

Needle User Interface (NUI): 導電布を用いた縫うインタフェースの提案

中垣 拳[†] 笥 康明[‡]

針と糸を用いた“縫う”という行為は、裁縫・刺繍・手術など様々な場面において我々の生活を支えてきた。しかし近年はミシンなど技術の発達により、手で縫う機会が減りつつある。本研究では、このような縫う行為を拡張／支援することで、手縫いの単調でつまらなく作業を楽しくし、繊細で難しい作業をサポートするようなインタフェースの開発を目的とする。今回具体的には、導電布を階層的に複数枚重ねることによって、針の刺さった位置および方向を認識する手法を提案する。針の刺さった状態を認識することで、糸がどう縫われていったかを推定することができる。さらに今回は特に刺繍に着目して、これを応用した刺繍支援アプリケーションの提案を行う。

Needle User Interface (NUI): A Sewing Interface Using Conductive Textiles

KEN NAKAGAKI[†] YASUAKI KAKEHI[‡]

The activity "Sewing" has been supporting our life in various scenes such as needlework, embroidery or surgery. However, the opportunities to sew by our hands have been decreased because of the development of technology such as sewing machines. In this research, we would propose the interface that entertain the monotonous and boring work, or support the delicate and difficult work by enhancing sewing by hands. The state of how a needle is stung can be detected by structure of conductive textiles in layers. By detecting the state, how the string was sewed on a textile surface can be estimated. In addition, we are going to propose an application for supporting embroidery.

1. はじめに

針と糸を用いた“縫う”という行為は、昔より現在に至るまで様々な場面において我々の生活を広く支えてきた。その例として、衣服を繕うための裁縫はもちろん、様々な色の糸や縫い方によって布地に装飾を施すための刺繍、医療分野で人命を救うための縫合などがあげられる。日本の義務教育においても、家庭科の授業では誰しもが裁縫を学ぶ。そういった中、近年は、ミシンなど技術の発達により、自らの手で縫う機会が減少している。刺繍の分野においても、刺繍機能のついたコンピュータミシンの登場で、人手だと手間のかかる模様でも簡単にできてしまう環境が整いつつある。一方で、縫いながらアレンジが効くこと、複雑なステッチを縫えることなど、手縫いにしかない利点もたくさんある。

このような背景の中で、我々は縫うインタフェース、

Needle User Interface（以下 NUI）の提案を行う（図1）。具体的には、手縫いの行為をコンピュータによりセンシングし、フィードバックを付与することにより、単調な作業を楽しくする、手元の作業を共有する、という観点で手縫いを拡張／支援する。

特に今回は、糸のついた針が布に対して刺さった位置・向きを認識する入力インタフェースの提案と精度評価および同インタフェースを用いた刺繍支援アプリケーションについて述べる。

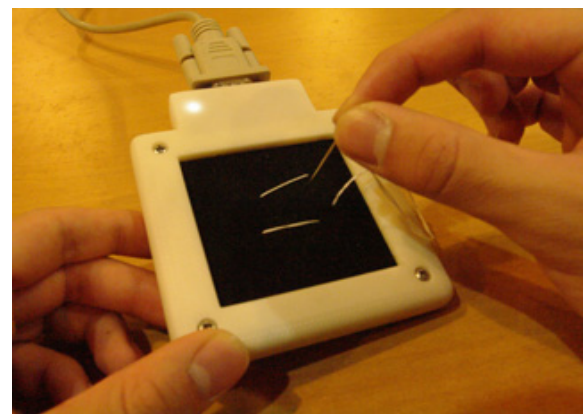


図 1: Needle User Interface(NUI)

[†] 慶應義塾大学 総合政策学部

Faculty of Policy Management, Keio University

[‡] 慶應義塾大学 環境情報学部

Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

2. 関連研究

近年, Organic User Interface と呼ばれるような, 身の回りの素材の特性を用いたインタラクションに関する研究に注目が集まっている. このような研究は普段触れている身近な素材に情報を纏わせることで, 直感的な操作が可能なタンジブルインタフェースの実現を目指している. このような代表例として, 石井らは砂や粘土をテーブル上部からレーザスキャンすることによってその形状を認識し, プロジェクタでリアルタイムに情報を投影することで, 変形可能な素材による造形支援システム¹⁾を提案している.

こういった素材の中でも, 布は私たちが衣服として常に身に付けている最も身近な素材であり, この柔らかく肌触りの良い素材感を活かした研究がこれまでも数多く行われてきた. Cassinelli らの Khronos Projector²⁾は柔らかいスクリーンを手で触ることであらかじめ録画してある映像コンテンツを探索できるインタラクティブアートである. 深度センサで布の変形を検知することで, プロジェクタでスクリーン上に投影された映像との動的なインタラクションを実現する.

このような研究が扱う手法は, 素材とは別にカメラやセンサ, プロジェクタなどの装置の設置が必要で, 手などによる遮蔽や, 装置の大規模化などの問題がある. こういった中, 別のアプローチとして導電性の素材を用いることで, 素材自体の状態を検出し, 素材以外に大きな装置を用いることなく直感的なインタラクションを実現するようなインタフェースの開発も行われている. 渋谷らの Fabcell³⁾は, 液晶インクで染色した糸と導電性繊維を編み込んだ織物によって, 電気を通すことで温度をコントロールして, 色を制御することができる. これをピクセル上に並べて, 身の回りの環境に溶け込んだアンビエントな情報ディスプレイを提案している. 秋田らのウェアラブルネットワーク TextileNet⁴⁾は, 導電布を階層的に衣服の表と裏に配置することでそれぞれを電極として衣服自体からモジュールへ電源供給を行う手法を用いたインタフェースである. また, 戸田らは, 無線筋電位測定システム⁵⁾や, インタラクティブ絵本⁶⁾等, 様々な応用を提案している. Buechery らによる Textile Sensors⁷⁾は, 導電性の布や糸を用いた傾きセンサや圧力センサなどを提案するようなプロジェクトである. 中でも Knit Touchpad⁸⁾は, 導電布でできたキャップを指に装着して触ると, 触れた場所を認識することができる. これに対して, 我々は, 導電布を階層的に重ねる構造によって, その上を一般的な針と糸で縫っていくと, 糸が

どのような軌跡で縫われたかが認識出来る入力インタフェース NUI を提案する.

3. Needle User Interface(NUI)の提案

3.1 概要

本研究では, 縫う行為を拡張するインタフェース NUI の提案を行う. 今回は特に, 実際の布と糸を用いて, 縫われる過程をビジュアライズすると同時に, 縫う感触の増幅による感覚の拡張を行う.

具体的には, ①針が刺さっているかどうか (以下, 刺針の有無), ②どちらから刺さってどちらに抜けていったか (以下, 入針/出針方向), ③どこに刺さったか (刺針位置) を認識することで糸がどのように縫われていったかをリアルタイムに検出する.

本論文ではこれを, 導電布を階層的に重ねることにより実現する. 例えば図 2 のように導電布 2 枚と絶縁体である布 3 枚を交互に重ねたものに, 一般的な金属の針を刺すと, 針を介して導電布同士が導通するため, その状態をセンシングすることで刺針の有無を検出できる.

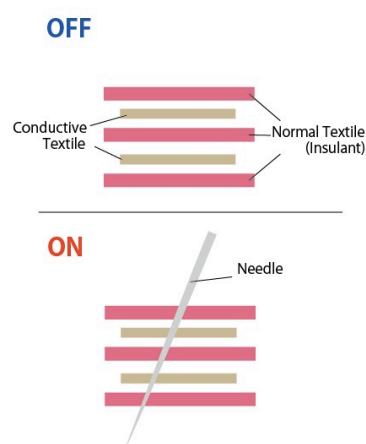


図 2: 刺針の検出

さらに, この基本的な仕組みを発展させ, 導電布を 3 枚用いた, 3 層式の構造を用いることで, 入針/出針方向および刺針位置の認識を実現する. 以下にその詳細について述べる.

3.2 システム設計

本入力インタフェースは 3 枚, 2 種類の導電布を重ねることで構成される (図 3). それぞれの導電布の上下には絶縁体として普通の布を重ねる. 市販の導電布の中にも, 抵抗値が高いものや低いものなど, 電気的な特性に幅が存在する. 本システムでは, 層 A, C には抵抗値が高い布, 中心の層 B には抵抗値が低い

一般的な導電布を用いる。

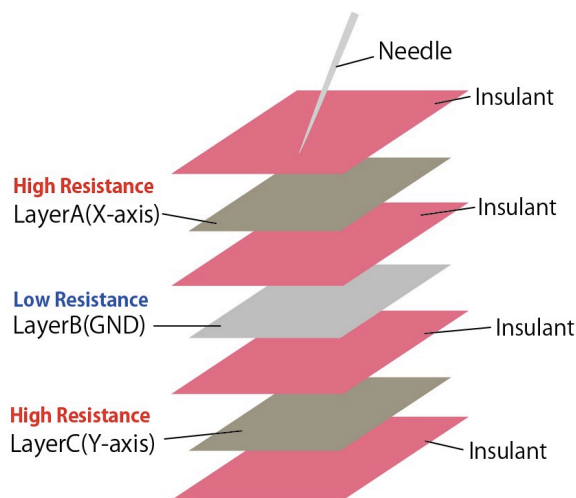


図 3: 3 層構造

3.2.1 入針／出針方向

3 層の導電布を重ねることによって、上述の針の刺さったことを認識出来るスイッチが今度は上層（図 3 レイヤ A とレイヤ B）と下層（図 3 レイヤ B とレイヤ C）の 2 組できる。これにより、例えば布の上から

刺さったときには、図 4 のように一瞬だけ上層の方が先に通電する。どちらの層のスイッチが先に通電したかを検出することで、上から刺さったのか下から刺さったのかが認識できる。また、針が抜ける方向も、同様の手法を用いて例えば図 5 のようにどちらが先に通電しなくなったかを認識することで検出可能となる。

3.2.2 刺針位置

針の刺さった場所の検出については、導電布の抵抗値を利用する。このため、2 種類、3 枚の導電布を使用する。図 6 のように 3 層の導電布のうち中心の層（層 B）は導電性が高くほとんど抵抗値のない導電布を使用し、上下の層（層 A, C）には、ある程度抵抗値のある一般的な導電布を使用する。上下の層にそれぞれ X 軸、Y 軸を割り当てて、図 6 のように層 A では横方向、層 C では縦方向に電極を配線する。層 B はグラウンドに割り当てる。これにより針が刺さった際に、X 軸および Y 軸の両端、4 極に順番に高速でスイッチングしながら電流を流し、それぞれの電極から針までの電圧を抵抗分圧式で求める。この電圧は針と電極までの距離と比例関係にあるため、刺針位置の推定が可能となる。

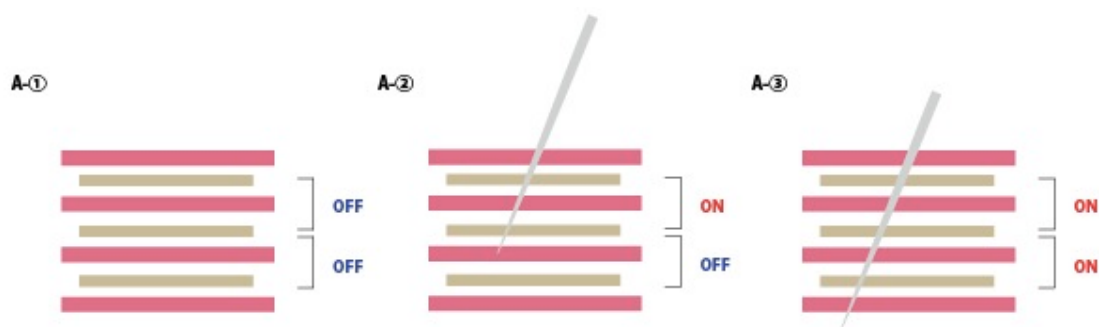


図 4: 入針方向の検出

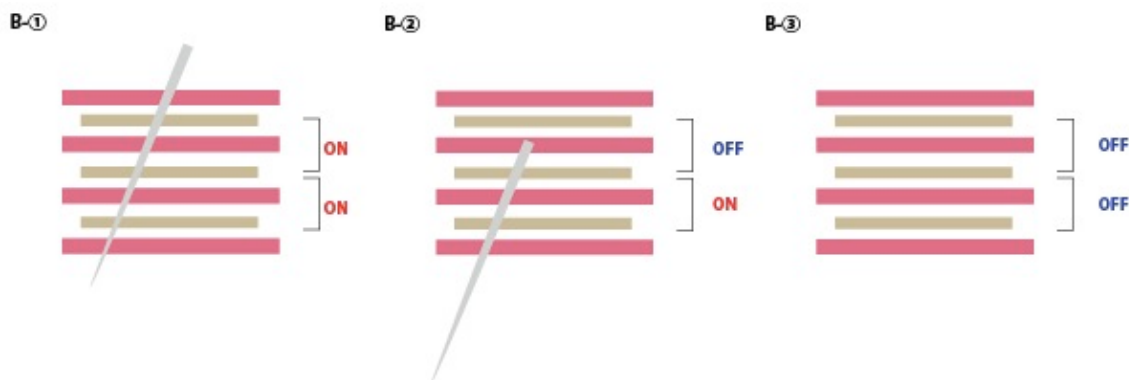


図 5: 出針方向の検出

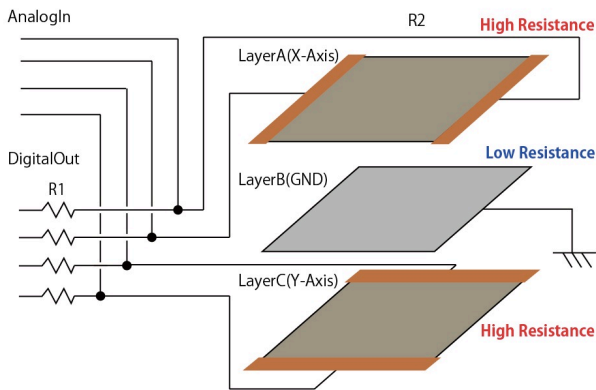


図 6: 刺針位置検出回路

4. アプリケーション例

今回、本入力インタフェースを用いたアプリケーションとして、糸が布に縫い付けられる過程を認識し、画面上にリアルタイムにビジュアライズするインタラクティブアプリケーションを実装した。

本システムは刺繍枠型デバイスとディスプレイ、スピーカ、PC、マイコンで構成される(図 7)。刺繍枠型デバイスには、6×6cm の布入力インタフェース、デバイスの回転を認識するための 3 軸加速度センサおよび傾斜スイッチ、赤と青の表面実装型 LED、小型振動モータが内蔵されている(図 8)。以下に、このアプリケーションを構成する要素について述べる。

4.1 パーチャルな糸の描画

前述までの刺針状態を認識するシステムによって、布インタフェース上に針がどのように縫われていったかを認識することができる。具体的には、糸のついた針が布のどの場所のどちら側からどちら側に抜けていったかの情報によって、針が貫通した位置の点を順番に線で結び、糸の通っていった軌跡を求める。これをディスプレイ上で布上の表と裏に糸がどのように縫われたかをビジュアライズする。また、刺針されている状態にも刺針位置や入針方向のビジュアライズをする。

3 軸加速度センサおよび傾斜スイッチによってデバイスの傾きを認識する。今回は、図 8 の縦方向を軸としたインタフェースの回転をディスプレイ上のバーチャルな布の動きと同期させることで、表と裏のそれぞれにビジュアライズされた糸の軌跡が直感的に確認できるようにした(図 9)。

4.2 刺針瞬間の感覚の拡張

また、針が刺さった瞬間の感触を増幅するために、視覚／聴覚／触覚的なフィードバックを行う。具体的には針がインタフェースに刺された際に、スピーカか

ら“プスッ”という音の出力、ディスプレイ上での刺針位置に応じた波紋エフェクトの付与、振動モータによる振動の提示である。

この他、青と赤の LED をデバイスの表と裏の上部にそれぞれ配置し、インジケータとして用いる。針が刺さった状態では点灯、刺さっていない状態では、点滅するというように振る舞いを変えることで、システムの状態をユーザに知らせる。また、刺繍の進行具合やエラー提示などのインジケータとしても用いる。

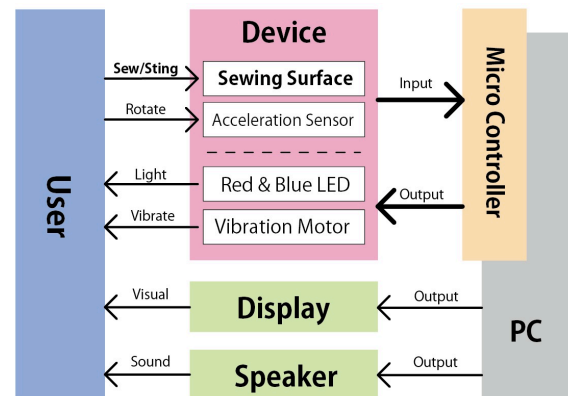


図 7: 刺繍支援アプリケーションのシステム図

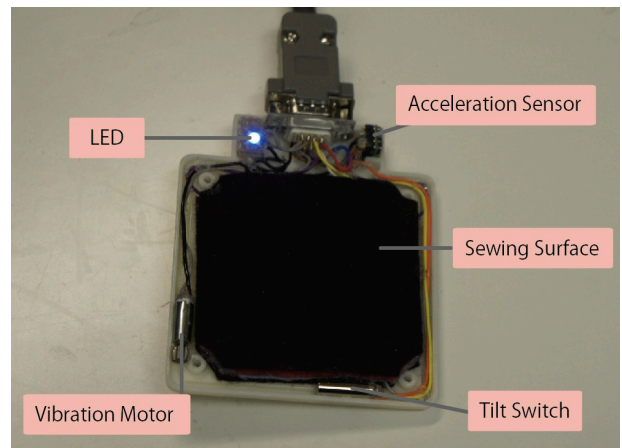


図 8: デバイスの内部構造

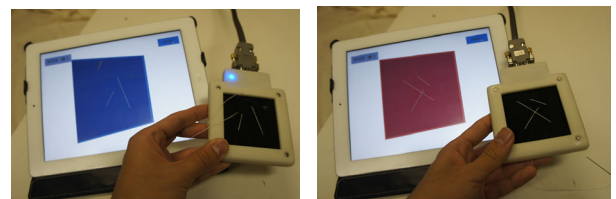


図 3: 描画と回転の様子

5. 認識精度の評価

5.1 実験内容

今回、我々が提案した手法による認識手法の精度に関して基礎的な評価実験を行った。6×6cm のインタフェース表面のうち、縦横 1cm 間隔で線を引き、その交点合計 25 点に対して順番に 20 回ずつ、合計 500 回針を刺して検出された値と実際の位置との誤差を記録した (図 10)。

今回の手法では、電圧の比率で位置を推定する手法を採用するため、検出される値は布の各辺の長さに対する割合で導出される。このため今回の実験では、X (横軸) および Y (縦軸) 座標の 2 つで、それぞれ中心が 0% で両端を 100% というように基準座標系を設定する。よってそれぞれの軸は、-100% から 100% までの値をとる。今回計測した誤差も、この座標系でのずれを記述することとする。

また本実験では、それぞれの点を 20 回刺すうち、表から刺して裏から抜く／表から刺して表から抜く／裏から刺して表から抜く／裏から刺して裏から抜く、の 4 つのパターンを 5 回ずつ行い、刺した場所だけでなく、刺す／抜く方向の認識成功率も測定した。

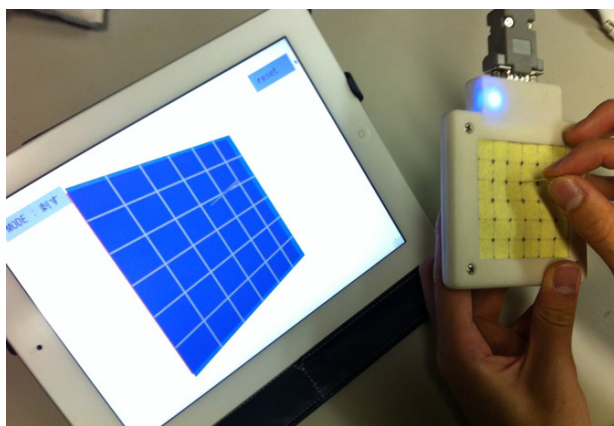


図 10: 実験の様子

5.2 実験結果

実験の結果として、500 回刺した全ての誤差の平均値は 6.463% で分散は 22.8 という結果を得た。また、各点における誤差平均値の大きさを図 11 の棒グラフに表す。大まかな位置の取得はできているが、特に端の方で精度が低いことがわかる。現在は、電圧の比率のみで座標を推定しているが、実際は素材の状態によってずれが出ることが予測されるため、今後事前のキャリブレーション処理を導入することで、さらなる精度の向上を計る予定である。

また、刺さった方向の認識に関しては、図 12 から見られるように全体としては成功率 95% という高い

精度の結果を得た。図 12 (B) の表から見られるように、表から刺して表から抜いた際に、出針方向の認識率が 86% と他の場合より低下した。今後、誤認識が起りやすい針の動きをより細かく観測することで、認識率を向上させるためのアルゴリズムやハードウェアの改良も並行して行っていく。

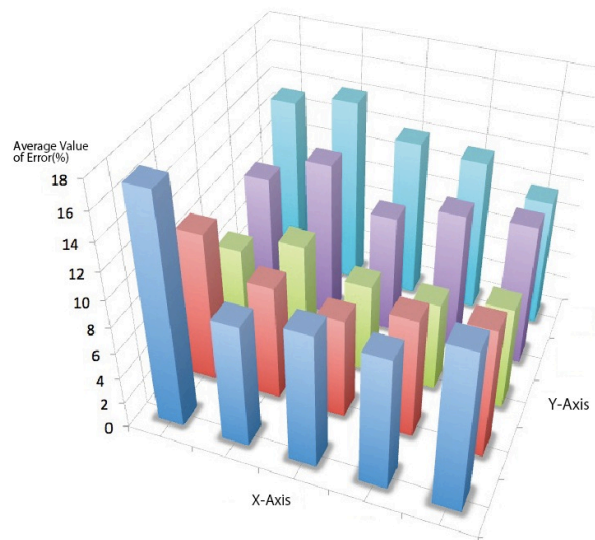


図 11: インタフェース上の各点における位置推定誤差

	成功(回)	失敗(回)	成功率(%)
入針	120	5	96
出針	122	3	97.6

(A)表入針・裏出針の場合

	成功(回)	失敗(回)	成功率(%)
入針	122	3	97.6
出針	107	18	85.6

(B)表入針・表出針の場合

	成功(回)	失敗(回)	成功率(%)
入針	121	4	96.8
出針	124	1	99.2

(C)裏入針・表出針の場合

	成功(回)	失敗(回)	成功率(%)
入針	123	2	98.4
出針	120	5	96

(D)裏入針・裏出針の場合

図 12: 実験結果

6. 展示の様子とユーザの反応

今回提案したシステムのプロトタイプを 2011 年 11 月 22, 23 日に東京ミッドタウンで開催された慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの研究発表会 Open Research Forum 2011 (ORF2011) にて展示を行った (図 13)。ここでは、4. において述べた刺繍支援アプリケーションを展示した。ディスプレイには iPad2 を用いることで台の上に平置きにし、デバイスの回転をディスプレイの向きと対応づけやすいような形で展示を行った。

体験者の反応としては、刺した瞬間の効果音とデバイスへの振動の付与によって、刺す行為の快感を増幅されたという意見が多く、これが癖になって何回も刺していた体験者がたくさん見られた。

一方で、刺繍枠型のデバイスに関して、布であるだけに枠で固定しないフレキシブルな状態で使いたいという意見もあった。また、今回のシステムでは入針／出針方向しか認識することができないにもかかわらず、刺さっている状態の針の細かな傾きを認識できることを期待して、針で刺した際に、角度を変える様子も見られた。今後、このような体験者の行為を参考にして、さらなるインタラクションの提案につなげていく。



図 13: 体験者の様子

7. まとめと今後の課題

今回筆者らは、導電布を階層的に重ねた構造によって入針／出針方向および刺針位置を認識できる入力インタフェース NUI と、これを用いた刺繍支援アプリケーションの提案を行った。NUI の現状での課題と今後の展望について以下に述べる。

まず、位置推定の精度向上に向けて、キャリブレーション処理の導入や、布の状態検出による位置補正などを検討する。

また、今回実装した入力インタフェースは 6×6cm と小さな範囲であったが、今後はより大きなスケールのシステムを制作する予定である。

さらに、今回提案したアプリケーションは、デバイスとディスプレイが分離したものであったが、今後はデバイス上のみでインタラクションが完結するシステムを提案したい。具体的には、針で刺しても動作に影響が出ない布上に情報提示を行うディスプレイを開発し、入力インタフェースとディスプレイが一体となった、“縫うディスプレイ”を提案していきたい。

また、今回は布という平面的な形状に対して刺針状

態の認識手法を提案したが、立体形状を有する物体（ぬいぐるみ）などへ応用することで、より幅広いアプリケーションへと発展することが期待できる。この際、システムの構造としても、より多くの導電布を重ねることによって、刺針角度や深さの認識も目指す。

これらの課題を通して、本技術を基盤に、縫う行為自体を楽しくするエンタテインメントコンテンツや、裁縫および手術などのスキルのアーカイブや共有などの応用を提案していく。

謝辞 本研究の一部は JST CREST「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」領域「局所性・指向性制御に基づく多人数調和型情報提示技術の構築と実践」による助成を受けた。

参考文献

- 1) H. Ishii, C. Ratti, B. Piper, Y. Wang, A. Biderman and E. Ben-Joseph; Bringing Clay and Sand into Digital Design — Continuous Tangible user Interfaces, BT Technology Journal, 2004
- 2) A. Cassinelli and M. Ishikawa: Khronos Projector, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005, Emerging Technologies, 2005.
- 3) Midori Shibutani, Akira Wakita, Fabcell: Fabric Element, SIGGRAPH 2006 Emerging Technologies, 2006.
- 4) 秋田純一, 戸田真志: TextileNet: ウェアラブルコンピュータ向けネットワーク基盤システム, インタラクション 2005, pp.235-236, 2005.
- 5) 新村達, 秋田純一, 櫻沢繁, 戸田真志: 導電性衣服を用いた高精度・多チャンネル筋電位測定システム, 情報処理学会誌, pp.3784-3792, 2007.
- 6) 中小路隼一, 斎藤明子, 刑部育子, 戸田真志, 秋田純一, 岩田州夫: 絵本学習リフレクションのための導電性布を用いた動的布絵本の設計, エンタテインメントコンピューティング 2007, 2007.
- 7) L. Buechley and H. Perner-Wilson: Textile Sensors, <http://hlt.media.mit.edu/?p=104>, (2011 年 12 月現在)
- 8) Knit Touchpad, <http://www.kobakant.at/DIY/?p=218>, (2011 年 12 月現在)