

Title	IoTデバイス群の一斉操作に向けた柔らかいインターフェースの提案
Sub Title	Proposal of soft interface for simultaneous operation of IoT devices
Author	下川, 和俊(Shimokawa, Kazutoshi) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kōta)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2019
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2019年度メディアデザイン学 第762号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002019-0762

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 2019年度

IoTデバイス群の一斉操作に向けた
柔らかいインターフェースの提案



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

下川 和俊

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。

下川 和俊

研究指導委員会：

南澤 孝太 教授 (主指導教員)

砂原 秀樹 教授 (副指導教員)

論文審査委員会：

南澤 孝太 教授 (主査)

砂原 秀樹 教授 (副査)

杉浦 一徳 教授 (副査)

修士論文 2019 年度

IoT デバイス群の一斉操作に向けた 柔らかいインターフェースの提案

カテゴリ：デザイン

論文要旨

柔らかいインターフェースは過去にも研究制作されてきているものの、ダイレクトコンピューティングに基づいたインタフェースとして設計されたものがほとんどである。本研究では、感情の赴くままに触り、環境を自在に操作することができるインタフェースのデザインを行う。研究を進めるにあたり、人と柔らかい物体との接触方法の観察を行い、様々な形状大きさの物体に対する接触方法の分類を行なった。その分類結果をもとに制作したインタフェースの効果検証として、柔らかいインターフェースを使用した空間照明とのインタラクションの設計を行なった。人は柔らかいものに本能的に触り、それらに対する接触方法と空間照明の機能の関連付ける上で、感情を用いて機能と柔らかい物体との接触方法の関係性を構築した。ユーザスタディを通して、感情を用いた関係性を構築した際の柔らかいインターフェースの有効性を確認できた。

キーワード：

ソフトハプティクス, インターフェース, デザイン言語

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

下川 和俊

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2019

Proposal of Soft Interface for Simultaneous Operation
of IoT Devices

Category: Design

Summary

Although soft interfaces have been researched and produced in the past, most of them have been designed as interfaces based on direct computing. In this research, you can touch the emotion as you go and manipulate the environment freely. As the research progresses, we observed the contact method between humans and soft objects, and classified the contact methods for objects of various shapes and sizes. Humans instinctively touch a soft object, and in associating the contact method with the function of space lighting, the relationship between the function using emotion and the method of contacting a soft object was designed. In addition, the softness of the relationship using emotions was built through user studies.

Keywords:

Soft Haptics, Interface, Design Language

Keio University Graduate School of Media Design

Kazutoshi Shimokawa

目 次

第1章 序論	1
1.1. 柔らかい物体とのふれあい	1
1.2. IoT時代の空間とのインタラクション	3
1.3. インターフェースとイメージスキーマ	5
1.4. 研究の目的	8
1.5. 本論文の構成	8
第2章 関連研究	9
2.1. やわらかさの心理的影響力	9
2.2. タンジブルユーザーインターフェース (TUI)	11
2.3. まとめ	15
第3章 柔らかいインターフェースの提案と設計	16
3.1. 柔らかいインターフェースのコンセプト	16
3.2. コンセプトスケッチ	17
3.3. 柔らかさを活かしたアプリケーションデザイン	19
3.3.1 スマート LED 照明の空間操作	19
3.4. デザインプロセス	20
3.5. 筐体のデザイン	22
3.5.1 素材の選定	22
3.5.2 モデルの形状選択	25
3.5.3 モデルの作成	26
3.6. 接触方法の分類	26
3.6.1 実験の考察	30

第4章 実装と検討	33
4.1. 柔らかい物体のインタラクションに関する検討	33
4.2. 1st プロトタイプ	35
4.2.1 入力センサの選定	35
4.2.2 パターンマッチング	35
4.2.3 検証結果	40
4.3. 2nd Prototype	40
4.3.1 対応実験	40
4.3.2 実験結果	43
4.4. 触り方に基づく感情判別	43
4.4.1 対応実験	44
4.4.2 実験結果	45
4.5. 振動提示による知覚変容による硬度の変化	46
4.5.1 提案手法	47
4.5.2 実験概要	47
4.5.3 実験装置	47
4.5.4 実験方法	47
4.5.5 結果・考察	49
第5章 結論	51
謝辞	54
参考文献	55

第 1 章 序

論

1.1. 柔らかい物体とのふれあい

日本語の「やわらかい」という言葉には様々な使い方がある。力のままに変形し、すぐにもとに戻る性質のこと、物事や態度が穏やかで心地よい感じを与えることを示す。ヒトは、文明が発達する前から、柔軟物を取り入れて生活してきた。この理由は大きく分けて2つである。1つ目は、柔軟物の物理的な柔らかさによる性質によって、人との接触面積を分散させることができるためである。2つ目は空気を含んでいることによる衣服による肌のケアや、通気性の良さによる快適な空間湿度の提供をすることができる。柔軟物を居住空間に取り込んできたのは人間だけではない。鳥類は植物の枝と綿を駆使して層状の柔らかい巣を構築する。そうすることで子育てに適した環境を構築している。猫の場合は図1.2のように毛布やクッションなどの柔らかい物体を踏む動作を行う。これはミルクトレッドやニーティングと呼ばれる動作にあたる。元々は子猫が母猫の乳房を押して、母乳を出しやすくするものであったが、その名残で、柔らかいものに対して踏みつける動作を行いストレス発散や安心感を獲得していた。一方で人間は手先が器用になり道具を使えるようになり、文明が発達したのちに柔軟物を敷いたり寝具にするなど、身の回りの生活用品の中に取り組みようになった。その後、ヒトと柔軟物の関係性は気候の地域差によって変化していった。湿気の強い日本で古くから取り入れられている畳は、屋内では履物を脱ぐ文化や床に直接着座するような文化として形成した。また、ヨーロッパでは建物の硬い床に緩衝材としてソファやクッションなどが取り入れられた。現在では、ポリエステルを綿状に成形できるようになるなどの柔軟素材を人工的に合成できるようになったため、建物の防音材や保温材の緩衝材としての役割

だけでなく、ぬいぐるみなどの嗜好品として家庭に組み込まれる素材となっている。さらに柔軟物は人の精神面にも影響を与える。例えば、触覚的なやわらかさが社会に影響するという結果がある。これによると、硬い木のブロックに触れた被験者は、柔らかい毛布に触れていた被験者に比べて、より融通のきかない性格だと判断した結果を示した。また、自動車の商談では、椅子に座った被験者の方は、柔らかい椅子に座った被験者に比べて、要求額が350ドル高かったという結果を示している。さらには、人との接触面の硬さ積極的にコントロールすることで、人の行動を無意識的に誘導する試みもある。例えば、回転率を向上させたいチェーン店では椅子の座面を硬く設計することで、客を長居させないマーケティング手法を取り入れている。また、これはよく知られていない現象であるが、乳幼児が用事に移行する段階において毛布やぬいぐるみなどの柔らかいものに対して、愛着を持つ移行対象がある。幼児は生まれて間もなく触れ合う母親の柔らかい肌の手触りを思い出させる移行対象（移行物体）に触れることで、欲求不満や不安を軽減し精神を落ち着かせる。その影響もあり、大人になっても人は柔らかいものとの触れ合いに対してポジティブな感情を持ち幸福感を得ることが分かっている。

このように我々の生活において、空間や精神状態を良くするためには柔軟物は必要不可欠である。柔軟物が家庭にもたらす効果をまとめると、柔らかさによる接触面の拡大による力の分散化による緩衝材としての役割、内部に多くの空気を含むことによって通気性をよくす快適な室内温度を提供する機能、さらには「触れると心地よい」「見た目が可愛い」というような安心感から人を精神的に落ち着かせることができるといった要素が挙げられる。また、感覚器官の観点から見る触覚は体に接触する物の形状や温度を皮膚の変形量に応じて物体情報として獲得する器官である。触覚情報の中で、硬い柔らかいの知覚に関してはSrinivasanら [1] が皮膚感覚と深度感覚の情報の統合によって作り出されていると明らかにしている。対象物体を把持する際、物体が指に埋没することによって物体との接触面積が増大する。その時、固有感覚受容器から得られる変位情報と発火受容器数の増加によって得られる接触面積の情報の組み合わせによって人間は柔らかさの知覚を行う。その中で柔らかさの知覚は物体を把持した際の接触面の法線方向の応力と変位量の比とみなすことができ、変位を検出し、それに応じた力覚提示を行う手法 [2] などが考え

られている。他にも擬似的に柔らかさを提示する手法として、指腹部の変位量に応じた、反力を提示する方法が考えられている [3] [4]。他にも触覚受容器を刺激して発火受容器数を増大させる錯覚的に柔らかさを提示する方法がある。鈴木らは物体に対して効果的に柔らかさを提示するために振動の生成方法とそれに伴う影響について述べている [5]。



図 1.1 母親とのふれあい¹

1.2. IoT時代の空間とのインタラクション

インターネットが普及して以降、コンピュータ同士の接続のため出会った技術が人と人と、人とモノをつなぐ技術として変化している。IoT:Internet of Things,モノのインターネットという言葉が普及して以降、生活の中に存在するあらゆるモノの状態の情報が簡単に扱えるようになった。これまで、家電とユーザーのインタラクションを行うインターフェースの多くにはボタンやスイッチなどの二進数で表現されるものが利用されてきた。何故ならば、ON/OFF という2つの状態を明確に表示することが可能であったためである。時代が経つにつれ、家電をはじめとす

1 <https://www.photo-ac.com>

2 <https://miharunoheya.com/2019/01/fumifumisachiko/>

図 1.2 猫の踏みつける動作²

る機械の多機能化によって、ユーザーインターフェースの複雑化も起こった。物理インターフェースがそれらに対応するためにはボタンを増やす必要性があった。ソフトウェアに問題解決を任せる場合には、多段階操作を経たのちに目的の動作が実行できるように設計される場合がほとんどである。画面操作はITリテラシーがある人は問題ないが、高齢者をはじめとするリテラシーの低い人はシンプルな機能のまま、物理的に簡単に操作できるインターフェースのが有効である。

IoT住宅というミサワホームと産業技術総合研究所で作られたモデルルームに存在する。この空間は50ものIoT機器が搭載されている。住宅分野におけるIoT化は2017年の国土交通省の「次世代住宅プロジェクト」に開始されるなど、我々の生活に急速に浸透している。このモデルルームの問題として、各種機器の充電用のアダプターが大きいことにより、コンセントが大量に必要になり、見栄えを損ねてしまうということが挙げられる。また、50もの機器を操作するためにはルータと複数の中継器を使いメッシュ状にネットワークを構築する必要がある。最大の問題として、どんなハードウェアでもネット環境に接続できるようにはなっているものの、それぞれの機器を操作するアプリのフォーマットや初期設定の方法が異なり、ユーザーが混乱するという問題点が指摘されている。

3 <https://hajipro.com/gadget/smartspeaker-comparison>

図 1.3 smartspeaker³

1.3. インターフェースとイメージスキーマ

インターフェースはもともと化学分野での使われてきた用語である。2つの異なる性質を持つものの橋渡しとなるものを表している。上平らは [6], 人間が機械を用いて操作対象に変化を与えるとき, 「人間と機械の界面 (第1 界面)」と「機械という対象の界面 (第2 界面)」という2つの界面が生じる」という分け方で図 1.4 のようにインターフェースと人の関わり方を説明した。

システムの実用性を主目的とし研究されてきたのちに, 人間の認知のプロセスがインターフェース設計に対して重要であると考えられるようになった。近代言語学の父ソシュールは言語活動を「話し手と聞き手という二者の間に成立する言語機能のやりとり」と位置付けた。その際概念と音響イメージから生まれるプロセスがコミュニケーションとなる。さらには, 「概念とイメージの結合」こそが言語システムの本質であると述べている。これは, 言語以外での一般化した記号的意味合いを持つシステムに関して言えることである。つまり, インターフェースをデザインするために人とインターフェースの間で行われる記号原理である身体性による物体と言語で構成されるデザイン言語に基づいた, インターフェース研究は有効であると示されている。認知科学の視点をインターフェース設計にいち早く取り入れた Norman は [7] 機械の使用時の認知プロセスを図 1.5 のようにモデル化した。この理想モデルに対するアプローチとして Norman は二つの方法を提案している。一つは物理的なインターフェースをユーザの心理的世界へ近づけるように仕向けることである。例えば, ユーザの意思を反映させやすいような多くのフィードバックを与えることである。もう一つは, ユーザの学習ループに干渉するシステムを作

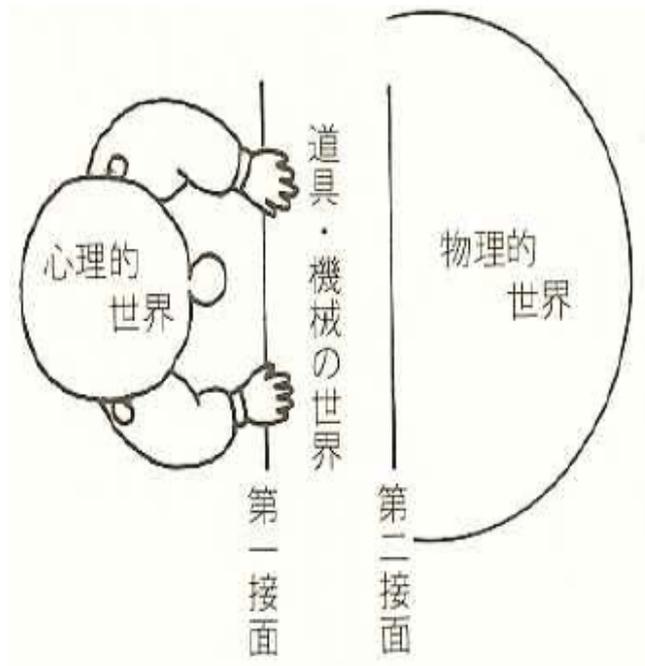


図 1.4 2つの界面 (出典:海保他「認知的インターフェース」(新曜社) 図I-6)

成することである。例えば、ユーザーがわかりやすいように一定のルールを決めることによって習得速度を伸ばす方法である。また、海保はインターフェース設計を行う上で考慮すべきこととして以下の三点挙げている [8].

- 既存の知識をメンタルモデルとして利用する
- メンタルモデルの構築として利用する
- メンタルモデルに逆らわない

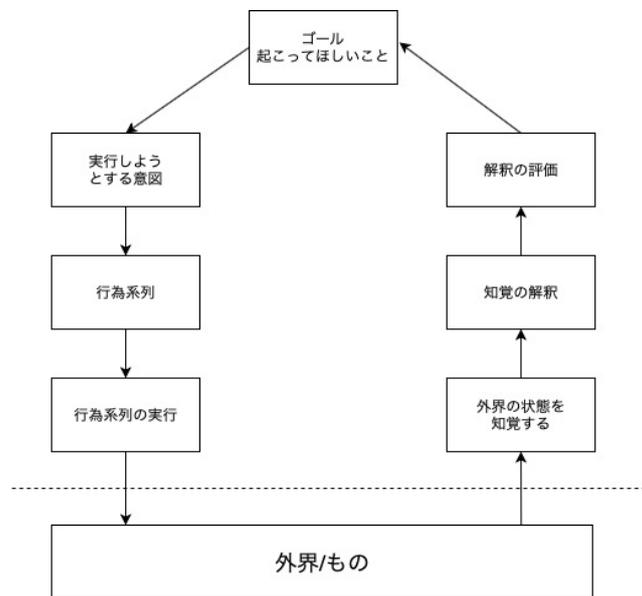


図 1.5 Norman の行為の 7 段階モデル (出典:海保他「認知的インターフェース」(新曜社) 図 I-11)

Johnson は人の繰り返される身体動作によって獲得される抽象的な認知パターンのことを「イメージスキーマ」と命名した。これは、文化や言語といったルールとは別に身体的な経験や生活環境の普遍性から生み出されるルールのことである [9]。ヒトの認知的の要因は身体的な経験に由来し、それをイメージスキーマと想像力を組み合わせることによって、抽象的な概念を理解する。そのため、インターフェースデザインにおける身体性の概念を取り入れる手法は、身体経験との関連性や類似性

を持ちやすく親しみのあるデザインとなる [10]. 従来の人間工学で行われてきた, 身体的なパラメータを設計に組み込むだけではなく, 心理的な物体の操作を行うイメージスキーマによる身体経験の概念のモデル化という2つの身体を組み込む必要がある. コンピュータのGUIのようなメタファによるシステム概念の認識ではなく, 人と情報の世界を繋ぐ上での身体経験をよる概念の認識プロセスを体系化することし, 認知的基盤とすることが自然動作による操作できるインターフェースの開発において重要な要素となる [11].

1.4. 研究の目的

これらの背景を踏まえると, 柔らかいインターフェースのセンサモジュールなどの基礎研究は行われているものの, 柔らかい物体を触る際の自然的な動作を生かしたと電化製品をはじめとする機器を操作する因果関係の構築のデザインは行われていない. そこで本研究ではデザイン言語の作成プロセスを踏襲し, 柔らかいインターフェースに対する自然的な動作と機器の操作の因果関係を構築しつつ, 柔らかいインターフェースの作成することを目的とする。

1.5. 本論文の構成

本研究では, 本章で述べた背景を元に, 柔らかいインターフェースの開発と柔らかいものへの接触動作と機器の操作の因果関係の検討を行っていく。

第1章では, 背景および目的を示した. 第2章では, これまでの柔らかい物体の心理的効果, 柔らかいインターフェースの研究, タンジブルインターフェースの概念について述べた後に, 本研究の立ち位置や貢献を示す. 第3章では, 提案するインターフェースの設計プロセスと接触状態の分類実験について述べる. 第4章では分類実験の結果をもとにインターフェースの基本設計をデザインし, インターフェースを実装する. その後, 自然的な動作と機器の操作に必要な要素に関して様々な要素の検討を行う. 第5章では, 結論について述べる.

第 2 章

関 連 研 究

本章では本研究に関する, 先行研究および先行事例に関して 2 つの観点から取り上げて示す.

- やわらかさの心理的影響力
- タンジブルユーザーインターフェース

2.1. やわらかさの心理的影響力

本節では, 柔らかいものを触ることが本能的なものが起因しており, 心理的影響を与えることについて述べ, 本能的に人が柔らかいものを好むことを示す.

心理学者のハンナ・ハーン [12] は人は幼少期より柔らかいものに触れることにより安心感を獲得することができると述べている. これは移行対象と呼ばれ, 乳幼児が毛布やタオル, ぬいぐるみなどの主に無生物を対して安心感を得ることができる現象である [13]. 図 2.1 の漫画「ピーナッツ」に登場するライナスが常に持っている毛布がこれに当たる. その主な要因は生まれてからすぐに母親の肌や乳房に対して安心感を感じ, その代理として柔らかいものにも同様の感情を得ることができるからである. 柔らかいものに接触することで人間は脳から「オキシトシン」の分泌を行う. 「オキシトシン」は, 気持ちを落ち着かせてくれる「セロトニン」や, 快感や多幸感を得られる「ドーパミン」などの神経伝達物質の分泌を促す [14]. 沼崎らは [15], 柔らかいものとの接触は対人認知や自己認知に対しても影響を与えることを述べている. その心理的な影響を活用した, ロボットセラピー [16] [17] やマーケティング手法も提案されている. それを利用した事例がチェーン店でのイスの硬

さのデザインである。チェーン店の多くは安い商品を多売することにより利益を挙げている。そのために必要な要素として、店の回転率のコントロールがある。イスの座面を硬くすることによって客を長時間居座らせないような手法をとっている、これは柔らかに関する人間の無意識化での心理的影響力を利用したものである。他にもキュートアグレッション [18] という「可愛いものへの攻撃性」と呼ばれる衝動的な感情がある。これは可愛いものに対して締め付けたり食べたくなくなってしまったりする衝動である。柔らかいものは動物や赤ちゃんのイメージを想起させやすく、無生物であっても可愛いと感じる感情を起こしやすい。



図 2.1 ライナス毛布¹

1 <https://snoopy-info0810.com/157.html>

2.2. タンジブルユーザーインターフェース (TUI)

タンジブルインターフェース [19] [20] (以下 TUI と記載する) は石井によって提唱された形のない情報を直接触れることができるようにし, 物理世界とコンピュータの中に存在する溝をインターフェースによって埋めるための試みのことを表す. 本節では TUI 研究の変遷について述べる. 中林は GUI と TUI の違いは視覚的, 聴覚的な表現により情報に干渉するものである一方で, TUI は今までヒトが身体的に操作してきたスキルや経験などの物理的な感覚をユーザーインターフェースに踏襲することによって直感的な操作を可能とするものと述べている. 例としてミュージックボトル [21] が挙げられる. 1996 年に開発されたこの作品は瓶を開ける感覚で音楽を操作することが可能となっている. この作品は入れ物という情報の入れる「箱」としてのメタファを使い瓶を開けるという身体的な動作と情報を取り出すという行為を関連づけをすることで, コンテンツへアクセスが想像することが容易な物理的操作へと転化させている. このように TUI は身体動作と情報を結びつけて研究開発されてきた. その中で, 柔らかいものに対する人間の接触と情報を関連づけた TUI の開発も行われてきた.



図 2.2 Music Bottles²

柔らかいものを利用したアート作品の例として Khronos Projector が挙げられる。Khronos Projector は伸縮性の高いスクリーンを使ったインタラクション作品である [22]。スクリーンに触れると画面に投影された街の景色の時間軸が変化する。触り具合と時間軸の変化が関連づけられている。そのためユーザーが画像の好みの時間帯に変化させたいという動作を誘発させ、結果的に柔らかいスクリーンの特性を生かしたインタラクションデザインとなっている作品である。



図 2.3 Khronos projector³

図 2.4 の FuwaFuwa は杉浦によって開発された柔軟物インターフェースである [23]。赤外線モジュールをクッションの中に挿入することにより、身の回りにあるクッションなどの柔軟物をインターフェースに変える研究である。クッションを撫でたり、胸にしまい込んだり、押すといった動作を検出する。アプリケーションとして、クッションにプロジェクターを投射し、いくつかの区画に分けられた場所に触れることによって、メディアを操作できることを可能にしている。例えば、柔らかい楽器や照明の制御などのアプリケーションなども実装している。この研究では居住空間に存在しているソファやクッションなどの柔軟物をインタフェース化を行うことに焦点を当てている。

2 <http://journal.media-culture.org.au/index.php/mcjournal/article/view/733>

3 <http://archive.j-mediaarts.jp>

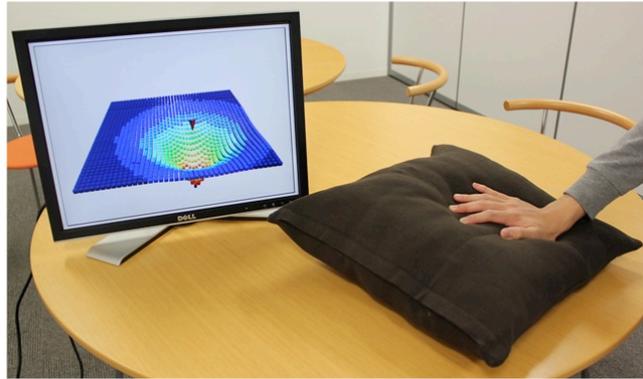
図 2.4 FuwaFuwa⁴

図 2.5 の「あ」は日本語の持つ多様な感情を表現をするためにつくられたメディアアート作品である。「あ」という言葉は、ふとした瞬間に発する言葉であり、一文字の中にも喜怒哀楽が存在する。その多様性と「あ」の形をした柔らかいインターフェースを触り方の多様性を関連づけた作品である。「あ」という文字状のインターフェースに対してユーザーがどのように触るかによって、様々な状況下で発せられる「あ」とい言葉が発声されるようなインタラクションデザインとなっている。この作品は、その発せられる声が非常にユーモアが溢れており、他の触り方によってはどのような声が聞けるかという興味を唆るインタラクションデザインとなっている。

Skin-On Interfaces は人肌ゲルをスマートフォンに装着したインターフェースである [24]。この研究の趣旨として、柔らかいインターフェースとしてではなく、人肌のものが日常生活にありふれているインターフェースに装着された場合に人ほどのような行動を起こすかを調査している。人肌ゲルによって構成されていることもあり、ドアノブをつまむ動作などの触りたくなるといった自然な動作を引き起こす工夫がなされている。アプリケーションとしては Virtual avatar とのコミュニケーションやロボットとのコミュニケーションなどが挙げられている。

4 <https://www.jst.go.jp/erato/igarashi/projects/FuwaFuwa/index.html>

5 <http://ivrc.net/archive/あ>



図 2.5 あ⁵

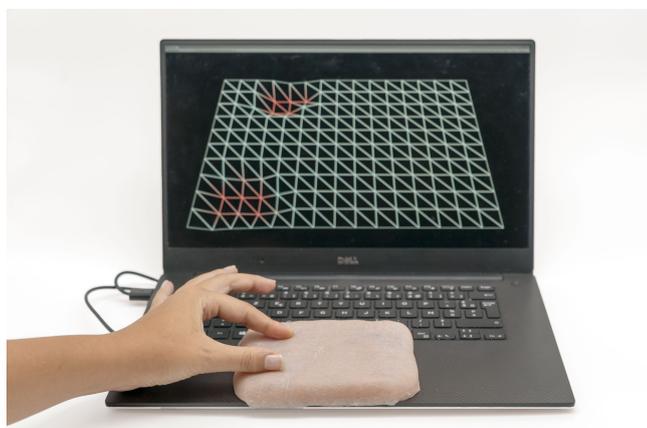


図 2.6 skin on interface⁶

インターフェース研究の第一人者の Dr. Wiser は以下のように述べている。「The most profound technologies are those that disappear. They Weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it .」この言葉の解釈としてインターフェース研究の最終的な着地点は、インターフェースに応じて人間が機器を操作するのではなく、人間が本能的に行う動作が存在する機器に対応するインターフェースこそが、優れたインターフェースであると考えられる。このことから柔らかいものが引き起こす本能的な動作は今までのインターフェースとは異なる人間の本能に訴えることができる可能性を秘めていると考えられる。そこで、人間が本能的に好む柔らかい素材を用いたインターフェースの実現により、人間の本能に訴えかけるインターフェースを作り出すことができると考える。

2.3. まとめ

本章では、柔らかさが持つ人に与える心理的影響とその事例、タンジブルインターフェースの変遷と柔らかいインターフェースが作られるまでの過程と研究の趣旨について述べた。柔らかい素材の性質による椅子のデザインやマーケティング心理変化に関する研究は行われてきたが、その性質を生かしたインターフェースの研究はされていない。今まで作成されてきたインターフェースは筐体がただ柔らかいのみであり、センサモジュールを開発することに注視されたものが多く存在する。その中で柔らかさの性質を生かした TUI の研究はあまり存在しない。本研究では、柔らかさを生かしたインタラクションデザインを行うために、柔らかいものに対するヒトの行動などを調査し、自然動作によって働くインタフェースの研究を行う。

6 <https://marcteyssier.com/projects/skin-on/>

第 3 章

柔らかいインターフェースの提案と 設計

本章では, 柔らかいインターフェースを作る際のコンセプトを設定し, それを実現するためのデザインプロセスを述べる. 形状による接触方法を述べたのちに, システム全体の基本設計について述べていく.

3.1. 柔らかいインターフェースのコンセプト

柔らかいものを「ムニムニ」と触れる非言語的な動作が, 日常生活における電球や音楽機器などの機器に対して反映させることを考える. 従来のインターフェースでは目標動作に対して様々ボタンや画面を操作した上で実行される. 音量のボタン, チャンネルのボタン, 電源の ON/OFF のボタンであったりと機能によってそれぞれの操作に対して一対一でボタンやスライダーなどが設置されていた. スマートフォンによる操作においても, 多段階の操作を踏んだ上で, 目標動作にたどり着くといった仕様となっている. そのため, 感覚的 (本能的) な動作によって機器の操作できるインターフェースというものは研究段階では発表されているものの, 実生活のインタフェースとしては販売されていない. それらの動作を「ムニムニ」という曖昧な操作方法で実現したいと考える. そこで提案するコンセプトは, 感情の赴くままに触り, 環境を自在に操作することができるインタフェースというものである. 従来のインタフェースとは異なり環境単位で機器を操作することが可能となる. 環境単位とは例えば家庭の一般的な部屋の場合に存在する機器がクーラー, 音楽機器, 照明などがあるとする. その際に操作する対象を一つの照明を操作すると

いうものではなく, その部屋を構成するすべてのものを一つの単位と考える. それを環境単位と本論文では定める. 図 3.1 のガンダムの世界感では操縦者の感情に反映してその状態によって機体の性能が変わるというものである. 他にもスマートフォンが生き物のように柔らかい場合には図 3.2 のような使い方ができるようになる. このシステムが実生活の中に溶け込ませることができれば, 今まで行なっていた機器の操作をムニっという感覚的な操作によって自分の意思を反映させることができるようになるはずである. 柔らかいものへの接触は感情によって触り方が変化する傾向があるため, 例に出したアニメのような世界を実現できる可能性が示唆される.

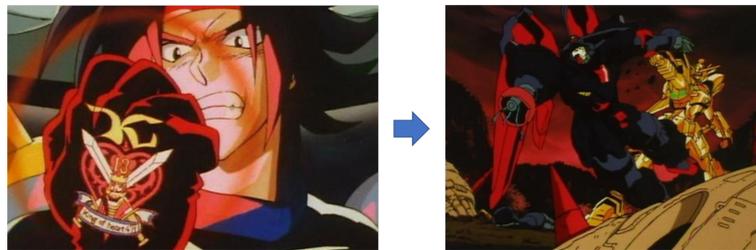


図 3.1 ガンダムの例¹

3.2. コンセプトスケッチ

コンセプトスケッチを図 3.3 に示す. ユースケースとして考えられ場面として一つ舞台演出が存在する. 例えば, 舞台において俳優一人に対してスポットライトを当てたり, ステージ全体にライトを当てたり状況によって様々である. また, それらのシーンに対しての音楽を変更する場合には, 様々なスイッチ等々を同時に動かす必要がある. 仮にこの場面において柔らかいインターフェースが導入されると, 通常では一対一の関係性しか持っていなかったインターフェースと機器との関

1 <https://www.lineblog.me/tag/ドモン・カッシュ>

2 <https://ameblo.jp/kamowiz/entry-10115136474.html>

図 3.2 アニメに出てくる柔らかい携帯² (マクロスF 第2話より参照)

係性に変化が起こる。従来の一つの機器を対象にして操作するダイレクトマニピュレーションとは異なり、空間単位で変化を起こすことが可能となる。インターフェースを柔らかく握ることによって空間が柔らかいイメージを持つ照明の色になり、音楽も同時に柔らかい音楽というイメージを持つ曲が流れたりするといった具合である。つまり、インターフェースに対する触り方を変化することによって、その触り方に呼応する環境に変化させることができるようになる。

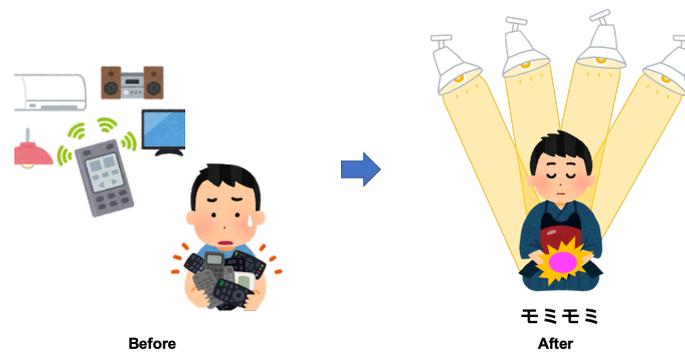


図 3.3 コンセプトスケッチ

3.3. 柔らかさを活かしたアプリケーションデザイン

柔軟素材を使用することから、素材が持つ性質を発揮したアプリケーションデザインを考える必要がある。そこでコンテンツの選定を行う。インターフェースとして活用するために要素の一つとして、身体所有感が高いことが挙げられる。身体所有感とは実際の身体とは異なる対象に対して、それがあたかも実際の自分の身体の一部であると錯覚する現象である。例えば、ラバーハンド錯覚 [25] ではゴム手袋と人の手に触覚を同期した視覚刺激の提示を行うことで、ゴム手袋に対して身体所有感を感じることができる。また、バーチャルな空間においても、ユーザと同様の動きをしたキャラクターに対して全身の身体所有感覚を生じさせることができる。つまり、身体所有感を誘発させるには視覚的触覚的な同期と身体運動の同期が必要となる。そこでインターフェースの身体化ができると仮定し、柔らかいインターフェースに対するコンテンツの検討を行う。

3.3.1 スマート LED 照明の空間操作

柔らかいインターフェースを使用し操作しうる対象機器として、図 3.4 のようなスマート LED 照明の空間操作をあげる。柔らかいインターフェースの特徴の一つとして多軸パラメータであることが挙げられる。一つのインターフェースに複雑な操作性を持たせることができる。従来の物理インターフェースの代表であるジョイスティックやスライダーは使い方はわかりやすいものの、複数のパラメータを持つものを操作する場合に、そのパラメータの数だけインターフェースを用意する必要があった。理由としては、入力と出力を一对一の対応関係にすることによって、直感的操作性を確保していたからである。つまり、多軸パラメータを持つ柔らかいインターフェースのコンテンツとして適切なのは、インターフェース同様に多軸のパラメータを持つものもの、もしくは、目的動作に対して現状のインターフェースでは多段階な操作を要するものに対して有効であると考えられる。しかし、柔らかいインターフェースに対する動作のパラメータを一对一の対応関係にすると従来のジョイスティック等と同様のものとなるため注意が必要となる。ここでスマート LED 照明が複数設置された空間を想定する照明のパラメータとして彩度の RGB,

光度,そして照明の個数や位置などが挙げられる. 挙げたパラメータの他にも多軸にすることは可能であり, 柔らかいインターフェースが持つ多軸パラメータとスマート LED 照明の空間の相性は良いと考えられる. また, 今までの研究されてきた柔らかいインターフェースのほとんどはゲームのコントローラとしての用途を示されている. 本研究では, 日常生活における用途も考慮し, スマート LED 照明の空間操作をコンテンツとして考える.



図 3.4 スマート LED³

3.4. デザインプロセス

デザイン言語の作成プロセスを踏襲したフレームワークのプロトタイプを作成する. デザイン言語の作成プロセスは図 3.6 のようになっている [26] [27]. 言語システムは二人の間によって共通のイメージと概念が共通化されたのちに構築され

3 <https://www.amazon.co.jp/SweetLF>

る.これをインタフェースと人の関係性と捉えた場合,インタフェースに対する動作と機能によって言語と同様の関係性になると考えられる.つまり言語における概念は操作する機器の機能を示し,イメージはインタフェースに対する人の動作のことを指す.



共通のイメージから生み出される概念こそが言語システムの本質

概念: 機器の機能

イメージ: 身体動作 (インタフェース)

図 3.5 デザイン言語モデル



図 3.6 デザイン言語の作成プロセス

- 調査 (行動観察) 製品のユーザーに関する質的データを取得する
- モデリング 調査結果を受けて情報のフローやワークフローを構築する
- 要件確定 シナリオベースデザインを通じて,モデリングで作成したモデルとデザインフレームワークを結びつけていく
- フレームワークの設定 製品やサービスに関する全体的なコンセプトから始まるフレームワークを定める.その際に,どのようなインタラクションデザインを行うかなどのシナリオフローを記述することで,フレームワークを明確化する.

- 精緻化 前行程に続く形で、シナリオを反復検討を行い、ビジュアルデザインや表現、エクスペリエンスなどの詳細設計を行う。
- 開発支援 開発を行う

本研究の調査として柔らかいものに対して、人がどのような行動をとるのかを観察する必要がある。柔らかいインターフェースに対するヒトの言語モデルを構成する最小の要素は柔らかいインターフェースに対する人の行動と光から得られるフィードバックであるためである。第二章で述べたように Norman の行為の 7 段階モデルに近づけるためには、インターフェース開発においてユーザーの学習しやすいプロセスへ誘うことが有効である。本研究では、言語モデルを構成する最小の要素であるやわらかいものへ対する動作と光のフィードバックの関連性をデザインすることによって、より自然動作で操作できるインターフェースを実現する。そのために調査対象を柔らかいものに対して、人がどのような行動をとるのかというものに設定する。モデリングは、柔らかいインターフェースの接触する際の行動とその行為時の心境や状態、機械の機能との対応の関係性の構築を行うことである。精緻化では、効果実験を行い、自然動作と機械の機能の結びつきの評価を行い、システムの再設計を行うことである開発支援では柔らかいインターフェースを設計する上でのフレームワークと実際のインターフェースの開発が該当する。このプロセスに従い柔らかいインターフェースの作成を行う。

3.5. 筐体のデザイン

柔らかい物体との接触方法の分類調査を行うにあたり、筐体となるモデルを作成する。

3.5.1 素材の選定

形状モデルの素材として以下のものを検討した。

A 人肌ゲル:エクシールコーポレーション 人肌 (R) のゲル (図 3.7)

B シリコンゲル:グミーキャスト ソフトタイプ (図 3.8)

C 発砲ウレタン樹脂:発泡ウレタンソフト (図 3.9)

人肌ゲルは硬化するまでに 24 時間を必要とし, 作成する際に非常に細かい分量の調整が必要であった. 硬さはデュロメーターで計測したところアスカー高度は 0 であった. 手触りはもちもちとし, 粘着性がありインターフェースとして使うにはあまり適していなかった. また, 一度作ってしまうと加工がしにくく, センサを中に入れることが難しかったため採用しなかった. シリコンゲルソフトタイプも人肌ゲルとほぼ同じ性質を示した. 人肌ゲルに比べると, アスカー高度は 1.5 であり若干硬くなった. 発砲ウレタン樹脂で製作したモデルはわずか 20 分ほどでモールドの形のモデル作成することができた. 粘着性はなく様々な動作に耐えうる伸縮性があり, 制作後のセンサを挿入するなどの加工が容易であるということもあり, 素材として適している判断した.

図 3.7 人肌ゲル⁴図 3.8 シリコンゲル⁵

5 <https://craftresin.jp/goods/gummycast-2/20190712.html>

6 <https://craftresin.jp/goods/foamingurethane-2/20160531.html>



図 3.9 発砲ウレタン樹脂⁶



図 3.10 モールド 1



図 3.11 モールド 2

3.5.2 モデルの形状選択

ここでインターフェースの形状を考える上で、3つの形状と大きさを考えた。以下に列挙する。以下の単位は [mm] である

- 立方体（縦*横*高さ）,(60*60*60),(100*100*100)
- 球体（半径）,($r=60$),($R=100$)
- 円柱（半径, 高さ）,($r=60, l=15$),($R=100, L=15$)

柔らかいインターフェースを使用する空間が立方体の空間であったと仮定した場合、感覚的にこの場所を触ってみると対応する場所に対して何かしらのインタラクションが起こると因果関係を作りやすくユーザーはインターフェースの操作を簡単に理解しやすいと考えた。球体はボールを想起させることによって、立方体のインターフェースとは異なる触れ合い方をするのではないかと予想する。円柱はユーザが持った際にねじったりする動作を引き起こすことができると考える。立方

体と球体のインターフェースではそのような把持動作をすることはないと考えることから円柱状を選択した。それぞれの形状に対して、大小二つのパターンの合計6組のモデルの作成を行なった。

3.5.3 モデルの作成

モデルの作成するにあたり、それぞれの形状の型となるモールドを作成した。立方体のものに対してはレーザーカッターを用いて、上面の開いた状態のモールドを作成した。円柱状と球状のモールドには、3Dプリンターを用いて作成した。作成したモールドにシリコンスプレーをあらかじめ塗布した後に、発砲ウレタンを流し込みモデルを作成した。

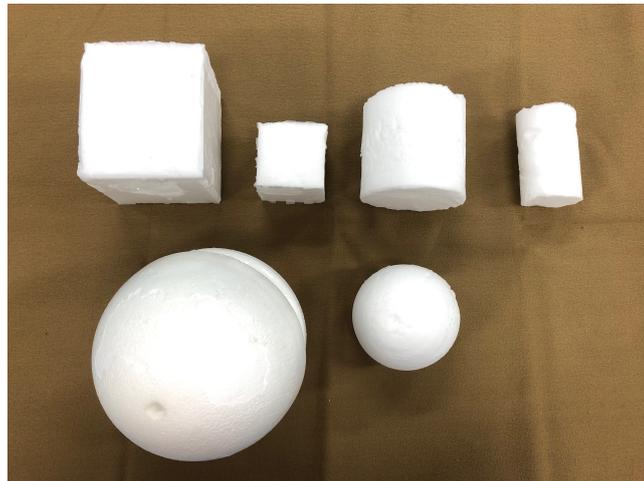


図 3.12 ウレタンモデル

3.6. 接触方法の分類

製作したモデルを使いヒトと柔らかい物体の接触方法について分類を行うための予備実験を行なった。接触方法の言語化を行う際には Video-Cued Recall Method を用いた [28] [29] [30]。この手法は実験中の映像を被験者本人に見てもらいながら、

動作の意図に関して質問を行い明らかにしていくものである。この手法により、動作の具体的な意図と詳細な回答を得ることができる。実験手順を以下に示す。

1. 小立方体, 大立方体, 小円柱 大円柱, 小球, 大球の順に被験者に手渡す。その際, その他のモデルは被験者が見える場所に置く。
2. それぞれのモデルを手渡すが質問はせず, 自然な状態で触らせる。(各モデル 45 秒から 1 分程度触らせる)
3. 全てのモデルを触らせた後に, ビデオを見つつ接触の仕方の理由や気持ち良さなどを言語化していく。



図 3.13 分類実験の様子

この手順を一人当たり 30 分程度で行なった。以下に接触方法とその理由を表 3.1～表 3.6 に示す。

表 3.1 小立方体との接触関係表

小立方体	接触方法	触り方の理由
	各面を押す	ボタンのように操作してみた
	各辺を押す	同上
	転がす	サイコロのように扱いたくなる
	全体を握りつぶす	潰したくなった
	ねじりながら押し込む	捻りたくなった
	4点の角を同時に触る	手の位置がちょうど良い
	デコピン	なんとなく、叩きたくなった
	くるくる回す	手にフィットする場所を探していた。

表 3.2 大立方体との接触関係表

大立方体	接触方法	触り方の理由
	各面を押す（両手で）	ボタンのように扱う
	手のひらで叩く	同上
	転がす	サイコロのように扱う
	小立方体を乗せて叩く	くっつけることでボタンのように扱う

表 3.3 小球体との接触関係表

小球体	接触方法	触り方の理由
	転がす	ボールを手遊びするように触れる
	撫でる	子猫を撫でるように
	揉む	子猫を愛でるように
	投げる	ボール遊びの要領で触れる

表 3.4 大立方体との接触関係表

大球体	接触方法	触り方の理由
	転がす	ボーリング玉のように転がす
	揉む	猫と遊ぶように
	投げる	ボーリングやハンドボールのように扱う
	胸元にはさむ	クッションのように挟む
	押しつぶす	壊したくなる

表 3.5 小円柱との接触関係表

小円柱	接触方法	触り方の理由
	握る	リレーのバトンのように触れる
	弾く	サンドバックに形が似ている
	投げる	サイコロのように扱う
	投げて立たせようとする	ペットボトルチャレンジの要領で遊ぶ

表 3.6 大円柱との接触関係表

大円柱	接触方法	触り方の理由
	保持	ボタンのように操作する
	揉む	同上
	上面を撫でる	サイコロのように扱う
	拳で上面を殴る	潰したくなる

3.6.1 実験の考察

実験の考察として、小立方体はインタラクションを行うためのインターフェースとしては大きさと形状は適切であると考えられる。理由としては、他のモデルに比べ、誘発する動作のバリエーションが多いためである。大立方体に対しては、触ろうとする気がそもそも起きなかったという感想を得た。インタラクションを誘発させるための柔らかいインターフェースに対しては適切な大きさではなく、インターフェースは大立方体よりも、小さいサイズで作成することが望まれる。小球体は撫でる動作、転がす動作をする人は多くいたが、揉むという動作をする人は多くなかった。理由としては、球体にすることにより、ボールを触っている感覚と同義になり、揉むという動作を誘発できないことが考えられる。大球体に関しては胸元にはさみこむクッションのように扱う人が多く、小球体と同様に揉むという動作を誘発することはできなかった。また、ボールに見立てて投げる動作をする人が多くインターフェースとして誘発するべき動作ではないと考えたため今回は採用を見送った。小円柱は握る以外の操作方法がなくインタラクションを要求するインターフェースとしては物足りないという感想であった。大円柱は大ききのお茶碗を持つ感覚に近く、揉みたいという欲は起こらないという結果になった。

それぞれの形状での接触方法の理由として球のようになどの形状や大きさなどから想起される物体に対するアプローチがモデルのどの形状、大きさに対しても行われていることが判明した。これは人間の身体的経験に基づいた物体との触れ合い、使い方を探索する行動そのものである。柔らかい物体に対しても例外ではなく、猫のように、クッションをモミモミする操作が行われることが判明した。またキュートアグレッションと見られる行動も観察された。キュートアグレッションとは、「可愛いものへの攻撃性」と呼ばれる衝動的な感情のことを示す。これは可愛いものに対して締め付けたり食べたくなくなってしまったりする衝動である。柔らかいものは動物の赤ちゃんのイメージを想起させやすく、柔らかいものが無生物であっても可愛いと感じる感情を起こすというものである。この結果から考えられる仮説として、インターフェースに対して着色を施すことにより、食べ物や生き物などをより想起しやすく接触状態にも変化を与えるのではないかと考える。あえて、穴をモデル状に作ることによって一定の動作を誘発し、より良いインタラクシ

ンが行うインターフェースを作成することができる可能性が示唆される。また、柔らかい物体だからこそされる動作として、連続して握る、連続して素早く握るといったものが挙げられる。つまり、柔らかい素材の性質を活かしたインタラクションとは上記に示した連続して握るという動作を助長させることができるものである。形状と大きさを分類した結果、インターフェースとして必要な要件として様々な接触状態を誘発する形状、大きさである必要性があった。そのため「揉む」という行動をより起こしやすい形状と大きさが立方体の(60[mm]*60[mm]*60[mm])のサイズが適切であると導き出された。この結果を次章のインターフェースのプロトタイプングに反映させる。最後に小立方体のモデルでよく見られた接触方法を基本接触方法と定義して示す。

- 面を押す:指先を使い、優しく各面を押す
- 角を押す:指先を使い同時に角を押す
- 全体を握りつぶす:手掌部を使いモデルを挟むように接触する場合と、握りこぶしを上面に振りかざす二種類の潰し型が存在した



図 3.14 面を押す

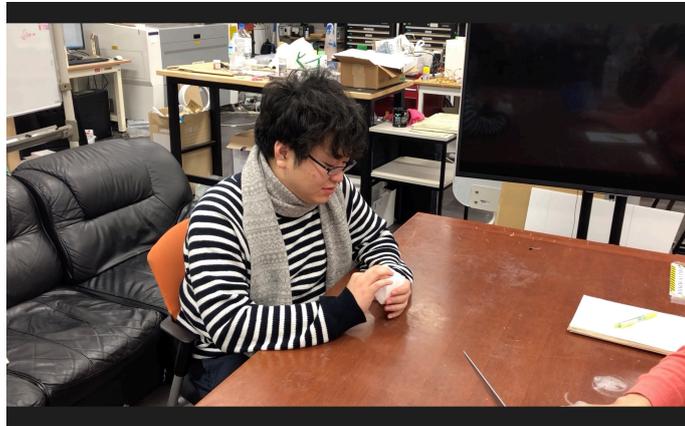


図 3.15 角を押す

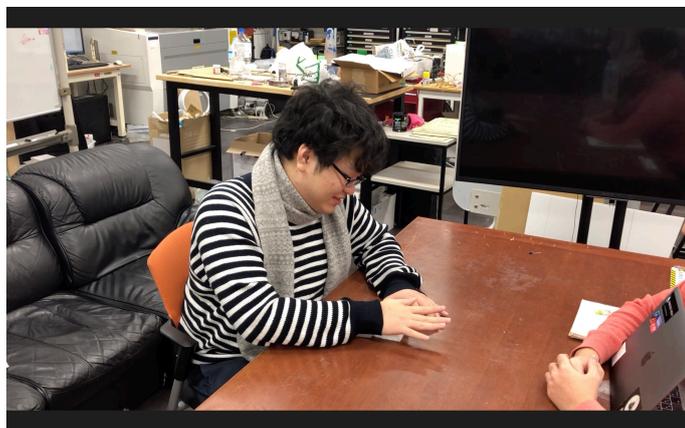


図 3.16 握りつぶす

第 4 章

実装と検討

4.1. 柔らかい物体のインタラクションに関する検討

人が柔らかい物体のインタラクションシステムを構成した際にどのような反応をするか調査するために KMD Forum にて着色した寒天を静電容量センサのデバイスとして使用し、6 つ配置してある寒天に触れると中央に配置してある行灯型の照明が触れられた寒天の色に光るという図 4.1 のような簡単なインタラクティブなシステムを構築した。寒天には市販の寒天粉に 6 種類の食紅をそれぞれ一種類ずつ加えたものでプリンの形状を型のモデルとして作成した。展示において体験者がどのようにシステムと触れ合うかについて観察とインタビューを行った。赤ちゃんから高齢者の方まで幅広い年齢層の約 100 人ほどに体験していただいた。体験者にはこちらから説明はせず自然な状態で展示してある寒天に触れてもらった後にシステムのコンセプトや設計意図を説明した。体験者の様子とインタビュー結果をいかに示す。4,5 歳未満の子供の場合、不思議がって突撃するかのごとく、寒天を触り、複数個の寒天を触ったところで、システムの構成に気づく子供が多く見受けられた。彼らは触った後のプルプル揺れる寒天の様子から、生き物のようだと言う子供も見受けられた。また、6 歳以上の参加者は少し不安そうな顔ををしながら、寒天に触っていた。触った際にはいい意味での気持ち悪いという感覚を得る人が多数見受けられた。4,5 歳未満の体験者と同様に、寒天のプルプルした様子を楽しんでいった。また、連続して同じ色の寒天を叩くユーザーが多く見受けられた。さらには何度も展示の近くを通るたびに触っていく人や、連れの方をわざわざ展示の場所までに引き連れて一緒に楽しむといった様子も見受けられた。今回の展示では、寒天に触れる強さや触れた時間を考慮せずただのスイッチとしてのシステムにしてし

まったため、連続して押すという動作に対して、インタラクティブな照明の反応を引き起こすことができなかった点は改善すべき点であったものの、人は興味を持って柔らかいものへ接触動作を試み、さらに、なんども触れることを繰り返すことでシステム構成を学ぶ様子が観察された。

展示を行なった結論として、人々は柔らかい物体によって構成されたインタラクティブシステムを設置すると最初は使い方がわからないものの、触ることを経たのちにシステムの意味を把握し、自然と物体に触るようになるという結果が得られた。



図 4.1 KMD forum での展示 1

4.2. 1st プロトタイプ

これまでに行なってきた調査結果を元に柔らかいインターフェースの提案を行う。また前章で定義した基本操作の状態を読み込むためのセンシング方法について述べる。1st プロトタイプの目的は、状態判別の識別処理の確認と、触感や軽さなどの違和感について検討である。

4.2.1 入力センサの選定

接触状態を判別するための内蔵するセンサの要件として、柔軟性があること、複数の軸に対する物体に対する圧力や曲げ具合などのセンシングが求められる。また、センサを入れた状態で筐体の柔らかさが保持されたままである必要がある。圧力センサや曲げセンサは駆動する際にマイコンが必要となり、筐体内部にそれらを挿入する必要があった。素材の柔らかさを保ったままインターフェースを実現したいということから今回は実装は見送った。今回は Bendlabs のシリコン製の 2 軸曲げセンサ 4.2 を採用した。シリコンによる高い柔軟性と、ユーザがインターフェースを触った際に激しく触れることを想定して、強度の高いものにした。また、BLE (Bluetooth Low Energy) の通信モジュールが付属しているため、スタンドアローンでの実装が可能となるため、配線などによって動作を阻害しないという特徴を持っている。

4.2.2 パターンマッチング

曲げセンサに入力された信号処理のアルゴリズムを以下に示す。分類した基本ステートメントに関する CSV ファイルを生成し、パターンマッチングを行う。パターンマッチングとは、複数の文字列を比較し類似するファイルと照合することでパターンを探す方法のことである。今回の処理では、各接触状態の曲げセンサから送られる X 軸、Y 軸から構成される元データとリアルタイムの状態のデータを比較することでパターンマッチングを行う。柔らかいインターフェースを実装するために図 4.3 のプロトタイプを作成した。分類した接触方法に対する必要なセンサをを

図 4.2 シリコン製の 2 軸曲げセンサ¹

選定するために実験を行なった。今回のプロトタイプの目標は用意したセンサデータから分類した基本状態を判別することができるセンサの選定を行うことである。今回の実験ではシリコン製の 2 軸曲げセンサを使用した。これらの選定理由は、曲げなどの多方向の圧力を計測することに適していると考えたからである。一般的な圧力センサは一方向に対してのみ有効であるが、それを一つのモジュールで解決することができる 2 軸曲げセンサの方が今回は適していると判断した。それらを用いて、インターフェースの接触状態とセンサのグラフをまとめたものが図 4.5～図 4.8 である。

1 <https://hiro-tec.com/bendlabs/>



図 4.3 データ用プロトタイプ

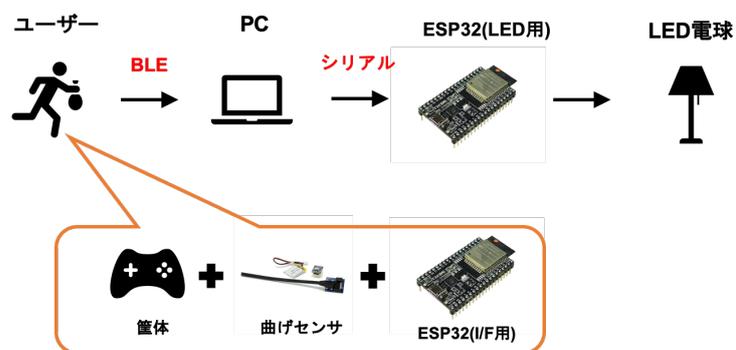


図 4.4 システム構成図

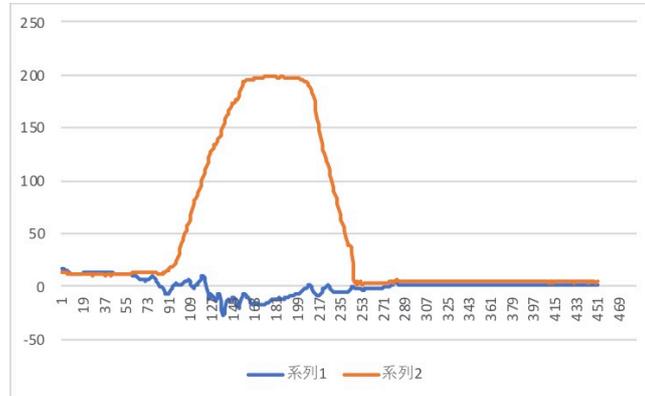


図 4.5 状態データ 1

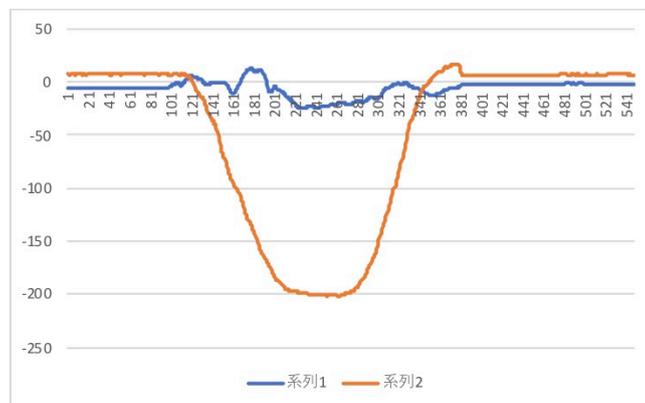


図 4.6 状態データ 2

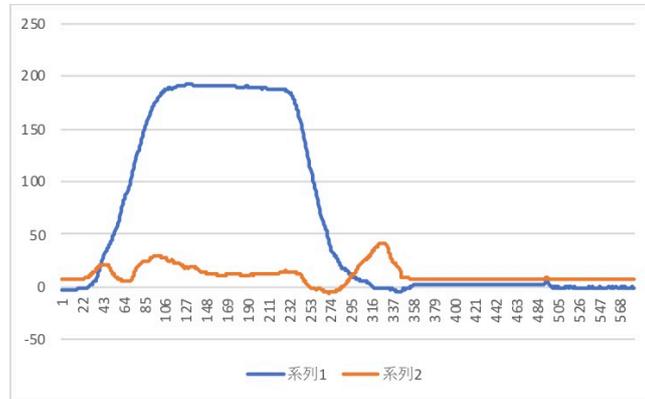


図 4.7 状態データ 3

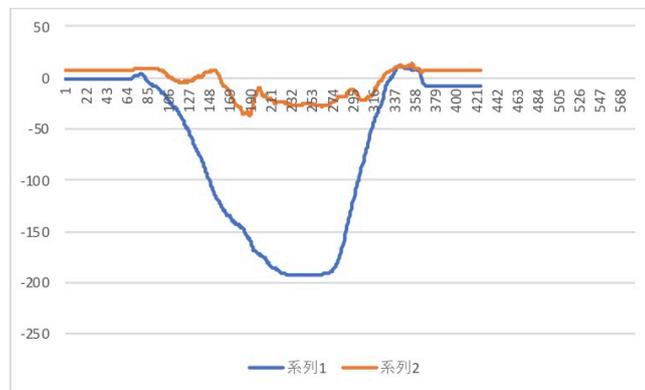


図 4.8 状態データ 4

4.2.3 検証結果

これらのシステムを構成したのちに各状態の判別に関する精度評価を行なった。曲げセンサに対して垂直方向の動きを行う把持形態の判別は8割程度判別することが可能であったものの、曲げセンサと並行方向に対して動きを行う把持状態を検出することはほぼ不可能であった。理由としては、今回使用したセンサが二軸方向に対しては検出が可能であったもののz軸方向つまり、曲げセンサの伸びている方向に対して並行な方向の動きに対してうまく機能しなかったことが原因であった。つまり、全方向に対する動きを平等にセンシングできる機構の設計が必要となる。しかし、二軸に対してのみの圧力や曲げ具合を検出する場合には有効な検出方法となる。

4.3. 2nd Prototype

2nd プロトタイプでは1触覚ポッドと呼ばれるセンサを用いてシステムを構築した。このセンサはそれぞれのモジュールで、三次元の変位を検出することができるセンサとなっており、発砲ウレタンのボディの中に埋め込んだ場合でもインタフェース自体の柔らかさを損なわないセンサとなっている。1st プロトタイプでは一定の方向に対して接触状態を読み込むことに対して難があった。そのため、各方向に対して同程度の状態判別ができるように触覚ポッドを5つ組み合わせてコアモジュールを作成し、そのモジュールを柔軟物体の真ん中に組み込むことによって図4.9 システムを構築した。

4.3.1 対応実験

この実験では識別処理の他に判別する動作と機能の結びつきに対して3つのパターンを用意し、それぞれのパターンの場合の操作性や違和感を検証を行なった。まず照明の基本機能として、照明のON/OFFと照明の光度と複数個の照明が存在すると仮定した場合にその照明を照らす位置を変更するという3つの機能を設定した。大量の電球の代わりに実験ではテープLEDで代わりの環境を再現した。

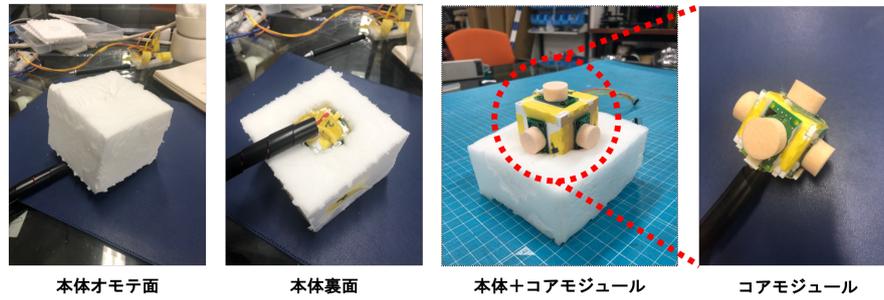


図 4.9 プロトタイプ 2

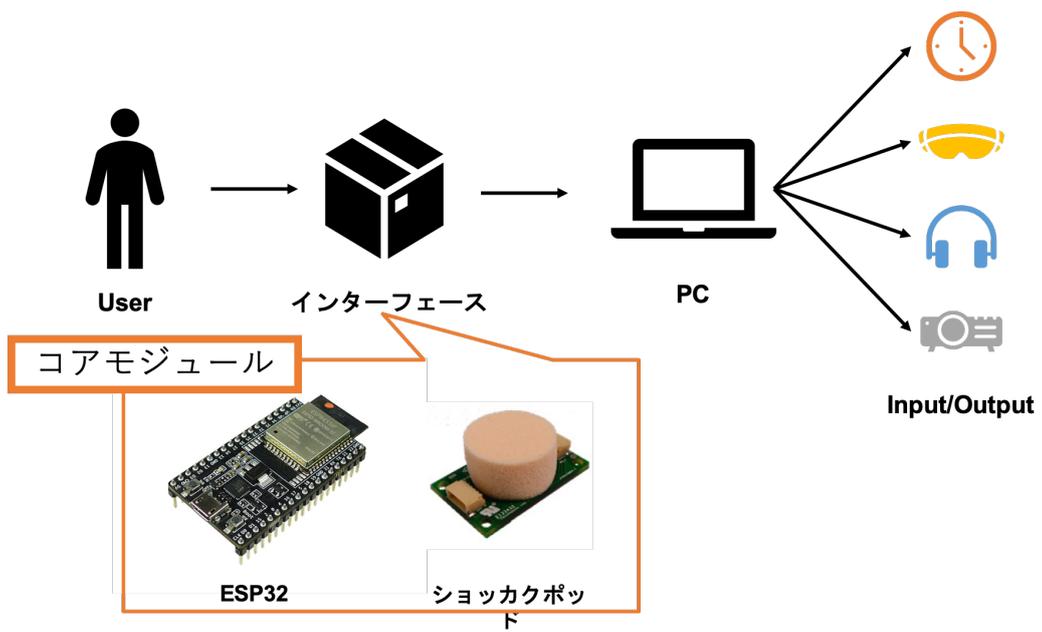


図 4.10 プロトタイプ 2 システム概要図

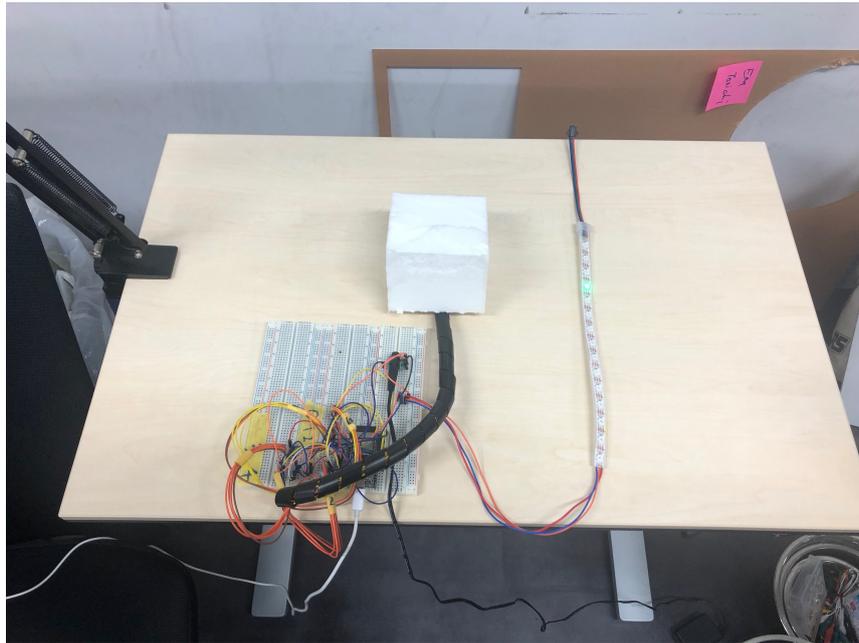


図 4.11 実験環境

Pattern1

pattern 1 では柔らかいインタフェースの押し具合をアナログ的に反映させる。例えば、側面を押すと明るさの具合が変わり、角を押すと光源の位置が変更される関係性を構築した。

Pattern2

pattern2 では接触状態によって照明の機能を呼び起こす。例えば、点で側面を押す場合には明るさが変化する。面で側面を押した場合には光源の位置を変更を変更する関係性を構築した。

4.3.2 実験結果

識別処理として定めた基本把持形態の三種類に対しては9割以上の識別処理の結果を出すことができた。

pattern1のアナログ的に光具合、照明の変化させた場合は、被験者はインタフェースを触り始めてすぐに触り具合で明るさを変更する機能の認知はすることができた。しかし、柔らかいものに対して人間は連続的に触るということが多い為、アナログの値を常に反映させてしまうと、柔らかいからこそ生まれる動作を失ってしまうのではないかという回答を頂いた。自分の加減で光の明るさを変化させることに対しては直感的であったものの、照明の位置を力の加減で変化させることに対しては直感的ではないと乾燥が得られた。両者の違いを考えると、照明の明るさ暗さは大小でパラメータを変更できるもので、押し具合の変化が光の大小との関係性を簡単に想像することができたため、直感的な操作ができたという回答に至ったと考えられる。また、照明の位置に関しては二次元的に位置を操作するため、三次元的動作を行う柔らかいインタフェースのアナログ的な値を反映させることは機能と接触動作の関係性を想像することが難しかったため、直感的ではないという結果につながったと考えられる。

pattern2の接触状態によって機能呼び起こす場合には、被験者は機能と動作の関係性を想像することが難しいという結果になった。被験者は様々触り方をするものの、なぜ光の状態が変化しているのかを理解することができないという結果に終わった。第3章で定めた基本接触状態に対して一つ一つ機能をマッピングしていった場合、今までの触り方とは異なり、考えながらインタフェースを触っているのが印象的であった。つまり、この動作に対して機器の機能を結びつける関係性は直感的ではないという結果に至った。

4.4. 触り方に基づく感情判別

今回の研究で最大の障害であるヒトの動作と機械に対する関連付け方として、感情を用いることによって動作と機能の関係性を構築した。まず照明の色から想像される感情の関係性を調査した。そもそも色は幸せを表したり、悲しませたり、リラッ

クスさせるなどヒトの視覚から感情に対して訴えかけることができる。例えば、暖色である赤や黄色は目を刺激し、食欲を増進させるような効果がある。このように色には人に対して感情や行動に影響を与える効果がある。神作ら [31] は心理学にSD法を用いて単色または2色以上の色からなる組み合わせによって引き起こされる、普遍的な感情を解析、調査を行なった。調査によると、基本の6感情である喜び、怒り、哀しみ、楽しい、愛しい、興奮などは色から連想される感情である述べられている。これらの情報をもとに関連を構築したものが図 4.12 になる。さらに、柔らかいものへの動作である殴るなどの動作と感情から構築される関係性を図 4.12 に構築した。感情を経由することに柔らかい物体に対する接触方法と照明の色の関係性を構築した。

愛情	撫でる
喜び	抱きかかえる
	撫でる
安心	ゆっくりと面を叩く
	頭を押し付ける
怒り	激しく叩く
嫌悪	潰す
	殴打
悲しみ	引っ張る
	胸元に抱く
興奮	潰す
	叩く

図 4.12 触れ方と感情の関係性

4.4.1 対応実験

今回の実験では動作と色の関係性を構築できるか検証を行なった。実験手順として最初に被験者に対してこちら側で設定した感情に対する物体への接触方法の質

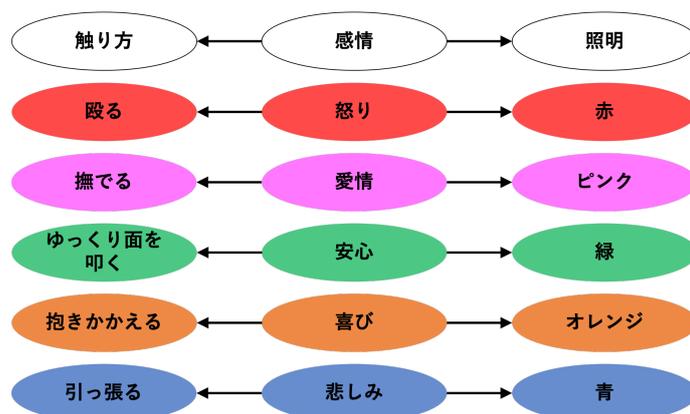


図 4.13 色と感情の関係性

問を行なった。その際に電球の色を変化させてその動作による色の変化を記憶してもらい、その後、色を指示しその色に対して適切な動作を行うことができるかの検証を行ない評価した。

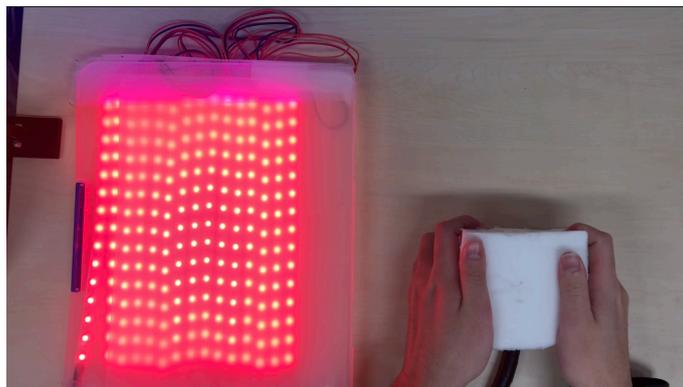


図 4.14 実験環境

4.4.2 実験結果

感情に対する動作を検証した結果、怒り、愛情、安心、喜びに関しては図 4.12 の通りの接触方法を行なった。しかし、照明の色から連想される感情というものが人に

よって異なることが判明した。赤は怒りや高ぶりを想像する。ピンクは愛情、青は悲しみや安らぎ、緑は想像しにくい。オレンジは安心を想像するといった具合に一つの色に対して複数個の感情を示すものも存在した。赤に関しては怒りや高ぶりという興奮状態から派生する二つの状態を示していたことから簡単ほぼ問題はなかった。ピンクも同様に問題はなかった。しかし、青の場合は筆者はマイナスのイメージのみを想像していたものの青から安らぎという悲しみとは逆の感情を感じるという結果になった。つまり青から想像される感情が複数個存在し、さらにプラスとマイナスの両極端の感情である場合に、問題が生じるという結果になった。また、緑に対して安心感という設定をしたものの、感情を想像しにくいといった回答が得られた。

その後指示した色に対して適切な動作を行えるか検証を行なったところ、赤、ピンクほとんどの場合に間違いなく動作することができた。しかし、喜びを表す動作は人それぞれであり、インタフェースをポンポン投げて飛び跳ねるような様子を想像させるような触り方をする被験者もいた。また安心と悲しみを表す動作が胸元で抱っこするような形でほぼ同じ動作をすることがわかり、その二つの動作に対して差異を生み出すことができなかった。また実験では無作為に複数回、色から想像される動作を行なってもらったが、色に応じて一定の動作をするわけではなく、喜びを表す動作として最初はポンポン投げていたものの2回目に質問すると際に抱え込むといった動作をする場合も見られた。そのため感情一つに対して動作を決めづけるのではなく、喜びであればプラスの意味合い、悲しみであればマイナスの意味合いであるといった一つレイヤーを下げて動作と機能の関連付けをすることによってうまく関係性を構築できるのではないかと考えられる。

4.5. 振動提示による知覚変容による硬度の変化

固いインタフェースの特徴として、ボタンやスライダーを操作した際のどの程度操作したかがわかるパラメータの可視化がされているということである。一方で柔らかいインタフェースはその点においては劣っている。本節では、柔らかいインタフェースに固いインタフェースの一部の性質を付加する方法を検討した。本実

験では柔らかい物体に対して振動を付加することにより、柔らかい素材の硬さに対して知覚変化を引き起こせるか。また、引き起こしていた場合にどの程度の効果が確認されたのかを検証する。

4.5.1 提案手法

柔軟物体に振動子で包み込み、柔軟物に対して振動を与える。振動によって、柔軟物体と指先の接触面積を物体側から調整することができ、擬似的に物体の硬さの変化が起こっていることを調査する。

4.5.2 実験概要

実験では柔軟物体を把持した際に振動を提示することによって、素材本来の硬度とは異なる硬さの知覚が生起できるか検証を行った。

4.5.3 実験装置

使用した実験装置の外観を図 4.15,4.16 に示す。柔軟物体には 100 円ショップにて販売されている化粧用シリコンパフを使用した。振動モジュールにはフォースリアクタ（アルプス社製）を使用した。入力用信号は PC のイヤホンジャックから行い、アンプで信号を増幅させたのちにフォースリアクタに入力した。また、圧力センサと振動モジュールをシリコンパフの中に装着した。

4.5.4 実験方法

被験者は図 4.17 のように拇指と示指によって振動子が挿入された硬度 3.5HA のシリコンパフをつまむ。シリコンパフの硬度はゴムの規格で JISK6523 を参考にしている。被験者には利き手（全員右利き）で物体を把持させ、その状態の時に振動を提示する。実験の手順は、元々の素材の硬さを記憶してもらい、一度物体を手放す。その後、振動を提示した状態の物体を把持する。元の状態と振動提示状態の硬さ

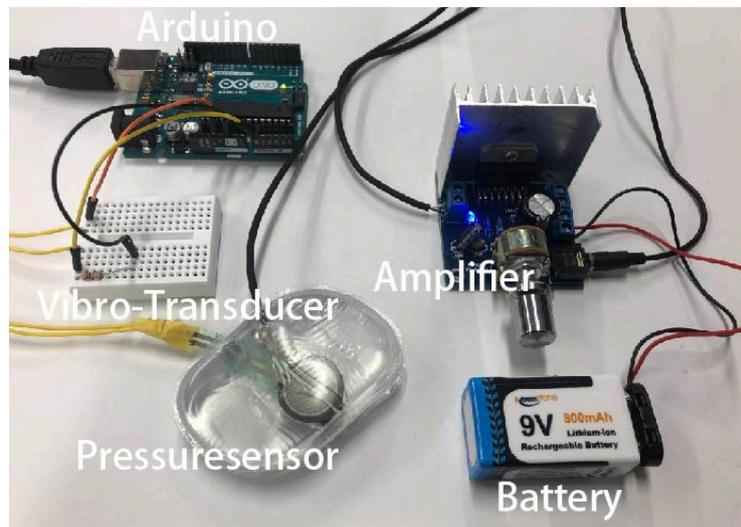


図 4.15 システム構成

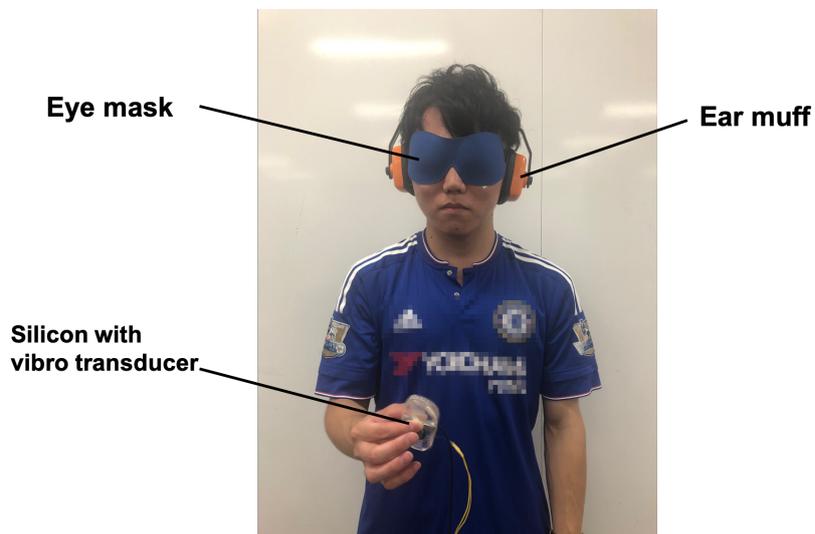


図 4.16 被験者の様子

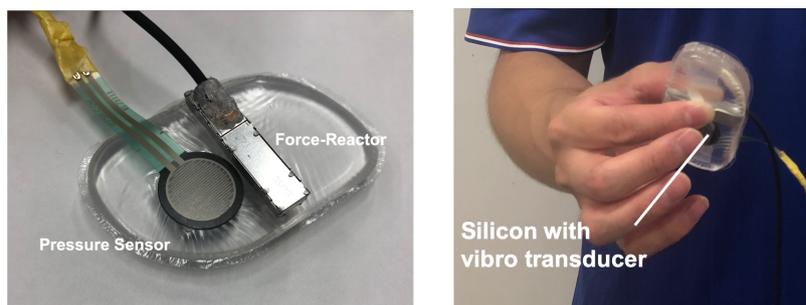


図 4.17 振動子をシリコンに装着した状態と把持状態

を比較し、元の状態の硬さを 0,1 はわずかに硬い,2 は少し硬い,3 はかなり硬い,4 は別の物体と感ずるほど硬いの全 5 段階評価で振動提示状態の硬さレベルを回答させる。振動を提示した状態の物体を把持した後に元々の状態の物体を改めて把持することを繰り返した。

実験では入力信号の条件ごとに柔らかさの知覚に関する検証を行った。実験 1 ではサイン波の周波数を 40[Hz] から 300[Hz] まで 20[Hz] ずつ増加させる 14 種類を用意した。その時の振幅レベルは 1 とした。実験 2 では振幅のみを変える実験を行った。その際の周波数は 120[Hz] で固定する。印加電圧が 0.0[V] 振幅を 1 とし比例尺度により、1 から 4 まで振幅を 0.5 ずつ大きくする 7 種類の信号を用意した。それぞれの実験を 1 セットとして 5 セット行った。

被験者 5 名（男性 5 名,22~25 歳）に対して行なった。被験者には、視聴覚情報を遮断するために 4.17 のようにアイマスクとイヤーマフを着用させた。1 セット終わるごとに被験者を楽な姿勢で 1 分間休憩させた。

4.5.5 結果・考察

実験結果を図 4.18 に示す。それぞれの実験で回答してもらった硬さレベルの平均値を出して評価を行った。実験 1 からは、120[Hz],240[Hz] の周波数帯域で知覚変化が起こる結果となった。これは、今回利用したフォースリアクタの共振周波数に関係していると考えられる。被験者のコメントで低周波を付加した時に物体が硬くなっているというよりも、掴み辛くなっているという指摘を得た。これは人間が物

体を把持していると認識プロセスにおいて物体と指の接触面積を一定になるまで指の力を加え続けるということに関係している。把持できているという状況は物体と指先の接触面積がこれ以上変化しない点を指している。つまり掴みづらいという状況は、指先の接触面積が変化していることを指す。結果的に低い周波数帯を付加した際に皮膚の接触面積に対して影響を与えていると言える。

実験2からは振幅の大きさに伴い硬さのレベルが上がっていくという結果を得た。これも単位時間あたりの接触面積が低い振幅の際よりも段々と小さくなっていることが起因していると考えられる。

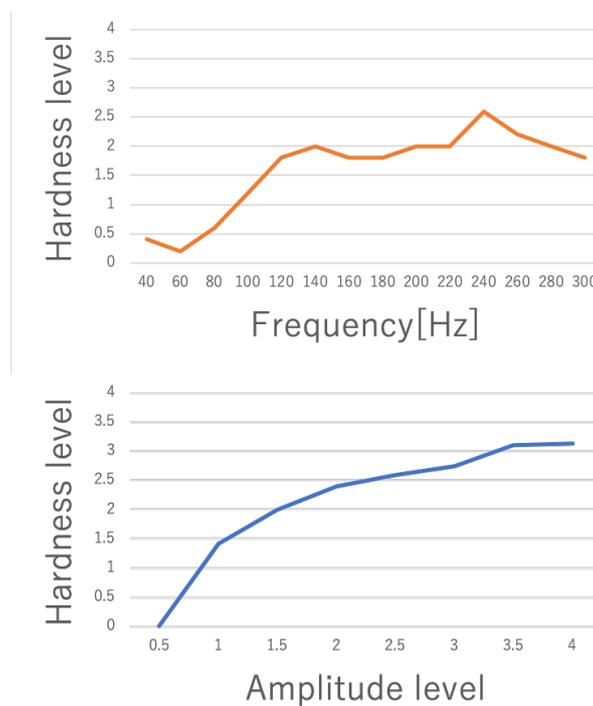


図 4.18 硬さ変化のグラフ

第 5 章

結 論

第 1 章では人間が古来から柔らかいものを利用して生活し、今もなお柔らかいものに対して好意的であることを述べた。その上で、人は本能的に柔らかいものに対して接する習性が存在することから柔らかいインターフェースの重要性とその価値を示すことで本研究の目的を明確化させた。第 2 章では、柔らかいインターフェースに関する周辺研究や作品について述べ、今までに取り組みられた研究に関してレビューを行なった。今までの研究は柔らかいものによって構成されたシステムは構築されていたものの、インタラクションデザインの部分において、柔らかいものだからこそ生み出される動作を生かした設計は存在しないことを述べ、柔らかいインターフェースに対する非言語的な接触方法を機器の操作をするための重要な要素とみなし、本研究の貢献を示した。第 3 章では、柔らかいインターフェースのコンセプトと設計過程を示し、基礎実験である柔らかい物体に対する接触方法の分類を行なった。また、インターフェースに合わせた適切なインタラクションデザインとそのプロセスについて述べた。第 4 章ではまず柔らかい物体のインタラクションシステムを構成した際にどのような反応をするか調査を行なった。その後、基本設計からプロトタイピングを行い、必要なセンサとステートメント判別を行えるシステムを構築し、複数の条件での検討を行なった。一つに、感情と動作を対応させることによって機器操作が可能になるか検討を行なった。結果は、操作対象である照明の色と感情、動作と感情といったもので動作と色の関係性を構築することによって一定の操作性を獲得することができた。また、柔らかい物体で剛体の特性を獲得するために、柔らかい物体を把持した際に振動を提示することによって、素材本来の硬度とは異なる硬さの知覚が生起できるか検証を行った。結果的に一定の硬度変化を生起させることができるということが判明した。従来の柔らかい素材によって

構成されていたインタフェースはダイレクトコンピューティングで動作しており、柔らかいからこそされる動作というものと機器との関係の構築はされていなかった。今回の研究において、柔らかい物体から想起される感情と、感情から想起される色という感情を用いた関係性を新たに構築することによって、照明に対しては一定の操作感を獲得することができた。柔らかい物体にさわの際のいままでは言語化されていなかったものに対して、感情という人々が普遍的に持つものを基準とし、照明の機能と照らし合わせることによって効果を得ることができた。しかし、今回は照明という色を使った機器であったためこの手法が適用させることが可能であったものの、別の音楽機器では感情を使った場合の操作を想起させることがむずかしい場合がある。そのため、空間を一単位として、空間を操作するという目的でインタフェースを検証していく余地が残されている。またインタフェースの形状を今回は立方体として作成したが、アフォーダンスデザインという点は考慮されていない。例えば、図 5.1 の稜線インタフェースのように、なぞる動作を誘発するデザインを柔らかいインタフェースの外形に設定することによってまた違った操作を引き起こせる可能性が示唆される。今回のインタフェースを制作するにあたって、デザイン言語を作成プロセスを踏襲したため、この方法論を洗練することによってこれから作られる柔らかいインタフェースのフレームワークの作成が可能となる。

今後、研究を継続していくにあたり、ユーザスタディから見えた課題と空間を操作するためにより良い柔らかいインタフェースを提案していきたい。

3 <https://compe.japandesign.ne.jp/result/haptic-2016/>

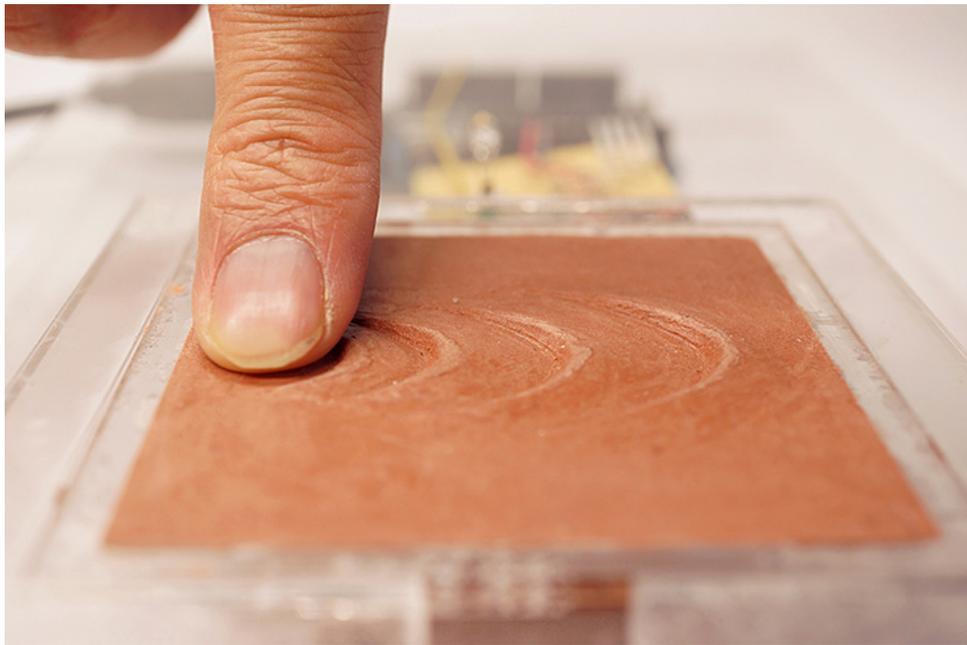


図 5.1 稜線インタフェース¹

謝 辞

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南澤孝太教授に心から感謝いたします。また、Embodied Media の先輩、同期、後輩のみんなには感謝しています。特に同期のみんなには多くのサポートをしてもらったことで充実した大学院生活を過ごせたと思っています。その中でも、同期の鶴重誠君には研究の話から私生活のことまで、様々なことの相談に乗ってもらいサポートしてもらいました。本当にありがとうございます。また KMD に入学するきっかけを与えてくださった副指導教員の砂原先生には深く感謝いたします。最後に大学、大学院での生活を、いつも応援してくださった両親には深く感謝いたします。本当にありがとうございました。

参 考 文 献

- [1] Antonio Bicchi, Enzo Pasquale Scilingo, and Danilo De Rossi. Haptic discrimination of softness in teleoperation: the role of the contact area spread rate. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 16, No. 5, pp. 496–504, 2000.
- [2] 池田義明, 藤田欣也. 指先の接触面積と反力の同時制御による柔軟弾性物体の提示. 日本 VR 学会論文誌, Vol. 9, No. 2, pp. 187–194, 2004.
- [3] 岩田. 仮想立体の硬さを表現するためのフォースディスプレイ. ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp. 55–58, 1991.
- [4] 高瀬翔, 土井幸輝, 藤本浩志. 対象物の硬さに応じた指腹自体の変形の違いが硬さ感覚特性に及ぼす影響. 日本感性工学会論文誌, Vol. 8, No. 4, pp. 1105–1111, 2009.
- [5] 鈴木隆裕, 池田篤俊, 高松淳, 小笠原司. 把持型触覚提示デバイスを用いた振動による柔らかさ提示. 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 7, pp. 718–726, 2012.
- [6] 上平崇仁ほか. ヒューマン・インターフェイスにおける認知的基盤. 専修ネットワーク & インフォメーション= Network and Information, Vol. 8, pp. 75–84, 2005.
- [7] D.A.Norman 野島久雄. 誰のためのデザイン? 認知科学者のデザイン原論. 1990.
- [8] 黒須正明海保博之. 認知的インターフェースコンピュータとの知的つきあい方. *The name of the journal*, 1991.

- [9] 中村雅之菅野盾樹. 心の中の身体 想像力のパラダイム転換. 1991. 紀伊国屋書店.
- [10] 久保田晃弘. 消えゆくコンピュータ human-interface. 1999. 岩波書店.
- [11] 三宅芳雄. ヒューマンインターフェイス研究と認知科学講座:情報技術者のための認知科学.
- [12] Richard H Passman. Arousal reducing properties of attachment objects: Testing the functional limits of the security blanket relative to the mother. *Developmental Psychology*, Vol. 12, No. 5, p. 468, 1976.
- [13] 遠藤利彦. 移行対象の発生因的解明: 移行対象と母性的関わり. 発達心理学研究, Vol. 1, No. 1, pp. 59–69, 1990.
- [14] Rina HAYASHI and Shohei KATO. Importance of soft tactility on robot-assisted therapy. *Transactions of Japan Society of Kansei Engineering*, pp. TJSKE–D, 2018.
- [15] 沼崎誠, 松崎圭佑, 埴田健司. 持つものの柔らかさ・硬さによって生じる皮膚感覚が対人認知と自己認知に及ぼす効果. 実験社会心理学研究, Vol. 55, No. 2, pp. 119–129, 2016.
- [16] 林里奈, 加藤昇平. ロボット・セラピーにおける柔らかい触感の重要性. 日本感性工学会論文誌, Vol. 18, No. 1, pp. 23–29, 2019.
- [17] 山下洋平, 三武裕玄, 高瀬裕, 加藤史洋, 須佐育弥, 長谷川晶一, 佐藤誠. 芯まで柔らかいぬいぐるみロボットとのインタラクション. 2012.
- [18] Oriana R Aragón, Margaret S Clark, Rebecca L Dyer, and John A Bargh. Dimorphous expressions of positive emotion: Displays of both care and aggression in response to cute stimuli. *Psychological science*, Vol. 26, No. 3, pp. 259–273, 2015.

- [19] 石井裕ほか. 仮想と現実の融合: 3. タンジブル・ビット-情報と物理世界を融合する, 新しいユーザ・インタフェース・デザイン. *情報処理*, Vol. 43, No. 3, pp. 222–229, 2002.
- [20] 石井裕. タンジブル ビット-情報と物理世界を融合する新しいユーザ インタフェースデザイン. *情報処理*, Vol. 43, No. 3, pp. 222–229, 2002.
- [21] Hiroshi Ishii, Ali Mazalek, and Jay Lee. Bottles as a minimal interface to access digital information. In *CHI'01 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 187–188. ACM, 2001.
- [22] Alvaro Cassinelli and Masatoshi Ishikawa. Khronos projector. In *ACM SIGGRAPH 2005 Emerging technologies*, p. 10. ACM, 2005.
- [23] Gota Kakehi, Yuta Sugiura, Anusha Withana, Calista Lee, Naohisa Nagaya, Daisuke Sakamoto, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. Fuwafuwa: detecting shape deformation of soft objects using directional photorefectivity measurement. In *ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies*, p. 5. ACM, 2011.
- [24] Marc Teyssier, Gilles Bailly, Catherine Pelachaud, Eric Lecolinet, Andrew Conn, and Anne Roudaut. Skin-on interfaces: A bio-driven approach for artificial skin design to cover interactive devices. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 307–322. ACM, 2019.
- [25] 金谷翔子, 石渡貴大, 横澤一彦. 自己による触刺激がラバーハンド錯覚に与える影響 (i 特集j 知覚・認知・行為における多感覚統合). *基礎心理学研究*, Vol. 30, No. 1, pp. 11–18, 2011.
- [26] 奥出直人. デザイン言語-感覚と論理を結ぶ思考法. 2002. 慶應義塾大学出版会.

- [27] 脇田玲. デザイン言語入門-モノと情報を結ぶデザインのために知っておきたいこと. 2009. 慶應義塾大学出版会.
- [28] Brigid Costello, Lizzie Muller, Shigeki Amitani, and Ernest Edmonds. Understanding the experience of interactive art: Iamascope in beta.space. In *Proceedings of the second Australasian conference on Interactive entertainment*, pp. 49–56. Creativity & Cognition Studios Press, 2005.
- [29] Shigeki Amitani and Koichi Hori. Supporting musical composition by externalizing the composer’s mental space. In *Proceedings of the 4th conference on Creativity & cognition*, pp. 165–172. ACM, 2002.
- [30] T Bentley, L Johnston, and K Von Baggo. Affect: physiological responses during computer use. In *2003 Australasian Computer Human Interaction Conference, OzCHI*, Vol. 2003, 2003.
- [31] 神作順子. 色彩感情の分析的研究. 心理学研究, Vol. 34, No. 1, pp. 1–12, 1963.