

令和 3 年 5 月 21 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04910

研究課題名(和文) ナノ制限空間を用いる高感度・ウェアラブルな印刷有機FET型非標識免疫センサの創出

研究課題名(英文) Development of wearable FET-based immunosensor for non-invasive detection of the human sweat components

研究代表者

長峯 邦明 (Nagamine, Kuniaki)

山形大学・大学院有機材料システム研究科・准教授

研究者番号：00551540

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)：生理食塩水を皮膚に接触させて安静時汗成分を採取するという独自手法を基盤に、その免疫センシングデバイス化を実現した。具体的には抗体固定化マイクロ多孔質膜(生理食塩水含有)と電極の一体化チップを作製、皮膚に貼付するだけで汗成分を採取・捕捉でき、その後は2種類の溶液に順次浸漬するだけで安静時汗成分を定量可能な新規センサの基盤技術を確立できた。また、本独自手法により当初想定していたタンパク質やホルモンに加え安静時汗中の多様な成分(代謝物やイオン種等)の定量が可能になり、運動や温室、発汗誘導剤などに依存してきた従来の汗成分採取法では困難であった安静時汗成分の日内変動解析という学術的研究を可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生理食塩水を用いた新規汗成分採取法およびそのデバイス化技術の確立により、皮膚からの抽出物(汗成分)をいつでも、どこでも、簡単に検出可能となった。これにより、運動や温室、発汗誘導剤などに依存してきた従来の汗成分採取法では困難であった安静時汗成分の日内変動解析という学術的研究が可能になった。さらに、採取された多様な成分を指標とすることで、当初想定していたメンタルストレスモニタリングのみならず、栄養摂取管理や健康的運動効果の数値化など、ポストコロナ時代に求められる個人中心の予防医療・ヘルスケアの実現の可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Based on the originally established method of collecting sweat components at rest by contacting the skin with saline solution, we have developed an immunosensing device. Specifically, we fabricated a chip integrating an antibody-immobilized microporous membrane (containing saline solution) and electrodes, and established new device that can collect and capture sweat components simply by attaching it to the skin, followed by quantifying the human sweat components simply by only immersing it in two different solutions. In addition to proteins and hormones, this original method enables the quantification of various components (metabolites, ionic species, etc.) in resting sweat, making it possible to open academic research on the diurnal variation analysis of resting sweat components, which has been difficult with conventional sweat component collection methods that rely on intense exercise, environmental temperature control, or cholinergic drug administration.

研究分野：生物電気化学

キーワード：バイオセンサ 汗

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

質量分析計等を用いたオミックス解析技術が向上し、外分泌液成分と体調・疾患との関連性が示唆されつつある。例えば、汗にも種々代謝物やホルモン等が含まれ、体調に応じてそれらの濃度が変化し得る。これは、採血不要の日常健康管理の実現可能性を示す重大な知見である。一方で、多くのオミックス解析技術は大型装置と使用者の専門性を要し、「誰でも気軽な日常健康管理」の実現には程遠い。定期的なサンプリングによる動態解析も可能であるが、その回収方法や一時的保管方法で成分組成は大きく変わる。更に、汗中成分の多くは血中と比較し約 1/10 以下の極低濃度で存在するため格段の高感度検出が望まれる。

### 2. 研究の目的

「ナノ空間制限効果」とは、反応分子をナノ空間に閉じ込めることで分子間衝突確率を劇的に向上させる技術であり、種々センサの高感度化法として注目されている。しかし、抗原・抗体反応の確率がナノ空間内で向上することは分かりやすい一方で、ナノ空間内の電気二重層の分布、ナノ空間内壁における抗原・抗体反応の電気二重層容量への影響など、学術的に十分解明されていない点が多い。本研究では、分泌された極微量の汗成分を、その場で、非標識で、高感度に定量する免疫センサの創出を目指す。その実現のため、原理的には未解明な部分が多い「ナノ空間を利用した抗原・抗体反応」を学術的に解明しながら、免疫センサの格段の高感度化を実現する独創的技術を確立する。

### 3. 研究の方法

#### ・当初予定からの変更点

本研究の実現にはいつでも、どこでも汗を採取可能にすること、そして簡便な操作に基づく微量汗中成分の高感度検出を可能にすること、の2点が課題である。しかし、研究を進める中で以下の困難が生じ、やむを得ず2つの方針を修正した。また当初の予想を超える成果も見いだされ、それを検討するための修正もした。

#### ナノ空間の利用について

最初の1年半は多孔質ナノカーボン材料を用いた免疫センサ開発を精力的に進めてきたが、ナノ空間への汗成分の拡散・供給に再現性が無く安定した強制対流機構が必要になり構造的にウェアラブル化が困難になった。一方で多孔質空間は抗体固定化面積の増大に寄与することからナノ多孔質空間をマイクロ多孔質空間に変えた新たな免疫センサのアイデアを再考した。

#### 非標識法の利用について

当初予定していた非標識検出法は抗体固定化電極表面の電気二重層容量に起因する電位の変化をシグナルとするが、微弱なシグナルと比較しその電位の不安定性(ノイズ)が大きかった。またナノ空間化で抗体固定化面積を増大させると電気二重層容量が増えることで界面電位が安定化しノイズは低減されるが、同時にシグナルも低減するというトレードオフ関係に陥った。そこでトランジスタ型センサにける電位シグナル増幅というメリットを残しつつ、安定した計測が可能な酵素反応を標識とする検出法に修正した。

#### 当初の想定を超える成果を生み出した変更点

一方で、「日常」健康管理の実現には、汗という運動時や高温環境下でしか十分量を採取できない体液を日常的に採取可能にすることが必須であり、当初の予定を変更してその手法の開発にも注力し想定を超えた成果が生まれた。そこでこの世界初の汗採取法のデバイス化に注力した。

以下は修正後の本研究の方針である。

#### ・抗体固定化膜を用いた汗成分採取・検出

人差し指を石鹸で洗浄後、1 vol% エタノール水溶液を15秒間指にかけ流すことで皮膚表面を洗浄した。リン酸緩衝生理食塩水(PBS、pH 7.4)を90 µL満たしたキャップを指先に設置し、任意の時間皮膚とPBSを接触させることで汗成分を採取した。その後、PBSを回収し、内容物を各種定量キットを用いて定量した。下記の抗体固定化マイクロ多孔質膜にリン酸緩衝生理食塩水(PBS、pH 7.4)を10 µL滴下後、それを指先に貼付し皮膚とPBSを任意の時間接触させることで汗中成分を抗体で捕捉した。10 ng/mLのHorse radish peroxidase (HRP) 標識二次抗体溶液を多孔質膜に5 µL滴下し1時間反応させた。最後に、HRPの比色基質であるテトラメチルベンジジン(TMB)と過酸化水素の混合溶液に膜を15分間浸漬し、溶液の色の変化を650 nmの吸光度として測定した。下記検量線を用い、モデルターゲットであるヒト免疫グロブリンIgGを定量した。

・抗体固定化センサの作製

図1に開発したセンサの写真を示す。基板には、表面の先端部にマイクロ多孔質膜(5 mm 角、孔径 15 μm)を有するプラスチック基板とした。まず、基板裏面に、ステンシル法を用いて幅 1 mm、電極間隔 1.5 mm のカーボン電極対を作製した。一方の電極先端に Ag/AgCl ペーストを塗布・乾燥させ疑似参照電極とした。多孔質膜に 10 μg/mL の一次抗体溶液を滴下、乾燥し固定化した。電極対の配線部にカプトンテープを貼り絶縁した。次に、基板表面の多孔質膜に 10 μg/mL 一次抗体溶液を滴下、乾燥させた。1 wt% 牛血清アルブミン溶液に多孔質膜を 1 時間浸漬し、抗原以外の非特異的吸着を抑制した。

センサの検量線を作成する場合は、ヒト免疫グロブリン IgG を種々濃度に調製した溶液を抗体固定化膜に 5 μL 滴下し 1 時間反応させた。膜を洗浄後、10 ng/mL の Horse radish peroxidase (HRP) 標識二次抗体溶液を 5 μL 滴下し 1 時間反応させた。最後に、HRP の比色基質であるテトラメチルベンジジン (TMB) と過酸化水素の混合溶液に膜を 15 分間浸漬し、溶液の色の変化を 650 nm の吸光度として測定した。トランジスタ型を想定した測定の場合は TMB 溶液中で電極間電位差を計測した。HRP により TMB が酸化されるとネルンスト式に従い電極間電位差は正にシフトする。トランジスタ型センサの場合はこの電位差がトランジスタにより増幅される。

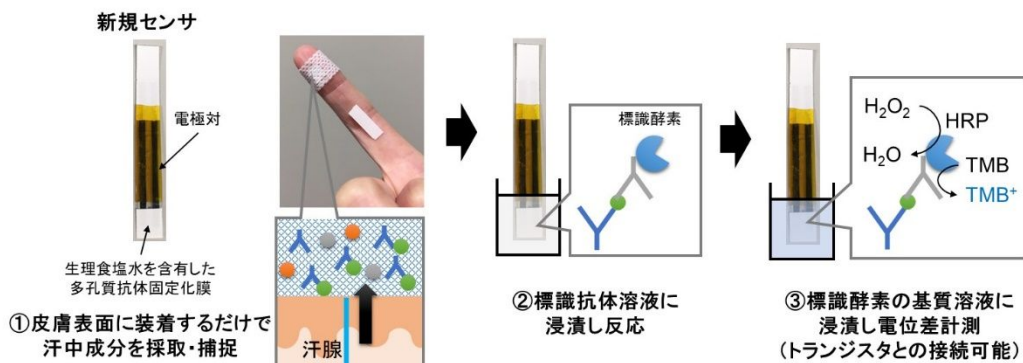


図1 新規センサの写真、および抗原検出プロトコール

4. 研究成果

表1に、PBSを用いて採取した各種汗成分の濃度を、市販の定量キットやセンサで定量した結果を示す。モデルターゲットの IgG やコルチゾール以外にも代謝物(乳酸、グルコース)及びイオン種(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)が検出された。この新規汗成分採取法はいつでも実施可能であり、例えば1時間おきの採取を繰り返せば安静時の汗に含まれる各主成分の日内変動を追跡可能である。血中コルチゾールは起床時の濃度が高く、時間経過とともに減少するホルモンであるが、汗中コルチゾールも同様に早朝高く(20 ng/mL)、正午に減少し(2 ng/mL)同様の挙動を示すことが本手法で明らかになった。また、表に示した成分の濃度は、既報の汗原液中の濃度の約1/10であった。つまり、PBSに希釈される形で汗成分が採取されるため高感度なセンサが要求されることが分かった。

皮膚とPBSの接触時間の影響を調べるためIgGに関しては30分間と60分間を比較した。結果、時間とともに抽出濃度は増加することが分かった。これよりPBS中でも発汗が継続していることが示唆された。

図2(a)に、抗体固定化多孔質膜を用いて作成したヒトIgG抗原に対する検量線を示す。ヒトIgG濃度依存的に増加し500 ng/mL以上で飽和した。3σ法を用いて算出したセンサの検出限界は77.2 ng/mLであった。表1より60分抽出すればこのセンサ感度でヒトIgGの検出は可能であることが示された。図2(b)はセンサの選択性の評価結果である。汗中夾雑物として、汗中に比較的高濃度存在するヒト血清アルブミン(汗中濃度700 ng/mL (C.Cheng et al., Biosens. Bioelectron., 2021, 172, 112782.))が懸念されるため、過剰量の1 μg/mL HSAに対する応答を調べたところ、ほとんど応答を示さなかった。これよりHSAに対する選択性を確認することができた。

表1 抽出汗成分の定量結果

汗成分	10分間の抽出濃度	定量法
L-lactate	1.96 ± 0.88 mM (n=5)	センサ(ラクテート・プロ2, Arkray)
D-glucose	2.60 ± 1.30 μM (n=4)	比色法 (LabAssay™ Glucose, Wako)
Na <sup>+</sup>	1.23 ± 0.72 mM (n=3)	イオンメータ(Horiba)
K <sup>+</sup>	0.40 ± 0.18 mM (n=3)	イオンメータ(Horiba)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.15 ± 0.07 mM (n=6)	比色法 (LabAssay™ Ammonia, Wako)
IgG	11.49 ± 13.41 ng/mL (n=3, 30分抽出) 243.7 ng/mL (n=1, 60分抽出)	ELISA法
コルチゾール	20 ng/mL (早朝) 2 ng/mL (正午) (n=1, 30分抽出)	ELISA法

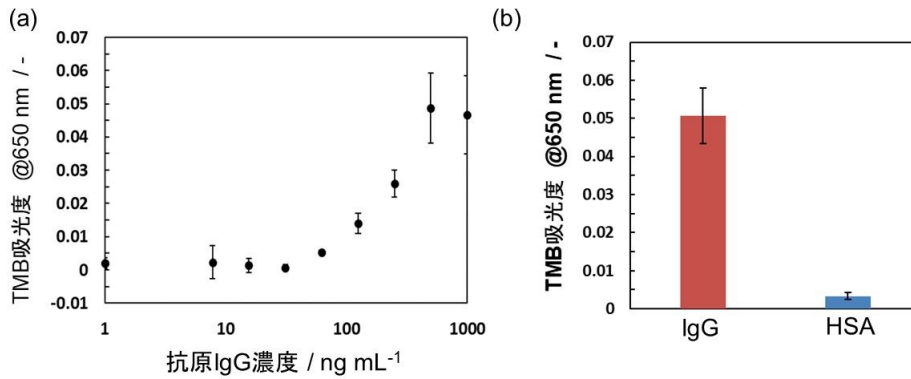


図 2 (a)ヒト IgG に対する検量線。(b)選択性評価。

図 3 は、抗体固定化センサ電極を用いた電位差計測法により作成したヒト IgG 抗原に対する検量線である。比較として図 2(a)の吸光度計測の結果も示した。吸光度と比較し電位差計測法ではより低濃度側から応答が増加し、応答が飽和する濃度域はほぼ同程度であった。これより抗体固定化センサ電極は、1 時間の皮膚接触であればヒト IgG の検出は可能であることが示された。現在、本センサを用いた被験者試験を継続中であり、従来の ELISA 法での結果と比較しながら本センサ応答の妥当性を検証している。

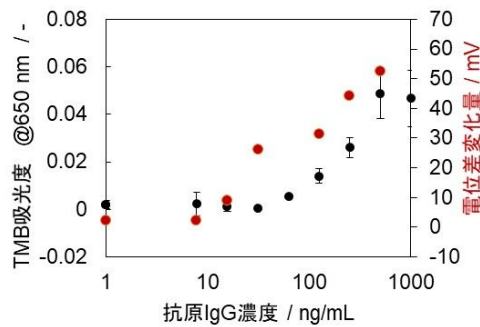


図 3 抗体固定化センサ電極を用いて作成したヒト IgG に対する検量線。赤：電位応答。黒：吸光度応答。

以上、本研究では皮膚に貼るだけで汗成分を採取・捕捉でき、その後は 2 種類の溶液に順次浸漬するだけで汗成分を定量可能な新規センサの基盤技術を確立できた。この成果は、いつでも、どこでも、簡単に汗成分を定量可能にしたという点で当初の予想を上回る成果と言える。この成果をきっかけに表 1 に示すように様々な汗中成分への応用展開を進めており、当初想定していたメンタルストレスモニタリングのみならず、例えば栄養摂取管理(グルコースに関しては血糖値を反映した食事前後の日内変動も見えつつある)や健康的運動効果の数値化など、ポストコロナ時代に求められる個人中心の予防医療・ヘルスケアの実現を目指している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Ichimura Yusuke, Kuritsubo Takumi, Nagamine Kuniaki, Nomura Ayako, Shitanda Isao, Tokito Shizuo	4. 巻 413
2. 論文標題 A fully screen-printed potentiometric chloride ion sensor employing a hydrogel-based touchpad for simple and non-invasive daily electrolyte analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical and Bioanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 1883 ~ 1891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00216-021-03156-3	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 NAGAMINE Kuniaki, NOMURA Ayako, ICHIMURA Yusuke, IZAWA Ryota, SASAKI Shiori, FURUSAWA Hiroyuki, MATSUI Hiroyuki, TOKITO Shizuo	4. 巻 36
2. 論文標題 Printed Organic Transistor-based Biosensors for Non-invasive Sweat Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 291 ~ 302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19R007	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 Nagamine Kuniaki, Mano Taisei, Nomura Ayako, Ichimura Yusuke, Izawa Ryota, Furusawa Hiroyuki, Matsui Hiroyuki, Kumaki Daisuke, Tokito Shizuo	4. 巻 9
2. 論文標題 Noninvasive Sweat-Lactate Biosensor Employing a Hydrogel-Based Touch Pad	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10102 ~ 10102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-46611-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 Nagamine Kuniaki, Mano Taisei, Shiwaku Rei, Furusawa Hiroyuki, Matsui Hiroyuki, Kumaki Daisuke, Tokito Shizuo	4. 巻 31
2. 論文標題 An L-lactate Biosensor Based on Printed Organic Inverter Circuitry and with a Tunable Detection Limit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 1205 ~ 1205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2019.2174	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 Nagamine Kuniaki, Mano Taisei, Shiwaku Rei, Furusawa Hiroyuki, Matsui Hiroyuki, Kumaki Daisuke, Tokito Shizuo	4. 巻 31
2. 論文標題 An L-lactate Biosensor Based on Printed Organic Inverter Circuitry and with a Tunable Detection Limit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 1205 ~ 1205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2019.2174	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 Sasaki Kai, Furusawa Hiroyuki, Nagamine Kuniaki, Tokito Shizuo	4. 巻 47
2. 論文標題 Charge-accumulative Potentiometric Measurements for Ammonia Detection Using an Enzymatic Cascade Reaction on a Prussian Blue Electrode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1412 ~ 1415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180692	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 Mano Taisei, Nagamine Kuniaki, Ichimura Yusuke, Shiwaku Rei, Furusawa Hiroyuki, Matsui Hiroyuki, Kumaki Daisuke, Tokito Shizuo	4. 巻 5
2. 論文標題 Printed Organic Transistor Based Enzyme Sensor for Continuous Glucose Monitoring in Wearable Healthcare Applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 3881 ~ 3886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.201801129	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 Furusawa Hiroyuki, Ichimura Yusuke, Nagamine Kuniaki, Shiwaku Rei, Matsui Hiroyuki, Tokito Shizuo	4. 巻 6
2. 論文標題 Detection of 1,5-anhydroglucitol as a Biomarker for Diabetes Using an Organic Field-Effect Transistor-Based Biosensor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Technologies	6. 最初と最後の頁 77 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/technologies6030077	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 Sasaki Kai, Furusawa Hiroyuki, Nagamine Kuniaki, Tokito Shizuo	4. 巻 6
2. 論文標題 Detection of Odorant Molecules in the Gaseous Phase Using -, -, and -Cyclodextrin Films on a Quartz Crystal Microbalance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Technologies	6. 最初と最後の頁 63 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/technologies6030063	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 Shiwaku Rei, Matsui Hiroyuki, Nagamine Kuniaki, Uematsu Mayu, Mano Taisei, Maruyama Yuki, Nomura Ayako, Tsuchiya Kazuhiko, Hayasaka Kazuma, Takeda Yasunori, Fukuda Takashi, Kumaki Daisuke, Tokito Shizuo	4. 巻 8
2. 論文標題 A Printed Organic Circuit System for Wearable Amperometric Electrochemical Sensors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6368
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-24744-x	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 Furusawa Hiroyuki, Ichimura Yusuke, Harada Shuhei, Uematsu Mayu, Xue Shenyao, Nagamine Kuniaki, Tokito Shizuo	4. 巻 91
2. 論文標題 Electric Charge Detection of Sparse Organic Acid Molecules Using an Organic Field-Effect Transistor (OFET)-Based Sensor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1020 ~ 1025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180065	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15件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 長峯邦明、佐々木菜里、塚田風吾、時任静士
2. 発表標題 汗中タンパク質検出を目指したニトロセルロース膜ベース免疫センサの開発
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長峯邦明、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 安静時汗成分計測を目指したハイドロゲル被覆電気化学バイオセンサの開発
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長峯邦明、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 非侵襲生体計測に向けた印刷型電気化学バイオセンサの開発
3. 学会等名 第47回日本毒性学会学術年会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kuniaki Nagamine, Hiroyuki Matsui, Shizuo Tokito
2. 発表標題 Development of the hydrogel-based biosensors for non-invasive perspiration analysis
3. 学会等名 PRiME2020（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kuniaki Nagamine, Hiroyuki Matsui, Shizuo Tokito
2. 発表標題 Development of the hydrogel-based sweat biosensor
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 長峯邦明、井澤良太、野村綾子、松井弘之、熊木大介、時任静士
2. 発表標題 有機トランジスタ型バイオセンサの汗成分計測応用
3. 学会等名 有機エレクトロニクス研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長峯邦明、野村綾子、市村祐介、井澤良太、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 有機トランジスタ型バイオセンサを用いる非侵襲汗成分計測
3. 学会等名 第7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 2019年

1. 発表者名 長峯邦明、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 非侵襲汗計測を目指した電気化学バイオセンサの開発
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長峯邦明、市村祐介、井澤良太、野村綾子、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 汗成分計測を目指した印刷有機トランジスタ型酵素センサの開発
3. 学会等名 2019年 電気化学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長峯邦明、市村祐介、井澤良太、野村綾子、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 発汗誘導不要の汗成分採取・検出を目指した電気化学酵素センサの開発
3. 学会等名 2019年 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kuniaki Nagamine, Shizuo Tokito
2. 発表標題 Development of the organic transistor-based biosensors for healthcare applications
3. 学会等名 SmaSys 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuniaki Nagamine
2. 発表標題 Development of the printed organic transistor-based biosensor for healthcare applications
3. 学会等名 The First International Conference of Polymeric and Organic Materials in Yamagata University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長峯邦明, 眞野泰誠、佐藤光、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 非侵襲生体計測を目指した印刷有機トランジスタ型バイオセンサの開発
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長峯邦明、眞野泰誠、井澤良太、野村綾子、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 印刷有機トランジスタ型バイオセンサの開発と生体計測応用
3. 学会等名 電気化学会第86回大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長峯邦明、眞野泰誠、市村祐介、松井弘之、時任静士
2. 発表標題 延長ゲート型有機FET酵素センサの開発と生体分子モニタリングへの応用
3. 学会等名 第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Kuniaki Nagamine, Shizuo Tokito	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 406
3. 書名 Chemical, Gas, and Biosensors for Internet of Things and Related Applications	

1. 著者名 長峯邦明、時任静士	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 300
3. 書名 酵素トランスデューサーと酵素技術展開	

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 トランジスタ型酵素センサ	発明者 長峯邦明、松井弘之、眞野泰誠、時任静士	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-046775	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 優れた機械特性を有する導電性複合材料	発明者 長峯邦明、時任静士、丸山祐樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-153581	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 汗成分センサ	発明者 長峯邦明、時任静士	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-006543	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

時任・熊木・関根研究室 <a href="https://tokitolabo.yz.yamagata-u.ac.jp/">https://tokitolabo.yz.yamagata-u.ac.jp/</a> 長峯研究室 <a href="http://nagamine-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/">http://nagamine-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/</a>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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
連携研究者	松井 弘之 (Matsui Hiroyuki)  (80707357)	山形大学・工学(系)研究科(研究員)・准教授  (11501)	
連携研究者	時任 静士 (Tokito Shizuo)  (80197863)	山形大学・工学(系)研究科(研究員)・教授  (11501)	

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