

Title	機械的振動による立毛現象を利用した毛皮インタフェースの研究
Sub Title	Fur interface with bristling effect induced byMechanical Vibration
Author	上間, 裕二(Uema, Yuji) 稲見, 昌彦(Inami, Masahiko)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2009
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2009年度メディアデザイン学 第4号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002009-0004

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2009 年度（平成 21 年度）

機械的振動による立毛現象を利用した
毛皮インタフェースの研究

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

上間 裕二

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士（メディアデザイン学）授与の要件として提出した修士論文である。

上間 裕二

指導教員：

稲見昌彦 教授 （主指導教員）

太田直久 教授 （副指導教員）

審査委員：

稲見昌彦 教授 （主査）

太田直久 教授 （副査）

徳久悟 特別研究講師 （副査）

修士論文 2009 年度（平成 21 年度）

機械的振動による立毛現象を利用した 毛皮インタフェースの研究

論文要旨

本論文では、筆者らが発見した手法を利用した、柔らかいインタフェース素材の提案を行う。本研究ではインタフェース素材として柔らかい素材について着目した。柔らかい素材の中でも、特に視覚的に多様な表現が可能な毛皮素材に注目した。筆者らは天然毛皮に機械的振動を印加すると毛が逆立つ現象を発見した。その現象を利用した提案インタフェースは、天然毛皮と円盤型振動モータを基本構造とする、簡素な機構で構成されている。そして、毛皮に印加する振動を制御することで毛並みの表面構造を変化させることができる。

本論文では、まず柔らかい素材を利用したインタフェース、素材の表面構造が制御可能なインタフェースという観点で関連研究について述べる。次に、提案インタフェースの構造と駆動の仕組みについて説明し、特徴について述べる。そして、提案インタフェースの特性計測を行ったのでその結果に説明する。また、試作した提案インタフェースに関してユーザ体験評価を行ったので説明する。最後に提案インタフェースの問題点や特徴について考察し、今後の展望について述べる。

キーワード

柔らかい素材, 立毛, 天然毛皮, 毛並み制御, インタラクション

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

上間 裕二

Abstract of Master's Thesis Academic Year 2009

Fur Interface with Bristling Effect Induced by Mechanical Vibration

Summary

In this paper, we propose an interface with bristling effect. The Interface uses the method we found out. In this research, we focus on soft material for interface. We are especially attracted to fur material because fur material is able to express by moving its surface. We found out the phenomenon that hair rise up with mechanical vibration. Using this phenomenon, we propose new interface that is simply consisted of natural fur and vibration motors. We can control the surface of the fur by controlling the voltage of vibration motors.

In this paper, first of all, we explain relative research in terms of an interface with soft surface and soft material, and an interface having capability of controlling its surface. Secondly, we explain mechanism of the interface and point out the important aspect of the system. Then, we describe experiment to evaluate the capability of the interface and to consider the user experience that the interface can provide. Then, we consider the effect and important point of the proposed interface.

Key Word

Soft Material, Rising Up of Hair, Natural Fur, Coat Control, Interaction

Keio University Graduate School of Media Design

Yuji Uema

目次

第 1 章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	3
1.3 研究の担当部分	3
第 2 章 柔らかい素材を利用したインタフェースに関する先行研究	4
2.1 インタフェースの定義	4
2.2 柔らかい素材を利用した製品	4
2.3 柔らかい素材を利用したインタフェース	5
2.4 素材の表面構造を変化させることが可能なインタフェース	6
2.5 関連研究のまとめ	9
第 3 章 柔らかい素材で構成される外界とインタラクション可能なインタフェースの提案	10
3.1 提案インタフェースの概要	10
3.2 毛皮の選定	11
3.3 立毛原理と手順	12
3.4 センサの選定方法	13
3.4.1 自然なインタラクション	13
3.4.2 センサの選定	14
3.5 提案インタフェースの課題点	15
第 4 章 特性計測とユーザ体験の観察	16
4.1 立毛の時間特性の計測	16
4.1.1 実験目的	16
4.1.2 実験方法	16
4.1.3 手順	18
4.1.4 結果	18
4.2 毛をなびかせる動作・表現の実現	19
4.2.1 目的	19
4.2.2 方法	20
4.2.3 手順	20
4.2.4 結果	21
4.3 ユーザ体験観察	22
4.3.1 観察目的	22

4.3.2	方法	22
4.3.3	体験手順	22
4.3.4	結果	23
4.4	まとめ	23
第5章	考察	24
5.1	立毛の時間特性について	24
5.2	なぜ毛をなびかせる現象の実現が難しかったのか.	24
5.3	円盤型振動モータ1個で立毛可能な範囲について	25
5.4	なぜ立毛現象が起こるのか.	25
5.5	毛を機械的に寝かせることができないことに対する解決案	26
5.6	なぜオポッサム以外の毛皮で立毛現象がおきないのか	26
5.7	ユーザに与える視覚効果について	27
第6章	適用例	28
6.1	デジタルカメラに適用	28
6.2	携帯ストラップとして適用	28
6.3	アクセサリとして適用	29
6.4	まとめ	30
第7章	結論と展望	31
7.1	結論	31
7.2	課題と今後の展望	32
	謝辞	33
	参考文献	34

図目次

図 1	柔らかい素材を利用した製品：(A) テディベア, (B) フォックスクリップマフラ.	4
図 2	毛皮で覆われた製品：(A) おさるのしっぽ USB メモリ, (B) マウ助.	5
図 3	TABBY.	5
図 4	HAPTIC BUNNY.	6
図 5	PARO.	6
図 6	自然現象で観察できる毛状構造の変化：(A) 猫が毛を逆立てる様子, (B) 犬の毛が風になびく様子, (C) 草原の草が風になびく様子.	7
図 7	SUPER CILIA SKIN：(A) 突起を分布させた様子, (B) むいぐるみの表面が覆われた様子.	8
図 8	SPROUT I/O：(A) 形状記憶合金を刺入したフェルト, (B) カーペットの表面構造を模した様子.	8
図 9	FABRIC DISPLAY.	9
図 10	提案インタフェースに使用している天然毛皮の裏地と表の様子, 及びモータの貼付位置.	10
図 11	毛が寝ている状態（上）と, 立毛している状態（下）.	11
図 12	予備実験で選定に使用した毛皮：左上から時計回りに (A) オポッサム, (B) うさぎ, (C) チベットラム, (D) ミンク.	12
図 13	立毛機構.	13
図 14	静電容量センサの取り付け様子. 左；毛皮下にセンサが隠蔽されている様子. 右；裏面の様子.	14
図 15	レーザー照射部と提案インタフェースおよび受光部の位置関係.	16
図 16	計測セットアップの側面図.	17
図 17	立毛の時間特性計測セットアップ.	17
図 18	モータの電圧印加から立毛までの時間の計測：(黒線) モータに印加する電圧時間変化, (赤線) レーザ受光部で計測される電圧の時間変化.	18
図 19	2つの振動モータの貼付位置.	20
図 20	モータの貼付位置とビート生成の模式図.	21
図 21	ユーザ体験の様子.	22
図 22	裏地を固定した場合の状態.	25
図 23	カメラに提案インタフェースを適用した様子：(A) 変化前, (B) 変化後.	28
図 24	携帯ストラップに提案インタフェースを適用した様子：(A) 着信前の様子,	

(B) 着信後の様子.	29
図 25 ユーザの感情表現が可能なアクセサリとして適用： (A) 変化前, (B) 変化 後.....	30

表目次

表 1 毛皮素材の構造上の特徴と立毛応答の関係 (サンプル数=10)	12
表 2 印加電圧の組み合わせ	21
表 3 印加電圧と振動数の関係.....	21

第1章 序論

1.1 研究背景

我々の生活空間において、電子機器のない環境を見つけることが困難なほど電子機器は我々の生活に溶け込んでいる。これら機器の開発技術は人間の作業効率をよくさせることを目的とした一方、人間の能力を補おうという試みから発展してきた側面を持つ。例えば、我々の思考能力や記憶能力を考えてみる。これらの能力には限界がある。つまり我々の情報処理能力には限界がある。そこで電子機器を主に情報処理能力を補う情報機器とし、それを身につけることで我々の情報処理能力を補おうという試みがなされてきた。ウェアラブルコンピュータという概念である [1]。これは情報機器を身にまとうことにより、思考能力という側面から人間の能力を拡張できるという概念である。

このとき、人間と情報機器をどのように接続するかが問題となる。ウェアラブルコンピュータのように、情報機器を常に身につけるという方法に対し、環境側に情報を配置するというユビキタスという概念が存在する [2] [3]。情報は常に入手できれば装置の配置は問題にはならない。しかし、環境配置型の入出力装置は、その場に行かなければ利用することができない。すなわち、入出力装置を身につけている常用型の方が、常に情報にアクセスできる状態を実現しやすい。

ウェアラブル技術は人間と情報機器との間に入力と出力を担う装置を必要とする。まず入力装置に着目する。初期のウェアラブル技術には、機械式スイッチやキーボードを流用していた。しかし情報機器を身につけるのではなく、衣服を情報機器にしようという考えが生まれた。例えば導電性糸を服に縫いつけ静電容量式タッチパッドを実現した例などがある [4]。これは衣服の柔軟性を損なわずに、情報の入力を可能にする。入力情報として生態信号を用いても良い [5]。ウェアラブル技術は生体計測技術と相性が良いからである。

次に情報の出力装置に着目すると、古くから Head Mounted Display (以下, HMD) が用いられてきた。また、小型振動モータなども振動を介して人に情報を提示するために多く用いられてきた [6]。振動モータは十分に小型化が可能のため、衣服に埋め込むことで柔らかい出力インタフェースを実現できる [7]。つまり、ウェアラブル技術のための柔らかいインタフェースは、個人差の大きい人体サイズに用意に適用可能であるため、情報機器から人間への情報伝達効率を大きく改善することができるという利点を持つ。

よって、構造的に柔らかいという利点を持つ入出力装置の登場はウェアラブルな情報機器を発展させた。

ここで、もう一つ異なる視点から電子機器の目的について考えてみる。上でも述べ

たように我々の日常生活には電子機器が溢れている。特に携帯電話やデジタルカメラなどはほぼ誰もが所有する機器となっている。これらの機器は我々の能力を拡張させるという観点で、生活を豊かにしている。携帯電話は遠隔コミュニケーションを可能にし、デジタルカメラは映像記憶を補助することを可能にした。一方でペットロボットに代表されるように、人の精神支援を目的とした技術開発も活発に行われるようになってきた。

多くのペットロボットはセンサを備えており、ユーザとコミュニケーションがとれる [8] [9]。ペットロボットのような電子機器を用いて人の精神的支援を行うためには人間と機器がどのようにコミュニケーションをとれるかということが重要となる。まず、コミュニケーションを行う上で一つの重要な要素に見た目とさわった際の感触というものがある。古くから愛着をもたれる存在としてぬいぐるみがあるように、見た目がかわいく柔らかい素材に対して人間は興味を抱く。そして実際にさわった際の心地よい肌触りや感触は親しみや愛着を感じるために重要であると考えられる。

また、他の要素としては人間の行動に対して通常のペットのように何らかの反応を示せる必要がある。人間とペットロボットのコミュニケーションは、人間の動作を検知し、それに対して音を発する、ロボットの部位が機械的に動くといったことにより達成されるものが多い。つまり、周囲が柔らかい素材で覆われているペットロボットであっても、その柔らかい素材自体を、人間の動作に対する反応として使用する試みはあまりされてこなかった。しかし、自然界の動物に着目すると、猫が毛を逆立てて威嚇を行ったりするように柔らかい機構を使った表現というものがみられる。さらに、猫が毛を逆立たせた際に、人は猫が興奮状態にあることを瞬時に理解することができる。ゆえにペットロボットの人間に対する反応として柔らかい素材の表面構造が変化することも可能であると考えられる。

よって、ペットロボットに代表されるように、柔らかい素材それ自体が情報装置になることで、人間と情報機器のあり方に新たな可能性が期待される。

ここまで述べたように、情報機器やペットロボットなどのように、電子機器が構造的に柔らかい構成となることは我々の生活にとって有益であると言える。多くの電子機器、情報機器は固い素材で構成されているが、構造的に柔らかく、かつ情報入出力装置として利用できる電子機器により、我々の情報装置や電子機器との接し方について新たな豊かさが得られることが期待される。

1.2 研究目的

上記したように、身につけることが可能で柔らかい素材で構成される情報装置の研究や、柔らかい素材で構成される電子機器の開発が盛んに行われている。

本研究では、柔らかい素材に着目する。具体的には、素材として柔らかい機構をもち、かつ素材の表面構造を制御することによって、情報の入出力装置であるインタフェースの素材の開発を目的とする。

1.3 研究の担当部分

本研究は訪問研究員の古川正紘氏と共同で進めている。本研究は以下のように大きく3つに分類することができる。

- ①手法の発見
- ②プロトタイプ作成
 - i. インタラクションのデザイン
 - ii. センサや制御回路の設計
- ③評価実験
 - i. 実験系の設計
 - ii. 解析

筆者が主に担当したのは①、②-i、③-iiであり、②-iiおよび③-iの特に技術的知識を必要とする部分において古川氏の助言を得ながら開発を行った。

第2章 柔らかい素材を利用したインタフェースに関する

先行研究

本章では, 柔らかい素材を利用したインタフェースという観点で関連研究について述べる. まず, 本研究で扱うインタフェースという言葉について定義を行う. 次に柔らかい素材で構成された製品と素材が付加する特徴, およびその特徴を利用したインタフェースについて述べる. そして柔らかい素材の表面構造を変化させるという観点で関連研究について述べる.

2.1 インタフェースの定義

インタフェースという言葉は情報工学や電子回路など, 多くの分野で使用されている. 本研究では, 人間と機器の間に存在し, 情報の入出力を担う装置をインタフェースと定義する.

2.2 柔らかい素材を利用した製品

我々の身の周りで柔らかい素材を利用した製品として, 図 1 (a) のテディベアなどのぬいぐるみや図 1 (b) のキツネの毛皮からなるマフラーなどがある [10] [11]. 柔らかい素材はさわり心地の良さや見た目の可愛らしさを付加できる特徴を持つ. ぬいぐるみや服飾はその特徴を利用した製品といえる.



図 1 柔らかい素材を利用した製品 : (a) テディベア,
(b) フォックスクリップマフラー.

またそのような特徴を利用して図 2 (a) のようにさるのしっぽを模した USB フラッシュメモリや, 図 2 (b) のマウスのように本来硬い表面構造を持つ製品を毛皮で覆うことで, 柔らかさや可愛らしさを付加した製品が発表されている [13].



(a)

(b)

図 2 毛皮で覆われた製品 : (a) おさるのしっぽ USB メモリ, (b) マウ助.

2.3 柔らかい素材を利用したインタフェース

本節では, 上述した柔らかい素材の特徴を利用したインタフェースについて述べる. まず, Ueki らによる Tabby がある (図 3) [13]. これはふわふわした毛皮で覆われた照明器具であり, 毛皮内の空気の循環をアクチュエートし, ふくらんだりしぼんだりすることで周囲の環境とのインタラクションを実現している.



図 3 Tabby.

次に, S.Yohanan らの Haptic Bunny がある (図 4) [14]. これはペットと飼い主の間にある触ることを基本とするコミュニケーションを生み出し, 人間とロボットのインタラクションに感情要素を組み込むことを目的としている. Haptic Bunny の内部にはサーボ機構が組み込まれており, 耳を動かすことで人とのインタラクションを達成している.



図 4 Haptic Bunny.

また，図 5 の産業技術総合研究が開発した介護支援を目的としたアザラシ型ペットロボットの Paro がある [9]．Paro には複数のセンサが実装されており，視覚，聴覚，触覚，運動感覚などがあり，人になでられたり，叩かれたり抱っこされたりすることなどを感じることができる．また，人間に対する反応として，声を出す，体が動かすことが可能である．さらに学習機能を持っており，ユーザの好みの行動をとることができる．



図 5 Paro.

2.4 素材の表面構造を変化させることが可能なインタフェース

前節までに柔らかい素材を利用した製品およびインタフェースについて紹介した．それらに共通した特徴として柔らかい素材を静的に利用していることがある．つまり，表面を覆う布や毛皮それ自体の形状や質感などが変化することはなかった．

ここで我々が日常生活において観察できる現象として次のようなものに着目する．図 6(a)に示すように猫が威嚇行動をとる際に毛を逆立てることはよく知られており，この様子は視覚的に強い印象を与える効果をもっている．また，図 6(b)，(c)のように犬の毛や草原の草が風になびく様子なども日常生活で観察できる．

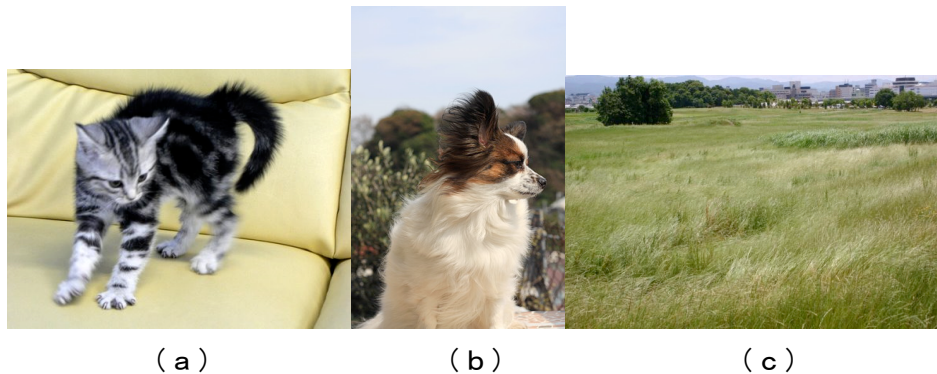


図 6 自然現象で観察できる毛状構造の変化：(a) 猫が毛を逆立てる様子，
(b) 犬の毛が風になびく様子，(c) 草原の草が風になびく様子。

これらの現象に共通しているのは毛状構造をもつ表面形状が変化している点である。毛状の表面が変化することにより異なる視覚効果を与えられている。これより毛状構造を持ちその形状を変化させることができれば、視覚的なインパクトを与えることや、風になびくような表現が可能なインタフェースの実現が可能であると考えられる。そこで本節ではアクチュエータの制御により素材の表面構造を変化させることが可能なインタフェースの紹介を行う。

表面構造を変化させることが可能なインタフェースという観点では、関連研究としてまず Raffle らによる Super Cilia Skin が上げられる (図 7) [15]。同手法は、図 7 (a) のように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突起の姿勢を制御するものである。この構造により 2 次元平面上の任意の突起を任意方向に傾斜させることが可能となる。また手などで傾けられた突起状の剛体の姿勢変化を時系列パターンとして計測し、後に再生することができることから入出力インタフェースとして利用可能であるとしている。しかし同手法では空間上の磁束密度を制御するために多数の電磁石を分布させる必要があり、構造が比較的複雑である。また突起状剛体の分布密度は動物の体毛と比較し極めて疎であり、一見して動物の毛並みを連想させることは難しい。例えば、Raffle らは Super Cilia Skin を図 7 (b) のようにぬいぐるみの素材として適用し、表面形状を制御することで人と人とのコミュニケーションの達成が可能であることを示唆している。しかし、ぬいぐるみの表面形状としては構造が十分密でないため、ぬいぐるみ本来のさわり心地を再現することは難しいという側面を持つ。



(a)

(b)

図 7 Super Cilia Skin : (a) 突起を分布させた様子,
(b) ぬいぐるみの表面が覆われた様子.

次に M.Coelho らによる Sprout I/O が挙げられる (図 8) [16]. これは図 8 (a) のような形状記憶合金を刺入したフェルトを用い, 電圧印加により形状記憶合金の制御を行うことで突起状の毛糸など質感が能動的に変化する素材として提案したものである. 例えば図 8 (b) のようにカーペットの表面構造として Sprout I/O を適用することで, 道案内が行えるようなカーペットの開発を将来の適用例として言及している. しかし, 素材としては密な構造を再現することが難しい側面をもつ.



(a)

(b)

図 8 Sprout I/O : (a) 形状記憶合金を刺入したフェルト,
(b) カーペットの表面構造を模した様子.

これらの研究は, 突起状の物体一本一本を独立して制御している点で共通しているといえる. しかしながら構造上, 動物が持つ密な柔らかい毛並みを構成することが困難だけでなく, 触り心地の良さを表現することもまた困難であった.

また, 静電気を利用してある特定領域の毛を逆立たせることが可能な技術として Phillips 社の Fabric Display が特許を申請している (図 9) [17]. 具体的には図 9 のように区分けされた領域において, 任意の領域の毛を逆立てることがでる. しかし静電気

を利用するために通電層を生地に加工することが必要であり実装にはコストがかかる
と考えられる。またどの程度密な毛状構造が再現できているかなど詳細は公表されてい
ない。

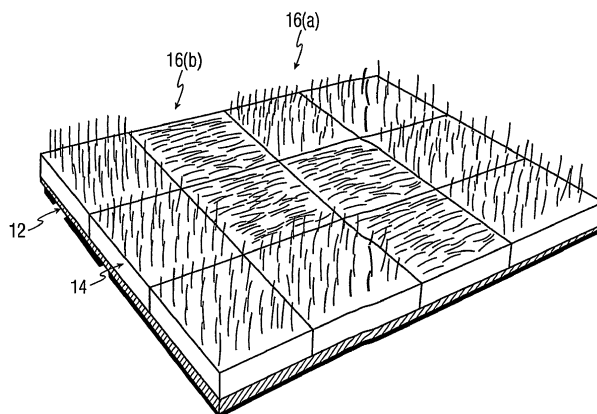


図 9 Fabric Display.

2.5 関連研究のまとめ

2.1 節でインタフェースの定義を行い、2.2 節で柔らかい素材を利用した製品および柔らかい素材がもつ特徴について述べた。2.3 節では柔らかい素材を利用したインタフェースを紹介し、柔らかい素材自体は静的に利用されていることを指摘した。2.4 節では猫が毛を逆立てることや、毛が風になびくといった自然現象着目し、毛並みの表面構造を制御が可能なインタフェースについて紹介した。

以上より、毛皮などの素材を表面に覆うことで柔らかいさわり心地や見た目の可愛らを実現できるが、その表面形状を変化させる試みは少ないことが指摘できる。また、毛皮表面形状を変化させることを実現した場合、毛皮のような密な構造を実現することが難しいことが指摘できる。つまり、毛皮が本来有するさわり心地の良さを再現し、かつその表面形状を変化させることが可能なインタフェースの実現は難しかったといえる。

そこで次章では我々が発見した手法を用いてこれまで実現が難しかった柔らかいさわり心地を持ち、さらに表面形状を変化させることが可能なインタフェース素材を提案する。

第3章 柔らかい素材で構成される外界とインタラクション

可能なインタフェースの提案

本章では、本研究で提案するインタフェースについて詳しい説明を行う。まず、提案インタフェースの機構と特性について述べる。次に、提案インタフェースに必要な素材の選定方法、駆動機構およびセンサの選定方法について説明する。そして、提案インタフェースの問題点について述べる。

3.1 提案インタフェースの概要

提案インタフェースは図 10 のように、基本構造としてオポッサムという動物の天然毛皮と円盤型振動モータ [FM34F] により構成されている。オポッサムの毛皮を用いた理由は次節で説明する。図 10 からわかるように、提案インタフェースは基本的に天然毛皮と裏地に貼付された円盤型振動モータから構成される簡素な構造を実現している。



図 10 提案インタフェースに使用している天然毛皮の裏地と表の様子、及びモータの貼付位置。

また、円盤型振動モータを駆動させることによって図 11 のように毛を逆立たせること（以後、立毛）ができる。すなわち素材の表面構造を変化させることが可能である。



図 11 毛が寝ている状態（上）と，立毛している状態（下）。

このように，提案インタフェースは簡素な構造をもち，天然毛皮を利用することでさり心地の良さを実現し，さらに立毛することで毛皮表面形状を変化させることが可能であるという特徴をもつ。

3.2 毛皮の選定

本提案インタフェースの試作で利用する素材を決定するにあたり，予備実験としてオポッサム，うさぎ，チベットラム，ミンクの毛皮に機械的振動を印加しその応答を調べた．応答は見た目の形状変化がどの程度顕著であるかという軸で評価した．また，機械的振動は上でも述べた様に円盤型振動モータを使用した．図 12 に各素材の表面構造を示す．次に，それぞれの毛皮の裏地の厚さ，毛の太さを調べた結果と，機械的振動を印加した際の立毛応答の結果を表 1 に示す．ここでは毛皮の特徴を裏地の厚さと毛の太さという評価軸で調べた．ただし表中の値は計測の平均値であり，ミンクの毛は大変細く他の毛と同様の計測が難しかったため，計測値なしとした．

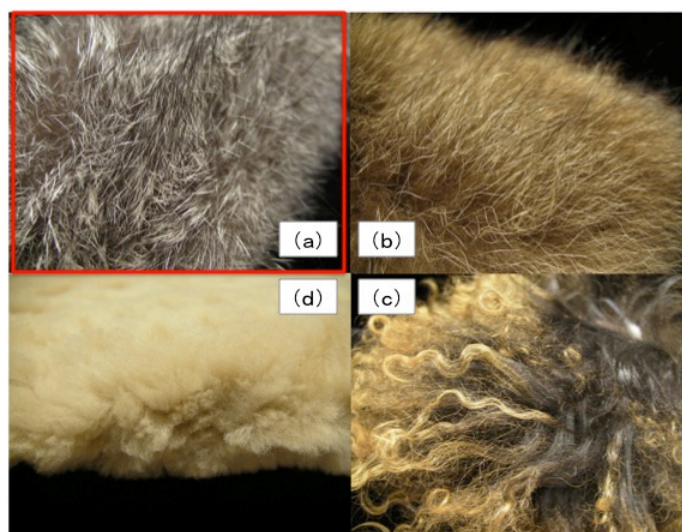


図 12 予備実験で選定に使用した毛皮：左上から時計回りに (a) オポッサム, (b) うさぎ, (c) チベットラム, (d) ミンク.

表 1 毛皮素材の構造上の特徴と立毛応答の関係 (サンプル数=10)

素材の種類	裏地の厚さ [mm]	毛の太さ [mm]	毛の長さ [mm]	応答
(a) オポッサム	0.33	0.03	48	○
(b) うさぎ	0.53	0.03	36	×
(c) チベットラム	0.65	0.05	55	×
(d) ミンク	0.78	—	7	×

結果として立毛現象を再現可能である素材と不可能である素材が明確に区別された。つまり、予備実験で選定に用いた素材ではオポッサムの毛皮のみ見た目の変化が顕著であり、他の天然毛皮素材は見た目にはほぼ変化がなかった。これは素材の機会的な構造に起因するものと推測される。これについては考察の章で詳しく述べる。

3.3 立毛原理と手順

本節では、提案インタフェースの立毛手順について説明する。まず、図 13 のように天然毛皮の裏に円盤型振動モータを貼付する。貼付は両面テープを用いた。この時点では円盤型振動モータに電力の供給は行われていない。次に毛皮表面を手でなでることにより予め毛を寝かせる。その後、標準電圧 3.0 [V] を印加し振動モータを駆動させることにより立毛を実現する。

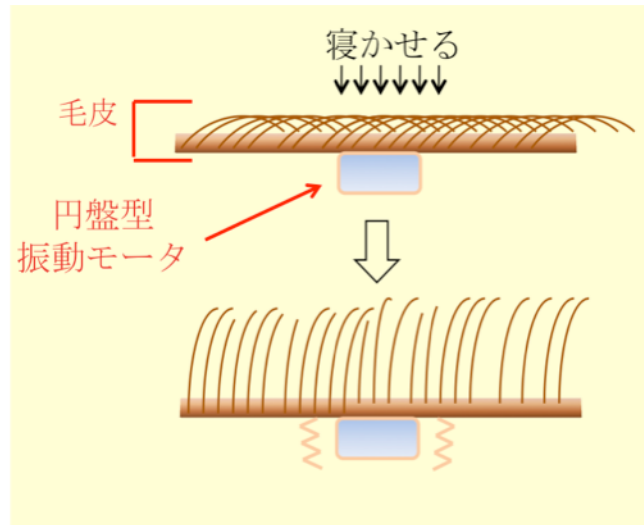


図 13 立毛機構.

3.4 センサの選定方法

本研究では、提案インタフェースの試作を行うにあたって、人間とインタラクションを行うことを考えた。ここではどのようなインタラクションを行うかという観点とそれに基づいたセンサの選定について述べる。

3.4.1 自然なインタラクション

本研究の提案インタフェースは素材として柔らかい天然毛皮を使用し、毛皮表面の毛を立毛させることが可能となっている。提案インタフェースの試作を行うにあたって、毛皮素材が通常人に与える印象以外に不自然な印象を与えないことを目的とした。ここで不自然な印象とは、毛皮素材以外にセンサや機械的な仕組みなどの存在を意識させないことを指す。つまり、見た目には毛皮素材だけを意識させるようなインタフェースの作成を試みた。そして毛皮にさわるとような自然なインタラクションを達成することを目的とした。

まず、なぜ自然なインタラクションが必要かということを考える。研究背景でも述べたように、本研究では、提案インタフェースを身につけての使用が可能であることを考えている。また、ペットロボットなどの電子機器に適用し、人間の行動に対する反応を表現する手段として使うことを考えている。そのような適用を考えれば毛皮素材以外の構造的仕組みをユーザに意識させないことが重要であるといえる、例えば、衣服に明らかにモータが装着されたり、ぬいぐるみに機械的な機構を確認できると人は不自然に感じると考えられる。

よって、本研究では天然毛皮本来の状態、ユーザに対して不自然な印象を与えない

自然なインタラクションの達成を目的とする。

3.4.2 センサの選定

前節で述べた自然なインタラクションを達成するために提案インタフェースで使用するセンサの選定を行った。センサを決めるにあたって、ユーザが提案インタフェースを触ろうと手を近づけた際に毛皮にさわる直前に立毛駆動がなされることを目的とした。また、ユーザに対して明らかに機械的仕組みが存在していることを意識させず、天然毛皮素材を触る感覚になれるような自然なインタラクションを達成することを目的とした。

まず、赤外線センサであるシャープ距離モジュール [GP2Y0A21YK] を用いて手の位置をセンシングしモータを駆動するインタフェースの試作をした。しかし、赤外線センサは提案インタフェースの機構において毛皮の外部に設置する必要があった。そのため、実際にユーザに体験してもらった際、ユーザがセンサを意識してしまい提案インタフェースを触る場合に自然なアプローチを行えない場合があった。

次に、指先に反射材を貼り付けてカメラで指先情報を検出することで立毛駆動する方法を検討した。しかし、その手法でもユーザがカメラなどの機構を意識してしまうと考えられ、自然なインタラクションを行うという目的に沿わなかった。

また、静電容量センサ [Elekit OP-35] の適用を考えた。静電容量センサは図 14 のようにセンサ自体を毛皮で隠蔽することが可能で、ユーザに対して毛皮以外の機械的構造を意識させることがなかった。しかし、FM34Fの使用でセンシング可能な手の距離が最大で5 [cm] 程度であったため、手がアプローチする角度によって適切にセンシングできないなどの問題があった。

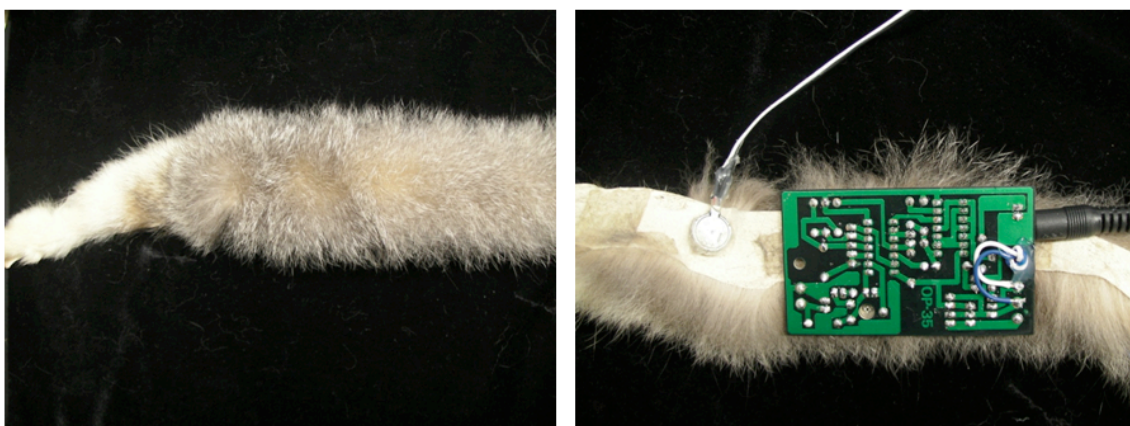


図 14 静電容量センサの取り付け様子。左；毛皮下にセンサが隠蔽されている様子。
右；裏面の様子。

そこで静電容量センサの問題を解決するために、マイクロ波ドップラーセンサの適用を

考えた。マイクロ波ドップラーセンサも静電容量センサと同様に毛皮でセンサ自体を隠蔽することが可能である。また、センシング可能な最大距離が 20 [m] 程度あるため、手のアプローチを目的に沿った適切な距離で検出することができる。よってユーザに対して毛皮以外の機械的な構造を意識させる自然なインタラクションが可能である。ゆえに提案インタフェースの試作ではセンサとしてドップラーセンサを使用した。

3.5 提案インタフェースの課題点

前節までに、提案インタフェースの概要と立毛機構について説明した。また、提案インタフェースで利用する毛皮の選定方法や自然なインタラクションを実現するためのセンサ選定について述べた。

ここで、3.3 節で述べた立毛手順では、立毛のため円盤型振動モータを駆動する前に手でなでて毛を寝かせている。つまり、試作した提案インタフェースの一つの問題として機械的に毛を寝かすことができないことがある。この問題点に対する改善策を考察の章で詳しく考える。

第4章 特性計測とユーザ体験の観察

本章では本研究で提案するインタフェースが素材としてどのような機能を持つか、またどのようなインタラクションが可能かを調べるために、インタフェース素材としての特性を調べた。また、ユーザ体験の観察を行った。まず、立毛に関して毛の立ち上がり時間を計測した。次に、毛皮の表面形状の制御を試みた。そして試作した提案インタフェースをユーザに体験してもらいその様子を観察した。

4.1 立毛の時間特性の計測

2.4節で着目した猫が毛を逆立てた際に人に与える視覚的なインパクトと同様な効果を、提案インタフェースを用いてユーザに与えることが可能であることを検証するために立毛時間の計測を行った。

4.1.1 実験目的

提案するインタフェース素材に関して、猫が毛を逆立てた際のインパクトをユーザに与えることが可能かを評価するために、立毛現象がどのような時間特性を持つか知ることが重要である。立毛する際の時間変化がゆるやかであれば視覚的には猫が毛を逆立てるような印象は実現できないと考えられる。よって、円盤型振動モータに電圧を印加した時刻を立毛の起点として、立毛までの時間を計測することを目的とした。

4.1.2 実験方法

立毛時間の計測は赤色レーザー発光モジュール [LM-102-B] を利用して行った。また、1つの円盤型振動モータを使用した。まず、図 15 のように提案インタフェースをレーザー照射部とレーザー受光部の間に設置した。

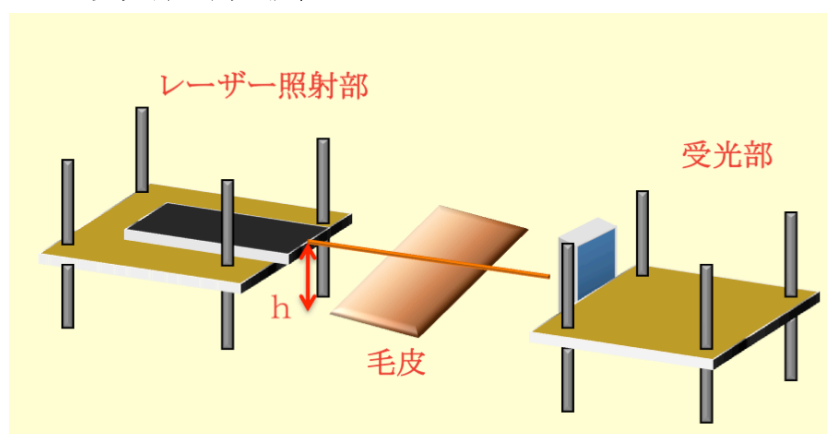


図 15 レーザー照射部と提案インタフェースおよび受光部の位置関係.

ただし図 15 の h は机表面からレーザー照射部分までの高さである。また、レーザー受光部についても同様に机からの高さを考えるものとする。

次に図 16 のように設置する毛皮の毛を寝かした状態では受光部にレーザーが照射され、毛が立つと遮断されるように調整した。そして図 16 のように毛が逆立ちレーザー光が遮られた時の受光部における電圧変化を計測し、モータへの電圧印加から立毛までの時間とした。

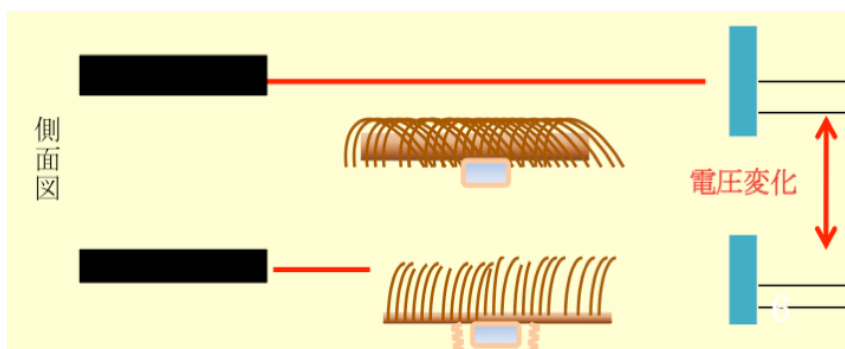


図 16 計測セットアップの側面図.

図 17 に実際のセットアップの様子を示す。円盤型振動モータがレーザー照射部とレーザー受光部を結ぶ直線の真下にくるように配置した。

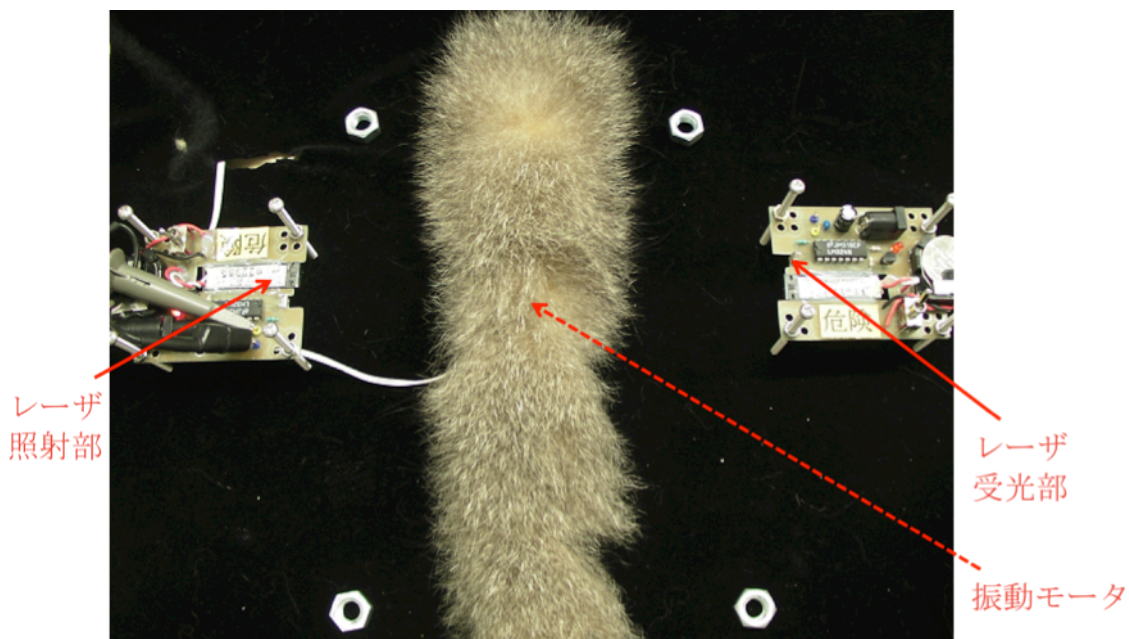


図 17 立毛の時間特性計測セットアップ.

4.1.3 手順

計測は以下の手順で行った。

- ① レーザと受光部の高さを調整 (図 15 の h の値)。本計測ではレーザー照射部が $h=24.70$ [mm], レーザ受光部が $h=23.95$ [mm] であった。
- ② 毛皮に板を 20 秒間かぶせて毛を寝かせる。
- ③ 板をはずして 10 秒間おく。
- ④ 印加電圧 3.0 [V] で円盤型振動モータを駆動。
- ⑤ レーザ受光部の電圧変化の計測。
- ⑥ ②から⑤を 10 回繰り返す。
- ⑦ ①から⑥を同じ毛皮の異なる 2 つの部分について行う。

②について、手で寝かせることより統制がとれると考えられるため板を使用した。

④について、安定化電源を使用した。

4.1.4 結果

計測の結果得られた結果を図 18 のグラフに示す。なお、本計測においては施行によって結果に大きな差がなかったため 1 つのグラフを示す。

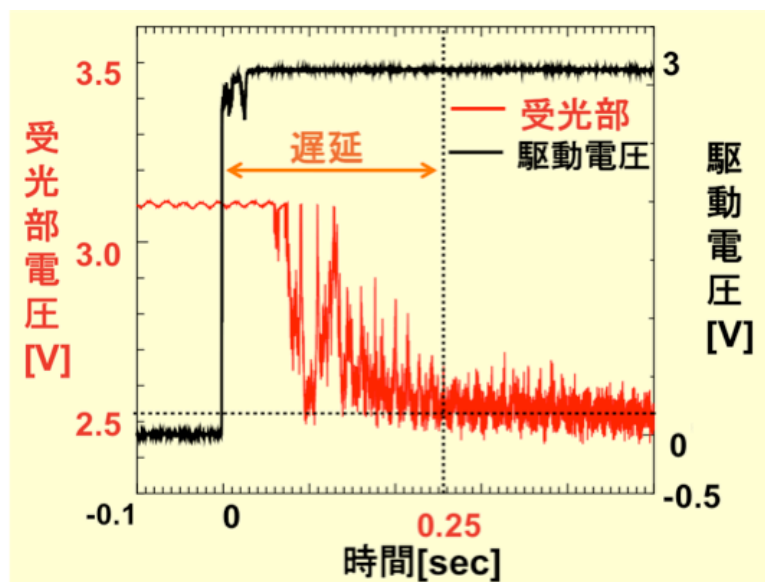


図 18 モータの電圧印加から立毛までの時間の計測：(黒線) モータに印加する電圧時間変化, (赤線) レーザ受光部で計測される電圧の時間変化.

図 18 より、レーザ受光部の電圧は初期状態で 3.1 [V] であり、時刻 0 [sec] で円盤型振動モータに電圧が印加されたのち 0.03 [sec] あたりから受光部の電圧が低下し始めることがわかる。そして、0.25 [sec] 程度である定数値に漸近することがわかる。つまり、モータに電圧を印加したのち 0.03 秒後から毛が立ち始め、レーザを遮断するまでの時間が 0.25 [sec] 程度であることから、毛の立ち上がり時間は 250 [ms] 程度といえる。

4.2 毛をなびかせる動作・表現の実現

2.4 節で着目した毛がかぜになびくような表現可能かどうかを検討した。

4.2.1 目的

毛が風になびくような様子の再現が、毛皮に機械的振動を加えることによって実現可能かを検討する。

4.2.2 方法

まず、予備実験として円盤型振動モータ1つで立毛可能な範囲を調べた。予備実験に用いたオポッサムの毛皮は、裏地の短辺が約 2.0~3.0 [cm]、長編が約 20 [cm] であった。立毛範囲については毛皮裏地長辺および短辺の中央に円盤型振動モータを配置し、長辺方向に関してどの程度立毛が観察されるか観察した。予備実験の結果として、印加電圧が 3.0 [V] の場合は円盤型振動モータを中心に約 6.0 [cm] 程度の範囲まで立毛が可能であることが観察できた。予備実験の結果を踏まえて、図 19 のように裏地に2つの振動モータを貼付し、それらに異なる大きさの電圧を印加しビートを生成することで、毛がなびくような動きの実現を試みた。

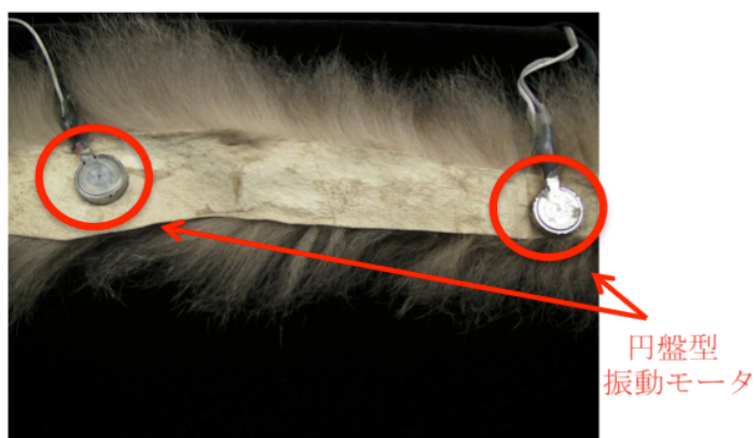


図 19 2つの振動モータの貼付位置。

また、ビート生成をした際の毛並みの振る舞いは実験者の目視、および動画を録画して評価した。

4.2.3 手順

まず、2つの円盤型振動モータを中心間の距離が約 9.0 [cm] となるように毛皮の裏地に貼付した。そして図 20 のように印加電圧が大きい円盤型振動モータを A として、2つのモータに対して表 2 の組み合わせで電圧を加えた。

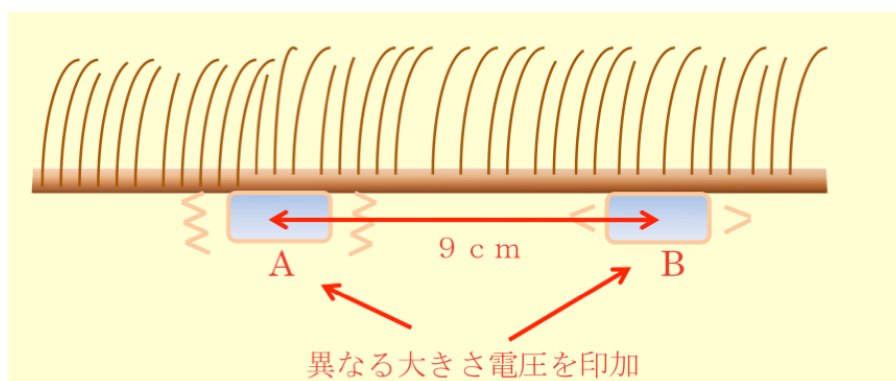


図 20 モータの貼付位置とビート生成の模式図.

表 2 印加電圧の組み合わせ

	A	B
組み合わせ①	3.5[V]	2.5[V]
組み合わせ②	3.0[V]	2.5[V]

ここで、厳密にはビート生成は振動数に着目すべきであるが、素材の理由などから振動数を厳密に制御することは難しかった。これについては考察で詳しく述べる。なお、円盤型振動モータに対して表 2 のような電圧を印加した場合の参考値を以下に示す。参考値は円盤型振動モータ [FM34F] のデータシートより引用した。

表 3 印加電圧と振動数の関係

印加電圧[V]	2.5	3.0	3.5
振動数[Hz]	180	200	230

4.2.4 結果

結果として、2つのモータを異なる振動数で駆動させることにより毛をなびかせるような表現が可能であることが示唆された。また、印加する電圧について組み合わせ①と②を比較すると、電圧差の大きい組み合わせ①の方がより大きくなびくような振る舞いが観察された。

一方で、印加電圧による振動数制御が難しく、風になびくような様子を十分に再現しているとは言えなかった。

4.3 ユーザ体験観察

SIGGRAPH ASIA 2009 において、提案インタフェースを利用した試作を展示し、来場者に体験してもらった。以下で、来場者、すなわちユーザに対してどのような体験を与えることを目的としたかとその目的の達成方法および手順について述べる。

4.3.1 観察目的

本展示においては、提案インタフェースが人に対して驚きを与えることを目的とした。2.4 節で猫が毛を逆立てると視覚的に強いインパクトを与えることを述べた。そこで本体験では提案インタフェースが視覚的に強いインパクトを与えることを目的とした。すなわち、体験者が驚くようなセットアップを行った。

4.3.2 方法

マイクロ波ドップラーセンサによりセンシングを行い、ユーザの手が触れる直前で毛が逆立つ機構とし、ユーザにはなでるように指示した。そしてその様子を観察した。

4.3.3 体験手順

体験手順としては図 21 のように机上に設置した提案インタフェースをユーザに撫でてもらった。なで方としては特別な指示は行わなかった。



図 21 ユーザ体験の様子

4.3.4 結果

実験の結果として毛が逆立つと同時に驚いていた。また、以下のようなコメントを得た。

- ① 生きもののようなものである。
- ② 同じ毛が逆立つ現象であっても猫などとは印象が異なる。
- ③ 手を近づけると反応してくれるというのがわかった後に、手を近づけて何も反応がないと寂しい気持ちになる。
- ④ 柔らかいという触覚的な体験を与えるインタフェースにおいて、柔らかい構造を機械的に作るのではなく、柔らかい素材自体を使用するのは興味深い。さわりたいくなる。

4.4 まとめ

本章では、提案インタフェースの立毛の時間特性、毛並み表面の制御を行った。また、ユーザに体験してもらい観察を行った。次章で考察を行う。

第5章 考察

本章では第3章で述べた課題，第4章で行った計測，ユーザ体験の観察から得られた結果に対して考察を行う。

5.1 立毛の時間特性について

計測結果より毛の立ち上がり時間は0.25秒程度であった。ここで円盤型振動モータに対して3.0[V]の電圧を印加したが，円盤型振動モータは電圧印加直後にその印加電圧に対応する最大の振動数に達するのではない。つまり，毛皮に装着した円盤型振動モータに3.0[V]の電圧を印加した際の最大駆動振動数を f_{max} とすると，図18の時刻0[sec]において毛皮に対して f_{max} の振動が印加されるわけではない。よって，どのような振動数で毛が逆立ち始めるのかを調べるには，円盤型振動モータを毛に貼付した状態で印加電圧に対する円盤型振動モータの立ち上がり特性を知る必要がある。また，厳密に特定の周波数に対して立毛の時間特性を知ることは円盤型振動モータを使用した実験系では難しいことが考えられる。

一方で，円盤型振動モータが印加電圧に対して最大振動数となるのは0.2秒程度かかることが知られている。毛皮に貼付してもその特性は大きく変化しないことが考えられる。よって図18より電圧印加時刻から0.3秒程度で毛が逆立ち始めていることを考慮すると，寝かせた毛は極小さい機械的振動の印加でも立ち上がり始めると考えられる。

5.2 なぜ毛をなびかせる現象の実現が難しかったのか。

毛が風になびくような動きを実現する試みについて，結果よりそれが可能であることは示唆できるが，十分に実現できたとはいえない。その理由として2つの円盤型振動モータの振動数制御が正確に行えないことがある。

ここでなぜ振動数制御が正確に行えないかを考える。それは本研究で利用している毛皮が天然毛皮であることに原因があると考えられる。なぜなら，天然毛皮は裏地の構造や表面の毛並みの構造が均一でなく，円盤型振動モータの貼付位置により条件が異なるからである。それによって，円盤型振動モータを同電圧で駆動させても同じような毛並みの動きの制御が難しかったと考えられる。

上記の問題を解決する方法として，天然毛皮を利用するのではなく，素材を均一化した人工毛皮を開発することがある。そのために，毛皮を構成する裏地および毛，さらにそれらに対して立毛現象を実現するための振動の周波数や振幅などの要素に関して詳しく分析に，我々が提案するインタフェースとして最適なモデルを構築する必要がある。

最適モデルによる人工毛皮の開発が行えれば，その表面構造について定在波やうなりの生成や所望のビート制御を行えるなど，結果として風になびくような制御が実現可能

となると考えられる。

5.3 円盤型振動モータ 1 個で立毛可能な範囲について

第 4 章によって行った予備実験より毛皮裏地の短辺が約 2.0~2.5 [cm] で長辺が約 20 [cm] の素材については円盤型振動モータを中心として長辺方向に約 6.0 [cm] の立毛が確認された。ここで、円盤型振動モータ 1 個で立毛可能な範囲を調べることを考える。円盤型振動モータを毛皮に貼付すると全体のマスが大きくなる。つまり、円盤型振動モータ 1 つで立毛できる範囲は貼付する毛皮の面積の影響をうけ、毛皮の面積が大きくなると立毛範囲が狭まると考えられる。

1 つの検証として図 22 のように毛皮の裏地を設置面に固定した場合は毛の逆立ちによる見た目の変化ほぼ確認できなかった。

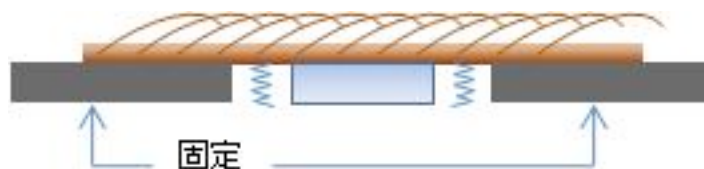


図 22 裏地を固定した場合の状態

よって、円盤型振動モータ 1 つで立毛可能な範囲を詳細にするためには、円盤型振動モータの振動数および振幅とマスの関係、さらに振動数および振幅と立毛範囲を調べる必要があると考えられる。

5.4 なぜ立毛現象が起こるのか。

ここではなぜ機械的振動の印加により立毛現象が起こるかを考える。提案したインタフェースでは、毛を逆立たせる前に毛を寝かせるという過程が必要となる。そして寝た状態の毛に対して機械的振動を印加することで立毛現象を実現する。

これら一連の振る舞いは毛の弾性力と毛同士の摩擦力で説明できると考えられる。まず、寝かされた状態の毛 1 本の弾性力を f_d 、2 本の毛が弾性力と反対の向きに互いに及ぼす摩擦力を f_h とする。すると任意の一本の毛が寝た状態を保てるのは

$$f_d < k f_h \dots \dots \dots (1)$$

のときである。ただし k は定数で接する毛の本数に対応する。(1) 式を満たす状態に対して機械振動を加えることで毛同士の摩擦は静止摩擦ではなく動摩擦となる。2 本の毛が互いに及ぼす動摩擦を f_m とすると

$$f_m < f_h$$

を満たす。また f_m は与えられる振動が大きいほど小さくなると考えられる。よって寝

ている毛に対して振動を印加することにより

$$f_m < f_d$$

を満たす状態が存在し、このとき毛が逆立つと考えられる。よって寝かせた毛に対して機械的振動を印加することにより毛が逆立つと考えられる。

これより f_m を与える振動の振動数と周波数の関係式としてモデル化ができれば、毛の立ち上がり方などに関してより分解能の高い制御が行えると考えられる。

5.5 毛を機械的に寝かせることができないことに対する解決案

第3章の課題で述べたように毛を機械的に寝かすことができない。また、上でも述べたように毛が寝ている状態にするには弾性力に逆らう仕事をする必要があり、円盤型振動モータにより毛を寝かすことは難しいといえる。なぜなら、毛皮を寝かせる方向のみの力を振動モータを用いて実現することは難しいからである。実際に振動モータに与える電流の入力として様々な波形をためしたが、毛が逆立たずに寝るといような振る舞いは確認できなかった。

そこで、天然毛皮のもつやわらかいさわり心地を利用することを考えた。柔らかい素材でできた毛皮は、人に対して触りたいという欲求をわかせる。第4章で述べたユーザー体験の結果でも、さわり心地の良さそう毛皮があるとつい触ってしまうといったコメントがあった。よって、毛を寝かせる動作をユーザーに行わせることが毛を寝かせるための一つの解決になると考えられる。

5.6 なぜオポッサム以外の毛皮で立毛現象がおきないのか

第3章でも述べたように、提案インタフェースで使用しているオポッサムという毛皮以外では、振動を印加することによる立毛現象は確認できなかった。これは、裏地の厚さや毛の太さ、今回使用した円盤型振動モータの振動特性などが関係していると考えられる。具体的には毛皮素材の固有振動数、そして表面を構成する毛の弾性力と毛同士の摩擦力で説明できると考えられる。

まず、どの毛皮素材も固有振動数を持ち、それと同値の機械振動を印加すれば毛が振動することが考えられる。しかし、本論文第3章で述べた毛皮の立毛応答を調べた予備実験において、FM34Fが印加可能な電圧範囲で振動の印加を検証したがオポッサム以外で毛が顕著に振動する様子は確認できなかった。その理由として2つのことが考えられる。1つには印加した振動数の範囲に固有振動数が含まれるが、振幅が十分ではないことがある。もう1つには固有振動数が印加した振動数の範囲にないことがある。

次に、仮に毛が振動した場合でも立毛現象を実現するには毛を寝かせる必要がある。そのためには5.4節で言及したように毛の弾性力と毛同士の摩擦力が重要だと考えられる。オポッサム以外の素材について、毛を寝かせるということはできなかった。

以上より、オポッサム以外で立毛現象が再現できなかったのは、本研究で使用した円盤型振動モータが駆動可能な振動数範囲に固有振動数を含むが振幅が十分ではなかったか、上記範囲に固有振動数を含まなかったためだと考えられる。

よって、オポッサム以外に毛皮に対して異なるアクチュエータを利用して振動を印加すれば、毛を振動させることが可能であることが示唆できる。しかし、どのような振動数および振幅を印加すればよいかという指標についてはまだ議論が必要である。

5.7 ユーザに与える視覚効果について

ユーザ体験の観察の結果より提案インタフェースには視覚的效果があるといえる。また、立毛後に動き続ける様子を観察したユーザからは動物のようであるといった意見や、動き方がかわいいという意見が得られた。

このことから、驚き、かわいさ、生き物らしさを表現するために、表情や手足を使ったしぐさが必須ということがないということが考えられる。つまり、体の一部とみなせる毛皮を利用しその毛並みを制御することでユーザに対して驚き、かわいらしさ、生き物らしさなど様々な視覚効果を与える可能性があるといえる。

第6章 適用例

本章では、提案インタフェースの機能やインタラクションの可能性を検討するために、電子機器や服飾素材へと適用を考えたので紹介する。

6.1 デジタルカメラに適用

デジタルカメラの高機能化が進み笑顔センサの搭載などが実現されている。デジタルカメラは笑顔センサの例のように外界の様子をセンシングすることは得意とするが、デジタルカメラ自体が外界に働きかけることは多くない。具体的には、被写体の笑顔を撮ることは可能だが被写体の笑顔を作り出すことは難しいという側面をもつ。そこで被写体により積極的に働きかけることができれば、被写体の表情を作ることが可能なデジタルカメラが実現できるのではないかと考えられる。

そこで提案インタフェースをデジタルカメラに適用した様子を図 23 に示す。図では多少わかりにくいですが、図 23 (a) から図 23 (b) は視覚的な変化が大きい。この適用では、提案インタフェースの立毛により被写体に対して驚きを与えることにより、被写体が驚いている表情をカメラで撮ることを目的としている。現時点では驚きに焦点を絞っているが、考察でも述べたように提案インタフェース素材では可愛らしさを表現可能であることも示唆されている。ゆえに、可愛らしい印象を与える制御を実現できれば、驚き以外の表情を作り出すことも可能であると考えられる。

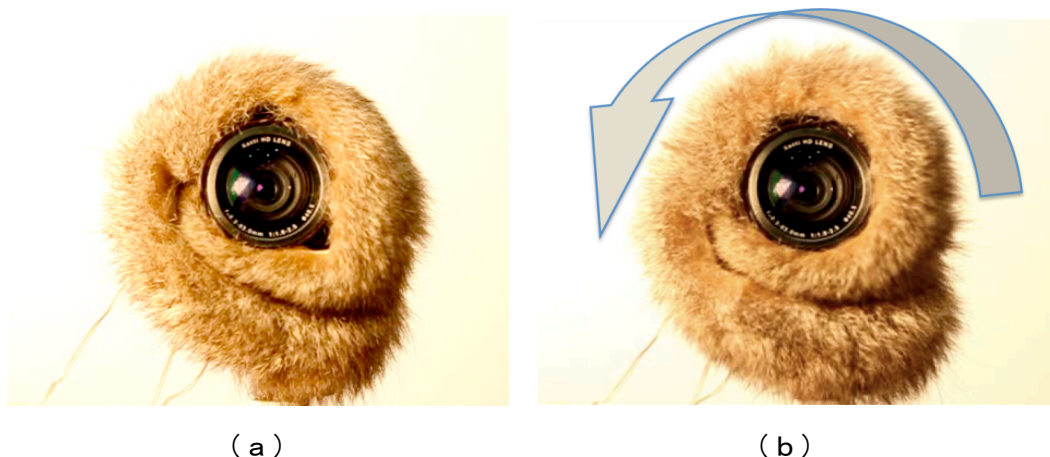


図 23 カメラに提案インタフェースを適用した様子：(a) 変化前，(b) 変化後

6.2 携帯ストラップとして適用

毛皮素材を利用している例として、アクセサリ素材として活用することがある。第2章で紹介したパソコン用マウスやUSBメモリに加え、他にもキーホルダなど様々な製

品がある。毛皮アクセサリはさわり心地の良さや見た目の可愛さという特徴をもっている。しかし周囲の環境とのインタラクションを行う製品は多くない。しかし周囲の環境とのインタラクションが行えれば、例えば上記の USB メモリの空き容量を毛並みの変化により知らせることが可能だと考えられる。

そこで携帯ストラップとして適用した例を図 24 に示す。ここで目指すインタラクションは携帯電話に入った着信によって毛皮が大きくなびいたり、小さくなびいたりすることで着信相手に対する反応を表現することである。具体的には図 24 (a) のように着信前に寝ている毛が、好意を持つ人からの着信で図 24 (b) のように毛を逆立てて着信の喜びを表現することができると考えられる。



(a)

(b)

図 24 携帯ストラップに提案インタフェースを適用した様子：

(a) 着信前の様子，(b) 着信後の様子。

6.3 アクセサリとして適用

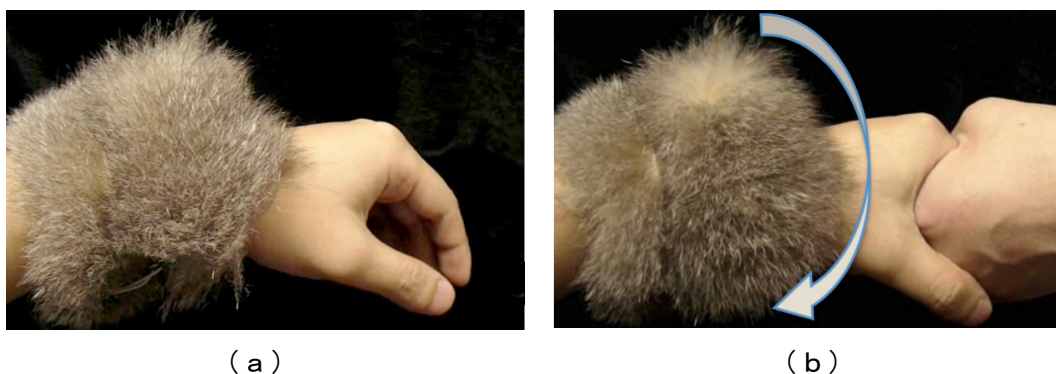
第 2 章でも述べたように毛皮素材は服飾素材として多くの用途で使用されている。しかし、それらの毛皮素材は周囲の環境とインタラクションを行うことは想定されていない。

そこで服飾素材として利用されている毛皮周囲の環境とどのような有用なインタラクションが可能かを考える。

服飾としての毛皮素材は服を着用している人に常に密接していることから、服を着用している人に関連したインタラクションが可能であると考えられる。例えば、人の感情の変化に対応して毛皮表面形状を制御することで、服を着用している人の感情を表現するといった、周囲の環境とのインタラクションが可能だと考えられる。

そこで提案インタフェースを腕輪アクセサリとして適用した様子を図 25 に示す。ここで目指すインタラクションはアクセサリの表面形状変化により、それを着用しているユーザの感情を伝えることである。具体的には、まず図 25 (a) のように手首に提案インタフェースを適用した毛皮アクセサリを装着しておく。そして図 25 (b) のように握手をした際に、その緊張を毛皮の表面形状を変化させることにより表現することを

考えた.



(a) (b)
図 25 ユーザの感情表現が可能なアクセサリとして適用：
(a) 変化前, (b) 変化後.

6.4 まとめ

本章で述べた適用例はそれぞれ異なるインタラクションを目的としている. それらが実際に有効であるかを検討するためにユーザ体験をする必要がある.

また, 特に携帯ストラップやアクセサリとしての適用については, すでに製品として存在しているものに置き換えることが可能である. すなわち, 現在柔らかいさわり心地や見た目の可愛らしさといった特徴を付加することを目的として使用されている毛皮素材に新たな付加価値を加えられることから, 有用であると考えられる.

第7章 結論と展望

7.1 結論

本研究では、インタフェース素材として柔らかい素材について着目し、柔らかい素材の中でも視覚的に多様な表現が可能な毛皮素材に注目した。毛皮には、毛を素早く逆立てることで視覚的に強いインパクトを与える他にも、風になびくといったように視覚的に印象の異なる複数の表現が可能である。そこで本研究では毛皮のように柔らかい毛状構造をもち、さらに毛皮の表面構造を制御することで多様な視覚効果をもつ新しいインタフェース素材の研究および開発を目的とした。

目的に対して天然毛皮を利用し表面形状を制御可能なインタフェースを提案した。提案インタフェースでは筆者らが発見した手法を利用している。筆者らは、毛皮に対して機械的振動を印加することにより毛を逆立てることが可能であることを発見した。この手法を利用したインタフェース素材を実装するために、素材として天然毛皮と円盤型振動モータを使用している。天然毛皮を利用することにより、見た目やさわり心地が柔らかいという特徴をもつ。また、円盤型振動モータにより毛皮に対して機械的振動を印加することで毛を逆立たすことが可能で、さらに複数の円盤型振動モータの制御を行うことでインタフェース表面の毛並みを変化させることができる。

本研究ではまず毛皮素材を選定し、結果として我々の発見した手法を顕著に再現可能なオポッサムの毛皮を利用している。提案インタフェース素材は約 0.25 秒程度で毛を逆立てることができ、人に対して視覚的に強いインパクトを与えることが可能である。また、提案インタフェース素材では、2個の円盤型振動モータを毛皮裏地に貼付し、それぞれの振動数制御を行うことで毛皮の表面構造を制御し、風になびくような表現が行えることを示唆した。

提案インタフェース素材を利用し試作を行い、国際学会の展示を通してユーザにどのような体験を与えるか観察した。結果として試作したインタフェースが人に対して驚きを与えられることがわかった。さらに、かわいらしや生物らしさといった印象も与えられる可能性が示唆された。

また、適用例として身の回りにある電子機器やアクセサリなどに対して提案インタフェースを装着し、提案インタフェースが持つ機能やユーザに与えうる経験について考えた。

以上より、本研究では柔らかいさわり心地と表面構造が制御可能という特徴をもったインタフェース素材を提案できた。また、提案インタフェースは基本構造が天然毛皮と円盤型振動モータという簡素な構成で実現されるため、様々な用途での適用が期待できる。

7.2 課題と今後の展望

本研究で提案したインタフェースの課題として、機械的振動により毛を寝かせることができないことがある。また天然毛皮を利用しているため、毛皮の個体差や不均一さにより正確な振動制御が難しいということがあった。

これら課題も含め、今後の展望として2つの軸で研究を進めることを考えている。まず一つに提案したインタフェース素材の機能を発展させ世の中に製品を出すことを考えている。それを以下の順で達成しようと考えている。

- ① 素材のパラメータと加える振動のパラメータの組み合わせによる立毛の振る舞いの違いを整理する。素材パラメータとしては毛の太さや長さ、裏地の厚さなどで、与える振動のパラメータとしては周波数、モータへ入力する波形などを考える。
- ② ①をもとに立毛現象の数学モデルを構築し解析する。
- ③ ②をもとに立毛に必要な条件を満たす人工素材をつくる。
- ④ 毛を寝かせるための機構またはプロセスを作る。

次に柔らかいインタフェースという理解を深め発展させることを考えている。それを行う手順としては次のような方法を考えている。

- ① 提案インタフェース素材を日常生活で使用する様々なものに適用する。
- ② ①より、通常固いもの見かけや触り心地が柔らかくなることでどのような体験が生まれるかを調べる。同時に柔らかい素材の表面構造を変化させることで(立毛させることで)どのような印象を与えるかを調べる。

謝辞

本研究の指導教員であり、多大なるご指導、ご鞭撻を頂きましたメディアデザイン研究科稲見昌彦教授に深く感謝致します。

本研究の副指導教員であり、研究の方向性や内容に関して助言を頂きましたメディアデザイン研究科の太田直久教授に深く感謝致します。

また、本研究に対し多大なご支援、ご協力、ご助力を頂いた常磐拓司氏、杉本麻樹氏に対し心から感謝を申し上げます。

熱心な論文添削および内容の修正方法のご助言を頂いた徳久悟氏に心から感謝致します。

本研究の共同研究者として日々の熱心なご指導と、研究者としてのありかたなど多くの助言を頂きました訪問研究員の古川正紘氏に心から感謝致します。

また、日頃から活発に議論していただき、有益な情報を下さったDigital Life およびToyプロジェクトのメンバーに感謝致します。

さらに、研究を進めるにあたり日頃から活発な討論、有益な助言をして頂きました訪問研究員の永谷直久氏、大学院後期博士課程の小泉直也氏、ならびに同研究プロジェクトの牧野伸介氏、大越涼史氏、杉浦裕太氏、安健太郎氏の各氏に深く感謝いたします。

スタッフの佐藤裕子様と島深雪様には日々の研究に集中できるように多大なご協力をして頂きました。

最後に、経済面および精神面で2年間の学生生活を支えてくれた父、母、姉、兄に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] S. Mann, Wearable Computing: A First Step toward Personal Imaging, *Computer*, vol. 30, no. 2, pp. 25-32, 1997
- [2] J. Rekimoto, K. Nagao, The world through the computer: computer augmented interaction with real world environments. *Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology table of contents*, pp. 29 - 36, 1995
- [3] H. Ishii, B. Ullmer, Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits, and Atoms. *Proceedings of CHI '97*, pp. 234-241, 1997
- [4] M. Orth, R. Post, E. Cooper, Fabric computing interfaces, *CHI 98 conference summary on Human factors in computing systems table of contents*, pp. 331 - 332, 1998
- [5] D. De Rossi, F. Carpi, F. Lorussi, A. Mazzoldi, R. Paradiso, E.P. Scilingo and A. Tognetti, Electroactive fabrics and wearable biomonitoring devices, *AUTEX Research Journal*, vol. 3, no. 4, 2003
- [6] T. Amemiya, J. Yamashita, K. Hirota, M. Hirose, Virtual Leading Blocks for the Deaf-Blind: A Real-Time Way-Finder by Verbal-Nonverbal Hybrid Interface and High-Density RFID Tag Space, *Virtual Reality Conference, IEEE*, pp. 165, IEEE Virtual Reality Conference 2004 (VR 2004), 2004
- [7] R.W. Lindeman, Y. Yanagida, H. Noma, K. Hosaka, Wearable vibrotactile systems for virtual contact and information display. *Virtual Reality*, 9, 203-213, 2006
- [8] AIBO Official Site. <http://www.jp.aibo.com/>.
- [9] K.Wada, T.Shibata, T.Saito and K.Tanie. Psychological and Social Effects of Robot-assisted Activity in the Elderly Robot-assisted at Health Service Facilities. In *JOURNAL OF ADVANCED COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND INTELLIGENT INFORMATICS*, 2003
- [10] クラシックテディベア シュタイフブティック
<http://www.steiff.co.jp/shop/index.html>
- [11] 服飾素材 Love&Passion
<http://www.loveandpassion.jp/>
- [12] アクテブライズ株式会社
<http://www.actbrise.com/>
- [13] Atsuro Ueki. Tabby. In *ACE 2006, ACE 2007 Art Show*, 2006
- [14] S.Yohanan, K.E.MacLean. The Haptic Creature Project: Social Human-Robot Interaction through Affective Touch. In *Proceedings of the AISB 2008 Symposium on the Reign of Catz & Dogs: The Second AISB Symposium on the Role of Virtual Creatures in a Computerised Society*, vol. 1, pp 7-11, 2008

- [15] H.Raffle, M.Joachim, and J.Ticheno. Super Cilia Skin: An Interactive Membrane. In *CHI Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2003
- [16] M.Coelho, P.Maes. Sprout I/O: A Texturally Rich Interface. *Tangible and Embedded Interaction*, pp.221-222, 2008
- [17] Phillips Electronics N.V.United States Patent,US 7,531,230,B2,1959
- [18] M.Coelho, P.Maes. Shutters: A Permeable Surface for Environmental Control and Communication. In *Tangible and Embedded Interaction*, pp.13-18, 2009
- [19] S.Saga, S.Kuroki, N.Kawakami, and S.Tashi. Fibratus tactile sensor using reflection on an optical lever. In *ACM SIGGRAPH 2007 Emerging Technologies*,pp.3, 2007
- [20] K.Kushiyama, S.Sasada, and S. Takeyama. Fur- Fly. In *ACM SIGGRAPH 2009 BioLogic Art Galleries*, 2009
- [21] Harlow,H.F, Zimmerman,R.R. Affectional responses in the infant monkey.*Science*, pp.130,195
- [22] 橋本悠希, 梶本裕之. 生物感提示装置. インタラクシオン 2008.