

極薄のスキン圧力センサーで指がモノに触れたときの接触圧を計測
～敏感な指先に直接貼り付けても皮膚感覚に影響がないことを実証～

1. 発表者：

染谷 隆夫 (東京大学 大学院工学系研究科電気系工学専攻 研究科長／教授)
横田 知之 (東京大学 大学院工学系研究科電気系工学専攻 准教授)
李 成薫 (東京大学 大学院工学系研究科電気系工学専攻 講師)

2. 発表のポイント：

- ◆ 極薄のスキン圧力センサーを開発し、敏感な指先に直接貼り付けても皮膚感覚に影響を与えずに、指先がモノに触れたときの接触圧を測定することに成功した。
- ◆ スキン圧力センサーは4層のナノファイバーで構成され、厚さは1.2マイクロメートルと極薄であるが、こすっても壊れない優れた機械的な耐久性を実現した。
- ◆ 従来のゴム手袋タイプの圧力計測とは異なり、指先の感覚を損なわずに繊細な指先の接触圧を正確に計測できるため、今後、医師や職人の指技のデジタルアーカイブなどさまざまな応用が期待される。

3. 発表概要：

東京大学大学院工学系研究科の李成薫講師、横田知之准教授、染谷隆夫教授らを中心とした研究チームは、ミュンヘン工科大学のSae Franklin博士、David W. Franklin教授、Gordon Cheng教授らと共同で、皮膚に直接貼り付けて使用する極薄のスキン圧力センサーを開発しました。このスキン圧力センサーを指先に装着することで、皮膚感覚に影響を与えずに、指がモノに触れたときの接触圧を正確に計測することに成功しました。皮膚感覚への影響の評価試験は、18名の被験者に対して実施し、スキン圧力センサーを指に貼り付けた場合と貼り付けていない場合で、モノを持ち上げたり保持したりするときの力に差が出ないことを確かめました。指先にセンサーを貼り付けても皮膚感覚に影響がでないことを実証したのは世界初です。さらに、スキン圧力センサーは、こすっても壊れない優れた機械耐久性を実現しています。100キロパスカルの力でセンサーの表面を300回こすっても、壊れることなく圧力センサーとしての性能を維持することを確認しました。今後、医師や職人の指先に張り付けて接触圧を計測することによって、職人技のような指先の繊細な作業をデジタルアーカイブするなどさまざまな応用が期待されます。

本研究成果は、2020年11月20日(米国時間)に米国科学誌「Science」のオンライン版で公開されました。

4. 発表内容：

近年、ウェアラブルデバイスやI o T（モノのインターネット）などの発展に伴い、日常生活における人のさまざまな行動履歴、健康状態などを収集、解析することが可能になりつつあります。柔らかい電子素材を活用し、生体との親和性の高い電子デバイスを用いることで、デバイスを装着した際の装着感や人への負荷を減らすことができ、より自然な状態で高い精度の情報を取得することができます。特に、手袋型のセンサーを用いてさまざまな作業における腕や指の行動を正確に計測しデジタル化することは医療や介護、スポーツ、神経工学などの幅広い分野で利用されています。しかし、センサーを装着すると本来の皮膚感覚が損なわれてしまうため、物体を通して間接的に伝わる情報や状態を計測することが課題となっていました。実際に、指先の皮膚感覚は大変敏感であるため、わずか数マイクロメートルの高分子フィルムやゴムシートを指先に貼り付けるだけでも本来の感覚に影響を与えてしまいます。また、皮膚の感覚が損なわれないように、高分子フィルムやゴムシートの厚みをさらに薄くすると、センサーが簡単に壊れやすくなるため、耐久性を確保することも課題でした。特に指をこするような摩擦やせん断応力が発生する環境において電氣的な機能を維持することはさらに困難です。そのため、指に貼り付けた状態で皮膚感覚への影響をなくしつつ、圧力を計測できるセンサーはこれまでにありませんでした。

本研究グループは、指先に貼り付けても皮膚の感覚に影響を与えない極薄のスキン圧力センサーの開発に成功しました（図1）。開発したセンサーは、電界紡糸法（注1）にて形成される4つのナノメッシュ層（表面側から、保護層、上部電極、中間層、下部電極）を重ね合わせて作製されます（図2）。上部と下部の電極は、水溶性高分子（ポリビニルアルコール（注2））ナノファイバーに金の薄膜（100ナノメートル）を蒸着して形成されます。中間層は、ポリウレタンナノファイバー（注3）に高分子薄膜（200ナノメートル）をコートして強化しています。さらに、非常に薄い（2.5マイクロメートル）ポリウレタンナノファイバーに水溶性ナノファイバーを溶解して含浸させた保護層を用いることで、薄さと高い機械的耐久性を両立することに成功しました。

次に、スキン圧力センサーを指先に装着することで、指がモノに触れたときの接触圧力を計測しました。本来の皮膚感覚に影響を与えずに、高い感度（ 0.141 kPa^{-1} ）で計測することができます。18名の被験者に対して、感覚への影響の評価試験を実施しました。例えば、手袋などを装着し皮膚感覚が鈍くなると、指の力を正確に制御できなくなります。そのため、モノを持ち上げたり保持したりする際の把持力は、皮膚感覚が鈍くなるのに伴って大きくなります。この原理を利用して、極薄のスキン圧力センサーを指先に貼り付けた場合と貼り付けていない場合について、モノを持ち上げたり保持したりする際の把持力を比較しました。その結果、スキン圧力センサーを指先に貼り付けてもモノを把持する力は上昇せず、皮膚感覚を維持できることを確かめました。

さらに、センサーはこすっても壊れない優れた機械的耐久性を示します。センサーの表面を100キロパスカルの力で300回擦った前後で圧力センサーの性能を評価したところ、感度の低下を5%以下にまで低減されていることを確かめました。

今後、本来の皮膚感覚に影響を与えずに、指や腕の力の加え方を正確に計測できることを利用し、医師や職人などの繊細な指の圧力を計測することやスポーツ、医療、神経工学などの分野への応用が期待されます。

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）未来社会創造事業探索加速型（本格研究 ACCEL 型）（JPMJMI17F1）と日本学術振興会（JSPS）の科学研究費補助事業基盤研究(S)（17H06149）の支援を得て進められました。

5. 発表雑誌：

雑誌名：「Science」（11月20日、オンライン版）

論文タイトル：Nanomesh pressure sensor for monitoring finger manipulation without sensory interference.

著者：Sunghoon Lee, Sae Franklin, Faezeh Arab Hassani, Tomoyuki Yokota, Md Osman Goni Nayeem, Yan Wang, Raz Leib, Gordon Cheng, David W. Franklin, and Takao Someya*

6. 問い合わせ先：

<研究に関すること>

東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻
教授 染谷 隆夫（そめや たかお）
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

<報道担当>

東京大学 大学院工学系研究科 広報室
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

科学技術振興機構 広報課
〒102-8666 東京都千代田区四番町 5 番地 3

<JST 事業に関すること>

科学技術振興機構 戦略研究推進部
寺下 大地（てらした だいち）
〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K' s 五番町

7. 用語解説：

（注1）電界紡糸法（エレクトロスピンニング法）
溶解した材料から紡糸する手法。細く尖ったノズルに高電圧をかけて液状の材料を噴出させることによって、直径がナノメートル（10億分の1メートル）寸法のファイバーを作ることができる。

（注2）ポリビニルアルコール
医療用のカプセルにも用いられる生体適合性の高い水溶性高分子材料。

（注3）ポリウレタンナノファイバー
ゴムのような弾力を持つポリウレタンを電界紡糸法にてナノ寸法の繊維にしたもの。

8. 添付資料：

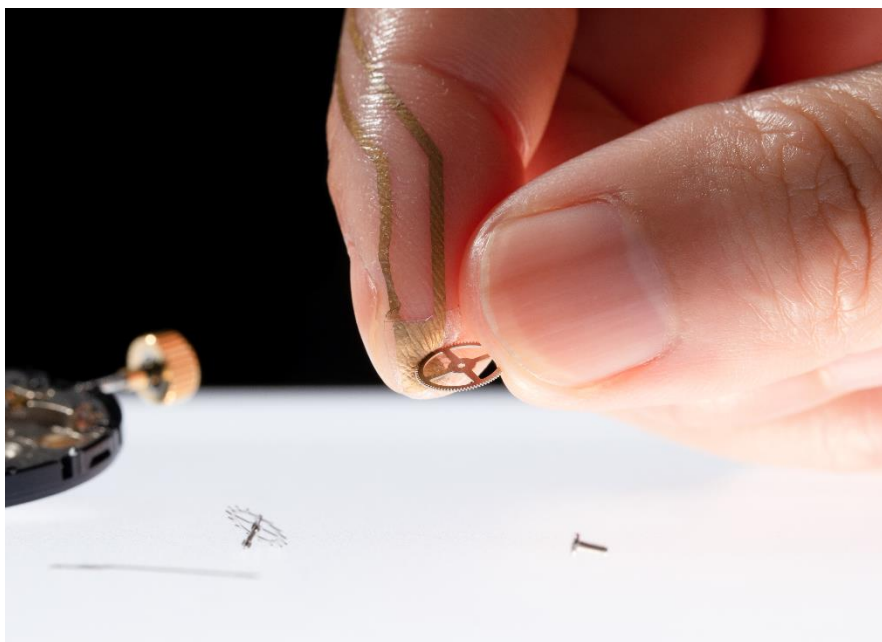


図1 指の先に貼り付けたナノメッシュ圧力センサー。

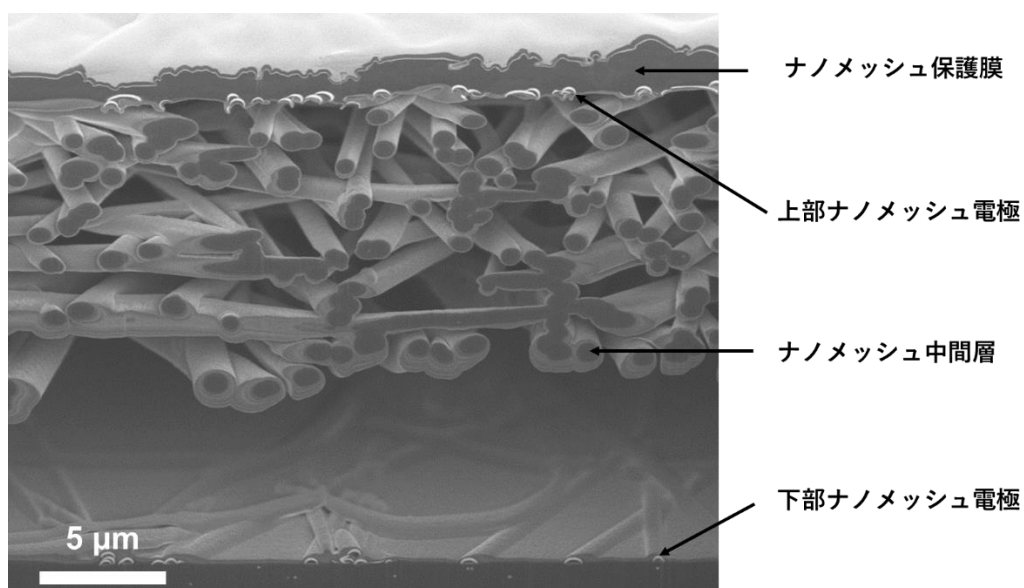


図2 ナノメッシュ圧力センサーの断面図。ナノメッシュ保護層と上部ナノメッシュ電極、ナノメッシュ中間層、下部ナノメッシュ電極から構成される。