

2016 年度 科学技術共同研究センター 研究プロジェクト実績報告書

課 題	触覚センシングに影響を与える柔軟な形態学の解明
研究組織	ホ アンヴァン (元理工学部・助教) 現北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス系准教授) 研究代表者 渋谷 (理工学部・教授) 堤 (理工学部・教授) 永瀬 (理工学部・講師) 平井 慎一 (立命館大学工学部・教授)
研究期間	1 年研究

1. 2016 年度の研究計画

本研究は 2016 年の計画であり、以下の 2 点について研究を行った。

①変形に起因する柔軟な触覚システムのセンシング能力を定量的に調査するために、触覚センシング素子（歪ゲージ等）が埋め込まれた柔軟な物質のモデルを構築する。物質の静的や動的な変形によってセンシング素子が受け取った歪の変化、すなわちセンシング能力をシミュレーションによって調べる。

②変形によりセンシング能力を変化できる柔軟な触覚システムを試作する。試作する触覚システムは、センサ部分を変形させることにより、外界と接触する状態を変化させセンシング機能を選択できる。複数の駆動機構を用いて前述したシステムを試作して、①で提案した課題を実験的に確認する。また、前述したシステムの試作に基づいて今後の課題を抽出する。

2. 研究実績の概要(研究経過と成果)

2.1 研究の目的

本研究は、以下の 2 点を研究目的とする。

①柔軟物の変形が触覚センシングに与える影響の解明：人間の指先のような柔軟な触覚センシングシステムは、外力を受ける柔軟物（表皮・真皮）とその中に埋め込まれた機械受容器から構成され、受容器で受け止められる外力による機械刺激は柔軟物の機械特性に大きく依存している。本研究では、柔軟物の変形により触覚センシングの機能がどのように変化するかを定量的に明らかにする。

②形態学的に変形できる柔軟な触覚センサのプロトタイプを試作：①で記述した分析を踏まえて、同一の機械受容器において、柔軟性を有するアクチュエータを用いて柔軟物を変形させることによって、異なるセンシング能力が得られる触覚センサを試作・開発する。

2.2 センサの構成

製作物の構造は図 2.2.1 に示し、全体寸法は 70mm×50mm×15mm の立方体となっている。また図 2.2.2 に製作物を示すようにホースより空気を注入し、表面の樹脂を膨らますことにより表面の樹脂に形態変形を生じさせる構造となっている。ベースの部分には Dragon skin（米・SmoothOn 社）を用いている。Dragon skin を用いる理由としては、空気を注入した際に、表面の樹脂の硬度よりもベースの硬度の方が高くなければ、表面の樹脂が形態変形を起こす前に実験体の全体が圧力により膨張すると考えた。またベースの部分に樹脂を用いた理由としては、この研究の目的が「柔軟な滑りセンサを製作する。」ことであり、金属などを用いるのは不適と考え、用いている樹脂の中で最も硬度が高く柔軟性のあるものを使用した。また、表面の樹脂は寸法が 70mm×50mm×0.2mm で製作しており、センシング素子として KYOWA 株式会社製の歪ゲージを中に

入れ込んである。ひずみゲージを用いる理由としては平面状態、湾曲状態においても変形限界に達さない限り、検知を行えると考えた。

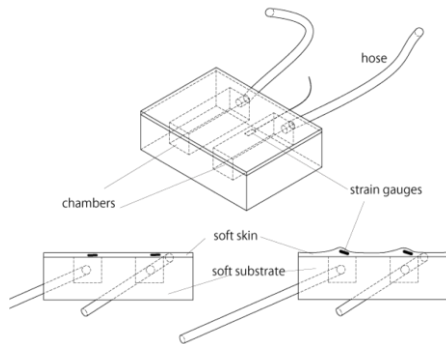


図 2.2.1 製作物の構造

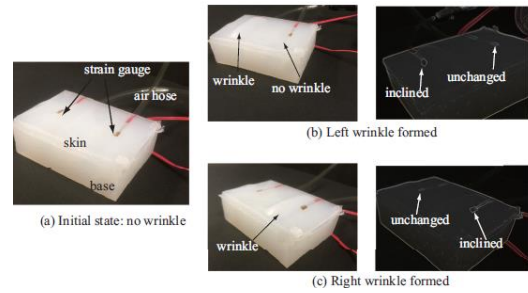


図 2.2.2 製作模型

2.3 解析結果

柔軟物において、形態変化が触覚センシングに与える影響を定量的に解明するため、柔軟基質の表面を外力で指定の形（しわ）に変形させ、しわに埋め込まれたセンシング素子の位置・姿勢が変動するシミュレーションモデルを構築した。本モデルで、外界との接触（圧入動作やすべり動作等）に基づいた分析を動的に行った結果、形態変形によって、センシング素子の特定の触覚センシング機能における機械的な応答は異なることと、得られた触覚センシングの機能も変わることを確認できた。

図 2.3.1 において、図 2.3.1(a)が全体のモデルになり、他の (b) ~ (d) はそれぞれの動作のシミュレーションになる。図 2.3.1(b)は埋め込んだ歪ゲージに対し、圧力をかけたものになり、(c) - (d) はそれぞれ右から左方向、左から右方向にひずみゲージを基準の位置として行ったシミュレーションになる。そして、図 2.3.2 はしわのある時の反応としわのない時の反応を示している。これに、しわのない時よりしわのある時の反応の方が著しくひずみゲージの反応が出ていることが分かる。これによりシミュレーションは、形態変形を用いてしわを設けることにより、歪ゲージの姿勢を変化させると反応が増加することが証明された。

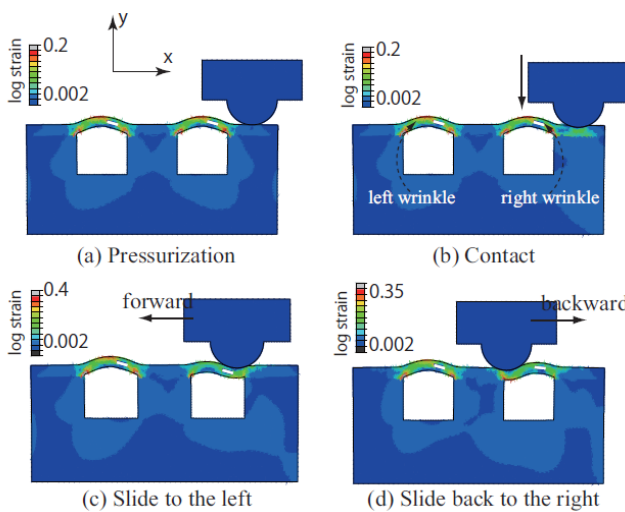


図 2.3.1 シミュレーションモデル

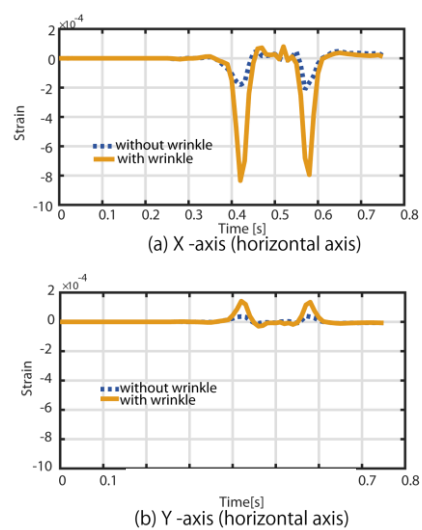


図 2.3.2 シミュレーション結果

2.4 センサの試作

形態変形によりセンシング機能を変化できる触覚センシングシステムを試作した。まず、樹脂を固めるための型は3Dプリンタ「Object260 Connex1」を用いており、精度としては販売者水準で $20\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$ とされているものを使用している。型の構造については図 2.4.1 に示すように 上の空いている内径寸法 $54\text{mm}\times 74\text{mm}\times 15\text{mm}$ の箱にそれぞれの厚さ 2mm のパーツを入れ込んであり、全体が外れる構造となっている。こうすることによって、樹脂を型から外す際に、樹脂を傷つせず、より簡単に樹脂を取り出すことが可能となっている。製作した型の構造を図 2.3.1 に示し、製作物を図 2.4.2 に示す。

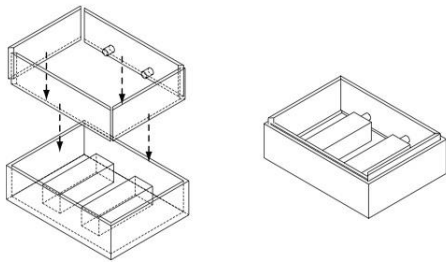


図 2.4.1 型の構造図

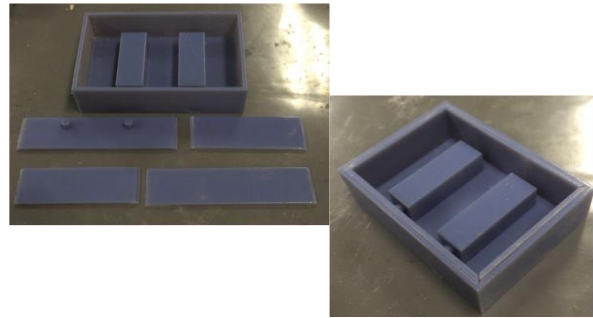


図 2.4.2 製作した型

実験装置は X 軸のリニアステージを二台使用しており、精度 $10\mu\text{m}$ の NC 工作機械を使用して製作を行った補助パーツによって X 軸と Y 軸の方向にリニアステージを設けてある。また Y 軸方向のリニアステージから $100\mu\text{m}$ の 3D プリンタで製作を行った補助パーツを用いて、X 軸、Y 軸、Z 軸方向の三軸ロードセルを取り付け、下部に上と同じ 3D プリンタを用いて製作を行った補助パーツを使用して、ローラーが取り付けられている。全体の図を図 2.4.3 に示す。このひずみゲージ計測機器は様々な項目のものが計測できるが、使用しているものはひずみゲージの反応を波形として表現するものである。

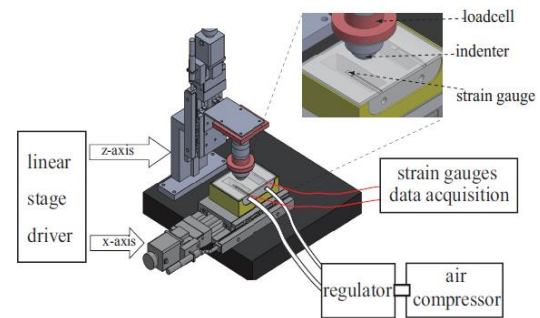


図 2.4.3 リニアステージ全体図

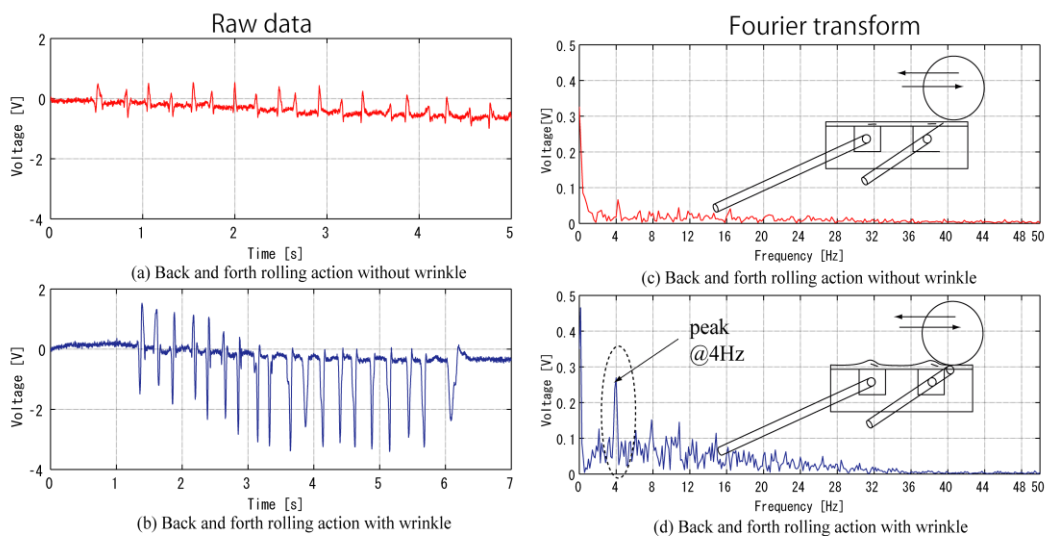


図 2.4.4 しわ有無における擦る動作によるセンサの生信号とそのフーリエ変換

図 2.4.4(a)は触覚センサ内部溝に空気が封入されていない状態でしわがない状態である。また図 2.3.4 (b)は触覚センサ内部の溝が 0.10Pa だけ封入されており、しわが存在する状態である。これらを見比べると、しわがある時がしわがない時に対してひずみゲージの反応が著しく増加しているのがわかる。また波形の形に着目すると、一定の形の波形をしており、実験データを取った時のひずみゲージの波形は、実験を行ったローラーの移動方向が左→右→左→右に対して上→下→上→下で反応が出ている。これによりローラーが左から右に動いた時に波形が上から下に反応が関連づけることができるので、滑りの力の方向を検知することができる。図 2.4.4(c)-(d)のフーリエ変換後のひずみゲージの反応波形を見ると、グラフよりしわがある時とない時では 4Hz の時にピークが生じており、これよりもしわがある時とない時ではしわがある時の方が、反応が増加することがわかる。

つまり、歪みゲージを柔軟基質に埋め込み、空気圧アクチュエータで柔軟部を変形させるセンシングシステムを試作した。アクチュエータによってしわの形態が変わることで外部の刺激に対してセンシング素子が生み出すセンシング機能も変化することを確認した。得られた結果は分析結果と一致することから、柔軟な物質を用いて形態を変化させることによって、1種類のセンシング素子で複数のセンシング機能を可能とすることを示した。

2.5 今後の予定

本研究は 2016 年度の計画に引き続き、以下の 2 点について研究を推進する。

①しわの解析モデルの構築と多様な分野への応用：次年度は、エネルギーバランスに基づく解析モデルを構築する。このモデルは形態（形状と機械学的なスペック）を入力することでしわの特徴（数や高さ等）を予測するものである。そして、その解析モデルを用いて、①に述べた触覚センシングや触覚提示装置や測定装置等への応用を可能とする構成を提案する。

②形態変形によりセンシング能力を変化できる柔軟な触覚システムの開発：2016 年度の試作モデルを改良して、物体の剛性と物体表面のテクスチャーの定量化を可能する触覚デバイスを開発する。

3. 研究発表

- (1) Van Anh Ho, H. Yamashita, K. Shibuya, Z. Wang, S. Hirai, *Morphological Computation in Tactile Sensing: Role of Wrinkle*, 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Singapore, May 27-June 3, 2017 (Accepted)
- (2) Van Anh Ho, H. Yamashita, K. Shibuya, Z. Wang, S. Hirai, J. Nagase, K. Tsutsumi, *Function Selectable Tactile Sensing System with Morphological Change*, 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 415-420, Sapporo, Japan, December 13-15, 2016 (Best Paper Award Finalist)
- (3) 特許出願：
ホ アンヴァン，渋谷恒司，触覚検知装置，出願番号：2017-060520
出願日：2017年3月27日

4. 本研究課題のキーワード

- (1) 触覚提示装置
- (2) 形態計算
- (3) アクティブな触覚
- (4) すべり検出
- (5) 有限要素