

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

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[†]

毛を撫でる行為は、人と生物との間の直接的なコミュニケーション手段の一つであり、人は毛状物体を介して方向や圧力、触感、感情といった多くの情報をやり取りしている。例えば、人は犬や猫を撫でる際に無意識に毛並に沿って手を動かし、その行為によって安らぎや温かみを感じる。このような人と生物との間の直接的なコミュニケーションをヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)に応用することで、直感的なユーザインタフェースを実現する研究が盛んになっている。そこで本研究では、色、柔らかさ、細長い形状といった毛状物体の特徴を活かした視触覚インタフェースを提案する。提案システムでは、プラスチック製の光ファイバ(POF)、カメラ、プロジェクタという簡単なシステム構成を用い、毛状表面における手指検出と画像出力によって、毛状インタフェースとのインタラクションを実現する。

FuSA2 Touch Display: Fur-like Surface Acting As Touch Display using Plastic Optical Fiber Bundles

KOSUKE NAKAJIMA[†] YUICHI ITOH[†] KANA YAMADAKI[‡] AI YOSHIDA[†]
KAZUKI TAKASHIMA[†] YOSHIFUMI KITAMURA[†] FUMIO KISHINO[†]

In this paper, we propose a fibratus visual display using a plastic optical fiber (POF) bundles for visual and tactile communication. The proposal system has arrayed POF bundles as flexible and pliable hairs. The surface that is composed of tips of the POF bundles can display visual information (colors, shapes, and so on.). This surface also can detect multi-touch input by leveraging camera-based detection technique. Touching the surface with the fibratus texture gives users comfortable feeling and piece of mind. We evaluate the implemented system by measurement of the touch input recognition rate and by user feedback. From the result of the measurement, we discuss the capabilities of detecting various input techniques and the potential availabilities.

1. はじめに

近年、人と人、人と生物、人と環境の間の直接的なコミュニケーションをヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)に応用することで、直感的なユーザインタフェースの実現を目指す研究が盛んになってきている。人と生物の間のコミュニケーションにおいて重要な役割を果たす物質として、毛がある。人は毛に対して触れたり撫でたり、あるいは引っ張ったりと、様々なインタラクションを行い、相手とのコミュニケーションを図っている。すなわち、毛を撫でる行為は、直接的なコミュニケーション手段の一つであり、人は毛状物体を介して方向や圧力、触感、感情といった多くの情報をやり取りしている。例えば、人は犬や猫を

撫でる際に無意識に毛並みに沿って手を動かし、その行為によって安らぎや温かみを感じている。こうした毛との関わりあいを HCI に応用できれば、人や生物と触れ合う時のような直感的なインタラクションをユーザに提供できると考えられる。

そこで本論文では、こうした毛状物体の特性に着目し、毛状物体を介したインタラクションのための視触覚インタフェースの実現を目指し、毛状物体の特徴を活かした入出力手法を提案・実装する。また、実装したシステムに対する評価として、ユーザがインタラクションを行える最小領域を測定し、指によるポイントングや撫でるなどの操作について考察する。さらに、実際に体験したユーザからコメントを収集し、提案システムの有用性について検討する。

2. 関連研究

2.1 オーガニックユーザインタフェース(OUI)

新たなインタフェースの形態としてオーガニックユーザインタフェース(OUI) [1,2,3] が提案されている。

[†] 大阪大学 大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

[‡] 現在、株式会社 NTT データ

Currently with NTT DATA CORPORATION

「有機エレクトロニクスを中心とする技術を用いる」や「自然界に多く見られるような」、「環境に対応して柔軟に変化する」といった意味をもつオーガニックという言葉で表現される OUI は、入力面と出力面が物理的に一致し、入力に対し自身の形や状態が変化し、直感的な情報提示と同時に状況やアプリケーションに合わせて自身の機能を動的に変化させるという特徴を持つ。

例えば、Illuminating Clay [4] は、ユーザが変形させた粘土形状を頭上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するシステムである。Gummi [5,6] は、歪みセンサ、トラックパッド、TFTディスプレイを内蔵した曲げられるクレジットカードのようなデバイスであり、ユーザはデバイスの形状を変化させることで基本的な GUI 操作を行うことができる。Paper Windows [7] や Fordable Input Device [8] では、実世界の紙に対するインタラクシオンを仮想世界とのインタラクシオンに応用しており、直感的なインタフェースを実現している。

また、触れるという感覚を提示でき、かつ触れた位置に応じたインタラクシオンを可能とするタッチディスプレイとして、DiamondTouch [9] と SmartSkin [10] が挙げられる。DiamondTouch は、机に埋め込まれたアンテナから送信された信号がテーブルに触れたユーザの指を通じてそのユーザが持つレシーバに到達することで、触れた位置を特定することができる。SmartSkin では、センサ面に格子状に電極を敷設し、そこに人体が近付くと電極に流れる電流の量が増える原理を利用して、センサ面に近付く指の位置や形状、面からの距離を認識する。

2.2 毛状インタフェース

肌と肌との触れ合いを通じたコミュニケーションにおいて毛の果たす役割は大きい。人間同士、あるいは人間と生物の間での交流において、撫でる、ひっぱる、かきむしる、などのような毛を介した行為は、安心感に繋がったり、痛みを伴ったりして相互の感情に影響を与えうる。こうした場面では、毛並みの方向や柔らかさ、細さ、先端の形状、毛並み全体の模様など多様な属性が視覚や触覚を通じて伝わっている。このような生物間のインタラクシオンや毛の特性に着目したインタフェースが、近年盛んに研究されている。

IntuPaint [11,12] は、赤外線 LED とナイロンファイ

バで構成されたブラシにより従来のマウスやスタイラスにはないペイントブラシの曲げ具合や触感を提示し、自然な水彩画の描画を可能とするインタフェースである。しかし、あくまでブラシという道具を介したインタラクシオンの提供を目的としており、毛状の表面を利用したコミュニケーションを誘発するものではない。Fibratus tactile sensor [13] は、毛状突起物に対して撫でる行為を検出できる触覚センサである。撫でる行為の検出では、シリコンゴムの角度変位を光でこの原理で拡大して計測しており、高解像度な触覚センサを実現している。Sprout I/O [14] は、フェルトと形状記憶合金(SMA)を用いた画像や動画が表示できる動的な素材である。フェルト表面に取り付けた形状記憶合金の温度を電氣的に制御することで、一本一本の毛を2方向に駆動させられる。また、手と形状記憶合金の間の静電容量を計測することで、手指の接近を検出できる。しかし、フェルト1本に対して駆動と入力検出を行った段階であり、これを並べて一つの面を構成するには至っていない。毛ディスプレイ[15]は、天然の毛皮と振動モータを用いて立毛現象を再現し、自然な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。立毛による情報提示は親しみやすさを感じられる一方、文字や映像のような具体的な情報と関連づけることは難しい。Fiber Cloud [16] は、約1万5000本の光ファイバを表面に持ったインタラクティブなオブジェである。20個の近接センサで人や物体の接近を、表面全体の4分の3に設置されている320個の静電容量センサで正確な接触領域を検出し、入力に応じた音と光を出力することができる。このシステムでは、入力検出に多数のセンサを用いており、厳密に毛と手指との接触を検出しているわけではなく、毛状物体自体を介したインタラクシオンを実現しているとは言い難い。

以上のように、近年ではセンサやディスプレイの開発が進み、コンピュータとやり取りできる情報量が増加するにつれ、従来の論理的かつ操作性を重視したユーザインタフェースに対し、感性的かつコミュニケーション指向のユーザインタフェースが求められるようになってきた。中でも、毛状物体は多くの情報を直感的に入力でき、人の感性に訴えかける。しかし、既存の研究では、配線やコストの問題から大規模化が困難であることや、毛状物体自体を通じたインタラクシオンを実現できないといった問題がある。

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

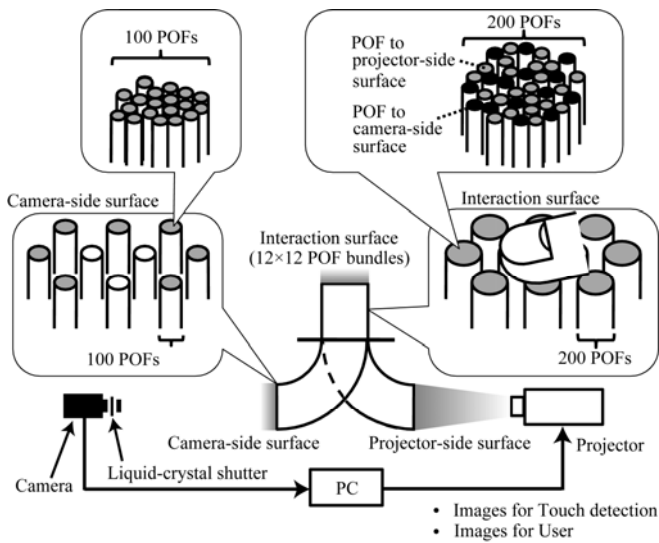


図 2. 提案システムの構成

3. 提案システム FuSA2 Touch Display

毛状物体への接触を検出し、毛状表面での情報提示を実現するために、光ファイバの物理的・光学的特性を利用した毛状マルチタッチディスプレイを提案する。従来提案されてきた同様のシステムとしては、先に述べた Fiber Cloud [16] が挙げられるが、このオブジェでは近接センサによってタッチ入力を認識しており、光ファイバの特徴を出力にしか用いていない。また、センサ数の増加に伴う配線の複雑化や、センサ位置がインタラクション面の近くに限定されるといった問題があった。提案システムでは、光ファイバとカメラ、プロジェクタを用いた簡単なシステム構成で毛状表面におけるマルチタッチディスプレイを実現すると共に、入力検出機構の位置をインタラクション面付近に限定しない構造を実現する。

3.1 POF を用いたディスプレイの構造

提案システムのディスプレイには、柔軟で細長いという毛状物体の特徴を備える素材としてプラスチック製の光ファイバ(POF)を使用する。FuSA2 Touch Display の構成を図 2 に示す。1 本 50 cm の POF を 200 本ずつ束ねたものをディスプレイの最小構成単位とする。この POF 束を多数並べることで、その断面により毛状表面を構成し、この面をユーザとの入出力に利用する「インタラクション面」とする。POF 束の位置を固定するために金網を用い、その目に POF 束を市松模様になるように挿入している。1 束に含まれる 200 本の POF のうち 100 本は画像出力に用い、残る 100 本は手指の入力検出に用いる。そのため、イ

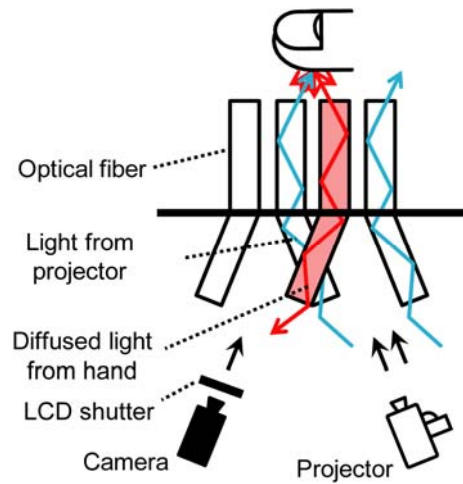


図 3. タッチ検出手法の概要

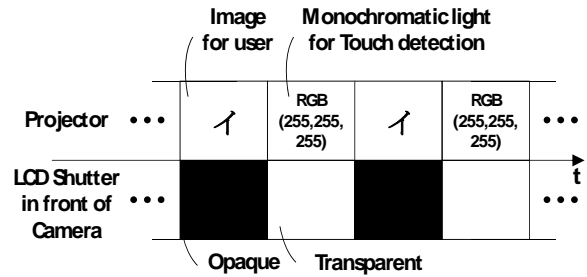


図 4. 時分割表示による手法

ンタラクション面の土台となる金網の下で各 POF 束は 100 本ずつ 2 つの束に分けられ、片方は画像出力用プロジェクタの方へ、もう一方は入力検出用カメラの方へ向かって曲げられる。カメラ側、プロジェクタ側のそれぞれで、100 本ずつの束はインタラクション面と同じ位置関係になるように並べられ、面を構成する。

3.2 手指検出手法

提案システムにおける手指の接触検出には、プロジェクタからの可視光が手指表面において拡散反射する原理を利用する。手指の接触検出の様子を図 3 に示す。プロジェクタから高輝度の単光色が投影されているインタラクション面に手指が触れると、手指表面で光が拡散反射され、カメラ側に伸びる POF 束に入射する。これによりカメラ撮影面では手指の触れた部分の POF だけが光る。このカメラ撮影面の光をカメラ画像から検出して手指の接触を認識する。この手法によるタッチ検出の場合、インタラクション面全面が常にプロジェクタから光を供給されて光っていなければならない。しかし、提示する画像によってはインタラクション面全面が高い輝度の光で照らされるとは限らない。そこで本システムでは、図 4 に示すように、カメラの前に液晶シャッターを設置することで、画像提示と

入力検出を両立させる。タッチ入力検出の時には、プロジェクタから高輝度の単色光を投影し、液晶シャッタを開く。インタラクシオン面は全面が強く光り、手指が触れている POF があれば、そこからの拡散光がカメラ撮影面の同じ位置にある POF を光らせる。これをカメラで撮影してタッチ認識に利用する。ユーザへの画像提示の時には、プロジェクタから提示画像を投影し、液晶シャッタを閉じる。これにより、提示画像によってインタラクシオン面が不均一に照らされている時の拡散光はカメラには届かず、安定した入力検出が可能になる。また、この入力検出と画像提示の切り替えは、ユーザには認知できないほど十分高速に実行し、画像提示と入力検出を単一のインタラクシオン面で同時に実現する。

なお、タッチ入力検出の方法として、投光した赤外光が手指表面で拡散反射するのを赤外線カメラにより検出する手法がある[17]。このように、赤外光を用いればタッチ検出用の光が画像提示を妨げることはなくなる。しかし、今回の手法では赤外光が POF を通ってカメラ撮影面まで伝達される必要があるが、POF では赤外光が内部で減衰してしまうため、この手法は適用できない。

4. 実装

これまでに述べた構成により、マルチタッチを検出可能な毛状ディスプレイである FuSA2 Touch Display を実装する。今回使用した POF は、直径 0.25 mm の POF (エスカ、三菱レイヨン製) である。使用した POF の束数は 1 辺 12 束であり、 $12 \times 12 = 144$ 束である。POF の総数は $144 \times 200 = 28,800$ 本であり、総距離は、14.4 km になる。この束を用いて構成されたディスプレイ面のサイズは 85 mm × 85 mm である。また、インタラクシオン面では、金網からインタラクシオン面までの POF の長さを 30 mm, 60 mm, 80 mm, 110 mm の 4 段階に調節できる。実装した提案システムを利用する様子を図 5 に、ディスプレイの構成を図 6 に示す。

図 6 のようにインタラクシオン面から伸びた POF のうち、半分だけがプロジェクタのある画像投影面に向かっており、残り半分はカメラ撮影面に向かっており、画像提示の際にプロジェクタからの光で発光する POF はインタラクシオン面に突き出た POF のうちの半分のみとなる。これにより、インタラクシオン面における画像の解像度が低下してしまうほか、カメラ撮影面に繋がる発光しない POF の断面がインタラクシ

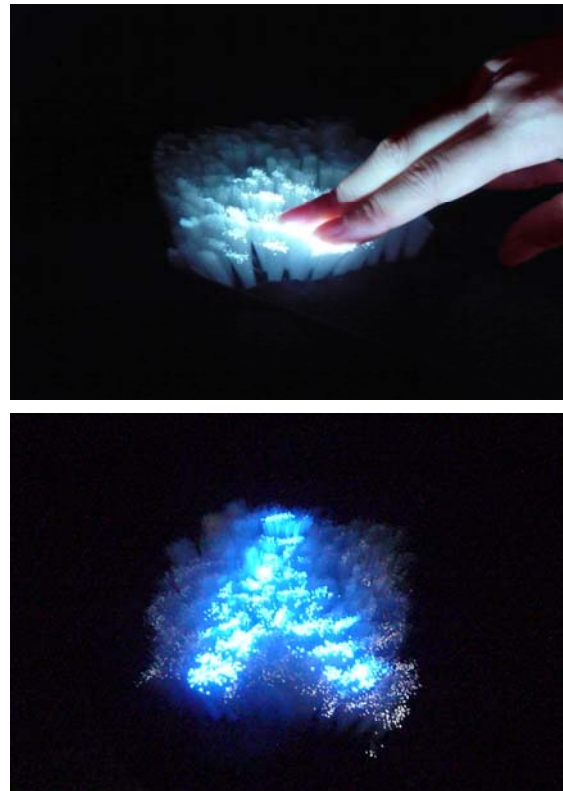


図 5. FuSA2 Touch Display

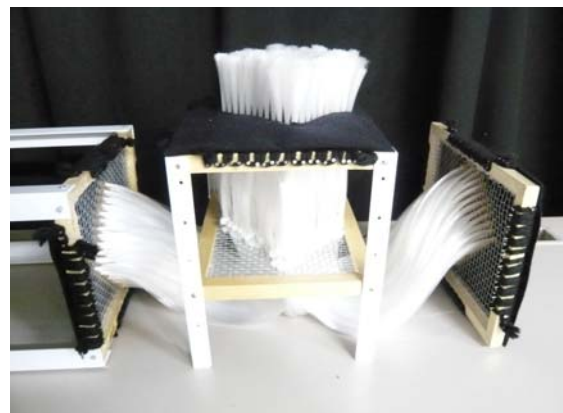


図 6. 実装した提案システムの構成

オン面的一部分に集中した場合には、ドット抜けのようになってしまう恐れがある。しかし実際には、カメラ撮影面の POF と画像投影面の POF が 200 本の束の中で偏らないように実装しており、ユーザの目にはドット抜けによる不自然さは知覚されない。

提案システムの実装にあたっては、時分割表示をするために 120Hz のフレームレートが保証されている立体表示用の DLP プロジェクタ (DepthQ HD, Lightspeed Design 社, InFocus Corporation 製) を利用し、カメラは IEEE-1394b によって高速に画像を転送できるハイスピードカメラ (Grasshopper, Point Grey Research 社製) を利用する。液晶シャッタの装置に

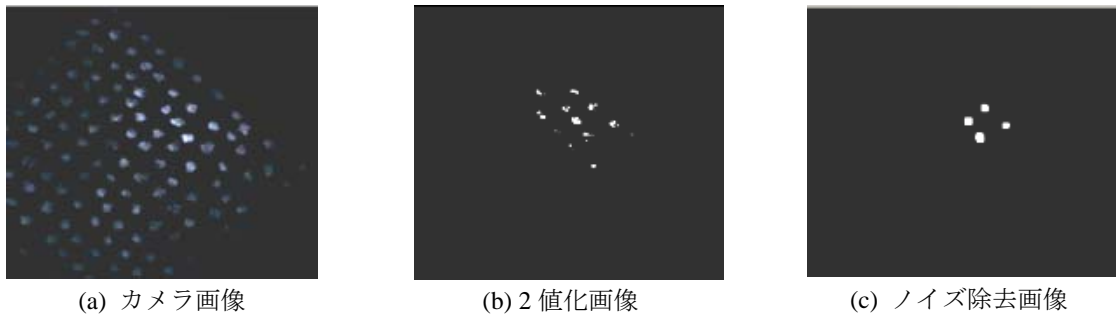


図7. 画像処理

は、赤外線エミッタ（EPRO, StereoGraphics 社製）および液晶シャッター眼鏡（CrystalEyes3, StereoGraphics 社製）を利用する。プロジェクタの投影画像の切り替えは 120Hz で実行する。この速度で提示画像と入力検出用の単色光を切り替えることで、ユーザに単色光を全面に投影している状態があることを気付かせない。また、提示画像自体のリフレッシュレートが 120 Hz の半分の 60 Hz となるため、フリッカを感じさせることもない。

入力検出用の単色光については、手指による拡散を生じやすくするために、できるだけ高輝度であることが望ましい。しかし、あまりに高輝度の光を投影すると、時分割で切り替えている情報提示用の画像に対して入力検出用の光が強くなりすぎ、提示画像を打ち消してしまう恐れがある。現在は、実装したシステムを環境光の全くない暗い環境で起動させており、手指検出用の光の輝度は経験的に決定している。

タッチ入力の検出では、カメラで取得される画像に基づいてタッチした位置や範囲を取得する。インタラクション面に指で触れた時、図 7 (a) のような画像がカメラで撮影される。これを動的背景差分により移動体を抽出して前景を白、背景を黒にする 2 値化処理を行う。その結果を図 7 (b) に示す。動的背景差分における閾値は経験的に決定しており、環境によってキャリブレーションを行う必要がある。また、このシステムでは、POF 束を固定している金網より上側では POF が拘束されていないため、金網からインタラクション面まで一部の POF が斜めに伸びており、接触した手指からの拡散光がカメラ撮影面において正しくない位置に伝播されてノイズになることがある。このノイズの光は正しいタッチ位置の光に比べて発光面積が狭いため、モルフォロジ変換によって収縮と拡大の処理を 1 回ずつ行うことで除去できる。その結果を図 7 (c) に示す。こうして得られた画像を最終的なタッチ検出用の画像として用いる。この処理の中で、2 値

化処理に動的背景差分を用いている。背景差分処理としてはこの他に静的背景差分があり、これを適用すれば、移動体だけでなく静止している対象も検出できるため、インタラクション面にタッチしたまま静止している手指も検出できるようになる。静的背景差分を利用するには、撮影対象の背景を完全に固定する必要がある。現在の実装では、インタラクション面での入力動作（触れる、撫でる、など）によって POF ディスプレイ全体が揺れるため、カメラに写る背景を固定できておらず、静的背景差分ではなく動的背景差分を適用している。今後、POF ディスプレイの土台をより安定させ、カメラ撮影面をケースで覆うなどして背景を固定することで、静的背景差分を適用し、インタラクションを拡張できると考えている。

実装した毛状マルチタッチディスプレイによる入出力を体験できるように、入力に応じて画像出力が変化するようなアプリケーションを構築した。白色に光るディスプレイに対して、タッチするとその位置にランダムに色がつき、それが時間とともに薄まっていく様子が提示される。インタラクション面を撫でると、それを追いかけるように、触れた部分が順に着色していき、また少しずつ白色に戻る。なお、今回の実装では、タッチ検出部において 640×480 の解像度の画像から 64×48 の入力検出点についてタッチを認識し、それに基づいて画像生成を行っている。

5. 評価

今回実装したシステムにおける、毛状表面でのタッチ入力を検出する手法について、タッチを検出できる最小面積の測定によってその有効性を評価する。また、毛状物体の表面で入出力を行う本システムでのインタラクションをユーザに体験してもらい、コメントを得た。

5.1 最小インタラクション領域の測定

指によるポインティングや撫でるなどの操作の実現可能性を検討するため、システムがタッチ入力を検出できる最小領域を測定する。測定ではまず、POF ディスプレイのインタラクション面にマスクホールを被せる。次に、マスクホールに開いた穴の全体を覆うように指でインタラクション面に触れ、手指検出用のアプリケーションでタッチを検出できるか測定する。ディスプレイの金網からインタラクション面までの高さは、図 8 のように 30, 60, 80, 110mm の 4 段階に設定し、マスクホールの直径を 5, 7, 10, 15, 20, 25mm の 6 段階に変えながら、各条件においてそれぞれ 10 回ずつ試行した。なお、実験に用いた手指検出用のアプリケーションは Microsoft 社の Visual Studio.NET 2005 を用いて作成しており、画像処理にはインテル社が開発・公開している画像処理用の C 言語ライブラリである OpenCV を用いる。実験に用いる PC は、デスクトップ PC(OS : Windows XP Pro, RAM : 2GByte, GPU : NVIDIA Quadro FX 3450, CPU : Xeon Quad Core 2.33GHz)とした。

得られた実験結果を図 9 に示す。図からわかるように、マスクホールの直径を大きくすると認識率が向上し、全ての高さにおいてマスクホールが 15 mm 以上で 90 % 以上の認識率が得られた。また、高さが高いほど認識率が低くなる傾向が見られた。

5.2 ユーザによる主観評価

提案システムに関する意見を聞くと同時に、今後の改良点について考察するために、実際に 8 人に提案システムでのインタラクションを体験してもらった。このとき、金網からインタラクション面までの POF の高さは 60mm に設定した。その後、アンケートを実施し、ユーザからのコメントを収集した。以下に、ユーザの主な意見をまとめる。

- 気持ち良い
- ディスプレイに奥行きがあり、反発力を感じる
- 予想以上に密度が高く、動画など様々なコンテンツを表示することもできそう
- 表示面積が小さい
- 毛状物体の方向が変化しない
- 毛状物体の硬さが変化しない

また、提案システムに用いる毛状物体の硬さに関しては、8 人中 6 人がもっと柔らかいほうが良いと回答し、2 人が現在の硬さがちょうど良い回答した。もっ

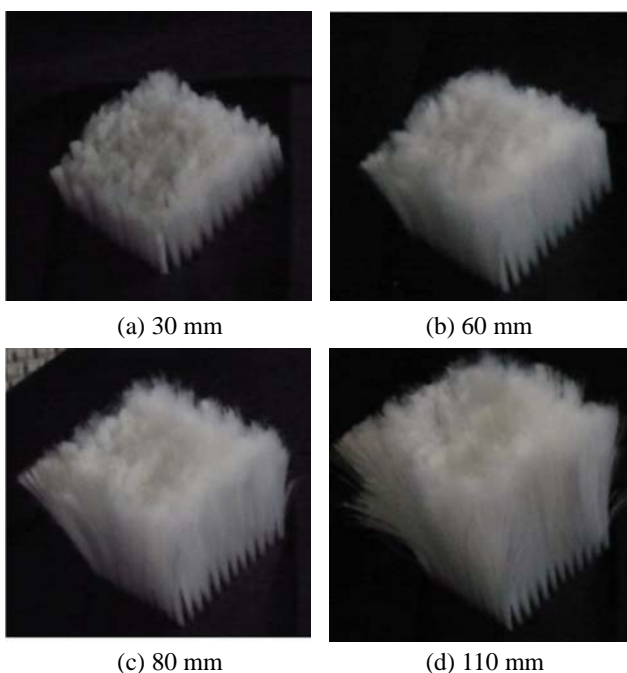


図 8. インタラクション面における POF の高さ

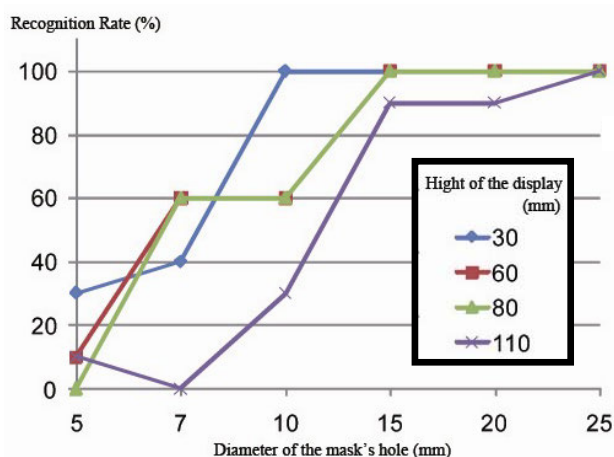


図 9. 手指入力での認識率

横軸：マスクホールの直径 (mm)

縦軸：認識率 (%)

と硬いほうが良いと回答したユーザはいなかった。

5.3 考察

5.1 節に述べたように、最小インタラクション領域の測定により、直径 15mm 以上のタッチ入力であれば、90 % 以上の認識率で検出できるとわかった。表 1 に日本人青年男女の一般的な手のひらの大きさの平均を示す[18]。手のひらの平均的な大きさは、直径 15 mm の円よりも十分に大きい。これにより、手のひらで撫でるようなインタラクションを行うには十分な認識率を得られているといえる。しかし、1 本の指でのインタラクションに関しては、軽く触れる程度のポイ

ンティングを行う際に、指と毛状表面の接触面の直径が 15 mm 以上になるとは考えにくく、システムがタッチ入力を高い認識率で検出することが難しい。提案システムにおいてインタラクションに指を用いる際には、インタラクション面の毛状物体に指を差し込んだり、指を 15 mm 以上激しく移動させたりして接触面が広がるような操作が有効である。また、金網からインタラクション面までの POF の高さがより高いほどタッチ入力に対する認識率が低下することもわかった。これは毛状物体の物理的な特性に起因するものである。金網からインタラクション面までの POF は固定されておらず、ユーザに撫でられたり触れられたりするうちに、一部の POF が金網から斜め方向に伸びた状態になる。この斜めに伸びた POF は、画像投影面やカメラ撮影面に並ぶ POF 束の位置とは異なる位置でインタラクション面に届いていることになる。このように POF の両端の位置に不一致が生じると、指からの拡散光がカメラ撮影面での正しい位置に伝達されず、光る POF の位置にばらつきが生じるため、輝度が不十分となりタッチを検出できない場合がある。金網からインタラクション面までの POF の長さが長いほど、POF が自由に動けるようになり、POF 両端の位置の不一致が生じやすい。実験結果で、POF の高さが高いほどタッチ認識率が低下したのも、この現象が原因であると考えられる。この認識率の低下に対しては、画像処理のアルゴリズムを改良する必要がある。POF が自由に動けることはインタラクションにおいて重要な役割を果たすため、POF を固定するのは適切ではない。ノイズとなる光を消去したり、輝度が不十分な点に関して適切にタッチを認識したりできるよう、必要な画像処理を加えることが望ましい。

また、ユーザからのコメントにより、毛状物体の方向や硬さが柔軟に変更できることが重要であることがわかった。提案システムにおいても、金網からのインタラクション面までの POF の高さを変更することで、インタラクション面の柔軟性を調節できる。毛状物体の硬さに関しては、使用する POF の直径や長さを変更することで、システムの用途に応じた硬さが得られると考えている。また、ほとんどのユーザが、実装したシステムでは毛状物体が硬いと感じている。今後、POF の太さや、金網からインタラクション面までの POF の高さを変更し、POF の太さや長さがどのようにユーザの感じ方に影響を与えるのかを検討してゆく。

5.4 応用例

提案システムのような毛状タッチディスプレイには、

表 1. 日本人青年男女の手のひらの大きさの平均

	縦 (mm)	幅 (mm)
男性	189.1	81.8
女性	177.1	73.6

様々な場面での応用が期待できる。例えば、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、ユーザが撫でた時の方向や速さを取得することで、ユーザはより自然な振り舞いでロボットに入力を与えられるようになる。また、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。さらには、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や、エンタテインメント向けの用途としては、競技場のフィールド一面に毛状タッチディスプレイを敷き詰めて、競技によって異なるタッチラインを表現したり、ボールの転がる軌跡に沿って視覚効果を付加して競技を盛り上げたりするなどの応用が考えられる。また、競技場での応用については、ラインの位置を自在に変えられることから、各チームのコートの広さをハンディや試合の状況に応じて非対称にするような、新しい競技形式を提案することも可能となる。他にも、撫でることで表面の色や毛並が変化するインタラクティブなインテリア、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。

6. まとめと今後の課題

視覚情報を提示し、面上でマルチタッチを検出できる毛状のディスプレイを提案し、実装した。提案システムは、光ファイバ、カメラ、プロジェクタを用いた単純な構成であり、POF の内部を通して見える拡散光を撮影することで触れられた位置を検出することができた。また、提案システムにおいて、ユーザのインタラクションに対し、入力が検出できる最小領域を測定したところ、直径 15 mm 以上のタッチであれば 90 % 以上の認識率で検出が可能であった。さらに、実際に提案システムを利用してもらったユーザからのコメントによれば、提案システムは毛状物体の触感と気持ち良さを提示できており、視触覚提示ディスプレイとして有効であることがわかった。

今後は、より正確にタッチ入力を検出するために、検出手法を改良する。POF の太さや長さがどのよう

にユーザの感じ方に影響を与えるのかについても検討を進めてゆく。また、毛状物体の特徴を利用した様々な応用に適用させられるよう、インタラクシオン面の拡大や高解像度化などを検討してゆく。

参 考 文 献

- 1) R. Vertegaal and I. Poupyrev. Organic user interfaces. *Communications of the ACM*, Vol.51, No.6, pp. 26-44, 2008.
- 2) J. Rekimoto. Organic interaction technologies: from stone to skin. *Communications of the ACM*, Vol. 51, No. 6, pp. 38-44, 2008.
- 3) D. Holman and R. Vertegaal. Organic user interfaces: designing computers in any way, shape, or form. *Communications of the ACM*, Vol51. No. 6, pp. 48-54, 2008.
- 4) B. Piper, C. Ratti, and H. Ishii. Illuminating clay: a 3-D tangible interface for landscape analysis. *Proc. of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '02)*, pp. 355-362, 2002.
- 5) C. Schwesig, I. Poupyrev, and E. Mori. Gummi: user interface for deformable computers. *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI '03)*, pp. 954-955, 2003.
- 6) C. Schwesig, I. Poupyrev, and E. Mori. Gummi: a bendable computer. *Proc. of SIGCHI Congerence on Human Factors in Computing Systems (CHI '04)*, pp. 263-270, 2004.
- 7) D. Holman, R. Vertegaal, M. Altosaar, N. Troje, and D. Johns. Paper Windows: interaction techniques for digital papers. *Proc. of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*, pp. 591-599, 2005.
- 8) D. T. Gallant, A. G. Seniuk, and R. Vertegaal. Towards more paper-like input: flexible input devices for foldable interaction styles. *Proc. of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '08)*, pp. 283-286, 2008.
- 9) P. Dietz and D. Leigh. DiamondTouch: a multi-user touch technology. *Proc. of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '01)*, pp. 219-226, 2001.
- 10) J. Rekimoto. SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. *Proc. of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '02)*, pp.113-120, 2002.
- 11) P. Vandoren, T. V. Laerhoven, L. Clarsen, J. Taelman, C. Raymaekers, and F. Van Reeth. Intu-Paint: bridging the gap between physical and digital painting. *Proc. of IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems (TABLETOP '08)*, pp. 65-72, 2008.
- 12) T. V. Laerhoven and F. V. Reeth. Real-time simulation of watery paint: natural phenomena and special effects. *Comput. Animat. Virtual Worlds*, Vol. 16, No. 3-4, pp. 429-439, 2005.
- 13) S. Saga, S. Kuroki, and S. Tachi. Fibratus tactile sensor using reflection image on an optical lever. *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques 2007 (ACM SIGGRAPH '07) Emerging Technologies*, Article No.3, 2007.
- 14) M. Coelho and P. Maes. Sprout I/O: A texturally rich interface. *Proc. of International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '08)*, pp. 221-222, 2008.
- 15) 上間裕二, 古川正紘, 常磐拓司, 杉本麻樹, 稲見昌彦: モディスペレイ, 第14回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3B4-1, 2009.
- 16) Fiber cloud, <http://mobile.mit.edu/en/cloud>.
- 17) Matsushita, N. and Rekimoto, J. HoloWall: designing a finger, hand, body, and object sensitive wall. *Proc. of Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '97)*, pp. 209-210, 1997.
- 18) 河内まき子, 持丸正明, 岩澤洋, 三谷誠二: 日本人人体寸法データベース 1997-98, 通商産業省工業技術院くらしと JIS センター, 2000.