筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

ユーザがデザイン可能な
紙状タッチ入力インタフェース

小森谷 大介

修士（工学）

(コンピュータサイエンス専攻)

指導教員　志築 文太郎

2016年3月

概要

本研究では、ユーザ自身がデザイン可能なインタフェースの作成を支援するために、紙状のタッチ入力インタフェースの提案とプロトタイプの実装を行った。プロトタイプでは、紙やその周辺用具の使用方法に着目し、紙とバインダのメタファを用いた紙状タッチ入力インタフェースを実装した。

本研究ではまず、著者が実際に紙及びその周辺用具の利用方法を観察した。観察結果と考察から、提案インタフェースにて使用する紙の特性及びメタファを明確にした。

次に、紙の特性及びメタファを生かすようにプロトタイプの実装を行った。プロトタイプでは実際の紙とバインダを使用し、コンピュータ及び赤外線リモコン対応機器を操作することができる。また、複数の機器を横断的に操作することも可能である。タッチの認識は静電容量方式により行っており、導電性インクを用いて書き込みを行うことにより自由に認識領域を決定することができる。それに加え、導電性インクとは別に通常のインクを用いて自由に紙状タッチ入力インタフェースをデザインすることができる。

作成したプロトタイプを用いて被験者実験を行い。それぞれの被験者が異なるデザインの紙状タッチ入力インタフェースを作成することを確認した。それに加え、様々な場面にて利用できる可能性があることをアイディアソンを通して確かめた。

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1　コントローラのデザイン 1
1.2　本研究の目的とアプローチ 1
1.2.1　本研究の目的 1
1.2.2　本研究のアプローチ 2
1.3　本論文の構成 3

第 2 章　関連研究 **4**
2.1　紙を用いた操作手法の研究 4
2.2　ユーザがデザイン可能な GUI の研究 4
2.3　実物体と操作の関連付け 5
2.4　静電容量の変化を利用した研究 6
2.5　導電性素材を用いた操作手法の研究 7

第 3 章　紙及び文房具の利用法の観察 **8**
3.1　紙の特徴及び使い方 8
3.2　文房具の利用方法 9
3.3　考察 9

第 4 章　ユーザがデザイン可能な紙状タッチ入力インタフェース **11**
4.1　課題とする問題 11
4.2　設計方針 11
4.3　使用方法 13

第 5 章　プロトタイプの開発 **15**
5.1　システム構成 15
5.2　コンピュータ上のソフトウェア 15
5.3　Arduino 18
5.4　バインダ 19
5.4.1　初期のバインダ 19
5.4.2　改良したバインダ 22
5.5　紙 23

第 6 章　試用実験 **25**
6.1 被験者 25
6.2 実験内容 25
6.3 結果 25
6.4 試用した被験者からのコメント 26
6.5 試用実験のまとめ 27

第 7 章　プロトタイプの改良 **28**
7.1 試用実験から得られたフィードバックと改良案 28
7.1.1　課題 1 の解決案 28
7.1.2　課題 2 の解決案 29
7.2 改良したプロトタイプの構成 29
7.3 mbed 30
7.4 バインダ 30

第 8 章　アイディアソンの実施 **33**
8.1 被験者 33
8.2 実験内容 33
8.3 実験結果 33
8.4 考察 37

第 9 章　応用アプリケーション **38**
9.1 音楽プレイヤ 38
9.2 ゲームコントローラ 38

第 10 章 議論 **40**
10.1 タッチパネルディスプレイとの比較 40
10.2 表面に合わせて裏面を書くことが難しい 40
10.3 紙状タッチ入力インタフェースの配布方法 41
10.4 触覚フィードバックに関して 41
10.5 導電性インクを用いたデータの記録及びプログラムの記述 41
10.6 複数の紙を束ねて使用する紙状タッチ入力インタフェース 42

第 11 章 終わりに **44**

謝辞 **45**

参考文献 **46**

付 録 A　試用実験 **52**
A.1 同意書 53

A.2 アンケート 54
A.3 サンプルの紙状タッチ入力インタフェース（表） 55
A.4 サンプルの紙状タッチ入力インタフェース（裏） 56
A.5 テンプレート 57

付 録 B アイディアソン **58**
B.1 同意書 59
B.2 実験手順書 60
B.3 説明資料 61
B.4 アンケート 62
B.5 サンプル 1 63
B.6 サンプル 2 64
B.7 サンプル 3 65
B.8 アイディアソン結果（P1）1 枚目 66
B.9 アイディアソン結果（P1）2 枚目 67
B.10 アイディアソン結果（P1）3 枚目 68
B.11 アイディアソン結果（P1）4 枚目 69
B.12 アイディアソン結果（P1）5 枚目 70
B.13 アイディアソン結果（P2）1 枚目 71
B.14 アイディアソン結果（P2）2 枚目 72
B.15 アイディアソン結果（P2）3 枚目 73
B.16 アイディアソン結果（P2）1 枚目 74
B.17 アイディアソン結果（P3）2 枚目 75
B.18 アイディアソン結果（P3）3 枚目 76
B.19 アイディアソン結果（P3）4 枚目 77
B.20 アイディアソン結果（P4）1 枚目 78
B.21 アイディアソン結果（P4）2 枚目 79
B.22 アイディアソン結果（P4）3 枚目 80

図 目 次

1.1 テレビのリモコンの例 2

3.1 紙の特徴（左上から書く、消す、折る、着る、つなげる、貼る） 8

4.1 機能を限定したテレビのリモコン 12
4.2 a）使用する紙状タッチ入力インタフェースを選び、b）バインダに挟むことにより、割り当てられたウィンドウがアクティブになり、c） 紙状タッチ入力インタフェースのプレイボタンを押すことにより、再生コマンドが送信される。 13

5.1 実装したプロトタイプの外観 16
5.2 全体のシステム構成 17
5.3 作成したソフトウェア 18
5.4 Arduino の配線図 19
5.5 初期のバインダ 20
5.6 初期のバインダの接続部分を拡大 21
5.7 改良したバインダ 22
5.8 バインダの凸部 23
5.9 紙状タッチ入力インタフェースの両面 24

6.1 実験の様子 26
6.2 参加者の作成した紙状タッチ入力インタフェース（裏面は左右反転している） 27

7.1 AgIC 社の回路マーカーのペン先 29
7.2 解決案としてのペン先 29
7.3 改良したプロトタイプの構成 30
7.4 mbed の配線図 31
7.5 モード切り替えスイッチ 32

8.1 実験の様子 34
8.2 被験者が書いた家電のリモコンとしての紙状タッチ入力インタフェースの例 . 35

9.1 音楽プレイヤ用の紙状タッチ入力インタフェース 39
9.2 ゲームコントローラ用の紙状タッチ入力インタフェース 39

第1章　序論

コンピュータ機器や家電機器の多くは、機器に備わっているボタンやリモコンを用いて操作することが多い。これらは、多くの機能を実行することができる。しかしながら、このボタンの配置やデザインはあらかじめ決まっており、特定のシチュエーションや人にとって適したものであるとは限らない。本研究ではこれら機器のボタン配置やデザインを対象にする。本章では、まず現在の機器のコントローラについて述べ、次に問題点及びユーザがデザイン可能な利点を述べる。最後に、本研究の目的とアプローチを述べる。

1.1　コントローラのデザイン

現在のコントローラのデザインは、主に製品の開発デザイナがデザインを行ったものであり、それが広く使われている。この方法では、ボタンの配置やデザインはあらかじめ決まっており、ユーザが配置やデザインを変更するのは困難である。。

また、コントローラをユーザが作成するのは、加工の手間などの理由により現実的ではない。そのため、万人が共通するインタフェースを使用する環境が生まれている。特定のシチュエーションや人にとって最適化されたコントローラがあれば、操作環境は改善すると考えられる。

例えば、図 1.1 のテレビのリモコンを例にとると、ボタンの数が多く複雑であるため目的のボタンを見つけることが困難である。しかしながらボタンの数を減らすとすべての機能を実行できなくなるといった問題がある。これらの問題は、画一的なコントローラをすべてのユーザが使用しなくてはならないという環境を解決することにより改善出来る。

1.2　本研究の目的とアプローチ

前節を踏まえて、本節では本研究の目的と、目的に対するアプローチを述べる。

1.2.1　本研究の目的

本研究では、ユーザによるインタフェース設計を可能にし、紙を使用したインタラクティブなシステムを実装する。本研究の目的は、ユーザが様々な機器を操作できるデザイン可能な紙状インタフェースを提供し、ユーザや目的に応じてデザインをカスタマイズできる有用性を示す事である。

図 1.1: テレビのリモコンの例

1.2.2　本研究のアプローチ

目的を実現するためのアプローチとして、紙に着目をした。紙は、新聞のように紙に印刷された情報を配布するといった使い方及び、情報だけをデータとしてインターネット経由で入手し、印刷は自宅で行うと 2 つの利用法がある。これと同じようにコントローラもすでに作成されたものを利用する方法と、デザインだけをデータとして入手し自宅で作成できれば同様の環境を整えられると考えた。また紙及びペンを用いたスケッチすることにより、自宅で作成することも可能である。

本研究ではまず、著者が紙にデザイン案をスケッチする動作を観察し、また紙の特徴について考察した。そして、観察結果と考察から提案するインタフェースの特徴を調査した。次に、定義した要件を基に実際の紙を用いてプロトタイプの実装を行った。タッチパネルではなく

紙を利用した理由としては、実際に紙を使用することにより、紙を利用するというアフォーダンスをそのまま利用できると考えたからである。実装したプロトタイプを用いて試用実験を行い、本研究の目的である紙状タッチ入力インタフェースの有用性を示す。本研究の貢献は、ユーザがデザイン可能な紙状タッチ入力インタフェースを実装し、その有用性を示したことである。

1.3 本論文の構成

本論文においては、最初に 2 章にて関連研究の分析を行う。3 章では紙及びその周辺機器の観察を行い日常での使われ方を分析し、その考察をもとに 4 章にて提案するインタフェースについて述べる。5 章ではプロトタイプシステムの実装を述べ、6 章ではプロトタイプシステムを使用した実験について述べる。7 章では 6 章の結果をもとにプロトタイプシステムの改良について述べる。8 章では実施したアイディアソンについて述べ、それをもとに 9 章では応用例について述べ、10 章にて議論をする。最後に 11 章にて結論を述べる。

第2章　関連研究

本研究と関連している研究として、まず紙を用いた操作手法の研究及びユーザがデザイン可能な GUI の研究があげられる。また、作成したインタフェースは、他の機器との連携や関連付けをする必要があるため、実物体と操作を関連付ける研究についても述べる。本研究において、タッチの認識には静電容量の変化を、回路構成には導電性インクを利用しているため、静電容量を利用したタッチ及び物体の認識を行う研究及び導電性インクを利用した研究について述べる。本章では、それぞれの研究について述べた後、本研究の立ち位置を示す。

2.1　紙を用いた操作手法の研究

現実の紙をコンピュータへの入力に用いたり、紙を用いてコンピュータの操作を拡張する手法が研究されている。EnhancedDesk[HYY01] は、机を拡張したインタフェースにより、紙情報と電子情報の統合を実現した。プロジェクタにより机にコンピュータの画面を投影し、同時に机上をカメラを用いて撮影することにより、手指及びタッチを認識し、ユーザとのインタラクションを可能にした。紙コントロールパネル [KT14] は紙に描いた図形をボタンとして扱い、図形を指でタッチすることにより計算機の操作を行う。紙に図形を描き、アプリケーションのショートカットなどを割り当てることにより、ユーザ独自のタッチ入力インタフェースが作成できる。紙窓 [加藤 13] は、カードに複数の導電部を配置し、タッチパネルディスプレイに乗せることでカードに対応したアプリケーションが表示される。カードをディスプレイにおいている間のみ対応しているアプリケーションは実行され、カードの置く、離すといった動作によりアプリケーションの切り替えを素早く行うことができる。またカードには切り抜きがあり、カードをタッチパネルに置くことにより、切り抜かれた部分が入出力のインタフェースとなる。

ユーザが好きなようにデザインできる紙状のロボット、ランプ、スピーカーを提案した [SXG10]。

本研究では、これらの研究と同様に、紙に書いたスケッチやカードの切り替えにより割り当てた機能が変化する紙状のインタフェースを提案する。

2.2　ユーザがデザイン可能な GUI の研究

ユーザがデザイン可能な GUI の研究の一つとして、スケッチを GUI に変換するという研究がなされている。SketchiXML[CFK+04] は、コンピュータ上にボタン及びスライダーなどが

書かれたスケッチを XML のコードに変換する研究である。XML コードには、ボタン及びスライダーなどの GUI 部品の位置、大きさが記録されている。XML のコードはプログラミングにおいて GUI の記述として利用されており、プログラミング言語が異なっていても対応が可能であり汎用性が高く、スマートフォンやコンピュータなど様々な機種のアプリケーションに対応することが可能である。UISKEI[SBSo12] は、ペンベースのデザイナ向け GUI 作成支援ソフトである。コンピュータ上にて書かれた丸や四角をラジオボックスやボタンに GUI 部品に変換を行う。GUI をペンを用いて作成することを可能にした。Holzmann ら [HV12] は紙にアノトデジタルペンを用いて紙に書かれたスケッチを携帯電話の GUI に変換する手法を提案した。この提案手法は、GUI を作成する際の最初のステップである紙へのスケッチを利用することができ、なおかつ紙のプロトタイプよりインタラクティブである。実験の結果、ほとんどの被験者は与えたタスクを全て完了でき、プロトタイプシステムは好まれている結果となった。Costanza らはデザイン可能な視覚マーカー d-touch を提案した [CH09]。物体を認識したり、モバイルサービスを利用するために視覚マーカーが用いられているが、現在用いられているものはデザインに対する制約が大きい。Costanza らは画像を 2 値化処理を行い、それぞれの白と黒で塗られた部分がどのように隣接しているか解析することによりデザインの制約が小さい視覚マーカーを実現した。Gohlke らはレゴブロックの配置により、ユーザとインタラクションを行うシステムを開発した [GHdJ15]。レゴブロックの認識にはカメラを使用し、レゴブロックの色及び配置をカメラにより認識し、特定の配置になっているものをスイッチやスライダー、ロータリーコントローラなどとして認識を行う。iSkin は肌に装着することが可能なタッチインタフェースである [WLB+15]。ユーザは自由にデザインすることが可能である。透明のフィルムにタッチエリアをデザインすることが可能である。Midas はユーザ独自の静電容量式のタッチセンサを物体に付加する研究である [SZH12]。銅箔テープをカッティングマシンにより切ることにより容易にタッチセンサを様々な物体に付加することができる。VoodooFlash[SVGS07] は板の好きなところにスイッチやつまみといったタンジブルデバイスを刺すことができ、それを用いて操作を行うことができる。

本研究では、図形及び文字を書いた紙をそのままタッチ入力インタフェースとして利用する。

2.3 実物体と操作の関連付け

物体と操作の関連付けは、Tangible User Interface(TUI) の分野において多く研究されている [Ish08]。

物体と操作の関連付け手法の一つとして、ディスプレイに表示されているオブジェクトのうち、操作したいオブジェクトの上に物体を載せることにより、オブジェクトと操作が対応付けられるというものがある [LCC+13][CMRB12][WWJ+09]。また、Tangible Tiles[WHZ+06] は、プロジェクタ及びカメラが投影・撮影可能な机上にて、AR マーカのついたタイルを用いて電子情報を操作する研究である。カメラは AR マーカによりタイルの位置及び向きを認識し、それに合わせてプロジェクタにより、タイルに電子情報を提示する。ユーザはタイルを動かしたり、持ち上げたり、置くことにより操作を行う。Draw-to-Map[大江 13] は、デスクトッ

プ環境における GUI をポインタを用いてなぞるように描くことにより、物理コントローラの操作と GUI 操作とを対応付けている。Instant User Interface[CAMB13] はペンやコップなどの日常的に利用する物品とコンピュータの操作を結びつけた。Scott ら [HM06] は 3 次元の物体にタッチ入力可能なボタンを実装し、コンピュータとの操作を結びつけた。また，Block ら [BVG08] は、Villar ら [VGRG07][VG07] の電子部品を自由に追加し操作可能にするサーフェスである VoodooIO プラットフォームを用いて、デスクトップのコピー&ペーストを物理ボタンに割り当てる手法を示した。Greenberg ら [GB02] の Customizable Physical Interfaces は、Phidgets [GF01] に繋がれた物理デバイスと GUI のボタン、メニュー、スライダ等を関連付けるインタフェースである。Chris らは、実物体の操作を元にタッチパネル上のハンドジェスチャをタッチインタラクションのためにデザインした。数分間のトレーニングにより、ユーザは様々な仮想的なツールを使用することができた [HXSH14]。Affordance++は、ユーザがインタラクションしようとしている対象に応じて、インタラクションの方法などを筋電位を用いてユーザを動かすことにより想起させる研究である [LJB15]。CyberCode は VR 空間のための実物体認識用コードであり、タッチインタラクションが可能な視覚マーカーとしても発展している [RA00][AR06]。現実世界の物体の操作をコンピュータの入力として利用するツールキットを作成した [KLLL04]。カメラや RFID を用いて机上にある物体の認識及び物体へのタッチ、物体の移動を認識することができる。

本研究は、ユーザが紙に書いた図形及び文字を操作と関連付ける。

2.4 静電容量の変化を利用した研究

静電容量の変化を計測することにより、タッチやジェスチャ認識を可能にしたり、物体の認識を実現する手法が提案されている。

静電容量を用いることによる近距離通信は日常の物体に､情報を格納することができ､それを用いてインタラクションを行うことができる [GPHW+14]。CapStones and ZebraWidgets[CMRB12] は、静電容量式のタッチパネル上にて使用できるスタック可能なブロック、ダイヤル及びスライダを提案した研究である。これを用いることにより平面のパネル上に実物体による拡張を行える。Grosse-Puppendahl らは静電容量式のリアルタイムセンサにより物体の認識を行う手法を提案した [GPBKK13]。平面の上の人間の手を 3 次元にて認識することが可能である。このセンシング技術によりマルチハンドの拡大、縮小及び握る動作の認識が可能になった。Wimmer らは形を変えることができる静電容量式タッチサーフェースを提案した [WB11]。

静電容量の変化を利用することにより紙とのインタラクションや紙上の物体の認識やジェスチャの認識が可能になるため、本研究では静電容量の変化を利用してインタフェースへの入力を検出する。

2.5 導電性素材を用いた操作手法の研究

導電性のインクや 3D プリンタ用のフィラメントを利用することにより、様々な形状及び位置を導電可能にできる。

川原らは、銀ナノ粒子インクをインクジェットプリンタにより印刷することにより回路を作成できるようにした [KHC+13]。また、ShrinkyCircuits は導電性インクを用いて紙に回路を書くことにより、形状を変えられる電子回路を可能にした [LP14]。PrintSense[GSO+14] は、導電性インクを用いて回路パターンをプリントアウトすることにより、曲げることが可能なタッチコントローラを実装している。曲げた状態においても、曲げ方も認識できるほか、タッチセンサ及び近接センサとして利用できる。Electoronic Popables[QB10] は導電性インクを用いることにより飛び出す絵本に回路を作成し、ボタンを押すと光る、音が鳴るなどのインタラクションを可能にした。Paper Generators[KPFS13] は紙のユーザのインタラクションにより電気を発生させる研究である。導電性インクを用いて紙の上に回路を作成し、特定の場所をユーザがタッチ、こする、回すなどのインタラクションをすると電気を発生させることができる。Capricate[SKB+15] は導電性のフィラメントを 3 次元物体に埋め込むことにより、3 次元物体へのタッチ認識が可能になる研究である。3 次元物体は 3D プリンタを用いて印刷を行う為、ユーザは好きな物体にタッチセンシングを組み込むことが可能になる。PrintScreen はタッチ認識及び印刷が可能なディスプレイである [OWS14]。イラストをタッチすると録音されていた読み聞かせが流れるインタラクティブイラストを提案した [JB13]。Olberding らは切ることができるマルチタッチセンサを開発した [OGT+13]。Mellis らは導電性インクと紙を用いてインタラクティブなデバイスを作成する方法を提案している [MJB+13]。Holman らは安価かつ曲げることができる静電容量式のタッチセンサを提案した [HV11]。ExtensionSticker[KM15] は、タッチパネルディスプレイに貼り付けるだけでタッチパネル外からのタッチ入力を可能にする。導電性インクを用いて縞模様シールを作成し、静電容量式のタッチパネルに貼り付けることにより、タッチの転送を可能にしている。

本研究では、紙状タッチ入力インタフェースのタッチ検出機構の実装に導電性インクを使用する。

第3章　紙及び文房具の利用法の観察

本研究では、紙を用いたインタフェースの提案及び作成を行う。そのために、紙及び文房具の日常での利用方法を観察した。日常での利用方法を観察することにより、それぞれのメタファを整理することができる。本章では、観察結果及びそれぞれのメタファを踏まえた紙を利用したインタフェースの設計方針について述べる。

3.1　紙の特徴及び使い方

紙は、植物の繊維を薄く平らに整形したものであり、字及び絵を書いたり、物を包んだりするのに使われる。紙に対して行われる動作として書く、消す、折る、切る、つなげる、貼ることがあげられる（図 3.1)。

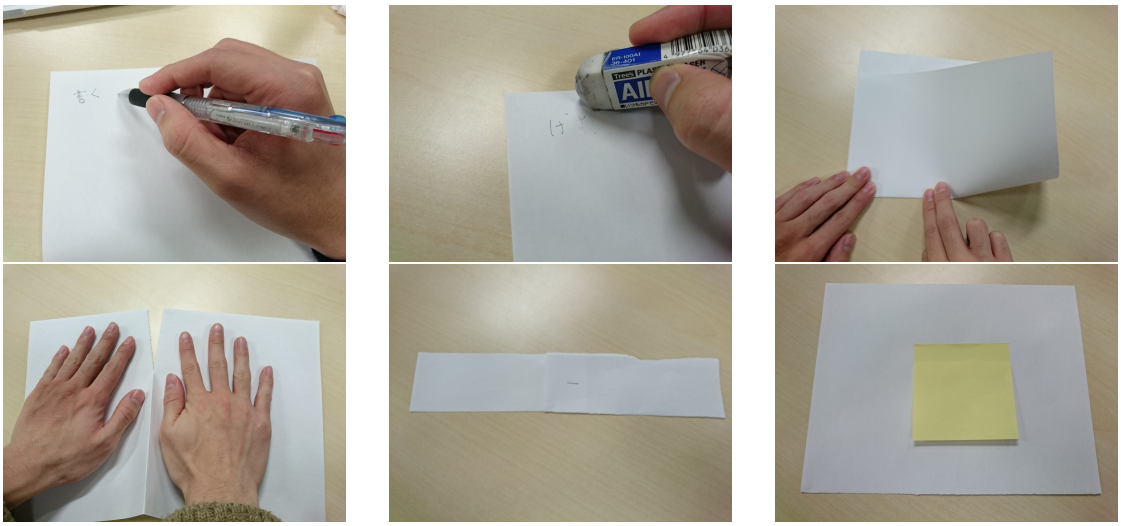


図 3.1: 紙の特徴（左上から書く、消す、折る、着る、つなげる、貼る）

複数枚の紙をまとめたり、束ねたりして使用する場合もある。複数枚の紙をまとめた製品としては、手帳、ノート、メモパッド、本が挙げられる。

これらは、1 枚の紙では容量が足らないために拡張する目的又は整理する目的のために束ねられている。手帳は、持ち運びがしやすいように紙の面積を小さくし枚数を増やすことにより、持ち運べる情報量を維持している。ノートは、1 枚の紙では書ききれないことが予想されるものを書くときに使用し、似た情報や関連のある情報をまとめるために使われる。例とし

て授業ごとに、違うノートを使用することにより、情報をそれぞれのノートに分割し保存するといった使用がなされる。また、メモパッドは 1 枚ずつ使用することが多いが、1 枚ずつバラバラになっていては整理が困難であり、保存するのに不都合が生じることからまとめられている。本は、複数の紙をまとめて多くの容量を確保しそこに情報を書き込む。情報を書き込まれた紙の束によって記録を行ったり、情報の伝達を行う。

3.2 文房具の利用方法

また、紙と同時にを利用する道具として文房具が挙げられる。文房具には、紙への情報の書き込み及び消去を行うもの、複数の紙をまとめるもの、現在の状況にあった紙を選ぶもの、後で見返すことを容易にするものがある。

紙への情報の書き込み及び消去を行うものとしては、鉛筆、ペン、消しゴム、プリンタが挙げられる。鉛筆及びペンはインクにより紙に情報の書き込みを行う。消しゴムはすでに書かれた情報を消すことができる。プリンタはコンピュータにて作成されてものを印刷することにより紙に情報を書き込みを行う。

複数の紙をまとめるものとしては、ファイル、クリップが挙げられる。ファイルは、複数の紙を束ねるために使用される。穴を開けて穴に紐を通し束ねる方法や透明なケースが複数個付き束ねられており、そこに紙を入れていく方式などに分類される。クリップはバネの力を利用し複数枚の紙を束ねる。簡単につけることができ紙の追加や除去も簡単である。

現在の状況にあったものを選ぶものとしては、バインダやブックストッパーが挙げられる。バインダは、紙の曲がるという特性をなくし文字を書きやすくする。またクリップが備え付けられており複数の紙をまとめることも可能である。ブックストッパーは、本が閉じるのを防止する装置である。

後で見返すことを容易にするものとしては、蛍光ペン、付箋、しおりなどがあげられる。蛍光ペンは、発色の良いインクにより特定の部分を目立たせ他との差異をつくり強調する道具である。重要なことなどを後で見返した時に発見しやすくなるように利用する。付箋は、複数枚の紙の束から目的の紙を素早く探すために利用される。または、ページごとに目次を書き、他の付箋とかぶらないように紙の外部に突き出すように貼ることにより特定のページを探しやすくする。また、紙に書き込みを行えない状況などでは、付箋紙にメモを書きそれを紙に貼り付けるといった使用方法も存在する。本を読む際に、現在のページを記録するために利用する。

日常生活では、紙や紙の束を文房具を用いて目的や状況に応じて、紙の特性や長所を生かす製品を利用している。本研究においても、文房具を使用して紙の特性や長所を生かす。

3.3 考察

本研究において実装するインタフェースは、紙や文房具のメタファを利用し紙の特徴を拡張したものである。そのため、実際の紙の利用方法を踏襲したものである必要が有る。しかし

ながら、バインダは紙の曲げることができるという特性を一時的に無効化することにより、書き込みを容易にしているようにすべての紙の特性を使用する必要性はないと考えられる。今回は、特に、紙に書く、消す、貼るという特徴を利用する。また、文房具による拡張も行う。

第4章　ユーザがデザイン可能な紙状タッチ入力インタフェース

本章においては、本研究において提案する、ユーザがデザイン可能な紙状タッチ入力インタフェースについて述べる。本手法はユーザが文字や図形を自由に描くことができ、インタフェースのデザインを自由に決めることができる。また、タッチ入力可能なエリアもユーザが決めることができる。このタッチ入力可能なエリアの位置及びサイズも自由にデザイン可能である。本章では、最初に課題とする身近な問題を述べ、次に設計方針を述べ、最後に使用方法を述べる。

4.1　課題とする問題

テレビを始めとする家電製品のリモコンは、機能が多くそれらすべてを少数のインタフェースにより操作する必要があるため、インタフェースはボタンが多く複雑になる傾向がある。例えば、ボタンが大量にあるインタフェースは、日常のよく使う機能以外のボタンが多く、煩雑である。

図 4.1 は課題としている問題一例である。このリモコンは、お年寄りの方など機械が苦手な人々でも操作ができるようにデザインされたものであり、特定の機能のみを実行できるように制限をかけている。頻繁に利用する特定の機能以外を隠すことにより、ユーザが理解しやすくすることができる。

図 4.1 は以下に示すデザインに関する知見を連想させる。

- 限られたボタンでも、日常の操作は可能である
- アノテーションはユーザビリティを向上させる。

それぞれの人や使用目的に応じて、ユーザやその周りの人がインタフェースをデザイン可能であれば、この問題は解決する。そのためには、簡単かつ特別な知識なしにインタフェースを作成できる環境が必要である。

4.2　設計方針

前節の問題を解決するために紙に着目した。インタフェースは一つである必要はなく場面や人に応じて紙を切り替えて使用する。紙の利点としては薄く、ファイルに挟むなどして保

図 4.1: 機能を限定したテレビのリモコン

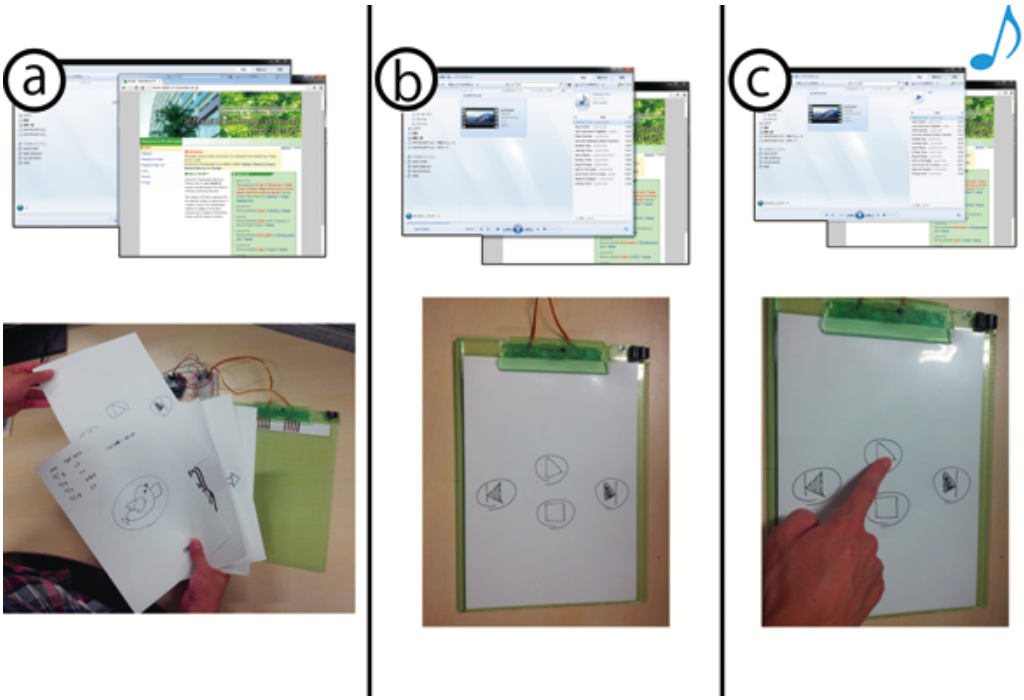


図 4.2: a） 使用する紙状タッチ入力インタフェースを選び、b） バインダに挟むことにより、割り当てられたウィンドウがアクティブになり、c） 紙状タッチ入力インタフェースのプレイボタンを押すことにより、再生コマンドが送信される。

存することが可能である。

4.3 使用方法

紙状タッチ入力インタフェースは紙状のタッチ入力が可能なインタフェースであり、1 枚 1 枚が異なる機能を表している。ユーザは使用したい紙状タッチ入力インタフェースを選びバインダに挟むことにより紙状タッチ入力インタフェースが使用可能になる。その後、紙状タッチ入力インタフェースのボタンやスライダをタッチすることにより、割り当てられた機能が実行される。

紙状タッチ入力インタフェースを用いたコンピュータの操作を音楽プレイヤの操作を例にとり説明する。ユーザはお気に入りの曲を再生しようとしている（図 4.2a)。ユーザが紙状タッチ入力インタフェースをバインダに挟むとシステムはそれを検知し、音楽プレイヤのウィンドウをアクティブにする。その後システムは割り当てられたプレイリストを開く（図 4.2b)。その後ユーザが紙状タッチ入力インタフェースのプレイボタンをタッチすると音楽プレイヤは曲をプレイリストから再生する（図 4.2c)。以上の過程により紙状タッチ入力インタフェースを使用して操作を行うことができる。

紙状タッチ入力インタフェースはユーザが作成可能である。ユーザは自由に図形及びラベルをコンピュータまたはペンにて紙状タッチ入力インタフェースに描く。それぞれの形及び大きさは自由であり、図形の内部にもメモ及び書き込みを行うことができる。これにより、図形の外見に意味を持たせて、割り当てられた機能が一目でわかるインタフェースが作成可能である。その後、図形及びラベルに合わせて、タッチ入力用のボタンを作るための導電性インクペンを用いて回路パターンを紙状タッチ入力インタフェースに書く。それぞれのボタン及び配線が交差しなければどのようなパターンでも問題はない。本研究では、ユーザが描いた図形を表面に、導電性インクを裏面に描画している。最後に、紙状タッチ入力インタフェース及びそのボタンと、対応するアプリケーションおよびコマンドの対応を専用のソフトウェアにて登録することにより、ユーザは紙状タッチ入力インタフェースを作成することができる。

第5章　プロトタイプの開発

コンピュータ上の機能を実行可能な紙状タッチ入力インタフェースの実装を行った。本章では、まずプロトタイプの概要について述べ、次にプロトタイプのシステム構成、プロトタイプにて使用可能な機能及び各機能の使用方法について述べる。プロトタイプの外観を図5.1に示す。また、使用するハードウェアして実際の紙、ペン及びバインダを使用することとした。この結果、ユーザは実際の紙とペンを用いてインタラクションを行うことができ、機械に苦手意識があっても問題とならない。

5.1　システム構成

全体のシステム構成を図5.2に示す。全体のシステムは大まかに4つのブロックによって構成される。コンピュータ上では、C#により実装したソフトウェアが動いており、マイクロコントローラ（Arduino）から受け取った情報を元に特定の機能を呼び出したり、機能と紙との結びつけ及び機能とボタンの結びつけを記録することができる。コンピュータは、ArduinoとUSBケーブルを用いて接続され、シリアル通信によりArduinoから紙のIDやタッチ情報を受信する。Arduinoは、紙のIDの取得やタッチの検出を行い、コンピュータに情報を送信する。Arduinoとバインダはリボンケーブルを用いて電気的に接続されており、リボンケーブルのバインダ側末端は、銅箔テープに繋がれバインダに固定されている。バインダはArduinoと紙を電気的に接続する媒体としての役割を持つ。実際の紙を用いる場合でも、現在の状況にあった紙をバインダに挟む。複数枚挟んでいる場合は、現在の状況にあったページを見えるように使用することから、状況に応じて、挟む紙を変える動作をそのまま利用した。バインダと紙はクリップに貼られた銅箔テープにより接続される。紙は、主にユーザと直接インタラクションを行う。例えば、ペンによる書き込みやタッチである。表面はユーザが自由にスケッチを行うことができ、裏面はタッチ検出用の導電部となる。導電部は導電性のインクを印刷またはユーザの手書きにより作成される。

5.2　コンピュータ上のソフトウェア

コンピュータ上のソフトウェアは、C#により開発されたWPFアプリケーションである。作成したソフトウェアの外観を図5.3に示す。このソフトウェアの有する機能とその詳細について述べる。

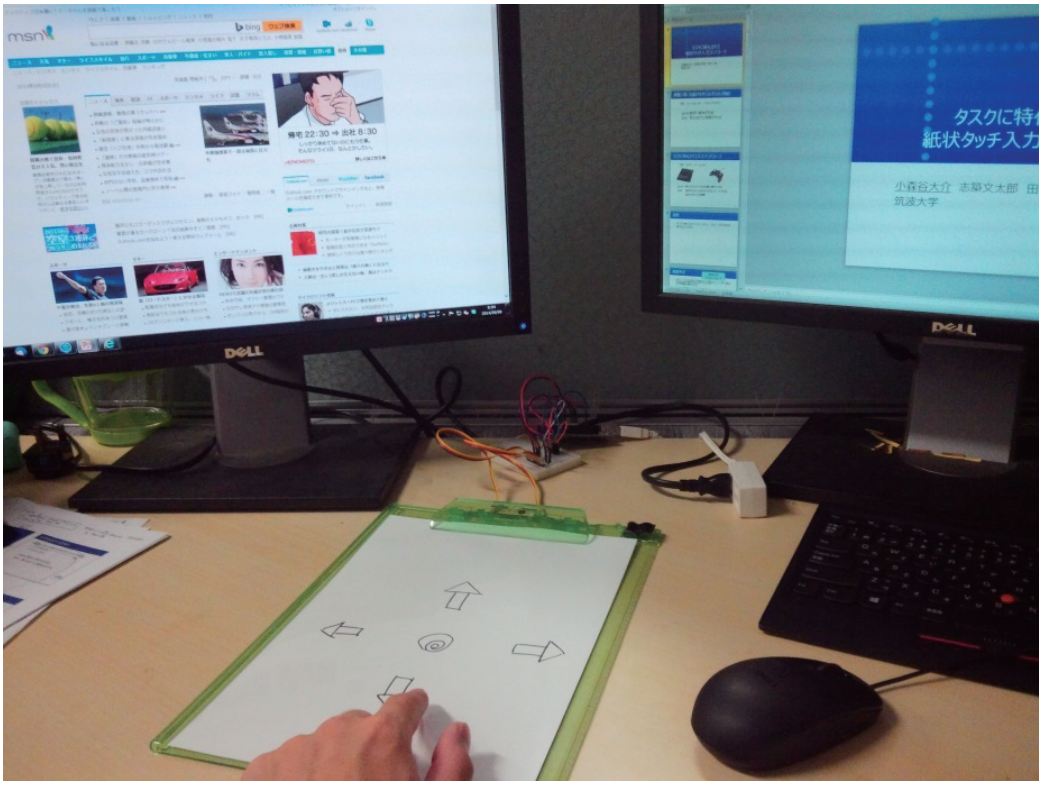


図 5.1: 実装したプロトタイプの外観

Arduino との接続及び解除

ユーザはソフトウェアの上部にあるドロップダウンリストより、Arduino が接続されている COM ポートを選択し、接続ボタンを押し Arduino と接続する。また、接続後は、接続と表示されているボタンの表記は切断に変わり、ボタンが押されるとソフトウェアは Arduino との接続を解除する。

紙と対象アプリケーションの対応付け

アプリケーションの検出には OS の AppClassName 及び AppWindowName を利用している。これは、画面上のそれぞれのウィンドウを特定するための名前である。これらの値を用いて、現在開いているウィンドウ内から特定のウィンドウを選ぶことができる。そのため、プロトタイプシステムでは、使用時に登録したアプリケーションがすでに実行されており、ウィンドウが表示されている必要がある。

図 5.3 中の appnum は、現在接続されている紙の ID を表示している。ソフトウェアは、紙の接続を感知すると ID を読み取り、すでに登録されているものであれば、対応付けられたアプリケーションデータを読み込み、AppClassName と AppWindowName に表示する。これら 2 つの値を書き換えることにより、対応するアプリケーションと紙の対応付けを行うことができる。しかしながら AppClassName 及び AppWindowName は

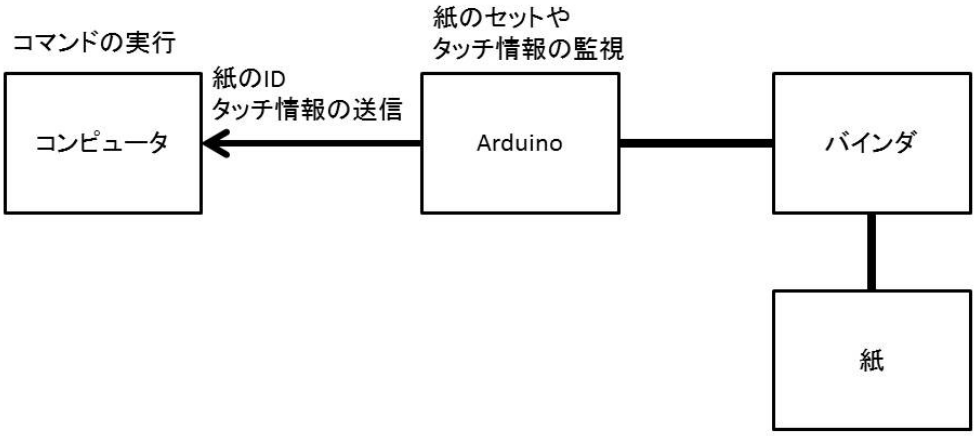


図 5.2: 全体のシステム構成

ユーザが通常意識する値ではない。そのため、ウィンドウ設定ボタンを作成した。このボタンを押下した後に、アクティブになったウィンドウを検出し、AppClassName 及び AppWindowName を取得し、対応付けられたアプリケーションウィンドウとして登録することができる。

ボタンと機能の対応付け

機能の実行にはショートカットキーを利用している。そのためボタンと機能の対応付けにもショートカットキーを利用している。バインダに挟んだ紙のボタンをタッチ又は、図 5.3 中の CmdKey の数値をテキストボックスを用いて書き換えることにより、そのボタンに対応付けられた機能を呼び出すショートカットキーが Cmd に表示される。直接 Cmd のテキストボックスを編集することによっても対応する機能は割り当てることができるが、コントロールキーやデリートキーなどの特殊な文字は、SendKeys クラスに定義されている通りに入力する必要がある。そのため、コマンド割当ボタンを作成した。このボタンを押下してから、再度押下するまでに押されたキーを記録し、登録できる形に成形して出力する。

機能の実行

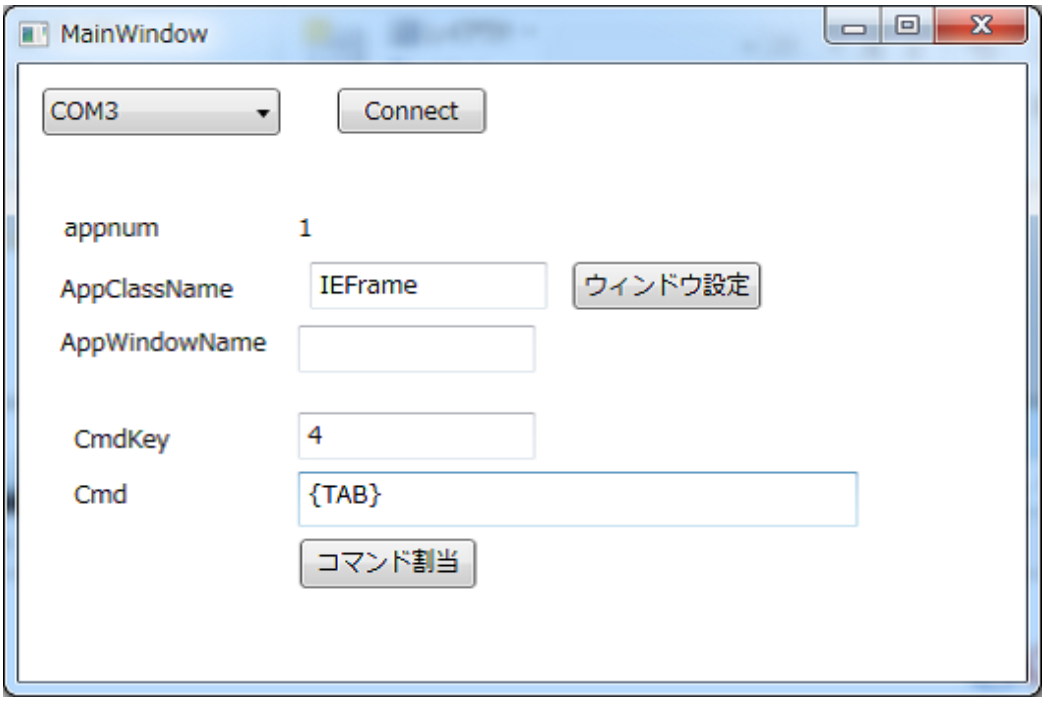


図 5.3: 作成したソフトウェア

バインダに接続された紙がタッチされたことという情報を受信するとソフトウェアは割り当てられた機能を実行する。具体的には、対応するアプリケーションウィンドウをアクティブにする。その後対応付けられたショートカットキーをウィンドウに対して発行する。

5.3 Arduino

Arduino 部はバインダに挟まれた紙の検出、タッチの検出及びそれらの情報をコンピュータに送信する機能を持っている。図 5.4 に Arduino の配線図を示す。バインダを通して合計 9 本が紙と接続されている。この 9 本の接続は 2 つの種類に分けられる。4 本が紙状タッチ入力インタフェースの ID を識別するためのもの。残りの 5 本がタッチ入力を認識するものとなっている。4 本の紙状タッチ入力インタフェースの ID を識別するピンは紙状タッチ入力インタフェース毎にいくつかのピンを回路的に短絡させることにより ID を割り振っている。

タッチの検出には Arduino のライブラリである CapSense を利用している。これは過渡応答を基にタッチを認識する。

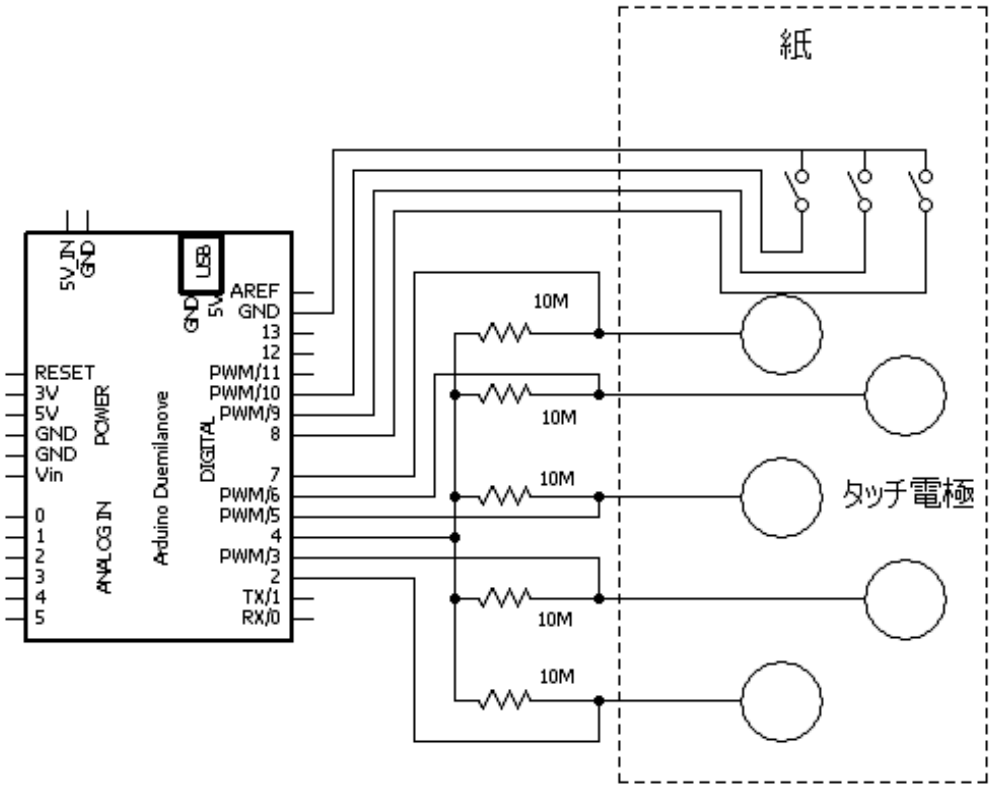


図 5.4: Arduino の配線図

5.4 バインダ

バインダのクリップには紙状タッチ入力インタフェースの接続ピンと接続するための接続ピンが銅箔テープにより貼られている。これらはすべて Arduino に接続され、ID 及びタッチを検出する。

5.4.1 初期のバインダ

初期のプロトタイプは図 5.5 に示すような外観をしており、図 5.6 に示すようにバインダのクリップ部に銅箔テープを巻いていた。また、接続されている配線の本数が 8 本となっている。クリップ部に銅箔テープがあることから、紙の表面に導電性インクを用いて書く必要が生じ、デザインに制約が生まれた。それに加え、紙を挟むためのサポータが何もなく毎回ユーザが注意して銅箔テープと紙の接続部分を合わせて挟む必要があった。そこで、新しいプロトタイプを作成した。

図 5.5: 初期のバインダ

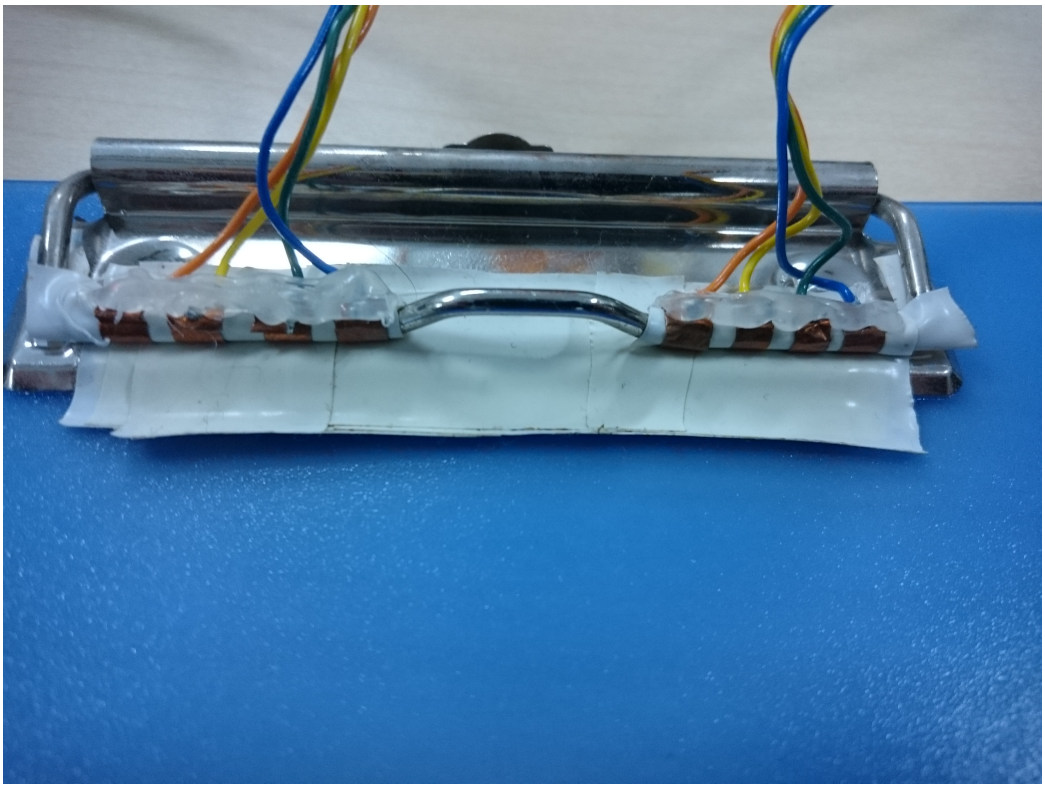


図 5.6: 初期のバインダの接続部分を拡大

図 5.7: 改良したバインダ

5.4.2　改良したバインダ

改良したプロトタイプは、バインダとしてリヒトラブ製のクリップボードアクアドロップス A5010-6 を使用した（図 5.7）。これは、図 5.8 に示す通り、バインダの上部と左部に凸部があり、それに合わせることにより紙を毎回同じ場所に挟むことが可能である。これにより、ユーザが毎回銅箔テープと紙の接続端子をあわせる必要がなくなった。また、クリップ部の下側に銅箔テープを貼ることにより、紙の裏面と銅箔テープが接触するようになった。そのため、紙の裏面に導電性インクによる接続端子を配置することが可能になり、表面におけるデザインの制約は生まれなくなった。

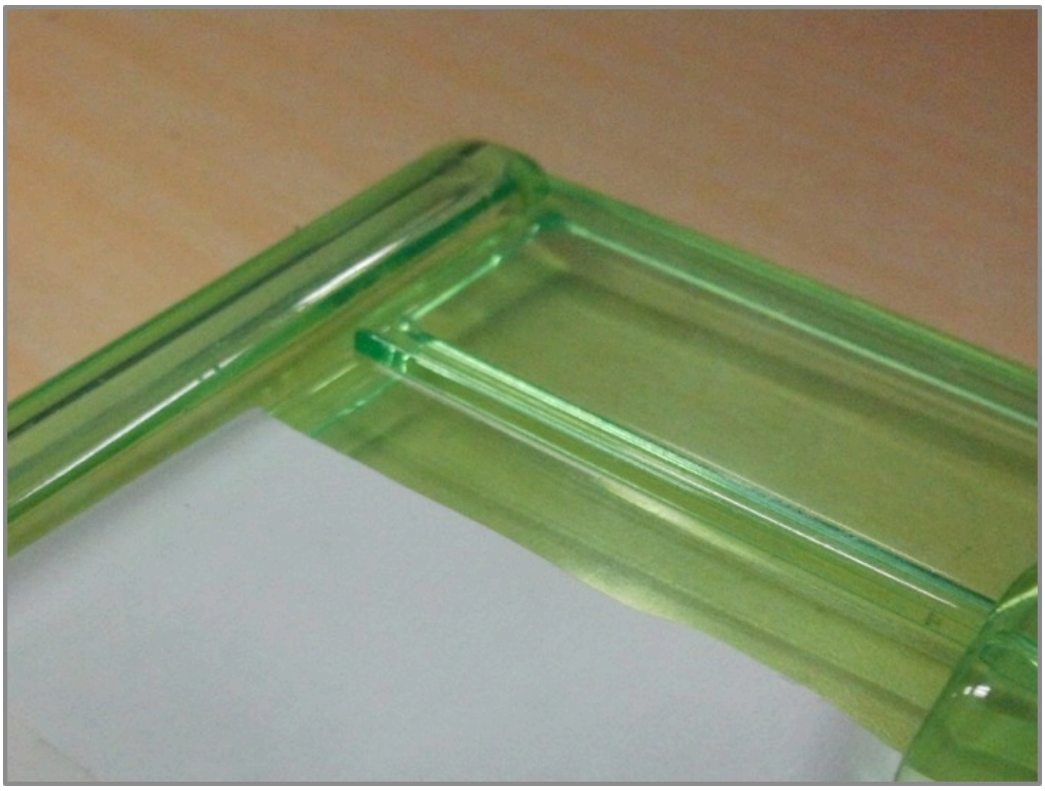


図 5.8: バインダの凸部

5.5 紙

紙状タッチ入力インタフェースにはボタンと接続用のピンを導電性インク [KHC+13] を用いて印刷されている。図 5.9 は紙状タッチ入力インタフェースの両面を示す。表側にはユーザが書いたフリーハンドの図形及びテキストがあり、裏面には導電性インクにより描かれたボタンが印刷されている。また、接続用のピンが 9 本上部に印刷されている。

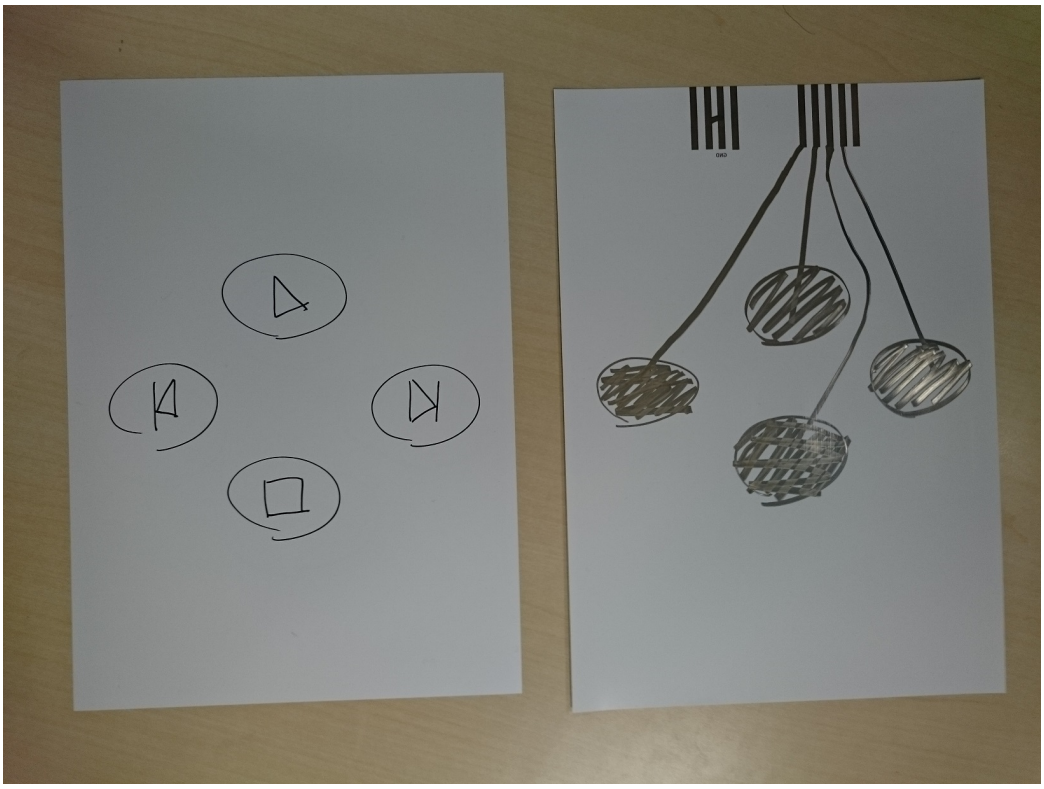


図 5.9: 紙状タッチ入力インタフェースの両面

第6章　試用実験

提案手法がユーザがデザイン可能か調査するために、試用実験を行った。なお、この実験に使用した同意書、アンケート、サンプルの紙状タッチ入力インタフェース及び紙状タッチ入力インタフェースのテンプレートを付録 A に添付する。

6.1　被験者

大学生・大学院生のボランティア 4 名（男性 3 名、女性 1 名、年齢 22-23 歳）を被験者とした。すべての被験者が情報系の学部もしくは研究科に所属している。また、本システムに関する事前知識は持っていなかった。

6.2　実験内容

実験には Windows 7 を搭載したノートパソコン（Lenovo Thinkpad X201i:Core i3, 4GB RAM）を試用した。被験者には図 6.1 に示すように椅子に座ってもらった。最初に、実験者は被験者に対してプロトタイプシステムの使用法を説明した。説明後、被験者に実際に触ってもらい、システムの使い方を学んでもらった。この時、基本的な誤りが起こらないよう、システムについてわからないことがあったら聞くように指示した。参加者にはあらかじめ作成しておいた紙状タッチ入力インタフェースを使用して 1 ボタンのみを利用してプレイできるウェブ上のフラッシュゲーム（Flappy Bird）を遊んでもらった。その後、紙状タッチ入力インタフェースの作成方法を説明し、実際に作成してもらった。なお紙状タッチ入力インタフェースのボタンにはあらかじめゲームがプレイできるようにショートカットキーを登録してある。

6.3　結果

作成してもらった紙状タッチ入力インタフェースを図 6.2 に示す。すべての紙状タッチ入力インタフェースが上部に描かれている。これは接続部が上部にあったためであると考えられる。同じ操作を行うための紙状タッチ入力インタフェースだが、参加者によって異なる図形が描かれている。

4 人の被験者の内 2 人はキャラクターを描いている。また、4 人の内の 1 人は鳥をモチーフにしたキャラクターを描いている。それに加え上向きの三角形も見て取れる。これは、ゲー

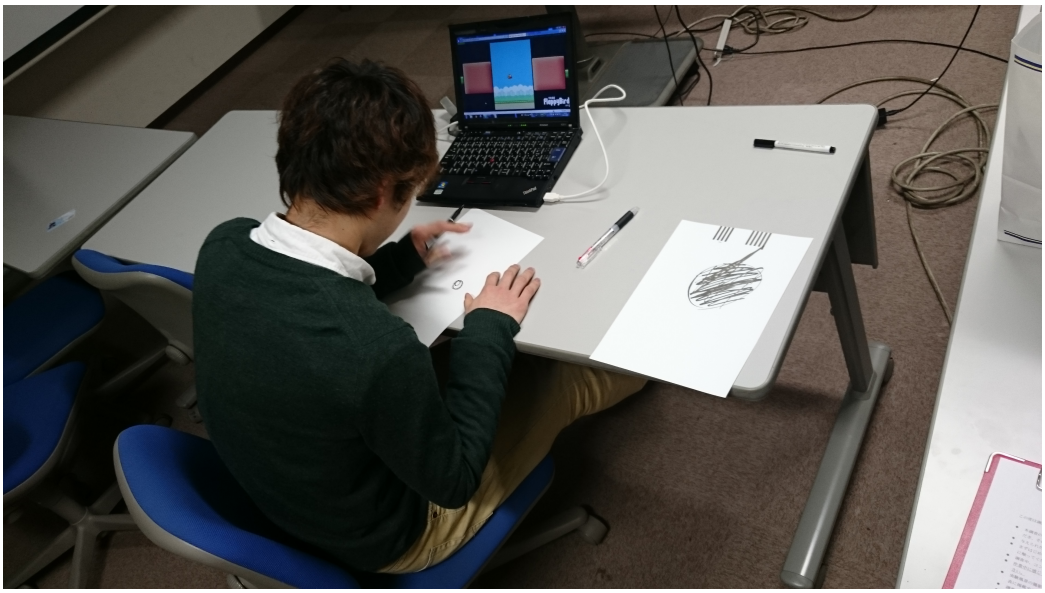


図 6.1: 実験の様子

ムがボタンをタップすると上に跳ねるといった性質からきているものと思われる。また、指の配置に沿ってボタンを描いた被験者もいた。

実験中に一度、紙の接続端子とボタン部分を導電性インクにて接続したがシステムがタッチを検出できなかったことがあった。しかしながら、被験者に線を太くするように指示したところ正常に動作した。これは導電性インクはその太さに応じて抵抗値が変わる特性がある。そのため、線が細く抵抗値が大きくなり回路特性が変化してしまったのが原因と考えられる。

6.4 試用した被験者からのコメント

参加者から実験中及びアンケートにてコメントをもらった。

表面と対応する位置に回路を書くのが難しい

参加者からのコメントとして、裏に回路を描くことが難しいという意見があった。これは紙が厚く表側のデザインを透かして見ることができないからだと考える。裏面の回路パターンを自動的に作成することによりこの問題は解決出来る。

好きなものをかけることは良い

被験者によって作られた紙状タッチ入力インタフェースは機能は全て同じであるのに、異なるデザインをしている。

ショートカットキーを覚える必要がない

ショートカットキーなどを覚える必要がなく、マクロみたいな使用方法が可能である。今後は、導電性インクを用いて簡単なプログラミングが行えたら良い。

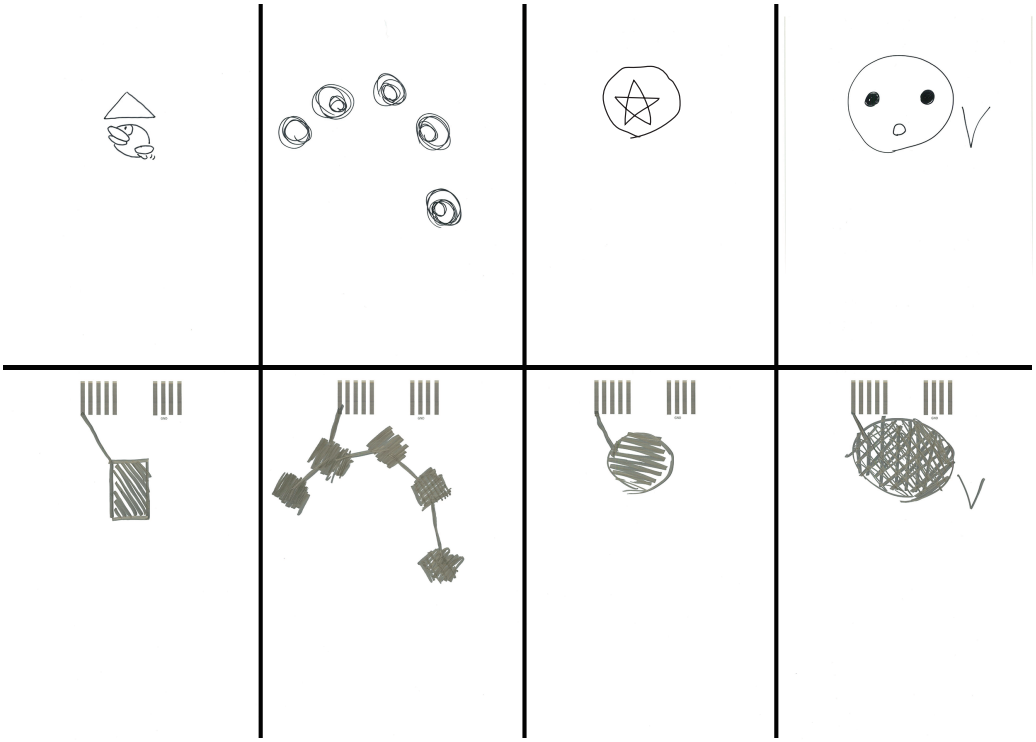


図 6.2: 参加者の作成した紙状タッチ入力インタフェース（裏面は左右反転している）

6.5 試用実験のまとめ

同じタスクに対して、それぞれの被験者が異なるデザインの紙状タッチ入力インタフェースを作成したことは、ユーザに応じて最適なインタフェースは異なるということは裏付けている。また、ユーザ自身がデザインできることに関しては実験中の発話及びアンケートよりプラスの意見を多く聞いた。

今回は、ボタンと機能の対応付けを実験内にて行えなかったため、今後改良を行う。また、裏面に回路を記述する必要があるが、それが手間になっているように感じられるため、より手軽に紙状タッチ入力インタフェースを作成できる環境を考える必要が有る。

第7章　プロトタイプの改良

本章では、最初に試用実験から得られたフィードバックと改良案を述べる。

7.1　試用実験から得られたフィードバックと改良案

課題 1 ボタンと機能の対応付けが複雑

課題 2 線が細すぎて電気が通らない

課題 3 表面に合わせて裏面を書くことが難しい

課題 4 画面を見ながらタッチすることは難しい

課題 1 に関しては、プロトタイプシステムのソフトウェアの問題である。また、複雑だったため、試用実験においてはボタンと機能の対応付けに関しては実験者が行っていた。課題 2 関しては、6 節にて行った試用実験にて発生した問題である。導電性インクを用いて書いた線が細すぎて抵抗値が高くタッチを認識することができなかった。課題 3 に関しては、被験者から得られた意見である。課題 4 に関しては、著者が使用して感じたこと及び被験者が使用している様子を観察し気づいたことである。

本節では、最初に課題 1 の解決案を述べる、次に課題 2 の解決案を述べる、課題 3 の解決案については 10.2 節にて、課題 4 の解決案については 10.4 節にて述べる。

7.1.1　課題 1 の解決案

課題 1 のボタンと機能の対応付けが複雑といった問題に対して、紙状タッチ入力インタフェースのバインダに記録モードと再生モードの切り替えスイッチを追加することによって解決を図った。記録モードは、ボタンに実行する機能を記録するモードである。ボタンに機能を対応付けしたい時、ユーザはまずモード切り替えスイッチを記録モードにする。その後、割り当てたいボタンを押し、割り当てたい機能を実行することにより、ユーザが行った動作が記録される。再生モードは、ボタンに対応付けられた機能を実行するモードである。再生モード時にユーザがボタンにタッチすると記録モードにて対応付けた機能が実行される。記録モードと再生モードの 2 つのモードを作ることにより、ボタンと機能の対応付けが難しいといった問題の解決を図った。

7.1.2　課題 2 の解決案

プロトタイプシステムにて使用している導電性インクとして銀ナノ粒子インクを使用している。銀ナノ粒子インクは太さに応じて抵抗値が変化する。また、使用したペンである AgIC 社の回路マーカーのペン先は図 7.1 のように向きに応じて太さが変わるようになっている。そのため、様々な太さにて銀ナノ粒子インクを用いた回路を書くことができる。図 7.2 のようにペン先の太さが一定であり、一定の太さにて書けるペンを作成することによりこの課題は解決できると考えられる。

図 7.1: AgIC 社の回路マーカーのペン先

図 7.2: 解決案としてのペン先

7.2　改良したプロトタイプの構成

全体のシステム構成を図 7.3 に示す。全体のシステムは大まかに 3 つのブロックによって構成される。マイクロコントローラ (mbed) は電源により、単独動作をする。コマンドの実行及び紙のセットやタッチ情報の監視を行う。バインダ及び紙は特に改良を加えていない。バインダには、コマンド発行用の赤外線 LED 及び記録用の受光モジュール及び記録、再生モード切り替えスイッチが配置されている。紙は、以前のプロトタイプと同様に、主にユーザと直接インタラクションを行う。例えば、ペンによる書き込み及びタッチである。紙の表面はユーザが自由にスケッチを行うことができ、裏面はタッチ検出用の導電部となる。導電部は導電性のインクを印刷または手書きにより作成される。

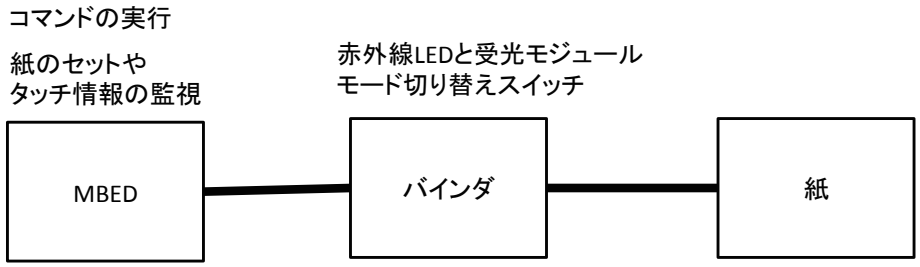


図 7.3: 改良したプロトタイプの構成

7.3 mbed

mbed 部はバインダに挟まれた紙の検出、タッチの検出、モードの検出、赤外線の送受信及び送受信したデータを記録する機能を持っている。mbed の配線を図 7.4 に示す。

紙の検出は以前のプロトタイプと同様に、紙状タッチ入力インタフェースに接続されたピンのうち、特定のピンを短絡させることによりスイッチとして利用ている。タッチの検出に関しては、原理としては同様にキャパシタンスの過渡応答を測定することによりタッチの検出を行っている。モードの切り替え用トグルスイッチの変化を検知し記録、再生モードを切り替える。赤外線の送受信は、赤外線 LED と受光モジュールを使用し可能にした。

7.4 バインダ

改良点として、モード切り替えスイッチの追加が挙げられる。図 7.5 に示すようにトグルスイッチを追加し、現在の状態を可視化かつ切り替え可能にした。

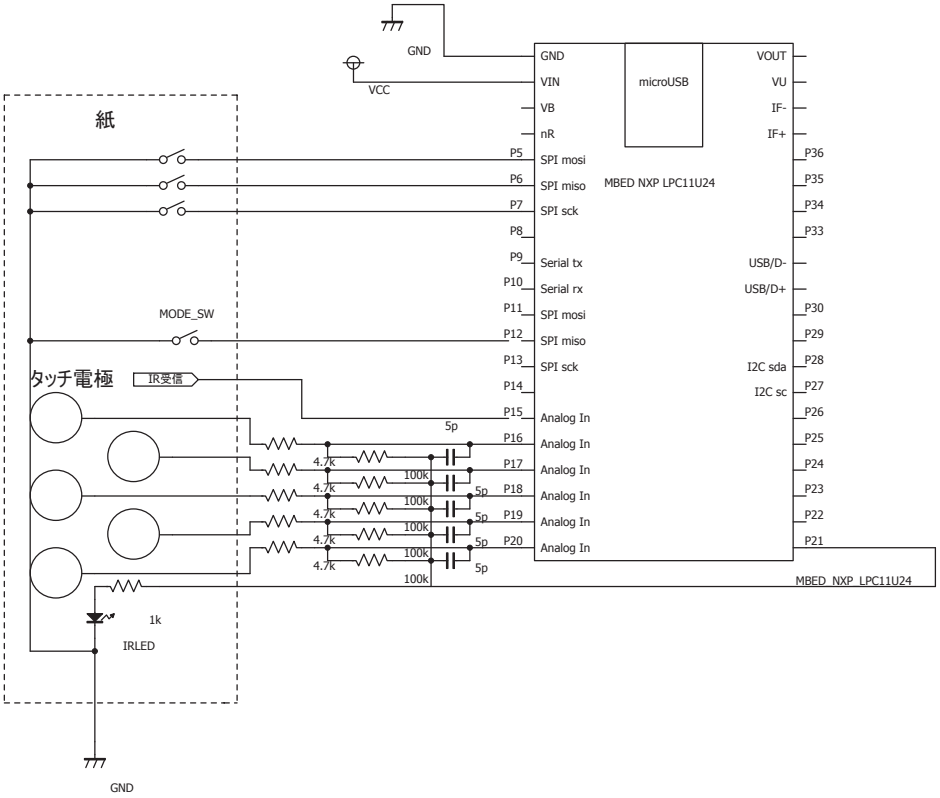


図 7.4: mbed の配線図

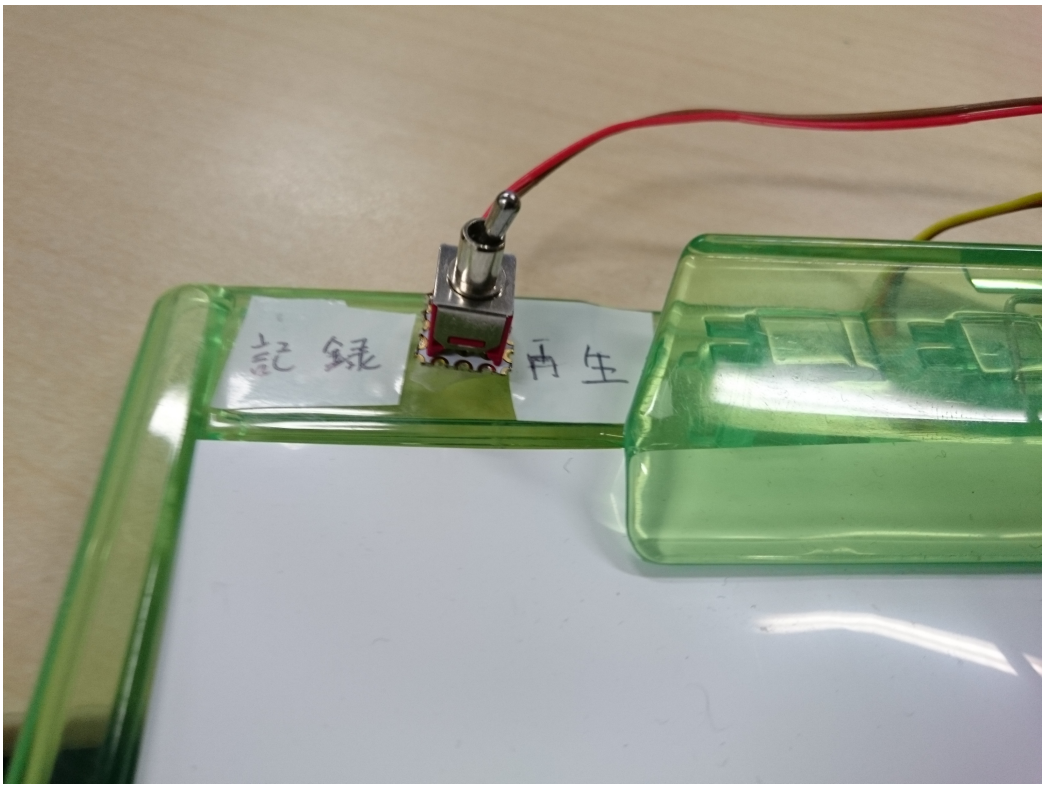


図 7.5: モード切り替えスイッチ

第8章　アイディアソンの実施

提案手法を利用することによって、ユーザが様々なシチュエーションに対応した紙状タッチ入力インタフェースを作成できるか調査するためにアイディアソンを行った。なお、この実験に使用した同意書、実験手順書、説明資料、アンケート、サンプルの紙状タッチ入力インタフェース及び各被験者が回答した結果を付録 B として添付する。

8.1　被験者

大学生・大学院生のボランティア 4 名（男性 4 名、年齢 22-23 歳）を被験者とした。被験者は全員右利きでり、すべての被験者が情報系の学部もしくは研究科に所属している。

8.2　実験内容

実験は静かな部屋にて行われた。図 8.1 に実験に様子を示す。最初に、実験者は被験者に対して紙状タッチ入力インタフェースについて説明を行った。その後、紙状タッチ入力インタフェースを利用が考えられるシチュエーションについて紙に記述をしてもらった。この際、複数のアイディアを記述することを推奨した。被験者には、アイディアがまとまらない場合には、そのアイディアを発話してもらうように指示した。それに加え、実験中は被験者からの質問には回答した。実験開始から 15 分程度経過し、被験者のアイディアを思いつかない様子を示したらサンプルとして用意した紙状タッチ入力インタフェースを被験者に見せアイディアの提案を促した。被験者がこれ以上アイディアを思いつかないと思ったら申告してもらい実験を終了した。最後に、アンケートに答えてもらった。実験所用時間は 30 分から 1 時間であった。

8.3　実験結果

アイディアソンにて得られた使用例を以下に示す。

家電のリモコン（P1, P2, P3, P4）

4 名の被験者全員が家電のリモコンとしての利用を挙げていた。具体的にはテレビ、レコーダー、エアコン、扇風機、電灯、スピーカ、及びカーテンの開閉を行うリモコンとしての利用が挙げられていた。4 人中 2 人の被験者は、複数の家電を横断的に使用でき

図 8.1: 実験の様子

る紙状タッチ入力インタフェースのアイディアを挙げていた。それに加え、外出用、帰宅用といった状態に応じて複数の家電を操作することを考えていた。また、特定の家電の状態に応じて、他の家電を操作するマクロ機能や一定時間後に自動的に電源を切るタイマー機能などが実装できたら良いという発言もあった。アイディアソンにて、書いていただいた紙状タッチ入力インタフェースの例を図 8.2 に示す。

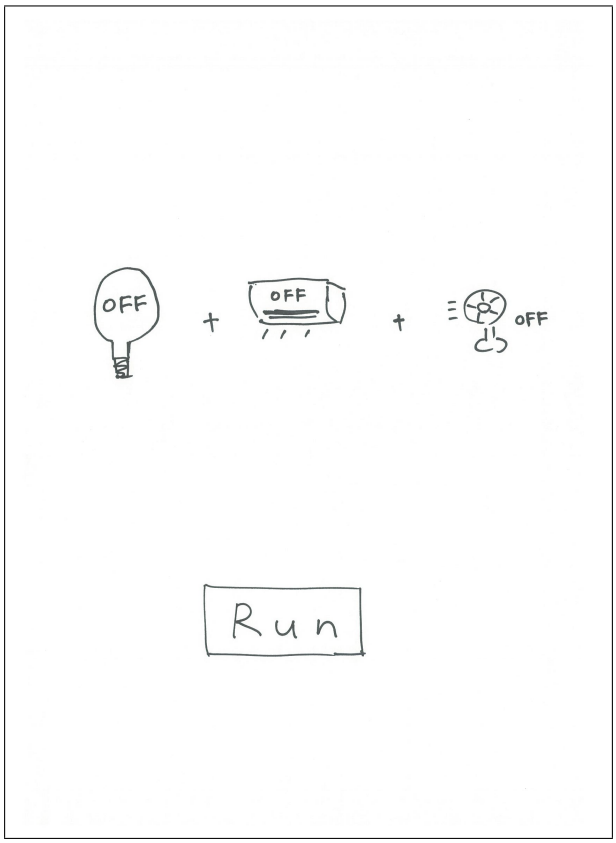


図 8.2: 被験者が書いた家電のリモコンとしての紙状タッチ入力インタフェースの例

現状のプロトタイプでは、赤外線リモコンとして動作する紙状タッチ入力インタフェースは実装できているため赤外線リモコンを使用できる家電であれば使用することができる。また、それぞれの赤外線通信の内容を記録するため、通信内容が異なる複数の家電に対しても使用することができる。しかし、特定の家電の状態に応じて、他の家電を操作するマクロ機能や一定時間後に自動的に電源を切るタイマー機能は、現在のプロトタイプシステムでは実装されていない。マクロ機能やタイマー機能を実装するためには、紙状タッチ入力インタフェース上に導電性インクを用いてデータを保持する必要がある。紙状タッチ入力インタフェース上においてのデータの保持やプログラムの記述に関しては 10.5 節にて述べる。

鍵としての利用（P1, P2）

2 名の被験者が鍵としての利用を考えていた。鍵としての利用は、それぞれの紙状タッチ入力インタフェースが識別可能ならば実現可能であると被験者は考えたようである。2 名の内 1 名は、物理的な紙状タッチ入力インタフェースを鍵として利用するのに加え、Android 搭載のスマートフォンにて利用されている、タッチパターンにより画面ロック

を解除する方法と併用することも考えていた。現状のプロトタイプにおいては、紙状タッチ入力インタフェースの認識はスイッチを 3 つ繋げただけの簡易なものであり暗号化強度としては低い。しかし、バインダと紙状タッチ入力インタフェースの接続本数を大量に増やすのも実装コストが高くなる問題があるため困難である。紙状タッチ入力インタフェース上に導電性インクを利用してデータを記録し、それを呼び出すことができれば、接続本数以上のデータを紙状タッチ入力インタフェースに記録できる。導電性インクを用いてデータを紙状タッチ入力インタフェース上に記録する方法に関しては 10.5 節にて述べる。

ゲームキャラクタを描いたゲームコントローラ（P1, P2）

ゲームキャラクタを描いたゲームコントローラは、自分で好きなキャラクタを描くことができ、そのキャラクタを使用して制御を行える。現在のプロトタイプタイプにおいては、コンピュータの操作を行えるようになっており、コンピュータ上で動作するゲームであれば、紙状タッチ入力インタフェースをゲームコントローラとして使用できる。

書いた絵が反応する塗り絵（P2）

書いた絵が反応する塗り絵は、紙状タッチ入力インタフェースに対して塗り絵を行い、塗り絵を行った紙状タッチ入力インタフェースの触り方によって、コンピュータ画面内のキャラクタが反応したり、音声が流れるといったアプリケーションを提案していた。現在のプロトタイプにおいてはコンピュータの操作は行えるため、タッチした点に応じて画面内のキャラクタが反応したり、音声が流れるアプリケーションは実現できる。

学習ノート（P1）

学習ノートは、教科ごとに紙状タッチ入力インタフェースを分けておき、それぞれの教科にて使用可能なチートシートとして機能するアプリケーションである。例えば数学ならば、紙状タッチ入力インタフェースに幾つか公式に名前が書いてあり、そのボタンを押すことにより対応する公式が画面に表示がされる。英語の場合は、コンピュータ上にてハイライトした部分の訳が表示されるといった使用方法が挙げられる。現在のプロトタイプにおいては、押したボタンに対応した公式や訳をコンピュータ上の画面に表示させるアプリケーションを実現することは可能である。しかしながら、学習ノートとして利用する場合は、紙状タッチ入力インタフェースだけでなく画像処理を利用する方法と比較する必要が有る。紙状タッチ入力インタフェースはあらかじめボタンとなる部分を作成しておき、それを用いて操作を行うが、画像処理を利用すれば書いた文字や図形をリアルタイムに処理しボタンとして扱うことができるからである。例えば、英語学習用のノートで、画面に日本語訳を表示させるアプリケーションを例にした場合、紙状タッチ入力インタフェースは、文章を印刷し、文章ごとまたは単語ごとにボタンとなる部分を作成し、それに対応した日本語訳を用意する必要が有る。それに比べ、画像処理の場合、手書きにて書いた英語の文章があり、日本語訳を確認したい部分を丸く囲うことにより、囲まれた文字を認識して訳を表示するといったことが可能になる。

2.5 次元のパズル（P3）

2.5 次元のパズルは、複数枚の紙状タッチ入力インタフェースを重ねることによって動作するアプリケーションである。例えば、家を作るパズルの場合は、1 枚目が家の土台、2 枚目が床、3 枚目が壁、4 枚目が屋根と対応しており、適切な紙状タッチ入力インタフェースを適切な順番で並べバインダに挟むアプリケーションである。現在のプロトタイプにおいては、複数枚の紙状タッチ入力インタフェースの認識は行うことができない。複数枚の紙状タッチ入力インタフェースの認識方法及び発展性については 10.6 節にて述べる。

他にも、以下に示すような実現可能になればインタラクションの可能性が広がるものがアイディアが得られた。

- 折ったことの認識
- なぞる部分によってフィードバックの変化

被験者の一人は紙を折ったことは認識できるのかと質問を行い、もし折ったことが認識できるのならば折り紙作成支援のアプリケショーンのアイディアを挙げた。現在のプロトタイプシステムでは折ったことを認識することはできないが、PrintSense[GSO+14] は導電性インクを用いて、曲がり方を認識しているため実現は可能である。

なぞる部分によってバイブレーションなどのフィードバックを変化させることができたら、感触が変わる紙みたいなものが作成できると考えた。関連するものとして、渡邊らによる VisualHptics[WY08] が挙げられる。これは、カーソルで触れる対象の状態に応じてカーソルの動きや変形を利用することにより、カーソルからも対象の状態についての情報提示を行う。ユーザが実際に触っているような感覚を再現することが可能となるものである。現在のプロトタイプでは、振動のフィードバックは使用していないが、様々な触覚を付加できるのであれば振動フィードバックの機能を追加することも考えられる。

8.4 考察

様々な場面にて利用可能な紙状タッチ入力インタフェースが被験者によってアイディアとして出された。30 分程度という短い時間であったが一人 2 つは最低でもアイディアがでた。また、アイディアの中には現在のプロトタイプの実装では、実現できないものも含まれておりプロトタイプの改良が必要である。それに加え、複数の紙を束ねて紙状タッチ入力インタフェースとして使用する方法など今後の発展性が大きなアイディアもいただいた。

第9章　応用アプリケーション

本章では、提案手法の応用例及びアプリケーション例を述べる。

9.1　音楽プレイヤ

音楽プレイヤの利用が可能な紙状タッチ入力インタフェースを複数個作成した。そのうちの 1 つを図 9.1 に示す。それぞれの紙を異なるプレイリストに対応させることにより、自分専用のアルバムに似たものを作成することが可能である。紙状タッチ入力インタフェースをファイリングすることにより、CD をファイリングしているような感覚を呼び起こすことも可能だと思われる。

9.2　ゲームコントローラ

1 つのボタンのみにてプレイ可能なカジュアルゲームの紙状タッチ入力インタフェースも作成した図 9.2。ボタンを自由にかけることから紙状タッチ入力インタフェースに自分の好きなようにデコレーションすることが可能である。また、スコア及び攻略情報などを紙状タッチ入力インタフェースにメモとして書くことも可能であった。しかしながら、ボタンを連打しているうちに指がタッチの検出範囲より外に動いてしまったことに気づかずボタンを連打しているつもりになっていることもあった。これは触覚フィードバックがなく、かつ手元を見る頻度が少ないからだと思われる。また、紙状タッチ入力インタフェースの交換により起動するゲームを変更すれば、ゲームカートリッジの交換によりゲームを変更しているのと同じアフォーダンスを利用できる。

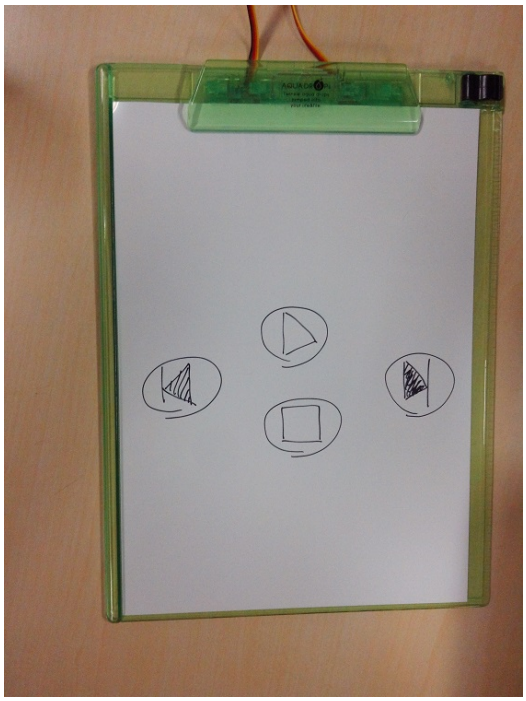


図 9.1: 音楽プレイヤ用の紙状タッチ入力インタフェース

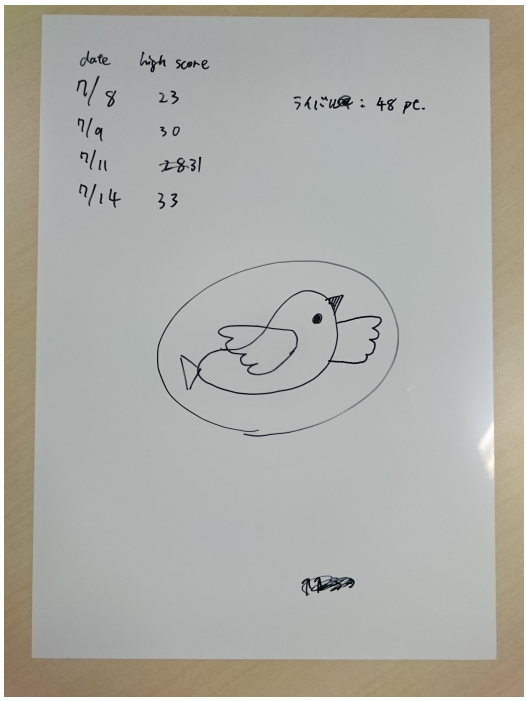


図 9.2: ゲームコントローラ用の紙状タッチ入力インタフェース

第10章　議論

10.1　タッチパネルディスプレイとの比較

タッチパネルディスプレイと本提案手法の比較を行う。タッチパネルは、パネル上のタッチされた座標を取得することができるパネルである。また、ディズプレイと一体になることにより、ディスプレイに表示されいるものを直接触っている感覚をユーザに与える。それと比較して本手法のプロトタイプは、紙状タッチ入力インタフェースの全面に対するタッチを検出可能ではなく、ユーザがタッチ検出を行いたいエリアを自由に決め、記述する必要がある。しかしながら本手法は、ディスプレイではなく紙を利用していることからコストが安いという利点がある。長く継続的に使うのであればタッチパネルディスプレイの方が良いのかもしれないが、キッチンや医療現場など手が汚れていたり、衛生に気を使う必要がある場所では紙状タッチ入力インタフェースの方が良いと考えられる。例えば、キッチンではディスプレイは別に用意しておき、紙状タッチ入力インタフェースを用いてウェブブラウジングを行い、レシピサイトを閲覧するとことも可能である。水や粉末などにより手や紙状タッチ入力インタフェースが汚れることが予想されるが、紙状タッチ入力インタフェースを使い捨てられることにより、いつでも綺麗な紙状タッチ入力インタフェースを使用することができる。

また医療現場などでも同様に、感染予防のために物理的接触をしたものを清掃する必要があると思われるが、タッチパネルディスプレイではそれ自体のコストが高く、入れ替えることは困難である。しかしながら紙状タッチ入力インタフェースならばコストが安いため使い捨てにすることができる。また、キーボードや医療機器の操作用インタフェースとして利用することも可能である。

10.2　表面に合わせて裏面を書くことが難しい

プロトタイプの実装では、表面のデザインに合わせて裏面に導電性インクを用いて回路を記述または印刷を行う必要がある。しかしながら、回路を記述する場合において、紙が厚く反対側が透けないことを原因として記述することが難しいという問題がある。これを解決するために、自動的に回路を作成する支援アプリケーションの開発が考えられる。ユーザは表面に自由にデザインを行い。それをカメラまたはスキャナにより画像を取り込む。その後、スマートフォンまたはコンピュータのアプリ上にて、ボタンとしたい領域を決めることによって、回路パターンを自動的に作成することができるアプリケーションである。その後、導電性インクが印刷可能なプリンタにて、回路パターンを印刷することにより紙状タッチ入力イ

ンタフェースは使用可能となる。以上のような回路パターン作成も行えるアプリケーションを開発すれば、表面に合わせて裏面を書くことが難しいという問題は解決する。

10.3　紙状タッチ入力インタフェースの配布方法

それぞれのユーザが自宅にてインタフェースの作成を行えるようになると、インタフェースの配布方法を変化していくと考えられる。現在は、既に誰かにデザインをされ、一括に大量に生産されたものを入手している。しかしながら、紙状タッチ入力インタフェースは紙でできており、導電性インクのプリンタがあれば自宅でも印刷することが可能である。これはプリンタ及び 3D プリンタと同じ様なことが起きると思われる。プリンタができる前は、情報が印刷された紙を直接渡すことにより情報のやり取りを行っていたが、プリンタが出きデータとしてやり取りができる様になってからは、データをメモリに格納してメモリを渡すまたはネットワークを経由して渡し、その後データを渡された側が印刷するように変化した。3D プリンタでも同様のことが起きるのではと言われている。例えば家電などの部品を購入するのではなく、データをもらって自宅で製造することにより修理を行うことが可能になる。また、各ユーザがデータを作成し、それを配布することも盛んに行われている。紙状タッチ入力インタフェースも同様に、データを受け渡しすることにより自分でデザインしなくても目的にあった紙状タッチ入力インタフェースを探し、それぞれが印刷を行って使用することも可能である。

10.4　触覚フィードバックに関して

紙状タッチ入力インタフェースは紙を利用しているため、タッチパネルディスプレイと同様に触覚フィードバックが存在しないという問題がある。そのため、ボタンを押しても押した感触がなく、押したかどうかわからないといった問題及び表面は平らになっており凹凸を頼りにボタンなどのオブジェクトを探すことも困難といった問題が存在する。これらの問題を解決方法として、硬いスポンジ又はゴムを紙状タッチ入力インタフェースに貼り付けるということが考えられる。紙状タッチ入力インタフェースは静電容量式のタッチセンシングを行っており、直接導電部を触らなくても近づけて人間の指を検出することが可能である。そのため、スポンジやゴムなどを貼り付けて凹凸を作ってもシステムには影響はない。硬いスポンジやゴム以外でも、様々な物体を貼り付けることにより触覚の違いを利用しボタンの意味を表現したりすることも可能である。このように、ボタン部分にゴムなど物体を貼り付けることにより触覚フィードバックがないといった問題が解決する。

10.5　導電性インクを用いたデータの記録及びプログラムの記述

紙状タッチ入力インタフェースの上にデータを記録することができれば、デザインだけでなく赤外線通信の内容などのデータもまとめて配布することができる。データが記録できれ

ば、原理的にはタイマー機能、マクロ機能やプログラムを紙状タッチ入力インタフェースに記録することができると考えられるため導電性インクを用いた紙上へのデータの記録及びプログラムの記述の実現可能性、実現方法について述べる。

考えられる紙上へのデータの記録方法としては、導電性インクを用いてフィルタ回路を作成しそのフィルタ回路の周波数特性によりデータを読み出す方式、バーコードのように線を書き、その線をなぞることによりデータを読み出す方式の 2 つが挙げられる。いずれも手書きにて作成することは困難である。

導電性インクを用いてフィルタ回路を作成しそのフィルタ回路の周波数特性を利用する方法は、導電性インクの印刷パターンにより RC のフィルタ回路を構成する。導電性インクは細いほど抵抗値が大きくなるといった特性があるため抵抗は作成できる。2 本の線をできる限り近づけて配置することによりコンデンサも作成することができるため、RC のフィルタ回路を作成することが可能である。作成した RC フィルタ回路に様々な周波数を流し、各周波数に対する応答を測定することにより RC フィルタ回路の特性が判明する。この際 RC フィルタ回路の特性にそれぞれデータを割り当てておくことによりデータ読み取ることができる。

バーコードのように線を書き、その線をなぞることによりデータを読み出す方式では、バーコードのような複数の平行な線を用いる。複数の平行な線は全て電気的に接続されている。この時、複数の平行な線を端から反対側の端までスワイプすることにより、静電容量の変化が生じる。複数の平行な線の間隔や太さを変えることにより、この静電容量の変化を 0 と 1 のデジタル化することができ、データを記録することができる。

マクロやプログラムを紙状タッチ入力インタフェース上にて記述するには、フィルタ回路やバーコードに近いものを印刷したシールを使用することで実現できる。シールを貼ることによって、特定のデータを紙状タッチ入力インタフェース上に記録することができ、制御しているマイコンやコンピュータにより、貼り付けられたシールの特定を行い対応する命令に変換する。また貼り付けられたシールをそれぞれのボタンと導電性インクにより電気的に接続することによりボタンと命令の対応付けが行える。将来的には、電子ブロックが紙状タッチ入力インタフェース上にて再現できるのではないかと考えられる。

10.6　複数の紙を束ねて使用する紙状タッチ入力インタフェース

現状のプロトタイプでは 1 枚の紙状タッチ入力インタフェースをバインダに挟み使用するが、紙は複数枚束ねて使用されることもあるため複数枚束ねて使用する紙状タッチ入力インタフェースの形状及び実装方法について述べる。複数の紙をまとめた上でそれぞれのページにアクセスするためには、本やノートのように紙の 1 辺だけをとめる必要がある。複数枚の紙状タッチ入力インタフェースを束ねて使用する形状としては、本やノートのように紙状タッチ入力インタフェースの 1 辺だけをとめ、めくることによりそれぞれのページにアクセスできる形状になる。とめ方としては、紐やクリップを用いたり、あらかじめクリアファイルが複数枚束ねられているものに紙を入れていく方法などがある。

複数の紙を束ねて使用する紙状タッチ入力インタフェースの実装方法としては、重なって

いる上の紙と下の紙を接続する方法が考えられる。基板におけるスルーホールを紙状タッチ入力インタフェース上に再現することにより、紙状タッチ入力インタフェースを重ねた際に 2 枚の紙状タッチ入力インタフェースが重なっている間は 2 枚の紙状タッチ入力インタフェースは電気的に接続されている状態になる。これを繰り返すことによって複数枚の紙を束ねた紙状タッチ入力インタフェースが実現できる。しかしながら、この実装方法の場合は現在のプロトタイプにて使用している紙の識別方法は使えないため別の実装方法を考える必要がある。紙の識別を行う方法としては 10.5 節にて述べた紙状にデータを記録する方法が利用できる。また、タッチの認識に関しては複数ページを同時に使うわけではないので現在のプロトタイプの実装をそのまま利用できる。

複数の紙を束ねて紙状タッチ入力インタフェースを使用することによって、紙状タッチ入力インタフェース単体ではできなかったことが可能になる。例えば、紙状タッチ入力インタフェース 1 枚では書ききれない量のものを複数枚にわけて書くことができたり、紙状タッチ入力インタフェースの交換の際に毎回バインダに挟みなおす必要がなくなる。

第11章　終わりに

本研究ではユーザがデザイン可能な紙状タッチ入力インタフェースを提案し、その作成と使用を行うためのシステムを実装した。ユーザは紙に図形や文字を書き、それに合わせて導電性インクのパターンを描画する。その後、各ボタンに機能を割り当てることにより紙状タッチ入力インタフェースを作成する。図形にタッチすることにより割り当てられた機能が呼び出され、様々な機器の操作を行うことができる。作成した紙状タッチ入力インタフェースは自分自身で利用する他、誰かのためにデザインすることも可能である。また、インターネットを介して配布し、ダウンロードした人々が各々印刷して利用するといった利用方法も考えられる。今回の実装では紙状タッチ入力インタフェースとコンピュータの接続にバインダを用いたが、リング型ファイルを用いる実装も考えられる。その場合、バインダに紙状タッチ入力インタフェースを挟み直すのではなく、紙状タッチ入力インタフェースをめくることにより使用する紙状タッチ入力インタフェースを切り変える。また、本のように束ねて使用することも考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、指導教員である志築文太郎先生には、研究の進め方、論文の執筆方、研究発表の姿勢など多くのご指導と助言をいただきました。また、田中二郎先生、三末和男先生、高橋伸先生、嵯峨智先生には、チームこそ異なりますが、研究室内の発表練習において、チーム内の議論にはなかった新たな視点から有益な助言をいただきました。先生方に心より感謝申し上げます

また、研究室の皆様には、研究活動と日常生活の両面において大変お世話になりました。特に WAVE チームの皆様には研究テーマの決定からプロトタイプの実装、論文の執筆まで数多くのアドバイスやアイディアをいただきました。心より感謝いたします。

最後に、私の大学院生活を精神面及び金銭面において支えて下さった両親に深く感謝致します。

参考文献

[AR06] Yuji Ayatsuka and Jun Rekimoto. Active cybercode: A directly controllable 2d code. In *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '06, pp. 490–495, New York, NY, USA, 2006. ACM.

[BVG08] Florian Block, Nicolas Villar, and Hans Gellersen. A malleable physical interface for copying, pasting, and organizing digital clips. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, pp. 117–120, New York, NY, USA, 2008. ACM.

[CAMB13] Christian Corsten, Ignacio Avellino, Max Möllers, and Jan Borchers. Instant User Interfaces: Repurposing everyday objects as input devices. In *Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '13, pp. 71–80, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[CFK+04] Adrien Coyette, Stéphane Faulkner, Manuel Kolp, Quentin Limbourg, and Jean Vanderdonckt. SketchiXML: Towards a multi-agent design tool for sketching user interfaces based on USIXML. In *Proceedings of the 3rd Annual Conference on Task Models and Diagrams*, TAMODIA '04, pp. 75–82, New York, NY, USA, 2004. ACM.

[CH09] Enrico Costanza and Jeffrey Huang. Designable visual markers. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1879–1888, New York, NY, USA, 2009. ACM.

[CMRB12] Liwei Chan, Stefanie Müller, Anne Roudaut, and Patrick Baudisch. CapStones and ZebraWidgets: Sensing stacks of building blocks, dials and sliders on capacitive touch screens. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2189–2192, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[GB02] Saul Greenberg and Michael Boyle. Customizable physical interfaces for interacting with conventional applications. In *Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '02, pp. 31–40, New York, NY, USA, 2002. ACM.

[GF01] Saul Greenberg and Chester Fitchett. Phidgets: Easy development of physical interfaces through physical widgets. In *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium*

on User Interface Software and Technology, UIST '01, pp. 209–218, New York, NY, USA, 2001. ACM.

[GHdJ15] Kristian Gohlke, Michael Hlatky, and Bram de Jong. Physical construction toys for rapid sketching of tangible user interfaces. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '15, pp. 643–648, New York, NY, USA, 2015. ACM.

[GPBKK13] Tobias Grosse-Puppendahl, Andreas Braun, Felix Kamieth, and Arjan Kuijper. Swiss-cheese Extended: An object recognition method for ubiquitous interfaces based on capacitive proximity sensing. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 1401–1410, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[GPHW+14] Tobias Grosse-Puppendahl, Sebastian Herber, Raphael Wimmer, Frank Englert, Sebastian Beck, Julian von Wilmsdorff, Reiner Wichert, and Arjan Kuijper. Capacitive near-field communication for ubiquitous interaction and perception. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '14, pp. 231–242, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[GSO+14] Nan-Wei Gong, Jürgen Steimle, Simon Olberding, Steve Hodges, Nicholas Edward Gillian, Yoshihiro Kawahara, and Joseph A. Paradiso. Printsense: A versatile sensing technique to support multimodal flexible surface interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 1407–1410, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[HM06] Scott E. Hudson and Jennifer Mankoff. Rapid construction of functioning physical interfaces from cardboard, thumbtacks, tin foil and masking tape. In *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '06, pp. 289–298, New York, NY, USA, 2006. ACM.

[HV11] David Holman and Roel Vertegaal. TactileTape: Low-cost touch sensing on curved surfaces. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium Adjunct on User Interface Software and Technology*, UIST '11 Adjunct, pp. 17–18, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[HV12] Clemens Holzmann and Manuela Vogler. Building interactive prototypes of mobile user interfaces with a digital pen. In *Proceedings of the 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*, APCHI '12, pp. 159–168, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[HXSH14] Chris Harrison, Robert Xiao, Julia Schwarz, and Scott E. Hudson. TouchTools: Leveraging familiarity and skill with physical tools to augment touch interaction.

In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 2913–2916, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[HYY01] Koike Hideki, Sato Yoichi, and Kobayashi Yoshinori. Integrating paper and digital information on EnhancedDesk: A method for realtime finger tracking on an augmented desk system. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 8, No. 4, pp. 307–322, 2001.

[Ish08] Hiroshi Ishii. Tangible bits: Beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, pp. xv–xxv, New York, NY, USA, 2008. ACM.

[JB13] Sam Jacoby and Leah Buechley. Drawing the Electric: Storytelling with conductive ink. In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children*, IDC '13, pp. 265–268, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[KHC+13] Yoshihiro Kawahara, Steve Hodges, Benjamin S. Cook, Cheng Zhang, and Gregory D. Abowd. Instant Inkjet Circuits: Lab-based inkjet printing to support rapid prototyping of ubicomp devices. In *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '13, pp. 363–372, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[KLLL04] Scott R. Klemmer, Jack Li, James Lin, and James A. Landay. Papier-Mâché: Toolkit support for tangible input. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '04, pp. 399–406, New York, NY, USA, 2004. ACM.

[KM15] Kunihiro Kato and Homei Miyashita. ExtensionSticker: A proposal for a striped pattern sticker to extend touch interfaces and its assessment. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1851–1854, New York, NY, USA, 2015. ACM.

[KPFS13] Mustafa Emre Karagozler, Ivan Poupyrev, Gary K. Fedder, and Yuri Suzuki. Paper generators: Harvesting energy from touching, rubbing and sliding. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 23–30, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[KT14] Masahiro Kaneko and Jiro Tanaka. Paper control panel: Making paper-based touch interface. In *Interaction 2014*, pp. 562–567. IPSJ, 2014. (In Japanese).

[LCC+13] Rong-Hao Liang, Kai-Yin Cheng, Liwei Chan, Chuan-Xhyuan Peng, Mike Y. Chen, Rung-Huei Liang, De-Nian Yang, and Bing-Yu Chen. Gaussbits: Magnetic tangible bits for portable and occlusion-free near-surface interactions. In *Proceedings of the*

2013 ACM annual conference on Human factors in computing systems, CHI '13, pp. 1391–1400, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[LJB15] Pedro Lopes, Patrik Jonell, and Patrick Baudisch. Affordance++: Allowing objects to communicate dynamic use. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 2515–2524, New York, NY, USA, 2015. ACM.

[LP14] Joanne Lo and Eric Paulos. ShrinkyCircuits : Sketching, shrinking, and formgiving for electronic circuits. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, pp. 291–299, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[MJB+13] David A. Mellis, Sam Jacoby, Leah Buechley, Hannah Perner-Wilson, and Jie Qi. Microcontrollers As Material: Crafting circuits with paper, conductive ink, electronic components, and an "untoolkit". In *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI '13, pp. 83–90, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[OGT+13] Simon Olberding, Nan-Wei Gong, John Tiab, Joseph A. Paradiso, and Jürgen Steimle. A cuttable multi-touch sensor. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pp. 245–254, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[OWS14] Simon Olberding, Michael Wessely, and Jürgen Steimle. PrintScreen: Fabricating highly customizable thin-film touch-displays. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, pp. 281–290, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[QB10] Jie Qi and Leah Buechley. Electronic Popables: Exploring paper-based computing through an interactive pop-up book. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, pp. 121–128, New York, NY, USA, 2010. ACM.

[RA00] Jun Rekimoto and Yuji Ayatsuka. Cybercode: Designing augmented reality environments with visual tags. In *Proceedings of DARE 2000 on Designing Augmented Reality Environments*, DARE '00, pp. 1–10, New York, NY, USA, 2000. ACM.

[SBSo12] Vinícius C. V. B. Segura, Simone D. J. Barbosa, and Fabiana Pedreira Simões. UISKEI: A sketch-based prototyping tool for defining and evaluating user interface behavior. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '12, pp. 18–25, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[SKB+15] Martin Schmitz, Mohammadreza Khalilbeigi, Matthias Balwierz, Roman Lissermann, Max Mühlhäuser, and Jürgen Steimle. Capricate: A fabrication pipeline to design and 3d print capacitive touch sensors for interactive objects. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '15, pp. 253–258, New York, NY, USA, 2015. ACM.

[SVGS07] Wolfgang Spiessl, Nicolas Villar, Hans Gellersen, and Albrecht Schmidt. VoodooFlash: Authoring across physical and digital form. In *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '07, pp. 97–100, New York, NY, USA, 2007. ACM.

[SXG10] Greg Saul, Cheng Xu, and Mark D. Gross. Interactive paper devices: End-user design & fabrication. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '10, pp. 205–212, New York, NY, USA, 2010. ACM.

[SZH12] Valkyrie Savage, Xiaohan Zhang, and Björn Hartmann. Midas: Fabricating custom capacitive touch sensors to prototype interactive objects. In *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, pp. 579–588, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[VG07] Nicolas Villar and Hans Gellersen. A malleable control structure for softwired user interfaces. In *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '07, pp. 49–56, New York, NY, USA, 2007. ACM.

[VGRG07] Nicolas Villar, Kiel Mark Gilleade, Devina Ramdunyellis, and Hans Gellersen. The voodooio gaming kit: A real-time adaptable gaming controller. *Computers in Entertainment*, Vol. 5, No. 3, July 2007.

[WB11] Raphael Wimmer and Patrick Baudisch. Modular and deformable touch-sensitive surfaces based on time domain reflectometry. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 517–526, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[WHZ+06] Manuela Waldner, Jörg Hauber, Jürgen Zauner, Michael Haller, and Mark Billinghurst. Tangible tiles: Design and evaluation of a tangible user interface in a collaborative tabletop setup. In *Proceedings of the 18th Australia Conference on Computer-Human Interaction: Design: Activities, Artefacts and Environments*, OZCHI '06, pp. 151–158, New York, NY, USA, 2006. ACM.

[WLB+15] Martin Weigel, Tong Lu, Gilles Bailly, Antti Oulasvirta, Carmel Majidi, and Jürgen Steimle. iskin: Flexible, stretchable and visually customizable on-body touch sensors

for mobile computing. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 2991–3000, New York, NY, USA, 2015. ACM.

[WWJ+09] Malte Weiss, Julie Wagner, Yvonne Jansen, Roger Jennings, Ramsin Khoshabeh, James D. Hollan, and Jan Borchers. Slap widgets: Bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 481–490, New York, NY, USA, 2009. ACM.

[WY08] Keita Watanabe and Michiaki Yasumura. VisualHaptics: Generating haptic sensation using only visual cues. In *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '08, pp. 405–405, New York, NY, USA, 2008. ACM.

[加藤 13] 加藤邦拓, 宮下芳明. 紙窓: そこに置くだけで操作可能なカードインタフェース. 第 21 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, WISS '13, pp. 163–164. 日本ソフトウェア科学会, 2013.

[大江 13] 大江龍人, 志築文太郎, 田中二郎. Draw-to-map: 物理コントローラと GUI の対応付け手法. 情報処理学会研究報告, 152 回ヒューマンコンピュー タインタラクション研究会, pp. 1–8. 情報処理学会, 2013.

付 録A　試用実験

A.1　同意書

タスクに特化された紙状タッチ入力コントローラの調査のお願い

文責：小森谷大介

この度は調査にご協力いただき、ありがとうございます。

- 本調査の目的は「タスクに特化された紙状タッチ入力コントローラ」を使用していただき、その使用感を調査することです。
- 与えられたテーマについて紙状タッチ入力コントローラを作成していただきます。
- まずはじめに紙状タッチ入力コントローラについての説明を行い、その後 5 分間自由に触ってください。
- 調査中、コントローラの機能について等、質問には随時回答します。
- 作業中に感じていること、考えている内容は作業に支障が出ない程度に発話してください。
- 実験風景の撮影を行う場合があり、また、その映像および静止画を論文並びに対外発表に掲載する可能性があります。 この掲載は拒否することが可能です。
- 調査への参加予定時間は 30 分～1 時間です。
- 調査への参加は協力者の自由意思によるものであり、調査への参加を随時拒否・撤回することができます。
- この調査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します。
- 学内外にて発表する論文に調査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。

調査に関して、上記内容を十分に理解し同意していただけましたら、下記の署名欄に署名をお願いします。

平成 26 年 2 月　　日

所属 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

氏名 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

説明者　所属 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

氏名 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

A.2　アンケート

調査に関するアンケート

文責：小森谷大介

1. 年齢、性別、利き手についてお答えください。
   年齢：＿＿＿＿歳、　性別：　男　・　女、　　利き手：　右　・　左

2. 紙コントローラの作成（絵を書いて銀ナノインクを書くまで）はやさしかったですか。

   1. 非常にやさしい 2. やさしい 3. 普通 4. 難しい 5. 非常に難しい

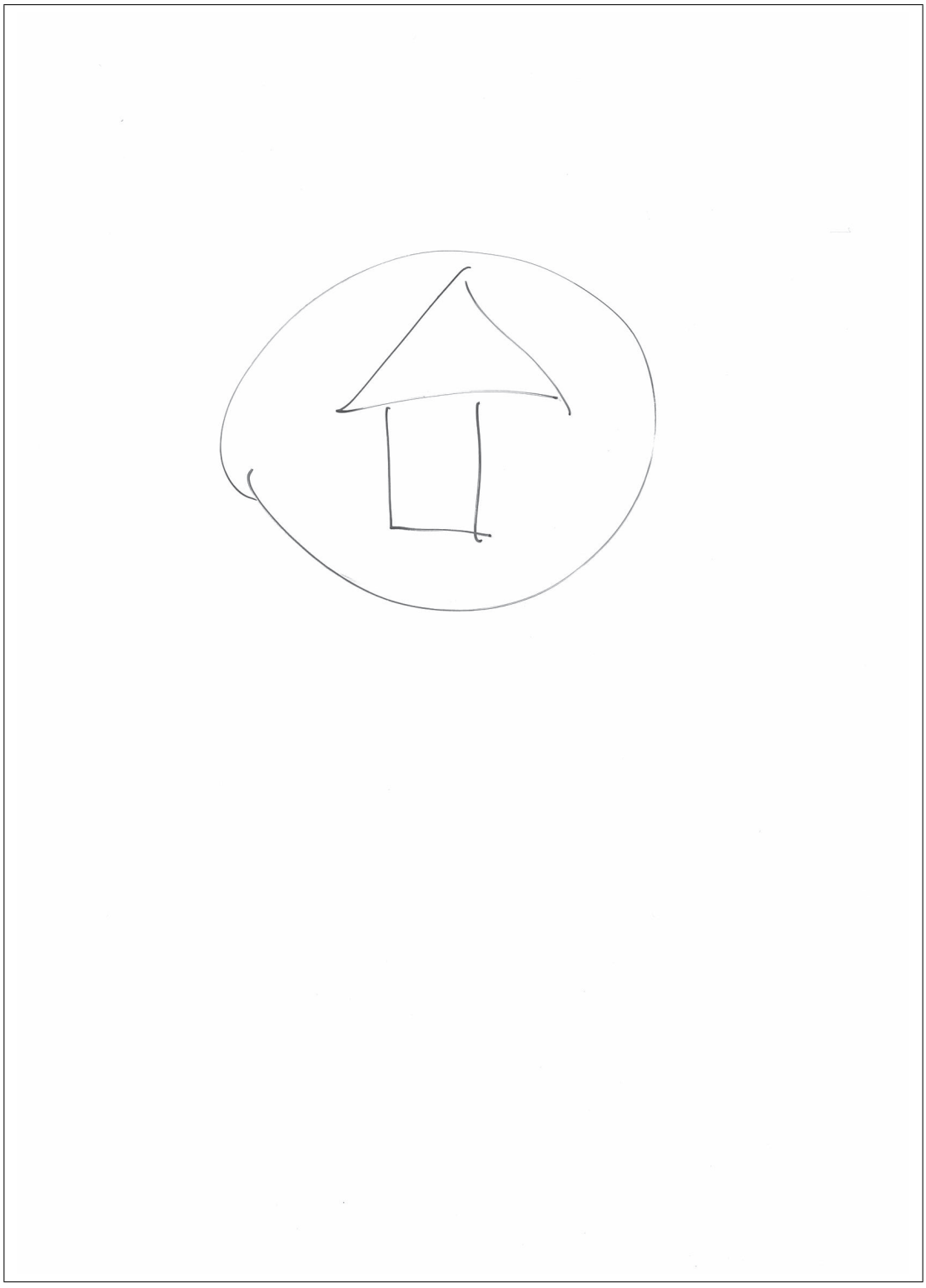
3. 紙コントローラの操作感はどうでしたか。

   1. 非常に使いやすい 2. 使いやすい 3. 普通 4. 使いにくい 5. 非常に使いにくい

紙コントローラを使用していて良かった点を教えてください。

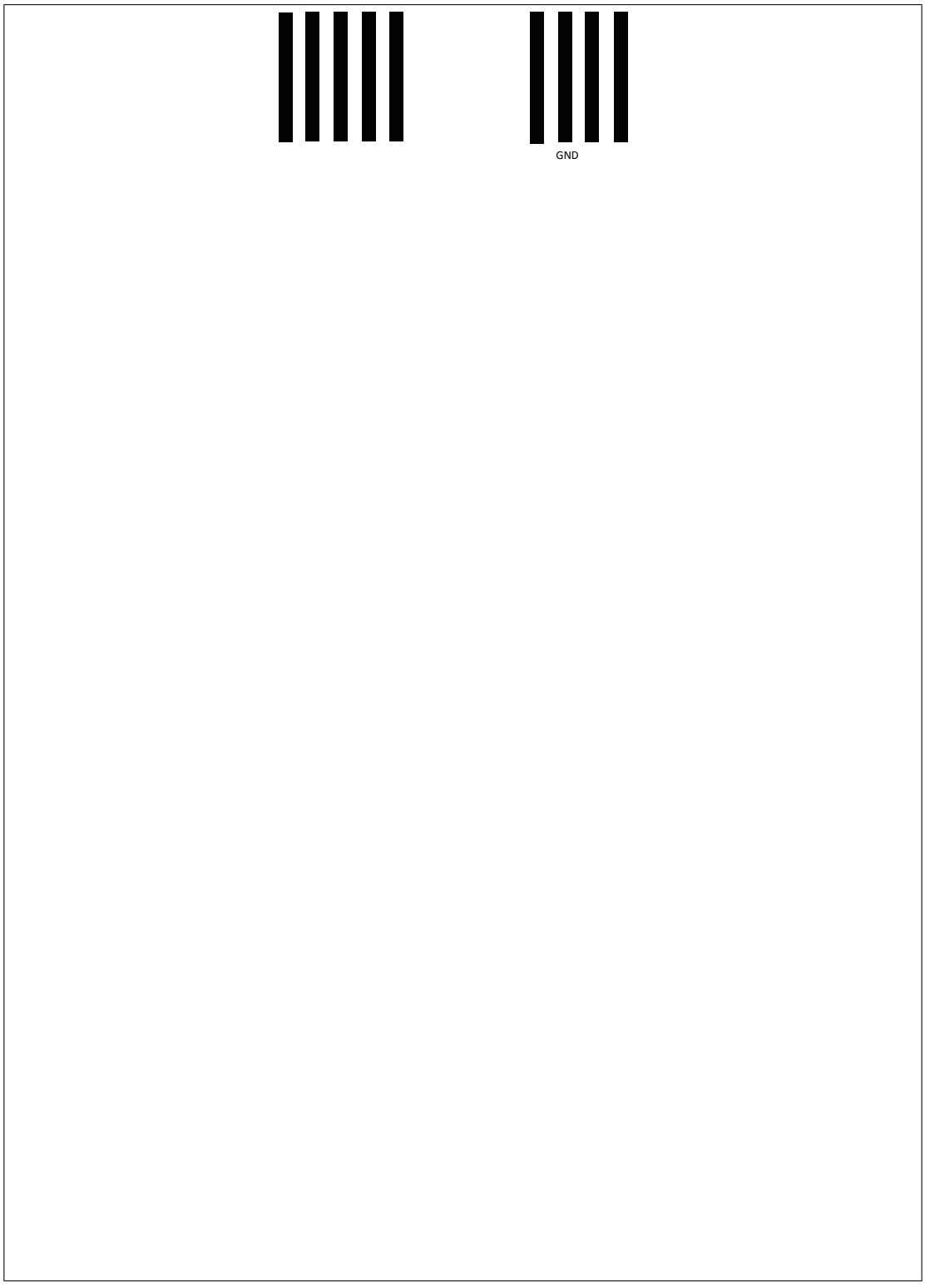
紙コントローラを使用していて悪かった点を教えてください。

A.3　サンプルの紙状タッチ入力インタフェース（表）



A.4　サンプルの紙状タッチ入力インタフェース（裏）

A.5　テンプレート



付 録B　アイディアソン

B.1　同意書

ユーザがデザイン可能な紙状タッチ入力コントローラの調査のお願い

文責：小森谷大介

この度は調査にご協力いただき、ありがとうございます。

- □ 本調査の目的は提案手法を実際にユーザが使用したいシチュエーションを確かめることです。
- □ 与えられたテーマについてアイディアを記述していただきます。
- □ 実験風景の撮影を行う場合があり、またその映像および静止画を論文並びに対外発表に掲載する可能性があります。 この掲載は拒否することが可能です。
- □ 調査への参加予定時間は 30 分～45 分です。
- □ 調査への参加は協力者の自由意思によるものであり、調査への参加を随時拒否・撤回することができます。
- □ この調査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します。
- □ 学内外にて発表する論文に調査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。

調査に関して、上記内容を十分に理解し同意していただけましたら、下記の署名欄に署名をお願いします。

平成 27 年 1 月　　日

所属 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

氏名 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

説明者　所属 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

氏名 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

B.2　実験手順書

実験手順書

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。
実験の所用時間は合計で 30 分程度です。
実験後にアンケートを行います。

1. はじめに提案手法について、別紙の紙を使用して説明を行います
2. その後、提案手法を利用したアプリケーションやシチュエーションを考えてもらいます。複数のアイディアも歓迎します。
3. 考えたものにて使用するコントローラのスケッチを作成していただきます

- 調査中、質問には随時回答します。
- 実験中に感じていること、考えている内容は作業に支障が出ない程度に発話してください。

B.3　説明資料

16/02/05

紙状タッチ入力インタフェース

- 自由に絵や図形を描いた紙がタッチパネルとして使用できます
- コンピュータ、家電、ゲームなどを操作できます
- バインダに挟んで使用します

できること

- 紙に自由に文字や図形を描くこと
- 紙にタッチ入力すること
- バインダに紙が挟むこと
- 異なる紙を挟むこと

紙に自由に文字や図形を描くこと

紙にタッチ入力すること

- タッチジェスチャ
  - タップ、フリック
- GUI部品
  - ボタン、スイッチ、つまみ、スライダー

バインダに紙が挟むこと

異なる紙を挟むこと

1

B.4　アンケート

調査に関するアンケート

文責：小森谷大介

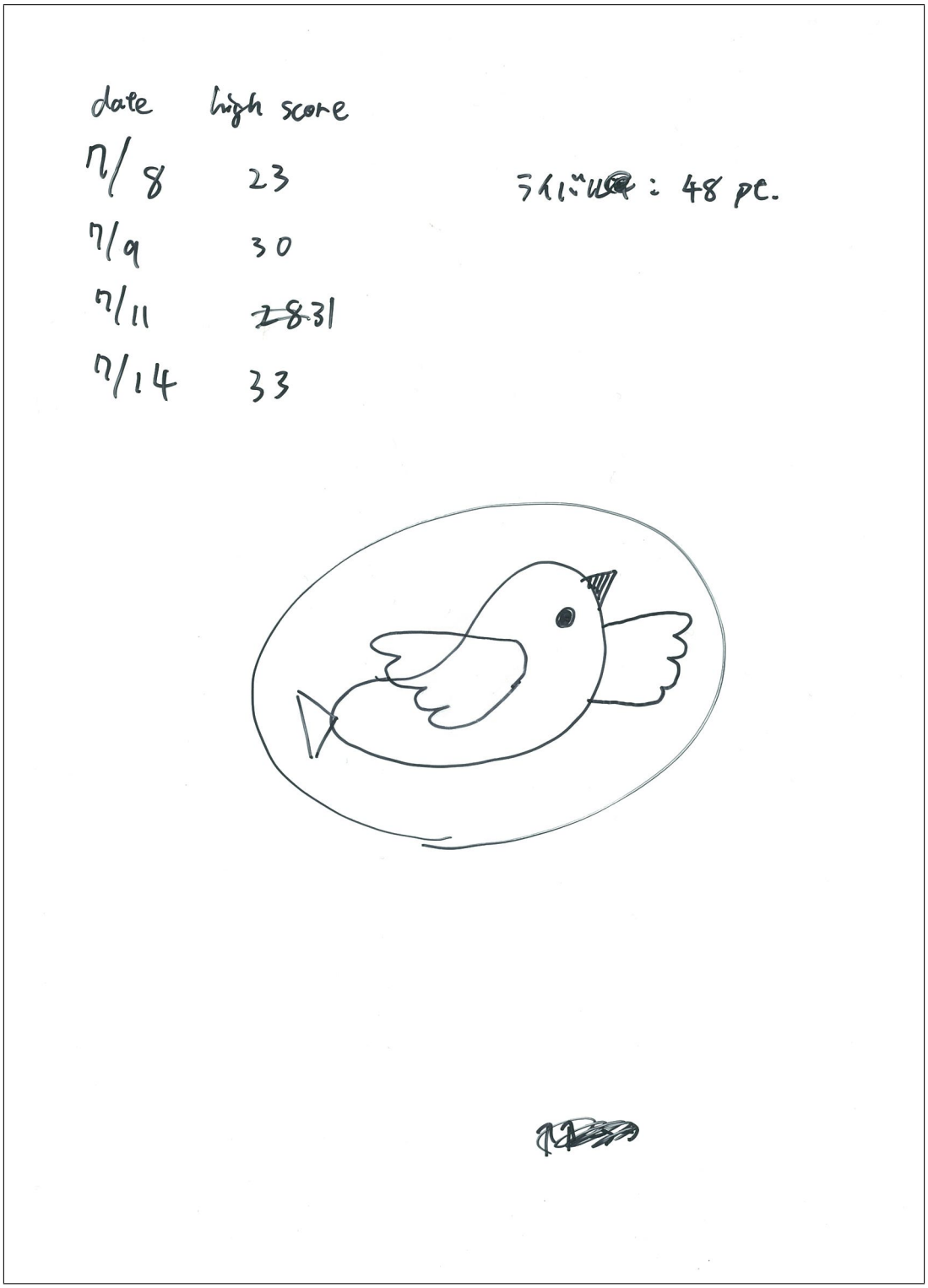
1・年齢、性別、利き手についてお答えください。

年齢：＿＿＿＿歳、　性別：　男　・　女、　　利き手：　右　・　左

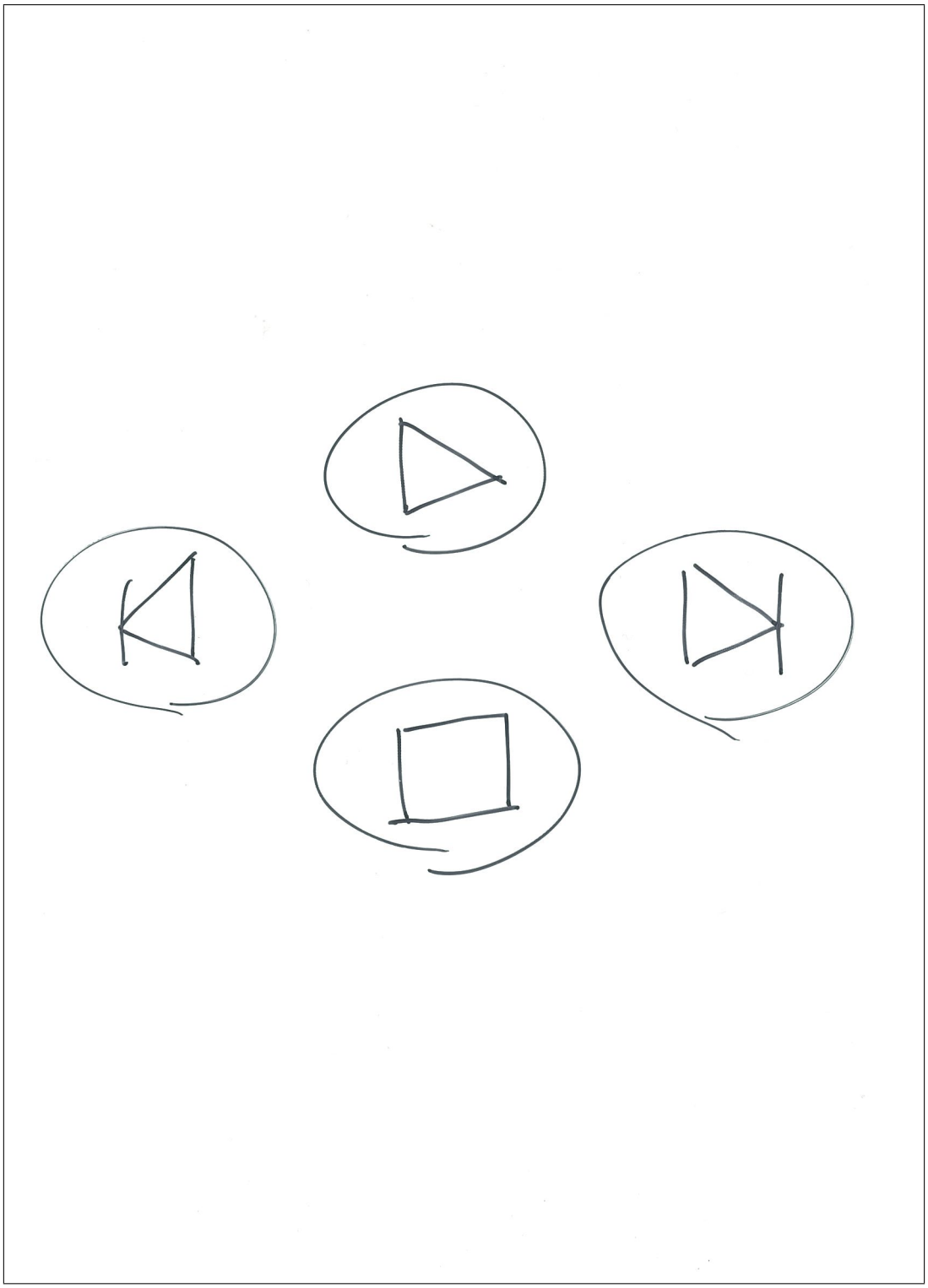
提案手法の良かった点を教えてください。

提案手法の改善した方が良い点を教えてください。

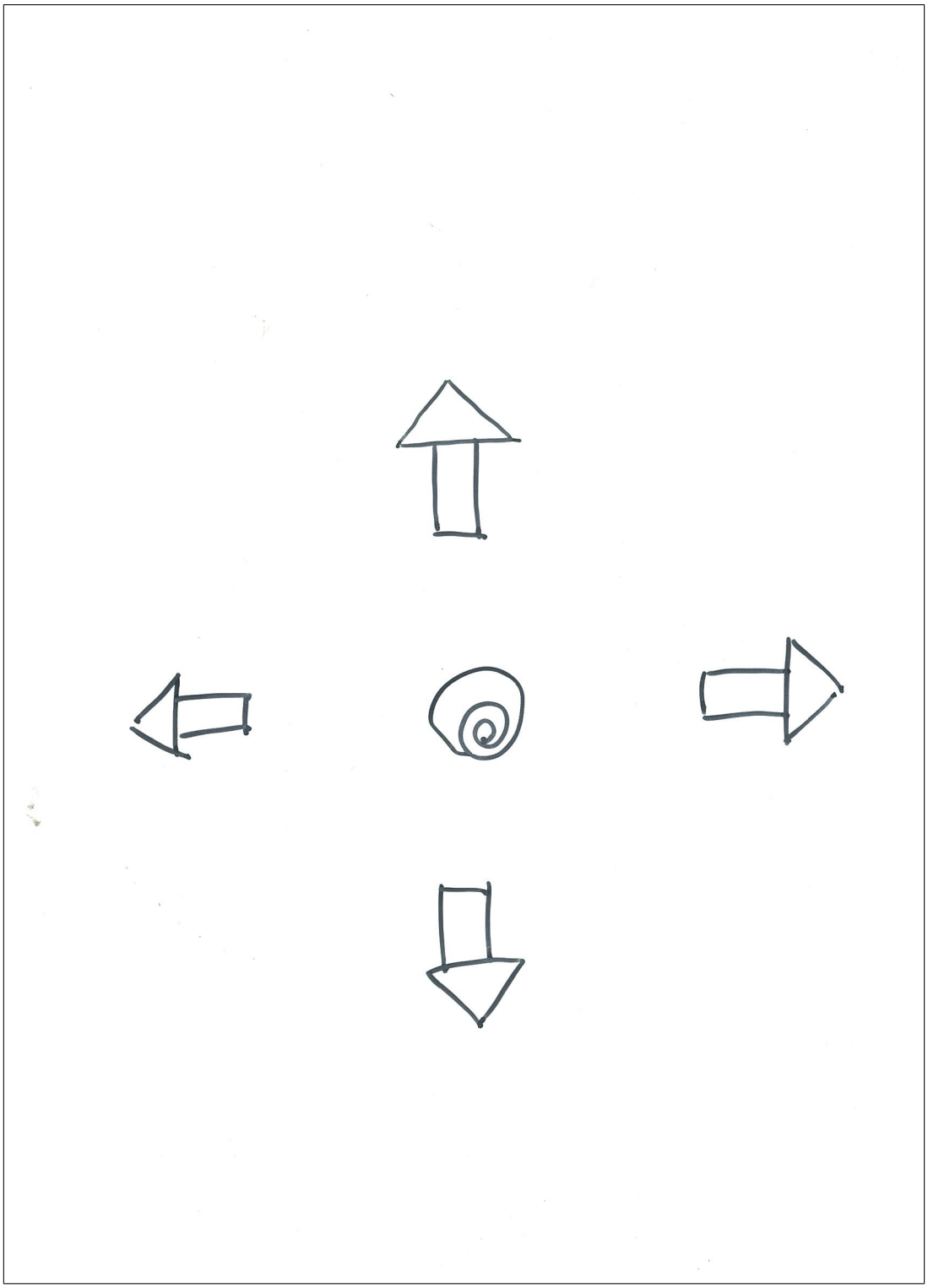
B.5　サンプル 1



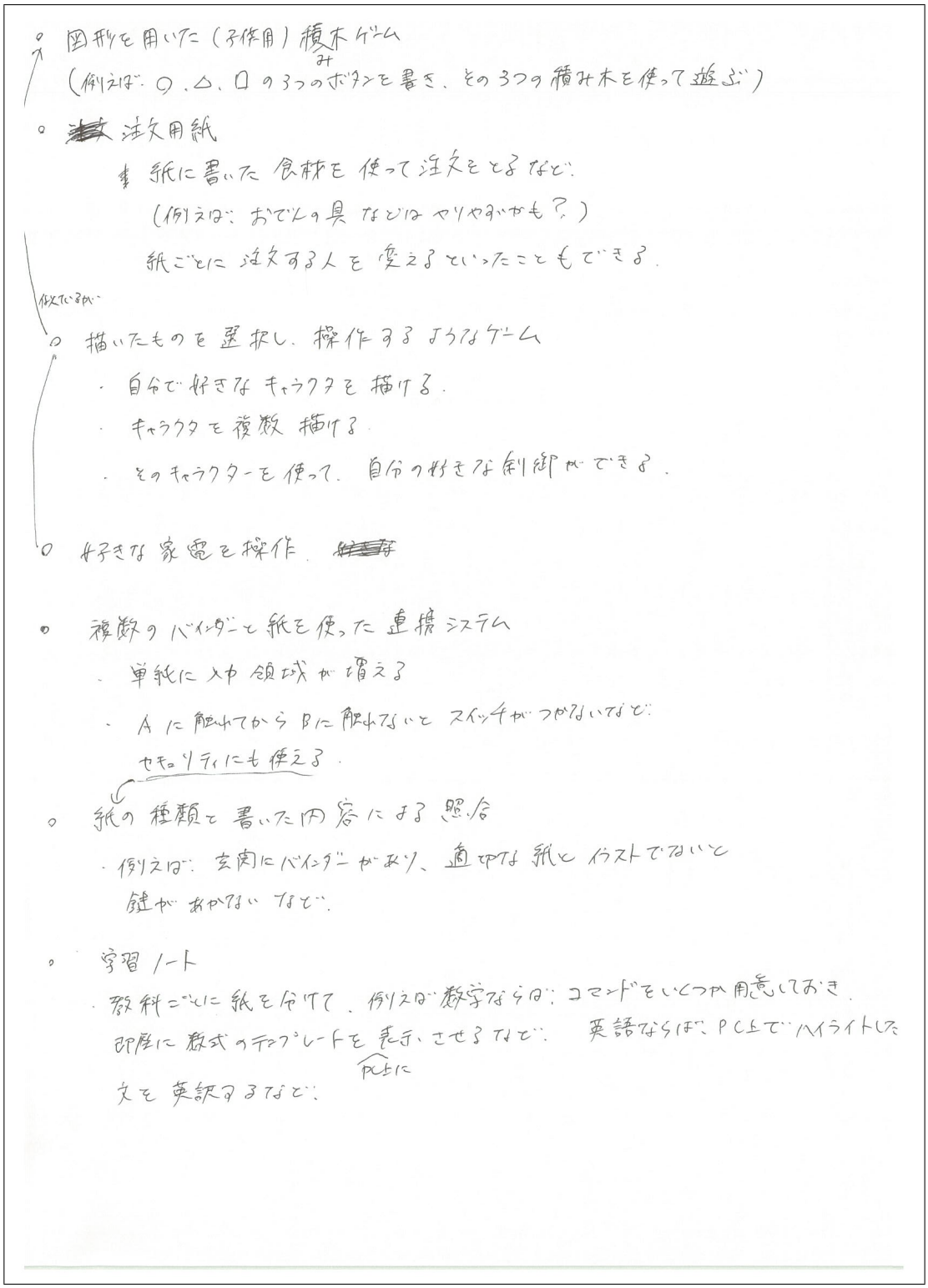
B.6　サンプル 2



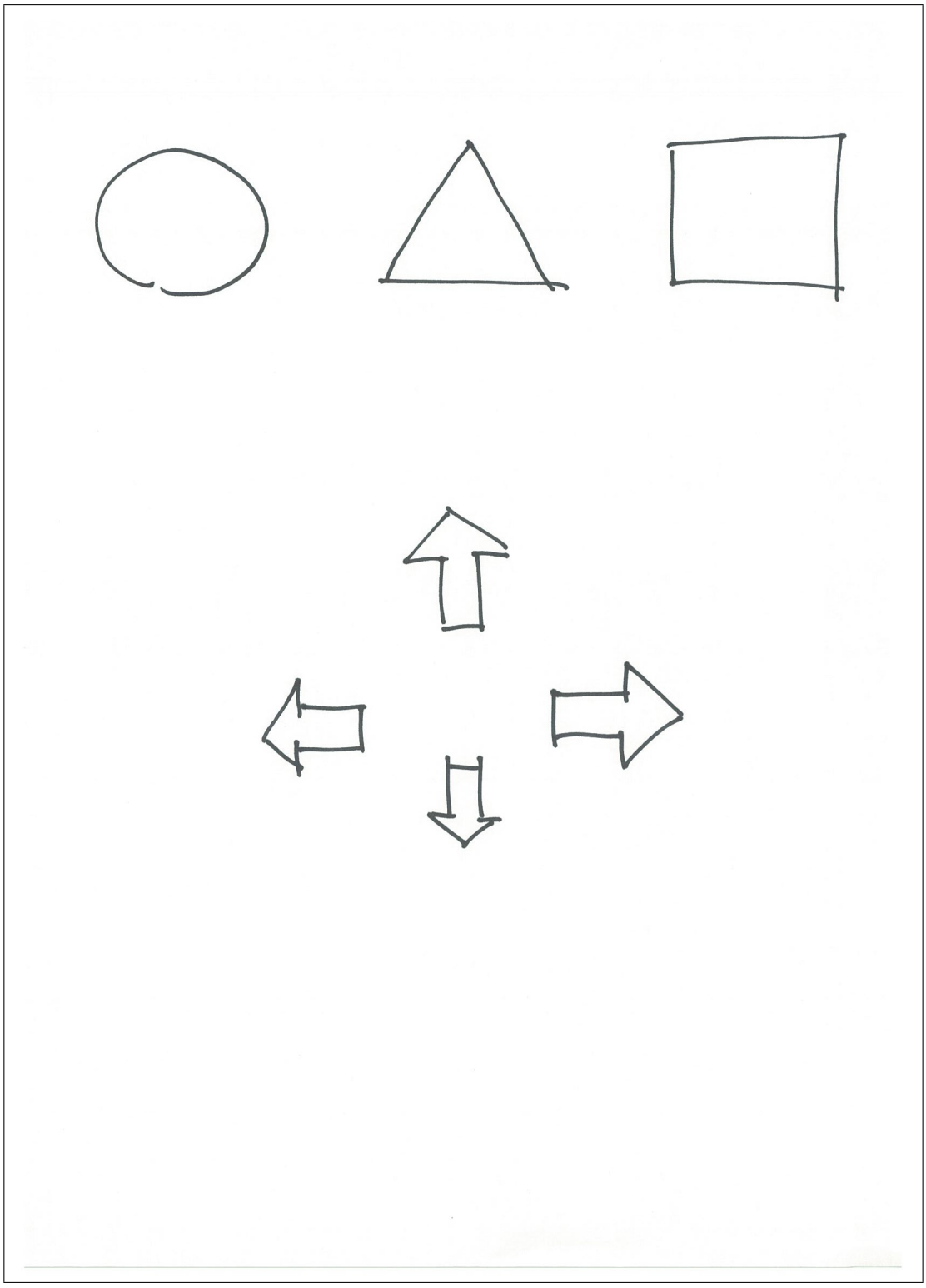
B.7　サンプル 3



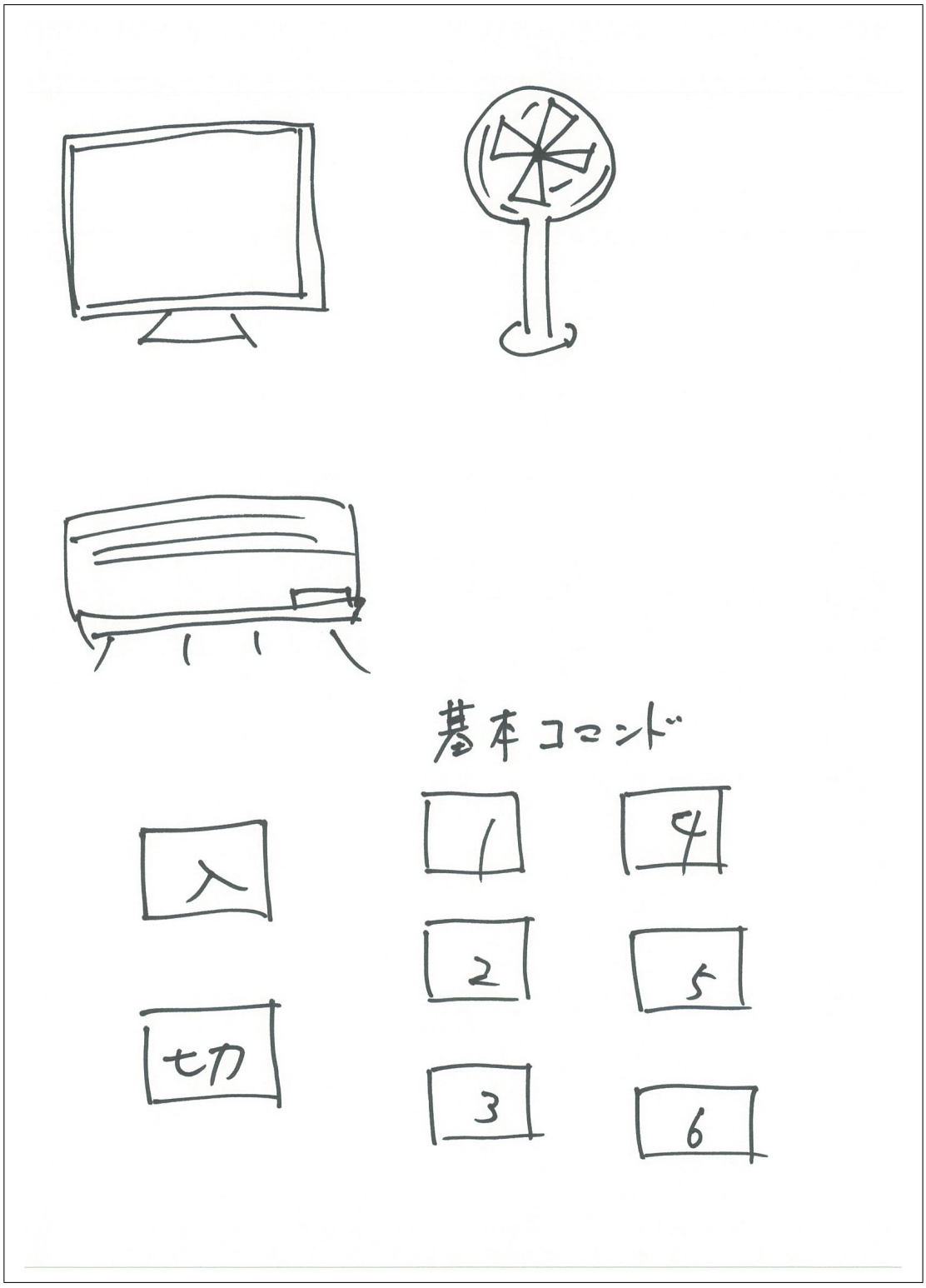
B.8　アイディアソン結果（P1）1枚目



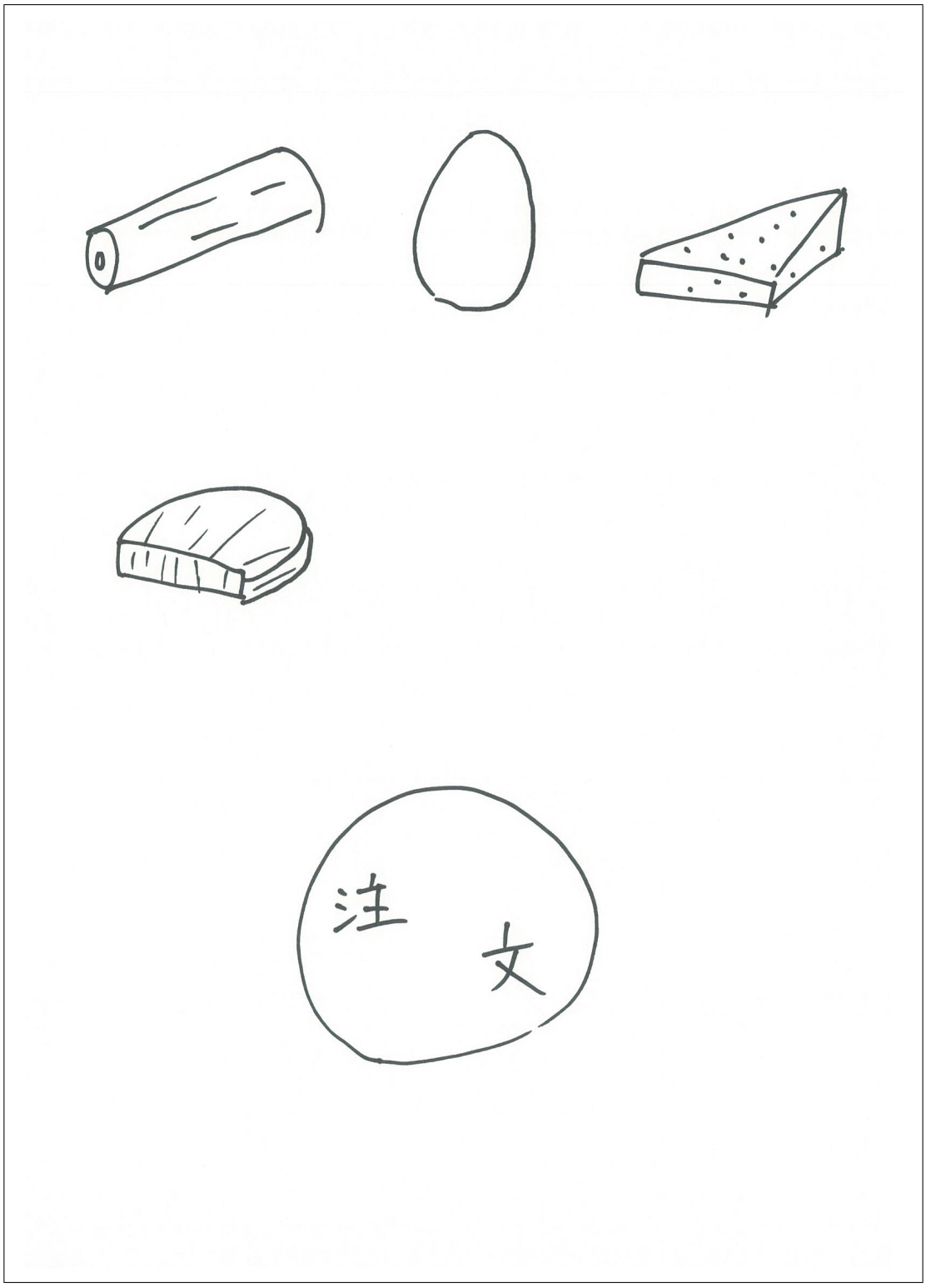
B.9　アイディアソン結果（P1）2枚目



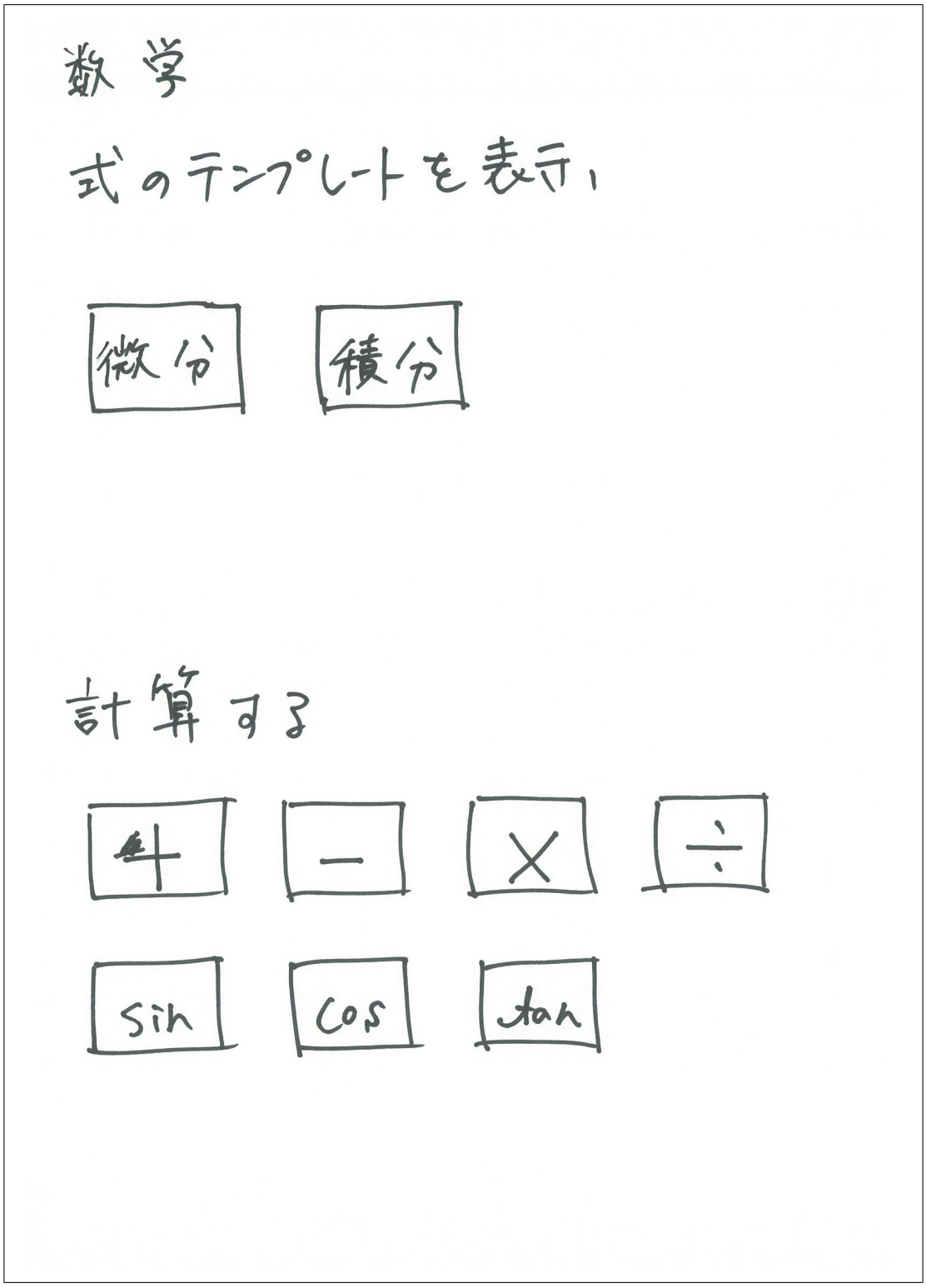
B.10　アイディアソン結果（P1）3枚目



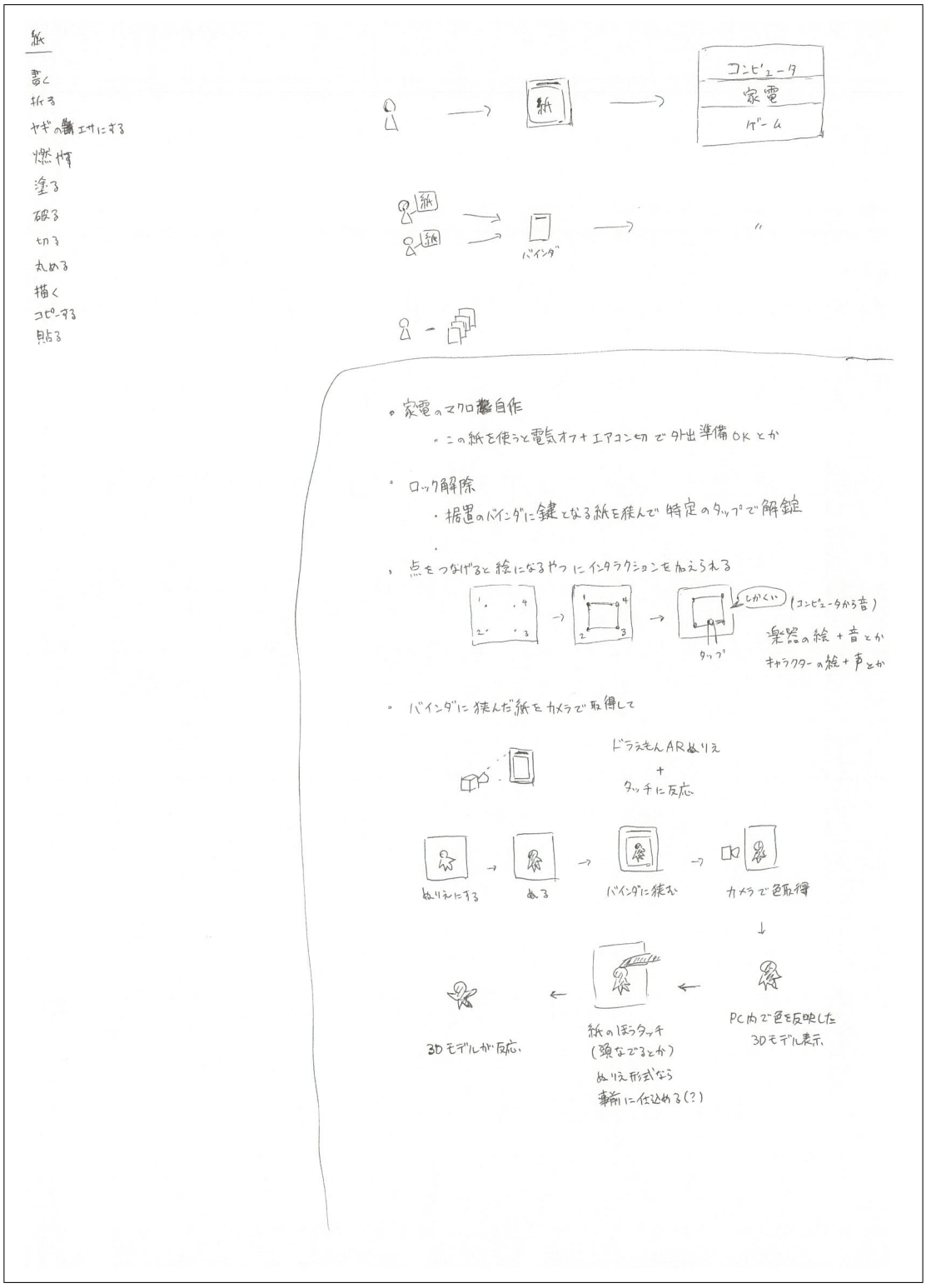
B.11　アイディアソン結果（P1）4枚目



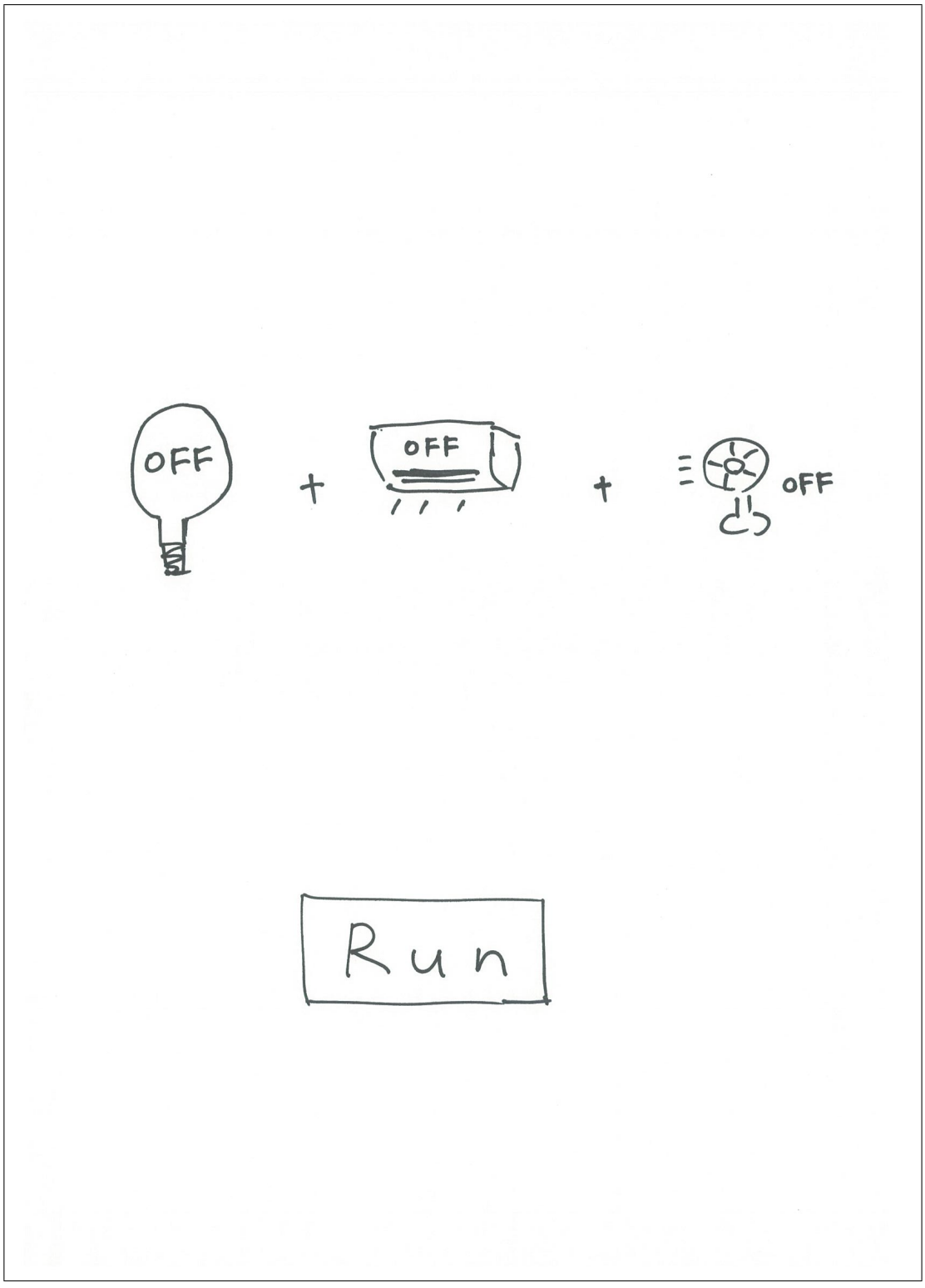
B.12　アイディアソン結果（P1）5 枚目



B.13　アイディアソン結果（P2）1 枚目

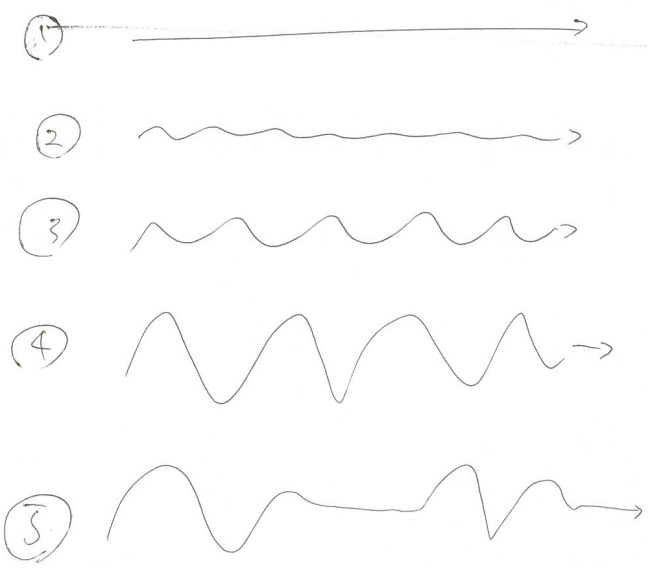


B.14　アイディアソン結果（P2）2枚目



B.15　アイディアソン結果（P2）3枚目

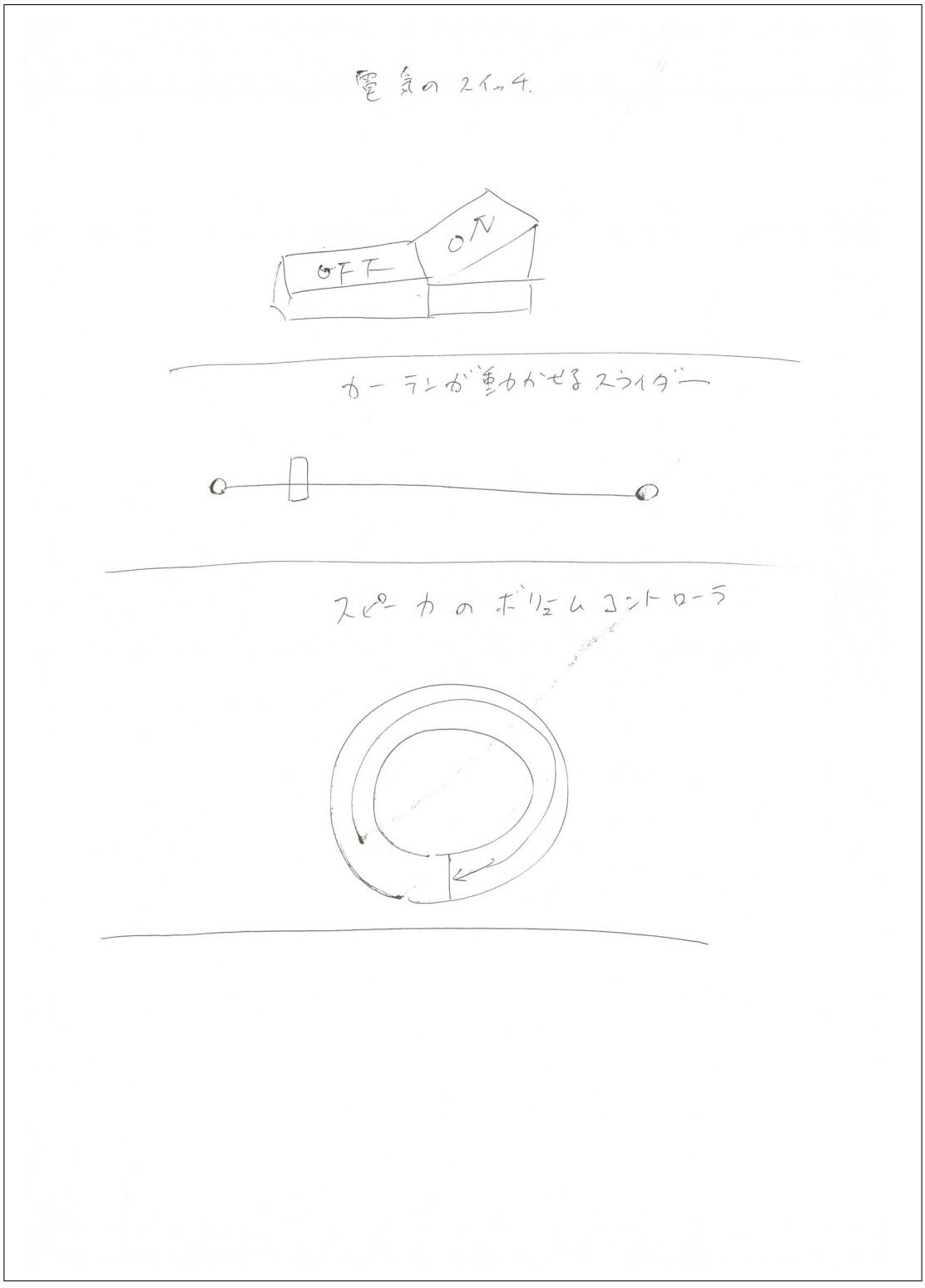
B.16　アイディアソン結果（P2）1 枚目



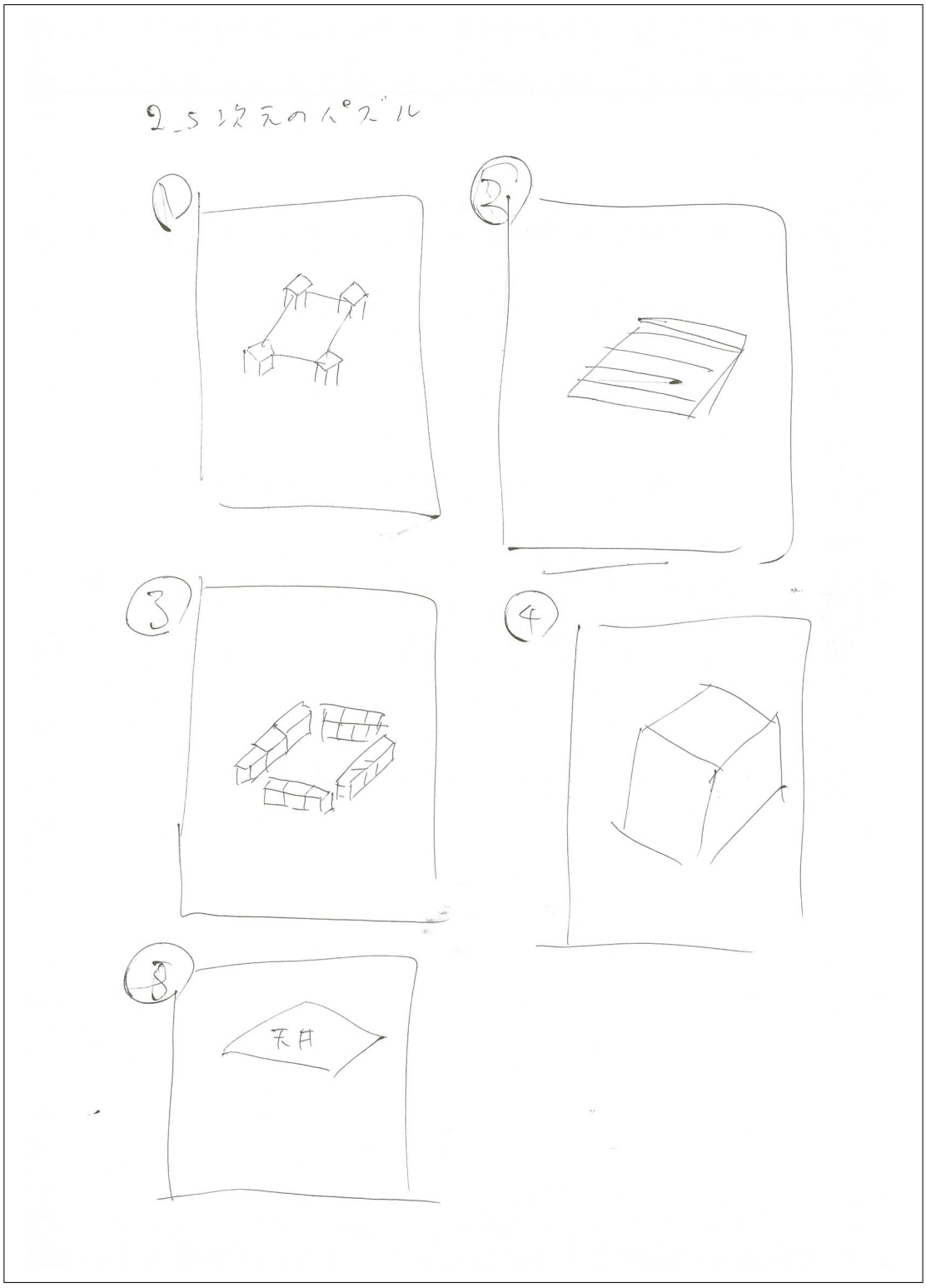
なぞる部分によって、フィードバックが変化する。

⑤だとふるえる。①だと 滑になし

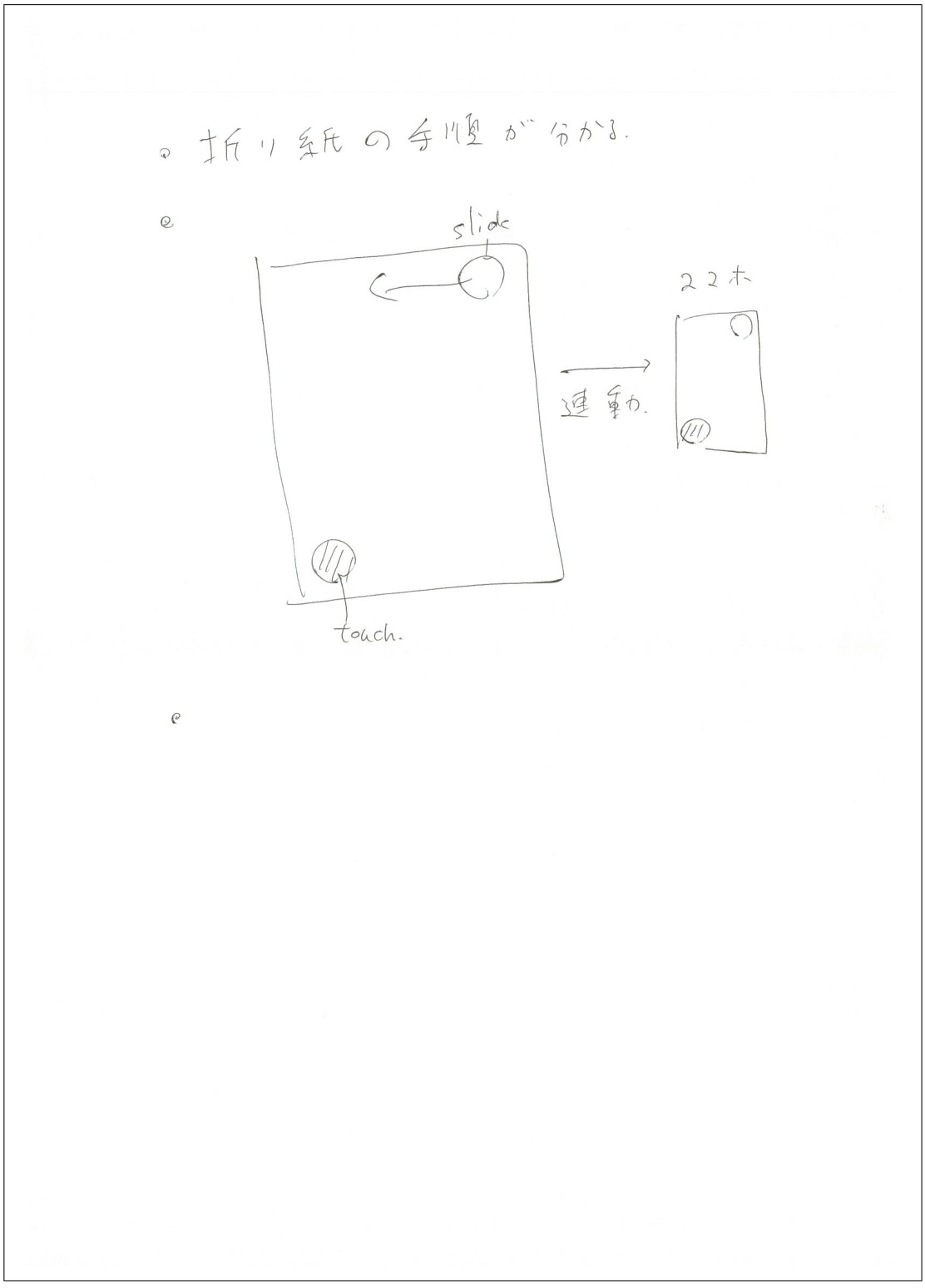
B.17　アイディアソン結果（P3）2枚目



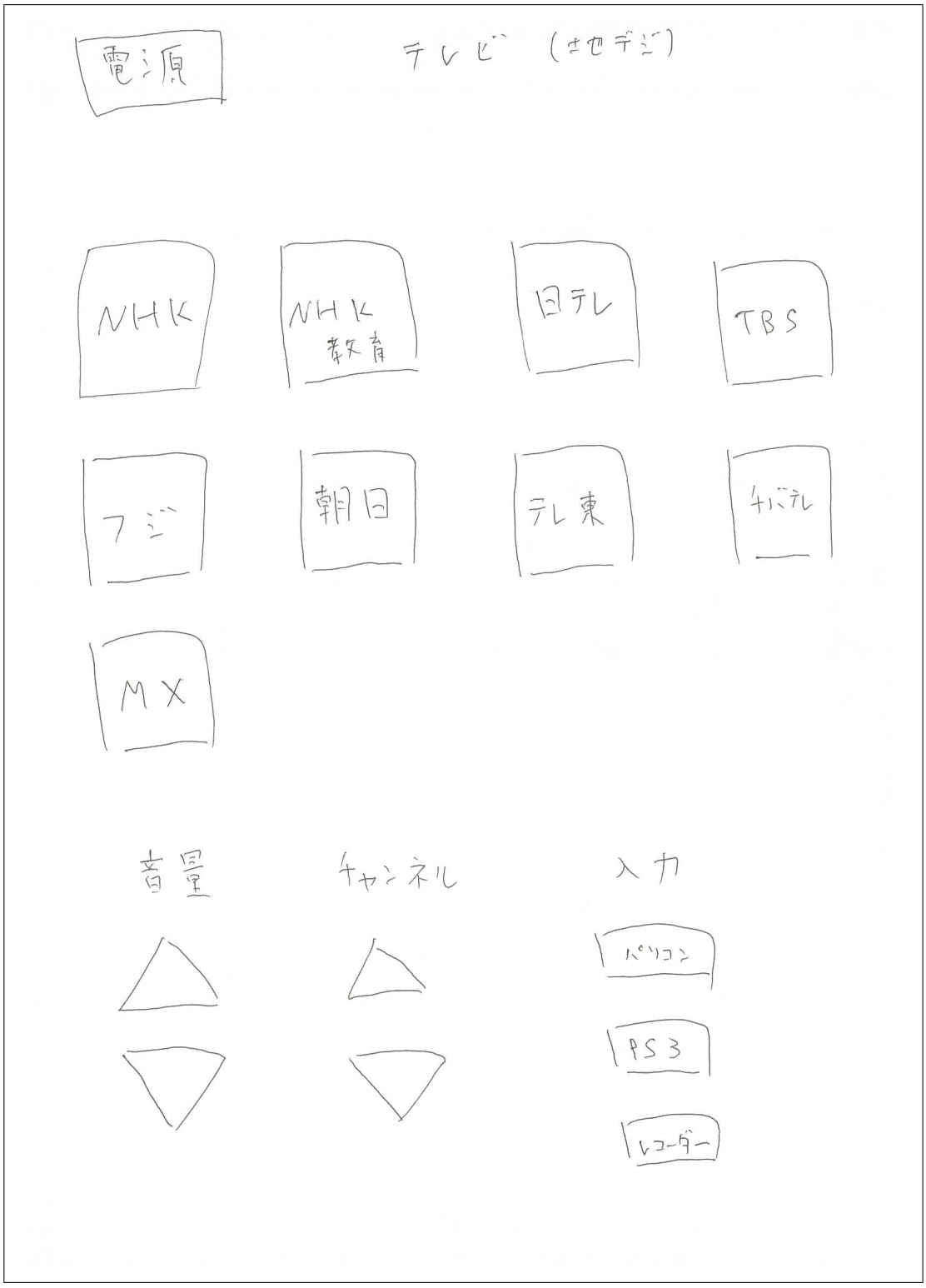
B.18　アイディアソン結果（P3）3枚目



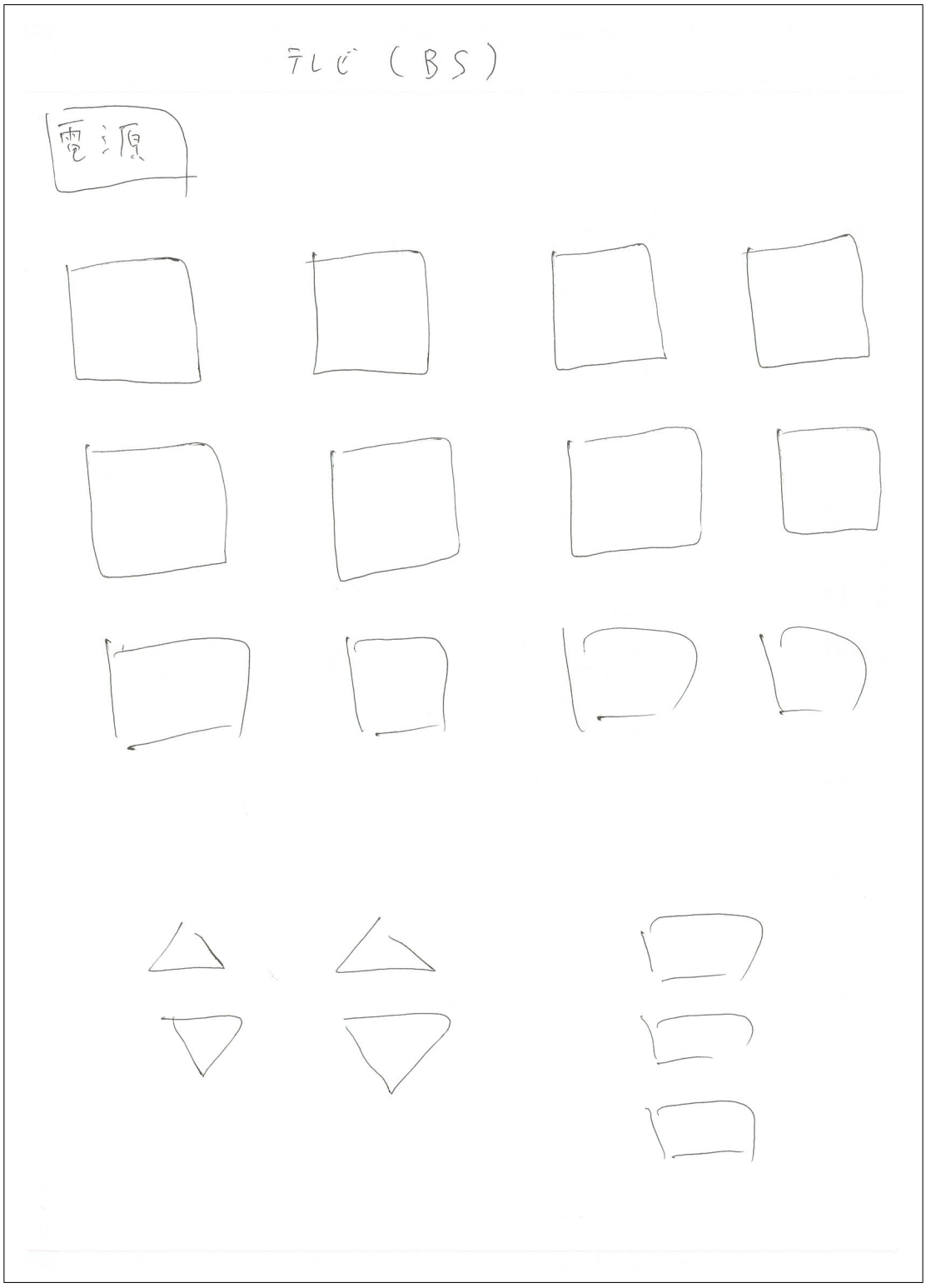
B.19　アイディアソン結果（P3）4枚目



B.20　アイディアソン結果（P4）1 枚目



B.21　アイディアソン結果（P4）2枚目



B.22　アイディアソン結果（P4）3枚目