



# 衣服の変形を利用したインタラクション技術の確立に関する研究

上田, 健太郎

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2020-03-25

(Date of Publication)

2021-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第7764号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007764>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式 3)

(氏名： 上田 健太郎 NO.1 )

## 論文内容の要旨

氏 名 上田 健太郎

専 攻 電気電子工学

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

### 衣服の変形を利用したインタラクション技術の 確立に関する研究

指導教員 寺田 努 教授

ユーザがコンピュータを身につけて生活するウェアラブルコンピューティングはいつでもどこでもコンピュータを利用するという特徴から、人々が日々身につけている衣服との相性が良く、Smart clothing や E-textile と呼ばれるコンピューティングの機能を有する衣服の研究領域がウェアラブルコンピューティングの分野で確立されている。衣服にコンピューティングに必要な機能を搭載することにより、ユーザは衣服を着用するだけで必要な機能を使うことができ、ユーザは他のデバイスを追加で身につけ、持ち運ぶ必要がない高い装着性を実現する。また、回路や配線、電子部品などを衣服内に隠すことができるため、着用によってユーザの外見への影響が小さいので社会受容性が高い。さらに、操作時にポケットや鞆からデバイスを取り出す必要がないため、これまでのコンピューティングスタイルよりも情報へのアクセスがしやすく、さらに、布の柔軟性による布特有のインタラクションをコンピューティングに利用できる。このような特徴をもつ Smart clothing では、ジュライのマウスやキーボードに代わる入力インタフェースとして衣服を利用したテキストスタイルインタフェースやセンサを統合した衣服によるユーザのデータの常時測定や状況認識手法などが研究されている。

これまでに提案されているインタフェースは布の柔軟性を生かした変形させるインタラクションにより触覚刺激のある操作が可能であるが、入力面から情報を得ることができず、ユーザが入力するためにはディスプレイなどの情報提示デバイスが必要になる。そのため、歩行中などのディスプレイの注視が困難な状況、また会議中などの入力操作を秘匿したい状況などでは情報提示デバイスからの情報を取得できず、操作ができない。一方、動的に変形する衣服が提案されており、衣服の変形による出力機能の可能性を示唆されており、衣服の変形によりユーザに情報を提示することで入力面からの情報を取得して操作ができる。また、状況認識手法では、ユーザの動作による衣服の変形を利用する手法が提案されている。ユーザがほぼ一日中常に身につけている衣服によってユーザの情報、特に生体情報の常時計測が容易となる。生体情報からより高度なユーザの精神的、生理的狀態を認識することができれば、より高度なサービスを提供できる。このように、衣服の変形は入力、出力、状況認識などの機能に対して非常に有用であり、衣服の変形の実用性を検討することで新たな衣服を利用したコンピューティングスタイルの礎となる。

以上をふまえ、本論文では、衣服の変形を利用したインタラクティブ技術の確立を目指し、コンピューティングにおいて重要な入力、出力、状況認識の3点の機能に着目し、それぞれに衣服の変形を使用したシステムの構築を目的とした研究テーマについて研究を行い、ウェアラブルコンピューティングの普及にむけた衣服の変形を利用したコンピューティングスタイルの実現可能性を議論する。

第一の研究テーマでは、衣服のシワを用いた入力インタフェースの研究について述べる。提案インタフェースはアプリケーションの入力要求時に選択肢のシワを衣服上に生成し、ユーザはその生成された複数のシワから1本を選び、入力を行う。入力を要求しているア

(注) 2,000字～4,000字でまとめること。

(氏名： 上田 健太郎 NO.2 )

アプリケーション毎に異なるシワの生成パターンで選択肢の数に対応した本数のシワを生成することで、ユーザはシワの触覚からアプリケーションとその入力を選択肢の数が変わり、出力画面を見ることなく正しい選択肢を選ぶことができることがこのインタフェースの特徴である。本研究では、衣服に生成したシワによる入出力機能を実現し、その性能を評価した。この研究を通して、衣服の変形のインタフェースへの応用の可能性を検討する。

第二の研究テーマでは、衣服シワを用いた入力方法の評価研究について述べる。この研究では、衣服のシワを用いた入力インタフェースでの操作を前提とし、3つのタッチ入力方法と1つのピンチ入力方法を設計し、これらの入力方法の学習可能性、シワの有無による操作性への影響、様々な操作環境と操作位置での操作性を調査した。この研究を通して、衣服のシワを用いた入力方法の特性の違い、特にタッチ入力とピンチ入力の特性の違いを明らかにし、今後のテキスタイルインタフェースへの応用に寄与する。

第三の研究テーマでは、衣服の変形を利用した触覚フィードバック手法の研究について述べる。衣服に取り付けた複数の形状記憶合金と圧縮バネからなるアクチュエータの収縮によって衣服を変形させて触覚刺激を生成し、フィードバックを行う手法である。提案手法では、4つのアクチュエータを長袖のTシャツの前腕、上腕、肩の部分に沿って装着し、プロトタイプシステムを実装し、提案手法のフィードバック性能と前腕、上腕、肩での刺激知覚能力の違を評価した。この研究を通して、衣服の変形によるフィードバック機能の実現可能性を検討するとともに人の様々な身体部位における触覚刺激の知覚能力を明らかにする。

第四の研究テーマでは、胸部と腹部の周径変化から呼吸数を計測するウェアラブルシステムの研究について述べる。本研究では、伸縮によって静電容量が変化するひずみセンサを用いて、ユーザの身体に装着するバンド型デバイスと呼吸認識アルゴリズムを実装した。シート状のひずみセンサは薄く柔軟であるため、提案システムは衣服への統合が可能である。さらに、提案システムの性能を評価するために、市販のウェアラブルデバイスとの呼吸数認識性能を比較した。この研究を通して衣服の変形の状況認識技術への応用の可能性について検討する。

以上のように、本論文ではウェアラブルコンピューティングの普及に向けた衣服の変形を利用したインタラクティブ技術について述べている。

氏名	上田 健太郎		
論文題目	衣服の変形を利用したインタラクション技術の確立に関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	寺田 努
	副査	教授	塚本 昌彦
	副査	教授	沼 昌宏
	副査	教授	増田 澄男
要 旨			
<p>ユーザがコンピュータを身につけて生活するウェアラブルコンピューティングはいつでもどこでもコンピュータを利用するという特徴から、人々が日々身につけている衣服との相性が良く、Smart clothingやE-textileと呼ばれるコンピューティングの機能を有する衣服の研究領域がウェアラブルコンピューティングの分野で確立されている。衣服にコンピューティングに必要な機能を搭載することにより、ユーザは衣服を着用するだけで必要な機能を使うことができ、ユーザは他のデバイスを追加で身につけ、持ち運ぶ必要が高い装着性を実現する。また、回路や配線、電子部品などを衣服内に隠すことができるため、着用によってユーザの外見への影響が小さいので社会受容性が高い。さらに、操作時にポケットや鞆からデバイスを取り出す必要がないため、これまでのコンピューティングスタイルよりも情報へのアクセスがしやすく、さらに、布の柔軟性による布特有のインタラクションをコンピューティングに利用できる。このような特徴をもつSmart clothingでは、従来のマウスやキーボードに代わる入力インタフェースとして衣服を利用したテキスタイルインタフェースやセンサを統合した衣服によるユーザのデータの常時測定や状況認識手法などが研究されている。</p> <p>これまでに提案されているインタフェースは布の柔軟性を生かした変形させるインタラクションにより触覚刺激のある操作が可能であるが、入力面から情報を得ることができず、ユーザが入力するためにはディスプレイなどの情報提示デバイスが必要になる。そのため、歩行中などのディスプレイの注視が困難な状況、また会議中などの入力操作を秘匿したい状況などでは情報提示デバイスからの情報を取得できず、操作ができない。一方、動的に変形する衣服が提案されており、衣服の変形による出力機能の可能性が示唆されており、衣服の変形によりユーザに情報を提示することで入力面から情報を取得して操作ができる。また、状況認識手法では、ユーザの動作による衣服の変形を利用する手法が提案されている、ユーザがほぼ一日中常に身につけている衣服によってユーザの情報、特に生体情報の常時計測が容易となる。生体情報からより高度なユーザの精神的、生理的状態を認識することができれば、より高度なサービスを提供できる。このように、衣服の変形は入力、出力、状況認識などの機能に対して非常に有用であり、衣服の変形の実用性を検討することで新たな衣服を利用したコンピューティングスタイルの礎となる。</p> <p>以上をふまえ、本論文では、衣服の変形を利用したインタラクション技術の確立を目指し、コンピューティングにおいて重要な入力、出力、状況認識の3点の機能に着目し、それぞれに衣服の変形を利用したシステムの構築を目的とした研究テーマについて研究を行い、ウェアラブルコンピューティングの普及にむけた衣服の変形を利用したコンピューティングスタイルの実現可能性を議論する。</p> <p>本論文は6章から構成され、その内容は次の通りである。まず、第1章では、序論として研究の背景と目的について述べている。</p> <p>第2章では、衣服のシワを用いた入力インタフェースの研究について述べている。提案インタフェースはアプリケーションの入力要求時に選択肢となるシワを衣服上に生成し、ユーザはその生成された複数のシワから1本を選び、入力を行う。入力を要求しているアプリケーションに応じた異なるシワの生成パターンで選択肢の数に対応した本数のシワを生成することで、ユーザはシワの触覚からアプリケーションとその入力の選択肢数がわかり、出力画面を見ずに正しい選択肢を選ぶことができ、これが提案インタフェースの特徴である。本研究では、衣服に生成したシワによる入出力機能を実現し、社会受容性を満たすインタフェースの操作位置、シワの生成パターンの認識、入力操作の習熟について評価した。社会受容性を満たす操作位置の評価では、脇を除く7カ所の身体部位での操作は中程度の社会受容性を有することを確認し、シワの生成パターン認識評価では、シワの触覚のみによるパターンの認識が可能であることを確認した。</p>			

氏名	上田 健太郎
<p>そして、入力操作の習熟評価から習熟により入力操作の性能を向上させることを確認した。本研究を通して、衣服の変形のインタフェースへの応用の可能性を示した。</p>	
<p>第3章では、衣服のシワを用いた入力方法の評価研究について述べている。本研究では、衣服のシワを用いた入力インタフェースでの操作を前提とし、3種類のタッチ入力方法と1種類のピンチ入力方法を設計し、これらの入力方法の習熟可能性、シワの有無による操作性への影響、様々な操作環境と操作位置における操作性を調査した。評価の結果、習熟によるすべての入力方法の入力精度と速度の向上を確認し、シワによって入力速度が向上することを確認した。そして、操作環境と操作位置の各入力方法への影響を確認した。本研究を通して、衣服のシワを用いた入力方法の特性の違い、特にタッチ入力とピンチ入力の特性の違いを明らかにし、今後のテキスタイルインタフェースへの応用に寄与している。</p>	
<p>第4章では、衣服の変形を利用した触覚フィードバック手法の研究について述べている。提案手法は、衣服に取り付けた複数の形状記憶合金と圧縮バネからなるアクチュエータの収縮によって衣服を変形させて触覚刺激を生成し、フィードバックを行う手法である。本研究では、4つのアクチュエータを長袖のTシャツの前腕、上腕、肩の部分に沿って装着し、プロトタイプシステムを実装し、提案手法のフィードバック性能と前腕、上腕、肩での刺激知覚能力の違いを評価するために3つの評価を行った。まず、提案手法による提示刺激量を確認するために各部位へかかる圧力を測定し、アクチュエータに加える電力と圧力が比例することを確認した。また、アクチュエータの位置によって圧力変化が異なることも確認した。次に提案手法による刺激の人の絶対閾を測定し、各部位の絶対閾を確認した。そして、アクチュエータの収縮パターンによる刺激の識別評価を行い、15パターンの刺激の識別は困難なことを確認し、そこから抽出したアクチュエータの収縮数が異なる4パターンの刺激識別を着席と歩行の2状態において評価し、4パターンの刺激識別の可能性を確認した。本研究を通して、衣服の変形によるフィードバック機能の実現可能性を検討し、肩、腕の部位における触覚刺激の知覚能力を明らかにした。</p>	
<p>第5章では、呼吸による胸部と腹部の周径変化から呼吸数を計測するウェアラブルシステムの研究について述べている。本研究では、伸縮により静電容量が変化するひずみセンサを用いて、ユーザの身体に装着するバンド型デバイスと呼吸認識アルゴリズムを実装した。シート状のひずみセンサは薄く、柔軟性に富むため提案システムは衣服への統合が可能であると考えている。さらに、提案システムの性能を評価するために、市販のウェアラブルデバイスとの呼吸数認識性能を比較した。評価の結果、提案システムの認識性能は他のデバイスよりも高いことを示した。本研究を通して衣服の変形の状況認識技術への応用の可能性について検討している。</p>	
<p>以上のように、本論文では、ウェアラブルコンピューティング環境で使用するシステムに衣服の変形を適用した入力インタフェース、触覚フィードバック手法、状況認識手法を提案し、衣服の変形を利用したインタラクション技術に関する研究を行い、衣服の変形のウェアラブルコンピューティングシステムへの応用が可能であることを示した。また、衣服の変形を利用した入力方法に影響する要因を調査し、各入力方法の特性をまとめている。衣服の変形を利用した入力は触覚刺激に富む入力が可能であり、入力要求に応じて衣服を変形させることで入力面から入力に関する情報を取得し、そのまま入力を行うことを可能にする。また、衣服の変形による触覚フィードバックは従来のフィードバック手法よりも装着位置の自由度が高く、ユーザの状況に合わせたフィードバックの提示位置を決定できる。ユーザの行動による衣服の変形は、ユーザの状況の認識に有用であり、従来のウェアラブルデバイスよりも高精度な計測でき、さらにより高度なユーザの精神的、心理的状態の認識の可能性を示した。これらの研究のように、今後さらに小型化、高性能化による普及が予想されるウェアラブルコンピューティング環境において、衣服の変形はテキスタイルインタフェースや衣服を利用した状況認識手法の高度化に寄与する可能性があり、これまで以上にユーザの自由度が高いコンピューティング環境が実現すると考えられ、これらの技術は事例研究の範囲にとどまらず、今後のウェアラブルコンピューティング環境における、テキスタイルインタフェースや状況認識技術に貢献している。</p>	
<p>本研究は、衣服の変形を利用したインタラクティブ技術について、その実現性を研究したものであり、衣服の変形を利用した入力、出力、状況認識手法について重要な知見を得たものとして価値のある集積であると認める。提出された論文は工学研究科学学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の上田健太郎は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。</p>	