Vol.2012-MBL-61 No.16
Vol.2012-UBI-33 No.16
2012/3/12

フェルト羊毛を用いた電子手芸手法の提案

冨永祐衣† 塚田浩二††§ 椎尾一郎†

本研究では，ふわふわとした柔らかい形態から手触りの良く安定した形態までを自在に構築できる，「フェルト羊毛」という素材と導電性繊維（糸・布・綿）を組み合わせる新しい電子手芸手法を提案する．
その具体例として，やわらかな手触りを持つ入力インタフェース「ふわもにゅマトリクス」を実装し，フェルト羊毛と導電性繊維，スナップボタンなどを中心に，センサ部からマトリクス回路部，制御部までをできるだけ柔軟な質感で構築する手法について，詳しく紹介する．

Novel e-textile technique using felt material

Yui Tominaga† Koji Tsukada†† Itiro Siio†

In this paper, we propose a novel e-textile technique using felt material and capacitive fabrics. Using the felt, users can easily create both fluffy/flexible shape and soft/stable shape. Based on these features, we develop a soft and flexible input interface called "fuwa-monyu matrix". The most parts of the system including sensors, a matrix circuit, and a controller are developed by felt and capactive fabrics. We explain the development and basic charactersitics of the system.

1. はじめに

我々の居住空間には柔らかい素材が溢れている．例えば，寝室のベッドや毛布，メイクをする時のパフ，休憩時に座るソファやぬいぐるみ，など，柔らかい素材は我々の生活に多数溶け込んでいる．これらの柔らかいものに触れるとき，その肌触りがふわふわとして柔らかいほど，「気持ちいい」「あたたかい」気分になり，「ずっと触っていたい」と我々は感じる．このようにして，柔らかいものは，我々に心地よさや安らぎを与えてくれる．

その一方，家庭電化製品やパーソナルコンピュータ(PC)をはじめとした電子機器の入出力インタフェースの多くは固い素材で作られている．例えば，毎日のように使用するテレビ・エアコン・ゲーム機などのリモコンや，携帯電話・ノート PC 等はすべて固い素材で構成される．

我々は，柔らかい素材を汎用的な入出力インタフェースへと適用することで，使っていて心地よく，ストレスを感じにくいインタラクションを提供することを目指して，ふわふわとして気持ちよく，さらにもにゅもにゅとした柔らかい触感がある入力インタフェース「ふわもにゅインタフェース」1）を提案する．本研究では，特にフェルト羊毛や導電布を利用することで，センサ部のみならず，基板部までも柔らかい触感を保てる電子手芸法を提案する．本論文ではまず，ふわもにゅインタフェースのコンセプトと，フェルト羊毛という素材の特性について紹介する．
次に，こうした素材の特性を生かした実装例「ふわもにゅマトリクス」について詳しく紹介する．

2. ふわもにゅインタフェース

本稿では，ぬいぐるみやファー小物などの表面が毛で覆われたものに触れたときに感じる「ふわふわ」感と，コットンやパウダービーズなどを内包するクッションを抱

†お茶の水女子大学院人間文化創成科学研究科
Ochanomizu University, Graduate School of Humanities and Sciences
††お茶の水女子大学お茶大アカデミックプロダクション
Ochanomizu University, Ochadai Academic Production
§ 科学技術振興機構 さきがけ
JST PRESTO

ⓒ 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.16
Vol.2012-UBI-33 No.16
2012/3/12

きしめた時に得られる「もにゅもにゅ」感を兼ね備えているという意味を持った表現として「ふわもにゅ」という言葉を用いる． このような感覚を提供するインタフェースを，ふわもにゅインタフェースと呼ぶ．ふわもにゅインタフェースの主要なコンセプトは，以下の 3 点である．

- ふわもにゅ感を活かした入力操作
- 素材の質感／外観を阻害しない
- 既存の手芸技術の活用



図 1 ふわもにゅインタフェースの利用イメージ．リビング／寝室などのリラックスした空間で違和感無く利用できる，柔軟で手触りの良い入出力インタフェースを構築する．

第一点は，ふわふわ／もにゅっとした柔らかさを活かした入力操作を行う点である．例えば，図 1 のように手で押したり，撫でたりする入力操作を実現することで，リビング／寝室などのリラックスした空間に適した操作感を実現する．

第二点は，質感だけでなく，柔らかい素材が持っている独特の外観を阻害せずに組み込む点である．例えば，ふわもにゅインタフェースを組み込んだぬいぐるみは，一見するとただのぬいぐるみに見せることができ，部屋の中に普通のぬいぐるみと並べておいても，違和感を感じさせず，インテリアの一部になるよう配慮する．

第三点は，幅広く普及している既存の手芸技術を活用することである．本研究では，特に，「フェルト手芸」という手法に着目した．フェルト手芸では，綿状のフェルト羊毛[a]を用いて，加工方法を変えることで，ふわふわとした柔らかなフェルトと，しっかりと繊維の目の詰まった丈夫なフェルトの両方を容易に作り分けることができる．更にこの質感の違うフェルトは自在に組み合わせて形状を作ることが可能である．本研究ではこのフェルト手芸の特性を活用し，ふわふわした入力部分としっかりとした土台部分を組み合わせたインタフェースを提案する．なお，具体的な実装方法としては，図 2 のように(1)フェルティング用ニードルという針で差し固める，(2)フェルト羊毛を石鹸水につけてこする／乾かすことで繊維を縮める，という 2 種類の方法がある．後者の石鹸水の手法を用いた方が，より繊維が縮まり，目の詰まったしっかりしたフェルトを作ることが出来る．このように，ふわふわと柔らかく，様々な形を形成でき，温かみのある作品を作れるフェルト手芸は「ふわもにゅ」な質感にこだわった本研究最適な手芸手法だと考えた．さらに，フェルトの形成過程に導電性繊維（綿・糸・布）を取り込み，フェルトと一体化することで，簡易なセンサや配線などの電子回路要素を実現できると考えた．



図 2 フェルト手芸の 2 種類の作成手法

a ハマナカ株式会社のニードルわたわた（H440-003-310）等がある．
http://www.hamanaka.co.jp/goods/craft/felt/materials.html

ⓒ 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.16
Vol.2012-UBI-33 No.16
2012/3/12

3. 実装

ここでは，上述したようなフェルト羊毛＋導電性繊維の特性を生かしたふわもにゅインタフェースのプロトタイプ「ふわもにゅマトリクス」について詳しく紹介する．

3.1 ふわもにゅマトリクス

ふわもにゅマトリクスは図 3 のように，導電繊維[b]とフェルト羊毛を混ぜた 9 個のフェルトボール（以下導電毛玉）から成る入力部・しっかりと繊維の目の詰まったフェルト羊毛で正方形（14cm × 14cm）に構築した土台部・及びこれらの制御基板部の 3 層から構成される．図 3 に，ふわもにゅマトリクスの初期のプロトタイプを示す．ここでは，制御基板としては Arduino Uno を直接利用している．

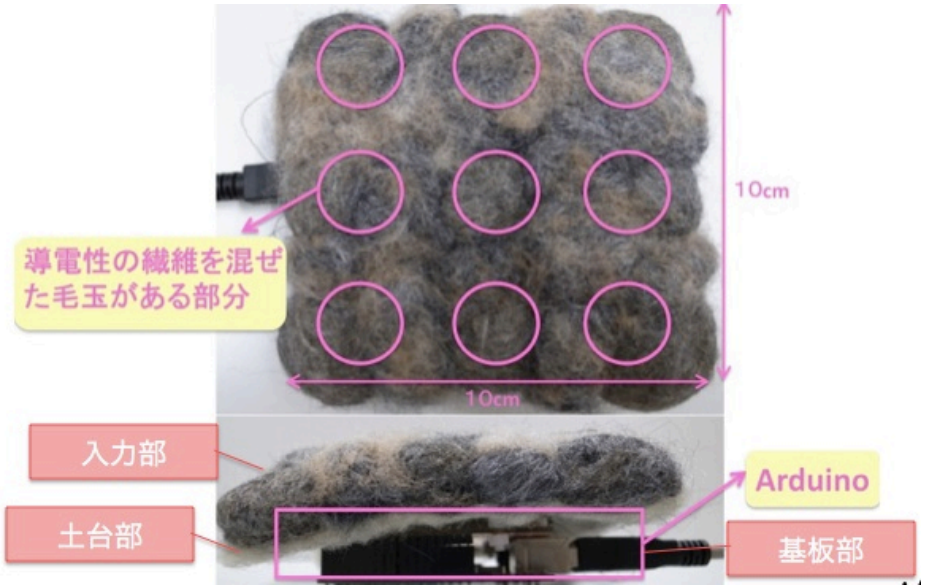


図 3　ふわもにゅマトリクスの外観

土台部には，3cm 間隔で縦横 3 列ずつ導電糸[c]をミシンで縫い込み，交差部が接触しないように工夫することで，マトリクス回路を構築した．次に，マトリックス土台の 9 個の格子点上(図 4 の丸部分)に導電毛玉を置き，その周りをフェルト羊毛で囲んでニードルで差し固めた．導電毛玉とは，フェルト羊毛に一定割合で導電性繊維を混ぜ込んだ素材である．導電毛玉は，ユーザが押しこむことで抵抗値が変化するため，マトリクス上の抵抗値を測定することで，ユーザがどの部分を押したかを知ることが出来る．導電毛玉と通常の羊毛フェルトの質感はほとんど違いがないため，システムの外観や手触りを阻害しない特徴がある．

上記のふわもにゅマトリクスは，制御部のマイコン（Aruduino Uno）から制御される．マイコンでは，導電毛玉の抵抗値の変化から，押し込まれた場所と押し込み具合を認識し，動作確認用の LED を駆動したり，PC にシリアルポート経由で出力することで汎用的に活用できる設計とした．なお，土台と制御基板の接続には，一般的な圧着コネクタを用いている．

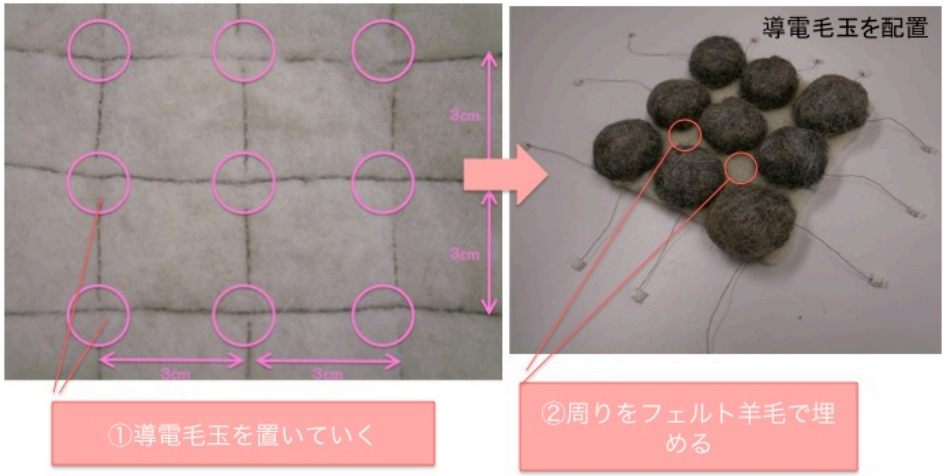


図 4 導電毛玉をマトリクスの土台に配置する様子

3.2 プロトタイプの課題と改善

ここでは，プロトタイプ 1 の試作を通して得られた課題をまとめる．まず，土台部分の配線を導電糸縫製で作成したところ，糸が緩む／ほつれる等して，隣接する

b 導電糸（千石電商の導電糸　太め（4ply）SparkFun DEV-08549 を利用）を 5mm づつカットし，ほぐすことで繊維状にしたもの
c 千石電商の導電糸　細め（２ply）SparkFun DEV-08544 を利用

http://www.sengoku.co.jp/mod/sgk_cart/search.php?toku=&cond8=&dai=&chu=&syo=&cond9=&k3=3&list=2&pflg=n&multi=&code=5DH6-SBFW

ⓒ 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.16
Vol.2012-UBI-33 No.16
2012/3/12

糸とショートしてしまう問題が生じた．さらに，一般的な圧着コネクタを用いている土台と制御基板の接続部も，取回しが悪く，導電糸同士が空中でショートしやすい問題があった．この，導電糸刺繍による配線，電子部品との接続で生ずる問題を解決するために，導電繊維による配線をフェルト素材の中に埋め込む手法を考案した．すなわち，従来の印刷回路基板(PCB: Printed Circuit Board) のような多層基板を，フェルト布の基板と，レーザカッターなどで切り出した導電布を重ね合わせることで実現する．交差する配線を電気的に絶縁できるため，特にマトリクスパターンの構築には最適だと考えた．また，層間の電気的接続や，外部への配線取り出しのために，金属製のハトメ，スナップボタンなどを利用する．

3.3 改良版プロトタイプの実装

前章で述べた手法を用いて，ふわもにゅマトリクスの改良版プロトタイプを実装した．導電布などを用いてふわもにゅマトリクスの改良を行った．システムの構成を図 5 に示す．システムは，入力層／情報提示層／制御層の 3 層で構成され，全ての層はフェルト上に実装されている．

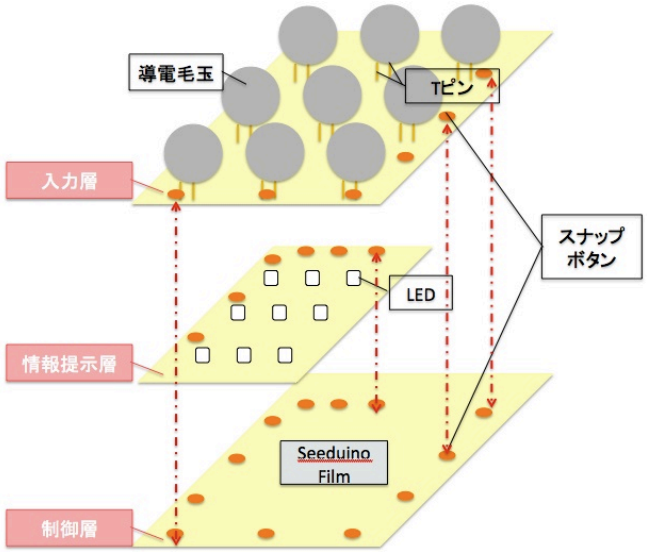


図 5 改良版のプロトタイプシステム

各層は，図 6 に示すように，フェルト内に導電布で設計した配線パターンを埋め込んでおり，スナップボタンを利用して，物理的／電気的に手軽に連結することが出来る．次に，入力層／情報提示層のフェルト製マトリクス基板の設計について詳しく説明する．図 6 に示すようにレーザカッターで切断した導電布と正方形(14cm × 14cm)に成形したフェルトを交互に挟んで，石鹸水につけてから乾燥させることで，1 枚のフェルトを成形した．ここでは，縦方向の導電布（図 6 の黄色部分）と横方向の導電布（図 6 の緑部分）がフェルトで絶縁される為，ショートする心配がなく，導電糸で配線する場合に比べて，配線が遥かに容易である．なお，導電布はフェルトの中に挟まれているため，制御基板や導電毛玉と接続するためには，フェルトの表面に導電布との接触面を作る必要がある．ここでは，前述したようにスナップボタンでフェルト基板同士を接続し，金属ハトメを用いてフェルト基板上にセンサ／LED などを配置する構成とした．

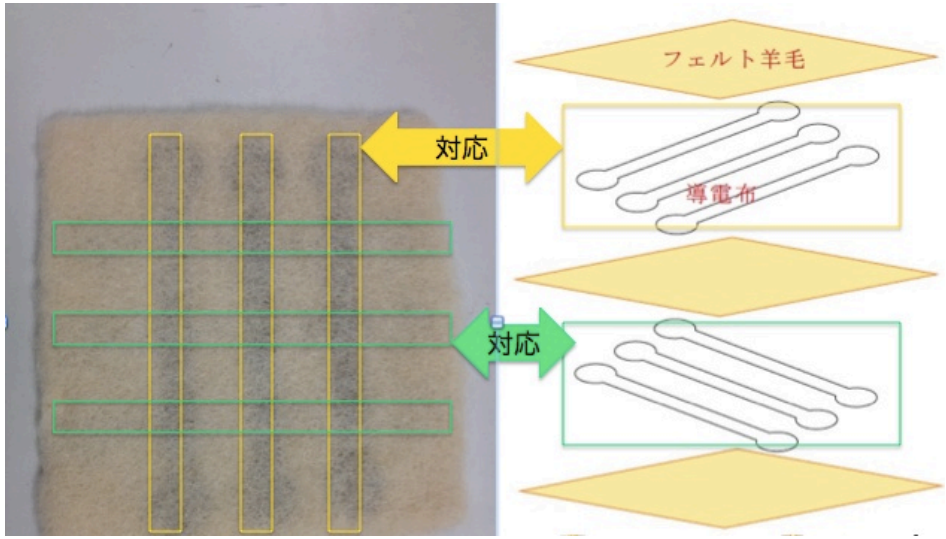


図 6 導電布を用いて成形したフェルト基板の構成

なお，電子部品の固定方法については，当初導電糸で縫いつける方法なども検討したが，数点の試作の結果，ハトメで接触面を作ると，ハトメには（1）接触面積がほぼ一定となる．（2）実装が導電糸での縫いつけより効率的である．ことがわかり，質感もほとんど阻害しなかったため，本研究では，ハトメをセンサなどとフェルト基板間の固定方法として採用した．と T ピンを用いて土台と導電毛玉との接触面積を作るこ

ⓒ 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.16
Vol.2012-UBI-33 No.16
2012/3/12

とにより土台の改良を行った．
ここでは具体的に，導電毛玉と LED をハトメを介して基板に接続する手法を紹介する．導電毛玉と土台部分の接続は，図 7 のように導電毛玉の側面に T ピン[d]を 4 本刺し，フェルト基板上のハトメに T ピンを通して，裏側からシリコン素材のピアスキャッチ[e]で留めて固定した．ピアスキャッチからはみ出た T ピン部分はペンチで切断する．図 8 のようにフェルト基板上に配置したハトメと導電毛玉の例を示す．最終的には，9 か所に導電毛玉を設置した上で，毛玉の周りをフェルト羊毛で刺し固める．

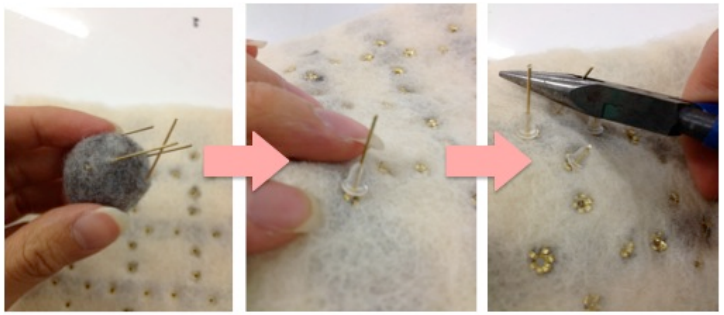


図 7 導電毛玉とフェルト基板の接続方法

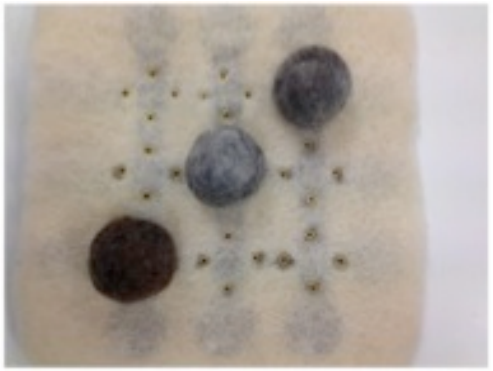


図 8 フェルト基板上のハトメと導電毛玉の外観

d ビーズを通して，他のパーツと繋げたり，チェーンと繋ぐパーツ
e ピアスを留めるための受け具

次に，フェルトマトリクス基板に LED を取り付ける事例について示す．図 9 に示すように，回路交差部分近辺に極小ハトメを打ちこんだ．次にこれら 9 箇所のハトメに，LED を取り付けた（図 9）．LED のリード線は極小ハトメの穴に通してある．ハトメ穴と LED リードの太さは，ハトメ穴とほぼ同一なので，そのままでも良好な電気的接触を保っているが，LED を引っ張った際の耐久性なども考慮して，裏面でピアスキャッチを用いて固定している．本フェルト基板は，実質的に 3 × 3 の LED マトリクスとして動作する．

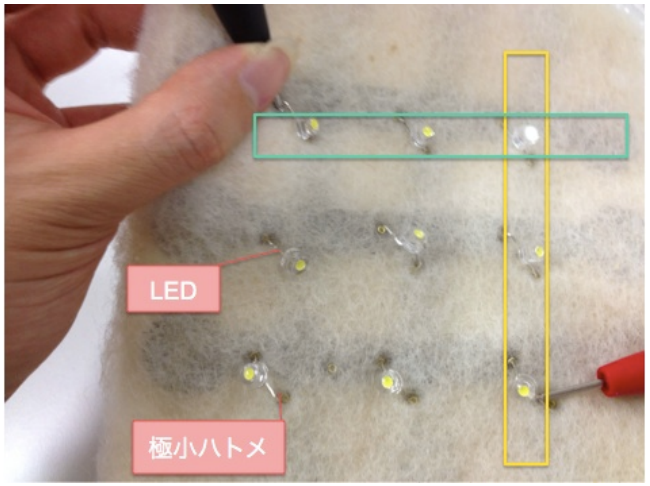


図 9 LED のマトリクス土台

4. 関連研究

近年，綿，糸，布といった柔らかなテクスタイルを利用した電子手芸やインタフェースの研究が盛んになされている．
電子手芸の例として，2）では，レース刺繍を利用した圧力センサや，小型スピーカーをドレスに取り付け，スピーカーの周りをレース刺繍で覆った圧力センサドレスを開発している．テクノ手芸部 3）は，電子手芸の手法を利用して，様々な作品を作成している．例えば，ボタン電池，転倒スイッチ， 2 個の LED を用いて，倒れると目の LED の点灯が消えるウサギのぬいぐるみなどが作成されている．

ⓒ 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-MBL-61 No.16
Vol.2012-UBI-33 No.16
2012/3/12

また柔らかいインタフェースの研究として，David らは，洋服などに簡単に取り付け／取り外しのできるガジェットである E-TAG を開発した 4)．Leah らは，子供の教育に活かせる電子ソーイングキットや，パッチワークで飾られた複数枚の布をスナップで自由に繋ぎ合わせることで，LED が明滅したり音が鳴る，動的な回路を作成した 5)．Grant らはフェルトに導電性の糸を縫い付け，これを可変抵抗として扱うことで柔らかいスイッチ 6）やフェルト羊毛，導電糸とスナップを用いたモジュール式のシンセサイザ 7）を開発した．Baudisch ら 8）は，柔らかい布で光学式マウスの中身を包んだ手触りの良い入力デバイスを開発した．平松ら 9）は，ユーザの「握る」「投げる」「転がす」というユーザの動きで入力が可能なボール型の柔らかいコントローラを開発した．筧ら 10）は，綿を内包した柔軟体にセンサを入れることで，「たたく」「つぶす」といったインタラクションを検出するシステムを提案している．

このように，柔らかい入力デバイスの研究は複数行われているが，本研究では導電性繊維をフェルト羊毛に埋め込むことで，センサ部／基板部／制御部を含めてできるだけ柔軟な素材で構成し，従来の手芸技法やパーツを活用した扱いやすい設計にしている点が特徴である．

Buechley らは，レーザカッターで切った導電性布をアイロンで接着可能なシートを用いて布に張り付け，ハンダ付けすることで，布上に柔らかい PCB を開発した 11)．布の表面に導電性布を貼付けているため，剥がれて隣り合う導電性布同士がショートする可能性がある．本研究でも，導電布をレーザカッターで切り出して配線を作り出しているが，この導電布回路をフェルト羊毛の間に挟みこみ，布と一体化させている．このため，導電布がはがれたり，他の導電体と接触してショートする心配がない．更にフェルト羊毛と導電布を重ね合わせることで多層基板の構造を可能にしている．

5. まとめと今後の予定

本研究では，加工方法によって，綿状／布状／ボール状／ぬいぐるみ状に自由自在に形を作る事のできる「フェルト羊毛」という素材に着目し，柔らかなタッチセンサや基板を提案した．今後は，ふわもにゅした触感を保てるアクチュエータについても同時に検討を進め，柔らかい手ざわりを活用したより効果的なアプリケーションを提案していきたい．

謝辞

本研究をすすめるにあたり，手芸部品・工具についての助言と提供を頂いた，(有) 司産業 大澤 禎司様，大澤 誠様に，謹んで感謝の意を表する．

参考文献

1) 冨永 祐衣，塚田 浩二，椎尾 一郎：ふわもにゅインタフェース，情報処理学会 インタラクション 2011 論文集，pp.665-668，(Mar，2011)
2) Lace Sensor Project Online，「pressure sensor dresses」 http://lacesensorproject.com/category/pressure-sensor-a/
3) テクノ手芸部オンライン「#21： うさぎ」 http://techno-shugei.com/index.html
4) Lehn, D. I., Neely, C. W., Schoonover, K., Martin, T. L. and Jones, M. T.: e-Textile Attached Gadgets，in Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation，Citeseer（2004）.
5) Buechley, L., Elumeze, N. and Eisenberg, M.: Electronic/Computational Textiles and Children!s Crafts, in IDC '06 Proceedings of the 2006 conference on Interaction design and children, pp. 49-56, ACM Press（2006）.
6) Lara's itp blog Thesis，http://laras-home.com/itpBlog/thesis/
7) SIGNAL PROCESSING Online，「FSP 005 MODULAR SYNTH」 http://fsp.fm/projects/project/fsp_005_modular_analog_synth/
8) Baudisch, P., Sinclair, M. and Wilson, A.: Soap: a Pointing Device that Works in Mid-Air, in UIST '06（technote），pp. 43-46，Montreux, Switzerland，Oct 15-18（2006）.
9) Hiramatsu, R.: PUYO-CON, in SIGGRAPH ASIA '9 Emerging Technologies, pp. 81-81, ACM Press (2009).
10) 筧 豪太，杉浦 裕太，杉本 麻樹，稲見 昌彦: 綿を内包した柔軟体を用いた日常生活に溶け込むインタフェース, in WISS'10, pp.89-94 (2010).
11) Buechley, L. and Eisenberg, M.: Fabric PCBs, electronic sequins, and socket buttons: techniques for e-textile craft, in Personal and Ubiquitous Computing，Vol. 13，No.2, pp.133-150，Springer-Verlag (2007).

ⓒ 2012 Information Processing Society of Japan