

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14204

研究課題名（和文）人間の感覚に影響を与えずに動作可能な圧力センサーの開発

研究課題名（英文）Development of pressure sensors without sensory interferences

研究代表者

李 成薫（Lee, Sunghoon）

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・研究員

研究者番号：80873132

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、人間の感覚に影響を与えずに動作可能な圧力センサーの開発を目的とし、人間の本来の行動や動作を正確に計測する手法を確立するための研究を遂行した。具体的には、ナノサイズのメッシュ構造（ナノメッシュ）を利用する容量式圧力センサーを開発し、センサーを皮膚に貼り付けた状態で人間の皮膚感覚に及ぼす影響を除去することに成功した。本手法を用いることで、センサーを貼り付けた状態でも、本来の皮膚感覚を維持しながら外部と接触する際の圧力を計測することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

素材の厚みを薄くすると皮膚の感覚は伝わりやすくなる。一方で、素材を貫通する際に必要な力や素材が裂断する際の力は、素材の厚みに比例するため、薄い素材はより弱い力でも壊れやすい。またセンサーの表面をこすると薄い素材は削られてなくなってしまうため、薄さと摩擦耐久性はトレードオフの関係にある。本研究では、ポリウレタンナノファイバに水溶性ポリマのポリビニルアルコールを溶解・浸透させることで、皮膚感覚に影響を与えないほどの極薄性と摩擦耐久性を両立させることに成功し、皮膚貼り付け型センサにおける本質的な課題を克服することに成功した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we aimed to develop a pressure sensor that can be attached to the skin without sensory interference. We successfully established a fabrication method for skin-attachable sensors for accurately monitoring natural human behaviors and movements. Specifically, we developed a capacitive pressure sensor utilizing a nanoscaled mesh structure (nanomesh pressure sensor). We quantitatively proved eliminating the impact on skin sensation although the sensor is directly attached to the skin. By utilizing this method, it is possible to acquire the tactile information during contact with external objects while maintaining the inherent skin sensation.

研究分野：電子デバイス

キーワード：スキンセンサ 圧力センサ 皮膚感覚

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、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実現するという需要が高まっている。柔らかい電子デバイスを用いることによりセンサを用いる際の装着感を減らすことができ、人間の様々な健康状態や行動を、より自然な状態で、正確に計測することが可能となりつつある。

人間の皮膚や筋肉、臓器など生体は柔らかく、常に動いているため、電子デバイスと生体との機械的な特性のミスマッチを減らすことで、生体に与える負荷を抑制し、より正確な計測が可能となる。たとえば、圧力センサを指先のように立体的な構造を持ちながら柔らかい対象に適用するためには、機械的な変形によって壊れることなく、また変形によって生じるストレスは感知せず、外部から印加される圧力のみを選択的に計測する必要がある。そのために、李らは曲がった状態でも性能の変化なく、計測可能な圧力センサを提案している。具体的には、厚み 1.4 ミクロンの非常に薄い高分子基板を用いることで、曲がった状態でセンサにかかる負荷を劇的に減らしながら、圧力を感知する材料としてカーボンナノチューブとグラフェンと高分子の複合体のナノファイバを積層することで、高い圧力感度と湾曲に対する機械的耐久性を確保することに成功している。また表情の変化など、顔の皮膚の細かな変化を計測するために、わずかな力でも自由に変形可能なセンサを開発した。ポリウレタンナノファイバをテンプレートとし、さらに非常に薄い高分子ゴム (PDMS) で補強したナノメッシュ歪センサを用いることで、顔の皮膚の細かな変化を妨げることなく、正確に計測可能なセンサの開発に成功している。

しかし、人間の本来の行動を正確に計測するためには、センサを貼り付けた際に人間の感覚に与える影響を考慮することが必要である。たとえば、指の感覚が鈍くなってくると、指を正確に制御できなくなるため、通常より大きい力で握るようになる。様々な研究グループがセンサの貼り付けた際の影響を減らすための研究を行っているが、センサを貼り付けた際に感覚に与える影響を除去するまでは至っていない。

### 2. 研究の目的

本研究ではセンサを貼り付けた状態でも本来の皮膚感覚を維持するセンサを開発し、センサによる影響のない本来の行動を計測する手法を確立することを目的とする。人間の皮膚に物体を貼り付けると、本来の皮膚感覚を失い、間接的に伝わる情報を得るようになる。貼り付けるものの厚みを薄くすると感覚への影響を減らすことができる。しかし、本来の感覚を維持できるセンサは報告されていない。本研究によってセンサ及び電子デバイスが人間の感覚に及ぼす影響を除去し、センサによって影響されていない本来の行動を初めて計測できるようになると期待される。

### 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、感覚に影響を与えないための素材と構造の選定、機械的耐久性の確保、感覚に及ぼす影響の定量的な評価という3つの項目に関する研究を遂行した。

### 4. 研究成果

#### **感覚に影響を与えない素材と構造：**

まず感覚に与える影響を最小化するために圧力センサの素材を選定した。具体的には、ナノメッシュ構造の超薄型圧力センサの作製手法を確立した。圧力を感知するために、下部電極、中間層、上部電極の3層構造を採択した。電極として、エレクトロスピニング法で形成する水溶性高分子ナノファイバに熱蒸着した薄膜金を利用した。中間層として、柔らかさと垂直方向の加圧に対する機械的強度を確保するために、ゴム素材のナノファイバを薄い高分子(パリレン)で強化した。作製した圧力センサは容量型圧力センサとして世界最高水準の感度 ( $0.14 \text{ kPa}^{-1}$ ) を有し、また1000回加圧後の感度変化0.2%以下を示し、優れた電気特性と機械特性を実現した。

#### **せん断応力・摩擦に対する機械的強度確保：**

皮膚に直接貼り付けて使用する場合は、垂直方向の加圧に対する機械的耐久性に加え、横方向のせん断応力やこすりに対する摩擦機械的耐久も重要である。外部からの衝撃を吸収できる構造として、ゴム素材のナノファイバシートを利用した。さらに、わずか1.4マイクロメートルのポリウレタンナノファイバを感圧部の上に載せた状態で、水溶性ナノファイバを溶解して含浸させることで、全体の薄さと超高耐久性を実現することに成功した。作製したセンサの表面を4ミリメートル直径のポリウレタンボールを50gで加圧した状態で表面を直接こすっても電極の導電性を維持することを確認し、300回こすった後の感度変化は5%以下であることを確かめた。

#### **皮膚感覚の定量的な評価：**

感覚への影響を定量的に評価するために、センサや高分子フィルムを皮膚に貼り付けた際の把

持力を評価した。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る。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る。この原理を利用して、モノを持ち上げたり保持したりする際の把持力を比較することで、圧力センサを指に貼り付けることによる皮膚感覚への影響を定量的に評価することに成功した。実際、わずか2マイクロメートルの高分子フィルムを指に貼り付けるだけで把持力が14%上昇することを発見した。一方で、開発した圧力センサ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実証することに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Sunghoon Lee, Tomoyuki Yokota, and Takao Someya
2. 発表標題 A nanomesh pressure sensor for monitoring finger manipulation while avoiding interference with human sensations
3. 学会等名 2022 Materials Research Society Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 李成薫, フランクリンさえ, 横田知之, レイブラズ, チエン ゴードン, フランクリンデビット, 染谷隆夫
2. 発表標題 皮膚感覚に影響を与えない皮膚貼り付け型圧力センサ
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sunghoon Lee
2. 発表標題 A skin-attachable nanomesh sensor without sensory interference
3. 学会等名 2022 International Conference on Flexible and Printed Electronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sunghoon Lee, Tomoyuki Yokota, and Takao Someya
2. 発表標題 Skin-Attachable Nanomesh Sensor without Sensory Interference
3. 学会等名 The 22th International Union of Materials Research Societies International Conference in Asia (IUMRS-ICA) (2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------