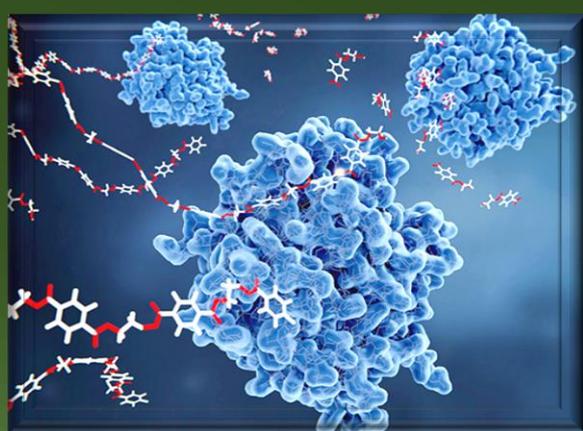
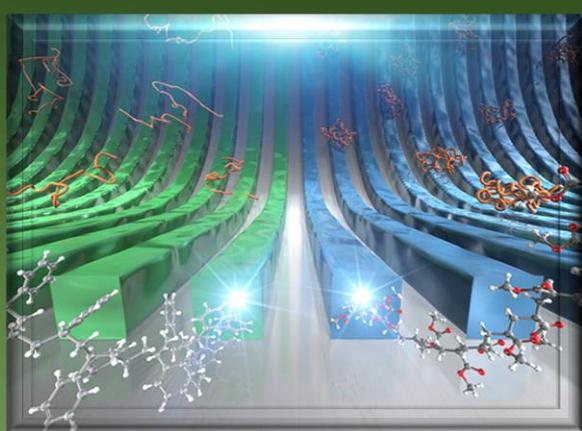
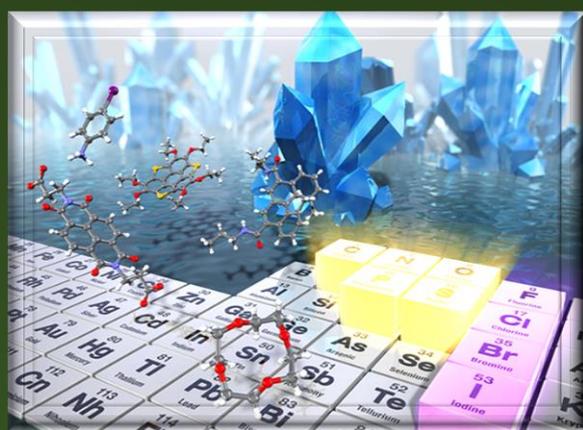
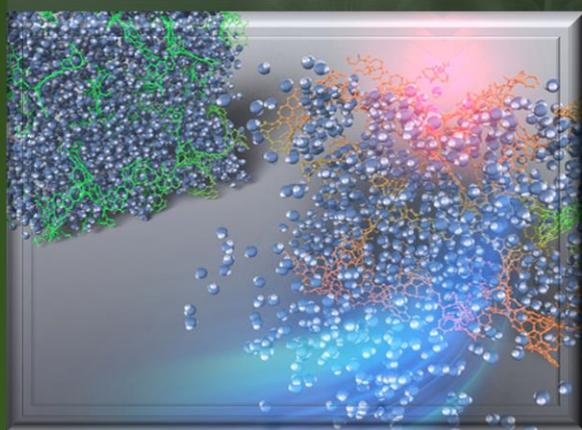
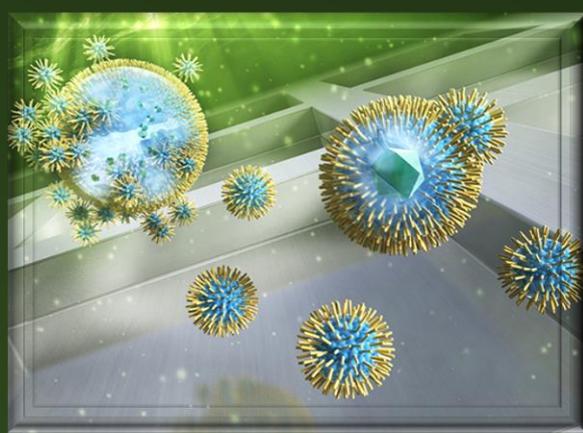


国立大学法人 東北大学 多元物質科学研究所
マテリアル・計測ハイブリッド研究センター
令和5年度報告書



Material-Measurement Hybrid Research Center
Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials
Tohoku University
Annual Report 2023

国立大学法人 東北大学 多元物質科学研究所

マテリアル・計測ハイブリッド研究センター

令和五年度研究報告書

目 次

報告書公表にあたって	2
マテリアル・計測ハイブリッド研究センター構成	3
各研究分野の活動報告	
量子電子科学研究分野（高橋正彦研究室）	6
ナノ・マイクロ計測化学研究分野（旧火原研究室）	13
ハイブリッド炭素ナノ材料研究分野（西原研究室）	19
ハイブリッド材料創製研究分野（芥川研究室）	35
光機能材料化学研究分野（中川研究室）	47
有機・バイオナノ材料研究分野（笠井研究室）	58
令和五年度 マテリアル・計測ハイブリッド研究センター プロジェクト研究報告	
	69
センター主催・共催講演会	77
進行中の外部資金プロジェクト	85

報告書公表にあたって

2023 年度（令和 5 年度）のマテリアル・計測ハイブリッド研究センターの研究報告書を WEB を通じて公表いたします。

多元物質科学研究所は、「多元的な物質に関する学理及びその応用研究」を目的に 2001 年に発足し、材料や計測を主軸とした多元物質科学の研究拠点として、多くの成果を挙げてきています。より活力のある、特徴のある研究所としてのさらなる発展を目的として、発足後 20 年を経た 2021 年に新たな研究組織体制へと変更が行われました。

この組織変更にあたり、ユニークな物質・材料と独自の計測を推進し、これまで優れた成果を挙げている、計測研究部門の 2 研究室と高分子・ハイブリッド材料研究センター（令和 3 年 3 月廃止）の 4 研究室が参集し、「物質創成の学理及び計測評価による材料開発研究を行うことにより、新機能高分子材料及び有機・無機ハイブリッドナノ材料の開発並びに応用研究を推進するとともに、材料開発ニーズと連携した新たな計測技術開発及びそれらの融合研究をすることを目的」として、6 研究分野からなる当センターは 2021 年 4 月に発足いたしました。

発足 3 年目にあたる 2023 年度には、7 月 5 日（水）に「第 3 回マテリアル・計測ハイブリッド研究センターシンポジウム」を、11 月 7 日（水）～8 日（水）に若手教員が企画した「第 3 回マテリアル・計測ハイブリッド研究センター若手フォーラム」をハイブリッド開催いたしました。これらの中心行事の他、2 回の講演会を開催いたしました。

当研究センターでは、センター独自の研究を介した若手育成を推進するために、MMH 研究センタープロジェクトを毎年行っています。本年度は各研究室からの応募があり、下記の 6 つの研究提案を採択しました。

- ◆フロンティア軌道形状に基づく新たな薬理評価指標の開発
- ◆生命圏夾雑水系における化学反応速度論の展開
- ◆有機柔軟性結晶のナノ化による卓越した誘電・導電機能の創出
- ◆機能性フラーレンポリマーの合成と固体表面機能の開拓
- ◆シリコンナノ空孔デザインによるキラル光メタ空間の創成
- ◆水熱反応を活用したバイオマス化成品合成

当研究センターは、論文 75 報、受賞 28 件、特許出願 8 件、国内学会発表 170 件、国際会議発表 121 件の研究成果を 2023 年度に発信して参りました。詳細は、本報告書を御覧下さい。本研究センター教員が一丸となって、ユニークな研究の推進、学部・大学院生の教育、若手研究者の育成、社会との連携に取り組んでまいります。今後も多くの皆様のご協力、ご支援をお願いいたしましてご挨拶とさせていただきます。

マテリアル・計測ハイブリッド研究センター長
中川 勝

令和五年度 マテリアル・計測ハイブリッド研究センター構成

量子電子科学研究分野



高橋 正彦 教授



渡邊 昇 准教授



鬼塚 侑樹 助教

ナノ・マイクロ計測化学研究分野



福山 真央 准教授



玄 大雄 助教

ハイブリッド炭素ナノ材料研究分野



西原 洋知 教授



吉井 丈晴 助教



中辻 博貴 助教

ハイブリッド材料創製研究分野



芥川 智行 教授



出倉 駿 助教

光機能材料化学研究分野



中川 勝 教授



押切 友也 准教授



新家 寛正 助教

有機・バイオナノ材料研究分野



笠井 均 教授



岡 弘樹 講師



小関 良卓 助教

各研究分野活動報告

量子電子科学研究分野

教員構成：高橋正彦（教授）、渡邊昇（准教授）、鬼塚侑樹（助教）

【活動報告】

本研究分野は、反応性や機能性の起源の解明を目指して、電子散乱を利用した新規計測法の開発とその多元物質科学への応用を進めている。2023年の主たる研究活動は、以下のように概括される。

1. 物質を構成する原子のスピードガンの開発

物質の機能性は構成原子の運動やその変化により発現する。我々はそうした原子運動そのものを直接観測する原子運動量分光の開発を進めてきた。本年はHD分子を対象に実験と理論の厳密な比較を行い、原子運動量分布を定量的に計測できることを実証した[1.1-2]。また、本手法を多原子分子へと展開するために、多原子分子の原子運動量分光理論の開発も併せて

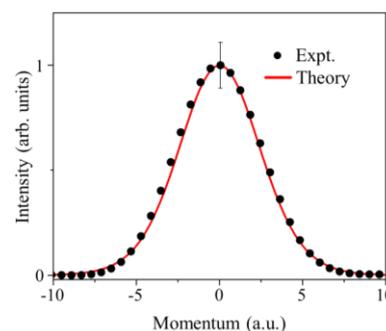


図1. CH₄分子内H原子の運動量分布の実験結果と理論予測

行った[1.3]。図1にCH₄分子内H原子の運動量分布の実験結果と理論予測の結果を示す。理論と実験の一致は、開発した理論の妥当性を証明している。以上から、我々は本手法を物質内原子の速度を測るスピードガンとして確立することに成功した。

[1.1] Y. Tachibana, Y. Onitsuka, S. Kanaya, H. Kono and M. Takahashi, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **25**, 6653 (2023).

[1.2] 原子の速度を測る「スピードガン」開発, *日経サイエンス*, 2023年6月号.

[1.3] S. Kanaya, Y. Onitsuka, N. Watanabe, H. Kono and M. Takahashi, *in preparation*.

2. 運動量空間波動関数を用いた創薬化学の試み

昨今、創薬の効率化に向けて、機械学習により予測された薬理効果に基づく、低分子リード化合物の同定が広く利用されている。しかし、そうした予測結果から薬理効果の発現機構などの情報を得ることは難しい。そこで我々は、分子科学的理解に基づく新しい予測法を開発している。具体的には、分子の反応性がある特定の分子軌道形状に支配されるとするフロンティア軌道理論の立場から、そうした

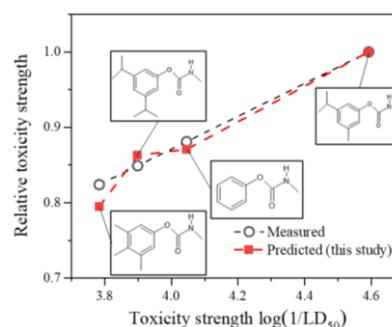


図2. カルバミン酸についての毒性の予測結果

軌道形状の変化に鋭敏な運動量空間波動関数を用いて薬理効果を予測する。本年は、カルバミン酸類を対象として、構造異性体や温度効果を取り込んだ薬理的類似性の開発

と深化を進めた. 図2に4種のカルバミン酸の毒性について, 報告されている実測値と, エネルギーが最小の非占有軌道を用いた本手法での予測結果を示す. 予測結果は実測値を非常によく再現し, これは本手法の基本概念的妥当性と有用性を示唆するものである. [2.1] S. Long, Y. Onitsuka, S. Nagao, and M. Takahashi, *in preparation*.

3. 分子振動による電子波動関数の歪みの研究

分子振動と電子運動との相関である振電相互作用が, 分子の性質にしばしば顕著な影響を与えることが知られている. 我々は分子軌道形状を運動量空間で可視化する電子運動量分光を用いることで, 振電相互作用の起源である核変位に伴った電子波動関数の歪みそのものを観測しうることを示してきた. 本年は, 紫外発光能を有した 1,3-dimethyladamantane を対象に実験を行い, 分子軌道形状に対する分子振動効果を調査した. さらに, 電子波動関数の歪みが $\text{CH}_{4-n}\text{F}_n$ ($n = 1\sim 3$) [3.1]の電子励起確率に与える影響を理論の観点から詳細に調べている. CHF_3 に対する結果を図3に示す. CH伸縮振動による価電子励起確率の大幅な増大が示され, 上層大気中における CHF_3 の光解離に分子振動効果が大きく寄与することを明らかにした.

[3.1] N. Watanabe and M. Takahashi, *Chem. Phys.* **581**, 112265 (2024).

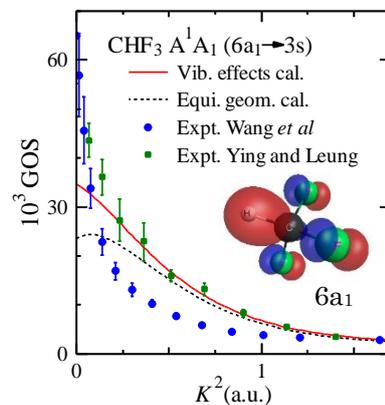


図3. CHF_3 の $6a_1 \rightarrow 3s$ 遷移に対する一般化振動子強度分布

4. 配向分子の電子エネルギー損失分光法の開発

励起電子波動関数の3次元的形状の探索と電子・分子衝突の立体ダイナミクスの研究を目的に, 配向分子の電子エネルギー損失分光の開発を進めてきた. 本手法では非弾性散乱電子に加え, 生成励起分子の後続解離過程で生じるイオンを同時計測し, その反跳方向から電子衝突時における分子の空間配向を特定する. 本年は SF_6 [4.1]および CF_4 のイオン化過程を調査した. 移行運動量の増加に伴いイオン化解離の分子方向依存性が急激に減ることが示され, 高次多重極相互作用による電子衝撃イオン化の立体ダイナミクスが光イオン化とは全く異なることを明らかにしている. 更に SF_6 のイオン化解離機構の解明を試みた. 図4は SF_6 より生じた SF_5^+ と SF_4^+ の速度分布である. 両者の類似から, SF_4^+ の生成において, SF_6^+ が高速に内部転換した後に逐次的に二つの F が放出されたことがわかる. 以上の結果は, 散乱電子-イオン同時計測が分子イオンの崩壊機構を解明する上で強力な実験手法であることを示している.

[4.1] N. Watanabe and M. Takahashi, *Phys. Rev. A* **108**, 042814 (2023).

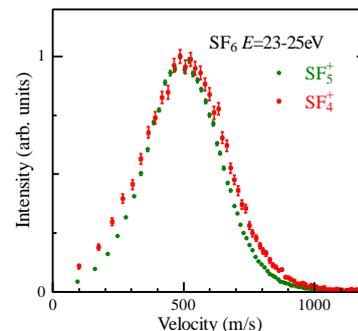


図4. SF_6 のイオン化解離で生成した SF_5^+ と SF_4^+ の速度分布

【研究業績一覧】

発表論文 (2 報)

1. Noboru Watanabe, Masahiko Takahashi
Electron-impact dissociative ionization of SF₆ studied by angle-resolved (*e*, *e*+ion) spectroscopy
Physical Review A **108**, 042814-1-9 (2023)
2. Noboru Watanabe, Masahiko Takahashi
Theoretical study of valence excitations in fluoromethanes by high energy electron impact
Chemical Physics **581**, 112265-1-11 (2024)

特許

公開件数 0 件

登録件数 1 件

申請件数 0 件

1. M. Takahashi, I. Nakajima, Y. Onitsuka
ELECTRON SPECTROMETER
米国特許第 11,898,975 号

新聞等広報

1. “原子の「スピードガン」”
日経サイエンス 2023 年 6 月号

受賞等, 特記事項

1. 金谷諭
多原子分子の原子運動量分光の開発
第 10 回ポスター発表賞, 原子・分子・光化学 (AMO) 討論会 (2023.6.3)
2. Satoru Kanaya
Extension of atomic momentum spectroscopy from diatomic molecules to polyatomic molecules
Best Poster Prize, 38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics (2023.6.9)
3. Satoru Kanaya
Development of atomic momentum spectroscopy of polyatomic molecules
Outstanding Poster Award, XXXIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2023) (2023.7.31)

4. Sihan Long
Development of a new pharmacological index by using the frontier orbital wavefunction in momentum space
Second place award, National Taipei University of Technology & Tohoku University 2023 Joint Symposium (2023.12.11)
5. 鬼塚侑樹
原子運動量マッピングと分子の元素組成分析を同時に行う新しい分子分光法の開発
公益財団法人 徳山科学技術振興財団 2023 年度国際交流助成

学会発表 国際会議 17 件（うち、招待 7 件）、国内会議 13 件（うち、招待 0 件）

国内学会

（一般講演）

1. 鈴木優太, 鬼塚侑樹, 大槻幸義, 高橋正彦
配列した多原子分子と電子の衝突立体ダイナミクス実験装置の開発 (II)
第 19 回原子・電子・光化学 (AMO) 討論会, 東北大学, 仙台 (2023.6.2-3)
2. 金谷諭, 鬼塚侑樹, 渡邊昇, 河野裕彦, 高橋正彦
多原子分子の原子運動量分光の開発
第 19 回原子・電子・光化学 (AMO) 討論会, 東北大学, 仙台 (2023.6.2-3)
3. 高橋正彦
電子で見る分子軌道 (ディスカッションリーダー)
第 19 回原子・電子・光化学 (AMO) 討論会, 東北大学, 仙台 (2023.6.2-3)
4. 高野実咲, 高橋正彦, 大野公一, 大島康裕, 山崎優一
時間分解電子運動量分光と GRRM 法による反応中の分子軌道変化の解明
シンポジウム「化学反応経路探索のニューフロンティア 2023」, 大阪公立大学, 大阪 (2023.9.11)
5. 高野実咲, 高橋正彦, 大野公一, 大島康裕, 山崎優一
時間分解電子運動量分光と反応経路自動探索法による反応中の分子軌道変化の解明
第 17 回分子科学討論会 2023, 大阪大学, 大阪 (2023.9.12-15)
6. 佐藤巧, 黒子茜, 長谷川達士, 高橋正彦, 大島康裕, 山崎優一
高感度(e,2e)電子運動量分光装置の開発
第 17 回分子科学討論会 2023, 大阪大学, 大阪 (2023.9.12-15)
7. 渡邊昇, 高橋正彦
CCl₄ の価電子励起と遷移断面積に対する分子振動効果
第 17 回分子科学討論会 2023, 大阪大学, 大阪 (2023.9.12-15)

8. 鬼塚侑樹, 金谷諭, 河野裕彦, 高橋正彦
定量的原子運動量分光の開発と分子科学への展開 (II)
第17回分子科学討論会 2023, 大阪大学, 大阪 (2023.9.12-15)
9. 龍思涵, 鬼塚侑樹, 高橋正彦
フロンティア軌道の運動量空間波動関数の形に基づく薬理活性の予測
第17回分子科学討論会 2023, 大阪大学, 大阪 (2023.9.12-15)
10. 渡邊昇, 高橋正彦
CCl₄ の価電子励起に対する分子振動の影響
原子衝突学会第48回年会, 東京工業大学, 東京 (2023.11.25-26)
11. 小西英, 坂口颯太, 高橋正彦, 大島康裕, 山崎優一
原子運動量分光の多元素への展開に向けた高感度装置の開発
原子衝突学会第48回年会, 東京工業大学, 東京 (2023.11.25-26)
12. 佐藤巧, 黒子茜, 長谷川達士, 高橋正彦, 大島康裕, 山崎 優一
高感度(e,2e)電子運動量分光装置の開発と内殻イオン化過程の研究
原子衝突学会第48回年会, 東京工業大学, 東京 (2023.11.25-26)
13. 鬼塚侑樹, 金谷諭, 高橋正彦
電子-原子コンプトン散乱を用いた物質内原子運動の可視化 –原子のスピードガンの開発–
第23回東北大学多元物質科学研究所研究発表会, 東北大学, 仙台 (2023.12.7-8)

国際会議

(招待講演)

1. Sihan Long, Yuuki Onitsuka, Masahiko Takahashi
Development of a new pharmacological index by using the molecular orbital wavefunction in momentum space
2023 Tohoku Meeting of Chemical Society of Japan and 80th Anniversary International Conference of Tohoku Branch, The Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023.09.08-10)
2. Noboru Watanabe, Masahiko Takahashi
Symmetry breaking in dissociative ionization of symmetric molecules by electron impact
XXXIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2023), Ottawa, Canada (2023.07.25-08.01)
3. Masahiko Takahashi
Electron-atom Compton scattering: a new and unique tool for imaging intramolecular atomic motion
XXI International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics and XXIII International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms (POSMOL 2023),

Notre Dame, USA (2023.08.03–06)

4. Noboru Watanabe, Masahiko Takahashi
Symmetry breaking in electron-impact dissociative ionization of symmetric molecules
XXI International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics and XXIII 22nd International Symposium on Correlation, Polarization and Ionization in Atomic and Molecular Collisions (COPIAMC 2023), Toronto, Canada (2023.08.03–05)
5. Masahiko Takahashi
Electron-atom Compton scattering: a powerful tool for imaging intramolecular atomic motion
National Taipei University of Technology & Tohoku University 2023 Joint Symposium, Taipei, Taiwan (2023.12.11–12)
6. Masahiko Takahashi
Electron-atom Compton scattering: a powerful means for imaging intramolecular atomic motion
Workshop on electron collision processes and related plasma spectroscopy, Toki, Japan (2024.1.16–17)
7. Yuuki Onitsuka, Masahiko Takahashi
Construction of an apparatus for the study of stereodynamics in electron-molecule scattering
Workshop on electron collision processes and related plasma spectroscopy, Toki, Japan (2024.1.16–17)

(一般講演)

1. Satoru Kanaya, Yuuki Onitsuka, Noboru Watanabe, Hirohiko Kono, Masahiko Takahashi
Extension of atomic momentum spectroscopy from diatomic molecules to polyatomic molecules
38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, Hakata, Japan (2023.6.7–9)
2. Yuuki Onitsuka, Yuichi Tachibana, Satoru Kanaya, Hirohiko Kono, Masahiko Takahashi
Development of an imaging method of intramolecular atomic motion
38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, Hakata, Japan (2023.6.7–9)
3. Sihan Long, Yuuki Onitsuka, Soichiro Nagao, Masahiko Takahashi
Combining momentum-space wavefunctions and frontier orbital theory for providing predictive insights into pharmacological activity
XXXIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2023), Ottawa, Canada (2023.7.25–8.1)
4. Satoru Kanaya, Yuuki Onitsuka, Noboru Watanabe, Hirohiko Kono, Masahiko Takahashi
Development of atomic momentum spectroscopy of polyatomic molecules

- XXXIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2023)*, Ottawa, Canada (2023.7.25–8.1)
5. Yuuki Onitsuka, Yuichi Tachibana, Satoru Kanaya, Hirohiko Kono, Masahiko Takahashi
Development of a new molecular spectroscopy technique: mapping atomic motions and elemental composition analysis of a molecule
XXXIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2023), Ottawa, Canada (2023.7.25–8.1)
 6. Isao Nakajima, Masakazu Yamazaki, Yuri Popov, Salim Houamer, Masahiko Takahashi
A binary (e, 2e) study on Ne at incident electron energies up to 4 keV: Asymptotic behavior of the (e, 2e) cross section to its high energy limits
XXXIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2023), Ottawa, Canada (2023.7.25–8.1)
 7. Noboru Watanabe, Masahiko Takahashi
Theoretical electronic excitation cross sections of CCl₄
XXXIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2023), Ottawa, Canada (2023.7.25–8.1)
 8. Sihan Long, Yuuki Onitsuka, Masahiko Takahashi
Development of a new pharmacological index by using the frontier orbital wavefunction in momentum space
National Taipei University of Technology & Tohoku University 2023 Joint Symposium, Taipei, Taiwan (2023.12.11–12)
 9. Yuta Suzuki, Yuuki Onitsuka, Yukiyoshi Ohtsuki, Masahiko Takahashi
Construction of an apparatus for the study of stereodynamics of electron-molecule collision
National Taipei University of Technology & Tohoku University 2023 Joint Symposium, Taipei, Taiwan (2023.12.11–12)
 10. Satoru Kanaya, Masahiko Takahashi
Open-ended theoretical questions to ask AMO researchers
Workshop on electron collision processes and related plasma spectroscopy, Toki, Japan (2024.1.16–17)

その他

1. Yuuki Onitsuka
Molecular Science Using Electron Scattering
2023 International Course: "Current Topics in Emergent Materials and Devices" (海外出張講義), CEFMS-NYCU, RCAS-AS (Taiwan) and 5-Star Alliance (Japan), Hsinchu, Taiwan (2023.10.16)

ナノ・マイクロ計測化学研究分野

教員構成：笠井 均（教授、兼任） 福山 真央（准教授）、玄大雄（助教）

【活動報告】

本研究分野では、ナノ・マイクロ空間を利用した化学・生化学の集積化と高度化に関する研究分野開拓を中心に研究を進めている。具体的には、マイクロ流体デバイスやマイクロ水滴を利用する分析前処理操作集積化手法の研究、その分析応用研究などを推進している。2023年の主たる研究活動は、以下のように概括される。

1. タンパク質濃縮相からのアミロイド核生成の定量的解析法の確立

アミロイド形成は筋萎縮性側索硬化症（ALS）など様々な疾患で見られる。アミロイド形成では、最初期の核生成が起こりにくい現象であるが、一旦核が生成すると不可逆的にアミロイドが成長する。そのため、アミロイド核生成メカニズムの解明が疾患発症/抑制の理解につながると考えられている。近年、様々なアミロイド形成タンパク質が膜を持たないオルガネラ（Membraneless organelle, タンパク質濃縮相、細胞内液滴ともよばれる）を形成することが報告された。さらにタンパク質濃縮相はタンパク質濃度が非常に高く（～数十%）、アミロイド核生成の場になりうるということがわかってきた。しかし、アミロイド核生成は低頻度かつ数-数十分子の微細な集合状態変化であるため、その定量的計測が困難だった。本研究では、タンパク質濃縮相からのアミロイドの核生成の機構の理解を目指している。

本年度は、マイクロ流体デバイスを用いたタンパク質濃縮相からのアミロイドの核生成定量的解析法を開発した。具体的には、マイクロ流体デバイス内でマイクロメートルサイズの有機相中水滴（マイクロ水滴）を形成し、その中のタンパク質濃縮相からアミロイドが形成する様子を観察する手法を確立した（図1）。

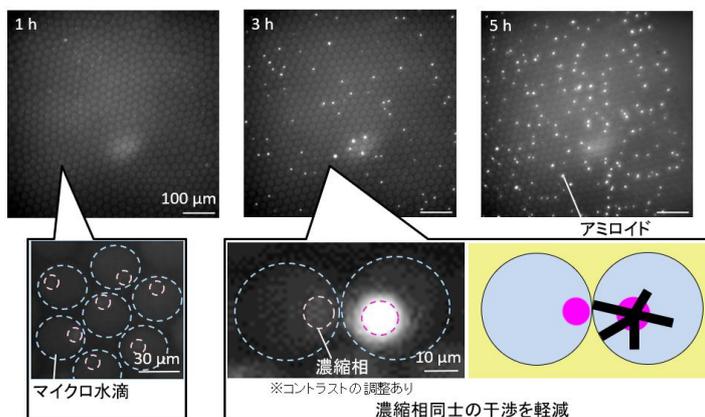


図1 マイクロ水滴を用いたアミロイド核生成の観察

得られた蛍光顕微画像を解析することで、アミロイドの核生成速度が計測できる。本手法では、これまでに当研究分野で実証した核生成速度計測法と比べ、精度と実験スループットが格段に向上した。今後、濃縮相からのアミロイド核生成の詳細な検討が可能になると期待する。また、他のヒト疾患関連タンパク質（ α シヌクレイン、タウ）等についても現在アミロイド核生成速度計測を検討中である。

2. 自然乳化を利用したマイクロ水滴内微量生化学分析法の開発

「より小さいものをより高感度・高速に測定する」ことは、分析化学分野の研究における命題の一つである。これまで検出限界や微弱シグナルの積算による平均化のせいで認知できなかった新たな現象・因果関係の発見や、病気の早期発見が可能になる。2000年代より10・100 μm サイズの有機相中水滴（マイクロ水滴）をマイクロメートルサイズの流路（マイクロ流路）内で操作し、化学・バイオ分析に利用する Droplet microfluidics と呼ばれる技術が、試料の低減と分析操作の高速化の観点より大きく進展してきた。1細胞分析や微量バイオマーカー検出などに利用されており、ライフサイエンス分野において、基礎科学理解および社会応用の両方向において大きなブレークスルーを起こすポテンシャルがある。当研究室では、自然乳化を利用した、マイクロ水滴内の分析前処理法を開発してきた。

本年度は、マイクロ水滴を用いて自然乳化中の水輸送の速度論の解析を行った。さらに、界面活性剤の種類が水相逆ミセル間の水輸送間に与える影響について検討した。その結果、自然乳化における水輸送は液膜輸送で記述できることが明らかになった（図2）。

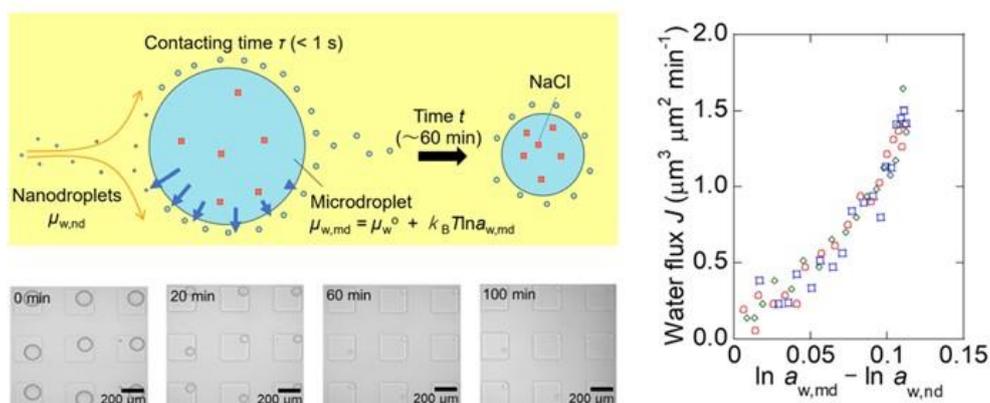


図2 マイクロ水滴を用いた自然乳化中の水輸送の解析

2. 可搬型蛍光偏光解消法デバイスの開発

ナノ・マイクロ流体化学デバイス応用には、微小空間検出に適した検出法の研究が欠かせない。蛍光偏光解消法は、直線偏光で励起した蛍光プローブが発する「励起光の偏光に垂直な偏光をもつ成分の蛍光 I_{\parallel} 」と「励起光の偏光に垂直な偏光をもつ成分の蛍光 I_{\perp} 」の差が、蛍光プローブ周りのマイクロ環境を反映する原理を利用し、免疫アッセイの検出法などに利用されている。一般には、デスクトップサイズ以上の機器で、一点を計測できるだけであり、その場分析を指向した可搬・多点分析装置の実現には、偏光光学系の集積化が課題であった。われわれは、偏光光学系として液晶ディスプレイパネルを利用する新しい蛍光偏光分析装置を、北海道大学渡慶次学教授や企業と共同で開発した。

本年度は、これまで進めてきた分析の高感度化を実証するために、蛍光偏光免疫アッセイを利用したアミロイド β の計測を実証した。リン酸緩衝整理食塩水中では、検出下限0.025 nMと良好な分析ができた。しかし、血清中では、血清の自家蛍光によりアミロイド β の定量が困難であることが分かった。今後、血清の自家蛍光を保証する方法について検討する。

【研究業績一覧】

発表論文 (12 報)

1. Mao Fukuyama, Tomoko Mizuguchi, Piangrawee Santivongskul, Yuri Ono, Motohiro Kasuya, Arinori Inagawa, Akihide Hibara
Kinetic description of water transport during spontaneous emulsification induced by Span 80
Nanoscale **16** 4056-4062 (2024)
2. Yu Ogura, Mao Fukuyama, Motohiro Kasuya, Koji Shigemura, Sergei A. Eremin, Manabu Tokeshi, Akihide Hibara
Rapid determination of domoic acid in seafood by fluorescence polarization immunoassay using a portable analyzer
Analytical Sciences **39** 2001-2006 (2023)
3. Md Nasiruddin, Zhipeng Wang, Hiroki Waizumi, Tsuyoshi Takaoka, Yasuyuki Sainoo, Atsushi Ando, Ryuichi Arafune, Mao Fukuyama, Akihide Hibara, Tadahiro Komeda
Solvation Effects on the Electrical Properties of a Microfluid-Assisted Solution Field-Effect Transistor with Atomically Thin MoS₂ Layers
ACS APPLIED NANO MATERIALS **6(16)** 15175-15182 (2023)
4. Fukuyama, Mao, Nishinami, Suguru, Maruyama, Yoko, Ozawa, Taiki, Tomita, Shunsuke, Ohhashi, Yumiko, Kasuya, Motohiro, Gen, Masao, Chatani, Eri, Shiraki, Kentaro, Hibara, Akihide
Detection of fibril nucleation in micrometer-sized protein condensates and suppression of Sup35NM fibril nucleation by liquid-liquid phase separation
Analytical Chemistry **26(95)** 9855-9862 (2023)
5. Md Nasiruddin, Hiroki Waizumi, Tsuyoshi Takaoka, Zhipeng Wang, Yasuyuki Sainoo, Muhammad Shamim Al Mamun, Atsushi Ando, MAO FUKUYAMA, Akihide Hibara, Tadahiro Komeda
A Microfluidic Approach for the Detection of Uric Acid through the Electrical Measurement of Atomically Thin MoS₂ Field-Effect Transistor
The Analyst **148** 4091-4098(2023)
6. Grasiyanto, Mao Fukuyama, Motohiro Kasuya, Derrick M. Mott, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai, Akihide Hibara
Sensitive and simple multi-ion detection using organic nanocrystal enrichment in paper analytical devices
Analytica Chimica Acta **1273** 341451-341451 (2023)

7. Mao Fukuyama, Kotone Kubota, Akihide Hibara
Nanoparticle Assembly at the Water–Oil Interface Induced by Spontaneous Emulsification for Microdroplet Immunoassay
Langmuir **39(22)** 7884-7890 (2023)
8. Shunsuke Chida, Kazuki Takahashi, Mao Fukuyama, Motohiro Kasuya, Masatoshi Maeki, Akihiko Ishida, Hirofumi Tani, Koji Shigemura, Anatoly v. Zherdev, Sergei A. Eremin, Akihide Hibara, Manabu Tokeshi
Effects of Addition of Blocking Agents on Fluorescence Polarization Immunoassay of Okadaic Acid Using a Microfluidic Device
BUNSEKI KAGAKU **72(3)** 133-138 (2023)
9. Tiara N. Pratiwi, Masao Gen, I. Wuled Lenggoro
One-step fabrication of soot particle-embedded fibrous membranes for solar distillation using candle burning-assisted electrospinning
Advanced Powder Technology **34(10)** 104190-104190 (2023)
10. Masao Gen, Akihide Hibara, Phuong Nguyet Phung, Yuzo Miyazaki, Michihiro Mochida
In Situ Surface Tension Measurement of Deliquesced Aerosol Particles
The Journal of Physical Chemistry A **127(29)** 6100-6108 (2023)
11. Masao Gen, Seiji Ikawa, Masahiro Yamaguchi, Fong Zyin Lim, Takeshi Izuta, I. Wuled Lenggoro
A plant growth chamber system equipped with aerosol generators for studying aerosol-vegetation interactions
Particuology **85** 122-132 (2023)
12. Yalin Wang, Tian Qiu, Cong Zhang, Tianwei HAO, Beatrix Rosette Go Mabato, Ruifeng Zhang, Masao Gen, Man Nin Chan, Dandan Huang, Xinlei Ge, Junfeng Wang, Lin Du, Rujin Huang, Qi Chen, Ka In Hoi, Kai Meng Mok, Chak Keung Chan, Yongjie Li
Co-photolysis of Mixed Chromophores Affects Atmospheric Lifetimes of Brown Carbon
Environmental Science: Atmospheres **3**, 1145-1158 (2023)

著書・解説記事

1. Mao Fukuyama
Understanding Molecular Transfer between Aqueous Phase and Reverse Micelles and Its Application to Bioassays in Microfluidics
Bulletin of the Chemical Society of Japan 96(11) pp. 1252-1257 (2023)

特許

申請件数 0 件
公開件数 0 件
登録件数 0 件

新聞等広報

なし

受賞等, 特記事項

1. 福山真央
Nanoscale 誌にて Emerging Investigator 2024 に選出 (2024.2)
2. 福山真央・小倉祐
Analytical Sciences 誌にて “Hot Article 2023” に選出 (2023.12)

学会発表 国際会議 3 件 (うち、招待 2 件)、国内会議 9 件 (うち、招待 2 件)

国内学会

(招待講演)

1. 福山 真央
Sup35NM 濃縮相からのアミロイド核生成の速度論的解析
第 61 回日本生物物理学会年会 名古屋 (2023.11.15)
3. 福山 真央
微小タンパク質液滴からのアミロイド核生成速度の計測
第 40 回 無機・分析化学コロキウム 山形 (2023. 5.26)

(一般講演)

1. 川上純佳, 小澤大樹, 松本弦, 福山真央
Aggregation of Tau Proteins in Microdroplets within Oil
第23回東北大学多元物質科学研究所研究発表会 仙台 (2023.12. 7)
2. 小澤 大樹, 川上 純佳, 佐藤 安里, 大橋 祐美子, 茶谷 絵理, 丸山 洋子, 白木 賢太郎, 火原 彰秀, 福山 真央
タンパク質濃縮相からのアミロイド核生成解析に向けた濃縮相サイズ調整法
化学とマイクロ・ナノシステム学会第48回研究会 熊本 (2023. 11. 8)
3. 川上純佳, 小澤大樹, 松本弦, 福山真央
微小液滴中でのタウ凝集過程の観察
令和5年度化学系学協会東北大会 仙台 (2023. 9.10)
4. 佐藤安里, 小澤大樹, 柚佳祐, 大橋祐美子, 茶谷絵理, 福山真央
Microfluidic devices immersed in water for long-time observation of alpha-synuclein

令和5年度化学系学協会東北大会 仙台 (2023. 9. 10)

5. Carlos Baptista, Masao Gen, Mao Fukuyama, Atsumi Hando, Kiyoto Kamagata, Akihide Hibara
第83回分析化学討論会 富山 (2023. 5. 21)
6. 劉 浩, 福山 真央, 小倉 祐, 粕谷 素洋, 小野瀬 翔, 今井 阿由子, 重村 幸治, 渡慶次 学, 火原 彰秀
Correction of light intensity distribution in portable fluorescence polarization immunoassay analyzer
第83回分析化学討論会 富山 (2023. 5. 21)
7. 福山 真央, 西奈美 卓, 富田 峻介, 大橋 祐美子, 小澤大樹, 玄大雄, 粕谷 素洋, 茶谷 絵理, 丸山洋子, 白木 賢太郎, 火原 彰秀
酵母プリオンタンパク質を用いた液液相分離のアミロイド核生成の影響評価
化学とマイクロ・ナノシステム学会 第45回研究会 仙台 (2023. 5. 14)

国際会議

(招待講演)

1. 福山真央
Quantitative analysis of amyloid nucleation in protein condensates
第25回 iCeMS 国際シンポジウム 京都 (2024. 1. 11)
2. 福山真央
Detection of trace biomolecules using spontaneous emulsification
ICChEAS 2023 (国際学会) オンラインマレーシア (2023. 11. 16)

(一般講演)

1. Mao Fukuyama, Taiki Ozawa, Suguru Nishinami, Yoko Maruyama, Shunsuke Tomita, Yumiko Ohhashi, Motohiro Kasuya, Masao Gen, Eri Chatani, Kentaro Shiraki, Akihide Hibara
DETECTION OF A SINGLE AMYLOID NUCLEATION EVENT IN MICROMETER-SIZED PROTEIN DROPLETS FORMED BY LIQUID-LIQUID PHASE SEPARATION
MicroTAS 2023, Katowice Poland, M049a (2023. 10. 15)

その他

なし

ハイブリッド炭素ナノ材料研究分野

教員構成：西原 洋知（教授）、吉井 丈晴（助教）、中辻 博貴（助教）

【活動報告】

本研究分野では、従来は構造制御も構造描写も困難であった非晶質を主体とするカーボン系材料に関し、有機合成や化学気相蒸着の手法を用いて原子・分子レベルからのボトムアップ的な材料合成を行い、種々の新しいカーボン系構造体および複合材料の調製を進めている。また、先進のカーボン材料分析技術を利用し、カーボン系材料の反応性、耐食性、触媒能等、様々な化学的特性を分子論的に理解し、その精密制御を行っている。さらに、調製した新規材料を様々なエネルギーデバイス、機能性吸着材、触媒、ヘルスケアなど幅広い分野へ応用する検討を、国内外の多数の研究機関および企業と連携しつつ進めている。2023年の研究活動は以下のように概括される。

1. カーボン材料の不对電子の起源と触媒作用に関する定量的検討

カーボン材料は多様な反応の進行を促進し、不对電子が活性種として機能すると考えられている。しかしながら、不对電子の起源および活性に関する検討は僅少であり、高活性を示すカーボン材料の設計指針は得られていない。本研究では、超電導量子干渉磁束計(SQUID)を用いた磁化率測定と当研究室で独自開発した昇温脱離法(TPD)を組み合わせることにより、不对電子の起源に関する検討を行った。さらに、それらの不对電子の活性について定量的検討を行った。

モデル材料としてゼオライト鑄型炭素(ZTC)、活性炭(AC)、カーボンブラック(CB)およびグラフェンメソスポンジ(GMS)を採用した。初めに、SQUIDを用いた磁化率測定およびTPD分析により、各カーボン材料中の不对電子数(N_{spin})およびエッジサイト数(N_{edge})を定量した。 N_{spin} を各カーボン材料の N_{edge} に対してプロットすると、正の相関が確認され、カーボンエッジサイトが不对電子の起源であることが示唆された(Fig. 1)。次に、9,10-ジヒドロアクリジンの酸化脱水素化反応により、不对電子の活性を評価した。 N_{spin} と転化率の間に正の相関が確認され、い

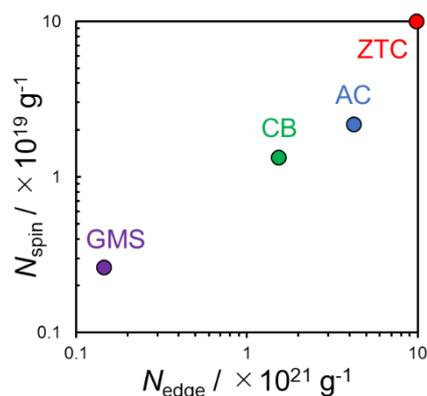


Fig. 1 The relationship between N_{edge} and N_{spin} .

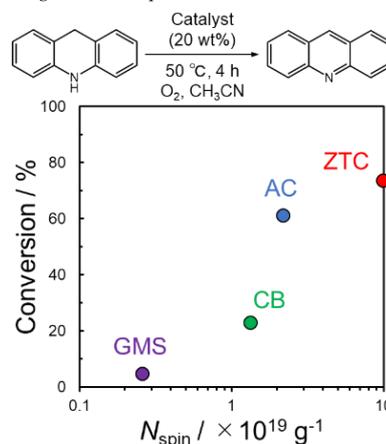


Fig. 2 The relationship between N_{spin} and conversion of 9,10-dihydroacridine.

れの試料においても触媒回転数は 25 を上回った(Fig. 2)。これより、カーボンエッジサイトの不對電子が触媒活性点として機能することが示された。

以上の結果から、エッジサイト量が多いカーボン材料ほどより多くの不對電子を含有し、結果としてより高い触媒性能を示すものと考えられる。

2. Enhanced Structural Integrity of Porous Carbon Monoliths with Aligned Microchannels

The microhoneycomb structure offers benefits like a combination of lightweight and high strength, as well as high surface area. In 2016, we discovered the remarkable structural directing function of cellulose nanofibers (CNFs) in the ice-templating approach and achieved a microhoneycomb-structured monolith with straight micro-channels, even when combined with other components.[1] Nevertheless, the monoliths derived from CNFs are mechanically not rigid, limiting their potential applications. To address this, we fabricate carbon microhoneycomb monoliths with improving mechanical strength. The microhoneycomb monoliths possess water resistance, electric conductivity, high permeability of fluids, and developed microporosity. We blended thermoplastic polymer and carbon black with a CNF dispersion. Next, the precursor sols were directionally immersed in liquid nitrogen ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) to induce phase separation of water and dispersoid. Afterward, the frozen samples were cut into 10 mm monoliths and underwent freeze-drying in a decreased pressure environment to sublimate the ice crystals. Finally, the resulting samples were carbonized at $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 1 h in a N_2 atmosphere.

Morphology: In Figure 2a and b, SEM images of the carbonized monolith reveal a microhoneycomb structure with channels of ca. $21\text{ }\mu\text{m}$ and penetrated channels along the freezing direction. The microhoneycomb structure was formed through ice-templating, and it was retained after carbonization. The micro-channels penetrate the monolith in the freezing direction due to the directional growth of ice crystals. This permeable micro-channel structure offers low resistance to fluid flow, making it advantageous for applications involving separation and reactions in fluid.

Porosity: The N_2 adsorption-desorption isotherm of the carbon monolith shows microporous features (Figure 2c), and the specific surface area was $353\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$.

Mechanical properties: The carbonization of the polymer and carbon black resulted in the creation of a robust carbonaceous framework. This framework bestows the monolith with an impressive mechanical strength of 1550 kPa and Young's modulus of 9200 kPa , much higher than the CNF monolith, as illustrated in Figure 2d. The combination of honeycomb morphology, penetrated microchannels, significant porosity, and high mechanical strength could contribute to its excellent performance in various applications including adsorbents, sensors, and catalyst supports.

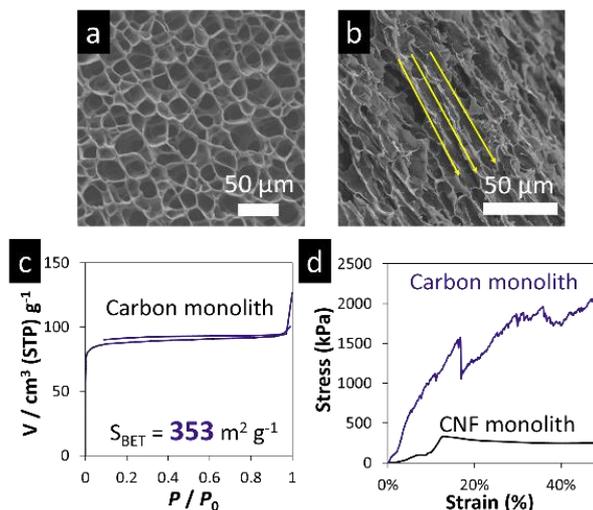


Figure 1. Characterizations of the carbon monolith. (a, b) SEM images observed perpendicular (a) and parallel (b) to the freezing direction. (c) N_2 adsorption-desorption curves. (d) Stress-strain curves.

【研究業績一覧】

発表論文 (16 報)

1. Chida, Koki, Yoshii, Takeharu, Hiyoshi, Norihito, Itoh, Tetsuji, Maruyama, Jun, Kamiya, Kazuhide, Inoue, Masataka, Tani, Fumito, Nishihara, Hiroto
Bimetallic ordered carbonaceous frameworks from Co- and Cu-porphyrin bimolecular crystals
Carbon **201**, 338-346 (2023)
2. Chida, Koki, Yoshii, Takeharu, Ohwada, Mao, Hayasaka, Yuichiro, Komeda, Joe, Sakamoto, Ryota, Maruyama, Jun, Kamiya, Kazuhide, Inoue, Masataka, Tani, Fumito, Nishihara, Hiroto
Synthesis and electrocatalysis of ordered carbonaceous frameworks from Ni porphyrin with four ethynyl groups
Catalysis Today, **411-412**, 113830 (2023)
3. Fujii, Shunsuke, Yoshida, Akiko, Chuong, Tracy T., Minegishi, Yuka, Nishina, Yuta, Nishihara, Hiroto, Masumoto, Kouji, Itoh, Tetsuji
Enzyme-immobilized Screen-printed Sensor for One Drop of Sample Using Porous Silica Spheres
Sensors and Materials, **35**, 4769-4779 (2023)
4. Fujii, Shunsuke, Yoshida, Akiko, Chuong, Tracy T., Minegishi, Yuka, Pirabul, Kritin, Pan, Zheng-Ze, Nishina, Yuta, Kyotani, Takashi, Nishihara, Hiroto, Masumoto, Kouji, Stucky, Galen D., Itoh, Tetsuji
Development of Microdrip Enzyme Device Using Carbon-Coated Porous Silica Spheres, *ACS Applied Engineering Materials*, **1**, 1426-1435 (2023)
5. Hoshikawa, Yasuto, Kanno, Yasuyuki, Tawata, Hanako, Sagae, Takuya, Ishii, Takafumi, Imoto, Shuhei, Hagihara, Shinya, Wada, Takehiko, Nagatsugi, Fumi, Aziz, Alex, Nishihara, Hiroto, Kyotani, Takashi, Itoh, Tetsuji
Water-Dispersible Carbon Nano-Test Tubes as a Container for Concentrated DNA Molecules
Chemistry – A European Journal, **29**, e202301422 (2023)
6. Kudo, Akira, Kanamaru, Kazuya, Han, Jiuhui, Tang, Rui, Kisu, Kazuaki, Yoshii, Takeharu, Orimo, Shin-ichi, Nishihara, Hiroto, Chen, Mingwei
Stereolithography 3D Printed Carbon Microlattices with Hierarchical Porosity for Structural and Functional Applications
Small, **19**, 2301525 (2023)
7. Liu, Hongyu, Pan, Zheng-Ze, Aziz, Alex, Tang, Rui, Lv, Wei, Nishihara, Hiroto
Nanoporous Membrane Electrodes with an Ordered Array of Hollow Giant Carbon Nanotubes
Advanced Functional Materials, **33**, 2303730 (2023)

8. Liu, Hongyu, Shen, Zhaohan, Pan, Zheng-Ze, Yu, Wei, Nishihara, Hirotomo
Cathode Chemistries of Lithium–Oxygen Batteries in Nanoconfined Space
ACS Applied Materials & Interfaces, **15**, 40397-40408 (2023)
9. Maruyama, Jun, Sato, Hirohumi, Takao, Yuko, Maruyama, Shohei, Kato, Shintaro, Kamiya, Kazuhide, Chida, Koki, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hirotomo, Tani, Fumito
Preferred catalysis distinctly determined by metals doped with nitrogen in three-dimensionally ordered porous carbon materials
Nanoscale, **15**, 9954-9963 (2023)
10. Nishihara, Hirotomo, Zhao, Hong-Wei, Kanamaru, Kazuya, Nomura, Keita, Ohwada, Mao, Ito, Masashi, Li, Li-Xiang, An, Bai-Gang, Horikawa, Toshihide, Kyotani, Takashi
Adsorption properties of templated nanoporous carbons comprising 1-2 graphene layers
Carbon, **201**, 1 (2023)
11. Pirabul, Kritin, Pan, Zheng-Ze, Tnag, Rui, Sunahiro, Shogo, Liu, Hongyu, Kanamaru, Kazuya, Yoshii, ,Takeharu, Nishihara, Hirotomo
Structural Engineering of Nanocarbons Comprising Graphene Frameworks via High-Temperature Annealing
Bulletin of the Chemical Society of Japan, **96**, 510-518
12. Shen, Zhaohan, Yu, Wei, Aziz, Alex, Chida, Koki, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hirotomo
Sequential Catalysis of Defected-Carbon and Solid Catalyst in Li–O₂ Batteries
The Journal of Physical Chemistry C, **127**, 6239-6247 (2023)
13. Tang, Rui, Pan, Zheng-Ze, Liu, Minghao, Ohwada, Mao, Nishihara, Hirotomo
Critical impact of nanocellulose on the synthesis of porous cellulose monolith with oriented microchannels: Structure control, mechanics, and mass transport
Nano Research, **16**, 8018-8024 (2023)
14. Wakabayashi, Keigo, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hirotomo
Quantitative study on catalysis of unpaired electrons in carbon edge sites
Carbon, **210**, 118069 (2023)
15. Xia, Tian, Yoshii, Takeharu, Nomura, Keita, Wakabayashi, Keigo, Pan, Zheng-Ze, Ishii, Takafumi, Tanaka, , ideki, Mashio, Takashi, Miyawaki, Jin, Otomo, Toshiya, Ikeda, Kazutaka, Sato, Yohei, Terauchi, Masami, Kyotani, Takashi, Nishihara, Hirotomo
Chemistry of zipping reactions in mesoporous carbon consisting of minimally stacked graphene layers
Chemical Science, **14**, 8448-8457 (2023)
16. Yu, Wei, Yoshii, Takeharu, Aziz, Alex, Tang, Rui, Pan, Zheng-Ze, Inoue, Kazutoshi, Kotani, Motoko, Tanaka, Hideki, Scholtzová, Eva, Tunega, Daniel, Nishina, Yuta, Nishioka, Kiho, Nakanishi, Shuji, Zhou, Yi, Terasaki, Osamu, Nishihara, Hirotomo
Edge-Site-Free and Topological-Defect-Rich Carbon Cathode for High-Performance

Lithium-Oxygen Batteries

Advanced Science, **10**, 2300268 (2023)

著書・解説記事

1. 吉井丈晴、千田晃生、西原洋知、谷文都
カーボンの中に金属が規則配列した触媒
触媒, **65**, 16-22 (2023)
2. 西原洋知、伊藤仁、黒田拓馬
湾曲グラフェンから成るメソ多孔体「グラフェンメソスポンジ」の特長と応用
粉体技術, **15**, 13-19 (2023)
3. 吉井 丈晴
COからC3化合物を生成する電極触媒設計,
触媒, **65**, 357 (2023)

特許

なし

新聞等広報

1. “Interview 西原洋知博士に聞く「カーボン材料の化学」”
現代化学,(2023.2月号)
2. “西原研究室の研究「ゼオライト鋳型炭素」図版について”
理化学研究所のウェブページ (2023.1.25)
3. “株式会社 3DC の紹介記事”
東北大学スタートアップ事業化センターウェブページ (2023.3.8)
4. “3DC×東北大学 カーボン新素材 GMS で「世界を変える」共創研究ラボ”
東北大学材料科学高等研究所ウェブページ(2023.4.3)
5. “リチウム空気電池を長寿命化するカーボン新素材を発見 従来のカーボン正極の劣化をグラフェンメソスポンジで克服”
東北大学ウェブページ(2023.4.10)
6. “カーボン新素材発見・リチウム空気電池を長寿命化”
化学工業日報 (2023.4.12.5面)
7. “Unveiling the Nanoscale Frontier: Innovating with Nanoporous Model Electrodes”
東北大学ページ (2023.6.2)
8. “3次元グラフェン造形のキープロセスを解明 6員環のエッジに5員環や7員環が組み込まれてジッピング”
東北大学ウェブページ (2023.8.21)
9. “車体や建物を充電に使う 3Dカーボン材料を開発 3Dプリンタで強度と機能性を

融合し、全く新しいエネルギー貯蔵へ貢献”

東北大学ページ (2023.8.23)

10. “リチウム空気電池用カーボン正極の 高容量とサイクル寿命の両立に成功 ～
重さがリチウムイオン電池の数分の1になる 次世代蓄電池実用化に期待～”

東北大学ウェブページ (2023.11.14)

受賞等, 特記事項

1. 清水俊介(M1)

真空昇温脱離法を用いたゼオライト水酸基における新規分析手法の開発

第25回先端研究発表会奨励賞 (2023.6.17)

2. 西原洋知

カーボン新素材グラフェンメソスポンジの研究

公益財団法人花王芸術・科学財団「花王科学賞」(2023.6.20)

3. 吉井文晴

東北大学プロミネントリサーチフェロー (2023.7.3)

4. Mengxuan Zhang(D1)、

Low Temperature Acetylene Decomposition on Ceria
for Controllable Graphene Growth

第60回炭素材料夏季セミナーにて、「ポスター賞」(2023.9.4)

5. Peng Wang(D1)

Aqueous dispersion stability and biocompatibility of size-controllable giant hollow carbon
tubes modified by surfactant

第60回炭素材料夏季セミナー ポスター賞 (2023.9.4)

6. 東條 (吉田) 朗子(D2)

Functionalization of Graphene-coated Porous Silica Sphere with Prussian Blue for
Electrode Application

日本化学会東北支部 80周年記念国際会議 Inorganic Chemistry Frontiers Award for
Best Poster (2023.9.10)

7. Xia Tian (M2)

Insight into a novel Mechanical-to-Electrical energy conversion system utilizing carbon
materials.

日本化学会東北支部 80周年記念国際会議 Excellent Poster Award (2023.9.10)

8. 西原洋知

単層グラフェン多孔体に関する研究

炭素材料学会学術賞 (2023.11.29)

9. 王 鵬 (D1)

Biocompatibility of size-controllable giant hollow carbon tubes modified by surfactant

第 50 回炭素材料学会年会 ポスター賞 (2023.11.29)

学会発表 国際会議 48 件 (うち、招待 23 件)、国内会議 46 件 (うち、招待 10 件)

国内学会

(招待講演)

1. マルチマテ西原洋知
新素材シーズ「微小開口ハニカムモノリス」
リアル第5回シンポジウム, 仙台 (2023.1.30)
2. 西原洋知
3次元化した単層グラフェンの蓄電デバイスへの応用
第70回応用物理学会春季学術講演会, 東京 (2023.3.15-18)
3. 西原洋知
sp²炭素材料の分析と立体造形
日本学術会議 無機化学分科会 春の勉強会 2023, web (2023.4.27)
4. 西原洋知
非平衡物質群の宝庫である sp²カーボン系材料の新展開
第1回東北大学材料科学世界トップレベル研究拠点産学連携フォーラム, 東北大学片平キャンパス 知の館 仙台 (2023.7.3)
5. 西原洋知
リチウム空気電池を長寿命化するカーボン新素材
リチウム空気二次電池セミナー, web (2023.8.28)
6. 西原洋知
カーボン材料研究の進展
超空間シンポジウム、熱海 (2023.11.2-3)
7. 西原洋知
カーボン新素材グラフェンメソスポンジとその応用
特別セミナー in 北陸先端科学技術大学院大学, 能美 (2023.12.6)
8. 西原洋知
カーボン材料に関する研究あれこれ
特別講演 in 東京農工大学次世代キャパシタセンター, 東京 (2023.12.14)
9. 吉井丈晴
触媒応用を志向した炭素材料開発
第50回炭素材料学会年会, 仙台 (2023.11.29-12.1)
10. 吉井丈晴
炭素材料の特性を活かした触媒開発
2023年度第5回CPC研究会, web (2023.10.23)

(一般講演)

1. Keigo Wakabayashi, Takeharu Yoshii, Hirotomo Nishihara
Catalytic effect of unpaired spins in carbon edge sites
第64回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、名古屋、
(2023.3.1-3)
2. Liu, Hongyu, Pan, Zheng-Ze, Yu, Wei, Shen, Zhaohan, Nishihara, Hirotomo
Ordered nanoporous membrane probing nanoconfined effects on non-Faradic and Faradic
processes
電気化学会第90回大会、仙台 (2023.3.27-29)
3. Alex Aziz, Wei Yu, Rui Tang, Rachel Crespo-Otero, Devis Di Tommaso,
Hirotomo Nishihara
Utilizing defects to optimize the supercapacitance of graphene-based 3D frameworks
第50回炭素材料学会年会、仙台 (2023.11.29-12.1)
4. Liu, Hongyu, Pan, Zheng-Ze, Yu, Wei, Shen, Zhaohan, Nishihara, Hirotomo
Model cathodes with aligned one-dimensional nanochannels for the analysis of chemical
conversion reactions
2023電気化学秋季大会、福岡 (2023.9.11-12)
5. Tianshu Liu, Kaku Rikuto, Zheng-Ze Pan, Mao Ohwada, Kritin Pirabul,
Hirotomo Nishihara
Nanoplate Graphene Mesosponge: A Novel High-Performance Material for EDLC
Electrodes
第50回炭素材料学会年会、仙台 (2023.11.29-12.1)
6. Mengli, Tian, Hirotaka, Nakatsuji, Hirotomo, Nishihara
Biocompatible honeycomb monolith containing β -tricalcium phosphate for bone tissue
engineering scaffold
第23回多元研究発表会、仙台 (2023.12.7-8)
7. Minghao, Liu Rui, Tang, Mao, Ohwada, Hirotaka, Nakatsuji, Zheng-Ze, Pan,
Hirotomo, Nishihara
Enhanced Structural Integrity of Porous Carbon Monoliths with Aligned Microchannels
第50回炭素材料学会年会、仙台 (2023.11.29-12.1)
8. Minghao Liu, Rui Tang, Mao Ohwada, Hirotaka Nakatsuji, Zheng-Ze Pan,
Hirotomo Nishihara
Fabrication of Highly Permeable Carbon Honeycomb Monolith with Micro-Channel
Sizes
第3回マテリアル・計測ハイブリッド研究センター若手フォーラム、仙台、
(2023.11.7-8)
9. Peng, Wang, Hirotaka, Nakatsuji, Hirotomo, Nishihara

- Biocompatibility of size-controllable giant hollow carbon tubes modified by surfactant
第60回炭素材料夏季セミナー, 長崎 (2023.9.4-5)
10. Peng, Wang, Hirotaka, Nakatsuji, Hirotomo, Nishihara
Size-controllable Giant Hollow Carbon Tubes for bio application
第3回マテリアル・計測ハイブリッド研究センター若手フォーラム, 仙台
(2023.11.7-8)
 11. Peng, Wang, Hirotaka, Nakatsuji, Hitoshi, Kasai, Hirotomo, Nishihara
Biocompatibility of size-controllable giant hollow carbon tubes
第50回炭素材料学会年会. 仙台 (2023.11.29-12.1)
 12. Shen, Zhaohan, Yu, Wei, Aziz, Alex, Yoshii, Takeharu, Chida, Koki, Nishihara,
Hirotomo
Li-O₂ Batteries Based on Catalyst Anchored Single-Wall Curved Graphene Cathode
産学連携炭素材料研究会令和4年度第3回ABCD合同研究会, web (2023.4.14)
 13. Shen, Zhaohan, Yu, Wei, Aziz, Alex, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hirotomo
Crystal Facet-Based Catalysis in Lithium-Oxygen Batteries
2023電気化学秋季大会, 福岡 (2023.9.11-12)
 14. Xia, Tian, Yoshii, Takeharu, Yamabe, Saoki, Aziz, Alex, Nishihara, Hirotomo
The understanding of a novel force-driven power generation system based on carbon
materials
2023電気化学秋季大会, 福岡 (2023.9.11-12)
 15. Yu, Wei, Aziz, Alex, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hirotomo
The culprit of carbon corrosion in Li-O₂ batteries: H-containing edge sites
第50回炭素材料学会年会. 仙台 (2023.11.29-12.1)
 16. Yu, Wei, 岩村振一郎, 吉井文晴, 松田翔一, 青木誠, 近藤敏啓, 西原洋知
実用的なLi-O₂電池の正極に向けたシート状グラフェンメソスポンジの開発
第64回電池討論会, 大阪 (2023.11.28-30)
 17. Zhang, Mengxuan, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hirotomo
Low-temperature acetylene decomposition on ceria for controllable graphene growth
第60回炭素材料夏季セミナー, 長崎 (2023.9.4-5)
 18. 岸本玲奈, 岩村振一郎, 西原洋知, 長谷川貴洋, 丸山 純, 滝本大裕
束縛効果に対する炭素材料の表面および細孔構造の影響
2023電気化学秋季大会, 福岡 (2023.9.11-12)
 19. 岸本玲奈, 岩村振一郎, 西原洋知, 長谷川貴洋, 丸山 純, 滝本大裕
炭素材料の表面工学に基づく束縛効果の検証
関東支部 第102回若手講演会 in 琉球大学, 沖縄 (2023.9.19-21)
 20. 吉井文晴, 千田晃生, 井上真隆, 神谷和秀, 谷文都, 西原洋知
単原子遷移金属が規則配列した触媒による電気化学的CO₂およびCO還元反応

第132回触媒討論会, 札幌 (2023.9.13-15)

21. 吉田朗子, Kritin Pirabul, 藤井俊輔, 潘鄭澤, 伊藤睦弘, 野口幸紀, 伊藤徹二, 西原洋知
小型バイオセンサー向けの新規参照電極材料
第33回日本MRS年次大会, 横浜 (2023.11.14-16)
22. 佐伯 銀河, 岩村 振一郎, 若林 佳吾, 吉井 丈晴, 西原 洋知, 糸井 弘行, 大澤 善美
キチンを用いた含窒素ゼオライト鑄型炭素の合成と構造評価
第50回炭素材料学会年会. 仙台 (2023.11.29-12.1)
23. 佐山裕美, 小椋俊彦, 田中良和, 野崎功一, 伊藤徹二, 西原洋知
ジャイアントカーボンナノ試験管によるタンパク質の観察
第33回日本MRS年次大会, 横浜 (2023.11.14-16)
24. 佐山裕美, 小椋俊彦, 田中良和, 野崎功一, 岩瀬裕希, 伊藤徹二, 西原洋知
配列カーボンナノ空間に固定化された酵素の構造解析
第23回多元研発表会, 横浜 (2023.12.7-8)
25. 篠塚亮輔, 伊藤仁, 内村允宣, 伊倉亜美, 市川靖, 曾根和樹, 西原洋知
応力誘起型ヒートポンプのシステム体積低減に向けた検討
第36回日本吸着学会研究発表会, 金沢 (2023.12.7-8)
26. 篠塚亮輔, 西原洋知
応力誘起型ヒートポンプのシステム体積低減に向けた検討
第25回先端研究発表会, 仙台 (2023.6.17)
27. 若林佳吾, 吉井丈晴, 山部咲知, 西原洋知
ホウ素を高含有した3次元グラフェン構造体の調製
第50回炭素材料学会年会. 仙台 (2023.11.29-12.1)
28. 若林佳吾, 吉井丈晴, 西原洋知
カーボンエッジサイトにおける不対電子スピンの触媒作用に関する定量的検討
産学連携炭素材料研究会令和4年度第2回ABCD合同研究会, web (2023.3.17)
29. 若林佳吾, 吉井丈晴, 西原洋知
カーボン材料の不対電子の起源と触媒作用に関する定量的検討
第43回触媒学会若手会 夏の研修会, 静岡 (2023.8.3-5)
30. 丸山 純, 佐藤博文, 高尾優子, 丸山翔平, 加藤慎太郎, 神谷和秀, 千田晃生, 吉井丈晴, 西原洋知, 谷 文都
3次元規則性多孔質炭素材料に窒素とともにドーピングされた金属種により決定される触媒能
第50回炭素材料学会年会. 仙台 (2023.11.29-12.1)
31. 清水俊介, 吉井丈晴, 大須賀遼太, 西原洋知
真空昇温脱離法を用いたゼオライト水酸基における新規分析手法の開発

第25回先端研究発表会, 仙台 (2023.6.17)

32. 清水俊介, 吉井丈晴, 大須賀遼太, 西原洋知
真空昇温脱離法を用いたゼオライト中の水酸基の定性・定量分析
第30回ゼオライト夏の学校, 山梨 (2023.9.4-5)
33. 清水俊介, 吉井丈晴, 大須賀遼太, 西原洋知
1600°C昇温脱離法を用いたゼオライト水酸基の定性・定量分析
第132回触媒討論会, 札幌 (2023.9.13-15)
34. 千田晃生, 吉井丈晴, 祖父江健貴, 大谷俊介, 加藤研一, 生越友樹, 神谷和秀,
西原洋知
硫黄含有誘導体の熱処理による高濃度硫黄ドーピングポーラスカーボンの調製
第36回日本吸着学会研究発表会, 金沢 (2023.12.7-8)
35. 張夢璇, 吉井丈晴, 西原洋知
Low-temperature chemical vapor deposition of acetylene on ceria for size-controllable
graphene synthesis
第50回炭素材料学会年会, 仙台 (2023.11.29-12.1)
36. 東條朗子, Kritin Pirabul, 藤井俊輔, 潘鄭澤, 伊藤睦弘, 野口幸紀, 伊藤徹二,
西原洋知
プルシアンブルー内包グラフェン被覆シリカゲルを用いたバイオセンサの開発
電気化学会第90回大会, 仙台 (2023.3.27-29)

国際会議

(招待講演)

1. Nishihara, Hiromoto
Advanced porous materials synthesized by template method
PACCON 2023, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand (2023.1.20-1.21)
2. Nishihara, Hiromoto
Advanced carbon-based porous materials and analysis technique
Special seminar at Silpakorn University, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand,
(2023.1.23)
3. Nishihara, Hiromoto
Advanced carbon-based porous materials and analysis technique
Special seminar at Chulalongkorn University, Thailand (2023.1.24)
4. Nishihara, Hiromoto
Graphene mesosponge: Graphitized and highly mesoporous graphene with high durability
and sponge-like flexibility
*2023 1st International Symposium on Carbon Materials (2023 ISCM-1) for Energy,
Environment, Sustainability, and Bio-applications with the 6th Taiwan Carbon Conference*

- Tainan City, Taiwan (2023.1.31-2.
- 5 . Nishihara, Hiromoto
Challenge of building three-dimensional frameworks using graphene
Emerging platforms for quantum computing, Sendai (2023.4.10-4.11)
 - 6 . Nishihara, Hiromoto
Analysis and design of sp² carbon materials
ORACLE Consortium Meeting, Jozef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia (2023.5.18-19)
 - 7 . Nishihara, Hiromoto
Progress in atomic-level analysis and synthesis of sp²-carbon materials
AtomDeC 3rd International Symposium, Polish Academy of Science, Warsaw, Poland
(2023.5.23-25)
 - 8 . Nishihara, Hiromoto
Polish Academy of Science, Warsaw, Poland
IPPT Seminar on Mechanics, Polish Academy of Science, Warsaw, Poland (2023.5.22)
 9. Nishihara, Hiromoto
Template carbonization for functional materials
Carbon2023, Carbon2023, Riviera Maya, Cancun, Mexico (2023.7.16-21)
 10. Nishihara, Hiromoto
Graphitized and highly mesoporous graphene with high durability and sponge-like flexibility
2023 Exploring Thailand's Electrochemical Opportunity, VISTEC, Rayong, Thailand
(2023.7.25-26)
 11. Nishihara, Hiromoto
Mesoporous graphene with high durability and sponge-like flexibility
Special seminar at Kasetsart University, Bangkok, Thailand (2023.8.11)
 12. Nishihara, Hiromoto
Graphitized and highly mesoporous graphene with high durability and sponge-like flexibility
Special lecture at Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand (2023.8.9)
 13. Nishihara, Hiromoto
Template carbonization for functional materials
Special lecture at University of Szeged, Szeged, Hungary (2023.9.1)
 14. Nishihara, Hiromoto
Porous and Durable Graphene MesoSponge for Battery Cathodes
74th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Lyon, France ,
(2023.9.3-8)
 15. Nishihara, Hiromoto
Template carbonization for functional materials
Conference LCC Eq. C, Toulouse, France (2023.9.7)

16. Nishihara, Hiromoto
Functional carbon materials: new synthesis approaches and analysis method
Special seminar at University of Alicante, Alicante, Spain (2023.9.22)
17. Nishihara, Hiromoto
Unique templated carbons for cutting edge supercapacitor research
7th International Conference on Advanced Capacitors, Kamakura, Japan (2023.9.26-29)
18. Nishihara, Hiromoto
High-voltage supercapacitors using three dimensional graphene frameworks
ICGET-Tw, Taipei, Taiwan (2023.11.25-28)
19. Nishihara, Hiromoto
GrapheneMesoSponge: A unique mesoporous material
The 7th Symposium on Challenges fr Carbon-Based Nanoporous Materials, Nagano, Japan (2023.10.18-21)
20. Nishihara, Hiromoto
Graphene MesoSponge: A novel carbon material for extended battery lifespan
MIRAI 2.0 R&I Week 2023, Umeå, Sweden (2023.11.13-17)
21. Yoshii, Takeharu
Synthesis of three-dimensional graphene materials for catalytic and battery applications
AIMR-Cambridge JRC Kick-off Workshop 2023, Sendai, Japan (2023.4.26-27)
22. Yoshii, Takeharu
Ordered carbonaceous frameworks: a new class of single-atomic metal catalysts based on molecular-level design
The Second Workshop on Catalytic Reactions with Ion Transfer through Interfaces (ITICAT2023), Espoo, Finland (2023.8.24-25)
23. Yoshii, Takeharu
Strategic synthesis of ordered carbonaceous frameworks based on molecular-level design for electrocatalytic applications
5th International Conference on Materials Research and Innovation (ICMARI), Bangkok, Thailand (2023.12.14-15)

(一般講演)

1. Alex Aziz, Wei Yu, Rui Tang, Rachel Crespo-Otero, Devis Di Tommaso, Hirotomo Nishihara
Utilizing defects to optimize the supercapacitance of graphene-based 3D frameworks
The 7th Symposium on Challenges fr Carbon-Based Nanoporous Materials, Nagano, Japan (2023.10.18-23)
2. Bochenek, Kamil,D. Jarzabek, Nishihara, Hiromoto, Jain, Amrita

- Consolidation of GMS powder with aluminium via hot-pressing-processing and mechanical properties
AtomDeC 3rd International Symposium, Warsaw, Poland (2023.5.23-25)
3. Chida, Koki; Yoshii, Takeharu; Nishihara, Hiroto; Tani, Fumito
 Multi-functional ordered carbonaceous frameworks synthesized from octaethynyl metalloporphyrin
AtomDeC 3rd International Symposium, Warsaw, Poland (2023.5.23-25)
4. Jain, Amrita, Michalska, Monika, Nishihara, Hiromoto,
 TMO nanorods for supercapacitor applications
AtomDeC 3rd International Symposium, Warsaw, Poland (2023.5.23-25)
5. Wakabayashi, Keigo; Yoshii, Takeharu; Nishihara, Hiroto
 Quantitative study on unpaired electrons in carbon edge sites
AtomDeC 3rd International Symposium, Warsaw, Poland (2023.5.23-25)
6. Kawabe, Yusuke, Tang, Rui, Nishihara, Hiroto, Takahashi, Yasufumi
 Nanoscale Characterization of the Degradation Reaction in the Carbon Electrode of Electric Double-layer Capacitors
Workshop on Scanning Electrochemical Microscopy and Related Techniques, Montreal, Canada (2023.9.25-27)
7. Liu, Hongyu, Pan, Zheng-Ze, Aziz, Alex, Tang, Rui, Nishihara, Hiroto
 Conductive substrate-supported ordered porous membranes as a universal model electrode for exploring electrochemical systems
Carbon 2023, Barceló Riviera Maya, Cancun, Mexico (2023-7-16-21)
11. Liu, Tianshu, Rikuto, Kaku, Pan, Zheng-Ze, Ohwada, Mao, Pirabul, Kritin,
 Nishihara, Hiroto
 Innovative EDLC Electrodes: Exploring the Potential of Mesoporous Nanoplates with Seamless Graphene Frameworks
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
9. Matsutaka, Hiroshi, Kashifuku, Aya, Inukai, Manabu, Orii, Takaaki, Nishihara, Hiroto,
 Uchiyama, Naoki, Miyajima, Daigo
 Porous Carbons using Metal–Organic Framework as Precursors for High Adsorption Capacity
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
10. Mengli, Tian, Hirota, Nakatsuji, Hiroto, Nishihara
 Biocompatible honeycomb monoliths with micro-meter-scale straight channels
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society

- of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)*
11. Minghao, Liu, Rui, Tang, Mao, Ohwada, Hiroataka, Nakatsuji, Zheng-Ze, Pan, Hiroতোমো, Nishihara
Mechanically Tough Carbon Monoliths with Aligned Micro-Channels
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
 12. Peng, Wang, Hiroataka, Nakatsuji, Hiroতোমো, Nishihara
Aqueous dispersion stability and biocompatibility of size-controllable giant hollow carbon tubes modified by surfactant
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
 13. Shen, Zhaohan, Yu, Wei, Aziz, Alex, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hiroতোমো
Face-Centered Cubic Structured Ru Catalyst in Lithium Oxygen Battery
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
 14. Shimizu, Shunsuke, Yoshii, Takeharu, Osuga, Ryota, Nishihara, Hiroতোমো
Advanced temperature programmed desorption for quantification and qualification of hydroxyl groups in zeolite
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
 15. Wakabayashi, Keigo, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hiroতোমো
Origin and catalysis of unpaired electrons in porous carbon materials
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
 16. Xia, Tian, Yoshii, Takeharu, Yamabe, Saoki, Aziz, Alex, Nishihara, Hiroতোমো
Insight into a novel Mechanical-to-Electrical energy conversion system utilizing carbon materials
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
 17. Yoshida, Akiko, Pirabul, Kritin, Fujii, Shunsuke, Pan, Zhengze, Ito, Mutsuhiro, Noguchi, Yukinori, Itoh, Tetsuji, Nishihara, Hiroতোমো
Functionalization of Graphene-coated Porous Silica Sphere with Prussian Blue for Electrode Application
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)
 18. Yoshida, Akiko, Pirabul, Kritin, Fujii, Shunsuke, Pan, Zhengze, Ito, Mutsuhiro, Noguchi, Yukinori, Itoh, Tetsuji, Nishihara, Hiroতোমো

Development of Biosensors based on Graphene-Coated Porous Silica Spheres containing Prussian Blue

The Second Workshop on Catalytic Reactions with Ion Transfer through Interfaces (ITICAT2023), Espoo, Finland (2023.8.24-25)

19. Shimizu, Shunsuke, Yoshii, Takeharu, Osuga, Ryota, Nishihara, Hiromoto
Quantitative and qualitative analysis of hydroxyl groups in zeolites using advanced temperature-programmed desorption
National Taipei University of Technology & Tohoku University 2023 Joint Symposium, Taipei, Taiwan, (2023.12.11-12)
20. Yoshii, Takeharu, Chida, Koki, Nishihara, Hirotomo, Tani, Fumito
Synthesis of ordered carbonaceous frameworks with single-atomic metal species from octaethynyl metalloporphyrin
15th European Congress on Catalysis, Prague, Czech Republic, (2023.8.27-9.1)
21. Yoshii, Takeharu, Nishikawa, Ginga, Nishihara, Hirotomo
Advanced temperature-programmed desorption: a new characterization method for heteroatoms in carbon
The 7th Symposium on Challenges for Carbon-Based Nanoporous Materials, Nagano, Japan (2023.10.18-21)
22. Yoshii, Takeharu, Nishikawa, Ginga, Takatani, Kouhei, Nishihara, Hirotomo
Observation of puffing phenomenon of needle coke by temperature-programmed desorption
Carbon 2023, Barceló Riviera Maya, Cancun, Mexico (2023-7-16-21)
23. Yu, Wei, Aziz, Alex, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hirotomo
Elucidation of Carbon Corrosion in Lithium-Oxygen Batteries
The 7th Symposium on Challenges for Carbon-Based Nanoporous Materials, Nagano, Japan (2023.10.18-21)
24. Yu, Wei, Yoshii, Takeharu, Matsuda, Shoichi, Aoki, Makoto, Kondo, Toshihiro, Nishihara, Hirotomo
Free-standing hierarchical porous carbon cathode for practical Li-O₂ batteries
Carbon 2023, Cancun, Mexico (2023-7-16-21)
25. Zhang, Mengxuan, Yoshii, Takeharu, Nishihara, Hirotomo
Controllable graphene growth on ceria via low-temperature acetylene decomposition
International Symposium for the 80th Anniversary of Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan (2023-9.8-10)

ハイブリッド材料創製研究分野

教員構成：芥川 智行（教授）、出倉 駿（助教）

【活動報告】 本研究分野では、有機分子の設計自由度に着目した分子集合体の多重機能性の開拓を試みている。有機合成化学、錯体化学、物性化学の手法を駆使して、導電性・磁性・発光・強誘電性・強弾性の観点から、分子性材料の電子・スピン構造や動的な運動自由度を設計し、その集合状態と機能発現を制御する事で、マルチファンクショナル材料に関する研究を行っている。新規なプロトン伝導性分子性結晶、一次元カラムナートン強誘電体のナノスケール化、発光センサ、有機単結晶熱伝導材料、ダイナミックなイオン運動ユニットを含む導電性結晶、電子・イオン伝導度スイッチングを示す有機半導体などに関する研究を実施した。2023年度の研究活動の中から、新しい有機半導体材料の開発に関する研究実施例を紹介する。

1. イオン性 n 型有機半導体材料の開発

ナフタレンジイミド(NDI)は、n 型有機半導体として幅広く用いられている分子骨格であり、その半導体特性は、分子集合体のパッキング様式に強く依存する。本研究では、構造的に柔軟なエチルスルフォネート基を導入した NDI 誘導体ジアニオン (**1**)とエチルホスフォネート基を導入した誘導体(**2**)に注目した。分子 **1** の K 塩 (**1a**)、Rb 塩 (**1b**)、Cs 塩 (**1c**)と、分子 **2** の NH₄⁺塩 (**2a**) および Na 塩 (**2b**)を作製し、これらの塩の分子集合体構造と物性に関する評価を行った(図 1a)。

100 K における単結晶 X線結晶構造解析の結果、いずれの塩においても NDI のπ骨格からなる電子伝導層と M⁺からなる無機層から成る層状構造を形成していた (図 1b)。塩 **1a** と **2b** の無機層には、結晶化溶媒として H₂O がそれぞれ 1 および 2 分子含まれていた。**1a** の電子伝導層は 1 次元ブリックストーン配列を形成していたが、結晶化溶媒の脱離に伴い、2 次元ヘリンボーン配列に変化した。さらに、塩 **2a** の無機層では、リン酸基と NH₄⁺が水素結合ネットワークを形成していた。298 K における FP-TRMC 測定より、大気下における塩

1a~1c 薄膜の過渡伝導度は、それぞれ 7.5×10^{-5} , 1.5×10^{-3} , $8.3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった (図 1c)。塩 **2** の薄膜を N₂ フローおよび加熱により脱水した無水塩 **1a'**の薄膜は、 $\phi \Sigma \mu = 3.9 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ の値を示し、脱水前と比較して 5.2 倍も増加した。これは、H₂O の脱水により、電子伝導層が 2 次元ヘリンボーン配列へ変化した結果と考えられる。AFM および PXRD 測定より、**1a'** ~**1c** 薄膜のパッキング構造を評価した (図 1d)。薄膜はいずれも類似した XRD パターンを示し、層間隔はそれぞれ 1.75, 1.76, 1.79 nm と見積もられた。また、いずれの薄膜も、数百 nm スケールの結晶

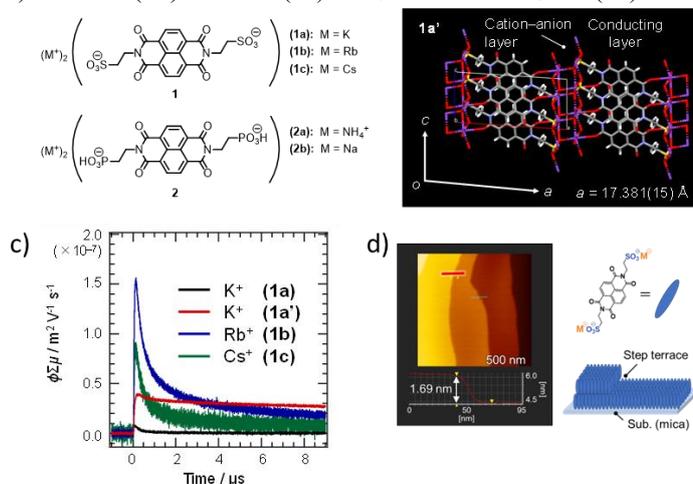


図 1 イオン性有機半導体 **1a-2b**。a) 分子構造。b) 薄膜 **1a-1c** の FP-TRMC スペクトル。c) 薄膜 **1a'** の AFM 画像 (500×500 nm² (左)) と分子配列様式の模式図

性ドメインから構成されていた。また、その表面構造には 1.7 nm 程度のステップが観測され、これは XRD パターンより見積もった単分子層の長さの良い一致を示した。交流インピーダンス測定より、塩 **2a** の誘電特性を評価した。410 K 付近では、誘電率の虚部 ϵ_2 において誘電緩和に相当する周波数依存性が観測され、 H^+ ダイナミクスの存在が示唆された。423 K における Cole-Cole プロットから求めたイオン伝導度は、 $127 \mu\text{S cm}^{-1}$ であり、熱活性化による水素結合ネットワークを介した H^+ 伝導性が存在した。

2. 強誘電性有機半導体材料の開発

BTBT 誘導体は、硫黄-硫黄相互作用による 2 次元電子構造の形成に由来した高いホール移動度を示す。一方、アルキルアミド基を導入した π 共役系化合物は、電場印加によりアミド基の反転を伴う分極反転を示すことが知られている。本研究では、HOMO 準位を調整した R-BTBT-NHCOC₁₄H₂₉ (**3**: R=H, **4**: R=C₈H₁₇) を新規に合成し、その相転移挙動、分子集合様式、半導体特性および誘電物性の評価を行った (図 2a)。

3 と **4** は、対応するアミノ体と C₁₄H₂₉COCl を CH₂Cl₂ 中で還流させることで合成した。相転移挙動は DSC と PXRD 測定で行った。誘電特性は、セルギャップ 2 μm の液晶セルを用いた誘電率の温度-周波数依存性および P - E 曲線で測定した。真空蒸着により作製した薄膜試料の成膜性は AFM と XRD 測定から行った。酸化膜 (200 nm SiO₂) 付き Si 基板上に試料と金電極をそれぞれ真空蒸着することで、トップコンタクト型の OFET デバイスを作製し、その半導体特性を評価した。

3 および **4** は、それぞれ 412 と 431 K で SmE および SmC 相への転移を示し、468 と 479 K で融解した。**4** の誘電率の温度-周波数依存性は、昇温に伴い誘電率の実部が単調減少し、390 K 付近から周波数に依存した誘電率の急激な増加が見られた。**3** も同様に固相-液晶相転移点付近から周波数に依存した誘電率の増加を示した。これは、極性アミド基の熱運動が活性化された際に観測される挙動である。**3** と **4** の P - E 曲線は、ともに固相-液晶相転移点付近で強誘電体に特徴的なヒステリシスを示し、**4** の 418 K、0.1 Hz における残留分極値と抗電場は、それぞれ $P_r = 11.7 \mu\text{C cm}^{-2}$ と $E_c = 3.36 \text{ V } \mu\text{m}^{-1}$ であった (図 2b)。423 K で蒸着した薄膜 **4** は、室温蒸着の薄膜よりも配向性が高く、広角領域まで明確な高次反射を XRD で示した。前者の蒸着膜の面間隔は 2.7 nm で、アルキル鎖のオールトランス構造を仮定した分子長 (4.0 nm) から、分子 **4** が基板上で傾いたエッジオン配向をとると考えられる。**3** も熱処理によって成膜性の高い薄膜が形成可能であった。PYS 測定より見積もった薄膜 **3** と **4** の最高被占準位は、いずれも -5.8 eV であり、先に報告した C₈-BTBT-CONHC₁₄H₂₉ の -6.0 eV と比較して、金電極の仕事関数である -5.1 eV とのエネルギー差が小さくなっていた。次に、高温蒸着薄膜 **3** と **4** を用いて、トップコンタクト型 OFET デバイスを作製したところ、いずれも p 型駆動の出力特性を示した (図 2c)。飽和領域における傾きから算出した蒸着膜 **4** の移動度は、 $1.01 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった。有機材料の設計自由度を最大限に利用することで、多機能性有機半導体材料の創製が可能である。

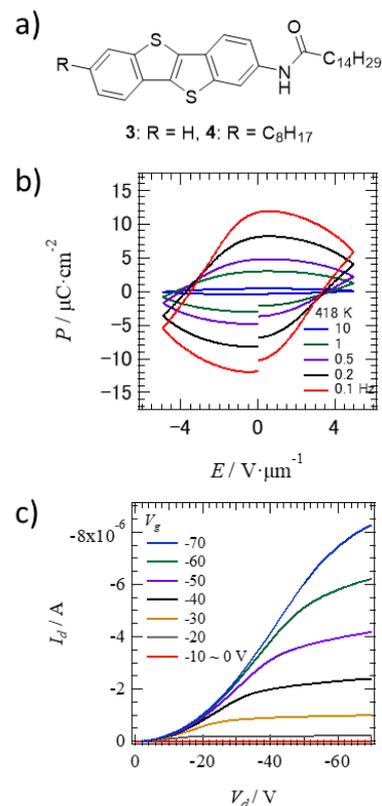


図 2 強誘電性有機半導体。
a) R-BTBT-NHCOC₁₄H₂₉ の分子構造。b) **4** の P - E 曲線。c) デバイス **4** の半導体特性。

【研究業績一覧】

発表論文 (20 報)

1. Kiyonori Takahashi, Takayoshi Nakamura, Tomoyuki Akutagawa
Dynamic Supramolecular Cations in Conductive and Magnetic [Ni(dmit)₂] Crystals
Coord. Chem. Rev., **475**, 214881-1-20 (2023).
2. Huie Zhu, Shogo Hiruta, Ali Demirci, Soyeon Kim, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa, Masaya Mitsuishi
Effects of Hydride Transfer Ring-Opening Reaction on B(C₆F₅)₃ Catalyzed Polymerization of D₄H Cyclosiloxane and Dialkoxysilanes toward Thermally Stable Silsesquioxane - Siloxane Hybrid Materials
Macromolecules **55**, 10134-10144 (2022).
3. Mizuki Matsuzaka, Yuma Sasaki, Kyohei Hayashi, Takahiro Misawa, Takashi Komine, Tomoyuki Akutagawa, Masaya Fujioka, Junji Nishii, Hideo Kaiju
Room-temperature magnetoresistance in Ni₇₈Fe₂₂/C₈-BTBT/Ni₇₈Fe₂₂ nanojunctions fabricated from magnetic thin-film edges using a novel technique
Nanoscale Advances **4**, 22, 4739-4747 (2022).
4. Kiyonori Takahashi, Yuki Shirakawa, Hiroki Sakai, Ichiro Hisaki, Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, Motohiro Nakano, Takayoshi Nakamura
Uniaxial negative thermal expansion induced by molecular rotation in a one-dimensional supramolecular assembly with associated peculiar magnetic behavior
Journal of Materials Chemistry C **11**, 1891-1898 (2023).
5. Ayumi Kawasaki, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Wakana Matsuda, Shu Seki, George K. H. Shimizu, Tomoyuki Akutagawa
Structural Transformable Coulomb Lattice of n-Type Semiconductors for Guest Sorption
ACS Applied Materials & Interfaces **15**, 1661-1674 (2023).
6. Ryohei Mizoue, Moeko Kawana, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa
Ferroelectricity and Phase Change Memory of Bis(tetradecylamide)-Substituted Benzene Derivatives
Journal of Physical Chemistry C **127**, 1981-1991 (2023).
7. Sonomi Arata, Yuna Kim, Norihisa Hoshino, Keishiro Tahara, Kiyonori Takahashi, Tomofumi Kadoya, Tomonori Inoue, Takayoshi Nakamura, Tomoyuki Akutagawa, Jun - ichi Yamada, Kazuya Kubo
Unique Thermal Structural Phase Transitions Exhibited by Unsymmetrical Organometallic Gold(III) - Dithiolene Complexes with Pentylthio and Hexylthio Groups
Eur. J. Inorg. Chem. **2023**, e202300017-1-11 (2023).
8. Noriyuki Uchida, Yunosuke Ryu, Yuichiro Takagi, Ken Yoshizawa, Kotonon Suzuki,

- Yasutaka Anraku, Itsuki Ajioka, Naofumi Shimokawa, Masahiro Takagi, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa, Teruhiko Matsubara, Toshinori Sato, Yuji Higuchi, Hiroaki Ito, Masamune Morita, Takahiro Muraoka
Endocytosis-Like Vesicle Fission Mediated by a Membrane-Expanding Molecular Machine Enables Virus Encapsulation for In Vivo Delivery
Journal of the American Chemical Society **145**, 6210-6220 (2023).
9. Simin Li, Kiyonori Takahashi, Rui-Kang Huang, Chen Xue, Kenta Kokado, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa, Sadafumi Nishihara, Takayoshi Nakamura
Multifunctional Triggering by Solid-Phase Molecular Motion: Relaxor Ferroelectricity, Modulation of Magnetic Exchange Interactions, and Enhancement of Negative Thermal Expansion
Chemistry of Materials **35**, 2421-2428 (2023)
10. Takuya Shimajiri, Henri-Pierre Jacquot de Rouville, Johnny Hu, Valérie Heitz, Tomoyuki Akutagawa, Takanori Fukushima, Yusuke Ishigaki, Takanori Suzuki
Crystal Engineering, Electron Conduction, and Molecular Recognition by Chalcogen Bond in Tetracyanoquinodimethanes Fused with [1,2,5]Chalcogenadiazoles
Synthetic Letters **34**, 1978-1990 (2023).
11. Soki Kawaguchi, Takuya Shimajiri, Tomoyuki Akutagawa, Takanori Fukushima, Yusuke Ishigaki, Takanori Suzuki
Chalcogen-Peierls Transition: Single-crystal-to-single-crystal Transition from a Two-dimensional to a One-dimensional Network of Chalcogen Bonds at Low Temperature
Bull. Chem. Soc. Jpn. **96**, 631–635 (2023).
12. Kiyonori Takahashi, Takashi Takeda, Shin-ichiro Noro, Tomoyuki Akutagawa, Takayoshi Nakamura
Selective gas sensing under mixed gas flow by one-dimensional copper coordination polymer
Inorg. Chem., **37**, 14942–14948 (2023).
13. Yasutaka Suzuki, Satoshi Koga, Kana Kitaura, Jun Kawamata, Keigo Yano, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa, Shotaro Hayashi
Noninvasive Three-dimensional Assessment of Single Molecular crystals using Multiphoton Microscopic Observation and Their Deformation-induced Emission Characteristics
Langmuir **33**, 11646–11652 (2023).
14. Chisato Sato, Takashi Takeda, Shun Dekura, Yasutaka Suzuki, Jun Kawamata, and Tomoyuki Akutagawa
Chiral Plastic Crystal of Solid State Dual Rotator
Crystal Growth & Design **23**, 5889–5898(2023).
15. Matsumoto, Daiki; Tanaka, Chiaki; Fujibayashi, Masaru; Nishihara, Sadafumi; Takahashi,

- Kiyonori; Nakamura, Takayoshi; Akutagawa, Tomoyuki; Masuya-Suzuki, Atsuko; Tsunashima, Ryo
Crystallographic and dielectric studies of tetrahedral {NH₄@Fe₄} crystallized with halomethane molecules
CrystEngComm. **25**, 4793-4797 (2023).
16. Ryo Ide, Ayumi Kawasaki, Takashi Takeda, Shun Dekura, Norihisa Hoshino, Wakana Matsuda, Shu Seki, Tomoyuki Akutagawa
Proton Conduction Crossover and Pyrophosphate Bond Formation of PO₃H Substituted Naphtalenediimide Salts
J. Phys. Chem. C. **127**, 16709-16720 (2023).
17. Jun Manabe, Nagisa Sako, Mizuki Ito, Masaru Fujibayashi, Chisato Kato, Goulven Cosquer, Katsuya Inoue, Kiyonori Takahashi, Takayoshi Nakamura, Tomoyuki Akutagawa, Seiya Shimono, Hiroki Ishibashi, Yoshiki Kubota, and Sadafumi Nishihara
Irreversible Structural Phase Transition in [(9-triptycylammonium) ([18]crown-6)][Ni(dmit)₂]: Origin and Effects on Electrical and Magnetic Properties
Eur. J. Inorg. Chem. **26**, e202300449-1-7 (2023).
18. Haruka Abe, Takashi Takeda, Tomoyuki Akutagawa
Hydrophilic and Hydrophobic Channels of Flexible Crystal Lattice: (Guanidinium)₂(Benzene-1,4-disulfonate)•n(XC₆H₅)
Crystal Growth & Design. **23**, 8147-8155 (2023).
19. Yunya Zhang, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa
Crystal Design of Photodimerization and Proton Dynamics in Stilbene Dicarboxylate Salts
Crystal Growth & Design. **23**, 9121-9131 (2023).
20. Kohei Sambe, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Walama Matsuda, Riku Miura, Kanae Tsujita, Shingo Maruyama, Shunsuke Yamamoto, Shu Seki, Yuji Matsumoto, Tomoyuki Akutagawa
Ferroelectric Organic Semiconductor: BTBT Bearing Hydrogen-Bonding -CONHC₁₄H₂₉ Chain
ACS Applied Materials & Interfaces. **15**, 58711-58722 (2023).

著書・解説記事

該当なし

特許

該当なし

新聞等広報

1. 多光子顕微鏡技術を利用し結晶の非破壊な3次元観察を実現—弾性結晶の機械的操作で内部発光が起こることを発見— 東北大学プレスリリース (2023 8. 9)

受賞等, 特記事項

1. Chisato Sato, Takashi Takeda, Shun Dekura, Tomoyuki Akutagawa
Structure and physical properties of chiral dual-rotator type plastic crystal
R5 化学系学協会東北大会および日本化学会東北支部 80 周年記念国際会議
Excellent Poster Award 2023 10.2
2. Kohei Sambe
Structural and physical properties of R-BTBT-CONHC₁₄H₂₉ (R = H, C₈H₁₇)
The 26th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography
Award for best poster, 22-29 August 2023.
3. 出倉 駿
分子性結晶の内部自由度を活用した無加湿超プロトン伝導体の開拓
第12回研究開発奨励賞 一般財団法人 エヌエフ基金、2023年12月1日、

学会発表 国際会議 12 件 (うち、招待 2 件)、国内会議 42 件 (うち、招待 3 件)

国内学会

(招待講演)

1. 芥川智行
強誘電性有機半導体の開発
第 83 回応用物理学会秋季学術講演会、熊本 (2023 9.19-23)
2. 芥川智行
分子集合体ダイナミックの設計から機能性有機材料の創製へ
第 17 回分子科学会、大阪大学 (2023 9.12-15)
3. 芥川智行
機能性分子集合体の相転移と物性制御
STARe InfoDay 2023 熱分析オンラインセミナー (2023 6. 14)

(一般講演)

4. 小林圭、青木桃佳、坂井賢一、芥川智行
オクタヒドロビナフトールの会合に伴う光学活性発現
化学系学協会北海道支部2023年冬季研究発表会 (2023 1.24-25)
5. 濱舘幸那、山田怜、坂井賢一、芥川智行
アルコキシ鎖を連結したサリチル酸メチル誘導体の鎖長に依存した集積特性
化学系学協会北海道支部2023年冬季研究発表会 (2023 1.24-25)
6. 對馬 敏高、武田 貴志、坂井 賢一、芥川 智行

- ハイドロキノン部位を有する ESIPT型発光分子の分子集合体構造と物性
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
7. 溝上 諒平、武田 貴志、嘉藤 幹也、福井 智也、庄子 良晃、福島 孝典、芥川 智行
トリプチセンカルボキサミド誘導体の強誘電性に及ぼすアルキルアミド鎖数の効果
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
8. 張 雲雅、武田 貴志、芥川 智行
強誘電性アルキルアミド置換スチルベン誘導体
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学東京理科大学 (2023 3. 22-25)
9. 松本 大輝、上尾 雅大、鈴木 敦子、綱島 亮、芥川 智行
{V18}型ポリオキソメタレートからなるフレームワーク構造における結晶—アモルファス変態の熱分析
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
10. 森口 順平、鈴木 敦子、綱島 亮、芥川 智行
メカニカルアロイング法によるペロブスカイト型分子結晶の固溶化: 構造と相転移挙動の組成依存性
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
11. 佐藤 千慧、三部 宏平、武田 貴志、星野 哲久、芥川 智行
キラルなピレニルカンファースルフォンアミドの構造と物性
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
12. 笠原 遥太郎、武田 貴志、久木 一朗、芥川 智行
アルキルアミド置換したデヒドロベンゾアヌレン誘導体の分子集合体構造と物性
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
13. 齋藤 元輝、武田 貴志、芥川 智行
 π 拡張テトラチエニレンからなる水素結合有機構造体の結晶構造および光学特性
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
14. 諏訪部 由貴、知念 真妃郎、鈴木 敦子、綱島 亮、芥川 智行
{Co(NO₂)_xLy} 錯体の固相連結異性化における複素誘電率の評価
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
15. 石川 大輔、藤林 将、加藤 智佐都、 Goulven Cosquer、井上 克也、芥川 智行、高橋 仁徳、中村 貴義、西原 禎文
イオンチャンネル構造を有する導電性 Ni(dmit)₂塩への2価金属イオン導入
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
16. 眞邊 潤、伊藤 みづき、市橋 克哉、今野 大輔、藤林 将、 Goulven Cosquer、井上 克也、芥川 智行、高橋 仁徳、中村 貴義、西原 禎文
溶液環境に応答してイオン・分子を回収・放出する Ni(dmit)₂結晶の作製
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
17. 大石 優希、鈴木 敦子、綱島 亮、芥川 智行

- 水素結合型誘電体 dabcoH \cdot Xにおけるハライド固溶体の作製と構造・誘電物性への影響
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
18. 小林 圭、青木 桃佳、坂井 賢一、芥川 智行
低分子系 π 共役キラル分子の会合に伴うキラリティ増強
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
19. 濱舘 幸那、山田 怜、坂井 賢一、芥川 智行
直鎖状置換基を導入したサリチル酸メチルの集積特性
日本化学会第103春季年会(2023)、東京理科大学 (2023 3. 22-25)
20. 織部 太智、布村 甲斐、長谷川 裕之、山田 俊樹、大友 明、芥川 智行
ナノ電解法による有機イオンラジカル塩ナノ単結晶の作製
第70回応用物理学会春季学術講演会、上智大学 (2023 3.15-18)
21. 笠原 遥太郎、武田 貴志、出倉 駿、芥川 智行
Ring Size Effect for Molecular Assembly of C₃-symmetric π conjugated molecule with Alkylbenzoate Groups
動的分子を機序にした分子固体化学の探究第1回研究会、東北大学 (2023 8.2)
22. Chisato Sato, Takashi Takeda, Shun Dekura, Tomoyuki Akutagawa
Structure and physical properties of chiral dual-rotator type plastic crystal
令和5年度化学系学協会東北大会および日本化学会東北支部80周年記念国際会議
仙台 (2023 9. 8-10)
23. Genki Saito, Takashi Takeda, Shun Dekura, Tomoyuki Akutagawa
Hydrogen-bonded organic framework based on pi-expanded tetra[2,3]thienylene
令和5年度化学系学協会東北大会および日本化学会東北支部80周年記念国際会議
仙台 (2023 9. 8-10)
24. Toshitaka Tsushima, Takashi Takeda, Shun Dekura, Ken-ichi Sakai, Tomoyuki Akutagawa
Structures and Physical Properties of Charge Transfer Complexes Formed by ESIPT Molecule with Electron Donor Properties
令和5年度化学系学協会東北大会および日本化学会東北支部80周年記念国際会議
仙台 (2023 9. 8-10)
25. 久保 夏葵、竹原 陵介、森川 淳子、芥川 智行、福島 孝典
強い水素結合ネットワークを有するホウ酸単結晶の熱輸送特性評価
第83回応用物理学会秋季学術講演会、熊本 (2023 9.19-23)
26. 織部 太智、長谷川 裕之、山田 俊樹、大友 明、芥川 智行
ナノ電解法による導電性有機ナノ単結晶の作製と物性
第83回応用物理学会秋季学術講演会、熊本 (2023 9.19-23)
27. 大石優希、鈴木敦子、綱島亮、芥川智行
水素結合型誘電体結晶のハライド固溶化に伴う相転移挙動の変化

日本物理学会 第78回年次大会 (2023年)、仙台(2023 9.16-19)

28. 小林 圭, 坂井 賢一, 對馬 敏高, 芥川 智行
小さな π 系で構築された軸不斉分子hbNaphの超分子及び結晶状態での光学活性
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
29. 長友 里央菜, 加藤 智佐都, Cosquer Goulven, 藤林 将, 井上 克也, 芥川 智行, 高橋 仁徳, 中村 貴義, 西原 禎文
超分子カチオンを有する $\text{Li}_2([\text{18}]\text{crown-6})_3[\text{Ni}(\text{dmit})_2]_2(\text{H}_2\text{O})_4$ 結晶へのリシンの
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
30. 佐藤 千慧, 武田 貴志, 出倉 駿, 芥川 智行
デュアルローター型スルホンアミド誘導体の構造と物性
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
31. 笠原 遥太郎, 武田 貴志, 出倉 駿, 久木 一朗, 竹内 正之, 高井 淳朗, 姉帯 勇人, 芥川 智行
テトラデシルアミド基を有するデヒドロベンゾアヌレン誘導体の分子集合体構造の物性
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
32. 齋藤 元輝, 武田 貴志, 出倉 駿, 芥川 智行
分子ダイナミクスと光学特性がカップリングした水素結合有機構造体の構造と物性
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
33. 永田 翔, 加藤 智佐都, Cosquer Goulven, 藤林 将, 井上 克也, 芥川 智行, 高橋 仁徳, 中村 貴義, 西原 禎文
 $\text{Na}(\text{dibenzo}[\text{18}]\text{crown-6})[\text{Ni}(\text{dmit})_2](\text{CH}_3\text{CN})_2$ 結晶を用いた固相イオン交換と物性評価
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
34. 溝上 諒平, 出倉 駿, 武田 貴志, 芥川 智行
9-メチルカルバゾールジカルボキサミド誘導体の分子集合体構造と物性
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
35. 三部 宏平, 武田 貴志, 出倉 駿, 松田 若菜, 辻田 香奈瑛, 丸山 伸伍, 山本 俊介, 関 修平, 松本 祐司, 芥川 智行
テトラエチレングリコールおよびキラルアルキルアミド鎖を導入したBTBT誘導体の物性制御
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
36. 對馬 敏高, 武田 貴志, 出倉 駿, 坂井 賢一, 芥川 智行
電子活性なESIPT分子が形成する電荷移動錯体の構造と物性
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
37. 宮武 理沙, 加藤 智佐都, Goulven Cosquer, 藤林 将, 井上 克也, 芥川 智行, 高橋 仁徳, 中村 貴義, 西原 禎文

イミノニトロキシドラジカルカチオンとクラウンエーテルからなる超分子カチオを含んだ結晶の作製と物性

第17回分子科学討論会論、大阪大学 (2023 9.12-15)

38. Li Mu, 武田 貴志, 出倉 駿, 芥川 智行
オクタアミノテトラフェニレンが形成するプロトン移動塩の合成と物性
第17回分子科学討論会、大阪大学 (2023 9.12-15)
39. 山根沙耶, 鈴木康孝, 川俣純, 大石優希, 綱島亮, 芥川智行
SHG顕微鏡を用いた硫酸トリグリシンの観察
第31回有機結晶シンポジウム, 大阪大学 (2023 11. 2-3)
40. 對馬 敏高, 武田 貴志, 出倉 駿, 坂井 賢一, 芥川 智行
電子供与性 ESIPT 分子が形成する電荷移動錯体の構造と物性
第 31 回有機結晶シンポジウム, 大阪大学 (2023 11. 2-3)
41. 齋藤 元輝, 武田 貴志, 出倉 駿, 芥川 智行
ハロゲン化テトラ[2,3]チエニレン示す選択的溶媒包接挙動とその結晶構造
第 31 回有機結晶シンポジウム, 大阪大学 (2023 11. 2-3)
42. 佐藤 千慧, 武田 貴志, 出倉 駿, 芥川 智行
デュアルローター型スルホンアミド誘導体による分子ダイナミクスと柔粘性結晶相の形成
第 31 回有機結晶シンポジウム, 大阪大学 (2023 11. 2-3)

国際会議

(招待講演)

1. Tomoyuki Akutagawa, Ayumi Kawasaki, Haruka Abe, Ryo Ide
Molecular Arrangement and Physical Properties of Dianionic Organic Semiconductors
The 14th Japan-China Joint Symposium on Conduction and Photoconduction in Organic Solids and Related Phenomena, Nagoya Unive., Nagoya, Japan 2023 12. 7~9.
2. Tomoyuki Akutagawa
Dynamics in Functional Molecular-Assemblies
東北大ー台北科技大ジョイントシンポジウム 2023, 台北科技大、12. 11-12, 2023.

(一般講演)

3. Jun Manabe, Mizuki Ito, Katsuya Ichihashi, Daisuke Konno, Masaru Fujibayashi, Goulven Cosquer, Katsuya Inoue, Tomoyuki Akutagawa, Kiyonori Takahashi, Takayoshi Nakamura and Sadafumi Nishihara
CAPTURE AND RELEASE OF IONS AND MOLECULES IN ION CONDUCTING CRYSTAL RESPONDING TO THE SOLUTION ENVIRONMENT
The 18th International Conference on Molecule-Based Magnets – ICMM2023, Nanjing,

- China, September, 10-14, 2023
4. K. Sambe, T. Takeda, S. Dekura, N. Hoshino, W. Matsuda, K. Tsujita, S. Maruyama, S. Yamamoto, S. Seki, Y. Matsumoto, T. Akutagawa
Structural and physical properties of R-BTBT-CONHC₁₄H₂₉ (R = H, C₈H₁₇)
26TH CONGRESS AND GENERAL ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL UNION OF CRYSTALLOGRAPHY (IUCr 2023), Melbourne, Australia (22–29 August 2023)
 5. Genki Saito, Takashi Takeda, Tomoyuki Akutagawa
Optical, redox properties and molecular assembly structures of π -expanded tetrathienylene isomers
26TH CONGRESS AND GENERAL ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL UNION OF CRYSTALLOGRAPHY (IUCr 2023), Melbourne, Australia (22–29 August 2023)
 6. Ryohei Mizoue, Takashi Takeda, Mikiya Kato, Tomoya Fukui, Shoji Yoshiaki, Takanori Fukushima, Tomoyuki Akutagawa
Effect of alkylamide chain number on physical properties of triptycencarboxamide derivatives
26TH CONGRESS AND GENERAL ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL UNION OF CRYSTALLOGRAPHY (IUCr 2023) Melbourne, Australia (22–29 August 2023)
 7. C. Sato, T. Takeda, S. Dekura, T. Akutagawa
Plastic Crystalline Dual Rotator of Sulfonamide Derivative
26TH CONGRESS AND GENERAL ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL UNION OF CRYSTALLOGRAPHY (IUCr 2023), Melbourne, Australia (22–29 August 2023)
 8. Mizuki Ito, Jun Manabe, Katsuya Ichihashi, Daisuke Konno, Chisato Kato, Masaru Fujibayashi, Goulven Cosquerc, Katsuya Inoue, Takehiro Hirao, Takeharu Haino, Tomoyuki Akutagawa, Kiyonori Takahashi, Takayoshi Nakamura, Sadafumi Nishihara
Structure and physical properties of Ni(dmit)₂ salts with organic cations introduced by solid-state ion exchange
International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Bali 2023, 12th - 17th September 2023, Bali, Indonesia.
 9. K. Sambe, T. Takeda, S. Dekura, W. Matsuda, K. Tsujita, S. Maruyama, S. Yamamoto, S. Seki, Y. Matsumoto, T. Akutagawa
Development and characterization of ferroelectric organic semiconductor: alkylamide substituted R-BTBT-CONHC₁₄H₂₉ (R= H, C₈H₁₇)
The 14th Japan-China Joint Symposium on Conduction and Photoconduction in Organic Solids and Related Phenomena, Nagoya Unive., Nagoya, Japan 2023 12. 7~9.
 10. Ryohei Mizoue, Takashi Takeda, Mikiya Kato, Tomoya Fukui, Shoji Yoshiaki, Takanori Fukushima, Tomoyuki Akutagawa
Physical Properties and Alkylamide Chain Number Dependence of Triptycencarboxamide

Derivatives

The 14th Japan-China Joint Symposium on Conduction and Photoconduction in Organic Solids and Related Phenomena, Nagoya Unive., Nagoya, Japan 2023 12. 7-9.

11. Chisato Sato, Takashi Takeda, Shun Dekura, Tomoyuki Akutagawa

Molecular dynamics of dual-rotator type sulfonamide derivative

東北大ー台北科技大ジョイントシンポジウム 2023, 台北科技大、12. 11-12, 2023.

12. Yotaro Kasahara, Takashi Takeda, Shun Dekura, Atsuro Takai, Hayato Anetai, Ichiro Hisaki, Masayuki Takeuchi, Tomoyuki Akutagawa

Preparation, Molecular Assembly Structures and Physical Properties of Dehydrobenzoannulene Derivative with Tetradecylamide Group

東北大ー台北科技大ジョイントシンポジウム 2023, 台北科技大、12. 11-12, 2023.

光機能材料化学研究分野

教員構成：中川勝（教授）、押切友也（准教授）、新家寛正（助教）

【活動報告】

本研究分野では、有機分子や高分子と無機の酸化物や金属との界面を分子レベルで設計して新機能を創製することを目的とし、界面分子の科学を追究するとともに最先端の微細加工に関わる工法や計測法を立案して、ものづくりにおける極限ナノ造形・構造物性の工学の創成を目指している。特に、電子線リソグラフィ、マスクレスリソグラフィ、ナノインプリントリソグラフィ(NIL)の微細加工技術を基に研究を展開し、各微細加工法での新規な材料とプロセスの開発や、中規模生産に適した NIL デバイスの応用研究を進めている。これらを利用し、新たな光学・電子機能を示すシングルナノからマイクロ領域のデバイスや、金属・誘電体ナノ構造近傍で生じる未知の光物理化学現象の研究を進めている。2023 年の研究活動としては、以下のように概括される。

1. マイクロプリンターナノインプリントを組み合わせたナノ造形法の開発

UV-NIL では、光硬化性液体をモールド型で成形し、紫外線照射により硬化させ、硬化成形体から得られるレジストマスクを介して、下地基板表面をドライエッチング加工して、ナノサイズの微細な凹形状を配置する。硬化成形体には、残膜と呼ばれる成形体凹部の底部に硬化樹脂の膜が残る。この残膜を酸素反応性イオンエッチングで除去してから下地基板のドライエッチング加工を行うのが通常である。しかし、この残膜がなぜ発生するかの原因は未だ解明されていない。また、硬化前のモールドと基板の距離（ナノすきま）が 20nm 未満になると光硬化性液体の粘度が急増する現象も報告されており、その解明は一桁ナノサイズのレジスト成形やモールドと基板の位置合わせに重要な意味を持つ。本研究グループでは、孤立印刷配置した光硬化性液体の液滴を平板でプレス成形することで液体がナノすきままでどのように広がるかという新たなアプローチで研究を進めた。その結果、シリコン基板表面の酸化物の厚さが 10nm 以上では液体の応力伸展は同様であるが、膜厚 2nm の自然酸化膜では液滴の応力伸展が抑制されることを見出し（図 1）、誘電体界面で生じる電荷が界面形成分子層に van der Waals 相互作用をもたらしていることが示唆された。

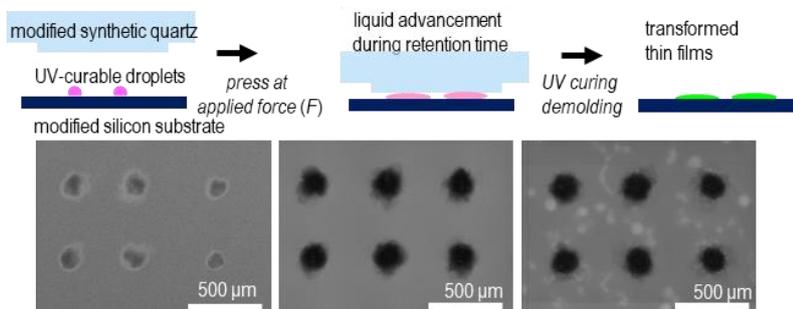


Fig. 1. Illustration of transformation of UV-curable droplets and FE-SEM images of transformed thin films on silicon substrates with a surface oxide layer of (left) 2 nm, (middle) 10 nm, and (right) 30 nm.

2. ナノ空間に光を集光可能なパラボラ型光共振器の設計

エネルギー密度の小さな太陽光を、多電子過程を含む有用な光化学反応に用いるためには、光の局所密度を極限まで高める必要がある。本研究では、金属反射面と半導体から構成されるサブミクロンサイズのパラボラ型光ナノ共振器を設計し、これと局在表面プラズモン共鳴を示す金ナノディスクとを組み合わせることで入射光の光強度を4桁増強できることを、電磁界シミュレーションを用いて明らかにした(図2)。構造サイズや金ナノディスクの数を系統的に変化させてその近接場・遠方場の光学特性を検討した結果、この光増強がパラボラ型共振器とプラズモンのモード結合に由来することを明らかにした。さらに、本構造は曲率構造を有しているため、光の入射角が多少変動しても高い集光性能を維持することもわかった。これは、太陽のような移動する光源に対しても効率を損なうことなく機能することを意味する。

本構造では金ナノディスクそのものが電子・正孔供給源となるため、ナノディスク近傍の光強度を増大させると、そこで生成する電子と正孔の数密度も増大する。その結果、従来は困難であるとされてきた窒素の還元によるアンモニアの製造や、二酸化炭素の還元による炭素化合物の製造といった、多電子反応を推進する新たな光化学反応場としての活用が期待される。

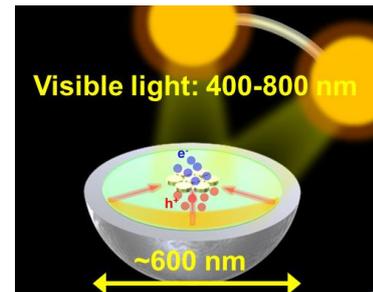


Fig. 2. Schematic of the parabolic resonator coupled with gold nanodisks.

3. 光ナノインプリントにより作製された Mie 共鳴体メタ表面のキラルな光場によるキラル結晶化制御

物質のキラリティ制御は、創薬やスピントロニクスなどの分野において極めて重要である。これまでに、キラルな光である円偏光の照射により物質のキラリティを制御する試みが古くから行われてきた。しかしながら、円偏光とキラル物質との間の相互作用は内因的に小さく、キラリティ制御効率は極めて低いことが知られている。近年、光学キラリティが円偏光よりも著しく増強した光場が、誘電体ナノ構造体への光照射により励振する Mie 共鳴の近接場で発生することが理論的に指摘されるようになった。光学キラリティが増強されたナノ領域に局在化した光場による効率的な物質キラリティ制御への期待が高まっている。本研究では、光ナノインプリントリソグラフィにより作製された誘電体シリコン(Si)ナノディスク配列体への円偏光照射により Mie 共鳴が励振され光学キラリティの増強が期待されるメタ表面上で塩素酸ナトリウム(NaClO_3)キラル結晶化を試みた。その結果、Si ナノディスク配列体の無い条件でのキラル結晶化において、両結晶鏡像異性体の晶出回数に統計的に有意なキラリティの偏りは観測されなかったのに対して、Si ナノディスク配列体の有る条件では統計的に有意なキラリティの偏りが観測されることを明らかにした。キラルなナノ領域の光場が円偏光よりも効率的に物質のキラリティを制御できる可能性が示された。

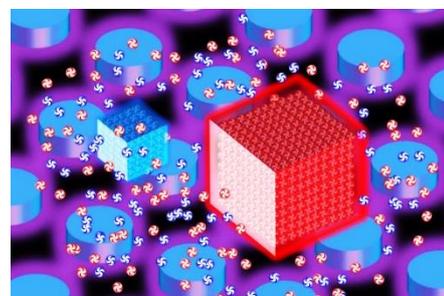


Fig. 3. Schematic illustration of chiral crystallization under chiral near-field of Mie resonant Si metasurface.

【研究業績一覧】

発表論文 (13 報)

1. Yen-En Liu, Xu Shi, Tomohiro Yokoyama, Soshun Inoue, Yuji Sunaba, Tomoya Oshikiri, Quan Sun, Mamoru Tamura, Hajime Ishihara, Keiji Sasaki, Hiroaki Misawa*
Quantum-Coherence-Enhanced Hot-Electron Injection under Modal Strong Coupling
ACS Nano, **17**, 8315-8323 (2023)
2. Xiaoqian Zang, Xu Shi, Yoshiki Suganami, Yen-En Liu, Tomoya Oshikiri, Hiroaki Misawa*
Investigation of Enhanced Water Oxidation Under Plasmon-Nanocavity Strong Coupling Using In Situ Electrochemical Surface-Enhanced Raman Spectroscopy
The Journal of Physical Chemistry C, **127**, 15087-15095 (2023)
3. Hiromasa Niinomi*, Tomoya Yamazaki, Hiroki Nada, Tetsuya Hama, Akira Kouchi, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa, Yuki Kimura
Anisotropy in spinodal-like dynamics of unknown water at ice V–water interface
Scientific Reports, **13**, 16227 (2023)
4. Minori Fujita, Akiko Toyotama, Tohru Okuzono, Hiromasa Niinomi, Junpei Yamanaka
Formation of Two-Dimensional Diamond-Like Colloidal Crystals Using Layer-by-Layer Electrostatic Self-Assembly
Soft Matter, **20**, 985-992 (2023)
5. Hiromasa Niinomi*, Tomoya Yamazaki, Hiroki Nada, Tetsuya Hama, Akira Koichi, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa, Yuki Kimura
Chiral Spinodal-Like Ordering of Homoinmiscible Water at Interface between Water and Chiral Ice III
The Journal of Physical Chemistry Letters, **15**, 659-664 (2023)
6. Hiromasa Niinomi*, Kazuhiro Gotoh, Naoki Takano, Miho Tagawa, Iori Morita, Akiko Onuma, Hiroshi Y. Yoshikawa, Ryuzo Kawamura, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa
Mie-Resonant Nanophotonic-Enhancement of Asymmetry in Sodium Chlorate Chiral Crystallization
The Journal of Physical Chemistry Letters, **15**, 1564-1571 (2023)
7. Kenji Setoura*, Mamoru Tamura, Tomoya Oshikiri, Takuya Iida
Switching Nanoscale Temperature Fields with High-Order Plasmonic Modes in Transition Metal Nanorods
RCS Advances, **13**, 34489-34496 (2023)
8. Yoshiki Suganami, Tomoya Oshikiri, Hideyuki Mitomo, Keiji Sasaki, Yen En Liu, Xu Shi, Yasutaka Matsuo, Kuniharu Ijiri, Hiroaki Misawa*
Spatially Uniform and Quantitative Surface-Enhanced Raman Scattering under Modal Ultrastrong Coupling Beyond Nanostructure Homogeneity Limits
ACS Nano, **18**, 4993-5002 (2024)

9. En Cao, Xu Shi, *Tomoya Oshikiri*, Yen-En Liu, Quan Sun, Keiji Sasaki, Hiroaki Misawa *
Improving Charge Transfer under Strong Coupling Conditions via Interfacial Modulation
ACS Photonics **11**, 1205-1212 (2024).
10. T. Okamoto*, A. Onishi, X. Shi, T. Oshikiri, K. Ueno, H. Misawa*, V. Biju*
Distance-Dependent Energy Transfer under Modal Strong Coupling from CdSe/ZnS
Quantum Dots to a Plasmonic Fabry–Pérot Cavity
The Journal of Physical Chemistry C **128**, 4208-4214 (2024).
11. Masaru Nakagawa*, Akiko Onuma, Hiromasa Niinomi, Toshiya Asano, Shintaro Itoh,
Kenji Fukuzawa
Effect of thickness of surface silicon oxide on liquid advancement in nanogaps between
synthetic quartz mold and silicon substrate surfaces in UV nanoimprinting
Japanese Journal of Applied Physics, **63**, 04SP04 (2024)
12. Norikatsu Sasao*, Shinobu Sugimura, Koji Asakawa, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa
Volume compensating materials after vapor phase infiltration: effect of different butyl
isomers of polymer side-chains on high process temperature durability
Japanese Journal of Applied Physics, **63**, 04SP14 (2024)
13. Tomoya Oshikiri*, Toshiaki Hayakawa, Hiromasa Niinomi, Masaru Nakagawa*
Strong Light Confinement by a Plasmon-Coupled Parabolic Nanoresonator Array
The Journal of Physical Chemistry C, in press (2024)

著書・解説記事

1. 新家寛正
水/氷界面で水と分離する未知の水
日本物理学会誌 78, 1-5 (2023)

特許

申請件数 4 件
公開件数 2 件
登録件数 2 件

新聞等広報

1. “東北大・北大・鳥取大・東大、水/高圧氷の界面に液晶らしき「未知の水」を発見”
日本経済新聞 (2023. 10. 11)
2. “東北大などが世界初、液晶状態の水を発見した”
日刊工業新聞、Yahoo!ニュース、goo ニュース他 (2023. 10. 15)
3. “東北大・北大・鳥取大・東大、キラルな高圧氷と水の界面にキラル液晶らしき水
を発見”

- 日本経済新聞 (2023. 1. 11)
4. “名古屋市立大と東北大、「光閉じ込め」が期待される2次元ダイヤモンド状コロイド結晶の作製について発表”
日本経済新聞 (2023. 1. 15)
5. “東北大・新潟大・名大・阪大・埼玉大、誘電体メタ表面のナノ領域で発生する光が結晶のキラリティ制御に有効であることを実証”
日本経済新聞 (2024. 2. 7)
6. “東北大、可視光を集光可能なナノサイズのパラボラ（おわん）型光共振器を設計し集光原理を解明”
日本経済新聞 (2024.3.22)、日本の研究.com ニュース

受賞等, 特記事項

1. 高野修綺 (M1) *, 新家寛正, 森田伊織, 後藤和泰, 押切友也, 中川勝
合成石英モールドを用いた UV-NIL による シリコンナノディスク配列体の作製と光機能
応用物理学会 2023 年ナノインプリント技術研究会ポスター優秀発表賞 (2023.5.19)
2. 新家寛正
動的高圧セルを用いたその場光学計測による未知の水およびその構造多様性の発見
令和 5 年度科学計測振興賞 (2023.12.8)
3. 高野修綺 (M1)
シリコンメタ表面の光学応用に向けた光ナノインプリントレジストの精密トリミングプロセスの開発
「簗野奨学基金」第 18 回多元物質科学研究奨励賞 (2023.12.8)

学会発表 国際会議 17 件（うち、招待 0 件）、国内会議 34 件（うち、招待 7 件）

国内学会

（招待講演）

1. 高野修綺, 新家寛正, 中川勝
シリコンメタオプティクスに向けた酸素反応性イオンエッチングによるインプリントレジストマスクの狭小化
次世代リソグラフィワークショップ2023, 東京 (2023. 7. 6-7)
2. 中川勝
光ナノインプリント法での原子スケールの精密アライメントのシミュレーションと実証
次世代リソグラフィワークショップ2023, 東京 (2023. 7. 6-7)
3. 新家寛正

表面プラズモン・Mie 共鳴の近接場によるキラル結晶化制御

応用物理学会東海ニューフロンティアリサーチワークショップ/東海地区若手チャ
プタージョイントワークショップ 2023, 熱海 (2023. 10. 19-20)

4. 押切友也

近接場キラリティの設計と観測

学術変革領域研究「キラル光物質科学」「メゾヒエラルキー」合同シンポジウム, 千
葉 (2023. 10. 26)

5. 新家寛正, 押切友也, 中川勝, 山崎智也, 香内晃, 木村勇氣, 灘浩樹, 羽馬哲也, 麻
川明俊

異方脱濡れが示唆する水/氷 V 界面における未知の水の液晶性

2023 年度高分子学会東北支部研究発表会, 秋田 (2023. 11. 9-10)

6. 新家寛正

表面プラズモン共鳴・Mie 共鳴のキラルな近接場でのキラル結晶化
物質・デバイス領域共同研究セミナー, 札幌 (2023. 11. 30)

7. 押切友也

窒素分子変換のための光強結合反応場の創成

日本化学会第 104 春季年会(2024), 船橋 (2024. 3. 18-3.21)

(一般講演)

1. 高野修綺, 新家寛正, 森田伊織, 後藤和泰, 押切友也, 中川勝

合成石英モールドを用いた UV-NIL によるシリコンナノディスク配列体の作製と
光機能

2023 年第 2 回ナノインプリント技術研究会, 東京 (2023. 5. 19)

2. 新家寛正, 山崎智也, 灘浩樹, 羽馬哲也, 香内晃, 押切友也, 中川勝, 木村勇氣

氷 V/水界面に生成する未知の水のスピノーダル分解様ダイナミクス

日本地球惑星科学連合大会 2023 年大会, ハイブリッド (2023. 5. 21-26)

3. 中川勝, 吉田 健, 大沼 晶子

一桁ナノ造形に向けた孤立印刷配置されたサブピコリットル光硬化性液滴の押力
延展の検討 (2) 反応性密着剤の重合性官能基の効果

第 72 回高分子学会年次大会, 高崎 (2023. 5. 24-26)

4. 高野 修綺, 新家 寛正, 中川勝

ビスフェノール A を骨格とする光ナノインプリントレジストの転写機能

第 72 回高分子学会年次大会, 高崎 (2023. 5. 24-26)

5. 川瀬智暉, 押切友也, 笈居高明, 中川勝

Synthesis of nickel oxide nanocrystals by supercritical hydrothermal method

第 50 回東北地区高分子若手研究会夏季ゼミナール, 蔵王 (2023. 7. 14-15)

6. Creation of photo-reaction field using designed near-field

押切友也

第50回東北地区高分子若手研究会夏季ゼミナール, 蔵王 (2023. 7. 14-15)

7. Hiromasa Niinomi, Tomoya Yamazaki, Hiroki Nada, Tetsuya Hama, Akira Kouchi, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa, Yuki Kimura

Liquid Crystal-Like Unknown Water Inferred by Anisotropic Spinodal-like Dynamics at a Water-Ice V Interface

第50回東北地区高分子若手研究会夏季ゼミナール, 蔵王 (2023. 7. 14-15)

8. 押切友也, 葛原 隆, 久保田 紀子, 新家 寛正, 松尾 保孝, 三澤 弘明, 中川 勝
湿式・焼成プロセスを導入した金ナノ粒子/酸化ニッケル/白金電極の光電気化学反応特性

2023年光化学討論会, 広島 (2023. 9. 5-7)

9. 中川 勝, 吉田 健, 大沼 晶子

一桁ナノ造形に向けた孤立印刷配置されたサブピコリットル光硬化性液滴の押力
延展の検討 (3) 水素結合性高分子の効果

第72回高分子討論会, 香川 (2023. 9. 26-28)

10. 新家 寛正, 山崎 智也, 灘浩樹, 羽馬 哲也, 香内 晃, 押切 友也, 中川 勝, 木村
勇氣

異方スピノーダル様脱濡れが示唆する水/氷 V 界面における未知の水の液晶性

第72回高分子討論会, 香川 (2023. 9. 26-28)

11. 押切友也, 葛原隆, 久保田紀子, 新家 寛正, 松尾 保孝, 三澤 弘明, 中川 勝

第72回高分子討論会, 香川 (2023. 9. 26-28)

12. 新家寛正, 山崎智也, 灘浩樹, 羽馬哲也, 香内晃, 押切友也, 中川勝, 木村勇氣

キラルな氷 III と水の界面に生成する未知の水のキラルなスピノーダル様秩序形成
学術変革領域研究「キラル光物質科学」「メゾヒエラルキー」合同シンポジウム, 千葉
(2023. 10. 26)

13. 稲川亮太, 大沼晶子, 新家寛正, 押切友也, 中川勝

シングルナノ精度を有する光硬化成形体の蛍光強度膜厚測定法

2023年度高分子学会東北支部研究発表会, 秋田 (2023. 11. 9-10)

14. 川瀬智暉, 押切友也, 筈居高明, 中川勝

有機修飾剤を用いた超臨界水熱法による酸化ニッケルナノ結晶の合成と物性

2023年度高分子学会東北支部研究発表会, 秋田 (2023. 11. 9-10)

15. 押切友也, 和田 健彦, 荒木 保幸

近接場キラリティを有する金属ナノ構造の作製と光電子顕微鏡を用いた近接場観測

学術変革領域研究(A)「キラル光物質科学」領域会議, 仙台 (2023. 12. 4-5)

16. 新家寛正

Mie 共鳴励振シリコンナノ構造体からの塩素酸ナトリウムキラル結晶化における

結晶鏡像異性体過剰

学術変革領域研究(A)「キラル光物質科学」領域会議, 仙台 (2023. 12. 4-5)

17. 新家寛正, 山崎智也, 灘浩樹, 羽馬哲也, 香内晃, 麻川明俊, 押切友也, 中川勝, 木村勇氣

氷 V/水界面の未知の水のスピノーダル様脱濡れにおける異方性

第52回日本結晶成長学会国内会議, 名古屋 (2023. 12. 4-6)

18. 新家寛正, 後藤和泰, 高野修綺, 田川美穂, 吉川洋史, 川村隆三, 押切友也, 中川勝
円偏光により Mie 共鳴の励振された Si ナノディスクからの塩素酸ナトリウムキラ
ル結晶化における結晶鏡像異性体過剰

第52回日本結晶成長学会国内会議, 名古屋 (2023. 12. 4-6)

19. 川瀬智暉, 押切友也, 筈居高明, 中川勝

超臨界水熱法による酸化ニッケルナノ結晶合成に向けた有機修飾剤の探索第23回
東北大学多元物質科学研究所研究発表会, 仙台 (2023. 12. 7-8)

20. 新家寛正, 山崎智也, 灘浩樹, 羽馬哲也, 香内晃, 押切友也, 中川勝, 木村勇氣
異方スピノーダル様脱濡れが示唆する水/氷 V 界面における未知の水の液晶性
第23回東北大学多元物質科学研究所研究発表会, 仙台 (2023. 12. 7-8)

21. 押切友也, 筈居高明, 庄司 衛太

Development of p-type semiconductor layer toward high-efficient photocathode

第11回若手アンサンブルワークショップ, 仙台 (2023. 12. 13)

22. 伊藤 伸太郎, 鈴木 雅仁, 山本 寛太, 福澤 健二, 中川勝, 浅野俊哉, 東 直輝,
張 賀東

微小流路を用いたナノ隙間における光硬化性液体薄膜の動的濡れ特性計測

情報・知能・精密機器部門講演会 (IIP2024), 岡山 (2024.3.4-5)

23. 新家寛正, 山崎智也, 灘浩樹, 羽馬哲也, 香内晃, 押切友也, 中川勝, 木村勇氣
氷 III/水界面で水から分離する 同素不混和水の スピノーダル様キラル秩序
令和5年度日本表面真空学会東北・北海道支部学術講演会, 札幌 (2024. 3. 6-7)

24. 川瀬 智暉, 押切 友也, 筈居 高明, 新家寛正, 中川勝

超臨界水熱法による酸化ニッケルナノ結晶の合成と薄膜形成法の検討

日本化学会第104春季年会, 船橋 (2024. 3. 18-21)

25. 稲川 亮太, 大沼 晶子, 新家 寛正, 押切 友也, 中川 勝

シングルナノ精度を有する光硬化成形体の蛍光強度膜厚計測法(2): 光ナノイン
プリント成形におけるモノマーと密着剤の重合性官能基の相同相似効果

第71回応用物理学会春季学術講演会, 東京 (2024. 3. 22-25)

26. 高野修綺, 新家寛正, 中川勝

光ラジカル重合型のナノインプリントレジストへの架橋剤添加による トリミング
で発生する皺状構造の周期制御

第71回応用物理学会春季学術講演会, 東京 (2024. 3. 22-25)

27. 新家寛正, 後藤和泰, 高野修綺, 田川美穂, 森田伊織, 大沼晶子, 吉川洋史, 川村隆三, 押切友也, 中川勝
円偏光励振 Mie 共鳴体メタ表面上でのキラル結晶化
第71回応用物理学会春季学術講演会, 東京 (2024. 3. 22-25)

国際会議

(招待講演)

該当なし

(一般講演)

1. Hiromasa Niinomi, Subaru Harada, Toshiaki Hayakawa, Masaru Nakagawa
Simulation of Fluorescence Alignment with Atomic-Scale Precision for Ultraviolet Nanoimprint Lithography
Photomask Japan (PMJ2023), online, (2023. 4. 25-27)
2. Yoshiki Suganami, Tomoya Oshikiri, Hideyuki Mitomo, Keiji Sasaki, Yen-En Liu, Xu Shi, Yasutaka Matsuo, Kuniharu Ijiri, Hiroaki Misawa
Surface-enhanced Raman Scattering under Modal Ultrastrong Coupling Conditions Using Close-packed Gold Nanoparticles and Fabry–Pérot Nanocavity
The 10th International Conference on Surface Plasmon Photonics (SPP10), Houston, USA (2023.5.21-26)
3. Yoshiki Suganami, Tomoya Oshikiri, Hideyuki Mitomo, Keiji Sasaki, Yen-En Liu, Xu Shi, Yasutaka Matsuo, Kuniharu Ijiri, Hiroaki Misawa
Quantum-coherence-enhanced Raman Scattering under Modal Ultrastrong Coupling Conditions
The 31st International Conference on Photochemistry (ICP-2023), Sapporo, Japan (2023. 7. 23-28)
4. Xu Shi, Yaguang Wang, Tomoya Oshikiri, Hiroaki Misawa
Improved water splitting efficiency of Au-NPs-loaded gallium oxide under modal strong coupling conditions
The 31st International Conference on Photochemistry (ICP-2023), Sapporo, Japan (2023. 7. 23-28)
5. Yen-En Liu, Xu Shi, Tomohiro Yokoyama, Soshun Inoue, Yuji Sunaba, Tomoya Oshikiri, Quan Sun, Mamoru Tamura, Hajime Ishihara, Keiji Sasaki, Hiroaki Misawa
Hot Electron Transfer Enhanced by Quantum Coherence under Modal Strong Coupling Conditions
The 31st International Conference on Photochemistry (ICP-2023), Sapporo, Japan (2023. 7. 23-28)

6. En Cao, Xu Shi, Yocef Hattori, Quan Sun, Tomoya Oshikiri, Hiroaki Misawa
Improve Charge Transfer under Strong Coupling Condition via Interfacial Modulation
The 31st International Conference on Photochemistry (ICP-2023), Sapporo, Japan (2023. 7. 23-28)
7. Tomoya Oshikiri, Hiromasa Niinomi, Masaru Nakagawa, Hiroaki Misawa
Super Chiral Field on an Achiral Gold Nanostructure
The 31st International Conference on Photochemistry (ICP-2023), Sapporo, Japan (2023. 7. 23-28)
8. Hao-Tse Su, Hiromasa Niinomi, An-Chieh Cheng, Christophe Pin, Yoshito Tanaka, Keiji Sasaki, Teruki Sugiyama
Optical trapping-induced enantioselectivity switch in chiral crystallization of NaClO₃ using gold nanoparticles
The 31st International Conference on Photochemistry (ICP-2023), Sapporo, Japan (2023. 7. 23-28)
9. Hiromasa Niinomi, An-Chieh Cheng, Teruki Sugiyama, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Hiroshi Yoshikawa, Ryuzo Kawamura, Jun Nozawa, Junpei T. Okada, Satoshi Uda, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa
Chiral Crystallization Directed by Superchiral Plasmonic Near-field Force
The 20th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-20), Napoli, Italy (2023. 7. 30-8. 4)
10. Hiromasa Niinomi, Tomoya Yamazaki, Hiroki Nada, Tetsuya Hama, Akira Kouchi, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa, Jun Nozawa, Junpei T. Okada, Satoshi Uda, Yuki Kimura
Low- and High-Density Unknown Waters at Interfaces between Water and Ices Grown/Melted by Pressure
The 20th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-20), Napoli, Italy (2023. 7. 30-8. 4)
11. Hiromasa Niinomi, Tomoya Yamazaki, Hiroki Nada, Tetsuya Hama, Akira Kouchi, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa, Jun Nozawa, Satoshi Uda, Yuki Kimura
The 15th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice (PCI-2023), Sapporo, Japan (2023. 9. 3-8)
12. Masaru Nakagawa, Akiko Onuma, Hiromasa Niinomi, Shintaro Itoh, Kenji Fukuzawa, Toshiya Asano
How far does a droplet of UV-curable liquid spread between the mold and silicon surfaces in nanoimprinting?
The 22nd International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technologies (NNT2023), Boston, USA (2023. 10. 9-11)
13. Tomoya Oshikiri, Takashi Katsurahara, Noriko Kubota, Hiromasa Niinomi, Yasutaka

- Matsuo, Hiroaki Misawa, Masaru Nakagawa
Fabrication of nickel oxide thin films for photocathodes through wet and gas phase processes
36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023), Sapporo, Japan (2023. 11. 14-17)
14. Norikatsu Sasao, Shinobu Sugimura, Koji Asakawa, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa
Volume Compensating Materials after Vapor Phase Infiltration: Effect of Different Butyl Isomers of Polymer Side-Chains on High Process Temperature Durability
36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023), Sapporo, Japan (2023. 11. 14-17)
15. Masato Suzuki, Shintaro Itoh, Yusuke Nakanishi, Kenji Fukuzawa, Masaru Nakagawa, Toshiya Asano, Naoki Azuma, Hedong Zhang
Observation of wetting by capillary condensation of photo-curable liquid in nanogaps and its effect on cavity filling in nanoimprinting
36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023), Sapporo, Japan (2023. 11. 14-17)
16. Masaru Nakagawa, Akiko Onuma, Hiromasa Niinomi, Shintaro Itoh, Kenji Fukuzawa, Toshiya Asano
Thickness of surface silicon oxide layer affecting liquid spreading at a nanogap for UV nanoimprint lithography
36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023), Sapporo, Japan (2023. 11. 14-17)
17. Tomoya Oshikiri, Takashi Katsurahara, Noriko Kubota, Hiromasa Niinomi, Yasutaka Matsuo, Hiroaki Misawa, Masaru Nakagawa
Photoelectrochemical properties of plasmonic photocathode using nickel oxide
The 12th Asian Photochemistry Conference (APC2023), Melbourne, Australia (2023. 11.27-12.1)

その他

中川勝 他, ノウハウの届出 5件

有機・バイオナノ材料研究分野

教員構成：笠井 均（教授）、岡 弘樹（講師）、小関 良卓（助教）、鈴木 龍樹（助教）、有田 稔彦（助教）

【活動報告】

本研究分野では、ドラッグデリバリーシステムの新しい概念としてナノ・プロドラッグを提唱し、分子デザインとナノ粒子作製プロセスの最適化、薬理効果の検証を行っている。また、天然食品色素への応用を目指し、青色色素の全合成およびナノ粒子化を検討した。2023年の研究活動としては、以下のように概括される。

1. 抗がん剤の副作用を軽減させることを目的としたナノ・プロドラッグの開発

近年、がん細胞選択的に作用する抗がん剤の開発に向けて、ジスルフィド結合を有するリンカーで薬物分子を結合させたプロドラッグで構成されるプロドラッグナノ粒子（NPs）の研究が進められている。このNPsは、Enhanced Permeation and Retention (EPR) 効果に基づくナノ粒子の高い腫瘍集積性とがん細胞内で高濃度に存在するグルタチオン（GSH）によるプロドラッグのジスルフィド結合切断を起点とした薬物放出により、がん細胞選択的に薬効を発揮することが見込まれる。しかし多くの場合、NPsを構成するプロドラッグは抗がん剤とリンカーがエステル結合で連結されるため、血中や正常組織に遍在するエステラーゼにより加水分解を受け、非選択的に薬物放出を起こすことが懸念される。この課題を解決するために、抗がん剤 SN-38 とジスルフィドリンカーのエステル結合の α 位に gem-ジメチル基を有する SN-ss-4Me、シクロペンタン部位を有する SN-ss-CP を考案した

(Fig. 2)。これらのプロドラッグは、エステル α 位の置換基が全身に遍在するエステラーゼの接近を妨げるとともに、がん細胞内到達後は GSH のジスルフィド結合切断を起点とした環化反応により、GSH 選択的に SN-38 を放出することが期待される (Fig. 1)。本研究では、これらのプロドラッグで構成された NPs の細胞増殖抑制活性試験と薬物放出試験を行うことで、NPs の薬物放出特性を評価した。合成したプロドラッグのジメチルスルホキシド溶液を激しく攪拌した超純水中に急速に注入したところ、いずれも粒径 100 nm 以下の球形ナノ粒子の形成が確認された (Fig. 3)。

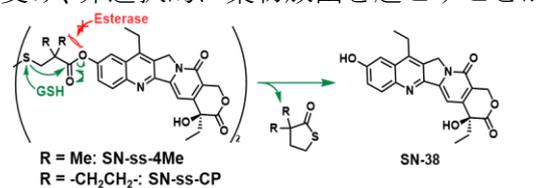


Figure 1 予想される薬物放出機構

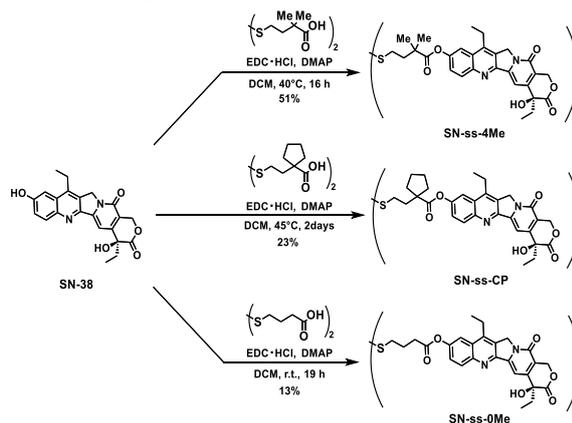


Figure 2 SN-38 二量体プロドラッグの合成

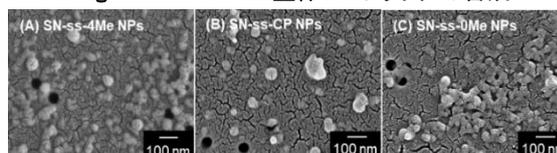


Figure 3 NPs の SEM 画像 (A) SN-ss-4Me NPs, (B) SN-ss-CP NPs, (C) SN-ss-0Me NPs

作製した NPs の抗がん活性評価を行うために、MCF-7 細胞株 (ヒト乳がん細胞株由来) に NPs および SN-38 を添加し、48 時間後の細胞生存率を測定した (Fig. 4)。その結果、SN-ss-0Me NPs は SN-38 と同程度の薬理活性を示した一方で、SN-ss-4Me NPs と SN-ss-CP NPs は薬理活性が低下した。プロドラッグのエステル α 位の置換基の種類により薬理活性に差が生じたことから、エステル α 位の置換基ががん細胞内における NPs からの SN-38 放出特性に寄与していることが示された。

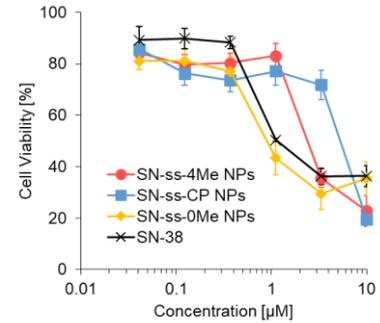
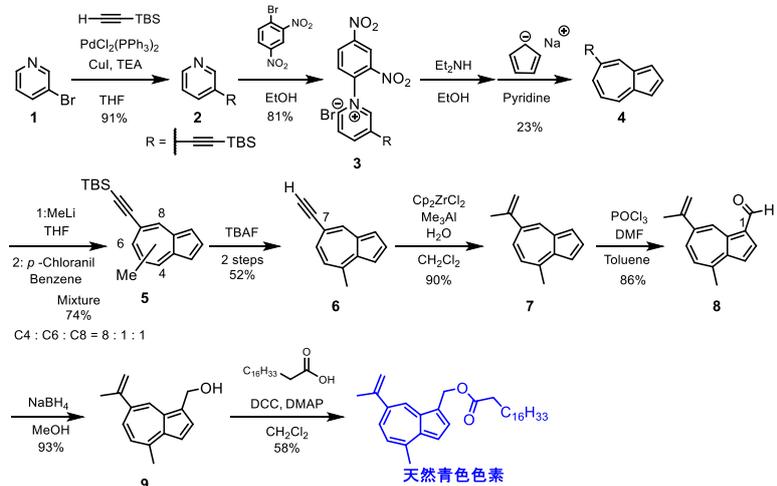


Figure 4 がん細胞増殖抑制活性試

2. アズレンを基本骨格とする青色天然色素の全合成と微粒子化

ルリハツタケ (*Lactarius indigo*) に含まれるグアイアズレン (GuAz) 誘導体は、1979 年に単離された青色の天然有機化合物である。しかし、その基礎物性評価や全合成の関する報告例はない。GuAz 誘導体を食品の着色料として応用するため、GuAz 誘導体の全合成、および、水系における着色の知見を得るべく微粒子化を検討した。3-ブロモピリジン (**1**) を出発物質として、菌頭カップリングを行うことでエチニル基末端に *t*-ブチルジメチルシリル (TBS) を持つ3-エチニルピリジン**2**を得た。ピリジウム塩 (**3**) を合成した後、環化反応によりアズレン誘導体**4**を得た。次に**4**をメチルリチウムと作用させた後、酸化したところ、アズレン環の4位、6位、8位それぞれにメチル基を持つ3種類の位置異性体の混合物として得られた (**5**)。この混合物にフッ化テトラ-*n*-ブチルアンモニウム (TBAF) を作用させたところ脱シリル化が進行し、4位にメチル基を持つ**6**を単一化合物として分離

した。7位のエチニル基からイソプロペニル基への変換は、カルボメタル化反応により速やかに進行した (**7**)。続いて、Vilsmaier-Haack反応により、1位にホルミル基を導入し、**8**を得た後、水素化ホウ素ナトリウムを作用させアルコール体とし、ステアリン酸とのエステル結合の形成により、



Scheme 1 青色天然色素 GuAz 誘導体の全合成

り、目的とする天然青色色素であるGuAz誘導体の全合成を達成した (Scheme 1)。

得られた青色色素の基礎物性評価を行うためUV-Vis吸収スペクトルを測定したところ、可視光領域における 579 nm の最大吸収波長を示した。次に、水系における着色の知見を得るべく、再沈法により微粒子を作製したところ、平均粒径50 nmの球形粒子として得られることが明らかとなった。今後、本化合物の食品添加物としての応用が期待される。

【研究業績一覧】

発表論文 (12 報)

1. Grasianto, M. Fukuyama, M. Kasuya, DM Mott, Y. Koseki, H. Kasai, A. Hibara
Sensitive and simple multi-ion detection using organic nanocrystal enrichment in paper analytical devices
Analytica Chimica Acta, **1273**, 341451 (2023).
2. K. Maruoka, R. Suzuki, T. Kamishima, Y. Koseki, A. T. N. Dao, T. Murafuji, H. Kasai
Total Synthesis of Azulene Derivative, a Blue Pigment Isolated from *Lactarius indigo*, and Colorant Application of Its Aqueous Dispersion
J. Agric. Food Chem., **71**, 11607–11614 (2023).
3. M. Machida, T. Sugimura, S. Kajimoto, F. Taemaitree, Y. Koseki, H. Kasai, T. Nakabayashi
Label-Free Tracking of Nanoprodrug Cellular Uptake and Metabolism Using Raman and Autofluorescence Imaging
J. Phys. Chem. B, **127**, 3851–3860 (2023).
4. K. Tanita, M. Iijima, Y. Koseki, K. Sato, T. Nakazawa, H. Kasai
Fabrication of anti-inflammatory nano eye-drops composed of dexamethasone prodrugs
Mol. Cryst. Liq. Cryst., **762**, 81–87 (2023).
5. S. Thirumurugan, K. S. Muthiah, R. Sakthivel, M-Y Liao, H Kasai, R-J Chung
Polydopamine-Coated Cu-BTC Nanowires for Effective Magnetic Resonance Imaging and Photothermal Therapy
Pharmaceutics, **15**, 822 (2023).
6. K. Yamauchi, H. Nakatsuji, T. Kamishima, Y. Koseki, M. Kubo, H. Kasai
Combined substituent number utilized machine learning for the development of antimicrobial agent
Scientific Reports **14**, 4106 (2024).
7. Okubo¹, K. Oka¹, K. Tsuchiya, A. Tomimoto, N. Tohnai
Spirobifluorene-Based Porous Organic Salts: Their Porous Network Diversification and Construction of Chiral Helical Luminescent Structures
Angew. Chem. Int. Ed., e202400475 (2024). (¹First Authors)
8. K. Kikuchi, H. Sei, K. Okubo, N. Tohnai, K. Oka, S. Dekura, T. Kikuchi, H. Imoto, K. Naka
Breathing Metal–Organic Frameworks Supported by an Arsenic-Bridged 4,4'-Bipyridine Ligand
Inorg. Chem., **63**, 9, 4337–4343 (2024).
9. H. Sei¹, K. Oka¹, T. Furuta, N. Tohnai
Incorporation of deuterated coronene into cage-like sodalite-type porous organic salts and

improvement of room-temperature phosphorescence properties

Bull. Chem. Soc. Jpn., **97**, 2, uoad023 (2024). (¹First Authors)

10. T. Furuta¹, K. Oka¹, N. Tohnai

Construction of Triptycene Molecular Rotors with Intermeshing Arrangement and Low Rotational Barrier

Bull. Chem. Soc. Jpn., **97**, 2, uoad013 (2024). (¹First Authors)

11. K. Oka, H. Akiba, N. Tohnai, T. Shibue, O. Yamamuro

Ice-Like Dynamics of Water Clusters

J. Phys. Chem. Lett., **15**, 1, 267–271 (2024).

12. M. Yamaguchi, M. H. Tomás, A. Fujiwara, R. Oketani, K. Okubo, K. Oka, N. Tohnai, A. Douhal, I. Hisaki

An Expanded Hydrogen-bonded Organic Framework Formed by A Ttrakis(terphenyl)ethene Derivative

Bull. Chem. Soc. Jpn., **97**, 1, uoae004 (2024).

著書・解説記事 (2 報)

1. S. Kumar, I. Pathania, T. Kamishima, Y. Koseki, H. Kasai, I.P. Singh

Recent Advances in Anti-Infective Compounds Produced by Endophytic Fungi

Fungi Bioactive Metabolites: Integration of Pharmaceutical Applications, 29–83 (2024).

2. R. Akai, N. Tohnai, K. Oka

Organic-Based Batteries for The Future of Energy Storage

Jenny Stanford Publishing, in press (2024).

特許

申請件数 0 件

公開件数 0 件

登録件数 0 件

新聞等広報

1. 日本経済新聞「東北大、機械学習で迅速に有効な新規抗菌薬候補分子を見つける新技術を開発」(2024年3月6日)

受賞等, 特記事項

1. 小関 良卓

低分子集合型ナノ薬剤の創製とその機能

高分子学会、2022年度高分子研究奨励賞 (2023.5.25)

2. 柴田 暁貴

がん選択性の高いプロドラッグナノ粒子の作製

高分子学会東北支部 第50回夏季ゼミナール、優秀ポスター発表賞 (2023. 7. 26)

3. 程 偉

Surface Modifacation of Prodrug Nanoparticle with Apolipoprotein to Improve Dispersion Stability and Hydrolytic Resistance

令和5年度化学系学協会東北大会および日本化学会東北支部80周年記念国際会議、Exellent Poster Award (2023. 9. 10)

4. 富永 征宏

Fabrication of zinc complex nanoparticles for development of high-performance scintillator

令和5年度化学系学協会東北大会および日本化学会東北支部80周年記念国際会議、Exellent Poster Award (2023. 9. 10)

5. 小関 良卓

Prodrug-based nano-delivery strategy to improve the antitumor ability of SN-38

Materials Oceania 2023, Best Presentation Award (2023. 9. 29)

6. 加賀谷 理人

腫瘍内細菌を標的とした抗がん剤-抗菌剤ドラッグデリバリーシステム製剤の開発
籾野奨学基金 第18回多元物質科学研究奨励賞 (2023. 12. 12)

7. 富永 征宏

亜鉛錯体ナノ粒子を用いた有機シンチレータの開発

籾野奨学基金 第18回多元物質科学研究奨励賞 (2023. 12. 12)

学会発表 国内会議 26件（うち、招待8件）、国際会議 24件（うち、招待5件）

国内学会

（招待講演）

1. 小関良卓

Development of nano-prodrugs toward efficient anticancer drug delivery

第10回東北大学若手アンサンブルワークショップ、仙台 (2023.5.12)

2. 鈴木龍樹

柔らかい分子：カロテノイドの微粒子化と色調

ifia/HFE JAPAN2023 カロテノイドフォーラム2023、東京ビッグサイト (2023.5.18)

3. 小関良卓

低分子集合型ナノ薬剤の作製とドラッグデリバリーシステムへの応用

第50回東北地区高分子若手研究会夏季ゼミナール、アクティブリゾーツ 宮城蔵王 (2023.7.15)

4. 小関 良卓

サイズ制御された薬剤ナノ粒子の作製と抗がん活性評価

2023年度 第1回 粉体操作に伴う諸現象に関する勉強会、鳴子 (2023. 7. 28)

5. 岡 弘樹
革新的な”有機エネルギー材料”の創製 ～反応から材料開発まで～
横浜市立大学 講演会, 横浜 (2023. 12. 7)
6. 岡 弘樹
革新的な”有機エネルギー材料”の創製
上智大学 理工学部 物質生命理工学科 コロキウム, 千代田 (2023. 12. 8)
7. 岡 弘樹
地球温暖化の緩和に向けた高酸化耐性のCO₂吸着剤の創製
市村清新技術財団 贈呈式, 千代田 (2024. 2. 13)
8. 岡 弘樹
技術シーズの産業化に向けて～大学発ベンチャーの立ち上げおよび企業内における研究事業化の支援に特化した取り組み～
化学工学会第89年会, 堺 (2024. 3. 19)

(一般講演)

1. 富永 征宏、鈴木 龍樹、小関 良卓、藤本 裕、越水 正典、笠井 均
シンチレータ材料として利用する発光性亜鉛錯体ナノ粒子の作製
第70回応用物理学会春季学術講演会、東京 (2023.3.15)
2. 數井武藏、ファー サイトエーマイトリイ、ベアトリスフォルトゥーニ、小関良卓、
ダオアンティンゴック、鈴木龍樹、雲林院宏、笠井
ビオチン修飾リポソームにより被覆されたプロドラッグナノ粒子の作製およびそ
の能動的ターゲティング能の評
日本化学会第103春季年会(2023)、野田 (2023.3.25)
3. 柴田暁貴、小関良卓、谷田恵太、鈴木龍樹、Anh Thi Ngoc Dao、笠井均
がん細胞選択的な薬物放出性を指向したプロドラッグナノ粒子の創製
日本化学会第103春季年会(2023)、野田 (2023.3.22)
4. 水谷 明日香、柴田 暁貴、谷田 恵太、鈴木 龍樹、Anh Dao、小関 良卓、笠井 均
がん細胞内のグルタチオンにより選択的に活性化されるSN-38プロドラッグナノ粒
子の開発
日本化学会第103春季年会(2023)、野田 (2023.3.25)
5. 清原桃花、小関良卓、鈴木龍樹、Anh T.N. Dao、笠井均
光照射により活性化されるSN-38プロドラッグの合成と抗がん活性評価
日本化学会第103春季年会(2023)、野田 (2023.3.25)
6. 丸岡清隆、鈴木龍樹、神島堯明、小関良卓、村藤俊宏、笠井均
アズレン骨格を有する食用青色キノコ由来色素の全合成
日本化学会第103春季年会(2023)、野田 (2023.3.22)
7. 小関良卓、上原満季、鈴木 龍樹、Anh T.N. Dao、笠井均

- β -ラクタマーゼにより活性化されるSN-38-セファロスポリン誘導体の合成と抗がん活性評価
日本化学会第103春季年会(2023)、野田 (2023.3.22)
8. Zhixiang Liu, Anh T. N. Dao, Ryuju Suzuki, Yoshitaka Koseki, and Hitoshi Kasai
Development of near-Infrared light-responsive nano prodrug@hydrogel for locoregional therapy
日本化学会第103春季年会(2023)、野田 (2023.3.25)
9. 柴田暁貴、小関良卓、谷田恵太、丸岡清隆、鈴木龍樹、Anh Thi Ngoc Dao、笠井均
がん選択性の高いプロドラッグナノ粒子の作製
第50回東北地区高分子若手研究会夏季ゼミナール、アクティブリゾーツ 宮城蔵王 (2023.7.14)
10. 笠井 均
ナノドラッグデリバリーの新戦略
関西学院大学理・工・生命環境学部講演会、三田市 (2023. 9. 15)
11. 楊 孟衡
抗がん剤の放出制御のためのインジェクタブルシルクハイドロゲルの創製
第8回 FRIS/DIARE Joint Workshop、仙台 (2023. 8. 7)
12. 柴田 暁貴
副作用が限りなく少ない抗がん剤の開発に向けて
第8回 FRIS/DIARE Joint Workshop、仙台 (2023. 8. 7)
13. 數井 武蔵、Farsai Taemaitree, Beatrice Fortuni、小関 良卓、Anh Thi Ngoc Dao、鈴木龍樹、雲林院 宏、笠井 均
リポソームにより被覆したナノ・プロドラッグのがん細胞内/外挙動の解析
第45回日本バイオマテリアル学会大会、神戸 (2023. 11. 6)
14. ソン ジンウ、Farsai Taemaitree、鈴木 龍樹、小関 良卓、笠井 均
有機ナノ薬剤の細胞内分解機構の究明
第3回マテリアル・計測ハイブリッド研究センター若手フォーラム、仙台 (2023. 11. 8)
15. Xianyi Chen, Mitsuki Uehara, Kiyotaka Maruoka, Ryuju Suzuki, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai
Fabrication of an acrolein-responsive nano-prodrugs with azide-modification for anticancer therapy
第3回マテリアル・計測ハイブリッド研究センター若手フォーラム、仙台 (2023. 11. 8)
16. 水谷 明日香、柴田 暁貴、谷田 恵太、鈴木 龍樹、Anh T. N. Dao、小関 良卓、笠井 均

加水分解性を制御したグルタチオン応答性プロドラッグナノ粒子の作製と薬効評価に関する研究

第23回東北大学多元物質科学研究所研究発表会、仙台 (2023. 12. 7)

17. 富永征宏、鈴木龍樹、小関良卓、藤本裕、越水正典、笠井均
シンチレータ材料として利用する固体発光性亜鉛錯体ナノ粒子の作製
第23回東北大学多元物質科学研究所研究発表会、仙台 (2023. 12. 7)
18. 鈴木龍樹、富永征宏、藤本裕
固体発光性亜鉛錯体ナノ粒子を用いたプラスチックシンチレータの開発
第11回東北大学若手アンサンブルワークショップ、仙台 (2023. 12. 13)

国際会議

(招待講演)

1. Ryuju Suzuki
Study on the Optical Properties of Carotenoids Nanoparticles Controlled by Molecular Distortion
International congress on pure & applied chemistry Bali2023, Online (2023.9.13)
2. Yoshitaka Koseki
Prodrug-based nano-delivery strategy to improve the antitumor ability of SN-38
Materials Oceania 2023, Nagoya (2023.9.27)
3. Hitoshi Kasai
Newly Designed Drug Delivery System Using Nano-Prodrugs
Department Colloquium in National YANG MING CHIAO TUNG University, Taiwan (2023.8.29)
4. Hitoshi Kasai
Novel Drug Delivery System Using Nano-Prodrugs
20236th International Society of Materials in Regenerative Medicine and annual Biomaterials and Controlled Release Society (2023 ISOMRM&BCRS), Taipei (2023.9.1)
5. Kouki Oka
Organic π -Conjugated Polymers as a Photoelectrocatalyst towards Water-Splitting
MRM2023/IUMRS-ICA2023, Kyoto (2023. 12. 14)

(一般講演)

6. Mengheng Yang, Anh Thi Ngoc Dao, Ryuju Suzuki, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai
Development of Injectable Silk Hydrogel for Nanoprodrugs Control Release
2023 MRS Spring Meeting & Exhibit, Online (2023.4.27)
7. Zhixiang Liu, Anh Thi Ngoc Dao, Ryuju Suzuki, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai
Development of Nano-prodrug&Hydrogel for Locoregional Therapy

- 2023 MRS Spring Meeting & Exhibit, Online (2023.4.27)
8. Ryuju Suzuki
Analysis of optical properties of carotenoid nanoparticles by considering molecular softness
The 19th International Symposium on Carotenoids, Toyama (2023.7.11)
 9. Mengheng Yang, Anh Thi Ngoc Dao, Ryuju Suzuki, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai
Development of injectable silk hydrogel loaded with anticancer drugs for controlled release
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.10)
 10. Ikumi Koyama, Yuichi Kitamoto, Yoshitaka Koseki, Asuka Mizutani, Hitoshi Kasai, Tetsutaro Hattori
Preparation of nanoparticles from triphenylboranes bridged by oxo and phenylimino groups and evaluation of their photophysical properties and cell viability
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.10)
 11. Momoka Kiyohara, Yoshitaka Koseki, Ryuju Suzuki, Anh Thi Ngoc Dao, Hitoshi Kasai
Synthesis of photo-activated SN-38 prodrugs and evaluation of their anticancer activity
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.8)
 12. Ikuma Saitoh, Yoshitaka Koseki, Aki Shibata, Ryuju Suzuki, Hitoshi Kasai
Development of glutathione-responsive prodrug with selective drug release in cancerous sites
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.10)
 13. Kiyotaka Maruoka, Ryuju Suzuki, Takaaki Kamishima, Yoshitaka Koseki, Anh Thi Ngoc Dao, Toshihiro Murafuji, Hitoshi Kasai
Total synthesis of azulene derivative, a blue pigment in an edible mushroom
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.10)
 14. Aki Shibata, Yoshitaka Koseki, Keita Tanita, Kiyotaka Maruoka, Ryuju Suzuki, Anh Thi Ngoc Dao, Hitoshi Kasai
Fabrication and drug release properties of prodrug nanoparticles with high cancer selectivity
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.10)
 15. Musashi Kazui, Farsai Taemaitree, Beatrice Fortuni, Yoshitaka Koseki, Anh Thi Ngoc Dao, Ryuju Suzuki, Hiroshi Uji-I, Hitoshi Kasai
Engineering the Surface of Nano-prodrugs by Biotin-modified Liposomes and Evaluation of their Active Targeting Ability

- International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.8)
16. Asuka Mizutani, Aki Shibata, Keita Tanita, Ryuju Suzuki, Anh Thi Ngoc Dao, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai
Development of SN-38 prodrug nanoparticles with selective activation by intracellular specific enzymes that cleave s-s bonds in cancer cells
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.8)
 17. Riido Kagaya, Yoshitaka Koseki, Ryuju Suzuki, Kazue Kurihara, Masashi Mizukami, Hikaru Nakazawa, Hitoshi Kasai, Mitsuo Umetsu
Evaluation of dispersion stability of nano drugs by Ultra-Trace Viscometer
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.8)
 18. Wei Cheng, Hirotaka Nakatsuji, Yoshitaka Koseki, Ryuju Suzuki, Tatsuya Murakami, Hitoshi Kasai
Surface Modification of Prodrug Nanoparticle with Apolipoprotein to Improve Dispersion Stability and Hydrolytic Resistance
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.8)
 19. Taiyufei Liu, Anh Thi Ngoc Dao, Ryuju Suzuki, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai
Creation of Hybrid Nanomedicine Composed of Au and SN-38 Prodrugs Towards Chemo-Photothermal Therapy
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.8)
 20. Xianyi Chen, Mitsuki Uehara, Kiyotaka Maruoka, Yoshitaka Koseki, Ryuju Suzuki, Hitoshi Kasai
Fabrication of an acrolein-responsive nano-prodrugs for anticancer therapy
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.10)
 21. Masahiro Tominaga, Ryuju Suzuki, Yoshitaka Koseki, Yutaka Fujimoto, Masanori Koshimizu, Hitoshi Kasai
Fabrication of zinc complex nanoparticles for development of high-performance scintillator
International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.10)
 22. Sanjay Kumar, Yoshitaka Koseki, Takaaki Kamishima, Hitoshi Kasai
Fragrance Hedione® (methyl Dihydrojasmonate) from D-Glucose

International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai (2023.9.10)

23. Taiyufei Liu, Anh T.N. Dao, Ryuju Suzuki, Yoshitaka Koseki, Hitoshi Kasai
Creation of Hybrid Nanomedicine Composed of SN-38 Prodrugs and Au NPs Towards Chemo-photothermal Therapy
VANJ Conference 2023, Online (2023.12.2)
24. Zhixiang Liu, Yoshitaka Koseki, Ryuju Suzuki, Hitoshi Kasai
Development of Near-Infrared Light-Responsive NanoProdrug@Hydrogel for Cancer Locoregional Therapy
2023 Chemistry Summer School, Sendai (2023.08.09)

その他

なし

令和五年度
マテリアル・計測ハイブリッド研究センター
プロジェクト研究報告

令和五年度 マテリアル・計測ハイブリッド研究センタープロジェクト
採択課題一覧

「フロンティア軌道形状に基づく新たな薬理評価指標の開発」
(鬼塚 侑樹)

「生命圏夾雑水系における化学反応速度論の展開」
(福山 真央、玄 大雄)

「有機柔粘性結晶のナノ化による卓越した誘電・導電機能の創出」
(出倉 駿)

「機能性フラーレンポリマーの合成と固体表面機能の開拓」
(中辻 博貴)

「シリコンナノ空孔デザインによるキラル光メタ空間の創成」
(新家 寛正)

「水熱反応を活用したバイオマス化成品合成」
(小関 良卓)

フロンティア軌道形状に基づく新たな薬理評価指標の開発

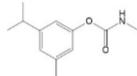
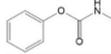
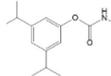
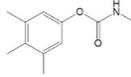
量子電子研究分野 鬼塚侑樹

新型コロナウイルスによる感染症パンデミックは、凶らずも創薬のスピード化・効率化の重要性が世界的に広く認識される結果となった。本研究の目的は、創薬プロセスの初期段階で重要な低分子リード化合物を迅速に見出す新しいバーチャルスクリーニング法を開発・提案することである。具体的には、分子認識（長距離相互作用）を支配する、原子核から遠く離れた電子分布形状の違いを反映する運動量空間波動関数を利用し、さらに反応性など分子の性質の多くはある特定の分子軌道形状の形で決まるとのフロンティア軌道理論の中心原理を取り入れ、第一原理計算で理論的に求めたフロンティア軌道間の運動量空間における電子分布の類似性を我々が開発した Momentum representation of frontier orbital-based similarity index (MR-FOSI) 計算プログラムを用いて、様々な系を対象として検討する。

本プロジェクトでは、表に示すような微細な分子構造の違いで、毒性が大きく異なるカルバミン酸類の毒性を対象とした。毒性強度の指標としては、1回の投与で1群の実験動物の50%を死亡させる投与量であるLD50の実験報告値を用いた。カルバミン酸類はいくつかの構造異性体を持ち、それぞれの構造に対して、フロンティア軌道の電子状態分布は異なる。そのため、ある温度における構造異性体の存在比を考慮することにより、MR-FOSIの深化を図った。図に、最も毒性の高いカルバミン酸を基準として、最低被占有軌道およびエネルギーが非常に隣接した次の非占有軌道を用いた場合のMR-FOSIの計算結果と、実験報告値を基に算出した相対毒性を示す。我々の毒性予測結果は、実験値と満足いく一致を示すことが分かった。さらに、非占有軌道形状の類似性と毒性の相関は毒性発現メカニズムにおいて、カルバミン酸が電子吸引性の性質を示すという結果とも矛盾しない。今後は、MR-FOSIの対象とする系を拡大し、創薬の新しいスクリーニング法として確立を行う。

S. Long, Y. Onitsuka, S. Nagao, M. Takahashi, (*in preparation*)

表 対象としたカルバミン酸類

Molecular structure	LD50 (mg/kg)
	5.30
	13.6
	29.7
	31.8

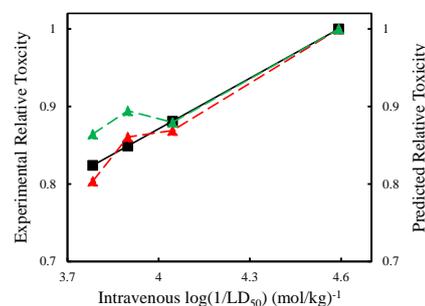


図 MR-FOSIによる毒性予測の結果

生命圏夾雑水系における化学反応速度論の展開

ナノ・マイクロ計測化学研究分野 福山真央・玄大雄

【背景】

水は地球の生命圏のどこにでもありふれた、生命活動で最も重要な分子である。古典的な水中の化学反応論では水はすべて自由水だと仮定されていた。しかし、陸水（湖や川など）や海を除けば、多くの水は自由水ではない。例えば生体中では全重量の70%が水だが、そのうち自由水は半分程度であり、残りの水分子は他の分子によって構造化されていると考えられている。同じような事情が大気中の水循環においても言える。

本研究の究極的な目的は、自由水が少ない夾雑環境の水系で進行する化学反応速度論における水の影響を「水の活量（≒自由水のモル分率）」を軸に統一的に記述・理解することである。本プロジェクトでは手始めに、生体内の現象（タンパク質凝集体の核生成、福山）と環境中の現象（エアロゾルのエイジング、玄）に注目して、水の影響を調べる。

【研究成果】

タンパク質の凝集体の核生成は、タンパク質の水和が重要であることが知られているが定性的な議論にとどまっていた。これまでに福山らはタンパク質液滴からの核生成の速度論解析のための画像解析法を提案した[1]。しかし、実験誤差が大きく核生成への水和の影響を議論することはできなかった。そこで本年度は、マイクロ流体デバイスを用いた凝集体核生成解析用のシステムを新たに開発し、実験誤差の低減に成功した（図1）。本研究により、凝集体核生成への水和の影響の定量的評価が可能になると期待する。

エアロゾル中に含まれる水の活量は、化学反応を伴うエアロゾルのエイジングに大きな影響を与える。本年度は、単一粒子分光分析を用い、エアロゾル水中で起こるNO₂ガスの加水分解反応を調べた。相対湿度を制御し、様々なエアロゾル水の活量条件で反応実験を行ったところ、NO₂加水分解反応速度は、水の活量が低くなるにつれて高くなることがわかった[2]。本成果は、エアロゾルのエイジング過程を定量的に気候変動モデルで再現するための基礎的なデータとなる。

【参考文献】

- 1) M. Fukuyama *et al.* *Anal. Chem.* 2023, 95, 26, 9855–9862
- 2) M. Gen *et al.* Under review.

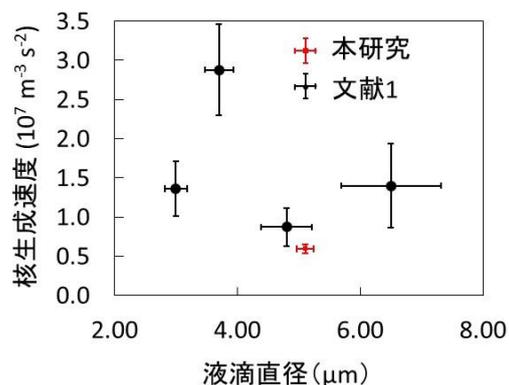


図1 本研究で計測したタンパク質凝集体核生成速度。

有機柔粘性結晶のナノ化による卓越した誘電・導電機能の創出

ハイブリッド材料創製研究分野 出倉駿

近年、分子の重心位置の規則性を保ちながら、液体のような激しい分子回転運動を示す柔粘性結晶(PC)相が、その分子運動性を活かした強誘電体やイオン伝導体、圧力熱量効果を示し、機能性有機材料に革新をもたらす新物質群として注目されつつある^[1]。このような PC 物質を真に有用な機能性材料の探索空間たらしめるには、材料設計性の爆発的拡大、および機能の飛躍的向上が不可欠である。一方、ナノ材料は表面・界面の寄与によってバルクとは質的に異なる性質を示し、ナノ化による表面・界面の導入で分子運動性を劇的に向上させることが可能である^[2]。したがって、有機結晶のナノ化によって分子運動性・PC 相を制御した未踏材料群である“有機ナノ柔粘性結晶(PC)”を創成できれば、卓越した強誘電性やイオン伝導性の創出に繋がることが期待される。このような観点から本研究では、バルク PC 材料のナノ粒子化に取り組んだ。

対象とするバルク PC 材料として、本研究では代表的な PC 材料であるアダマンタンとその誘導体である 1-クロロアダマンタン、およびイオン性 PC 材料であるメタンスルホン酸イミダゾリウム (Fig. 1a) に着目し、機械的粉碎によるトップダウン法、および液中での再沈法^[3]によるボトムアップ法の2つのアプローチからナノサイズ化を試みた。

メタンスルホン酸イミダゾリウムおよび 1-クロロアダマンタンのバルク粉末を液体窒素で冷却してボールミルによって粉碎し、粉碎前後の PXRD パターンを比較した結果、ほとんどパターンに変化は見られなかった。一方、再沈法によってアダマンタンのナノサイズ化を試みた結果、Tyndall 効果を示す分散液を得ることに成功した。DLS 測定の結果、少量の粗大粒子は存在するものの、分散液中の粒子サイズは 500–800 nm 程度であると見積もられた (Fig. 1b)。さらに、AFM 観察の結果、数百 nm の粒子を多く含む一方、最小で 80 nm 程度の粒子を含むことが明らかになった。現在、この手法を他のバルク PC 材料に適用するとともに、物性測定に向けて大スケールの合成・回収を試みている。

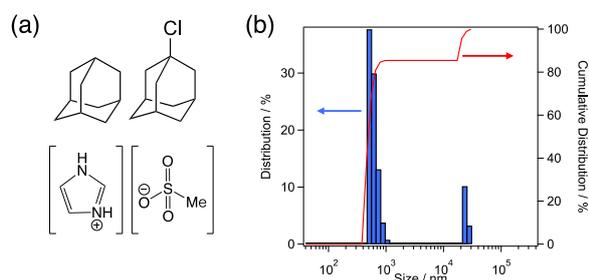


Figure 1. (a) 本研究で用いたバルク PC 材料の化学構造。(b) DLS で得られたアダマンタンナノ粒子分散液中の粒子サイズ分布。

[1] (a) J. Harada *et al.*, *Nat. Chem.* **2016**, 8, 946.; (b) D. R. MacFarlane *et al.*, *Nature* **1999**, 402, 792.; (c) B. Li *et al.*, *Nature* **2019**, 402, 792. [2] S. Dekura *et al.*, *Solid State Ionics* **2021**, 372, 115775. [3] H. Kasai *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **1992**, 31, L1132

機能性フラーレンポリマーの合成と固体表面機能の開拓

ハイブリッド炭素ナノ材料研究分野 中辻 博貴

1. 背景と目的

フラーレン分子は炭素原子のみからなる閉多面体の炭素同素体であり、電子受容性、ラジカル捕捉能といった優れた特性をもつ。フラーレンのラジカル捕捉能は生体に悪影響を及ぼす各種活性酸素（ラジカル種）を除去する効果があるため、化粧品等への応用がなされている。しかし、現在利用される材料は、フラーレン分子が本来もつ能力を十分に利用できているとは言い難い。フラーレンは分散性が低く、ポリビニルピロリドン（PVP）などの親水性ポリマーと混合することで微粒子とし、水分散フラーレンとして実用される。しかし、微粒子中のフラーレンの含有量は0.8 wt%程度と小さく、ポリマー中に埋没してしまうためにフラーレンの比表面積が低下し、ラジカル捕捉能を有効利用できない。そこで本研究では、(1) 高 C₆₀ 含有率(50%以上)、(2) C₆₀ 表面が露出し高比表面積新規のナノポーラスフラーレンを作製する(図1)。

2. 実験

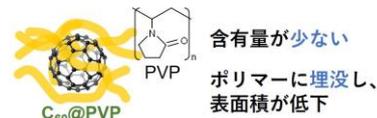
フラーレンの分子表面の露出を保持するため、強固な骨格を持つテレフタルアルデヒドを Prato 反応を利用することにより、フラーレン同士の距離を保ちながら架橋することで、ナノポーラスフラーレンを合成した。

3. 結果と考察

テレフタルアルデヒドとフラーレンをプラトー反応によりポリマー化することによって、茶褐色の固体分散液が得られた。得られたフラーレンポリマーの比表面積を窒素吸脱着等温線の測定により評価したところ、フラーレン:テレフタルアルデヒド比が2:1の条件で合成されたポリマーにおいて 750 m²/g を越える高い比表面積が確認された(図2)。またフラーレンの含有率について、元素分析及び架橋比から評価したところ、約 65% の C₆₀ 比率を持つことが分かった。これらの結果から、合成されたフラーレンポリマーは高い C₆₀ 含有率と比表面積を持つことが示された。

本フラーレンポリマーの抗酸化作用について比較評価を行ったところ、水酸化ポリマーに比べて有意に高い抗酸化作用を持つ結果が得られており、本ポリマーはフラーレンの高い機能性を発揮するのに適したポリマーであることが示唆された。

▶ 従来の水分散フラーレン



▶ ナノポーラスフラーレン

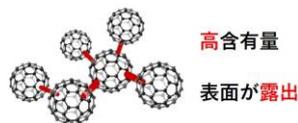


図1 ナノポーラスフラーレンと従来の水分散性フラーレンの違い

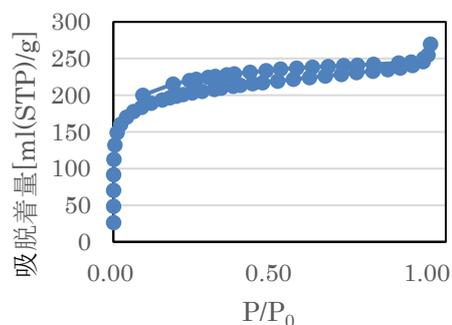


図2 ナノポーラスフラーレンの窒素吸脱着等温線

2023年度マテリアル・計測ハイブリッド研究センター
プロジェクト研究報告書

テーマ名：シリコンナノ空孔デザインによるキラル光メタ空間の創成
所属：光機能材料化学研究分野 代表者氏名：新家寛正

背景と目的：誘電体ナノ構造体への光照射により励振する Mie 共鳴では、磁気双極子共鳴による光磁場増強やトロイダル双極子共鳴のような高次共鳴、無輻射のアナポール状態など特異的な光学現象が誘起されるため、その近接場と物質の新奇な相互作用が注目されている。これら特異な光学現象の中でも、電気双極子共鳴と磁気双極子共鳴の位相が一致した際(Kerker 条件)の共鳴散乱において、入射光のキラリティが保存され、近接場における光のキラリティが他の条件よりも増強することが近年明らかとなった(Negoro *et al.*, *Nano Lett.*, **23**, 5101. (2023))。申請者はこれまでに、シリコン(Si)ナノ構造体のキラルな近接場によるキラル結晶化制御に関する研究を行ってきた。しかし、Si ナノ構造体の Mie 共鳴の物質との相互作用における重要な光場はナノ構造体内部で最も増強される一方で、結晶化する分子は構造体内部に侵入できないため、近接場との相互作用を最大限に活用できていないという問題点があった。このような現状の中、Si ウェハに形成したナノ空孔において Mie 共鳴と同様に磁気共鳴が誘起されることが報告された(Hentschel *et al.*, *Light sci. appl.*, **12**, (2023))。Mie 共鳴の励振された Si ナノ空孔で光場と分子を直接相互作用させることで光場の効果を増強可能であると考えられる。そこで、本研究では、Kerker 条件を満たす Si ナノ空孔における Mie 共鳴を励振することで光のキラリティが増強された空間を創り出すことを目的とする。

研究成果：光ナノインプリントリソグラフィの反転プロセスにより、Si ウェハ表面に周期 450 nm、直径 340 nm、深さ 110 nm 円柱形状空孔の周期配列体メタ表面を作製した。これにより光ナノインプリントリソグラフィによる Mie 空孔の作製プロセスを確立した。また、作製された Mie 空孔を模したモデルを用いて時間領域差分法に基づいた電磁場解析を行った。その結果、空孔部ではなく、空孔形成の結果残された Si ナノ構造部での電場・磁場増強が見られた。空孔内ではなく残された Si 構造内で Mie 共鳴が励振した結果であると考えられる。このことから、空孔間の距離を十分に大きくする必要があったことが分かった。一方で、光ナノインプリントリソグラフィにより作製された、その Mie 共鳴の近接場において光学キラリティ増強が期待される、532 nm 円偏光連続波レーザー照射下の Si ナノディスク配列体を核形成サイトとして誘起される水溶液からの塩素酸ナトリウム(NaClO₃)キラル結晶化において円偏光のみでは得られない大きな結晶鏡像異性体過剰率を観測することに成功した(Niinomi *et al.*, *J. Phys. Chem. Lett.* **15**, 1564. (2024))。実験に用いた寸法の Si ナノディスク周期配列体の電磁場解析を、周辺媒質として水溶液を仮定して行ったところ、Kerker 条件下で生じる特徴的な光学現象である、入射円偏光の利き手を保存した前方散乱増強が観測された。一方で、周辺媒質として空気を仮定したところ、上記の特徴的な光学現象は観測されなかった。また、光学キラリティを計算したところ、周辺媒質として水溶液を仮定した場合の方が、光学キラリティの増強度および増強場の体積が大きいことが明らかとなった

(図 1)。これは、研究目的である Kerker 条件を満たす Mie 空孔中での物質キラリティ制御の有効性を示唆する結果である。また、周辺媒質として水と仮定した Si ナノディスク配列体の Mie 共鳴を直線偏光で励振した場合の電場および磁場ベクトルの解析を行ったところ、トロイダル双極子励振の特徴に似たベクトル分布が観測された。今後、Mie 共鳴の多様な励振モードを巧みに制御することで、より光学キラリティ増強度の大きい光場の創成を、微細加工技術を活用し行う。

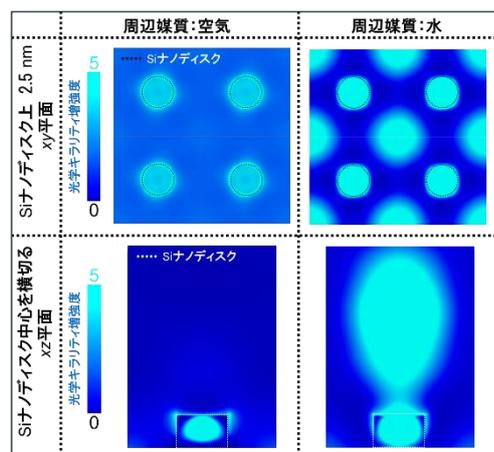


図 1. 円偏光照射下の Si ナノディスク配列体の Mie 共鳴近接場の光学キラリティ増強度解析における周辺媒質の違いの比較。

水熱反応を活用したバイオマス化成品合成

有機・バイオナノ材料研究分野 小関 良卓

【緒言】

廃棄される木質、穀物等のバイオマス資源から分離されるセルロースやリグニンを原料として、有用な化成品を効率よく生産する新技術を開発することは、資源循環型社会を実現するための重要課題の一つである。セルロースは最も生産量の多いバイオマス資源であるが、近年、多くの研究者の貢献により分離技術が進歩し、セルロースナノファイバーやオリゴ糖、またはセルロースの構成単糖であるグルコースを低コストで生産できる体制が完成しつつある。しかしながら、これらの化合物を付加価値の高い化成品へと変換する技術は発展途上であり、新技術の開発が望まれている。

以上の研究の背景を踏まえて、グルコースを出発原料とし、医薬品や農薬、顔料、香料、高機能高分子素材等を効率的に合成するための技術基盤を開発することを本申請研究の目的とする。具体的には、香料として広範に使用されているジヒドロジャスモン酸メチルをターゲット化合物とした。

【結果と考察】

糖類の変換には超臨界条件、酸または酵素を用いた手法が広く知られている。しかしながら、いずれも副生成物や精製処理が問題となっている。そこで今回、2-デオキシ-D-グルコース

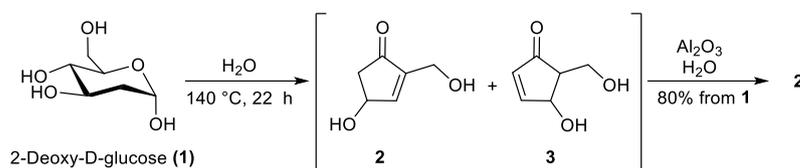


Fig 1. LPH 法による 2-デオキシ-D-グルコースの変換

(1) と水のみを用いた穏和な条件下、Low Pressurized Hot water conversion method (LPH 法) での反応を検討した (Fig 1)。2-デオキシ-D-グルコースの水溶液を密封反応器に入れ、恒温乾燥機中に静置し、140°C で 22 時間反応を行ったところ特異な C-5 員環であるシクロペンテノン **2** を得た。また、分離不可能な異性体 **3** が含まれていたため、活性アルミナによる異性化処理を行い、**2** を単一の化合物として得た。

2 に対して保護基の変換により 2 級のヒドロキシ基を TIPS 基で保護した **5** を調製後、Johnson-Claisen 転位により、エキソメチレンの形成と同時にメチルエステル側鎖を構築し、鍵中間体 **6** を合成した。その後、 ω 側鎖の導入、TIPS 基の除去、還元反応を経て、目的化合物であるジヒドロジャスモン酸メチルの全合成を達成した。

今後は、ジヒドロジャスモン酸メチルの工業生産に向けた反応条件の最適化を行う。

【文献】

1) S. Kumar, Y. Koseki, T. Kamishima, H. Kasai, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **91**, 1691-1696 (2018).

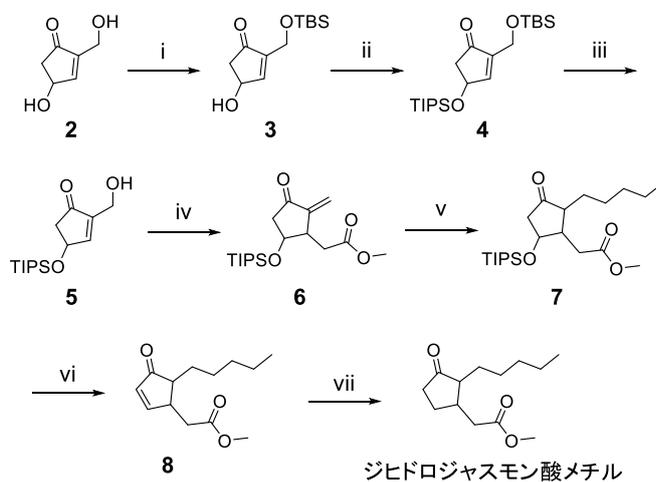


Fig 2. ジヒドロジャスモン酸メチルの合成

(i) TBSCl, Et₃N, THF, rt, 92%; (ii) TIPSOTf, 2,6-lutidine, CH₂Cl₂, 98%; (iii) Sc(OTf)₃, MeCN : H₂O (24 : 1), rt, 80%; (iv) CH₃C(OCH₃)₃, pivalic acid, 68 %; (v) Zn, CuI, *n*-iodobutane, EtOH : H₂O (9 : 1), 65 %; (vi) MeOH, H₂SO₄, 90 °C, 85 %; (vii) 10 % Pd/C, H₂, MeOH, rt, 99 %.

センター主催・共催講演会

マテリアル・計測ハイブリッド研究センター講演会

2023年4月6日(木)14:00~15:30

東北大学片平キャンパス AIMR 本館 2F 会議室 ※オンサイト開催

講師: 金子 克己 特別特任教授

(Research Initiative for Supra-Materials, Shinshu University, Japan)

題目: Graphene-based Nanostructures Aided Sustainable Engineering

要旨:

The graphene-based nanostructures such as high-surface area nanoporous carbons, single wall carbon nanotube, and nanowindows in graphene layer exhibit novel functions, which should support sustainable engineering. This presentation will show promising fundamental science for creation of innovative technologies for future human society.

The highly efficient separation of $^{18}\text{O}_2$ from $^{16}\text{O}_2$ has been requested for providing non-expensive cancer detection. Dynamic adsorption of mixed $^{18}\text{O}_2$ and $^{16}\text{O}_2$ around 112 K on nanoporous materials gives high adsorption selectivity of > 1.5 , being more than 100 times larger than the current separation technology.

The sustainable society has requested better supercapacitors. The structure of ionic liquid, EMI-TFSI, confined in 0.7 nm slit-shaped pores of carbide-derived carbon was studied with HRMC simulation-aided X-ray scattering. We evidenced the accumulation of EMI cations and TFSI anions in the pores due to marked image charge effect. This suggests a possibility of new type of supercapacitors.

Application of waste-heat enables a completely new type of methane storage which has been requested for a stationary supplying of renewable energy. We introduced thermally switchable graphene-locks to carbon nanopores. Therefore, the nanoporous carbon with this graphene locks can store the high-pressure methane at an ambient pressure.

The excellent separation rate of nanowindows in the graphene for N_2 , O_2 , and Ar is evidenced. The graphene-wrapped zeolite membranes show ultrafast separation of H_2 from CH_4 with the selectivity factor of 245, which should be useful to produce blue hydrogen.

マテリアル・計測ハイブリッド研究センター講演会

2023年10月17日(火)13:30~14:30

東北大学片平キャンパス AIMR 本館 5F ※オンサイト開催

講師: Alexander V. Neimark 教授

(Department of Chemical and Biochemical Engineering, Rutgers University, USA)

題目: Characterization of Structural and Adsorption Properties of Nanoporous Carbons using 3D Molecular Models.

要旨: Nanoporous carbonaceous materials are widely used in modern technologies as adsorbents, catalysts, separation membranes, components of fuel cells and solar batteries, energy storage and transformation media. Their engineering properties are determined by their structural parameters, such as porosity, surface area, pore size distribution, pore connectivity, surface roughness, and energetic heterogeneity. The lecture presents advanced methods for structural characterization of nanoporous carbons and modeling adsorption based on the molecular level 3D models of carbon structure and Monte Carlo (MC) and molecular dynamics (MD) simulations. The conventional pore structure models rely on oversimplified representation of carbon nanospaces as slit-shaped or cylindrical pores. We employ 3D molecular models, which are generated by mimicking the process of carbon structure formations. These models replicate disordered structures of nanoporous carbons formed by corrugated and defective graphene layers with interstitial micro- and mesopores. High performing computing capabilities allow to generate hundreds of 3D models of different porosity, surface area, and pore size distribution and choose the model, which would match the structural properties of the practical material. The computational screening of 3D models is based on the comparison of simulated and experimentally measured adsorption isotherms of standard molecular probes, N₂, Ar, and CO₂. Once the model is chosen, the adsorption isotherms of chemical of interest are generated using MC simulations with standard forcefields for fluid-solid interactions. This approach allows us to monitor the dynamics of adsorption process, adsorption capacity and selectivity, heats of adsorption, and other parameters. Moreover, using hybrid combination of MD and MC simulations the effect of pore structure flexibility and adsorption-induced deformation can be studied. The proposed approach is illustrated by modeling adsorption of simple fluids and hydrocarbons on commercial activated carbons. The proposed approach provides a new insight into the specifics of structural and adsorption properties of nanoporous carbons and demonstrates the advantages of using 3D molecular models for predicting adsorption of hydrocarbons and other chemicals by MC simulations.

マテリアル・計測ハイブリッド研究センター講演会

2023 年 11 月 1 日(水)14:30~15:30

東北大学片平キャンパス AIMR 本館 2F 会議室 ※オンサイト開催

講師: Yiying Wu 教授

(Department of Chemistry and Biochemistry, The Ohio State University, USA)

題目: Harnessing Superoxide Chemistry, Carbon Electrodes, and Solid-State Electrolytes for K-O₂ Batteries

要旨:

The heavy reliance of lithium-ion batteries (LIBs) has caused rising concerns on the sustainability of lithium and transition metals (TM). Developing alternative energy storage technologies beyond lithium has become a prominent slice of global energy research portfolio. This presentation will discuss the advantages of potassium-based batteries, particularly the K-O₂ battery, as well as the challenges associated with their development. Furthermore, our recent progress in carbon electrodes and potassium superionic conductors will be discussed, which will be crucial in solving challenges in potassium batteries.

2023.4.3

ナノフォトニクス・光反応場の研究に係わる講演会

主催 東北大学×デクセリアルズ 光メタセンシング共創研究所

共催 多元物質科学研究所 中川研究室

講演題目： 光反応場の研究についての紹介

講演者情報： 東北大学多元物質科学研究所 准教授 押切友也 先生

講演会場： 光メタセンシング共創研究所 東2号棟 2103号室

参加人数： 9名（うち外部2名）



【共創研 Kick-Off メンバー】

※光メタセンシング共創研究所立上げを記念して、中川先生に本講演会を企画いただき、無事開催することが出来ました。

2023.8.29

ナノテラス講演会

主催 東北大学×デクセリアルズ 光メタセンシング共創研究所

共催 多元物質科学研究所 中川研究室

講演題目：次世代 3GeV 高輝度放射光施設 NanoTerasu(ナノテラス)が拓く社会

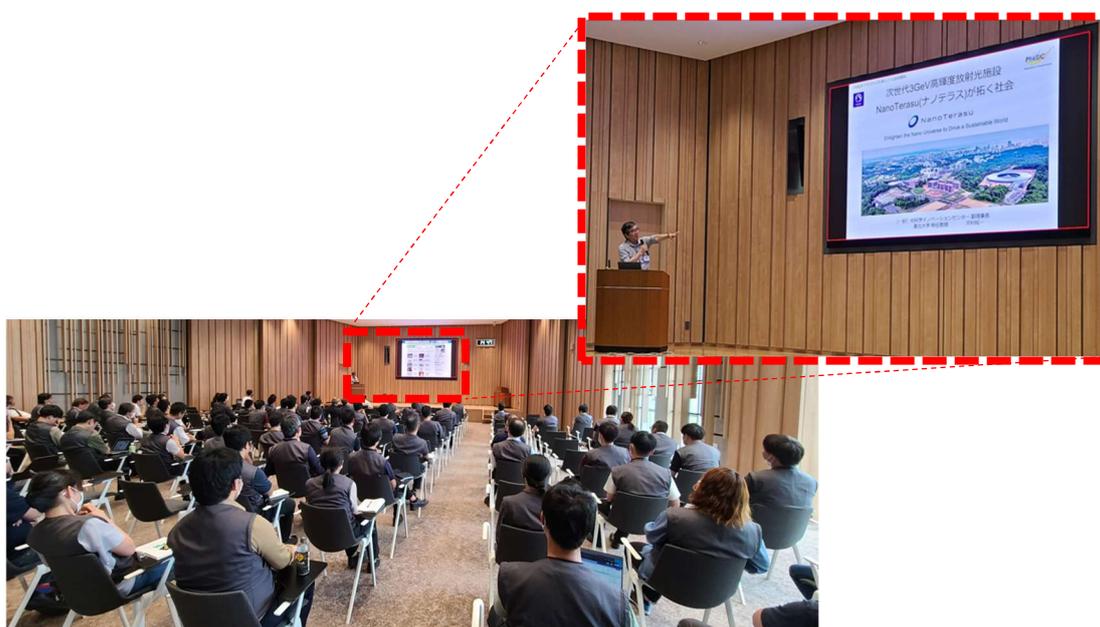
講演者：

光科学イノベーションセンター（副理事長）/東北大学（特任教授）河村純一 先生

講演会場：デクセリアルズ株式会社/栃木本社レセプション棟ホール

参加人数：約 240 名（うち学内者 5 名）会場聴講者：94 名、オンライン聴講：140 名

※デクセリアルズグループ社員のみ



2024.1.10

医工研究に係わる講演会

主催 東北大学×デクセリアルズ 光メタセンシング共創研究所

共催 多元物質科学研究所 中川研究室

講演題目:「デクセリアルズ株式会社 会社・技術の紹介」

講演者:東北大学 光メタセンシング共創研究所 特任助教 湖海 結菜 先生

講演題目:「空間構造を制御した光の特性と応用展開」

講演者:東北大学 多元物質科学研究所 光物質科学研究分野

准教授 小澤 祐市 先生

講演題目:「多光子過程を用いた細胞機能の顕微可視化解析の原理と展開」

講演者:自然科学研究機構生命創成探究センター長

自然科学研究機構 生理学研究所 バイオフィotonクス研究部門

教授 根本 知己 先生

講演会場:東北大学多元物質科学研究所 南総合研究棟 2号棟 大会議室(1F)

参加人数:19名(うち学外者9名含む)



2024.1.25

三澤弘明教授講演会

主催 東北大学×デクセリアルズ 光メタセンシング共創研究所
東北大学多元物質科学研究所 中川研究室

講演 1

講演題目：モード強結合を用いた人工光合成の構築

講演者：岡山大学教授(特任)/北海道大学/研究推進教授 三澤弘明 先生

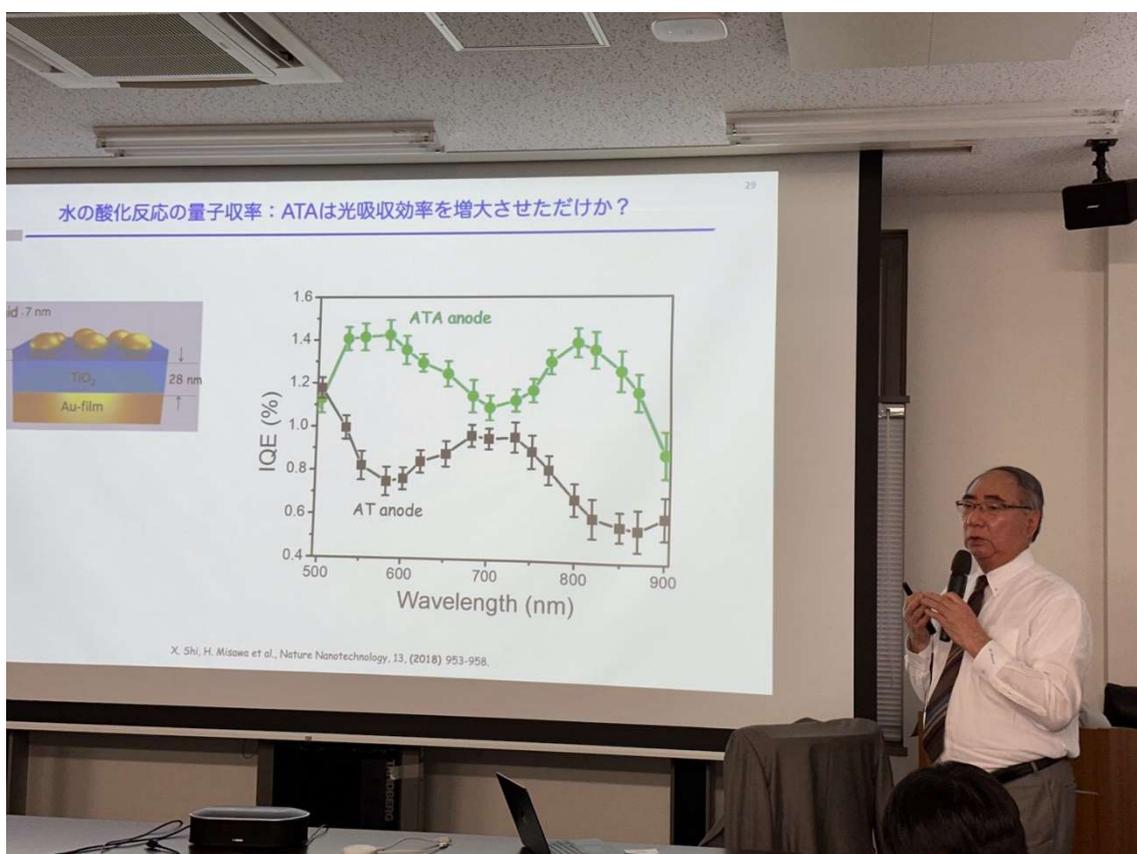
講演 2

講演題目：新規プラズモン光カソードを用いた還元反応場の構築

講演者：東北大学准教授 押切友也

講演会場：東北大学多元物質科学研究所 事務部棟 大会議室

参加人数：約 17 名（うち学内者 12 名）



進行中の外部資金プロジェクト

分野	研究代表者	資金制度名	研究題目	研究期間 (年度)
量子電子科学研究分野	高橋 正彦	日本学術振興会 科学研究助成事業 基盤研究 (A)	多次元同時計測電子分光で解き 明かす電子・分子衝突の立体ダイ ナミクス	研究期間 (年度)
	高橋 正彦	日本学術振興会 科学研究助成事業 挑戦的研究 (萌芽)	分子軌道の三次元観測法の開発 と運動量空間分子分光の展開	2021-2024
	高橋 正彦	公益財団法人村 田学術振興財団 第38回 (2022年 度) 研究助成	フロンティア分子軌道の形状に 基づく新たな薬理学的類似性指 標の開拓研究	2021-2023
	渡邊 昇	日本学術振興会 科学研究助成事業 基盤研究 (B)	共鳴状態における分子内電子挙 動	2022-2025
	渡邊 昇	日本学術振興会 科学研究助成事業 挑戦的研究 (萌芽)	電子-分子衝突で生成する中性 ラジカルの革新的計測法の開 発	2021-2024
	鬼塚 侑樹	日本学術振興会 科学研究助成事業 若手研究	表面化学反応場全体にわたる原 子運動の直接観測法の開発	2019-2023
	鬼塚 侑樹	公益財団法人 徳山科学技術振 興財団2023年度 国際交流助成	原子運動量マッピングと分子の 元素組成分析を同時に行う新し い分子分光法の開発	2023-2026
ナノ・マイクロ計測化学研究分野	福山 真央	JST 創発的研 究支援事業	タンパク質核生成解析のための 界面化学的液液相分離サイズ調 整	2022-2024
	福山 真央	挑戦的研究 (開 拓)	液液相分離中アミロイド生成の 定量的解析法の確立	2022-2025
	玄 大雄	基盤研究 B	低温多相反応の定量的評価	2023-2026
	玄 大雄	JST 創発的研 究支援事業	エアロゾルと気候変動を繋ぐそ の場測定法の開発	2021-2023
	関口 和彦 (玄 大 雄)	国際共同研究加 速基金	ベトナム野焼地域での大気中プ ラスチック含有微小・ナノ粒子 の実態と雨水への移行解明	2022-2025

ハイブリッド炭素ナノ材料研究分野	生越 友樹 (主たる共同研究者: 西原洋知)	CREST	新物質群「3次元カーボン構造体」と革新的触媒反応	2018.10- 2024.3
	西原洋知	SICORP	新常態社会に資する原子レベルで構造デザインしたカーボン系材料の開発	2021.11- 2024.9
	西原洋知	A-STEP	グラフェンメソスポンジの社会実装に向けた研究開発	2022.10- 2024.3
	田中秀樹 (分担者: 西原洋知)	基盤研究(B)	ゼオライト細孔内に制約されたナノカーボン群の創製と機能探索	2021.4-2024.3
	西原 洋知	NIMS SIP	カーボン新素材グラフェンメソスポンジの事業化～電池を長寿命化し、真のサステイナブルを実現する～	2023.10- 2024.3
	西原 洋知	官民による若手研究者発掘支援事業/マッチングサポートフェーズ	微小開口ハニカム材の社会実装に向けた研究開発	2022.10- 2023.9
	西原 洋知	基盤研究(A)	外力で変形する柔軟ナノ多孔体の基盤研究	2023.4-2027.3
	中西 周次 (主たる共同研究者: 西原洋知)	ASPIRE	究極の蓄電池「リチウム空気電池」の技術革新を導く国際パートナーシップ	2024.2-2029.3
	黒田 拓馬 (副総括研究代表者: 吉井 丈晴)	Go-Tech事業	電気二重層キャパシタの飛躍的なエネルギー密度向上を実現する次世代ナノカーボン材料の研究開発	2023.10- 2026.3
	吉井 丈晴	さきがけ	超高温昇温脱離法による無機固体表面分析の革新	2023.10- 2027.3
	吉井 丈晴	近藤記念財団研究助成	酸化ナノ粒子への低温CVDによる新規グラフェン量子ドット合成手法の開発	2023.10- 2025.9
	吉井 丈晴	基盤研究(B)	グラフェンジッピングを利用したヘテロ元素ドーピング手法の開発	2023.4-2026.3

ハイブリッド材料創製研究分野	芥川 智行	日本学術振興会 科学研究助成事業 挑戦的研究（萌芽）	イオンブースト型有機強誘電体の創製	2022-2023
	磯部 寛之 （分担者： 芥川 智行）	日本学術振興会 科学研究助成事業 基盤研究（S）	ポストナノカーボン科学：ナノ π 空間の精密構造科学	2020-2024
	久保 孝史 （分担者： 芥川 智行）	日本学術振興会 科学研究助成事業 学術変革研究 （A）	高密度共役状態を生み出す分子 間相互作用の最大化	2020-2024
	関 修平 （分担者： 芥川 智行）	日本学術振興会 科学研究助成事業 学術変革研究 （A）	高密度共役の科学：電子共役概念 の変革と電子物性をつなぐ （総括班）	2020-2024
	福島 孝典 （分担者： 芥川 智行）	戦略的創造研究 推進事業 （CREST）	分子ダイナミクスを利用した熱 マネージメント	2018-2023
	出倉 駿	JST ACT-X	有機ナノ柔粘性結晶の創成と動的 機能の創発	2023.10- 2026.3
	出倉 駿	日本学術振興会 科学研究助成事業 若手研究	分子性結晶におけるプロトン互 変異性に基づく無水超プロトン 伝導体の開拓	2023.4-2025.3
	岡 弘樹 （分担者： 出倉 駿）	公益財団法人 山田科学技術振 興財団 2023年 度 研究援助	水素結合型有機単結晶を基盤と した無加湿下室温超プロトン伝 導体への挑戦	2023.9-2025.3
	岡 弘樹 （分担者： 出倉 駿）	公益財団法人 天野工業技術研 究所 2023年度 研究助成金	無加湿全固体燃料電池に向けた 有機超プロトン伝導体の創製	2023.4-2024.3

光機能材料化学研究分野	新家 寛正	日本学術振興会 科学研究助成事業 学術変革領域研究(A) 公募研究	電場・磁場が協創する超螺旋光 メタ空間でのキラル核形成	2023-2024
	新家 寛正	公益財団法人 クリタ水・環境 科学振興財団 国内研究助成1 特別テーマ「水 を究める」研究	氷/水界面で水から巨視的に分 離する未知の水の構造多様性	2023
	新家 寛正	公益信託 小澤・ 吉川記念 エレ クトロニクス研 究助成基金	シリコンナノ構造体のMie共鳴 キラル近接場によるキラル分子 結晶化制御	2023
	吉川 洋史 (分担 新家 寛正)	日本学術振興会 科学研究助成事業 国際共同研究加 速基金(国際共同 研究強化(B))	レーザー技術による機能性分子 の秩序構造形成制御	2019-2024
	押切友也	日本学術振興会 科学研究助成事業 学術変革領域研 究(A)	螺旋性を持つ近接場光と物質の 相互作用の観測	2022-2026
	押切友也	日本学術振興会 科学研究助成事業 挑戦的研究(萌 芽)	ナノ構造を用いたキラル化学反 応場の創製	2022-2023
	押切友也	日本学術振興会 科学研究助成事業 基盤研究(B)	量子コヒーレント現象を利用し たプラズモン粒子の集団的振舞 いに基づく光反応場の創製	2023-2025

	押切友也	NEDO 分野横断的公募 事業 官民による若手 研究者発掘支援 事業 マッチング サポートフェー ズ	超精密ナノ加工技術に基づく可 視光応答型光触媒デバイス	2022-2023
	赤田浩三 (分担 中 川勝)	成長型中小企業 等研究開発支援 事業 (Go-Tech事 業)	ナノインプリントにおける10ナ ノメートル以下の超高精度位置 合わせ技術の開発	2023-2025
	林部和弥 (運営支援 者 中川 勝)	共創研究所	東北大学×デクセリアルズ 光 メタセンシング共創研究所	2023-2025
	中川勝 (分 担 押切友 也)	共同研究 デクセリアルズ 株式会社	ロール式光ナノインプリント技 術の光学材料とプロセスに関す る共同研究	2023-2025
	中川勝	共同研究 サンアプロ株式 会社	炭素高含有率光カチオン硬化シ ステムを用いた新規レジスト材 料の開発	2023
	中川勝	共同研究 明昌機工株式外 会社	ナノインプリントにおける超高 精度位置決めプロセスの開発	2023-2025
	中川勝 (分 担 新家寛 正)	共同研究 キヤノン株式会 社	NILレジストのナノ領域挙動の 解明の共同研究	2023-2026
有機・バイオナノ材料研究分野	小関良卓	松籟科学技術振 興財団助成	バイオマス資源由来のシード化 合物を原料とする有用化成品の 合成法の開発	2018-
	猪瀬朋子 (分担者： 小関良 卓)	日本学術振興会 国際共同研究強 化 (B)	サイト選択的化学吸着によるグ ラフェンナノリボンのバンドギ ャップアクティブ制御	2019-2023
	雲林院 宏 (分担者： 笠井 均)	日本学術振興会 科学研究助成事 業 基盤研究 (A)	単一細胞エンドスコピック増強 ラマンによる薬剤の相分離局在 化解明と創薬への応用	2021-2024
	鈴木龍樹	日本学術振興会 科学研究助成事 業 若手研究	高効率かつ高速で放射線を検出 する金属錯体ナノ粒子分散系の シンチレータ開発	2021-2023

笠井均	三栄源エフ・エフ・ア イ(株)	食品用色素の構造制御と色調発 言メカニズム	2022-2023
笠井均	日本医療研究開 発機構 令和4年度 橋渡 し研究プログラ ム 異分野融合型研 究開発推進支援 事業	副作用を軽減した抗がん治療の 実現に向けた、がん細胞内選択 的な薬物放出能を有するナノ薬 剤の開発	2022-2023
笠井均	日本学術振興会 科学研究助成事 業 基盤研究 (A)	がん細胞特有の刺激に応答し薬 物を放出する新規抗がん薬ナノ 粒子の開発	2022-2026
岡弘樹	新エネルギー・ 産業技術総合開 発機構 官民による若手 研究者発掘支援 事業 マッチングサポ ートフェーズ	次世代の蓄電を担う超環境適合 かつ持続可能なオール有機電池 の開発	2022-2023
岡弘樹	日本学術振興会 科学研究助成事 業 若手研究	持続可能な電荷貯蔵に向けた有 機・高分子レドックス材料の結 合と分解の化学	2022-2023
小関良卓	日本学術振興会 科学研究助成事 業 若手研究	タンデム型プロドラッグ活性化 によるがん細胞内選択的な薬物 治療法の開発	2023-2024
金村聖志 (分担者： 岡弘樹)	科学技術振興機 構 GteX (革新的 GX 技術創出事 業)	高エネルギー密度を有する高温 作動長寿命リチウム系電池の開 発	2023-2027
岡弘樹	市村清新技術財 団 第6回地球環 境助成	地球温暖化の緩和に向けた高酸 化耐性のCO ₂ 吸着剤の創製	2023-2026
山田裕貴 (分担者： 岡弘樹)	日本学術振興会 科学研究助成事 業 学術変革領域研 究(B)	新奇活イオン液体の設計・合成 と「応用電気化学」への展開	2023-2025

井本裕顕 (分担者: 岡弘樹)	日本学術振興会 科学研究助成事業 挑戦的研究(萌芽)	ヘテロ元素との協奏が導く高分子光触媒の開拓	2023-2024
岡弘樹	山田科学振興財団 2023年度研究援助	水素結合型有機単結晶を基盤とした無加湿下室温超プロトン伝導体への挑戦	2023-2024
岡弘樹	東電記念財団 2022年度研究助成(一般研究)	分子の配列制御による革新的な有機半導体・有機電界効果トランジスタの創製	2023-2023
岡弘樹	杉山報公会研究助成	疎水性ナノ空間を有する全有機の多孔質材料を用いた革新的プロトン伝導材料の創製	2023-2023
岡弘樹	天野工業技術研究所 2023年度研究助成金	無加湿全固体燃料電池に向けた有機超プロトン伝導体の創製	2023-2023
岡弘樹	松籟科学技術振興財団 第40回研究助成金	リサイクル可能なオール有機多孔質材料の創製と低濃度CO ₂ の分離・回収	2023-
岡弘樹	新エネルギー・産業技術総合開発機構 官民による若手研究者発掘支援事業 共同研究フェーズ	次世代の蓄電を担う超環境適合かつ持続可能なオール有機電池の開発	2023-2025