

修士論文

2016 年度

ジェスチャ操作に基づくナチュラルユー ーザインタフェースの設計

齋藤 美佳

(学籍番号 : 81533228)

指導教員 小木 哲朗

2017 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論 文 要 旨

学籍番号	81533228	氏 名	齋藤美佳
論文題目： ジェスチャ操作に基づくナチュラルユーザインタフェースの設計			
<p>(内容の要旨)</p> <p>近年の技術発展に伴い、人々をとりまく情報端末や電子機器の環境は大きく変化してきた。同様に人とコンピュータの対話を実現するためのユーザインタフェースは、その在り方は変わってきている。キーボードでコマンドを入力するキャラクタユーザインタフェース (CUI) の時代から、アイコンやメニューをマウスで選択するグラフィカルユーザインタフェース (GUI) の時代が変わったことで、コンピュータは専門家のものから一般の人々へと普及していった。GUIはその構成要素から、WIMP型インタフェースと呼ばれている。GUIの登場以降、メニュー、フォーム、ツールバーに依存しない Post-WIMP型インタフェースの研究や開発が行われてきた。さらに近年では、ナチュラルユーザインタフェース (NUI) と呼ばれるものも登場した。NUIは人間の五感や人間が自然に行う動作によって機械を操作する方法と定義され、タッチパネルや音声操作、ジェスチャ操作などがそれに当たる。特にジェスチャ操作は、操作を認識するためのデバイスがいくつか登場しているが、ゲーム要素が強く有効活用が進んでいるとはいえない。</p> <p>そこで本研究では、ジェスチャ操作に基づくナチュラルインタフェースを設計し、Post-WIMP型インタフェースの在り方を検討する。ユーザインタフェースの設計ではユーザビリティを考慮し、ジェスチャ操作を行うユーザにとって、どのようにすれば使いやすいのか、操作性を担保できるのかを明らかにすることを目的としている。</p> <p>本研究ではジェスチャ操作に基づくインタフェースを設計する上で、ジェスチャ操作の分析とジェスチャ操作可能な情報案内システムを構築して操作性や有用性の評価を行った。検討するにあたり、人間の感覚に沿った操作感を生むこと、不特定多数のユーザが使うこと、ジェスチャ操作に適したアフォーダンスを提供することに着目してインタフェースの設計を行った。結果、ジェスチャ操作に対してリアルタイム性のあるユーザインタフェースを提供することでユーザの感じる分かりやすさや操作感に向上があることがわかった。</p>			
キーワード (5語) ジェスチャ操作、ナチュラルユーザインタフェース、Leap Motion、公共情報ディスプレイ、ユーザビリティ			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81533228	Name	Mika Saito
<p>Title</p> <p style="text-align: center;">Design of Natural User Interface Based on Gesture Operation</p>			
<p>Abstract</p> <p>With the development of technology, information terminals and electronic devices have changed dramatically. Likewise, the user interface for interacting with people and computers is changing. From the era of the character user interface (CUI) to enter commands with the keyboard, it changed into the era of the graphical user interface (GUI) which selects icons and menus with the mouse. As a result, the computer spread from expert to general people. From the constituent elements, the GUI is called a WIMP type interface. Since the advent of the GUI, research and development of a Post-WIMP type interface independent of menus, forms, and tool bars has been conducted. More recently, what is called a natural user interface (NUI) also appeared. NUI is defined as "a way to manipulate a machine by human senses and actions that nature performs naturally", like a touch panel, voice operation system, gesture operation system. Especially some gesture operations have appeared devices for recognizing operations. However, it can not be said that the game elements are strongly used effectively.</p> <p>Therefore, in this research, I design a natural interface based on gesture operation and examine the way of Post - WIMP type interface. Usability is considered in the design of the user interface. It is aimed to clarify how to make it easier to use and guarantee operability for users who perform gesture operations. In this research, I designed the interface based on the gesture operation, analyzed the gesture operation and constructed the information guidance system which can handle the gesture and evaluated the operability and usefulness. In designing the interface, I focused on creating an operation feeling according to the human sense, using an unspecified number of users, and providing affordance suitable for the gesture operation.</p> <p>As a result, it was found that by providing a user interface with real time nature to the gesture manipulation, the user's feeling of understandability and operation feeling improved.</p>			
<p>Key Word(5 words)</p> <p>Gesture, Natural User Interface, Leap Motion, PID, Usability</p>			

目次

第1章 序論	8
1.1 研究背景	9
1.1.1 ユーザインタフェースの変化	9
1.1.2 ユーザインタフェースとユーザビリティ	15
1.2 研究目的	19
1.2.1 これからのユーザインタフェースとジェスチャ操作	19
1.2.2 ジェスチャ操作型情報案内システム	20
第2章 関連研究	23
2.1 先行研究・事例	24
2.1.1 初期の例	24
2.1.2 広視野作業画面での例	24
2.1.3 商業施設・街頭での例	25
2.1.4 デスクトップでのジェスチャ操作	26
2.1.5 実用化事例	27
2.2 本研究の位置	28
第3章 システムの検討	30
3.1 システムのコンセプト	31
3.2 ジェスチャ操作の分析	32
3.2.1 ジェスチャによる操作コマンド	32
3.2.2 指指し実験	33
3.2.3 実験結果と考察	35
3.2.4 スワイプ操作の検証	38
第4章 情報案内システムの構築	41
4.1 コンテンツの検討	42
4.2 大会情報案内システム	42
4.2.1 機能概要	42

4.2.2	操作コマンドの検討	43
4.2.3	ユーザインタフェース設計方針	44
4.2.4	操作方法と操作の流れ.....	45
4.2.5	システムの構築.....	46
4.3	検証とフィードバック	47
4.3.1	検証方法.....	47
4.3.2	結果とフィードバック.....	48
4.3.3	考察.....	48
第5章	ジェスチャ操作に対する 効果的なフィードバック	50
5.1	効果的なフィードバックの検討	51
5.1.1	問題点と仮説	51
5.1.2	リアルタイム性の付与.....	52
5.2	評価と検証	53
5.2.1	目的	53
5.2.2	評価方法.....	53
5.2.3	結果.....	55
5.2.4	考察.....	58
第6章	結論	59
6.1	結論	60
6.2	今後の展望	60
	謝辞	62
	外部発表.....	63
	参考文献.....	64

目次

図 1-1 Apple Macintosh (1984) の UI.....	10
図 1-2 情報通信端末の世帯保有率の推移.....	12
図 1-3 Amazon Echo	13
図 1-4 Microsoft Kinect	14
図 1-5 Project Soil.....	15
図 1-6 スマートフォンの購入時に重視した項目	18
図 1-7 Microsoft HoloLens.....	19
図 1-8 Kino-mo Hypervision.....	20
図 1-9 情報案内システムの例 (新宿駅西口)	21
図 1-10 タッチパネル型ナビゲーション.....	22
図 2-1 マイノリティ・レポートでのジェスチャ操作のワンシーン.....	25
図 2-2 Leap Motion.....	27
図 2-3 MYO	28
図 3-1 システムの基本構成.....	31
図 3-2 実験の概要	35
図 3-3 指指し実験の様子	36
図 3-4 フィードバック有無の差異比較.....	37
図 3-5 サンプルプログラムの画面.....	39
図 4-1 情報案内システムの画面.....	45
図 4-2 システム操作フロー.....	46
図 4-3 展示の様子.....	47
図 5-1 ユーザインタフェース概要.....	53
図 5-2 比較実験の様子.....	55
図 5-3 アンケート集計結果.....	56

表目次

表 1-1 インタフェースの世代区分	9
表 1-2 ISO 924-11 によるユーザビリティの定義	16
表 1-3 ニールセンによるユーザビリティの定義	17
表 3-1 既存デバイスの操作方法	33
表 3-2 指指し実験の結果	36
表 4-1 操作コマンドの割当内容	44
表 5-1 良いデザインの原則	51
表 5-2 アンケート項目	54
表 5-3 実験結果	57

第1章

序論

1.1 研究背景

1.1.1 ユーザインタフェースの変化

ユーザインタフェースとは、コンピュータとそれを使う人間の間において、人間の指示をコンピュータに伝えたり、コンピュータからの出力結果を人間に伝えたりするためのソフトウェアやハードウェアの総称である。コンピュータの普及に伴い、人とコンピュータの対話を実現するためのユーザインタフェースは変化を遂げてきた。ユーザインタフェースの変化について、Andy Van Dam は断続平衡説の概念を使用して以下の4つの世代に区分けしている [1]

世代	概要・ユーザインタフェース
第一世代 (1950～1960年代)	バッチインターフェース 基本的にはユーザとコンピュータの対話型ではなく、ユーザインタフェースが無い
第二世代 (1960～1980年代初期)	キャラクタユーザインタフェース (CUI) ユーザがテキストをコンピュータに入力する対話型のインターフェース
第三世代 (1970年以降)	グラフィカルユーザインタフェース (GUI) ウィンドウ、アイコン、メニュー、ポインタ (WIMP) で構成されたインターフェース
第四世代 (1990年代)	Post-WIMP 型インターフェース メニュー、フォーム、ツールバーに依存しないインターフェース

表 1-1 インタフェースの世代区分

コンピュータのユーザインタフェースにおける第一の変化は、バッチインター

フェースからキャラクタユーザインタフェース（CUI）への変化である。それまでコンピュータに穿孔されたカードを読み込ませることで処理を実行していたものから、キーボードを使用してコマンドを打ち込み、処理を実行する形へと変化した。この時代にキーボードでの入力、ディスプレイでの出力という、現在の広く普及するパーソナルコンピュータの基礎が出来上がった。マシンの小型化と CUI の登場はパーソナルコンピュータの普及を促したが、さらに大きな変革をもたらしたのがグラフィカルユーザインタフェース（GUI）の登場である。ウィンドウ、アイコン、ナビゲーションメニュー、ポインティングデバイスで構成された GUI を備えたコンピュータの開発が 1970 年代からパロアルト研究所で始まった。その後、1984 年の Macintosh の登場により一般家庭にもパーソナルコンピュータが普及し始め、それに続く Windows PC によって世界的に普及していった。

GUI は、その構成要素（Window, Icon, Menu, Pointing device）の頭文字を取って WIMP 型インタフェースと言われている。この形式は少しずつ形を変えつつも、基本的な構造は変わること無く現在のパーソナルコンピュータに引き継がれている。（図 1-1）

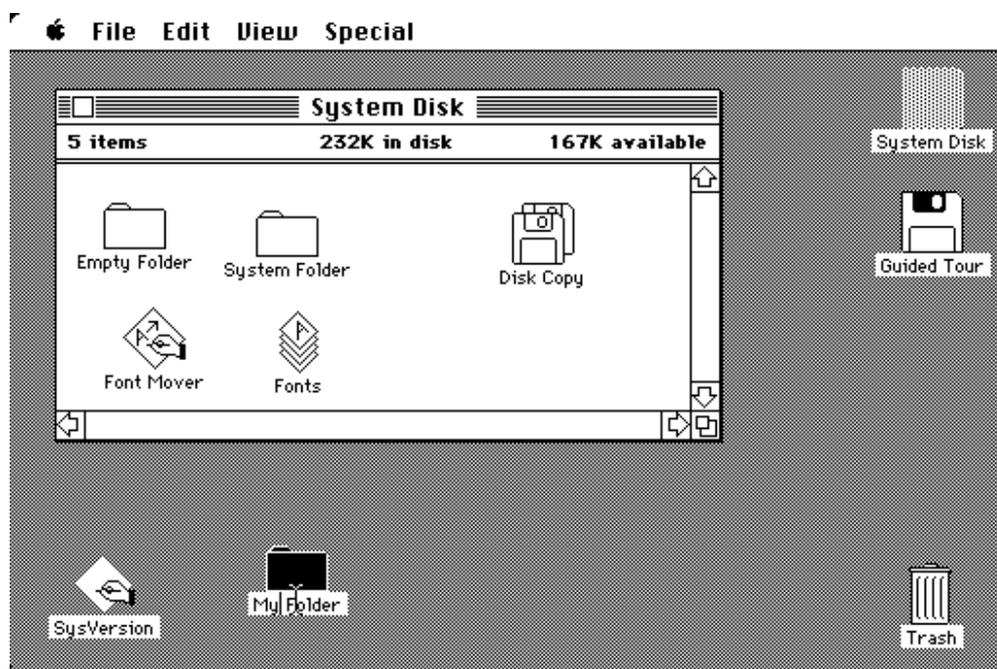


図 1-1 Apple Macintosh（1984）の UI¹

¹ Apple Macintosh Desktop:
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Apple_Macintosh_Desktop.png

GUI の登場以降、メニュー、フォーム、ツールバーに依存しない Post-WIMP 型インタフェースの研究や開発が行われてきた。

Post-WIMP 型の一つの形として、研究の分野では、97 年に MIT メディアラボの石井裕教授が提唱したタンジブルインタフェースがある[2]。これは形のないデジタルの世界を、物理世界に表現して直接触れられるようにするというインタフェースである。これは現状のコンピュータのインタフェースの概念を超えるものであり、その後「タンジブル」というキーワードで様々なユーザインタフェースの在り方が研究されている。

デバイスの面では、1990 年代に PDA (Personal Digital Assistant) と呼ばれる携帯情報端末なども登場した。PDA はパーソナルコンピュータと比較して限定的な機能しか持たないものの、手のひらサイズであり、端末自体のキーや外付けのペンを使用して操作するという特徴がある。UI の面では、ポインティングデバイスがペンであるという特徴はあるが、Post-WIMP 型と呼べるほどの変化ではなかった。PDA は広く普及するには至らず、その後登場したスマートフォンに吸収される形となった。

スマートフォンは、2007 年の iPhone の発売、続く 2008 年の Android の発売により、数年間で爆発的に普及していった[3]。(図 1-2)

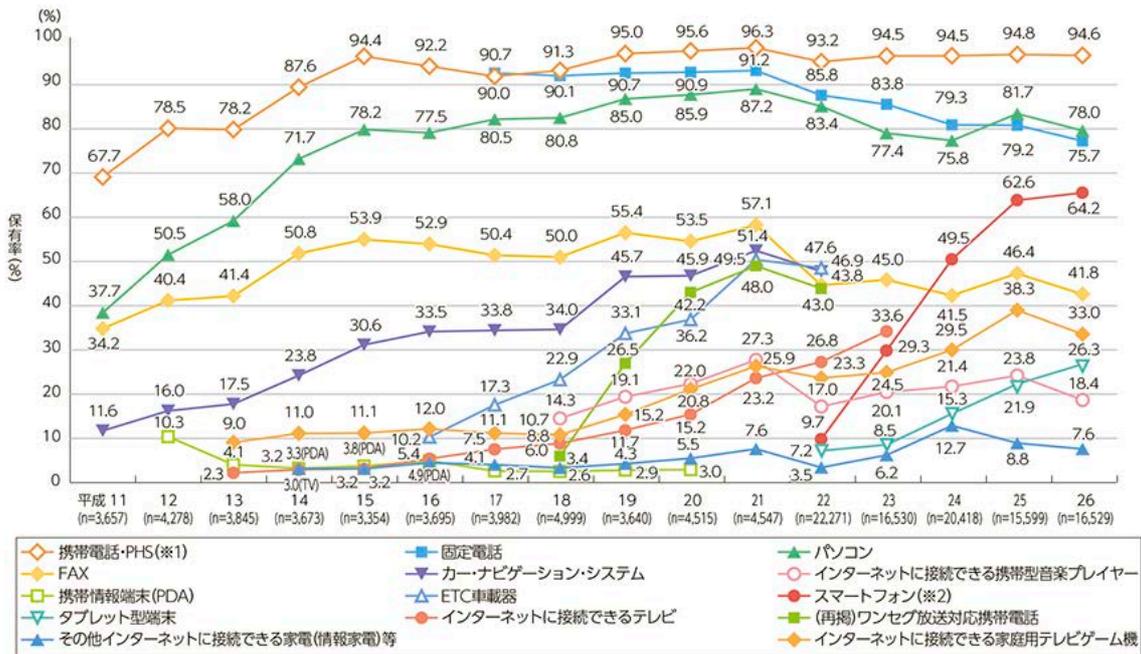


図 1-2 情報通信端末の世帯保有率の推移²

これらスマートフォンやタブレット型 PC の普及により、画面を直接触って操作するタッチパネル式のユーザインタフェース、タッチユーザインタフェース

(TUI) が現在は主流となっている。同様に、VR (仮想現実) や AR (拡張現実) の研究開発の進展や、IoT (モノのインターネット) の登場、デジタルサイネージのような情報提示システムの普及に伴い、人とコンピュータとの在り方が変わってきた。このような流れの中で、新たにナチュラルユーザインタフェース (NUI) という概念が出現した。2012 年 3 月に東京工芸大学が行った「ナチュラルユーザインタフェースに関する調査」[4]では NUI を「人間の五感や人間が自然に行う動作によって機械を操作する方法」定義している。ここでは NUI の具体例として、タッチパネルや音声対話システム、ジェスチャ操作などが挙げられている

タッチパネルは前述したスマートフォンやタブレット PC だけでなく、切符の券売機や銀行 ATM、街中に設置してある情報端末など、日常的に利用されている。音声対話システムで有名なものには、iPhone に搭載されている Siri³が上げられる。Siri は入力された音声を解析してユーザの質問に答える、他のアプリを起動す

² 総務省「平成 27 年通信利用動向調査」:

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc372110.html>

³³ iOS Siri : <http://www.apple.com/jp/ios/siri/>

るなどのアシスタント機能を備えたアプリである。Siriのような携帯端末に付属するアプリケーションではなく、Amazon Echoのように家庭に据え置きするタイプの音声対話システムも登場した（図 1-3）。これは家電と連携する以外にも音声一つでショッピングも可能というように様々な機能を兼ね備えており、IoT を体現する製品だと言える。



図 1-3 Amazon Echo⁴

ジェスチャ操作で実用化されているものでは Microsoft の Kinect が上げられる（図 1-4）。これは「カラダまるごとコントローラー」というキャッチコピーにあるとおり、ユーザの全身の動きを認識しシステムを操作するためのデバイスである。元々はゲーム向けに開発されたものだが、ソフトウェア開発キットなども公開され近年はゲーム用途以外での活用も模索されている。

⁴ Amazon Echo : <http://a.co/2i9jsto>



図 1-4 Microsoft Kinect⁵

また、2015年にGoogleからProject Soilという名称のプロジェクトが発表された(図1-5)。これはレーダーをジェスチャセンサとして使用し、ジェスチャ操作で端末を操作するための研究開発プロジェクトである。開発者キットも配布されており、商品化に向けて開発が進んでいる。

⁵ Microsoft Kinect : <http://www.xbox.com/ja-JP/xbox-one/accessories/kinect>



図 1-5 Project Soil⁶

これらの例を見ても、コンピュータとユーザの間で情報のやりとりを行うインタフェースであるユーザインタフェースも変革期にあると言える。旧来のパーソナルコンピュータに代表される WIMP 型のユーザインタフェースは過渡期を迎えており、新たなユーザインタフェースの在り方が求められている。

1.1.2 ユーザインタフェースとユーザビリティ

ユーザインタフェースは人間とコンピュータの対話を実現するためのものであるため、その在り方はコンピュータや電子機器の操作性や使いやすさを決める大きな要因となる。そしてその操作性や使いやすさは、ユーザビリティと呼ばれ、製品やサービスを作る上で重要な指標となっている。

ユーザビリティは国際標準化機構の規格である ISO 9241-11 で「特定の利用状況において、特定のユーザによって、ある製品が、指定された目標を達成するた

⁶Project Soil : <https://atap.google.com/soli/>

めに用いられる際の、「有効さ、効率、ユーザの満足度の度合い」とされ、以下の項目が定義されている。(表 1-2)

有効さ (effectiveness)	ユーザが指定された目標を達成する上での正確さ、完全性
効率 (efficiency):	ユーザが目標を達成する際に、正確さと完全性に費やした資源
満足度 (satisfaction)	製品を使用する際の、不快感のなさ、および肯定的な態度
利用状況 (context of use)	ユーザ、仕事、装置（ハードウェア、ソフトウェア及び資材）、並びに製品が使用される物理的及び社会的環境

表 1-2 ISO 924-11 によるユーザビリティの定義

また、ウェブユーザビリティの権威である Jakob Nielsen は、著書の中でユーザビリティを以下のように定義している[5]。(表 1-3)

学習しやすさ	システムは、ユーザがそれをすぐ使い始められるよう、簡単に学習できるようにしなければならない
効率性	一度学習すれば、あとは高い生産性を上げられるよう、効率的に使用できるものでなければならない
記憶しやすさ	ユーザがしばらくつかわなくても、また使うときにすぐ使えるよう覚えやすくしなければならない
エラー発生率	エラーの発生率を低くし、エラーが起こっても回復できるようにし、かつ致命的なエラーは起こってはならない
主観的満足度	ユーザが個人的に満足できるよう、また好きになるよう、楽しく利用できなければならない

表 1-3 ニールセンによるユーザビリティの定義

パーソナルコンピュータの急速な普及や、人々を取り巻く環境の変化により、情報端末や電子機器に対してユーザビリティの高さを求める動きが強くなっている。情報端末や電子機器が身近になればなるほど、操作を学習しやすく、覚えやすく、手軽で簡単に使えるものが好まれる。1980年台のCUIからGUIへの流れもその好例である。コンピュータの操作に必要なコマンドを記憶してキーボードで打ち込まなければならないものから、表示されたアイコンやメニューから自分の望むものを選んでクリックするだけで操作ができるようになったことで、パーソナルコンピュータは一部の専門家や知識を持った人間だけでなく、幅広いユーザ層に利用されるようになった。

同様にユーザビリティの高さは、ユーザが製品を選ぶ大きな決め手となる。実際に、モバイルマーケティングデータ研究所が2016年に行ったスマートフォン購入者に対して行ったアンケートでは、スマートフォンを購入する際に重視した項目に機能やスペック面よりも「操作性の良さ」を上げている購入者が多いという結果が出ている。(図 1-6)

近年ではさらに、ユーザエクスペリエンス (UX) という言葉も頻繁に使われる

ようになった。これはニールセンのユーザビリティ定義における「主観的満足度」に当たるものであり、製品を使ったユーザが楽しいと感じるか、面白いと思えるかなど、どのように感じるのかということまで求められている。

● スマートフォンを購入する際に、重視した項目 (N=403) ※iOS

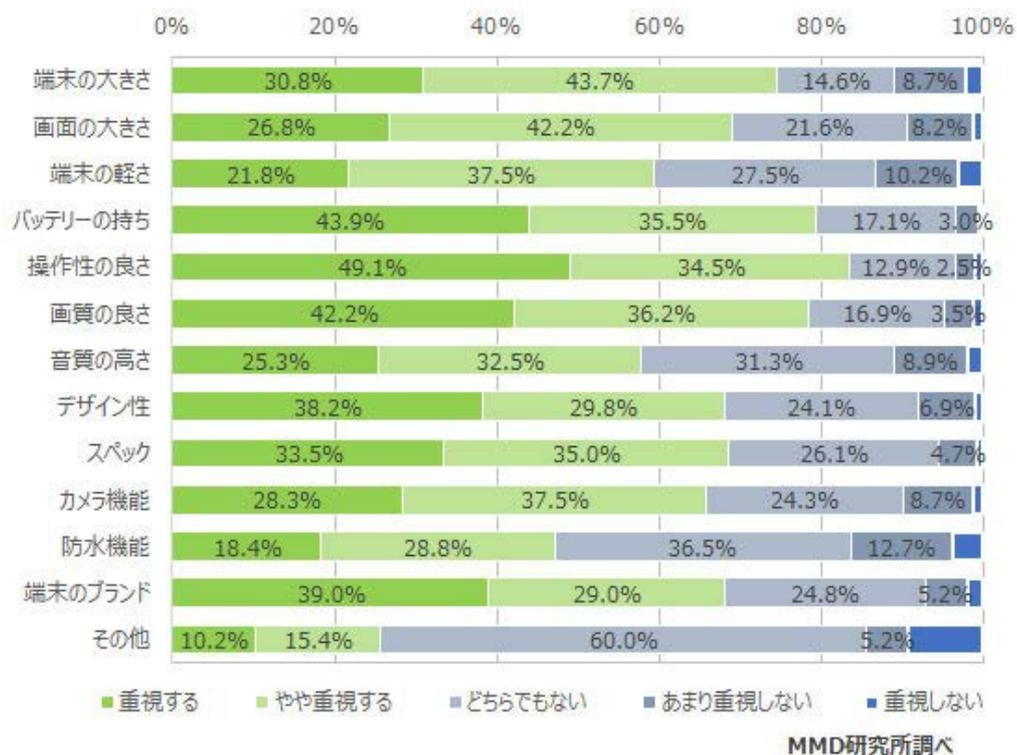


図 1-6 スマートフォンの購入時に重視した項目⁷

これらのように、コンピュータとユーザの間で情報のやりとりを行うユーザインタフェースも変革期にあるのと同時に、高いユーザビリティも求められている。新たなユーザインタフェースの在り方を考える上で、操作性の高さや使いやすさといったユーザビリティを考慮しなければならない。

⁷ MMD 研究所 : https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1613.html

1.2 研究目的

1.2.1 これからのユーザインタフェースとジェスチャ操作

本研究の目的は、ジェスチャ操作に基づくナチュラルインタフェースを設計し、Post-WIMP 型インタフェースの在り方を検討する。ユーザインタフェースの設計ではユーザビリティを考慮し、ジェスチャ操作を行うユーザにとって、どのようにすれば使いやすいのか、操作性を担保できるのかを明らかにする。

本研究においてジェスチャ操作を利用する理由は2つある。一つは、技術的な面では十分な性能を持った製品が出ているにも関わらず、使用用途がゲームなど限定的であり活用が進んでいないこと。二つ目は、VR や AR 技術の発展である。

VR や AR は多くの企業が注目しており、様々な開発が行われている。Microsoft では「Microsoft HoloLens」(図 1-7) という新型のヘッドマウントディスプレイを発表している。これは頭部に装着するタイプの透過型のディスプレイで、装着者は現実世界にホログラムが表示されたような体験ができるものである。



図 1-7 Microsoft HoloLens⁸

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

また、身体に装着せずにホログラムを実現させる方法もある。kino-moの「Kino-mo Hypervision」はLEDのついたプロペラを高速回転することで空間に映像を表示する。(図 1-8)



図 1-8 Kino-mo Hypervision⁹

このように SF 映画の世界とも言える技術が登場してきており、今まで画面上で操作していたものが画面を超えて現実に表現される日も近いと言える。画面が不要になれば、操作方法としてジェスチャ操作の存在が大きくなると考えられる。このような背景から、NUI と呼ばれるものの中からジェスチャ操作を取り上げる。

1.2.2 ジェスチャ操作型情報案内システム

本研究ではジェスチャ操作に基づくインタフェースを設計する上で、ジェスチャ操作可能な情報案内システムを構築して操作性や有用性を評価することとした。

ここでの情報案内システムは、街中や商業施設などに設置されている地図情報

⁹ Kino-mo: <http://kino-mo.com/>

表示板やナビゲーションシステムを指す。(図 1-9)



図 1-9 情報案内システムの例(新宿駅西口)

デジタルサイネージの普及に伴い、上図のようなナビゲーション用途を持ったサイネージやタッチパネル型のシステムが増えている[6]。特に日本では2020年の東京オリンピックに向けて、訪日外国人向けの案内システムを含むサイネージの活用が検討されている。現在でもタッチパネル型のシステムは見られるが、公共の場で不特定多数のユーザが使うことから、衛生面での問題がある。また、タッチパネルの場合、操作者の手の可動範囲が制限されることから、広視野画面での表示やタッチパネル化は難しい。

新宿に設置されている情報案内システムはタッチパネル型のナビゲーションシステム(図 1-10)を併設しており、タッチパネル方式で新宿駅周辺の情報を確認することができる。このシステムは、タッチパネルで操作できる画面の隣部分に広域のマップ画面が設置されており、タッチパネルで操作した内容が隣のマップに連動して表示される。



図 1-10 タッチパネル型ナビゲーション

現地でこれを実際使用したが、その際にタッチパネル部分が汚れていてザラザラとした触感があり、不快感があった。また、タッチパネルで操作している内容を、隣の広域マップ画面に表示しても、タッチパネルの前で操作している自分では確認することができず、利便性を感じられなかった。

このような問題は、ジェスチャで操作できるようになることで解決できる。ジェスチャ操作の場合は非接触で操作できるため、画面が汚れていたとしてもそれを触る必要はない。また、広域画面の場合でも、離れた場所から操作できるため適切な視野角で画面を見ることが出来る。

このような面から見ても、ジェスチャ操作にはタッチパネルとは違った有用性があると言える。

第2章 関連研究

2.1 先行研究・事例

ジェスチャ操作に関する研究は古くから行われてきており、過去にも様々な方法が模索されてきた。第2章では過去の研究の例と、本研究の位置づけについて述べる。

2.1.1 初期の例

ジェスチャ操作の初期の例は、1980年に発表されたMIT Media Labの「Put-That-There」[7]がある。これは音声入力とジェスチャ認識を使って大型ディスプレイの上のオブジェクト操作をすることができるシステムである。例えば、ディスプレイに表示されているオブジェクトを指差しながら、「Make that smaller」と言うとそのオブジェクトが小さくなる。これは前述したSiriやKinectの概念をすでに実現していたものであり、非常に革新的で先駆的な研究だったと言える。

この研究は40年近く前のものであり、その当時から音声操作やジェスチャ操作については研究や検討されてきたということである。近年になり技術基盤が出来上がったことで、ようやく普及の段階に達したと言える。

2.1.2 広視野作業画面での例

近年の例では、木村(2006)による広視野電子作業空間でのジェスチャ操作の研究がある[8]。これは映画「マイノリティ・リポート」に発想を得て作られたシステムである。「マイノリティ・リポート」の中では、主人公が湾曲した半透明の広視野ディスプレイの前でジェスチャ操作を行ってシステムを操作するシーンが登場するが(図2-1)、このジェスチャ操作型システムを現実再現しようとした研究である。



図 2-1 マイノリティ・レポートでのジェスチャ操作のワンシーン¹⁰

この研究では、広視野電子作業空間に適した作業として医用画像の閲覧・整理作業と定義し、それらの操作をジェスチャ操作で行うためのシステムを構築している。映像はアーチスクリーンにプロジェクタで投影し、ユーザはグローブを嵌めてジェスチャ操作を行う。ジェスチャ操作は磁気センサによる手の大まかな位置姿勢の検出と、グローブの指先につけた再帰性反射材をマーカとして用いてジェスチャ操作を識別している。

このシステムは大規模な装置を必要としており、作業空間が限られている。また、作業者は特定のユーザであり、グローブの装着も必要であるため、誰でも簡単に操作できるというものではない。

2.1.3 商業施設・街頭での例

商業施設でのジェスチャ操作型システムの例では、松原(2012)によるテーブル型インタラクティブデジタルサイネージの研究がある[9]。この研究はジェスチャ操作を用いて公共の場での利用方法に適したインタラクティブサイネージを開発することを目的としている。公共の場での利用方法として複合商業施設でのフロ

¹⁰ マイノリティ・レポート：<http://movies.foxjapan.com/minority/>

アガイドを例とし、開発と評価実験が行われている。このシステムはセンサ、ディスプレイ、PCの3つで構成されており、3次元距離画像カメラを用いてジェスチャ操作を認識させている。この実験では一般被験者でのユーザビリティ評価により、システムを初めて使うユーザでもジェスチャ操作方法を説明すること無く目的の操作を実行できることを確認しているが、被験者のうち8割がジェスチャ操作をできるにも関わらず画面に触ってしまうという結果が出ている。これは実際に触れることが出来るタッチパネルに慣れているユーザにとって、ジェスチャ操作という実態のない物を操作する行為が分かりにくいためであると考えられる。

また、海外の例では C,Ackad (2013) による、PID (公共情報ディスプレイ) を使用したインタラクティブサイネージの研究がある [10]。これはジェスチャ操作可能な公共情報ディスプレイを開発し、実際に 120 日間街頭に設置して検証するというものである。このシステムは建物の中に外に向かって設置されており、ガラス窓を通して外の通路からジェスチャ操作できるような仕組みになっている。ジェスチャ操作を検知するセンサとして Kinect を使用しており、手を上げたり動かしたり、決められたコマンドに沿ったジェスチャを行うと画面が反応するようになっている。この実験では 120 日間の間に 2468 人がディスプレイに近づき、そのうちの 62% がジェスチャ操作によるインタラクションを行ったという結果がでていることから、多くのユーザが興味をもって使用したことが分かる。

2.1.4 デスクトップでのジェスチャ操作

街頭などの屋外ではなく、机上でジェスチャ操作を行う例としては、MIT の SpaceTop がある [11]。これは透過型のディスプレイと 2 台の Kinect を使用しており、使用者はディスプレイを挟む形でディスプレイの後ろ側に手を置き、その場所で手を動かす。それにより透過型ディスプレイ上に映っている物体を手の動きに合わせて操作することを可能とする。これは CAD プログラムなど 3D 表現を行うユーザが使用することを目的としており、一般向けとは言えない。

同様の例では、Microsoft の Holodesk [12] がある。これも SpaceTop と同じように、使用者とデスクのあいだに透明なビームスプリッタがあり、そこに CG を投影して現実のデスク上に仮想オブジェクトが出現したように見える仕組みとなっ

ている。これもジェスチャのセンシングには Kinect が使用されているが、デスクトップなど大掛かりな機材が必要となるため、一般向けの製品ではない。

2.1.5 実用化事例

ジェスチャ操作を実現するデバイスはいくつか販売されている。前述した Microsoft Kinect 以外にも、赤外線センサーによってハンドジェスチャーを検知する Leap Motion 社の Leap Motion、筋電を検知して腕や手の動きを検知する Thalmic Labs 社の MYO などがある。これらのデバイスはジェスチャ操作によってコンピュータを操作することは実現できるが、公開されているアプリケーションはゲーム要素が強いものが多い。



図 2-2 Leap Motion¹¹

¹¹ Leap Motion : <https://www.leapmotion.com/>



図 2-3 MYO¹²

ゲーム以外の例で実用化されている例では、手術室向け非接触型画像操作システムの Opect がある [13]。これは Microsoft とニチイ学館が共同で開発を行い、東京女子医科大学で試験運用されており、現在はニチイ学館のサービスとして販売されている。外科医は手術時に検査画像を見ながら進めることがあり、通常は検査画像に直接触れて必要な部位を取り出したり、口頭で助手に依頼して見せてもらったりする必要があった。このシステムは Microsoft Kinect によりジェスチャ操作を実現し、非接触で検査画像を操作・閲覧している。手術中に手が汚れている状態でも非接触で画面を操作できるため、衛生面が担保できる。また、遠距離での操作が可能のため手術中に場所を移動せずに操作することができる。手術室という限定的な環境ではあるが、非接触で操作できるジェスチャ操作の有用性が活用された例である。

2.2 本研究の位置

以上、本研究に関する研究事例や実用例を述べてきた。ジェスチャ操作型のシステムは過去数十年に渡って研究されてきているが、実用化されている例はそれほど多いとはいえない。またジェスチャ操作デバイスの活用のケースも限られて

¹² MYO : <https://jp.myo.com/>

いる。また、研究の例も限定的な状況であることや、大掛かりな装置やシステムを必要としており、導入の障壁が高い。そこで本研究では、大掛かりな施設や装置などを使用せずに、簡易な方法でジェスチャ操作型システムを実現する。また、公共の場で不特定多数のユーザが使用することを想定し、多くのユーザが自然にジェスチャで操作でき、使いやすいと思う要素はどのようなものなのかを明らかにする。

第3章

システムの検討

3.1 システムのコンセプト

本研究で構築するシステムは、大規模な施設や装置などを使用せずに実現する。基本構成は、ジェスチャ操作デバイスと処理用の PC、表示用のディスプレイのみとした。(図 3-1)

ジェスチャ操作を認識するための装置には、Leap Motion を選択した。Leap Motion は 2 基の赤外線カメラと赤外線照射 LED から構成された、小型のモーションセンサである。赤外線 LED に照らされた手や指を赤外線カメラで撮影し、画像解析することにより三次元空間での手や指の位置を割り出す。検知できる範囲は半径 50 センチ程度だが、指や手の動きを精密にトラッキングすることができ、高い性能を持っている。[14]

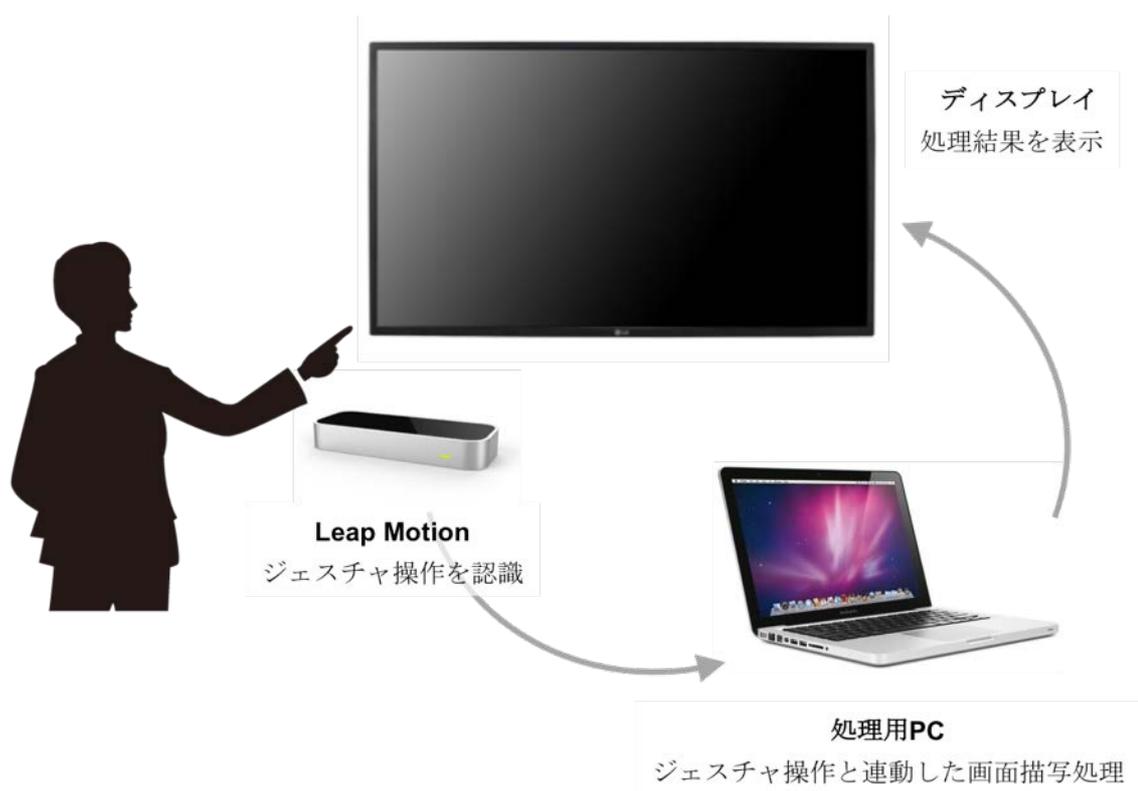


図 3-1 システムの基本構成

また、本システムは公共の場で不特定多数のユーザに利用されることを想定しているため、設計に当たりユーザビリティを高めるために以下を考慮すべき点と

した。

1. シンプルで自然な操作

CUIのようなコマンドの記憶学習は不要とし、始めて使うユーザでも使い方が分かるよう簡単なジェスチャで操作可能とする。

2. 分かりやすい画面構成

ジェスチャ操作は触覚や力覚などが無く、操作のフィードバックは視覚への依存が高くなる。そのため、ひと目見て分かるような認知負荷の低い画面構成とする。

3.2 ジェスチャ操作の分析

3.2.1 ジェスチャによる操作コマンド

ジェスチャとは、身振り、手振りのこと、またはそれを通して意思伝達するコミュニケーションの手段のことを指す。我々は日常的に会話や説明などの補助としてジェスチャを行っており、非常に身近な行為である。シンプルで自然な操作を実現する上で、どのようなジェスチャが操作コマンドとして適しているかを検討する必要がある。そこで、システムを構築する前にジェスチャ操作についての分析を行った。

このシステムは不特定多数の人が使うことを想定しているため、ジェスチャ操作は複雑ではなくごく基本的な操作のみに限定し、操作方法を学ばなくても誰でも簡単に操作できるような形とする必要がある。そこで、利用者の認知コストを下げるために、既存のメンタルモデルを踏襲した上で操作コマンドを検討する必要があると考えた。操作内容を絞って、既存のデバイスでの操作方法を整理した(表 3-1)。

操作コマンド	マウス (マウスカーソル)	タッチパネル (指)
選択	クリック, ダブルクリック	タップ
戻る・進む	戻る・進むボタンをクリック	戻る・進むボタンをタップ, 素早く左右にスワイプ
拡大・縮小	拡大・縮小ボタンをクリック	二本指でピンチ
画面内の上下左右の移動	ドラッグ, スクロール	スワイプ

表 3-1 既存デバイスの操作方法

これらの操作をジェスチャで実現する上での操作方法を考える上で、ジェスチャにおける「形態」と「動き」の2つの側面に注目した。形態とは、例えば指指し指示で位置を示すことや、ピースサインなどの手や指の形で意味を示すことである。「動き」は手を振るなどの動きを主としたジェスチャである。この2つのパターンにおいてどちらが操作コマンドとして適しているか検証した。

3.2.2 指指し実験

マウスやタッチパネルのようなポインティングデバイスの場合、ピンポイントでの操作が可能になるため、クリックやタップをしてメニューやアイコンの一部を選択する操作が多い。同様にジェスチャ操作において「メニューの中から明示的に何かを選ぶ」という操作を考えた場合に、指指しで指示をするということが自然なのではないかと考えた。

ジェスチャ操作の最初の例である「Put -that -There」でも指指しでの指示を操作の基本としているように、「あれ」と言って指を指して何かを指定する、人の注目を向けるなどの行為は、誰しもが行ったことのある一般的なジェスチャであ

る。既存のメンタルモデルと照らし合わせても、分かりやすいジェスチャであるといえる。

だが、一方で指差し動作には不確かさの問題が存在している[15]。Leap Motionのセンシング精度は高く、3次元空間内でもピンポイントに位置を検知できる。機械は3次元空間の中で人間が指差した向きの絶対的な位置を認識できるが、人間の認知は曖昧であり、機械のように精密に認識できるわけではない。人間の感覚に沿った、分かりやすい操作感を生むためにはこの点を解決する必要がある。ユーザによって指差し動作に何かしらの傾向があるのであれば、使用ユーザに合わせてキャリブレーションを行うなど、対処方法を検討する必要がある。そこで機械が認識できる絶対的な位置と、人間の認知にどれだけの差異があるのかを測定するための予備実験を行った。

この実験の目的は、人間の認知と物理的な絶対的な位置の差異を計測することにある。それにより、人間の認知のずれ方の傾向や、ユーザインタフェースを設計する上で注意すべき点を明らかにする。

実験は以下の手順で行った。

1. 提示された指定のポイントを指差しする
2. 指に装着したレーザーポインタのスイッチを入れ、指差した延長線上を照射する
3. レーザーポイントが照射された位置を記録し、提示したポイントとの差異を計測する

縦 50cm、横 90cm 四方に番号を振った 9つの点を置き、被験者は指示された番号を指差す。(図 3-2)

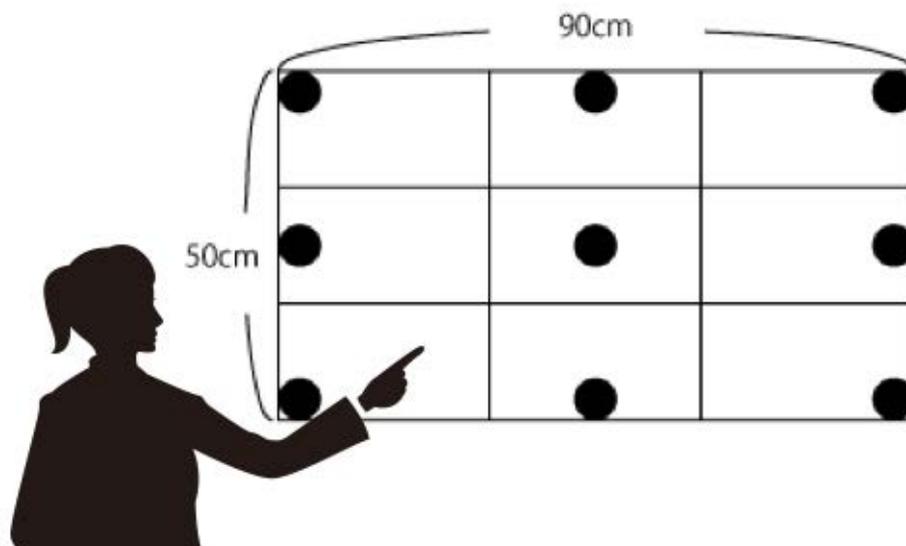


図 3-2 実験の概要

レーザーポインタの照射光の位置による影響を避けるため、指差し位置が決定した後、レーザーポインタのスイッチを入れて照射位置を測定する。さらに、被験者は以下の2つの条件下で実験を行う。

- フィードバックあり：自分が指差ししたポイントを指さし動作後に確認出来る
- フィードバックなし：自分が指差ししたポイントを最後まで確認できない

フィードバックあり、なしと条件を分けた理由としては、連続して操作した場合に、被験者による誤差の修正が行われると仮定したためである。被験者が直前に指した場所を確認できることにより、次に指す際には少なからず位置の調整をするはずである。意図的に調整されることも含めて比較を行うため、上記のような条件を定めた。

3.2.3 実験結果と考察

実験は成人男女 15 人が参加して行った (図 3-3)。



図 3-3 指指し実験の様子

実験結果の概要は表 3-2 にまとめた。実験結果からは、被験者が自分で指している方向の認識と、物理的な指の方向の違いは被験者によって差が大きいことが分かった。また、フィードバックがある場合とない場合で対応のある t 検定を行った結果、有意差が認められた(図 3-4)。

フィードバックの有無による差が出た理由として、仮説の通りフィードバックを得ることで被験者が自主的に次に指す場所を補正していたためと考えられる。そのためか、フィードバックがない場合は、ある場合に比べてやりにくかったという感想を述べる被験者が数名いた。フィードバックがある場合は、概ね誤差範囲は 50mm 以内に収まっていた。

フィードバック	誤差平均(mm)	標準偏差	分散
あり	31.52	24.27	589.1
なし	78.03	64.41	4148.86

表 3-2 指指し実験の結果

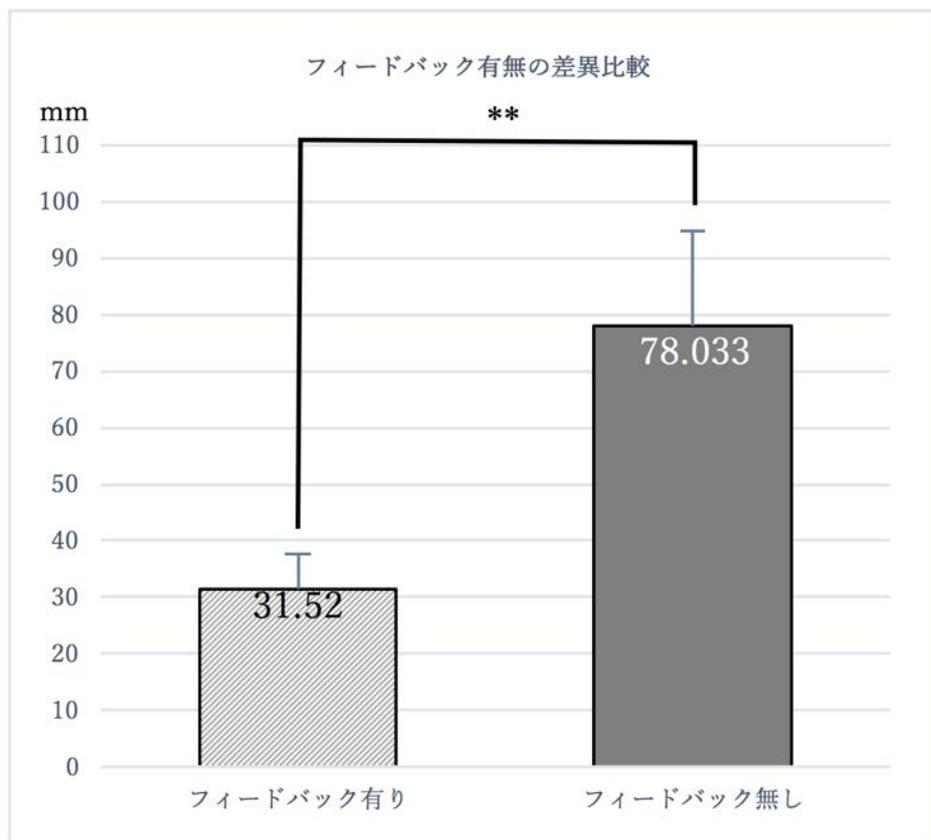


図 3-4 フィードバック有無の差異比較

被験者によって指の指し方も違いがあり、腕を折ったまま指をさす被験者や、腕を伸ばして指す被験者がいた。指指しという行為であっても、人によってそのやり方に違いがあるということも分かった。また、フィードバックが無いことでやりにくさを感じている被験者もいたことから、ジェスチャ操作において自分の動作の結果が目に見えるということが重要であることも分かった。また、被験者数名から、指を一定時間指し続ける行為に疲れを感じるという感想もあった。

以上の結果から、指指しのようにピンポイントで何かを指示するような操作の場合は、システムと人間の認知には溝があること、またその差異は個人により大きく異なるため、システム側で補正するのにも限界があることが分かった。また、ユーザの疲労感についても考慮する必要があることが分かった。

一度の指指しで正しい場所を指せるとは限らない場合、その問題を解決するために考えられる施策としては、常に指指ししている箇所を指し示すことがあげられる。これはパーソナルコンピュータにおけるマウスマウスカーソルと同等の機能であ

る。自分で常にどの箇所を指しているか分かっているのであれば、目的の場所までそのカーソルを動かせば良いため指指しの方向が正確である必要はない。しかしその場合、指をさす上で選択を決定するための行為、マウスで言えばクリックに当たる処理が必要となる。それはすなわち、ユーザに対して二段階の操作を求めることになる。しかし、ユーザインタフェースを考える上で、目的達成のための手順をなるべく少なくしたほうが良いということが言われている[16]。そこで二段階操作を求めることは避けるべきだと考えた。

3.2.4 スワイプ操作の検証

手の動きに着目した操作方法として、既存のデバイスの操作方法の中にあるスワイプに着目した。スワイプはマルチタッチインタフェースにおいて、画面に触れた状態で特定方向に指を滑らせる操作である。スマートフォンが主流となった今日、ほとんどのユーザがスワイプ操作を特に意識せずに使用している。また、SF映画でも空を手で左右に動かすような動きは良く見られるため、ユーザも理解しやすいだろうと考えた。

そこで、スワイプ操作の実用性を検証するために、サンプルプログラムを利用し数名の被験者に実際にスワイプ操作をしてもらった。サンプルプログラムは、5×5マスの枠の中の赤枠をスワイプ操作で移動できるものである(図 3-5)。

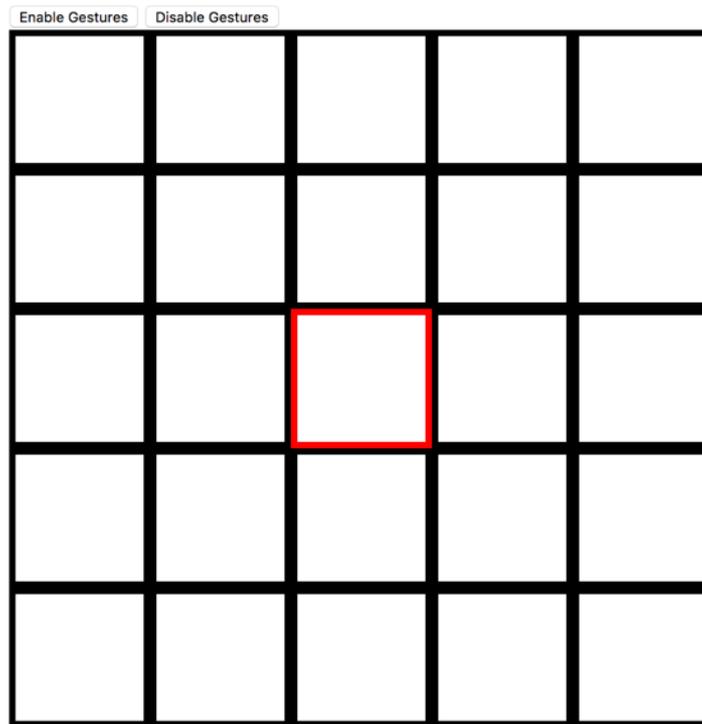


図 3-5 サンプルプログラムの画面

被験者にはマスの中の赤枠を、こちらの指示する方向にスワイプ操作で移動してもらった。移動は連続して10回行ってもらい、そのうち何回違う方向に赤枠を動かしてしまう操作ミスがあるのかを計測した。

被験者7名に行ってもらった計測の結果、エラー率は8.6%だった。被験者のうち4名は、操作をした10回のうち1度もミスが無かった。また、どの被験者も、「左に動かしてください」「左斜めに動かしてください」といった指示に対し、すぐに操作方法を理解して目的の操作をしていた。ミスのあったケースでは、手を戻す動きに反応して意図しない操作をしてしまうということも見られた。

検証結果から、エラー率8.6%という数値が操作機器としてエラー率が低いかというところとは言い切れない部分もあるが、半数の被験者が一度もミスせずに操作できていたこと、ミスがあった被験者も1~2回程度であることから、スワイプ操作は十分ジェスチャ操作コマンドとして利用できると判断した。また、スワイプの場合、一度の操作時間が短時間で済み、操作が終わった後に腕をユーザの横など楽な位置に戻すことができる。これにより、指差しの際にあった疲労感も回避できる。何よりも、操作指示に対して、被験者がこういった操作をすべきなの

かという理解が早かったことは非常に重要である。

以上、指指しとスワイプ操作のそれぞれの検証結果から、本システムではジェスチャ操作のコマンドとして、スワイプ操作を利用することとした。上下左右斜めのスワイプ操作に対して操作コマンドを割り当てることで、システムの操作を実現する。

第4章

情報案内システムの構築

4.1 コンテンツの検討

情報案内システムを構築するにあたり、公共の場での活用シーンの一つとして、学術大会やイベント会場などに設置する情報掲示・ナビゲーションシステムを選択した。学術大会の会場は比較的広い範囲で行われ、各セッションやイベントが行われる会場や教室が点在していることも多い。規模の大きな学術大会の場合、会場が複数の建物にまたがっていることもある。また、同時刻に複数のセッションが様々な場所で行われており、会場にいる参加者は、参加するセッションごとに短時間で会場内を移動する必要がある。不慣れな会場の場合、移動すべき場所が分からずに目的地を探さなければならないこともある。このような面からも、情報掲示・ナビゲーションシステムを設置することで、参加者にとって有益であると考えられる。

また、近年では学術大会の電子化も進んでおり、アプリや Web サービスを使用することで冊子体の抄録集などを配布しない学術大会も増えてきている。デジタルポスターや電子ポスターと呼ばれ、ディスプレイ上にポスター表示してポスター発表を行うような例も見られるようになった。これらの面から見ても、通常のディスプレイに表示されたものをジェスチャ操作する情報案内システムは親和性が高いと言える。

4.2 大会情報案内システム

4.2.1 機能概要

構築するシステムは学術大会当日に会場で使用されることを想定し、利用価値の高いと考えられる以下の機能を実装した。

プログラムタイムテーブル閲覧機能

学術大会では、参加者が発表するセッションのプログラムタイムテーブルが作成される。このタイムテーブルに合わせて各時間、各会場でセッションが開催されるため、参加者はタイムテーブルを確認してセッションに参加することとなる。そのため、タイムテーブルの利用頻度や閲覧頻度は高い。

この機能では、タイムテーブル形式で表示された当日のプログラムセッション

の情報をジェスチャ操作で閲覧することを可能とする。

会場マップ閲覧機能

前述したとおり、学術大会ではセッションが複数の会場で行われていることが多く、階や建物が異なることも多い。その為、場所に慣れるまではフロアマップや会場地図が必要となる。

この機能では会場マップを表示し、それらをジェスチャによって操作・閲覧することを可能とする。

機能切り替え機能

プログラムタイムテーブル閲覧機能と会場マップ閲覧機能は別機能のため、これらを選択・切り替える機能が必要となる。

この機能では、最初の選択画面の状態からの機能の選択と、各機能が有効になっている状態から、それぞれ異なる機能へと切り替えることを可能とする。

4.2.2 操作コマンドの検討

システムを構築するにあたり、機能进行操作するためのコマンドをどのように実現するか検討する必要がある。前述した予備実験の結果から、操作コマンドとなるジェスチャはスワイプを使用する。スワイプ操作で上下左右斜めの6方向へ手を振る動きを使用し、それぞれの動きにシステム操作のためのコマンドを割り当てた(表 4-1)。

機能画面	スワイプ方向	割り当てられた機能
初期選択画面	左	会場マップを表示
	右	タイムテーブルを表示
マップ画面	左	時計回りにマップを回転
	右	反時計回りにマップを回転
	上	下の階層を表示
	下	上の階層を表示
	右上	機能の切り替え（タイムテーブルを表示）
タイムテーブル画面	左	右隣軸の会場セッションを表示する
	右	左隣軸の会場セッションを表示する
	上	時間軸を先に進める
	下	時間軸を戻す
	右上	機能の切り替え（マップを表示）

表 4-1 操作コマンドの割当内容

4.2.3 ユーザインタフェース設計方針

ジェスチャ操作は視覚フィードバックがメインとなるため、ユーザがどのようなジェスチャ操作をすれば良いのかを、画面を見れば自然に分かるようにする必要がある。そこで、機能選択や切り替え機能には、矢印を表示してジェスチャをするべき方向を明示的にした（図 4-1）。また、ユーザに自分の操作に対するインタラクションを分かりやすく表現するため、各要素の移動や回転にジェスチャ操作と連動したアニメーション効果を付与した。このように画面要素に動きを加える事で、ユーザの操作感を高め、操作している方向を明示的に理解できるようにした。

タイムテーブル画面は、3Dのカルーセル形式で表現した。カルーセルはメリーゴランドや回転式コンペアなどくるくると回転するものを意味しており、Webデザインにおいては一定時間でスライドが切り替わるものを指している。Webデザインにおいてはよく使用されるものであり、利用者のメンタルモデルが作られていると考えた。また、3D表現にしたことにより、3D空間を操作するような印象を与えるようにした。

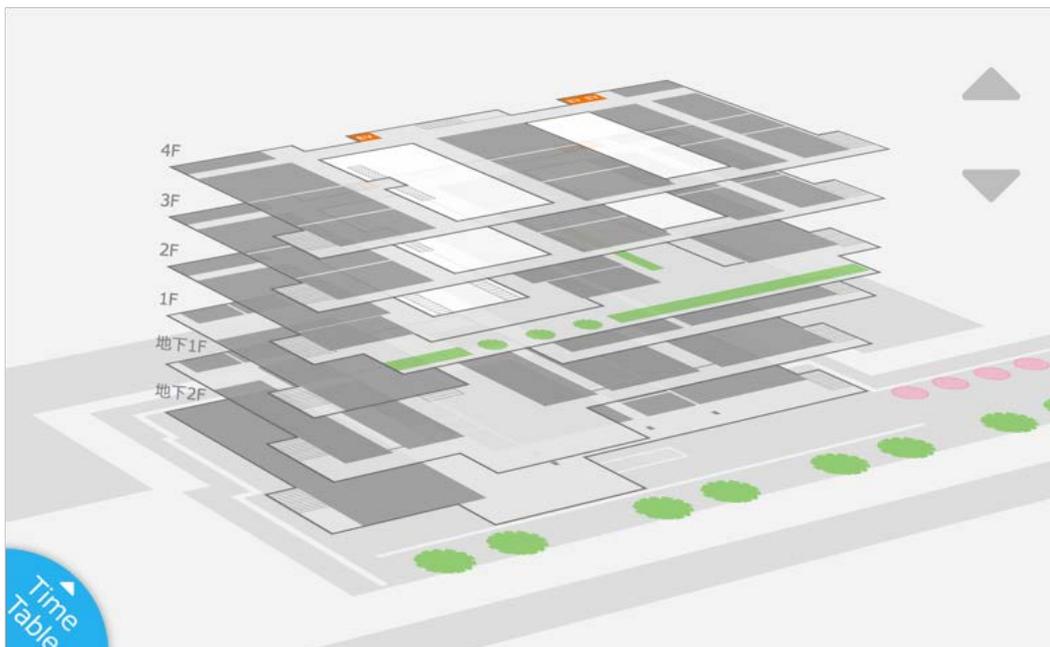


図 4-1 情報案内システムの画面

4.2.4 操作方法と操作の流れ

本システムの操作フローは以下の通りである（図 4-2）

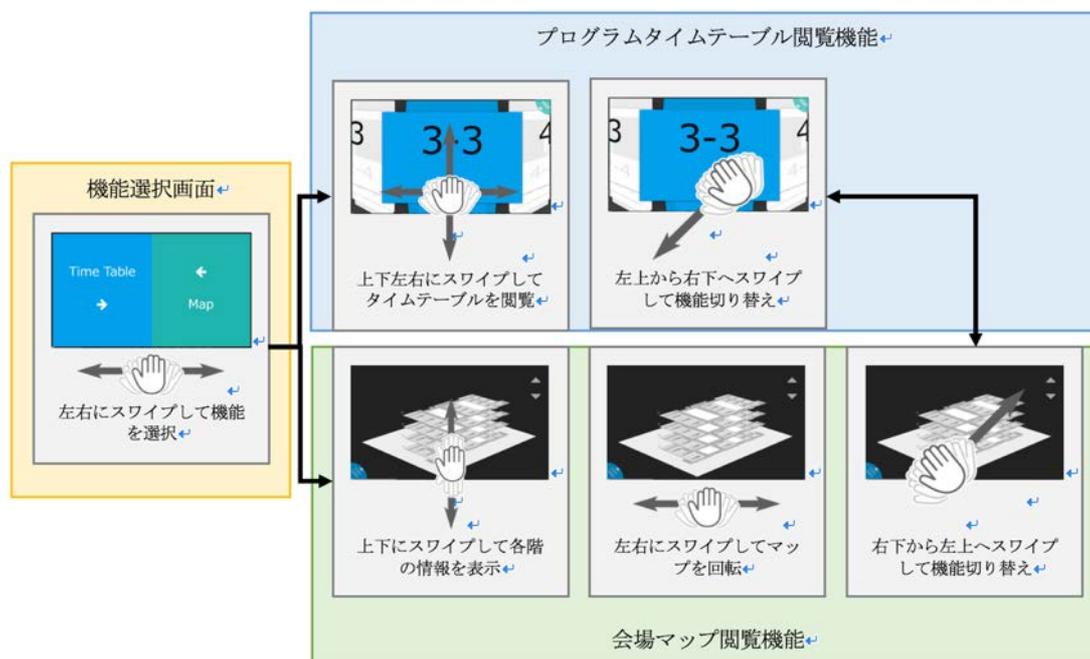


図 4-2 システム操作フロー

プログラムタイムテーブルと会場マップは上下左右のスワイプのみで操作し、機能の切り替えを斜め方向へのスワイプで行う。プログラムタイムテーブルの時間軸の移動は上下、会場軸の移動は左右にスワイプすることで表示を切り替える。会場マップは建物の階層を上下のスワイプで選択し、左右にスワイプすることでマップを回転させる。それぞれの機能を切り替える場合は、斜め方向へスワイプする。一定時間操作されない場合、自動的に最初の機能選択画面へ戻る。

4.2.5 システムの構築

本システムにおいて、両手のモーショントラッキングや、基本的なジェスチャ操作の認識は、Leap Motion 社が提供する Javascript ライブラリを使用して実現した。また、画面描写やジェスチャ操作と連携した動きは、HTML、CSS、Javascript で実現した。これらの言語で構築したことにより、基本的に Web ブラウザのみで動作可能となっている。また、特別な言語環境やプログラムを実行する必要もないため、スペックの低い PC でも軽快に動かすことが可能である。

スワイプジェスチャの認識は Leap Motion の Javascript ライブラリにすでに関数が用意されており、その関数を使用した。

4.3 検証とフィードバック

4.3.1 検証方法

構築したシステムは、2016年10月8日～10日に開催された日本機械学会 第26回設計工学・システム部門講演会に展示した。展示期間中に大会参加者数名に使用してもらい、ユーザの行動観察と、使用後に感想のインタビューを行った。

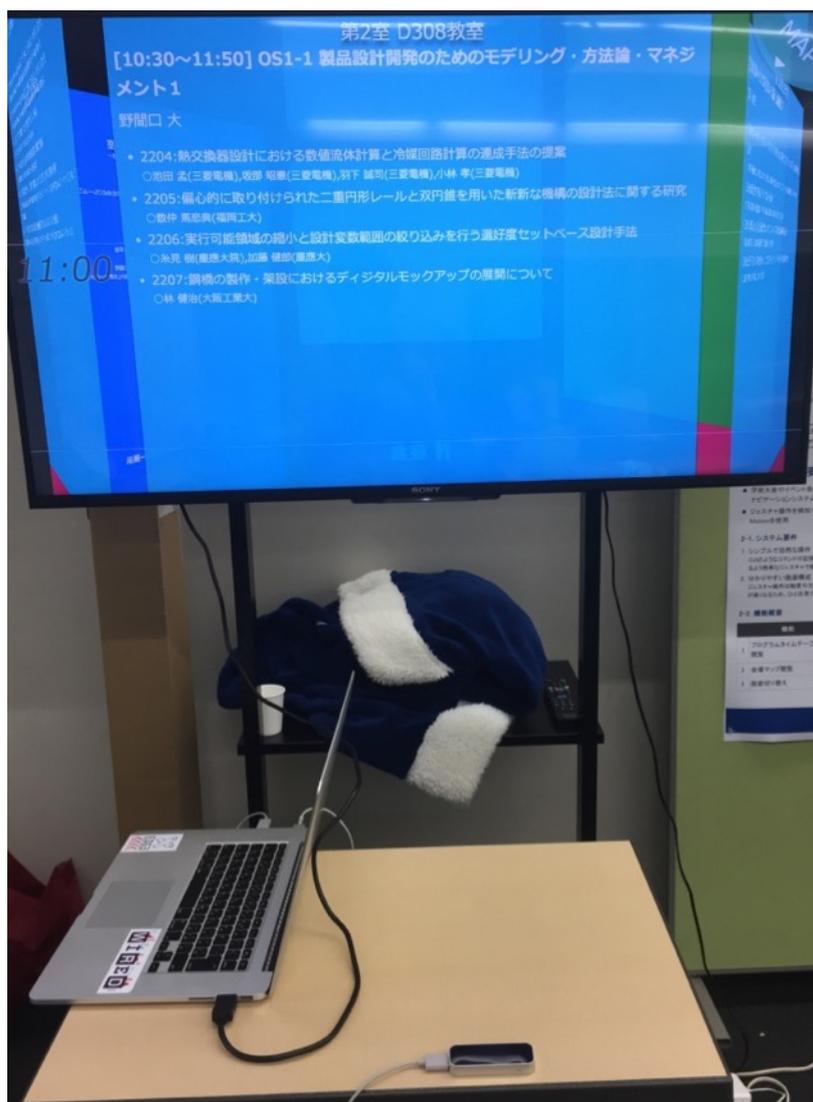


図 4-3 展示の様子

4.3.2 結果とフィードバック

ジェスチャで操作出来るという目新しさからか、興味を持ってシステムを操作してくれた参加者が数名いた。しかし操作をする上で、最初からこちらの意図どおりに操作できる人はなかなか居らず、ジェスチャ操作の難しさを再認識させる結果となった。

しかし、一度慣れてしまえばスムーズに操作できる使用者もあり、操作のコツを掴めるかどうかで使用者の感じ方も違うようだった。スムーズに操作出来ない場合、何度か試した後に諦めてしまう使用者もいた。また、画面の表示内容を確認せずに、とりあえず手を動かして反応するか試してみる、というような使用者もいた。

使用者からは、主に以下のフィードバックを得た。

1. 操作が正しく認識されているのかが分からず、どのように操作すれば良いのかが分かりにくい
2. 機器が認識できなかったことなどの誤操作やエラーに対するフィードバックがないため、操作方法が悪かったのか、そもそも Leap Motion 自体が認識できなかったのかが分からない

4.3.3 考察

以上の結果から、現状からさらに操作感や分かりやすさを高めるための要素が必要であるということが分かった。フィードバックの内容から、操作コマンドの分かりにくさや画面表示の分かりにくさの問題よりも、ジェスチャ操作を認識したか否かを含め、ユーザに対して操作に対するフィードバックが不足しているということが考えられる。

これらは、ニールセンによるユーザビリティの定義における、エラー発生率に問題があるということが言える。学習のしやすさや効率性、記憶のしやすさの面では、操作コマンド自体を簡易的なものにしたことにより、一度操作方法を理解してしまえば操作に迷うこともなく、操作方法自体の分かり難さは低く抑えられている。しかし、ユーザからしてみれば、操作に対してエラー（この場合はシステムの的に問題が発生したというエラーではなく、デバイスがユーザのジェスチャ

を認識していないということをエラーと定義する) の発生率が高く、さらにそれに対するフィードバックがないため分かりにくいシステムとなっていると考えられる。

ジェスチャ操作の操作性、ユーザビリティを高めるためにはさらにエラーに対するフィードバックが必要であるという結論を得た。

第5章

ジェスチャ操作に対する 効果的なフィードバック

5.1 効果的なフィードバックの検討

5.1.1 問題点と仮説

使用者のコメントから、現状のシステムにはジェスチャ操作に対するフィードバックの与え方に問題があると考えられた。

構築したシステムの上下左右8方向のスワイプ認識は、Leap Motion社が提供する Javascript ライブラリを使用している。このライブラリは、ユーザのスワイプ操作を判定するものであり、「ユーザが一定方向にスワイプした」という一連の動きを認識した後に、その判定値を返すような仕組みになっている。このことにより、ユーザがスワイプ動作を完了した後に画面が反応するという流れになっており、ユーザの操作と画面の連動に一定のタイムラグが存在していた。このタイムラグの存在が、ユーザにとって操作の分かりにくさや操作感の悪さに繋がったと考えた。ユーザビリティを向上するにはこの問題を解決する必要があるため、さらにどういった要素が必要なのかを検討した。

インタフェースの研究者である D.A Norman は良いデザインの原則に以下の項目を上げている[17] (表 5-1)。

可視性	目で見ることによって、ユーザは装置の状態とそこでどんな行為をとりうるかを知ることができる。
良い概念モデル	デザイナーは、ユーザにとってのよい概念モデルを提供すること。そのモデルは、操作とその結果の表現に整合性があり、一貫的かつ整合的なシステムイメージを生むものでなくてはならない。
よい対応づけ	行為と結果、操作とその効果、システムの状態と目に見えるもの間の対応関係を確定することができること。
フィードバック	ユーザは行為の結果に関する完全なフィードバックを常にうけることができること

表 5-1 良いデザインの原則

この問題を照らしあせて考えてみると、可視性、良い対応づけ、フィードバックの項目において不足していると言える。操作に対してのフィードバックが遅いため、行為と結果の間に溝が出来てしまっている。また、行為の結果に関するフィードバックも、エラー（未検知）であった場合に何も反応がなく、検知しているのかどうかも理解できない。

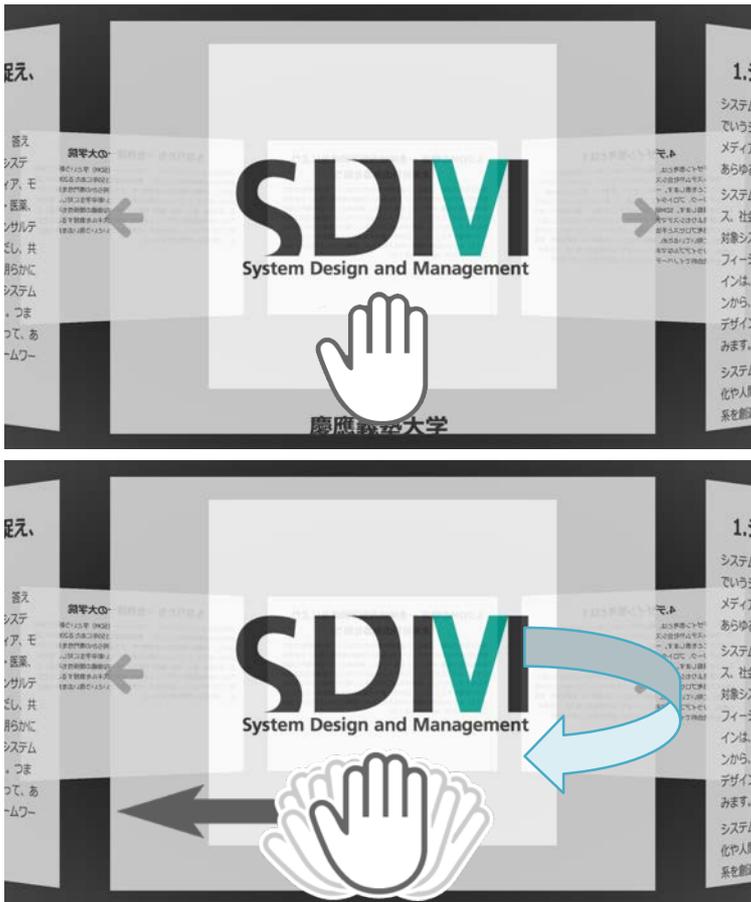
そこで、タイムラグを無くし、常に一定のフィードバックを与えるために操作と結果をリアルタイムに関連付ける必要があると考えた。リアルタイムでユーザにフィードバックを与えることで、ユーザビリティが向上するという仮説を立てた。

5.1.2 リアルタイム性の付与

仮説を検証するために、操作に対してリアルタイムで画面を反応させるシステムのプロトタイプを作成した。

Leap Motion はリアルタイムに XYZ の三次元軸で手の位置を認識できるため、その機能を利用することにした。しかし、完全に手の動きと同調して画面が動いてしまうと、手を戻そうとする動きなど意図しない動きにつられて画面が動いてしまう。その問題を解決するために、認識した手の位置から決まった方向に一定数動いた場合に「手を一定方向にスワイプさせようとしている」という判断をするようにした。その判定が下された後に、その手の動きに合わせて画面自体を動かすように変更した。この動きはスマートフォンの画面切り替えの動きに近いものであり、スマートフォンを利用しているユーザにとっては分かりやすい動きである。

あわせて、Leap Motion がユーザの手を認識している間は矢印を表示し、操作可能な方向を示すようにした。これにより、Leap Motion が手を認識しているかどうかをユーザ自身が知ることが出来る。手をかざせばとりあえずフィードバックが返ってくるという状態にすることにより、「これがジェスチャで動くものである」ということをユーザに明示的に示す効果にも繋がると考えた（図 5-1）。



Leap Motion の認識範囲に手をかざすと矢印を表示する

左右に動かすと、連動して画面も回転する

図 5-1 ユーザインタフェース概要

5.2 評価と検証

5.2.1 目的

ユーザインタフェースにリアルタイム性を付与することにより、ユーザの操作感に向上がみられるかどうかを検証する。被験者は、リアルタイムにフィードバックがあるものと無いものの2つの方式でジェスチャ操作を行う。2つの比較を行うことで、リアルタイム性を持ったインタフェースに対してユーザがどのような意識や感想を持つのかを明確にする。

5.2.2 評価方法

新たに作成したリアルタイム性のあるユーザインタフェースが有用であるのか

を検証するために、以下の比較実験を行った。

被験者は

A: ジェスチャ操作を認識してから画面が動くタイプ

B: ジェスチャ操作に合わせてリアルタイムで画面が動くタイプ

のシステムをこちらの指示の通りに使用し、それぞれのシステムに対して以下のアンケート項目（表 5-2）に 5 段階評価で解答してもらった。

また、被験者からは実験が終わった後に使用感など、操作を通して感じたことなどの感想も述べてもらった。

1	操作しやすかったですか？
2	操作方法はわかりやすかったですか？
3	間違えずに操作できましたか？
4	操作中に感じたストレスの強さはどれくらいでしたか？
5	うまく操作できたと思いますか？

表 5-2 アンケート項目

実験には 20 名の成人男女に参加してもらった。A と B を使用する順序による差を防ぐため、A→B の順序で試すグループと B→A の順序で試すグループの 2 つに分けて実験を行った。

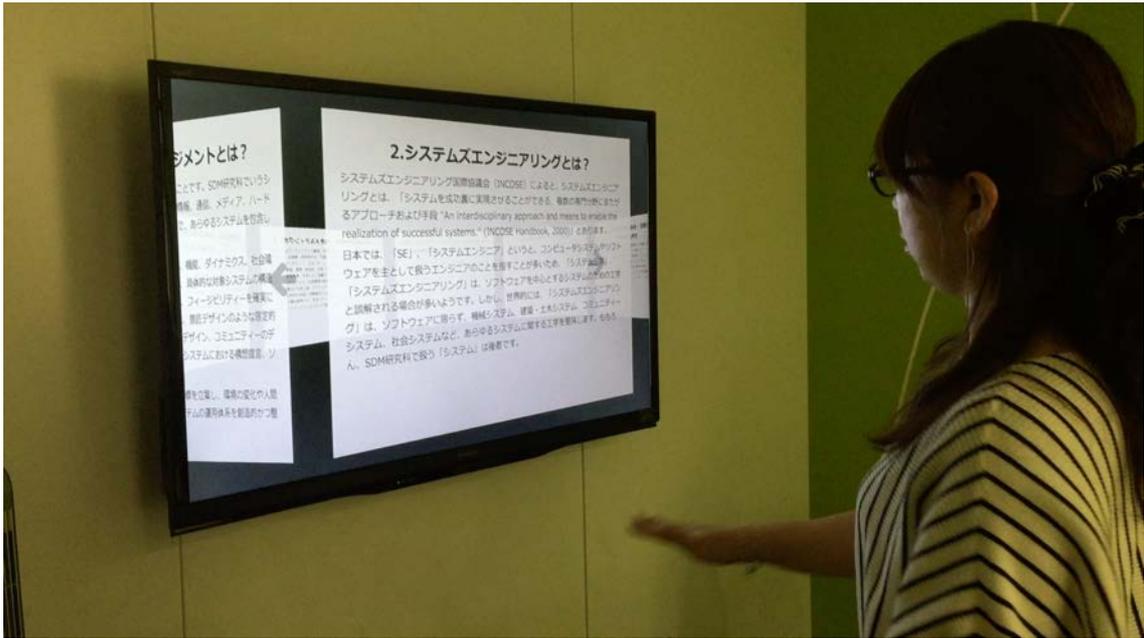


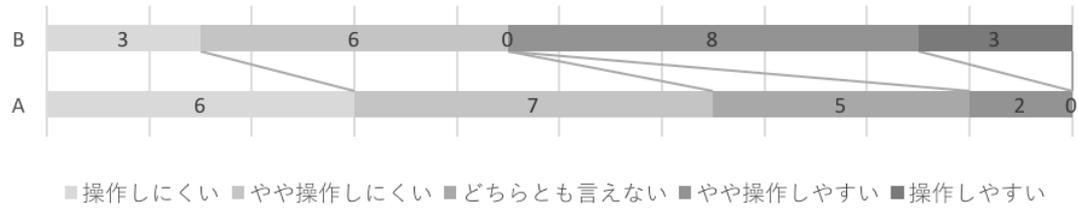
図 5-2 比較実験の様子

5.2.3 結果

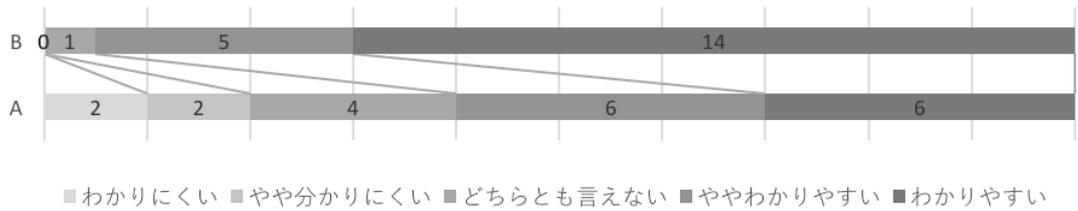
アンケート項目への回答は以下の通りであった。(図 5-3)

A:リアルタイムでない
B:リアルタイムである

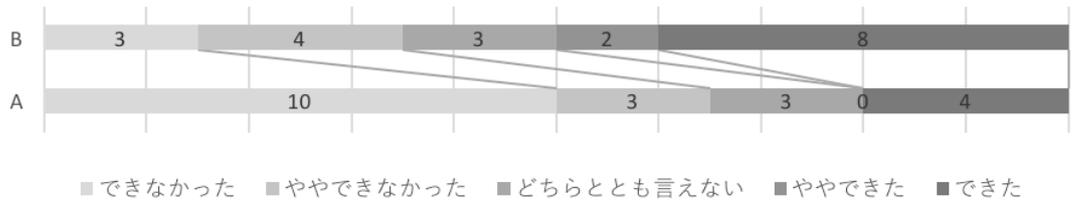
1. 操作のしやすさ



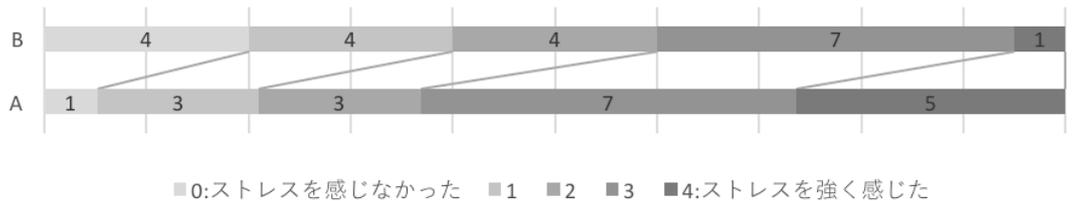
2. 操作方法の分かりやすさ



3. 間違えずに操作できたか



4. 操作中に感じたストレスの強さ



5. 上手く操作できたか

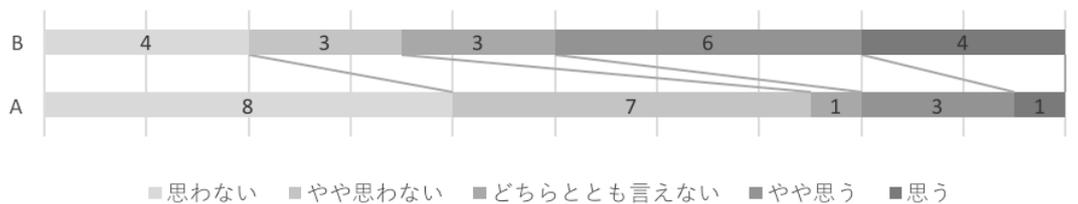


図 5-3 アンケート集計結果

	差の平均値	差の標準偏差	有意確率
A1 - B1	-.950	1.638	.018 *
A2 - B2	-1.050	1.503	.006 **
A3 - B3	-1.150	1.926	.015 *
A4 - B4	.600	1.429	.076
A5 - B5	-1.050	1.959	.027 *

表 5-3 実験結果

ストレス以外の項目で、有意差が見られた。まず、1. 操作のしやすさについては、リアルタイムでない場合の7名と比較して、リアルタイムである場合は半数以上の11名が操作しやすいかやや操作しやすいと答えている。2. 操作方法の分かりやすさについては、12名に対して19名が分かりやすいか、やや分かりやすいと答えている。3. 間違えずに操作できたかについては、4名に対して10名が出来た、やや出来たと答えている。4. 操作中に感じたストレスについては、ストレスが強く感じたのが5名に対して1名となっている。5. 上手く操作できたかについては、4名に対して10名が出来た、やや出来たと感じていた。

また、実験後に被験者からもらった感想では、「SF映画のようで凄い」「上手く操作できると楽しい」「こういうものが使えたら面白い」といった意見が見られた。操作感の面では、リアルタイムでフィードバックがあるものに対して「手をかざすと矢印が表示されることが良い指標となり、それを見ながら操作をすることができた。」「動かそうと思う方向に少し手を動かせば反応するので、自分の操作が間違っていないということが分かった」というような意見があった。逆に、うまく操作できなかった場合、思ったように画面が動かなかった場合には「難しい」といった感想を述べる被験者が多かった。

また、被験者を観察していたところ、すぐにコツを掴める被験者とそうでない被験者がいた。すぐにコツを掴める被験者は、一度自分が操作した方法でスワイ

プの処理ができることが分かれば、その方法で操作を続ける。上手く操作できなかった被験者は、一度成功した操作と少し違った動きをしてしまう傾向があった。例えば、一度スワイプした後の手を戻さずに、そのまま逆の方向に手を動かして結果スワイプと認識されてしまうなどの例がみられた。

5.2.4 考察

以上の結果から、リアルタイム性のあるユーザインタフェースのほうが、操作のしやすさや分かりやすさなどの操作性が高いと感じることが分かった。実態のない空間を操作する形式のジェスチャ操作の場合、自身の操作に対する確証をどのように得るのが非常に重要なポイントとなるが、操作と画面フィードバックにリアルタイムでインタラクションをもたせることで、ユーザの行為に対する自信に繋がったと考えられる。

操作中に感じたストレスについては、リアルタイム性のある B パターンのほうが比較的低い結果ではあったものの、それなりにストレスを感じている被験者が多かった。これには、操作した手を戻す動きに反応してしまうなど、自分の意図しない動きをすることや、思った通りに動かないケースがあったためと考えられる。この点については、更にジェスチャ操作の誤検出を減らす方法を検討する必要があると言える。

また、A と B を比較した際に大きな差があったのは、習熟までの時間である。被験者には操作方法を具体的に指示せず操作をしてもらったが、A の場合最初に画面を切り替えるまで平均して 50 秒ほど時間がかかり、B の場合は開始から平均 15 秒ほどで画面を切り替えていた。ユーザインタフェースを設計する上で考慮すべき点として、一つの目的を達成するための時間は短いほうが良いということが上げられる。使用してみて「使えない」「分からない」と判断された時点でユーザは離れていってしまう。特に公共の場に設置して使うことを想定した場合、利用者が操作方法を理解し、実際に動かすまでにかかる時間は短いほうが良い。この面から考えても、ジェスチャ操作の画面フィードバックにリアルタイム性を持たせることは非常に有用であると言える。

第6章

結論

6.1 結論

本研究では、Leap Motion を使用した公共の場で利用可能なジェスチャ操作型のナビゲーションシステムの開発と評価実験を行い、GUI の次の形となる、ジェスチャ操作に基づくナチュラルユーザインタフェースについて検討した。

検討するにあたり、人間の感覚に沿った操作感を生むこと、不特定多数のユーザが使うこと、ジェスチャ操作に適したアフォーダンスを提供することに着目してインタフェースの設計を行った。

まずジェスチャでの操作コマンドを検討するために、ジェスチャ操作の分析を行った。ここでは、指指し操作とスワイプ操作について検証した。その結果、指指しのように三次元空間をピンポイントで指示するような精密な動作よりも、スワイプのような手の動きを活用したほうが、より簡単で自然にジェスチャ操作できるという結論を得た。

また、実際にジェスチャで操作できるシステムを構築し、実際に使用してもらうことで、ジェスチャ操作と UI の問題点を明らかにし、更に改善を図った。システムの操作は、各方向のスワイプの動きに対して操作コマンドを割り当てることで実現した。機能の選択や切り替え、閲覧などの簡易的な操作であれば、スワイプ操作のみで実現できることを実証した。さらに、この検証で明らかになった問題点を更に分析し、ジェスチャ操作に対してリアルタイムにフィードバックを与えることで更に操作性の向上が見込めるという仮説を立てた。

リアルタイムなフィードバックによる効果を測定するため、手の動きに合わせてリアルタイムで画面フィードバックを行うシステムを構築し、検証を行った。検証結果から、リアルタイムにフィードバックを与えることによって、ユーザの操作感の向上が認められ、リアルタイムであることの有効性が示された。

6.2 今後の展望

本研究の今後の展望として、システムの実用化が上げられる。

実際にシステムの検証実験の被験者から、「こういったシステムがあれば使ってみたい」といった言葉や、「会社のサービスとして活用できないか」というような

意見を貰った。

本研究の中では、スワイプという簡易的な操作のみでシステムを操作できること、ジェスチャ操作におけるユーザインタフェースに必要な要素について明確になった。その上で、検証用に構築した情報案内システムを更に発展させ、実際の大会やイベントで使用できるようなシステムを構築することで、多くのユーザに使ってもらえるシステムとなる可能性が期待できる。

本研究では、情報案内システムの一例として学術大会での情報案内システムを構築したが、駅の構内やショッピングモールなどの施設などの街中での活用も見込める。現状では一般的とは言えないジェスチャ操作であるが、利用シーンが増えることにより、今後より一般的な操作方法になっていくであろう。

謝辞

本論文の執筆にあたり、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の小木哲朗教授には指導教官として多くのご指導をいただきました。また、同専攻の五百木誠教授には副査としてご助言いただきました。ここに深く感謝申し上げます。

また、ゼミの中で様々な意見やアドバイスをくれた小木研究室の皆様にも感謝申し上げます。

最後に、実験を行うにあたり、株式会社アトラスの皆様にも快く協力いただきました。実験の協力だけでなく、仕事を続けながら大学院へと通える環境を与えてくれた皆様に深く感謝申し上げます。

2017年1月27日

慶應義塾大学大学院

システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

齋藤 美佳

外部発表

1. 齋藤美佳, 小木哲朗, “ナチュラルユーザインタフェースに基づく情報案内システムの開発”, 日本機械学会第 26 回設計工学・システム部門講演会

参考文献

- (1) van Dam, A. (1997). Post-WIMP user interfaces. *Communications of the ACM*, 40(2), 63–67. <http://doi.org/10.1145/253671.253708>
- (2) Ishii, H. (2008). Tangible bits: beyond pixels. *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '08)*, xv–xxv. <http://doi.org/10.1145/1347390.1347392>
- (3) 総務省(2015) 平成 27 年版情報通信白書
- (4) 東京工芸大学 (2012). ナチュラルユーザインターフェースに関する調査
- (5) ヤコブ・ニールセン (1999) 「ユーザビリティエンジニアリング原論」東京電機大学出版局
- (6) デジタルサイネージコンソーシアム(2013). デジタルサイネージ白書 2013
- (7) Bolt, R. a. (1980). “Put-that-there”: Voice and Gesture at the Graphics Interface. *Proceedings of the 7th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '80*, 262–270.
- (8) 木村朝子, 柴田史久, 鶴田剛史, 酒井理生, 鬼柳牧子, & 田村秀行. (2006). ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間の設計と実装. *情報処理学会論文誌*, 47(4), 1327–1339. Retrieved from <http://ci.nii.ac.jp/naid/110004734730/>
- (9) 松原 孝志, ボンダン スティアワン, 松本 和己, 徳永 竜也, & 中島 一州. (2014). 3次元ジェスチャ操作によるテーブル型インタラクティブデジタルサイネージの開発. *情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム (CDS)*, 4(3), 1–10. Retrieved from <http://ci.nii.ac.jp/naid/170000087180>
- (10) Ackad, C. J., Wasinger, R., Gluga, R., Kay, J., & Tomitsch, M. (2013). Measuring Interactivity at an Interactive Public Information Display. In *Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application, Innovation, Collaboration (OZCHI'13)* (pp. 329–332). <http://doi.org/10.1145/2541016.2541091>
- (11) Lee, J., Olwal, a, Ishii, H., & Boulanger, C. (2013). SpaceTop: integrating 2D and spatial 3D interactions in a see-through desktop environment. *Proceedings of CHI 2013*, 189–192. <http://doi.org/10.1145/2470654.2470680>
- (12) Hilliges, O., Kim, Izadi, S., Weiss, M., & Wilson, a. (2012). Holodesk: Direct 3d

interactions with a situated see-through display. *Proceedings of CHI 2012*, 2421–2430. <http://doi.org/10.1145/2207676.2208405>

- (13) 千葉慎二, 吉光喜太郎, 丸山隆志, 遠山仁啓, 伊関洋, & 村垣善浩. (2012). KINECT センサを用いた非接触画像閲覧システム : Opect. *Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery : J.JSCAS*, 14(3), 150–151.
- (14) Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B., & Fisseler, D. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the Leap Motion Controller. *Sensors (Switzerland)*, 13(5),
- (15) 橋本元信, 吉田一展, & ヒルドミヒャエル. (2002). 指さし動作の解析による物体認識. *電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解*, 101(713), 81–88.
- (16) Susan Weinschenk (2012). 「インタフェースデザインの心理学-ウェブやアプリに新たな視点をもたらす 100 の指針」オライリー・ジャパン
- (17) D.A.ノーマン (1990). 「誰のためのデザイン？」新曜社