

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

頸部装着型デバイスを用いた頭部姿勢認識と  
ハンズフリー操作への応用

中村 拓人

指導教員 志築 文太郎

2018年 1月

## 概要

頸部に装着することにより頸部表面の複数点における隆起具合を計測するセンサデバイス（以降、頸部装着型デバイス）を用いて、種々の頭部の姿勢（以降、頭部姿勢）を認識するシステムおよびこれを用いた情報端末操作手法を示す。本手法は、上を向いた姿勢、下を向いた姿勢、頸部を左に捻った姿勢、および頭部を右に傾けた姿勢などの頭部姿勢を認識し、認識結果を情報端末への操作に応用する手法である。頭部姿勢の変化による操作は手を用いる必要がなく、情報端末の操作に対して手を用いることが困難な状況下において有用である。本手法においては、各頭部姿勢に基づき頸部の筋肉が伸縮し、頸部表面が固有な隆起状態をとることを用いて頭部姿勢の推定を行う。本論文は、頭部姿勢を認識する手法の動作原理、実装方法、および性能の調査結果を述べるとともに、アプリケーション例を示し提案手法の実現可能性を示す。また、提案手法の課題および適用場面などを議論し、今後の展望を述べる。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	背景	1
1.2	目的およびアプローチ	1
1.3	貢献	2
1.4	本論文の構成	2
<b>第2章</b>	<b>関連研究</b>	<b>3</b>
2.1	ハンズフリー操作手法に関する研究	3
2.2	頭部姿勢認識手法に関する研究	4
2.3	センサアレイを用いてセンシングを行う手法に関する研究	4
2.4	頸部装着型インタフェースに関する研究	5
2.5	本研究の位置付け	5
<b>第3章</b>	<b>提案手法</b>	<b>7</b>
3.1	認識原理	7
3.2	認識対象とする姿勢	8
<b>第4章</b>	<b>頭部姿勢認識システムの実装および評価</b>	<b>9</b>
4.1	頭部姿勢認識システムの概要	9
4.2	頭部姿勢認識システム1	9
4.2.1	試作機1	9
4.2.2	センサ値の観察	10
4.2.3	頭部姿勢認識アルゴリズム	13
4.2.4	考察および課題	13
4.3	頭部姿勢認識システム2	14
4.3.1	試作機2	14
4.3.2	考察および課題	15
4.4	頭部姿勢認識システム3	17
4.4.1	試作機3	17
4.4.2	ソフトウェア	20
4.4.3	センサ値の観察	20
4.4.4	考察および課題	24

4.5	頭部姿勢認識システム 4	25
4.5.1	NeckMotion1	25
4.5.2	頭部姿勢認識アルゴリズム	26
	特徴データ収集フェーズ	26
	頭部姿勢推定フェーズ	26
4.5.3	ソフトウェア	28
4.5.4	考察および課題	28
4.6	頭部姿勢認識システム 5	29
4.6.1	NeckMotion2	29
4.6.2	ソフトウェア	32
4.6.3	頭部姿勢認識アルゴリズム	32
4.6.4	性能評価実験	32
	実験内容	32
	結果	33
	考察および課題	34
4.7	頭部姿勢認識システム 6	35
4.7.1	NeckMotion3	35
4.7.2	ソフトウェア	35
4.7.3	頭部姿勢認識アルゴリズム	39
	頭部姿勢推定フェーズ	39
4.7.4	考察および課題	39
4.8	頭部姿勢認識システム 7	40
4.8.1	NeckMotion4	40
4.8.2	ソフトウェア	41
4.8.3	性能評価実験 1	41
	実験内容	41
	結果	42
	考察	43
4.8.4	性能評価実験 2	44
	実験協力者	44
	実験環境	44
	実験設計	45
	手順およびタスク	45
	結果と考察	46
4.8.5	課題	48
4.9	頭部姿勢認識システム 8	49
4.9.1	NeckMotion5	49
4.9.2	ソフトウェア	50

4.9.3	頭部姿勢認識アルゴリズム	52
4.9.4	性能評価実験	52
	実験内容	52
	結果	52
	考察	54
<b>第5章</b>	<b>アプリケーション例</b>	<b>56</b>
5.1	マウス操作	56
5.2	画像ビューワ	58
<b>第6章</b>	<b>議論</b>	<b>60</b>
6.1	頸部の個人差	60
6.2	日常生活における使用および端末操作の開始終了符号	60
6.3	適用場面	61
6.4	衣服への組み込み	61
<b>第7章</b>	<b>結論</b>	<b>62</b>
	謝辞	<b>63</b>
	参考文献	<b>64</b>
<b>付録A</b>	<b>実験の際に用いた各種書類</b>	<b>68</b>
A.1	実験同意書	69
A.2	実験に関する説明	70
A.3	実験実施要領	72
A.4	実験前アンケート用紙	73
A.5	実験後アンケート用紙	74
A.6	体勢と頭部姿勢一覧	78

# 目 次

1.1	頸部装着型デバイス：(a) 俯瞰図，(b) 頸部装着型デバイスを装着した様子.	2
3.1	認識原理：(a) 頸部周辺の筋肉図，(b) 頸部表面と赤外線距離センサ間の距離変化.	7
3.2	ロール・ピッチ・ヨー俯瞰図.	8
3.3	認識対象とする頭部姿勢：(a) 前を向いた（標準状態の）姿勢，(b) 下を向いた姿勢，(c) 上を向いた姿勢，(d) 頸部を左に捻った姿勢，(e) 頸部を右に捻った姿勢，(f) 頭部を左に傾けた姿勢，(g) 頭部を右に傾けた姿勢.	8
3.4	認識対象として検討した肩の姿勢：(h) 左肩を上げた姿勢，(i) 右肩を上げた姿勢.	8
4.1	試作機 1.	10
4.2	試作機 1 を頸部に装着した様子.	10
4.3	試作機 1 の回路図.	11
4.4	試作機 1 を用いて頸部を左右に捻った場合のセンサ値.	12
4.5	試作機 1 を用いて頭部を左右に傾けた場合のセンサ値.	12
4.6	試作機 2.	14
4.7	試作機 2 を頸部に装着した様子.	15
4.8	試作機 2 の回路図.	16
4.9	試作機 3.	17
4.10	試作機 3 を頸部に装着した様子.	18
4.11	試作機 3 の回路図.	19
4.12	センサ値観察用アプリケーションの画面.	20
4.13	前を向いた姿勢をとった際のセンサ値.	21
4.14	下を向いた姿勢をとった際のセンサ値.	21
4.15	上を向いた姿勢をとった際のセンサ値.	21
4.16	頸部を左に捻った姿勢をとった際のセンサ値.	22
4.17	頸部を右に捻った姿勢をとった際のセンサ値.	22
4.18	頭部を左に傾けた姿勢をとった際のセンサ値.	22
4.19	頭部を右に傾けた姿勢をとった際のセンサ値.	23
4.20	左肩を上げた姿勢をとった際のセンサ値.	23
4.21	右肩を上げた姿勢をとった際のセンサ値.	23

4.22 NeckMotion1. . . . .	25
4.23 NeckMotion1 を頸部に装着した様子. . . . .	26
4.24 NeckMotion1 の回路図. . . . .	27
4.25 NeckMotion1 : 頭部姿勢認識結果表示アプリケーションの画面. . . . .	28
4.26 NeckMotion2. . . . .	30
4.27 NeckMotion2 を頸部に装着した様子 1. . . . .	31
4.28 NeckMotion2 を頸部に装着した様子 2. . . . .	31
4.29 NeckMotion2 : 頭部姿勢認識結果表示アプリケーションの画面. . . . .	32
4.30 NeckMotion2 を用いた頭部姿勢認識実験の結果 : 各頭部姿勢の認識率. . .	33
4.31 NeckMotion2 を用いた頭部姿勢認識実験の結果 : 混同行列. . . . .	34
4.32 NeckMotion3. . . . .	36
4.33 NeckMotion3 を頸部に装着した様子. . . . .	36
4.34 NeckMotion3 : 頭部姿勢認識結果表示アプリケーションの画面. . . . .	37
4.35 NeckMotion3 の回路図. . . . .	38
4.36 NeckMotion4. . . . .	40
4.37 NeckMotion4 を頸部に装着した様子. . . . .	41
4.38 NeckMotion4 を用いた予備実験の結果 : 各頭部姿勢の認識率. . . . .	42
4.39 NeckMotion4 を用いた予備実験の結果 : 混同行列. . . . .	42
4.40 NeckMotion4 変形前後, 変形後, 赤外線距離センサがデバイスの C 字型オブ ジェクトから外れ浮いていることがわかる. . . . .	43
4.41 4 つの体勢 : (a) 椅子に座り背筋を伸ばした体勢, (b) 椅子に座り背もたれに 寄りかかった体勢, (c) 椅子に座り猫背になった体勢, (d) 起立して両腕を下 げた体勢. . . . .	44
4.42 実験の様子. . . . .	45
4.43 4 つの体勢全てを対象に leave-one-out 交差検定を行った際の認識精度. . . .	47
4.44 各体勢それぞれを対象に leave-one-out 交差検定を行った際の認識精度. . .	47
4.45 事後アンケート結果. . . . .	48
4.46 NeckMotion5. . . . .	49
4.47 NeckMotion5 を頸部に装着した様子. . . . .	50
4.48 NeckMotion5 : 頭部姿勢認識結果表示アプリケーションの画面. . . . .	50
4.49 NeckMotion5 の回路図. . . . .	51
4.50 NeckMotion5 を用いた頭部姿勢認識実験の結果 : 各頭部姿勢の認識率. . .	53
4.51 NeckMotion5 を用いた頭部姿勢認識実験の結果 : 混同行列. . . . .	53
4.52 下を向く角度 : (a) 顎を引くように下を向いた場合, (b) 頭部全体を前方に傾 けるように下を向いた場合. . . . .	54
4.53 NeckMotion5 を用いた追加の頭部姿勢認識実験の結果 : 各頭部姿勢の認識率.	55
4.54 NeckMotion5 を用いた追加の頭部姿勢認識実験の結果 : 混同行列. . . . .	55

5.1	マウス操作の割り当て：(a) 割り当てなし，(b) マウス下移動，(c) マウス上移動，(d) マウス左移動，(e) マウス右移動，(f) 左クリック，(g) 右クリック.	56
5.2	マウス起動時画面.	57
5.3	マウス右クリック時画面.	57
5.4	マウス右移動時画面.	57
5.5	画像ビューワ操作の割り当て：(a) 割り当てなし，(b) ズームアウト，(c) ズームイン，(d) 左スクロール，(e) 右スクロール，(f) 画像反時計回転，(g) 画像時計回転.	58
5.6	画像ビューワ起動時画面.	58
5.7	画像ビューワ左スクロール時画面.	59
5.8	画像ビューワ時計回転時画面.	59
5.9	画像ビューワズームイン時画面.	59



# 第1章 序論

本論文は、頸部の状態をセンシングすることにより頭部姿勢を認識し、その認識結果を端末の操作に用いる手法を示す。本章においては、まず背景として既存のハンズフリー操作手法および頸部の特徴に関し述べる。次に本研究の目的とアプローチを示す。その後、本研究の貢献を述べ、最後に本論文の構成を述べる。

## 1.1 背景

スマートフォン、タブレット端末、デスクトップPC、およびラップトップPCなど（以降、端末）の操作手法としては手を用いた操作手法が主流である。しかし、日常生活において手を用いずに端末操作を行いたい場面や、手を用いた端末操作を行うことが困難な状況がしばしば発生する。例えば、調理中両手が濡れているため端末に表示されたレシピのページめくりが行えない場合、冬場手袋をつけているためタッチパネル操作が行えない場合、および大きな荷物を抱えており両手が塞がっているため端末による電話への応答が行えない場合などがある。また、腕を骨折している、手足を動かすづらい障害があるなど身体的理由により手を使うことが困難な場合もある。このような状況において端末操作を行うため、手を用いない操作（以降、ハンズフリー操作）手法が提案されている。例として、視線 [KInS<sup>+</sup>15, MWC10], 音声 [HWL07, vdKS11], 足 [KSV<sup>+</sup>15, SK10, MMAK13, SDYT10], および耳 [谷口10, MSU17, AKST17] を用いたハンズフリー操作手法が挙げられる。しかし、文字を目で追っており視線を操作に使いつらい場合、環境音や雑音が大きく音声が使えない場合、および歩行中であり足を操作に使えない場合など特定の制約条件によりこれらのハンズフリー操作が利用できない、あるいは利用が困難である場合がある。そこで、私は頸部を用いたハンズフリー操作に着目した。頸部の筋肉は、耳介筋<sup>1</sup>や大胸筋などと異なり多くの人間が意図的に動かすことが可能である。また、頸部は左右へ捻ることができ、頭部を前後左右へ傾けることも可能なため操作として用いることが可能な動作の自由度が高いという特徴を持つ。

## 1.2 目的およびアプローチ

本研究の目的は、頸部を用いた新たなハンズフリー操作手法を示すことである。私は、頭部姿勢に基づき頸部の筋肉が固有な伸縮を行うことに着目した。本研究では、頸部の状態をセンシングすることにより頭部姿勢を推定および認識し、その変化をハンズフリー操作に用

---

<sup>1</sup>耳を動かすために用いる筋肉。

いるというアプローチを取った。私は、複数の赤外線距離センサのセンサアレイ<sup>2</sup>を組み込んだ頸部装着型デバイス（図 1.1）を用いて頸部表面の状態をセンシングし頭部姿勢を推定する頭部姿勢認識システム NeckSense の実現を試みた。

本論文においては、提案手法を示した後、開発した頭部姿勢認識システムを示すとともに、その性能調査結果を示す。また、アプリケーション例を示し提案手法の実現可能性を示す。

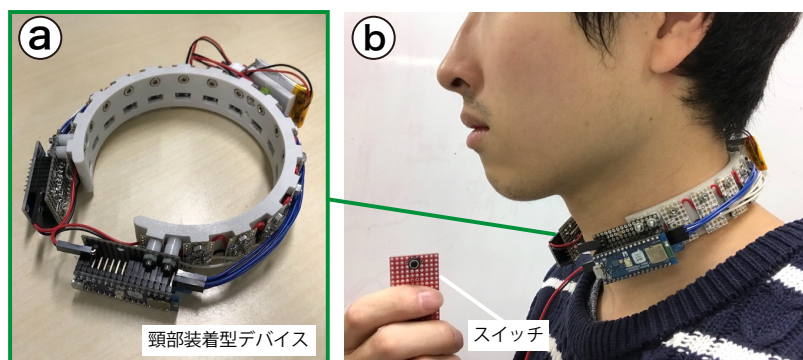


図 1.1: 頸部装着型デバイス：(a) 俯瞰図，(b) 頸部装着型デバイスを装着した様子。

### 1.3 貢献

本研究の貢献を以下に列挙する。

- 頸部を用いた新たなハンズフリー操作手法 NeckSense の提案。
- NeckSense を実現するための頭部姿勢認識システムの実装。
- 実装した頭部姿勢認識システムの性能評価。
- 提案手法を用いたアプリケーション例の提示。

### 1.4 本論文の構成

第 1 章以降の本論文の構成を示す。第 2 章においては、関連研究を示し本研究の位置付けを述べる。第 3 章においては、本研究の提案手法の認識原理および認識対象とする姿勢について述べる。第 4 章においては、提案手法の頭部姿勢認識システムを実現するために作製したハードウェアとその実装方法、頭部姿勢認識アルゴリズム、ソフトウェアを示す。また、頭部姿勢認識システムの性能評価のために行った実験について述べる。第 5 章においては、提案手法を用いたアプリケーション例を示す。第 6 章においては、提案手法の改善点および展望について議論する。第 7 章においては、本研究の結論を述べる。

<sup>2</sup>複数の同種のセンサを配列状に並べて配置したもの。

## 第2章 関連研究

提案手法は、複数の赤外線距離センサを組み込んだ頸部装着型デバイスを用いることにより、頸部表面複数点における隆起具合を計測して頭部姿勢を認識し、その認識結果を端末のハンズフリー操作に応用する。本研究と関連している研究として、「ハンズフリー操作手法に関する研究」、「頭部姿勢認識手法に関する研究」、「センサアレイを用いてセンシングを行う手法に関する研究」、および「頸部装着型インタフェースに関する研究」が挙げられる。本章にて、それぞれの研究概要を述べ、本研究の位置付けを示す。

### 2.1 ハンズフリー操作手法に関する研究

これまで、ハンズフリー操作手法として、視線、音声、足、耳、および頸部などを用いた研究が数多くなされてきた。加納ら [KInS<sup>+</sup>15] は、眼鏡のブリッジおよび鼻パッドに電極を搭載し、ツル部分に3軸加速度センサおよび3軸ジャイロセンサを内蔵した JINS MEME [JIN17] を開発した。JINS MEME は搭載された電極により眼電位 (EOG) を取得し、眼球運動および瞬きを検出することができる。また、加速度センサおよびジャイロセンサにより体軸変化を検知する。眼球運動、瞬き、および体軸変化は端末のハンズフリー操作に利用可能である。Emiliano ら [MWC10] はスマートフォンに搭載されたカメラを用いてユーザの眼球を追跡し、機械学習を用いて眼球運動と瞬きを検出することによりスマートフォン操作に利用する EyePhone を提案した。Harada ら [HWL07] は音声によりアプリケーション上にて図形を描画する手法 VoiceDraw を提案した。Kamp ら [vdKS11] は視線および音声を用いて図形を描画する手法を提案した。この手法は注視によりカーソルを移動し、音声コマンドにより図形を描画する。Klamka ら [KSV<sup>+</sup>15] は視線および足を用いて従来のマウスおよびキーボード操作を拡張する手法 Look & Pedal を提案した。ユーザは端末のディスプレイを注視した状態にて足元のペダルを踏み込みペダルの傾きを変えることによって、注視位置を基準にズーム操作やパン操作を行うことができる。Smus ら [SK10] はユーザがランニングの最中、スキップ<sup>1</sup>を指定回数行うことにより音楽プレイヤーの曲送りやボリュームの調整を行うことを可能にする手法 Running Gestures を提案した。この手法では足に3軸加速度センサを搭載した Wii リモコン [Nin10] を装着することによりスキップ認識を行う。Matthies ら [MMAK13] は銅板電極、ペルチェ素子、および振動モータを搭載した靴により、まっすぐ歩く、旋回する、ジャンプするなどの動作を検出し、検出した動作をハンズフリー操作に応用する手法 ShoeSoleSense を提案した。この手法ではペルチェ素子による熱のフィードバックと振動フィードバックを足

---

<sup>1</sup>片足で軽く飛ぶような動作

に与える。Scottら [SDYT10] はズボンのポケットに入れたスマートフォンの加速度センサから得られるデータをもとに機械学習を使用して足の動きを認識し、端末操作に利用する手法を提案した。谷口ら [谷口10] は光学式距離センサを内蔵したイヤフォンを耳に装着することにより眼球運動、瞬き、および舌の動きを認識する手法みみスイッチを提案した。この手法は認識対象の各動作を行うことにより、外耳道の形状が変化することを利用して、Matthiesら [MSU17] は電極の取り付けられた耳栓を耳に填めることにより、顔の表情、頭部姿勢、および眼球の方向などを識別し、ハンズフリー操作に利用する手法 EarFieldSensing を提案した。Andoら [AKST17] は気圧センサが組み込まれたイヤフォンを耳に装着することにより、ユーザの下顎運動を認識し端末のハンズフリー操作に利用する手法 CanalSense を提案した。Hirschら [HCR<sup>+</sup>14] は4つの電極が取り付けられたバンドを頸部に巻きつけるように装着することにより、頸部の状態を静電容量方式にてセンシングし頭部姿勢を認識する手法を提案した。認識した頭部姿勢をもとに頭部のジェスチャを検出しハンズフリー操作に用いる。本研究は、頭部姿勢認識を用いて、これらの研究と同様に端末に対するハンズフリー操作手法を提案する。

## 2.2 頭部姿勢認識手法に関する研究

提案手法と同様に頭部姿勢認識手法の研究がなされている。Crossanら [CMBMS09] はユーザの頭部と背中との2箇所に3軸加速度センサおよび地磁気センサを内蔵したセンサパックを取り付け、ユーザの頭部の傾きデータを取得し、それをモバイル端末のハンズフリー操作に利用した。Mardanbegiら [MHP12] は頭部装着型のアイトラッカーから得られる眼球の向きデータと視線のデータを使って頭部の傾きを認識する手法を提案した。Tanakaら [TIK<sup>+</sup>15] はラップトップPCおよび携帯電話の使用時の頭部の姿勢の悪さを監視するために、3軸加速度センサおよび3軸ジャイロセンサを搭載したスマートグラスを用いた。Takahashiら [TKS11] はユーザの胴体に対する頭部の相対的な向きおよび位置を測定するために、9軸センサ（3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサ、および3軸地磁気センサ）と赤外線カメラを搭載したバックパックと、同じく9軸センサと赤外線マーカを搭載したヘッドバンドを用いる手法を提案した。バックパックの赤外線カメラによりヘッドバンドの赤外線マーカを追跡することにより、ユーザの胴体に対する頭部姿勢を測定している。一方で、本研究においては頸部表面の隆起具合を計測することにより頭部姿勢を認識する。

## 2.3 センサアレイを用いてセンシングを行う手法に関する研究

センサアレイを用いてセンシングを行う手法を提案している研究として以下が挙げられる。Aoyamaら [AST16] はスマートウォッチのバンドの内側に16個の赤外線近接センサを用いたセンサアレイを組み込み、親指を動かした際の手首表面の隆起変化を測定する手法を提案している。McIntoshら [MMF17] も同様に赤外線センサアレイを備えたアームバンド型のデバイスを用いて手のジェスチャを認識する手法 SensIR を提案している。ただし、この手法は赤

外線センサと手首の皮膚表面間の距離を測るのではなく、赤外線が手首を透過することを利用して、14個の赤外線エミッタからの発光を同じく14個の赤外線レシーバを用いて網羅的に受信することにてジェスチャ認識を行う。Miyataら [MHM<sup>+</sup>16] の Wrap & Sense は複数の赤外線距離センサを筒状の物体に巻きつけ、その物体の把持状態を検出する手法である。赤外線センサの測定方向が、筒状の物体表面に向けてではなく表面に沿う方向に取り付けられていることにより、物体を把持する手の輪郭の一部を検出する。本研究にて実装を行なった頸部装着型デバイスは、6個、12個、および16個の赤外線距離センサアレイを備え、頸部表面と赤外線距離センサ間の距離を測定する。

## 2.4 頸部装着型インタフェースに関する研究

頸部に装着することによりユーザの身体状態を測定するインタフェースの研究がなされている。Cuiら [CWG<sup>+</sup>16] は音響センサを組み込んだネックバンドにより喫煙者の呼気を検出する研究を行なった。また、喫煙者の喫煙行動を監視し、身体的および精神的な健康理解の増進の検討を行なった。Nagaeら [NS11] はマイクロフォンを組み込んだ頸部装着型インタフェースから得られる音響波形の解析を行うことにより、嚙下音とその他の音を区別し、嚙下障害者の嚙下状態を推定した。西村ら [西村 17] は頸部に巻きつけ装着するウェアラブルデバイスにて広頸筋<sup>2</sup>の隆起を測定し、そのデータを元に機械学習を行い良い開口にて母音発話が行なわれているかどうかを判断する手法を提案した。この手法に用いるウェアラブルデバイスは、8個の赤外線距離センサを用いたセンサアレイを備えており、喉仏付近を中心に頸部表面と赤外線距離センサ間の距離を測定している。本研究の提案手法は、西村らと同様に頸部に赤外線距離センサのセンサアレイを備えたデバイスを装着することにより、頸部表面と赤外線距離センサ間の距離を測定する。西村らは開口による母音発話を検出するために喉仏付近を中心にセンシングを行ったが、提案手法は頸部装着型デバイスの着脱のし易さおよび装着感の改善を狙い喉仏付近のセンシングを行わない。

## 2.5 本研究の位置付け

本研究は2.1にて示した研究と同様に、ハンズフリー操作手法を提案する。本研究においては、頭部姿勢の変化をハンズフリー操作手法として利用する。また、頸部表面の隆起具合に基づき頭部姿勢認識を行う。頸部を用いたハンズフリー操作手法の研究としては Hirschら [HCR<sup>+</sup>14] の研究と同様であるが、赤外線距離センサを用いて頭部姿勢認識を行う点において提案手法は異なる。また、頸部装着型デバイスの装着方法が頸掛け式であり着脱が容易である点にて優れている。頭部姿勢を認識する研究としては、Crossanら [CMBMS09]、Tanakaら [TIK<sup>+</sup>15]、およびTakahashiら [TKS11] の研究では加速度センサやジャイロセンサを用いて頭部の傾きを検出しているが、提案手法は赤外線距離センサのみを用いて頭部の傾きを検出する点にて異なる。赤外線距離センサを用いたセンサアレイによりセンシングを行うとい

---

<sup>2</sup>頸筋の筋肉の一つ

う点において，Aoyama ら [AST16]，McIntosh ら [MMF17]，および Miyata ら [MHM<sup>+</sup>16] の手法と同様であるが，センサアレイを頸部に装着して利用するという点において異なる．頸部装着型インタフェースの研究としては，ハンズフリー操作手法の研究である点において Cui ら [CWG<sup>+</sup>16] および西村ら [西村 17] の研究と異なる．

## 第3章 提案手法

提案手法 NeckSense は、頸部装着型デバイスを装着したユーザの頭部姿勢認識を行い、頭部姿勢の変化をハンズフリー操作に応用する手法である。本章において、頸部装着型デバイスを用いて頭部姿勢認識を行う原理、および認識対象とする姿勢について述べる。

### 3.1 認識原理

NeckSense は頭部姿勢と頸部表面の隆起が互いに連関することを利用する。頭部姿勢が変化すると頭部を動かし支える筋肉である胸鎖乳突筋や僧帽筋（図 3.1 a）などが伸縮し、頸部表面が固有な隆起状態をとる。赤外線距離センサを用いたセンサアレイを備えた頸部装着型デバイスを用いて、頸部周りの複数点における隆起具合（赤外線距離センサと頸部表面間の距離）を計測することにより頭部姿勢認識を行う（図 3.1 b）。

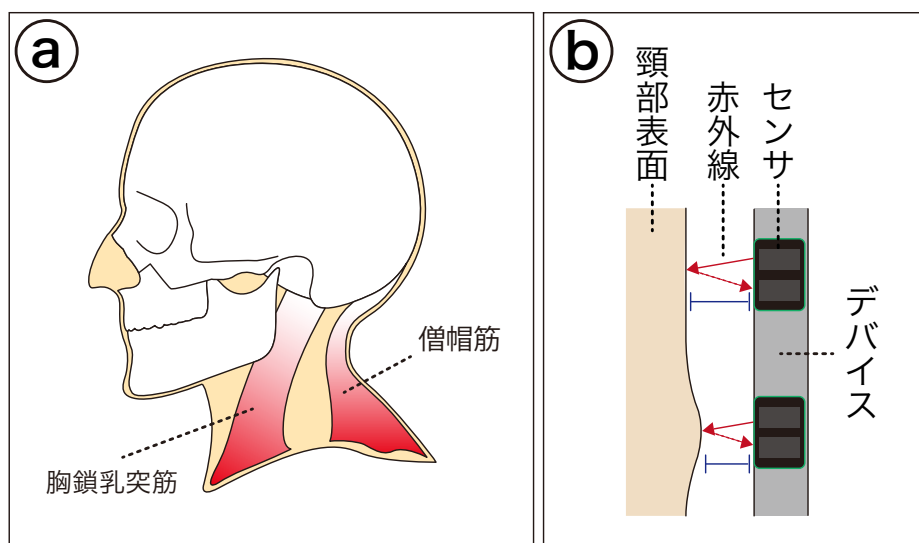


図 3.1: 認識原理：(a) 頸部周辺の筋肉図，(b) 頸部表面と赤外線距離センサ間の距離変化。

### 3.2 認識対象とする姿勢

本研究では、前を向いた姿勢、下を向いた姿勢、上を向いた姿勢、頸部を左に捻った姿勢、頸部を右に捻った姿勢、頭部を左に傾けた姿勢、および頭部を右に傾けた姿勢の7つの頭部姿勢（図3.3）と、左肩を上げた姿勢および右肩を上げた姿勢の2つの肩の姿勢（図3.4）の計9種類の姿勢認識を試みた。7つの頭部姿勢の内、前を向いた姿勢は標準状態の姿勢として認識対象にした。その他の6つの姿勢は頸部の中心を原点として軸をとった際のロール・ピッチ・ヨー回転方向に対応する姿勢として認識対象にした（図3.2）。具体的には、頭部を左に傾けた姿勢および頭部を右に傾けた姿勢はロール回転方向に対応し、下を向いた姿勢および上を向いた姿勢はピッチ回転方向に対応し、頸部を左に捻った姿勢および頸部を右に捻った姿勢はヨー回転方向に対応する姿勢として認識対象にした。また、肩の上げ下げに伴い頸部表面の隆起が変化することから左肩を上げた姿勢および右肩を上げた姿勢を認識対象とすることも検討した。

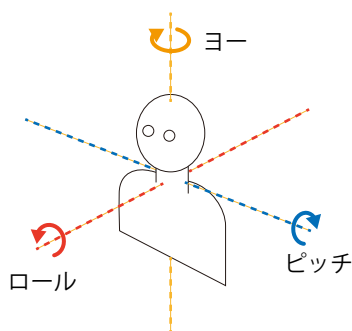


図 3.2: ロール・ピッチ・ヨー俯瞰図。

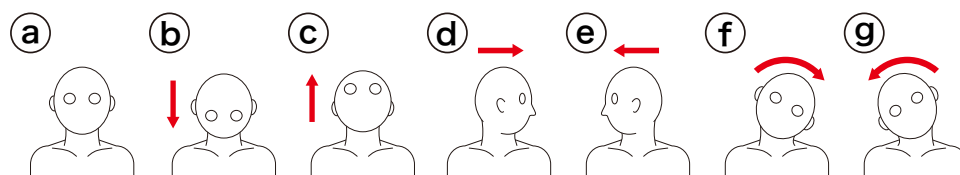


図 3.3: 認識対象とする頭部姿勢：(a) 前を向いた（標準状態の）姿勢，(b) 下を向いた姿勢，(c) 上を向いた姿勢，(d) 頸部を左に捻った姿勢，(e) 頸部を右に捻った姿勢，(f) 頭部を左に傾けた姿勢，(g) 頭部を右に傾けた姿勢。

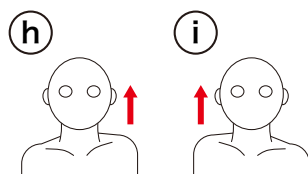


図 3.4: 認識対象として検討した肩の姿勢：(h) 左肩を上げた姿勢，(i) 右肩を上げた姿勢。



## 第4章 頭部姿勢認識システムの実装および評価

本章にて、3にて示した認識原理を用いた頭部姿勢認識システムの実装およびその性能評価について述べる。

### 4.1 頭部姿勢認識システムの概要

頭部姿勢認識システムは、頸部装着型デバイスおよび頭部姿勢認識アルゴリズムから構成される。頭部姿勢認識システムの実装にあたり、頸部装着型デバイスを複数作製した。本章においては、頸部装着型デバイスの作製順に頭部姿勢認識システムを示す。なお、頸部装着型デバイスのうち、仮実装として初期に作製した3つを試作機と呼称し、その後に本実装として作製したものを NeckMotion と呼称する。

### 4.2 頭部姿勢認識システム 1

仮実装として作製した試作機 1 の実装、および試作機 1 を用いて得られたセンサ値の観察結果、および頭部姿勢アルゴリズムを示し、試作機 1 における考察および課題を述べる。

#### 4.2.1 試作機 1

頸部表面の隆起具合を計測するために、頸部装着型デバイスの試作機を作製した。図 4.1 に作製した頸部装着型デバイスを示す。また、試作機 1 を頸部に装着した様子を図 4.2 に示す。試作機 1 は、フレキシブル基板をヒートガンにて熱して湾曲させたものに赤外線距離センサ (GENIXTEK CORP 社製 フォトリフレクタ (反射タイプ) TPR-105F) を取り付けられたものである。赤外線距離センサはマイコン (Arduino SRL 社製 Arduino Micro) に接続されており、マイコンは取得したセンサ値をコンピュータに送信する。なお、データ通信には有線のシリアル通信を用い、センサ値の取得は 100 Hz にて行なう。試作機 1 にはユーザの左右の耳の真下あたりにそれぞれ 3 個ずつ赤外線距離センサを取り付けてある。赤外線距離センサの取り付け高さによりどのような差があるかを検証するために、図 4.1 のように上中下段に配置にした。試作機 1 の回路図を図 4.3 に示す。

#### 4.2.2 センサ値の観察

試作機1においては、前を向いた姿勢、頸部を左に捻った姿勢、頸部を右に捻った姿勢、頭部を左に傾けた姿勢、および頭部を右に傾けた姿勢の5つの頭部姿勢認識を試みた。Arduino IDEのシリアルプロッタを用いてセンサ値の変化を観察した。上段と下段のセンサに比べ、中段のセンサは値の変化が乏しかった。そのため、観察するセンサ値を上段と下段のセンサのものに絞った。頸部を左右に捻った場合は図4.4のように、頭部を左右に傾けた場合は図4.5のように観察された。頸部を左に捻った場合は左下段のセンサが大きい値を取り、頸部を右に捻った場合は右下段のセンサが大きい値をとると分かる。また、頭部を左に傾けた場合は左上段のセンサが大きい値を取り、頭部を右に傾けた場合は右上段のセンサが大きい値をとる。

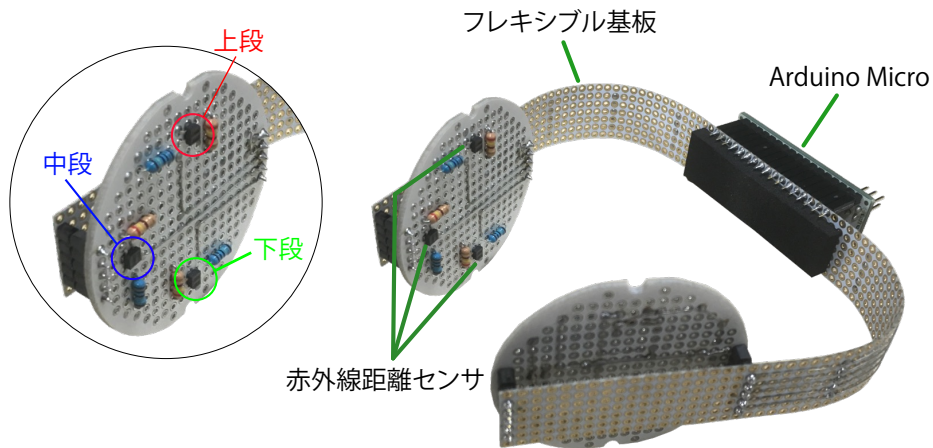


図 4.1: 試作機 1.

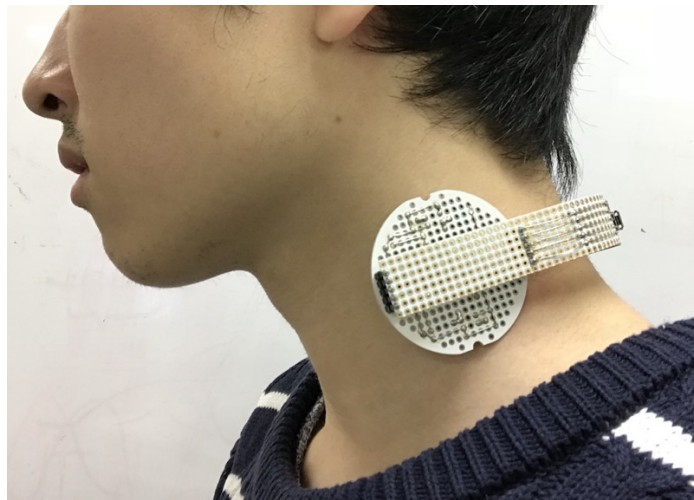


図 4.2: 試作機 1 を頸部に装着した様子.

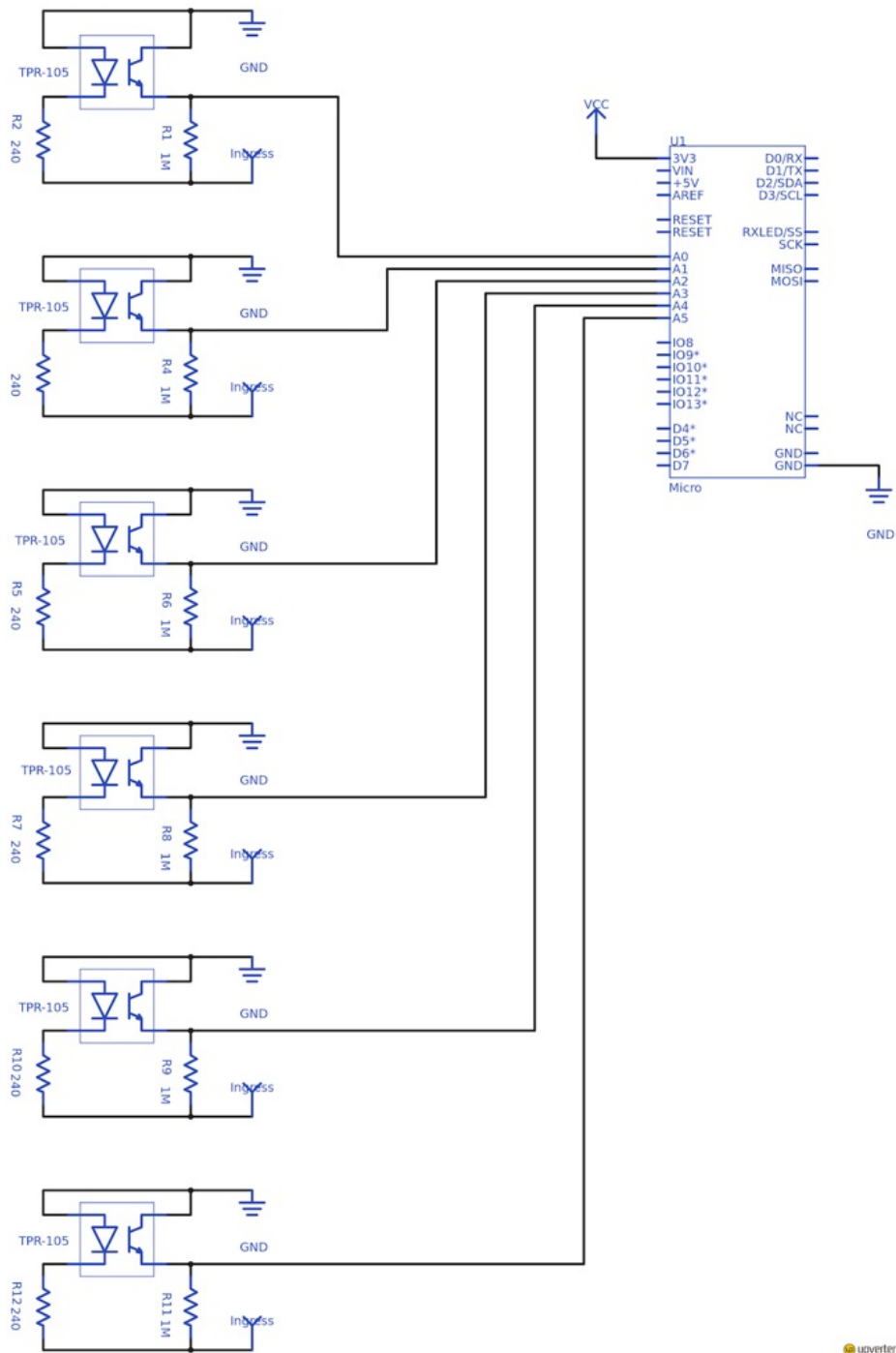


図 4.3: 試作機 1 の回路図.

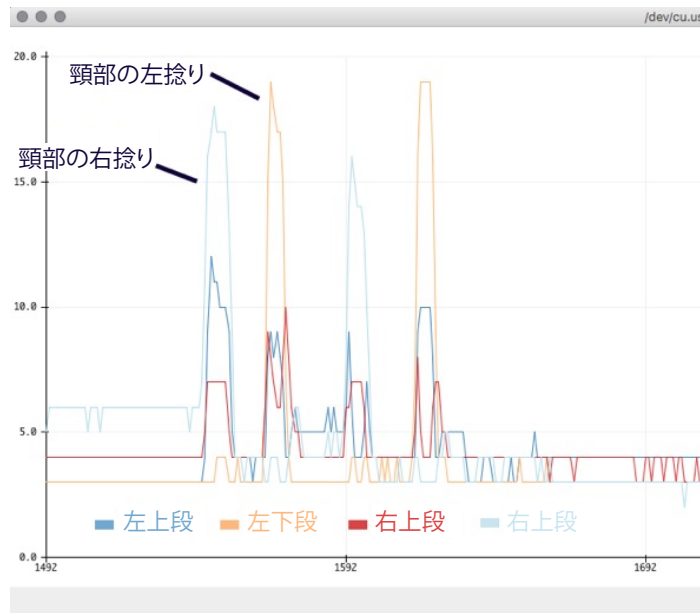


図 4.4: 試作機 1 を用いて頸部を左右に捻った場合のセンサ値.

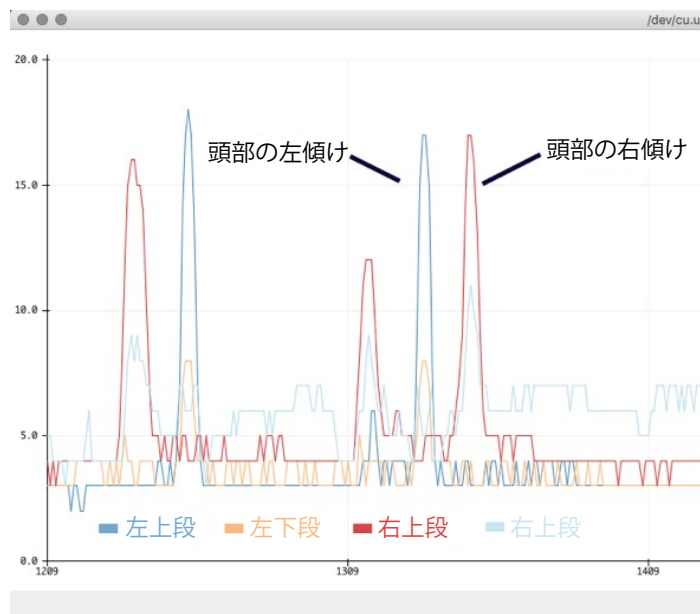


図 4.5: 試作機 1 を用いて頭部を左右に傾けた場合のセンサ値.

### 4.2.3 頭部姿勢認識アルゴリズム

4.2.2 節に示したとおり目視によりそれぞれの姿勢における特徴が分かったため、閾値を用いた頭部姿勢認識アルゴリズムを実装した。左下段，右下段，左上段，および右上段の4個のセンサ値が複数同時に12を超えることはなかったため閾値を12とした。各センサごとに直近10フレーム分の平均値を算出し，それらが閾値を超えた場合それぞれに対応する頭部姿勢（頸部を左に捻った姿勢，頸部を右に捻った姿勢，頭部を左に傾けた姿勢，および頭部を右に傾けた姿勢）を選出し，いずれのセンサも閾値を超えない場合は前を向いた姿勢を選出するよう実装した。

### 4.2.4 考察および課題

閾値を用いた頭部姿勢認識アルゴリズムを用いて5つの頭部姿勢を認識することができた。しかし，デバイスの実装上の問題から基板が直接肌に触れることにより痛みを感じる場合があった。また，形状の問題からデバイスが頸部に十分密着しなかったため，頭部姿勢を変更している間にデバイスが本来の装着位置からずれ易かった。

## 4.3 頭部姿勢認識システム 2

仮実装として作製した試作機 2 の実装，および試作機 2 における考察および課題を述べる．

### 4.3.1 試作機 2

頸部装着型デバイスの改良を行った．図 4.6 に作製した頸部装着型デバイスを示す．また，試作機 2 を頸部に装着した様子を図 4.7 に示す．試作機 2 は，試作機 1 と同様にフレキシブル基板をヒートガンにて熱して湾曲させたものに赤外線距離センサ（GENIXTEK CORP 社製 フォトリフレクタ（反射タイプ）TPR-105F）を取り付けたものである．試作機 1 における課題であった頸部に対するデバイスの密着度の低さを解決するため，デバイスの概形が正円に近づくようにフレキシブル基盤を湾曲させた．赤外線距離センサはマイコン（Arduino SRL 社製 Arduino Micro）に接続されており，マイコンは取得したセンサ値をコンピュータにシリアル通信を用いて送信する．また，赤外線距離センサの感度を向上させるため，センサに繋げる抵抗値を変更した．さらに，赤外線距離センサの取り付け位置を試作機 1 から変更した．試作機 1 において，上段と下段のセンサは頭部姿勢認識に有用であったが中段のセンサは有用ではなかったため，取り付け位置を再検討した．結果，後ろ頸にセンサを取り付けることにより下を向いた姿勢および上を向いた姿勢の認識が可能であると考え，左右中段のセンサを後ろ頸の上段と下段に取り付けることとした．したがって，試作機 2 のセンサ取り付け位置は耳の真下あたりおよび後ろ頸の 3 箇所それぞれの上段と下段である．試作機 2 の回路図を図 4.8 に示す．

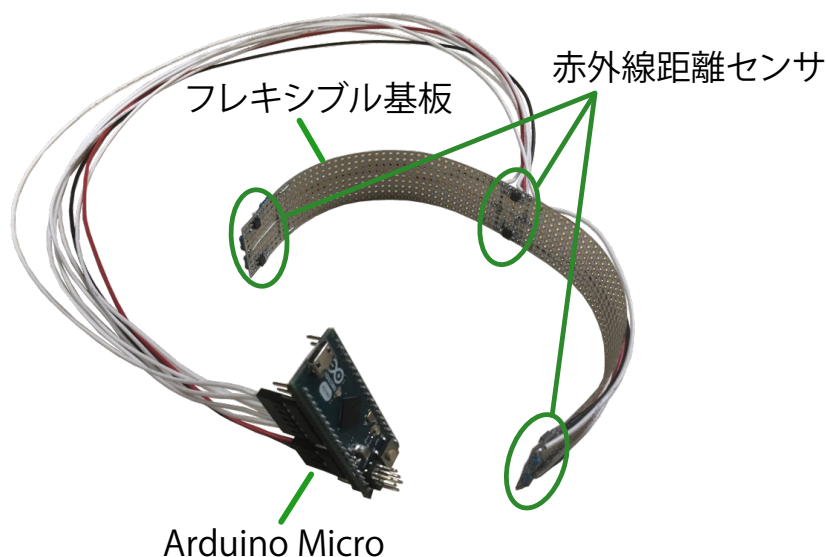


図 4.6: 試作機 2.

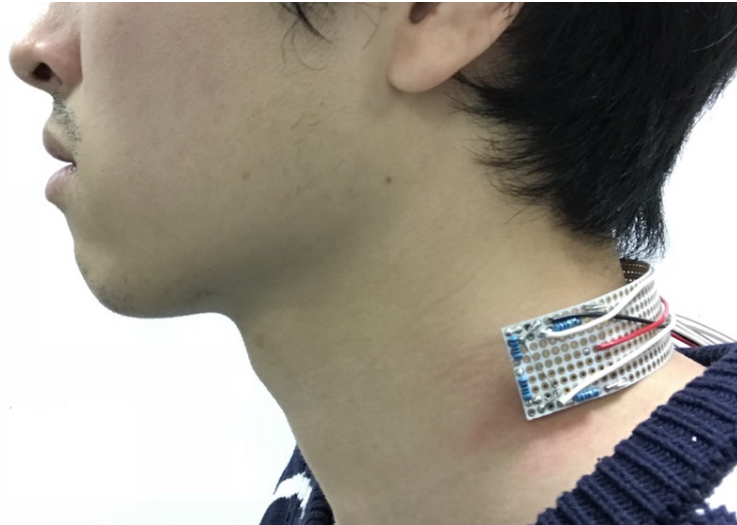


図 4.7: 試作機 2 を頸部に装着した様子.

#### 4.3.2 考察および課題

前を向いた姿勢，下を向いた姿勢，上を向いた姿勢，頸部を左に捻った姿勢，頸部を右に捻った姿勢，頭部を左に傾けた姿勢，および頭部を右に傾けた姿勢の 7 つの頭部姿勢認識を試みた。しかし，赤外線距離センサの感度を向上させるため抵抗値を変更したことが原因となり抵抗が発熱した。危険であったため，センサ値の観察をすることができなかった。また，デバイス概形が正円に近づくようにしたが，湾曲させたフレキシブル基板には元の平たい状態に戻る力が働いており，頸部に密着させることができなかった。

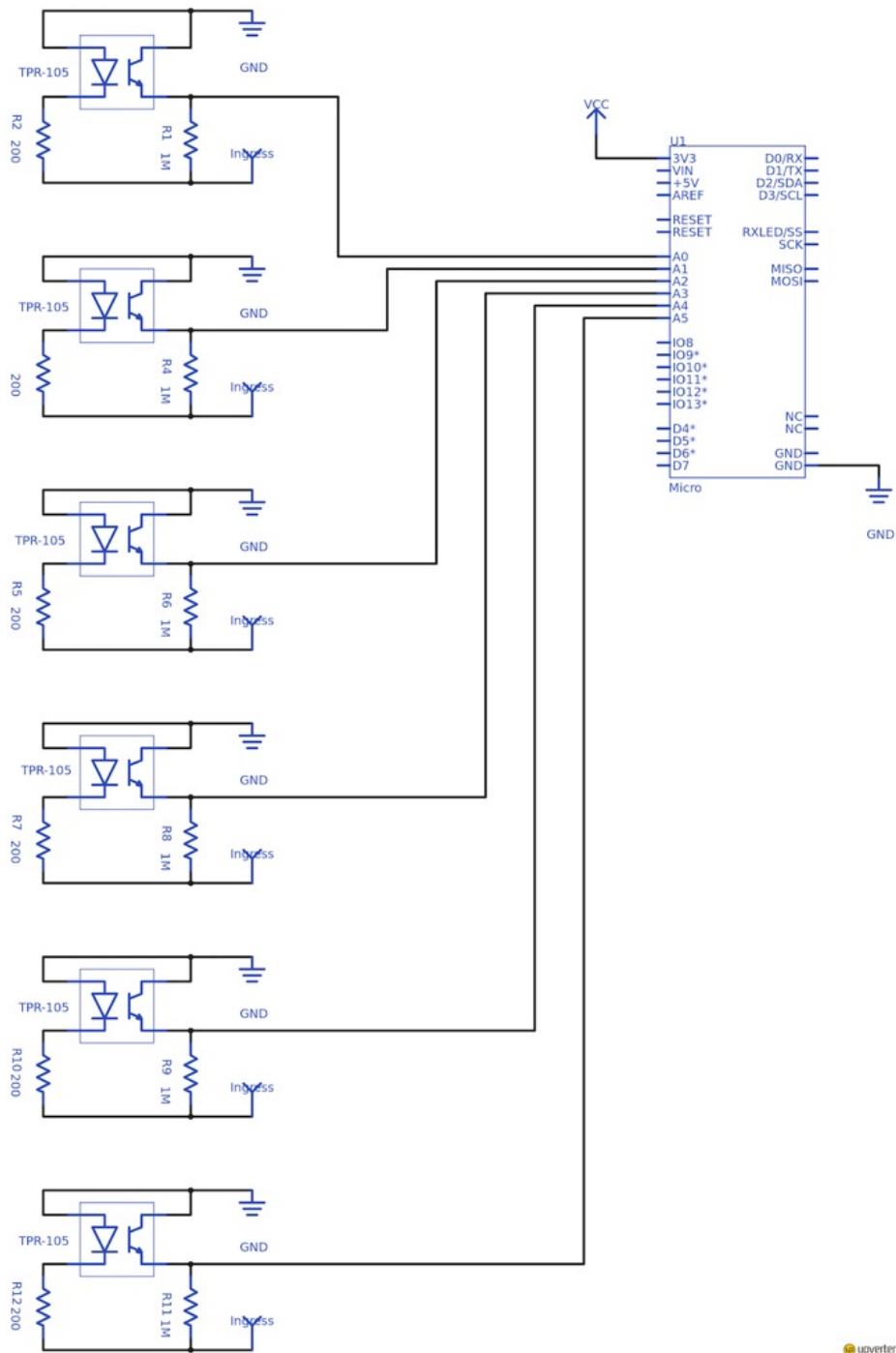


図 4.8: 試作機 2 の回路図.



## 4.4 頭部姿勢認識システム 3

仮実装として作製した試作機 3 のハードウェアおよびソフトウェア実装と試作機 3 を用いて得られたセンサ値の観察結果を示す。また、試作機 3 における考察および課題を述べる。

### 4.4.1 試作機 3

試作機 2 の課題を解決するために頸部装着型デバイスの改良を行った。図 4.9 に作製した頸部装着型デバイスを示す。また、試作機 3 を頸部に装着した様子を図 4.10 に示す。試作機 3 は、市販されているカチューシャ（シンプルカチューシャ黒 10mm A51）をベースにして、赤外線距離センサ（GENIXTEK CORP 社製 フォトリフレクタ（反射タイプ）TPR-105F）、スポンジを取り付けたものである。試作機 2 においてはフレキシブル基板を湾曲させることによって頸部装着型デバイスのベースを作製していたが、もともと平たいフレキシブル基板には湾曲させた状態から平たい状態に戻る力が恒常的に働いており、頸部に密着することができなかった。そこで、もともと C 字型の形状をしているカチューシャをベースにすることにより頸部への密着度の向上を図った。また、頸部装着型デバイスを頸部に装着することによる不快感を軽減するため、頸部に触れる面にスポンジを取り付けた。赤外線距離センサはマイコン（Arduino SRL 社製 Arduino Micro）に接続されており、マイコンは取得したセンサ値をコンピュータのセンサ値観察用アプリケーションに送信する。試作機 2 にて赤外線距離センサの赤外線 LED 側の抵抗値を下げたことが発熱の原因であったため、その抵抗値を上げた。なお、データ通信には有線のシリアル通信を用いる。データの送信速度は 100 Hz である。試作機 3 は試作機 2 と同様にユーザの両耳の真下あたりと後ろ頸の 3 箇所それぞれの上段および下段にセンサが取り付けられている。試作機 3 の回路図を図 4.11 に示す。

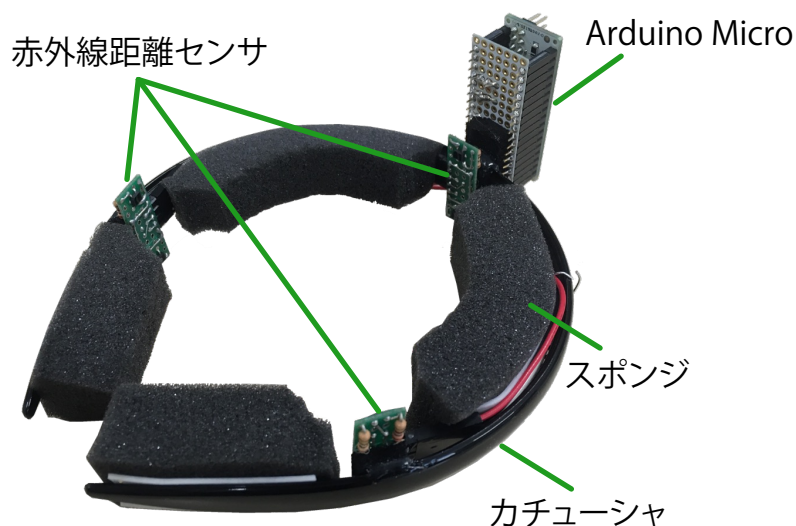


図 4.9: 試作機 3.



図 4.10: 試作機 3 を頸部に装着した様子.

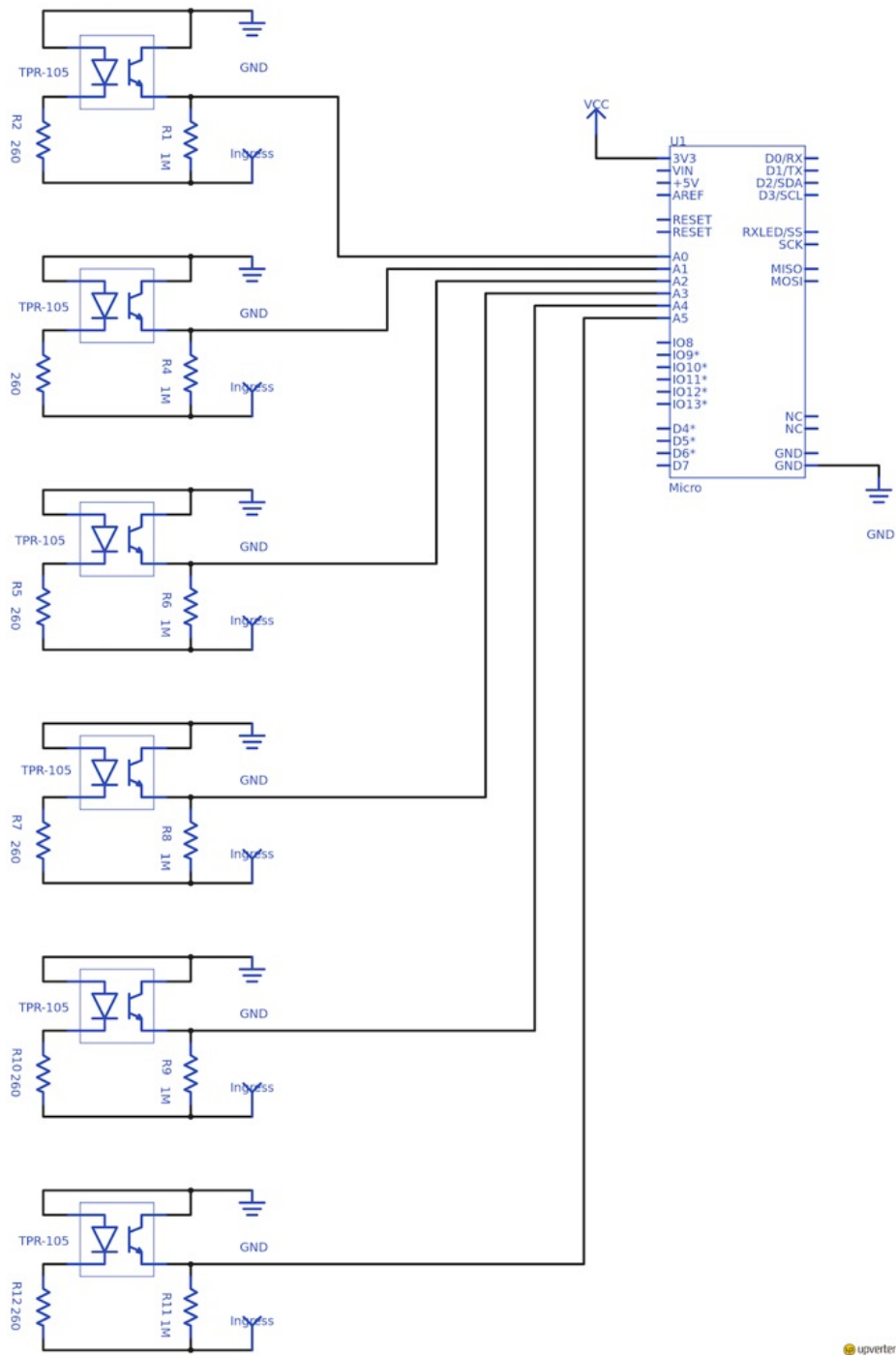


図 4.11: 試作機 3 の回路図.

#### 4.4.2 ソフトウェア

赤外線距離センサから取得した値を観察するための macOS アプリケーションを実装した。実装にはプログラミング言語 Swift 4 およびシリアル通信ライブラリ ORSSerialPort を使用した。アプリケーションの画面を図 4.12 に示す。このセンサ値観察用アプリケーションは、試作機 3 から送信された 6 個の赤外線距離センサの直近 100 フレーム分のデータを、縦軸を距離、横軸を時間とした 6 つのグラフにプロットする。

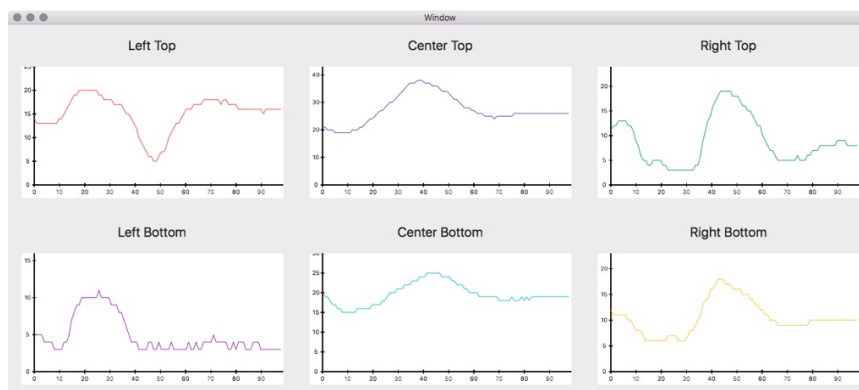


図 4.12: センサ値観察用アプリケーションの画面。

#### 4.4.3 センサ値の観察

試作機 3 を用いて、前を向いた姿勢、頸部を左に捻った姿勢、頸部を右に捻った姿勢、頭部を左に傾けた姿勢、頭部を右に傾けた姿勢、左肩を上げた姿勢、および右肩を上げた姿勢の 9 つの姿勢をとった際のセンサ値の変化を観察した。図 4.13–4.21 にセンサ値観察用アプリケーションのスクリーンショットを示す。

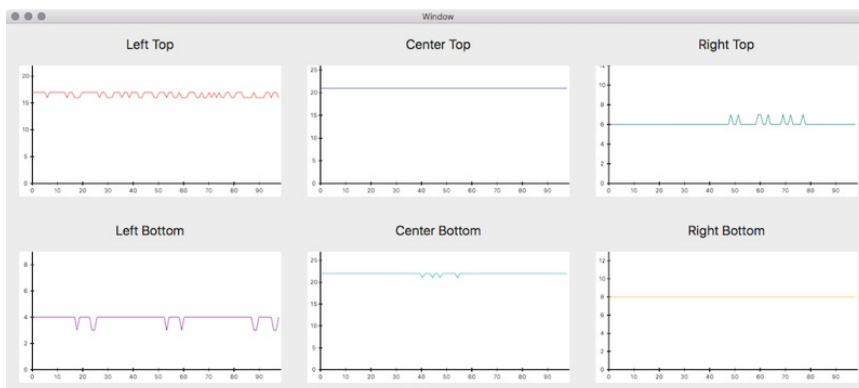


図 4.13: 前を向いた姿勢をとった際のセンサ値.

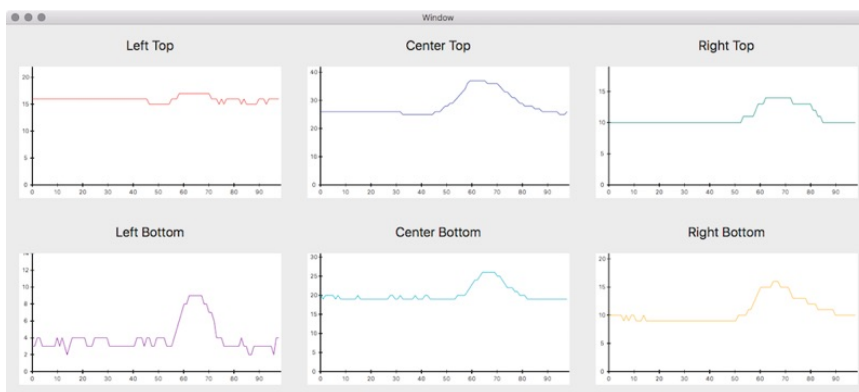


図 4.14: 下を向いた姿勢をとった際のセンサ値.

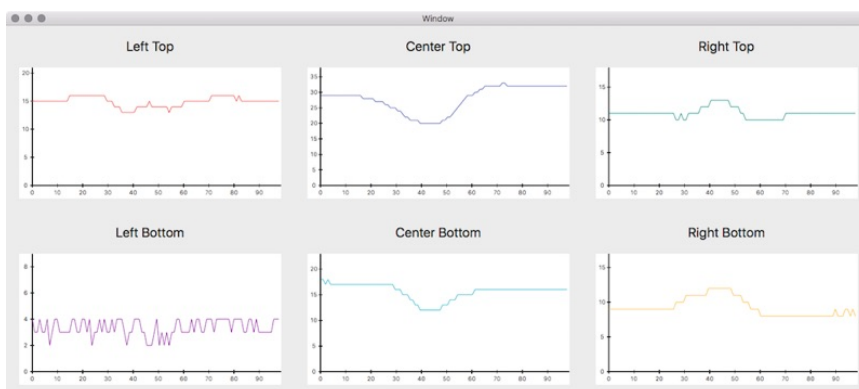


図 4.15: 上を向いた姿勢をとった際のセンサ値.

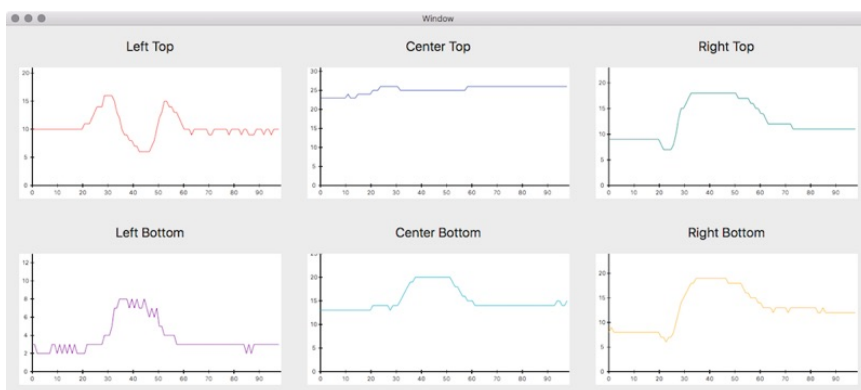


図 4.16: 頸部を左に捻った姿勢をとった際のセンサ値.

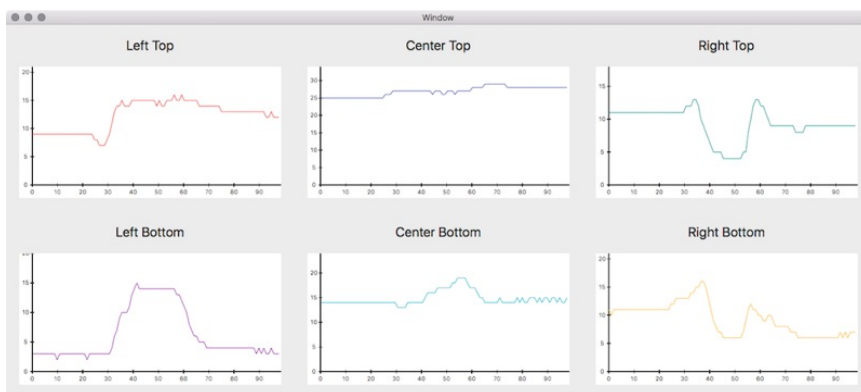


図 4.17: 頸部を右に捻った姿勢をとった際のセンサ値.

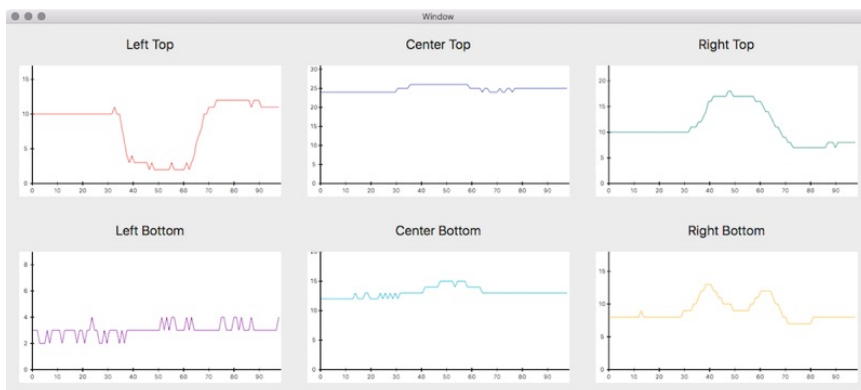


図 4.18: 頭部を左に傾けた姿勢をとった際のセンサ値.

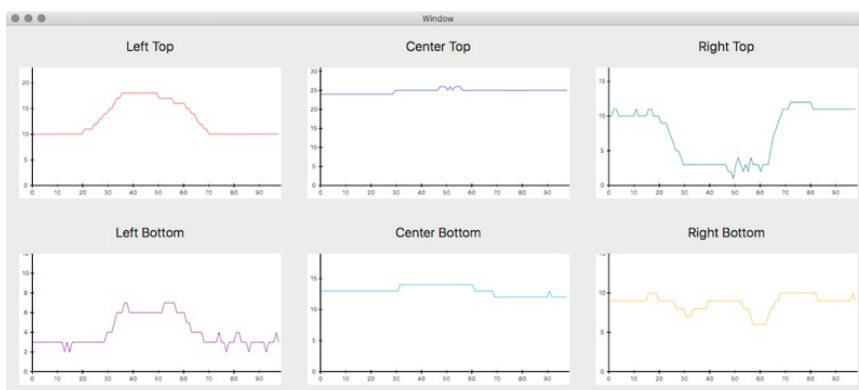


図 4.19: 頭部を右に傾けた姿勢をとった際のセンサ値.

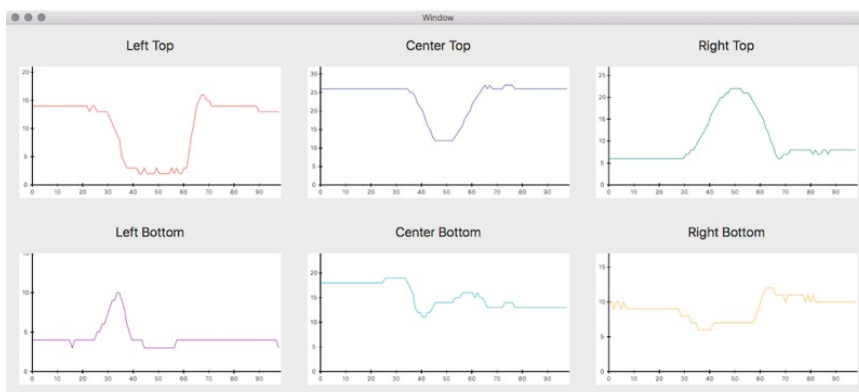


図 4.20: 左肩を上げた姿勢をとった際のセンサ値.

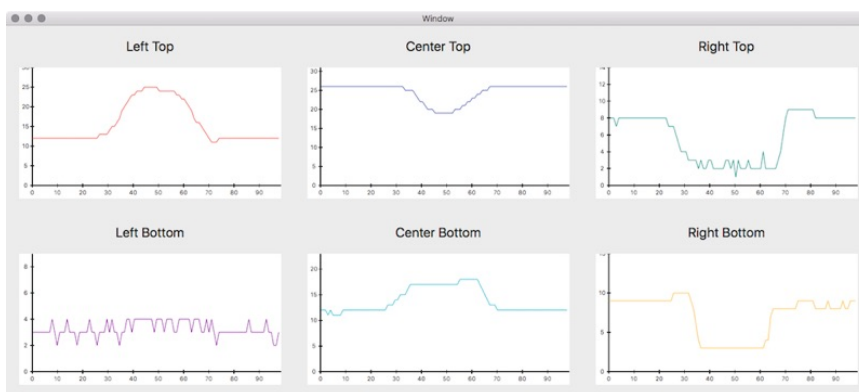


図 4.21: 右肩を上げた姿勢をとった際のセンサ値.

図 4.14 および図 4.15 より後ろ頸の赤外線距離センサから得られるセンサ値の波形が上段下段ともに上に凸ならば下を向いた姿勢，下に凸ならば上を向いた姿勢と認識可能だと推測できる．図 4.16 および図 4.17 より赤外線距離センサから得られるセンサ値の波形が左右対象でないことがわかる．よって，頸部を捻った姿勢の認識は閾値を用いた方法や単純なパターン一致により実現することが困難であると考えられる．図 4.18 および図 4.19 より頸部を傾けた姿勢の認識は左右上段の赤外線距離センサの値に注目することにより実現可能だと推測できる．左上段のセンサ値の波形が下に凸かつ右上段のセンサ値の波形が上に凸ならば頸部を左に傾けた姿勢であり，左上段のセンサ値の波形が上に凸かつ右上段のセンサ値の波形が下に凸ならば頸部を右に傾けた姿勢である．図 4.20 および図 4.21 より頸部を傾けた姿勢を認識するための条件に加えて，後ろ頸上段のセンサ値の波形が下に凸であるならば，肩を上げた姿勢と認識可能だと推測できる．

#### 4.4.4 考察および課題

頸部装着型デバイスの直接頸部表面に触れる部分にスポンジを取り付けることにより，装着時の痛みや不快感は軽減できた．一方で，デバイスを長時間装着することによりスポンジが不均一にしぼみ，デバイスと頸部表面間の距離が一定に保てないことが判明した．また，シリアル通信に用いるケーブルによりデバイス装着位置にずれが生じることも分かった．試作機 3 は赤外線距離センサを頸部周り 3 箇所それぞれ上段と下段に 2 個ずつ取り付けることにより姿勢認識を試みたが，センサの取り付け高さを一定にした場合の姿勢認識の検証も行う必要があると考えた．



## 4.5 頭部姿勢認識システム 4

本実装として作製した頸部装着型デバイス NeckMotion1 の実装，頭部姿勢認識アルゴリズム，ソフトウェア実装を示す．また，NeckMotion1 における考察および課題を述べる．

### 4.5.1 NeckMotion1

試作機 1-3 より提案手法の認識原理を用いた頭部姿勢認識に実現性があることが分かったため，頸部装着型デバイスの本実装を行なった．図 4.22 に作製した頸部装着型デバイス NeckMotion1 を示す．また，NeckMotion1 を頸部に装着した様子を図 4.23 に示す．NeckMotion1 は，3D プリンタにて出力したフレキシブルフィラメント（eSUN 社製 1.75MM FLX 3D FILAMENT NATURAL-1KG (N.W)）製の C 字型オブジェクトをベースにして，赤外線距離センサ（GENIXTEK CORP 社製 フォトリフレクタ（反射タイプ）TPR-105F）を取り付けたものである．これまでの試作機は，使用によって装着位置にずれが生じていたため頸部への装着を安定させる必要があった．そこで，著者の頸部周囲および太さを計測し，頸部に合うような C 字型のオブジェクトを設計し頸部装着型デバイスのベースとして用いた．赤外線距離センサは，マイコン（Switch Science 社製 mbed TY51822r3）に接続されており，マイコンは取得したセンサ値をタブレット端末（Apple 社製 iPad Pro 12.9 インチモデル ML0N2J/A, iOS 11.2.2）の頭部姿勢認識結果表示アプリケーションに送信する．試作機においては，シリアル通信に用いるケーブルを起因としたデバイス装着位置のずれが発生していたため，NeckMotion1 のデータ通信はマイコンに搭載された Bluetooth Low Energy（BLE）モジュールを用いた無線通信にて行うようにした．なお，データの送信速度は 100 Hz とした．また，試作機 1-3 のように上段下段と高さを変えてセンサを取り付けることなく頭部姿勢認識が可能であるか検証するため，NeckMotion1 は C 字型オブジェクトの内側に沿うように等間隔に 6 個赤外線距離センサを取り付けた．NeckMotion1 の回路図を図 4.24 に示す．

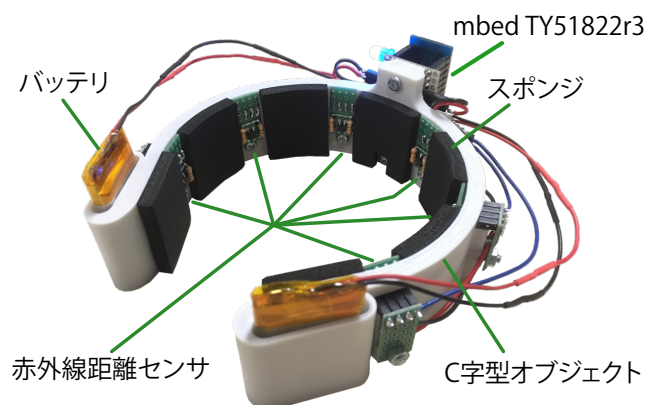


図 4.22: NeckMotion1.

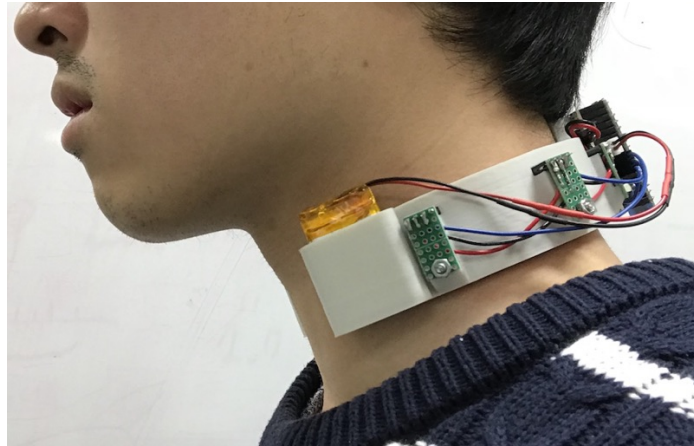


図 4.23: NeckMotion1 を頸部に装着した様子.

#### 4.5.2 頭部姿勢認識アルゴリズム

頭部姿勢認識アルゴリズムは特徴データ収集フェーズおよび頭部姿勢推定フェーズの2つの処理にて構成される。このアルゴリズムは前を向いた姿勢，下を向いた姿勢，上を向いた姿勢，頸部を左に捻った姿勢，頸部を右に捻った姿勢，頭部を左に傾けた姿勢，および頭部を右に傾けた姿勢の7つの頭部姿勢の認識を行う。

##### 特徴データ収集フェーズ

特徴データ収集フェーズでは，頭部姿勢推定フェーズに用いる特徴データを生成するため各頭部姿勢ごとに以下の処理を行う。まず，各赤外線距離センサにおいて200フレーム分のセンサ値を取得する。続いて，200フレーム分のセンサ値の平均値を算出し，頭部姿勢と対応づけて配列に格納する。

##### 頭部姿勢推定フェーズ

頭部姿勢推定フェーズでは，特徴データ収集フェーズにて格納しておいた特徴データをもとに頭部姿勢の推定を行う。はじめに，最新の赤外線距離センサの値を取得する。次に，各頭部姿勢かつ各センサごとに取得したセンサ値と特徴データの値の差の絶対値（以降，差分）を算出する。そして，各センサごとの差分を合算し頭部姿勢と対応づけて配列に格納する。配列を昇順にソートし，配列の先頭つまり最も合算した差分が小さかった頭部姿勢を最新のフレームにおける頭部姿勢と推定する。

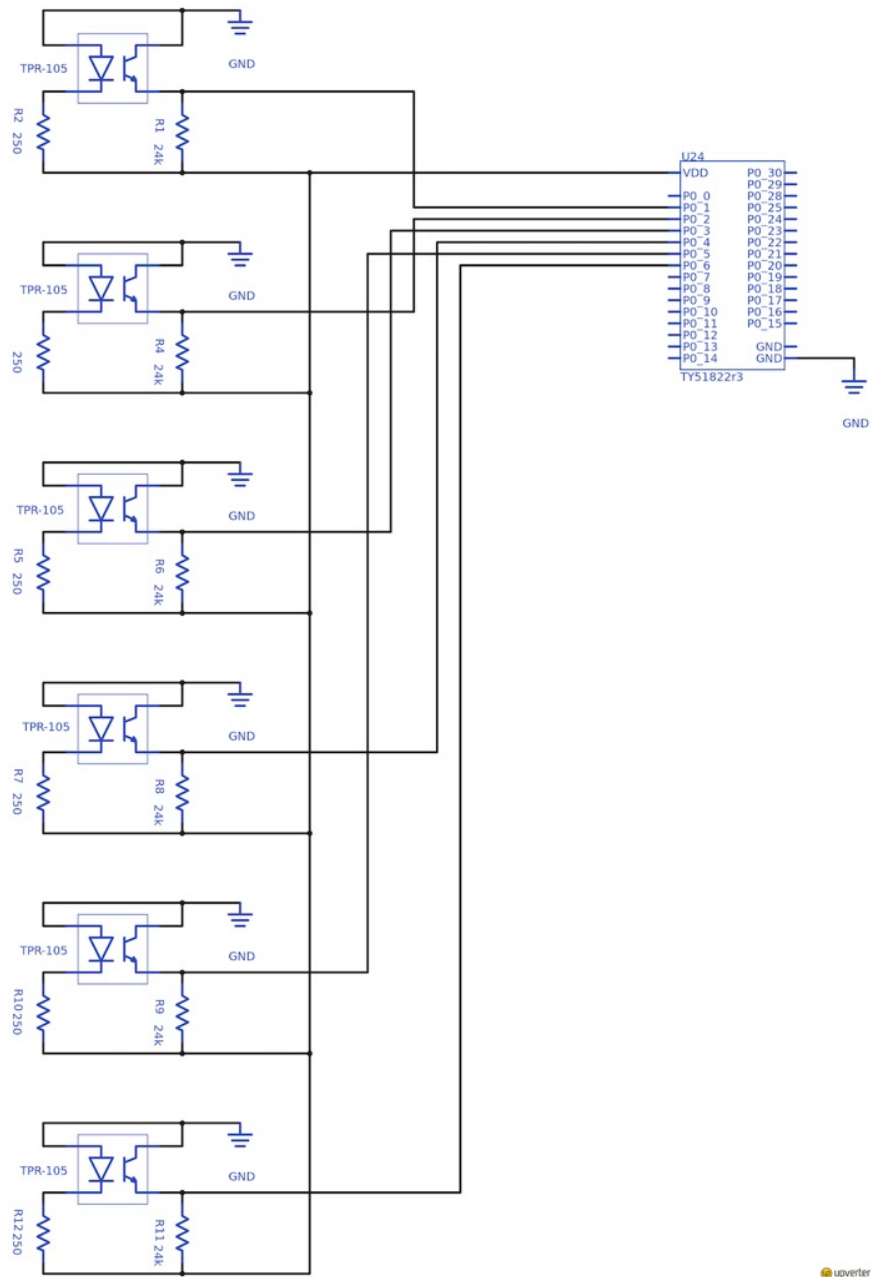


図 4.24: NeckMotion1 の回路図.

### 4.5.3 ソフトウェア

赤外線距離センサから取得した値を観察し，頭部姿勢認識結果を表示するための iOS アプリケーションを実装した．実装にはプログラミング言語 Swift 4 および BLE 通信用ライブラリ Core Bluetooth を使用した．アプリケーションの画面を図 4.25 に示す．このアプリケーションは NeckMotion1 から送信された 6 個の赤外線距離センサの直近 100 フレーム分のデータを，縦軸を距離，横軸を時間とした 6 つのグラフとして描画する．また，頭部姿勢の特徴データ収集および頭部姿勢認識結果表示を行う機能を搭載する．

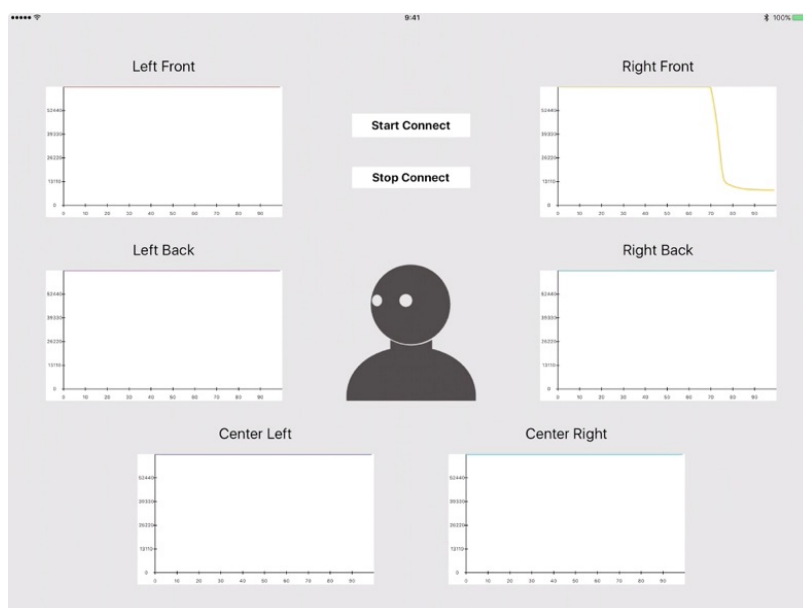


図 4.25: NeckMotion1 : 頭部姿勢認識結果表示アプリケーションの画面．

### 4.5.4 考察および課題

BLE 通信により無線にてデータ通信ができるようになり，ケーブルによる頭部姿勢認識の影響をなくすことができた．NeckMotion1 のベースに 3D プリントした C 字型オブジェクトを用いたことによりデバイスと頸部の密着度が高まり，デバイスの装着位置のずれが軽減された．しかし，NeckMotion1 は高さが 3 cm あり厚いため装着感が不快であった．また，頭部姿勢認識は誤った姿勢を認識することが多く正しく機能しなかった．これはセンサが直接頸部表面に触れる設計であったことが原因だと考えた．よって，C 字型オブジェクトの再設計が必要であると判明した．著者は頸部を捻った姿勢および頭部を傾けた姿勢におけるセンサ値は左右対称的なパターンにて取得できると予想していたが，NeckMotion1 を用いる場合左右非対称なパターンにて取得されることが分かった．これは，ユーザの頸部が完全に左右対称ではないためであると推測した．

## 4.6 頭部姿勢認識システム 5

本実装として作製した頸部装着型デバイス NeckMotion2 の実装，ソフトウェア実装，頭部姿勢認識アルゴリズムを示す．また，NeckMotion2 を用いた性能評価実験について述べ，考察および課題を述べる．

### 4.6.1 NeckMotion2

NeckMotion1 の課題を解決するために頸部装着型デバイスの改良を行なった．図 4.26 に作製した頸部装着型デバイス NeckMotion2 を示す．また，NeckMotion2 を頸部に装着した様子を図 4.27 および図 4.28 に示す．NeckMotion2 は NeckMotion1 と同様に 3D プリンタにて出力したフレキシブルフィラメント（eSUN 社製 1.75MM FLX 3D FILAMENT NATURAL-1KG (N.W)）製の C 字型オブジェクトをベースにして，赤外線距離センサ（GENIXTEK CORP 社製 フォトリフレクタ（反射タイプ）TPR-105F）を 6 個組み込んだものである．NeckMotion1 の装着感の悪さは，デバイスの高さが 3 cm あり厚かったことが原因であった．そこで，C 字型のオブジェクトを 1 cm に薄く再設計した．それによりデバイスへの取り付けが困難となったマイコン（Switch Science 社製 mbed TY51822r3）およびバッテリーは頸掛け式の名札のように胸部前に下げるようにした．赤外線距離センサはマイコンに接続されており，マイコンは取得したセンサ値をタブレット端末（Apple 社製 iPad Pro 12.9 インチモデル ML0N2J/A, iOS 11.2.2）の頭部姿勢認識結果表示アプリケーションに送信する．データ通信は NeckMotion1 と同様にマイコンに搭載された BLE モジュールによる無線通信を用いて送信速度 100 Hz にて行う．NeckMotion1 は，赤外線距離センサが直接頸部表面に触れる設計であったため頭部姿勢認識が正しく機能しなかった．そのため，NeckMotion2 は赤外線距離センサを頸部装着型デバイスの C 字型オブジェクト内部に埋め込み，直接センサが頸部表面に触れないように改良した．頸部表面と赤外線距離センサ間の距離が大きく離れると，赤外線距離センサの距離測定範囲から外れてしまうため，デバイス内側へのスポンジの取り付けを廃止した．また，頸部周辺の筋肉である胸鎖乳突筋や僧帽筋（図 3.1）の伸縮が頸部表面の隆起変化に表れる位置に，赤外線距離センサを取り付けるように変更した．なお，NeckMotion2 の回路は NeckMotion1 と同様である．

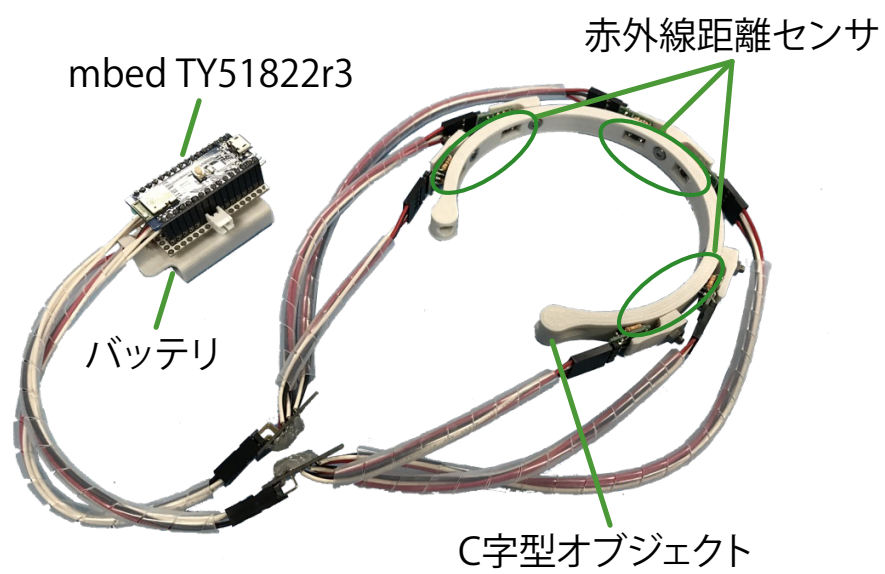


図 4.26: NeckMotion2.



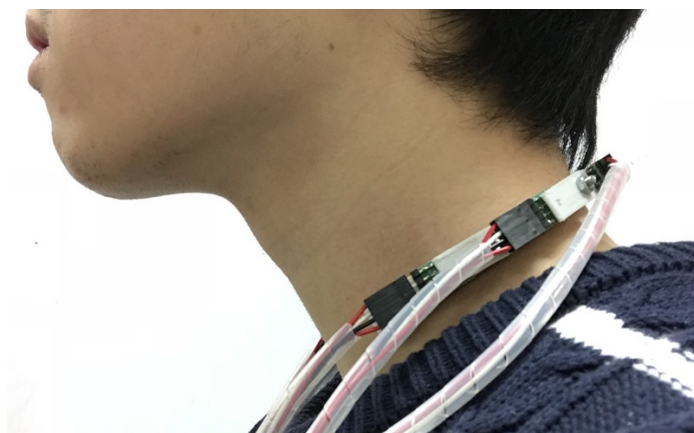


図 4.27: NeckMotion2 を頸部に装着した様子 1.

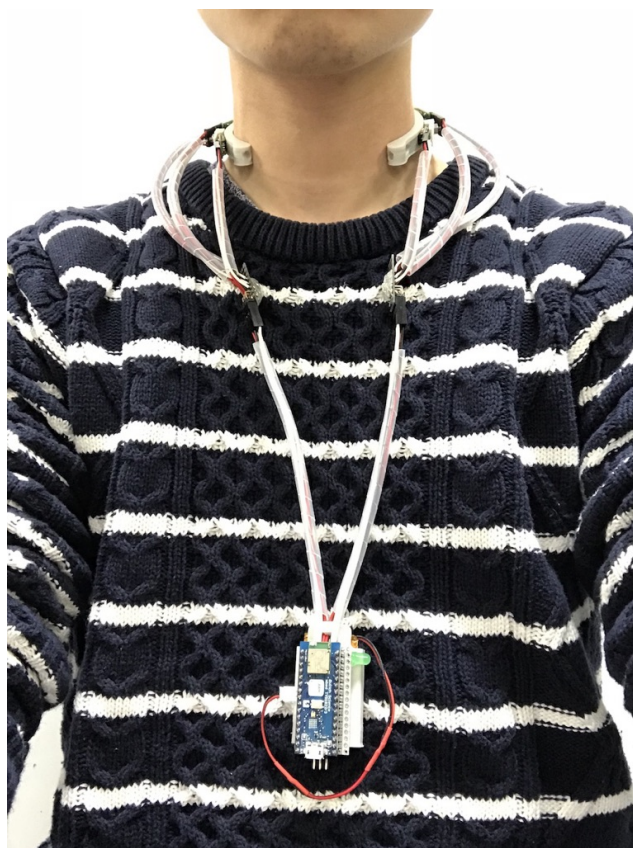


図 4.28: NeckMotion2 を頸部に装着した様子 2.

## 4.6.2 ソフトウェア

4.5.3 節にて示した頭部姿勢認識結果表示アプリケーションを改良した。改良したアプリケーションの画面を図 4.29 に示す。このアプリケーションは NeckMotion1 から送信された 6 個の赤外線距離センサの最新のセンサ値を棒グラフとしてプロットする。また、頭部姿勢の特徴データ収集および頭部姿勢認識結果表示を行う機能を搭載する。実際の頭部姿勢と認識結果を比較しやすくするため、iPad Pro のフロントカメラを用いて使用者の上半身がリアルタイムにて描画されるようにした。

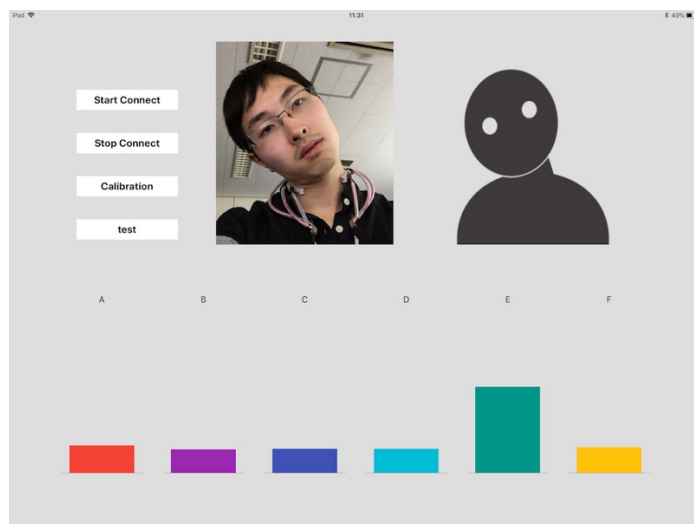


図 4.29: NeckMotion2 : 頭部姿勢認識結果表示アプリケーションの画面。

## 4.6.3 頭部姿勢認識アルゴリズム

頭部姿勢認識アルゴリズムは、NeckMotion1 と同じものを用いた。

## 4.6.4 性能評価実験

NeckMotion2 の動作確認および性能を評価するために、著者 1 名を被験者とした頭部姿勢認識実験を行なった。

### 実験内容

実験機器として NeckMotion2 および iPad Pro (Apple 社製 12.9 インチモデル ML0N2J/A, iOS 11.2.2) を用いた。本実験中、被験者は背筋を伸ばし椅子に深く腰掛けた。被験者の目前には机があり、卓上には手の届く位置に iPad Pro を設置した。



被験者は、NeckMotion2を装着した状態にて前を向いた姿勢、下を向いた姿勢、上を向いた姿勢、頸部を左に捻った姿勢、頸部を右に捻った姿勢、頭部を左に傾けた姿勢、および頭部を右に傾けた姿勢の7つの頭部姿勢をとった。頭部姿勢はランダムな順番にて1つずつ被験者の目の前のiPad Proディスプレイに提示した。この時、提示した頭部姿勢をとることを1試行とした。7つの頭部姿勢を1試行ずつ行うことを1セッションとし、これを30セッション行った。なお、iPad Proディスプレイへの頭部姿勢の提示は各頭部姿勢ごとに4秒間とし、頭部姿勢提示の終わりの合図として短い効果音を鳴らした。つまり、1試行を4秒間とした。ここで、1試行の後半2秒間の頭部姿勢認識結果の内、最も多く認識されたものを1試行の頭部姿勢認識結果とした。そのため、被験者は前半の2秒間にiPad Proディスプレイに提示された頭部姿勢を取り、その後2秒間合図の効果音が鳴るまでその頭部姿勢を維持した。予備実験の総試行回数は

$$\begin{aligned}
 & 7 \quad \text{頭部姿勢} \\
 \times & 30 \quad \text{セッション} \\
 = & 210 \quad \text{試行}
 \end{aligned}$$

であった。

## 結果

頭部姿勢の認識率を図4.30に示す。また、頭部姿勢認識結果の内訳を混同行列として図4.31に示す。図4.30より、全体の認識率は86.7%であった。また、最も低い認識率を示した下を向いた姿勢を除いた認識率は92.8%であった。

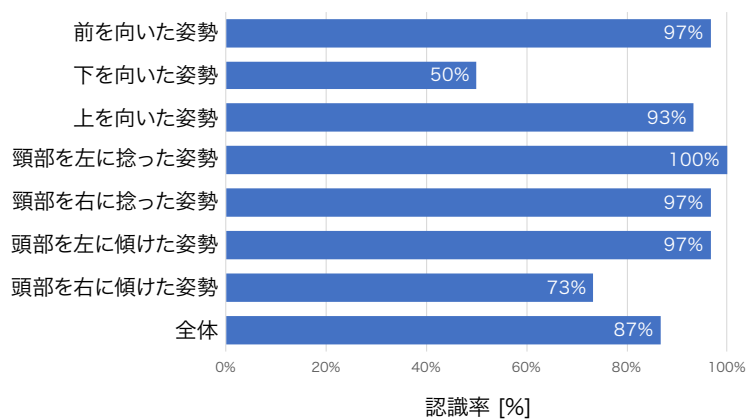


図 4.30: NeckMotion2 を用いた頭部姿勢認識実験の結果：各頭部姿勢の認識率。

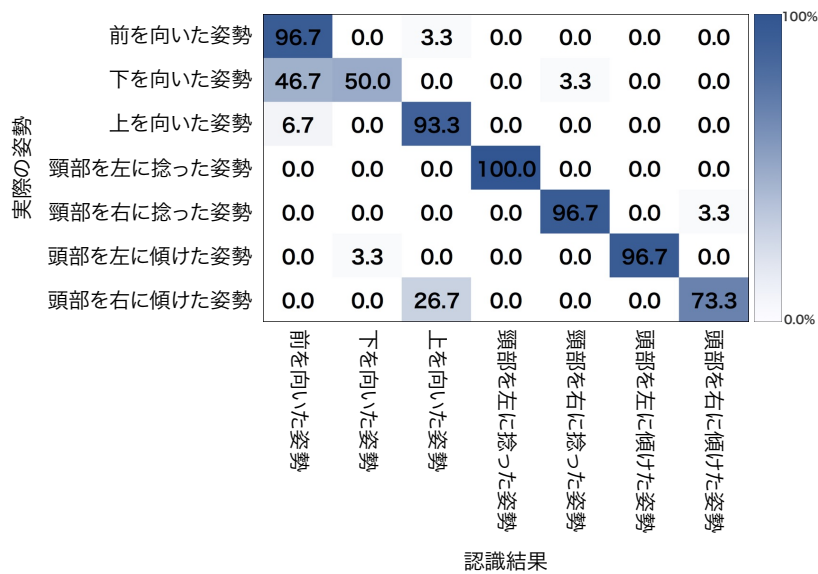


図 4.31: NeckMotion2 を用いた頭部姿勢認識実験の結果：混同行列.

#### 考察および課題

図 4.31 より、下を向いた姿勢の試行の約半数が前を向いた姿勢と認識されている。一方、前を向いた姿勢においては下を向いた姿勢と認識された試行がない。これは、実験中に NeckMotion2 が自重にて前方ずれ下がり、前を向いた姿勢と下を向いた姿勢の識別が困難になったと考えられる。以上の結果より、NeckMotion1 および NeckMotion2 にて採用した頭部姿勢認識アルゴリズムにより、おおよその頭部姿勢の認識が可能であると考えられる。特に、下を向いた姿勢を除いた 6 つの頭部姿勢認識に限れば、その認識率は 92.8% であり高い精度にて認識することが可能である。

NeckMotion2 は 4.5 節にて示した頭部姿勢認識アルゴリズムと同じアルゴリズムを採用したため、閾値ベースではない頭部姿勢認識アルゴリズムにより頭部姿勢認識が可能であることが分かった。下を向いた姿勢の認識率の悪さに関しては、NeckMotion2 において胸部前に頸掛け式の名札のようにマイコンおよびバッテリーをぶら下げるよう設計したことが原因だと推測した。すなわち、胸部前のマイコンおよびバッテリーの重さによって使用中にデバイスがずれたと考察した。また、NeckMotion2 および採用した頭部姿勢アルゴリズムでは身体全体の大きな姿勢（以降、体勢）変更を行うと頭部姿勢認識率が悪化することが判明した。

## 4.7 頭部姿勢認識システム 6

本実装として作製した頸部装着型デバイス NeckMotion3 の実装，ソフトウェア実装，頭部姿勢認識アルゴリズムを示す．また，NeckMotion3 に関する考察および課題を述べる．

### 4.7.1 NeckMotion3

NeckMotion2 の課題を解決するために頸部装着型デバイスの改良を行なった．図 4.32 に作製した頸部装着型デバイス NeckMotion3 を示す．また，NeckMotion3 を頸部に装着した様子を図 4.33 に示す．NeckMotion3 は 3D プリンタにて出力したフレキシブルフィラメント (eSUN 社製 1.75MM FLX 3D FILAMENT NATURAL-1KG (N.W)) 製の C 字型オブジェクトをベースにして，赤外線距離センサ (GENIXTEK CORP 社製 フォトリフレクタ (反射タイプ) TPR-105F) を 12 個組み込んだものである．NeckMotion2 における下を向いた姿勢の認識結果の悪さは，胸部前にマイコンおよびバッテリーを下げる設計が原因であった．そのため，NeckMotion3 は後ろ頸にマイコンおよびバッテリーを取り付けるよう改良を施した．赤外線距離センサはマイコンに接続されており，マイコンは取得したセンサ値をタブレット端末 (Apple 社製 iPad Pro 12.9 インチモデル ML0N2J/A, iOS 11.2.2) の頭部姿勢認識プログラムに送信する．データ通信はマイコンに搭載された BLE モジュールによる無線通信を用いて送信速度 100 Hz にて行う．また，赤外線距離センサを増やすことにより頭部姿勢認識の性能が向上するかを検証するために，組み込む赤外線距離センサの数を NeckMotion2 の倍の 12 個に増やした．NeckMotion3 の回路図を図 4.35 に示す．

### 4.7.2 ソフトウェア

デバイスに組み込まれたセンサの数が増えたことにより 4.6.2 節にて示した頭部姿勢認識結果表示アプリケーションを改良した．改良したアプリケーションの画面を図 4.34 に示す．このアプリケーションは NeckMotion1 から送信された 12 個の赤外線距離センサの最新のセンサ値を棒グラフとしてプロットする．また，頭部姿勢の特徴データ収集および頭部姿勢認識結果表示を行う機能を搭載する．

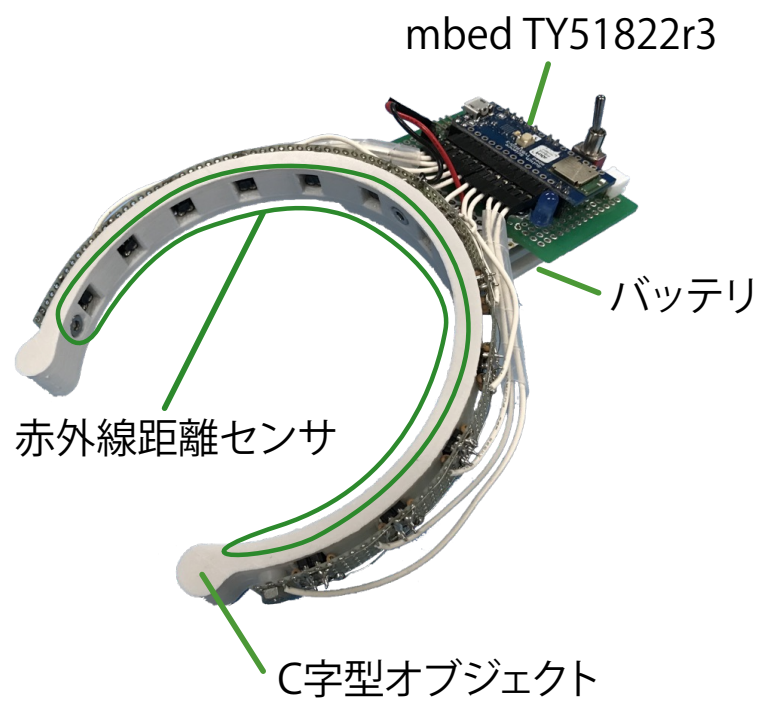


図 4.32: NeckMotion3.



図 4.33: NeckMotion3 を頸部に装着した様子.

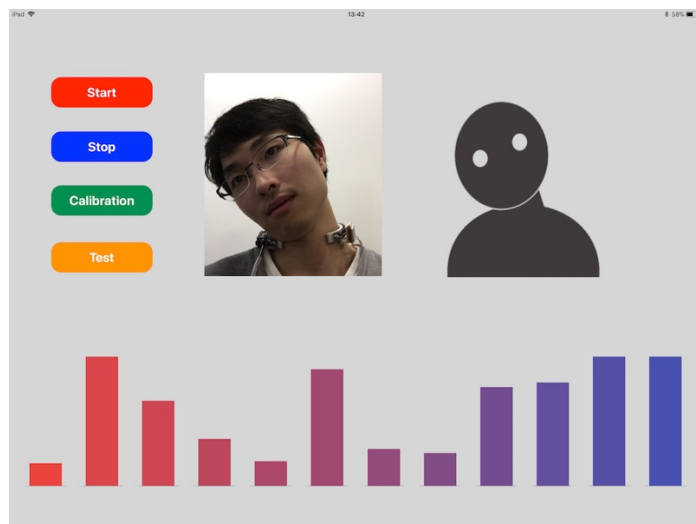


図 4.34: NeckMotion3 : 頭部姿勢認識結果表示アプリケーションの画面.

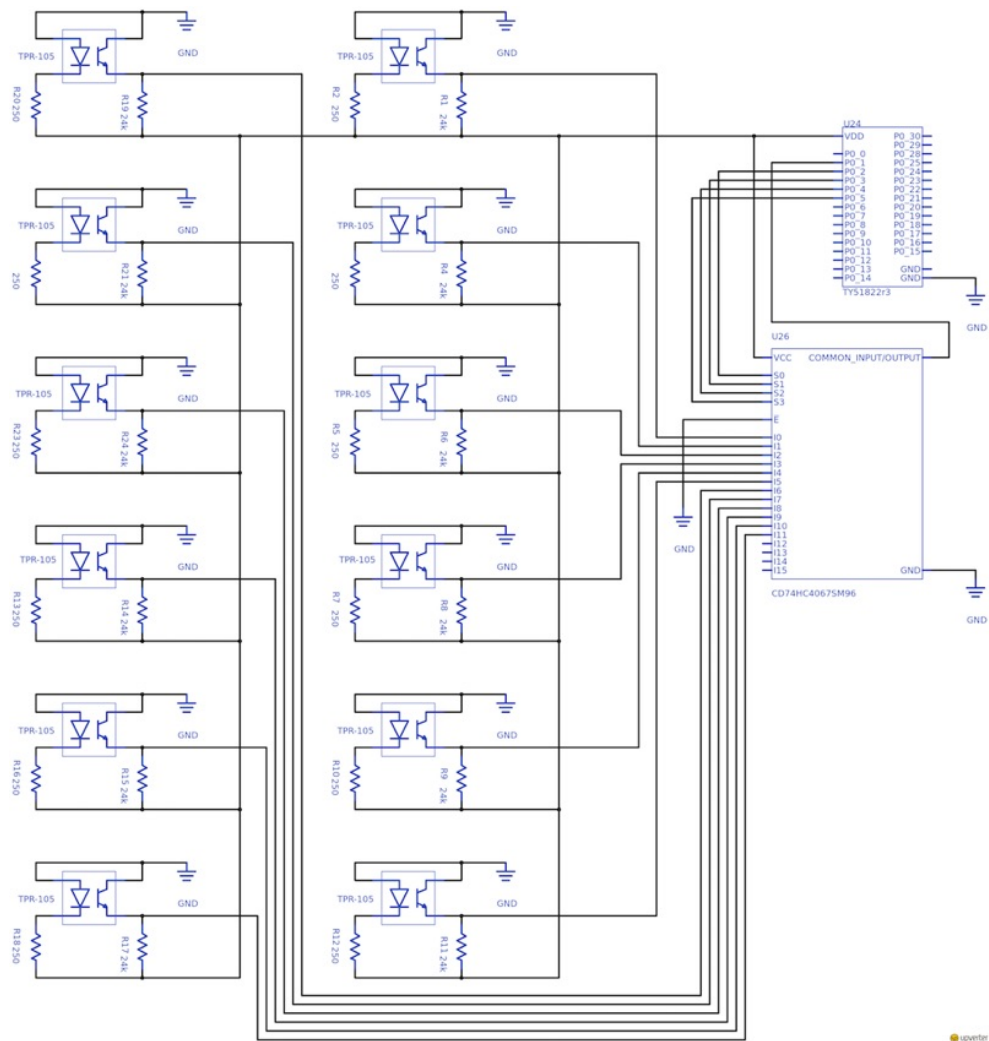


図 4.35: NeckMotion3 の回路図.

### 4.7.3 頭部姿勢認識アルゴリズム

前を向いた姿勢を標準の姿勢として特別に扱うことにし、これまでの頭部姿勢認識アルゴリズムの頭部姿勢推定フェーズに変更を加えた。

#### 頭部姿勢推定フェーズ

はじめに、最新の赤外線距離センサの値を取得する。次に、前を向いた姿勢を除いた各頭部姿勢かつ各センサごとに取得したセンサ値と特徴データの値の差分を算出する。そして、各センサごとの差分を合算し頭部姿勢と対応づけて配列に格納する。配列を昇順にソートし、配列の先頭つまり最も合算した差分が小さかった頭部姿勢を選出する。ここで、選出された頭部姿勢の差分が経験則によって定められた閾値よりも小さかった場合、その頭部姿勢を最新のフレームにおける頭部姿勢と推定し、大きかった場合、最新のフレームにおける頭部姿勢を前を向いた姿勢と推定する。

### 4.7.4 考察および課題

NeckMotion3は後ろ頸にマイコンおよびバッテリーを取り付けられている。そのため重心バランスが後方に偏り、安定して装着することができずに使用時徐々に頸から外れていった。変更した頭部姿勢認識アルゴリズムの性能評価に適していないと判断し、NeckMotion3を用いた実験を中止した。

## 4.8 頭部姿勢認識システム 7

本実装として作製した頸部装着型デバイス NeckMotion4 の実装，ソフトウェア実装を示す．また，NeckMotion4 を用いた性能評価実験と考察および課題を述べる．

### 4.8.1 NeckMotion4

NeckMotion3 の欠点である重心バランスの悪さを改善した頸部装着型デバイスを作製した．図 4.36 に作製した頸部装着型デバイス NeckMotion4 を示す．また，NeckMotion4 を頸部に装着した様子を図 4.37 に示す．NeckMotion4 は 3D プリントにて出力したフレキシブルフィラメント（eSUN 社製 1.75MM FLX 3D FILAMENT NATURAL-1KG (N.W)）製の C 字型オブジェクトをベースにして，赤外線距離センサ（GENIXTEK CORP 社製 フォトリフレクタ（反射タイプ）TPR-105F）を 12 個組み込んだものである．NeckMotion3 の重心バランスの悪さは，後ろ頸にマイコンおよびバッテリーを集中して組み込んだことが原因であった．そのため，C 字型のオブジェクトの周上に分散してマイコンおよびバッテリーを取り付けた．赤外線距離センサはマイコンに接続されており，マイコン（Switch Science 社製 mbed TY51822r3）は取得したセンサ値をタブレット端末（Apple 社製 iPad Pro 12.9 インチモデル ML0N2J/A, iOS 11.2.2）の頭部姿勢認識結果表示アプリケーションに送信する．データ通信はマイコンに搭載された BLE モジュールによる無線通信を用いて送信速度 100 Hz にて行う．なお，NeckMotion4 の回路は NeckMotion3 と同様である．

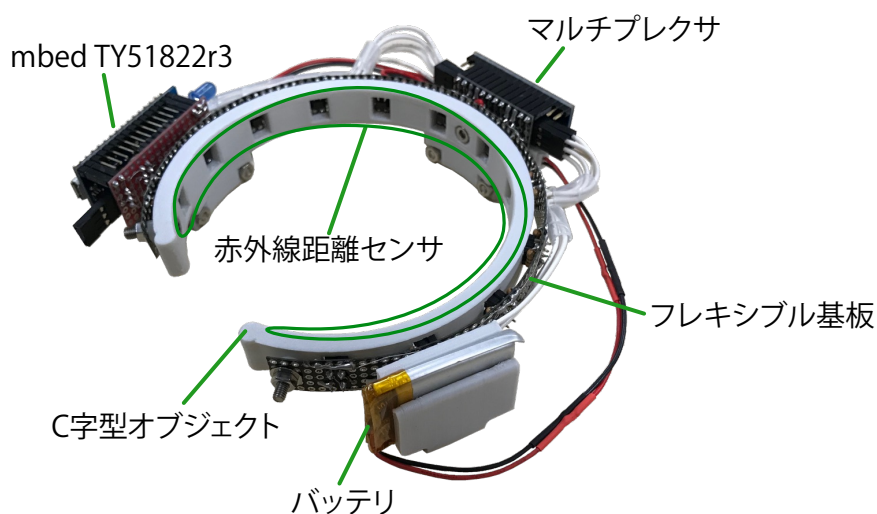


図 4.36: NeckMotion4.



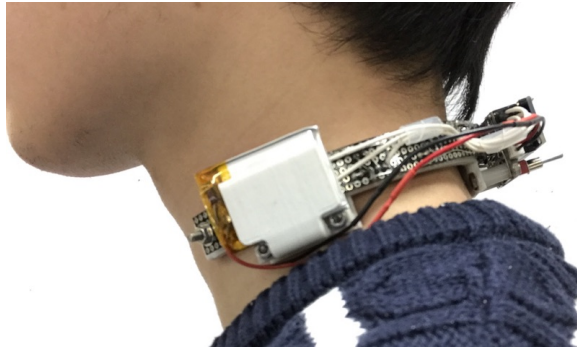


図 4.37: NeckMotion4 を頸部に装着した様子.

#### 4.8.2 ソフトウェア

頭部姿勢認識結果表示アプリケーションおよび頭部姿勢認識アルゴリズムは NeckMotion3 と同じものを採用した。

#### 4.8.3 性能評価実験 1

NeckMotion4 の動作確認および性能を評価するために、著者 1 名を被験者とした頭部姿勢認識実験を行なった。

##### 実験内容

実験機器として NeckMotion4 および iPad Pro (Apple 社製 12.9 インチモデル ML0N2J/A, iOS 11.2.2) を用いた。本実験中、被験者は背筋を伸ばし椅子に深く腰掛けた。被験者の目前には机があり、卓上には手の届く位置に iPad Pro を設置した。

被験者は、NeckMotion4 を装着した状態にて前を向いた姿勢、下を向いた姿勢、上を向いた姿勢、頸部を左に捻った姿勢、頸部を右に捻った姿勢、頭部を左に傾けた姿勢、および頭部を右に傾けた姿勢の 7 つの頭部姿勢をとった。頭部姿勢はランダムな順番にて 1 つずつ被験者の目の前の iPad Pro ディスプレイに提示した。この時、提示した頭部姿勢をとることを 1 試行とした。7 つの頭部姿勢を 1 試行ずつ行うことを 1 セッションとし、これを 30 セッション行った。なお、iPad Pro ディスプレイへの頭部姿勢の提示は各頭部姿勢ごとに 4 秒間とし、頭部姿勢提示の終わりの合図として短い効果音を鳴らした。つまり、1 試行を 4 秒間とした。ここで、1 試行の後半 2 秒間の頭部姿勢認識結果の内、最も多く認識されたものを 1 試行の頭部姿勢認識結果とした。そのため、被験者は前半の 2 秒間に iPad Pro ディスプレイに提示された頭部姿勢を取り、その後 2 秒間合図の効果音が鳴るまでその頭部姿勢を維持した。予備

実験の総試行回数は

$$\begin{aligned}
 & 7 \quad \text{頭部姿勢} \\
 & \times 30 \quad \text{セッション} \\
 & = 210 \quad \text{試行}
 \end{aligned}$$

であった。

## 結果

頭部姿勢の認識率を図 4.38 に示す。また、頭部姿勢認識結果の内訳を混同行列として図 4.39 に示す。図 4.38 より、全体の認識率は 64.3%であった。また、最も低い認識率を示した頸部を左に捻った姿勢を除いた認識率は 73.9%であった。

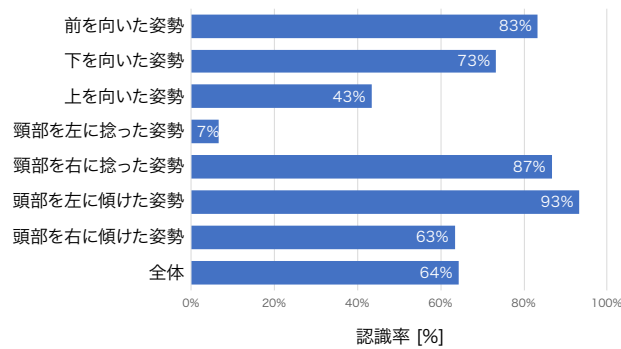


図 4.38: NeckMotion4 を用いた予備実験の結果：各頭部姿勢の認識率。

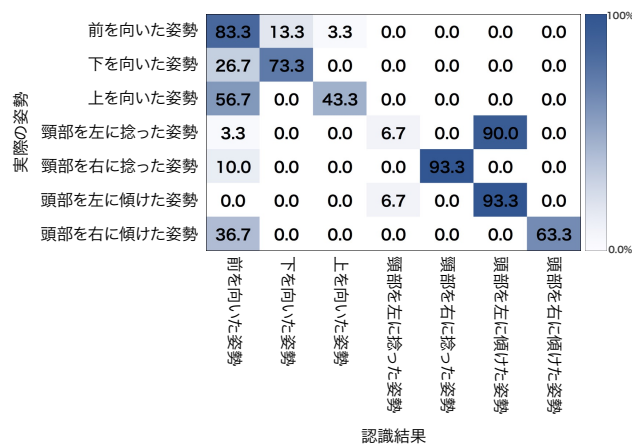


図 4.39: NeckMotion4 を用いた予備実験の結果：混同行列。

## 考察

図 4.39 より，頸部を左に捻った姿勢の試行の大半が頸部を左に傾けた姿勢と認識されている．一方，頸部を左に傾けた姿勢においては頸部を左に捻った姿勢と認識された試行は 6.7%と少なかった．これは，図 4.40 に示すように NeckMotion4 が変形した際，赤外線距離センサが本来の取り付け位置から外れ，常に赤外線距離センサの距離測定範囲外となり，センサ値が意味を持たなくなることが原因であると分かった．この現象は，1 枚のフレキシブル基板に 12 個の赤外線距離センサを実装したものを C 字型のオブジェクトに取り付ける設計の不具合により発生する．NeckMotion4 をさほど変形させずに頸部に装着することが可能なユーザが用いることにより，この現象は軽減できると考えられる．

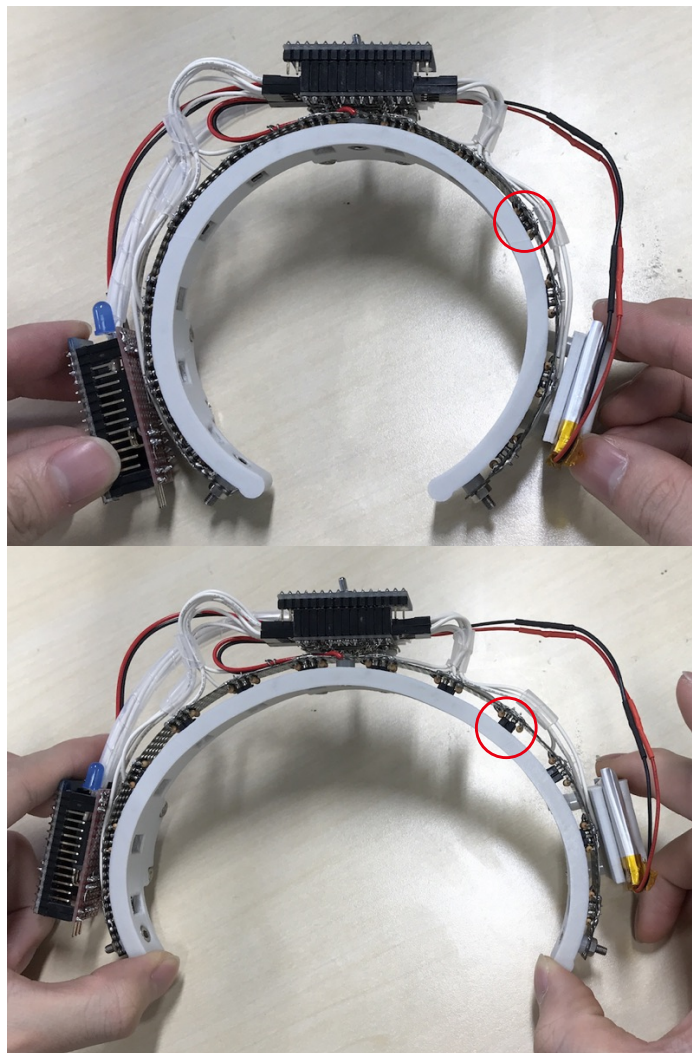


図 4.40: NeckMotion4 変形前後．変形後，赤外線距離センサがデバイスの C 字型オブジェクトから外れ浮いていることがわかる．

#### 4.8.4 性能評価実験2

NeckMotion4における7つの頭部姿勢認識性能を評価するために、実験協力者10名を募り実験を行った。日常利用を想定し、日常動作における4つの体勢(図4.41)下にて7種類の頭部姿勢をとるように実験協力者に指示した。各体勢における各頭部姿勢を頸部装着型デバイスにてセンシングした上で、それらの値を用いて認識を行い、交差検証によってNeckSenseの認識精度を求めた。また、実際にNeckSenseを用いた姿勢認識のデモアプリケーションを実験協力者に体験してもらい、使用感の調査を行った。

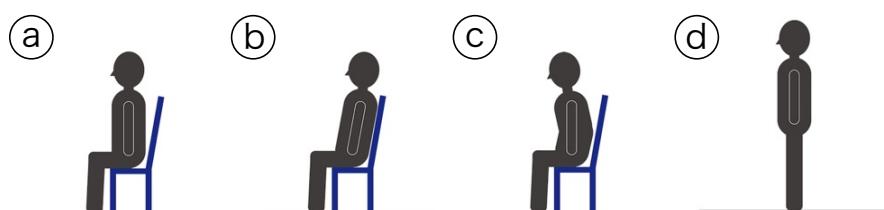


図 4.41: 4つの体勢：(a) 椅子に座り背筋を伸ばした体勢，(b) 椅子に座り背もたれに寄りかかった体勢，(c) 椅子に座り猫背になった体勢，(d) 起立して両腕を下げた体勢。

#### 実験協力者

大学生および大学院生の男性10名(年齢：20–24歳，平均：22.3歳)を実験協力者として雇用した。すべての実験協力者は実験参加日までに頸やその周辺部位に関して骨折したことや、怪我をしたことはなかった。また、事前に頸を自由に動かしてもらった(傾けた場合および捻った場合)結果、頸を動かしにくいと感じる方向がある実験協力者はいなかった。実験条件を揃えるため、全ての実験協力者の頸の周囲の長さは34.5–36.0 cmの範囲内に収まるようにした。

#### 実験環境

実験には頸部装着型デバイスとしてNeckMotion4を使用した。また、実験用ソフトウェアはタブレット端末(Apple社製，iPad Pro 第1世代，12.9インチモデル ML0N2J/A，iOS 11.0.1)に実装を行った。実験協力者は実験用アプリケーションにより提示された頭部姿勢をとるタスクを行うが、小さなディスプレイに表示を行うと実験用アプリケーションの指示を見るために視線および頭部がディスプレイの方へ向き、実験結果に影響を及ぼす可能性がある。そのため、実験協力者の目前に120インチのスクリーンを設置し、実験に用いたタブレット端末の出力をプロジェクタを用いてスクリーンに表示した。本実験においては、複数の体勢下における頭部姿勢認識精度を求める。体勢条件の中には椅子に座り背もたれに寄りかかっ

た体勢があるため、実験に用いる椅子として背もたれが固定されている椅子（オカムラ社 プロスタック 8140FZ スタッキングチェア）を用いた。実験の様子を図 4.42 に示す。



図 4.42: 実験の様子。

## 実験設計

実験条件は体勢（4種類）および頭部姿勢（7種類）である。体勢条件として、日常利用時に想定される4種類の体勢（図 4.41）を行ってもらった。上記の体勢条件の下、7種類の頭部姿勢（図 3.3）の認識精度を求めた。

## 手順およびタスク

実験に使用した実験同意書、実験に関する説明、および実験実施要領を付録 A.1 – A.3 に示す。はじめに、実験者は実験の目的および内容の説明を行った。その後デモグラフィック属性および頭部の動かしやすさなどをアンケート（付録 A.4）に回答するよう指示した。アンケート回答後、実験協力者の頸部周囲の長さが 34.5–36.0 cm に収まっているかどうかを布製の定規を用いて確認した（ $M = 35.22$  cm,  $SD = 0.559$  cm）。

続いて、実験協力者は7種類の頭部姿勢をとり、違和感無く頸を動かせることを確認した。その後、頸部装着型デバイスを装着するよう指示した。この時、襟やフードなど頸部に干渉する衣服は着用しないよう指示した。また、頸部装着型デバイスが目視にて左右対称か



つ頸の付根あたりに装着されていることを確認した。頸部装着型デバイスには手に持つことが可能なスイッチが付いており、そのスイッチを手握るよう指示をした。全ての準備が整った後、手元のスイッチを押し実験を開始させた。

実験を開始すると実験ソフトウェアにまず体勢の指示が表示される。実験協力者には指示された体勢を取り次第、手元のスイッチを押すよう指示した。スイッチを押すことにより、頭部姿勢の指示が表示される。実験協力者には指示された頭部姿勢をとり次第、手元のスイッチを押すよう指示した（これを試行と呼ぶ）。スイッチを押してから約2秒後iPadから音が鳴り、次の頭部姿勢の指示が表示される。このとき、指示された頭部姿勢をとりスイッチを押してから、音が鳴るまでの間は体勢および頭部姿勢を固定するよう指示した。7種類全ての頭部姿勢をとり終えると、再び体勢が表示される。各体勢ごとに7種類の頭部姿勢を提示し、合計28の姿勢を実験協力者にとらせた（これをセッションと呼ぶ）。なお、体勢の提示順および頭部姿勢の提示順はランダムとした。上記のセッションを合計で4回行った。セッション間は2分間の休憩を取った。よって、実験協力者は

$$\begin{aligned} & 4 \quad \text{体勢姿勢} \\ \times & 7 \quad \text{頭部姿勢} \\ \times & 4 \quad \text{セッション} \\ = & 112 \quad \text{試行} \end{aligned}$$

行った。

なお、この実験タスクにおいては頭部姿勢の認識は行っておらず、各頭部姿勢における頸部装着型デバイスのセンサ値のセンシングのみを行った。そのため、実験協力者には頭部姿勢の認識結果はフィードバックされなかった。また、NeckSenseを日常利用した時の使用感を調査するために、実験タスクが終了した後、実験協力者には姿勢認識のデモを体験してもらった。ただし、デモ時の認識結果は実験結果には用いないこととした。このデモにおいては、実験協力者は4分間自由な体勢および頭部姿勢をとりNeckSenseの使用感を確かめた。

デモの体験の後、実験協力者に対し実験に関するアンケート（付録A.5）へ回答するよう求めた。この実験は合計で約40分を要した。実験終了後、実験協力者には謝礼として820円を支払った。

## 結果と考察

**各実験協力者の認識率** 実験によって得られたデータに対して交差検定を行った。4つの体勢全てを対象にleave-one-out交差検定を行った際の認識精度を図4.43に示す。図4.43より、実験協力者10人中8人の認識精度が80%を超えていることがわかる。とりわけP2, P4, P5, P8, の認識精度は100%を達成しており、最も認識精度の低かったP10は71.4%であった。10人の平均認識精度は92.1%であった。

各体勢それぞれを対象にleave-one-out交差検定を行った際の認識精度を図4.44に示す。図4.44から、体勢による認識精度の差は大きくないことがわかる（ $M = 77.7\%$ ,  $SD = 2.07\%$ ）。

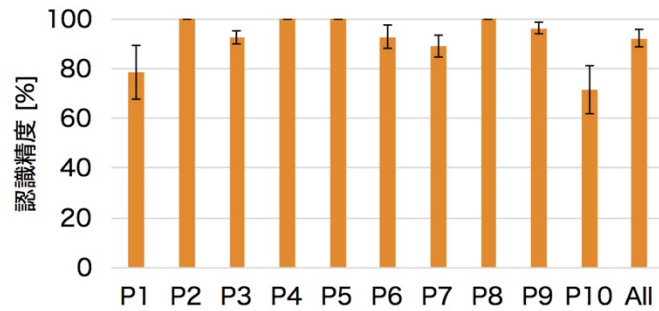


図 4.43: 4つの体勢全てを対象に leave-one-out 交差検定を行った際の認識精度。

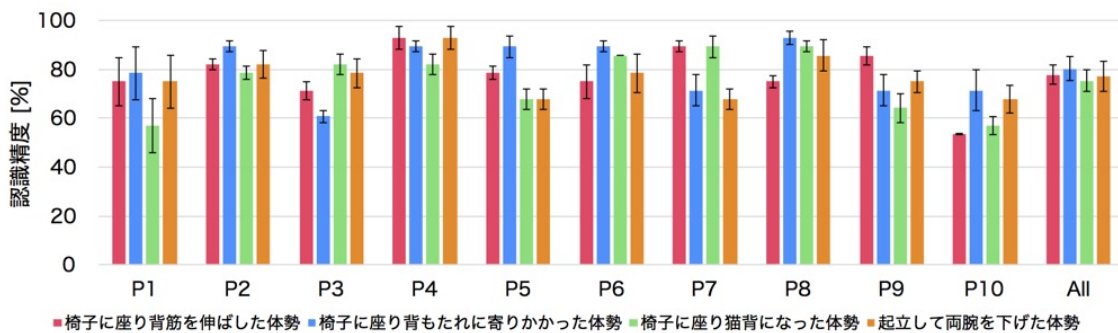


図 4.44: 各体勢それぞれを対象に leave-one-out 交差検定を行った際の認識精度。

**主観評価** 実験協力者に実験後回答してもらった頸部装着型デバイスの使用感および頭部姿勢のとり易さに関するリッカート尺度および自由記述のアンケート（付録 A.5）の結果を述べる。図 4.45 に回答結果を示す。頸部装着型デバイスの使用感について多くの実験協力者が快適であると回答した。実験によって首が疲れたかという設問については多くの実験協力者が全くそう思わない、あるいはそう思わないと回答した。また、本手法にて認識目標とする 7 つの頭部姿勢の取りやすさに関しては、多くの実験協力者がそう思う、まあまあそう思うと回答した。

自由記述のアンケート（姿勢がとり易かった、あるいはとり辛かった理由・コメント）においては次のような回答が得られた。頸部装着型デバイスに関する回答については、良い点として「思っていたよりつけ心地が良かった」、「しっかりと装着でき意外と不快感はなかった」などが挙げられた。一方悪い点として「右側後部の首元がチクチクした」、「右に捻った時に首に当たってチクチクする」、「たまにチクチクする」と刺すような不快感が挙げられ、「激しく動くとずれてしまいそう」という回答も挙げられた。また、「(頸部装着型デバイスが) ミシミシと曲げる時鳴って少し不安だった」、「デバイスが浮いたようになる不安は感じた」というコメントも得られた。

頭部姿勢に関する回答については、頭部姿勢がとり易かったという回答に対する理由として「よく使う姿勢であったため」、「通常の姿勢であったため」、「特別辛くはない」などが挙げ

られた。反対に頭部姿勢がとり辛かったという回答に対する理由として「あまり馴染みのない動きであると感じる」、「捻りにくさを感じた」、「長時間になると少しきつい」、「首が動き切らない感じがある」などが挙げられた。

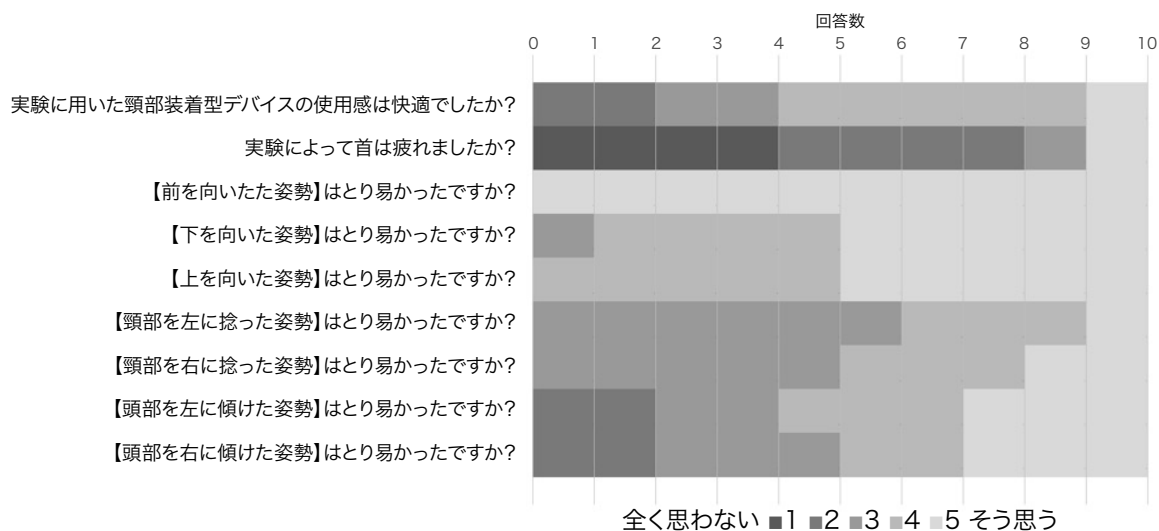


図 4.45: 事後アンケート結果。

#### 4.8.5 課題

4.8.3 節にて述べたように頸部装着型デバイスが変形する場合、本来の取り付け位置から外れた赤外線距離センサの値は意味を持たなくなる。つまり、そのセンサは無いに等しいため情報落ちが起きる。したがって、頸部装着型デバイスを赤外線距離センサが本来の取り付け位置から外れない設計に変更する必要がある。



## 4.9 頭部姿勢認識システム 8

本実装として作製した頸部装着型デバイス NeckMotion5 の実装およびソフトウェア実装を示す。また、NeckMotion5 を用いた性能評価実験について述べ、考察および課題を述べる。

### 4.9.1 NeckMotion5

NeckMotion4 には変形した際赤外線距離センサが本来の取り付け位置から外れてしまう不具合があった。そのため、赤外線距離センサの取り付け位置が頸部装着型デバイスの変形に抛らず固定されるよう改良した。図 4.46 に作製した頸部装着型デバイス NeckMotion5 を示す。また、NeckMotion5 を頸部に装着した様子を図 4.47 に示す。NeckMotion4 は 3D プリンタにて出力したフレキシブルフィラメント (eSUN 社製 1.75MM FLX 3D FILAMENT NATURAL-1KG (N.W)) 製の C 字型オブジェクトをベースにして、赤外線距離センサ (GENIXTEK CORP 社製 フォトリフレクタ (反射タイプ) TPR-105F) を 16 個組み込んだものである。NeckMotion4 の赤外線距離センサが本来の取り付け位置から外れてしまう不具合の原因は、1 枚のフレキシブル基板に 12 つの赤外線距離センサを実装したことであった。よって、NeckMotion5 は赤外線距離センサ 1 つにつき 1 つの基板を用いて実装するようにした。また、組み込む赤外線距離センサの数を回路に用いているマルチプレクサ (TEXAS INSTRUMENTS 社製 16-Channel Analog Multiplexer CD74HC4067) の接続可能限界数である 16 個に増やした。赤外線距離センサはマイコンに接続されており、マイコン (Switch Science 社製 mbed TY51822r3) は取得したセンサ値を Mac Book Pro (Apple 社製, Retina, 13-inch, Mid 2014, macOS High Sierra 10.13.2) の頭部姿勢認識結果表示アプリケーションに送信する。データ通信はマイコンに搭載された BLE モジュールによる無線通信を用いて送信速度 100Hz にて行う。NeckMotion5 の回路図を図 4.49 に示す。

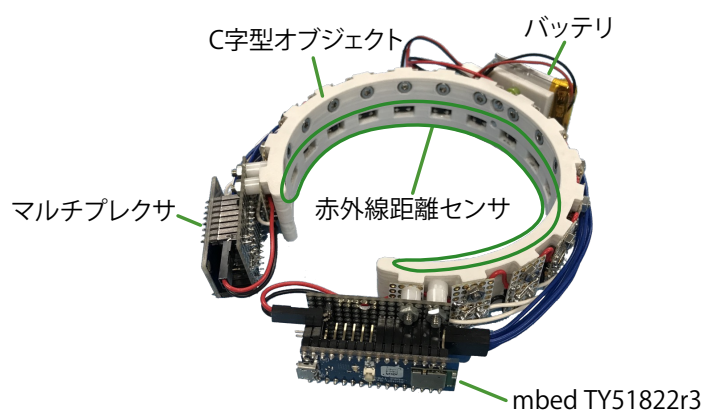


図 4.46: NeckMotion5.

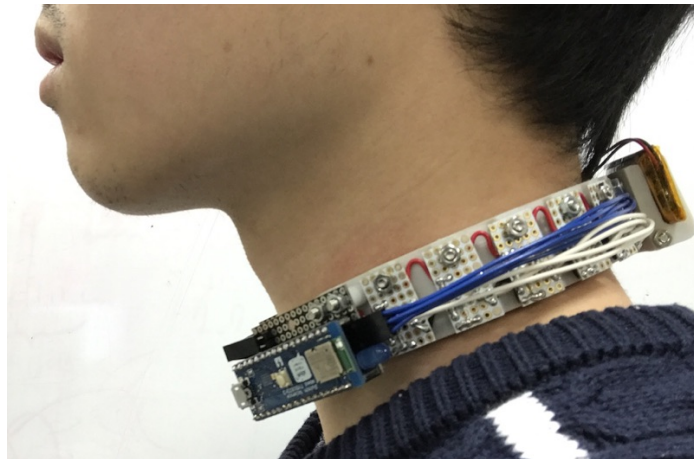


図 4.47: NeckMotion5 を頸部に装着した様子.

#### 4.9.2 ソフトウェア

赤外線距離センサから取得した値を観察し，頭部姿勢認識結果を表示するための macOS アプリケーションを実装した．実装にはプログラミング言語 Swift 4 および BLE 通信用ライブラリ Core Bluetooth を使用した．アプリケーションの画面を図 4.48 に示す．このアプリケーションはマイコンから送信された 16 個の赤外線距離センサの最新のセンサ値を円形のヒストグラムとしてプロットする．また，頭部姿勢の特徴データ収集および頭部姿勢認識結果表示を行う機能を搭載する．

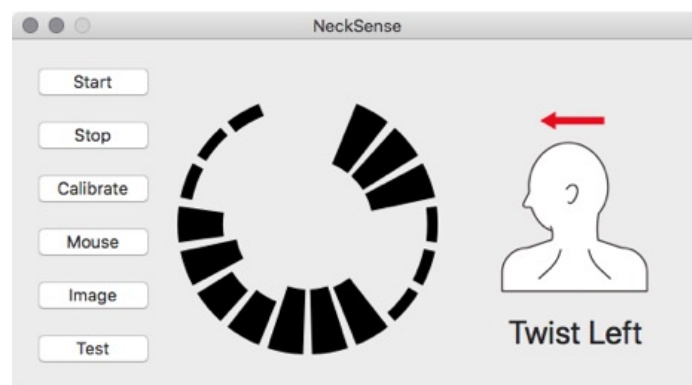


図 4.48: NeckMotion5 : 頭部姿勢認識結果表示アプリケーションの画面.

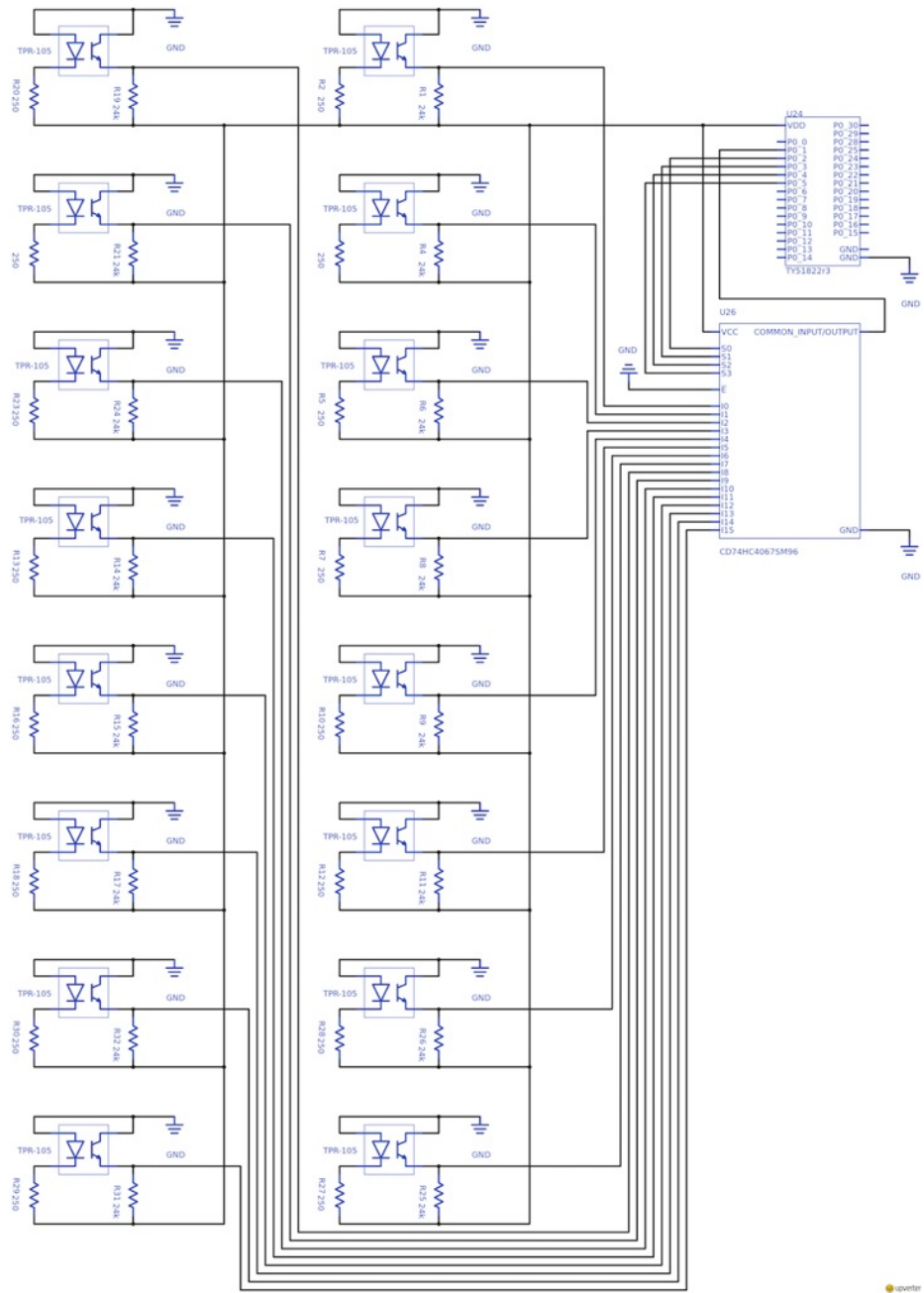


図 4.49: NeckMotion5 の回路図.

### 4.9.3 頭部姿勢認識アルゴリズム

頭部姿勢認識アルゴリズムは NeckMotion3 と同じものを採用した。

### 4.9.4 性能評価実験

NeckMotion5 の動作確認および性能を評価するために、著者 1 名を被験者とした頭部姿勢認識実験を行なった。

#### 実験内容

実験機器として NeckMotion5 および Mac Book Pro (Apple 社製, Retina, 13-inch, Mid 2014, macOS High Sierra 10.13.2) を用いた。本実験中、被験者は背筋を伸ばし椅子に深く腰掛けた。被験者の目前には机があり、卓上には手の届く位置に Mac Book Pro を設置した。

被験者は、NeckMotion5 を装着した状態にて前を向いた姿勢、下を向いた姿勢、上を向いた姿勢、頸部を左に捻った姿勢、頸部を右に捻った姿勢、頭部を左に傾けた姿勢、および頭部を右に傾けた姿勢の 7 つの頭部姿勢をとった。頭部姿勢はランダムな順番にて 1 つずつ被験者の目の前の Mac Book Pro ディスプレイに提示した。この時、提示した頭部姿勢をとることを 1 試行とした。7 つの頭部姿勢を 1 試行ずつ行うことを 1 セッションとし、これを 30 セッション行った。なお、iPad Pro ディスプレイへの頭部姿勢の提示は各頭部姿勢ごとに 4 秒間とし、頭部姿勢提示の終わりの合図として短い効果音を鳴らした。つまり、1 試行を 4 秒間とした。ここで、1 試行の後半 2 秒間の頭部姿勢認識結果の内最も多く認識されたものを 1 試行の頭部姿勢認識結果とした。そのため、被験者は前半の 2 秒間に Mac Book Pro ディスプレイに提示された頭部姿勢を取り、その後 2 秒間合図の効果音が鳴るまでその頭部姿勢を維持した。予備実験の総試行回数は

$$\begin{array}{rcl} & 7 & \text{頭部姿勢} \\ \times & 30 & \text{セッション} \\ = & 210 & \text{試行} \end{array}$$

であった。

#### 結果

頭部姿勢の認識率を図 4.50 に示す。また、頭部姿勢認識結果の内訳を混同行列として図 4.51 に示す。図 4.50 より、全体の認識率は 79.0%であった。また、最も低い認識率を示した下を向いた姿勢を除いた認識率は 91.1%であった。

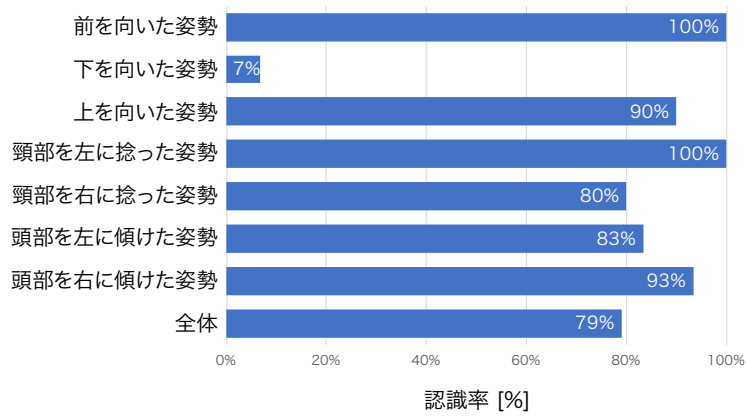


図 4.50: NeckMotion5 を用いた頭部姿勢認識実験の結果：各頭部姿勢の認識率.

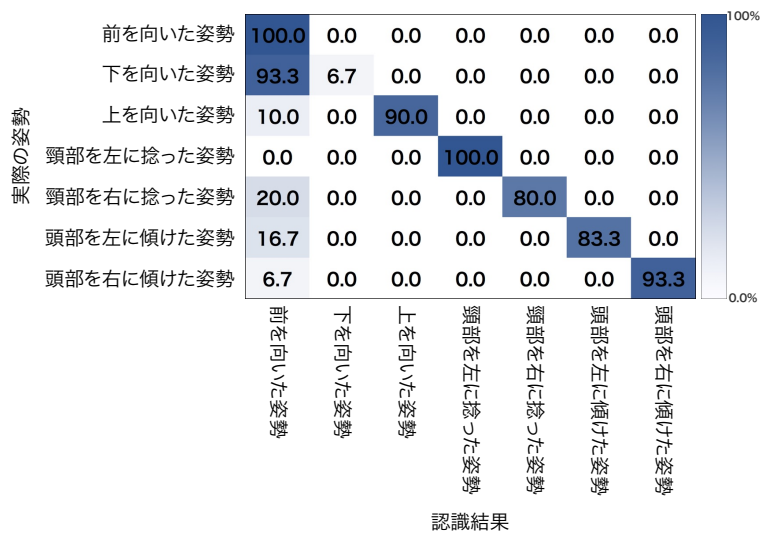


図 4.51: NeckMotion5 を用いた頭部姿勢認識実験の結果：混同行列.

## 考察

図4.51より、下を向いた姿勢の試行の大半が前を向いた姿勢と認識されている。一方、前を向いた姿勢において下を向いた姿勢と認識された試行はなかった。この傾向は NeckMotion2 において行なった予備実験の結果と相似している。下を向いた姿勢の認識率が低い原因は下を向いた姿勢の再現性の低さに問題があることがわかった。図4.52に示すように下を向いた姿勢をとる際、顎を引くように下を向くか、頭部全体を前方に傾けるように下を向くかにより、下を向く角度に大きな違いが生じる。頸部の筋肉は頭部を支えるため、下を向く角度が異なることにより筋肉の伸縮の仕方が異なる。したがって、頸部表面の隆起具合も異なる。頭部姿勢の特徴データ収集時と頭部姿勢認識時の間に下を向く角度が変わることにより、同じ頭部姿勢をとっていても認識できなくなる。

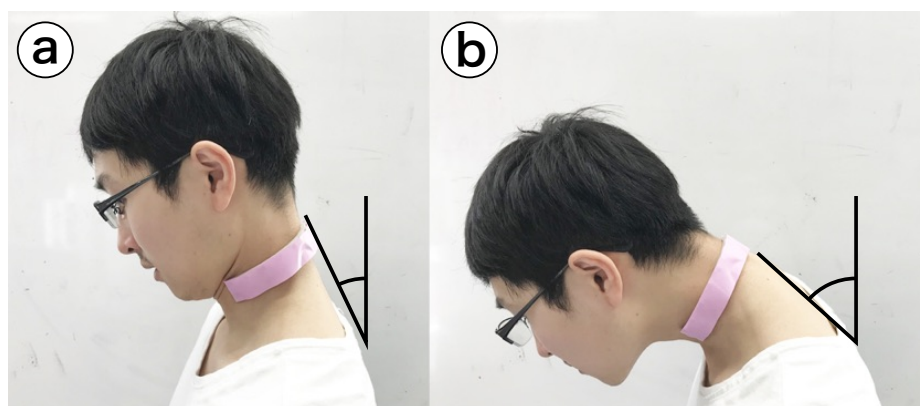


図 4.52: 下を向く角度：(a) 顎を引くように下を向いた場合、(b) 頭部全体を前方に傾けるように下を向いた場合。

意識的に同じ角度にて下を向くようにすることにより、本手法を用いて下を向いた姿勢を正しく認識することができると推測した。そこで、4.9.4節の性能評価実験と同様の内容の実験を、下を向く姿勢をとる際の角度が同じになるように意識して行なった。追加実験の結果として、頭部姿勢の認識率を図4.53に、その内訳を混同行列として図4.54に示す。推測通り、意識的に同じ角度にて下を向くことにより下を向いた姿勢の認識率が改善された。すなわち、頭部姿勢が正しく認識されるためには、特徴データ収集フェーズにてとった姿勢を正しく再現する必要があることがわかった。

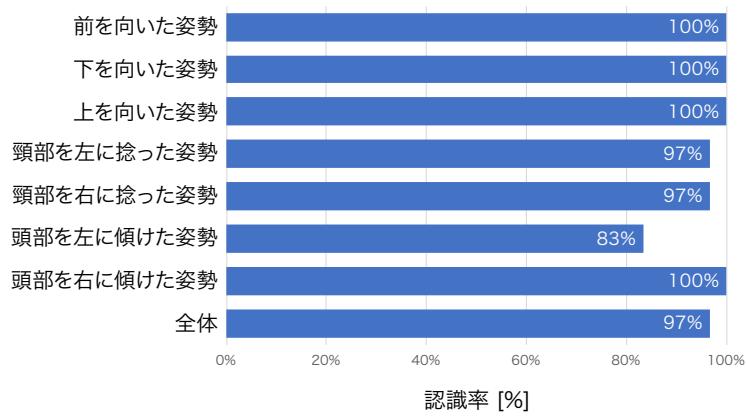


図 4.53: NeckMotion5 を用いた追加の頭部姿勢認識実験の結果：各頭部姿勢の認識率。

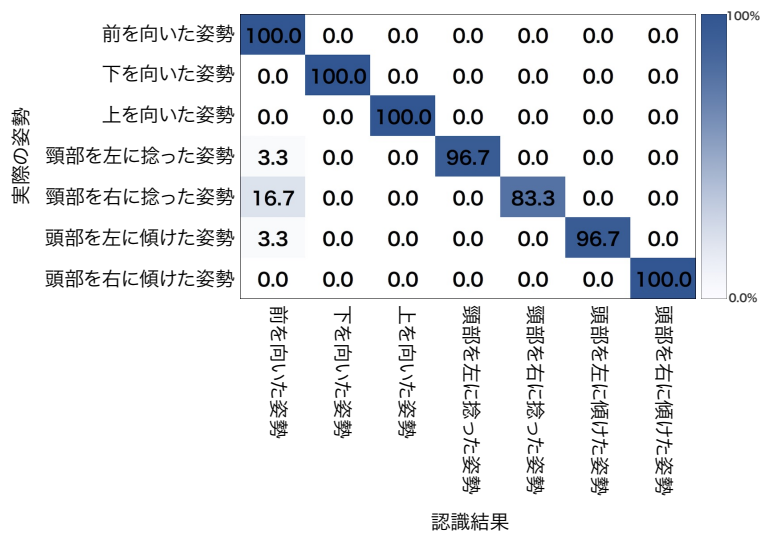


図 4.54: NeckMotion5 を用いた追加の頭部姿勢認識実験の結果：混同行列。

## 第5章 アプリケーション例

提案手法を用いたアプリケーション例を示す。提案手法はハンズフリー操作を可能とするため、ユーザは両手を用いることなく以下のアプリケーションを操作することが可能である。

### 5.1 マウス操作

頭部姿勢の変化を用いて操作を行うマウス操作を実装した。マウスの上下左右への移動をそれぞれ、上を向いた姿勢，下を向いた姿勢，頸部を左に捻った姿勢，および頸部を右に捻った姿勢に割り当てた。また、マウスの左クリックは頭部を左に傾けた姿勢，右クリックは頭部を右に傾けた姿勢に割り当てた（図 5.1）。動作の様子を図 5.2–5.4 に示す。

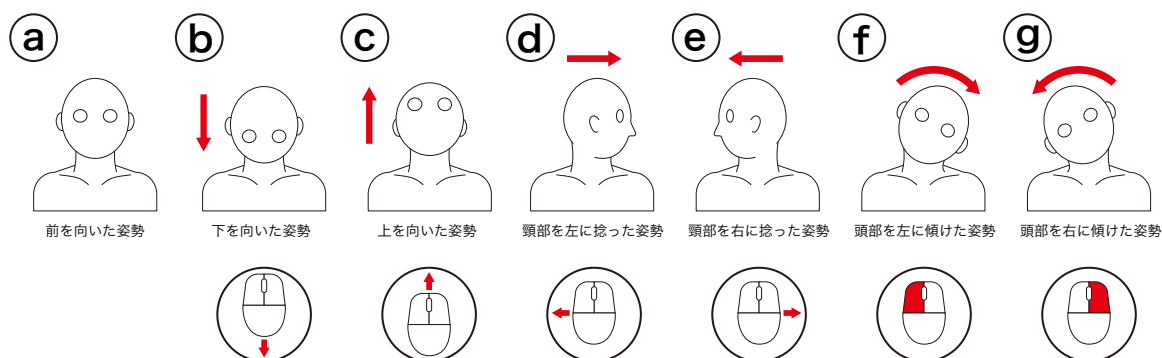


図 5.1: マウス操作の割り当て：(a) 割り当てなし，(b) マウス下移動，(c) マウス上移動，(d) マウス左移動，(e) マウス右移動，(f) 左クリック，(g) 右クリック。



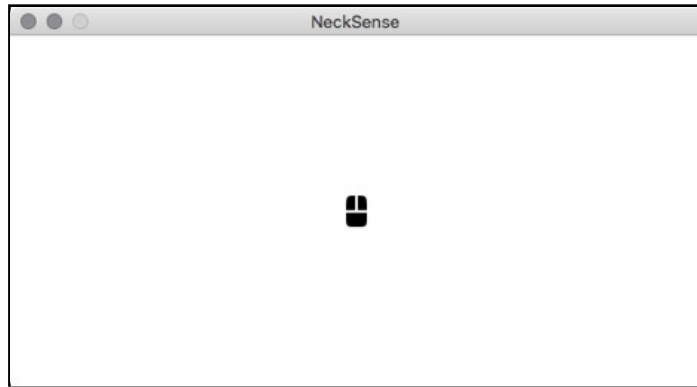


図 5.2: マウス起動時画面.

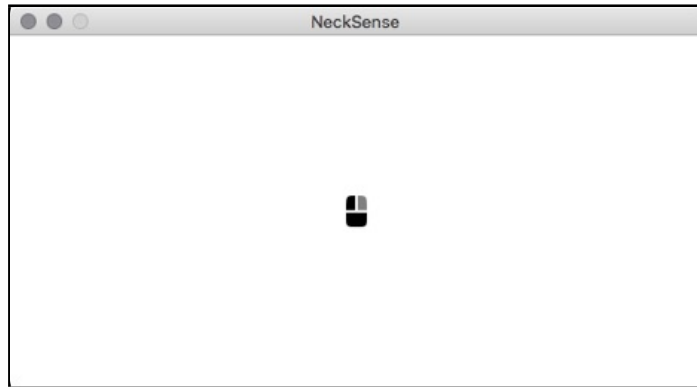


図 5.3: マウス右クリック時画面.

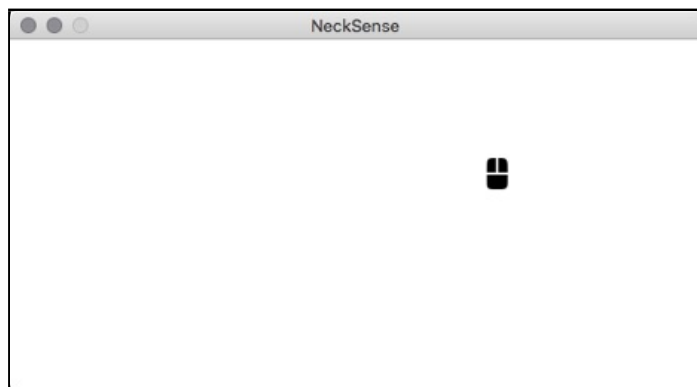


図 5.4: マウス右移動時画面.

## 5.2 画像ビューワ

頭部姿勢の変化を用いて操作を行う画像ビューワを実装した。画像の左右スクロールには、頸部を左に捻った姿勢をとる動作および頸部を右に捻った姿勢をとる動作を割り当てた。また、画像の反時計回転には頭部を左に傾けた姿勢をとる動作、画像の時計回転には頭部を右に傾けた姿勢をとる動作を割り当てた。さらに、画像のズームアウトは下を向いた姿勢をとる動作、ズームインは上を向いた姿勢をとる動作により行うことができる(図 5.5)。動作の様子を図 5.6-5.9 に示す。

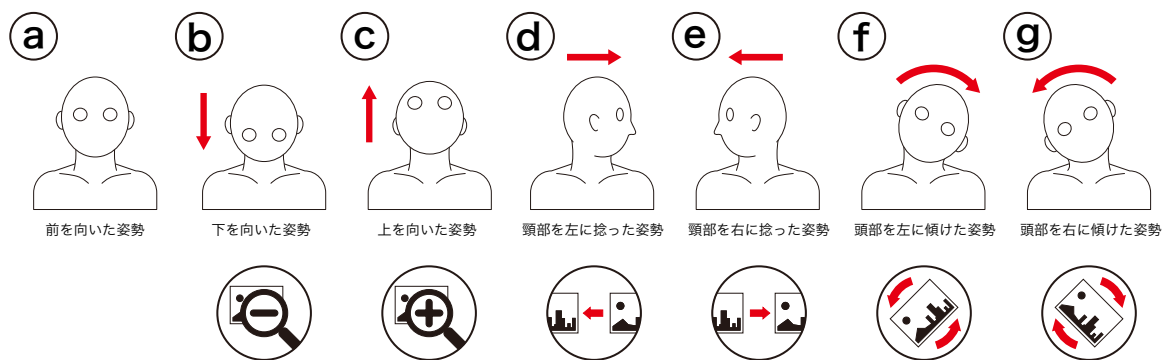


図 5.5: 画像ビューワ操作の割り当て：(a) 割り当てなし，(b) ズームアウト，(c) ズームイン，(d) 左スクロール，(e) 右スクロール，(f) 画像反時計回転，(g) 画像時計回転。

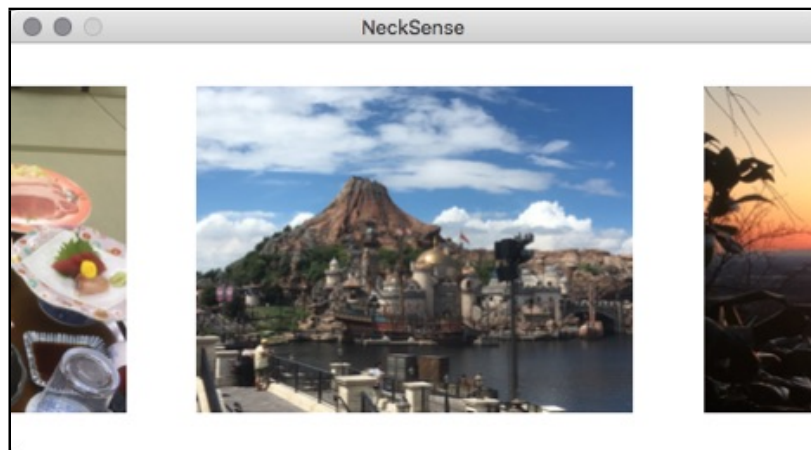


図 5.6: 画像ビューワ起動時画面。

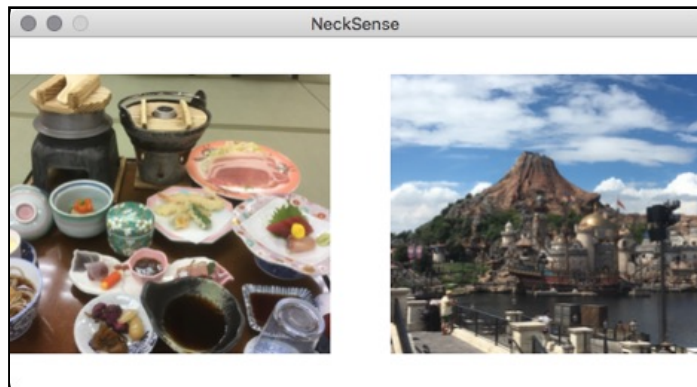


図 5.7: 画像ビューワ左スクロール時画面.

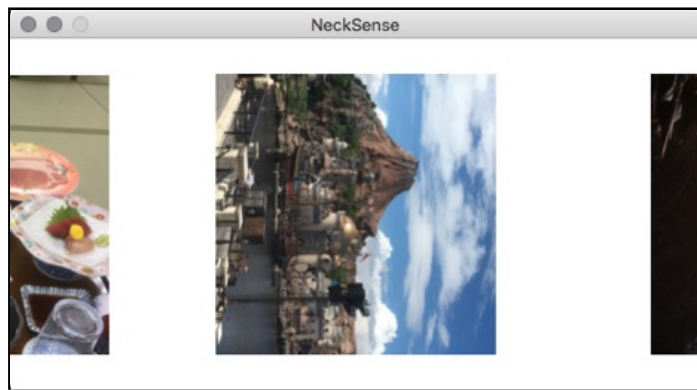


図 5.8: 画像ビューワ時計回転時画面.

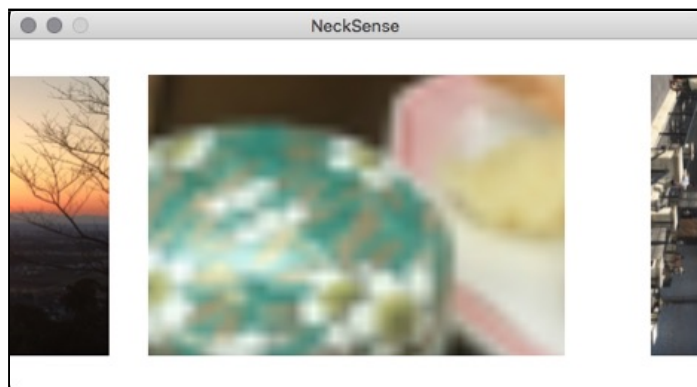


図 5.9: 画像ビューワズームイン時画面.

## 第6章 議論

本章にて，提案手法に関して議論する．提案手法の改善すべき点として，頸部装着型デバイスにおける頸部の個人差に関する議論を行い，問題点として日常生活における使用および端末操作の開始終了符号に関する議論を行う．また，提案手法の適用場面および衣服への組み込みに関する議論を行う．

### 6.1 頸部の個人差

頸部装着型デバイスによって頸部表面の隆起を正確に計測するためには，デバイスがユーザの頸部に密着するように装着される必要がある．頸部装着型デバイスがユーザの頸部に密着せずに使用された場合，デバイスに組み込まれた複数の赤外線距離センサのいくつかのセンサ値が振り切り，意味を持たない情報になってしまうからである．これは，頸部表面とデバイスの赤外線距離センサ間の距離が，赤外線距離センサの検出可能距離範囲である 1–10 mm 内に収まらないことが原因である．ユーザにより頸部太さおよび頸部形状が大きく異なるため，本論文執筆時点までに作製した頸部装着型デバイスを全てのユーザの頸部に確実に密着させることは不可能であった．頸部太さの個人差への対応方法としては，小中大のサイズ違いモデルを用意する方法が考えられる．現状までの頸部装着型デバイスの形状は正円に沿って設計されているが，実際の頸部表面の形状に沿って設計することにより，頸部形状の個人差による問題を軽減することができる可能性がある．

### 6.2 日常生活における使用および端末操作の開始終了符号

本論文における提案手法は，日常生活において自然にとった頭部姿勢と意図してとった頭部姿勢を識別することができない問題点を抱えている．一連の頭部姿勢の変遷を端末へのハンズフリー操作に適用する際，操作の開始終了符号を定めることによりこの問題は解決できる．開始終了符号としては上を向いた姿勢を一度とり，両肩を1回上げるなどを検討する．また，静電容量方式にて人の呼吸を検出する手法 [NIOAISTA16] に倣い，頸部装着型デバイスへの追加のセンサとして静電容量方式のセンサを組み込むことを検討する．呼吸を検出することが可能であれば，呼気の吐き出しや一時停止などを端末操作の開始終了符号に利用できると考えられる．

### 6.3 適用場面

近年ワイヤレスイヤホン BeatsX [App17], QuietControl 30 [Bos17], およびウェアラブルネックスピーカ SRS-WS1 [Son17] など頸掛け式の端末が市場に普及し始めている。これらの頸掛け式の端末に本手法を導入することにより、オーディオの操作や音声認識の開始終了操作をはじめとした端末のハンズフリー操作を実現することが可能である。

また、提案手法をバーチャルリアリティ (VR) 分野に導入することにより、仮想空間上におけるユーザの身体情報をより詳細に再現することが可能であると考えられる。現在主流のヘッドマウントディスプレイ (HMD) は仮想空間に対して頭部の向いている方向を得ることができるが、頸部より下の胴体に対して頭部がどのように捻られているかを判断するためには、別途実空間にカメラや Kinect のようなモーションキャプチャ可能な機器を設置する必要がある。提案手法の頸部装着型デバイスを用いることにより、実空間内に機器を設置することなく頭部姿勢を認識することが可能となる。

提案手法を工事現場へ導入することにより、工事現場における以下に挙げるような不自由を解決することが可能である。工事現場は、雑音が多く音声認識を用いることができない。また、作業中工具や材料などにより両手が塞がる状況がしばしばある。このような場合にドアの開閉、指示の通達、状況報告などが困難となる。提案手法を用いることにより、これらの困難を解消することができると思われる。

### 6.4 衣服への組み込み

頸部装着型デバイスをネクタイやチョーカーなどへ組み込むことにより、衣服の一部として身に着けて提案手法を利用することが可能になる。しかし、洗濯の可否が重要であるため、頸部装着型デバイスをモジュール化し簡単に着脱可能とするか、頸部装着型デバイスを完全防水仕様にする必要がある。

## 第7章 結論

本論文において、頭部姿勢認識に基づくハンズフリー操作手法を提案した。提案手法を実現するために頸部表面の隆起変化を利用した頭部姿勢認識システムを実装しその性能評価を行った。実装においては、頸部表面の隆起具合を計測するため赤外線距離センサを備えた頸部装着型デバイスを作製し、頭部姿勢認識アルゴリズムを実装した。頭部姿勢認識の性能を調査するため、著者および実験協力者を被験者とした実験を行った。NeckMotion4を用いた実験において4つの体勢および7つの頭部姿勢ごとのセンサ値を記録し、交差検定を行った。その結果ユーザごとの頭部姿勢平均認識率は92.1%（標準偏差 = 3.42）であった。また、提案手法を利用したアプリケーション例を示した。今後、提案手法を日常生活において実用できるよう決定操作やジェスチャの開始終了符号の検討を行う。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり，志築文太郎先生，高橋伸先生には多大なご意見とご指導を頂きました。心から感謝いたします。特に，志築文太郎先生には，研究の進め方，論文執筆をはじめとした研究の基礎に関する丁寧かつ熱心なご指導を頂きました。さらに，研究に関して相談に乗って頂き，多くのご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。また，インタラクティブプログラミング研究室の同期，先輩方には多方面においてお世話になりました。特に WAVE チームの皆様にはチームゼミにおけるご意見や論文の添削といった研究に関する多くの支援を頂いただけでなく，進路や人との関わり方など人生についても相談に乗って頂きました。深く感謝いたします。とりわけ，石井晃氏には研究方針，実験，論文執筆など本研究における重要な部分において多くのアドバイスを頂き大変お世話になりました。心からお礼申し上げます。最後に，研究生活に限らず学生生活において支えて頂いた方々，精神面を支えてくださった家族や友人に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [AKST17] Toshiyuki Ando, Yuki Kubo, Buntarou Shizuki, and Shin Takahashi. CanalSense: Face-Related Movement Recognition System Based on Sensing Air Pressure in Ear Canals. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17, pp. 679–689, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [App17] Apple Inc. BeatsX Wireless イヤフォン – Beats by Dr. Dre, 2017. <https://www.beatsbydre.com/jp/earphones/beats-x>.
- [AST16] Shuhei Aoyama, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. ThumbSlide: An Interaction Technique for Smartwatches Using a Thumb Slide Movement. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, pp. 2403–2409, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [Bos17] Bose Corporation. QuietControl 30 wireless headphones | ボーズ, 2017. [https://www.bose.co.jp/ja\\_jp/products/headphones/earphones/quietcontrol-30.html](https://www.bose.co.jp/ja_jp/products/headphones/earphones/quietcontrol-30.html).
- [CMBMS09] Andrew Crossan, Mark McGill, Stephen Brewster, and Roderick Murray-Smith. Head Tilting for Interaction in Mobile Contexts. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '09, pp. 6:1–6:10, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [CWG<sup>+</sup>16] Jinqi Cui, Liang Wang, Tao Gu, Xianping Tao, and Jian Lu. An Audio-based Hierarchical Smoking Behavior Detection System Based on A Smart Neckband Platform. In *Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services*, MOBIQUITOUS 2016, pp. 190–199, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [HCR<sup>+</sup>14] Marco Hirsch, Jingyuan Cheng, Attila Reiss, Mathias Sundholm, Paul Lukowicz, and Oliver Amft. Hands-free Gesture Control with a Capacitive



- Textile Neckband. In *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers, ISWC '14*, pp. 55–58, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [HWL07] Susumu Harada, Jacob O. Wobbrock, and James A. Landay. VoiceDraw: A Hands-Free Voice-Driven Drawing Application for People with Motor Impairments. In *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, Assets '07*, pp. 27–34, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [JIN17] JINS Inc. JINS MEME ES | PRODUCTS | JINS MEME, 2017. <https://jins-meme.com/ja/products/es/> 2018 年 1 月 24 日閲覧.
- [KInS<sup>+</sup>15] Shin'ichiro Kanoh, Susumu Ichi-nohe, Shunsuke Shioya, Kazutaka Inoue, and Ryuta Kawashima. Development of eyewear to detect movement of eyes and body. *Transactions of Japanese Society for Medical and Biological Engineering*, Vol. 53, No. Supplement, pp. S167\_03–S167\_03, 2015.
- [KSV<sup>+</sup>15] Konstantin Klamka, Andreas Siegel, Stefan Vogt, Fabian Göbel, Sophie Stellmach, and Raimund Dachselt. Look&Pedal: Hands-free Navigation in Zoomable Information Spaces Through Gaze-supported Foot Input. In *Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '15*, pp. 123–130, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [MHM<sup>+</sup>16] Natsuki Miyata, Takehiro Honoki, Yusuke Maeda, Yui Endo, Mitsunori Tada, and Yuta Sugiura. Wrap&Sense: Grasp Capture by a Band Sensor. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '16 Adjunct*, pp. 87–89, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [MHP12] Diako Mardanbegi, Dan Witzner Hansen, and Thomas Pederson. Eye-based Head Gestures. In *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ETRA '12*, pp. 139–146, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [MMAK13] Denys J. C. Matthies, Franz Müller, Christoph Anthes, and Dieter Kranzlmüller. ShoeSoleSense: Proof of Concept for a Wearable Foot Interface for Virtual and Real Environments. In *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '13*, pp. 93–96, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [MMF17] Jess McIntosh, Asier Marzo, and Mike Fraser. SensIR: Detecting Hand Gestures with a Wearable Bracelet Using Infrared Transmission and Reflection.

- In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '17, pp. 593–597, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [MSU17] Denys J. C. Matthies, Bernhard A. Strecker, and Bodo Urban. EarField-Sensing: A Novel In-Ear Electric Field Sensing to Enrich Wearable Gesture Input Through Facial Expressions. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pp. 1911–1922, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [MWC10] Emiliano Miluzzo, Tianyu Wang, and Andrew T. Campbell. EyePhone: Activating Mobile Phones with Your Eyes. In *Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Networking, Systems, and Applications on Mobile Handhelds*, MobiHeld '10, pp. 15–20, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [Nin10] Nintendo. Wii | コントローラ, 2010. <https://www.nintendo.co.jp/wii/controllers/> 2018年1月24日閲覧.
- [NIOAISTA16] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). 産総研：人の動きや呼吸を見守る静電容量型フィルム状近接センサー, 2016. [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2016/pr20160125/pr20160125.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2016/pr20160125/pr20160125.html) 2018年1月24日閲覧.
- [NS11] Masahiro Nagae and Kenji Suzuki. A Neck Mounted Interface for Sensing the Swallowing Activity based on Swallowing Sound. In *Proceedings of the 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 5224–5227, August 2011.
- [SDYT10] Jeremy Scott, David Dearman, Koji Yatani, and Khai N. Truong. Sensing Foot Gestures from the Pocket. In *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, pp. 199–208, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [SK10] Boris Smus and Vassilis Kostakos. Running Gestures: Hands-free Interaction During Physical Activity. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference Adjunct Papers on Ubiquitous Computing - Adjunct*, UbiComp '10 Adjunct, pp. 433–434, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [Son17] Sony Corporation, Sony Marketing Inc. SRS-WS1 | アクティブスピーカー | ソニー, 2017. <http://www.sony.jp/active-speaker/products/SRS-WS1/>.

- [TIK<sup>+</sup>15] Katsuma Tanaka, Shoya Ishimaru, Koichi Kise, Kai Kunze, and Masahiko Inami. Nekoze!: Monitoring and Detecting Head Posture While Working with Laptop and Mobile Phone. In *Proceedings of the 9th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, Pervasive-Health '15*, pp. 237–240, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2015. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [TKS11] Keisuke Takahashi, Hideki Kadone, and Kenji Suzuki. Head Orientation Sensing by a Wearable Device for Assisted Locomotion. In *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference, AH '11*, pp. 16:1–16:4, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [vdKS11] Jan van der Kamp and Veronica Sundstedt. Gaze and Voice Controlled Drawing. In *Proceedings of the 1st Conference on Novel Gaze-Controlled Applications, NGCA '11*, pp. 9:1–9:8, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [西村 17] 西村幸泰, 橋田朋子. スピーチ支援のための広頸筋隆起センシングに基づく良い開口での母音発話認識. 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) , 第 2017-UBI-56 巻, pp. 1–6. 情報処理学会, October 2017.
- [谷口 10] 谷口和弘, 西川敦, 小林英津子, 宮崎文夫, 佐久間一郎. みみスイッチ: 外耳の動きを入力情報とする常時装用型入力装置. インタラクシオン 2010, pp. 243–246. 情報処理学会, 2010.

## 付 録 A 実験の際に用いた各種書類

実験の際に使用した，実験同意書，実験に関する説明，実験前アンケート用紙，実験後アンケート用紙，実験実施要領，および体勢と頭部姿勢一覧を以下に示す．

## A.1 実験同意書

### 頸部装着型デバイスの性能評価実験のお願い

文責：中村 拓人, 石井 晃

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

- 本実験の目的は、IPLABにて研究中の頸部装着型デバイスの性能を評価することです。
- 実験中に、写真および動画の撮影、音声の録音を行う場合がありますが、これらは実験の様子を記録するために行います。その写真、動画および音声を発表において利用する場合は、本人の確認を得た上で、研究目的においてのみ利用いたします。
- この実験によって得られたデータは、個人が特定できないように処理いたします。
- 実験への参加は、協力者の自由意思によるものであり、実験への参加を随時拒否・撤回することができます。
- 学内外において発表する論文に実験内容を利用することがありますが、いかなる場合においても協力者のプライバシーは保全されます。

実験時間 \_\_\_\_\_

平成 年 月 日

被験者 所属 \_\_\_\_\_ 署名 \_\_\_\_\_  
説明者 所属 \_\_\_\_\_ 署名 \_\_\_\_\_

## A.2 実験に関する説明

### 実験に関する説明

文責 中村 拓人

- 本手法について説明します。  
本手法はセンサを内蔵した頸部装着型デバイスを装着することにより、首の形状および頭部の姿勢を認識するものです。
- 本実験について説明します。
  - 我々が開発した頸部装着型デバイスを身につけた状態にて、指示する姿勢をとっていただきます。本実験では各姿勢のセンサの値を取得しています。
  - 我々が開発した頸部装着型デバイスの姿勢認識テストを体験していただきます。
- 実験タスクについて説明します。
  1. 椅子に腰掛けてください。
  2. 頸部装着型デバイスを首に装着してください。デバイスに繋がっているスイッチを利き手で握ってください。
  3. 前方のディスプレイに「体勢」が表示されます。表示されている体勢をとってください。
  4. 準備が整ったら、手元のスイッチを押してください。
  5. 前方のディスプレイにとっていただく「頭部の姿勢」が表示されます。
  6. 表示されている「頭部の姿勢」をとり、手元のスイッチを押してください。
  7. しばらくすると音が鳴り、次の「頭部の姿勢」が表示されます。
  8. すべての「頭部の姿勢」をとり終えると再び「体勢」が表示されます。
    - ◇ 3から8を体勢ごとに4回行っていただきます。
  9. すべての「体勢」が終了すると「セッション終了」と表示されます。
    - ◇ 2から9を1セッションとし、4セッション行っていただきます。
    - ◇ 1セッションごとに2分程度の休憩を取るものとします。
    - ◇ 休憩ごとに頸部装着型デバイスを装着し直してください。
  10. 姿勢認識テストを体験していただきます。このテストでは4分程度自由な体勢および頭部の姿勢をとっていただき、認識テスト結果を確認していただきます。
  11. 実験後にアンケートに答えていただきます。

体勢：

「椅子に座り背筋を伸ばした体勢」、「椅子に座り背もたれに寄りかかった体勢」、「椅子に座り猫背になった体勢」、「起立して両腕を下げた体勢」の4種類

頭部の姿勢：

「前を向いた姿勢」、「上を向いた姿勢」、「下を向いた姿勢」、「首を左に捻った姿勢」、「首を右に捻った姿勢」、「頭を左に傾けた姿勢」、「頭を右に傾けた姿勢」の7種類

■ 実験中の注意

- 襟やフード等頸部に干渉する衣服は着用しないでください。
- 頸部装着型デバイスを首に装着して苦しい場合は申し出てください。
- 頭部の姿勢をとる際、体勢をできるだけ変えないでください。
- 頭部の姿勢をとった後、音になるまで姿勢を変えないでください。

- 不意に動いてしまった際は、実験者に申し出てください。
- 各姿勢をとっている最中、痛みや痒みなどがある場合は申し出てください。
- 実験中は出来るだけ他の部位は動かさないようにしてください。

## A.3 実験実施要領

### 頸部装着型デバイスの性能評価実験の実施要領

文責 中村拓人

1. ストップウォッチを用いて、実験時間の計測を開始する
2. 実験参加へのお礼と説明をする
3. 【頸部装着型デバイスの性能評価実験のお願い】に記入してもらう
4. 【実験に関する事前アンケート】に記入してもらう
5. 被験者に4つの体勢と7つの頭部の姿勢を確認してもらう
6. 被験者の名前を入力してファイル設定をする
7. 被験者に頸部装着型デバイスを一度つけてもらう
8. セッション1をやってもらう
9. 2分休憩（デバイスを外してもらう）
10. セッション2をやってもらう
11. 2分休憩（デバイスを外してもらう）
12. セッション3をやってもらう
13. 2分休憩（デバイスを外してもらう）
14. セッション4をやってもらう
15. 2分休憩（デバイスを外してもらう）
16. 認識の体験をしてもらう
17. 【実験に関する事後アンケート】に回答してもらう
18. ストップウォッチを停止し、実験時間を【頸部装着型デバイスの性能評価実験のお願い】に記録する
19. 謝礼【820円】を渡す



## A.4 実験前アンケート用紙

### 実験に関する事前アンケート

文責：中村 拓人, 石井 晃

1. 年齢, 性別についてお答えください.

年齢:      歳          性別: 男・女

2. 現在までに首やその周辺部位に関して骨折したことや, 怪我をしたことはありますか.

なし ・ あり

↳ (あり) 差し支えなければ具体的に教えてください

\_\_\_\_\_

3. 首を動かしにくいと感じる方向 (倒した場合およびねじった場合) があれば教えてください.

\_\_\_\_\_

4. 首の周囲に装着するアクセサリやデバイスを普段使用しますか.

(ネックレス, チョーカー, ネクタイ, ワイヤレスイヤホン等)

なし ・ あり → (具体的に教えてください) \_\_\_\_\_

5. 首の周囲の長さ (実験者が計測します)

\_\_\_\_\_ cm

## A.5 実験後アンケート用紙

### 実験に関する事後アンケート

文責：中村 拓人

【注意事項】

理由・コメント欄は任意事項ですがなるべく書くようにしてください。

それぞれの頭部の姿勢のとり易さがわからない場合は実際に姿勢をとって確認してください。また、わからないことがある場合は実験者に聞いてください。

1. 実験に用いた首掛け式デバイスの使用感（つけ心地）はどうでしたか？

（快適） 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 （不快）

【理由・コメントなど】

2. 実験によって首は疲れましたか？

（そう思う） 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 （全く思わない）

【理由・コメントなど】

3. 【前を向いた姿勢】はとり易かったですか？

(そう思う) 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 (全く思わない)

【理由・コメントなど】

4. 【上を向いた姿勢】はとり易かったですか？

(そう思う) 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 (全く思わない)

【理由・コメントなど】

5. 【下を向いた姿勢】はとり易かったですか？

(そう思う) 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 (全く思わない)

【理由・コメントなど】

6. 【首を左に捻った姿勢】はとり易かったですか？

(そう思う) 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 (全く思わない)

【理由・コメントなど】

7. 【首を右に捻った姿勢】はとり易かったですか？

(そう思う) 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 (全く思わない)

【理由・コメントなど】

8. 【頭を左に傾けた姿勢】はとり易かったですか？

(そう思う) 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 (全く思わない)

【理由・コメントなど】

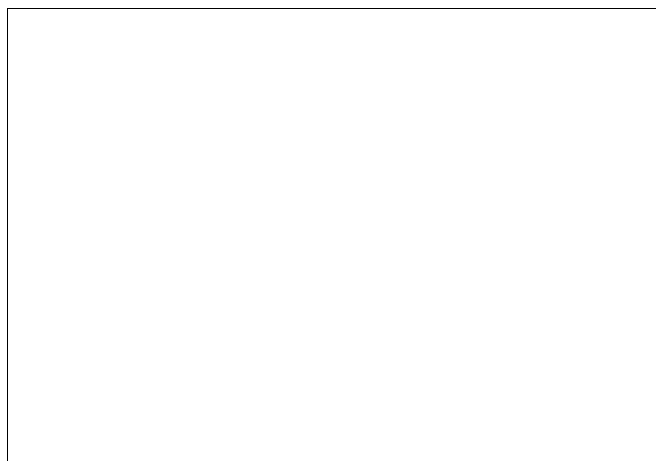
9. 【頭を右に傾けた姿勢】はとり易かったですか？

(そう思う) 5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1 (全く思わない)

【理由・コメントなど】

10. 今回行った姿勢の他に何か新しい姿勢が思いついたら教えてください。

11. その他コメントなどがございましたらご記入ください。



アンケートは以上になります。ご協力ありがとうございました。

## A.6 体勢と頭部姿勢一覧

