

スピロビフルオレンの連結に基づく π 共役系分子の合成

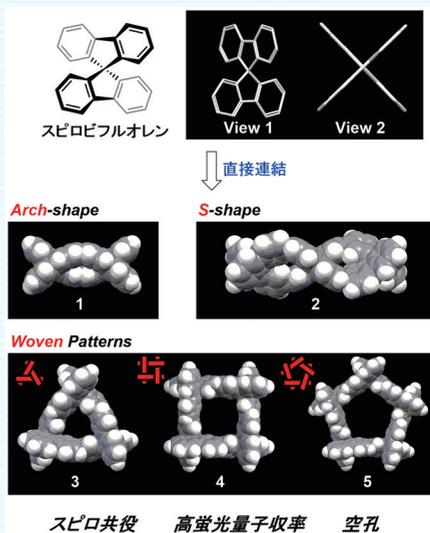
工学研究科 応用化学専攻

准教授 雨夜 徹



▶ 特徴・独自性

スピロビフルオレンは、2つの垂直に配置された π 電子系を持つ剛直な構造の分子であり、主に有機エレクトロニクス分野で使用されるビルディングブロックである。我々は、スピロビフルオレン同士の直接連結に基づく従来にないユニークな構造の π 共役系分子群を合成した。化合物1および2はそれぞれアーチ型、S字型に湾曲している。また、化合物3-5は、織り模様構造モチーフ (woven pattern) の単位ユニット構造を示している。これらの化合物はいずれもスピロ炭素周りの軌道相互作用により空間を通して共役 (スピロ共役) できる点が特徴である。また、いずれの化合物も高い蛍光量子収率を示すとともに、光学活性であるためキロプティカル特性も有する。化合物3-5は空孔を有し、ガスや小分子の分子認識が期待される。



▶ 研究の先に見据えるビジョン

下記のような応用のシーズとして考えられる。

- ・空間を通した軌道相互作用 (スピロ共役) を活用するホールまたは電子輸送材料
- ・OLEDをはじめとする発光材料
- ・多孔性を活かした、ガスや小分子吸着材料や分離材料



特 許

論 文

Oniki, J.; Moriuchi, T.; Kamochi, K.; Tobisu, M.; Amaya, T. Linear [3]Spirobifluorenylene: An S-Shaped Molecular Geometry of p-Oligophenyls. *J. Am. Chem. Soc.* 2019, 141, 18238-18245.
Zhu, K.; Kamochi, K.; Kodama, T.; Tobisu, M.; Amaya, T. Chiral Cyclic [n]Spirobifluorenylenes: Carbon Nanorings Consisting of Helically Arranged Quaterphenyl Rods Illustrating Partial Units of Woven Patterns. *Chem. Sci.* 2020, 11, 9604-9610.

参考URL

<https://www-chem.eng.osaka-u.ac.jp/~tobisu-lab/index.html>

キーワード ▶ スピロビフルオレン、スピロ共役、多孔性

電子物性の精密調節による 有機半導体材料の開発



産業科学研究所 ソフトナノマテリアル研究分野

教授 家 裕隆

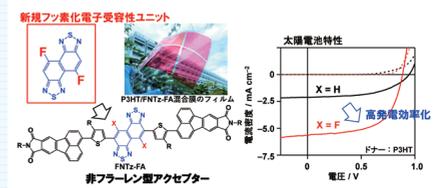
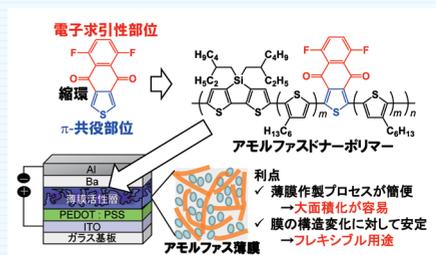
▶ 特徴・独自性

有機分子は軽くて柔らかな性質をもち、塗布製膜や印刷プロセスを適用できることから、有機EL、有機太陽電池に代表される有機エレクトロニクスが次世代デバイスとして注目されている。これらの素子駆動の根幹を担う有機半導体材料は、分子構造を拡張した芳香族分子で構成される。光吸収特性、キャリア輸送特性等を調節するためには、精密な分子構造修飾が不可欠であり、電子不足型の芳香族分子の導入が重要な位置づけとなる。この点から、我々は、電子求引性部位を縮環・架橋構造にした分子、電子求引性のフッ素原子を直接導入した分子を独自の電子受容性ユニットとして系統的に開発してきた。これらのユニットを導入した有機半導体材料は高性能化に有効であることが明らかとなっており、現在、さらなる高性能化・新機能開拓に向けた分子開発を継続している。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

有機分子の特徴は、分子構造修飾によって精密に物性を調節できることである。例えば、我々が開発した電子受容性ユニットを巧みに活用することで、光吸収波長の選択性を付与した有機太陽電池が可能であり、シリコン太陽電池と一線を画した使い方で

社会実装ができると期待している。機能性有機分子の用途が劇的に増加している現状において、我々が開発した新規分子群が有機エレクトロニクスに留まらず、多種多様な分野の新規材料として用途展開ができると確信している。



特 許

PCT-JP2017-037201
PCT-JP2019-50482

論 文

Enhanced Photovoltaic Performance of Amorphous Donor-Acceptor Copolymers Based on Fluorine-Substituted Benzodioxocyclohexene-Annulated Thiophene
Y. Ie, K. Morikawa, W. Zajackowski, W. Pisula, N. B. Kotadiya, G.-J. A. H. Wetzelaer, P. W. M. Blom, Y. Aso
Adv. Energy Mater. 8 (2018) 1702506-1-7.
Fluorinated Naphtho[1,2-c:5,6-c']bis[1,2,5]thiadiazole-Containing π -Conjugated Compound: Synthesis, Properties, and Acceptor Application in Organic Solar Cells
S. Chatterjee, Y. Ie, T. Seo, T. Moriyama, G.-J. A. H. Wetzelaer, P. W. M. Blom, Y. Aso
NPG Asia Mater. 10 (2018) 1016-1028.

参考URL

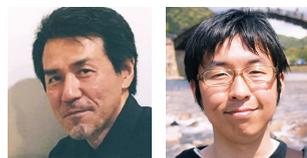
<https://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/omm/>

キーワード ▶ 有機半導体材料、電荷輸送材料、 π 共役分子、機能性有機分子

光とナノ物質における極端相互制御をめざした新機構開拓

基礎工学研究科 物質創成専攻 未来物質領域

教授 石原 一 助教 横山 知大

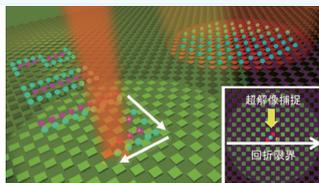


▶ 特徴・独自性

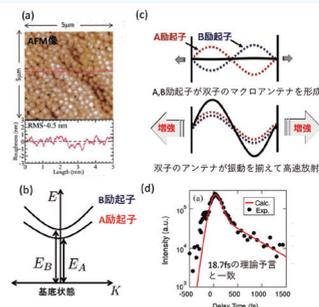
光とナノ物質の相互作用は本来的に微弱であり、有意な相互作用のためには通常、光子密度の高いレーザーや、マクロな数の分子・微粒子が必要とされる。また光とナノ物質の相互作用は物質と環境との相互作用より弱く、両者のコヒーレントな結びつきは熱や拡散によって容易に破壊される。例えば、(光-物質相互作用の強さに反比例する) 固体や分子からの発光時間はナノ秒程度以上かかるが、これは室温で励起のコヒーレンスが熱擾乱を受ける数十フェムト秒より遙かに長い。我々の研究室では、従来の標準的理論では十分考慮されてこなかった物質と光の波動的インタープレイに着目した独自理論を駆使して、この関係を逆転させるような極端な光-ナノ物質相互作用の機構を開拓し、励起が熱やキャリアになる前に光ってしまう物質や、あるいはブラウン運動に打ち勝って光でナノ微粒子を力学的に操作する技術の実現を目指している。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

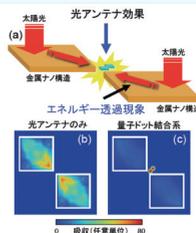
励起状態のコヒーレンスが擾乱されたり、光らない状態に遷移したりする前に光ってしまう物質があれば、サーマルフリーフォトニクスが実現され、超高速・省エネルギーの技術に結びつく可能性がある。またブラウン運動に打ち勝って個々のナノ微粒子を自由に、選択的に操作できればトップダウンとボトムアップを融合した新しいナノテックに結びつくこと期待される。



超解像領域におけるナノ微粒子の光捕捉 (イメージ)



熱擾乱より速い超高速サーマルフリー-光学応答の実証



金属ナノアンテナによるエネルギー凝集効果の理論予測



特許

論文

Synergetic Enhancement of Light-Matter Interaction by Nonlocality and Band Degeneracy in ZnO Thin Films, *Physical Review Letters* 122, 157401 (2019)
 Super-Resolution Trapping: A Nanoparticle Manipulation Using Nonlinear Optical Response, *ACS Photonics* 5, 318–323 (2018)
 Proposed method for highly selective resonant optical manipulation using counter-propagating light waves, *Nanophotonics*, 9, 3335 (2020)
 Optical selection and sorting of nanoparticles according to quantum mechanical properties, *Science Advances* Vol. 7, no. 3, eabd9551 (2021)

参考URL

<http://www.ishi-lab.mp.es.osaka-u.ac.jp>

キーワード

ナノ物質、光スイッチ、非線形光学応答、ナノ光ピンセット、超蛍光・超放射

グラフェンバイオセンサー



産業科学研究所 界面量子科学研究分野

助教 小野 亮生

▶ 特徴・独自性

私は、二次元ナノ材料グラフェンを用いたバイオセンサーの基盤構築から社会実装までを俯瞰し、企業とも連携して研究を進めています。グラフェンは様々な応用が期待される材料ですが、大きな比表面積や優れた導電性といった特性は、病原体などの電気的バイオセンシングに最適だと考えています。私は、生体分子によるグラフェンの機能化や、グラフェンバイオセンサーの評価・計測、さらには実用化に向けた課題（検出対象のデバイ遮蔽など）の解決に取り組んできました。最近では、マイクロ流体デバイス内での酵素反応をグラフェンで高感度かつリアルタイムに計測することで、デバイ遮蔽の制約を打破する手法を開発しました。これらの研究は、グラフェンのバイオセンシング応用、医療や公衆衛生の分野での社会実装に大きく貢献するものです。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

グラフェン等の二次元物質は、既存の三次元物質とは異なる構造・物性を持ちます。これを利用した新たな産業を創出していく、世界中で研究・開発競争が進められています。私が進めるバイオ計測応用は、その中でもユニークな位置にあるクリアアプリケーションです。現在、JSTさきがけ「量子生体」領域でも研究をさらに発展させています。新奇材料のユニークな物性を活用することで、バイオ計測に新たな機軸を打ち出し、生命科学や医療・産業応用の新たな潮流を生み出すことを目指します。

特許

特願2016-169810、特開2018-036154 「標的物質の電気的検出方法、定量方法、検出システム、定量システム及び試薬」、出願人:国立大学法人大阪大学、発明者:小野亮生、松本和彦

論文

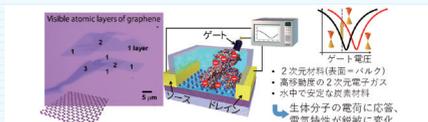
- 1) T. Ono, Y. Kanai, K. Inoue, Y. Watanabe, S. Nakakita, T. Kawahara, Y. Suzuki, and K. Matsumoto, "Electrical Biosensing at Physiological Ionic Strength Using Graphene Field-Effect Transistor in Femtoliter Microdroplet", Nano Lett., 19, 4004-4009 (2019).
- 2) S. Okuda, T. Ono, Y. Kanai, T. Ikuta, M. Shimatani, S. Ogawa, K. Maehashi, K. Inoue, and K. Matsumoto, "Graphene Surface Acoustic Wave Sensor for Simultaneous Detection of Charge and Mass" ACS Sens., 3(1), pp. 200-204 (2018).
- 3) S. Ushiba, T. Ono, Y. Kanai, K. Inoue, M. Kimura, and K. Matsumoto, "Graphene as an Imaging Platform of Charged Molecules" ACS Omega, 3(3), pp. 3137-3142 (2018).
- 4) T. Kawata, T. Ono, Y. Kanai, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Inoue and K. Matsumoto, "Improved sensitivity of a graphene FET biosensor using porphyrin linkers" Jpn. J. Appl. Phys., 57, 065103-1-4 (2018).
- 5) T. Ono, T. Oe, Y. Kanai, T. Ikuta, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Inoue, Y. Watanabe, S. Nakakita, Y. Suzuki, T. Kawahara and K. Matsumoto, "Glycan-functionalized graphene-FETs toward selective detection of human-infectious avian influenza virus", Jpn. J. Appl. Phys., 56(3), 030302-1-4 (2017).

参考URL

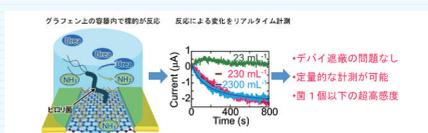
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2019/20190618_2

キーワード ▶ グラフェン、バイオセンサー、マイクロ流体デバイス

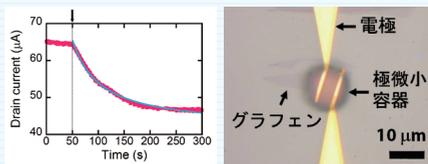
研究分野以外の関心分野・テーマ 環境・エネルギー、AI



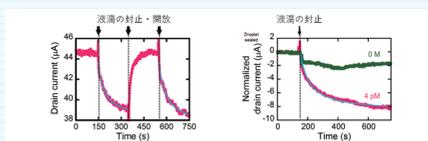
なぜグラフェンか。バイオセンシング原理



マイクロ流体デバイス内での酵素反応計測



グラフェンで計測した酵素反応 マイクロ流体デバイスと複合化したグラフェンバイオセンサーの顕微鏡像



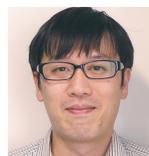
上記デバイスでの計測例



マルチカラーイメージング用 ¹⁹F MRIプローブ

工学研究科 応用化学専攻

教授 菊地 和也 助教 蓑島 維文

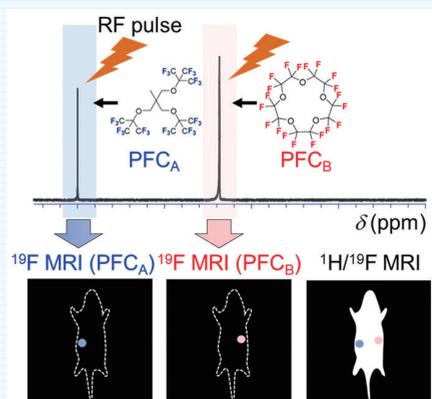


▶ 特徴・独自性

MRIは、組織深部を非侵襲的に画像化できるin vivoイメージング法である。特に、フッ素を観測核とした¹⁹F MRIは、生体にフッ素がほとんど存在しないので、投与した¹⁹F MRIプローブのみを選択的に画像化でき、生体において特定のシグナルを追跡することに優れている。われわれはこれまでに、スイッチング機能を有する高感度¹⁹F MRIプローブを開発し生体深部での酵素活性を可視化することに成功し、他の技術では見えない分子機能や病態組織を可視化してきた。この発展型として今回、多種類の細胞や病態組織を色分けして可視化できるマルチカラーイメージング法を実現した。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

本技術では、化学プローブをデザイン・合成することで、生体分子や細胞の機能を時間と空間を特定してin vivoでの機能解明を可能とする。そこで、測定したい分子との反応に着目して化学プローブをデザインし、分子認識あるいは酵素反応を分光情報へと変換することで、より難度の高いin vivo（動物個体）応用可能な¹⁹F MRIプローブを作製し、新たな生命現象を見いだす能力のある堅牢な(robust)化学ツールとなるよう分子デザインを展開する。



¹⁹F MRIプローブを用いたマルチカラーイメージングの模式図。異なる化学シフトを有するフッ素化合物(PFC_A、PFC_B)を用いることで、生体内におけるプローブの局在を選択的に画像化することが可能である。実際にはこれらのPFCを内包したシリカナノ粒子を¹⁹F MRIプローブとして作製し、マルチカラーイメージングを達成している。



特許

論文

K. Akazawa, F. Sugihara, T. Nakamura, H. Matsushita, H. Mukai, R. Akimoto, M. Minoshima, S. Mizukami & *K. Kikuchi, "Perfluorocarbon-Based ¹⁹F MRI Nanoprobes for In Vivo Multicolor Imaging", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 130, 16984-16989 (2018).

参考URL

<https://www-molpro-mls.eng.osaka-u.ac.jp/>

キーワード ▶ ¹⁹F MRI, in vivo imaging, multi-color imaging

バイオセンサー表面にセンシング分子を完璧に整列提示させ感度及びダイナミックレンジを画期的に向上させる足場分子の開発



産業科学研究所 生体分子反応科学研究分野

教授 黒田 俊一

▶ 特徴・独自性

我々は、2004年よりバイオセンサー表面に、様々なバイオセンシング分子(抗体、レクチン、受容体、DNAアプタマー等)の「向き」を揃えて提示する足場分子の開発を進めている。2011年に開発成功したナノ粒子状足場分子(ZZタグ提示型バイオナノカプセル:ZZ-BNC)は、

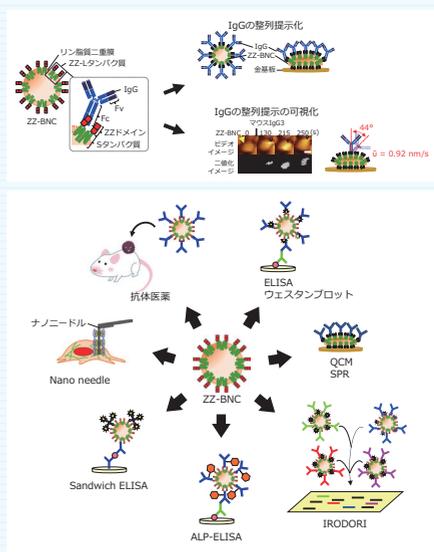
- ①バイオセンシング分子への化学的・物理的ダメージの完全排除
- ②化学的・物理的ストレスに対し堅牢
- ③センサー表面の形状(ナノ粒子、二次元膜等)を問わない
- ④バイオセンシング分子の「向き」を比較的強固に固定
- ⑤標的分子(抗原、糖鎖、リガンド)結合部位の立体障害をほぼ完全排除
- ⑥検出感度とダイナミックレンジを大幅に向上

という、バイオセンサーの機能向上に極めて有効な機能を有しており、2020年時点で同等の効果を示す足場分子や固定化技術等は他に存在しない。ここ数年は、共同研究者や共同研究企業を中心に様々な分野でZZ-BNCの応用利用も進んでおり、成果発表が相次いでいる。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

ZZ-BNCの適用範囲は右図に示すようにバイオセンサー用途が主であるが、今後はバイオセンサーの

みならず、医薬・診断薬開発、複数酵素の連続反応系(酵素リアクター)の最適化検討、複雑な生成経路を支える酵素複合体(メタボロン)の解析などがあり、社会的・学術的なインパクトは大きい。



特許

申請中: 医薬 黒田俊一、飯嶋益巳、立松健司 特願2017-054937 PCT出願中
 登録済: バイオナノカプセルの効率的な精製方法 黒田俊一、前川圭美、名木田真奈 日本国特許4936272カ
 ナダ特許2638884ヨーロッパ特許1985711
 抗体を提示するタンパク質中空ナノ粒子を用いる治療薬剤およびタンパク質中空ナノ粒子 黒田俊一、谷澤克行、近藤昭彦、上
 田政和、妹尾昌治、岡島俊英 日本国特許4212921 韓国特許10-0635870米國特許7951379ヨーロッパ特許1491210

論文

Two-dimensional membrane scaffold for the oriented immobilization of biosensing molecules. Iijima M, Nakayama T, Kuroda S. Biosens Bioelectron (2020) 150: 111860.
 Oriented immobilization to nanoparticles enhanced the therapeutic efficacy of antibody drugs. Iijima M, Araki K, Liu Q, Somyia M, Kuroda S. Acta Biomater (2019) 86:373-380
 Scaffolds for oriented and close-packed immobilization of immunoglobulins. Iijima M, Kuroda S. Biosens Bioelectron (2017) 89:810-821.
 Nanocapsules incorporating IgG Fc-binding domain derived from Staphylococcus aureus protein-A for displaying IgGs on immunosensor chips. Iijima M, Kuroda S. Biomaterials (2011) 32:1455-1464.
 Fluorophore-labeled nanocapsules displaying IgG Fc-binding domains for the simultaneous detection of multiple antigens. Iijima M, Kuroda S. Biomaterials (2011) 32:9011-9020.

参考URL

キーワード ▶ ナノ粒子、バイオセンサー、分子整列化

高性能なカドミウムフリー量子ドットの 開発とデバイスへの利用

工学研究科 応用化学専攻

教授 桑畑 進 講師 上松 太郎



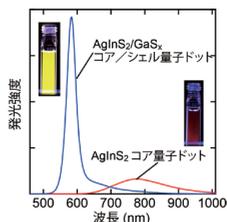
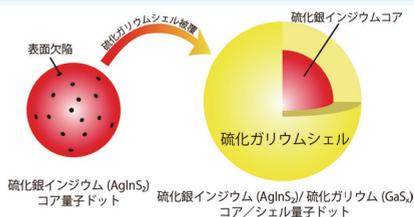
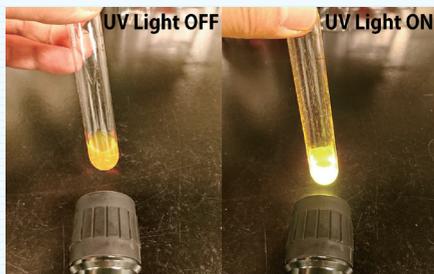
▶ 特徴・独自性

数ナノメートルの半導体微粒子である「量子ドット」は、光機能材料の最小単位であり、照明、ディスプレイ、光通信の高性能化を支援する基本コンポーネントとして注目を集めている。スペクトル半値幅が狭く、色純度の高い「バンド端発光」を特徴とし、高発色の液晶ディスプレイに搭載されるなど、社会実装も進んでいる。しかし、優れた量子ドットは総じてカドミウム化合物であるため、新材料開発の機運に乗じてカドミウムフリーの低毒性「硫化銀インジウム量子ドット」を開発した。ところがその発光はスペクトル半値幅の広い「欠陥発光」であり、カドミウム化合物のように扱えないと考えられてきた。

数年前、ナノ粒子表面で起こる分子レベルの変化と量子ドットの発光に関して基礎的研究を行っていた我々は、欠陥発光の原因がコア結晶内部ではなく、表面にあると考えようになった。そして結晶性が乏しく、当時誰も注目していなかった材料である「硫化ガリウム」で粒子表面を覆ったところ、欠陥のない界面が形成され、色純度に優れたバンド端発光を得ることに世界で初めて成功した。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

非晶質硫化ガリウムによるナノ粒子表面改質の成功は、高結晶材料を重視する従来型の量子ドット設計に一石を投じた。この知見を粒子間の電気的結合にも応用し、量子ドットELやレーザーなどの次世代デバイス開発に貢献する。



特許

「コアシェル構造QD」発明者:桑畑 進、上松 太郎、輪島 知寿、鳥本 司、亀山 達矢、小谷松 大祐、仁木 健太、出願人:国立大学法人大阪大学、国立大学法人名古屋大学、日亜化学工業株式会社、特願2016-55299、出願日:平成28年3月18日、平成31年1月11日 特許6464215 登録

論文

Uematsu, T.; Wajima, K.; Sharma, D. K.; Hirata, S.; Yamamoto, T.; Kameyama, T.; Vacha, M.; Torimoto, T.; Kuwabata, S., Narrow Band-Edge Photoluminescence from AgInS₂ Semiconductor Nanoparticles by the Formation of Amorphous III-VI Semiconductor Shells. NPG Asia Materials 2018, 10, 713-726. Hoisang, W.; Uematsu, T.; Yamamoto, T.; Torimoto, T.; Kuwabata, S., Core Nanoparticle Engineering for Narrower and More Intense Band-Edge Emission from AgInS₂/GaS_x Core/Shell Quantum Dots. Nanomaterials 2019, 9, 1763. Motomura, G.; Ogura, K.; Iwasaki, Y.; Uematsu, T.; Kuwabata, S.; Kameyama, T.; Torimoto, T.; Tsuzuki, T., Electroluminescence from Band-Edge-Emitting AgInS₂/GaS_x Core/Shell Quantum Dots. Appl. Phys. Lett. 2020, 117, 091101.

参考URL

https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20180824_2

キーワード

カドミウムフリー、量子ドット蛍光体、バンド端発光、コア/シェル構造

ツイスト2次元物質の物理



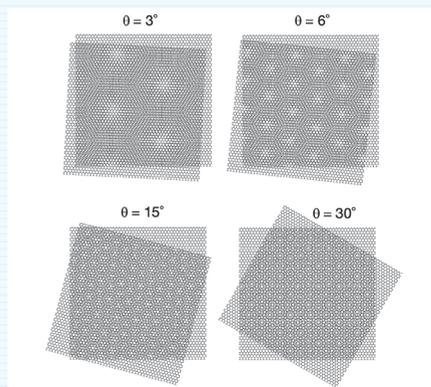
理学研究科 物理学専攻

教授 越野 幹人

▶ 特徴・独自性

グラフェンを始めとする2次元物質の大きな特徴の一つは、本体が外界に露出しているために、他の物質と接することでその物理的性質が大きく変化することである。我々は、2次元物質同士を互いに重ねた複合物質を理論的に研究することで、単体の物質にはなかった新しい現象を探究している。顕著な性質を示す例の一つがツイスト2層グラフェンである(図)。ツイスト2層グラフェンとは、グラフェン2枚を重ねて角度をずらすことによってできる2層系であり、格子構造のずれによって生じるモアレ模様が原因となって、特異な電子状態が現れる。特に魔法角と呼ばれる特別な積層角における超伝導の発見は、物質科学における一つのブレイクスルーとなった。また30度で重ねたねじれ2層グラフェンはこれとは全く異なる様相を示し、決まった空間周期を持たない準結晶としての性質を持つことが示されている。

御する研究や、またグラフェンと窒化ホウ素の2次元膜を重ね、ホフスタッタの蝶と言われるフラクタル電子スペクトルを実現する研究も行っている。2次元物質の組み合わせと、その積層角度の自由度により、地の物質にはない全く新しい性質を生み出す、一種の「錬金術」のような楽しさがあり、未来の革新的な材料の実現へつながる可能性を秘めている。



▶ 研究の先に見据えるビジョン

2次元物質は半導体、強磁性体、超伝導体などあらゆる種類が存在し、その組み合わせの可能性は無限大である。グラフェンと遷移金属カルコゲナイド2次元膜を重ねて、グラフェンのスピンを自在に制



特 許

論 文

Sung Joon Ahn, Pilkyung Moon, Tae-Hoon Kim, Hyun-Woo Kim, Ha-Chul Shin, Eun Hye Kim, Hyun Woo Cha, Se-Jong Kahng, Philip Kim, Mikito Koshino, Young-Woo Son, Cheol-Woong Yang, Joung Real Ahn Dirac Electrons in a Dodecagonal Graphene Quasicrystal Science 361, 782-786 (2018), C. R. Dean, L. Wang, P. Maher, C. Forsythe, F. Ghahari, Y. Gao, J. Katoch, M. Ishigami, P. Moon, M. Koshino, T. Taniguchi, K. Watanabe, K. L. Shepard, J. Hone, and P. Kim Hofstadter's butterfly in moire superlattices: A fractal quantum Hall effect Nature 497, 598 (2013) Mikito Koshino, Noah F. Q. Yuan, Takashi Koretsune, Masayuki Ochi, Kazuhiko Kuroki, Liang Fu Maximally-localized Wannier orbitals and the extended Hubbard model for the twisted bilayer graphene, Phys. Rev. X 8, 031087 (2018)

参考URL

https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20180709_1

キーワード ▶ グラフェン、2次元物質、超伝導、ナノサイエンス

研究分野以外の関心分野・テーマ AI、量子コンピュータ

平面ヘプタレン骨格を含む新奇 π 共役系化合物の合成と性質

工学研究科 応用化学専攻

助教 小西 彬仁 教授 安田 誠



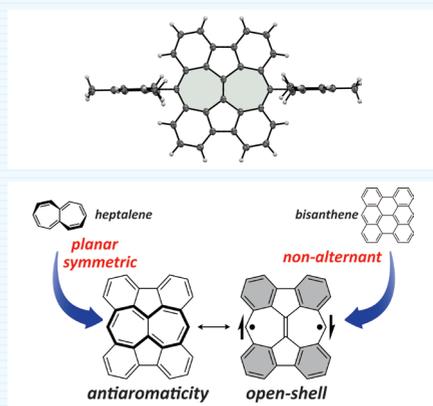
▶ 特徴・独自性

π 共役系化合物は剛直な骨格に宿る電子物性に興味が持たれ、機能性材料の構成単位として注目を集めている。7員環を2つ縮環させたヘプタレンは、ねじれ構造を持つ12 π 電子系化合物である。本研究では、ヘプタレン周囲を6員環で取り囲み、剛直に平面化することで出現する性状評価を実施した。本来ねじれたヘプタレン骨格が平面に固定されることで、開殻性と反芳香族性が共存してあらわれることを見出した。開殻性と反芳香族性は π 共役系が示す特異な性質であるが、その相関関係の解明は大きな課題である。本研究を通して、ヘプタレン骨格の存在と高い対称構造の存在が両性質の発現に重要であることを明らかにできた。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

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。



特許

論文

Open-shell and Antiaromatic Character Induced by the Highly Symmetric Geometry of the Planar Heptalene Structure: Synthesis and Characterization of a Non-alternant Isomer of Bisanthene Akihito Konishi, Koki Horii, Daisuke Shioiri, Kazunobu Sato, Takeji Takui, and Makoto Yasuda J. Am. Chem. Soc. 2019, 141, 10165-10170.
Spotlights on Recent JACS Publications DOI: 10.1021/jacs.9b06488
Highlighted as a Cover Picture
Synfacts 2019, 15, 0870. DOI: 10.1055/s-0039-1689812

参考URL

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.9b04080>
(Spot Light) <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.9b06488>
(Cover Picture) https://pubs.acs.org/pb-assets/images/_journalCovers/jacsat/jacsat_v141i026-4.jpg?0.945948917382827
(Synfacts) <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/html/10.1055/s-0039-1689812?update=true&update=true>

キーワード ▶▶ 非交互炭化水素、ヘプタレン、反芳香族性、開殻性

水和カリウム超イオン伝導体の開発



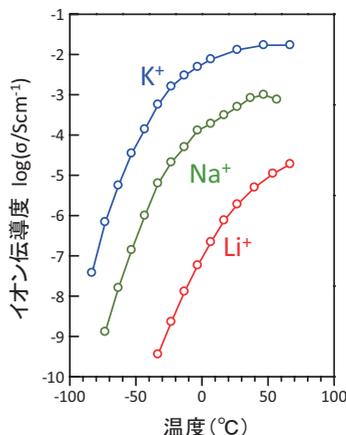
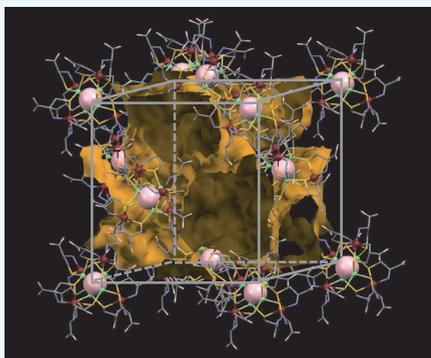
理学研究科 化学専攻

教授 今野 巧 准教授 吉成 信人

▶ 特徴・独自性

カリウムイオン(K⁺)は、資源が豊富で低コスト化ができることから、ナトリウムイオン(Na⁺)とともに、リチウムイオン(Li⁺)に代わる電池材料として注目されています。しかしながら、K⁺イオンは、比較的イオン半径が大きく原子量が大きいため、Li⁺イオンやNa⁺イオンに比べて結晶中の運動性が低く、電池構築の鍵となる高いイオン伝導率を示すカリウムイオン伝導体の開発が課題とされてきました。

我々の研究グループでは、大きな負電荷とナノメートルサイズのイオン半径をもつアニオン性金属錯体を多数の結晶水とともに導入したイオン結晶(K₆[Rh₄Zn₄(L-cys)₁₂O]·nH₂O)を合成し、室温でのK⁺イオン伝導率が1.3×10⁻² S/cmに達することを見出しました。この値は、0.01 M KCl水溶液の伝導率に匹敵し、水和カリウムイオンが伝導種となる超イオン伝導体の初めての例です。同時に、Na⁺イオンやLi⁺イオンを含む類似のイオン結晶についても伝導率の調査を行い、通常のアルカリ金属イオン伝導体とは異なり、イオン伝導率がLi⁺<Na⁺<K⁺の順に増加することも明らかにしました。



▶ 研究の先に見据えるビジョン

今後、この発見により、安全で廉価、かつ高湿度下でも動作可能な全固体カリウム二次電池の開発が期待されます。また、大質量のK⁺イオンの運動に基づく大きな熱電効果や、水和金属イオンの輸送特性に基づく新しい固体内化学反応への展開も期待されます。



特許 WO2018/079831 WO2019/208753 その他特許出願済

論文 Mobility of hydrated alkali metal ions in metallosupramolecular ionic crystals Chem. Sci., 2019, 10, 587-593.

参考URL <http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/konno/index.html>

キーワード ▶ イオン性固体、金属錯体、超イオン伝導体、カリウム

研究分野以外の関心分野・テーマ エネルギー

フラレンの部分構造“バッキーボール”を壁面に持つ曲面空間の構築

工学研究科 応用化学専攻

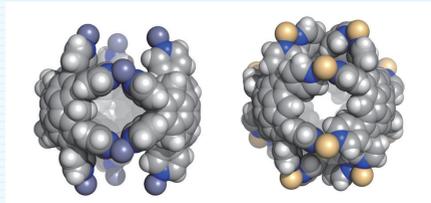
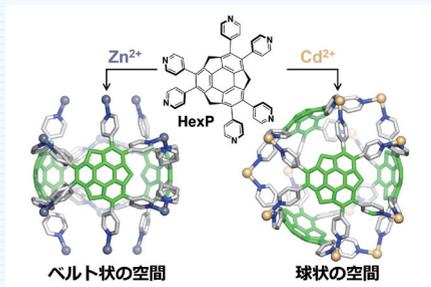
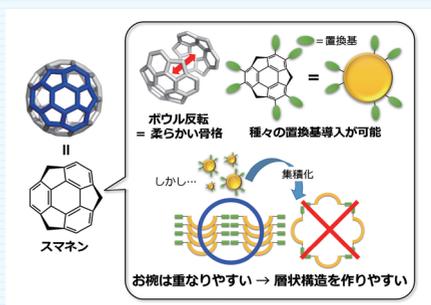
教授 櫻井 英博 准教授 焼山 佑美



ナノテクノロジー・材料

▶ 特徴・独自性

フラレンC₆₀の部分構造であるバッキーボールは湾曲したπ電子系を有しており、種々のユニークな性質を示すことから、機能性分子集合体の構成成分として大きく注目されている。しかしながらお椀同士で重なり合う力が強く、2次元層状構造を作りやすい。我々は代表的なバッキーボールであるスマネンをビルディングブロックとして、その高い対称性と骨格柔軟性を利用した多様なネットワーク化合物の構築を行っている。例えば骨格に金属イオンとの結合部位を導入することでお椀同士の重なり合いを抑制し、美しいベルト状や球状の3次元的空間を有する細孔性ネットワーク錯体を得ている。これらの空間は曲がったπ電子系で囲まれていることから、空間内に取り込んだ分子の性質に対しこれらのπ電子がどのような影響を与えるかに興味を持たれる。また、今回得られたネットワーク錯体は分子を空間内に閉じ込め、かつ規則正しく並べるのに適した構造体となっており、これを利用した機能の発現が期待される。



▶ 研究の先に見据えるビジョン

スマネンは液晶のメソゲンとしての特性、巨大ゼーベック係数を有する熱電特性、金属表面上でのおわん反転制御、動的超分子形成など、エネルギー・産業分野への展開が可能な「使えるマテリアル」であることが明らかになりつつある。研究成果を様々な応用技術へと展開することで持続可能な社会の実現へと貢献したい。

特許
論文

“Formation of Large Confined Spherical Space with Small Aperture Using Flexible Hexa-substituted Sumanene”
Yumi Yakiyama, Takumi Hasegawa, and Hidehiro Sakurai
J. Am. Chem. Soc. 2020, 141, 18099-18103. DOI: 10.1002/jacs.9b07902

参考URL

<https://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~sakurai-lab/>
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2019/20191029_1

キーワード ▶ バッキーボール、曲面π共役系、フラレン、細孔性ネットワーク錯体

太陽光と水と酸素から H₂O₂を合成する光触媒樹脂

太陽エネルギー化学研究センター

准教授 白石 康浩

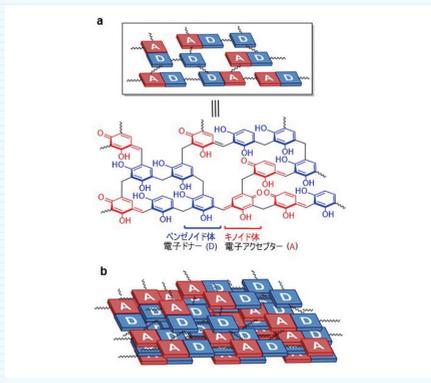


▶ 特徴・独自性

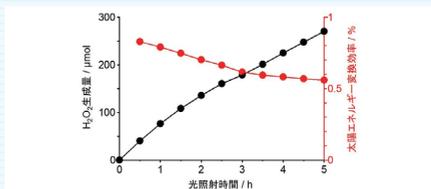
過酸化水素 (H₂O₂) は漂白剤や消毒剤として重要な化学物質であり、燃料電池発電の燃料となるエネルギーキャリアとしても有望視されているが、水素ガス (H₂) を原料とするエネルギー多消費型のプロセスにより合成されており、地球上に豊富に存在する原料から再生可能エネルギーを用いて合成する方法が期待されていた。今回、塗料や接着剤として用いられる汎用のレゾルシノールホルムアルデヒド (RF) 樹脂 (絶縁体であるため、これまで半導体光触媒には用いられてこなかった) を、独自の高温水熱法により合成した。この方法では、図のように、レゾルシノールのベンゼノイド体 (電子ドナー) とキノイド体 (電子アクセプター) が連結したドナーアクセプター (DA) 対が形成され、これらが積み重なることにより半導体バンド構造ができる。この粉末を水に懸濁させ、酸素存在下で太陽光を照射すると、図のように、太陽エネルギー変換効率0.5%という植物の天然光合成を大幅に上回る効率でH₂O₂を生成する (H₂O + 1/2O₂ → H₂O₂) ことが可能である。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

開発した光触媒樹脂は、1 μm 程度の球状粒子であるほか取り扱いも容易なため、様々な加工により社会実装が期待できる。(1) 生活環境における高機能材料やデバイス (抗菌殺菌機能をもつ塗料や容器など)、(2) エネルギーキャリアとしてのH₂O₂の製造・貯蔵・輸送による水素エネルギー社会の構築に向けての社会実装を進めている。



RF光触媒樹脂の (a) 基本骨格構造および (b) 積層構造の概略
レゾルシノールのベンゼノイド体 (電子ドナー) とキノイド体 (電子アクセプター) が連結して架橋し、それらが上下方向に積層している。



疑似太陽光照射による照射時間と過酸化水素生成量および太陽エネルギー変換効率の関係
過酸化水素は光照射に伴い継続的に生成し、長時間の反応でも0.5%以上の太陽エネルギー変換効率を安定的に示す。



特許 特許出願済み

論文 Resorcinol-Formaldehyde Resins as Metal-Free Semiconductor Photocatalysts for Solar-to-Hydrogen Peroxide Energy Conversion
Yasuhiro Shiraishi, Takahiro Takii, Takumi Hagi, Shinnosuke Mori, Yusuke Kofuji, Yasutaka Kitagawa, Shunsuke Tanaka, Satoshi Ichikawa, and Takayuki Hirai Nature Materials, 18, 985-993 (2019)
DOI: 10.1038/s41563-019-0398-0

参考URL <http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/hirailab/home.html>

キーワード ▶▶ 光触媒、H₂O₂、樹脂

超分子を利用した 強靱な自己修復性高分子材料

高等共創研究院／理学研究科

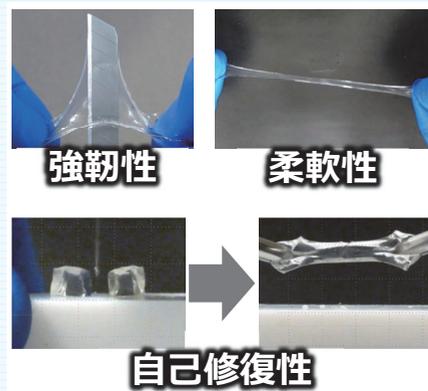
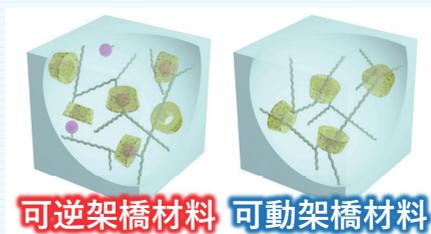
教授 高島 義徳



▶ 特徴・独自性

シクロデキストリン(CD:ブドウ糖が6~8個つながった環状の分子)を構造に含む私たちの高分子材料は、CDのホスト・ゲスト相互作用(分子間相互作用の一種)を利用したネットワークを有する新しい機能性マテリアルである(上図)。このポリマー材料は、大きくかつ可逆的に伸縮できる極めて強靱な材料であり、また、万一破断しても材料が再接着し強度が回復する自己修復機能も示す(下図)。

この新規高分子材料のデザインコンセプトは、原理的にあらゆる高分子材料に適用可能であり、ヒドロゲルからバルク(塊状)のゴム・エラストマー、プラスチックまで、多様多様な材料について強靱性・柔軟性、耐衝撃性、自己修復性などの物性・機能を付与することができる。繊維質材料、無機材料との複合化も可能であり、非常に適用範囲の広い技術である。



▶ 研究の先に見据えるビジョン

CDを高分子材料に組み込むことにより材料を強靱化でき、これまでの高分子材料では難しかった用途への展開が可能となる。使い捨てとしてきた材料の耐久性が向上することで製品寿命の長い製品をつくることのできるほか、自己修復性を有するため、メンテナンスフリー材料も実現できる。たとえば、コーティングや構造材料、接着剤、耐衝撃材料など、さまざまな用途においてアドバンテージがあり、社会実装・実用化に向けた活動を精力的に推進したい。



特 許

特許第5615373号 分子認識に基づいた物質材料の選択的接着法および自己組織化法
特許第5951758号 自己修復性及び形状記憶性を有するゲル、及びその製造方法
特許第6239043号 包接錯体、自己修復性及び形状記憶性を有するゲル

論 文

Macromolecules 2019, 52 (7), 2659-2668.
Macromolecules 2019, 52 (18), 6953-6962.
ACS Appl. Polym. Mater. 2020, 2 (6), 2274-2283.
Chem. Commun. 2020, 56 (32), 4381-4395.

参考URL

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/takashima/>

キーワード ▶ 高分子、自己修復材料、強靱材料、長寿命材料

熱・電子相関による原子移動： 断熱近似を超えたところで



ナノサイエンスデザイン教育研究センター

特任教授 竹田 精治

▶ 特徴・独自性

身の回りの物質の中には膨大な数の原子が含まれる。電子の数はさらに膨大である。科学技術の進歩で原子や電子の振る舞いをすべて理解したと思いがちだが、実は基本的なことが予測どころか再現すらできない。その一つが熱・電子相関である。

熱の実態は物質の中での原子の振動である。一方で、物質・デバイスが役立つ裏側では電子が原子間を極めて高速に渡り歩く。このとき熱の実態である原子の振動と電子の移動は相互に関係する。これを熱・電子相関という。この相関の結果、物質中の原子の配列が乱されて修復できないことが起こりうる。

この相関による原子配列の非可逆的な変化を最近、原子スケールで可視化した。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

触媒の劣化（被毒）を防げない。熱電材料開発の理論的な指針が得られない。このような課題が未解決である大きな理由は熱・電子相関を解明できないことにある。

空間的には原子サイズであり、時間的には高速（10as（アト秒）のオーダー）の素過程の蓄積によってmsオーダまで引き続く現象である。計算機シミュレーションが勃興したが電子論といっても断熱近似—高速の電子が渡り歩く間は常に原子は静止している—の範囲に現状ではとどまる。熱・電子相関の直接探索は始まったばかりである。至難であり、ま

た、その結果については予断を許さない。しかし基礎研究として必ず手がけておく必要がある。

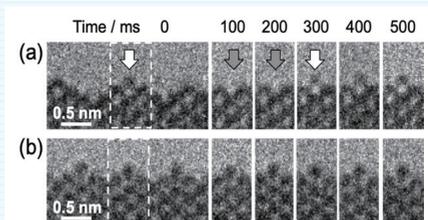


図1 化学反応環境下での原子移動:触媒の劣化プロセス (a)反応環境下。黒丸はそれぞれ固体触媒表面の原子コラム一つに対応。次第に原子コラムの配列は変化する。(b)参照環境下。配列の変化はほぼない。論文(1)より。

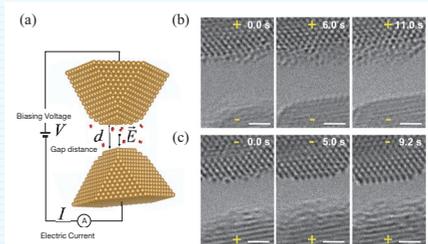


図2 電子トンネリングによる固体表面での原子移動 (a)金属表面へのトンネル電子の注入方法。(b)上側の表面がトンネル電子の注入面。原子配列は変化していく。(c)上側の表面がトンネル電子の出射面。原子配列は安定している。希薄な酸素雰囲気中。論文(2)より。

特許

論文

参考URL

- (1)N. Kamiuchi et al., Nat. Commun. 9, 2060 (2018)
- (2)R. Aso et al., Angew. Chem. Int. Ed. 58, 16028 (2019)

キーワード ▶▶ 電子励起、原子の構造、断熱近似、電子トンネリング

ナノポアと機械学習による 超高感度ウイルス検査

産業科学研究所 バイオナノテクノロジー研究分野

准教授 筒井 真楠



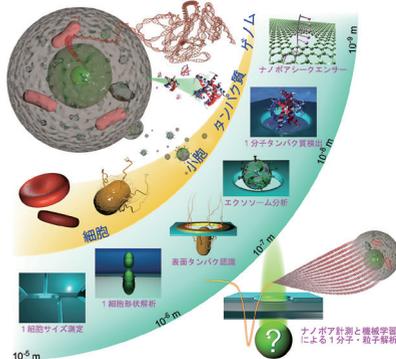
▶ 特徴・独自性

本研究では、新型ウイルスにも対応可能な新しい検査技術として、ナノポアセンサ技術の開発を進めてきている。ナノポアとは、半導体技術の加工精度で自在かつ精密に作られた極微細孔である。本技術の特徴は、ナノポア計測で得られるイオン電流信号の波形を機械学習により高次元特徴量空間で分類する点にあり、これにより、単一粒子・分子のサイズ・形状・表面電荷・表面タンパク・質量が測定可能になる。この技術は抗体分子を必要とせず、簡便な電流計測により単一ウイルスをミリ秒で検出可能な動作原理であることから、現在のコロナ禍において求められる超迅速・高感度なウイルス検査を可能にするものである。

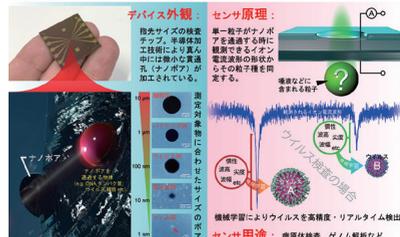
▶ 研究の先に見据えるビジョン

現在のコンセプトでは、既存のウイルス感染症であれば、ナノポアセンサが普及することでもたらされるビッグデータを基に大規模な機械学習データベースが構築でき、これによってナノポアウイルス検査の精度も上げられるであろう。さらに、このナノポア法を発展させウイルス内のゲノム検出に応用することで、未知の新型ウイルスであっても、そのゲノムの違いから速やかにウイルス検知が可能なシステムも実現できる。近い将来、本技術が広くウイルス検査に応用されることで、人の安全・健康に貢献できると期待している。

固体ナノポアのセンサ原理で検出可能な生体粒子・分子



固体ナノポアセンサと機械学習を応用したウイルス検査



特許

論文

Identifying Single Viruses Using Biorecognition Solid-State Nanopores
J. Am. Chem. Soc. 2018, 140, 16834–16841

参考URL

https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20181121_1
<http://www.bionano.sanken.osaka-u.ac.jp/>

キーワード ▶ ナノテクノロジー、ナノポア、ナノ流体、ウイルス検査

カーボンナノチューブの光励起電荷動力学の科学

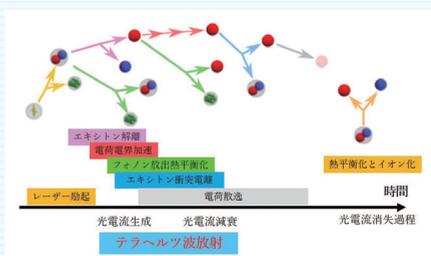
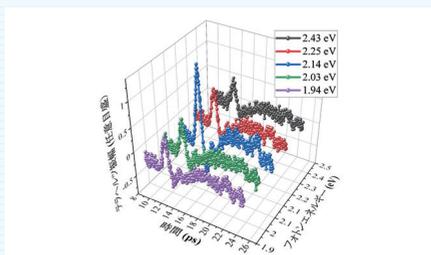
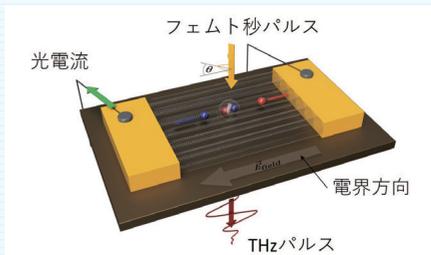
レーザー科学研究所

教授 斗内 政吉



▶ 特徴・独自性

ナノ材料(グラフェンとナノチューブなど)は次世代の電子材料として精力的に研究開発が進められ、一方、テラヘルツ科学(300GHz-30THz)は、様々な分野で研究開発が広がっています。それらは、ミリメートルとナノメートルの大きくかけ離れた分野に位置します。当研究室では、それらを融合したテラヘルツナノ科学の創生を提唱し、テラヘルツ技術を用いて、ナノ材料の新しい機能の探索と物性の本質の科学を解明するとともに、ナノ材料のテラヘルツデバイス応用などを目指しています。これまでに、ナノチューブを用いたテラヘルツ波偏光子の開発やナノ材料の低エネルギー物性・分子吸着動力学の解明などを行ってきました。ここでは、光励起によるテラヘルツ電磁波発生を用いて、ナノチューブからのテラヘルツ波発生を観測し、電荷や励起子の挙動を解明しています。フェムト秒レーザーにより、電界を印加したカーボンナノチューブ中に励起子(E22)が励起されると、直ぐに電荷に解離し、電界で加速され、光電流が流れることでテラヘルツ波が放射されます。このテラヘルツ波を観測することで、時間と共に変化する電荷の動きをとらえることができます。



▶ 研究の先に見据えるビジョン

このような電荷ダイナミクスやテラヘルツ波放射の新しい機能は、次世代の高速電子材料、光機能デバイス、テラヘルツ波デバイスの基礎となります。



特許 論文

Terahertz Excitonics in Carbon Nanotubes: Exciton Autoionization and Multiplication, Nano Letters, 20(5), 3098(2020)
 Adsorption energy of oxygen molecules on graphene and two-dimensional tungsten disulfide, Scientific Reports 7, 1774 (2017)
 Broadband terahertz polarizers with ideal performance based on aligned carbon nanotube stacks. Nano letters 12 (2), 787-790(2012)

参考URL <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/THP/>

キーワード ▶ ナノ材料、テラヘルツ科学、新機能デバイス

研究分野以外の関心分野・テーマ ライフサイエンス、AI、エネルギー

ナノテクノロジー・材料

有機リン化合物をレドックス触媒とする 貴金属フリーな触媒反応の開発

工学研究科 応用化学専攻

教授 蔦巣 守

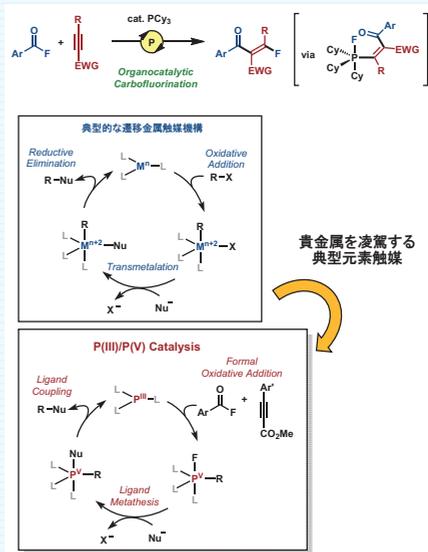


▶ 特徴・独自性

クロスカップリング (2010年ノーベル化学賞)、メタセシス (2005年ノーベル化学賞)、不斉水素化 (2001年ノーベル化学賞) など遷移金属錯体を用いる触媒反応は、従来法では合成不可能な有用物質合成を可能にしてきた。その半面、持続可能性の観点からは希少金属の利用は問題となる。本研究では、希少金属の代わりに典型元素であるリンを触媒として用いる新反応を開発した。リン原子は遷移金属とは異なり価数を変えにくいので、レドックスを伴う変換反応の触媒として機能することは困難であると考えられてきたが、本反応では3価と5価のリン種が相互変換することで、通常では進行することがない反応を進行させることに成功した。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

希少な遷移金属の持つ可逆的な価数変化という特性を、リンをはじめとする安価で豊富に存在する典型元素や典型金属でも発現させることができれば、現在稼働している希少金属触媒による化学プロセスをより安価で持続可能性の高いものへと置き換えることができる。のみならず、遷移金属触媒では困難なC-F結合形成などの反応も実現できる可能性がある。



特許

論文

Phosphine-Catalyzed Intermolecular Acylfluorination of Alkynes via a P(V) Intermediate
J. Am. Chem. Soc., 142 (41), 17323-17328 (2020).
<http://dx.doi.org/10.1021/jacs.0c08928>

参考URL

<http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~tobisu-lab/>

キーワード ▶ 触媒、典型元素、フッ素化、リン

テラヘルツ波による 超高速磁気記録・センシング

レーザー科学研究所

准教授 中嶋 誠



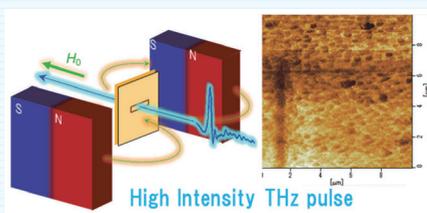
▶ 特徴・独自性

テラヘルツ波は周波数にして100GHz-10THzの電磁波であるが、次世代の通信規格である6G、Beyond5Gの帯域としても知られている。磁性体の磁気共鳴励起を利用することで、磁気記録材料として期待されるナノ磁性体(ϵ -Fe₂O₃)の超高速磁化反転すなわちテラヘルツ波による磁気記録を実証した。メタマテリアル技術と組み合わせ、高い空間分解能・高密度磁気記録(100nm以下の書き込みを実現)も可能である。安定で高空間分解能な磁気記録を高効率に実施できるため、今後の実用化が強く期待される。

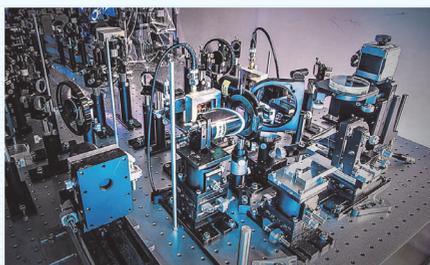
また、テラヘルツ領域は、指紋領域ともいわれ、物質の同定や識別などを非破壊・非接触で実施可能なためセンシングへの応用が期待されている。生体材料の超構造・多形の識別をはじめ、半導体の非接触電気伝導特性評価、ガス・液体の検知など、医療・製薬分野から工業応用など、今後の展開が期待される。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

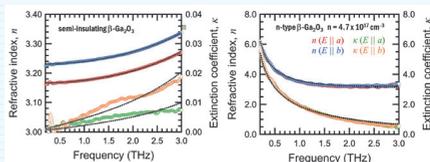
テラヘルツ領域は、今後の通信帯域で使われることから、光源やシステムなどが急速に進展している領域であり、その高い透過性・空間特性とその周波数領域がもつ情報により、通信・高周波デバイスにむけた利用・評価だけでなく、幅広い応用展開が期待されている。



テラヘルツ波パルスによる磁気記録の模式図とMFMによる磁化反転イメージ



テラヘルツ波実験系の写真



ワイドギャップ半導体酸化ガリウムβ-Ga₂O₃のテラヘルツ分光



特許 特願2019-024026、特願2018-065699、特願2020-180774

論文 Adv. Mater. 32, 2004897 (2020).
Appl. Phys. Lett. 118, 042101 (2021).
Sci. Rep. 10, 7321 (2020).
Phys. Rev. Lett. 120, 107202 (2018).
J. Am. Chem. Soc. 141, 1775 (2019).

参考URL https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2020/20201008_2
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210126_3
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2019/20190116_1

キーワード ▶ テラヘルツ電磁波、テラヘルツスピントロニクス、磁気記録、超高速量子制御、センシング

環境調和型高性能熱電変換ナノ材料の開発

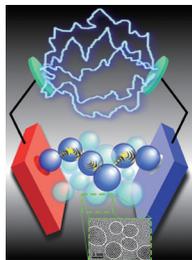


基礎工学研究科 システム創成専攻 電子光科学領域

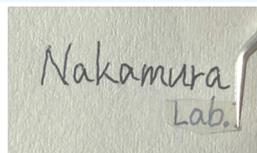
教授 中村 芳明

▶ 特徴・独自性

エネルギー消費量のうち70%は廃熱として捨てられており、この莫大な廃熱をターゲットとした熱電変換が新たなクリーンエネルギーとして注目されています。従来の熱電材料は高価・有毒な重元素が主に用いられてきましたが、安価・無毒な軽元素の場合、その低い熱電性能が課題でした。我々は、原子レベルで制御した独自ナノ構造（ナノドット・ナノワイヤ）形成技術を駆使して、熱電変換の至上命題であった電気と熱の独立制御を達成し、軽元素のみで構成した環境調和型高性能薄膜熱電材料を開発しました。あらゆる電子デバイスに使用されるSiに注目して、独自のSiナノドット連結構造を開発したところ、世界最小熱伝導率を達成し、Si系IoTセンサ電源としての可能性を示しました。一方で、世界中で使われている窓ガラスの熱にも注目し、透明ZnOナノワイヤ含有薄膜を開発した結果、熱伝導率低減と熱電出力因子増大を同時に達成し、透明ガラスを熱源とした透明熱電電源の可能性を示しました。



Siナノドット連結構造を用いた熱電材料



透明熱電材料

▶ 研究の先に見据えるビジョン

昨今のCOVID-19や高齢化社会により遠隔通信をベースとした新たな生活様式に移行しつつあります。こうした背景のもと、我々はナノ構造を用いた高性能薄膜熱電電源をIoTセンサに組み込むことで、新たな生活様式を支えるための遠隔通信社会システム実現に貢献します。これにより、医療・農業を含む幅広い社会分野を支えることを目指します。



見据えるビジョン



特 許

“熱電変換デバイス、熱電変換デバイスの製造方法及び電動装置”、特願2019-220283
 中村芳明、宮戸祐治、池内賢朗、走査型プローブ顕微鏡用試料ホルダ、走査型プローブ顕微鏡、およびセーベック係数算出方法、特願2019-021555、平成31年2月8日
 中村芳明、島田賢次、池内賢朗、“熱物性測定法”、特願2018-025000、平成30年2月15日
 “熱電材料及びその製造方法並びにそれを用いた熱電変換モジュール”、特願2012-124940、PCT出願番号:PCT/JP2013/063580

論 文

Observation of the quantum-confinement effect in individual Ge nanocrystals on oxidized Si substrates using scanning tunneling spectroscopy, Appl. Phys. Lett. 87, 13, 133119 (2005).
 Anomalous reduction of thermal conductivity in coherent nanocrystal architecture for Silicon thermoelectric material. Nano Energy 12, 845 (2015).
 Nanostructure design for drastic reduction of thermal conductivity while preserving high electrical conductivity. Science and Technology of Advanced Materials 19, 31 (2018).
 Methodology of thermoelectric power factor enhancement by controlling nanowire interface. ACS Applied Materials & Interfaces 10, 37709 (2018).
 High Thermoelectric Power Factor Realization in Si-rich SiGe/Si Superlattices by Super-Controlled Interface. ACS Applied Materials & Interfaces 12, 25428 (2020).

参考URL

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20141210/>
<http://www.adv.ee.es.osaka-u.ac.jp/>
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2014/20141210_1
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20181031_2
https://engineer.fabcross.jp/archieve/181101_nanowire.html
<http://www.optronics-media.com/news/20181031/53791/>

キーワード ▶▶▶ 熱電変換材料、ナノ結晶、コヒキタス元素、結晶方位、透明材料

原子層ナノデバイスの創製

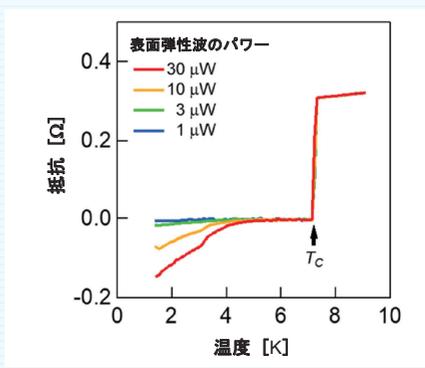
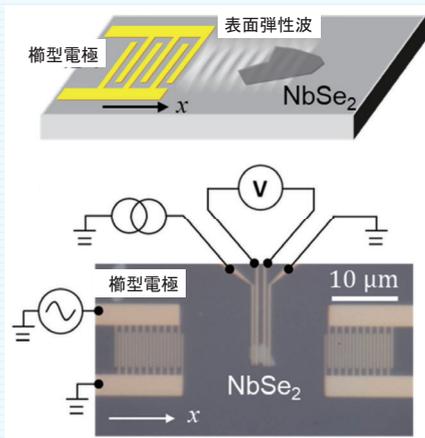


理学研究科 物理学専攻

准教授 新見 康洋

▶ 特徴・独自性

「原子一枚の層を作る」。これは20世紀において人類の究極の目標の一つでした。2005年に、粘着テープを用いるという非常に簡便な方法で、炭素の単一シート（グラフェン）デバイスが初めて作製されて以降、原子レベルで薄い「原子層薄膜」の研究が急進展しています。その中でも我々の研究グループは、抵抗の値がゼロ（ゼロ抵抗）になる原子層超伝導体に着目しました。-266℃でゼロ抵抗を示すNbSe₂という超伝導体を、粘着テープを用いて薄膜を作製し、圧電性をもつLiNbO₃基板に転写しました。さらにLiNbO₃上に準備した楕円電極に高周波電場をかけることで、格子の歪みに起因した「表面弾性波」と呼ばれるギガヘルツ（10億ヘルツ）の波を照射しました（図1）。その結果、通常ゼロ抵抗が観測される温度（超伝導転移温度 T_c ）以下で、抵抗が負になることを発見しました。負の抵抗は低温になるにつれて、また表面弾性波のパワーを強くするにつれて振幅が増大することが分かりました。半導体でも負性抵抗は実現しますが、これは電流電圧特性の傾きが負になるだけで、抵抗の値自体は負にはなりません。一方、今回発見した負の抵抗は、抵抗の値そのものが負になるという新現象です。



▶ 研究の先に見据えるビジョン

この技術は、周期的な外場を駆動することで、所望の量子状態を実現できる「フロック・エンジニアリング」への適用や、超伝導体を用いた量子コンピュータに新機能を付与することも期待されます。



特許

論文

Negative resistance state in superconducting NbSe₂ induced by surface acoustic waves
 Science Advances 6, eaba1377 (2020).
 DOI:10.1126/sciadv.aba1377

参考URL

<https://yasuniimi.net/>

キーワード

▶ ナノデバイス、原子層、超伝導

研究分野以外の関心分野・テーマ

情報通信、材料、エネルギー

高い反応性を示すラジカル種の安定化と機能性材料の開発

理学研究科 化学専攻

助教 西内 智彦



▶ 特徴・独自性

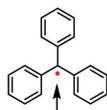
「ラジカル」とは電子が一つだけ孤立した状態で存在する分子のことを指す。電子が二つでペアになれば分子は通常非常に不安定であり、すぐに酸素など他の分子と反応を起こすためラジカル種は取り扱いの難しい化学種である。しかし、ラジカル種は磁気応答性をはじめ、近赤外吸収や発光といった光学特性、さらに容易な酸化還元特性を利用した電子移動反応など様々な用途への応用が可能であるため、空気下でも安定に取り扱えるラジカル種の開発は重要な研究の一つとなっている。

我々は、アントラセン(Ant)と呼ばれる骨格をメチル基に三つ導入したTAntMラジカル種の合成に成功し、空気下でも一か月以上目立った分解が進行しない高安定性、1000 nmに届く近赤外吸収と高い酸化還元能を示すことを明らかにした。さらにAnt上の置換基を変更することで二量体を形成し、その固体をすり潰すことで黄色→緑濃色へと変化して容易に単量体ラジカルを生成する刺激応答性を示すこともわかった。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

高い安定性、近赤外まで届く幅広い光吸収特性とその酸化還元能を活かした有機太陽電池素子や近赤外発光材料としての利用や、動的核偏極法を用いたNMR測定の前駆剤としての利用が考えられる。また、刺激応答性による色の変化を利用したセンサーや損傷部分が小さくても一目でわかる素材開発などへの展開も期待できる。

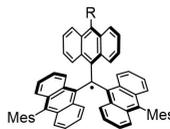
一般的なラジカル分子



孤立した電子
(不対電子)

不安定で取扱いが難しい

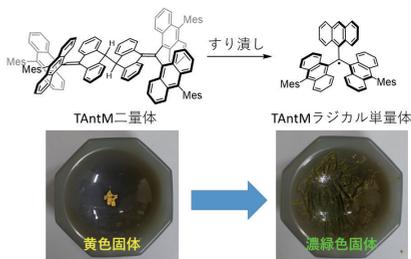
TAntMラジカル



R = Mes or H

- ✓ 空気下でも安定
- ✓ 近赤外吸収特性
- ✓ 高い酸化還元能

すり潰しによる色の変化 (刺激応答性)



特許

論文

参考URL

"Synthesis and Properties of a Highly Congested Tri(9-anthryl)methyl Radical"
Angew. Chem. Int. Ed. 2018, 57, 16516-16519.

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/kubo/>



キーワード ▶ 高安定ラジカル、近赤外吸収、酸化還元特性、刺激応答性

21世紀型持続性材料の開発：透明な紙・セルロースナノファイバー

産業科学研究所 自然材料機能化研究分野

教授 能木 雅也



▶ 特徴・独自性

セルロースナノファイバーとは、幅4-15nmのとても微細な繊維であり、地球上すべての植物に含まれる無尽蔵な天然資源です。

2000年頃、世界に先駆けて日本から、セルロースナノファイバーの研究開発はスタートしました。日本の研究者がこの分野を牽引し、ナノファイバーの製造方法、ナノファイバーの機械的特性など多くの研究成果が報告されています。そして2008年、私達は、このナノファイバーを使って「透明な紙」をつくることに成功しました。現在は、新たなセルロースナノファイバー材料の開発、透明な紙を用いた電子機器：ペーパーエレクトロニクスの研究を行っています。



土に還る生分解性センサー



透明な紙

▶ 研究の先に見据えるビジョン

これまで私達は、セルロースナノファイバーや透明な紙の研究を行ってきました。木材を熟知し、それら材料特性を自由に操ることで、高透明性・高耐熱性・高絶縁性など特徴を見出し、ペーパーデバイスへの応用を提案してきました。一方で、木材由来の高性能ナノファイバー素材：セルロースナノファイバーは、そのポテンシャルを完全に発掘されていません。そこで、木材やセルロースナノファイバーを軸とし、多方面の分野において21世紀型持続性材料の開発を行いたいと考えています。

進化する紙：ペーパーデバイスに向けて



ナノセルロースを用いたペーパーデバイスの未来



特許

論文

<https://doi.org/10.1002/adma.200803174>
<https://doi.org/10.1021/acscami.9b13886>

参考URL

<http://www.nogimasaya.com/>
<https://www.youtube.com/channel/UCYrTfJCO6RqJw1X15xYyDA>

キーワード ▶ ナノセルロース、持続性材料、低炭素社会

研究分野以外の関心分野・テーマ 木質材料、紙・パルプ

原子精度立体造形技術を駆使した 機能性ナノマテリアル創製



産業科学研究所 3次元ナノ構造科学研究分野

准教授 服部 梓

▶ 特徴・独自性

表面科学、超精密表面加工、薄膜結晶成長という試料作製技術を戦略的に融合させ、3次元拡張することで、「サブnmスケールでの立体造形とキャラクタリゼーション」を可能としました。これは既存の加工、造形、構造評価技術の常識を刷新する卓越した技術です。世界最高精度で10 nmオーダーのサイズで多様な機能性酸化物材料の完全位置・形状制御3次元ナノ構造体(図1)を作製でき、これまでマイクロサイズの試料中では埋没していた物性を解明し、また新奇物性の発見に至っています。

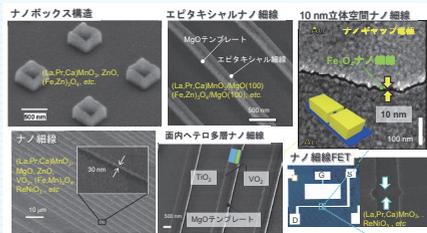


図1

▶ 研究の先に見据えるビジョン

ナノ構造作製技術は、物質開発とデバイス作製に関する究極のテクノロジーです。なぜなら物性を決める電子、スピン、電荷などには集団系に由来したナノサイズの特長が存在し、試料サイズを1-10 nmと微小化して特長と同等程度に迫ると、純粋化した物性の取り出し、言い換えると機能最少塊にアクセスが可能となるためです(図2)。ナノ構造と物性の関係を解明し、その特異性を安定化させる機能活性化の方法論を確立することで、機能活性化した材料の開発、ひいては効率を增大化したナノデバイスの具現化として産業界に貢献していきます。

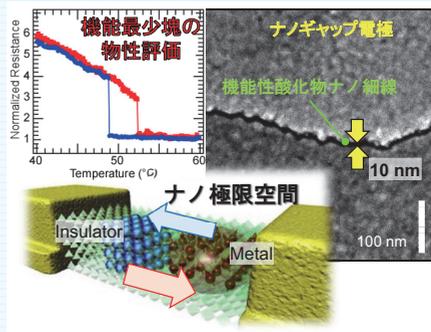


図2



特 許

論 文

"Fabrication of three-dimensional epitaxial (Fe,Zn)3O4 nanowall wire -structures and their transport properties", A. N. Hattori, Y. Fujiwara, K. Fujiwara, Y. Murakami, D. Shindo, H. Tanaka, Appl. Phys. Express 7, 045201 (2014).
 "Creation of atomically flat Si(111)7×7 side-surfaces on a three-dimensionally-architected Si(110) substrate", A. N. Hattori, K. Hattori, S. Takemoto, H. Daimon, H. Tanaka, Surf. Sci. 644, 86 (2016).
 "Investigation of Statistical Metal-Insulator Transition Properties of Electronic Domains in Spatially Confined VO2 Nanostructure" A. N. Hattori, A. I. Osaka, K. Hattori, Y. Naitoh, H. Shima, H. Akinaga, H. Tanaka, Crystals 10, 631 (2020).
 "Three-dimensional Nanoconfinement Supports Verwey Transition in Fe3O4 Nanowire at 10 nm length scale", R. Rakshit, A. N. Hattori, Y. Naitoh, H. Shima, H. Akinaga, H. Tanaka, Nano Lett. 19, 5003 (2019).
 "Identification of Giant Mott Phase Transition of Single Electric Nanodomain in Manganite nanowall wire", A. N. Hattori, Y. Fujiwara, K. Fujiwara, T. V. A. Nguyen, T. Nakamura, M. Ichimiya, M. Ashida, H. Tanaka, Nano Lett. 15, 4322 (2015).

参考URL

<https://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/tdn>

キーワード ▶ ナノ立体造形技術、3次元ナノ構造科学、強相関金属酸化物

金属タンパク質を基盤とする人工酵素 および人工光捕集系の開発

工学研究科 応用化学専攻

教授 林 高史 准教授 大洞 光司



▶ 特徴・独自性

持続可能な社会の実現において、高機能な生体高分子であるタンパク質は魅力的なマテリアルの一つである。我々の研究グループは、金属タンパク質、特にヘムタンパク質の化学的な改変により、革新的な触媒活性を示す人工酵素やタンパク質を基盤とする高機能材料の開拓を目指している。具体的には、ヘムタンパク質のヘム（鉄ポルフィリン錯体）を適切な人工金属錯体に置換する独自の手法を用いて、アルカン類の水酸化やメタン発生等に触媒活性を示す人工酵素の開発に世界に先駆けて達成した。また、ヘムを光増感色素に置換したヘムタンパク質の化学的な集合化によって、効率の良い人工光合成に不可欠な人工光捕集系として機能することを明らかにした。これらは高難度反応に対する触媒や人工光合成技術の実用化に寄与すると期待される。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

ヘムタンパク質は、ヘム分子の多様な反応性由来して、様々な機能を示すことから、新規触媒やバイオマテリアルの創製が期待されている物質である。我々の化学的アプローチにより得られる高次光捕集系は、その調製の簡便さや汎用性の高さから、革新的な人工光合成システム構築手法として期待できる。さらに独自の触媒系と組み合わせることで、昨今の世界的なエネルギー問題解決への貢献が大いに可能と考えられる。



特許

論文

Thermoresponsive Micellar Assembly Constructed from a Hexameric Hemoprotein Modified with Poly(N-isopropylacrylamide) toward an Artificial Light-Harvesting System
J. Am. Chem. Soc. 2020, 142, 1822–1831
Myoglobin Reconstituted with Ni Tetrahydrocorrin as a Methane-Generating Model of Methyl-coenzyme M Reductase
Angew. Chem. Int. Ed. 2019, 58, 13813–13817

参考URL <http://www.applied-bioinorganic.jp/jp/>

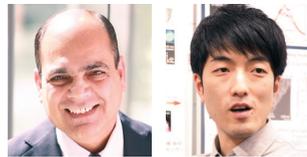
キーワード ▶▶▶ 触媒、人工酵素、光捕集系

研究分野以外の関心分野・テーマ ライフサイエンス、エネルギー

超広帯域なナノサイズ光源の開発と応用

工学研究科 物理学系専攻

教授 **バルマ プラブハット** 講師 **馬越 貴之**

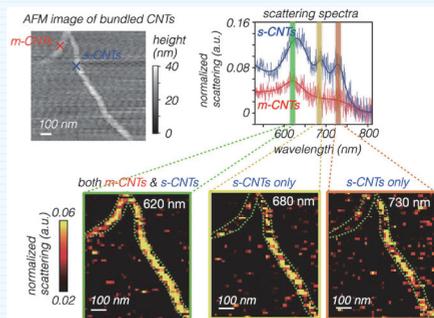
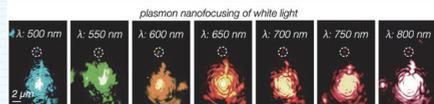
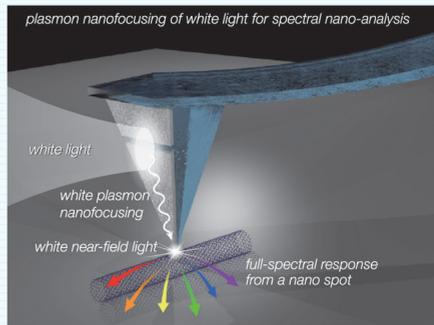


▶ 特徴・独自性

微細な金属構造を用いれば、ナノサイズの光を生成できる。この現象は、超解像イメージングや高感度センシングなどに古くから用いられ、ナノフォトニクスという研究分野やそこから生まれる産業を発展させてきた。しかし、その波長帯域は広くなく、単色性が高い。近年我々は、先鋭な金属針構造を用いて、非常に広帯域な（カラフルな）ナノサイズの光を生成できることを見出した。実際に、可視光域の全ての波長成分を含む白色のナノサイズ光源を生成し、広帯域な散乱スペクトル超解像イメージング法を実現することに成功した。この技術は、例えば半導体材料のバンドギャップをナノスケールの空間分解能で可視化することを可能にしたりと、様々なポテンシャルを有している。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

広帯域に動作するということは、任意の波長のナノ光源を生成できるということでもある。状況に応じて好きな波長のナノ光源を生成できる。ナノフォトニクス分野や関連業界・産業に既に存在する技術や製品に、極めて高い波長の自由度を提供できると考えており、先に述べた超解像イメージングや高感度センシングへの応用を始めとして、我々の新しいナノサイズ光源の可能性を今後も追求していきたい。



特 許

論 文

Takayuki Umakoshi*, Misaki Tanaka, Yuika Saito, and Prabhath Verma*, "White nanolight source for optical nanoimaging", Science Advances, 6(23), eaba4179 (2020).
Takayuki Umakoshi, Yuika Saito, and Prabhath Verma*, "Highly efficient plasmonic tip design for plasmon nanofocusing in near-field optical microscopy", Nanoscale, 8, 5634-5640, (2016).

参考URL

<http://naspec.ap.eng.osaka-u.ac.jp>
<https://sites.google.com/site/umakoshitakayukijp/home>

キーワード ▶ ナノフォトニクス、プラズモニクス、光計測技術

分子の自発的集積により構築する 有機多孔性材料

基礎工学研究科 物質創成専攻

教授 久木 一郎

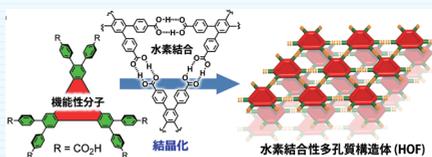


▶ 特徴・独自性

明確に規定された形、径、化学的性質の空孔をもつ多孔質材料は、構造に応じて気体、低沸点炭化水素、機能性分子、薬剤を選択的に吸着、所蔵、放出できるため、材料科学、環境科学、生命科学など幅広い分野での応用が期待できる。特に水素結合により形成される多孔性材料(HOF)は、高結晶性、簡便な製造工程、自己修復性・再利用性の観点から興味深い。ヘキサザトリフェニレンの単結晶性HOFは、CO₂に吸着選択性を示す。またヨウ素の吸着挙動を、単結晶を用いて容易に確認できる。さらに機能骨格をカルボキシフェニル基で修飾した分子からHOFを構築することで、外部から分子を吸着できる多孔性と、分子固有の機能性とも合わせた、複合機能性の多孔質材料へと展開できる。例えば、化学物質に対する選択的分子ふるい、好感度センサー、ドラッグデリバリーなどへの展開が可能である。これまでに塩化水素に応答して呈色する多孔質結晶を開発した。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

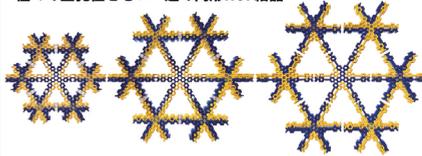
HOFは、使用後に劣化しても溶媒に溶解させて再結晶化することで、精製と構造体の再構築を同時にできる持続可能な材料である。さらに将来、天然由来の環境負荷の無い分子から“よく設計されたHOF”を構築することで、化石資源に頼らない、生体にも投与できるなど、持続可能な人間の暮らしを支える汎用機能材料が実現できると期待している。



• HOF単結晶の構成分子：ヘキサザトリフェニレン誘導体



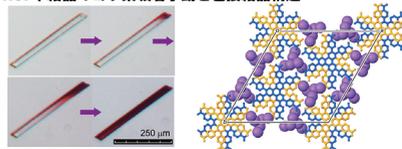
• 種々の空孔をもつ一連の同形HOF結晶



• HOF結晶粉末の塩酸蒸気に対する着色応答



• HOF単結晶のヨウ素吸着挙動と包接結晶構造



特許

論文

Angew. Chem. Int. Ed. 2018, 57, 12650-12655.
J. Am. Chem. Soc. 2019, 141, 2111-2121.
J. Incl. Phenom. Macro. Chem. 2020, 96, 215-231. (Open Access!)

参考URL

<http://www.chem.es.osaka-u.ac.jp/mac/>

キーワード ▶ 有機結晶、多孔性、センサー、ガス吸着、分子ふるい

研究分野以外の関心分野・テーマ ライフサイエンス、AI、エネルギー

カゴ型アルミニウム錯体の合成とそのルイス酸触媒能・高立体選択的グリコシル化反応の開発

理学研究科 化学専攻

教授 深瀬 浩一

工学研究科 応用化学専攻

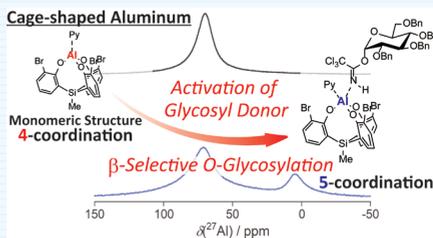
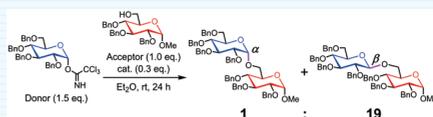
教授 安田 誠 助教 小西 彬仁



▶ 特徴・独自性

豊富な元素を利用した高度な物質変換は、持続可能な社会の実現に大きく寄与する。本研究では地殻中に豊富に存在するアルミニウムに着目し高機能ルイス酸触媒の開発を行った。剛直なトリフェノキシ配位子とアルミニウムイオンを1:1で錯形成し、カゴ型アルミニウム錯体を合成した。トリフェノキシ配位子は複数のアルミニウムイオンと錯形成した複核錯体を与えやすいことが知られているが、本研究では単核のアルミニウム錯体を選択的に得ることに成功した。この錯体は、中程度のルイス酸性を示し、高い触媒活性を示すことが明らかとなった。特に二糖類の合成において、高い触媒活性と高い立体選択性で反応が進行した。中程度のルイス酸性が触媒反応の促進を、嵩高い錯体の構造が立体選択性に効果的であったと考えられた。実験的にも特異な活性化機構で反応が進行することを見出し、アルミニウムを触媒点に用いた効果を明らかにできた。

果は、これらの課題に直接応えるもので、高選択的多糖類の合成への展開が期待される。さらに、本研究の知見は、糖同様複数の反応活性点を有するアミノ酸や脂質に対しても適用できると考えられる。より複雑な生体分子合成への展開が強く期待される。



▶ 研究の先に見据えるビジョン

多糖は有用な医薬品や生理活性物質に含まれる構造であり、その高効率・高選択的な合成法の構築は強く望まれる課題である。しかし、糖は多数の反応活性点を有することが一般的であり、望む部位かつタイミングでの反応が必要不可欠である。本研究で

特許

論文

Synthesis of Cage-shaped Aluminum Aryloxides: Efficient Lewis Acid Catalyst for Stereoselective Glycosylation Driven by Flexible Shift of Four- to Five-Coordination
Daiki Tanaka, Yuichiro Kadonaga, Yoshiyuki Manabe, Yoshiyuki Manabe, Koichi Fukase, Shota Sasaya, Hikaru Maruyama, Sota Nishimura, Mayu Yanagihara, Akihito Konishi, and Makoto Yasuda
J. Am. Chem. Soc. 2019, 141, 17466-17471.
Highlighted as a Cover Picture

参考URL

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.9b08875>
(Cover Picture) <https://pubs.acs.org/toc/jacsat/141/44>

キーワード ▶ ルイス酸触媒、アルミニウム、グリコシル化、立体選択的

時間分解静電気力顕微鏡の開発と電荷ダイナミクスの画像化

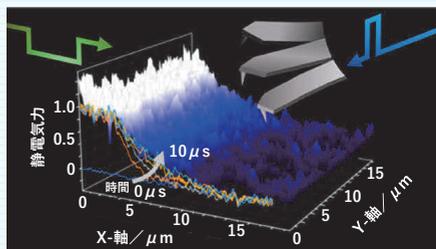


理学研究科 化学専攻

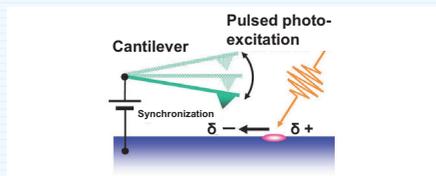
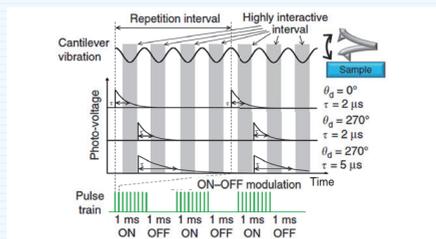
教授 松本 卓也

▶ 特徴・独自性

静電気力顕微鏡は高い空間分解能で表面電荷を見ることができる手法として材料科学、生命科学、デバイス工学を含む広範な分野で利用されている。近年、この手法にパルス光やパルス電圧を組み合わせることで時間分解能を付与する試みが精力的に行われているが、時間分解能を上げると十分な検出感度を得ることが難しくなることから、多くは原理検証実験にとどまっていた。松本グループでは、原子間力顕微鏡で用いる探針が高い周波数で振動していることを利用して、探針の動きとパルスレーザーによる電荷生成を同期する探針同期時間分解静電気力顕微鏡を開発し、300ナノ秒の時間分解能と高い検出感度を両立した。本手法をドナー層とアクセプター層の境界が明確に分かれた有機太陽電池二層膜に適用し、電荷の再結合の過程を動画で撮影することに成功した。さらにポリアニリン薄膜へ電荷をパルス注入することにより、移動度とキャリア密度を分離して観測することに成功した。



ポリアニリン薄膜への電荷注入による時間分解表面電荷画像



探針同期時間分解静電気力顕微鏡の原理

▶ 研究の先に見据えるビジョン

表面電荷の動きを高い時空間分解能で動画として観察する手法は、有機太陽電池、有機トランジスタ、コンデンサ、電池などのデバイスや触媒反応、光合成反応など、電荷ダイナミクスが関係する広範な分野への応用が期待される。



特 許

US 7,487,667 B2 "Probe apparatus for measuring an electron state on a sample surface"
US 7,874,202 B2 "Probe apparatus for measuring an electron state on a sample surface"

論 文

K. Araki, Y. Ie, Y. Aso, H. Ohoyama, T. Matsumoto, "Time-resolved electrostatic force microscopy using tip-synchronized charge generation with pulsed laser excitation", Communications. Phys. 2, 10-1-8 (2019). DOI: 10.1038/s42005-019-0108-x
K. Kajimoto, K. Araki, Y. Usami, H. Ohoyama, T. Matsumoto, "Visualization of Charge Migration in Conductive Polymers via Time-Resolved Electrostatic Force Microscopy", J. Phys. Chem. A 124, 25, 5063-5070 (2020). DOI.org/10.1021/acs.jpca.9b12017
松本卓也, 荒木健人, 樺本健太郎 "探針同期型時間分解静電気力顕微鏡による表面電荷マイグレーションの観測" 表面と真空63, (5), 245-250 (2020). DOI.org/10.1380/vss.63.245

参考URL

<https://nanochem.jp>
https://www.eurekalert.org/pub_releases/2019-02/ou-hsi021419.ppt
<https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/175359>
<https://twitter.com/NatureJapan/status/1110086878844248064>
<https://www.facebook.com/NatureJapan/posts/2278737618844600>

キーワード

静電気力顕微鏡、時間分解計測、表面電荷

水車型分子が駆動する 高活性ハロゲン化反応

工学研究科 応用化学専攻

教授 三浦 雅博 講師 西井 祐二

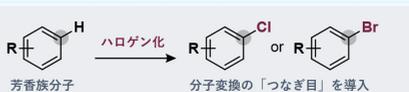


や発光材料などの有機エレクトロニクス分野における分子創成技術として有用である。

▶ 特徴・独自性

有機合成は世界最小のものづくりである。標的とする分子構造を効率的に組み上げるため様々な新技術が開発されてきたが、単純な分子(小分子)をつなぎ合わせて多種多様な機能を持つ素材(機能性分子)を創り出すには、その「つなぎ目」を作る技術が特に重要となるのは間違いない。塩素(Cl)や臭素(Br)といったハロゲン置換基は、あらゆる化学結合に変換できる「万能な」つなぎ目であり、これらを導入するハロゲン化反応は有機合成分野で「定石」として認識されている。

我々は、水車型のトリプチセン骨格を持つスルフィド触媒Trip-SMeを独自に開発し、広範な芳香族化合物のハロゲン化反応に対して高い触媒活性を示すことを明らかとした。特筆すべきことに、従来法ではBr₂やCl₂などの高反応性(=高毒性・扱いづらい)試薬の使用が避けられなかった化学変換を、本手法では安価で安定なNBSとNCSを用いて達成可能であった。この優れた触媒活性を活かして、従来の合成プロセスの劇的な短縮・効率化を実現するとともに、Trip-SMe触媒を用いてのみ構築可能な新規ビルディングブロックを多数創出できた。



多様な機能性分子(医薬品、農薬、有機EL、半導体材料 etc.)の創出

従来の合成手法



Br₂ (腐食性液体) & Cl₂ (猛毒ガス) 高活性なハロゲン試薬が必須(毒性が高く扱いづらい) 反応性の制御が困難

本研究の成果



高活性の水車型分子触媒を開発(現時点で世界最高レベルの活性) 安定で取り扱いやすいハロゲン化試薬を使って様々な芳香族分子を修飾可能



▶ 研究の先に見据えるビジョン

ハロゲン化反応における技術革新は、あらゆる分子設計に影響を与えることが期待できる。特に、精密な化学修飾が求められる創薬分野や、有機半導体



特許

論文

Yuji Nishii, Mitsuhiro Ikeda, Yoshihiro Hayashi, Susumu Kawauchi, Masahiro Miura, "Triptycenyli Sulfide: A Practical and Active Catalyst for Electrophilic Aromatic Halogenation Using N-Halosuccinimides" J. Am. Chem. Soc. 2020, 142, 1621-1629.

参考URL

<http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~miura-lab/>

キーワード ▶▶▶ 触媒反応、ハロゲン、有機分子触媒、芳香族分子

スマート触媒の開発:安全性・耐久性・高活性を兼ね備える次世代型ナノ合金触媒



基礎工学研究科 物質創成専攻

准教授 満留 敬人

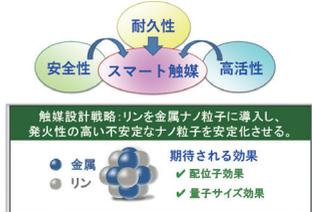
▶ 特徴・独自性

私たちの研究グループは、持続可能な社会の実現に向け、安全性・耐久性・高活性を兼ね備える次世代型触媒(スマート触媒)の開発を行っている。化学工業で使われる水素化反応用の触媒は、安価な非貴金属を用いているが、発火性が高く危険である。さらに、活性が不十分であるため、高温・高水素圧を必要とする。一方、私たちは、非貴金属にリンなどを加えたナノ合金を独自の手法で合成し、それらの利用することで、発火性がなく安全で、かつ温和な反応条件(常圧水素下)で様々な水素化反応を効率よく促進する高活性なナノ触媒の開発に成功した。さらに、これらの触媒は、反応後に容易に回収・再使用を行うことができ、高い耐久性を示す。

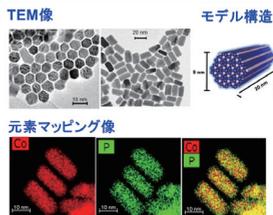
▶ 研究の先に見据えるビジョン

本研究成果により、現行の触媒プロセスを代替する、安全かつ省エネルギー、低コストの水素化反応プロセスの開発が期待できる。実際、その実用化に向けて複数の企業とさらなる研究開発に取り組んでいる。本触媒の特徴の一つである大気安定性によって、これまでの非貴金属触媒の調製法の制約がなくなるため、さらに高機能化した合金触媒の自在合成が可能となる。現在、上記 長所を踏まえたナノ合金化技術により、水素化以外の新規触媒も見出している。今後もリン化ナノ合金を使った新しい触媒化学を開拓していく。

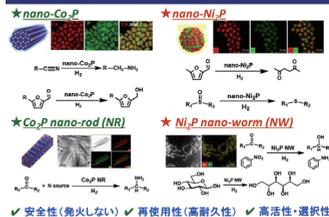
安全性・耐久性・高活性を兼ね備える次世代型触媒



リン化ナノ合金触媒: nano-Co₂P



開発した“スマート触媒”



特許 特願2020-005177, 2020-095190, 2020-117515

論文 Mitsudome, T.; Sheng, M.; Nakata, A.; Yamasaki, J.; Mizugaki, T.; Jitsukawa, K. A Cobalt Phosphide Catalyst for the Hydrogenation of Nitriles. *Chem. Sci.* 2020, 11, 6682-6689.
 Fujita, S.; Nakajima, K.; Yamasaki, J.; Mizugaki, T.; Jitsukawa, K.; Mitsudome, T. Unique Catalysis of Nickel Phosphide Nanoparticles to Promote the Selective Transformation of Biofuranic Aldehydes into Diketones in Water. *ACS Catal.* 2020, 10, 4261-4267.
 Fujita, S.; Yamaguchi, S.; Yamazoe, S.; Yamasaki, J.; Mizugaki, T.; Mitsudome, T. Nickel Phosphide Nanoalloy Catalyst for the Selective Deoxygenation of Sulfoxides to Sulfides under Ambient H₂ Pressure. *Org. Biomol. Chem.* 2020, 18, 8827-8833.

参考URL <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acscatal.9b05120>
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/sc/d0sc00247j>
<https://pubs.rsc.org/-/content/articlehtml/2020/ob/d0ob01603a>

キーワード ▶ 触媒, グリーンケミストリー, ナノ粒子, 合金

水素・炭素循環型社会に向けた触媒・光触媒

工学研究科 マテリアル生産科学専攻

教授 山下 弘巳 准教授 森 浩亮

講師 栗原 泰隆

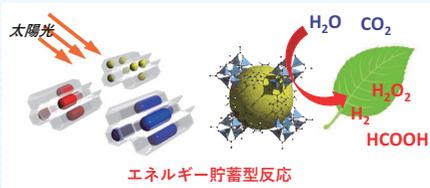


▶ 特徴・独自性

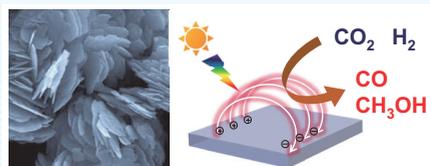
ナノ構造体を活用することで環境・エネルギー問題解決の糸口になる触媒・光触媒の設計を行い、クリーンエネルギーの開発、省エネプロセスでの環境浄化・快適生活空間の実現を目指しています。ナノ多孔体などの特殊形状を有する機能材料を利用して、最先端分光法による構造解析と量子化学計算などを活用することで、原子・分子レベルからデザインしています。触媒・光触媒開発において、「活性点の設計」と「反応場の設計」は重要です。ゼオライト・メソポーラスシリカ・金属有機構造体 (Metal Organic Frameworks, MOF) などが有するナノ空間では、微粒子〜クラスター〜分子・原子サイズの触媒活性点の構造制御が可能であり、親疎水性や静電場などを制御した反応場を提供できます。ナノ構造・ナノ空間を利用した活性点構造制御と反応場制御を試みることで、水素製造・二酸化炭素固定・過酸化水素合成・各種選択反応に有用な触媒・光触媒の開発を行っています。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

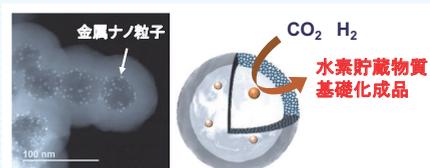
人間社会の急速な発展と化学燃料の乱用は、エネルギー危機、環境汚染、地球温暖化の問題を引き起こしています。触媒・光触媒は、再生可能エネルギー源と組み合わせると、上記の問題を解決する上で重要な役割を果たします。特にエネルギー・環境問題解決のキーポイントである水素・炭素循環型社会の構築に貢献するエコマテリアルの創製を目指しています。



多孔質光触媒を利用したエネルギー貯蓄型反応



プラズモン光触媒を利用したCO₂の再資源化反応



中空構造触媒によるCO₂からの水素貯蔵物質・基礎化成品の合成



特許 特許5504446、特許5854421、特願2016-255193

論文 H. Yamashita, et al., "Single-site and Nano-confined Photocatalysts Designed in Porous Materials", Chem. Soc. Rev., 47, 8072-8096 (2018).
K. Mori, H. Yamashita, et al., "Surface Engineering of a Supported PdAg Catalyst for Hydrogenation of CO₂ to Formic Acid", J. Am. Chem. Soc., 140, 8902-8909 (2018).
Y. Kuwahara, H. Yamashita, et al., "Plasmonic Molybdenum Oxide Hybrid with Dramatic Activity Enhancement under Visible Light", J. Am. Chem. Soc., 140, 9203-9210 (2018).

参考URL <http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp1/MSP1-HomeJ.htm>

キーワード 触媒、光触媒、ナノ構造制御、水素・炭素循環、アメニティー社会

難治性疾患に対する核酸医薬の開発



医学系研究科 保健学専攻 分子病理学

教授 山本 浩文

▶ 特徴・独自性

低分子、抗体医療に次ぐ新しい医療として注目されている核酸医療の実現のためには、難治性疾患のアキレス腱を攻める新規核酸の開発とこれを患部に届けるDDS、更には薬剤が患者に適合するかどうかを判定するコンパニオン診断薬の開発が重要です。私達は、これらのtriadを総合的に追究し、癌や炎症性疾患（関節リウマチ、潰瘍性大腸炎）、感染症などを対象として新しい医療開発に取り組んでいます。これまでに開発した核酸医薬品は動物疾患モデルで優れた成果を發揮し、14篇の学術論文で公表しました。その成果はmicroRNAによる癌治療に関する最近のReviewで繰り返し取り上げられ、私達の開発したDDSは、①高い抗腫瘍効果、②動物の腫瘍検体から標的分子発現のノックダウンを示している、③多くのDDSが局注のところ静注できる、④核酸投与量が少ないという点で最も期待されるデリバリー技術のひとつとして注目されています。

よって大きく変化を遂げるタイミングです。独自のtriadを追究することで、新しい医療を担う核になるための準備をしています。

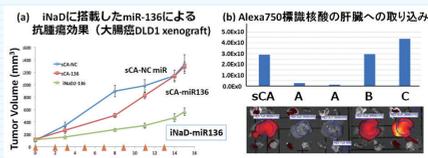


図1 独自のDDSによるmiR-136の抗腫瘍効果と肝臓への取り込み
 (a) sCAには20μgをiNaDには5μgのmiR-136を搭載し静注した。iNaDは5μgという少量の核酸でも優れた抗腫瘍効果を示した。(b) 化合物Aを利用して作成したiNaDは肝臓への核酸の取り込みをsCAの1/10²⁰に低減した。上段は肝臓の蛍光数値。下段は肝臓(中央)とその他の臓器をIVISで撮影したものの。化合物B、Cではこの効果はみられない。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

最近では更に肝臓などへの負担を減らすために新しいタイプのDDSであるiNaDの開発にも成功しています。2020年代は現状の医療が核酸医療の台頭に



特許

特許第5436650号、US9,295,640、特許第6443907号、US9,889,155、特許第6516723号、US10,150,966、特許第6560190号、US10,214,743、特許第6543612号、他、特許査定通知済1件及び出願中14件

論文

A Comprehensive Review of Cancer MicroRNA Therapeutic Delivery Strategies. Forterre A, et al. 2020 Jul 9;12(7):1852.
 Development of MicroRNAs as Potential Therapeutics against Cancer. Abd-Aziz N, et al. J Oncol. 2020 Jul 15;2020:8029721.
 MicroRNA-Based Therapy in Animal Models of Selected Gastrointestinal Cancers. Jana Merhautova, et al. Front. Pharmacol. 2016
 miR-4711-5p regulates cancer stemness and cell cycle progression via KLF5, MDM2 and TFDP1 in colon cancer cells. Morimoto Y, et al. Br J Cancer. 2020 Mar;122(7):1037-1049.
 Innovative delivery of siRNA to solid tumors by super carbonate apatite. Wu X, et al. PLoS One. 2015 Mar 4;10(3):e0116022.

参考URL

キーワード ▶ 核酸医薬、DDS、核酸医薬のコンパニオン診断

アモルファス固体の物理から深層学習のメカニズムまで —ランダム系の統計力学

サイバーメディアセンター

准教授 吉野 元



▶ 特徴・独自性

理論物理学の手法の一つである統計力学を用いると、異分野の問題にまたがる共通の数理構造が見つかることがあります。最近我々は、最もシンプルなアモルファス固体であるコロイドガラスを高密度に圧縮し、そこで初めて発現するマージナル安定な状態における力学的な性質(図1)を、統計力学による理論解析で予言し、阪大サイバーメディアセンターのスーパーコンピュータを用いた大規模分子動力学シミュレーションで実証することに成功しました。その一方、深層ニューラルネットワークによる機械学習において、デザイン空間にクラスター形成(ガラス転移に相当)が起こること、これが階層的な構造(図2)を持つことを理論的に発見し、その証拠を大規模シミュレーションによって捉えることに成功しました。これにはガラスの統計力学的研究の手法、概念が決定的な役割を果たしています。

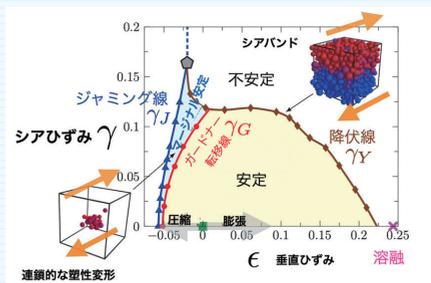


図1 高密度コロイドガラスにおける安定性マップ: ジャミング近傍の高密度領域に力学的にマージナル安定な領域を発見。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

我々が開拓を進めている「ランダム系の統計力学」を用いて、アモルファス物質の第一原理的なマテリアルデザインと、深層ニューラルネットワークなど情報科学の課題が共通の基盤で研究できるようになってきました。実用上大きな成功を収めつつも理論的理解が遅れ、ブラックボックスになっている深層ニューラルネットワークのメカニズムを解明し、さらに発展させる道が開かれつつあると考えています。

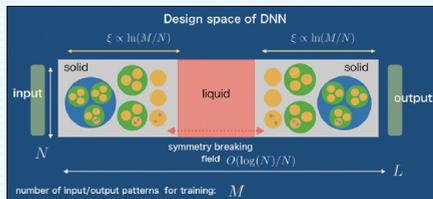


図2 深層ニューラルネットワーク内部におけるデザイン空間の模式図: 訓練データ数Mの増大とともに入出力層付近で階層的な解空間の分裂(ガラス転移に相当)が起こる。ネットワークが十分深ければ、中央部に分裂していない領域(液体相)が残る。



特許

論文

A stability-reversibility map unifies elasticity, plasticity, yielding, and jamming in hard sphere glasses
Yuliang Jin, Pierfrancesco Urbani, Francesco Zamponi, Hajime Yoshino
4 eaat6387 12 2018

From complex to simple : hierarchical free-energy landscape renormalized in deep neural networks
Hajime Yoshino
SciPost Phys. Core 2 005-1 - 005-56 4 15, 2020

参考URL

<http://www.cp.cmc.osaka-u.ac.jp/~yoshino/>

キーワード ▶▶▶ 統計力学、ガラス転移、情報統計力学、深層学習

原子間力顕微鏡 (AFM)・ケルビンプローブフォース顕微鏡 (KPFM) による酸化チタン表面上の酸素原子の電荷状態の認識と操作



工学研究科 物理学系専攻

准教授 LI YANJUN

▶ 特徴・独自性

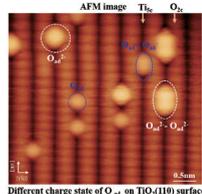
二酸化チタン表面上における酸素分子の化学反応の理解は、触媒開発の分野において非常に重要であるが、その反応機構は、未解明である。

この実験は、カンチレバーを高い共振周波数で小振幅動作させることが可能な高感度・高分解能な原子間力顕微鏡を開発し、この顕微鏡を用いて二酸化チタン表面上における酸素分子の振る舞いを原子スケールで観察した。原子間力顕微鏡は、トータルの電荷量に関係した物理量を測定できるため、表面の電荷移動現象を容易に評価できるという利点がある。

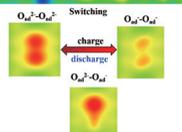
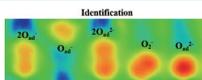
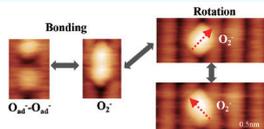
研究の結果、二酸化チタン表面に吸着した酸素分子・原子の電荷状態の観察と電荷状態の操作に成功した。即ち、2個の電荷を有する酸素原子に解離することを明瞭に観察できるとともに、個々の酸素原子の電荷状態を制御することができた。また、酸素分子に対して2個の電子を注入・引き抜くことによって解離と結合の操作が可能であった。さらに、密度汎関数理論の結果から、この結合制御には酸素分子に存在する反結合軌道の電子の存在が大きく関わっていることがわかった。

▶ 研究の先に見据えるビジョン

原子間力顕微鏡とケルビンプローブ力分光法を用いることにより、今後、様々な金属酸化物表面での触媒反応機構を原子レベルで解明できると期待される。



Different charge state of O_{ad} on $TiO_2(110)$ surface



特 許

論 文

Quanzhen Zhang, Yanjun Li, Huanfei Wen, Yuuki Adachi, Masato Miyazaki, Yasuhiro Sugawara, Rui Xu, Zhihai Cheng, Ján Brndiar, Lev Kantorovich, and Ivan Stich
 "Measurement and Manipulation of the Charge State of an Adsorbed Oxygen Adatom on the Rutile TiO_2 (110)- 1×1 Surface by nc-AFM and KPFM"
 Journal of the American Chemical Society, 140(46), 15668-15674 (2018).
 Yuuki Adachi, Huanfei Wen, Quanzhen Zhang, Masato Miyazaki, Yasuhiro Sugawara, Hongqian Sang, Lev Kantorovich, Ivan Stich and Yanjun Li
 "Tip-Induced Control of Charge and Molecular Bonding of Oxygen Atoms on the Rutile TiO_2 (110) Surface with Atomic Force Microscopy"
 ACS nano, 13(6), 6917-6924 (2019).

参考URL

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jacs.8b07745>
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsnano.9b01792>

キーワード

AFM, KPFM, Manipulation of the Charge State, Oxygen Adatom, Rutile TiO_2 (110), 原子間力顕微鏡, ケルビンプローブフォース顕微鏡, ルチル型酸化チタン, 酸素原子, 電荷状態の操作