

物体の硬さを検出できる多軸触覚センサに関する研究

Research on a tactile sensor that can measure object stiffness

2171009



研究代表者

東京大学 IRT 研究機構

特任研究員 Nguyen Thanh Vinh

[研究の目的]

高齢化社会に伴う介護・介助者不足を解決するため、我々の生活を支援するロボットの実現が期待されている。人と接触するロボットには様々な機能が求められるが、中でも特に重要なのが力と物体の硬さを容易に計測できることである[1, 2]。ロボットに搭載される力センサには、小型であるのはもちろんのこと、ロボットが正しく動作するために単一のセンサで様々な情報を得られることが求められる。また、ロボットが素早く動作するためには、センサ自身が高速応答できるように、できるだけシンプルな計測原理に基づいていることが望ましい。

物体の硬さを評価する従来の方法では、物体に押し付けたときの力と変位量を同時に計測する必要があるため、装置の小型化が困難であり、ロボットへの搭載が難しかった[3, 4]。近年、圧力とせん断力を同時に計測できる触覚センサが盛んに研究開発されている。中でも MEMS 技術を用いた触覚センサは、小型・高感度といった利点により、ロボットへの応用が期待されている。触感の中には物体の硬さの認識があり、例えばロボットハンドによる物体の把持や手術ロボットにおける患部の診断などで重要な情報となる[5, 6]。しかし、これまでの触覚センサでは、物体の硬さを推定するために、物体がどれだけ変形したかという情報が必要であっ

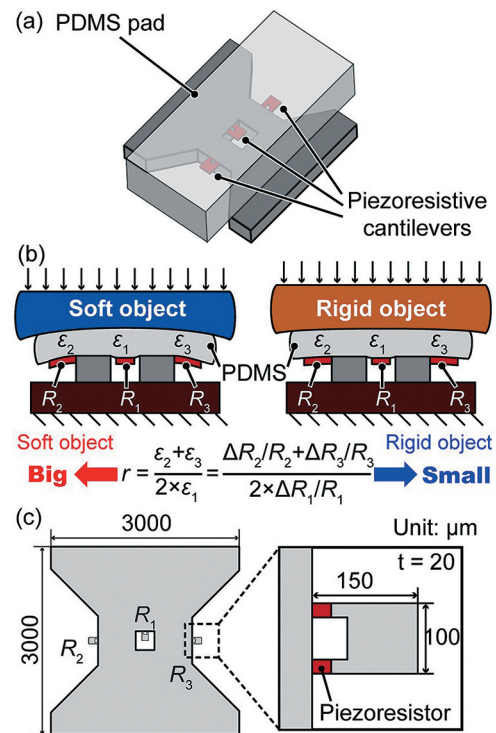


図1 (a) 提案したセンサの概要図 (b) 硬さの計測の原理 (c) センサの設計パラメータ

た。

そこで本研究の目的はさわるだけで物体の硬さを計測できる数 mm サイズの力センサを実現することである。提案したセンサの構造を図1(a)に示す。センサチップの中央と両端に配置される3つのピエゾ抵抗型カンチレバーと、これらを覆うゴムカバーで構成される。物体の硬さの計測原理を図1(b)に示す。物体が柔らかいほど中央のカンチレバーに比べて左右の

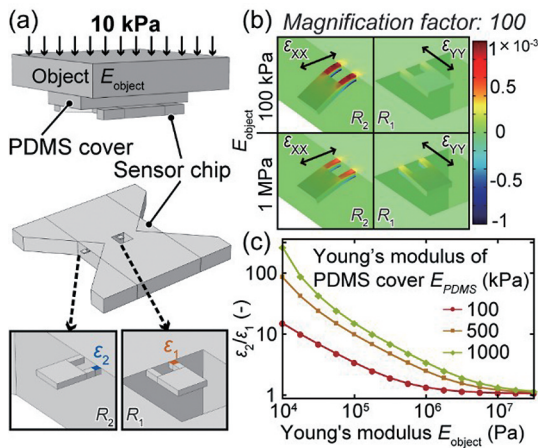


図2 シミュレーション結果

カンチレバーが大きく変形するため、両端のカンチレバーと中央カンチレバーの出力の比から物体の硬さが求められる。センサチップの設計パラメータを図1(c)に示す。チップのサイズは3 mm×3 mm×0.3 mmである。

[研究の内容, 成果]

計測原理を検証するためにシミュレーションを行った。シミュレーションのモデルを図2(a)に示す。センサの弾性体パッドのサイズは4 mm×2 mm×1 mmであった。弾性体パッドに10 kPaの加重を印加した。対象物のヤング率を 10^4 Paから 10^8 Paの範囲に変えた。シミュレーション結果を図2(b)に示す。対象物の硬さが高くなれば、パッドの中央とパッドの端に配置されたカンチレバーのひずみの比率が小さくなったことがわかった。この結果から、提案したセンサは物体に押し付けるだけで、物体の硬さを推定できることが検証された。

センサの製作プロセスフローを図3に示す。詳しいプロセスフローは[6]に報告された。試作したセンサを図4に示す。センサチップのカンチレバーのサイズは $125\text{ }\mu\text{m}\times 100\text{ }\mu\text{m}\times 20\text{ }\mu\text{m}$ であった。両面カプトンテープを用いてPDMSパッドをセンサチップに貼り付けた。

試作センサを用いて、異なる硬さのサンプルに対して実験を行った。実験の前に、サンプル

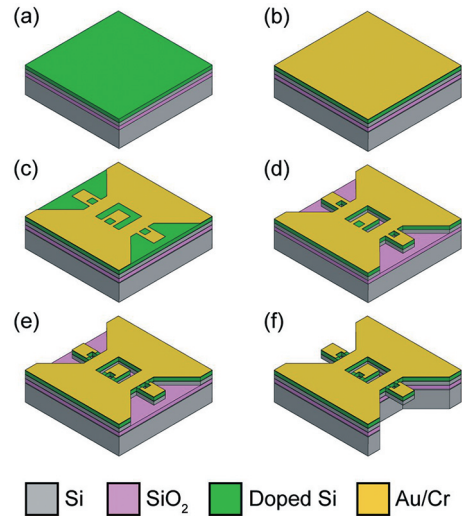


図3 センサの製作プロセスフロー

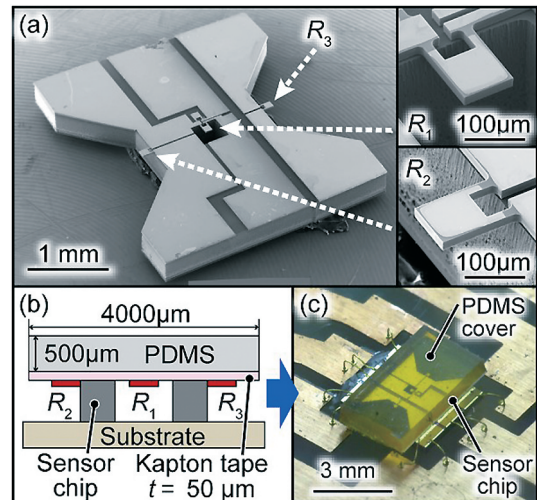


図4 試作したセンサの写真

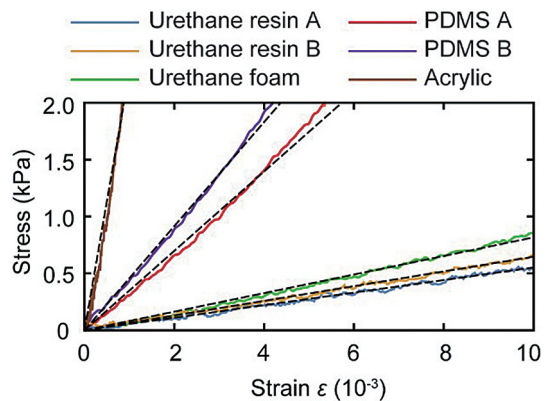


図5 サンプルの硬さの計測結果

の準備及びサンプルのヤング率の計測を行った。サンプルとして Urethane resin, PDMS を利用した。リニアステージに取り付けたフォース

Table 1 計測したサンプルの硬さ

Materials	Young's modulus (kPa)
Urethane resin A	$(5.6 \pm 0.2) \times 10$
Urethane resin B	$(6.2 \pm 0.3) \times 10$
Urethane foam	$(8.2 \pm 0.1) \times 10$
PDMS A	$(3.5 \pm 0.7) \times 10^2$
PDMS B	$(4.6 \pm 0.1) \times 10^2$

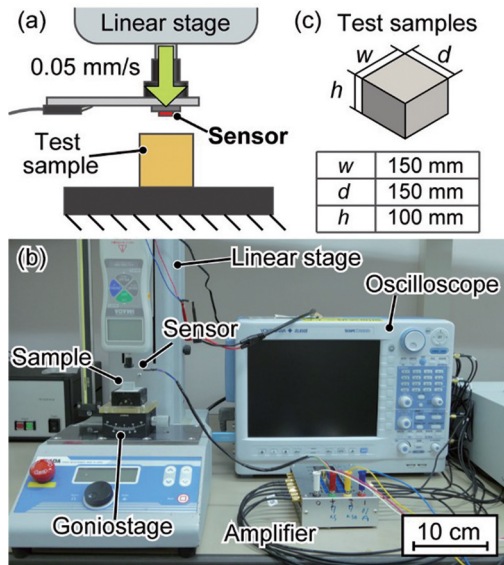


図6 実験セットアップ

ゲージ (IMADA 社製, ZTS-50N) を各サンプルに押し付けた。リニアステージの変位とフォースゲージで計測された押し付け力から各サンプルの硬さを計算した。計測結果を Table 1 に示す。また、コントロールサンプルとして準備したサンプルより十分硬いであるアクリルブロックを利用した。

実験セットアップを図6に示す。各サンプルのサイズは図5(b)に示すように、長さ15 mm、幅15 mm、高さ10 mmにカットされた。リニアステージを用いて、センサを一定の速度(0.05 mm/s)で各サンプルに押し付けた。カンチレバーの抵抗変化率は計測回路で1000倍に増幅された後、スコープコーダ(横河電機社製, DL850)に記録された。

計測結果を図7に示す。各サンプルについて、センサチップの両端のカンチレバーの抵抗変化率の平均値とセンサチップの中央に配置されたカンチレバーの抵抗変化率との関係

を図7(a)に示す。サンプルが柔らかいほど、

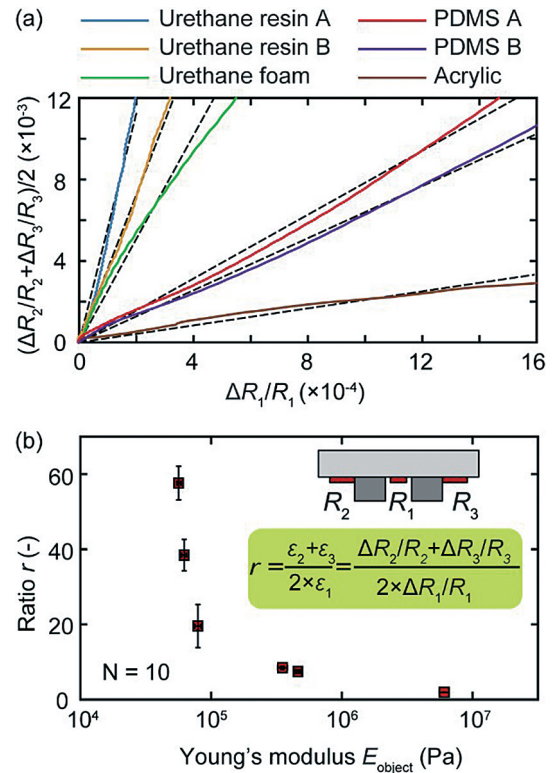


図7 サンプルの硬さとセンサの出力との関係

中央のカンチレバーより両端のカンチレバーの变化率が大きかったことがわかった。両端のカンチレバーの抵抗変化率の平均値と中央のカンチレバーの抵抗変化率との比率を r で定義し、サンプルの硬さと r との関係を図7(b)に示す。物体のヤング率が高くなれば、 r が小さくなり、提案した計測原理と一致したことがわかった。線形領域において r は押し付け力に依存しないため、押し付け力を計測しなくても r から物体の硬さを求めることが可能である。

[今後の研究の方向, 課題]

提案したセンサは小型であるにもかかわらず、押し付け量の計測が不要であり、計測原理がシンプルなので、ロボットへの応用に適している。これまでの実験では対象物の表面が平面に限られたが、今後は曲面や凹凸がある面に対しても実験を行い、対象物の表面形状の影響を検証していきたい。また、さらにセンサを小さくし、ロボットハンドや手術器具に取り付け、把持物

や患部の硬さを計測できることを検証していく
予定である。

[参考文献]

- [1] H. Yousef, M. Boukallel, and K. Althoefer, "Tactile sensing for dexterous in-hand manipulation in robotics-A review", *Sensors and Actuators A: Physics*, pp. 171-187, 2011.
- [2] J. Tegin, and J. Wikander, "Tactile sensing in intelligent robotic manipulation", *Ind. Robot*, 32, pp. 64-70, 2005.
- [3] Y. R. Li, C. C. Su, W. J. Lin, and S. H. Chang, "Piezoelectric sensor to measure soft and hard stiffness with high sensitivity for ultrasonic transducers", *Sensors*, 15, pp. 13670-13679, 2015.
- [4] S.T. Szewczyk, W.Y. Shih, W. Shih, "Palpationlike soft-material elastic modulus measurement using piezoelectric cantilevers", *Review of Scientific Instruments*, 77, pp. 044302, 2006.
- [5] P. Valdastrì, K. Houston, A. Menciassi, P. Dario, A. Sieber, M. Yanagihara, and M. Fujie, "Miniaturized cutting tool with triaxial force sensing capabilities for Minimally Invasive Surgery", *ASME Journal of Medical Devices* 1, pp. 206-211, 2007.
- [5] M. E. H. Eltaib, and J. R. Hewit, "Tactile sensing technology for minimal access surgery-a review", *Mechatronics*, 13, pp. 1163-1177, 2003.

- [6] Ryota Tanii, Thanh-Vinh Nguyen, Tomoyuki Takahata and Isao Shimoyama, "Elasticity sensor using different tactile properties on one chip," *The 31th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2018)*, Belfast, Northern Ireland, pp. 862-865, Jan 21-25, 2018.

[成果発表]

プロシーディング

- Ryota Tanii, **Thanh-Vinh Nguyen**, Tomoyuki Takahata and Isao Shimoyama, "Elasticity sensor using different tactile properties on one chip," *The 31th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2018)*, Belfast, Northern Ireland, pp. 862-865, Jan 21-25, 2018.

特許出願

- 下山勲, 高畑智之, グエンタンヴィン, 谷井涼太, "硬さセンサおよび硬さセンサアレイ並びに硬さ検出方法", 特願 2018-006947

プレスリリース

http://www.leopard.t.u-tokyo.ac.jp/press/Final_press_release_MEMS_v0123_for_website.pdf

報道

- 「チップ状の触覚センサー, 東大, ロボットの手器用に」, 日経産業新聞, 2018年2月13日