

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K20116

研究課題名(和文) 生体内に注射針にて注入・展開・作動可能なナノ薄膜状アンテナの開発

研究課題名(英文) Injectable, Developable and Operatable Nanosheet-Antenna in a Living Body

研究代表者

藤枝 俊宣 (Fujie, Toshinori)

東京工業大学・生命理工学院・講師

研究者番号：70538735

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、注射針やカテーテルのような細管を通じて生体内に注入後に、展開・作動可能なインジェクタブルデバイスの創製を目指した。具体的には、高分子ナノ薄膜の製造技術とプリントエレクトロニクスを融合させることで、水中で自己展開可能なナノ薄膜状アンテナコイルを作製した。この時、アンテナコイルにチップLEDを搭載した薄膜状発光デバイスを開発し、LEDを無線給電にて作動させることにも成功した。さらに、当該研究成果を活用して、発光デバイスや神経電極も開発し、それらの医療応用(光線力学療法、オプトジェネティクス)を示した。本研究は映画「ミクロの決死圏」の実現に向けた第一歩として今後の展開が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は従来型医療で用いられてきた注射針やカテーテルによる物質送達手法の可能性を拡張するものであり、既存の生体材料学が抱える医療機器の血中滞留性や埋込み手術といった課題を打破しうる手法を開拓した点で意義深い。特に、宇宙構造物をヒントにして、注射針の投与限界を高分子ナノ薄膜のユニークな物性(超薄・柔軟・広い表面積)で超えようとする発想は斬新である。本研究結果によって、投与対象物を既存の薬剤から電子素子やセンサまで拡張できれば、薬物送達/徐放、オプトジェネティクス、ロボットサージェリーなどの様々な分野に応用可能であるため、埋め込み型医療機器の低侵襲化にも繋がる点では社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：In this research, we envisioned the development of an injectable device that can be deployed and operated after being injected into a living body through a thin tube such as a needle or a catheter. Specifically, we fabricated an ultra-thin antenna coil that can be self-deployed in water by integration of polymer nanosheet technology and printed electronics. Then, we also developed a thin-film light-emitting device with a chip LED mounted on the antenna coil, and succeeded in operating the LED wirelessly. Furthermore, utilizing the research results, we also developed light emitting devices and neural electrodes including their biomedical applications (photodynamic therapy, optogenetics). This research is expected to develop in the future as the first step toward the realization of the classic movie "Fantastic Voyage".

研究分野：生体医工学・生体材料学

キーワード：高分子ナノ薄膜 インクジェット印刷 インジェクタブルデバイス 自己展開 グラフェン 無線給電
光線力学療法 オプトジェネティクス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

先進医療や医学研究の高度化に向けて、患者や実験動物に対して低侵襲に使用可能な医療機器を開発することは、QOL (Quality of life) の向上のため、また、QOL 向上を支えるための高精度な生体情報収集のために極めて重要である (引用文献①)。例えば、注射針やカテーテルの使用は、簡便かつ侵襲性の低い投与方法であるが、生体内に投与可能な物質サイズは注射針の内径により制限される。さらに、その物質形態も液状 (薬剤) や分散状 (コロイド粒子・細胞) に限られてきた。このような注射針の投与限界を、高分子ナノ薄膜のユニークな特性 (超薄性・柔軟性・広い表面積) を利用して超えることができれば、従来投与対象とされてきた物質以外にも対象物を拡張することが可能になる (例: アンテナ, LED, ドラッグリザーバー)。すなわち、「注射針内径のような狭小空間にも収納可能なナノ薄膜」によって、これまで投与不可能であった対象物質を細管によって低侵襲に生体内に注入可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、宇宙構造物の自己展開性と給電システムをヒントに、注射針にて注入後に生体内で展開・作動可能なインジェクタブルデバイスの創製を目指した。具体的には、高分子ナノ薄膜とプリントエレクトロニクスを組み合わせることで、ナノ薄膜状のアンテナコイルを作製し、これに任意の電子素子 (例: チップ LED) を取り付けることで無線給電によるデバイスの操作を試みた。この時、フッ素系高分子をアンテナコイルに修飾することで、疎水性相互作用を利用した射出後の自己展開機構についても検討した。さらに、当該研究を基盤技術として活用することで、発光デバイスや神経電極を開発し、それらの医療応用 (光線力学療法、オプトジェネティクス) についても検討した。

3. 研究の方法

(1) ナノ薄膜状アンテナコイルの作製

ガラス基板上にグラフェンインクと金ナノインクをコイル状 (2 cm×2 cm, 5.5 巻) に重ねて印刷し、熱処理 (250°C, 20 min) を経てアンテナコイルを作製した。次に、ポリ乳酸ナノ薄膜およびポリビニルアルコール膜からなる二層支持膜を用いて、ガラス基板からアンテナコイルを剥離した。この時、二層支持膜によって剥離されたアンテナコイル表面およびガラス基板に残存したアンテナコイル表面のラマンスペクトルを測定した。

(2) ナノ薄膜への自己展開機構の付与

ポリ乳酸ナノ薄膜の表面に対して、フッ素系高分子溶液 (CYTOP®; AGC Co. Ltd.) を 4 種類のパターン ((a) 修飾なし, (b) 全面, (c) 外辺, (d) 対角線, (e) 外辺・対角線, 太さ: 2 mm) で塗布した (図 1)。次いで、CYTOP 修飾したナノ薄膜を口径 6.9 mm のピペットチップを用いて水中に射出し、その展開挙動を観察した。

(3) 薄膜状発光デバイスの作製と自己展開機構の検証

得られたナノ薄膜状アンテナコイルに青色チップ LED とジャンパー配線 (膜厚: 208 nm, 配線部: 2 mm×10 mm) を設置することで薄膜状発光デバイス (総膜厚: < 2 μm, 共振周波数: 33.0 MHz) を作製した。この時、発光デバイスのポリ乳酸層の外辺に図 1(c) のデザインにて CYTOP を塗布した (図 2)。最終的に、ピペットチップを用いて純水中に発光デバイスを射出し、水中での自己展開性および LED の動作性を検証した。

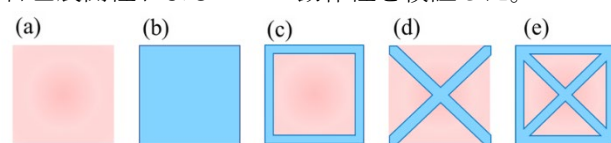


図 1 ポリ乳酸ナノ薄膜 (淡赤色) への CYTOP (水色) の修飾デザイン: (a) 修飾なし, (b) 全面, (c) 外辺, (d) 対角線, (e) 外辺・対角線 (文献②を改編して引用)。

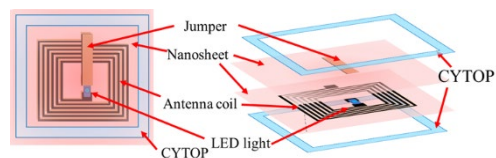


図 2 薄膜状発光デバイスの構造および CYTOP による修飾デザイン (文献②を改編して引用)。

4. 研究成果

(1) ナノ薄膜状アンテナコイルの開発

予めガラス基板上に印刷した金/グラフェンアンテナコイルを、ポリ乳酸ナノ薄膜 (膜厚: 182 nm)、ポリビニルアルコール (膜厚: 10 μm) の順で積層した二層支持膜を用いて剥離した (図 3)。この時、二層支持膜によって剥離されたアンテナコイル表面およびガラス基板に残存したアンテナコイル表面のラマンスペクトルから、いずれの表面にもグラフェンの存在を示す G, D, 2D ピーク (1350 cm⁻¹, 1580 cm⁻¹ and 2700 cm⁻¹) が確認された。これより、積層したグラフェンフレーク層が層間で剥離することにより、印刷配線がガラス基板から剥離し、ナノ薄膜側に転写されることが明らかになった。

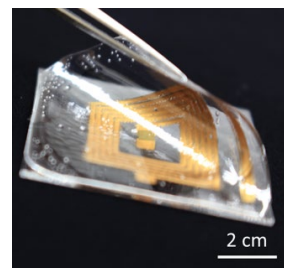


図 3 支持膜にて剥離したナノ薄膜状アンテナコイル (文献②を改編して引用)。

さらに、薄膜状アンテナコイルに青色チップ LED を積層した薄膜状発光デバイス(総膜厚: $< 2 \mu\text{m}$, 共振周波数: 33.0 MHz)を作製したところ、折り曲げた状態でも無線給電(20 V_{p-p}, 30 MHz)にて青色チップ LED を点灯させることに成功した(放射照度: $0.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 給電距離: 9.7 mm) (図 4)。以上より、本アンテナコイルは LED の点灯に必要な電力(2.9 V, 5 mA)を外から供給できることが示された。

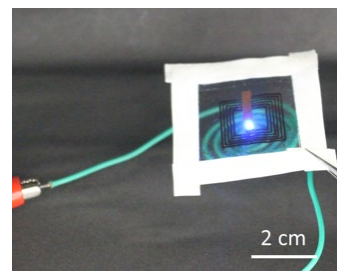


図 4 無線給電(33.0 MHz)にて作動するチップ LED を搭載したナノ薄膜状アンテナコイル(文献②を改編して引用)。

(2) 自己展開可能な薄膜状発光デバイスの開発

CYTOP 未修飾のポリ乳酸ナノ薄膜(図 1(a))を純水中に射出した時、ナノ薄膜は展開することなく浮遊していた。次に、全面を CYTOP 修飾したナノ薄膜(図 1(b))では、CYTOP が塗布された表面が疎水性相互作用により貼り付き展開せずに凝集した。一方、外辺修飾(図 1(c))および対角線修飾(図 1(d))したナノ薄膜では一部が展開し、外辺・対角線修飾(図 1(e))したナノ薄膜では完全に展開した。この挙動から、ナノ薄膜表面に部分的に塗布された CYTOP が疎水的な「骨組み」となることで、水中においてナノ薄膜が異なる展開挙動を示したと考えられる。

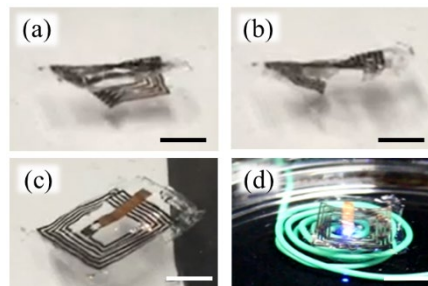


図 5 (a)-(c)水中で自己展開する薄膜状発光デバイスと(d)無線給電による LED の点灯(スケール: 1 cm)(文献②を改編して引用)。

そこで、薄膜状発光デバイスにも自己展開性を付与するべく、デバイスの外辺部のみを CYTOP 修飾したところ、純水中にて自己展開させることに成功した(図 5(a)-(c))。これは、金属配線からなるアンテナコイル部がナノ薄膜部と比べて剛性が高いため、図 1(d)と同様の挙動を示したと考えられる。また、自己展開した発光デバイスを無線給電にて点灯させることにも成功した(図 5(d))。

本デバイスは生体内に注入後、無線給電にて作動するインジェクタブルデバイスとして、内視鏡手術への応用が期待される(引用文献②)。

(3) 生体接着性ナノ薄膜の開発とがん治療への応用

本研究では、生体模倣型高分子であるポリドーパミンを表面修飾した生体接着性ナノ薄膜を開発し、がん治療(光線力学療法:PDT)への埋め込み型発光デバイスの有用性を示した。生体接着性ナノ薄膜(PDMS 製)にて封止した近距離無線(NFC)発光式 LED (赤・緑)チップを、がん細胞を皮内に移植した担腫瘍モデルマウスの皮下に貼付した(図 6)。

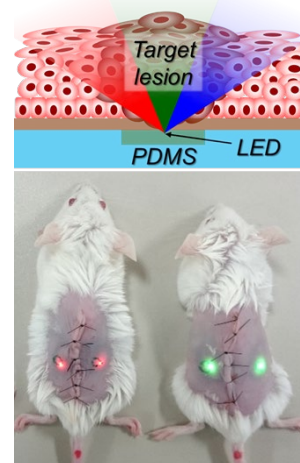


図 6 がん治療の概念と生体接着性ナノ薄膜を用いて無線 LED チップを埋め込んだ担腫瘍マウス(文献③を改編して引用)。

マウスケージ下に設置した無線給電用アンテナ(13.56 MHz)を用いることで、マウス体内に埋植した LED チップを点灯できることを確認した。次に、PDT で用いられる光増感剤(フォトリン, 8 mg/kg)を投与し、10 日間連続的に腫瘍に光照射した際の腫瘍サイズの変化を計測した。フォトリン投与群において、埋植した LED 光源による局所的照射が、高い治癒効果を示すことが明らかとなり、緑光源の場合は腫瘍 10 個中 6 個、赤光源の場合は 10 個中 1 個が根治し潰瘍化させることに成功した(引用文献③)。

本研究の特筆すべき点として、①今回使用した緑および赤色 LED の光強度($< 100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)は、従来の PDT で用いられているレーザー光の光強度($> 100 \text{mW}/\text{cm}^2$)の 1000 分の 1 であったこと、②従来の PDT では、組織透過性が低いことから検討されてこなかった緑光源を用いて抗腫瘍効果を示せたことが挙げられる。

組織接着性ナノ薄膜を利用した埋め込み型発光デバイスによる「低出力・長時間」光線力学療法であるメトロノミック PDT (mPDT) は、過度のレーザー光照射による組織温度の過剰上昇や周囲臓器の熱障害に伴う副作用を防ぐだけでなく、光の波長依存的な組織透過性の問題も克服できるため、難治性の深部がんに対する PDT の適用範囲拡大に繋がると期待される。

(4) ナノ薄膜からなる神経電極の開発

脳組織に対して神経電極の低侵襲な穿孔を目指すべく、柔らかい高分子ナノ薄膜とインクジェット印刷技術を組み合わせることでフレキシブルな神経電極を開発した。ナノ薄膜表面にインクジェット印刷にて微細配線(幅約 $50 \mu\text{m}$)を印刷した(図 7(a))。この時、ナノ薄膜の柔軟性を利用して、電極先端部を螺旋状にねじることで、厚さ $6 \mu\text{m}$, 幅 3mm のシート形状を直径 $200\text{--}300 \mu\text{m}$ の針状に成型し、脳内に穿孔可能な固さに加工した(図 7(b))。

次に、針先端部に電極構造を形成するため、刃物(例:ハサミ・カミソリ)による電極作製法を利用して微小電極の露出を試みた(幅約 $100 \mu\text{m}$, 厚さ約 120nm)。この時、神経電極のインピ

ーダンスは 150 k Ω -600 k Ω (1 kHz) であり、単一神経細胞の計測に求められる値が得られた。

神経電極をラット脳内に穿刺し、単一神経細胞の *in vivo* スパイクを計測した。マイクロ CT にて脳内の電極構造を観察したところ、針状の電極構造を維持したまま脳内に留まる様子が認められた(図 7(c))。さらに、オプトジェネティクスに向けて、直径 500 μm の光ファイバにシート状神経電極を巻き付けることで、神経細胞への光刺激と活動電位のその場計測が可能なオプトロードを開発した。Chr2 発現ラットの海馬部に穿刺し、青色光 (波長:470 nm) にて光刺激したところ、誘起された単一神経細胞の *in vivo* スパイクを計測することに成功した (引用文献④)。

脳組織の柔らかさに匹敵するナノ薄膜からなる神経電極は、脳機能計測やブレイン-マシンインターフェイス技術への応用が期待される。

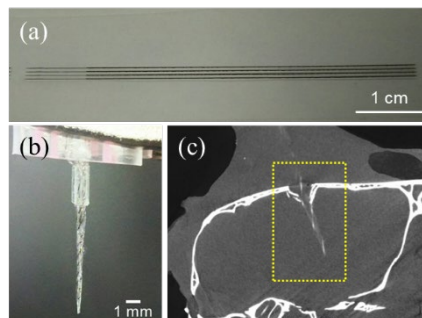


図 7 (a)インクジェット印刷にて作製した微細配線, (b)針状に加工した神経電極, (c)マウス脳深部に注入した神経電極の X 線透視像(文献④を改編して引用)。

<引用文献>

- ① Yamagishi, K., Takeoka, S., Fujie, T. Printed Nanofilms Mechanically Conforming to Living Bodies. *Biomater. Sci.*, **7**, 520-531 (2019).
- ② Tetsu, Y., Kido, Y., Hao, M., Takeoka, S., Maruyama, T., Fujie, T. Graphene/Au Hybrid Antenna Coil Exfoliated with Multi-Stacked Graphene Flakes for Ultra-Thin Biomedical Devices. *Adv. Electron. Mater.*, **6**, 1901143 (2020).
- ③ Yamagishi, K., Kirino, I., Takahashi, I., Amano, H., Takeoka, S., Morimoto, Y., Fujie, T. Tissue-adhesive wirelessly powered optoelectronic device for metronomic photodynamic cancer therapy. *Nat. Biomed. Eng.*, **3**, 27-36 (2019).
- ④ Kokubo, N., Arake, M., Yamagishi, K., Morimoto, Y., Takeoka, S., Ohta, H., Fujie, T. Inkjet-Printed Neural Electrodes with Mechanically Gradient Structure. *ACS Appl. Bio Mater.*, **2**, 20-26 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Otomo Asako, Ueda Mahoko Takahashi, Fujie Toshinori, Hasebe Arihiro, Suematsu Yoshitaka, Okamura Yosuke, Takeoka Shinji, Hadano Shinji, Nakagawa So	4. 巻 10
2. 論文標題 Efficient differentiation and polarization of primary cultured neurons on poly(lactic acid) scaffolds with microgrooved structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6716 ~ 6716
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-63537-z	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 Tetsu Yuma, Kido Yusuke, Hao Meiting, Takeoka Shinji, Maruyama Takeshi, Fujie Toshinori	4. 巻 6
2. 論文標題 Graphene/Au Hybrid Antenna Coil Exfoliated with Multi Stacked Graphene Flakes for Ultra Thin Biomedical Devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 1901143 ~ 1901143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.201901143	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 Yamagishi Kento, Nakanishi Takenori, Mihara Sho, Azuma Masaru, Takeoka Shinji, Kanosue Kazuyuki, Nagami Tomoyuki, Fujie Toshinori	4. 巻 11
2. 論文標題 Elastic kirigami patch for electromyographic analysis of the palm muscle during baseball pitching	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NPG Asia Materials	6. 最初と最後の頁 80 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41427-019-0183-1	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 Nakanishi Takenori, Yamagishi Kento, Iwase Eiji, Iwata Hiroyasu, Takeoka Shinji, Fujie Toshinori	4. 巻 12
2. 論文標題 Sinter-free stretchable conductive inks composed of polystyrene-block-polybutadiene-block-polystyrene and silver flakes in tetrahydrofuran	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 075001 ~ 075001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab21b8	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 Hasebe Arihiro, Suematsu Yoshitaka, Takeoka Shinji, Mazzocchi Tommaso, Vannozzi Lorenzo, Ricotti Leonardo, Fujie Toshinori	4. 巻 5
2. 論文標題 Biohybrid Actuators Based on Skeletal Muscle-Powered Microgrooved Ultrathin Films Consisting of Poly(styrene-block-butadiene-block-styrene)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Biomaterials Science & Engineering	6. 最初と最後の頁 5734 ~ 5743
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsbmaterials.8b01550	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 該当する

1. 著者名 山岸 健人, 藤枝 俊宣	4. 巻 184(3)
2. 論文標題 生体組織接着性インプラント発光デバイスを用いたがん治療	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオマテリアル-生体材料-	6. 最初と最後の頁 194 ~ 199
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 山岸 健人, 藤枝 俊宣	4. 巻 70(7)
2. 論文標題 高分子ナノシートからなるプリンテッドナノ薄膜の創製とバイオデバイスへの展開	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学工業	6. 最初と最後の頁 57 ~ 63
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 Kokubo Nana, Arake Masashi, Yamagishi Kento, Morimoto Yuji, Takeoka Shinji, Ohta Hiroyuki, Fujie Toshinori	4. 巻 2
2. 論文標題 Inkjet-Printed Neural Electrodes with Mechanically Gradient Structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Bio Materials	6. 最初と最後の頁 20 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsbam.8b00574	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 Someya Daichi, Arai Satoshi, Fujie Toshinori, Takeoka Shinji	4. 巻 8
2. 論文標題 Extracellular pH imaging of a plant leaf with a polyelectrolyte multilayered nanosheet	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 35651 ~ 35657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8RA06308G	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 Nishiwaki Keisuke, Aoki Shimpō, Kinoshita Manabu, Kiyosawa Tomoharu, Suematsu Yoshitaka, Takeoka Shinji, Fujie Toshinori	4. 巻 107
2. 論文標題 In situ transplantation of adipose tissue derived stem cells organized on porous polymer nanosheets for murine skin defects	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials	6. 最初と最後の頁 1363 ~ 1371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jbm.b.34228	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 Yamagishi Kento, Kirino Izumi, Takahashi Isao, Amano Hizuru, Takeoka Shinji, Morimoto Yuji, Fujie Toshinori	4. 巻 3
2. 論文標題 Tissue-adhesive wirelessly powered optoelectronic device for metronomic photodynamic cancer therapy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 27 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41551-018-0261-7	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 Yamagishi Kento, Takeoka Shinji, Fujie Toshinori	4. 巻 7
2. 論文標題 Printed nanofilms mechanically conforming to living bodies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomaterials Science	6. 最初と最後の頁 520 ~ 531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8BM01290C	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 藤枝 俊宣	4. 巻 36
2. 論文標題 生体計測・制御システムに向けたプリントドナノ薄膜の創製	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 バイオマテリアル-生体材料-	6. 最初と最後の頁 35 ~ 38
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 藤枝 俊宣, 武岡 真司	4. 巻 70
2. 論文標題 高分子ナノ薄膜とバイオ・エレクトロニクスの融合	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化学と工業	6. 最初と最後の頁 494 ~ 496
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 山岸 健人, 武岡 真司, 藤枝 俊宣	4. 巻 5(4)
2. 論文標題 肌に貼り付けるだけで生体情報をモニタリングする電子ナノ絆創膏	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Biophilia	6. 最初と最後の頁 23 ~ 29
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66件 (うち招待講演 27件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Emerging Flexible Devices for Advanced Healthcare and Medicine
3. 学会等名 The 3rd Japan-Russia Joint Forum for Education and Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Fujie, T.
2 . 発表標題 Ultra-Flexible Nanofilms for Bio-Integrated Device & System
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fujie, T., Kokubo, N., Yamagishi, K., Takeoka, S., Ohta, H.
2 . 発表標題 Ultra-Thin, Flexible, Inkjet-Printed Neural Probes with Mechanically Gradient Structure
3 . 学会等名 2019 MRS Fall Meetings & Exhibit (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fujie, T.
2 . 発表標題 Ultra-Conformable Biodevice for Advanced Medicine and Healthcare
3 . 学会等名 The 26th International Display Workshops (IDW '19) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fujie, T.
2 . 発表標題 Nanosheet Technology for Wearable and Implantable Devices
3 . 学会等名 ISIPS2019, International workshop on Bioiontronics (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Hao, M., Tetsu, Y., Takeoka, S., Fujie, T., Goda, T., Miyahara, Y.
2. 発表標題 Development of Flexible Antenna Coils for Gas Sensing Application
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Biomedical Engineering (4th ISBE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Ultra-Flexible Polymeric Nanosheets for Wearable and Implantable Technologies
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Electronics and Applications for early career researchers - For the future collaboration between Japan and Singapore - (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujie, T., Kokubo, N., Yamagishi, K., Takeoka, S., Ohta, H.
2. 発表標題 Ultra-Thin, Flexible, Inkjet-Printed Neural Electrodes with Mechanically Gradient Structure
3. 学会等名 RoboSoft2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Printed Nanofilms for Bio-integrated System
3. 学会等名 The 1st Workshop on Active Matter for Soft Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fujie, T.
2 . 発表標題 Printed Nanofilms Mechanically Conforming to Living Bodies
3 . 学会等名 JSPS 3D Lab Exchange Symposium (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tetsu, Y., Takeoka, S., Fujie, T.
2 . 発表標題 The development of inkjet-printed nanosheet antenna coil using multi-stacked graphene flake ink
3 . 学会等名 JSPS 3D Lab Exchange Symposium (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fujie, T.
2 . 発表標題 Printed nanofilms for ultra-conformable biodevices
3 . 学会等名 NRF-JSPS Joint symposium on Method for construction and delivery of vascularized 3D-tissue assure (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tetsu, Y., Takeoka, S., Fujie, T.
2 . 発表標題 Au/Graphene hybrid antenna coils for the flexible wireless electronics
3 . 学会等名 1st Glowing Polymer Symposium in KANTO 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Printed Nanofilms as Flexible Building Blocks of Bio-Integrated Device
3. 学会等名 The 1st Workshop for Soft Artifacts (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujie, T., Yamagishi, K., Kirino, I., Takahashi, I., Amano, H., Takeoka, S., Morimoto, Y.
2. 発表標題 Tissue-adhesive optoelectronics for wirelessly-operated photodynamic therapy
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meetings & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeoka, S., Someya, D., Arai, S., Fujie, T.
2. 発表標題 Development of a sheet-like pH imaging sensor with polyelectrolyte multilayered thin films
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meetings & Exhibit
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kido, Y., Tetsu, Y., Takeoka, S., Fujie, T., Goda, T., Miyahara, Y.
2. 発表標題 Ultra-thin Flexible Electronics for Healthcare Applications
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (3rd ISBE) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Printed nanofilms for wearable and implantable devices
3. 学会等名 NANOPIA 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakanishi, T., Yamagishi, K., Iwase, E., Iwata, H., Takeoka, S., Fujie, T.
2. 発表標題 Development of sinter-free stretchable conductive inks
3. 学会等名 NANOPIA 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Ultra-Flexible Polymer Nanosheet for Bio and Electronics Applications
3. 学会等名 First International Conference on 4D Materials and Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Polymer Nanosheets as Flexible Building Blocks for Bio-Hybrid Systems
3. 学会等名 The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Development of Printed Nanofilms for Bio-Integrated Devices
3. 学会等名 35th International Conference of Photopolymer Science and Technology (ICPST) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Printed Nanofilms for Biomonitoring Technologies
3. 学会等名 International Conference on Molecular Electronics and Devices (IC ME&D 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣, 小久保 奈々, 山岸 健人, 荒毛 将史, 武岡 真司, 太田 宏之
2. 発表標題 力学的な階層構造を有するインクジェット印刷式神経電極の開発
3. 学会等名 第41回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末松 良隆, 長野 寿人, 清澤 智晴, 武岡 真司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 スフェロイド担持多孔質ナノシートの調製と糖尿病皮膚欠損モデル動物に対する創傷治癒能の評価
3. 学会等名 第41回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉田 凜, 桐野 泉, 武岡 真司, 守本 祐司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 深部臓器に小型光源を安定固定可能な生体接着性ナノシートの開発
3. 学会等名 第41回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 生体貼付型デバイスの開発と健康医療への展開
3. 学会等名 情報社会とイノベーション (IS&I) 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 高分子ナノ薄膜が拓く生体計測・制御技術
3. 学会等名 日本接着学会東北支部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 ナノ薄膜エレクトロニクスによる生体計測・制御技術の創製
3. 学会等名 高分子学会第34回茨城地区「若手の会」交流会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桐野 泉, 山岸 健人, 高橋 功, 天野 日出, 武岡 真司, 上本 伸二, 藤枝 俊宣, 守本 祐司
2. 発表標題 埋め込み型小型電子デバイスと生体接着型ナノシートを用いた、メトロノミック光線力学治療の試み
3. 学会等名 第40回日本レーザー医学会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 高分子ナノ薄膜が拓く生体貼付型エレクトロニクス
3. 学会等名 東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻 第12回ChemBioハイブリッドレクチャー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 無線給電式オプトエレクトロニクスによる光がん治療
3. 学会等名 「細胞を創る」研究会 12.0
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤枝 俊宣, 山岸 健人, 桐野 泉, 高橋 功, 天野 日出, 武岡 真司, 守本 祐司
2. 発表標題 埋め込み型光がん治療に向けた生体接着性ナノ薄膜の開発
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸 巧, 武岡 真司, 太田 宏之, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 インクジェット印刷による超薄・柔軟皮質脳波(EEG)電極の開発
3. 学会等名 第42回日本神経科学大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Meiting Hao, 鉄 祐磨, 城戸 悠介, 武岡 真司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 フッ素高分子の選択的塗布による薄膜発光デバイスの自己展開制御
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鉄 祐磨, 武岡 真司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 インクジェット印刷からなる高分子超薄膜を基材としたアンテナコイルの開発
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 埋め込み型発光デバイスの開発とがん治療への応用
3. 学会等名 東京工業大学生命理工オープンイノベーションハブ 第6回LiHubフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鉄 祐磨, 武岡 真司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 多層グラフェンフレークの剥離を利用した有機高分子基材からなる薄膜状アンテナコイルの開発
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸 健人, 桐野 泉, 高橋 功, 天野 日出, 武岡 真司, 守本 祐司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 組織接着性発光デバイスを用いた体内埋め込み型がん治療システム
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 高分子ナノ薄膜が拓くウェアラブル・インプラントブル技術
3. 学会等名 日本接着学会第14回関西支部若手の会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 生体貼付型エレクトロニクスの開発と展望
3. 学会等名 色材協会第15回色材IT講座（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣, 山岸 健人, 桐野 泉, 高橋 功, 天野 日出, 武岡 真司, 守本 祐司
2. 発表標題 生体接着型オプトエレクトロニクスによる局所光線力学療法
3. 学会等名 第40回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 末松良隆, 武岡真司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 スフェロイド形成可能な表面物性と構造を有するナノシートの調製
3. 学会等名 第40回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 城戸 悠介, 鉄 祐磨, 武岡 真司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 医療応用に向けた無線給電式薄膜発熱デバイスの開発
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣, 山岸 健人, 桐野 泉, 高橋 功, 天野 日出, 武岡 真司, 守本 祐司
2. 発表標題 組織接着性ナノ薄膜の開発と埋め込みデバイスへの応用
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小久保 奈々, 荒毛 将史, 山岸 健人, 守本 祐司, 武岡 真司, 太田 宏之, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 高分子ナノシートを基材としたインクジェット印刷配線による微小神経電極の開発とオプトジェネティクスへの応用
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 功, 山岸 健人, 天野 日出, 武岡 真司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 ポリドーバミン修飾ポリカプロラクトンナノシートの作製と腸管吻合への応用
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西 孟徳, 山岸 健人, 武岡 真司, 岩瀬 英治, 岩田 浩康, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 非焼成印刷可能な伸縮導電インクの開発
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小久保 奈々, 山岸 健人, 武岡 真司, 太田 宏之, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 インクジェット印刷による柔軟神経電極の開発とオプトジェネティクスへの応用
3. 学会等名 第41回日本神経科学大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 無線式バイオデバイスの医療・ヘルスケアへの応用
3. 学会等名 第229回有機エレクトロニクス材料研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 インプラントデバイスに向けたプリンテッドナノ薄膜の開発
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山岸 健人, 桐野 泉, 高橋 功, 天野 日出, 武岡 真司, 守本 祐司, 藤枝 俊宣
2. 発表標題 インプラントブル・ワイヤレス発光デバイスによるメトロノミック光線力学療法の構築
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 バイオ・エレクトロニクスに向けたプリンテッドナノ薄膜の創製
3. 学会等名 新化学技術推進協会 先端化学・材料技術部会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 高分子ナノシートの創製とバイオデバイスへの展開
3. 学会等名 有機デバイス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujie, T., Miyagawa, T., Ferdinandus, Vo Doan, T. T., Sato, H., Takeoka, S.
2. 発表標題 Ratiometric Temperature Mapping of Living Tissues Using Ultra-Conformable Polymer Nanosheets Loading Thermo-Sensitive Dyes
3. 学会等名 2017 MRS Fall Meetings & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Ultra-Thin Polymeric Films as a Platform for Biomonitoring Technologies
3. 学会等名 SP-Waseda Symposium 2017 IoT - Applications and Opportunities (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fujie, T., Miyagawa, T., Ferdinandus, Vo Doan, T. T., Sato, H., Takeoka, S.
2. 発表標題 Thermo-sensitive dye laden polymer nanosheets for ratiometric temperature mapping of living muscle tissues
3. 学会等名 254th ACS National Meeting & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Functional Ultra-thin Films Integrated into the Living System
3. 学会等名 MIRAI Workshop for “Materials Science” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fujie, T.
2. 発表標題 Free-Standing Polymer Nanosheet for Bio-Monitoring Technologies
3. 学会等名 LbL 2017 Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 インプラントブルデバイスに向けたナノ薄膜の開発
3. 学会等名 第22回次世代医工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣, 小久保 奈々, 山岸 健人, 武岡 真司, 太田 宏之
2. 発表標題 柔軟な高分子ナノシートからなるインジェクタブル神経電極
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 2018年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 生体計測・制御システムに向けたプリントドナノ薄膜の創製
3. 学会等名 第39回日本バイオマテリアル学会大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤枝 俊宣, 小久保 奈々, 山岸 健人, 武岡 真司, 太田 宏之
2. 発表標題 高分子ナノシートへのインクジェット印刷配線と神経電極への応用
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 プリントドバイオマテリアルの開発と生体計測への応用
3. 学会等名 第5回バイオ関連化学シンポジウム若手フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 生体貼付型デバイスの開発と応用
3. 学会等名 ナノ茶論（川崎市次世代産業推進室）（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤枝 俊宣
2. 発表標題 ソフトロボティクスに向けたナノ・バイオ・エレクトロニクス融合システムの開発
3. 学会等名 ソフトロボット：メカニカル材料シンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yamagishi, K., Taccola, S., Takeoka, S., Fujie, T., Mattoli, V., Greco, F.	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany	5. 総ページ数 33
3. 書名 Conductive Nanosheets for Ultra-Conformable Smart Electronics (ch. 11), in Flexible and Stretchable Medical Devices (eds Takei, K.)	

〔出願〕 計9件

産業財産権の名称 Flexible Electronic Device	発明者 Fujie, T., Tetsu, Y., 他	権利者 Waseda University
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2018/042301	出願年 2018年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 生体埋め込み型の無線給電型発光システム	発明者 藤枝俊宣, 山岸健人, 他5名	権利者 早稲田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-221712	出願年 2017年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 フレキシブル電子デバイス	発明者 藤枝俊宣, 鉄 祐磨, 小久保奈々, 武岡真司, 丸山 剛	権利者 早稲田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-221880	出願年 2017年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 生体用電極および生体用電極の製造方法	発明者 藤枝俊宣, 小久保奈々, 鉄 祐磨, 武岡真司	権利者 早稲田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-168271	出願年 2017年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 心電モニタリングシステム	発明者 梅津信二郎, 廣瀬佳代, 藤枝俊宣	権利者 早稲田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-101096	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 物体マーキング用高分子薄膜およびその製造方法、物体測定キット、物体測定方法	発明者 藤枝俊宣, 山岸健人, 鉄 祐磨, 武岡真司	権利者 早稲田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-127228	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 Non-Water-Soluble Self-Supporting Thin Film Having High Adhesiveness	発明者 Fujie, T., Yamagishi, K., 他	権利者 早稲田大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2017/16283	出願年 2017年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>研究室ホームページ https://sites.google.com/view/fujie-laboratory/ 日本生体医工学会 臨床応用研究賞・荻野賞を受賞 https://www.titech.ac.jp/news/2019/044602.html バイオマテリアル・サイエンス誌の新進研究者2019に選定 https://www.titech.ac.jp/news/2019/043660.html 早稲田大学高等研究所 https://www.waseda.jp/inst/wias/other/2016/04/01/1861/ 皮膚電極 運動中もOK 早大、はがれにくく(日本経済新聞) https://www.nikkei.com/article/DGKKZ02542459007012018TJM000/ バイオマテリアルナノシート~ヒューマン・マシン・インターフェースに向けて(科学技術・学術政策研究所) https://stfc.nistep.go.jp/horizon2030/index.php/ja/weekly-weakly-signals/nanosheet</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
研究分担者	太田 宏之 (Ohta Hiroyuki) (20535190)	防衛医科大学校(医学教育部医学科進学課程及び専門課程、動物実験施設、共同利用研究施設、病院並びに防衛・薬理学・講師) (82406)	
研究分担者	丸山 剛 (Maruyama Takeshi) (30613872)	早稲田大学・高等研究所・講師(任期付) (32689)	
研究協力者	武岡 真司 (Takeoka Shinji)		所属研究機関: 早稲田大学理工学術院