

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01719

研究課題名(和文) 微小空間内環境制御を基軸とした酸化還元酵素の超活性化

研究課題名(英文) Hyperactivation of redox enzymes in confined nano-environments

研究代表者

辻村 清也 (Tsujimura, Seiya)

筑波大学・数理工学系・准教授

研究者番号：30362429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では数十ナノメートルスケールのメソ反応場(=電極)を活用することで酸化還元酵素の活性制御とその耐久性の向上を達成した。微小空間-酵素-水-イオンの複雑な相互作用について、メソ構造および空間内環境因子の酵素に及ぼす効果を明らかにした。それにより従来のモルフォロジー制御を超えた空間制御とその空間中の溶液環境制御指針を示した。酵素電極反応に最適な表面修飾を施された多孔質電極材料を開発し、酵素の安定性と活性の飛躍的向上(超活性、超安定性)を実現し、デバイスの性能向上を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

得られた成果をもとにメソ空間の構造と内部環境をデザインしたオーダーメイド型酵素担体は、センサや発電デバイス、リアクターなどにおいて、これまでの酵素利用の限界を打ち破る端緒となった。本研究で明らかになったバイオデバイスの新規設計指針は、酸化還元酵素にとどまらずすべての酵素、生体高分子、抗体、タンパク質、核酸などへと広く拡張でき、バイオデバイスの革新をおこす足がかりとなることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We demonstrated the hyperactivation of redox enzymes and the improvement of their durability by utilizing a meso-reaction field (=electrode) with a scale of several tens of nanometers. We elucidated the complex interaction between microspace, enzymes, water, and ions, and we clarified the effects of mesostructure and environmental factors in the space on the enzymes. In this way, we have provided a novel design for controlling nanospace and solution environment around the enzyme beyond the conventional morphology control. Furthermore, we developed porous electrode materials suitable for new enzymatic electrode reactions, leading a dramatic improvement in the performance of enzyme-based bioelectronics devices.

研究分野：生物電気化学

キーワード：酵素 多孔質炭素 酸化還元 バイオ電池 電解質

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

再生可能であり、優れた活性および選択性を有する“酵素”の開発は資源の乏しい日本にとって国家戦略上非常に重要である。中でも酸化還元酵素は、エネルギー変換や情報伝達の重要な役割を生体内で担っており、電極反応と組み合わせることで、センサ、情報通信、電源などのバイオエレクトロニクス材料への応用が期待される。一方で、その産業利用は未だ限定的である。その主たる原因は酵素の脆弱性（利用できる環境、反応条件が限定的）にあるといえる。この未踏領域こそが酵素の工業的利用におけるボトルネック課題であると考えた。電気化学デバイス応用において高濃度の電解質を必要とするが、共存する電解質イオンは、水や表面と相互作用し、分子の拡散や吸着挙動、pH、溶解度、凝集性などに強く影響し、微小空間においてその影響は顕著になる。酵素の活性、安定性も共存する電解質の影響を大きく受け、事実、微小な空間内溶液環境を制御することでいくつかの酵素において超活性（＝天然環境での活性を超えた高い活性）に結び付くと考えた。

2. 研究の目的

本研究では数十ナノメートルスケールのメソ反応場（＝電極）を活用することで酸化還元酵素の活性制御とその耐久性の向上を目指す。すなわち、微小空間 - 酵素 - 水 - イオンの複雑な相互作用について、メソ構造および空間内環境因子の酵素に及ぼす効果を明らかにする。それにより従来のモルフォロジー制御を超えた超空間（空間構造とその中の溶液環境）制御指針を示すことが目的である。新しい酵素電極反応に最適な多孔質電極材料を開発し、酵素の安定性と活性の飛躍的向上（超活性、超安定性）を実現する。

3. 研究の方法

（1）高濃度電解質の酵素（FAD 依存性グルコース脱水素酵素）への速度および酵素安定性に対する影響の解明

添加する電解質として、カチオンはナトリウムイオン、カリウムイオン、アンモニウムイオン、テトラメチルアンモニウムイオンを選択した。アニオンは硫酸イオン、硝酸イオン、塩化物イオン、酢酸イオンを選択し、硝酸テトラメチルアンモニウムを除く合計 15 種類の電解質溶液について検討した。各電解質 500 mM とグルコース 200 mM を含むリン酸緩衝液に FAD-GDH を加え加熱処理を行った。加熱前後の触媒電流値から残存活性を算出した。さらに電解質濃度を 100, 500, 1000, 1500, 2000 mM と変化させ、加熱し酵素の残存活性を評価した。さらに、リン酸緩衝液のカチオンの影響について検討した。また、メディエータとしてヘキサシアノ鉄酸イオンを用い、電解質がその酵素とメディエータ間の電子移動速度に及ぼす影響を検討した。

（2）多孔質炭素の細孔サイズの酵素への影響

細孔サイズが 10, 20, 40, 100, 150, 200nm の酸化マグネシウムを鋳型とする多孔質炭素を用いた。細孔サイズは、窒素吸着等温線から解析し、さらに電子顕微鏡により観察することで、評価した。多孔質炭素の粉体とバインダ（PVDF あるいは PTFE）を混合し、集電体状に塗布し、溶剤を除去して多孔質炭素電極を得た。これに酵素を修飾することで目的とする酵素電極を得て、その細孔サイズの出力電流および安定性に及ぼす影響を評価した。

（3）高効率電子移動にむけた細孔表面のデザイン

BOD 電極：多孔質炭素表面に様々な官能基を有するアミン（あるいはアニリン）の誘導体を電解酸化することで、炭素表面に共有結合を形成し、修飾した。その表面修飾炭素電極に酵素を担持し、その電気化学特性を評価した。

FAD-GDH 電極：多孔質炭素に様々なフェノチアジンを電解酸化あるいは、そのジアゾニウム塩を還元することで炭素表面に担持した。この電解重合フェノチアジン修飾電極に FAD-GDH

を担持し、電気化学特性を評価した。

(4) 高性能バイオ電池のデザインと性能評価

多孔質炭素をカーボンクロスに修飾し、アノードには FADGDH あるいは乳酸オキシダーゼ (LOx) を修飾し、カソードには BOD を用い、グルコース・酸素バイオ電池あるいは乳酸・酸素バイオ電池を作製し、その特性評価を行った。

4. 研究成果

(1) 高濃度電解質の酵素 (FAD 依存性グルコース脱水素酵素) への速度および酵素安定性に対する影響の解明

各電解質を加えたときの酵素の安定性は、アニオンにおいては、安定化効果の高い順に硫酸イオン、酢酸イオン、塩化物イオン、硝酸イオンであった。ホフマイスター系列に一致してコスモトロピックアニオンが安定化に寄与することが分かった。これはコスモトロピックアニオンが水と水素結合を形成することで酵素の表面張力が低下し、酵素がより小さな構造をとるために変性を防ぐことができ、安定性が向上したと考えられる。500 mM までの低濃度域では電解質の種類によらず、残存活性はほぼ同じ値であるが、1000 mM 以上の高濃度域では NH_4Cl を除き、安定性の向上が見られた。 NH_4Cl はカオトロピックイオンからなるために塩溶効果が強く、安定性が向上しなかった。一方で、コスモトロピックな硫酸イオンが増加することで、カチオンのコスモトロピシティーに関わらず、高い安定化効果が得られることが分かった。低濃度では安定化効果がない塩化ナトリウムでも高濃度にするだけで酵素の安定化をもたらすことが分かった。バイオ電気化学デバイス応用には緩衝液の利用は不可欠であり、最も代表的な中性付近の緩衝液はリン酸緩衝液であり、そのカチオンおよび濃度の影響を検討した。リン酸緩衝液はコスモトロピックな HPO_4^{2-} とカオトロピックな H_2PO_4^+ からなるが、他の電解質と同様にカチオンとしてよりコスモトロピックな Na^+ や K^+ を選択することで安定性が向上することが明らかになった。電池へ応用するにあたり、酵素反応による局所的な pH 変化による失活、液抵抗の低減などの問題に対して、これまで高濃度のリン酸緩衝液を用いてきた。適切なカチオンと組み合わせることで、酵素への安定化効果もあることが明らかになった。適切な濃度のリン酸緩衝液を用いることで、酵素自身の安定性に起因する出力密度や長期安定性が期待できる。

次に、電解質の酵素反応速度への影響を調べた結果について報告する。FAD-GDH のフェリシアンを酸化還元メディエータとして使用したときの生体電気触媒活性に対する電解質の効果 (特に高濃度での効果) を調べた。低イオン強度領域では、負に帯電した酵素とメディエータ間のイオン反発相互作用の減少により、FAD-GDH とフェリシアン化物の間の二分子反応速度定数 (k_2) の増加が観察された。0.5 M を超える濃度では、 k_2 はイオン特性に特異的な変化が観察された。最も高い k_2 向上効果を示したアンモニウムイオンは疎水性が強く、おそらく活性部位に近い疎水的な酵素表面にロンドン分散力によって吸着することにより、フェリシアンとの静電的な相互作用を高めたと考えられる。得られた成果は、酵素の作動する環境に応じたメディエータ分子設計に重要な知見をもたらす。

最後に、電解質溶液中のアニオンが、レドックスハイドロゲル電極の電流生成に及ぼす影響について明らかにした。電極表面は、ペンダント型オスミウム (Os) 錯体を有するレドックスポリマーおよび FAD-GDH からなるハイドロゲル薄膜でコーティングされている。ハイドロゲルは、 Os 錯体の衝突を介してグルコースから酵素を介した電極への効率的な電子移動を促進している。このハイドロゲル修飾電極の応答電流は、溶液中のアニオンの影響を強く受けた。また、その影響は不可逆的ではなく、再びそのアニオンを除去することで、応答値は回復する。このアニオンが電流生成に与える影響の度合いは、Hofmeister 系列で説明することができた。硝酸イオンや塩化物イオンなどのカオトロピックアニオンは、FAD-GDH 表面のカチオン領域に吸着して負電荷を誘起し、正電荷を帯びた Os ポリマーとの間の静電的相互作用を強めることで、媒電流を増加させる。硫酸イオンやリン酸イオンなどのコスモ

トロピックアニオンは、ハイドロゲルを収縮させることにより、ハイドロゲル構造内の酵素とメディエータの相対的な濃度を増加させ、触媒電流を増加させる。高性能の電極設計には、レドックスハイドロゲル電極の触媒電流反応に対するイオンの影響を理解することが重要であることを示した。

(2) 多孔質炭素の細孔サイズの酵素への影響

BOD カソード: カソードで利用可能な電気化学的に活性な BOD の量に対する電極材料としての MgOC の細孔サイズと表面修飾の影響を明らかにした。より大きな孔径の電極 (およそ 100-200 nm) を使用し、さらに酵素吸着のためのインキュベーション時間を増やすことによって電気化学的に活性な酵素量を増やすことができることがわかった。しかし、過剰な酵素は電極最表面に吸着した酵素への O_2 の物質移動を妨げることもわかった。酵素を修飾する際には基盤との相互作用を強め、モノレイヤーを形成させる必要がある。

ヒドロゲナーゼ: ヒドロゲナーゼとは水素酸化あるいは水素発生を行うことができる酵素である。このヒドロゲナーゼを活用した新たなエネルギー変換あるいは、ヒドロゲナーゼを模倣し触媒の開発が盛んである。ヒドロゲナーゼを 40nm と 150nm の細孔を有する炭素に酵素を修飾させることで、平坦な電極に比べ、10 倍以上の大きな電流値を達成することができる。細孔が大きくなると、より酵素の吸着量は増え、大きな電流値を得ることができるが、酵素の溶液中の耐久性はそれほど良くなく、その活性は、30 の条件では 10 時間でその活性は半減する。一方で、酵素を細孔サイズが 40nm の多孔質炭素に吸着させた場合、電流値の減少速度は溶液に酵素を溶かした場合と比較して、非常になだらかであり、10 時間経過しても 90%以上の電流を維持していた。

FAD-GDH ハイドロゲル電極: Os ビピリジン錯体がポリイミダゾールに配位したオスミウムポリマーと FAD-GDH を含むレドックスハイドロゲルで修飾された電極での効率的な電気化学的グルコース酸化のために、電極材料としての MgOC の細孔径の影響を調べた。これまでの先行研究 (Tsujiura et al, JACS, 2014) では 40nm の MgOC を泳動電着法により修飾してきたが、本研究では MgOC のインクをグラッシーカーボン電極上にドロップキャスト法によって修飾した。細孔サイズが 100 nm を超えると、 1 mg cm^{-2} のハイドロゲル量でも 100 mA cm^{-2} を超える非常に高いグルコース酸化電流密度が達成された。高い比表面積のみならずハイドロゲル量が増加しても物質輸送を妨げない MgOC のマクロ構造が、炭素インクをドロップキャスト法により作製される MgOC による多孔質電極構造を設計する上で重要な要素となることが明らかになった。

(3) 高効率電子移動にむけた細孔表面のデザイン

BOD 電極: BOD のモノレイヤーを細孔内に形成する BOD 上のアクティブサイトと電極間の相互作用を強化するために、MgOC 表面にいくつかの置換芳香族アミンを電気化学的に修飾した。その結果、プロモーターとして 6-アミノ-2-ナフトエ酸を使用すると、BOD と炭素表面の間の界面電子移動率が増加し、安定性が向上することを示した。カルボキシル基の負電荷 (中性 pH 条件) と酵素活性中心の正電荷との間の静電的相互作用、さらにはナフタレンの鎖長あるいは電子との相互作用が効果的であったと考えられる。

ポリ GMA 電極: 酸化マグネシウム鋳型炭素の表面にグラフト重合により修飾されたペンダントグリシジル基を持つポリ (メタクリル酸グリシジル) (p(GMA)) は、FAD-GDH 分子表面のアミノ基と強固な多点共有結合を形成する。固定化された FADGDH は、1,2-ナフトキノ (12NQ) をレドックスメディエータとして使用しグルコース酸化触媒電流が観測された。FAD-GDH と 12NQ の浸出は酵素キャッピング効果によって抑制されるため、安定性は格段に向上した。また、p(GMA) にアミノ基を有するレドックスメディエータを修飾することも可能であり、安定性と高効率電子移動が実現できた。

フェノチアジン電解重合修飾: FAD-GDH 電極の効率向上のために、Azure A をモデル化合物にして、共有結合 (電気化学還元グラフト法) と物理吸着により固定化法について比較検討した。グラフト法と物理吸着法で作製した Azure A 修飾カーボンナノチューブ電極を、FAD-

GDH を用いた生体電極触媒によるグルコース酸化反応に適用した。電気化学グラフト法による Azure A 電極は、吸着型 Azure A 電極に比べて 10 倍以上高い触媒電流が観測され、優れた生体電極触媒作用を示した。グラッシーカーボン上への MWCNT の担持量を増やし酵素の担持に適したメソ構造を導入することで、応答電流および安定性が向上した。

(4) 高性能バイオ電池のデザインと性能評価

フレキシブルバイオ燃料電池：酸化マグネシウム鋳型炭素をベースに酵素バイオ燃料電池 (EBFC) を開発した。カーボクロスは軽量で柔軟な液体コンテナとしても使用でき、孔径 40 nm の MgOC 粒子をカーボクロスに修飾する際にバインダーとして、グルコース酸化負極にはポリ (ビニリデンジフルオリド) (PVDF) を、酸素還元正極の結合剤としてポリテトラフルオロエチレン (PTFE) を使用した。FAD-GDH をアノードに使用し、1,4-ナフトキノン をレドックスメディエータとして選択した。1,4 ナフトキンはこれまでの研究で FAD-GDH と高い反応性を示し、なおかつ多孔質炭素表面に吸着固定化が容易である。酸素還元カソードには、BOD と、BOD の活性部位と電極間の電子伝達を促進する 2,2'-アジノビス (3-エチルベンゾチアゾリン-6-スルホネート) (ABTS) を用いた。カソードのガス拡散層の疎水性を混合する PTFE と炭素の量比によって最適化され、溶液からのプロトンの供給と大気から供給される酸素の量を最大化した。開回路電位は 0.75 V で、最大出力電力密度は 0.4 V で 2 mW cm⁻² となった。電解質には、1 M 程度のリン酸緩衝を用いることで、安定性と出力が最大になった。またこの仕組みを応用し、乳酸-酸素バイオ燃料電池を開発した。乳酸は身体の状態を評価するための有用なバイオマーカーであり、燃料としての理論的エネルギー密度も高いため、乳酸を燃料として利用するバイオ電池は注目を集めている。アノードには、酵素として乳酸オキシダーゼを用いた。カソードには、酸素還元電極触媒としての BOD と、メディエータとしての ABTS を用いている。カソードのカーボクロスの疎水性向上のために、PTFE をコーティングしている。乳酸-酸素バイオ燃料電池は、0.3 M の乳酸濃度で 4.3 mW cm⁻² の最大電力密度を示した。

印刷型バイオ燃料電池：3.2 V の起電力を示す自己駆動型グルコースセンサとして、6 つのグルコース 酸素バイオ燃料電池が直列に接続されたアレイを、スクリーン印刷によって作製した。撥水紙上に酸化マグネシウム鋳型炭素インクをスクリーン印刷することで正極の性能を向上させ、正極が全体の出力を制限するステップになることを防いだ。アノードは、触媒としてグルコースオキシダーゼおよびメディエータとしてテトラチアフルバレンを用いた。正極には、BOD を用いた。EBFC の出力は、尿中グルコースレベルの範囲を含むグルコース濃度 (1~25 mM) との間に、良好な直線関係が得られた。人工尿成分は EBFC の出力に干渉しなかったが、低いイオン伝導率は液抵抗を増やし、またバッファキャパシティーが低いために高出力で作動すると pH の変化を引き起こすことがわかった。いっぽうで、予め緩衝液を電極に塗布し乾燥させることで、ある程度の緩衝能とイオン伝導を確保できた。

自己駆動型の汗中の乳酸センサへの応用を目指した印刷可能なウェアラブル乳酸-酸素バイオ燃料電池を開発した。6 個のセルを直列に配列した場合に約 3.4V の開回路電圧を得ることができた。さらに、乳酸型バイオ燃料電池の 6×6 アレイ (6 個のセルを直列に並べ、6 個のセルを並列に並べたアレイ) では、4.3 mW の出力が得られた。この出力は、これまでに報告された乳酸バイオ燃料電池の出力よりも高い。提案したセルのアレイは、ブースター回路を必要とせずに、Bluetooth Low Energy を駆動して無線通信を行うことができた。多孔質炭素の細孔とその内部環境を最適化することにより、このような高活性電極を開発することができ、デバイスの高性能化を達成することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計36件（うち査読付論文 35件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Fujita Kyoko, Fujii Ryota, Ichida Kimiyoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Renaturation of Lyophilized Concanavalin a Treated in Water Content Controlled Hydrated Ionic Liquids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 57～57
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app11010057	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 Ikeda Kazuma, Fujita Kyoko, Ohno Hiroyuki, Nakamura Nobuhumi	4. 巻 17
2. 論文標題 Effects of charge balance and hydrophobicity of the surface of cytochrome c on the distribution behaviour in an ionic liquid/buffer biphasic system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 7337～7341
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/C9OB00900K	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 Fujita Kyoko, Nakano Roka, Nakaba Risa, Nakamura Nobuhumi, Ohno Hiroyuki	4. 巻 55
2. 論文標題 Hydrated ionic liquids enable both solubilisation and refolding of aggregated concanavalin A	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 3578～3581
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/C8CC10102G	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 Nikawa Yohsuke, Tsuzuki Seiji, Ohno Hiroyuki, Fujita Kyoko	4. 巻 72
2. 論文標題 Hydration States of Cholinium Phosphate-Type Ionic Liquids as a Function of Water Content	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Australian Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 392～392
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1071/CH18381	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 Shibata Chika、Iwashita Kazuki、Shiraki Kentaro	4. 巻 133
2. 論文標題 Salt-containing aqueous two-phase system shows predictable partition of proteins with surface amino acids residues	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1182 ~ 1186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2019.04.185	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 Shibata Chika、Iwashita Kazuki、Shiraki Kentaro	4. 巻 161
2. 論文標題 Selective separation method of aggregates from IgG solution by aqueous two-phase system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Protein Expression and Purification	6. 最初と最後の頁 57 ~ 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pep.2019.05.002	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 Morshed Jannatul、Nakagawa Ryo、Hossain Motaher M.、Nishina Yuta、Tsujiura Seiya	4. 巻 189
2. 論文標題 Disposable electrochemical glucose sensor based on water-soluble quinone-based mediators with flavin adenine dinucleotide-dependent glucose dehydrogenase	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biosensors and Bioelectronics	6. 最初と最後の頁 113357 ~ 113357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bios.2021.113357	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 Hossain Motaher M.、Morshed Jannatul、Tsujiura Seiya	4. 巻 -
2. 論文標題 Designing a cross-linked redox network for a mediated enzyme-based electrode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CC01707A	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 NAKAGAWA Yuto, TSUJIMURA Seiya	4. 巻 -
2. 論文標題 Fabrication of an Organic Redox Capacitor with a Neutral Aqueous Electrolyte Solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.21-00004	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, Morigayama Yukiya, Iwashita Risa, Goto Himeka, Aikawa Tatsuo, Mikawa Tsutomu, Hoshi Yoshinao, Itagaki Masayuki, Matsui Hiroyuki, Tokito Shizuo, Tsujimura Seiya	4. 巻 489
2. 論文標題 Paper-based lactate biofuel cell array with high power output	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 229533 ~ 229533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2021.229533	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 Yoshida Aimi, Tsujimura Seiya	4. 巻 3
2. 論文標題 Improved glucose oxidation catalytic current generation by an FAD-dependent glucose dehydrogenase-modified hydrogel electrode, in accordance with the Hofmeister effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Energy	6. 最初と最後の頁 024005 ~ 024005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2515-7655/abd877	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, Takamatsu Kotarou, Yoshihata Yukihiro, Nakamura Takehisa, Mikawa Tsutomu, Itagaki Masayuki, Tsujimura Seiya	4. 巻 50
2. 論文標題 Polydopamine Coating on Lactate Oxidase- and 1,2-Naphthoquinone-modified Porous Carbon Electrode for Stability Improvement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 593 ~ 595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200799	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, Momiyama Misaki, Hoshi Yoshinao, Itagaki Masayuki, Tsujimura Seiya	4. 巻 3
2. 論文標題 Ready-to-use paper biofuel cell driven by water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Energy	6. 最初と最後の頁 016001 ~ 016001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2515-7655/abd385	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, Mitsumoto Masaya, Loew Noya, Yoshihara Yuko, Watanabe Hikari, Mikawa Tsutomu, Tsujimura Seiya, Itagaki Masayuki, Motosuke Masahiro	4. 巻 368
2. 論文標題 Continuous sweat lactate monitoring system with integrated screen-printed MgO-templated carbon-lactate oxidase biosensor and microfluidic sweat collector	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 137620 ~ 137620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.137620	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 Tsujimura Seiya, Tanaka Shunya, Gross Andrew, Holzinger Michael	4. 巻 3
2. 論文標題 Electrochemical modification at multiwalled carbon nanotube electrodes with Azure A for FAD-glucose dehydrogenase wiring: structural optimization to enhance catalytic activity and stability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Energy	6. 最初と最後の頁 024004 ~ 024004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2515-7655/abd298	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 Tokunou Yoshihide, Vieira Lemos Rita, Tsujimura Seiya, Okamoto Akihiro, Ledezma Pablo, Freguia Stefano	4. 巻 8
2. 論文標題 Synechococcus and Other Bloom Forming Cyanobacteria Exhibit Unique Redox Signatures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 360 ~ 364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.202001274	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 Gross Andrew J., Tanaka Shunya, Colomies Clara, Giroud Fabien, Nishina Yuta, Cosnier Serge, Tsujimura Seiya, Holzinger Michael	4. 巻 7
2. 論文標題 Diazonium Electrografting vs. Physical Adsorption of Azure A at Carbon Nanotubes for Mediated Glucose Oxidation with FAD GDH	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 4543 ~ 4549
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.202000953	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 該当する

1. 著者名 Vieira Lemos Rita, Tsujimura Seiya, Ledezma Pablo, Tokunou Yoshihide, Okamoto Akihiro, Freguia Stefano	4. 巻 137
2. 論文標題 Extracellular electron transfer by Microcystis aeruginosa is solely driven by high pH	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bioelectrochemistry	6. 最初と最後の頁 107637 ~ 107637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bioelechem.2020.107637	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 該当する

1. 著者名 Suzuki Ryo, Shitanda Isao, Aikawa Tatsuo, Tojo Toshifumi, Kondo Takeshi, Tsujimura Seiya, Itagaki Masayuki, Yuasa Makoto	4. 巻 479
2. 論文標題 Wearable glucose/oxygen biofuel cell fabricated using modified aminoferrocene and flavin adenine dinucleotide-dependent glucose dehydrogenase on poly(glycidyl methacrylate)-grafted MgO-templated carbon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 228807 ~ 228807
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2020.228807	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 Tsuruoka Nozomu, Soto Silvia Sato, Tahar Awatef Ben, Zebda Abdelkader, Tsujimura Seiya	4. 巻 192
2. 論文標題 Mediated electrochemical oxidation of glucose via poly(methylene green) grafted on the carbon surface catalyzed by flavin adenine dinucleotide-dependent glucose dehydrogenase	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces B: Biointerfaces	6. 最初と最後の頁 111065 ~ 111065
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfb.2020.111065	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 該当する

1. 著者名 Tsujimura Seiya, Takeuchi Satoshi	4. 巻 343
2. 論文標題 Toward an ideal platform structure based on MgO-templated carbon for flavin adenine dinucleotide-dependent glucose dehydrogenase-0s polymer-hydrogel electrodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 136110 ~ 136110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.136110	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 Shitanda Isao, Tsujimura Seiya	4. 巻 3
2. 論文標題 Toward self-powered real-time health monitoring of body fluid components based on improved enzymatic biofuel cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Energy	6. 最初と最後の頁 032002 ~ 032002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2515-7655/abebcb	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 Tsujimura Seiya, Takeuchi Satoshi	4. 巻 343
2. 論文標題 Toward an ideal platform structure based on MgO-templated carbon for flavin adenine dinucleotide-dependent glucose dehydrogenase-0s polymer-hydrogel electrodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 136110 ~ 136110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.136110	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 Shitanda Isao, Kato Takanao, Suzuki Ryo, Aikawa Tatsuo, Hoshi Yoshinao, Itagaki Masayuki, Tsujimura Seiya	4. 巻 93
2. 論文標題 Stable Immobilization of Enzyme on Pendant Glycidyl Group-Modified Mesoporous Carbon by Graft Polymerization of Poly(glycidyl methacrylate)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 32 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190212	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 Freguia Stefano, Logrieco Maddalena E., Monetti Juliette, Ledezma Pablo, Virdis Bernardino, Tsujimura Seiya	4. 巻 11
2. 論文標題 Self-Powered Bioelectrochemical Nutrient Recovery for Fertilizer Generation from Human Urine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 5490 ~ 5490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su11195490	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 Tsujimura Seiya, Oyama Makiko, Funabashi Hiroto, Ishii Shuji	4. 巻 322
2. 論文標題 Effects of pore size and surface properties of MgO-templated carbon on the performance of bilirubin oxidase?modified oxygen reduction reaction cathode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 134744 ~ 134744
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2019.134744	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 Shitanda Isao, Fujimura Yuki, Nohara Saki, Hoshi Yoshinao, Itagaki Masayuki, Tsujimura Seiya	4. 巻 166
2. 論文標題 Paper-Based Disk-Type Self-Powered Glucose Biosensor Based on Screen-Printed Biofuel Cell Array	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 B1063 ~ B1068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.1501912jes	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 Adachi Tsubasa, Tsujimura Seiya	4. 巻 313
2. 論文標題 Effects of electrolyte on the mediated electrocatalytic glucose oxidation reaction catalyzed by flavin adenine dinucleotide glucose dehydrogenase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 189 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2019.04.145	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 Shitanda Isao, Takamatsu Kotaro, Niiyama Ayumu, Mikawa Tsutomu, Hoshi Yoshinao, Itagaki Masayuki, Tsujimura Seiya	4. 巻 436
2. 論文標題 High-power lactate/O ₂ enzymatic biofuel cell based on carbon cloth electrodes modified with MgO-templated carbon	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 226844 ~ 226844
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2019.226844	査読の有無 無
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 Niiyama Ayumu, Murata Kazuki, Shigemori Yasushi, Zebda Abdelkader, Tsujimura Seiya	4. 巻 427
2. 論文標題 High-performance enzymatic biofuel cell based on flexible carbon cloth modified with MgO-templated porous carbon	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 49 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2019.04.064	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 該当する

1. 著者名 Tahar A. Ben, Szymczyk A., Tingry S., Vadgama P., Zelsmanne M., Tsujimura S., Cinquin P., Martin D., Zebda A.	4. 巻 847
2. 論文標題 One-year stability of glucose dehydrogenase confined in a 3D carbon nanotube electrode with coated poly-methylene green: Application as bioanode for a glucose biofuel cell	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Electroanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 113069 ~ 113069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelechem.2019.04.029	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 該当する

1. 著者名 Mazurenko I., Clement R., Byrne-Kodjabachian D., de Poulpiquet A., Tsujimura S., Lojou E.	4. 巻 812
2. 論文標題 Pore size effect of MgO-templated carbon on enzymatic H ₂ oxidation by the hyperthermophilic hydrogenase from Aquifex aeolicus	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Electroanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 221 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelechem.2017.12.041	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 該当する

1. 著者名 Takimoto Daisuke, Tsujimura Seiya	4. 巻 47
2. 論文標題 Oxygen Reduction Reaction Activity and Stability of Electrochemically Deposited Bilirubin Oxidase	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1269 ~ 1271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180597	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 Takimoto Daisuke, Tsujimura Seiya	4. 巻 47
2. 論文標題 Improved Formation of Pt Multilayers at Near-neutral pH: Underpotential Deposition and Surface Limited Redox Replacement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1379 ~ 1382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180652	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 Nemoto Miki, Sugihara Kazunori, Adachi Tsubasa, Murata Kazuki, Shiraki Kentaro, Tsujimura Seiya	4. 巻 6
2. 論文標題 Effect of Electrolyte Ions on the Stability of Flavin Adenine Dinucleotide-Dependent Glucose Dehydrogenase	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 1028 ~ 1031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.201801241	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 Tsujimura Seiya	4. 巻 83
2. 論文標題 From fundamentals to applications of bioelectrocatalysis: bioelectrocatalytic reactions of FAD-dependent glucose dehydrogenase and bilirubin oxidase	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 39 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2018.1527209	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29件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 辻村清也
2. 発表標題 電気化学バイオデバイスの高機能化に向けた材料開発
3. 学会等名 センサ&IoTコンソーシアム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻村清也
2. 発表標題 ウェアラブル実装を目指したバイオ電池で動作するバイオセンサ
3. 学会等名 エレクトロニクス実装学会 駿 持続ナブル高機能材料研究会 第2回公開研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Hossain, S. Tsujimura
2. 発表標題 Novel design of cross-linked redox network for covalent immobilization of thionine and FAD-dependent glucose dehydrogenase
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 J. Morshed, Y. Nishina, S. Tsujimura
2. 発表標題 A disposable glucose sensor based on water soluble Quinone-based mediator with FAD-dependent glucose dehydrogenase
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田愛未, 辻村清也
2. 発表標題 MgO鑄型炭素修飾グルコース酸化電極の特性評価
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川勇人, Zebda Abdelkader, 辻村清也
2. 発表標題 金ナノ構造の修飾によるピリルピンオキシダーゼ酸素還元正極の出力向上
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺澤龍之介, 辻村清也
2. 発表標題 乳酸酸化ハイドロゲル修飾MgOC電極の長期耐久性評価
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motaher HOSSAIN, 辻村 清也
2. 発表標題 Co-immobilization of thionine and FAD-GDH at MgO-templated carbon
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 Jannatul MORSHED、仁科 勇太、辻村 清也
2. 発表標題 Glucose-diffusion-controlled SMBG sensor with quinone-based mediator and FAD-GD
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 SATO SOTO Silvia、山田 果歩、福島 寿和、辻村 清也
2. 発表標題 Redox mediator-modified carbon electrodes as a strategy for MFC performance improvement with <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1 as electroactive microorganism
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 Seiya Tsujimura
2. 発表標題 Design of enzyme electrodes for biofuel cell application
3. 学会等名 The 2019 Spring Meeting of E-MRS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiya Tsujimura
2. 発表標題 MgO-templated porous carbon for enzyme electrodes
3. 学会等名 70th Annual Meeting of ISE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiya Tsujimura
2. 発表標題 Bioelectrocatalysis and its application to biosensor and biofuel cells
3. 学会等名 SACSEM5 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuto Nakagawa, Seiya Tsujimura
2. 発表標題 Organic secondary battery using neutral aqueous electrolyte solution
3. 学会等名 Organic Battery Days2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shota Harakawa, Seiya Tsujimura, Masanori Kaneko
2. 発表標題 Electrochemistry of cofactor F430 as a methane generation catalyst
3. 学会等名 The International Joint Meeting of the Polarographic Society of Japan and National Taiwan University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Silvia Sato Soto, Seiya Tsujimura
2. 発表標題 Evaluation of anode surface modification for enhanced extracellular electron transfer (ETT) of <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1 in microbial fuel cell in presence of different substrates
3. 学会等名 ISMET 7 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻村 清也
2. 発表標題 高機能バイオ燃料電池の実現に向けた材料設計
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会年会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原川 翔太、辻村 清也、金子 雅紀
2. 発表標題 補因子F430を電極触媒とした電気化学的メタン生成
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻村 清也
2. 発表標題 バイオ電池への応用を目指したガス拡散酸素還元電極
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原川 翔太、辻村 清也、金子 雅紀
2. 発表標題 補因子F430を電極触媒とした電気化学的メタン生成
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiya Tsujimura
2. 発表標題 Effects of electrolytes on the mediated bioelectrocatalysis of FAD-glucose dehydrogenase
3. 学会等名 国際電気化学会第69回年会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻村 清也
2. 発表標題 FAD依存性グルコース脱水素酵素電極反応に及ぼす電解質の影響
3. 学会等名 2018年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiya Tsujimura
2. 発表標題 Effects of electrolytes on the mediated bioelectrocatalysis for bioelectrochemical applications
3. 学会等名 ICPAC2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiya Tsujimura
2. 発表標題 Bioelectrocatalysis and enzymatic biofuel cells
3. 学会等名 SACSEM2018（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻村清也
2. 発表標題 酵素電極反応への電解質の影響
3. 学会等名 28回日本MRS年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石居周二、辻村清也
2. 発表標題 酸化マグネシウム鋳型炭素を用いたピリルピンオキシダーゼ修飾酸素還元カソード
3. 学会等名 28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内田真世、辻村清也
2. 発表標題 Click反応を利用したメディエーター固定化カーボンナノチューブ修飾電極を用いたグルコースセンサの開発
3. 学会等名 28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内聖詞、辻村清也
2. 発表標題 ハイドロゲル修飾グルコース酸化電極に適した酸化マグネシウム鋳型炭素の細孔構造の検討
3. 学会等名 28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中川 勇人、辻村清也
2. 発表標題 多孔質炭素と有機物の複合化による有機二次電池の開発
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 K. Takai, S. Tsujimura, F. Kang, M. Inagaki	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 620
3. 書名 Graphene: Preparations, Properties, Applications and Prospects	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 構造体，構造体の製造方法，及び電気化学デバイス	発明者 辻村清也，中川勇人，他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-160050	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

筑波大学数理物質系 辻村研究室 http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~tsujimura_lab/
--

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	杉本 華幸 (Sugimoto Hayuki) (60529527)	新潟大学・自然科学系・准教授 (13101)	
研究分担者	白木 賢太郎 (Shiraki Kentaro) (90334797)	筑波大学・数理物質系・教授 (12102)	
研究分担者	藤田 恭子 (Fujita Kyoko) (90447508)	東京薬科大学・薬学部・講師 (32659)	

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			
フランス	CNRS	TIMG-IMAG	Grenoble Alpes University	他3機関
オーストラリア	University of Queensland			