

卒業論文

柔軟な構成変更が可能な衣服型インターフェースの提案

平成 27 年 1 月

関西大学 総合情報学部

阿部 誠

目 次

1	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	衣服型のウェアラブルデバイス	1
1.3	研究のアプローチ	3
2	関連研究	5
2.1	つなぐ動作に着目したシステム	5
2.2	触ることで操作を行うシステム	5
2.3	衣服を用いたシステム	7
2.4	本研究の位置づけ	7
3	デザイン指針	9
4	実装	11
4.1	システム構成	11
4.2	衣服型端末と布スイッチ	11
4.3	アプリケーション	13
5	実験	16
5.1	布スイッチに内蔵した抵抗器の識別の実験	16
5.2	布スイッチと指の接触検知の実験	20
6	議論	22
6.1	提案手法の問題点と解決策	22
6.2	期待される活用分野	22
7	結論	24

1 はじめに

本章では、本研究の実施に至った背景を説明し、対象とする課題を明確にする。

1.1 背景

近年、センサの認識技術の発展や、コンピュータの小型化・軽量化の実現が進んでいる。それに伴い、スマートフォンやタブレット端末などのスマートデバイスが普及している。スマートデバイスは多機能で、通話やメッセージの送受信だけでなく、電子マネーやゲームなど様々な機能を使用可能である。その多機能さから広く使われるようになり、スマートフォンが世界市場における携帯電話販売台数に占める比率は、2011年の約27%から拡大を続け、2015年には50%を超える見通しである¹。コンピュータの小型化の流れがさらに進み、着用時の行動が阻害されなくなることで、ウェアラブルデバイスの増加が見込まれており、世界市場規模は2013年の時点での約671万台、2017年には2億2,390万台と予測されている[10]（図1.1参照）。ウェアラブルデバイスとは、身体に装着し使用する端末のこと、衣服やアクセサリーなど普段の生活で身に着けるものをデバイスにしたものが多い[9]。その形は様々な種類があり、ReconJet²などの眼鏡型端末やApple Watch³などの腕時計型端末などがある。ウェアラブルデバイスは、使用するたびに取り出して操作する必要がないため、スマートデバイスに比べて操作を行うまでの負担が少ない。その一方で、既存のウェアラブルデバイスは、装着感や機械感を感じさせるような硬い素材を用いることが多い。例えばApple Watchは、ステンレス製の腕時計型ウェアラブルデバイスである。使用時は手首に装着し操作するが、その際ステンレスの金属部分が直接肌に触れるため、ユーザは皮膚に装着感を感じ続ける。ReconJetは、スポーツ時での利用を想定したプラスチック製のサングラス型ウェアラブルデバイスである（図1.2参照）。レンズの端にカメラやタッチパッドなどの機器を取り付けており、見た目で装置を取り付けているとわかり、違和感を感じさせる。このように、多くのウェアラブルデバイスは、腕時計や眼鏡といった、日常生活で着用するものに機械が搭載されたものであり、それらはユーザにとって、装着の際の硬質な素材による装着感や、見た目からいかにも機械を取り付けているとわかる違和感を感じさせるものである。

1.2 衣服型のウェアラブルデバイス

ウェアラブルデバイスの一種として、衣服型のデバイスが存在する。われわれが普段着用しているような衣服の特徴点として、以下の2つが挙げられる。ひとつは、着用時の違和感や装着感が少ないという点である。なぜなら、人々がいつも身に着け馴染みが深いものであるため、触り心地が柔らかい布から作成する。もうひとつは、材質や色、形などにそれぞれ様々な種類があり、個人が好きなものを選び装飾することができるという点である。そのような衣服を利用した衣服型ウェアラブルデバイスは、これらの特徴を持つデバイスであるといえる。衣服型のウェアラブルデバイスは、健康・医療分野での支援を主な目的として生体情報のセンシング

¹<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/html/nc122110.html>

²<http://reconinstruments.com/products/jet/>

³<https://www.apple.com/jp/watch/>

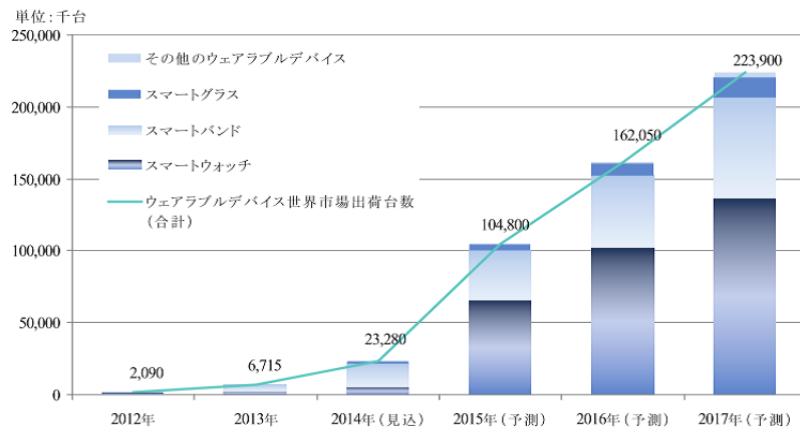


図 1.1: ウェアラブルデバイスの世界（グローバル）市場規模推移と予測その他のウェアラブルデバイス（文献 [10] より引用）

を行うもの [13][12] や、情報の表示を目的として、衣服に LED を取り付けて、ディスプレイとして機能するものなどが存在する。

医療分野でのウェアラブルデバイスを用いた体調管理の支援の例としては、堀場らのシステムが挙げられる [13][12]（図 1.3 参照）。このシステムは、衣服に伸縮する布センサを組み込み、呼吸の状態を測定する。布センサはたて糸に電極を形成する糸、よこ糸にストレッチ糸を用いて平織とした織物であり、巾方向の伸縮によって、たて糸間の距離が変化する。それに伴い静電容量が変化し、静電容量計で計測することによって、長さの変位を計測することができる。それにより布の伸縮量を検知し、呼吸を捉えている。これは、布を用いて作成したセンサであるため、着用による違和感が少ない。また、生体情報の計測のために作られたシステムであるため、ユーザにより可能な操作は、呼吸による胸の動きという生体情報を伝えることである。

ディスプレイとして機能する衣服型のウェアラブルデバイスの例として、Lüme⁴ が挙げられる（図 1.4 参照）。このデバイスには LED のついた模様が装飾されており、ユーザがスマートフォンを操作することで、模様の色や光の速さ、点滅を自在に変えることができる。洋服のスタイルは、カットソーからドレスなど数種類あり、色が変わる部分はバックラインやネックラインに花の形であしらわれている。このデバイスは違うスタイルや模様であっても、われわれが普段着用している衣服に近い着用感が得られる。Lüme は、ユーザが装飾の色や光らせ方を操作し変更でき、好みの装飾に変えることができる。しかし一方で、その操作にはデバイスを直接操作するのではなく、スマートフォンで操作する必要がある。そして、ユーザが可能な操作は装飾の色や光らせ方を変えることのみであり、使用できる機能が限定されている。

このように、現在の衣服のウェアラブルデバイスは、付加できる機能が限定される。そのため、ユーザ自身が必要な情報を選択して入手することが難しい。さらに、デバイスの操作ができるないものが多く、操作が可能なものであっても、スマートデバイスやパーソナルコンピュータなどと連動させて使用しなければならず、汎用性に欠ける。さらにその機能は、限定されたものであり変更ができない。本研究では、柔らかい布を用いた衣服のウェアラブルデバイスにおいて、操作に他のデバイスが必要であることや、使用できる機能が限定され、柔軟さに欠け

⁴<http://jorgeandesther.com/lume/>



図 1.2: ReconJet (<http://www.dvice.com/> より)

るという問題点に着目する。

1.3 研究のアプローチ

ウェアラブルデバイスは身に着けながら操作が可能であり、既存のスマートデバイスのように、操作のためデバイスを取りだす動作を必要としない。さらに、布を使用した衣服型のウェアラブルデバイスは、我々が日常生活で身に付ける衣服に近い使用感を実現し、違和感を感じず着用ができる。既存の衣服型のウェアラブルデバイスには、使用できる機能が限定され、汎用性に欠けるという問題がある。さらにその使用には他のデバイスを必要としているため、ウェアラブルデバイスのみで操作が可能という利点を損なう。そこで本研究では、布を用いた衣服型のウェアラブルデバイスにおいて、ウェアラブルデバイス上で操作が可能であり、柔軟に機能の付与・変更ができるインターフェースを提案する。



図 1.3: センサ織物の生体計測分野への応用 (文献 [12] より図引用)

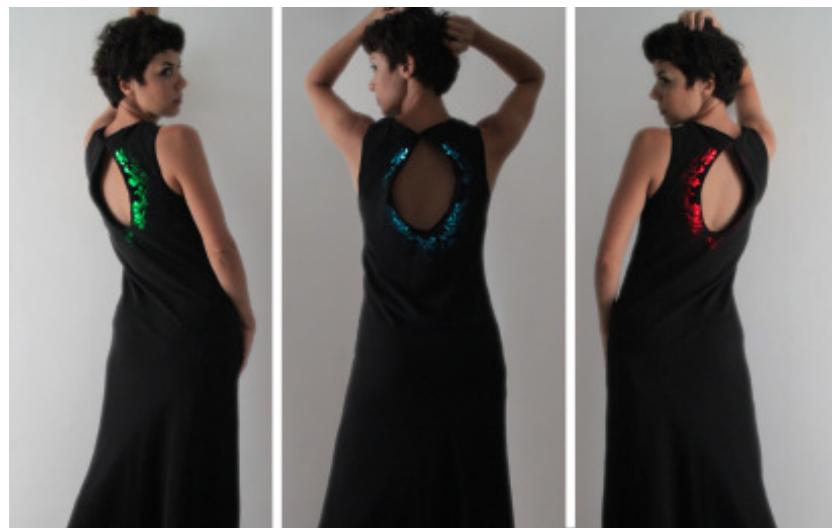


図 1.4: lüme (http://jorgeandesther.com/lume/ より)

2 関連研究

本章では、布を用いたインターフェースの先行研究として、つなぐ動作に着目したシステムと、触ることで入力を行うシステム、衣服を用いたシステムに関する研究を述べ、本研究の位置づけを明確にする。

2.1 つなぐ動作に着目したシステム

つなぐ動作に着目し、柔軟な構成変更が可能なシステムの先行研究について説明する。

白水らの Haconiwa[4] は、電子工作初学者のために作られた電子玩具制作キットである。これはテクノ手芸の一種であり、電池や LED などの電子部品を羊毛フェルトで覆ったもので作成し、導線には電気を通す糸である導電糸、接点にはスナップボタンを使用し作られている。スナップボタンをつなげることで電子回路を作成し、LED オブジェクトを光らせ遊ぶことができる。システムの装飾やオブジェクトのデザインは、ユーザにより決定し作成することができる。

Buechley らによる Quilt Snaps[1][2] は、子供の教育のために作られた布製のキットである。パッチワークで飾られた複数枚の布を、スナップボタンでつなぎあわせることで電子回路を作成し、音を鳴らしたり、LED が光るといった回路ができる。回路はユーザにより、自由に作成できる。これにより、作成を通じてプログラミングに関連した概念を学ぶことができる。

これらのシステムは、スナップボタンをつなげることで電子回路の作成ができる。使用者によって柔軟に構成変更ができる点が本研究の目的と共通している。スナップボタンは簡単に取り付けることができ、かつ安定感があり外れにくい。これらのシステムは電池や LED などの電子部品により、衣服の機能や外観を損なう可能性があるため衣服では実装されていない。そのため本研究の目的とは異なる。



図 2.1: Haconiwa (文献 [4] より図引用)

2.2 触ることで操作を行うシステム

他のデバイスを必要とせず触ることで操作可能なシステムの先行研究について説明する。

富永らのふわもにゅインターフェース [11] は、柔らかさに着目したインターフェースである。これはぬいぐるみなどに使われるような柔らかい素材を使ったインターフェースで、羊毛フェルト



図 2.2: ふわもにゅインタフェース（文献 [11] より図引用）

に導電性の糸を縫い付け、外観を損なわず、ふわふわとした感触を楽しみながら操作できる。羊毛フェルトで作成したクッションに、導電糸を縫いこんで作成しており、静電容量を読み取ることでタッチセンサとして動作する。静電容量とは電荷の蓄えられやすさを表す量であり、2つの電気を通すものの距離が離れれば減少し、距離が近づけば増加する。人体も微量な電気を溜めることから、指を近づけ触れることによっても、静電容量の値は変化しタッチセンサとして機能する。それにより、ぬいぐるみを撫でることで家電や照明、PCなどの操作ができるようになっている [8]。

関らのスマートハウスのためのぬいぐるみ型インターフェース [5] は、スマートハウス内の利用を想定したぬいぐるみ型インターフェースである。フォトリフレクタをぬいぐるみの目や口部分などに内蔵することで、「握る」ジェスチャと「覆う」ジェスチャを認識し、3軸加速度センサを手や足部分に内蔵することで、「振る」ジェスチャを認識する。それにより、手や足を握ったり、口をふさぐといった簡単なジェスチャの認識が可能となり、TV、空調、照明などの家電製品をコントロールすることができる。

箕らの綿を内包した柔物体を用いた日常生活に溶け込むインターフェース [6] は、ぬいぐるみやソファ、枕といった綿を内包する柔物体をインターフェースとしたセンサシステムである。柔物体を利用することで、生活空間に溶け込むインターフェースを実現している。フォトリフレクタにより綿の密度を計測し、「叩く」や「潰す」といったインタラクションを検出し、3軸加速度センサを用いることにより、「投げる」というインタラクションを検出する。これを用い、ソファを叩くことでスライドショーの写真切り替えや、枕に頭を乗せることで照明の電源を切り替えるといった操作が可能である。

これらの研究は、日常生活において親しみの深い入力装置や新しい入力の手法を提案している。布を用いたデバイスにタッチセンサや3軸加速度センサなどのセンサを内蔵し、他のデバイスを必要とせず、触るだけで機能を ON/OFF することができる。しかしながら、可能な操作は入力のみで機能の変更ができないという問題点がある。



図 2.3: 綿を内包した柔物体を用いた日常生活に溶け込むインタフェース（文献 [6] より図引用）

2.3 衣服を用いたシステム

既存の衣服型ウェアラブルデバイスの先行研究について説明する。

大佐賀らによるウェアラブルデバイスのための新しい入力手法 [7] は、従来の衣服に存在する線ファスナを利用したアナログ入力デバイスである。衣服で使われる線ファスナを縫い付けた導電糸の間にスライダーを通すことにより、ファスナの開閉で抵抗値が変化する。その値によりファスナの開閉度を認識する。

RalphLauren の PoloTechShirt⁵ は、スポーツ時に着用するようなフィットシャツタイプの衣服で、生体情報を読み取る製品である（図 2.5 参照）。このスポーツウェアは、ジャイロスコープや加速度センサを利用し、体の動きや向きを捉える。そこから心拍数や呼吸、カロリー消費量やストレスレベルなどを割り出している。これにより衣服を用いたスポーツ時や日常生活での生体情報を読み取ることが可能である。さらに、そのデータをワイヤレスでスマートフォンに転送することができる。このシャツは衣服に織り込む纖維自体に、バイオセンサ圧縮素材を使用するため、シャツがセンサの役割をしており着用感は衣服に近い。

これらのシステムは、衣服自体や衣服に付属している物を入力装置としており、布との親和性が高く、装着感が小さい。しかし、ユーザが自身の好みでウェアラブルデバイスに付加する機能を選択し、使用するのに向いていない。

2.4 本研究の位置づけ

ここで、先行研究について整理する。布を用いたインタフェースには、ユーザが自由に組み替えることのできるものや、他のデバイスを必要とせず、触るだけで機能を ON/OFF することができるものが存在するが、これらは衣服の機能や外観を損なう可能性があるため、衣服での実装はされていない。また、2.2 節で述べた他のデバイスを用いずに、簡単なジェスチャで入力で ON/OFF の切り替えが可能なデバイスは、操作の単純さから機能が限られる。2.3 節の現状の衣服型インターフェースでは、衣服としての着用感は自然だが、デバイスに付加する機能を選

⁵<http://www.ralphlauren.com/sho/index.jsp?categoryId=46285296>



図 2.4: ウェアラブルデバイスのための新しい入力手法（文献 [7] より図引用）



図 2.5: PoloTechShirt (<http://www.ralphlauren.com/sho/index.jsp?categoryId=46285296> より)

択し使用できるものではない。以上を踏まえ、本研究では、衣服型のウェアラブルデバイスのみで機能を自由に組み替えることができるインターフェースの実現を目指す。

3 デザイン指針

1.3 節で述べたように、既存のウェアラブルデバイスには使用できる機能が限定され、柔軟性に欠けるという問題とシステムの操作に他のデバイスが必要であるという問題がある。それに対して、本研究では布を用いた衣服型のウェアラブルデバイスにおいて、ウェアラブルデバイス上で操作が可能であり、柔軟に機能の付与・変更ができるインターフェースの実現を目指す。

これらを達成するための要件として、(1) 衣服への機能の付与、(2) 付与する機能の変更と追加、(3) 付与した機能の ON/OFF 切替、が可能であるという 3 点が挙げられる。衣服へ機能を付与でき、その機能の変更と追加を可能にすることで、柔軟に機能の付与・変更ができるようになる。他のデバイスを使わずに、付与した機能の ON/OFF の切り替えができるようになることで、布を用いた衣服型のウェアラブルデバイス上での操作を可能にする。提案システムが満たすべき要件を達成することで、柔軟な機能の付与・変更が可能であり、衣服型のウェアラブルデバイス上の操作が可能なインターフェースを達成する。

上に挙げた要件を満たすために、ユーザが衣服に装飾を身につける際の行為に着目した。人が缶バッジやブローチなどの装飾を選ぶとき、好みの色やデザインのものを選び衣服にとりつける（図 3.1 参照）。さらに、着用する場面やその日の気分により、身に付ける装飾を変更する。本システムではこのふるまいに着目し、装飾を選ぶ感覚で使用する機能を選択し、衣服にとりつけることができるようになる。

要件（1）を満たすために、機能を持った装飾を衣服型ウェアラブルデバイスの表面に貼付するという形式を採用する（図 3.2 参照）。これにより、ウェアラブルデバイスに機能が付与されている状態を可視化できる。また、衣服に装飾を施すという体をなすことによって、衣服としての見た目や用途を損なわないという利点がある。

要件（2）を満たすために、異なる機能を持った複数の装飾を用意し、ユーザに対してウェアラブルデバイスに付与する機能を選択できるようにするため、ウェアラブルデバイス上で装飾の貼付位置を変更することで、機能を変更できるようになる。これにより、ユーザにとって自然な動作で機能の選択や変更が可能になる。

要件（3）を満たすために、衣服型ウェアラブルデバイスに貼付する装飾にスイッチの機能を持たせる。これにより、貼付した機能の ON/OFF の状態を切り替えることができる。このように要件を満たすことで柔軟な機能の付与・変更が可能であり、衣服型のウェアラブルデバイス上の操作が可能なインターフェースを達成する。



図 3.1: 衣服の装飾 (<http://hokuohkurashi.com/?pid=54864518> より)

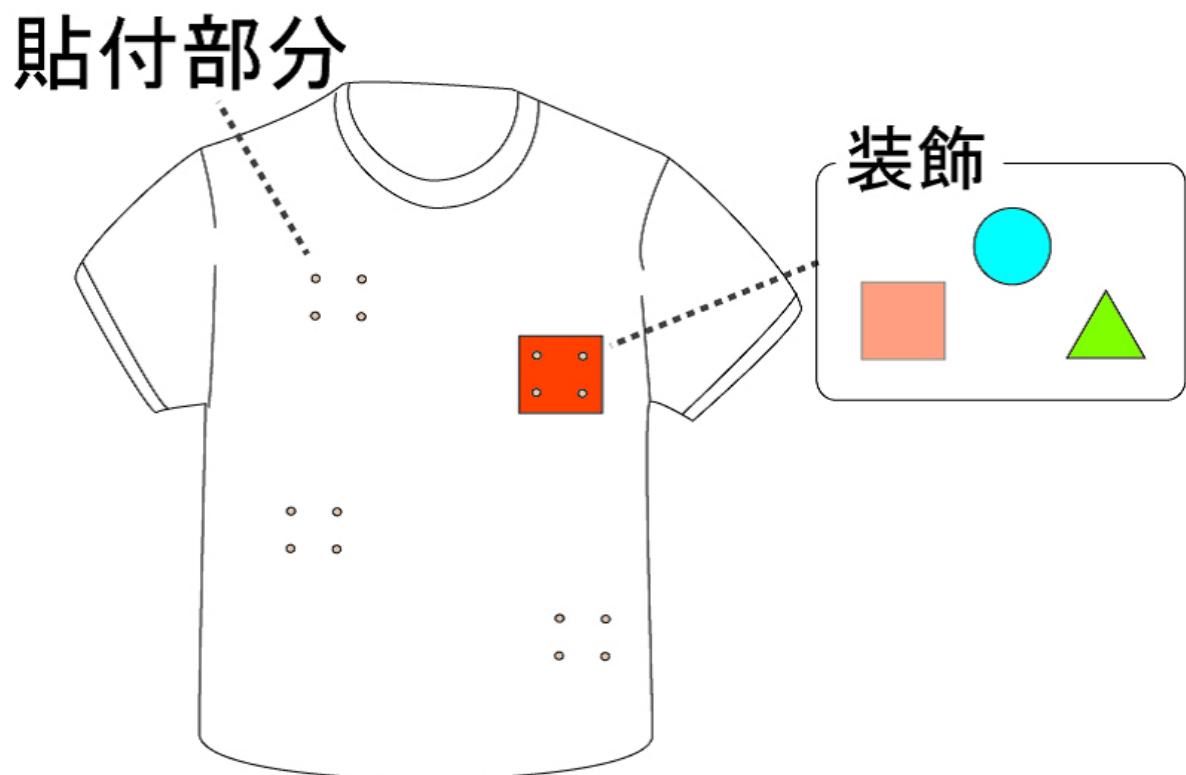


図 3.2: システムの概念図

4 実装

本章では第3章のデザイン指針に基づき、ウェアラブルデバイス上での操作が可能であり、柔軟に機能の付与・変更が可能なインターフェースの実装について述べる。

4.1 システム構成

提案システムでは、ユーザが機能を付与するにあたり、布を用いたタッチスイッチ（以下、布スイッチ）の中から使いたい機能があるものを選び、着用している布製の衣服型入力装置（以下、衣服型端末）の貼り付け可能部分に貼り付ける。貼り付け方は、図4.1に示すように1部分につき4箇所、スナップボタンをとりつける。貼り付けた布スイッチの種類は、内蔵する抵抗器の値の違いによる電圧の違いを読み取ることで判別する。衣服型端末には布スイッチの貼り付け可能な部分が複数あり、どの位置にどの布スイッチを貼り付けたかを識別できる。それにより、ユーザによって貼り付ける位置を選択できる。また、衣服型端末に複数の布スイッチを貼付することで複数の機能を付与できる。静電容量方式を用いたタッチスイッチを布スイッチに実装することで、指が触れることで静電容量が変化し、布スイッチに触れたことを判別できる。それによりユーザは、システムを使用したい時に貼付した布スイッチの表面に触れることで機能を使用でき、ON/OFFを切り替えることができる（図4.2参照）。さらに、布スイッチを別の機能を持つものへ貼り変えることで機能を変更し、最初に貼り付けた布スイッチとは違った機能を使用できる。また、別の貼付部分に貼付されている布スイッチに同時に触れることで、同時に複数の機能を使用することも可能である。



図 4.1: 布スイッチの貼り付け方

4.2 衣服型端末と布スイッチ

実装にあたり、布スイッチを貼付するための衣服型端末と、衣服に貼付する4種類の布スイッチを作成した。

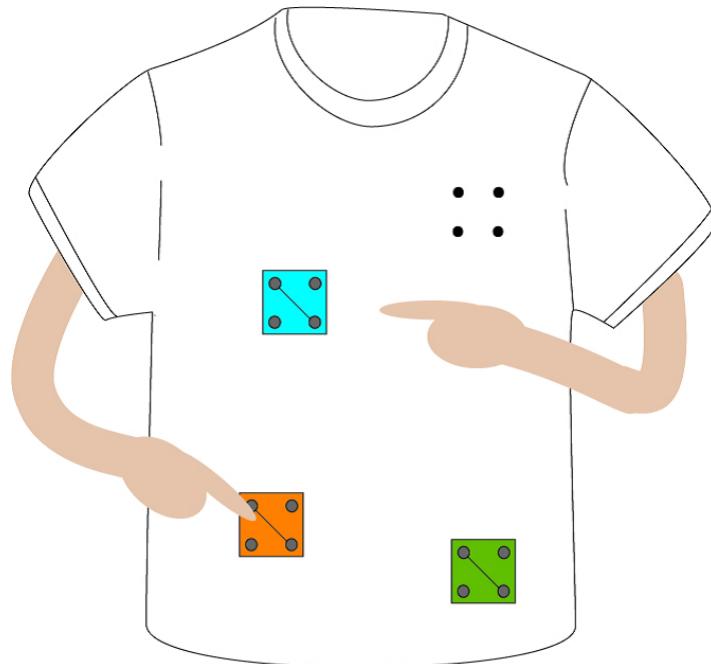


図 4.2: 使用イメージ

4.2.1 布スイッチの実装

図 4.3 に衣服型端末に貼付する布スイッチの構成を示す。スイッチは貼り付ける際に、たゆんだり曲がったりすることで貼りづらくならないよう、厚手の布で作成する。今回はフェルト生地を用いた。同じ形に切り取ったフェルト生地を 2 枚用意し、1 枚の四隅にスナップボタンを縫い糸で取り付ける。スナップボタンは、凹凸の面が対角線上に取りつけており、それぞれがペアとなり動作する。そのうちの右上のスナップボタンと左下のスナップボタンの間に抵抗器を配置し、導電糸で縫い付ける。この組のスナップボタンは、凸面をとりつける。指が触れたことを検知するタッチスイッチ部分の実装は、先ほどとりつけたスナップボタンの左上から右下にかけて、導電糸を縫い付ける。このとき指でタッチする面を作るため、2 枚目のフェルトの表面に導電糸が出るようにする。この組のスナップボタンは、凹面のものをとりつける。抵抗器をとりつけた組と、フェルトの表面に出した組の導電糸が接触し、回路がショートしないために間に絶縁体を通す。2 枚のフェルトの貼り合わせがずれないよう、端を縫い糸で縫い合わせ補強する。同じ構成で、それぞれ $330\text{K}\Omega$, $820\text{K}\Omega$, $2.2\text{M}\Omega$, $3.9\text{M}\Omega$ といった 4 種類の抵抗器を内蔵したものを作成した。

4.2.2 衣服型端末の実装

図 4.4 に衣服型端末の構成を示す。4 つのスナップボタンを四角形を描くように縫い付ける。1 組は、布スイッチに取り付けた抵抗器による電圧を計測し、スイッチの種類を識別する。その回路図を図 4.5 に示す。スナップボタンは、上述した布スイッチに対応し、凹面をとりつける。もう 1 組は、静電容量の値を計測し、布スイッチに指が触れたかどうかを検出する。スナップボタンは、布スイッチに対応し凸面をとりつける。このとき、接触時の感度をあげるため $150\text{K}\Omega$ の抵抗を + ピンに接続する（図 4.6 参照）。両組とも、左側がプラス極、右側がマイナス極とな

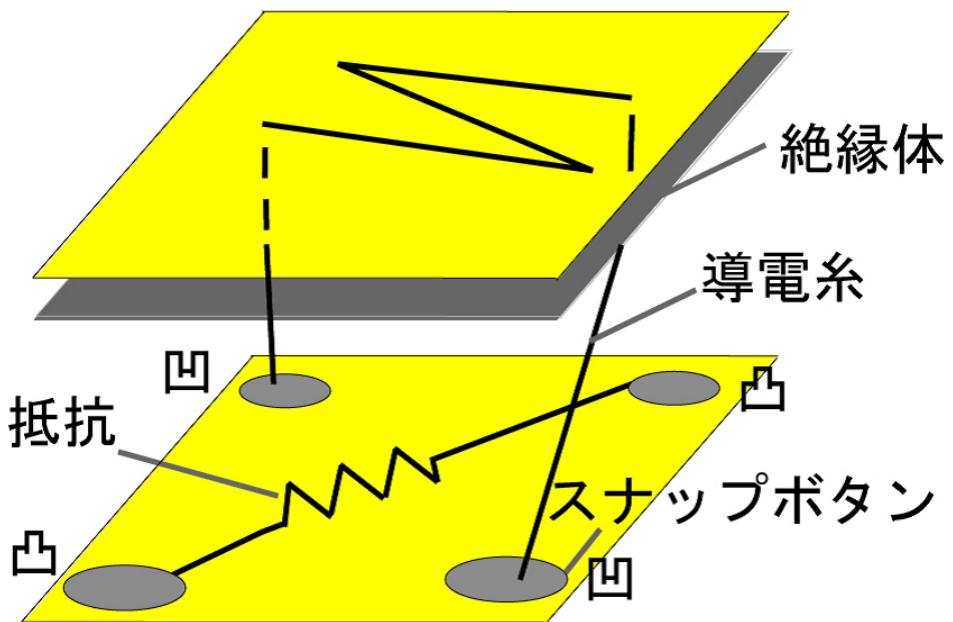


図 4.3: 布スイッチの構造

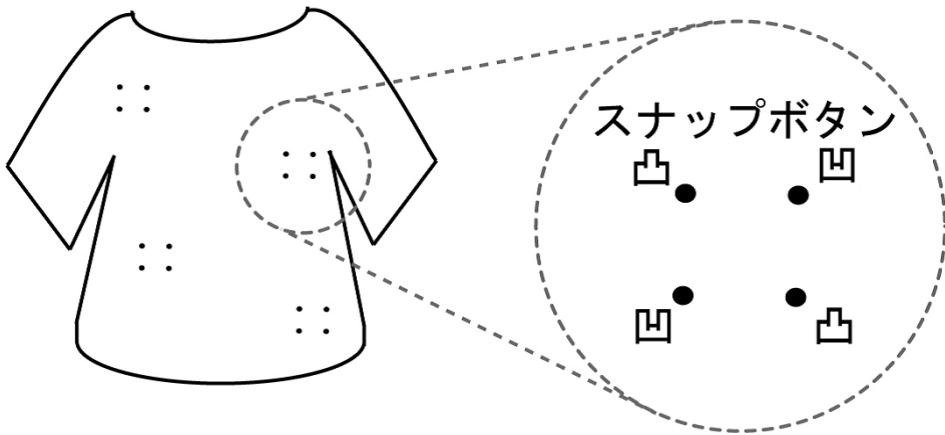


図 4.4: 衣服型端末の構造

る。これらの動作の制御には、LilyPadArduino[3]を用い、電圧の値の変化からスイッチの識別と、静電容量の値の変化から、ユーザの手が触れたことの識別をしている。

4.3 アプリケーション

プロトタイプとして貼付した布スイッチの識別を行い、ディスプレイ上にグラフィックを表示するアプリケーションを実装した。その動作の様子を図4.7に示す。布スイッチは、猫、犬、ゾウ、ライオンの4種類の動物の形をしたものを作成し、それぞれ異なる抵抗器を内蔵している。衣服端末の貼付部分に猫の布スイッチを貼り付けると、画面には猫のキャラクタが出現する。また、貼付した布スイッチの表面にユーザが指で触れると、猫のキャラクタには歩くアニメーションが加わり、指を離すと静止する。このように、提案システムが布スイッチの種類を識別し、貼付された布スイッチに対する指の接触を検出することが可能であることを確認した。

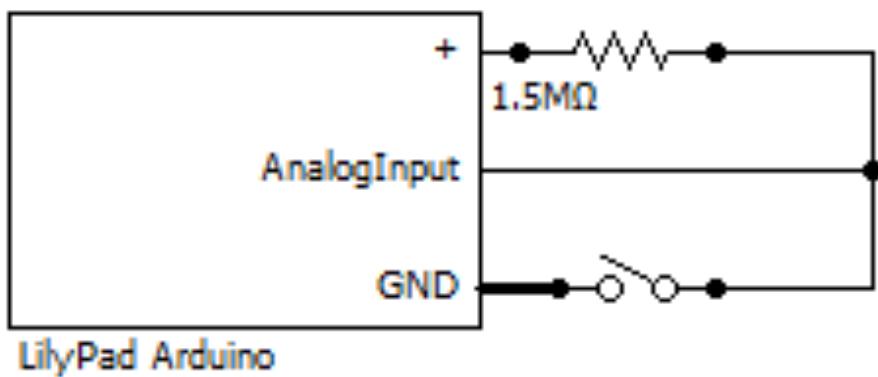


図 4.5: 布スイッチ識別の回路図

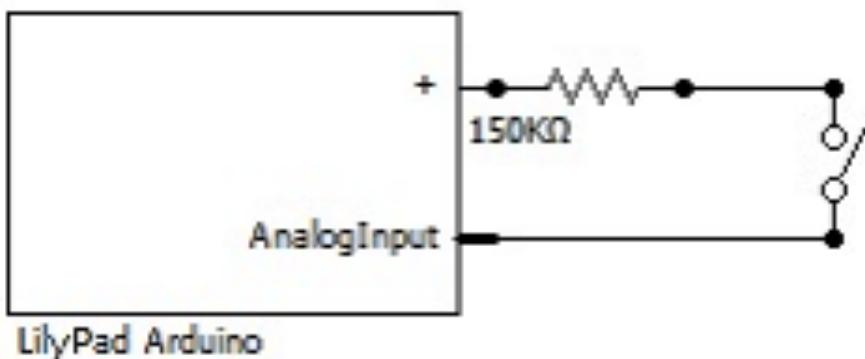


図 4.6: 布スイッチ接触検知の回路図



図 4.7: 布スイッチの貼付と動作画面

5 実験

前章で実装したシステムを用いて、以下の実験を行った。

5.1 布スイッチに内蔵した抵抗器の識別の実験

5.1.1 実験の目的

本実験では、それぞれの異なる抵抗器を内蔵したそれぞれの布スイッチの電圧の値を計測し、布スイッチの種類を識別可能であるかの確認を行った。

5.1.2 実験の概要

計測は、布スイッチ 1つにつき 10 回行い、1回につき 30 秒間の最大値と最小値を記録した。スイッチに内蔵する抵抗器は、 $330\text{K}\Omega$, $820\text{K}\Omega$, $2.2\text{M}\Omega$, $3.9\text{M}\Omega$ の 4 種類を用いた。それぞれの抵抗器を内蔵した布スイッチを衣服型端末上の貼付部分に貼り付け、LilyPadArduino のアナログピンにかかる電圧を読み取った。このとき計測される値は、0 から 1023 までの整数で電圧の大きさを示し、0 が 0V , 1023 が参照電圧に相当する⁵。本実験では、布スイッチを接続しない状態で $1.5\text{M}\Omega$ の抵抗器を + ピンに接続したときの電圧を参照電圧とした。また、計測の途中で不必要的値が計測されることがあるため数値を平均化した。

5.1.3 実験の結果

布スイッチを接続しないときの計測値は、1009～1015 を示した。図 5.5 に示すように、抵抗器を内蔵した布スイッチを接続したときの計測値は $330\text{K}\Omega$ が 165～199（表 5.1, 図 5.1 参照）、 $820\text{K}\Omega$ が 350～381（表 5.2, 図 5.2 参照）、 $2.2\text{M}\Omega$ が 592～619（表 5.3, 図 5.3 参照）、 $3.9\text{M}\Omega$ が 730～758（表 5.4, 図 5.4 参照）となり、抵抗値の増加に従って計測値は高くなかった。この結果から、それぞれの抵抗器による電圧の計測値は異なることがわかり、布スイッチの種類の識別は可能であることが確認された。

表 5.1: 330KΩ の抵抗器による電圧の計測値

	最大値	最小値
1 回目	190	169
2 回目	190	173
3 回目	178	165
4 回目	193	184
5 回目	193	175
6 回目	199	182
7 回目	195	174
8 回目	192	169
9 回目	188	168
10 回目	190	171

表 5.2: 820KΩ の抵抗器による電圧の計測値

	最大値	最小値
1 回目	372	364
2 回目	372	364
3 回目	373	358
4 回目	381	372
5 回目	370	354
6 回目	374	355
7 回目	384	350
8 回目	379	352
9 回目	377	353
10 回目	379	352

⁵<http://garretlab.web.fc2.com/index.html>

表 5.3: 2.2MΩ の抵抗器による電圧の計測値

	最大値	最小値
1回目	619	592
2回目	616	598
3回目	618	597
4回目	617	597
5回目	614	592
6回目	615	596
7回目	619	586
8回目	609	597
9回目	612	599
10回目	613	600

表 5.4: 3.9MΩ の抵抗器による電圧の計測値

	最大値	最小値
1回目	753	732
2回目	758	739
3回目	755	739
4回目	752	735
5回目	756	732
6回目	750	730
7回目	757	732
8回目	753	738
9回目	751	739
10回目	750	736

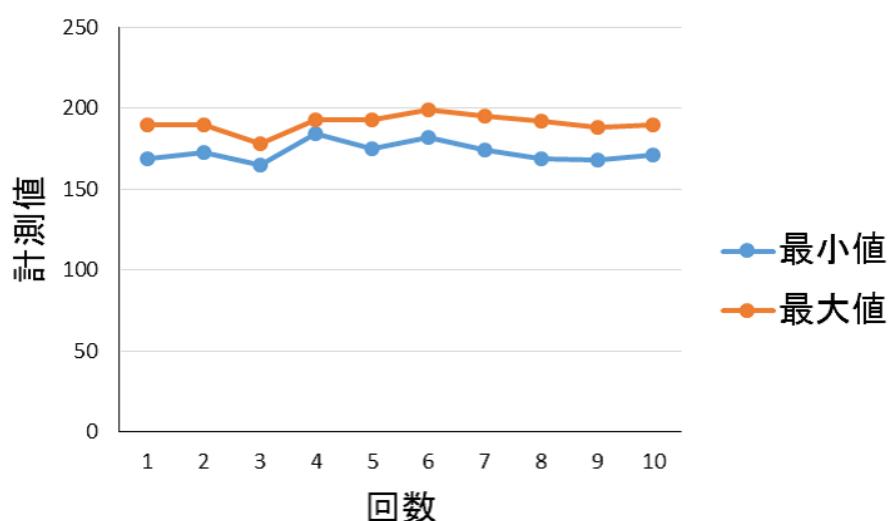


図 5.1: 330KΩ の抵抗器による電圧の計測値

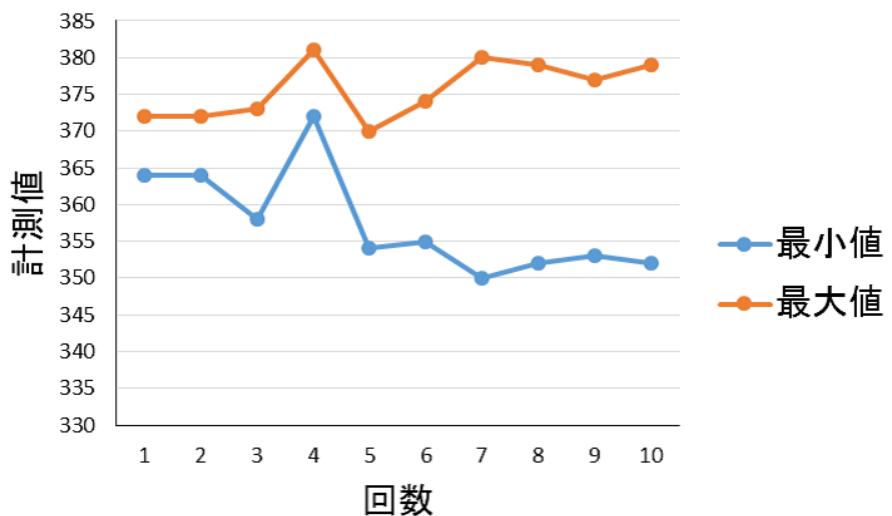


図 5.2: 820KΩ の抵抗器による電圧の計測値

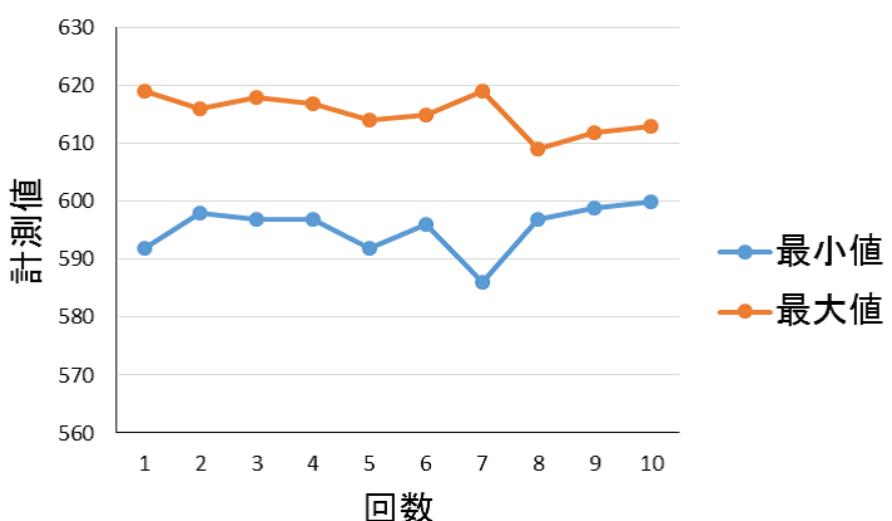


図 5.3: 2.2MΩ の抵抗器による電圧の計測値

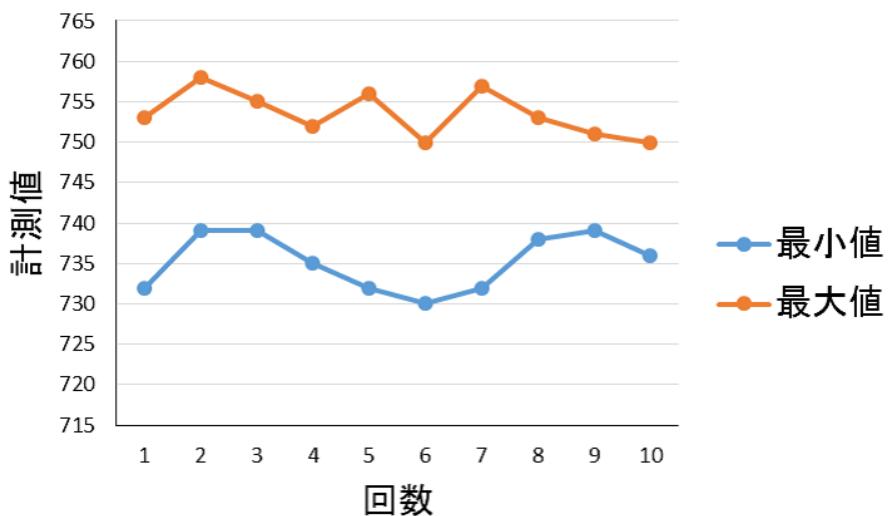


図 5.4: 3.9MΩ の抵抗器による電圧の計測値

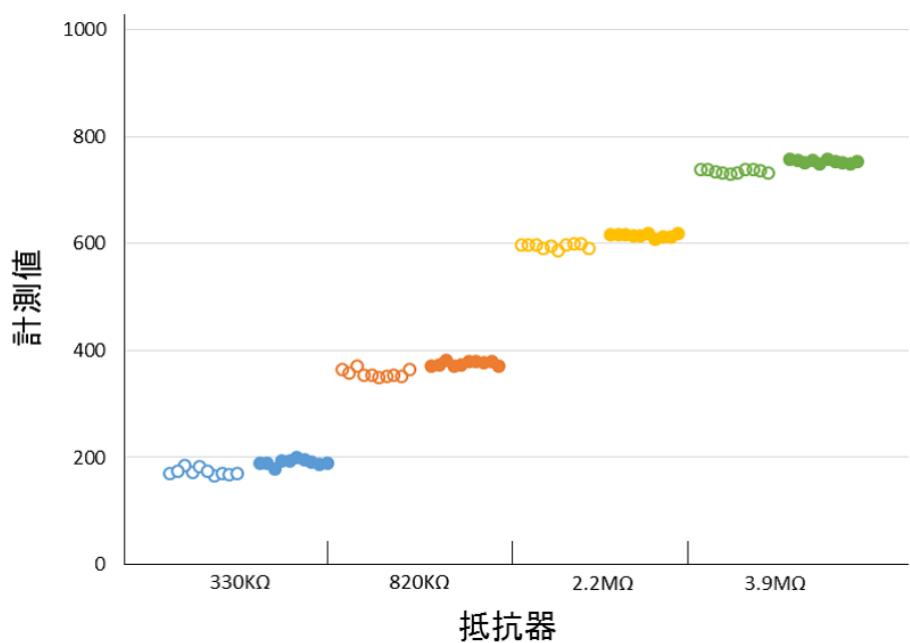


図 5.5: 抵抗器による電圧の計測値

5.2 布スイッチと指の接触検知の実験

5.2.1 実験の目的

本実験では指で布スイッチに触れる前と触れたときの静電容量の変化を計測し、指の接触の検知が可能であるかの確認を行った。

5.2.2 実験の概要

静電容量の値の計測には Arduino の CapSense ライブライアリを使用し、capacitiveSensor 関数の出力値を記録した⁶。布スイッチを衣服型端末上の貼付部分に貼り付け、布スイッチに指が触れていない状態と触れた状態で、それぞれ各 10 秒ずつ 10 回行った。

5.2.3 実験の結果

実験の結果、非接触時の静電容量の計測値は 0~18、接触時の計測値は 13~1117 となり、指の接触による静電容量の増加が確認された（表 5.5、表 5.6 参照）。1 回目の指の接触時の値が 13~459、8 回目の非接触時の値は 0~18 と値の重複が見られたが、各回ごとで計測値に重複はなく、接触時と非接触時の出力値が異なったため、指の接触による布スイッチの ON/OFF の検知が可能であると考えられる。また、9 回目と 10 回目の接触時の計測値は、他の回に比べ大きくなった（図 5.6 参照）。これは、指が触れた布スイッチの部分の面積が広いことによるものであると考えられ、触れ方により接触時の値の大きさは異なると考える。

表 5.5: 指の接触前の計測値

	最大値	最小値	平均値
1回目	9	0	3.04
2回目	12	0	4.40
3回目	13	0	6.77
4回目	13	0	6.36
5回目	10	0	2.85
6回目	13	0	6.74
7回目	12	0	4.30
8回目	18	0	5.2
9回目	11	0	4.26
10回目	12	0	4.28

表 5.6: 指の接触時の計測値

	最大値	最小値	平均値
1回目	459	13	138.96
2回目	409	20	130.96
3回目	446	26	145.90
4回目	563	33	188.99
5回目	897	20	396.72
6回目	998	21	352.16
7回目	703	15	233.14
8回目	764	39	331.16
9回目	1117	52	690.54
10回目	942	52	618.95

⁶<http://playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor?from=Main.CapSense>

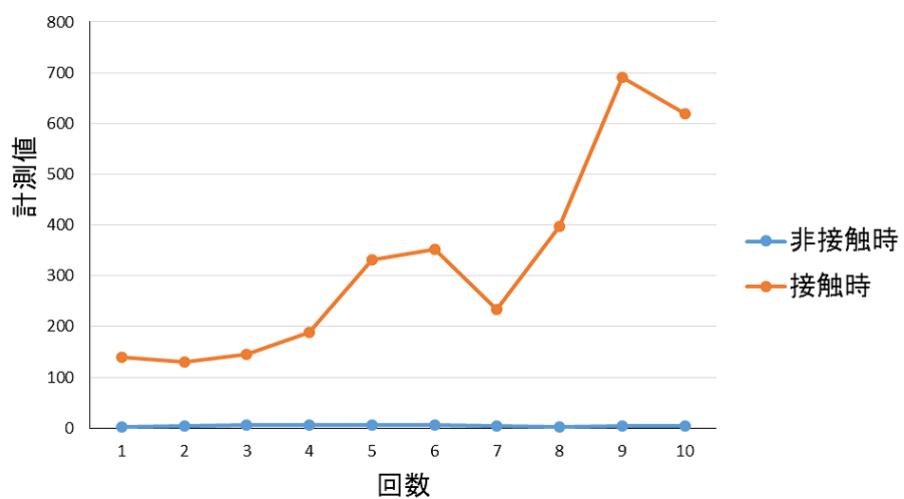


図 5.6: 指の接触前と接触時の平均値

6 議論

本章では、5章で述べた実験の結果に基づいた提案手法の考察と期待される活用分野について述べる。

6.1 提案手法の問題点と解決策

6.1.1 布スイッチの種類

基準とする抵抗器について考察する。5章で述べた実験より、 $1.5M\Omega$ の抵抗器を+ピンに接続した状態で、 $330K\Omega$, $820K\Omega$, $2.2M\Omega$, $3.9M\Omega$ の4種類の抵抗器を内蔵した布スイッチの識別が可能であることがわかった。計測された値は、布スイッチを接続していないときの抵抗器である $1.5M\Omega$ を基準としているため、布スイッチを接続していないときの抵抗器を変えることで、実験に使用した4種類の布スイッチを接続したときの計測値を変化させてしまう可能性がある。そのため布スイッチを接続しないときの抵抗器をあらかじめ決定しておく必要があると考えられる。

識別可能な布スイッチの種類を増やす方法について考察する。表示可能な0~1023の値から、布スイッチを接続していないときの値と実験に使用した4種類の抵抗器による計測値を除くと0~164, 200~350, 382~591, 620~729, 759~1008の値がある。1種類の抵抗ごとに値の振れ幅は30程度あり、値の重複を避けるために計測値は30あける必要がある。計測時に表示されなかったそれぞれの値を30で割ると27となったため適切な抵抗器を接続した場合、すでに実装されている4種類の抵抗器と合わせると最大31種類の抵抗器の識別が可能であると考えられる。

6.1.2 指の接触

本システムでは、指の接触による静電容量の値の変化を計測することで、スイッチのON/OFFを切り替えている。5章で述べた実験から、1回の実験で接触時と非接触時の値は重複しなかつたため、指の接触検知は可能である。しかし、指の接触時の値は、指の触れ方により最大値が大きく変わる。本実験では、指の触れ方による値の変化は計測していないが、接触可能な導電糸の縫い付け方、指の触れ加減により計測値が変わり、接触可能面積や触れ方を大きくすることにより変化する値は大きくなると考えられる。

6.2 期待される活用分野

本研究で提案する、ウェアラブルデバイス上で操作が可能であり柔軟に機能の付与・変更ができるインターフェースの適応分野について検討する。提案システムは、(1)おもちゃとしての利用(2)入力装置としての利用が期待できる。

(1)の例として、触ることで音を鳴らし、演奏ができる楽器としての利用方法を考える。図6.1に示すように、衣服型端末にスピーカを内蔵することで、出力に音を鳴らすことができるようになる。ユーザは楽器の機能を持つ布スイッチを複数貼り付け、触ることにより音を鳴らす。触る部分やタイミングにより音楽を演奏できるようになると考える。

(2)の例として、家電などの電子機器を遠隔操作するコントローラとしての利用方法を考

える。無線通信を利用することで、布スイッチに触れることにより、家事や作業をしながらの操作が可能になる。図 6.2 に示すように、ユーザはあらかじめ家電の操作の機能を持つ布スイッチを貼り付けておき、家事の途中で布スイッチに触れることにより、家電のスイッチの ON/OFF を切り替える操作が可能になると考へる。

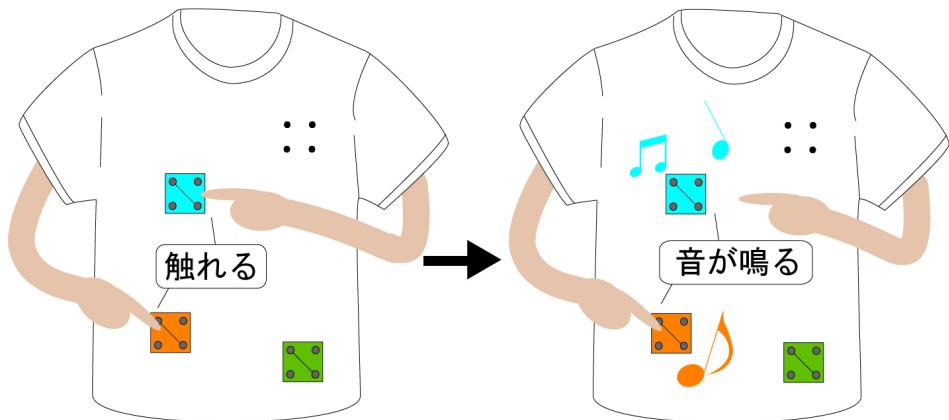


図 6.1: 楽器としての利用

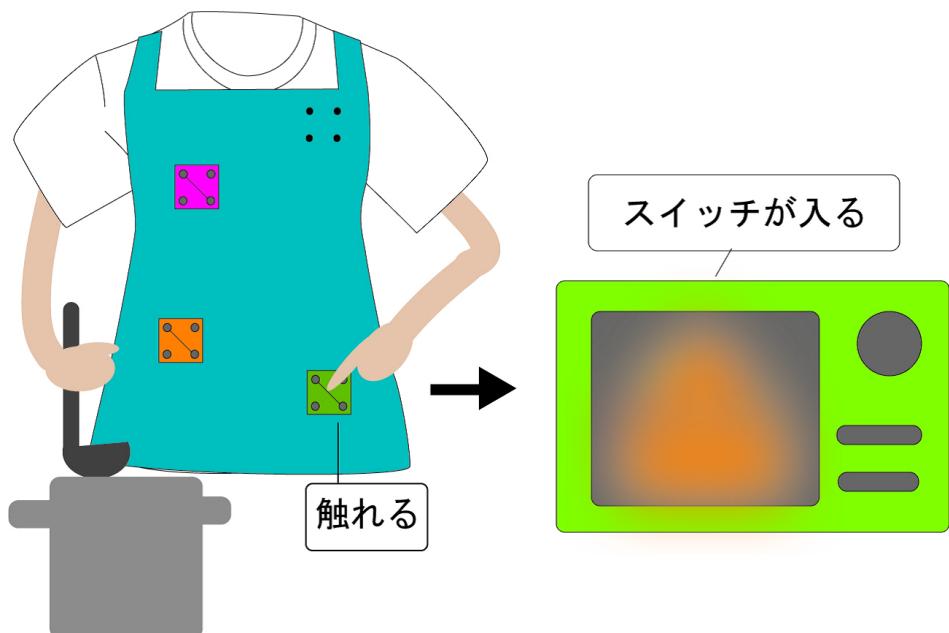


図 6.2: 作業時の入力装置としての利用

7 結論

本研究では、機能の付与・変更が可能な衣服型入力装置と布製タッチスイッチを提案し、布が持つ柔らかさを保持しつつ、衣服型のウェアラブル端末に付与できる機能のバリエーションを増加させることを試みた。

第1章では、本研究に至った背景を説明し、対象とする課題を明確にした。衣服のウェアラブルデバイスは、操作に他のデバイスが必要であることや、使用できる機能が限定され、柔軟さに欠けるという問題点がある。それに対して、ウェアラブルデバイス上で操作が可能であり、柔軟に機能の付与・変更ができるインターフェースを提案した。

第2章では、つなぐ動作に着目したシステム、触ることで入力を行うシステム、衣服を用いたシステムについてそれぞれ整理した。布を用いたインターフェースは、つなぐことでユーザが自由に回路の組み替えができるものや、他のデバイスを必要とせず、触るだけで機能をON/OFFができるものが存在するが、これらは衣服としての外観や機能を損なう可能性があるため衣服では実装されていない。衣服型インターフェースでは、衣服としての着用感は自然だが、デバイスに付加する機能を選択し、使用できるものではない。以上を踏まえ、本研究の位置づけを明確化した。

第3章では、衣服型のウェアラブルデバイス上で操作が可能であり、柔軟に機能の付与・変更ができるインターフェースの実現のために要件を整理し、そのための手法について述べた。要件として、(1) 衣服への機能の付与、(2) 付与する機能の変更と追加、(3) 付与した機能のON/OFF切替を可能にする必要がある。それらの要件を満たすために、衣服に装飾を身に着ける際の行為に着目した。衣服に装飾を貼付することで機能を付与し、装飾の種類や貼付位置を変更することで機能の変更・追加を可能にし、貼付した装飾にスイッチの機能を持たせることを提案した。

第4章では、システムの構成を示し、その後実装について述べた。提案システムは、布スイッチと衣服型端末により構成され、スナップボタンで貼り付け触れることにより操作する。布スイッチはフェルトに抵抗器とスナップボタンを導電糸で縫い付け、タッチスイッチとして機能するようにした。衣服型端末は導電糸でLilypadArduinoを縫い付け、布スイッチの種類の判別と指の接触が検知できるよう実装した。その後プロトタイプとして、ディスプレイ上にグラフィックを表示するアプリケーションを実装した。

第5章では、4章で実装したシステムを用い、布スイッチの種類の識別と指の接触検知のために行った実験について述べた。この実験により4種類の布スイッチの識別と指の接触の検知が可能だとわかった。

第6章では、実験の結果に基づいた提案手法の考察を述べ、期待される活用分野について述べた。布スイッチの接触検知の精度を上げるために、触れたことの認識方法を検討する必要がある。提案システムの利用可能性として、(1) おもちゃとしての利用、(2) 入力装置としての利用が期待できる。今後は、衣服での実装とそれに伴う電源の供給方法について検討する。

謝辞

研究活動において、様々なご指導やご鞭撻を賜りました。関西大学総合情報学部総合情報学科の松下光範教授に心より感謝いたします。研究を進めるにあたり貴重なご意見を賜りました関西大学大学院総合情報学研究科の阪口紗季先輩に深くお礼申し上げます。本研究に関するご意見やご指摘だけでなく、アイデア出しやシステムのデザインなど初めから丁寧に御指導頂きました。本当にありがとうございました。

また、研究を通じて数々の助言を頂いた堤修平先輩、濱村康司先輩、関西大学総合情報学部総合情報学科卒業生の堀下小春先輩に深く感謝申し上げます。

実世界系の研究をすすめる同期の仲間として励ましあい、共に苦労をわかちあつた下仲悠希さん、内藤峻さん、島田さやかさん、八田恵梨子さんに感謝いたします。最後に、本研究に関して議論やご指摘をしてくださった松下研究室の皆様にも心からの謝意を表し謝辞と致します。

参考文献

- [1] Buechley, L., Elumeze, N., Dodson, C. and Eisenberg, M.: Quilt Snaps: a fabric based computational construction kit, *Wireless and Mobile Technologies in Education, 2005. WMTE 2005. IEEE International Workshop on*, pp. 3–5 (2005).
- [2] Buechley, L., Elumeze, N. and Eisenberg, M.: Electronic/Computational Textiles and Children's Crafts, *Proceedings of the 2006 Conference on Interaction Design and Children*, IDC '06, ACM, pp. 49–56 (2006).
- [3] Buechley, L. and Hill, B. M.: LilyPad in the Wild: How Hardware's Long Tail is Supporting New Engineering and Design Communities, *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '10, ACM, pp. 199–207 (2010).
- [4] 東納ひかり, 阪口紗季, 堀下小春, 島田さやか, 白水菜々重: 電子玩具制作キット Haconiwa を用いたワークショップのデザイン, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2013 論文集, Vol. 2013, pp. 359–364 (2013).
- [5] 関恵美, 杉山希, 須藤敦仁, 中野亜希人, 羽田久一: スマートハウスのためのぬいぐるみ型インターフェイスの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 214–217 (2014).
- [6] 篠原太, 杉浦裕太, 杉本麻樹, 稲見昌彦: 縫を内包した柔物体を用いた日常生活に溶け込むインターフェース, WISS2010 予稿集, pp. 89–94 (2010).
- [7] 大佐賀彩佳, 羽田久一: ウェアラブルデバイスのための新しい入力手法, インタラクション 2014 論文集, pp. 545–548 (2014).
- [8] 小林茂: *PrototypingLab*, オーム社 (2010).
- [9] 塚本昌彦: ウェアラブル新時代, 関西情報センター機関誌 KIIS, Vol. 148, pp. 10–13 (2014).
- [10] 矢野経済研究所: ウェアラブルデバイス市場に関する調査結果 2014, <http://www.yano.co.jp/> (2015/02/04 確認).
- [11] 富永祐衣, 塚田浩二, 椎尾一郎: フェルト羊毛を用いた電子手芸手法の提案 (モバイルアドホックネットワーク, モバイル時代を支える次世代無線技術, フィールドセンシング及び一般), 電子情報通信学会技術研究報告. MoMuC, モバイルマルチメディア通信, Vol. 111, No. 476, pp. 19–24 (2012).
- [12] 島上祐樹, 堀場隆広, 田中利幸: センサ織物の生体計測分野への応用, あいち産業科学技術総合センター研究報告, No. 2, pp. 94–97 (2014).
- [13] 堀場隆広, 島上祐樹: 実験のウェアラブルシステムの開発, 愛知県産業技術研究所研究報告, No. 10, pp. 102–105 (2011).