になったことが挙げられる。今日ではデジタルファブリケーションを利用できる施設は企業や大学に留まらず、ファブリケーション施設と呼ばれるデジタル工作機器を利用可能な施設の登場やデジタル工作機器のコストの低下によって一般家庭でも利用可能になっている。これに伴い、2021年にFAB16³と呼ばれる学術研究者、デジタルファブリケーション領域の専門家、機材メーカー、政府関係者が一堂に集まり、様々な議論や催しが行われる世界会議が行われている。以上から、デジタルファブリケーションは世界中から注目されるコンテンツになっている。

また、日本においてもデジタルファブリケーションは注目されている。平成28年に総



(a) デジタルデータ (3D データ)



(b) デジタル工作機器 (3D プリンタ)

図 1.1: デジタルファブリケーションに用いられる機器とデータ

¹Adobe Illustrator ファイル：<https://www.adobe.com/jp/> (2021/12/20 確認)

²(2021/12/17 確認)

³<https://fab16.org/> (2021/12/17 確認)

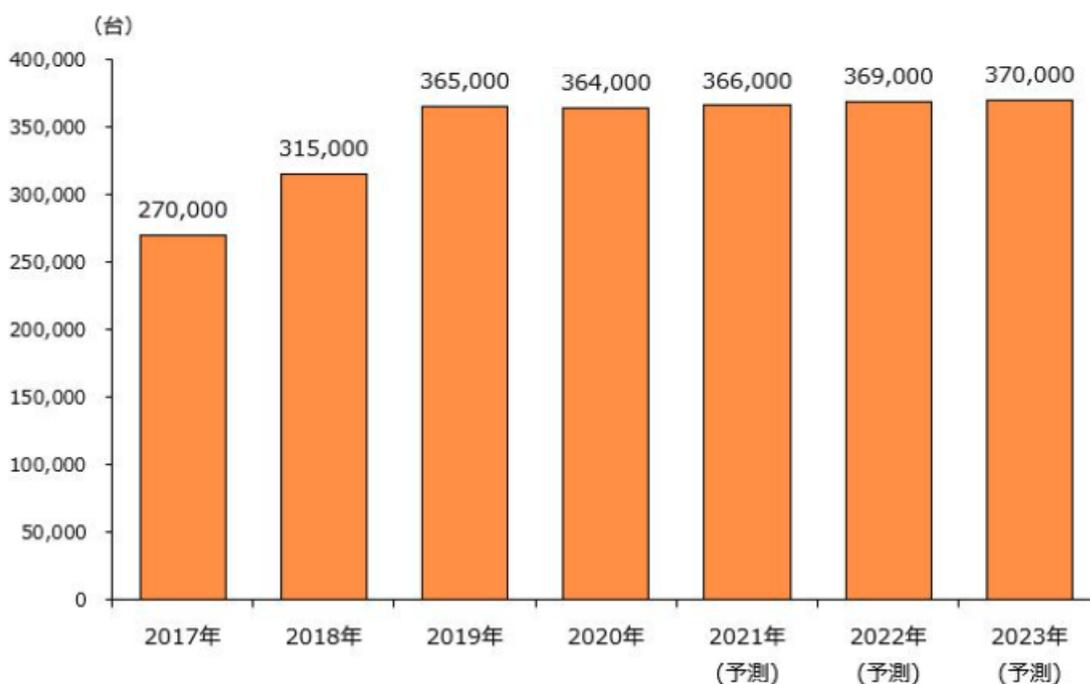


図 1.2: 3D プリンタ世界市場規模推移と予測（脚注1より引用）

務省より発行された「情報通信白書⁴」にてデジタルファブリケーションは製造業における就業形態の革新をもたらす可能性を秘めていると述べている。

近年では、経済産業省が発行する「2020年版ものづくり白書⁵」では、製造業のデジタル化として3Dデータの利用が重要であることを述べている。そのため、3Dデータを扱える「デジタル人材」の育成が急務であることを指摘している。しかし、日本では北米を中心に、STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育およびSTEMにArtを加えたSTEAM教育に基づく授業実践などと同様に、デジタルファブリケーションの教育事例は高等教育を始めとして少ないことが指摘されている [29]。そのため、デジタル人材育成に向けた教育の実践が必要である。これらのことから、デジタルファブリケーションは日本で注目される技術となっている一方で、その実践や教育現場での活用には未だ時間がかかると考えられる。

1.2 デジタルファブリケーションにおける課題

1.1節で述べたように、デジタルファブリケーションの利用は注目や検討される一方で実験や教育現場での活用には至っていない。この原因として、デジタルファブリケーションの新規参入が難しい問題が挙げられる。永井らは全国のデジタルファブリケーションファブリケーション機器を備えた工房（以下Fab施設と記す）を対象に現状の調査並びに整理を行った [25]。その結果、Fab施設の利用者が伸び悩む原因として、潜在的利用者の意識

⁴出典：総務省平成28年版情報通信白書、<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/pdf/index.html> (2021/12/17 確認)

⁵出典：経済産業省2020年版ものづくり白書 https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_pdf/index.html (2021/12/17 確認)

として以下の3つの問題が挙げられている。

- 制作 = 専門知識が必要というイメージから敬遠される
- Fab 施設のコミュニティが認知されていない
- 自分で造るよりも雑貨店で買う方が早い

また、本多らが行った日本全国のファブリケーション施設における調査では、デジタルファブリケーション初学者が直面する問題として以下の2つが挙げられている [28].

- データ作成の難しさ
- 作品の構想づくり

特にデータ作成の面では、3DCAD や 3DCG, Illustrator ツールなどの操作の多様さなど、数多くの問題が挙げられている。それに伴い、プログラミング学習やアートの分野で挙げられている目的のすり替えが起きていると考えられる [21][18]。これは本来は何かを「作成」することが学習の目的であったのに対して、学習していく上でプログラミング言語や CAD ツールなどを「覚える」ことが目的としてすり替わってしまうことである。これらの先入観や実際の制作の難しさ・ツールの多様さなどが、初学者のものづくりに対する制作意欲に影響し、新規参入が難しい要因となっている。そのため、本多らが行った調査で明らかになった初学者が直面する問題を調査し、それらを考慮した体験設計を行う必要がある。

1.3 本研究の目的

1.1 節で述べたように、デジタルファブリケーションは 2020 年の COVID-19 の流行によるサプライチェーンの分断によって、世界や日本国内においても注目される技術となっている。一方で、実践への取り組みや教育現場などへの活用には未だ難しいのが現状である。その原因として、デジタルファブリケーションの新規参入が難しい問題がある。これは、1.2 節で述べた永井らが行った調査結果のように、制作に関して専門知識が必要といった苦手意識があることや、本多らの調査結果のように、実際に初学者が制作する過程で直面する課題が明らかになっている。これらの要因が初学者の制作意欲に影響し、新規参入が難しい要因となっていると考えられる。これに対して、データの作成を直感的に行うシステムなどが開発されている [10][13]。これらは、データ作成を容易にすることが明らかになっている。しかし、使用するシステムを個人で用意することが難しいことや、システムによって制作出来るものに制約が存在する。また、初学者を対象に行った調査では、初学者は、デジタルファブリケーションに対するモチベーションの維持が難しいことや、デジタルファブリケーションの継続的な利用が難しいことが指摘されている [7]。そのため、初学者が制作意欲を失わずに段階的に学習しつつ、デジタルファブリケーションによるものづくりを行うことが可能な体験を設計する必要がある。

そこで本研究では、デジタルファブリケーションに利用されるデジタル工作機器の一つである 3D プリンタを対象に、基礎技能習得と制作意欲維持を目的として一通りの創作活動を行う体験の設計を行う。体験設計にあたり、先行研究で明らかになっている初学者が直面する課題を考慮しつつ体験を設計し、これをもとにユーザ実験を行い体験の評価を行う。

2 関連研究

本章では、初学者が直面する課題や近年のデジタルファブリケーションを対象とした研究を紹介しつつ、体験者のモチベーションを考慮した研究についても触れながら本研究の立ち位置を明確にする。

2.1 初学者が抱える問題

本多らは、全国のデジタルファブリケーションを行うことが可能である Fab 施設 8 箇所を対象にインタビューを行い、Fab 施設の運営状況やデジタルファブリケーション初学者支援の現状を明らかにすることを目的とし調査を行った [28]。この調査から、3D プリンタ初心者も直面する課題として、データの作成と作品の構想づくりの 2 つが挙げられた。これらの問題に対する取り組みとして、Fab 施設ではデジタルファブリケーションに関する機器やツールの講習会を開催することが挙げられている。また、実際にものづくりを行っている様子を見たり、参加者同士がコミュニケーションすることが有効であるといった回答が得られた。これらの調査を経て、本多らは今後の課題として、個人の現有スキルや使用機材などの違いを考慮した支援内容の設計や、利用者参画型の情報共有の仕組み構築が必要であると述べている。

Hudson らは、3D プリンタの利用経験者（以後カジュアルメーカーと記す）・プリントスタッフ・ファブリケーションの専門家に計 32 件のインタビューを行い、カジュアルメーカーがどのような障壁に直面するのかを明らかにすることを目的として調査を行った [7]。Hudson らの調査の結果、初学者が 3D プリンタで何を印刷するのかの計画から出力するまでの各工程で、障壁に直面していることが明らかになった。Hudson らはカジュアルメーカーがどのような目的を持って 3D プリンタを利用しているのかを表 2.1 のようにまとめた。この結果、Hudson らはファブリケーションの専門家と初学者の違いとして、制作における工程の違いがあることを述べている。専門家が、新しい技術やツールから制作物を考えるのに対し、カジュアルメーカーは、自分の望むものを製作することから制作に使用するツールを考える。そのため、初学者は実際の制作でツールの利用の難しさなどから挫折してしまう。また、Hudson らは、初学者が多くの工程で障壁に直面することから、制作に対するモチベーションの維持や継続的・長期的な利用は難しいと述べている。

表 2.1: Types of projects casual makers created (参考文献 [7])

より引用)		
Type	Users(/18)	Example Project
Artistic	8	Design and fabrication of new kinetic art installation
Novelties	6	Small figurines and toys not part of any larger theme
Personalized Gifts	5	Custom novelty rings and decor for a bridal shower
Utilities	5	Pill bottle organization system
Hobbies	4	Parts for small model racing cars
Academic	4	Test for just noticeable difference in size for psychology experiment
Entrepreneurial	3	Design of a new prosthetic

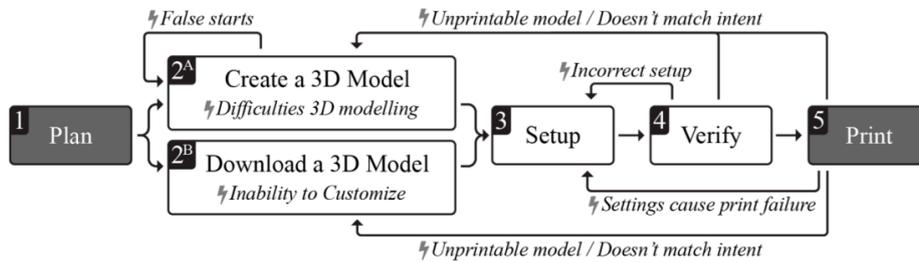
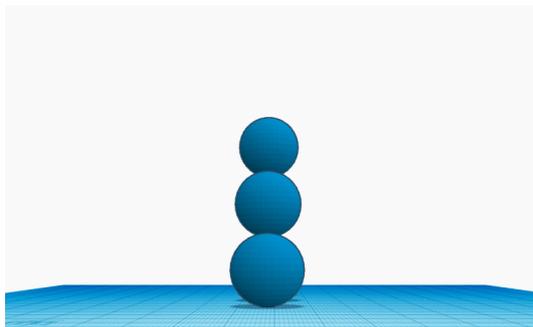
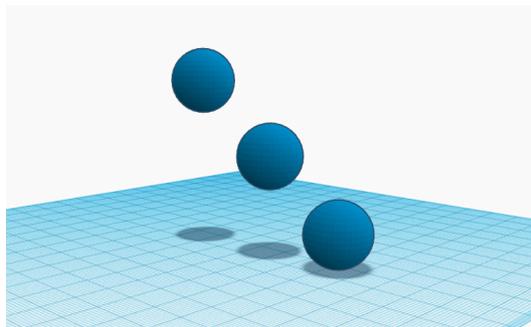


図 2.1: インタビューより作成されたワークフロー (参考文献 [7] より引用)



(a) 3DCAD を正面より見た図



(b) 3DCAD を斜め上から見た図

図 2.2: カジュアルメーカーに見られる 3D 空間の認識に対する課題 (参考文献 [7] より引用)

次に、Hudson らは図 2.1 のようなカジュアルメーカーのワークフローを作成している。カジュアルメーカーは特に序盤の部分（図 2.1 の 1 や 2A）で障壁に直面していることを指摘している。主な直面する障壁として下記の 4 つを挙げている。

- 間違ったスタートへの対処
- 複雑なモデリングソフトウェアの使用
- 3D 空間への理解
- 印刷するデータと出力結果の乖離

「間違ったスタートへの対処」では、カジュアルメーカーはファブリケーションの専門家と比較して、綿密な計画を練ることを嫌うことが挙げられている。「複雑なモデリングソフトウェアの使用」とは、カジュアルメーカーが用途に特化したモデリングツールから適切な 3D モデリングツールの選択が困難であることや、複雑な操作を伴うソフトウェアの学習に関する研究 [5] にも見られるように、カジュアルメーカーは一度失敗するとモチベーションを維持することが難しいと指摘されている。「3D 空間への理解」とは、図 2.2a, 図 2.2b のように 2D のグラフィックソフトとは違い、3D モデリングや 3DCAD のツールには奥行きがあり、カジュアルメーカーはそれを考慮した制作が行うことが難しい事がインタビューによって明らかになっている。「印刷するデータと出力結果の乖離」とは、3D プリンタは複雑な機器であり、出力の際には細かな調整が必要であるが、カジュアルメーカーにはそれを理解することが難しいことを挙げている。

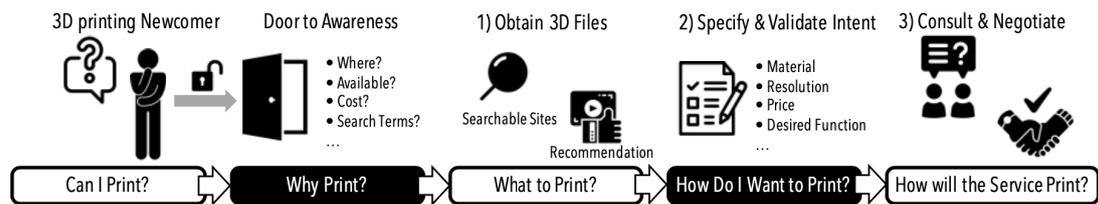


図 2.3: 新規利用者にすべき一連の質問 (参考文献 [2] より引用)

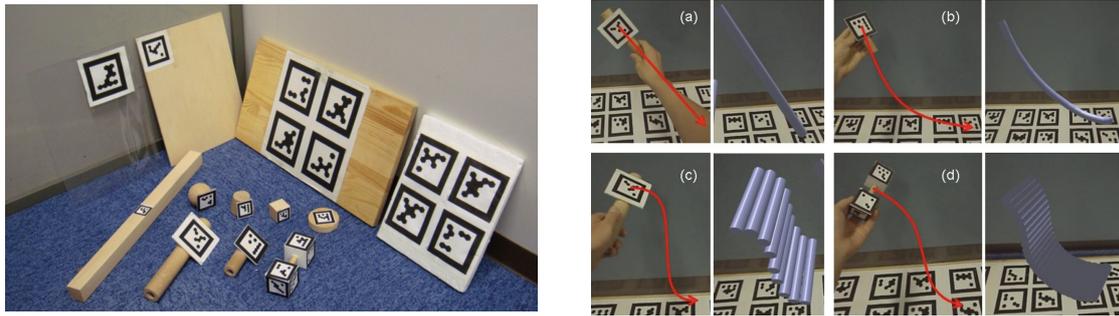


図 2.4: Mouse Tutor (参考文献 [20] より引用)

Berman は、「3D プリンタの新規利用者と 3D プリンタサービスに関わるスタッフとの間のコラボレーションを成功させるための課題を明らかにすること」を研究課題と定め研究を行った [2]. 研究の内容として、大学の 3D プリンタを利用できる施設のスタッフの観察とインタビューを行う調査と 3D プリントのアイデアを具体化するための障壁や課題を調査する研究の 2 つを行っている。調査の結果、Berman は 3D プリンタの新規利用者を獲得するためには、プリンタのメンテナンスや操作の技術的な詳細から切り離すのではなく、印刷コストの認識や他の人の印刷を見学する手段の提供、3D プリントのためのウェブリソースの吟味を行う必要であると述べている。一方で、近くに利用できるファブリケーション施設を探すことや 3D プリンタなどを利用する価値を知ることが簡単では無いとして、「なぜプリントするのか」といった動機が重要であるとしている。また、新規利用者に一連の質問 (図 2.3) をすることで、3D プリンタのコラボレーションを促進することが可能であると述べている。これらの質問に対する回答を事前に提供することで、3D プリンタの機能と操作を区別することが可能であり、新規利用者が参入可能になる可能性が広がると述べている。

2.2 デジタルファブリケーションに関する研究

塩出らは、3D モデリングツールの従来的なチュートリアルではマウス操作の理解が難しいという問題に対して、実際にソフトウェア上で自動的に動くカーソルに合わせ、マウスの位置を制御するチュートリアル「Mouse Tutor」の提案を行った [20]. この Mouse Tutor のシステム構成は XY ステージ、マウス、チュートリアルのプログラムを導入した PC で構成さ



(a) 実空間オブジェクトに付与されたARマーカー (b) AR空間上に表示されたオブジェクト

図 2.5: Situated Modeling (参考文献 [10] より引用)

れている (図 2.4). Mouse Tutor ではソフトウェアの操作方法のデモンストレーションを 5 ミリ秒後と記録し, XML 形式のファイルとして書き出される. このデモンストレーションで得たデータをもとに XY ステージを用いて, デモンストレーション時と同じ位置に移動することが可能である. また, チュートリアルではマウスの移動後にマウスのクリックやドラッグの起動の表示を行うことで, 操作を促すインタラクションが設定されており, ユーザがクリックやドラッグするまでチュートリアルが進まないように設定されている. このシステムと動画のチュートリアルの比較実験を行った結果, 動画のチュートリアルと比較して, 提案されたシステムではマウスの動きが掴みやすいといった意見や, ドラッグの起動がわかりやすいといった評価が得られている. 一方で, 動画のチュートリアルが視覚的情報を与えるだけなのに対し, 提案手法では物理的な情報を与えるため, 理解することに集中できないといった意見が挙げられている. また, チュートリアルを行う場合, デモンストレーション時の状況と同じ状況下で行う必要が制約としてあるため, 一般的な普及が難しいことが言及されている.

Lau らは, 実空間に配置するオブジェクトを 3D モデリングする際に, 従来のモデリング手法では実空間を意識することが欠けてしまうため, 実空間で適合するモデルの設計は困難である問題に対し, ユーザが 3 次元空間に直接実寸台の 3 次元オブジェクトを作成するシステム「Situated Modeling」を提案した [10]. この Situated Modeling では AR (拡張現実感) 技術を用いて, 実空間にあるオブジェクトと同サイズのオブジェクトを AR 空間上に表示することで, 実空間で適合するオブジェクトのモデリングを容易に行うことができる. このシステムの手法としては, 図 2.5a のように実空間にあるオブジェクトと同じオブジェクトをあらかじめ AR マーカーで呼び出せるように設定を行い, 動きをつけることでオブジェクトを連続で AR 空間上に表示するようなモデリングを行う (図 2.5b). また, 実空間のオブジェクトの向きを変更することで, AR 空間上で表示されるオブジェクトの向きも変化するため, 直感的なモデリングを行うことが可能である.

Fossodal らは, インタラクティブファブリケーションというデザインとファブリケーションの間に起きる齟齬を埋めることで, 素材とのインタラクションを可能にするため, CAD からデジタルファブリケーション機器をリアルタイムに成業するソフトウェアの提案を行った [4]. Fossodal らが提案したシステムの概要を図 2.6 に示す. 提案システムの構成として, ソフトウェアは Grasshopper というプログラミング言語によって Grasshopper とマシンコ

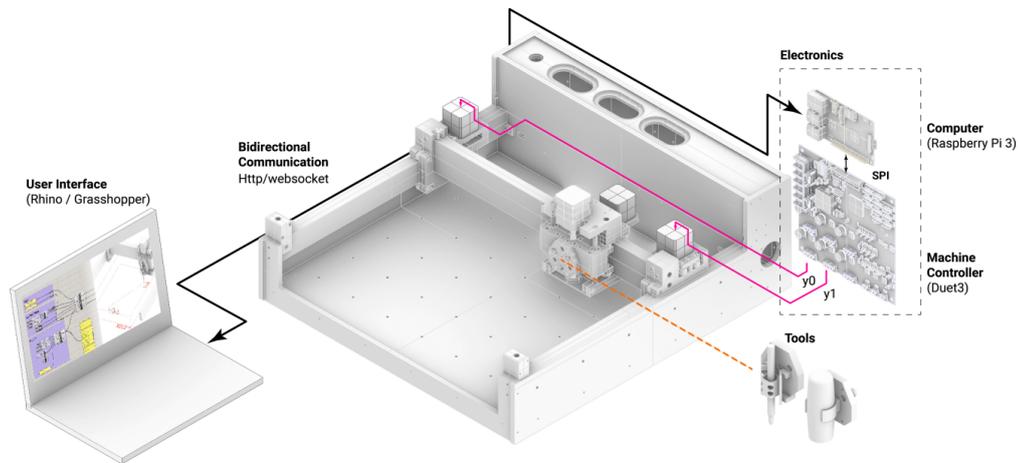


図 2.6: Fossodal らが提案したシステムの概要図 (参考文献 [4] より引用)

ントローラ間の http リクエストと Web ソケットによるリアルタイム通信を可能にしている。また、ハードウェアとして、Raspberry Pi と Duet3D コントローラを使用しており、同じ電子機器を使用する他のマシンにも容易に適用することが可能であるとしている。このシステムでは加速度やジャックなどのツールパスパラメータが材料の美観に与える影響を創造的に探索することを可能にしている。また、Fossodal らのシステムによってバーチャルな表現を物理的に行う際に、ユーザが通過しなければならないステップを最小限にすることが可能だと述べている。

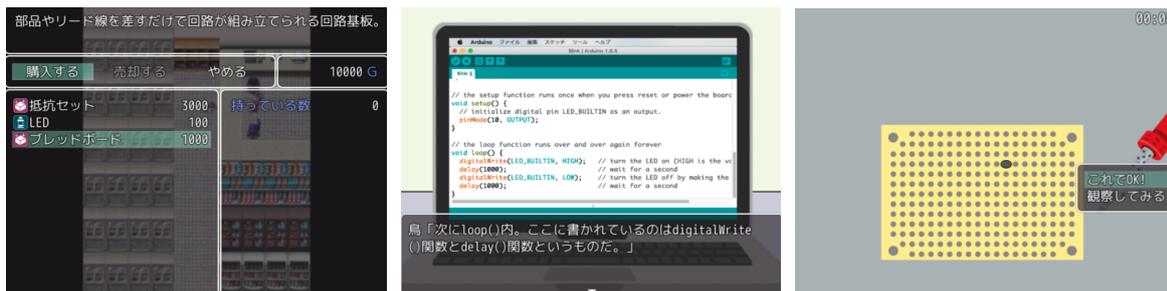
本節で紹介した研究は、デジタルファブリケーションにおけるデータの作成や、デザインと出力の齟齬に対する問題を対象にしている。これらの問題は初学者や新規利用者が同様に直面する課題である。しかし、2.1 節で紹介した Hudson らの研究で指摘されている新規利用者や初学者のモチベーションの維持という点について考慮がなされていない。データ作成を容易にするだけでは、初学者や新規利用者に対する支援として、Hudson らが指摘するように難しいことが考えられる。そのため、次節ではモチベーションを考慮した研究を紹介し、設計すべき体験を明確にする。

2.3 体験者のモチベーションを考慮した研究

2.3.1 Gamification

モチベーションを考慮した研究として Gamification の研究を紹介する。Gamification とは、ゲームデザインで利用されている要素やテクニック、ノウハウをゲーム以外のことに用いて、人々のモチベーションや達成感を高めたり、楽しみながら目的の遂行に没頭させる仕組みや手法のことを指す [27][6]。Gamification はマーケティング領域や教育など幅広い分野で研究が行われており、モチベーションの獲得や維持が難しい分野においても、Gamification を用いた研究が行われている。

中川らは、電子工作に関わる全般的な活動をゲームで経験できるロールプレイングゲーム (RPG) 型教育ツールの提案を行った [24]。中川らの研究の目的は、電子回路に興味の無い



(a) 素材購入画面

(b) プログラムの作成画面

(c) 半田付けゲーム

図 2.7: RPG 型教育ツール (参考文献 [24] より引用)

人が電子工作をする機会を獲得すると共に、ゲーム外で実践することを目指している。中川らが提案したRPG型教育ツールのゲーム構成は、「LED点灯回路の製作」、「半田付けゲーム」、「回路図作成ソフトFritzingとの併用」の3つで構成されている。LEDの回路制作では、ユーザがNPC（ノンプレイヤーキャラクター）に話かけ、お金を得ることで電子工作に使用するLED、ブレッドボードやジャンプワイヤを購入する（図2.7a）ことが可能になる。これらの電子部品からLEDを点灯させる回路を制作するために、ユーザは電子工作用のマイコンであるArduinoを使用し、回路の製作とプログラムの書き込み（図2.7b）を行う。この工程では、オームの法則についての説明の有無など、ユーザによって難易度を変更可能である。半田付けゲーム（図2.7c）では、主に「観察」と「決定」の2つの操作を行う。観察では制限時間が設けられており、制限時間のうちにゲーム画面の半田の状態と表示される文章を確認し、半田の状態が良いか悪いかを確認する。ユーザが状態を良いと判断したら決定を行い、判断が適切であるほどスコアが高くなるように設計されている。回路図作成ソフトFritzingとの併用とは、製作した教育ツールは、配線や部品を選択式に行うため、特定の配線しか設計できない点を考慮し、回路図作成ソフトであるFritzingの利用を促すことで実際に回路を作成する機会を提供している。この教育ツールの評価として、実際に体験したユーザから、電子工作をゲーム内で行うことが教育分野において、自発的に学べるという点などから有用になりうるということが示唆されている。

浦野らは、実環境におけるユーザの位置情報を取得し、周囲に存在する災害リスクの認知や防災の体験をする実環境における災害体験システムの開発を行った[16]。この浦野らが開発したシステムは、避難訓練は継続的に行われることが重要であるが、防災訓練が面倒なものとして認知されている点を考慮しゲーム形式を取り入れたシステムになっている。浦野らが開発したシステムを図2.8に示す。浦野らはゲーム要素として、体力値・気力値や知識点・行動点・判断点、ランクの3点を用いている。体力値・気力値とは各イベントに対する活動量を視覚的に表示し、災害時に安全かつ迅速に避難や救助ができるかを評価する指標として用いている。実際のシステムでは上限を100点と定め、満点から減点する方式になっている。知識点・行動点・判断点とは防災ゲームを継続的に行うために、ユーザの取り組みを反映する要素として取り入れている。それぞれの得点は上限を100点と定め、三角形のレーダチャートで表示する。このレーダチャートで得点を表示することで、ユーザが不足している要素を視覚的に確認できる。ランクとは、先に紹介した体力値・気力値・知識点・行動



図 2.8: 浦野らが提案した防災ゲームの画面（参考文献 [16] より引用）

点・判断点の5項目の得点の合計点から得点帯ごとにランク付けを行う。浦野らは、ランク付けによって更に高い得点を得ようという次回へのやる気につながることで継続性の向上が期待できると述べている。このシステムのユーザ評価実験の結果、災害リスクの認知支援に関する有用性が示されると共に、ユーザに防災訓練へのモチベーションの維持における点でも高い評価が得られている。

2.3.2 ストーリーテリング

Gamificationと同じくモチベーションを考慮した研究としてストーリーテリングの研究を紹介する。ストーリーテリング (Storytelling) とは、文字、画像、音などを用いて、現実起こったことや、空想上のできごとを描いたものであり、日本語では「物語」や「お話」を意味する [22]。ストーリーテリングは、人に何かを伝えたり、人を楽しませる能力を必要とし、「表現力」を高めることを目的に米国では様々な教育現場にストーリーテリングが伝統的に導入されている。近年ではデジタル技術の発達によってコンピュータでストーリーテリングを行うことが容易になっている。このようにコンピュータで製作されたものはデジタル

ルストーリーテリングと呼ばれている。

Liuらは、自律性と創造性を標榜する自由空間型デジタルストーリーテリングの手法を用いて、小学校の正規の授業で実施を行い、生徒の言語学習意欲と学習成果にどのような影響を与えるか調査を行った[11]。自由空間型とは、デジタルストーリーテリングの活動を、マルチメディアストーリーを作成し伝えるための一般的なストーリーテリングの手順（メインテーマの定義、ストーリーボード作成、開発、公開）に従って組み立てているものである。調査対象として、平均12歳の小学6年生64名を対象としており、参加者は全員、小学1年生から英語を学び始め、学校で5年間英語の授業を受けている。また、参加者全員が3年間のコンピュータコースを受講していたため、基本的なコンピュータリテラシのスキルがある。実験方法として、参加者は5回の授業を終了した後に1つのストーリーを作成を行う。評価方法として、生徒のパフォーマンスは文章による評価ではなく、文章、口頭でのナレーション、創造性を評価基準として含むマルチメディア形式によって評価されている。調査の結果、デジタルストーリーテリングの手法を用いたアプローチは、生徒の言語パフォーマンス、特に音読の流暢さと正式な教育状況における外発的動機付けにプラスの影響を与えることが示唆されている。また、モチベーションの向上については、自遊空間型のデジタルストーリーテリング活動を取り入れることが、学生の言語能力を発揮させることを目的とするだけでなく、創造性に基いたパフォーマンスが、より高いレベルのモチベーションで学習を誘発する触媒として機能する可能性がある」と指摘している。

ストーリーテリングは体験設計においても利用されている。Pengらはストーリーテリング・デザインから、関連するストーリー理論と経験の統合を試み、新しい統合的なストーリーテリング手法の提案を行っている[14]。Pengらの研究では、デザインにおけるユーザー体験を高めるためにユーザーとコンテキストを深く理解するためのストーリーテリングの研究を行い、統合的なストーリーテリング手法を確立することを目的としている。Pengらの統合的なストーリーテリングの手法とは、ストーリーの構築、イメージの喚起、ビジュアルストーリーテリングの3つのパートからなる統合的なストーリーテリング手法のことを指している。

2.4 本研究の立ち位置

2.1節では、先行研究の調査によって明らかになっている初学者が直面する障壁について紹介した。特にHudsonらの研究では、初学者が3Dプリンタを利用する工程において多くの障壁があることを述べている。また、モチベーションの持続や継続的な利用が行われていないことが言及されている。これらの先行研究で明らかになっているように、初学者が技術を習得することや3Dプリンタを使ったものづくりを行っていく上で、技術習得や意欲維持には多くの補助を必要としている。

一方で、2.2節で紹介している研究では、機器の補助を利用した物理的な支援やAR技術の活用など、データ作成を行う上で煩わしく思う問題を対象としている。これらの研究は、2.1節で紹介した先行研究で見られている問題を対象としているわけではなく、ファブリケーションの専門家など、3Dプリンタをよく利用するユーザを対象とする研究を行っている。また、2.1節でHudsonらが挙げているモチベーションの考慮という点については配慮されていない。そのため、2.3節で紹介したGamificationの手法やストーリーテリングの手法を活用す

ることが有効であると考えられる。Gamificationの手法ではゲームデザインで利用されている手法をもとに、ユーザがどのように楽しみながら目的を遂行するのかを行う手法である。また、2.3で紹介した浦野らの災害体験システムのように、モチベーションを保つことが難しい防災を題材にしつつも、災害リスクの認知支援への有用性が示されると共に、ユーザが防災訓練へのモチベーションを維持する点でも高い評価が得られている。また、ストーリーテリングの手法では、自由な空間で行う手法やユーザがストーリーを作成すること、ユーザがストーリーを体験する手法が有効であると言及されている。

これらを踏まえて、2章で紹介した先行研究から、2.1節で述べられている初学者が直面する問題を考慮しつつ、2.3節で紹介したモチベーションを考慮した研究の手法を利用することが、本研究が目指す基礎技能習得と製作意欲維持を目的とした一連の製作体験を設計する上で適していると考えられる。そこで本研究では、初学者らが直面する問題を考慮しつつ、Gamificationの要素とストーリーテリングの体験設計の手法を元に、3Dプリンタを対象とした基礎技能習得と製作意欲維持を目的とした一連の創作体験を設計する。

3 デザイン指針

本章では、設計する体験のプロセス設計や体験に使用するコンテンツの要件など、体験設計のためのデザイン指針について述べる。

3.1 解くべき問題の制約条件

本節では、本研究で解くべき問題の制約条件についてまとめる。本研究の対象とするデジタルファブリケーション機器として3Dプリンタとする。本研究で設計する体験では一連の創作体験を行う。一連の創作体験を設計するにあたり、初学者が一連の創作体験を行うことは難しい。そこで、2.1節で紹介した本多らやHudsonらの調査で明らかになっている初学者が直面する障壁に着目する。初学者が直面する障壁を考慮した支援やコンテンツを交えた体験の設計を行うことでモチベーションの維持を促しつつ、一連の創作体験が可能になると考えられる。本節でまとめた制約条件を下記に示す。

- 3Dプリンタを対象とする
- 設計する体験として一連の創作体験を行う
 - － 初学者が一連の創作体験を行うことは難しい
 - － 2.1節で紹介した初学者が直面する障壁に着目
 - － 障壁に対して、支援やコンテンツを作成する
- 体験やコンテンツを設計するにあたり、Gamificationやストーリーテリングの手法を用いる

3.2 デジタルファブリケーションプロセスの設計

本節では、3.1節で述べた解くべき問題の制約条件を踏まえて、体験のプロセスの設計を行った。設計した体験プロセスを図3.1に示す。設計したプロセスは、Step1の「3D空間に慣れる」、Step2の「3Dモデリングの基本操作」、Step3の「アイデアの創出」、Step4の「一連の創作体験」の4つから構成されている。このプロセスの順番は、2.1節で紹介したHudsonの調査で明らかになっている初学者とファブリケーション専門家の違いに着目している。専門家は技術やツールから制作物を考えて制作を行う。それに対して、カジュアルメーカーは、自分の望むものを製作することからツールの利用など行う。そのため、専門家に見られる技術やツールから制作物を考えるように初学者を意識させることが、制作意欲を促すために重要であると考えられる。また、Liuらの研究で行われている自由空間型ストーリーテリングの手法においても、ストーリーの作成するために必要な授業を行った後に、参加者は授業で得たものを元にストーリーの作成を行っている。そのため、本研究では3DCADの操作方法やツールをプロセスの前半にすることが、プロセスの後半で行うアイデアの創出や製作に対する制作意欲や動機づけとして有効であると考えられる。

3.2.1 Step1：3D空間に慣れる

Step1のプロセスでは、体験者は3D空間に順応するための体験を行ってもらう。この理由として、Hudsonらの調査で挙げられている、3DCADや3Dモデリングツールが2Dグラフィック



図 3.1: 本研究における体験プロセス



図 3.2: Gamification, Serious Game, Toolification of Games の違い (参考文献 [19] より引用)

クデザインツールとは違い奥行きを考慮して製作を行う必要があるため、初学者には難しいという点である。そのため、初学者が3DCADや3Dモデリングツールの操作方法やツールを扱うためには3D空間に慣れる必要がある。

しかし、3D空間に慣れることは一般的に容易ではない。3次元空間を把握する能力は「空間認識能力」というように呼称される。この空間認識能力について、秦野らは、3次元空間において、物体の位置や形状・方向・大きさなどの状態や位置関係を素早く正確に認識する能力のことを指すとしている [26]。この能力によって普段の生活の中で、目の前にないものでも頭の中で想像し、視覚的なイメージを形成することが可能であると秦野らは述べている。そのため、空間認識能力の向上を目的とした研究が数多く行われているが、明確な手法は存在しない。そこで本研究では、画面上の3D空間の認識方法として、3DCADや3Dモデリングツールの操作に着目した。3DCADや3Dモデリングツールにおける画面上の3D空間の把握方法として、ユーザはカメラの操作やオブジェクトの回転操作を行う。初学者がこの2つの操作を意識することが、画面上の3次元空間に慣れるために重要な要素であると考えられる。

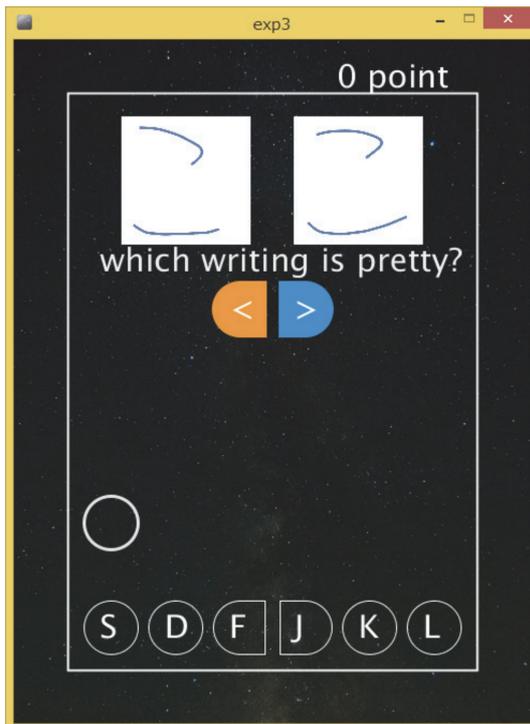
そこで本研究では Gamification の研究分野の一つである Toolification of Games に着目した [19][9]. Toolification of Games は, Gamification の手法が「非ゲーム的文脈でゲーム要素やゲームデザイン技術を要すること」に対し, 「すでに完成されているゲームの余剰自由度の中で非ゲーム的目的を達成すること」と定義している. これは, Gamification が本来タスクの中にゲーム要素やゲームデザイン技術を要する Gamification に対し, Toolification of Games はゲームの中にタスクを内包しており, 主従関係が反対になっている (図 3.2). 栗原らは Toolification of Games に期待される特徴を下記のように述べている [19].

- ブランド性: 完成されたゲームはそれ自体が面白いので, タスク実行へのモチベーションを誘発するためのデザインを改めて考えなくても良い.
- 既習性: ユーザはゲームの操作に慣れている. つまり「タスクに慣れさせる」というフェーズの一部または全部が既存ゲームのための熟練作業ですでに達成されている.
- 逃避可能性: タスクへの必要なモチベーションが得られないプレイヤーは, 無理にやらなくて良い.
- 自己表現性: ゲームをやりながらタスクを行うので, そのプレイ自体が1つのパフォーマンスである. 「プレイをしながらこんなことをするなんて!」という賞賛を受けられる.
- 物語性: タスクの達成結果もゲームをやりながら行ったもの, というコンテキストが付与されるため, ゲームの制約によって独特の味が出たり, 無味乾燥な結果に対しエピソードを付与することができる

この Toolification of Games の具体的な例として, 三輪らのマイクロタスク埋め込み型音楽ゲームを紹介する [30] (図 3.3). これは, 音楽ゲームで用いられる音楽の流れる音符に合わせて押すというゲーム要素を用いて, 押すタイミングにマイクロタスクを埋め込み, ボタン操作によって埋め込まれたタスクへ回答可能にすることで, マイクロタスクへの回答を集める手法である. このマイクロタスクは, 機械には判別不可能かつ人間には判別可能な微小なアノテーション作業 (図 3.3a 図 3.3b) などを音楽ゲームの音符と同様に流している. 三輪らのシステムは, よく知られたゲームである音楽ゲームを宿主として採用し, ブランド性と既習性を実現し, ユーザのモチベーションが低い場合にはタスクを無視できる逃避可能性を実現していると栗原は述べている. また, 音楽ゲームやダンスゲームは元来, アミューズメントパークにおいて, 本来入力不要な高度な身体動作を振り付けることによるパフォーマンスを行い他者と共有することからプレイヤーが賞賛を得られるため自己表現性を実現していると考えられるとしている.

本研究では, 紹介した既存のゲームを用いてタスクを内包させる Toolification of Games の手法を用いて 3D 空間に慣れるコンテンツを作成する. この内包するタスクには, 3DCAD や 3D モデリングツールにおける画面上の 3D 空間の把握に用いられる (1) カメラの操作, (2) オブジェクトの回転の 2 点を用いる. これらの 2 点を内包した既存ゲームとして「立体迷路¹ (図 3.4)」に着目する. 立体迷路とは図 3.4 のように, 立体内に形成された迷路の中に球

¹[https://item.rakuten.co.jp/jetedge/4560426136500/\(2022/01/12 確認\)](https://item.rakuten.co.jp/jetedge/4560426136500/(2022/01/12 確認))



(a) 人間には判別可能な微小なアノテーション



(b) 画像を判別するタスク

図 3.3: マイクロタスク埋め込み型音楽ゲーム (参考文献 [30] より引用)

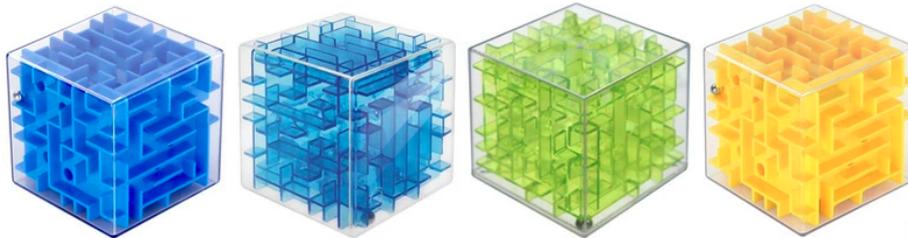


図 3.4: 市販されている立体迷路 (脚注1より引用)

体を転がして任意の場所に向けて動かす玩具である。また、立体迷路は球体をどう動かすか、ゴールまでの道筋を考えることから知育玩具としての側面を持っている玩具である。この立体迷路の遊び方として、(1) 多視点からゴールまでの道筋を考える、(2) 球体を動かすためにオブジェクトを傾ける (回転させる) の2点を行う。このように立体迷路で行われる遊び方は、3DCADや3Dモデリングツールで行う画面上の3D空間の把握で行っている操作と類似している。また、Toolification of Gamesの期待される特徴に当てはめると、元々完成されているゲームであるためブランド性を持っており、直感的に操作がわかるため既習性を持っている。そのため、初学者が画面上で立体迷路を行うことで、3D空間に慣れる・意識することが可能であると考えられる。これらを踏まえて、Step1では立体迷路ゲーム開発し、このゲームを遊ぶことにより3D空間に順のする体験を行う。

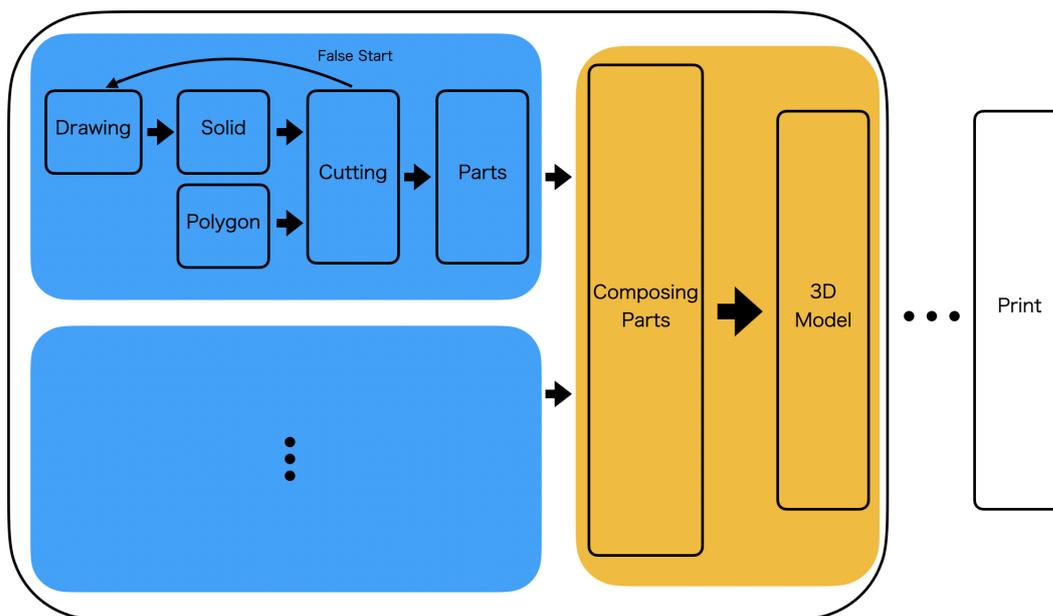


図 3.5: 3D データの作成プロセス

3.2.2 Step2 : 3D モデリングの基本操作

Step2 のプロセスでは、3D データ作成 3D モデリングの基本操作を行ってもらおう。本研究で設計する体験でユーザが学ぶ操作の範囲を決めるために、3D データの作成プロセスに着目した。本研究で着目した簡略化された 3D データの作成プロセスを図 3.5 に示す。3D データの作成工程として 2 種類の方法がある。1 つ目は描画 (Drawing) から作成する方法である。この方法ではまず、立体を作成するために必要な平面図を描画する。次に平面図から立体 (Solid) を作成する。作成した立体を切削 (Cutting) による適切な形に整えることで 1 つのパーツ (Parts) が作成され、このパーツを組み合わせる (Composing Parts) ことによって 3D モデル (3D Model) が完成するという工程である。2 つ目に Polygon から作成する方法がある。Polygon からの作成方法とは、描画してから立体を作成するのではなく、元々 3D モデリングツールや 3DCAD ツールに搭載されている基本的な立方体を使用して作成する。その後の工程は、描画による作成方法と同様に切削 (Cutting) とパーツの合成 (Composing Parts) によって 3D データを作成を行う。これらの作成方法は一般的であるが、初学者にとってそれぞれ難しい操作が存在する。まず、描画から 3D データを作成する方法では、描画自体で支援する研究が行われていることから難易度の高い操作として認知されている。また、2D のイラストレータツールの使用経験の無いユーザはとても難しい操作になっている。次に、それぞれの方法において共通で行われる工程である切削 (Cutting) では、CAD や 3D モデリングツールの中で特に複雑な操作や慣れを必要とするため初学者が行うことは難しい。これらを踏まえて本研究で行う体験では、図 3.5 の工程におけるパーツの合成 (Composing Parts) による 3D データ作成を行う。この理由として、パーツの合成では 3DCAD や 3D モデリングツールにおける基本的な操作のみで作成できる点である。このように基本的な操作に限定することが初学者でも容易に作成可能にし、3.2 節で挙げている技術や操作から内発的動機づけを促すことが可能であると考えられる。

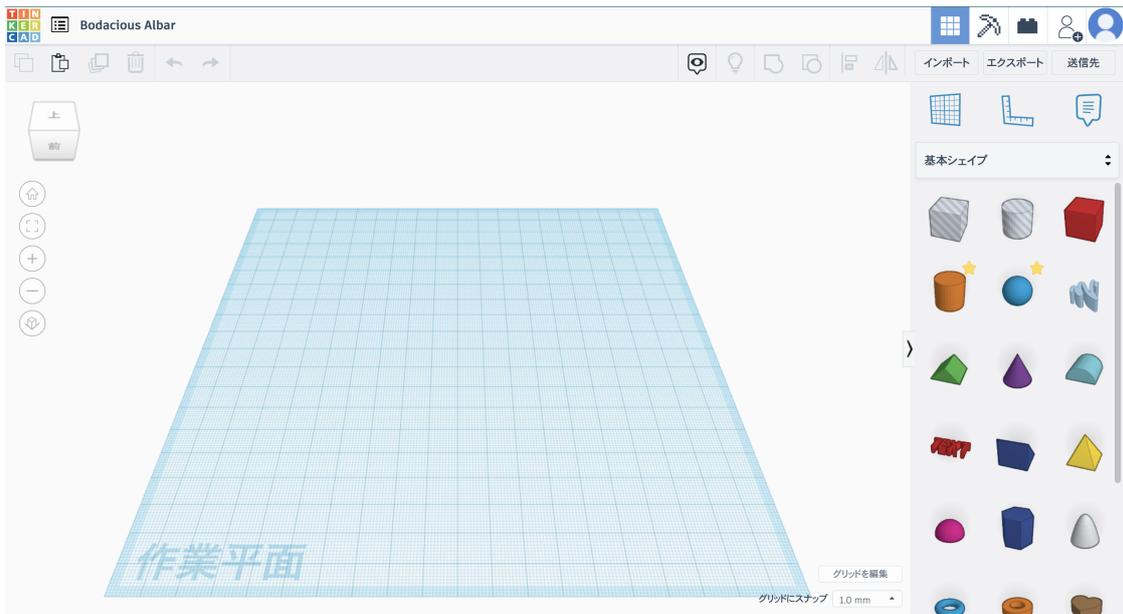


図 3.6: TinkerCAD 画面（脚注 3 より引用）

本研究で設計する体験におけるユーザーが実際に習得する基本操作として、「カメラの操作」、「オブジェクトの移動」、「オブジェクトの回転」、「オブジェクトの拡大縮小」、「オブジェクトのインポート」、「オブジェクトの合成」の6つを挙げる。「カメラの操作」は、画面上の立体空間を把握するために必要なツールであり、任意の場所に配置する際にカメラの操作を用いることで正確に配置することができるため重要である。「オブジェクトの移動」、「オブジェクトの回転」、「オブジェクトの拡大縮小」は実際にオブジェクトを任意の場所に配置するために用いられるツールである。「オブジェクトのインポート」は、本研究ではパーツ合成による作成を行うため、ユーザーが使用したいパーツをCADで扱うために必要な操作である。「オブジェクトの合成」はパーツの合成によって作成されたパーツを1つの3Dデータとして合成するために必要な操作である。ユーザーはこれら6つの基本操作を習得することで、パーツの合成により3Dデータを作成することが可能である。本研究で用いる3DCADツールとして、Autodesk²社から配信されている「TinkerCAD³（図 3.6）」を用いる。このTinkerCADは3DCADを初めて利用する人でも扱いやすいよう、複雑な操作は無く、シンプルな基本操作で作成できる3DCADツールとなっており、小学生等のPCに慣れていない世代からでも利用可能なように設計されている。以上を踏まえてStep2のプロセスでは、このTinkerCADにおける先に紹介した6つの操作方法を説明した動画を作成し、ユーザーはその動画を視聴しながら実際に操作を習得する体験を行う。

3.2.3 Step3：アイデアの創出

Step3のプロセスでは、制作の前にアイデアの創出と整理を行い、ユーザー自身が作りたいものについて考えてもらう。2.1節で紹介した本多らの調査では、初学者の直面する課題の1つに作品の構想づくりを挙げている。これは、初学者が実際にデジタルファブリケーション

²<https://www.autodesk.co.jp/>（2022/01/18 確認）

³<https://www.tinkercad.com/>（2022/01/18 確認）

ン技術を使用した作品自体に疎く、どのようなものが作れるのかを知らないためである。本多らが調査を行ったファブリケーション施設での初学者の構想づくりの支援の回答として、別のユーザが作成した成果物を見せることや作成中の様子を見せることが有用であるといった回答が得られている。この理由として、実際の制作物や制作過程から着想を得ることが可能であることが考えられる。また、この取り組みと類似した方法として、Thingiverse⁴, sketchfab⁵ (図3.7)などのデジタルファブリケーションなどで利用可能なデータを閲覧・購入可能なWebサイトの活用が挙げられている。これらのWebサイトでは、ユーザから投稿されているデータを画像や3Dビューワで閲覧可能であり、気に入った3Dデータを購入・ダウンロードが可能である。このWebサイトの活用は2.1節で紹介したHudsonらの調査でもWebサイトを活用した方法について有用であるといった回答が得られている。この理由として、初学者が難しいデータ作成を行う必要が無く、容易に印刷が可能である点を挙げている。しかし、完成された作品を印刷することは、ユーザが印刷したことに満足してしまい継続的な利用が見込めないことがHudsonらの調査で指摘されている。また、ThingiverseなどのWebサイトでダウンロードした作品を編集する手法が有効であるとしている。この理由として、実際にWebサイト上にある3Dデータをダウンロードし、3DCADのソフトウェアでダウンロードした3Dデータを編集することによって、その制作過程を見ることが可能であるため、実際の工程を学ぶことが可能である点が挙げられる。しかし、ユーザが実際に編集を行うことが可能なデータが少ないことやクリエイティブ・コモンズなどを考慮する必要がある。

これらを踏まえて、本研究における制作では、オブジェクト同士を組み合わせる制作を行う。そのため、Thingiverseのように画像で閲覧可能にしつつ使用したいパーツを選択し、選択結果を見れるようなシステムが有用であると考えられる。このようなシステムを用いることで、ユーザ自身が使用したいパーツを考えつつ3Dデータに触れることでアイデアの創出を促すことが可能であると考えられる。また、ThingiverseのようなWebサイトをそのまま利用しない理由として、データ数が膨大にあるため初学者がアイデアを整理することが難しいことが挙げられる。そのため、データ数を限定することで、使用できる3Dデータの中でアイデアを考えることになるため、アイデアの創出・整理が容易になることが考えられる。

本研究ではLiuらのような自由空間型ストーリーテリングの手法に着目し、体験を設計している。この手法における自由空間とは、制作にあたって必要な要素や技術を学び、ユーザが自由にモノなどを作成する手法である。しかし、幅広く自由に作れてしまうため、アイデアの創出や整理が難しくなってしまうことが考えられる。そこで本研究では、Toniaらが作成した創造性に関するルーブリック(図3.8)に着目した[3]。ルーブリックとは、それぞれの評価基準について「どこまで達しているか」という学びの質を明らかにするために、質的違いをレベルに分けて表などに整理したものである。Toniaらが作成したルーブリックでは、創造的な能力の学習到達度を測るための指標として作成されている。本研究は、このToniaらが作成したルーブリックの評価項目や達成度基準を用いて、ユーザがオブジェクトを選択する際にこれらの評価項目を意識させることでアイデアの創出を促す。Toniaらが作成した

⁴<https://www.thingiverse.com/> (2022/01/22 確認)

⁵<https://sketchfab.com/> (2022/01/22 確認)

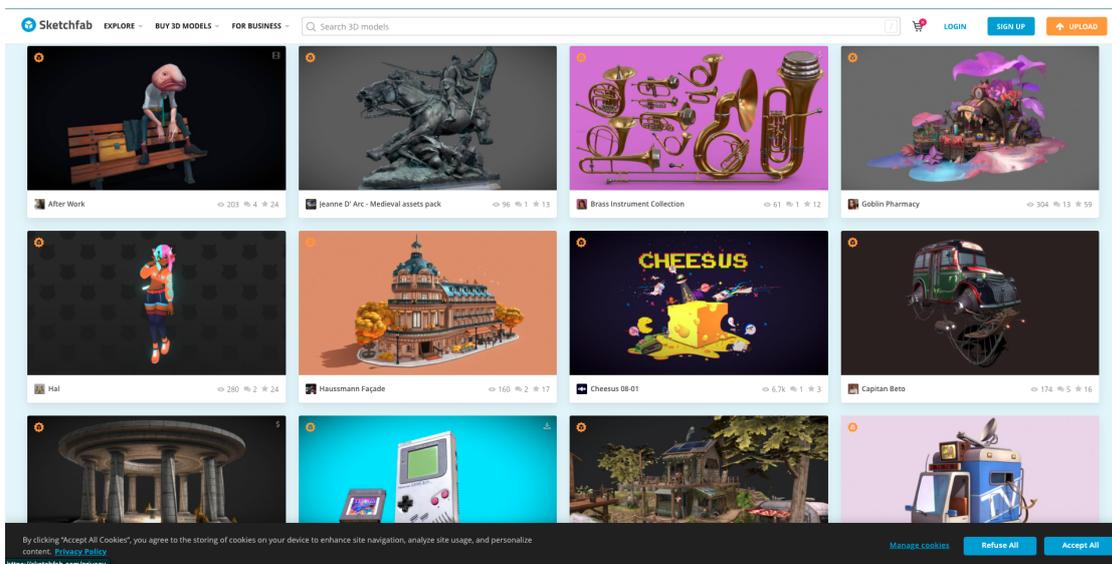


図 3.7: Sketchfab(脚注 5 より引用)

Criteria	Score			
	4	3	2	1
Fashioning the bug	Built entirely in 3D	Some pieces built in 3D with 2D parts, or built in 2D with other 2D parts "welded" to create a 3D structure	Built in 2D, however with a stand or table to make it not lay flat	Build in 2D. Flat. no added parts that create more than two dimensions
Whimsy	Imaginary bug set in an imaginary biome/environment/ecosystem	Imaginary bug in a realistic biome OR realistic bug within whimsical biome	Based on a realistic bug but with added details or features that are whimsical	Completely realistic – drawn from a photo or real life "bug"
Originality	Novel features and description - not seen in other students work	Some novel features or description	Mainly realistic or common a few original elements to bug or description	Realistic
Generating ideas	Multiple ideas were generated and implemented	Several ideas were generated and few were implemented	Multiple ideas were generated but not implemented	Few ideas were generated and implemented
Risk taking	Students took risks with design and creation of their bug and effectively implementing	Students took risks with design and creation but were not effective implementing	Students took risks with design but not the creation	Students did not take risks with design or creation

図 3.8: 創造性に関するルーブリック ([3] より引用)

ルーブリックにおいて、本研究で利用する評価項目として、「奇抜さ」、「オリジナリティ」、「実用性」の3項目を用いる。評価項目を明らかにすることで、評価項目を満たすためにユーザがそれらの指標を意識してアイデアを創出することが可能であると考えられる。

以上を踏まえて、Step3では、ThingiverseのようなWebサイトを参考に、3Dデータが画像で閲覧可能かつ選択した結果を見ることが可能なシステムを実装し用いる。また、Toniaらの創造的ルーブリックの評価項目を意識した選択をさせることで、アイデアの創出・整理を促す体験を行う。

3.2.4 Step4：一連の創作体験

Step4では、Step1とStep2で習得した基礎技能を用いて、Step3でユーザ自身が創出したアイデアを元を選択した3Dオブジェクトを配置することでアイデアを形にする。ユーザは自由に制作していく中で、より良い作品を制作するために制作意欲を獲得することが考えられる。また、他のユーザが作成したものではなく、自身がアイデアの創出から制作を行うことによって、デジタルファブ리케이션における制作がより容易かつ興味を持つことが予想され、制作意欲やモチベーションの維持が可能となると考えられる。

以上踏まえて、Step4では、ユーザはStep1からStep3で行った内容を踏まえて、自由な制

作を行う。この体験の中でユーザは習得した基礎技能を実際の制作で用いて、自身が創出したアイデアを形にすることで、基礎技能の習得と制作意欲の獲得・維持を目指す。

3.3 体験コンテンツのデザイン指針

本節では、3.2のプロセスを設計した結果、各Stepで必要になった体験コンテンツのデザイン指針について述べる。本研究で実装するコンテンツを以下にまとめる。

- 画面上の3D空間に慣れることを目的とした立体迷路ゲーム
- 本研究で使用する操作を学習する動画
- ユーザが自身の使いたいパーツを選択しその結果が見れるオブジェクト選択ツール

これら3つのコンテンツを実装する上で、それぞれに必要な要件についてまとめる。

3.3.1 立体迷路

立体迷路ゲーム実装における必要な要件についてまとめる。立体迷路のゲームを作成する上で必要な要件として(1)カメラの操作・オブジェクトの回転の2つの操作が可能であること、(2)ゲームの操作が体験で使用するTinkerCADと同様の操作であることの2点が挙げられる。(1)は、画面上の3D空間を把握するために、3DCADや3Dモデリングツールで使用される操作である。これらの操作をゲームしながら体験することで、ユーザが3D空間に順応することを目的としており、実世界で類似した操作をして遊ぶ玩具である立体迷路に着目している。そのため、(1)の要件で挙げられている操作は実装要件として必要である。(2)は本研究で使用する3DCADツールであるTinkerCADと操作方法を一致させることで、ゲームを遊ぶ中で覚えた操作を実際の制作でも利用可能にするためである。また、TinkerCADはそれぞれの操作は独立しているため、分離させる必要がある。以上を踏まえて、立体迷路ではこの(1)と(2)の2点を必要な要件として定め、ゲームの実装を行う。

3.3.2 操作の学習動画

操作を学習する動画の実装要件についてまとめる。ユーザが操作を学習する動画を作成する上で必要な要件として、(1)3.2.2節で挙げたTinkerCADの6つの操作が学習可能であること、(2)動画を視聴するだけでなく動画の進行と合わせて学ぶことが可能であることの2点が挙げられる。(1)は、3.2.2節で、本研究における制作に用いる操作として、「カメラの操作」、「オブジェクトの移動」、「オブジェクトの回転」、「オブジェクトの拡大縮小」、「オブジェクトのインポート」、「オブジェクトの合成」の6つの操作を取り上げている。そのため、動画の内容として6つの操作について理解できる内容で構成する必要がある。また、これらの基本的な操作や後の本体験での制作に必要な操作を覚えることが可能であることが必要である。(2)は、ユーザが動画を視聴するだけでは操作を学ぶことが難しいことが考えられるからである。ユーザが理解し、その操作を学習するために実践を行うことが必要であり、動画の視聴だけではそれを行うことが難しい。そのため、ユーザが動画を視聴しつつ操作が可能な工夫を行う必要がある。以上を踏まえて、動画作成にあたり(1)と(2)の2点を必要な要件として動画の実装を行う。

3.3.3 オブジェクト選択ツール

ユーザ自身が使用したいパーツを選択する際に使用するオブジェクト選択ツールの実装要件についてまとめる。本研究で作成するオブジェクト選択ツールの必要な要件として、(1) 見るだけでオブジェクトの形状を把握可能であること、(2) 興味のあるオブジェクトを選択可能であること、(3) 選択したオブジェクトの結果を確認可能であることの3点が挙げられる。(1)は、オブジェクトを選択する際に、オブジェクトがどのような形状なのかを把握することが重要である。(2)は、実際にこのシステムでオブジェクトを見つつ、必要なオブジェクトを選択してアイデアの創出を行うため、ユーザが使用したいオブジェクトを選択可能である必要がある。また、自分が選択したものから組み合わせやオブジェクトの配置を考えることが予想されるため、選択機能は必要であることが考えられる。(3)は、実際に選択したオブジェクトを結果として閲覧可能にし、実際に制作を行う際に、ユーザ自身が選択したオブジェクトを把握するために必要である。以上を踏まえて、(1)、(2)、(3)の3点を必要な要件として、オブジェクト選択ツールの実装を行う。

3.4 ナラティブ・アーク

本節では、設計した体験プロセス・コンテンツを元に体験のストーリー化を行う。体験のストーリー化を行う理由として、エレンは、「ストーリーテリングの活用は、ユーザの想像力に結びつける手助けとなり、ひいては彼らの行動やふるまいを引き出す」と述べている点である[17]。そのため、本研究が設計した体験において、同様にストーリー化を行うことで、3Dプリンタに対する興味や制作意欲を引き出すことが可能であると考えられる。本研究では、体験のストーリー化を行うため、ナラティブ・アーク⁶と呼ばれる物語の構造理論に着目している。ナラティブ・アークの「ナラティブ」とは日本語で「語り」という意味があり、順序立てて話を聞かせることを指している。また、ナラティブ・アークの「アーク」とは日本語で「円弧」という意味があり、円の一部であり、弓なりの形状のことを指している。これらを組み合わせた言葉であるナラティブ・アークとは、物語の流れや時系列のことを指している。また、物語を作成する上で、プロット⁷と呼ばれる要素がある。このプロットとは、物語の個々の出来事で構成されている事に対し、ナラティブ・アークはそれらの出来事をひと続きになったものである。ナラティブ・アークを表したものを図3.9に示す。この図のX軸は時系列を表し、Y軸は行動を表している。これは、物語の時間経過とともに上昇し、同時に興奮も高まっていき、頂点に達するまで上昇する。その後下降しつつ徐々に原則して物語の結末に向かっていく流れを示している。このナラティブ・アークは5つの段階で構成されており、それぞれの段階は、「提示部（状況説明）」、「事件発生（上昇展開）」、「クライマックス」、「収束（下降展開）」、「大団円（目的達成）」の5つである。これらの展開について、脚注6と参考文献[17]より引用し、説明する。

3.4.1 提示部（状況説明）

ナラティブ・アークにおける提示部（状況説明）の展開では、登場人物、対立の種、読者がストーリーの中で何が起きているか理解するための背景情報を提示する。これは、どのよ

⁶<https://utatoe.jp/magazine/narrative-arc/> (2022/01/26 確認)

⁷<https://nola-novel.com/> (2022/01/26 確認)

うな人（モノ）が登場し、どのような世界（雰囲気）で、何が起きているのか（状況）を説明し、ユーザをストーリーに導入することを目的としている。また、ユーザがストーリーを読み進めて行く上で必要な情報提示を行うことで、ストーリーに対する興味を引き出すことで可能である。したがって、体験のストーリー構築における提示部（状況説明）の展開では、ユーザに背景情報を提示し、この物語がどのようなものか枠組みを伝える導入であり、体験に対する興味を促す展開であると考えられる。

3.4.2 事件発生（上昇展開）

事件発生（上昇展開）の展開は、物語の世界で異変が起きることであり、物語におけるトリガーにあたる部分である。これは、物語の世界で異変が発生した際に、その異変をきっかけにして登場人物が旅に出るといった状況の変化のことを指している。この状況の変化が起きることにより、登場人物たちの関係性や成長、緊張感を高めるといった展開が考えられる。そのため、この展開では、状況の変化を起すトリガーを与えることで、物語の内容に対する興味を刺激し、期待と興奮を高めることを促すことが可能な展開であると考えられる。したがって、体験のストーリー構築における事件発生（上昇展開）とは、ユーザにきっかけとなる「トリガー」を与えることで、体験に対する興味を刺激し、体験の内容に対する期待と興奮を高めることを促すことであると考えられる。

3.4.3 クライマックス

クライマックスの展開とは、物語における最大の盛り上がりの箇所であり、ナラティブ・アークの頂点にあるプロット（出来事）である。このクライマックスが物語の主軸となり、物語にとって最も印象に残る箇所である。反対に、このクライマックスがユーザの興味や興奮を高められない場合、ユーザにとって魅力的で興味の引く体験にはならない。そのため、クライマックス前の展開である事件発生（上昇展開）によってユーザの興味や興奮を高めることが重要であり、ユーザの高められた興奮がクライマックスで最高潮に達するような物語の設計が必要である。したがって、体験のストーリー構築におけるクライマックスの展開とは、前の展開である事件発生（上昇展開）で高められたユーザの興味や興奮を最高潮に高める展開であり、体験における中心となる展開であると考えられる。

3.4.4 収束（下降展開）

収束（下降展開）とは、クライマックスまでの展開で高まった興味や興奮を徐々にペースを落とし、ユーザは余韻に浸りながら物語の終わりに向かう展開である。これは、クライマックスの展開を経て物語が終わりに向かう中で、登場人物たちのその後や、その物語の世界がどうなったのかが描かれているということである。また、ユーザは収束（下降展開）で物語の余韻に浸り、物語を振り返り、もしその物語が刺激的でユーザが楽しめるものであれば続編や似たジャンルの物語に興味を持つようになることが考えられる。したがって、体験のストーリー構築における収束（下降展開）とは、ユーザが体験した内容を振り返り、体験の余韻を感じつつその体験が刺激的で楽しめるものであったならば、次の体験へと繋ぐための展開であると考えられる。

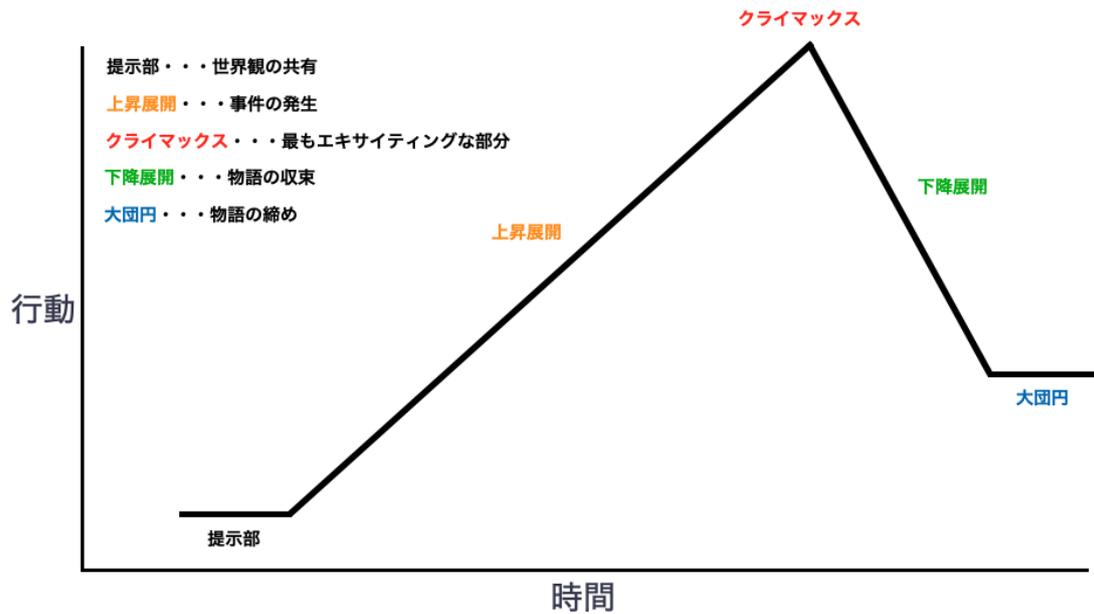


図 3.9: ナラティブ・アーク (参考文献, 脚注6 より引用して作成)

3.4.5 大団円 (目的達成)

大団円 (目的達成) とは、物語における終着点である。ここから続編が生まれることが考えられるが、一旦ひと続きの物語が終わることを指している。また、物語によっては大きなプロットとナラティブ・アークの中に更に細かいプロットやナラティブ・アークが設計されている。これは体験においても、大きな目標を達成するための1つの小さな目標を達成するための体験として成り立つことが考えられる。

ナラティブ・アークの物語の構造理論を踏まえて、3.2節で設計したプロセスを各5段階の展開に当てはめることで、ストーリー展開が考慮された体験を実装する。ストーリーの展開を考慮することで、各展開で挙げたユーザが物語の展開を経て興味や興奮などの要素を高めることが可能である。また、ストーリーを体験する中で、3Dプリンタや3Dデータの作成に対する興味を得ることで、本研究における制作意欲維持の目的が達成することが可能であると考えられる。以上を踏まえて、本研究では、3.2節で設計したプロセスをナラティブ・アークにあてはめ、体験ストーリーを構築する。

4 体験コンテンツの実装

本章では、3.3節でまとめられた体験コンテンツのデザイン指針や、3.4節で述べた体験のストーリー構築の手法に則って、体験コンテンツの実装と体験のストーリー化について述べる。

4.1 3DMaze

3DCADや3Dモデリングツールにおける画面上の3D空間に慣れるための手法として、本研究では画面上で遊ぶ立体迷路「3DMaze (図4.1)」をUnity¹を用いて実装した。Unityとは、Unity Technologies社が提供しているゲーム開発プラットフォームである。Unityは、2D・3Dゲームの開発を容易に行えるツールとしてVRゲームなどのゲーム制作やCGグラフィックなど幅広く利用可能である。本研究では、このUnityを用いて立体迷路ゲーム「3DMaze」の実装を行っている。実装にあたり、3.3.1節でまとめた画面上で立体迷路を実装するための要件として、(1) カメラの操作・オブジェクトの回転の2つの操作が可能であること、(2) ゲームの操作が体験で使用するTinkerCADと同様の操作であることの2点を挙げている。

まず、(1)の要件であるカメラの操作・オブジェクトの回転の2つの操作の実装を行った。操作方法として、図4.1の左上にある画像2つをクリックして操作を変更することが可能である。図4.2aの画像はクリックすることでカメラを操作するモードに、図4.2bの画像はクリックするとオブジェクトを回転させるモードにそれぞれに切り替えることが可能である。また、どちらかの操作モードがオンになったときは、片方の操作がオフになるように設計を行っている。したがって、これらの操作の実装によって(1)の要件を満たした。

次に、(2)の要件であるゲームの操作が体験で使用するTinkerCADと同様の操作であることについて実装を行った。TinkerCADのカメラの操作とオブジェクトの回転の操作方法として、基本的にマウスのドラッグを用いている。そこで、3DMazeでのカメラの操作とオブジェクトの回転の操作方法を同様にマウスのドラッグを用いて実装を行った。3DMazeでは、マウスがドラッグした際に、マウスがどのように動いたのかをX軸とY軸で検知し、検知された動きと同じ方向に移動・回転するように実装を行った。したがって、これらの操作方法の実装によって(2)の要件を満たした。

また、3DMazeにおける立体迷路の生成方法は手動で作成した固定化された迷路ではなく、Web上で公開されているMazeMaker²を用いてランダムに立体迷路の自動生成を行っている。このMazeMakerでは、迷路の自動生成は毎回ランダムに生成される。その他の要素として、スタートボタンとゴール地点を用意し、ゲーム要素を追加した。また、ユーザは立体迷路ゲームを遊ぶ中で、カメラの移動によって、3Dの空間内の上下左右がユーザの見えている視点と実際の視点で異なることが考えられる。そのため、図4.1の右上に初期状態のカメラ視点を見れるようにすることで、ユーザが実際の天地を見失わないよう考慮した。以上の実装を踏まえて、3DMazeの遊び方として、ユーザはランダムに生成された立体迷路をカメラの操作とオブジェクトの回転操作を切り替えつつ、球体を動かしてゴールを目指す。この3DMazeをWeb上で扱えるよう、UnityからWebGLとして書き出しを行うことで3DMazeの実装を完了した。

¹<https://unity.com/ja> (2022/01/26 確認)

²<https://github.com/afjk/MazeMaker> (2022/01/26 確認)

4.2 操作説明動画

本研究で設計された体験で使用する TinkerCAD の操作をユーザに説明するためのコンテンツとして、操作説明動画の実装を行った。動画の作成方法として、Apple 社の動画編集ソフトである FinalCutPro³を用いて実装を行っている。3.3.2 節でまとめた操作説明動画の実装要件として、(1) 3.2.2 節で挙げた TinkerCAD の 6 つの操作が学習可能であること、(2) 動画を視聴するだけでなく動画の進行と合わせて学ぶことが可能であることの 2 点が挙げている。

まず、(1) の要件である 3.2.2 節で挙げた TinkerCAD の 6 つの操作が学習可能な動画コンテンツの実装を行った。「カメラの操作」、「オブジェクトの移動」、「オブジェクトの回転」、「オブジェクトの拡大縮小」の 4 つの操作に関しては、TinkerCAD のそれぞれの操作方法についてやユーザインタフェースについて動画内のテロップなどを用いて説明を行っている。「オブジェクトのインポート」、「オブジェクトの合成」の 2 つの操作に関しては、実際に作品のサンプルを作成している動画を収録し、その動画の中で操作方法や注意点、テクニックについて説明を行う動画を作成した。したがって、これらの動画コンテンツを作成することにより、(1) の要件を満たした。

次に、(2) の要件である動画を視聴するだけでなく動画の進行と合わせて学ぶことが可能な方法を実装する。ユーザが動画見ながら操作を覚える場合、動画コンテンツの途中で余白時間を用意することで動画と同時に作成する方法が考えられる。しかし、動画コンテンツ内に時間的な余白を用意した場合、ユーザによって進み具合に差があり、時間をかけて操作を覚えたいなどのユーザそれぞれのニーズに合わせる 것이難しい。そこで、動画の進行に合わせて作成する余白の時間を用意するために、本研究の操作学習の動画コンテンツで各操作の説明終了後、動画の停止を指示するテロップを表示することで操作可能な余白時間を用意する。これにより、動画の停止を指示することで、ユーザが自身の操作を覚える速度に合わせる事が可能になると考えられる。したがって、動画の停止を促すことで (2) の要件を満たした。以上を踏まえて、動画の実装要件である (1) と (2) を満たした事によって、操作学習動画の実装を完了した。

4.3 アイデア構想支援

ユーザ自身が使用したいパーツを選択する際に使用するオブジェクト選択ツールの実装を行った (図 4.3)。実装に用いたツールとして Google 社が無料公開しているアンケートフォームである Google Form⁴を用いた。Google Form とは、アンケートの作成から出席確認などの多種多様な利用や、収集したアンケート結果を整理して分析可能なツールである。3.3.3 節でまとめたオブジェクト選択ツールの実装要件として、(1) 見るだけでオブジェクトの形状を把握可能であること、(2) 興味を持ったオブジェクトを選択可能であること、(3) 選択したオブジェクトの結果を確認可能であることの 3 点を挙げている。

まず、(1) の要件である見るだけでオブジェクトの形状が確認できる要件について実装を行った。Google Form では、アンケートの選択肢を画像にすることが可能である。そこで、本研究で使用する 3D データの画像を作成し選択肢に用いることで (1) の要件を満たした。

³<https://www.apple.com/jp/final-cut-pro/> (2022/01/27 確認)

⁴https://www.google.com/intl/ja_jp/forms/about/ (2022/01/28 確認)

次に、(2)の要件であるユーザが興味を持ったオブジェクトの選択が可能であることについて実装を行う。この機能の実装として、Google Formの基本仕様であるチェックボックス機能を用いて複数の選択を可能にすることで(2)の要件を満たした。最後に、(3)の実装要件である選択したオブジェクトの結果を確認する方法について実装する。Google Formの基本仕様として、アンケートの回答結果はアンケートの作成者のみ閲覧が可能である。しかし、アンケート時に回答したユーザのメールアドレスを収集することで結果を送信することが可能である。本研究では、メールアドレスを収集し、結果の送信のみに使用することによりユーザに結果を送信することで、(3)の実装要件を満たした。

このオブジェクト選択ツールの作成を行うにあたり、本研究の体験で使用する3Dデータの収集を行った。収集を行った3DデータはSketchfabやスミソニアン博物館⁵で公開されているクリエイティブ・コモンズにおけるCC0の3Dデータを約40種類収集している。それらのデータを「動物」や「道具」といった項目ごとに分け、ユーザは項目を選択することでその項目に沿った3Dデータを選択可能にした。また、TinkerCADに内蔵されている基本的なオブジェクトと制作に必要なオブジェクトをTinkerCADで作成し、計70種類のオブジェクトを用意した。以上を踏まえて、(1)と(2)、(3)の要件を満たすことでオブジェクト選択ツールの実装を完了した。

4.4 体験ストーリーの構築

本研究では、3.2節で設計した体験プロセスを、3.4節で紹介したナラティブ・アークの物語の構造理論にあてはめて体験のストーリーの構築を行う。ナラティブ・アークとは5つの展開で構成された、物語の出来事と流れを時間と行動のX軸とY軸に並べたものである。この5つの展開とは、「提示部(状況説明)」、「事件発生(上昇展開)」、「クライマックス」、「収束(下降展開)」、「大団円(目的達成)」の5つである。これらの展開に、3.2節で設計した体験プロセスをあてはめ、足りない展開を補足することで、体験のストーリー化を行った(図4.4)。ナラティブ・アークに則ってストーリー構築された体験は6つで構成されており、「提示部(3Dプリンタとは)」、「事件発生(基礎技能の獲得・アイデアの創出)」、「クライマックス(3Dデータの制作)」、「収束(振り返りアンケート)」、「大団円(制作意欲の維持)」の6つの展開である。

4.4.1 提示部(3Dプリンタとは)

提示部とは、3.4.1節で説明したように物語の導入であり、体験のストーリー構築における提示部(状況説明)の展開では、ユーザに背景情報を提示し、この物語がどのようなものか枠組みを伝える導入であり、体験に対する興味を促す箇所である。本研究での対象は3Dプリンタであることから、この提示部では3Dプリンタに関する基礎的な内容の資料を作成し説明を行う。資料の内容として、3Dプリンタや利用に必要な3Dデータの種類や3Dデータ作成に使用されるCADソフトや3DCGソフトなどの紹介を行った。また、実際に作成された作品として、関西大学高槻キャンパスのファブリケーションスペースであるMonoLabで制作された作品や、Thingiverse等のWebサイトの紹介を行う。これらの説明を行うことで、ユーザへ本体験の興味を促す。

⁵<https://www.si.edu/openaccess> (2022/01/28 確認)

4.4.2 事件発生（基礎技能の獲得・アイデアの創出）

事件発生とは、物語の世界で異変が起きることであり、物語におけるトリガーにあたる部分である。体験のストーリー構築に置いては、ユーザにきっかけとなる「トリガー」を与えることで、体験に対する興味を刺激し、体験の内容に対する期待と興奮を高めることを促すことであると考えられる。本研究の体験における事件発生の展開として、基礎技能の習得とアイデアの創出を行う。まず、基礎技能の取得とは、3.2節で設計したプロセスにおけるStep1とStep2である「3D空間に慣れる」、「3Dモデリングにおける基本操作」の2つである。ユーザはこれらの体験や学習を経て、3Dデータ作成に関する基礎技能を習得する。次に、アイデアの創出とは3.2節で設計したプロセスのStep3であり、4.3で実装したオブジェクト選択ツールを用いて、ユーザは制作の際に使用するオブジェクトを選択する。選択の際、ユーザに自己評価の項目について伝え、ユーザはその自己評価の項目を元に制作物を考えさせることでアイデアの創出を促す。以上の体験の中で、ユーザは制作に必要な基礎技能の習得、制作する作品のアイデアの創出を体験する。これらの体験を経ることで、ユーザの3Dデータの制作に対する興味を刺激させる。

4.4.3 クライマックス（3Dデータの制作）

クライマックスとは、クライマックスの展開とは、物語における最大の盛り上がりの箇所であり、ナラティブ・アークの頂点にあるプロット（出来事）である。この展開を体験のストーリー構築にあてはめた場合、前の展開である事件発生（上昇展開）で高められたユーザの興味や興奮を最高潮に高める展開であり、体験における中心となる展開であると考えられる。本研究における最も主軸となる体験を、3章にて、一連の創作体験としている。そのため本研究におけるクライマックスの展開では、3Dデータの制作を行う。ユーザは、前の展開で習得した基礎技能と創出されたアイデアによって、ユーザ自身が納得のいく作品の制作を行う。

4.4.4 収束（振替りアンケート）

収束（下降展開）とは、クライマックスまでの展開で高まった興味や興奮を徐々にペースを落とし、ユーザは余韻に浸りながら物語の終わりに向かう展開である。体験のストーリー構築においては、ユーザが体験した内容を振り返り、体験の余韻を感じさせる展開であると考えられる。本研究では、振り返りアンケートを作成し、ユーザは自身の作成した3Dデータに対する自己評価や体験に対する評価を行う。アンケートは選択式、5段階評価、記述の3つで構成されており、それぞれの体験に対して評価を行う。ユーザはこの振り返りアンケートを回答する中で、体験の余韻に浸り、設計した体験が興味を促す体験であれば、3Dデータ制作に対する制作意欲を獲得・維持することが可能であると考えられる。

4.4.5 大団円（目的達成）

大団円（目的達成）とは、物語における終着点であり、本体験においても同様である。本研究では、これらの5つの展開を通して、ユーザに基礎技能の習得と制作意欲の維持を行うことが可能な体験の設計を行った。

以上を踏まえて、3.2節で設計した体験プロセスを、物語の構造理論であるナラティブ・アークに則って、5つの展開にストーリー化を行うことで、本体験の実装を完了した。

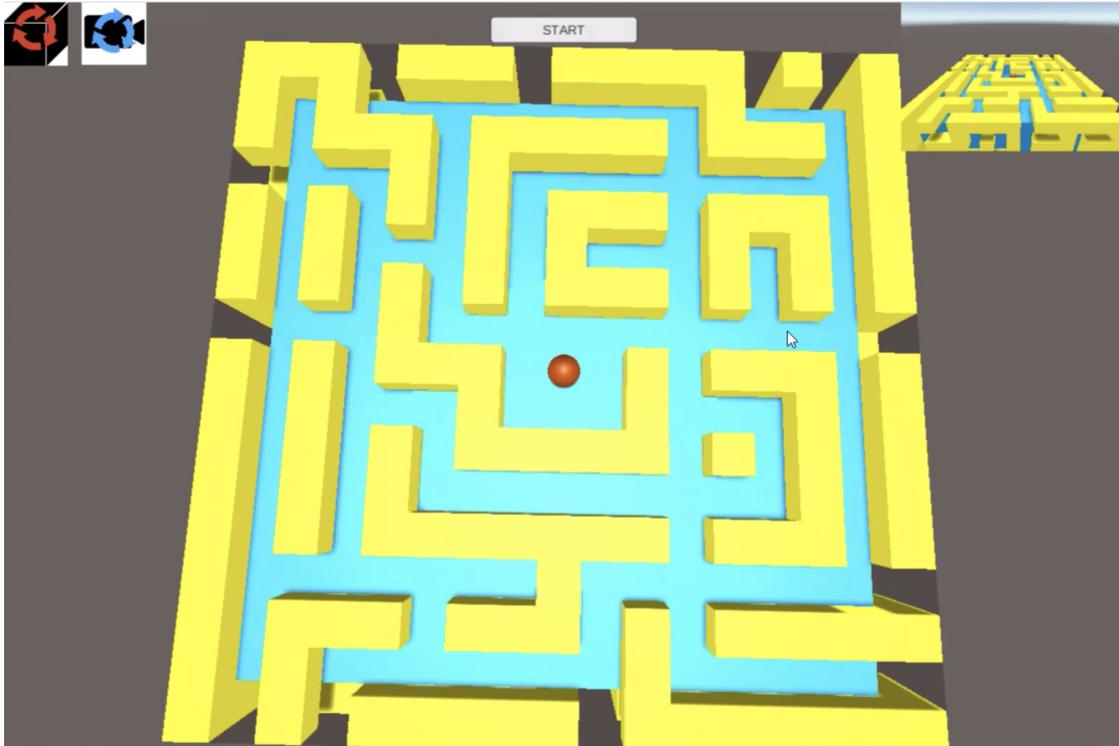
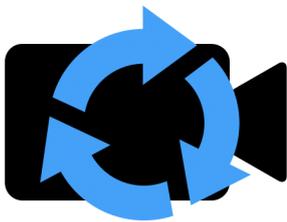
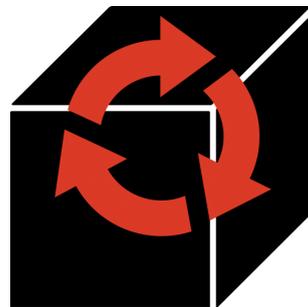


図 4.1: 3DMaze



(a) カメラの操作への変更ボタン



(b) オブジェクトの回転操作への変更ボタン

図 4.2: 3DMaze における操作変更ボタン

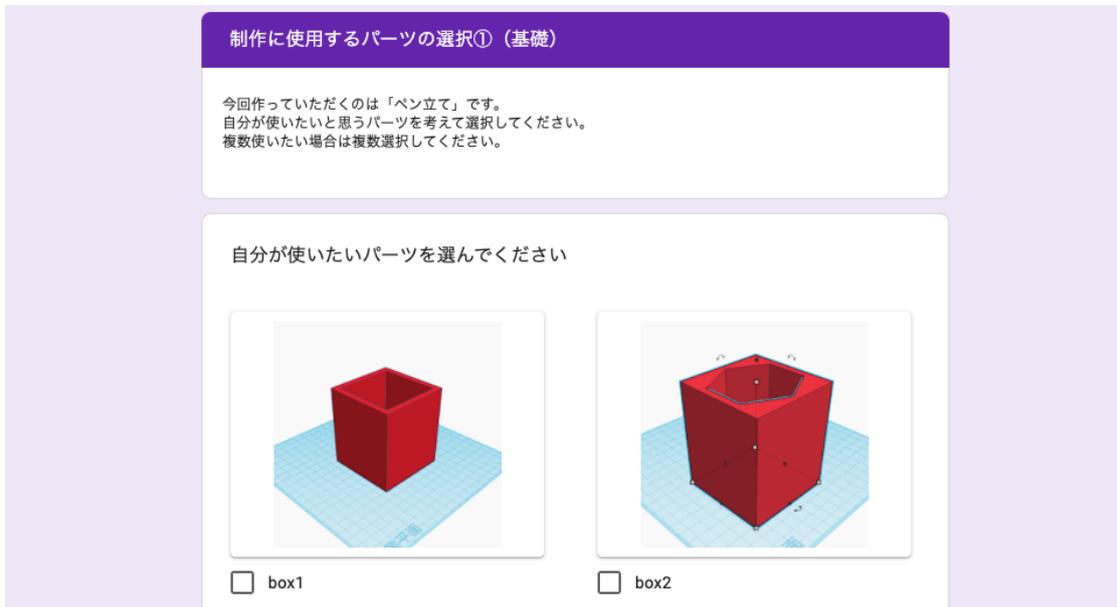


図 4.3: Google Form によって実装したオブジェクト選択ツール

体験のストーリー化

-ナラティブアーク：物語の構造理論-

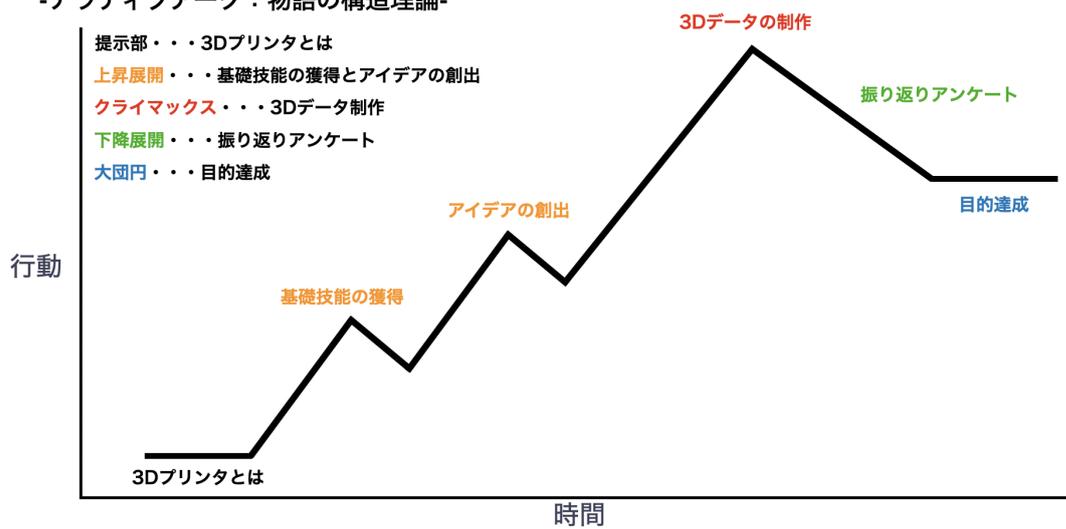


図 4.4: ナラティブ・アークによる体験のストーリー化

5 実験

本章では、本研究で設計された体験を用いてユーザ実験を行い、体験の評価を行う。

5.1 実験指針

実験を行うにあたり、実験で明らかにすべき点についてまとめる。本研究で設計された体験は、5つの展開で複数のコンテンツによって構成されている。これらの体験を経て、3Dプリンタの制作意欲や興味が得られるかをユーザ実験によって評価を行う。ユーザ実験による評価で明らかにする点を以下にまとめる。

- 3Dmazeが3D空間に慣れるために有用であったか
- 操作学習動画で操作を覚えることが可能か
- オブジェクト選択ツールは体験者にとって有用だったか
- 体験で行った制作に対する評価

これらの項目を元にユーザ実験によってユーザによる評価を行い、これらの内容を総合的に評価して、本研究で設計された体験がユーザに3Dプリンタに対する制作意欲を促進させることに有効であるかを評価する。

5.2 予備実験

実験を行うにあたり、事前に予備実験を行い、ユーザが体験することでどのような結果が得られるかを観察した(図5.1)。予備実験の内容として、実験参加者は4.4節で実装された体験ストーリーに沿って順番に体験を行う。予備実験の評価方法として、体験内で行う体験の振り返りアンケートやユーザが体験する様子をPC画面を中心に動画収録によるユーザ観察、実験終了後に実験参加者へ体験に対してインタビューによって予備実験の評価を行った。まず、振り返りアンケートでは、ユーザは自身の作品に対しての自己評価と各コンテンツに対する評価を行ってもらう。次に、ユーザ観察では、ユーザの3DMazeや3Dデータの制作時における操作の様子に注視して観察を行う。その様子から操作の割合などを算出し、ユーザがどのように制作を行っているかを明らかにする。最後に、インタビューでは体験の各項目に対して質問し、ユーザはその質問に対して回答してもらう。その回答の様子から、本実験での半構造化インタビューを行う際に、構造化する項目の設定を行う。また、実験の3Dデータ制作では、実験参加者に制作する題材としてペン立てを制作してもらう。この題材の選定は身近かつ容易に用途が考えられ、ユーザの工夫によって幅広い形状が見込めると考えたためである。これらを踏まえて、予備実験を行った。

5.3 予備実験結果

本節では、予備実験の結果について述べる。予備実験では、関西大学に通う情報系の大学生と大学院生3名を対象に行った。実験者は事前に用意した参加フォームにより3Dデータの制作経験が無い、または大学での実習授業のみの経験者を対象としている。



図 5.1: 予備実験の様子

5.3.1 予備実験結果：3DMaze

最初に 3DMaze について実験結果について述べる。3DMaze では、実験参加者ごとによって 3DMaze の難易度を変更し、実験参加者がそれぞれの難易度で遊ぶ様子を観察し適切なレベルを見極めていく。3DMaze のレベルは 2 段階に分けて行い、難易度は立体迷路のサイズを変更することで、サイズが大きくなるほど複雑な迷路が生成される。アンケートでは 5 段階評価と選択式、記述の 3 つで構成されており、5 段階評価は数字が高いほど適していないと設定した。

3DMaze における予備実験の結果を表 5.1。アンケートでは、最も難易度の高いものを行った実験参加者のみ 5 段階評価において 4 を回答し、難易度が適切でないという回答をした。この理由として、迷路が複雑で、どの位置に動かせばいいかわからなくなったという回答が得られた。また、その実験参加者の様子を撮影した動画で観察したところ、操作を交互に切り替える頻度が多いことが確認されている。一方で、他の参加者は数回動かすことで、ゴールと同じ面に辿り着いていることがユーザ観察から確認された。また、難易度が低く設定された参加者 2 人のインタビューでは、操作の難しさについて指摘しているが、難易度は問題ないと回答している。そのため、難易度は難しくなるが、より多くの操作を必要となることから、難易度を高めに設定することが操作ごとで操作回数を増やすことで 3D 空間により慣れることが可能であると考えられる。また、全ての参加者が操作に対して思った動きと反対に動いたという指摘があった。以上の結果を踏まえて、3DMaze の適切なレベルとしてより多くの操作を要することから、難易度を高めに設定することが適している。また、操作方法においても方向について改善する必要があると考えられる。

表 5.1: 予備実験における 3DMaze の評価

実験参加者 No.	3DMaze 難易度	難易度評価	難しかった点
00	高	4	操作と動きが一致していない
01	低	2	操作が一致しなかった
02	低	1	思っている操作と反対だった

表 5.2: 予備実験における操作学習の評価

実験参加者 No.	学習動画の評価	インタビュー結果
00	1	見落としがあったが操作は容易だった
01	1	動画なしでも理解できる
02	1	問題なく理解できた

5.3.2 予備実験結果：操作学習動画

操作学習動画における予備実験の結果を表 5.2 にまとめる。アンケートの結果、予備実験の参加者全員が操作学習動画に対して適していると回答している。また、ユーザ観察においても問題なく操作を進められている様子が全参加者で確認された。最後にインタビューでは、見落とししている操作があったように感じると回答している参加者が 1 人見られたが、基本的に操作自体は問題なく覚えられたと回答している。また、動画を停止して行うことに対して、自分のタイミングで進められるといった回答が得られた。これらの結果から、予備実験において作成された動画による学習は可能であると考えられる。

5.3.3 予備実験結果：オブジェクト選択ツール

オブジェクト選択ツールの利用における予備実験の結果を表 5.3 に示す、アンケートの結果、5 段階評価でアイデアの整理が可能かの質問に対して、3 名中 2 名が 1 や 2 と回答しており可能であるとしている。一方で、4 をつけた実験参加者は、オブジェクトを項目で分けるのではなく、全体的に見れる方が良かったと回答した。ユーザ観察では全参加者で特に特徴的な行動などは確認されず、全参加者が問題なく選択していた。実験後のインタビューでは、評価項目によってアイデアが考えられたといった回答や、直感的に選んだものを軸にアイデアを考えることが可能であるといった回答を得られた。そのため、評価項目を伝えることは、制作のアイデアに影響し、アイデアの創出を促すことが考えられる。また、改善点ではアンケートで全体的に見れるようにすべきという回答が得られたのに対して項目ごとに分けられていた方が良いといった回答が得られている。以上の結果から、オブジェクトの選択の際に評価項目を伝えることで、アイデアの創出を促すことが示唆される結果が得られたことから、アイデアを創出する支援として利用できることが考えられる。

5.3.4 予備実験結果：3D データの制作

予備実験における 3D データの制作について、結果を表 5.4 と図 5.2 に示す。アンケートの結果、オブジェクトを任意の箇所に配置可能だったかの質問に対して、全ての実験参加者から 5 段階評価で配置ができたという評価を得られている。また、作品の満足度や作品の難

表 5.3: 予備実験におけるオブジェクト選択ツールの評価

実験参加者 No.	ツールの評価	ツールの使用感
00	4	評価項目によりアイデアの指標が決められた
01	2	絵から形状を考えながら選べた
02	1	直感的に選んだモノから軸にアイデアを考えた

表 5.4: 予備実験における 3D データの制作アンケート評価

実験参加者 No.	3D 経験の有無	任意の場所への配置	作品の満足度	制作の難易度
00	無し	2	2	2
01	有り	2	2	1
02	無し	1	1	1

易度に関しても同様に高い評価を得られている。

図 5.2 は、ユーザ観察のために撮影した動画から実験参加者ごとに 3D データの制作の際にどのような操作が行われているか回数をカウントした数の割合である。これは、それぞれの操作が行われてから終わるまでを 1 回としてカウントし全体の操作数から割合を算出している。この図から、実験参加者 No.00 と 02 ではカメラの操作の割合が高くなる一方で、No.01 の割合が低くなる結果が確認された。この要因として、No.01 は大学の実習で 3DCG ソフトの経験があるため、他の実験参加者より操作に無駄がなかったことが考えられる。その他の操作では、オブジェクトの回転が実験参加者全体で低くなっており、No.02 では確認されなかった。この結果について、実験参加者がインポートされたまま使用される事が多かったことが考えられる。また、No.01 では他の参加者と違い色を変更する操作が確認された。これは、オブジェクト選択ツールで伝えた自己評価の項目が影響し、色から奇抜さやオリジナリティを取り入れようとした結果であると考えられる。このことから、自己評価の項目が影響し、評価項目を達成するために意欲的に操作が行われた結果であることが考えられる。

インタビューの結果から、制作に関して全参加者から制作の難易度に関して、アンケートと同様に、問題なく制作可能であるといった回答を得られた。また、操作を考えるよりも制作を重視して考えられたといった回答が得られた。この結果から、3.2 節での体験プロセス設計の際に取り上げた、操作が前提となった制作が行われていることが考えられる。一方で、制作に関して困った点についての質問では、「カメラの操作が難しい」や「多方面からオブジェクトを見なければならぬ点が難しい」といったカメラの操作に関する回答が多く得られた。この結果から、3DMaze によってカメラの操作に対する意識付けが起きていることが考えられる。

以上の予備実験の結果から、本研究で設計された体験は、初学者でも容易に行うことが可能であり、満足できる作品が制作可能であることが考えられる。また、3D データ制作の以前に行われた体験は、ユーザが制作する際に良い影響を与えていることが示唆される結果が得られている。これらの結果を踏まえて、各コンテンツの修正などを行い、本実験による体験の評価を行う。

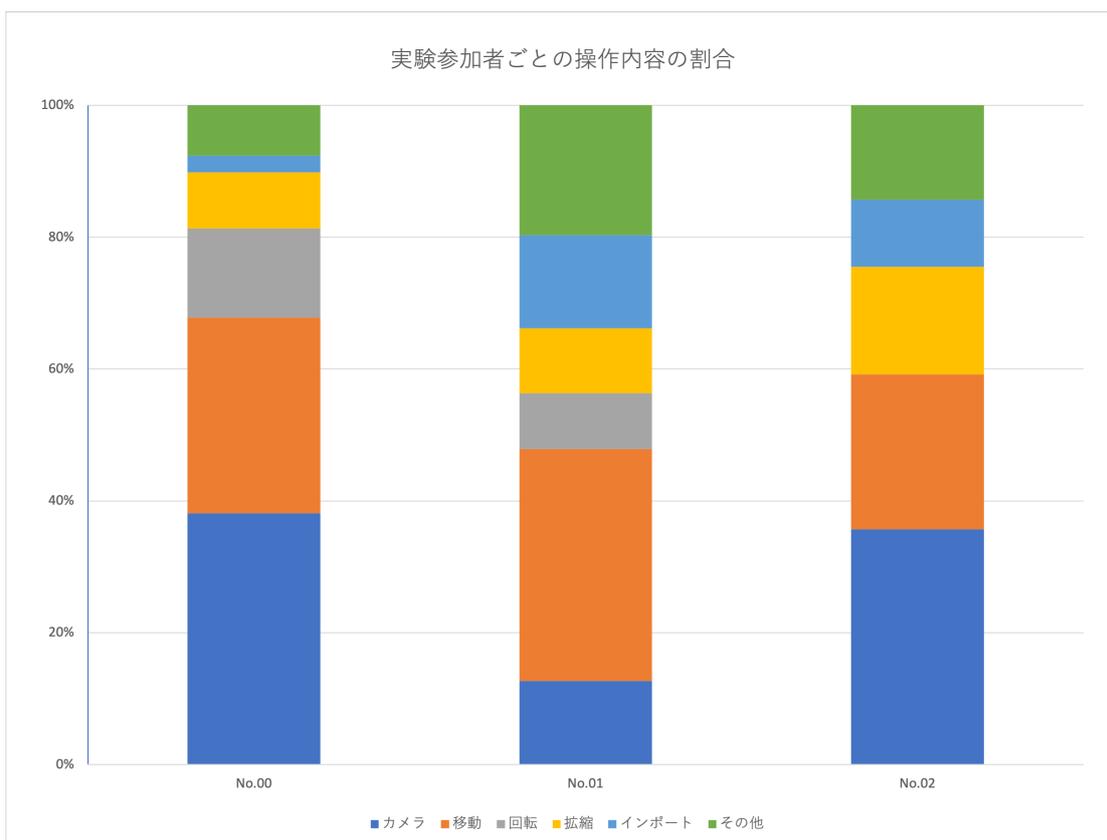


図 5.2: 予備実験における実験参加者ごとの操作割合

5.4 本実験

本節では、予備実験の結果を踏まえて、体験コンテンツの改善を行い、本実験によって本研究で設計された体験の評価を行う。まず、体験コンテンツの改善として、3DMazeでは、難易度の設定として、より操作が行われるという観点から、予備実験で最も難易度が高いものを設定した。また、操作性に対する指摘が実験参加者より得られた。この指摘から、3DMazeの操作をマウスのドラッグの移動方向と同時に動くようカメラの操作とオブジェクトの回転の変更を行った。その他のコンテンツに対しては改善点を挙げられたコンテンツもあるが、同様に使い易い点として取り上げられているため、変更は行わなかった。次に、本実験における評価方法については、予備実験と同様に振り返りアンケート、ユーザ観察、ユーザへのインタビューによる評価を行う。予備実験からの変更点として、3DMazeの制限時間の変更とユーザへのインタビューを半構造化インタビューの形式にて行う点を変更した。3DMazeでは、予備実験で同様の難易度を行った実験参加者の時間を参考に10分程度と定め、クリアの見込みがあれば継続するような形で行う。また、半構造化インタビューでは、予備実験から構造化したインタビューの質問項目を表5.5に示す。これらの質問項目から、ユーザの回答によってより深く質問を行う。また、実験参加者には予備実験同様に「ペン立て」を作成してもらう。これらを踏まえて、本実験を行い本研究における体験の評価を行う。

表 5.5: 本実験における構造化したアンケート項目

質問 No.	質問ラベル	質問内容
1	Personal	PC の使用歴
2	Personal	主な使用用途
3	Personal	3D プリンタへの興味
4	提示部資料	内容は理解できたか
5	提示部資料	より興味が出るための改善点
6	3DMaze	ゲームの難易度
7	3DMaze	難しい要因
8	3DMaze	制作時の 3D 空間について
9	操作学習動画	操作について理解できたか
10	操作学習動画	動画と同様の操作ができたか
11	オブジェクトの選択	どういう基準で選んだか
12	オブジェクトの選択	選択時での自己評価項目の影響
13	オブジェクトの選択	このツールを使用する必要性
14	オブジェクトの選択	データの量について
15	3D データ制作	制作の難易度
16	3D データ制作	覚えた操作の利用
17	3D データ制作	作成時の難しさ

5.5 本実験結果

本節では、本実験の結果について、各コンテンツごとに述べる。本実験では、関西大学に通う情報系の大学生 10 名を対象に行った。実験参加者は予備実験と同様に、事前に用意した参加フォームにより 3D データの制作経験が無い、または大学での実習授業のみの経験者を対象としている。実験参加者の内訳は、経験無しの参加者が 8 名、大学での実習授業のみ利用経験がある参加者が 2 名であった。

5.5.1 本実験：3DMaze

本実験で得られた 3DMaze に関する実験結果について述べる。まず、アンケートでは 3DMaze における難易度について 5 段階評価で回答してもらった。そのアンケート結果を図 5.3 に示す。アンケート結果から、10 名中 9 名の参加者が、5 段階評価の 1 や 2 で回答していることから、適した難易度であるという回答が得られたことが示唆される。一方で適していないと回答した実験参加者からは、「カメラを動かしたことによって重力の方向がわからなくなる」という回答が挙げられた。ユーザ観察において、ゲームをクリアした参加者は 10 名のうち 6 名と半数を上回った。ゲームのクリア時間が短ければ短い参加者ほど、カメラでゴールまでの道筋を確認して、その道筋に沿って操作する様子が観察された。また、クリアした実験参加者の特徴として、カメラでは大きく動かすように操作を行い、オブジェクトを回転させる際には細かく操作していることが確認された。一方で、クリアできなかった参加者では、カメラの操作やオブジェクトの回転を行った際に球をよく見失っている。また、オブ

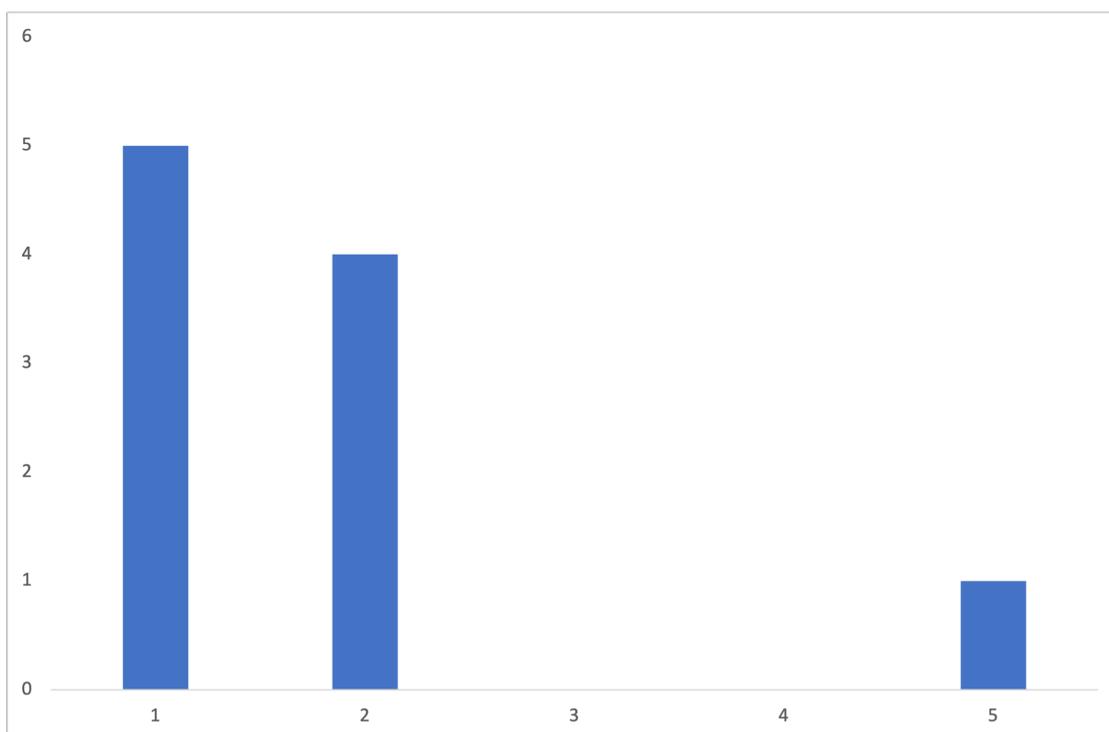


図 5.3: 本実験における 3DMaze の難易度

ジェットの回転では、操作が大きいため、実験参加者の意図しない方向に転がってしまっていることが確認された。インタビューでは、難易度に関して、適した難易度と答えた参加者が6名いたことがユーザ観察を通じて確認された。一方で、今回以上の難易度だと難しいといった回答を得られた。また、3DMazeでの難しかった箇所について、「実世界にある立体迷路と違い直感的でない」、「自分がどの方向から見ているのか理解しづらい」といった回答があった。この3DMazeを行った後に3DCADへの印象については、10名中7名が特に何も感じなかったと回答した。一方で、「3名からは画面を見慣れる点ではよかった」といった3DMazeの意図に沿った回答を得られた。

5.5.2 本実験：操作学習動画

本実験で得られた操作学習動画に関する実験結果について述べる。まず、アンケートでは操作学習動画が適切であるかについて5段階評価で回答してもらった。そのアンケート結果を図5.4に示す。アンケート結果から、10名中8名の参加者が、5段階評価の1や2で回答していることから、操作学習動画として適しているという回答が得られたと考えられる。一方で適していないと回答した参加者からは、動画速度が速いことが指摘されており、動画内容を実践しようにも難しかったことが考えられる。また、次に、ユーザ観察では、全参加者で特徴的な様子は確認されなかった。インタビューでは、操作の内容を理解できたかという質問に対して、参加者10名中8名から理解できたという回答が得られた。一方で、「覚えられなかった」、「少し難しかった」と回答した参加者からは、アンケートと同様に動画の速度に対する回答や、特定の操作に対してわかりづらいといった回答が得られている。また、動画に合わせて学習ができたかに対する回答には、半数が可能であると回答している。

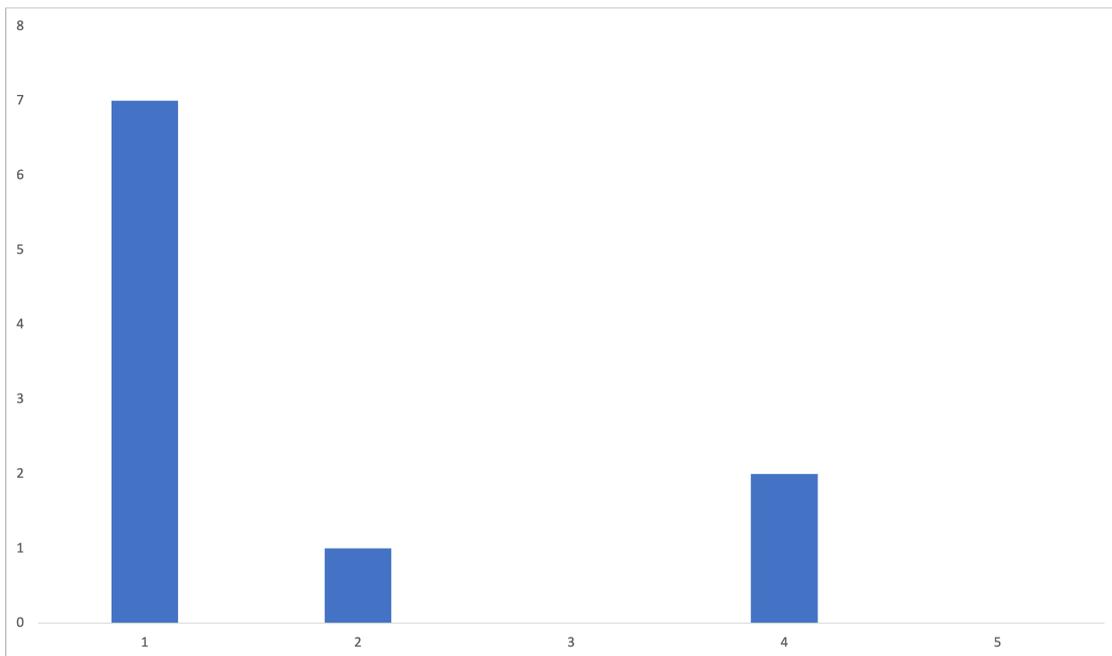


図 5.4: 本実験における操作学習動画は適切であったか

一方で、残りの半数の参加者からは、動画速度の速さ、動画と一緒に操作したいという回答が得られた。

5.5.3 本実験：オブジェクト選択ツール

本実験で得られたオブジェクト選択ツールに関する実験結果について述べる。まず、アンケートではオブジェクト選択ツールによってアイデアの整理が可能であるかについて5段階評価で回答してもらった。そのアンケート結果を図5.5に示す。アンケートの結果から、5段階評価の1や2で回答している参加者が7名確認されたことから、アイデアを整理することが可能であると考えられる。一方で、低い評価をつけた参加者からは、自身のアイデアの思考方法と合致しないといった回答が得られた。次に、ユーザ観察では、選択に悩むといった様子は確認されず、参加者全員がスムーズに選択の様子が確認された。最後にインタビューでは、どのような基準で選択したか、自己評価の項目が選択に影響したか、質問を行った。その回答を表5.6に示す。どのような基準で選択したかに対する回答では、実験参加者によって選択基準が大きく異なる結果となった。そのため、実験参加者はそれぞれ独自の選択基準を設け、自身の作成したいモノを選択していることが考えられる。また、自己評価の項目が選択に影響したかに対する回答では、影響したと回答した実験参加者が4名に留まった。一方で、影響しなかったと回答した実験参加者は、「自分の作りたいものを選んだ」という回答が得られた。これらの結果から、ユーザ自身が明確にアイデアを持つ時は自己評価の項目は影響しないが、アイデアが明確でない場合、自己評価の項目を与えることで、それらの項目を意識したアイデアの創出を促すことが可能であると考えられる。また、オブジェクト選択ツールの必要性として、9名の参加者がアイデアを創出、アイデアの整理に有効であるといった回答を得られており、データ数に関しても同様に丁度いい量であるといった回答が多く得られた。

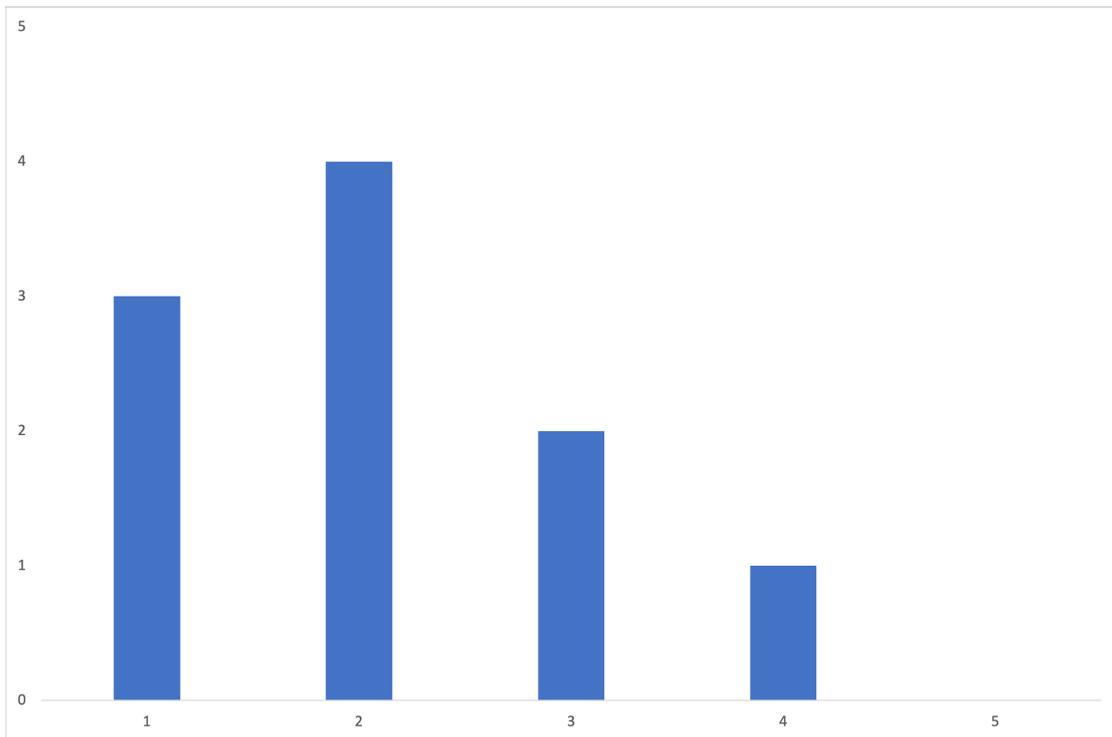


図 5.5: 本実験におけるオブジェクト選択ツールによってアイデアの整理が可能か

5.5.4 本実験：3D データの制作

本実験で得られた3Dデータの制作に関する実験結果について述べる。実験参加者によって制作された3Dオブジェクトの一部を図5.6, 図5.7, 図5.8に示す。まず, アンケートでは, 制作の際に任意の場所にオブジェクトを配置できたか, 制作した作品の満足度, 制作の難易度, 3Dプリンタに対する興味が生まれたかの4件について, 5段階評価で回答してもらった。そのアンケート結果を図5.9に示す。アンケートの結果, 4件の質問全てで5名以上の参加者から, 1や2の高い回答が得られた。この結果から, 3Dデータの制作に関して, オブジェクトを任意の場所に配置できており, 制作の難易度が適していることが考えられる。また, 3Dプリンタへの興味が獲得可能な体験であったことが考えられる。一方で, 制作された作品の満足度で, 低い評価が多く見られた理由として, 「数日かけて作品を制作したい」, 「操作が上手く行えず満足する作品が制作できなかった」といった回答が得られた。

ユーザ観察では, 全ての参加者が学習動画によって学んだ操作であるドラッグによる操作や数字を入力する操作などを問題なく扱う様子が確認された。また, カメラを操作して, 多方面から確認しつつ制作を行っている様子が確認された。一方で, 実験参加者によっては, インポートされたオブジェクトのサイズが小さいために探す様子や操作によって意図しない変更をしてしまうなど操作に慣れていない様子が確認された。その他の特徴的な様子として, 制作前のオブジェクト選択ツールで選択した3Dデータを, 制作の途中で変更する参加者が複数確認された。そのため, 制作時にアイデアの修正が行われていることが考えられる。また, 本研究では説明していない操作であるオブジェクトの色付けを行っている実験参加者も複数人確認された。

インタビューでは, 制作の難易度と覚えた操作が問題なく使えたかの質問に対して, 半

表 5.6: 本実験におけるオブジェクト選択ツールに対するインタビューの回答結果

実験 No.	どのような基準で選択したか	自己評価の項目が選択に影響したか
0	自分が好きそうなものを選択した	少し影響した
1	実用性を考慮して選択した後、見た目を考えた	少し影響した
2	道具のオブジェクトから作成した	奇抜さ・オリジナリティを意識した
3	アイデアを考えたときにそれに近いもの	特に気にせず選んだ
4	シンプルなもの	自分が作りたいものを選んだ
5	面白そうな形のもの	自分が作りたいものを選んだ
6	全体のアイデアを考えて必要になるもの	自分が作りたいものを選んだ
7	実用性からシンプルなものを選んだ	実用性を重視した
8	人間社会をテーマにして選択した	テーマに沿って選択した
9	特に意識していない（直感で選択）	特に意識していない

数以上の実験参加者が「問題なく制作できた」、「覚えた操作を問題なく使用できた」という回答が得られた。そのため、本研究で定めた操作や制作方法は初学者でも容易に行うことが可能な難易度であることが考えられる。また、操作に囚われることなく、創ることを楽しめたといった回答も得られている。一方で、制作の難易度が難しいと回答した実験参加者からは、オブジェクトの微調整が難しいといった回答が得られた。この回答は、実験参加者全体で制作で難しかった点として挙げられている。そのため、実験参加者全体で、細かい操作を行うような制作が行われていることが考えられる。

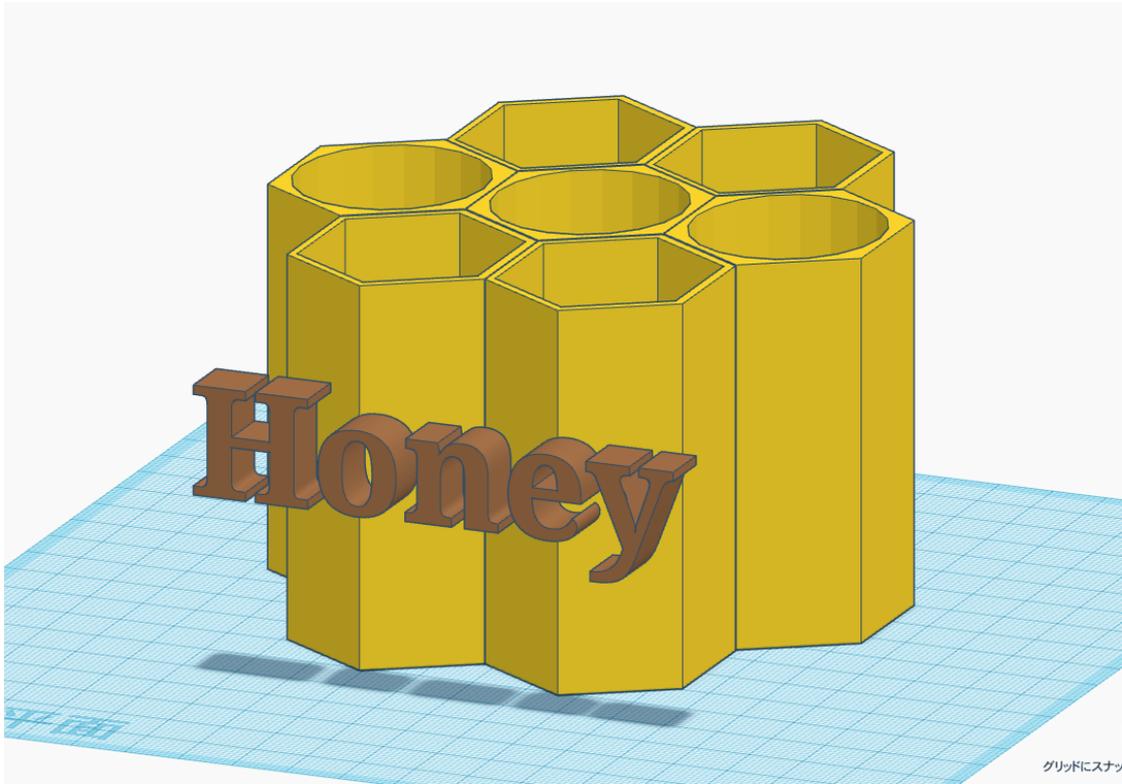


図 5.6: 本実験で実験参加者が作成した 3D データ A

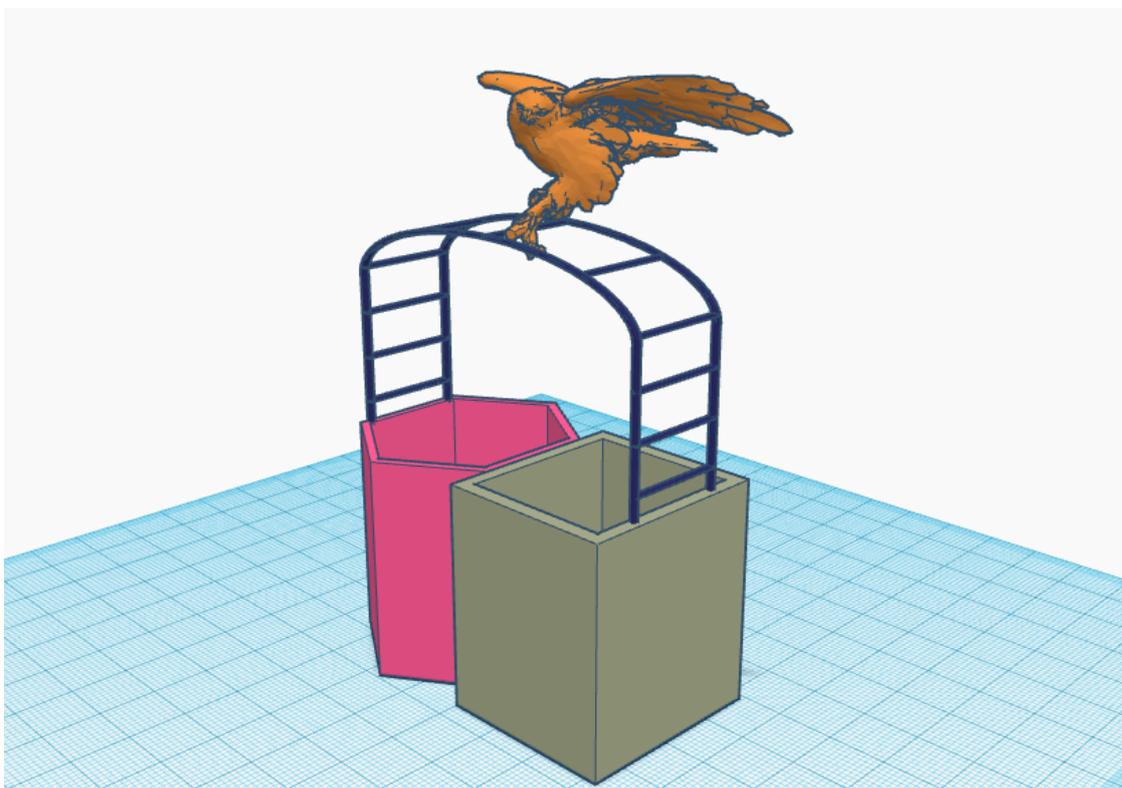


図 5.7: 本実験で実験参加者が作成した 3D データ B

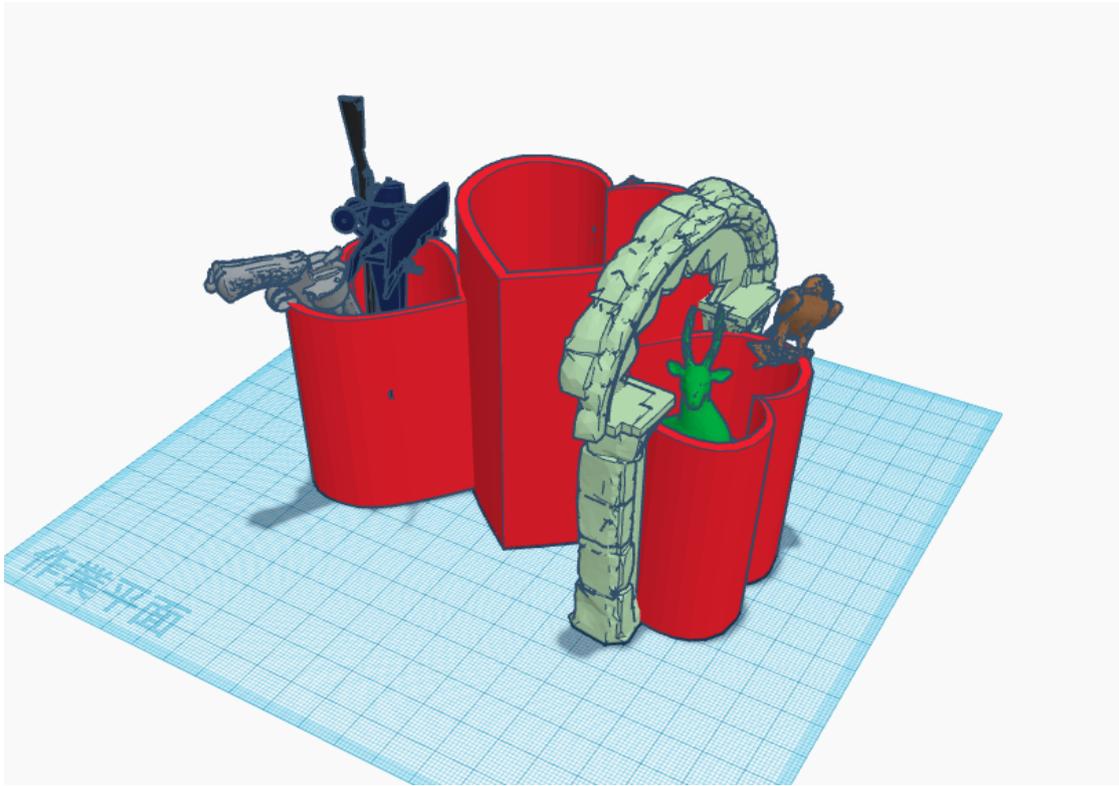


図 5.8: 本実験で実験参加者が作成した 3D データ C

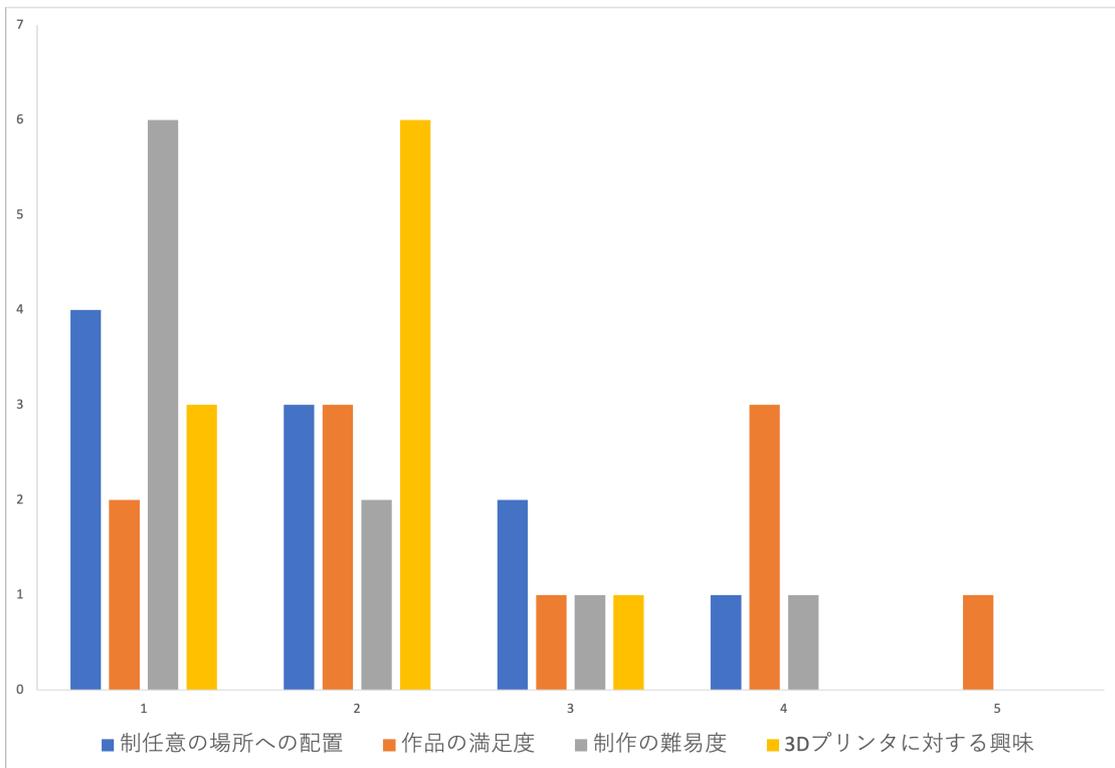


図 5.9: 本実験における 3D データの制作に関する 5 段階評価の結果

6 3Dデータの評価

本章では、本実験における本研究で設計された体験にて、実験参加者によって作成された3Dデータに対するファブリケーションスペースのスタッフによる評価について述べる。

6.1 評価方法

本節では、本章で行うファブリケーションスタッフによる評価について述べる。まず、評価者として、関西大学高槻キャンパスのファブリケーションスペースであるMonoLabで勤務するスタッフ2名による評価を行った。MonoLabでは、3Dプリンタが設置されており、スタッフは利用者のデータが印刷可能であるか判断し、3Dプリンタの印刷方法やCura¹などのスライサーソフトによる印刷設定の指導や設定を行っている。そのため、本研究における制作された3Dデータに評価者として適していると考えられる。また、本研究で設計された体験は自由な制作を目的としているため、3Dプリンタの印刷を考慮した3Dデータの制作について制限を行っていない。そのため、3Dプリンタによる印刷を含めた体験を実施する際に、制作される3Dデータが印刷可能であるか評価する必要がある。また、印刷可能な3Dデータを初学者が制作するために障壁となる箇所について明らかにするために、ファブリケーションスペースのスタッフによる評価は重要であると考えられる。

次に評価方法として、アンケートによる評価を行った。評価者には、実験参加者がTinkerCADによって作成した3Dデータを実際に確認しつつアンケートによる評価を行ってもらった。アンケートの項目として、3Dデータの合理性と技術のレベルについて5段階による評価を行う。3Dデータの合理性とは、実験参加者によって作成された3Dデータが印刷可能であるかについてであり、技術のレベルとは、本研究で実験参加者が覚えた操作を用いて制作したかについてである。5段階の指標について、表6.1と表6.2にまとめる。評価者にはこの指標に最も近いと感じるものを選択してもらった。また、それぞれの評価理由について、各制作されたデータごとの総評について記述形式で回答してもらった。

6.2 評価結果

ファブリケーションスタッフごとの本実験の実験参加者によって制作された3Dデータの評価結果を表6.3と表6.4に示す。評価者はそれぞれ評価Aと評価Bによって表している。

表 6.1: 3Dデータの合理性における5段階評価指標

5段階	3Dデータの合理性（印刷が可能か）
1	データを修復する必要がない
2	本質的ではない数カ所を修正すれば印刷が可能である
3	構造的にデータを修正する必要がある
4	印刷するためには大幅な修正が必要である
5	印刷できない。または、作り直した方が早い可能性がある

¹<https://ultimaker.com/ja/software/ultimaker-cura> (2022/02/02 確認)

表 6.2: 技術のレベルにおける5段階評価指標

5段階	技術レベル
1	与えられた操作をすべて使い、緻密な操作を行うことが可能である
2	与えられた操作を全て使えている
3	特定の操作が使えていない（使っていない）
4	複数の操作が上手く使えていない（使っていない）
5	全体的に与えられた操作を使えていない

まず、評価者Aの評価結果について述べる。合理性に対する5段階評価では、基本的に高い評価がされている。そのため、実験参加者の大半がほぼ印刷が可能な3Dデータを制作していたことが考えられる。一方で、評価が低かった参加者の3Dデータは、構造的に自立することが難しく設計されているため、合理性として低く評価されたと考えられる。また、評価理由については、全ての参加者で合成が行われていない点が言及されていた。そのため、本実験において行われた制作では、実験参加者に合成の必要性や操作方法が理解されなかったことが考えられる。技術のレベルに対する評価では、5段階評価において全ての操作が使用できていると評価された参加者が3名に留まった。この理由として、オブジェクトの合成が使われていないことが言及されている。そのため、技術のレベルにおいても合理性と同様にオブジェクトの合成に関して、実験参加者に操作方法が理解されなかったことが考えられる。データに対する総評として、3Dデータのデザインに対して良い評価がされていた。一方で、3Dデータが実際に印刷されたときのサイズやオブジェクト同士の合成、使用用途など実際に印刷する際や使用する際などについて考慮する必要があるといった回答が得られた。

次に、評価者Bの評価結果について述べる。合理性に対する5段階評価では、高い評価をつけられた参加者が半数を上回っている。また、この評価の理由として、形状がシンプルに作成されていることや、印刷する際に行うサポート設定を用いることで印刷が可能であることを挙げている。この結果から、評価者Aの評価と同様に、本実験で制作された3Dデータは、サポート設定を用いることで、出力可能な3Dデータが作成されたことが考えられる。一方で、5段階評価で低く評価がつけられた3Dデータは、オブジェクト同士に間があることや制作されたデータをそのまま出力することが難しいといった理由が挙げられている。そのため、サポートを用いても出力が難しい作品に対して低い評価されていることが考えられる。技術のレベルに対する評価では、評価者Aと同様に、5段階評価において全ての操作が使用できていると評価された参加者が4名と参加者全体の半数に留まった。このような評価をつけた理由として、オブジェクト同士の隙間やオブジェクトの合成について言及されている。そのため、評価者Aの結果と同様に、オブジェクトの合成に関して、実験参加者に操作方法が理解されなかったことが考えられる。データに対する総評として、Aと同様に3Dデータに対してデザインを評価する回答が得られている。一方で、3Dプリンタが積層によって出力されることが考慮されていないことや、合理性や技術のレベルで低い評価をつけたものに対してはアイデアがシンプルすぎるといった回答が得られた。

表 6.3: 評価 A による評価結果

実験 No.	合理性	技術	総評
0	2	5	実用性はないが用途は何とか果たすレベル
1	2	3	デザインは良いがペン立てとしては上部が邪魔で使いにくく小さい
2	2	1	合成していない部分があるが機能はすべて使えている
3	2	3	実用的な形状ではあるが小さすぎる、合成が必要
4	2	2	実寸で出力すると実用性がないが用途は果たすレベル
5	5	3	とても実用的ではあるが合成などの技術が必要
6	2	3	用途を果たしかつ、デザインもオリジナリティを加えている
7	2	1	形状は問題ないけれど、サイズが小さいため、拡大が必要
8	2	3	オリジナリティはあるけれど、合成などの技術が必要
9	2	4	デザインは良いがサイズが小さい

表 6.4: 評価 B による評価結果

実験 No.	合理性	技術	総評
0	2	2	ダイナミックな作品である
1	2	1	サポートが多く必要な点を除けば丁寧に作られている
2	3	3	面白いオブジェクトを使用していた
3	1	5	実用的な形状ではあるが小さすぎる、合成が必要
4	5	4	出力のしやすさという点ではとても良いが創造性が感じられない
5	4	5	制作された作品から制作の時間がなかったのかと感じた
6	2	1	積層して造形される過程を想像できなかったか
7	1	3	六角形からハニカム構造の作成は良い目の付け所だと思った
8	4	2	積層して造形される過程を想像できなかったか
9	2	3	接する箇所の修正と不要部分を取り除けば美しい仕上がりになる

7 議論

本章では、本実験及び3Dデータの評価によって得られた結果から、考察と本研究で設計された体験の一般化や、今後の展望について述べる。

7.1 考察

本節では、実験結果と3Dデータの評価それぞれの考察について述べる。まず、本実験の結果を踏まえて、本研究で設計された体験は初学者が容易に3Dデータの制作を行うことが可能な体験であり、3Dプリンタへの興味を生むことが可能な体験であることが示唆される結果が得られた。これは、物語の構造理論であるナラティブ・アークに沿って制作された体験ストーリーの構築や必要な支援を行う体験コンテンツを制作することによって、3Dプリンタに対する興味を得られる体験であることが考えられる。また、アンケートで行った体験の感想では、3Dデータの制作が容易であることが多くの実験参加者によって言及されている。そのため、初学者にとって、本研究で行ったように操作や3Dデータなどの制限を設けて自由な制作を行うことが有効であることが考えられる。また、ユーザ観察において、本研究では取り扱っていない操作を行う参加者が複数確認された。そのため、実験参加者が自身の作品を良くするため、意欲的に新しい操作を取り入れていることが考えられる。これらの理由から本研究では、初学者の制作意欲を獲得・維持することが可能であることが考えられる。また、今回の実験で、3DMazeでは本実験から有用であるといった結果は得られなかった。一方で、実験参加者の半数以下ではあるが、3DMazeの設計目的である3D空間に慣れることができたという回答がアンケートの回答で得られた。そのため、コンテンツの3DMazeの改善を行うことで3D空間に慣れるコンテンツとして利用可能であることが考えられる。

次に、評価者2名による評価結果から、本実験で作成されたデータは出力の際にサポート設定を用いることで印刷可能であるといった理由が挙げられることから、3Dプリンタで印刷可能な合理性のあるデータが多いことが明らかになった。また、総評にて、デザインやアイデアに対して評価されていることから、実験参加者それぞれのアイデアが制作に反映されていることが考えられる。一方で、技術のレベルに関して、全ての操作を使用されていると評価された作品が半数を下回っている。特に、オブジェクトの合成が行われていないことが言及されている。また、実際に使用する際のことを考慮したサイズの設定や用途に対する操作が行われていないことが挙げられる。そのため、操作説明に対して、より詳細な説明や用途、必要性などを伝える必要がある。また、3Dプリンタの出力するまでを含めた体験を設計するには、本研究で設計した体験より制限を設ける必要が考えられる。

以上2つの考察から、本研究の考察を行う。本研究の考察は、本研究で設計した体験が初学者にとってどのような体験となったか、本研究の目的である基礎技能の習得と制作意欲を獲得・維持することが可能であるか、3Dプリンタによる出力の3つの観点で述べる。まず、本研究で設計された体験について、設計された体験は初学者が容易に3Dデータの制作を行うことが可能な体験であり、3Dプリンタへの興味を生むことが可能な体験であると考えられる。次に、基礎技能の習得や制作意欲を獲得・維持することが可能であるかについて、基礎技能の習得では、実験の結果、操作学習動画が適しているかという質問に対して参加者の半数以上から高い評価を得られた。また、制作において、ユーザ観察で、全参加者が制作

に必要な操作を行っている操作が確認されたこと、オブジェクトを任意の場所に配置できたかの質問に対しても適しているという回答が得られた。そのため、基本技能の習得が可能な体験である。制作意欲の獲得・維持では、ユーザ観察において、本研究では取り扱っていない操作を行う参加者が複数確認された。そのため、実験参加者が自身の作品を良くするため、意欲的に新しい操作を取り入れていることが考えられる。これらの理由から本研究では、初学者の制作意欲の獲得・維持が可能であることが考えられる。3Dプリンタによる出力について、制作された3Dデータでは、3Dプリンタによる印刷に関して、制作された3Dデータは、3Dプリンタによる印刷可能な3Dデータとしての合理性を持って制作されている。一方で、制作された3Dデータは用途やサイズなどの考慮がされていない。そのため、本研究では、印刷可能な合理性のある3Dデータの制作が可能だが、サイズや用途の考慮がなされていない。以上の考察から、本研究で設計された体験は、基礎技能習得と制作意欲維持が可能な体験であり、3Dデータの制作に関して初学者が容易に行うことが可能かつ、3Dプリンタの印刷において出力可能な合理性を持つ3Dデータが制作可能である。

7.2 体験の一般化

本研究で行った体験の一般化として、本研究の体験で行った内容を図7.1と図7.2に示す。まず、図7.1では、本研究が設計した体験で行った制作におけるフレームワークを示している。次に、図7.2では、図7.1のような制作を行うために、体験の基礎となるプロセスを設計し、そのプロセスから物語の構造理論によって体験ストーリーの構築を示している。本研究の体験では、ユーザが自由な制作を行うことに重きを置いている。しかし、初学者が自由な制作を行う上で、制作に使用するソフトウェアなどは、ツールや操作が多様すぎるため初学者が扱うには難しい。そこで、初学者が使用するツールや操作を制限することで、初学者自身が使えるツールや操作による自由な制作を行った。また、本研究では使用する素材であるデータについても制限を行った。これは、データを制限することで、初学者が制作の際にどう組み合わせるかを考えて行うことを容易にするためである。そのため、本研究では初学者が自由な制作を行うために、使用できる操作の制限と制作の素材となるデータを制限することで初学者における自由な制作を行う体験を設計した。このように、自由な制作の中に制限を設けることで、初学者においても容易に自由な制作を行うことが本研究の実験結果によって示唆されている。

この自由な制作の中に制限を設けているサービスとして、ByteDance社が開発したTikTok¹と呼ばれるショートビデオプラットフォームがある。これは、15秒から1分程度の動画を、動画速度やアプリケーション内に実装されている特殊効果やBGMを用いて作成し、投稿することが可能である。このようにTikTokでは、動画制作における機能を制限し、アプリケーション内の特殊効果やBGMを組み合わせることで短尺の動画を作成している。そのため、動画制作に疎い人でも容易に動画編集が可能であることが魅力のアプリケーションである。本研究の3Dデータ制作やTikTokでの動画制作のようにPCやスマートフォンなどを用いて制作することは、自由な制作の中に制限を設けることで初学者にも容易に行うことが可能であり、新規参入を容易にすることが考えられる。また、これらの制限はユーザの理解度によって解除されることによって継続的利用を促すことが挙げられている。これは、ゲー

¹<https://www.tiktok.com/ja-JP/> (2022/02/05 確認)

ムデザインにおけるレベリングと呼ばれる要素である。レベリングとは、デザイナーが一連のステップを通じてプレイヤーを操り、ゲームプレイをコントロールすると同時に、視覚的に魅力的な体験を提供することを目的としている [12]。これは伝統工芸における技術の知識を学ぶ上でも利用されている [8]。これらを踏まえて、本研究で設計した自由な制作は、データ制作における新規参入において貢献可能であることが考えられる。また、本研究における制作に、ゲーミフィケーションにおけるレベリングの要素を用いることで3Dプリンタのようなコンテンツの継続的な利用に関しても貢献可能であると考えられる。



図 7.1: 本研究における自由な制作におけるフレームワーク

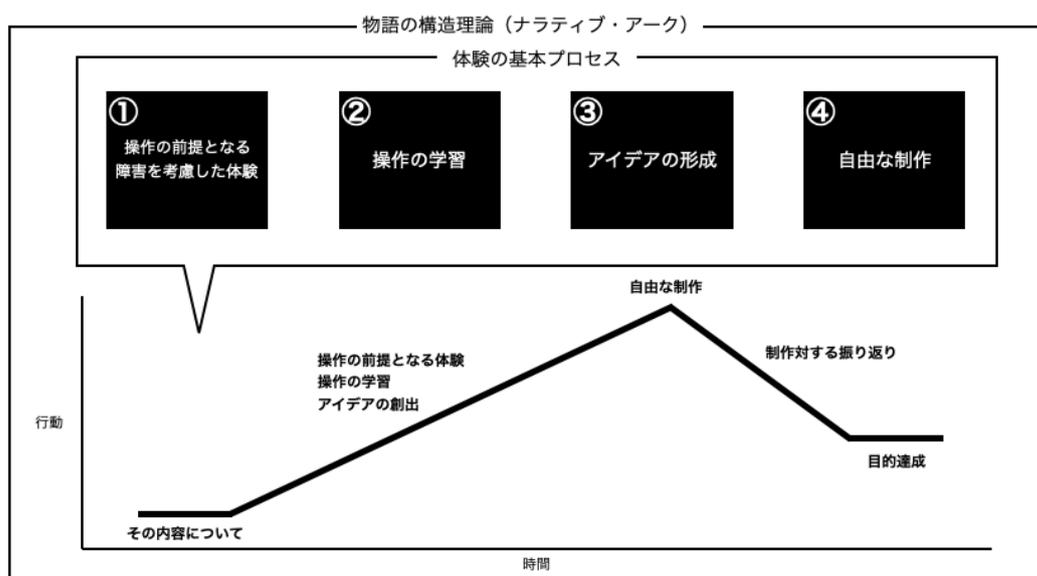


図 7.2: 本研究における体験設計について

8 結論

本研究の目的は、デジタルファブ리케이션分野における新規参入が難しい問題に対して、3Dプリンタを対象とした初学者における基礎技能の習得と制作意欲の維持を行う体験の設計によって解決を目指す。体験設計にあたり、先行研究で挙げられている初学者の障壁を考慮した体験プロセスを設計した。この体験プロセスを元に、ストーリーテリングの手法を用いて体験のストーリー構築を行うことで体験を設計した。体験の評価として、ユーザ実験を行い、本研究で設計した体験の有用性について評価を行った。

実験の結果、本研究で設計された体験は初学者が容易に行うことが可能な体験であり、3Dプリンタへの興味を生むことが可能な体験であることが示唆される結果が得られた。また、アンケートで行った体験の感想では、3Dデータの制作が容易であることが多くの実験参加者により言及されている。そのため、初学者にとって、本研究で行ったように操作や3Dデータなどの制限を設けて自由な制作を行うことが有効であることが考えられる。また、ユーザ観察において、制作に必要な操作が全参加者から確認されたこと、本研究では取り扱っていない操作を行う参加者が複数確認された。そのため、実験参加者が自身の作品を良くするため、意欲的に新しい操作を取り入れていることが考えられる。従って、本研究では初学者の制作意欲を獲得・維持が可能であると示唆される。

ファブ리케이션スタッフによる実験で制作された3Dデータの評価では、出力の際にサポート設定を用いることで印刷可能であるといった理由が挙げられる。そのため、3Dプリンタで印刷可能な合理性のあるデータが多いことが明らかになった。一方で、技術のレベルに関して、全ての操作を使用されていると評価された作品が半数を下回った。特に、オブジェクトの合成が行われていないことが言及されている。また、実際に使用する際のことを考慮したサイズの設定や用途に対する操作が行われていないことが挙げられている。そのため印刷が考慮された3Dデータは制作されなかったと示唆される。

以上の実験結果と3Dデータの評価を踏まえて、本研究で設計された体験は、3Dプリンタに対して興味や基礎技能を習得しつつ制作意欲の獲得・維持が可能な体験である。また、制作された3Dデータは、3Dプリンタによる印刷可能な3Dデータとしての合理性を持ったデータが制作されている。一方で、制作された3Dデータは用途やサイズなどの考慮がされていない。そのため、3Dプリンタでの出力について、3Dデータの形状的な出力は問題ないが、用途やサイズなどが考慮されていない。

今後は、体験ストーリーとゲーミフィケーション要素を組み合わせるなどによる体験の改善を行う。また、本研究で得られた体験コンテンツに対する指摘から操作などの改善を行う。また、3Dプリンタの印刷を含めた体験を設計するために、6章で得られた評価を元に、制作における制限や先行研究で行われている長期的な実験についても検討する[1]。そして、本研究で設計された体験を別のデジタルファブ리케이션で利用される機器やその他のコンテンツでの利用を行い、同様の結果が得られるか検証を行う。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、関西大学総合情報学部の松下光範教授には数々のご指導ご鞭撻を賜りました。教授の導入ゼミに配属されなければ、研究室配属の際に声をかけていただければ、今の僕は何一つ無いと思っています。深く感謝致します。

関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻の玄道俊氏、福元颯氏、森野穰氏、樋口友梨穂氏、宮本誠人氏、樋口亮太氏、竹村孟氏、山本京香氏に心より感謝申し上げます。

玄道俊氏は、関西で初めてできた友人で、AO入試から長い時間お世話になりました。私の学生生活がとても愉快で大切な時間であったのは、玄道氏のおかげであると思っています。心より御礼申し上げます。

福元颯氏は、研究室配属から大変お世話になりました。特に、雑なボケやフリに対して的確なツッコミをいただきました。心より御礼申し上げます。

森野穰氏は、研究室配属から大変お世話になりました。遅くまで作業した際など、愛車にご乗車させていただいたことや、国際学会の発表の英語チェックなど、大変お世話になりました。心より御礼申し上げます。

樋口友梨穂氏には、日々の雑談にお付き合いいただき、同じ実世界研究として相談にも乗っていただき、様々な点でお世話になりました。心より御礼申し上げます。

宮本誠人氏には、日々の雑談にお付き合いいただき、時にくだらない愚痴に時間を割いていただきました。心より御礼申し上げます。

樋口亮太氏、竹村孟氏、山本京香氏には、日々の研究室での雑談にお付き合いいただいたり、至らない自分にご指摘いただいたり等、とてもお世話になりました。心より御礼申し上げます。

研究室生活を送る上でお世話になりました7期生、8期生、9期生、10期生、11期生、12期生の皆様に深く感謝申し上げます。特に、赤星俊平氏、岩崎有基氏、中西聖氏、青木靖太氏、返町周氏、佐藤光起氏、建田伸氏には様々な点でお世話になりました。赤星俊平氏、中西聖氏、青木靖太氏、返町周氏、佐藤光起氏には、学部生時代から研究指導など多くのことを教わりました。そのため、先輩方を目標に努力した4年間になったと考えています。また、積極的に話しかけてくださったり、「熊」といったあだ名をつけていただきました。岩崎有基氏には、研究相談から就職活動の相談など大変お世話になりました。また、アウトドアについて多くのことを学ばせていただき、キャンプにお誘いいただきました。建田伸氏には、学部生時代から卒業後も多くの相談や雑談にお忙しい中お付き合いいただきました。

関西大学総合情報学部総情工房 MonoLab の長岡直美氏、前谷康太郎氏に深く感謝申し上げます。ものづくりへの心構えや、技術など様々な学びを得ることができ、とても充実した大学院生活を送ることができました。

最後に、6年間長い期間の学生生活を遠方から、支えてくれた両親、長兄と次兄に心から感謝の意を記して謝辞と致します。

参考文献

- [1] Berman, A., Deurmeyer, E., Nam, B., Chu, S. L. and Quek, F.: Exploring the 3D Printing Process for Young Children in Curriculum-Aligned Making in the Classroom, *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children*, IDC '18, Association for Computing Machinery, pp. 681–686, DOI: 10.1145/3202185.3210799 (2018).
- [2] Berman, A., Quek, F., Woodward, R., Okundaye, O. and Kim, J.: “Anyone Can Print”: Supporting Collaborations with 3D Printing Services to Empower Broader Participation in Personal Fabrication, *Proceedings of the 11th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Shaping Experiences, Shaping Society*, NordiCHI '20, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3419249.3420068 (2020).
- [3] Dousay, T. A. and Weible, J. L.: Build-A-Bug Workshop: Designing a Learning Experience with Emerging Technology to Foster Creativity, *TechTrends*, Vol. 63, No. 1, pp. 41–52, DOI: 10.1007/s11528-018-0364-8 (2019).
- [4] Fossdal, F., Heldal, R. and Peek, N.: Interactive Digital Fabrication Machine Control Directly Within a CAD Environment, *Symposium on Computational Fabrication*, SCF '21, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3485114.3485120 (2021).
- [5] Grossman, T., Fitzmaurice, G. and Attar, R.: A Survey of Software Learnability: Metrics, Methodologies and Guidelines, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI'09, Association for Computing Machinery, pp. 649–658, DOI: 10.1145/1518701.1518803 (2009).
- [6] Hamari, J., Koivisto, J. and Sarsa, H.: Does Gamification Work? – A Literature Review of Empirical Studies on Gamification, *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 3025–3034, DOI: 10.1109/HICSS.2014.377 (2014).
- [7] Hudson, N., Alcock, C. and Chilana, P. K.: Understanding Newcomers to 3D Printing: Motivations, Workflows, and Barriers of Casual Makers, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, Association for Computing Machinery, pp. 384–396, DOI: 10.1145/2858036.2858266 (2016).
- [8] Isa, W. M. W., Zin, N. A. M., Rosdi, F. and Sarim, H. M.: Serious Game Design for Terengganu Brassware Craft Heritage, *2019 IEEE Conference on Graphics and Media*, pp. 13–17, DOI: 10.1109/GAME47560.2019.8980774 (2019).
- [9] Kurihara, K.: Toolification of Games: Achieving Non-Game Purposes in the Redundant Spaces of Existing Games, *Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE'15, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/2832932.2832965 (2015).
- [10] Lau, M., Hirose, M., Ohgawara, A., Mitani, J. and Igarashi, T.: Situated Modeling: A Shape-Stamping Interface with Tangible Primitives, *Proceedings of the Sixth International Conference*

on *Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI'12, Association for Computing Machinery, pp. 275–282, DOI: 10.1145/2148131.2148190 (2012).

- [11] Liu, K.-P., Tai, S.-J. D. and Liu, C.-C.: Enhancing language learning through creation: the effect of digital storytelling on student learning motivation and performance in a school English course, *Educational Technology Research and Development*, Vol. 66, No. 4, pp. 913–935, DOI: 10.1007/s11423-018-9592-z (2018).
- [12] Ma, C., Vining, N., Lefebvre, S. and Sheffer, A.: Game level layout from design specification, *Computer Graphics Forum*, Vol. 33, No. 2, Wiley Online Library, pp. 95–104 (2014).
- [13] Peng, H., Briggs, J., Wang, C.-Y., Guo, K., Kider, J., Mueller, S., Baudisch, P. and Guimbretière, F.: *RoMA: Interactive Fabrication with Augmented Reality and a Robotic 3D Printer*, Association for Computing Machinery, pp. 1–12 (2018).
- [14] Peng, Q. and Matterns, J.-B.: Enhancing User Experience Design with an Integrated Storytelling Method, *Design, User Experience, and Usability: Design Thinking and Methods* (Marcus, A.(ed.)), Springer International Publishing, pp. 114–123 (2016).
- [15] 伊豆裕一: デジタルファブリケーションの活用によるデザイン教育, 静岡文化芸術大学研究紀要, Vol. 17, pp. 183–188 (2017).
- [16] 浦野幸, 于沛超, 遠藤靖典, 星野准一: 実環境における災害体験ゲームシステムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 357–366 (2013).
- [17] エレンラプトン, ヤナガワ智予, 須永剛士: デザインはストーリーテリング-「体験」を生み出すためのデザインの工具箱, 株式会社ビー・エヌ・エヌ新社 (2018).
- [18] 香月欣浩: こどもが夢中になるアート, 四條畷学園短期大学紀要, Vol. 43, pp. 28–33 (2010).
- [19] 栗原一貴: Toolification of Games : 既存ゲームの余剰自由度の中で非ゲーム的目的を達成するゲーミフィケーション周辺概念の提案と検討, 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 4, pp. 919–931 (2017).
- [20] 塩出研史, 宮下芳明: MouseTutor : マウスに手を動かされるチュートリアル, インタラクション2017 論文集, pp. 216–221 (2017).
- [21] 杉浦学, 松澤芳昭, 大岩元: "Squeakを利用した“ものづくり”プロジェクトによる [生きる力] の育成”, 技術報告 123(2003-CE-072), 慶應義塾大学政策・メディア研究科, 慶應義塾大学政策・メディア研究科, 慶應義塾大学環境情報学部 (2003).
- [22] 須曾野仁志, 大野恵理: 世界におけるデジタルストーリーテリングの実践動向と課題, 三重大学教育学部研究紀要, Vol. 71, pp. 347–353 (2020).
- [23] 田山英臣: デジタルファブリケーション, 東北職業能力開発大学校紀要, pp. 67–70 (2021).
- [24] 中川瑞喜, 秋田純一: 組み込み技術向けのRPG型教育ツール, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2019 論文集, pp. 342–345 (2019).

- [25] 永井由佳里, 大谷周平, 谷口俊平: 全国のデザインFab施設の現状と可能性についての調査研究, 日本デザイン学会研究発表大会概要集, Vol. 66, p. 172 (2019).
- [26] 秦野真衣, 米澤朋子, 吉井直子, 高田雅美, 城和貴: ARを用いた空間認識能力向上のための学習方法, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-MPS-87, No. 33, pp. 1-6 (2012).
- [27] 福地健太郎: 「ゲームを作るゲーム」の教育効果について, 技術報告 5, 明治大学工学部 (2012).
- [28] 本多素子, 飯田隆一, 大谷忠, 谷田貝麻美子: 国内のファブラボにおけるデジタルものづくり初心者に対する支援の現状, 科学教育研究, Vol. 41, No. 3, pp. 373-382 (2017).
- [29] 松浦李恵, 岡部大介, 渡辺ゆうか: 高等学校におけるFABLABの公教育導入実証実践の事例報告, 日本教育工学会論文誌, Vol. 44, No. 3, pp. 325-333 (2021).
- [30] 三輪聡哉, 中村聡史: マイクロタスク埋め込み型音楽ゲームの提案, 技術報告 2, 明治大学, 明治大学/JST CREST (2014).