

微弱な接触を検知可能な毛状タッチセンサ

遠藤 暁友* 原田 雅文† 錦織 さくら‡ 佐藤 俊樹§

概要. 生物, とりわけ哺乳類における毛は, 体温の維持や怪我の防止に加え, 触覚センサとしての役割を併せ持つ. 特に触覚センサとしての毛は, 僅かな空気の流れや遠くの物体の動きを敏感に検知できる. そこで我々は敏感なセンサとしての毛とその構造に着目し, 小さな力も大きな力も検知可能な新たなセンサの提案を行う. 生物の毛は, 皮膚内部にある毛根周辺の神経細胞で力を検知している. 我々はこの毛を模した構造から伝達した力を, 皮膚を模した弾性体の変形具合から測定可能とする. 本提案では, 毛根の動きと光弾性による応力の可視化を利用して, 微細な接触を検知する. 毛を埋め込んだ弾性体の動きを通常のカメラで撮影することで, 様々な力加減や方向の入力が測定可能になると考える. 以上のように, 触覚センサとしての毛の構造並びに偏光の原理による微細な動きの検知に注目し, 毛を用いた繊細な力の検出が可能な新しいセンサと, そのアプリケーションの提案を行う.

1 はじめに

生物に生えている「毛」は体温が外へ逃げるのを防ぐ, 衝撃を吸収するといった防具のような機能の他, 触覚センサとしての役割も担っている. 「毛」のセンサ機能は, 「フェザータッチ (触れるか触れないかのぎりぎりの力加減)」のような繊細な力も感じ取ることができるほど敏感である. 毛を模した入力インタフェース [1][2] はこれまでもいくつか開発されてきたが, 毛に対する微弱な力を検出可能なセンサは少ない. 例えば嵯峨ら [3] は画像パターンをシリコンゴムによって反射させ, 反射像の変形をカメラで捉えることで, シリコンゴムに埋め込んだ毛の繊細な動きを検知する手法を実現している. ただし, この手法では, 毛を動かした際に毛根周囲に発生する応力については観測していない. 本研究では, この応力を光弾性によって可視化することに着目し, 毛根の動きと併せてカメラで観測することで, 毛に加わる微細な力の検出を試みる. また, 「優しく撫でる動作」などの微細な力加減を必要とする動作を用いたアプリケーションも提案する.

2 提案と目的

本提案で実現する毛状センサの基本構造を図1に示す. 毛状センサは, 生物が持つ「毛」も模した触覚部と, 「皮膚」を模した検出部の2つから構成される. 触覚部はさらに接触部, 伝達部, 毛根部の3種類に分かれ, その中でも毛根部は生物の毛と同様に

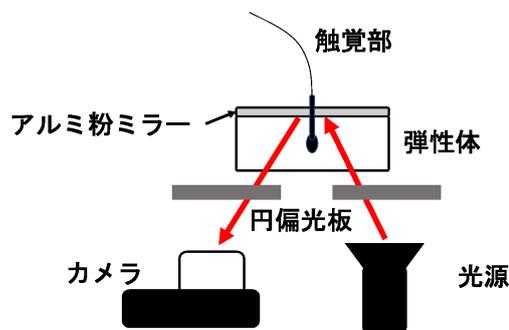


図 1. センサの基本構造

「毛根」を模したものが存在し, 検出部である弾性体に埋め込んでいる構造となっている. 弾性体上部には鏡となるアルミ粉が塗布されており, 弾性体直下にある光源から発せられた光を弾性体を通して同じく直下にあるカメラへ反射する役割を持つ. 接触部に力が加わり, 毛根部が弾性体を押し込んだ際, 弾性体は変形するが, 弾性体が持つ反発力 (弾性) によって, 毛根部の位置は保持される. ただし, 接触部に加わる力が一定以上になると, 毛根部の押し込み力が弾性体の反発力を上回り, 毛根部が弾性体を押し広げながら移動し始める. 弾性体直下にカメラと光源を設置し, 下部に設置したカメラで毛根部の動きと, 毛根部の動きで生じる周辺の弾性体に加わる応力を観測し, 接触部に加わった力の大きさや方向を推定する (図1). この2つの観測情報を組み合わせることで, 毛の接触検知だけでなく, 力の強弱も判断できるセンサが開発できると考える.

弾性体直下にカメラと光源を設置し下部に設置したカメラで, 毛根部の動きと, 毛根部が動くことで毛根部周囲の弾性体に加わる応力を観測し, 接触部に加わった力の大きさや方向を推定する (図1). こ

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 電気通信大学

† 北陸先端科学技術大学院大学

‡ 北陸先端科学技術大学院大学

§ 北陸先端科学技術大学院大学

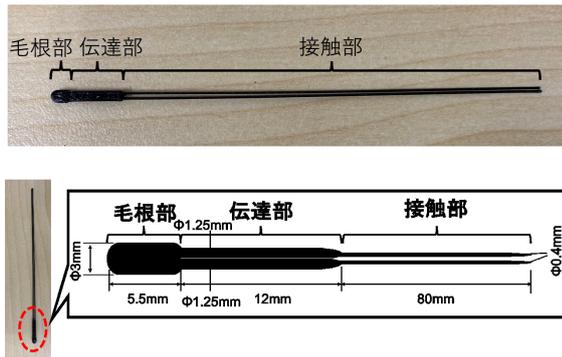


図 2. 毛の全体図 (上), 底部の拡大図 (下)

の2つの観測情報を組み合わせることで、毛の接触検知だけでなく、力の強弱も判断できるセンサが開発できると考え、本デバイスを提案する。

3 実装

上記手法をもとに毛にかかる力の検出を行うために、図2のような透明弾性体中の毛根をカメラで下部から観測を行う装置を考えた。装置は以下の流れで観測を行う。(1) 弾性体直下かつ上向きに設置した光源から放たれた光を偏光板、波長板の順に通し、円偏光にする。(2) 円偏光を表面のアルミ粉によって下向きに反射する。(3) 反射した円偏光を波長板、偏光板の順に通し、カメラでその光を捉える。弾性体に応力がない場合は、(3)の偏光板で光がカットされるため、カメラで観測できる光の量が減る。しかし、埋め込まれた毛が動く等して応力が発生した場合、弾性体を持つ光弾性により、複屈折が起これ、楕円偏光になる。この場合、カメラで偏光縞を観測できるようになる。弾性体に食用のアガーを20%の濃度で固めたものを、毛と毛根部は3Dプリンタで作成した毛を模した器官(図2)を生やす。この毛を模した器官は接触部、伝達部、毛根部と分かれており、それぞれが滑らかに接続している。接触部は直径0.4mmの2本の毛が生えており、3Dプリンタで線状に擦り重ねることで滑らかな肌触りを実現している。また、伝達部では弾性体を傷つけることなく毛根部に力を伝えるために接触部よりも大きく、毛根部よりも小さい直径で弾性体部を跨ぐように置かれている。毛根部は直径3mmの卵型構造とすることで返しの機能と弾性体を痛めることなく動きの検知を容易にすることが可能になった。弾性体上にアルミ粉を塗布することで弾性体表面と密着し、位相の変化を損なわずに光源からの光と弾性体中で起きた光弾性の変化を偏光縞として反射、観察することができる。以上の光弾性の変化を市販のカメラ(Sony製 NEX-5)で観察する。

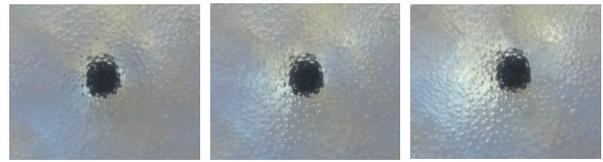


図 3. 通常状態の弾性体(左), 微小な力を加えた弾性体(中)と大きな力を加えた弾性体(右)

4 実験結果

この実装を元に筐体を作成、実験を行い、弾性体中の毛根の変化並びに応力の変化の簡単な確認を行った。触覚部の上部を撫でるように軽く動かしたところ、図3(中)のようになった。このとき毛根は動かないが周辺に光弾性の変化が生じた。ここから微細なタッチ検出を光弾性による応力検知によって判断する有用性が確認できる。また、接触部周辺が動く程度の力加減で撫でるように動かすと図3(左)のようになった。ここから大きな力に関しては応力の反応が大きく、毛根が動いていることが確認できた。このことから大きな力の撫でに関しては毛根の動きを確認することで一定以上の大きな力と小さな力との区別が可能であると考え。よって、徐々に力を加えていくと以上の点から毛根の動きと光弾性の変化の両者による観測により様々な力加減で撫でる動作の検出が可能になることが確認できた。

5 アプリケーション案

実験結果から撫でる力の観測が確認できたため、このセンサで計測することで、「フェザータッチ」体験を支援・拡張する次の2つのデバイスを開発したいと考える。1つ目は、「手」を使い、頭部等の毛が生えた皮膚に対して優しくフェザータッチを行う際の力加減を計測し、心地よいフェザータッチの力加減をアドバイス可能な皮膚型触覚センサデバイスである。このデバイスは、我々が日常で行う「撫でる」という動作を数値的にユーザに示すことで、例えば親子間のコミュニケーション支援などに役立てられると考える。2つ目は、「毛による触覚提示」に着目した筆型触覚提示デバイスである。我々は、筆や動物のしっぽ等で優しくなでられると心地よさを感じる。このデバイスにより、フェザータッチをユーザへ触覚提示することで「癒し」や「こそばしい」等の体験提示を可能にすると考え。

6 まとめ

本研究では、毛根周囲に発生する応力を光弾性によって可視化することに着目し、微細なタッチ検出が可能デバイスと繊細なタッチを生かすアプリケーションの提案を行った。

参考文献

- [1] Jifei Ou, Gershon Dublon, Chin-Yi Cheng, Felix Heibeck, Karl Willis and Hiroshi Ishii, Cillia: 3D Printed Micro-Pillar Structures for Surface Texture, Actuation and Sensing, In *CHI '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, <https://doi.org/10.1145/2858036.2858257>, pp. 5753–5764, 2016.
- [2] Kosuke Nakajima, Yuichi Itoh, Takayuki Tsukitani, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura and Fumio Kishino, FuSA touch display: a furry and scalable multi-touch display, In *ITS '11: Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, <https://doi.org/10.1145/2076354.2076361>, pp. 35-44, 2016.
- [3] Satoshi Saga, Shinobu Kuroki, Naoki Kawakami and Susumu Tachi, Fibratus tactile sensor using reflection on an optical lever, In *SIGGRAPH '07: ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies*, <https://doi.org/10.1145/1278280.1278284>, No. 3, 2007.