

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02714

研究課題名(和文) 熱応答性分子電気化学の創成

研究課題名(英文) Thermo-responsive molecular electrochemistry

研究代表者

山田 鉄兵 (Yamada, Teppei)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：10404071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：様々な物理化学現象を熱化学電池に導入し、大きなゼーベック係数を有するシステムを構築した。第一にDESを利用した熱化学電池を作成し、高いゼーベック係数と100℃を超える中温域での利用を実現した。第二に水中のポリスルフィド混合物の分布の温度依存性を利用した熱化学電池を作成した。ポリスルフィドの割合は温度によって変化する。それらによって生じる混合電位の温度依存性を利用した。第三にシクロデキストリンにPEG鎖を修飾してLCST転移を生じさせ、それに伴うホスト能の温度変化を利用した熱化学電池を作成した。これらは熱化学電池の利用可能性を高めると共に、現象に付随するエントロピー変化を明らかにする意義もある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一次エネルギーの60%程度が仕事をせず廃熱となっているため、その利用は石油エネルギーの使用を減らし、CO2削減に繋がる。熱電変換技術として最近熱化学電池が注目を集める。本成果は熱化学電池のゼーベック係数を向上し、熱電変換効率を向上させることに繋がるほか、利用可能温度域を広げることに繋がるため、産業利用可能性を向上する。また学術的見地からは酸化還元反応に付随するエントロピー変化を見積もることができるため、溶媒和エントロピーや相転移潜熱などを見積もる新たな手法を開拓することにも繋がる。

研究成果の概要(英文)：Various physicochemical phenomena were introduced into thermocell to create systems with large Seebeck coefficients. First, a thermocell using DES was created, which has a high Seebeck coefficient and can be used in the medium temperature range above 100°C. Second, a thermocell was created using the temperature dependence of the distribution of polysulfide mixtures in water. The proportion of polysulfide changes with temperature. The temperature dependence of the mixing potential caused by them was utilized. Thirdly, a thermocell was prepared by modifying cyclodextrin with a PEG chain to induce LCST transition and utilizing the accompanying temperature dependence of the host potential.

These results are significant not only for increasing the potential of thermochemical batteries but also for clarifying the entropy change associated with the phenomenon.

研究分野：無機化学、電気化学、超分子化学

キーワード：熱化学電池 ホスト-ゲスト化学 LCST転移転移 深共晶溶媒 ポリスルフィド

## 1. 研究開始当初の背景

廃熱の有効利用に向けて、熱を電気に変換する熱電変換が注目を集める。熱化学電池は酸化還元平衡を利用した熱電変換素子の一種である。酸化還元平衡においては、高温側ではエントロピー駆動（酸化）、低温側ではエンタルピー駆動（還元）の反応が進行するため、温度差によって外部に電気を取り出せる。

私はホスト-ゲスト反応により熱化学電池の熱起電力の向上に成功した。ここでは酸化還元種が低温側でホストに取り込まれ、高温側で放出されることで熱起電力が増大する。

ホスト-ゲスト反応は、温度に応答して分子を包接・脱離する、ある種の熱刺激応答現象と捉えられる。熱化学電池の観点からは、会合エントロピーおよび選択性が電位差に、反応速度が電流値に、そして用いる溶媒や温度域が熱化学電池の適用範囲に影響を与えるため、我々は高速なホストゲスト反応、溶媒和と包接反応の類似性など、新たな分子科学の展開が求められている。

## 2. 研究の目的

ホスト-ゲスト反応を熱応答型の化学と捉え、熱化学電池の観点から熱応答現象を見直すことで新たな化学の発展を目指した。温度応答性の物理化学現象としては LCST 型相転移のような熱応答現象に加え、金属錯体の PCET 反応のようなエントロピー変化の大きな反応も大きな温度依存性があり、広義の熱応答性現象と捉えられる。これらの現象を酸化還元応答、溶液中での拡散、温度応答などの熱化学電池の観点から捉えると、新たなサイエンスが拓けると考える。

これらの現象を熱化学電池に導入することで、熱化学電池の高性能化を実現するとともに、逆反応の電気化学ペルチェ効果のデバイス化を行い、実用化に向けた端緒を気付くことを目指した。またそれにより熱応答性物理化学現象の新たな一面を明らかにすることを目指した。

## 3. 研究の方法

酸化還元活性を有する温度応答性の物質の様々な化学現象についてその温度応答性を分光学、熱測定、構造解析などの様々な手法を駆使して調べる。また種々の電気化学測定を温度可変で行い、酸化還元電位の温度応答性から熱電変換材料への展開の可能性を調べる。

## 4. 研究成果

### (1) DES を用いた中温域の熱化学電池

一次エネルギーの約 60% のエネルギーが廃熱として失われており、これを回収することがエネルギー危機に対抗するために重要である。100 ~ 200 程度の中温廃熱は産業部門から豊富に排出されているが、回収が困難であり捨てられていることが多い。熱化学電池は高い Seebeck 係数 (Se) を有するため、熱電変換素子として有望だが、溶媒を用いるため、中温域の廃熱の利用が困難であった。イオン液体を用いると中温域での熱電変換が可能だが、イオン液体では Se が低い場合が多い。これはイオン液体が溶媒和を弱くするように設計されていることと関連していると考えられる。そこで我々は深共晶溶媒 DES に着目した。DES は有機塩と水素結合供与体の共晶混合物であり、混合物の融点(共晶点)が、その成分のいずれよりも著しく低いものを指す。この低融点は、水素結合供与体がイオン種と複合化し、複合体中のイオン電荷の非局在化が促進されることに起因する。この現象により混合物の融点が低下するため、DES は室温で液体として存在する。バルクの DES の物性は IL と似ており、特に熱安定性の点で優れているが、熱化学電池には使用されていなかった。そこで、塩化コリン (ChCl) とエチレングリコール (EG) の 1 : 2 混合物からなるエタリンと呼ばれる DES の 1 つを利用して熱化学電池を作成した。

15 mM の  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  および  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  を用いた場合の熱化学電池は 165 で動作し、その Se は  $-1.67 \text{ mV K}^{-1}$  と見積もられた。エタノールアミンサーモセルの Se が高いのは、 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  および  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  とのエントロピー差、特に溶媒和エントロピーが大きいためと考えられる。 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  は  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  と比較して表面電荷密度が高く、溶媒分子の配向をより規定することが知られている。FT-IR 測定によってもこのことは確認された。

高温側を約 165 とし、電解液の温度差を約 30 に固定して電流-電圧曲線を測定した。エタリン熱化学電池は水溶液系よりも高い電力密度を実現し、最大で  $14 \text{ mW m}^{-1}$  に達しました。AC インピーダンス法により、この高い電力性能は、エタリン DES のイオン伝導性が高いことに起因している。さらに、動作温度が高いことにより粘度が低下していることもイオン伝導度の向上に寄与している。この高いゼーベック係数と動作温度の柔軟性は、DES ベースの熱化学電池を中温廃熱の回収に利用できる可能性を示している。

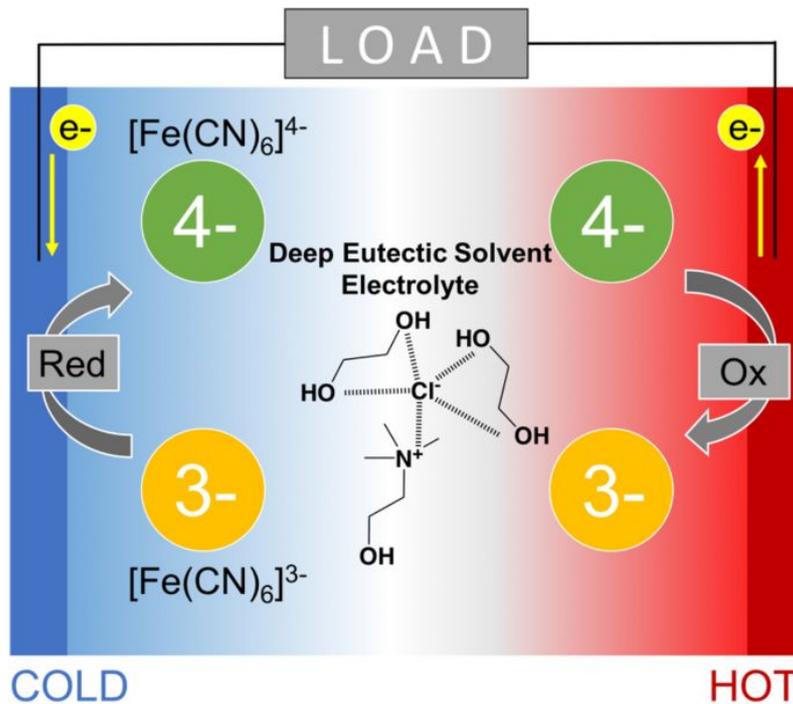


図 1 深共晶溶媒エタリンを溶媒として用いた中温域熱化学電池の模式図。

## (2) 水中のポリスルフィドの分布の温度依存性とその混合電位を用いた熱化学電池

ポリスルフィドは、低コストで安全な酸化還元種であり、熱化学電池への応用が期待される。有機溶媒系のポリスルフィドがナトリウム硫黄電池の電解質として注目を集めるのと共に、水溶液系のポリスルフィドも硫黄系水系電池 (SAB) の電解質として注目されている。

DMSO 溶液を用いた熱化学電池の研究は以前我々のグループが報告しているが、水を用いた例はこれまで報告が無い。ポリサルファイドサーモセルの特徴は、さまざまなポリサルファイド種の複雑な平衡が存在し、開回路電位 ( $V_{OC}$ ) はそれらの混合電位で構成されていることである。我々はこのポリスルフィドの分布の温度依存性を様々な酸化還元深度と温度の条件を変えて測定を行った。

熱化学電池の測定は 3 種の溶液を用いて行った。元素状硫黄 ( $S_8$ ) と  $Na_2S$  を 1:4, 1:1, 4:1 のモル比で混合し、 $NaCl$  水溶液とした。 $S_8:Na_2S$  比は、溶液中の平均的な硫黄の価数を変化させることに対応する。ゼーベック係数は溶液によって異なり、30~40 の温度範囲において 1:4 溶液で最大  $+4.82 mV K^{-1}$  という高い  $Se$  が観測された。またいずれの濃度・温度条件においても正のゼーベック係数が得られた。これは有機溶媒中では濃度によってゼーベック係数が負になることもあったのとは対照的である。熱化学電池の電流と電力出力は、 $I-V$  曲線および  $P-V$  曲線によって見積もられた。

様々な温度における硫化物種の同定のために、VT-UV を行った。様々なポリスルフィドジアニオンとラジカルアニオンの吸収ピークは、 $S_2O_3^{2-}$  (205 nm),  $S_4O_6^{2-}$  (220 nm),  $S_2^{2-}$  (238 nm),  $S_3^{2-}$  (270 nm),  $S_4^{2-}$  (305-315 and 410-420 nm),  $S_6^{2-}$  (340-355 and 475 nm),  $S_8^{2-}$  (570 nm),  $S_3^{\cdot -}$  (610 nm) と見積もられた。これらは先行文献を元に帰属したが、一部文献とは異なる位置のものもある。これらの同定は、VT-UV と共にオペランド UV-vis 分光法を実施した。これにより CV における酸化還元波の帰属を行った。

温度上昇に伴い、 $S_2^{2-}$ 、 $S_3^{2-}$ 、 $S_4^{2-}$ 、 $S_6^{2-}$ 、 $S_8^{2-}$  の吸収ピークが増加し、 $HS^{\cdot -}$  の吸収ピークの減少した。これらの変化は、硫化水素からポリスルフィドへの変換やポリスルフィド間の酸化還元反応によると考えられる。様々な均化・不均化反応や反応もポリスルフィド ( $Sn^{2-}$ ;  $n = 2 \sim 8$ ) 濃度に影響を与える。これらの反応では電子交換は行わないため、 $Se$  に直接影響しないことに注意する必要がある。硫化物ジアニオンから 2 つのラジカルアニオンへのホモロジカル解離も不均化反応であり、 $Se$  には反映されない。この反応により、温度の上昇とともにラジカルアニオンが供給される。得られたラジカルアニオン ( $S_n^{\cdot -}$ ) は 1 電子還元を受けジアニオンとなる (eq S8)。水中での  $S_3^{\cdot -}$  の存在は、UV-vis スペクトルにより確認された。有機溶媒とは対照的に、純水中の  $S_3^{\cdot -}$  のラジカルアニオンは不利であり、UV-vis スペクトルでもこれまであまり観察されなかった。 $S_3^{\cdot -}$  の出現は、ポリサルファイド水溶液中で  $S_3^{\cdot -}$  を安定化できるナトリウムカチオン ( $Na^+$ ) の濃度が高い (1000 mM) ことに起因すると考えられる。 $S_3^{\cdot -}$  は、短中期的にはポリサルファイド熱化学セル水溶液中で安定であるが、ポリサルファイド熱化学セルに対する  $NaCl$  濃度の影響は限定的であることがわかった。

これらの結果は、ポリスルフィド系が、ナトリウム-硫黄電池を含む熱電デバイスのための低コ

ストで非腐食性の水性電解質として応用可能であることを示唆するものである。また、深海の熱水地熱発電システム、地熱発電、工場排水など、自然界における熱電変換を理解するための新しい窓を開くことができる。地球上には低級な熱エネルギーが当たり前のよう存在し、ポリスルフィドのような生成しやすい化学種の pH と温度依存性による熱電効果が、これを説明する上で重要であると思われる。

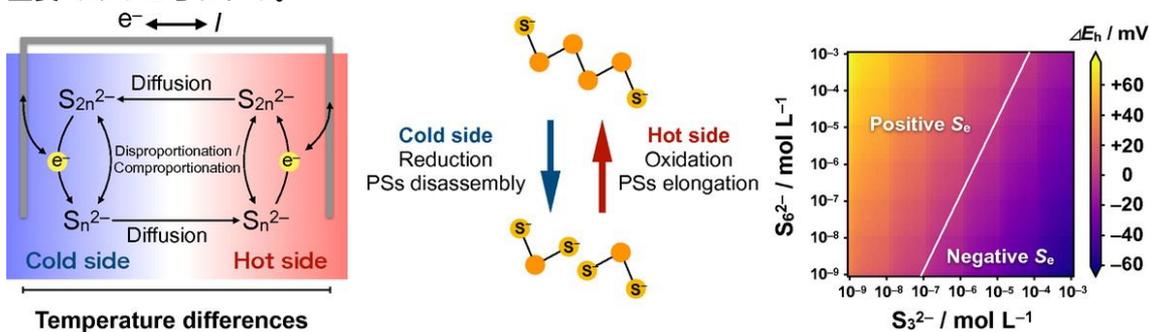


図2 ポリスルフィド熱化学電池の温度依存性

### (3) 高分子の LCST 転移を利用した電気化学の温度応答性

PEG や PNIPAM などの両親媒性の高分子の一部は、温度に応じて疎水性・親水性の相転移を湿すことが知られている。我々は酸化還元応答性を組み合わせることで、LCST 転移を熱電変換に応用した。

ホスト分子である PEG 化  $\beta$ -シクロデキストリン (TEG- $\beta$ -CD) の導入により、熱誘起相転移を示す  $I_3^-/I_3^-$  熱電対の高いゼーベック係数を達成した。このホストは熱電対の低温側で  $I_3^-$  を捕獲し、 $S_e$  を最大 +2.4 mV/K まで増加させた。特に、親水性相から疎水性相への相転移の結果、31 ~ 37 の温度範囲で +4.2 mV/K の大きな  $S_e$  値が観測された。熱化学電池の低温側では、ホストが  $I_3^-$  アニオンを効果的に捕捉している。一方、高温側では TEG- $\beta$ -CD のミクロ相分離が起こり、 $I_3^-$  の脱離が促進された。その結果、電極間に電気化学的に活性な  $I_3^-$  イオンの大きな濃度差が生じたことがわかった。熱電発電セルで決定された電力密度は TEG- $\beta$ -CD の存在下で 2 倍になった。この結果は、低分子化合物で、正の  $S_e$  を示す n 型熱電対を設計するための実用的な手段を提供するものである。

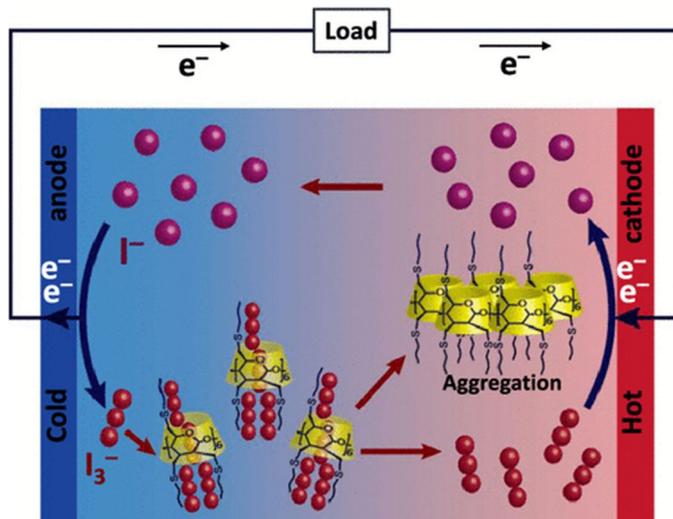


図3 PEG 修飾シクロデキストリンの LCST 転移を利用した熱化学電池

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Nakae Toyotaka, Miyabe Hiroto, Nishio Masaki, Yamada Teppei, Yamanoi Yoshinori	4. 巻 26
2. 論文標題 Synthesis, Structure, and Photophysical Properties of Yellow-Green and Blue Photoluminescent Dinuclear and Octanuclear Copper(I) Iodide Complexes with a Disilanylene-Bridged Bispyridine Ligand	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 6852 ~ 6852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules26226852	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 Ravat Prince, Uchida Hikaru, Sekine Ryosuke, Kamei Ko, Yamamoto Akihisa, Kononov Oleg, Tanaka Motomu, Yamada Teppei, Harano Koji, Nakamura Eiichi	4. 巻 -
2. 論文標題 De Novo Synthesis of Free Standing Flexible 2D Intercalated Nanofilm Uniform over Tens of cm <sup>2</sup>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2106465 ~ 2106465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202106465	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 Miyatsu Satoshi, Kofu Maiko, Shigematsu Akihito, Yamada Teppei, Kitagawa Hiroshi, Lohstroh Wiebke, Simeoni Giovanna, Tyagi Madhusudan, Yamamuro Osamu	4. 巻 8
2. 論文標題 Quasielastic neutron scattering study on proton dynamics assisted by water and ammonia molecules confined in MIL-53	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Structural Dynamics	6. 最初と最後の頁 054501 ~ 054501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/4.0000122	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 Nakae Toyotaka, Nishio Masaki, Usuki Tsukasa, Ikeya Minako, Nishimoto Chika, Ito Suguru, Nishihara Hiroshi, Hattori Mineyuki, Hayashi Shigenobu, Yamada Teppei, Yamanoi Yoshinori	4. 巻 60
2. 論文標題 Luminescent Behavior Elucidation of a Disilane Bridged D-A-D Triad Composed of Phenothiazine and Thienopyrazine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 22871 ~ 22878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202108089	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 Zhou Hongyao, Yamada Teppei, Kimizuka Nobuo	4. 巻 5
2. 論文標題 Supramolecular Thermocells based on Thermo-Responsiveness of Host-Guest Chemistry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1525-1546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210061	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 Antariksa Naura Fakhira, Yamada Teppei, Kimizuka Nobuo	4. 巻 11
2. 論文標題 High seebeck coefficient in middle-temperature thermocell with deep eutectic solvent	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-91419-5	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 Eguchi Hiroto, Kobayashi Takashi, Yamada Teppei, Rocabado David S. Rivera, Ishimoto Takayoshi, Yamauchi Miho	4. 巻 11
2. 論文標題 Inversely polarized thermo-electrochemical power generation via the reaction of an organic redox couple on a TiO <sub>2</sub> /Ti mesh electrode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-93269-7	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 Liang Yimin, Ka-Ho Hui Joseph, Morikawa Masa-aki, Inoue Hirotaka, Yamada Teppei, Kimizuka Nobuo	4. 巻 4
2. 論文標題 High Positive Seebeck Coefficient of Aqueous I <sup>-</sup> /I <sub>3</sub> <sup>-</sup> Thermocells Based on Host-Guest Interactions and LCST Behavior of PEGylated $\alpha$ -Cyclodextrin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 5326 ~ 5331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c00844	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 Sekine Yurina, Nankawa Takuya, Yamada Teppei, Matsumura Daiju, Nemoto Yoshihiro, Takeguchi Masaki, Sugita Tsuyoshi, Shimoyama Iwao, Kozai Naofumi, Morooka Satoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Carbonated nanohydroxyapatite from bone waste and its potential as a super adsorbent for removal of toxic ions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 105114 ~ 105114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jece.2021.105114	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 Nagai Yuki, Ishiba Keita, Yamamoto Ryosuke, Yamada Teppei, Morikawa Masa aki, Kimizuka Nobuo	4. 巻 60
2. 論文標題 Light Triggered, Non Centrosymmetric Self Assembly of Aqueous Arylazopyrazoles at the Air-Water Interface and Switching of Second Harmonic Generation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 6333 ~ 6338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202013650	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 Sekine Yurina, Nankawa Takuya, Yamada Teppei, Matsumura Daiju, Nemoto Yoshihiro, Takeguchi Masaki, Sugita Tsuyoshi, Shimoyama Iwao, Kozai Naofumi, Morooka Satoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Carbonated nanohydroxyapatite from bone waste and its potential as a super adsorbent for removal of toxic ions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 105114 ~ 105114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jece.2021.105114	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 Kobayashi Takashi, Yamada Teppei, Tadokoro Makoto, Kimizuka Nobuo	4. 巻 27
2. 論文標題 A Novel ThermoCell System Using Proton Solvation Entropy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 4287 ~ 4290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202004562	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 Sekine Yurina, Nankawa Takuya, Yunoki Shunji, Sugita Tsuyoshi, Nakagawa Hiroshi, Yamada Teppei	4. 巻 2
2. 論文標題 Eco-friendly Carboxymethyl Cellulose Nanofiber Hydrogels Prepared via Freeze Cross-Linking and Their Applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 5482 ~ 5491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscapm.0c00831	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 Guo Benshuai, Hoshino Yu, Gao Fan, Hayashi Keisuke, Miura Yoshiko, Kimizuka Nobuo, Yamada Teppei	4. 巻 142
2. 論文標題 Thermocells Driven by Phase Transition of Hydrogel Nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 17318 ~ 17322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c08600	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 Iwami Risa, Yamada Teppei, Kimizuka Nobuo	4. 巻 49
2. 論文標題 Increased Seebeck Coefficient of [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup> /3- Thermocell Based on the Selective Electrostatic Interactions with Cationic Micelles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1197 ~ 1200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200410	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 Inoue Hiroataka, Liang Yimin, Yamada Teppei, Kimizuka Nobuo	4. 巻 56
2. 論文標題 Enhanced Seebeck coefficients of thermocells by heat-induced deposition of I3 <sup>+</sup> /hydrophobized -cyclodextrin complexes on electrodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7013 ~ 7016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC02356F	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0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 熱電変換用電解液、これを備える熱電変換素子、熱化学電池、温度調節装置、および熱電センサー	発明者 周泓遙、山田鉄兵、 君塚信夫、的場史 憲、小林傑	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-163893	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>研究室ウェブページ  <a href="https://inorg.chem.s.u-tokyo.ac.jp/">https://inorg.chem.s.u-tokyo.ac.jp/</a>          研究室ウェブページ  <a href="https://inorg.chem.s.u-tokyo.ac.jp/">https://inorg.chem.s.u-tokyo.ac.jp/</a>          廃棄豚骨がストロンチウム吸着材料に 廃材を利用した安価で高性能な汚染除去技術を実現  <a href="https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2021/7232/">https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2021/7232/</a>          ラーメン好き研究員が...豚骨が放射性物質を20倍吸着  <a href="https://news.tv-asahi.co.jp/news_society/articles/000206265.html">https://news.tv-asahi.co.jp/news_society/articles/000206265.html</a>          牛豚の骨使い、有害金属吸着 原子力機構が開発  <a href="https://mainichi.jp/articles/20210304/ddm/016/040/003000c">https://mainichi.jp/articles/20210304/ddm/016/040/003000c</a>          体温付近での高効率な熱電変換を実現  <a href="https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/506">https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/506</a></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	周 泓遙  (Zhou Hongyao)  (20902092)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・特任助教   (12601)	
研究分担者	金井塚 勝彦  (Kanaizuka Katsuhiko)  (50457438)	山形大学・理学部・教授   (11501)	
研究分担者	岡 弘樹  (Oka Koki)  (50907376)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・特別研究員   (12601)	

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