

令和 6 年 5 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05719

研究課題名(和文)水圏機能材料の電子・イオン機能開拓

研究課題名(英文)Exploration of Electronic/Ionic Functions of Aquatic Functional Materials

研究代表者

田中 求(Tanaka, Motomu)

京都大学・高等研究院・特任教授

研究者番号：00706814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 90,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、田中求(研究代表者)の専門である界面制御技術を駆使して、材料と水圏環境の界面水和構造を制御することで「水圏で作動する電子・イオン機能材料」の創製およびそのための基礎学理の確立を旨とした。水界面での自己組織化や液晶的な分子の振る舞いを活用して、生物に着想を得たイオンや分子を選択的に認識する材料と水分子の界面相互作用を精密計測し、水圏電子・イオン機能材料の機能を最適化した。主たる成果としては生物着想型イオン認識材料の超高集積化によって水圏環境浄化システムを設計・構築したり、液晶超分子膜と半導体デバイスの融合によるイオン選択輸送機構を明らかにした研究などが挙げられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果の学術的意義としては、通常ドライ系で作動する無機・有機半導体材料と水圏で分子・イオン認識機能を発揮する高分子・液晶材料を融合させた「水圏で作動する電子・イオン機能材料」の創製にとりくみ、そのために必須である「材料界面の水分子の挙動を理解し制御する」ための基礎学理を確立したことが挙げられる。

社会への貢献としては、分担者・中畑が合成した「生物にならい生物を超える」重金属捕捉機能を持つ高分子材料を代表者・田中の得意とする界面制御技術で超高集積化することで、実装可能な水処理システムを構築し、国連のSDGs 6番「安全な水とトイレを世界中に」の技術基盤確立に貢献したことが挙げられる。

研究成果の概要(英文)：This research aims to create a new class of "electronic/ionic materials" and establish the scientific basis by utilizing the expertise of Tanaka in interface regulation. By utilizing the self-assembly and liquid-crystalline-like behaviors of molecules, we successfully optimized the functions of aquatic electric/ionic materials. The main achievements include the design and fabrication of a novel water treatment system via hyperconfinement of bioinspired ionic materials and the unraveling of the ion-selective transport function of liquid-crystalline water treatment membranes using GaN-based semiconductor devices.

研究分野：化学物理

キーワード： 生体着想分子材料 半導体電子材料 界面制御 電子・イオン機能

1. 研究開始当初の背景

本研究課題では、通常ドライ系で作動する無機・有機半導体材料と水圏で分子・イオン認識機能を発揮する高分子・液晶材料を、界面水和構造を制御して「つなぐ」ことで「水圏で作動する電子・イオン機能材料」の基礎学理を創出し、国連の持続可能な開発目標 (SDG) 6 番「安全な水とトイレを世界中に」の技術基盤確立に貢献することを究極の目標とした。

イオンを選択的に認識する電子材料は、1970 年に発表されたイオン選択性電界効果トランジスタ ISFET (Bergveld, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **1972**, *BME-19*, 342) 以来、長足の進歩を遂げてきた。しかしながら高速通信デバイスに広く用いられているガリウム砒素のように無機半導体材料には水圏において腐食性を示すなど安定に作動できないものが多い。有機材料化学の分野では近年、環境低負荷な電子材料として高機能有機半導体材料が注目を集めているが、元来疎水性である有機半導体材料の水圏での応用は端緒についたばかりである。生物に着想を得た合成有機材料や液晶超分子膜など、**水圏で機能を発揮する材料と有機電子材料を『つなぐ』水・材料界面制御の基礎学理は、研究開始時には未確立の状態であった。**

2. 研究の目的

本研究では、水圏環境の変化を電子信号として超高感度で認識・発信し、有害イオンを超高効率で除去する、電子・イオン材料創製のための学術的基盤の確立を目指した。そのために、田中 (研究代表者) の専門とする半導体電子材料・生体融合材料を核に、中畑 (研究分担者) の生物に着想を得た選択的分子認識材料を組み合わせるといった戦略をとった。さらに A01 分子・材料構築班 (液晶超分子材料、有機半導体材料) や A02 先端計測・シミュレーション班との連携によって、水圏の微小な環境変化を電子信号へと変換する水圏環境認識電子材料や、水圏の有害なイオンを超高効率で捕捉・無害化する水圏イオン環境浄化材料を創製した。

3. 研究の方法

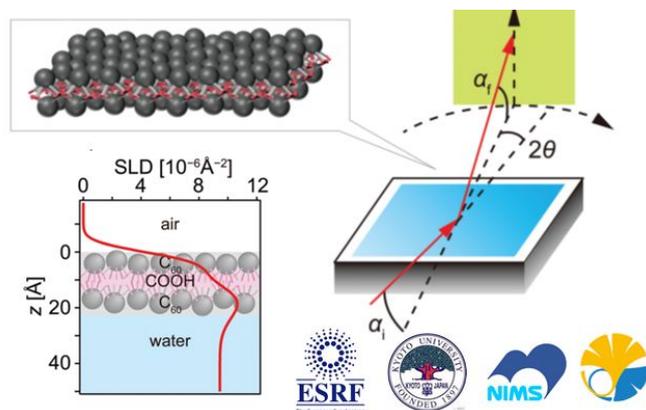
本研究課題では、界面の化学物理を専門とする田中 (研究代表者) を中心に、分子認識材料科学 (中畑 研究分担者)、ソフトマター物理 (山本 研究協力者) という得意分野を持つ専門家を配し、水分子を材料の一部として捉えることで生物の持つ選択的機能を、強靱性・安定性をもつ人工材料で実現させ、水圏で作動する電子・イオン材料を創出した。A01 分子・材料構築班や A02 先端計測・シミュレーション班との班間連携を密に行うことで、領域全体として材料の設計・合成、物性の計測・解析から最終的な機能発現までをシームレスに行える体制を確立した。またハイデルベルク大学 (独) やストラスブルグ大学 (仏) など海外トップ大学との連携を通じて、この新しい学問的流れを加速度的に推進した。

4. 研究成果

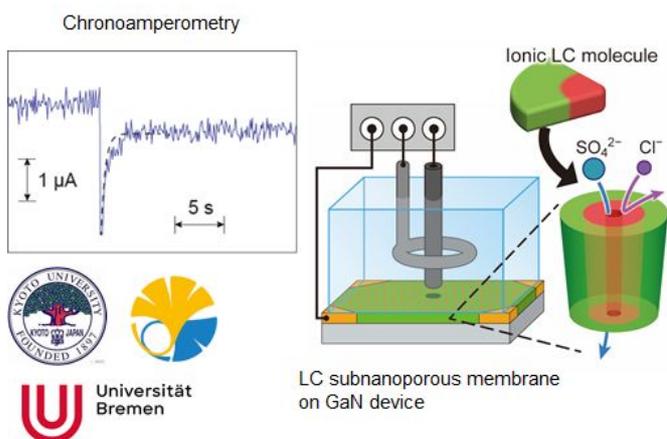
本研究で得られた主な成果・材料を以下にまとめる。

水の存在下で作動する水圏電子機能材料

電子材料の多くは水を嫌うものが圧倒的に多く、水圏環境下においては劣化したり水の存在下では作動しないものが多い。田中求と原野幸治 (A01 公募) らは、厚さ 3 nm で面積数十 cm² という両親媒性フラーレン分子二次元膜を、水表面での散逸過程を駆使して合成することに成功した。田中は欧州



放射光機構 (ESRF) で水表面での X 線鏡面反射率計測や斜入射 X 線小角散乱を駆使して、フラーレンが水表面で長期周期構造を取らないことが大面積の自立膜の合成に不可欠であることを示した。さらにこの材料を電子デバイス上に転写したところ、**二分子膜に挟まれたナノ空間の水素結合ネットワーク**を介したプロトン導電度が水蒸気圧(水分子の化学ポテンシャル)に依存して変調することを見いだした [Adv. Mater. **2022**, 34, 2106465 (ESRF Scientific Highlight 2022 に選出)]。



また田中求と加藤隆史(A01 計画)はブレメン大(独) Eickhoffらとの国際共同研究で、液晶超分子膜のイオン選択的輸送のキネティクスを、液晶水処理膜と窒化ガリウムデバイス融合させた複合電子材料を用いて精密計測した。ここでは電気化学インピーダンスとクロノアンペロメトリー計測を組み合わせ、水和半径の大きな硫酸イオンが小さな塩素イオンより**選択的に輸送される物理的メカニズム**を電子信号解析から解明した

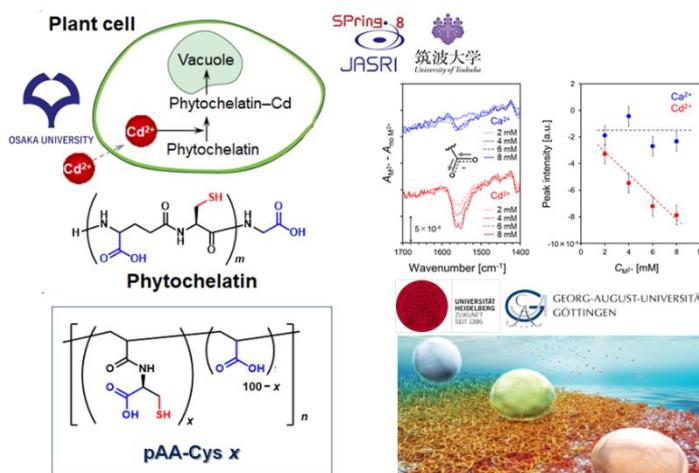
[J. Phys. Chem. B **2024**, 128, 4537 (Supplementary Cover)]. これらは、本来水となじまない電子材料を水圏で活用するためには、水・材料界面における分子の配列や自己組織化の精密制御が必須であることを示す、本領域ならではの重要な成果である。

生物着想型イオン選択認識材料

鉱山や工場からの排水に含まれる有害な重金属イオンを河川や地下水から取り除く方法として、植林によるファイトレメディエーションが開発途上国で近年広く用いられている。

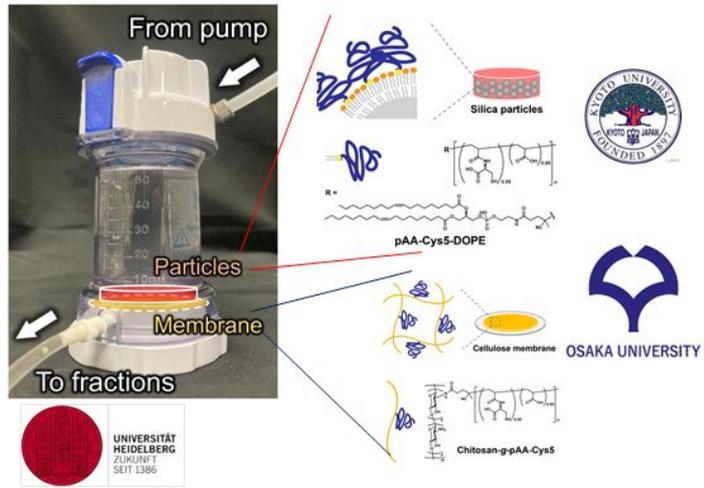
中畑は、重金属イオンを超高感度で選択認識・捕捉する植物タンパク質(ファイトケラチン)に着想を得た生物着想高分子を設計・合成した。まず高分子の水和半径や代表的な重金属イオン(カドミウム: Cd)に対する解離定数 K_D など水圏での材料特性を精密計測し、分子設計の妥当性を実証した。これと並行して赤外分光(A02 計画 池本夕佳)や NMR(A01 公募 中村貴志)といった分光測定によって水溶液中での重金属イオン捕捉の分子メカニズムを解明した。

田中・山本は、自らが得意とする干渉顕微鏡や QCM-D(共通機器)だけでなく、A02 公募 宮田一輝(周波数変調 AFM)やハイデルベルク大(独)との国際共同研究(高エネルギー X 線反射率)といった先端計測技術を駆使することで、選択的イオン捕捉による材料の水和状態変化を**超精密に解析した** [Front. Soft Matter **2021**, 2, 959542 (Showcase), Nanoscale Adv. **2022**, 4, 5027 (Cover)]。さらにゲッティンゲン大(独)と連携して、イオン捕捉材料の水和状態変化によってモデル細胞の接着が自在に制御できることを、実験・理論両面から実証することにも成功した[Soft Matter **2023**, 19, 2941 (Cover)]。



水圏環境浄化システム

田中と中畑は上記の基礎研究で得られた知見を大きく展開させ、ハイデルベルク大(独)との国際共同研究によって、シリカ微粒子上に担持したアンカー分子の自己組織化を用いて、重金属イオンを選択的に捕捉する生物着想型高分子材料を、分子間平均距離 5.5 nm という超高密度でグラフトすることに成功した。この微粒子を

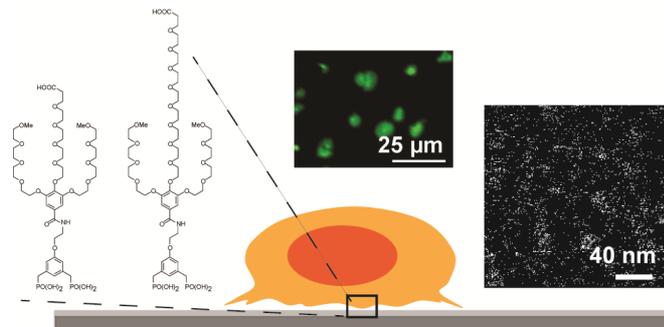


ことによって、**0.6 μmol の高分子を 1.8 mL の容積に超高集積化したフロースルー型のリアクター**を作製した。中畑はイオン選択捕捉高分子をキトサン側鎖に導入した膜を合成し、リアクターの出口で粒子の漏出を防ぐモレキュラーシーブと置き換えた。これにより、微粒子の充填により生じるバックプレッシャーを劇的に低減させることに成功した。これに伴い流速が劇的に向上し、**工場排水レベルの Cd イオンを含むモデル汚染水 0.3 L を WHO が定める飲料水基準を下回るレベルまで 1 時間で除去**することに成功した[Nat. Commun. 修正稿査読中]。

領域内のその他の共同研究

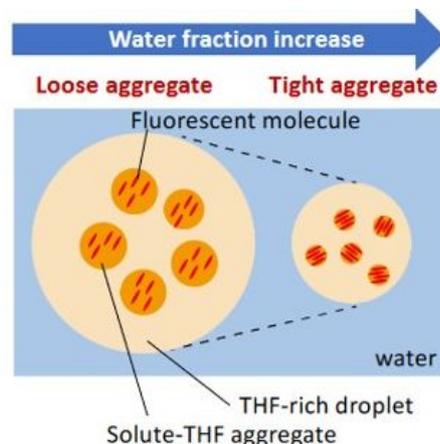
田中(研究代表者)、中畑(研究分担者)、山本(研究協力者)は、前項目に紹介した以外にも多くの計画研究者・公募研究者と領域内共同研究を推進した。

例えば田中は、林智広(A02 公募-A01 公募)、ストラスブール大(仏)、ハイデルベルク大(独)らと共に、がんの治療への応用が検討されている酸化鉄ナノ粒子のコーティングに用いられるオリゴエチレングリコール型 dendrimer の生体適合性に関して、**血液防汚性の物理的メカニズムに着目した共同**



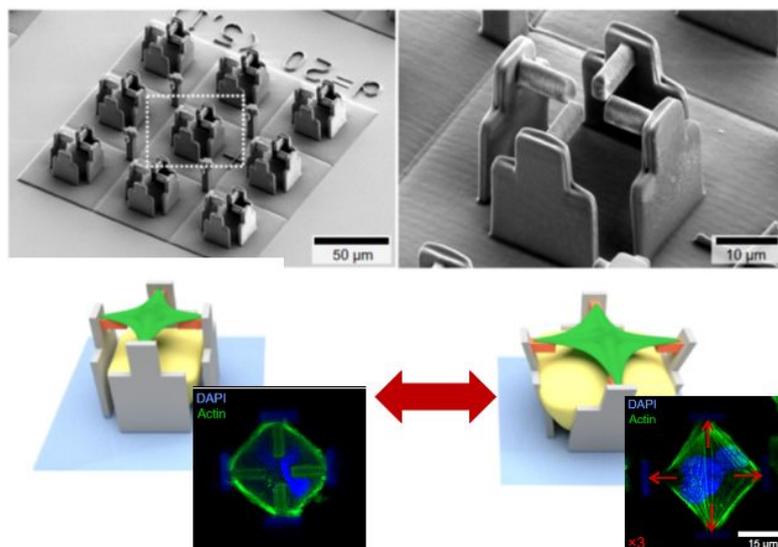
研究を行った。X線反射率を用いて水圏環境下での界面水和構造を計測し、さらに林の得意とする**高速 AFM 技術**を用いた局所的な Force-Distance 計測を行った。その結果、数 10~数 100 nm という長さ範囲で血漿タンパクや血小板を局所的にピン止めする欠陥の表面密度が dendrimer の主鎖の長さや枝分かれによって変調する様子を定量解析し、そのデータと非選択接着した血小板の表面密度との相関を解析した [RSC Adv. 2020, 11, 17727]。

中畑は、辻勇人(A01 計画)、菱田真史(A02 計画)、瀬戸秀紀(A02 計画)らとの共同研究で、蛍光顕微鏡、動的光散乱、広角 X 線散乱、中性子小角散乱などを用いて、水-テトラヒドロフラン (THF) 混合溶媒中における疎水性発光色素の凝集挙動を観察した。その結果、水-THF 混合比を変化させると、**水分子と THF 分子がマイクロ~メソスコピックスケールの多彩な構造**をとり、その中で発光色素の凝集状態や凝集体のサイズが変化し、これ



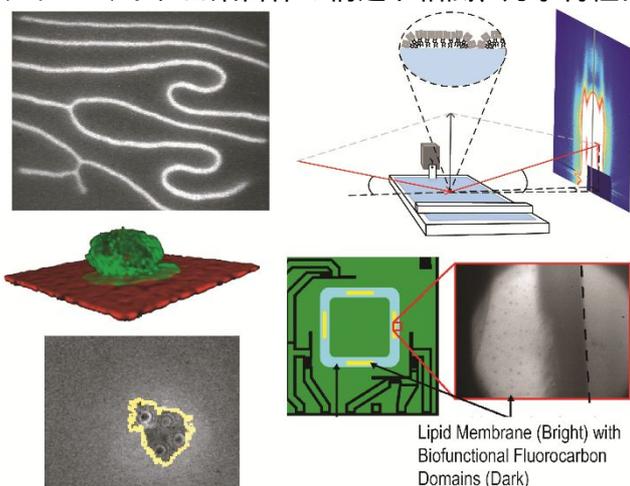
が光物性変化と対応することを明らかにした [J. Phys. Chem. B **2023**, 14, 11235, Supplementary Cover].

田中・中畑は、高島義徳 (A03) やカールスルーエ工科大(独)らとの共同研究で、超精密2光子レーザープリント技術を駆使して作製した3D微小構造内に選択的分子認識機能を持つ超分子ゲルを包埋し、水和状態を自在に操ることによって一細胞レベルのメカノ制御を報告した [Sci. Adv. **2020**, 6, eabc2648, (カールスルーエ工科大学プレスリリース)].



さらにハイデルベルク大病院(独)との共同研究では、**水和量すなわち硬さを自在に変えられる超分子ゲルを用いて幹細胞のメカノセンシングを周期的に On/Off すること**で、ある特定の周波数を超えると幹細胞自身の分化能を損なうことなくその増殖機能を抑制できることを国際共同研究として発表した [Adv. Healthcare Mater. **2023**, 13, 2302607 (Back Cover)]. そのほかにも田中・中畑・高島は、煩雑な表面機能化を必要としない、ゼラチン含有した超分子ゲルの One-Step 合成と細胞操作に関する研究 [ACS Adv. Polym. Mater. **2022**, 4, 2595 (Front Cover)] や、自在に硬さ(ヤング率)を変調可能なゼラチンナノファイバーの合成と物性評価 [Polymers **2022**, 14, 4407] など、**水圏環境における選択的分子認識を駆使した細胞制御材料**を多数開発し、そのバイオ展開を進めた。

その他にも田中・山本は、芹澤武(A01 公募)らとの共同研究で、アミノ基を修飾したナノセルロース会合体の抗菌機能がイオン選択的に変調される様子の QCM-D (共通機器) を用いた精密解析 [ACS Appl. Biomater. **2023**, 7, 246 (Front Cover)] や、光学特性が水環境中で変化する Eu 錯体を用いたがん細胞の検出に関する長谷川靖哉(A01 公募)との共同研究において水中で会合体を形成する臨界ミセル濃度を計測する [Sci. Rep. **2024**, 14, 778] など、多岐にわたる共同研究を領域内で行ってきた。その他、総説としては、中畑との刺激応答性ヒドロゲルのバイオ展開に関する総説 [Polymer J. **2020**, 52, 861] や、フッ化炭素系の低分子が水界面で自己組織的に形成するバラエティーに富んだメゾ~マイクロ集合体の構造や相関、力学特性について実験・理論両面から俯瞰し、その医学分野への応用までをまとめた総説 (Krafft 教授(ストラスブール大(仏))と Pasc 教授(ロレーン大(仏))との共著) [NPJ Asia Mater. **2023**, 15, 23 (左)], また脂質やタンパク質、多糖類などの高分子からなる Food Colloid の構築原理、物性解析から消化管モデル内での分解や腸内細菌環境整備への応用をまとめた総説 [Front. Soft Matter **2023**, 3, 1257688] など、広い視点から見た「水分子と相互作用し水圏で機能する材料」に関する研究を広く世界に発信した。



その医学分野への応用までをまとめた総説 (Krafft 教授(ストラスブール大(仏))と Pasc 教授(ロレーン大(仏))との共著) [NPJ Asia Mater. **2023**, 15, 23 (左)], また脂質やタンパク質、多糖類などの高分子からなる Food Colloid の構築原理、物性解析から消化管モデル内での分解や腸内細菌環境整備への応用をまとめた総説 [Front. Soft Matter **2023**, 3, 1257688] など、広い視点から見た「水分子と相互作用し水圏で機能する材料」に関する研究を広く世界に発信した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 32件 / うち国際共著 31件 / うちオープンアクセス 31件）

1. 著者名 Sven Mehlhose, Takeshi Sakamoto, Martin Eickhoff, Takashi Kato, Motomu Tanaka	4. 巻 128
2. 論文標題 Electrochemical Detection of Selective Anion Transport through Subnanopores in Liquid-Crystalline Water Treatment Membranes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 4537-4543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.4c00047	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 Mengfei Wang, Masaya Kono, Yusaku Yamaguchi, Jahidul Islam, Sunao Shoji, Yuichi Kitagawa, Koji Fushimi, Sora Watanabe, Go Matsuba, Akihisa Yamamoto, Motomu Tanaka, Masumi Tsuda, Shinya Tanaka, Yasuchika Hasegawa	4. 巻 14
2. 論文標題 Structure-changeable luminescent Eu(III) complex as a human cancer grade probing system for brain tumor diagnosis	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-50138-9	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 Philipp Linke, Natalie Munding, Esther Kimmle, Stefan Kaufmann, Kentaro Hayashi, Masaki Nakahata, Yoshinori Takashima, Masaki Sano, Martin Bastmeyer, Thomas Holstein, Sascha Dietrich, Carsten Mueller-Tidow, Akira Harada, Anthony D. Ho, and Motomu Tanaka	4. 巻 13
2. 論文標題 Reversible Host-Guest Crosslinks in Supramolecular Hydrogels for On-Demand Mechanical Stimulation of Human Mesenchymal Stem Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Adv. Healthcare Mater.	6. 最初と最後の頁 2302607-1/17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adhm.202302607	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 Takeshi Serizawa, Saeko Yamaguchi, Kai Sugiura, Ramona Marten, Akihisa Yamamoto, Yuuki Hata, Toshiki Sawada, Hiroshi Tanaka, and Motomu Tanaka	4. 巻 7
2. 論文標題 Antibacterial Synthetic Nanocelluloses Synergizing with a Metal-Chelating Agent	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ACS Appl. Bio Mater.	6. 最初と最後の頁 246-255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsabm.3c00846	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 Jens Risbo, Tommy Nylander, and Motomu Tanaka	4. 巻 3
2. 論文標題 Delivery of Probiotics and Enzymes in Self-assemblies of Lipids and Biopolymers Based on Colloidal Principles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Front. Soft Matter	6. 最初と最後の頁 1257688-1/20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frsfm.2023.1257688	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 Natalie Munding, Magdalena Fladung, Yi Chen, Marc Hippler, Anthony D. Ho, Martin Wegener, Martin Bastmeyer, and Motomu Tanaka	4. 巻 33
2. 論文標題 Bio-Metamaterials for Mechano-Regulation of Mesenchymal Stem Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Adv. Funct. Mater	6. 最初と最後の頁 2301133-1/11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202301133	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 Ippei Furikado, Taichi Habe, Shigeto Inoue, and Motomu Tanaka	4. 巻 39
2. 論文標題 Thermodynamics and Viscoelastic Property of Interface Unravel Combined Functions of Cationic Surfactant and Aromatic Alcohol against Gram-Negative Bacteria	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 8523-8531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.3c00862	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 Motomu Tanaka, Judith Thoma, Laura Poisa-Beiro, Patrick Wuchter, Volker Eckstein, Sascha Dietrich, Caroline Pabst, Carsten Mueller-Tidow, Takao Ohta, and Anthony D. Ho	4. 巻 174
2. 論文標題 Physical Biomarkers for Human Hematopoietic Stem and Progenitor Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cells Dev.	6. 最初と最後の頁 2023845-1/10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cdev.2023.203845	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 Motomu Tanaka, Marie Pierre Krafft, and Andreea Pasc	4. 巻 15
2. 論文標題 Higher-Order Mesoscopic Self-Assembly of Fluorinated Surfactants on Water Surfaces	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 NPG Asia Mater.	6. 最初と最後の頁 23-1/14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41427-023-00466-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 該当する

1. 著者名 Mariam Veschgini, Ryo Suzuki, Svenja Kling, Hendrik O. Petersen, Bruno Gideon Bergheim, Wasim Abuillan, Philipp Linke, Stefan Kaufmann, Manfred Burghammer, Ulrike Engel, Frank Stein, Suat Oezbek, Thomas W. Holstein, and Motomu Tanaka	4. 巻 26
2. 論文標題 Wnt/ -Catenin Signaling Induces Axial Elasticity Patterns of Hydra Extracellular Matrix	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 106416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2023.106416	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 Weissenfeld Felix, Wesenberg Lucia, Nakahata Masaki, Mueller Marcus, Tanaka Motomu	4. 巻 19
2. 論文標題 Modulation of wetting of stimulus responsive polymer brushes by lipid vesicles: experiments and simulations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 2491 ~ 2504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SM01673G	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 Kimmle Esther, Hajian Foroushani Zahra, Keppler Stephan, Thoma Judith, Hayashi Kentaro, Yamamoto Akihisa, Bastmeyer Martin, Tanaka Motomu	4. 巻 10
2. 論文標題 Discreteness of cell-surface contacts affects spatio-temporal dynamics, adhesion, and proliferation of mouse embryonic stem cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Front. Phys.	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphy.2022.1052106	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 Hayashi Kentaro, Matsuda Mami, Nakahata Masaki, Takashima Yoshinori, Tanaka Motomu	4. 巻 14
2. 論文標題 Stimulus-Responsive, Gelatin-Containing Supramolecular Nanofibers as Switchable 3D Microenvironments for Cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 4407 ~ 4407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym14204407	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 Yamamoto Akihisa, Ikarashi Takahiko, Fukuma Takeshi, Suzuki Ryo, Nakahata Masaki, Miyata Kazuki, Tanaka Motomu	4. 巻 4
2. 論文標題 Ion-specific nanoscale compaction of cysteine-modified poly(acrylic acid) brushes revealed by 3D scanning force microscopy with frequency modulation detection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanoscale Adv.	6. 最初と最後の頁 5027 ~ 5036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2NA00350C	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 Yamamoto Akihisa, Hayashi Kentaro, Sumiya Ai, Weissenfeld Felix, Hinatsu Satoko, Abuillan Wasim, Nakahata Masaki, Tanaka Motomu	4. 巻 2
2. 論文標題 Modulation of viscoelasticity and interfacial potential of polyelectrolyte brush by Ion-specific interactions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Front. Soft Matter	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frsfm.2022.959542	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 Kimura Takuro, Aoyama Takuma, Nakahata Masaki, Takashima Yoshinori, Tanaka Motomu, Harada Akira, Urayama Kenji	4. 巻 18
2. 論文標題 Time-strain inseparability in multiaxial stress relaxation of supramolecular gels formed <i>via</i> host?guest interactions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 4953 ~ 4962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SM00285J	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 Hayashi Kentaro, Matsuda Mami, Mitake Nodoka, Nakahata Masaki, Munding Natalie, Harada Akira, Kaufmann Stefan, Takashima Yoshinori, Tanaka Motomu	4. 巻 4
2. 論文標題 One-Step Synthesis of Gelatin-Conjugated Supramolecular Hydrogels for Dynamic Regulation of Adhesion Contact and Morphology of Myoblasts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Appl. Polym. Mater.	6. 最初と最後の頁 2595 ~ 2603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscapm.1c01902	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 Kav Batuhan, Deme Bruno, Gege Christian, Tanaka Motomu, Schneck Emanuel, Weikl Thomas R.	4. 巻 8
2. 論文標題 Interplay of Trans- and Cis-Interactions of Glycolipids in Membrane Adhesion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Front. Mol. Biosci.	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmolb.2021.754654	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 UENO MORIO, TODA MUNETOYO, NUMA KOHSAKU, TANAKA HIROSHI, IMAI KOJIRO, BUSH JOHN, TERAMUKAI SATOSHI, OKUMURA NAOKI, KOIZUMI NORIKO, YAMAMOTO AKIHISA, TANAKA MOTOMU, SOTOZONO CHIE, HAMURO JUNJI, KINOSHITA SHIGERU	4. 巻 237
2. 論文標題 Superiority of Mature Differentiated Cultured Human Corneal Endothelial Cell Injection Therapy for Corneal Endothelial Failure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Am. J. Ophthalmol.	6. 最初と最後の頁 267 ~ 277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ajo.2021.11.012	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 Yamamoto Akihisa, Higaki Yuji, Thoma Judith, Kimmle Esther, Ishige Ryohei, Dem? Bruno, Takahara Atsushi, Tanaka Motomu	4. 巻 54
2. 論文標題 Water modulates the lamellar structure and interlayer correlation of poly(perfluorooctyl acrylate) films: a specular and off-specular neutron scattering study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer J.	6. 最初と最後の頁 57 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-021-00555-2	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 Froehlich Benjamin, Dasanna Anil K., Lansche Christine, Czajor Julian, Sanchez Cecilia P., Cyrklaff Marek, Yamamoto Akihisa, Craig Alister, Schwarz Ulrich S., Lanzer Michael, Tanaka Motomu	4. 巻 120
2. 論文標題 Functionalized supported membranes for quantifying adhesion of P.falciparum-infected erythrocytes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biophys. J.	6. 最初と最後の頁 3315 ~ 3328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpj.2021.07.003	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 Czajor Julian, Abuillan Wasim, Nguyen Dinh Vu, Heidebrecht Christopher, Mondarte Evan A., Konovalov Oleg V., Hayashi Tomohiro, Felder-Flesch Delphine, Kaufmann Stefan, Tanaka Motomu	4. 巻 11
2. 論文標題 Dendronized oligoethylene glycols with phosphonate <i>tweezers</i> for cell-repellent coating of oxide surfaces: coarse-scale and nanoscopic interfacial forces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 17727 ~ 17733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA02571F	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 Ravat Prince, Uchida Hikaru, Sekine Ryosuke, Kamei Ko, Yamamoto Akihisa, Konovalov Oleg, Tanaka Motomu, Yamada Teppei, Harano Koji, Nakamura Eiichi	4. 巻 34
2. 論文標題 De Novo Synthesis of Free Standing Flexible 2D Intercalated Nanofilm Uniform over Tens of cm²	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Adv. Mater.	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 Amadei, F.; Thomas, J.; Czajor, J.; Kimmle, E.; Yamamoto, A.; Abuillan, W.; Konovalov, O. V.; Chushkin, Y. & Tanaka, M.	4. 巻 124
2. 論文標題 Ion-Mediated Cross-linking of Biopolymers Confined at Liquid/ Liquid Interfaces Probed by In Situ High-Energy Grazing Incidence X ray Photon Correlation Spectroscopy.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B.	6. 最初と最後の頁 8937-8942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c07056	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 Hippler, M.; Weissenbruch, K.; Richler, K.; Lemma, E. D.; Nakahata, M.; Richter, B.; Barner-Kowollik, C.; Takashima, Y.; Harada, A.; Blasco, E.; Wegener, M.; Tanaka, M. & Bastmeyer, M.	4. 巻 6
2. 論文標題 Mechanical stimulation of single cells by reversible host-guest interactions in 3D microcaffolds.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sci. Adv.	6. 最初と最後の頁 eabc2648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abc2648	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 Sackmann, E. & Tanaka, M.	4. 巻 13
2. 論文標題 Critical role of lipid membranes in polarization and migration of cells: a biophysical view.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biophys Rev.	6. 最初と最後の頁 123-138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12551-021-00781-1	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 該当する

1. 著者名 M. Tanaka, M. Nakahata, P. Linke, & S. Kaufmann.	4. 巻 52
2. 論文標題 Stimuli-Responsive Hydrogels as a Model of the Dynamic Cellular Microenvironment.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer J.	6. 最初と最後の頁 861-870
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-020-0353-6	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 Tanaka, M. & Seto, H.	4. 巻 8
2. 論文標題 Interfacial Water: A Physical Chemistry Perspective.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Front. Chem.	6. 最初と最後の頁 760
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2020.00760	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 Thomas, J.; Abuillan, W.; Furikado, I.; Habe, T.; Yamamoto, A.; Gierlich, S.; Kaufmann, S.; Brandenburg, K.; Gutschmann, T.; Konobalov, O.; Inoue, S. & Tanaka, M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Specific localisation of ions in bacterial membranes unravels physical mechanism of effective bacteria killing by sanitizer.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 12302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-69064-1	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 該当する

1. 著者名 Froehlich, B.; Yang, Y.; Thomas, J.; Czajor, J.; Lansche, C.; Sanchez, C.; Lanzer, M.; Cloetens, P. & Tanaka, M	4. 巻 92
2. 論文標題 Nano-Focused Scanning X-ray Fluorescence Microscopy Reveals an Effect of Hemoglobin S and C on Biochemical Activities in <i>P. falciparum</i> -Infected Erythrocytes.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Anal. Chem.,	6. 最初と最後の頁 5765-5771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.9b05111	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 Tanaka, M.	4. 巻 8
2. 論文標題 Interplays of Interfacial Forces Modulate Structure and Function of Soft and Biological Matters in Aquatic Environments.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Front. Chem.	6. 最初と最後の頁 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2020.00165	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 Mielke, S.; Liu, X.; Krafft, M. P. & Tanaka, M.	4. 巻 36
2. 論文標題 Influence of Semifluorinated Alkane Surface Domains on Phase Behavior and Linear and Nonlinear Viscoelasticity of Phospholipid Monolayers.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 781-788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b03521	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

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 16件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 水圏機能材料の電子・イオン機能開拓
3. 学会等名 日本化学会CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 Bio-metamaterials: Mechanical Regulation of Single Mesenchymal Stem Cells by Unit Cell Arrangement
3. 学会等名 Metamaterials 2023:The 17th International Congress on Artificial Materials for Novel Wave Phenomena, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本 暁久
2. 発表標題 Morphological dynamics of mouse pancreatic cells from different precancerous lesions
3. 学会等名 28th International Conference on Statistical Physics, Statphys28 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本 暁久
2. 発表標題 物理と数理で『測り』臨床医学につなげる細胞運動と組織秩序
3. 学会等名 2023年度統合講義「医学と数理及び工学」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本 暁久
2. 発表標題 異なる前癌病変に由来するマウス膀胱癌細胞変形運動ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中畑 雅樹, 角谷 歩惟, 池本 夕佳, 中村 貴志, 山本 暁久, 境 慎司, Kaufmann Stefan, 田中 求
2. 発表標題 重金属イオン認識タンパク質を範とする生物着想型合成高分子の設計と水圏環境浄化への応用
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 界面から解き明かす生命現象のダイナミクス
3. 学会等名 第73回コロナおよび界面科学討論会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 Spatio-temporal analysis of infected cells reveals the protection of HbS carriers from severe malaria
3. 学会等名 第三回「医学と数理」研究会 京大-ハイデルベルク大-理研ワークショップ 発表年（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 Physical Modeling of Cell Surfaces: Interfacial Forces and Mechanics
3. 学会等名 Neutrons in Life Science and Biomaterials Swedish Neutron Graduate School (SWEDNESS)サマーシンポジウム(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 界面から読み解く抗菌・殺菌の物理化学：感染症と向き合う社会 に貢献する分析科学
3. 学会等名 大阪大学基礎工学研究科における次世代分析科学を考える会主催次世代分析化学へ向けてのセミナーシリーズ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 Biological Interfaces out of Equilibrium - New Challenges in Soft Interface Science
3. 学会等名 Soft Interface Seminar九州大学・国際セミナーシリーズ(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 Physics of Infectious Diseases
3. 学会等名 日本生物物理学会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 斜入射角X線を用いた界面微細構造・水圏静電相互作用・界面ダイナミクスの精密計測
3. 学会等名 ソフト界面科学研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 求
2. 発表標題 殺菌・抗菌の物理化学：界面から読み解くケミカルの機能
3. 学会等名 日本化学会CSJ化学フェスタ（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本 暁久, ;田中 求,
2. 発表標題 “ ヒト角膜内皮再生医療における細胞品質・予後予測の統合的バイオマーカーの開発
3. 学会等名 第69回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M.Tanaka
2. 発表標題 Supported membranes as a platform for dynamic phenotyping of primary human cells: Quantifying the effect of intrinsic and extrinsic factors
3. 学会等名 American Chemical Society Spring Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M.Tanaka
2. 発表標題 Supported Membranes: Platform for Dynamic Phenotyping of Diseases
3. 学会等名 Institute Colloquium, Institute Charles Sadron (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M.Tanaka;A. Yamamoto
2. 発表標題 Human Corneal Endothelium as 2D Colloidal Assembly
3. 学会等名 Okinawa Colloid (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M.Tanaka
2. 発表標題 Nano-to-Meso Confinement Regulates the Fate of Cells
3. 学会等名 Debugging Nanibio-Interfaces to Promote Clinical Translation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Tanaka M.;Lanzer M.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 796
3. 書名 Cell-Inspired Materials and Engineering, Fundamental Biomedical Technologies	

1. 著者名 Tanaka, M.; Yamamoto, A.	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 257
3. 書名 Cell-Inspired Materials and Engineering, Fundamental Biomedical Technologies	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 イオン制御バイオデバイスとその製造方法	発明者 山本 暁久; 田中 求	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、116340	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	中畑 雅樹 (Nakahata Masaki) (40755641)	大阪大学・大学院理学研究科・助教 (14401)	

	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
研究協力者	山本 暁久 (Yamamoto Akihisa) (90706805)	京都大学・高等研究院・特定助教 (14301)	

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

ドイツ	ゲッチンゲン大学 物理学部			
ドイツ	欧州分子生物学研究所 (EMBL)	ハイデルベルク大学		
フランス	ストラスブール大学	欧州放射光機構		
ドイツ	ハイデルベルク大学	カールスルーエ工科大学	ミュンヘン工科大学	
米国	ブルックヘブン国立研究所			
ドイツ	ハイデルベルク大学			
スウェーデン	ルンド大学			
デンマーク	コペンハーゲン大学			
フランス	ロレイン大学			