

Title	Diffused Illumination方式を用いた全周囲タッチ スクリーンディスプレイの研究
Author(s)	錦織, さくら
Citation	
Issue Date	2023-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/18268
Rights	
Description	Supervisor: 佐藤 俊樹, 先端科学技術研究科, 修士(知識科学)

修士論文

Diffused Illumination 方式を用いた全周囲タッチスクリーンディスプレイの研究

錦織 さくら

主指導教員 佐藤 俊樹

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科
(知識科学)

令和5年3月

Abstract

In this paper, we focus on the hugging motion, which is one of the most common touching motions between people in their daily lives.

The hugging motion involves touching a wide area of the human body using the palms of the hands, arms, and upper body in a close and enveloping manner. In addition, hugging is not just about hugging the other person tightly; there are indeed a variety of hugging motions, depending on the situation in which the hug is performed and the degree of intimacy between the hugger and the other person. For example, when greeting someone, the touching may be limited to a light touch rather than a strong hug. On the other hand, a strong hug may be used for an emotional reunion. If the intimacy with the other person is not high, direct touching may be avoided, and only hugging motions may be used to avoid touching the other person as much as possible.

It is difficult for existing flat touch detection methods and pressure sensors to detect such movements that involve a wide range of body touching a three-dimensional object or a mixture of touching and non-touching movements.

Therefore, in this paper, we developed an Omnidirectional Touch Screen Display with a 3D display having a life-size, upper-body-shaped for detecting this hugging motion, using an all-surrounding projector camera system. We also developed a touch detection method that extends the Diffused Illumination method to all-surroundings as a touch detection method capable of detecting hugging motions with non-contact and contact on this all-surroundings display. The system can capture hugging motions and processing the images in real time around a human body-sized upper body display. Then, from the captured images, the algorithm proposed by this research for detecting hugging motion using the size of the contact area and the luminance average in the area can detect various parameters necessary for detecting hugging motion, such as touching or not touching in the approaching state, the strength of the hug, and the time the touching has been sustained.

In this study, we built a prototype of these systems, and further conducted experiments to verify the intensity of hugging, including hugging in a state of close approaching, based on the size of the hugging touching area and the luminance average in the area using the prototype system.

From the results of these experiments, it was clarified that the change in touching due to hugging can be inferred from two detected values: "the size of the touching area" and "the luminance average in the area. We also visualized the changes in the detected values on a time axis by drawing a graph of hugging touched by the implemented graph visualization software, and discussed them based on the subject's attitudes and interview responses. We have summarized useful knowledge for the future development of the application.

Based on these results, we proposed and implemented an application that visualizes touching by hugging and an application that presents an objective experience of head stroking.

In the application chapter, as one of the application techniques of the proposed system, we also presented a proposed implementation that can detect the "head stroking experience" using a Head-Shaped Omnidirectional Touch Screen Display. This is an example of application of the proposed method to other display shapes, where the user can

experience feedback by detecting the input of the position of head stroking and projecting the facial expression on the display by rear projection.

Finally, we discuss the technical limitations of our system using the Diffused Illumination method in detecting touching on an Omnidirectional Touch Screen Display, and as a future work, we present a method to improve the problem of luminance increase in detecting touching on a Omnidirectional Touch Screen Display.

Contents

1	序章	1
1.1	本研究の背景	1
1.2	本研究の概要	2
1.3	本論文の構成	2
2	本実験の提案と目的	4
2.1	「ハグ」による接触動作の分析と本研究の目的	4
2.1.1	日常生活における人と人が触れ合う動作とその役割	4
2.1.2	ハグ動作を構成する要素	6
2.1.3	本論文で検出対象とするハグ動作	7
2.1.4	ハグ動作の検出における技術的課題	8
2.1.5	提案システムの実現に必要とされる仕様	9
2.2	本研究の提案	9
2.2.1	Diffused Illumination 手法の可能性	9
2.2.2	DI 方式を用いたハグ動作の検出手法の提案	10
2.3	本研究の目的と意義	11
2.3.1	本研究の目的	11
2.3.2	本研究の意義および重要性	12
3	関連研究	13
3.1	ディスプレイのスクリーン形状による分類	13
3.1.1	球体ディスプレイ	13
3.1.2	身体形状を持つディスプレイ	15
3.1.3	顔型ディスプレイ	16
3.2	ディスプレイの入出力検出手法による分類	18
3.2.1	タッチスクリーンの検出手法	18
3.2.2	ハグによる接触動作に関する入出力技術	19
3.2.3	撫でる接触動作に関する入出力技術	21
4	システム構成	23
4.1	システムの概要	23
4.2	ハードウェア構成	24
4.2.1	ディスプレイのディフューザー面の加工	25
4.2.2	ディスプレイの3Dモデル作成	30
4.2.3	赤外線LEDの配置	31
4.2.4	プロジェクタの固定	32
4.2.5	プロジェクタのピントを合わせる作業	32

4.2.6	魚眼レンズの固定	33
4.2.7	ハーフミラーの固定	33
4.3	ソフトウェア構成	34
4.3.1	立体ディスプレイへ魚眼レンズを用いた投影・入力検出の実装	34
4.3.2	動画分析用ソフトウェアの実装	35
4.3.3	動画解析用ソフトウェア	36
5	アプリケーション	41
5.1	上半身型ディスプレイのハグ体験アプリケーション	41
5.1.1	上半身型ディスプレイのアプリケーション案	42
5.2	頭部型ディスプレイの撫でる体験アプリケーション	42
5.2.1	頭部への接触動作と頭を撫でる行為を構成する要素	42
5.2.2	「頭を撫でる体験」のアプリケーションの実装	43
5.2.3	「頭を撫でる体験」のアプリケーションの結果と考察	45
6	予備実験	46
6.1	予備実験1	46
6.1.1	予備実験1の実験環境	46
6.1.2	予備実験1の被験者	47
6.1.3	予備実験1の流れ	48
6.1.4	予備実験1の結果と考察	48
6.2	予備実験2	53
6.2.1	予備実験2の実験環境	53
6.2.2	予備実験2の被験者	55
6.2.3	予備実験2の流れ	55
6.2.4	予備実験2の結果と考察	56
6.3	予備実験のまとめ	64
7	本実験	66
7.1	本実験の実験環境	66
7.1.1	ハグのタイミングを被験者に指示する動画の作成	66
7.1.2	着用した衣服について	67
7.2	本実験の被験者	67
7.3	本実験の流れ	68
7.3.1	実験後のインタビューの内容	68
7.4	本実験の結果	68
7.4.1	姿勢記録用カメラと赤外線カメラの記録結果	69
7.4.2	解析用ソフトウェアによるグラフの出力結果	72
7.5	本実験の考察	87
7.5.1	動画分析用ソフトウェアとグラフ描画用ソフトウェアを用いたハグの接触を可視化することの有用性と考察	87
7.5.2	接触領域の最大値・最小値と被験者に関する考察	90
7.5.3	輝度平均の最大値・最小値と被験者に関する考察	91
7.5.4	接触領域と輝度平均の最大値・最小値と被験者のハグの姿勢に関する考察	93
7.5.5	閾値決定の方法に関する結果と考察	93

7.5.6	インタビュー回答に基づいた抱きしめやすい・抱きしめにくい姿勢 に関する考察	94
8	結論	95
9	今後の展望	97
9.1	立体ディスプレイへの広範囲接触検出における輝度上昇への展望	98
	謝辞	101
	参考文献	101

List of Figures

2.1	コミュニケーションロボット	5
2.2	社会的な関係性と接触の許容範囲を示したマップ (TAMs)	6
2.3	十字架ハグ (Criss Cross Hug) と首腰ハグ (Neck Waist Hug)	7
2.4	DI手法によるディスプレイへの接触と赤外線カメラによる取得画像	10
3.1	様々なタッチパネルと入力検出方式	13
3.2	Sphere と複数人ユーザで使用可能な球体ディスプレイ	14
3.3	Qoom	14
3.4	Physical-Visual Patient Bed(PVPB)	15
3.5	Anatomia	15
3.6	赤ちゃん型ロボット YOTARO	16
3.7	MaskBot	17
3.8	LiveMask	17
3.9	Towards retro-projected robot faces	17
3.10	Tellipsoid	18
3.11	ChameleonMask	18
3.12	FTIR 方式の検出原理	19
3.13	Sence-Roid	20
3.14	robotSkin	20
3.15	huggyPajama	21
3.16	膨張式ベストの製品例	21
4.1	提案システムの構成	23
4.2	オムニプロカム機構のシステム概要図	24
4.3	頭部型ディスプレイのハードウェア構成	25
4.4	上半身型ディスプレイのハードウェア構成	25
4.5	頭部型ディスプレイのディフューザ面制作と加工の過程	26
4.6	実験に使用した塗料	27
4.7	アクリル板に塗料を塗布する実験の結果	27
4.8	上半身型ディスプレイの加工	28
4.9	上半身型ディスプレイの内外側塗装の比較	28
4.10	透過率計	29
4.11	頭部型ディスプレイへの塗装	29
4.12	頭部型ディスプレイの 3D スキャン作業	30
4.13	頭部型ディスプレイの 3D モデル (Fusion360)	30
4.14	上半身型ディスプレイの 3D モデル (Fusion360)	31
4.15	赤外線 LED を基盤に配置した様子	31
4.16	頭部型ディスプレイの赤外線 LED ユニット	32

4.17	上半身型ディスプレイの赤外線 LED ユニット	32
4.18	プロジェクタ固定台	32
4.19	魚眼レンズのピントを合わせる作業	33
4.20	魚眼レンズの固定台	33
4.21	ハーフミラーの原理	34
4.22	チェスボードキャリブレーション	35
4.23	Unity 内のモデルをディスプレイに投影した結果	35
4.24	グラフ描画用ソフトウェアのウィンドウ	40
5.1	ハグの可視化体験アプリケーション	41
5.2	頭を撫でる動作	43
5.3	頭部型ディスプレイのハードウェア構成	43
5.4	赤外線カメラで取得した手のひらの様子	44
5.5	手のひらの接触検出の様子	44
5.6	頭を撫でる体験アプリケーションの体験時の出力フィードバック	45
6.1	予備実験 1(S1) の実験環境	47
6.2	被験者 S1-001 の姿勢記録カメラの映像	49
6.3	被験者 S1-002 の姿勢記録カメラの映像	50
6.4	被験者 S1-001 のグラフ描画結果	51
6.5	被験者 S1-002 のグラフ描画結果	52
6.6	予備実験 2 の実験環境	54
6.7	EaseUS 社の RecExperts	55
6.8	被験者 s2-001,002,003 の実験時の姿勢カメラの結果	56
6.9	被験者 S2-001 のグラフ描画結果	57
6.10	被験者 S2-002 のグラフ描画結果	58
6.11	被験者 S2-003 のグラフ描画結果	59
6.12	元動画とブロックノイズが現れている解析結果	61
7.1	実験の指示をする動画	67
7.2	実験に用いた衣服	67
7.3	被験者 M-001,002,003 の姿勢記録用カメラと赤外線カメラの映像	69
7.4	被験者 M-004,005,006 の実験時の姿勢カメラの結果	69
7.5	被験者 M-007,008,009 の実験時の姿勢カメラの結果	70
7.6	被験者 M-010,011,012 の実験時の姿勢カメラの結果	70
7.7	被験者 M-013 の実験時の姿勢カメラの結果	71
7.8	被験者 M-001 のグラフ描画結果	74
7.9	被験者 M-002 のグラフ描画結果	75
7.10	被験者 M-003 のグラフ描画結果	76
7.11	被験者 M-004 のグラフ描画結果	77
7.12	被験者 M-005 のグラフ描画結果	78
7.13	被験者 M-006 のグラフ描画結果	79
7.14	被験者 M-007 のグラフ描画結果	80
7.15	被験者 M-008 のグラフ描画結果	81
7.16	被験者 M-009 のグラフ描画結果	82
7.17	被験者 M-010 のグラフ描画結果	83
7.18	被験者 M-011 のグラフ描画結果	84

7.19	被験者 M-012 のグラフ描画結果	85
7.20	被験者 M-013 のグラフ描画結果	86
7.21	被験者 M-001 の姿勢 1 におけるハグの接触の変化	89
7.22	赤外線 RED の照射の偏り	92
7.23	赤外光が照射されず接触検出が難しい領域	93
9.1	方法 2 閾値画像の取得	99
9.2	方法 3 AdaptiveThreshold を用いた接触検出の実験	99
9.3	方法 3 AdaptiveThreshold を用いた接触検出の実験結果	100
9.4	接触領域とそうでない領域で輝度上昇が起きた結果	100

List of Tables

4.1	つや消し塗料の種類	26
4.2	塗装面の透過率計の結果	29
6.1	SpinView のカメラ設定と録画設定	47
6.2	予備実験 1 の被験者	48
6.3	予備実験 1 の最大の領域合計と輝度平均	53
6.4	予備実験 2 の被験者	55
6.5	予備実験 2 の最大の領域合計と輝度平均	60
6.6	被験者 S1-001 動画データのプロパティ	62
6.7	被験者 S1-002 動画データのプロパティ	62
6.8	被験者 S2-001 動画データのプロパティ	62
6.9	被験者 S2-002 動画データのプロパティ	62
6.10	被験者 S2-003 動画データのプロパティ	62
7.1	SpinView のカメラ設定と録画設定	66
7.2	本実験の被験者	68
7.3	固定閾値の算出のための接近領域を検出できる輝度値と平均	72
7.4	本実験の最大の領域の大きさ	73
7.5	本実験における被験者の姿勢別の最大・最小の接触領域の大きさ	90
7.6	本実験における被験者の姿勢別の最大・最小の輝度平均の大きさ	91
7.7	抱きしめやすい姿勢と抱きしめにくい姿勢の回答	94

Chapter 1

序章

1.1 本研究の背景

人体内部には骨を中心として、その周囲に内臓や筋肉などが存在している。これらは皮膚で覆われており、我々が体内の様子を直接視認することは難しい。しかし、内臓の病変が原因で内臓を覆っている皮膚に変化が現れることもある。このとき、医師は患者の皮膚を直接見たり表面を触ったりすることで、体内の状態を推測することが可能である。また我々は、皮膚の変化から他人の感情を読み取ることがある程度可能であり、この場合も視覚的にわかる変化だけではなく、皮膚を通した筋肉の硬直や震え、体温等の情報を触覚的に判断することで読み取っている。このように、我々の体を覆っている皮膚は、対人コミュニケーションにおいて視触覚的な情報をやり取りするための視触覚ディスプレイ/インタフェースであると考えられることもできる。

またこれまで、人の皮膚のように柔らかい材質を表面に持つディスプレイを実現する研究も行われてきた。これらは、従来のディスプレイのように平面的で硬い素材ではなく、視覚的な情報提示に加え、接触時に弾性があり柔らかい触覚フィードバックを提示可能にするものや、温かいといった温度など、触覚的な情報を提示可能にするものもあった。またそれらの柔軟なディスプレイの入力検出技術として、接触時の接触位置のみならず圧力分布等を検出可能とする技術もある。しかし、我々が日常的に対人でインタラクションとして行っている接触を伴う動作は、このような従来のタッチディスプレイ技術をそのまま用いて検出することは困難である。

対人で行っている接触の例として、視触診が挙げられる。視触診とは、医師が患者の内臓の疾患の原因を探すために、皮膚に病変がないかを見たり触ったりする、診察方法である。より正確な診断を行うためには、上半身の前面部分である腹部や胸部のみならず、背面部を含めた全身の皮膚を視触診の対象とすることが望ましいとされているため [1]、皮膚の病状変化の再現は人体の全周囲で行う必要がある。このような視触診動作を可能にするディスプレイは、前述の例と同様、人体型ディスプレイの全身に対して情報提示および接触の検出が可能である必要がある。2つ目の例として、人を抱きしめる動作(ハグ)は人の上半身を使った広範囲の接触を伴うコミュニケーション動作が挙げられる。このハグ動作を入力として検出するためには、指先による接触のみならず、上半身の胸・腕、また手のひらなどの広範囲の接触が可能な等身大の人型ディスプレイと、そのディスプレイの全周囲に対する接触を検出可能な広範囲に及ぶタッチセンシング技術が必要である。さらに、このハグ動作を行うユーザに対して視覚的・触覚的なフィードバックを行うためには、ハグ動作時における頭部の位置変化などに合わせた人体の背面部を含めた全身への視触覚情報の提示機能が出力として必要である。

人体の形状を模したディスプレイを用いた研究は、Salam らの Physical-Virtual Patient Bed [2] がある。これは、顔と体の形に真空形成した半透明のプラスチックをディスプレイとして用い、接触による入力に対して、リアプロジェクションによる出力で傷病者の疾患の様子をディスプレイ表面に提示するシステムである。しかし、このシステムに用いられている人体形状を模したディスプレイは、体の前面部か背面部のどちらか一方向のみの表現であるため、切れ目やつなぎ目が存在し、非連続的である。また入力方法については、平面ディスプレイのような指先のタッチによる操作のみで、手のひらや腕、さらには体全体を使った接触動作を入力できる方法として実装されていなかった。高橋らの SenseRoid [3] は、等身大のトルソー型センサ人形をハグする圧力を検出し、その際のハグの圧迫を抱きしめたユーザ自身にフィードバック可能なデバイスである。ハグ動作を検出するためには、トルソー型デバイスの背面に複数の圧力センサを配置しているが、背面部のセンサのみではハグ動作における人体全面への接触や、側面への腕の接触を検出することは困難である。

そこで本研究では、ハグのような広範囲の接触をともなう「人と人のコミュニケーション動作」を対話手法として用いることが可能な新しい人型の全周囲ディスプレイを提案する。特に、人と人との直接的な広い接触領域を伴う動作を全周囲で検出可能であり、それらの接触動作に応じたフィードバックを視覚的な変化を提示可能なディスプレイを実現する。これを実現することで、ハグなどの人と人とのコミュニケーションに用いられる直接的な接触動作を用いた様々なインタラクションを実現可能にする新しいインタラクティブディスプレイのプラットフォームを実現することができる。

1.2 本研究の概要

本論文では上記のように、従来のディスプレイでは検出が困難であった人体に対する広範囲の接触動作に着目し、これを人体の全周囲で検出可能にする新しい全周囲インタラクティブディスプレイの提案を行う。本研究では、特に上半身を使った「胸部に対するハグの動作」に注目し、この動作を人体型ディスプレイの全周囲で検出し、その接触の位置、大きさ、形状、強さなどをリアルタイムに計測し、同時に人体型ディスプレイ上に視覚的なフィードバック情報を提示可能な新しい全周囲ディスプレイシステムのプラットフォームの試作開発を行う。また開発した試作機を用い、ハグ動作の計測アルゴリズムとして「接触領域の変化」と「接触領域の輝度平均の変化」に着目した2種類の検出手法の提案および実装を行い、これらを用いたハグの強さの検出実験を行うことでそれらの有効性について検証を行う。さらに、本研究ではこのシステムを応用した頭部型ディスプレイを用いたアプリケーションの提案を行い、それらの試作開発も行う。

1.3 本論文の構成

本論文は以下の章により構成される。

第1章ではまず、日常的に我々が行っている接触動作について言及する。

第2章ではその接触動作を入力としたディスプレイに必要な機能を提案し、実現したいディスプレイと本研究の目的を述べる..

第 3 章では既存の研究についてディスプレイの形状，ディスプレイの入出力技術ごとに示し，接触動作を入出力に用いているデバイスについて述べる。

第 4 章ではシステムの構成として，ハードウェアの実装とソフトウェアの実装や画像処理に用いたアルゴリズムについて述べる。

第 5 章では本システムを用いたアプリケーションについて述べる。

第 6 章では第 5 章で制作したシステムを用いた予備実験 1 について述べる。予備実験から得られた結果と本実験への展望について述べる。

第 7 章では本実験の構成と改良したシステムの詳細について言及する。また本実験の結果を評価し，考察を述べる。

第 8 章では前章からわかったことをまとめる。

第 9 章では，第 5 章から第 7 章の実験結果と考察から，今後の展望を述べる。

Chapter 2

本実験の提案と目的

本章では、まず本研究が着目する「ハグ動作」について分析を行い、本研究で検出対象とするハグ動作の定義を明確にする。次に、この動作をインタラクティブディスプレイの入力動作として検出するための技術的課題を分析し、本研究が提案する新しいディスプレイシステムの要件を述べる。さらに、本研究が明らかにしたい、いくつかの仮説を述べ、最後に本研究の目的を述べる。

2.1 「ハグ」による接触動作の分析と本研究の目的

2.1.1 日常生活における人と人が触れ合う動作とその役割

我々は日常生活において「お互いの身体に触れ合う動作」を行っている。例えば、初対面の相手と挨拶するときには手を握り合ったり、自分の方へ注意を向けるために他者の肩を叩いたりといった動作が挙げられる。我々は日ごろからこのような触れる動作を意識的にも無意識的にも行っており、また、他者同士が行っている場面を目にする機会もある。

日常的なコミュニケーションにおける触れる動作(接触動作)は重要な役割を担っている [4] [5] [6]。我々が日常的に行う接触動作の例では、親子や恋人間などの親密な間柄に注目すると、褒める、慰めるといったシチュエーションにおいて、言葉に加え、手のひらで相手の頭を撫でたり、腕と上半身全体を使って抱きしめたりといったような動作が挙げられる。これらの人と人とのコミュニケーションにおける接触は、「触覚」によりやり取りされており、言葉で明確に表すことができない感情の伝達を行うと言われている [7]。この触覚を媒介している身体の器官は、身体の表面を覆っている「皮膚」である。我々は、皮膚を通して筋肉の硬直や震え、体温などの情報を触覚的に受け取ることで、他人の感情をある程度読み取っている。これら触覚への刺激の種類は圧力、速度、反復などのいくつかの要素によって特徴づけられ [5] [6] [8]、触れる相手や触れるシチュエーションなどの複数の因子も伝達する感情に影響している。

また、療養病棟・介護老人施設では、介護士が要介助者の体位交換や移動介助といった生活援助を行う場面でも身体への接触が多くみられる。例えば、移乗介助動作では要介助者をベットから車椅子に移すとき、介護士は上半身と腕で要介助者の上半身を抱きかかえるようにして支え、移動させる [9]。育児においても両親は我が子を腕全体を使って抱きかかえたり、背中におんぶしたりといった行動も日常生活における接触行動に含まれると考える。

さらに、医療現場では、皮膚に病変がないかを見たり触ったりすることで、内臓に疾患が起きているかを診察する「視触診」が行われている。患者の病状変化についてより正

確な診断を行うために、医師は視覚と触覚の両方を使い、腹部や胸部のみならず、背中を含めた全身の皮膚を視触診の対象としている [1].

また、触れることによる癒し効果に着目したコミュニケーションロボットという商品が存在する。代表的なコミュニケーションロボットにはGROOVE X社のLOVOT(らぼっと) [10], Vanguard Industries社のMOFLIN(モフリン) [11], Panasonic社のNICOBO(ニコボ) [12], また、Palsbots社のNAMOPH(ネモフ) [13] などがある。これらは癒し系のロボットと呼ばれ、手のひらで持てるサイズの楕円に近い球体であったり、実在する動物の手や足を無くし、頭部のみ残した形にデフォルメされた形状である 2.1.



Figure 2.1: コミュニケーションロボット

前述したコミュニケーションロボットの形状は、顔を含んだ頭部を残した製品デザインを用いている場合がほとんどである。この理由として、触れた相手からのフィードバックとして表情や声などを伝えて意思疎通を図るために顔を含めた頭部が重要であると捉えられているためだと考える。加えて、これらのコミュニケーションロボットに対してユーザは、かわいいなど思ったり、癒されたいなどという感情に準じて、コミュニケーションロボットへ触れることを行う。このようなディスプレイシステムは、実は人と人のコミュニケーションを再現しており、動作によって伝わる感情が異なることを扱っているデバイスであるともいえるのではないだろうか。接触動作は、接触者同士の距離によって4段階に分別できると言われている。この中でも、相手との距離が0.46mであり、相手の息遣いやぬくもりを感じられる距離は「密接距離」と定義されている [14]。また、自分と社会的に関わりがある相手ごとに身体的な触れ合いが許容できる範囲を比較し、Touch Area Maps(TAM)としてまとめた実験では、恋人などのパートナーや父、母、友人、いとななどのそれぞれ異なった親密度を持つ相手との接触には、接触を許容できる人体の範囲に関して傾向がみられたことが示されている(図2.2)。さらに、親密度が高い相手ではそのほかの相手に比べて、特に頭と胴体への接触が許容されていると報告されている [15]。

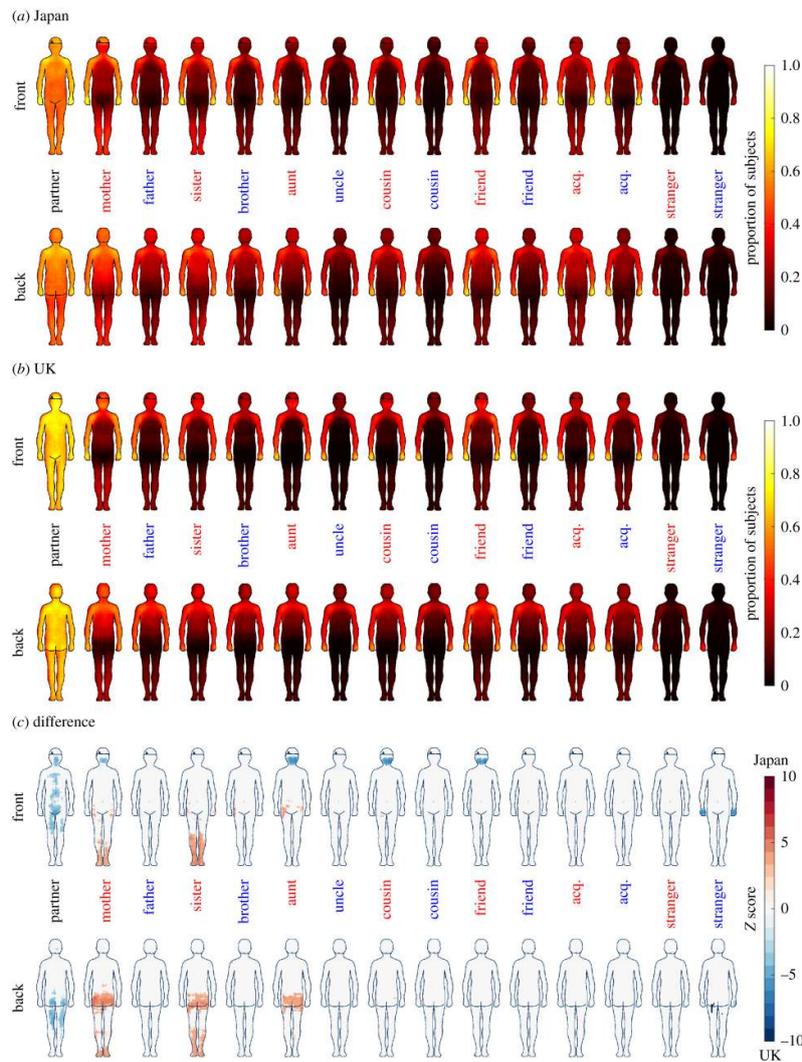


Figure 2.2: 社会的な関係性と接触の許容範囲を示したマップ (TAMs)

これらのことから、本論文では、日常的に起こる身体への接触のうち頭と胴体への接触動作に注目する。

2.1.2 ハグ動作を構成する要素

親密度が高い相手と密接距離で起こる接触動作の1つとして、抱擁(ハグ)が挙げられる。前節で挙げたようにコミュニケーションや介護の場面で目にする機会があり、特徴として相手を包み込むような接触動作である。ハグは初対面の他者同士では挨拶の意味を持って行われることや、スポーツではチームメンバー同士で互いの健闘を称えるときに行われる。また、家族や親子間、恋人同士の愛情表現としても用いられ、信頼関係を育む役割があると言われている [16]。このハグという接触動作において重要な点は、触れているいなく関わらず、包み込む感覚・包み込まれている感覚がハグをする両者に存在するということであると考え。つまり、ハグは互いの肌と肌が密着した状態のみならず、ハグしようと接近しているときにも両者にこの感覚があればハグという接触動作は始まっていると考える。そして、それを目にした第三者もハグだと認識しているだろう。こういった理由から、本論文では、ハグという接触動作は完全に接触している場合のみではなく、接触す

るために接近している状態もハグという接触動作に含みことが重要であると考える。

また、ハグには医学的なストレス緩和の効果があると示されている [17] [18]。これはハグを受けることで、我々の体内のオキシトシンの濃度を高め、オキシトシン神経が刺激されることによって、神経伝達物質のひとつであるセロトニンが分泌される。それによってホッと癒されるような幸福感を得られるということが知られている [17]。また、ハグによる深部圧迫刺激を上半身全体に与えることで、ADHD の子供を安心させる効果も言われており、製品の開発もこれまでに行われている [19]。そして、これらの良い効果をハグ体験として得られる製品として、Ogawa の柔らかい表面素材を持った小型の遠隔操作型アンドロイドである Telenoid [20] や、Jullia らの空気圧でハグによる圧力を提示可能な着用型ベスト [21] などが開発されている。

2.1.3 本論文で検出対象とするハグ動作

ハグは自身の腕や上半身を大きく相手に接触させる接触動作である。我々がハグを知覚するとき、受ける印象に影響を及ぼす要素として、「相手の腕の配置、継続時間、圧力、そして身体の中心部である体幹が触れるかどうか」などがあると考えられている [22]。人々が一般的に行う代表的なハグを調査した Anna らの研究では、代表的なハグとして首腰ハグ (Neck Waist Hug) と十字架ハグ (Criss Cross Hug) の2種類が報告されている [23](図 2.3)。



Figure 2.3: 十字架ハグ (Criss Cross Hug) と首腰ハグ (Neck Waist Hug)

この報告に倣い、本論文で扱うハグは正面からのハグに限定し、また姿勢は [23] らの報告からユーザがハグをするときの腕の回し方などに着目し、以下の4種類の姿勢によるハグを検出対象とする。

首腰ハグ(右)

右腕を首に回し、左腕を腰に回すようにハグをする姿勢とする。

首腰ハグ(左)

左腕を首に回し、右腕を腰に回すようにハグをする姿勢とする。

十字架ハグ(上)

両腕を肩に回すようにハグをする姿勢とする。

十字架ハグ(下)

両腕を腰に回すようにハグをする姿勢とする。

2.1.4 ハグ動作の検出における技術的課題

人間によるハグは個人差があり、人によって異なるハグの仕方をとっているのは明確である。また、ハグをする相手の年齢や性別といった要因もハグの仕方に影響すると考える。特に相手との親密さは、ハグの仕方に大きく影響すると考えられており [24]、ハグする相手との接触領域(接触領域の大きさ、接触位置)は要因の1つとして挙げられる。これらのようなハグの接触領域を調べる手法として、TAKAHASHI らの Sense-Roid では圧力センサを分布させたジャケットにより、ハグによる接触領域とその圧力を検知する手法を用いている [3]。また Gordon らは、ロボットに温度、圧力、加速度、近接性をセンシング可能なセルを表面に配置して接触検出する技術を行った [25]。しかし、これらのセンサを配置した入力検出方法は、センサの数がそのまま接触領域の分解能になるため、要求する接触領域の情報が詳細になるほど、実装するセンサを増やす必要がある。さらに、センサを配置していない領域は接触の検出自体が不可能であるという問題もあった。一方で、複数のカメラをハグ用の筐体を囲むように配置し、その様子を撮影する手法は、ハグの様子を俯瞰的に確認することはできる。しかし、ユーザが筐体に重なってしまうことで、周辺からの観察だと接触しているように見えているだけで実際に接触しているか判断することができない状況が想定される。さらに、装置として大掛かりになってしまうのも難点である。

以上から、我々が考える胴体へのハグ、ならびに頭部への撫でる動作を解析するためのディスプレイシステムは以下の要点を満たすべきだと考える。

1. 対人と同様の自然な接触を誘発するディスプレイ形状
2. ハグの接触を入力として、接触領域が視覚的に表示する出力機能(フィードバック)がある。
3. 接触領域の分解能や検知領域がセンサの量に左右されない。
4. ディスプレイと周辺機器のみで接触検知を行うことができる。

まず、ディスプレイ形状は人の自然な接触を引き出すために、等身大で人型の凹凸形状をもつディスプレイが必要だと考える。また、身体の前面部から背面部を含む全周囲への入力を検出可能である必要がある。3つ目に必要な要素として、手のひらや腕を使った面による広範囲の接触を連続的に検出できる要素が挙げられる。最後に、ユーザが接触を客観視できるように全周囲の接触検出と同様の範囲への全周囲投影ができる必要があると考える。これらの要素を満たすディスプレイを次章に示す。

2.1.5 提案システムの実現に必要なとされる仕様

前章より、対人の接触動作を検出する等身大ディスプレイに共通する必要な要素を下記に挙げる。

1. 自然な接触を誘発できる等身大の凹凸形状
2. 身体的全周囲に対する入力検出が可能
3. 広範囲で連続的な入力検出が可能
4. 筐体表面に接近する動作を含めた接触動作の入力検出が可能
5. 入力検出可能範囲と同様範囲への投影が可能

提案システムでは、対人で起こるハグ・頭を撫でる接触動作をユーザに自然に行わせるためには、人の形状に近い立体的なディスプレイが必要であろう。さらに頭部と胴体の両方に対して、対立する相手から見て、表・裏側のみといった片一方の面で起こる動作ではなく、ハグや撫でるといった接触動作は身体の前側から背面側の部位に及ぶ接触行為である。そのため、身体の前側から背面側までの「全周囲」の接触を検出できる必要があるだろう。さらに接触には、人の指先や手のひらといった局所的な接触のみならず、腕や胸部といった面による接触も入力対象であるため、広範囲に及ぶ接触も入力として検出可能である必要がある。また、ハグという接触動作は 2.1.2 節に示したように、腕や上半身が肌の表面に触れる前も含めた接触動作であり、それら接近している領域に対しても入力検出が可能な検出手法を用いたシステムの構成が必要であると考えられる。

2.2 本研究の提案

これらを可能にするために、本研究ではマルチタッチディスプレイの検出手法として用いられてきた Diffused Illumination 方式を全周囲に拡張した検出手法を提案する。

2.2.1 Diffused Illumination 手法の可能性

Diffused Illumination(DI) は、赤外線光源と赤外線カメラを用いたタッチ検出およびホバージェスチャ検出手法である。この手法はタッチディスプレイのディスプレイ背面から赤外光をディスプレイ全体に照射し、ディスプレイ表面で拡散された赤外線をカメラで撮影する手法である。このとき、ディスプレイの表面付近にユーザの手や指などがあった場合、ディスプレイから漏れ出た拡散光によって照らされて周囲より明るくなるため、カメラによって容易にその位置・形状・接近の距離などを計測可能になる(図 2.4)。Diffused Illumination 手法の特徴として、接近・接触した部位の形状を検出できることに加え、適切な輝度閾値を設定することで非平面的なディスプレイに対する入力検出にも使用可能である。DI 手法をタッチディスプレイとして用いたディスプレイは次のようなものがある。

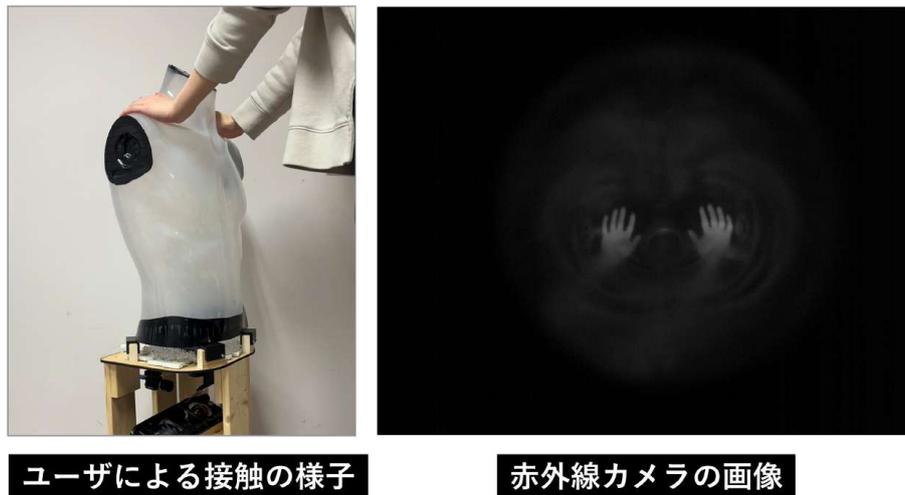


Figure 2.4: DI手法によるディスプレイへの接触と赤外線カメラによる取得画像

2.2.2 DI方式を用いたハグ動作の検出手法の提案

胴体への接触検出から導き出される対人関係への仮説を次に述べる。

1. 手の配置
2. 接触の継続時間
3. 体位
4. 圧力
5. 体幹

頭部と胴体への接触を画像で撮れるようになったとき、「手の位置」について入力画像から手のひらの輪郭を割り出せ、手の位置の推定が可能になると仮定できる。これにより、手の位置から触れる相手との関係性を測る事が可能になると考える。この推定には、ある程度大まかに区切られた筐体の領域に対して、どの部分に多く手のひらが触れているかをみることで、可能になるのではないかと考える。次に接触を継続する時間についての仮説として、接触時間と接触領域の大きさを合わせて変化をみることで、触れ方の加速度変化をみる事が可能になると考える。接触の変化は Matthew ら [7] が示すように、長い時間の接触はポジティブな印象を与え、短い接触はネガティブな印象を与えると相関づけられているため [8]、これらを可視化することで受け手の印象に言及できるだろう。3つ目として、姿勢が挙げられる。これは手のひらなどと同様に腕の位置、正面からの撫でる動作なのか、後ろからの撫でやハグなのか入力画像から判断できればある程度、相手がどのような体位で接触しているかを推定できると考えている。また手のひらと腕、胸、また体幹(胸より下の腹部)の位置から被験者の身長を大まかに推定できることが可能であると考え。最後に圧力だが、これは近づいている領域を含めた接触領域の合計と領域内の輝度平均を時間軸で測定することで頭を撫でたり、ハグしたりといった接触の強弱をみることでできるのではと考える。

これらの仮説のうち、接触動作において特に触るときの強弱の測定が重要だと捉えられている [22] [26]。しかし、実際に人が感じている圧力を連続的に身体の凹凸表面で可視化できるディスプレイは未だ実現されていない。これを実現することで、人々の接触を伴うコミュニケーションを可視化でき、オンラインにおけるコミュニケーションや言葉で相

手に感情を伝達できない受け手側の印象を可視化することで、人々の生活を豊かにできるのではないだろうかと考える。本実験では、両腕で正面から相手を包み込むような動作をハグとして、検出対象にする。

2.3 本研究の目的と意義

最後に本章では、本研究で実現を目指す研究目的を以下にまとめる。

2.3.1 本研究の目的

本研究の目的をまとめると、以下の通りである。

1. 広い接触範囲を伴う自然な身体的コミュニケーション動作を入力動作として用いることが可能な等身大人型全周囲タッチディスプレイシステムの提案
2. 全周囲プロジェクタ・カメラシステムを用いた全周囲ディスプレイのハードウェアの試作開発
3. Diffused Illumination(DI) 手法を用いた 2 種類のハグ動作の検出アルゴリズムの提案と実装
4. 試作システム上での 2 種類のハグ動作の検出手法の精度検証と考察
5. いくつかの具体的なアプリケーションの提案と実装

まず本研究では、「ハグ動作」のように従来研究では検出範囲が限定的であった広い接触範囲をともなう身体的コミュニケーション動作に着目し、この動作を全周囲で検出できる等身大人型全周囲ディスプレイを提案する。

上半身に対して包み込むような動作を全周囲でかつ連続的にリアルタイムで検出できる入力機能と、ハグしていても人が視覚フィードバックを常に得られる出力機能を備えた全周囲胴体型タッチディスプレイを提案する。これを実現することで、ハグで実際に接触した領域だけを視覚的に表示することができ、ハグの接触領域について調査を行うことができるようになる。そして、このタッチディスプレイを用いたハグの接触領域と親密さの関係について調査し、アプリケーションの提案も行う。

それぞれの部位への接触動作を検出する方法には、次章に詳細を明記する Diffuse Illumination(DI) 方式を用いて全周囲立体形状ディスプレイの試作開発を行う。これにより、立体的な等身大人型立体形状のディスプレイを持った筐体の制作と、オムニプロカム機構を用いた全周囲投影・接触検出が可能にできると考える。そしてこの筐体のカメラ映像を用いて取得した画像から、適切に接触判定を可能とする全周囲立体ディスプレイのためのアルゴリズムを開発する。接触時の被験者の服の色や素材、筐体との身長差などを考慮に入れる必要があると考える。また、本研究で用いる DI 方式の特徴を生かし、ハグにより筐体に近づいている状態(ホバー)も含む接触領域の検出と近づいている領域内の輝度平均の検出を可能とした筐体の実装と実験を行う。これらより、接触領域内の輝度平均の上昇からハグや頭を撫でる接触の強弱について検証することを目的とする。さらに、頭部・上半身型の等身大人型ディスプレイへの接触を入力としたアプリケーションの開発と、「ユーザのハグへの抵抗感を数値化するアプリ」、「ハグ認証アプリ」、「フェイシャルエステアプリ」といった接触の強弱を用いたアプリケーションの開発と評価を行うことを目的とする。

2.3.2 本研究の意義および重要性

対人における接触動作を入力検出可能な等身大ディスプレイを実現するメリットとして、次の3つが挙げられる。

1. ユーザは自然な接触動作をディスプレイに対しても行える
2. 無意識に近い接触動作を可視化できる
3. ユーザ自身が客観視できる体験を与えられる

まず、等身大ディスプレイを用いることで、ユーザが対人で行われる接触と近い接触動作をすることを可能にできると考える。そして、自然な接触動作を入力検出することはつまり我々が無意識的に行っている接触動作における接触を可視化することを可能にできると考える。また、可視化された接触をユーザ自身が振り返って見ることができ、ユーザが自分の接触を客観視する体験が得られることもメリットであると考え。以上において対人の接触動作を入力検出するために、等身大ディスプレイの利用が有効であると考え。

本システムが実現されることで、これまで人々が対面時のみにしか感じられなかった感覚を、遠隔にいる相手にも伝え、楽しめるようになる。またリアルタイムだけでなく、ハグを始めとする身体接触をデータとして扱うことができれば、再現が可能となり、何度でも同じ接触体験を受けられるだろう。さらには、同時に複数人のユーザに対して、同様の接触体験を提供できる。さらに新規性としては、人々が無意識に行っていた自分の接触動作を受け手になって体験できる可能性も考えている。本論文では、まず、ハグなどの接触を構成している項目を明らかにし、検出可能とする立体ディスプレイの開発を目指し、得られた入力から様々な既存の出力方法と結びつけて、ユーザに新しい体験を提供できる可能性についても示す。このようなこれまでにない触覚を通じた体験を提供できるという点が、本論文の意義であると考え。

Chapter 3

関連研究

本章では、我々が実装する本論文における関連研究を提示する。まず、立体形状を持ったディスプレイに関する先行研究を述べる。次に、ディスプレイの入力・出力技術に着目し、これまでディスプレイで使われてきた既存技術についてまとめる。また、本論文で扱う上半身型ディスプレイへのハグによる接触検出と、頭部型ディスプレイへの頭を撫でる接触動作を扱う先行事例について紹介し、本提案システムとの差異を述べる。

3.1 ディ스플레이のスクリーン形状による分類

まず、ディスプレイの定義としては入力とそれに伴う出力機能があるものを指す。本節ではディスプレイの形状の違いに着目し、関連研究を挙げる。我々の身の回りにはディスプレイとして、例えばスマートフォンやタブレット端末、駅の発券機、ショッピングモールでの案内板など、平面のスクリーンを用いたディスプレイなどが挙げられる。このように我々の日常で目にする機会が多いのは「平面ディスプレイ」である。一般的にこれらは日常の様々なシーンでユーザの指先やペンによるタッチを検出し、直感的なタッチ操作を可能にしているタッチパネルであり、平面的で表面も硬いスクリーンを持つ。これらのタッチパネルの入力検出には静電容量方式、抵抗膜方式、電磁誘導方式などが用いられている(図3.1)。



Figure 3.1: 様々なタッチパネルと入力検出方式

3.1.1 球体ディスプレイ

本節では様々な立体形状をもつディスプレイを取り上げ、それらのタッチ入力検出技術や凹凸のあるスクリーンに対して、投影などを含む出力技術について述べる。

球体の半透明のスクリーンを用いて複数人による同時作業を可能にした Benko らの Sphere [27] は、入力技術には赤外線技術を用い、出力技術は形状の歪みと指のタッチの移動に合わせて投影を可能にした(図 3.2(左)). また球体形状を用いた新しいゲームのエンターテインメントを提供した Williamson らのディスプレイは、複数人ユーザが同コンテンツをディスプレイを囲むようにして楽しむことができる [28](図 3.2(右)).



Figure 3.2: Sphere と複数人ユーザで使用可能な球体ディスプレイ

また球体ディスプレイとして宮藤らの Qoom [29] が挙げられる(図 3.3). Qoom は回転させたり、投げたり、蹴ったりといった動作が可能な球体ディスプレイである. タッチの検出, 回転運動の検出, リアルタイムでオブジェクトを追跡し, 球面に対してプロジェクションマッピングにより映像を投影可能である.



Figure 3.3: Qoom

そのほか, 球体ディスプレイとして Machida らの GEO-COSMOS [30] も挙げられる.

3.1.2 身体形状を持つディスプレイ

また身体の形状を模したスクリーンを使ったディスプレイも存在する。Salam らの身体型の Physical-Virtual Patient Bed [2] は、診察台に寝転がっている患者への治療シミュレーションを目的に開発された。医療従事者の学習向けディスプレイであり、等身大の頭部と胴体の形状をしたスクリーンに対して、赤外線により表面への接触を検出している。これらの触覚や視覚による手がかりから、表面が温くなるような触覚の変化、またスピーカーによる患者のリアクションを返す聴覚の変化を出力する。また出力はリアプロジェクションにより、前面部または背面部の映像を投影することができる(図3.4)。さらに、スポーツや医療の教育で用いられることを目標とした Grégory の研究では、人体の背面部に骨格や筋肉の情報を投影し、ユーザが直接指で触れることで体内の見たい情報を選択することを可能とした Anatomia も挙げられる [31](図3.5)。

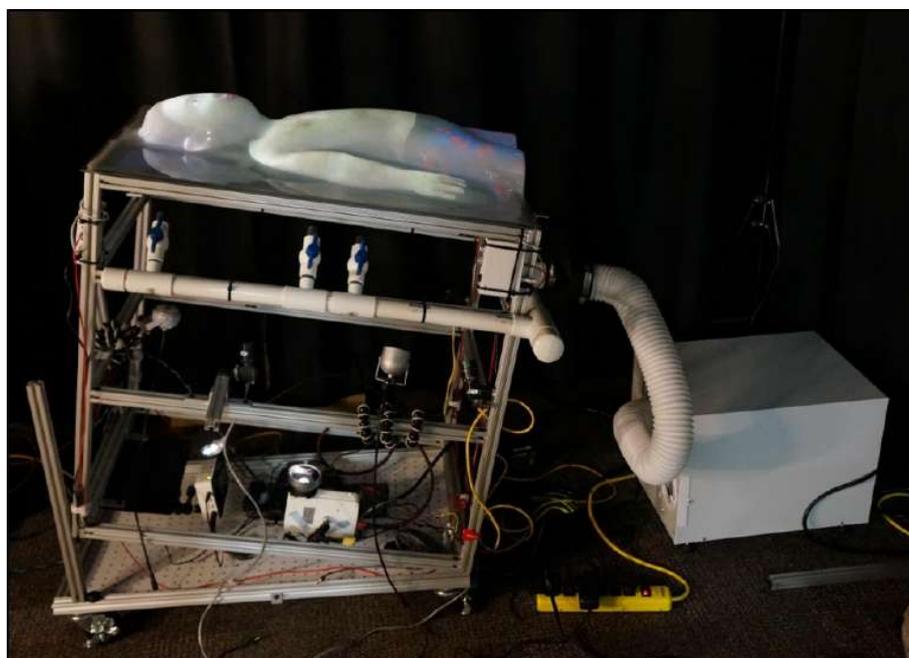


Figure 3.4: Physical-Visual Patient Bed(PVPB)

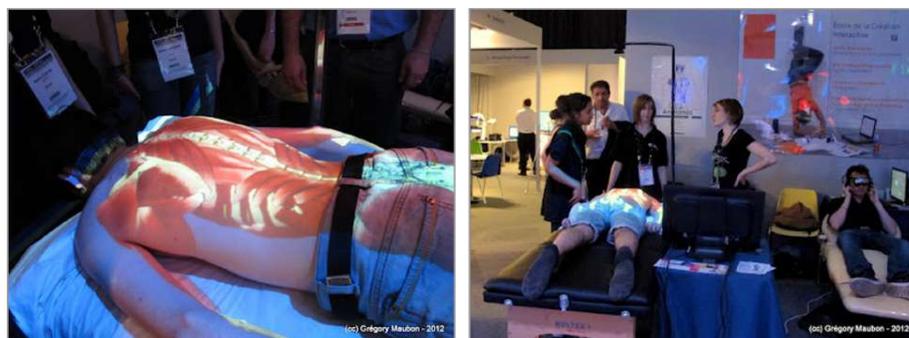


Figure 3.5: Anatomia

3.1.3 顔型ディスプレイ

顔型の形状をスクリーンとしてもつディスプレイもこれまで取り組まれている。顔型ディスプレイの先行事例としては、國村らの YOTARO [32] が挙げられる。YOTARO は、赤ちゃんとの触れ合いを目的に実現されたシステムで、入力は顔を触る、鼻水を拭くといった赤ちゃんをお世話する行為であり、出力としては現実世界の赤ちゃんとの触れ合いで体験できると考えられる、発汗や表面の温度変化、表情の変化などの6つが提案されていた。赤ちゃんへのタッチ検出はタッチセンサなどが用いられていて、表情の投影はリアプロジェクション技術により、スクリーンの背面部からプロジェクタで投影する技術により、実現している(図 3.6)。



Figure 3.6: 赤ちゃん型ロボット YOTARO

また顔モデルの外観や動作を簡単に変更できる Maskbot [33](図 3.7)、また遠隔話者の首の動きを再現し、視線の向きを伝達する Misawa らの LiveMask [34](図 3.8) や、Delaunay らの先行事例が存在する [35](図 3.9)。これらは真空成型機により、顔の表部分を半透明の亚克力板で制作し、人の表情をリアプロジェクションにより提示してユーザのコミュニケーションを可能にしている。そのほかの顔型ディスプレイとして、Ichii らの Tellipsoid [36](図 3.10) や、Misawa らの ChameleonMask [37](図 3.11) などが挙げられる。

しかし、本研究が着目する頭部の広い範囲を撫でる動作の検出には、後頭部を含む頭部全周囲への接触検出及び映像提示が必要であり、従来の頭部の特定部分のみを検出範囲とする検出手法では困難である。



Figure 3.7: MaskBot



Figure 3.8: LiveMask

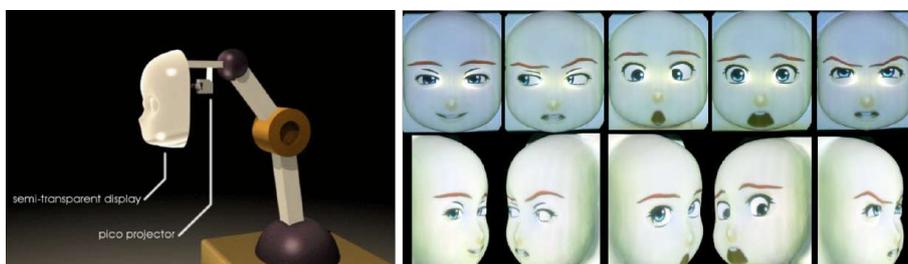


Figure 3.9: Towards retro-projected robot faces

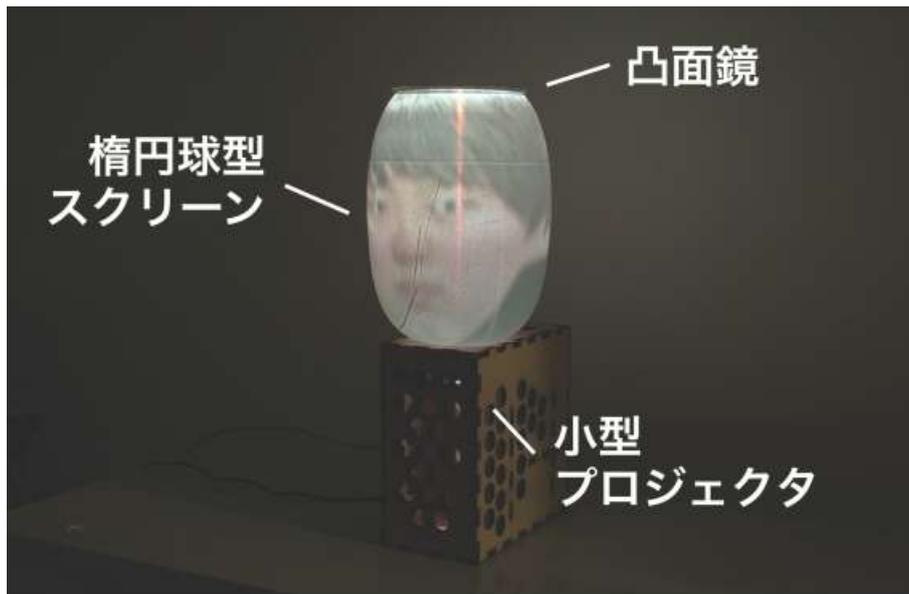


Figure 3.10: Tellipsoid



Figure 3.11: ChameleonMask

3.2 ディスプレイの入出力検出手法による分類

3.2.1 タッチスクリーンの検出手法

ディスプレイの入力検出方法に着目すると、指先ほどの領域によるタッチを検出する手法には様々な方法が用いられている。タッチスクリーンに使われる、人のタッチを入力検出する方法にもいくつか種類があり、静電容量式は表面型、投影型があり、ノートパソコンのタッチ検出にも使われている方式である。人体がディスプレイ表面に近づいたとき、放電現象が発生し、ディスプレイ表面の電荷が変化する。これをセンサで検知することで、タッチ検出を可能にしている。抵抗膜方式は画面の表面に、透明な電極を2枚使用した構造を用いており、指やタッチペンで圧力を加えると電流が流れる技術である。この方式は専用のタッチペンなどが不要であることがメリットである。電磁誘導方式は、ペンタブレットで用いられる方式である。ディスプレイ側にコイルを配置しておき、磁界が発生する専用のペンでタッチすることで電流を発生させる。これにより、その位置を検出する方

式である。メリットとして、専用ペン以外には反応しないため、誤作動が少ないことが挙げられる。また、パネルに直接触れない場合も動作可能である技術のため、画面の裏側に設置して利用できるメリットが挙げられる。

また赤外線LEDを使った赤外線方式は、2.2節に示したように、ディスプレイ表面から離れているいわゆるホバー状態の入力検出が可能であるが、表面への接触・非接触を正確に検出するための閾値決定が難しいというデメリットがある。また、FTIR方式はDI方式より感度が良く、測定時間も短いなどのメリットがある。赤外光を照射した先の物質にどれだけ吸収されたかを検出する入力検出技術である。検出原理を図3.12に示す。メリットがある反面、装置の仕組みが複雑になることがデメリットとして挙げられる。

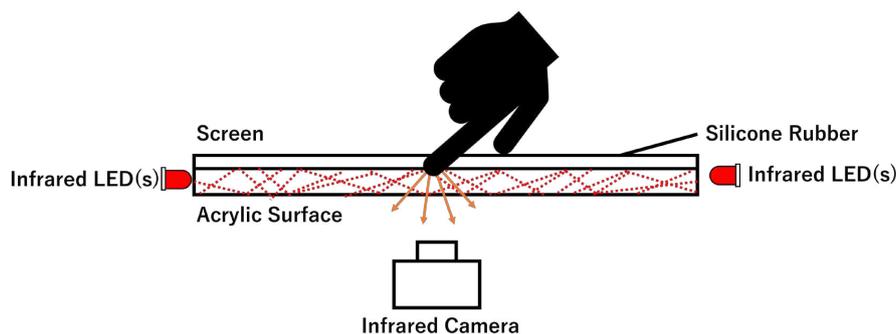


Figure 3.12: FTIR方式の検出原理

3.2.2 ハグによる接触動作に関する入出力技術

本節では、ハグという特定の接触動作を検出する入力技術とその出力フィードバックに用いられている研究について述べる。

3.2.2節にも示したように、ハグという特定の動作に対する入出力方法は次に挙げるようなものがある。Takahashiらは、ジャケットに複数の圧力センサを配置したものをユーザが着用し、ハグをすると入力を温度センサにより検出し、出力としてジャケットに配置された空気圧のアクチュエータが膨らむ触覚フィードバックを返すことで、自分自身をハグしている体験ができるSense-Roid [3]を開発した(図3.13)。また、Robot Skin [25]は、近接センサ、温度センサにより、ハグの接触を検出し、LEDライトの点灯やロボットを動作させるフィードバックを用いている(図3.14)。これらのハグを入力する技術は、離散的なセンサの配置であるため、上半身全周囲に対して、連続的にハグの接触範囲を計測することは難しく、またセンサを用いた入力検出の方法はハグを身体の触れている領域、つまり、上半身の前面部から背面部の全周囲にセンサを配置する必要がある、安価ではないといえるだろう。

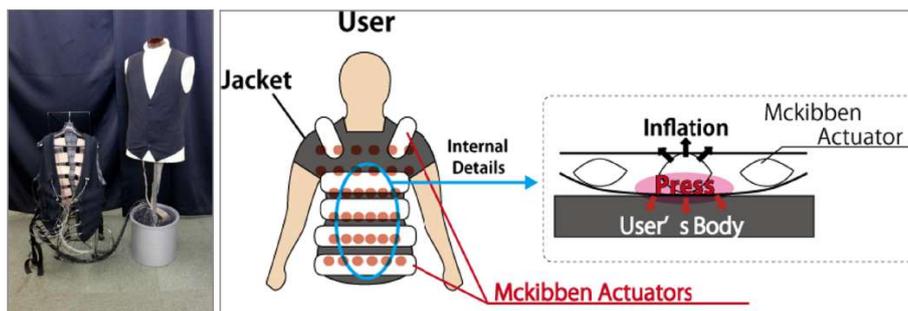


Figure 3.13: Sence-Roid



Figure 3.14: robotSkin

そのほかにも、親子間の遠隔コミュニケーションにおける身体的インタラクションの促進を目的とした、新しいウェアラブルシステムの James らの Huggy Pajama [38] が挙げられる。片手に持てるサイズのリモコン型入力インターフェースで胴体の部位に対応したボタンを押すと、そのハグの入力信号をハプティックジャケットに送り、ジャケットが振動したり、空気圧による圧力をユーザに伝えることでハグされているような感覚を再現する(図3.15)。またハグに伴う温かさを演出する発熱体も組み込まれている。しかし、腕や上半身を大きく16領域に分け、それに対応した入力と出力としての触覚刺激を再現しており、人と人でのハグに近いような連続的な接触の入力検出と出力はできていない。

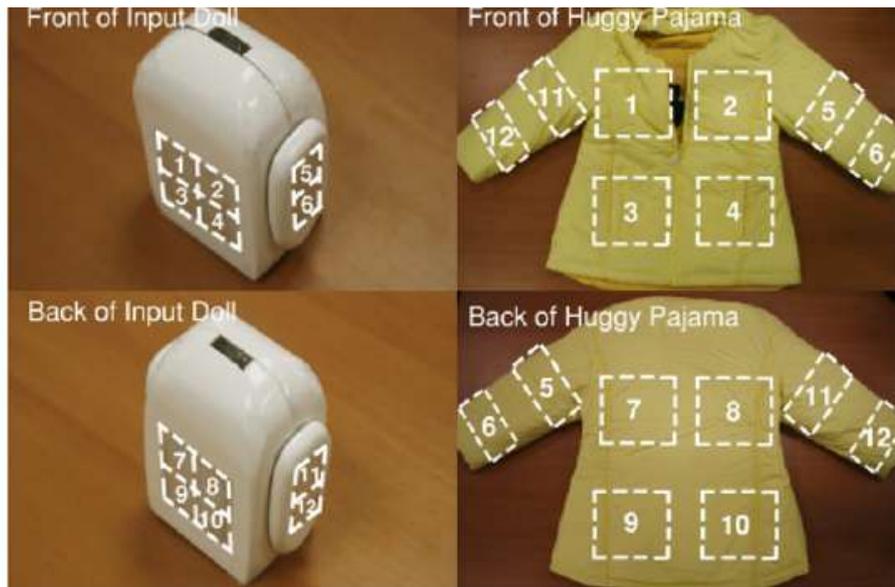


Figure 3.15: huggyPajama

このような着用型の出力機能を持った先行事例としては、エアプレッシャーを用いた膨張式ベストが挙げられる。ASDの患者に圧迫刺激を与えることで、安心感を提示するスナッグベスト (Snug Vest) や、T.Jacket, Vayu Vestが挙げられる。これらの圧力は空気圧ポンプで調整している場合があるがその分ベストがかさばることや、着用時にユーザが感じる重さに問題があった。また、空気圧ポンプを膨らませるときの音は、ユーザに不要な注意を引く可能性もある。

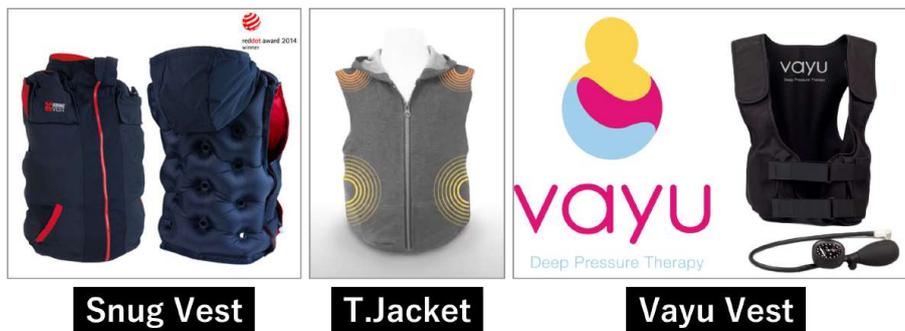


Figure 3.16: 膨張式ベストの製品例

3.2.3 撫でる接触動作に関する入出力技術

次に本節では、撫でる動作を検出する先行研究に着目した研究を述べる。赤外光を用いた接触の検出として、Physical-Virtual Patient [2]の研究では、赤外光を用いて患者への頭部を含む範囲での接触を検出可能とし、撫でる・さするといった接触行動による、患者の身体の痛みや違和感を緩和する「ゲートコントロール理論」[39]などの練習に活用されている。また、YOTARO [32]は、近赤外線カメラ、圧力・光センサを用いて頭部への接触を検出する。以上のような等身大の立体ディスプレイを用いて接触を検出する手法があるが、これらの方法は頭部や上半身のうち、後頭部や背面部が検出範囲に含まれておらず、

前頭部から後頭部にかけて手のひらで「撫でる」といった接触動作や、身体の上半身を腕で全体的に覆う「抱擁(ハグ)」という接触動作を検出することは難しい。これらの撫でを検出する入力に対して、出力フィードバックとして、触れている部分の温度が変わる、圧力が加わる、振動するといった直接的な肌へのフィードバック方法が用いられている。さらに、音を発するといった聴覚的なフィードバックも挙げられる。また、表情を変化させたり、皮膚表面の疾病を投影するフィードバックも用いられている。これらの出力フィードバックは、頭部の前面部か背面部のどちらかのみへの映像提示となっており、切れ目やつなぎ目がある、非連続的な表現であるため、入力技術と同様に前頭部から後頭部を含む連続的なフィードバックをユーザが受け取ることが難しい。

Chapter 4

システム構成

本章では、2.2 節に提案する要素を満たす筐体の実装について、まず概要を示し、その次に続く節でハードウェア構成、ソフトウェア構成、入力検出のための閾値決定アルゴリズムについて述べる。システム全体の構成を図 4.1 に示すように構成した。

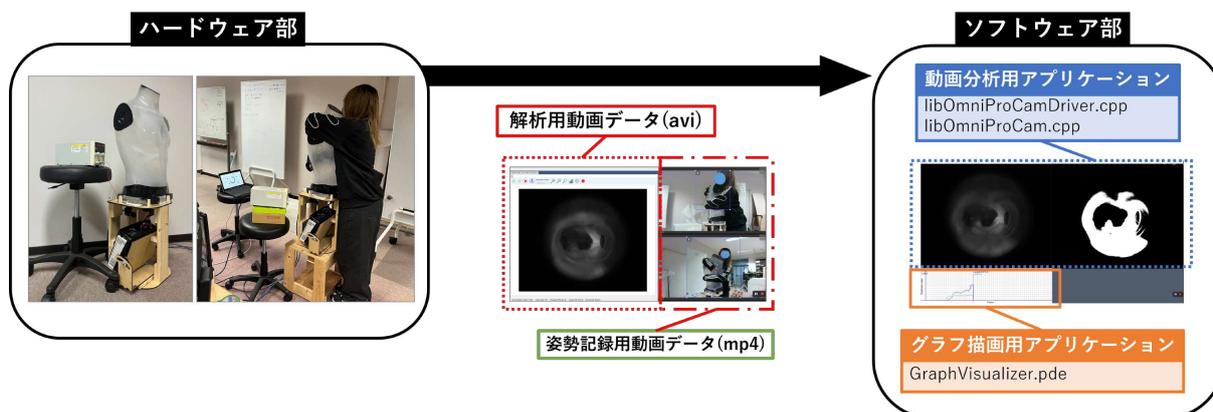


Figure 4.1: 提案システムの構成

4.1 システムの概要

本システムは、人の形をしたディスプレイ (上半身型または頭部型) と、ディスプレイ全周囲を下部から撮影する超広角プロカムユニットで構成される。オムニプロカムシステムの概要図を図 4.2 に示す。ディスプレイは、人型のマネキンから上半身部分を切り取り、艶消し塗料を塗布することで制作した。これは、映像の投影と、光源の光を拡散するために行った。また、ディスプレイに近づいた手や洋服を検出するために、赤外光がディスプレイ全体を均一に照らすことができる角度で赤外線 LED を配置した。ディスプレイ表面に接近した手は、ディスプレイ表面から漏れ出た赤外光に照射され、ディスプレイ下部のカメラで反射光を捉える構造となっている。検出には、手や洋服が接近することによって発生する赤外光の変化を捉えるソフトウェアによって行う。また、この入力検出と同時に、ディスプレイ全周囲にはプロジェクタにより映像の投影を行う。映像は Unity カメラの映像を使用する。Unity カメラと 3D スキャンによって生成したマネキン頭部の 3D モデルの位置関係は、現実空間のカメラとマネキン頭部の位置関係と対応するように配置している。また、現実空間のカメラは魚眼レンズであるため、キャリブレーションによって歪み

係数を求め、Unity カメラも同様に映像を歪ませている。これにより、ディスプレイに接触した領域を塗りつぶすといった視覚フィードバックが可能になる。

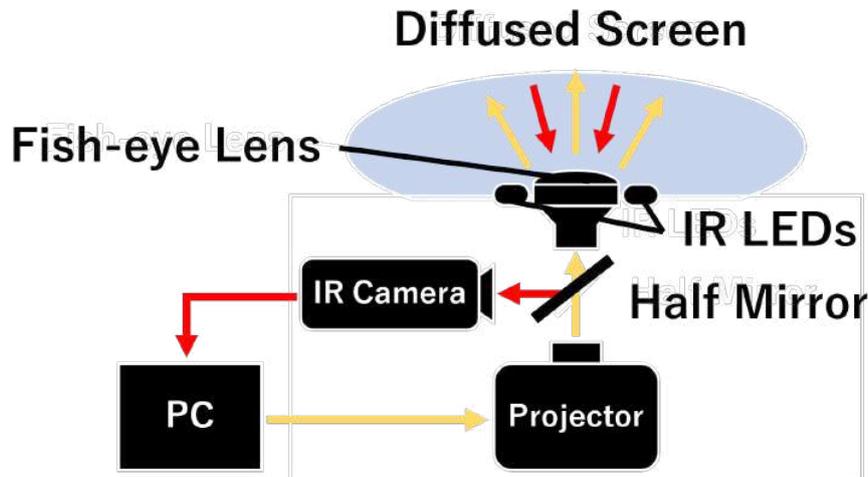


Figure 4.2: オムニプロカム機構のシステム概要図

4.2 ハードウェア構成

本システムは、人の身体の一部を模した頭部型・上半身型ディスプレイと、ディスプレイ全周囲をディスプレイ下部から撮影する超広角プロカムユニットで構成される。身体型の等身大ディスプレイは、赤外光を表面で拡散するために艶消し塗料を内部から塗布することで制作した。4.2.1 節にディフューザ面の制作過程について詳しく述べる。またディスプレイに接触した手や洋服を検出するために赤外線 LED の配置については 4.2.3 節に詳しく述べる。

赤外光は、ディスプレイに接触した手や洋服によってディスプレイ下部へ反射され、魚眼レンズを通してハーフミラーで反射された映像をディスプレイ下部のカメラで検出可能としている。これと同時に、ディスプレイ全周囲にはプロジェクタ (BenQ TH682ST) により映像の投影を行う。映像は、まず事前に 3D スキャナを用いて計測しておいたマネキン頭部の 3D モデルに対してテクスチャマッピングを行う。これを魚眼カメラモデルを用いて計測したレンズ歪み係数を用いて変形しプロジェクタで出力することで行う。システム全体の枠組みは、レーザーカッターなどで加工した MDF 板、材木で制作した。頭部型ディスプレイの構成図を図 4.3 に、上半身型ディスプレイのハードウェア構成図を図 4.4 にそれぞれ示す。

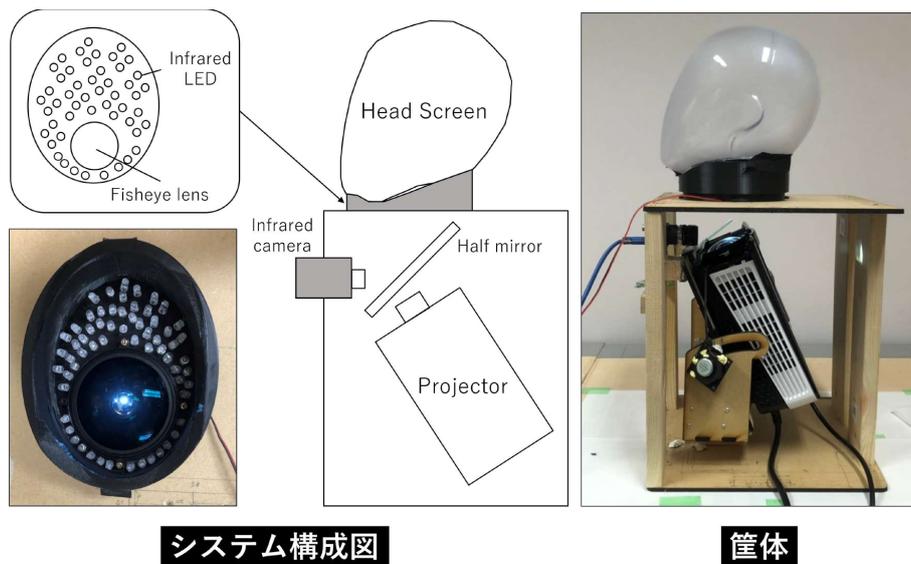


Figure 4.3: 頭部型ディスプレイのハードウェア構成

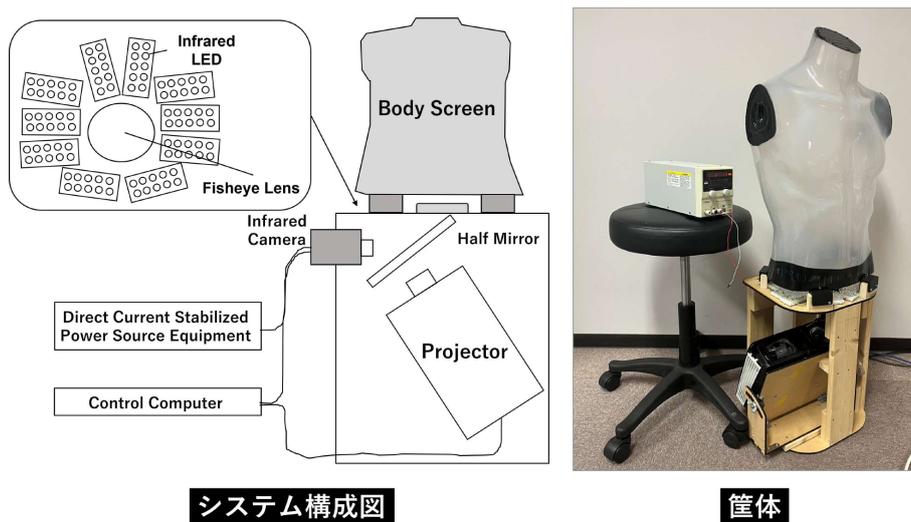


Figure 4.4: 上半身型ディスプレイのハードウェア構成

4.2.1 ディ스플레이のディフューザ面の加工

4.2.1.1 マスキングテープを用いたディフューザ面の加工実験

本システムでは、透明の人の頭部を模した頭部型ディスプレイ (頭囲約 550mm) (図 4.5(加工前)) と、上半身型の等身大トルソ人形 (胸部周囲約 100cm, 全長約 60cm) を用いた。光源からの赤外光を拡散するディフューザ面の制作にあたり、4.5 に示すような手順で、頭部型ディスプレイの表面部分をマスキングテープで覆ったのち、超音波カッターを用いて首下部分を切断し、頭部のみに加工した。

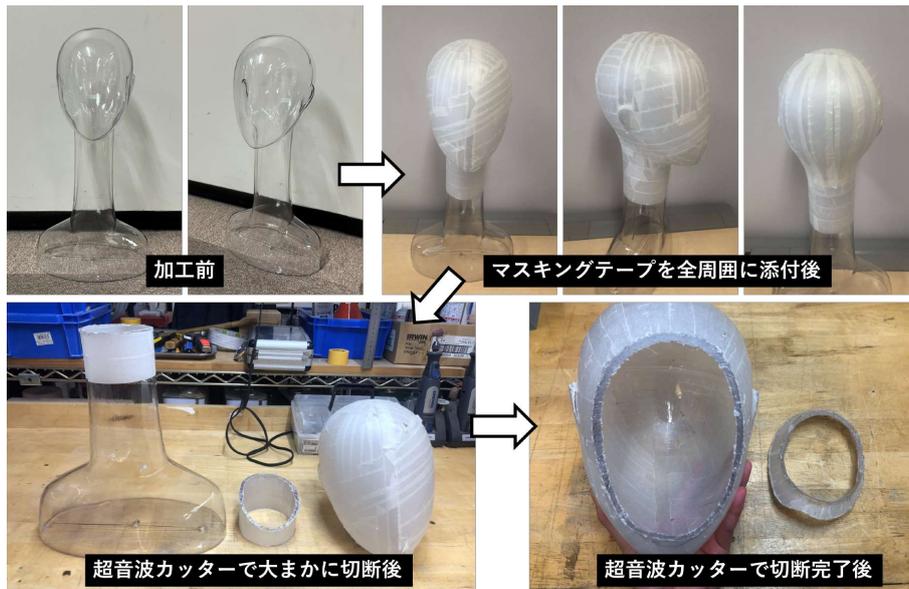


Figure 4.5: 頭部型ディスプレイのディフューザ面制作と加工の過程

しかし、投影時の視認率，接触検出の精度が低いという問題点があったため，次の4.2.1.2節に述べるように，塗料でディフューザ面を作る方法を試みた。

4.2.1.2 塗料を用いたディフューザ面の加工実験

まず，つや消し塗料を選定する実験を行った。ディスプレイと同様の透明度と厚みを持つ，透明アクリル板(厚み約5mm幅)を用意し，下地用塗料3種類と上塗り用塗料4種類の計7種類をそれぞれ1層ずつアクリル板へ塗布した。塗料の詳細は，図4.6と表4.1に示す。乾燥時間は冬季で最大2時間の塗料があったので，それに倣った。

Table 4.1: つや消し塗料の種類

	製品名	推奨用途	製品会社	乾燥時間
1	ラッカースプレー つや消しクリヤ	下地用 鉄/木	大日本塗料株式会社 サンデーペイント	30分
2	ミッチャクロン マルチクリヤー(透明)	下地用 金属/PP	SOMAY-Q 染めQテクノロジー	20~30分
3	プラスチック用プライマー	下地用 PP/アクリル	アサヒペン	2時間
4	ラッカースプレー つや消し白	上塗り用 鉄/木	大日本塗料株式会社 サンデーペイント	30分
5	クリエイティブカラー 57マットホワイトつや消し	上塗り用 鉄/木/アクリル	アサヒペン	1~2時間
6	くもりガラス色(半透明)	上塗り用 ガラス	大日本塗料株式会社 サンデーペイント	1時間
7	水性スプレー つや消し	上塗り用 鉄/木/アクリル	アトムハウスペイント	40~60分



Figure 4.6: 実験に使用した塗料

実際に塗装した前後の様子を図 4.7 に示す. 塗装した表面に指や洋服で接近したときの透過度を赤外線カメラで確認した. 結果, 大日本塗料株式会社サンデーペイント社のラッカーズプレーつや消しクリヤー (つや消しクリヤー) を使用することに決定した (図 4.6(1 番の塗料)).

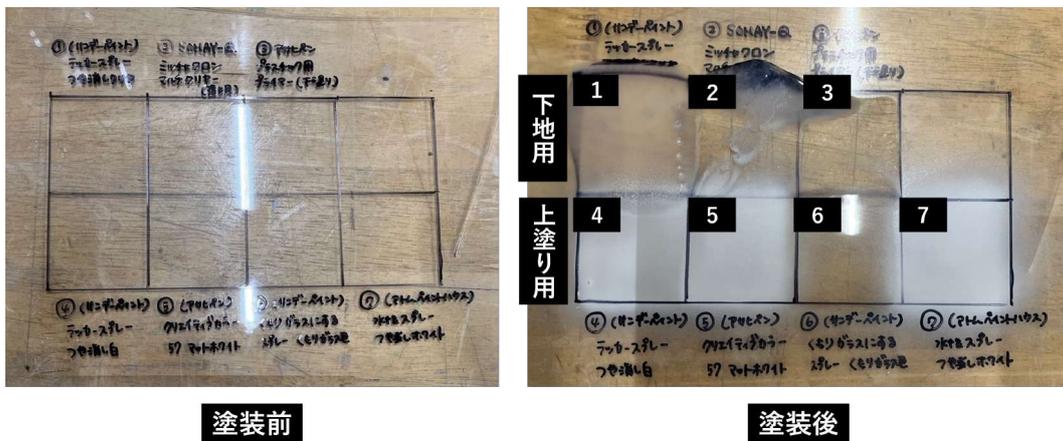


Figure 4.7: アクリル板に塗料を塗布する実験の結果

4.2.1.3 塗料を用いた頭部型・上半身型ディスプレイの塗装実験

次に、透明な上半身型の等身大トルソ人形を2台用意し、首と腕の付け根の部分は検出範囲外であるため、赤外光の反射の影響がほぼ見られなかった株式会社ニトムズ (Nitoms) 社のビニールテープ No.21(黒) で隙間なく覆った (図 4.8)。



Figure 4.8: 上半身型ディスプレイの加工

そして、テープで覆った上半身型ディスプレイのそれぞれに内側面のみと外側面のみ、つや消しクリヤーを8層重ねて塗布した結果を比較した (図 4.9)。



Figure 4.9: 上半身型ディスプレイの内外側塗装の比較

それぞれのディスプレイ表面の赤外線遮断率，紫外線遮断率，可視光線透過率を Akozon 社の LS162 透過率計 (図 4.10) で測定した．それぞれの測定結果を表 4.2 に示す．



Figure 4.10: 透過率計

Table 4.2: 塗装面の透過率計の結果

塗装面	赤外線遮断率 (%)	紫外線遮断率 (%)	可視光線透過率 (%)
内側	37.5	100.0	50.2
外側	43.9	100.0	50.4

そして，つや消しクリヤーを塗布した筐体の赤外光と，人の肌や洋服の検出を赤外線カメラで比較したところ，より筐体内部で赤外光の拡散が見られなかったディフューザ面として，内側へ塗装した筐体をディスプレイとして決定した．同様に，頭部型ディスプレイに添付していたマスキングテープを外し，つや消しクリヤーを内側から塗布して制作した．塗装の様子と上半身型ディスプレイとの塗装後の比較を図 4.11 に示す．



Figure 4.11: 頭部型ディスプレイへの塗装

4.2.2 ディスプレイの 3D モデル作成

頭部・上半身型のディスプレイを CREAFORM 社のハンディ 3D スキャナ Go!SCAN50 (JAIST Fab 備品) [40] と 3D Software Platform の VXelements 図 4.12(左) を用いた。頭部型ディスプレイ表面にマスキングテープを添付した状態で、マーカーを図 4.12(中央) のように設置し、3D スキャンを行い、3D モデルのデータ (拡張子 stl) を作成した。同様の方法で上半身型ディスプレイの 3D モデルのデータも作成し、AUTODESK 社の 3D モデリング設計用プラットフォームの Fusion360 [41] に読み込んだ様子を頭部型ディスプレイのものを図 4.13 に、上半身型ディスプレイのものを図 4.14 に示す。

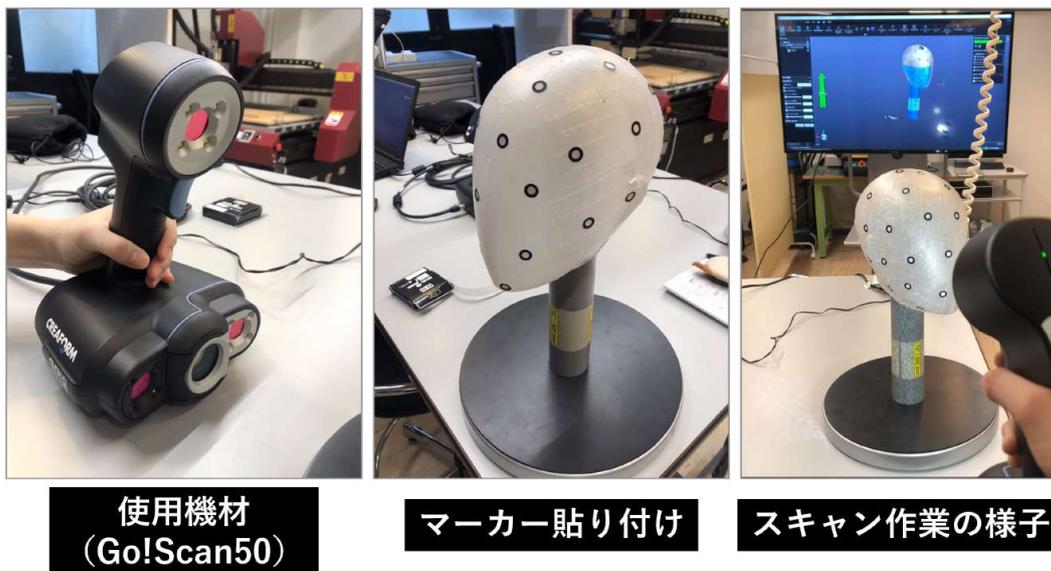


Figure 4.12: 頭部型ディスプレイの 3D スキャン作業

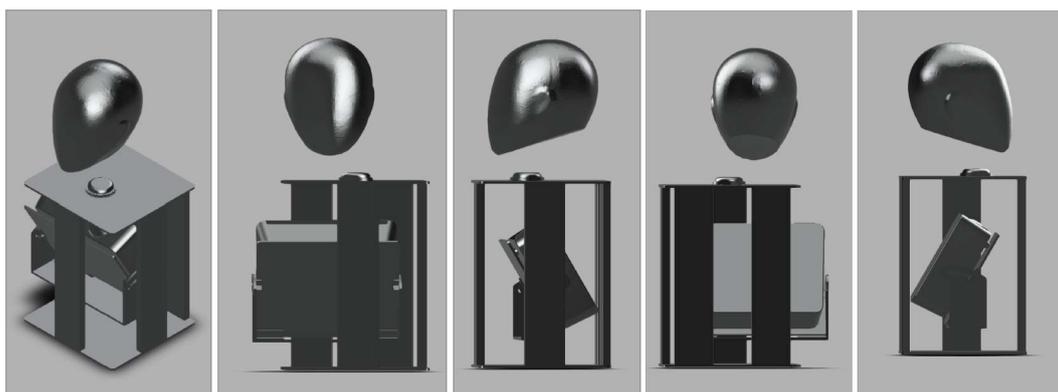


Figure 4.13: 頭部型ディスプレイの 3D モデル (Fusion360)

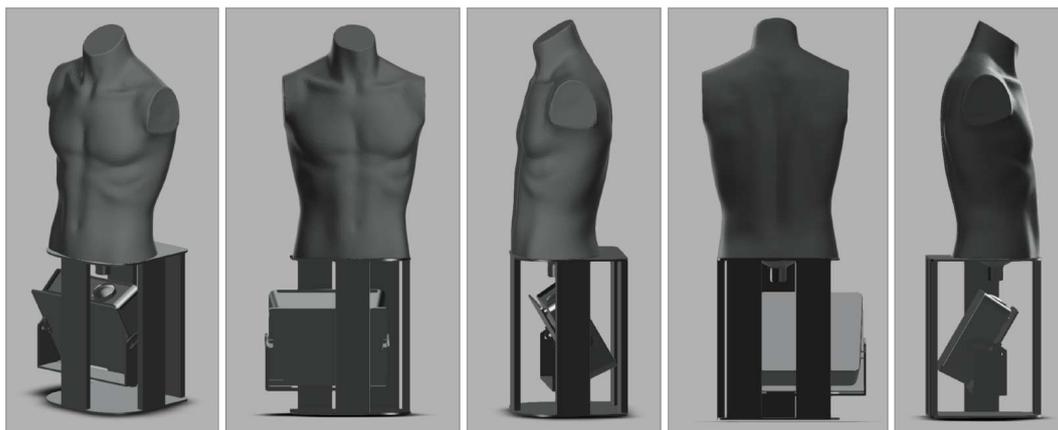


Figure 4.14: 上半身型ディスプレイの3Dモデル (Fusion360)

4.2.3 赤外線LEDの配置

本システムには、ディスプレイに近づく手や洋服の検出に、DI手法を用いる。2.2.1で示した原理から、ディフューザ面を持つディスプレイ内側から赤外線LEDを照射する機構を用いる。

4.2.2の3Dモデルを基に、ディスプレイの内側全周囲に赤外光が照射される配置を検討した。赤外線LED(消費電力:0.08W)10個を直列繋ぎした回路を1グループとして、魚眼レンズを囲うようグループを並列繋ぎすることで、ディスプレイの全周囲に照射されるようランダムな向きに配置した。頭部型ディスプレイで3Dプリンタで制作した部品を用い(図4.15(上左)), 赤外線LEDを63(7個×9グループ)個を配置した(図4.15(上右))。上半身型ディスプレイも同様に3Dプリンタで制作した部品を用い(図4.15(下左)), 赤外線LEDを150(10個×15グループ)個を配置したが、熱により3Dプリントしたパーツが変形してしまったため(図4.15(下中央)), 複数のブレッドボードに配線を行い、400個(10個×40グループ)個を設置した(図4.15(下右))。



頭部型スクリーンの赤外線LED基板



上半身型スクリーンの赤外線LED基板

Figure 4.15: 赤外線LEDを基盤に配置した様子

以上のようにして制作した赤外線LEDをディスプレイの下部に配置した。それぞれ頭部型ディスプレイでは図4.16のように配置し、上半身型ディスプレイでは図4.17のように配置した。



Figure 4.16: 頭部型ディスプレイの赤外線LEDユニット

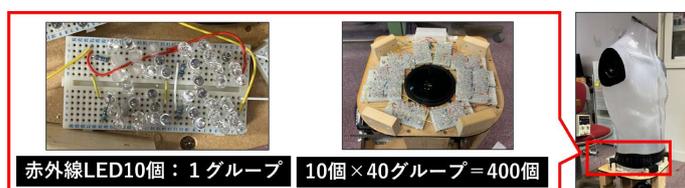


Figure 4.17: 上半身型ディスプレイの赤外線LEDユニット

4.2.4 プロジェクタの固定

プロジェクタ (BenQ TH682ST) の固定は、Fusion360で3Dモデリングしたデータ (図4.18(左)) からMDF版をレーザー加工機で木材を切断し、組み立てて制作した (図4.18(中央, 右))。



Figure 4.18: プロジェクタ固定台

4.2.5 プロジェクタのピントを合わせる作業

プロジェクタ (BenQ TH682ST) の焦点を合わせる作業を行った。まずプロジェクタを解体し、前面部を除去したのち (図4.19(上左)), 上部にディスプレイを置いたときにピントが合うようレンズを浮かせる必要があった。既存のレンズを固定する部品を取り除き (図4.19(上右)), レーザーカッターで作った7mm幅の紙をかませることで調整した (図4.19(下左))。プロジェクタから補助線を投影しつつ調整した (図4.19(下右))。



Figure 4.19: 魚眼レンズのピントを合わせる作業

4.2.6 魚眼レンズの固定

魚眼レンズの固定は、Fusion360で3Dモデリングしたデータ(図4.20(左))から3Dプリントで出力した部品を枠組みに取り付けて制作した(図4.20(右)).



Figure 4.20: 魚眼レンズの固定台

4.2.7 ハーフミラーの固定

ハーフミラーの固定も4.2.6節と同様に、Fusion360で3Dモデリングしたデータから3Dプリントで出力した部品にはめ込み、それを大枠に取り付けて制作した。ハーフミラーの角度は約45度で設置し、そのときのプロジェクタから投影する光とディスプレイのディスプレイ面から反射してきた光の反射は5:5であり、図4.21に示す現象が起こっている。

ハーフミラーによりプロジェクタの光軸と、カメラ画像の光軸をそろえることで、カメラ画像の取得で接触検出する入力機能と魚眼レンズを通した映像の投影という出力機能を同時に実現でき、リアルタイムで接触した領域に投影といった実装が可能になる。

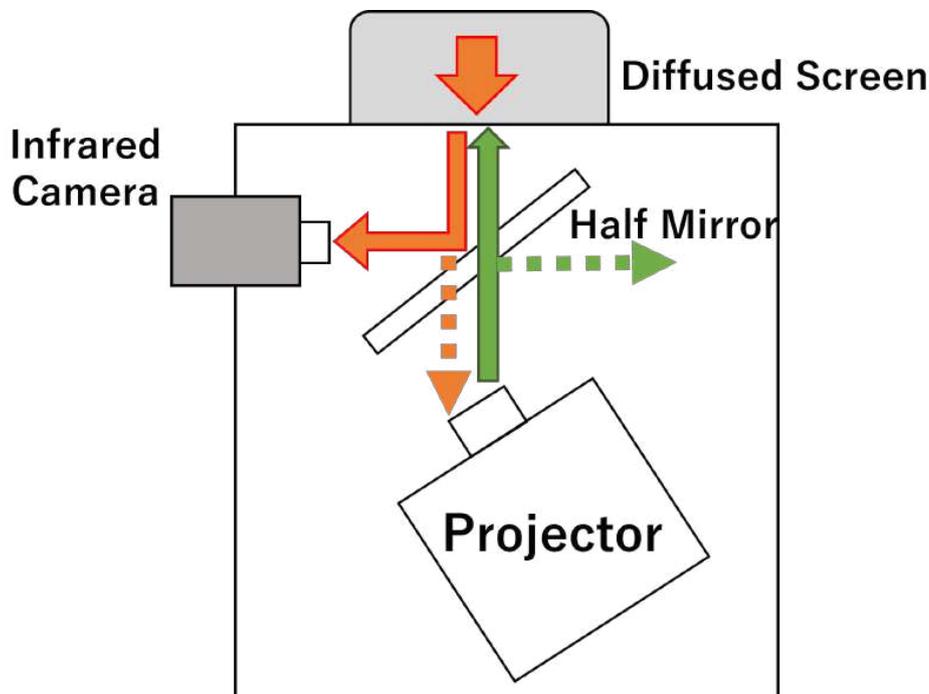


Figure 4.21: ハーフミラーの原理

4.3 ソフトウェア構成

赤外線カメラで記録した映像をリアルタイムと動画の読み込みで行える2つの機能を実装した。

赤外線カメラで記録した動画を分析する機能を持ったソフトウェアの実装について述べる。

4.3.1 立体ディスプレイへ魚眼レンズを用いた投影・入力検出の実装

本システムは、1台のカメラと1台のプロジェクタを1つのシステムで実現するプロカム機構を用いている。ディスプレイ下部に魚眼レンズを設置することで、立体形状のディスプレイ全周囲への入出力を可能にしている。この「Fisheyeカメラモデル」によるプロカムのキャリブレーションのメリットとしては、一台のプロジェクタで立体的なディスプレイへの全周囲投影が可能なこと、一台のカメラでディスプレイ全周囲の映像を取得が可能が挙げられる。

まず最初に、チェスボードキャリブレーションを行う。ゆがみパラメータを算出するためのプログラムを利用し、図4.22のようにチェスボードの交点をマウスで入力していく。決まった順番でチェスボードの交点を入力する作業をチェスボードの配置を変え、10枚分繰り返す。この作業で得られたゆがみパラメータをUnity内のシェーダーに渡すと、3次元のマネキンの3Dモデルを2次元に射影できる(図4.23(中央))。そしてこのUnityカメラの映像をプロジェクタから上半身型ディスプレイに投影する(図4.23(左))。



Figure 4.22: チェスボードキャリブレーション

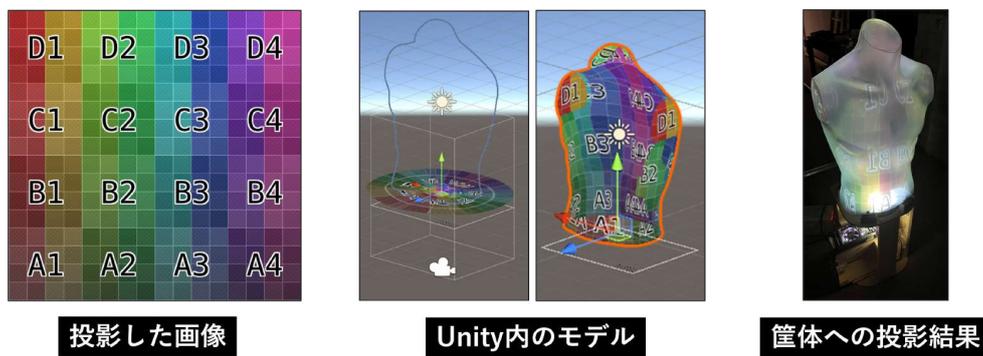


Figure 4.23: Unity 内のモデルをディスプレイに投影した結果

4.3.2 動画分析用ソフトウェアの実装

動画分析用ソフトウェアとして、解析用動画から接触領域を判定し、輝度などの情報を「Processing」へ送信、グラフ化するプログラムを実装した。本章では、実装の処理の流れと各機能について述べる。

本ソフトウェアの実装のメインは、動画の読み込みや2値化処理をする関数を持った「OmniProCam.cpp」と「OmniProCamDriver.cpp」のソースコードで構成している。指先タッチによる「指モード」とハグなどの広範囲に及ぶ接触検出の用では解析用動画から読み込み、2値化処理を行う「解析モード」とカメラ画像から随時2値化処理する「リアルタイムモード」の2つを実装した。

実装の流れとしては、リアルタイムカメラ映像または解析用動画を読み込み、1フレーム読み込む。解析用動画の場合はフルカラーとなっているため、グレースケール化する。読み込んだ1フレームの画像と背景画像との差分を求める。そして、求めた差分画像を固定閾値変数 Threshold により2値化する。背景差分に使う背景画像は、リアルタイムモードではキーボードの「b」「s」「l」を押すことで取得し、解析モードにおいては読み込んだ動画ソースの1フレーム目を取得して用いている。2値化処理で用いた固定閾値は、リアルタイムモード・解析モードのどちらの場合も同様に、キーボードの上下キーで変更可能とした。解析モードで用いた固定閾値は実験の被験者データから、姿勢別の平均値を算出した。この固定閾値を用いて、「接触領域の大きさ」と「領域内の輝度平均」の検出をした。2値化によって抽出された白領域の大きさ(画素数)が150以上の領域を接触領域として判定し、それらの領域の合計の大きさを求めた。そして接触判定となった領域をマスク画像として設定し、この範囲での画素値の平均を算出して輝度平均とした。結果画像は、

リアルタイムモードではのちに示すテクスチャの更新により表示し、解析モードでは読み込んだオリジナル画像と 2 値化処理後の画像をそれぞれウィンドウで表示し、比較可能とした。以上のようにして得られた検出値を送信機能により、グラフ描画用ソフトウェアに送信した。

そのほか、2 値化の分析時にキーボードを押下することで利用できる機能を実装した。リアルタイムモードでは「0」を押下したとき、結果画像として、カメラ画像、2 値化処理の結果画像、Adaptive threshold による 2 値化の結果画像、指定した画像を 2 値化した検出領域のマスク内に表示と変更する処理を実装した。Adaptive threshold 法を適用した 2 値化において、閾値の決定に使う対象範囲を決める BlockSize の変更を上下キーで指定できる処理にした。BlockSize の値は 3 以上の奇数で設定可能である。また同モードで、左右キーは AdaptiveThreshold 法の閾値決定における、定数 C の指定に使える入力である。背景差分法に使用する背景の設定に関しては、「b」で背景画像の変数をリセット、「s」で現在のカメラ映像を背景画像「backGround.bmp」として保存し、「l」で「backGround.bmp」を背景画像の変数に読み込む。また、「space」キーを押すと画像の輝度平均をコンソールに出力させ、「Enter」キーで現在の 2 値化処理した結果画像を保存する機能を実装した。最後に、グラフ描画用ソフトウェアと合わせて使う分析用の入力機能として、「k」を押下したとき、Processing でウィンドウに描画されたグラフをリセットする処理を実装した。送信機能における、3 つのチャンネルの配列内の値を 0 にして送信する処理を書くことで実現した。

また、マウスのクリックによる入力を用いた分析用の機能も実装した。リアルタイムモード・解析モードで読み込んだ動画をウィンドウ上でクリックすると、クリックした画素の輝度値の検出を可能にした。この値は送信機能でチャンネル 0 として送信する。この機能により、各箇所の輝度値を調べることができる。

4.3.3 動画解析用ソフトウェア

「OmniProCamDriver.cpp」から送信された値を受け取り、グラフに描画して結果を解析可能なソフトウェアを Processing を用いて実装した。検知した領域の大きさと領域内の輝度平均をの変化を示すため、グラフに描画しハグを観察することを可能にした。作成したコードを下記に示す。

Listing 4.1: GraphVisualizer.pde コード

```

1 import hypermedia.net.*;
2 UDP udp;
3
4 float scale=1.0f;
5 float indexScale=0.5f;
6 float invIndexScale=1/indexScale;
7
8 static final int MAX_CHANNELS=3;
9 final int MAX_GRAPH_WIDTH=1280*int(invIndexScale);
10 final int GRAPH_HEIGHT=320;
11
12 /* グラフに描画するデータを格納する関数 */
13 float [][] graphValue
14 = new float[MAX_CHANNELS][MAX_GRAPH_WIDTH*2];
15

```

```
16 void setup(){
17
18     size(1280,320,P3D);
19
20     /* 受信用初期化Socket */
21     udp=new UDP(this,31416);
22     udp.listen(true);
23
24     ortho(0,width,0,height);
25     camera(
26         0,30,100,
27         0,30,0,
28         0,1,0);
29     noFill();
30 }
31
32 /* 補助線とラベルの表示 */
33 void drawAxuLine(){
34
35     fill(0,0,0);
36     textSize(20);
37     text("Frame",650.0f,25.0f);
38     text(255,40.0f,200.0f);
39     rotate(radians(-90));
40     text("Brightness□value",60.0f,20.0f);
41     rotate(radians(90));
42
43     /* 基準線 */
44     strokeWeight(3.0f);
45     line(50.0f,0.0f,MAX_GRAPH_WIDTH,0.0f);
46     line(50.0f,0.0f,50.0f,-(GRAPH_HEIGHT));
47
48     /* 補助線 */
49     strokeWeight(1.0f);
50     stroke(0,0,0,100);
51
52     /* 縦軸 */
53     for(int Xline=0; Xline<123; Xline++){
54         line(50+20*Xline,0.0f,50+20*Xline,-height);
55     }
56     /* 横軸 */
57     for(int Yline=0;Yline<32;Yline++){
58         line(50.0f,-20*Yline,width,-20*Yline);
59     }
60 }
61
```

```
62
63 /* 値の表示設定 */
64 void drawValue(float value){
65     textSize(50);
66     fill(255,255,255);
67     stroke(0,0,0,100);
68     strokeWeight(1.0f);
69 }
70
71 void draw(){
72
73     background(255,255,255);
74     color strokeColor=color(0,0,0);
75
76     drawAxuLine();
77
78     int index=mouseX-50;
79     if(index>MAX_GRAPH_WIDTH*2-50){
80         index=MAX_GRAPH_WIDTH*2-50;
81     }else if(index<0){
82         index=0;
83     }
84
85     /* カーソルで値の表示 */
86     line(mouseX,-height,mouseX,height);
87     print(mouseX,mouseY+"\n");
88     line(0,-graphValue[0][index],width,-graphValue[0][index]);
89     fill(255,0,0);
90     text("brightness",mouseX-100,-height+mouseY);
91     text(graphValue[0][index*2],mouseX,-height+mouseY);
92     fill(0,255,0);
93     text("ave",mouseX-30,-height+mouseY+20);
94     text(graphValue[1][index*2],mouseX,
95         -height+mouseY+20);
96     fill(0,0,255);
97     text("area",mouseX-40,-height+mouseY+40);
98     text(graphValue[2][index*2],mouseX,
99         -height+mouseY+40);
100
101     /* チャンネルごとの描画時の色と描画スケールを設定 */
102     for(int i=0;i< MAX_CHANNELS;i++){
103         switch (i){
104             case 0://チャンネル0
105                 strokeColor=color(255,0,0);
106                 scale=1.0f;
107                 break;
```

```
108     case 1://チャンネル1
109         strokeColor=color(0,255,0);
110         scale=1.0f;
111         break;
112     case 2://チャンネル2
113         strokeColor=color(0,0,255);
114         scale=0.0005f;
115         break;
116 }
117
118 strokeWidth(2.0f);
119 int test = 0;
120
121 for(int j=0;j<(width-50)*2;j++){
122     test++;
123     stroke(red(strokeColor),
124         green(strokeColor),blue(strokeColor));
125     line(j*indexScale+50,-graphValue[i][j]*scale,
126         j*indexScale+1+50,-graphValue[i][j+1]*scale);
127 }
128 }
129 }
130
131 /* 受信コールバックUDP */
132 void receive(byte[] data,String ip,int port) {
133     int channel=((data[3] & 0xff) << 24) |
134         ((data[2]&0xff)<<16)|((data[1]&0xff)<<8)|(data[0]&0xff);
135     int index=((data[7]&0xff)<<24)|((data[6]&0xff)<<16)|
136         ((data[5]&0xff)<<8)|(data[4]&0xff);
137     int value=((data[11]&0xff)<<24)|((data[10]&0xff)<<16)|
138         ((data[9]&0xff)<<8)|(data[8]&0xff);
139     if(channel>=0 && channel<MAX_CHANNELS){
140         graphValue[channel][index]=value;
141     }
142 }
```

まず 18 行目により、ウィンドウサイズ幅 1280 × 高さ 320 のウィンドウを表示させる。そして 32~60 行目が補助目盛線を描画をするコードである。x 軸は frame(フレーム), y 軸は受信した値に依存する。x 軸は 78 行目の変数 index で扱い、x 軸の幅が最大 (1230) に達すると、受信した変数 index の値を 0 にし、x 軸の左端から描画し続けるようにする。補助線の原点はウィンドウ上だと (x,y)=(50,290) にあり、値を描画できる範囲として x 軸の幅は 1230, y 軸の幅は 260 である (図 4.24)。

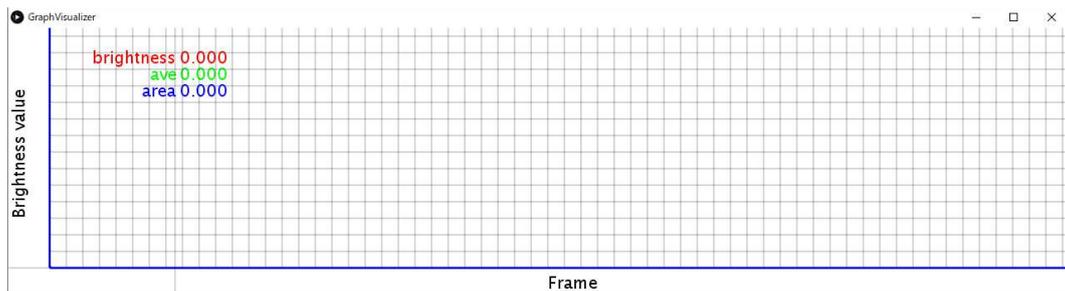


Figure 4.24: グラフ描画用ソフトウェアのウィンドウ

またカーソルの位置から変数 `index` に対応する「輝度平均」「領域の大きさ」の値を表示する機能も 85~99 行目に示すように実装した。これにより、グラフ描画後にもカーソルを合わせた箇所の検出値を観察可能とした。受信した値はの描画する色やグラフの太さは 101~129 行目でそれぞれ次のように設定した、「チャンネル 0」は、クリックしたところの輝度値で受け取ったデータを 1.0 倍で赤色で描画する。「チャンネル 1」は、領域内の輝度平均で受け取ったデータを 1.0 倍で緑色で描画する。「チャンネル 2」は、領域の大きさの合計値で受け取ったデータを 0.005 倍で青色で描画する。140~148 行目では「libOmniProCamDriver.cpp」から送信したデータを受信機能を示している。

以上のようにして、グラフによる観察を可能にした。予備実験と本実験の結果ではこの解析用ソフトウェアを用いた考察も述べる。

Chapter 5

アプリケーション

作成した立体ディスプレイを用いたアプリケーションの実装について本章に示す。

5.1 上半身型ディスプレイのハグ体験アプリケーション

実装した上半身型ディスプレイを用いて「ハグの可視化体験」をユーザに提示するアプリケーションを開発した。ユーザがハグして触れている接触領域の位置と大きさを入力として検出し、出力フィードバックとして接触判定がなされた領域に対して同範囲の上半身型ディスプレイ上に投影することで、ユーザがハグをしながらリアルタイムで自分が接触している領域を視覚的に確認できることを可能にした。図 5.1 における、ディスプレイの赤い領域が接触半手が為された部分である。



Figure 5.1: ハグの可視化体験アプリケーション

このアプリケーションは自身のハグによる接触を受け手側がどのように感じているのかということに関して、可視化することで視覚的に見ることができるといふ新しいハグ体験を実現できた。さらに、本来ハグによる接触はハグをしている人と人の中でしか感じることはできないが、投影された映像を図5.1のように、上半身型ディスプレイ上で周囲のユーザが観察することができるという新しいハグ体験を実現した、

5.1.1 上半身型ディスプレイのアプリケーション案

また、このような本提案システムを用いた新しいハグ体験のアプリケーション案として、次の3つが考えられる。

1つ目はハグにより触れている位置と接触を継続する時間を用いた、「ハグ認証アプリケーション」である。これは個人のハグには利き手やハグに対する慣れが接触の特徴に表れることから、ハグの認証を可能できると考える。

2つ目には解析用動画によって、「ハグ記録アプリケーション」を用いてハグするユーザが自身のハグを後からでも可視化した結果を観察できるようにしたものである。これにより、接触を可視化して相手が触れてほしくない部分に触れていないか、など自身のハグを振り返ってみることを可能にする。

最後は、「ハグによる親密度メーター」である。これは我々がハグをする相手の違いによって、ハグの姿勢にも変化が出ることを可視化するアプリケーション案である。ユーザのハグの入力から、接触位置と接触範囲、また輝度平均の値を用いてより密着して大きな接触をしているハグを測定可能にし、高い親密度を持った相手だと判定する。

5.2 頭部型ディスプレイの撫でる体験アプリケーション

人が行う頭部への接触動作のうち「頭を撫でる」という代表的な動作に着目し、アプリケーションの開発を行った。本章ではまず、頭部への接触動作に着目した理由と HCI の領域から見た、その体験を構成する要素について述べ、それらの要素を検出できるシステムの構成、さらに実際のアプリケーションで体験している様子を示す。

5.2.1 頭部への接触動作と頭を撫でる行為を構成する要素

頭部への接触動作としては、主に他者が頭部に触れるものと、自らの手で自身の頭部へ接触する動作が存在する。このうち、他者とのコミュニケーションの際によくみられる人の頭部への接触に注目すると、例として、「頭を撫でる」、「頬を叩く」などが挙げられる。このうち頭を撫でる動作は、相手を宥める場合や褒める場合などの様々な場面で誰もが日常的に用いる動作だといえる。一方で、この動作は微妙な力加減が含まれ、撫でられる側の感覚の個人差（撫でられたい／撫でられたくない部位の存在など）により、感じ方や伝わる意味が異なる動作でもある。加えて、頭部は凹凸や曲面があり、さらには髪や髭の存在、また眼鏡やマスクなどを装着する場合もある。また、頭を撫でる動作は図5.2に示すように手のひらによる接触が頭部前面から頭頂部を通り、後頭部まで及ぶ広範囲な動作である。そのため、この動作を対話手法へ取り入れたい場合でも、動作をそのままの形で検出することは容易ではない。

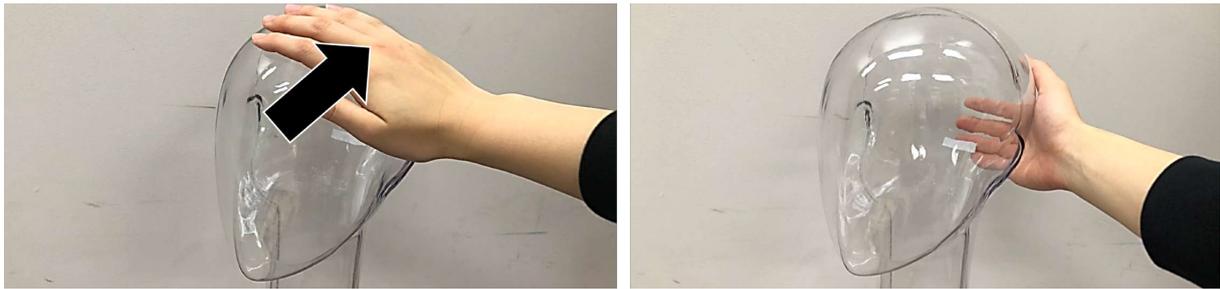
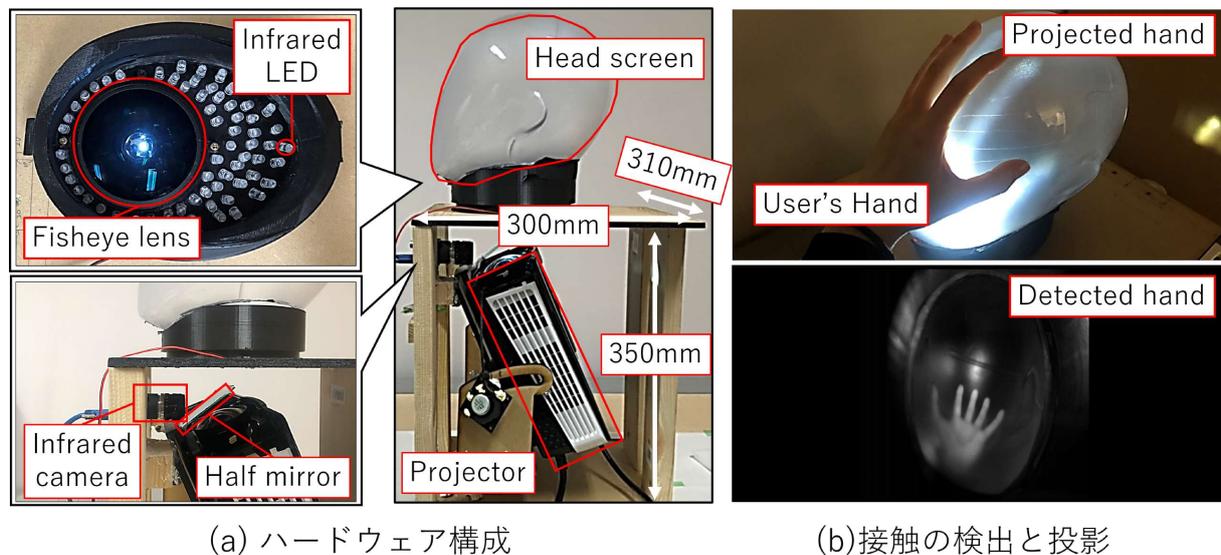


Figure 5.2: 頭を撫でる動作

このような頭を撫でる接触動作について我々は、撫でる側の「手で頭部へかける圧力」、「撫でる速さ」、「撫でる位置」、「撫でるために使う部位(手のひら、指先など)」の4つの要素から構成されていると考える。これらを「頭部に対する撫での構成要素」とする。

5.2.2 「頭を撫でる体験」のアプリケーションの実装

頭を撫でる接触行動に対して、ユーザが頭型のディスプレイを撫でる接触動作の各要素を頭部全周囲で連続的かつリアルタイムに検出し、人が撫でる動作を対話要素として用いることが可能な「全周囲頭部型タッチディスプレイ」の実装を行った。オムニプロカム機構を用いて、DI手法を入力技術に用いたシステムのハードウェア構成を図5.3に示す。



(a) ハードウェア構成

(b) 接触の検出と投影

Figure 5.3: 頭部型ディスプレイのハードウェア構成

頭部ディスプレイへ手のひらで触れると手のひらで赤外光が反射し、その様子を赤外線カメラで図5.4に検出できる。



Figure 5.4: 赤外線カメラで取得した手のひらの様子

次にアプリケーションの実装について述べる。頭部型ディスプレイに対して、手のひらで接触した範囲を検出する実装を行った。本実装は、赤外線カメラの映像をリアルタイムモードで接触の入力検出を行った。リアルタイムのカメラ画像において、固定閾値の150以上の画素を、手のひらでの接触があったと判定してフィードバックを返すような実装を行った。検出範囲に異なる画像(チェック柄)を表示しているときの検出の様子を図5.5に示す。

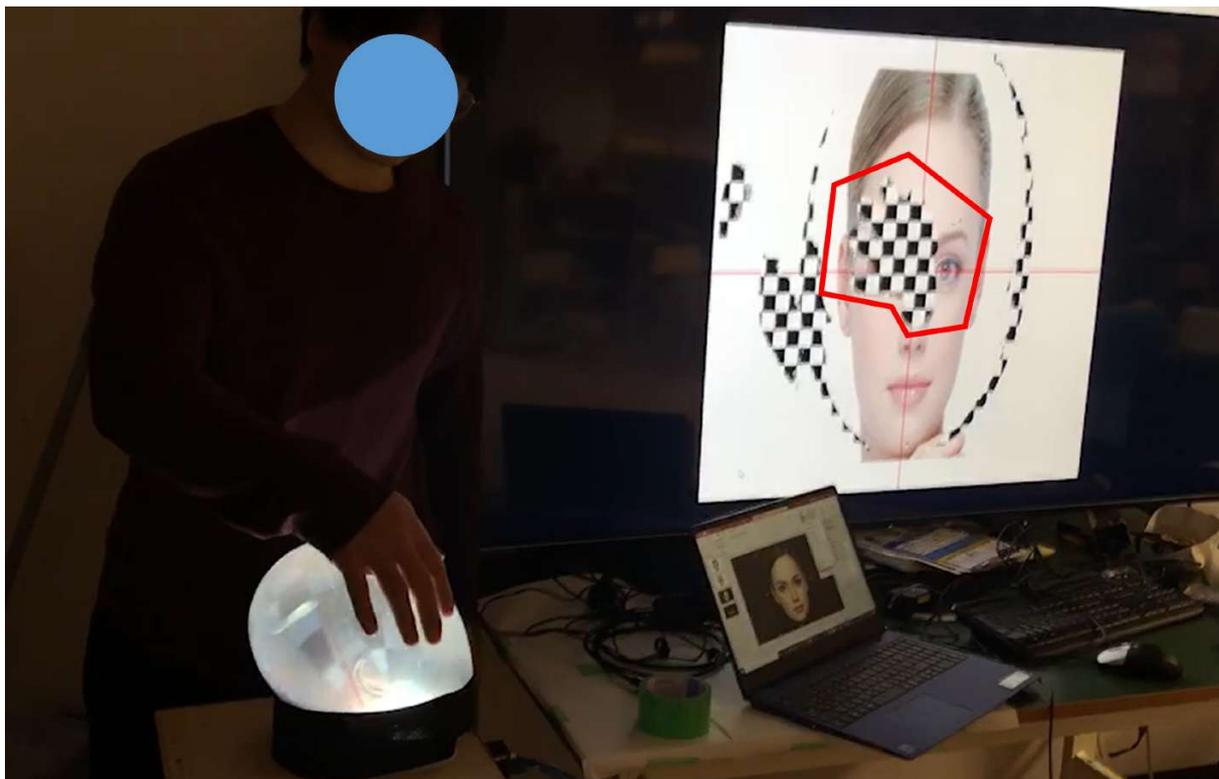


Figure 5.5: 手のひらの接触検出の様子

また、アプリケーションでは体験者へのフィードバックとして接触の有無に対して、表情の異なる2枚の投影される映像を切り替える。これを体験者への「頭を撫でる体験」のアプリケーションとして実装し、体験可能にした。今回出力させた2枚の映像を切り変えて投影した結果を、図5.6に示す。



Figure 5.6: 頭を撫でる体験アプリケーションの体験時の出力フィードバック

5.2.3 「頭を撫でる体験」のアプリケーションの結果と考察

今回、全周囲頭部型タッチディスプレイの提案を行い、システムの実装を行った。そして頭部型ディスプレイを用いた体験者へ「頭を撫でる体験」を提示できる、アプリケーションの開発を行った。アプリケーションでは、頭部全周囲に対して手のひらによる接触をリアルタイムに検出し、真顔と笑顔の2種類の顔の画像をフィードバックとして投影した。これにより、頭を撫でるような動作が引き起こす、インタラクティブな体験を体験者に提示可能にした。今後、「撫でる速さ」と「撫でる位置」からユーザの撫でる動作が早すぎたり遅すぎたりしないか、撫でる側が心地いいと感じる基準を満たしているかについての評価が可能であると考え。そして、この評価により、頭を撫でることを検出・評価可能な特性を活かした質の高い撫で方の教示や、コミュニケーション支援などの可能性についてアプリケーションの実装と評価を行うことも可能ではないかと考える。

Chapter 6

予備実験

本実験に先立ち、提案ディスプレイを用いた予備実験を行った。2.1.3節に示す、4種類のハグによる接触を検出するための実験空間のセッティングについて検討した。本章では、予備実験1と予備実験2から得られた結果に基づいた分析と本実験の設計に関する考察を報告する。また、ハグの姿勢については下記の表記で示すこととする。

姿勢1

首腰ハグ(右): 右腕を首に回し、左腕を腰に回すようにハグをする姿勢とする。

姿勢2

首腰ハグ(左): 左腕を首に回し、右腕を腰に回すようにハグをする姿勢とする。

姿勢3

十字架ハグ(上): 両腕を肩に回すようにハグをする姿勢とする。

姿勢4

十字架ハグ(下): 両腕を腰に回すようにハグをする姿勢とする。

6.1 予備実験1

6.1.1 予備実験1の実験環境

予備実験として研究室の一角に、上半身型の提案ディスプレイと安定化電源、制御用PC、姿勢録画のためのカメラを2台配置した(図6.1)。被験者の姿勢を記録するためのカメラ2台は、被験者の上半身と上半身型ディスプレイが画角内になる高さに設定した。それぞれの配置は、被験者がハグをしたときの手、腕や頭部の位置などを観察するために、カメラ1を被験者の背面側から、カメラ2をディスプレイの背面側から記録できる位置とした。



Figure 6.1: 予備実験 1(S1) の実験環境

6.1.1.1 解析用動画の録画ソフト

解析用の赤外線カメラの映像の録画方法について示す。録画用ソフトは、FLIR 社の Spinaker SDK をインストールし SpinView(ver2.5.0.80) [42] で行った。カメラのしぼりはディスプレイ内の明るさを確認しながら 2.8 とし、SpinView の録画設定は表 6.1 に示す値で統一し、動画を記録した。シャッタースピードは記録映像の滑らかさに影響するので、時間に対するハグの接触の違いを細かく分析するために、より大きな値の 16666fps(60Hz) にした。ゲインは分析時のノイズを考慮し、画面全体が暗くなるがほかの値を調整することで、可能な限り低い値の 0 とした。また、動画ファイルの保存設定は、色空間は Mono16 とし、モノクロ画像でかつ画像内の 1 ピクセルあたりの輝度レベルを決めるビット深度を 16 ビット (65536) とする設定で統一した。さらに Video Recording Type の選択で、被験者 S1-001 の場合は Uncompressed(非圧縮) の AVI 形式で行い、被験者 S1-002 では compressed(圧縮) の MJPEG 形式でそれぞれ保存し、結果を確認した。録画時のフレーム数は、カメラのフレーム数と同期とする設定で、121.32 と設定し、フレーム幅 1280 × フレーム高 1080 で録画した。

Table 6.1: SpinView のカメラ設定と録画設定

シャッタースピード	ゲイン	ガンマ	色空間	保存形式	録画時のフレーム数
16666(60Hz)	0	0.8	Mono16	AVI or MJPEG	121.3106

6.1.2 予備実験 1 の被験者

予備実験 1 は、研究室内の 2 名 (女性) を対象に行った (表 6.2)。本実験で実験を行うにあたり、被験者に適した上半身型ディスプレイの高さを設定する。上半身型ディスプレイと被験者の肩の差を基準とした。被験者 S1-001 では肩の高さを同様とし、被験者 S1-002 ではディスプレイが被験者の肩より 10cm 低くなるように設定し、実験を行った。

Table 6.2: 予備実験 1 の被験者

被験者番号	身長 (cm)	被験者基準の筐体の高さ	利き手
S1-001	152	+ 5cm	右
S1-002	160	- 10cm	右

6.1.3 予備実験 1 の流れ

本節では予備実験 1 の流れを説明する。まず、筐体と被験者の肩の高さが一緒になるように合わせる。これは本実験を行うにあたり、ハグという接触動作を自然に行うことができる筐体の高さを決定するためである。

次にホワイトボードを用いて実験の流れを説明する。実験の概要は、上半身型ディスプレイを 5 段階の強さで 5 秒間ずつ抱きしめてもらう。これを 4 種類のハグの姿勢で同様に繰り返す。被験者には口頭で 5 秒間を伝え、最も弱いハグから最も強くハグした状態までを行ってもらう。実験説明では、図 6.1 右側に示したように、4 つの姿勢について説明した。4 つの姿勢は分かりやすいように図解と 2.1.3 に定義したハグの姿勢の文章を示した。加えて、1 段階目のハグについては「触れるか触れないかの状態でハグの姿勢をとってほしい」と言及する。

実験説明が終わったら、被験者と 1 つ目のハグの姿勢 (右腕が上に回る首腰のハグ) を確認する。SpinView の録画をスタートし、被験者へ口頭で「開始」を伝える。被験者の手がディスプレイの後ろに回り被験者の姿勢も安定した状態から、手元のタイマーで 5 秒間を口頭でカウントし始める。そして、5 秒経過した時点でハグの強さを変更するよう伝える。同様の方法で、4 種類のハグの姿勢に対して記録を行う。最後に実験後の感想を聞き、予備実験 1 を終了とした。

6.1.4 予備実験 1 の結果と考察

被験者 S1-001 の姿勢記録用カメラの記録を図 6.2 に示す。また、被験者 S1-002 の姿勢記録用カメラの記録を図 6.3 に示す。

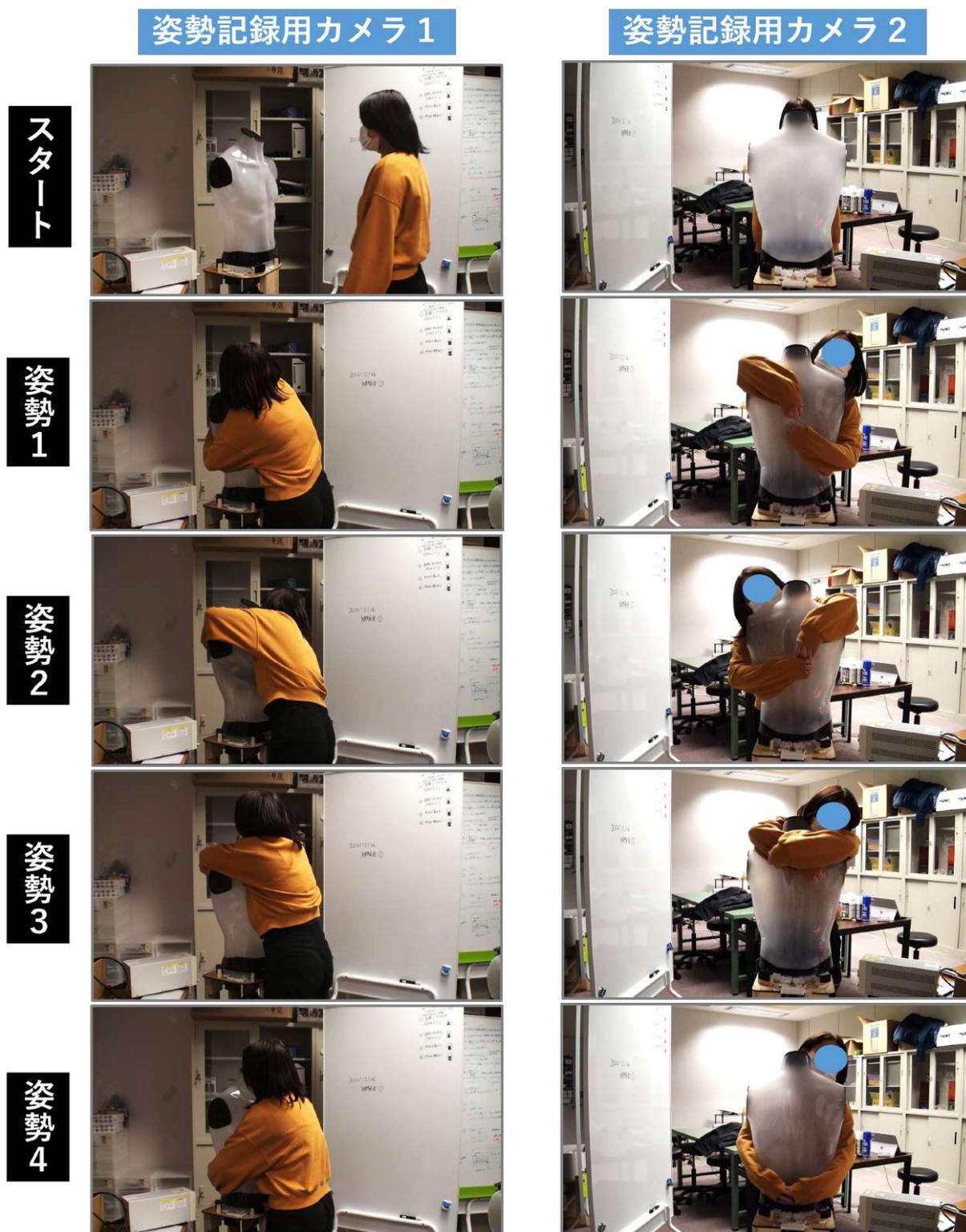


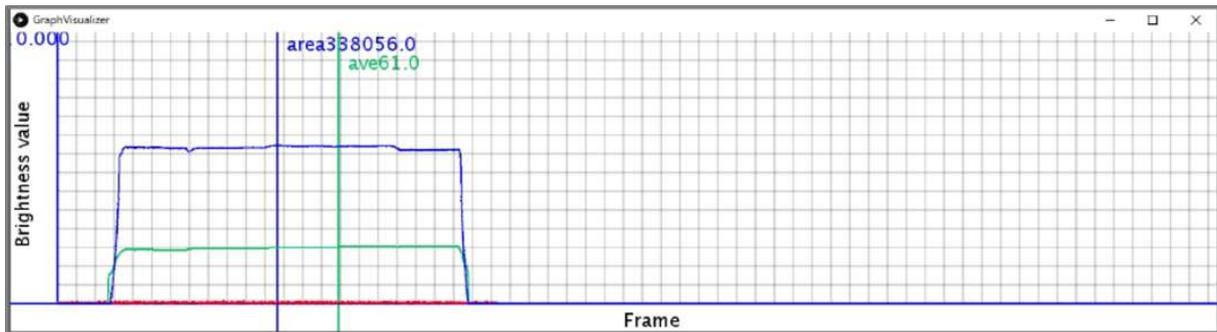
Figure 6.2: 被験者 S1-001 の姿勢記録カメラの映像



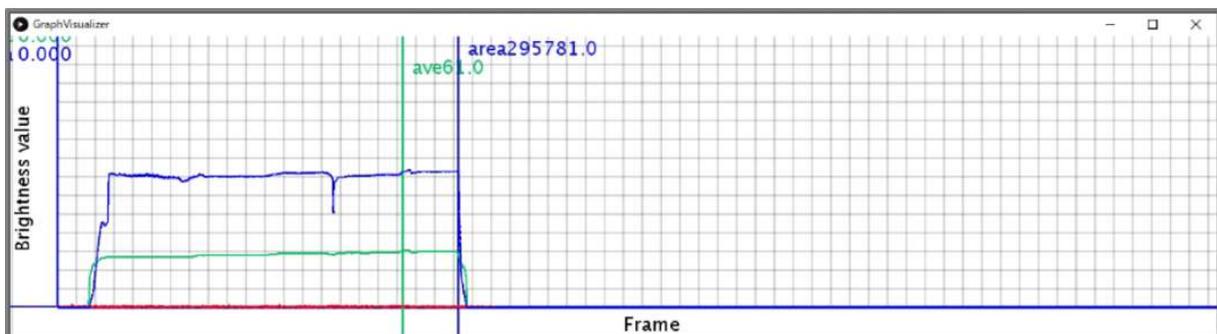
Figure 6.3: 被験者 S1-002 の姿勢記録カメラの映像

また解析用アプリケーションを用いてハグによる接近から接触している領域の合計の大きさとその領域内のピクセルに対する、輝度平均をグラフ描画した。出力結果を被験者 1 を図 6.4 に、被験者 2 を図 6.5 に示す。閾値は姿勢 1・4 を 19、姿勢 2・3 を 21 で解析

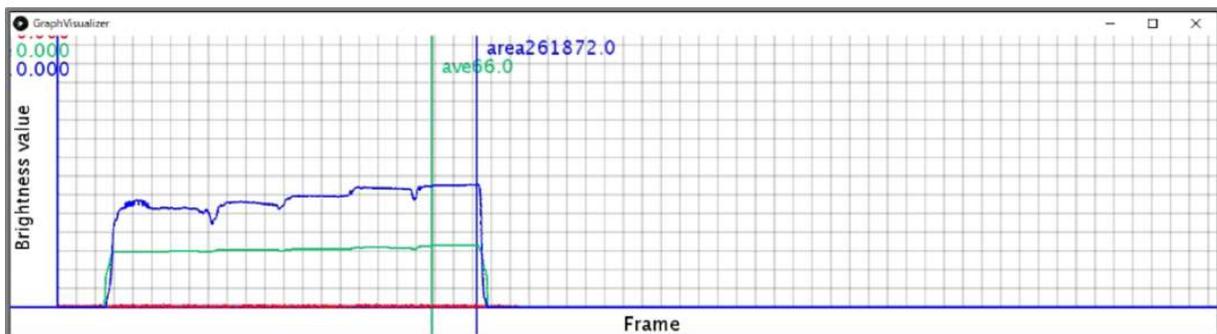
した。



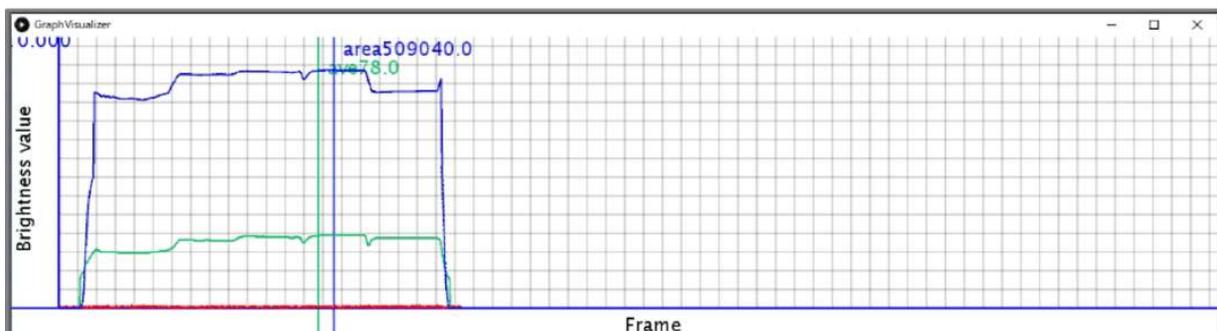
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

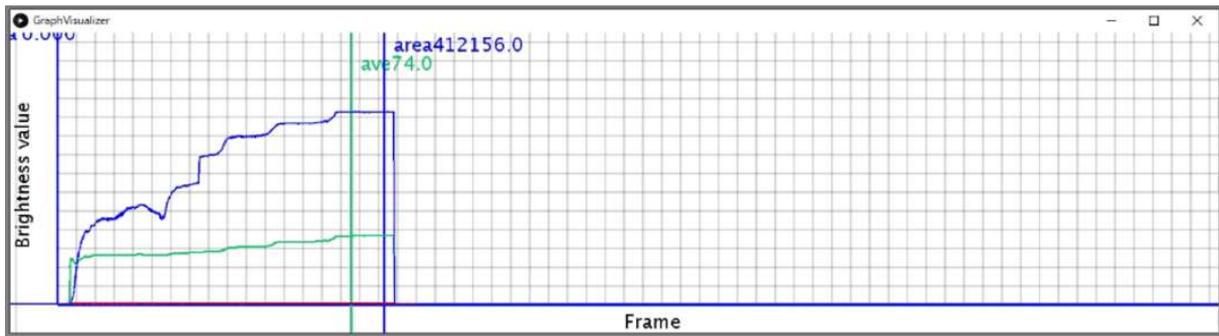


(c) 姿勢 3

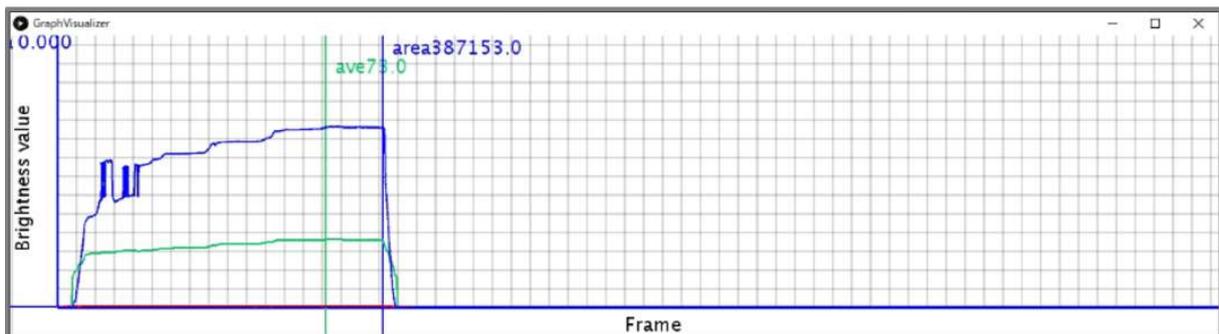


(d) 姿勢 4

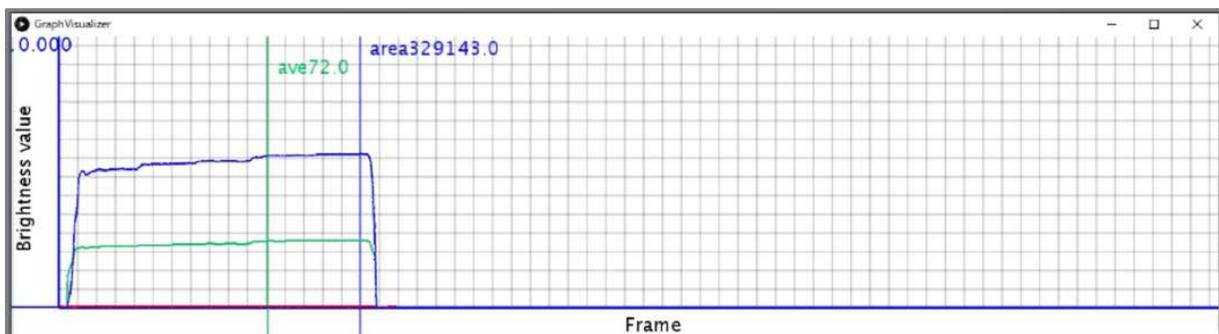
Figure 6.4: 被験者 S1-001 のグラフ描画結果



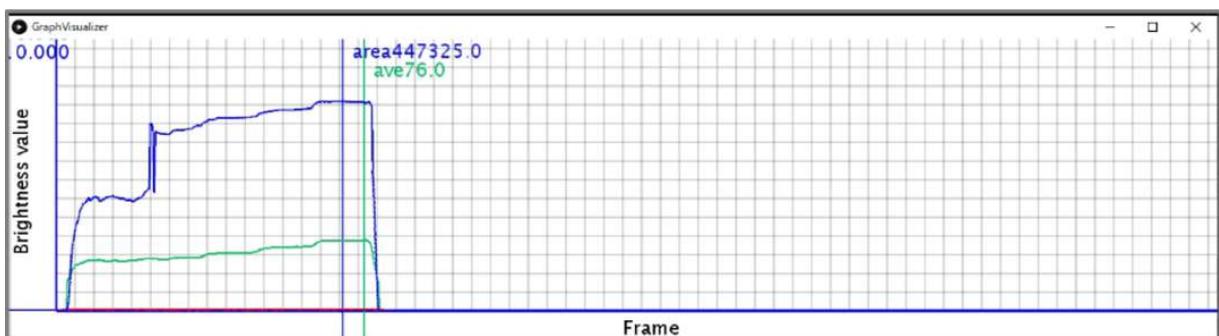
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2



(c) 姿勢 3



(d) 姿勢 4

Figure 6.5: 被験者 S1-002 のグラフ描画結果

さらにハグ開始時から終了時までの間で、領域の合計の最大値と輝度平均の最大値の結果を表 6.3 に示す。

Table 6.3: 予備実験 1 の最大の領域合計と輝度平均

	被験者番号	姿勢 1	姿勢 2	姿勢 3	姿勢 4
領域の合計の最大値	S1-001	338056.0	295781.0	261872.0	509040.0
	S1-002	412156.0	387153.0	329143.0	447325.0
輝度平均の最大値	S1-001	61.0	61.0	66.0	78.0
	S1-002	74.0	73.0	72.0	76.0

6.1.4.1 被験者の姿勢と解析用動画の同期に関する結果と考察

予備実験 1 では 6.1.4 に示したように、姿勢の録画と接触分析用の赤外線カメラの動画を別々に保存した。そのため、被験者の姿勢と赤外線カメラの映像との同期は難しく、姿勢と接触領域の大きさを分析する際に不便であった。このことから、分析と考察のために実験時には赤外線カメラの分析用動画をキャプチャする画面と被験者の姿勢を録画するカメラ 2 台の画面を同時に記録するべきであったと考える。

6.1.4.2 筐体と被験者の高さの差に関する結果と考察

被験者 S1-001 では筐体と被験者の肩の高さがほぼ一致するよう設定したが、同じ高さの筐体へ姿勢 3 のハグをするとき、両腕を筐体の肩へ回すためにつま先立ちしている様子が見られた。同様の姿勢で特に顎を置く姿勢も不自然さが見られた。実験後のインタビューでも「筐体の高さが高く、指示された姿勢で肩の上に腕を回すことが難しかった」という回答であった。一方で筐体を被験者より 10cm 低く設定した被験者 S1-002 の実験では、このような不自然さが客観的にも見られず、インタビューでも「ハグをする際に姿勢の窮屈さは感じられなかった」という結果であった。

このことから、筐体と被験者の高さは「筐体の肩の位置を被験者の肩より低く設定するべき」と考える。被験者へのインタビューからも自然にハグの姿勢をとれることがわかった。またこのようになった理由として、通常人同士がハグするとき、姿勢を固定されないこと、また、人と人同士のハグでは、身長差があったとしてもどちらかがしゃがむ姿勢をとったりして自然とハグしやすいように調整していると考えられる。この結果から、次にどの程度低く設定する必要があるかを予備実験 2 で被験者を増やし推定する必要があると考える。

6.1.4.3 ハグの開始時から強弱の指示に関する結果と考察

実験後のインタビューから、ハグを筐体からどの程度離れたところから開始すればいいかわからないという感想があった。また 2 人の被験者で開始位置が異なったため、記録開始から筐体へ接触するまでの時間差も見られた。そのため筐体における接触検出の範囲外の任意の位置を開始位置として指定する必要があると考える。予備実験 2 では開始位置を設定して行う。

6.2 予備実験 2

6.2.1 予備実験 2 の実験環境

予備実験 2 は研究室の一角に図 6.6 に示すように、上半身型の提案ディスプレイと安定化電源、制御用 PC、姿勢録画のための Web カメラを 2 台設置して行った。被験者の姿勢を

記録するためエレコム社の Full HD Web カメラを 2 台設置した (図 6.6(姿勢記録用 Web カメラ 1・2)). 予備実験 1 と同様に筐体の上半身型ディスプレイと被験者の上半身が画角内に収まり、観察できる高さに設定した. Web カメラの配置は, 被験者がハグをしたときの手, 腕や頭部の位置などを観察できるように, カメラ 1 を筐体と被験者に対して真横の位置, カメラ 2 をディスプレイの背面側から記録できる位置とした.

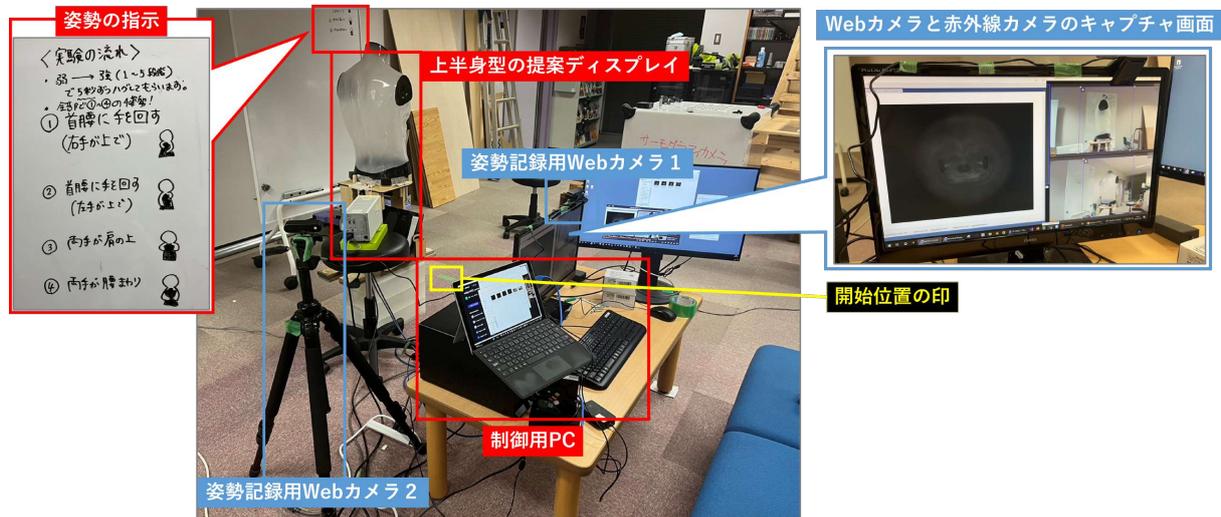


Figure 6.6: 予備実験 2 の実験環境

6.2.1.1 解析用動画の録画ソフト

赤外線カメラの録画用ソフトは予備実験 1 と同様に, FLIR 社の SpinView を用いた. カメラの設定と SpiView の録画設定も予備実験と同様の表 6.1 に示す値を設定した.

6.2.1.2 Web カメラ 2 台の同時表示用ソフト

Web カメラ 2 台を制御用 PC に USB 接続した. 2 台のカメラ画角を同時に表示するために, IO DATA 社の Web カメラ設定アプリケーション「Camutil(カムチル)」[43] をインストールして用いた. これにより図 6.6(Web カメラと赤外線カメラのキャプチャ画面) のように表示できるようになった.

6.2.1.3 姿勢記録用の Web カメラと解析動画記録用の赤外線カメラの画角を録画するソフト

制御 PC にはディスプレイを 2 台接続し. 6.2.1.2 節で提示したソフトと 6.2.1.1 節で提示したソフトを用いて, ディスプレイ 1 の全画面に図 6.7(Web カメラと赤外線カメラのキャプチャ画面) を表示する. ディスプレイ 1 の画面録画ソフトには, EaseUS 社の RecExperts を使った [44]. 実験の最初に録画領域をディスプレイ 1 に設定し, F9 を押下して録画の開始・停止をする.

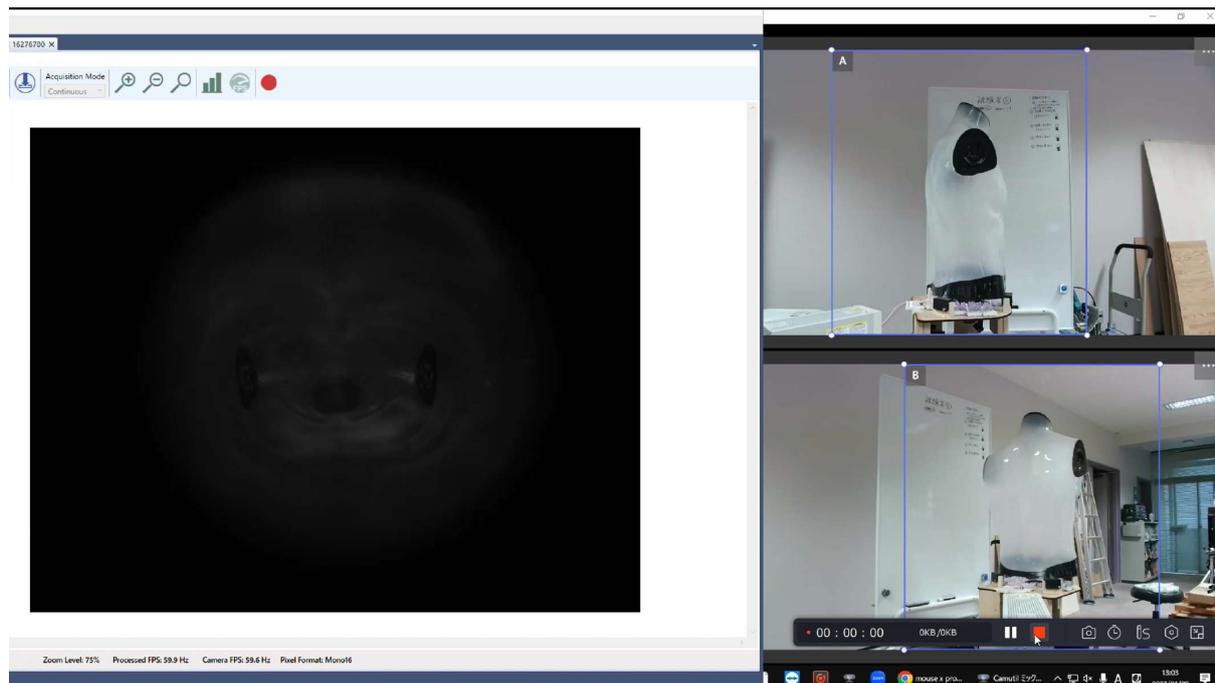


Figure 6.7: EaseUS 社の RecExperts

6.2.2 予備実験 2 の被験者

予備実験 2(S2) は、3 名 (男性 2 名, 女性 1 名) を対象に行った (表 6.4)。被験者の肩を基準とし、筐体の高さは 0 20cm 低くなるように設定して実験を行った。

Table 6.4: 予備実験 2 の被験者

被験者番号	身長 (cm)	性別	被験者基準の筐体の高さ	利き手
S2-001	168	男	-5cm	右
S2-002	158	女	-10cm	右
S2-003	175	男	-20cm	左

6.2.3 予備実験 2 の流れ

本節では予備実験 2 の流れを説明する。まず、筐体が被験者の肩の高さより低くなるように調整した。次にホワイトボードを用いて実験の流れを説明する。予備実験 2 の概要も予備実験 1 と同様に、被験者が筐体に 5 段階の強さで 5 秒間ずつ抱きしめてもらう。これを 4 種類のハグの姿勢で行う。被験者には口頭で 5 秒間を伝え、1 段階目の最も弱いハグから 5 段階目までの最も強くハグする状態までを行ってもらう。実験説明は、予備実験 1 と同様にハグの姿勢の図解と文章で行った。加えて、1 段階目のハグについては「触れるか触れないかの状態でハグの姿勢をとってほしい」と言及する。またハグを開始する位置である、養生テープで示した場所で待機するよう伝える。

実験説明が終わったら、被験者と 4 つのハグの姿勢を確認する。その後、SpinView の録画と Camutil の録画をスタートし、被験者へ口頭で「開始」を伝える。被験者が筐体に近づき、手が筐体の後ろに回って被験者の姿勢も安定した状態から手元のタイマーで 5 秒間を口頭でカウントし始める。そして、5 秒経過した時点でハグの強さを変更するよう伝

える．同様の方法で，4 種類のハグの姿勢に対して記録を行う．最後に実験後の感想を聞き，予備実験 2 を終了とした．

6.2.4 予備実験 2 の結果と考察

被験者 3 人分の Camutil で録画した姿勢記録用カメラと赤外線カメラの画面キャプチャを図 6.8 に示す．開始位置に立っていることを確認した後，各姿勢の実験をスタートした．

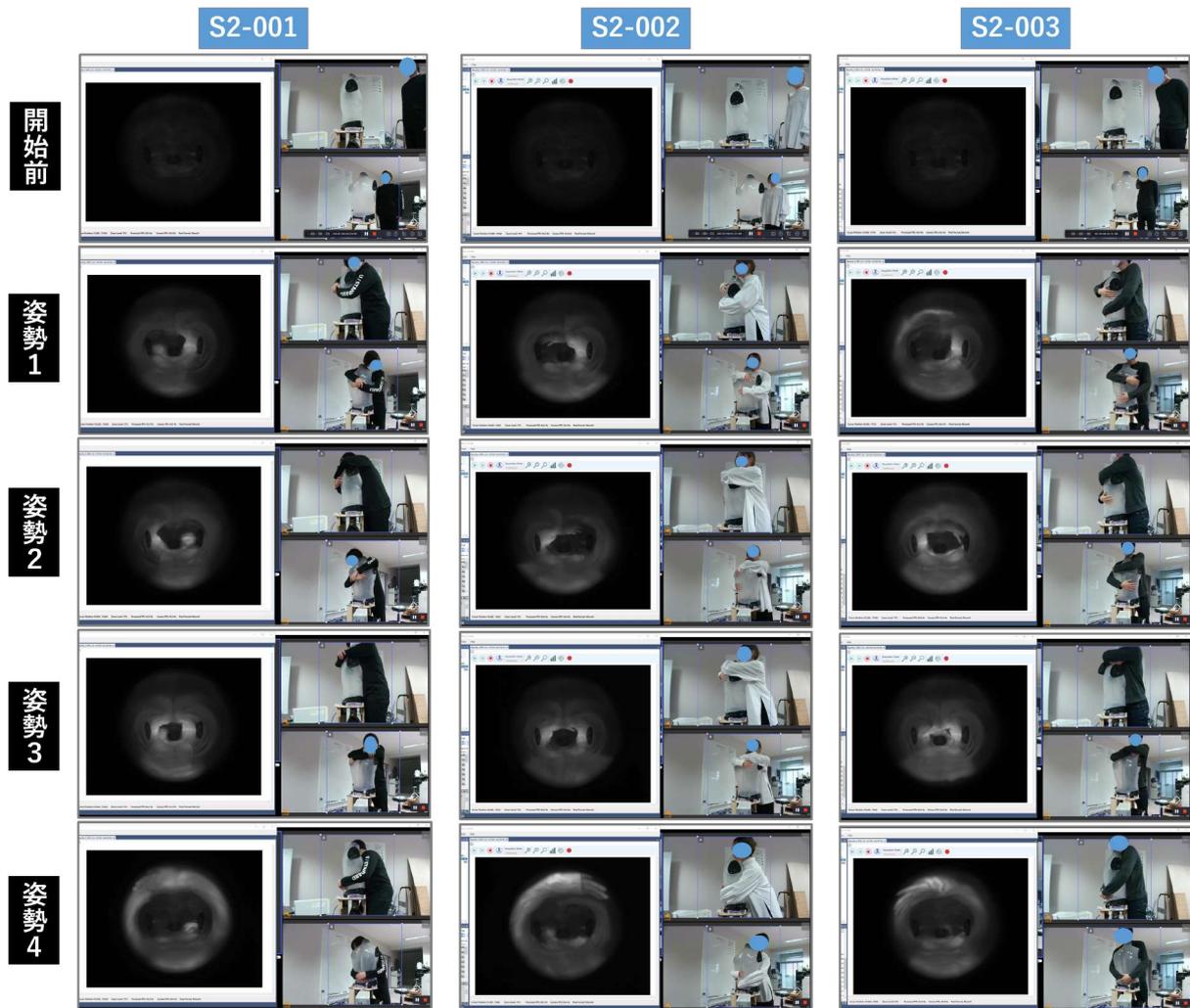
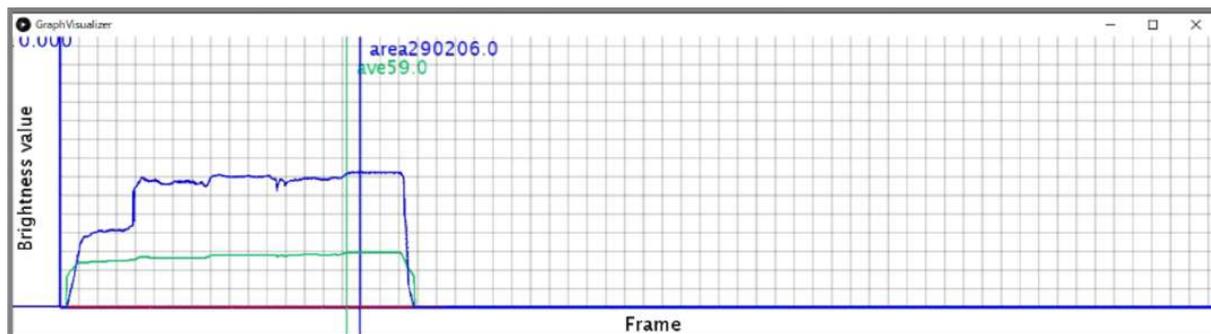
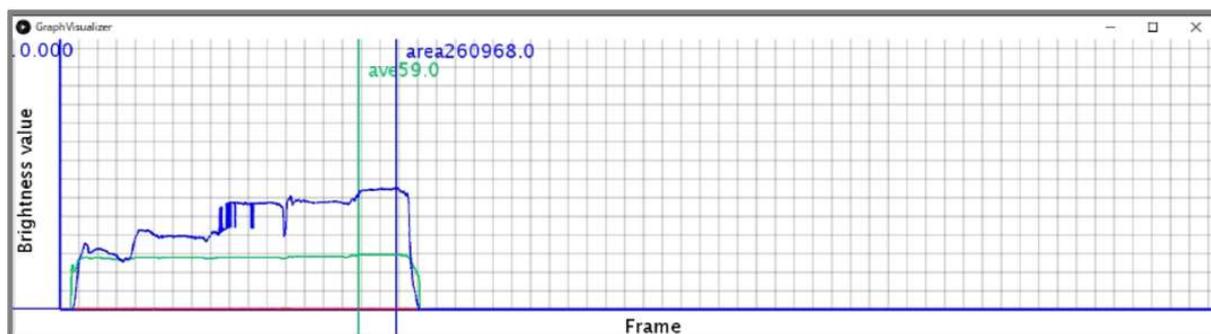


Figure 6.8: 被験者 s2-001,002,003 の実験時の姿勢カメラの結果

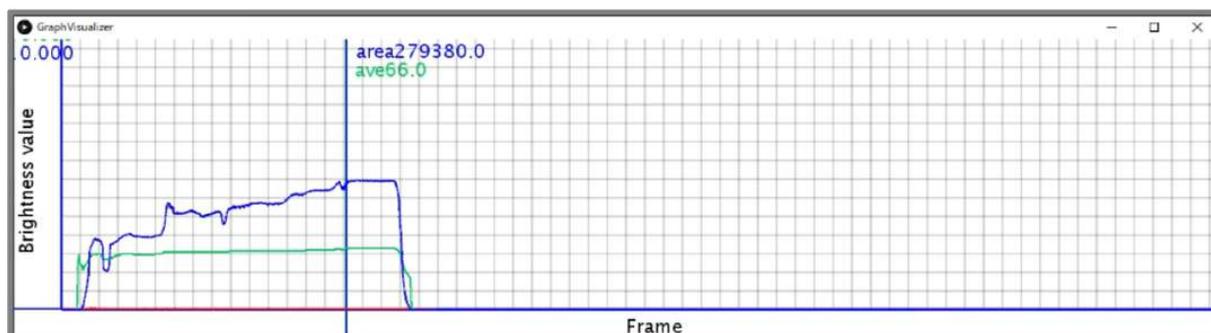
また解析用アプリケーションを用いてハグによる接触領域の合計の大きさとその領域内のピクセルに対する，輝度平均をグラフ描画した．出力結果を被験者 1 を図 6.9，被験者 2 を図 6.10 に，被験者 3 を図 6.11，示す．閾値は姿勢 1・4 を 19，姿勢 2・3 を 21 で解析した．



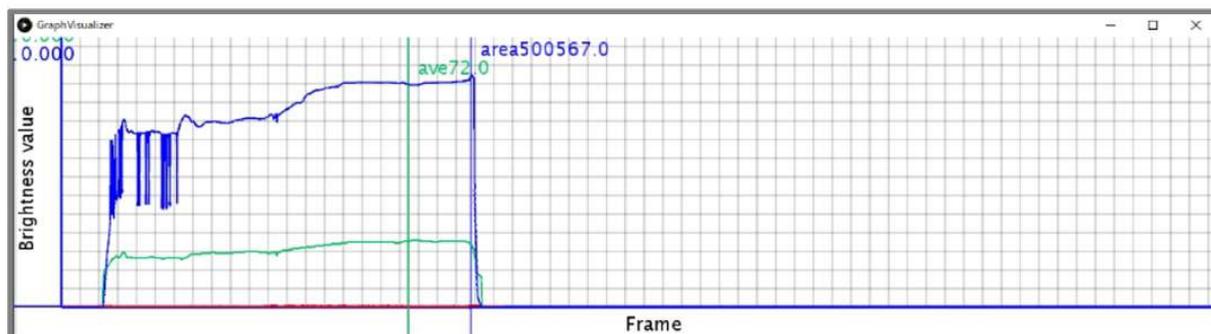
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

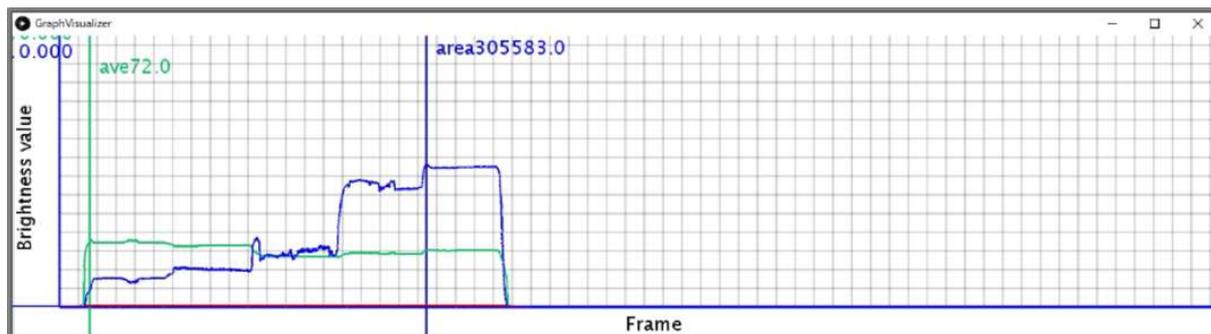


(c) 姿勢 3

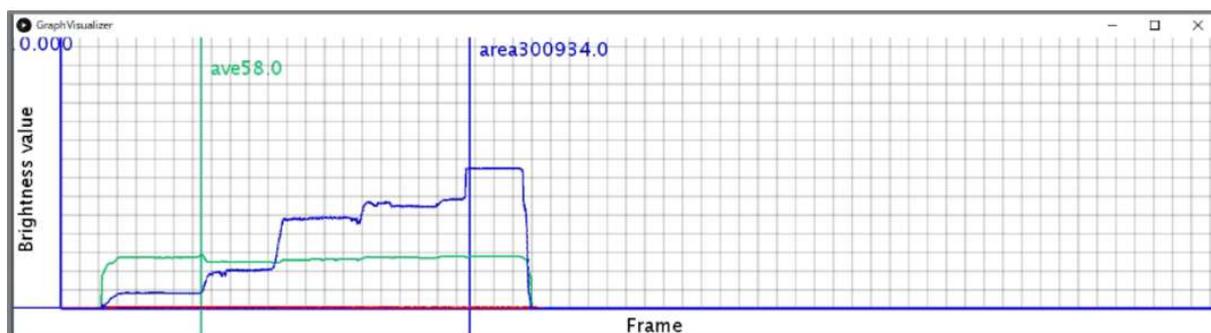


(d) 姿勢 4

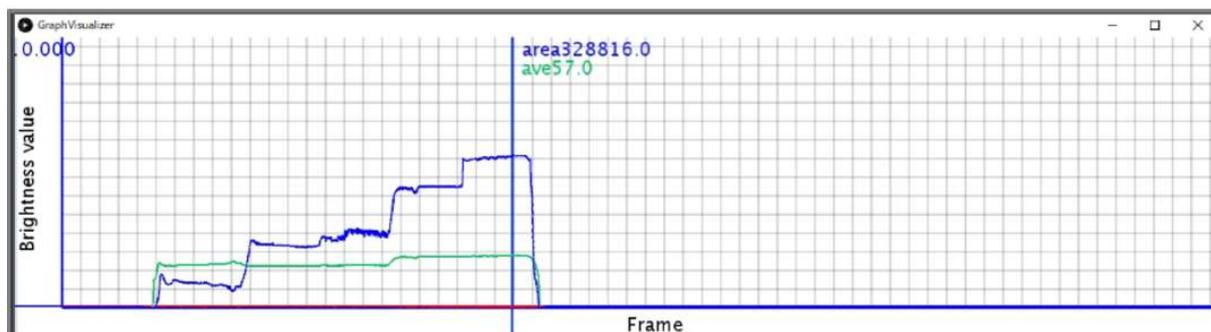
Figure 6.9: 被験者 S2-001 のグラフ描画結果



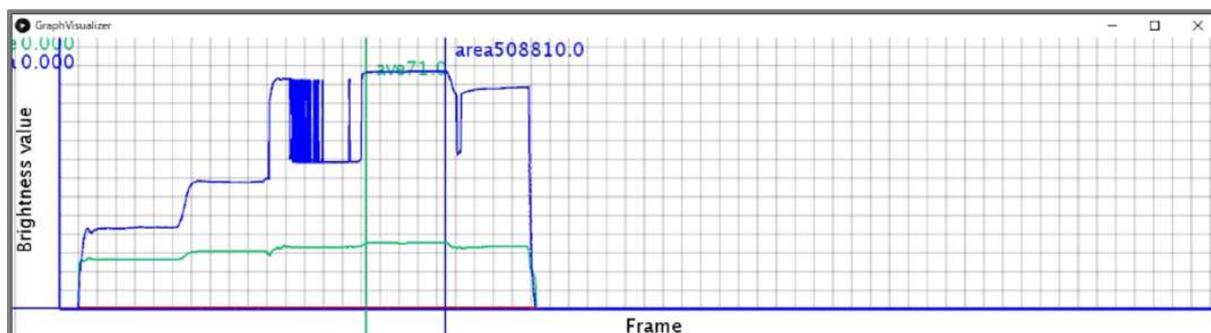
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

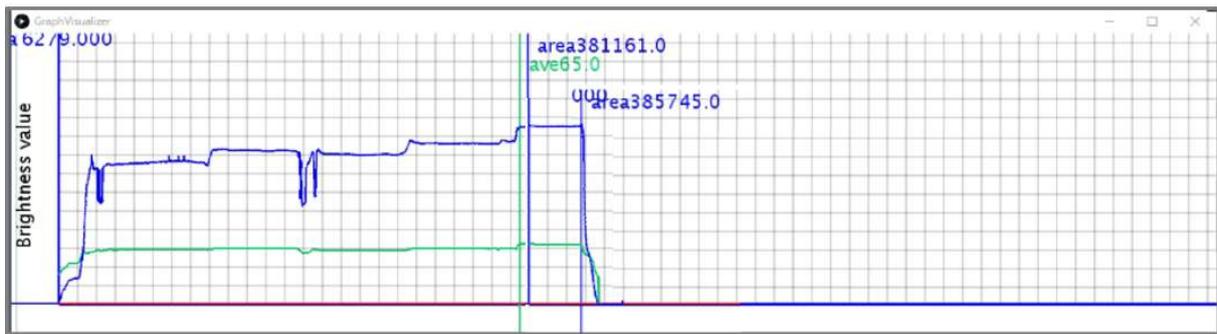


(c) 姿勢 3



(d) 姿勢 4

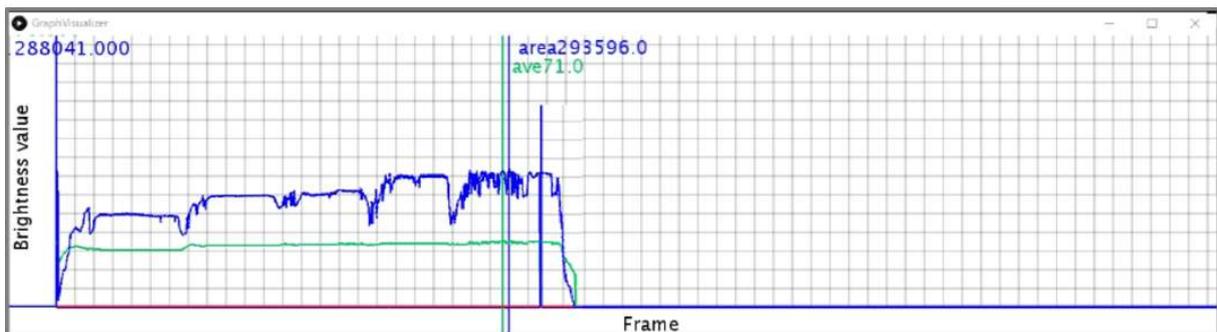
Figure 6.10: 被験者 S2-002 のグラフ描画結果



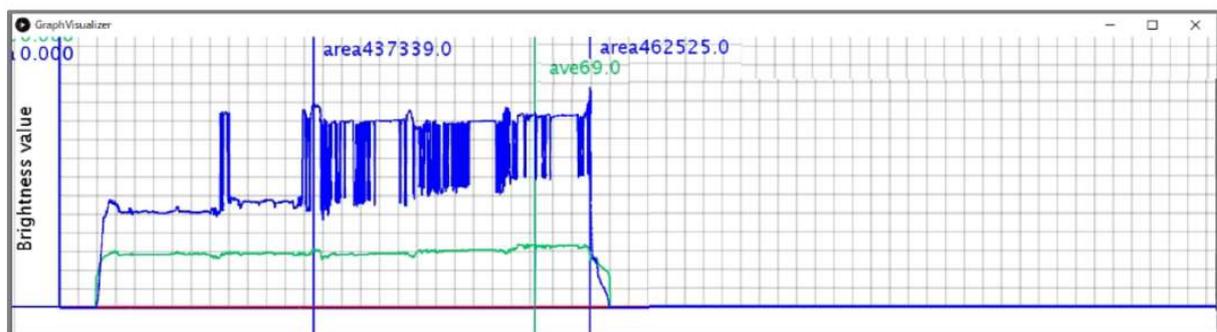
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2



(c) 姿勢 3



(d) 姿勢 4

Figure 6.11: 被験者 S2-003 のグラフ描画結果

さらにハグ開始時から終了時までの間で、領域の合計の最大値と輝度平均の最大値の結果を表 6.5 に示す。

Table 6.5: 予備実験 2 の最大の領域合計と輝度平均

	被験者番号	姿勢 1	姿勢 2	姿勢 3	姿勢 4
領域の合計の最大値	S2-001	290206.0	290668.0	279380.0	500567.0
	S1-002	305583.0	300934.0	328816.0	508810.0
	S1-003	385745.0	325401.0	293596.0	462525.0
輝度平均の最大値	S2-001	59.0	59.0	66.0	72.0
	S1-002	72.0	58.0	57.0	71.0
	S1-003	65.0	68.0	71.0	69.0

6.2.4.1 赤外線カメラの録画設定に関する考察

今回、赤外線カメラ用の SpinView を用いて録画を行った。解析用ソフトで動画データを解析したところ、筐体に近づいている、または接触している領域とそうでない領域の境に顕著なブロックノイズが現れる解析結果となった (図 6.12)。

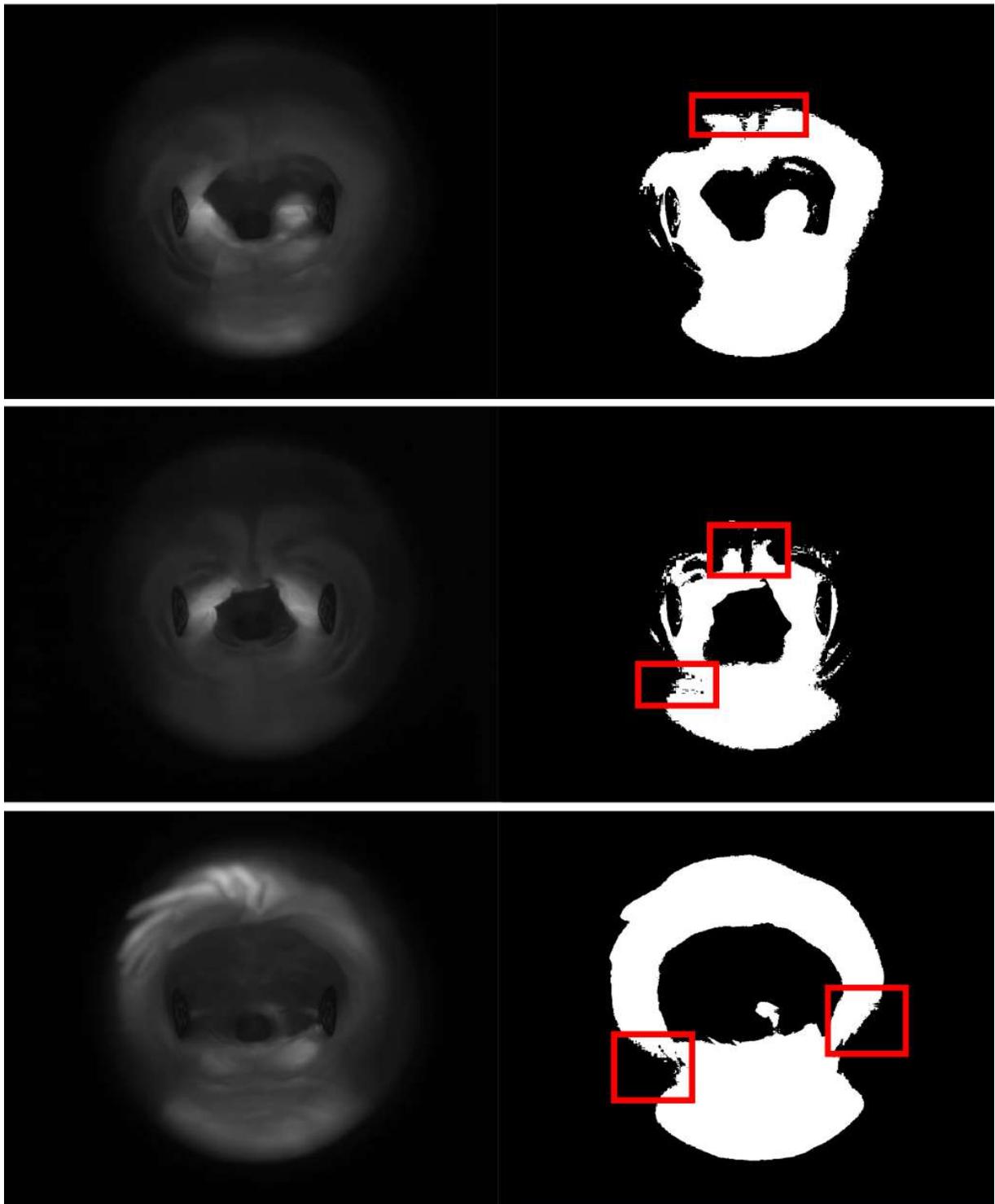


Figure 6.12: 元動画とブロックノイズが現れている解析結果

予備実験 1 と予備実験 2 での動画データのサイズはフレーム幅 1280 × フレーム高 1080 で統一していたが、フレームレート (fps) とデータの長さ、また圧縮形式による動画データのサイズは表 6.6, 表 6.7, 表 6.8, 表 6.9, 表 6.10 に示す違いがあった。

Table 6.6: 被験者 S1-001 動画データのプロパティ

被験者 S2-001	保存形式	フレームレート	長さ	サイズ
姿勢 1	非圧縮 (AVI 形式)	121.32fps	20s	8.93GB
姿勢 2			19s	8.74GB
姿勢 3			19s	8.86GB
姿勢 4			18s	8.03GB

Table 6.7: 被験者 S1-002 動画データのプロパティ

被験者 S1-002	保存形式	フレームレート	長さ	サイズ
姿勢 1	圧縮 (MPEG 形式)	121.32fps	15s	83.1MB
姿勢 2			15s	82.5MB
姿勢 3			14s	78.2MB
姿勢 4			14s	78.3MB

Table 6.8: 被験者 S2-001 動画データのプロパティ

被験者 S2-001	保存形式	フレームレート	長さ	サイズ
姿勢 1	圧縮 (MPEG 形式)	170.53fps	11s	86.3MB
姿勢 2			11s	82.3MB
姿勢 3			12s	89.0MB
姿勢 4			13s	101MB

Table 6.9: 被験者 S2-002 動画データのプロパティ

被験者 S2-002	保存形式	フレームレート	長さ	サイズ
姿勢 1	圧縮 (MPEG 形式)	121.32fps	21s	109MB
姿勢 2			22s	111MB
姿勢 3			23s	118MB
姿勢 4			24s	131MB

Table 6.10: 被験者 S2-003 動画データのプロパティ

被験者 S2-003	保存形式	フレームレート	長さ	サイズ
姿勢 1	圧縮 (MPEG 形式)	121.32fps	28s	151MB
姿勢 2			23s	121MB
姿勢 3			25s	135MB
姿勢 4			25s	130MB

MPEG 形式の設定で録画したことで、圧縮時に MPEG 形式に則ったブロックごとで画像データが区切られ、保存されてしまっていた。これにより 1 ピクセルずつ輝度値を解析する提案手法の解析用ソフトでは、接触判定となる領域とそれ以外の領域の境目になる輪郭部分がだまかにしか検出できていなかったことが原因であった。圧縮されたデータ

を使用すれば、撮影時の各ピクセルが持つ情報が省略されてしまい、解析用ソフトで接触判定に含まれる領域やそこから求められる輝度平均の検出結果に影響を及ぼしてしまうとわかった。そのため、次章に示す本実験では解析用動画データは、フレーム幅 1280 × フレーム高 1080 とし、フレームレートはカメラの最大である 121.32fps、また非圧縮の AVI 形式で保存して動画を用いることとする。ただし、非圧縮のデータを保存するためには、大きな容量が必要であり、録画用ソフトを用いるときは残容量に注意して行う必要がある。

6.2.4.2 筐体と被験者の肩の位置の差に関する考察

予備実験 2 では筐体が被験者より低くなるように高さを設定した。表 6.4 の「被験者基準の筐体の高さ」に示すとおり実験を行った。その結果、筐体が被験者より -5cm であった被験者 S2-001 と、-10cm であった被験者 S2-002 はハグする際の姿勢に違和感を感じていなかった。一方で、被験者 S2-003 は -15cm の差がある筐体にハグしていたところ、違和感を感じなかったが「特に姿勢 4 で女性をハグするイメージで実験を行った」と実験後のインタビューで回答した。筐体の筋肉の付き方が一般男性のような形状をしており、筐体の表面がプラスチック素材で硬い印象を持つ触覚的な情報からも、男性をイメージしたハグになると予想していたが、今回の結果から、身長差が大きくなるとハグする対象のイメージにも影響があると考えられる。このことから、本実験での筐体は、被験者の肩の位置から 0 15cm 以内の低さに設定するべきであると考えた。また、これ以上低い筐体へは今回指定する両腕を回すハグの姿勢での接触が難しいことも、このような設定にすべきと考えた理由の一つである。

6.2.4.3 ハグによる接触の領域の大きさと輝度平均で描画することへの考察

接触している領域の合計と輝度平均を解析用ソフトから転送し、描画ソフトで値を受け取り、結果をグラフ化した。被験者 S2-001 の結果を図 6.9、S2-002 の結果を図 6.10、S2-003 の結果を図 6.11 に示す。姿勢 1 と 4 では閾値 19 とし、姿勢 2 と 3 では閾値 21 で結果の分析を行った。

ハグの開始時に被験者が筐体に近づいていくと、領域の大きさと輝度平均の値が描画されはじめ、ハグを終了時に被験者が離れていくと数値が小さくなった。

被験者が触れるか触れないかの最も弱い状態から 5 段階で強く抱きしめていったとき、検出した接触領域の大きさも徐々に大きくなった。また被験者 S2-001、S2-003 では輝度平均のピークは被験者がハグを強くしていった 4 段階目と 5 段階目で検出した。この結果から、接触領域の大きさと輝度平均の値が、ハグの強弱を測る指標として使えると考える。

6.2.4.4 接触領域と輝度平均の最大値の結果と考察

描画ソフトで、受け取った値からそれぞれの最大値を描画した。姿勢 1 では、被験者 S2-003 の 385745.0 (総ピクセル数:1382400)、姿勢 2 では、被験者 S2-003 の 325401.0、姿勢 3 では、被験者 S2-002 の 328816.0、姿勢 4 では、被験者 S2-002 の 508810.0 が最大値の内でも最大の領域であった。

また被験者 S2-001 では、4 つすべての姿勢で最大領域と最大輝度平均は 4 段階目と 5 段階目であった。被験者 S2-002 は、最大領域は 4 段階目と 5 段階目の状態であったのに対して、輝度平均は姿勢 1 と 2 では 1 段階目の状態で最大輝度平均を検出した。特に姿勢 1 では接触が起こった瞬間の輝度平均が 1 番高かった。姿勢 3 は 5 段階目、姿勢 4 は 3 段階目と 4 段階目の状態で最大輝度平均を検出するなど、4 つの姿勢に通していえるような

傾向はみられなかった。被験者 S2-003 は、最大領域は姿勢 1, 2, 3 では 4 段階目と 5 段階目の状態で検出したのに対して、姿勢 4 では 3 段階目で検出した。輝度平均の最大は 4 段階目と 5 段階目で検出した。

これらの結果から接触領域の大きさと輝度平均の値が、ハグの強弱を測る指標として使えると考える。また特に被験者 S2-002 では、輝度平均の最大値が検出される姿勢の状態に一定の傾向がみられなかったが、この原因として実験時の洋服の色が関係していると考えられる。今回、被験者 3 人には洋服の指定をしておらず、被験者 S2-001 と S2-003 は黒色の服を着用しており、被験者 S2-002 のみ白色の服を着用していた。解析用ソフトは 16 ビットで録画した画像を 2 値化しており、輝度の値は黒色の服よりも白色の服のとき高く検出される。そしてハグするときの接触は、腕や手の接触ももちろん含まれるが白服で密着する領域が大きい。この密着している検出対象の多くの領域を覆っているのが白色の服であり、洋服の袖だけなどの小さい領域で接触した場合でも、輝度平均の値が高くなると考える。

このことから本実験では、洋服の色と素材は被験者間で差異が出ないように統一したものを着用する。

6.2.4.5 ハグ体験の実験における指示についての考察

描画ソフトでハグをするときの接近から接触、離れるまでを検出できた。また、ハグの強弱を意図的に変えた際の領域の大きさと輝度平均の変化を確認できた。このように段階を追ってハグの強弱が領域の大きさと輝度平均の値を指標とすることが確認できた。一方で、ハグの強弱を変えるタイミングを口頭で伝えてそれに従ってもらっていたが、実験時の被験者の姿勢を観察すると、そのタイミングで手の組みなおしや、頭の位置を置きなおす様子が確認された。また被験者インタビューからも、「口頭による 5 秒のタイミングでハグの強さを変えるよう意識していた」と回答があった。実験の説明で「5 段階」としてハグの強さを提示していたことと口頭によるカウントによって、被験者が連続的なハグ動作を行うことを妨げていると考えた。

そこで本実験では、被験者が連続的なハグ動作を行えるように、動画による指示を実施することにする。動画を使用することで、口頭でのカウントを意識してしまうことや、カウントのずれといった原因は排除でき、被験者がハグの強弱の段階分けを意識しないで実験できるだろう。また、自然と動画に視線を向けることになるため、インタビューで回答された「ハグ動作中の視線のやり場に困る」といった問題点に関しても改善されることが考えられる。

また予備実験 1(6.1) から、被験者ごとに開始位置に差異が出るべきではないと考える。ハグの実験では、ハグの姿勢を一般化し、その開始位置、強弱を変えるタイミング、接触時間を統一し、比較するべきである。そのため開始位置を、接触の検出範囲外である筐体から 70cm のところに設定した。

6.3 予備実験のまとめ

予備実験 1・2 の結果から考察をまとめる。まず、筐体の方の高さは被験者の肩から -5 から -15cm の高さとする。ハグの開始位置は筐体から 70cm の位置に指定する。また被験者全員に同じ服を着て実験を行ってもらおう。実験中のハグ開始から終了までは、段階を意識させないように、動画で指示する。またシステムの設定について、安定化電源は 15.0V とし、赤外線カメラの設定はシャッタースピードを 16666(60Hz)us、ゲインは 0、ガンマ値は 0.8、

色空間は Mono16, 保存形式は Uncompressed(非圧縮)の AVI 形式, 録画時のフレーム数は 121.32fps, フレーム幅 1280 × フレーム高 1080 の録画設定で行う.

これらの条件を整え, 本実験を行う.

Chapter 7

本実験

本章では、前章の予備実験により明らかになった検討事項を基にした設計した、実験環境及び実験の流れ、それらから得られた結果と考察を示す。本章でもハグの姿勢については、6章の冒頭で示した姿勢1から姿勢4の表記を用いる。

7.1 本実験の実験環境

本実験の実験環境は予備実験と同様に、研究室の一角に、上半身型の提案ディスプレイと安定化電源、制御用PC、姿勢録画のためのカメラを2台配置した(図6.1)。赤外線カメラの録画はSpin Viewを用い、被験者の姿勢の記録はCamutilでUSBカメラ2台の画角を表示したものを赤外線カメラの映像と同ディスプレイ内に表示させ、RecExpertsで映像を保存する。

また、赤外線カメラのしぼりは2.8とし、Spin Viewのカメラ設定と録画設定は表7.1に示す設定で統一して実験を行った。

Table 7.1: SpinViewのカメラ設定と録画設定

シャッタースピード	ゲイン	ガンマ	色空間	保存形式	録画時のフレーム数
16666(60Hz)	0	0.8	Mono16	非圧縮 AVI 形式	121.32

7.1.1 ハグのタイミングを被験者に指示する動画の作成

実験のハグを開始するタイミングからハグの終わりまでを指示するために、動画の制作を行った。動画の構成は3つに大別し、まずハグの開始前に姿勢を確認する指示を表示し、次に被験者がスタート位置に立つよう促す、次に「腕を広げながらゆっくりと近づいてください」「触れるか触れないかくらいでしばらく待機してください」「徐々に強く抱きしめてください」「徐々に弱くして離れていってください」「スタート位置に戻ってください」と5つの動作を時間との経過とともに動作を連続的に変えていく指示を動画によって行った。この動画はハグの一連の動作とその経過時間を統一し、ハグの強弱を段階で変えることを被験者が感じないように制作した。また、接近時「触れるか触れないかくらいでしばらく待機してください」「徐々に弱くして離れていってください」のハグの状態は被験者に任せ、被験者のハグの姿勢や、ディスプレイからどの程度の距離から本システムで検出が行われるのか調べる意図を持ち、制作している。

この指示動画を図7.1に示す。

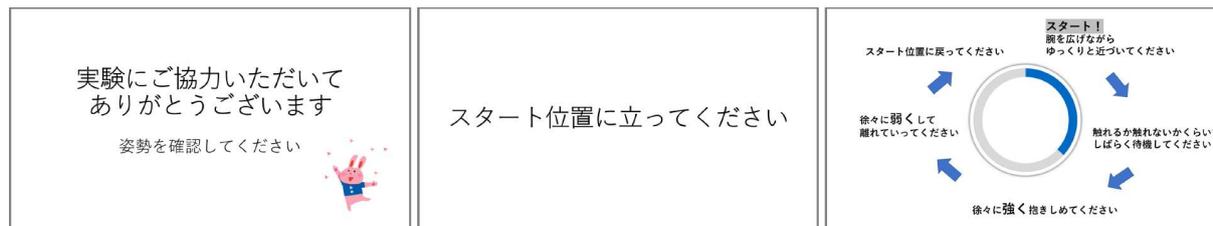


Figure 7.1: 実験の指示をする動画

7.1.2 着用した衣服について

衣服の色や素材による接触検出への影響を考慮し、すべての被験者に図7.2に示す洋服を着てもらい実験した。



Figure 7.2: 実験に用いた衣服

7.2 本実験の被験者

本実験(M)は、13名(男性11名、女性2名)を対象に行った(表7.2)。被験者の肩を基準とし、筐体の高さは5~15cm低くなるように調整して実験を行った。

Table 7.2: 本実験の被験者

被験者番号	身長 (cm)	性別	被験者基準の筐体の高さ	利き手
M-001	186	男	-15	右
M-002	181	男	-10	右
M-003	158	女	-5	右
M-004	168	男	-10	右
M-005	171	男	-10	右
M-006	178	男	-5	右
M-007	176	男	-15	右
M-008	164	男	-10	右
M-009	180	男	-5	左
M-010	174	男	-5	左
M-011	163	男	-5	右
M-012	170	男	-10	右
M-013	154	男	-5	右

7.3 本実験の流れ

本節では本実験の流れを説明する。まず、筐体が被験者の肩の高さより低くなるように調整する。安定感のある木杵を筐体の下に置くことで調整した。そして、被験者に洋服を着用してもらう。次に被験者に実験説明を行う。ホワイトボードにハグの姿勢の図解と文章を示し、それらを用いて説明する。本実験は、動画を用いてハグの開始と終了までを指示する。このときの被験者の姿勢と赤外線カメラの映像を録画する。動画が再生されたら、実験者は助言などを行わないことについても説明する。またハグを開始する際は、足元に養生テープで示した筐体から70cmの位置で待機するよう伝える。実験説明の後は、被験者と姿勢を確認後、指示動画を再生し、それを4つの姿勢で繰り返してもらう。実験中は、実験者はSpinViewの録画とCamutilの録画を行う。

7.3.1 実験後のインタビューの内容

最後に被験者へインタビューを行った。インタビューの内容は筐体へのハグ体験を通して主観的に感じたことと、日常生活における接触動作の有無について調査した。調査した項目を以下に示す。

1. 筐体を男性と女性どちらだと思って抱きしめたか。
2. 他者が自分の近くに近づくことを許容できるか。
3. 抱きしめやすいと感じた姿勢はどれか。
4. 抱きしめにくいと感じた姿勢はどれか。

7.4 本実験の結果

本章では実験結果を示す。

7.4.1 姿勢記録用カメラと赤外線カメラの記録結果

被験者 13 人分の実験の様子を RecExperts で記録した。記録した結果を図 7.3～7.7 に示す。姿勢ごとの画像はもっとも強く力を入れたハグをしている様子が見られ(ハグのピーク)、かつ安定している状態である。被験者間で、ハグの姿勢を観察すると手の組み方や腕の回し方、接触している身体の部位、また首の向きなどに個人差が見られた。これらの観察結果を考察に用いる。

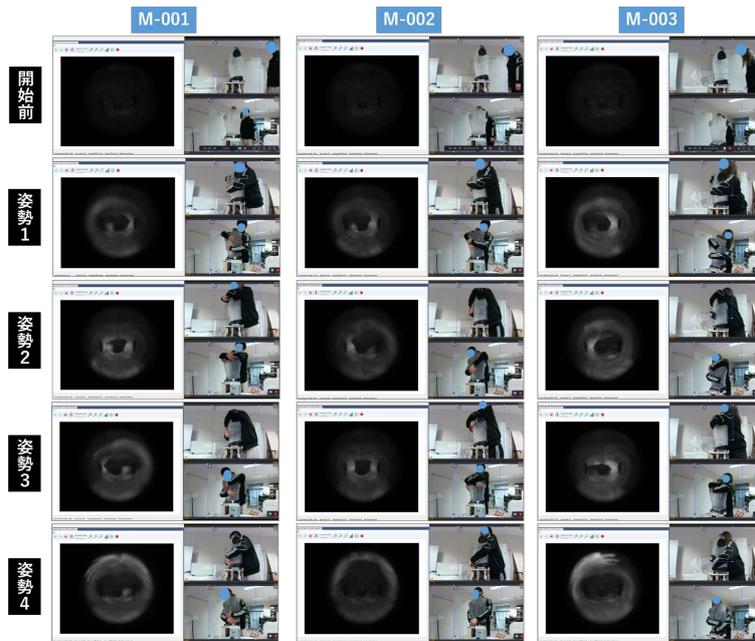


Figure 7.3: 被験者 M-001,002,003 の姿勢記録用カメラと赤外線カメラの映像

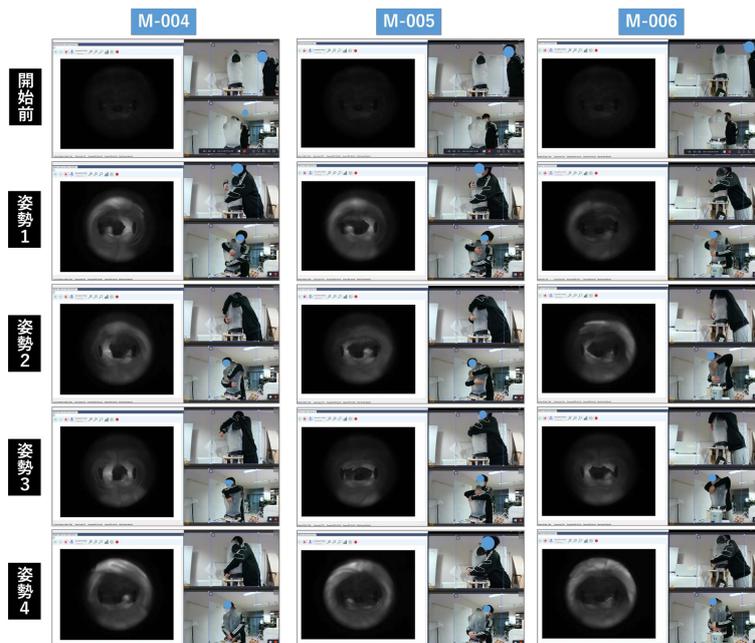


Figure 7.4: 被験者 M-004,005,006 の実験時の姿勢カメラの結果

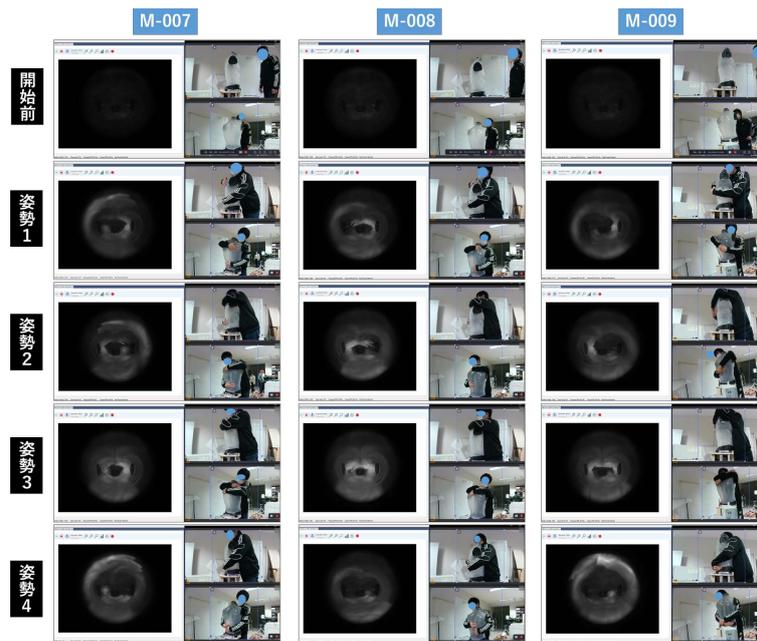


Figure 7.5: 被験者 M-007,008,009 の実験時の姿勢カメラの結果

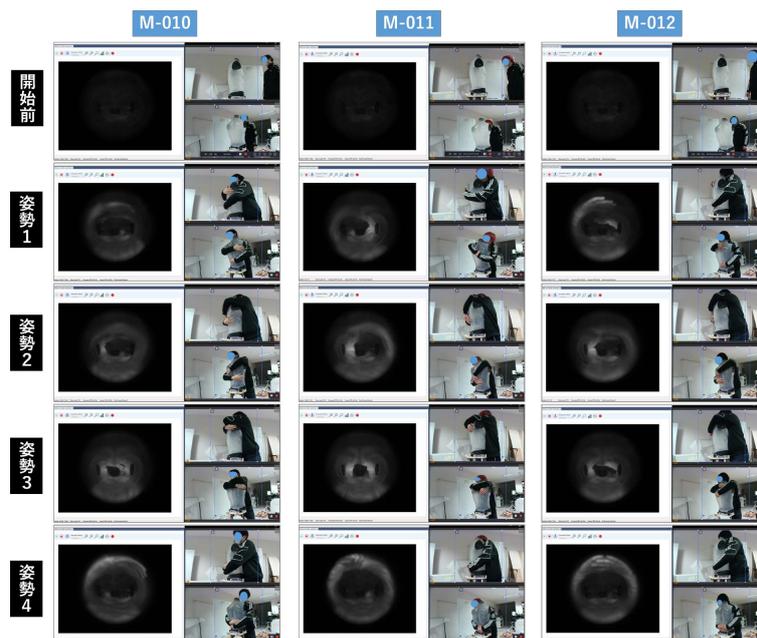


Figure 7.6: 被験者 M-010,011,012 の実験時の姿勢カメラの結果



Figure 7.7: 被験者 M-013 の実験時の姿勢カメラの結果

7.4.2 解析用ソフトウェアによるグラフの出力結果

赤外線カメラで撮影したデータを解析用アプリケーションにより、接近から接触している「接触領域の大きさ」とその領域内のピクセルに対する「輝度平均」の値をグラフに描画した。

7.4.2.1 解析用アプリケーションで用いる閾値の決定方法

本節では、「接触領域の大きさ」と「輝度平均」を検出に用いた、閾値の決定手法を示す。解析用ソフトウェアで被験者の解析用動画を読み込み、ハグの状態を観察する。我々が接近状態で筐体を覆っている部分が接触領域と検出される値を上下キーで閾値を変更しながら探索する。接近状態を検出可能にする必要性は、2.3節でも示したように、ハグは必ずしも密着した状態だけでなく、近づいて覆うようにしている状態から、ハグする側もハグされる側も「ハグ」だと認識しており、その状態を接触検出が必要であると考えからである。これを可能にするため、DI手法を用いることで筐体へ近づいている身体の一部や衣服を検出できる閾値を検討するためである。これにより、本システムのハグを検出するディスプレイとしての有用性を示せるかについても考察する。

姿勢記録用の映像を参考にしながら覆っている状態を確認し、接近距離が接触検出可能かつ低すぎない値を探索した。閾値は低く設定すればより広い接近範囲の検出が可能となるが、閾値を13以下など低くし過ぎると解析結果画像にノイズが現れることや、弱いハグの状態で検出領域が最大化してしまう。そのため、すべての被験者で、4つのそれぞれのハグの姿勢で、接近距離において接触が検出可能かつ、完全に密着した状態でも接触検知される範囲が過剰にならない閾値を探索した。今回、このようにして探索した結果から、4つの姿勢ごとに閾値の平均をとり、平均値の四捨五入をした値を解析用ソフトウェアとグラフ描画ソフトウェアで用いる固定閾値として決定した。探索した結果と姿勢ごとの平均を算出した結果を表7.3に示す。

Table 7.3: 固定閾値の算出のための接近領域を検出できる輝度値と平均

被験者番号	姿勢1	姿勢2	姿勢3	姿勢4
M-001	23	16	13	14
M-002	17	14	18	20
M-003	17	20	15	15
M-004	35	35	25	30
M-005	30	30	20	22
M-006	15	25	25	20
M-007	24	20	36	27
M-008	20	28	30	19
M-009	20	15	20	20
M-010	10	13	18	16
M-011	15	20	16	20
M-012	11	16	11	11
M-013	12	15	25	16
平均	19(19.15)	21(20.53)	21(20.92)	19(19.23)

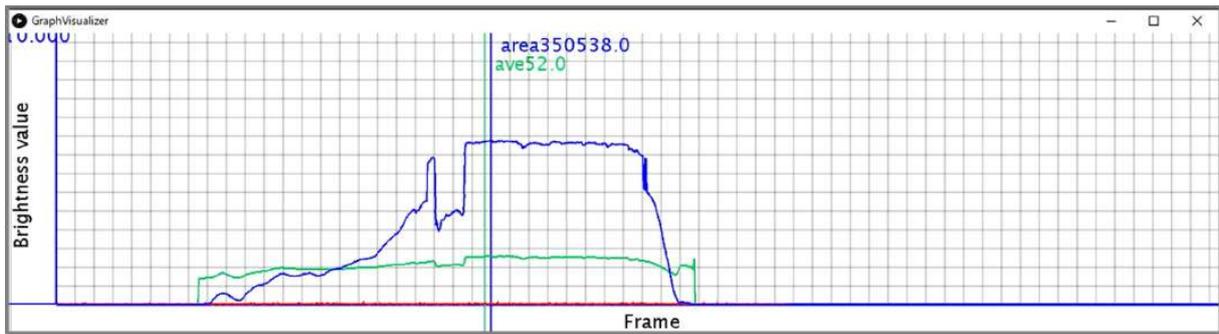
7.4.2.2 固定閾値を用いたグラフ描画アプリケーションの出力結果

グラフの描画結果を被験者 M-001 から M-013 までそれぞれ図 7.8 から 7.20 に示す。

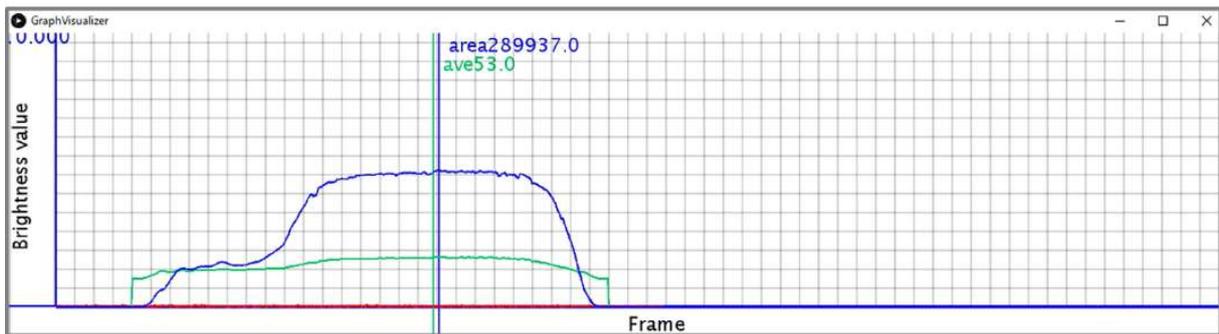
グラフ描画アプリケーションで求めたハグ開始時から終了時までの「領域の大きさの最大値」と「輝度平均の最大値」の結果を表 7.4 に示す。姿勢ごとの領域の大きさの最大値は姿勢 1 では、被験者 M-004 : 383021, 姿勢 2 では被験者 M-011 : 404280, 姿勢 3 では被験者 M-008 : 324638, 姿勢 4 では被験者 M-006 : 515460 であった。また、輝度平均の最大値は姿勢 1 では被験者 M-004 : 63, 姿勢 2 では被験者 M-006, M-008, M-011 : 62, 姿勢 3 では被験者 M-008 : 69, 姿勢 4 では被験者 M-005 : 73 がもっとも大きいという結果が得られた。

Table 7.4: 本実験の最大の領域の大きさと輝度平均

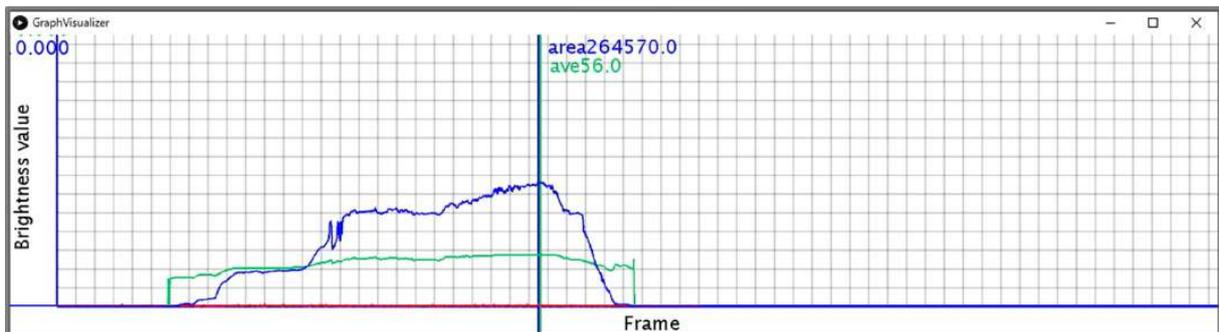
	被験者番号	姿勢 1	姿勢 2	姿勢 3	姿勢 4
領域の大きさの最大値	M-001	350538	289937	264570	493513
	M-002	298301	324966	216144	474656
	M-003	350246	341107	229883	485640
	M-004	383021	365693	269075	479346
	M-005	370000	307492	160564	508184
	M-006	203757	263328	172092	515460
	M-007	382982	272339	302387	443272
	M-008	334011	310190	324638	350514
	M-009	335354	312504	260967	503021
	M-010	221266	317244	249468	471481
	M-011	315670	404280	283426	495535
	M-012	246990	322551	214945	478752
	M-013	301878	263674	267875	511987
輝度平均の最大値	M-001	52	53	56	58
	M-002	48	50	51	53
	M-003	59	58	60	69
	M-004	63	60	60	70
	M-005	61	56	55	73
	M-006	48	62	57	72
	M-007	56	54	59	63
	M-008	59	62	69	56
	M-009	52	56	64	71
	M-010	51	50	58	57
	M-011	53	62	60	66
	M-012	57	56	57	60
	M-013	49	51	59	71



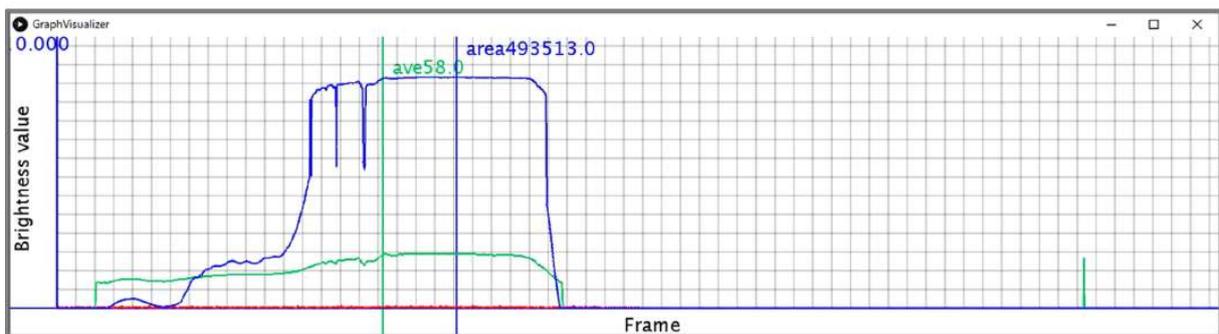
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

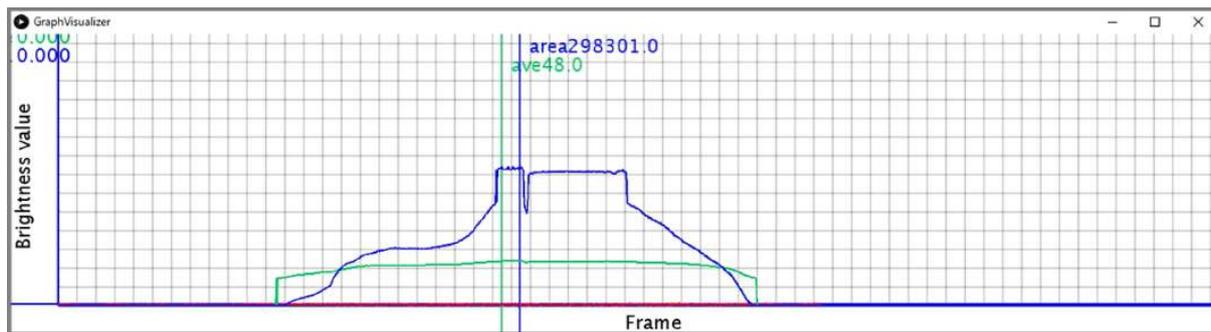


(c) 姿勢 3

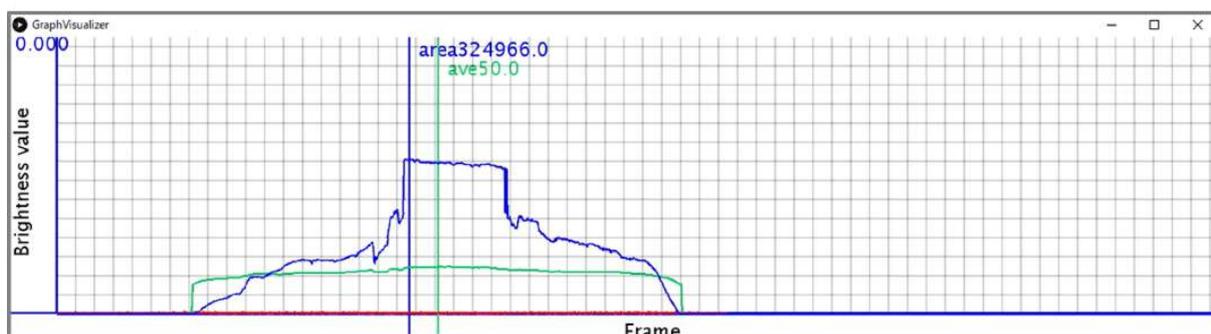


(d) 姿勢 4

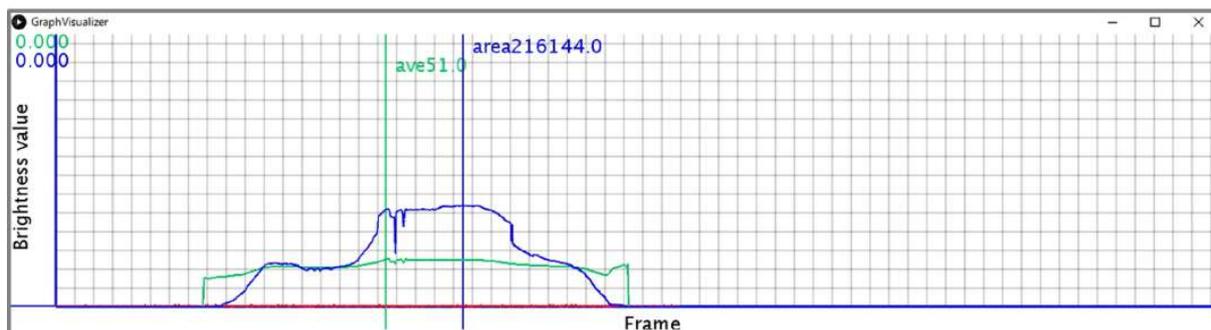
Figure 7.8: 被験者 M-001 のグラフ描画結果



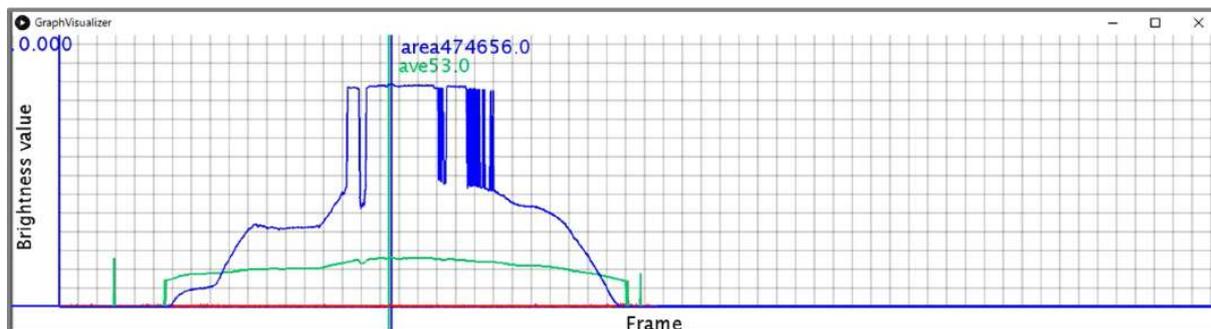
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2



(c) 姿勢 3

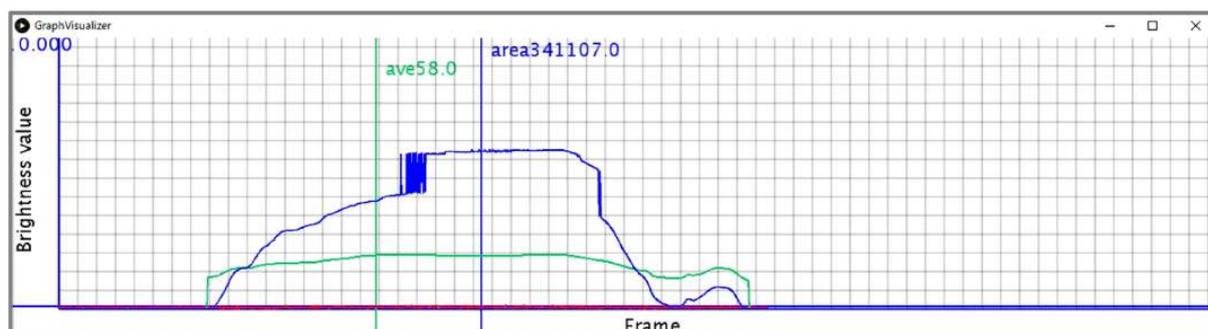


(d) 姿勢 4

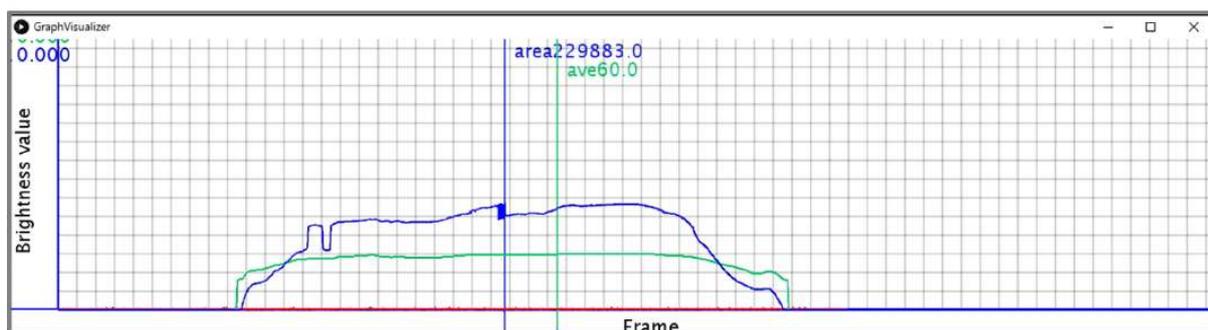
Figure 7.9: 被験者 M-002 のグラフ描画結果



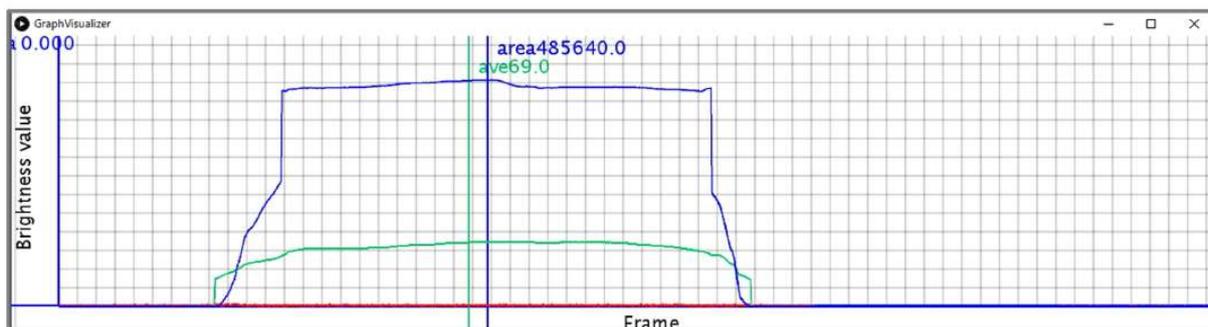
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

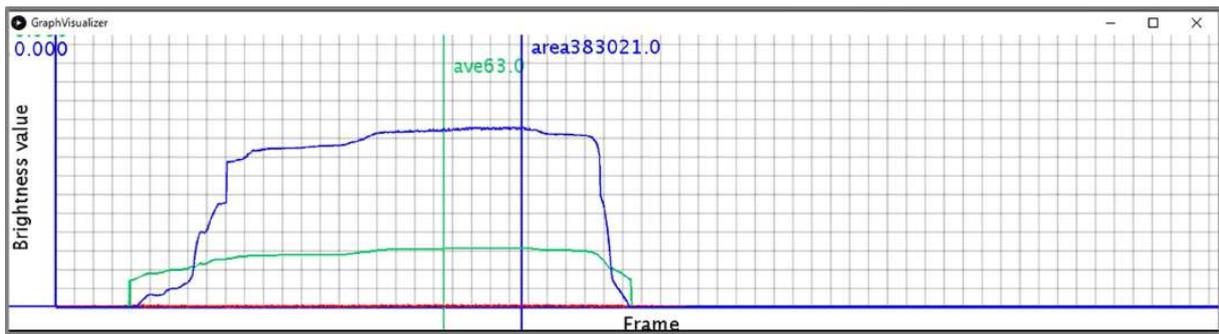


(c) 姿勢 3

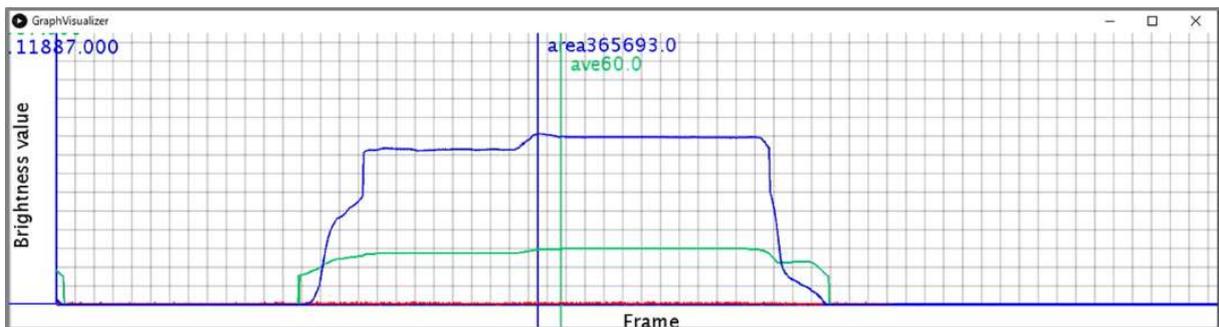


(d) 姿勢 4

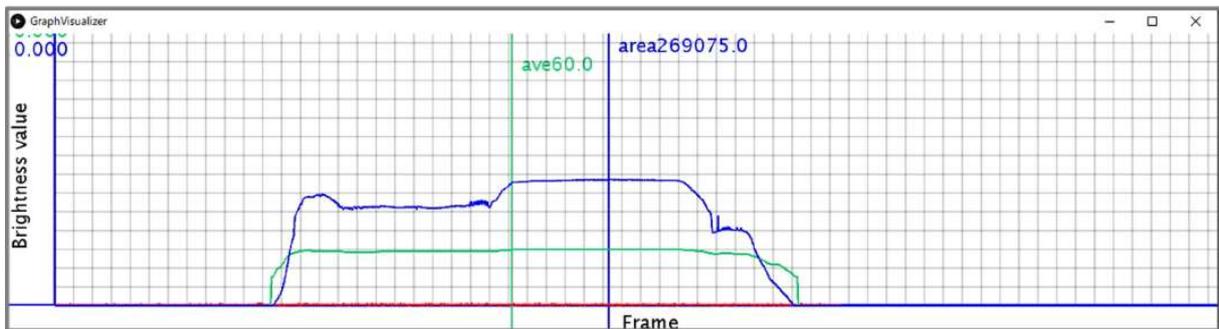
Figure 7.10: 被験者 M-003 のグラフ描画結果



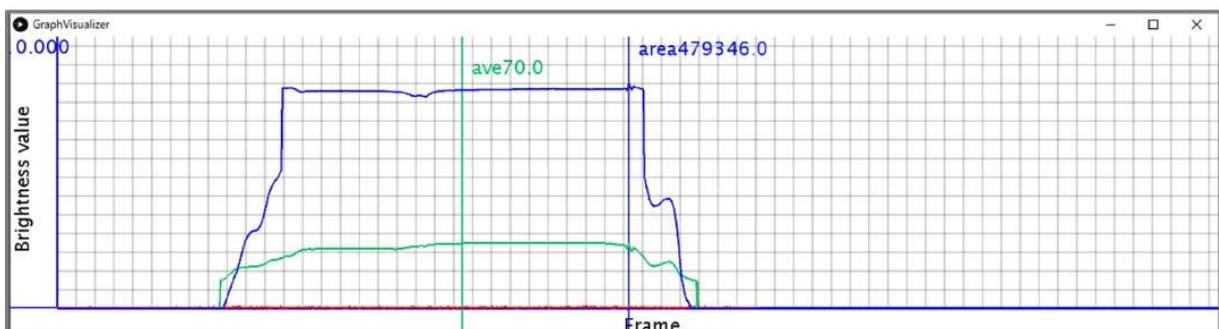
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

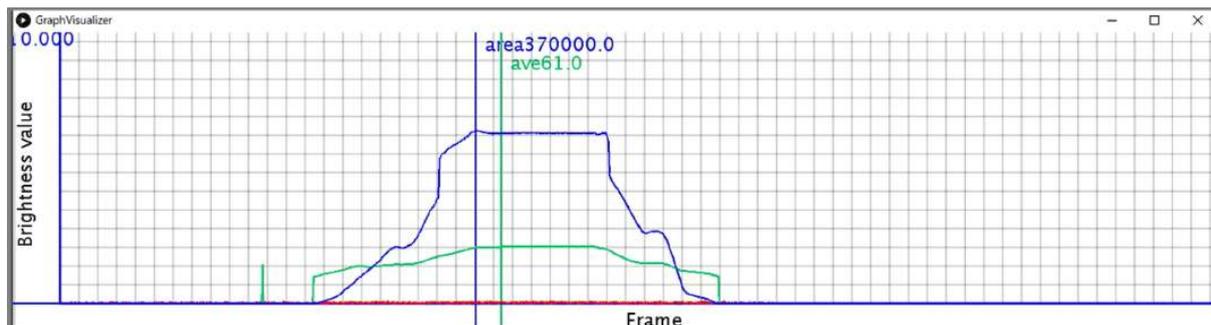


(c) 姿勢 3

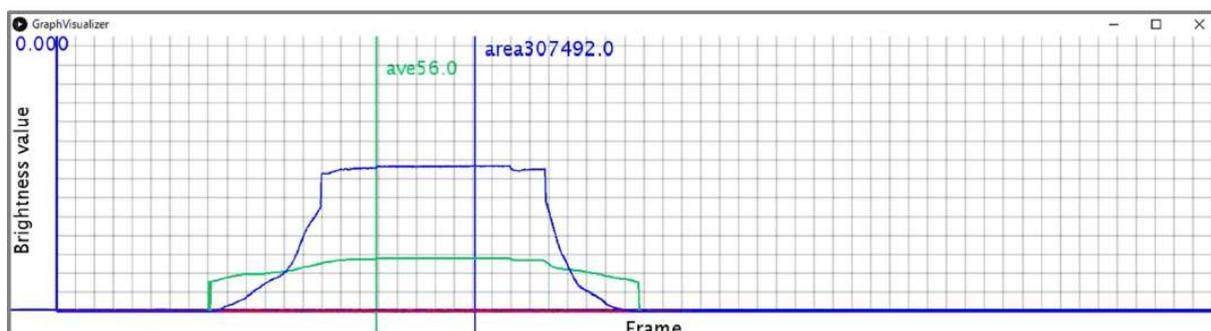


(d) 姿勢 4

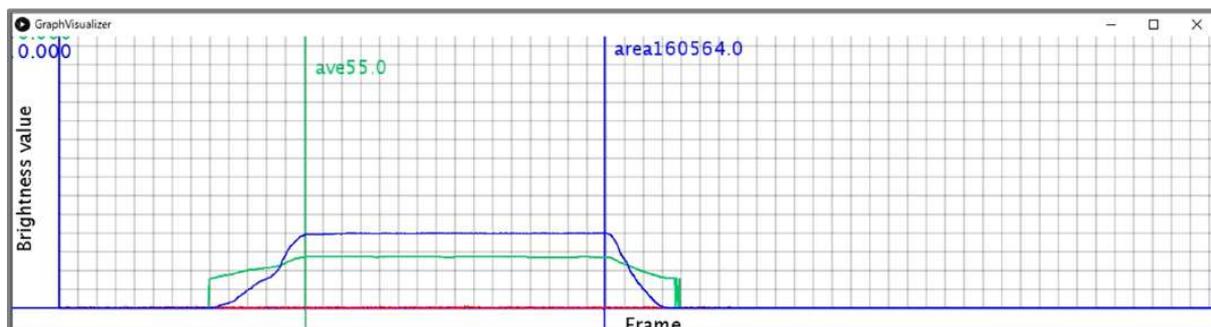
Figure 7.11: 被験者 M-004 のグラフ描画結果



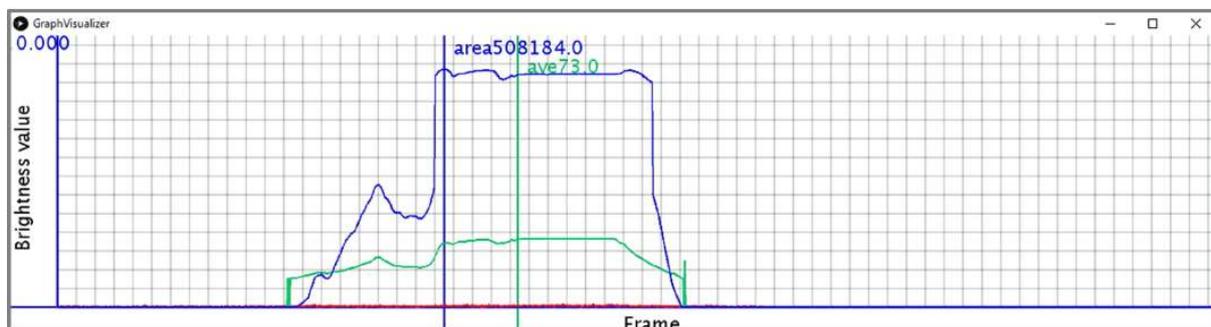
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

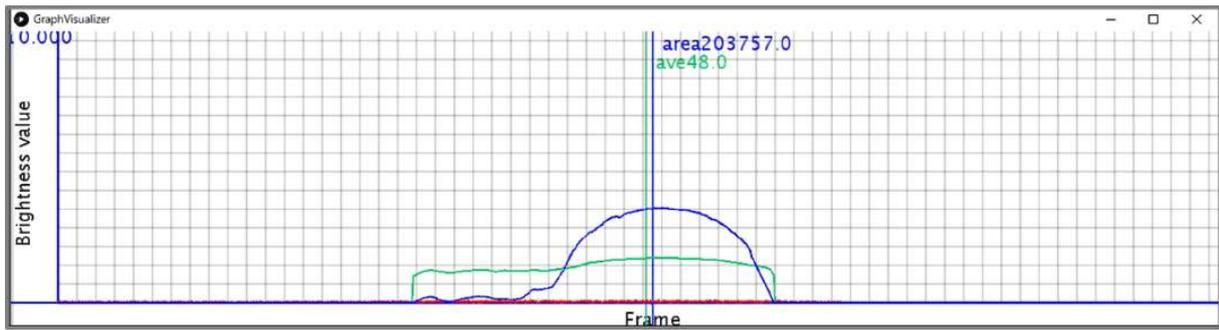


(c) 姿勢 3

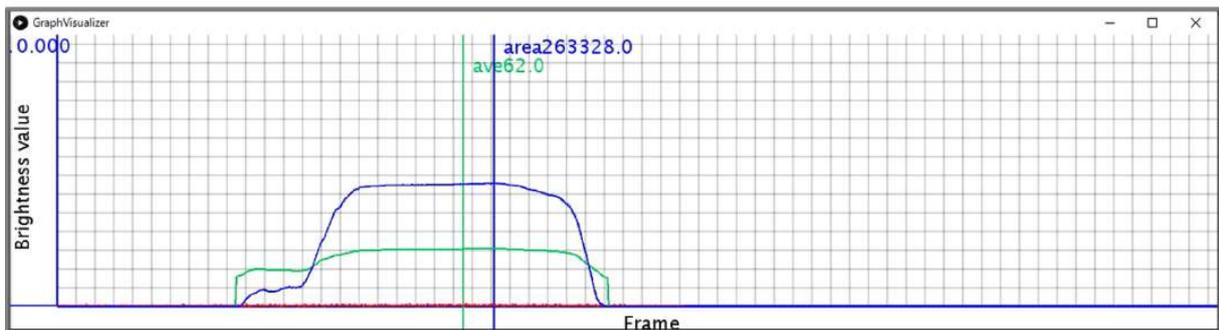


(d) 姿勢 4

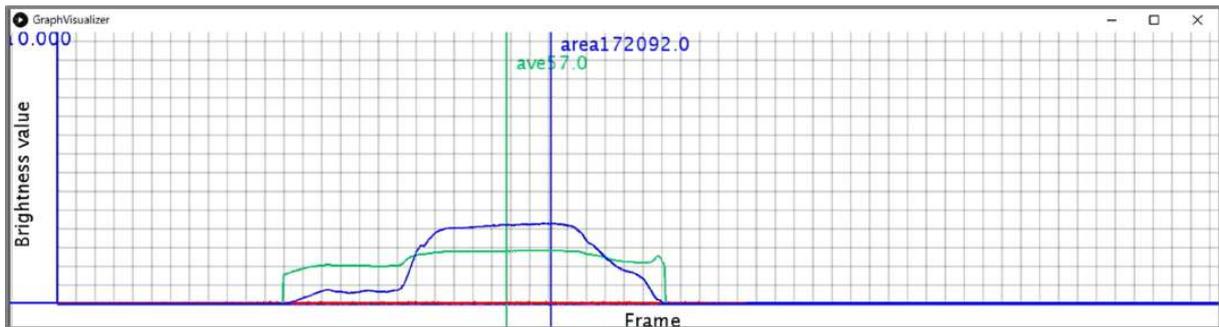
Figure 7.12: 被験者 M-005 のグラフ描画結果



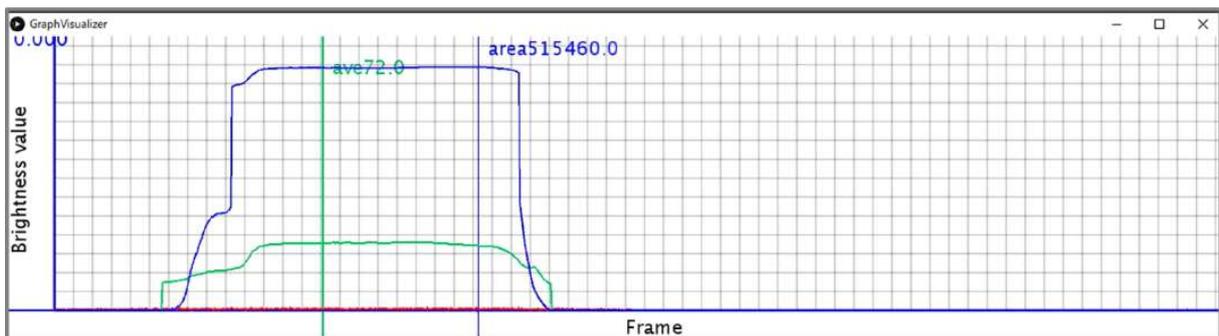
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2



(c) 姿勢 3

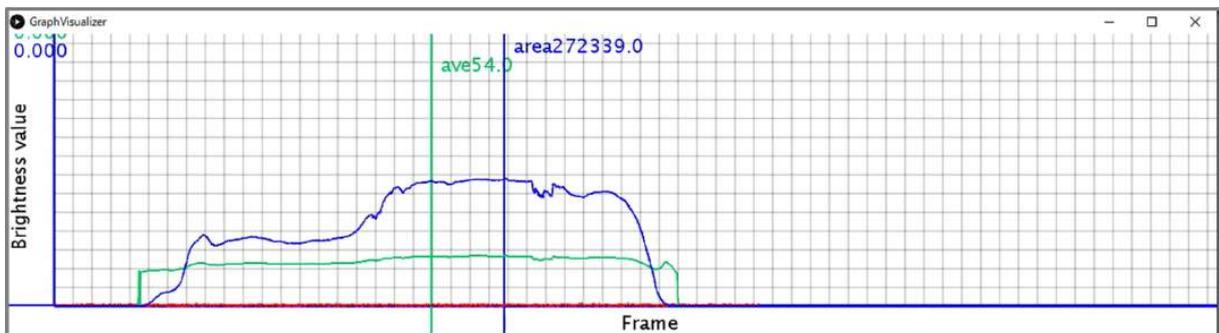


(d) 姿勢 4

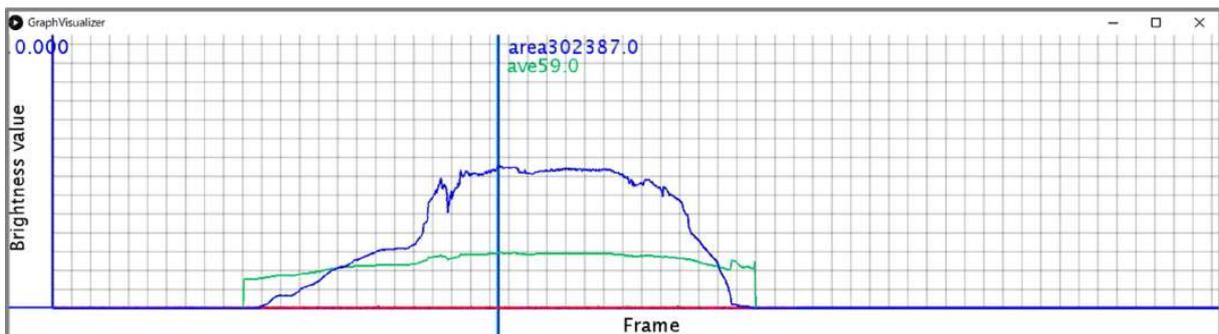
Figure 7.13: 被験者 M-006 のグラフ描画結果



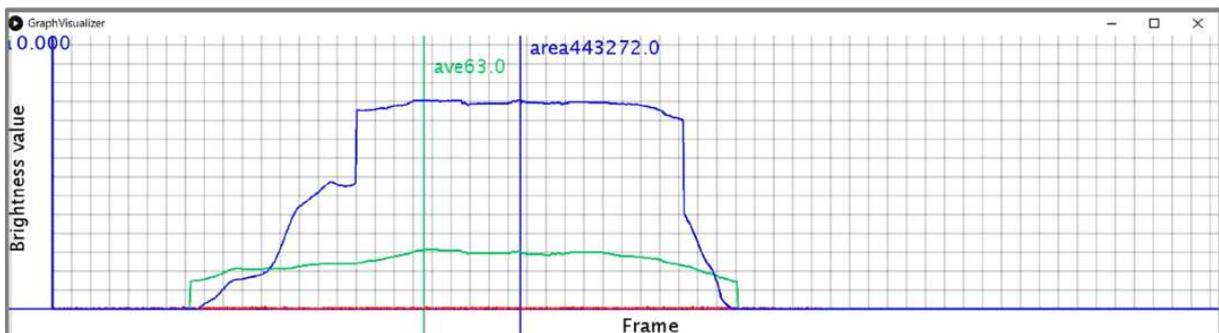
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

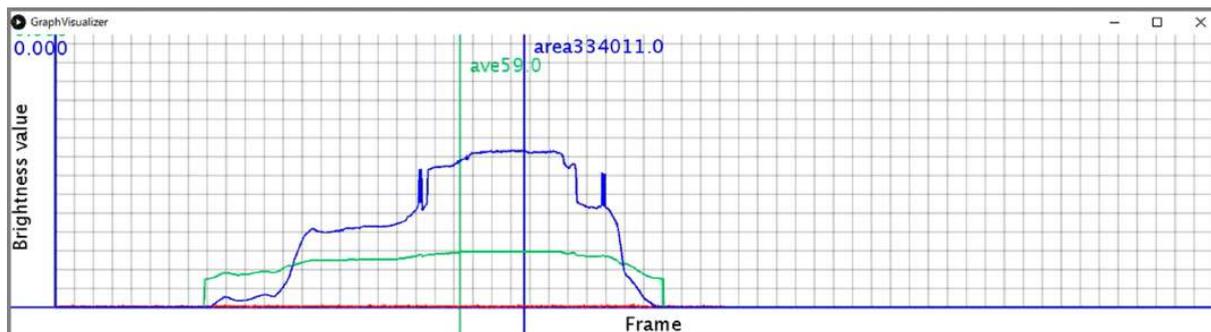


(c) 姿勢 3

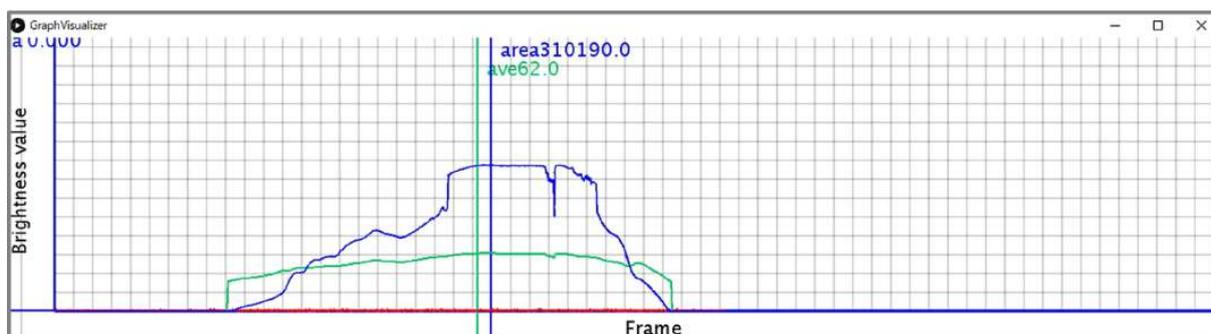


(d) 姿勢 4

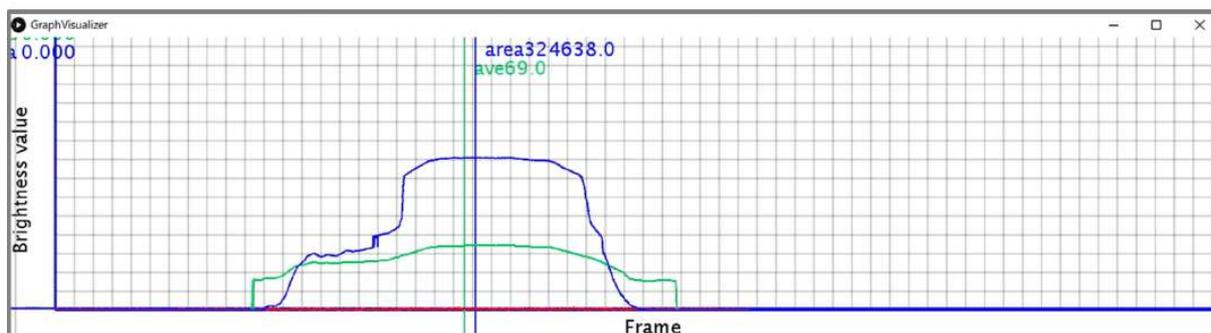
Figure 7.14: 被験者 M-007 のグラフ描画結果



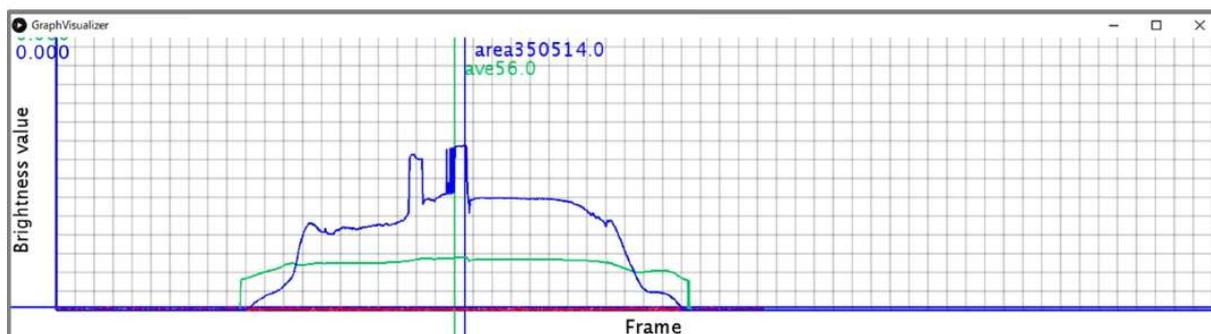
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

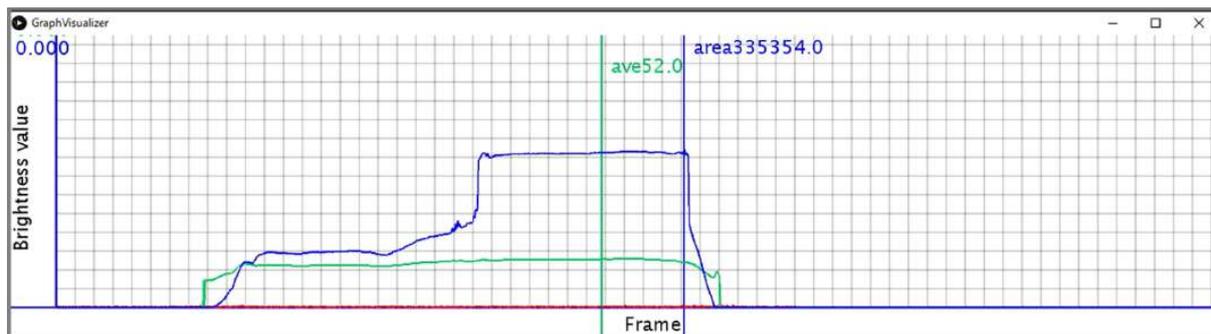


(c) 姿勢 3

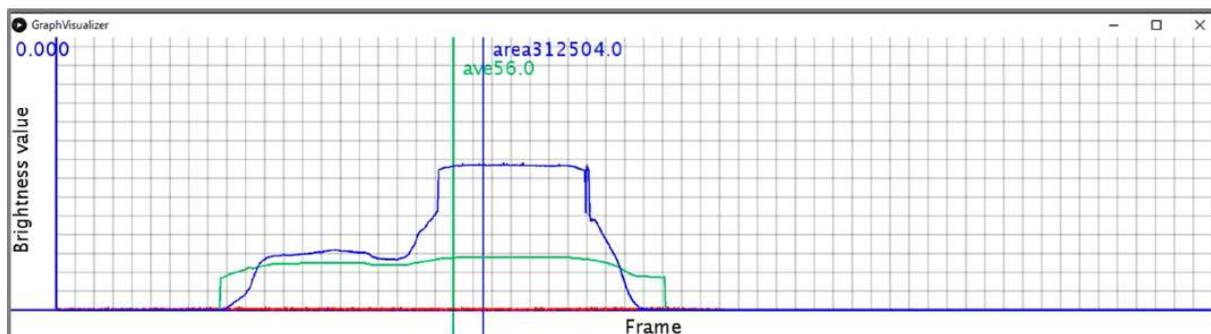


(d) 姿勢 4

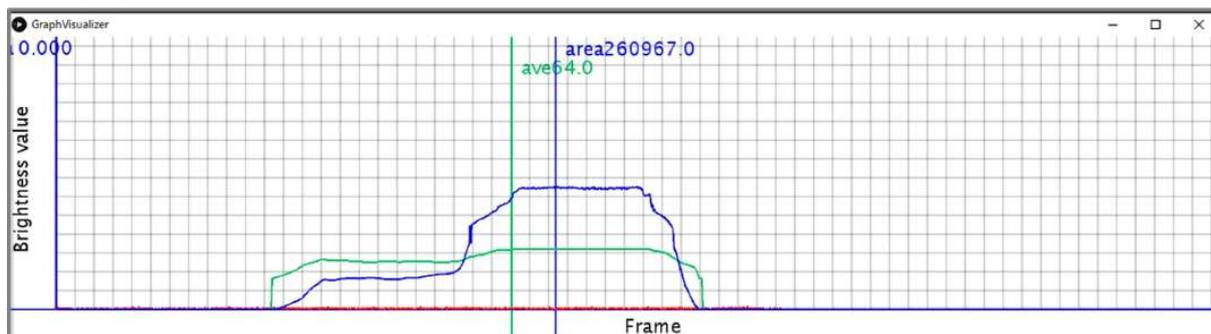
Figure 7.15: 被験者 M-008 のグラフ描画結果



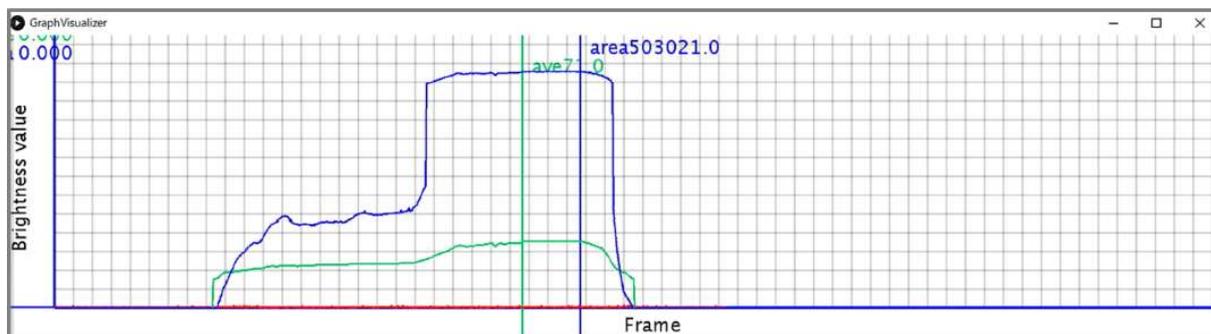
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

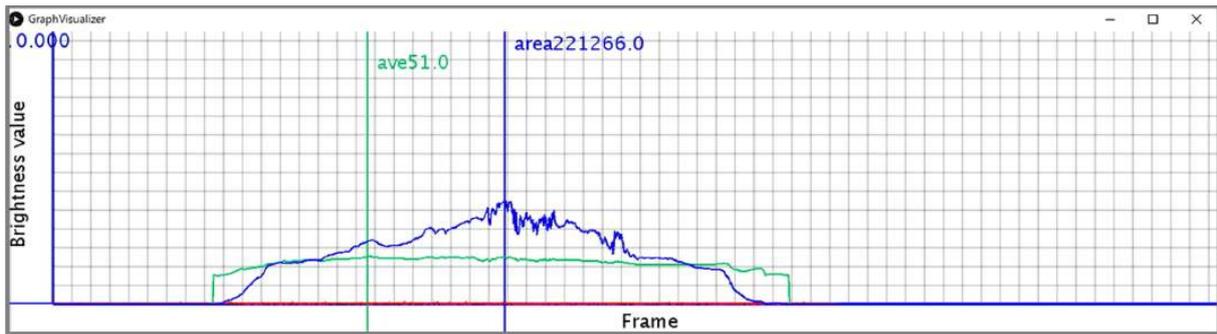


(c) 姿勢 3

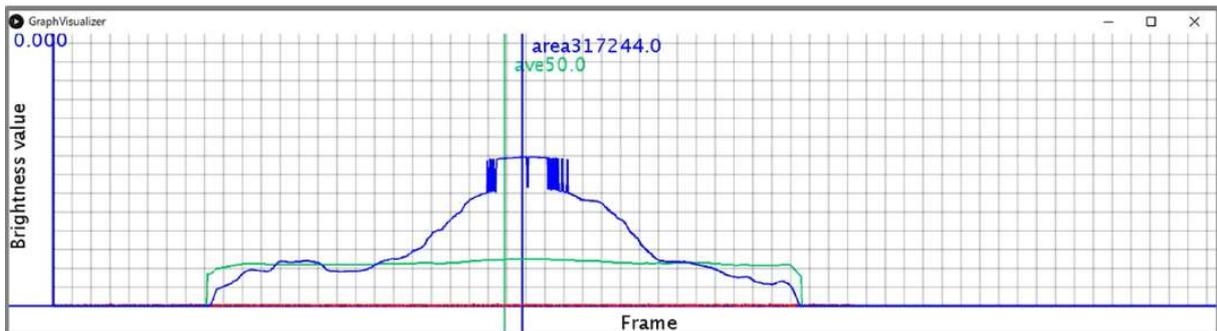


(d) 姿勢 4

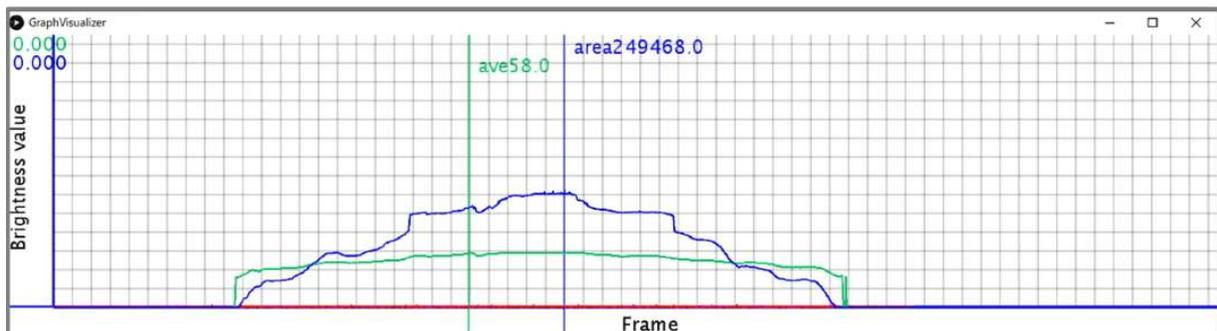
Figure 7.16: 被験者 M-009 のグラフ描画結果



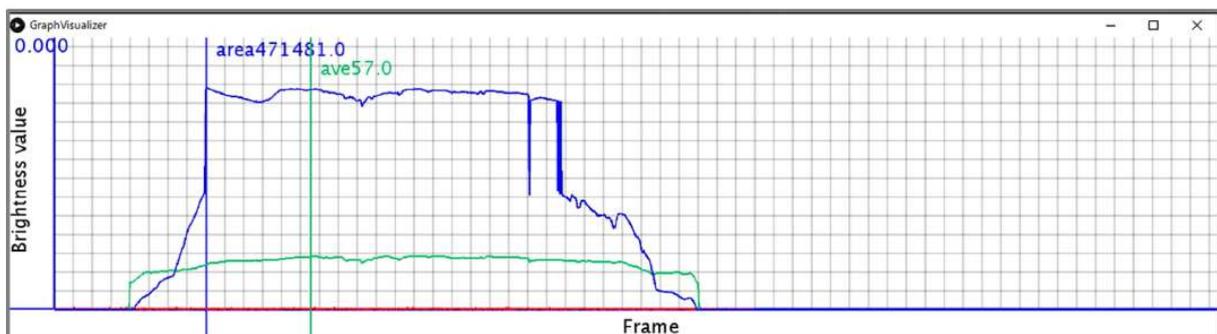
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

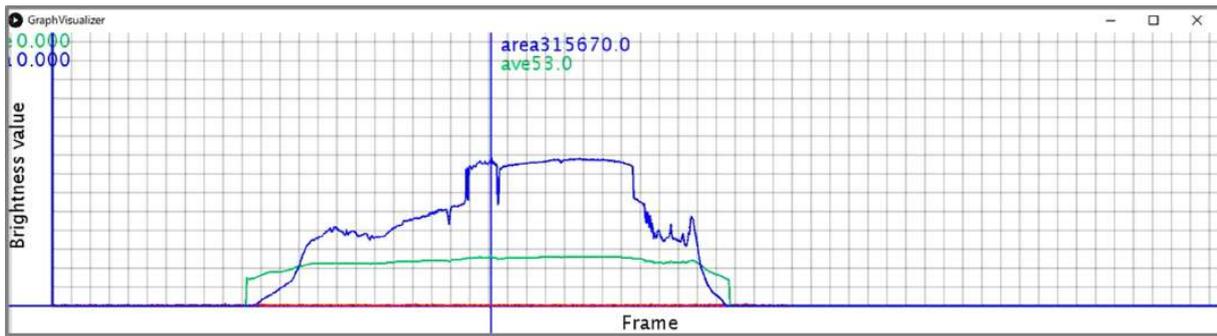


(c) 姿勢 3

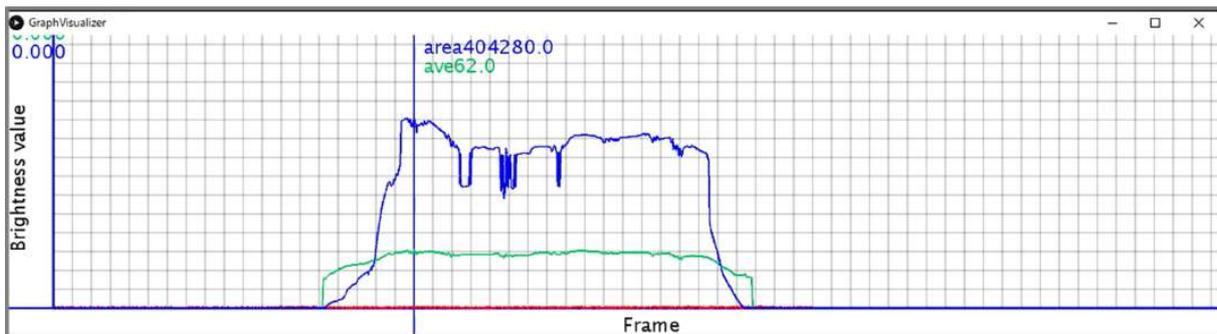


(d) 姿勢 4

Figure 7.17: 被験者 M-010 のグラフ描画結果



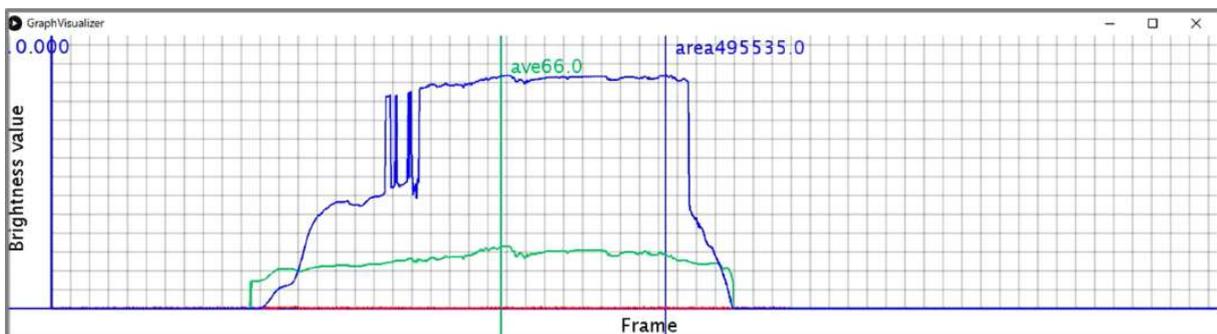
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

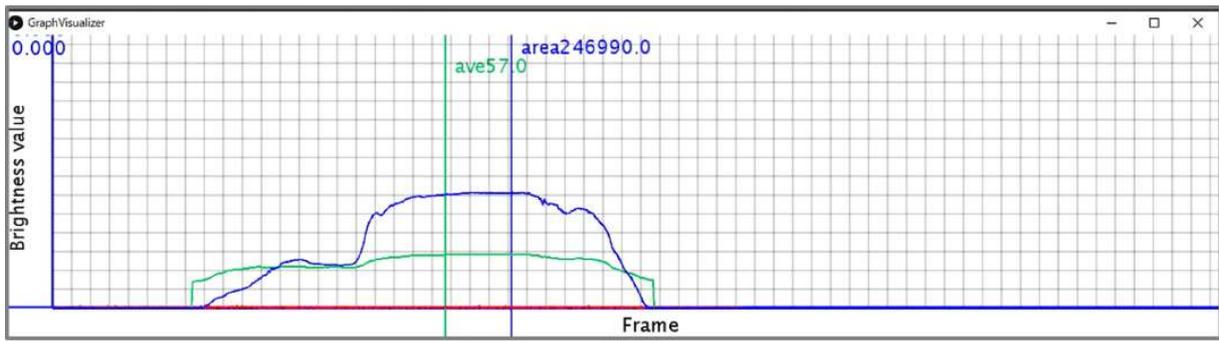


(c) 姿勢 3

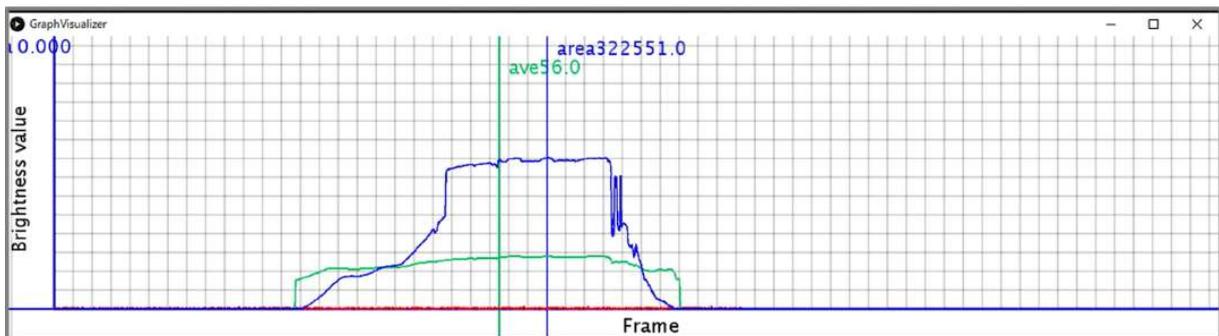


(d) 姿勢 4

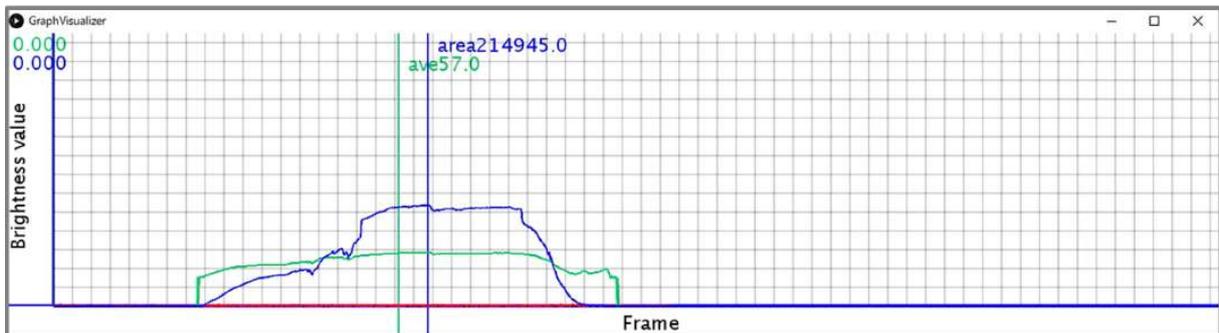
Figure 7.18: 被験者 M-011 のグラフ描画結果



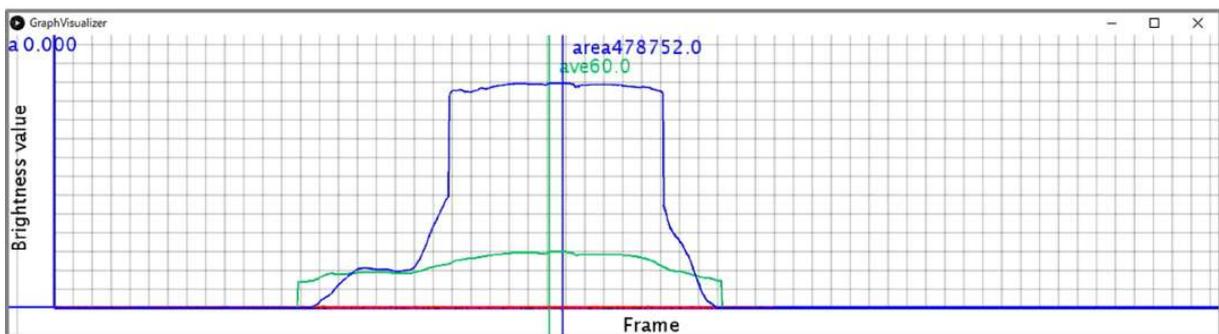
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2

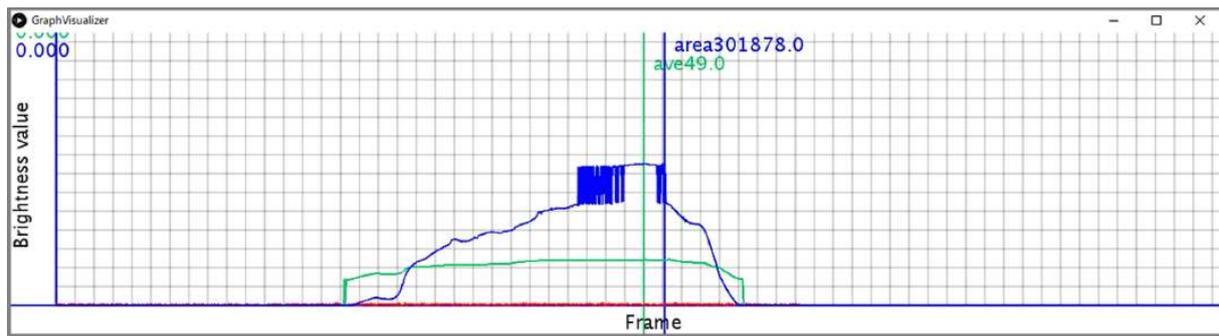


(c) 姿勢 3

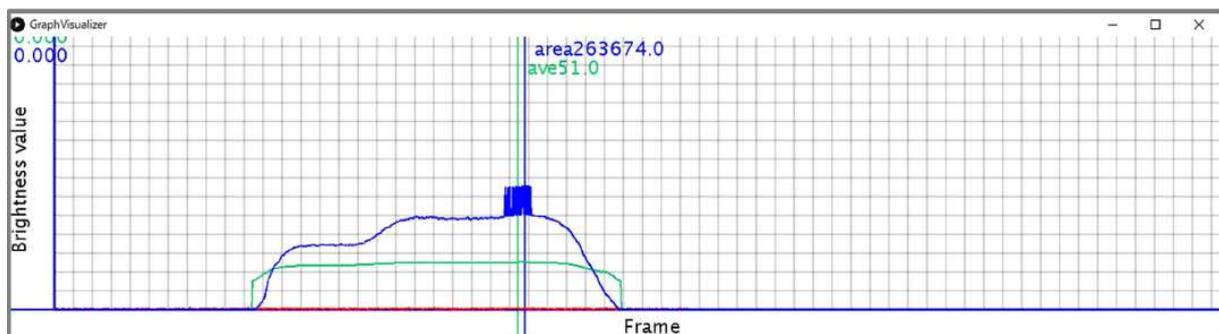


(d) 姿勢 4

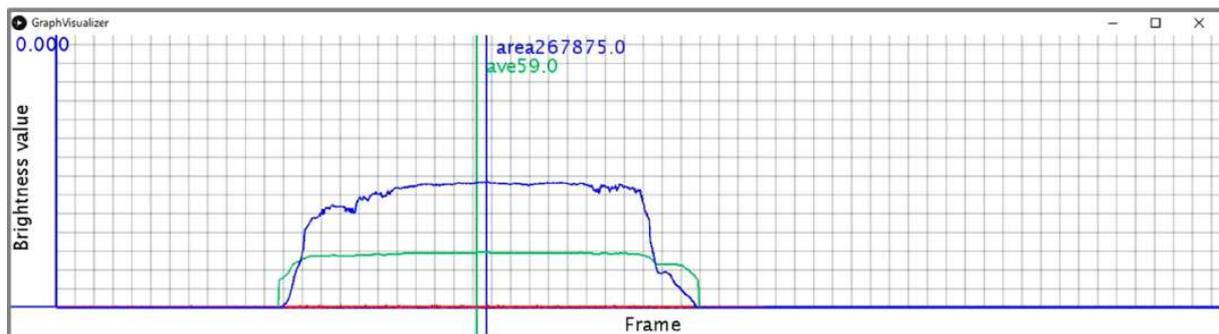
Figure 7.19: 被験者 M-012 のグラフ描画結果



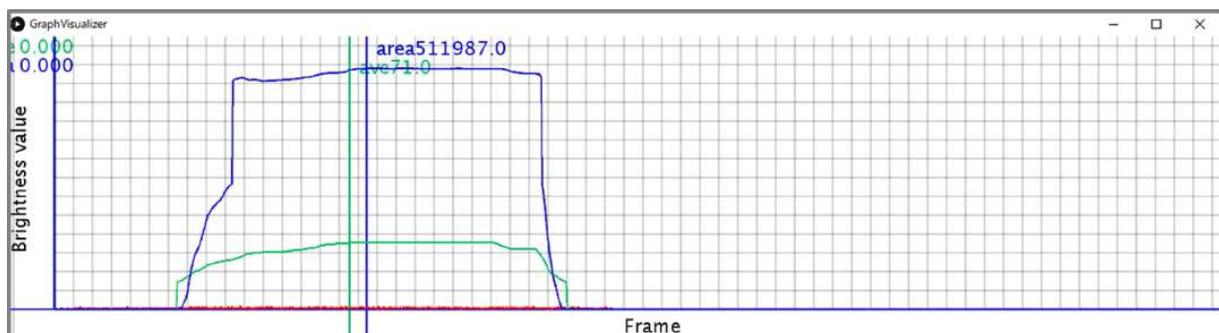
(a) 姿勢 1



(b) 姿勢 2



(c) 姿勢 3



(d) 姿勢 4

Figure 7.20: 被験者 M-013 のグラフ描画結果

7.5 本実験の考察

本章では前章で得られた実験結果から考察を示す。

7.5.1 動画分析用ソフトウェアとグラフ描画用ソフトウェアを用いたハグの接触を可視化することの有用性と考察

結果として本提案システムにより、人がハグをするときの、接近していく状態から、徐々に接触してまた離れていくまでのハグの状態を、解析用動画をフレーム毎に取り出し、画像処理を2つの値に対して行い、グラフ描画用ソフトウェアでフレームと2つの検出値の推移を解析可能にした。グラフ描画用ソフトウェアによる結果を観察して次のようなことが得られた。検出値の1つ目は、「接触領域の大きさ」であり、動画分析用ソフトウェアで閾値以上の差分をもつ画素数をカウントしていくことで検出した。この値は、被験者が筐体をより多くの領域で覆っているまたは、より多くの部位を密着させているとき、大きく検出された。検出値の2つ目は、「接触領域内の輝度平均」であるが、動画分析用ソフトウェアで検出した接触領域内にある画素の輝度を平均した。解析用動画内から解析対象の1フレームを画像として2値化処理する。赤外光の反射量や赤外線反射が起きない部分ほど0に近く、反射率が高い物体で覆われている部分ほど画素値は255に近づいた値を持つ。接触領域内の輝度平均は、検出範囲内でより密着した状態であるほど、高い値となった。これらのことから、動画分析用ソフトウェアとグラフ描画用ソフトウェアを用いたとき、ハグの強弱をグラフで可視化できた。

次にハグの解析を行ったところ、ハグは3つの状態に分けることができると考えた。ハグをしようと近づいてくる状態(接近状態)の接触は領域の大きさに変化がなく、輝度平均値が上昇する現象によって判断できる。次に身体の一部が触れていく「一部接触状態」は、領域の大きさと輝度平均の2つの検出値が増加しているときと判断できる。最後の「接触状態」は輝度平均の勾配が小さくなり、接触領域の大きさに増減がみられるときと判断できる。このとき接触領域の大きさの増減が、ハグの強弱を測る指標でもある。以上の3つの状態とそれに関する2つの検出値について言及し、被験者の姿勢の観察結果と合わせて考察を述べる。

7.5.1.1 筐体へ接近する状態のハグと検出値に関する考察

ハグを開始し、筐体へ被験者が近づいてきたときを「接近状態」と呼ぶ。このとき、差分値が閾値以上の画素を150個以上検出したら、その領域を「検出領域」として判断する。一方で、検出された領域の大きさに関係なく、差分値が閾値以上の画素の輝度平均を算出する。データ内では、検出領域の大きさも輝度平均もともに分析用ソフトウェアから送信され、グラフ描画用ソフトウェアで受信されているが、4.3.3節に示したグラフ描画のスケールと値の範囲の関係で輝度平均の値をグラフに先に描画する。つまり、グラフ描画の結果だけを見たときは、輝度平均の値が描画されており、検出領域の大きさが描画されていない状態は接近状態のハグであるとわかる。接近状態における輝度平均値は、どの被験者、姿勢においても40前後という結果であった。

7.5.1.2 徐々に接触する状態と検出値に関する考察

ハグの次の段階として、接近状態から徐々に接触していく「一部接触」の状態がある。このとき、領域の大きさと輝度平均の値はともに右肩上がりで増加する。反対に離れていくときは右肩下がり減少する。被験者の姿勢を観察すると腕や上半身などの部位が接触

していったあと上半身が全体的に接触する(接触状態)。触れる部位が増加していくにつれて、領域の大きさも増加するため、この右肩上がり、または右肩下がりになっている状態をみれば、一部接触の状態と判断できる。例えば被験者 M-001 の姿勢 1 では、接近状態では 99129 であり、胸部と上半身が全体的に接触した状態では 350538 で、約 250000 の上がり幅が確認された。この上がり幅の傾きをみることで、ハグへの積極性を調べることも可能になるのではと考える。

また輝度平均もともに上昇がみられる。被験者の姿勢は部位が増えるにつれ、筐体へ寄りかかるように接触していき、そのため密着度も高くなっている様子が確認できた。輝度平均の上昇が緩やかに確認できたとき、ハグの一部接触時だと判断できると考える。

7.5.1.3 接触後に覆う強弱の状態と検出値に関する考察

腕の内側と上半身がほぼ密着している状態をハグの状態遷移の3つ目である「接触状態」とする。接触状態は、輝度平均および接触領域の大きさの値には変化がある場合が該当する。接触状態の輝度平均は、ハグの強弱を変えているとき、変化が見られた。しかし、人が人を抱きしめるときに、ある程度の上限があり、その上限に達すると触れる領域の大きさでハグの強弱を伝えるのではないかと考えられる。対人でのハグでも、我々は強いハグでも相手をしめ殺してしまうほど強く抱きしめることは、無意識的に起こらない。すなわち、抱きしめる力の上限に達し、輝度平均の勾配が減少した状態では、反対に領域の大きさの増減が観測できる。領域が大きくなっているときはハグを徐々に強くしていると判断でき、減少しているときはハグを徐々に弱くしていると判断できる。

この接触状態では、52個のハグ(被験者13名×4姿勢分)の結果のうち、51個のデータで領域の大きさの最大値を検出した。1個のデータは被験者 M-010 の姿勢 4 であり(図 7.17(d))、接近状態から接触状態に移る境目で起こった。被験者の姿勢の録画結果からも、接触状態でハグを強くしようとより多くの部分を密着させようとする様子が見えた。よって、ハグの強弱の指標として接触領域の大きさが使えると考える。

接近状態における姿勢から、M-001 の姿勢 1 のハグに関する、推移と検出の結果をの結果は図 7.21 である。接近時には、2 値化の結果画像より、まず最初に下腹部胸部(上半身の下部分)への接近を検出した。被験者の姿勢を観察すると、胴体が密着しているのではなく、洋服が筐体と触れている様子がわかる。次に筐体の右肩を覆うようにした右手と腰を覆うようにした左手をほぼ同時に検出した。被験者の姿勢を観察すると、手のひらは背面部から 10cm 程度離れており、分析結果でも手のひらは検出していない。前腕(肘下から手首までの部位)と上腕(二の腕)の内側を検出した。このとき、肘の内側は検出していない。その後、胸部(上半身の上部分)を検出し、接触したハグの状態では上半身の内側全体を接触範囲と判定した。離れていくとき、接触していく場合とは対照的ではない様子を観察した。はじめ、胸部と脇の下が離れていき、腕などは検出対象として残ったまま、最後には右肩の上に触れている手のひらが残った。

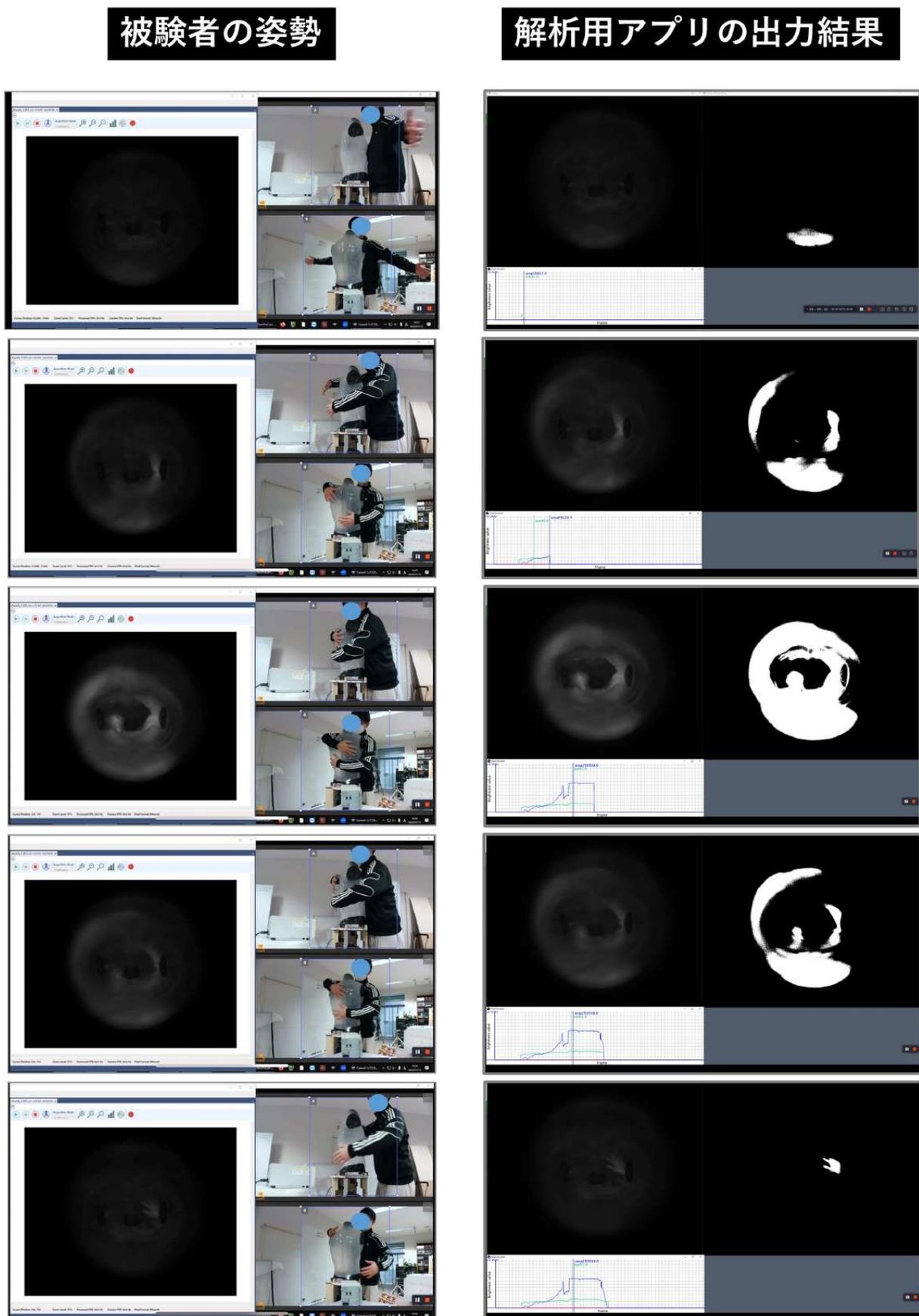


Figure 7.21: 被験者 M-001 の姿勢 1 におけるハグの接触の変化

7.5.2 接触領域の最大値・最小値と被験者に関する考察

被験者の姿勢ごとによる最大値は、表 7.5 に示した結果から、姿勢ごとの接触領域の大きさの最大値は姿勢 1 の被験者 M-004(383021)、姿勢 2 の被験者 M-011(404280)、姿勢 3 の被験者 M-008(324638)、姿勢 4 の被験者 M-006(515460) で全員男性であった。一方で、領域の大きさの最小値は、姿勢 1 で被験者 M-006(203757)、姿勢 2 の被験者 M-006(263328)、姿勢 3 の被験者 M-005(160564)、姿勢 4 の被験者 M-008(350514) で全員男性であった。

Table 7.5: 本実験における被験者の姿勢別の最大・最小の接触領域の大きさ

		被験者番号	値	性別	筐体との身長差
接触領域の大きさの最大値	姿勢 1	M-006	203757	男	-5cm
	姿勢 2	M-011	404280	男	-5cm
	姿勢 3	M-008	324638	男	-10cm
	姿勢 4	M-006	515460	男	-5cm
接触領域の大きさの最小値	姿勢 1	M-004	383021	男	-10cm
	姿勢 2	M-006	263328	男	-5cm
	姿勢 3	M-005	160564	男	-10cm
	姿勢 4	M-008	350514	男	-10cm

7.5.2.1 接触領域の最大値・最小値と被験者の体格差に関する考察

身長が 180cm 以上ある男性の被験者 M-001, M-002, M-009 による体格の大きな被験者によるハグは覆う領域が大きくなり、領域の大きさももっとも大きくなる傾向がみられると仮説を立てていたが、異なる結果が得られた。

領域が最大になるときは反対に、女性被験者 M-003, M-013 では腕の長さや胴体の広さも男性被験者に比べて、小さい傾向にあったことから検出した接触領域の大きさも小さくなると仮定していたが、実際は大きな差はみられなかった。

これらの結果から対格差がハグで覆う領域の大きさへ影響を及ぼしている原因だと一概には言えないことが分かった。

7.5.2.2 接触領域の最大値・最小値と魚眼レンズによる歪みに関する考察

次に、解析用動画は魚眼レンズを通して取得している歪みの影響について述べる。映像は魚眼レンズの中心から遠くなるほどゆがむ。そしてこのゆがみにより、解析用画像は魚眼レンズの中心に近い、筐体の肩の部分で歪みの影響は小さく、下腹部からさらに下の腰の部位で歪みの影響が大きくなる。これにより、腰の部分や下腹部により多く腕や上半身、手のひらなどが接触しているとき、領域の大きさが大きくなり得ると考える。

7.5.2.3 接触領域の最大値・最小値と筐体と被験者の身長差に関する考察

7.5.2.2 節で示した部位に接触が起きやすい条件として、筐体との身長差が挙げられる。姿勢別に最大の領域の大きさになったとき、被験者のうち 4 人中 3 人が -5cm の身長差であった。姿勢を観察すると、特に -15cm の被験者と比較したとき、筐体の下腹部に密着していた。このことから、ハグをする身長差が -5cm 程度であるとき、お互いの身体の下腹部と相手の腰の部分に触れやすくなると考えられ、領域の大きさはから身長差を推定する指標とできることが考えられる。

7.5.2.4 接触領域の最大値・最小値と被験者のパーソナルスペースのインタビュー回答に関する考察

インタビューの回答から、最大となった被験者の3/4である被験者 M-006, M-008 は日常生活でハグなどの接触行為へネガティブな意見が見られたことと、知らない人や親しい人が自らの近くに寄ってくることを許容できる範囲 (パーソナルスペース) の質問に対して、主観的に広く、人が近づいてくることに抵抗感を覚えると答えていた。ただ、本実験で用いた筐体に対してのハグは人ではなく、ディスプレイと認識してハグしたと回答した。

パーソナルスペースが広い人は接触を嫌がり、接触領域も小さい傾向を仮説として考えていたが、実験という意識から、むしろ接触に対する抵抗感があまりなかったことが分かった。このような被験者に対して、より人と人がハグするイメージを与えるには、筐体から受ける触覚が大事であると考えられる。インタビューから、筐体の表面が固いという感想もあり、筐体の表面を柔らかい素材で覆うことや、人肌程度の温かさを持つ素材で覆うことも考えられる。

7.5.3 輝度平均の最大値・最小値と被験者に関する考察

輝度平均の最大と最小について、表 7.6 の結果が得られた。

Table 7.6: 本実験における被験者の姿勢別の最大・最小の輝度平均の大きさ

		被験者番号	値	性別	筐体との身長差
輝度平均の最大値	姿勢 1	M-004	63	男	-10cm
	姿勢 2	M-006, M-008, M-011	62	男	-5,-10,-5cm
	姿勢 3	M-008	69	男	-10cm
	姿勢 4	M-005	73	男	-10cm
輝度平均の最小値	姿勢 1	M-002,M-006	48	男	-10,-5cm
	姿勢 2	M-002,M-010	50	男	-10,-5cm
	姿勢 3	M-002	51	男	-10cm
	姿勢 4	M-002	53	男	-10cm

7.5.3.1 輝度平均の最大値・最小値の結果と筐体と被験者の身長差に関する考察

輝度平均が変化する要因として、我々は、筐体と被験者の身長差による関係が影響しているのではないかと仮設していた。実際には、本実験で得られた結果より、身長差が-5cmと-10cmの被験者では輝度平均の最大値・最小値の大きさで該当する被験者が存在し、反対に身長差が-15cmの被験者では、どの姿勢においても最大・最小の値が検出されなかった。

特に輝度平均は身長差が-10cmの被験者で最大と最小の大きさであった。被験者 M-002 はすべての姿勢において輝度平均が最小であった。輝度平均が最小となる被験者のハグの姿勢を観察すると、手を回すとき、肘の内側があまり触れておらず、ハグするために腰を折り曲げて胸部から接触していることで下腹部が離れた姿勢であることが多くみられた。このことからハグによって密着しにくい身長差は-10cmの場合ではないかと考える。

一方でさらに大きい身長差の-15cmで実験を行った被験者は本実験で2名だけではあったが、該当の被験者によるハグの姿勢を観察すると、他の身長差の被験者よりも上半身を折り曲げてはいたものの、寄りかかるように密着したハグをしていた。また、腕も背面部の広い範囲に手のひらを接触させるような姿勢をとっていた。そのため、今回は輝度平均

の最大と最小の値になることはない、いわゆる中間の強さのハグをしていたが、今後、身長差が-15cm の場合の被験者を増やした実験を行うことで、明らかにできると考えられる。

7.5.3.2 赤外線 LED の配置に関する考察

ディスプレイの立体構造上、図7.22に示したように赤外光の照射量に偏りがあることが分かった。特に背面の上部の範囲は赤外光の照射量が小さくなっていった。この原因として、配置した赤外線 LED から照射された光が、背面の上部に対して内側から平行な向きで当たっていることが原因と考えられる。反対に、特に肩や腰、下腹部の範囲は赤外光が多く照射されていた。筐体との身長差が小さい被験者がハグをする場合、背面の上部に腕や手のひらでの接触が多くなり、反対に筐体との身長差が大きい被験者がハグをする場合は、背面の下部や腰、下腹部への接触が多くなる傾向がみられた。このように身長差で接触しやすい領域と赤外線 LED の照射量の偏りの関係が輝度平均に影響を及ぼしていると考えられる。

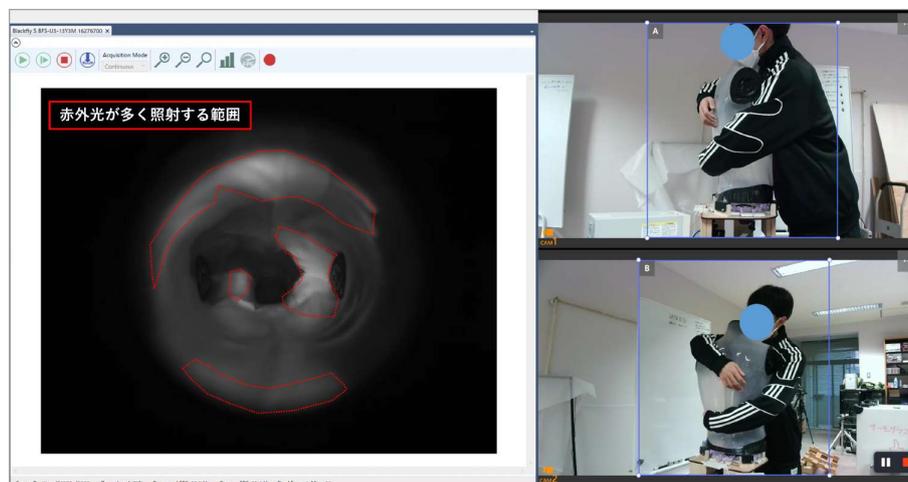


Figure 7.22: 赤外線 LED の照射の偏り

また輝度平均が最大となった被験者は、ハグをするとき手のひらを開いて背面部に接触させており、輝度平均が最小となった被験者は背面部に回した手を組むか、手のひらを接触させていない姿勢をとっているという特徴がみられた。手のひらによる接触は衣服での接触と比較してももっとも赤外光を遮断し、輝度値が高く検出されるため、手のひらによる接触の有無はハグの密着度を表す1つの指標になると考えられる。そして本実験では赤外光の照射範囲とその偏りを無くすために、次のような赤外線 LED の指向性を軽減する工夫を行った。まず、赤外線 LED のヘッド部分を超音波カッターで切除し、やすりで磨いた。この加工により、赤外線 LED の指向性は大いに軽減でき、筐体内部を全体的に照らすことはできたが、上記のように赤外光の照射範囲に偏りによる問題点が挙げられた。これに対して、赤外線 LED の向きと配置を変更することでさらなるシステムの改善が可能になると考える。具体的には、3D ソフトを用いてディスプレイの3D モデルに対して、内側から赤外光で照らすように赤外線 LED を配置し、その場合の照射範囲、赤外光の照射の強さをシミュレーションして、立体的なディスプレイを内側から均等に照らすことが可能な配置を設計する。これにより、全領域に対して同様の閾値設定が可能になることと、赤外光が筐体内部で触れていない位置の輝度上昇が起きたとき、その上昇値を一定にできると考える。

7.5.3.3 ディスプレイの立体形状と接触の検出可能範囲に関する考察

今回用いた上半身型ディスプレイは人の筋肉を再現した凹凸形状を持っており、この凹凸により赤外光が届かない範囲が図7.23に示す胸部の下で存在し、この領域における接触を検出することができなかった。胸部の下の部分は内側から見ると、下腹部よりも外側に飛び出る形状であることから赤外光が遮断されて届かず、接触範囲外となっていた。この問題に対して、本実験で用いたディスプレイよりも、凹凸の少ない形状のディスプレイを用いることで赤外光が遮断されることを防げると考えられる。

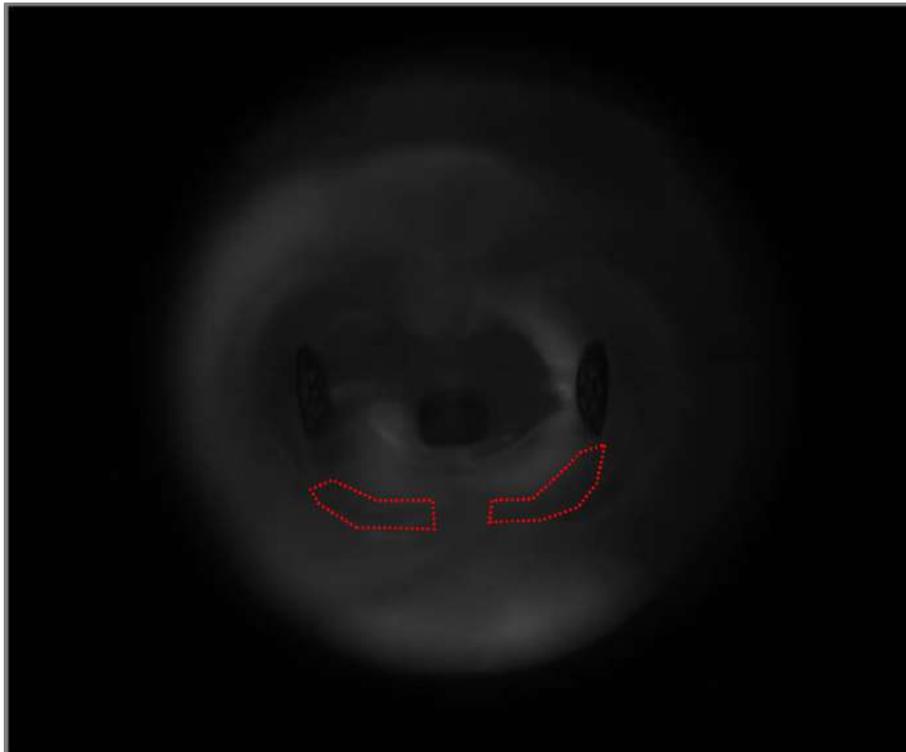


Figure 7.23: 赤外光が照射されず接触検出が難しい領域

7.5.4 接触領域と輝度平均の最大値・最小値と被験者のハグの姿勢に関する考察

被験者のハグの姿勢で、筐体の背面に回した手を組む被験者と、組まずに手のひらを密着させるようにハグする被験者が観察された。手のひらの接触の有無は、どちらの検出値に対しても影響を及ぼすと考え、この姿勢の特徴についても今後、考慮してみることでハグの癖や被験者個人の接触への抵抗感などとの関係性を明らかにできると考える。

7.5.5 閾値決定の方法に関する結果と考察

今回は被験者の接近時における姿勢別で平均を算出し、それを姿勢別の固定閾値としてグラフ描画用ソフトウェアの解析に用いた。接近時における検出範囲を我々の主観で7.4.2.1節で提示した方法により決定した。しかし、ハグの際には、前述したように被験者のハグの特徴や個人のハグへの積極性、また着用する衣服の色などの要因に関しては、一定の固

定閾値を使えると考えため、今後そのほかの要因も合わせたハグの固定閾値の決定についても可能にできると考える。

7.5.6 インタビュー回答に基づいた抱きしめやすい・抱きしめにくい姿勢に関する考察

実験後のインタビューで、ハグしやすかった姿勢とそうでない姿勢について被験者に回答してもらった。インタビュー項目3の抱きしめやすいと感じた姿勢を○(マル)、項目4の抱きしめにくいと感じた姿勢はどれかに対する回答を×(バツ)で表7.7にまとめた。もっとも抱きしめやすかった姿勢は姿勢1に続いて姿勢3であった。抱きしめやすかった理由として、被験者の利き手が関係していると考えられた。実際に右利きの被験者は、右腕を肩に回す姿勢でのハグが自然で、日常的にも行うと回答しており、左利きの被験者に関しては姿勢2における左腕が肩の上に回る姿勢がより自然にハグできたと回答していた。

反対にもっとも抱きしめにくい姿勢は、姿勢4であった。この理由として、筐体との身長差が-15cmである被験者を始めとし、身長差があるほど両腕を筐体の腰に回す姿勢は不自然で難しかったと回答していた。反対に身長差が-5cmの被験者でハグしやすかったという回答も得られた。これらのことから、身長差がないほどハグはしやすいと感じる傾向があるという結果が得られた。そしてハグ体験をより自然なものとするには、身長差が-5cm程度でユーザに体験してもらうことが可能な筐体の上げ下げを調整できる機構の実装は効果的であると考ええる。

Table 7.7: 抱きしめやすい姿勢と抱きしめにくい姿勢の回答

被験者番号	姿勢1	姿勢2	姿勢3	姿勢4
M-001	○	○	○	×
M-002		×		○
M-003	○	×	×	
M-004	○		×	
M-005	○			×
M-006		×		○
M-007	○		○	×
M-008			○	×
M-009			○	×
M-010	×	○	×	
M-011	○	×	○	○
M-012				○
M-013	○	×		×

Chapter 8

結論

ハグや頭を撫でるといった身体への接触動作をする体験は、日常生活の中で誰もが体験したことがあるだろう。このような身体への接触は、皮膚に対して広い範囲で接触する動作である。これまでの平面ディスプレイや立体ディスプレイでは指先のタッチによる入力検出が可能であったが、立体ディスプレイで広い範囲を検出することは難しかった。また接触は皮膚に近づいている接近状態も感じることができる。例えば、ハグでも触れられていないが手を広げて包み込むようにすれば、受けては抱きしめられていると感じたり、頭へ手をのぼすと反射的に触られると思ってよけたりもする。

以上の着眼のもと提案を行った「Diffused Illumination 手法を使った立体ディスプレイと解析用システム」は、誰もが共通して感じている皮膚を通じた触覚に含まれる様々な暗黙知を Human-Computer Interaction 分野の視点で深掘りし、さらにそれらを新たなインタラクション要素として再定義することで、難しい説明要らずで五感の様々な要素をもって人を楽しませることができ、新しいクロスモーダル体験を実現することができた。

具体的には、本研究プロセスにおいて、特に Human-Computer Interaction 分野における次のような課題を解決することができたといえる。

ハグでは「胸部に対するハグの動作」に注目し、この動作を人体型ディスプレイの全周囲で検出し、その接触の位置、大きさ、形状、強さなどをリアルタイムに計測し、同時に人体型ディスプレイ上に視覚的なフィードバック情報を提示可能な新しい全周囲ディスプレイシステムのプラットフォームの試作開発を行う。

- Diffused Illumination 手法を用いた全周囲立体ディスプレイのプラットフォームの実現
オムニプロカム機構による入出力検出同時に行える立体ディスプレイを実現した。
- 接触領域の大きさと輝度平均の分析用アプリケーションの実現
赤外線カメラで取得したリアルタイム動画または保存した解析用動画から、接触領域の大きさと輝度平均を検出するアプリケーションを実装した。
- グラフ描画アプリケーションの実現
解析用アプリケーションによる値を受け取り、接触をグラフで解析可能なアプリケーションの実装を行った。
- ハグによる広範囲に及ぶ接触の検出結果と被験者のハグの姿勢の関係性を考察
解析した結果から、被験者の接触時の姿勢と、接触領域・輝度平均の2つの検出値が有用であることを提示した。

- 全周囲ディスプレイに対する視覚的なフィードバック情報の提示を実現
リアルタイムの解析時には、接触範囲の投影を行い、被験者が自身の接触を客観視する体験を得られることを実現した。
- 上半身型・頭部型ディスプレイを用いた全周囲立体ディスプレイの実現 本提案システムを用いて上半身型・頭部型ディスプレイを用いたシステムを構築した。
- 上半身型・頭部型ディスプレイを用いた全周囲立体ディスプレイによるアプリケーションの実現 それぞれ特徴を持った立体ディスプレイへの、「抱擁(ハグ)」「頭を撫でる」という接触動作の検出と、検出値を用いたアプリケーションの開発、実験を行った。

また、これらの得られた知見をもとに開発したハグの可視化アプリケーションは「自分のハグを客観視できる」という新しいエンタテインメント体験の可能性を示した。さらに、上手なハグの教示用アプリケーションは「撫でる動作を客観視し、心地よい撫でとの差異を提示できる」という新しいエンタテインメント体験の可能性を示した。加えて、これらの開発の過程で得られた知見は将来提案プラットフォームを土台とした様々なアプリケーションを開発するための有用な道筋を示すことが期待できる。

最後に、今後も本研究が提案する身体への接触を可視化できるディスプレイプラットフォームの拡張案をベースにさらなる研究を深めていくことで、これまでになく人と人との身体的なコミュニケーションに用いられる直接的な接触動作による様々なインタラクションを実現可能にする新しいインタラクティブディスプレイのプラットフォームの実現も可能になると期待できる。

Chapter 9

今後の展望

今回、プラスチック製の上半身型と頭部型のディスプレイを用いた。入力技術には赤外線による接触検出可能なDI手法を用いており、出力は投影による映像提示を用いた。

本論文では特に、凹凸のある等身大ディスプレイへの入力検出としてDI手法を用いたときに、ハグや頭を撫でるといった被験者の広範囲に及ぶ、連続的な接触動作の検出を試み、システムを開発し、実験・評価した。被験者の体験時によるインタビューをふまえ、まず上半身型ディスプレイのフィードバックに関する展望を述べる。人と人のハグにおける体験の再現度を上げるためには、5感に基づいたフィードバックを行うことが重要だと考えている。まず、触覚について着目すると、本実験で用いたディスプレイはプラスチック素材であり、抱きしめた被験者は人だと感じてハグしている場合も、異性・同性だという判断に影響を及ぼしていないことが分かった。この原因として、表面の硬さが考えられる。より、ユーザが人とハグした感覚に近いハグ体験を提供可能にするためには、表面を弾性で覆った柔らかい素材を用いることが考えられる。また、人をハグしたときに感じる反発を再現するような空気をまとったベストを筐体に着用し、ハグしたときに押し返してくるような触覚を提示できるものも考えられる。本論文で接触検出に用いたDI手法は、赤外光の反射を利用して接触検出しているため、筐体表面を何かで覆う場合、入力検出が難しくなる。しかし、赤外線の透過率が100パーセントに近いような素材の布を用いて表面を覆うことで、抱きしめたユーザへの触覚フィードバックの拡張が可能になると考える。

聴覚に関しては、ユーザが人とハグによる接触動作を行うとき、お互いの吐息が聞こえたり、ハグした状態で会話をする様子も見られる。これまでも、ハグをしながら遠隔で話すコミュニケーションロボットの開発は行われており、このような聴覚によるフィードバックも重要であると考えられる。

そして、視覚に関しては、接触領域に対して別の画像に置き換える映像提示を行う実装をしたが、この技術の拡張として、例えば接触した腕や顎の位置からユーザの姿勢を推定し、頭部がどの位置にあるのかによって映像を提示する場所を変化させることでユーザが抱きしめながらも視覚的なフィードバックを得られる体験が考えられる。提示する情報としては、接触領域の大きさから親密度をパーセントとして表すものや、抱きしめられた強弱からユーザの表情を表示するなどが考えられる。また、ハグをするとき、相手によってユーザのハグに変化があると考えられる。ハグの相手を提示する方法としてVRゴーグルをユーザに装着させ、ハグの相手をVR空間上に表示させる方法がある。この視覚情報を提示した上でユーザがハグを行い、接触領域等からこのハグが心地よいのか判定することで、VR空間上の相手の表情も変化させるといったインタラクティブな体験を提示することも可能になる。

また、我々が頭を撫でるとき、頭皮を直接撫でるわけではなく、髪の毛や髭、マスク

や眼鏡、帽子などの頭を覆うものの上から接触する。この場合、頭部の表面とユーザの手の間に上記のように接触を妨げる要素があり、直接的に頭皮へ触れることはできない。特に、頭部型のディスプレイで人間らしさを提示する場合、髪の毛の存在は重要である。この問題を解決するためには、本ディスプレイ上に髪の毛を配置し、髪の毛をスクリーン表面の一部として拡張する機能を実装する、あるいは髪の毛自体にセンサ機能を別途設けるといった方法が挙げられる。

9.1 立体ディスプレイへの広範囲接触検出における輝度上昇への展望

本論文では、人と人の日常的な動作における接触動作のうち、広範囲におよぶ「ハグ」「頭を撫でる」といった接触動作を全周囲で連続的に検出可能にするため、DI手法を用いたシステムを実装した。このDI手法を用いた接触検出において、ハグによる密着した接触をしたとき、背景差分の後、2値化処理を適用していたが、その結果として密着している領域外の範囲も接触判定がなされる問題が発生していた。この問題に対して、リアルタイムモードにより解析を行い、解決を試みた。

まず、接触検出ソフトウェアの実装について述べる。本論文で我々は方法1を行った、背景差分画像に対して一定の閾値による2値化処理を行い、変化量をみることで接触領域の判定を行う方法を用いた。それに加えて、接触の検出精度を改善するために方法2と方法3の方法に示す、閾値を決定する方法を提示し、接触検出の実験を行った。方法2では、ディスプレイの凹凸形状により、触れた部分での画素値が異なることから、上半身型ディスプレイに衣服を着用させ、それぞれの場所における接触時の閾値を閾値画像(図9.1)として検出する方法を考案した。

方法1: 一定の閾値による2値化

背景画像との差分を取った後、全画素と一定の閾値を比較し、基準になった画素と周辺画素の集合の大きさが一定値を超えるとき接触と判定する。

方法2: ディスプレイ全周囲における接触時の閾値画像を用いた2値化

ディスプレイに密着度の高い洋服を着用し、閾値画像とする。閾値画像とカメラ入力画像の各画素値を比較して接触を判定する。

方法3: 適応型閾値による2値化

適応型閾値 (Adaptive Threshold) [45] による2値化処理をする。カメラ入力画像からディスプレイの領域をマスクし、対象領域の画素の閾値を周辺画素 (BlockSize) との加重平均と定数 (Cvalue) を引くことで求め、接触判定する。

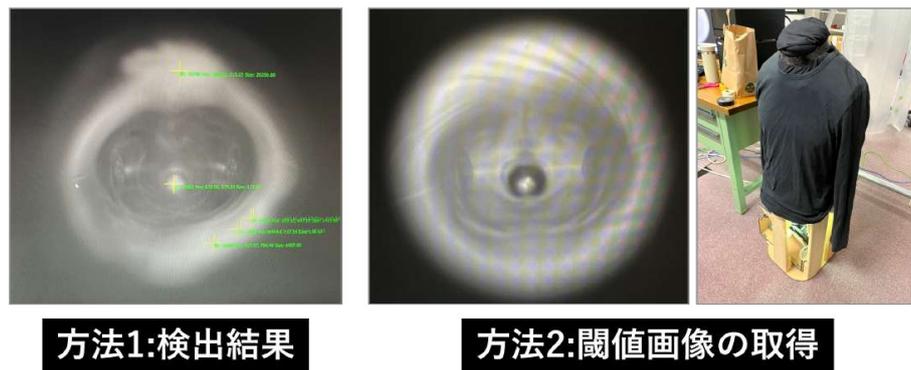


Figure 9.1: 方法2 閾値画像の取得

方法2による実験では、望ましい接触判定の結果が得られなかった。この原因として、赤外光を遮断するようにディスプレイへ衣服を着用したことで閾値として用いる各画素の閾値が高くなっており、閾値画像として適していないと考えられた。

次に AdaptiveThreshold による 2 値化処理による方法3の実験を行った。図 9.2(左)が接触前の画像であり、図 9.2(右)がユーザがハグによる接触をした様子である。筐体にハグすると 2 値化処理により、接触検出された部分が赤く投影させた。接触範囲はリアルタイムモードで行ったため、プロジェクタからディスプレイに投影も行い、同時に接触判定された領域を分析した。



Figure 9.2: 方法3 AdaptiveThreshold を用いた接触検出の実験

腕を回してハグした場合と 2 値化処理による接触検出の判定結果を示す。ハグの接近状態で覆われている範囲のうち、腰と肩の部分への接近が検出された(図 9.3(左))。また接触状態のハグをしたとき、密着している触れている胸部と腕の部分のみを検出した(図 9.3(右))。



Figure 9.3: 方法3 AdaptiveThreshold を用いた接触検出の実験結果

さらに接触状態から強く接触していったとき、接触領域以外の部分に接触が判定された。この原因を調べるために接触として検出された領域と、そうでない領域で輝度の上昇があった領域を検出するプログラムを実装し、実験した。実験の接触による検出結果をディスプレイの両肩(図9.4(左)), 前面部の下腹部(図9.4(中央)), また姿勢1の右手を肩と左手を腰に添えるハグ(図9.4(右))に示す。結果画像の黒くなった領域は接触判定した部分であり、輝度が上昇した範囲は白く描画した。

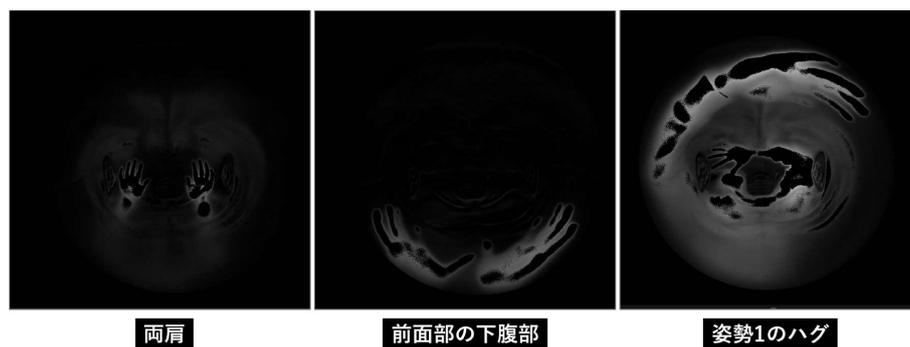


Figure 9.4: 接触領域とそうでない領域で輝度上昇が起きた結果

結果から、接触に伴い接触した領域以外の輝度も上昇していることが分かった。上昇する輝度は、接触領域の周辺領域だけでなく、例えば、肩に両手のひらで接触したとき、腹部や背面部にも輝度の上昇が現れた。この輝度が上昇する原因として、接触領域で反射した赤外光がディスプレイの内側でも反射しながら赤外線カメラで検出されていると考えられる。そのため、ディスプレイのディフューザ面の加工を表側に塗料を塗布していたが内側に塗布して再度実験を行った。しかし、この輝度が上昇する問題に対して改善することはできなかった。本論文では、このような輝度上昇問題に対して解決を試みたが、実現することができなかったが、今後の展望として、接触した領域の位置による、周辺領域の輝度上昇を考慮した閾値の決定ができるような、アルゴリズムの提案がハグによる接触検出の精度を上げるために有効となるのではないかと考える。

謝辞

本研究は、北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科知識科学系 創造社会デザイン研究領域 佐藤研究室にて行われたものです。

本研究を遂行するにあたり、日頃から熱心な御指導、そして実験の手法や研究上の疑問について適切な助言と丁寧な指導をいただいた、北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科知識科学系 創造社会デザイン研究領域 佐藤 俊樹先生に深く感謝申し上げます。

本論文作成にあたり、副査として北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科知識科学系 創造社会デザイン研究領域 高島 健太郎講師にはご協力いただき、感謝いたします。

北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科知識科学系 創造社会デザイン研究領域の宮田 一乗教授、北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科知識科学系 創造社会デザイン研究領域 由井 隆也教授には修士論文研究の中間審査会において、助言者としてご助言を賜り、大変感謝しております。

また研究活動に多大なるご協力を頂き、共に研究生活を送ってきた佐藤研究室の学生諸氏、諸先輩方、研究室を盛り立ててくれた後輩の皆さん、および電気通信大学インタラクティブメディアラボの遠藤さん、海岸さん、佐々木さんに心より感謝いたします。

加えて、ご多忙にも関わらず、快く実験にご協力頂いた北陸先端大学院大学の学生の皆様に感謝申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、経済面でご支援受け賜りました、日本学生支援機構、本学に深く感謝申し上げます。

そして何より、経済面・精神面から2年間支えてくださった、家族と友人の皆様に深い敬意と感謝を示し、心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 清水宏. あたらしい皮膚科学: 第3版. 中山書店, (2018).
- [2] S. Daher, J. Hochreiter, R. Schubert, L. Gonzalez, J. Cendan, M. Anderson, D. A. Diaz, and G. F. Welch. The physical-virtual patient simulator: A physical human form with virtual appearance and behavior. In Simulation in healthcare : journal of the Society for Simulation in Healthcare, Vol. 15(2), pp. 115–121, (2020).
- [3] N. Takahashi, R. Okazaki, H. Okabe, H. Yoshikawa, K. Aou, S. Yamakawa, M. Yokoyama, and H. Kajimoto. Sense-roid: Emotional haptic communication with yourself. In Virtual Reality International Conference 2011(VRIC2011), https://novriki.com/koshuha-seibun/pic/sense-roid_vric2011.pdf (2011).
- [4] A. H. Crusco and C. G. Wetzel. The midas touch: The effects of interpersonal touch on restaurant tipping. In Personality and Social Psychology Bulletin, Vol. 10(4), p. 512–517, (1984).
- [5] G. K. Essick, F. P. McGlone, C. Dancer, D. Fabricant, Y. Ragin, N. Phillips, T. Jones, and S. Guest. Quantitative assessment of pleasant touch. In Neuroscience and biobehavioral reviews, Vol. 34(2), p. 192–203, (2010).
- [6] J. H. Matthew, K. Dacher, B. App, B.A. Bulleit, and A.R. Jaskolka. Touch communicates distinct emotions. In Emotion, Vol. 6(3), pp. 528–533, (2006).
- [7] J. H. Matthew, H. Rachel, E. M. Margaret, and K. Dacher. The communication of emotion via touch. Vol. 9(4), pp. 566–573, (2009).
- [8] G. K. Essick, A. James, and F. P. McGlone. Psychophysical assessment of the affective components of non-painful touch. In Neuroreport, Vol. 10(10), p. 2083–2087, (1999).
- [9] 西條富美代, 峯島孝雄, 谷口敬道. 主観的な負担度および体幹と下肢の回旋角度によるリフティング動作の分析. 理学療法科学, 第14(1)巻, pp. 19–23, (1999).
- [10] LOVOT. Groove x.inc. <https://lovot.life/> (2022).
- [11] MOFLIN. Vanguard industries inc. <https://www.mofflin.com/> (2021).
- [12] NICOBO. Panasonic entertainment and communication co., ltd. <https://ec-plus.panasonic.jp/store/page/NICOBO/> (2022).
- [13] NAMOPH. Palsbots inc. <https://nemoph.ooo/> (2018).

- [14] E. T. Hall. The hidden dimension(日高敏騷・佐藤信行訳『かくれた次元』). みすず書房, (1969).
- [15] T. S. Juulia, N. Lauri, H. Tokiko, I. M. D. Robin, H. Riitta, T. Robert, S. Norihiro, and K. Ryo. Cross-cultural similarity in relationship-specific social touching. In Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, Vol. 286, (2019).
- [16] 鈴木晶夫. 非言語行動を手がかりとした人間関係研究. ふれあいの科学 第17回学術集会, 第10(1)巻, pp. 5–9, (2014).
- [17] S. Cohen, D. Janicki-Deverts, R. B. Turner, and W. J. Doyle. Does hugging provide stress-buffering social support? a study of susceptibility to upper respiratory infection and illness. In Psychological Science, Vol. 26(2), p. 135–147, (2015).
- [18] L. J. V. Raalte and K. Floyd. Daily hugging predicts lower levels of two proinflammatory cytokines. In Western Journal of Communication, p. 1–20, (2020).
- [19] Sensory Processing Disorder Explained. Spd foundation. <https://familydoctor.org/condition/sensory-processing-disorder-spd/> (2016).
- [20] K. Ogawa, S. Nishio, K. Koda, K. Taura, T. Minato, C. T. Ishii, and H. Ishiguro. Telenoid: Tele-presence android for communication. In ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies, SIGGRAPH '11, New York, NY, USA, (2011). Association for Computing Machinery.
- [21] J. C. Duvall, L. E. Dunne, N. Schleif, and B. Holschuh. Active "hugging" vest for deep touch pressure therapy. In Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct, UbiComp '16, p. 458–463, New York, NY, USA, (2016). Association for Computing Machinery.
- [22] L. M. Forsell and J. A. Åstrom. Meanings of hugging: From greeting behavior to touching implications. In Comprehensive Psychology, Vol. 1(13), p. 2165–2228, (2012).
- [23] L. D. Anna, V. Aikaterini, E. Christopher, and J. B. Michael. The influence of duration, arm crossing style, gender, and emotional closeness on hugging behaviour. (2021).
- [24] S. M. Jourard. An exploratory study of bodyaccessibility. In British Journal of Social and Clinical Psychology, Vol. 5(3), pp. 221–231, (1966).
- [25] G. Cheng, E. Dean-Leon, F. Bergner, G. Rogelio, J. Olvera, Q. Leboutet, and P. Mitterdorfer. A comprehensive realization of robot skin: Sensors, sensing, control, and applications. Vol. 107, pp. 2034–2051, (2019).
- [26] D. Straker. Greeting body language. <http://changingminds.org/techniques/body/-greeting.htm> (2002).
- [27] H. Benko, A. D. Wilson, and R. Balakrishnan. Sphere: Multi-touch interactions on a spherical display. In Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '08, p. 77–86, New York, NY, USA, (2008). Association for Computing Machinery.

- [28] J. R. Williamson, J. Williamson, D. Sundén, and J. Bradley. Multi-player gaming on spherical displays. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '15, p. 355–358, New York, NY, USA, (2015). Association for Computing Machinery.
- [29] S. Miyafuji, T. Sato, Z. Li, and H. Koike. Qoom: An interactive omnidirectional ball display. In Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '17, p. 599–609, New York, NY, USA, (2017). Association for Computing Machinery.
- [30] T. Machida. Geo-cosmos: World’s first spherical display. In ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications, SIGGRAPH '02, p. 189, New York, NY, USA, (2002). Association for Computing Machinery.
- [31] ESCIN FRANCE. Anatomia. (2012).
- [32] 國村大喜, 小野千代子, 平井まどか, 松崎ワグナ哲也, 村本政忠, 内山俊朗, 白鳥和人, 星野准一. 赤ちゃん型ロボット「yotaro」. 第15巻, pp. 279–288, (2010).
- [33] T. Kuratate, Y. Matsusaka, B. Pierce, and G. Cheng. ”mask-bot”: A life-size robot head using talking head animation for human-robot communication. pp. 99–104, 10 (2011).
- [34] K. Misawa, Y. Ishiguro, and J. Rekimoto. Livemask: A telepresence surrogate system with a face-shaped screen for supporting nonverbal communication. In Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '12, p. 394–397, New York, NY, USA, (2012). Association for Computing Machinery.
- [35] F. Delaunay, J. de Greeff, and T. Belpaeme. Towards retro-projected robot faces: An alternative to mechatronic and android faces. In RO-MAN 2009 - The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 306–311, 2009.
- [36] T. Ichii, H. Mitake, and S. Hasegawa. Tellipsoid: Ellipsoidal display for videoconference system transmitting accurate gaze direction. In Proceedings - 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VRW 2020, Proceedings - 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VRW 2020, pp. 847–848. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., (2020).
- [37] K. Misawa and J. Rekimoto. Chameleonmask: Embodied physical and social telepresence using human surrogates. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '15), pp. 401–411, (2015).
- [38] J. K. S. Teh, A. D. Cheok, R. L. Peiris, Y. Choi, V. Thuong, and S. 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, p. 250–257, New York, NY, USA, (2008). Association for Computing Machinery.

- [39] D. W. Patrick and M. Ronald. Gate control theory. In Science, Vol. 150, pp. 971–979, (1965).
- [40] Go!SCAN50. Creaform 社. <https://www.creaform3d.com/ja/kasutamasapoto/regasizhipin/goscan-3d-g2sukiyana>.
- [41] FUSION360. Autodesk 社. <https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/>.
- [42] Spinnaker SDK. Flir integrated imaging solutions inc. <https://www.apostar.com.tw/data/FLIR/SpinView-Getting-Started.pdf>.
- [43] カメラ設定アプリ「Camutil (カムチル)」Camutil. 株式会社アイ・オー・データ機器. <https://www.iodata.jp/lib/product/c/6745.htm>.
- [44] RecExperts. Easeus. <https://recorder.easeus.com/>.
- [45] AdaptiveThreshold. Opencv 2.2 documentation. http://opencv.jp/opencv-2svn/c/imgproc_miscellaneous_image_transformations.html.