

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05616

研究課題名(和文) 高導電性ソフト電極によるフレキシブル無電源マルチセンサの開発

研究課題名(英文) Development of flexible non-power multi-sensors using highly conductive soft electrodes

研究代表者

奥崎 秀典 (OKUZAKI, Hidenori)

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号：60273033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：さまざまな重合温度でPEDOT:PSSを酸化重合により合成した。重合温度の低下とともに電気伝導度は上昇し、0℃で最高1257 S/cmに達した。また、EMI-TFSIとTPUは高い相溶性を示し、透明かつ均質なイオンゲルが得られた。PEDOT:PSS/イオンゲルからなるフレキシブルセンサを作製したところ、屈曲変位と発生電圧、屈曲速度と発生電荷の間に強い相関が見られ、マルチセンサとして機能することがわかった。さらに、電圧発生メカニズムがピエゾイオン効果に基づくことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における高導電性ソフト電極によるフレキシブル無電源マルチセンサは、不揮発性かつイオン伝導性に優れたイオン液体を用いるため、優れた安定性と耐久性が期待できる。しかも、独自に合成した高導電性高分子をフレキシブル電極として用いる点に学術的・技術的意義がある。実際、従来のセンサは電極にCNTやグラフェン、CBを用いており、電気伝導度が低だけでなく電極が硬く変形しにくいといった課題があった。本研究において、センサ応答を直接電荷や電圧として出力できれば、無電源センサの実現が可能である。さらに、一つのセンサで複数の情報を同時に出力するマルチセンサは、センサ数の削減に貢献できるなど社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：PEDOT:PSS was synthesized by oxidative polymerization at different polymerization temperatures ( $T_p$ ). The electrical conductivity increased with decreasing the  $T_p$ , reaching a maximum of 1257 S/cm at  $T_p = 0^\circ\text{C}$ . In addition, EMI-TFSI and TPU showed high miscibility, and transparent and homogeneous ionic gels were obtained. A flexible sensor composed of PEDOT:PSS/ionic gel was fabricated, where strong correlations were observed between bending displacement and generated voltage, and between bending velocity and generated charge, indicative of a multifunctional sensor. Furthermore, we clarified that the mechanism of voltage generation was based on the piezoionic effect.

研究分野：高分子化学

キーワード：フレキシブルセンサ ソフト電極 導電性高分子 イオン液体 無電源 イオンゲル PEDOT:PSS

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、インターネットを通じてヒトとモノ、モノとモノが繋がるシステムである『モノのインターネット (Internet of Things: IoT)』が注目されている。例えば、心拍センサを用いたヘルスマニタリング (医療) 家電の使用状況などから高齢者たちを見守るスマートホームソリューション (介護) 身体機能を計測・アシストするリハビリテーション (福祉) などに関する研究が盛んに行われており、そのキーデバイスはフレキシブルセンサである。一般に、フレキシブルセンサは抵抗型と静電容量型に大別される。抵抗型センサは金属線やカーボンナノチューブ、グラフェンなどの導体を変形させた時の抵抗変化を計測する。Yan らはグラフェンとナノセルロースを混合することで伸縮ナノペーパーを作製し、相対抵抗 710%、伸縮率 100%を達成し、3 軸方向すべてにおいて伸縮、圧縮時抵抗変化を示すフレキシブルセンサの作製に成功している。また、染谷らはグラフェンとカーボンナノチューブの複合ナノファイバーを作製し、曲率 80  $\mu\text{m}$  まで折り曲げても測定感度を維持する薄くて軽量の多孔性の透明デバイスを実現している。このような抵抗型センサは構造が単純で作製も容易であるが、常に電流を流す必要があることから消費電力が大きいという欠点がある。一方、静電容量型センサはシリコンやポリウレタンなどの誘電体を変形させた時の容量変化を利用したセンサである。Nie らはポリエチレングリコールジアクリレートゲルと ITO 電極を組み合わせることで透明性、繰り返し特性に優れた高感度センサの開発に成功している。また、バンドー化学株式会社はエラストマーフィルムと伸縮性電極からなるストレッチセンサ (C-STRETCH) を開発・販売している。このような静電容量型センサは安価で軽量、フレキシブルで薄膜化も容易である。しかしながら、変位の方向を検出することが難しく、モーションセンサには不向きという欠点もある。これに対し、安積らはナフィオンやフレミオンなどに代表的されるイオン伝導性高分子の IPMC が、屈曲変形により 1 mV 程度の電圧を発生することを報告している。しかしながら、IPMC は膜内の対イオンが水和し、輸送されることで電圧を発生することから湿度、温度によってセンサ性能が大きく変化する。また、発生電圧も 1 mV 程度と低いことから、フレキシブルセンサに応用するにはさらなる高性能化・高感度化が不可欠であった。IoT 社会では『トリリオン (1 兆個) センサ時代』が到来すると考えられており、全てのセンサへの電力供給が深刻な問題となる。そこで、センサ応答を直接、電荷や電圧で出力できれば、無電源センサの実現が可能である。さらに、一つのセンサで複数の情報を同時に出力するマルチセンサは、センサ数の削減に貢献できる。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、(1)高導電性 PEDOT:PSS の合成、(2)新規イオンゲルの作製、(3)導電性高分子 / イオンゲルの複合化によるフレキシブル無電源マルチセンサの開発とメカニズム解明に焦点を絞る。具体的には、高い電気伝導度を有する PEDOT:PSS を作製するとともに導電機構を解明し、高導電化の指針を得る。また、様々なエラストマーとイオン液体からなるイオンゲルを作製し、イオン伝導度と力学特性に関するスクリーニングを行う。スクリーニングの結果をふまえ、フレキシブルセンサを作製し、速度および変位センサ特性を評価する。さらに、イオンゲルの組成や構造とセンサ特性の関係から、 piezoelectric 効果のメカニズムを分子レベルで解明する。

### 3. 研究の方法

#### (1)導電性高分子の合成

本研究では PEDOT:PSS を用い、二次構造である分子量に着目する。具体的には、重合条件を最適化することで、PEDOT の高分子量化を試みる。

#### (2)イオンゲルの作製

フレキシブルセンサの活性層には、様々なエラストマーとイオン液体からなるイオンゲルを用いる。本研究では様々なエラストマーとイオン液体のスクリーニングを行う。

#### (3)多機能型フレキシブル無電源センサの開発

多機能型フレキシブル無電源センサは、イオンゲルを導電性高分子電極で挟んだ三層構造からなる。センサ特性におけるイオン液体の濃度と分子構造の関係を詳細に調べることで、piezoelectric 効果のメカニズムを分子レベルで解明する。

### 4. 研究成果

#### (1)導電性高分子の合成

PEDOT:PSS をさまざまな重合温度 ( $T_p$ ) で酸化重合により合成した。得られた PEDOT の構造変化を検討するため、ラマンスペクトルを測定した。図 1 に示すように 1420  $\text{cm}^{-1}$  および 1520  $\text{cm}^{-1}$  にそれぞれチオフェン環の C=C 二重結合の対称および非対称伸縮、1370  $\text{cm}^{-1}$  にチオフェン環の C-C 単結合伸縮に対応するピークがみられ、PEDOT のベンゾイド構造に帰属される。一方、1260  $\text{cm}^{-1}$  のピークはエチレンジオキシ環の  $\text{CH}_2$  ねじれ振動に対応する。すなわち、1260  $\text{cm}^{-1}$  に対する 1420  $\text{cm}^{-1}$  のピーク強度比は分子末端のベンゾイド構造の割合を表し、重合度に関連する指

標となる。興味深いことに、ピーク強度比は重合温度の上昇とともに増加し、PEDOTの重合度は逆に低下することがわかった。また、結晶化度は重合温度の上昇とともに低下することがわかった。これは、重合度の増加とともにPEDOT間の相互作用が増し、よりスタッキングしやすくなったためと考えられる。さらに、導電性AFMを用いて電流像を測定した。ナノ結晶サイズは5 nm程度で、結晶子サイズとほぼ一致した。興味深いことに、ナノ結晶サイズは重合温度に依存せず、ナノ結晶数のみ重合温度の低下とともに単調に増加することがわかった。ここで、バルクの電気伝導度を支配しているのは、ナノ結晶間のキャリアホッピングであるため、ナノ結晶間距離が重要と考えられる。実際、ナノ結晶間距離の減少とともに電気伝導度が上昇し、 $T_p = 0$  で最高 1257 S/cm に達することが明らかになった。

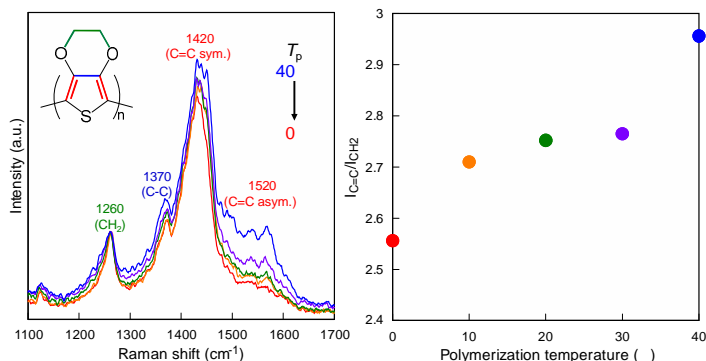


図1 異なる重合温度 ( $T_p$ ) で合成したPEDOT:PSSのラマンスペクトル

## (2) イオンゲルの作製

様々なエラストマーとイオン液体のスクリーニングを行った結果、熱可塑性ポリウレタン(TPU)とアニオンにTFSIを有する4種類のイオン液体(EMI-TFSI, BMI-TFSI, HMI-TFSI, MOI-TFSI)がジメチルアセトアミドに可溶であり、均一なゲルが得られることがわかった。図2にEMI-TFSIとTPUからなるイオンゲルのFTIRスペクトルを示す。EMI-TFSIとTPUは高い相溶性を示し、イオン液体濃度 ( $W_L$ ) 25 wt%まで透明かつ均質なゲルが得られた。一方、 $W_L > 25$  wt%ではイオン液体がゲルから染み出すことから、TPUが保持可能なイオン液体量は約25 wt%であることがわかった。1707  $cm^{-1}$  (C=O), 1066  $cm^{-1}$  (C-O), 3311  $cm^{-1}$  と 1533  $cm^{-1}$  (N-H) そして 1108  $cm^{-1}$  (C-O-C) のピークから、TPUがポリエーテル系ポリウレタンであることがわかる。さらに、1599  $cm^{-1}$  (C=C), 1223  $cm^{-1}$  と 829  $cm^{-1}$ , 759  $cm^{-1}$  (C-H) の吸収は、4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネート (MDI) に帰属される。赤外吸収スペクトルとこれまでの特

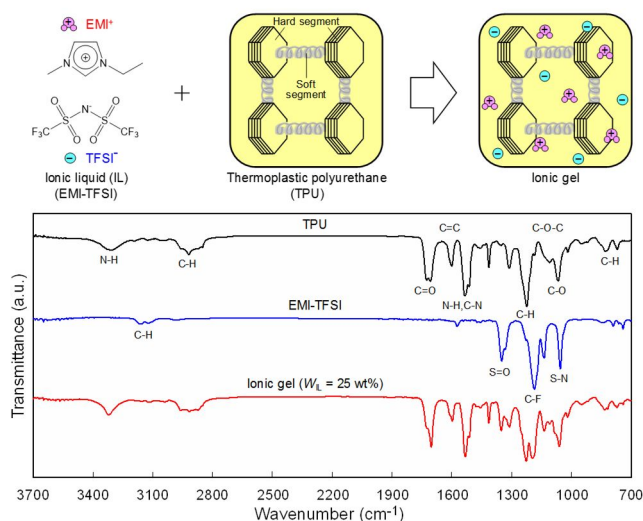


図2 EMI-TFSI、TPU、イオンゲルの構造とFTIRスペクトル

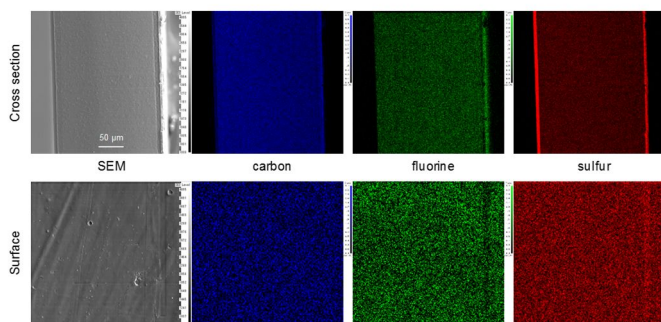


図3 イオンゲル断面および表面SEM写真とEPMA元素マッピング

許から、TPUはMDIとビスフェノールAからなるハードセグメントがポリプロピレングリコールからなるソフトセグメントに結合した化学構造と予想される。一方、1350  $cm^{-1}$  (S=O) と 1190  $cm^{-1}$  (C-F), 1055  $cm^{-1}$  (S-N) の吸収は、イオン液体のTFSIアニオンに起因する。ここで、イオンゲルはTPUとEMI-TFSI両方の吸収を示すことから、これらの混合物であることがわかる。さらに、イオンゲル上にPEDOT:PSSと二次ドープ剤であるエチレングリコールを混合した溶液を塗布したPEDOT:PSS/イオンゲルからなるフレキシブルセンサを作製した。イオンゲル ( $W_L = 25$  wt%) の両面にPEDOT:PSS電極を塗布したフレキシブルセンサのSEMおよびEPMA元素マッピングを図3に示す。炭素(青色)とTFSIアニオン由来のフッ素(緑色)がゲル断面に均一に分布していることから、TPUとイオン液体の相溶性が高いことがわかる。ここで、両面に多く存在する硫黄(赤色)はPEDOT:PSS電極を表している。一方、表面の元素マッピングからも均一な元素分布と平滑性が観察され、相分離や凝集はほとんど無い。表面にフッ素(緑色)が見られるのは、EPMAの検出深度(約1  $\mu m$ )がPEDOT:PSS電極の厚さ(約100 nm)よりも大きいためである。カーボンナノチューブとイオン液体の複合体や金属の化学めっきに比べ、PEDOT:PSSは柔軟でウェットプロセスによる製膜が可能である。

### (3)多機能型フレキシブル無電源センサの開発

図4に示すように、イオンゲルセンサ（長さ15 mm、幅5 mm、厚さ約300 μm）をサンプルホルダーに乗せ、一端5 mmを金メッキしたケルビンクリップで挟むことで両面のPEDOT:PSS電極と導通している。一定温度（36℃）においてセンサの另一端を力学試験機で押し付け、さまざまな変位（ $d = 3, 5, 7$  mm）と速度（ $v = 0.8, 1.7, 3.3$  mm/s）でセンサを屈曲させた。屈曲変位一定で屈曲速度を変化させたときのとしとときの発生電圧（ $V$ ）と電荷（ $q$ ）を図5に示す。センサの屈曲により大きな正の電荷を発生し、続いて小さな負の電荷を生じることがわかった。一方、屈曲状態から元の真っ直ぐに戻る際には逆の現象が観察された。ここで、電荷の発生はゲルを屈曲させたときのイオンの移動に基づき、EMI カチオンがTFSI アニオンに比べゲル中の移動が速いと考えられる。一般にイオンの輸率はイオンの大きさだけでなく、形や電荷分布などに依存する。実際、NMR から算出したEMI カチオンの輸率（ $t_+ = 0.63$ ）はTFSI アニオンの輸率（ $t_- = 0.37$ ）に比べ大きいことがわかっていて、注目すべきは、発生電圧が3.3 mVに達することであり、従来のイオン性高分子金属複合体（IPMC）センサに比べ1桁以上高いことがわかった。ここで、屈曲変位と電圧、速度と電荷の間に強い相関が見られ、二つの異なる機械刺激を対応する電気刺激に変換することから、マルチセンサとして機能することがわかった。より詳細なメカニズムを検討するため、厚さの異なるイオンゲルを用いてフレキシブルセンサを作製した。発生電圧と電荷は膜厚の増加とともに上昇することから、ピエゾイオン効果で説明できることがわかった。また、屈曲変位の増大とともに発生電圧も上昇し、目標（5 mV）の2倍以上である11.2 mVを得ることに成功した。すなわち、イオンゲルを屈曲させることで両面にひずみ差が生じ、輸率の大きいEMI カチオンが先に移動することで正の電荷（ $Q_+$ ）を発生する。次に、輸率の小さいTFSI アニオンが遅れて移動することから負の電荷（ $Q_-$ ）を生じる。このとき、カチオンとアニオンの移動に伴う電荷の総和が等しくなければ、屈曲状態において  $Q = (Q_+ + Q_-)$  の電荷が残ることになり、これが電圧発生メカニズムであることを明らかにした。

さらに、並列に配置した二つの同じイオンゲルセンサを用いることで、異なる機械刺激を同時検出可能なセンサアレイを作製した。図6に示すように、センサアレイを装着した手首を上下に振ると正および負の電圧と電荷を発生することから、屈曲変位と速度の方向と量を同時に検出可能なマルチセンサとして動作することを実証した。電力を消費するピエゾ抵抗型センサとは異なり、イオンゲルを用いたピエゾイオンセンサは電源やアンプが不要な無電源マルチセンサであることから、バーチャルリアリティやヘルスケア、ロボットなどIoT時代におけるウェアラブルマルチモーションセンサとして使用可能である。さらに、イオンゲルを用いた無電源フレキシブルセンサは、発電や電気二重層キャパシタ等エネルギーハーベストへの応用も期待できる。

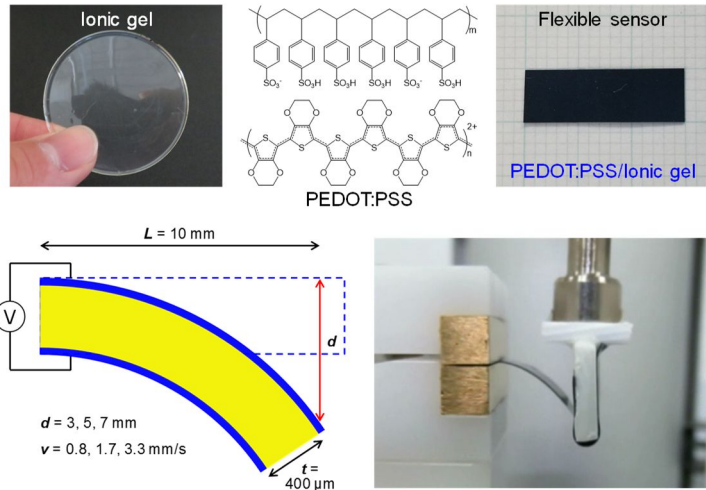


図4 PEDOT:PSS/イオンゲルからなるフレキシブルセンサの屈曲実験装置

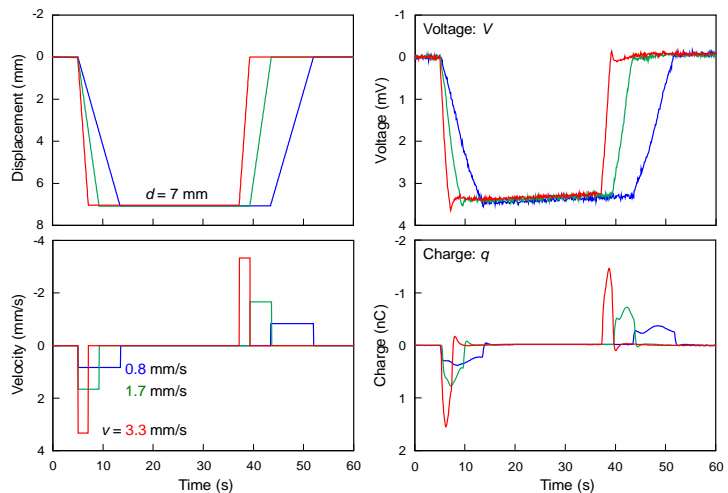


図5 屈曲変位一定（ $d = 7$  mm）で速度（ $v = 0.8, 1.7, 3.3$  mm/s）を変化させたときのフレキシブルセンサの発生電圧（ $V$ ）と電荷（ $q$ ）

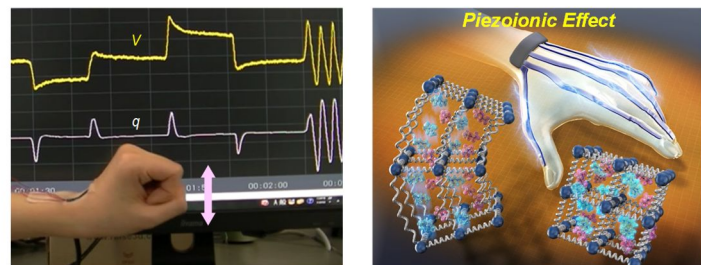


図6 二つのイオンゲルセンサからなる多機能センサアレイの応答特性とピエゾイオン効果のメカニズム（模式図）

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Y. An, H. Yoshida, Y. Jing, T. Liang, H. Okuzaki	4. 巻 18
2. 論文標題 Ionic Shape Memory Polymer Gels as Multifunctional Sensors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 6791-6799
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2SM00515H	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥崎秀典	4. 巻 41
2. 論文標題 導電性高分子ソフトアクチュエータの開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 機能材料	6. 最初と最後の頁 40-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Kurushima, N. Katsuyama, H. Okuzaki	4. 巻 60
2. 論文標題 Effect of PEDOT:PSS Composition on Photovoltaic Performance of PEDOT:PSS/n-Si Hybrid Solar Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 091001-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac19d2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮井郁花、奥崎秀典	4. 巻 95
2. 論文標題 溶媒に可溶性新規導電性高分子の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 科学と工業	6. 最初と最後の頁 115-121
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥崎秀典	4. 巻 69
2. 論文標題 可溶性導電性高分子の進歩	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 高分子	6. 最初と最後の頁 338-339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Okuzaki, H. Yano	4. 巻 64
2. 論文標題 SELFTRON: A Novel Fully Soluble Self-Doped Highly Conductive Polymer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 TOSOH Research & Technology Review	6. 最初と最後の頁 3-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥崎秀典	4. 巻 59
2. 論文標題 導電性高分子ソフトアクチュエータ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 805-809
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. An, H. Okuzaki	4. 巻 59
2. 論文標題 Novel Electro-Active Shape Memory Polymers for Soft Actuators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 061002-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab8e08	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小澤巧実、奥崎秀典	4. 巻 49
2. 論文標題 PEDOT:PSSを用いたフレキシブル透明電場シールド	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ファインケミカル	6. 最初と最後の頁 44-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 H. Okuzaki
2. 発表標題 Stretchable and Highly Conductive Polymer Hydrogels
3. 学会等名 MRS Spring Meeting & Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Okuzaki
2. 発表標題 Flexible Sensors Driven by Piezoionic Effect
3. 学会等名 CIMTEC 2022, 9th Forum on New Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Okuzaki
2. 発表標題 Fully Soluble Self-Doped PEDOT with an Electrical Conductivity Greater than 1000 S/cm
3. 学会等名 ICSM2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梁田、古山貴也、奥崎秀典
2. 発表標題 ピエゾイオン効果を用いたフレキシブルセンサ
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松下可那子、古山貴也、梁田、奥崎秀典
2. 発表標題 熱転写法によるPEDOT:PSS電極の作製とフレキシブルセンサへの応用
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松下可那子、古山貴也、梁田、奥崎秀典
2. 発表標題 熱転写法によるPEDOT:PSS電極の作製とフレキシブルセンサへの応用
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梁田、古山貴也、奥崎秀典
2. 発表標題 ピエゾイオン効果を用いたフレキシブル無電源多機能センサ
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 H. Okuzaki
2. 発表標題 Soft Sensors and Actuators using Conducting Polymers
3. 学会等名 SOFTWEAR (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥崎秀典
2. 発表標題 熱応答性エラストマーアクチュエータ
3. 学会等名 次世代アクチュエータ材料応用研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥崎秀典
2. 発表標題 熱応答性エラストマーアクチュエータ
3. 学会等名 機能性流体フルードパワーシステムに関する第10回研究委員会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥崎秀典
2. 発表標題 イオンゲルを用いたソフトセンサ・アクチュエータ
3. 学会等名 先端センサ・アクチュエータ・ネットワーク に関する研究分科会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥崎秀典
2. 発表標題 EAPソフトアクチュエータ
3. 学会等名 2021年度オータムセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥崎秀典
2. 発表標題 イオンゲルを用いたソフトセンサ・アクチュエータ
3. 学会等名 超分子研究会・精密ネットワークポリマー研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥崎秀典
2. 発表標題 Flexible Sensors Driven by Piezoionic Effect
3. 学会等名 The 11th International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥崎秀典
2. 発表標題 可溶性導電性高分子の合成とプラスチックエレクトロニクスへの応用
3. 学会等名 高分子同友会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤巧実、深澤悠佑、奥崎秀典
2. 発表標題 高導電性PEDOT:PSSの合成と導電メカニズムの解明
3. 学会等名 第29回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤優希、福澤勇大、奥崎秀典
2. 発表標題 導電性高分子複合体の作製と3Dプリンタへの応用
3. 学会等名 第29回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮井郁花、丸茂和将、志村智一、箭野裕一、奥崎秀典
2. 発表標題 自己ドーピング型PEDOTの熱処理による高導電化
3. 学会等名 第29回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口直人、藤原由紀乃、安瀬俊、奥崎秀典
2. 発表標題 低温で駆動するエラストマーアクチュエータを用いたヒートエンジン
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 小長谷重次、奥崎秀典 他80名	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 983
3. 書名 導電性材料の設計, 導電性制御および最新応用展開	

1. 著者名 中野政身	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本工業出版	5. 総ページ数 278
3. 書名 機能性流体入門 基礎と応用 (初歩と実用シリーズ)	

1. 著者名 関谷毅	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 228
3. 書名 ストレッチャブルエレクトロニクスの技術動向	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p><a href="https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~okuzaki/okuzaki.html">https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~okuzaki/okuzaki.html</a></p>
--

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
---------	---------