平成 28 年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目

エンドユーザによる
ゲームコントローラの自作についての調査

主専攻　　情報システム主専攻

著者　　飯樋　遼輝

指導教員　高橋伸 嵯峨智 志築文太郎

要　旨

本論文では，エンドユーザがゲームコントローラを自作する際の障害となりうる要因を調査するために，2 種類の被験者実験を行なった．

1 つ目の被験者実験では，紙粘土を整形し 3D スキャンする方法と 3D モデリングソフトを用いる方法のどちらがエンドユーザにとって容易であるか調査した．

2 つ目の被験者実験では，エンドユーザが 3D プリントで作成したゲームコントローラを使い実際にビデオゲームを試遊し，自作したコントローラが使用できるかおよびボタンの位置を変えることが可能であることの優位性の調査を行なった．

1 つ目の被験者実験の結果，紙粘土を 3D スキャナによりスキャンする方法と 3D モデリングソフトを用いる方法では，前者がエンドユーザ向けであることがわかり，各手法の利点および難点を明らかにした．

2 つ目の被験者実験の結果，エンドユーザがゲームを実際に遊べるゲームコントローラを自作可能であることおよびボタンの位置を変えることが可能であることに優位性があることを実証した．

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1 背景 1
1.2 目的と調査方法 1
1.3 構成 2

第 2 章　関連研究 **3**
2.1 プロトタイピング手法についての研究 3
2.2 タンジブルな 3D モデリング支援 3
2.3 デジタルと物理双方の 3D モデリング支援 4

第 3 章　ゲームコントローラの 3D モデル作成に関する被験者実験 **5**
3.1 概要 5
3.2 目的 5
3.3 被験者 5
3.4 タスク 1：紙粘土と 3D スキャナによるモデリング 6
3.4.1 手順 6
3.4.2 結果 9
紙粘土によるゲームコントローラの造形について 9
3D スキャナによる紙粘土のスキャンについて 13
スキャンしたデータの保存について 16
3D プリンタによる印刷物ついて 19
3.5 タスク 2：3D モデリングソフトによるモデリング 20
3.5.1 手順 20
3.5.2 タスク 2 の実験結果 21
既存の 3D モデルの読み込みについて 21
3D モデリングソフトによるモデリングについて 21
造形した 3D モデルの保存について 25
3D プリンタによる印刷物ついて 29
3.6 考察 32
3.6.1 ゲームコントローラの形状を造形する作業について 32
3.6.2 ゲームコントローラの形状について 32
3.6.3 モデルの保存について 32

3.6.4 実際に出来上がる印刷物について 33
3.6.5 所要時間について 33
3.6.6 どちらを利用したいかについて 33

第 4 章 ゲームコントローラ作成の被験者実験 34
4.1 概要 34
4.2 目的 34
4.3 被験者 34
4.4 実験手順 35
4.5 実験結果 35
4.6 考察 39

第 5 章 結論 40

謝辞 41

参考文献 42

付 録 A ゲームコントローラの 3D モデル作成に関する被験者実験 44
A.1 実験同意書 45
A.2 実験手順書 46
A.3 アンケート用紙 49

付 録 B ゲームコントローラ作成の被験者実験 52
B.1 実験同意書 53
B.2 実験手順書 54
B.3 アンケート用紙 56

図目次

3.1 タスク 1 での被験者 A が粘土を造形する様子 7
3.2 タスク 1 での被験者 A が粘土を 3D スキャンする様子 8
3.3 タスク 1 での被験者 B が手順 1 で造形した紙粘土 11
3.4 タスク 1 での被験者 C が手順 1 で造形した紙粘土 12
3.5 タスク 1 での被験者 B の 3D スキャンの結果 15
3.6 タスク 1 での被験者 A が手順 3 で保存した 3D モデル 17
3.7 タスク 1 での被験者 B が手順 3 で保存した 3D モデル 18
3.8 タスク 1 での被験者 C が手順 3 で保存した 3D モデル 19
3.9 タスク 2 での被験者 A が手順 3 で保存した 3D モデル 25
3.10 被験者 B の保存したモデルの見た目 26
3.11 被験者 B の保存したモデルの破損 27
3.12 タスク 2 での被験者 C が手順 3 で保存した 3D モデル 28
3.13 タスク 2 での被験者 A の作成したモデル 30
3.14 タスク 2 での被験者 A の作成したモデルを印刷したもの 31

4.1 被験者 A が初めにゲームコントローラを作り上げた図 36
4.2 被験者 A のボタン位置の変更 37

第1章　序論

1.1　背景

ビデオゲームは，多くの人が娯楽として楽しんでいる．また，ゲームを競技として捉え，e-Sports(electric Sports) と呼称し賑わいを見せ，今後拡大していくことが示されている．[1]

ゲームを楽しむユーザは多種多様であり，人によって指の太さや長さは異なる．加えて，プレイするゲームによって要求される操作は異なる．よって，状況に応じてゲームコントローラの最適なボタン配置は異なると考えられる．しかし，現在市販されているゲームコントローラのボタンは，位置を調整できるような構造になっていない．そのため，状況に応じて既存のゲームコントローラのボタン配置を変えることできない．またオーダーメイドによるゲームコントローラのサービスも，ボタンの位置や個数を細かに指定できるようなサービスは存在しない．したがって，ユーザは，ボタンの配置や数を変えようと考えた場合，自作するしかないのである．

しかし，現在ゲームコントローラを自作するユーザは決して多くはない．これは，ゲームコントローラを自作することによって得られる利便性より，ゲームコントローラを自作するために必要な労力が高いことが原因であると考察した．

1.2　目的と調査方法

ゲームコントローラを自作するために必要な労力が障害となっていると原因の一つとして，持ちやすい形状のゲームコントローラを一から造形する必要があるためであると考察した．実際に，ユーザが好きな形状のゲームコントローラを作成するためには 3D モデリングを行う必要がある．

そこで，3D モデリングの手法として，紙粘土と 3D スキャナによるモデリングと 3D モデリングソフトによるモデリングを比較する被験者実験を行い，どちらがエンドユーザにとって容易であるか，各手法の利点および難点を調査するために被験者実験を行なった．

また，実際に 3D モデルによって印刷されたものを使用し，ゲームコントローラを作成可能かおよびゲームコントローラのボタンの位置を変えることが可能であることに有意性があるのかを調査するため，ゲームコントローラ作成の被験者実験を行う．

1.3 構成

本論文の構成は以下の通りである．本章では，ゲームコントローラのボタンの位置が変更できないことの問題点を挙げ，それを解決する手法として 3D モデリングを行うことがユーザに要求されることを述べ，それに対する本研究の目的とアプローチを述べた．続いて第 2 章では関連研究について述べる．第 3 章では紙粘土と 3D スキャナによるモデリングと 3D モデリングソフトによるモデリングを比較する被験者実験についての説明を述べ，第 4 章ではゲームコントローラ作成の被験者実験について述べる．最後に第 5 章では結論と今後の課題について述べる．

第2章　関連研究

2.1　プロトタイピング手法についての研究

ハードウェアの開発を支援する研究がある．Ramakers らは，銀ナノインクを用い，電子回路の設計に必要な配線を印刷する Paper Pulse を提案した [2]．これは，電子回路の設計に必要な配線を GUI アプリケーションで作成し印刷を行うことができる．

ソフトウェアとハードウェアの同時開発に関する研究がある．加藤らは，ソフトウェアの開発用インタフェースによってハードウェア設計まで一貫して行える統合開発環境 f3.js を提案した [3]．f3.js では，センサやアクチュエータを制御するコードと同じスコープに，レーザーカッターを用いた筐体設計のためのコードを書くことが可能である．ユーザは，レーザーカッターの切断面の展開図上に，センサやアクチュエータを配置することのできる GUI プロムラミングのようなコードで，ハードウェアインターフェースを設計することができる．

2.2　タンジブルな 3D モデリング支援

デジタルな情報を実世界の物体に触れることで捜査するタンジブルユーザインタフェース (TUI) の概念を適用し，3D モデリングを支援する研究がある．

Grossman らは，ShapeTape と呼ばれる自由度の高いカーブ入力デバイスを使用して、カーブの形状による直接的に操作するためのインタフェース提案した [4]．これは，ShapeTape を曲げたり折るなどすることで，その形状を直接 3D モデルに反映することができる．

Weichel らは，拡張現実感により直接ユーザが仮想オブジェクトを操作することを可能とする MixFab を提案した [5]．MixFab は，物理的な物体を読み込み仮想オブジェクトにし設計過程へ混ぜることができる．また，仮想オブジェクトは手によって移動させたり回転させたりすることができる．

加えて，Weichel らは，測径器と分度器を統合した SPATA を提案した [6]．これは，測径器と分度器により測ったサイズをモデリングソフト上で 3D モデルに反映させることができる．

Follmer らは，子供でも操作できるモデリングツール kidCAD を提案した [7]．kidCAD は，ジェル状の入力面をもつ入力デバイス に押し付けた物体の形状を 3D モデルに反映させることができる 3D モデリングツールである．

細川らは RFID を用いで CAD を支援するシステムを提案した [8]．この研究は，個々の RFID タグに特定の 3D モデル形状を割り当て，格子状に複数配置されたリーダの上にタグを置き，タグに割り当てられた形状をソフトウェア上で 3D モデルに描画している．

2.3　デジタルと物理双方の 3D モデリング支援

物理的に物体を作成することと 3D モデルを作成することの，両方を支援する研究がある．

Peng らは，持つことができる蝋の押出機を使って従来のモデリング環境を拡張する D-coil を提案した [9]．蝋の押出機により，蝋を積層させて実際に物体を作成し，蝋を押し出した軌跡は 3D モデルデータとなって構築される．最終的にできたモデルを 3D プリントすることになるが，モデルのデザイン過程が実物として残ることが特徴である．

Weichel らは，現実の粘土と 3D モデルの双方向での制作が可能な Reform[10] を提案した．Reform は，現実の粘土の形状を記憶し 3D モデルに反映，および 3D モデルを修正することで現実の粘土の形状を変更できる．粘土の形状をバージョン毎に 3D モデルに保存し，3D モデルは現実の粘土に書き出すことが出来る．

第3章　ゲームコントローラの3Dモデル作成に関する被験者実験

3.1　概要

エンドユーザによるゲームコントローラの 3D モデル自作において，現在どのような利点と難点があるかを調査するために，被験者実験を行った．被験者に，２種類のタスクを行ってもらった．

１つ目のタスクとして，粘土と 3D スキャナによって 3D モデルの造形を行なってもらった．一方，2 つ目のタスクとして，3D モデルの造形は全て 3D モデリングソフトによって行ってもらった．タスク 1 とタスク 2 で，被験者は同じ形状のゲームコントローラの 3D モデルを作成する．

それぞれのタスクにかかった時間を比較し，どちらのタスクがより早く行うことができたかを確認した．また，各タスク終了後，被験者がタスクを通して感じた点をアンケート用紙に記入してもらった．また，実際に被験者が個人でコントローラを自作する際，様々な情報を参考にしながら行う事が予想できるため，各タスクの全ての手順を行なっている際，インターネットを用いて情報を得る事が可能な状況で被験者実験を行った．

実験に使用した実験同意書，実験手順書，アンケート用紙をそれぞれ付録 A.1，付録 A.2，付録 A.3 に記す．

3.2　目的

現実の物体を変形しそれを 3D スキャナでスキャンすることにより 3D モデルに反映させるタスクと，3D モデリングソフトにより 3D モデルを変形させるタスクに，エンドユーザにとってどのような利点および難点があるのかを調査する．また，この２つの手法では各々どれだけの時間がかかるかを調査する．

3.3　被験者

22 歳の大学生 3 名を対象として行った．被験者 A，B，C とし，被験者 A と B は非情報系学生２名，被験者 C は情報系学生 1 名である．被験者全員が 3D モデリングソフト未経験者であり，普段紙粘土は使用していない．また，被験者は 10 年以上ビデオゲームを遊び続けている．

3.4 タスク 1：紙粘土と 3D スキャナによるモデリング

タスク 1 では，被験者は紙粘土によってゲームコントローラを造形する．その後，被験者はその紙粘土を 3D スキャナを使用しスキャンを行った．実験に使用した道具は以下の通りである．

- MacBook Pro (OS：Sierra)
- 3D スキャナ Matter and Form [1]
- 紙粘土

3.4.1 手順

以下の手順で実験を行った．

1. 紙粘土を作成したいゲームコントローラの形状に造形する．
2. 手順 1 で造形した紙粘土を 3D スキャナでスキャンする．
3. 手順 2 でスキャンし作成されたデータを STL 形式で保存する．
4. 手順 3 で保存された 3D モデルを印刷したものを確認し，作成したいものが作成できているかを確かめる．
5. タスク 1 に関するアンケートを記入する．

図 3.1 と図 3.2 は被験者 A が実験を行っている様子である．

[1] http://www.kncolor.com/3dscanner/matterform/

図 3.1: タスク 1 の手順 1 において，被験者 A が紙粘土をゲームコントローラの形状に造形している様子

図 3.2: タスク 1 の手順 2 において，被験者 A が手順 1 で造形した紙粘土を Matter and Form を使いスキャンしている様子

3.4.2 結果

実験を通して，各手順に感じたことをアンケート用紙に記述してもらった．各手順において，アンケート結果および被験者を観察して得られたことを記す．

紙粘土によるゲームコントローラの造形について

紙粘土を使いゲームコントローラを造形する行為に対する被験者のアンケート結果を表 3.1 に示す．

表 3.1: タスク 1 における手順 1 のアンケート結果

	利点	欠点
被験者 A	• 持ち易いかどうかを実際に確かめながら，ゲームコントローラの形状を造形することができる． • 実物大で形状を確かめながら造形することができる．	• 全く同じサイズのボタンを複数作ろうとしても，大きさを全く同じに揃えづらい．
被験者 B	• 頭の中で思いついたことを，すぐ形に反映させることができる．	• 直線や円などの形状を造形しにくい．
被験者 C	• 頭の中で思いついたことを，すぐ形に反映させることができる． • 持ち易いかどうかを実際に確かめながら，ゲームコントローラの形状を造形することができる．	• 直線や円などの形状を造形しにくい． • 複雑な形を造形するのに，器用さを求められる．

また，被験者が挙げた利点の他に，被験者を観察し得られた利点は以下の点が挙げられる．

- 専門的な知識を全く必要としない．

一方，難点として以下の点が挙げられることがわかった．

- 細かい粗を整えるのに限界がある．

被験者 A，B，C の手順 1 にかかった時間は，平均して約 35 分であった (表 3.2)．

表 3.2: タスク 1 における手順 1 にかかった時間

被験者	被験者 A	被験者 B	被験者 C
手順 1 の所要時間	42 分	25 分	38 分

被験者 A が造形した紙粘土を図 3.1 被験者 B が造形した紙粘土を図 3.3，被験者 C が造形した紙粘土を図 3.4 に示す．

図 3.3: タスク 1 での被験者 B が手順 1 で造形した紙粘土

図 3.4: タスク 1 での被験者 C が手順 1 で造形した紙粘土

3D スキャナによる紙粘土のスキャンについて

3D スキャナを使って現実の物体をスキャンする行為に対する被験者のアンケート結果を表 3.3 に示す.

また，被験者が挙げた利点の他に，被験者を観察し得られた利点は以下の点が挙げられる.

- 自動でスキャンするといった，設定不要な手段が用意されている.
- スキャン中は，別の作業をすることができる.

一方，難点として以下の点が挙げられることがわかった.

- 細かい粗を整えるのに限界がある.
- スキャンが失敗したときに，3D スキャナに対する詳しい知識がないと，使用者は問題を解決することができない.
- 出来上がる 3D モデルが，3D スキャナの精度に大きく左右される

表 3.3: タスク 1 における手順 2 のアンケート結果

	利点	欠点
被験者 A	• 現実の物体を 3D モデルにすることができる.	• スキャンする物体が大きいと，スキャンが完了するまでに時間が膨大にかかる. • コントローラのボタンの形状がうまくスキャンできていなかった.
被験者 B	• 現実の物体を 3D モデルにすることができる.	• 使用した 3D スキャナの仕様が単一方向から物体の形状をスキャンする仕様である．そのため，スキャンする物体を直立させる必要がある．直立させるために支えを使うと，その支えもスキャンされてしまう.
被験者 C	• 現実の物体を 3D モデルにすることができる.	• 使用した 3D スキャナの仕様が単一方向から物体の形状をスキャンする仕様である．そのため，スキャンする物体を直立させる必要がある．直立させるために支えを使うと，その支えもスキャンされてしまう.

被験者 A，B，C の手順 2 にかかった時間は，平均して約 112 分であった (表 3.4).

表 3.4: タスク 1 における手順 2 にかかった時間

被験者	被験者 A	被験者 B	被験者 C
手順 1 の所要時間	92 分	90 分	156 分

被験者 A と C はスキャンに成功したが，被験者 B はスキャンに失敗してしまった．実際に造形した紙粘土とそれを 3D スキャナでスキャンしたデータがかけ離れていた．被験者 B が実際に造形した紙粘土が図 3.3，被験者 B が 3D スキャナで造形した紙粘土をスキャンし，出来たモデルが図 3.5 である．

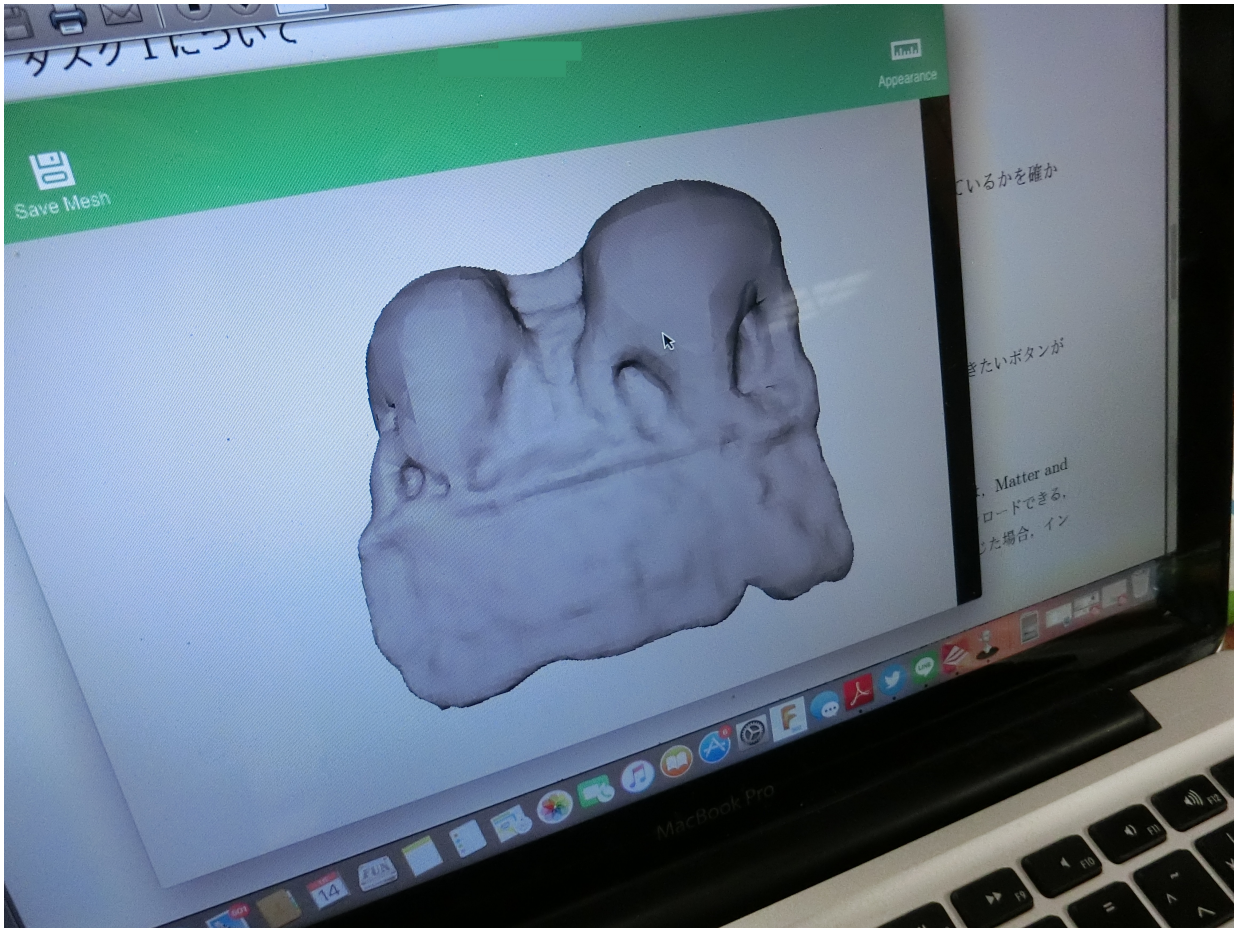

図 3.5: 被験者 B が図 3.3 を 3D スキャナでスキャンさせ，画面上に出てきたモデルの様子

スキャンしたデータの保存について

3D スキャナでスキャンしたデータを保存する行為に対する被験者のアンケート結果を表 3.5 に示す.

表 3.5: タスク 1 における手順 3 のアンケート結果

	利点	欠点
被験者 A	• 混ざってしまった余分な点を簡単に消すことができる	
被験者 B	• 操作自体はマニュアルを見れば出来る.	• スキャンに失敗したが, 解決法がわからない.
被験者 C	• 混ざってしまった余分な点を簡単に消すことができる	

また，被験者が挙げた利点の他に，被験者を観察し得られた利点は以下の点が挙げられる.

- 複数の方向から物体をスキャンして出来たモデル同士を結合することができる.

一方，難点として以下の点が挙げられることがわかった.

- 自動で消すことができなかった 3D モデルの余分な点を手動で消さなくてはならない.
- 複数の方向から物体をスキャンして出来たモデル同士を結合できなかった場合，不完全な 3D モデルが出来てしまう.

被験者 A，B，C の手順 3 にかかった時間は，平均して約 9 分であった (3.6).

表 3.6: タスク 1 における手順 3 にかかった時間

被験者	被験者 A	被験者 B	被験者 C
手順 3 の所要時間	10 分	8 分	9 分

被験者 B は，紙粘土の側面をスキャンした 3D モデルと，紙粘土の正面をスキャンした 3D モデルを結合することに失敗してしまった．スキャナのソフトウェアの性能に 3D モデルの完成度が左右されてしまっている.

被験者 A の保存した 3D モデルを図 3.6，被験者 B の保存した 3D モデルを図 3.7，被験者 C の保存した 3D モデルを図 3.8 に示す．

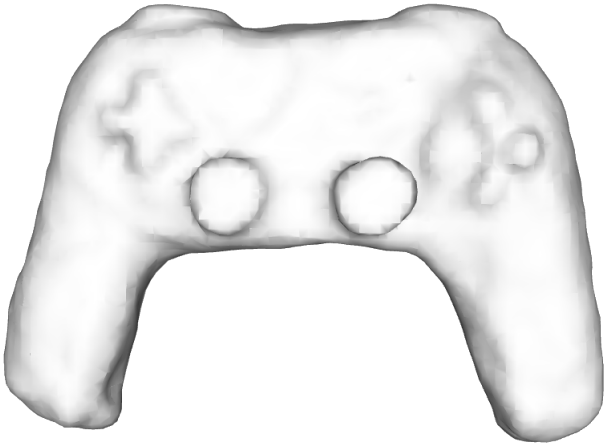

図 3.6: タスク 1 での被験者 A が手順 3 で保存した 3D モデル

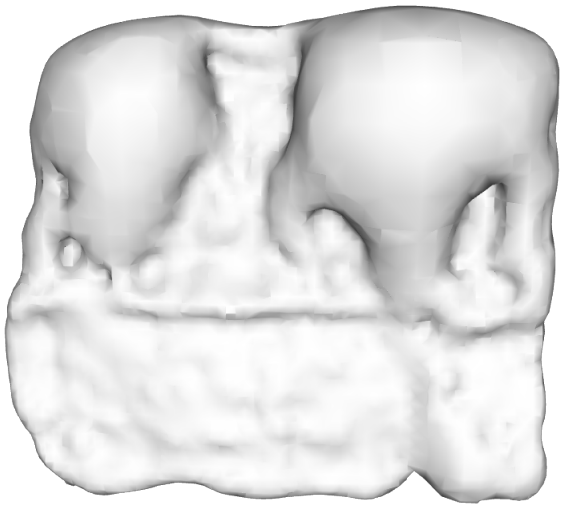

図 3.7: タスク 1 での被験者 B が手順 3 で保存した 3D モデル

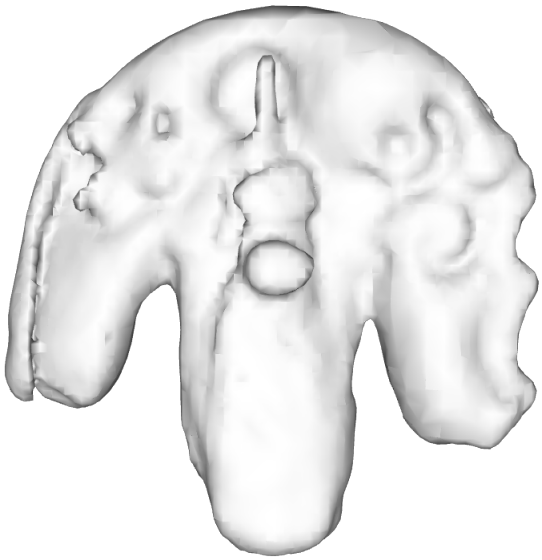

図 3.8: タスク 1 での被験者 C が手順 3 で保存した 3D モデル

3D プリンタによる印刷物ついて

実際に手順 3 にて，被験者が保存した 3D モデルを 3D プリンタにより印刷し，被験者に印刷物についての感想を聞いた．

被験者 A

- 印刷物は，大きさ，形ともに自分の作成したいものとほぼ一致した．
- ボタンなどの凹凸は再現出来ていないところがあった．
- 持ちごこちは作成時と同じである．

被験者 B

- 紙粘土にはない，大きな突起がある．

被験者 C

- 平面で想定していた部分が盛り上がっていた．
- ボタンなどの凹凸は再現出来ていないところがあった．
- 曲線部分が手にフィットして良かった．

以上のような感想が得られた．

3.5　タスク 2：3D モデリングソフトによるモデリング

タスク 2 では，被験者は 3D モデリングソフトを使用しゲームコントローラの造形を行い，その保存までを行った．

実験に使用した道具は以下の通りである．

- GALLERIA XF (OS：Windows10)
- 3D モデリングソフト Autodesk Fusion 360 [2]

3.5.1　手順

以下の手順で実験を行った．

1. ゲームコントローラの 3D モデルを 3D モデリングソフトで読み込むかどうかを選択する．
2. ゲームコントローラの 3D モデルを 3D モデリングソフトで造形する．
3. 手順で造形した 3D モデルを STL 形式で保存する．
4. 手順 3 で保存された 3D モデルを印刷したものを確認し，作成したいものが作成できているかを確かめる．
5. タスク 2 に関するアンケートを記入する．

[2]http://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/overview

3.5.2　タスク 2 の実験結果

実験を通して，各手順に感じたことをアンケート用紙に記述してもらった．各手順において，アンケート結果および被験者を観察して得られたことを記す．

既存の 3D モデルの読み込みについて

被験者は，ゲームコントローラの 3D モデルを一から造形するか，ゲームコントローラの 3D モデルを読み込んでから造形するかをこの手順で選択した．

3D モデリングソフトで既にある 3D モデリングソフトを読み込む行為に，利点として以下の点が挙げられることがわかった．

- 作業時間を短縮することができる．

一方，難点として以下の点が挙げられることがわかった．

- 読み込んだモデルの各部位がどのような操作ができるのかわからない．

実際に被験者 A，B は，ゲームコントローラのモデルを 3D モデリングソフトで読み込んだ．しかし，被験者 A，B のどちらもインターネットを利用し，情報を読み込んだモデルを変形させようとしたが，思うように変形させることができず，ゲームコントローラの 3D モデルを一から造形することを止む無く選んだ．被験者 C は，最初からゲームコントローラのモデルを一から造形することを選択した．

3D モデリングソフトによるモデリングについて

ゲームコントローラの 3D モデルを 3D モデリングソフトで造形する行為に対する被験者のアンケート結果を表 3.7 に示す．

表 3.7: タスク 2 における手順 2 のアンケート結果

	利点	欠点
被験者 A		• 操作が分かりづらい. • 左右対象に 3D モデルをしようとしたが，うまくできなかった.
被験者 B	• 紙粘土と比べ整った形のモデルが出来る.	• 頭の中で思いついたことを，すぐ形に反映させることができない. • 操作が分かりづらい.
被験者 C		• なめらかな面を作成するのが難しい. • ボディ，メッシュ，エッジといった概念が理解しにくい • 頭の中で考えている操作が，想像と違う結果となりイライラした. • ボディの元の位置からどれだけ動かしたかの相対座標のみしか見つけられなかった．ボディの絶対座標を見つけやすい場所に表示すべきである.

また，被験者が挙げた利点の他に，被験者を観察し得られた利点は以下の点が挙げられる．

- やり直し機能を使い，失敗して作業段階を戻せる．
- モデルのサイズを数値で入力すれば，正確なサイズのモデルができる．
- 全く同じサイズの物体を，コピー機能により全く同じサイズで複数に増やすことができる．
- 直方体や円錐など単純な図形を簡単に作成できる．
- 円を正確に作成することができる．
- 出来上がるモデルは整っている．
- ミラー機能により，左右対称を正確に再現できる．
- あるボディとあるボディを結合することができる．
- あるボディからあるボディを切り取ることができる．

一方，難点として以下の点が挙げられることがわかった．

- 頭の中で思いついたことを，すぐ形に反映させることができない．
- 各機能に対する簡易的な説明では動作を予想しきれなかった．
- 些細な変更点も，操作がわからなければ何もできない．
- 3 次元の物体を 2 次元で操作する必要がある．そのため，一方位からみた場合ボディの位置を合わせたつもりが，別方位からみると全く別の位置にあったということが度々あった．
- ボディを生成するときと生成したあとでは，サイズの変更方法が違う．
- 面の押し出し機能と移動機能が区別しにくい．
- 見かけ上のサイズと実際のサイズが異なるため，実物の大きさが想像しづらい．
- ボディの削除を行う時のエラーが何故でているのか分かりづらい．
- 複数のボディを扱うと，クリックで選択しようとした時，意図しないボディを選択してしまう．
- 複数のボディを扱うと，他のボディに隠されてしまって見えなくなってしまうボディが出てきてしまう．

表 3.8: タスク 2 における手順 2 にかかった時間

被験者	被験者 A	被験者 B	被験者 C
手順 2 の所要時間	230 分	108 分	190 分

造形したモデルの複雑さによって所要時間が大きく違ってしまうため，一概には言えないが，被験者 A，B，C の手順 2 にかかった時間は，平均して約 3 時間であった (表 3.8).

被験者 A と B はインターネットを利用しながら，造形をすすめていった．被験者 C は，インターネットを利用せず，メニューの説明だけを見て作業を進めていった，3 人共，作業が止まり，頭の中で想像した作業をどう実現するかを考えている様子が度々見られた．思い通りの操作が実現できず，終始イライラしている様子が見られた．特に，3 次元空間を 2 次元で確認するため，ボディの位置の間違いが度々起こった．ボディに丸みを帯びさせるフィレットという操作では，制約が多く出来るときとできない時の違いが被験者にはわからなかった．

実験中，実験で参加しているので途中で中断しないが，そうでなければ途中で諦めているといった意見が被験者全員から出た．そのため，実際にエンドユーザが 3D モデリングソフトを使用した際，操作方法を覚える前に諦めてしまう恐れがある．

造形した 3D モデルの保存について

被験者 A，B はインターネットを使い保存の方法を調べた．

被験者 A は一度目の保存では，保存したモデルにボタンがついていないことが見てわかった．そのため，2 度目の保存で，ボタンのボディをモデルに結合し全体の保存を成功させた．被験者 A の保存したモデルを図 3.9 に示す．

被験者 B は一度の保存で，モデル全体の保存が成功したように見えた (図 3.10)．しかし，実際に 3D プリンタを用い印刷を試みたとき，保存されたモデルに欠損があることがわかった (図 3.11)．その際，3D モデリングソフトのプロジェクトの確認をしたがボディが所々結合されていなかった．被験者は，この事実を伝えるまでモデルの保存を成功したと思っていた．

被験者 C は，操作メニューの中から保存の操作を手探りで探し，1 度目の保存を行なった．しかし，保存したモデルにボタンがついていないことが見てわかった．しかし，考えても失敗の原因がわからなかったため，インターネットを使い保存の方法を調べた．そして，被験者 C は，失敗の原因はボディの結合がされていないことだとわかった．その後，被験者 C は，3D モデルの保存に成功した．被験者 C の保存したモデルを図 3.12 に示す．

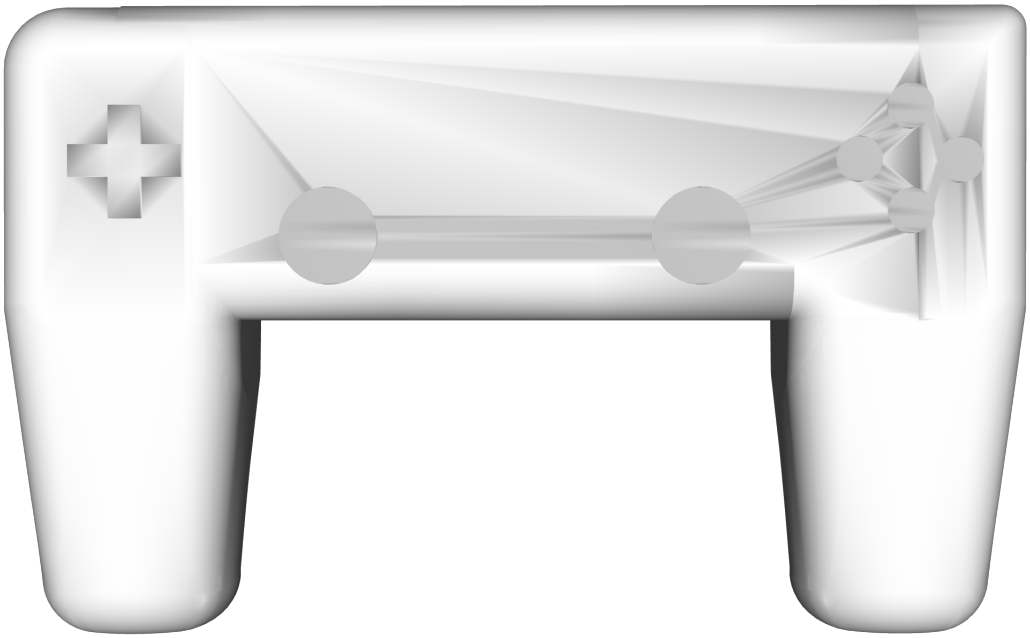

図 3.9: タスク 2 での被験者 A が手順 3 で保存した 3D モデル

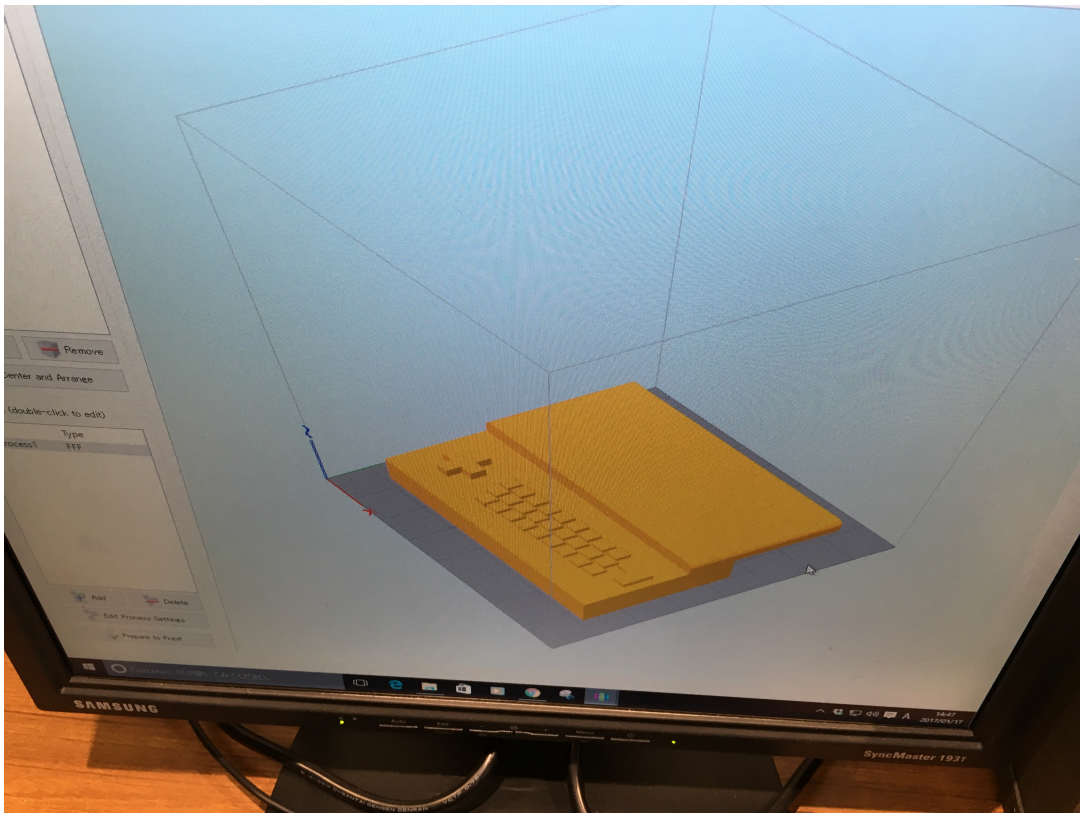

図 3.10: 被験者 B が保存した 3D モデルの図．見た目では正しく保存されている様に見える．

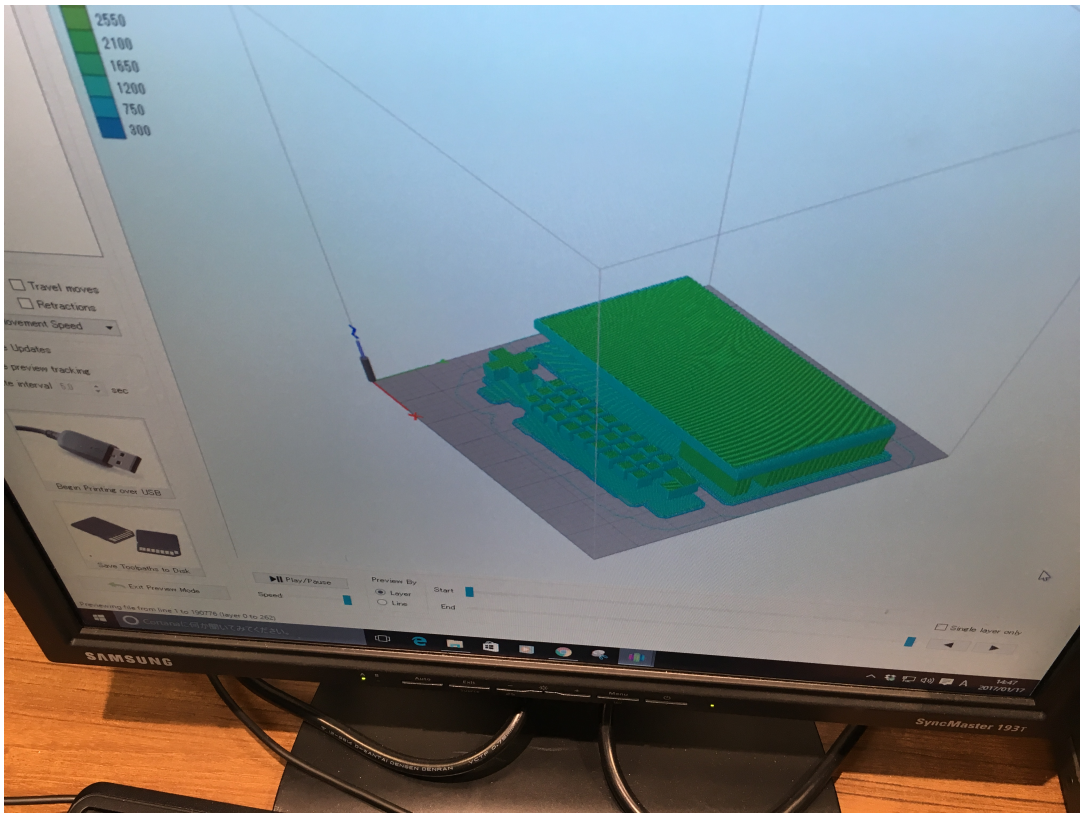

図 3.11: 図 3.10 の 3D モデルを 3D プリンタで印刷しようとした時のプレビューの図．データに欠損があり，正しく印刷することができないことがわかる．

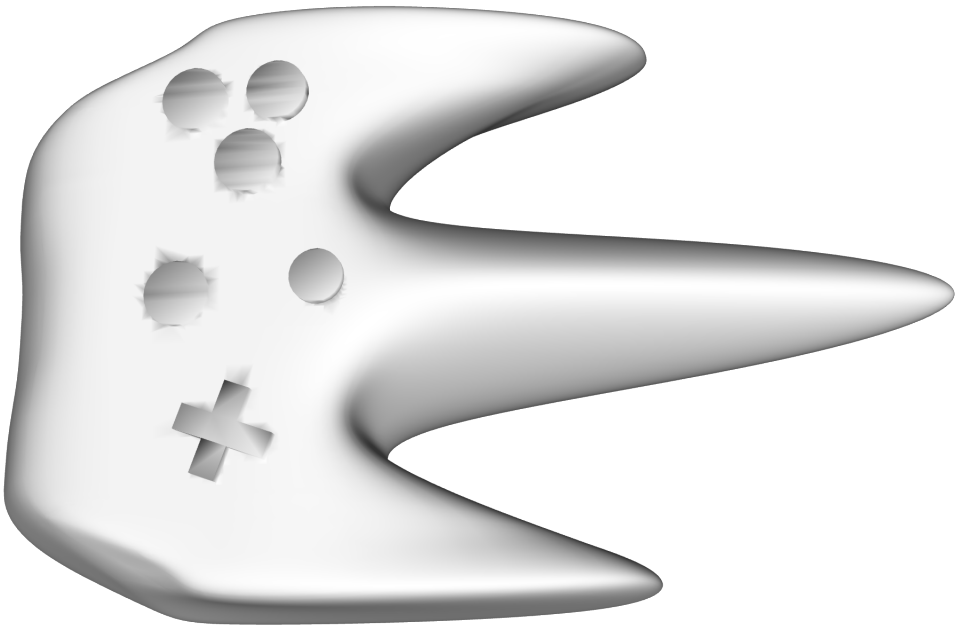

図 3.12: タスク 2 での被験者 C が手順 3 で保存した 3D モデル

3D プリンタによる印刷物ついて

実際に手順 3 にて，被験者が保存した 3D モデルを 3D プリンタにより印刷し，被験者に印刷物についての感想を聞いた．

被験者 A

- 形は設計した通りのものであった．
- モデリングの際に，縮尺を考慮していなかったため，実物は自分で作りたかった大きさよりはるかに小さかった．

被験者 B

- 手のひらに角が当たってしまい，痛みを感じてしまった．
- 横に広く作りすぎて，ボタンが押しづらい．

被験者 C

- 尖っている部分の先端が，想定以上に尖っていた．
- ボタンの大きさが想定より小さかった．
- 手にフィットしない部分が所々あった．

以上のような感想が得られた．

特に，被験者 A は縮尺を考慮していなかったため，実際にできた印刷物が想定していた大きさよりはるかに小さかった．これは作業画面での大きさをモデルの大きさと考えて，作業をしていたからである．作業画面が図 3.13 であり，実際にできた印刷物が図 3.14 である．

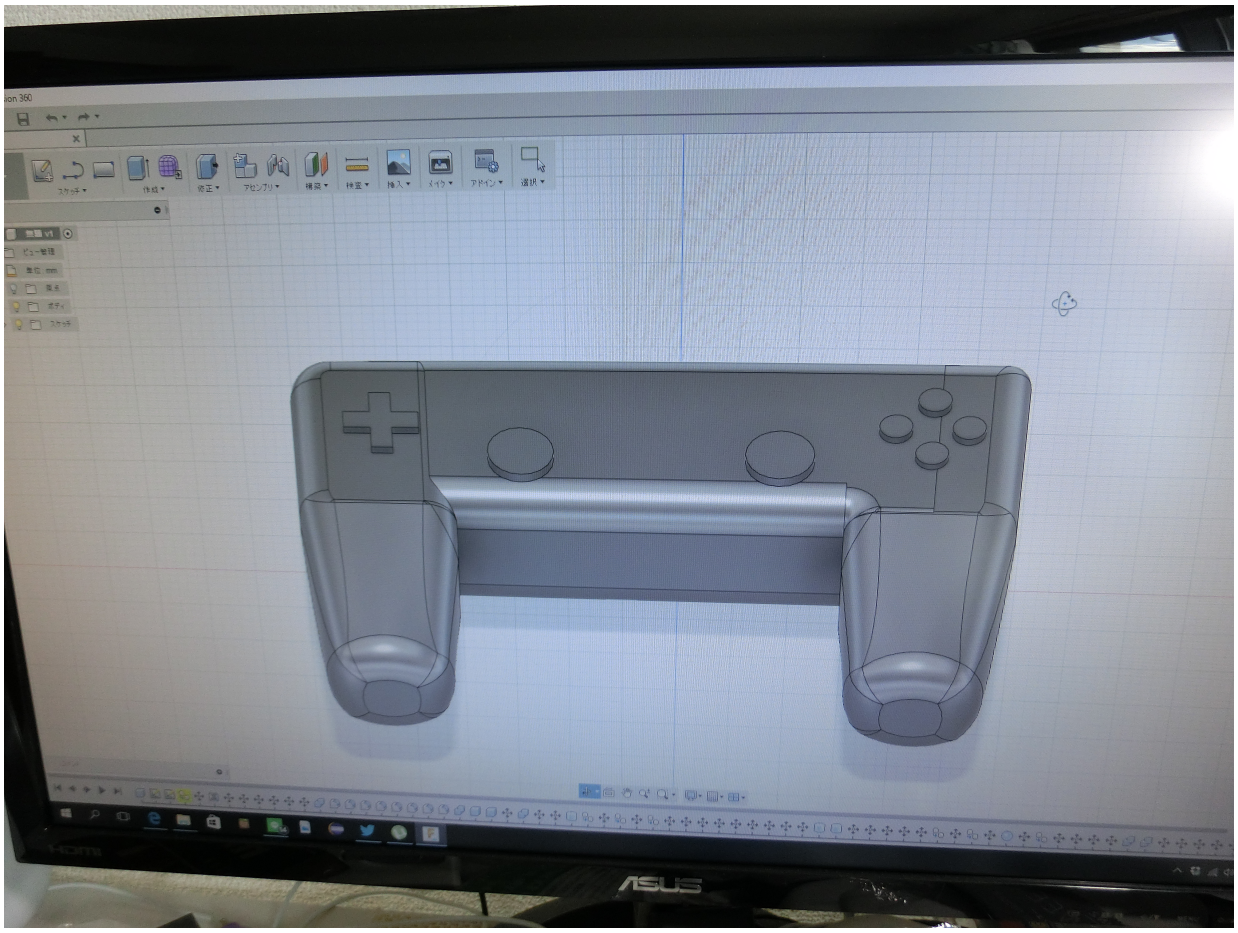

図 3.13: 被験者 A の作成したモデルの様子．モデルの大きさは横幅 20cm 程度に見えている．

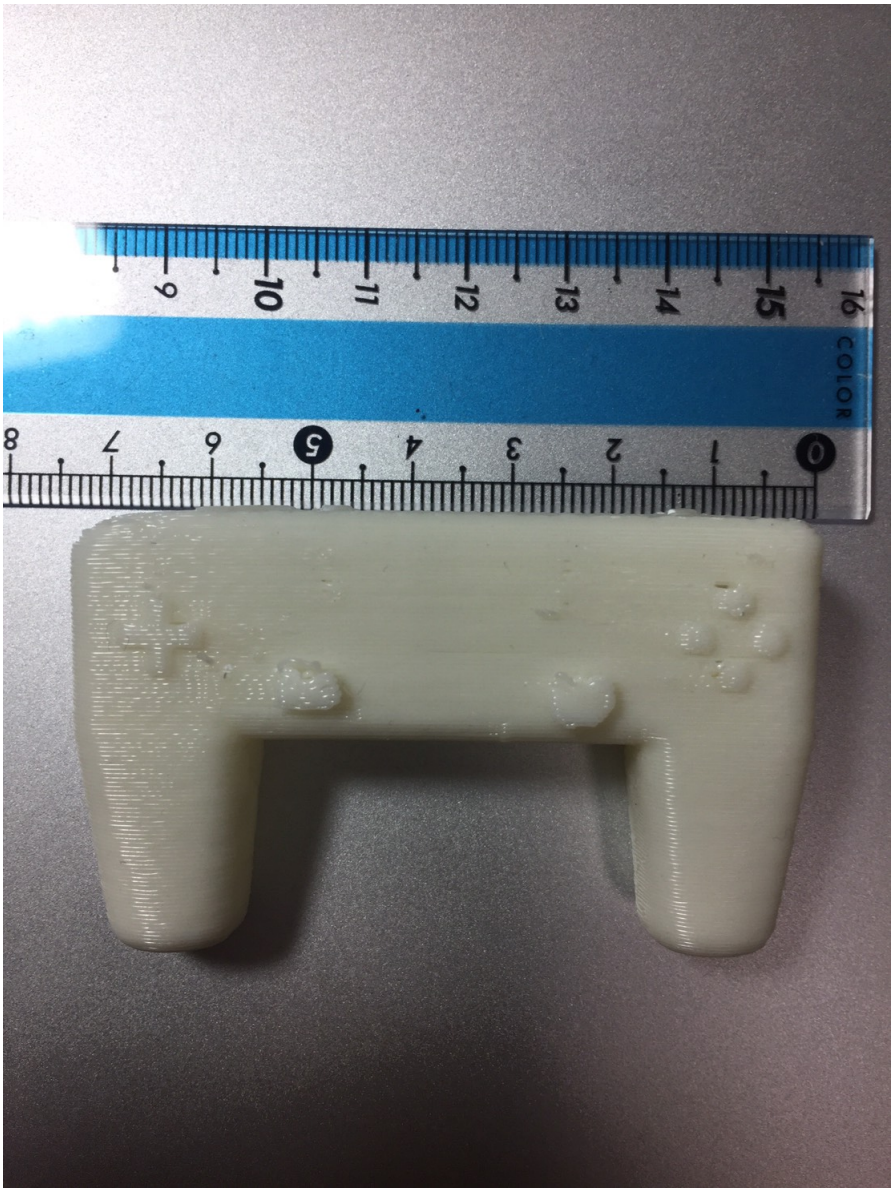

図 3.14: 図 3.13 のモデルを実際に印刷したもの．横幅 7cm 程度しかなく，想像よりはるかに小さく出来てしまった．

3.6 考察

3D スキャナによる紙粘土のスキャンと 3D モデリングソフトによるモデリングを比較しての考察を記す.

3.6.1 ゲームコントローラの形状を造形する作業について

形状を変更する場合，紙粘土は，頭の中で想像した形状をすぐに反映させることができる．しかし，3D モデリングソフトでは，操作がわからなければ形状に反映することができない．3D モデリングソフトの操作はわかりにくく，主にボディ，メッシュといった概念がエンドユーザにはわかりにくいと考える．ボディとメッシュでは，同じ操作をしようとしても出来ることが違うため，被験者は意図した形にモデルを変形することに度々失敗していた．操作に対する制約を明確にする必要がある．一方で，長方形や円などを 3D モデリングソフトでは正確に造形することができるが，紙粘土では難しかった．3D モデリングソフトでは，全く同じサイズのものを複数作ることはとても容易にできる.

モデル全体の確認をする場合，紙粘土は現実の物体なので特に意識することなく全体を確認することができる．紙粘土は，直接触れているため，持ちごこちも確認しながら造形することができる．一方，3D モデリングソフトでは，3 次元の物体を 2 次元の画面で確認するため，物体それぞれの位置の認識違いが起こり易い．また，画面に映っている 3D モデルは実際のサイズとは異なるため，縮尺を利用しなければモデルの実際の大きさはわからない．また，モデル自体の持ちごこちは実際に印刷しないとわからない.

3.6.2 ゲームコントローラの形状について

被験者に自由なゲームコントローラを造形するように指示したが，被験者全員が既存の商品の形を参考にゲームコントローラのモデルを造形した.

3.6.3 モデルの保存について

紙粘土を 3D スキャンしモデルを作成した場合，スキャンする環境に依存して不要なものをスキャンしてしまう．自動で不要なものを消去する機能は 3D スキャナのソフトの機能に存在するが，その機能で消去できなかった不要物は手動で消去するしかない．また，紙粘土のスキャン自体に失敗してしまった時は，ユーザはやり直す他に選択肢がない.

3D モデリングソフトによって 3D モデルを作成した場合，3D モデルの保存を行うには全ての部位のボディを 1 つに結合する必要があった．保存したモデルが不完全な状態で保存されることもあるため，保存の成功か否かを勘違いしてしまうこともある．しかし，保存に失敗しても，失敗した原因を解決すれば正しく保存することができる.

3.6.4　実際に出来上がる印刷物について

紙粘土を 3D スキャンしモデルを作成した場合，作成時に持ちごこちを確認して作ることができるため，印刷物は持ちごこちが良いものとなった．しかし，凹凸などが 3D スキャナで読み取りきれていない部分もあり，ボタンなどの形状が潰れてしまった．

3D モデリングソフトによって 3D モデルを作成した場合，作成した 3D モデルの通りに印刷物は完成した．しかし，印刷されたものを触って初めて被験者は持ちごこちを確認できるため，実際に出来た印刷物の角が当たるなどの問題が起きた．

3.6.5　所要時間について

造形から保存の全体の行程に実際に被験者が作業した時間は，タスク 1 では平均約 44 分 (3D スキャナによるスキャンを待っている時間は含めていない)，タスク 2 では平均約 3 時間 10 分であった．3D スキャナによる紙粘土をスキャンする手方が，ユーザにとって時間的負担が少ないことが得られた．

3.6.6　どちらを利用したいかについて

被験者に，3D スキャナによる紙粘土のスキャンと 3D モデリングソフトのどちらの手法を利用したいかをアンケートによって質問した．アンケート結果は，被験者全員が 3D スキャナによる紙粘土のスキャンを利用したいと答えた．被験者 C は，3D スキャナによる紙粘土のスキャン持ちごこちを確認しながら造形ができるからと回答した．被験者 B は，3D モデリングソフトは覚えなければいけないことが多い．しかし，3D スキャナによる紙粘土のスキャンは覚えることはほぼなく，紙粘土は道具を使えばある程度形を整えることも可能であるためと回答した．被験者 C は，自分で作業する時間が 3D モデリングソフトに比べ 3D スキャナによる紙粘土のスキャンの方が少ないためと回答した．

また，どのような改善がなされたら選ばなかった手法，すなわち 3D モデリングソフトを利用するかをアンケートによって質問した．被験者 A は，無回答であった．被験者 B は，視覚的にイメージのつきやすい操作ガイドがあれば利用すると回答した．被験者 C は，3D モデリングソフトを使用中に実物大の 3D モデルを立体的に確認することができれば利用すると回答した．

よって，現状では 3D スキャナによる紙粘土のスキャンする手方の方がが 3D モデリングソフトよりもエンドユーザにとって容易であることがわかった．

第4章　ゲームコントローラ作成の被験者実験

4.1　概要

被験者は，第 3 章で述べた被験者実験で作成したゲームコントローラの 3D モデルを印刷したものと，Makey Makey を組み合わせてゲームコントローラを作成する．その後，被験者は実際にそのゲームコントローラを使ってゲームを試遊する．実験に使用した機器は以下の通りである．

- MacBook Pro (OS：Sierra)
- Makey Makey [1]
- 被験者実験で作成したゲームコントローラの 3D モデルを印刷したもの
- 銅箔テープ
- みの虫クリップ

Makey Makey は，Makey Makey と繋いだものをタッチパッドとして認識する機器である．

実験に使用した実験同意書，実験手順書，アンケート用紙をそれぞれ付録 B.1，付録 B.2，付録 B.3 に記す．

4.2　目的

自分で作成したゲームコントローラの 3D モデルを印刷したものを使用し，被験者が実際にゲームコントローラを作成可能かを確かめ，自作したゲームコントローラの使用感を調査する．また，ボタンの位置を変えることが可能であることの有意性を検証する．

4.3　被験者

ゲームコントローラの 3D モデル作成に関する被験者実験を受けた 22 歳の大学生 3 名を対象に行った．被験者 A，B，C とし，被験者 A と B は非情報系学生２名，被験者 C は情報系学生 1 名である. 被験者全員が 3D モデリングソフト未経験者であり，普段紙粘土は使用していない．また，被験者は 10 年以上ビデオゲームを遊び続けている．

[1] http://www.makeymakey.com

4.4 実験手順

以下の手順で実験を行った．

1. 被験者実験で作成したゲームコントローラの 3D モデルを印刷したものと Makey Makey を組み合わせてゲームコントローラを作成する．
2. 手順 1 で作成したゲームコントローラを使い，ゲームを試遊する
3. アンケート用紙を記入する

4.5 実験結果

被験者 A は紙粘土と 3D スキャナによるモデリングによって作成したゲームコントローラを使用しタスクを行なった．被験者 B と C は，3D モデリングソフトによるモデリングで作成したゲームコントローラを使用した．

Makey Makey は繋ぐだけでボタン操作を可能にするため，被験者全員が 10 分以内にゲームコントローラを作り上げた．図 4.1 は実際に被験者 A が作ったゲームコントローラである．また，複数のゲームを試遊した際，必要な操作のみのボタンを繋ぎ，不必要な操作のボタンを外していた (図 4.2)．試遊したゲームはスコアが出るものであったが，ボタンの位置を変えていくうちにスコアは上昇していった．

今回自作したゲームコントローラについて，便利だと感じた点および不便だと感じた点をアンケートした結果を表 4.1 に示す．

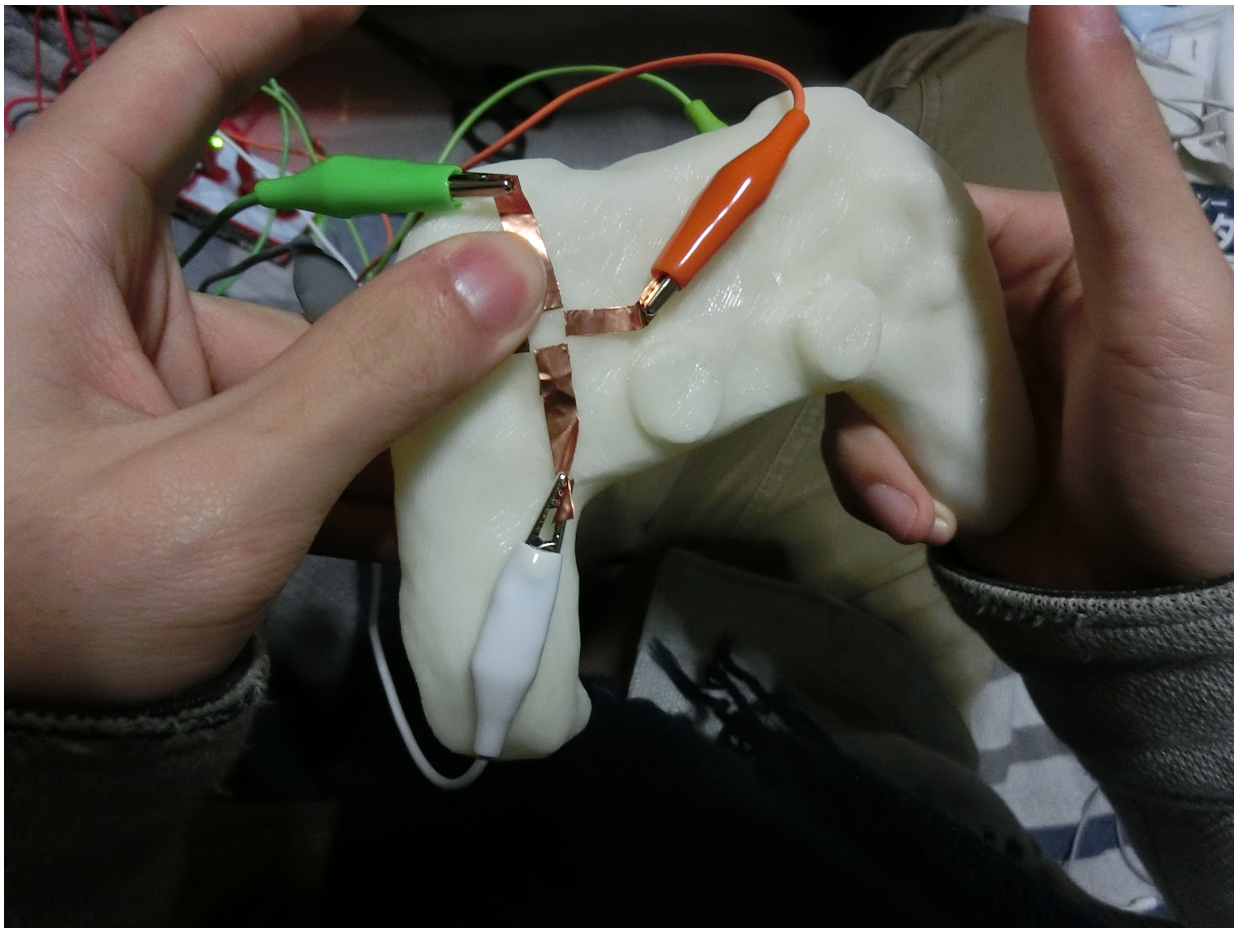

図 4.1: 被験者 A が初めにゲームコントローラを作り上げた図

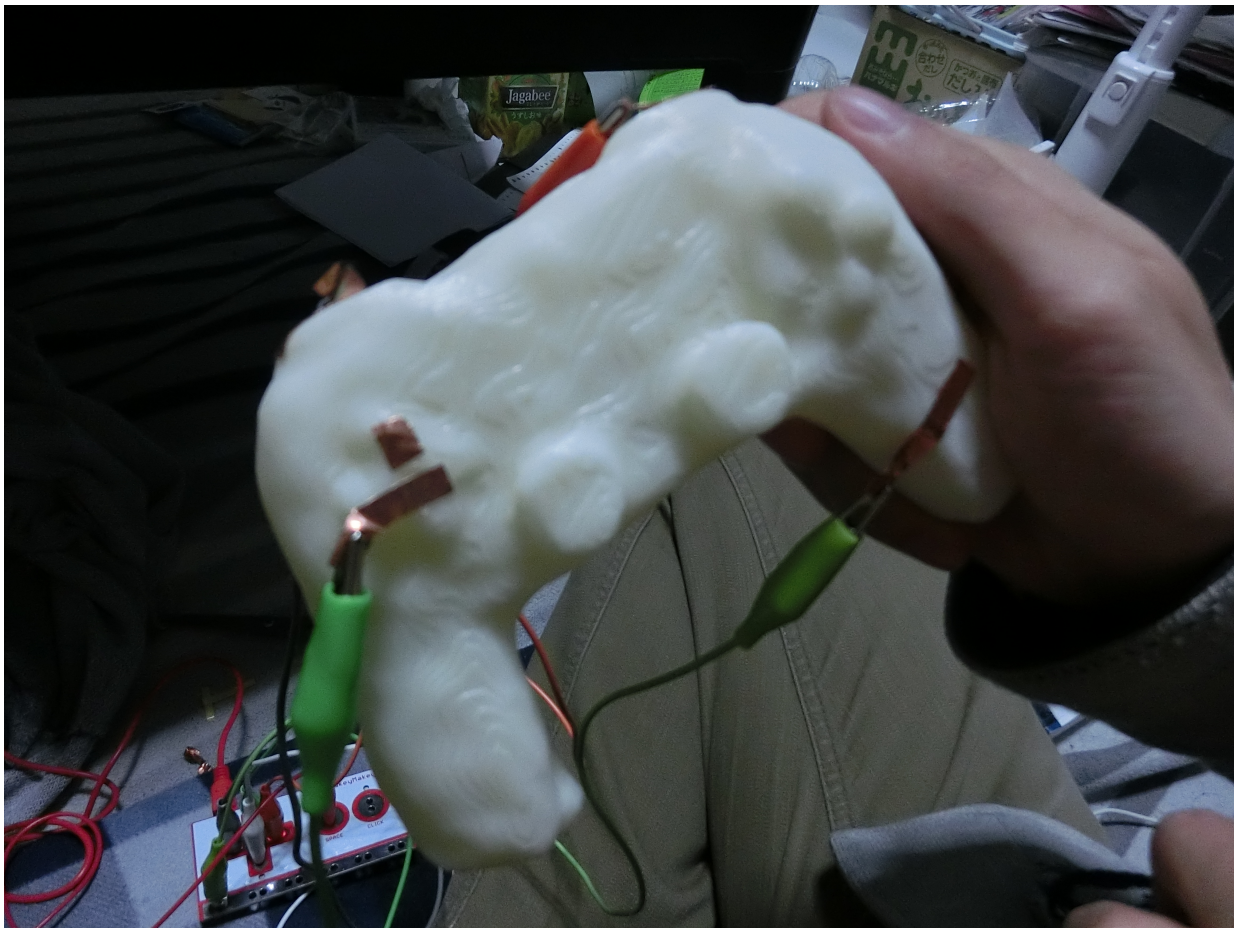

図 4.2: 被験者 A がゲームを試遊している際，ゲームによってより使いやすくするためボタンの位置を変更した図

表 4.1: ゲームコントローラ作成の被験者実験のアンケート結果

	便利だと感じた点	不便だと感じた点
被験者 A	• 自分の手の大きさや形に合わせてボタンの配置を微調整できる. • ゲームに合わせて，ボタンの位置を入れ替えることで，より快適にゲームをプレイすることができる. • 不必要なボタンは削除することが可能である.	• ボタンに張り付けたコードが邪魔に感じることがある.
被験者 B	• 端子の位置を変えると自分好みの操作ができる. • 元の印刷物のボタンの位置に依存せずゲームプレイが出来た. • 導電性の物体を大きくすれば，大きくさせた物体に対応させたボタンの認識範囲を大きくすることができる. • ボタンではなく，導電性物質の面で操作するため，破損したときの取り換えが容易に行える.	
被験者 C	• コントローラが手に馴染んだ. • ゲームに合わせて，ボタンの位置を変えることで，より快適にゲームをプレイすることができる.	• 3D モデルでボタンを造形したが，実際にその大きさで操作しようとすると小さいものがあった．(ボタンの大きさを実物大で確認しながら造形れないため)

4.6 考察

ゲームコントローラの 3D モデルと Makey Makey のような専門的な知識を必要とせずに扱える電子回路があれば，エンドユーザはゲームコントローラを自作することができることがわかった．

自分の手の大きさや形に合わせて，ボタンの配置を微調整できる点や必要なボタンのみをゲームコントローラに搭載できる点も自作コントローラならではの利点だと考えられる．

Makey Makey の性質上，ボタン操作はみの虫クリップで Makey Makey と繋がれた導電性物質をタッチして行う．そのため，導電性物質が摩耗してしまっても，簡単に取り換えることができる．

被験者が不便だと感じた点に，導電性物質に繋いだコードが邪魔に感じることがあった．被験者は，ゲームコントローラの 3D モデルを作成するとき，コードを繋ぐことを一切配慮して作っていない事が原因であると考える．ゲームコントローラの 3D モデルを作成する際に，コードを繋ぐことを配慮して作成すればこの問題は解決するものと思われる．また，ボタンの位置は途中で変更するため，ゲームコントローラの 3D モデルにはボタンを造形する必要がないとも考えられる．

第5章　結論

本論文では，エンドユーザがゲームコントローラを自作する際の障害となりうる要因を調査するために，3D モデリングやゲームコントローラの作成の被験者実験を行なった．

紙粘土と 3D スキャナによるモデリングと 3D モデリングソフトによるモデリングを比較する被験者実験を行い，ゲームコントローラを 3D モデリングするには紙粘土を 3D スキャナによりスキャンする方法を用いた方が良いという結果が得られ，各手法の利点および難点を明らかにした．

また，ゲームコントローラ作成の被験者実験を行い，自作した 3D モデルを使いゲームコントローラを作成可能であることおよびボタンの位置を変えることが可能であることの有意性を実証し，自作コントローラの利点を明らかにした．

今後の課題として，被験者実験で明らかになったエンドユーザにとっての難点を改善した 3D モデリングソフトの作成を行いたい．

謝辞

本論文を執筆するにあたり，指導教員である高橋伸准教授をはじめ，志築文太郎准教授，嵯峨智准教授にはゼミやミーティングを通して丁寧なご指導と貴重なご意見を頂きました．深く御礼申し上げます．またインタラクティブプログラミング研究室の皆様には，数多くのご意見やご指摘を頂き大変お世話になりました．特に，ユビキタスチームの皆様には，研究生活全体に渡って貴重なご意見を頂きました．厚く感謝申し上げます．そして，大学生活を送る中で経済面や精神面にて支持してくれた家族や，学生生活の苦楽を共に過ごした友人に心より感謝します．

参考文献

[1] Emma Witkowski, Brett Hutchins, and Marcus Carter. E-sports on the Rise?: Critical Considerations on the Growth and Erosion of Organized Digital Gaming Competitions. In *Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Matters of Life and Death*, IE '13, pp. 43:1–43:2, 2013.

[2] Raf Ramakers, Kashyap Todi, and Kris Luyten. Paperpulse: An integrated approach for embedding electronics in paper designs. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 2457–2466, 2015.

[3] 加藤淳, 後藤真孝. IoT アプリケーションのソフトウェア・ハードウェアを単一コードベースで開発できる統合開発環境 f3.js. 情報処理学会 インタラクション 2016, pp. 132–139, 2016.

[4] Tovi Grossman, Ravin Balakrishnan, and Karan Singh. An Interface for Creating and Manipulating Curves Using a High Degree-of-freedom Curve Input Device. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pp. 185–192, 2003.

[5] Christian Weichel, Manfred Lau, David Kim, Nicolas Villar, and Hans W. Gellersen. MixFab: A Mixed-reality Environment for Personal Fabrication. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 3855–3864, 2014.

[6] Christian Weichel, Jason Alexander, Abhijit Karnik, and Hans Gellersen. SPATA: Spatio-Tangible Tools for Fabrication-Aware Design. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '15, pp. 189–196, 2015.

[7] Sean Follmer and Hiroshi Ishii. KidCAD: Digitally Remixing Toys Through Tangible Tools. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2401–2410, 2012.

[8] Takuma Hosokawa, Yasuhiko Takeda, Norio Shioiri, Mitsunori Hirano, and Kazuhiko Tanaka. Tangible Design Support System Using RFID Technology. In *Proceedings of the 2Nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, pp. 75–78, 2008.

[9] Huaishu Peng, Amit Zoran, and François V. Guimbretière. D-Coil: A Hands-on Approach to Digital 3D Models Design. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1807–1815, 2015.

[10] Christian Weichel, John Hardy, Jason Alexander, and Hans Gellersen. ReForm: Integrating Physical and Digital Design Through Bidirectional Fabrication. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology*, UIST '15, pp. 93–102, 2015.

付 録A　ゲームコントローラの3Dモデル作成に関する被験者実験

A.1　実験同意書

ゲームコントローラの 3D モデリングに関する実験のお願い

文責：飯樋遼輝

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- 本実験の目的は、ゲームコントローラの 3D モデリング手法の比較を行う実験です。

- 実験中に、写真および動画の撮影を行う場合がありますが、これは実験の様子を撮影するために行い、その写真および動画を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。

- この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。これらのデータを発表において利用する場合は、研究目的においてのみ利用いたします。

- 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。

- 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。

平成　　年　　月　　日

所属＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　署名＿＿＿＿

説明者　所属＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　署名＿＿＿＿

A.2　実験手順書

実験手順書

飯樋遼輝

2017 年 1 月 13 日

1　実験の目的

エンドユーザによるゲームコントローラのケースを自作する事を支援するシステムを作る際に，現実の物体を変形し，それを 3D スキャナでスキャンすることにより 3D モデルに反映させるタスクと，3D モデリングソフトにより 3D モデルを変形させるタスクを比較する実験です．また，被験者が各タスクを通して感じたことを調査する実験でもあります．

2　実験概要

これから，２つのタスクを行なっていただきます．１つ目のタスクでは，粘土と 3D スキャナによってゲームコントローラの 3D モデルの造形を行なっていただきます．一方，2 つ目のタスクでは，3D モデリングソフトを使いゲームコントローラの 3D モデルの造形を行なっていただきます，

それぞれのタスクにかかった時間を記録いたします．また，各タスク終了後，アンケート用紙に記入して頂きます．また，実際に被験者が個人でコントローラを自作する際，様々な情報を参考にしながら行う事が予想できるため，各タスクの全ての手順を行なっている際，インターネットを用いて情報を得る事が可能です．

ゲームコントローラに搭載するボタンの大きさは，実際にゲームコントローラをいくつか用意していますので，そちらのサイズを参考にしてください．

3　タスク説明

タスク 1 を始める前に，アンケート用紙 Q1,Q2 を記入してください．記入が終わったら，タスク 1 を開始いたします．

3.1　タスク 1 について

タスク 1 の手順は以下の通りです．

1. 粘土を作成したいゲームコントローラの形状に造形する
2. 手順 1 で造形した粘土を 3D スキャナでスキャンする
3. 手順 2 でスキャンし作成されたデータを STL 形式で保存する
4. 手順 3 で保存された 3D モデルを印刷したものを確認し，作成したいものが作成できているかを確かめる
5. タスク 1 に関する質問をアンケート用紙に記入する

3.1.1　手順 1:粘土を作成したいゲームコントローラの形状に造形する

粘土を使ってゲームコントローラを造形していただきます．ボタンを置きたい位置には，置きたいボタンが置けるスペースを空けてください．

3.1.2　手順 2:手順 1 で造形した粘土を 3D スキャナでスキャンする

手順 1 で造形した粘土を 3D スキャナでスキャンしていただきます. 使用する 3D スキャナは，Matter and Form（マターフォーム）です．Matter and Form の使い方は，メーカー公式サイトからダウンロードできる，マニュアルをご用意していますので，そちらを参照してください．マニュアルで不十分と感じた場合，インターネットを利用し必要な情報を得る事ができます．

3.1.3　手順 3:手順 2 でスキャンし作成されたデータを STL 形式で保存する

手順 2 でスキャンした 3D モデルを STL 形式で保存していただきます. 3D モデルの STL 形式での保存の仕方は，手順 2 でも使用したマニュアルを参照してください．マニュアルで不十分と感じた場合，インターネットを利用し必要な情報を得る事ができます．

3.1.4　手順 4:手順 3 で保存された 3D モデルを印刷したものを確認し，作成したいものが作成できているかを確かめる

手順 3 で保存していただいた 3D モデルを印刷し，印刷物を確認していただきます．このとき，自分の作成したかったゲームコントローラと具体的にどのような箇所が違ってしまっているかを意識して確認してください．持った感覚なども記入してください．

3.1.5　手順 5:タスク 1 に関する質問をアンケート用紙に記入する

アンケート用紙の Q3 から Q7 をお書きください．

3.2 タスク 2 について

タスク 2 の手順は以下の通りです.

1. ゲームコントローラの 3D モデルを 3D モデリングソフトで読み込む
2. 手順 1 で造形した粘土を 3D スキャナでスキャンする
3. 手順 2 で造形した 3D モデルを STL 形式で保存する
4. 手順 3 で保存された 3D モデルを印刷したものを確認し，作成したいものが作成できているかを確かめる
5. タスク 2 に関する質問をアンケート用紙に記入する

3.2.1 手順 1:ゲームコントローラの 3D モデルを 3D モデリングソフトで読み込む

このタスクでは，ゲームコントローラの 3D モデルを,Fusion360 を使ってモデリングを行なって頂きます．ゲームコントローラの 3D モデルを用意しているのでそちらを読み込ませてください．また，l からモデルを作りたい場合は，読み込まずに手順 2 へ進んでください．

3.2.2 手順 2:手順 1 で読み込んだモデルを変形させ，作成したい形状のゲームコントローラを 3D モデリングソフトで造形する

手順 l で読み込んだモデルを変形させて，ゲームコントローラの 3D モデルを造形してください．手順 l で 3D モデルを読み込まなかった場合は，1 から 3D モデルを造形してください．ボタンの置きたい場所にボタンの置けるスペースを 3D モデル状に造形してください．

3.2.3 手順 3:手順 2 でスキャンし作成されたデータを STL 形式で保存する

手順 1 で 3D モデリングソフトを使って造形した 3D モデルを STL 形式で保存してください．保存の仕方がわからない場合は，インターネットを使って情報を得ることが可能です．

3.2.4 手順 4:手順 3 で保存された 3D モデルを印刷したものを確認し，作成したいものが作成できているかを確かめる

手順 3 で保存していただいた 3D モデルを印刷し，印刷物を確認していただきます．このとき，自分の作成したかったゲームコントローラと具体的にどのような箇所が違ってしまっているかを意識して確認してください．持った感覚なども記入してください．

3.2.5 手順 5:タスク 1 に関する質問をアンケート用紙に記入する

アンケート用紙の Q8 から Q14 をお書きください．

A.3　アンケート用紙

アンケート用紙

名前＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

Q1:　実際にゲームコントローラを自作した事がありますか　YES　NO

Q1で自作したことがあると答えた方に質問です　(NOの場合タスク１に移ります)

Q2:　どのような手段で自作しましたか

タスク1についての質問

Q3:　3Dスキャナを使用した経験はありますか　YES　NO

Q4:　手順1を行なって感じたことを記入してください(便利だとおもった点，難しいと思った点など)

Q5:　手順2を行なって感じたことを記入してください(便利だとおもった点，難しいと思った点など)

Q6:　手順3を行なって感じたことを記入してください(便利だとおもった点，難しいと思った点など)

Q7:　手順4で確認していただいた印刷物をみて，作成したいゲームコントローラの形状と違った点を記入してください(持った感想なども)

タスク2についての質問

Q8: 3Dモデリングソフトを使用した経験はありますか YES NO

Q9: 手順1を行なって感じたことを記入してください(便利だとおもった点，難しいと思った点など)

Q10: 手順2を行なって感じたことを記入してください(便利だとおもった点，難しいと思った点など)

Q11: 手順3を行なって感じたことを記入してください(便利だとおもった点，難しいと思った点など)

Q12: 手順4で確認していただいた印刷物をみて，作成したいゲームコントローラの形状と違った点を記入してください(持った感想なども)

Q13: タスク１とタスク２で行った手法を比較して，どちらの手法を使用したいと思いますか．メリット，デメリットをあげながら答えてください

Q14: Q13で使用したいと選ばなかった手法は，どのような点が改善されれば使用したいと思いますか．

付 録B　ゲームコントローラ作成の被験者実験

B.1　実験同意書

自作ゲームコントローラに関する実験のお願い

文責：飯樋遼輝

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- 本実験の目的は、3D プリンタで印刷したゲームコントローラで実際に遊び，使用感を確かめる実験です。

- 実験中に、写真および動画の撮影を行う場合がありますが、これは実験の様子を撮影するために行い、その写真および動画を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。

- この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。これらのデータを発表において利用する場合は、研究目的においてのみ利用いたします。

- 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。

- 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。

平成　　年　　月　　日

所属＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　署名＿＿＿＿

説明者　所属＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　署名＿＿＿＿

B.2　実験手順書

実験手順書

飯樋遼輝

2017/1/19

1　実験の目的

自分で作成したゲームコントローラの 3D モデルを印刷したものを使用し，被験者が実際にゲームコントローラを作成可能かを確かめる．また，自作したゲームコントローラの使用感を調査する．また，ボタンの位置を変えることが可能であることの有意性を検証する

2　実験概要

Makey Makey と印刷したゲームコントローラの 3D モデルを使って，ゲームコントローラを作成していただきます．その後，作成したゲームコントローラを使い実際にゲームを遊んでいただきます．用意している道具は以下の通りです．

1. MacBook Pro
2. Makey Makey
3. ワニ口クリップ
4. 銅箔テープ
5. アルミホイル
6. テープ

3 タスク説明

3.1 タスクについて

タスクの手順は以下の通りです.

1. ゲームコントローラの 3 D モデルを印刷したものと Makey Makey を接続し，ゲームコントローラを作成する
2. ブラウザゲームを手順 1 で作成したゲームコントローラを使用して遊ぶ
3. アンケート用紙を記入する

3.1.1 手順 1:ゲームコントローラの３ D モデルを印刷したものと Makey Makey を接続し，ゲームコントローラを作成する

Makey Makey に関する動画を見ていただき，ゲームコントローラを作成していただきます.

3.1.2 手順 2:ブラウザゲームを手順１で作成したゲームコントローラを使用して遊ぶ

作成したゲームコントローラでブラウザゲームを遊んでいただきます．ゲームは，スコアが出るゲームを遊んでいただきます．遊んでいる途中にゲームコントローラのボタンの位置を変えたいと感じた場合は，自由に変えても問題ありません.

3.1.3 手順 3:アンケート用紙を記入する

アンケートに感想をお書きください.

B.3　アンケート用紙

アンケート用紙

名前

Q1: 実際にゲームコントローラを作成して，感じたことを記入してください．（便利な点，不便な点，ゲームのプレイのしやすさなど）