

化学の立場から環境を考える

# 環境物質科学専攻

Division of  
Environmental Materials Science



環境物質科学専攻では環境問題を化学物質の側面からとらえ、化学物質の分布や作用を調べるとともに環境の浄化や保全のための新たな手法に関する教育を行っています。化学は化学物質による様々な現象を解明する学問分野です。本専攻では化学を基盤とした環境問題に関する教育を行っています。化学物質というと、古くは有機水銀やPCB、最近では内分泌攪乱物質やダイオキシンなどを思い浮かべ、化学物質＝悪の代名詞のような印象を受けます。一方、身の回りには天然のものや人工のものを含めて私たちの生活に欠くことのできない有用な化学物質が数多く存在します。つまり、化学物質の恩恵により今日の豊かな生活が維持されていて、環境問題の解明や解決には化学を基盤とした研究が不可欠です。

たとえば、近年、低濃度で生命活動に影響を与える化学物質、いわゆる内分泌攪乱物質の存在が指摘されています。また、焼却炉から排出されるダイオキシンの問題が一時期マスコミなどでも取り上げられました。しかし、一方では内分泌攪乱物質やダイオキシンの影響は大きくないとも言われています。つまり、内分泌攪乱物質やダイオキシンのリスク評価はまだ十分に定まっていないと思われます。

化学物質の正確なリスク評価には化学物質の生体や環境への影響を化学の面から詳細に調べる必要があります。本専攻では有害物質の汚染状況を調べるための分析法の開発や特定の物質に高度な選択性を有する分析試薬の開発、生体と化学物質との特異な相互作用に関する研究とそれに基づく新規な環境影響因子の探索などを行っています。自然界に元々存在する化学物質に関する研究も重要です。たとえば、自然界には様々な生物が生存し、互いに影響しながら生態系が保たれていますが、生物が生産する微量物質が重要な役割を担っている場合が少なくありません。アレロケミカルなどの生物間相互作用物質の研究が行われています。優れた分析法により汚染状況が分かっただけでは環境問題は解決できません。汚染物質を取り除き、分解し、元の安全な環境に戻さなくてはならず、汚染物質の性質や分解法を研究する必要があります。本専攻では化学を基盤とした環境浄化法や環境修復法について研究しています。化学物質による汚染を解決する一番良い方法は汚染物質を環境中に出さないことです。たとえば、日本の石油化学産業では有用な有機物質を大量に生産していますが、同時に数千万トンもの二酸化炭素を排出しています。工業プロセスの効率を10%向上できれば大量の二酸化炭素の排出削減につながります。廃棄物を出さない方法、いわゆるグリーン化学プロセスは、環境負荷低減に最も有効です。本専攻ではグリーン化学プロセスに関しても研究しています。

環境修復法、環境浄化法、グリーン化学プロセスには様々な機能性環境材料の開発が必要で、機能性環境材料に関しても本専攻で研究しています。また、エネルギー効率を上げ、リサイクルできるゼロ・エミッション型のシステムを作ることも環境問題の解決に不可欠です。そのための燃料電池材料や省エネ型機能性材料に関する研究を行っています。最近、ナノテクノロジーを用いた機能性材料の開発が目まぐるしく進んでいます。本専攻ではナノテクノロジーを基盤とした触媒機能、光機能、電子機能などを有する機能性環境材料の構築や、その設計に必要なナノレベルでの反応機構や反応ダイナミクスの解明などを目指した研究を行っています。

以上のように本専攻では化学を基盤として環境問題の解明や解決に関する教育を行っています。そのため、化学を専門とする学生諸君の出願を歓迎しています。また、環境問題は多岐にわたり学際的研究が必要で、化学を専門としない場合でも、化学を基盤とした環境問題への取り組みに興味のある学生諸君を積極的に受け入れています。何れにせよ、化学の基礎知識の修得が必要で、そのためのカリキュラムを工夫しています。入学後は授業やセミナーなどで環境問題に関する知識を深めるとともに、指導教員の研究室に所属して、修士論文や博士論文の作成のための研究を行います。授業や研究を通して環境問題の解明と解決のための化学的手法を習得します。



専攻ホームページ

<https://www.ees.hokudai.ac.jp/material/>

# 講義科目とその概要

## Outlines of Lectures

授業科目	授業内容	担当者
環境物質科学基礎論Ⅰ	環境科学に対する基礎的な化学の知識・考え方を、分子・化学結合の観点から学習する。	七分准教授 加藤准教授
環境物質科学基礎論Ⅱ	環境科学に対する基礎的な化学の知識・考え方を、化学熱力学の観点から学習する。	神谷教授 廣川准教授
環境物質科学基礎論Ⅲ	環境科学に対する基礎的な化学の知識・考え方を、有機化学の観点から学習する。	小野田教授 高野准教授
分子環境学特論Ⅱ	生体と化学物質との関わりを分子レベルから概観し、両者の関係のあるべき姿を探る。	専攻担当全教員
分子環境学特論Ⅲ	地球環境に関わる最新のトピックスを取り上げ、分子・物質の立場から解き明かす。	専攻担当全教員
生体物質科学特論Ⅰ	生物が作り出す高分子化合物を中心とする様々な化学物質の機能、構造、代謝機構などを理解し、それらを有効利用する方法について学ぶ。	小野田教授
生体物質科学特論Ⅱ	天然由来の有機化合物を介した生物間相互作用や生態系維持のための化学メカニズムを解明するための方法論を学ぶとともに、生態系維持のための化学的プロセスを理解する。	沖野教授 梅澤准教授
ナノ環境材料化学特論Ⅰ	汚染物質排出の削減や、ゼロエミッション、環境の改善のための触媒技術について、触媒反応の基礎から応用、実用化されている触媒技術の実際について学ぶ。	神谷教授 廣川准教授 大友准教授
ナノ環境材料化学特論Ⅱ	様々な分子を検出するための機能材料の創製と、環境浄化のための高選択的な包接・分離、物質の精製法、物質変換法を、分子レベルで学び、環境問題へのアプローチを理解する。	小西教授 七分准教授
ナノ環境材料化学特論Ⅲ	金属や半導体など固体材料の構造や電子状態を学び、電気化学に基づいた環境負荷の低いエネルギー変換に資する界面材料、分子材料のナノレベル制御、設計と応用を学習する。	八木教授 加藤准教授
光電子科学特論Ⅰ	光と物質との相互作用、その結果生じる吸収、発光、エネルギー移動、電子移動過程などについて学習し、地球環境に関わる光化学プロセスを理解すると共に、光電子機能性素子を構成する分子および分子集合体について学ぶ。	ビジュ教授 高野准教授
光電子科学特論Ⅱ	省エネルギーやグリーンケミストリーのための新規電子・光機能材料・素子の構成材料とその機能性、動作原理を学ぶとともに、環境分野への応用について学習する。	堀江教授
環境触媒化学特論Ⅰ	基幹化学品の大規模生産における再生可能資源の利活用の課題に対して、固体触媒によるプロセスの高効率化・環境負荷低減について学習する。	中島教授
環境触媒化学特論Ⅱ	表面の化学と触媒作用の基礎および放射光や表面科学計測を用いた物質構造解析について学ぶ。	高草木教授
環境物質科学特別講義Ⅰ	環境物質科学に関した話題の国内外の研究者による特別講義	非常勤講師
環境物質科学特別講義Ⅱ	環境物質科学に関した話題の国内外の研究者による特別講義	非常勤講師
環境物質科学特別講義Ⅲ	環境物質科学に関した話題の国内外の研究者による特別講義	非常勤講師
環境物質科学特別講義Ⅳ	環境物質科学に関した話題の国内外の研究者による特別講義	非常勤講師
環境物質科学実習Ⅰ	環境物質科学に関する研究方法を実習する。	専攻担当全教員
環境物質科学実習Ⅱ	環境物質科学に関する実験・論文の書き方等を実習する。	専攻担当全教員
環境物質科学論文講読Ⅰ	環境物質科学に関する論文を講読し、要旨を発表するとともに、他の人の発表を聴き、この分野の最新の研究について学ぶ。(修士課程)	専攻担当全教員
環境物質科学論文講読Ⅱ	環境物質科学に関する論文を講読し、要旨を発表するとともに、他の人の発表を聴き、この分野の最新の研究について学ぶ。(博士課程)	専攻担当全教員
環境物質科学特別研究Ⅰ	指導教員の指導により、環境物質科学の研究を行い、その成果を修士論文として作成する。	専攻担当全教員
環境物質科学特別研究Ⅱ	指導教員の指導により、環境物質科学の研究を行い、その成果を博士論文として作成する。	専攻担当全教員

【環境科学院共通科目】

授業科目	授業内容	担当者
環境科学総論	入学式翌日より、環境科学を大学院で学ぶにあたって、環境科学全体像を俯瞰することにより、出発点となる動機を確認し、今後大学院での環境科学に関わる学習・研究を進める上で、自分の立ち位置を確認する。持続可能な3つの社会、低炭素社会、循環型社会、自然共生社会、および、キャリアパス設計などの解説およびチーム学習が行われる。	山中教授 (環境起学専攻)他
Introduction to Environmental Science (環境科学総論)	To learn several crucial issues in the global environment and to enhance ability of providing a possible resolution to the issues, this course consists of 15 lectures relating to the following issues; global warming, ozone depletion, acid rain, diversity of aquatic organisms, remediation and control technologies and so on.	S. Tsuyuzaki et al.
Fundamental course in Environmental Science Research	To acquire basic skills, ways of thinking for conducting research including ethical issues and presentation skills.	Okino, Ebuchi, Yoshida
国際環境科学実習Ⅰ・Ⅱ	To learn research methodology and techniques in environmental science	学院全教員
国際環境科学研究Ⅰ	Students, who are in short-term studying abroad within one year designated by the Graduate School of Environmental Science, are expected to learn basic study techniques in environmental science. (Short-term Students) Students are expected to deepen the knowledge, to foster the ability to make a review of articles and their study plans more precisely by studying at an overseas graduate school. (Regular Students of our graduate school)	学院全教員
国際環境科学研究Ⅱ	Students, who are in short-term studying abroad within one year designated by the Graduate School of Environmental Science, are expected to learn basic study techniques in environmental science. (Short-term Students) Students are expected to deepen the knowledge and foster the ability to make a presentation of the results more effectively by studying at an overseas graduate school. (Regular Students of our graduate school)	学院全教員
国際環境科学特別研究Ⅰ	Students, who are in short-term studying abroad within one year designated by the Graduate School of Environmental Science, are expected to learn advanced study techniques of environmental science. (Short-term Students) Students are expected to deepen the knowledge and foster the higher ability to review articles that are essential to write a doctoral thesis and learn some analytical methods by studying at an overseas graduate school. (Regular Students of our graduate school)	学院全教員
国際環境科学特別研究Ⅱ	Students, who are in short-term studying abroad within one year designated by the Graduate School of Environmental Science, are expected to learn advanced study techniques in environmental science. (Short-term Students) Students are expected to deepen the knowledge and foster the ability to collect samples and information related to a proposed study subject(doctoral course level) by studying at an overseas graduate school. (Regular Students of our graduate school)	学院全教員
国際環境科学特別研究Ⅲ	Students, who are in short-term studying abroad within one year designated by the Graduate School of Environmental Science, are expected to learn advanced study techniques in environmental science. (Short-term Students) Students are expected to deepen the knowledge and foster the advanced analytical techniques and the ability to make a presentation of the results more effectively by studying at an overseas graduate school. (Regular Students of our graduate school)	学院全教員

# 生体物質科学コース

## Course in Biomaterials Chemistry

生体と環境の関わりを分子レベルで解明することをめざし、生体が作り出す物質などの化学的特性や機能を調べるとともに、生体システムを利用・模倣した環境の浄化法・修復材料および生体関連物質の高感度モニタリングシステムの開発について学ぶ。

### 担当教員紹介

#### ●小野田 晃 教授

akira.onoda@ees.hokudai.ac.jp

Akira Onoda, Professor

有機化学、タンパク質工学、生体材料化学

Organic Chemistry, Protein Engineering,

Biomaterials Chemistry

人類、地球、繁栄のための行動計画として、持続可能な開発目標 (SDGs) が掲げられ、世界全体がこの目標に向っています。目標達成に立ちはだかる課題の解決には、環境に関するサイエンスとテクノロジーの発展が必要です。そのための最も重要なターゲットの一つが、タンパク質です。生物が生み出すタンパク質は、生物を構成する材料であり、すべての生物由来の材料を作り出し、様々な物質変換を行う酵素でもあります。したがって、材料や触媒としてのタンパク質の機能をより効率的に利用する技術が求められています。私たちはタンパク質を使ったバイオハイブリッド触媒、バイオハイブリッド材料を創製し、指向性進化工学の手法を活用して、タンパク質の機能を効率的に利用する技術を研究しています。有機化学、タンパク質工学、生体材料化学を礎として、循環型社会と地球環境保全に向けた新しいケミストリーとサイエンスを開拓しています。

### 非天然の物質変換を達成する バイオハイブリッド触媒の創製

酵素は、進化の過程を経て、機能を極限まで磨き上げた触媒です。最適化された反応場によって、温和な条件下で反応が進行し、高い基質・立体選択性を達成しています。一方、金属錯体の触媒は、配位子の精密設計によってC-C結合生成などの多様な化学反応の開拓と選択性の向上が

図られています。私たちは、循環型の物質変換を指向して、タンパク質が作り出す反応場と金属錯体触媒が有する多彩な反応性を融合したバイオハイブリッド触媒を開発しています。化学合成と微生物発酵による物質変換を融合し、バイオマスから有用物質群へ変換する技術を開拓しています。

### タンパク質を使った バイオハイブリッド材料の開発

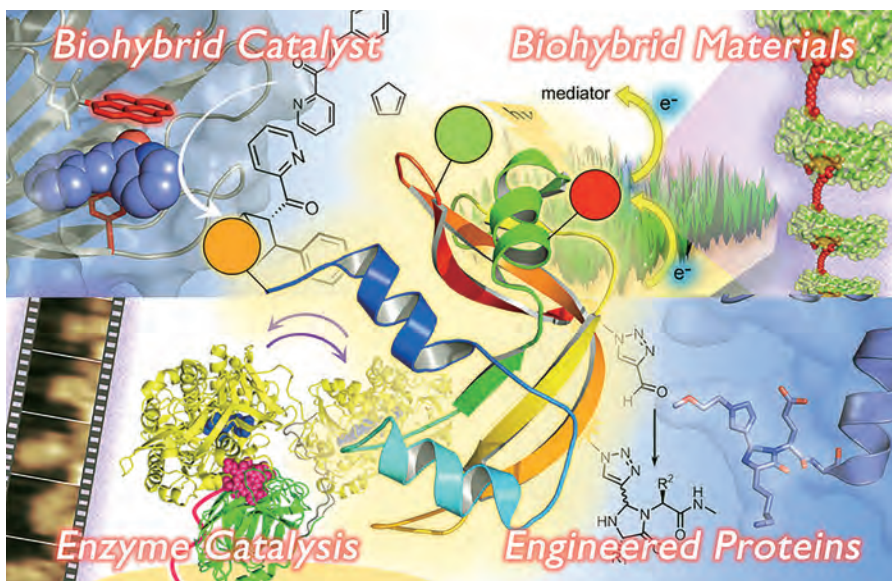
タンパク質や酵素が発現する電子移動、触媒、センサーなどの機能を材料と融合して利用することによって、バイオハイブリッド材料やバイオハイブリッドデバイスとして応用することができます。特に、タンパク質の位置を選択的に材料と化学的に連結することによって、タンパク質や酵素の機能を損なうことなく、利用できます。例えば、効率的な電子移動を可能にするバイオデバイスを構築可能です。

酵素を材料表面に固定化する技術を深化させて、動的構造変化と機能解明にも取

り組んでいます。高速AFM を活用し、タンパク質が触媒反応を行っている様子を直接観察し、連動したドメイン間の動きを捉えることにも成功しています。

### テラーメイドタンパク質を 自在につくる技術の開発

タンパク質は、遺伝情報に基づき転写、翻訳を経て、多様な構造と機能を持ち、翻訳後修飾により、さらに複雑な機能を獲得します。私たちは、有機化学を活用して、簡便に、かつ狙った通りの位置で化学修飾を施すタンパク質修飾技術を開発しています。機能性の分子を自在に導入したテラーメイドタンパク質を作製し、機能性材料、医療材料、触媒材料として医療や環境応用へ展開しています。加えて、タンパク質のアミノ酸変異をランダムに施して、狙った機能が向上した変異体を、効率的に得ることができる進化工学の技術も駆使しながら、新たなタンパク質とタンパク質材料の創製に取り組んでいます。



タンパク質を使ったバイオハイブリッド触媒、バイオハイブリッド材料の構築、酵素の機能解明、有機化学と進化工学によるタンパク質工学を軸に、タンパク質の機能を効率的に利用する技術を開拓

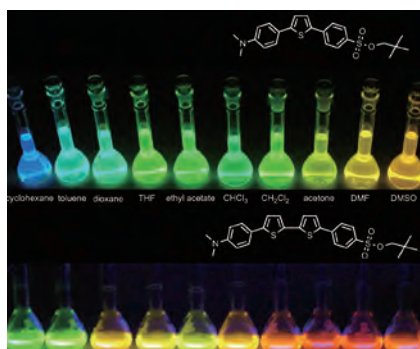


●山田 幸司 准教授

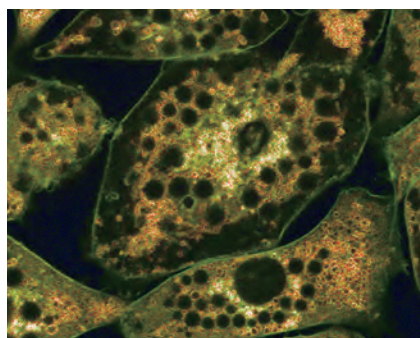
yamada@ees.hokudai.ac.jp  
Koji Yamada,  
Associate Professor  
構造有機化学、光化学、分析化学  
Structural Organic Chemistry,  
Photochemistry,  
Analytical Chemistry

鈴木・宮浦クロスカップリングなどの手法を用いて、特定の分子認識や環境変化・化学反応によって発光色が変わる蛍光ソルバトクロミック色素など機能性蛍光プローブを開発しています。また、構造有機化学的なアプローチにより、発光波長の近赤外化、化学発光色素化された機能性分子の開発も行っています。

当研究室の蛍光ソルバトクロミック色素は細胞に導入することで小器官を異なる発光色で染め分けることができます。この現象を利用して、細胞の分化などの機構を解明するツールとしての応用研究も行っています。また、基板やポリマーにこれらの色素を固定したセンシング材料の開発も行っています。



蛍光ソルバトクロミック色素



機能性色素を用いた細胞染色

●梅澤 大樹 准教授

umezawa@ees.hokudai.ac.jp  
Taiki Umezawa, Associate Professor  
海洋天然物化学、有機合成化学  
Marine Natural Product Chemistry,  
Synthetic Organic Chemistry

●諸角 達也 助教

moro@ees.hokudai.ac.jp  
Tatsuya Morozumi, Assistant Professor  
化学センサー、光化学、光エネルギー変換  
Chemosensor, Photochemistry,  
Photoenergy Conversion

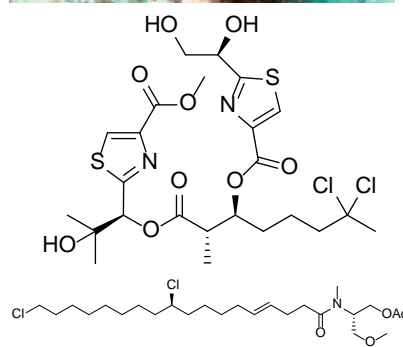
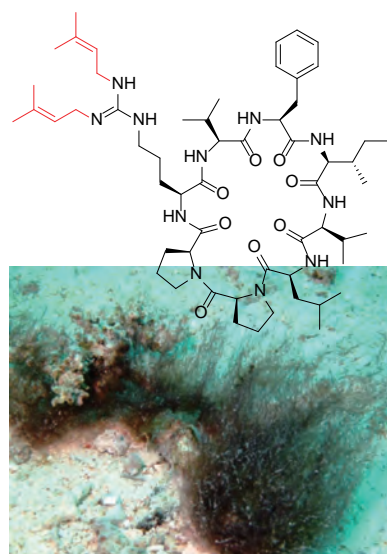
生物は様々な有機化合物を使って生命活動を営んでいます。これらの化合物には天然物と呼ばれるものがあり、人類に有用な化合物となり得ます。当研究室では、天然物を効率的に合成する研究を主に行っています。私たちの研究の一部を紹介します。船底にフジツボなどが付着すると、様々な悪影響を引き起こします。現在でも有害な付着阻害剤が用いられているため、環境にやさしい付着阻害剤の開発が急務です。一方、海洋生物から、付着阻害活性天然物（紅藻からオマエザレン、アメフラシからドラスタチン16）が得られます。私たちは、これら天然物が新規阻害剤として利用できると考えて合成しました。現在、これらの誘導体合成を経て付着阻害メカニズムを調べています。



●沖野 龍文 教授

okino@ees.hokudai.ac.jp  
Tatsufumi Okino, Professor  
海洋天然物化学、化学生態学  
Marine Natural Product Chemistry,  
Chemical Ecology

水圏の生物間相互作用あるいは海洋無脊椎動物の着生・変態現象に関与する天然有機化合物の構造を決定し、その作用機序を解明しています。また、酵素阻害活性などを指標とした海洋生物由来の生物活性物質の探索や生合成機構の解明に取り組んでいます。環境問題やエネルギー問題の解決に貢献したいと考えています。



藍藻の生物活性物質

# ナノ環境材料コース

Course in Environmental Nano-Materials

## 担当教員紹介

### ●小西 克明 教授

konishi@ees.hokudai.ac.jp

Katsuaki Konishi, Professor

有機化学、錯体化学、超分子化学

Organic Chemistry, Coordination

Chemistry,

Supramolecular Chemistry

### ●七分 勇勝 准教授

shichibu@ees.hokudai.ac.jp

Yukatsu Shichibu, Associate Professor

クラスター化学、錯体化学、計算化学

Cluster Chemistry, Coordination Chemistry,

Computational Chemistry

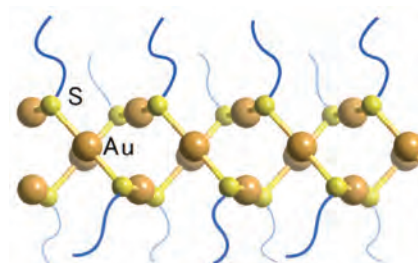
次世代に要求される高度な環境モニタリングや環境保全材料の基盤となるナノ機能物質の開発を目指して、金属クラスターや配位高分子をはじめとする「ナノ無機化合物」と「有機物・金属錯体」を分子レベルで複合・集合化した「ハイブリッド物質」の設計と機能開拓に関する研究を行っています。特に、「有機/無機ナノ界面」でおこなう物質認識(相互作用)・化学反応を機能発現の鍵と位置づけ、その基礎的見地からの理解を進めるとともに、有機合成・分子認識的手法を駆使したナノ界面場の構造制御を通じて、ターゲット物質や外部刺激に対して特異的な応答を示す化学センサー、機能性材料などへの展開を図っています。

## 金属クラスターの精密設計と化学センサーへの展開

有機化学・錯体化学を用いて、無機表面近傍でおこなう物質間相互作用(認識・捕捉)を解明するとともに、それに応じた光化学特性の変化を利用した高感度な発光センシング系の開発を行っています。有機合成に基づいて表面上に適切な認識場を構築し、無機中心との協奏的効果をデザインすることで、重金属イオンをはじめとする特定のターゲットに対して選択的に応答する系のテーラメード設計を行っています。また、こうした実験現象の理解を深めるため、理論計算による電子構造解析も行っています。

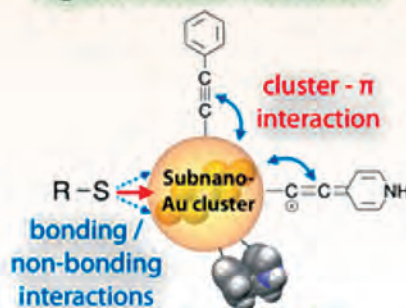
## 機能性配位高分子の設計

ポリエチレングリコールなどの親水性部位を含む有機高分子鎖の精密設計を通じて、金属原子を主鎖にもつ機能性配位高分子、環状オリゴマーの合成を行っています。有機部位間ではたらく分子認識やパッキング等を利用して高分子の高次構造を制御し、外部刺激に対して鋭敏かつ選択的な色変化・発光応答を示すスマートな材料開発を目指します。



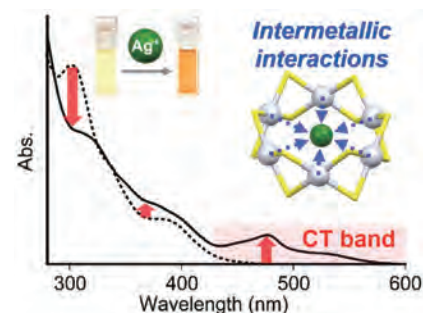
発光性金(I)ーチオラート配位高分子

### Ligand-based Toolboxes

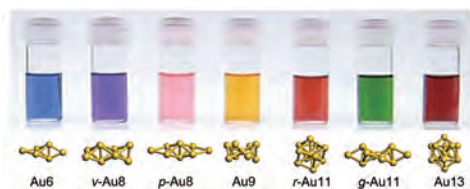


### Tuning of Optical Properties

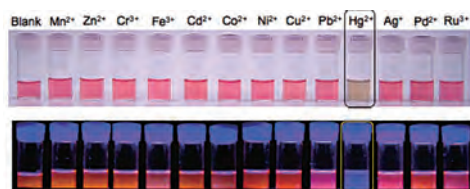
配位環境の変化に応じた無機クラスターの光特性変調



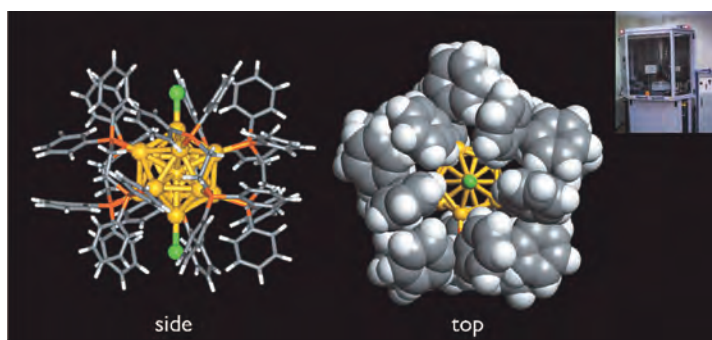
環状白金(II)クラスターによる金属イオン包接



鮮色を放つ金クラスター群



金クラスターによる金属イオン検出



X線結晶回折によって構造が決定された結合ポケットを有する20面体Au13クラスター



●八木 一三 教授

iyagi@ees.hokudai.ac.jp

Ichizo Yagi, Professor

電極触媒、エネルギー変換材料、界面分光学

Electrocatalysis, Energy-Conversion

Material, Interfacial Spectroscopy

●加藤 優 准教授

masaru.kato@ees.hokudai.ac.jp

Masaru Kato, Associate Professor

電気化学、錯体化学、人工光合成

Electrochemistry, Coordination Chemistry,

Artificial Photosynthesis

●中田 耕 助教

knakata@ees.hokudai.ac.jp

Kou Nakata, Assistant Professor

電気化学、無機化学

Electrochemistry, Inorganic Chemistry



茨城県つくば市にある高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の Photon Factory (PF) で実施している、その場X線吸収分光測定の様子。真ん中にある円形の物体が分光電気化学セルです。

白金を使わない燃料電池  
電極触媒の開発  
～生体に学ぶ分子設計～

現在の固体高分子形燃料電池の触媒には白金 (Pt) が多く用いられています。白金が高価な貴金属であることはご存じだと思いますが、その資源量は地球上に50mプール一杯分しか存在しません。そのため、燃料電池を大量生産してもコストは逆に急騰してしまいます。世界における自動車の数は今なお増加の一途を辿っており、白金を使わない優れた燃料電池用電極触媒の開発が急務となっています。私たちは、生体内の呼吸鎖において酸素を還元して有機物を酸化する、金属酵素に着目し、その機能を模倣した電極触媒を研究しています。その一つが、マルチ銅酵素の反応中心を模倣した複核銅錯体です。現状では、反応中心の一部を模倣した錯体が、燃料電池空気極で進行する酸素還元に対して活性を有していることを確認し、放射光施設で反応が進行しているその場での分子構造や電子状態を評価しています。

光で観る電極触媒の周辺環境  
～非線形分光によるアプローチ～

燃料電池電極触媒の白金ナノ粒子の周辺にはプロトン (H<sup>+</sup>) を運ぶためにイオン

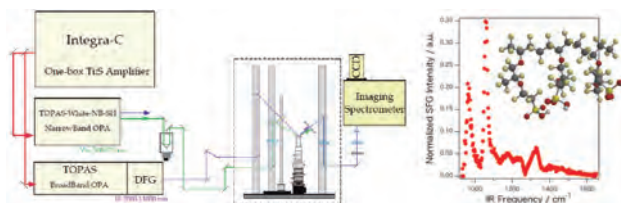
伝導性高分子 (アイオノマー) が存在しています。最近まで、アイオノマーがどのように触媒層内に存在しているのか、明らかになっていませんでした。私たちは、フェムト秒 (10<sup>-15</sup> s)、ピコ秒 (10<sup>-12</sup> s) という非常に時間幅が狭いレーザー光線を用いる、振動和周波発生 (VSFG) 分光法を用いて、Nafionという市販のアイオノマー分子が、その側鎖末端に有するスルホン酸を白金に向けて吸着することを実証しました。今後、アイオノマーが燃料電池作動中にどのような動的挙動を示すのか、明らかにしてゆきます。

金属酵素による生体内反応  
の反応機構解明  
～金属酵素修飾電極の表面  
振動分光～

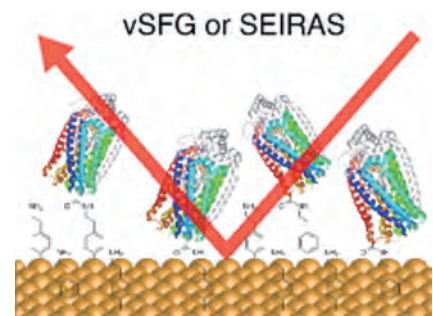
生体内分子の中には、エネルギー問題や環境保全に関連する重要な反応を非常に効率よく触媒する金属酵素などが数多く知られています。こういった機能性金属酵素の触媒反応機構が解明されれば、人工触媒の設計や開発にフィードバックすることができ、より高い触媒活性を示す人工触媒が開発できると期待されています。

私たちは、光化学系II複合体や一酸化窒素還元酵素といった太陽光エネルギー変換や汚染水浄化などに関連する金属酵素における触媒反応機構を解明するために、金属酵素の電極表面固定化法の確立や表面振動分光法によるその場観察などに取り組んでいます。

地球環境の保全 (Environment Protection) と持続的経済的成長 (Economic Growth) は、しばしば相反することと受け取られがちですが、私たちの生活基盤を維持しつつ、地球環境を保全してゆく新しい途はないものでしょうか? 現代の私たち科学者に課せられた使命のひとつは、そのための選択肢をできるだけ多く提案することではないかと考えています。上記2つのEを支えるためには、クリーンで安価なエネルギーの安定供給 (Energy Security) が不可欠です。当研究室は、3つのEを同時に達成することのできる技術として、燃料電池の根幹である電極触媒の開発や、それを取りまく動的環境を原子・分子レベルで解明する研究を推進します。さらに、第3のEに関するナレッジを蓄積し、効率的な再生可能エネルギーの利用に繋がる化学-電気変換デバイスやその基盤となるナノ構造体の研究を行います。



アイオノマーの界面構造を明らかにするために用いるVSFG分光計の模式図 (左) とナフィオン薄膜について得られたスペクトル (右)



金属酵素修飾電極の表面振動分光の模式図

●神谷 裕一 教授

kamiya@ees.hokudai.ac.jp

Yuichi Kamiya, Professor

環境触媒、水浄化、酸化物クラスター触媒

Environmental Catalysis, Water

Purification, Metal Oxide Cluster Catalyst

●大友 亮一 准教授

otomo@ees.hokudai.ac.jp

Ryoichi Otomo, Associate Professor

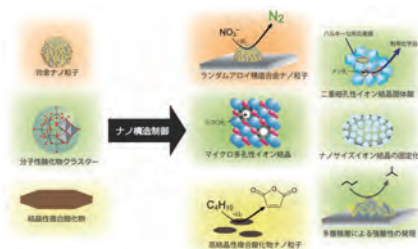
バイオマス変換、グリーン合成、多元機能触媒

Biomass Conversion, Green Synthesis,

Multi-Functional Catalyst

現代社会は資源・エネルギーの大量消費の上に成り立っています。しかし、資源・エネルギーの大量消費は、様々な環境問題を引き起こしました。また、化石資源は有限なので、いつかは必ず枯渇します。触媒化学は環境問題や資源枯渇の問題を解決するためのキーテクノロジーです。当研究室では“*We do not inherit the earth from our ancestors, we borrow it from our children.* (この地球は先祖からの贈り物ではなく、我々の子供達から少しの間借りている物なのだ)”の気持ちを大切に、環境浄化や環境保全に真に貢献する固体触媒・固体材料の開発を行っています。

高性能な固体触媒の開発には、目的とする反応を高速かつ高選択的に進行させる活性点の設計が不可欠です。さらに、実際に観測される触媒性能は触媒上にある多数の活性点で起きた反応の合算値なので、生来不均質な固体の表面に活性点を均質にできるだけ多く構築しなければ、優れた固体触媒にはなりません。私たちは、構造が明確で触媒として素質の良い触媒材料（合金ナノ粒子、分子性酸化物クラスター、結晶性酸化物）のナノ構造を積極的に制御することを基本コンセプトとして、高性能触媒の開発を進めています。



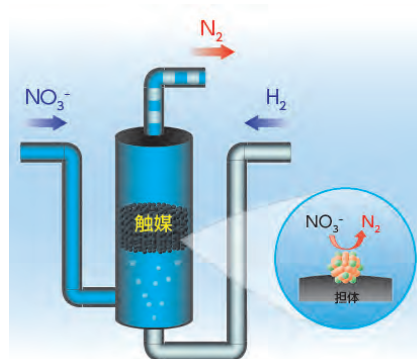
環境浄化・環境保全のための固体触媒・固体材料の開発コンセプト

## 汚染水浄化のための固体触媒開発

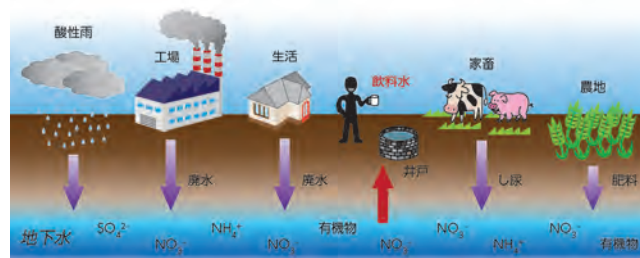
日本は水に恵まれた国です。しかし、外国から多くの農作物や畜産酪農製品、工業製品を輸入しているため、それらの国々の水を間接的に消費しています。全世界が持続的に発展するためには、清浄な飲料水を長期にわたって確保することが不可欠です。しかし、様々な人的要因によって大切な水資源の地下水が汚染されています。私たちは、大気圧下、室温付近といった穏和な条件で地下水汚染物質の硝酸態窒素を $N_2$ へと水素化分解する合金クラスター触媒を開発しました。また、地下水の前処理と触媒反応を組み合わせることで、実際の汚染地下水を浄化することに成功しました。

また、光触媒反応によって水中に微量の $H_2$ を発生させ、その $H_2$ によって硝酸態窒素を $N_2$ へと分解する光触媒反応系の研究も行っています。太陽光を駆動力とする光触媒反応系を開発することが目標です。

生物に有害なアンモニアや含窒素有機化合物を含む廃水を浄化するための、固体触媒の開発にも取り組んでいます。



固体触媒反応による地下水浄化



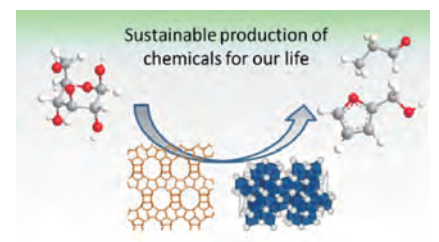
地下水汚染の原因

## 植物バイオマスから有用化学品を合成するための固体触媒の開発

現代社会の豊かな生活を持続させるためには、資源循環型の化学物質の生産を実現することが必要です。私たちは、植物バイオマスが再生可能な炭素資源であることに着目し、植物バイオマス由来の物質から有用な化学品の合成するための固体触媒の開発を行なっています。

私たちは、植物バイオマスから得られる低級多価アルコールを様々な化学品の原料となる有用なアルデヒド類に選択的に変換する金属リン酸塩触媒を開発しました。

遷移金属酸化物は、同一の金属であっても金属の原子価によってさまざまな組成・構造を有します。私たちは、原子価の異なるチタン酸化物を自在に合成する方法を開発し、なおかつナノ粒子化することに成功しています。このようなユニークな組成・構造をもつ新しい触媒材料を開発し、バイオマス変換に関わる触媒反応への応用を進めています。



固体触媒を用いた植物バイオマスからの有用化学品の合成



●廣川 淳 准教授

hirokawa@ees.hokudai.ac.jp

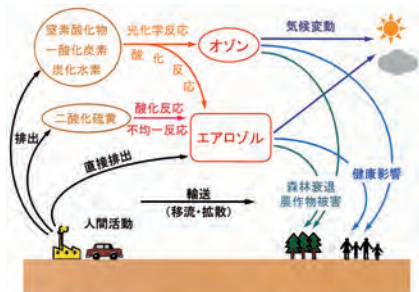
Jun Hirokawa, Associate Professor

大気化学、大気物理化学

Atmospheric Chemistry, Atmospheric Physical Chemistry

大気中で起こる化学反応は様々な環境問題に深く関わっています。本研究室では、いま起きている大気環境問題の解決や、今後起こるかもしれない新たな問題の予見を目指し、大気中で起きている化学反応を実験室レベルで解明するための研究を行っています。具体的なテーマは以下の通りです。

- (1) 揮発性有機化合物からの粒子生成過程の研究
- (2) 大気酸化反応中間体の反応速度研究
- (3) 海塩エアロゾルの不均一反応の研究
- (4) 新たな微量成分濃度測定手法の開発



対流圏におけるオゾン、エアロゾルの環境影響と、これらの生成に関わる化学過程

●野呂 真一郎 教授

noro@ees.hokudai.ac.jp

Shin-ichiro Noro, Professor

環境修復化学、錯体化学、多孔性材料

Environmental Remediation Chemistry, Coordination Chemistry, Porous Materials

●Liu Tong 助教

liutong@ees.hokudai.ac.jp

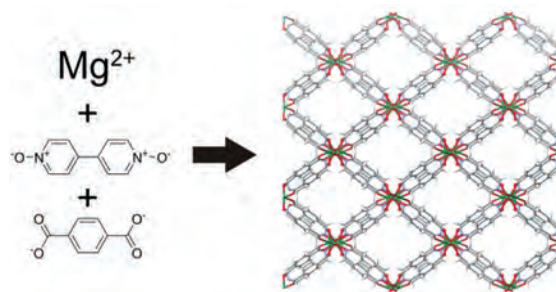
Tong Liu, Assistant Professor

残留性有機汚染物質、環境動態解析、環境負荷およびリスク評価

POPs (Persistent Organic Pollutants), Environmental dynamic analysis, Environmental load and risk assessment

たくさんの小さな孔（あな）をもった多孔性物質は、孔の中に分子が取り込まれる現象“吸着”を利用して、環境中の汚染物質を選択的に除去したり、エネルギー源や化学品原料となる分子を効率的に精製するこ

とができます。これまでゼオライトや活性炭などが多孔性物質としてよく知られていましたが、最近金属イオンと有機配位子から得られる多孔性金属錯体が新しい多孔性材料として注目を集めています。当研究室では独自の設計に基づいて多孔性金属錯体を合成し、多孔性機能の高機能化や全く新しい多孔性機能を実現することによって、環境問題やエネルギー問題の解決に貢献したいと考えています。



均一なナノサイズの孔を有する多孔性マグネシウム錯体。



気相-液相不均一反応を研究するための実験装置



多孔性金属錯体の研究に用いるX線回折装置(左)とガス吸着装置(右)

# 光電子科学コース

Course in Molecular Photonics and Electronics Science

## 担当教員紹介

### ●堀江 正樹 教授

mhorie@mx.nthu.edu.tw

Masaki Horie, Professor

機能物質化学、分子機械、共役分子

Functional Materials, Molecular Machines,

Conjugated Molecules

### ●陳 楷荃 助教

kjchen@es.hokudai.ac.jp

Kai-Jen Chen, Assistant Professor

機能物質化学、分子機械、共役分子

Functional Materials, Molecular Machines,

Conjugated Molecules

### ●笠原 遥太郎 助教

yotaro@tohoku.ac.jp

Yotaro Kasahara, Assistant Professor

有機材料科学、超分子化学、分子集合体

Organic Materials, Supramolecular

Chemistry, Dynamic molecular Assembly

有機分子や分子集合体を基盤とする光材料や電子材料の構築、物性解明、機能の開拓に取り組んでいます。特に、光エネルギーを動力へと変換する新材料を開発し、環境物質科学への応用を目指しています。これらは、分子レベルの制御からデバイス作成まで、革新的な環境物質科学の新境地を切り開くものです。

## 光機能性共役分子の開発

共役分子は、単結合と二重結合が交互に並ぶ構造により、 $\pi$ 電子が非局在化し、特有の光・電気特性を示します。そのため、分子構造に応じた物性のチューニングが可能であり、太陽電池、トランジスタ、バッテリー、センサー、ディスプレイなどの多彩な有機デバイスへの応用が期待されています。

私たちは、種々のカップリング反応や開環メタセシス重合などの合成手法を駆使して、こうした共役分子の合成に取り組んでいます。また近年、非破壊かつリアルタイムでのバイオイメージングを可能とするフォトフラクティブ材料・デバイスの開発にも注力しています。

特筆すべき成果として、世界で初めて、三角形から円形へと可逆的な形状変化を示す環状アゾベンゼン分子の開発に成功しました。この分子は高い新規性と発展性を有し、エネルギー変換、ホスト・ゲスト化学、分子分離、分子貯蓄など、多岐にわたる応用が期待されています。現在、これを研究の中心課題として、さらなる機能探求、集合化、デバイス応用に向けた展開を進めています。

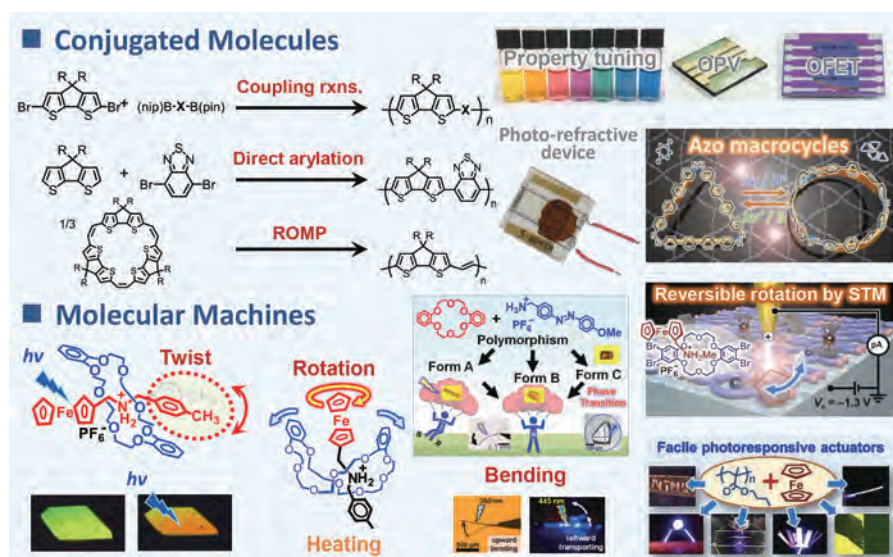
## 光駆動超分子マシンの開発

光応答性アクチュエーターは、外部刺激に応じて形状やサイズを変化させることが

可能なため、ロボティクスやエレクトロニクス、バイオメティクスなど多分野での革新が期待されています。私たちは、とりわけ単結晶や薄膜中で光エネルギーを動力に変換する超分子マシンの開発に取り組んでいます。例えば、軸分子と環状分子からなるロタキサン単結晶に光を照射すると、軸分子が回転し、その結果、結晶の干渉色や形状が変化します。これにより、光を照射するだけで機械的な動作を引き起こすことが可能です。また、フェロセン部分の光・熱による回転運動の誘起や、アゾベンゼンを含むロタキサン結晶の屈曲運動も実現しています。

さらに、フェロセンアンモニウム分子をクラウンエーテル薄膜に集積することで、分子の回転運動を制御可能な超分子ナノマシンの開発にも成功しました。この研究では、走査型電子顕微鏡 (STM) を用いて 1 nm スケールの単分子操作が可能となり、超高密度デバイスの実現に貢献しています。半導体デバイスのさらなる微細化が進む中、ナノメートルスケールでの集積化・制御技術は不可欠であり、私たちの手法はそのニーズに応える有望なアプローチです。

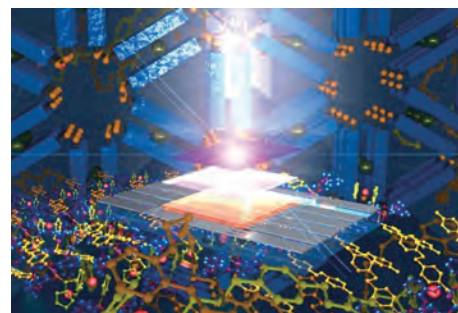
一方で、光応答性ポリマーを用いたアクチュエーターの開発も進めています。私たちが作製したフィルムは、レーザー照射のオン・オフで膨張・収縮し、これにより屈曲運動や物体を上下に持ち上げるマイクロマシン、遠隔スイッチング回路の実現が可能となりました。



光機能性共役分子と超分子マシンの開発



機能性分子の合成と光照射実験



分子マシンの集合と光デバイス化



●ヴァスデヴァン ピライ=ビジュ 教授

biju@es.hokudai.ac.jp

Vasudevan Pillai Biju, Professor  
材料合成、半導体、有機-無機ハイブリッド材料、  
太陽エネルギー利用材料、ナノ材料、  
量子ドット、発光材料、エネルギー材料、  
励起子科学、電子移動

Materials synthesis, Semiconductors,  
Organic-inorganic hybrid materials,  
Nanomaterials, Quantum dots,  
Luminescent materials, Energy materials,  
Exciton science, Electron transfer,  
Solar energy harvesting

●高野 勇太 准教授

tak@es.hokudai.ac.jp

Yuta Takano, Associate Professor  
光機能性有機分子、  
生体触媒を使ったナノ材料開発、  
ナノ炭素材料、電子移動、細胞機能の光制御  
Photofunctional Organic molecules,  
Development of nanomaterials using biocatalysts,  
Nanocarbon materials, Electron transfer,  
Photocontrol of cellular functions

Development of nanomaterials using biocatalysts,  
Nanocarbon materials, Electron transfer,  
Photocontrol of cellular functions

●岡本 拓也 助教

okamotot@es.hokudai.ac.jp

Takuya Okamoto, Assistant professor  
ナノ粒子、ハロゲン化鉛ペロブスカイト、  
超結晶、励起子科学、レーザー  
Nanoparticle, Lead halide perovskite,  
Supercrystal, Exciton science, Laser

私達はエネルギーと環境における諸問題の解決に向けて、発光特性を有する量子ドット・有機分子・ナノ粒子などの機能性ナノ材料を合成し、その特性やダイナミクスを高い時空間分解能で明らかにする研究を行っています。

機能性ナノ材料の集積と励起子光物性の制御

量子ドットやハロゲン化鉛ペロブスカイトなどの半導体ナノ材料は、次世代太陽電池や新規発光材料、量子デバイス開発において重要な役割を果たします。特に、量子ドットを適切に集積させることで、単一の量子ドットとは異なる特異な励起子光物性が発

現します。私たちは、量子ドット表面に配位するリガンドの交換反応を利用した高秩序な量子ドット集積体のボトムアップ形成や、外部刺激による集積構造変化に起因する励起子光物性の制御に取り組んでいます。

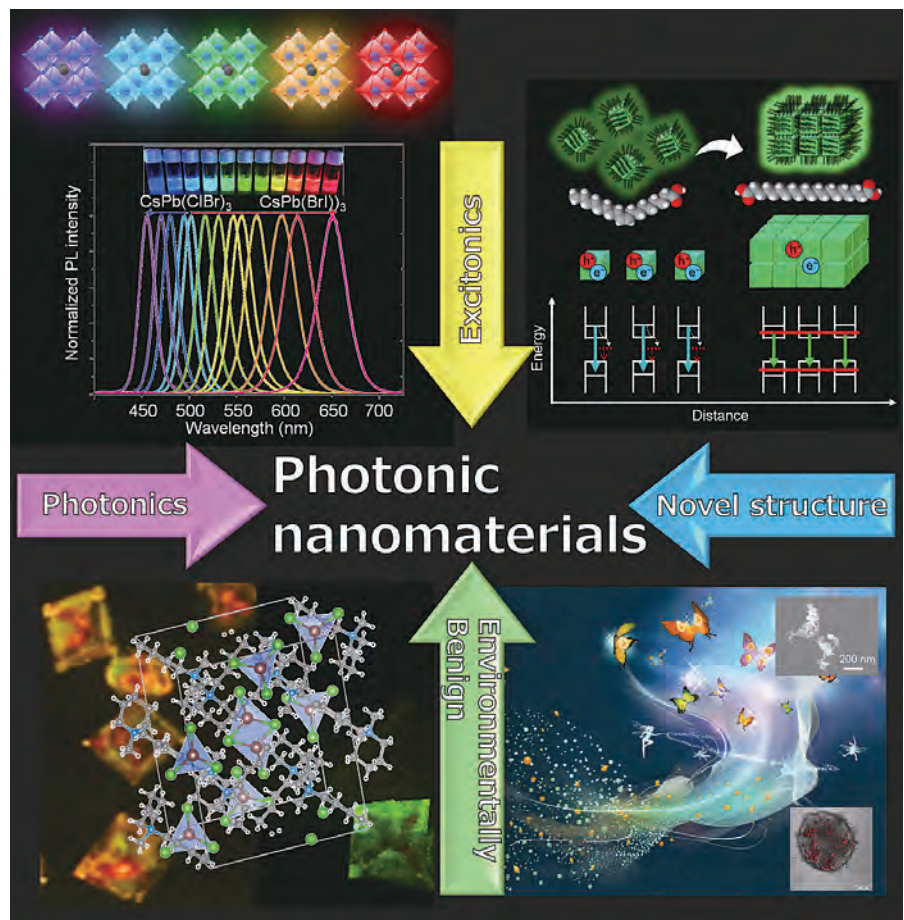
環境調和型ナノ材料の創生

ハロゲン化鉛ペロブスカイトは高い発光量子収率と優れたキャリア輸送能を示す一方で、鉛による環境負荷が課題となっています。そこで、鉛フリーで優れた発光特性を示す0次元(0D)有機無機ハイブリッド金属ハライドの研究を進めています。特に、銅を含むハイブリッド金属ハライドを対象に、レーザーと顕微鏡を組み合わせた最先端の分光装置を用いて、結晶中に閉じ込められた励起子(自己束縛励起子)の発光メ

カニズムを詳しく調べています。また、環境に優しい酵素などの生体触媒を利用した、世界に類を見ないナノ材料作製法の開発にも取り組んでいます。

ナノ材料の光誘起電子移動の制御

光誘起電子移動は、高効率太陽電池や光センサーの開発において重要な物理過程です。私たちは、レーザー分光や光学顕微鏡を用いたイメージングにより、発光性ナノ材料における光誘起電子移動過程を単一分子・単一粒子レベルで解析しています。さらに、電子アクセプター材料の最適化を通じて光誘起電子移動過程を制御し、エネルギー・環境分野における機能性ナノ材料の応用展開を目指しています。



研究概要図

# 環境触媒化学コース

## Course in Environmental Catalytic Chemistry

### 担当教員紹介

#### ●中島 清隆 教授

nakajima@cat.hokudai.ac.jp

Kiyotaka Nakajima, Professor

触媒化学、グリーンケミストリー、材料化学  
Catalytic chemistry, Green and sustainable chemistry, Materials chemistry

#### ●菅沼 学史 准教授

suganuma@cat.hokudai.ac.jp

Satoshi Suganuma, Associate Professor

グリーンケミストリー、多元機能固体触媒、  
バイオマス変換

Green and sustainable chemistry,

Multi-functional solid catalyst,

Biomass conversion

#### ●Shrotri Abhijit 助教

ashrotri@cat.hokudai.ac.jp

Abhijit Shrotri, Assistant Professor

不均一系触媒化学、反応プロセス設計、グリーン・サステナブルケミストリー

Heterogeneous catalysis, Reaction process design, Green and sustainable chemistry

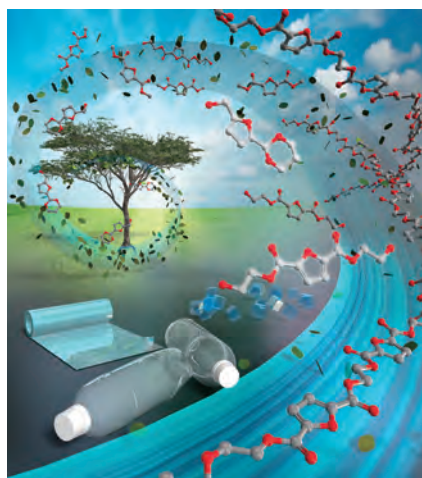


図1. 非可食バイオマス（植物資源）を原料としたプラスチック製造

化石資源に依存せず、再生可能な炭素資源からのエネルギー・化学品製造を確立することは、持続可能な未来社会の基礎となります。我々は、この“ビジョン”を実現するための研究活動に取り組んでいます。具体的には、ありふれた植物資源や空気中の二酸化炭素などを“再生可能な循環型炭素資源”と位置付けて、それを利用したエネルギー・化学品製造のための要素技術を開発します。化学反応を支配する“触媒”を追求し、“高い生産性と環境負荷が極限まで少ない次世代化学反応プロセスによる持続可能なものづくり”の実現に貢献します（図1）。

### 植物由来の“炭水化物”から有用プラスチックへの道筋

触媒技術の更なる発展により、現在は化石資源から合成している有用化学品の大部分を再生可能な炭素資源から製造することが可能になります。例えば、植物のような非可食バイオマス資源から得られる炭水化物の代表はグルコースのような糖類です。その糖類から誘導されるアミン、カルボン酸、アルコールなどは機能性高分子の原料となります。我々はグルコースを原料として、様々なバイオマスプラスチック原料の合成に取り組んでいます。一例として、ポリエチレンテレフタレート（PETボトルを作るための樹脂）の代替品となるバイオマスポリエステル合成法を示します（図2）。2種類の固体触媒（固体酸触媒、担持金属触媒）を使ってグルコースを起点とする脱水反応・酸化反応をデザインし、フランジカルボン酸の選択合成を実現しました。フランジカルボン酸は石油から合成されているテレフタル酸の“代替品”となる化合物であり、エチレングリコールとフランジカルボン酸から合成されるポリエチレンテレフタレート（PEF）はPETを凌駕するガスバリア性をもつ新素材として注目されています。

このような次世代の物質生産に寄与することを目指し、新しい高機能固体触媒とそれを利用した環境低負荷の触媒反応プロセスを構築すること、が我々の目的です。目的達成のために、有機化学と無機化学のエッセンスを取り入れた“触媒化学”研究を進

めています。例えば、金属酸化物表面に酸性質の担い手となる活性サイトをデザインし、糖類の脱水・異性化・開裂反応を自在に制御することを目指しています。酸化チタンの表面に形成された配位不飽和サイトを利用すると、副反応を回避した選択的な脱水反応によってグルコースをフラン類へと変換することができます。触媒化学・有機化学における反応機構解析と触媒化学・無機化学に基づいた高機能固体触媒の開発に取り組んでいます。

### 国際共同研究：固体表面の反応ダイナミクス解析

固体触媒の設計とその触媒反応の理解には分析化学と計算科学が必要です。多様な分光分析技術（X線分光分析や赤外分光分析など）を駆使して、固体表面に形成された触媒活性サイトの構造および触媒作用を解明します。構造解析および触媒反応の結果を踏まえて、理論計算によって固体触媒表面における反応ダイナミクスを分子レベルで理解することに取り組んでいます。理論計算については、海外の共同研究グループ（オランダ・アイントフォーフェン工科大学・Emiel Hensen教授）との共同研究にて実施しています。過去には、我々のグループの修士課程の学生が先方に3カ月滞在して、先方の博士研究員と一緒に研究を実施した実績もあります。

再生可能な炭素資源を利用したエネルギー・化学品製造技術の構築は世界的な喫緊の課題です。その課題解決へ向けた国際的なネットワークの構築も進んでいます。我々は海外のグループと定期的な情報交換を行っており、研究・人材交流も促進しています。所属する学生には国際的な研究交流活動への参画を奨励します。

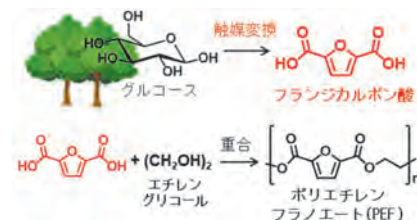


図2. 植物からのバイオマスポリエステル合成



●高草木 達 教授

takakusa@cat.hokudai.ac.jp  
Satoru Takakusagi, Professor  
触媒科学、表面科学、放射光科学  
Catalytic Science, Surface Science,  
Synchrotron Radiation Science

●武安 光太郎 准教授

takeyasu@cat.hokudai.ac.jp  
Kotaro Takeyasu, Associate Professor  
表面科学、触媒科学、電気化学  
Surface Science, Catalytic Science,  
Electrochemistry

Society 5.0で求められる超スマート社会の実現には、極めて高い効率で欲しい物質だけを合成できる触媒反応、電気エネルギーと化学エネルギーをロスなく変換する電極反応など、固気・固液界面での化学反応プロセスの深い理解と高度な制御が必要です。そのためには、実際に反応が進行している条件下(オペランド)で、反応プロセスのキーとなる表面ナノ構造と吸着種挙動を原子レベルで計測し、機構の解明と明確な制御指針を得ることが重要です。

私たちの研究室では、走査型トンネル顕微鏡 (STM) や放射光X線技術 (X線吸収微細構造 (XAFS)) を用いて触媒・電極反応プロセスの可視化と機構解明、制御指針の獲得を行っています (図1)。また、プラズマや電場を用いた新しい触媒反応の開拓と機構解明にも挑戦しています。

触媒反応プロセスの原子レベル可視化

触媒反応の機構解明には素過程を明らかにすることが不可欠です。すなわち、触媒表面のどこに反応ガスが吸着し、生成した中間体吸着種がどのように表面上を拡散し、どの場所 (活性点) に到達したときに反応して生成物となるのか、活性点の違いによる生成物の違い (選択性) はあるのか、などを解明することです。STM、昇温脱離法 (TPD)、計算科学などを駆使することでこれらを明らかにし、触媒の活性や選択性の発現の起源に迫るとともに、触媒性能を制御するための指針を探っています (図2)。

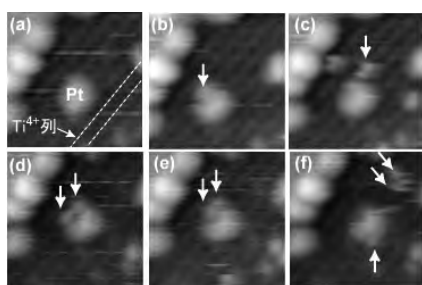


図2. Pt/TiO<sub>2</sub>(110) 触媒表面上でのメタノール吸着過程のSTM観察 (6.4 × 6.4 nm<sup>2</sup>)。矢印の輝点がメトキシ中間体。55秒/フレーム。

触媒の活性点構造を解明する新しい表面分析法の開発

金属種 (単原子やナノ粒子) を酸化物表面に担持した担持金属触媒は、実用的に広く用いられている触媒です。その性能は単原子の場合は配位環境、金属ナノ粒子の場合はサイズや形状 (球状・半球状など) に依存するとともに、酸化物との相互作用による電荷移動状態 (価数) にも依存することが知られています。しかし、こうした金

属活性点の三次元構造や価数を反応中に計測できる手法はありませんでした。私たちは世界で初めて、これらの計測を可能にするオペランド偏光全反射蛍光XAFS法を開発し (図1)、CO酸化反応中のPt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0001) 触媒表面におけるPtクラスター三次元構造決定に成功しています。現在、触媒反応中の吸着種挙動を測定できる新しい赤外分光法の開発やSTM/AFMのオペランド化を進行中です。

プラズマ触媒反応の機構解明と学理構築

カーボンニュートラルとは、CO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする考え方であり、現在世界中でその実現のために様々な試みがなされています。化学者は排出されたCO<sub>2</sub>を触媒を使って有用な分子 (COやCH<sub>3</sub>OHなど) へ変換し、再資源化することを試んでいます。しかしCO<sub>2</sub>は化学的に安定であり、その活性化には一般に高温高压条件が必要です。一方、近年、プラズマを組み合わせることで、反応が穏やかな条件でスムーズに進行することが見出されています。その要因として、プラズマ中で発生する電子やガス活性種 (振動励起種、ラジカル種、正・負イオン種など) と触媒表面との相互作用が重要と指摘されていますが、詳細は不明です。機構解明や学理構築には、プラズマ存在下での触媒計測が不可欠です。私たちはそうした計測法の新規開発を行うとともに (図3)、プラズマを専門とする研究者と連携しながら、高難度触媒反応へのプラズマ科学の適用と反応の劇的促進を試んでいます。

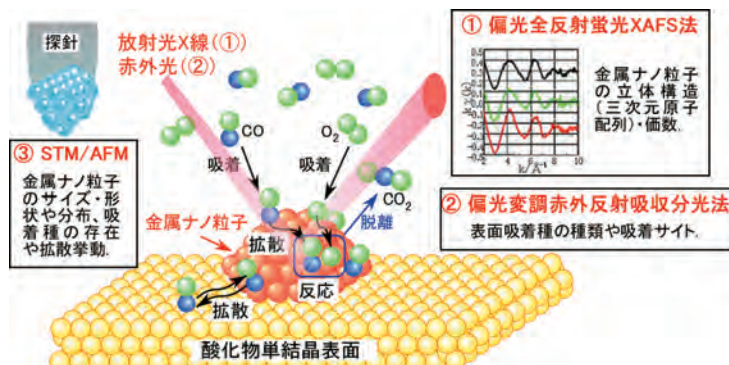


図1. ①~③の“オペランド表面科学計測システム”による触媒反応プロセスの原子レベル可視化。ここでは、担持金属触媒によるCO酸化反応を例に示しました。反応進行状況を四重極質量分析計でモニターし、“生きた触媒表面”の表面ナノ構造と吸着種挙動の観測を行います。

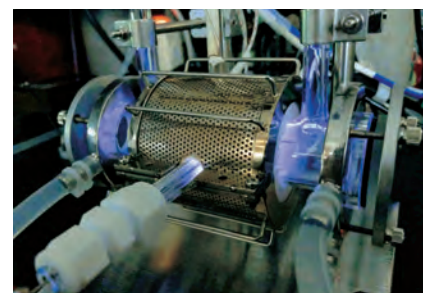


図3. プラズマ触媒反応中のXAFS測定。茨城県つくば市にある高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光実験施設 (Photon Factory, PF) にて測定。