

研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「新たな生産プロセス構築のための電子やイオン等の能動的制御による革新的反応技術の創出」
研究課題「ヒドリド含有酸化物を活用した電気化学CO₂還元」

希少な金属を使わず固体光触媒を開発

可視光で高選択的にCO₂をギ酸に変換

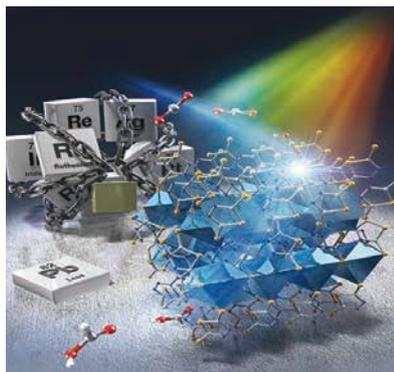
温室効果ガスの二酸化炭素(CO₂)を有用な化学物質に変換する「人工光合成」の技術は、脱炭素化に向けた基盤技術として注目を集めています。中でも再生可能エネルギーの有効利用という観点から、太陽光のおよそ半分を占める可視光を活用する光触媒システムが盛んに研究されてきました。しかし、その多くが高価な貴金属や希少金属を必要としているため、安価な元素を使った固体光触媒の開発が求められていました。

東京工業大学理学院化学系の前田和彦教授らの研究グループは、ありふれた元素である鉛を中心金属とし、鉛-硫黄結合を持つ配位高分子からなる固体光触媒「KGF-9」を開発しました。さらにこの触媒に可視光を照射し、CO₂を水素の生成・貯蔵に有用なギ酸へと高選択的に変換することに成功しました。また、反応に関与した電子の個数と、吸収された光子の個数の割合を表す「みかけの量子収率」については、420ナノ(ナノは10億分の1)メートルにおいて2.6パーセントに達しました。これは、単一成分の貴金属・希少金属を使わない固体光触媒によるCO₂からギ酸への変換で

は、現時点の世界最高値です。

希少な金属を使わず低コストでCO₂を効率的に変換できる固体光触媒の開発は、脱炭素社会の実現に道を拓くものと期待されます。今後は、光触媒KGF-9を用いて光触媒機能の発現をもたらす因子を明らかにすることで、鉛の仲間であるスズなどを用いた物質設計も可能となります。将来的には、毒性を持つ鉛を必要としない高性能光触媒の開発が望まれます。

光触媒KGF-9のイメージイラスト



銀(Ag)、レニウム(Re)、ルテニウム(Ru)といった貴金属・希少金属を使用することなく、安価な鉛(Pb)を用いた配位高分子を光触媒として利用し、CO₂からギ酸へ還元する様子を表現している。

研究成果

戦略的創造研究推進事業ERATO

山内物質空間テクトニクスプロジェクト

有機金属構造体を直接炭化、多孔性粒子創製へ

形態と細孔構造の高度な制御が可能

炭素を含む物質・材料は熱的・化学的安定性が高く、軽量で優れた導電性を備えていることから、エネルギー・環境分野への応用研究が進められています。カーボンナノチューブやグラフェンなどに代表される非常に小さなナノ炭素物質は、凝集すると有効表面積が小さくなることから機能が低下するという欠点があります。そこで、表面積が大きい多孔性炭素材料を用いる方法が模索されていますが、既存の合成法では均一な粒子形態の達成などが困難でした。

早稲田大学理工学術院の客員上級研究員兼客員研究院教授の山内悠輔先生らの研究チームは、有機金属構造体(MOF)粒子を出発物質として、これを直接炭化することにより、多孔性炭素粒子を合成する方法論を確立しました。MOF粒子の内部をエッチングしたり、MOF粒子の表面に別の組成のMOF粒子を被覆したりすることで、形態と細孔構造の高度な制御が可能になりました。

また、多孔性炭素材料を4つに分類し、それぞれのタイプの炭素材料を合成する方法論を作りました。さらに実験結果から、出発物質MOFに対する多孔性炭素材料の収率が30~50パーセント程度で、その合成物も約90パーセント以

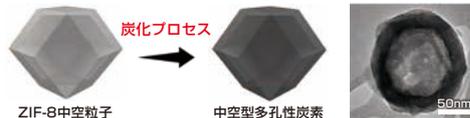
上の炭素原子からなる炭素質であることを確認しました。

これまでMOFそのものは化学的安定性や電気伝導率が低く、電気化学的な応用展開には不向きとされていました。しかし、今回確立したMOFの直接炭化法はこれらの欠点を克服しうるため、蓄電池や触媒などへの応用が期待されています。

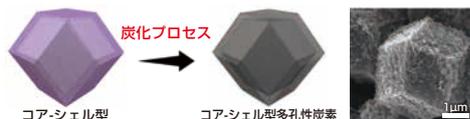
(1)単純型



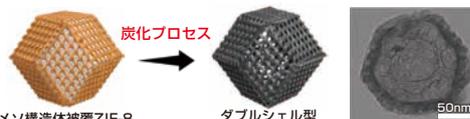
(2)中空型



(3)コア-シェル型



(4)ダブルシェル型



MOFを出発物質に用いた単純型、中空型、コア-シェル型、ダブルシェル型多孔性炭素材料の合成法と電子顕微鏡写真。いずれの型も、均一な粒子形態が達成されている。

研究成果

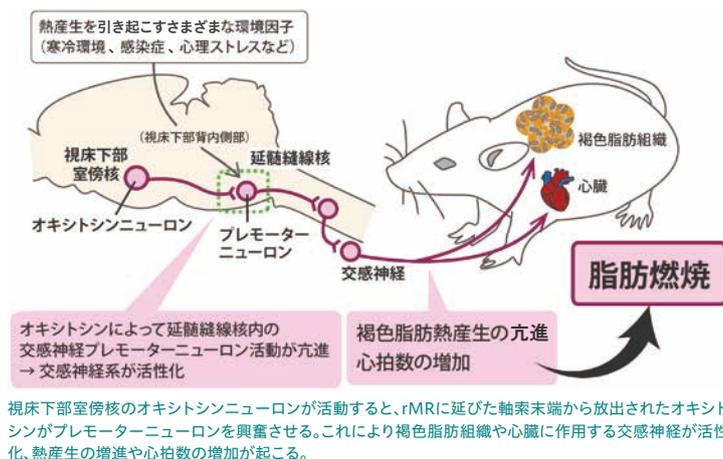
ムーンショット型研究開発事業
研究開発プロジェクト「恒常性の理解と制御による糖尿病および併発疾患の克服」

「愛情ホルモン」の作用メカニズムを解明
自律神経や肥満メカニズムの研究展開に期待

哺乳類は気温や栄養状態などに応じて、臓器・器官の機能を調節して体温や血圧、心拍数などを適切に保っています。この生体調節の司令塔とも言える視床下部では、多様な神経ペプチドが産生されていますが、その1つに「愛情ホルモン」とも呼ばれるオキシトシンがあります。出産や社会的行動の際に脳内および血中に放出され、鎮痛作用や抗ストレス作用などを示すことが知られていますが、近年オキシトシンがうまく働かないと、体温調節ができず肥満になりやすいこともわかってきました。

名古屋大学大学院医学系研究科の中村和弘教授らの研究グループは、オキシトシンが「脳のどこで」「どのような機構で」作用するのかを明らかにするために、ラット視床下部でオキシトシンを産生する神経細胞「オキシトシンニューロン」の軸索（神経線維）を、緑色に光る蛍光たんぱく質で可視化しました。その結果、この軸索は脂肪燃焼などを司令する信号を出力する吻側延髄縫線核領域「rMR」という延髄の一部に伸び、神経伝達することを確認しました。

また、光遺伝学的手法を組み合わせた生理学的な実験によって、オキシトシンがrMRに作用して交感神経系を活性化させ、熱産生や心拍数の増加を促すことを明らかにしたほか、オキシトシンが寒冷刺激、ストレスなどによる日常的な熱産生をも増強している可能性も示しました。オキシトシンの新たな作用が明らかになったことから、感情に関連した体温の上昇や心拍数の増加などの自律神経反応の解明や、新たな肥満関連の治療法の開発につながりそうです。



研究成果

戦略的創造研究推進事業 さきがけ 研究課題「超核偏極ナノ空間の創出に基づく高感度生体分子観測」
創発的研究支援事業 研究課題「MRI・NMRの未来を担う「トリプレット超核偏極の材料化学」」

室温で水の高核偏極状態化に成功
薬物スクリーニングや細胞内たんぱく質の解析に道

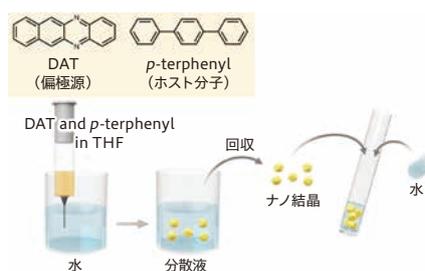
原子や分子は、核スピンと呼ばれる磁石のような性質を持っており、これを利用して分子の情報を得る方法が核磁気共鳴(NMR)や磁気共鳴イメージング(MRI)です。MRIでは体内水分子の信号を利用しますが、室温下で検出できる核スピンは0.001パーセント(10万個に1個)と非常に少なく、信号が弱いことが難点でした。解決法として、検出できる核スピンを増やす「動的核偏極」がありますが、マイナス150度以下の極低温測定、または測定に悪影響を及ぼすラジカル分子を加える必要がありました。

九州大学大学院工学研究院応用化学部門の楊井伸浩准教授らの研究グループは、有機結晶中の核スピンの向きがそろった核偏極を水分子に移行する新たな手法として「核偏極リレー」を開発し、室温で初めて水を高核偏極状態にすることに成功しました。結晶サイズが小さくなると、単位体積あたりの表面積が

大きくなり、水分子と接触して核偏極リレーに利用できる面積が大きくなることで偏極移行の効率が上がると考えられます。そこで再沈殿法を用いて大きさの異なる有機ナノ結晶を作製・解析し、結晶サイズと水分子に対する核偏極リレー効率の関係を明らかにしました。

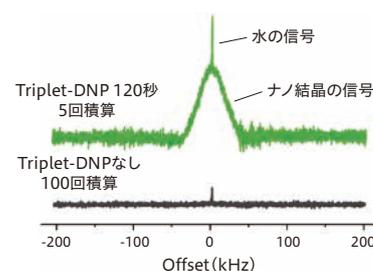
これまで結晶を偏極する例はあっても偏極を液体に移した例はなく、今回の結果は不可能を可能にする、まさに0を1にした成果といえるでしょう。今後はさまざまな生体分子に対するNMR/MRIの感度向上につなげ、薬物のスクリーニングや生きた細胞内たんぱく質の構造解析を行う新たな手法として注目が集まります。

再沈殿法を用いた有機結晶の作製方法



有機溶媒に溶かした偏極源とホスト分子を水中に注入し結晶分散液を得た後、ナノサイズの有機結晶を回収、水と混合する。

MM信号強度の観測結果



動的核偏極により核偏極がナノ結晶から水へ移ることによって、線幅の広いナノ結晶に加えて、線幅の狭い水でも信号強度の増強が観測された。