

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステムの提案
Title(English)	
著者(和文)	濱田健夫
Author(English)	Takeo Hamada
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10038号, 授与年月日:2015年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:佐藤 誠,長橋 宏,田原 麻梨江,黒澤 実,長谷川 晶一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10038号, Conferred date:2015/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

博士論文

身体模型デバイスを用いた
再帰型インタラクティブシステムの提案

濱田 健夫

東京工業大学大学院 総合理工学研究科
物理情報システム専攻

2015 年 12 月

身体模型デバイスを用いた 再帰型インタラクティブシステムの提案

博士論文審査委員会

主査	佐藤 誠	教授
委員	長橋 宏	教授
委員	黒澤 実	准教授
委員	田原 麻梨江	准教授
委員	長谷川 晶一	准教授

著 作 權 所 有 者

濱 田 健 夫

2015

身体模型デバイスを用いた 再帰型インタラクティブシステムの提案

濱田 健夫

概要

本論文では「身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステムの提案」と題して、日常生活で他人に触れる際の行為に着目し、身体模型デバイスを自分自身の身体に見立てることで、第三者視点から身体に触れることを可能とするインタラクティブシステムの必要性とその設計指針を示す。またこの指針に基づき、ぬいぐるみ型インタフェースを用いたマッサージチェアシステムと、遠隔操作型清拭便座システムという2つのインタラクティブシステムを提案する。本論文は全5章から構成される。

第1章「序論」ではインタラクティブシステムとそのシステムをどう使いやすいものとするかについてどのような試みがなされてきたか述べる。まずインタラクティブシステムとはユーザの入力や周囲の環境変化に応じた反応を返す、双方向の情報やり取りを行うシステムであることを述べる。またコンピュータが様々な日用品に入り込み、ますますHCIの設計が重要となっていることを述べる。次に使いやすいオブジェクトの設計についてアフォーダンスと呼ばれる概念および入力と出力との自然な対応付けが重要であることを述べる。さらに、それらが十分考慮されているインタラクティブシステムの事例として操作対象の模型を用いた先行研究を示す。

第2章「身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステム」では操作者自身の体への作業の支援手法について述べる。人体には身体的な位置の制約があるために、肩叩きや耳かきなど自身の背面や頭部に対しての作業が困難となる場合がある。これにはその部位が視野の範囲外である、手が届きにくい、などの理由が挙げられる。そのため我々は他者にその作業を依頼し、作業中には自身の感覚を頼りに他者に指示を与え、自身の求める調節具合を実現している。しかしながら、感

覚を言語化することは容易ではなく、また同じ言葉でも他者との解釈が異なることがあるため、他者を介して思い通りに作業を行うためには、ある程度の訓練や他者との信頼関係を要する。そこで、本研究では自己を投射するための身体模型デバイスおよびそのインタフェースに加えられた刺激と同様の刺激を操作者に返す出力システムを開発し、操作者自身の体への作業支援の一手法として提案する。そして操作者は、第三者視点から自身の身体に触れることができることから、現実世界で日常的に行ってきた身体接触の経験に基づいて、容易な操作方法の理解・習得が期待できることを述べる。

第3章「ぬいぐるみ型インタフェースを用いたマッサージチェアシステム」では自動マッサージが一般的となっているマッサージチェアシステムにおいて、身体模型デバイスを用いることでユーザの体調や症状に基づいてマッサージ位置を調節可能とするシステムについて述べる。まずマッサージチェアシステムは人の手によるマッサージに近づけるために複雑な揉みパターンが実現されていることを述べる。また一般的なボタン式インタフェースを用いてユーザの希望通りにマッサージ位置を指定することが難しいことから、ユーザの生体情報からマッサージを組み立て直す手法やボタンを押す操作に代わる入力デバイスが提案されていることについて先行研究を示す。さらに手元を注視せずに操作が行えることの必要性について述べる。そこで、手元を注視せずにマッサージを指定することのできるマッサージチェアシステムの開発を研究目的とし、そのために入力インタフェースに求められる要件を「容易に操作方法を想像できる形状」および「簡便な位置調節操作」と定める。そして2つの要件を満たした入力インタフェースとして、背中に圧力センサをマトリクス状に配置したぬいぐるみ型インタフェース Avatouch を提案する。Avatouch を用いることの利点として、インタフェース自体を注視することなく触覚を手がかりに手探りで位置調節操作が期待できること、人の手によるマッサージと同様に Avatouch の背中を押すとその位置に相当するユーザの部位がマッサージされること、なじみ深い外観からユーザの注意を余計に引かないことを述べる。開発した Avatouch によりマッサージ位置を指定できるマッサージチェアシステムは、手元を注視することなくその操作が可能であることを被験者実験により示す。

第4章「遠隔操作型清拭便座システム」では便器に設置したロボットアームを操作して便座に座ったままユーザの臀部を清拭することのできる便座システムについて述べる。まず臀部清拭は前傾姿勢が必要となり、その前傾姿勢をとることが特に高齢者や身体障害者にとって身体的負荷の高い作業であることを述べる。また自身

の臀部を清拭することが困難で、他者に清拭を依頼することは自尊心を傷つけられる恐れがあることを述べる。さらに健常者にとっても自身の手により紙を介して排便後の臀部に触れることはウイルス感染の恐れがあることを述べる。このような問題に対して便器に設置されたロボットアームが自動で臀部清拭を行うシステムの事例を先行研究から示す。しかしながら、自動での清拭動作ではユーザの意図が反映しづらく、痛みが生じる、十分に清拭できない等の問題が生じる恐れがあることを述べる。そこで研究目的を、ユーザの意図を清拭機構の動作に反映でき、十分に臀部を清拭できるシステムの開発とし、そのための要件としての「清拭時に特定の姿勢への変更を強いるしないこと」および「清拭の位置および強さを指定することができること」と定める。そしてユーザが清拭位置およびその強さを指定できる臀部型入力インタフェースおよび清拭機構を提案する。開発した清拭機構が安全であること、また清拭動作をユーザが操作する場合にユーザは快適な拭き心地と感じる傾向にあることを予備実験から示す。

第5章「結論」では本論文をまとめ、本研究において提案するインタラクティブシステムの今後の課題や展望について述べる。

以上のように、本論文では身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステムの必要性およびその設計指針について述べると共に、2つのアプリケーションシステムを開発したことを述べる。

目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 使いやすさのデザイン	2
1.3 操作対象の模型を用いたインタフェース	2
1.4 本論文の目的	3
1.5 本論文の構成	4
第2章 身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステム	5
2.1 自身の身体への作業	5
2.2 再帰型インタラクティブシステム	6
2.3 身体模型デバイス	6
2.4 第2章のまとめ	8
第3章 めいぐるみ型インタフェースを用いたマッサージチェアシステム	9
3.1 マッサージチェアシステム	11
3.1.1 操作インタフェースの設計指針	11
3.1.2 めいぐるみ型インタフェース「Avatouch」	12
3.1.3 マッサージチェア	14
3.2 評価実験	15
3.2.1 実験参加者	16
3.2.2 実験条件	16
3.2.3 実験タスク	17
3.2.4 実験環境	17
3.2.5 実験手順	18
3.3 実験結果	19
3.3.1 操作時におけるインタフェースと顔との距離	19

3.3.2	手元を見ずに操作	20
3.3.3	位置調節操作に対するコメント	20
3.3.4	操作方法の予測	21
3.4	考察	22
3.4.1	触覚による押圧位置の確認	22
3.4.2	想定される位置調節操作イメージ	23
3.5	第3章のまとめ	23
第4章	遠隔操作型清拭便座システム	25
4.1	研究背景	25
4.2	研究目的とシステムへの要求事項	26
4.3	提案手法	27
4.3.1	インタラクション手順	28
4.3.2	清拭機構	28
4.3.3	臀部型インタフェース「Lavatouch」	29
4.4	予備実験	30
4.4.1	予備実験用プロトタイプシステムの構成	31
4.4.2	安全性評価	31
4.4.3	実験環境	32
4.4.4	実験手順	33
4.4.5	自動清拭	35
4.5	実験結果	35
4.6	考察	37
4.7	第4章のまとめ	38
第5章	結論	39
5.1	本論文のまとめ	39
5.2	今後の展望	40
	参考文献	42

目 次

1.1	操作対象の模型をインタフェースとして用いた例, 左: WIM[1] から引用 右: PSyBench[2] から引用	3
2.1	人型インタフェースを姿勢入力のために用いた例, 左: Of mice and monkeys[3] から引用 中: I'm in the game[4] から引用 右: RobotPHONE[5] から引用	7
2.2	人型インタフェースを身体表面上の位置入力のために用いた例, 左: Huggy Pajama[6] から引用 右: Sense-Roid[7] から引用	7
3.1	ぬいぐるみの背中を押すことでユーザの背中の中の相当する場所を指定することができる	12
3.2	(a) ぬいぐるみに内包された圧力センサとシリコンゴム, (b) シリコンゴム越しに圧力センサに力を加えることで力が拡散される, (c) 6 × 6 に配置した圧力センサ, 感圧部は先端の丸い部分,	14
3.3	本マッサージチェアシステムの概要	16
3.4	10 点の位置調節タスク提示用画像 (① から ⑩ の順)	17
3.5	実験機材の配置図	18
3.6	Avatouch に比べてボタン式インタフェースをより顔に近づけて位置調節操作を行う実験参加者	20
3.7	ボタン式インタフェース操作中は手元を注視し Avatouch 操作中は手元を見ない実験参加者	21
3.8	(a) 胸側を押す, (b) 腕を前後する, (c) 腕を上下する	23
4.1	臀部に触れるためには前傾姿勢をとることがある,	27

4.2	上：臀部を清拭するエンドエフェクタ。先端はシリコンゴムで覆われ、指先で触れるかのように柔らかい臀部接触を実現している。下：実際にはこのエンドエフェクタにさらにトイレットペーパーを巻きつけて使用する。	28
4.3	上：前後の水平移動を生成するためのクランクスライダ機構。下：サーボモータの回転により垂直移動を実現。	29
4.4	左：計測された臀部形状。 中：修正を施した臀部形状データ。 右：3D プリンタより出力された臀部模型。	30
4.5	予備実験用プロトタイプシステムの構成。ユーザはマウスとキーボードを用いて、拭く位置および強さを指定する。指定された位置はPCにより各サーボモータの回転角に変換され、指定された最大出力トルク値と共にサーボモータへ送られる。サーボモータは指定されたトルク値以下で、指定された角度に回転し、現在の角度および負荷をPCに返す。そしてユーザは臀部でロボットアームの挙動を感じながら、再び清拭動作を指定する。	32
4.6	PCスクリーンには便器の側面画像が表示され、その上にエンドエフェクタの現在位置（青い部分）、目標位置（赤い部分）、および可動域（白い長方形）が重畳表示される。	33
4.7	マウスを用いてロボットアームを動かした際のエンドエフェクタの軌跡。エンドエフェクタはスムーズに前方から後方へ動いている。	33
4.8	臀部に加わる上方の力の時間変化。	34
4.9	自動清拭時のエンドエフェクタの軌跡。エンドエフェクタはまず前方に先端を少し上げながら動き、しばらくして臀部に接触する。臀部に加わる力を調節したのち、前方から後方へ向けて一定の速度で動き、臀部を清拭する。	36
4.10	マウスを動かして拭いた場合（赤）と自動で拭いた場合（青）とでの拭き取れた餌の量。	37

表 目 次

3.1 位置調節操作に対するコメント	22
4.1 体験後インタビューの比較.	37

第1章

序論

本章では、本研究を行う背景について述べ、研究分野における本研究の立ち位置を示す。

1.1 はじめに

インタラクティブシステムはユーザの入力や周囲の環境変化に応じた反応を返す、双方向の情報のやり取りを行うシステムのことを指す。家庭では複数の電化製品を所持し、外出時にはスマートフォンを持ち歩く、といった行動が一般的となった現代では、我々はインタラクティブシステムと日々密接に接している。Mark Weiser は、「コンピュータがありふれた存在になり、その存在を意識せずに使う」という Ubiquitous Computing[8] の概念を提唱した。またその概念の一部である、環境に偏在するコンピュータ同士の連携は、Kevin Ashton により、Internet of Things[9] と名付けられ、広く認知されてきている。近年簡易なプログラミングや電子回路設計を可能とするツールキットの提供や活発な Makers コミュニティの出現が追い風となり、これらの概念を具現化した様々なシステムが開発され、コンピュータの活用範囲は広がってきている。あらゆる日用品へコンピュータが入り込み、人間とコンピュータとの距離は近づいてきている。このようなシステムには様々なセンサやアルゴリズムが組み込まれており、ある程度の自律制御を行う場合もあるが、エンドユーザは常に人間であり、その人間の意図が伝わらないことには、適切な制御は実現できない。そのため、ユーザとコンピュータ間での相互作用 (Human Computer Interaction) の設計がますます重要となってきたといえる。

本研究では、特に適切な意図の伝達が求められる、身体への接触を目的とするシステムにおける、インタラクションの設計を行う。

1.2 使いやすさのデザイン

ユーザの意図を十分にコンピュータに伝えるためには、使いやすいインタフェースを設計する必要がある。Donald A. Norman は、インタフェースがどのように機能するかの手がかりは目に見える構造から得られ、特に知覚可能なアフォーダンスおよび対応付けが重要であることを指摘している [10]。

アフォーダンスは James J. Gibson による造語で、環境の持つ価値や行為の可能性を意味する [11]。人間は自らの身体を使ってアフォーダンスを無自覚に知覚する。例えば背の低いものには座れることが、先端が尖っているものは何かに突き刺せることが、それぞれ知覚される。その知覚されたアフォーダンスとインタフェースの操作とが一致していることが望ましい。一方で、設計者の想定した操作方法とは異なるアフォーダンスを知覚してしまうと、適切に操作することは困難となる。例えば、ドアに取っ手が垂直に備え付けてあり引くことをアフォーダンスしているにも関わらず、押すことを前提とした設置を行うと、“取っ手を引いてもドアが開かない”という設計者の想定していない操作を誘発する。

また人間の動きとその結果、つまりインタフェースにおける入力と出力の対応付けが自然であれば、ユーザにとって操作方法が分かりやすくなる。例えば部屋の複数の照明を操作する際に、それらのスイッチが実際の照明の配置と同様に整列されていれば、スイッチと照明の対応付けは容易に理解される。逆に、普段の生活で経験している文化や物理的なアナロジーに対して無配慮な対応付けは、ユーザを混乱させ、操作方法を覚えづらく、操作の習熟も遅くなる。自然な対応付けを行うためには、操作対象の形状や配置等の特性をインタフェース上に提示することで、それらの類似点から操作方法を推し量ることができる。

このように知覚されるアフォーダンスや自然な対応付けを考慮することで、設計者が想定した適切な行動にユーザを導くことができる。

1.3 操作対象の模型を用いたインタフェース

適切なアフォーダンスを目で見えて知覚させ、自然な対応付けを提供するための一つの有効な手立てとして、操作対象の模型を用いることが考えられる。模型を用いることで、新しく操作方法を学習することなく、直感的に操作できることが期待される。

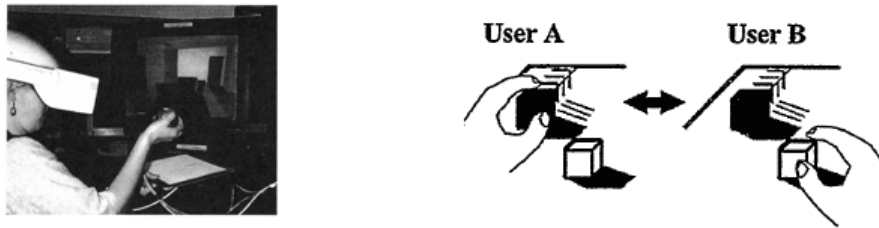


図 1.1: 操作対象の模型をインタフェースとして用いた例. 左: WIM[1] から引用 右: PSyBench[2] から引用

図 1.1 に示す通り、これまでに操作対象の模型を用いたインタフェースは直感的な入力手法として広く応用されてきている. WIM[1] は, VR 空間の構成要素である部屋の床や棚などの模型を実際に手に持ち, ヘッドマウントディスプレイによるグラフィックスの重畳表示を通して手元を確認しながら, それらの位置関係を変化させることで VR 空間上の物体を操作することができる. PSyBench[2] は対象物体の共有による遠隔コミュニケーションを目的とした, 遠隔地のユーザとチェスをするのできるシステムである. このシステムではユーザの手元にあるチェスの駒をボード上で移動させると, 遠隔地にあるチェスボード上の駒も同じマスに移動するよう制御が行われる.

1.4 本論文の目的

コンピュータの応用範囲は広がってきており, Human Computer Interaction の設計が重要となっている. そこでユーザとコンピュータとの境界面であるインタフェースにおいて, ユーザに適切なアフォーダンスを知覚させ, 入力と出力の自然な対応付けを提供するために, 操作対象の模型を用いることが有効であることを述べた. 本論文では, 自身の身体への接触を可能とする, 身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステムの開発を行い, その有用性や操作時におけるユーザの振る舞いを明らかにすることを目的とする.

1.5 本論文の構成

本論文は5章から構成される。第1章「序論」では、近年コンピュータが日用品に入り込み、インタラクティブシステムが日常生活に密接に関わってきており、ますますインタラクションの設計が重要となってきたことを述べた。また、インタフェースを設計する際に、知覚するアフォーダンスと自然な対応付けを考慮することで、設計者の意図する適切な行動にユーザを導くことができることについて述べた。さらに、自然な対応付けの有効な手立ての一つとして、アナロジーを用いる手法があり、一例として、操作対象の模型を用いたインタフェースの研究を紹介した。

第2章「身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステム」では、操作者自身の体への作業の支援手法について述べる。こういった作業作業を他者に依頼し自身の感覚を頼りに指示を与える一般的な方法では、ある程度の訓練や他者との信頼関係を要することを指摘する。そして、本研究の提案手法である再帰型インタラクティブシステムについて説明する。

第3章「ぬいぐるみ型インタフェースを用いたマッサージチェアシステム」では、身体模型デバイスを用いることで、ユーザの体調や症状に基づいて、マッサージ位置およびその強さを調節可能とするシステムについて述べる。

第4章「遠隔操作型臀部清拭システム」では、便器に設置したロボットアームを操作して、便座に座ったままユーザの臀部を清拭することのできるワイパーシステムについて述べる。

第5章「結論」では本論文のまとめを行い、今後の展望について述べる。

第2章

身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステム

2.1 自身の身体への作業

我々は日常生活の中でたびたび自身の身体に対しての作業を行う。例えば整髪や化粧などの身だしなみのほか、風呂に入れば身体を洗い、痛みを感じる部位があれば患部をさする。目で直接確認できない部位への作業では、通常は鏡を利用し、その鏡像を手がかりに座標変換を行い、手の動きを制御する。また鏡を用いて見ることが困難な身体の背面については、背中を搔くための「孫の手」のように、棒状の器具を用いて身体を拡張し、自身の身体に触れることが行われてきた。この場合、体性感覚、手元への力覚フィードバック、身体に加わる刺激の手がかりから手の動きを制御し、意図通りの結果が得られる。

自身の身体へ触れる作業のうち、この座標変換がうまくできない、容易に鏡で見ることができない、手が届いても適切に動かせない、孫の手のような器具が手元にない等の場合には、他者に作業を依頼することがある。作業を他者に依頼した場合、どのようにその作業を進めて欲しいのか、意図を他者に伝える必要がある。意図は言語、アイコンタクト、表情の変化等で伝えることが可能だが、解釈の違いや遠慮などが生じる。そのため、相手とのある程度の共同作業経験および信頼関係が求められる。しかし、そのような関係を構築できる相手は家族などのごく身近な人間で極めて少ないものと考えられる。

2.2 再帰型インタラクティブシステム

本研究では再帰型インタラクティブシステムを提案する。ここで再帰型とは操作対象が自身の身体であることを意味し、“インタフェースに加えられた刺激と同様の刺激を操作者に返す出力システム”を再帰型インタラクティブシステムと定義する。また再帰型インタラクティブシステムは以下2つの条件を満たすものとする。

- ・ 操作対象である身体部位を把握できること..
- ・ 出力自体がユーザへのフィードバックとなること.

人間の視野では首の運動を伴ったとしても直接自身の身体全てをとらえることはできない。把握できない対象については操作を適切に行うこともできないため、操作対象である身体部位をなんらかの形で提示する必要がある。

またフィードバックの提示は、インタラクティブシステムに必要な要素である。通常は出力結果に関する情報をなんらかの形で提示し、ユーザはその情報に基づいて対話的にインタフェースの操作を行う。

本論文では、自身の身体への接触を目的としており、身体形状を確認するために身体模型を用いる。また入力主体と出力の対象が同一であるために、出力結果そのものがユーザに対してのフィードバックとなる。この結果、背後等の第三者視点から自身の身体に触れられ、さらに触覚により自身の身体の模型との対応を理解できるため、知覚されるアフォーダンスが適切で、自然な対応付けとなる HCI の構築が期待できる。

2.3 身体模型デバイス

本節では再帰型インタラクティブシステムの入力操作に用いる身体模型デバイスについて述べる。

本研究では操作対象を自身の身体と定め、人のような身体性を有するインタフェース（以下人型インタフェース）を用いる。これまでに人型インタフェースは直感的な入力手法として、コンピュータ内のキャラクタの姿勢入力 [3, 12, 4, 13, 14] や遠隔コミュニケーションのためのぬいぐるみの姿勢共有システム [5]、ハンドパペットのジェスチャによって歌声を制御できるシステム [15] など、姿勢入力のために多く用いられてきた（図 2.1）。



図2.1:人型インタフェースを姿勢入力のために用いた例. 左:Of mice and monkeys[3]から引用 中:I'm in the game[4]から引用 右:RobotPHONE[5]から引用



図2.2:人型インタフェースを身体表面上の位置入力のために用いた例. 左:Huggy Pajama[6]から引用 右:Sense-Roid[7]から引用

姿勢入力ではなく身体表面上の位置入力を行うための人型インタフェースとしては、Huggy Pajama[6]やSense-Roid[7]などが開発されている(図2.2)。Huggy Pajamaは、抱きしめられる感覚を遠隔コミュニケーションに利用する目的で制作されており、インタフェースの各身体部位に力を加えると、他者の着用するジャケットの各部位が圧迫される。一方Sense-Roidは、自分で自分を抱きしめる感覚を体験することを目的としており、マネキンを抱きしめると、マネキンの表面に配置された圧力センサの検出した力に基づき、ユーザの着用したジャケットの各部位が圧迫される。

このほか話者の存在感の伝達[16]や対話的操作によるロボットの感情表現[17]に用いられている例もある。

本論文では人型インタフェースを用い、直感的に身体表面上の位置入力を行い、Sense-Roidと同様に機械刺激を自分自身の体へ伝える。自己を投射する人型インタフェースおよび再帰型インタラクティブシステムを用いたインタラクションを再帰的なインタラクションと定義し、再帰的なインタラクションの実現を目指す。

2.4 第2章のまとめ

本章では自分自身の体への作業の支援手法について、従来の研究を紹介し、本研究の提案手法について述べた。人体には身体的な位置の制約があるために、肩叩きや耳かきなど自身の背面や頭部に対しての作業が困難となる場合がある。これにはその部位が視野の範囲外である、手が届きにくい、などの理由が挙げられる。そのため我々は他者にその作業を依頼し、作業中には自身の感覚を頼りに他者に指示を与え、自身の求める調節具合を実現している。しかしながら、感覚を言葉にすることは容易ではなく、また同じ言葉でも他者とは解釈が違ふことがあるため、自身が他者を介して思い通りに作業を行うためには、ある程度の訓練や他者との信頼関係を要する。そこで、本研究では自己を投射する身体模型デバイスおよびそのインタフェースに加えられた刺激と同様の刺激を操作者に返す出力システムにより、再帰的なインタラクションを実現し、操作者自身の体への作業支援の一手法として提案する。そして操作者は第三者視点から自身の身体へ触れられるために、現実世界で日常的に行ってきた身体接触の経験に基づいて、容易な操作方法の理解・習得が期待できることを述べた。

次章以降は提案手法を背中のマッサージおよび臀部の清拭に応用したシステムについて、詳細を述べる。

第3章

ぬいぐるみ型インタフェースを用いた マッサージチェアシステム

マッサージチェアは背もたれに搭載されている揉み玉の動きによって、ユーザの血行の促進、筋肉の疲れをとる、筋肉のこりをほぐす等の効果が期待できる。近年では人間の手による揉み具合を参考にした、高度で複雑なマッサージ動作が実現されている [18].

マッサージチェアを利用する場合には、あらかじめプログラムされた数パターンの自動コースを選ぶことが簡単であり一般的であるが、一方でマッサージチェアがユーザの体調やその時の気分を完全に把握することは困難なため、必ずしも自覚症状に最適なマッサージが実現されるとは限らない。ユーザの希望をマッサージに反映させるためには、その都度マッサージの内容を調節することが重要である。ボタン式インタフェースを備えたマッサージチェアでは、一般的に揉み玉の位置を調節することができる。揉み玉の位置については、初期状態より一段階上、下、内側、および外側に調節させるための全部で四つのボタンが搭載されている。ユーザはマッサージチェアの揉み玉を初期状態から複数回もしくはある程度長い時間ボタンを操作し、段階的にユーザの希望するマッサージに調節させる必要がある。操作インタフェースにおける入力と出力との対応関係は、操作方法を習得する上で特に重要な設計要素となるが、本来ボタンを押す行為とマッサージとは関連していない。そのため、ボタン上や周囲に文字や絵を付記し、対応の説明を行うことが一般的である。ユーザが適切に操作を行うためには、そのボタンを押すとどのような機能が呼び出されるのか、設計者の決めた対応関係を理解しなければならない。また複数のボタンを操作する際にはそれらのボタンの呼び出す機能および位置関係を記憶しなければならず初心者にとっては困難と考えられる。それらの記憶が困難な際は手元を見

てボタンの説明を確認することで適切な操作を実行できるが、手元を注視することによって無意識のうちに背もたれからユーザの頭部が前方へ離れる可能性がある。特に首や肩のマッサージを行っている際に揉み玉が物理的に届きにくくなり、十分な刺激を加えることができず、マッサージを受ける姿勢として望ましくないと考えられる。

そこで、これまでにユーザの生体情報を用いたマッサージチェアの自動制御システムや、ボタンを押す操作に代わるデバイスを用いた制御インタフェースといった、非ボタン式インタフェースについての研究が行われてきている。生体情報を用いた研究では、ユーザの脈拍、皮膚表面温度、皮膚電気反射 [19]、皮膚弾性 [20]、心拍変動 [21] 等を取得し、その情報を基にユーザが快適に感じているかを判定し、マッサージ動作を柔軟に制御する手法が提案されている。これらの手法では、マッサージチェアが自動的にユーザの状態を推測するため、ユーザはマッサージの調節操作を意識せずにマッサージそのものに集中することができる。しかし、生体情報を取得するためにユーザの身体を拘束する必要がある、また状態推測の精度や応答性の問題も指摘されている [19]。タッチスクリーン式インタフェースをマッサージチェアのインタフェースとして利用している製品 [22] では、スクリーン上に背中を表す絵が表示され、その絵の各部位に触れることで、マッサージ動作の経路を指定することができる。しかし、絵は表示されてもデバイスの触感から身体画像上の位置を知ることができないため、手元を見なければ肩や腰がどこにあるのかを判断できない。その結果、調節操作をするたびに手元を確認しなければならず、頻繁に背もたれから首や背中を起こす等の姿勢の変更を強いることにつながると考えられる。また、マネキンをマッサージチェアインタフェースとして用いた研究も提案されている [23]。この研究では、マネキンの有する身体形状を利用し、デバイスの触感からマッサージの位置を指定することができる。しかし、このデバイスはそもそもマッサージチェアを介した他人とのコミュニケーション支援を目的としているため、マネキンデバイスの操作者とマッサージチェアに座るユーザとが同一人物となることが想定されていない。マッサージを受けながら成人ほどの大きさのデバイス进行操作することは困難と考えられる。

本章では自動マッサージが一般的となっているマッサージチェアシステムにおいて、手元を注視することなく直感的にマッサージ位置を調節できるマッサージチェアシステムの開発を試みる。具体的な方法としては、人体に似た身体を有するめいぐるみを操作インタフェース「Avatouch」とし、めいぐるみの背中を押すことで揉

み玉の位置を調節する手法を用いる。めいぐるみの背中を押す行為と揉み玉の位置が調節されることとの対応付けがユーザにとって直感的であるか、また操作を行う際に手元を注視していないかを被験者実験によって評価する。

3.1 マッサージチェアシステム

本節では、手元を注視することなく直感的にマッサージを調節するための操作インタフェースについての設計指針およびマッサージチェアシステムの実装手法について述べる。

3.1.1 操作インタフェースの設計指針

従来のボタン式インタフェースでは一つのボタンに対して一つの機能しか割り当てられていないために、例えば垂直方向に加えて水平方向についても揉み玉の位置を同時に調節する際には複数のボタンの位置関係を記憶、もしくはその都度手元を注視しなければならない。またその相対的な調節では、希望の位置に移動させるまでに複数回ボタンを押す、移動が完了するまで押し続ける、といった複数回操作もしくはある程度長い時間注意を向けることが必要となる。マッサージチェアにより背中をマッサージする際には、ユーザは揉み玉の搭載されている背もたれに寄りかかる。その姿勢からインタフェースを注視し操作する場合、首や肩が背もたれから離れる恐れがあり、結果として十分なマッサージの刺激を受けられないと考えられる。ここで問題点を整理すると以下の三つが挙げられる。

- ・ 入力と出力との対応を記憶しなければならない。
- ・ ボタンの位置関係を記憶しなければならない。
- ・ 初期状態からの相対的な調節しかできない。

これらの問題点に対して、本研究では人体に似た形状を有する身体模型を用い、その身体模型の背中を指で押すことにより揉み玉の位置およびマッサージの強さを調節する手法を用いる。この手法は、行為の対象が自身の身体という点で違いはあるものの、普段から行っている他者に触れる経験をそのまま生かすことができ、入力と出力の対応が直感的に理解しやすいものと考えられる。また触覚の手がかりに

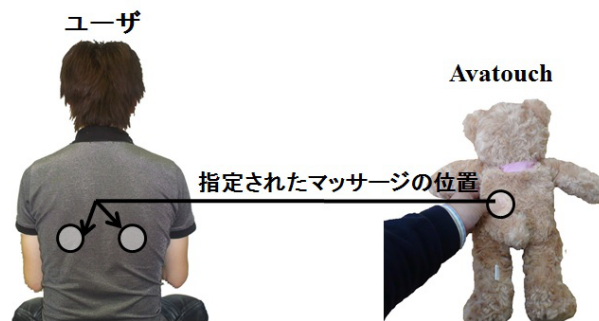


図 3.1:ぬいぐるみの背中を押すことでユーザーの背中中の相当する場所を指定することができる

より身体形状を確認することができるため、手元の注視を必要とせずに操作可能となることが期待される。さらに身体模型の背中中の領域において、従来の相対的な調節ではなく、絶対位置を指定することができるため、操作回数を少なくできると考えられる。

本研究では、インタフェースの外観の目新しさがユーザーの注意を余計に引くことを避けるため、なじみ深い外観および人体に似た形状を有する身体模型としてぬいぐるみを採用し、揉み玉の位置を調節するぬいぐるみ型インタフェース「Avatouch」を開発することとする。

Avatouch の操作方法については、以下の流れを想定する。まず、ユーザーはぬいぐるみの背中を自分の方に向けるようにして持つ。次に、ぬいぐるみを自身の体に見立てて、その背中中のマッサージしたい場所を指で押す（図 3.1）。すると、その入力を認識していることが音声によってユーザーに伝えられる。その後、ぬいぐるみの背中から指を離すと位置入力完了を意味する音声の流れ、揉み玉が入力された位置に動き始める。

3.1.2 ぬいぐるみ型インタフェース「Avatouch」

マッサージチェアの操作インタフェースとして、前提条件としてマッサージチェアに座りながら操作できなくてはならない。そこで両手でぬいぐるみを保持したまま押圧しやすいぬいぐるみの背中中の広さについて、産業技術総合研究所の調査結果（日本人女性の親指の長さ）[24] を参考に検討した。その結果、100[mm] × 100[mm]

程度の領域が妥当であると判断し、めいぐるみの両脇下に親指以外の四指を差し入れ、胸部を保持したまま、背中の中心部分（背骨）と外側部分との間の横方向および背中の上端（肩）と下端（腰）との間の縦方向の位置指定が親指で容易に行えることを確認した。

押圧位置を計測するために、36個の圧力センサをめいぐるみの背中に配置した。めいぐるみの背中には110[mm] × 110[mm] で厚さ10[mm] の平らで曲がらないABS樹脂プレートを内包し、その上に圧力センサ（インターリンク社製FSR400）を6 × 6のマトリクス状に配置し、さらにその上にシリコンゴムを重ねた（図3.2(a)）。表面の柔らかい平板を触るように、シリコンゴム越しにめいぐるみの背中を押すことで、拡散された力を複数の圧力センサでとらえ力の重心位置を算出することが可能となる（図3.2(b)）。

重心位置の計測に適したセンサ間隔はシリコンゴムの硬さや厚さに依存する。今回は造形用シリコンゴム（株式会社ボックス製造形村新スーパーEXシリコン）を使用し、めいぐるみに内包したABS樹脂プレートと同サイズのシリコンゴムを10[mm]の厚さで成型した。圧力センサの感圧部は先端の丸い部分であり、この厚さ10[mm]のシリコンゴムを用いて重心位置を算出するためには、20[mm]間隔以下で圧力センサを配置する必要があると判断し、センサの配置間隔は20[mm]とした（図3.2(c)）。これによる背中の押圧位置入力精度は0.5[mm]程度である。ABS樹脂プレート上に配置された圧力センサは加えた力に応じて抵抗値が変化する。これを電圧の変化に変換し、マイコンボード（ArduinoMEGA2560）上のADコンバータに10[bit]の分解能で入力し、重心位置を算出している。

Avatouchの入力位置 (x, y) からマッサージチェアの揉み玉の出力位置 (X, Y) への変換は式(3.1)および(3.2)を用いた。横方向の位置 x はAvatouchの背骨に相当する中央の位置 x_{min} と背中の横端の位置 x_{max} との間で正規化し、左右の揉み玉の可動域における最短間隔となる位置 X_{min} と最長間隔となる位置 X_{max} との間にマッピングした。同様にして上下方向の位置 y はAvatouchの背中の上端の位置 y_{top} と背中の下端の位置 y_{btm} との間で正規化し、マッサージチェア上でのユーザの肩位置 Y_{top} と揉み玉の可動域における下端の位置 Y_{btm} との間にマッピングした。

$$X = (X_{max} - X_{min}) * x / (x_{max} - x_{min}) \quad (3.1)$$

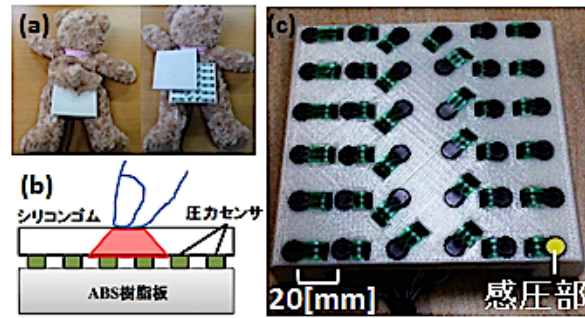


図 3.2:(a) ぬいぐるみに内包された圧力センサとシリコンゴム, (b) シリコンゴム越しに圧力センサに力を加えることで力が拡散される, (c) 6×6 に配置した圧力センサ. 感圧部は先端の丸い部分.

$$Y = (Y_{top} - Y_{btm}) * y / (y_{top} - x_{btm}) \quad (3.2)$$

入力操作に対する音声については、警告音等でユーザの緊張を煽らず、またユーザが違和感を覚えにくいのではないかと考え、女性の音声を採用した。具体的には、位置入力を認識した際に“ピッ”，位置入力が完了した際に“ピロロロロン”，マッサージの強さを調節する際に“お好みの強さで調節できます”との音声を流した。

3.1.3 マッサージチェア

使用したマッサージチェア（パナソニック株式会社製リアルプロ EP-MA70）は背もたれ部に揉み玉が左半身と右半身担当の上下二つずつの計四つを搭載しており、これらは左右対称に動く。揉み玉は上下移動のほか、左右の揉み玉の間隔（以下幅）の調節および前後に移動が可能で、上下左右方向に動かすことで揉み玉の位置を、前後方向に動かすことでマッサージの強さを、それぞれ調節することができる。上下のマッサージ可能範囲は約 78[cm] で、幅の調節は約 5[cm] から 21[cm]，前後方向（強弱）へは約 12.5[cm] である。

付属のボタン式インタフェースを使用した場合でも、図 3.3 破線枠拡大部のボタンを用いることで、揉み玉の位置を調節することができる。中央には丸い「決定」ボタンがあり、その周囲に上下左右四つのボタンが配置されている。上下のボタンは、それぞれマッの上下の位置を調節することができる。微調節する際には、ボタ

ンを押してすぐ指を離すと一段階調節できる。そのまま押し続けていると、その間揉み玉を移動させ続けることができる。さらに左のボタンは幅を一段階狭めることができ、右のボタンは反対に一段階広げることができる。揉み玉の幅の調節について、ボタン長押しによる連続的な移動機能はない。また上下方向および幅の調節ボタンについて同時押しはできない。このほか位置調節を行うボタンの右に「強」および「弱」のボタンが配置されており、そのボタンを押すことで現在のマッサージの強さを1段階強く、または弱く調節することができる。それぞれのボタンを押した際には、“ピッ”という電子音を発することで、入力操作の認識をユーザに伝える。

ユーザがマッサージチェアに座った際、揉み玉をユーザの背中に沿わせて動かすことによってユーザの肩の位置を検出し、自動的にキャリブレーションが行い、マッサージ可能な範囲がめいぐるみの背中の領域に割り当てる。そのため、めいぐるみの背中の押圧位置に相当するユーザの身体部位を実際に揉み玉がマッサージを行う。この時、マッサージチェアはユーザの左半身と右半身を左右対称にマッサージするため、位置を指定する際は図 3.1 に示す通り、めいぐるみの左半身もしくは右半身のどちらかを押すだけで良い。

マッサージの位置入力完了後に、マッサージチェアが反応して揉み玉の移動が開始されるまでの時間は概ね1秒程度である。そしてマッサージの移動速度は、日本工業標準調査会によって定められている上限の5.9[cm/s]程度である。また、揉み玉の移動方法について、現在の揉み玉の位置と目標位置との上下の距離が一定以上長い(12[cm]以上)場合は、前後方向の突出量を最低突出位置まで下げてから上下の移動を開始し、それ未満の短い距離の場合は背中に揉み玉が触れた状態で移動する。

3.2 評価実験

本節では、Avatouch インタフェースとマッサージチェア付属のボタン式インタフェースにおいてマッサージ位置の調節を行う際に、操作方法や操作時の振る舞いの違いを明らかにすることを目的とした評価実験を行う。具体的には、マッサージの位置を調節する際の実験参加者の行動観察(参加者とインタフェースとの位置関係、参加者の視線)、参加者の主観評価(操作時の感想)、操作方法の予測の比較を行った。



図 3.3:本マッサージチェアシステムの概要

3.2.1 実験参加者

人材派遣会社を通じて、実験の趣旨を十分に説明し本人の同意が得られた、男性7名、女性9名の計16名が本評価に参加した。年齢は平均41.9歳（SD:12.9歳）で、マッサージチェアの利用頻度は年間平均9.3回（SD:14.7回）であった。3名がマッサージチェアを保有しており、9名は温泉や家電量販店等の公共施設で利用していた。評価終了後、実験参加者には人材派遣会社の基準に従った謝礼を支払った。

3.2.2 実験条件

本実験では二つの条件を設定する。一つはマッサージチェアの揉み玉の位置調節を行う際に、マッサージチェア付属のボタン式インタフェースを使用する条件で、もう一つはAvatouchを使用する条件である。同機能のインタフェースで比較を行うため、図3.3の破線枠部以外（Avatouchに搭載されていない機能）のボタンをビニールテープで遮蔽したボタン式インタフェースを用いた。実験で参加者は二条件それぞれを体験する。順序効果を相殺するために使用するインタフェースの順番は参加者毎に変更した。

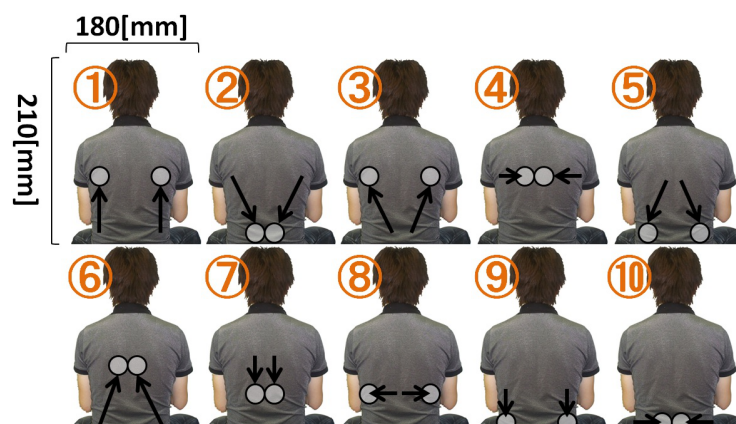


図 3.4.10 点の位置調節タスク提示用画像 (① から ⑩ の順)

3.2.3 実験タスク

本実験ではマッサージチェアの揉み玉を指定位置へ移動させるタスクを設定した(位置調節タスク)。参加者は実験者から指定された位置へ、各インタフェースを使用して揉み玉を移動させる。この指示は図 3.4 の ① から ⑩ まで順に行われ、① の初期値は実験参加者の腰の高さで体の外側に近い位置とした。参加者は図中の矢印の始点の位置から終点の位置まで位置調節をそれぞれ行う。マッサージの位置調節には物理的な位置入力精度ではなく、ユーザが意図した位置に調節できたと感じる必要があると考えられる。そこで物理的な位置を設定し目標位置との誤差で判断するのではなく、目標位置の指示は具体的な身体部位付近で理解(想起)しやすい位置を絵で示すとともに口頭で説明し、参加者が調節できたと感じるまで繰り返すことを依頼した。ここで図中の、①③ は肩甲骨の下、②⑩ は腰の背骨付近、④⑥ は肩甲骨下の背骨付近、⑤⑨ は腰の外側、⑦ は肩甲骨と腰の中間の背骨付近、⑧ は肩甲骨と腰の中間の外側、をそれぞれ示している。

3.2.4 実験環境

図 3.5 に本実験で構築した環境を示す。本実験ではビデオカメラ 1 台を参加者の正面に配置し、実験中の振る舞いおよびインタビュー形式による操作時の感想を記録した。参加者がインタフェースの操作方法を予測した際には、参加者の手元の動きを撮影した。本実験で用いたビデオカメラは 1 台のみであったため、操作方法の

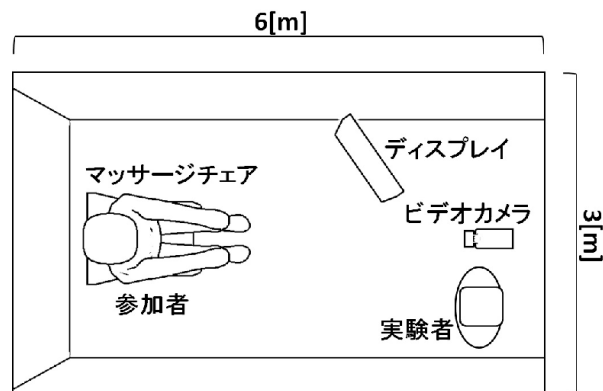


図 3.5: 実験機材の配置図

予測の度に実験者が手元へ移動させた。また参加者にマッサージの位置調節の指示を出すためにはディスプレイを使用し、ディスプレイは参加者の正面（ビデオカメラの左隣）に配置した。

3.2.5 実験手順

実験の手順を以下に示す。

1. 実験者が参加者に対して、マッサージチェアの使用頻度についてインタビュー形式で尋ねる。
2. 実験者は、図 3.3 破線枠部以外のボタンをビニールテープで遮蔽したボタン式インタフェースもしくは Avatouch のどちらか一方を参加者に手渡す。
3. 説明なしに操作方法を正しく予測できるか評価するため、参加者はインタフェースを触りながらマッサージの位置調節方法を予測し、口頭で実験者にその方法を説明する。実験者は参加者の正面に設置されたビデオカメラを用いて、参加者の手元の動きを撮影する。
4. 実験者はマッサージチェアの起動、マッサージする部位の指定、マッサージパターンの指定を行い、第5章で述べた位置調節方法を参加者に説明する。
5. 参加者は正しく位置調節操作ができることを実感するまで、自由に操作練習を行う。

6. 実験者は図 3.4 に示す、位置調節タスクの目標位置画像の ① から ⑩ のうち一つを、参加者が記憶するまで提示し、記憶後は隠蔽する。図 3.4 だけでは位置を十分に伝えることが困難な位置調節タスク ① および ③ を提示する際には別途“肩甲骨の下まで移動”，⑦ を提示する際には“肩甲骨と腰の中間点まで移動”，との説明をそれぞれ行う。
7. 参加者は記憶した目標位置に揉み玉が移動するよう、手渡されたインタフェースを用いて調節する。
8. 参加者は目標位置に揉み玉が到達したことを実験者に伝える。
9. 図 3.4 の ① から順に ⑩ まで 6・7・8 の手順を繰り返す。
10. 実験者が参加者に対して位置調節時の感想をインタビュー形式で尋ねる。
11. 実験者はもう一方のインタフェースを参加者に手渡し、3 から 10 までの手順を繰り返す。

本実験では、マッサージチェアの起動、マッサージする部位の指定、およびマッサージパターンの指定は実験者が行い、参加者はその後の位置調節のみ操作する。

3.3 実験結果

本節では、評価実験で得られた結果を示す。ここで、男性の実験参加者一名について、Avatouch の背中を押した際に正しく音声流れなかったため、この参加者については実験データから除外した。

3.3.1 操作時におけるインタフェースと顔との距離

位置調節タスクを遂行している際に、約半数の参加者（15 名中 7 名）がボタン式インタフェースを利用する際に Avatouch インタフェースよりも顔に近い位置で操作をしていることが観察された（図 3.6）。これらの参加者は、Avatouch は膝に置き、ボタン式インタフェースは胸や顔の付近まで持ち上げて、それぞれ操作を行っていた。他の 8 名の参加者については、位置調節操作中に各インタフェースと顔との距離の大きな違いは確認されなかった。



図 3.6: Avatouch に比べてボタン式インタフェースをより顔に近づけて位置調節操作を行う実験参加者

3.3.2 手元を見ずに操作

Avatouch を使って調節する際、しばしば手元を見ずに操作している実験参加者が2名確認された。これらの参加者はボタン式インタフェースを操作する際には常に手元を見て操作していたが、Avatouch インタフェースを操作する際には時折目を閉じる、上方に視線を向ける等の様子が確認された。その様子を図 3.7 に示し、図中の矢印は視線の方向を示す。

3.3.3 位置調節操作に対するコメント

各インタフェースでの位置調節操作終了後に、操作時の感想を尋ねた。得られたコメントを表 3.1 に示す。表中の“+”および“-”はそれぞれのコメントが肯定的か否定的かを示す。Avatouch は長距離調節がしやすい、とのコメントが多く確認され、またその形状や触感により、調節操作中に身体的負担が少ないと答えていた。さらにマッサージを絶対位置で指定することに対して、感覚的に操作できて分かりやすいとの回答が得られた。しかし、微調節がしづらいと回答する参加者が多く、縦方

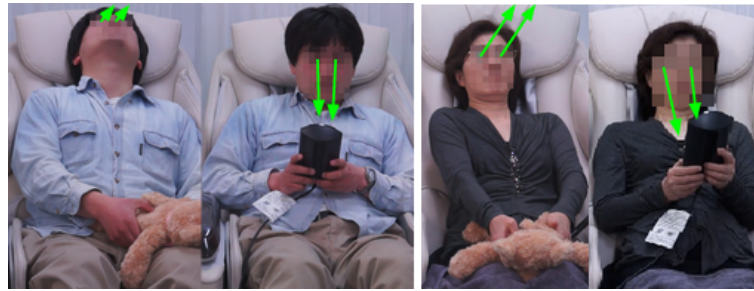


図 3.7: ボタン式インタフェース操作中は手元を注視し Avatouch 操作中は手元を見ない実験参加者

向の調節を行う時に特に難しさを訴えていた。ボタン式インタフェースの操作では参加者はボタンを押しやすい、操作に慣れている、微調節がしやすい等と回答する一方で、ボタンと調節機能との対応関係を記憶することが難しい、ボタンを複数回または長時間押すことが煩わしいとのコメントが得られた。図 3.6 左下の男性参加者はボタン式インタフェースの操作後に、“リラックスしている時ほど特にリモコンを見るのが面倒。”と答えており、操作中に手元を見て目で確認しなくてはならない煩わしさを訴えていた。

3.3.4 操作方法の予測

各インタフェースを手渡した際に、実験参加者に対してマッサージの位置調節方法を予測するよう指示した。このときの様子について、主に参加者の手元に注目して撮影し、実験後その映像を解析した。

その結果、Avatouch は 15 名中 10 名が揉み玉の上下位置および幅（左右の間隔）の調節方法について正しく予測し、1 名が全く想像できないと回答した。Avatouch の操作方法に対し、誤った予測をする参加者はいずれも、めいぐるみの顔を表にし、向き合うように持っていた。“肩側を押している間上に移動し、腰側を押している間下に移動する”という、従来のボタン操作（相対位置入力）と同様の方法をイメージした予測のほか、上下位置調節は腕の上げ下げ、幅の調節は腕を前方や後方に動かす等のめいぐるみの姿勢に調節の機能が割り当てられているとの予測が確認された（図 3.8）。

それに対し、ボタン式インタフェースは上下位置調節について全員正しく予測で

表 3.1:位置調節操作に対するコメント

UI	コメント
Avatouch	+ 感覚で操作できる + 大きくて柔らかいから負担にならない + 横方向（幅）の調節は分かりやすい + 長い距離をすぐ移動してくれるから便利 - 上下方向の調節が分かりにくい
ボタン	+ 普段から使い慣れている + 微調節しやすい - 時間がかかる - 手元を確認しないと横方向（幅）の調節ボタンの位置関係が分からなくなる時がある

き、幅の調節は15名中7名が正答した。幅の調節方法を誤答した参加者の多くは、ボタンの配置およびボタン上の記号（図3.3参照）から揉み玉が左右対称に動くイメージが正しく理解できていない様子が確認された。

3.4 考察

本節では、本実験で得られた結果について「触覚による押圧位置の確認」および「想定される位置調節操作イメージ」に分けて議論する。

3.4.1 触覚による押圧位置の確認

ボタン式インタフェースを用いて調節を行う際に、手元を目で確認することに対して煩わしさを訴える実験参加者がおり、これはマッサージに集中した状態から調節操作への移行について不満を感じているものと考えられる。一方で Avatouch インタフェースを使用する際には、位置調節操作中に Avatouch インタフェースを顔に近づけずに位置調節操作をしている参加者が確認された（図3.6）。また図3.7の参加者は、ボタン操作自体に集中していた一方で、Avatouchを用いた際には、操作時に手元を見ることなく、背中に受けているマッサージに神経を集中しているよう



図 3.8:(a) 胸側を押す, (b) 腕を前後する, (c) 腕を上下する

な場面がしばしば観察された。手元を見ない操作というのは、従来のボタン操作やタッチスクリーン操作では、人体に類似した身体形状（頭、腕、足）を触覚によって確認することができないため、難しいと考えられる。これらの結果から Avatouch を用いることで、マッサージに集中している状態（例えば閉眼時）から手元の注視に伴う姿勢変更等の負担を強いることなく位置調節操作が実現できることが示唆された。

3.4.2 想定される位置調節操作イメージ

Avatouch を実験参加者に手渡した際、記号や文字等の表示が無いにも関わらず、人体に類似した身体から、15 名中 10 名が上下幅ともに正しく位置調節方法を予測した。この結果から、このマッサージ位置指定方法は調節する方向にかかわらず直感的に想起しやすい傾向があることが観察された。

一方で、図 3.8 に示すとおり、参加者が Avatouch の手足を動かす等の操作を行っている間のみ調節がなされる、という位置調節方法も予測された。この結果からマッサージチェア操作における段階的調節操作が広く認知されていることが示唆された。

3.5 第3章のまとめ

本章ではめいぐるみ型インタフェース「Avatouch」を用いたマッサージチェアシステムの提案を行った。このインタフェースの目的は、手元を注視することなく直感的にマッサージを調節することである。我々は Avatouch の操作方法や操作時の

振る舞いの違いを明らかにするために、マッサージチェアシステムを開発し、実験を行った。

この実験結果から、Avatouchによる位置調節操作中に、インタフェースに顔を近づけない、目を閉じる等手元を注視していない様子が観察された。また Avatouch の形状から半数以上の実験参加者が調節する方向に関わらず正しく調節方法を予測できた。

これらの結果から本章で提案した Avatouch を用いることで、手元を注視することなくマッサージの位置調節が行えることが示唆された。またこの操作は、首を起こす、インタフェースを顔の周辺まで近づける等の姿勢変更を強制しないものと考えられる。

第4章

遠隔操作型清拭便座システム

4.1 研究背景

排泄ケアは介護者にとって特に重労働な作業の一つである [25]。そんな被介護者の排泄を人間の介護者に代わって支援するシステムが盛んに研究開発されてきている。一連の排泄行為は以下の七つの段階に分けることができる。

1. 尿意または便意を知覚する [26].
2. トイレへ移動する，またはトイレから戻ってくる [27, 28].
3. 下衣（ボトムス）を脱ぐ，または履く.
4. 便座に座る，または便座から立ち上がる [29].
5. 排泄をする.
6. 身体に付着した排泄物を洗浄する.
7. 洗浄した箇所を乾燥させる [30].

これらの段階の中から，本研究では「身体に付着した排泄物を洗浄する」および「洗浄した箇所を乾燥させる」に着目する。この二つの行為は被介護者にとって特に精神的に苦痛を伴う。

我々は排便後に自身の臀部をトイレットペーパーを用いて清拭し，臀部を清潔に，そして適切に乾燥させる。これは近年広く普及している温水洗浄機能を利用した場合も同様である。その際に臀部に触れるために，臀部を後方に突き出すような前傾姿勢をとる（図 4.1）ことがあるが，特に高齢者，身体障害者，および極度の肥満症

患者にとってこの姿勢をとることは困難となる。そのため自身の臀部を清拭できない場合は、他者（介護者）にその作業を依頼することとなる。しかし、介護者は肛門周辺のどこをどれくらいの強さで拭くことを被介護者が希望しているのかを知らないため、介護者による清拭では十分に便や水を拭き取ることができない、もしくは痛みを感じる、といった結果を引き起こす可能性がある。また被介護者にとって、排便後の臀部清拭を自らできないこと、および介護者に臀部や便を見せることは自尊心を傷つけることになり、精神衛生上望ましくない。介護者にとっても、排泄作業の支援は特に身体的に負荷が高いことが報告されている [25]。そのほか、便の状態によっては手で臀部を清拭することで、親指の付け根から服の袖口にまで菌が付着しやすいことが報告されている [31]。

これらの問題を解決するために、便座に取り付けたロボットアームによって臀部を清拭するシステムの開発が試みられている [30]。ユーザは清拭開始のボタンを一度押すだけで、ロボットアームがあらかじめ設定された軌道で臀部を清拭する。このようにユーザは前傾姿勢をとる必要なく、また人間の介護者を介さずに清拭することから、ユーザの身体および精神の両面において負荷が低く望ましいといえる。しかし、ロボットアームを操作するインタフェースはボタンのみであり、ユーザの意図を清拭動作に反映させることは困難である。

一方、トイレットペーパーを先端に取り付けられる棒が開発されている [32, 33]。この棒を用いることで、ユーザは手を臀部に近づける必要がなくなるため、前傾姿勢をとらずに臀部を清拭することができる。しかし、棒を動かす自由度が高すぎるために、この棒を用いて狭い便器内で便器表面に接触させることなく便や水分を拭き取ることは困難と考えられる。

本章では、ユーザの意図を清拭動作に反映できる操作インタフェースを搭載した臀部清拭便座システムの開発を試みる。

4.2 研究目的とシステムへの要求事項

本研究は、ユーザの意図を清拭動作に反映できる操作インタフェースを用いた臀部清拭便座システムの開発を目的とする。

臀部を清拭するために、便座から腰を浮かせて前傾姿勢をとる場合がある。しかし、その姿勢をとることは特に身体障害者や高齢者にとって困難となる。他者に臀部清拭を依頼した場合は、他者に意図を正確に伝えることが困難なことから、十分

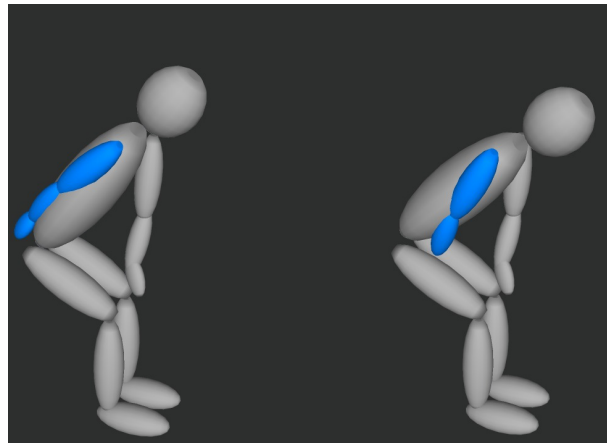


図 4.1: 臀部に触れるためには前傾姿勢をとることがある。

に清拭できないことが考えられる。そのため、以下2つの要件を満たすシステムの開発が求められる。

1. 便座に座ったまま、手を臀部に近づけることなく清拭できる。
2. ユーザの意図、特に希望する清拭位置とその強さに基づいて清拭できる。

1つ目の要件は他者を介さずに臀部を清拭するために必要となる。臀部や便を他者の目に晒すことは、ユーザの自尊心を傷つけることになる。また臀部清拭までを自身で行えることによって、介護の現場において、介護者の肉体的・精神的負担が軽減される。さらに手に便がつかないことは、ウイルス感染を防ぐ意味で、健常者にとっても利点となる。

2つ目の要件は臀部を適切に清拭するために重要である。便および肛門周辺の状態はその都度変化するため、ユーザの感じる汚れ具合等に基づいて清拭を行う。これにより、適切な場所を適切な力加減で拭けることが期待される。

4.3 提案手法

本節では、臀部清拭を代行できる便座システムを提案する。

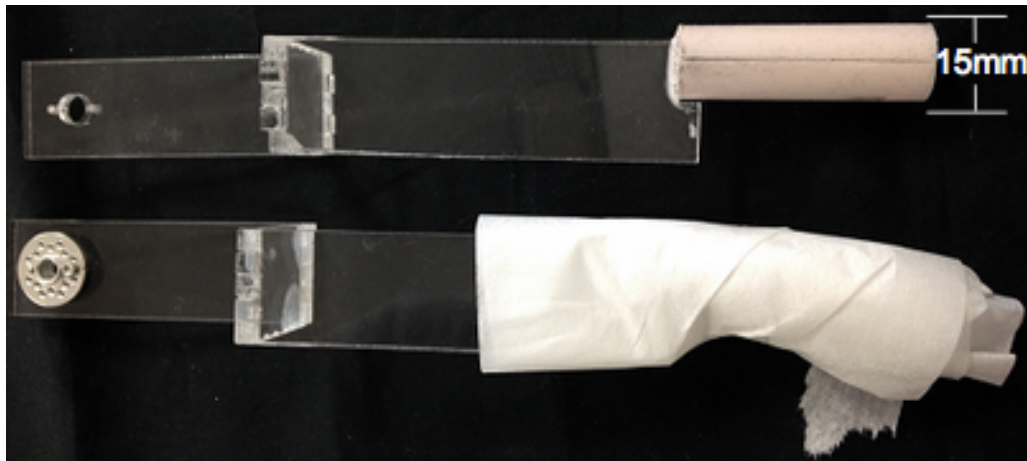


図 4.2:上：臀部を清拭するエンドエフェクタ。先端はシリコンゴムで覆われ、指先で触れるかのように柔らかい臀部接触を実現している。下：実際にはこのエンドエフェクタにさらにトイレットペーパーを巻きつけて使用する。

4.3.1 インタラクション手順

まず便座に座るユーザは、手元に配置された臀部模型を自身の臀部に見立てる。そして模型の肛門周辺に触れることで、その触れた位置および力加減が清拭便座システムに伝わる。このシステムには臀部を清拭するロボットアームが便器にとりつけてあり、ユーザの入力した位置および力加減に基づいてロボットアームを動かす。ユーザは臀部に加わる感覚をもとに模型の肛門周辺をなぞることで、そのなぞった動きをロボットアームが便器内で再現し、清拭を行う。

4.3.2 清拭機構

肛門周辺は粘膜であるため、エンドエフェクタは柔らかいシリコンゴムで覆う（図 4.2）。またその幅および長さは日本人の平均寸法 [24] を参考に、それぞれ 15[mm] および 60[mm] とした。

提案する便座システムの清拭動作は垂直および水平移動（前後）の 2 自由度に簡略化する。垂直移動はエンドエフェクタの根元に取り付けたサーボモータ（双葉電子工業株式会社製 RS405CB）の回転により実現する。このサーボモータが配置してある台座はクランクスライダ機構に繋がっている。クランクスライダ機構を動かす、もう一つのサーボモータの回転により、前後の水平移動を生成する（図 4.3）。

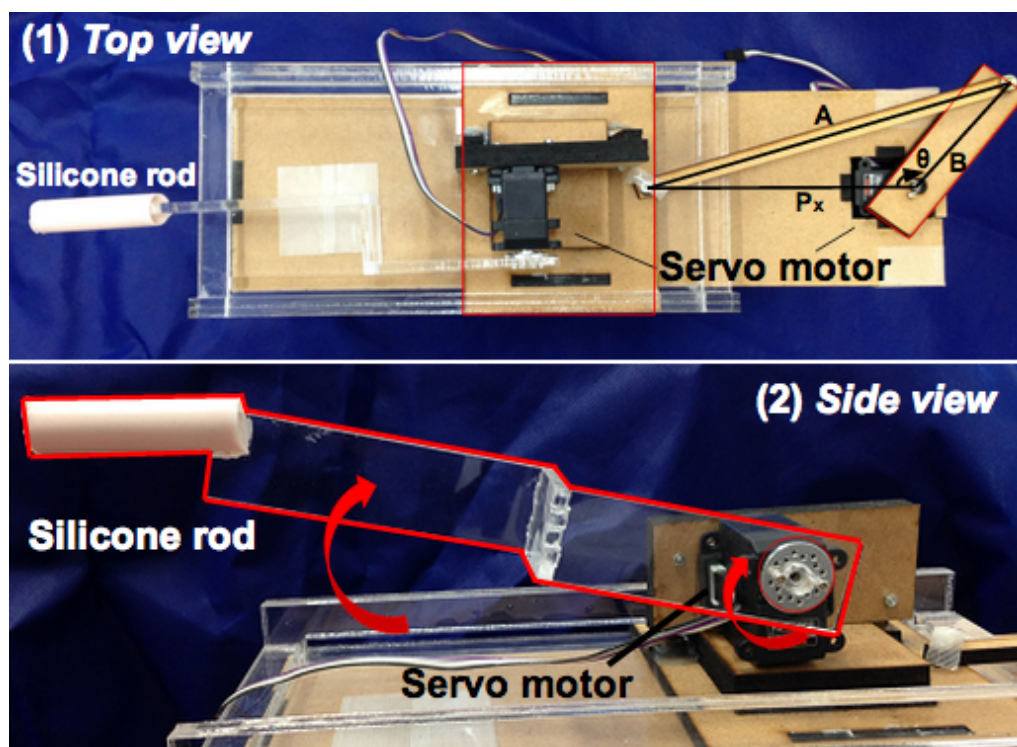


図 4.3: 上：前後の水平移動を生成するためのクランクスライダ機構。下：サーボモータの回転により垂直移動を実現。

また前後方向の変位からサーボモータの回転角への変換式は余弦定理を用いて式 4.1 と表すことができる。

$$\theta = \sin^{-1} \frac{B^2 - A^2 + P_x^2}{2BP_x} P_x = \sqrt{A^2 - B^2 \sin^2 \theta} + B \cos \theta \quad (4.1)$$

ここで、式中のクランクスライダ機構のコンロッド長 A およびクランク半径 B は、それぞれ $190[\text{mm}]$ および $70[\text{mm}]$ である。この機構は便器（アロン化成株式会社製 サニタリエース HG 据置式）に取り付けて使用する。

4.3.3 臀部型インタフェース「Lavatouch」

本節では、ユーザの意図する清拭位置および強さを指定可能な入力インタフェースについて述べる。

まず、臀部模型を作成する。デプスカメラ Kinect (Microsoft Corporation 製) および KinectFusion[34] を用いて、非接触で 20 代男性の臀部の形状を計測した。そ

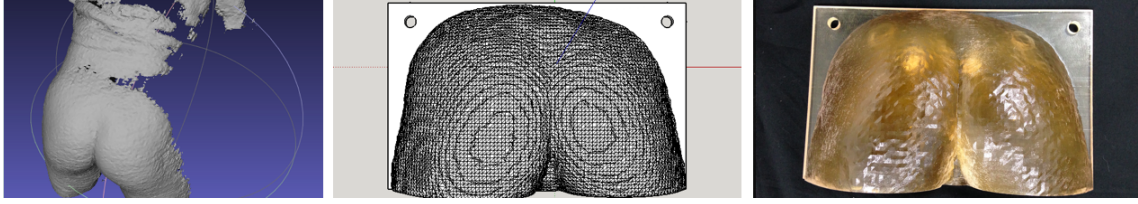


図 4.4: 左：計測された臀部形状． 中：修正を施した臀部形状データ． 右：3 D プリンタより出力された臀部模型．

して正しく計測できてなかった箇所をモデリングソフト（Trimble Navigation 社製 SketchUp）を用いて修正し，そのデータを 3 D プリンタ（Keyence 社製 Agilista-3100）へ送り，臀部模型を出力した．計測された臀部形状を図 4.4 に示す．

次に臀部模型を指で触ることで接触位置および力を取得できるようにする．3 D プリンタにより出力された臀部模型は 6 軸力センサ（ミネベア株式会社製 OPFT-50N-B-2）に取り付けた．この臀部模型を指で触ることで，6 軸力センサは 3 方向の力とトルクを検出できる．3 方向の力とトルクは，式 4.2，4.3 により，接触点位置を算出することができる（[35] から引用）．

$$r = r_0 + Kf \quad (4.2)$$

$$r_0 = \frac{f \times m}{\|f\|^2} \quad (4.3)$$

ここで， f は力センサにより検出された力を， m はトルクを， r は接触点位置を， r_0 は力センサの原点から力の作用線へ垂直におろした直交ベクトルを，それぞれ表しており， K は接触面（臀部形状）に依存する定数である．

力センサから検出された力は清拭機構のサーボモータの最大出力トルクとして設定し，算出された指の接触点位置は，清拭の目標位置へ変換し（式 4.1），清拭機構の動きを決定する．

4.4 予備実験

本節では，提案手法を評価する前段階としての予備実験について述べる．予備実験は，提案する清拭機構を手動で動かした場合と自動で動かした場合とを比較し，

どれだけ便を拭き取れるのか、またその際にユーザはどのように感じるのか、を検証することを目的とする。また、予備実験においては、操作インタフェースによる影響を避けるため、操作に習熟しているPCディスプレイ、マウス、およびキーボードを使用する。

4.4.1 予備実験用プロトタイプシステムの構成

予備実験では操作インタフェースとして、PCディスプレイ、マウス、およびキーボードを使用し、拭く位置および強さを指定する。またPCをサーボモータの状態取得および司令値入力に用いる。予備実験用プロトタイプシステムの構成を図4.5に示す。PCスクリーンには便器の側面画像が表示され、その画像の上にエンドエフェクタの現在位置が重畳表示される(図4.6)。PCスクリーン上のマウスポインタの位置はエンドエフェクタの目標位置に相当する。ユーザは便器画像上の白い長方形の領域(エンドエフェクタの可動域)内でマウスポインタを動かし、ロボットアームを操作する。また初期設定では、臀部に突然強い力が加わらないよう、サーボモータの最大出力トルクを十分弱くする($0.33[\text{Nm}]$)。そしてキーボード上の特定のキー(上矢印・下矢印)を押すことで、段階的に出力トルクを調節することができる。目標位置を指定するための更新周期は約 $30[\text{Hz}]$ であった。

4.4.2 安全性評価

予備実験を行う前に、提案する清拭機構がスムーズに臀部を清拭することができるかどうか、検証を行う。

この検証では、男性被験者一名(27歳)がマウスを用いて臀部に沿ってロボットアームを前方から後方へ動かした。その際のエンドエフェクタの軌道を図4.7に示す。また清拭機構で用いているサーボモータは、回転軸にかかる負荷を計測することができる。そのためロボットアームを垂直移動させるサーボモータの負荷値を計測し、臀部に加わる上方の力の時間変化として図4.8に示す。

これらエンドエフェクタの軌道および加わる力の時間変化の結果より、提案する清拭機構がスムーズに臀部を清拭できることを確認した。

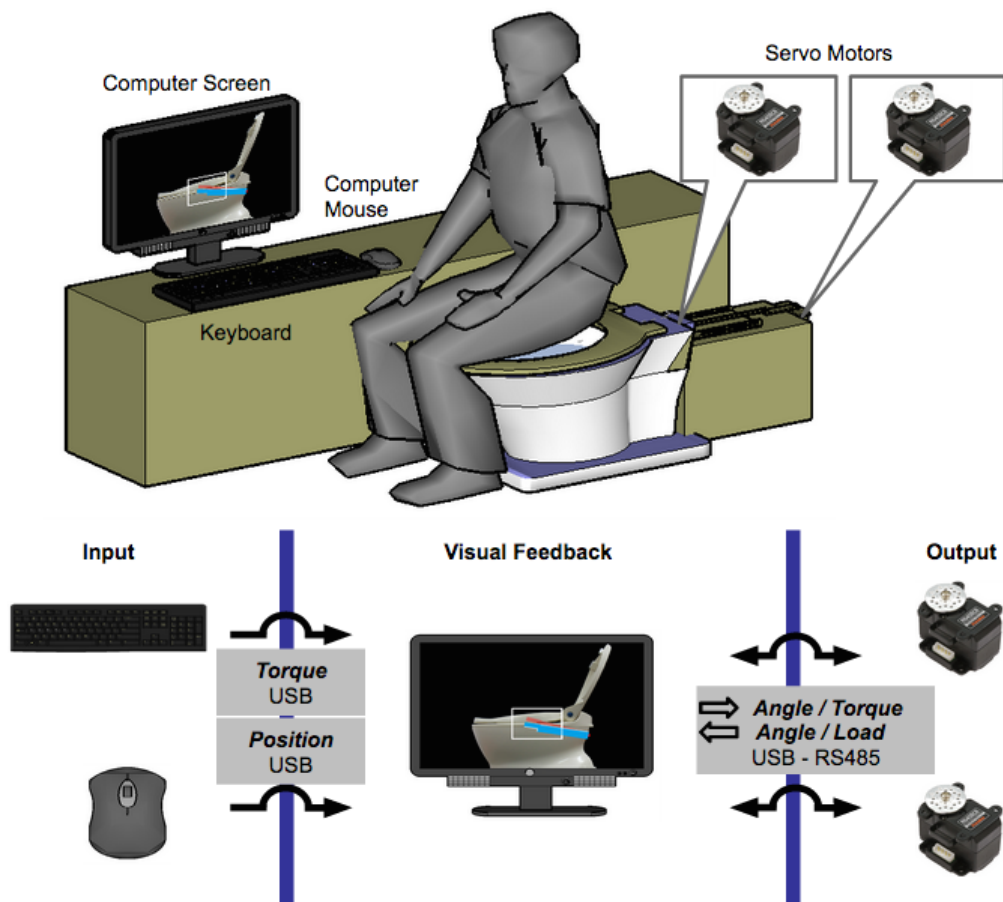


図 4.5: 予備実験用プロトタイプシステムの構成。ユーザはマウスとキーボードを用いて、拭く位置および強さを指定する。指定された位置はPCにより各サーボモータの回転角に変換され、指定された最大出力トルク値と共にサーボモータへ送られる。サーボモータは指定されたトルク値以下で、指定された角度に回転し、現在の角度および負荷をPCに返す。そしてユーザは臀部でロボットアームの挙動を感じながら、再び清拭動作を指定する。

4.4.3 実験環境

プライバシーに配慮し、便器は研究室の一室に配置し、外から室内が見えないよう、窓に目張りを行った。またボイスレコーダーを実験室内に置き、実験中の発言は全て記録した。

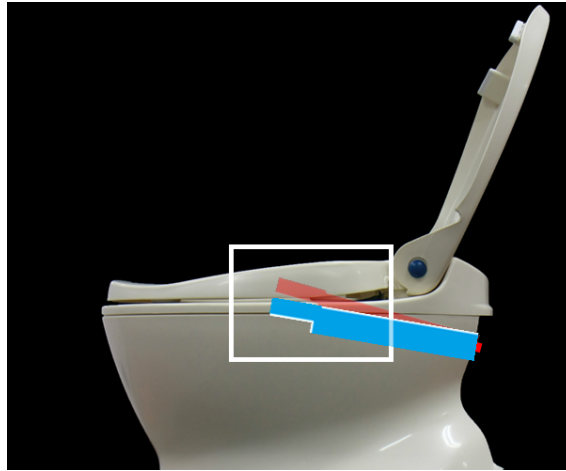


図 4.6:PC スクリーンには便器の側面画像が表示され，その上にエンドエフェクタの現在位置（青い部分），目標位置（赤い部分），および可動域（白い長方形）が重畳表示される．

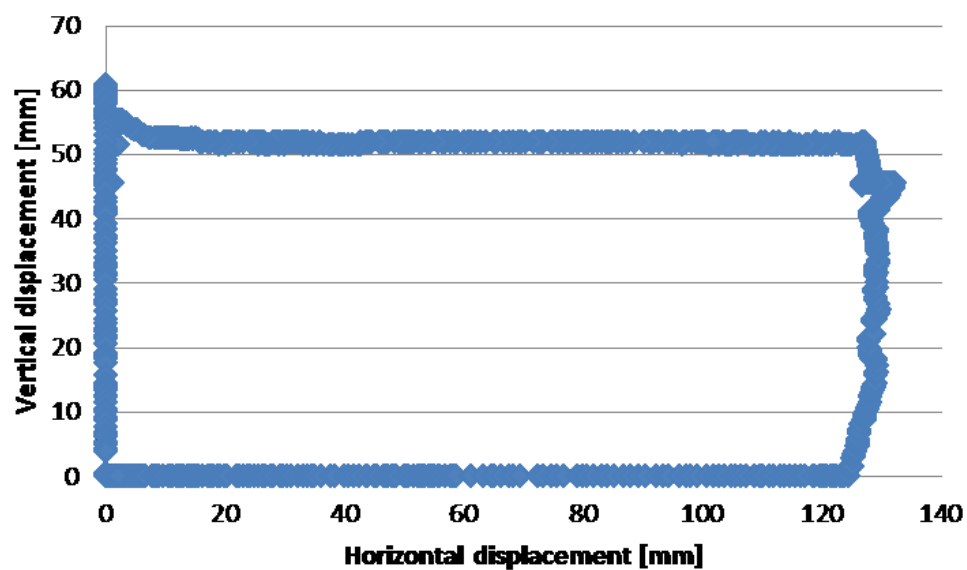


図 4.7:マウスを用いてロボットアームを動かした際のエンドエフェクタの軌跡．エンドエフェクタはスムーズに前方から後方へ動いている．

4.4.4 実験手順

本実験には23歳から31歳までの，4名の男性（A，B，C，D）が参加した．彼ら実験参加者はプロトタイプシステムの操作経験はなく，本実験へ参加する上でどん

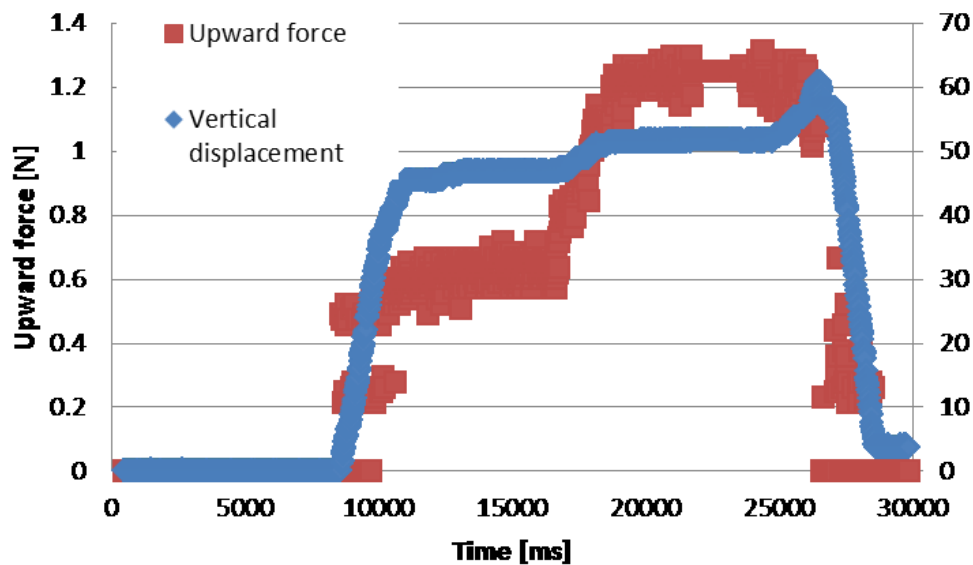


図 4.8: 臀部に加わる上方の力の時間変化.

な対価も得ておらず、自発的に参加を希望した。

実験参加者は2つの方法で清拭機構を動かす。1つは4.4.1節で述べた、マウスとキーボードを操作する方法である。もう1つは自動で清拭機構を動かす方法である。この方法では、被験者はキーボード上の特定のキーを押すことで、臀部接触の開始、臀部に加わる上方の力の調節、および清拭の開始をシステムへ伝える。

本実験の手順は以下11のステップから構成される。

1. 実験者は電子バネばかり（0.1[g]精度）を用いて、トイレットペーパーを巻きつけたエンドエフェクタの重さを計測する。その後、垂直移動させるためのサーボモータにエンドエフェクタを取り付ける。
2. 実験者はシステムの2つある操作方法のうちの1つを説明する。
3. 実験参加者は操作方法を十分理解するまで、複数回操作を行い、練習する。
4. 実験参加者はボトムスおよび下着を脱ぐ。
5. 実験参加者は模擬便として2[g]のこし餡を自身の肛門周辺へ付着させる。
6. 実験参加者は便座に座る。

7. 実験参加者は説明を受けた方法で臀部を一度だけ清拭する。
8. 実験参加者は普段と同様に直接臀部を清拭する。
9. 実験参加者は下着およびボトムスを穿く。
10. 実験者は拭き取った餡の付着したトイレットペーパーおよびエンドエフェクタの重さを計測する。
11. 実験者は実験参加者に対し、体験した感想についてインタビューを行う。

これらの手順は、それぞれの操作方法を用いて1度ずつ行う。

4.4.5 自動清拭

本実験では、マウスおよびキーボードを用いて清拭機構を動かした場合とキーボードのみを用いて自動で清拭機構を動かした場合との比較を行う。臀部を自動清拭した際のエンドエフェクタの軌跡を図4.9に示す。まず、実験参加者がキーボードのスペースキーを押すと、エンドエフェクタは前方に向けて、先端を上方へ向けながら動き、臀部に接触する。実験参加者は臀部に加わる力をキーボードの上矢印・下矢印キーを押すことで調節したのち、スペースキーを押して力の調節を完了する。すると、エンドエフェクタは前方から後方へ向けて一定の速度（17.5[mm/s]）で動き、臀部を清拭する。

4.5 実験結果

本節では、予備実験の結果について述べる。

実験参加者は臀部清拭を行った後、操作時の感想についてインタビューに答えた。インタビュー中に確認された、それぞれの操作方法に対するコメントを表4.1に示す。実験参加者（A）は“（自動で拭くのは）どのタイミングで来るか分からなくて不快。（臀部接触時に）ゾワッて来て、ググッと来てくすぐったいなと思った。2段階でくすぐったい。（マウスを動かして拭くのは）自分で操作出来るからやりやすいといえはやりやすい。自分でやる方が拭き心地も良いし、拭きやすい。感触で自分の尻の穴の付近に、どれくらい付いてるかっていうのがある程度分かるから、それで

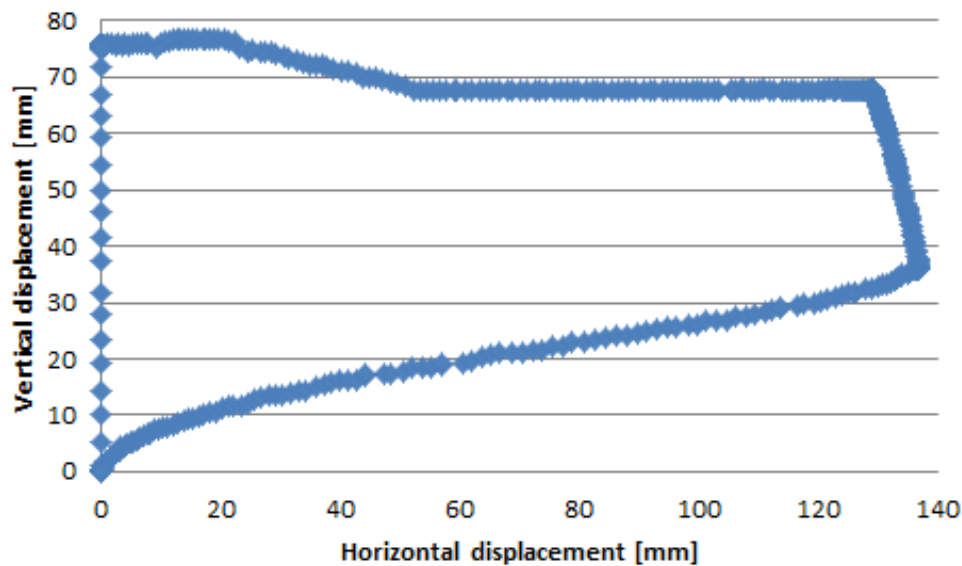


図 4.9:自動清拭時のエンドエフェクタの軌跡. エンドエフェクタはまず前方に先端を少し上げながら動き, しばらくして臀部に接触する. 臀部に加わる力を調節したのち, 前方から後方へ向けて一定の速度で動き, 臀部を清拭する.

そこを強くしてやれば取れる量は増すと思う.”と回答した. 実験参加者 (B) は“自分でマウスで動かしてるとすごい違和感がある. (自動で) 拭かれている時はごくごくすぐったい. (臀部に触れる瞬間に) びくっとする. 触られてから動いた時はくすぐったくてどうしようかと思った.”と回答した. 実験参加者 (C) は“(マウスを動かして拭く時に臀部に) 当たる瞬間の不快感はそんなになかった. いつも拭いてる感覚とあまり変わらない. というか不快感はないというか, 思ってたより. 僕は先端からこうやって (後ろから前に) 拭いてもらった方が普段拭く感じに近い. (自動で拭く時は臀部に) 当たった瞬間は弱く感じたので強めに設定して拭いた. 強めに拭いていくと肛門のあたりに来た時にちょっと強いなって思った. 皮膚にトイレットペーパーがすれて痛いって感じだった. 自分の思ったところに (エンドエフェクタの) 先が来てくれない, 意図してないところにところに来たのでそう感じたのかもしれない. 予想はできてたけど, 自分の理想の動作ではなかった. そこじゃないそこじゃないって思いながら座ってるだけだった.”と感想を述べた. 実験参加者 (D) は“(マウスを動かして拭くのは) 違和感の特になかった. お尻の形に合わせてできた気はする. 操作が分かっていると自分でやる方が力加減とかいいと思うけど,

表 4.1:体験後インタビューの比較.

マウスを動かして拭く	自動で拭く
+ 快適 (A, C)	+ 誤操作の心配がない (B)
+ 適切な力加減 (C)	—くすぐったい (A)
—操作が難しい (A, B, C, D)	—びっくりする (A, B, C)

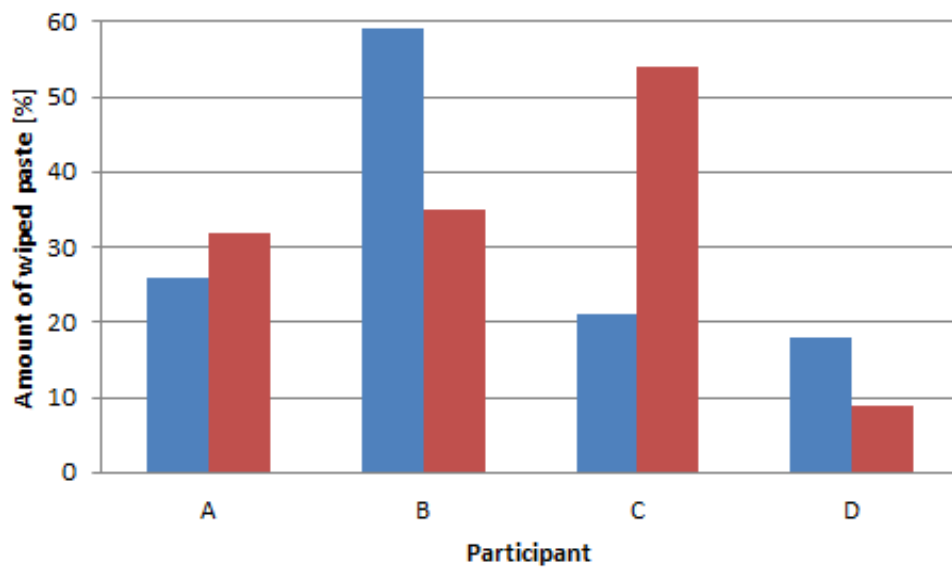


図 4.10:マウスを動かして拭いた場合（赤）と自動で拭いた場合（青）とでの拭き取れた餡の量.

全然分からない状態だと自動の方がいいかなと思う”と回答した.

拭き取った餡の量の計測結果を図 4.10 に示す. 拭き取れた量は実験参加者ごとに異なっており, それぞれの方法での有意差は確認されなかった.

4.6 考察

実験参加者はマウスを動かすことで適切に清拭位置を調節できていることが確認された. 便および肛門周辺の状態の変化に基づいて, その都度清拭動作にユーザの意図を反映させることができるものと期待される. また全ての実験参加者が, マウ

ス操作が難しいと回答したものの、その操作性を除いて自動清拭の手法の方が好ましいと答えた実験参加者は確認されなかった。さらに普段の臀部の拭き方は一つに統一されておらず、実験参加者によって異なることが確認された。具体的には、前方から後方へ拭くほかに、逆に後方から前方への臀部清拭を普段行っていると答える参加者も認められた。このような普段から行っている慣習をロボットアームを用いた清拭動作でも再現できることが望ましい。ユーザの意図を反映でき普段の慣習を再現しやすい点で、自動ではなくユーザ自身で位置を調節しながら清拭する手法が適していると考えられる。

4.7 第4章のまとめ

本章では、ユーザの臀部を清拭することのできる遠隔操作型清拭便座システムについて述べた。まず臀部清拭に伴う前傾姿勢は身体への負荷が大きいことを説明し、便座に座ったままでの清拭が有効であることを述べた。また自動で臀部清拭を行うシステムの先行事例を示し、その特徴とユーザの意図が反映されない問題点を明らかにした。そして、「清拭時に身体への負荷の大きい姿勢をとる必要がないこと」および「清拭の位置および強さを指定できること」の二つの条件を満たす、清拭便座システムの実装と予備実験について述べた。最後に、その予備実験の結果から快適な拭き心地とを感じる傾向にあることを確認した。

第5章

結論

5.1 本論文のまとめ

本論文では自身の身体への接触を可能とする、身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステムの提案を行った。そして、そのコンセプトを背中マッサージおよび臀部の清拭へ応用したシステムを実装し、その有用性を評価した。

第1章「序論」では、インタラクティブシステムがより身近な存在となっていることを述べた。また、使いやすいインタフェースを設計する上で考慮すべき点として、アフォーダンスおよび入力と出力の自然な対応付けを取り上げ、説明を行った。そして、適切なアフォーダンスおよび自然な対応付けがなされた事例として、操作対象の模型を用いた先行研究を示した。

第2章「身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステム」では、自身の身体へ触れる作業を行う際に鏡や機械式の器具を用いた場合および他者に作業を依頼した場合における問題点を述べた。また、本研究で提案する再帰型インタラクティブシステムとは、以下の項目を満たすものであると述べた。

- ・ 操作対象である身体部位を把握できること。
- ・ 出力自体がユーザへのフィードバックとなること。

そして、そのインタラクティブシステムの操作に身体模型デバイスを用いることを述べ、知覚されるアフォーダンスが適切で、自然な対応付けがなされた HCI の構築が期待できることを述べた。さらに従来から提案されている人型インタフェースについて紹介すると共に、本研究ではそれを身体表面上の位置指定に用いることを述べた。

第3章「ぬいぐるみ型インタフェースを用いたマッサージチェアシステム」では、従来から多く用いられているボタン式インタフェースによるマッサージチェア操作

について、その特徴と問題点について述べた。また、ボタンを押す操作に代わる入力デバイスが提案されている先行研究を示した。そして、人間に似た身体を持つぬいぐるみ型インタフェースを用いたマッサージチェアシステムを提案し、その実装方法について述べた。さらに、実装したシステムの有用性を評価した。その結果、ボタン式インタフェースと比べて、操作を行う手元と顔とが離れている、手元を見ることなく操作をする等の被験者が観察され、手元を注視することなくマッサージの位置調節を行う傾向があることを確認した。

第4章「遠隔操作型清拭便座システム」では、臀部を清拭する際に、身体への負荷の大きい前傾姿勢をとらなければならない問題について述べた。また、その問題を解決する自動清拭便座システムの先行研究を紹介し、その特徴と課題を明らかにした。そこで、臀部型のインタフェースを用いた清拭便座システムを提案した。さらに、プリセットした軌跡に基づく自動清拭と比較して、ユーザの指定する清拭位置および強さに基づく清拭を行った際のユーザの振る舞いを明らかにするための予備実験について述べた。そして実験結果によると、ユーザ自らが清拭位置および強さを指定する方が、適切に拭くことができ、痒みや痛みを伴わなかったことを確認した。

以上のように、本論文では身体模型デバイスを用いた再帰型インタラクティブシステムの提案をした。本研究により、ユーザの意図が適切に伝わるインタラクティブシステムの実現に近づいていると言える。

5.2 今後の展望

本論文で提案した手法は、自身の身体への接触を目的としたインタラクティブシステムを適切に操作するためのものであった。今後の展望として、Rubber Hand Illusion[36]や自身へのくすぐり行為に関する研究[37]等の知見に基づいてシステムを設計することで、身体模型デバイスをまさに自身の身体と感じながら操作できることが期待される。インタラクティブシステムを自身の身体と同様に扱えることで、他者へ依頼しても実現されなかったユーザの意図を十分に反映させることが実現される。それにより、より自立した生活が送れ、介助を必要としない生存期間である健康寿命が延びることが期待される。

謝辞

本研究を行う機会を頂き、ご指導頂いた佐藤誠教授、長谷川晶一准教授に感謝いたします。自由な研究テーマに取り組むことができ、やりがいを感じながら充実した研究生活を送ることができました。また、所属していた JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクトの五十嵐健夫教授（東京大学）、稲見昌彦教授（東京大学）、坂本大介特任講師（東京大学）には研究に着手する上での多くのご助言をいただき、深く感謝いたします。さらに共にシステムの実装や評価実験の設計を行った、パナソニック株式会社の谷口祥平氏、池島紗知子氏、清水敬輔氏、ならびに JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクトの神山洋一氏に深く感謝いたします。市販品に手を加え実験に用いることで、とても貴重なデータを得ることができました。評価実験を行うにあたり、快く場所を提供してくださった日本科学未来館の皆様にも深く感謝いたします。

最後に、日頃から研究生活を共にした、東京工業大学の佐藤誠・長谷川晶一研究室の皆様にも感謝いたします。

参考文献

- [1] Richard Stoakley, Matthew J. Conway, and Randy Pausch. Virtual reality on a WIM. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '95*, pp. 265–272, New York, New York, USA, May 1995. ACM Press.
- [2] Scott Brave, Hiroshi Ishii, and Andrew Dahley. Tangible interfaces for remote collaboration and communication. In *Proceedings of the 1998 ACM conference on Computer supported cooperative work - CSCW '98*, pp. 169–178, New York, New York, USA, November 1998. ACM Press.
- [3] Chris Esposito, W. Bradford Paley, and JueyChong Ong. Of mice and monkeys: A specialized input device for virtual body animation. In *Proceedings of the 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics, I3D '95*, pp. 109–ff., New York, NY, USA, 1995. ACM.
- [4] Ali Mazalek, Sanjay Chandrasekharan, Michael Nitsche, Tim Welsh, Paul Clifton, Andrew Quitmeyer, Firaz Peer, Friedrich Kirschner, and Dilip Athreya. I'm in the game: Embodied puppet interface improves avatar control. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, TEI '11*, pp. 129–136, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [5] Dairoku Sekiguchi, Masahiko Inami, and Susumu Tachi. Robotphone: Rui for interpersonal communication. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '01*, pp. 277–278, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [6] James Keng Soon Teh, Adrian David Cheok, Roshan L. Peiris, Yongsoon Choi, Vuong Thuong, and Sha Lai. Huggy pajama: A mobile parent and child hugging

- communication system. In *Proceedings of the 7th International Conference on Interaction Design and Children*, IDC '08, pp. 250–257, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [7] Nobuhiro Takahashi, Ryuta Okazaki, Hiroyuki Okabe, Hiromi Yoshikawa, Kanako Aou, Shumpei Yamakawa, Maki Yokoyama, and Hiroyuki Kajimoto. Sense-roid: Emotional haptic communication with yourself. In *Proceedings of Virtual Reality International Conference (VRIC 2011)*, 2011.
- [8] Mark Weiser. The computer for the 21st century. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, Vol. 3, No. 3, pp. 3–11, July 1999.
- [9] Kevin Ashton. That ‘internet of things’ thing. *RFiD Journal*, Vol. 22, No. 7, pp. 97–114, 2009.
- [10] Donald A Norman, 野島久雄. 誰のためのデザイン. pp310-312, 新曜社, 1990.
- [11] James J Gibson. The theory of affordances. *Hilldale, USA*, 1977.
- [12] Michael Patrick Johnson, Andrew Wilson, Bruce Blumberg, Christopher Kline, and Aaron Bobick. Sympathetic interfaces: Using a plush toy to direct synthetic characters. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, pp. 152–158, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- [13] Wataru Yoshizaki, Yuta Sugiura, Albert C. Chiou, Sunao Hashimoto, Masahiko Inami, Takeo Igarashi, Yoshiaki Akazawa, Katsuaki Kawachi, Satoshi Kagami, and Masaaki Mochimaru. An actuated physical puppet as an input device for controlling a digital manikin. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 637–646, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [14] Noriyoshi Shimizu, Naoya Koizumi, Maki Sugimoto, Hideaki Nii, Dairoku Sekiguchi, and Masahiko Inami. A teddy-bear-based robotic user interface. *Comput. Entertain.*, Vol. 4, No. 3, July 2006.
- [15] Tomoko Yonezawa, Noriko Suzuki, Shinji Abe, Kenji Mase, and Kiyoshi Kogure. Cross-modal coordination of expressive strength between voice and gesture for

- personified media. In *Proceedings of the 8th International Conference on Multimodal Interfaces*, ICMI '06, pp. 43–50, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [16] Kohei Ogawa, Shuichi Nishio, Kensuke Koda, Koichi Taura, Takashi Minato, Carlos Toshinori Ishii, and Hiroshi Ishiguro. Telenoid: Tele-presence android for communication. In *ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '11, pp. 15:1–15:1, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [17] Nobuhiro Takahashi, Yasushi Matoba, Toshiki Sato, and Hideki Koike. Shiri: Buttocks humanoid that represents emotions with visual and tactual transformation of the muscles. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '12, pp. 792–793, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [18] 谷口祥平, 谷澤孝欣, 梶山聡. 力制御機能を有する個対応の椅子式マッサージ機 (特集 美容・健康技術). パナソニック電工技報, Vol. 58, No. 2, pp. 24–28, 2010.
- [19] Kazuya Hiyamizu, Yoshihisa Fujiwara, Hirokazu Genno, Masashi Yasuda, and Toshiki Koma. Development of human sensory sensor and application to massaging chairs. In *Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2003. Proceedings. 2003 IEEE International Symposium on*, Vol. 1, pp. 140–144 vol.1, July 2003.
- [20] Tatsuya Teramae, Daisuke Kushida, Fumiaki Takemori, Akira Kitamura, Masashi Fujikawa, and Hideshi Kondo. Control strategy for the massage chair based on human skin elasticity. In *SICE, 2007 Annual Conference*, pp. 631–636, Sept 2007.
- [21] Yasuhisa Hasegawa, Takeo Ootsuka, Toshio Fukuda, Fumihito Arai, and Mitsuo Kawaguchi. A relaxation system adapting to user's condition-identification of relationship between massage intensity and heart rate variability. In *Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on*, Vol. 4, pp. 3195–3200 vol.4, 2001.
- [22] Human Touch. Ht-connect. <http://www.ht-connect.com/>.

- [23] 一野瀬亮子, 尾坂忠史, 吉田和司. 遠隔肩もみコミュニケーションシステム. 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol. 2005, No. 4, pp. 89–90, 2005.
- [24] 産業技術総合研究所. Aist 人体寸法・形状データベース. <https://www.dh.aist.go.jp/database/index.php.ja>.
- [25] Shinji Kumagai, Hidetsugu Tainaka, Keiko Miyajima, Naoko Miyano, Junko Kosaka, Takeo Tabuchi, Susumu Akasaka, Hiroshi Kosaka, Jin Yoshida, Kimiko Tomioka, et al. [load on the low back of care workers in nursing homes for the elderly]. *Sangyo eiseigaku zasshi= Journal of occupational health*, Vol. 47, No. 4, pp. 131–138, 2005.
- [26] Airi Tsuji, Tomoko Yonezawa, Hirotake Yamazoe, Shinji Abe, Noriaki Kuwahara, and Kazunari Morimoto. Proposal and evaluation of the toilet timing suggestion method for the elderly. In *Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI* CC), 2012 IEEE 11th International Conference on*, pp. 178–185. IEEE, 2012.
- [27] Hiroaki Kawamoto and Yoshiyuki Sankai. Power assist system hal-3 for gait disorder person. In Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, and Wolfgang Zagler, editors, *Computers Helping People with Special Needs*, Vol. 2398 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 196–203. Springer Berlin Heidelberg, 2002.
- [28] Masaki Onishi, ZhiWei Luo, Tadashi Odashima, Shinya Hirano, Kenji Tahara, and Toshiharu Mukai. Generation of human care behaviors by human-interactive robot ri-man. In *Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on*, pp. 3128–3129. IEEE, 2007.
- [29] Keiko Homma, Yoji Yamada, Osamu Matsumoto, Eiichi Ono, Suwoong Lee, Mikio Horimoto, Takahiro Suzuki, Noriyuki Kanehira, and S Shiozawa. A proposal of a method to reduce burden of excretion care using robot technology. In *Rehabilitation Robotics, 2009. ICORR 2009. IEEE International Conference on*, pp. 621–625. IEEE, 2009.
- [30] 株式会社岡田製作所. 洗浄後のお尻を紙で拭いてくれるロボット便座「楽々きれっと」の岡田製作所. <http://robot-benza.com/>.

- [31] 長野県北信保健福祉事務所. トイレを起点とするノロウイルス汚染拡大の検証. <http://www.pref.nagano.lg.jp/hokuho/syokuhin-anzen/documents/toirenororo.pdf>.
- [32] Buckingham easywipe - bottom wiper. <http://www.buckinghamhealthcare.co.uk/shop/toileting-aids/buckingham-easywipe-bottom-wiper-toilet-aid>.
- [33] Toilet Assistance — Butt Wiper — Bottom Wiper. <http://www.danztools.com/>.
- [34] Shahram Izadi, Andrew Davison, Andrew Fitzgibbon, David Kim, Otmar Hilliges, David Molyneaux, Richard Newcombe, Pushmeet Kohli, Jamie Shotton, Steve Hodges, and Dustin Freeman. KinectFusion. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '11*, p. 559, New York, New York, USA, October 2011. ACM Press.
- [35] Kazuyuki Nagata, Minoru Tsumura, and Toru Omata. Development of a Fingertip-type 6D Force Sensor and Error Evaluation of Contact Point Sensing. *Journal of the Robotics Society of Japan*, Vol. 14, No. 8, pp. 1221–1228, August 1996.
- [36] M Botvinick and J Cohen. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, Vol. 391, No. 6669, p. 756, February 1998.
- [37] S J Blakemore, D M Wolpert, and C D Frith. Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nature neuroscience*, Vol. 1, No. 7, pp. 635–40, November 1998.

関連論文の印刷公表の方法及び時期

学術雑誌論文

1. 全著者名：濱田 健夫, 谷口 祥平, 池島 紗知子, 清水 敬輔, 坂本 大介, 長谷川 晶一, 稲見 昌彦, 五十嵐 健夫
論文題目：Avatouch：マッサージチェア操作のためのぬいぐるみ型インタフェース
印刷公表の方法および時期：日本バーチャルリアリティ学会論文誌 第20巻第3号, pp463-471, 2015
(第3章の内容に関連する)

国際会議 Full Paper (査読付き)

1. 全著者名：Takeo Hamada, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa, Makoto Sato
論文題目：A Teleoperated Bottom Wiper
印刷公表の方法および時期：Proc. of the 6th Augmented Human International Conference, pp145-150, 2015
(第4章の内容に関連する)

国内会議口頭発表 (査読なし)

1. 全著者名：濱田 健夫, 坂本 大介, 稲見 昌彦, 五十嵐 健夫
論文題目：マッサージチェアを直感的に操作するためのインタフェース設計に関する研究
印刷公表の方法および時期：第16回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp386-387, 2011
(第3章の内容に関連する)
2. 全著者名：濱田 健夫, 谷口 祥平, 池島 紗知子, 清水 敬輔, 坂本 大介, 長谷川 晶一, 稲見 昌彦, 五十嵐 健夫
論文題目：マッサージチェアを直感的に操作するためのインタフェース設計に

関する研究 (第2報)

印刷公表の方法および時期：第17回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp602-605, 2012

(第3章の内容に関連する)

著者略歴

濱田 健夫 (はまだ たけお)

1986 年 山梨県に生まれる

2002 年 4 月 東京工業高等専門学校 情報工学科 入学

2007 年 3 月 東京工業高等専門学校 情報工学科 卒業

2007 年 4 月 千葉大学 工学部 都市環境システム学科 第三年次編入学

2009 年 3 月 千葉大学 工学部 都市環境システム学科 卒業

2009 年 4 月 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
知能システム科学専攻 博士前期課程 入学

2011 年 3 月 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
知能システム科学専攻 博士前期課程 修了

2011 年 4 月 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
物理情報システム専攻 博士後期課程 入学

2015 年 12 月 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
物理情報システム専攻 博士後期課程 修了予定

ヒューマンインタフェースの研究に従事。