

平成20年度

筑波大学第三学群情報学類

卒業研究論文

題目 後ろ姿をハンズフリーに確認できる
ミラーディスプレイインタフェース

主専攻 情報科学主専攻

著者 竹林綾子

指導教員 高橋伸 志築文太郎 三末和男 田中二郎

要 旨

ユビキタスコンピューティング環境では、ユーザがコンピュータとどのように関わり、どのように恩恵を受けるかという役割が重要となっている。また、ユーザやユーザの置かれている状況に応じて、コンピュータは提供するサービスを「自然に」変化させる必要がある。そこで本研究では、「日用品の拡張」に焦点を当て、ユーザの日常のタスクを阻害しないインタフェースを実現し、人々の日常生活を支援することを目指す。

本論文では、家庭の中に存在する化粧台のミラーの前でのユーザの行動に着目した。ユーザが後ろ姿を直接ミラーに映しながら、ユーザ自身の後方での様々な行動が同時に出来ないといったことが起こる。そこで、ユーザの行動を支援するために、ハンズフリーにミラーを操作できるユーザインタフェースを提案し、試作した。また、試作したシステムの評価実験を行い、その結果から提案した手法が有効であることを確認した。

目次

第1章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 ユビキタスコンピューティング環境	1
1.1.2 自然なインタフェース	2
1.1.3 マルチモーダル・インタフェース	3
1.2 家庭の中のミラーによる情報表現	3
1.3 研究目的	4
1.4 本論文の構成	5
第2章 関連研究	6
2.1 様々なインタラクション手法	6
2.2 インタラクティブなミラー	7
第3章 化粧台ミラーの前でのユーザ行動支援	9
3.1 ハンズフリー操作によるユーザ行動支援手法	9
3.1.1 ネットワークカメラの使用	9
3.1.2 バランス Wii ボードの使用	10
3.2 ユーザの後方を映すミラーの使用シーン	12
3.3 バランス Wii ボードを利用した化粧台ミラーにおけるインタラクション手法	13
第4章 化粧台ミラーの構成と作成	17
4.1 化粧台ミラーの構成	17
4.1.1 ハーフミラー	17
4.1.2 リアスクリーン	18
4.1.3 プロジェクション	18
4.2 化粧台ミラーの試作	19
第5章 MIMI システムの実装	23
5.1 MIMI	23
5.1.1 利用の流れ	23
5.2 システムの構成	24
5.2.1 開発環境	25
5.2.2 PTZ カメラ	26

5.3	各動作処理	27
5.3.1	画像の表示	27
5.3.2	画像の表示切り替え	28
5.3.3	カメラの動作処理	30
第 6 章	MIMI システムの評価実験	32
6.1	実験目的	32
6.2	実験方法	32
6.2.1	被験者	32
6.2.2	実験内容	32
6.2.3	アンケートの質問項目	35
6.3	実験結果	36
6.4	考察と議論	39
第 7 章	結論	42
	謝辞	43
	参考文献	44
	付録 A 評価実験で用いたアンケート用紙	46
	付録 B アンケート結果と実験 2 における測定結果	51

目 次

1.1	ユビキタスコンピューティング環境のイメージ	1
1.2	自然なインタフェースの例	2
1.3	家電の制御におけるマルチモーダル・インタフェースの例	3
1.4	化粧台ミラーの前で後方を見たい時のイメージ	4
2.1	PhotoDrawer	6
2.2	smartskin	7
2.3	Miragraphy の利用の様子	8
2.4	INFINITY INTERACTIVE MIRROR の利用の様子	8
3.1	様々なネットワークカメラ	10
3.2	フットマウス	11
3.3	バランス Wii ボード	11
3.4	一画面ミラーのイメージ	12
3.5	二画面ミラーのイメージ	12
3.6	三面ミラーのイメージ	13
3.7	POWER ボタンによる表示の切り替えイメージ	14
3.8	バランス Wii ボードを操作する 6 領域に分割した位置イメージ	15
3.9	カメラ動作処理に対応させた足の操作イメージ	16
4.1	ハーフミラーの仕組み	17
4.2	リアスクリーンイメージ	18
4.3	プロジェクタ DELL5100MP	19
4.4	ミラー試作工程 1	20
4.5	試作したハーフミラー	21
4.6	ミラー試作工程 2	21
4.7	化粧台ミラーの後方部	22
4.8	試作した化粧台ミラーの全体図	22
5.1	システムの概観イメージ	23
5.2	システム処理の流れ	24
5.3	システムの構成	25
5.4	AXIS 212 PTZ ネットワークカメラ	26

5.5	MIMI システムによる後方画像表示の様子	28
5.6	MIMI システムによる二画面への表示切り替え後の様子	28
5.7	MIMI システムによる中央部分のみへの表示切り替え後の様子	29
5.8	MIMI システムによる画像表示が「オフ」の様子	29
6.1	芸術系学生による実験風景	34
6.2	実験 1 : アンケート結果	36
6.3	実験 2 : アンケート結果	37

表 目 次

3.1	圧力センサから得られる 6 領域の重心位置	15
3.2	カメラ動作処理と足の操作方法	16
5.1	Algorithm1：バランス Wii ボードの踏み方推定例	30
5.2	Algorithm2：カメラ動作処理命令アルゴリズム	31
6.1	アンケートの質問項目のカテゴリ分類表	36
6.2	実験 2：マウス操作の測定結果	38
6.3	実験 2：バランス Wii ボード操作の測定結果	38
6.4	カテゴリ別の t 値	39
6.5	t 検定による自由度=8 の時の t 分布表	39
7.1	配布したアンケートの集計結果	51
7.2	t 検定を行うための指標 t の計算過程と結果	52
7.3	実験 2：各被験者のマウス操作による測定結果	53
7.4	実験 2：各被験者のバランス Wii ボード操作による測定結果	54

第1章 序論

この章では、本研究における背景についてユビキタスコンピューティング環境と人々の日常生活との関わりについて述べる。これを踏まえ、本研究では家庭の中に存在するミラーの拡張に注目し、本研究における研究目的について述べる。最後に本論文の構成について述べる。

1.1 研究背景

1.1.1 ユビキタスコンピューティング環境

ユビキタスとは、ラテン語の宗教用語で「神はあまねく存在する」という意味であり、ラテン語の Ubique = 「いつでも、どこでも」を基にしている。また、ユビキタスコンピューティングとは、1991年に米ゼロックス社のパロアルト研究所の MarkWeiser[1] によって 21 世紀のコンピューティング環境の未来像として提唱されたものである。

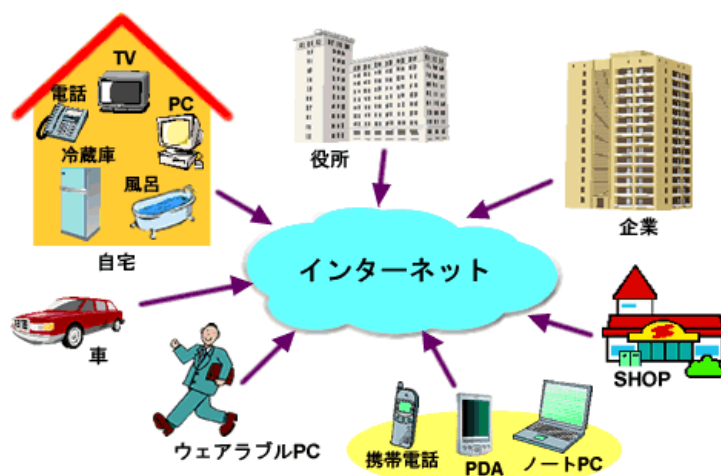


図 1.1: ユビキタスコンピューティング環境のイメージ

ユビキタスコンピューティング環境では、図 1.1¹ のように、コンピュータが生活空間に溶け込むことで現実世界のあらゆる場所に遍在し、相互に協調し合い、環境に融合して家庭の中に存在する「日用品の拡張」や「情報家電の制御」などによって、人々の生活を様々な形

¹東川 裕介 2004 年度卒業論文”ユビキタス社会のキーテクノロジー” <http://clove.rye.tama.ac.jp/upload/library/soturon04/higashikawa/kansei/higashikawa2004b.htm>

で支える基盤となっている。そして、人々はコンピュータの存在を意識することなく「自然に」、「いつでも、どこでも、だれでも」といった自然なインタフェースから様々な恩恵を受けることができる。さらにユビキタスコンピューティング環境では、それらがネットワークで接続され、連携して動作する世界を目指している。

このような環境を実現するためのアプローチとして、センサや小型のコンピュータなどを実現する技術的な要素に加え、「ユーザを取り巻く環境や状況」といったコンテキストを計算機が取得することが重要であり、現在では多くの研究がなされている [2]。これらを実現するために、ユビキタスコンピューティング環境の新領域の 1 つにマルチモーダル・インタフェースが挙げられる [3]。

1.1.2 自然なインタフェース

キーボードやマウスは汎用性を重視した現在のコンピューティングに適応したインタフェースであるが、これらは必ずしも最適なものは限らない。なぜなら、マウスやキーボードは、コンピュータ上でポインティング操作やテキスト入力を行うために最適化されたインタフェースであり、人々が立っていたり、歩いていた、何か行動をしていたりといった日常生活の多くの状態で、適しているとは必ずしも言えないからである [4]。例えば、手によるジェスチャは誰もが利用できる日常的なコミュニケーション手段であり、身体性を伴っているので直感的な入力が可能なため、自然なインタフェースといえる。

図 1.2²は、ブラインドの羽一枚一枚の裏に無機 EL が取り付けられており、羽の開閉で光量が変わる照明器具である。これは自然光を調節する一般的なブラインドと同じ操作で照明として使用することが可能であり、自然なインタフェースとしてユーザによる「ブラインドの開閉操作」→「照明の明るさ調節」の自由な置き換えが行われている。



図 1.2: 自然なインタフェースの例

²MONGOOSE STUDIO "Bright Blind" <http://mongoose.proto-type.jp/products/brightblind/>

1.1.3 マルチモーダル・インタフェース

マルチモーダル・インタフェースは、視覚・聴覚を含め、身振り・手振りなどのジェスチャといった複数のコミュニケーションモード（モダリティ）を利用したインタフェースである。身体性を活かした直感的なインタラクションということに重点を置き、ユーザとコンピュータのインタラクションを支援する手法である。

マルチモーダル・インタフェースの構成要素として、図 1.3³のように一般的には音声合成や音声認識といった音声言語を中心に、触覚やジェスチャなどと併用するものが多い。しかし、最近ではタッチパネルによる操作や、仮想の物体を触りながら操作するインタフェースなども存在する [5, 6]。これらは身体性を伴っているため、自然なインタフェースの一部といえる。

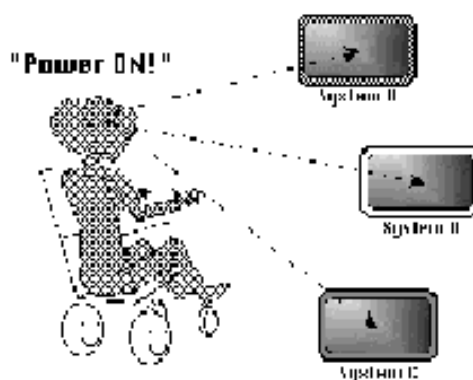


図 1.3: 家電の制御におけるマルチモーダル・インタフェースの例

1.2 家庭の中のミラーによる情報表現

1.1 のように、近年コンピュータが普及し、学校やオフィスのみならず、家具や家電製品にもセンサなどが埋め込まれることで家庭の中でもユビキタスコンピューティング環境における「日用品の拡張」として様々な場面で利用されている。これらは、人々に日常生活においてコンピュータとしての姿を見せず、溶け込みながらも人々の生活や行動を支援する。

家庭の中に存在するミラーとは、昔からその前にあるそのものの情報を映し、表すものである。洗面化粧台のミラーの前は、人々が起床してから洗顔や歯磨き、ヘアケア・アレンジやメイクアップなど、朝の行動の中心となる場所である [7]。その中で洗面化粧台で行うヘアケア・アレンジでは、頭の正面だけでなく後方にもヘアピンを付ける、スタイリング剤を付けるなどの行動を行う。ユーザは従来の一面のミラーではユーザの正面のみを見ることができ、三面のミラーでは正面に加えて両サイドも見ることが出来る。ここでもし、図 1.4 のようにユーザが自身の後方を見たい場合、別のミラーを手で持って、そのミラーに映ったものを正

³伊藤英一, "リハビリテーション・エンジニアのページ", <http://web.sfc.keio.ac.jp/~e-ito/ito/>

面のミラーに映さなければ、見る事が出来ない。しかし、手がミラーを持って塞がっているために、同時にヘアアレンジなどの行動が十分に出来ないといった問題が起こる。

そこで、「ユーザの取り巻く環境や状況」といったコンテキストを反映した情報を表すミラーが必要である。コンテキストを反映した情報を表すミラーとしては、多地点で同時に撮影された複数の映像を合成したものを1つの映像として全ての地点で共有するもの [8] や、人の行動を推測して服のコーディネートを推薦するもの [9] などが研究されている。

本論文では、ハンズフリーにミラーに映る情報を操作出来るインタフェースの提案をすることで、化粧台のミラーの前でのユーザの行動の支援をすることが出来ると考えた。ここで重要なことは、ユビキタスコンピューティング環境における「日用品の拡張」としながらも、本来のミラーの使用方法やユーザの使用感というものを変えてはならないことである。そして、「自然に」操作ができることも重要である。



図 1.4: 化粧台ミラーの前で後方を見たい時のイメージ

1.3 研究目的

人々が化粧台ミラーの前で自身の後方をミラーに映しながら、ヘアケア・アレンジなどの手を使った後方での行動に注目した。そこで本研究では、化粧台ミラーの前で、ユーザの後方での行動の支援をするミラーインタフェース、MIMI システムを提案し、試作した。

ユーザの後方での行動を支援するために、手を使わないでミラーに映っている情報を操作することに重点を置く。また、ユーザの後方をミラーに映すためにカメラを使用し、カメラで取得したユーザの後方画像をユーザの足を利用することでインタラクティブな操作を可能にする。

1.4 本論文の構成

本論文の構成について説明する．第2章では，関連研究について述べる．第3章で本研究の提案手法を提示し，第4章で本システムで使用するミラーについて述べる．第5章で提案した手法をもとに実装したアプリケーションについて述べ，第6章で実装したシステムに対する評価実験や実験結果にもとづいた考察と議論について述べる．最後に第8章で結論について述べることで，本論文をまとめる．

第2章 関連研究

この章では本研究と関連の深い研究として、インタラクションデザインとインタラクティブなミラーの2つの研究分野について述べる。また、現行のシステムについても述べる。

2.1 様々なインタラクション手法

手を使わないでコンピュータを操作する研究として、ネックマウス、フットマウスに関する研究がある [10]。これは、上肢障害者のためのコンピュータのコミュニケーション手段についての研究で、首と肩の動作や足の動作を用いた、マウス入力装置に替わる装置の開発と健常者による検証について述べている。ネックマウスでは、首の前後左右の動きで方向移動を、呼吸圧でクリック動作を可能にし、フットマウスでは、ジョイスティックを利用して右足で方向移動を、トラックボールを利用して左足でクリック動作を可能にしている。しかし、両者ともに、介助者が必要であったり、デバイスが高価であったり、反応速度が遅かったりといった、日常的に使用する上で多くの問題点がある。

また、マウスの使用以外でコンピュータを操作する研究は数多くある [11, 12, 13, 14, 15, 16]。例えば福本 [11] は、手や足には何も装着せず、ユーザの任意の部位に装着した音楽プレーヤーなどの機器を直接触れることなく操作出来る。これは、静電容量の変化を利用することで、距離や見通し状態に影響されず、ユーザの指先や足先でのタッピングによって操作を可能にしている。このような手法はウェアラブルを想定しており、何かしらデバイスを体に着ける必要がある。



図 2.1: PhotoDrawer

渡邊ら [12] は Push & Pull という「押す」と「引く」という日常生活の活動の中の行為に着目したインタラクション手法で、図 2.1 のようにユーザがディスプレイを奥に押したり、手間

に引いたりすることで、コンピュータ上でボタンを意識せずに写真のスライドショーなどの操作が出来る。

Fukuchi ら [13] と小林ら [14], 石井ら [15], Lovuscach[16] は、ユーザの体を使ったインタラクション手法について述べている。Fukuchi ら [13] は格子状に設置された電極と人体との間の静電容量を計算することで、電極上のユーザの手などの人体の形状を認識する。小林ら [14] は赤外線カメラを利用してユーザの皮膚領域からの放射光を測定することで、石井ら [15] はカメラで取得した画像の画像処理を行うことでユーザが画面に触れている手領域を認識する。Lovuscach[16] は抵抗膜の圧力の電圧差で手領域を認識する。そして、このような手などの人体の形状の認識によって、2点または複数点によるコンピュータのマウスで行うような操作を可能にしている。操作としては、クリック&ドラッグ、ズームやアイテムの回転操作などが挙げられる。

これらの手法は、図 2.2 のように全て身体性が伴ったインタラクション手法であり、ユーザにコンピュータの存在を感じさせず、人間の直感的な入力や操作を可能にしている。



図 2.2: smartskin

2.2 インタラクティブなミラー

本研究では、ミラーを拡張することでユーザの行動を支援することを提案しているが、多くの先行研究やシステムがある。例えば、岩淵ら [17] は電子的なミラーとして、毎日のメイクアップを支援する。これは、メイクの際にこの鏡台を使用すると、メイク道具につけたカラーマーカーを認識したカメラがメイク箇所を自動的にズームし、自然な体勢のままのメイクが可能である。また、カメラに近づいたり遠ざかったりすることで映像の倍率を変えることや、近接センサを指で利用することで様々な操作を可能にしている。しかし、メイク道具に直接マーカーを付ける負担や、メイクしている体全体を動かす負担、近接センサをメイクを行っている指で操作するために、同時にメイクを行うことが出来ない負担がユーザにとって起こる。

Ushida ら [18] では、「違和感のないインタフェース」「すでに存在するものの拡張として、周囲の環境に溶け込む」ことを方針とし、“鏡らしさ”として視線一致が出来ることに注目したミラーについて述べている。これは、目の前の光景がそのまま映し出されているにも関わ

らず、同時に別のアプリケーションが可能である。実現には、グラスビジョンシートとハーフミラーを併せて利用しているが、画像の鮮明さに欠ける。

また、ミラーに映像や情報を重ね合わせて表示する情報表示端末の現行システムとして、日立ヒューマンインタラクションラボの Miragraphy[19] や北米日産の INFINITY INTERACTIVE MIRROR[20] が提供されている。

Miragraphy は、図 2.3 のように商品のタグやバーコードをミラーが読み取り、商品の詳細情報をミラーに重ね合わせて表示させたり、カメラと接続してミラーに映る像をカメラで撮影し、毎日の服装のチェックなどを行うことが出来る。



図 2.3: Miragraphy の利用の様子

INFINITY INTERACTIVE MIRROR は、図 2.4 のようにガラスのようなミラーをタッチすることでミラーから情報を発するものである。北米日産のインフィニティの展示会では、車の詳細情報などをミラーに次々に提示することで訪問客に強いインパクトを与えている。



図 2.4: INFINITY INTERACTIVE MIRROR の利用の様子

第3章 化粧台ミラーの前でのユーザ行動支援

この章では、本研究の提案する手法について述べる。まず、ユーザの化粧台ミラーの前での行動を支援する手法として、「ミラーに映る情報をハンズフリーに操作する」ことを提案する。次に、「ミラーに映る情報をハンズフリーに操作する」手法の具体的な方法として、ミラーに映る情報をユーザの足でインタラクティブに操作する方法を紹介する。

3.1 ハンズフリー操作によるユーザ行動支援手法

化粧台ミラーにユーザの後方を映したい時に、別のミラーを使って正面のミラーに写したり、ミラーにユーザの後方を映した時にその部分を拡大したり、縮小したり、違う部分を映したいといったことが起こる。このような場合、手で別のミラーを持ったり、身体を左右に動かしたり、身体をカメラに近づけたり、別のミラーを使って他の部分を正面のミラーに映したりするのは、手を使いながら行動をするユーザには負担である。

そこでミラーに映る情報をユーザの手を使わないで操作することが出来れば、ユーザの負担は軽減され、行動を支援することが出来ると考えた。本研究ではユーザの化粧台ミラーの前での行動を支援するために、ミラーに映る情報をハンズフリーに操作する方法を提案する。

化粧台ミラーに映る情報をハンズフリーに操作してユーザの行動を支援するために、本研究ではユーザの足を利用する。そしてユーザの足の動きに従って、ミラーに映る情報の様々な操作に対応させることで、身体性が伴った直感的な操作を可能にすることが可能であると考えた。具体的な方法については以降で述べる。

3.1.1 ネットワークカメラの使用

ユーザの後方をミラーに映すために、ユーザの後方の画像を取得する必要がある。そのために、ユーザの後方にカメラを設置する。カメラには、ネットワークカメラを利用する。ネットワークカメラとは、カメラとコンピュータが1つのユニットに統合されたもので、単に画像を撮影するだけでなく、カメラ本体が固有のIPアドレスを持ち、撮った画像をIPネットワークに伝送するためのWebサーバ機能を内蔵している。そのため、IPネットワークがあればPCに繋げることなくどこにでも設置することが出来、設置や利用が非常に容易である。

現在、図 3.1¹のように様々な高機能・多機能なネットワークカメラが存在し、様々なニ

¹コレガ “CG-NCMN2” <http://corega.jp/prod/ncmnv2/>

コレガ “CG-WLNCPTG” <http://corega.jp/product/list/others/wlncptg.htm>

ズに対応している。その中で、PTZ（パン・チルト・ズーム）カメラというものが存在する。PTZ カメラの P は Panoramic View の略で、カメラレンズを水平方向に回転させることが出来る。T は tilt の略で、カメラレンズを垂直方向に首振りさせることが出来、Z は zoom の略で、レンズ群の位置関係を変えることにより、映像を拡大・縮小すること出来る。

本研究ではこのような機能を持ったカメラでユーザの後方を映し、映した情報をユーザが自分の体を使ってインタラクティブに操作することで、ユーザの行動の支援をするためにネットワークカメラを利用することを考える。



図 3.1: 様々なネットワークカメラ

3.1.2 バランス Wii ボードの使用

本研究では、化粧台ミラーに映したユーザの後方画像の操作を足の動きに対応させることで、ユーザの直観的な行動を可能にする。コンピュータ上での操作では、ユーザの手を用いたマウス操作によるものが一般的である。このような手で操作するマウスと同様に、図 3.2 のような足で利用できるフットマウスも多く存在する [21]。しかし、フットマウスは本体が高価であったり、操作するのに慣れが必要である。また、操作方法は手によるマウスとほぼ同様なので、タッチパネルやジェスチャなどのようにそのまま反映される操作方法とは違い、操作が直感的でないといった問題点もある。そこで本論文では、足の操作にはバランス Wii ボードを利用する [22]。バランス Wii ボードは、図 3.3 に示すように任天堂のゲーム機器 Wii の板状コントローラで、ゲーム機器のため安価で手に入れやすく、操作方法も体重や体の傾きを測定するだけである。また、バランス Wii ボードはユーザに特別なデバイスを体に装着するなどの負荷を感じさせない。

Panasonic	"BB-HCM403"	http://panasonic.biz/netsys/netwkcaml/lineup/hcm403.html
Panasonic	"BB-HCM110"	http://panasonic.biz/netsys/netwkcaml/lineup/hcm110.html



図 3.2: フットマウス

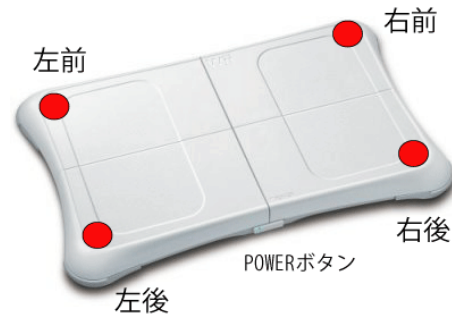


図 3.3: バランス Wii ボード

バランス Wii ボードの主な使用を以下に示す。

- ・ 無線通信機能：Bluetooth Ver.1.2
- ・ 体重表示：0～100kg までは 500g 単位，100～136kg は 1kg 単位
- ・ 計測精度：0～68kg は± 800g，68～100kg は± 1.2kg，100～136kg は± 2.0kg
- ・ 寸法：縦 316mm，横 511mm，厚さ 53.2mm
- ・ 質量：約 3.5 キログラム（乾電池含まず）
- ・ 電源：単三乾電池 4 本

またバランス Wii ボードは、「POWER」ボタンと、4箇所足のところにのストレーンゲージ式フォースセンサという圧力センサがそれぞれ内臓されている。本研究ではこれらを利用し、「足に重心をかける」＝「様々なカメラ動作処理」に対応させて操作することを提案する。ここで「足に重心をかける」ことはユーザの身体性を伴うため、ユーザにとって自然に、直感的な操作の提案が可能であると考えた。

3.2 ユーザの後方を映すミラーの使用シーン

本論文では、ユーザが化粧台ミラーを使用する上で、様々な使用場面が起こると考えた。そこで、本論文で提案する化粧台ミラーの使用シーンを示す。

正面または後方のみを見たい場合

図 3.4 のように、ユーザが正面のみを見たい場合はミラーの前に存在するものをそのまま映す通常のミラーとして、ユーザそのものを映しだす。一方で、ユーザが後方のみをミラーで見たい場合は、通常のミラーとは異なり、ミラーにユーザの後方のみを映しだす。



正面



後方

図 3.4: 一画面ミラーのイメージ

正面と後方の両方を見たい場合

ユーザが正面と後方の両方を見ながらミラーの前で行動を行いたい場合、どちらか一方しかミラーに映っていないとユーザにとって不都合が生じる。例えば浴衣の帯を正面で結んで後ろへ移動させた時、後方を映していれば帯の位置を直接見て調節することが出来が、正面は上から見下ろすだけなので、帯の下の状態などを見ることは困難である。そこでミラーにユーザの正面と後方の画像を図 3.5 のようにミラーの半面の領域にそれぞれ映し、両方のミラーの性質を同時に持たせる事で、ユーザの行動の支援することが可能である。



図 3.5: 二画面ミラーのイメージ

正面あるいは後方と両サイドを見たい場合

正面あるいは後方と両サイドを見たい場合は三面ミラーのように、ミラー自体を三分割する。図 3.6 のように、両サイドにはユーザのサイドを通常のミラーとして映し、中央のミラーには正面あるいは後方の画像を映す。



図 3.6: 三面ミラーのイメージ

このように、後方の状態をユーザがミラーを通して様々な方向や角度から直接見ながらヘアケア・アレンジなどの行動を行うことが可能である。本研究におけるミラーは、ディスプレイの様な働きをしつつも、本来のミラーとしての姿も備えることで、ディスプレイ機能付きミラーのように利用される。

3.3 バランス Wii ボードを利用した化粧台ミラーにおけるインタラクション手法

化粧台ミラーに映しだされたカメラ画像をバランス Wii ボードを利用して操作する手法について具体的に述べる。

ミラーへユーザの後方の表示

ユーザの後方をミラーに表示するために、バランス Wii ボードの「POWER」ボタンをスイッチとして利用する。「POWER」ボタンは側面手前に設置されており、足で軽く押すだけで操作が可能である。ユーザが後方を見たい時に足元のバランス Wii ボードの「POWER」ボタンを押すと、ミラー一面にユーザの後方が映しだされる。その映しだされた画像を見ながらユーザは後方での行動を行うことが出来る。

カメラ画像の表示の仕方の切り替え

切り替えにもバランス Wii ボードの「POWER」ボタンを利用する。「POWER」ボタンを押していくと、図 3.7 のように『ユーザの後方が一画面に映し出される』→『ユーザの後方が左半分に映し出される。(右半分は通常のミラー)』→『中央のミラーにのみユーザの後方が映し出される』→『何も映しだされない。(通常のミラー)』といった切り替えが行われる。

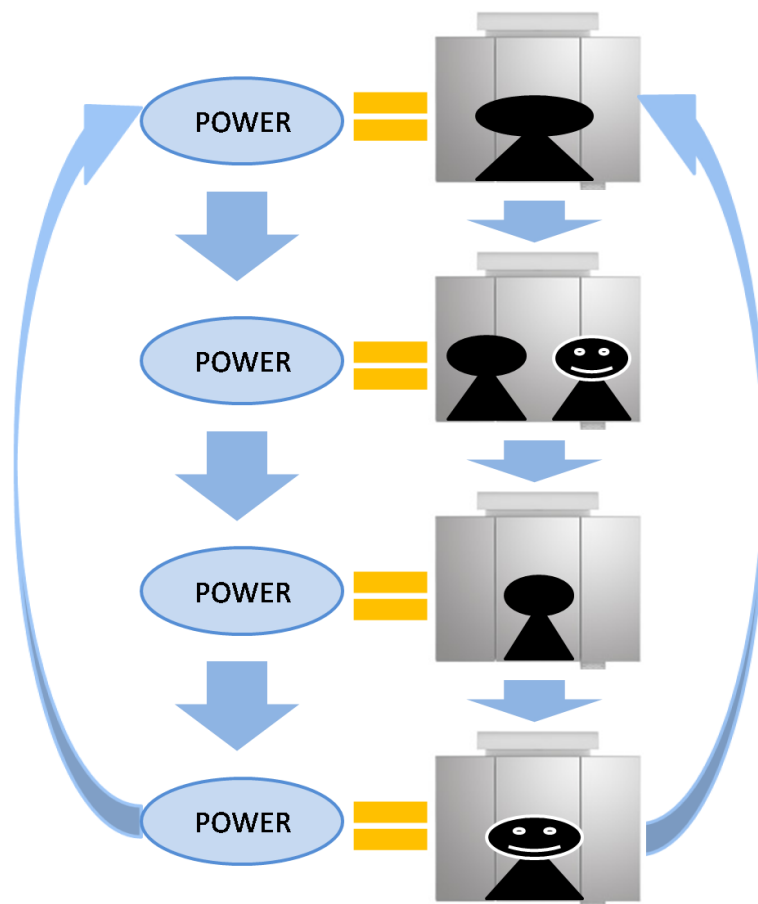


図 3.7: POWER ボタンによる表示の切り替えイメージ

カメラ動作処理

ユーザの後方をミラーに表示した後のカメラ動作処理をバランス Wii ボードを利用して行うために、各隅（左上・右上・左下・右下）に設置されている 4 箇所の圧力センサからバランス Wii ボードを操作するための 6 つの領域（上・下・左・右・右上・左上）の重心位置を計算し、取得する²。そして、取得した重心位置から踏み方を推定する。

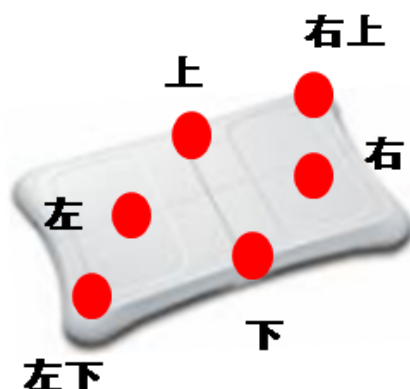


図 3.8: バランス Wii ボードを操作する 6 領域に分割した位置イメージ

バランス Wii ボードを操作するための 6 領域は表 3.1 のように取得する。表 3.1 は縦方向が 6 領域の足の重心位置、横方向が重心位置を取得するための 4 箇所の圧力センサの位置である。次に、足の重心位置の割合から踏んでいる足の領域を決定し、その領域からカメラ操作に対応させる。表 3.2 にその対応表を示す。カメラを右に動かす時は足の重心を右に、左に動かす時は左にといったように、足の動きに従ってカメラ動作処理を対応付けることでユーザに直感性を持たせることが可能である。図 3.9 にそのイメージ図を示す。

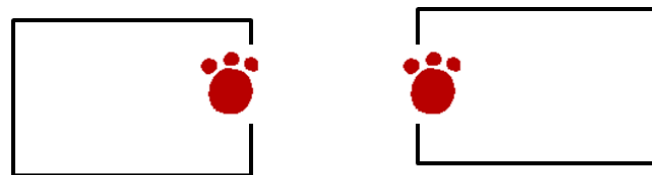
表 3.1: 圧力センサから得られる 6 領域の重心位置

\	TOPRIGHT	BOTTOMRIGHT	TOPLEFT	BOTTOMLEFT
右	○	○		
左			○	○
上	○		○	
下		○		○
右上	○	○		
左下			○	○

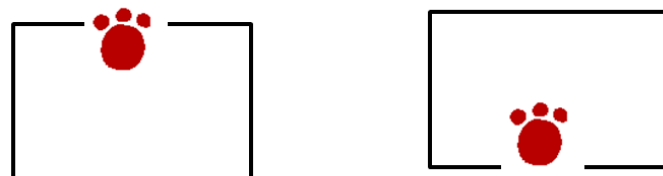
²BalanceWiiBoard to PC <http://minamizawa.jp/wii/>

表 3.2: カメラ動作処理と足の操作方法

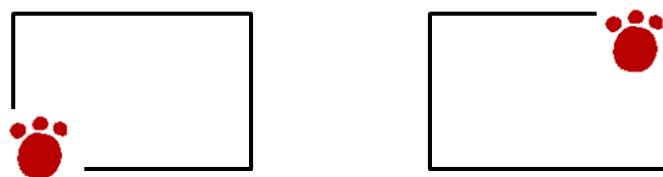
カメラの操作の種類	足の操作方法
カメラのパン方向の移動	右または左に足の重心をかける
カメラのチルト方向の移動	上または下に重心をかける
カメラ画像の拡大	右上に重心をかける
カメラ画像の縮小	左下に重心をかける



パン方向処理



チルト方向処理



ズーム方向処理

図 3.9: カメラ動作処理に対応させた足の操作イメージ

第4章 化粧台ミラーの構成と作成

この章では、本研究のシステムを使用するための化粧台ミラーの構成と作成について述べる。

4.1 化粧台ミラーの構成

本システムにおける化粧台ミラーは、第3章で述べたようにディスプレイの様な働きを持ち、本来のミラーとしての姿も備えられる必要があるため、マジックミラーのようなミラーが必要となる。そこで、本システムにおける化粧台ミラーを試作するにあたって必要なデバイスについて、説明する。

4.1.1 ハーフミラー

ハーフミラーとは、ある条件では普通の鏡のようにふるまい、ある条件ではガラスのようにふるまう鏡のことである。例えば図4.1のように、ある一方の側から光を当てると普通の鏡のように周りの景色を映し、逆側から光が当たると、逆側にあるものが透けて映される。

ハーフミラーは、ガラスなどの透明な板に金属の反射膜を貼り付けることで作られる。この反射膜が非常に外光を反射するため、鏡は光を反射したり、周りの景色を映したりすることが出来る。また、反射膜を薄く形成することで光の透過性を持たせることが出来るため、強い光が逆側から当たると、その光が透過率に沿って表側に通る仕組みとなっている。

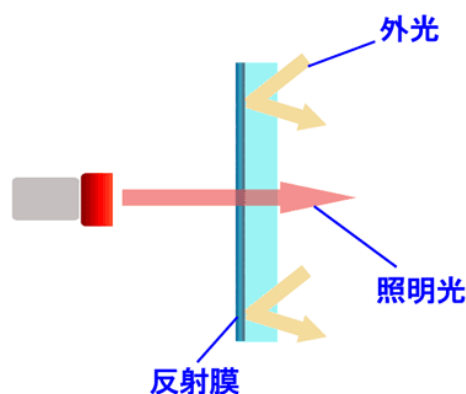


図 4.1: ハーフミラーの仕組み

本研究では、このようなハーフミラーの特性を活かし、車のミラーに断熱とプライバシー保護をするために張るためのマジックミラーフィルムを使用した。透過率は19%で、水を利用して貼るタイプである。

4.1.2 リアスクリーン

リアスクリーンとは、図4.2¹のようにプロジェクタをスクリーンの背面に設置し、そこから投射した映像を再現するものである。外光の影響を受けにくく照明下でも映像が鮮明に映し出される。また背面から映像を投影することで、スクリーンの前に人が立っても映像が遮断されることがないため、イベントや会議だけでなく、幅広く利用されている。

本論文では、リアスクリーンの代用として障子に貼るための障子紙を利用した。障子紙は、光を通しやすく、無地のものを採用した。



図 4.2: リアスクリーンイメージ

4.1.3 プロジェクション

画像や映像を、大型スクリーンなどに投影することで表示するディスプレイは液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ、プロジェクタなど多く存在する。そして、液晶ディスプレイやプラズマディスプレイは、プロジェクタに比べてコントラストが低い。家庭内で日常的に使うものとしては問題がないが、今回はハーフミラーやリアスクリーンと併せて使用するため、映像を透過させるためにコントラストが高いことが重要になる。

そこで本研究では、ミラーに映像をより鮮明に透過させるために、プロジェクタを使用する。プロジェクタには色々な種類があり、主にブラウン管（CRT）を使った3管方式、液晶（LCD）パネルを使った液晶方式、さらに、DMDという反射型光学素子を使ったDLP方式が一般的である。また、プロジェクタが明るいほど、明るい場所でも映り、大きいスクリーンに映すことが出来るが、太陽光が明るいいため、昼間の屋外ではほとんど映らないといった特

¹株式会社きもと <http://www.kimoto.co.jp/>

性を持つ。本研究では、図 4.3 のプロジェクタに DLP 方式の DELL「5100MP」²を使用する。特徴として、室内照明に依存しないため、鮮明に映像や画像を投影することが可能で、2500 : 1 の高コントラスト比によって映像をより忠実かつ鮮やかに再現することが可能である点が挙げられる。主な仕様を以下に示す。

- ・ 投射方式：シングルチップ DLPR テクノロジ
- ・ 輝度：3300 アンシルーメン Lumens(最大)
- ・ コントラスト比：2500:1 (フルオン/フルオフ)
- ・ 解像度：SXGA+ (1400 x 1050)
- ・ 表示色：約 1677 万色
- ・ 投射レンズ：F/2.6-2.87, f= 39.1-46.92 mm, 1.2 倍マニュアルズームレンズ
- ・ 投射画面サイズ：24.4 ～ 292.5 インチ対角線
- ・ 投射距離：1.2 ～ 12 m
- ・ ランプ：300W P-VIP ランプ



図 4.3: プロジェクタ DELL5100MP

4.2 化粧台ミラーの試作

化粧台ミラーは、ハーフミラー、リアスクリーン、プロジェクタを使って作成する。まず、リアスクリーンとハーフミラーを併せ、ひとつのミラーとする。ミラーは三面鏡のため、ハーフミラーを3つ繋げる。次に、正面から見た映像が左右反転に映らないように、プロジェクタから投射する際の設定条件で映像を反転し、ハーフミラーとリアスクリーンを併せたミラーへ投射する。

²DELL “5100MP” <http://www.dell.com/downloads/jp/products/snp/5100mp.pdf>

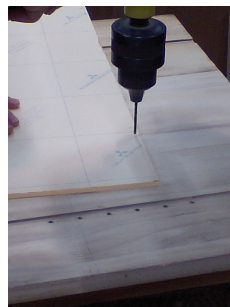
これらを踏まえ、まずハーフミラーを以下のような工程で試作した。工程の様子を図 4.4 に、試作したハーフミラーを図 4.5 に示す。

<ミラー試作工程 1>

- (a) アクリル板の 1 枚を半分に切断する。
- (b) 3つのアクリル板を接続するためのネジを通す穴を計 16 か所に開ける。
- (c) マジックミラーシートを張るために、アクリル板とシートに接着スプレーを十分噴射し、ゴムベラで空気を抜いていく。
- (d) カッターでマジックミラーシートをアクリル板の大きさに揃える。
- (e) 貼ったマジックミラーシートの上からスプレーを噴射し、再度アクリル板とシートとの空気を抜く。
- (f) 3つのアクリル板をちょうつがい・ネジ・ナットで接続する。



(a) アクリル板を切断する機械



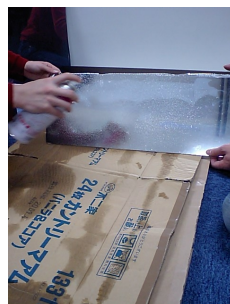
(b) ネジを通す穴を開ける



(c) マジックミラーシートを貼る



(d) シートをアクリル板の大きさに揃える



(e) 再度、シートとアクリル板の間の空気を抜く



(f) アクリル板同士をネジで接続

図 4.4: ミラー試作工程 1



図 4.5: 試作したハーフミラー

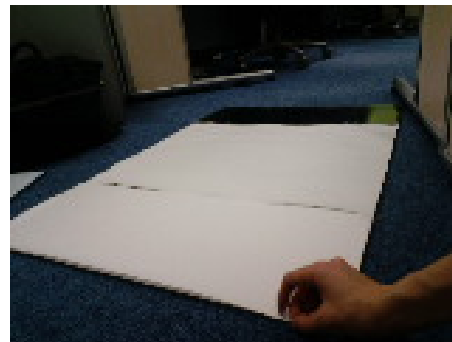
次に、プロジェクタから投影するために、リアスクリーンの代用として障子紙を以下のよう
な工程でハーフミラーに貼りつけた。工程の様子を図 4.6 に示す。

<ミラー試作工程 2>

- (g) 障子紙を 3つのハーフミラーの大きさにそれぞれ合わせてハサミで切る。
- (h) ハーフミラーの大きさに合わせた障子紙を、よれ等がないようにハーフミラーにセロハンテープで一枚ずつ貼る。



(g) 障子紙を切る。



(h) 障子紙をセロハンテープで貼る。

図 4.6: ミラー試作工程 2

ミラーを三面鏡として使用する際、ミラー後方全体を覆うだけでは隙間から光が入ってしま
い、ミラーとしての機能が損なわれてしまう。そこでミラー後方部を図 4.7 のように光を通
さないもので覆うことで、三面鏡として使用する際にプロジェクタから投影された画像は中
央のミラーにのみ投影される。更に通常のミラーとしての機能も保たれる。これらを踏まえ
て試作した化粧台ミラーを図 4.8 に示す。



図 4.7: 化粧台ミラーの後方部



図 4.8: 試作した化粧台ミラーの全体図

第5章 MIMI システムの実装

この章では、MIMI の由来や利用の流れについて述べる。そして、試作したミラーを利用して、提案した手法についての MIMI システムの実装と各動作処理について述べる。

5.1 MIMI

MIMI は「Mirror In Mirror Interface」の略で、化粧台ミラーの前でユーザが行動する際に、ミラーをユーザの足を使ってインタラクティブに操作できるシステムの名称である。

ユーザがミラーの正面に立ちながらも、ユーザの後方を正面のミラーの中に映すことから、「ミラーの中にミラーが入っているかのように見ることができるインタフェース」＝「Mirror In Mirror Interface」と考え、名前の由来となっている。MIMI システムの概観イメージを図 5.1 に示す。

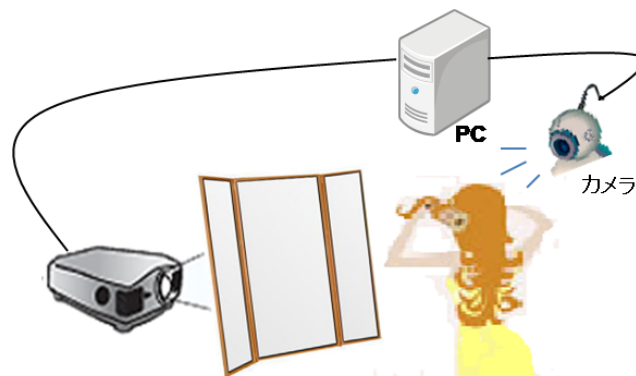


図 5.1: システムの概観イメージ

5.1.1 利用の流れ

ユーザが MIMI を利用する際の全体の流れを以下に示す。

- 1 ミラーの前に立つ。
- 2 「POWER」 ボタンを押す。
- 3 ミラーにユーザの後方が映しだされる。

- 4 バランス Wii ボードに乗って、足に重心でカメラの動作操作をする。
- 5 用途に応じて「POWER」ボタンを押す。「POWER」ボタンの押した回数に応じて表示方法が変更される。

5.2 システムの構成

本システムでは、Bluetooth で接続されたバランス Wii ボードから取得した「POWER」ボタンによるイベント処理と、4つの圧力センサの値¹からユーザの足の重心を求め、この値をもとに足の位置を決定する。そして、MIMI システムにおけるパン・チルト・ズームなどの様々な操作に対応させる。

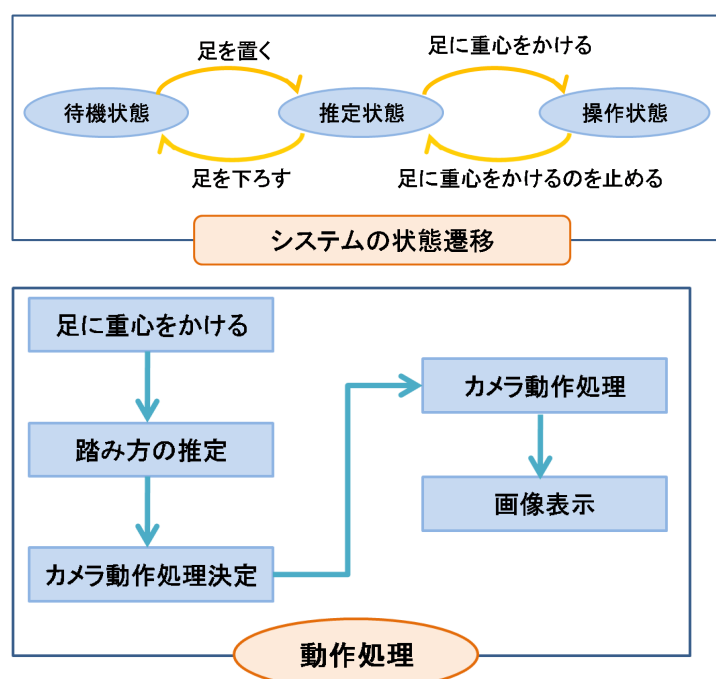


図 5.2: システム処理の流れ

このシステムは、図 5.2 のような流れで処理を行う。まず、ユーザがバランス Wii ボードに対して何もアクションを起こしていない時、バランス Wii ボードは待機状態となる。次に、ユーザがバランス Wii ボードに足を置くと、バランス Wii ボードは足の位置を求めるため、推定状態に状態遷移する。次に、ユーザが足に重心をかけると、どのようなカメラ動作処理を行うかの命令が決定され処理が行われるので、バランス Wii ボードは操作状態に状態遷移する。ユーザが足に重心をかけるのをやめてバランス Wii ボードから足を下ろすと、状態遷移は操作状態→推定状態→待機状態の順番で戻っていく。

¹ホイール欲しいハンドル欲しい <http://wlog.flatlib.jp/>

図 5.3 に実際のシステムの構成図を示す。部屋の上の方へユーザの後方を映すための PTZ カメラを一台設置し、ユーザの全面に MIMI を設置する。MIMI の下には、足で操作するためのバランス Wii ボード、ミラーの後方には DLP 方式のプロジェクタが 1 台と、PTZ カメラやバランス Wii ボードの動作処理をするための計算機が設置されている。

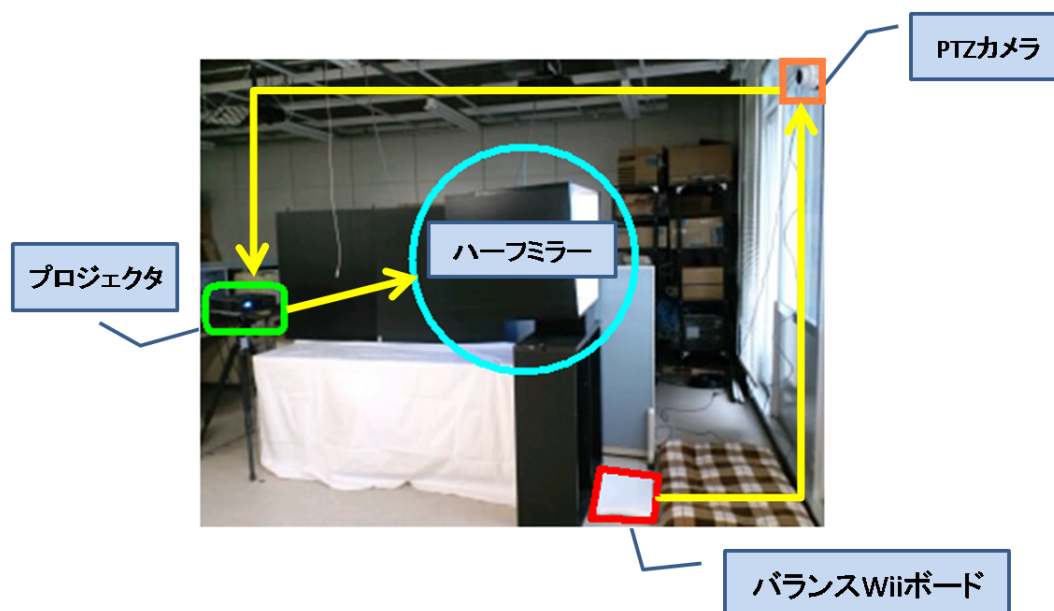


図 5.3: システムの構成

5.2.1 開発環境

バランス Wii ボードとの通信機能や PTZ カメラとの接続とカメラ画像の取得など全て Java1.6.0 環境にて開発した。PC の OS は WindowsXP で、CPU は Pentium3.0GHz、メモリ は 1GB ある。また、Java でバランス Wii ボードの信号を解析してラップしてくれるモジュール WiiRemoteJ[23] を利用した。WiiRemoteJ とは、BlueTooth(R) を通して任天堂 (R) Wii リモコン (TM) あるいはバランスボード (TM) と相互にコミュニケーションするための無償の Java API とライブラリである。

この 2 つのコンポーネントを繋ぐ為に、JNI (Java Native Interface) を利用した。JNI とは、Java のプログラムから C や C++ のプログラムを呼び出して使用できる API で、ハードウェアを直接制御できない Java をサポートする。今回は、Bluetooth の信号を受信するための JSR-082 (Java Bluetooth API) として、BlueCove[24] を利用した。

5.2.2 PTZ カメラ

本システムでは、ユーザの後方を映すためのカメラに図 5.4 の AXIS 212 PTZ ネットワークカメラ²を利用した。AXIX 212 PTZ の利点として、可動部分がないために耐久性が高いことや、音がうるさくないこと、機械的な動作処理に対する遅延やノイズ、画像の流れが生じないことが挙げられる。以下に主な仕様を示す。

- ・ レンズ：Fujinon（固定アイリス）、焦点距離：2.7mm、F 値：F1.8、撮影可能範囲：0.2m～無限大
- ・ ズーム：3 倍デジタル
- ・ デジタルパン範囲：± 70 度
- ・ デジタルチルト範囲：± 52 度
- ・ パンチルトスピード：最大 400 度／秒
- ・ 解像度：最大 640 × 480、最小 160 × 120
- ・ フレームレート：640 × 480（VGA）で最大 30 フレーム／秒
- ・ ビデオストリーミング：Motion JPEG



図 5.4: AXIS 212 PTZ ネットワークカメラ

また、AXIS 212 PTZ は HTTP ベースの外部アプリケーションプログラミングインタフェース（API）が利用可能である。そこで、以下のような URL にアクセスすることでカメラに動作命令を出したり、パラメータを取得したりすることができる。

- ・ データストリームを取得する。
`http://(IP アドレス)/axis-cgi/mjpg/video.cgi?resolution=(画像サイズ)`

²AXIS “AXIS 212 PTZ” <http://www.axiscom.co.jp/prod/212/>

- ・カメラの PTZ をパラメータとして取得し、動作処理を行う。

`http://(サーバ名)/axis-cgi/com/ptz.cgi?(パラメータ)=(値)`

(パラメータ) = “ center ” で (値) = “ x, y ” の場合は、画像上の (x, y) 座標をカメラの視線の参照座標となるようにカメラのパン・チルト処理を行うことができる。また、(パラメータ) = “ rzoom ” で (値) = “ z ” の場合は、同様にカメラのズーム処理を行うことができる。さらに、(パラメータ) = “ query ” で (値) = “ position ” の場合は、現在のカメラのパラメータを取得を行うことができる。

5.3 各動作処理

バランス Wii ボードを使ったミラーの各動作処理について述べる。本システムは、以下に示す主要クラスから構成される。

- ・ URLConnect クラス：AXIS 212 PTZ カメラのネットワーク接続などを主に行う。
- ・ ImageCapture クラス：AXIS 212 PTZ カメラからストリーミングした画像を取得する。
- ・ Mirror クラス：メインクラス。ImageCapture クラスから取得した画像を化粧台ミラーに表示する。また、Bluetooth からバランス Wii ボードの検出も行う。
- ・ Camera クラス：AXIS 212 PTZ カメラからの画像の PTZ 処理やパラメータの取得、送信を行う。動作処理の司令は WiiBoardGesture クラスから取得される。
- ・ WiiBoardGesture クラス：ミラーの表示やカメラ操作において、ユーザがどのような操作を行いたいのかの判別を行う。その後、PTZ 処理の命令を Camera クラスへ送信する。

5.3.1 画像の表示

画像を表示させる際には、3 章でも述べたように、バランス Wii ボードの「POWER」ボタンを利用する。「POWER」ボタンを押すとバランス Wii ボードのジェスチャ認識部分でボタンのイベント処理が行われ、システムが起動する。システムが起動すると、カメラがユーザの後方の画像を取得して画像のストリーミング部分に配信する。AXIS 212 PTZ から取得された Motion JPEG ストリーミングは、任意の間隔で連続的に JPEG 画像を読み込んで配信する。そしてミラー全体に画像を表示するために、Mirror 部分でミラーのフルスクリーンサイズを自動的に取得し、画像の解像度をフルスクリーンサイズに計算して反映させたものを図 5.5 のように表示する。「POWER」ボタンは上述のようにボタンのイベント処理なので、BalanceBoardListener の `buttonInputReceived` で実装が可能である。

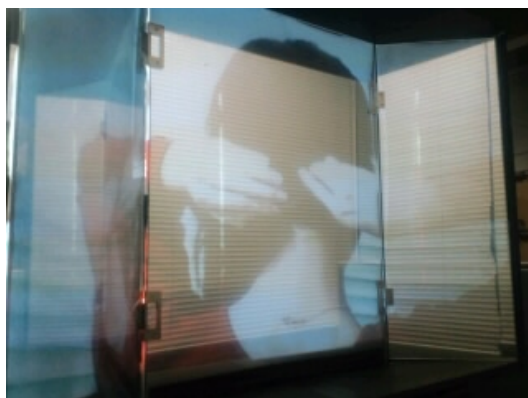


図 5.5: MIMI システムによる後方画像表示の様子

5.3.2 画像の表示切り替え

画像の切り替えでは、ユーザが画像表示後に再度「POWER」ボタンを押すことで行われる。「POWER」ボタンがユーザによって押されると、フルスクリーンで一面表示されていたものを、バランス Wii ボードのジェスチャ認識部で画像の解像度の横サイズを二分の一に計算し、反映したものが画像ストリーミング部分に送信され、ミラーの左半分に表示される。ミラーの右半分にはブラックスクリーンが表示され、通常のミラーとしての機能が備えられる。図 5.6 のように、左半分はユーザの後方を、右半分はユーザの正面を映すことで、ユーザの正面と後方を同時に見ながらヘアケア・アレンジなどの行動を行うことが出来る。



図 5.6: MIMI システムによる二画面への表示切り替え後の様子

次に「POWER」ボタンを押すと、バランス Wii ボードのジェスチャ認識部分で画像の解像度は二画面ミラーの場合と同様のままで、画像の映し出される位置が三面のミラーの中央のミラーにのみに画像が映されるように変更される。図 5.7 のように、ユーザの後方を直接見ながらも、サイドのミラーを折り返して三面ミラーとしての利用も可能である。



図 5.7: MIMI システムによる中央部分のみへの表示切り替え後の様子

次に「POWER」ボタンを押すと、バランス Wii ボードのジェスチャ認識部分で画像表示に関して「オフ」と認識される。そのため、ミラーにはブラックスクリーンのみが表示され、ユーザの後方画像が表示されなくなるので、図 5.8 のように通常の一面ミラーとして、またはサイドを折り返した三面ミラーとしての利用が可能になる。



図 5.8: MIMI システムによる画像表示が「オフ」の様子

これらの機能は、システムが起動すると、起動中の「POWER」ボタンの押された回数をカウントされることで行われる。そのため、「POWER」ボタンが押される度にバランス Wii ボードのジェスチャ認識部の `buttonInputReceived` 内でカウンターが 1 回ずつ足されてく。そのカウンターの回数が 3 で割ったときに、

- 余りが「1」の場合 … カメラ画像の表示がフルスクリーンに表示される一画面ミラー。
- 余りが「2」の場合 … カメラ画像の表示がディスプレイの左半分に表示される二画面ミラー。
- 余りが「3」の場合 … カメラ画像の表示が何もされず、ブラックスクリーンが表示される。通常のミラー。

のように画像の表示切り替えが行われる。

5.3.3 カメラの動作処理

カメラ画像の表示後のカメラの各種動作操作は、3章で述べたようにバランス Wii ボードに足の重心をかけることでバランス Wii ボードのジェスチャ認識部で行われる。その具体的な動作処理について述べる。

まず、画像表示後にバランス Wii ボードにユーザが足を乗せると、システムは「バランス Wii ボードに足が乗った」と判断する。そして、乗せた足の重心位置からそれぞれの領域（右、左、上、下、右上、左下）に“どれくらいの力がかかった”か、“全体の重さに対してどれくらいの割合である”かを計算する。もしこの時、全領域の割合値が、ある一定の値（＝閾値）に満たなかった場合は「バランス Wii ボードに足は乗っていない」と判断し、ミラー上では何も操作が行われない。

全体の重さに対して各領域の値がどれくらいの割合を占めているか、閾値以上であるかといった条件により、ユーザがバランス Wii ボードをどの位置で踏んでいるかを推定し、決定する。ユーザがどの位置を踏んでいるかの推定の仕方は、表 5.1 にその一例を示す。

表 5.1: Algorithm1：バランス Wii ボードの踏み方推定例

Algorithm1

```
if 下・右・左・左下方向の値（上方向以外） > 閾値 Then
    下方向に重心をかけて踏んでいる
else
    if 下方向の値 > 閾値 Then
        下方向に重心をかけて踏んでいる
    else if 右方向の値 > 閾値 Then
        右方向に重心をかけて踏んでいる
    else if 左方向の値 > 閾値 Then
        左方向に重心をかけて踏んでいる
    else if 左下方向の値 > 閾値 Then
        左下方向に重心をかけて踏んでいる
    else if 右上方向の値 > 閾値 Then
        右上方向に重心をかけて踏んでいる
    end if
end if
```

end if

ユーザがどの位置を踏んでいるかの決定結果から、次にカメラの PTZ 動作処理の命令処理に対応させる。カメラ動作のパン・チルト・ズーム処理パラメータとして、パン方向を x、チルト方向を y、そしてズーム方向を z とする。カメラ動作のためのパラメータ x, y, z の各司令を動作処理部へ送信することで、カメラ動作の各処理が行われる。左右のカメラ動作処理、つまりパラメータ x, y については命令処理が決定すると、その時の画像解像度に従った中

心位置を求め、その位置から動作処理が行われる。また x , y , z にはそれぞれ 1 回の処理につき 1 の値を与え、ユーザが足の重心をかける量に比例した大きさだけ動作処理が行われる.. カメラ動作処理部では、これらから取得して得られた x , y , z を用いて、HTTP API でネットワークカメラでの動作処理を行い、画像ストリーミングへ送信し、反映したものを画像表示部で表示する。

これらの動作処理は、BalanceBoardListener の `massInputReceived` で実装が可能である。表 5.2 にカメラの動作処理への対応アルゴリズムを示す。

表 5.2: Algorithm2：カメラ動作処理命令アルゴリズム

Algorithm2

```

if  右方向に重心をかけて踏んでいる  Then
    カメラのパンの+ X 方向の処理

else  if  左方向に重心をかけて踏んでいる  Then
    カメラのパンの- X 方向の処理

else  if  上方向に重心をかけて踏んでいる  Then
    カメラのチルトの+ Y 方向の処理

else  if  下方向に重心をかけて踏んでいる  Then
    カメラのチルトの- Y 方向の処理

else  if  右上方向に重心をかけて踏んでいる  Then
    カメラのズームの+ Z 方向の処理

else  if  左下方向に重心をかけて踏んでいる  Then
    カメラのチルトの- Z 方向の処理

end if

```

第6章 MIMI システムの評価実験

この章では、試作した MIMI システムに関して評価実験を行った。被験者にミラーの前で、ヘアケア・アレンジやコートの紐を結ぶなどの後方での行動を実際に行ってもらい、どれくらいの精度でカメラが被験者の意図したように動作処理を行うのか、また手を使って操作する場合と足で操作する場合の利便性や操作性について考察し議論した。

6.1 実験目的

本実験では、以下に挙げる仮説を実証することを目的とする。

仮説 1 通常の三面ミラーを使用した場合と比べて、ユーザの後方を見ることが出来る MIMI システムの方がスムーズに行動を行うことが出来る。

仮説 2 MIMI システムにおいてカメラの動作処理をする際に、手を使って操作するより、足を使って操作する方が、スムーズに行動を行うことが出来る。

仮説 3 MIMI システムにおいて、バランス Wii ボードに足の重心をかけ、その重心位置とカメラ動作処理を対応させた動作処理方法は、マウス操作に比べ直感的な操作である。

6.2 実験方法

6.2.1 被験者

実験の被験者は 20 代の理科系、文科系、芸術系の学生 3 人と、20 代、30 代の社会人 2 人である。マルチユーザに対応するため、学生や分野に偏らず、様々な方に協力をお願いした。

6.2.2 実験内容

被験者には、MIMI システムのミラーの前に立ってもらい、

I : 通常の三面ミラーとして

II : マウスジェスチャを使用した MIMI システムのミラーとして

III : バランス Wii ボードを使用した MIMI システムのミラーとして

仮説 1, 2, 3 を実証するために、それぞれの場合に分けて実験を行った。実験内容は以下の手順である。

＜実験 1＞

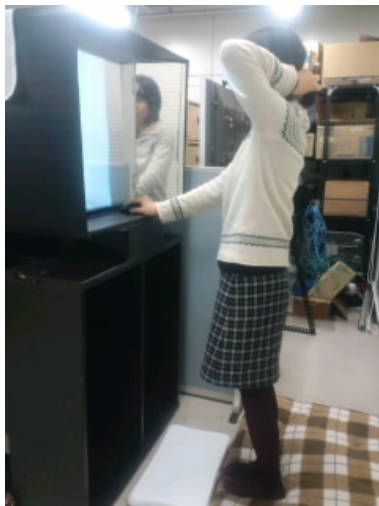
1. 被験者はミラーの前に立ち、正面のミラーを見た状態からスタートする。
2. ヘアケア・アレンジ、またはコートの中のリボンを結ぶ等の後方での行動を行う。
3. まずⅠについての実験を行う。
4. Ⅰでは後ろを見る際に、別のミラーを使用したり、ミラーを三面鏡として使用したりして行動を行ってもらう。
5. 後方での行動を行いながら、ミラーに映る被験者の姿を拡大・縮小や他の場所を映すために、被験者の体を動かすなどして被験者の自由に行動を行ってもらう。
6. 次にⅡについての実験を行う。スタートの状態はⅠと同じである。
7. Ⅱではまず後ろを見る際に、被験者に手でマウスを 1 回左クリックしてもらう。
8. 後方での行動を行いながら、ミラーに映る被験者の姿を拡大・縮小したり、他の場所を映すために、手によるマウスジェスチャでカメラの操作（パン・チルト・ズーム操作）行動を行ってもらう。
9. マウスジェスチャでは、マウスをドラッグしながら左右に動かすとカメラのパン操作、上下に動かすとカメラのチルト操作、ホイールを上下に動かすとカメラのズーム操作が出来る。
9. また、Ⅱでは表示の切り替えのため、マウスの左クリックを被験者の利用に合わせて使用する。
10. 次にⅢについての実験を行う。スタートの状態はⅠと同じである。
11. Ⅲではまず後ろを見る際に、「POWER」ボタンを被験者に押してもらう。
12. ミラーに映る被験者の姿を拡大・縮小したり、他の場所を映すために、バランス Wii ボードを足で操作してカメラの操作（パン・チルト・ズーム操作）行動を行ってもらう。
13. またⅡと同様に、Ⅲでは表示の切り替えのため「POWER」ボタンも被験者の利用に合わせて使用する。
14. 終了。

実験は各 10 分ずつ行った。また、実験後に被験者に様々なミラーのパターン使用についてのアンケートを行った。

<実験 2>

1. まずⅡについての実験を行う。
2. 被験者に手によるマウスジェスチャで、実験者が指定した通りにシステムを動かしてもらう。
3. 被験者がマウスを操作し、操作をしてから結果がミラーに反映されるまでの時間を計測する。
4. 次に、Ⅲ についての実験を行う。
5. Ⅱと同様に、被験者に足によるバランス Wii ボードに重心をかけることで、実験者が指定した通りにシステムを動かしてもらう。
6. 被験者がバランス Wii ボードを操作し、操作をしてから結果がミラーに反映されるまでの時間を計測する
7. 終了。

実験は各 10 分ずつ行った。図 6.1 に実験の様子を示す。また実験 1 と同様に、実験後に被験者にシステム評価のためのアンケートを行った。以降で実験結果やアンケート結果について述べる。



MIMI システムをマウスで操作



MIMI システムをバランス Wii ボードで操作

図 6.1: 芸術系学生による実験風景

6.2.3 アンケートの質問項目

上述の通り、各実験の終了後に本論文の巻末の付録 A に掲載するアンケートを被験者に配布し、記入してもらった。アンケートは、通常のみラーと MIMI システムの比較と評価に対して、MIMI システムの 2 つの手法に対して、5 段階評価（1 から 5 まで順に増えるごとに評価が良い）と自由記述欄を 1 つで構成されている。アンケートの質問項目の概要は以下の通りである。

<実験 1>

Q1：MIMI システムと通常のみラーの使いやすさの比較

Q2～Q3：MIMI システムにおける 2 つの手法のそれぞれに関する評価

Q4：MIMI システムにおける 2 つの手法の比較

Q5～Q6：MIMI システムの機能に関する評価

Q7：自由記述

<実験 2>

Q1～Q4：手によるマウスの操作性に関する評価

Q5～Q8：足によるバランス Wii ボードの操作性に関する評価

質問は実験 1 が 7 問、実験 2 が 8 問で合計 15 問である。実験 1 で、Q1 は MIMI システムを使用して後方を映すことが出来るみラーと通常のみラーのそれぞれを使用した場合にどちらの方が使用しやすかったかを単純に質問した。Q2 と Q3 は、MIMI システムを実際にみラーとして使用しながら手によるマウス操作または足によるバランス Wii ボード操作をした場合に、それぞれ被験者がどのような印象を受けたかの 5 段階評価を質問した。Q4 は Q2 と Q3 を踏まえ、実際に被験者が後方での行動を行いながら MIMI システムを操作した時にマウスとバランス Wii ボードをそれぞれ使用した場合にどちらの方が使用しやすかったかを単純に質問した。

実験 2 では、手によるマウス操作と足によるバランス Wii ボード操作のパン方向の処理、チルト方向の処理、ズームレベルの処理、表示の切り替えの仕方について、それぞれ被験者がどのような印象を受けたかの 5 段階評価を質問した。Q1 と Q5 はそれぞれのパン方向の処理、Q2 と Q6 はそれぞれのチルト方向の処理、Q3 と Q7 はそれぞれのズームレベル処理、Q4 と Q8 は表示の切り替えの仕方についてそれぞれ同じ質問内容で対応している。

以上から、実験で使用したアンケートの質問項目は、実験 1 の Q1, Q4, Q7 を除いて以下のようなカテゴリに分類される。

表 6.1: アンケートの質問項目のカテゴリ分類表

	カテゴリ	質問項目
実験 1	1	Q2 と Q3
実験 2	2-1	Q1 と Q5
	2-2	Q2 と Q6
	2-3	Q3 と Q7
	2-4	Q4 と Q8

6.3 実験結果

実験した結果の集計したものを示す．実験のアンケート結果や実験 2 における測定結果の詳細を巻末の付録 B に掲載する．また実験 1 において，Q1 では全員が「MIMI システム」を，Q4 でも全員が「バランス Wii ボード」を選択した結果となった．

カテゴリ分類別結果

表 6.1 に示したカテゴリ分類に従って以下にアンケートの集計結果を示す．グラフの左側がマウス，右側がバランス Wii ボードに対する結果の平均値である．また，それぞれ標準偏差も求め，グラフに表示している．

実験 1 のカテゴリ 1 の結果を図 6.2 に，実験 2 のカテゴリ 2-1～2-4 の結果を図 6.3 に示す．

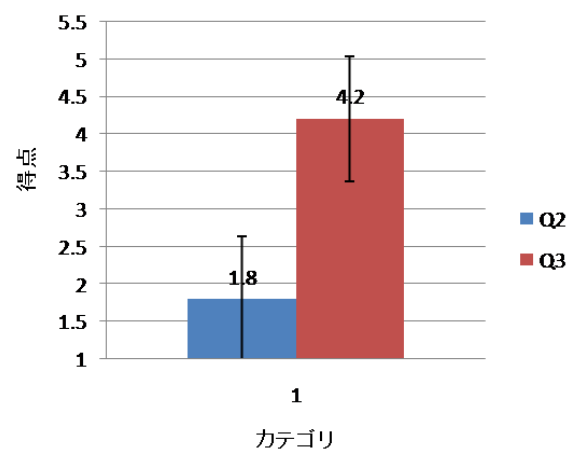


図 6.2: 実験 1 : アンケート結果

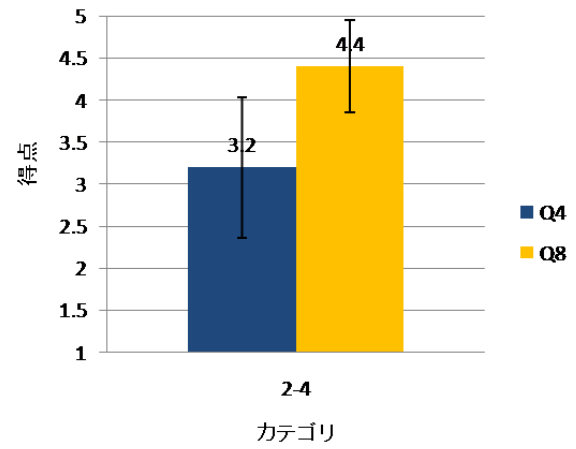
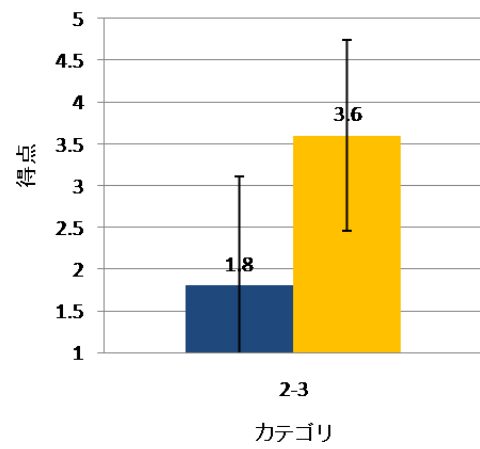
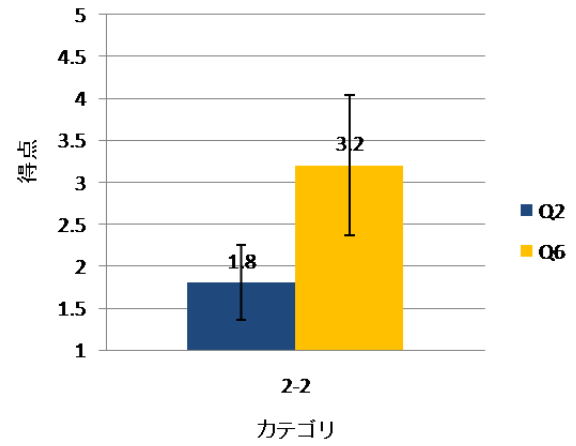
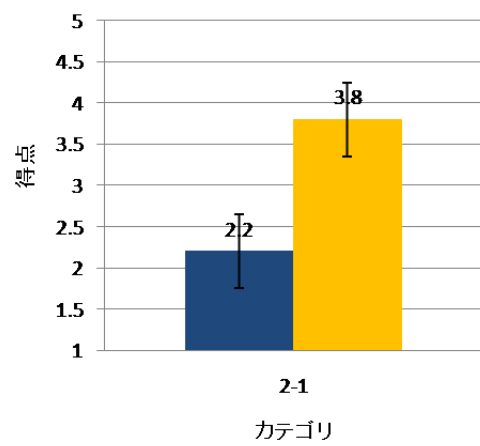


図 6.3: 実験 2 : アンケート結果

実験2における測定結果

実験2におけるマウス操作とバランス Wii ボード操作それぞれの時間測定の集計結果を表 6.2 と表 6.3 に示す。集計結果にはそれぞれの操作した方向に対して、「試行総数」「成功数」「失敗数」「成功率」「失敗率」「平均時間」を求めている。また、割り切れない数値に関しては、小数第4位で四捨五入を行っている。

表 6.2: 実験2：マウス操作の測定結果

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行総数	15	15	15	15	15	15
成功数	14	14	14	15	14	13
失敗数	1	1	1	0	1	2
成功率%	93	93	93	100	93	86
失敗率%	7	7	7	0	13	13
平均時間	4.324	4.287	4.655	4.438	8.835	7.221

表 6.3: 実験2：バランス Wii ボード操作の測定結果

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行総数	15	15	15	15	15	15
成功数	13	13	13	13	13	11
失敗数	2	2	2	2	2	4
成功率	87	87	87	87	87	73
失敗率	13	13	13	13	13	27
平均時間	1.2554	1.578	1.633	0.9768	0.8334	1.909

自由記述

Q7 の自由記述欄や実験後のインタビューから得られた意見として以下に挙げる。

- ・ 手を使ってる時にマウスで操作するのは大変だし面倒くさい。足での操作はよかった。
- ・ マウス操作で右→上のような誤認識があった。
- ・ マウスはフィードバックが遅いので、間違って操作してしまってもすぐに修正ができない。
- ・ バランス Wii ボードの操作はフィードバックが早すぎる時があって、驚いた。もう少しゆっくりでもいいかも。
- ・ バランス Wii ボードを使うのは面白い。
- ・ 魚眼カメラでは端が見えにくいことがあった。平面で映る方が良い。
- ・ 体重の移動で操作するのは分かりやすかった。

- ・ 足に重心をかけて操作するのは面白かったが、マルチタッチっぽいのも使ってみたい。
- ・ バランス Wii ボードに乗りながら、何も操作したくない時はシステムが動かないようにしてほしい。
- ・ 床に埋め込んで操作できたら面白そう。
- ・ カメラ自体も動いたら面白い。もっと色々なことが出来そう。

6.4 考察と議論

6.3 より、実験 1 の Q1 で全員が「MIMI システム」と答えた。そのため、今回の実験では仮説 1 の通常の三面ミラーを使用した場合と比べて、ユーザの後方を見ることが出来る MIMI システムの方がスムーズに行動を行うことが出来ることが証明された。しかし、今回のアンケートでは単純な比較の質問項目であったため、今後なんらかの形で定量的に評価する必要がある。

次に、表 6.2 と表 6.3 より実験 2 の測定結果を比べると、全てのカメラ動作処理においてバランス Wii ボードの方がマウスに比べて平均の測定時間が短い。よって、マウスに比べてバランス Wii ボードによる動作処理の方が早くミラーに反映されることが分かった。また成功率と失敗率に関しては、両者ともにあまり差が見られないが、マウスの方が誤認識や反応なしという現象がバランス Wii ボードに比べて少ないことが分かり、精度はマウスの方がバランス Wii ボードより若干優れていることが分かる。

更に、マウスとバランス Wii ボードの有意差を見るため、本論文では t 検定を用いる。t 検定とは、2 つの母集団 A, B がいずれも正規分布に従うと仮定した場合、A と B に差があるかないかを統計的に調べる方法である。本論文では、全てのカテゴリに対して「マウスとバランス Wii ボードの評価点に差はない（有意差はない）」と仮定し、t 検定によりこの仮定が棄却されるかされないかを調べる。カテゴリ別に求めた t 値を表 6.4 に示す。また今回の実験では、マウスとバランス Wii ボードそれぞれで被験者が 5 人ずつなので、自由度 = (5 人 - 1) + (5 人 - 1) = 8 である。自由度 = 8 の時の t 分布表 [25] を表 6.5 に示す。

表 6.4: カテゴリ別の t 値

	カテゴリ 1	カテゴリ 2-1	カテゴリ 2-2	カテゴリ 2-3	カテゴリ 2-4
t	-4.54	-3.77	-3.3	-2.32	-2.68

表 6.5: t 検定による自由度=8 の時の t 分布表

	p=0.05	p=0.01
自由度=8	2.306	3.355

表 6.4 と表 6.5 より、 t 検定を行うと最初にたてた仮定について以下のように言うことが出来る。

カテゴリ 1

$t=-4.54$ より、1 %有意水準で仮定は棄却される。そのため、99 %以上の確率でマウスとバランス Wii ボードの評価点に差がある、つまり有意差がある。よって、後方での行動を行いながら MIMI システムを利用する時、手で操作するよりも足で操作する方が使いやすいといえる。

カテゴリ 2 - 1

$t=-3.77$ より、1 %有意水準で仮定は棄却される。そのため、99 %以上の確率でマウスとバランス Wii ボードの評価点に差がある、つまり有意差がある。よって、パン方向処理では、マウスよりもバランス Wii ボードを使って動作処理を行う方が使いやすいといえる。

カテゴリ 2 - 2

$t=-3.30$ より、5 %有意水準で仮定は棄却される。そのため、95 %以上の確率でマウスとバランス Wii ボードの評価点に差がある、つまり有意差がある。よって、チルト方向処理では、マウスよりもバランス Wii ボードを使って動作処理を行う方が使いやすいといえる。

カテゴリ 2 - 3

$t=-2.32$ より、5 %有意水準で仮定は棄却される。そのため、95 %以上の確率でマウスとバランス Wii ボードの評価点に差がある、つまり有意差がある。よって、ズームレベル方向処理では、マウスよりもバランス Wii ボードを使って動作処理を行う方が使いやすいといえる。

カテゴリ 2 - 4

$t=-2.68$ より、5 %有意水準で仮定は棄却される。そのため、95 %以上の確率でマウスとバランス Wii ボードの評価点に差がある、つまり有意差がある。よって、表示の切り替え処理では、マウスよりもバランス Wii ボードを使って動作処理を行う方が使いやすいといえる。

以上から、全カテゴリに関してバランス Wii ボードの方がマウスに比べて有意に高かったことが分かった。このことから、仮説 2 の MIMI システムにおいてカメラの動作処理をする際に、手を使って操作するより、足を使って操作する方が、スムーズに行動を行うことが可能で、仮説 3 の MIMI システムにおいて、バランス Wii ボードに足の重心をかけ、その重心位置とカメラ動作処理を対応させた動作処理方法は、マウス操作に比べ直感的な操作であることが証明された。

自由記述欄からも、バランス Wii ボードに足の重心をかけて MIMI システムを操作することに対して「操作が分かりやすい」といった意見を頂いたため、ユーザの足を利用した操作方法は良かったと考える。一方で、利用した AXIS 212 PTZ カメラに対して「見えにくい」といった意見を頂いたため、今回利用したカメラ以外の様々な種類のネットワークカメラを利

用した比較実験を行う必要がある。また，バランス Wii ボードを利用した操作方法について被験者から「床に埋め込む」や「マルチタッチ」という言葉が出ているように，家庭の中に存在する「日用品の拡張」としてより人々の生活に溶け込んだシステムが求められている。

第7章 結論

本研究では、ユーザの後方に設置した PTZ カメラからユーザの後方の画像を取得し正面のミラーに映したものを、バランス Wii ボードとユーザの足を使ってインタラクティブに操作出来るシステムの実装を行った。このシステムにより、ユーザは自身の後方を見ながらヘアケア・アレンジなどの後方での行動を同時に行うことが可能になる。

今後の展望として、第一にマルチユーザに対応させることを目的とし、今回の実験のように成人に対してだけでなく、子供やお年寄りなどを含めた幅広い年齢層と職業の人々を対象に評価実験を行う。第二に、本論文で提案した手法である MIMI システムをバランス Wii ボードを利用して操作することやバランス Wii ボードの操作方法が、人々の身体性を伴った直感的な操作として本当に妥当であるかの更なる検討と提案が必要である。第三に、化粧台といった家庭の特定されたミラーではなく、どこでも、いつでも利用可能なウェアラブルなミラーインタフェースを目指す。そのためには、どこでも簡単に撮影と操作が可能なネットワークカメラやバランス Wii ボード以外での操作手法の提案が必要である。

そして最後に、ネットワークにより、ディスプレイ機能の充実を目指す。例えば、遠隔からユーザの知り合いなどにヘアケア・アレンジの際のアドバイスをもらったり、ネクタイを巻く際に調べたりした際に、ミラーの左半分に自分の正面や後方を映し、右半分に知り合いを映しだしながら、調べたことを参照しながら行動ができるようになる。

謝辞

本論文を執筆するにあたり，本研究の機会を与えて頂きました指導教員である田中二郎教授をはじめ，高橋伸講師，三末和男准教授，ならびに志築文太郎講師には，研究方法の初歩から内容，展開，進捗，論文の執筆に至るまで終始懇切なご指導とご助言を頂きました．ここに心より深く感謝致します．

また，インタラクティブプログラミング研究室の皆様には，ゼミなどを通じて大変貴重なご意見を頂き，研究活動や私生活の両方にわたって大変お世話になりました．この場を借りて厚く御礼申し上げます．

特に，ユビキタスチームの皆様には，チームミーティング以外でも多くのご意見やご指摘を頂き，とともに研究室で過ごせたことをここに感謝致します．

なによりも，家族の暖かい励ましの言葉や，資金面や精神的な支えなくしては，このような実りある大学での生活を送ることが出来ませんでした．心から感謝します．

最後に，友人や，学生団体やサークルの先輩・後輩，学生生活の中でお世話になったすべての方々に心より感謝いたします．本当に有難うございました．

参考文献

- [1] Mark Weiser, “ The computer for the 21st century ”, In Scientific American, pp94-104, 1991.
- [2] 安村通晃, 児玉哲彦, 渡邊恵太, 永田周一, “ Interface2.0: ユビキタス時代のヒューマンインタフェース ”, 情報処理学会研究報告, Vol.2006, No.105, pp1-8.
- [3] 椎尾一郎, “ 実世界指向インタフェースの技術展望 ”, ヒューマンインタフェース学会誌, No.2, pp40-43, 2000.
- [4] 福本 雅朗, “ 24 時間ニューリョクデキマスか? – Wearable なインタフェース ”, 情報処理収録誌, Vol.41, No.2, pp123-126.
- [5] 三吉秀夫, 関進, 綿貫啓子, “ マルチモーダルインタフェース ”, シャープ技報, 第 77 号, 2000.
- [6] Bolt, R. A, “ The integrated multi-modal interface ”, The Transactions of the Institute of Electronics, J70-D(11), pp2017-2025, 1987.
- [7] 大阪ガス株式会社, “ 朝の行動の中心は, なんと洗面所? ~よく使う洗面所こそ, 快適な環境にして, 1 日を健やかに~ ”, http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr_2002/02-21.html, 2002.
- [8] Osamu M, Juli Y, Yukiko F, Shigeru S, “ Soft initiation in HyperMirror- ”, HumanComputer Interaction INTERACT’01, pp415-422, 2001.
- [9] S. Nagao, S. Takahashi, and J. Tanaka, ”Mirror Appliance: Recommendation of Clothes Coordination in Daily Life”, Proceedings of the Human Factors in Telecommunication (HFT2008), pp367-374, March, 2008.
- [10] 金田忠裕, 西高志, 土井智晴, 藤沢正一郎, 吉田丈夫 “ 上肢障害者のためのヒューマン・インターフェース装置 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.98, No.563, pp83-88, 1999.
- [11] 福本雅朗, “ どこでもタップ: 装着部位を問わないウェアラブル機器用入力機構 ”, インタラクシオン 2007 論文集, pp171-172, 2007.

- [12] 渡邊恵太, 安村通晃, “ 日常生活における人間の行為に着目したインタラクションの提案と試作 ”, 情報処理学会研究報告書 2005-HI-115, pp69-74, 2005.
- [13] Kentaro Fukuchi, Jun Rekimoto, “ SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces ”, Human-Computer Interaction (CHI2002), pp113-120, 2002.
- [14] 小林貴訓, 佐藤洋一, 小池英樹, “ EnhancedDesk のための赤外線画像を用いた実時間指先認識インタフェース ”, 第9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 (WISS1999), pp49-54, 1999.
- [15] 石井陽子, 中西 泰人, 小池英樹, 岡兼司, 佐藤洋一, “ EnhancedMovie: 机型インタフェースを用いた動画編集システム ”, 第11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 (WISS2003), pp79-86, 2003.
- [16] Jorn Lovuscah, “ Two-finger input with a standard touch screen ”, Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST2007), pp169-172, 2007.
- [17] 岩渕 絵里子, 椎尾 一郎, “ 電腦化粧鏡:メイクアップを支援する電子鏡台 ”, 第16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 (WISS2008), pp45-50, 2008.
- [18] Keita Ushida, Yu Tanaka, Takeshi Naemura and Hiroshi Harashima, “ i-mirror: An Interaction/Information Environment Based on a Mirror Metaphor Aiming to Install into Our Daily Space ”, 12th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2002), pp113-118, 2002.
- [19] 日立ヒューマンインタラクティブラボ, “ Miragraphy ”, <http://hhil.hitachi.co.jp/products/miragraphy.html>
- [20] 北米日産, “ Infiniti Interactive Mirrors ”, <http://www.interactivemirror.net/>
- [21] 株式会社エジクン技研, <http://www.edikun.co.jp/>
- [22] バランス Wii ボードで「からだ測定」, <http://www.nintendo.co.jp/wii/rfnj/balance/index.html>
- [23] WiiremoteJ, <http://www.wiili.org/WiiremoteJ>
- [24] BlueCove, <http://code.google.com/p/bluecove/>
- [25] t 分布表, <http://www2.vmas.kitasato-u.ac.jp/lecture0/statistics/ttest.pdf>

付録A 評価実験で用いたアンケート用紙

この度は、MIMI システムの評価実験にご協力いただき、ありがとうございます。実験を行うにあたり、以下の内容についてご理解していただいた上で、ご協力をお願いします。

- ・ 実験責任者

竹林綾子（筑波大学第三学群情報学類 4 年 インタラクティブプログラミング研究室）
連絡先：ryoko@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

- ・ 実験概要

本研究で試作した MIMI ミラーと通常のミラーを使用した時の利用感について、また足でのバランス Wii ボード操作と手でのマウス操作による使用感について、実際に被験者に利用してもらい、アンケートに答えていただく。

- ・ 実験によって生じる不利益や危険

今回の実験では短時間であまり動作を行わないため、被験者に過度の負担を要するものではありません。また、薬品等を使用することもないので、生体に対する影響もありません。

- ・ 個人情報の取り扱いについて

実験では、個人名ではなくコード番号を使用します。そのため、実験で得られたデータの管理や使用については、学内外で行われる論文の発表などで利用することがありますが、被験者の同意を得ることなく実名を公開することはありません。また、データの管理などは厳重に行います。

- ・ 実験結果の公表

実験結果については学内外で行われる論文の発表や、研究室内での研究遂行のために利用することがあります。しかし上述のように、個人が特定される情報の公開は一切ありません。

- ・ 実験に参加・不参加の自由

被験者は、この実験に参加、不参加の選択をする自由があり、また実験参加中でも撤回

することが出来ます。なお、撤回後も被験者が不利益を受けることはありません。

- ・ 連絡先

本実験における、質問や意見等がありましたら、ID を記載の上、上記連絡先までご連絡をお願いします。

同意書

実験内容等について実験者から十分な説明を受けました。

当実験に被験者として参加することに同意します。

平成 年 月 日

被験者：

所属

氏名

ID

MIMI システム評価実験に関するアンケート

文責 竹林綾子

実験にご協力いただき、ありがとうございました。お忙しいところ申し訳ありませんが、実験していただいた MIMI システムの評価をするために、以下のアンケートにご協力をお願いします。

ID

<実験 1>

Q1. MIMI システムと通常のミラーをそれぞれ使用して、どちらの方が行動をしやすかったですか。

MIMI システム

通常のミラー

Q2～Q4 は MIMI システムの 2 つの操作性についての質問にお答えください。

Q2. 手による操作についてどのように感じましたか。

1 2 3 4 5
|-----|
使いづらい 少々使いづらい どちらでもない 使いやすい とても使いやすい

Q3. 足による操作についてどのように感じましたか。

1 2 3 4 5
|-----|
使いづらい 少々使いづらい どちらでもない 使いやすい とても使いやすい

Q4. 手によるマウス操作と足による操作ではどちらの方が行動をする上で使いやすかったですか。

手によるマウスでの操作

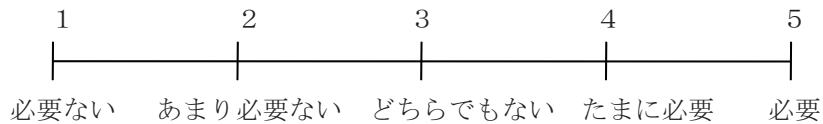
足によるバランス Wii ボードでの操作

Q5～Q6 は MIMI システムについての質問にお答えください。

Q5. ミラーに後ろ姿を映すことが出来る機能の必要性についてどのように感じましたか。

1 2 3 4 5
|-----|
必要ない あまり必要ない どちらでもない たまに必要 必要

Q6. ミラーの表示の切り替え機能の必要性についてどのように感じましたか。

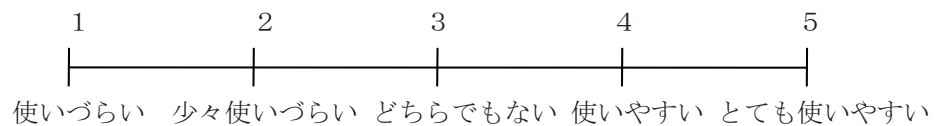


Q7. その他ご意見、ご質問等あれば、以下にご記入下さい。

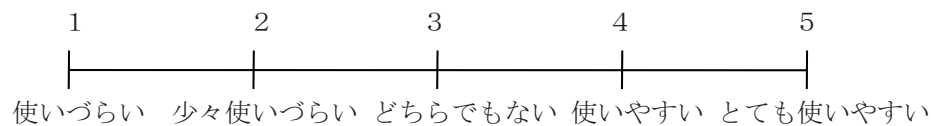
<実験2>

手によるマウスでの操作性についての質問です。

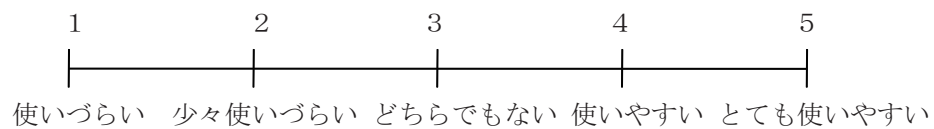
Q1. パン方向の処理はどうでしたか。



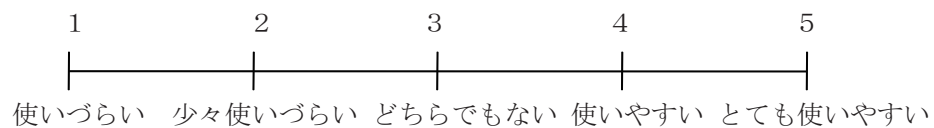
Q2. チルト方向の処理はどうでしたか。



Q3. ズームレベルの処理はどうでしたか。

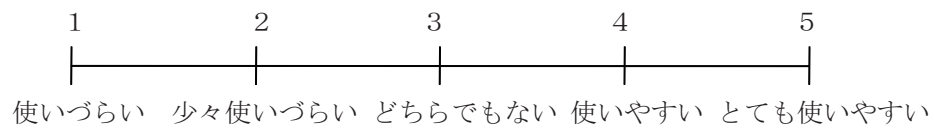


Q4. ミラー表示の切り替えの仕方についてどうでしたか。

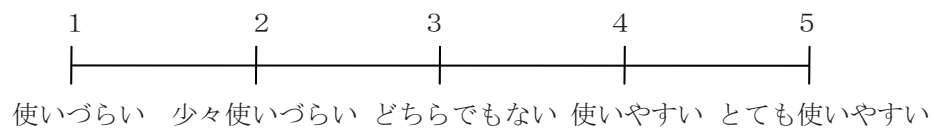


足によるバランス Wii ボードでの操作性についての質問です。

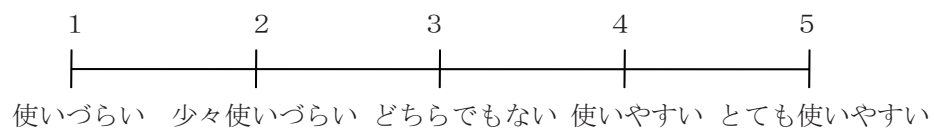
Q5. パン方向の処理はどうでしたか。



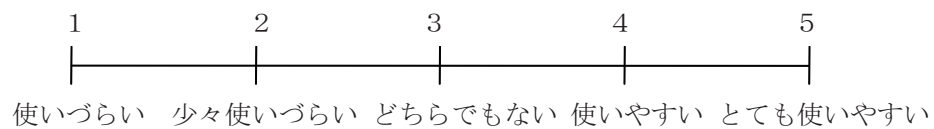
Q6. チルト方向の処理はどうでしたか。



Q7. ズームレベルの処理はどうでしたか。



Q8. ミラー表示の切り替えの仕方についてどうでしたか。



付録B アンケート結果と実験2における測定結果

表 7.1: 配布したアンケートの集計結果

質問項目	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5	合計得点	平均値
Q1	MIMI	MIMI	MIMI	MIMI	MIMI	なし	なし
Q2	1	2	2	1	3	9	1.8
Q3	5	4	4	3	5	21	4.2
Q4	Wii	Wii	Wii	Wii	Wii	なし	なし
Q5	5	5	4	4	5	23	4.6
Q6	5	4	4	5	4	22	4.4

実験1のアンケート結果（Q7は除く）

質問項目	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5	合計得点	平均値
Q1	2	2	2	2	3	11	2.2
Q2	2	2	2	1	2	9	1.8
Q3	1	4	1	1	2	9	1.8
Q4	4	4	3	2	3	16	3.2
Q5	4	5	3	4	3	19	3.8
Q6	3	2	4	4	3	16	3.2
Q7	4	5	3	2	4	18	3.6
Q8	5	5	4	4	4	22	4.4

実験2のアンケート結果

表 7.2: t 検定を行うための指標 t の計算過程と結果

実験1 (Q2, Q3)	マウス	バランスWiiボード
被験者1	1	5
被験者2	2	4
被験者3	2	4
被験者4	1	3
被験者5	3	5
データ数	5	5
平均	1.80	4.20
標本分散	0.56	0.56
平均偏差の平方	2.8	2.8
推定母分散	0.70	
差の標準誤差	0.53	
t	-4.54	

実験 1 : Q2 と Q3

実験2 (Q1, Q5)	マウス	バランスWiiボード
被験者1	2	4
被験者2	2	5
被験者3	2	3
被験者4	2	4
被験者5	3	3
データ数	5	5
平均	2.20	3.80
標本分散	0.16	0.56
平均偏差の平方	0.8	2.8
推定母分散	0.45	
差の標準誤差	0.42	
t	-3.77	

実験 2 : Q1 と Q5

実験2 (Q1, Q5)	マウス	バランスWiiボード
被験者1	2	4
被験者2	2	5
被験者3	2	3
被験者4	2	4
被験者5	3	3
データ数	5	5
平均	2.20	3.80
標本分散	0.16	0.56
平均偏差の平方	0.8	2.8
推定母分散	0.45	
差の標準誤差	0.42	
t	-3.77	

実験 2 : Q2 と Q6

実験2 (Q1, Q5)	マウス	バランスWiiボード
被験者1	2	4
被験者2	2	5
被験者3	2	3
被験者4	2	4
被験者5	3	3
データ数	5	5
平均	2.20	3.80
標本分散	0.16	0.56
平均偏差の平方	0.8	2.8
推定母分散	0.45	
差の標準誤差	0.42	
t	-3.77	

実験 2 : Q3 と Q7

実験2 (Q1, Q5)	マウス	バランスWiiボード
被験者1	2	4
被験者2	2	5
被験者3	2	3
被験者4	2	4
被験者5	3	3
データ数	5	5
平均	2.20	3.80
標本分散	0.16	0.56
平均偏差の平方	0.8	2.8
推定母分散	0.45	
差の標準誤差	0.42	
t	-3.77	

実験 2 : Q4 と Q8

表 7.3: 実験 2：各被験者のマウス操作による測定結果

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	5.85	4.97	4.98	5.72	6.41	8.07
試行2	0	3.39	4.74	4.74	8.26	5.27
試行3	4.61	0	0	4.36	9.88	11.6
成功数	2	2	2	3	3	3
失敗数	1	1	1	0	0	0
平均時間	5.23	4.18	4.86	4.94	8.183	8.313

被験者 1

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	5.96	3.78	5.71	4.47	7.15	5.32
試行2	3.67	4.46	3.82	5.1	0	0
試行3	5.13	5.42	5.61	3.9	9.99	4.43
成功数	3	3	3	3	2	2
失敗数	0	0	0	0	1	1
平均時間	4.92	4.553	5.047	4.49	8.57	4.875

被験者 2

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	4.06	3.21	3.83	3.18	7.31	6.68
試行2	2.01	2.82	3.61	3.13	7	16.86
試行3	3.24	3.66	3.86	3.71	8.74	6.89
成功数	3	3	3	3	3	3
失敗数	0	0	0	0	0	0
平均時間	3.103	3.23	3.767	3.34	7.683	10.143

被験者 3

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	2.45	4.34	3.73	4.08	9.37	5.35
試行2	3.95	4.19	3.38	3.61	11.07	11.8
試行3	4.43	4.63	5.84	4.71	10.92	8.73
成功数	3	3	3	3	3	3
失敗数	0	0	0	0	0	0
平均時間	3.61	4.387	4.317	4.133	10.453	8.627

被験者 4

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	4.59	4.85	4.16	4.96	9.06	8.3
試行2	4.16	6.22	5.43	5.73	10.68	11.65
試行3	5.52	4.19	6.27	5.17	8.12	0
成功数	3	3	3	3	3	2
失敗数	0	0	0	0	0	1
平均時間	4.757	5.087	5.287	5.287	9.29	4.15

被験者 5

表 7.4: 実験 2 : 各被験者のバランス Wii ボード操作による測定結果

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	1.84	1.52	2.73	1.34	0	4.22
試行2	2.79	3.75	1.82	0.82	1.98	0
試行3	0.88	1.67	1.39	0.97	1.01	2.28
成功数	3	3	3	3	2	2
失敗数	0	0	0	0	1	1
平均時間	1.837	2.313	1.98	1.043	0.997	2.167

被験者 1

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	1.72	5.34	1.03	2.39	1.05	1.79
試行2	1.44	1.43	0	1.29	0.96	0
試行3	0.95	0.76	1.28	0.92	1.05	2.77
成功数	3	3	2	3	3	2
失敗数	0	0	1	0	0	1
平均時間	1.37	2.51	1.155	1.533	1.05	2.28

被験者 2

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	0.55	0.99	1.51	0.67	0	0
試行2	0.91	1.82	1.97	0.83	1.07	1.17
試行3	0	0	0.89	0	1.12	0
成功数	2	2	3	2	2	1
失敗数	1	1	0	1	1	2
平均時間	0.275	0.495	1.457	0.335	0.56	1.17

被験者 3

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	0	1.7	0	1.62	1.22	2.45
試行2	0.93	0.58	2.81	1.44	0.57	1.97
試行3	1.78	1.22	1.69	0.91	0.81	1.32
成功数	2	3	2	3	3	3
失敗数	1	0	1	0	0	0
平均時間	1.355	1.167	2.25	1.323	0.867	1.913

被験者 4

	パン右方向	パン左方向	チルト上方向	チルト下方向	ズームアップ	ズームダウン
試行1	1.07	2.32	0.74	0	0.83	1.3
試行2	2.14	0	1.27	1.79	0.49	1.42
試行3	1.11	0.49	1.96	1.3	0.76	2.73
成功数	3	2	3	2	3	3
失敗数	0	1	0	1	0	0
平均時間	1.44	1.405	1.323	0.65	0.693	2.015

被験者 5