

# 衣服のシワを用いた入力インタフェースの性能評価

上田 健太郎<sup>1,a)</sup> 寺田 努<sup>1,2,b)</sup> 塚本 昌彦<sup>1,c)</sup>

**概要:** 本研究では、シワを用いた入力インタフェースの性能評価を行う。評価のためにタッチ入力とピンチ入力を検出するデバイスを実装し、タッチ入力方法を長押し法、絞込み法、ダブルタッチの3種類、ピンチ入力方法を1種類実装した。実装した入力インタフェースを用いて習熟度、シワの影響、姿勢と装着位置の影響を評価する実験を行い、入力精度と入力時間の習熟度、シワの影響、姿勢と装着位置の影響を確認した。習熟については、入力精度は全入力方法で習熟により精度が向上し、ピンチ入力が習熟後の入力精度が最も高くなった。入力時間は、絞込み法で習熟により減少したが、他の3手法はあまり変化しなかった。入力精度は、絞込み法とピンチ入力においてシワがあるデバイスを用いた入力操作の方が入力精度が高くなり、入力時間も速くなった。長押し法とダブルタッチは入力精度はあまり変わらないが、シワがある方が入力速度が速くなった。しかし、分散分析の結果は全入力方法においてシワの有無と入力精度と入力時間に有意差は見られなかった。姿勢と装着位置の影響については、ダブルタッチは大腿側面が着座、起立の姿勢で他の装着位置より入力精度の分散が大きくなったが、他の入力方法は2種類の姿勢、8ヶ所の装着位置で入力精度の違いは見られなかった。入力時間については、長押し法は2種類の姿勢、8ヶ所の装着位置で入力時間の違いは見られなかったが、他の入力方法は姿勢によって入力時間が変化する装着位置があった。

UEDA KENTARO<sup>1,a)</sup> TERADA TSUTOMU<sup>1,2,b)</sup> TSUKAMOTO MASAHIKO<sup>1,c)</sup>

## 1. はじめに

コンピュータの小型化、軽量化に伴い、コンピュータをユーザが常に身に付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ようになった。様々な場所や状況でコンピュータを利用するためには、デスクトップ環境とは異なる仕様が必要になる。そのため、コンピュータを操作するための入力インタフェースもそれらに対応した仕様求められる。このウェアラブルコンピューティングの発展に伴い、新たなインタラクションを用いた入力方法が提案されている。特に、センサの小型化、導電性の糸や布、LilyPad[1]の登場により、布と電子工作を組み合わせやす

くなり、布にセンサなどを統合したテキスタイルインタフェース [2], [3], [4], [5], [6] が研究されている。テキスタイルインタフェースは布を折る、揉む、なでるなどの今までのインタフェースにはなかった布特有のインタラクションを入力操作に利用できる。これまで提案されてきたテキスタイルインタフェースでは、主に導電糸の刺繍などに触れて入力するタッチ入力と導電糸を縫った布をつまんで入力するピンチ入力が入力方法として利用されている。私たちはシワを用いた入力インタフェース [7] を提案している。このインタフェースはアプリケーションや選択肢の内容に対応したパターンや本数のシワが生成され、ユーザはその生成された複数のシワから1本を選び、タッチすることで入力を行う。入力を要求しているアプリケーションごとに異なるシワの生成パターン、選択肢の数に対応した本数のシワを生成することで、ユーザはシワに触れた際の手や指の感触から入力を求めているアプリケーションとその入力の選択肢の数がわかり、正しい選択肢を出力画面を見ることなく選ぶことができる。これまで提案されたテキスタイルインタフェースとは異なり、シワが生成された布にタッチ入力を行う。

<sup>1</sup> 神戸大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Kobe University

<sup>2</sup> 科学技術振興機構さきかけ  
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

a) ueda\_kentaro@stu.kobe-u.ac.jp

b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tuka@kobe-u.ac.jp

このような、ウェアラブルコンピューティング環境における入力インタフェースは、ユーザが身に着けて操作するため、装着位置やユーザの姿勢などの様々な要因がその操作に影響する。そのため、様々な評価研究 [5], [8], [9] がある。しかし、これらの研究はタッチ入力かピンチ入力のみをそれぞれ評価した研究であり、タッチ入力とピンチ入力を同じ入力インタフェースを用いて評価した研究はない。また、布の形状的特性であるシワを用いた入力方法を評価した研究はない。

そこで、本研究ではシワを用いた入力インタフェースにピンチ入力を加え、シワを用いた入力方法の性能を評価する。シワの形状はつまみやすく、また、シワをつまむ行為は不自然な行為ではないので、シワを用いたインタフェースの入力方法として適する。シワを用いた入力インタフェースを用いた入力は、複数の選択肢からひとつを選ぶ操作を想定しており、タッチ入力は3手法、ピンチ入力は1手法を提案する。そして、この4種類の入力方法の習熟度、シワの影響、姿勢と装着位置の影響を評価する。

## 2. 関連研究

### 2.1 テキスタイルインタフェース

ウェアラブルコンピューティング環境における入力インタフェースとして、テキスタイルインタフェースが研究されている。布に縫い付けて利用するマイコンである LilyPad[1] によって、衣服と電子工作を組み合わせることが容易になった。テキスタイルインタフェースは衣服に統合されているので、デバイスを逐一持ち運んだり、把持したりする必要がない。また、布によって機構を隠すことができるため、衣服の見た目を奇異にせず、ユーザは日常生活での仕様に抵抗がない。さらに、刺繍や布表面を触った際の触角により入力デバイスを直接見ずに操作でき、布の柔軟さを利用し、布を折る、揉む、なでるなどの布特有のインタラクションを利用した特徴的な操作もできる。テキスタイルインタフェースを用いた入力方法には、主に導電糸の刺繍や導電布に触れて入力するタッチ入力と、導電糸を縫い付けた布をつまんで入力するピンチ入力を利用されている。Komor らの研究 [2] では、導電糸の刺繍と静電容量測定回路を用いて、入力ボタンとして利用するテキスタイルインタフェースを実装した。Holleis ら [3] は、静電容量センサを装着した携帯ケース、ヘルメット、手袋、エプロンなどのいくつかのインタフェースを実装した。Gilliland ら [4] は、指と導電糸の刺繍間の抵抗と静電容量を測定する回路を用いて、3つのデバイスとそれぞれ専用の GUI を実装した。3つのデバイスの中には、タッチ入力だけでなく、布をなでる指の軌跡を認識するものもある。Pinstripe[5] は、導電糸を平行に縫いつけた布を用いたインタフェースである。導電糸の接触からピンチを認識し、ユーザはこの布をつまみ、指で転がすことで連続値の入力

ができる。Grabrics[6] は、六角形の導電糸の刺繍が複数施された布を用いたインタフェースである。ユーザが布をつまむことで、刺繍が接触し、接触した刺繍の組合せからユーザのつまんだ角度を認識する。これらのインタフェースは、ユーザが入力インタフェースから入力を要求しているアプリケーションや選択肢の数などの入力に関する情報を得ることができない。本研究で評価するシワを用いた入力インタフェース [7] は、アプリケーションが入力を要求した際に、布にその入力操作に応じたシワを生成し、そのシワを用いてユーザは入力操作を行う。入力操作完了後、シワは消失する。このシワの生成から消失までの流れによって、ユーザは入力インタフェースから入力に関する情報を得ることができる。

### 2.2 入力インタフェースの評価

ウェアラブルコンピューティング環境における入力インタフェースには様々な評価研究がある。Thomas ら [8] は、タッチパッドの装着位置の影響を調査している。この研究では、ウェアラブルコンピューティングの利用として、機器のメンテナンスなどを想定し、着座、膝立ち、起立、伏臥の4つの姿勢と前腕、上腕(ポインティング方向が腕に対して水平、垂直の2種類)、胸部(ポインティング方向が胸に対して水平、垂直の2種類)、大腿前面、大腿側面の7種類の装着位置の影響を試行終了までの時間とエラー率から評価している。結果によると、姿勢の影響は着座、膝立ち、起立は時間への影響が似ており、伏臥はパフォーマンスを低下させた。装着位置は大腿前面が最もパフォーマンスが高くなった。姿勢と装着位置の組み合わせると、着座、膝立ち、起立には大腿前面、伏臥には前腕が適した。Wagner ら [9] は、マルチサーフェイスインタラクションをユーザの身体を中心に分類し、ガイドラインを作成した。この研究の中で、身体上のターゲットへのタッチを評価している。非利き手で身体上18ヶ所に配置したターゲットをそれぞれ5回ずつタッチする試行を行った。この結果、膝下のターゲットへはタッチ動作が遅くなり、タッチするまでの時間は、胴上では1400 ms以下、利き手と膝下では1600 ms以上となった。スタートの姿勢からターゲットをタッチするまでの時間は、利き手側の膝上のみ影響があり、特に、利き手側の大腿上は肩、胴よりも時間がかかった。精度は最初のタッチで92.4%であり、利き手上は他の位置よりもエラーが多い傾向となった。また、社会性も検討されており、膝下より膝上が好まれ、胴は利き腕より好まれた。Pinstripe[5] では、着座、起立、歩行の3つの姿勢と16ヶ所の装着位置での被験者の好み、つまむ角度と領域を調査した。調査の結果、不快な位置は膝下、大腿、腰が挙げられ、身体を曲げるのが不便、腹部を人前で触りたくないといった理由であった。姿勢による好みと角度は様々であり、前腕は歩行より着座、起立時の方がつまむ角度の

偏差が小さくなった。最も好まれた位置は、非利き手の上腕であった。このように、ウェアラブルコンピューティング環境における入力インタフェースは、ユーザが身につけて操作するため、装着位置、ユーザの姿勢、社会性など従来のインタフェースとは異なる様々な要因があり、それらを評価している研究がある。しかし、これらの研究はタッチ入力かピンチ入力のみをそれぞれ評価した研究であり、タッチ入力とピンチ入力を同じ入力インタフェースを用いて評価した研究はない。また、布の形状的特性であるシワを用いた入力方法を評価した研究はない。本研究では、シワを利用した入力方法を評価することによって、衣服の形状的特性を入力に利用する利点とタッチ入力とピンチ入力の違いを明らかにすることが目的である。

### 3. 入力インタフェース

本研究で評価に仕様する入力インタフェースは、シワを用いたタッチ入力とピンチ入力を入力方法とする。

#### 3.1 タッチ入力

タッチ検出は導電糸と静電容量センサを用いて行う。指が導電糸に触れた際に誘起される糸の静電容量の変化を静電容量センサコントローラによって測定し、指が糸に触れているかを検出する。

シワの選択とタッチ入力の際にシワを触るため、シワの選択とタッチ入力を区別する必要がある。そこで、複数のシワから1本のシワを選択する際の選び方を2つ想定した。1つは、シワを1本ずつ触れて位置を確認し、その後触れたいシワを選択するという選び方である。一方は、すべてのシワを同時に触れて位置を確認し、その後触れたいシワを選択するという選び方である。この2つの選び方を入力に利用したタッチ入力方法を3つ実装した。1つ目の入力方法は、長押し法という方法である。この入力方法は前者の選び方を利用し、シワの選択と入力を導電糸に触れている時間で区別し、選択したいシワの導電糸に約1秒触れているとタッチ入力と認識する。2つ目は、絞込み法という方法である。これは後者の選び方を利用し、シワの選択と入力をフェーズで区別し、すべてのシワに触れ、その後約1秒以内に選択したいシワの導電糸に触れるとタッチ入力と認識する。3つ目は、ダブルタッチという方法である。これは長押し法と同様に前者の選び方を利用し、シワの選択と入力を糸に触れた回数で区別し、選択したシワの導電糸に約0.2秒以内に2回触れるとタッチ入力と認識する。

#### 3.2 ピンチ入力

ピンチ検出は導電糸とマイコンで構成される。2本の導電糸のうち、一方に電圧を加え、もう一方を接地する。布をつまんだ際に2本の導電糸が接触し、電圧を加えている導電糸の電圧を測定することで布をつまんでいるかを認識

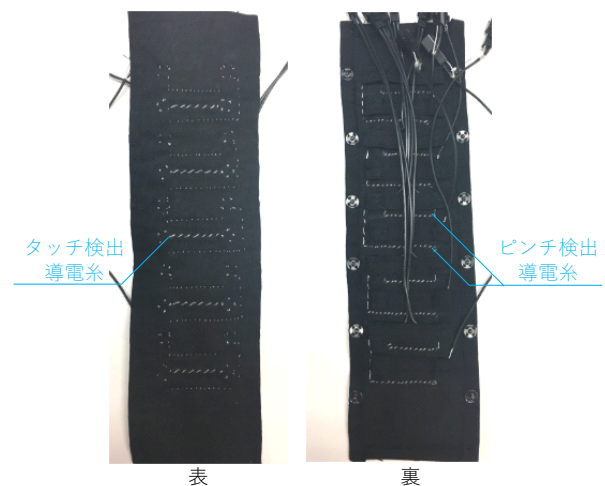


図1 入力デバイス

する。

ピンチ入力はシワの選択時はシワを触り、入力時はシワをつまむので、選択と入力の区別が不要である。ピンチ入力はシワをつまみ、シワの側面に縫われた導電糸同士が約0.5秒以上接触するとピンチ入力と認識する。

#### 3.3 入力デバイス

本研究で評価に使用する入力デバイスを図1に示す。縦27 cm、横7.5 cmの布に導電糸を縫込み実装した。本研究では、あらかじめシワをつけた布を用いて、入力を評価するので、シワを生成する機構は装着しない。シワになる部分の幅は3 cm、その中央にタッチ検出用の導電糸を縫いつけ、タッチ検出用の糸から上下1 cm離してピンチ検出用の糸を縫いつけた。シワの間隔は1 cmとし、布には合計5本のシワをつけた。両端のシワは布の両端から4 cm離れた。タッチ検出用の糸は、静電容量センサコントローラと接続し、ピンチ検出用の糸はマイコンと接続した。タッチ検出用の糸と静電容量センサコントローラの接続には、タッチの誤検出を防ぐためにシールド線を用いた。導電糸と導線の接続には、金属製のスナップボタンを使用し、取り外し可能となっている。静電容量センサコントローラの制御は、ピンチ検出に使用しているマイコンで行う。静電容量センサコントローラにはMPR121搭載静電容量センサコントローラを用い、マイコンにはArduino nanoを用いた。また、マイコンとPCはXbeeを用いて無線接続されており、マイコンから送られたセンサ情報によって、PCでタッチとピンチの認識を行う。

装着位置を変更できるように、インタフェースの装着用の布製のアタッチメントと回路ポケットを実装した。衣服とアタッチメント、アタッチメントとインタフェースとの装着にもスナップボタンを利用し、容易に装着位置を変更できる。



図2 入力デバイスを装着したパンツ

## 4. 評価実験

実装した入力インターフェースを用いて評価実験を行った。

### 4.1 習熟度

習熟の影響を確認するために、入力精度と1入力当たりの時間の習熟度を評価する実験を行った。被験者は入力デバイスを右大腿前面に装着したパンツ(図2)を着用し、椅子に座り、PC画面上に出される指示に従いシワを入力した。PC画面上にはシワに触れた際のフィードバックは出さず、習熟のためにシワをタッチした際にそのシワが指示したシワであったときとそうでないときに異なる音声を出した。長押し法、絞込み法、ダブルタッチ、ピンチ入力の4種類の入力方法ごとに5本の各シワに12回ずつ60回入力する試行を1日5試行行い、6日間で30回の試行を行った。被験者は右利きの男性6名である。1試行中の入力手法の順番はランダムである。

実験結果を図3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10に示す。図3, 4, 5, 6は30回の試行での入力精度の推移を表している。入力精度は1試行中での指示したシワを入力できた回数から求めた。被験者Aの絞込み法の26, 27回目の試行については、タッチを誤認識してしまったためはずれ値とした。図より、30回の試行を重ねるにつれて入力精度は向上し、5試行ごとの入力精度の分散も小さくなっていくことが確認できた。全被験者の最後の5回の試行の平均精度は、長押し法は97.4%、絞込み法は97.1%(Aの26, 27回目の試行は除く)、ダブルタッチは95.7%、ピンチ入力は98.5%であった。このことから、シワを用いた入力インターフェースの入力方法では、ピンチ入力が習熟後の入力精度が最も高くなることが確認できた。これはシワの選択動作と入力動作が異なるため誤入力が起こりにくいことが要因と考えら

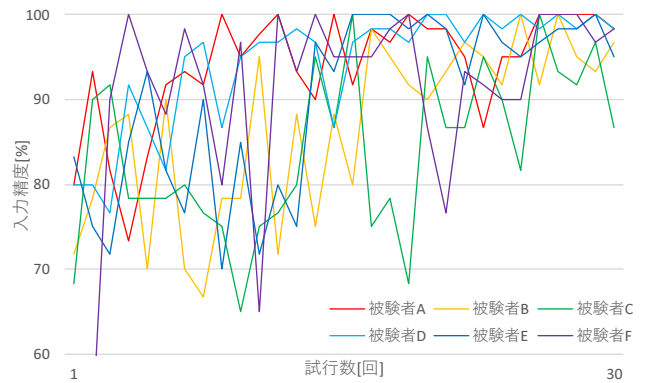


図3 長押し法の入力精度の推移

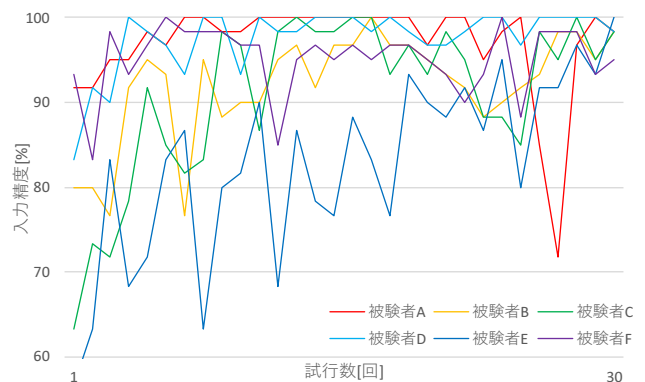


図4 絞込み法の入力精度の推移

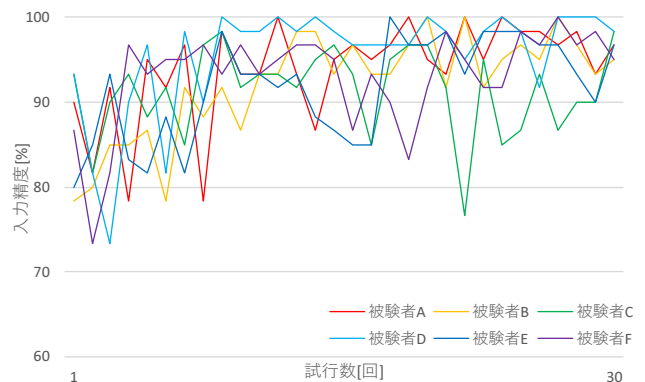


図5 ダブルタッチの入力精度の推移

れる。

図7, 8, 9, 10は4種類の入力方法の30回の試行での1試行の1入力当たりの平均時間の推移を表している。入力時間はPC画面に指示が出てから入力するまでの時間である。図より、絞込み法は、試行を重ねるにつれ、被験者の入力時間が減少しているが、他の3手法は、時間があまり変化しないことが確認できた。全被験者の最後の5回の試行の平均時間は、長押し法は2.41秒、絞込み法は1.98秒、ダブルタッチは1.99秒、ピンチ入力は2.61秒であった。このことから、シワを用いた入力インターフェースの入力方法では、絞込み法が習熟後の入力速度が最も速くなることを確認できた。長押し法は、時間の制約があるため、



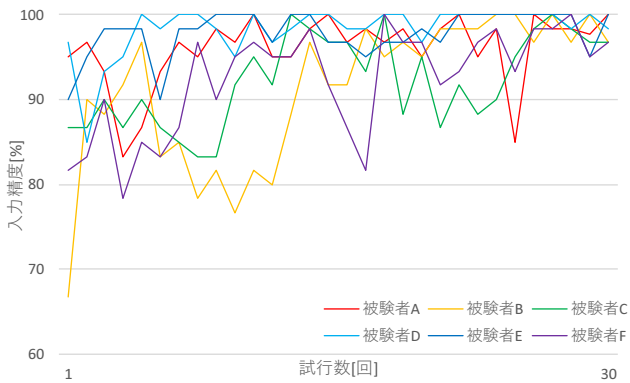


図 6 ピンチ入力の入力精度の推移

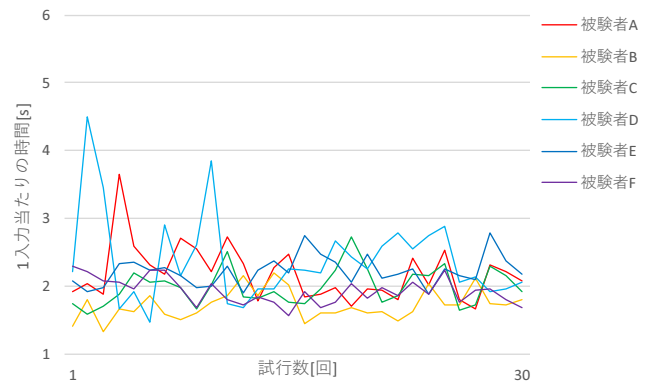


図 9 ダブルタッチの1入力当たりの時間の推移

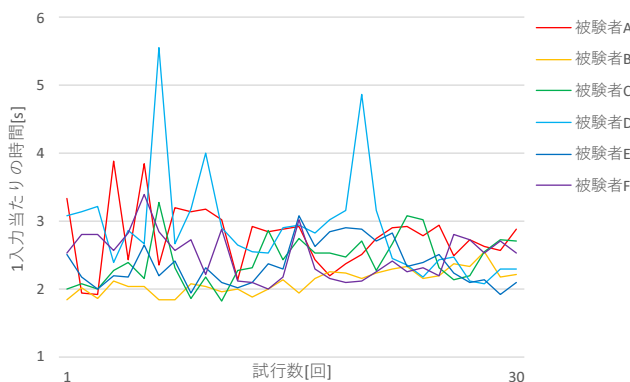


図 7 長押し法の1入力当たりの時間の推移

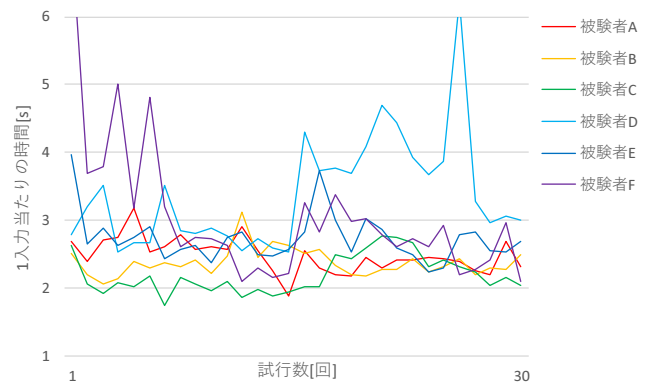


図 10 ピンチ入力の1入力当たりの時間の推移

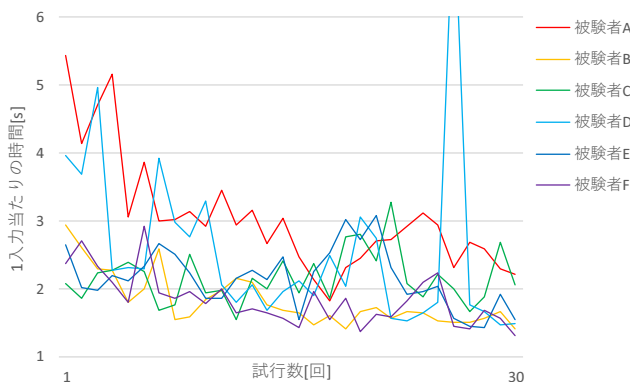


図 8 絞込み法の1入力当たりの時間の推移



シワがある入力デバイス      シワがない入力デバイス

図 11 シワがない入力デバイス

入力を認識するために少なくとも1秒以上かかる。絞込み法とダブルタッチは、動作を習熟すると素早く入力操作を行える。シワの形状がつまみやすい形状なので、ピンチ入力の入力時間が早くなると考えていたが、最も入力速度が遅くなった。これは選択動作と入力動作が異なり、シワに触れ、つまむという動作の切り替えがあるためだと考えられる。入力デバイスはタッチの誤検出を防ぎ、タッチ検出用の導電糸と導線が取れないようにタッチ検出用の糸を覆うように、布の裏側に短冊状の布を縫い付けてある。そのため、ピンチ検出用の導電糸の幅に制限があり、ピンチ検出用の糸同士を接触させるのに、つまむ動作に力が必要である。これらのことも原因と考えられる。

#### 4.2 シワの影響

シワの影響を確認するために、アイロンをあてシワをなくしたデバイスを用いて、入力精度と1入力当たりの時間を評価する実験を行った。この実験に使用した入力デバイスを図11に示す。被験者はシワをなくした入力デバイスを用いて、4.1の実験と同じ状態で同様の試行を3回行った。被験者は4.1の実験を終えた5名である。

本実験結果と同じ被験者の4.1の最後の3試行の結果とを比較した。比較の結果、入力精度については、絞込み法とピンチ入力はシワがあるデバイスを用いた入力操作は、シワがないデバイスを用いた場合に比べ、全被験者の平均入力精度が約2%高かった。長押し法とダブルタッチにつ



図 12 装着位置

いては、違いは見られなかった。このことから、シワの存在は絞り込み法とピンチ入力の入力精度に高かめる影響があり、長押し法とダブルタッチの入力精度を高める影響はあまりない考えられる。これはタッチ検出用の導電糸が布表面に出ているため、その触覚が選択肢を1本ずつ選択する動作には重要だと考えられる。

入力時間については、全入力方法でシワがあるデバイスを用いた入力操作は、シワがないデバイスを用いた場合に比べ、全被験者の平均入力時間が速くなった。最も変化のあった入力方法は、ピンチ入力であり、約1秒速くなった。このことから、シワの存在は入力速度に速める影響があると考えられる。これはシワの存在が触覚の情報量を増やしているためと考えられる。

また、本実験結果と同じ被験者の4.1の最後の3試行の結果とを用いて分散分析を行った。分散分析の結果、全入力方法においてシワの有無と入力精度と入力時間に有意差は見られなかった。

#### 4.3 装着位置と姿勢の影響

装着位置とユーザの姿勢の影響を調査するために、装着位置と姿勢を変え、入力精度と1入力当たりの時間を評価する実験を行った。Wagnerらの研究[9]によると、身体上にタッチする際は姿勢やバランスを変えないほうが良いので、装着位置は膝上の部位で起立時にも着席時にも姿勢を変えずに触れることができる部位とした。入力インタ

フェースの操作は利き手での操作を想定し、利き手で触れることができない、または触れるのが困難な部位と人前で触れたくない部位を除いた。よって、装着位置として、肩、上腕、前腕、脇腹、腹部、大腿の前面と側面の7ヶ所を選んだ。肩、上腕、前腕は非利き手側、脇腹と大腿は利き手側とした。7ヶ所の装着位置に入力デバイスを装着した服を図12に示す。姿勢は着席状態と起立状態の2状態とした。被験者はそれぞれの装着位置に入力デバイスを装着し、4.1と同様に、PC上に出される指示に従い入力する試行を3回行った。装着位置の順はランダムで行い、姿勢は着席状態で全装着位置で実験を行い、その後起立状態で全装着位置で実験を行った。被験者は右利きの男性1名である。

実験の結果、入力精度については、着席状態で3試行の平均入力精度が最も高い装着位置は、長押し法は大腿前面、絞り込み法は大腿側面、ダブルタッチは上腕と腹部、ピンチ入力は上腕、腹部、大腿前面であった。起立状態では、長押し法は腹部、絞り込み法は肩、ダブルタッチは脇腹、ピンチ入力は肩であった。着席、起立の2状態での平均入力精度が最も高い装着位置は、長押し法は大腿前面、絞り込み法は大腿側面、ダブルタッチは腹部、ピンチ入力は大腿前面であった。入力精度については、ダブルタッチのみ大腿側面が、どちらの姿勢でも他の装着位置より分散が大きかった。他の入力方法では、2種類の姿勢、8ヶ所の装着位置での違いは見られなかった。これらのことから、着席時は大腿での操作が入力精度が高くなるが、起立時では腹部、

肩での入力精度が高くなることが確認できた。これは着席時と起立時では大腿と手との距離が変化するためと考えられる。また、腕よりも肩、腹部、大腿などの大きな安定した部位の方が入力精度が高くなることも確認できた。さらに、脇腹、大腿側面などの身体の側面では、入力精度が安定しないことも確認できた。

入力時間については、着席状態で3試行の平均入力時間が最も速い装着位置は、全入力方法で大腿前面であった。起立状態では、長押し法は前腕、絞込み法は大腿前面、ダブルタッチは肩、ピンチ入力は大腿前面であった。着席、起立の2状態での平均入力時間が最も速い装着位置は、ダブルタッチは肩、他の入力方法は大腿前面であった。入力時間については、長押し法は2種類の姿勢、8ヶ所の装着位置での違いは見られなかった。絞込み法は大腿側面が起立状態の方が約0.3秒速くなり、上腕と肩はそれぞれ約0.7秒、0.3秒遅くなった。ダブルタッチは前腕、上腕、肩、腹部が起立状態の方がそれぞれ約0.3秒、0.2秒、0.4秒、0.7秒速くなり、大腿前面は約0.3秒遅くなった。ピンチ入力は肩、腹部、脇腹が起立状態の方がそれぞれ約0.4秒、0.5秒、0.4秒速くなり、大腿側面が約0.4秒遅くなった。これらのことから、大腿での入力操作は着席時よりも起立時の方が速く行えることが確認できた。これは着席時と起立時では大腿と手との距離が変化するためと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、シワを用いた入力インタフェースの性能評価を行った。評価のためにタッチ入力とピンチ入力を検出するデバイスを実装し、タッチ入力方法を3種類、ピンチ入力方法を1種類実装した。実装した入力インタフェースを用いて習熟度、シワの影響、姿勢と装着位置の影響を確認する実験を行った。実験の結果、習熟度については、入力精度は、全入力方法で精度の向上が確認でき、ピンチ入力が習熟後の入力精度が最も高くなることが確認できた。入力時間は、絞込み法で時間の減少が確認できたが、他の3手法はあまり変化しなかった。絞込み法が習熟後の入力時間が最も速くなることが確認できた。シワの影響については、絞込み法とピンチ入力ではシワがあるデバイスを用いた入力操作は、シワがないデバイスを用いた場合より、入力精度が高くなることを確認した。全入力方法でシワがあるデバイスを用いた入力操作が、シワがないデバイスを用いた場合より、入力時間が短くなることを確認した。しかし、分散分析の結果は全入力方法においてシワの有無と入力精度と入力時間に有意差は見られなかった。姿勢と装着位置の影響については、入力精度は、ダブルタッチで大腿側面がどちらの姿勢でも他の装着位置より分散が大きくなることが確認できた。他の入力方法は2種類の姿勢、8ヶ所の装着位置での違いは見られなかった。入力時間は、長押し法では2種類の姿勢、8ヶ所の装着位置での違いは見られ

なかったが、絞込み法では大腿側面が起立状態の方が速くなり、上腕と肩は遅く、ダブルタッチでは前腕、上腕、肩、腹部が起立状態の方が速くなり、大腿前面は遅く、ピンチ入力では肩、腹部、脇腹が起立状態の方が速くなり、大腿側面が遅くなることを確認できた。

今後は、評価実験の被験者を増やし、姿勢と装着位置の実験については、歩行状態での実験を行う。また、ウェアラブルコンピューティング環境では、ユーザは様々な状況でコンピュータを操作するので、ユーザの状況の影響を評価する実験を行う。さらに、ユーザの入力インタフェースの使用への抵抗をなくすために、ユーザの使用している姿勢が奇異にならない装着位置を評価する実験も行う。そして、評価した実験の結果を元に、シワを用いた入力インタフェースのガイドラインを作成していきたい。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1)およびJST さきがけ(JPMJPR15D4)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] L. Buechley, M. Eisenberg, J. Catchen, and A. Crockett: The LilyPad Arduino: Using Computational Textiles to Investigate Engagement, Aesthetics, and Diversity in Computer Science Education *Proc. of the 26th ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2008)*, pp. 423–432 (Apr. 2008).
- [2] N. Komor, S. Gilliland, J. Clawson, M. Bhardwai, M. Carg, C. Zeagler, and T. Starner: Is It Gropable?-Assessing the Impact of Mobility on Textile Interfaces, *Proc. of the 13th ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2009)*, pp. 71–74 (Jan. 2009).
- [3] P. Holleis, S. Paasovaara, and J. Häkkinen: Evaluating Capacitive Touch Input on Clothes, *Proc. of the 10th international conference on Human Computer Interaction with Mobile devices and services (MobileHCI '08)*, pp. 81–90 (Sep. 2008).
- [4] 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 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2010)*, pp. 1–8 (Oct. 2010).
- [5] 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).
- [6] N. A. Hamdan, J. Thar, F. Heller, J. Borchers, and C. Wacharamanotham: Grabrics: A Foldable Two-Dimensional Textile input Controller, *proc. of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA 2016)*, pp. 2497–2503 (May. 2016).
- [7] K. Ueda, T. Terada, and M. Tsukamoto: Input Interface Using Wrinkles on Clothes, *Proc. of the 20th ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2016)*, pp. 56–57 (Sep. 2016).
- [8] B. Thomas, K. Grimmer, J. Zucco, and S. Milanese:

Where Does the Mouse Go? An Investigation into the Placement of a Body-Attached TouchPad Mouse for Wearable Computers, *Journal of Personal and ubiquitous Computing*, Vol. 6, Issue 2, pp. 97–112 (Apr. 2002).

- [9] J. Wagner, M. Nancel, S. Gustafson, S. Hout, and W. E. Mackey: Body-centric Design Space for Multi-surface Interaction, *Proc. of the 31st ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2013)*, pp. 1299–1308 (Apr. 2013).