

アニュアルレポート 2025

大阪大学

大学院理学研究科

高分子科学専攻

目 次

巻頭言	1
高分子科学専攻の構成	3
研究活動概要	4
高分子反応化学研究室	5
高分子精密科学研究室	7
高分子合成化学研究室	9
高分子物理科学研究室	11
高分子材料設計学研究室	13
高分子構造科学研究室	15
超分子機能化学研究室	17
高分子溶液学研究室	19
電子線構造生物学研究室	21
蛋白質結晶学研究室	23
超分子構造解析学研究室	25
環境安全化学研究室	27
論文リスト	29
Original Papers	30
Review Articles	40
Books	41
Miscellaneous Publications	41
修士・博士論文題目と修了者の進路	43
修士論文題目	44
博士論文題目	46
令和7年度博士前期・後期課程修了者進路	47

巻頭言

世界的なエネルギー問題や資源不足への関心が高まる中、核融合に対する民間資本の投資が加速するなど、将来のエネルギー環境には変化の兆しがみられます。一方、中東での戦争による原油価格、ひいては我々が日常目にする燃料価格の急激な変化を目の当たりにします。石油由来の高分子にとどまらない当専攻の研究方針の重要性は、今後一層高まるものと考えられます。実際に当専攻においては、生体高分子や天然高分子といった再生可能資源を基盤とする研究に加え、硫黄などの産業副産物・産業廃棄物を有効利用する高分子材料に関する研究も積極的に推進しています。こうした多様な資源に立脚した高分子科学の基礎を深め、その本質的理解を通じて、資源・エネルギーをめぐる諸課題に対する学術的基盤を提供していくことが、当専攻の重要な使命であると考えています。

大学運営の面では、大阪大学において新たに学術研究機構が設置されることとなりました。これに伴い、理学研究科に所属する私たち教員は、学術研究機構の理工情報系領域を兼任することになります。この組織改編は、理学・工学・情報科学の垣根を越えた分野横断的な研究・教育体制の強化を目的としており、高分子科学専攻にとっても、これまで以上に幅広い連携と新たな研究展開の機会をもたらすものと期待しています。また、当専攻がこれまで協力してきたインタラクティブ物質科学・カデットプログラムは、このたびインタラクティブ物質科学・カデット学位プログラムへとアップデートされました。学位プログラムとしての体制が整ったことにより、物質科学分野における高度な人材育成がより一層体系的に推進されることが期待され、当専攻としても引き続き積極的に協力・貢献してまいります。変化の多い時期ではありますが、専攻としての独自性と研究の質を維持しながら、これらの新しい枠組みを積極的に活かしてまいります。

教員・学生の受賞の報告も多数ありました。代表的なものとして、中畑雅樹助教が昨年度に引き続き当専攻から大阪大学賞に選定されました。

3月には約 20 年にわたり教授として高分子物理化学研究室を率いてこられた井上正志先生と、長きにわたり当専攻の研究・教育にもご協力いただいた蛋白質研究所の中川敦史先生がご退職され、名誉教授の称号を授与されました。当専攻の前身である高分子学科の創設は昭和 34 年であり、それ以降に生まれた世代の先生方が名誉教授となられたことになり、当専攻の歴史において一つの節目を迎えたものと感じております。高分子物理化学研究室は昨年 4 月にご着任された松宮由実教授が主宰されることになるほか、高分子合成・反応化学講座には 4 月より寺島崇矢教授をお迎えし、基幹講座の全研究室の研究・教育体制が整い、高分子科学の基礎研究に邁進してまいります。

本冊子は令和 7 年度の高分子科学専攻所属研究室の主な研究活動内容と業績、本専攻修了者の論文題目と進路をまとめたものです。今後とも、高分子科学専攻へのご理解とご支援を賜りますよう、お願い申し上げます。

(令和 7 年度高分子科学専攻長 寺尾 憲)

最新の情報は高分子科学専攻ホームページ
<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/graduate/mms/index.html>
をご覧ください。

大阪大学大学院 理学研究科 高分子科学専攻
Department of Macromolecular Science, Graduate School of Science, Osaka University

ホーム > 研究室紹介

- 専攻概要 →
- 研究室紹介 →
- 教員一覧 →
- アニュアルレポート →
- 入試情報 →
- カリキュラム →
- 公衆情報 →
- 高分子研究所 →
- 内部限定 →

研究室紹介



高分子科学専攻は3つの基幹講座と一つの協力講座からなり、各講座がそれぞれ複数の研究室から構成されています。（図の講座名をクリックすると、概要紹介へジャンプします。）

基幹講座の研究については[アニュアルレポート](#)にも紹介されています。
[こちら](#)も合わせてご覧ください。

高分子科学専攻

検索

研究活動概要
(2025年度)

各研究室の研究活動

高分子反応化学研究室

<スタッフ> 鬼塚 清孝 (教授) 岡村 高明 (准教授)

<研究のキーワード>

- (1) 高分子錯体 (2) 錯体触媒 (3) 不斉合成 (4) 不斉重合
(5) 非天然型ポリペプチド (6) 金属蛋白質 (7) 酵素モデル (8) 水素結合

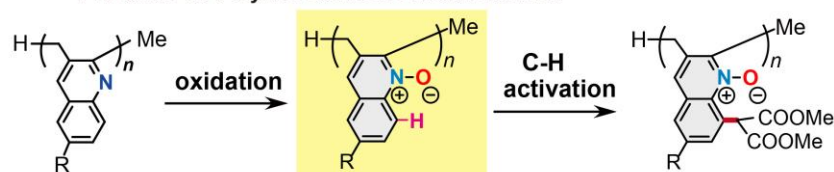
<令和7年度の主な研究活動概要>

当研究室では、遷移金属元素を活用した高分子科学を基軸として、新しい高分子合成反応の開拓と機能性高分子の創出に関する研究を行っている。今年度は、有機金属錯体を用いた新しい高分子の合成と機能化について研究するとともに、拡張型ポリペプチドの合成、金属酵素モデル錯体の合成と特性についての研究を行った。

(1) 骨格変換反応を目指したポリ[(キノリン *N*-オキシド)-2,3-ジイルメチレン]の合成¹

高分子主鎖構造の変換は、高分子構造の拡張において重要な戦略である。本研究では、ポリ(キノリン-2,3-ジイルメチレン) (PQM)²

Synthesis of Poly[(quinoline *N*-oxide)-2,3-dylmethylene]s
Precursor for Polymer Backbone Transformation

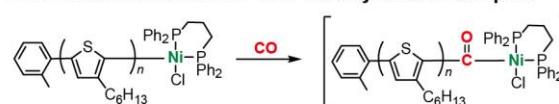


を基盤とし、主鎖の骨格変換前駆体であるポリ[(キノリン *N*-オキシド)-2,3-ジイルメチレン] (PQOM)の合成とその反応性を検討した。まず、*m*-CPBA を用いた酸化反応により、キノリン部位を定量的かつ選択的に *N*-オキシドへと変換し、オリゴマーから高分子まで($n = 1-20$)副反応なく反応が進行した。得られた PQOM に対し、ロジウム触媒条件下で C-H 活性化反応を適用したところ、C8 位において選択的かつ定量的な官能基導入に成功した。さらに、分子量の異なる系においても高効率で反応が進行し、主鎖構造は保持された。これらの結果から、PQOM は高分子の骨格変換を実現する有用な土台となることが示された。

(2) カルボニル化を基盤とするポリ(3-ヘキシルチオフェン)の末端官能基化法の開発³

末端官能基化は、共役高分子の機能設計において重要な要素である。本研究では、ポリ(3-ヘキシルチオフェン) (P3HT) の重合後末端に存在するニッケル錯体に対し、カルボニル化を鍵とする新たな官能基導入法の開発を行った。まず、熊田・玉尾触媒移動型連鎖縮合重合により得られる末端ニッケル種に一酸化炭素を

End functionalization of P3HT via Acyl-nickel Complex



Quantitative Introduction
various amide groups

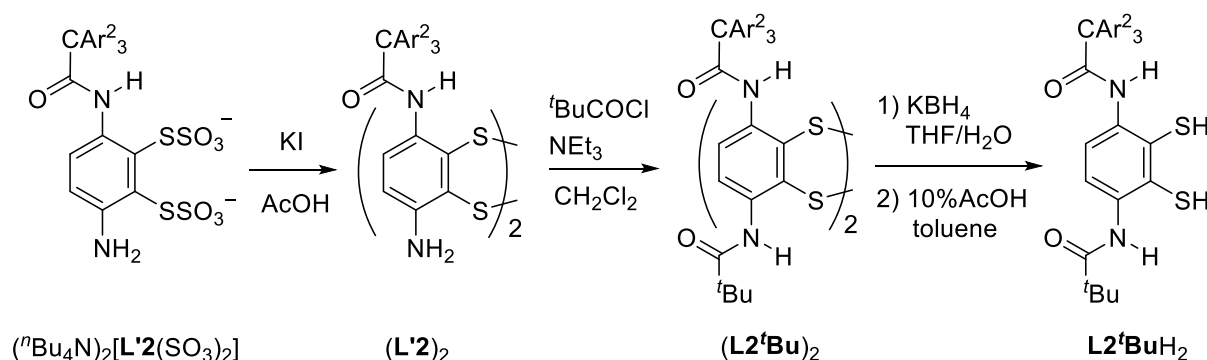
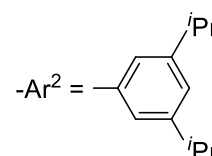
X = I, Br
10 examples

挿入し、反応性の高いアシル中間体へと変換した。これに対しアミンを作用させることで、温和な条件下で定量的な末端修飾を達成した。本手法は、従来困難であったヒドロキシ基やカルボニル基、アリアルハライドなど多様な官能基を直接導入することが可能となった。さらに、ポリエチレングリコールとのブロック共重合体や両末端異種官能化にも成功した。

(3) モリブデン酵素モデルを目指した非対称ジチオラート配位子の合成

モリブデン酵素であるキサンチン酸化酵素 (XO)、亜硫酸酸化酵素 (SO) はモリブドプテリン (MPT) と呼ばれる特異なジチオレン配位子を1つ有する。当研究室では MPT のモデルとしてアシルアミノ基を持つベンゼンジチオラート配位子を系統的に合成してきた。昨年度、片方のみ非常に嵩高い疎水性アシル基を持つ $(^n\text{Bu}_4\text{N})_2[\text{L}'_2(\text{SO}_3)_2]$ の単離に成功した。本年度は非対称ジチオラートの合成を行った (下図)。 $(^n\text{Bu}_4\text{N})_2[\text{L}'_2(\text{SO}_3)_2]$ と KI を酢酸に溶解し 100°C で加熱するとジスルフィド $(\text{L}'_2)_2$ が沈殿した。 $(\text{L}'_2)_2$ はジスルフィドの形成の仕方により *trans* 体と *cis* 体が生成し、ジスルフィド部分の立体配座により *twist* と *chair* の2種類が生じ得る。 ^1H NMR スペクトルの解析により比率を求めると *trans-twist* : *trans-chair* : *cis-twist* = 74 : 13 : 13 と見積もられ、立体障害が大きい *cis-chair* は検出されなかった。塩化ピバロイルを用いて残りのアミノ基をアシル化し、 $(\text{L}'_2\text{Bu})_2$ を得た。ジスルフィドを KBH_4 で還元することで目的のジチオール L_2BuH_2 の単離に成功したが、嵩高さが比較的小さい $^t\text{BuCONH}$ 基は隣接するチオールとの間で徐々に脱水・環化反応が進行しベンゾチアゾール骨格へと変換された。ジチオールと $(\text{Et}_4\text{N})_2[\text{MoO}_4]$ から脱水反応で $(\text{Et}_4\text{N})_2[\text{MoO}_3(\text{L}'_2\text{Bu})_2]$ が生成するが、僅かに残存した水で $(\text{Et}_4\text{N})[\text{L}'_2\text{BuH}]$ と $1/2(\text{Et}_4\text{N})_2[\text{Mo}_2\text{O}_7]$ を与え、単離には至らなかった。

別途合成した $(\text{Et}_4\text{N})[\text{L}'_2\text{BuH}]$ と $(\text{Ph}_3\text{C})(\text{BF}_4)$ を用いる水を副生しない合成法によりモデル錯体の単離が行えると期待できる。



<参考文献>

1. Kanbayashi, N.; Kawasaki, K.; Onitsuka, K. *Chem. Lett.* **2025**, *54*, upaf193.
2. Kanbayashi, N.; Nakajima, A.; Okamura, T.; Onitsuka, K. *Macromolecules* **2025**, *58*, 8707–8715.
3. Kanbayashi, N.; Kitahara, S.; Uchida, T.; Okamura, T.; Onitsuka, K. *Macromolecules* **2026**, *59*, 4208–4214.

高分子精密科学研究室

<スタッフ> 橋爪 章仁 (教授) 中畑 雅樹 (助教)

<研究のキーワード>

- (1) 銅(I)触媒アジド・アルキン環化付加 (2) 高密度トリアゾールポリマー
(3) 生物着想高分子 (4) 重金属イオン (5) 生物-人工融合材料

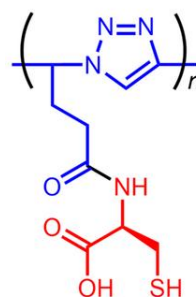
<令和7年度の主な研究活動概要>

当研究室では、精密に合成した高分子を用いた高分子の本質の理解と利用を目指して研究を行っている。令和7年度は、重金属イオン結合部位を有する (1) 高密度トリアゾールポリマーと (2) ビニル共重合体、および (3) 糖タンパク質と合成高分子の融合に基づく高分子材料について研究を行った。

(1) システインを有する高密度トリアゾールポリマーと 12 族金属イオンの相互作用

本研究では、1,2,3-トリアゾールを高密度に有するポリマーの側鎖に *N*-置換システイン残基を導入した新規水溶性ポリマー poly(AC)Na を設計・合成し、その金属イオン吸着特性を評価した (図 1)。保護基を有するモノマーを銅(I)触媒アジド・アルキン環化付加 (CuAAC) 反応により重合し、脱保護および中和により水溶性ポリアニオンを得た。Zn²⁺、Cd²⁺、Hg²⁺との相互作用を等温滴定カロリメトリー (ITC) により調査したところ、主として発熱的な相互作用が確認された。解離定数は 10⁻⁵-10⁻⁴ M 程度であり、生体内で有害重金属イオンの解毒を担う生体分子と同等の値であった。透過率測定により、Cd²⁺や Hg²⁺の存在下では高分子の凝集により水溶液が相分離することが示された。Cd²⁺吸着能を比色定量法により評価したところ、吸着容量は 4-5 mmol g⁻¹ 程度となり、既存の吸着材料と同等の値であった。以上より、システイン由来のチオールおよびカルボン酸、および 1,2,3-トリアゾール骨格が poly(AC)Na と金属イオンとの相互作用に寄与することが示された¹。

New dense triazole polymer:
poly(AC)



12	
Zn	
Cd	
Hg	

Interaction with Zn²⁺, Cd²⁺, Hg²⁺

図 1. システインを有する高密度トリアゾールポリマー poly(AC).

(2) カルボン酸・チオール含有アミノ酸を有するポリアニオンによる Cd²⁺の吸着

本研究ではビニルポリマー骨格を基盤として、*N*-置換システイン残基を有するユニット (C) と一価・多価カルボン酸を有するユニット (X) とのビニル共重合体 (pXC_y; yはCユニットの導入率 (mol%)) を合成し、重金属イオン、とくに Cd²⁺との相互作用を系統的に調査した (図 2)。共重合ユニット (X) としてはアクリル酸

(A)、およびこれに *N*-置換グリシン (G)、*N*-置換アスパラギン酸 (D)、および *N*-置換グルタミン酸 (E) を結合したものをを用いた。水溶液中での Cd^{2+} の吸着能を調査したところ、 $y = 5$ としたいずれの共重合体も、その濃度に応じて Cd^{2+} を吸着した。さらにポリマーのカルボン酸を中和 (pXNaCy) することで吸着容量が向上することが示され、 Cd^{2+} 吸着容量が最大で 7 mmol g^{-1} 程度となる組成 (pANaC5) を見出した。ITC 測定および動的光散乱測定により、各ポリマーについて、ポリマーの水溶液中での分散・凝集状態と吸着容量との関係を明らかにした²。

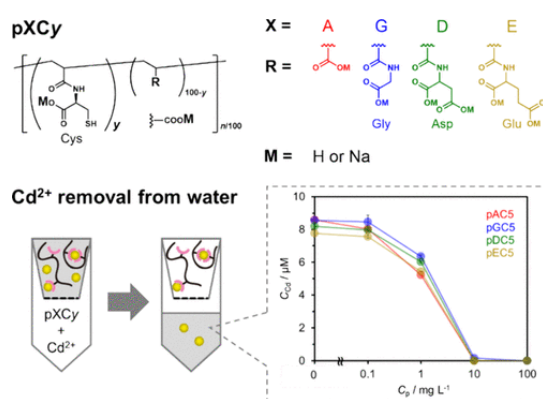


図 2. pXCy の化学構造および水溶液中での Cd^{2+} の吸着。

(3) ムチンとボロン酸含有合成高分子との融合材料の開発と人工粘液への応用

本研究では、生体粘液を模倣した人工粘液材料の創製を目的として、腸粘液の主成分であるムチンと、その糖鎖と相互作用し得るボロン酸を有する合成高分子からなる生物-人工融合材料の新規調製法を開発した。水溶液中、ムチン存在下で 3-アクリルアミドフェニルボロン酸および *N,N*-ジメチルアクリルアミドを光開始ラジカル重合することによりヒドロゲルが形成された。レオロジー測定より、ボロン酸とムチンの糖鎖とのボロネートエステル結合が動的な架橋として機能することが示された。得られたゲルはリン酸緩衝生理食塩水中でも一日以上溶解せず、高い安定性を示した。これを腸内細菌の培養担体として利用したところ、菌種や播種密度に依存してゲルの分解挙動が変化した。細菌が生成する有機酸がムチン-ボロン酸結合を阻害することで分解が促進されることが示された (図 3)³。

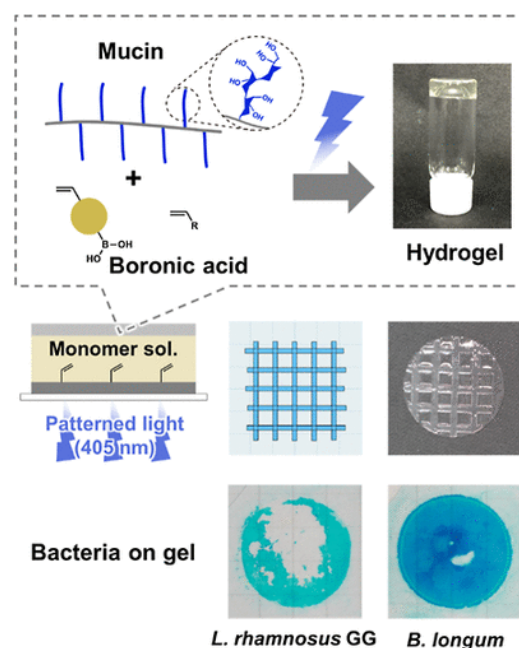


図 3. ムチンと合成高分子からなる融合材料と細菌培養担体への利用。

<参考文献>

1. Ejima, R.; Nakahata, M.; Kamon, Y.; Hashidzume, A. *J. Polym. Sci.* **2025**, *63*, 1570-1579.
2. Nakahata, M.; Okamoto, C.; Tanaka, M.; Hashidzume, A. *ACS Appl. Polym. Mater.* **2025**, *7*, 7789-7797.
3. Nakahata, M.; Liang, Z.; Kawakami, S.; Nishiyama, K.; Hashidzume, A. *ACS Appl. Polym. Mater.* **2026**, *8*, 3515-3524.

高分子合成化学研究室

<スタッフ> 金澤 有紘 (准教授)

<研究のキーワード>

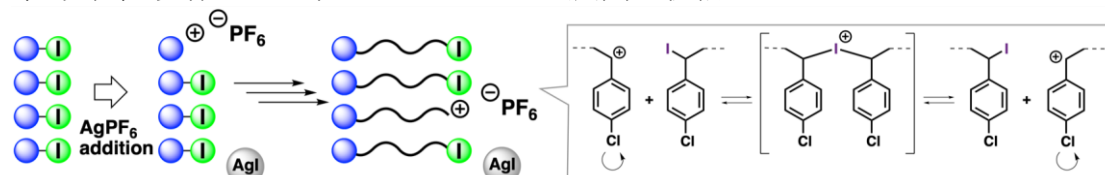
- (1) 高分子合成 (2) カチオン重合 (3) リビング重合 (4) 開環重合
(5) 配列制御 (6) 分解性高分子 (7) 共重合 (8) 機能性高分子

<令和7年度の主な研究活動概要>

我々はこれまで、新しいリビングカチオン重合系や異種モノマーのカチオン共重合系を開発し、様々な性質のポリマーを精密合成してきた。本年度は、スチレン類の新しい制御カチオン重合系、ビニルエーテルとスピロオルトエステルの共重合系、非単独重合性モノマーを用いた配列制御重合系、モノマー反応性差を活かした三元共重合系、環状エステルと環状ヘミアセタールエステルのカチオン共重合系などの研究をおこなった。

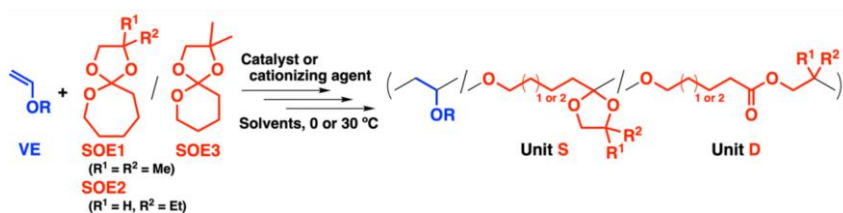
(1) スチレン類の新しい制御カチオン重合系の構築

低反応性スチレン誘導体でも炭素-ヨウ素結合を生長末端として Degenerative chain transfer (DT) 機構でカチオン重合が進行する可能性を見出し、炭素-ヨウ素結合をもつ開始種と Ag^+ 添加による重合系を構築した。さらに、適切な塩基性の *N*-スルフィリミンを添加物として用いる *p*-メトキシスチレンの制御カチオン重合系を構築し、現在、多様な反応性のモノマーへの展開を検討している。



(2) ビニルエーテルとスピロオルトエステルのビニル付加・開環カチオン共重合

スピロオルトエステル (SOE) は二環の結合点炭素原子に酸素原子が三つ結合したオルトエステル構造を持つ



有機化合物であり、SOE のカチオン単独重合では、環状エーテル部位の単独開環および環状アセタール部位も反応する二重開環によりポリマーを生成する。本研究では、ビニルエーテル (VE) と SOE のカチオン共重合を検討し、適切な条件では主に SOE の単独開環が起こり交互に近い配列をもつ共重合体が生成することを見出した。

(3) 非単独重合性モノマーを用いた配列制御カチオン三元共重合

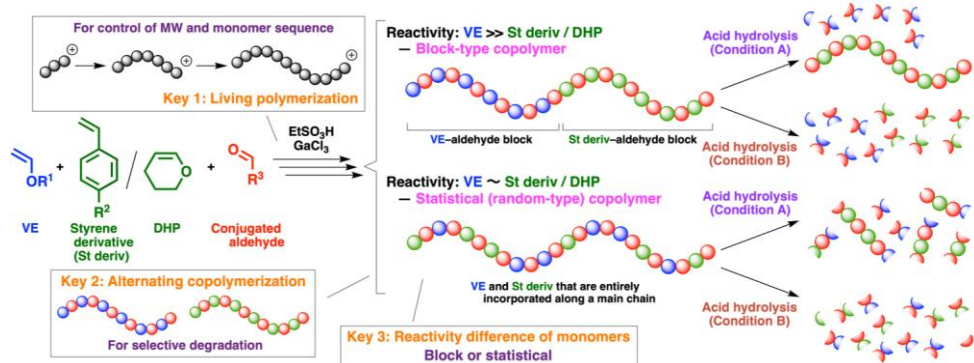
当研究室ではこれまで、VE あるいはスチレン誘導体、オキシラン、ケトンあるいはアルデヒドの配列制御カチオン三元共重合系を構築してきた。今回、モノマー配列の厳密な制御を見据え、非単独重合性のビニルモノマーを用いた三元共重合を検

討した。その結果、非単独重合性の β 、 β -二置換 VE や低単独重合性の 3,4-ジヒドロ-2*H*-ピラン (DHP) を用い、適切な重合条件を設計することで、ほぼ ABC 周期の配列をもつ三元共重合体が生成した。



(4) ビニルエーテル・スチレン類・アルデヒドのカチオン三元共重合による配列制御

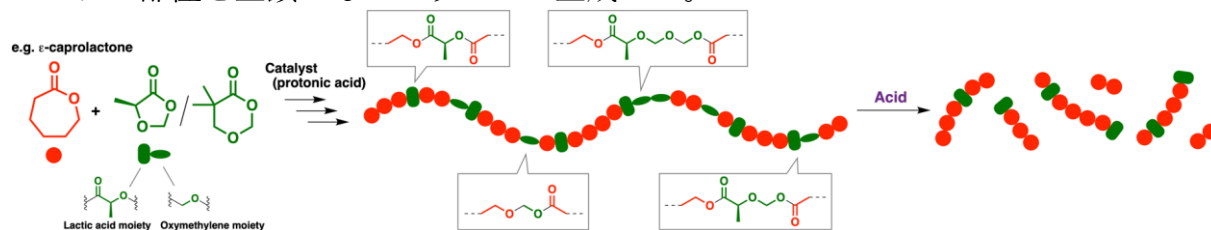
VE, スチレン類, アルデヒド (Ald) のカチオン三元共重合により、反応性差に応じたモノマー配列をもつ酸分解性ポリ



マーの合成を検討した。リビング性を示す開始剤系の設計と適切な反応性差を示すモノマーの組合せにより、VE-Ald の交互配列をもつブロックとスチレン類-Ald ブロックからなるジブロック型のポリマーや、VE, スチレン類, アルデヒドが比較的まばらに (ランダム型に) 組み込まれた配列のポリマーが生成した。また、VE-Ald 連鎖と VE-スチレン類連鎖は異なる酸分解性を示すため、生成ポリマーは異なる条件での多段階の酸分解性を示した。

(5) 環状エステルと環状ヘミアセタールエステルのカチオン開環共重合による酸分解性部位をもつポリエステル合成

環状ヘミアセタールエステルは乳酸などのヒドロキシ酸から合成される化合物で、構造に応じた重合性を示す。本研究では、単独カチオン重合性を示さない五員環の環状ヘミアセタールエステルを用い、 ϵ -カプロラクトンなどの環状エステルとのカチオン開環共重合を検討した。活性化モノマー機構に加え、トランスアセタール反応などの交換反応により重合が進行し、酸分解性のアセタール部位とヘミアセタールエステル部位を主鎖にもつポリマーが生成した。



<文献>

1. Tanaka, I.; Aoshima, S.; Kanazawa, A. *Polym. Chem.* **2025**, *16*, 2211–2215.
2. Higashibata, N.; Aoshima, S.; Kanazawa, A. *Polym. Chem.* **2025**, *16*, 3119–3128.
3. Nomura, K.; Aoshima, S.; Kanazawa, A. *Macromolecules* **2025**, *58*, 7397–7405.
4. Yamada, H.; Aoshima, S.; Kanazawa, A. *Macromolecules* **2025**, *58*, 8225–8234.

高分子物理化学研究室

<スタッフ> 井上 正志 (教授) 松宮 由実 (教授) 浦川 理 (准教授)

<研究のキーワード>

- (1) セルロースナノ結晶 (2) 高分子ナノ複合体 (3) 動的粘弾性
- (4) 重合イオン液体 (5) イオン伝導性 (6) ゲル膨潤

<令和7年度の主な研究活動概要>

当研究室では、粘弾性測定、流動光学測定、誘電分散測定などを活用し、高分子等のソフトマターの物性とダイナミクスについて検討している。ここでは、セルロースナノ結晶で補強したポリスチレン複合体の動的粘弾性と重合イオン液体ゲルの膨潤挙動およびイオン伝導性について報告する。

(1) セルロースナノ結晶で補強したポリスチレン複合体の動的粘弾性

セルロースナノ結晶 (CNC) は、天然由来の持続可能なナノ材料として高分子複合体のフィラーに注目されている。我々は、CNC で補強したポリスチレン (PS) 複合体の動的粘弾性を、レオ光学的手法を併用して系統的に調べた¹。

CNC を重量比 5~30% で PS 中に分散させた複合体フィルムを作製し、その動的粘弾性を広い温度・周波数範囲にわたって測定した。さらに、複屈折測定を組み合わせることで、マトリックスである PS とフィラーである CNC それぞれの粘弾性への寄与を分離することに成功した。ガラス転移領域近傍では、CNC の添加量の増加に伴って PS 成分の緩和時間が長くなり、ガラス転移温度が上昇する挙動が観測された。この結果は、CNC 表面近傍の PS 鎖の運動性が拘束されることを示唆している。

ゴム状平坦領域では、CNC フィラーの補強効果が明確に観測され、CNC 濃度の増加とともに弾性率が顕著に上昇した。応力光学測定により、フィラー由来の弾性率成分とマトリックス由来の成分を定量的に評価した結果、低周波数領域ではフィラーネットワークが弾性率を支配し、高周波数領域では PS 鎖のからみ合いが支配的となることが明らかとなった。本研究は、レオ光学的手法がナ

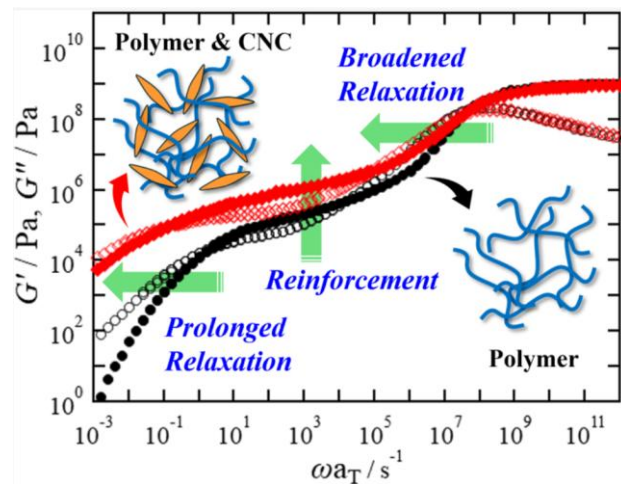


Fig.1 Dynamic viscoelastic properties of PS/CNC composites. The reinforcement effect of CNC was analyzed by separating the contributions of the PS matrix and CNC filler using dynamic birefringence measurements combined with the modified stress-optical rule.

ノ複合体の微視的力学構造の理解に有効であることを実証した成果である。

(2) 重合イオン液体ゲルの膨潤挙動とイオン伝導性

重合イオン液体 (PIL) は、イオン液体の特性を高分子骨格に組み込んだ材料であり、電気化学デバイスへの応用が期待されている。本研究では、PIL ゲルの膨潤挙動とイオン伝導性の相関を、種々のイオン液体を膨潤溶媒として用いて系統的に調べた²。架橋 PIL ゲルを対応するイオン液体モノマーで膨潤させ、平衡膨潤度、動的粘弾性、およびイオン伝導度を測定した。

膨潤度はイオン液体のアニオン構造に依存し、アニオンサイズが大きいほど膨潤度が增大する傾向を示した。イオン伝導度はゲル中のイオン液体含有量の増加に伴って上昇し、膨潤度との間に正の相関が見出された。動的粘弾性測定から求めた架橋点間分子量は膨潤度と整合しており、ゲルネットワーク構造が膨潤挙動を支配していることが確認された。これらの結果は、PIL ゲルの分子設計においてアニオン種を選択がイオン伝導性と力学物性の両方を制御する重要な因子であることを示しており、次世代固体電解質の設計指針として有用である。

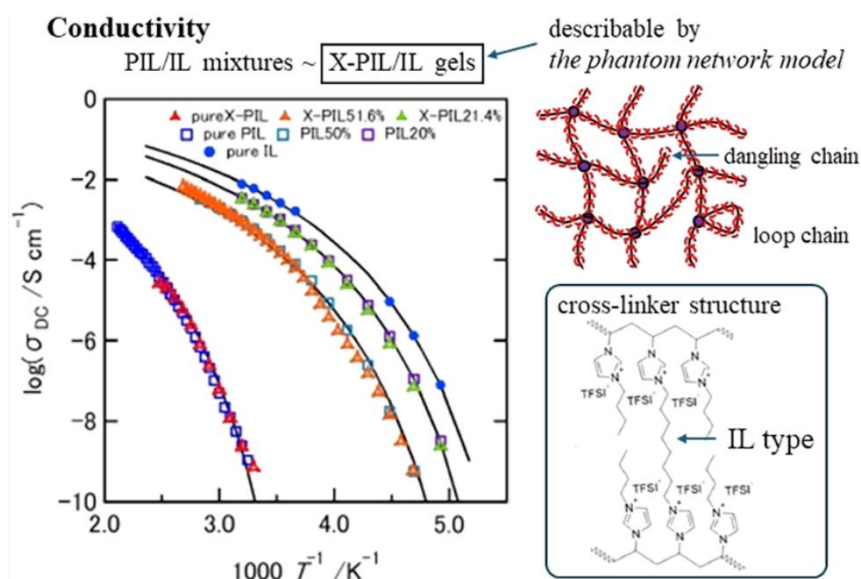


Fig.2 Swelling behavior and ionic conductivity of polymerized ionic liquid (PIL) gels. The network structure evaluated by rheology and swelling analysis was correlated with ionic conductivity measured by dielectric relaxation spectroscopy.

<参考文献>

1. Nobuoka, H.; Tanaka, R.; Urakawa, O.; Inoue, T. *Macromolecules* **2025**, *58*(3), 1380–1389
2. Izutsu, H.; Matsumoto, A.; Urakawa, O.; Inoue, T. *Macromolecules* **2025**, *58*(18), 10007–10016

高分子材料設計学研究室

<スタッフ>高島 義徳 (教授) 山岡 賢司 (助教)

<研究のキーワード>

- (1) 特殊ネットワーク構築
- (2) 材料機能創製
- (3) 高分子分解・再重合
- (4) 可逆性架橋
- (5) 可動性架橋
- (6) 力学・応答機能創製

<令和7年度の主な研究活動概要>

高分子ネットワーク設計により、力学特性・分解性・接着性の統合的制御を検討した。架橋点の運動性を活用することで、強靱性と酵素分解性の両立を実現するとともに、可逆接着やリサイクル可能な粘着材料を創製した。さらに、環状分子を用いた超分子構造により分解挙動の制御指針を提示した。

(1) 可動性架橋ポリエステルの構造設計と分解・再重合・力学特性の両立^{1,2}

これまでに生体触媒のリパーゼを用いたポリ(ε-カプロラクトン)(PCL)の酵素触媒分解および再重合は宇山教授より報告されていた。この生体触媒技術を活用しつつ、かつ社会実装に適した分子量の高いPCLにて、分解性と強靱性、さらにはリサイクルを両立するためには、PCL自身の分子設計・材料設計を改良する必要があった。今回、「紐が輪を貫通した構造」を有する可動性架橋を生分解性ポリマーであるPCLへ導入に成功した。

PCLに特異な分子設計・材料設計を施し、従来の8倍もの材料の強靱性(安定性と長寿命化)を実現した。また、得られたPCLは生体触媒であるリパーゼを用いた酵素触媒分解、20倍の分解速度向上、ポリマー材料の再構築を実現し、当材料で循環させることに成功した。分解後の低分子量体が互いに結合していく再重合によるリサイクルが可能だけでなく、別種のポリエステルや無機ポリマーを分子レベルで組み込む共重合によるアップサイクルを実現した。(図1)。

その後の研究において、環状分子を導入したポリエステル系材料において、擬ロタキサン構造の形成と分子間相互作用が酵素分解挙動に与える影響を詳細に解析した。超分子構造に起因する分解抑制機構を明らかにし、分子レベルでの分解制御の設計指針を示した。

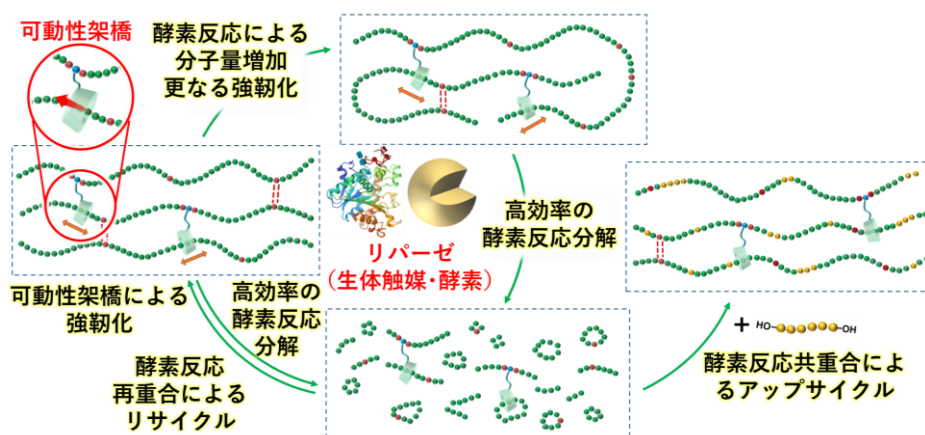
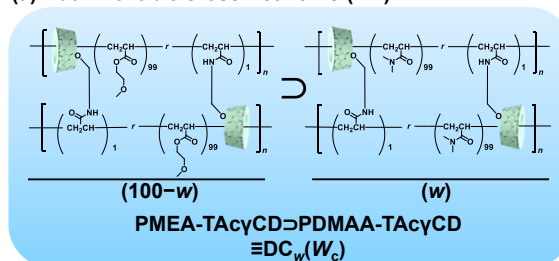


図1 生体触媒であるリパーゼを用いたポリマー材料の資源循環

(2) 可動性架橋を用いた異種ポリマー混合材料の力学特性と水和状態の相関³

高分子中の水は、不凍水・中間水・自由水に分類され、中でも中間水は材料の力学特性や生体適合性に重要な役割を果たすことが知られている。本研究では、シクロデキストリン (CD) を用いた可動性架橋構造 (SC) および異種ネットワークを導入した DC 材料を設計し、ポリ(2-メトキシエチルアクリレート) (PMEA) の強靭化を試みた。DC 材料は従来の架橋系と比較して高い力学特性を示した。さらに、示差走査熱量 (DSC) 測定により水和状態を解析し、中間水量 (IMW) とヤング率の関係を評価した。その結果、中間水量の増加に伴いヤング率が向上する正の相関が確認された。この結果は、中間水は単なる溶媒ではなく、高分子鎖間相互作用を媒介し、実質的に架橋点として機能することで材料の力学特性の発現に寄与していた(図2)。

(a) Dual movable cross-networks (DC)



(b)

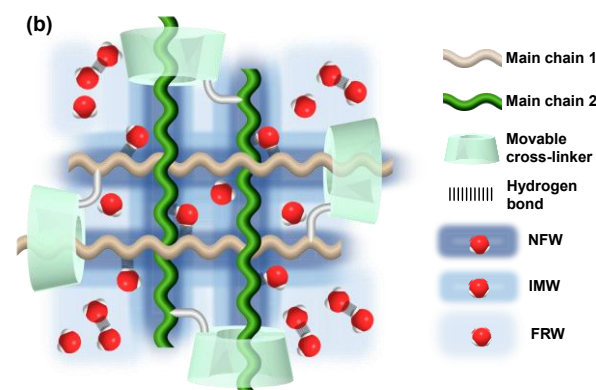


図 2. DC 材料の(a)化学構造, (b) 水和水分子を介した高分子鎖間相互作用(架橋効果)による強化機構の模式図。

(3) 可動性架橋を用いた光刺激応答性の易解体接着材料⁴

近年、高い接着安定性と易解体性を兼ね備える接着剤が求められている。可動性架橋高分子材料に UV 照射により酸を発生させる光酸発生剤を混合することで、光刺激により架橋点を切断可能な高分子材料を作製した。Ethyl acrylate (EA)と酸分解性の結合を有するアセチル化 γ CD モノマー(TAc γ CD)を光酸発生剤存在下で塊状重合することで、光分解性可動性架橋材料を得た。UV 照射により可動性架橋点を切断することでヤング率が大きく減少した。本材料を用いて、同種または異種基板と接着させ、UV 照射により接着強度を低下させることに成功した(図3)。可動性架橋の導入に加え、光刺激での切断により、高い接着安定性と易解体性を両立した。

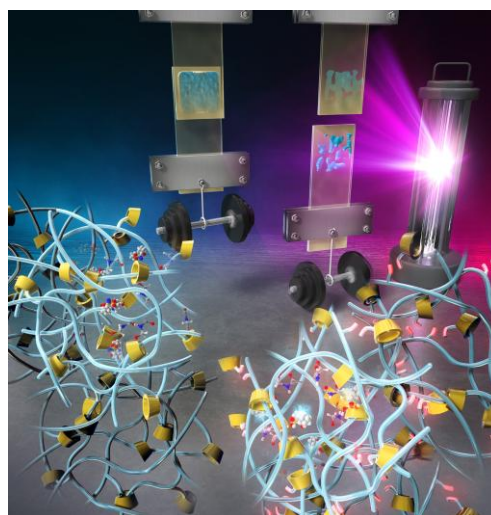


図 3. 可動性架橋点に導入されたアミドメチル結合の UV 照射による切断。この反応により架橋構造が崩壊し、接着強度の低下。

<参考文献>

1. Liu, J.; Ikura, R.; Yamaoka, K.; Sugawara, A.; Uyama, H.; Takashima, Y. et al., *Chem* **2025**, *11*, 102327.
2. Liu, J.; Yamaoka, K.; Sugawara, A.; Uyama, H.; Takashima, Y. et al. *Macromolecules* **2025**, *58*, 12306-12316.
3. Kawai, Y.; Yamaoka, K.; Takashima, Y. et al., *ACS Applied Polymer Materials* **2025**, *7*, 7767-7776.
4. Matsumura, Y.; Yamaoka, K.; Takashima, Y.; et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2025**, *17*, 20261-20269.

高分子構造科学研究室

<スタッフ> 今田 勝巳 (教授) 川口 辰也 (講師) 竹川 宜宏 (助教)

<研究のキーワード>

- (1) 生体高分子複合体
- (2) 超分子機械
- (3) 細菌べん毛
- (4) 蛍光蛋白質
- (5) 酵素
- (6) 構造解析

<令和7年度の主な研究活動概要>

当研究室では、細菌べん毛システムや蛋白質分泌装置の構造・機能解析を中心に生体高分子でできた分子機械の作動原理の研究を行っている。令和7年度は、(1) べん毛輸送装置ゲート複合体の構造、(2) べん毛回転子リング複合体の形成機構、(3) グルタミン酸酸化酵素の基質認識機構と基質特異性変換についての研究を行った。

(1) べん毛輸送装置ゲート複合体の構造¹⁾

細菌の運動器官であるべん毛は、約 30 種類の蛋白質が段階的に組み上がることで形成される。べん毛の基部には細胞内で合成したべん毛蛋白質を順に細胞外へ送り出す専用の輸送装置がある。輸送装置は、5 種類の膜タンパク質 (FlhA, FlhB, FliP, FliQ, FliR) と 3 種類の可溶性タンパク質 (FliH, FliI, FliJ) から構成され、このうち FliP, FliQ, FliR は輸送チャンネルとして働く FliPQR 複合体を形成する (図 1)。この複合体は、細胞質側とペリプラズム側にそれぞれ入口ゲートと出口ゲートを持つが、ゲートの開閉やべん毛形成開始のメカニズムは不明であった。我々はクライオ電子顕微鏡を用いて FliPQR 輸送チャンネル複合体の構造を解析し、複合体先端に β シート状の蓋のような構造 (β キャップ) を発見した (図 2)。そして、 β キャップは、出口ゲートを閉じた状態に保つと共に最初に輸送される FliE をべん毛形成開始点へ誘導する機能を持つこと、次々と輸送される FliE 分子が順に β キャップの構造変化を引き起こし、蕾が開くように出口ゲートが開いてべん毛形成が開始するというメカニズムを明らかにした。

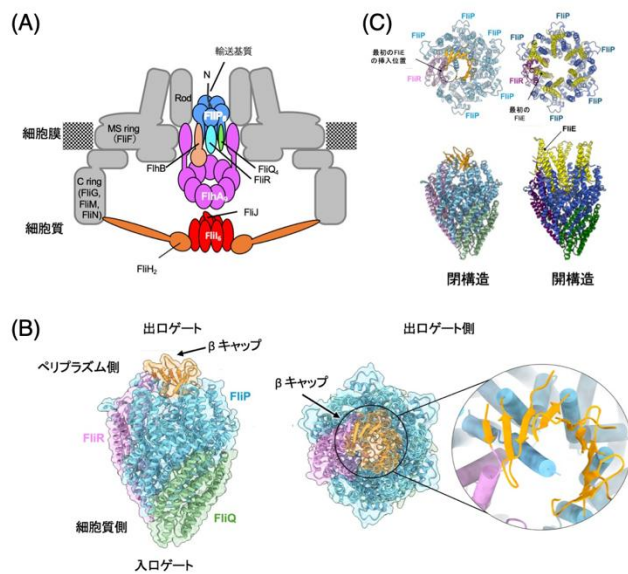


図 1 輸送チャンネル複合体の開閉。(A)輸送装置の模式図。(B) FliPQR 輸送チャンネル複合体の構造。(C) FliPQR 輸送チャンネル複合体の開構造と閉構造の比較

(2) ベン毛回転子リング複合体の形成機構²⁾

細菌の運動器官であるベン毛の根本には十種類以上の蛋白質が合計数百個集まってできた直径約 45 ナノメートルの回転モーターがある。モーター回転子の基礎部分となる MS リングは FliF という蛋白質が 34 個集合した環状の構造体で、内径の異なる 2 つのリングが上下に重

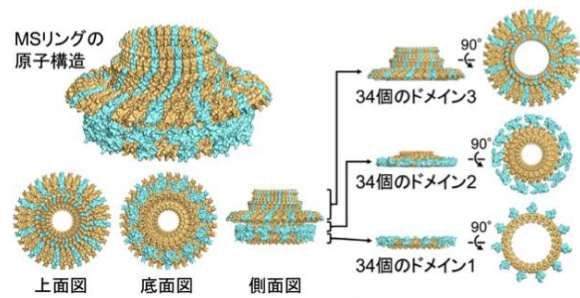


図2 MSリングの構造

なった形状を持つ (図 2)。34 個の FliF のうち、23 個は下側の小さな直径の環状構造を形成し、11 個はその外側にほぼ等間隔で位置して歯車のような構造を形成するが、一種類の蛋白質 FliF からどのようにこのような構造が出来上がるのか不明であった。我々はクライオ電子顕微鏡単粒子解析を用いて精製した MS リングの高分解能構造を解明し、以前に解析した FliF フラグメントの X 線結晶構造と比較することで、FliF 分子がリングを形成する際に起こる構造変化と歯車様の構造を形成する仕組みを解明した (図 3)。

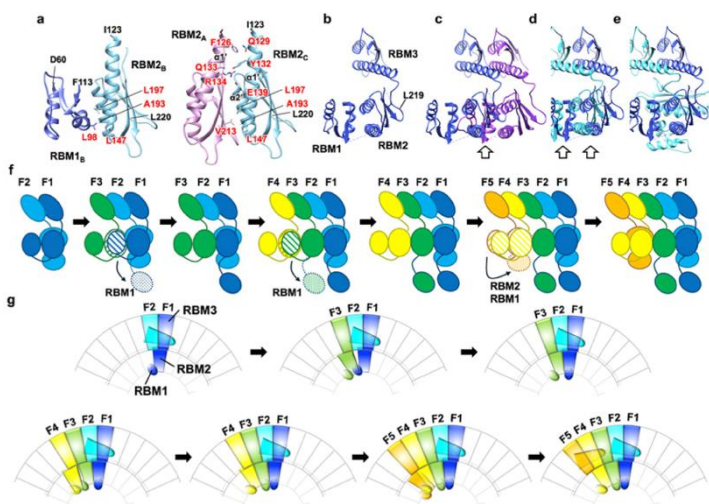


図3 MSリングの形成モデル。F1 F2 二量体の横に F3 が結合すると F3 の RBM2 と F2 の RBM1 が衝突し、F2 の RBM1 が移動する。F4 が F3 の横に結合すると同様に F3 の RBM1 が移動する。F5 が F4 の横に結合しようとする F5 の RBM2 と 3 が衝突するため、F5 の RBM1 と 2 が移動し、歯車の歯を形成する。

(3) L-グルタミン酸酸化酵素の基質特異性の変換³⁾

蛇毒、魚類の粘膜、放線菌類の分泌物に含まれる L アミノ酸酸化酵素は、L アミノ酸の酸化的脱アミノ化を触媒するフラビン酵素である。L アミノ酸酸化酵素は一般に基質特異性が低い、放線菌由来 L-グルタミン酸酸化酵素 (LGOX) は L-グルタミン酸のみに活性を示し、グルタミン酸定量に用いられる。我々は、L-グルタミン酸を結合した LGOX の構造を解明し、L-グルタミン酸認識に関わる Glu617 の改変 (E617F および E617K) により、L-チロシンに高い特異性を持つ L-チロシン酸化酵素に変換することに成功した。

<参考文献>

1. Kinoshita, M.; Miyata, T.; Makino, F.; Imada, K.; Namba, K.; Minamino, T. *Proc Natl Acad Sci U S A.* **2025**, 122, e2507221122.
2. Kinoshita, M.; Makino, F.; Miyata, T.; Imada, K.; Namba, K.; Minamino, T. *Commun Biol.* **2025**, 8, 61.
3. Ueda Y, Yano Y, Nakayama N, Takekawa N, Inagaki K, Imada K. *Protein Sci.* **2026**, 35, e70432.

超分子機能化学研究室

<スタッフ> 山口 浩靖 (教授) 小林 裕一郎 (助教)

<研究のキーワード>

- (1) 超分子錯体 (2) ホスト-ゲスト相互作用 (3) ロタキサン構造
 (4) 環状分子 (5) 光環化反応 (6) トポロジー

<令和7年度の主な研究活動概要>

当研究室では、さまざまな分子間相互作用を利用して分子を特異的に自己組織化させることにより機能性材料 1, 2 の開発を行ってきた。本年度は環状分子と線状分子からなる特殊形状超分子錯体の高収率合成法を構築した³。

線状(軸)分子が環状分子を貫通し、軸の両端にかさ高い部位を結合させることで環状分子が軸から外れないようになった分子集合体(ロタキサン)は、最も基本的な機械的連結分子の一つとして注目を集めており、分子モーター、分子コンピュータやドラッグデリバリーシステムへの展開が期待されている。1967年に最初のロタキサン合成がされて以来、図 1a に示したようないくつかのロタキサン合成戦略が確立された。しかし、これらの

方法論でのロタキサン収率は高くはなく、簡便性、効率性、機能性を兼ね備えたロタキサン合成法は未だ確立されていなかった。当研究室では、可逆的で刺激応答性のトポロジー変換を介して、ロタキサンにおける機械的連結と解錠を実現する方法論(図 1b)を構築した。

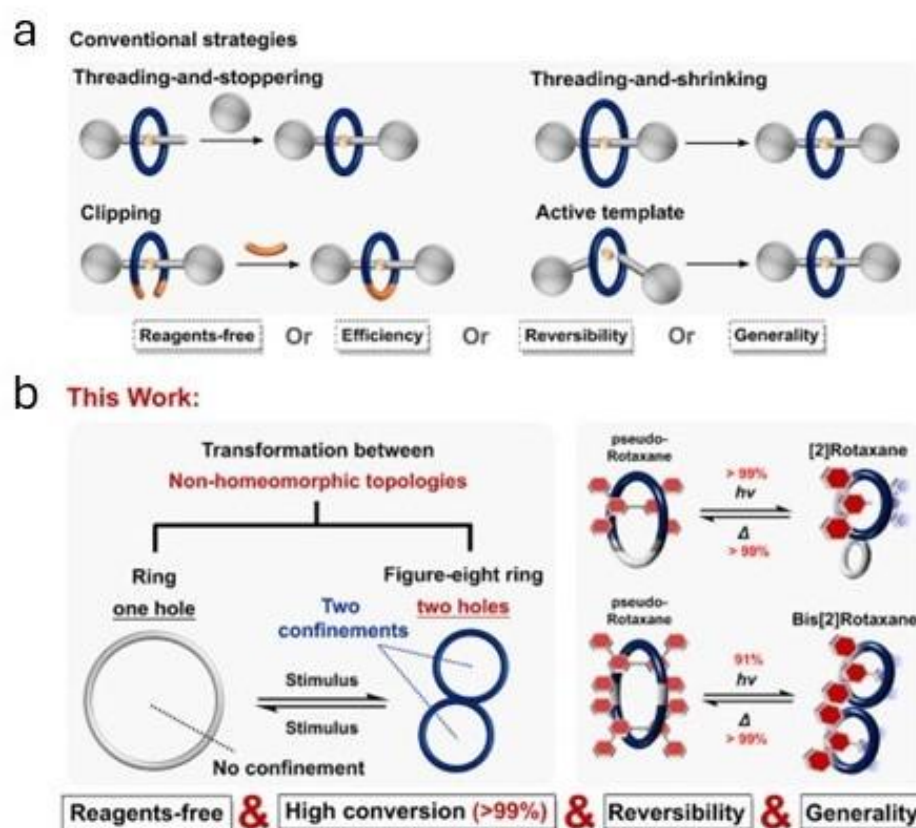


図 1. 従来のロタキサン合成法(a)と本研究におけるロタキサンの可逆的合成法(b)

このロタキサン合成により 99%以上の変換率と 92%の単離収率を達成することに成功した。

本研究で用いた環状分子 (MCH) と軸分子 (G) の化学構造を図 2 に示す。これら 3 種の環状分子は UV 照射により 8 の字型の環へとトポロジー変換を起こす。結果として生じる小さな空洞は環状分子が軸末端から滑り出るのを防ぎ、ロタキサンが形成された。3 種の環状分子のうち、MCH2 の G とのロタキサン形成にともなう NMR スペクトル変化を図 3 に示した。このワンポットロタキサン化は、触媒やストッパーなどの外部試薬を添加することなく高変換率と高単離収率で進行した。逆に、熱によって誘発される逆トポロジー変換は環状分子の空洞サイズの拡大をもたらし、機械的解錠を誘発してロタキサンを擬ロタキサンに戻すことができた。

他の 2 つの環状分子 (MCH1 と MCH3) では、それぞれ 2 つの軸分子と錯体を形成し、変換率 > 96%、単離収率 > 80% で効率的にビス [2] ロタキサンを生成することがわかった。

本研究で開発したトポロジー変換法は、複雑な機械的インターロック構造体の創製を可能にし、熱や光などの外部刺激に応答して作動する分子マシンや新規超分子材料の構成ユニットとして利用できると期待している。

<参考文献>

1. Yamaguchi, H. *Springer Handbook of Functional Polymers*, Chujo, Y. Ed. Springer, Singapore, **2025**, 135-152.
2. Li, X.; Kobayashi, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H. *Macromol. Mater. Eng.* **2025**, *310*, 2400395.
3. Xiao, C.; Li, X.; Okamoto, N.; Kobayashi, Y.; Nishiuchi, T.; Tani, Y.; Yamaguchi, H. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2025**, *64*, e202513783.

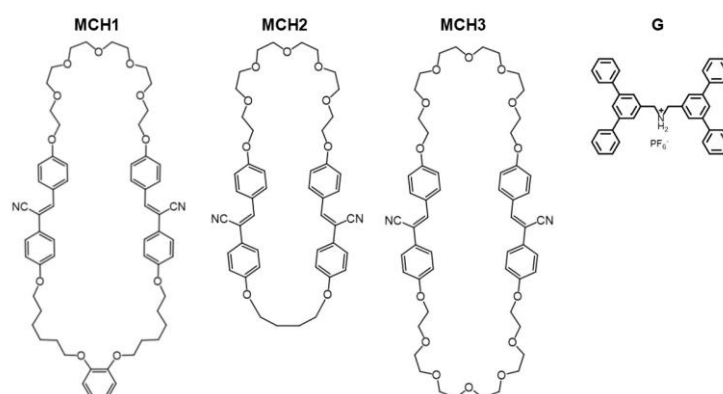


図 2. 本研究で用いた光応答性環状分子 (MCH1、MCH2、MCH3) と軸分子 (G)

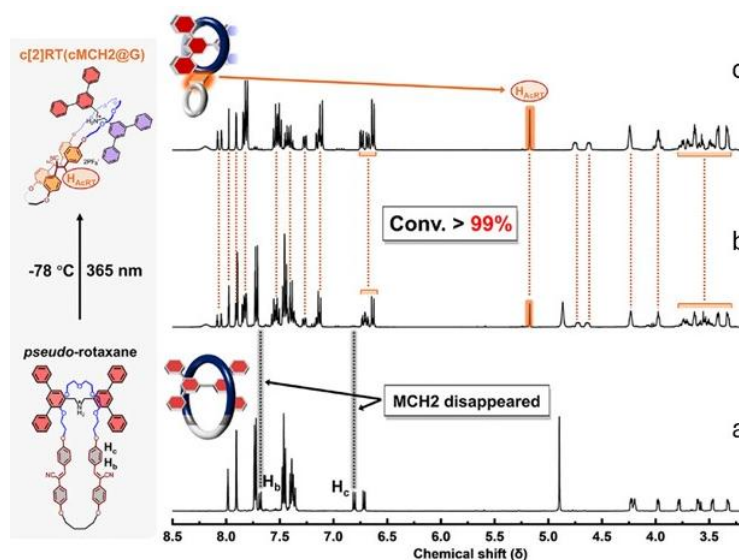


図 3. MCH2 と G からなる [2]ロタキサンの合成. MCH2 と G との混合溶液 (a)、混合溶液に UV を照射した後の粗生成物 (b)、単離された [2]ロタキサン (c) の ^1H NMR スペクトル

高分子溶液学研究室

<スタッフ> 寺尾 憲 (教授) 高橋 倫太郎 (准教授)

<研究のキーワード>

- (1) 花型ミセル
- (2) らせん高分子
- (3) 高分子鎖の剛直性
- (4) 分岐高分子
- (5) 自己組織化
- (6) ミクロ相分離

<令和7年度の主な研究活動概要>

当研究室では、溶液中における高分子鎖の分子形態、分子間相互作用、ならびに高分子ナノ集合体の構造に関する研究を行っている。本年度は、(1) 主鎖の結合様式と多糖誘導体の分子形態、(2) サイズ分布の狭い多糖誘導体ミセルの構築、(3) アラビノガラクトサンの剛直性と分岐構造、(4) 重合誘起自己組織化に関する研究を行った。

(1) 主鎖の結合様式によって著しく変化する多糖誘導体の分子形態の解明¹

プルラントリス (エチルカルバメート) (PTEC) およびプルラントリス (ブチルカルバメート) (PTBC) のテトラヒドロフラン (THF) 中における鎖の剛直性を Kuhn 長から評価し、PTEC で 8 nm、PTBC で 10 nm と求めた。赤外吸収から、分子内水素結合はほとんど認められず、同様の置換基を有するアミロース誘導体に見られる剛直ならせん構造は形成されない。これにより、プルラン誘導体では極性基の多くがフリーな状態にあることが明らかになった。

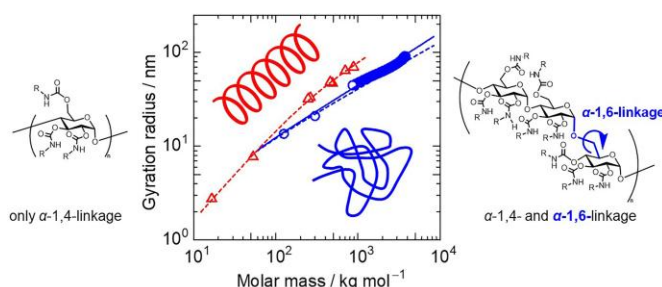


図1. プルラン誘導体 (青) とアミロース誘導体 (赤) の分子形態の比較

(2) サイズ分布の狭い多糖誘導体ミセルの構築²

デシルコハク酸無水物で修飾したプルラン (PulDS) を合成し、その水溶液中でのミセル構造と特性を調査した。置換度が 0.46 から 0.72 の PulDS 試料は水に高い溶解性を示し、粒径が均一なユニットミセルが直鎖状につながったフラワーネックレス型ミセルを形成することがわかった。小角 X 線散乱の解析から、サイズ分布は、従来の不飽和アルキル鎖を有するプルラン誘導体と比較して有意に小さかった。これは、飽和アルキル鎖の導入お

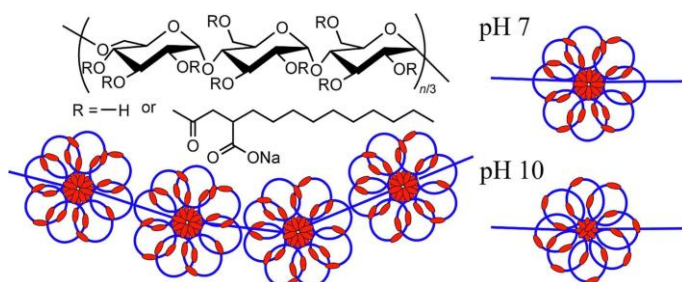


図2. PulDS の化学構造と2つの異なる pH の塩水溶液中で形成するミセル構造の模式図

よび有機溶媒中での合成により、置換基の均一な導入が可能になったためと考えられる。また、pH 7 の水溶液と比較して pH 10 では、ユニットミセルのサイズが有意に小さくなり、これは OH 基の部分的なイオン化によるものであることが確認された。

(3) アラビノガラクトタンの剛直性と分岐構造の解明³

小角 X 線散乱および動的光散乱を用い、3 種のアラビノガラクトタン (AG) の溶液中における分子形態を調べた。直鎖状 AG は、Kuhn 長 2.8 nm の柔軟な高分子として振る舞うことを明らかにした。

一方、ジャスミン茶由来およびカラマツ由来の分岐型 AG は、ハイパーランチ高分子モデルで精度良く記述され、特に後者はより密な構造を持つことが示された。本成果は、AG の分岐構造と物理化学的性質との相関の解明に寄与するものである。



図3. アラビノガラクトタン (AG) の3つの構造モデル：直鎖状 AG (LG) および分岐型 AG (LAG60, JSP-1a)

(4) 重合誘起自己組織化による高秩序なマイクロ相分離構造の形成⁴

溶液中において、親溶媒性高分子 A の末端からモノマー B を重合して A-B 二元ブロック共重合体を合成する際に、モノマー B は可溶であるが重合が進むと溶けなくなるように溶媒とモノマーの組み合わせを選ぶと、重合の進行に伴い自己組織化する。

本研究では比較的高濃度 (40 wt%) でこの過程を進行させると、非常に秩序性の高い、様々なマイクロ相分離構造が形成されることを明らかにした。さらに、この重合と自己組織化の過程が相互作用することにより、通常の調製方法では得られない六方最密充填構造が得られることを明らかにした。

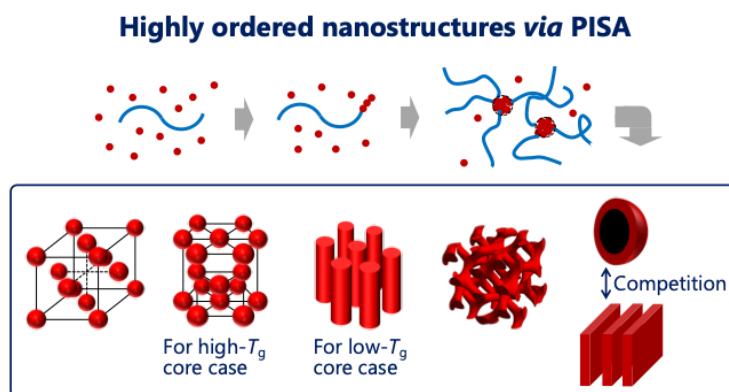


図4. 重合誘起自己組織化の過程とそれによって得られるマイクロ相分離構造

<参考文献>

1. Matsumoto, Y.; Takahashi, R.; Kitamura, S.; Terao, K. *Polymer* **2025**, 327, 128417.
2. Suenaga, R.; Komuro, Y.; Terao, K. *Carbohydr. Polym.* **2025**, 358, 123504.
3. Huang, H.; Wu, M.; Takahashi, R.; Zhang, W.; Terao, K. *Carbohydr. Polym.* **2025**, 370, 124371.
4. Shibata, I.; Sugawara-Narutaki, A.; Takahashi, R. *Chem. Sci.* **2025**, 16, 7921–7928.

電子線構造生物学研究室

<スタッフ> 加藤 貴之 (教授) 高崎 寛子 (助教) 大出 真央 (助教)

<研究のキーワード>

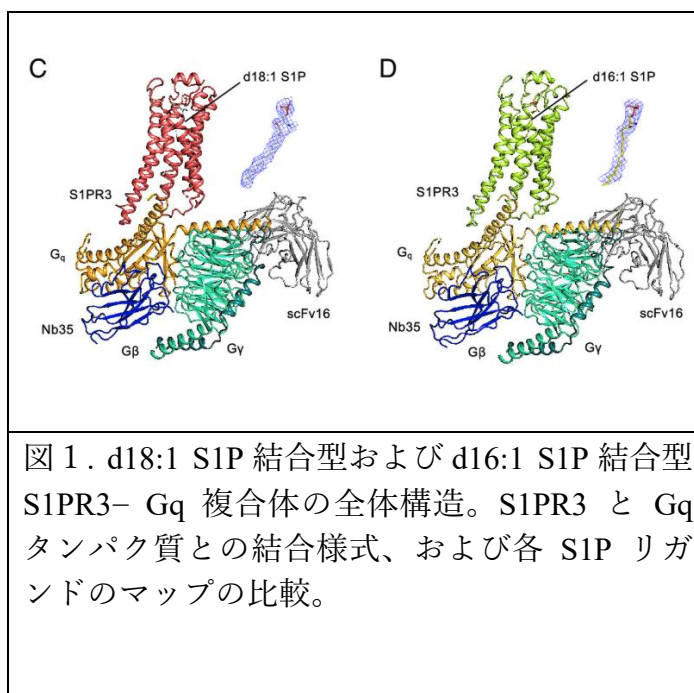
- (1) クライオ電子顕微鏡 (2) 単粒子解析 (3) 電子線トモグラフィー
- (4) 新型コロナウイルス (5) 分子モーター

<令和7年度の主な研究活動概要>

我々の研究室は、クライオ電子顕微鏡を用いた蛋白質の構造解析を行っている。令和3年度は、(1) S1PR3 における G タンパク質選択性機構の構造解析、(2) Na⁺-輸送型 NADH-キノン酸化還元酵素の構造変化機構の解明などについて研究を行った。

(1) S1PR3 における G タンパク質選択性機構の構造解析

スフィンゴシン-1-リン酸受容体 3 (S1PR3) は脂質メディエーターであるスフィンゴシン-1-リン酸 (S1P) を認識する G タンパク質共役型受容体 (GPCR) であり、血管機能や免疫応答など多様な生理機能に参与している。本研究では、ヒト S1PR3 と Gq タンパク質複合体の構造を明らかにするため、クライオ電子顕微鏡を用いた構造解析を行った。その結果、S1PR3 が Gq タンパク質を選択的に認識する際の詳細な相互作用様式が明らか



となり、特に受容体細胞内領域と G α_q サブユニット C 末端との特異的な結合が、G タンパク質サブタイプ選択性に重要な役割を果たすことが示された。また、S1P 結合による受容体活性化に伴う構造変化が、細胞内側の G タンパク質結合ポケット形成を誘導し、シグナル伝達を開始する分子機構も明らかとなった。さらに、既知の他の S1P 受容体との比較解析から、S1PR3 特有の構造的特徴が Gq 選択性に寄与していることが示唆された。本研究は、GPCR における G タンパク質選択性の理解を深めるとともに、S1PR3 を標的とした創薬研究に重要な構造基盤を提供する成果である。

(2) Na⁺-輸送型 NADH-キノン酸化還元酵素の構造変化機構の解明

Na⁺-pumping NADH-quinone oxidoreductase (Na⁺-NQR) は、海洋細菌や病原性細菌において電子伝達と Na⁺輸送を共役する呼吸鎖酵素であり、細菌のエネルギー代謝に重要な役割を果たしている。本研究では、*Vibrio cholerae* 由来 Na⁺-NQR の Na⁺輸送機構を明らかにするため、クライオ電子顕微鏡を用いた構造解析および分子動力学シミュレーションを行った。

その結果、補欠分子族欠損変異体、阻害剤存在下、および低 Na⁺条件下において少なくとも 5 種類の異なる構造状態を捉えることに成功し、電子伝達に伴って酵素全体が大きく構造変化することが明らかとなった。特に、NqrD/E サブユニット内の 2Fe-2S クラスターの還元が引き金となり、膜貫通領域の再編成を介して Na⁺輸送経路形成を誘導することが示された。さらに、これらの構造変化が NqrC および NqrF サブユニットの配置変化にも連動し、電子伝達と Na⁺輸送を効率的に共役させていることが明らかとなった。本研究は、Na⁺-NQR における電子伝達と Na⁺輸送の分子機構を構造レベルで解明し、細菌呼吸鎖酵素の作動原理理解に重要な知見を与える成果である。

<参考文献>

1. Yamauchi, M.: Im, D.: Maeda, S.: Ikuta, T.: Toyomoto, M.: Asada, H.: Sugita, Y.: Kishikawa, J. I.: Noda, T.: Kato, T.: Inoue, A.: Iwata, S.: Hagiwara, M. *Proc Natl Acad Sci U S A*. **2025**, 122(47),e2507421122.
2. Kato, T.: Hirose, M.: Ishikawa-Fukuda, M.: Seki, T.: Kishikawa, J.: Masuya, T.: Okazaki, K.: Barquera, B.: Miyoshi, H.: Murai, M., *Nat. Commun.* **2026** 17, 1394

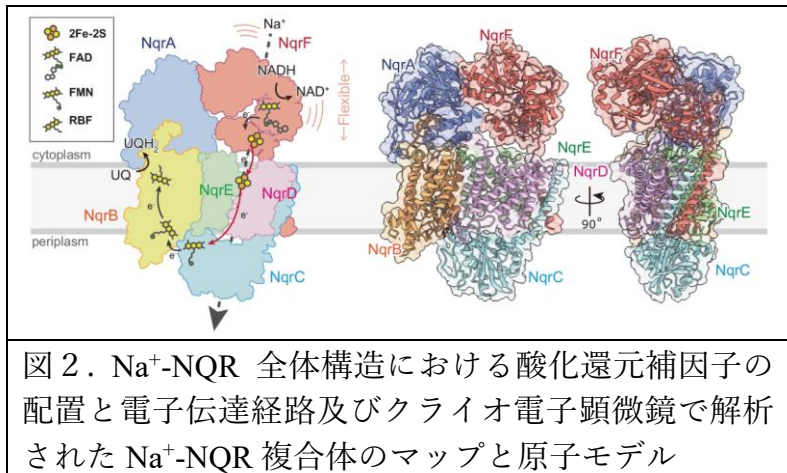


図2. Na⁺-NQR 全体構造における酸化還元補因子の配置と電子伝達経路及びクライオ電子顕微鏡で解析された Na⁺-NQR 複合体のマップと原子モデル

蛋白質結晶学研究室

<スタッフ> 栗栖 源嗣 (教授) 川本 晃大 (准教授)

<研究のキーワード>

- (1) 結晶構造解析 (2) 電子顕微鏡構造解析 (3) NMR 分光法
(4) 光合成タンパク質 (5) 分子モーター (6) 金属タンパク質

<令和7年度の主な研究活動概要>

我々の研究室では、結晶学の手法開発と並行して蛋白質複合体の構造を解析し、立体構造に基づいて分子機能を理解する事を目指している。最近では、結晶構造をベースに NMR やクライオ電子顕微鏡、等温滴定熱測定などを併用した相関構造解析にも取り組んでいる。「光合成電子伝達」「分子モーター」「金属タンパク質」をキーワードに、以下のような研究プロジェクトが進行中である。令和7年度は、(1) 酸化還元状態を制御したフェレドキシン-NADP⁺還元酵素の中性子構造解析、(2) 酸素耐性のある[FeFe]-ヒドロゲナーゼの活性型構造解析、(3) 原始緑藻プラシノ藻がもつ特徴的な光捕集アンテナの構造基盤、について研究を行った。

(1) 酸化還元状態を制御したフェレドキシン-NADP⁺還元酵素の中性子構造解析

植物細胞では、還元力はフェレドキシン (Fd) から Fd 依存酵素へ供給され、その一つである Fd-NADP⁺還元酵素 (FNR) は FAD を用いて Fd と NADP(H)間の電子伝達を担う。FAD は酸化型、セミキノン型、ヒドロキノン型の状態をとり、これに伴う構造変化がタンパク質間相互作用に影響すると考えられてきたが、酸化還元状態を考慮した構造は報告されていなかった。そこで酸化還元状態を厳密に制御した状態で X 線および中性子結晶構造解析を行った。X 線照射による還元を抑えた条件で酸化型の構造を 1.15 Å 分解能、還元型を 1.10 Å 分解能の高分解能で構造決定した。主鎖に大きな変化はない一方、FAD 周辺の側鎖や水分子配置に変化が集中することが明らかになった。さらに酸化型と還元型の中性子構造解析を 1.8 Å 分解能で実施して水素原子を含む詳細な水素結合ネットワークを決定した¹。その結果、FAD の還元により水の位置は変わらないものの水素結合が再配置されて、Tyr317 や Arg115 の配置や運動性を変化させることが判明した (図1)。それにより FNR 表面の静電的性質を変化させることで、Fd との相互作用の違いを生み出す構造的要因であると結論づけた。

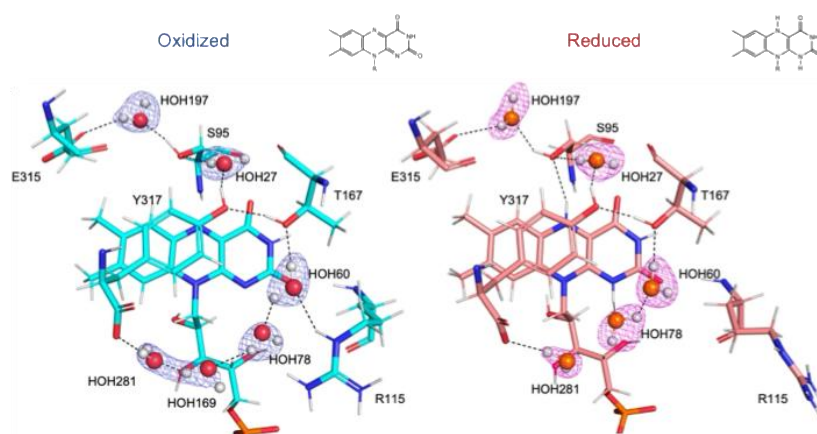


図1. 酸化型 (左) と還元型 (右) の中性子構造

(2) 酸素耐性のある[FeFe]-ヒドロゲナーゼの活性型構造解析

偏性嫌気性細菌 *Clostridium beijerinckii* がもつ[FeFe]-ヒドロゲナーゼ CbA5H は、これまでの常識を破り酸素耐性をもつ。この CbA5H の不活性型と活性型の双方の構造を決定し、構造中に新しく見出された亜鉛イオンが分子進化上重要な役割を持つことを示した (図 2)²。CbA5H は活性中心がある H-ドメイン、亜鉛を結合する Zn-ドメイン、そして SLBB-ドメインから構成される二量体構造をとっていた。H-ドメインの活性中心には他の [FeFe]-ヒドロゲナーゼと同様に Cys 残基の側鎖で繋がった H-クラスターが存在していた。活性型構造では典型的な[FeFe]-ヒドロゲナーゼの H-クラスターと完全に同等な構造をとっていた一方で、不活性型 CbA5H の活性中心には、近隣のループ領域に存在する Cys 残基の側鎖が活性中心の Fe 原子に配位することで活性中心構造を保護していることが確認された。

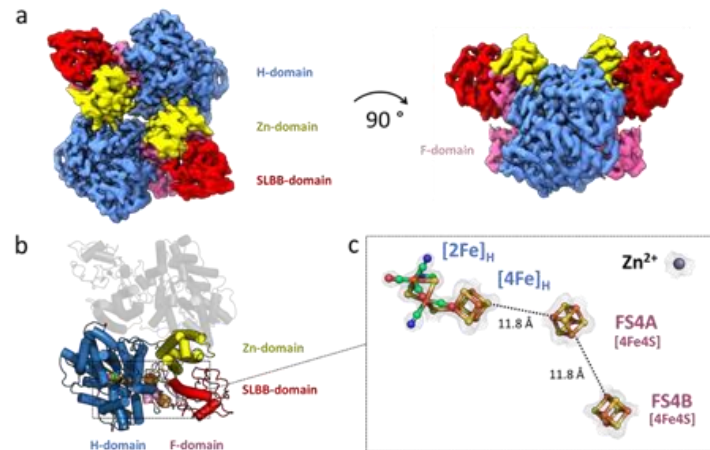


図 2. 活性型 CbA5H の CryoEM 構造

(3) 原始緑藻プラシノ藻がもつ特徴的な光捕集アンテナの構造基盤

光合成生物は共通して LHC と呼ばれる光捕集アンテナを持ち、太陽光を効率良く光合成に利用している。原始緑藻のプラシノ藻は青緑色の弱い光しか届かない海底環境に適応する為、特殊な光合成アンテナ Lhcp を持つ。プラシノ藻がもつ光捕集アンテナの詳細な分子機構の解明を目指し、プラシノ藻から Lhcp を単離しクライオ電子顕微鏡法を用いてその立体構造を高分解能 (1.94 Å) で解明することに成功した³。植物型 LHC の立体構造を比べると、光捕集アンテナとして機能する上で必要不可欠な色素配置は保存されているものの、それ以外の領域では色素の配置や組成が大きく異なっていることがわかった。分光学的解析との比較により、Lhcp は青緑色光を効率よく吸収できるよう構造が適応しており、海底環境特化型のアンテナであることを明らかにした。

<参考文献>

1. Uenaka, M.; Ohnishi, Y.; Ise, A.; Yu, J.; Yano, N.; Kusaka, K.; Tanaka, H.; Kurisu, G. *Acta Crystallogr.* **2025**, F81, 73-84
2. Duan, J.; Rutz, A.; Kawamoto, A.; Naskar, S.; Edenharter, K.; Leimkühler, S.; Hofmann, E.; Happe, T.; Kurisu, G. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **2025**, 122, e2416233122
3. Seki, S.; Kubota, M.; Yamano, N.; Kim, E.; Ishii, A.; Miyata, T.; Tanaka, H.; Cogdell, R.J.; Zhang, J.P.; Namba, K.; Kurisu, G.; Minagawa, J.; Fujii, R. *Commun. Biol.* **2025**, 8, 1586.

超分子構造解析学研究室

<スタッフ> 中川 敦史 (教授) 山下 栄樹 (准教授) 松田真 (助教)

<研究のキーワード>

- (1) 生体超分子複合体 (2) タンパク質 (3) X線結晶構造解析
(4) シンクロトロン放射光 (5) クライオ電子顕微鏡 (6) 分子間相互作用

<令和7年度の主な研究活動概要>

生体内ではタンパク質を中心とした数多く生体高分子が、互いに相互作用しながら働いている。本研究室では、X線結晶構造解析法やクライオ電子顕微鏡単粒子解析法を用いた様々な生体高分子の構造生物学研究と放射光を利用した構造解析法の開発を進めている。

緑膿菌は、水中や土中などの自然環境に広く分布しており、健康な人の腸管などに保菌されていることも知られている。健常者には、通常、病原性を示さない弱毒細菌の一つであるが、一方で、感染防御能力の低下した患者においては病原性を発揮して、日和見感染症を引き起こす原因菌として問題となる。特に、複数の抗生物質に耐性を持つ多剤耐性緑膿菌による院内感染症の発生は、しばしば大きな社会問題となっている。緑膿菌の薬剤耐性化機構の1つとして、RND (Resistance-Nodulation-Division) 型の多剤排出トランスポーターの過剰発現が知られている。RNDトランスポーターは、内膜に存在して基質 (異物) 認識と薬剤排出を担うRND、外膜に存在しチャンネルとして働くOuter Membrane Factor (OMF)、ペリプラズムにし、RNDとOMFをつなぐ役割を担うMembrane Fusion Protein (MFP)からなる三者複合体である。これまでの研究で、緑膿菌でもっとも多く発現し、研究が進んでいるMexAB-OprMの構造決定に成功しているが、さらにRNDトランスポーターファミリーにおける基質 (異物) 認識機構の特異性の解明を目指し、各種RNDタンパク質の構造解析を目指した研究を進めている。

令和7年度は、多剤耐性緑膿菌において主に発現している5種類のRNDトランスポーターのうち、(1)緑膿菌でもっとも多く恒常的に発現するMexBと各種化合物との構造解析および(2)アミノグリコシド系薬剤を排出する唯一のRNDトランスポーターであるMexYの基質結合部位に着目した構造解析に関する研究を進めた。

(1) MexB と化合物との相互作用解析

緑膿菌でもっとも多く恒常的に発現するMexAB-OprM複合体の中心で働くRNDトランスポーターMexBと抗菌剤との相互作用に関わるアミノ酸残基を同定することを目的として、結晶構造解析を試みた。オーソログである大腸菌由来のAcrBでは、数多くの抗菌剤結合型結晶構造が報告されているが、MexBのこれまでの研究では阻害剤 (ABI-PP、EPI、Phe-Arg- β -naphthylamide: PAN) との結合型結晶構造のみであり、基質である抗菌剤との結合型構造の報告がない。既報の結晶化条件とは異なる結晶化条件で結晶を作成し、抗菌剤結合型の結晶構造解析を試みた。新規の結晶を用い

ることにより、1種類の抗菌剤（Chloramphenicol）でMexBに結合している様子を捉えることができた。ChloramphenicolはMexBの結合部位があるporterドメインのdeep binding pocketのgrooveに結合していた。得られた構造を基にChloramphenicolの結合に関わるアミノ酸残基の変異体を作成し、菌体を用いた薬剤耐性評価によって各アミノ酸残基の重要性を確認した。また、薬剤耐性評価によって、これらのアミノ酸残基が、Chloramphenicol以外の抗菌剤の排出にも関わっていることを明らかにした¹⁾。

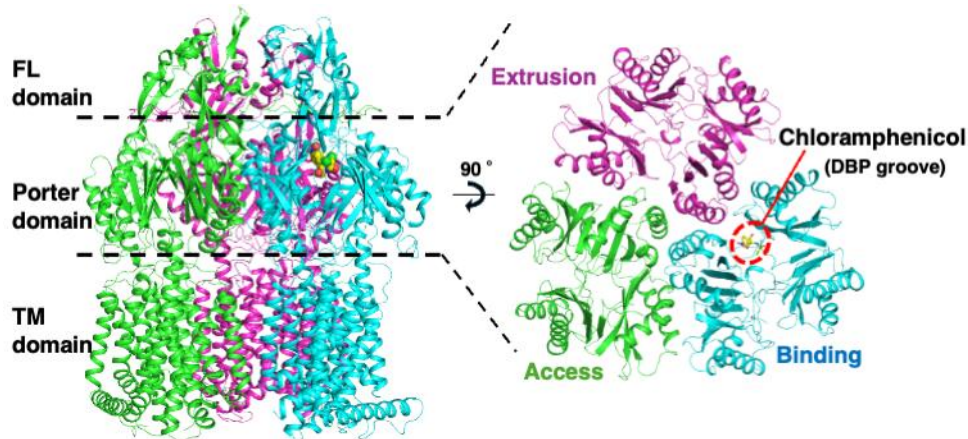


図1 Chloramphenicol 結合型 MexB 結晶構

(2) MexY 結合部位の特徴的な構造

Pseudomonas aeruginosa（緑膿菌）には12種類のRND型薬剤排出トランスポーター複合体が存在し、それぞれが多様な抗菌薬を細胞外へ排出することで高い薬剤耐性に寄与している。その中でもMexXY-OprM複合体は、臨床現場で広く使用されているアミノグリコシド系薬剤を含む複数の薬剤を排出可能な、唯一のRND型トランスポーター複合体である。RND型トランスポーターは内膜上で三量体を形成し、Funnel-like (FL)ドメイン、薬剤認識を担うPorterドメイン、膜貫通(TM)ドメインから構成される。MexXY-OprMにおいて薬剤認識の根幹を担うMexYは、これまで構造情報が限られていたが、近年のクライオ電子顕微鏡により、他のRNDトランスポーターと比較してPorterドメインが極めて大きな開裂構造を示すことが明らかとなった。本研究では、この構造的特徴がMexYのPorterドメイン自体に由来するかを検証するため、MexYのPorterドメインとMexBのFLおよびTMドメインを融合した本キメラ蛋白を作製し、アポ状態およびカナマイシン存在下でクライオ電子顕微鏡構造解析を行った。その結果、カナマイシンの明確な結合は観察されなかったものの、非対称構造および対称様構造の2種類の構造状態を同定し、MexY由来Porterドメインが本質的に大きな開裂構造を取り得ることが示唆された²⁾。

<参考文献>

1) Ueda, Y.; Yonehara, R.; Ishizaka-Ikeda, E.; Nakagawa, A.; Yamashita, E. *J. Biochem.* **2026**, Article mvag012.

2) Wang, J.; Tsutsumi, K.; Hirose, M.; Nakashima, R.; Kato, T.; Nishino, K.; Nakagawa, A.; Yamashita, E. *Acta Crystallogr., Sect. F: Struct. Biol. Commun.* **2026**, *82*, 83– 93.

環境安全化学研究室

<スタッフ> 山本 仁 (教授) 高橋 賢臣 (准教授)

<研究のキーワード>

- (1) 高分子電解質 (2) リチウムイオン二次電池 (3) 水素結合
- (4) 低障壁イオン伝導 (5) 実験事故解析 (6) 事故予防

<令和元年度の主な研究活動概要>

当研究室では、リチウムイオン二次電池の本質的安全化を目指して、低障壁イオン伝導性固体高分子電解質の研究開発を行っており、全く新しい機構によるイオン伝導を実現している。また、大学や研究所などの研究室における事故予防を目的として、学内の実験事故の解析と事故の構造化分析を行っている。

(1) 低障壁イオン伝導固体高分子電解質の研究開発

我々はこれまで、従前のセグメント運動に基づくイオン伝導メカニズムとは根本的に異なるイオン伝導機構に基づく高分子電解質である「低障壁イオン伝導固体高分子電解質」を開発し、安全且つ環境変化に対して安定性の高い次世代蓄電システムのための電解質を提案してきた。そこで、それらの新規固体高分子電解質について、電池としての実用性に関する評価・実証を行った。

① 低障壁イオン伝導固体高分子電解質として、配位元素、官能基間距離の最適化を行い、20種類以上の低温特性に優れた電解質用モノマーの分子設計と合成法の確立を系統的に行った。

その結果、本電解質系の最適値として、活性化エネルギーが 3kcal/mol、イオン伝導度が室温以上で 0.5mS/cm 程度が見積もれることを明らかにした。(図 1,2)核磁気共鳴による解析から、本系のイオン伝導度はリチウムイオン易動性と塩解離度のトレードオフで決まっており、伝導度向上のためにはより強力な配位場の構築による解離度の向上とともに、配位子間でのリチウムイオンの受け渡しを効率的に行う配位子の空間配置の実現がキーとなることを明らかにした。

② 上記①で得られたモノマーから電解質ポリマーの合成を行い、イオン伝導度とその温度依存性、各種分光法等による運動性解析をもとに評価した。また、モノマーおよびポリマーの大量合成ルートの確立を行った。得られた高分子固体電解質を AC インピーダンス法によりイオン伝導度の解析を行った結果、40°C において $2\sim 7 \times 10^{-4} \text{S/cm}$ 、温度依存性が 2~7kcal/mol の電解質が得られた。

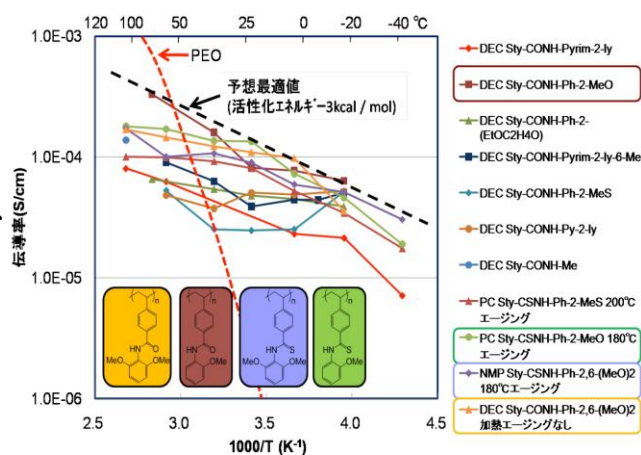


図 1 低障壁イオン伝導固体高分子電解質のイオン伝導度

③ 上記 2 で得られた高分子固体電解質について、安定した伝導度測定手法の検討を行い、サンプリング方法の改良を行った。また、耐電圧の測定、熱重量分析を行い、本系の電気化学的および熱的安定性の評価を行った。その結果、100° C で重合後、真空下 80° C で脱溶媒することで安定なフィルム形成ができることを見出した。耐電圧については、3.9V から 4.4V であり、電極材料の適切な選択により電池を構成することが可能であることを明らかにした。熱重量測定ではこれらの高分子電解質は 370° C 程度まで安定であり、熱的安定性は高いことを明らかにした。また、試作セルを作成し、充放電試験を行ったところ、5mC で充放電が可能であり、電池として動作することを確認した。

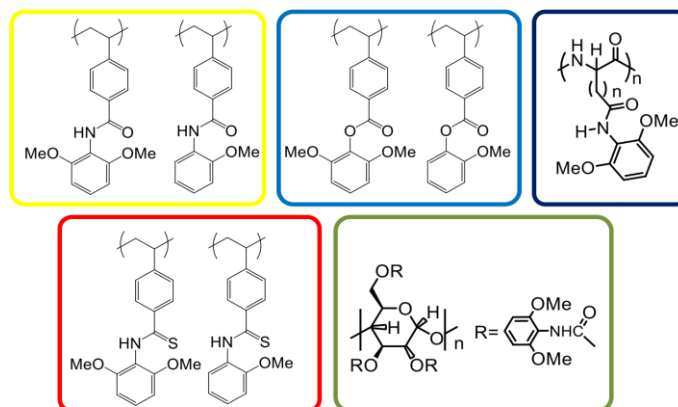


図 2. 高いイオン伝導度を示した電解質ポリマーの構造

(2) 大学における事故の解析

大学における研究・実験中の事故の構造を明らかにすることを目的として、大阪大学における事故発生状況の調査を行なった。収集した事例は 1690 件であり、事故種類の比率などは、ある程度の規模の総合大学では同様の傾向にあると考えてよいであろう。事故内容は、一般的な事故が 6 割、実験研究中の事故が 3 割、附属病院の医療関係事故が 1 割程度の分布となっている。一般事故では、課外活動に伴うケガが最も多いが、階段からの転落事故が相当数起きている。また、キャンパス内での交通事故も無視できない件数が報告されている。

実験事故だけを抽出したものを図 3 に示す。件数としては、ガラス器具などによる切り傷が最も多く、次いで薬品等による事故が目立つ。また、火災の報告もある。化学物質が関わる事故という点、化学系が中心になると思われがちである。安全衛生管理部へ報告された化学薬品が関わる事故について、研究分野、研究テーマから分析を行ったところ、化学薬品が関わる事故は、化学系だけでなく、物理系や生物系でもほぼ同様の頻度で発生していることがわかった。また、被災者の学年で見れば、化学系では学部学生とマスターコースの学生に集中し、物理・生物系では学部学生からドクターコースの学生、教員まで平均的に被災していることがわかった。これらの分析結果から、化学系では実験技術の熟達と共に事故が減少していくのに対し、物理・生物系では化学物質が直接の研究対象でないために、化学物質に対する知識の習得や取扱い技術の熟練度がどうしても低くなるため、学年を問わず、また教員にさえも事故が発生すると考えられる。

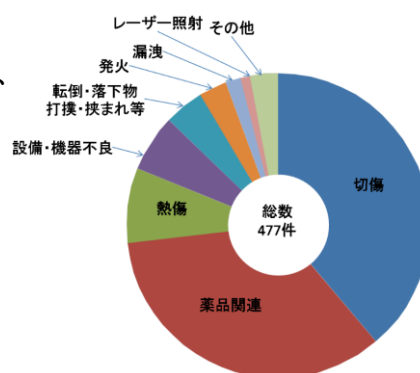


図 3 研究・実験中の事故

以上の解析から、実験事故の構造化を行う上では、実験の各手順に含まれる様々な危険性に加えて、実験者の作業内容に関する知識、作業自体の習熟度(技術レベル)が実験者側の要素として組み込むことが重要であることを確認した。

論文リスト
(2025年分)

Original Papers

- O-1** Orientation Control of Helical Poly(quinoline-2,3-diylmethylenes) in Solution Using a Tetraphenylporphyrin Scaffold
Kanbayashi, N.; Nakajima, A.; Okamura, T.; Onitsuka, K.
Macromolecules **2025**, *58*, 8707–8715.
- O-2** Synthesis of a Precursor for Polymer Backbone Transformation via Quinoline N-oxidation and Subsequent C–H Activation
Kanbayashi, N.; Kawasaki, K.; Onitsuka, K.
Chem. Lett. **2025**, *54*, upaf193.
- O-3** Amide Cyclodextrin That Recognises Monophosphate Anions in Harmony with Water Molecules
Nakamura, T.; Takayanagi, H.; Nakahata, M.; Okubayashi, T.; Baba, H.; Ishii, Y.; Watanabe, G.; Tanabe, D.; Nabeshima, T.
Chem. Sci. **2025**, *16*, 171–181.
- O-4** Synthesis and Metal Ion Adsorption Properties of a Dense Triazole Polymer Carrying Cysteine Residues
Ejima, R.; Nakahata, M.; Kamon, Y.; Hashidzume, A.
J. Polym. Sci. **2025**, *63*, 1570–1579.
- O-5** Cadmium Ion Adsorption Properties of Polyanions Carrying Carboxylate and Thiol-Containing Amino Acid Residues
Nakahata, M.; Okamoto, C.; Tanaka, M.; Hashidzume, A.
ACS Appl. Polym. Mater. **2025**, *7*, 7789–7797.
- O-6** Allyl Bromide/AgSbF₆/Tetrahydropyran Initiating System for Living Cationic Ring-Opening Polymerization of Oxiranes with Diverse Reactivities
Yamada, H.; Aoshima, S.; Kanazawa, A.
Macromolecules **2025**, *58*, 8225–8234.
- O-7** Facile Synthesis of Graft Polymers with Poly(vinyl ether) Graft Chains Using Poly(cyclic acetal)s as Macroinitiators for Living Cationic Polymerization
Nomura, K.; Aoshima, S.; Kanazawa, A.
Macromolecules **2025**, *58*, 7397–7405.
- O-8** Furfural-Derived 5-Alkoxy-2(5H)-furanones as Cationically Copolymerizable Cyclic Hemiacetal Esters
Higashibata, N.; Aoshima, S.; Kanazawa, A.
Polym. Chem. **2025**, *16*, 3119–3128.

- O-9** Ring-Opening Polymerization of Six-Membered 1,3-Dioxa-2-silacycloalkanes by an Organobase Catalyst: Precision Polymerization and Monomer Regeneration by Polymer Degradation
Tanaka, I.; Aoshima, S.; Kanazawa, A.
Polym. Chem. **2025**, *16*, 2211–2215.
- O-10** Sequence-Controlled Cationic Terpolymerization of Styrene Derivatives, Oxiranes, and Aromatic Aldehydes: Synthesis of Acidically or Oxidatively Degradable Terpolymers
Eguchi, Y.; Aoshima, S.; Kanazawa, A.
Macromolecules **2025**, *58*, 4655–4664.
- O-11** Unexpected Increase in Water Solubility by the Introduction of Hydrophobic Units into Imidazolium-Based Polymeric Ionic Liquids with Carboxylate Counteranions
Maruyama, N.; Aoshima, S.; Kanazawa, A.
Polym. Chem. **2025**, *16*, 1792–1797.
- O-12** Dynamic Viscoelastic Properties of Polystyrene Composites Reinforced with Cellulose Nanocrystals
Nobuoka, H.; Tanaka, R.; Urakawa, O.; Inoue, T.
Macromolecules **2025**, *58*, 1380–1389.
- O-13** Mechanism of Nonlinear Energy Dissipation in Styrene-Isoprene-Styrene Triblock Elastomer Containing an Associative Network
Chen, H.B.; Chen, Q.; Matsumiya, Y.; Watanabe, H.
Macromolecules **2025**, *58*, 6590–6606.
- O-14** A Heuristic Study of the Mullins Effect in Reinforced Rubber by Using the Weibull Distribution
Nobuoka, H.; Urakawa, O.; Inoue, T.
Polym. J. **2025**, *57*, 995–1002.
- O-15** Effects of the Size of Fillers on Viscoelasticity in the Glassy State of Poly(styrene-*co*-butadiene) Reinforced by Carbon Black
Watanabe, Y.; Kumagawa, D.; Karitani, S.; Inoue, T.; Iwabuki, H.; Nakanishi, Y.; Shibata, M.; Motokawa, R.; Sugita, T.; Ueda, Y.; Kumada, T.; Yamamoto, K.; Mita, K.; Miyazaki, T.; Takenaka, M.
Macromolecules **2025**, *58*, 8641–8648.
- O-16** Swelling Behavior and Ionic Conductivity for Polymerized Ionic Liquid Gels

Izutsu, H.; Matsumoto, A.; Urakawa, O.; Inoue, T.
Macromolecules **2025**, *58*, 10007–10016.

- O-17** Fast and Efficient Room-Temperature Phosphorescence from Metal-Free Organic Molecular Liquids
Tani, Y.; Oshima, Y.; Okada, R.; Fujimura, J.; Miyazaki, Y.; Nakano, M.; Urakawa, O.; Inoue, T.; Ehara, T.; Miyata, K.; Onda, K.; Ogawa, T.
Chem. Sci. **2025**, *16*, 17480–17486.
- O-18** Melt Rheology of Dendritic Hyperbranched Polyacrylates Synthesized by Controlled Radical Polymerization: Evidence of Self-Similar Branch Structure Formation
Tong, T.; Kibune, M.; Tosaka, M.; Matsumiya, Y.; Watanabe, H.; Yamago, S.
J. Am. Chem. Soc. **2025**, *147*, 25652–25661.
- O-19** Phase equilibrium and dynamics of 5CB mixed with dimethyl terephthalate: coupling of orientation and composition fluctuations in isotropic phase
Shimada, R.; Urakawa, O.; Inoue, T.; Watanabe, H.
Soft Matter **2025**, *21*, 5902–5920.
- O-20** Synergistic Reinforcement of Composite Hydrogels via Dual Cross-Linking and Supramolecular Filler
Noe, M, M.; Sugawara, A.; Luo, C.; Yano, K.; Fujiwara, Y.; Konishi, T.; Uetsuji, Y.; Takashima, Y.; Uyama, H.
Macromolecules **2025**, *58*, 6642–6654.
- O-21** Tough Hydrogels Designed for a Stretch-Induced Decrease in Electrical Resistance Using Tandem Host-Guest and Ionic Cross-Linking
Noe, M, M.; Sugawara, A.; Takashima, Y.; Uyama, H.
Macromolecules **2025**, *58*, 1019–1025.
- O-22** Exploring Enzymatic Degradation, Reinforcement, Recycling and Upcycling of Poly(ester)s-Poly(urethane) with Movable Crosslinks
Liu, J.; Ikura, R.; Yamaoka, K.; Sugawara, A.; Takahashi, Y.; Kure, B.; Takenaka, N.; Park, J.; Uyama, H.; Takashima, Y.
Chem **2025**, *11*, 102327.
- O-23** Design of Functional and Stable Adhesion Systems using Reversible and Movable Crosslinked Materials
Qian, Y.; Kosaba, S.; Ikura, R.; Yamaoka, K.; Takashima, Y.
Polym. J. **2025**, *57*, 491–512.

- O-24** Light Stimuli-Responsive Degradable and Tough Polymeric Materials with Movable Crosslinks
Matsumura, Y.; Yamaoka, K.; Ikura, R.; Takashima, Y.
ACS Appl. Mater. Interf. **2025**, *17*, 20261–20269.
- O-25** Preparation of Citric Acid-Modified Cellulose Composites and Elucidation of Their Toughening Mechanism
Joka, Y.; Yamaoka, K.; Ikura, R.; Komyo, T.; Luo, C.; Sugawara, A.; Uyama, H.; Uetsuji, Y.; Takashima, Y.
ACS Appl. Polym. Mater. **2025**, *7*, 3806–3814.
- O-26** One-Step Surface Functionalization of Hydrogel-Based, Stimulus-Responsive 3D Microstructures for Human Stem Cells
Munding, N.; Schlagheck, C.; Wittbrodt, J.; Ho, A, D.; Takashima, Y.; Tanaka, M.
ACS Appl. Mater. Interf. **2025**, *17*, 35316–35327.
- O-27** Effects of the Hydration States of Water Molecules on the Mechanical Properties of Dual Movable Crosslinked Polymeric Gels
Kawai, Y.; Park, J.; Motokawa, R.; Ikura, R.; Murayama, S.; Yamaoka, K.; Fujii, Y.; Ikemoto, Y.; Tanaka, M.; Matsuba, G.; Kato, T.; Takashima, Y.
ACS Appl. Polym. Mater. **2025**, *7*, 7767–7776.
- O-28** Tough, Multifunctional, and Biodegradable Polyurethanes Enabled by Structure-Property Tuning for Versatile Applications
Liu, J.; Yamaoka, K.; Ikura, R.; Sugawara, A.; Takahashi, Y.; Kure, B.; Takenaka, N.; Uyama, H.; Takashima, Y.
Macromolecules **2025**, *58*, 12306–12316.
- O-29** Structural Insight into Sodium Ion Pathway in the Bacterial Flagellar Stator from Marine *Vibrio*
Nishikino, T.; Takekawa, N.; Kishikawa, J.I.; Hirose, M.; Kojima, S.; Homma, M.; Kato, T.; Imada, K.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA **2025**, *122*, e2415713122.
- O-30** Structural Basis for Assembly and Function of the *Salmonella* Flagellar MS-ring with Three Different Symmetries
Kinoshita, M.; Makino, F.; Miyata, T.; Imada, K.; Namba, K.; Minamino, T.
Commun. Biol. **2025**, *8*, 61.
- O-31** V 型線毛蛋白質の結晶化と予備的結晶学研究

小島 嶺, 庄子 幹郎, 柴田 敏史, 竹川 宜宏, 今田 勝巳
SPring-8/SACLA 利用研究成果集 **2025**, *13*, 29–31.

- O-32** Sodium-Dependent Conformational Change in Flagellar Stator Protein MotS from *Bacillus subtilis*
Takekawa, N.; Yamaguchi, A.; Nishiuchi, K.; Uehori, M.; Kinoshita, M.; Minamino, T.; Imada, K.
Biomolecules **2025**, *15*, 302.
- O-33** Assembly Formation of P65 Protein, Featured by an Intrinsically Disordered Region Involved in Gliding Machinery of *Mycoplasma pneumoniae*
Yabe, M.; Toyonaga, T.; Kinoshita, M.; Furukawa, Y.; Hamaguchi, T.; Tahara, Y.O.; Arai, M.; Imada, K.; Miyata, M.
Biomolecules **2025**, *15*, 429.
- O-34** Cryo-EM Structure of the Flagellar Motor Complex from *Paenibacillus* sp. TCA20
Onoe, S.; Nishikino, T.; Kinoshita, M.; Takekawa, N.; Minamino, T.; Imada, K.; Namba, K.; Kishikawa, J.I.; Kato, T.
Biomolecules **2025**, *15*, 435.
- O-35** A β -cap on the FliPQR Protein-export Channel Acts as the Cap for Initial Flagellar Rod Assembly
Kinoshita, M.; Miyata, T.; Makino, F.; Imada, K.; Namba, K.; Minamino, T.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA **2025**, *122*, e2507221122.
- O-36** Reversible Mechanical Interlocking via Stimuli-Triggered Nonhomeomorphic Topology Transformation Enables Highly Efficient Rotaxane Synthesis
Xiao, C.-L.; Li, X.; Okamoto, N.; Kobayashi, Y.; Nishiuchi, T.; Tani, Y.; Yamaguchi, H.
Angew. Chem. Int. Ed. **2025**, *64*, e202513783.
- O-37** Self-Assembled Supramolecular Materials for Substrate Transport by External Stimuli
Li, X.; Kobayashi, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.
Macromol. Mater. Eng. **2025**, *310*, 2400395.
- O-38** Highly soluble and well-defined polysaccharide-based micelle in aqueous media: Decyl succinic anhydride-modified pullulan
Suenaga, R.; Komuro, Y.; Terao, K.
Carbohydr. Polym. **2025**, *358*, 123504.

- O-39** Dimensional and conformational properties of pullulan tris(alkylcarbamate)s in tetrahydrofuran
Matsumoto, Y.; Takahashi, R.; Kitamura, S.; Terao, K.
Polymer **2025**, *327*, 128417.
- O-40** Chain flexibility and branching effects on arabinogalactan conformation in solution
Huang, H.; Wu, M.; Takahashi, R.; Zhang, W.; Terao, K.
Carbohydr. Polym. **2025**, *370*, 124371.
- O-41** Comb-Branched Poly(*N*-isopropylacrylamide) with a Polysaccharide (Amylose) Backbone: Architecture-Controlled Formation of Thermoresponsive Nanoparticles in Aqueous Solutions
Nagao, T.; Arakawa, T.; Kitamura, S.; Terao, K.
Langmuir **2025**, *41*, 33094–33103.
- O-42** Polymerization-induced self-assembly enables access to diverse highly ordered structures through kinetic and thermodynamic pathways
Shibata, I.; Sugawara-Narutaki, A.; Takahashi, R.
Chem. Sci. **2025**, *16*, 7921–7928.
- O-43** Self-assembly and drug encapsulation properties of biocompatible amphiphilic diblock copolymers
Yokota, K.; Usuda, S.; Nishimura, T.; Takahashi, R.; Taoka, Y.; Kobayashi, S.; Tanaka, M.; Matsumura, K.; Yusa, S.
Langmuir **2025**, *41*, 765–773.
- O-44** Observing Depolymerization of a RAFT Polymer by Time-Resolved Small-Angle X ray Scattering
Takahashi, R.; Sugawara-Narutaki, A.
ACS Polym. Au **2025**, *5*, 129–133.
- O-45** Electrical Conduction Mechanism of Gels and Films Formed by Self-Assembled Elastin-Like Polypeptide Nanofibers: Implications for Tissue Regeneration
Shibata, R.; Isulam, M. Z.; Takahashi, R.; Nakaya, M.; Onoe, J.; Sugawara-Narutaki, A.
ACS Appl. Nano Mater. **2025**, *8*, 5141–5148.
- O-46** Cryo-EM structures of a MexB-MexY chimeric efflux pump reveal that large open clefts are intrinsic to the MexY porter domain
Wang, J.; Tsutsumi, K.; Hirose, M.; Nakashima, R.; Kato, T.; Nishino, K.; Nakagawa, A.; Yamashita, E.

- O-47** The redox driven Na⁺-pumping mechanism in *Vibrio cholerae* NADH-quinone oxidoreductase relies on dynamic conformational changes
Ishikawa-Fukuda, M.; Seki, T.; Kishikawa, J.I.; Masuya, T.; Okazaki, K.I.; Kato, T.; Barquera, B.; Miyoshi, H.; Murai, M.
Nat. Commun. **2026**, 17, 1394.
- O-48** Small-Angle X-Ray Scattering Studies on Phytochromes
Oide, M.; Nakasako, M.
Methods Mol. Biol. **2026**, 2970, 195–220.
- O-49** Structural basis for T-cell intracellular antigen-1 amyloid fibril formation revealed by cryo-electron microscopy
Inaoka, D.; Miyata, T.; Makino, F.; Ohtani, Y.; Ekari, M.; Kobayashi, R.; Imamura, K.; Sakamoto, E.; Kodama, T.S.; Yoshida, N.; Kato, T.; Namba, K.; Tochio, H.; Sekiyama, N.
PNAS Nexus **2025**, 4, pgaf388.
- O-50** Structural insights into the G-protein subtype selectivity revealed by human sphingosine-1-phosphate receptor 3-G_q complexes
Yamauchi, M.; Im, D.; Maeda, S.; Ikuta, T.; Toyomoto, M.; Asada, H.; Sugita, Y.; Kishikawa, J.I.; Noda, T.; Kato, T.; Inoue, A.; Iwata, S.; Hagiwara, M.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA **2025**, 122, e2507421122.
- O-51** Structural and dynamic insights into the biased signaling mechanism of the human kappa opioid receptor
Suno-Ikeda, C.; Nishikawa, R.; Suzuki, R.; Yokoi, S.; Iwata, S.; Takai, T.; Ogura, T.; Hirose, M.; Tokuda, A.; Katamoto, R.; Inoue, A.; Asai, E.; Kise, R.; Sugita, Y.; Kato, T.; Nagase, H.; Mitsutake, A.; Saitoh, T.; Katayama, K.; Inoue, A.; Kandori, H.; Kobayashi, T.; Suno, R.
Nat. Commun. **2025**, 16, 9392.
- O-52** Cryo-STEM tomography for cell biology using thick lamella
Aoyama, K.; Takazaki, H.; Arie, M.; Suemune, H.; Kawai, S.
Microscopy **2025**, 74, 377–381.
- O-53** The distortion-push mechanism for the γ subunit rotation in F₁-ATPase
Motohashi, M.; Oide, M.; Kobayashi, C.; Jung, J.; Muneyuki, E.; Sugita, Y.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA **2025**, 122, e2502642122.

- O-54** Cryo-ET of actin cytoskeleton and membrane structure in lamellipodia formation using optogenetics
Inaba, H.; Imasaki, T.; Aoyama, K.; Yoshihara, S.; Takazaki, H.; Kato, T.; Goto, H.; Mitsuoka, K.; Nitta, R.; Nakata, T.
iScience **2025**, *28*, 112529.
- O-55** Structural Elucidation of the Mechanism for Inhibitor Resistance in the Na⁺-Translocating NADH-Ubiquinone Oxidoreductase from *Vibrio cholerae*
Ishikawa-Fukuda, M.; Kishikawa, J. I.; Masuya, T.; Ito, T.; Butler, N. L.; McFee, D.; Kato, T.; Barquera, B.; Miyoshi, H.; Murai, M.
Biochemistry **2025**, *64*, 1963–1972.
- O-56** Dimeric assembly of F₁-like ATPase for the gliding motility of *Mycoplasma*
Toyonaga, T.; Kato, T.; Kawamoto, A.; Miyata, T.; Kawakami, K.; Fujita, J.; Hamaguchi, T.; Namba, K.; Miyata, M.
Sci. Adv. **2025**, *11*, eadr9319.
- O-57** Cryo-EM structure of the bacterial intramembrane metalloprotease RseP in the substrate-bound state
Asahi, K.; Hirose, M.; Aruga, R.; Shimizu, Y.; Tajiri, M.; Tanaka, T.; Adachi, Y.; Tanaka, Y.; Kaneko, M.K.; Kato, Y.; Akashi, S.; Akiyama, Y.; Hizukuri, Y.; Kato, T.; Nogi, T.
Sci. Adv. **2025**, *11*, eadu0925.
- O-58** Low-inflammatory lipid nanoparticle-based mRNA vaccine elicits protective immunity against H5N1 influenza virus with reduced adverse reactions
Kawai, A.; Shimizu, T.; Tanaka, H.; Shichinohe, S.; Anindita, J.; Hirose, M.; Kawahara, E.; Senpuku, K.; Shimooka, M.; Quynh Mai, L.T.; Suzuki, R.; Nogimori, T.; Yamamoto, T.; Hirai, T.; Kato, T.; Watanabe, T.; Akita, H.; Yoshioka, Y.
Mol. Ther. **2025**, *33*, 529–547.
- O-59** Exciton Delocalization Promotes Far-Red Absorption in a Tetrameric Chlorophyll a Light-Harvesting Complex from *Trachydiscus minutus*
Seki, S.; Cupellini, L.; Břina, D.; Betti, E.; Urajová, P.; Tanaka, H.; Miyata, T.; Namba, K.; Kurisu, G.; Polívka, T.; Litvín, R.; Fujii, R.
J. Am. Chem. Soc. **2025**, *147*, 47675–47689.
- O-60** Distinctive and functional pigment arrangements in Lhcp, a prasinophyte-specific photosynthetic light-harvesting complex

Seki, S.; Kubota, M.; Yamano, N.; Kim, E.; Ishii, A.; Miyata, T.; Tanaka, H.; Cogdell, R.J.; Zhang, J.P.; Namba, K.; Kurisu, G.; Minagawa, J.; Fujii, R.
Commun. Biol. **2025**, *8*, 1586.

O-61 The structure of *Thermosynechococcus elongatus* glycoside hydrolase family 116 β -glucosidase shows the role of the noncatalytic N-terminal domain in controlling substrate specificity

Beagbandee, C.; Charoenwattanasatien, R.; Pengthaisong, S.; Kurisu, G.; Ketudat-Cairns, J.R.
Int. J. Mol. Macromol. **2025**, *332*, 148566.

O-62 Reversible and Massive Structural Transformation in Meltable Cyanido-bridged Coordination Polymer Crystals

Iwai, Y.; Kimura, S.; Nakaya, M.; Nakane, T.; Kawamoto, A.; Kurisu, G.; Tsuji, Y.; Hirai, K.; Kimoto, K.; Cretu, O.; Takeiri, F.; Sugimoto, K.; Le Ouay, B.; Ohba, M.; Ohtani, R.
Chem. Eur. J. **2025**, *31*, e02640.

O-63 Beyond serendipity: uncovering novel ratiometric urea·24DHBA cocrystals through mechanochemistry and

Bonia, A.; Gogoi, D.; Kalita, N.; Nakane, T.; Kawamoto, A.; Althubeiti, K.; Sasaki, T.; Kurisu, G.; Thakuria, R.
Chem. Commun. **2025**, *61*, 16198–16201.

O-64 Polymorphism and Thermally Induced Structural Transformation in Semiconducting Cd(II) Coordination Polymers

Akiyoshi, R.; Motokawa, H.; Nishibe, A.; Yanai, A.; Nakane, T.; Kawamoto, A.; Kurisu, G.; Saeki, A.; Eguchi, D.; Tamai, N.; Mori, Y.; Kawaguchi, S.; Ogasawara, K.; Tanaka, D.
Inorg. Chem. **2025**, *64*, 18376–18384.

O-65 Reduction-Induced Structural and Motional Changes of Plant-Type Ferredoxin Using Molecular Dynamics and Umbrella Sampling Simulations

Nakayoshi, T.; Ohnishi, Y.; Tanaka, H.; Kurisu, G.; Takano, Y.
J. Comput. Chem. **2025**, *46*, e70180.

O-66 Unique structural features define the decarboxylation activity of a CYP152 fatty acid decarboxylase from *Lacicoccus alkaliphilus*

Phaisan, S.; Phintha, A.; Trisrivirat, D.; Lawan, N.; Sucharitakul, J.; Charoenpol, A.; Watthaisong, P.; Tanaka, H.; Kurisu, G.; Chaiyen, P.
J. Biol. Chem. **2025**, *301*, 110397.

- O-67** Application of multiple small-wedge synchrotron crystallography for post-reaction structural characterization of a stimuli-responsive small-molecule crystal
Sasaki, T.; Nakane, T.; Takimoto, K.; Ichiyanagi, K.; Mori, Y.; Baba, S.; Sakai, N.; Kurisu, G.; Miyata, M.; Uno, T.; Itoh, T.
Bull. Chem. Soc. Jpn. **2025**, *98*, uoaf059.
- O-68** Unusual Self-Hydroxylation in 4-Histidine Tetrad-Supporting Nonheme Iron Center
Fujieda, N.; Ishihama, KI.; Ichihashi, H.; Yanagisawa, S.; Kurisu, G.; Itoh, S.
Chem. Asian J. **2025**, *20*, e202401191.
- O-69** NMR-Based Rational Drug Design of G:G Mismatch DNA Binding Ligand Trapping Transient Complex via Disruption of a Key Allosteric Interaction
Sakurabayashi, S.; Furuita, K.; Yamada, T.; Sugiura, N.; Nomura, M.; Nakane, T.; Kawamoto, A.; Kurisu, G.; Miyanoiri, Y.; Fujiwara, T.; Nakatani, K.; Kojima, C.
J. Am. Chem. Soc. **2025**, *147*, 14254–14269.
- O-70** The thylakoid membrane remodeling protein VIPP1 forms bundled oligomers in tobacco chloroplasts
Gachie, SW.; Muhire, A.; Li, D.; Kawamoto, A.; Takeda-Kamiya, N.; Goto, Y.; Sato, M.; Toyooka, K.; Yoshimura, R.; Takami, T.; Zhang, L.; Kurisu, G.; Terachi, T.; Sakamoto, W.
Plant Physiol. **2025**, *198*, kiaf137.
- O-71** Chlamydomonas FBB18 is a ubiquitin-like protein essential for the cytoplasmic preassembly of various ciliary dyneins
Yamamoto, R.; Sahashi, Y.; Shimo-Kon, R.; Sakato-Antoku, M.; Suzuki, M.; Luo, L.; Tanaka, H.; Ishikawa, T.; Yagi, T.; King, SM.; Kurisu, G.; Kon, T.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA **2025**, *122*, e2423948122.
- O-72** Redox-dependent hydrogen-bond network rearrangement of ferredoxin-NADP⁺ reductase revealed by high-resolution X-ray and neutron crystallography
Uenaka, M.; Ohnishi, Y.; Ise, A.; Yu, J.; Yano, N.; Kusaka, K.; Tanaka, H.; Kurisu, G.
Acta Crystallogr. **2025**, *F81*, 73–84.
- O-73** Structural determinants of oxygen resistance and Zn²⁺-mediated stability of the [FeFe]-hydrogenase from *Clostridium beijerinckii*
Duan, J.; Rutz, A.; Kawamoto, A.; Naskar, S.; Edenharter, K.; Leimkühler, S.; Hofmann, E.; Happe, T.; Kurisu, G.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA **2025**, *122*, e2416233122.

- O-74** Tuning of a Hydrogen-Bonded Organic Framework by Liquid-Assisted Mechanosynthesis
Gogoi, D.; Sasaki, T.; Kalita, N.; Sethi, T.; Ichiyanagi, K.; Nakane, T.; Kawamoto, A.; Das, D.; Kurisu, G.; Thakuria, R.
Chem. Eur. J. **2025**, *31*, e202403427.
- O-75** Nonsubstrate PI(4,5)P₂ interacts with the interdomain linker to control electrochemical coupling in voltage-sensing phosphatase (VSP)
Mizutani, N.; Yonezawa, Y.; Nakagawa, A.; Okamura, Y.
Proc. Natl. Acad. Sci. USA **2025**, *122*, e2500651122.
- O-76** 膜電位センサータンパク質 VSP の電位センサー領域の X 線結晶構造解析
成田 宏隆; 中川 敦史
Spring-8/SACLA 利用研究成果集 **2025**, *13*, 127–130.

Review Articles

- R-1** The second wave of formose research
Hashidzume, A.
BBA Adv. **2025**, *7*, 100141.
- R-2** 高分子非線形レオロジーの非普遍性
松宮由実
高分子 **2025**, *74*, 167–170.
- R-3** 高分子ダイナミクスの階層構造
浦川理
高分子 **2025**, *74*, 176–177.
- R-4** Key Structural Differences between Green and Red Fluorescent Proteins
Imamura, H.; Imada, K.
Spring-8 SACLA Research Frontiers 2024 **2025**, 22–23.
- R-5** Synthesis and Properties of Supramolecular Sulfur-Containing Polymers
Yoshida, T.; Hashimoto, S.; Kamioka, R.; Yamawaki, T.; Yamaguchi, H.; Kobayashi, Y.
Chem. Lett. **2025**, *54*, upaf198.

Books

- B-1** Cationic Polymerization
Kanazawa, A.
In *Routledge Resources Online - Polymers, Materials, and Technology*, Mishra, M. K.; Takeuchi, D.; Sudo, A. Eds.; Taylor & Francis Group (2025).
- B-2** Living Cationic Polymerization
Kanazawa, A.
In *Routledge Resources Online - Polymers, Materials, and Technology*, Mishra, M. K.; Takeuchi, D.; Sudo, A. Eds.; Taylor & Francis Group (2025).
- B-3** Self-Healing Plastics (分担執筆)
Yamaguchi, H.
Springer Handbook of Functional Polymers, pp. 135-152, Springer, Singapore (2025).
- B-4** Characterization of Polymers in Solution. Experimental Determination of Molecular Parameters
Nakamura, Y.; Terao, K.; Hirano, T.; Takano, A. *Springer Nature Singapore*, (2025).
- B-5** 構造解析方法 X線・クライオ電顕 (分担執筆)
栗栖源嗣
植物研究の進め方：原理と実験例, pp. 56-61, 朝倉書店 (2025).
- B-6** アトキンス 生命科学のための物理化学 第3版
Peter Atkins, Geroge Ratckuffe, Mark Wormald, Julio de Paula 著, 稲葉章, 中川 敦史訳, 東京化学同人 (2025).

Miscellaneous Publications

- M-1** 「異種」モノマーのカチオン共重合
金澤 有紘
高分子 2025, 74, 603–605.
- M-2** 樹脂成形体、製造方法及びその解体方法
高島義徳, 山岡賢司, 竹中直巳, 松山貴則, 高橋佑弥
特願 2025-066211 (出願日：2025年4月14日)

- M-3** SPring-8 利用研究課題審査委員会を終えて 分科会主査報告
SPring-8 利用研究課題審査委員会分科会主査
SPring-8/SACLA/NanoTerasu 利用者情報 **2025**, *1*, 38–51.
- M-4** 40-50 年後の次世代生物物理学者の皆さんへ
IUPAB2024 実行委員および日本生物物理学会理事会
生物物理 **2025**, *65*, 84–100.
- M-5** Transforming Waste Sulfur into Practical Resources to Realize the Sustainable Future
Yamawaki, T.; Yoshida, T.; Yamaguchi, H.; Kobayashi, Y.
e-Journal of Soft Materials, **2025**, *14*, 12–15.
- M-6** Control of Photoinduced Electron Transfer via Supramolecular Complex Formation of Polymers with Electron-Donor Molecules
Yamaguchi, H.; Cao, Y.; Sotome, H.; Ito, S.
Proceedings of Chitose International Forum on Science & Technology 2024 (CIF 24), **2025**, 28–35.
- M-7** Functionalization of Supramolecular Complexes by Hybridization of Transition Metal Transition Metal Complexes with Biomolecules
Yamaguchi, H.; Kobayashi, Y.; Harada, A.
Proceedings of Chitose International Forum on Science & Technology 2024 (CIF 24), **2025**, 36–41.
- M-8** 硫黄含有シリコーン樹脂およびその製造方法、樹脂組成物ならびに成形体
小林裕一郎、松田侑大、山口浩靖
特願 2025-187460 (出願日：2025 年 11 月 6 日)
- M-9** 動的光散乱法:原理と最近の進歩
寺尾 憲
生産と技術 **2025**, *77*, 46–52.

博士・修士論文題目と
修了者の進路

修士論文題目（令和7年度修了者）

学生氏名	指導教員	論文題目
浅田 悠司	橋爪 章仁	第2族元素の水酸化物を触媒として用いたマイクロ波照射下におけるホルモース反応
荒川 朋輝	寺尾 憲	多糖を主鎖に持つくし型ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)水溶液の相分離挙動
宇井 明日人	今田 勝巳	細菌べん毛モーター固定子の回転計測と構造解析のための実験系構築
岡本 直大	山口 浩靖	pH 応答型ゾル-ゲル転移を示す超分子ゲルの光刺激による形態変化速度制御
神岡 龍之介	山口 浩靖	不飽和結合を有する硫黄含有ポリマーの合成と熱硬化特性
上加 祐太	高島 義徳	可逆的分子間相互作用に基づく高重量比セルロース複合材料の強靱化と再成形性
小室 有杜	寺尾 憲	両親媒性多糖誘導体の合成および塩水溶液中におけるミセル形成挙動
佐伯 亜以斗	寺尾 憲	デキストランアルキルカルバメート誘導体水溶液の温度応答性
須貝 薫	橋爪 章仁	ビニルエーテル, スチレン類, 共役アルデヒドのカチオン三元共重合:二段階の 酸分解性を示す交互型ポリマーの合成
鈴木 峻馬	寺尾 憲	二重らせん多糖ゲランガムの変性・再性過程
武内 春澄	今田 勝巳	サルモネラべん毛基部の新規精製法の構築
玉越 亮	今田 勝巳	細菌べん毛構成タンパク質輸送量の定量化
永富 勇	今田 勝巳	緑色型復帰変異の導入で探る赤色蛍光蛋白質蛍光団形成の構造基盤
中村 美月	栗栖 源嗣	緑藻 <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> 由来シトクロム b6f 複合体とカドミウム置換プラストシアニンの架橋構造解析
西松 結子	高島 義徳	可逆性架橋高分子の粘弾性と力学特性のひずみ速度依存性

橋本 拓実	山口 浩靖	ポリビニルピロリドンを用いた硫黄含有エポキシポリマーの分散重合
原田 洋樹	高島 義徳	可逆性架橋高分子/カーボンブラック複合材料における導電ネットワーク形成と低ひずみ領域での高感度応答機構
番野 真望	橋爪 章仁	環状エステルと五員環あるいは六員環環状ヘミアセタールエステルのカチオン開環共重合
東 駿希	井上 正志	ムチン溶液のレオロジー特性
深尾 優太	高島 義徳	相分離構造と緩和挙動が支配する可逆性高分子複合材料の高強度化機構解明
槇田 直樹	橋爪 章仁	高密度トリアゾール骨格及びアミド側鎖を有する立体規則性均一オリゴマーの合成
松尾 幸梅	寺尾 憲	末端疎水基を導入したポリ(N,N-ジエチルアクリルアミド)の会合体形成挙動
松田 侑大	山口 浩靖	主鎖中にシロキサン結合を有する逐次重合硫黄含有ポリマーの合成とその物性
山本 滉大	橋爪 章仁	スピロオルトエステルとビニルエーテルのカチオン共重合系の開発
竜門 春杜	井上 正志	誘電プローブ法を用いたポリマーマトリックスの局所粘弾性評価
LIANG ZHUOHUI	橋爪 章仁	A visible light-curable bio-synthetic hybrid hydrogel consisting of mucins and boronic acid-containing polymers as artificial mucus
西田 光輝	高島 義徳	可動性架橋材料における主鎖と環状分子の相互作用が力学特性に及ぼす影響

以上27名

博士論文題目（令和7年度修了者）

学生氏名	指導教員	論文題目
XIAO CHUNLIN	山口 浩靖	“Regulation of Molecular Topologies via Supramolecular Strategies” (超分子戦略による分子トポロジーの制御)
LIU JIAXIONG	高島 義徳	“Design and Functional Exploration of Tough and Biodegradable Polymers with Movable Crosslinks for Enzymatic Degradation and Sustainable Use” (可動性架橋を導入した高靱性・生分解性ポリマーの設計と持続可能性に向けた酵素分解性能の評価)
HUANG HAI	寺尾 憲	“Conformational Investigation of Water-Soluble Plant Cell Wall Polysaccharides in Polar Media: Arabinogalactan and Pectin” (極性溶媒中における水溶性植物細胞壁多糖類のコンフォメーション解析：アラビノガラクトンおよびペクチン)
小鯖 翔	高島 義徳	“Mechanical Properties of Elastomeric Networks Governed by Topological Network Constraints” (トポロジカルなネットワーク拘束に支配されるエラストマーネットワークの力学物性)
中村 綾野	井上 正志	“Synergistic Thickening Effect and Its Molecular Mechanism of Hydrophobically Modified Ethoxylated Urethane (HEUR) based Mixed Aqueous Thickeners” (疎水変性ポリエーテルウレタン (HEUR) を用いた水性増粘剤混合系における相乗的増粘効果とその分子機構)
信岡 宏明	井上 正志	“Reinforcement Mechanisms and Hierarchical Molecular Dynamics in Polymer Nanocomposites” (高分子複合材料における補強機構と階層的分子運動)

以上6名

令和7年度博士前期・後期課程修了者進路

<博士前期課程>

就職（株式会社は省略）

旭化成	アビームコンサルティング
大塚化学	花王
キーエンス	品川リフラ
信越化学工業	住友ゴム工業
積水化学工業	東ソー
東レ	日本ゼオン
パナソニックホールディングス	
プライムプラネットエナジー&ソリューションズ	
マクセル	三井化学
三菱ケミカル	

進学

高分子科学専攻博士後期課程

大阪大学大学院理学研究科高分子科学専攻
アニュアルレポート 2025

令和8年5月発行

発行所：大阪大学大学院理学研究科高分子科学専攻

〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町1-1
