

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H06229

研究課題名（和文）生体内発電にむけた超フレキシブル有機圧電フィルムの創製

研究課題名（英文）Piezoelectric power generation with organic flexible ferroelectric polymers for implantable devices

研究代表者

石田 謙司 (Ishida, Kenji)

神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：20303860

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,700,000 円

研究成果の概要（和文）：有機強誘電体ポリフッ化ビニリデン/三フッ化エチレン共重合体（P(VDF/TrFE)）薄膜を用いて、生体内での駆動を目指した圧電型センサ/発電デバイスの開発を行った。3D心臓拍動シミュレータに固定した有機圧電素子は、右心房/左心房の動きに連動した圧電出力パターンを発現し、心臓拍動状態の把握や不整脈検知などに応用できる可能性を示した。また心臓拍動に伴う発電特性は、1回の心臓拍動に対して約8nJ/mm<sup>2</sup>が達成できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体内センサーによる病理情報の取得、自動的な薬剤投与など新規医療機器の研究が急速に進んでいる。これら生体内センサー/医療機器の技術的課題の1つが電源確保の問題である。皮膚貫通したコード配線は感染症の元となり、電池では交換時に再手術が必要となる。発電量は小さくとも、継続的に発電する生体内電源の開発が求められている。本研究では、生体内の筋肉や臓器の弱くて小さな力（変形）を電気変換して変位センシング/発電できる、柔軟な有機圧電型発電素子の開発を目指して、有機強誘電体P(VDF/TrFE)薄膜を用いた生体内センサ/発電デバイスの研究開発を行い、心臓の状態把握、心臓発電の可能性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：Flexible piezoelectric devices with poly (vinylidene fluoride-trifluoroethylene) thin films were fabricated, and directly monitoring of the heart state and piezoelectric power generation were investigated using the pulsating 3D heart model. By attaching the flexible piezoelectric devices to the 3D heart model, the piezoelectric responses corresponding to the pulsation of the right and left ventricles were observed and reflected the status of heart. The maximum output voltage was obtained in the front of the right ventricle of the heart model. The output energy, which caused from piezoelectric effect, improved linearly with the increase of the device area, and was estimated to be approximately 8 nJ/mm<sup>2</sup> per heartbeat.

研究分野：有機強誘電体

キーワード：生体内発電 有機強誘電体 心臓発電 インプラントデバイス

【1. 研究開始当初の背景】

生体内に係留した医療用センサーによって病情報を取得したり、自動的に薬剤投与する新規医療機器の研究開発が急速に進んでいる。これら開発途上にある生体内センサー/医療機器には幾つかの技術的課題が存在しているが、重要課題の1つが生体内での電源確保の問題である。皮膚貫通した電源コード配線は感染症や医療事故の元となり、電池では交換時に再手術が必要となるため身体的負担が大きい。先端センサーや無線通信器の消費電力は10~100uW、最新ペースメーカーでは0.3uWと、その消費電力は年々減少していることを踏まえると、発電量は小さくても、生体内で継続的に発電する生体内電源が実現すれば革新的かつ有用である。

事実、持続可能エネルギー創出に向けて「エナジーハーベスト」技術が注目され、材料変形や振動現象から電力創出する振動発電の研究開発が進んでいる。当該研究に適用される材料の多くはジルコン酸チタン酸鉛(PZT)であるが、PZTは有毒な鉛を含むため生体内組織への係留は医学的な障害が大きい。またPZTなど無機圧電セラミックは、その機械的な硬さから(1)大変形による脆性破壊、(2)筋肉や臓器の動きや機能を阻害、などする可能性があり、生体組織の弱い力でのゆっくりとした(低周波)大きな変形(例;心臓で1Hz,数cm)を電気エネルギーに変換するには、超柔軟で生体適合性ある生体内発電デバイスの開発が火急の研究課題となる。現状では当該要請を満たすデバイスは存在せず、素材にまで立ち返った研究開発が求められている。

【2. 研究の目的】

本研究の目的は「超フレキシブル有機圧電型発電デバイス創出と生体内駆動の検証」とし、生体内の筋肉や臓器の弱くて小さな力(変形)を電気変換して変位センシング/発電できる、超柔軟で生体適合性ある圧電型発電素子の開発を目指した。有機強誘電体分子の構造制御(配向膜、多層膜、イオン液体ゲル混合膜など)により柔軟性と高い圧電特性を両立させ、生体内の臓器や筋肉の動きや機能を阻害せず、高効率発電可能な発電フィルムの創出を目指す。拍動型心臓シミュレータによる疑似生体内環境下における基礎検証を通して生体内発電素子としての可能性を追求した。

【3. 研究の方法】

研究目的の達成に向けて、研究分担者とともに以下の研究項目に取り組んだ。

- (1) 超柔軟な有機強誘電体薄膜の創成と強誘電特性、圧電特性の基礎評価  
超柔軟な圧電材の開発に向けて有機強誘電体とオン液体混合ゲル化に取り組み、その構造特性、強誘電特性、圧電係数の調査を行った。
- (2) 生体内発電に向けた有機圧電薄膜デバイスの構造制御と圧電特性  
有機強誘電体の結晶構造、分極制御に伴う圧電特性、発電特性の変化を調査し、発電効率の向上に向けた方針付けを行った。生体内センシング/発電に向けて、封止膜として生体適合性あるパリレン被膜を有機圧電薄膜デバイス上に形成し、生理食塩水中での圧電基礎物性の観測を行った。
- (3) 疑似生体内でのセンシング/発電素子動作の検証  
疑似臓器として、成人男性の3D-X線CT画像から再現した心臓モデルを用いた拍動型心臓シミュレータを立ち上げた。まず心臓拍動と圧電出力の相関を確認した後、ピックアップ回路の最適化、圧電型発電信号の確認、発電特性の最大化を行った。素子配置、拍動速度(安静時・ランニング時)、素子の積層化に伴う発電特性変化を系統的に調査し、生体内発電の可能性を検証した。

【4. 研究成果】

- (1) 超柔軟な有機強誘電体薄膜の創成と強誘電特性、圧電特性の基礎評価  
有機強誘電体としてP(VDF-TrFE)、イオン液体(IL)として[Emim][TFSI](Fig. 1)を用いた。P(VDF-TrFE)メチルエチルケトン(MEK)溶液を調製し、P(VDF-TrFE)溶液とイオン液体とを様々な重量比で混合した。混合溶液をスピコートした後、窒素中で加熱して溶媒除去するこ

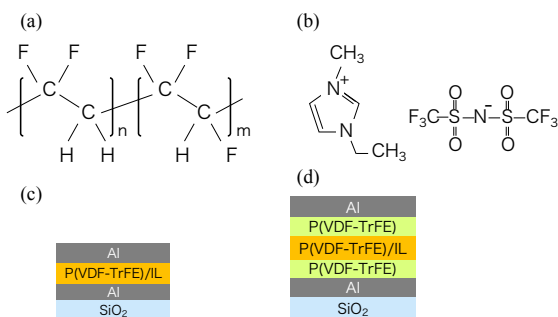


Fig. 1. 本研究で用いた試料の分子構造と電気特性評価用のデバイス構造 (a) P(VDF/TrFE), (b) イオン液体[Emim][TFSI], (c)単層型デバイス、(d)三層型デバイス

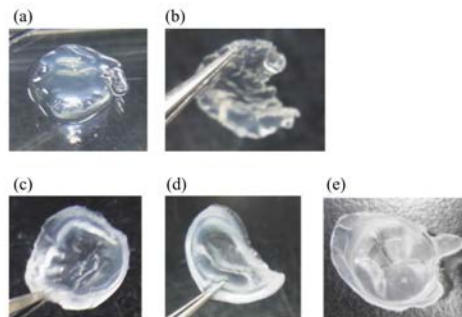


Fig. 2. P(VDF-TrFE)/IL ゲルの外観写真。P(VDF-TrFE) 混合比 (a) 9, (b) 13, (c) 21, (d) 50, and (e) 70wt%

とで P(VDF-TrFE)/IL 混合ゲルを作製した。電気測定用のデバイス構造として、ゲル単層構造と、ゲル-電極間に絶縁層として固体の P(VDF-TrFE) 薄膜層を挿入した三層構造の二種類のデバイス (Fig. 1(c) (d)) を作製し、強誘電性および圧電性評価を行った。

P(VDF-TrFE)/IL 混合ゲルを P(VDF-TrFE) が 9~70 wt% の比率で作製した。様々な混合比で作成した P(VDF-TrFE)/IL ゲルの外観写真を Fig. 2 に示す。ゲル中のイオン液体量が多いほど柔らかいゲルとなり、分率の調整により柔らかさのコントロールが可能であることが示唆された。P(VDF-TrFE)/IL 混合ゲルの XRD 測定から、イオン液体由来のブロードなピーク、P(VDF-TrFE) I 型結晶由来のシャープな回折ピークが観測され、ゲル中において P(VDF-TrFE) が強誘電結晶相を形成していることが示唆された。一方、ゲル化による新たな周期構造を示唆するピークは確認されなかった。

次に P(VDF-TrFE)/IL 混合ゲルの強誘電性を評価した。単層構造および三層構造デバイスの  $J$ - $E$  曲線を Fig. 3 に示す。混合ゲル単層デバイスでは分極反転に由来する電流ピークが  $\pm 0.8$  MV/m 付近にわずかに観測されたが、残留分極量 ( $P_r$ ) は非常に小さく、同時に大きなリーク電流が観測された。これはゲル中に電気伝導性を持つイオン液体を含むためであると考えられる。安定した分極反転にはリーク電流抑制する必要があるため、電極-ゲル界面に絶縁層として P(VDF-TrFE) 薄膜を挿入した三層構造デバイスを試作し、 $J$ - $E$  測定を行ったところ、分極反転に由来する電流ピークが明確に確認され、強誘電体ゲルの分極反転に成功した。 $P_r=64$  mC/m<sup>2</sup> と従来の P(VDF-TrFE) と同等の値が得られた。一方、抗電界は  $E_c=7.1$  MV/m と従来の固体 P(VDF-TrFE) ( $E_c=50$  MV/m) に比べ、非常に小さな値を示した。これは、ゲル中の P(VDF-TrFE) 分子が固体中よりも動きやすい状態にあること、外部電界印加に伴うイオン液体の電気二重層形成によって強電場が形成されることなどが複合して、極めて低い電圧でも分極反転可能になったと考えられる。最後に三層構造ゲルデバイスの圧電性の測定結果を Fig. 4 に示す。通常の固体 P(VDF-TrFE) デバイスの 10~40 倍の変位量を得られ、P(VDF-TrFE) の分率が 13 wt% のゲルは 21 wt% のゲルよりも変位量が大きい結果となった。P(VDF-TrFE) 分率が低い方がイオン液体の含有量が相対的に多く、柔軟性の向上が起因していると考えられる。これらの実験結果を通じて、P(VDF-TrFE)/IL ゲルの作製に成功し、その分極反転および圧電性の向上に成功した。

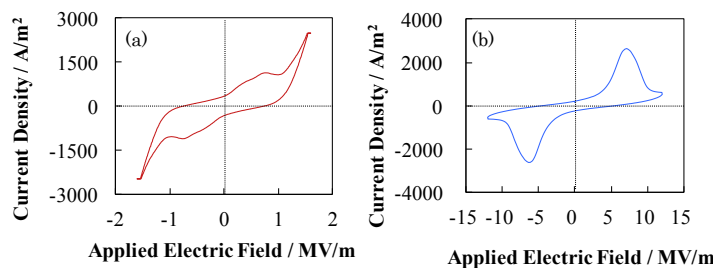


Fig. 3. P(VDF-TrFE)/IL ゲルの電流密度( $J$ )-電界( $E$ )曲線。(a) 単層型デバイス、(b) 三層型デバイス

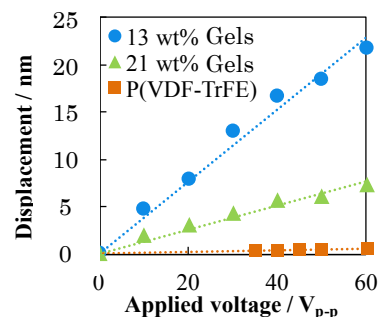


Fig. 4. P(VDF-TrFE)/IL ゲルの圧電変位特性。

## (2) 生体内発電に向けた有機圧電薄膜デバイスの構造制御と圧電特性

ポリエチレンナフタレート (PEN) フィルム基板上に Al 電極を形成し、その直上に P(VDF/TrFE) 薄膜をスピコート法により作製した。窒素雰囲気下で熱アニール処理することで強誘電性 I 型結晶化を行った。その後、上部 Al 電極を成膜して、キャパシタ型有機圧電素子とした。有機圧電素子に電圧印加して分極方向を揃えた後 (ポーリング処理)、フレキシブルな有機圧電素子を心臓モデルの外形に沿わせて複数個固定した。心臓拍動時の出力電圧波形をオシロスコープにより時間測定した。また最適回路にて実効電圧を測定することで出力電力を求め、出力エネルギーの算出を行った。

作製した有機圧電素子に三角波電圧を印可し、電流密度-印加電界 ( $J$ - $E$ ) スwitchング曲線及び電気変位量-印加電界 ( $D$ - $E$ ) ヒステリシス曲線から抗電界 ( $E_c$ ) と残留分極量 ( $P_r$ ) を求めた。測定結果を Fig. 5 に示す。観測された  $E_c$  は 50 MV/m、 $P_r$  は 60 mC/m<sup>2</sup> 程度であり、P(VDF/TrFE) の典型的な物性値を示した。これ以降、素子性能を統一するため、試作する有機圧電素子の  $P_r$  は 60 mC/m<sup>2</sup> に統一することとした。

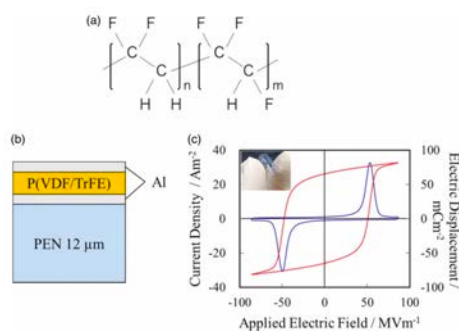


Fig. 5 (a) P(VDF/TrFE) の分子構造、(B) 素子構造、(c) 典型的な誘電ヒステリシス特性

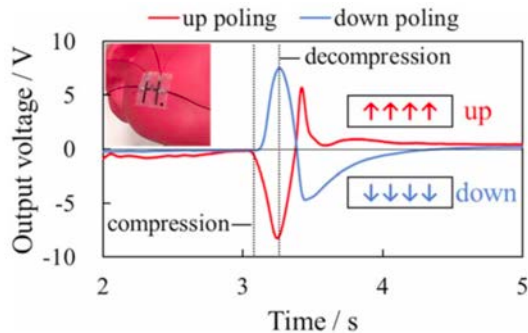


Fig. 6 心臓拍動モデルに固定した有機圧電素子から観測された圧電性信号。分極方向 (Up/Down)に依存した信号が観測される。

心臓モデルの拍動によって出力された電圧信号が圧電性由来のものかを確認するため、同一基板上に、隣り合う素子 A, 素子 B を作製し、素子 A を up poling、素子 B を down poling に分極制御した。両素子の中心部を押し込んだ際の出力電圧信号を Fig. 6 に示す。同じ応力に対して、正負逆の電圧信号を観測できた。また、心臓モデルを拍動させた際には、膨張時と収縮時で正負逆の電圧信号を得た。これらの実験事実から、心臓拍動モデルに固定した有機圧電素子にて観測された電圧信号は静電気によるものではなく、素子由来の圧電信号であることが示された。

生体内センサ/発電素子として使用するためには、生体液中での長期安定的に駆動する必要があるため、有機圧電素子や配線部の封止技術は必須となる。本研究では、生体適合性があり、医療機器にも用いられているパリレン C による素子封止を試みた。疑似生体液として体温付近まで温めた生理食塩水を用いて、液中で有機圧電素子の加圧/減圧試験、湾曲試験を行った。大気圧環境と同様に、加圧・減圧時に正負信号極性が反転する電圧出力が観測された。湾曲試験においても、湾曲方向に依存したバイアス電圧が出力された。しかし、出力信号の若干の低下も観測された。今後、素子封止の最適化、生体内での長時間動作確認などを行う必要がある。

### (3) 疑似生体内でのセンシング/発電素子動作の検証

Fig. 7 に示すように有機圧電素子を心臓モデル(右心室(表・裏)、左心室(表・裏))に固定し、同時に拍動測定を行った所、心臓モデルの拍動時系列に応じた出力電圧の時間変化を観測できた。また右心室(表)において最も大きな圧電出力電圧が得られた。実際、今回用いた心臓モデルでは右心室(表)が最も激しく動いており、その変位量・時間変化量ともに大きいと考えられ、大きな圧電性出力が得られたと考えられる。

有機圧電素子を心臓モデル右心室/左心室に固定し、同時に拍動測定を行った。心臓モデルの拍動速度を 60 bpm(安静時)と 162 bpm(ランニング時)に設定し、出力電圧波形 1 秒間に注目した。Fig. 8 には 60 bpm(安静時)設定した心臓拍動パターンから観測された圧電信号を示す。右心室と左心室の拍動時間差をグラフから読み取ると、心臓モデルの右心室と左心室の拍動時間差とほぼ一致した。また 162 bpm(ランニング時)設定において、同様に設定通りの圧電信号を確認できたことから、フレキシブル有機圧電素子を複数設置することで、多面的に高精度で心臓拍動を把握でき、不整脈など突発的異常を検知できる可能性を示した。

実効電圧を測定することで出力電力の算出を行った。一般的な発電においては出力電力は、 $P=V^2/R$  で表される。P は出力電力(W)、V は実効電圧(V)、R は最適抵抗( $\Omega$ )である。心臓拍動では、膨張時と収縮時で出力電圧パターンが異なることから、本研究では心臓が 1 回拍動

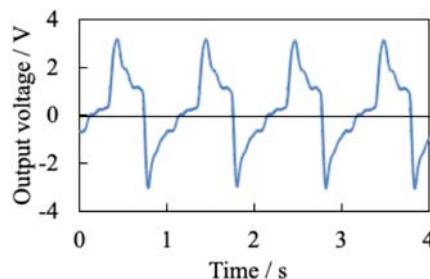
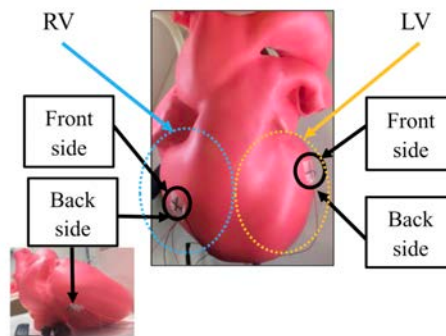


Fig. 7 (上) 有機圧電素子を心臓拍動モデルに固定した様子。(下) 右心室(表)から観測された振動モデルの拍動に伴う有機圧電信号の時間依存性。

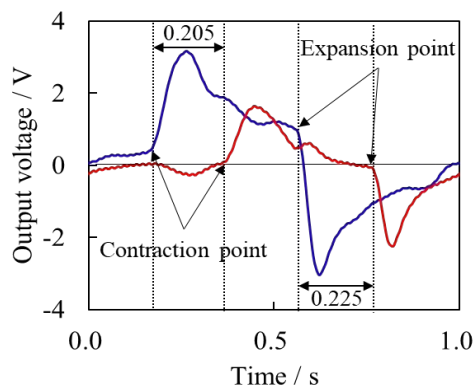


Fig. 8 60 bpm(安静時)設定した拍動パターンから観測された圧電信号の時間依存性。右心室(青線)、左心室(赤線)に設置した有機圧電素子で測定された信号である。

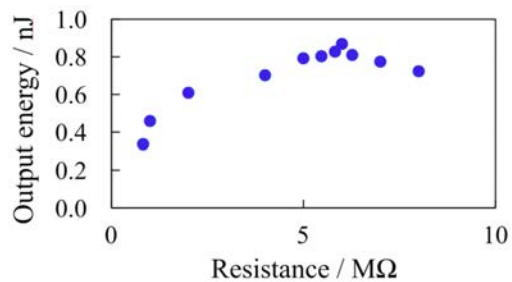


Fig. 9 発電エネルギーの負荷抵抗依存性

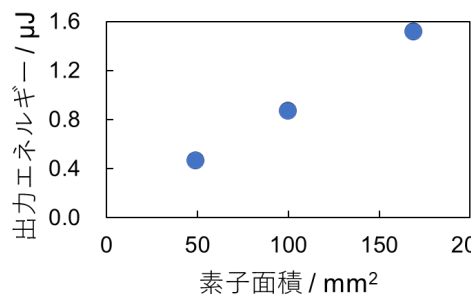


Fig. 10 心臓拍動モデルに固定した有機圧電膜からの発電出力エネルギーの面積依存性。

する時間で前式を積分することで心臓発電出力エネルギーを算出した。最適抵抗は、最大出力エネルギーが得られた抵抗値とし、負荷抵抗を変化させることにより実験的に決定した (Fig. 9)。負荷抵抗 6 MΩ を選択した際に、最大出力エネルギー 869 nJ を 1 回の拍動で得た。続いて、心臓発電の出力エネルギーと素子面積の関係を Fig. 10 に示す。素子面積の増加に伴って、出力エネルギーは増加し、素子面積 169 mm<sup>2</sup> にて 1.52 μJ を得ることができた。この出力エネルギー値は、Zigbee 無線センサーにおいて、数時間に 1 回、データ送信するのに必要なエネルギーに相当する。

これら実験成果から、生体内発電に向けたフレキシブル有機圧電フィルム創成と心臓拍動のセンシング・発電動作の基礎検証に成功した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 A Kobayashi, Y Koshiba, Y Ueno, T Kajihara, Y Tsujiura, M Morimoto, S Horike, T Fukushima, I Kanno, and K. Ishida	4. 巻 1052
2. 論文標題 Orientation Dependence of Power Generation on Piezoelectric Energy Harvesting Using Stretched Ferroelectric Polymer Films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conf. Series	6. 最初と最後の頁 012112-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1052/1/012112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Masahiro Morimoto, Tatsuya Fukutomi, Yasuko Koshiba, and Kenji Ishida	4. 巻 54
2. 論文標題 High hardness and low dielectric constant thin films with oriented urea oligomers by physical vapor deposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 2483-2492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-018-3000-2	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 Shohei Horike, Masato Ayano, Masahiro Tsuno, Tatsuya Fukushima, Yasuko Koshiba, Masahiro Misakia and Kenji Ishida	4. 巻 20
2. 論文標題 Thermodynamics of ionic liquid evaporation under vacuum	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 21262-21268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CP02233J	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 Yasuko Koshiba, Mana Hirai, Shohei Horike, Masahiro Morimoto, Masahiro Misaki, Tatsuya Fukushima, and Kenji Ishida	4. 巻 30
2. 論文標題 In situ Monitoring of Vapor-phase Polymerization and Characterization of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Thin Film	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2873-2879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2018.1986	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 藤原 圭祐, 小村 将大, 森本 勝大, 小柴 康子, 堀家 匠平, 福島 達也, 石田 謙司	4. 巻 34
2. 論文標題 有機強誘電体薄膜を用いた応力測定とスマートインソール応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 34-36
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 Hajime Takahashi, Masatoshi Kitamura, Yoshiaki Hattori, Yoshinari Kimura	4. 巻 58, SBBJ04
2. 論文標題 A ring oscillator consisting of pentacene thin-film transistors with controlled threshold voltages	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab01d3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Morimoto Masahiro, Tsujiura Yuichi, Koshiba Yasuko, Kanno Isaku, Ishida Kenji	4. 巻 653
2. 論文標題 Vibration energy harvester with piezoelectric properties using polyurea thin films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Molecular Crystals and Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 188 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1080/15421406.2017.1351287">http://dx.doi.org/10.1080/15421406.2017.1351287</a>	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 Morimoto Masahiro, Ito Genta, Koshiba Yasuko, Ishida Kenji	4. 巻 57
2. 論文標題 Surface modification and effects of organic ferroelectrics with blending hyperbranched polymer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 03EG02 ~ 03EG02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.57.03EG02">https://doi.org/10.7567/JJAP.57.03EG02</a>	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 Fukagawa Miki, Koshiba Yasuko, Fukushima Tatsuya, Morimoto Masahiro, Ishida Kenji	4. 巻 57
2. 論文標題 Anomalous piezoelectric properties of poly(vinylidene fluoride/trifluoroethylene)/ionic liquid gels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 04FL06 ~ 04FL06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.57.04FL06">https://doi.org/10.7567/JJAP.57.04FL06</a>	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 Takahashi Hajime, Hanafusa Yuki, Kimura Yoshinari, Kitamura Masatoshi	4. 巻 57
2. 論文標題 Application of pentacene thin-film transistors with controlled threshold voltages to enhancement/depletion inverters	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 03EH03 ~ 03EH03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.03EH03	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 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 堀家匠平、石田謙司
2. 発表標題 有機圧電性薄膜による振動発電
3. 学会等名 有機エレクトロニクス材料研究会第229回研究会「IoT関連の電源技術」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 分極制御した有機圧電性薄膜によるリアルタイム多軸モーションセンシング
3. 学会等名 ゴム協会9月例会講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 構造制御した有機圧電薄膜の振動発電特性
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会 第15回研究集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 分極制御した有機強誘電体薄膜によるセンサ・創エネ機能創出
3. 学会等名 高分子学会・有機エレクトロニクス研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本雅樹，高嶋一登，佐々木拓真，竹中慎，堀江聡，石田謙司
2. 発表標題 PVDFフィルムを用いたカテーテル型触覚センサによる血管モデルの表面性状測定
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018(ROBOMECH2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本雅樹，高嶋一登，竹中慎，堀江聡，石田謙司
2. 発表標題 2枚のPVDFフィルムを用いたカテーテル型触覚センサの試作
3. 学会等名 第19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(SI2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木拓真, 高嶋一登
2. 発表標題 画像処理を用いた血管内治療デバイスの接触力推定 (誤差補正方法の検討)
3. 学会等名 第19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(SI2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田雄太, 高嶋一登, 葭仲潔, 于凱鴻, 太田信, 森浩二, 当麻直樹, 鈴木秀謙
2. 発表標題 血管内治療デバイス留置シミュレータの開発 (コイルと動脈瘤モデルの接触面積・荷重の評価)
3. 学会等名 第19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(SI2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 由斉, 服部 吉晃, 北村 雅季
2. 発表標題 有機MOSキャパシタの電圧・周波数特性解析
3. 学会等名 第66応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田 宏樹, 吉岡 巧, 木村 由斉, 服部 吉晃, 北村 雅季
2. 発表標題 酸素プラズマ処理によるボトムコンタクト型有機トランジスタの閾値電圧制御
3. 学会等名 第66応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡 巧, 木村 由斉, 服部 吉晃, 北村 雅季
2. 発表標題 フルオロベンゼンチオール修飾による金表面の制御と有機トランジスタ応用
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会 第15回研究集会「未来のエネルギー社会に貢献する薄膜技術」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 翔太郎, 木村 由斉, 服部 吉晃, 北村 雅季
2. 発表標題 ポリテトラフルオロエチレン配向膜を有する銅フタロシアニン薄膜トランジスタ
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会 第15回研究集会「未来のエネルギー社会に貢献する薄膜技術」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hajime Takahashi, Masatoshi Kitamura, Yoshiaki Hattori, Yoshinari Kimura
2. 発表標題 Logic circuits consisting of pentacene thin-film transistors with controlled threshold voltages
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三木 正紀, 岩田 大輝, 北村 雅季
2. 発表標題 pチャンネルSnO <sub>x</sub> 薄膜トランジスタに対するパッシベーション膜の効果
3. 学会等名 第79回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 一, 北村 雅季, 服部 吉晃, 木村 由斉
2. 発表標題 有機薄膜トランジスタにおける酸素プラズマ処理による閾値電圧シフトの起源
3. 学会等名 第79回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉岡 巧, 木村 由斉, 服部 吉晃, 北村 雅季
2. 発表標題 有機薄膜トランジスタへの応用に向けたフルオロベンゼンチオール表面修飾による金電極の仕事関数制御
3. 学会等名 第79回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 有機圧電型エナジーハーベスターの高効率化に向けた構造制御技術
3. 学会等名 有機薄膜・デバイス・材料研究討論会電気情報通信学会 有機エレクトロニクス研究専門委員会 (招待講演)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 石田謙司、神野伊策
2. 発表標題 分極制御有機圧電薄膜による振動発電素子
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 森本勝大, 小村将大, 小柴康子, 福島達也, 石田謙司
2. 発表標題 有機圧電センサによるリアルタイムモーションセンシング
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年 ~ 2018年

1. 発表者名 石田謙司
2. 発表標題 垂直配向した有機強誘電分子の面内分極反転
3. 学会等名 第27回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年 ~ 2018年

1. 発表者名 Masahiro Morimoto, Genta Ito, Yasuko Koshiba, and Kenji Ishida
2. 発表標題 Surface Modification and Effects of Organic Ferroelectrics
3. 学会等名 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9)
4. 発表年 2017年 ~ 2018年

1. 発表者名 Miki Fukagawa, Yasuko Koshiba, Masahiro Morimoto, Tatsuya Fukushima and Kenji Ishida
2. 発表標題 Structural and Piezoelectric Characterization of P(VDF-TrFE)/Ionic Liquid Gels
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2017)
4. 発表年 2017年 ~ 2018年

1. 発表者名 A. Kobayashi, Y. Koshiba, Y.Ueno1, T. Kajihara1, Y.Tsujiura, M. Morimoto, S. Horike, T. Fukushima, I. Kanno, and K. Ishida
2. 発表標題 Orientation Dependence of Power Generation on Piezoelectric Energy Harvesting Using Stretched Ferroelectric Polymer Films
3. 学会等名 The 17th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (Power MEMS 2017)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 山本雅樹、高嶋一登、竹中慎、堀江聡、石田謙司
2. 発表標題 有機強誘電体を用いたカテーテル型触覚センサによる血管モデルの測定
3. 学会等名 第30回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 深川 美樹, 小柴 康子, 森本 勝大, 福島 達也, 石田 謙司
2. 発表標題 有機強誘電体/イオン液体ゲルの強誘電特性と圧電特性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 高橋 一, 花房 佑樹, 木村 由斉, 北村 雅季
2. 発表標題 酸素プラズマ処理により閾値電圧制御されたペンタセントランジスタからなるエンハンスメント/ディプレッション型インバータ
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 北村 正樹, 北村 雅季
2. 発表標題 フッ素基を持つベンゼンチオール単分子膜を形成したAu表面の物性評価
3. 学会等名 薄膜材料デバイス研究会
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 大石 桃子, 木村 由斉, 高橋 一, 花房 佑樹, 吉岡 巧, 服部 吉晃, 北村 雅季
2. 発表標題 ボトムコンタクト型有機薄膜トランジスタにおける閾値電圧制御
3. 学会等名 第65応用物理学関係連合講演
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 服部 吉晃, 木村 由斉, 吉岡 巧, 高橋 一, 北村 雅季
2. 発表標題 DPh-DNTT 薄膜トランジスタの遮断周波数測定
3. 学会等名 第65応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 高橋 一, 花房 佑樹, 木村 由斉, 北村 雅季
2. 発表標題 閾値電圧制御したペンタセン薄膜トランジスタの論理回路応用
3. 学会等名 第65応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 木村 由斉, 服部 吉晃, 北村 雅季
2. 発表標題 キャパシタンス測定による有機トランジスタの寄生抵抗評価
3. 学会等名 第65応用物理学関係連合講演会
4. 発表年 2017年～2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 堀家匠平、石田謙司（監修：中村雅一）	4. 発行年 2017年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 254（そのうちpp. 79-87）
3. 書名 「フレキシブル熱電変換材料の開発と応用」第7章 有機強誘電体との界面形成に基づくカーボンナノチューブ熱電材料の極性制御 を分担執筆	

〔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
研究分担者	北村 雅季  (Kitamura Masaki)  (10345142)	神戸大学・工学研究科・教授   (14501)	
研究分担者	高嶋 一登  (Takashima Kazuto)  (30435656)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授   (17104)	
研究分担者	小柴 康子  (Koshiba Yasuko)  (70243326)	神戸大学・工学研究科・助手   (14501)	



