

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02162

研究課題名(和文) 運動時の汗に含まれる糖・乳酸・電解質の自己駆動リアルタイムモニタリングシステム

研究課題名(英文) Real time monitoring system for glucose, lactate and electrolytes contained in sweat during a exercise based on printable sensors

研究代表者

四反田 功 (Shitanda, Isao)

東京理科大学・理工学部先端化学科・准教授

研究者番号：70434024

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：アスリートの汗中の成分(乳酸値やグルコース値)はアスリートのコンディションの重要な指標となるため、試合期やトレーニング期におけるトレーニングと休息のバランスを決定し、適切なトレーニングプログラムの選定に役立つ非常に重要な要素である。そこで本研究では、運動時の汗に含まれる成分で発電しながら、その成分濃度をリアルタイムにモニタリングし、無線伝送するためのバイオ燃料電池を搭載した非侵襲・自己駆動型センシングデバイスを開発した。また、汗中の電解質をリアルタイムモニタリング可能な転写印刷型のウェアラブルイオンセンサについても開発した。どちらも運動中の濃度変化をモニタリング可能であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における自己駆動型センシングデバイスは、紙をはじめとする安価な材料で構成され、かつ印刷のシンプルなプロセスで製作可能である。体液(汗中の乳酸など)で発電可能であり、かつセンシングも可能であることが独創的な点である。本成果は新たな健康管理ツールとなりうる。アスリートの健康管理や、真夏時の熱中症センサなどにも使えりと期待される。

研究成果の概要(英文)：Athlete's sweat components (lactic level and glucose level) are important indicators of the athlete's condition. The sweat components are very useful for determining the balance between training and rest during the competition period or training period and for selecting an appropriate training program. In this study, we developed a non-invasive, self-driving sensing device equipped with a biofuel cell for real-time monitoring of the concentration of sweat components during exercise while generating power in real time and wireless transmission. We also developed a transfer-printable wearable ion sensor that allows real-time monitoring of electrolytes in sweat.

研究分野：電気分析化学

キーワード：バイオセンサ バイオ燃料電池 ウェアラブル イオンセンサ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

アスリートの国際競技力向上のために、これまでのスポーツ科学に先端的工学・情報科学をより積極的に連携させる取り組みが活発になっている。この取り組みの中で注目されているものの一つとして、IoT(Internet of Things)技術の活用がある。スポーツにおけるパフォーマンス評価をインターネット技術によりリアルタイムに測定することで、トレーニング効果のフィードバックや、オーバートレーニングの予防、効果的なリカバリー方法の提案が可能になると期待されている。このため、心拍や汗などのバイタルサインを非侵襲でモニタリングするためのウェアラブルセンサが求められている。特に血中や汗中の乳酸やグルコース値の非侵襲モニタリングはアスリートのコンディションの重要な指標となるためである。

一方で、現在では運動中の乳酸値やグルコース値の非侵襲リアルタイムモニタリングは難しく、運動後に採血によって血中濃度を測定することが一般的である。この場合、採血によるアスリートへの精神的・肉体的負荷が大きいことや、測定から評価まで時間を要するため、運動中の数値を正確に評価しているとは言いがたかった。

2. 研究の目的

本研究では生体親和性が非常に高く、軽くて高出力かつ汗から発電可能なバイオ燃料電池を利用した非侵襲かつ自己駆動するウェアラブルセンシングシステムを構築すると共に、汗中の乳酸および電解質のリアルタイムモニタリングを実現することを目的とした。

バイオ燃料電池とは、酵素を電極触媒に利用し、糖やアルコールなどのバイオマス資源を燃料とし直接発電する発電デバイスである。本研究ではバイオ燃料電池を搭載した自己駆動型ウェアラブル・デバイスの開発を行う。自己駆動型デバイスとは、例えばグルコースをバイオ燃料電池の酵素と反応させて電力を取り出し、この電力を使って発信器から信号を飛ばす仕組みで、電源とセンサの両方の役割を備えているものをいう。上記の場合、バイオ燃料電池の電力はグルコース濃度に依存するため、電力値からグルコース濃度を測ることができる。国内外でさまざまなバイオ燃料電池が開発される一方で、現状ではスポーツ用の自己駆動型のウェアラブル・デバイスとしてバイオ燃料電池が実装された例はない。バイオ燃料電池が次世代型電源として実用化されるために克服すべき技術的課題として、出力の向上・生産性向上可能なバイオ燃料電池の創成が必要となる。

上述した紙を用いたバイオ燃料電池の試作の段階で、上記の電池を応用すれば、アスリート向けの運動管理ツールになると考えた。一方で、アスリート向けの運動管理ツールに応用するために、研究期間内で以下の課題を解決することを目的とした。

(1) アスリート向けバイオ燃料電池の開発

アスリートが普段から負担無く運動管理ツールとして身につけるためには、使い捨て型の絆創膏型やニップレス型の薄くてフレキシブルかつ軽いセンシングデバイスを開発する必要がある。この場合、従来のバイオセンサとボタン電池等を組み合わせたものは適さない。このため、基板にストレッチ素材の布、不織布や紙を用いた新たなバイオ燃料電池を開発する。ストレッチ素材の布などに印刷によって電池を形成するために、新たな転写印刷法によるバイオ燃料電池形成について検討する。また、バイオ燃料電池の高出力化のために、以下の項目について検討する。

酵素を印刷する技術 印刷技術を活用した電池の製造、電池のモジュール化およびアレイ化、燃料供給システムの開発、燃料交換システム、酵素活性保持特性の向上に向けた添加剤、保存剤の検討。

(2) 糖および乳酸のセンシングシステムの開発

印刷型センサを用いて、バイオ燃料電池から得られた出力を利用したセンシングシステムを構築する。

(3) 電解質のセンシングシステムの開発

電解液中のナトリウムイオンなどをモニタリングするシステムを構築する。

(4) 自己駆動型システムの構築と実装評価試験による有用性の確認

上記で作製したシステムを複合化すると共に、実装評価試験を行う。

3. 研究の方法

(1) 多孔質炭素を用いたバイオ燃料電池用印刷型電極の設計と作製

物質輸送経路となる直径およそ 100 nm ~ 10 μm 程度の大きなマクロ孔を有する多孔質炭素材料を形成することで物質輸送が律速にならないようにすることが可能となると考えている。触媒となる酵素を安定に固定化可能なメソ孔と、物質輸送を円滑に行うためのマクロ孔を持つ多孔質炭素電極を作製する。得られた炭素電極の細孔特性および比表面積は窒素吸脱着法、顕微鏡により評価する。表面官能基は FT-IR にて評価する。炭素を粉砕し炭素微粒子の粒子サイズの調整方法を検討し、メソ孔特性と粒子径の酵素担持および電気特性に及ぼす関係を調べる。得られた知見をフィードバックし、バイオ燃料電池に適した多孔質炭素電極のデザインを決定する。

(2) ウェアラブルバイオ燃料電池のデザインと転写印刷による紙・布への電池形成技術の確立 強度と柔軟性を併せ持つ布や紙素材を基板とした新たな薄膜型バイオ燃料電池の設計・製造

を行う。これまでもストレッチ素材に印刷で銀配線を形成した研究などが報告されている。一方で、配線を形成するだけであれば、直接印刷による形成も可能であるが、電池やセンサ素子を多層印刷によってストレッチ素材上に直接形成するのは困難である。このため、転写印刷による新たな電池形成技術の確立を目指す。

(3) 糖および乳酸のセンシングシステムの開発

自己駆動型センシングシステムとして以下のセンシング方法について検証する。

印刷型電気二重層キャパシタの開発を行う。前年度に開発した多孔質炭素電極を利用して、電気二重層キャパシタを作製する。作製したキャパシタの電気化学特性を、サイクリックボルタモグラムおよび電気化学インピーダンス法によって評価する。

次に電気二重層キャパシタおよび回路を作製し、バイオ燃料電池と接合する。次に、バイオ燃料電池を一定電圧に保持したときに流れる電流が印刷によって形成したキャパシタにチャージしされる挙動を電気化学評価する。この場合、一定電流量がチャージされるまでの時間との相関が直線関係であれば、燃料濃度を評価できる。電気二重層キャパシタに蓄えられたエネルギーを用いて、出力情報を無線伝送する。

(4) 汗中の成分のマルチセンシング法の確立

汗中の成分のマルチセンシングについて検討する。特に電解液中の各種イオン種 (Na^+ や K^+)、などは糖・乳酸と併せて、アスリートの健康管理上非常に重要なパラメータである。これらを計測するために、イオノフォアを印刷したウェアラブルイオンセンサを作製する。これらのセンサにはフレキシビリティが求められているため、まずペーストの組成について検討する。特にバインダとしてのエラストマーの利用および、インクのチクソ性について詳細に評価する。作製した pH、イオンセンサの応答特性については、自然電位測定およびインピーダンス測定によって評価する。

(5) 自己駆動型センシングデバイスの構築と実装評価試験による有用性の確認

上記(1)～(4)の評価結果をフィードバックし、最適な自己駆動型センシングデバイスを構築し、研究分担者である東京理科大学の柳田講師と連携して、運動中の汗中の乳酸・糖・電解質成分のマルチモニタリングを行い、他のバイタルパラメータとの相関性・疲労度との関連性について詳細に検証する。

4. 研究成果

(1) アスリート向けバイオ燃料電池の開発

印刷型ウェアラブルバイオ燃料電池のプロトタイプの試作を行った。基板には、通気性の良い和紙に撥水加工を施したものをを用いた。リード部にはカーボンインクを印刷し、さらに、 MgO 錐型炭素、バインダーとしてポリフッ化ビニリデン、溶媒として N-メチル-2-ピロリドンを混合した多孔質炭素インクを印刷した。以下、電池のセル数を(直列のセル数)×(並列のセル数)と表記する。作製した電極にメディエーターとして、1,2-ナフトキノン溶液、酵素として乳酸オキシダーゼ溶液を滴下し 1 時間乾燥させ、バイオアノード電極とした。また、バイオカソード電極はピリルピンオキシダーゼ溶液を滴下し、1 時間乾燥させ作製した。実際に作製したバイオ燃料電池の燃料に汗を用いることを考え、乳酸濃度による出力の依存性を検討した。電解液であるリン酸緩衝液 1.5 mol dm^{-3} に乳酸濃度を 100 mmol dm^{-3} を含む溶液を用いたところ、 6×6 のセルにおいて起電力約 3.55 V 、最大出力は 2.44 V において約 4.30 mW が得られた。この結果から、電池アレイとして作動し高出力な BFC を作製できることが確認された。

(2) 糖および乳酸センシングシステム

開発したバイオ燃料電池を用いて無線伝送可能かどうかについて検証した。本年度は、上記で作製した乳酸電池を用いて無線伝送評価を行った。また、タニタが試作した新規活動量計を乳酸電池によって駆動させることができるかについて検証した。印刷型の 6×6 直列セルを用いて駆動評価をしたところ、無線通信に十分すぎるほどの電力があるため途切れることなく約 2 時間にわたり(溶液が乾燥するまで)、連続的に 1 秒間隔で乳酸値をモニタリング可能であった。

(3) 電解質センシングシステムの開発

本研究では疲労度を検知する指標となる汗中のアンモニウムイオンに着目し、転写型アンモニウムイオンセンサを作製し、評価した。さらに、ナトリウムイオンセンサとアンモニウムイオンセンサを組み合わせ、2つのイオンを同時定量可能なデュアルイオンセンサを作製した。

センサの電極はスクリーン印刷によりカーボンインク、レジストインク、 Ag/AgCl インクを積層して作製した。作用極 1 (WE1) のカーボン電極上には、ノナクチンを含むアンモニウムイオン選択膜を形成した。作用極 (WE2) には、ナトリウムイオノフォア X を含むナトリウムイオン選択膜を形成した。参照極には、 Ag/AgCl 電極上に塩化カリウムを含む固体参照極膜を形成したものをを用いた。転写機を用いて布上にセンサを形成した。各センサの選択性評価は単独溶液法を用いて行った。転写後のセンサの応答性評価では塩化アンモニウム、塩化ナトリウム混合

溶液の濃度を 0.1-100 mM で変化させ、ポテンシオスタットを用いて開回路電位を測定した。

アンモニウムイオンセンサのナトリウムイオンに対する選択係数は-2.3、ナトリウムイオンセンサのアンモニウムイオンに対する選択係数は-3.9 となった。選択係数が-1 という値は目的イオンと同濃度の妨害イオン存在下で測定イオンの 1/10 程度しか妨害イオンに電位応答を示さないことを意味するので、本実験結果からアンモニウムイオンセンサおよびナトリウムイオンセンサは同程度の妨害イオン濃度存在下では測定に影響がないと考えられる。

センサは各濃度に応じた値を示した。ナトリウムセンサの検量線の傾きは 57.2 mV/logCNa⁺、アンモニウムセンサの検量線の傾きは 56.7 mV/logCNH₄⁺ となり、ネルンスト応答が得られた (90% confidence interval, n=3)。この結果から、ナトリウム、アンモニウム混合溶液中でもセンサが正常に応答することが確認された。一般的なヒト汗中のアンモニウムイオン濃度は 0.1~1 mM、ナトリウムイオン濃度は 10~100 mM であるため、今回作製したデュアルイオンセンサはヒト汗中のアンモニウムおよびナトリウムの定量に使用可能であることが示唆された。また流路と組み合わせることでセンサの連続応答性についても評価をおこなったところ履歴なく連続測定が可能であることが示唆された。

(4) 自己駆動型システムの構築と実装評価試験による有用性の確認

作製した自己駆動型乳酸センサとイオンセンサについて実装試験を行ったところ、どちらも皮膚に貼り付けてトレッドミルを使用中の発汗中に含まれる乳酸・イオンの濃度変化を連続モニタリング可能であることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Shitanda Isao, Komoda Masato, Hoshi Yoshinao, Itagaki Masayuki	4. 巻 47
2. 論文標題 Screen-printed Paper-based Three-electrode System with Long-term Stable and Instantaneously Usable Reference Electrode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1502 ~ 1504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1246/cl.180809	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 KOMODA Masato, SHITANDA Isao, HOSHI Yoshinao, ITAGAKI Masayuki	4. 巻 87
2. 論文標題 Fabrication and Characterization of a Fully Screen-Printed Ag/AgCl Reference Electrode Using Silica Gel Inks Exhibiting Instantaneous Usability and Long-Term Stability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 65 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5796/electrochemistry.18-00075	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 古茂田将人, 星芳直, 四反田功, 板垣昌幸	4. 巻 35 (Supplement A)
2. 論文標題 スクリーン印刷による銀硫酸銀参照電極の作製と評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Sensors	6. 最初と最後の頁 61-63
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 Shitanda Isao, Momiyama Misaki, Watanabe Naoto, Tanaka Tomohiro, Tsujimura Seiya, Hoshi Yoshinao, Itagaki Masayuki	4. 巻 4
2. 論文標題 Toward Wearable Energy Storage Devices: Paper-Based Biofuel Cells based on a Screen-Printing Array Structure	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 2460 ~ 2463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.201700561	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 Shitanda Isao, Nohara Saki, Hoshi Yoshinao, Itagaki Masayuki, Tsujimura Seiya	4. 巻 360
2. 論文標題 A screen-printed circular-type paper-based glucose/O ₂ biofuel cell	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 516 ~ 519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2017.06.043	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 古茂田将人, 星芳直, 四反田功, 板垣昌幸	4. 巻 34 (supplemental A)
2. 論文標題 シリカゲルインクを用いた長期安定性および即時使用性に優れた印刷型薄膜参照電極の作製と評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Sensors	6. 最初と最後の頁 61-63
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 四反田功, 相川達男, 辻村清也	4. 巻 63
2. 論文標題 印刷型バイオ燃料電池の開発と自己駆動型センサへの応用	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 14-19
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 四反田 功	4. 巻 33
2. 論文標題 プリンタブルエレクトロケミストリーによるバイオセンシングデバイス	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Sensors	6. 最初と最後の頁 114-119
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74件（うち招待講演 22件 / うち国際学会 21件）

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 印刷型バイオ燃料電池によるエネルギーハーベスティングとウェアラブルセンサへの応用
3. 学会等名 日本学術振興会 薄膜第131委員会・第174委員会共催第289回研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古茂田将人, 星芳直, 四反田功, 板垣昌幸
2. 発表標題 スクリーン印刷による銀硫酸銀参照電極の作製と評価
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四反田 功, 森ヶ山 幸也, 後藤 媛香, 織田 夏菜子, 星 芳直, 板垣 昌幸, 美川 務, 辻村 清也
2. 発表標題 紙基板を用いた乳酸バイオ燃料電池アレイの高出力化と安定性向上に向けた 多孔質炭素インクの改良および酵素固定化法の検討
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 ウェアラブルバイオ燃料電池の開発とヘルスケアデバイスへの応用
3. 学会等名 2018年度 第4回EHC総会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四反田功
2. 発表標題 印刷技術を用いた乳酸/グルコースのウェアラブルデバイスによる測定法
3. 学会等名 第172回日本体力医学会関東地方会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 プリンタブルエレクトロケミストリー： ウェアラブルデバイスに向けた 印刷型バイオセンサ/バイオ燃料電池
3. 学会等名 28th Annual Meeting of MRS-Japan 2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤媛香，星芳直，四反田功，美川務，辻村清也，板垣昌幸
2. 発表標題 多孔質炭素電極の表面改質による印刷型乳酸バイオ燃料電池の性能向上
3. 学会等名 28th Annual Meeting of MRS-Japan 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋七海，星芳直，四反田功，板垣昌幸
2. 発表標題 転写印刷により作製したウェアラブルアンモニウムイオンセンサの評価
3. 学会等名 28th Annual Meeting of MRS-Japan 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 賣田達也, 星芳直, 四反田功, 板垣昌幸
2. 発表標題 安定性向上のためのアズールAおよびグルコースデヒドロゲナーゼ修飾バイオアノードの作製
3. 学会等名 28th Annual Meeting of MRS-Japan 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤村優輝, 星芳直, 四反田功, 辻村清也, 板垣昌幸
2. 発表標題 円盤型グルコースバイオ燃料電池アレイの作製と評価
3. 学会等名 28th Annual Meeting of MRS-Japan 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森ヶ山幸也, 星芳直, 四反田功, 板垣昌幸, 美川務, 辻村清也, 松井弘之, 時任静士
2. 発表標題 自己駆動型ウェアラブルバイオセンサとして使用することを想定した高出力紙基板型乳酸バイオ燃料電池アレイの作製
3. 学会等名 28th Annual Meeting of MRS-Japan 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高松 光太郎, 新山歩, 星 芳直, 四反田 功, 辻村 清也, 美川 務, 板垣 昌幸
2. 発表標題 MgO鋳型炭素を塗布したカーボクロス電極を用いた乳酸バイオ燃料電池
3. 学会等名 28th Annual Meeting of MRS-Japan 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四反田功
2. 発表標題 有限要素法による酵素バイオセンサ/ バイオ燃料電池の電極反応/電極構造シミュレーション
3. 学会等名 COMSOL CONFERENCE 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 印刷によって作製したバイオ燃料電池・バイオセンサ・イオンセンサを用いたヘルスケアモニタリングデバイスの開発と応用
3. 学会等名 日本学術振興会「水の先進理工学委員会第183委員会」第46回定例研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Suzuki, Toshifumi Tojo, Tatsuo Aikawa, Isao Shitanda, Takeshi Kondo, Makoto Yuasa
2. 発表標題 Consideration of conditions of porous carbon surface modification by radiation-induced graft polymerization
3. 学会等名 IPC2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木寛子、相川達男、東條敏史、四反田 功、近藤剛史、湯浅 真
2. 発表標題 ウェアラブルバイオ燃料電池用ハイドロゲル接着剤の作製
3. 学会等名 2018年 材料技術研究協会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 印刷型バイオ燃料電池とウェアラブルデバイスへの応用
3. 学会等名 第27回ポリマー材料フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 印刷型バイオセンサ・バイオ燃料電池の開発
3. 学会等名 一般社団法人 電子情報技術産業協会 第5回「スマートセンシング・デバイス技術分科会」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 新しいIoT電源としての印刷型バイオ燃料電池
3. 学会等名 2018年度センサ&IoTコンソーシアム公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isao Shitanda, Yoshinao Hoshi, Masayuki Itagaki, Seiya Tsujimura, Tsutomu Mikawa, Hiroyuki Matsui, Shizuo Tokito
2. 発表標題 Paper-based Printable Wearable Self-powered Lactate/Glucose Biofuel Cells using Highly Ordered Mesoporous Carbon Materials
3. 学会等名 ICEAN2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋七海, 星 芳直, 四反田功, 板垣昌幸
2. 発表標題 転写印刷により作製したウェアラブルアンモニウムイオンセンサの作製と評価
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤村優輝, 星 芳直, 四反田功, 辻村清也, 板垣昌幸
2. 発表標題 印刷型紙基板グルコースバイオ燃料電池アレイの開発とおむつ電池への応用
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤貴尚, 星 芳直, 四反田功, 板垣昌幸
2. 発表標題 バイオ燃料電池の動作安定性向上のための多孔質炭素電極上への新規酵素固定化法開発
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 實田達也, 鈴木 遼, 近藤剛史, 星 芳直, 四反田 功, 板垣昌幸
2. 発表標題 多孔質炭素電極へのアズールAの修飾固定化によるバイオ燃料電池アノードの動作安定性向上
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤媛香, 星 芳直, 四反田功, 美川 務, 辻村清也, 板垣昌幸
2. 発表標題 印刷型ウェアラブル乳酸バイオ燃料電池の開発 –出力向上に向けた多孔質炭素インクの組成の検討–
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 貴尚, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸
2. 発表標題 エポキシ基修飾MgO鋳型炭素へのグルコース脱水素酵素およびナフトキノングリシドールの修飾固定化法の検討
3. 学会等名 2018年電気化学秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 遼, 寶田達也, 東條敏史, 相川達男, 四反田 功, 近藤剛史, 湯浅 真
2. 発表標題 電子線グラフト重合法を用いた多孔質炭素へのアズール修飾および電気化学評価
3. 学会等名 2018年電気化学秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 遼, 東條敏史, 相川達男, 四反田 功, 近藤剛史, 湯浅 真
2. 発表標題 グリンジルメタクリレートを電子線グラフト重合した多孔質炭素表面の評価
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuya Takarada, Ryo Suzuki, Tatsuo Aikawa, Yoshinao Hoshi, Isao Shitanda, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Preparation of Azure A and glucose dehydrogenase modified MgO-templated carbon electrode for glucose biofuel cell anode
3. 学会等名 The 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nanami Takahashi, Yoshinao Hoshi, Isao Shitanda, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Wearable ammonium ion sensor fabricated by heat transfer printing
3. 学会等名 The 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isao Shitanda, Kazuki Watanabe, Rina Nogami, Nanami Takahashi, Yoshinao Hoshi, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Fabrication of Wearable Glucose Biosensor and Sodium Ion Sensor on Non-woven Fabric by Heat Transfer Printing
3. 学会等名 The 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Himeka Goto, Yukiya Morigayama, Yoshinao Hoshi, Isao Shitanda, Seiya Tsujimura, Tsutomu Mikawa, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Improvement of performance of screen-printed paper-based lactate biofuel cell by rheological study of MgO-templated porous carbon inks
3. 学会等名 The 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Takamatsu, Ayumu Niiyama, Yoshinao Hoshi, Isao Shitanda, Seiya Tsujimura, Tsutomu Mikawa, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Fabrication of a Thin Film-Type Lactate Biofuel Cell Using Carbon Cloth Electrodes
3. 学会等名 The 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isao Shitanda, Seiya Tsujimura, Yukiya Morigayama, Tsutomu Mikawa, Yoshinao Hoshi, Masayuki Itagaki, Hiroyuki Matsui, Shizuo Tokito
2. 発表標題 Paper-Based Printable Lactate/Glucose Biofuel Cell Toward Self-Powered Biosensor
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 Yuki Fujimura, Yoshinao Hoshi, Isao Shitanda, Seiya Tsujimura, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Performance Evaluation of Screen-Printed Paper-Based Glucose Biofuel Cell Using MgO-Templated Porous Carbon Material for Self-Powered Diaper Sensor
3. 学会等名 First International Conference on 4D Materials and Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takanao Kato, Yoshinao Hoshi, Isao Shitanda, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Immobilization of Glucose Dehydrogenase on Epoxy Group-Modified MgO-Templated Porous Carbon Electrode for Improvement of Biofuel Cell Stability
3. 学会等名 First International Conference on 4D Materials and Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名	Isao Shitanda, Yoshinao Hoshi, Masayuki Itagaki, Seiya Tsujimura, Tsutomu Mikawa, Hiroyuki Matsui, Shizuo Tokito
2. 発表標題	A Self-Powered Paper-Based Lactate Biosensor based on MgO-Templated Carbon Electrodes with Lactate Oxidase and Bilirubin Oxidase
3. 学会等名	40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	四反田功
2. 発表標題	印刷型ウェアラブルバイオ燃料電池の材料とそのプロセッシング
3. 学会等名	日本学術振興会 素材プロセッシング第69委員会 第72回研究会 (招待講演)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	I. Shitanda, H. Goto, Y. Morigayama, Y. Hoshi, M. Itagaki, S. Tsujimura, T. Mikawa, H. Matsui and S. Tokito
2. 発表標題	Wearable paper-based screen-printed lactate biofuel cell toward for mobile diagnosis of healthcare of athlete
3. 学会等名	Biosensors 2018 (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	四反田 功
2. 発表標題	印刷型バイオ燃料電池によるエネルギーハーベスティングとウェアラブルセンサへの応用
3. 学会等名	日本学術振興会 薄膜第131委員会・第174委員会共催第289回研究会 (招待講演)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 四反田功
2. 発表標題 印刷技術を用いた薄膜型ウェアラブルバイオ燃料電池の開発と評価
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四反田功, 實田達也, 加藤貴尚, 星 芳直, 板垣昌幸, 辻村清也
2. 発表標題 印刷型ウェアラブルバイオ燃料電池における酵素修飾多孔質炭素表面の設計と評価
3. 学会等名 表面技術協会第137回講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 星 芳直, 小田 知彦, 四反田 功, 板垣 昌幸
2. 発表標題 In-situイメージングCFDEによるアノード分極下における銅の溶解挙動の評価
3. 学会等名 表面技術協会第137回講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 實田 達也, 鈴木 遼, 相川 達男, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸
2. 発表標題 アズールおよびグルコース脱水素酵素を修飾したMgO鑄型炭素電極の作製と電気化学評価
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤 媛香, 森ヶ山 幸也, 星 芳直, 四反田 功, 美川 務, 辻村 清也, 板垣 昌幸
2. 発表標題 印刷型乳酸バイオ燃料電池に用いる多孔質炭素インクの作製と評価
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤村 優輝, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸, 辻村 清也
2. 発表標題 おむつへの搭載を想定した円盤型バイオ燃料電池の作製と各種パラメーター評価
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高松 光太郎, 新山 歩, 星 芳直, 四反田 功, 辻村 清也, 美川 務, 板垣 昌幸
2. 発表標題 MgO鑄型炭素を塗布したカーボクロスを用いた乳酸バイオ燃料電池の作製と評価
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 貴尚, 相川 達男, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸
2. 発表標題 グラフト重合によってエポキシ基を導入したMgO鑄型炭素へのグルコース脱水素酵素およびキノン類似体の修飾固定化
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森ヶ山 幸也, 後藤 媛香, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸, 美川 務, 辻村 清也, 松井 弘之, 時任 静士
2. 発表標題 印刷型紙基板乳酸バイオ燃料電池の出力向上に向けたアレイ化手法の検討と電気化学評価
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古茂田 将人, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸
2. 発表標題 シリカゲルインクを用いた長期安定性および即時使用性に優れた印刷型薄膜参照電極の作製と評価
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 七海, 渡邊 和紀, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸
2. 発表標題 転写印刷を用いたウェアラブルアンモニウムイオンセンサの作製と評価
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 和紀, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸
2. 発表標題 転写印刷によって繊維基板上に形成したウェアラブルナトリウムイオンセンサの模擬汗および人汗を用いた特性評価
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四反田功
2. 発表標題 酵素バイオ燃料電池を利用する印刷型ウェアラブルデバイスの創出
3. 学会等名 岡山大学 ナノ材料シンポジウム ~ナノ材料の合成・計測・新機能開拓~ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 四反田功
2. 発表標題 プリンタブルエレクトロケミストリーによる電気化学センシングデバイスの開発と応用
3. 学会等名 第13回千葉県分析化学交流会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Isao SHITANDA, Yoshinao HOSHI, Masayuki ITAGAKI and Seiya TSUJIMURA
2. 発表標題 Electrochemical Impedance Analysis of Mesoporous Carbon Electrode for Wearable Paper-based Self-powered Biosensor
3. 学会等名 The 2nd Asian Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy (AEIS2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masato KOMODA, Yoshinao HOSHI, Isao SHITANDA and Masayuki ITAGAKI
2. 発表標題 Electrochemical Impedance Study of Screen-printed Solid-state Ag/AgCl Reference Electrode
3. 学会等名 The 2nd Asian Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy(AEIS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuki WATANABE, Yoshinao HOSHI, Isao SHITANDA and Masayuki ITAGAKI
2. 発表標題 Fabrication of Wearable Impedimetric Sensor by Screen Printing for Sweat Conductivity Measurement
3. 学会等名 The 2nd Asian Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy(AEIS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomohiro TANAKA, Yoshinao HOSHI, Isao SHITANDA and Masayuki ITAGAKI
2. 発表標題 Electrochemical Impedance Study for Porous Electrode having Non-cylindrical Pores
3. 学会等名 The 2nd Asian Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy(AEIS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 印刷技術を利用した酵素バイオ燃料電池の開発と自己駆動型ウェアラブルヘルスケアデバイスへの応用
3. 学会等名 2017年度生命科学系学会合同年次大会 (ConBio2017) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Isao Shitanda
2. 発表標題 Biofuel Cell and Self-powered Biosensing System
3. 学会等名 PowerMEMS School 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 四反田功
2. 発表標題 紙を基板としたスクリーン印刷による 電気化学デバイス開発
3. 学会等名 有機エレクトロニクス材料研究会 第225回研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木寛子、相川達男、四反田功、近藤剛史、湯浅 真
2. 発表標題 カテコール含有ハイドロゲルの作製及びその接着能の評価
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 四反田功
2. 発表標題 印刷技術を利用したウェアラブルバイオ燃料電池の開発と応用
3. 学会等名 高分子学会セミナー2017年度有機エレクトロニクス講習会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木 寛子、相川 達男、四反田 功、近藤 剛史、湯浅 真
2. 発表標題 カテコール含有ハイドロゲルの合成と接着力の評価
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 渡邊 和紀, 星 芳直, 四反田 功, 板垣 昌幸
2. 発表標題 転写印刷によって繊維基板上に形成したナトリウムイオンセンサの応答性評価
3. 学会等名 2017年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 四反田 功, 岩下 梨沙, 森ヶ山 幸也, 辻村 清也, 美川 務, 星 芳直, 板垣 昌幸
2. 発表標題 印刷型多孔質炭素電極を用いた乳酸バイオ燃料電池の開発
3. 学会等名 2017年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森ヶ山 幸也, 四反田 功, 辻村 清也, 美川 務, 星 芳直, 板垣 昌幸
2. 発表標題 印刷型乳酸バイオ燃料電池の出力に及ぼす各種パラメータの評価
3. 学会等名 2017年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 印刷技術を用いたバイオ燃料電池を搭載した自己駆動型センシングシステム
3. 学会等名 日本分析化学会第66年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Isao Shitanda, Yukiya Morigayama, Kotaro Takamatsu, Tatsuya Takarada, Yoshinao Hoshi, Masayuki Itagaki, Seiya Tsujimura, Hiroyuki Matsui, Sizuo Tokito
2. 発表標題 Paper-based Biofuel Cells: New Power Source for Printed Electronics Devices
3. 学会等名 8th International Conference on Flexible and Printed Electronics 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nozomi Terai, Yusuke Asano, Isao Shitanda, Yoshinao Hoshi, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Fabrication of Enzyme-immobilized Janus Micromotor based on Amino group-functionalized Polystyrene Particles
3. 学会等名 68th Annual Meeting of ISE (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yukiya Morigayama, Tatsuo Aikawa, Yoshinao Hoshi, Isao Shitanda, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Preparation of Biofuel Cell Anode coated by Poly-(ethylene glycol) Diacrylate Gel
3. 学会等名 68th Annual Meeting of ISE (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Isao Shitanda, MisakiMomiya, Seiya Tsujimura, Yoshinao Hoshi, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Paper-based Biofuel Cell Array Loading Fuel- and Buffer Salt-containing Paper Sheet
3. 学会等名 68th Annual Meeting of ISE (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Isao Shitanda, Seiya Tsujimura, Saki Nohara, Misaki Momiyama, Risa Iwashita, Yoshinao Hoshi, Masayuki Itagaki
2. 発表標題 Paper-based Wearable mW class Biofuel Cells Powered by Glucose and Lactate
3. 学会等名 BES2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 四反田 功
2. 発表標題 印刷型バイオ燃料電池によるエネルギーハーベスティングとウェアラブルデバイスへの応用
3. 学会等名 ウェアラブルデバイス・バイオセンサ応用を目指したバイオ電池の最前線 (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔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	辻村 清也 (Tsujimura Seiya) (30362429)	筑波大学・数理物質系・准教授 (12102)	
研究分担者	柳田 信也 (Yanagita Shinya) (80461755)	東京理科大学・理工学部教養・准教授 (32660)	