

## 【助成 38 -14】

### ばね形状の 3 次元流路を用いた伸縮デバイスの開発

研究者 東京大学大学院工学系研究科 特任研究員 奥谷 智裕

#### 〔研究の概要〕

ばね構造は構造的に伸縮し、復元力があるため、伸縮性や耐久性を有する電子デバイス応用が期待される。本研究では、柔らかい材料を用いた自己保持型のばね構造を設計し、ヒステリシスの小さい柔らかいばね型電子デバイスを開発した。ばね型電子デバイスは、液体金属を流路内に充填した芯と、3D プリントされたエラストマー製の鞘からなる芯鞘構造で構成される。ばね型導体は 655%のひずみでは約 10.1%の抵抗増加であった。さらに、ばねのコイル構造によって誘起されるインダクタンスは、200%以下の伸張領域で減少した。200%の伸縮を 1000 回繰り返しても電気特性の変化が少なく、高い耐久性を示した。柔らかい材料で構成されたばね型電子デバイスは、ソフトロボット用の高耐久性かつ伸縮可能なセンサに貢献することが期待できる。

#### 〔研究経過および成果〕

まず、ばね型電子デバイスを実現する前に、エラストマーライク材料(ヤング率:  $3.09 \pm 0.16$  MPa)でのばね構造の実現性を調べた。ばね構造を決めるパラメータであるコイル直径  $D$ 、配線直径  $d$ 、ピッチ幅  $p$ 、巻き数  $N$  に対し、ピッチ幅  $p$  は配線直径  $d$  よりも 0.75 mm 高い値で設定し、配線直径  $d$  を 4 mm、巻き数  $N$  を 8 と固定し、コイル直径  $D$  を変化させて、エラストマーライクのばねを光造形型 3D プリンタで作製した。 $D/d$  の値が大きくなると自重による変形の影響が大きくなり、ばね構造を維持するのが難しかった(図 1)。

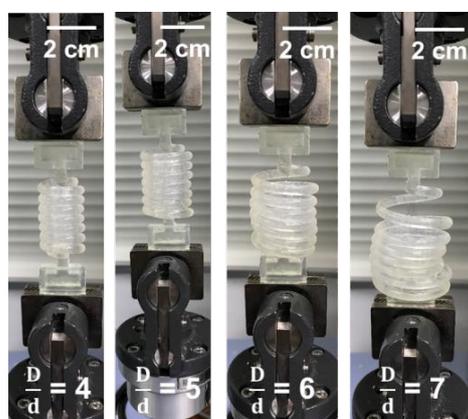


図 1 自重によるばねの変形

$D/d$  が小さいとき、エラストマー材料でもばね構造を自重変形の影響を小さくしつつ、作製できることがわかった。そこで、 $D/d$  を 3 ( $D = 12$  mm,  $d = 4$  mm) と設定し、ばね型電子デバイスを作製した。内部に直径 1.8 mm の流路を設計したばねを、3D プリンタで造形し、その後内部の流路に液体金属 (EGaIn) を封じ込めた。LCR メータを用いて、伸長に対する電気特性の変化を調べた。ここでは、巻き数が 16 のときのばねデバイスを 655%伸長させた(図 2(a))。図 2(b)に、伸長に対する 1 MHz での電気抵抗値の変化を示す。抵抗値は、伸長 655%(50 cm) で約 10.1%増加した。

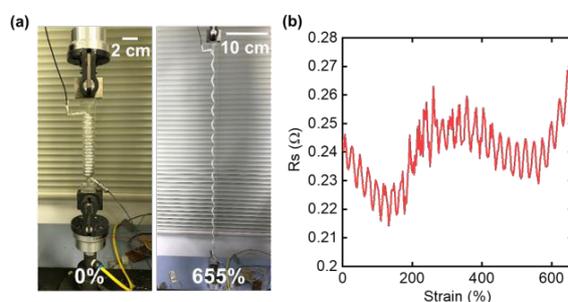


図 2 ばねデバイスの伸長 (a)伸長時の写真

(b)伸長における電気抵抗変化

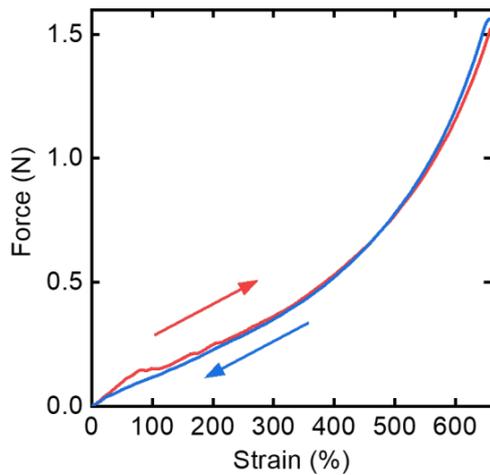


図 3 ばねデバイスの伸縮における機械特性

また図 3 に示されるように、ばねデバイスは 1.55 N の力で 655%の伸長が可能な柔らかさを有しつつ、ばねの構造変化による伸縮はヒステリシスの小さい機械特性を示した。この結果は、ヒステリシスの小さい電気特性にも貢献した。

さらに、ばねのコイル構造はインダクタンスを生じさせる。伸長による構造が変化することで、このインダクタンスの値が変化する。そこで、インダクタンス型ひずみセンサを実装した。200%の伸縮を 1000 回繰り返したところ、繰り返し伸縮において、特に 150%以下の領域の伸縮におけるインダクタンス特性に影響は見られなかった(図 4)。この結果は、ばね型センサが高い繰り返し耐久性を有していることを表している。

[発表論文]

1. **Chihiro Okutani**, Tomoyuki Yokota, Hiroki Miyazako, Takao Someya, “Three-dimensional printed spring-type electronics with liquid metals for highly stretchable conductors and inductive strain/pressure sensors,” *Advanced Materials Technologies*, accepted.
2. [Oral] ○**Chihiro Okutani**, Takao Someya,

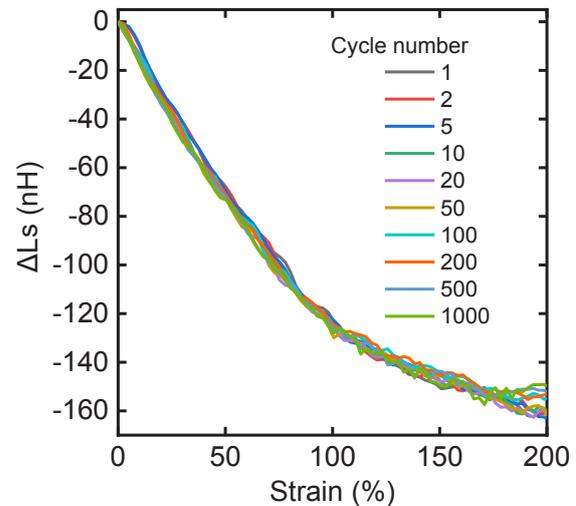


図 4 ばねデバイスの 200%繰り返し伸縮におけるインダクタンス変化

Tomoyuki Yokota, “Highly reliable spring-type strain/pressure sensor with inductance change,” 第 3 回フレキシブル・ストレッチャブルエレクトロニクス若手研究者の会, 5E, Online, 2021.12.28.

3. [Poster] ○**奥谷智裕**, 宮廻裕樹, 横田知之, “ソフトロボティクス応用に向けたエラストマーばねの構造安定性と引張変形の解析”, COMSOL Simulations WEEK 2021 Tokyo, Online, 2021.12.3-10.
4. [Oral] ○**Chihiro Okutani**, Tomoyuki Yokota, “Ultrastretchable and Durable Conductive Wiring with Liquid Metal Injected in 3D-Printed Spring-type Channel,” The 11th International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE2021), 2Rm401-08-03, Online, 2021.9.28.
5. [Poster] ○**奥谷智裕**, 神保泰俊, 横田知之, “光造形式 3D プリンタを用いたマイクロ流路作製技術”, 第 33 回東京大学工学部・工学系研究科技術発表会, Online, 2021.3.12.