

柔軟な構成変更が可能な柔らかいタッチインタフェース

阪口 紗季¹ 阿部 誠^{2,†1} 松下 光範^{2,a)}

概要: 本研究では、衣服型端末に布製のタッチスイッチを貼り付け、触れることでその機能が使用可能な柔らかいインタフェースを提案する。提案するインタフェースは、内蔵された抵抗値の差でスイッチの識別を、静電容量の変化でタッチの検出を行うという簡便な構成をとっている。このスイッチを着脱することで、衣服型端末上でユーザが自身の状況や場面に応じて柔軟に機能を付与したり変更したりして使用できるようにしている。

キーワード: 衣服型端末、タッチスイッチ、テクノ手芸

1. はじめに

センサ技術の発展や計算機の小型化・軽量化に伴い、着装時の行動が阻害されないウェアラブルデバイスへの実用化への期待が高まっている。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で、衣服やアクセサリなど普段の生活で身に着けるものに機能を持たせてデバイスにしたものが多い [1]。近年では Google Glass^{*1} などの眼鏡型端末や Apple Watch^{*2} などの腕時計型端末が大きな話題となっており、その世界市場規模は 2013 年の時点で約 671 万台、2017 年には 2 億 2,390 万台と予測されている [2]。

ウェアラブルデバイスは、日常的に着装していることが前提であり、スマートフォンやタブレットなどの情報携帯端末のように使用のたびに取出して操作するという手間が必要がないため、操作を開始する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の多くは、装着感や機械感を感じさせるような硬い素材が用いられていることが多い。例えば Apple Watch などの腕時計型デバイスは、金属ないし硬質樹脂でできているため、ユーザは手首に装着感を感じ続けることになる。また、Google Glass などのメガネ型デバイスの場合、レンズの端にカメラやタッチセンサなどの機器が付与されていることが多く、機

器を装着しているという機械感を強く感じさせるようになっている。

こうした装着感を緩和する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衣服には、(1) 着用時の違和感や装着感が少ない、(2) 材質や色、形など各々に多様な種類があり、個人の好みに応じて選択・装飾できる、という特徴がある。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り、現在、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を行うもの (e.g., [3], [4]) や、情報の表示を目的として、衣服に LED などの発光素子や電子ペーパーなどを取り付けディスプレイとして機能させられるもの (e.g., Lume^{*3}) が存在する。ただし、現在の衣服型ウェアラブルデバイスは、利用できる機能が限定的である、他のデバイスに比べてインタフェースの再配置・再構成が難しい、などの問題がある。今後の利用の広がりを考えた場合、こうした問題を解決し、柔軟に機能を付与したり変更したりできるようにすることが望ましい。また、日常的に利用することを想定した場合、なるべく簡素な仕組みで、粗雑な扱いをしても壊れにくいものであることが望ましい。このような観点の下、本稿では簡素な仕組みで、柔軟に機能の付与・変更ができる衣服型インタフェースの実現を目指す。

2. 関連研究

まず、柔らかさを活用した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フェース [5] は、ぬいぐるみな

¹ 関西大学大学院総合情報学研究所
Graduate School of Informatics, Kansai University

² 関西大学総合情報学部
Faculty of Informatics, Kansai University

^{†1} 現在、青山商事株式会社
Presently with Aoyama Trading Co., Ltd.

^{a)} mat@res.kutc.kansai-u.ac.jp

^{*1} <https://developers.google.com/glass/> (2015/4/13 確認).

^{*2} <https://www.apple.com/jp/watch/> (2015/4/13 確認).

^{*3} <http://jorgeandesther.com/lume/> (2015/4/13 確認).

どに使われるような柔らかい素材を使ったインタフェースである。羊毛フェルトに導電性の糸を縫い付けることで、外観を損なわず、ふわふわとした感触を楽しみながら家電や照明、PCなどの操作ができるようになっている [6]。

関らのスマートハウスのためのぬいぐるみ型インタフェース [7] は、スマートハウス内での利用を想定したぬいぐるみ型インタフェースである。このぬいぐるみは、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、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。

笥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フェース [8] 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フェースとしたセンサシステムである。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、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を切り替えたり、枕に頭を乗せることで照明の電源を切り替えたりする等の操作を可能にしている。

次に、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を概観する。

白水らの Haconiwa [9] 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 (図 1 参照)。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 を内蔵した人形を光らせたり、鳴き声を出させたりして遊ぶことができる。オブジェクトの外装は、ユーザが自ら作成・変更することができる。

Buechley らによる Quilt Snaps [10], [11] 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。

これらのシステムでは、スナップボタンを繋げることで電子回路を作成できる。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。本稿で提案するシステムは、これらのシステムで得られた知見やノウハウを衣服型ウェアラブルデバイスに適用するものである。

3. デザイン指針

本研究では、実現を目指すインタフェースが満たすべき要件を

- (1) 衣服への機能の付与が可能



図 1 Haconiwa (文献 [9] より図引用)

- (2) 付与する機能の変更と追加が可能
- (3) 付与した機能の ON/OFF 切替が可能

という 3 点に整理した。このインタフェースでは衣服へ選択的に機能を付与し、ad hoc にその変更や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することを指す。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することで、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。

これら 3 つの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。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。本システムではこうした日常的なふるまいに着目し、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する。

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 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視覚化できる。また、衣服に装飾を施すという方法を採ることによって、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と考えている。

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する。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。

このような方針でシステムを実装することにより、企図するインタフェースを実現する。

貼付部分

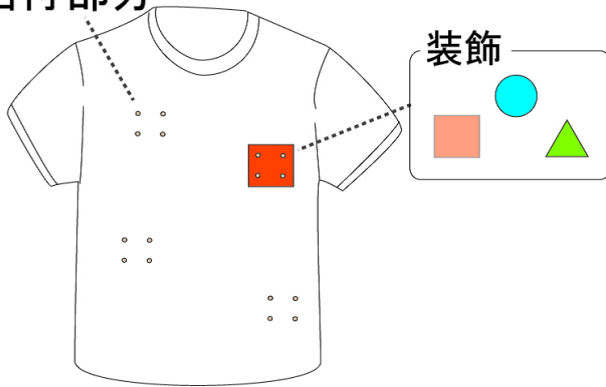


図2 システムの概念図

4. 実装

4.1 システムの構成

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、布スイッチと記す）の中から使いたい機能を有する布スイッチを選び、着用している布製の衣服型入力装置（以下、衣服型端末と記す）の貼り付け可能部分に貼り付ける。貼り付け方は、図3に示すように1部分につき4箇所、スナップボタンを配することとした。貼り付けた布スイッチの種類は、内蔵する抵抗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その布スイッチの持つ機能のON/OFFを切り替えることができる（図4参照）。

また、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。

4.2 布スイッチの実装

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5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ならないよう、厚手の布（今回はフェルト生地）を



図3 布スイッチの貼り付け方

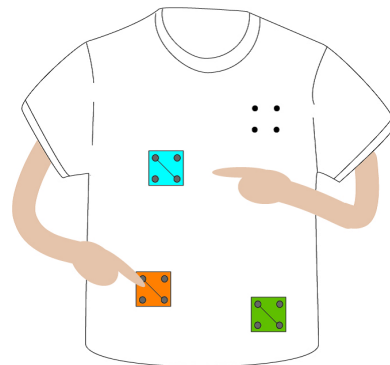


図4 使用の様子

用いて作成した。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。スナップボタンは、凹凸の面が対角線に取り付けており、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を配置し、導電糸で縫い付けた。この組のスナップボタンは、凸面をとりつけた。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した。この組のスナップボタンは、凹面のものを取りつけた。抵抗をとりつけた組と、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配した。2枚のフェルトの貼り合わせがずれないように、端を縫い糸で縫い合わせ補強した。同じ構成で、それぞれ330KΩ、820KΩ、2.2MΩ、3.9MΩの4種類の抵抗を内蔵したものを作成した。

4.3 衣服型端末の実装

図6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た。このスナップボタンは対角の位置にあるふたつを1組として用いる。1組は、布スイッチに取り付けた抵抗による電圧を計測し、スイッチの種類を識別するためのものであり（回路図は図7）、どちらも凹型のスナップボタンになっている。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ためのものであり、どちらも凸型のスナップボ

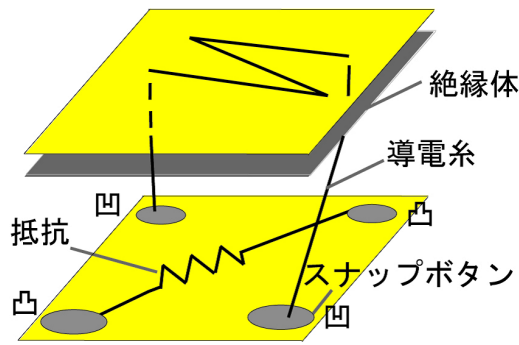


図 5 布スイッチの構造

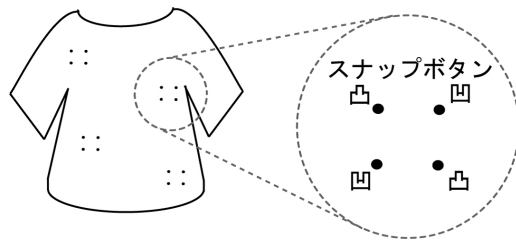


図 6 衣服型端末の構造

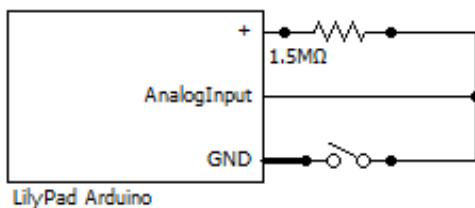


図 7 布スイッチ識別の回路図

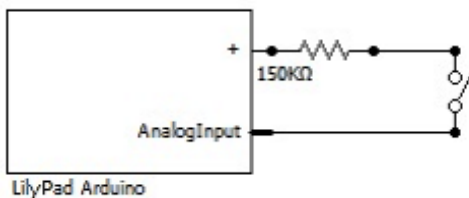


図 8 布スイッチ接触検知の回路図

タンになっている。このとき、接触時の感度をあげるため 150KΩ の抵抗を挟んでいる (図 8 参照)。どちらの組とも、左側がプラス極、右側がマイナス極とした。これらの動作の制御には、LilyPadArduino[12] を使い、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。

4.4 アプリケーション

本提案システムのプロトタイプとして、貼付した布スイッチの識別を行い、ディスプレイ上にキャラクタ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 9 に示す。布スイッチは、猫、犬、ゾウ、ライオンの 4 種類の動物の形で、それぞれ異なる値の抵抗を内蔵している。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



図 9 布スイッチの貼付と動作画面

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、猫のキャラクタに歩くアニメーションが加わり、指を離すと静止する。

5. 実験

前章で実装したシステムを用いて、以下の 2 つの実験を行った。

5.1 布スイッチの識別実験

5.1.1 実験の概要

本実験では、それぞれの異なる値の抵抗を内蔵したそれぞれの布スイッチの電圧値を計測し、布スイッチの種類を識別可能であるかについて実験を行った。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は、330KΩ、820KΩ、2.2MΩ、3.9MΩ の 4 種類を用いた。それぞれの抵抗を内蔵した布スイッチを衣服型端末上の貼付部分に貼付し、LilyPadArduino のアナログピンにかかる電圧を読み取った。計測される値は、1024 段階の整数として数値化 (0 が 0V、1023 が参照電圧に相当する) された値とした。本実験では、布スイッチを接続しない状態で 1.5MΩ の抵抗を + ピンに接続したときの電圧を参照電圧とした。

5.1.2 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。実験の結果、表 1 に示す値が計測された。この表に示すように、330KΩ が 165~199、820KΩ が 350~381、2.2MΩ が 592~619、3.9MΩ が 730~758、となった。図 10 はこれらの抵抗の値について各測定回の最大値 (●で示す) と最小値 (○で示す) を図示したものである。これらから、各々の抵抗による値の変動幅を考慮しても、布スイッチの値域は異なっており、この値を参照することで種類識別が可能であることが確認された。

表 1 各布スイッチ貼付時の計測値

	330KΩ		820KΩ		2.2MΩ		3.9MΩ	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
1 回目	190	169	372	364	619	592	753	732
2 回目	190	173	372	364	616	598	758	739
3 回目	178	165	373	358	618	597	755	739
4 回目	193	184	381	372	617	597	752	735
5 回目	193	175	370	354	614	592	756	732
6 回目	199	182	374	355	615	596	750	730
7 回目	195	174	384	350	619	586	757	732
8 回目	192	169	379	352	609	597	753	738
9 回目	188	168	377	353	612	599	751	739
10 回目	190	171	379	352	613	600	750	736

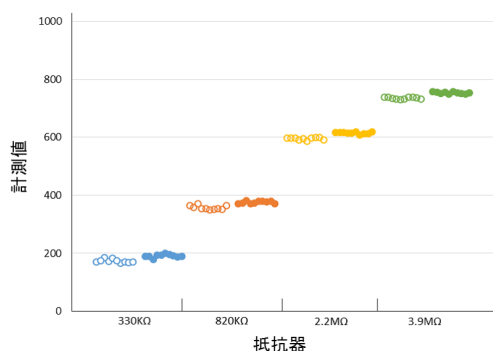


図 10 計測値の比較 (●は各測定回の最大値、○は各測定回の最小値)

5.2 指の接触検知実験

5.2.1 実験の概要

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。

静電容量の値の計測には Arduino の CapSense ライブラリ^{*4} を使用し、capacitiveSensor 関数の出力値を記録した。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。

5.2.2 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 2 参照)。接触時の最小値と非接触時の最大値との間で重複が見られる。そのため、接触判定の閾値を高め設定することで、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。

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について述べる。

^{*4} [http://playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor?from=Main.CapSense\(2015/4/13 確認\)](http://playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor?from=Main.CapSense(2015/4/13%20確認)).

表 2 タッチセンサの認識

	非接触時			接触時		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
1 回目	9	0	3.04	459	13	138.96
2 回目	12	0	4.40	409	20	130.96
3 回目	13	0	6.77	446	26	145.90
4 回目	13	0	6.36	563	33	188.99
5 回目	10	0	2.85	897	20	396.72
6 回目	13	0	6.74	998	21	352.16
7 回目	12	0	4.30	703	15	233.14
8 回目	18	0	5.20	764	39	331.16
9 回目	11	0	4.26	1117	52	690.54
10 回目	12	0	4.28	942	52	618.95

参照電圧を決定する抵抗について考察する。5 章で述べた実験より、1.5MΩ の抵抗を+ピンに接続した状態で、330KΩ、820KΩ、2.2MΩ、3.9MΩ の 4 種類の抵抗を内蔵した布スイッチの識別が可能であることが確認された。布スイッチの識別のために計測される電圧値は、+ピンに接続された抵抗の値によって決定される参照電圧が基準となるため、この抵抗値を変化させると、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も変化する可能性がある。そのため+ピンに接続する抵抗の値はあらかじめ決定しておく必要がある。

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。5 章で述べた実験より、1 つのオブジェクトを貼付した際の計測値の変動幅は最大で 35 であった。このことから、余裕を重複しないようにマージンをとった上で適切な抵抗値を選択することで、20 程度のオブジェクトの識別が可能であると考えられる。

指の接触検知について考察する。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 を切替えている。5 章で述べた実験より、接触判定の閾値を高め設定することで、指の接触検知は可能であると考えられる。なお、実験結果のうち 9 回目と 10 回目の接触時の計測値は、他の回に比べて大きくなっている (図 2 参照)。これは、指が触れた布スイッチの部分の

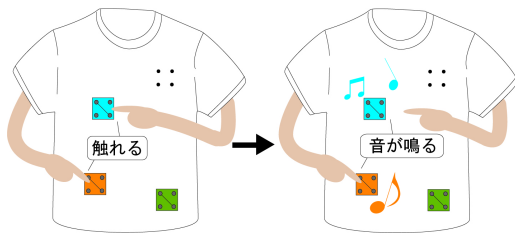


図 11 楽器としての利用

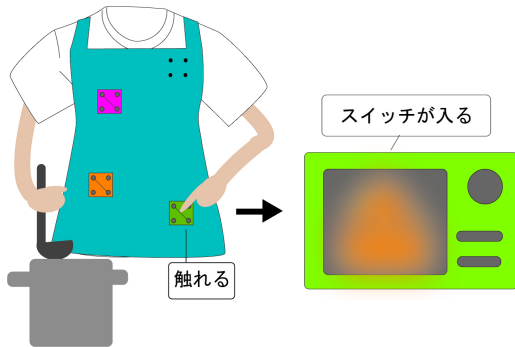


図 12 作業時の入力装置としての利用

面積が広いことによるものであると考えられる。布スイッチの触れ方により測定値が大きく異なるため、安定した接触判定を行う方法について、今後検討する必要があると考ええる。

7. おわりに

本研究では、柔軟に機能の付与・変更ができる衣服型インタフェースの実現を目的とし、布製の衣服型入力装置と、そこへの貼付が可能な布製タッチスイッチで構成されるシステムを提案した。提案システムでは、衣服への機能の付与、付与する機能の変更と追加、付与した機能の ON/OFF 切り替えが可能となった。本手法は、子供向けの知育玩具 (図 11) や、家電などの電子機器を遠隔操作するコントローラ (図 12) としての応用が考えられる。今後は各識別の精度を向上させるとともに、他のデバイスとの連携方法について検討していく。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] 堀場隆広, 島上祐樹: 究極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).
- [4] 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).
- [5] 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, 電子情報通信学会技術研究報告 (MoMuC), Vol. 111, No. 476, pp. 19-24 (2012).
- [6] 小林茂: *PrototypingLab*, オーム社 (2010).

- [7] 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フェースの提案, 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, pp. 214-217 (2014).
- [8] 笈豪太, 杉浦裕太, 杉本麻樹, 稲見昌彦: 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, WISS2010 予稿集, pp. 89-94 (2010).
- [9] 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, pp. 359-364 (2013).
- [10] Buechley, L., Elumeze, N., Dodson, C. and Eisenberg, M.: Quilt Snaps: a fabric based computational construction kit, *Proc. 2005 IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education*, pp. 3-5 (2005).
- [11] Buechley, L., Elumeze, N. and Eisenberg, M.: Electronic/Computational Textiles and Children's Crafts, *Proc. 2006 Conference on Interaction Design and Children*, pp. 49-56 (2006).
- [12] Buechley, L. and Hill, B. M.: LilyPad in the Wild: How Hardware's Long Tail is Supporting New Engineering and Design Communities, *Proc. 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems*, pp. 199-207 (2010).