

Title	擬似筆記音フィードバックを利用したタブレット上での筆記体験の向上
Sub Title	Improving the writing experience on the tablet by simulated sound feedback
Author	柴, 琪(Chai, Qi) Waldman, Matthew
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2021
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2021年度メディアデザイン学 第860号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002021-0860

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2021 年度

擬似筆記音フィードバックを利用した
タブレット上での筆記体験の向上



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

Qi Chai

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

Qi Chai

研究指導コミッティ：

Matthew Waldman 教授 (主指導教員)

加藤 朗 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

Matthew Waldman 教授 (主査)

加藤 朗 教授 (副査)

石戸 奈々子 教授 (副査)

修士論文 2021 年度

擬似筆記音フィードバックを利用した タブレット上での筆記体験の向上

カテゴリ：デザイン

論文要旨

本研究では、タブレット端末での筆記において紙のような書き心地を得るため、すなわち書き心地を向上させるための世間一般的な方法としての保護フィルムや専門タブレット端末と違い、擬似筆記音を利用した新たな筆記体験のデザインを提案するとともに、その有効性について検証を行った。

その結果から、タブレットでの「書き心地のよさ」は、「タブレット上の筆跡が、より慣れている筆記用具（例：紙）で書いた筆跡と類似、または一致すること」に定義した。本実験において iPad での擬似筆記音を利用した新たな筆記体験によって、書き心地が向上したことを支える客観的なデータは確認できなかった。しかし、主観的なデータを見ると、作業に対する印象に関して、本研究が提案した擬似筆記音を利用した新たな筆記体験は通常の iPad 上での筆記体験よりも改善していることが確認できた。そして、考慮すべき「より長い時間書いていたいという意欲が起こるか」ということについてのポジティブな反応は、インタビューの結果の中に多くみられた。このことより、今後のタブレットでの筆記体験向上の手かがりに加え、増幅した音を聴くことの新たな側面とその可能性が明らかになった。

キーワード：

感覚間相互作用, タブレット端末, 筆記体験, 音声フィードバック, 擬似筆記音

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

Qi Chai

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2021

Improving the Writing Experience on the Tablet by Simulated Sound Feedback

Category: Design

Summary

This study proposes a new writing experience design that uses simulated writing sounds, unlike the protective films and specialized devices commonly used to improve the writing experience and verify its effectiveness.

As a result, "writing comfortably" on the tablet was defined as "the handwriting on the tablet is similar or consistent with the handwriting on a more familiar writing instrument (e.g., paper). While this experiment did not reveal any objective data, the surveys and the interview exposed subjective opinions that claim that the new writing experience using the pseudo-writing sound proposed improved the writing experience more than the typical writing experience on the iPad in terms of the impression of the work.

The "motivation to write for a longer period" was found in many interview results. Therefore, there was no objective data, but subjective data was confirmed for the hypothesis proposed in this study: "The writing experience on the tablet can be further improved by adding the simulated writing sound when writing. It also reveals further possibilities of improving the writing experience on tablets with sound in the future and new aspects and possibilities of listening to amplified sound.

Keywords:

crossmodal, tablet devices, writing experience, audio feedback, feedback simulation

Keio University Graduate School of Media Design

Qi Chai

目 次

第 1 章 序論	1
1.1. タブレットとは	1
1.2. タブレットの歴史	2
1.2.1 1990 年代	2
1.2.2 2000 年代	4
1.2.3 2010 年代	5
1.3. 生活とタブレットの関連性	6
1.4. 保護フィルムの種類	6
1.5. 個人の動機	7
1.6. 研究目的と仮説	7
1.7. 本論文の構成	8
第 2 章 関連研究	9
2.1. タブレットでの筆記体験向上の試み	9
2.1.1 電子ペーパーのタブレット端末「reMarkable 2」	9
2.1.2 Paperlike	10
2.1.3 Pen Tips	11
2.2. 筆記体験の音声フィードバックの例	12
2.2.1 筆記音のフィードバックが筆記作業に与える影響	12
2.2.2 音色鉛筆で描く世界	13
2.3. 感覚間相互作用	13
2.3.1 仮想現実 (VR)	14
2.3.2 拡張現実 (AR)	15

2.3.3	複合現実 (MR)	15
第 3 章	提案	17
3.1.	解決案の検討	17
3.2.	予備実験	18
3.2.1	iPad での筆記及び描画体験に関するアンケート	18
3.2.2	結果	21
3.2.3	考察	22
第 4 章	デザイン	26
4.1.	準備	26
4.1.1	プログラム A	26
4.1.2	プログラム B	29
4.1.3	プログラム C	29
4.2.	ユーザーテスト	30
4.2.1	実験環境	31
4.2.2	実験の手順	34
4.2.3	評価の基準	36
4.2.4	アンケートとインタビュー	36
第 5 章	実験結果	40
5.1.	図形外周の比較	40
5.2.	図形描画の速度	43
5.3.	アンケートの結果	46
5.4.	インタビューの結果	47
第 6 章	考察	48
6.1.	本論文の結論	48
6.2.	今後の課題と展望	50
	謝辞	53

参考文献	54
付録	58
A. iPadでの筆記及び描画体験に関するアンケート part1	58
B. iPadでの筆記及び描画体験に関するアンケート part2	60
C. iPadでの筆記及び描画体験に関するアンケート part3	63

目 次

1.1	hp Microsoft	1
1.2	「Dynabook」のモックアップ	2
1.3	GO penpoint	2
1.4	EO440	3
1.5	IBM thinkpad 700t	3
1.6	Apple Newton MessagePad100	3
1.7	lenovo ThinkPad X60 Tablet	4
1.8	iPhone 1	4
1.9	Amazon kindle 1	5
1.10	iPad 1	5
1.11	Samsung GALAXY Tab (GT-P1000)	5
2.1	reMarkable 2	10
2.2	Paperlike	10
2.3	Pen Tips	11
2.4	ライト・モア	12
2.5	音色鉛筆で描く世界	13
2.6	PlayStation VR	14
2.7	「ポケモン GO」のゲーム画面	15
2.8	Microsoft HoloLens 2	16
3.1	3種類の保護フィルム	20
3.2	録音方法	20
3.3	「タブレットでの書き心地のよさ」という意味の調査結果	22

3.4	保護フィルムの使用人数	23
3.5	保護フィルムを使っている理由	23
3.6	筆記音の判別結果 1	24
3.7	筆記音の判別結果 2	25
4.1	プログラム A の部分内容	27
4.2	プログラム A の操作手順 1	27
4.3	プログラム A の操作手順 2	27
4.4	プログラム A の操作手順 3	28
4.5	プログラム A の操作手順 4	28
4.6	データのサンプル	28
4.7	プログラム B	29
4.8	プログラム C	30
4.9	機材一覧	32
4.10	実験所の様子	33
4.11	実験の課題	34
4.12	紙で S 状態での実験者の姿	35
4.13	iPad で F 状態での実験者の姿	35
5.1	図形外周の比較 1	40
5.2	図形外周の比較 2	41
5.3	図形外周の比較 3	42
5.4	図形外周の比較 4	43
5.5	色によつての区別	43
5.6	筆記速度の比較 1	44
5.7	筆記速度の比較 2	44
5.8	筆記速度の比較 3	45
5.9	アンケート B の結果	46

表 目 次

4.1	アンケート B	37
-----	-------------------	----

第 1 章 序

論

1.1. タブレットとは

日本語の「タブレット」は英語の「tablet」を由来としている単語で、大正時代から見られる言葉である。当時、主に「錠剤」「鉄道の通票」「銘板」という意味を示していたようである [1]。2000 年代に、Microsoft はペン入力機能付きの OS 「Windows XP Tablet PC Edition」を発表し、「タブレット PC (Tablet PC)」と呼ぶ概念も提出した。その後、多くのパソコンメーカーが「Windows XP Tablet PC Edition」を搭載したタブレット PC (図 1.1) を発表し、一般的に板状でタッチやペンによる入力操作が可能なパソコンは「タブレット PC」と言われていた。本論文は「タブレット」の三つ目の解釈を基に展開する。



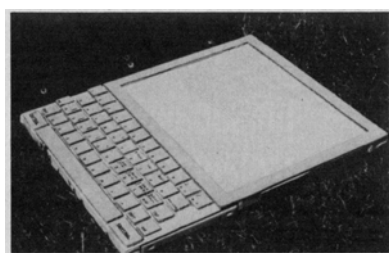
<https://hipwallpaper.com/view/7W4vSK> より引用

図 1.1 hp Microsoft

1.2. タブレットの歴史

1.2.1 1990年代

Alan Kay と Adele Goldberg は 1977 年に発表した論文「Personal Dynamic Media」 [2] の中に、現在のタブレットに通用する「Dynabook」 (図 1.2) というデバイスの構想を提示した。その後、1988 年から特許としてタブレットの歴史が展開し、90 年代からさまざまな会社が商品化したプロダクトを販売し始めていた。



(論文「Personal Dynamic Media」 [2] より引用)

図 1.2 「Dynabook」のモックアップ



Ken Guzik の文章 [3] より引用

図 1.3 GO penpoint

1991 年に Go Corporation 社が発行した「PenPoint」 (図 1.3) はペンでの文字や図形の入力、操作インターフェースなど独創的なアイデアが多く、本機に搭載した「タブレット式携帯情報端末用の OS (Operating System)」にも、コンピューターの技術層の発想にインパクトを与えた。「PenPoint」と対抗するために、AT&T 社や IBM は 1992 年にそれぞれ「EO440」 (図 1.4) と「ThinkPad 700T」 (図 1.5) (後「IBM 2521 ThinkPad」に変更) を発行し、1993 年に Apple は「Newton MessagePad100」 (図 1.6) を提供した。

1990 年代に主流としての OS は Go Corporation 社が発表した「PenPoint」、Microsoft からの「Windows for Pen Computing」と Apple 独自の「Newton OS」だった。しかし、ビジネスにとって、これらのタブレット商品は時期尚早であり、成功に辿らなかった。



フェブサイド [4] より引用

図 1.4 EO440



D. Murph の文章 [5] より引用

図 1.5 IBM thinkpad 700t



フェブサイド [6] より引用

図 1.6 Apple Newton MessagePad100

1.2.2 2000年代

2002年にMicrosoftは、ペン入力機能付きのOS「Windows XP Tablet PC Edition」を発表し、「タブレットPC (Tablet PC)」と呼ばれる概念も登場した。その後、多くのパソコンメーカーが「Windows XP Tablet PC Edition」を搭載したタブレットPCを発表し、一般的に板状でタッチやペンによる入力操作が可能なパソコンは「タブレットPC」と言われていた。



フェブサイド [7] より引用

図 1.7 lenovo ThinkPad X60 Tablet



フェブサイド [8] より引用

図 1.8 iPhone 1

2006年にMicrosoftは、タッチ及びペン入力機能のOS「Windows Vista」を発表した。同年Lenovoはタッチパネルを搭載し、ペンとタッチ両方が使える初代タブレットPC「ThinkPad X60 Tablet」(図1.7)を販売し始めた。次の年で、Appleは初代「iPhone」(図1.8)を発表した。「iPhone」に使われた2本以上の指を使った操作するマルチタッチ方式はスマートデバイスの新たな発展の方向を示した。2009年Microsoftは初めてのマルチタッチ技術を採用した「Windows Touch」を発表し、その後多くのメーカーがそれを対応するタブレットではなく、パソコンを提案した。2007年、AmazonはKindle(図1.9)を発売。今までのタブレットと違い、Kindleはデジタル読書を中心とするデバイスである。 [9]



Kindle のフェブサイドより引用

図 1.9 Amazon kindle 1

1.2.3 2010 年代

2010 年代はタブレットの進化が速い 10 年間だ。2010 年に Apple は「iPad」(図 1.10) を発表し、その後「iPad Mini」、「iPad」、「iPad Air」、「iPad Pro」4 種類の商品をこの 10 年間で開発し、システムも更新し続けている。アクセサリのキーボード、「Apple Pencil」は「iPad」シリーズの用途を豊富する一方で、パソコンとの使い分けを作り出そうとしている。「iPad」は豊富なアプリケーションと洗練なデザインで、非常に人気を読んでいた。iPad と対抗するために、Google の開発した「Android」を搭載したタブレット(図 1.11) が開発されていて、同年数多くのメーカーがその対応機を発表。[10]



フェブサイド [11] より引用

図 1.10 iPad 1



<https://www.ebay.co.uk/itm/281090621793> より引用

図 1.11 Samsung GALAXY Tab (GT-P1000)

1.3. 生活とタブレットの関連性

40年以上の歴史があるタブレットは最近の10年間で人々の生活の中に広がっている。タブレット市場を読み解く(1) [12]によると、ICTの活用が進んでいる社会で(2011年から2014年)、「自宅のパソコン」、「自宅以外のパソコン」、「携帯電話」の利用者が減少するとともに、「スマートフォン」、「タブレット型端末」の利用者は上昇している。その中に「6～12歳」のタブレットの利用率が4年間で6.4%から31.6%大幅に伸ばしている。そして、タブレットの利用実態調査(2018年4月) [13]によると、タブレットの購入経験比率は3割で、「インターネット検索」や「動画視聴」を目的に使用する人数が一番多く、そして1日の平均利用時間は72.2分である。

タブレットは普通の日常生活で利用されているだけではなく、川原 [14] は、「iPadが発表される前に、既に青山学院大学や横浜商科大学、京都大学、慶応義塾大学湘南藤沢キャンパスではiPhoneの教育市場での利用を高く評価し、積極採用の姿勢を見せ始めていた」と述べている。そして、教材や特別支援学級などの方面におけるタブレット端末を活用した事例も多くなり、例えば赤堀 [15] と三宅ら [16]、近年タブレット端末は教育のために利用される範囲が広がり、その現状や課題に関するの研究が増えている。

タブレットは単なる人々の娯楽や仕事に使われているのではなく、教育や研究などの方面にも実用性の幅が広がっている。

1.4. 保護フィルムの種類

タブレット端末に関するアンケート調査(第6回) [17]によると、タブレット端末の利用者の中に、3割は「液晶保護フィルム」を使用している。保護フィルムの種類にも数多く、使用者たちは使用目的によって、保護フィルムを選んでいる。保護フィルムは主に5種類がある。PETフィルム、光沢フィルム、強化ガラスフィルム、ブルーライトカットフィルム、ペーパーライクフィルムである。PETフィルムは質的に薄くて柔らかい素材である。光沢フィルムは画面を綺麗に映してくれるが、指紋が付きやすい。強化ガラスフィルムは質的に硬くて、落下によ

るタブレットの画面の割れに関して防ぐ効果がある。ブルーライトカットフィルムはLEDや液晶画面から多く出る眼の疲れと繋がっているブルーライトをカットし、目に優しい保護フィルムである。ペーパーライクフィルムは表面の凹凸加工によるざらざらとした感触により、書く際に摩擦を与え、紙に書いているような感覚を与える保護フィルムである。

現在単1種類の保護フィルムだけではなく、例えば強化ガラスの素材でブルーライトカットを加えるフィルムも存在している。

1.5. 個人の動機

筆者がiPad Proを購入した後、メモを取るために一時的に使用したことがある。数多くメモや絵を描く専用のAPPを試したが、最終的にiPadをやめ、紙に戻った。その後、筆者はやめた理由を分析し、iPadでも紙で書くような感覚が欲しいという気持ちから、ペーパーライクタイプの保護フィルムを購入した。たしかに、保護フィルムを用いることによって、紙で書くような感覚はある程度再現されたが、iPadを使用し続けるほどの要因にはなり得なかった。そこで筆者は、ペーパーライクタイプの保護フィルムとは別に、またはそれに加えて、さらに書き心地の向上を図る方法を探りたいと考えた。

1.6. 研究目的と仮説

iPadのようなタブレット端末にも書き心地の向上が欲しいというニーズに対して、世間の企業はペーパーライクタイプの保護フィルムや書き心地の向上を得られると謳うメモ専用タブレット端末などの解決策を提案している。筆者はこのニーズに対して、タブレットで筆記作業を行う時に生じた筆記音を利用した新たな筆記体験を提案する。本研究は、タブレットで擬似筆記音を利用することにより、筆記体験を向上させることができるのかについて検証することを目的としている。筆者の仮説では、タブレットでの擬似的な筆記音を加えることによって、タブレット上での筆記体験がさらに向上できると考えている。

1.7. 本論文の構成

本論文は研究の背景、研究の目的と仮説について述べた第1章を含め、全6章で構成される。第1章はタブレット端末の歴史から生活とタブレットの関連性、タブレットと保護フィルム、本研究を始める背景を述べ、個人の動機、目的と仮説で構成される。本章に続く第2章は本研究を行うために、関連文献や先行実例を述べ、本研究の位置付けを分析した。第3章では、解決策について説明し、予備実験として行ったアンケートの結果を述べ、さらにそこから得られる考察を示唆する。第4章では、第3章で提示した解決策の実効性を検証するための実験の詳細について述べ、第5章はその実験の結果を示す。第6章は実験の考察及び今後の展望について述べる。

第 2 章

関 連 研 究

2.1. タブレットでの筆記体験向上の試み

2.1.1 電子ペーパーのタブレット端末「reMarkable 2」

reMarkable 2¹ は紙みたいな触り心地、及び薄くて軽い本体が特徴である。To Do List、議事録、楽譜などのテンプレートがあり、PDF ファイルに手書き文字で編集できる。そして、書き残したメモは reMarkable のクラウドサービスにバックアップされ、専用アプリからデータのアクセスが可能。さらに、電子書籍も読める。33 言語サポートがあるが、中国語、日本語などは取り入れていないようだ。そして、検索機能がなく、ペンを思い通りに動かさなくなるケースもあるようだ。
[18]

この商品は紙で書くような体験をデジタル製品で再現するために作られた一つの施策である。デジタル商品としては評判が良く、紙のような書き心地に定評がある。

このような筆記体験に特化した新たなタブレット端末は、現在よく使われているタブレット端末（例：iPad）と比べると、動画、ゲーム、検索などの機能はついておらず、使用範囲は非常に狭い。本研究では、iPad のように多くの人々に受け入れられ、機能の広いタブレット端末での書き心地の向上方法を探るものである。

1 <https://remarkable.com/store/remarkable-2>



PHOTOGRAPH BY REMARKABLE

図 2.1 reMarkable 2

2.1.2 Paperlike

Paperlike² は iPad シリーズ専用のペーパーライクフィルムである。フィルム表面におけるナノドットテクノロジーの運用によって、Apple Pencil で書く際に微妙な振動を引き起こし、紙で書いているような感覚を与える。同時に、このようなざらつきのあるフィルムに散見される iPad のディスプレイ解像度の低下も最小限に抑えている。 [19]

ペーパーライクタイプのフィルムは iPad などのタブレット端末において、紙で書くような体験を得たいという人々のニーズに対して、諸企業が出したソリューションであるが、Paperlike はその中でも代表的な商品である。



図 2.2 Paperlike

2 <https://paperlike.com/#kqf0v53xbr->

2.1.3 Pen Tips

Pen Tips³ は Apple Pencil のペン先につけるカバーである。Apple Pencil チップに余分な層を加えることで、チップの摩耗を減らせる。そして、グリップ力が増すので、コントロール性も向上できる。Apple Pencil で書くときのカチャカチャという音をシリコンが取り除いてくれるので、静かに書けるようになる。



図 2.3 Pen Tips

新たなタブレット端末の開発、ペーパーライクタイプのフィルム、ペン先のカバー、タブレットでの書き心地の向上に対して、タブレットのアクセサリーに関する商品開発は充実している。このような商品を使用することによって、紙で書くような感覚はある程度再現されるが、限界がある。このような商品を基に、更なる向上を図るには新しい方法を探る必要がある。

3 https://pen.tips/collections/meet-pen-tips/products/classic?utm_source=Instagram_Stories&utm_medium=cpc&utm_campaign=2.+WRHQ+-+Full+Funnel&utm_content=Story+-+Vergelijking&fbclid=PAAaaBUoSlu3060_ZdRhdq1KumCnPC7JbWSmPWGoVSt_w9LqT3GZX8arXx6Q_aem_ARNrTdvkmRYJT0gXzqxkPE2alx1Kuaoljg5rQsE11ol4Bi00g_w3piPqN6xRtqvKKg307XKaNinKcPaGmh2Xpoch7uWfes1rEou-riH161FIBgFH_pmMw8CFbb67PVoaMuM

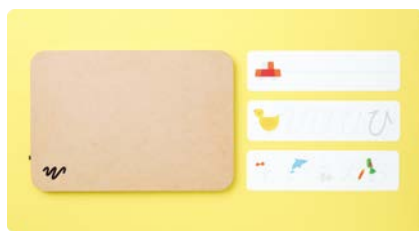
2.2. 筆記体験の音声フィードバックの例

2.2.1 筆記音のフィードバックが筆記作業に与える影響

筆記音フィードバックに関する数多くの研究は紙での筆記体験についてである。苗村ら [20] の研究は書く行為における筆記音の有無が作業量に及ぼす影響を調べるために、筆記音のなし、モノラル方式とステレオ方式の影響で紙になぞり書く実験を行った。この研究によると、紙での筆記作業による生じた筆記音の聴覚的フィードバックを行うと、より多くの文字が書けることが分かった。しかし、タブレットで筆記作業を行う時に筆記音の有無が作業量に及ぼす影響はまだ明らかにしていない。そして、作業量だけではなく、タブレットでの筆記音の有無が作業の質及び筆記体験へ及ぼす影響についても明らかになってはいない。

そして、ライト・モア (Write More)⁴という東京大学大学院苗村研究室が開発したボード形のプロダクトは、ボードの上に紙を置いて、書くことにより、筆記音がボード中のマイクに囚われて、そしてスピーカで拡大される。筆記音を大きくすることによって、子供たちの集中力が伸び、より美しい線が書けるそうだ。このプロダクトは現在販売中である。

したがって、筆記音の聴覚的フィードバックにより、紙での筆記作業に影響を与えることができるが、タブレットで筆記作業を行う時に同様の効果が得られるのかどうかについては明らかになってはいない。



東京大学大学院苗村研究室のウェブサイドより引用

図 2.4 ライト・モア

4 <https://issueplusdesign.jp/writemore/>

2.2.2 音色鉛筆で描く世界

KOKUYO DESIGN AWARD 2018⁵ のグランプリを取ったやまさきタクマさんの作品「音色鉛筆で描く世界」は描くことを愉しさを聴覚で発見できる文具と人の新たなコミュニケーションの形をあらわしたプロジェクトである。やまさきタクマさんはこのプロジェクトを盲学校で立体的に文字を理解し、学習できるプログラム構築への運用を考えていた。[21] このプロジェクトを通して、音声フィードバックを加えることによって、筆記体験は単なる普通の書く行為ではなく、その上での応用幅も考慮すべく。



KOKUYO DESIGN AWARD のウェブサイドより引用

図 2.5 音色鉛筆で描く世界

2.3. 感覚間相互作用

鳴海 [22] によると、感覚間相互作用とは、ある感覚における知覚が、同時に提示された他の感覚に対する刺激の影響を受けて変化するというある種の錯覚現象である。人間は五感を中心に複数の感覚を通して世界を認識している。近年の認知科学分野の研究の進展により、各感覚はそれぞれ独立しておらず、人間の知覚には感覚間の相互作用が重要な役割を果たしていることが明らかになってきている。

5 <https://www.kokuyo.co.jp/award/archive/prizepast/2018.html>

近年、仮想現実（VR）、拡張現実（AR）、複合現実（MR）環境における体性感覚提示手法として感覚間相互作用による錯覚が最も応用されている。

2.3.1 仮想現実（VR）

岡嶋（2020）[23]によれば、仮想現実（VR, Virtual Reality）はコンピュータと各種インターフェースを用いて人工的に生成したCG環境（サイバースペース）を本物の現実空間として感じさせる技術の総称であり、人工現実感とも呼ばれる。現在この技術はゲーム中に広がっている。その中に、代表的なのはPlayStation VR⁶である。図2.6はどの方向を向いても生き生きとしたゲーム世界が自身の周囲に広がり、より臨場感があるゲームを体験でき、2022以後発売される予定である。



PlayStation VR のフェブサイドより引用

図 2.6 PlayStation VR

中村ら [24]の研究によると、クロスモーダル質感知覚において、CG（Computer Graphics）と効果音の相互作用が存在することが分かった。したがって、感覚間相互作用質感知覚において、視覚情報と効果音の相互作用があることが分かった。しかし、タブレットで書く際の質感において、筆跡と筆記の効果音の相互作用が存在するかどうかはまだ明確にされていない。

6 <https://www.playstation.com/ja-jp/ps-vr/>

2.3.2 拡張現実 (AR)

岡嶋ら (2020) [23]によれば、拡張現実 (AR, Augmented Reality) はコンピュータを使って人工的なコンテンツ等を現実の空間に付加したり置き換えたりすることで、現実環境を拡張する技術の総称である。現在この技術はゲームや自撮りアプリのエフェクトに広がっている。その中に、代表的なのはスマートフォンゲームアプリ「ポケモン GO」⁷である。



Sarah Perez の文章 [25] より引用

図 2.7 「ポケモン GO」のゲーム画面

王ら [26] は、視覚刺激を加えることによって、視覚情報と共に移動する音像を知覚できることを明らかにした。故に、実験を実施するにあたり、視覚情報と音像の位置関係のバランスを確定する必要がある。今回の実験では、できるだけ音の発生源を被験者に正確に把握してもらうために、音の入力と出力をステレオにし、より立体的な音による空間把握を目指した。

2.3.3 複合現実 (MR)

複合現実 (MR, Mixed Reality) は AR と VR を組み合わせたような技術であり、現実世界と仮想世界の座標空間を精緻に重ね合わせることで、現実世界と仮想世界を同時に体験可能である。そして MR 技術を利用すると、同じ MR 空間を複数の人間が同時に体験することも可能である。MR 技術を利用している代表的

⁷ <https://www.pokemongo.jp/>

な例は「Microsoft HoloLens」⁸である。軽量化された HoloLens2 が 2019 年末に発表され、ビジネス領域での MR 利用の原動力になっている。 [27]



Microsoft Blogs [28] より引用

図 2.8 Microsoft HoloLens 2

MR 技術は、ビジネス領域での開発とともに、研究方面にも進んでいる。中島ら [29] の研究によると、触感を判断するための手がかりとして擬似接触音を加え、接触の瞬間を知覚しやすくなり、触感が大きく感じられることが分かった。また、音量を接触の強さとして解釈する傾向は個人差が大きく、必ずしも音量が大きいほど触感が大きくなる訳ではないことが分かった。このことから、今回実施する実験においても、細かな音量調節はさほど重要ではなく、それよりも、接触と効果音のリアルタイム性、すなわち遅延が少ないことの方が重要だと考えられる。

8 <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/buy>

第 3 章

提 案

3.1. 解決案の検討

本研究でデザインした「タブレットでの筆記体験」は、保護フィルムがある状態でさらに筆記体験を向上させるためのものである。筆者は「筆記体験の向上」ということはすなわち、「書き心地の向上」と考え、タブレット上における「書き心地のよさ」を、筆者個人の経験を元に2点にまとめて仮説とした。

- より長い時間書いていたいという意欲が起こる
- タブレット上の筆跡が、より慣れている筆記用具（例：紙）で書いた筆跡と類似、または一致する

しかし、「タブレットの書き心地のよさ」に関して、個人によって定義や条件が異なると考え、この点を明確にする必要があると感じた。

そして、筆者は予備実験の段階で、iPadに設置したコンタクトピックアップとアンプを繋ぎ、アンプで増幅されたiPadにおけるペンと画面の摩擦音、すなわち、筆記音を聴き、ペンと紙における筆記音と類似性が高いことを確認した。このことにより、筆者はiPadで書く筆記音の音量を増幅することによって、紙で書いている筆記音に近い音が生成できるという仮説に至った。この現象がもし普遍的なものであれば、筆者が取り組んでいる「タブレットでの筆記体験の向上」という問題の解決策になる可能性がある。しかしここで、上記の方法により、全ての人、または多数の人々が「iPadで書く筆記音」と「紙で書く筆記音」の類似性を認めることができるのかという検証も必要である。

また、タブレットの筆記体験を向上させるための現段階における一般的な方法は保護フィルムである。使用目的が異なれば保護フィルムの種類も変わる。タブ

レットの保護フィルムに関する調査のデータは現在存在せず、そのほとんどが、スマートフォンにおけるフィルムの使用状況を調査するものだった。本研究の仮説の検証には、まずタブレットでの保護フィルムの使用状況を前提として把握する必要があると考えたため、予備実験において、それらの調査を行うことにした。

これまでの筆者の疑問をまとめると以下のようなようになる。

- 人々にとって、タブレットでの「書き心地のよさ」はどのような意味があるのか。
- フィルムの上で書く作業を行う時の筆記音を拡大することによって、「紙で書く」筆記音と「タブレットで書く」筆記音を区別できるか。
- タブレットの保護フィルムの使用状況

以上の3点を明確にするために、予備実験をデザインした。

3.2. 予備実験

タブレット端末に関するアンケート調査（第6回）[17]によると、仕事以外で主に利用している「タブレット端末」はAppleが出しているiPadシリーズ（iPad、iPad Pro、iPad mini）である。そして、本研究でデザインした「タブレットでの筆記体験」も普段の生活の中で使用するという状況を想定したものであるため、実験で使用するタブレット端末にはiPadを選定した。

3.2.1 iPadでの筆記及び描画体験に関するアンケート

本アンケートはpart1、part2、part3の3部で構成されている。

part1は回答者の性別、年齢、「タブレットでの書き心地のよさ」という意味とpart2の回答者のスクリーニングのための質問で構成されるものである。

part2はiPad及び保護フィルムの使用状況を把握するために作られた部分で、iPadの使用者が回答する必要のあるセクションである。具体的には、iPadの使用

歴、使用頻度、購入理由、実際な使用用途、保護フィルムの使用状況、保護フィルムのタイプ、保護フィルムの使用理由及び使用しない理由を聞いた。

part3は筆記音を判別できるかのテストである。実験に先立って筆者は市場での3種類の11インチiPad Pro用の保護フィルム(図3.1)を選び、それぞれをiPad Proに貼っている状態でのApple Pencilで書く筆記音を録音した。ダンボールの両側にコンタクトピックアップをつき、そしてコンタクトピックアップをRME Babyface pro FXというインタフェースと繋ぎ、最後にこのインタフェースをMac Proと接触し、Logic proというアプリを通して、ボールペンで書く筆記音も録音した(図3.2)。この4種類の音声を回答者が聴き、「紙にボールペンで書く筆記音」なのか、「iPadにApple Pencilで書く筆記音」なのかを判断する。そして、それぞれの筆記音の違い、詳しくは、iPad上での筆記だと判別した大きな理由を回答してもらおう。それぞれの音声データに使用したメディアは以下である。()内は使用したフィルムを表している。

- 音声1 : ipad Pro(elecom 高光沢), Apple Pencil
- 音声2 : iPad Pro(elecom 上質紙), Apple Pencil
- 音声3 : iPad Pro(simplism 上質紙), Apple Pencil
- 音声4 : 紙, ボールペン

本アンケートはCrowdWorks¹と、第4章の実験参加者からの回答を募り、合計111名の回答が集まった。

1 <https://crowdworks.jp/>



図 3.1 3種類の保護フィルム



図 3.2 録音方法

3.2.2 結果

今回集まったアンケートでは、男性 55 名、女性 55 名、性別未回答 1 名。性別によるアンケート結果への影響は弱いと考えられる。回答集団 111 名の年齢分布は、20～29 歳が 26 名 (23.4%)、30～39 歳は 38 名 (34.2%)、40～49 歳は 37 名 (33.3%)、50～59 歳は 8 名 (7.2%)、60 歳以上が 2 名 (1.8%) である。「タブレットの書き心地のよさ」ということの定義に関して、「より慣れている筆記用具 (例: 紙) で書いた筆跡と類似すること」は他の項目と圧倒的差を付け 71 名、「より長い時間を書きたい意欲」と「紙のような触り心地」が次いで多く、それぞれ 26 と 20 票である。

111 名の回答者の中で、iPad を使用している人は 30 名で、15 名の iPad の使用歴は「2 年から 5 年間」で、30 名の 14 名は「ほぼ毎日」の使用頻度で iPad を使用している。iPad の購入理由に関して「絵を描きたい」、「電子書籍が読みたい」、「動画が観たい」、「持ち運びやすい」、「パソコンとして使いたい」はそれぞれ 10 票を超え、15 票の「動画が観たい」は、最も選ばれる購入理由である。そして、「電子書籍を読む」、「動画を観る」、「パソコンとして使う」は購入後の実際の使用用途として 10 票を超えている。「絵を描く」は 9 票で 4 位になった。

iPad を使用している 30 名の中で、18 名は保護フィルムを使用していて、「PET (薄くて柔らかい材質)」は最も使われている保護フィルムのタイプである。「ガラス」、「ブルーライトカット」、「ペーパーライクフィルム (紙のような書き心地)」のような専門性がある保護フィルムもそれぞれ 4 票、3 票、3 票である。そして、保護フィルムが一番の使用理由は、16 票の「埃や傷を防ぐ」であり、「Apple Pencil の書き心地をアップさせる」は 5 票 (17%) である。保護フィルムの使用しない理由の一番は「そのままの方がタッチ操作の感度が良い」は 4 票 (13%) である。

音声 1 を聴き、「紙にボールペンで書く筆記音」と「iPad に Apple Pencil で書く筆記音」に聞こえる人はそれぞれ 16 名と 95 名である。音声 2 の状況では、「紙にボールペンで書く筆記音」に聞こえる人は 64 名で、「iPad に Apple Pencil で書く筆記音」は 47 名である。音声 3 を聴き、「紙にボールペンで書く筆記音」と「iPad に Apple Pencil で書く筆記音」に答える人はそれぞれ 54 名と 57 名である。音声

4 の状況では、「紙にボールペンで書く筆記音」に答える人は 95 名で、「iPad に Apple Pencil で書く筆記音」は 16 名である。

「iPad で書く」と「紙で書く」感じた筆記音の最も大きな違いに関して、50 名が Apple Pencil と iPad の画面が衝突する際に生じる「コツコツ」という接触音だと答え、43 名が筆記時の摩擦音の中の雑音だと回答していた。

3.2.3 考察

以上の結果を踏まえると、この実験で明らかにしたかった 3 点に関してそれぞれ次のことがわかった。

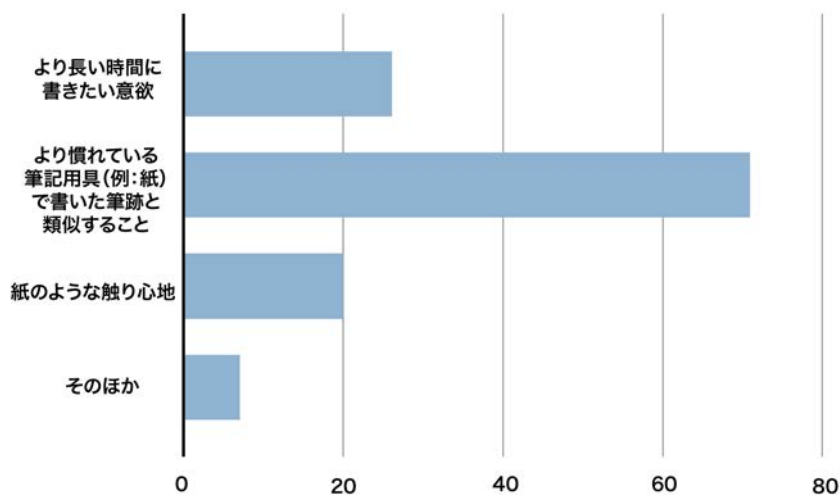


図 3.3 「タブレットでの書き心地のよさ」という意味の調査結果

図 3.3 の示す結果より、本研究においては、タブレットでの「書き心地のよさ」とは「より慣れている筆記用具（例：紙）で書いた筆跡と類似すること」と認識してもいいだろう。したがって、これからの実験中のタブレットでの「書き心地のよさ」の定義は「より慣れている筆記用具（例：紙）で書いた筆跡と類似すること」である。そして、「より長い時間を書きたい意欲」と「紙のような触り心地」は副次的な作用として、実験の結果分析中にも考慮すべきと考える。

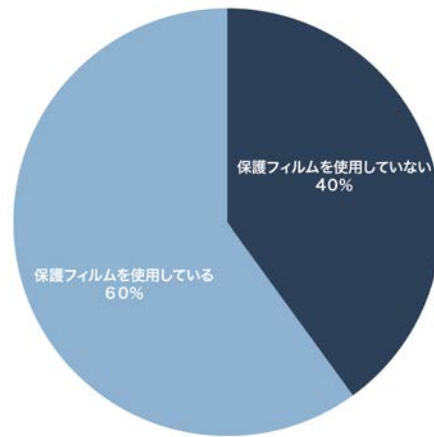


図 3.4 保護フィルムの使用人数

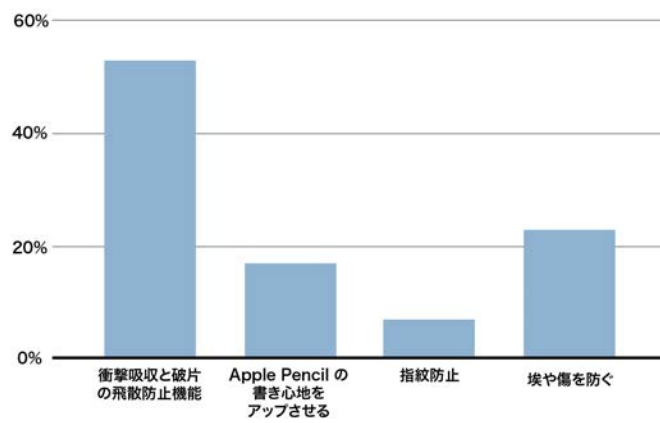
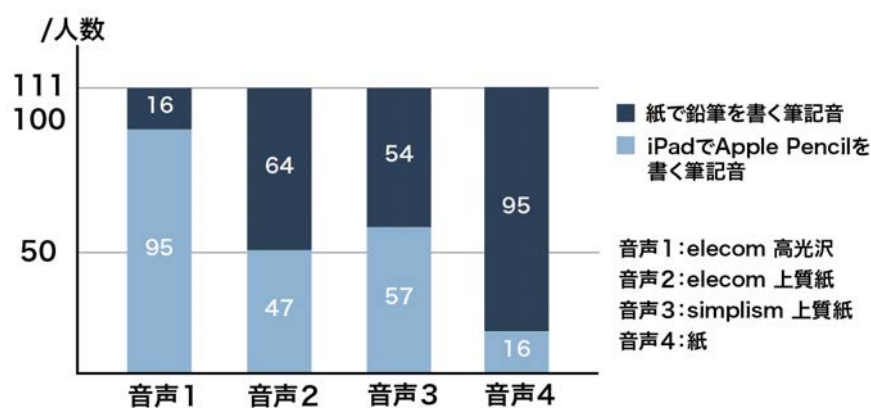


図 3.5 保護フィルムを使っている理由

図 3.4 から見れば、111 名の回答者の中で、iPad を使用している人は 30 名で、その中に、60%の人は保護フィルムを使用していることが分かった。そして、図 3.5 から見ると、17%の人は書き心地の向上に関心を持っていて、本研究がデザインした「タブレットでの筆記体験」の利用ターゲットになると考えている。



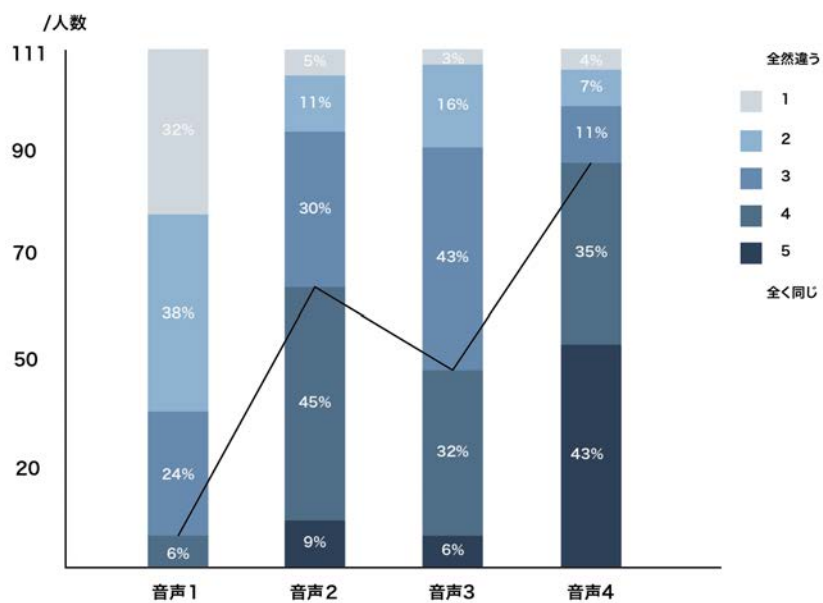
どの筆記音に聞こえているか

図 3.6 筆記音の判別結果 1

図 3.6 によると、86%の人は高光沢タイプの保護フィルムと紙での筆記音を正しく識別できた。しかし、上質紙タイプの保護フィルムに変えると、およそ半数の人が「紙に書いた音」であると誤認した。そして、図 3.7 を加えてみると、上質紙タイプの保護フィルムに変更した後に、「紙で書く筆記音」と全然違う（つまり 1）を選択した人数も一気に減少した。それは図 3.6 の結果を支える根拠の一つであると考えられる。

また、図 3.7 の中の黒い曲線は、「紙で書く筆記音」との相似度に 4 と 5（すなわち同じような音である）を選択した合計人数の変化を示している。この図を見ると、上質紙タイプの保護フィルムに変更した後の筆記音は「紙で書く筆記音と近い」と感じた人の数は大幅に増加していることがわかる。つまり、上質紙タイプのフィルムから生じる音は、高光沢のものに比べて、より紙とペンで生じる音に近いということが言えるだろう。

さらに、elecom の上質紙タイプペーパーライクフィルムでの Apple Pencil と画



「紙で書く筆記音」との相似度

図 3.7 筆記音の判別結果 2

面の摩擦音が、最も紙とペンの摩擦音との判別が困難であるということがわかる。したがって、以降の実験では、当フィルムを使用することとした。

第 4 章

デザイン

本研究では、タブレットでの筆記体験を向上させるために世間的に提示されている保護フィルムという方法に加えて、新たに筆記音を使って書き心地の向上を目指している。仮説では、タブレットでの擬似的な筆記音を加えることによって、タブレット上での筆記体験がさらに向上できると考えている。そのための手段をより具体的にするために、筆者は第三章の予備実験を経て、擬似筆記音を利用するという解決方法をデザインした。

本章では、この解決方法の可能性を検証するための実験について説明する。

4.1. 準備

本実験では、プログラムを三つ用意した。以下、それぞれを A,B,C と呼ぶ。プログラム A は実験中に使われたもので、プログラム B と C は実験後のデータを分析するためのものである。

4.1.1 プログラム A

プログラム A (図 4.1) は、Apple Pencil で iPad に筆記した際の筆跡の座標及び時間を獲得するためのプログラムである。このプログラムは Apple Developer が公表した「Drawing with PencilKit」¹ というプログラムをもとに改良した

1 https://developer.apple.com/documentation/pencilkit/drawing_with_pencilkit

「DrawingWithPencilKit-Net」と名付けたものと、筆跡の座標及び時間を PC に送信する「ipadrecv」というプログラム、この 2 部分で構成される。

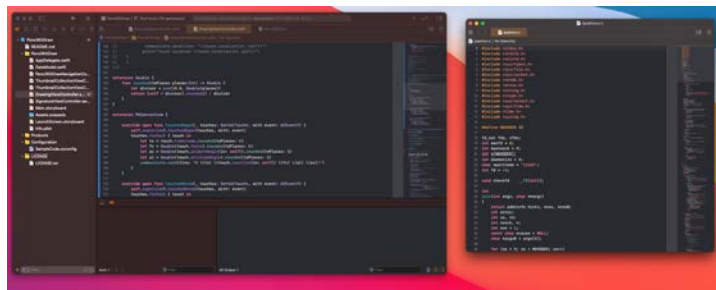


図 4.1 プログラム A の部分内容

実験の前に、iPad と Mac を type-C のコードで繋ぐ。そして、ターミナルで「ipadrecv」を起動し、Xcode で「DrawingWithPencilKit-Net」を接続した iPad で構築する。その後、iPad で「PencilKitDraw」というアプリが実装される。

実験する際に、筆者は Mac で「PencilKitDraw」の運行を操作し、iPad 上では自動的にこのアプリが開く。実験参加者にこのアプリ内のアートボードをクリックさせる。そうすると、ipadrecv ファイルと同じ階層に、クリックした時刻を名前にするドキュメントが自動的に作られる。開いたアートボード内に図形を書き終わった後に、iPad の画面の下からスワイプすることでアプリを終了し、通信を終了することで、筆跡データは作られたドキュメント内に保存される。実験参加者が毎回図形を書く時に、以上のプログラム A の操作手順を繰り返す。



図 4.2 プログラム A の操作手順 1



図 4.3 プログラム A の操作手順 2

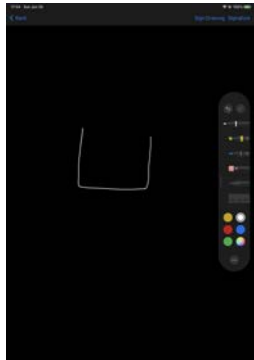


図 4.4 プログラム A の操作手順 3

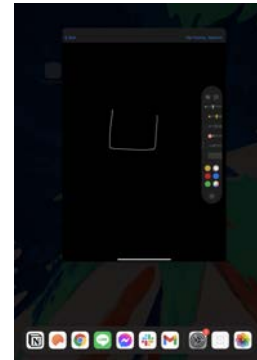


図 4.5 プログラム A の操作手順 4

ドキュメント内の筆跡データ (図 4.6) は図のようなものである。T はファイルが作成された Unix Time (1970 年 1 月 1 日 UTC 000000 を 0 として、それからの経過を秒で表現したもの) である。B はストロークの初め、E は終わり、M は動きという意味である。例えば、

M 107567.81 (526.5, 555.0) 0.4588 0.75103 0.93909)

107567.81 は相対的な時刻で、単位は秒である。(526.5, 555.0) は筆跡の座標、0.4588 は相対的なペン先の力、0.75103 は方位角、0.93909 は高度という意味である。本実験ではペン先の力、方位角、高度のデータを収集しているが、分析の際に用いるパラメーターは相対的な時刻と筆跡の座標この二つである。

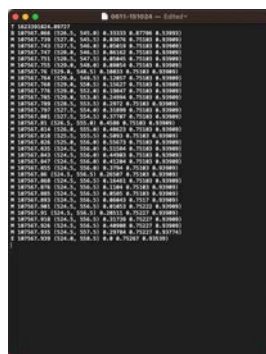
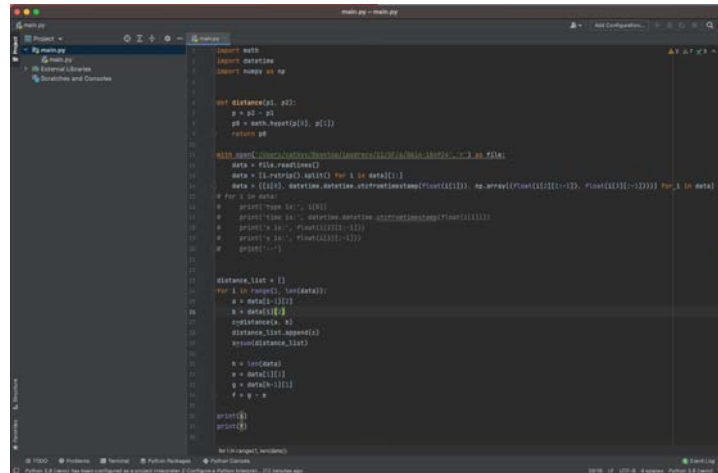


図 4.6 データのサンプル

4.1.2 プログラム B

プログラム B (図 4.7) は、プログラム A によって収集したデータを整理するためのものである。2 点の座標に基づき、2 点の距離を計算する。全ての距離を合計し、書いた図形の外周の長さのデータを得ることができる。そして、相対的な時刻から、図形を書き終わるまでかかった時間が計算できる。



```
import math
import datetime
import numpy as np

def distance(p1, p2):
    x = p1[0] - p2[0]
    y = p1[1] - p2[1]
    return np.sqrt(x**2 + y**2)

def main():
    data = FILE_PATH.readlines()
    data = [line.strip().split() for line in data]
    data = [(float(x), float(y), float(z)) for x, y, z in data]

    for i in data:
        print("Time: %s" % i[2])
        print("x: %s, y: %s, z: %s" % (i[0], i[1], i[2]))
        print("x: %s, y: %s, z: %s" % (i[0], i[1], i[2]))
        print("x: %s, y: %s, z: %s" % (i[0], i[1], i[2]))

    distance_list = []
    for i in range(1, len(data)):
        x = data[i][0]
        y = data[i][1]
        z = data[i][2]
        distance_list.append((i, distance(data[i-1], data[i])))

    print(distance_list)
    print(z)
```

図 4.7 プログラム B

4.1.3 プログラム C

プログラム C (図 4.8) は、紙で書いた図形の外周の長さを整理するためのものである。紙での書いた図形をスキャンした PNG のファイルをプログラム C 内で、画像を白黒に変更する。書いた部分は白で、紙の部分は黒である。そして、白い部分の輪郭を取得することにより、図形の外周の長さのデータを得ることができる。

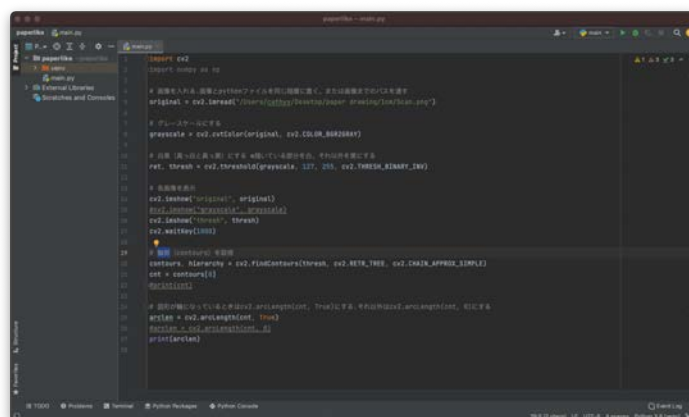


図 4.8 プログラム C

4.2. ユーザーテスト

本実験では、擬似的な筆記音を加えることによって、フィルムを貼っているタブレット上でより良い書き心地を得られるかどうかということについて調べる。本実験の中でのタブレットでの「書き心地のよさ」の定義は予備実験で判明したと「より慣れている筆記用具（紙）で書いた筆跡と一致する」、すなわち「作業質」である。

音声のフィードバックは二種類あり、ステレオ方式（Stereo Feedback, 以下 S 状態）、すなわち「生の音」と擬似方式（Feedback Simulation, 以下 F 状態）、すなわちアンプで増幅された筆記音を被験者がリアルタイムでヘッドフォンで聞きながら作業を進める方式を用いる。詳しくは以下の通りである。

- ステレオ方式（S 状態）：人間が書くという行為を行うと共に生じる筆記音を普段の生活状態で聴覚にオーディオフィードバックをする状態である。
- 擬似方式（F 状態）：ノイズキャンセリングヘッドフォンを付けている状態で、コンタクトピックアップで取得した筆記音をアンプを通し、低音域、中音域、高音域の音量をそれぞれ調整した筆記音を流す。低音域、中音域、高音域の数值は、筆者が全般音域をはっきり聞こえる状態で設定し、実験中の変更はしていない。そして、筆者が音量を実験参加者に聞かせ、その音量を

基準に実験参加者が快適とする音量で調整した。

紙とタブレットでそれぞれ、表示された6つの図形を書き写す課題を上記の音声フィードバックの環境下で行う。紙の筆記ではS状態のみ、iPadでの筆記ではSとF状態の環境を用意した。そして、それぞれでの書き写し課題において計測された時間や筆跡のパラメーターから、音声フィードバックと書き心地の関係を明らかにする。筆者が予測した結果は、iPadにおいてはS状態よりもF状態の環境下の方が、より「書き心地の向上がある」ということだ。また、紙とタブレットでそれぞれ行う書き写し課題においては、紙での書きたい意欲と作業質を基準にすると、タブレットでのF状態はS状態より基準に近いと予測される。

4.2.1 実験環境

実験は慶応義塾大学日吉キャンパスの協生館3階の静かな場所で、2021年6月11日と2021年6月14日の二日間で行った。慶応義塾大学のメディアデザイン研究科の大学院生11名（男性7名、女性4名）を参加者として、実験に参加してもらった。実験開始前に、まず参加者に実験の流れを説明し、そして研究目的として、手元の録画やインタビューの録音、タブレットの画面録画及び写真を撮る場合があることを伝えた。その後、詳しい説明が含まれる「実験説明書」を渡し、実験参加に同意するサインをもらった。

今回使われる予定の機材は11インチiPad Pro（第1世代）、Apple Pencil（第2世代）、コンタクトピックアップ、ノイズキャンセリングヘッドフォン（Sony MDR-100ABN）、アンプYAMAHA THR10II、A4サイズのダンボール、178.5mm*247.6mmのサイズの紙、COPIC MULTILINER SP 0.7のマーカーである。

実験中にiPadと紙でのサイズ感によって発生した誤差を削除するために、使われている紙は筆者が事前にiPad（178.5mm*247.6mm）と同じサイズのように切ったものである。そして、紙とiPadをA4サイズのダンボールの上に設置し実験を行う。

そして、iPad Pro上には、予備実験の中の録音テストで「紙で書く筆記音」の相似度が一番高いという結果を出したelecom社製出「ペーパーライクフィルム上

質紙タイプ」のフィルムを使用している。フィルム上につくられた凹凸により紙のようにザラザラとしたテクスチャであるが、その分画面の解像度が低下しているように見える効果がある。実験中使用している機材は図 4.9 のようになっている。

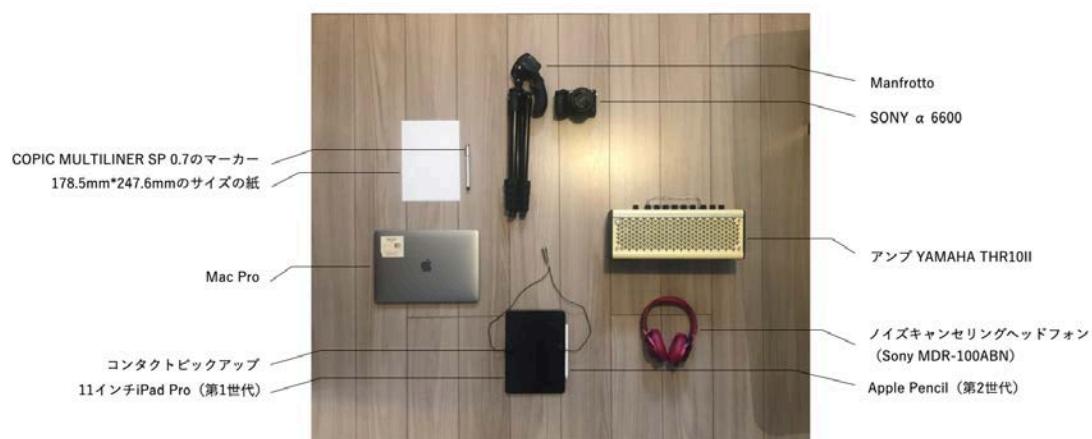


図 4.9 機材一覧

筆記音を精度良く捉えるために、設置面上のわずかな音でも拾うことのできるコンタクトピックアップを、フィルムを貼っているiPadの長編の両側に設置する。このコンタクトピックアップへ入力された音はステレオ音源としてそのままヘッドフォンの左右それぞれの耳に対応する。この設置により、実際の音の発生位置とヘッドフォン上の出力が一致しているように聞こえる。コンタクトピックアップの設置位置は、筆記作業に支障を与えず、筆記領域全般に渡って筆記音を取得可能な場所を調べた上で設置した。コンタクトピックアップで取得した筆記音を予備実験で録音した音声の音量より上げるために、オデオインタフェースではなくアンプを使用する。実験所の設置は図 4.10 のようになっている。



図 4.10 実験所の様子

Andersen ら (2008) [30] が使った 20 個の図形の中に、クローズ図形とオープン図形を 3 個ずつを今回の書き写し課題 (図 4.11) として使った。書き始める先端を分かりやすく伝えるために、矢印を付けた。

課題に関して 5 点を実験参加者に伝えた。

- 矢印の方向に従って書くこと
- 一種類の図形を 3 回書くこと。一回毎に紙一枚を使用あるいはプログラム A を一回実行すること
- 筆記する図形サイズは渡した図形のサイズとおおよそ同じに書くこと
- 紙あるいは iPad の中心に書くこと
- 一筆描きすること

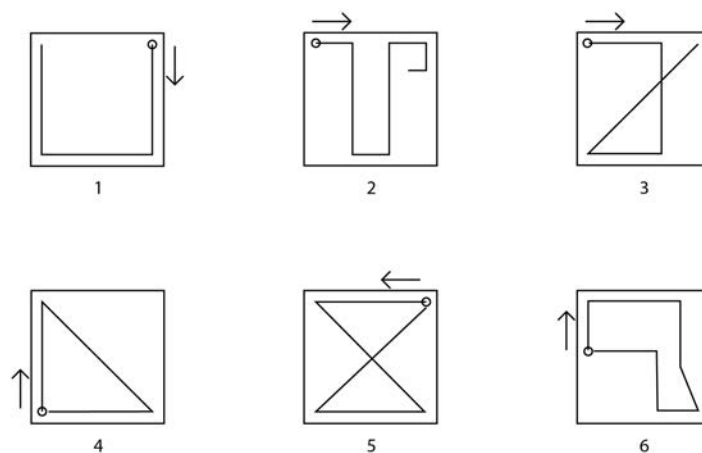


図 4.11 実験の課題

4.2.2 実験の手順

step 1 実験が始まる前に、「実験説明書」を渡し、サインをもらう。そして、実験参加者のタブレットでの筆記体験の経験や認識を把握するために、予備実験で「iPadでの筆記及び描画体験に関するアンケート」の解答をお願いする。

step 2 録画を始め、S状態で紙での書き写し実験を開始する。

step 3 アンケート B の回答をお願いする。

step 4 次に、S状態でiPadでの実験を開始する。

step 5 アンケート B の回答をお願いする。

step 6 その後、実験参加者はF状態で、先ほどと同じようなiPadでの実験を行う。

step 7 アンケート B の回答をお願いする。

step 8 最後に、実験の感想について、インタビューを行い、録画を止める。



図 4.12 紙でS状態での実験者の姿



図 4.13 iPadでF状態での実験者の姿

4.2.3 評価の基準

筆者は客観的な側面と主観的な側面から、本実験のデータを評価したいと考えている。第三章の実験結果から、筆者はタブレットでの「書き心地のよさ」を「より慣れている筆記用具（例：紙）で書いた筆跡と類似すること」とであると定義した。したがって、「筆跡の類似」を客観的にデータ化するために、筆者は「書いた図形の外周の長さ」と「図形描画の速度」の比較から分析することにした。そして、体験を通じた感情的・感覚的な感想などは主観のアンケートBとインタビューの結果から分析する。

客観的な側面

- 書いた図形の外周の長さ
- 図形描画の速度

主観的な側面

- 作業に対する印象の変化
- インタビューの結果

4.2.4 アンケートとインタビュー

アンケートBに関しては菅ら [31] が使用した作業に対する印象の質問紙を基に、今回の実験内容を考慮した上で、編集したものである。作業に対する印象を8尺度を用い、5段階評定を行った。以下にアンケート内容を挙げる。

表 4.1 アンケート B

項目		1	2	3	4	5	
1. 作業中の気持ちは？	退屈だった						楽しかった
2. 時間の感じ方は？	速く感じた						長く感じた
3. 作業は？	つまらなかった						面白かった
4. 作業中の集中力は？	気が散った						集中してできた
5. 作業中の緊張度は？	緊張した						リラックスできた
6. 書き心地は？	悪かった						よかった
7. 今回の筆記体験と 普段の筆記体験の相似度は？	低い						高い

実験参加者が実験を終了した後、体験していた期間について自由に感想を述べるという形で1名ずつインタビュー調査を行った。

実験参加者 01

- 擬似筆記音がある状態の方は作業が楽しい。

実験参加者の 02

- 筆記音が大きいので、自分が今行っている作業に対して、認知があげる。
- 擬似音がある状態ではより集中力の増加を感じた。

実験参加者の 03

- 実験中に使用されているペンは紙に引っかかる感じがあるので、Apple Pencilの方が書きやすい。体験を通して、前気づいてなかったiPadでの筆記音を気づいた。
- 擬似音がある状態ではより筆記音が聞こえ、より集中できる。
- いつもiPadで絵やメモを書いているので、紙で書くよりiPadで書いた方が書きやすい感じがする。

実験参加者の 04

- 音がある方は作業が楽しく、黒板で書く楽しさを感じた。音の大事さを感じた。

実験参加者の 05

- 音がある方が書いている感があって、普通の筆記体験と似ている。
- 紙の方が iPad より、正確に書ける気がして、ペンによって書き心地が変わるように、Apple Pencil の方は自分が思った通りに行かない感じがする。
- 紙の方が作業として細かくて、楽しいし、集中できる。音が入ると、紙ほどではないけど、細かさが加わって、コントロールできている感じがする。
- 音がある方がより集中できる。しかし、音に注意が行くから、リラックス感がない。

実験参加者の 06

- iPad で書く時に書く方向によって、感触が違うけど、紙は変わらない。iPad で斜めの方向に書くと摩擦が少ない感じして、それが感触が違う原因かもしれない。
- iPad の方が楽しいし、新しい技術だから、興味がある。紙の柔らかさが好きじゃない。
- あまり音を気にしてなく、図形に集中にした。

実験参加者の 07

- 音がある方が好きで、書き続ける意欲が出てくる。
- 紙で書くのも好きで、1 回目と 3 回目の感覚に近い気がする。。
- iPad での音の増幅がない時に、作業がつまらなく感じて、早く終わりたい気持ちが湧いてくる。

- 音がある状態で、絵とかを書きみたい。

実験参加者の 08

- オーディオフィードバックが強い方が作業は面白い感じがする。
- 音がある方が紙より「書いている」感覚がある。
- 1回目と2回目の筆記感覚が近くて、3回目の体験はより豊かだ。

実験参加者の 09

- ペーパーライクフィルムの上に書いたことがなかったけど、摩擦の感覚が紙より強い感じがする。
- 音がある方が楽しくて、フィードバックがちゃんとある感じがする。
- 普段の筆記体験とは違うけど、書き続けたい意欲が湧いてくる。
- 紙で書く時は、一発目のせいかもしれないが、少し緊張していた。3回目の時には筆記音があるからリラックスできた。

実験参加者の 10

- 実験中に使っているペーパーライクフィルムのせいかもしれないが、感触がすごくいい。
- 個人的には音とかに関係なく、筆記体験は感触が一番普段感じている感覚だと思っている。慣れにも関係があると思う。
- 紙の下に敷いてるものにや、ペンの種類（重さなど）でも感触に影響が出ると思う。

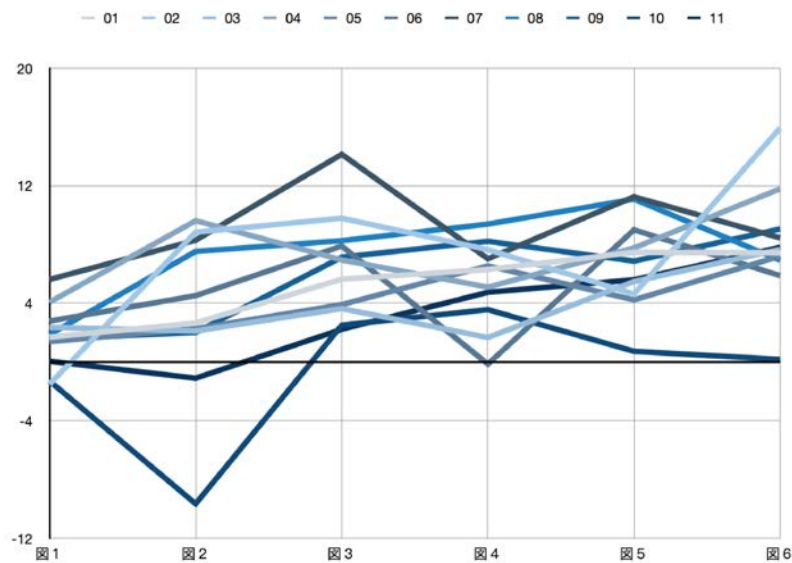
実験参加者の 11

- 音がある方は楽しかったけど、普段の筆記体験とは違う感じがする。
- 音ありの状態ですらイラストを描くより、メモとか取ってみたい。

第 5 章 実 験 結 果

5.1. 図形外周の比較

実験参加者一人ひとりに対して、紙の S 状態、iPad の S と F 状態で書いた 6 個の図形の外周を測った。6 個の図形を紙、iPad の S と F 状態で 3 回ずつ書いてもらい、そして 3 回の中央数だけを取り、外周の数値の比較を行った。以下三つの図形中の単位は cm である。



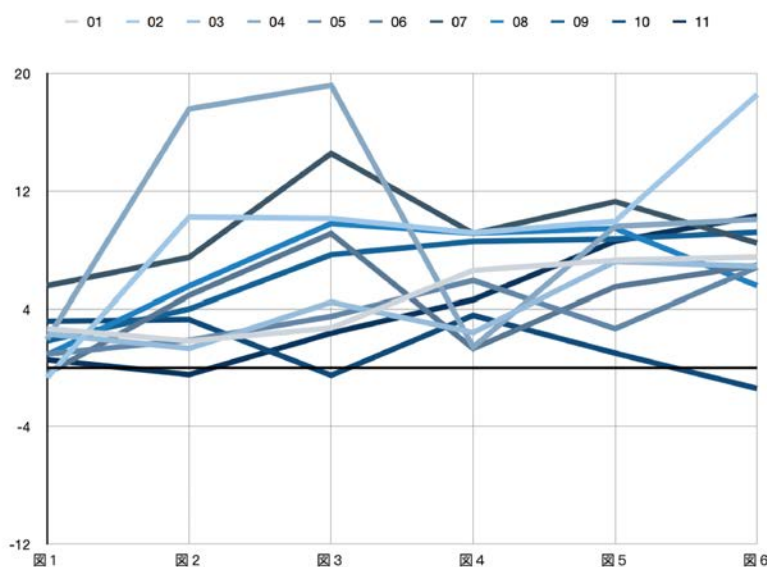
iPad の S 状態 - 紙の S 状態

図 5.1 図形外周の比較 1

図 5.1 は（実験参加者が S 状態で iPad で書いた図形の外周） - （紙で書いた図形

の外周で得た数値) のまとめ、S 状態で iPad と紙で書いた図形の外周の比較図である。この図から見ると、図の形に関係なく、S 状態で iPad で書いた図は紙で書いたより外周が増加していると判明した。

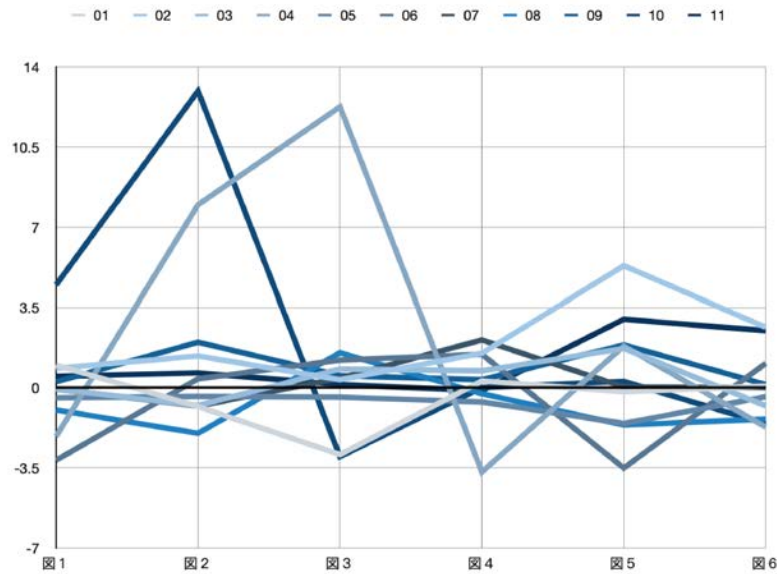
参加者と図形により増加率が異なるが、全体的に外周が増加していることが分かった。つまり、S 状態で iPad で書いた図形は紙で書いた図形よりサイズが大きいということになる。



iPad の F 状態 - 紙の S 状態

図 5.2 図形外周の比較 2

図 5.2 は (実験参加者が F 状態で iPad で書いた図形の外周) - (紙で書いた図形の外周で得た数値) のまとめ、F 状態での iPad と S 状態での紙に書いた図形の外周の比較図である。この図から見ると、図の形に関係なく、F 状態で iPad に書いた図は S 状態で紙で書いたより外周が増加していると分かった。0 に近づけば近づくほど紙で書いた図形の外周に近いが、図 5.2 を見れば、F の影響によってこのような傾向は見当たらない。そして、参加者と図により増加率が異なるが、11 人中の 7 人は全図または、S、F の両状態とも、紙で書いた図より外周が増加していることがわかる。



iPad の F 状態 - S 状態

図 5.3 図形外周の比較 3

図 5.3 は、(実験参加者が F 状態で iPad で書いた図形の外周) - (S 状態で iPad で書いた図形の外周で得た数値) を表したグラフであり、F 状態と S 状態で iPad に書いた図形の外周の比較図である。この図から見れば、全体的に 0 に近いということがわかる。そして、58% のデータは 0 より大きい。つまり、F 状態により iPad で書いた図形の外周は S 状態と僅かに大きくなっている。

したがって、図の形に関係なく、iPad で書いた図は紙で書いたより外周が増加していると判明した。そして、iPad で書いた図形は F 状態の影響により、紙で書いた図形の外周に近い傾向は見当たらない。

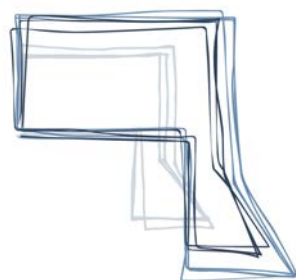


図 5.4 図形外周の比較 4

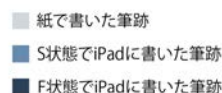


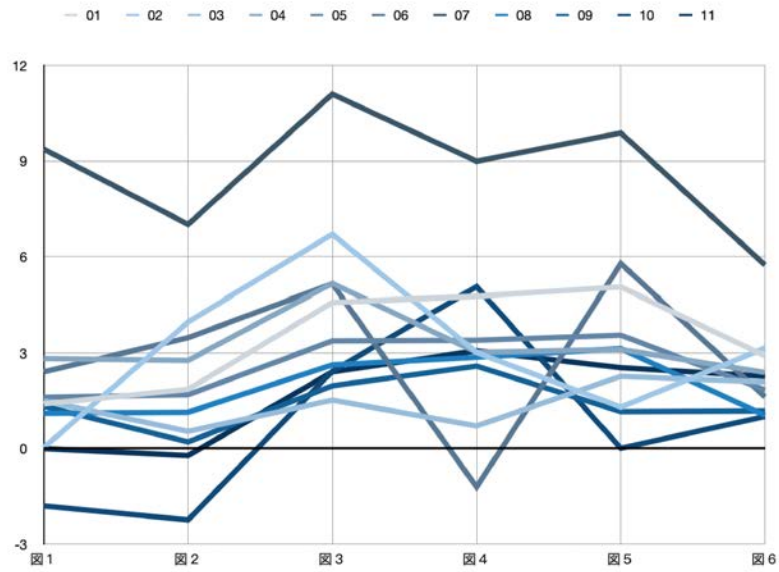
図 5.5 色によつての区別

図 5.4 から見ると、状態によつて筆跡がまとまっていることが分かつた。そして、前段落で触れた iPad で書いた図に関しても、紙で書いたものよりも外周が増加していることも確認できる。

5.2. 図形描画の速度

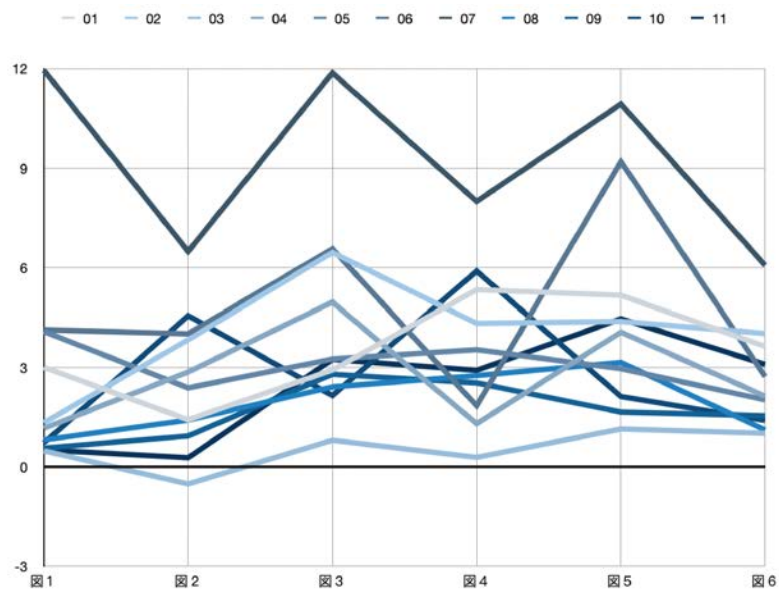
実験参加者一人ひとりに対して、紙の S 状態、iPad の S と F 状態で書いた 6 個の図形の速度を計算した。6 個の図形を紙、S、F 状態で 3 回ずつ書いてもらい、外周の長さと言った時間によつて、速度を計算した。3 回の中央数だけを取り、数値の比較を行った。以下三つの図形中の単位は cm/s である。

図 5.6 は（実験参加者が S 状態で iPad に書いた速度） - （紙に書いた速度）で得た数値のグラフであり、S 状態の iPad と紙に書く速度の比較図である。この図から見ると、図の形に関係なく、S 状態で iPad に書く速度は、紙で書く速度に比べて増加していると判明した。個人差や図形差によりやはり増加率が異なるが、全体的に速度が増加していることが分かつた。



iPad の S 状態一紙の F 状態

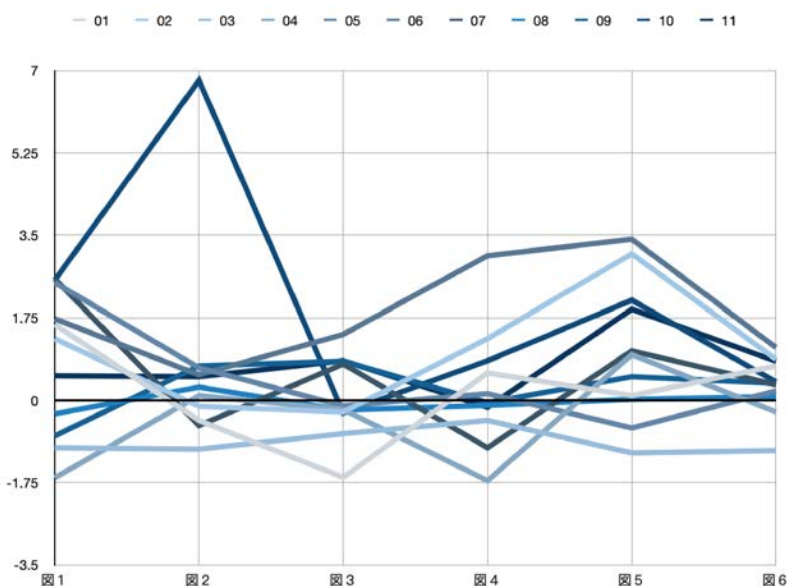
図 5.6 筆記速度の比較 1



iPad の F 状態一紙の S 状態

図 5.7 筆記速度の比較 2

図 5.7 は（実験参加者が F 状態で iPad で書く速度） - （紙で書く速度）で得た数値のグラフ、F 状態の iPad と S 状態の紙に書いた速度の比較である。この図から見ると、0 に近づけば近づくほど紙で書く速度に近いが、F 状態の影響が大きな部分は見当たらない。



iPad の F 状態 - S 状態

図 5.8 筆記速度の比較 3

図 5.8（実験参加者が F 状態で iPad で書いた速度） - （S 状態で iPad で書く速度）で得た数値のグラフであり、F 状態と S 状態で iPad に書く速度の比較図である。この図から見れば、半分以上の図形において、F 状態での筆記速度の方が、S 状態での速度より速いことがわかる。さらに、11 人中 7 人は全図または iPad での S、F の両状態とも、紙で書く速度より増加している。

したがって、図の形に関係なく、iPad での描画速度は紙に書く速度に比べて増加していると判明した。そして、iPad で書く速度は F が影響によって、紙で書く速度に近づく、すなわち速度が低下するという傾向は見受けられない。しかし、実験のプロセスを考慮すると、紙での実験が最初に行われ、F 状態での iPad の実験が最後である。それゆえ、実験の回数を重ねることにより、実験参加者がプロセスに慣れてきて描画速度が上がった可能性もあると考える。ゆえに、実験のプ

プロセスを再構築する必要があるだろう。

5.3. アンケートの結果

実験参加者一人ひとりに対して、紙、iPadのSとFそれぞれの状態での書き写し作業を行った後、アンケートBの回答をお願いした。一人で3回アンケートBを回答してもらい、作業に対する印象のデータを得た。それを基に、本小節では実験参加者が実験中で作業に対する印象の変化を分析しようと考えている。11人の各質問における平均数を計算し、紙、iPadのS、F状態下の平均数を表す。

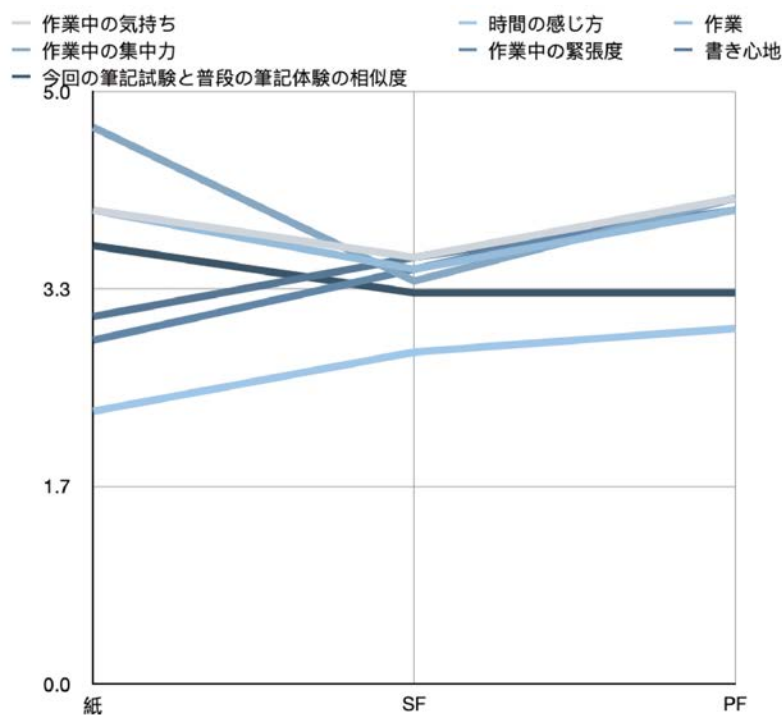


図 5.9 アンケート B の結果

図 5.9 から見れば、「作業中の気持ち」、「作業」、「作業中の集中力」は SF 状態に比べて、PF 状態の方が高く、PF 状態での「作業中の気持ち」、「作業」は紙より「楽しかった」、「面白かった」である。「時間の感じ方」、「書き心地」、「作業中の緊張度」は数値的に紙、iPad の S と F 状態の順番で上々に上がっており、F 状

態での「時間の感じ方」、「書き心地」、「作業中の緊張度」は最も「長く感じた」、「よかった」、「リラックスできた」である。「今回の筆記体験と普段の筆記体験の相似度」に関しては、S状態とPF状態での数値に変化は無く、紙で書く体験は最も普段の筆記体験との相似度が高かった。

したがって、Fの状態により、「作業中の気持ち」、「作業」、「作業中の集中力」、「書き心地」と「作業中の緊張度」はS状態より改善していることを判明した。しかし、「今回の筆記体験と普段の筆記体験の相似度」に関しては改善が見られなかった。普段書いている筆記音の音量は小さく、実験中に音量を増幅して筆記してもらったことが、相似度の低い大きな原因だと考えている。

5.4. インタビューの結果

第4章で行った実験後の、参加者へのインタビューをもとに、回答のポイントを以下のようにまとめた。

- 音がある状態の方は作業が楽しい
- 音がある状態ではより集中できる
- 音が入ると、より筆跡をコントロールできている感じがする
- 音がある方が書き続ける意欲が出てくる

第 6 章

考 察

6.1. 本論文の結論

本研究では、タブレット端末での書き心地を向上させるため、一般的な方法としての保護フィルムや専用タブレット端末とは異なる、擬似筆記音を利用したアプローチ提案し、その有効性について検証を行った。

そのために本研究では、第 1 章でタブレット端末の歴史から、日常生活の中でタブレットの実用性、アクセサリとして開発された保護フィルムについて述べた。その中から、タブレット端末に紙のような書き心地が欲しいというニーズに対して、現存の解決方法に加えた新たなアプローチが必要であるということがわかった。筆者個人の経験談からも、書き心地のためにペーパーライクタイプの保護フィルムを使用するだけでは不十分であり、まだ筆記体験の向上の余地があると考えた。

第 2 章では、本研究の位置付けの意味から、第 1 章の提案に関する関連研究あるいは代表的な先行実例をタブレットでの筆記体験向上の試みと筆記時の音声フィードバックの例、感覚間相互作用、この 3 つの側面から調査した。タブレットや紙での筆記体験の向上に関する研究は散見されたが、紙とタブレットの筆記体験を構築する要素の違いを明らかにし、その差を音の側面から埋めようとする試みはまだなされていなかった。

第 3 章では、解決案の検討を行い、3 点を明確するために 111 名に対して iPad での筆記及び描画体験に関するアンケート調査を行った。1 点目、人々にとって「タブレットでの書き心地のよさ」とはどのような意味か、という問いに関して、71 人が「タブレット上の筆跡が、より慣れている筆記用具（例：紙）で書いた筆跡と

類似、または一致する」を選択した。よって本研究においては「タブレット上での書き心地のよさ」を、紙とペンでの筆記との類似性に紐づけた。2点目、フィルムの上で書く作業を行う時の筆記音を拡大することによって「紙で書いている」感覚を得られるかに関して、86%の人は高光沢タイプの保護フィルムと紙での筆記音を正しく認識できたが、上質紙タイプの保護フィルムでの筆記音はおよそ半数の人が「紙で書く」筆記音と誤認した。3点目、タブレットの保護フィルムの使用状況に関して、28%の人は保護フィルムを用いる理由を「Apple Pencilの書き心地をアップさせるため」とし、そのうち17%の人は「ペーパーライクフィルム（紙のような描き心地）」を使用している。

第4章では、第3章の調査結果を基に、擬似筆記音を利用した新たな筆記体験の実行性を検証するための実験を行った。実験参加者11人に対し、紙でのS状態、iPad ProでのS状態・F状態において図形の書き写し課題を行い、それぞれの筆記用具や状態で書いた図形の外周の長さや筆記にかかった時間を計り、毎作業後に作業に対する印象を調査、最後にインタビューを行った。

第5章では、第4章で行った実験の結果4つの方面から分析を行った。3種類の状態で書いた図形の外周について、図の形に関係なく、iPadで書いた図は紙で書いたものより外周が増加し、iPadで書いた図形がF状態の影響によって紙で書いた図形の外周に近くなるという傾向は見当たらなかった。3種類の状態で書いた図形の描画速度について、図の形に関係なく、iPadでの描画速度は紙での描画速度より増加し、iPadでの描画速度が、F状態の影響によって紙で書いたものに近づく傾向は見当たらなかった。原因としては、実験の回数を重ねることにより、実験参加者がプロセスに慣れてきて描画速度が上がった可能性もあると考える。ゆえに、実験のプロセスを再構築する必要があるだろう。3種類の状態で作業を行った後で実施したアンケートについて、F状態で「作業中の気持ち」、「作業」、「作業中の集中力」、「書き心地」と「作業中の緊張度」はS状態より改善したが、「今回の筆記体験と普段の筆記体験の相似度」に関しては改善しているという意見は確認できなかった。最後のインタビューについて、F状態では書き続ける意欲が出てきて、より楽しく、より集中でき、より筆跡をコントロールできている感じがするといったコメントを得た。

総合的に考えると、本研究が定義した書き心地のよさ、「タブレット上の筆跡が、より慣れている筆記用具（例：紙）で書いた筆跡と類似、または一致する」について、iPadでの擬似筆記音を利用した新たな筆記体験によって、書き心地が向上したことを支える客観的なデータは見当たらなかった。しかし、主観的なデータを見ると、作業に対する印象に関して、本研究が提案した擬似筆記音を利用した新たな筆記体験は通常のiPad上での筆記体験よりも向上したことが確認できる。そして、「より長い時間書いていたいという意欲が起こるか」については、インタビューの結果の中で多くの肯定意見が得られた。したがって、本研究が提案する仮説、「擬似筆記音を加えることによって、タブレット上での筆記体験がさらに向上できる」に関して、限られた側面（おもに個人の主観）においてはその効果を認めることができた。

6.2. 今後の課題と展望

本研究では主にタブレットの筆記体験を紙でのそれに近づけるという目的のもと、筆記音の増幅という形を取った。主観的には筆記体験が向上していると感じる一方で、客観的なデータにそれが顕著に現れることはなかった。その理由は以下のようなことが考えられる。

まず一つ目に、実験のデザイン、またはデータの取り方に問題があった、ということである。これは先の章でも触れたが、この実験はその特性上、回数を重ねる毎に被験者の「慣れ」や「退屈」発生し、その結果全ての筆記において公正なデータを連続して取り続けることが困難であるという側面を持っている。したがって、書き心地の良さを正確に図るためには、筆記の回数を減らしたり、後半になるにつれて上記の慣れや退屈が発生しない仕組み、またより正確なデータのためには身体情報（心拍数や脳波など）を取得する必要性が生じる可能性もある。いずれにせよ、「書き心地のよさ」という極めて個人の主観に依存した感覚を客観的に証明するためには、より複雑な実験とそのデータのデザインが必要であろう。

一方で、この実験では、増幅された筆記音を聴きながら作業をすることによって、集中力が增加する、または作業そのものが楽しく感じるといった意見が多く

見られた。これらの結果は、事前アンケートで取得した筆記体験向上の条件とは異なるものだが、書き心地の向上に貢献する要素であることは間違い無いだろう。つまり、人間が慣れ親しんだメディアである「紙」に書き心地を寄せていくという方法以外に、新たな角度から書き心地の向上にアプローチするためのパラメーターが得られたということである。

そして、この実験中に、増幅された筆記音を聴かせた時（F状態）だけ、ノイズキャンセリングヘッドホンを実験参加者につけた。実験のアンケート結果中に、F状態で「作業中の気持ち」、「作業」、「作業中の集中力」、「書き心地」と「作業中の緊張度」はS状態より改善したと分かった。しかし、ノイズキャンセリングヘッドホンをつけただけで、「作業中の集中力」が上がる恐れがあるので、それ以外の方法で「作業中の集中力」の変化を検証する必要がある。

さらに、本実験中に使われた課題は図形の書き写しであるが、その形式が、日常生活でよく書く文字などと若干の乖離がある。したがって、今回使用した図形を常用文字などに変更した上で、今回の実験と同じ結果を得られるかについて再確認する必要がある。その場合、一筆書きに対応しているプログラムBの文字への対応、すなわち複数画への対応も重要である。

このことが四つの課題として浮かび上がる。まとめると、筆者を含めてアンケートの回答者、実験参加者のほとんどは、紙に近い書き心地こそが良い着心地であるという先入観に囚われてしまい、それゆえ筆者は、紙での筆記そのものの現状の課題などを特に探ることなく、新たな筆記体験向上を図る手段の模索に繋がらなかった。さらに、F状態の体験方法や、実験課題を文字に変更することなどを検討する必要がある。このことが早い段階でわかっていたら、「筆記時の集中度合い」や「緊張度」などのパラメーターをもとに被験者をモニタリングし、有効な客観的データを得られた可能性があっただろう。

したがって今後の展望として、本研究は三つの指針を持つことになるだろう。

一つ目は、事前アンケートで判明した筆記体験向上の条件を様々なプロダクト開発に応用することである。これまでは曖昧であった、書き心地が良いということの最低条件のようなものが今回明らかになったため、これを活用することでより精度の高い研究開発が行えることを期待する。

二つ目は、ノイズキャンセリングヘッドホンだけではなく、骨伝導イヤホンまたはアンプの音をそのまま流すなどの方法で、タブレット上での音の増幅と集中力の関係性とその可能性についてさらに模索することである。

三つ目は、一筆書きを気にせず、タブレットでの筆跡データを正しく分析できるようにプログラムBを更新し、文字での書き写し課題に変更することによって、今回の実験結果とどのような差があるかについて再確認する必要がある。

今回の研究で体験者が感じたのはいわゆる一種のマインドフル状態であることを考えると、近年クリエイティビティの向上やリラクゼーション効果で注目されているマインドフルネスとの関連性も非常に高い可能性がある。すなわち、先行事例にもあった紙だけでなくiPadなどのタブレット上でも、自らの筆記や描画の音、さらにはその杣に囚われないあらゆる動作の音を増幅し聴くという行為が、人間の生産性の向上や、精神的にポジティブな作用をもたらす可能性を秘めているということである。例えばアイデアをノートに書き殴るときに、音の増幅がよりよい成果の創出に寄与するかもしれない。本研究の成果は、まさにそのようなことの可能性を発見したというところにあり、今後の展望としてはそれらのさらなる応用範囲を、プロトタイプや実験を通して模索していくことにあるだろう。

謝 辞

本研究では、多くの方々のご協力やご指導の基に行われ、心により感謝しています。本研究の指導教員であり、幅広い知見からの確な指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の Matthew Waldman 教授に心から感謝いたします。

研究の方向性や本研究中に使用していたプログラムについて様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の加藤朗教授に心から感謝いたします。

また、本研究について数多く助言や論文の日本語の修正にいただいた二木温さんに心から感謝いたします

そして、本研究中に使用していたプログラムや論文の執筆にあたり、数多くの指導や助言賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科リサーチャーの山村浩穂さんと学生の藤本隆寛さんに心から感謝いたします。

さらに、お忙しいながら本研究の実験を参加した慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の知人、誠にありがとうございました。

最後に、日本での留学生活での経済面、生活面において暖かく支援していただきました家族に心から感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] もり・ひろし & 三省堂編修所. 第 18 回 タブレット, 7 2017. URL: <https://dictionary.sanseido-publ.co.jp/column/%E7%AC%AC18%E5%9B%9E-%E3%82%BF%E3%83%96%E3%83%AC%E3%83%83%E3%83%88#:~:text=%E3%82%BF%E3%83%96%E3%83%AC%E3%83%83%E3%83%88%EF%BC%88tablet%EF%BC%89%E3%81%AF%E8%8B%B1%E8%AA%9E%E3%81%A7,%E3%82%82%E4%BD%BF%E3%82%8F%E3%82%8C%E3%81%A6%E3%81%84%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82> [2021 May 21 アクセス].
- [2] Alan Kay and Adele Goldberg. Personal dynamic media. *Computer*, Vol. 10, No. 3, pp. 31–41, 1977.
- [3] Ken Guzik. Go corporation, 2017. URL: <https://www.kenguzik.com/portfolio/go-corporation/> [2021 July 27 アクセス].
- [4] Att eo 440, 8 2017. URL: <https://oldcomputers.net/eo-440.html> [2021 July 27 アクセス].
- [5] D. Murph. Ibm thinkpad celebrates 15th birthday, 7 2007. URL: <https://www.engadget.com/2007-07-19-ibm-thinkpad-celebrates-15th-birthday.html> [2021 July 27 アクセス].
- [6] WIKIMEDIA COMMONS. File:apple newton messagepad 100.jpg, 2 2019. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apple_Newton_MessagePad_100.jpg [2021 July 27 アクセス].
- [7] small laptops.com. Lenovo thinkpad x60 tablet. URL: <https://www.small-laptops.com/lenovo-thinkpad-x60-tablet/> [2021 July 27 アクセス].

- [8] studio pahoo. 西暦2007年 - iphone 発売, 7 2018. URL: <https://www.pahoo.org/culture/numbers/year/j2007-na.shtm> [2021 July 27 アクセス].
- [9] Day OneBlog スタッフ. Amazon kindle の10年間を振り返る, 11 2017. URL: https://blog.aboutamazon.jp/devices_kindle_10years [2021 May 24 アクセス].
- [10] 木暮仁. タブレットPCの歴史. URL: <http://www.kogures.com/hitoshi/history/pc-tablet/index.html> [2021 May 23 アクセス].
- [11] Igotoffer. ipad (1st generation) – full tablet information. URL: <https://igotoffer.com/apple/ipad-1st-generation> [2021 July 27 アクセス].
- [12] U-Site 編集部. タブレット市場を読み解く (1) 利用率が高いのは意外な層, 9 2015. URL: <https://u-site.jp/survey/tablet-market-1/> [2021 June 24 アクセス].
- [13] 株式会社MM総研. タブレットの利用実態調査 (2018年4月), 4 2018. URL: <https://www.m2ri.jp/release/detail.html?id=300> [2021 June 24 アクセス].
- [14] 川原健太郎. タブレット端末の教育利用の現状と課題に関する一研究. 学術研究. 人文科学・社会科学編= Academic studies and scientific research, No. 64, pp. 147–160, 2015.
- [15] 赤堀侃司. タブレット教材と紙・タブレットのブレンド型教材の比較研究. 白鷗大学論集, Vol. 29, pp. 1–16, 2015.
- [16] 三宅星也, 深見俊崇. 特別支援学級におけるタブレット端末を活用した事例研究. 島根大学教育臨床総合研究, Vol. 16, pp. 77–92, 2017.
- [17] マイボイスコム株式会社. ブレット端末に関するアンケート調査 (第6回), 4 2017. URL: https://myel.myvoice.jp/products/detail.php?product_id=22506 [2021 June 23 アクセス].

- [18] TRANSLATION BY MASUMI HODGSON/TRANNET TEXT BY LOURYN STRAMPE. 電子ペーパーのタブレット端末「remarkable 2」は最高のメモ体験をもたらすが、不完全な点も多い：製品レビュー, 4 2021. remarkable2. URL: <https://wired.jp/2021/04/04/remarkable-2/> [2021 Apr 16 アクセス].
- [19] Paperlike. Paperlike. paperlike. URL: <https://paperlike.com/#kqf0v53xbr-> [2021 June 16 アクセス].
- [20] JUNGHYUN KIM, TOMOKO HASHIDA, TOMOKO OHTANI, and TAKESHI NAEMURA. 筆記音のフィードバックが筆記作業に与える影響について. *Interaction*, 2012.
- [21] やまさきタクマ. P2018 grand prix sound of drawing, 2 2019. paperlike. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=a7bmzvbexKw> [2021 June 16 アクセス].
- [22] 鳴海拓志. 五感ディスプレイと感覚間相互作用 (高臨場感ディスプレイフォーラム 2012~ 更なる臨場感を求めて~). 映像情報メディア学会技術報告 36.44, pp. 25–26. 一般社団法人映像情報メディア学会, 2012.
- [23] 岡嶋克典. 視覚のクロスモーダル効果の可視化~ 食品の見た目が食感・味覚に与える影響の定量化~. *オレオサイエンス*, Vol. 20, No. 11, pp. 493–498, 2020.
- [24] 中村巧, 平井経太, 堀内隆彦. Cg と効果音のクロスモーダル質感モデル. *日本色彩学会誌*, Vol. 42, No. 3+, p. 22, 2018.
- [25] Sarah Perez. Niantic is updating pokémon go and other titles to support indoor gaming, 3 2020. URL: <https://techcrunch.com/2020/03/30/niantic-is-updating-pokemon-go-and-other-titles-to-support-indoor-gaming/> [2021 July 27 アクセス].
- [26] 王夢, 小川剛史ほか. 視覚と聴覚のクロスモーダル知覚を用いた音像定位システムに関する基礎検討. 研究報告デジタルコンテンツクリエイション (DCC),

- Vol. 2013, No. 7, pp. 1–6, 2013.
- [27] BIZ-AR. 技術について知りたい mr (複合現実) とは. URL: <https://biz-ar.jp/knowledge/mr.html> [2021 July 27 アクセス].
- [28] Japan Windows Blog. マイクロソフト ストアにて hololens 2 のオンライン販売開始!, 7 2020. URL: <https://blogs.windows.com/japan/2020/07/01/hololens2-msstoreonline-launch/> [2021 July 27 アクセス].
- [29] 中島武三志, 植井康介, 飯田隆太郎. Mr 環境下での擬似接触音が触感錯覚に与える影響. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 25, No. 2, pp. 127–137, 2020.
- [30] Tue Haste Andersen and Shumin Zhai. “writing with music” exploring the use of auditory feedback in gesture interfaces. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, Vol. 7, No. 3, pp. 1–24, 2008.
- [31] 菅千索, 岩本陽介. 計算課題の遂行に及ぼす bgm の影響について—認知的側面と情意的側面からの検討. 和歌山大学教育学部教育実践総合センター紀要, No. 13, pp. 27–36, 2003.

付 録

A. iPadでの筆記及び描画体験に関するアンケート part1

1. あなたの性別は？

- 男性
- 女性
- 回答しない

2. あなたの年齢は？

- 20 歳以下
- 20～24 歳
- 25～29 歳
- 30～39 歳
- 40～49 歳
- 50～59 歳
- 60 歳以上

3. あなたにとって、「タブレットでの書き心地がいい」という意味は？

- より長い時間に書きたい意欲
- より慣れている筆記用具（例：紙）で書いた筆跡と類似すること
- 紙のような触り心地
- そのほか

4. 「そのほか」を選択した場合、詳細を記入してください。

5. iPadを使用している？

- している (turn to part2)

○していない (turn to paer3)

B. iPadでの筆記及び描画体験に関するアンケート part2

1. iPadの使用歴は？

- 6ヶ月以下
- 6ヶ月から1年間
- 1年から2年間
- 2年から5年間
- 5年以上

2. iPadの使用頻度は？

- ほぼ毎日
- 毎週5回以上
- 毎週3回以上
- 毎週3回以下
- ほぼ使っていない

3. iPadを買った理由は？

- 絵を描きたい
- メモを取りたい
- 電子書籍が読みたい
- 動画が観たい
- ゲームを大画面で楽しめたい
- 持ち運びやすい
- パソコンとして使いたい
- Macのもう一つの画面になれるから
- カッコいいから
- そのほか

4. iPadを購入後の実際な使用用途は？

- 絵を描く
- メモを取る
- 電子書籍が読む
- 動画が観る
- ゲームを大画面で楽しむ
- パソコンとして使う
- Macのもう一つの画面として使う

そのほか

5. あなたの iPad は保護フィルムを使っている？

- 使っている（12 まで回答してください）
- 使っていない（12 から回答してください）

6. 使っている保護フィルムのタイプは？

- PET（質的には薄くて柔らかい）
- ガラス
- 光沢
- プライバシ（覗き見防止）
- ブルーライトカット
- ペーパーライクフィルム（紙のような描き心地）
- そのほか
- わからない

7. 「そのほか」を選択した場合、詳細を記入してください。

8. 保護フィルムを使っている理由は？

- 埃や傷を防ぐ
- Apple Pencil の書き心地をアップさせる
- 指紋防止
- 衝撃吸収と破片の飛散防止機能
- 覗き見防止
- そのほか

9. 「そのほか」を選択した場合、詳細を記入してください。

10. 使っている保護フィルムの気に入っているところは？

11. 使っている保護フィルムの気に入らないところは？

12. 保護フィルムを使わない理由は？

- 使ったら、画質が落ちる
- そのままの方がタッチ操作の感度が良い
- Apple には純正の保護フィルム出してないから

- 使ったら、Apple Pencil のペン先が削れる
- そのほか

13. 「そのほか」を選択した場合、詳細を記入してください。

C. iPadでの筆記及び描画体験に関するアンケート part3

音声自体の音量が小さいので、パソコンの音量を最大にしてください。

音声の生成は一回だけで、お願いします。

音声 1 :

<https://drive.google.com/file/d/1xxwPVBihZbuzDH0adLiuBa4MK7FsfxAz/view?usp=sharing>

音声 2 :

https://drive.google.com/file/d/1xE76xmF_fiEMgEZH0pnjgFuCqm4gIdrF/view?usp=sharing

音声 3 :

https://drive.google.com/file/d/1zxUbkHk8ZQTc6bqWUQyKE587nE_cUrCA/view?usp=sharing

音声 4 :

<https://drive.google.com/file/d/1iU48dXiV6cwuXhPP-g9YLBZLYhnP5fLz/view?usp=sharing>

1. 音声 1 は以下のどの筆記音に聞こえているか？

- 紙でボールペンで書く筆記音
- iPadで Apple Pencil で書く筆記音

2. 音声 1 は「紙で書く筆記音」の相似度は？

全然違う 1 2 3 4 5 全く同じ

3. 音声 2 は以下のどの筆記音に聞こえているか？

- 紙でボールペンで書く筆記音
- iPadで Apple Pencil で書く筆記音

4. 音声 2 は「紙で書く筆記音」の相似度は？

全然違う 1 2 3 4 5 全く同じ

5. 音声 3 は以下のどの筆記音に聞こえているか？

- 紙でボールペンで書く筆記音
- iPadで Apple Pencil で書く筆記音

6. 音声 3 は「紙で書く筆記音」の相似度は？

全然違う 1 2 3 4 5 全く同じ

7. 音声 4 は以下のどの筆記音に聞こえているか？

- 紙でボールペンで書く筆記音

○ iPadでApple Pencilで書く筆記音

8. 音声4は「紙で書く筆記音」の相似度は？

全然違う 1 2 3 4 5 全く同じ

9. 「iPadで書く」と「紙で書く」感じた筆記音の一番の違いは？