

# FuSA<sup>2</sup> Touch Display : 大画面毛状マルチタッチディスプレイ

中島 康祐<sup>1,a)</sup> 伊藤 雄一<sup>1</sup> 築谷 喬之<sup>1,†1</sup> 藤田 和之<sup>1</sup> 高嶋 和毅<sup>2</sup> 岸野 文郎<sup>3</sup>

受付日 2011年6月17日, 採録日 2011年12月16日

**概要:** 本論文では撫でる, かきむしるなど様々な動作を想起させる毛状物体の特性に着目し, 毛状表面での映像提示とマルチタッチ認識が可能な大画面毛状ディスプレイ “FuSA<sup>2</sup> Touch Display” を提案する. このシステムでは, プラスチック製光ファイバが毛状物体として用いられ, プロジェクタによる映像提示と赤外線を利用したタッチ認識が可能である. ディスプレイはファイバ束と赤外線 LED を含むモジュール単位で構成し, 大画面化が可能となっている. 24 インチ相当のディスプレイを実装し, 特性を確認したほか, ユーザからのフィードバックやインタラクションについて議論する.

**キーワード:** オーガニックユーザインタフェース, インタラクティブサーフェス, 光ファイバ, タッチ検出, 毛状物体

## FuSA<sup>2</sup> Touch Display: A Furry and Scalable Multi-touch Display

KOSUKE NAKAJIMA<sup>1,a)</sup> YUICHI ITOH<sup>1</sup> TAKAYUKI TSUKITANI<sup>1,†1</sup> KAZUYUKI FUJITA<sup>1</sup>  
KAZUKI TAKASHIMA<sup>2</sup> FUMIO KISHINO<sup>3</sup>

Received: June 17, 2011, Accepted: December 16, 2011

**Abstract:** We propose a furry and scalable multi-touch display “FuSA<sup>2</sup> Touch Display”. Its furry tactile sensation affords various interactions such as stroking or clawing. The system utilizes plastic fiber optics bundles to realize furry texture. It can show visual feedback by a projector, and detect multi-touch input by diffused illumination technique. We employed the optical feature of plastic fiber optics to integrate the input and output systems into such a simple configuration that the display becomes scalable. We implemented 24-inch display and found that it encourages users to interact with it in various actions and imagine a wide range of applications.

**Keywords:** organic user interface, interactive surface, fiber optics, touch detection, furry texture

### 1. はじめに

毛に覆われた道具や物体, 動物やぬいぐるみといった存

在に対して, 人は毛並みに沿って撫でたりかきむしったりして, インタラクションを試みようとする. このとき, 毛並みに沿って撫でる行為は自然に想起されて行われ, 撫でた対象からのフィードバックやその手触りなどを通じて, 様々な感情的な影響を受けたり, あるいは相互に与え合ったりしていると考えられる. また, 毛状物体とのインタラクションには, 指や掌といった比較的小さな身体部位での動作のみでなく, 腕全体で撫でたり抱いたり, 頬ずりしたりするように, 多彩な触れ合い方が含まれる. こうした毛状物体の特性を Human-Computer Interaction に導入することで, 撫でる, かきむしるといった新しい方法による提示情報とのインタラクションが実現されるほか, ユーザか

<sup>1</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology,  
Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan

<sup>2</sup> 東北大学電気通信研究所  
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku  
University, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

<sup>3</sup> 関西学院大学理工学部  
School of Science and Technology, Kwansai Gakuin Univer-  
sity, Sanda, Hyogo 669-1337, Japan

<sup>†1</sup> 現在, 三菱電機株式会社  
Presently with Mitsubishi Electric Corporation

<sup>a)</sup> naka.jima.kosuke@ist.osaka-u.ac.jp



図 1 FuSA<sup>2</sup> Touch Display  
Fig. 1 FuSA<sup>2</sup> Touch Display.

らの様々な入力動作を引き出すようなデバイスを実現できると考えられる。

そこで本研究では、図 1 に示す表面が毛に覆われた映像提示とマルチタッチ認識が可能な大画面毛状マルチタッチディスプレイ“FuSA<sup>2</sup> Touch Display”を提案する。本ディスプレイでは、毛として大量の光ファイバによる毛状ディスプレイにプロジェクタによって映像を投影し、赤外線によってディスプレイ面へのタッチを検出する。ユーザは毛状表面を撫でたりかきむしったりする動作で提示映像とインタラクションでき、毛状の見た目やその手触りから、様々な入力動作を想起すると期待できる。さらに毛による柔軟な視覚フィードバックによってユーザ動作を誘導するようなインタラクションも実現できる。実装するディスプレイは画面の大きさを拡張できる構成とし、指や掌のみでなく身体部位を広く用いて多彩な入力動作を行える程度に大面積なディスプレイを構築する。実装したシステムによって、ディスプレイとしての基本的な要素である表示特性として、表示の解像感や歪みの傾向について評価する。タッチ認識についても狭小なタッチ領域の認識能力や誤検出の程度について評価する。また、実際に本ディスプレイをユーザに体験してもらい、どのようなインタラクションが見られるかを確認し、ディスプレイの印象もアンケートを通じて取得する。

## 2. 関連研究

### 2.1 オーガニックユーザインタフェース

インタラクションの過程で形状変化をとめない、形状からくるアフォーダンスをより柔軟に活用するユーザインタフェースが提案されている。操作対象の形状がインタラクションにともなって変化することで、ユーザにその機能や操作方法を直感的に伝達することが期待されている。なかでも、形状変化を利用したユーザインタフェースとしてオーガニックユーザインタフェース (OUI) という概念が提案されている。OUI の設計指針は、Vertegaal らにより提案されており、従来のユーザインタフェースと比較して、次の

3 つの特徴を持つと定義されている [1], [2], [3], [4], [5], [6].

- 入力面と出力面が同一である。
- 形状が機能と同一である。
- ユーザの入力に応じて形状が流動的に変化する。

これらの特徴を兼ね備えたユーザインタフェースとして、紙や粘土といった身の回りにありふれた物体を模擬したものが多数提案されている。Holman らによる Paper Windows [7] では、紙を積み重ねたり、移動させたり、掴んだりする操作を取得し、それに応じた紙の状態を投影することで、視触覚を組み合わせた情報提示を実現している。このほかにも、紙を曲げたり折ったりする操作に倣ったインタラクションとしては、先ほど述べた Paper Windows [7] や Fordable Input Device [8] があげられる。Paper Windows では、指と紙に取り付けた赤外線反射マーカと赤外線カメラで構成したモーションキャプチャシステムを用いて、紙の位置や傾き、ユーザの指やペンデバイスと紙の交差を取得し、紙の上にプロジェクタで入力に応じた状態のウィンドウを投影している。また、同様に紙のメタファを利用した Fordable Input Device では、赤外線反射マーカを取り付けた黒画用紙と、赤外線カメラ、赤外線投光器による安価な構成で、紙の形状を取得してユーザの入力動作を認識することに成功している。Polymer Vision 社の携帯電話と電子書籍リーダの機能を兼ね備えた巻物式のディスプレイ RADIUS [9] は、電子ペーパーを用いた柔軟で折りたためるディスプレイを持ち、ディスプレイを伸ばすことでシステムを起動状態にすることができる。1 枚の画面を作ることが起動に関連付けられていることで、使いたいときに自動で起動するような連動した制御が可能である。

Piper らによる粘土を用いた Illuminating Clay [10], Schwesig らによるディスプレイに対して曲げるという操作を行える Gummi [11], [12] も、これらの一例といえる。Illuminating Clay は、ユーザが粘土を変形させてできる地形を上部のレーザスキャナによって検出し、3 次元地形画像を粘土表面に投影し、粘土を通じて仮想環境内の地形を直感的にシミュレートすることを可能にしている。Gummi は、クレジットカード程度のサイズを持つ、フレキシブルなデバイスであり、形状変形によってディスプレイ内のコンテンツを操作できるインタフェースとなっている。

このように、紙や粘土といった柔らかく身近な物体を利用することで、その形状からくるアフォーダンスや手触りを備え、直感的なインタラクションを提供するユーザインタフェースが構築できる。こうした形状変化をとめないユーザインタフェースでは、ありふれた物体との触れ合い方が想起され、ユーザはその操作方法を直感的に理解できる。また、柔らかな物体をはじめとして身近にありふれた物体の形状を利用してインタフェースを構築することは、そのインタフェースを周囲に適用したときに環境に溶けこみやすく、ユーザにとって親しみやすいものとなることも

期待できる。

## 2.2 毛状物体を用いたインタフェース

毛状物体を利用したインタフェースは近年さかんに研究されている。その1つにあげられる Fur-Fly [13] では、サーボモータに接続した毛を並べてスクリーンとし、視覚フィードバックと触覚フィードバックを連動して提示している。毛状突起物を撫でる行為を検出する触覚センサ Fibratus tactile sensor [14] では、光でこの原理を利用し、高解像度なセンサを実現している。Fur Display [15] は自然毛の毛皮の立毛状態を振動モータで制御し、毛並みとその動きで情報提示を行うインタフェースである。ここでは毛並みが感情伝達に利用される点に着目し、親しみやすいインタフェースを実現している。毛状物体の特性を取り込んだインタラクティブなオブジェとして、Casalegno らにより制作された Fiber Cloud [16] がある。約1万5,000本の光ファイバが表面に植えられ、人の近接や接触に対してファイバの発光や音を出力して人々とインタラクションする。近接センサで人や物体の接近を検出し、表面に設置されている多数の静電容量センサで接触領域を検出している。ファイバ自体での接触を検出しておらず、設計時にセンサの配置やファイバの長さが制約になる恐れがある。このように、毛状インタフェースは様々に試みられており、毛の親しみやすさや手触りを利用したインタラクションが実現されてきている。

## 3. FuSA<sup>2</sup> Touch Display

### 3.1 概要

ディスプレイ表面が毛に覆われた、映像提示とマルチタッチ認識が可能な大画面毛状マルチタッチディスプレイ“FuSA<sup>2</sup> Touch Display”を提案する。このディスプレイでは、毛として大量のプラスチック製光ファイバ (POF) で構成された毛状表面に対して撫でたりかきむしったりする行為でのインタラクションが可能である。映像提示の際は、光ファイバの特性によって毛の1本1本の発光として映像が提示される。これにより、毛並みの動きに従って提示画像も揺らいだり歪んだりし、あたかも毛状物体の模様として映像が投影されているような提示となる。これまでも我々は光ファイバ、カメラ、プロジェクタによって構成した4.7インチの毛状マルチタッチディスプレイ [17] をプロトタイプとして実装しており、POFの特性を利用した光学的方法で毛状表面におけるタッチを検出できることは確認したが、タッチ検出のための参照光として画面全体に白色光を照射する必要があるために提示画像が白けたり、POFが映像提示用とタッチ検出用の2種類で構成されるなど複雑に入り組んだ構造であるため、ディスプレイサイズの拡大が困難であったりと、多くの課題がある。本論文で提案する毛状マルチタッチディスプレイでは、赤外

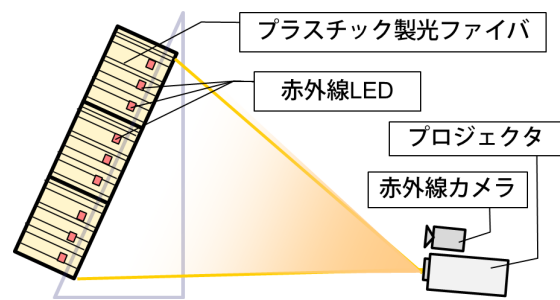


図2 FuSA<sup>2</sup> Touch Display の構成  
Fig. 2 System overview.

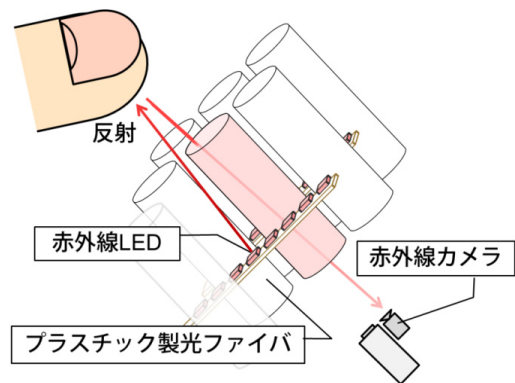


図3 赤外線によるタッチ検出手法  
Fig. 3 Mechanism of touch detection.

線を用いた毛状表面でのタッチ検出手法を適用することにより、提示画像が白ける問題を解消しているほか、POFの構造も単純化でき、画面サイズの拡大も可能となっている。

### 3.2 構成

提案するディスプレイは、図2に示すように、主としてPOFによる毛状ディスプレイと、映像投影のためのプロジェクタ、タッチ検出のための赤外線LEDと赤外線カメラから構成される。毛状ディスプレイとして、POFを同じ長さで数十本に束ねた毛束を大量に利用することで、ファイバ断面が無数に露出した毛状表面を構成する。ディスプレイへの映像提示には、毛状ディスプレイの後方に設置するプロジェクタを用いる。タッチ検出には赤外線を用いた Diffused Illumination 方式 [18] のタッチ検出機構を、POFの毛状ディスプレイに適用する。ここで、POFの光透過特性は可視光による視覚フィードバックの提示にも、赤外線によるタッチ検出にも利用される。

タッチ検出の原理を図3に示す。まず赤外線を毛状ディスプレイの毛束間に配置した赤外光源 (赤外線LEDアレイ) から、ディスプレイの表面に向けて照射する。ユーザがディスプレイ表面にタッチすると、赤外線がユーザの手指で反射され、POF内を通過して背面へ伝搬する。このとき、ディスプレイ背面の赤外線の分布を赤外線カメラによって検出すると、タッチの生じた箇所だけに赤外線量の増加が見られるため、それを検出することでタッチ領域を

認識できる。

ここで、赤外光源となる LED を毛束の間に配置しているのは、ディスプレイ表面に向けて照射した赤外線がタッチとは無関係に背面に現れることを防ぐためである。文献 [18] で用いられた Diffused Illumination 方式のように、ディスプレイ後方の離れた位置から毛状ディスプレイに向けて赤外線を照射した場合、赤外線は POF 内を通るほかに、POF の側面や POF を包む保護層の断面によってタッチとは無関係に拡散反射してしまう。この状態では、背面が赤外線で強く発光してしまい、ユーザのタッチにより手指からの反射光がディスプレイ背面に現れても、タッチしていないときとの差が現れにくく、タッチ検出は難しい。毛束の内部に赤外光源を挿入することで、ディスプレイ背面が非タッチ時に赤外線では照らされにくく、タッチ検出が容易となる。ただし、赤外光源となる LED を POF の中途部分に配置する場合、毛束の内部に赤外光源を挿入する分だけディスプレイ表面の毛並みに隙間が生じてしまい、提示情報が読み取れなくなるといった問題が懸念される。この問題に対しては、3.3 節で詳細を述べるが、実装の段階で小さな赤外線 LED を利用して隙間を可能な限り小さくすること、そして、ディスプレイ表面に向かう POF の自然な広がりによってこの隙間が埋められるように POF に十分な長さを持たせることで対応する。

また、毛状マルチタッチディスプレイではディスプレイ面積が重要な要素となる。たとえば掌ほどの大きさしかない毛状ディスプレイであれば、それに入力できる動作は指先や掌で触れたり撫でたりする程度に限定されるが、大画面であれば、前腕全体を使って撫でたり、頬やその他の身体部位を用いて触れ合ったりできるようになる。このように、容易に大きさを変えられ、大面積に対応できる構成にすることで、毛状マルチタッチディスプレイは様々なインタラクション手法に対応できるようになり、その有用性を高められると考えられる。そこで本ディスプレイでは、POF 束と赤外線 LED からなる毛状ディスプレイの部分をモジュール化し、これを並べることで画面サイズを拡張できる構成とする。

### 3.3 実装

本ディスプレイは、POF 束と赤外線 LED を統合したモジュールとして実装し、このモジュールを並べることで容易に画面サイズを拡張可能とする。毛状ディスプレイは、今回の実装では図 4 に示すような直径 8 mm、長さ 85 mm の POF 束を多数並べてディスプレイ面を構築する。POF 内部は赤外線が減衰しやすいため、予備実験により提案する手法でのタッチ検出を行える POF の長さを調査し、85 mm で実装することとした。この POF 束は、毛筆の作り方に倣い、POF を薄い粘着テープに巻き込んで束状に固定し、切りそろえることで作成する。今回は幅 15 mm、

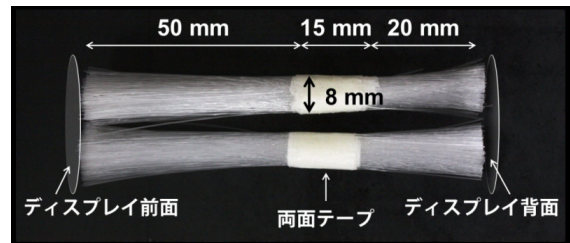


図 4 POF 束  
Fig. 4 POF bundles.

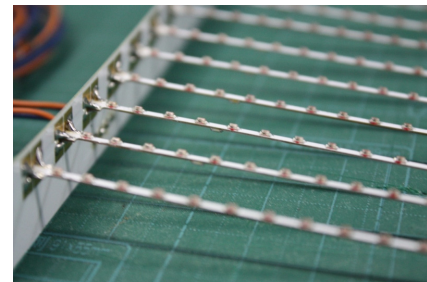


図 5 赤外線 LED を実装した基板  
Fig. 5 LED circuit board.

厚さ 0.09 mm の両面テープを 160 mm の長さに切り、その全面に切り揃えた POF を貼り付けた後、そのテープを巻いて束を作成した。テープを POF 束に貼る位置は、LED を毛束間に挿入したために生じる毛状表面の隙間を毛の広がりによって埋められる十分な長さとなるよう予備実験を行い、POF のユーザに提示する表面から 50 mm の位置とした。こうして作成した 1 束に含まれる POF の数はおおよそ 300 本であった。これにより POF は両面テープの粘着力で固定され、POF を引っ張っても容易には抜けない程度の強度を確保できる。この POF 束を集合し、接着することで毛状ディスプレイを構築する。

赤外光源は、櫛状のごく細い基板上に赤外線 LED を実装し、これを POF 束と POF 束の間に挿し込むことで配置する。実際に実装した基板を図 5 に示す。これは、赤外線 LED が実装された幅 0.8 mm、長さ 120 mm の基板を、長さ 160 mm の電源供給用の基板に 10 mm 間隔で 16 本差し込み、櫛の形状にしたものである。ここで、赤外線 LED の密度は、タッチしたユーザの手指で反射した赤外線が赤外線カメラによって検出できるだけの光量になるよう考慮して決定した。赤外線 LED には、十分に小型であり、かつ、今回使用する POF で比較的減衰しにくい、中心波長が 850 nm の赤外線を照射する OSRAM 社の SFH4050 を用いた。

最後に、POF 束と赤外線 LED 基板を統合するため、図 6 に示す 160 mm × 120 mm の梯子状のフレームを用いる。これは 10 mm の等間隔に 2 mm 幅のプラスチック板を並べたもので、梯子の“段”の部分に POF 束を入れて接着すると、束と束の間にあるプレートの厚みだけ内部に隙間を



図 6 梯子状のフレーム  
Fig. 6 Ladder-shaped frame.

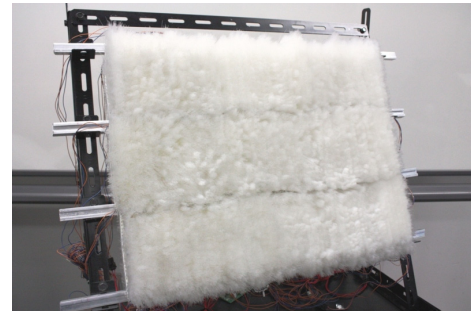


図 9 実装した毛状マルチタッチディスプレイの概観  
Fig. 9 Implementation of furry multi-touch display.

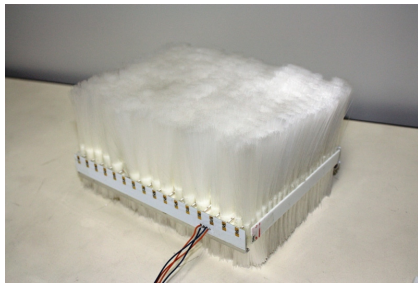


図 7 毛状ディスプレイモジュール  
Fig. 7 Module of a furry display.

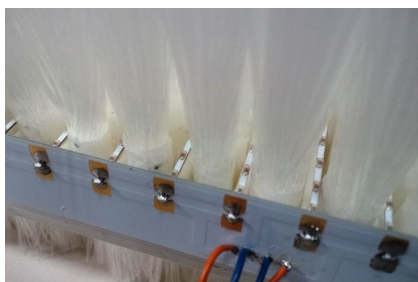


図 8 モジュール内の赤外線 LED の様子  
Fig. 8 Infrared LED inside a display module.

生じる。この隙間に、先の櫛状の赤外線 LED 基板を挿入し、それぞれを固定する。このフレームによって LED 基板を挿入するための空間を毛状ディスプレイ内部に確保することで、ユーザとのインタラクションの過程で LED 基板に負荷がかかり、基板が破損することを防ぐ。

以上 3 つの構成要素（直径約 8mm の POF 束、櫛状の赤外線 LED 基板、梯子状フレーム）を統合し、図 7 に示すような毛状ディスプレイのモジュールとする。これを並べることでアスペクト比が 4:3 や 16:9 の画面が構成できる。実際に実装したモジュールの内部には、図 8 に示すように LED 基板を挿入するための 2mm の隙間があるが、前述のように、POF がディスプレイ表面に向かって自然に広がるようパラメータを設定して実装したため、ディスプレイに対峙した際に毛並みに隙間があるとは感じられない。今回評価に用いるディスプレイ全体のサイズは、9 つのモジュールを 3×3 に並べた 24 インチ相当 (48 cm × 36 cm) とし、腕全体で撫でる動作を無理なく行えるものとした。

実装した毛状ディスプレイの概観を図 9 に示す。

こうして実装した毛状ディスプレイに対して、タッチ検出を行うために、ディスプレイの背面に赤外線カメラとして、GR-CAM130N2 (Groovy 社) のレンズに赤外線透過フィルタ IR-76 (富士フイルム) を被せたものを配置する。この赤外線カメラで取得した画像は PC 上で背景差分処理を含む処理にかけられ、タッチ領域を特定するために用いる。また、誤検出抑制のためにモルフォロジ変換によって小さな発光点は排除する。なお、背景差分の処理において、差分を検出する輝度差の閾値を変えることでタッチ検出の感度を調節できる。

## 4. 特性評価

### 4.1 概要

実装したディスプレイによって、表示特性やタッチ検出の特性について評価する。表示特性としては表示の解像感や歪みの傾向について評価する。また、タッチ認識については狭小なタッチ領域の認識能力や誤検出の程度についてそれぞれ評価し、POF の特性を利用した赤外線によるタッチ検出手法で触れる、撫でるといったインタラクションを認識できるかを確認する。また、実際に本ディスプレイをユーザに体験してもらい、どのようなインタラクションが見られるかを観察するほか、ユーザが実装したディスプレイに対してどのような印象を持ったかについてアンケートを通じて取得する。

### 4.2 表示特性

実装した毛状ディスプレイは画面全体がファイバ断面で満たされており、投影した画像はそのファイバ断面の発光の集合として表現される。投影された画像は、ファイバの曲がり具合に従って歪んで見える。この毛状ディスプレイの表示特性として、まずその解像度を確認するため、投影した縞模様をきちんと視認できる最小の縞間隔を評価する。幅が徐々に変化する縞模様をスクロールさせながら投影し、縞模様が視認できなくなる境界を 3 人の評価者に回答してもらい、画面から評価者までの距離は手の届く距離として 50 cm に設定する。その結果、縦縞を投影した場合

は平均して約 11 mm 間隔まで、横縞を投影した場合は平均して約 13 mm 間隔までを縞として視認できるという結果を得た。横縞よりも縦縞の方が視認しやすいのは、梯子状のフレームによってファイバ束の変位や変形が左右方向には拘束されているが、上下方向には比較的それらを許容した実装になっており、POF の歪みが上下方向により強く生じているためであると考えられる。

表示する画像は発光した POF 先端の集合として現れるため、ユーザの操作によって POF がかき分けられた場合には、POF 先端の移動にともない表示画像も自然に変形する。これは毛の模様として自然な振舞いであるが、かき分けられて生じるディスプレイの隙間の部分には画像は提示されない。また、POF の変形によって光の伝送が阻害されて輝度が減少したり、発色に変化が生じたりする現象は視認されない。

なお、画像の歪みの原因となっている POF 先端の位置のばらつきは、POF が長くなるほど激しくなる。今回実装したディスプレイでは POF は自重で大きくたわむことはなかったが、長くするほどに自重で POF の変形が大きくなったり POF のばらつきが強くなったりし、それにもなって表示される画像も変形しやすくなる。このほかに POF の太さや密度によっても表示特性は変化する。これらについては 6.5 節で、設計パラメータが他の特性に与える影響とまとめて述べる。

### 4.3 タッチ検出特性

毛状表面でのタッチ検出の特性として、2つの項目について評価する。1つ目は、どの程度まで小さなタッチを検出できるか、すなわち、タッチ検出が可能な最小のタッチ領域の大きさである。2つ目は、手を近づけたときに、ディスプレイ面に触れていないにもかかわらずタッチとして誤検出してしまう、掌とディスプレイ面との最大距離についてである。これは、赤外線が近接する物体にも反射するため、このような誤検出がどの程度現れるかについて評価する。

1つ目の評価の方法としては、ディスプレイ面に穴の開いたマスクを被せ、その穴を塞ぐように手指でタッチを行う。このとき、システムがその穴の開いた領域にタッチを検出できるかどうかを見ることで、タッチ認識が可能かを判定する。マスクには直径 10 mm から 40 mm まで、5 mm ずつ直径を変えた穴を開け、それぞれ測定する。同一の穴に対してタッチは 10 回繰り返し、そのうち 9 回以上でシステムがタッチを検出できた場合、タッチを検出できたものとする。

2つ目の評価の方法としては、ディスプレイに対して垂直な方向に、タッチ検出されない程度に十分遠くから手を近づけていき、手がディスプレイ面に接触する前に、手が接近する領域にタッチが誤検出されたときの、手とディス

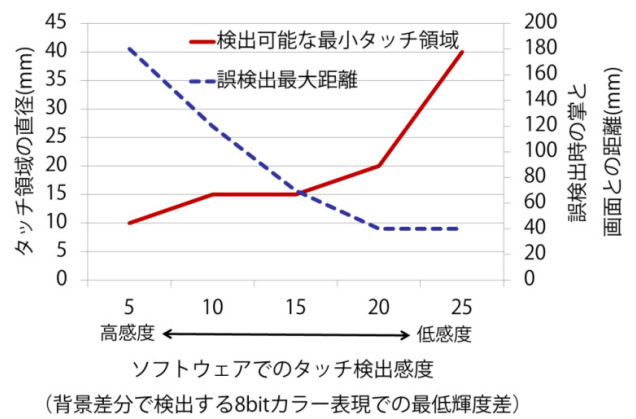


図 10 タッチ検出の特性  
Fig. 10 Performance of touch detection.

プレイ面までの距離を測定する。どちらの評価についても、タッチ検出における背景差分処理には静的背景差分を用いる。また、静的背景差分において差分検出する輝度差の閾値を変えてタッチ検出の感度を変更しながら、そのつど、測定を行う。この評価でのタッチには成人男性 1 人の掌を用いる。手の大きさは、手首から中指の先までが約 230 mm、手の幅は約 100 mm である。

これらの評価の結果を図 10 に示す。図より最も検出感度が高感度のときには最小で直径 10 mm のタッチも検出可能であった。しかし、この場合には 180 mm も画面から離れた手をタッチとして誤検出していた。一方で検出感度が低感度のときには、誤検出は抑制される代わりに小さなタッチが検出不可であった。これらの結果からは、最小タッチ検出領域の大きさと近接する手をタッチに誤検出する最大距離との間に、トレードオフの関係が確認された。今回実装したディスプレイでは、ごく微細なタッチを検出できるように高感度の状態で誤検出をなくすことは難しいと分かったが、直径 20 mm のタッチを検出できる程度の感度に設定した場合には、誤検出最大距離を 40 mm まで抑制できていた。直径 20 mm のタッチが検出できれば、指 2~3 本を揃えてタッチするような動作は安定して検出でき、実装したディスプレイにおいて手指で触れるインタラクションが認識できるといえる。

誤検出を抑制しながら検出精度を高めるためには、インタラクションの状況に応じて動的に赤外線量を増減させたり、ディスプレイの領域ごとにタッチ検出の感度を変化させたりといった適応的な制御も利用できると考えられる。なお、この評価は蛍光灯が点灯した室内で行われており、明るい環境下でも十分にタッチ検出が可能であることを同時に確認した。

毛状ディスプレイ表面で静止するタッチが可能であるという結果を得た一方で、撫でる動作やかきむしる動作では、手指がディスプレイ面を押下しながら移動していくため、毛状ディスプレイを構成する POF が曲がることでその光

学特性が変化し、タッチ検出の精度が変化する可能性がある。また、手指が毛状ディスプレイ内に挿入され、手指とPOFの先端とが十分に接触せず、タッチ検出が難しい可能性がある。これらについてそれぞれ評価し、撫でる動作やかきむしる動作による入力検出について述べる。

まず、押下にもなうPOF変形によって光学特性が変化することについて、撫でた際のPOFの変形を測定し、その後、強い押下をとともう撫で動作によるPOFの変形が与える影響を、POFの光学特性に照らして検討する。毛状ディスプレイのモジュール1つに対して撫でる動作を入力した場合、押下する方向に最大で約500gの力がかかると測定された。そこで最も圧力のかかる状態を想定し、安定して認識できる最小のタッチ面積である直径20mmの円柱状の棒に重りを装着してモジュールを押下し、POFの変形を観察したところ、500gの力で押下しても棒は毛状表面から最大で23mmしか沈み込まず、POF先端は倒れこむことはあってもPOF先端が転回して背面方向を向く様子は見られなかった。これはPOFの固さやPOFどうしの相互の支持により、大きく曲がるにつれて曲がりにくくなるためであると考えられる。実装に使用したPOFは、90°静置屈曲の条件下で曲げ半径が5mmまでの変形であれば光の伝送損失の増加が0.5db以下になるという特性を持つ。ユーザの操作による変形でもこの範囲内であれば光の伝搬に大きな影響はなく、十分にタッチ検出できる。撫でた際のPOF変形の測定から、POFが90°以上屈曲することはなかったため、撫でる動作でPOFが曲げ半径5mmよりも強く屈曲する可能性があるかどうかを調べる。POFが最も強く変形する仮想的な条件として、500gの力をPOF束1束に加え、このときの変形からタッチ検出に十分な光学特性を保っているかを評価する。束の直径は8mmで、成人の指先と同程度の大きさであり十分に小さい。測定ではPOF束1束の先端を量りに押し付けて、そのまま約500gの力で押し付けて変形を確認する。その結果、POF束は固定した両面テープ部分の上端で強く変形したが、その変形は曲げ半径5mmよりも緩やかであり、光学特性にほとんど影響を与えないことが確認された。このことから、実装したディスプレイにおいて押下によるPOF変形がタッチ検出に与える影響はごくわずかであるといえる。ただし、毛束の密度を疎にしたりPOFを細くしたりするとより大きく屈曲しやすくなるため、獣毛のように柔らかなPOFを実現し、これを用いる場合には、POF先端が転回して背面を向く可能性を考慮する必要がある。また、POFは太いものほど屈曲に対して伝送損失が増加しやすいため、太いPOFを実装に用いる場合には十分な光学特性を保てるかどうかを同様に評価すべきであると考えられる。

次に、手指が毛状ディスプレイ内に差し込まれる場合のタッチ検出精度について評価する。ここでは、直径20mmのABS樹脂製の円柱状の棒を、実装したディスプレイ内

に差し込んだ状態から撫でるように移動させ、これを正しくタッチ検出できるかどうか評価する。樹脂製の棒はタッチする物体の形状を一定に保つために用いており、赤外光の反射量は手指と同程度であった。この棒を様々な角度で約20mmの深さまで挿入し、棒の傾いている方向に向かってディスプレイ面と並行に移動させてから静止させることで、移動中の指とPOFの状態を再現し、この状態について正しい位置に入力検出しているかを確認する。表面でのタッチ検出の評価の場合と同様に、10回の入力に対して9回検出できれば検出可能なものとして評価する。その結果、ディスプレイ面に対して70°以下の角度で差し込まれた場合は検出可能であった。差し込まれた樹脂棒の先端はPOF先端に触れていないが、移動にもない屈曲するPOFの先端が樹脂棒に接近することで、棒の側面で反射した赤外光がカメラに検出されているものと考えられる。このように、POFをかき分けて内部に挿入した指でも、指の移動によりPOF先端の位置が変化することで指の側面から赤外光を受けられるため、多くの場合でタッチ位置を検出できると考えられる。これにより、撫でる動作やかきむしる動作が提案する毛状ディスプレイ上で検出可能であるといえる。一方で、ディスプレイ面に対してほぼ垂直に手指を挿入した場合については、POF先端に赤外光が入射しにくくタッチ検出が難しい。この改善には、毛状ディスプレイ内により短いPOFを混入して内部に挿入した指を検出する方法が考えられるが、こうした方法の実装や評価は今後の課題である。

## 5. ユーザスタディ

### 5.1 概要

実装したシステムについて、実際に体験した際にどのような印象を与えるのかについて、そのインタラクションの様子を観察したりアンケートを実施したりすることで評価する。

多数の多様な人々に体験してもらいフィードバックを得るため、SIGGRAPH 2010 Emerging Technologiesで展示した際の来場者を対象にアンケートを実施した。本ディスプレイのデモンストレーション展示では600名以上の体験者に体験してもらい、42件のアンケート回答を得た。以下ではまず、この展示において来場者が体験したインストールについて述べ、その後、これらのインストールを体験した来場者が回答したアンケートの内容とその結果について述べる。さらに、来場者のインタラクションの様子を観察し、来場者が行ったインタラクションのバリエーションについて確認し、実装システムについてユーザがどのような印象をいただいていたかを検討する。

### 5.2 インストール

今回の展示発表にあたっては、本ディスプレイの特徴で

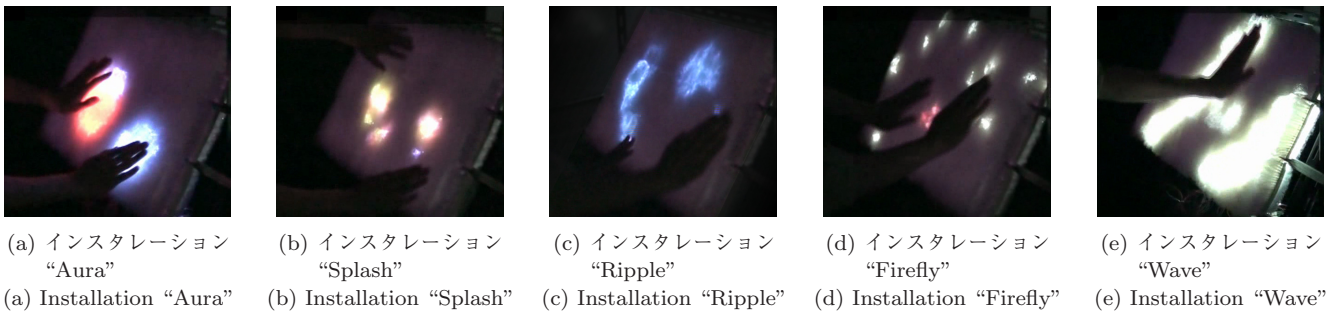


図 11 様々なインストール  
 Fig. 11 Various installations.

ある毛の触感や画像提示の特性がよく感じられるよう、複数のインストールを実装している。以下にそれらの内容を述べる。

**Aura** (図 11(a))

体から発せられるオーラをモチーフとし、ディスプレイに体験者のオーラを写し取るような体験ができる。ユーザがディスプレイに触れると、触れた領域にオーラとしての光が広がり、触れ続けるとその色が変わっていく。本ディスプレイにおけるタッチ認識や画像提示の特性を体感しやすいインストールとなっている。実装では、タッチとして認識されている領域内を塗りつぶした画像を投影し、図 11(a) のような表示を実現している。

**Splash** (図 11(b))

朝露に濡れた芝生を撫でたときに水飛沫が飛び散る様子を模擬したインストールである。ユーザがディスプレイを撫でると、触れた領域から撫でた方向に光の粒が飛び散る。撫で方の変化が飛沫の変化として現れるため、撫で動作が認識されていることを感じやすい。光の粒としてディスプレイ上の大きさで 20mm ほどの円が複数投影されており、ファイバのばらつきによって図 11(b) のような表示となる。

**Ripple** (図 11(c))

水面に触れたり撫でたりすると次々と波紋が生じては消えていく。このインストールではディスプレイを水面に見立て、タッチに応じて次々に波紋が生じる体験を提供する。触れたところからは波紋が広がり、撫でれば連続的に波紋が生じる。波紋の表示のためプロジェクタからはタッチ位置を中心にしてドーナツ型の図形が投影される。

**Firefly** (図 11(d))

蛍のような小さな虫を捕まえようと草むらの中に手を伸ばしたときの体験を提供するインストールである。ディスプレイには小さな点状の光が飛び回るように動いており、ユーザがその光を捕まえようと手で触れると、光の色や動きが変化し手の中から逃げ出そうとする。ディスプレイに触れたときの毛の触感は、

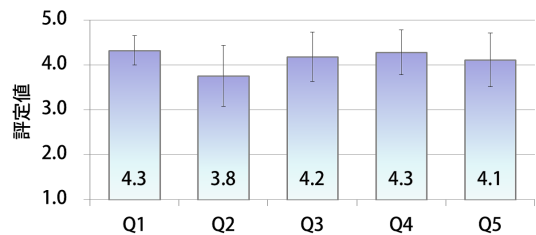


図 12 アンケート結果

Fig. 12 Questionnaire results.

草むらに手を触れたときのような感覚を連想させるうえで効果的と考えられる。

**Wave** (図 11(e))

波打つ水面に手を挿し込むとその波の形状が崩れていく。このインストールでは、こうした波とのインタラクションを毛状表面の上で模擬的に体験できる。ディスプレイには波のように縞模様が流れており、これに触れると模様が崩れていく。ユーザは実際にディスプレイに指を差し込むことができ、指全体に触覚を感じられるインストールとなっている。

**5.3 アンケート**

アンケート内容は、次の 5 項目である。

- Q1 体験したディスプレイでのインタラクションは、フラットなタッチディスプレイに比べて楽しかったか？
- Q2 体験したディスプレイの手触りは柔らかかったか？
- Q3 体験したディスプレイの表示は美しかったか？
- Q4 体験したディスプレイの表示は魅力的だったか？
- Q5 視覚フィードバックは毛状の表面にふさわしかったか？

これらについて、「5：とてもそう思う」から「1：まったく思わない」までの 5 段階評価で 42 人（男性 31 人，女性 11 人，21 歳～60 歳，平均 33.1 歳）に対してアンケートを実施した。

このアンケートから、図 12 のような結果を得た。この結果の詳細については 6 章で考察する。



## 5.4 インタラクションの様子

SIGGRAPH 2010 において、来場者が実装したシステムと 5.2 節で述べたインストールを体験する様子を観察した。特に、来場者がどのような動作でインタラクションするか注目した。これにより、24 インチ相当にまでディスプレイサイズを拡張したシステムに対して、ユーザがどのようなインタラクション手法を想起し、試みようとするかを確認し、大画面毛状マルチタッチディスプレイがユーザに対して、身近な毛状物体との触れ合いと同じような触れ合い方を誘発しているかを検討する。

その結果、次に示すような動作が確認された。

- 両手で撫でる。
- 手の甲で逆撫でる。
- 軽く表面に掌をあてて撫でる。
- 強く掌を押し付けて毛を大きく曲げながら撫でる。
- 表面をなぞるように指先で触れる。
- 頬ずりをする、顔を押し付ける。
- 毛束を指でつまむ。

一般のマルチタッチディスプレイでは撫でるというインタラクションに似た行為は、コンテンツのドラッグ操作などに見られるが、指先で行われるのが一般的であり、本システムのように掌全体を使って撫でたり、手の甲を使って撫でたりするインタラクションは見られない。このことから、実装システムが撫でる対象であることを感じさせる見た目や手触りを備えており、一般のフラットなマルチタッチディスプレイとは異なるインタラクション体験を提示できたといえる。また、手の甲で逆撫でる動作は、柔らかな毛皮に触れる際に見られる行動の 1 つであり、身近な毛状物体とのインタラクション手法がこの毛状マルチタッチディスプレイ上で試みられていることを示している。さらに、腕全体を使って撫でる動作をしたり、頬ずりしたりする姿も見られ、実装した毛状マルチタッチディスプレイから柔らかな毛皮やタオルのような触れ合い方が想起されていたようであった。その他、強く掌を押し付けながら撫でる動作については、動物のように押し込む力によってシステムからのフィードバックが変わることが期待されていたものと推察される。こうした来場者のインタラクションの様子から、この毛状マルチタッチディスプレイを目にし、体験する中で、ユーザは様々な毛状物体との触れ合い方を想起し、試みていたと考えられ、一般的なマルチタッチディスプレイにはない、多様な触れ合い方をユーザに促せる可能性があることを確認できた。

## 6. 議論

### 6.1 ユーザスタディについて

まず、ユーザが感じたディスプレイそのものに対する印象について、5.3 節のアンケート結果を用いて考察する。

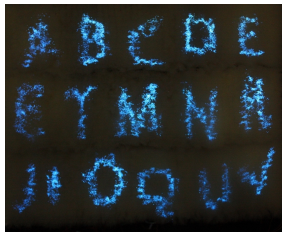
図 12 に示したアンケート結果により、いずれの項目に

おいても平均で 4 点近いスコアを得ており、好意的な印象を体験者に与えられていたことが推測される。本アンケートについては、他の毛状物体との比較やフラットなタッチディスプレイとの比較ではないため、このスコアが持つ意味については慎重な解釈が必要であるが、これらのインストールでの体験を通じて、視覚フィードバックの美しさや手触り、インタラクションの楽しさなどを 5 段階評価したときに、中央よりもポジティブなスコアが得られていることは、本システムおよび本システムによるインタラクションそのものにポジティブな印象をいただいていたことが十分にうかがえる。

特に Q3, Q4 の結果について、視覚ディスプレイとしての解像度は必ずしも高くない本システムにおいて、表示の美しさのスコアが高かったことは注目に値する。これは、本システムが文字列や様々なモチーフを模擬した模様を表示できていることに加えて、POF の先端の発光集合として視覚フィードバックが提示されることについて、ユーザは独特の美しさを感じているようである。

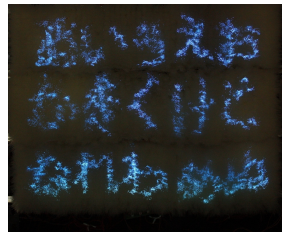
### 6.2 表示特性について

表示の特性としては、ユーザが美しさを感じていたことのほかに、提示画像が歪む傾向について 4.2 節において確認した。実装したディスプレイでは、正面から見て水平な方向よりも鉛直な方向に毛が曲がりやすく、提示した画像もそれにとまって鉛直方向により強く歪む傾向が確認できた。特に、POF 束の固定が鉛直方向には弱く、POF 束が個々に違った程度曲がっていることが提示画像が歪むことの原因となっている。この歪みがどの程度可読性に影響するかを見るため、情報伝達のために正確な描写が求められる情報として文字情報を取り上げ、これを投影した結果を図 13 に示す。この表示において、すべての文字は約 10 cm × 10 cm の領域に収まるように投影されている。平仮名の「ぬ」と「め」、「ね」と「わ」など微細な違いを表現することが必要な文字は識別が難しく、平仮名の「き」のように判読に横画が重要と考えられる文字も可読性が低くなっていることがうかがえる。一方で、アルファベットはおおむねどれも可読性を保っているように、ある一定の面積に対して提示可能な文字も認められる。このことから、毛状ディスプレイ独特の歪みはあるものの、画面サイズによっては様々な文字を十分に表示可能であるといえる。モジュールの増加による拡張可能な構成を活かし、より大面積なディスプレイを実装すれば、さらに多くの情報を一度に表示できる。さらに、この毛状ディスプレイ独特の歪みについても、その原因である POF の曲がり具合をあらかじめシステムが学習し、提示する画像が毛状ディスプレイに投影したときに可読性を維持できるように画像を補正するような処理を加えることで、表示の正確性を高められると考えられる。



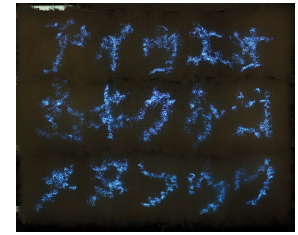
(a) アルファベットの表示例  
 上段：ABCDE,  
 中段：ETMNR (頻出文字),  
 下段：JIOQUV (形状類似文字)

(a) Alphabet examples  
 upper row: ABCDE,  
 middle row: ETMNR (frequent letters),  
 bottom row: JIOQUV (similar letters)



(b) 平仮名の表示例  
 上段：あいうえお,  
 中段：かきくけこ,  
 下段：ねれわめぬ (形状類似文字)

(b) Japanese “Hiragana” letters examples



(c) カタカナの表示例  
 上段：アイウエオ,  
 中段：カキケコ,  
 下段：メヌフワウ (形状類似文字)

(c) Japanese “Katakana” letters examples

図 13 文字列の表示例

Fig. 13 Sample letters.

### 6.3 手触りの特性について

続いて、手触りの特性についてであるが、アンケート項目 Q2 の結果より、柔らかさに関してある程度ポジティブなスコアを得た。このことから、POF を用いて毛状物体を構成した場合にも、手触りが柔らかいと感じさせられることを確認できた。一方で、実装したディスプレイの手触りに関して複数の体験者から歯ブラシのような硬さであるというコメントが聞かれたが、提案するディスプレイの構成においては、設計を変更することで様々に手触りを変更できる。様々な柔らかさに対応するために変更できるパラメータについては、提案する毛状ディスプレイの他の特性に影響するパラメータと合わせて 6.5 節でまとめる。

### 6.4 ユーザのインタラクションと入力検出について

ユーザのインタラクションと入力検出手法について考察する。アンケート項目 Q1 の結果より、インタラクション自体に楽しさを感じられるディスプレイとなっていることがうかがえる。また、ユーザがインタラクションする場面を観察したところ、そのインタラクションの様子からは、一般的なフラットなマルチタッチディスプレイとは異なった掌全体を使ってのインタラクションなどが見られ、身近な毛状物体との触れ合い方をユーザが試みようとしていたことが確認できた。また、この観察の中で、掌で毛状ディスプレイを強く押しこんで撫でるような動作が、掌で表面を撫でる動作とは別に行われている様子が見られた。これは、ユーザが押しこむ強さに応じて異なるフィードバックが返ってくることを期待していたり、こうした毛状の表面との触れ合いにおいてユーザが撫でる強度を無意識に変えていたりしたものと考えられる。実装したディスプレイではユーザが毛を押し込む力は検出しておらず、撫でる強さはユーザに提示する視覚フィードバックとは無関係であっ

たが、この力の変化を検出できれば、ユーザが画面を弱く撫でるか強く撫でるかを区別するなど、さらに多様なインタラクションを識別できることに加え、ユーザが自然と想起したインタラクション手法に対して適切に応答できる直感的なディスプレイを実現することにつながると考えられる。こうした複雑な入力の識別のためには、赤外線による光学的なタッチ検出手法のほかに、毛の曲がり具合や、毛の根元にかかる力の大きさを検出するセンシング手法を導入することを含めて検討する必要がある。

### 6.5 設計パラメータについて

実装したディスプレイはアンケートや評価実験を通じて、手触りの柔らかさについての感触特性、ディスプレイの表示特性、タッチ入力特性を評価した。感触や表示についてはユーザから好印象を得ていたほか、タッチ入力についても触れたり撫でたりする毛状物体ならではのインタラクションを認識するために十分な性能を備えていることを確認したが、これらの要素については実装時の設計によって調整することが可能である。そこで本ディスプレイにおける設計可能なパラメータと、それらの変化によってディスプレイの特性がどのように変化するかの関係を表 1 に示す。

この表ではディスプレイとしての基本的な特性である、手触りの柔らかさ、表示の解像感、タッチ検出感度に加え、LED の挿入や POF 束の形状によってディスプレイ表面に POF が抜けた隙間が生じる程度についても記している。ここで、POF を固定するテープの上端からディスプレイ表面に向かう POF の先端までの、POF を自由に曲げられる部分の長さを、POF の自由長と呼ぶ。

感触の柔らかさには、主に、毛となる POF 自体の固さや太さ、POF の自由長、POF 束の POF 密度が関係する。

表 1 設計パラメータとその影響について

Table 1 Design parameters.

設計の変更方針	ディスプレイの特性の変化			
	柔らかさ	解像感	隙間	タッチ検出感度
POF 光特性の最適化	-	-	-	向上
POF が固くなる	硬化	-	-	-
POF が太くなる	硬化	低下	-	-
POF の全長を長くする	-	-	-	低下
POF の自由長を長くする	柔化	低下	減少	低下
POF 束の直径を大きくする	-	低下	-	-
POF 束内の POF 密度を高める	硬化	向上	減少	向上
赤外線 LED の密度を高める	-	-	増加	向上

細い POF を用いて自由長を長く、かつ、POF を疎に並べれば柔らかい手触りとなるが、自由長が伸びたことでディスプレイ表面に向けて POF がばらつきやすく、表示の解像感が低下するほか、表示のための POF 数が減少するため、提示画像の可読性が低下する。また、その解像感を向上させるには POF 束内の POF 密度を高めることが効果的であるが、POF を隙間なく固定することは手触りを硬くすることにつながる。また、タッチした手指から反射する赤外線がディスプレイ背面に伝搬するよう、POF の光透過特性に応じて POF の全長には上限を設ける必要がある一方で、毛状ディスプレイ内に挿入する LED 基板によって生じる隙間を隠せるように POF に十分な長さを持たせる必要があるなど、提案する毛状ディスプレイには自由に設定できるパラメータは多数あるが、それぞれ対立した影響を及ぼすものがあり、所望の柔らかさ、表示の解像感、タッチ検出感度を持った毛状ディスプレイを得るためには、パラメータの適切な設定方法を明らかにすることが必要といえ、今後の課題である。

## 6.6 応用例

本論文で提案する毛状マルチタッチディスプレイによる提示画像との毛状物体を介したインタラクションには、様々な応用が期待できる。たとえば、ぬいぐるみ型のロボットの表面に毛状タッチディスプレイを設置し、ユーザが撫でたときの方向や速さを取得すれば、ユーザは自然な振舞いでロボットに入力を与えられるようになる。さらに、撫でた部分の色を変化させたり、毛並を変化させたりすることでロボットの内部状態を表現することも可能である。また、美術館の床に設置して、毛並の方向や毛状表面での画像提示により、美術館の雰囲気や損なうことなく順路を提示することも考えられる。本ディスプレイはユーザスタディを通じて、その表示にユーザが美しさを感じていると確認できたことから、美術館やホテルなどの空間に応用してもその場の雰囲気を損ねにくいと考えられる。

撫でたり触れたりすることで表面の色や模様に変化するインタラクティブな家具への応用も考えられる。ベッドや

椅子の表面を毛状マルチタッチディスプレイにすることで、身体の触れる部分を認識できれば、普段の眠り方や座り方を記録し、記録した行動を家具の上に視覚的に直接表現できるようになる。こうしたデータの記録と再現は、眠り方からの健康診断や座り方の改善のために利用できる。

その他の用途として、ペイントアプリケーションを使用する際にブラシを選択するためのサブ入力モジュールなどといった幅広い応用が考えられる。実際に実装したディスプレイを体験したユーザからは、手指動作のリハビリテーションや、音楽インタフェースに応用できそうだといった声も聞かれた。

これらの応用の実装のためにはディスプレイの薄型化や強度の確保など様々な問題があり、今後解決していく必要がある。

## 7. おわりに

本論文では、大画面毛状マルチタッチディスプレイ“FuSA<sup>2</sup> Touch Display”を提案し、実装した。毛状ディスプレイには光ファイバ束を用い、プロジェクションによる映像提示と、赤外線を利用したマルチタッチ認識手法を統合することで、提示画像と毛状物体を介してインタラクションすることを実現した。また、画面サイズを任意に拡張可能な構成とすることで、身の回りにある毛状物体との触れ合い方をディスプレイとのインタラクションに活用できるようにしており、実際に 24 インチ相当の大きさのディスプレイを実装した。実装したディスプレイによって表示やタッチ検出の特性について評価し、可読な文字までの表示や手指での入力を認識できることを確認した。実装したディスプレイを体験したユーザからフィードバックを得たところ、その手触りや提示情報について好印象を与えられていることが分かり、そのインタラクションの様子についても、触れる、撫でるといった動作に加えて、かきむしったり、頬ずりをしたりと、24 インチ相当の広さを持った毛状物体ならではの触れ合い方が試みられていることを確認できた。このように、提案した毛状マルチタッチディスプレイによって、撫でる、かきむしるといった行為をはじめ

とした多彩な動作で提示映像と触れ合う新しいインタラクションを実現できた。今後は毛状マルチタッチディスプレイを周囲の身近な空間や物体に適用することを目指し、より柔軟な実装が可能になるような構成を検討していく。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省グローバル COE プログラム（研究拠点形成費）の補助によるものである。

## 参考文献

- [1] Vertegaal, R. and Poupyrev, I.: Organic user interfaces, *Comm. ACM*, Vol.51, No.6, pp.26–30 (2008).
- [2] Rekimoto, J.: Organic interaction technologies: From stone to skin, *Comm. ACM*, Vol.51, No.6, pp.38–44 (2008).
- [3] Holman, D. and Vertegaal, R.: Organic user interfaces: Designing computers in any way, shape, or form, *Comm. ACM*, Vol.51, No.6, pp.48–54 (2008).
- [4] Blevis, E.: Sustainability implications of organic user interface technologies: An inky problem, *Comm. ACM*, Vol.51, No.6, pp.56–57 (2008).
- [5] Parkes, A., Poupyrev, I. and Ishii, H.: Designing kinetic interactions for organic user interfaces, *Comm. ACM*, Vol.51, No.6, pp.58–65 (2008).
- [6] Schwesig, C.: What makes an interface feel organic?, *Comm. ACM*, Vol.51, No.6, pp.67–69 (2008).
- [7] Holman, D., Vertegaal, R., Altosaar, M., Troje, N. and Johns, D.: Paper windows: Interaction techniques for digital paper, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*, pp.591–599 (2005).
- [8] Gallant, D.T., Seniuk, A.G. and Vertegaal, R.: Towards more paper-like input: Flexible input devices for foldable interaction styles, *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '08)*, pp.283–286 (2008).
- [9] RADIUS, available from <http://www.polymervision.com/>.
- [10] Piper, B., Ratti, C. and Ishii, H.: Illuminating clay: A 3-D tangible interface for landscape analysis, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '02)*, pp.355–362 (2002).
- [11] Schwesig, C., Poupyrev, I. and Mori, E.: Gummi: User interface for deformable computers, *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI '03)*, pp.954–955 (2003).
- [12] Schwesig, C., Poupyrev, I. and Mori, E.: Gummi: A bendable computer, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '04)*, pp.263–270 (2004).
- [13] 申山久美子, 笹田晋司: 生物感覚を提示する毛状視触覚ディスプレイ「fur-fly」, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.15, No.3, pp.459–462 (2010).
- [14] Saga, S., Kuroki, S., Kawakami, N. and Tachi, S.: Fibrous tactile sensor using reflection on an optical lever, *ACM SIGGRAPH 2007 Emerging Technologies (SIGGRAPH '07)*, p.3 (2007).
- [15] Furukawa, M., Sugimoto, M., Uema, Y. and Inami, M.: Fur interface with bristling effect induced by vibration, *Proc. 1st Augmented Human International Conference*, pp.17:1–17:6 (2010).
- [16] Fiber cloud, available from <http://mobile.mit.edu/research/urban-interface/fiber-cloud>.
- [17] 中島康祐, 伊藤雄一, 山抱加奈, 吉田 愛, 高嶋和毅, 北村

喜文, 岸野文郎: FuSA2 touch display: 光ファイバを用いた毛状マルチタッチディスプレイ, *インタラクション 2009 論文集*, pp.115–122 (2009).

- [18] Matsushita, N. and Rekimoto, J.: Holowall: Designing a finger, hand, body, and object sensitive wall, *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '97)*, pp.209–210 (1997).



中島 康祐 (学生会員)

2011 年大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。同年同大学院情報システム工学専攻入学。ヒューマンインタフェースの研究に従事。



伊藤 雄一

2000 年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年同大学院博士後期課程入学。2002 年同大学院情報科学研究科助手。2008 年より大阪大学ウェブデザインユニット准教授。2007 年日本バーチャルリアリティ学会論文

賞受賞。博士 (情報科学)。



築谷 喬之

2008 年大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。2011 年同専攻博士後期課程修了。同年三菱電機株式会社。



藤田 和之

2010 年大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。同年同大学院情報システム工学専攻入学。ヒューマンインタフェースの研究に従事。



高嶋 和毅

2006年大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。2008年同大学院博士後期課程修了。同年同大学院情報科学研究科助教。2010年東北大学電気通信研究所助教。インタラクション2008ベストペーパー賞受賞。博士（情報科学）。



岸野 文郎

1971年名古屋工業大学大学院電子工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社（現NTT）電気通信研究所入所。1989年ATR通信システム研究所知能処理研究室室長。1996年大阪大学大学院工学研究科教授。2002年より同大学院情報科学研究科教授。2010年より関西学院大学理工学部教授。博士（工学）。