

化学工学  
**ChEmical**  
*engineering*

人々のために  
未来のために  
地球のために



—量子・原子・分子レベルから，  
生物・地球レベルまで—

大阪大学 大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 化学工学領域  
大阪大学 基礎工学部 化学応用科学科 化学工学コース

Division of **C**hemical **E**ngineering  
Graduate **S**chool of **E**ngineering **S**cience  
**O**saka **U**niversity



Osaka University

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

## ■はじめに

私たちはいま、地球との共生が可能な新しい循環型持続性社会への変革を必要としています。そのためには、物質とエネルギーの変換過程およびその循環利用システムを扱う環境調和型の先端科学技術が必要不可欠です。化学工学はそのような科学技術を扱う学問であり、化学の学問成果を社会に役立てる「化学の工学」という特徴を持っています。

大阪大学で唯一の化学工学系教育組織である、化学工学コース(学部)と化学工学領域(大学院)では、「原子・分子から生物、地球レベルまで」の幅広い視野に立って、持続可能な社会のための物質とエネルギーの生産システム・物質循環システムを構築するという明確な目的意識のもとに、基盤研究の深化と先端学際領域の開拓、およびその理論構築を図りながら、次代を担う人材を養成します。

## ■化学工学領域/化学工学コースの教員一覧

| 講座                    | 教授                      | 准教授・講師                 | 助教                    |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| 反応化学工学講座              | 西山 憲和<br>中野 雅由<br>水垣 共雄 | 内田 幸明<br>北河 康隆<br>岸 亮平 | 三宅 浩史<br>山口 渉         |
| 環境・エネルギーシステム講座        | 松林 伸幸<br>岡野 泰則          | 金 鋼<br>伴 貴彦<br>満留 敬人   | 笠原 健人<br>関本 敦<br>菅原 武 |
| 生物プロセス工学講座            | 馬越 大<br>境 慎司            | 岡本 行広<br>小嶋 勝          | 渡邊 望美<br>中畑 雅樹        |
| 太陽エネルギー化学講座<br>(協力講座) | 平井 隆之                   | 白石 康浩                  |                       |

(2020年10月)

## ■目次

沿革／カリキュラム

2

卒業生の進路

3

研究グループ紹介

4-19

## ■沿革

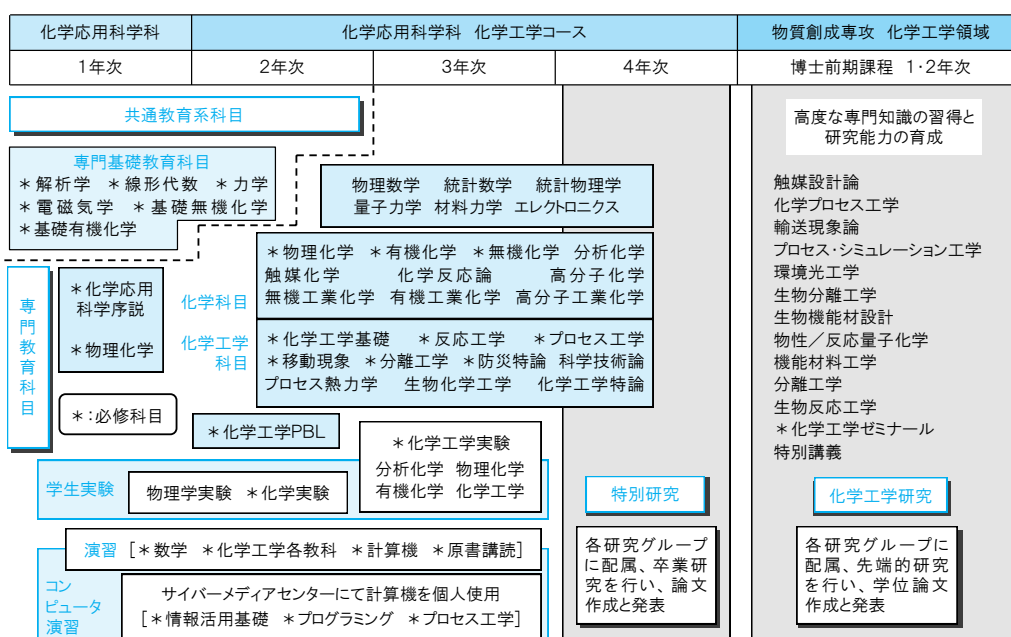
- 1963年 化学工学科として発足
- 1996年 大学院重点化に伴う改組により、  
学 部：化学応用科学科化学工学コースに  
大学院：化学系専攻化学工学分野＋機能材料設計学講座に
- 2001年 太陽エネルギー化学研究センター環境光工学研究分野（新設）が協力講座に
- 2003年 基礎工学研究科の改組により、  
大学院：物質創成専攻化学工学領域に

## ■カリキュラム

化学工学コース(学部)と化学工学領域(大学院)では、学部から大学院まで一貫した教育体制を敷いています。

学部では、化学の基礎学問に加え、化学反応や物質・エネルギーの流れを制御する学問である化学工学を学び、実験・演習を通じてこれらの知識を確かなものとします。4年生は、未知の研究課題に取り組む特別研究を全員が個別に実施します。

大学院では、全講義が選択科目であり、必要な高度専門知識を自ら選び、そして先端的研究の遂行と学会等での発表を通じて研究者としての能力の育成を図ります。



## ■ 卒業生の進路(英語コース含む) (2011-2016年度における主要な進路)



最新の情報はホームページで

<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/exam/employment.html>

### 一般企業

旭硝子, 旭化成工業, アサヒビール, 味の素, アステラス, 岩谷産業, 宇部興産, NKK, NTT, 荏原製作所, 大阪ガス, 大塚製薬, オルガノ, 花王, カネカ, カネボウ, 川崎重工業, カルピス, 関西化学機械製作, 関西ペイント, キーエンス, キヤノン, 京セラ, 協和発酵工業, クボタ, クラレ, 栗田工業, 神戸製鋼所, 小林製薬, 沢井製薬, 三共, サントリー, 三洋化成工業, 山陽色素, 山洋電気, JFEスチール, JSR, JT, JX日鉱日石エネルギー, 塩野義製薬, 四国化成工業, 資生堂, シャープ, 昭和电工, 信越化学工業, 神鋼環境ソリューション, 新日鐵住金, 住友化学工業, 住友ゴム工業, 住友精化, 住友精密工業, 住友電気工業, 住友ベークライト, 積水化学工業, ソニー, ダイキン工業, ダイセル化学工業, ダイソー, DIC, 大日本印刷, 高砂香料工業, タキロン, 武田薬品工業, 田辺製薬, 千代田化工, 帝人, デンソー, 東亜合成, 東芝, 東燃ゼネラル, 東洋製缶, 東洋紡, 東レ, 東洋インキ製造, 同和鉱業, トクヤマ, 凸版印刷, トヨタ自動車, 豊田中央研究所, 日揮, 日産自動車, 日東电工, 日本ガイシ, 日本合成ゴム, 日本触媒, 日本製粉, 日本石油化学, 日本曹達, 日本電池, 日本ペイント, ノリタケカンパニー, ハウス食品, Panasonic, パナソニック電気, 日立化成工業, 日立製作所, 日立造船, 富士写真フイルム, 不二製油, 富士通, 古川電気興業, 丸紅, 三井化学, 三菱化学, 三菱ガス化学, 三菱重工業, 三菱電機, 三菱マテリアル, 三菱レイヨン, ミノルタ, 村田製作所, ヤマハ発動機, ユニチカ, 横河電機, ライオン, LIXIL, リコー, ワコール ほか

### 研究教育機関

大阪大学, 北海道大学, 東北大学, 東京大学, 東京工業大学, 千葉大学, 名古屋大学, 金沢大学, 京都大学, 金沢大学, 岐阜大学, 大阪府立大学, 兵庫県立大, 岡山大学, 山口大学, 奈良高専, 大阪高専, 和歌山高専, 分子科学研究所, 理化学研究所, 産業技術総合研究所, 宇宙航空研究開発機構, 相模中央化学研究所, 科学技術振興財団, 日本学術振興会特別研究員 ほか

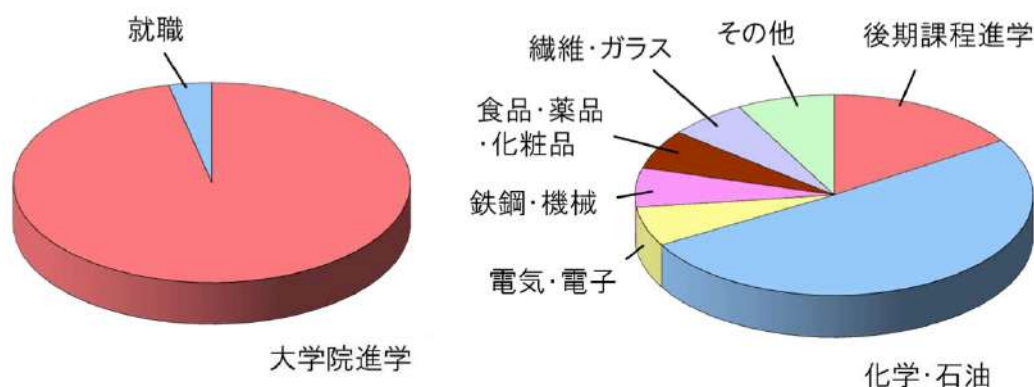


図 学部卒業生の進路(左図)および修士修了生の進路(右図)  
(2011-2018年度の統計)

## 反応を含むシステム —その複雑性を制御するために—



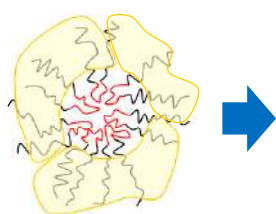
教授 西山 憲和 nishiyama@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
 准教授 内田 幸明 yuchida@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
 助教 三宅 浩史 kojimiyake@cheng.es.osaka-u.ac.jp

<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/nishiyamalabo/>

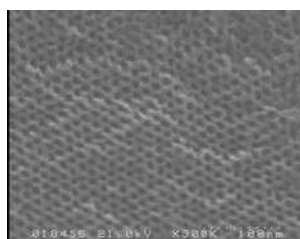
地球規模のエネルギー・環境問題の解決には、現代技術の複雑性をうまく制御するための体系的なアプローチが不可欠です。化学工学、反応工学はその先駆的な成果であるとの認識から、より幅広い分野への展開を試みています。具体的には、(1)分子レベルからコロイド粒子のレベルに至る各階層における「自己組織化」の物理化学に関する研究。自己組織化を利用した①液晶、②コロイド分散系、③有機-無機ナノ複合体の構造制御。(2) ナノ空間材料をミクロな化学装置と捉え、新しい反応・分離プロセスの開発を目指す研究。(3) ソフトマターを分子レベルで設計するための新たな分子技術の開発を目指す研究、を行っています。

## ●ナノ空間材料の構造制御と反応・分離プロセスの開発

## ナノ空間材料の合成・構造制御

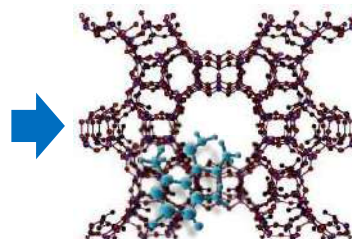


自己組織化



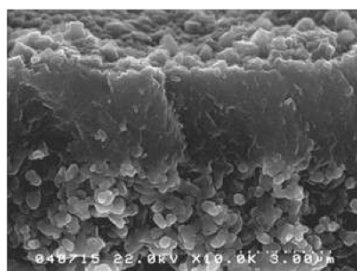
規則性ナノ空間材料

## ナノ空間材料を用いた反応・分離

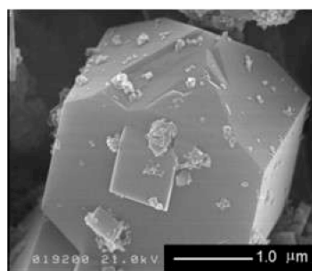


ナノ反応工学

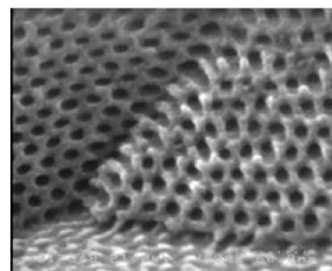
物質科学と反応操作・分離操作を融合させた新しい化学工学の創成が必要であると考え、自己組織化・自己集合を利用した「ナノ空間材料の合成・構造制御」および「ナノ空間の物質移動が関与する反応操作・分離操作」に関する研究開発を行っています。



ゼオライト分離膜



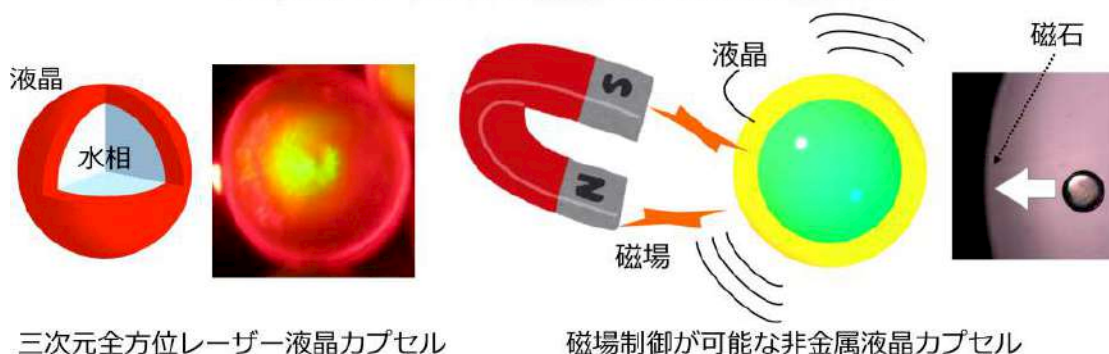
コア・シェル構造ゼオライト触媒

規則性メソポーラスシリカ膜  
(低屈折率膜)

## ●液晶材料の新機能創製

液晶は、結晶の「秩序」と液体の「流動性」を併せ持った「中間相」であり、分子が自己組織的に秩序を作ります。ディスプレイへの応用を可能にした、高速の刺激応答性質をさらに発展させて、液晶材料の新しい機能を発掘し、「ディスプレイの次の液晶デバイス」を目指して研究をしています。

### ディスプレイの次の液晶デバイスを目指して

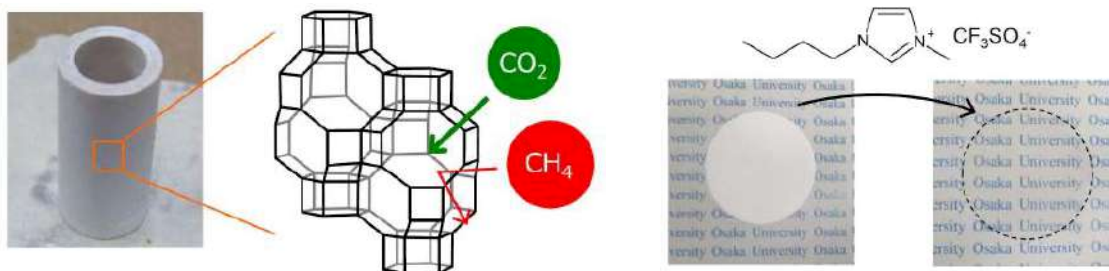


三次元全方位レーザー液晶カプセル

磁場制御が可能な非金属液晶カプセル

## ●無機材料・有機材料にとらわれない分離膜開発

膜分離技術は省エネルギーかつコンパクトな分離精製技術として着目されています。ゼオライトなどの無機鉱物や炭素材料を素材とした無機膜と、新規液体材料であるイオン液体を素材とした有機膜の2つの方向から高性能な分離膜開発を進めると同時に、それらを融合した全く新しい分離膜の開発を目指しています。



0.38 nmの細孔をもつゼオライト膜  
CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>混合ガスからCO<sub>2</sub>を選択的に回収可能

難揮発性のイオン液体膜  
プロパンとプロピレンの分離が可能

## ナノ反応工学グループQ&A

Q: 研究室のアピールポイントは？

A: ミクロからマクロまで幅広いスケールのテーマを研究対象としています。これらは一見別々のテーマのように見えますが、同じ反応工学の切り口で取り組むことができます。これは化学工学の強みと言えます。

Q: 求める学生像は？

A: 自分の研究範囲にとらわれず、様々なことに興味をもって取り組む姿勢をもっている人。

Q: 研究活動(教育)の目標は？

A: 研究活動を通じて各自の能力を最大限に引き出すとともに、学生には社会人(科学技術者)としての素養を身につけさせることを目標としています。

## 物質科学における理論の深化と新概念の創成


<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/nakanolabo/>

教授 中野 雅由 mnaka@cheng.es.osaka-u.ac.jp

准教授 北河 康隆 kitagawa@cheng.es.osaka-u.ac.jp

准教授 岸 亮平 rkishi@cheng.es.osaka-u.ac.jp

古典力学、量子力学、電磁気学、統計力学、量子統計力学などを基礎とする理論化学(量子化学、量子ダイナミクス、分子シミュレーションなどを含む)を用いて、原子・分子などのミクロな物質から、中間(メゾスコピック)あるいはマクロサイズに至る集団系における構造-機能相関、時空間発展現象、非線形応答現象、凝縮相での反応ダイナミクス、非平衡ダイナミクス、協同量子非線形現象、量子輸送現象などの理論的解釈と予測を行い、物質の構造、性質、反応における様々な現象の根底にある真理を探索し、物質科学の理論の深化と新概念の創成を行うことを目的としています。これら根源的な真理に基づいて設計指針を構築することにより、工学的応用におけるブレークスルーを目指しています。一方、「基礎工学」では、単なる「科学と工学の融合」による応用だけでなく、工学的応用の過程から未知の現象、物質を発見し、それに基づいて新しい原理や概念を構築するという逆過程も含む「科学と工学の相互フィードバックループ」の観点が重要です。得られた原理や概念、応用における成果は、短期的、局所的なものではなく、長期的かつ普遍的な価値をもつものとして人類の文化に貢献することを最終目標としています。

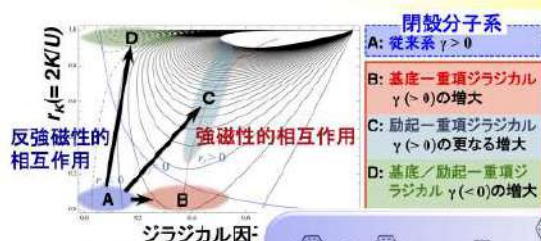
## ●「開殻性」概念に基づく新物質・新反応・新機能の発見と理論物質設計

化学は物質に基礎を置く自然科学の一つであり、化学工学はその名の通り「化学の工学」です。化学が取り扱う対象である物質は分子からできており、分子は複数の原子が結合により繋がったものです。すなわち分子の性質や反応の理解への第一歩は「**結合**」の性質を明らかにすることです。化学は実験から得られた経験を積み重ね「結合」を理解する方法を編み出してきましたが、実際の分子の結合の真の理解は量子論に基づいてしか行えません。第一に、本研究室ではこのような化学結合を量子論に基づいて理解するための指標として「**開殻性**」(結合の弱さ/電子と電子の相関の程度を表す)という概念を用い、それに数理表現を与え、様々な分子の結合の性質を明らかにしています。さらにこの「開殻性」が分子の構造、反応、物性とう関係しているのかを理論的に明らかにし、「**開殻性**」という**統一的な見地から、新しい構造を持つ物質、新しい反応系、新しい機能物質の理論設計**を行っています。特に未解明な「**中間的な開殻性**」を持つ分子系に着目し、従来にない特異な構造、反応性、物性を理論的に明らかにしています。このような系はわずかな外乱(電磁場や他の分子との相互作用)により鋭敏にその性質を変化させる特徴を持っており、**工学的な面からも従来の系を凌駕する新機能材料や新反応システムの核となる物質**として注目されています。実際、「開殻性」を有する分子系の**外場応答特性や単分子の電子伝導性**が、物質中の**開殻性、電子スピン状態、環境の効果等により劇的に変化**することが理論に基づき発見され、それを高機能スイッチング素子へ活用するという新たな工学的応用の可能性も徐々に明らかになっています。本研究室のテーマは一見多彩ですが、この「開殻性」という概念に貫かれています。第二に、定常的な現象だけでなく、**時間とともに変化する非平衡・非定常現象**を扱う研究も行っています。このような時間変化する現象(ダイナミクス)を量子論的に取り扱う方法論や解析法の開発を行い、先の開殻性の概念を時間軸に拡張することも目指しています。第三に、実際の現象は単分子で起こるものだけでなく、分子集団として発現するものが多く、そこでは**分子間の相互作用や分子を取り囲む外部環境**(溶媒、結晶場、界面など)の考慮が必要となります。これら集団系での物質やエネルギーの量子輸送を解明する新規な理論的方法を提案し、実在系の現象の機構解明や設計を行っています。本研究室では、以上3つの項目について理論的アプローチや新概念の構築と適用により、**実験ではなく「理論に基づく新物質・新反応・新機能の発見」とそれに基づく「理論設計」の実現を最終目標**としています。これにより、実験家と協力して「**理論-実験の相互フィードバックループ**」を活用した研究を行うことが可能になると考えられます。

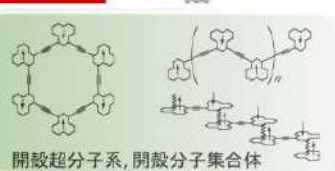
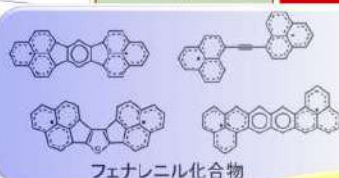
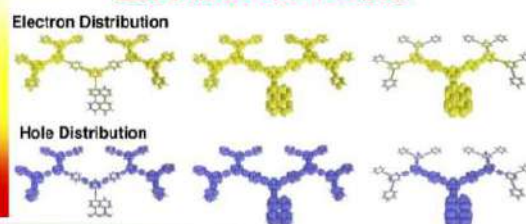
## ●研究テーマ（最新版はHP参照）

- 「開殻分子系が開く新奇光磁気物性の理論と量子設計」  
 「超分子系の電子ダイナミクスに基づくエネルギー移動および動的光学特性の研究」  
 「開殻分子系の量子輸送現象の解明と物質設計」  
 「開殻分子系の電子状態・量子動力学理論の開発」

## 開殻分子系からなる非線形光学物質の理論設計

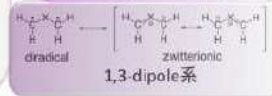
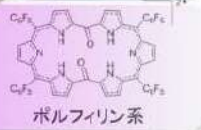
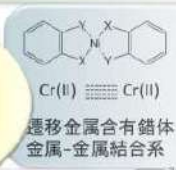


## 超分子系のエキシトン移動

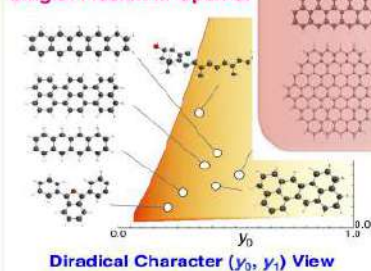
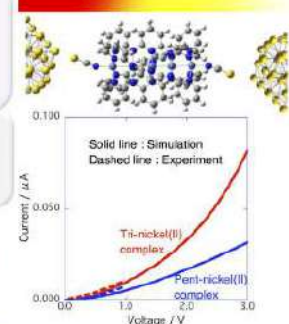
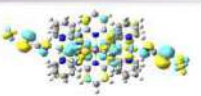
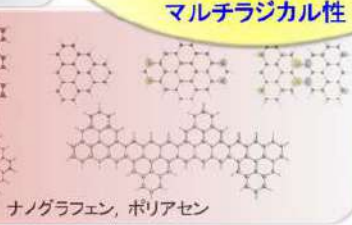


## 開殻性

結合の強さ  
 荷電・スピン状態  
 ジラジカル性  
 マルチラジカル性



## Singlet Fission in Open-Si

太陽電池エネルギー変換効率  
増大分子の理論設計

## 開殻分子系の電子輸送現象の解明と物質設計

## 量子化学工学グループQ&amp;A

Q. 研究室のアピールポイントは？

A. 「化学といえば実験」という古い考えに縛られず、実験に先んじた発見、発明を可能にする「理論計算化学」を確立し、他研究室の実験家と協力して「理論-実験の相互フィードバック」を活用した研究を目指しています。

Q. 研究活動(教育)の目的は？

A. 物質科学の理論の深化と新概念の創成を行い、これら根源的な原理に基づいて設計指針を構築し、長期的かつ普遍的な価値をもつものとして人類の文

化に貢献することを目指しています。真の科学、工学の分野で活躍できる人材、将来、リーダーとなる人材を育成しています。

Q. 研究内容と社会との関わりは？

A. これまでに無かった、あるいはこれまでの性質を遙かに凌駕する機能性をもつ化学物質は高度に情報化された未来社会の技術の根幹をなす材料です。そのような社会の実現には、理論計算化学に基づく画期的な物質設計が鍵となると考えています。

## 環境調和型触媒 (Green Catalyst) の開発を通して 持続可能な社会の実現へ！



<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/Mizugakilabo/>

教授 水垣 共雄 mizugaki@cheng.es.osaka-u.ac.jp

助教 山口 渉 yamaguchi@cheng.es.osaka-u.ac.jp

准教授 満留 敬人 mitsudom@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
(環境・エネルギーシステム講座 グリーン化学工学グループ)

社会の持続的な発展が望まれている現代において、資源とエネルギーを有効利用したモノづくりは化学工業における最重要課題です。「触媒」は、物質やエネルギーの変換を担うキーマテリアルであり、化学プロセスのほとんどは触媒反応により成り立っています。私たちは、環境にやさしいモノづくりを可能にする触媒技術の開発を通して、環境・資源・エネルギー問題の解決を目指しています。その戦略として、化学工学や有機化学、無機化学の知識を背景に、金属の機能を最大限に発現する新規触媒をデザインしています。さらに、その触媒を用いた選択的な還元反応や酸化反応、新規結合生成や切断反応を実現し、再生可能資源の有効利用など環境に優しい物質変換プロセスを世界に向けて提案します。

### ●次世代型の高次制御された「超機能性触媒」の設計



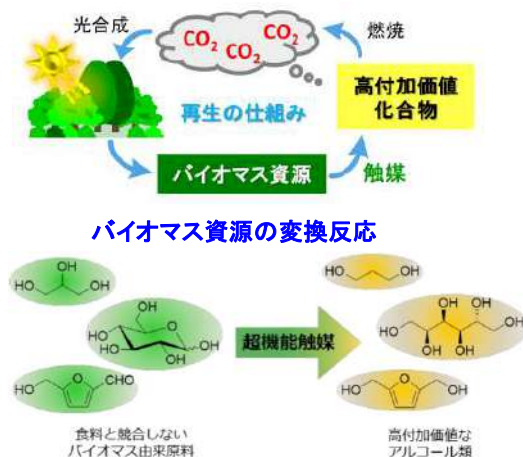
これまでの触媒開発は、金属微粒子を担体に固定した固体触媒や、金属錯体触媒を中心に行われてきました。固体触媒には「高い耐久性・再使用性」、錯体触媒には「活性中心金属を精密に制御できる」という特徴を有します。私たちは、これらの触媒の特徴を融合し、活性中心金属種と反応場となる担体表面(マクロリガンド)との協奏的作用を利用して高効率反応を実現する、「マクロリガンド触媒」の開発を行ってきました。さらに、この触媒設計概念を発展させ、活性中心とマクロリガンドを高次構造制御した次世代型の超機能性触媒の開発に取り組んでいます。

単核・複核種やナノ粒子など活性中心となる金属の構造制御は、触媒反応における反応性制御の重要な因子となります。また、担体表面は固定化された金属種の近傍反応場として作用し、金属種との協奏効果により特異な触媒作用が発現します。私たちは、ナノスケールの金属活性中心を組成だけでなく、原子配列や結晶サイズなど構造も含めてより精密に制御するとともに、担体との融合による協奏効果を利用する新規な設計概念に基づき、これまでになかった超高活性、高選択性を生み出す超機能をもつ触媒開発を行っています。

### ●資源循環型触媒プロセスの開発

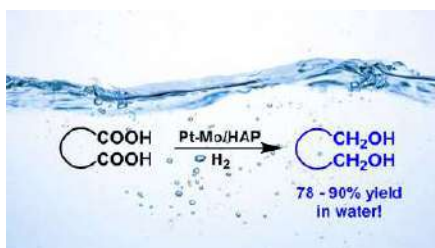
これまでの化学工業は、石油や石炭など化石資源由来の炭化水素原料を基盤として発展してきました。しかし、現在はCO<sub>2</sub>排出規制などの環境面の観点や化石資源の枯渇問題から、カーボンニュートラルな再生可能資源や未利用資源を有効活用する持続可能な循環型化学プロセスの構築が求められています。

私たちは、再生可能なバイオマス資源を効率的に有用化合物へと変換する触媒を開発することで、この課題に取り組んでいます。例えば、精密設計したバイメタル触媒を用いて、食物と競合しないバイオマス資源であるグリセリン等を水素化し、種々のジオール類を合成することに成功しました。開発した触媒は世界最高性能を有し、実際のプロセスでの利用に向けた更なる検討を行っています。



資源循環利用の研究として、バイオマス由来原料から得られるジカルボン酸から、ポリエステルなどのポリマー原料として有用なジオールへの水素化反応を水溶媒中で進行させる高機能触媒を開発しました。また、近年問題になっている各種ポリマーを分解し、有用化成品原料へと再利用するための触媒システムの開発も行っています。

### バイオマス由来ジカルボン酸からのジオール合成



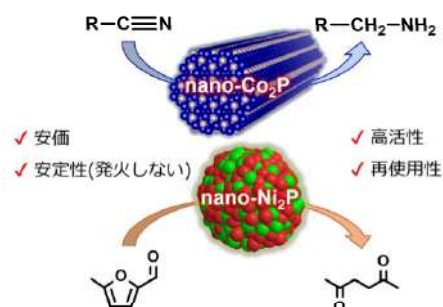
### ポリマー分解による資源リサイクル



## ●新規なナノ構造体の合成と触媒反応へのチャレンジ

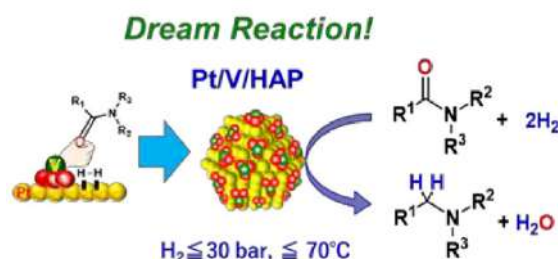
ユニークな構造をもつナノ構造体の合成及び精密構造制御と、構造制御により導かれる特異な触媒反応の開拓へ挑戦しています。金属ナノ粒子の表面をさらに小さな金属酸化物種で修飾した新規ナノ粒子の合成や配位子となるヘテロ原子が金属結晶構造内に精密配列したリン化金属ナノ結晶の開発に成功し、理想的な還元剤である分子状水素( $H_2$ )を用いた高難度選択的還元反応の固定触媒となることを見出しています。

### 既存触媒を凌駕する次世代型スマート触媒



水素化反応において“発火性がなく、高活性な”非貴金属合金ナノ粒子触媒(リン化コバルト、リン化ニッケル)の開発に成功しました。ニトリルあるいはカルボニル化合物の水素化反応において、既存の触媒の数十～数百倍の触媒活性を示しました。

### 夢の反応を実現する酸化物修飾白金ナノ粒子触媒



白金ナノ粒子表面をバナジウム酸化物クラスターで修飾することで、白金の水素化活性とバナジウム酸化物クラスターのルイス酸性によるアミドの活性化を利用し、夢の反応とされるアミドからアミンへの温和な条件での選択的還元の世界で初めて成功しました。

## 触媒設計学グループQ&A

Q: 研究活動の目的は？

A: 持続可能な社会の実現につながる、真に環境調和な触媒プロセスを提案することです。新しい触媒の設計指針やその駆動原理を世界へ強く積極的に情報発信します。また、世界中の化学者からフィードバックを受け、提案する原理・概念をより発展させたいと考えています。

Q: 教育方針は？

A: 今、世界は絶えず揺れ動いています。だからこそ、揺るがない、真の実力を持った人材を育成したいと

思っています。流行に惑わされることなく、自らの力で時代を開拓していくリーダー、持続可能な社会の構築に向けて新しい科学技術や社会ネットワークを生み出すことのできる人材を育てていきたいです。

Q: どんな学生に来てもらいたい？

A: 何事にも意欲のある、元気な学生と一緒に粘り強く研究し、共に発見の感動を味わいたいと思います。私たちはいつでも皆さんの挑戦を待っています。

## 分子集合系の多彩な機能 —発現原理の解明と応用—



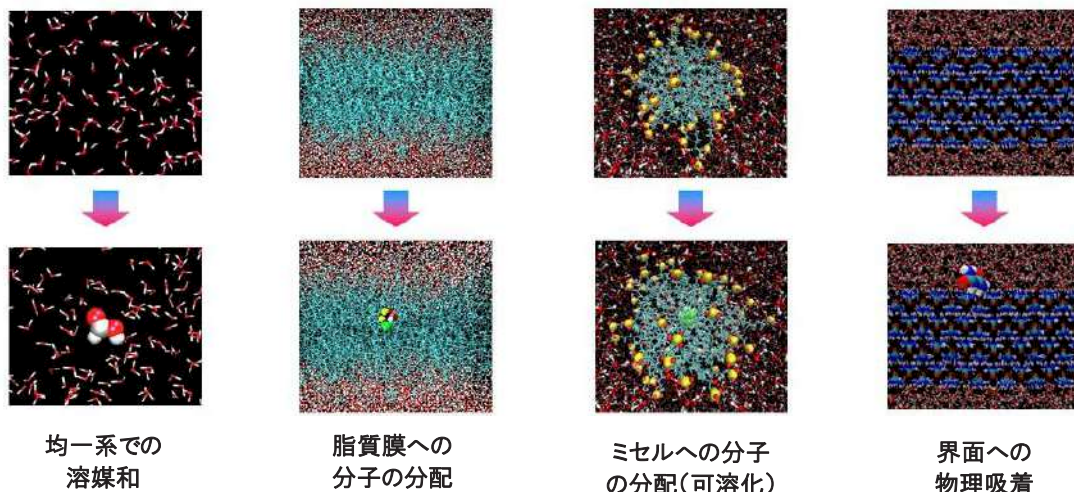
<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/matubayasi/>

教授 松林 伸幸 nobuyuki@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
 准教授 金 鋼 kk@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
 助教 笠原 健人 kasahara@cheng.es.osaka-u.ac.jp

分子が集合系を構成すると、物質混合比・温度・圧力のような条件に応じて、多彩な機能の発現に至ります。本研究グループは、溶液・ミセル・脂質膜・ポリマー・ガラスなど、秩序とゆらぎを併せ持つソフトな分子集合系を研究対象として、多彩な機能発現を導く統一的原理を解明し、個々の分子の特性に立脚して集合系全体の機能を設計するための指針の構築を目指しています。

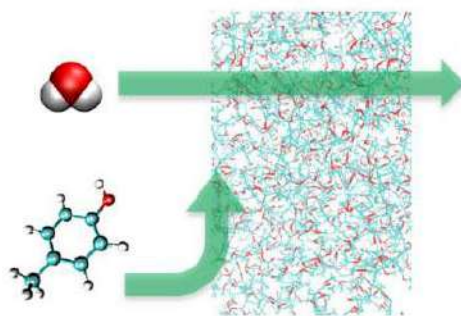
## ●溶媒和概念の普遍化と分子集合系の物質分配機能の横断的解析

分子集合系に最初から存在するものを「溶媒」とみなし、後から入ってくるものを「溶質」として、分子集合系における物質分配を「溶媒和」と捉え直します。この概念に基づいて溶液統計力学理論と分子シミュレーション技法の新規構築と拡張を行い、通常の溶液・超臨界流体・イオン液体・ポリマーへの物質溶解のみならず、脂質膜やミセル、タンパク質への分子（基質）の分配（結合）、気液および固液界面への吸着、さらには、電子の付加（還元）までを横断的に解析しています。



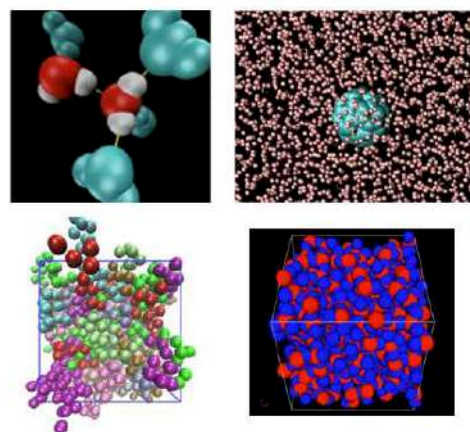
## ●ポリマー材料の吸収と吸着の機能

ポリマー材料は、分離・吸水・撥水・防汚・ガスバリアなど様々な機能を持ちます。ポリマーの機能はその分子構造だけではなく集合状態にも依存し、現実の設計では共重合化・含水・ブレンド化などを取り入れると無数の可能性があるためスクリーニングが欠かせません。原子レベルの相互作用の知見に立脚し、溶液理論と分子シミュレーションを十全に活用するスクリーニング法の開発を行っています。



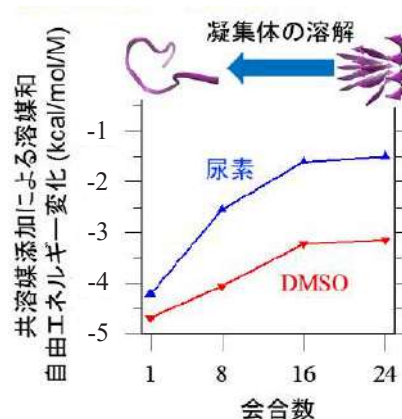
## ●分子集合系が示す遅いダイナミクスとマルチスケール性の解析

高分子・液晶・コロイド・ガラスなどソフトな分子集合系では、分子スケールと巨視的スケールの中に位置するメソスケール( $10^{-6}$  m)において、多くの分子が関与する協働的運動を発現します。それに伴い特徴的な時間スケールは分子スケールより遅くなり( $10^{-6} \sim 10^{-3}$  s)、分子集合系の機能発現の解明および制御には遅いダイナミクスの普遍性を抽出する必要があります。そこで、分子シミュレーションを中心に、連続体力学・物性論・化学反応論などに基づいたマルチスケール性の解析をおこなっています。



## ●溶媒和エネルギー変換を用いた分子と集合系の構造制御

タンパク質のような機能性分子の構造は、溶媒と(自由)エネルギーの交換をしながら大きくゆらいでいます。そこで、溶媒和エネルギーの変調が共溶媒を加えるなどの比較的安価な操作で可能であることに着目し、溶媒効果によって機能性分子の構造および集合様態の制御を行うための指針を溶液理論と大規模分子シミュレーションを用いて探索しています。



### 分子集合系化学工学グループQ&A

**Q:** 研究室のアピールポイントは？

**A:** 多種多様な分子集合系を横断的に研究し、機能発現の統一的原理の解明を目指しています。そのための新しい理論計算手法を独自に開発するとともに、多くの共同研究を行っています。

**Q:** 研究内容と社会との関わりは？

**A:** 本グループで開発した理論計算手法は、いくつもの企業で使われています。いわゆる「役に立つこと」と「すぐには役に立たないこと」の両方に寄与で

きるものこそが真の基礎であると考えており、その意味での基礎を、社会に発信できつつあると考えています。

**Q:** 研究活動(教育)の目的は？

**A:** 常に原理に立ち戻りつつ、現実系を泥臭く解析しています。このような研究活動を通して、全体を見渡しつつも細部をしっかりと仕上げる人材、地につけて最先端課題に取り組むことのできる人材の育成に寄与したいと考えています。

## 移動現象の制御による新プロセスの構築



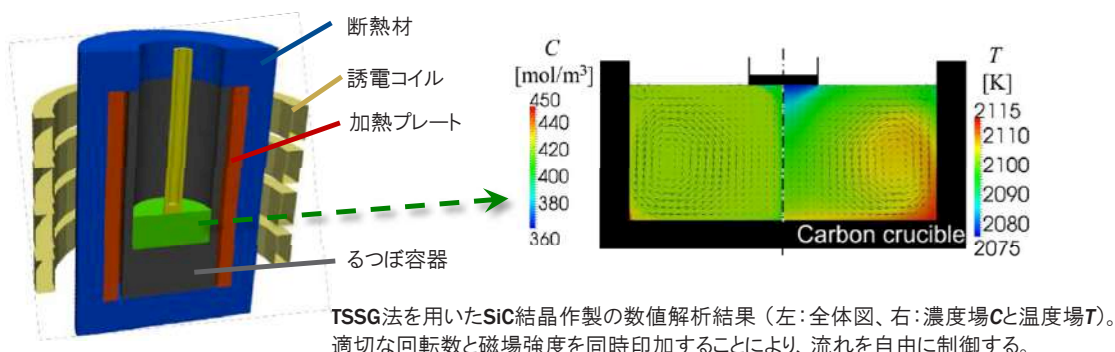
教 授 岡野 泰則 okano@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
講 師 伴 貴彦 ban@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
助 教 関本 敦 asekimoto@cheng.es.osaka-u.ac.jp

<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/okanolab/>

流動、伝熱、物質移動といった移動現象は、各種化学工学プロセスの基礎であるばかりでなく、環境保全やエネルギーの高度利用において、これらの移動現象の制御が必須です。そこで、本研究グループではこれらの移動現象を回転、磁場、電場などの外力場を使って制御する方法の構築を目指します。同時に、流体-流体界面で発生するマランゴニ対流や固体-流体界面上の応力緩和などの観点から異相接触界面で発生する現象の解明にも挑戦しています。特に、材料作製プロセスにおける移動現象、界面現象の制御により、従来法をブレイクスルーし、新しい材料作製プロセスの構築を行います。また、エントロピー生成に基づく熱力学的な方法を用いて、流動、伝熱、物質移動を制御し、かつ状態遷移の予測を行っています。

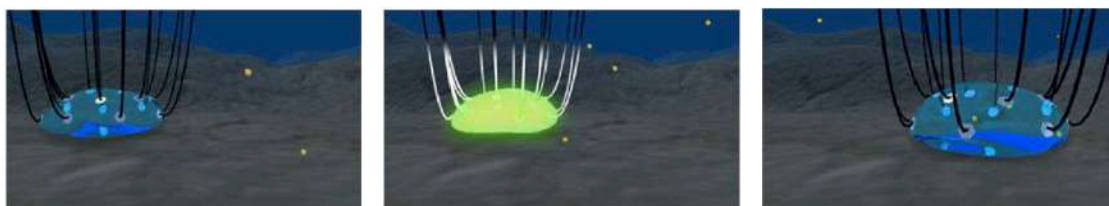
## ● 熱・物質移動を制する

結晶成長をはじめとする材料プロセスは物質移動が支配しており、高品質、高性能な製品を大量に作製するためには物質移動現象の制御・解明が必須です。比重の異なる物質を均一に混合することにより、従来には無い特性を有した物質の創成が期待されます。しかしながら、当然重い物質は沈み込み、軽い物質は浮かんてしまいます。また、自由界面を有する液体表面では温度によって表面張力が変化し、マランゴニ対流を引き起こし、均一な物質を作製することは困難です。下図は、次世代パワー半導体であるシリコンカーバイド(SiC)の溶融成長のシミュレーション結果です。これに、回転場(コリオリ力)や磁場を印加し、人工知能を駆使し、液相内の流れを自由に制御し、思い通りの材料を作製するためのプロセスを構築します。



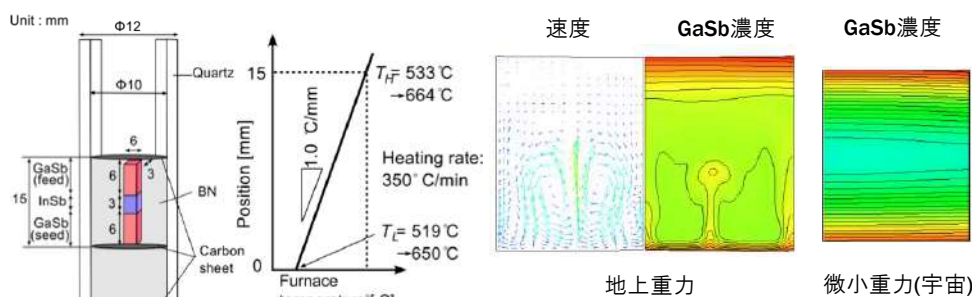
## ● 化学反応を制する

化学反応から得られたエネルギーを直接運動エネルギーに変換することにより、液滴、ゲルもしくは分子集合体などのソフトマターを自発的に運動させることが可能となります。環境中のpHの値により、運動のon-offのスイッチの制御が可能となり、またレアメタルなどの特定の物質に応答し、それを目指して移動し、回収することができます。将来的には自発的に動くソフトマターに触媒作用や抽出能力などの機能を持たせ、環境浄化技術や環境発電への応用を考えています。



## ● 無重力空間での新たなプロセスの構築

高品質、高性能な製品を大量に作製するためには物質移動現象の制御・解明が必須です。そこで、重力による浮力対流を無視できる宇宙環境において混晶半導体結晶成長の実験及び数値解析を行っています。地上試験の結果と比較することによって物質移動を支配する要素を特定し、地上においても高品質なバルク単結晶を作製する手法を開発します。



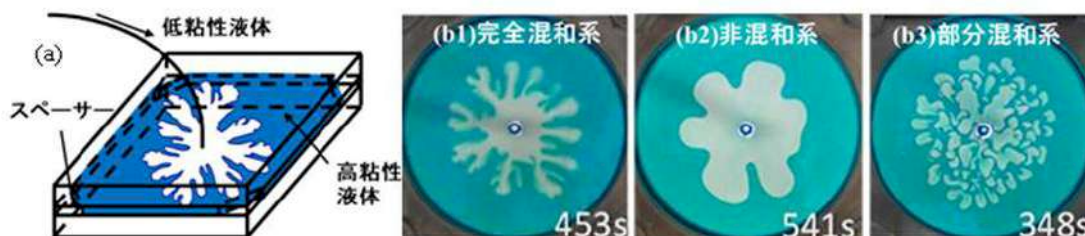
温度勾配法によるInGaSb結晶の育成

地上重力下では強い自然対流が発生するが、微小重力下では拡散が支配的となる。

加熱1分後のInGaSb溶液の対流・拡散

## ● 流れを制する

多孔質媒質内に流体を圧入して高粘性流体を置換するプロセスは、石油増進回収法やCO<sub>2</sub>地中貯留の地中でのプロセスにおいて重要です。この置換プロセスにおいて、二流体の界面に指状に変形するViscous fingeringと呼ばれる現象が起こり、置換効率の低下を招くことから、流体力学の重要問題として1950年代から研究されています。このViscous fingeringの発生を熱力学的に制御し、置換効率の向上を目指す研究に取り組んでいます。



(a) 多孔質媒質内の高粘性流体を低粘性流体で置換するプロセス。(b) 完全混和、非混和、部分混和系におけるViscous fingering実験結果。熱力学的に二流体間の混和性を制御。

## 移動現象制御グループQ&A

Q: 研究室のアピールポイントは？

A: 本研究室は、卒業生に「生きぬく力」を身に付けさせ、幸せな未来を過ごすことできるようにすることを最優先課題とします。その結果、将来「岡野研を卒業して良かった」と言われる教育サービスの提供を目指します。

Q: 研究内容と社会との関わりは？

A: 実践的な問題に取り組むことにより「実学を指向した教育」を行う一方、新たな学問分野の創成という企業および大学両者に求められる研究テーマを設定しています。主な共同研究先として、

- ・名古屋大学(宇治原教授)
- ・カナダ、ヴィクトリア大学(Dost教授)
- ・JAXA(稲富教授)
- ・東京農工大学(長津准教授)

・インド工科大学(M. Mishra准教授)

・静岡理科大学(南齋准教授)

とその他一般企業が挙げられます。

Q: 研究活動(教育)の目標は？

A: 社会に役立つ人材を育成し、社会に貢献する研究を遂行し、自分で考え、自分で判断し、だまされない教養を学生に身に付けさせます。私たちは毎日を学生との真剣勝負と考え、以下の教育を行っています。

- ・「研究」というツールを使って、「国際人」を育成
- ・「移動現象論、数値解析プログラム作成、実験・測定」というツールを使って、「論理的思考」および「実験技術」両者の習得
- ・ものごとの本質を捉えることができ、実問題に応用する基礎できる。

## Bio-Inspired化学工学の創成に向けた挑戦



<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/umakoshi/>

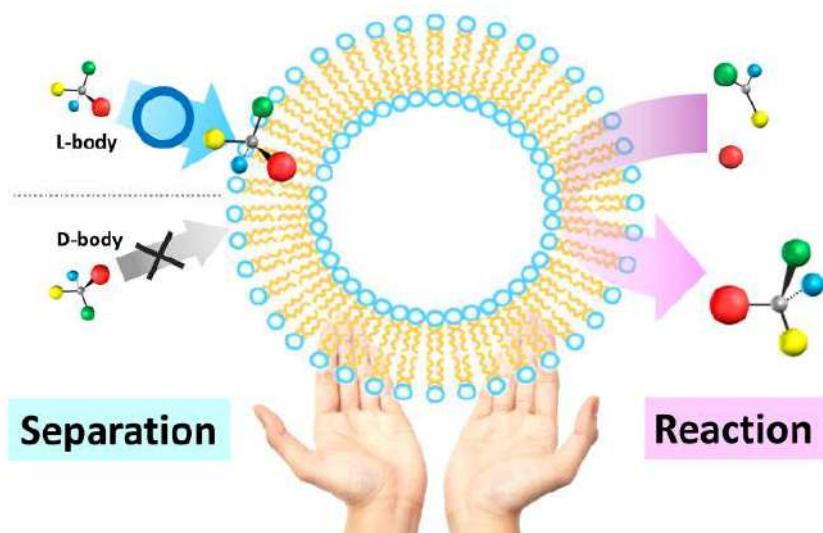
教授 馬越 大 umakoshi@cheng.es.osaka-u.ac.jp

准教授 岡本 行広 okamoto@cheng.es.osaka-u.ac.jp

助教 渡邊 望美 nozomi@cheng.es.osaka-u.ac.jp

「生体系」を発想の原点とし、「リポソーム膜(自己組織系)」を分子の認識・変換の「場」として活用する Bio-Inspired化学工学の創成に向けて挑戦しています。自己組織系をキーワードとして、両親媒性分子(界面活性剤)から成る自己組織膜を「Bio-Inspired膜」と位置づけ、自己組織化膜を「場」とした「分子の振舞い」について解明し、将来の科学技術の発展に貢献したいと考えています。

## Bio-Inspired Membrane



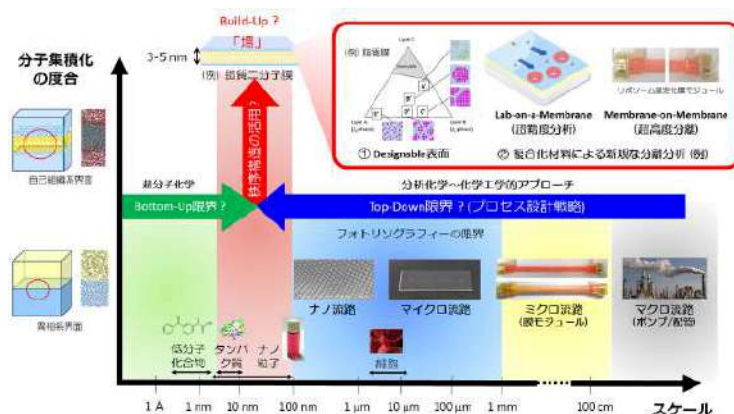
## (1) 自己組織化膜のナノ・マイクロ物性評価

リポソーム膜(またはベシクル膜)や各種の分子集合体(Bicelle、Cubosome、NLC (Nano-Structured Lipid Carrier)など)の表面の「ナノ・マイクロ物性」を解析するための方法論について開発を行っています。様々な膜組成(リン脂質、脂肪酸、界面活性剤など)や環境条件(温度など)における2次元膜の相図に基づいて、分子認識・変換に適切な「場」としての自己組織化膜のデザイン手法について研究しています。

## (2) 自己組織化膜による分子認識・物質変換

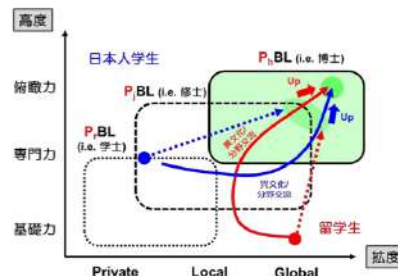
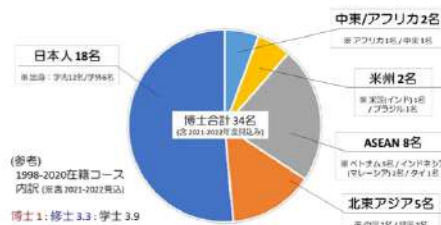
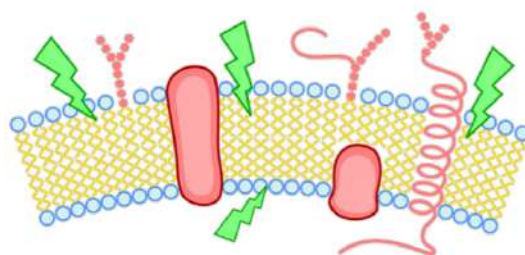
自己組織化膜は、ゲスト分子を表層提示する事で新しい秩序構造を形成する点に特徴があります。デザインしたリポソーム膜は、各種バイオ分子(アミノ酸、ペプチド、一本鎖RNA分子など)を選択的に認識し、それらの高次構造・機能を制御できます。過去には、アミノ酸(Trp, His)の不斉認識(分離度(L/D)>10<sup>4</sup>)の誘導に成功しています。近年は、高分子量医薬品(DNA、mRNA、抗体タンパク質など)を体内に送り届けるDrug Delivery Systemの薬物キャリアとしての分子集合体を「デザイン」する手法の確立に挑戦しています。

## ●Bio-Inspired化学工学の創成に向けて



SDGsを志向した新しい科学技術の創出のため、「化学工学(右下)」の戦略をミクロな領域に適用する従来型アプローチ(青矢印)、そして、「分子(左下)」を集積化させる従来型アプローチ(緑矢印)ともに、ナノ(nm)スケールで限界があります(赤い領域)。「Bio-Inspired 化学工学」では、バイオ(生物)の戦略の根本を担う自己組織化膜のScienceを体系化し(赤矢印)、新たな科学技術(Engineering Science)を創出(右上赤枠)し、人類の真の文化の創造に貢献することを目指しております。

## ●“One for All, All for One”～分子基材から人材まで～



“One for All, All for One” 生体膜や自己組織系の特徴を表すPhraseでもあります(左上)。個々の個性・能力を尊重しつつも、生体膜のようにチームとして協働して(左下)、「Bio-Inspired化学工学(B-ICE)」のような新しい分野を開拓できる博士人材の育成を目標としており、これまでに多くの博士人材を輩出しております(右上)。「B-ICE」の大きな方向性・理念のもと、リサーチプロポーザルを経て学生の皆さんは「テーマ(夢・志)を自主設定」し、その後、「自分の研究」に邁進する日々を送ります。その結果、学部生時代に身に着けた「基礎力」に加えて、高さ(俯瞰力など)、広さ(Global性など)を兼ね備えたGlobal Engineering Scientistとなっています。

## 生物発想化学工学グループQ&A

Q: 研究室のアピールポイントは？

A: リポソームは、医薬品・化粧品など、我々の生活で活用されています。ミカンに喩えると、リポソーム膜は、「果実(薬剤など)」を包み込む「皮」(単なるカプセル)として使われてきました。私達は、常識に反して、「皮」が意外にオイシイ事を初めて示しました(世界的にも独創的!)。今後、コロナワクチンのような高分子量医薬品(RNAなど)に应用するための戦略の開拓に展開します！

Q: 研究内容と社会との関わりは？

A: 夢を共有できる多数の企業研究者と語らいつつ、50年先の社会や産業に革新をもたらせる科学技術の創成に取り組んでいます(一部は、共同研究)。

Q: 研究活動の目標は？

A: 最先端研究への取組みを通じて、自ら考え行動し、夢に向かって挑戦できる人材を輩出することを目指しています。

## 医療・ヘルスケアへの生物材料設計の貢献



<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/sakailabo/>

教授 境 慎司 sakai@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
准教授 小嶋 勝 kojima@cheng.es.osaka-u.ac.jp  
助教 中畑 雅樹 nakahata@cheng.es.osaka-u.ac.jp

人類の快適な生活や産業活動の維持のためには、医療・ヘルスケアに寄与する技術やプロセスの開発・設計・操作を目的とした研究は不可欠です。本研究グループでは、「生物の持っている機能を材料として利用する方法を設計・開発」し、また「生物の持っている機能を制御する材料や方法を設計・開発」することで、医療・ヘルスケア分野に貢献することを目指します。



## ●再生医療への貢献

## 3Dバイオプリンティングに関する技術の開発

病気やケガ、先天的な要因などにより機能が低下したり、機能しなくなった組織や臓器の代替品を、細胞と人工物などを上手く組み合わせて作り出すことを目指すのが組織工学であり、それを使った医療が再生医療です。私達の研究室では、組織工学における重要な技術である、プリンタを使って組織や臓器を3次元印刷する3Dバイオプリンティングに関する技術の開発を行っています。その中では、有機合成に関する知識を活かした、細胞の機能を高めるための新たなインク材料の合成や、プリント過程でのインクの流動状態の理解にもとづいた新たなプリンタの設計、製作などを行っています。

## 酵素を使った組織工学技術の開発

酵素は動物細胞が生存できる条件下でもさまざまな反応を触媒します。この機能を利用して、動物細胞をゼリーのようなヒドロゲル（独自に合成した材料を使用）のなかに閉じ込めたり、そこで増やした後に取り出したりすることにより組織や臓器の代替物を作り出すための技術の開発を行っています。

## ●ロボット技術を応用した組織構築への挑戦

### 細胞内外の環境を自在に操作し計測する

細胞や生体の組織は様々な入力情報(刺激)に適切に応答することで複雑な構造を形成し、また、高度な機能を実現しています。この仕組みは未解明の点が多く、その理解のためには精密な応答計測を実現することが重要です。我々は、1 ミクロンほどの微小な対象物をつまむ、回転させるなど器用な操作を行うことが可能なロボットシステムを開発し、細胞の局所への機械刺激や化学刺激を実現しました。この技術の発展は、細胞や生体組織の様々な特徴の解明に役立ち、組織構築方法の確立に貢献します。また、ロボット技術に基づいた自動化されたシステムは、手動では困難な実験を可能するため、これまでにない新たな知見の発見も期待されます。

## ●新規バイオデバイスの開発

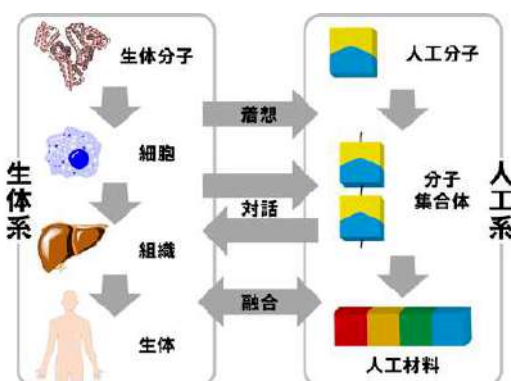
### Lab-on-a-Chip技術の開発および化学・生命科学への応用

‘Lab-on-a-chip’とは、様々な微細加工技術を利用してマイクロあるいはナノ構造をもつチップ様の微小実験装置を作製する技術です。普段の化学実験室での混合、反応、分離、検出などをスケールダウンしたチップ上で実現します。さらに、生体内で行われる色々な生命活動もそのチップ上に再現できます。私たちは、化学・生命科学への応用を目的とする‘Lab-on-a-Chip’実験装置の開発を行っています。

## ●新規バイオマテリアルの設計

### 生体分子認識を通じた生体材料と人工材料の融合

生体系では、生体高分子が分子同士の複雑な認識を介して細胞、器官と階層的に組織化し、生体を形作っています。このような生体分子認識を人工系に取り入れ、生体と人工の対話と融合を通じた新しいハイブリッド材料の開発に取り組んでいます。それにより、生命現象のより深い理解(理学)と、生体構成要素-人工材料間のミスマッチを解消した新たな技術開発(工学)の両方を達成し、新しい基礎工学を切り拓くことを目標にしています。



### 生物材料設計グループQ&A

Q: 研究室のアピールポイントは？

A: 多彩なバックグラウンドをもつアクティブな人たちが集うグループ(留学生も多数在籍)

Q: 生物について勉強してこなかったけど大丈夫？

A: 大丈夫です。だからこそ、新しい発想につながると考えています。

Q: 端的に言うとはどんなことをやっているの？

A: 有機合成、ロボット制御のためのプログラミング、遺伝子組み換え、動物実験などいろいろです。

Q: 求める学生像は？

A: 想像力を磨き創造力を養う

- ・1を知って10のことに思いをはせ夢を膨らませよう(想像力)
- ・それらのことを咀嚼し消化しよう(理解力)
- ・その上で、自分の世界を創りあげよう(創造力)

Q: 研究室の生活は？

A: 研究の合間に、四季折々のイベント有り

## 光で駆動する新しい材料と包接化合物の研究



<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/hirailab/>

教 授 平井 隆之 hirai@cheng.es.osaka-u.ac.jp

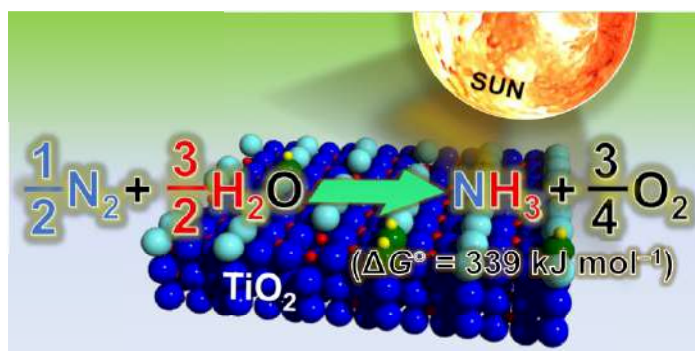
准 教 授 白石 康浩 shiraish@cheng.es.osaka-u.ac.jp

助 教 菅原 武 sugahara@cheng.es.osaka-u.ac.jp

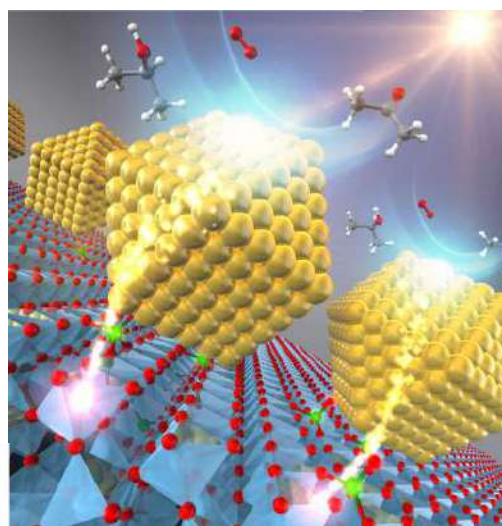
太陽エネルギー化学研究センターは、1981年に設置された基礎工学部附属太陽光エネルギー化学変換実験施設を母体とし、その後の改組・拡充により2001年4月に発足し、その名の通り太陽エネルギー・光エネルギーを化学反応に利用する材料や技術の開発を目的とした研究を展開しています。本研究室は同センター所属の平井・白石に加え、包接化合物の有効利用研究を展開する菅原の3名で構成され、下記のような研究を進めるとともに、化学工学領域・化学工学コースにおける教育を担い、幅広い視野をもつ人材の育成を目指しています。

## ●光触媒による人工光合成

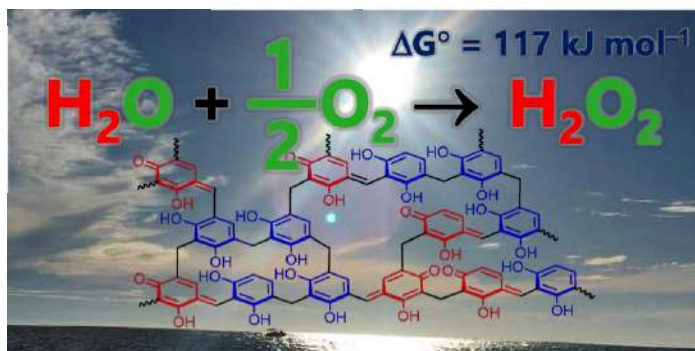
無尽蔵に降り注ぐ太陽光エネルギーを化学エネルギーに変換する、すなわち有用な有機物質を合成する研究を進めています。工業的に不可欠な有機化合物をはじめ、医薬品の原料となる付加価値の高い化合物の合成にも取り組んでいます。



太陽光を使って、水と窒素からアンモニアを合成する人工光合成型光触媒反応



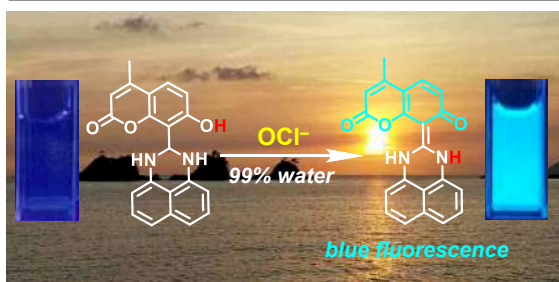
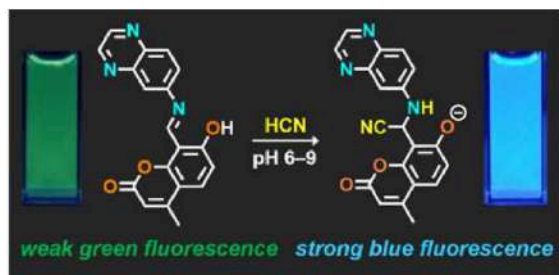
金属ナノ粒子により太陽光を効率よく吸収して光触媒反応を進めるヘテロ接合型触媒の開発



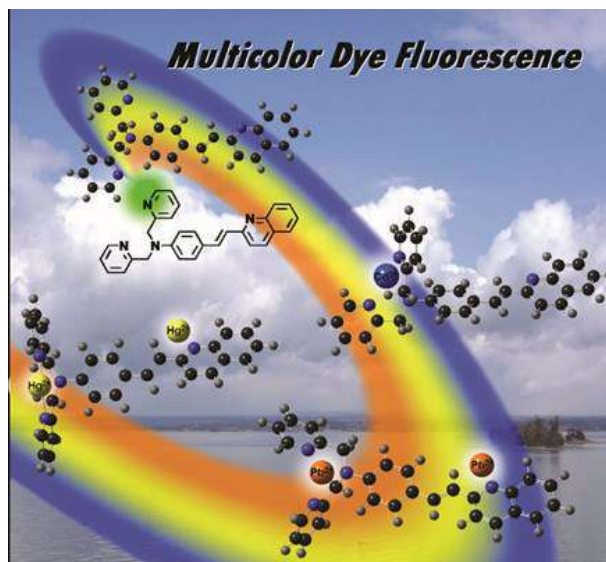
太陽光を使って、水と酸素から次世代のエネルギーキャリアとして有望視されている過酸化水素を合成する人工光合成型光触媒反応

## ●光センサー分子ならびに光機能性分子の開発

環境中や生体中に存在する微量物質を正確に定量することは困難です。我々は、ターゲットする分子に選択的に応答して色を変えたり、光ったりする分子の開発を行っています。また、環境に応じて様々な色や発光を示すインテリジェント分子の開発も進めています。



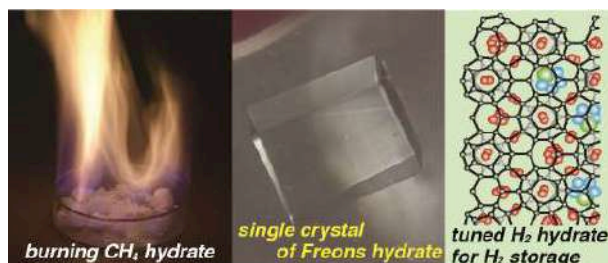
有害物質と反応して蛍光色を変える蛍光センサー



異なる金属イオンに対して異なる蛍光色を示すマルチ発光分子

## ●包接化合物の機能測定と応用利用

メタンハイドレートに代表されるガスハイドレートや有機クラスレート化合物の性質を調べ、その機能を活かしたガス分離、エネルギー物質貯蔵、蓄熱材料、反応場としての利用を目指しています。



潜熱蓄熱材料として注目されるセミクラスレートハイドレート

### 環境光工学グループQ&A

Q: 研究室のアピールポイントは？

A: 光触媒・光分子センサー・包接化合物に関するいずれの研究に対しても、ずば抜けた機能をもつ材料やシステムをたくさん開発してきました。“世の中をあとと言わせる”成果を出すことを目的として研究を進める点が、当研究室の特長と言えます。

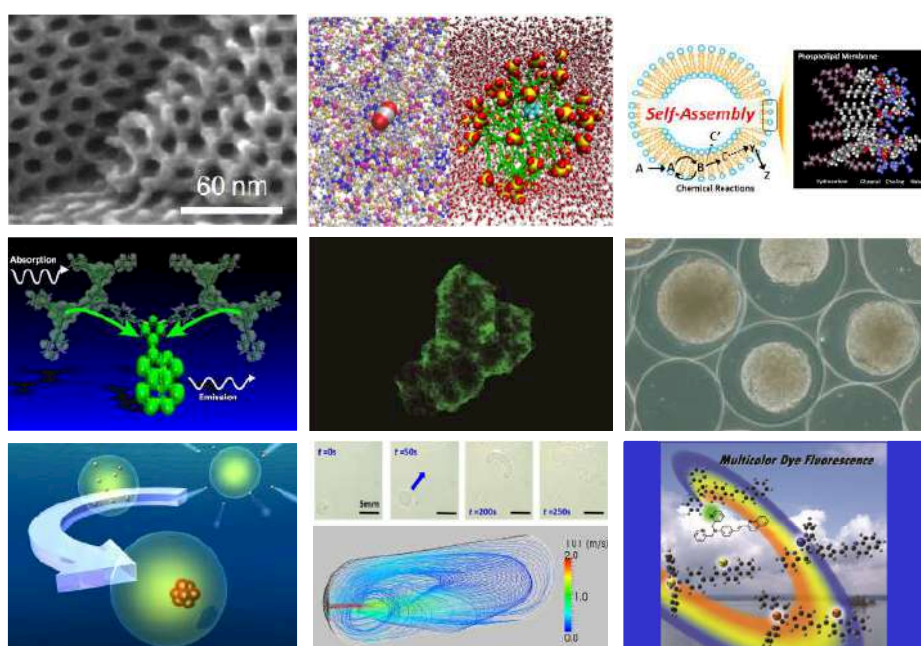
Q: 研究内容と社会との関わりは？

A: 光触媒や光分子センサーに関する研究はまだ始まったばかりであり、その可能性を導き出すことが我々の研究の目的です。特に太陽光の有効利用は人類全体に突き付けられている大きな課題であり、社会的要求の強い重要な課題と言えます。加

えて、包接化合物のひとつであるメタンハイドレートは有名ですが、さらに分離、蓄熱、晶析などに包接化合物の応用をすすめることは、エネルギーの有効利用に大きく貢献できるものと考えています。

Q: 研究活動の目標は？

A: すばらしい研究成果を出すことはもちろんですが、自ら発案し、積極的に課題に取り組むことのできる自立した人材の育成が我々の目標です。我々の研究では、化学工学、光化学、有機化学、物理化学、触媒化学、表面化学などの様々な知識が必要です。様々な分野で活躍できる研究者を育成できるところも当研究室の特長と言えます。



## —「もの」にこだわる「ものづくり」—

大阪大学 大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 化学工学領域  
大阪大学 基礎工学部 化学応用科学科 化学工学コース



〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3  
Tel : 06-6850-6295 (化学事務室)  
Fax : 06-6850-6296 (化学事務室)  
URL : <http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/>