

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25630086

研究課題名（和文）感度と強度を両立する触覚センサのパッケージの研究

研究課題名（英文）Tactile sensor packaging to realize both high-sensitive and shock-resistant nature

研究代表者

高畑 智之（Takahata, Tomoyuki）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号：80529652

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、感度を損なうことなく衝撃への耐性をもたせた触覚センサのパッケージ構成法を示すことである。感度と耐衝撃性を両立するための方法として、センサの周りをダイラタント流体で覆う構成を提案する。ダイラタント流体は静的な力に対しては流動性があるため柔らかく、撃力に対しては硬くなるという性質をもつことが知られている。感度と耐衝撃性を両立している指標として、衝撃時の最大ひずみを静的荷重におけるひずみで割った値を用いた。実験により、ダイラタント流体を用いたセンサは指標を2.3倍から16倍の範囲で向上することを示した。

研究成果の概要（英文）：To realize high-sensitive and shock-resistant tactile sensor, the sensing element was surrounded by dilatant fluid, which is soft against a static force and hard against an impact force. The applied static force was concentrated to the sensor, whereas the impact force was dispersed to the substrate. the shock-resistant nature was defined as the value obtained by dividing the maximum strain at the impact force by the strain at the static load. It has been experimentally shown that the shock-resistant nature of the sensor with dilatant fluid package was 2.3 to 16 times as large as that without the fluid.

研究分野：MEMS

キーワード：知能機械 マイクロ・ナノデバイス

### 1. 研究開始当初の背景

実世界において物理的な仕事をおこなうロボットにとって、周囲の物体に触れたときの感覚である触覚は重要である。触覚センサは、ロボットがハンドで対象物を壊さないように扱うような場面では高感度であることが求められる。一方で、ロボットが日常空間で活躍することを考えると、不用意に衝撃力がかかる場面も想定され、そのようなときにも触覚センサ自体が壊れないことが求められる。すなわち、ロボットの触覚センサには高感度であることと、耐衝撃性があることが求められる。

触覚センサは一般的に、物体と接触したときに受けた力をセンシング部のひずみに変換する部分と、与えられたひずみを電気信号に変換する部分からなる。前者はシリコンゴムなどの弾性体で構成され、その硬さによって触覚センサの感度を変えることができる。弾性体が柔らかければ、センシング部により大きなひずみがかかるため高感度であるが、瞬間的に大きな力が働くような衝撃がかかるとセンシング部の許容ひずみを超えて壊れてしまう。反対に、弾性体が硬ければ、大きな力が加わっても壊れないが、感度が低下してしまう。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、感度を損なうことなく衝撃への耐性をもたせた触覚センサの構成法を示すことである。

本研究では、感度と耐衝撃性を両立するための方法として、センサの周りをダイラタント流体で覆う構成を提案する。ダイラタント流体は静的な力に対しては流動性があるため柔らかく、撃力に対しては硬くなるという性質をもつことが知られている。触覚センサの周囲を覆うパッケージにダイラタント流体を応用した例はない。

硬さを調整できる材料として磁性流体(MR流体)や電気粘性流体(ER流体)などを利用することも考えられる。それらの材料に対するダイラタント流体の利点として、外力の周波数領域に応じて自動的に硬さに変化する点が挙げられる。すなわち、硬さを変えるときに外部からのエネルギーを必要としない。

### 3. 研究の方法

#### (1) 感度と耐衝撃性を両立する方法の提案

ダイラタント流体は、静的な応力に対しては流動性があるが、圧力やせん断応力が加わると固体のようにふるまうことで知られる。このダイラタント流体を触覚センサのパッケージとして用いたときの働きの概要を図1に示す。

図1(a)に示すように、触覚センサに対して静的な荷重がかかった状況を考える。ダイラタント流体には流動性があるため、ダイラタント流体は荷重を受けることがなく、センシング部に応力が集中する。このとき、センシ

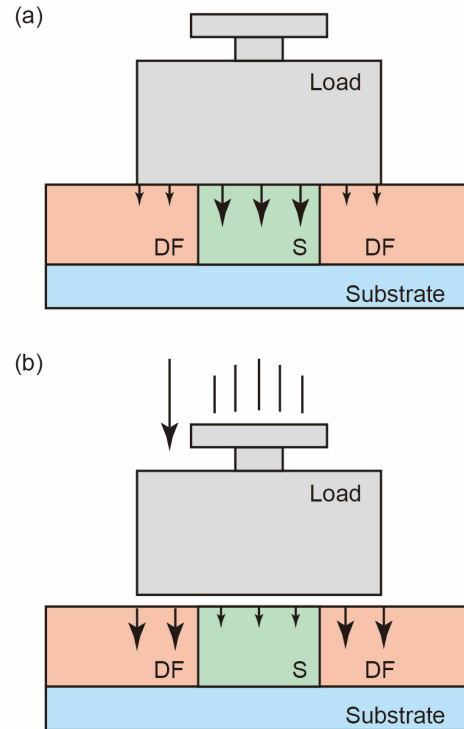


図1 静的荷重に対する感度が高く衝撃力への耐性が高い触覚センサの概要。S：弾性体に埋められたセンシング部，DF：ダイラタント流体。

ング部の比較的小さな面積で荷重を受けることになるため、センシング部の受ける応力は大きくなる。すなわち触覚センサは高感度である。

一方で、図1(b)に示すように、この触覚センサに衝撃力が加わった状況を考える。ダイラタント流体が衝撃力によって固体のように硬くなる。このときダイラタント流体が荷重の一部を受けることになり、センシング部にかかることなく基板に逃げる。すなわち、このときセンシング部分には過度な衝撃力が加わらないため、触覚センサの耐衝撃性が高いといえる。

#### (2) センサの構造と試作

実験のために試作したセンサの構造を図2に示す。厚さ3.0mmの亚克力板に6mm×10mmの長方形の穴を開け、そこにシリコンゴムを流し込み、亚克力板とゴムの境界にひずみゲージを貼り付けて固定した。その上に厚さ1.5mmで6mm×10mmの直方体形状のシリコンゴムを乗せ、さらに厚さ0.25mmで10mm×10mmのシリコン板を乗せた。これが触覚センサのセンシング部の基本構造である(図2(b))。この構造を直径75mmのプラスチックシャーレの中に入れ、周りにダイラタント流体を流しこんだ。

本研究で使用したダイラタント流体は、片栗粉と水を質量比で1対1程度に混合したも

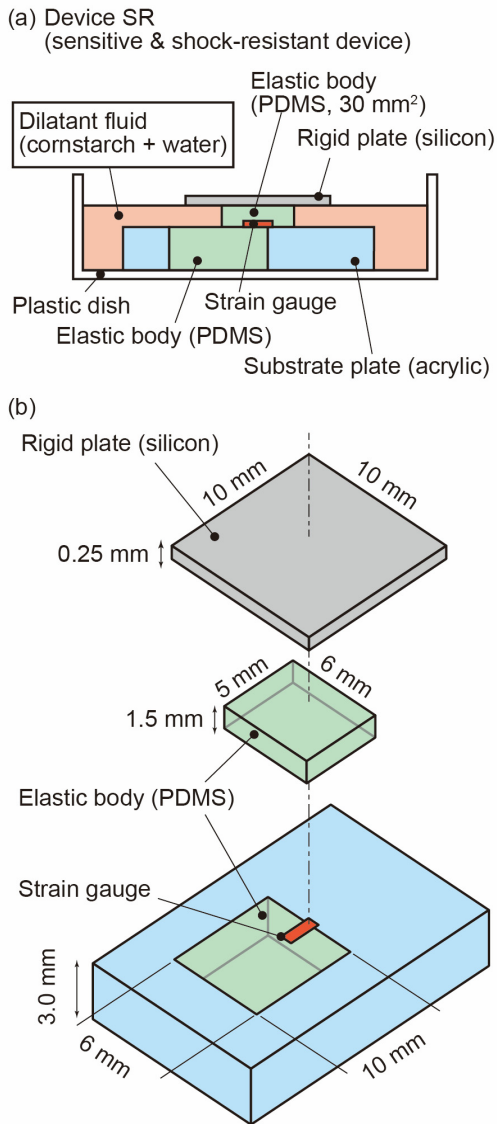


図 2 感度と耐衝撃性を両立する触覚センサパッケージの概要. (a) 断面図および(b) 斜視図.

のである。使用した片栗粉および調整したダイラタント流体の表面を観察したところ、片栗粉は直径が 10 から 50  $\mu\text{m}$  程度の丸い形状をしていた。ダイラタント流体の特性はこの粒子と水の混合比で大きく変化する。水を少し多めに入れて均一に混ぜあわせた後に余分な水を除去する方法が特性を調整しやすい。

図 2(b)に示す触覚センサの基本構造の周りを囲む材料として、ダイラタント流体、シリコーンゴム、空気の三種類を試作した。1つめのダイラタント流体で囲む構造は本研究で提案するセンサ構造そのものであり、これをデバイス SR とする。(図 2(a)). 2つめのシリコーンゴムで囲む構成は、センシング部を覆う弾性体の面積が大きいことを意味する。このとき、静的な荷重でも衝撃力でもセンシング部にかかる応力が小さくなるため、比較的感度が低く耐衝撃性のあるセンサになると考

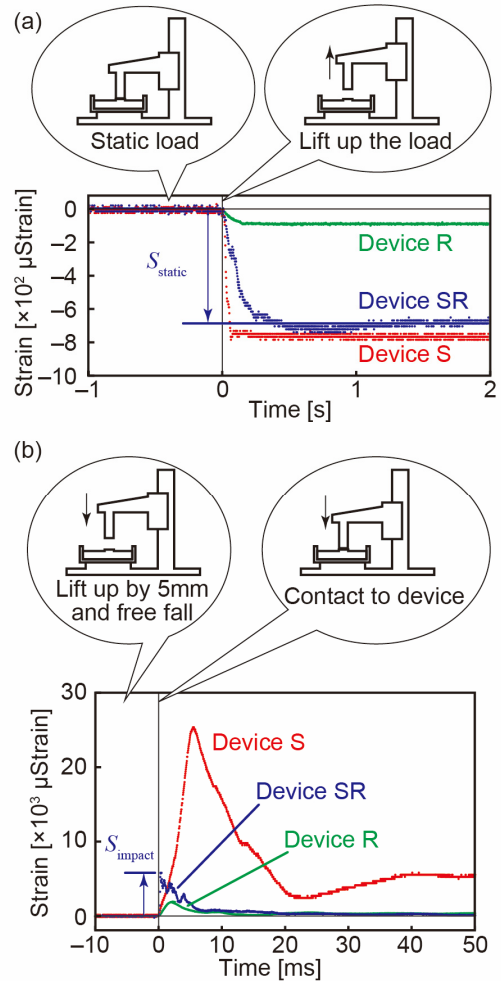


図 3 実験の結果. (a) 静的荷重印加実験の結果. (b) 衝撃力印加実験の結果.

えられる。これをデバイス R とする。3つめの空気で囲むとは、センシング部の弾性体の面積が小さいことを意味する。このとき、静的な荷重でも衝撃力でもセンシング部にかかる応力が大きくなるため、比較的感度が高く耐衝撃性のないセンサになると考えられる。これをデバイス S とする。

### (3) 実験の結果と考察

試作したデバイスについて、静的な荷重をかける実験と衝撃力がかかる実験を行った。どちらの実験でも質量 0.5 kg のおもりを使用し、光学部品のガイドレールを用いておもりを垂直に落下させた。おもりがデバイスと接触する部分は直径 10 mm の円形とした。

デバイスに静的な荷重を印加しておき、ある時刻において除荷したときの応答を図 3(a) に示す。ダイラタント流体で囲んだデバイス SR の感度は、空気で囲んだデバイス S の感度の 91% であり、感度の低下は小さかった。一方で、シリコーンゴムで囲んだデバイス R の感度はデバイス S の 12% であり、シリコーンゴムの面積が大きくなると感度が低下するこ

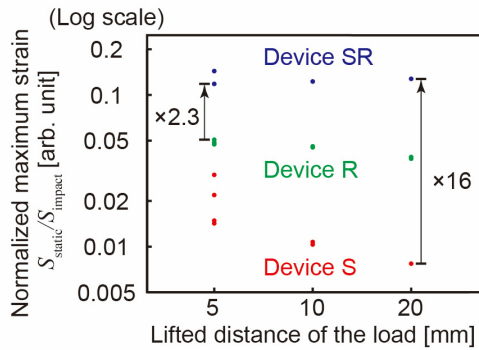


図4 パッケージによる性能の向上. 性能の指標として, 高感度と耐衝撃性の指標として静的荷重時のひずみを衝撃荷重時のひずみで割ったもの.

とが示された. 静的荷重に対する感度は, デバイス S, デバイス SR, デバイス R の順に高かった. これは予想通りの結果である.

おもりを高さ 5, 10, 15 mm から落下させ, デバイスに衝撃力が加わったときのひずみの変化を計測した. 高さ 5 mm からおもりを落としたときの応答を図 3(b) に示す. ダイラタント流体で囲んだデバイス SR の最大ひずみは, 空気中で囲んだデバイス触覚センサの 23% であり, 衝撃力を低減できた. 衝撃力に対してひずみが小さかった順に並べると, デバイス R, デバイス SR, デバイス S の順であった. すなわちこの順に, 耐衝撃性が高いものと考えられる.

実験においても示されたように, 衝撃に対するひずみを小さくしたいときには, デバイス R のようにセンシング部にかかる応力を小さくすればよいが, 静的な荷重に対しても応力が小さくなるため, 感度が低下してしまう, すなわち, 高感度と耐衝撃性はトレードオフの関係にある. 感度と耐衝撃性を両立している指標として, 衝撃時の最大ひずみを静的荷重におけるひずみで割った値を提案する (図 4). 静的荷重に対する感度が大きいほど分子が大きくなり, また衝撃に対する耐性が高いほど分母が小さくなるため, この指標の値が大きいほど, 感度と耐衝撃性を両立しているといえる. グラフに示されているように, ダイラタント流体を用いたデバイス SR は, 他の 2 つのデバイスに比べて指標を 2.3–16 倍にすることができた.

#### 4. 研究成果

感度と耐衝撃性を両立する触覚センサの構造として, センシング部をダイラタント流体で覆った構造を提案した. また, 感度と耐衝撃性を両立している指標として, 衝撃時の最大ひずみを静的荷重におけるひずみで割った値を提案した. 実験により, ダイラタント流体を用いたセンサは指標を 2.3–16 倍になることを示した.

#### 5. 主な発表論文等 〔学会発表〕(計 3 件)

- [1] Nobuhiko Matsuda, Nguyen Minh-Dung, Tomoyuki Takahata, Kiyoshi Matsumoto, and Isao Shimoyama, “CFRP monitoring method with piezoresistive beams,” *The 29th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2016)*, Shanghai (China), 24–28 January, pp. 131–132, 2016. DOI: 10.1109/MEMSYS.2016.7421575
- [2] 高畑智之, 松本潔, 下山勲, “衝撃により硬くなるパッケージを用いた感度と耐衝撃性を両立した触覚センサ,” 第32回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市), 28–30 October, 2015.
- [3] Tomoyuki Takahata, Kiyoshi Matsumoto, and Isao Shimoyama, “Impact-induced hardening package for tactile sensors using dilatant fluid,” *The 28th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2015)*, Estoril (Portugal), 18–22 January, pp. 421–422, 2015. DOI: 10.1109/MEMSYS.2015.7050979

〔その他〕

<http://www.leopard.t.u-tokyo.ac.jp/research/takahata/takahata4.html>

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

高畑 智之 (Tomoyuki TAKAHATA)  
東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師  
研究者番号: 80529652

##### (2)研究分担者

なし.

##### (3)連携研究者

なし.

##### (4)研究協力者

なし.