

Oral presentation 12 Organic Molecules and Bioelectronics : 12.3 Functional Materials and Novel Devices

 Wed. Sep 10, 2025 1:30 PM - 5:00 PM JST | Wed. Sep 10, 2025 4:30 AM - 8:00 AM UTC |  N321
 (Lecture Hall North)

[10p-N321-1~13] 12.3 Functional Materials and Novel Devices

Akito Masuhara(Yamagata Univ.), Jun Matsui(Yamagata Univ.)

イオニクス材料・デバイス、電子機能デバイス、導電性高分子

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[10p-N321-1] Disposable Paper-Based Metal-Air Batterys for Wearable Devices

○Kosuke Ishibashi¹, Yutaro Hirai^{2,3}, Shimpei Ono⁴, Jun Kamei⁵, Koju Ito^{2,3}, Hiroshi Yabu^{1,2,3} (1.AIMR, Tohoku Univ., 2.AZUL Energy, Inc., 3.AZUL x Tohoku Univ. Co-Creation Lab, 4.SRIS, Tohoku Univ., 5.Amphico, Ltd.)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[10p-N321-2] Development and Performance Evaluation of High-Performance Pressure Sensors Using MXene Composite

○(M2)Riku Sasaki¹, Junya Yoshida¹, Shoma Kamanoi¹, Yoshihito Takabe¹, Yasuyuki Miura¹, Ayana Hirayama¹, Yasunori Takeda², Tomohito Sekine¹ (1.Grad. School of Organic Materials Science, Yamagata Univ, 2.Innovation Center for Organic Electronics (INOEL), Yamagata Univ)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[10p-N321-3] Application of Clothes-shaped Triboelectric Nanogenerator for Motion Recognition

○Masahiro Matsunaga¹, Yushi Umemura², Haruki Uchiyama², Yutaka Ohno¹ (1.IMaSS, Nagoya Univ., 2.Electronics, Nagoya Univ.)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[10p-N321-4] Fabrication and evaluation of laminated perovskite-PEDOT:PSS thermoelectric conversion materials.

○(M2)Akito Yoneda¹, Shimomura Takeshi¹ (1.Tokyo Univ. Agric. Technol.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[10p-N321-5] Investigation of carrier generation process in organic thermoelectric device utilizing CT interface

○Mana Kameyama¹, Kaito Akizuki¹, Takashi Fujihara², Masayuki Yahiro³, Chihaya Adachi^{1,4} (1.kyushu Univ. OPERA, 2.GCE Institute, 3.ISIT, 4.kyushu Univ. WPI-I2CNER)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[10p-N321-6] Development of Flexible Organic Photodetector Capable of Simultaneous Detection of Light and Strain

○(M2)Tomohiro Anda¹, Kento Yamagishi¹, Tomoyuki Yokota¹, Takao Someya¹ (1.The Univ. of Tokyo)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[10p-N321-7] Electromyography using nanomesh electrodes based on self-doped polythiophene

○(M1)Michihiro Nakagome¹, Kento Yamagishi¹, Tomoyuki Yokota¹, Takao Someya¹ (1.EEIS, UTokyo)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[10p-N321-8] Fabrication and Sensing Characteristic Evaluation of Fully Printed Multimodal Sensors

○(M2)Junya Yoshida¹, Riku Sasaki¹, Shoma Kamanoi¹, Yuto Kimura², Fumihiro Takeichi², Yasunori Takeda³, Tomohito Sekine^{1,2} (1.Grad.School of Organic Materials Science, Yamagata Univ., 2.Fac. of Engineering, Yamagata Univ., 3.Innovation Center for Organic Electronics)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[10p-N321-9] Flexible and emissivity-adjustable heat flux sensor comprising of CNT-polymer composite

○Kouji Suemori¹, Yuichiro Komatsu¹, Taiki Nobeshima¹ (1.AIST)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[10p-N321-10] Shape Dependence of Displacement in Soft Actuators using Finite Element Method

○(M2)Yoshihito Takabe¹, Taisei Shibata², Fabrice Domingues dos Santos³, Tong Huang⁴, Atsuishi Miyabo⁴, Tomohito Sekine^{1,2} (1.Grad. School of Organic Materials Science, Yamagata Univ., 2.Fac. of Engineering, Yamagata Univ., 3.Piezotech, 4.ARKEMA K. K.)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[10p-N321-11] Fabrication of Waterproof Wearable Hardness Sensor

○(M1)Ayana Hirayama¹, Eri Kamiya¹, Kenya Suzuki¹, Kento Eguchi¹, Tomohito Sekine¹ (1.Grad. School of Organic Materials Science, Yamagata Univ.)

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[10p-N321-12] Investigation of Soft Piezoelectric Material under Low-Pressure Conditions for High-Sensitive Force Sensing

○Haruki Sato¹, Ryoma Shuto¹, Kiyoshi Nikaido¹, Tatsuo Hasegawa¹ (1.U. Tokyo)

4:45 PM - 5:00 PM JST | 7:45 AM - 8:00 AM UTC

[10p-N321-13] Development of a Highly Sensitive Force Sensor Integrating Sharp-Switching Printed FETs and Piezoelectric Materials

○(D)Ryoma Shuto¹, Haruki Sato¹, Keito Murata¹, Kiyoshi Nikaido¹, Satoru Inoue², Tatsuo Hasegawa¹ (1.U. Tokyo, 2.INOEL, Yamagata Univ.)

ウェアラブルデバイス用ディスポーザブル金属空気紙電池

Disposable Paper-Based Metal-Air Batteries for Wearable Devices

東北大学 AIMR¹, AZUL Energy(株)², AZUL × 東北大学共創研³, 東北大学 SRIS⁴, Amphico, Ltd.⁵○石橋 孝介¹, 平井裕太郎^{2,3}, 小野 新平⁴, 亀井 潤⁵, 伊藤 晃寿^{2,3}, 藪 浩^{1,2,3}WPI-AIMR, Tohoku Univ.¹, AZUL Energy, Inc.², AZUL × Tohoku Univ. Co-Creation Lab³, SRIS, Tohoku Univ.⁴, Amphico, Ltd.⁵○Kosuke Ishibashi¹, Yutaro Hirai^{2,3}, Shimpei Ono⁴, Jun Kamei⁵, Koju Ito^{2,3}, Hiroshi Yabu^{1,2,3}

E-mail: kosuke.ishibashi.b7@tohoku.ac.jp

【諸言】近年ウェアラブルデバイスの発展により、軽く、高出力でディスポーザブルな電池が求められている。紙の吸水により発電を開始する金属空気紙電池は、その軽量性、柔軟性、低コストといった特性から注目されている。紙に黒鉛と亜鉛粉を裏表に印刷し、吸水により発電可能な Zn 空気紙電池が報告されているが[1]、ウェアラブルデバイスの駆動に十分な出力が得られないという課題がある。正極触媒に MnO_2 とカーボンナノチューブ (CNT) を用いた高出力 (60 mW/cm^2 程度) な Mg 空気電池も報告されているが[2]、 MnO_2 は環境負荷が高く、廃棄処理を要するという課題がある。我々は環境負荷が小さく、安全な青色顔料を多孔質炭素担体上に一分子層で固定化した AZaphthalocyanine Unimolecular Layer (AZUL) 触媒を用いた Mg 空気紙電池を報告している[3] [4]。本発表では AZUL 触媒を用いた Mg 空気紙電池のウェアラブルデバイスへの適用について報告する。

【実験】Mg 空気紙電池の構造を Fig.1 に示す。AZUL 触媒およびバインダーを分散させた触媒インクを濾紙に直接塗布して正極とし、Mg 板を負極とした。両極の間に濾紙を挟み、正極集電体として SUS メッシュを用いることで、一体化構造を形成した。濾紙が 4 M NaCl 水溶液を吸うことで発電が開始される。ポテンシオスタットにより本電池の出力特性評価および放電特性評価を行った。さらに、ウェアラブル SpO_2 センサーの駆動実証を行った。紙電池を接続し、 4 M NaCl 水溶液によりセンサーを起動させた。センサーを PC に無線接続して、 SpO_2 および脈拍をリアルタイムに記録した。比較用として市販の SpO_2 センサーによる測定も実施した。また、同様の紙電池を用いて、ライフジャケットに装着した GPS ロガーの駆動も実証した。

【結果と考察】ポテンシオスタットを用いた測定の結果、Fig.1 に示す通り、本 Mg 紙電池は開回路電圧 (OCV) 1.93 V 、動作電圧 1.0 V 時の電流密度 110 mA/cm^2 、最大出力密度 120 mW/cm^2 であり、従来の Mg 空気紙電池に比べて約 2 倍に相当する性能であった[2]。Fig.2 は本 Mg 紙電池を電力源として SpO_2 センサーを駆動し、酸素飽和度および脈拍のリアルタイムモニタリングをした様子である。挿入図は単一の紙電池セル (左) と SpO_2 センサー (右) を示している。本 Mg 紙電池が SpO_2 センサーといったウェアラブルデバイスを安定して動作させられることを実証した。なお、GPS ロガーの駆動実証については発表当日に報告する。

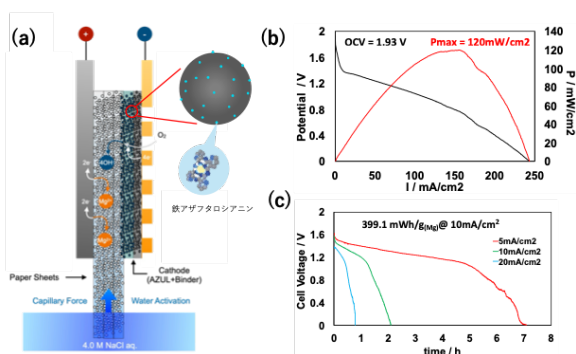


Figure 1. Schematic illustration of a disposable water-activated Mg-air paper battery cell (a), and its I - V / I - P polarization curves (b) and discharge polarization curve at different current densities (c), respectively.

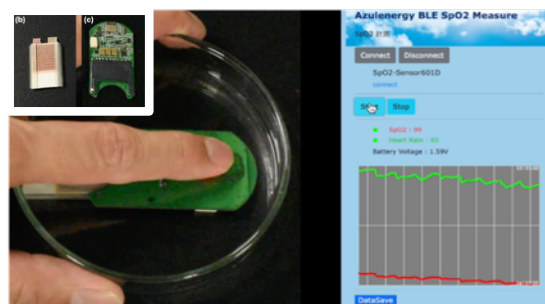


Figure 2. Real-time monitoring of O_2 saturation values in blood and blood pulse per min by using a wearable SpO_2 sensor. The inset shows a single paper battery cell and the SpO_2 sensor.

[1] A. Poulin, *et al.*, *Sci. Rep.* **12**, 11919 (2022), [2] Y. Wang, *et al.*, *Int. J. Energy Res.* **46**, 137–146 (2022), [3] K. Ishibashi, *et al.*, *RSC Applied Interfaces*, **1**(3), 435–442 (2024), [4] 石橋孝介ら, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 15a-PB3-2, 2023.

MXene を用いた圧力センサの高性能化とデバイス性能の詳細解析 Development and Performance Evaluation of High-Performance Pressure Sensors Using MXene Composite

山形大院有機¹, 山形大 INOEL²

○(M2)佐々木 凜空¹, 吉田 潤哉¹, 釜野井 捷馬¹, 高部 善仁¹, 三浦 靖之¹,
平山 文菜¹, 竹田 泰典², 関根 智仁¹

Grad. School of Organic Materials Science, Yamagata Univ¹, Innovation Center for Organic
Electronics (INOEL), Yamagata Univ².

○Riku Sasaki¹, Junya Yoshida¹, Shoma Kamanoi¹, Yoshihito Takabe¹, Yasuyuki Miura¹,
Ayana Hirayama¹, Yasunori Takeda², Tomohito Sekine¹

E-mail: t241896m@st.yamagata-u.ac.jp

【背景】近年、触覚機能を搭載したソフトロボット実現のためのセンサ開発が活発に行われている^[1]。このなかで力覚制御のためのソフト圧力センサの高性能化には、導電性を有するナノカーボン材料が有用である。これまで我々は、MXene 複合材料によるソフトな圧力センサを報告してきた^[2]。これは印加圧力に対する高感度性と高速応答を両立できる優れたデバイスである一方で、その電気特性と膜質の関係は不明な点が多かった。そこで、本研究では独自の Mxene 複合材料による圧力センサの詳細なデバイス特性を解析することを目的とした。

【実験】PEN フィルム上に PVP 膜をスピンコート法で成膜した。その上に PEDOT:PSS をステンシル印刷で対向電極を形成し、120℃で 30 分焼成した。その後、PVA、MXene、深共晶溶媒(DES) (尿素と塩化コリンを質量比 1:1 で混合)の複合インク(PVA:37wt%,MXene:40wt%,DES:23wt%)を感圧層として鋳型に流し、-20℃で 2 時間、4℃で 2 時間の冷凍・冷蔵サイクルを 5 回繰り返してゲル化させた^[3]。その後、鋳型から外し、EcoFlex®をスピンコート法で成膜し、12 時間乾燥させ、封止し、圧力センサとした(Fig. 1)。

【結果・考察】作製した圧力センサを圧力試験機で垂直に圧力を印加し、その時の抵抗変化を測定した (印加圧力:5 – 75 kPa)。このときの低圧領域における最大感度は -0.0109 kPa^{-1} (Fig. 2)、応答速度は約 40 ms を示した。また、本デバイスに 20 kPa を印加した際の対抗電極のチャネル長に対する圧力印加時の抵抗変化率を Fig. 3 に示した。チャネル長 1 mm 以上で抵抗変化率が小さくなることが分かった。当日はより詳細な電気特性についても議論する。

【参考文献】[1] S. Pyo et al., *Adv. Mater.*, **33** 2005902 (2021). [2] 董ら, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-P05-9 (2024). [3] R. Sasaki et al., *Micromachines*, **16** 579 (2025).

【謝辞】本研究の一部は、科研費 JP25K01190、UBE 学術振興財団、および学際融合グローバル研究者育成東北イニシアティブ (TI-FRIS) の支援を受けたものである。

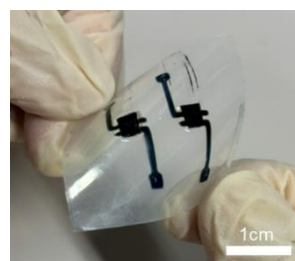


Fig. 1 Schematic image of the fabricated pressure sensor.

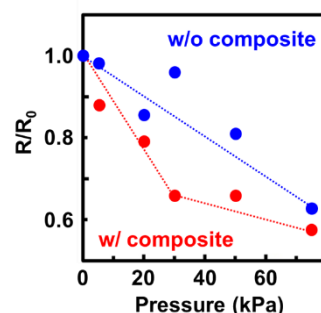


Fig. 2 Relationship of R/R_0 to applied pressure.

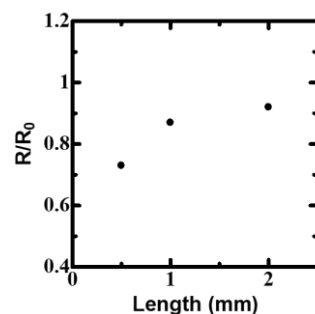


Fig. 3 R/R_0 as a function of channel length.

衣服型摩擦発電デバイスの動作認識技術への応用

Application of Clothes-shaped Triboelectric Nanogenerator for Motion Recognition

名大未来研¹, 名大工² ○松永 正広¹, 梅村 侑史², 内山 晴貴², 大野 雄高^{1,2}

IMaSS, Nagoya Univ.¹, Dept. Electronics, Nagoya Univ.²,

○Masahiro Matsunaga¹, Yushi Umemura², Haruki Uchiyama², Yutaka Ohno^{1,2}

E-mail: m-matsunaga@nagoya-u.jp

近年、ウェアラブルデバイスの発展に伴い、日常動作をモニタリングする技術が医療・介護・スポーツ分野を中心に注目されている。特に、高齢者の転倒予防やリハビリテーション支援、運動能力の評価などにおいて、身体動作の計測・認識は重要な役割を果たす。

摩擦発電デバイス(TENG)は、低周波かつランダムな人の動作から発電可能な特徴を有しており[1]、ウェアラブルデバイス分野への応用が期待されている。我々は、非導電糸と導電糸を3層構造に編み込んだ一枚布のテキスタイル型 TENG を提案・作製し[2]、さらにこれを衣服に加工して身体動作による発電を実証してきた[3]。本研究では、衣服型摩擦発電デバイスを用いて、出力波形から動作に関する特徴量を抽出し、動作認識技術への応用可能性を検討した。

本研究で使用した衣服型 TENG は、導電糸層が非導電糸層（ウール毛 100%）で挟まれた3層構造を持つテキスタイル TENG を衣服へと加工したものである[2], [3]。Fig. 1(a)に示すように衣服型 TENG をポリエステル製コンプレッションウェア上に着用し、各種身体動作時に TENG-コンプレッションウェア間の摩擦により生じる負荷抵抗(R_L)間の出力電圧を測定した。6種類の動作（歩行 100 bpm、歩行 150 bpm、ジョギング 150 bpm、ジャンプ 50 bpm、腕回し 50 bpm、腕回し 100 bpm）を対象に、得られた出力電圧波形に対して機械学習（サポートベクターマシン）による動作分類を行なった。

Fig.1 (b)にその結果を示す。全体の分類精度は93%となり、多くの動作は高い精度で識別可能であった。本研究の結果は、衣服型摩擦発電デバイスが発電のみならず、自立型動作認識センサとしても有用であることを示すものである。

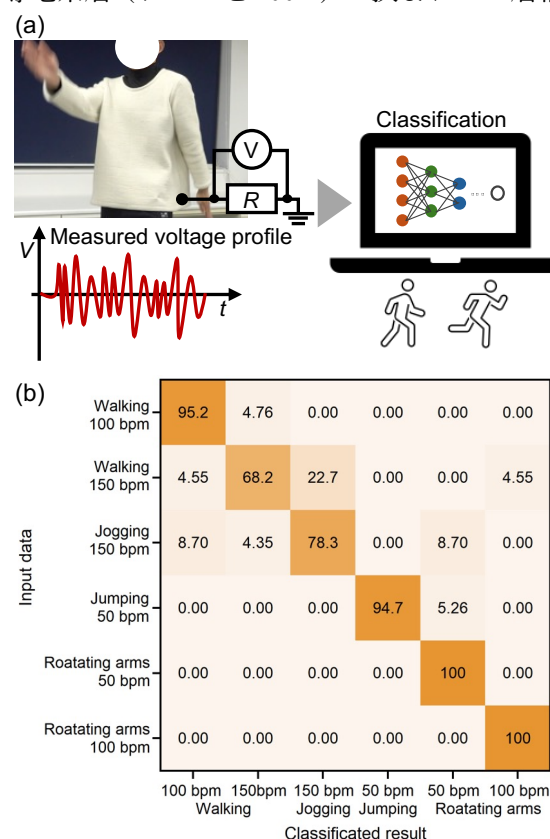


Figure 1 (a) Schematic measurement setup of the motion recognition. (b) Motion recognition results.

[1] Z. L. Wang, Mater. Today **20**, 74 (2017).

[2] Y. Umemura *et al.*, The 71st JSAP Spring Meeting, 24a-12B-2 (2024).

[3] Y. Umemura *et al.*, The 85th JSAP Autumn Meeting, 17p-A37-10 (2024).

ペロブスカイト-PEDOT:PSS 積層構造の熱電特性評価 Fabrication and evaluation of laminated perovskite-PEDOT:PSS thermoelectric conversion materials.

農工大院工, [○](M2)米田 朗人, 下村 武史

Tokyo Univ. Agricul. & Technol., [○](M2)Akito Yoneda, Takeshi Shimomura

E-mail: s247569t@st.go.tuat.ac.jp

[緒言]

昨今、持続可能な社会の実現に向けて、エネルギーの有効利用がますます重要視されている。中でも、未利用の排熱を電気に変換できる熱電変換技術は、エネルギー回収の有効な手段として注目されている。熱電材料の性能は、ゼーベック係数、電気伝導率、熱伝導率の三つの物性値により決定される。これら三つのパラメータはすべてキャリア濃度に依存しており、独立に制御することが困難なため、高性能化にはトレードオフの関係を乗り越える工夫が必要である。

本研究では高いゼーベック係数をもつペロブスカイトを、キャリア供給層、導電性高分子である PEDOT:PSS をキャリア輸送層とし、この二つの材料を積層することで役割を分担させ、トレードオフを超えたゼーベック係数と導電率をもつ材料の設計の可能性を調査した。

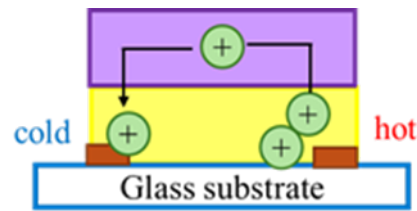


Fig1 Perovskite-PEDOT:PSS laminated structure

[実験操作]

本研究では二種類の積層構造を作製した。一つは、電極付きガラス基板にペロブスカイトをキャストし、その上に PEDOT:PSS をキャストで積層した構造である。この積層構造を PEDOT /Pv 積層とした。二つ目は、PEDOT:PSS をキャストし、その上からペロブスカイトをキャストで積層した構造であり、これを Pv/PEDOT 積層とした。作製した材料の導電率とゼーベック係数の測定を行った。

[結果と考察]

PEDOT/Pv 積層において得られたゼーベック係数は、PEDOT:PSS 単体とほぼ同等であった。これは、ペロブスカイトにキャリアが過剰に流れ込み、そのゼーベック係数が反映されなかったためと考えられる。一方、導電率については、ペロブスカイトの影響により

Table1 Performance comparison

材料	導電率 /S cm ⁻¹	ゼーベック係数 /μV K ⁻¹	パワーファクター /μW m ⁻¹ K ⁻²
PEDOT / Pv積層	6.89	22.3	0.343
Pv/PEDOT積層	0.0236	70.3	0.0117
PEDOT:PSS単体	0.381	21.0	0.0168
ペロブスカイト単体	0.00444	112	0.00557

PEDOT:PSS にドーピングが促進され、向上したと推察される。Pv/PEDOT 積層では、ペロブスカイトの高温側で発生したキャリアが PEDOT:PSS 側に流入し、ゼーベック係数が上昇した。また、PEDOT:PSS からペロブスカイトへのキャリア移動により、導電率は両材料の中間的な値となった。

積層順によって熱電性能に違いが生じた要因として、界面におけるエネルギー準位の差や材料間の界面反応の違い、あるいはキャスト時の溶媒や熱処理工程の影響などが考えられる。特に、各層の形成順序により界面の電子構造やドーピング状態が変化し、キャリアの移動効率や障壁に差が生じた可能性がある。本研究では、鉛を含むペロブスカイトを用いて積層材料の開発を行ったが、環境負荷や安全性の観点から鉛フリーのペロブスカイト材料への代替が望まれている。また、作製方法はキャスト法を用いており、膜厚や結晶性の制御に課題がある。そこで現在、より結晶構造や厚みを制御した薄膜形成が可能な真空蒸着法を用いて、鉛フリーかつ高結晶性を有するペロブスカイト薄膜の作製を行い、さらなる熱電性能の向上を目指している。

[参考文献]

Paz Sebastia-Luna, Unnati Pokharel, Bas A. H. Huisman, L. Jan Anton Koster, Francisco Palazon Henk J. Bolink. Vacuum-Deposited Cesium Tin Iodide Thin Films with Tunable Thermoelectric Properties, *Applied Energy Materials*, **5**, 10216-10223, (2022).

CT 界面を活用した新機構有機熱電デバイスにおける キャリア発生過程の解明

Investigation of carrier generation process in organic thermoelectric device utilizing CT interface

九大 OPERA¹, GCE Institute², ISIT³, 九大 WPI-I²CNER⁴

°(M2) 亀山 真奈¹, 秋月 海翔¹, 藤原 隆², 八尋 正幸³, 安達 千波矢^{1,4}

OPERA, Kyushu Univ.¹, GCE Institute², ISIT³, I²-CNER, Kyushu Univ.⁴

°Mana Kameyama¹, Kaito Akizuki¹, Takashi Fujihara², Masayuki Yahiro³, and Chihaya Adachi^{1,4}

近年、太陽光のみならず、熱や振動などの身の回りの微小エネルギーを電力に変換する環境発電技術が注目されている。現在、ゼーベック効果を利用した温度差発電は一部実用化に至っているものの、材料コストや設置場所などの制限から幅広い普及には至っていない。本研究では、室温程度の小さな熱エネルギーでキャリア分離を起こす電荷移動 (CT) 錯体を活用した、新機構に基づく有機熱電デバイスの原理検証と高性能化を目指している^[1] (**Fig. 1**)。今回、回転ケルビンプローブ法を用いた表面電位測定により、CuPc/F₁₆CuPc 界面がキャリア発生層として機能していること、また、CuPc と F₁₆CuPc の間に共蒸着層を挿入することで、CT 錯体によって発生するキャリア数が増加することが確認された。

Fig. 2 に示すように、ITO 基板上に CuPc (150 nm)、F₁₆CuPc (150 nm) を積層すると、F₁₆CuPc 表面側で 15 nm に渡って計 0.6 V の表面電位変化が観測された。この結果から、暗室室温条件下において CT 錯体である CuPc/F₁₆CuPc 界面でのキャリア発生が確認された^[2]。また、CuPc と F₁₆CuPc の間に共蒸着層 (1:1 100 nm) を挿入したところ (**Fig. 3**)、F₁₆CuPc の表面電位変化がより緩やかになり、30 nm に渡ってバンドの湾曲が観測された。これは共蒸着層の挿入によって CuPc と F₁₆CuPc の CT 界面が増加し、発生したキャリアの数が増加したためであると考えられ、今後、デバイス構造に共蒸着層を導入することで熱電変換効率の向上が期待される。

Fig. 1

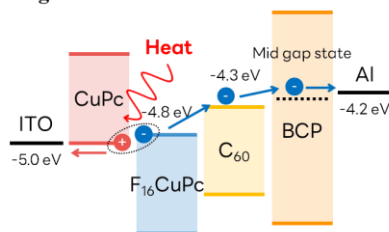


Fig. 2

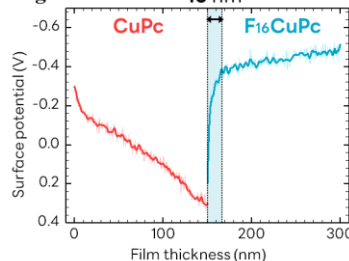


Fig. 3

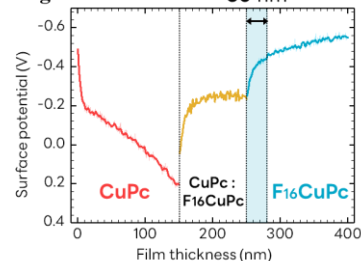


Figure 1: The energy diagram of CT-based thermoelectric device structure. **Figure 2:** The surface potential of CuPc and F₁₆CuPc on ITO electrode. **Figure 3:** The surface potential of CuPc, co-deposition layer and F₁₆CuPc on ITO electrode.

Ref. [1] S. Kondo, et al., *Nat. Commun.*, **15**, 8115 (2024) [2] Y. Tanaka, et al., *J. Appl. Phys.*, **116**, 114503 (2014)

光と歪みを同時検知可能なフレキシブル有機光検出器の開発

Development of Flexible Organic Photodetector

Capable of Simultaneous Detection of Light and Strain

東大工¹

○按田 智大¹, 山岸 健人¹, 横田 知之¹, 染谷 隆夫¹

The University of Tokyo¹

○Tomohiro Anda¹, Kento Yamagishi¹, Tomoyuki Yokota¹, Takao Someya¹

E-mail: anda@ntech.t.u-tokyo.ac.jp

[背景・目的] 有機光検出器(OPD)は、その柔軟性や軽量性から生体センサに応用されてきた。例えば血中酸素濃度をモニターする光センサ^[1]や皮膚の変形をモニターする歪みセンサ^[2]がある。これまでに、光や歪みの片方のみをセンシング可能な素子は開発されてきているが、単一の素子で光と歪みを同時に検出できるものは未だ報告されていなかった。フレキシブルなセンサは、従来のセンサと異なり形状が変形するため、物理量と位置情報を同時に検出することが重要である。そのため、単一素子で光と歪みを同時に測定することができれば、センサの位置と光量を正確に検出できるようになり、皮膚の変形下での血流の動きの解析などに応用できる。本研究では、極薄のフレキシブル OPD を伸縮基板に集積化することで、単一素子で光と歪みのマルチセンシングを実現した。OPD の主な用途は光センサだが、伸縮動作に伴う開放電圧と短絡電流の値の変化を測定することで、歪みセンサとしても機能することを実証した。

[素子作製] まず、支持基板のガラス基板に、剥離層として Novec を成膜し、基板材料としてパリレン、表面平滑化層として SU-8 を順に成膜した。次に、透明電極として ITO、電子輸送層として ZnO ナノ粒子、活性層として PMDPP3T:PCBM を成膜し、ホール輸送層として MoO_x、上部電極として銀を真空蒸着し、最後にパリレンで封止することで OPD を作製した。作製したフレキシブル OPD の総厚さは 3 μm であった。その後、あらかじめ伸長させ伸縮性基板(Ecoflex00-30)に OPD を貼りつけ、伸長をとくことで極薄フレキシブル OPD に皺構造を持たせることで、伸縮性を付与した。

[実験結果] 伸縮性 OPD に照射する光強度を 0.53 W/m² から 53 W/m² までの 6 段階、歪み率を 0%(圧縮状態)から 30%(伸長状態)までの 4 段階変化させて特性を評価した(図 2)。光強度を強くした場合、開放電圧と短絡電流がともに増大していることが確認できた(図 2(a))。一方で、歪み率を大きくした場合は、短絡電流は増大した一方で、開放電圧はほとんど変化が見られなかった(図 2(b))。以上の結果から OPD の開放電圧および短絡電流の値の変化を計測することで、光量と歪み量を同時に評価することが可能であることが実証できた。また、伸縮性 OPD の機械的耐久性を評価したところ、伸縮動作を 100 回繰り返した後も OPD は正常に動作し、開放電圧および短絡電流の値の変化分はそれぞれ 2%, 30%以内であった。

[参考文献]

[1] T. Yokota et al., *Sci. Adv.* **2**, e1501856 (2016).

[2] Xiong, S. et al., *Journal of Materials Chemistry C*, **4**, 1414-1419 (2016).

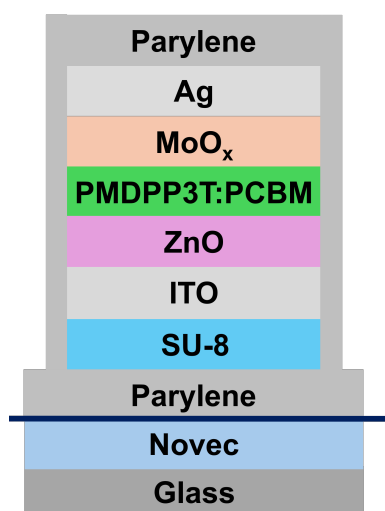


Fig 1. Structure of Flexible OPD

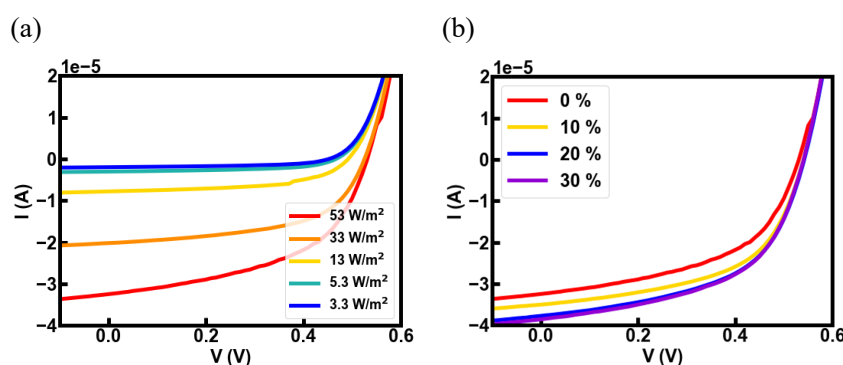


Fig 2. Relationship between current and voltage of stretchable OPD when light intensity was changed (a) and when strain was changed (b).

自己ドーブ型ポリチオフェンを用いたナノメッシュ電極による筋電計測

Electromyography using nanomesh electrodes
based on self-doped polythiophene東大院工¹ ○(M1) 中込満博¹, 山岸健人¹, 横田知之¹, 染谷隆夫¹EEIS, The Univ. of Tokyo¹ ○Michihiro Nakagome¹, Kento Yamagishi¹,Tomoyuki Yokota¹, Takao Someya¹

E-mail: nakagome@ntech.t.u-tokyo.ac.jp

【背景】筋骨格系の障害やスポーツ医療への対処において、筋電図測定による診断は非常に重要である。特に医療分野では筋電図の長時間計測が必要であるが、現在広く使われるゲル電極は、厚さのための皮膚追従性の低さ、発汗による剥離、長時間貼り付けによるかぶれのリスクといった課題があった。我々のグループは、これまでに金をナノメッシュ上に成膜することで、通気性があるナノメッシュ電極を報告してきた^[1]。ナノメッシュ電極は、皮膚への高い追従性を有しているため、皮膚への影響を与えずに長時間の筋電計測を実現した。一方で、ナノメッシュ電極を伸長した際、水分環境下においては電極にダメージが入ってしまい、安定した計測が難しいという課題があった。本研究では、ポリウレタン(PU)と自己ドーブ型ポリチオフェン(S-PEDOT)を混合させることで導電性を有するナノファイバーを作製し、その表面にS-PEDOTをスプレーコーティングすることで伸長時にも高い導電性を有するナノメッシュ電極を開発した。

【作製手法】 図1(a)に本研究で作製したナノメッシュ電極の構造を示す。エレクトロスピンニング法により皮膚に貼りつける際の犠牲層となるポリビニルアルコールのナノファイバー、PU/S-PEDOTのナノファイバー層を作製した。次に、150℃でヒートプレスを行ったのちに、エレクトロスプレー法でS-PEDOT層を成膜した。最後に、S-PEDOTの導電性を向上させるために、150℃で30分アニール処理を行った。

【実験結果】 図1(b)にナノメッシュ電極の伸縮性試験の結果を示す。作製したナノメッシュ電極は従来の金を用いたナノメッシュ電極と比較して、最大伸び率が15%から80%まで向上した。さらに、通気性試験を行ったところ、従来のナノメッシュ電極とほぼ同等の通気性を有することを確認した。また、図1(c)のように電極を皮膚に高密度に装着することで、手のひらでの筋電計測を行うことに成功した。

【謝辞】 本研究で使用したS-PEDOTは、東ソー株式会社に提供していただいた。

[1] A. Miyamoto et al., "Inflammation-free, gas-permeable, lightweight, stretchable on-skin electronics with nanomeshes", Nat. Nano. vol. 12, pp. 907-913, 2017.

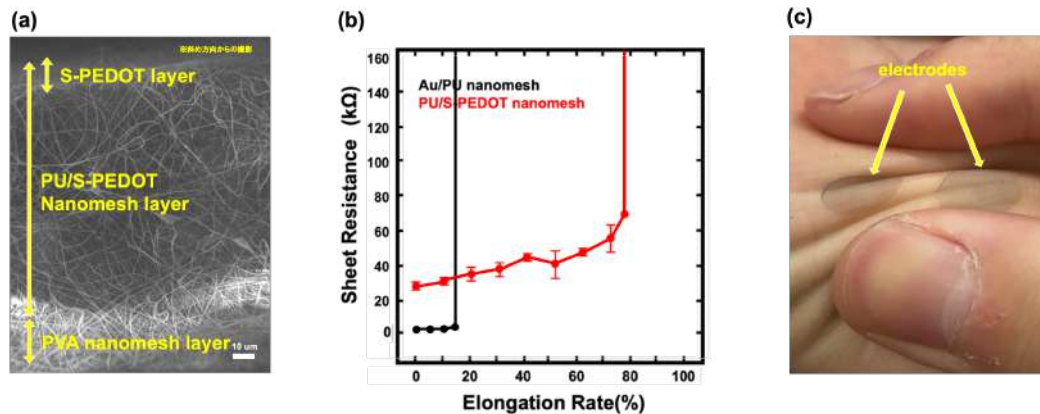


Fig1. (a) SEM image of the Nano mesh electrode (b) conductivity in stretching test (c) Nanomesh electrode on skin.

全印刷技術によるマルチモーダルセンサの作製とセンシング特性評価 Fabrication and Sensing Characteristic Evaluation of Fully Printed Multimodal Sensors

山形大院有機¹, 山形大工², 山形大 INOEL³

○(M2)吉田 潤哉¹, 佐々木 凜空¹, 釜野井 捷馬¹, 木村 悠人²,

武市 史寛², 竹田 泰典³, 関根 智仁^{1,2}

Grad. School of Organic Materials Science, Yamagata Univ.¹, Fac. of Engineering, Yamagata

Univ.², Innovation Center for Organic Electronics (INOEL), Yamagata Univ.³

○Junya Yoshida¹, Riku Sasaki¹, Shoma Kamonoi¹, Yuto Kimura²,

Fumihito Takeichi², Yasunori Takeda³, Tomohito Sekine^{1,2}

E-mail: t241577m@st.yamagata-u.ac.jp

【背景】近年、複数の物理量を同時に計測可能なマルチモーダルセンサの開発が進められている^[1]。これにより、センサ素子を集積化することでシステム全体の小型化や信号処理の効率化が期待できる。これに対し、これまでの集積化技術の多くは圧力・温度などの各種センサを個別に作製後に同一基板に貼り合わせる手法が一般的であった^[2]。この構成では、各センサの出力形式が抵抗値や電圧値など多様であり信号の統一的な取り扱いが困難となる。一方、このような異なる出力を電圧信号に統一することでノイズ低減が実現できるものの、実デバイス作製時の課題抽出については十分に検討されていない。そこで本研究では、分圧回路を用いて出力を電圧信号に統一したマルチモーダルセンサを作製し、その特性を評価した。

【実験】PEN 基板上に圧力、温度、すべりのセンサ素子を集積した。圧力センサは PEDOT:PSS/PDMS 複合材料をステンシル印刷で形成し^[3]、温度センサは PEDOT:PSS 複合材料をディスペンサ印刷で印刷した^[4]。すべりセンサは PVDF-TrFE 複合材料をスクリーン印刷とステンシル印刷で形成した^[5]。各センサは銀ペーストで配線し、圧力・温度センサは分圧回路を形成するためセンサ素子と統一の参照抵抗を印刷した。すべりセンサは圧電性による電圧信号を直接取得した。デバイス構成を Fig. 1 に示す。

【結果・考察】各センサの応答特性を取得することができた。圧力センサには荷重(60 kPa)を印加し、同時に温度センサには 25~45 °Cの温度変化を与えた。当該範囲内でいずれも線形的な応答が確認された。すべりセンサはせん断応力(約 30 N)を印加したときの明瞭な信号を確認できた(Fig. 2(a)~(c))。当日は各センサ間の信号干渉の有無や各センサの同時駆動性についてもより詳細に議論する。

【参考文献】 [1] Yang et al., *Adv. Sci.* 2022, **9**, 2202470. [2] S Duan et al., *Nano Energy*. 2022, **102**, 107665. [3] K Tou et al., *Adv. Sensor Res.* 2023, **2**, 2300045. [4] Y.-F. Wang et al., *Sci.Rep.*,2020, **10**, 2467. [5] T. Sekine et al., *Small. Sci.* 2021, **1**, 2100002.

【謝辞】本研究の一部は、科研費 JP25K01190 および学際融合グローバル研究者育成東北イニシアティブ (TI-FRIS) の支援を受けたものである。

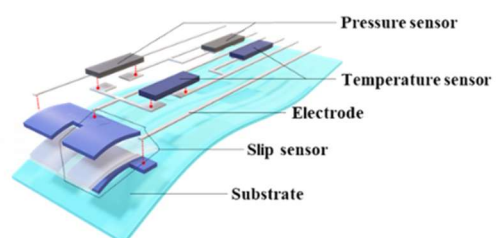


Fig. 1 Schematic of fabricated multi modal sensor.

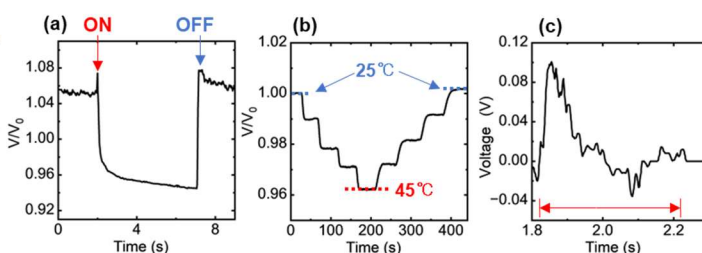


Fig. 2 (a) Device response when pressure is applied. (b) Electrical signal obtained from temperature changes by the sensor. (c) Detected slippage behavior. The red arrow indicates the region where the shear force is applied.

フレキシブルで表面輻射率の制御が可能な CNT-高分子複合材料から成る 熱流束センサ

Flexible and emissivity-adjustable heat flux sensor comprising of CNT-polymer composite

産総研 ○末森浩司, 小松裕一郎, 延島大樹

AIST., °Kouji Suemori, Yuichiro Komatsu, Taiki Nobeshima

E-mail: kouji-suemori@aist.go.jp

緒言：熱流センサは、発熱体にセンサを取り付けることで、その物体からの放熱を直接測定できる。しかし、センサの表面放射率を広範囲に制御できないことが、測定精度が低下する要因となっている。本研究では、CNT 系熱電変換素子を応用し、表面放射率を広範囲に調整できるフレキシブル熱流センサを形成したので報告する。

実験：作製したセンサは、熱流デテクタと輻射率制御層から成る（図 1）。熱流デテクタは、CNT、ポリビニルアルコール、アラビアゴムの複合材料（図 1、CNT/PVA/GA 層）のゼーベック効果を利用して、通過した熱流量に比例した電圧を発生する。輻射率制御層は、ポリエチレンナフタレート（PEN）フィルム上に堆積したアルミニウム蒸着薄膜で、20nm 以下の領域において膜厚を精密に制御することで、輻射率を 0.06～0.88 の範囲で調整できる。輻射率制御層は熱流デテクタに容易に着脱可能なため、本熱流センサは表面輻射率を広範囲で制御可能となる。また、本熱流センサの熱抵抗は発熱体と外気の間に形成される温度境界層の熱抵抗よりも 2 桁以上小さくなるよう設計されており、センサの設置による放熱への影響を低減している。

結果と考察：本熱流センサは、輻射率の異なる複数枚のセンサを用意し、発熱体上に貼り付けることで、発熱体周辺空気の対流熱伝達率を実測できる[1]。また、発熱体からの熱伝導の様子の観測にも用いることができる。例えば、図 2 は、ガラスカップに約 60℃の温水を注いだ際のコップ表面からの放熱を熱流センサにより測定したものである。センサの表面輻射率はガラスとほぼ同等の 0.88 に調整している。温水注入直後、熱流は急激に増加し、その後、時間の経過とともに急激に減少した。この急激な熱流の減少は、温水注入後約 100 秒で収束している。これは、温度境界層（コップ／空気界面における、空気の温度が変化している層）の形成完了に約 100 秒かったことを示している。このように、本研究の熱流センサは種々の熱解析に利用できる。

謝辞：本研究は科研費「24K21591」の支援を受けて行われました。

1) K. Suemori et.al., Sensors., 2025, 25(4), 1243.

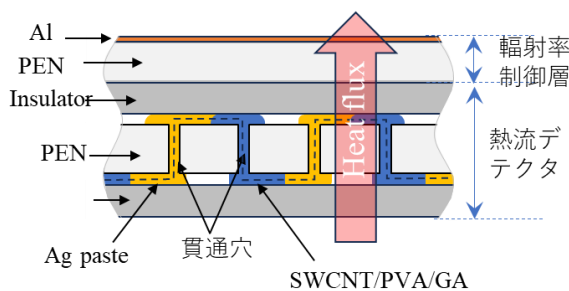


図 1 熱流センサの構造

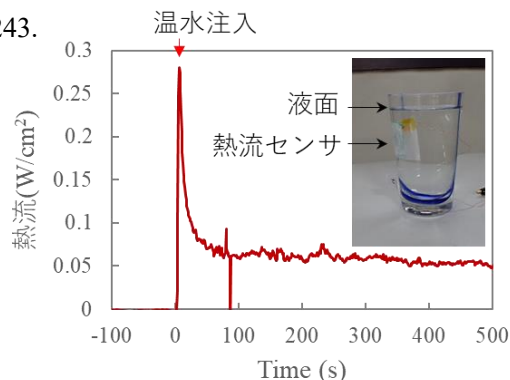


図 2 温度境界層の形成に伴う熱流の観察

有限要素法を用いたソフトアクチュエータにおける変位量の形状依存性 Shape Dependence of Displacement in Soft Actuators using Finite Element Method

山形大院有機¹, 山形大工², Piezotech³, アルケマ株式会社⁴

○(M2)高部 善仁¹, 柴田 泰成², F. D. D. Santos³, 黄 瞳⁴, 宮保 淳⁴, 関根 智仁^{1,2}

Grad. School of Organic Materials Science, Yamagata Univ.¹,

Fac. of Engineering, Yamagata Univ.², Piezotech³, ARKEMA K. K.⁴

○Yoshihito Takabe¹, Taisei Shibata², F. D. D. Santos³, Tong Huang⁴,

Atsuishi Miyabo⁴, Tomohito Sekine^{1,2}

E-mail: t241544m@st.yamagata-u.ac.jp

【背景】近年、機能性有機材料を用いた薄膜で軽量のソフトアクチュエータは、人工筋肉や触覚提示デバイスへの応用が期待され、注目を集めている^[1]。我々はこれまで複合型強誘電材料を用いることで、印加電界に比例した機械的変位の増大に成功してきた^[2]。一方、当該デバイス形状が駆動性に与える影響については不明点が多い。本研究では、有限要素法(シミュレーションソフト COMSOL)を用いて変位量の形状依存性を探索し、ソフトアクチュエータの駆動性能との関連性を明らかにすることを目的とした。

【実験】基板となる PEN フィルム上に下部電極、駆動層、上部電極の順に積層させたデバイスを COMSOL 上で作製した。各層の膜厚は基板が 25 μm 、下部電極と上部電極はどちらも 500 nm、駆動層は 5000 nm である。電極には PEDOT:PSS、駆動層には P(VDF-TrFE)を材料として選定した(Fig. 1)。形状は正方形(側長 10 mm)と螺旋状(外径 10 mm)を作製した。

【結果・考察】作製したソフトアクチュエータに電圧を印加したときの駆動性を Fig. 2 に示した。デバイス 1 は正方形の全ての辺を固定しており、デバイス 2 と 3 は左電極部分のみを固定している。また、1000 V を印加したときの最大および最小変位を比較すると、螺旋状のデバイスが最も大きい変位量を示した(Fig. 3)。これは細長比が低くたわみを防ぐ理由から垂直方向に機械的変位が伝わりやすいことが考えられる^[3]。当日は更なる形状も踏まえ、様々な観点から詳細な機械的変化について議論する。

【参考文献】[1] K. Thetraphi et al., *Adv. Optical Mater.*, **7**, 1900210 (2019). [2] Y. Shouji et al., *Adv. Electron. Mater.*, **5**, 2201040 (2023). [3] Youn et al., *Sci. Adv.*, **11**, eadt4839 (2025)

【謝辞】本研究の一部は、文部科学省世界で活躍できる研究者戦略育成事業「学術融合グローバル研究者育成東北イニシアティブ(TI-FRIS)」の支援を受けたものです。

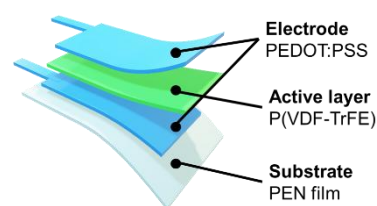


Fig. 1 Schematic illustration of a fabricated soft actuator.

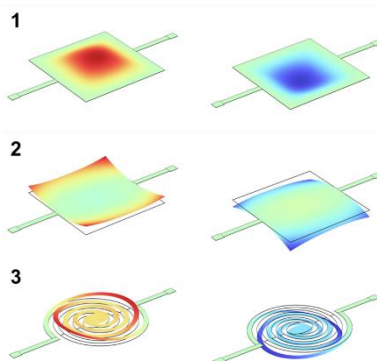


Fig. 2 Driving behavior when voltage is applied.

	Max (mm)	Min (mm)
1	3.81×10^{-3}	-3.81×10^{-3}
2	0.689	-0.689
3	3.721	-3.721

Fig. 3 Displacement of fabricated soft actuators

防水性ウェアラブル硬さセンサの作製

Fabrication of Waterproof Wearable Hardness Sensor

山形大院有機[○](M1)平山 文菜, 神谷 衣里, 鈴木 健矢, 江口 健斗, 関根 智仁

Grad. School of Organic Materials Science, Yamagata Univ.

[○]Ayana Hirayama, Eri Kamiya, Kenya Suzuki, Kento Eguchi, Tomohito Sekine

E-mail: tkm56164@st.yamagata-u.ac.jp

【背景】近年、力覚検出が可能であるウェアラブル硬さセンサが注目されており、当該センサのロボットハンドや義手への実装が期待されている^[1]。これまで我々は、柔らかい薄膜ゴム筐体に感圧層をインプラントしたソフト硬さセンサを報告してきた^[2]。一方、当該デバイスは防水性を搭載していないため大気下での測定しか行えないことが課題であった。そこで本研究ではこれまでの硬さセンサのゴム筐体成膜を溶液法に転換し、さらにパリレンを蒸着することで当該デバイスへの防水性付与を行ったので報告する。

【実験】スピコート法で成膜した Ecoflex[®](膜厚:250 μm)上に Ag ペーストを電極としてステンシル印刷法で成膜(膜厚:100 μm)し、150 $^{\circ}\text{C}$ で 90 分焼成した。次に、MWCNT、PDMS、ポリオキシエチレン-10-ステアリルエーテル、ヘキサン、純水を混合した溶液を感圧層としてスクリーン印刷法で基板上に成膜し、50 $^{\circ}\text{C}$ で 2 時間、120 $^{\circ}\text{C}$ で 1 時間焼成した^[3]。最後に、作製したデバイスの上にスピコート法で PDMS(膜厚:250 μm)を成膜し、パリレン dix-SR(膜厚:400 nm)を蒸着した(Fig. 1(a))。作製したデバイスは純水に浸漬させることで防水性を確認した(Fig. 1(b))。

【結果・考察】Fig. 2(a)に防水加工したデバイスの感圧性能、(b)に防水加工後の大気下および防水加工前後で水に浸漬後に圧力試験(10.2~40.8 kPa)を行った結果を示した。防水加工したものは水に 10 分浸漬後も測定可能であったが、防水加工していないものはノイズが発生し波形が不安定になったため測定不可であった。特に Fig. 2(b)の 20.4 kPa 印加時の結果から防水加工前後で特性変化に約 8%の差が生じたことが分かる。当日はより詳細なデバイス特性の解析結果について議論する。

【参考文献】[1] M.-Y. Liu et al., *Nano Energy*, **98**, 107242 (2022). [2] 関根ら, 特願 2024-021976(2024). [3] K. Nara et al., *Chem. Eng. J.*, **511**, 162180(2025).

【謝辞】本研究の一部は、UBE 学術振興財団および学際融合グローバル研究者育成東北イニシアティブ(TI-FRIS)の支援を受けたものである。

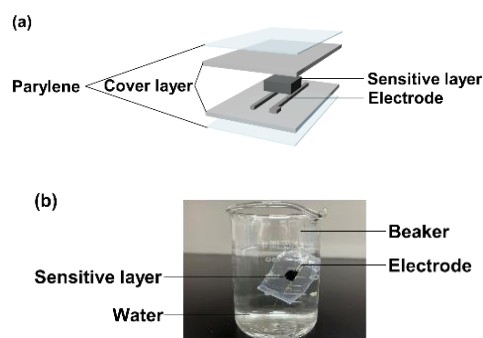


Fig. 1(a) Schematic illustration of the fabricated sensor. (b) Device immersion test in water.

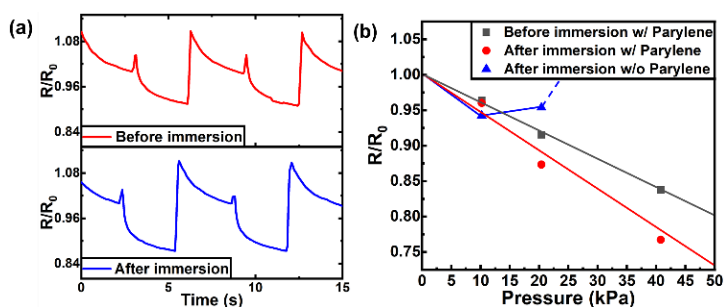


Fig. 2(a) Resistance changes under pressure at 20.4 kPa. (b) Applied pressure as a function of resistance changes of the fabricated sensors.

高感度力覚センシングに向けたソフト圧電体の低圧力下応答の検討

Investigation of Soft Piezoelectric Material under Low-Pressure Conditions for

High-Sensitive Force Sensing

東大院工, [○]佐藤 陽紀, 首藤 龍馬, 二階堂 圭, 長谷川 達生

U. Tokyo, [○]Haruki Sato, Ryoma Shuto, Kiyoshi Nikaido, Tatsuo Hasegawa

E-mail: sato-haruki811@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

ロボットと人のインタフェースにおいて高感度な力覚センサの開発は重要である。特にヒトの触覚に近い汎用性の高い多点力覚センサの開発には、曲面やフレキシブル基材上に高感度な圧力センサを分散配置することが必要となる。これには、微小な圧力により電荷を発生するソフト圧電体と、拡張メニスカスガイド法¹やスーパーナップ法²などの各種の印刷塗布技術により形成が可能な高急峻な有機トランジスタ (OFET) を組み合わせた圧力センサが有利である。今回その開発に向けて、特に低圧力領域に着目し、ソフト圧電体への力の印加条件や試料の形状を変化させ、各条件下における圧力センサの動作を比較したので報告する。

実験では、ソフト圧電体に対する押圧部および支持構造の形状を様々に変化させることで、厚み方向の応力により生じる物質固有の圧電効果を超える応答の誘起を試みた。圧電体としてはセラミックスおよびPVDFを用い、いずれの場合においても、 d_{33} メータ法による測定値を上回る電圧出力が得られることを確認した (Fig. a, b)。さらに PVDF においては、平面状態で力を印加した場合と比較して、試料をたわませた状態で力を加えた場合に、より高い電圧が生じることが確認された (Fig. c)。これにより 0.1 N 以下の微小な力の印可により高急峻 FET の動作が可能な出力電圧が得られた。以上の結果は、厚み方向の応力により電圧が生じる d_{33} 成分に加え、面内方向の応力による d_{31} 成分が寄与したものと考えられる。すなわち、試料形状および力の印加条件により、高出力な圧電応答を得ることが可能なことを示している。講演では、層状有機半導体を用いた高急峻塗布型 FET¹ と圧電体を組み合わせた圧力センサの動作を併せて示し、高感度圧力センサの開発に向けた設計指針について議論を行う。

[1] G. Kitahara, *et al.*, Sci. Adv. **8**, 41 (2020). [2] T. Yamada, *et al.*, Nature Communications **7**, 11402 (2016).

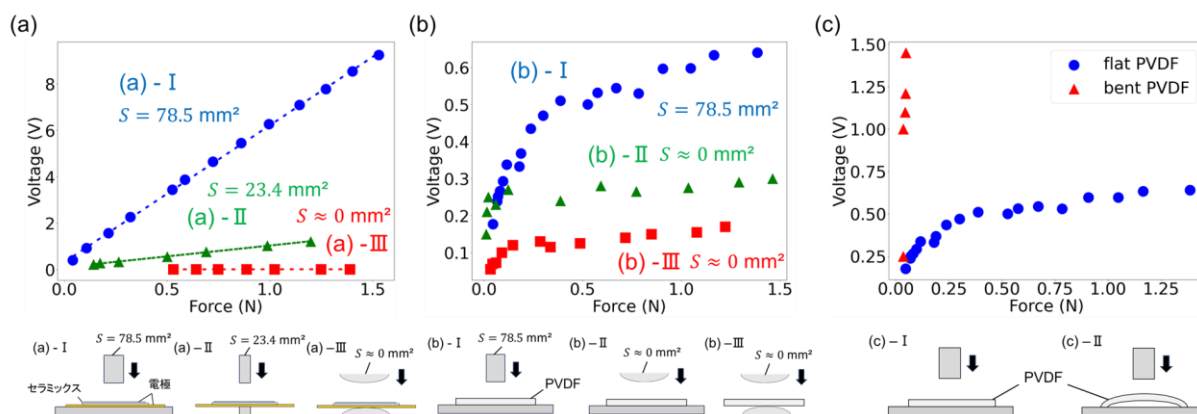


Fig. (a) Output voltage of ceramic as a function of applied force. Each data corresponds to a condition illustrated below the graph. For example, the blue dot represents the case where a force was applied using a stick with a contact area of 78.5 mm^2 on a flat stage. (b) Same as (a), but using PVDF instead of ceramics. (c) Output voltage of PVDF with increasing force under two conditions.

高急峻塗布型 FET と圧電体を組み合わせた高感度力覚センサ開発 Development of a Highly Sensitive Force Sensor Integrating Sharp-Switching

Printed FETs and Piezoelectric Materials

東大院工¹, 山形大 INOEL²

°(D)首藤 龍馬¹, 佐藤 陽紀¹, 村田 啓人¹, 二階堂 圭¹, 井上 悟², 長谷川 達生¹

U. Tokyo¹, INOEL, Yamagata Univ.², °Ryoma Shuto¹, Haruki Sato¹, Keito Murata¹, Kiyoshi Nikaido¹,

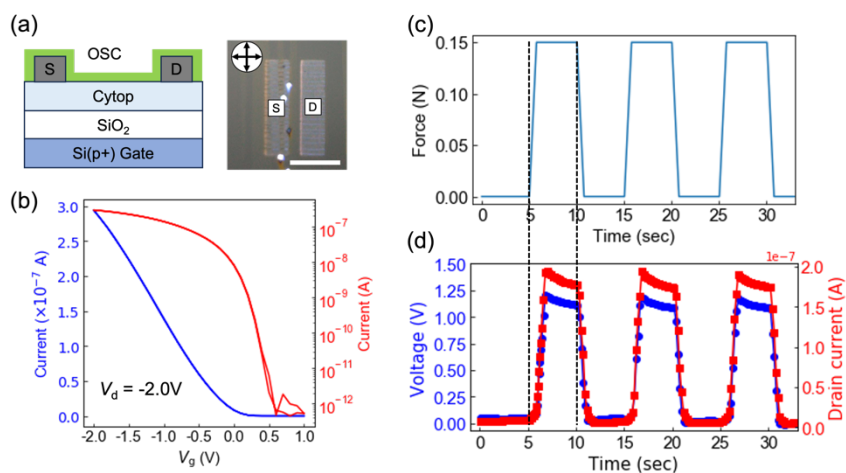
Satoru Inoue², Tatsuo Hasegawa¹

E-mail:shuto-ryoma814@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

ロボットと人のインタフェースにおいて高感度な力覚センサの開発は極めて重要であり、介護・医療・製造業・農業など各種ロボットの多様な社会実装に不可欠な基盤技術となっている[1]。特に汎用性の高い多点力覚センサの開発には、曲面やフレキシブル基材上に高感度な圧力センサを分散して配置することが必要となる。近年、圧力を電気信号に変換する圧電体と、集積化や信号増幅が容易な電界効果トランジスタ(FET)を組み合わせた圧力センサの研究が進められている[2]。しかし現状の力覚センサは、微小な力への感度、消費電力、多点配置化等の多くの課題が残されている。そこで本研究では、曲面やフレキシブルなプラスチックフィルム上にも適用が可能なスーパナップ法[3]を用いて高急峻塗布型 FET を作製し、これを圧電体と統合することで高感度な力覚センサを作製したので報告する。

スーパナップ法を用いて作製した銀電極パターン上に、有機半導体 Ph-BTNT-C₁₀ と Ph-BTNT-C₁₂ をモル比 95:5 で混合した半導体溶液を用いて、拡張メニスカス塗布法[4]により結晶性薄膜を製膜し、全印刷プロセスによる FET を作製した(図 a)。得られた FET は、2V 以下の低電圧駆動、SS 値が 100mV/dec 以下の高急峻なスイッチング特性を示した(図 b)。また FET に接続した圧電無機セラミックにステッピングモータで変位を制御しながら、0.15N の小さな力を印加したところ(図 c)、圧電体に生じた電圧に追従し FET に電流が流れることを確認した(図 d)。以上のように全印刷型 FET と圧電体を統合することにより、高入力インピーダンスな測定器が必要な電圧測定ではなく簡易な電流測定によりきわめて小さな力を検知可能な圧力センサを得ることに成功した。

[1] P. Maiolino *et al.*, *IEEE Sensors Journal*. **13**, 3910 (2013). [2] N. Yogeswaran *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **113**, 014102 (2018). [3] T. Yamada *et al.*, *Nat. Commun.* **7**, 11402 (2016). [4] G. Kitahara *et al.*, *Sci. Adv.* **6**, eabc8847 (2020).



(a) Schematic of device structure and Crossed Nicols image. Scale bar is 500μm. (b) Transfer characteristics at $V_d = -2.0V$. (c) Applied force by stepping motor. (d) The voltage generated in the piezoelectric ceramic and the Drain current induced by applied pressure.