

衣服のシワを用いた入力インタフェース

上田 健太郎 寺田 努 塚本 昌彦*

概要. ウェアラブルコンピューティング環境では様々な場所や状況でのコンピュータ操作が想定されており、デスクトップコンピューティング環境とは異なる携帯性や装着性の高い入力インタフェースが必要とされる。マウスのような入力デバイスを把持して操作するものは、荷物を持っているときなどは操作できない。衣服や身体に装着できる入力インタフェースも存在するが、見た目を損なう可能性がある。さらに、さまざまな状況で用いるためには、コンピュータを操作していることが見た目にわかりにくい入出力が望まれる。そこで本研究では、衣服にシワを生成し、シワによる触覚フィードバックを利用してタッチ入力を行うインタフェースを提案する。提案方式ではシステムにより生成されたシワに触れることで入力操作を行うが、衣服上のシワであるため目立たず、操作時以外は衣服の見た目に変化がない。またシワに触れた際の触覚を利用することでデバイスを見ずに操作できる。実装したプロトタイプデバイスを用いて、評価実験を行い、指の感触のみで任意のシワにタッチできることを確認した。

1 はじめに

近年、コンピュータの小型化や軽量化に伴い、コンピュータをユーザが常に身につけて利用するウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている。ウェアラブルコンピューティング環境では、コンピュータを常時装着することで、これまで想定されていなかった様々な場所や状況でもコンピュータを使用できるが、入力インタフェースもそれらに対応した仕様が求められる。

マウスやトラックボールなどの従来の入力インタフェースは、デバイスを把持する必要があるため手が塞がっているときは操作できない。デバイスを把持しないコンピュータの操作方法としてハンドジェスチャなどが挙げられるが、他の作業と並行操作が難しい。装着性の観点から小型化された入力インタフェースとして、片手用キーボードによる入力 [1] があるが、装着した際にユーザの見た目を大きく変化させ、ファッション性を損なう恐れがある。日常生活での使用の観点からファッション性は重要である。さらに、さまざまな状況で用いるためには、コンピュータを操作していることが見た目にわかりにくい入出力が望まれる。

そこで、デバイスを把持する必要がなく、見た目を損なわないために、衣服を利用したインタフェースの研究が多く行われている [6][7][8]。衣服を利用することで、布表面に触る際の触覚により、入力操作を直接見ずに行うことができる。しかし、これらは、ユーザが入力に関する情報をインタフェースか

ら得ることができない。例えば電話の着信時などの選択が要求される場面において、どこを操作したときにどういった選択が行われるのかがわからず、また入力が成功したこともわからないため、選択肢を出力画面などで確認する必要がある。

本研究では、衣服にシワを生成し、シワによる触覚フィードバックを利用してタッチ入力を行うインタフェースを提案する。提案インタフェースでは、操作するアプリケーションや選択肢の内容に応じた本数のシワがユーザの衣服上に生成され、ユーザはそのシワをタッチすることで入力を行う。衣服上で入力ができるため入力デバイスを把持したり、見た目を損なうデバイスを装着したりする必要がなく、シワに触れた際の触覚を利用することでデバイスを見ずに操作できる。また、選択を要求される場面では、選択肢に対応したシワが生成されるため、シワに触ることで選択肢の数がわかり、正しい選択肢を選ぶことができる。

本研究では人工筋肉を用いた提案システムのプロトタイプを作成し、シワ生成機構およびタッチ検出機構を実装した。プロトタイプを用いた評価実験の結果、提案方式が有効に動作することを確認した。以下、2章では関連研究について述べ、3章では提案システムの設計について述べる。4章ではプロトタイプデバイスの実装について述べ、5章で評価実験と考察を行い、最後に6章でまとめを行う。

2 関連研究

従来のウェアラブルコンピューティングシステムでは、トラックボール、ジョイスティックなどが入力デバイスとして利用されていることが多い。しかし、これらのデバイスは操作する際は手に持つ必要があるため、他の作業で両手が塞がっているときや、

Copyright is held by the author(s).

* Kentaro Ueda and Masahiko Tsukamoto, 神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻, Tsutomu Terada, 神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻 / 科学技術振興機構さがけ

混雑した電車の中など利用できる空間が狭いときには使用できない。

デバイスを把持することなくポインティングを行う研究として、堀江らによる Xangle[2] がある。これは加速度センサにより、指先などの装着部の動きを検出して画面上の 2 直線进行操作してその交点でポインティング操作を行う。Foxin らによる WearTrack[3] は、頭部に 3 個のマイクを装着し、超音波を用いて三角測量により指先の位置を決定することで、ポインティング操作を行う。峰らによる DigiTrack[4] は、光学式マウスのセンサを装着した指先で衣服や机など、任意の表面上をパッド代わりにしてポインティング操作を行う。しかし、これらはポインティング操作を目的としており操作時には常に画面が必要となる。また、指など日常生活において重要な部位にデバイスを取り付ける必要があるため、常時利用に向かない。片山らによる片手キーボード[1]は既存のキー配列をそのままに保ちながらキーボードを左右に分割し、どちらか一方のみを用いて単語の切れ目ごとにキーボード半分の打鍵情報のみから単語を推定して入力する。Lissermann らによる EarPut[5] はタッチセンサを用いて耳をタッチインタフェースとして利用するデバイスを耳に装着し、耳を触ることで操作を行うため、デバイスを見ずに操作できる。しかし、これらの研究はキーボードなどの特別なデバイスを身に着ける必要があるため、ユーザの見た目を変化させてしまい、ファッション性を損なってしまう。

次に手で持つ必要がなく、見た目を考慮した、衣服を利用した入力インタフェースを紹介する。Komor らによるテキスタイルインタフェースの研究[6]では、導電性糸で作られた刺繍と静電容量認識回路を用いて、刺繍を入力用ボタンとして利用したデバイスを実装している。Gilliland らによる Swatchbook[7]では導電性糸で作られた刺繍と指との間の抵抗と静電容量を測定することで刺繍へのタッチを検出し、操作するデバイスを 3 つ実装している。3 つのデバイスはそれぞれ専用の GUI を操作する。3 つのデバイスのうちの 1 つの Electronic Pleat では、導電性糸を縫いつけたプリーツを利用することで、指の動きを検出することができ、指の動きで操作できる。Karrer らによる Pinstripe[8] は、平行導電線を縫い付けた布を指でつまんで転がすことで連続値を入力できる。布をつまんで外側に引くことで入力値が増加し、手前に押すことで減少する操作もできる。これらのデバイスは衣服に内蔵されているため逐一デバイスを持ち運ぶ手間を省くことができる。また布の裏に機構を実装することで、衣服の見た目を損なわない。さらに刺繍を触る際や、布をつまむ際の触覚により直接見なくても操作できるため、操作する際に入力デバイスを見る必要がなく、特徴的な操作ができる。しかし、ユーザが衣服から情報を得る

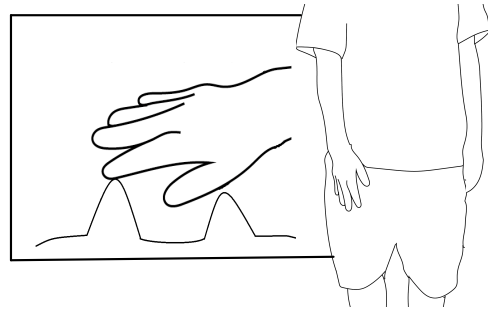


図 1. システムの操作方法

ことができないため、メール着信に対する応答など、入力が必要なタイミングや選択肢の個数などの情報を知ることができない。

3 システム設計

本研究では衣服のシワを用いた入力インタフェースを提案する。提案システムはウェアラブルコンピューティング環境での使用を想定している。衣服上に生成されるシワによって、コンピュータやスマートフォンなどの操作を行う。衣服上で操作を行うことができるため入力デバイスを把持する必要がなく、見た目を損ないにくい日常生活での使用に抵抗がない。さらにシワを複数生成することにより選択肢を伴う入力に対応できる。シワに触れた際の触覚によって人ごみなどの注視が困難な状況でもコンピュータを操作したり、スマートフォンをポケットから取り出さずに操作したりできる。

3.1 要求仕様

ウェアラブルコンピューティング環境での入力インタフェースには、下記の要件が必要である。

並列性: 日常生活の中で行われる他の動作や作業と並行してコンピュータを操作できる。

視認不要性: 日常生活の中で歩行中や作業中などの注視が困難な状況でも操作ができるために、入力デバイスや出力画面を見ずに操作できる。

装着性: デバイスを手指などの邪魔な場所に装着しない。

社会性: 特殊な入力デバイスを衣服上や身体上に装着するとユーザの見た目を損なう可能性があるため、装着した際に見た目を損なわない。

直観性: 入力操作はユーザが容易に理解できる必要があるため、操作方法を直観的に理解できる。

精度: ユーザの意図した操作ができる。

3.2 システム構成

提案システムはシワ生成機構とタッチ検出機構からなり、布にシワを生成し、そのシワをタッチすることで操作を行う。システムの操作法を図 1 に示す。

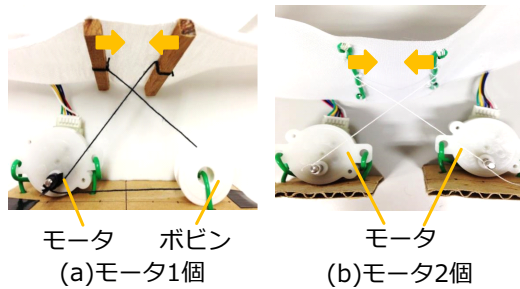


図 2. ステッピングモータを用いたシワ生成手法

シワは入力が必要とされた際に生成され、ユーザは入力したい選択肢に対応したシワをタッチすることでシステムを操作する。衣服上で入力ができるため入力デバイスを把持する必要はなく、並列性を満たし、シワに触れた際の触覚を利用することでデバイスを見ずに操作できるため、視認不要性を満たす。また衣服上のシワであるため目立たず、操作時以外は衣服の見た目に変化がないため、装着性と社会性を満たす。

3.3 シワ生成機構

布にシワを生成する手法として、ステッピングモータ、モーターフェーダ、人工筋肉を用いた 3 種類の手法を検討する。

ステッピングモータを用いた手法

布に糸を縫い付け、その糸をステッピングモータで巻き取ってシワを生成する。ステッピングモータを用いたシワ生成手法の構成図を図 2 に示す。1 個のモータで生成する手法 (図 2(a)) と 2 個のモータで生成する手法 (図 2(b)) を検討する。

モータ 1 個: シワ生成部分の両端に糸を付け、一方を直接モータで巻き取り、もう一方の糸は滑車 (ボビン) を経由して同じモータで巻き取る。

モータ 2 個: シワ生成部分の両端に糸を付け、それぞれを別々のモータで巻き取ることでシワを生成する。

ステッピングモータを用いた手法は 1 本のシワの生成に 1 個または 2 個のモータを使用するため、複数本のシワを生成する場合にシワの数と同じまたは 2 倍のモータが必要になり、またシワを伸ばすために別のアクチュエータが必要になるため、デバイス全体が大きくなってしまい、さらに、糸を巻き取ることでシワを生成するので、シワが完成するまでに時間がかかる。

モーターフェーダを用いた手法

モーターフェーダは DC モータとフェーダで構成される。図 3 に示すようにフェーダに布を付け、DC モータを制御してフェーダを動かすことで、布を動かしシワを生成する。

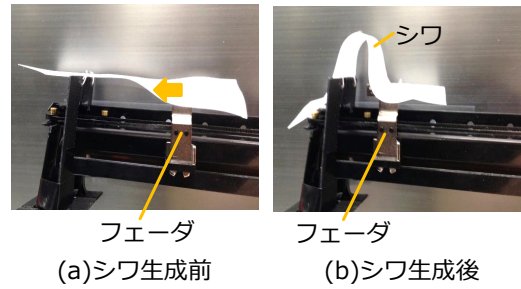


図 3. モーターフェーダを用いたシワ生成手法

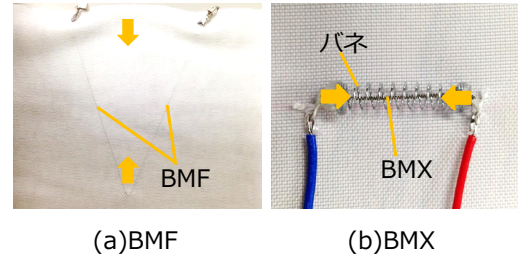


図 4. 人工筋肉を用いたシワ生成手法

モーターフェーダを用いた手法はモーターフェーダの移動距離が大きく速く動作できるので、大きなシワを速く安定して生成でき、またシワを消すこともできる。しかし、モーターフェーダ自体が大きく、デバイス全体が大きくなってしまう。

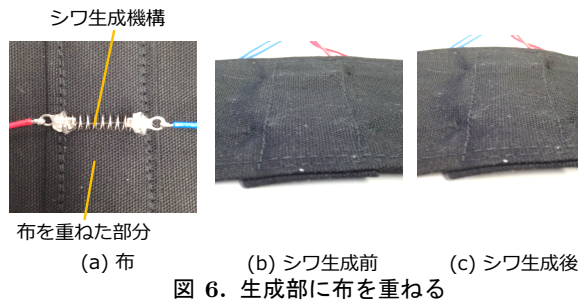
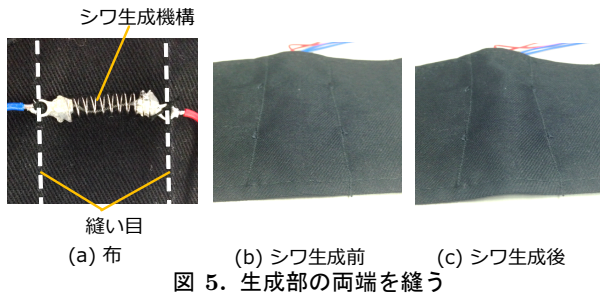
人工筋肉を用いた手法

電流を流すことで収縮する人工筋肉を布に付け、人工筋肉の伸縮を利用し、シワを生成する。人工筋肉を用いたシワ生成手法を図 4 に示す。人工筋肉はトキ・コーポレーション社のバイオメタルファイバー (BMF: Bio Metal Fiber) とバイオメタルヘリックス (BMX: Bio Metal heliX) を使用し、BMF を用いた手法 (図 4(a)) と BMX を用いた手法 (図 4(b)) を検討する。

BMF を用いた手法: BMF は伸縮する繊維状の人工筋肉である。電流を流すと収縮し、電流を止めると元の長さに伸張する。BMF は低電圧で駆動でき、動作に振動や音も出ず動作速度も速いが、伸縮率が全長の 4 % と小さい。そのため BMF を用いた手法で生成されるシワは小さく、触覚フィードバックがあまり得られない。

BMX を用いた手法: BMX は BMF をコイル状にした人工筋肉である。BMX は伸縮率が伸張時の長さの 50 % と大きいので、大きなシワが生成できる。BMX は電流を流すと収縮するが、電流を止めても元の長さには伸張しないため、BMX の両端にバネを付け、バネの力を利用し BMX を元の長さに伸張させることでシワを消すこととする。

本研究では、触覚を得られるシワを安定して生成でき、さらにシワ生成機構の大きさが小さいため、BMX を用いた手法を用いてシワ生成機構を実



装する。

縫製の検討

BMX を用いる際に、ユーザが触れてわかりやすいシワが生成される縫製について調査する。生成部の両端を縫う手法 (図 5)、生成部に布を重ねる手法 (図 6)、生成部の両端に布を重ねる手法 (図 7) の 3 通りから検討する。

生成部の両端を縫う: 生成部の両端を縫った布に生成したシワは、何もしていない布に生成したシワと大きさがあまり変わらなかった。

生成部に布を重ねる: 生成部に布を重ねた布は、布を重ねた部分が固く、シワが生成されにくい。

生成部の両端に布を重ねる: 生成部の両端に布を重ねた布は、生成部の両端がしっかりしているのでシワが生成されやすく、できたシワがわかりやすい。

本研究では上記の結果から、生成部の両端に布を重ねた布を採用する。

3.4 タッチ検出機構

タッチを検出するシステムは導電性糸と静電容量センサから構成される。指が導電性糸に触れた際に誘起される糸の静電容量を静電容量センサによって測定し、タッチしているかを認識する。導電性糸は生成されたシワの頂点部に、他の布面の縫い目と区別ができるように螺旋状に縫っている。

シワの選択とタッチとを区別するために、タッチの認識手法をシワに触れている時間で認識する長押し法と一度すべてのシワに触れ、その後タッチしたいシワのみに触れる認識する絞り込み法の 2 種類を提案する。2 種類のタッチ認識手法を図 8 に示す。長押し法 (図 8(a)) は生成されているシワの導電性糸

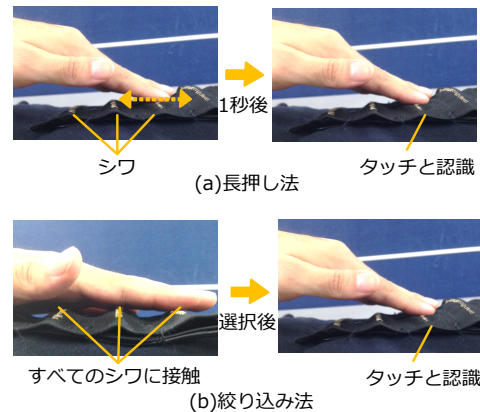
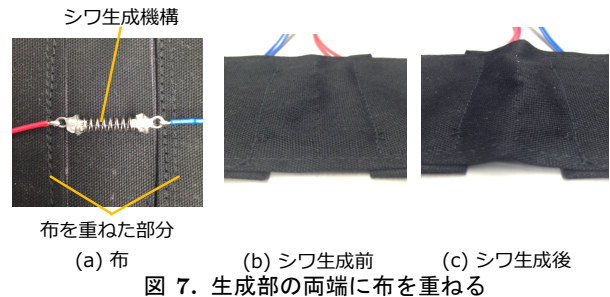


図 8. タッチ認識手法

に約 1 秒触れているとタッチと認識する。絞り込み法 (図 8(b)) は、生成されたシワをすべて手の平で覆いシワを選択し、その後タッチするシワの導電性糸に触れるとタッチとして認識する。

4 実装

システム設計に基づいて、生成部の両端に布を重ねた布に BMX を用いたシワ生成機構とタッチ検出機構を埋め込んだデバイスのプロトタイプを実装した。布の大きさは縦 10cm 横 22cm。布には最大 5 本までシワを生成できるように 5 つのシワ生成機構を並行に実装した。手の平で 5 本のシワを覆うことができるようにシワ生成部の幅は 2.5cm、シワ生成部の間隔は 1.2cm とし、1 本のシワを 2 個の BMX を用いて生成する。シワの山の頂点に沿って導電性糸を縫いつけ、その導電性糸に静電容量センサとして MPR121 搭載静電容量タッチセンサコントローラを接続し、タッチ検出機構を実装した。

プロトタイプデバイスを布の四隅と上中央と両側の 5 点をパンツに縫い付け、右太ももに装着した様子を図 9 に示す。生成するシワを下から順に 1 番から 5 番のシワとする。シワ生成とタッチ認識を行う回路はパンツの右側面に装着し、Arduino と PC を接続する。

4.1 利用例

本入力インタフェースを組み込んだシステム構成としては、ヘッドマウントディスプレイ (HMD:



プロトタイプデバイス

図 9. デバイスの装着図

Head Mounted Display) など他の情報提示デバイスを併用する場合と提案インタフェースのみを使って入出力を行う場合が考えられる。前者の場合、情報提示デバイスに選択肢を表示し、シワへのタッチ操作で選択肢を選び操作する。シワをタッチしたフィードバックも情報提示デバイスに表示することで視覚のフィードバックも利用する。後者の場合、アプリケーションごとに各シワに操作を割り当てておき、操作が割り当てられたシワを生成し、シワを触ることのみで選択肢を認識し、タッチすることで操作する。生成していたシワが消失することで操作の完了がわかる。また、アプリケーションごとにシワの生成パターンを変えておくことで、シワを触ることで起動しているアプリケーションもわかる。

例として、電話に応答するアプリケーションでは、HMD がない場合は着信時に応答と拒否の機能に対応したシワが2本生成され、ユーザは携帯電話を取り出すことなくシワにタッチして機能を選択する。入力が終了するとシワは消失する。電話をかける場合は、電話番号をシワへのタッチパターンとして登録しておくことで、数件の連絡先にメッセージを送るといった機能が実現できる。HMD がある場合、HMD に連絡先を表示し、2本のシワを上下に連続してタッチすることでスクロール操作を行い、電話をかける相手を選択し、2本のシワを同時にタッチすることで通話相手を決定し、電話をかけるといった複雑な機能も実現できる。

音楽プレイヤーを操作する例では、アプリケーション起動時にシワが4本生成され、再生、停止、音量を上げる、音量を下げる機能がそれぞれのシワに対応する。4本のシワの片側2本を同時にタッチすると次の曲へ進み、もう一方の2本を同時にタッチすると前の曲へ戻る操作を行う。

アプリケーションを起動するための選択にも提案システムを利用する。まずシワが未生成状態のデバイスの導電性糸を手のひらですべてタッチすると、5本シワが生成され、使いたいアプリケーションに対

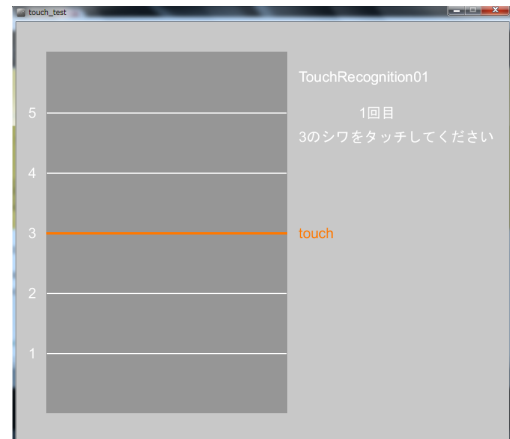


図 10. フィードバックがある場合の画面

表 1. シワへのタッチの正答率.

認識正答率 [%]					
被験者	A	B	C	D	E
フィードバックあり					
長押し法	98.3	98.3	96.6	100	100
絞り込み法	100	96.7	98.3	100	96.7
フィードバックなし					
長押し法	65.0	76.7	76.6	91.6	68.8
絞り込み法	60.0	98.3	95.0	83.3	-

応するシワをタッチすると、シワが一度消失し、アプリケーションが起動される。その後それぞれの操作に対応した本数のシワが生成されアプリケーションの操作が可能である。また、シワを5本生成できるようにすることで、シワへのタッチの組合せは31通りあり、アルファベット入力が可能である。衣服の外部以外にも、ポケットの中などにシワを生成すると周囲の人に気付かれずにコンピュータを操作できる。

5 評価

5.1 実験の内容

実装したプロトタイプデバイスを用いて、指の感触のみでシワをタッチできるか評価した。デバイスに5本のシワが生成された状態で、被験者にシワを見ずにパソコンの画面のみを見ながらシワをタッチさせる。パソコンの画面上にタッチするシワとタッチ認識手法の指示を出す。タッチするシワについては、各シワ4回ずつ計20回になるようにランダムに指示を出す。タッチ認識手法は20回ごとに、長押し法と絞り込み法を交互に3回ずつ行う。被験者は右利きの男性名で、被験者はプロトタイプデバイスを装着したパンツを着用し、椅子に座った状態で実験を行う。パソコンの画面にタッチのフィードバックがある場合 (図 10) とない場合で実験を行った。

5.2 評価結果および考察

表1にシワへのタッチの正答率を示す。パソコンの画面にフィードバックがある場合では、長押し法も絞り込み法も平均して約98%のタッチ正答率でどちらも高く、デバイスの操作面を見ずに任意のシワへのタッチを行えた。タッチを誤った場面のほとんどがどのシワもタッチされていない状態であった。誤ったシワへのタッチは少なく、指示したシワと隣り合うシワをタッチしていたものであった。フィードバックがない場合では、長押し法は平均約75%、絞り込み法は約84%のタッチ正答率であった。フィードバックがない場合では、フィードバックがある場合に比べて誤ったシワへのタッチとすべてのシワがタッチされていない状態がどちらも多く、誤ったシワへのタッチはデバイス上部の手の平が触れる部分のシワへのタッチが多かった。これは手の平が触れてしまっている状態でタッチをしたためと考えられる。長押し法より絞り込み法の方が正答率が高いのは、絞り込み法では一度すべてのシワの位置を確認するので、誤ったシワへのタッチが起こりにくいと考えられる。また、フィードバックなしの場合の正答率が高い被験者には特徴的なタッチが見られた。被験者Bの絞り込み法ではシワをすべて触れるときに、手の平をすばやく何回も動かしシワに触れ、その後シワをタッチしていた。被験者Cは指で導電性糸の縫い目を確認することで生成されているシワを確認し、さらに4番と5番のシワを親指でタッチしていた。被験者Dは5番のシワを指を上げて手の平の付け根部分でタッチしていた。これらの工夫は有用であると考えられる。被験者Eのフィードバックなしの場合の実験において、システムトラブルにより1本のシワが常にタッチされていると認識されてしまっていたため、長押し法ではその他4本のシワへのタッチを評価した。絞り込み法は1本のシワへのタッチしか認識できないため、実験が行えなかった。この原因は、導電性糸と静電容量センサをつなげるコネクタの放電が不十分だったと考えられる。

6 まとめ

本研究では、衣服上のシワ生成とタッチ検出を用いた入力インタフェースを構築した。提案システムは衣服上に生成されるシワによって、コンピュータやスマートフォンなどの操作を行う。シワに触れた際の触覚によって人ごみなどの注視が困難な状況でもコンピュータを操作したり、スマートフォンをポケットから取り出さずに操作したりできる。本研究では、シワ生成機構と縫製を検討し、BMXを用いたシワ生成機構と生成部の両端に布を重ねる縫製とタッチ検出機構を用いてプロトタイプデバイスを実装した。プロトタイプデバイスの評価実験からデバイスも画面を見ずにシワをタッチできることがわかった。

今後の課題として、プロトタイプを用いて並列性、装着感の評価を行う。デバイスをアタッチメント化し、様々な衣服の様々な位置に装着できるようにし、装着位置によるタッチ精度の評価を行う。また、提案システムを用いたアプリケーションを検討し、実装する。シワが生成されたことのユーザへの通知手法についても検討を行う。例えば、人工筋肉が収縮すると発熱することを利用し、熱を用いた通知を行うといった手法が考えられる。

参考文献

- [1] 片山拓也, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: 片手用キーボードによる打鍵間隔を活用した文字入力手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1667–1676 (Apr. 2013).
- [2] 堀江達矢, 所 洋平, 片山拓也, 寺田 努, 塚本昌彦: Xangle: ウェアラブルコンピューティングのための加速度センサを用いたポインティング手法, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 4, pp. 443–456 (Nov. 2013).
- [3] E. Foxin and M. Harrington: WearTrack: A Self-Referenced Head and Tracker for Wearable Computers and Portable VR, *Proc. of the 4th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2000)*, pp. 155–162 (Oct. 2000).
- [4] 峰 健三, 大淵竜太郎: 携帯情報機器のための入力デバイス DigiTrack, 日本ソフトウェア科学会第9回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2008) 論文集, pp. 125–130 (Nov. 2001).
- [5] R. Lissermann, J. Huber, A. Hadjakos, and M. Mühlhäuser: EarPut: augmenting behind-the-ear devices for ear-based interaction, *Proc. of the 31st ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2013)*, pp. 1323–1328 (Apr. 2013).
- [6] N. Komor, S. Gilliland, J. Clawson, M. Bhardwaj, M. Carg, C. Zeagler, and T. Starner: Is It Gropable? Assessing the Impact of Mobility on Textile Interfaces, *Proc. of the 13th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2009)*, pp. 71–74 (Jan. 2009).
- [7] S. Gilliland, N. Komor, T. Starner, and C. Zeagler: The Textile Interfaces Swatchbook: Creating Graphical User Interface-like Widgets with Conductive Embroidery, *Proc. of the 14th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2010)*, pp. 1–8 (Oct. 2010).
- [8] T. Karrer, M. Wittenhagen, L. Lichtschlag, F. Heller, and J. Borchers: Pinstripe: Eyes-free Continuous Input on Interactive Clothing, *Proc. of the 29th ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011)*, pp. 1313–1322 (May 2011).