

新構造のテキスタイル型圧力センサを開発
一糸のみを用いて1回で編みあげることが可能な5層構造の圧力センサー

1. 発表者：

Yu Annie (京都工芸繊維大学 繊維学系 助教)
石井佑弥 (京都工芸繊維大学 繊維学系 准教授)

2. 発表のポイント：

- ◆ 導電性糸と絶縁性糸の糸のみを用いて1回で編みあげることが可能な5層構造のテキスタイル型圧力センサを新たに開発した。全体が糸だけで出来ているため、肌触りが良い。
- ◆ 編んだ後に追加のラミネートや化学コーティングを必要としないため、洗濯時の剥離や薬液の流出の心配がない。
- ◆ 開発した圧力センサの表面は絶縁性の綿糸層からなるため、人体に直接接触させることが可能である。
- ◆ 開発したテキスタイル型圧力センサは、ウェアラブルエレクトロニクス分野や Internet of Things (IoT) 分野への応用展開が期待される。

3. 発表概要：

京都工芸繊維大学繊維学系の Yu Annie 助教と石井佑弥准教授らは、導電性糸と絶縁性糸の糸のみを用いて1回で編みあげることが可能な5層構造のテキスタイル型圧力センサを新たに開発しました。当該センサは、全体が糸のみでできているため、手触りがよく、また簡単にカットしたり衣服などの繊維製品に縫い付けたりすることが可能です。開発したセンサは、健康やスポーツをサポートする衣料として、ウェアラブルエレクトロニクス分野やモノのインターネット (IoT) 分野への応用展開が期待されます。

また、中間層であるスペーサー層に使用する糸を変えることで、当該センサの圧縮剛性を大きく変化させることができます。この特性を利用して、センサの感度や圧力検出範囲をカスタマイズすることが可能です。

開発したテキスタイル型圧力センサは、編み機を使って1回で編みあげることが可能です。また、これまでに報告されてきたテキスタイル型圧力センサの多くで用いられてきた、ラミネート加工やコーティングなどの後処理も必要ありません。このため、加工時間や手順の短縮、製造に要するエネルギーの削減が期待されます。

4. 発表内容：

研究の背景

近年、Internet of Things (IoT) 分野は急速に発展・拡大し、動作情報センシングや生体情報センシングなどを可能にするウェアラブルセンサにも高い注目が集まっています。また、ヒトや動物などのやわらかい生体向けのウェアラブルセンサとして、ソフトでフレキシブルなテキスタイルセンサへの注目も高まっています。これまでに、テキスタイルを用いたひずみセンサや温度センサ、電磁波センサ、圧力センサなどが活発に研究されていますが、製造方法が複雑という課題がありました。例えば、機能性物質の塗布やプリンティングを何層にも重ねる研究報告が多数ありますが、製造工程が複雑になり、また繰り返し使用したり洗濯によって、剥離が生じる課題があります。また、テキスタイル型センサの表面に導電性の糸や導電性のコーティング層が使用されているものが多数報告されていますが、この導電部分に人体が触れると人体由来のノイズがのってしまい、信号検出に影響を与える課題があります。このような場合には、表面を絶縁性の布などで覆う追加構造が必要になります。

京都工芸繊維大学の Yu Annie 助教は、機能性テキスタイルの研究開発に取り組んでおり、特に編み構造の設計やスペーサーファブリック（注1）の研究に取り組んでいました。また、京都工芸繊維大学の石井佑弥准教授は、スマートテキスタイルと機能性ポリマーナノ/マイクロファイバの研究に取り組んでいました。このような状況のなか、Yu 助教と石井准教授、京都工芸繊維大学の松井洋太さん（大学院工芸科学研究科博士前期課程先端ファイブロ科学専攻（所属は研究当時、令和4年3月修了））と外村一樹さん（大学院工芸科学研究科博士前期課程先端ファイブロ科学専攻）の研究チームは、スペーサーファブリックの構造を基盤として、新構造の静電容量方式のテキスタイル型圧力センサを新たに開発しました。

研究内容

本研究では、導電性糸と絶縁性糸の糸のみを用いて1回で編みあげることが可能なテキスタイル型圧力センサを新たに開発しました。当該圧力センサは、5層構造からなる静電容量方式の圧力センサであり（図1）、ダブルベッドの横編み機により1回で編みあげました。表面および裏面のそれぞれの2層は、編み機の表裏のベッドで編まれる2層の編み構造です。中間層であるスペーサー層のモノフィラメントは、表面および裏面のそれぞれの2層の編み物を接続し、スペースを形成します。従来のスペーサーファブリックは、表裏2層の絶縁糸層とスペーサー層の3層から構成されました。一方で開発した圧力センサでは、絶縁性の綿糸と導電性の銀メッキ糸を、綿糸が銀メッキ糸の前面に出るようにプレーティングすることで、表裏それぞれの最表面に絶縁性糸層が現れ、内側に導電性糸層が現れる5層構造を実現しました（図1）。この構造により、表面を触ったり押したりする場合には、綿糸の絶縁性糸層だけに触れることとなります。モノフィラメントからなるスペーサー層は、3次元構造を支え、上下の導電性糸層の間に空間を保持します。開発した圧力センサは、対向する2層の導電性糸層からなり、この間にスペーサー層を介することでコンデンサとみなすことが出来ます。このため、圧力印加に伴いスペーサー層の厚みが変わると、静電容量値も変化するため、静電容量方式の圧力センサとして機能します（図2）。実際に、周期的に圧力を印加したときの上下の導電糸層間の静電容量を測定したところ、印加圧力に応じて静電容量値が変化することが明らかになりました（図3）。

ここで、スペーサー層のモノフィラメントの直径などを変化させることで、開発した圧力センサの硬さや厚みも変化させることができ、静電容量値と印加圧力の関係も変化します。このため、適切なモノフィラメントヤーンを使用することで、当該圧力センサの感度や圧力検出範囲をカスタマイズすることが可能です。

5. 発表雑誌：

雑誌名： Mechanics of Advanced Materials and Structures

論文タイトル： Development of knitted capacitive pressure sensor with spacer fabric structure

著者： Annie YU, Yota MATSUI, Kazuki TONOMURA, Yuya ISHII

DOI 番号： 10.1080/15376494.2022.2103216

アブストラクト URL： <https://doi.org/10.1080/15376494.2022.2103216>

6. 用語解説：

(注1)スペーサーファブリック： ニット生地的一种で、2枚の表面層をパイル糸でつないだもの。クッション性に優れ、自動車用シートやリュックサック、布団、中敷きなどに使われている。

7. 添付資料：

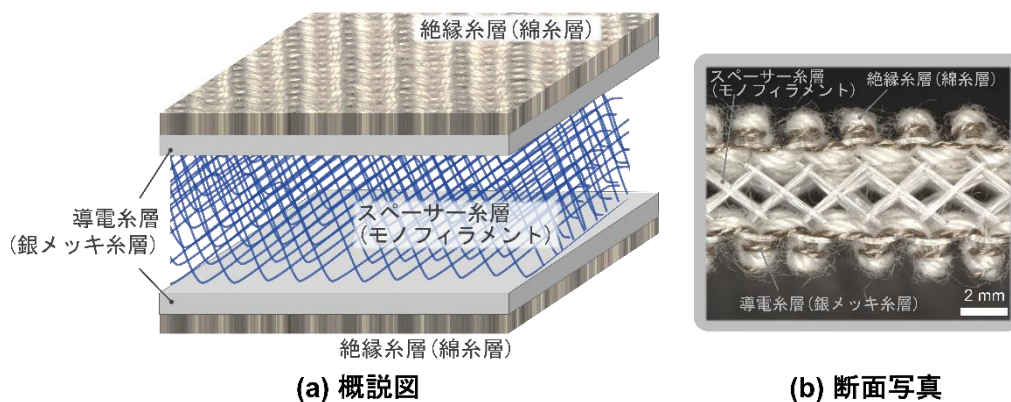


図1. 開発したテキスタイル型圧力センサの概説図と断面写真

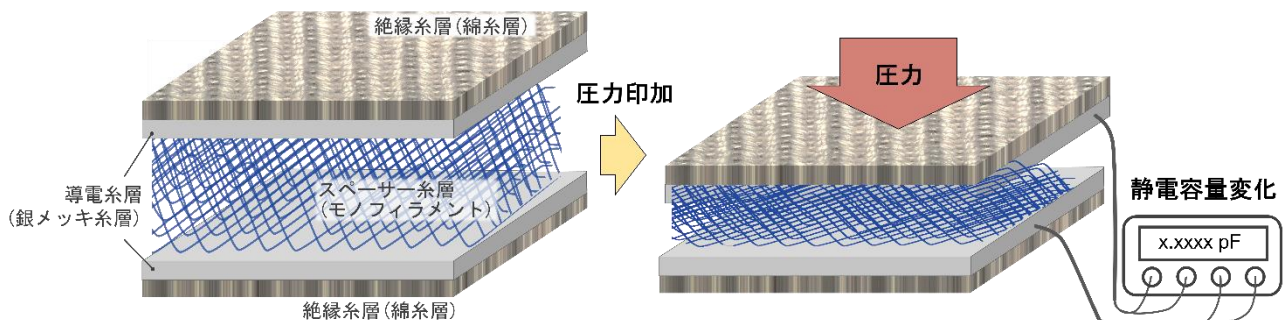


図2. 圧力センシングの原理の概説図：圧力印加に伴うスペーサー層の厚みの変化を静電容量変化として検出する

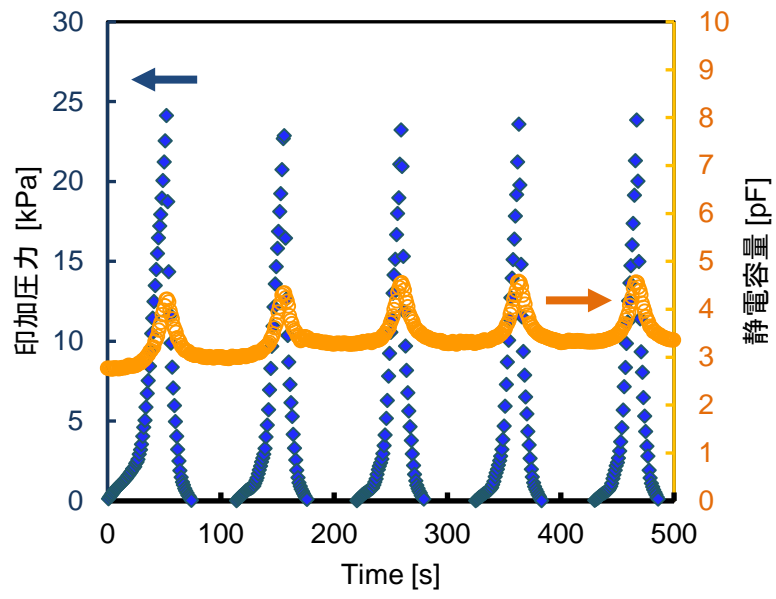


図 3. 開発したテキスタイル型圧力センサ周期的に圧力を 5 回印加したときの静電容量変化