

[研究助成 (A)]

粘着特性も測れる指先装着型触覚提示デバイスの開発

Development of finger-worn haptic sensor for evaluations of adhesive property

2201031



研究代表者

弘前大学大学院 理工学研究科

准教授

森 脇 健 司

[研究の目的]

本研究の目的はヒトが主観的に感じる粘着感を客観的な工学パラメータで表現することである。指先で感じる粘着感には主に材料の粘弾性と剥離時の引張力に関係するが、ウェアラブルな引張用センサは圧縮用に比べ著しく少ない。一方、代表者は引張力を評価できるフィルムセンサと弾性率・粘着性（タック）を計測できる触覚センサを開発している。これらの技術を応用し力・弾性率・粘着性の同時計測デバイスを開発すれば、粘着含む触覚をより正確に工学指標により評価できる。食品や化粧品（肌質）の評価に有用で、触診や農作物収穫・調理（そば打ちなど）時に熟練者が感じる触覚を他人に伝承できるコミュニケーションデバイスとして応用可能と考える。

そこで、本研究では力・弾性率・粘着性（タック）を定量計測できる指先に装着できるサイズのセンサデバイスを作製し、その性能を確認する。

[研究の内容, 成果]

・触覚センサ

これまで、生体軟組織のマイクロレベルの弾性率分布観察機器として、走査型触覚顕微鏡（Scanning Haptic Microscope: SHM）の開発を

行ってきた（図1）¹⁾。プローブ引抜き時の信号変化に着目することで試料表面の粘着性も検出でき（図2）、表面形状・弾性率・粘着性の同時イメージングが可能である（図3）²⁾。計測中、SHMのプローブは、一定の位相で振動するようにフィードバック制御されており、試料が接触した際の振動周波数の変化が試料の弾性率と

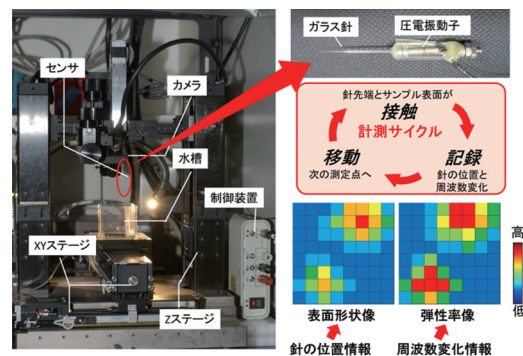


図1 走査型触覚顕微鏡 (SHM)

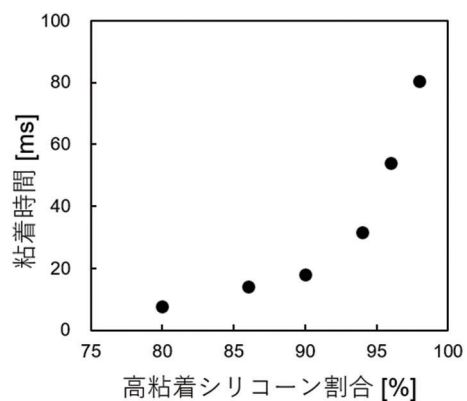


図2 SHMによる粘着性計測

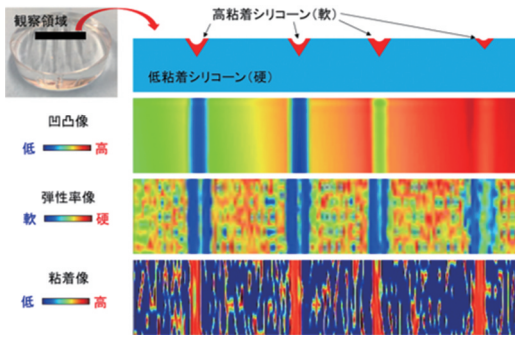


図3 表面形状・弾性率・粘着性同時観察

相関する。そのため、試料と接触した位置情報から形状が、接触による周波数変化量から弾性率を導出できる。また、粘着性に富む試料と接触した際には、本来ならプローブが離れるはずだった位置に戻っても試料がまとわりつくため、そのまとわりついている時間が試料表面のタッチと相関することが明らかになっている。

これらの弾性率と粘着性の検出手法を応用し、本研究ではコイン型圧電振動子と半球型樹脂プローブを組み合わせにより触覚センサを作製した。

・圧力センサ

フレキシブルなフィルム型圧力センサを開発している。変形によって電気抵抗値が変化する感圧体を2枚の電極で挟んだシンプルな3層構造により、作用する接触圧力を検出できる(図4)。3層を密着させておけば引張方向の力も検出可能で、引張から圧縮までの接触圧力を高精

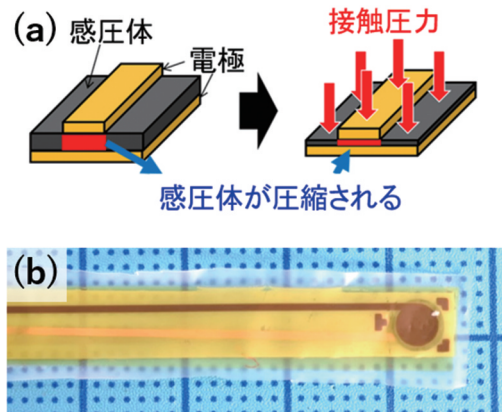


図4 (a) 圧力の計測原理と (b) センサ例

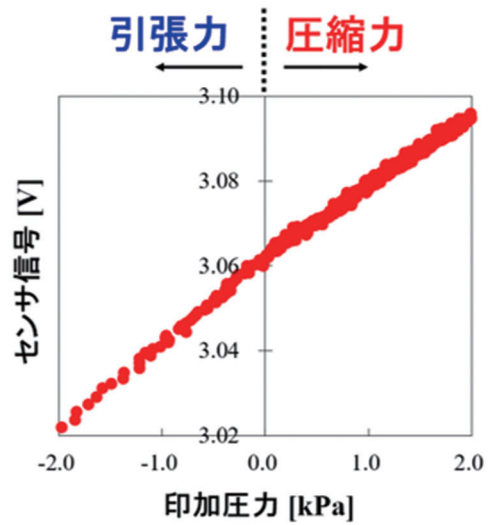


図5 微弱な圧力の計測結果の例

度に検出できる(図5)³⁾。

本研究では、この圧力センサを上記の触覚センサと直列に組合せ指先装着型デバイスを作製した。

・触覚/圧力同時検出システム

触覚センサの振動子には直径6mm厚さ1mmのコイン型圧電素子を用いた。電極面には、GND、発信、受信の3配線を繋いだ。また、圧力センサは、フォトリソグラフィによりパタニングした銅-ポリイミド積層フィルムで導電ゴムを挟むことで作製した。感圧部の上下電極の大きさはそれぞれ1mmと2mm径で、導電ゴムの大きさは直径2.5mmとした。つまり、感圧領域は電極とゴムの重複領域である直径1mmとなる。

センサ組立用の部品とセンサ組立例について、図6に示す。組立用部品は三次元造形機を用いて作製した。組立センサの外径は幅8mm、厚

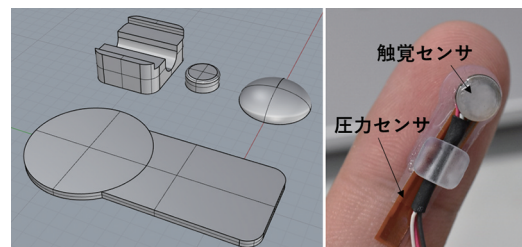


図6 (a) センサ組立用部品と (b) センサ例

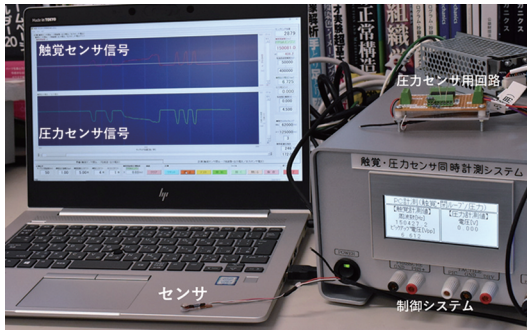


図7 開発システム

さ5 mm程度で、指の腹に違和感なく取りつけられた。

開発した触覚／圧力同時検出システムを図7に示す。制御システムには位相シフト回路が組み込まれており、あらかじめ触覚センサの特性を調べた後に、振動位相が一定になるようにフィードバック制御された状態で共振周波数付近で触覚センサを振動させている。このため、触覚センサに試料が触れると周波数特性が変化し、位相を一定にするために振動周波数が変化することになる。

また、本システムでは、同時に圧力信号も検出するために、電圧記録用のチャンネルも備えている。圧力センサに力が作用すると、感圧体に変形し電気抵抗値が変化する。本研究では、反転増幅回路の入力側の抵抗としてセンサを繋ぎ、帰還抵抗に適当な値の固定抵抗を繋げることで圧力作用時の電気抵抗変化を電圧変化へと変換し、制御システムに入力した。本システムでは、サンプリング周波数200Hzで触覚／圧力センサ信号のモニタリングと記録が可能である。

・粘着性試料の測定結果

シリコンゴムを試料に用い、触覚／圧力センサの性能評価を行った。

まず、圧力センサについて、引張・圧縮試験機を用いて印加圧力と出力電圧の較正を行った。印加圧力の増加に伴い、出力電圧の変化量は大きくなり、電圧の値から作用している圧力を導出できることが確認できた。

触覚センサについて、印加圧力を増加させる

と振動周波数の変化量は大きくなった。異なる弾性率の試料を接触させると、同じ圧力値に対する振動周波数変化量は異なり、試料の弾性率を推定することが可能であった。

粘着性に富む試料の場合、センサが試料に接触している状態から脱離するときに、圧力センサでは引張力が検出された。また、触覚センサでは粘着性に乏しい試料での脱離時に比べ、無負荷状態の振動周波数に戻るのが遅かった。これらの現象はSHMで実施した過去の計測²⁾でもみられた傾向であり、試料の粘着性により脱離時に試料がセンサにまとわりつくことで、生じたと考えられる。まとわりついている時間は、試料の粘着性が高いほど長い傾向にあり、粘着性の定量計測ができる可能性が示された。

以上、開発した触覚／圧力センサと同時計測システムにより、作用している圧力と試料の弾性率と粘着性を定量的に評価できる可能性を見出した。

[今後の研究の方向、課題]

今後の課題について、以下のことが挙げられる。

・接触角度の補正

本研究では、センサを試料表面を正対させて接触と脱離を行ったが、センサを傾けて接触させると触覚／圧力信号は変化する。ヒトが意識的に触感を確認する場合はまっすぐに触ることが多いと思われるが、斜めに触っても適切に評価するには、角度センサなども併用し、接触角度による評価値の補正が必要になると考える。

・速い動作の取得

本研究では、比較的ゆっくり試料に触れたときのセンサ信号を計測した。サンプリング周波数は200Hzであり、データの取得という点ではヒトの動作計測にそれほど問題はないと思われるが、圧力センサには軟らかい導電ゴムをそ

の感圧機構に組み込んでいるため、速い力変化に対して変形が追従できない可能性がある。また、粘着性に富む試料は粘性も高いことが多く、速い動作に対してはその粘性が触覚センサ信号に影響を及ぼすと考えられる。

今後の研究の方向として、食品の品質や化粧品使用時の肌質の評価などに対して主観的な感覚と客観的な工学的指標を結びつける評価手法としての応用を進める予定である。また、触診や農作業など、指先の感覚が重要となる熟練動作について、そのデータを取得・解析することで、初心者向けの効果的なトレーニング法の提供などへの応用が期待できる。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 森脇健司, 春田峰雪, 尾股定夫. 「走査型触覚顕微鏡による表面形状・弾性率・接着性の同時イメージング」, 第43回バイオレオロジー学会年会(2020)

[参考文献]

- 1) Takeshi Moriwaki, Tomonori Oie, Keiichi Takamizawa, Yoshinobu Murayama, Toru Fukuda, Sadao Omata, Keiichi Kanda, Yasuhide Nakayama. "Variations in local elastic modulus along the length of the aorta as observed by use of a scanning haptic microscope (SHM)", *Journal of Artificial Organs*, Vol. 14, pp.276-283 (2011)
- 2) Takeshi Moriwaki, Sadao Omata, Yasuhide Nakayama. "Development of a microscopic adhesive evaluation method using a scanning haptic microscope", *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 303, Article No.111692 (2020)
- 3) Takeshi Moriwaki, Kazuhiro Fujisaki, Kazuhiko Sasagawa. "Adhesion force measurement with a flexible film-type sensor", *Advanced Experimental Mechanics*, Vol. 4, pp.153-156 (2019)