触媒、水質浄化、等

多元素を等比モルでドープしたナノシートの合成と機能

接合科学研究所

教授 **阿部 浩也**

特任研究員 **李 飛**

Researchmap https://researchmap.jp/read0101989

研究の概要

染料による水質汚染は環境問題の一つである。吸着技術は廃水処理に広く用いられている。この研究ではハイエントロピーの概念を用いて、水からの染料の迅速な除去を実現する表面欠陥水酸化物シートを設計した（図1）。Mn、Fe、Co、Ni、Zn の5種類の遷移金属陽イオンを含む多元素水酸化物をボトムアップポリオールプロセスによって合成することに成功した。陽イオン数が増大するにつれて、水酸化物のナノシートの厚さは減少し、表面欠陥の程度は増加した。これらの表面欠陥は、アニオン性染料吸着の活性部位であることが証明された。これらの多元素水酸化物ナノシートは、酸素発生反応の電極触媒としても有望であった。

研究の意義と将来展望

二次元ナノ材料のハイエントロピー化は電子構造と欠陥を調節するための魅力的なアプローチである。このアプローチは新しい機能設計につながる可能性を有する。

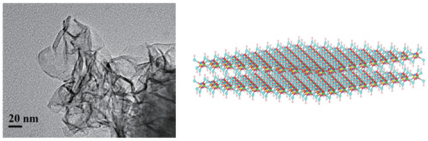


図1　多元素水酸化物ナノシート

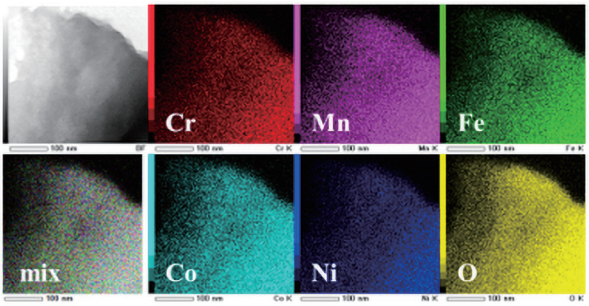


図2　多元素水酸化物ナノシートの元素マップ

特　　許	
論　　文	Li, Fei; Maruyama, Jun; Abe, Hiroya et al. Bottom-up synthesis of 2D layered high-entropy transition metal hydroxides. Nanoscale Advances. 2022, 4, 2468-2489. doi: 10.1039/d1na00871d Li, Fei; Maruyama, Jun; Abe, Hiroya et al. Defective multi-element hydroxides nanosheets for rapid removal of anionic organic dyes from water and oxygen evolution reaction. J. Hazard. Mater. 2023, 447, 130803. doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.130803
参考URL	http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/research/research04_5.html
キーワード	多元素、化合物、環境

固溶原子によるチタン積層造形材の等方的な力学機能化

接合科学研究所

特任助教 Issariyapat, Ammarueda
教授 梅田 純子

Researchmap https://researchmap.jp/ammarueda
Researchmap https://researchmap.jp/umeda

研究の概要

高比強度と優れた生体親和性を有するチタンを対象に、金属積層造形（以下、AM）プロセスを通じて、低コスト化を実現する革新的な完全レアメタルフリー・チタン合金における高強度と高延性の両立（力学機能化）に向けた新たな合金設計原理の構築を目指している。本課題の実現には、バナジウムをはじめとするレアメタルを含む高価な AM 用高品質チタン粉末の使用や、強度や延性など力学特性の積層方向に対する依存性といった課題がある。まず、廉価な窒素成分を固溶強化元素として含む Core-Shell（コア・シェル）構造 Ti-(N) 粉末を開発した。本粉末を出発原料に用いたチタン積層造形材では、窒素固溶原子を活用した結晶集合組織の微細化と配向性制御を通じて高強度と高延性の両立を達成し、さらにこれら力学特性の等方化に成功した。本成果は、汎用 Ti-6Al-4V 合金の性能を凌駕する極めて優れた力学特性を有するレアメタルフリー・チタン合金として、広範な製品・用途への展開の可能性を明らかにした。

研究の意義と将来展望

高強度・高延性かつ両特性の等方化を達成した廉価な窒素含有チタン積層造形材は、高価な汎用 Ti-6Al-4V 合金に代わり、コスト効率の高い新規チタンとして幅広い産業分野での適用・拡大が期待されている。今後は、鉱物資源に乏しい我が国がチタン素材産業を牽引すべく、地政学リスクを伴うレアメタルへの依存性からの脱却に加えて、サーキュラーエコノミーの観点から高価な原料粉末の再生・再資源化技術の構築に係る取り組みを積極的に推進する。

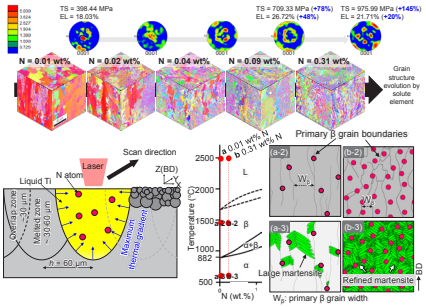


Figure. The modification of Ti powder via gas-solid interactions process at an elevated temperature presents a method that affords two noteworthy advantages. Firstly, it maintains the exceptional flowability of the feedstock. Secondly, it ensures the potential for the even distribution of N following the fabrication process.

特　許

論　文
Issariyapat, Ammarueda; Umeda, Junko; Kondoh, Katsuyoshi et al. Development of core-shell-structured Ti-(N) powders for additive manufacturing and comparison of tensile properties of the additively manufactured and spark-plasma-sintered Ti-N alloys. Advanced Powder Technology, 2021, 32, 2379-2389. doi: 10.1016/j.apt.2021.05.023
Kondoh, Katsuyoshi; Issariyapat, Ammarueda; Umeda, Junko et al. Selective laser-melted titanium materials with nitrogen solid solutions for balanced strength and ductility. Materials Science and Engineering: A, 2020, 790, 139641. doi: 10.1016/j.msea.2020.139641
Issariyapat, Ammarueda; Umeda, Junko; Kondoh, Katsuyoshi et al. Refined grain formation behavior and strengthening mechanism of α-titanium with nitrogen fabricated by selective laser melting. Additive Manufacturing, 2020, 36, 101537. doi: 10.1016/j.addma.2020.101537
Issariyapat, Ammarueda; Umeda, Junko; Kondoh, Katsuyoshi et al. Solute-induced near-isotropic performance of laser powder bed fusion manufactured pure titanium. Additive Manufacturing, 2022, 56, 102907. doi: 10.1016/j.addma.2022.102907

参考URL http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt6/index.html

キーワード チタン（Ti）、窒素（N）、引張特性、積層造形（AM）

液晶をテンプレートとするナノシート合成

基礎工学研究科　物質創成専攻
准教授 **内田 幸明**
Researchmap https://researchmap.jp/Yoshiaki_Uchida

研究の概要

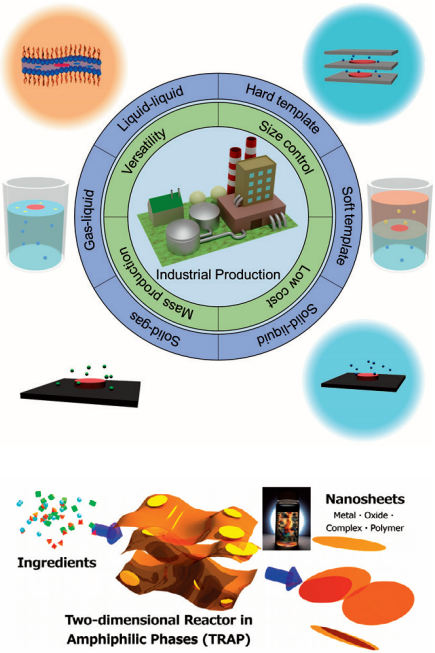
液晶を用いた新しいナノシート合成法として内田が提案している「両親媒性相における二次元反応場（TRAP）法」により、前例のない非晶質アルミノ珪酸塩ナノシートを合成した。さらに、構造規定剤（SDA）を用いたドライゲルコンバージョン（DGC）法により単一種の非晶質アルミノ珪酸塩ナノシートから四種類のゼオライトナノシートに変換することができた。その一つであるCHA型ゼオライトナノシートを触媒とする低密度ポリエチレン（LDPE）のクラッキング試験を行ったところ、従来のCHA型ゼオライト結晶よりも低級オレフィンの比率が向上した。

研究の意義と将来展望

本研究の手法は、多くの種類のゼオライトに適用できる。ゼオライトナノシートは、その厚みと大きな外部表面積から、メタノール-オレフィン触媒、ポリマー分解、分離膜など、様々な用途への大きな可能性を秘めている。

本研究で合成した結晶構造のうち、MFI型とCHA型は触媒としてよく用いられる。MFI型ゼオライトナノシートは第二世代のナノシート合成法でも報告例があるが、CHA型については本研究が初めての報告例である。

自己集合体をテンプレートとしており、利用している両親媒性分子が低コストであるため、スケールアップが容易であることも、この手法の特徴の一つである。



特　　許	特許第7290230号、特許第6978783号
論　　文	Sasaki, Koki; Uchida, Yoshiaki; Nishiyama, Norikazu. Bottom-up synthesis of nanosheets at various interfaces. ChemPlusChem. 2023, 88 (10), e202300255. doi: 10.1002/cplu.202300255 Sasaki, Koki; Uchida, Yoshiaki; Nishiyama, Norikazu et al. Amorphous aluminosilicate nanosheets as universal precursors for the synthesis of diverse zeolite nanosheets for polymer-cracking reactions. Angewandte Chemie International Edition. 2022, 61 (46), e202213773. doi: 10.1002/anie.202213773 Uchida, Yoshiaki; Nishizawa, Takuma; Nishiyama, Norikazu et al. Nanosheet formation in hyperswollen lyotropic lamellar phases. Journal of the American Chemical Society. 2016, 138 (4), 1103-1105. doi: 10.1021/jacs.5b11256
参考URL	http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/nishiyamalabo/research/325/2484.html
キーワード	アルミノ珪酸塩、ラメラ相、ナノシート、ゼオライト、触媒

電着技術を用いたナノセルロースの配向・高次構造制御

産業科学研究所　自然材料機能化研究分野
助教 **春日 貴章**
Researchmap https://researchmap.jp/tkasuga

研究の概要

本研究では、電着技術を用いることで木材由来のナノ繊維であるセルロースナノファイバーを自在に配向・積層させることに成功した。木材由来のナノ繊維をはじめとする生体由来材料は、生体内では高いレベルで配向し、階層構造を形成することで生命の維持に必要な各種機能を実現している。しかし一度生体由来材料をばらばらにしてしまうと、人間の手で自由に並べ直す（配向させる）ことは容易ではない。通常得られる高次構造材料は物性に異方性のない均質材料となり、生物特有の配向階層構造が持つ特異な性質を再現することは困難である。本研究では、水に分散したセルロースナノファイバーに電圧印加した際、陽極上にナノファイバーが任意の配向状態で固定される現象に着目し、配向性技術として応用することに成功した。配向状態は電圧の大小によって水平配向から垂直配向まで自在に制御可能であり、異なる配向状態を積層することも可能である。

研究の意義と将来展望

本技術を応用すれば、生体組織のような複雑な階層構造を簡単に再現することが可能となる。ナノ繊維のパターニングや、配向したナノ繊維ハイドロゲルの異方的な乾燥収縮を活かした立体成型など、多種多様な用途への展開が期待できる。

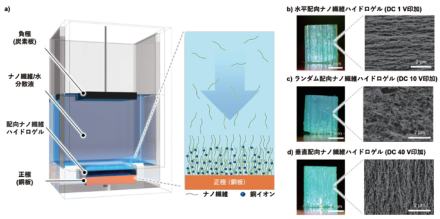


図1

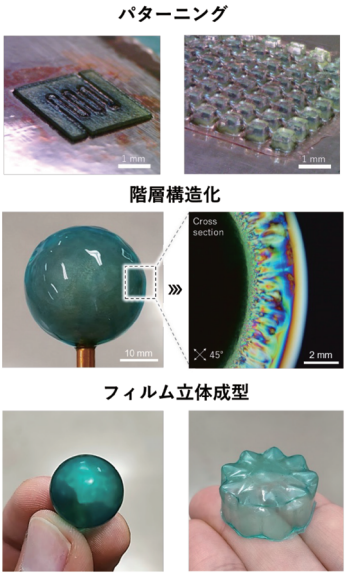


図2

特　許	特開2021-195443、特願2021-154644、特願2022-073615
論　文	Kasuga, Takaaki et al. One-pot hierarchical structuring of nanocellulose by electrophoretic deposition. ACS Nano. 2023, 16 (11), 18390-18397. doi: 10.1021/acsnano.2c06392
参考URL	http://tkasuga.com/
キーワード	セルロースナノファイバー、配向制御、生物模倣

トポロジカル近藤絶縁体の表面電子構造の制御

生命機能研究科　生命機能専攻
教授 **木村 真一**
Researchmap http://researchmap.jp/read0182671/

研究の概要

極微小なエネルギーギャップを持つ強相関電子系物質の近藤絶縁体は、フェルミ準位の近傍に大きな電子状態を持つため、低温における熱電変換材料としての利用が期待されています。この物質系は、バルクは絶縁体でありながら、表面は金属の性質を持っており、その起源が謎でしたが、本研究者等の研究により、近藤絶縁体はトポロジカル絶縁体（TI）であり、電子状態のトポロジカル性によって出現した金属状態が起源であることがわかってきました。今回、TIの一種である六硼化サマリウム（SmB_6）表面にバルクとは明らかに異なる対称性を持つ異方的な構造を結晶表面近くの数原子層だけに作製し、その電子状態を角度分解光電子分光により観測することで、表面電子状態がバルク結晶構造ではなく表面超構造の異方性を反映することを明らかにしました。この結果は、これまでTIの表面電子状態はバルクの電子状態のトポロジカル性によってのみ決まっていると考えられてきましたが、表面の構造の状態も反映することを示しています。

研究の意義と将来展望

本研究の成果は、トポロジカル表面電子状態を表面の構造で制御する手法として新たな方向性を提供する成果です。このことは、トポロジカル表面電子状態を利用した低消費電力・高速な次世代素子、さらには量子コンピューターの情報伝達への応用が期待されます。

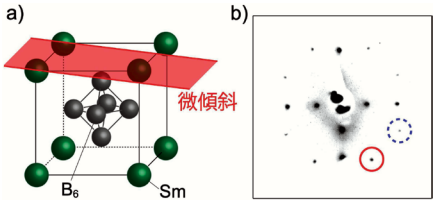


図1 a）本研究で測定した六硼化サマリウム（SmB_6）の結晶構造と、作製した微傾斜面。b）微傾斜面の電子線回折像。 実線と破線のスポットの強度の違いが異方性を反映。

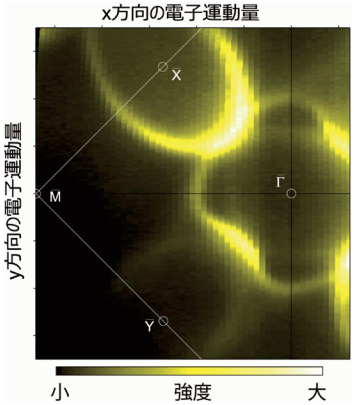


図2 角度分解光電子分光で得られた表面電子状態のフェルミ面。斜めに伸びており、バルクの4回対称性ではなく、表面の2回対称性を反映している。

特　許
論　文
Ohtsubo, Yoshiyuki; Kimura, Shin-ichi et al. Breakdown of bulk-projected isotropy in surface electronic states of topological Kondo insulator SmB_6(001). Nature Communications. 2022, 13, 5600. doi: 10.1038/s41467-022-33347-0
Ohtsubo, Yoshiyuki; Kimura, Shin-ichi et al. Non-trivial surface states of samarium hexaboride at the (111) surface. Nature Communications 2019, 10, 2298. doi: 10.1038/s41467-019-10353-3
Hagiwara, Kenta; Kimura, Shin-ichi et al. Surface Kondo effect and non-trivial metallic state of the Kondo insulator YbB_{12}. Nature Communications. 2016, 7, 12690. doi: 10.1038/ncomms12690
参考URL http://www.kimura-lab.com
キーワード トポロジカル絶縁体、近藤絶縁体、角度分解光電子分光、電子状態、六硼化サマリウム

アルケンの立体特異的シアノ二官能基化

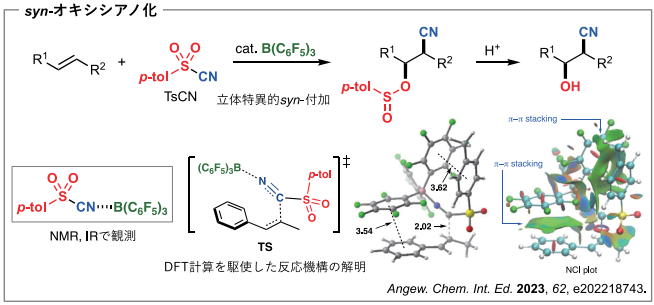
工学研究科　応用化学専攻
助教 **清川 謙介**
Researchmap https://researchmap.jp/kensukekiyokawa

研究の概要

ホウ素ルイス酸であるトリスペンタフルオロフェニルボラン（$B(C_6F_5)_3$）を触媒として活用し、アルケンに対して*p*-トルエンスルホニルシアニド（TsCN）を作用させることで、立体特異的な*syn*オキシシアノ化が進行することを見出した。また、臭化シアンを反応剤として用いることで立体特異的*syn*ブロモシアノ化が進行した。これらの開発したアルケンの立体特異的シアノ二官能基化により、入手容易なアルケンから有用なニトリルを一段階で効率的に合成可能である。

研究の意義と将来展望

本成果により、従来、反応性の高いアルキンへの反応や分子内反応に限定されていたシアノ二官能基化法の適用範囲を格段に押し拡げることができた。また、開発した反応で合成した化合物は、合成中間体として有用なβヒドロキシニトリルおよびβブロモニトリルであり、医薬品や機能性材料の合成における強力なツールとなる。



特　許
論　文
Kiyokawa, Kensuke; Ishizuka, Miu; Minakata, Satoshi. Stereospecific oxycyanation of alkenes with sulfonyl cyanide. Angew. Chem. Int. Ed. 2023, 62, e202218743. doi:10.1002/anie.202218743
Kiyokawa, Kensuke; Noguchi, Ikumi; Minakata, Satoshi et al. Tris(pentafluorophenyl) borane-catalyzed stereospecific bromocyanation of styrene derivatives with cyanogen bromide. Org. Lett. 2023, 25, 2537–2542. doi:10.1021/acs.orglett.3c00727
参考URL http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~minakata-lab/
キーワード 有機合成、触媒反応、官能性化合物、ニトリル

木材由来、3D 構造と機能をカスタマイズできる半導体ナノ材料の創出

産業科学研究所　自然材料機能化研究分野
准教授 **古賀 大尚**
Researchmap https://researchmap.jp/hkoga

研究の概要

3D ネットワーク構造を持つ半導体ナノ材料は、大比表面積・高透過性・電気伝導性等、吸着・分離・センシング用途に適した特性を有しています。しかし、従来の半導体ナノ材料は、3D 構造の設計性および電気特性の制御範囲に限界があるため、実際の機能や用途展開が大きく制限されています。

その中で我々は、木材セルロースナノファイバー由来の紙「ナノペーパー」を用いて、紙ならではの3D 構造設計技術、および、段階的炭化による電気特性制御技術を構築し、ナノ～マイクロ～マクロのトランススケールで3D 構造設計が可能、かつ、絶縁体～準導体レベルで系統的に電気特性制御可能な新奇半導体ナノ材料を創出することに成功しました（図1）。これらの特長は、従来の半導体ナノ材料を凌駕するもので、目的や用途に応じた3D 構造と機能のカスタマイズを可能にします。実際に、センサデバイスから発電デバイスまで、広範な用途において極めて優れた性能を発揮しました（図2）。

研究の意義と将来展望

本研究成果は、木材由来のセルロースナノファイバーに半導体としての新たな価値を生み出すもので、今後さらなる機能・用途開拓が期待されます。将来、金属や石油資源に依存しない生物資源由来の持続性エレクトロニクスの実現に貢献します。

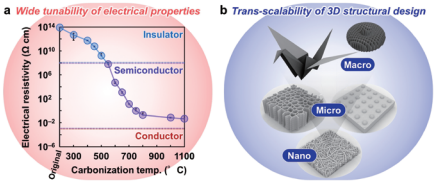


図1
(cc BY, credit: 2022 Koga et al. Nanocellulose paper semiconductor with a 3D network structure and its nano － micro － macro trans-scale design. ACS Nano)

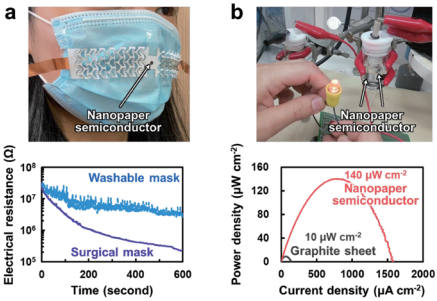


図2
(cc BY, credit: 2022 Koga et al. Nanocellulose paper semiconductor with a 3D network structure and its nano － micro － macro trans-scale design. ACS Nano)

特　許	
論　文	Koga, Hirotaka; Nagashima, Kazuki; Suematsu, Koichi et al. Nanocellulose paper semiconductor with a 3D network structure and its nano-micro-macro trans-scale design. ACS Nano. 2022, 16 (6), 8630-8640. doi: 10.1021/acsnano.1c10728
参考URL	http://kogahirotaka.com/
キーワード	ナノセルロース、半導体、センサデバイス、発電デバイス

ピレンの未踏異性体、ビスペリアズレンの合成と性質解明

工学研究科　応用化学専攻

助教 **小西 彬仁**　Researchmap https://researchmap.jp/a-koni

教授 **安田 誠**　Researchmap https://researchmap.jp/read0185253

研究の概要

4つのベンゼン環が縮環したピレンは機能性材料の構成単位として古くからの研究対象である。ピレンの2つの6員環を5員環と7員環で置き換えた非交互異性体は、可能な7種の分子が知られ、それぞれの異性体が示す性質に興味が持たれてきた。そのような異性体の中で、ビスペリアズレンは唯一合成が達成されていない未踏課題として知られていた。本研究では70年近く追求されていたビスペリアズレン誘導体を世界ではじめて合成単離し、その性質を解明した。

研究の意義と将来展望

π共役系分子を用いた電子素材の開発は、素子の軽量化や柔軟化にとって重要であり、機能化に資する性質を示す分子の設計と合成は欠かすことが出来ない。従来、ベンゼン環に代表される6員環構造が構成単位として用いられてきたが、その性状解明はほぼ完成し、新たな材料提案が求められてきた。本研究では、奇数員環を構成単位とした新奇なπ共役系分子を設計・合成することで、6員環で構成される異性体分子系よりもはるかに特異な性質を示すことを見出した。安定性の向上など解決すべき課題はあるものの、本研究で得られた知見は、新しい骨格を基盤とした高性能有機電子材料の開発へ強く貢献できると期待される。

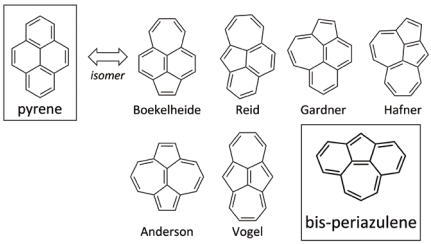


図1. ピレンの非交互異性体としてのビスペリアズレン

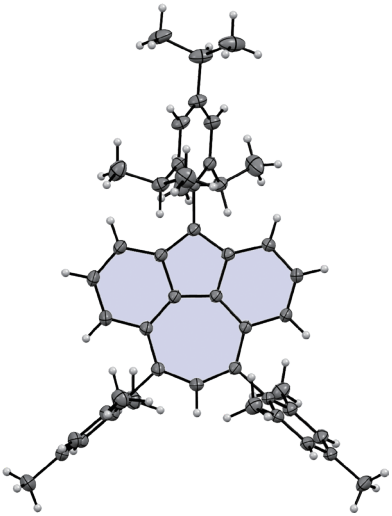


図2. 合成したビスペリアズレンの分子構造

特　　許	
論　　文	Horii, Koki; Konishi, Akihito; Yasuda, Makoto et al. Bis-periazulene (cyclohepta[*def*]fluorene) as a nonalternant isomer of pyrene: synthesis and characterization of its triaryl derivatives. Journal of the American Chemical Society. 2022, 144 (8), 3370-3375. doi: 10.1021/jacs.2c00476
参考URL	http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~yasuda-lab/
キーワード	非交互炭化水素、アズレン、開殻性

1分子レベルでレアイベントを見つける

産業科学研究所　バイオナノテクノロジー研究分野

助教 **小本 祐貴**　Researchmap　https://researchmap.jp/YukiKomoto

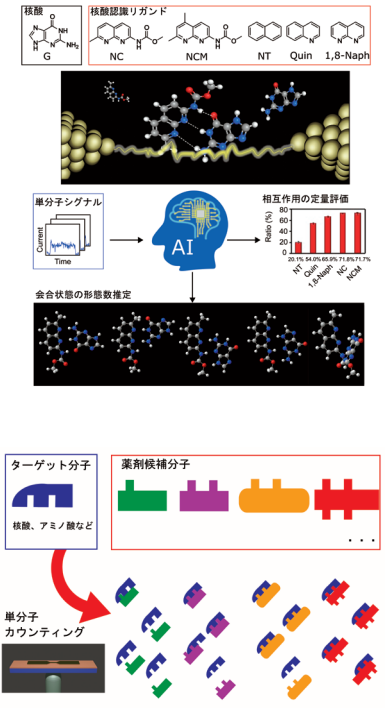
教授 **谷口 正輝**　Researchmap　https://researchmap.jp/read0076413

研究の概要

電気的な1分子計測法とAIの融合に基づく1分子カウンティングにより、塩基分子―リガンドの結合性、選択性、および水素結合様式の数を1分子レベルで定量的に評価できることを実証した。リガンドとグアニンの混合溶液を計測するだけで、5つのリガンドとグアニンのそれぞれの結合性の定量評価に成功した。さらに、リガンドと塩基分子の混合溶液を計測するだけで、1つのリガンドと4種類の塩基分子に結合する選択性を定量的に求めることができた。また、ミクロな水素結合の様式とその数がリガンドに依存することを明らかにした。

研究の意義と将来展望

近年、DNAとRNAを創薬ターゲットとした低分子医薬品の開発が進められている。低分子医薬品の開発には、薬となるリガンドと塩基分子が形成する相互作用情報が重要である。塩基分子ーリガンド相互作用は、塩基分子―リガンドの結合性、選択性、および水素結合様式で決定される。しかし、溶液中の1分子レベルの塩基―リガンド相互作用における結合性、選択性、および水素結合様式は、不明である。開発した1分子カウンティングは、分子間相互作用で形成される会合体の溶液中の性質を定量的な情報で与えることを可能にする。1分子カウンティング法は、飛躍的に成長している核酸標的低分子創薬研究を強力に推進するツールになると期待される。



分子間の相互作用を状態を識別して定量的に評価

特　　許	特許第7329806号、特許第6971499号、特許第6985687号、特許第6719773号、特許第6621039号
論　　文	Komoto, Yuki; Taniguchi, Masateru et al. Quantitative microscopic observation of base-ligand interactions via hydrogen bonds by single-molecule counting. J. Am. Chem. Soc. 2023, 145(2), 1310-1318. doi: 10.1021/jacs.2c11260
参考URL	http://www.bionano.sanken.osaka-u.ac.jp/
キーワード	1分子カウンティング、1分子科学、ナノギャップ、リガンド、DNA

有機電子材料、有機磁性体

近赤外発光を示す基底三重項ジラジカルカチオン

基礎工学研究科　物質創成専攻

准教授 **清水 章弘**　Researchmap https://researchmap.jp/7000009063

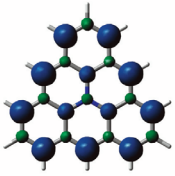
教授 **新谷 亮**　Researchmap https://researchmap.jp/RMshintani

研究の概要

発光性の有機化合物は有機発光ダイオードやセンシングデバイスの材料として注目されている。閉殻の化合物を中心に研究されてきたが、近年では発光性の有機ラジカルも報告されている。一方、2個の電子スピンの向きが揃った基底三重項ジラジカルは磁性材料として注目されてきたが、反応性が高く、不安定なこともあり、光学材料としては注目されておらず、紫外可視領域に発光を示す分子が2つ報告されているのみである。

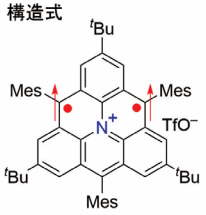
本研究グループは、基底三重項の縮合多環炭化水素である、トリアンギュレン誘導体の設計・合成に成功しており、今回、中央の炭素原子を窒素カチオンで置き換えた、窒素ドープトリアンギュレンカチオンを設計・合成した。その結果、トリアンギュレンと類似した磁気的性質を有しているにも関わらず、窒素ドープトリアンギュレンカチオンの光学的性質は大きく異なっており、近赤外領域の吸収と発光を示すことを明らかにした。

スピン密度分布



分子の外周部に存在する電子スピンの向きが揃う

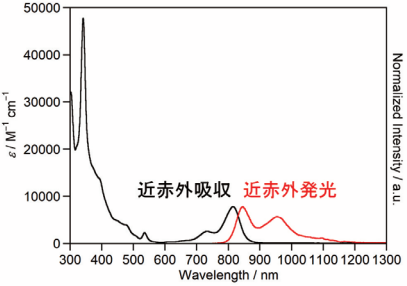
構造式



Mes = 2,4,6-$Me_3C_6H_2$

空気中でも安定

紫外可視近赤外スペクトル



研究の意義と将来展望

本研究は、基底三重項ジラジカルの近赤外発光を初めて見出した研究であり、本研究に基づいて、今後、様々な発光性の基底三重項ジラジカルが創出され、優れた光学的性質と磁気的性質を併せ持つ機能性有機材料の創出が期待される。

特許	
論文	Arikawa, Shinobu; Shimizu, Akihiro; Shintani, Ryo et al. A kinetically stabilized nitrogen-doped triangulene cation: Stable and NIR fluorescent diradical cation with triplet ground state. Angew. Chem., Int. Ed. 2023, 62(29), e202302714. doi: 10.1002/anie.202302714
参考URL	http://www.chem.es.osaka-u.ac.jp/poc/
キーワード	磁石、スピン、ラジカル、有機分子、近赤外発光

創エネルギー、営農型太陽光発電、スマートデバイス

有機太陽電池への応用を指向した非縮環型アクセプター材料の創製

産業科学研究所　ソフトナノマテリアル研究分野

助教 **陣内 青萌**　Researchmap https://researchmap.jp/jinnai.seihou

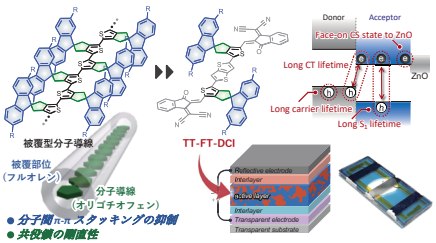
教授 **家 裕隆**　Researchmap https://researchmap.jp/read0105668

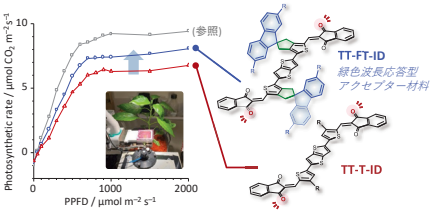
研究の概要

可溶性有機半導体材料を発電層に利用する有機太陽電池は、優れた柔軟性や軽量性、デザイン性の他、印刷プロセスを利用した大面積化が容易であることから、次世代の太陽光発電技術として注目されている。当グループでは最近、フルオレン骨格とチオフェン骨格が垂直となるように連結したオリジナルの分子ユニット (FT) が、①分子の剛直性向上と、②分子間のπ - πスタッキングの抑制に効果的であることを見出した。これらの特徴は有機太陽電池のアクセプター材料に最適であり、実際に FT ユニットを利用して開発したアクセプター材料 TT-FT-DCI は非縮環型の発電層材料として高い発電効率を示すことを見出した。最近では FT ユニットを利用して、緑色波長を選択的に吸収し、赤・青色波長を透過する緑色波長選択型の半透明 OSC を開発した。本発電層を透過した疑似太陽光下では農作物の光合成が進行する事を見出した。

研究の意義と将来展望

有機材料の特徴は、分子構造修飾によって物性や機能を精密にデザインできることである。当研究では発電層材料の分子設計を通じて、緑色波長領域に選択的な吸収を有する半透明 OSC を実現し、太陽光発電と農作物の生育が両立可能であることを見出すことができた。当グループではこの新たな営農型太陽光発電技術の可能性を追求すると共に、有機材料の特徴を活かした新機軸の有機エレクトロニクスの探求に取り組む。





特　許	
論　文	Jinnai, Seihou; Saeki, Akinori; Ie, Yutaka et al. Effects of the rigid and sterically bulky structure of non-fused nonfullerene acceptors on transient photon-to-current dynamics. Journal of Materials Chemistry A. 2022, 10, 20035-20047. doi: 10.1039/D2TA02604J Jinnai, Seihou; Washio, Takashi; Ie, Yutaka et al. Green-light wavelength-selective organic solar cells for agrivoltaics: dependence of wavelength on photosynthetic rate. Faraday Discussions. 2023. doi: 10.1039/D3FD00141E
参考URL	https://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/omm/
キーワード	有機太陽電池、有機半導体、有機機能性材料

多成分共有結合性有機構造体の構造解明と自在合成

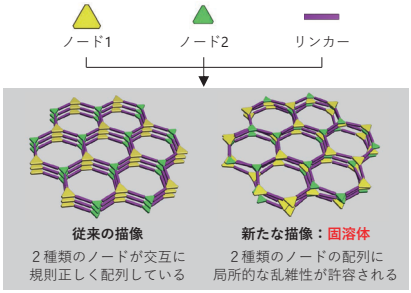
工学研究科　応用化学専攻
准教授 **鈴木 充朗**
Researchmap https://researchmap.jp/-ms

研究の概要

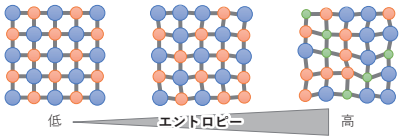
共有結合性有機構造体（Covalent Organic Framework, COF）は、有機典型元素間の共有結合を介して形成される結晶性多孔ポリマーです。良好な構造秩序や優れた多孔性などの特長をもつことから、ガス吸蔵・分離、センシング、触媒を始めとする様々な分野での応用が検討されてきました。なかでも3種類以上のモノマーを組み合わせた多成分系では、極めて多様な構造と物性が実現できると考えられます。我々は多成分 COF を「固溶体」とみなす独自の視点から、その設計と構造制御に取り組んでいます。固溶体という構造描像は、「多成分 COF では対称性が高く安定な構造が選択的に得られる」という従来の仮説とは大きく異なるものであり、新たな設計概念と合成化学的方法論の確立が求められます。

研究の意義と将来展望

多成分 COF を「固溶体」と捉えると、構造設計の自由度が飛躍的に高まります。例えば、結晶性を維持したまま組成や格子定数（COF では空孔径に相関）を連続的に調整するだけでなく、これまで有機材料でほとんど検討されてこなかったエントロピーの制御なども可能と考えられ、機能開拓の幅が大きく広がると期待されます。本研究はその端緒となるものであり、将来的にはエネルギー変換や多段階触媒などの複雑なプロセスを高効率で実現する、精巧な機能材料への展開を目指します。



多成分 COF の構造描像．ノード2種とリンカー1種を組み合わせた，六方晶系3成分2次元 COF のケースを例示．



COF の設計にエントロピー工学などの概念を取り入れ，新たな高度機能材料の創出を目指す．

特許	
論文	Suzuki, Mitsuharu; Nakayama, Ken-ichi et al. Possibilities and limitations in monomer combinations for ternary two-dimensional covalent organic frameworks. Journal of the American Chemical Society 2023, 145 (5), 3008–3015. doi: 10.1021/jacs.2c11520
参考URL	http://www-etchem.mls.eng.osaka-u.ac.jp/index.html
キーワード	共有結合性有機構造体、多孔質結晶、固溶体

汎用元素から構成される室温リン光材料の開発

工学研究科　応用化学専攻
准教授 **武田 洋平**
Researchmap https://researchmap.jp/read0156438

研究の概要

室温でリン光を示す有機分子は、励起三重項状態から寿命の長い発光を示すため、高効率な有機 EL 素子の発光材料や高時空間分解能なバイオイメージング材料として注目を集めています。しかし、既存の室温リン光材料の設計には、白金やイリジウム、ハロゲン等のレアメタル・重元素の導入が必要でした。本研究では、炭素・水素・ケイ素などの地球上にありふれた軽元素（汎用元素）だけで、高効率な室温リン光を示す有機分子を構築することに成功しました。また、開発した分子が実際に有機 EL 素子の発光材料として機能することを実証し、重元素を含まない室温リン光材料を用いた有機 EL 素子としては世界最高レベルの量子効率を示すことを明らかにしました。さらに、系統的な構造―物性相関研究を通じて、分子構造が光物理過程に与える影響を明らかにしました。

研究の意義と将来展望

本研究では、室温リン光が熱過程により近接する励起状態間の相互変換を経る機構で生じることを突きとめました。これにより、レアメタルや重元素の導入に頼らない室温リン光分子の設計が可能となります。将来的には、環境調和性・持続可能性の高い省エネルギー光・電子デバイスの実現へ至ると期待できます。また、リン光の長い発光寿命を活用することで、生体調和型の高時空間分解能なイメージング材料の開発にも発展すると考えられます。

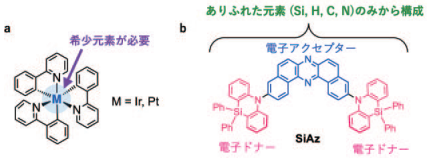


図1 a) 従来の室温リン光材料 ; b) 本研究で開発した室温リン光材料

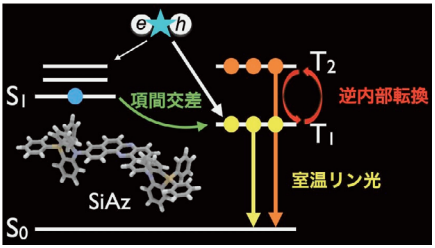


図2 本研究で開発した室温リン光の発光機構

特許	特願2020-541184
論文	De Silva, Piotr; Takeda, Youhei; Data, Przemyslaw et al. Heavy-atom-free room-temperature phosphorescent organic light-emitting diodes enabled by excited states engineering. ACS Appl. Mater. Interfaces, 2021, 13 (2), 2899-2907. doi: 10.1021/acsami.0c17295 De Silva, Piotr; Data, Przamylsaw; Takeda, Youhei et al. The regioisomeric effect on the excited-state fate leading to room-temperature phosphorescence or thermally activated delayed fluorescence in a dibenzophenazine-cored donor–acceptor–donor system. J. Mater. Chem. C, 2022, 10 (12), 4905-4913. doi: 10.1039/D1TC05730H
参考URL	http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~minakata-lab/ytakeda/
キーワード	リン光、EL、発光材料、光エネルギー、元素戦略

エポキシ樹脂と金属基板接合界面の高温劣化メカニズム

産業科学研究所

特任准教授（常勤）陳 伝彤　Researchmap https://researchmap.jp/chenchuantong
特任教授 菅沼 克昭　Researchmap https://researchmap.jp/ksuganuma

研究の概要

SiC などの次世代パワー半導体材料は、テスラが採用したことで注目され、電気自動車（EV）での利用が急増している。それに伴い、高温用のエポキシ樹脂を用いる封止技術の利用は拡大している。しかしながら、エポキシ樹脂と基板の接合は異種材接合であるため、高温中にエポキシ自体の劣化と界面に発生された熱応力の原因で、界面剥離がよく発生され、界面長期信頼性が大きな課題となっている。本研究では、高温放置中にエポキシ樹脂と銅基板の界面破壊メカニズムを研究し、エポキシ樹脂と銅基板界面の相互作用の視点から、信頼性の劣化メカニズムと劣化原因を調査した。界面剥離は銅とエポキシの界面ではなくエポキシの内部で発生していることが解明され、銅原子がエポキシ中に約 100 nm まで拡散したことが分かった。特に、銅原子の拡散と長時間の高温によりエポキシの熱分解が促進され、エポキシ側に厚さ 100 nm 程度の弱い層の形成が高温界面剥離の原因となることが解明された。

研究の意義と将来展望

今まで高温中にエポキシ樹脂の耐熱性と界面熱応力が界面信頼性に大きな影響を与えることが認識されているが、具体的に接合材料間における相互作用や界面劣化特性とメカニズムが解明されていなかった。本研究の結果は基板表面処理技術、新規樹脂の開発、エポキシ樹脂の封止技術の研究開発に大きく参考になり、特に高温界面劣化特性は今後 SiC パワーモジュール封止設計と信頼性評価に応用が期待できる。

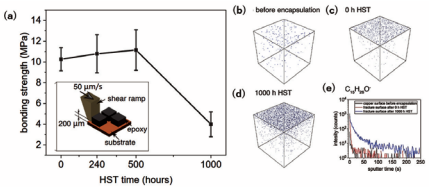


Fig. 1 (a) The bonding strength results for different lead frames under various reliability tests. (b) 3D render images of epoxy fragment $C_{15}H_{26}O^-$ for the copper surface before encapsulation and the fracture surface of the copper substrate after (c) 0 and (d) 1000 h HST; (e) depth profile of $C_{15}H_{26}O^-$ for the copper surface before encapsulation and the fracture surface of the copper substrate after 0 and 1000 h HST.

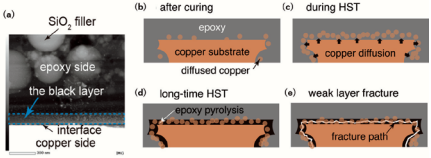


Fig. 2 (a)TEM HADDF image of the copper/epoxy interface after 1000 h HST, (b) minor copper diffusion happens after curing; (c) large extent copper diffusion happens during HST; (d) diffused copper promotes the epoxy pyrolysis resulting in a weak layer; (e) weak layer fracture under internal or external stress.

特　　許	
論　　文	Zhao, Shuaijie; Chen, Chuantong; Suganuma, Katsuaki. Failure mechanisms of the bonded interface between mold epoxy and metal substrate exposed to high temperature. Composites Part B: Engineering. 2023, 254, 110562. doi: 10.1016/j.compositesb.2023.110562
参考URL	
キーワード	パワーデバイス、EV/HEV、ドローン、宇宙航空、5G/6G 通信

ランタノイド金属触媒による二酸化炭素をC1炭素源とする有機合成反応の開発

基礎工学研究科　物質創成専攻
准教授 **劒 隼人**
Researchmap https://researchmap.jp/h_tsu

研究の概要

二酸化炭素を炭素源とする有機合成反応として、アミン誘導体のメチル化反応を開発した。この反応では1気圧の二酸化炭素雰囲気下、触媒量のランタン錯体とホウ素化合物、還元剤としてヒドロシラン、基質として第二級アミンを用いて反応を行うことで、アミン窒素上のメチル化反応が進行した第三級アミンが選択的に得られる。本反応の詳細を計算化学的な方法を用いて検証したところ、ランタン錯体とホウ素化合物からなる会合体（図2）が二酸化炭素のヒドロシリル化反応に活性を示すことが分かった。その結果、生成するギ酸シリルエステルが第二級アミンと反応することで、ホルムアミド誘導体を与える。最終的に、触媒反応条件下でホルムアミドが脱酸素還元されることで最終生成物であるメチル化されたアミンを与えることを明らかにした。

研究の意義と将来展望

温室効果ガスである二酸化炭素を有機合成反応における炭素源として用いる反応は、化石燃料に依存せず、地球上にすでにある炭素資源を循環活用する観点から重要な研究対象である。特に二酸化炭素を反応試剤として捉え有機化合物に直接取り込むための触媒開発は、有機合成化学の観点から二酸化炭素の削減に貢献するための科学技術となる。これまでに二酸化炭素を有機化合物中に固定化するための様々な触媒が開発されてきたが、低濃度の二酸化炭素を含む混合気体雰囲気下で選択的に二酸化炭素のみを活用するための触媒の改良は、将来的に大気中の二酸化炭素を有機合成反応に直接活用するためには不可欠である。そのための手法として、二酸化炭素を様々な有機合成反応に応用しやすいギ酸エステル等に変換するための高活性な触媒が注目を集めており、さらに二酸化炭素が触媒活性中心に相互作用しやすい希土類金属等のルイス酸性の強い金属錯体を用いて研究を進めている。

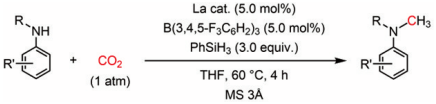


図1　第二級アミンのメチル化反応

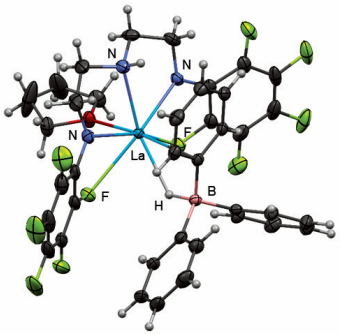


図2　触媒活性種の分子構造

特　許
論　文　Shinohara, Koichi; Tsurugi, Hayato; Mashima, Kazushi. *N*-methylation of aniline derivatives with CO_2 and phenylsilane catalyzed by lanthanum hydridotriarylborate complexes bearing a nitrogen tridentate ligand. ACS Catalysis 2022, 12 (14), 8220-8228. doi: 10.1021/acscatal.2c01658
参考URL　http://www.chem.es.osaka-u.ac.jp/cmf/index.html
キーワード　二酸化炭素固定化、均一系触媒、有機合成反応

高度な分岐構造をもつ多糖誘導体の分子認識

理学研究科　高分子科学専攻
教授 **寺尾 憲**
Researchmap https://researchmap.jp/kenterao

研究の概要

剛直な棒状鎖からなる高度に分岐した多糖誘導体を合成し、有機溶媒中での分子形態を散乱法、粘度法により調べた。得られた回転半径と固有粘度は、同じモル質量をもつ線状鎖試料よりもはるかに小さいことが分かった。また、この多分岐試料をシリカ粒子に担持させたキラルカラムは多くの低分子ラセミ化合物に対してキラル分離能を持つことが確認された。そのキラル分離能が線状鎖とは異なることから、分岐構造が分子認識に影響を与えることも明らかにされた。多分岐構造により、立体構造が制限され剛直ならせん構造にひずみを生ずるためであると考えられる。

研究の意義と将来展望

多分岐高分子は、同等の分子量をもつ線状高分子と比較して、分子のサイズがはるかに小さくなるため、溶液の粘度も線状鎖と比較して低くなるという特徴がある。この粘性率の比は、剛直鎖になるとより顕著になり、本研究のケースでは固有粘度が最小で線状鎖の1/40倍となった。多分岐高分子の低い粘性率は、高分子溶液の取り扱いを容易にする。また、剛直多分岐鎖のらせん構造のひずみは、キラル分離のほかに溶媒分子との相互作用にも顕著な影響を与え、線状鎖が完全溶解する温度・濃度領域で、多分岐鎖の溶液は相分離することも確認された。多分岐構造を取り入れることにより、線状鎖のみからは発現し得ない機能の開拓が期待される。

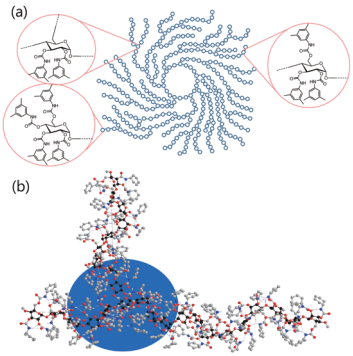


図1.　(a) 高度分岐環状デキストリン誘導体の化学構造 (b) 分岐点付近の立体構造の模式図

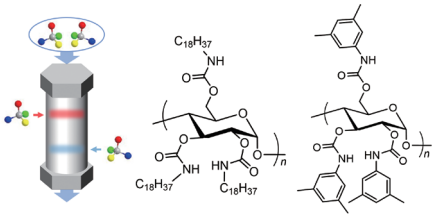


図2.　キラルカラムの模式図とキラル固定相に用いた多糖誘導体の化学構造

特　許
論　文
Kishimoto, Aika; Ryoki, Akiyuki; Terao, Ken et al. Molecular structure and chiral recognition ability of highly branched cyclic dextrin carbamate derivative. Carbohydr. Polym. 2022, 290, 119491. doi: 10.1016/j.carbpol.2022.119491
Kishimoto, Aika; Ryoki, Akiyuki; Terao, Ken et al. Correlation between conformational feature in solution and chiral separation ability of linear and nonlinear amylose tris(alkylcarbamate)s. Polymer. 2023, 284, 126303. doi: 10.1016/j.polymer.2023.126303
Mizuguchi, Madoka; Umeda, Keisuke; Terao, Ken et al. Solution characterization of a hyperbranched polysaccharide carbamate derivative and specific phase separation behavior due to chain branching. Soft Matter. 2023, 19, 7781-7786. doi: 10.1039/d3sm01074k
参考URL https://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/terao/
キーワード 多糖誘導体、分岐高分子、剛直性高分子、分子認識、キラル分離

汚染物質の分解、PFASの分解

パーフルオロアルキル化合物の脱フッ素水素化反応の開発

工学研究科　応用化学専攻

助教 **土井 良平**

Researchmap https://researchmap.jp/ryoheidoi

研究の概要

パーフルオロアルキル化合物とは、CF_2骨格を複数有する有機フッ素化合物である（図1）。その高い熱的・化学的安定性に起因して、環境汚染物質として近年認識されている。PFOS、PFOAなどはニュースでも連日取り沙汰されている。本研究では、パーフルオロアルキル化合物の脱フッ素水素化反応の開発に着手した（図2）。具体的にはパーフルオロアルキルアレーンに対して、ニッケル触媒存在下、ヒドロシランを作用させることで、炭素―フッ素結合がすべて炭素―水素結合に変換されることを見出した。詳細な反応機構解析の結果、本反応はフルオロアルケンを鍵中間体として含む多段階反応であり、その中でニッケル触媒は複数のステップを促進していることが明らかとなった。

研究の意義と将来展望

今回見出した脱フッ素水素化反応は、パーフルオロアルキル化合物を炭化水素に変換する。炭化水素は容易に焼却処分可能であり、また生体内で代謝されるため、パーフルオロアルキル化合物と比較して環境への影響は著しく低下すると考えられる。今回の反応は特殊なパーフルオロアルキルベンゼン誘導体にしか適用できないが、今後適用範囲の拡大およびヒドロシランよりも安価な水素源を用いた反応を開発することで、環境汚染物質パーフルオロアルキル化合物の有効な処分方法への発展を目指す。

図1. 研究背景

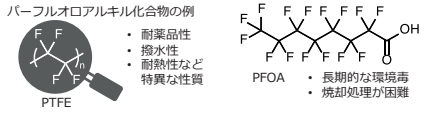
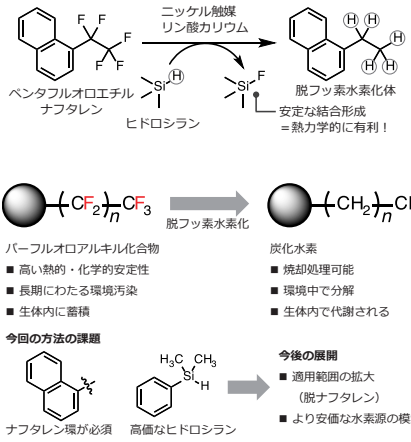


図2. 本研究：脱フッ素水素化反応



特　許	
論　文	Doi, Ryohei; Yasuda, Masashi; Kajita, Naoki et al. Nickel-catalyzed exhaustive hydrodefluorination of perfluoroalkyl arenes. Journal of the American Chemical Society. 2023, 145 (20), 11449-11456. doi: 10.1021/jacs.3c03471
参考URL	http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~ogoshi-lab/index.html
キーワード	フッ素化学、ニッケル、PFAS

発光性分子の重原子空間への閉じ込めによる効率的かつ簡便な室温りん光誘導

工学研究科　応用化学専攻
教授 **藤内 謙光**
Researchmap https://researchmap.jp/read0089607

研究の概要

有機分子のみを用いた室温りん光の発現には、複雑な分子設計と特異的な分子間相互作用の制御が必要であるため、これまで室温りん光材料の開発は特定の物質群に限られてきた。我々の研究グループでは、多孔質材料の空孔表面に臭素やヨウ素といった重原子を配置した重原子空間を創出し、その中に一般的な発光性分子を閉じ込めることで極めて効率的かつ簡便に室温りん光を発生させるシステムの構築に成功した。これらの多孔質材料には様々な発光性分子を閉じ込めることができ、用途に応じて室温りん光の色調や寿命などの特性を自在に変換すること可能となる。

研究の意義と将来展望

室温りん光材料は高効率な有機 EL 素子における発光材料として用いられているが、現在利用されているのはイリジウムや白金のようなレアメタルを用いた重金属錯体であり、その開発範囲が限られてきた。一方で地政学的な観点から、このようなレアメタルを用いず、全有機材料で構成された室温りん光材料の体系的な開発が望まれている。本研究により、煩雑かつ付加的な有機合成を伴わず、これまで開発されてきた一般的な発光性分子を、多孔質材料が構築する重原子空間に閉じ込めるだけで様々な特性を持った室温りん光材料に変換することが可能となる。これにより、レアメタルに依存しない有機 EL 素子の開発や、高感度の生体イメージングツールへの応用が期待される。

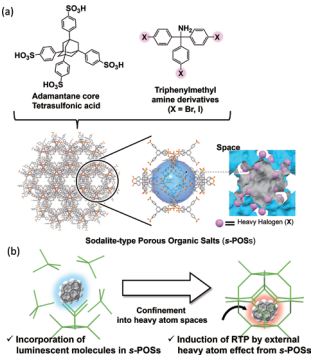


図1：ソーダライト型多孔質有機塩の構築と発光性分子の重原子空間への閉じ込め

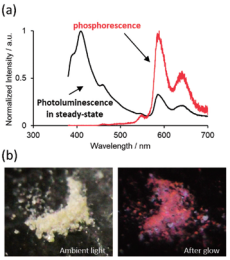


図2：重原子空間によるピレンの室温りん光誘導

特　許
論　文
Sei, Hiroi; Oka, Kouki; Tohnai, Norimitsu et al. Cage-like sodalite-type porous organic salts enabling luminescent molecule's incorporation and room-temperature phosphorescence induction in air. Small. 2023, 19, 2301887. doi: 10.1002/smll.202301887
Sei, Hiroi; Oka, Kouki; Tohnai, Norimitsu. Incorporation of coronene into cage-like porous organic salts and induction of its room-temperature phosphorescence in air. ChemNanoMat. 2023, 9, e202300248. doi: 10.1002/cnma.202300248
Ami, Takahiro; Oka, Kouki; Tohnai, Norimitsu et al. Porous organic salts: Diversifying void structures and environments. Angew. Chem., Int. Ed. 2022, 61, e202202597. doi: 10.1002/anie.202202597
参考URL　http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~tohnaiken/scientific/
キーワード　多孔質有機塩、重原子効果、室温りん光材料

ナノ・先進電子材料開発支援、半導体工程管理検査技術、超高速光物性分析

先進電子材料・デバイス開発を支援するテラヘルツ波放射分光 ～現象論から定量分析まで～

レーザー科学研究所
教授 斗内 政吉
Researchmap https://researchmap.jp/read0051752

研究の概要

フェムト秒レーザーを用いて物質中に光電荷を励起すると、電荷はその場から高速で移動します。その時空間移動に伴ってテラヘルツ電磁波が放射され、その現象を利用したテラヘルツ放射分光法が注目を集めています。我々は、その手法の開発に取り組むトップグループで、ナノ材料の時空間光電荷ダイナミクスなどを現象論的に明らかにすることから、半導体の具体的な物性値を非破壊非接触で抽出できる定量的分析手法としての確立まで、世界に先駆けて取り組んでいます。ここでは、その事例として、ナノチューブ内の光生成励起子の振舞いを解明した例とシリコンウェファーの表面ポテンシャルの値をウェファースケールでマッピングできることを紹介します。

研究の意義と将来展望

先進材料・デバイスの開発は常に新しい分析手法の創製がブレークスルーをもたらします。私がテラヘルツ波放射顕微鏡（LTEM）と名付けたテラヘルツ波放射分光イメージング手法は、光励起された高速電荷の時空間移動を可視化する特徴を持っています。この手法を様々な現場で利用できることを証明することは、電子材料・デバイス・半導体産業の復興にブレークスルーにつながると確信しています。

我々の成果は、ロードマップにおける重要項目に取り上げられるまでになってきました。今後は、単に最先端電子材料・デバイスの開発に重要なイノベーションをもたらすのみならず、半導体Ｒ＆Ｄ現場での利用を確実なものとして、大きなマーケットへの展開が期待されます。

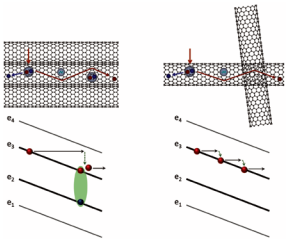


図1　整列したとランダムに配向したカーボンナノチューブ (CNT) 内の準粒子の一次元閉じ込めは、極めて異方的な電子・光学特性をもたらす。巨視的な集合体では、ホットキャリアは、それぞれバリスティックおよび緩和状態で移動する。

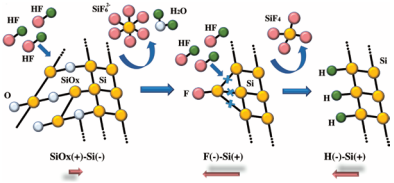


図2　BHF エッチング中の Si 表面の化学プロセスと、表面原子の電気陰性度の違いから生じる表面双極子モーメント。ネイティブ酸化膜が除去され、中間段階として F 終端 Si が生成され、最終的に安定状態として H 終端表面が形成される。

特　許
論　文
斗内政吉　テラヘルツ時間領域分光，内田老鶴圃．2021. ISBN978-4-753-2318-1
Michael Wais et al. Transition from diffusive to superdiffusive transport in carbon nanotube networks via nematic order control. Nano Lett. 2023, 23(10), 4448-4455. doi: 10.1021/acs.nanolett.3c00765
Dongxun Yang et al. Rapid, noncontact, sensitive, and semiquantitative characterization of buffered hydrogen-fluoride-treated silicon wafer surfaces by terahertz emission spectroscopy. Light Sci Appl. 2022, 11, 334. doi: 10.1038/s41377-022-01033-x
参考URL https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/THP/
キーワード テラヘルツ波放射分光法、先進電子材料・デバイス開発支援、半導体Ｒ＆Ｄ支援

創薬、プロセス化学

炭素原子１つを正確に埋め込む化学反応の開発

工学研究科　応用化学専攻

教授 **鳶巣 守**　Researchmap https://researchmap.jp/read0156480

助教 **藤本 隼斗**　Researchmap https://researchmap.jp/hayato_fujimoto

研究の概要

本研究ではN-ヘテロ環状カルベン（NHC）を原子状炭素等価体として利用することで、炭素原子1つだけを正確に埋め込む手法を開発した。本手法ではアミド化合物に対して炭素原子1つを埋め込むことによって、γ-ラクタム化合物が得られる。

研究の意義と将来展望

炭素原子を1つ増やす反応（一炭素増炭反応）は、有機合成において必須の反応形式である。これまでに一炭素増炭反応に利用できる様々な試薬が開発されているものの、いずれも炭素原子以外の原子も同時に導入するという形式の反応であり、本研究で実現された炭素原子1つだけを効率よく埋め込む化学反応は未開拓であった。原子状炭素等価体を使って一炭素増炭反応をおこなうことで、導入される炭素原子中心に対して新たに4つの化学結合が形成可能である。これによって、単純な化合物から1段階で複雑な構造を持つ化合物へと化学変換することが可能になる。また、「炭素原子を埋め込む」という反応設計概念はアミド化合物以外にも応用可能であるため、さらに多彩な炭素原子埋め込み反応の創出が期待される。

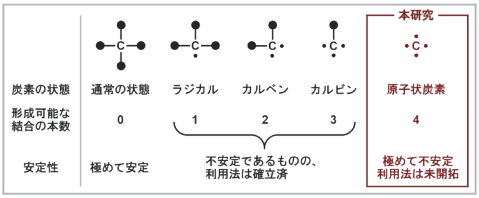


図1

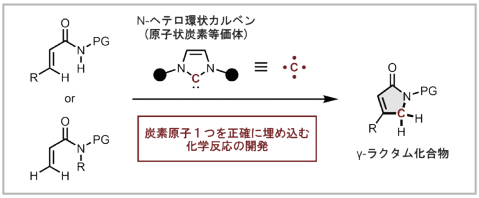


図2

特　　許	
論　　文	Fujimoto, Hayato; Tobisu, Mamoru et al. Single-carbon atom transfer to α, β-unsaturated amides from N-heterocyclic carbenes. Science 2023, 379, 484-488. doi: 10.1126/science.ade5110 Fujimoto, Hayato; Tobisu, Mamoru et al. Synthesis of γ-lactams from acrylamides by single-carbon atom doping annulation. J. Am. Chem. Soc. 2023, 145, 19518-19522. doi: 10.1021/jacs.3c07052
参考URL	https://www-chem.eng.osaka-u.ac.jp/~tobisu-lab/
キーワード	有機合成、原子状炭素、N-ヘテロ環状カルベン

電子・荷電粒子周りの超高速電場計測 ～相対論的クーロン電場収縮を世界初実証～

レーザー科学研究所
准教授 **中嶋 誠**
Researchmap https://researchmap.jp/nakajimamakoto

研究の概要

非線形光学効果の一つであるポッケルス効果を利用したEO（Electro-optic）サンプリングにより、フェムト秒・ピコ秒領域における電場の時空間分布計測が可能になり、電子線や荷電粒子周りに発生する電場分布をシングルショットで計測する技術を開発した。電子線や荷電粒子等の発生技術が高まる中、低繰り返しの電子線であっても、その電子線が作り出す電場の時空間分布を超高速領域において可視化できる技術を開発した。このことは、電子線自体の評価だけでなく、これまで観測できなかったピコ秒等の超高速時間領域におけるクーロン電場や放射電場等を直接実験的に確認できることを示した。今回観測されたクーロン電場の収縮現象は、特殊相対性理論で予想される基本的な現象であるが、その電場収縮過程を実験的に初めて観測することに成功した（図1, 図2、参照論文1, 2）。

研究の意義と将来展望

電子線や荷電粒子は、今後応用等への展開が期待されており、医療だけでなく電子線露光技術や殺菌効果等を利用した展開など、応用への期待が高まっている。本研究成果では、アインシュタインが提唱した電磁気における特殊相対論の基本事項の実証をデモンストレーションしたものであるが、電子線等のパルス特性の評価にも利用でき、電子線等を応用展開する上での基本的なツールとして利用されることが期待される。

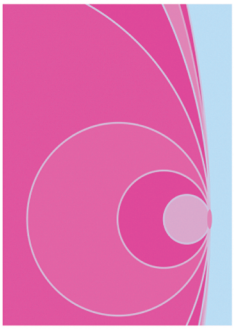


図1　光速に近い電子ビーム（図中楕円）の伝搬に伴うクーロン電場収縮形成のイメージ

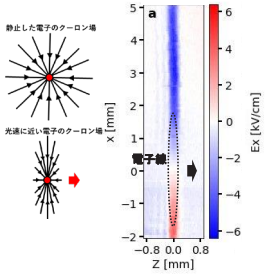
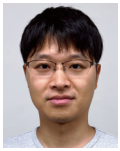


図2　観測された光速に近い電子線が形成する相対論的クーロン電場収縮の時空間分布

特許	特願2021-106147
論文	Ota, Masato; Nakajima, Makoto et al. Ultrafast visualization of an electric field under the Lorentz transformation. Nature Physics. 2022, 18, 1436-1440. doi: 10.1038/s41567-022-01767-w Ota, Masato; Nakajima, Makoto et al. Longitudinal and transverse spatial beam profile measurement of relativistic electron bunch by electro-optic sampling. Applied Physics Express. 2021, 14, 026503. doi: 10.35848/1882-0786/abd867 Arikawa, Yasunobu; Nakajima, Makoto et al. The conceptual design of 1-ps time resolution neutron detector for fusion reaction history measurement at OMEGA and the National Ignition Facility. Review of Scientific Instruments. 2020, 91, 063304. doi: 10.1063/1.5143657
参考URL	https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2022/20221021_1
キーワード	EO サンプリング、電子線パルス、テラヘルツ、クーロン電場収縮、特殊相対性理論

エネルギー再利用、有機エレクトロニクス

ナノ構造含有有機薄膜の構造変化を利用した熱スイッチ材料の開発



基礎工学研究科　システム創成専攻

教授 **中村 芳明**　Researchmap https://researchmap.jp/research_nakamura

助教 **石部 貴史**　Researchmap https://researchmap.jp/t-ishibe

研究の概要

様々な熱制御素子の中でも温度制御型の熱スイッチは、環境温度に応じて自発的に熱伝導率を変えられるといった特徴を有する。従来の熱スイッチ研究は、On/Off 比の向上を目指したものばかりであった。一方で、様々な環境で使用することを考えると、スイッチング温度を自在に変える技術も必要であるが、これまでに実験的に報告した例は無かった。本研究では、異方性ナノ構造を内包した液晶性ブロックコポリマー薄膜の秩序 - 秩序転移に注目し、自在なスイッチング温度制御を実現することを目指した（図1）。液晶分子の側鎖のメソゲン種を変えたところ、秩序 - 秩序転移温度が変化し、スイッチング温度制御の変調に成功した（図2）。本成果は、熱スイッチを様々な環境温度で利用できる可能性を大いに高めるものと言える。

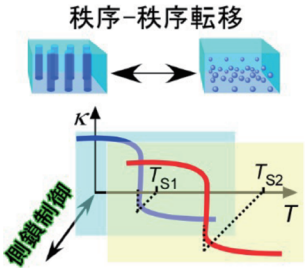


図1　液晶性ブロックコポリマーの秩序 - 秩序転移を利用した熱スイッチのスイッチング温度変調。側鎖メソゲン種を変えることでスイッチング温度の変調が可能となる。

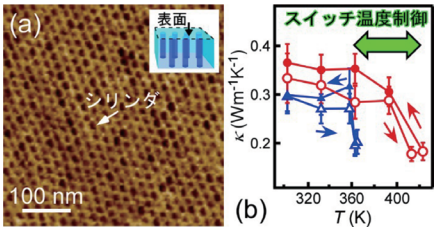


図2　（a）シリンダ内包ブロックコポリマー（低温相）の表面の原子間力顕微鏡像。（b）熱伝導率（κ）の環境温度依存性（丁）。秩序 - 秩序転移温度が360 K（三角）と390 K（丸）のブロックコポリマーで、スイッチング温度に違いが生じる。

研究の意義と将来展望

本研究は、液晶分子の側鎖のメソゲン種と秩序 - 秩序転移温度の関係に着眼し、これまで実証されてこなかった自在な熱伝導率スイッチング温度の変調を初めて実現した。このスイッチング温度の自在操作法は、スイッチング温度が分子構造に依存すれば適用できるため汎用性が高く、今後の熱スイッチ研究に大いに活かされる。将来的には、本研究成果は、低コスト形成できる熱制御有機材料の開発を導き、熱利用社会の実現に貢献すると期待される。

特　許	
論　文	Ishibe, Takafumi; Kaneko, Tatsuya; Uematsu, Yuto et al. Tunable thermal switch via order-order transition in liquid crystalline block copolymer. Nano Letters. 2022, 22 (15), 6105-6111. doi: 10.1021/acs.nanolett.2c01100
参考URL	http://www.adv.ee.es.osaka-u.ac.jp/
キーワード	熱制御技術、ナノテクノロジー、有機薄膜、構造相転移

セラミックス粒子添加による鉛フリーはんだ合金強化手法の開発

接合科学研究所
教授 西川 宏
Researchmap https://researchmap.jp/read0191232

研究の概要

本研究は、鉛フリーはんだ合金の高強度化・高延性化を可能にする手法開発と信頼性に優れたはんだ接合部を得ることを目的としている。はんだ合金の強度と延性を両立させるために複数のセラミックス粒子を添加する新たなコンセプトと独自の実現手法を提案し、実際に実験、評価している。特に、セラミック粒子に対する新たな表面改質手法としてボールミリング - 熱分解法を研究するとともに、Sn-Ag-Cu 系はんだ合金を例に取り、複合添加はんだ合金の作製からはんだ合金の機械的特性、セラミック粒子 / はんだ合金界面、はんだ接合部の信頼性に至るまでを系統的に分析評価している。

研究の意義と将来展望

優れた特性と高い信頼性を有するはんだ合金やはんだ付部を確立する一つの手法として、非反応型のセラミック粒子をはんだ合金に添加する新たな手法を提案している。特に、はんだ合金へのセラミック粒子添加で問題となる分散性の向上を目的としたセラミック粒子表面改質手法の研究に取り組むことで、理想的なセラミック粒子複合添加はんだ合金の実現を可能にする。本研究で得られた知見は、Sn-Ag-Cu 系はんだ合金に限らず低融点の Sn-Bi 系はんだ合金など各種鉛フリーはんだ合金の特性と信頼性向上に適用可能であり、益々の特性改善や信頼性向上が期待される鉛フリーはんだ合金やはんだ付部の構築に広く貢献が期待できる。

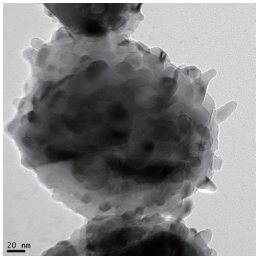


図　ニッケル酸化物を被覆したセラミックス粒子

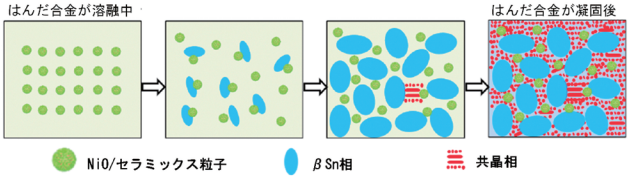


図　ニッケル酸化物を被覆したセラミックス粒子添加はんだ合金の凝固組織イメージ

特　許
論　文
Huo, Fupeng; Shen, Yu-An, He, Siliang et al. Fabrication of NiO/ZrO2 nanocomposites using ball milling-pyrolysis method. Vacuum. 2021, 191, 110370. doi: 10.1016/j.vacuum.2021.110370
Huo, Fupeng; Jin, Zhi; Han, Duy Le et al. Interface design and the strengthening-ductility behavior of tetra-needle-like ZnO whisker reinforced Sn1.0Ag0.5Cu composite solders prepared with ultrasonic agitation. Materials & Design. 2021, 210 (15), 110038. doi: 10.1016/j.matdes.2021.110038
Huo, Fupeng; Jin, Zhi; Han, Duy Le et al. Novel interface regulation of Sn1.0Ag0.5Cu composite solders reinforced with modified ZrO2: Microstructure and mechanical properties. Journal of Materials Science & Technology. 2022, 125 (20), 157-170. doi: 10.1016/j.jmst.2022.01.040

参考URL http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt3/index.html

キーワード 鉛フリーはんだ合金、セラミックス粒子表面改質、機械的特性改善

イメージセンサー、カラーセンサー、スマートデバイス

新奇な波長応答機能を有するSbカルコハライド光電変換素子の開発

工学研究科　応用化学専攻／先導的学際研究機構　触媒科学イノベーション研究部門
助教 **西久保 綾佑**　Researchmap https://researchmap.jp/rnishikubo
工学研究科　応用化学専攻
博士後期課程 **李 昭先**
工学研究科　応用化学専攻／先導的学際研究機構　触媒科学イノベーション研究部門
教授 **佐伯 昭紀**　Researchmap https://researchmap.jp/a-saeki

研究の概要

塗って作れる薄膜光電変換素子は、次世代の太陽電池やセンサーとして有望である。著者は独自の塗布型 SbSI:Sb_2S_3ハイブリッド素子において、出力電圧が光の波長によって可逆変化する現象を初めて発見した（**図1**）。これまでに様々な材料を用いた光電変換デバイスが開発されて来たが、今回のような波長依存性は完全に初であり、理論的にも未知であった。そこで、この波長依存性の詳細な挙動およびその機構に関して研究を行った。

研究の意義と将来展望

光電変換素子は太陽電池のみならずセンサー用途でも広く使われている。しかしながら、単一セルで異なる波長を認識できれば、より応用の幅が広がる。その可能性の一例としてイメージセンサー(IS)の小型化・高画質化が挙げられる。従来のISでは各ピクセル上にカラーフィルターを乗せることで色を見分けていた。しかし1セルで複数色が見分けられれば高解像度化が可能になる（**図2**）。また、液晶フィルターによる1セル多色化よりも薄膜化・小型化に有利である。現在のところ波長応答の速度や耐久性が課題であり、これを解決することで明るい将来展望が期待される。

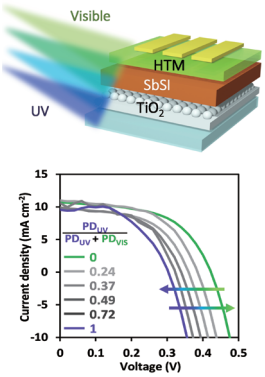


図1. 照射波長により電圧が可逆変化する新規波長応答機能。

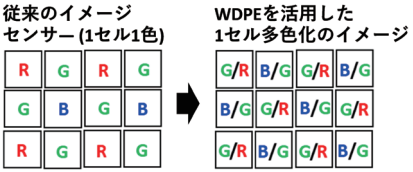


図2. WDPEを駆使した新応用の例。

特　許	
論　文	Kobayashi, Tai; Nishikubo, Ryosuke; Saeki, Akinori et al. Wavelength-recognizable SbSI:Sb_2S_3 photovoltaic devices: Elucidation of the mechanism and modulation of their characteristics. Adv. Funct. Mater. 2023, Accepted. doi: 10.1002/adfm.202311794 Nishikubo, Ryosuke; Li, Shaoxian; Saeki, Akinori. Unprecedented wavelength dependence of an antimony chalcohalide photovoltaic device. Adv. Funct. Mater. 2022, 32, 2201577. doi: 10.1002/adfm.202201577 Nishikubo, Ryosuke, Nazeeruddin, M. K.; Saeki, Akinori et al. Optoelectronic and energy level exploration of bismuth and antimony-based materials for lead-free solar cells chem. Mater. 2020, 32, 6416-6424. doi: 10.1021/acs.chemmater.0c01503
参考URL	研究室：http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~saeki/cmpc/ プレスリリース：https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2022/20220705_2
キーワード	光電変換、太陽電池、センサー

任意の組成比をもつ共結晶性有機材料の開発

基礎工学研究科　物質創成専攻

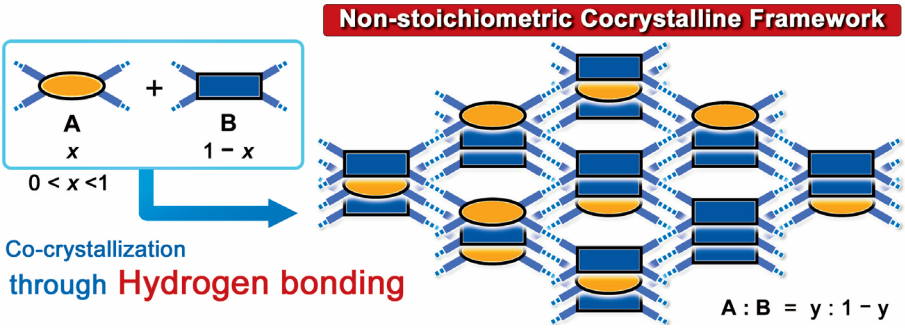
教授 **久木 一朗**　Researchmap https://researchmap.jp/Ichiro_Hisaki
助教 **桶谷 龍成**　Researchmap https://researchmap.jp/ryuseioketani

研究の概要

複数の成分が不定比で混ざり合うことにより構築された多孔質結晶性材料が注目されている。混合比の掃引による機能の段階的な調整が可能であり、さらには新たな機能の創発も期待されている。しかし、設計指針の確立に必要な精密な結晶構造の情報を取得することは容易ではない。本研究では、2種類の構成分子を任意の割合で共結晶化することにより、非化学量論的組成を有する結晶性多孔質結晶を構築した。単結晶Ｘ線構造解析により結晶中の分子配列を解明するとともに両成分の組成比も決定した。さらに、単結晶を用いた顕微ラマン分光により、一粒の結晶中における各成分の分布の様子を明らかにした。

研究の意義と将来展望

複数の構成要素を混合して作成した結晶性の構造体は、混合比率による機能のファインチューニングが可能であるとともに、単一成分で形成さる構造体にはなかった機能が創発する可能性をも秘めているため、材料科学において重要な開発対象となっている。しかし一般的に有機分子を混合してもそれぞれの成分が別々の結晶を与えることが多い。これに関して我々は、水素結合などの分子間相互作用をうまく利用することによって任意で混合した単結晶性の有機材料を構築する指針を得た。



特　許	
論　文	Hashimoto, Taito; Oketani, Ryusei; Hisaki, Ichiro et al. Single crystalline, non-stoichiometric cocrystals of hydrogen-bonded organic frameworks. Angew. Chem. Int. Ed. 2023, 62(1), e202215836. doi: 10.1002/anie.202215836
参考URL	http://www.chem.es.osaka-u.ac.jp/mac/
キーワード	不定比共結晶、混合結晶、多孔質材料