

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12946

研究課題名(和文) 薄くてしなやかな触覚センサの飛躍的高空間分解能化とタッチパネルの高機能化

研究課題名(英文) ENHANCEMENT OF SPATIAL RESOLUTION OF THIN AND FLEXIBLE TACTILE SENSOR AND HIGH FUNCTIONALIZATION OF TOUCH PANEL

研究代表者

笹川 和彦 (SASAGAWA, Kazuhiko)

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号：50250676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：薄くてしなやかな触覚分布センサは、ヒトの指や手掌に接着すれば、ヒトの代替感覚器官となるのはもとより、各種装置に設置すれば高度な入力インターフェースとなることから、その実現が期待されている。特に透明なセンサができれば、タッチパネルにおいて直観的で高度な操作が可能となる。そこで本研究課題では、1枚の感受材シートに測定部をマトリックス状に配置することにより、せん断応力と接触圧力の同時センシング機構を高集積化できる新たな測定原理を確立し、測定システムを実現した。さらに透明性導電体材料を用いることにより、タッチパネルへの実装を想定した触覚分布センシングデバイスの開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：Realization of thin and flexible distribution tactile sensor is expected because it can be not only alternative organ for human's tactile sensing but also high functional input interface of machines and various devices. Especially transparent distribution tactile sensor can realize intuitive operation in a touch panel. In this study, a novel sensing principle of distributions of contact pressure and shear stresses for thin and flexible sensor was designed and realized by arranging sensing elements on sensing material film in matrix. And a distribution tactile sensing device for touch panel was successively developed by using transparent conductive materials.

研究分野：材料システム評価学

キーワード：ヒューマンインターフェース 触覚センサー タッチパネル

1. 研究開始当初の背景

薄くてしなやかな触覚分布センサの要求が高まっている。ヒトの指や手掌に接着すれば、ヒトの代替感覚器官となるのはもとより、各種装置に設置すれば高度な入力インターフェースとなる。特に透明なセンサができれば、タッチパネルにおいて高度な操作が可能となる。

これまで、感圧導電ゴムなどにより薄くてしなやかな圧力分布を測定するセンシングシステムの開発がなされている。一方、圧力とは垂直な応力成分であるせん断応力（ずり応力）のセンサについては、センシング原理の構造上、薄くてしなやかなセンサは長い間実現できていなかったが、最近導電性高分子材料を用いることにより、2方向せん断応力と垂直圧力の同時計測センサの開発に成功している。

しかしながら、高い空間分解能を有する分布計測センサは、計測原理の制約から微細化に限界があり、未だ実現されておらず、新たな根本的計測原理の導入が待たれている現状にあった。

2. 研究の目的

本研究課題は2年計画で、1枚の感受材シートに測定部をマトリックス状に配置することにより、せん断応力と接触圧力のセンシング機構を高集積化できる測定原理を確立し、高空間分解能のセンサを実現するとともに、透明導電体である酸化インジウムスズ (ITO) や導電性高分子材料を用いることにより、タッチパネルへの実装を想定した透明なセンシングデバイス開発を行う。

薄くてしなやかな触覚センサの飛躍的な高分解能化により、ヒトの代替触覚として、また高度なマン・マシン・インターフェースを実現できるだけでなく、透明導電材料の利用により、タッチパネルの高機能化が期待できる。

3. 研究の方法

本研究は2年継続で次の項目の研究を実施し、薄くてしなやかな触覚センサの高空間分解能化およびタッチパネルの高機能化なる目的の達成を図った。

- (1) 集積センサ構造の開発
- (2) 集積センサの測定システムの構築
- (3) 高集積センシングシステムの作製
- (4) 透明なセンシングシステムへの応用

(1) 集積センサ構造の開発

3方向応力を計測するために感受材シートの上下面に直交するように設置する櫛目状電極の形状パターンを設計した。1か所で圧力、x方向せん断、y方向せん断の各測定部を構成する必要があるため、上部電極(行)

の1本に3応力測定部×4測定か所の電極形状を接続したパターンを考案した。それに直交する下部電極(列)の1本には4つの同じ応力測定部を接続したパターンを考案した。これにより $4 \times 4 = 16$ 測定か所のマトリックス配置となる。各測定部が力学的、電氣的に干渉しないように適切な間隔を設けた。

銅張ポリイミドフィルムの銅箔層をフォトリソグラフィ技術でエッチングすることにより電極形成を行った。感受材には導電性高分子材料であるポリチオフェンを用いた。ポリイミドフィルム上に電極を形成した後、ポリチオフェン塗料をスピコートと熱処理により成膜した。これを上部用電極と下部用電極の各々で行い、上部電極と下部電極が直交するように貼り合わせた。

(2) 集積センサの測定システムの構築

上部櫛目電極の1本、下部櫛目電極の1本を各々選択し、電源供給、A/D変換を行う専用の測定回路を設計・製作した。上下電極はマトリックス状に配置されることから、選択されなかった電極を介しての廻り込み電流による寄生回路の形成が考えられる。そこで、この影響を排除することのできる測定用電子回路とした。

ブリッジ回路を用いずに、せん断応力測定部に含まれる圧力による電気特性変化を取り除き、せん断による影響のみを抽出する必要がある。これには、回路からの出力を収録した後にソフトウェア的にせん断応力のみによる電気特性変化を抽出することを試みた。導電性高分子材料は感圧導電ゴムとは異なり、作用圧力に対して導電性がほぼ線形的に変化することが知られている。この線形性を予め較正装置によって確認した後、回路出力から感受材料当該部の導電率を導出し、導電率と作用応力との関係を用いて作用応力を推定した。これらの演算をリアルタイムで実行するソフトウェアを開発した。

(3) 高集積センシングシステムの作製

1測定点の大きさが数百 μm の大きさのセンサを実現するために、半導体級のフォトリソグラフィ技術により微小な電極パターンの作製を試みた。ポリイミドフィルムを基板とし、その上に数百 nm 厚の金属薄膜を成膜してフォトリソグラフィ技術(リフトオフ法)により、測定電極からの信号を取り出すためのさらに細い数十 μm 幅のリード配線の作製を試みた。

(4) 透明なセンシングシステムへの応用

基板にはタッチパネルを想定してガラス板を、電極材料に酸化インジウムスズ(ITO)を用いた。さらに、感受材料には透明な導電性高分子材料であるポリチオフェンを用いた。作製したセンシングシステムの応力に対する感度の検証と光の透過性の検証を

行い、タッチパネルへの実用化に対する検討を行った。

4. 研究成果

(1) 集積センサ構造の開発

1 か所で3方向応力を計測可能なセンシング構造を縦4か所×横4か所の計16か所に配置した集積センサ構造の開発を行った。3方向応力を計測するために感受材シートの上下面に直交するように設置する櫛目状電極の形状パターンを設計した。上部電極(行)は1本に3応力測定部全体をカバーする電極形状を4測定か所分接続したパターンとし、それに直交する下部電極(列)は1本に4測定か所の同じ応力測定部を接続したパターンとした。これにより4本の櫛目行電極と12本の櫛目列電極による48測定部のマトリクス配置となる。測定点1か所の大きさは約5mm角とし、約80 μ mの厚さでフレキシブルな集積化センサの開発に成功した(図1)。

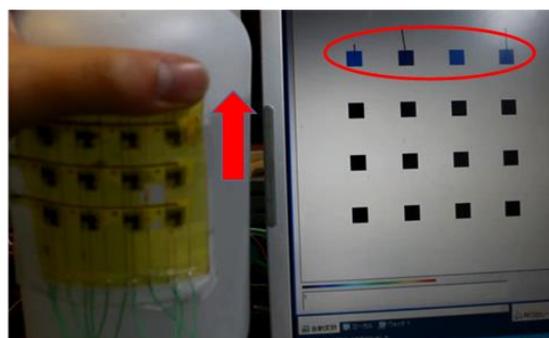


図1

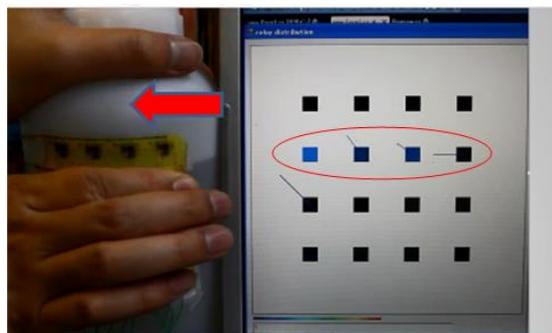
(2) 集積センサの測定システムの構築

上部櫛目電極の1本、下部櫛目電極の1本を各々選択し、電源供給、A/D変換を行う専用の測定回路を設計・製作した。選択されなかった電極を介しての廻り込み電流による寄生回路形成の影響を排除するために、反転増幅器を利用した測定回路とした。もし、感受材料に面内の導電性が厚さ方向の導電性よりも大きい電気的異方性を有する場合にもこの回路が有効となる。せん断応力測定部に含まれる圧力による電気抵抗変化の影響を取り除き、せん断応力のみによる変化を抽出するため、回路からの出力電圧を取得した後、せん断応力のみによる電気抵抗変化を抽出するソフトウェアを開発した。集積化センサを駆動する専用の測定用回路とソフトウェアを開発し、測定システムの構築を行った。

さらに測定システムを用いた較正実験を行い、計測対象範囲の応力を計測可能であることを確認した。以上により、集積センサシステムの測定原理を確立した(図2)。



(a) Lifting motion



(b) Twisting motion

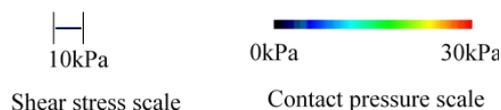


図2

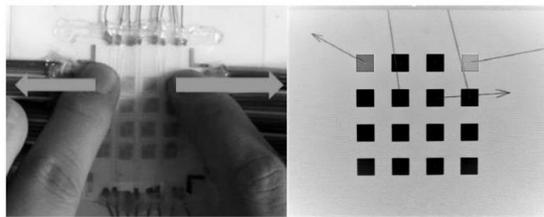
(3) 高集積センシングシステムの作製

1測定点の大きさが数百 μ mの大きさのセンサを実現するために、半導体級のフォトリソグラフィ技術により微小な電極パターンの作製を試みた。アルミの薄膜材料に対し、電極パターン微細化の鍵となるリード部の幅を10から20 μ mの大きさとした電極パターンの形成に成功した。

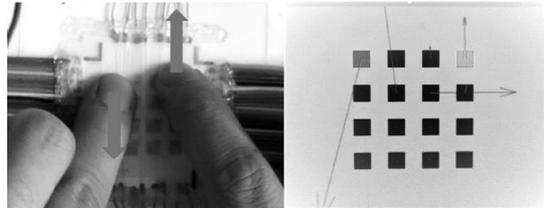
(4) 透明なセンシングシステムへの応用

電極にITO、基板にガラスとポリイミドを用いた測定点が4×4点の透明なタッチパネルセンサの作製に成功した(図3)。より透明なセンサを実現するため、従来より透明度の高い導電性高分子材料の応力-電気特性を明らかにし、触覚センサの感受材に実装して、実用に近いタッチパネルの作製に成功した(図4)。

薄くてしなやかな触覚分布センサは、ヒトの指や手掌に接着すれば、ヒトの代替感覚器官となるのはもとより、各種装置に設置すれば高度な入力インターフェースとなる。特に透明なセンサができれば、タッチパネルにおいて高度な操作が可能となる。しかしながら、三軸応力センシングの構造上、高空間分解能を有するセンサは実現できていなかった。本研究課題では、補助事業期間全体の成果として、1枚の感受材シートに測定部をマトリッ



(a) Stress in the right and left direction



(b) Stress in the up and down direction

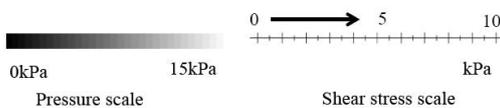


図 3

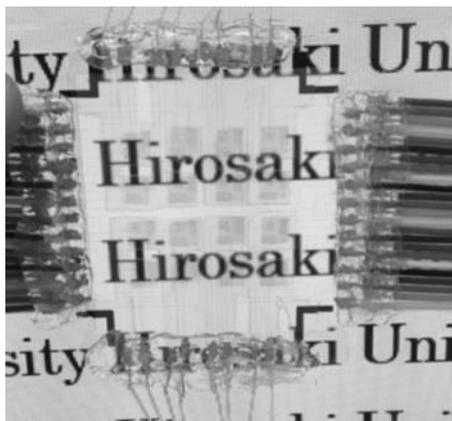


図 4

クス状に配置することにより、せん断応力と接触圧力のセンシング機構を高集積化できる新たな測定原理を確立するとともに、センサ、駆動回路、測定ソフトウェアを開発して、測定システムを実現した。さらに透明性導電体材料を用いることにより、タッチパネルへの実装を想定した触覚センシングデバイスの開発に成功した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① K. Sasagawa, J. Narita, Development of Thin and Flexible Contact Pressure Sensing System for High Spatial Resolution Measurements, Sensors and Actuators A, 査読有, Vol.263, 2017, pp. 610-613
- ② 其田 雅人, 笹川 和彦, 藤崎 和弘, 森脇 健

司, 萱場 広之, 採血手技の運動および力覚の計測, 臨床バイオメカニクス, 査読有, Vol. 38, 2017, pp. 393-398

- ③ T. Moriwaki, A. Saito, K. Sasagawa, K. Fujisaki, Development of Tube-type Pressure Distribution Sensor for Performance Evaluation of Endovascular Device, Proc. The 12th International Symposium in Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (ISEM), 査読有, 2017, pp. 1-4
- ④ R. Kasai, K. Sasagawa, K. Fujisaki, Development of Sensing System of Three-Axis Stress for Touch Panel Operation, Proceedings of International Conference on Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength 2016, 査読有, No. 16-204, 2016, pp. 309-310

[学会発表] (計 9 件)

- ① 五十嵐達也, 藤崎和弘, 笹川和彦, 森脇健司, 圧力センサアレイを用いた前腕部筋活動計測に基づく手指動作の推定, 日本機械学会東北学生会第 48 回学生員卒業研究発表講演会, 2018
- ② 森脇健司, 藤崎和弘, 笹川和彦, 血管内治療デバイス評価用チューブタイプ圧力分布センサの開発, 日本機械学会第 30 回バイオエンジニアリング講演会, 2018
- ③ 齊藤飛翔, 笹川和彦, 藤崎和弘, 森脇健司, 接触界面応力計測のための薄型 3 軸力覚センサの高感度化, 日本非破壊検査協会平成 29 年度東北支部講演会, 2017
- ④ K. Sasagawa, K. Fujisaki, Study on Damage of Carbon Nanotubes under Electronic Current, Nano Science & Technology 2017, 2017 (招待講演)
- ⑤ 齊藤飛翔, 森脇健司, 藤崎和弘, 笹川和彦, フィルム型三軸応力センサを用いたカテーテル手技の力覚計測, 第 44 回日本臨床バイオメカニクス学会, 2017
- ⑥ 齊藤飛翔, 笹川和彦, 藤崎和弘, 森脇健司, 生体内接触部の圧力・せん断応力計測用薄型センサの開発, 東北学生会第 47 回学生員卒業研究発表講演会, 2017
- ⑦ 笹川和彦, 其田雅人, 藤崎和弘, 森脇健司, 萱場広之, 薄型力覚センサを用いた熟練採血手技の評価システムの開発, 第 50 回日本生体医工学会東北支部大会, 2017
- ⑧ 森脇健司, 藤崎和弘, 笹川和彦, ステンター血管モデル間応力測定のためのフィルム型せん断応力センサの開発, 日本機械学会第 29 回バイオエンジニアリング講演会, 2017
- ⑨ R. Kasai, K. Sasagawa, K. Fujisaki, Development of Sensing System of Three-Axis Stress for Touch Panel Operation, The 16th International Conference on Biomedical Engineering, 2016

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

①名称：分布測定センサ、分布測定センサシステム、分布測定プログラムおよび記録媒体

発明者：笹川和彦

権利者：弘前大学

種類：特許

番号：PCT/JP2017/39936

出願年月日：2017年11月06日

国内外の別：国際出願

②名称：分布測定センサ、分布測定センサシステム、分布測定プログラムおよび記録媒体

発明者：笹川和彦

権利者：弘前大学

種類：特許

番号：特願 2016-216304

出願年月日：2016年11月04日

国内外の別：国内

[その他]

弘前大学理工学研究科 笹川・森脇研究室
公式Web ページに学術論文リスト掲載

<http://www.mech.hirosaki-u.ac.jp/~sasagawa/labhp/originalpapers.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹川 和彦 (SASAGAWA, Kazuhiko)

弘前大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50250676