

## 布製品コンピューティングのためのファスナーを用いた入力

羽田 久一<sup>1)</sup>(正会員) 大佐賀 彩佳<sup>1)</sup>(非会員)

1) 東京工科大学メディア学部

## The Zipper Based Interface for the Fabric Computing

Hisakazu HADA<sup>1)</sup> Ayaka Osaga<sup>1)</sup>

1) School of Media Science, Tokyo University of Technology

hadahskz @ edu . teu . ac . jp

### 概要

日常生活のなかに溶け込みやすいウェアラブルコンピューティングの技術として衣服や鞆といった布製品と電子機器の融合が行われている。このようなウェアラブルコンピューティング環境において衣服が古来より持っている機能をコンピュータの力をもって拡張することを目標として、衣服のパーツであるファスナーに着目した。ファスナーを用いた布製品の操作をコンピュータの入力に用いることにより、コンピュータを意識しない日常的な振る舞いをコンピュータへの入力として利用することが出来る。本論文では布製品を用いたコンピューティングにおいて自然な動作による継続的なアナログ入力を可能にする手法として、線ファスナーを入力装置として用いる手法を提案し、実装を行った。ファスナーのごく近傍にミシンを用いて導電糸を縫い付け、スライダーに加工を行うことで、ファスナーそのものの形状を変化させることなくファスナーの移動量を抵抗値として取り出すことが出来る。スライダーと同様の操作を実際の布の上で実現することによりウェアラブルコンピューティングにおける新しいインターフェースとして利用できる。

### Abstract

This paper proposes an analog input interface for fabric-based computing. Many fabric things are used in daily life, The aim of this research is to augment a potential of fabric materials such as bags and garments. A zipper is one of the most popular ways to fasten and release fabric objects. Also, a zipper is moved same as slider volume that used in many electrical objects. To detect a position of the slider, we sew conductive threads close to the zipper elements. The position of the slider changes a resistance of zipper's circuit, and it provides a new analog input method for wearable computing.

## 1 はじめに

衣服は人類が人類として文明を築き上げるもっとも早い段階において会得した道具の一つであり、危険や寒さから身を守る以外にも、装飾、権力の誇示、同一集団への帰属の表現といったさまざまな目的に用いられている。ウェアラブルコンピューティングでは、これらの衣服と同様に新たな機能を付け加えることを目標としてコンピュータやその入出力デバイスを衣服やアクセサリと同様の手段で身に付けて利用している。

本研究ではコンピュータを身につけるのみならず、衣服が古来より持っている機能をコンピュータのための入力へと拡張することを目標として、衣服のパーツであるファスナーに着目した。ファスナーを用いた衣服の操作をコンピュータの入力に用いることにより、コンピュータを意識しない自然な振る舞いをコンピュータの入力として利用することが出来る。

ファスナーは現在広く利用されている電子機器に対するアナログ値の入力手法として一般的であるスライダーボリュームと動作が似ており、このような操作を実際の布の上で実現することによりウェアラブルコンピューティングにおける新しいインターフェースとして利用できる。

## 2 関連研究

衣服と一体化したウェアラブルコンピューティングや衣服以外の布製品に電子回路を組み込むなどの試みが広く行われるようになってきている。衣服や布製品を用いたインターフェースにおいても、その入出力手段として電子機器をそのまま利用するものは少なくない。手芸と電子工作を融合した作例を載せた書籍である *Fashioning Technology*[1] や *テクノ手芸* [2] においても LED やスイッチがそのまま使われている例は多い。しかしながら現在までに、いくつかの研究において布製品の表面そのものを入出力デバイスとして利用するものが提案されている。

Fabritouch[3] は衣服の表面をタッチパッドとして用いるものであるが、表面をなぞった場所を入力するものであり、その値を保持する方法は提案されていない。Cloth Switch[4] はフェルトで作成されたタッチセンサボタンを生成する研究である。このシステムではタッチ

センサとなるフェルトのアプリケは4つのスナップボタンで留められており、内部にそれぞれ異なった値の抵抗が接続されている。2つのボタンに接続された抵抗値を計測すると同時に、残りのボタンによって延長された静電容量計測用の導電糸により接触センサをアプリケ表面に構築することが出来る。

布の表面上にさらに布状の物体を取り付けることで、入力を実現しているが静電容量センサによる入力であるため、手がアプリケの近傍にあるかどうかを検知するのみでアナログ値の入力には適していない。

Fuwafuwa[5] はぬいぐるみやクッションのように中綿入りの物体の圧迫状況を取得することが出来るシステムである。内蔵されたフォトフレクタにより近傍の中綿の状態を読み取ることで、かけられている圧力を知ることが出来る。

杉浦ら [6] はフォトフレクタを用いてストッキングのような伸び縮みしやすい素材の変形を入力として利用する手法を提案している。

これらのように布製品や布を用いたデバイスにおいて単なるタッチのみならずその強さや場所のようなアナログ値を取得する方法が提案されている。しかしながらこれらの値は操作する人間の力によって変形された布や製品の形状を把握し、アナログ値に変換するものであり、衣服の上でアナログ値を物理的に長時間保持することが出来ない。そのため、一般的な電子部品として利用されている可変抵抗などのようにアナログ値の保持と物理的な提示を同時に行うことが困難であるという問題点がある。物理的なアナログ値の保持は端末の音量や光量などの制御などにおいて、目視においても操作をおこなう部分とそれが示す値が一体化していることや、目視を必要とせずに値を調整することが可能となるため利便性が高い。

アナログ値を長時間保持できる仕組みとしては、ニューヨーク大学の ITP によるセンサーワークショップ [7] において、ファスナーを入力とする方法が提案・実装されている。この方式ではスライダー近傍に多数の抵抗をラダー状に配置することで、ファスナーのスライド位置を抵抗の変化として検出している。また、抵抗ではなくスライダーを用いて複数のスイッチを構成することで、離散的な位置センサとして利用することも提案している。

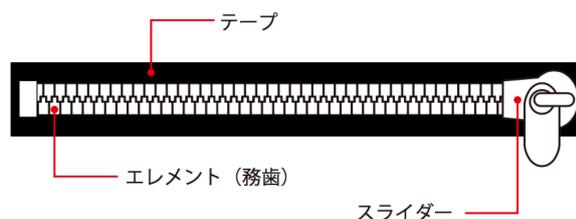


図1 線ファスナーの構造

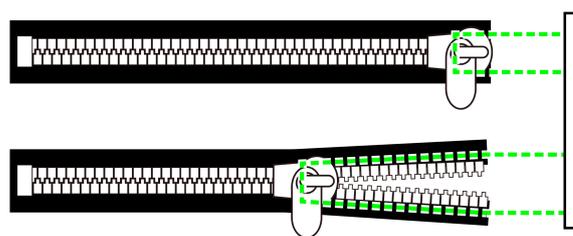


図2 スライダー位置による回路長の変化

しかしながら、この仕組みの問題点としては、布上で構成すべき回路が複雑になることや、電子部品が増えるため、布製品としての価値を損なう可能性がある点が挙げられる。現在の布上での電子回路の生成には導電糸を用いた手法が一般的に利用され、このシステムにおいても導電糸と電子部品の組み合わせによりセンサが実現されている。導電糸は一般的な電子部品の接合に用いるはんだ付けが行えないため、接合には圧着や結びつけるといった方法を取らざるをえないが、接合不良や故障の原因となりやすい。そこで本研究ではこのITPによるシステムと同様にファスナーを用いたアナログ入力をより少ない構成要素で実装できる事を示し、その性能についての検証を行った。

### 3 線ファスナーを用いたアナログ値の入力

本節では従来提案されている手法と比較し、少ない電子部品要素で構築できるファスナーを用いたアナログ入力方法についての提案を行う。

#### 3.1 線ファスナーとその構造

ファスナーとは、衣服に用いる留め具である。ファスナーはその留めかたにより点・線・面の三種類に大別される。点ファスナーは「スナップボタン」ともよばれ、金属の凹凸のあるボタンがそれぞれ異なる布表面に縫い付けられたものである。2つのボタンの凹凸を組み合わせることにより点による布の接合を実現している。このスナップボタンは、金属で構成されていることが多いため、布ベースでのコンピューティング環境においては回路の接続などに利用される。

面ファスナーは商標名である「マジックテープ」が有名である。ループとフック形状の合成繊維による面を接合する仕組みで、接合面が広いのが特徴である。

線ファスナーは日本では商標名である「ジッパー」や「チャック」と呼ばれることが一般的である。また、一



図3 エレメント近傍に縫いこんだ導電糸

般にファスナーとだけ呼ぶ場合にもこの線ファスナーを指すことが多い。線ファスナーは点・面ファスナーと違い、付くか離れるかのみならずその中間の状態が存在する。図1に一般的な線ファスナーの構造を示す。線ファスナーは大きく「テープ」「エレメント (務歯)」「スライダー」の三つで構成されている。エレメントは土台となるテープに並べて取り付けられており、スライダーを動かすことで、左右対になったエレメントが組み合わせられて自在に開閉できる。

一般的にスライダーには「引き手 (取っ手)」が付けられている。線ファスナーのエレメントの素材には大きく「金属」「コイル (樹脂)」「プラスチック」の三種類に分けられる。金属ファスナーはアルミ・洋白・真鍮を主な原料として、プレスもしくは鋳造されたものである。コイルファスナーは、ナイロンもしくはポリエステルモノフィラメント (単線) をコイル状に成形している。プラスチックファスナーは、ポリアセタールなどを射出成形したものである。いずれの素材もエレメントを形成するものの違いであり、スライダー部分は金属が利用されている線ファスナーが多い。



図4 加工されたスライダ

### 3.2 線ファスナーを用いたアナログ入力方式の設計

スライダの位置を検出するために、ファスナーの両側のエレメントに沿うように導電糸を縫い付ける。両側のエレメントに沿った導電糸はスライダを通じて通電することにより、1つの回路を形成する。回路としてはエレメントを折り返しとして、ファスナーが常時閉じた側（下止図1左端）を端点とする場合と開閉を行える側（上止・図1右端）を端点とする場合が考えられる。今回の実験では上止側を端点としている。このとき回路長はファスナー全体の長さを  $l$  とした場合、 $2l$  となる。この縫いこんだ導電糸の単位長さでの抵抗値を  $r$  とするとスライダを完全に閉じた状態からの移動距離  $x$  に伴い、抵抗値  $R$  は  $R = 2xr$  となり、ファスナーが開けば開くほど回路長が長くなり、抵抗値が増大する。抵抗分圧回路を介して抵抗値の変化を電圧に変換することにより、スライダの位置による入力を得ることが可能となる。図2にスライダ位置による回路長の変化のイメージを示す。今回の実験とは逆に下止側に回路の端点を設定した場合には、回路長はスライダが開くに従って短くなり、抵抗値が減少する。

導電糸はコンシールファスナー縫い付け用の布抑えを取り付けたミシンによりエレメント近傍に縫いこむこととした。図3に実際にエレメントのごく近傍に導電糸が縫い込まれた導電糸の様子を示す。導電糸側の糸調子を弱くすることで、導電部分が布に巻き込まれ、表面に織り目なく多く露出するようにしている。

スライダは一般的に金属で作られているが、そのファスナーやテープの色にあわせた塗装がなされている

ものが存在する。そのためメッキ加工や地金が露出しているスライダ以外では導電性を確保するためにスライダの導電糸と接触する部分を紙やすりで地金が露出するように塗装を削って導電性を確保する。地金を露出させる部分は布と触れる面のみであり、外観を損ねることはなく、スライダ内側表面の塗装を削るのみであるため、機能性を低下させるようなこともない。図4に実際に削りこんだ様子を示す。

### 3.3 システムの評価

今回作成したシステムの動作を検証するためにスライダの位置の変化に対する抵抗値の変化を計測する実験を行った。今回の実験に用いたファスナーは樹脂製のコイル型エレメントと塗装が行われたスライダで構成されている。実装では裏地側の糸に導電糸を利用しており、スライダも裏面側の金属を露出させている。導電糸は Sparkfun 社取扱の “Conductive Thread - 117/17 2ply” であり、1フィートあたりおよそ  $300\ \Omega$  の抵抗値であると販売ページ上で記されている [8]。利用したファスナーは全体の長さが  $1000\text{mm}$  であり、全閉側から  $600\text{mm}$  の部分を利用して測定を行った。なお  $600\text{mm}$  の長さは一般的な前開きの男性用ジャンパーやパーカーのファスナー部の長さとはほぼ同等である。抵抗値の計測は三和電気計器株式会社のデジタルマルチメータ (CD770) およびワニ口クリップ型のアダプタを用い、導電糸の末端をクリップで把持することにより行った。スライダを全閉状態から開方向へ  $50\text{mm}$  動かすごとに抵抗値を計測し、グラフを作成した。10回の試行から得られた抵抗値は図5のとおりである。試行によりばらつきは見られるものの、ほぼ直線状となる抵抗値が得られており抵抗値を測定する回路によりスライダ位置を推定することが可能である。

従来研究 [7] では  $600\text{mm}$  のファスナーを  $50\text{mm}$  間隔で検出するためには12個の抵抗ないし端子を縫い付ける必要があるが、本システムではエレメント末端部に2点の端子のみが必要である。導電糸を用いた布上での回路の実装において、既存の電子部品や電線との接合部の作成がもっとも困難であることを鑑みると、電線との接合部が少ない本方式は実用にむけて有利である。さらに日常的に利用する場合においても接合部の削減により故障の確率を減らし、メンテナンスが容易になる。

検出回路との接合においてはエレメント端点の2箇所

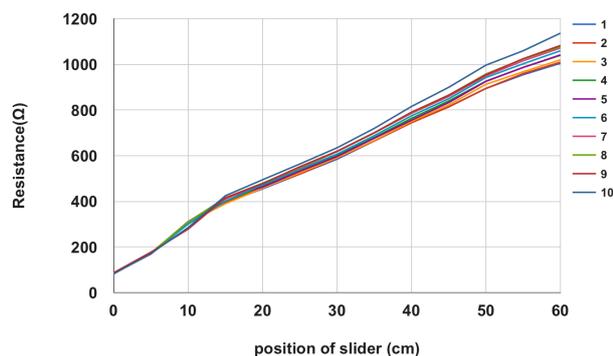


図5 開き方による抵抗値の変化 (10回)

のみでの接合となるため、回路と布製品の分離を金属スナップなどで行うことにより、容易に切り離すことが可能となる。このように容易に切り離すことが可能であれば、衣服として利用する上では欠かせない洗濯などにも回路部を外して柔軟に対応することが出来る。

#### 4 議論と応用

本研究の意義としては従来のウェアラブルコンピューティングとは異なり、衣服そのものが古来より保持している機能を拡張することが挙げられる。一般的にウェアラブルコンピューティングではコンピュータを常時起動したまま身に付けることにより、活動中に計算機資源の利用を可能とすることを目的としている。

本研究では衣服に新しいデバイスやインターフェースを付与し、新しい動作によって表現や機能を拡張するのではなく、衣服を利用するにあたり従来より一般的に行っている動作に付加価値を発生させる点が特徴である。衣服につけられたファスナーの開け閉めという行動は人間が衣服を着脱する場合に一般的に行う行動であり、子供の頃から無意識に行なっている。このような行動を情報の入力に利用することによって、衣服を脱ぐ、着るといった動作に新しい価値を付加することができるようになる。一例として室温が暑いと感じた場合にきている服のファスナーを開けることが想定できる。近傍で複数の人がファスナーを開けだした場合にはその場の室温が高いと考えられ、システムに対してエアコンの設定温度を下げる、窓をあけるなどの指示をするような使い方が考えられる。

スライド動作を行うデバイスはアナログ値を入力することが多い。我々は電子機器のスライドボリュームを

はじめ、調理用コンロの火力調整、コンピュータソフトウェア上のスライダーなどで連続値を扱うことに慣れている。ウェアラブルコンピューティングにおいてもスライドさせることの出来るパーツを用いて連続値を入力するというメタファは有効である。

本研究の応用例としては以下のようなものが考えられる。まず、入力装置としての衣服を考えた場合には、前述したとおり布と形状的に親和性の高いアナログ入力を保持するデバイスが存在していない。そのため従来はスライダーや可変抵抗器などの電子部品を洋服に縫い付けていた用途に対しての代替として利用可能である。衣服の上に装飾物としてのファスナーを取り付けることにより衣服としての見た目を損なわずにアナログ値を保持するインターフェースを構築することが可能となる。

前述の ITP のワークショップ [7] のレポートにおいて、想定されるアプリケーション例として、口の開閉具合に伴い内部照明の明るさを変化させることができる靴が提案されている。我々の提案する方式を用いることで、市販されている靴のファスナーを容易に改造することが可能であり、実装した例を図6に示す。靴の口のファスナーを加工し、センサ化するとともに、内部にテープ状のLEDを配置している。図7にセンサ加工したファスナーとLEDの実装の様子を示す。今回利用したLEDはテープ状であり、1本の信号線で複数のフルカラーLEDをコントロールすることができる。今回の実装では開き具合にともない、LEDの明るさを変化させ、完全に閉じているときにはLEDは点灯せず、開くにしたがって靴内部が明るくなる。このように前述のレポートで提案されていた仕組みを簡単な形で実装することができた。このとき、必要となる導電糸と電線の接合部はLEDに3本、センサに2本の5本のみとなり、従来提案されていた方式のように抵抗を実装する形式ではスライダーの段階の2倍の接合部が必要になることに比べると大幅に接合部を減らすことが出来ている。

また、衣服の状態をセンシングできるということから、衣服を着用したときにファスナーを利用したパフォーマンスや演奏といったものの入力にも応用できる。ストリートダンスのように日常的な服で行われるパフォーマンスにおいても、身体にとりつけた電飾などのコントロールを行いやすくなる。図8に、パーカーの袖部分にフルカラーLEDを取り付け、ファスナーの開閉度



図6 開閉度に応じた鞆内の照明の変化



図8 開閉度に応じて色の変化するパーカー

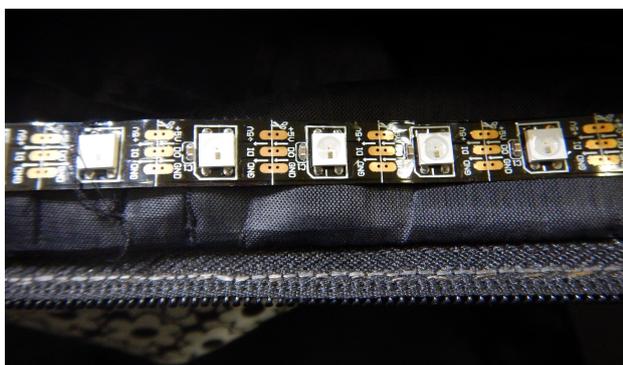


図7 ファスナーとLEDの実装状態

によって色を変化させることができる衣服の例を示す。この衣装は袖に取り付けられた一連のLEDの色の色相をファスナーに連動させて変化させることができるものであり、パーティやパフォーマンス等での利用を想定している。今回は袖に取り付けられたLEDであるがFabcell[9]のような動的に色の変化を起こせる布と組み合わせることで、着用したまま衣服の色を変化させる場合の色を決定するためにファスナーを用いることができる。

また、手芸と電子工作を組み合わせたテクノ手芸 [2] といったムーブメントやコスプレ用の衣装などのように電子回路を内蔵した布製品や衣服を自作することも盛んになってきている。このようなムーブメントにおいても簡単な手段でアナログ入力を可能とする仕組みを提供することにより、新しい表現の作成に貢献できる。

## 5 まとめと今後の課題

本論文では布製品を用いたコンピューティングにおいて自然な動作による継続的なアナログ入力を可能にする手法として、線ファスナーを入力装置として用いる手法を提案し、実装を行った。

従来方法のような複雑な回路を必要とせず、ファスナーのごく近傍にミシンを用いて導電糸を縫い付け、スライダーに加工を行うことで、ファスナーそのものの形状を変化させることなくファスナーの移動量を抵抗値として取り出すことができる。

現在はファスナー近傍に導電糸を縫い付けるために、汎用のコンシールファスナー押さえを利用しているがファスナーの形状によりコンシールファスナー押さえは利用できないことがある。より広い種類のファスナーに導電糸を縫い込みむためにはそれぞれの形状に特化した抑えが必要であるが、これは3Dプリンタにより作成できる。また、本方式ではスライダーの導電性を前提としているため、スライダーがプラスチックなどの導電性でない材質で作成されている場合にはスライダーの改造ないしは、ファスナー自体の変更が必要となる。

そのほかの問題点としては長期間利用時の強度の点が挙げられる。現状の導電糸の強度の問題から、常時スライダーと擦れている部分が摩耗することがある。今後は摩擦に強度のある導電糸を用いるか、接触部分の構造を見直すことで、長期間の利用に耐えうるシステムを構築することが必要である。断線などの理由で利用が不可能になった場合には導電糸を縫い直すことでもう一度利

用することが可能となる。この時の労力としてはファスナー近傍に直線で導電糸を縫い付けるだけであるため、再生に関しての労力はあまり高くない。

多くの線ファスナーにおいてスライダの材質としては金属が用いられており本方式を用いることで、衣服のみならずほぼ全ての一般的な布製品においてファスナーを利用した入力を利用することが可能となる。

以上のように本提案を用いることで、簡単な加工で衣服上の操作においてアナログ値を入力すること並びにアナログ値を保持することが可能となった。本提案を元に構築したシステムは布製品をインターフェースとして用いた新しいウェアラブルコンピューティングのための基本技術として利用することが出来る。

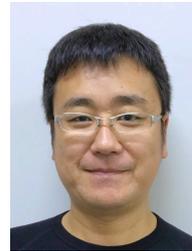
## 参考文献

- [1] Syuzi Pakhchyan. Fashioning Technology. O'Reilly. (2008)
- [2] テクノ手芸部. テクノ手芸. ワークスコーポレーション. (2011)
- [3] Florian Heller, Stefan Ivanov, Chat Wacharamanatham, and Jan Borchers. FabriTouch: exploring flexible touch input on textiles. In Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC '14), pp59-62, 2014.
- [4] Seiya Iwasaki, Saki Sakaguchi, Makoto Abe, and Mitsunori Matsushita. Cloth switch: configurable touch switch wearable device made with cloth. In SIGGRAPH Asia 2015 Posters (SA '15), Article 22 , 1 pages, 2015.
- [5] Gota Kakehi, Yuta Sugiura, Anusha Withana, Calista Lee, Naohisa Nagaya, Daisuke Sakamoto, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. FuwaFuwa: detecting shape deformation of soft objects using directional photorefectivity measurement. In ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies (SIGGRAPH '11), Article 5 , 1 pages, 2011.
- [6] Yuta Sugiura, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. A thin stretchable interface for tangential force measurement. In Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software

and technology (UIST '12), pp.529-536, 2012.

- [7] Joo Youn Paek. Sensor Workshop at ITP Reports / Zipper Sensor 2006, <http://itp.nyu.edu/archive/physcomp-spring2014/sensors/Reports/ZipperSensor>.
- [8] Adafruit. Conductive Thread - 117/17 2ply, <https://www.sparkfun.com/products/retired/8544>
- [9] Midori Shibutani and Akira Wakita. Fabcell: fabric element. In ACM SIGGRAPH 2006 Sketches (SIGGRAPH '06), Article 113, 2006.

羽田 久一



1995 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程終了。1998 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程単位取得退学。1998 年奈良先端科学技術大学院大学附属図書館研究開発室助手。2003 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 特別研究専任講師。2012 年東京工科大学メディア学部准教授。自然の力を利用した芸術と科学の接点に興味を持つ。情報処理学会，電子情報通信学会，日本 VR 学会，芸術科学会，他会員。

大佐賀 彩佳



2010 年 3 月 埼玉県立和光国際高校情報処理科卒業 2010 年 4 月 東京工科大学メディア学部メディア学科入学 2014 年 3 月 東京工科大学メディア学部メディア学科卒業