

振動による立毛現象を利用した毛並み制御手法

上間 裕二 古川 正紘 常盤 拓司 杉本 麻樹 稲見 昌彦

猫やチンパンジーなどはコミュニケーション方法の1つとして、毛を逆立てて威嚇行動をとることが知られている。この毛を逆立てるという行動は、動物ならではのコミュニケーションの中でも、人に対してわかり易い表現手法といえる。つまり同手法を工学的に再現することで、毛皮がもつ視覚的な審美性を損なうことなく、毛を逆立てるという機能もしながらも、身につけたり撫でたりすることが可能な出力インタフェースの実現が期待できる。そこで本稿では、本表現手法をユーザインタフェースへ適用するための技術要素として、簡便な機構で実装可能な毛並み制御手法の提案を目的とする。実験の結果、毛皮に対して振動を印加することで瞬時に毛を逆立てることが可能であることが確認された。また、ユーザスタディにより毛を逆立てることが人に対して驚きを与えたことから、十分な視覚的变化を実現できたことが確認された。以上のことから、本提案手法は動物的な表現手法の工学的な実装として有効であり、動物的な表現を用いた出力インタフェースへと応用可能であることが示された。

This paper describes an attitude control method of fur surface for an interface covered with fur material. Chimpanzees and cats are known as animal which assumes a threat posture as one of their communication ways. When they adopt a threading posture, they raise their hair. As this phenomenon is also perceptible to human, it can be useful element for human user interface. Therefore, we set our goal to achieve a control method of fur surface and apply the method to interfaces with fur. With this method, we achieved rapidly changing of hair attitude. Also, through user study, we confirmed that the method is feasible approach for vision perception.

1 はじめに

人間と動物とのコミュニケーションは主に非言語的なものである。その中でも特に毛を逆立てて威嚇するという行為は、人にとってもわかり易い表現手法といえる。このようなコミュニケーション方法を持つ動物

の例として、全身が毛で覆われている猫やチンパンジーが挙げられる[3][5]。

ここで、猫が愛玩動物として広く飼われ、ぬいぐるみの多くは毛皮による装飾が行われていることに着目すると、毛皮は次のメリットを持つといえる。つま



図1 提案手法による立毛の様子
立毛前(上)、立毛後(下)

Control Method with Bristling Effect Induced by Vibration.

Yuji Uema, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科, Graduate School of Media Design, Keio University.

Masahiro Furukawa, 電気通信大学大学院情報理工学研究所, Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications.

Takuji Tokiwa, 公立はこだて未来大学, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科, Future University-Hakodate. Graduate School of Media Design, Keio University.

コンピュータソフトウェア, Vol.28, No.2 (2011), pp.153-161. [研究論文] 2010年5月31日受付.

り、柔らかい毛皮をロボットの外装として応用する価値は高く、Wada らがアニマル・セラピーを目的として提案している Paro には、外装として人工毛皮が利用されている [10]。ここで、柔らかい毛皮の親しみやすいというメリットを生かしたまま毛を逆立たせることができれば、より動物的な表現が可能になり、従って外装そのものが出力インタフェースとして利用出来るというメリットがあると考えられる。

以上より、毛並みを制御可能な要素技術が実現できれば、愛玩対象となり動物的な表現が可能なインタフェースが実現可能だと考えられる。

そこで本稿では、簡便な機構で実装可能な毛並み制御手法の提案を行う。そして、図 1 に示すように本手法を適用したインタフェースの試作を行い、毛皮の立毛現象を視覚効果として利用したインタフェースの可能性について検討した。

2 関連研究

毛皮素材を外装に利用することを提案した関連研究として、Ueki らによる Tabby [9]、Yohaman らによる Haptic Creature Project [11]、Wada らによる哺乳類型ロボットと触れ合うことで精神安定を図る手法 [10] が挙げられる。しかし、これらは毛状構造の毛並み自体を変化させることによる視覚効果を目的としていない。つまり、いずれの例も触れ合うことを目的とした外装としての毛皮は大面積を持っているが、外装そのものは能動的なインタフェースとして活用されていない。

一方で、毛並みの姿勢制御を行うことで外装を能動的なインタフェースとして提案された研究は、次の 2 つに分類できる。すなわち、主に毛の一本一本を独立に制御する手法と、一定範囲以上の毛を総合的に制御する手法の 2 つの手法に分類することができる。

毛の一本一本を独立に制御する手法として Raffle らによる Super Cilia Skin が挙げられる [8]。同手法は、尾部に永久磁石を持つ多数の突起状の剛体を弾性膜上に分布させ、その直下に配列させた電磁石を用いて突起の姿勢を制御している。また、Coelho らによる Sprout I/O が挙げられる [2]。これは形状記憶合金を刺入した毛糸やフェルトを用い、変形する突起状の

毛糸などを能動的に質感が変化する素材として提案したものである。毛の一本一本に着目した手法の共通点として、図 1 のような密な毛状構造を再現することが難しく、毛並みの審美性を実現することが難しい。

これに対して、一定範囲以上の毛の姿勢を総合的に制御する手法は、毛の密度を高くできることから毛の審美性を高めることができる。一定範囲の毛の姿勢を逆立たせる手法として、静電気を利用した方法を Phillips 社が提案している [6]。しかし、静電気を利用するためには、高電圧を取り扱うための昇圧回路が必要となる。

以上より本稿では、円盤型振動モータによる機械的振動を用いて、毛皮素材に立毛現象を生じさせる手法を提案する。

3 提案手法

3.1 哺乳類の立毛機構

毛が逆立つという立毛現象は立毛筋 (Arrector Pili Muscle) により生じることが知られている [7]。立毛筋とは、毛根 (Hair follicle) 付近に存在している筋肉の一種である。体毛 (Body Hair)、表皮 (Epithea)、立毛筋 (Arrector Pili Muscle) の位置関係を図にすると図 2(a) の通りである。立毛筋は通常弛緩しており、副交感神経が活性化すると収縮する。収縮した立毛筋は毛根を牽引し、結果的に図 2(b) のように体毛が起き上がる。本提案手法では、毛皮素材を用いることでこの立毛現象と等価な視覚効果を実現するが、毛皮素材に存在する立毛筋の活動は期待できない。そこで、毛皮素材に配列している体毛の弾性力を、立毛筋の機能に置き換えることを考える。すなわち、立毛筋のもつ立毛のための牽引力を、体毛が持つ弾性力に置き換えるのである。従って、毛並みが寝ている状態を初期状態と定義するならば、体毛の弾性力が復元力として作用し、結果的に立毛現象として観測されることが期待される。

また、体毛同士が毛並みの姿勢を維持できるほどに十分な静止摩擦力を持つ。つまり初期条件である毛並みが寝ている状態もまた、維持されることが期待される。すなわち、体毛の弾性力がひずみエネルギーとして蓄えられ、静止摩擦力によってエネルギーが解放さ

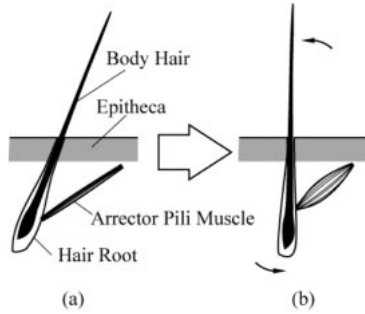


図 2 立毛筋の収縮により毛を逆立てる様子

れずに維持される状態と考えられる。

つまり、立毛させるためにはこの静止摩擦力を低減させれば良いということが分かる。そこで、機械的振動により生じる表面弾性波は静止摩擦力を低減させることから、体毛に機械的振動を生じさせることを考える。

以上のことから、本稿では体毛同士の静止摩擦力が十分確認された毛皮素材と、容易に機械的振動を提示可能な振動モータを用いることとした。

3.2 立毛機構の構造と実装

本稿で試作した立毛機構は、図 2 の構造とは異なり、毛皮と円盤型振動モータから構成される(図 3(a))。本機構における立毛現象とは、円盤型振動モータに電力を加え振動させることにより、毛並みの姿勢が起きることを指す(図 3(b))。素材としてオポッサムの毛皮を用い、円盤型振動モータは T.P.C 製の FM34F を用いた。

立毛現象は次の手順で再現する。まず毛皮を手で撫でることにより体毛を圧縮する(図 3(a))。その結果、図 2(a) に相当する状態が作られる。その後、円盤型振動モータに対し標準電圧 3.0V を印加することで機械的な振動を発生させる(図 3(b))。その結果、図 2(b) に相当する状態へ遷移する。

4 実験

本章ではまず、提案手法で使用する毛皮を選定するための実験を行った。そして、提案手法による毛並み制御の動特性を明らかにするために、モータ駆動後の毛の移動量を計測した。

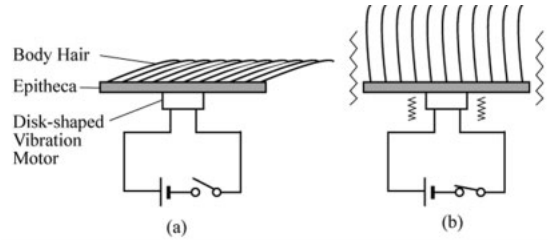


図 3 立毛現象の再現手順および試作装置の模式図

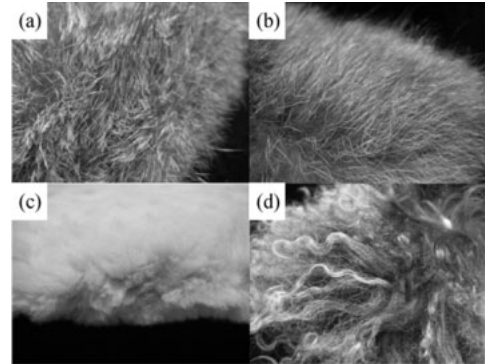


図 4 選定に使用した毛皮 (a) オポッサム, (b) うさぎ, (c) ミンク, (d) チベットラム

4.1 毛皮素材の選定

3章で述べた機械的振動の印加による立毛現象の再現性は毛皮の種類に依存した。そこで、再現性の高さを評価するために、立毛現象の再現に最適な素材の選定を行った。

4.1.1 選定に用いた毛皮

評価に用いた毛皮は、体毛が比較的均等に配列しているものを対象とした。選定の対象とした素材は(a) オポッサム, (b) うさぎ, (c) ミンク, (d) チベットラムの4種類であった。それらの外観を図 4 に示す。

4.1.2 実験手順

立毛現象の検証は次の手順で行われた。まず、図 3(a) のように円盤型振動モータ 1 個を毛皮の裏地に貼付した。振動モータの固定には粘着性テープを用いた。また、振動モータにより提示される振動の減衰を防ぐために、毛皮は潤滑性のある素材上に設置する必要があった。そこで、ベロア地の上に毛皮を静止させることで、毛皮底面部と接地面上の間に潤滑性をもたせた。次に、実験直前に実験者が手で十分に毛皮を圧縮し、図 3(a) の圧縮状態を作った。その後、振動

モータに対し標準電圧 3.0V を印加した。最後に、立毛現象の有無を目視により確認した。

4.1.3 実験結果

実験の結果、立毛現象の再現性は表 1 に示す通りであった。安定して立毛現象が再現できたものはオポッサムの毛皮のみであった。一方、オポッサム以外の毛皮については実験者の操作による毛並みの姿勢変化が難しかった。つまり、毛皮を圧縮することで毛を寝かせた状態に保つことが困難であった。その結果、振動印加前後で毛の姿勢変化は確認されなかった。そこで本稿では以後、オポッサムの毛皮についてのみ議論をすすめる。

ここで、本実験で使用したオポッサムの毛皮の裏地は長方形であり、長辺が約 30cm、短辺については最小が 1.5cm で最大が 1.8cm であった。裏地の長辺と短辺の中心が交わる位置に振動モータ 1 個 (直径 12mm) を貼付し、振動を印加した。実験の結果、立毛現象が生じた範囲はモータを中心に半径 5.0cm 程度であった。また、振動モータを静止後は、毛並みは振動により立毛した状態の姿勢を保ち続けたまま静止することが確認された。ただし、立毛現象は常に同程度の再現性があるわけではなく、毛皮の劣化によって立毛現象の再現性が低下することが確認された。

4.1.4 機械的構造の計測

上記実験で観察された立毛現象は、毛皮素材の機械的な構造によるものであると推測される。そこで毛皮の機械的な特徴を明らかにするために、裏地の厚さ、体毛の太さ、体毛の長さを計測した。体毛の太さの計測にはマイクロメータを用いた。計測結果を表 1 に示す。ただし、表中の値は測定 10 回分の平均値である。ミンクの毛は極めて細く測定が困難であったため、測定値なしとした。

本実験において、立毛現象を再現するために毛を寝かせる必要があり、オポッサムの毛皮のみ実験者による操作で毛を寝かせることが可能であった。このことから本手法による立毛現象の再現のための要因として、体毛の弾性力と体毛間の静止摩擦力の関係が指摘できる。つまり、毛並みが寝ている状態を保つためには、体毛間の静止摩擦力が体毛の弾性力より大きい必要がある、ということである。体毛間の静止摩擦力が

表 1 毛皮の特徴と応答

素材	厚さ [mm]	太さ [mm]	長さ [mm]	応答
オポッサム	0.33	0.028	48	
うさぎ	0.53	0.026	36	×
チベットラム	0.65	0.047	55	×
ミンク	0.78	-	7	×

体毛の弾性力より小さい場合は、そもそも毛を寝かせることが出来ない。従って、オポッサムの体毛は立毛現象を再現するために適した弾性力と静止摩擦力を持つ可能性が指摘できることがわかった。

4.2 毛並みの動特性の評価

次に、提案手法について、振動モータを駆動し毛皮に振動が印加された際の毛の動特性を評価した。

4.2.1 実験目的

本稿で提案する手法で実現される立毛現象の特徴の 1 つが、立毛時間の速さである。そこで、次の方法で立毛現象の遷移時間を計測した。立毛現象の遷移時間とは、図 3(a) の初期状態から図 3(b) の立毛状態へ遷移するまでに要する時間である。我々はこれまでに遷移時間が約 250ms 程度であることを明らかにしている [12][13]。そこで、十分に立毛状態に遷移すると考えられる 1800ms 程度を計測時間として設定し、その間の動的振る舞いについて観測を行った。

4.2.2 実験装置

実験設備として、高速撮影装置 (EXILIM EX-F1) を用いて立毛現象における毛の振る舞いを計測した。計測環境を図 5 に示す。白熱球 (Incandescent Lamp) を照明として用い、高速撮影装置を三脚に固定し毛皮の側面方向から撮影を行った。LED Array は 10ms 毎に点灯し、記録された映像の撮影速度を確認するために利用した。撮影速度は 600fps、解像度は 432x192pixel で撮影した。また、毛並みの時間的変化を観測するために、映像中の特徴点追跡を行った。特徴点追跡には Lucas-Kanade 法を用いた [1]。Matrix は 5mm 平方の市松模様を印刷したものであり、特徴点移動量を実世界座標に変換するために用いた。

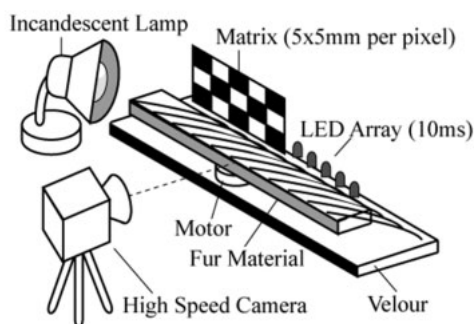


図 5 計測環境

4.2.3 毛の移動追跡

本実験では、毛皮上の3点に着目し、初期状態から時間経過に伴う毛の移動の様子を計測した。着目する3点は図6で示している十字の交点の位置である。また、着目点を左から順に、左端点、中央点、右端点とする。図6中の着目する3点について、隣り合う2点間の距離は約47mmである。

計測手順は次の通りである。毛皮を手で撫でることにより圧縮し、図3(a)の初期状態へ遷移させたことを確認した。そして振動モータを駆動させ、安定した立毛現象が再現されたことを目視により確認した。図3(b)の立毛状態が安定したことを確認し、実験を終了した。この1試行は1分以内に終了した。

立毛現象の再現に必要な振動量を明らかにするために、円盤型振動モータに印加する電圧を3.0V, 5.0V, 7.0Vの3条件を設定した。各条件に対して3回計測を行った。ここで、本実験ではモータへの印加電圧と毛の特徴点の移動量を比較するが、より最適な比較として、毛皮に貼付した状態におけるモータの振動量(振幅)と毛の移動量の比較が考えられる。しかし、本実験環境において、モータの振動量を同時に計測することは困難であった。なぜならば、毛皮本体の姿勢を維持させることを優先したため、毛皮の形状を変動させることができず、光学式距離センサなどを配置することが難しかったからである。よって本実験は、モータへの印加電圧が振動量と比例関係にあると仮定し、モータへの印加電圧と特徴点の移動量を比較するものとした。

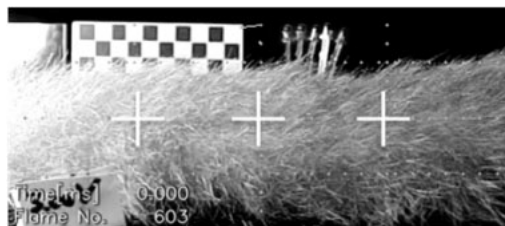


図 6 特徴点の位置: 左から順に、左端点, 中央点, 右端点

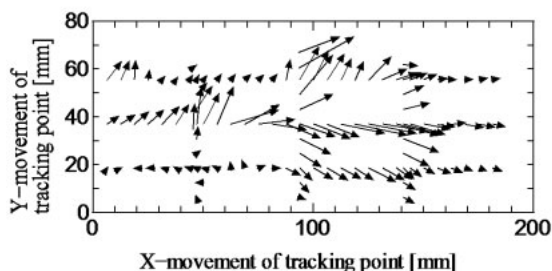


図 7 特徴点追跡例: 7.0V 印加, 時刻 333ms

4.2.4 実験結果

まず、特徴点追跡の一例として、図7に7.0Vの電圧を印加し、印加開始時刻から333ms経過した時刻までの特徴点の移動の様子を示す。実際に解析に利用する追跡点は図6に示す3点だが、図7ではその他の点の動的振る舞いについても示した。

円盤型振動モータに印加する電圧が3.0V, 5.0V, 7.0V場合の結果をそれぞれ図8, 図9, 図10に示す。ただし、3回の計測から得られた値から、時刻0からの移動量の平均と標準偏差を求めた。また、グラフ内のLeft, Middle, Rightはそれぞれ図6の左端点, 中央点, 右端点に対応する。また、プロットは平均値を表し、エラーバーは標準偏差を表す。図8, 9, 10より、印加電圧の値によらず特徴点の移動量が多い順に中央点, 右端点, 左端点となっていることがわかる。また、印加電圧の大きさによって移動量に違いは認められるが、グラフの凹凸などの振る舞いは同じであることが確認できる。

次に、振動モータへの印加電圧が3.0V, 5.0V, 7.0Vの各計測における中央点の移動を重ねたグラフを図11に示す。

さらに、中央点に関して、印加電圧の違いによる毛の移動の速さの振る舞いを図12示す。速さの算出は

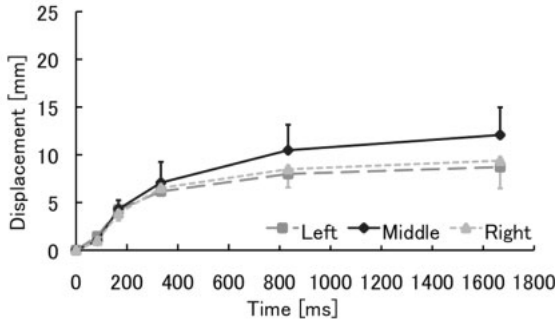


図 8 印加電圧が 3.0V の場合

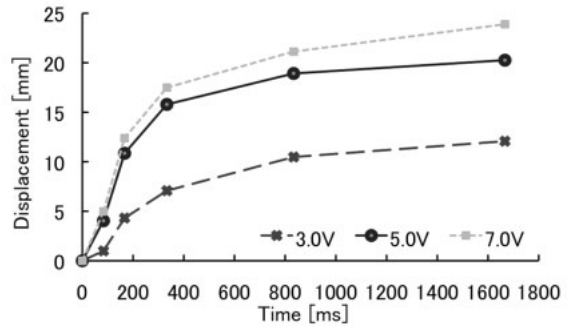


図 11 Middle(中央点) の電圧の違いによる移動量の比較

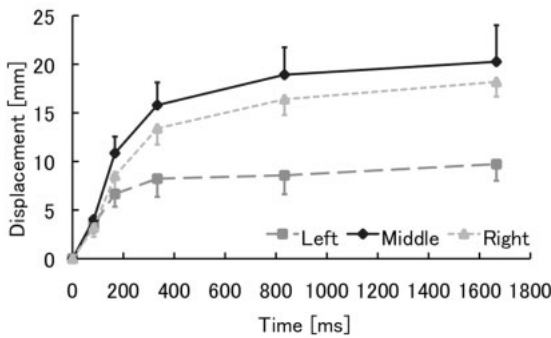


図 9 印加電圧が 5.0V の場合

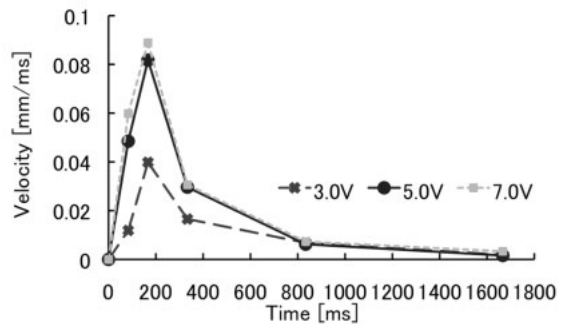


図 12 Middle(中央点) の印加電圧の違いによる移動の速さの比較

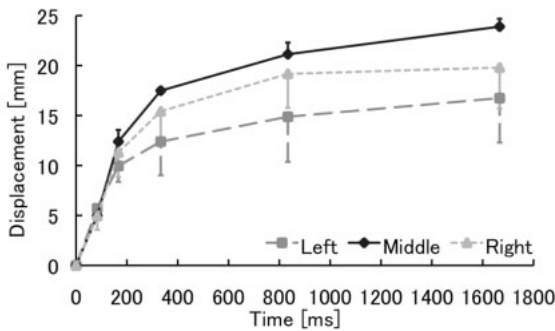


図 10 印加電圧が 7.0V の場合

図 11 で使用した値を用いて求めた。グラフより、特徴点の移動の速さは振動モータに電圧を印加した時刻から約 200ms 後に最大値をとることが推測できる。

4.2.5 考察

本稿で利用している毛皮は素材として均一ではない。均一でない要素としては以下の点が挙げられる。

- 毛の長さ、太さ
- 裏地の厚さ、面積

左端点と右端点における特徴点の移動距離に違いがあるのは、上記した要素により毛皮が素材として非対称であるからと考えられる。

計測の結果より、印加電圧が異なっても、提案手法により毛を逆立てられることがわかる。また、図 8, 9, 10 の標準偏差より、提案手法では毛を寝かした状態から安定的に立毛現象が再現できることがわかる。毛並みの変化による視覚効果の拡張が可能な素材という観点から、毛を寝かせる必要があることは 1 つの課題となる。しかし、毛を寝かせるという動作そのものを、インタラクションプロセスに組み込むことにより解決が可能であると考えられる。

また、図 8, 9, 10 より印加電圧の大きさによりグラフの形状に違いがないことが確認できる。さらに、図 11 よりグラフより印加電圧が大きいほど特徴点の移動量が大きいことがわかる。図 12 では毛の移動量の速度変化を示しているが速度のピークが各印加電圧でほぼ同時刻であることがわかる。これは、今回使用

した振動モータの特性が起因していると考えられる。

以上の結果は、立毛現象の速度を電圧値によって制御できることを表している。また、本稿で用いた印加電圧はステップ関数により表現可能であるものであった。しかしこれに限らず、ランプ関数を用い印加する振幅の時間変化率を制御することにより、毛並みの姿勢速度を制御することが可能だと考えられる。

5 コンテンツの実装とユーザスタディ

提案手法により生じる毛並みの姿勢変化により、十分な視覚効果が得られるかを検証するために、ユーザスタディを実施した。そのために、毛皮を撫でようとすると毛が逆立つというコンテンツを作成し展示を行った。次節ではまず、ユーザが体験する様子を観察した結果を報告する。さらに、毛皮を持つインタフェースの実装事例について述べる。

5.1 インタラクションのためのセンサの選定

提案手法では毛皮を使用し、毛並みの姿勢変化が可能となっている。提案手法を利用したコンテンツを作成するにあたり、外装としての毛皮の視覚効果のみを明らかにするために、インタラクションに必要なセンサ群を隠蔽するように配慮した。つまり、見た目には毛皮素材だけを意識させるようなコンテンツの作成を試みた。そして動物に触れるようなインタラクションを達成することを目的とした。

そこで、センサを完全に隠蔽することができる秋月電子通商社製のドップラ動体検出キットを用いた。本センサは、電磁波のドップラ効果を利用し、物体の移動の際に生じた周波数シフトを観測することで動体検出を行なう。

システム構成を図 13 に示す。センサ (図 13 内の Sensor) は机 (図 13 の内 Table) 内に設置されている。毛皮への人の手の接近をセンサで検知し、人が毛皮に触る直前にモータ (図 13 内の Motor) が駆動され、毛が逆立つように調整された。ただし、モータへの印加電圧は 5.0V とした。

5.2 インタラクションの手順

体験手順として、図 14 のようにユーザに机上に設

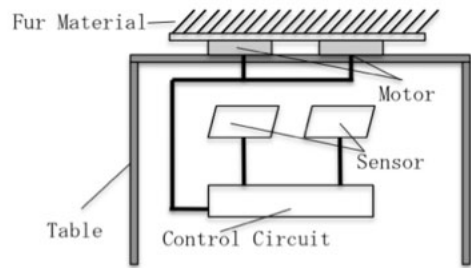


図 13 システム構成



図 14 ユーザスタディのための展示

置したコンテンツの前に立つよう促し、毛皮を撫でてもらうように指示した。撫で方については特別な指示は行わなかった。

5.3 提案手法の妥当性の検討

国際会議における技術展示会場にて上記のインタラクションを数百人規模のユーザに体験して頂いた [4]。このユーザスタディのための展示の様子を図 14 に示す。体験者が展示物に手を近づけ、毛が逆立った際の反応として、驚いて手を引っ込めるといった行動が最も多く観察された。これは、火傷するほど加熱された物体表面に思わず触れた際に生じる反射的な行動に近いものであった。特に、毛皮に触れることなく反射的な動作が生じたことから、視覚的な効果のみで反射的な動作が引き起こされたと考えられる。したがって、立毛現象で生じる視覚的な変化は、ユーザが十分に認識可能であることが示されたといえる。

また、本展示において被験者は毛が逆立ち始めるとほぼ同時に反応することが観察された。これより毛並みの視覚的な変化をユーザが認識するために、毛が変位し始める加速度が重要な要素であると考えられる。

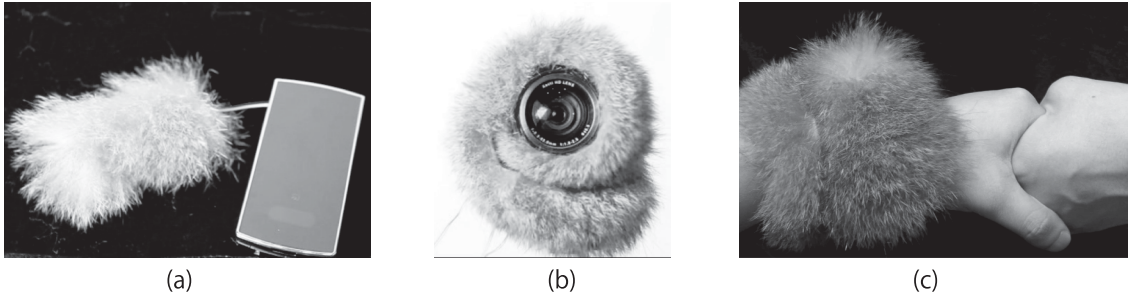


図 15 (a) 毛皮の膨張により着信を知らせるアクセサリ (b) 視線を集めやすくするカメラ (c) 心理状態を表出する衣服

ここでモータの駆動電圧は 5.0V 程度であった。このとき、図 11 より毛の逆立ち始めから 200ms までは毛が変位する速度はほぼ一定で、グラフの傾きより加速度は約 0.4m/s^2 である。よってユーザが十分な視覚変化を得るには 0.4m/s^2 程度の加速度で、毛を制御すれば良いことが示唆された。

さらに、体験者の内観報告は主に「驚いた」という報告であった。他には、「生きているみたいで面白い、かわいい」という報告や、逆に「気持ち悪い」といった感想が得られた。これより、本手法により驚き以外にもかわいらしさや気持ちわるさといった要素を表現可能であることが示唆された。

他にも、視覚効果の存在を示す結果として、次のような興味深い行動が観察できた。具体的には、毛並みが増える様子を見て「生きているみたいで面白い、かわいい」という報告した体験者が、積極的に毛皮を撫でる様子が観察された。一方で、毛並みの変化が「気持ち悪い」という報告を行った体験者が、毛皮自体にはあまり触れようとしない様子も観察された。つまり、装置により実現した視覚効果は同一であったのにも関わらず、これらのような対極的な印象が報告された。これは、本提案手法が対極的な幅の広い印象を与えられる可能性をもつことを示唆している一方で、本手法により提示される印象は再現性が低いといえる。この原因として、体験者が装置に触れる際の動作が統制されなかった点が挙げられる。従って、触れる際の動作と視覚効果の与える印象の関連性について、今後考察を深める必要がある。例えば装置に触れる際の動作に応じて、立毛時刻を制御するといった方法が考えられる。

以上より、本提案手法による毛並みの姿勢の変化は、ユーザが十分認識できるものであることが確認された。

5.4 情報通信機器や電化製品に応用した事例

本提案手法をインタフェースとして試験的に実装した事例について述べる。ユーザは情報通信機器や電化製品の出力として、アラームやメロディなどの聴覚情報、液晶や LED による視覚情報に加え、毛並みの変化という出力を利用できるようになる。

実装例の 1 つとして、図 15(a) のように携帯電話などの着信を身につけた毛皮のアクセサリの膨張によって知ることができる。また、図 15(b) のようにカメラに巻きつけることで、視線を集めやすく撮影される人も笑顔になりやすいといった付加価値を電子機器に与えることができるようになる可能性を持つ。さらに、図 15(c) のように衣服の素材として一般的に使われている毛皮が、緊張などの心理状態を表現する表示器として利用できるようになる。これら以外にも、もともと愛玩対象であるペットロボットの感情表出能力の 1 つとして、毛を逆立てる外装が利用可能だと考えられる。

以上のように、身近な情報機器である家電製品に対して実装することで、毛並みの変化によるインタラクションを付加できるといえる。

6 おわりに

本稿では、振動を利用した毛並みの姿勢制御手法を提案した。また毛皮をもつインタフェースの試験的な実装として、身のまわりのアクセサリや家電製品に対

して本手法を適用した例を示した。

提案手法に使用する毛皮の選定を行い、実験として毛の定量的な評価を行った。その結果、立毛現象が安定的に観察されることが示された。また、提案手法がユーザに与える印象を観察することで、装置表面の視覚的な変化がユーザに十分に伝達可能であることが明らかとなった。以上より、本提案手法を用いて毛並みの姿勢制御がインタフェースのための要素技術となることが示された。

今後の課題として、振動により毛並みを寝かせることができない点について、立毛現象を静止摩擦力を境界条件に導入した片持ち梁でモデル化し、立毛現象の挙動を解析していきたい。

謝辞 本研究の一部は、独立行政法人科学技術振興機構のCRESTプロジェクトの補助によるものである。

参考文献

- [1] Bouguet, J.Y. : *Pyramidal implementation of the lucas kanade feature tracker description of the algorithm*, Intel Corporation, Microprocessor Research Labs, OpenCV Documents, 1999.
- [2] Coelho, M. and Maes, P. : Sprout I/O: A Texturally Rich Interface, in *Tangible and Embedded Interaction '08*, 2008, pp. 221-222.
- [3] Waal, F.B.M. and Roosmalen, A.: Reconciliation and Consolation Among Chimpanzess, *Behavioral Ecology and Sociobiology*, Vol. 5 (1979), pp. 55-66.
- [4] Furukawa, M., Uema, Y., Sugiura, Y., Okoshi, A., Nagaya, N., Tokiwa, T., Sugimoto, M. and Inami, M. : Fur Display, in *SIGGRAPH ASIA 2009 Emerging Technologies*, 2009.
- [5] Helgren, J.A. : *Rex cats: everything about purchase, care, nutrition, behavior, and housing*, Barrons Educational Series Inc, 2001.
- [6] Philips Electronics N.V. : FABRIC DISPLAY, United States Patent, No. US 7,531,230 B2, 2009.
- [7] Porth, C., Gaspard, K.J. and Matfin, G. : *Essentials of pathophysiology: Concepts of altered health states*, Lippincott Williams & Wilkins, 2006, Chapter 60.
- [8] Raffle, H., Joachim, M.W. and Tichenor, J. : Super cilia skin: An interactive membrane, in *CHI Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2003.
- [9] Ueki, A., Kamata, M. and Inakage, M. : Tabby: designing of coexisting entertainment content in everyday life by expanding the design of furniture, in *Proc. of the Int. Conf. on Advances in computer entertainment technology*, Vol. 203, 2007, pp. 72-78.
- [10] Wada, K., Shibata, T., Saito, T. and Tanie, K.: Effects of robot-assisted activity for elderly people and nurses at a day service center, in *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Vol. 92, No. 11, 2002, pp. 1780-1788.
- [11] Yohaman, S. and MacLean, K. E. : The Haptic Creature Project: Social Human-Robot Interaction through Affective Touch, in *ACM SIGGRAPH 2007 Emerging Technologies (SIG-GRAPH '07)*, 2007, p. 3.
- [12] 上間裕二, 古川正紘, 常盤拓司, 杉本麻樹, 稲見昌彦: 毛ディスプレイ, 第14回日本バーチャルリアリティ学会予稿集, 2009.
- [13] 上間裕二, 古川正紘, 大越 涼史, 常盤拓司, 杉本麻樹, 稲見昌彦: Fur Display: コミュニケーションを可能にする毛皮, 第17回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2009), 2009.