

# アニュアルレポート 2023

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 .....                     | 5  |
| 高分子合成化学研究室 .....                 | 6  |
| 高分子反応化学研究室 .....                 | 8  |
| 高分子物理化学研究室 .....                 | 10 |
| 高分子精密科学研究室 .....                 | 12 |
| 超分子機能化学研究室 .....                 | 14 |
| 高分子材料設計学研究室 .....                | 16 |
| 高分子構造科学研究室 .....                 | 18 |
| 高分子溶液学研究室 .....                  | 20 |
| 論文リスト .....                      | 23 |
| Original Papers .....            | 24 |
| Review Articles .....            | 31 |
| Books .....                      | 32 |
| Miscellaneous Publications ..... | 33 |
| 修士・博士論文題目と修了者の進路 .....           | 35 |
| 修士論文題目 .....                     | 36 |
| 博士論文題目 .....                     | 38 |
| 令和5年度博士前期・後期課程修了者進路 .....        | 39 |

## 巻頭言

2023年5月から新型コロナウイルス感染症の位置づけが「新型インフルエンザ等感染症（いわゆる2類相当）」から「5類感染症」になり、人々の生活は再び2019年12月以前の活気を取り戻しつつあります。ここ数年オンラインで開催されていたイベントや会議もオンサイトで実施されるようになりました。当専攻の多くの研究室が関わる学会（高分子学会）は2022年秋から既に対面での開催となり、2023年は年次大会と討論会ともに通常通り対面にて行われました。海外での国際学会への参加・発表の件数も増えており、再び人々の交流が盛んになったことを実感しています。

さて、2023年度の本学理学研究科高分子科学専攻所属メンバーが関わる出来事をご紹介します。4月1日付けで高島義徳教授が、大阪大学高等共創研究院から高分子構造・物性・機能論大講座・高分子材料設計学研究室へ配置換えとなり、当専攻の豊中キャンパス基幹講座は7研究室から8研究室に増えました。嬉しいことに、当専攻所属のスタッフや学生が所属学会において複数の研究・論文発表賞を受賞したとの報告が届いています。この3月には2000年から高分子合成化学研究室を主宰されてこられた青島貞人教授が定年退職され、大阪大学名誉教授の称号を授与されました。

当専攻の博士前期課程・博士後期課程学生数について、最近数年の動向を見てみると、博士前期課程へは毎年コンスタントに多くの本学学部生が進学を希望し、学外からも多くの入学希望者がおられます。一方、博士後期課程定員充足率はコロナ禍前後で一気に変化しました。2020年度までは理学研究科6専攻中最も高いか2番目の充足率を保っていましたが、2021年度から博士後期課程在籍者数は減少傾向となりました。高分子科学は人類の経済活動に大きくかかわっているが故に社会の景気動向に影響されやすく、学生が早く就職したいと考えたように思われますが、2024年4月時点での当専攻博士後期課程入学定員充足率は再び2020年までの高い数値に戻りました。多くの留学生や社会人ドクターも迎えることができ、今後の当専攻での研究活動がますます活発になりそうです。

本冊子は2023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2023年の業績、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相変わらぬ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5年度高分子科学専攻長 山口浩靖)

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    | → |
| 公募情報      | → |
| 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 (2023年度)

## 各研究室の研究活動

# 高分子合成化学研究室

<スタッフ> 青島 貞人 (教授) 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) 分解性ポリマー (7) 機能性高分子

<令和5年度の主な研究活動概要>

これまで我々は、新しいリビングカチオン重合系やビニル付加・開環同時カチオン共重合系を検討し、様々な機能性ポリマーを精密合成してきた。本年度は、精密な構造をもつ機能性・分解性ポリマー合成やモノマー配列制御、複数要素の同時制御系の構築などを見据え、以下のような検討を行った。

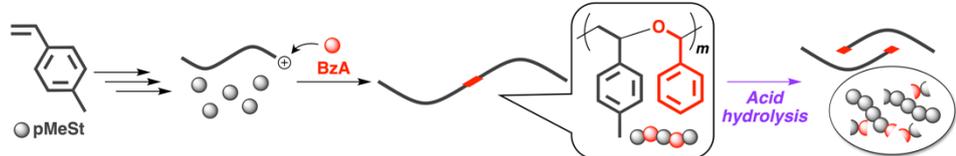
## (1) 多官能性開始剤を用いたリビングカチオン重合による温度応答性ポリマーの合成

カリックスアレーンから合成した四官能性・八官能性開始剤や、数十個の開始点をもつグラフトポリマー型マクロ開始剤を用いたリビングカチオン重合により、多分岐型ポリビニルエーテル (VE) の合成を検討した。適切に設計された条件下、開始点からリビング重合が進行し、長さの揃った多数の分岐鎖をもつポリマーが得られた。水中で温度応答性を示す VE を用いた場合には、分岐数などによって異なる応答挙動を示すことがわかった。



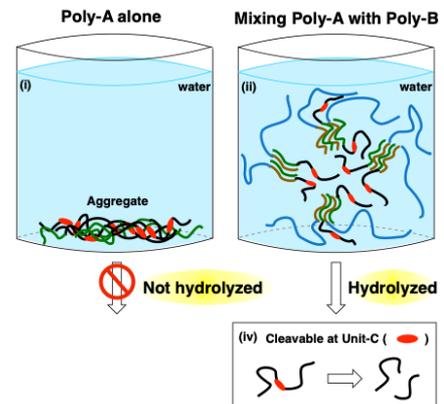
## (2) スチレン類とアルデヒドのカチオン共重合による分解性ポリスチレン類の合成

*p*-メチルスチレンの制御カチオン重合が進行する条件を設計し、その重合中にベンズアルデヒドを添加することで、鎖の任意の位置に酸分解性部位をもつ分解性ポリスチレン類の合成法を開発した。また、インデンとベンズアルデヒドのカチオン共重合系の構築により、高いガラス転移点をもち酸分解性を示すポリマーが得られた。



## (3) タンパク質の分解機構から着想を得た選択的分解性を示す高分子のリビングカチオン重合による精密合成

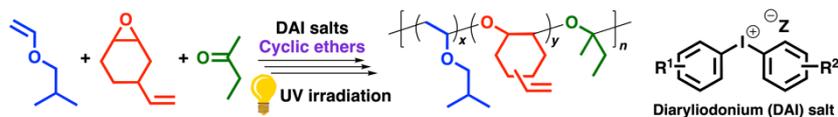
ユビキチンが結合したタンパク質のみがプロテアソームによって選択的に分解される系に着想を得た合成高分子分解系の構築を行った。酸分解性ユニットをもち、疎水性 VE ブロックと D-ラクチドブロックからなるブロックポリマーは疎水性のため、水中では凝集し分解は進行しにくいと考えられる。そこで、親水性 VE と L-ラクチドからなる親水性ブロックポリマーを混合し、ラクチド部位どうしがステレオコンプレックスを形成することで疎水性ブロック



ポリマーの凝集をほどこき、その分解を促進するような系を検討した。

#### (4) 光開始・リビング・配列制御カチオン三元共重合系

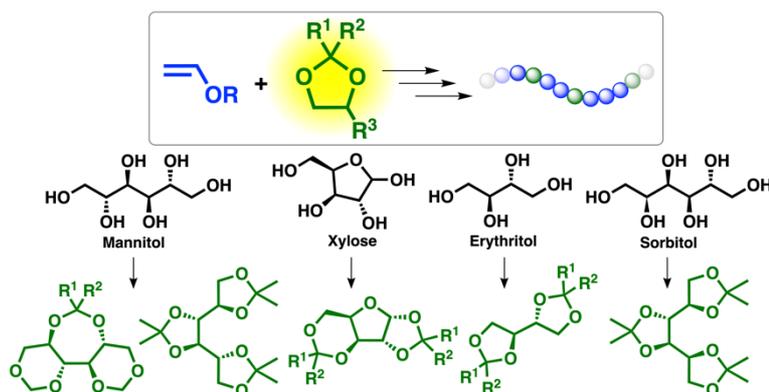
当研究室で過去に報告した VE, オキシラン, ケトンの配列制御カチオン



三元共重合系に、シクロヘキセンオキシドのリビングカチオン重合系と、ジアリールヨードニウム塩を光開始剤に用いた光開始カチオン重合系を組み合わせ、光開始によって分子量とモノマー配列を同時に制御する新しい重合法を構築した。重合条件を適切に設計することで、長寿命生長種の生成を伴う重合が進行し ABC 型周期に近いモノマー配列のポリマーが生成する系が見出された。

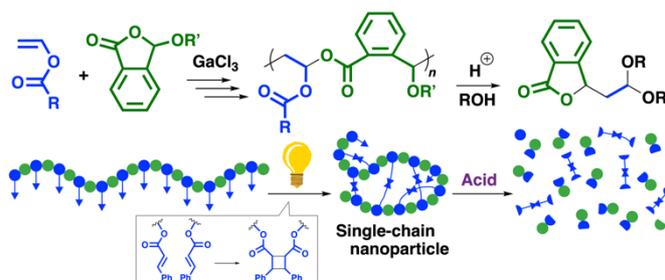
#### (5) 糖由来環状アセタールとビニルエーテルのビニル付加・開環カチオン共重合

再生可能な原料で構造や立体に多様性を持つ糖からは、様々な環状アセタールが合成可能であることが知られている。そのような糖由来環状アセタールと VE のカチオン共重合を検討した。共重合の有無は、環状アセタールの立体的かさ高さや置換基の種類に依存することがわかった。また、用いる開始剤・触媒も共重合における交差生長反応の頻度に影響を与えた。



#### (6) ビニルエステルと 3-アルコキシフタリドの交互カチオン共重合

当研究室では以前、酢酸ビニル (VAc) がカチオン共重合性を示し、1,3-ジオキサラン-4-オンとの交互共重合体および 1,3-ジオキサンの分岐型共重合体が生成する系を構築した。今回、1,3-ジオキサラン-4-オンと同様に環状ヘミアセタールエ



ステル構造をもつ 3-アルコキシフタリドをコモノマーとして用いると、VAc などのビニルエステルとの交互共重合がより効率的に進行することを見出した。また、光二量化反応性の側鎖をもつ桂皮酸ビニルとの交互共重合体も得られ、その分子内架橋反応により、酸分解性を示す一分子鎖ナノ粒子の合成も行った。

<参考文献>

1. Naito, T.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Giant* **2023**, *14*, 100159.
2. Maruyama, K.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Macromolecules* **2023**, *56*, 4190.
3. Naito, T.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Polym. Chem.* **2023**, *14*, 2829.
4. Takahashi, Y.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Macromolecules* **2023**, *56*, 4198.
5. Takebayashi, K.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Macromolecules* **2023**, *56*, 5524.
6. Mishima, Y.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Macromolecules* **2023**, *56*, 6941.
7. Matsuo, N.; Ueda, M.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Polym. Chem.* **2023**, *14*, 4804.
8. Takebayashi, K.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Polym. J.* **2024**, *56*, 309.
9. Watanabe, H.; Mishima, Y.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Polym. Chem.* **2024**, *15*, 1062.
10. Eguchi, Y.; Kanazawa, A.; Aoshima, S. *Macromolecules* **2024**, *57*, 3346.

## 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) 神林 直哉 (助教)

<研究のキーワード>

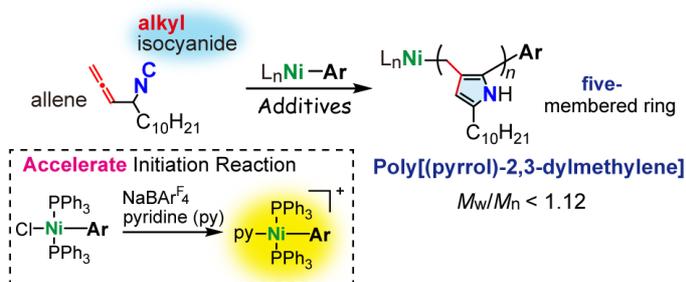
- (1) 高分子錯体 (2) 錯体触媒 (3) 不斉合成 (4) 不斉重合  
(5) 非天然型ポリペプチド (6) 金属蛋白質 (7) 酵素モデル (8) 水素結合

<令和5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) 有機ニッケル錯体へのアルキルイソシアニド-アレンの交互挿入反応に基づくリビング環化共重合反応<sup>1</sup>

環化重合は、高分子主鎖に環構造を効率的に与える方法であり、通常は同一置換基を持つ二官能性モノマーを使用する。一方で、異なる反応性置換基を持つモノマーを使用すると環構造設計の多様性を拡大できるが、反応性や選択性の制御が難しい。当研究室では、異種置換基であるイソシアノ基とアレン基をベンゼン環で連結したモノマーを用い、有機パラジウム錯体を開始剤とした環化共重合によりポリ(キノリン-2,3-ジイルメチレン)(PQM)の合成に成功している。本研究では、柔軟なアルキル鎖をリンカーとしたモノマーを設計し、有機ニッケル錯体を用いた新しい環化共重合反応に取り組んだ。配位子として PPh<sub>3</sub> を選択したところ、重合は選択的に進行し、新規高分子骨格を持つポリ(ピロール-2,3-ジイルメチレン)の合成に成功した。また、添加剤として NaB[3,5-(CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>]<sub>4</sub> (NaBAr<sup>F</sup><sub>4</sub>)とピリジンを用いた場合、開始反応の促進と活性種の安定化により、リビング重合反応を実現した。



### (2)らせん状ポリ(キノリン-2,3-ジイルメチレン)末端へのシステイン誘導体の導入

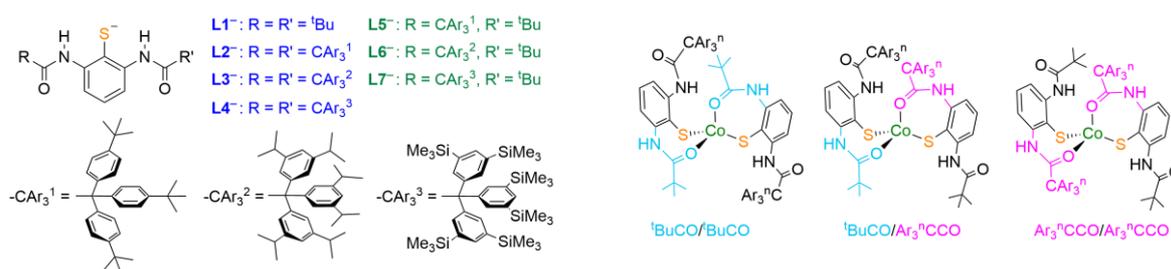
鎖末端に反応性の高い官能基を持つ高分子は、それらを起点とした化学変換により多様な構造変化が可能である<sup>2</sup>。本研究では当研究室が開発したらせん状 PQM の末端に反応性の高いスルフヒドリル(SH)基を直接導入する方法を見出した。重合後に末端に存在するパラジウム錯体を一酸化炭素によりアシルパラジウム錯体に変換し、その後システイン誘導体を添加した。この錯体に対してシステインの SH 基が優先的に反応し、チオエステルを形成した。その後 S→N アシルシフトによりアミド結

合を形成し、SH 基を維持したまま PQM の鎖末端にシステイン誘導体を導入することができた。得られた PQM は SH 基に特徴的な酸化反応及びチオール-エン反応により様々な置換基を導入することができた。また、金と SH 基の特異的な結合形成を利用し、金基盤上への単分子膜の形成に取り組んだところ、金基板上にらせん分子が密に立った単分子膜の形成に成功した。



### (3) 立体障害が配位環境に与える影響に関する系統的研究

金属蛋白質の特異な活性部位は蛋白質内の疎水的空間内で形成される特殊な配位環境により構築されている。当研究室では金属蛋白質モデルとして分子内 NH $\cdots$ S 水素結合を有するアレーチオラート配位子を持つ様々な金属錯体を報告してきた。本研究では分光学的な利点から単核コバルト錯体に着目し、立体障害の影響を系統的に調べた<sup>3</sup>。下図に示す非常に嵩高いアシルアミノ基を対称 (**L1**<sup>-</sup>~**L4**<sup>-</sup>)、非対称 (**L5**<sup>-</sup>~**L7**<sup>-</sup>) に導入した配位子を用いてコバルト錯体を合成した。R = R' = CH<sub>3</sub> では 4 つの配位子がコバルトイオンに配位するのにに対し、**L1**<sup>-</sup>では 3 つ、**L2**<sup>-</sup>、**L3**<sup>-</sup>、**L5**<sup>-</sup>~**L7**<sup>-</sup>は 2 つ、**L4**<sup>-</sup>では 1 つのみが配位した。2 つの場合は、空き配位座にカルボニル酸素が配位した。非対称配位子の場合、3 種類の異性体 (下図) が存在するが、結晶中では分子間 NH $\cdots$ O=C 水素結合による安定化が大きい <sup>1</sup>BuCO/<sup>1</sup>BuCO が選択的に結晶化し、コバルト周りの歪みに起因する青色を呈した。溶液中では分子間水素結合の切断により歪みは解消されコバルトチオラート錯体に特徴的な緑色を示し、3 つの配位異性体の平衡混合物で存在することが <sup>1</sup>H NMR スペクトルにより示された。最も嵩高い CAr<sub>3</sub><sup>3</sup>基を持つ **L7**<sup>-</sup>では Ar<sub>3</sub><sup>3</sup>CCO/Ar<sub>3</sub><sup>3</sup>CCO は殆ど存在せず、<sup>1</sup>BuCO/<sup>1</sup>BuCO が主として存在することが明らかとなった。また、金属イオン周りについて配位子の空間占有率を可視化することにより立体障害を定量的に議論することにも成功した。



<参考文献>

1. Kanbayashi, N.; Yamamoto, Y.; Okamura, T.; Onitsuka, K. *Macromolecules* **2023**, *56*, 8658-8665.
2. Kanbayashi, N.; Narukawa, M.; Onitsuka, K. *Macromol. Rapid. Commun.* **2023**, *44*, 2300251
3. Tomita, Y.; Okamura, T.; Umeda, Y.; Nishimoto, K.; Yamashita, S.; Onitsuka, K. *Inorg. Chem.* **2023**, *62*, 8678-8691.

# 高分子物理化学研究室

<スタッフ> 井上 正志 (教授) 浦川 理 (准教授)

<研究のキーワード>

- (1) ロタキサン型架橋 (2) 可動性ネットワーク (3) 平坦弾性率
- (4) 誘電緩和 (5) アフィンネットワーク (6) ファントムネットワーク

<令和5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、高分子を中心に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、可動性架橋点を持つエラストマーについて、架橋点の可動性がゴム弾性に及ぼす影響について定量評価を行った結果について報告する。

## ロタキサン型架橋エラストマーにおける架橋点の揺らぎと力学特性の関係

Cyclodextrin(CD)の包接相互作用を架橋点として利用した可動性架橋ネットワーク(MCN)は、Fig.1(a)に示すような架橋点のスライディング運動により強靱な機械特性を有するエラストマーとなることが報告されている<sup>1)</sup>。しかしながら、MCNの機械特性と架橋点のスライド運動との関係はよく理解されていない。そこで、本研究では側鎖の長さの異なる3種類の主鎖モノマーを用いたMCNを作製し、誘電緩和と粘弾性測定により架橋点の有効密度とゴム状平坦弾性率の関係を調べた。そして、架橋点であるCD部位のスライド運動性と架橋点の弾性率への寄与度について評価した。

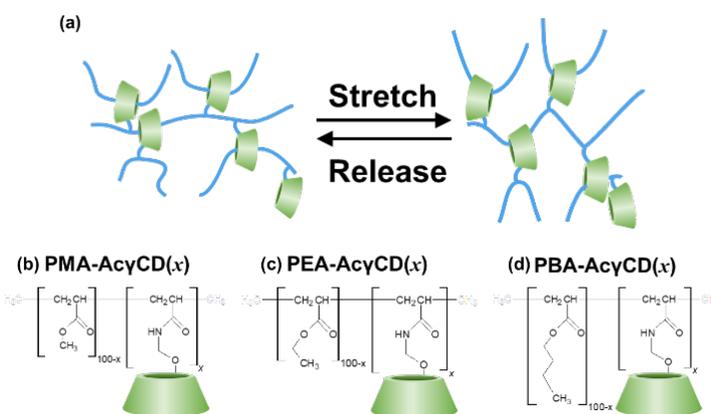


Fig.1 (a) Schematic diagram of MCN. Chemical structures of (b) PMA-AcyCD(x), (c) PEA-AcyCD(x), and (d) PBA-AcyCD(x).

具体的には Fig.1(b)-(d)に示すように、主鎖モノマーとして methyl acrylate(MA)、ethyl acrylate(EA)、butyl acrylate(BA)の3種類のアクリル酸アルキル、可動性架橋剤としてアセチル化  $\gamma$ -cyclodextrin(AcyCD)を用いた。これらを先行研究<sup>2)</sup>に従い、架橋剤濃度  $x=0, 0.5, 1.0, 1.5\text{mol}\%$ で重合し、エラストマー試料を得た。これらの試料をそれぞれ PMA-AcyCD(x)、PEA-AcyCD(x)、PBA-AcyCD(x)と表記する。

Fig.2に3種のMCN ( $x = 1.5$ )について、ガラス転移温度  $T_g$ より約  $50^\circ\text{C}$ 程度高い温度での誘電損失率  $\epsilon''$ の周波数依存性を比較する。高周波数側のピークは、それぞれの試料の  $\alpha$  緩和に対応し、それよりも3桁ほど低い矢印で示した周波数領域に、CD架橋点のスライド運動に対応する緩和ピーク<sup>2)</sup>が見て取れる。この緩和モードの強度から Onsager 式を用いて MCNの有効架橋密度( $C_{\text{eff}}$ )を見積もった。その結果、

PMA、PEA、PBA 各系の仕込み CD 濃度( $C_{pre}$ )に対する  $C_{eff}$  の割合をそれぞれ 24、21、11%と決定できた。 $C_{pre}$  が異なる ( $x$  が異なる) 試料についても、 $C_{pre}$  と  $C_{eff}$  の関係性は誤差の範囲内で一致した。これらの値から、主鎖が太くなるに従い、ロタキサン構造が形成されにくくなっていると結論できる。

3種のMCNの粘弾性測定からゴム状平坦弾性率( $E_N$ )を求めた。その結果を、 $C_{pre}$  の関数としてFig.3に示す。主鎖が太くなるとともに  $E_N$  の  $C_{pre}$  依存性が負から正の傾きに変化することがわかる。これは  $C_{eff}$  の変化以外に、からみ合い密度の変化 (嵩高い CD 基がからみ合いを希釈する効果) と架橋点の可動性の違いが反映されたものと考え、からみ合いの寄与 (第1項) と架橋の寄与 (第2項) を足し合わせた次式による記述を試みた。

$$E_N = E_N^0 (1 - \bar{V}_{CD} C_{pre})^{1.4} + 6QC_{eff}RT$$

なお、第1項の1.4乗という指数は、PEA/CD ブレンド系の平坦弾性率の  $C_{pre}$  依存性より実験的に決定した値

である。上式で  $E_N^0$  は CD 未導入のホモポリマーの弾性率、 $\bar{V}_{CD}$  は CD のモル体積、 $Q$  は架橋点の弾性率への寄与度を表すパラメータである。理論的に affine network では  $Q = 1$ 、架橋点の揺らぎを考慮した phantom network では  $Q = 0.5$  となることが知られている。Fig.3 の実線は上式で  $Q$  をパラメータとして実験データをフィッティングした結果である。PMA、PEA、PBA 各系の  $Q$  値は、それぞれ 0.09 (< phantom)、0.42 (~phantom)、1.00 (~affine) となり、主鎖が細くなる程、低い値をとることがわかった。このように、主鎖が細いほど架橋点の可動性が上昇し、弾性率への寄与度が低下することを、 $Q$  値を用いて定量的に評価することができた。

#### <参考文献>

1. Ikura, R.; Park, J.; Osaki, M.; Yamaguchi, H.; Harada, A.; Takashima, H. *Macromolecules*, 2019, 52 (18), 6953-6962
2. Kashiwagi, Y.; Urakawa, O.; Zhao, S.; Takashima, Y.; Harada, A.; Inoue, T. *Macromolecules*, 2018, 54 (7), 3321-3333.

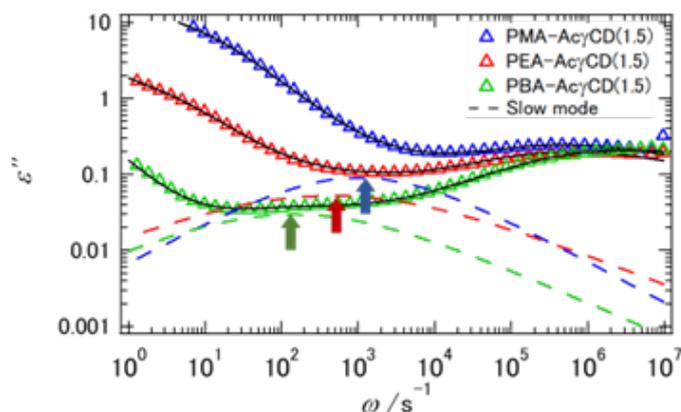


Fig.2 Frequency dependence of dielectric loss for PMA-AcyCD(1.5), PEA-AcyCD(1.5), and PBA-AcyCD(1.5) at  $T = 343, 313,$  and  $283\text{K}$ , respectively

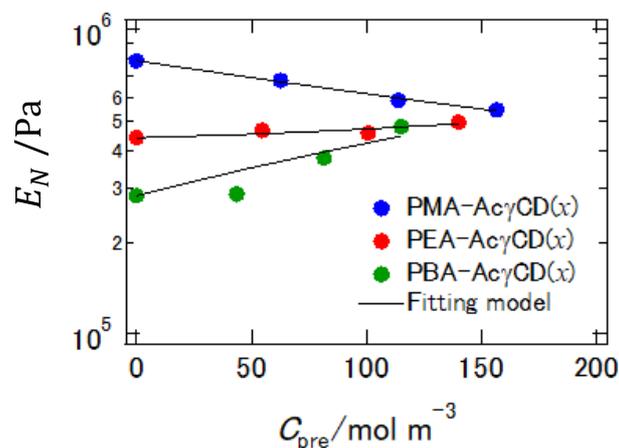


Fig.3 CD concentration dependence of  $E_N$  for PMA-AcyCD, PEA-AcyCD, and PBA-AcyCD at  $T = 300\text{K}$ .

# 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) 立体規則性 (4) 感熱応答性 (5) 多価相互作用 (6) 分子集合体

<令和5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て、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5年度は、(1) 立体規則性高密度トリアゾールポリマー溶液の温度応答性、(2) ホスト残基およびゲスト残基を有する分子の相互作用、および (3) 水系媒体中における分子集合状態の解明について研究を行った。

## (1) 立体規則性高密度トリアゾールポリマー溶液の温度応答性

当研究室では、分子量、立体化学、モノマー配列が制御されたポリマーを合成するために、4-アジド-5-ヘキシン酸誘導体の銅(I)アジド・アルキン環化付加 (CuAAC) による高分子合成を行っている。*N*-エチル-*N*-メチル 4-アジド-5-ヘキシンアミド (ME) の *R*-*R*-ダイマーと *R*-*S*-ダイマーを合成し、そのダイマーをモノマーとして CuAAC 重合することにより、*iso*-poly(ME)、*syndio*-poly(ME) を合成した。*iso*-poly(ME) とジメチルスルホキシド (DMSO) および *N,N*-ジメチルホルムアミド (DMF) との二元混合物は、温度を上げるとある温度でゲルからゾルに変化する熱応答性ゲル・ゾル転移を起こした。一方、*syndio*-poly(ME) の水溶液は下限臨界溶液温度 (LCST) 型の相転移を起こし、低温では透明であった溶液が、温度が上がるとある温度で濁った状態になった (図1)。注目すべきことに、残留銅イオンの量が少なく分子量が低い *syndio*-poly(ME) 試料では、遅い温度変化速度において、昇温過程で透過率が低下する温度領域よりも高い温度領域で降温過程での透過率の回復が観察された<sup>1</sup>。

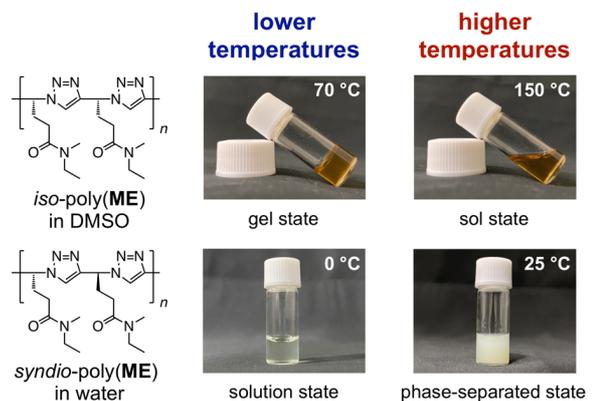


図1 立体規則性 poly(ME) 溶液の温度応答性

## (2) ホスト残基およびゲスト残基を有する分子の相互作用

一価および二価のホスト分子 ( $\beta$ CD, *d*- $\beta$ CD2-1, *d*- $\beta$ CD2-2, *c*- $\beta$ CD2) と、多価および二価のゲスト分子 (p(AANa/Npx), *c*-Ad2) との水性媒体中での相互作用を調査した (図2)<sup>2</sup>。p(AANa/Npx)と  $\beta$ CD および *c*- $\beta$ CD2 との相互作用を定常蛍光により調査した。p(AANa/Npx)/ $\beta$ CD 相互作用は 1 対 1 の錯体形成モデルに従うのに対し、

p(AANa/Npx)/c- $\beta$ CD 相互作用は 2 段階の錯体形成モデルで説明され、負の協同性を示した。c-Ad2 と  $\beta$ CD、d- $\beta$ CD2-1、d- $\beta$ CD2-2、c- $\beta$ CD2 との相互作用を  $^1\text{H}$  NMR で調査した。c-Ad2/ $\beta$ CD 相互作用は 1 対 1 の複合体形成モデルに従い、c-Ad2/d- $\beta$ CD2-1 相互作用は環状二量体形成モデルで説明された。一方、c-Ad2/d- $\beta$ CD2-2 および c-Ad2/c- $\beta$ CD2 相互作用は 2 段階複合体形成モデルで説明され、c-Ad2/c- $\beta$ CD2 系は正の協同性を示した。得られたデータから、柔軟な二価のゲスト分子と柔軟性の低い二価のホスト分子の組み合わせは、柔軟な二価のゲスト分子とホスト分子の組み合わせよりも環状二量体を形成しやすいと結論できる。

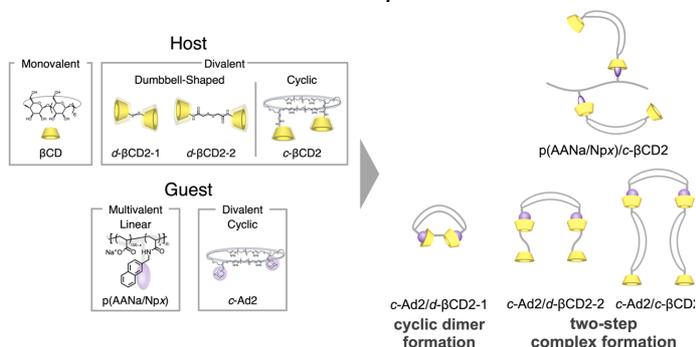


図 2 用いたホスト分子とゲスト分子、および、それらの相互作用様式

### (3) 水系媒体中における分子分散・凝集状態の解明

テトラヒドロフラン (THF) は、様々な疎水性有機分子に対する溶媒である。有機溶媒中での疎水性有機分子の分散・凝集状態を制御するために、貧溶媒である水と混合することがしばしば行われる。水と THF とは巨視的には混和するが、その中には微視的な不均一性が内在する。こうした特性が疎水性有機分子の分散・集合状態に与える影響は詳細に解明されていなかった。そこで、凝集状態に依存して発光の強度や波長が変化する発光分子を用いて、水-THF 混合溶媒の組成と分子の分散・凝集状態との相関を調査した。発光分子が、媒体の含水率に依存して大きさの異なる nm ~  $\mu\text{m}$  スケールの輝点として安定分散することが、蛍光顕微鏡観察によって示された (図 3)。動的光散乱、中性子小角散乱・広角 X 線散乱 (共同研究者により実施) などの測定により、THF を主成分とする階層構造の中に発光分子が取り込まれ、含水率に応じて異なる集合状態をとることが示唆された<sup>3</sup>。

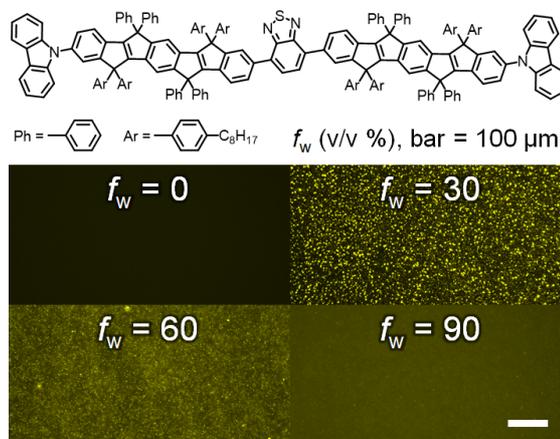


図 3 水の体積分率 ( $f_w$ ) の異なる混合溶媒中での疎水性発光分子の分散状態

#### <参考文献>

1. Okuno, K.; Miura, J.; Yamasaki, S.; Nakahata, M.; Kamon, Y.; Hashidzume, A. *Polym. Chem.* **2023**, *14*, 1488-1496.
2. Ishitsuka, K.; Nakahata, M.; Kamon, Y.; Hashidzume, A. *Chem. Lett.* **2023**, *52*, 752-756.
3. Tsuji, H.; Nakahata, M.; Hishida, M.; Seto, H.; Motokawa, R.; Inoue, T.; Egawa, Y. *J. Phys. Chem. Lett.* **2023**, *14*, 11235-11241.

# 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) 環状高分子
- (3) ロタキサン
- (4) 超分子ポリマー
- (5) 硫黄含有ポリマー

<令和5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結合させることにより機能性触媒や材料を開発している。本年度は (1) 超分子構造体を反応場とする環状高分子の合成、(2) 硫黄含有ポリマーを金属ーリガンド相互作用で架橋した超分子ポリマーの合成、および (3) 水素結合を導入した硫黄含有ポリマーの合成に成功した。

## (1) 擬ポリロタキサンを超分子反応場とする環状高分子の合成

環状高分子は線状高分子とは異なる物理化学的特性を示す。環状高分子を合成するには、同一線状高分子の末端間を結合させる必要がある。しかし、高濃度条件下では分子間結合が分子内結合より優先して起こるため、環状高分子を効率良く合成するには濃度を低く設定する必要がある。本研究では、複数の環状分子の空洞部を線状高分子が貫通した超分子構造体 (擬ポリロタキサン、pPRx) を利用して、高濃度のポリマー水溶液から環状高分子を得る新しい方法論を開発した (図 1)。pPRx 中の線状高分子の末端を連結することによって環状高分子を得る本手法は、従来の環状高分子合成では困難な濃度で環状高分子を合成することができた<sup>1,2</sup>。

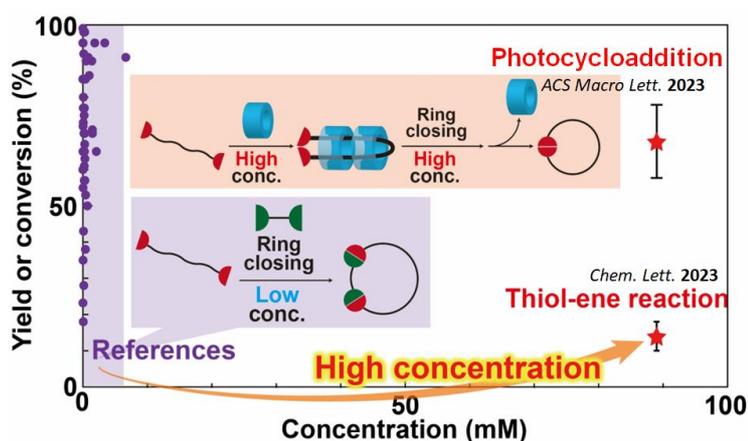


図 1. これまでの環状高分子合成法と本研究のポリマー法における反応基質濃度条件の比較

## (2) 金属ーリガンド相互作用によって架橋された硫黄含有ポリマーの合成

超分子構造を硫黄含有ポリマーへ導入すれば硫黄含有ポリマーの諸問題 (低安定性、低分子量、低加工性など) が解決され、さらなる機能化が期待できる。本研究では、金属ーリガンド相互作用によって架橋された新たな超分子硫黄ポリマーを合成した。ビピリジンを導入した硫黄含有ポリマーに銅を添加することで、高分子鎖が金属配位結合にて架橋された超分子硫黄含有ポリマーが得られた (図 2)。その超

分子硫黄含有ポリマーにエチレンジアミン四酢酸四ナトリウム塩 (EDTA-Na) を添加すると、分子量が初期の硫黄含有ポリマーまで減少した。その後、銅を除去すると再び分子量が増大し、超分子硫黄含有ポリマーが再形成された。これらの結果から、金属配位結合の形成-解離が可逆に起こることを利用することで硫黄含有ポリマーの刺激応答性分解・再構成を実現できた<sup>3</sup>。

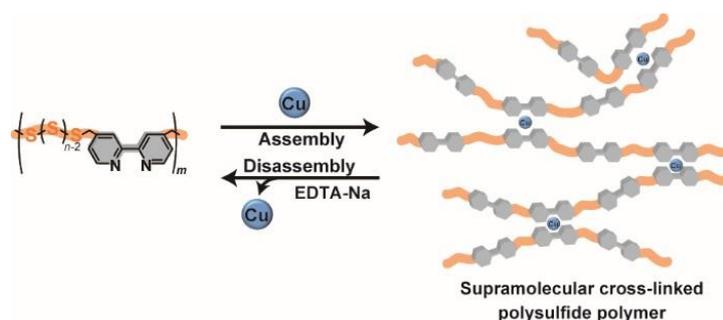


図 2. 金属-リガンド相互作用によって架橋された超分子硫黄含有ポリマーの合成と分解と再形成

### (3) 水素結合を用いた超分子硫黄含有ポリマーの合成

上記とは異なる相互作用ユニットとして水素結合部位を硫黄含有ポリマーの架橋に利用した超分子ポリマーを合成した。水素結合可能なureidopyrimidinone (UPy)を直鎖硫黄の両端に導入して硫黄モノマーを合成し、そのUPy間を水素結合で連結することで主鎖型超分子硫黄含有ポリマーを得た(図 3)。IRスペクトルと固体 <sup>1</sup>H NMRスペクトルにおいて、生成したポリマーのUPy間の水素結合を示すピークが観測された。得られた超分子硫黄含有ポリマーに対してUPy間水素結合を阻害するトリフルオロ酢酸 (TFA) を添加すると、超分子構造が崩壊し、モノマーユニットまで分解することがわかった。その後、TFAを留去すると、再び超分子硫黄含有ポリマーが形成した。超分子硫黄含有ポリマーは金属-リガンド相互作用のみならず、水素結合導入系においてもポリマーの鎖長を化学物質に応答して制御できることがわかった<sup>4</sup>。

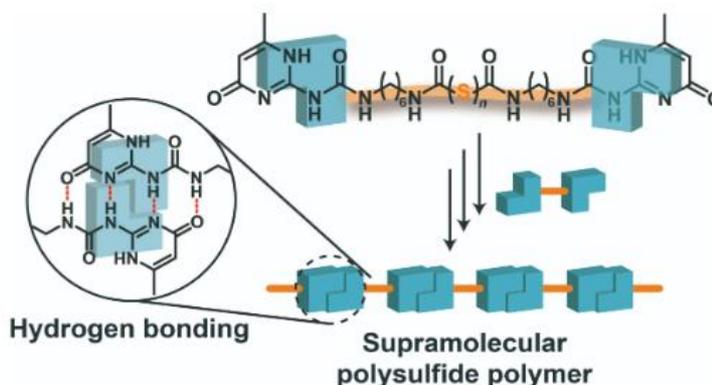


図 3. UPy 間の水素結合を用いた主鎖型超分子硫黄含有ポリマー

<参考文献>

- [1] Tsuji, Y.; Kobayashi, Y.; Xiao, C.-L.; Harada, A.; Yamaguchi, H. Efficient cyclization of linear polymer with pseudopolyrotaxane assistance, *Chem. Lett.* **2023**, 52, 1–4.
- [2] Xiao, C.-L.; Kobayashi, Y.; Tsuji, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H. Efficient Synthesis of Cyclic poly(ethylene glycol)s under high concentration conditions by the assistance of pseudopolyrotaxane with cyclodextrin derivatives, *ACS Macro Lett.* **2023**, 12, 1498-1502.
- [3] Kobayashi, Y.; Kitano, D.; Nishimura, R.; Yamagishi, Y.; Horiguchi, A.; Yamaguchi, H. Supramolecular polysulfide polymers cross-linked by metal-ligand interactions, *Polym. Chem.* **2023**, 14, 2577-2580.
- [4] Kobayashi, Y.; Yamagishi, Y.; Nishimura, R.; Xiao, C. L.; Kitano, D.; Horiguchi, A.; Hashimoto, S.; Yamaguchi, H. Supramolecular sulfur-containing polymers with hydrogen bonding, *J. Sulfur Chem.* **2023**, 44, 406-415.

# 高分子材料設計学研究室

<スタッフ> 高島 義徳(教授) 以倉 峻平(特任助教) 山岡 賢司(特任助教)

## <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) 機能解析      |
| (4) 可逆性架橋      | (5) 可動性架橋  | (6) 力学・応答機能創製 |

## <令和5年度の主な研究活動概要>

高分子材料に求める機能は、架橋設計により自在に制御できる。本研究室では、独自の架橋設計による機能創製を試みており、令和5年度は、以下の4項目の高分子材料を作製し、新たな材料機能の創製を試みた。

### (1) 可動性架橋による無機高分子材料の強靭化<sup>1</sup>

ポリジメチルシロキサン(PDMS)などの無機高分子は、有機高分子と比べて力学特性が乏しいため、可動性架橋の導入により力学特性の向上を試みた。チオール変性PDMSにアクリルアミド修飾全アセチル化 $\gamma$ -シクロデキストリン(TAc $\gamma$ CD)をチオール-エン反応で修飾し、可動性架橋PDMS(PDMS-TAc $\gamma$ CD)を作製した(図1a)。TAc $\gamma$ CD導入率が2mol%のとき最大の靭性を示し、化学架橋PDMSの100倍の値を示した。可動性架橋を形成するTAc $\gamma$ CDが延伸に伴ってPDMS主鎖上を滑ることで架橋点への応力集中を緩和し、強靭化に寄与したと考えられる(図1b)。

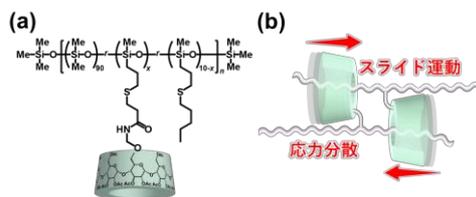


図1. (a)PDMS-TAc $\gamma$ CD-Penの化学構造。(b)可動性架橋の強靭化機構。

### (2) 複数の可動性ネットワークとガラス状高分子の編込みによる複合化<sup>2</sup>

可動性架橋設計は有機系高分子だけでなく無機系高分子において有効であることが分かった。2つの可動性ネットワークの組み合わせ、高分子の相溶性・靭性の向上を試みた。ガラス転移点異なる複数の可動性架橋ネットワーク高分子を組み合わせた(図2)。得られた複合材料は、硬さと伸びを兼ね備えた強靭性を示した。強靭化機構を大型放射光施設SPring-8にて引張試験と小角X線散乱(SAXS)の同時測定から明らかにした。延伸過程において、硬い成分と柔らかい成分がそれぞれ独立して、多段階に変形していることが分かった。

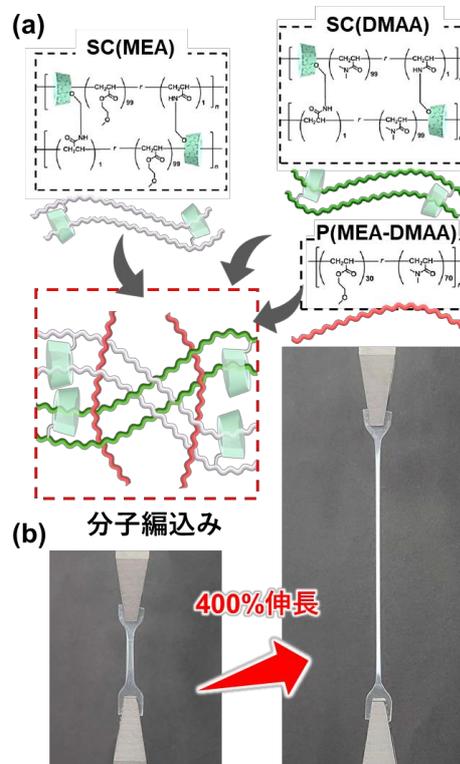


図2. (a)各ネットワークの化学構造と編込み設計の概念図。(b)引張試験の様子。

### (3) 高分子の架橋設計とセルロースの表面修飾によるセルロース複合材料の強硬化<sup>3</sup>

天然由来のセルロースを高分子材料と複合化することは、石油由来材料の使用量削減につながり、環境負荷を低減する。セルロース複合材料中の高分子に独自の架橋設計を導入することで強硬化を達成した。 $\beta$ -シクロデキストリン( $\beta$ CD)とアダマンタン(Ad)からなる可逆性架橋を有する一次ポリマーと二次直鎖ポリマーの混合物(SCP)に、クエン酸変性セルロース(CAC)を複合化させた(SCP/CAC( $w$ )) (図 3a)。CAC の添加量  $w$  (wt%)が増加すると、SCP/CAC( $w$ )の破断ひずみが増加した。特に、 $w = 5$  wt%および 10 wt%のとき高い靱性を維持した(図 3b)。SCP/CAC(10)は、未修飾セルロースと複合化した材料(SCP/Cellulose(10))よりも2倍以上高い延伸性を示した(図 3c)。一般に、高分子へセルロースを添加すると脆くなってしまうが、高分子の架橋設計とセルロースの表面修飾によって、靱性向上を達成した。

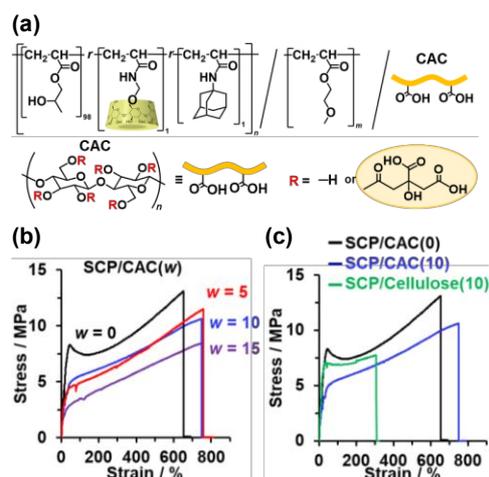


図 3. SCP/CAC( $w$ )の(a)化学構造と(b)応力-ひずみ曲線。(c)SCP/Cellulose(10)の応力-ひずみ曲線。

### (4) カーボン複合可動性架橋高分子材料を用いたひずみセンシングデバイスの開発<sup>4</sup>

可動性架橋高分子と導電性カーボンファイバー(KB)を複合化し、強靱性と導電性を両立することでひずみセンシング材料を作製した(図 4a)。CD 修飾ポリスチレン(PSCD)の CD 環をポリエチルアクリレート(PEA)が貫通した可動性架橋高分子とKBを複合した材料(PSCD $\supset$ PEA/KB(10))は、延伸時にCD環がPEAに沿ってスライド運動することで延伸性が向上した。さらに、延伸に伴ってKBの導電パスが変化するため、材料のひずみを電気抵抗値の変化として検出することに成功した。指に装着した複合材料は、電気抵抗変化( $\Delta R/R_0\%$ )に応じて、サーボモーターが同じ動作をするリモート作動システムとなり、ロボットの遠隔操作システムへの応用が期待される(図 4b)。

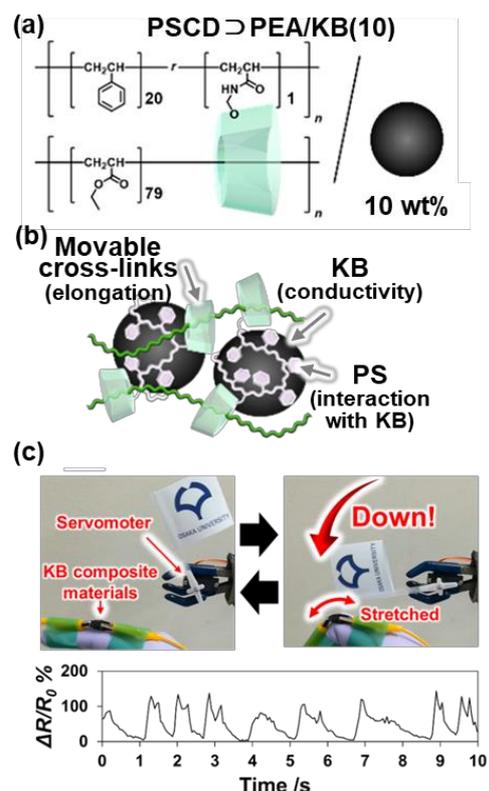


図 4. カーボン複合可動性架橋高分子材料の(a)化学構造と(b)材料設計。(c)電気抵抗変化( $\Delta R/R_0\%$ )とひずみ(e)の関係と遠隔操作システムへの応用。

### <参考文献>

1. Yoshida, D.; Ikura, R.; Takashima, Y.; et al. *Polym. Chem.* **2023**, *14*, 3277-3285.
2. Kawai, Y.; Ikura, R.; Konishi, T.; Matsuba, G.; Takashima, Y.; et al. *Macromolecules* **2023**, *56*, 4503-4512.
3. Wada, T.; Yamaoka, K.; Sugawara, A.; Ikura, R.; Uetsuji, Y.; Uyama, H.; Takashima, Y.; et al. *ACS Applied Polymer Materials* **2023**, *5*, 10334-10341.
4. Ikura, R.; Harada, A.; Ikemoto, Y.; Nishina, Y.; Uetsuji, Y.; Matsuba, G.; Takashima, Y.; et al. *ACS Polymers Au* **2023**, *3*, 394-405.

## 高分子構造科学研究室

<スタッフ> 今田 勝巳 (教授) 金子 文俊 (准教授) 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5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。また、合成高分子と低分子の複合体構造と物性を主にX線・中性子回折、赤外分光法により研究している。令和5年度は、(1) 緑色蛍光蛋白質 (GFP) から人工的に作成した赤色蛍光蛋白質 (RFP) の構造、(2) L-グルタミン酸酸化酵素 (LGOX) の構造、(3) べん毛分泌装置蛋白質FliH6量体の構造変化についての研究を行った。

### (1) 緑色蛍光蛋白質(GFP)から人工的に作成した赤色蛍光蛋白質(RFP)の構造<sup>1</sup>

蛍光蛋白質は、特定の蛋白質の発現・分布・相互作用といった細胞中の様々な情報を生きたまま取得するためのマーカーやセンサーとして使われ、現代の生物・医学研究では不可欠なツールである。中でも赤色光は生体透過性が高く細胞毒性も低いため、組織や臓器の観察や長時間観察に適するが、天然の RFP は蛍光が弱く、改変しても暗いものしかできない。蛍光発色団は、蛍光蛋白質内部で自己触媒反応で自発的にできるが、RFP の発色団 (図2右) は GFP の発色団 (図2左) と構造が大きく異なる。GFP と RFP は進化的に大きく離れており、GFP を RFP に改変することも、発色団の違いを生み出す要因も不明であった。我々は、アザミサングの GFP (AG) に多数の変異を導入して RFP 化 (AR1.0) することに成功し、変異したアミノ酸を一つずつ元の AG のアミノ酸に戻すことで、赤色発色団形成に重要なアミノ酸を特定した。そして、X 線結晶構造解析により AG と AR1.0 の立体構造を詳しく調べ、構造の違いから赤色発色団形成に必要な蛍光蛋白質内部のアミノ酸配置を明らかにした (図2)。

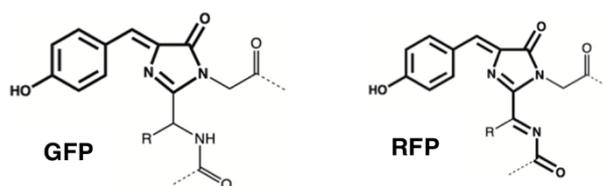


図1 蛍光蛋白質の発色団の構造

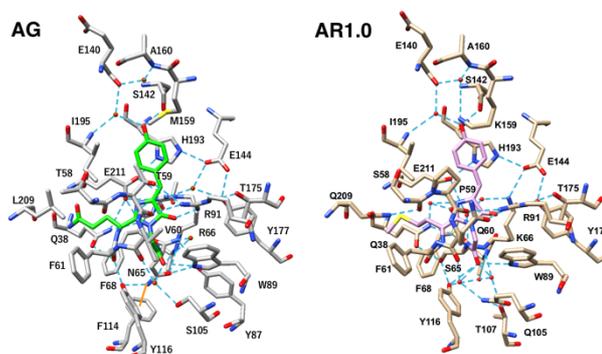


図2 発色団周辺の構造

## (2) L-グルタミン酸酸化酵素 (LGOX) の構造

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が、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。酸性アミノ酸であるグルタミン酸を基質として結合するにも関わらず、LGOX の推定基質結合部位にアスパラギン酸やグルタミン酸といった酸性残基があることから、LGOX の基質認識機構は謎であった。我々は、L-グルタミン酸を結合したLGOXの構造を解明し (図3)、L-グルタミン酸と直接結合するアルギニン残基の側鎖の向きをこれら酸性残基が固定することで厳密な基質特異性が発揮されることを明らかにした (図4)。

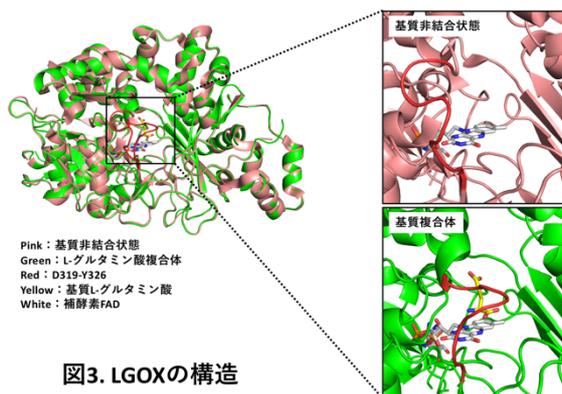


図3. LGOXの構造

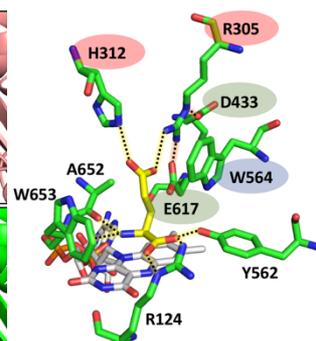


図4. LGOXの基質結合部位

## (3) べん毛分泌装置蛋白質 Flii6 量体の構造変化

細菌べん毛を形成する蛋白質は、べん毛根元にある輸送装置により菌体外へ輸送される。輸送装置は輸送ゲートと輸送 ATPase で構成され、輸送 ATPase の主要部は ATP 加水分解能を持つ FliI 蛋白質 6 量体で構成される。我々は、FliI 6 量体の構造をクライオ電子顕微鏡を用いて、動的構造変化を高速 AFM を用いて観察し、基質アナログと Mg の結合解離により 6 量体リング構造の開閉が起こることを明らかにした (図5)。

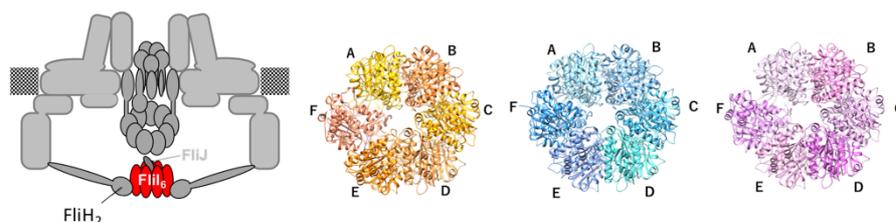


図5. Flii6量体リング構造と構造変化

### <参考文献>

1. Imamura, H.; Otsubo, S.; Nishida, M.; Takekawa, N.; Imada, K. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **2023**, *120*, e2307687120

# 高分子溶液学研究室

<スタッフ> 寺尾 憲 (教授)

<研究のキーワード>

- (1) らせん高分子
- (2) 多重らせん
- (3) 静電相互作用
- (4) 時間分解測定
- (5) 多分岐高分子
- (6) キラル分離

<令和5年度の主な研究活動概要>

当研究室では、溶液中に存在する高分子鎖の分子形態、分子間相互作用、そして高分子ナノ集合体の構造を研究している。本年度は、(1)星型ポリ (*N*-イソプロピルアクリルアミド) の水中での温度誘起ナノ構造形成挙動<sup>1</sup>、(2) 線状および非線状アミローストリス(アルキルカルバメート)の溶液中でのコンホメーションとキラル分離能の相関<sup>2</sup>、(3) 多分岐多糖カルバメート誘導体の溶液特性解析と多分岐構造による特異的相分離挙動について研究を行った。

## (1) 星型ポリ (*N*-イソプロピルアクリルアミド) の水中での温度誘起ナノ構造形成挙動<sup>1</sup>

腕鎖が温度応答性の高い星型分岐ポリ (*N*-イソプロピルアクリルアミド) (sPNIPAM) の希薄水溶液について加熱に伴う構造形成を、小角 X 線散乱 (SAXS)、電気泳動光散乱法を用いて観測した。急加熱後の sPNIPAM 水溶液について、SAXS より決定した

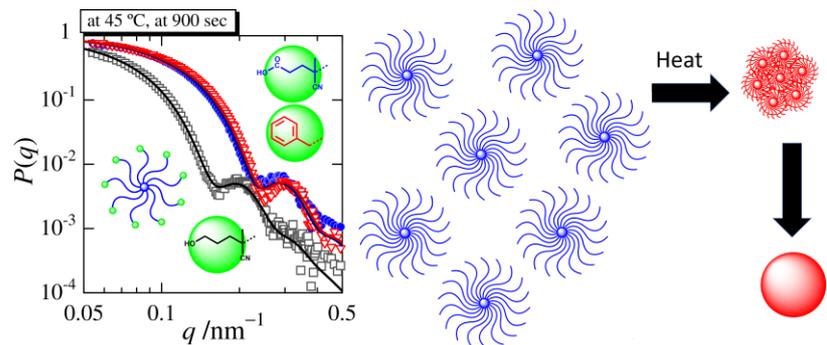


図 1. 水溶液中における sPNIPAM の形状因子  $P(q)$  とナノ構造形成の模式図

形状因子  $P(q)$  と散乱ベクトルの絶対値  $q$  の関係を図 1 に示す。球状粒子に特徴的な散乱パターンを解析し、粒径の均一なナノ微粒子が生成されることを確認した。ゆっくり加熱する場合と比較して、急速に加熱すると粒径分布が狭くなることから、相分離の初期過程がスピノーダル分解であることが示唆された。星型鎖の高いセグメント密度により、凝集後すぐに高濃度のナノ液滴が形成されること、そして、得られたナノ微粒子の表面が帯電するため、安定した球状ナノ粒子が形成されることを明らかにした。

## (2) 線状および非線状アミローストリス(アルキルカルバメート)の溶液中でのコンホメーションとキラル分離能の相関<sup>2</sup>

アミロースカルバメート誘導体の溶液中における剛直性は、置換基が小さい場合には、隣接する糖単位のカルバメート基間の水素結合、置換基が大きくなると水素

結合した溶媒分子による内部回転制限に起因する。本研究では、異なる側鎖長を持つアミロースアルキルカルバメート誘導体をシリカ粒子に担持し、それらのキラル分離能を調査した。その結果、側鎖の長い誘導体はより高いキラル分離能を示すことが明らかになった。同時に、環状アミロース誘導体のキラル分離能は線状鎖に比べて著しく低いことが、多分岐構造を有する分子については線状鎖と環状

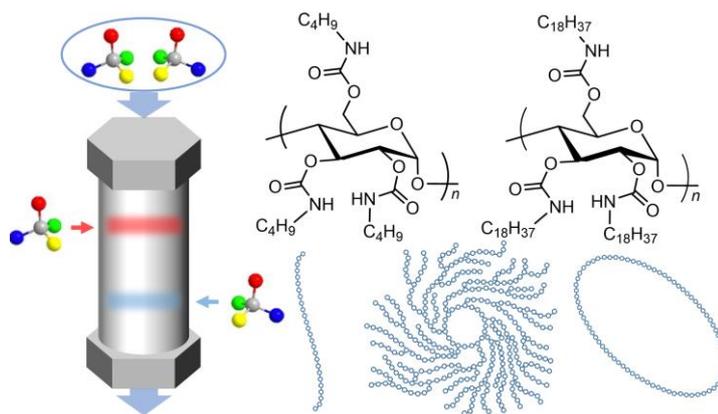


図 2. キラル分離カラムの模式図とキラル分離担体に用いたアミロース誘導体の化学構造と分岐・環状構造

鎖の中間の分離能を持つことが分かり、高分子鎖がシリカ表面に直線的に担持されることがキラル分離において重要な役割を果たすことも示された。

### (3) 多分岐多糖カルバメート誘導体の溶液特性解析と多分岐構造による特異的相分離挙動<sup>3</sup>

剛直ならせん部分鎖からなる多分岐高分子である高度分岐環状デキストリントリリス(フェニルカルバメート)(HTPC)試料を調製した。小角 X 線散乱 (SAXS) 測定と粘度測定を良溶媒と貧溶媒中で行い、溶液中の分子形態を決定し、HTPC 分子が、

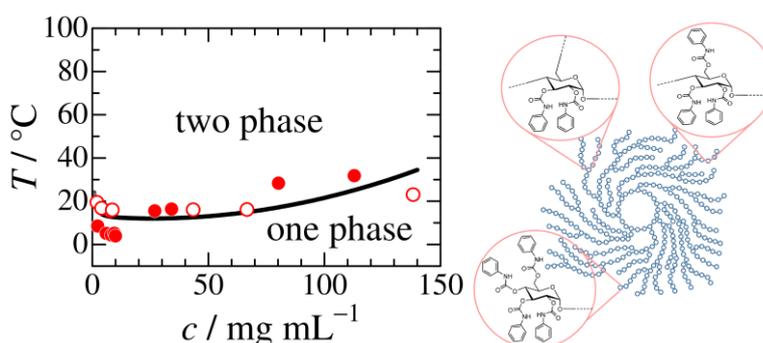


図 3. HTPC-MEA 系の相図と分岐構造

溶液中で同分子量の線状鎖よりもはるかにコンパクトであることを確認した。対応する線状高分子が広い温度範囲で酢酸メチル (MEA) に溶解するのに対し、HTPC は低温でのみ MEA に溶解し、典型的な LCST 型相図が観察された。このことから HTPC の高分子セグメントと MEA 分子間の相互作用が、線状鎖とは大きく異なることが示された。これは、HTPC の分岐点付近で屈曲したらせん鎖が溶媒分子と異なる相互作用を持つためであると考えられる。

#### <参考文献>

1. Terao, K.; Abe, M.; Nagase, M.; Takeshima, S.; Ida, S.; Kanaoka, S. *Macromolecules*, **2023**, *56*, 5635-5641.
2. Kishimoto, A.; Ryoki, A.; Kitamura, S.; Terao, K. *Polymer*, **2023**, *284*, 126303.
3. Mizuguchi, M.; Umeda, K.; Mizumoto, H.; Terao, K. *Soft Matter*, **2023**, *19*, 7781-7786.



# 論文リスト (2023 年分)

---

## Original Papers

---

- O-1** Two-Step Degradable ABAC-Type Periodic Poly(Cyclic Acetal)s Synthesized by Sequence-Programmed Monomer Formation and Subsequent Polyaddition Based on Cyclotrimerization of One Vinyl Monomer and Two Aldehydes  
Naito, T.; Kanazawa, A.; Aoshima, S.  
*Giant* **2023**, *14*, 100159.
- O-2** Sequence-Controlled Polymer Synthesis Derived from Alcohols, Cyclic Enol Ethers, and Vinyl Ethers: Selective Generation of 2-Alkoxy Cyclic Ethers Followed by Living Cationic Alternating Copolymerization by the One-Pot Process  
Maruyama, K.; Kanazawa, A.; Aoshima, S.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 4190–4197.
- O-3** Alternating Cationic Copolymerization of Vinyl Ethers and Sequence-Programmed Cyclic Trimer Consisting of One Vinyl Ether and Two Aldehydes for ABCC-Type Periodic Terpolymer  
Naito, T.; Kanazawa, A.; Aoshima, S.  
*Polym. Chem.* **2023**, *14*, 2829–2837.
- O-4** 3-Alkoxyphthalides as Nonhomopolymerizable, Highly Reactive Comonomers for ABC Pseudo-Periodic Terpolymers and Degradable Polymers via Cationic Co- and Terpolymerizations with Oxiranes and/or Vinyl Ethers  
Takahashi, Y.; Kanazawa, A.; Aoshima, S.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 4198–4207.
- O-5** Cationic Ring-Opening Copolymerization of Cyclic Acetals and 1,3-Dioxolan-4-ones via the Activated Monomer Mechanism and Transacetalization Reaction  
Takebayashi, K.; Kanazawa, A.; Aoshima, S.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 5524–5533.
- O-6** Photoinduced Superacceleration of Metal-Free Living Cationic Polymerization Using Diaryliodonium Salts as Organic Lewis Acid Catalysts  
Mishima, Y.; Kanazawa, A.; Aoshima, S.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 6941–6950.
- O-7** Imidazolium-Based Polymeric Ionic Liquids with Diverse Carboxylates: Precision Synthesis and LCST- and UCST-Type Thermoresponsivity in Water  
Matsuo, N.; Ueda, M.; Kanazawa, A.; Aoshima, S.  
*Polym. Chem.* **2023**, *14*, 4804–4808.

- O-8** Cascade Ring Strain Release Polymerization of Cyclohexene Oxide and Derivatives Using a Mono( $\mu$ -Alkoxo)bis(alkylaluminum) Initiator  
Pedretti, B. J.; Zhu, C.; Watanabe, H.; Aoshima, S.; Lynd, N. A.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 4884–4894.
- O-9** In Situ and Ex Situ Studies of Ring-Like Assembly of Silica Nanoparticles in the Presence of Poly(propylene oxide)–Poly(ethylene oxide) Block Copolymers  
Takahashi, R.; Yamamoto, K.; Sugahara, R.; Otake, R.; Hayashi, K.; Nakamura, J.; Ohtsuki, C.; Aoshima, S.; Sugawara-Narutaki, A.  
*Langmuir* **2023**, *39*, 11379–11387.
- O-10** Synthesis of Helically  $\pi$ -Stacked Poly(quinolylene-2,3-methylene)s with Anthracene Derivatives at the Chain End: Intramolecular Energy Transfer Based on the  $\pi$ -Stacked Architecture  
Kanbayashi, N.; Nishio, M.; Okamura, T.; Onitsuka, K.  
*Polym. Chem.* **2023**, *14*, 412–420.
- O-11** Syntheses and Structures of Arenethiolato Cobalt(II) Complexes Containing Acylamino Groups: Steric Effects of Bulky Ligands on Coordination and Geometry  
Tomita, Y.; Okamura, T.; Umeda, Y.; Nishimoto, K.; Yamashita, S.; Onitsuka, K.  
*Inorg. Chem.* **2023**, *62*, 8678–8691.
- O-12** Facile End-Functionalization of Poly(quinolylene-2,3-methylene) Using the Terminal Palladium Complex: Thiocarbonylation through Formation of an Acyl Palladium Complex at the Polymer Terminal  
Kanbayashi, N.; Narukawa, M.; Onitsuka, K.  
*Macromol. Rapid. Commun.* **2023**, *44*, 2300251.
- O-13** Living Cyclocopolymerization via Alternating Insertion of Alkyl Isocyanide and Allene to the Organonickel Complex  
Kanbayashi, N.; Yamamoto, R.; Okamura, T.; Onitsuka, K.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 8658–8665.
- O-14** マイクロレオロジーの測定技術  
杉森 建哉; 浦川 理; 井上 正志  
オレオサイエンス **2023**, *23*, 477–482.
- O-15** Time-Temperature and Time-Electric Field Correlation for Integrated Currents in XLPE  
Sekiguchi, Y.; Urakawa, O.; Inoue, T.  
*2023 ISEIM* **2023**, 01–04.

- O-16** Dielectric Relaxation Behavior of Halobenzene Confined in the  $\delta$ -Phase of Syndiotactic Polystyrene  
Urakawa, O.; Kobayashi, H.; Inoue, R.; Kaneko, F.; Inoue, T.  
*Macromol. Symp.* **2023**, *408*, 2200103(1–5).
- O-17** Solvent effects of N, N-dimethylformamide and methanol on mass spectrometry imaging by tapping-mode scanning probe electrospray ionization  
Otsuka, Y.; Ote, N.; Sun, M.; Shimma, S.; Urakawa, O.; Yamaguchi, S.; Kudo, T.; Toyoda, M.  
*Analyst* **2023**, *148*, 1275–1284.
- O-18** Synthesis of Stereoregular Uniform Oligomers Possessing a Dense 1,2,3-Triazole Backbone  
Kamon, Y.; Miura, J.; Okuno, K.; Yamasaki, S.; Nakahata, M.; Hashidzume, A.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 292–304.
- O-19** Preferential Formation of Specific Hexose and Heptose in the Formose Reaction under Microwave Irradiation  
Hashidzume, A.; Imai, T.; Deguchi, N.; Tanibayashi, T.; Ikeda, T.; Michitaka, T.; Kuwahara, S.; Nakahata, M.; Kamon, Y.; Todokoro, Y.  
*RSC Adv.* **2023**, *13*, 4089–4095.
- O-20** Contrasting Thermoresponsiveness of Stereoisomers of a Dense 1,2,3-Triazole Polymer Carrying Amide Side Chains  
Okuno, K.; Miura, J.; Yamasaki, S.; Nakahata, M.; Kamon, Y.; Hashidzume, A.  
*Polym. Chem.* **2023**, *14*, 1488–1496.
- O-21** Synthesis of Dense 1,2,3-Triazole Oligomers Consisting Preferentially of 1,5-Disubstituted Units via Ruthenium(II)-Catalyzed Azide–Alkyne Cycloaddition  
Taguchi, R.; Nakahata, M.; Kamon, Y.; Hashidzume, A.  
*Polymers* **2023**, *15*, 2199.
- O-22** Interactions of Mono- and Divalent Host Molecules with Multi- and Divalent Guest Molecules  
Ishitsuka, K.; Nakahata, M.; Kamon, Y.; Hashidzume, A.  
*Chem. Lett.* **2023**, *52*, 752–756.
- O-23** Water Fraction Dependence of the Aggregation Behavior of Hydrophobic Fluorescent Solutes in Water–Tetrahydrofuran

Tsuji, H.; Nakahata, M.; Hishida, M.; Seto, H.; Motokawa, R.; Inoue, T.; Egawa, Y.  
*J. Phys. Chem. Lett.* **2023**, *14*, 11235–11241.

- O-24** Efficient Synthesis of Cyclic Poly(ethylene glycol)s under High Concentration Conditions by the Assistance of Pseudopolyrotaxane with Cyclodextrin Derivatives  
Xiao, C.-L.; Kobayashi, Y.; Tsuji, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.  
*ACS Macro Lett.* **2023**, *12*, 1498–1502.
- O-25** Supramolecular polysulfide polymers cross-linked by metal-ligand interactions  
Kobayashi, Y.; Kitano, D.; Nishimura, R.; Yamagishi, Y.; Horiguchi, A.; Yamaguchi, H.  
*Polym. Chem.* **2023**, *14*, 2577–2580.
- O-26** Supramolecular sulfur-containing polymers with hydrogen bonding  
Kobayashi, Y.; Yamagishi, Y.; Nishimura, R.; Xiao, C. L.; Kitano, D.; Horiguchi, A.; Hashimoto, S.; Yamaguchi, H.  
*J. Sulfur Chem.* **2023**, *44*, 406–415.
- O-27** Efficient cyclization of linear polymer with pseudopolyrotaxane assistance  
Tsuji, Y.; Kobayashi, Y.; Xiao, C. L.; Harada, A.; Yamaguchi, H.  
*Chem. Lett.* **2023**, *52*, 1–4.
- O-28** Leaf-Inspired Host-Guest Complexation-Dictating Supramolecular Gas Sensors  
Park, J.; Sasaki, Y.; Ishii, Y.; Murayama, S.; Ohshiro, K.; Nishiura, K.; Ikura, R.; Yamaguchi, H.; Harada, A.; Matsuba, G.; Washizu, H.; Minami, T.; Takashima, Y.  
*ACS Appl. Mater. Interfaces* **2023**, *15*, 39777–39785.
- O-29** Self-Healable Poly(dimethyl siloxane) Elastomers Based on Host-Guest Complexation between Methylated  $\beta$ -Cyclodextrin and Adamantane  
Yoshida, D.; Park, J.; Ikura, R.; Yamashita, N.; Yamaguchi, H.; Takashima, Y.  
*Chem. Lett.* **2023**, *53*, 93–96.
- O-30** Self-Healable and Conductive Hydrogel Coatings Based on Host-Guest Complexation between  $\beta$ -Cyclodextrin and Adamantane  
Park, J.; Tamura, H.; Nakahata, M.; Kobayashi, Y.; Yamaguchi, H.; Nakajima, K.; Takahashi, H.; Takata, S.; Kayano, K.; Harada, A.; Hatano, K.; Takashima, Y.  
*Chem. Lett.* **2023**, *52*, 172–176.

- O-31** Composite Hydrogels with Host-Guest Using Cellulose Nanocrystal as Supramolecular Interaction Filler  
Noe, M. M.; Sugawara, A.; Asoh T.; Takashima, Y.; Harada, A.; Uyama, H.  
*Polymer* **2023**, *277*, 125979.
- O-32** Fiber Morphology Design of Cellulose Composites Through Multiscale Simulation  
Uetsuji, Y.; Hamamoto, R.; Chao, L.; Tsuyuki, Y.; Tsuchiya, K.; Ikura, R.; Takashima, Y.  
*Int. J. Mech. Sci.* **2023**, *258*, 108581.
- O-33** A Transformable and Bulky Methacrylate Monomer That Enables the Synthesis of an MMA-nBA Alternating Copolymer: Sequence-Dependent Self-Healing Properties  
Lai, H.; Jin, C.; Park, J.; Ikura, R.; Takashima, Y.; Ouchi, M.  
*Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, *62*, e202218597.
- O-34** Cyclic Polyphenylene Sulfide as Additive to Improve the Mechanical Properties of Polystyrene-based Materials  
Ding, Y.; Park, J.; Ikura, R.; Nara, S.; Toda, K.; Takashima Y.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 3132–3140.
- O-35** Hybridizing A Dual-Cross Network and A Linear Glassy Polymer for Dynamic Contributions to High Mechanical Toughness Based on Phase-Separated Structures  
Kawai, Y.; Park, J.; Murayama, S.; Ikura, R.; Osaki, M.; Konishi, T.; Matsuba, G.; Takashima, Y.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 4503–4512.
- O-36** Preparation of Mechanically Tough Poly(dimethyl siloxane) through the Incorporation of Acetylated Cyclodextrin-Based Topologically Movable Cross-links  
Yoshida, D. ;Park, J.; Yamashita, N.; Ikura, R.; Kato, N.; Kamei, M.; Ogura, K.; Igarashi, M.; Nakagawa, H.; Takashima, Y.  
*Polym. Chem.* **2023**, *14*, 3277–3285.
- O-37** Tough Citric Acid-Modified Cellulose-Containing Polymer Composites with Three Components Consisting of Movable Cross-Links and Hydrogen Bonds  
Park, J.; Asaki, Y.;Fujiwara, Y.;Wada, T.;Ikura, R.; Sugawara, A.; Konishi, T.; Matsuba, G. Uetsuji, Y.; Uyama, H.; Takashima, Y.  
*Polym. J.* **2023**, *55*, 1151–1164.
- O-38** Water Content-Dependent Switching of the Bending Behavior of Photoresponsive Hydrogels Composed of Hydrophilic Acrylamide-Based Main Chains and Hydrophobic Azobenzenes  
Park, J.; Shimizu, Y.; Zhou, X.; Ikura, R.; Matsuba, G.; Takashima, Y.

- O-39** Highly Stretchable Stress-Strain Sensor from Elastomer Nanocomposites with Movable Cross-links and Ketjenblack  
Ikura, R.; Kajimoto, K.; Park, J.; Murayama, S.; Fujiwara, Y.; Osaki, M.; Suzuki, T.; Shirakawa, H.; Kitamura, Y.; Takahashi, H.; Ohashi, Y.; Obata, S.; Harada, A.; Ikemoto, Y.; Nishina, Y.; Uetsuji, Y.; Matsuba, G.; Takashima, Y.  
*ACS Polymers Au* **2023**, *3*, 394–405.
- O-40** Supramolecular Photoresponsive Polyurethane with Movable Crosslinks Based on Photoisomerization of Azobenzene  
Zhou, X.; Ikura, R.; Jin, C; Yamaoka, K.; Park, J.; Takashima, Y.  
*Aggregate* **2023**, e457.
- O-41** Enhancement of the Mechanical Properties of Organic-Inorganic Hybrid Elastomers by Introducing Movable and Reversible Crosslinks  
Yamashita, N.; Yamaoka, K.; Ikura, R.; Yoshida, D.; Park, J.; Kato, N.; Kamei, M.; Ogura, K.; Igarashi, M.; Nakagawa, H.; Takashima, Y.  
*Soft Matter* **2023**, *19*, 9074–9081.
- O-42** Material Design of Citric Acid-Modified Cellulose Composite Polymeric Materials with Both Tough and Sustainable Enhancement by Multiple Noncovalent Bonds  
Wada, T.; Park, J.; Yamaoka, K.; Asaki, Y.; Sugawara, A.; Ikura, R.; Takahashi, Y.; Takenaka, N.; Uetsuji, Y.; Uyama, H.; Takashima, Y.  
*ACS Appl. Polym. Mater.* **2023**, *5*, 10334–10341.
- O-43** Red fluorescent proteins engineered from green fluorescent proteins.  
Imamura, H.; Otsubo, S.; Nishida, M.; Takekawa, N.; Imada, K.  
*Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **2023**, *120*, e2307687120.
- O-44** Polymorphism of Cis-Unsaturated Fatty Acid Amide: Oleamide  
Tanaka, T.; Takechi, C.; Kaneko, F.; Suzuki, M.  
*Crystal Growth and Design* **2023**, *23*, 3084–3090.
- O-45** Simultaneous SANS/FTIR measurement system incorporating the ATR sampling method  
Kaneko, F.; Radulescu, A.; Nakagawa, H.  
*Journal of Applied Crystallography* **2023**, *56*, 1522–1527.
- O-46** Complex Formation Behavior of Silica Nanoparticles and Xanthan  
Tomofuji, Y.; Terao, K.  
*Macromol. Symp.* **2023**, *408*, 2200025.

- O-47** Temperature Induced Nanostructure Formation Behavior of Core Cross-Linked Star-Shaped Poly(*N*-isopropylacrylamide) in Water  
Terao, K.; Abe, M.; Nagase, M.; Takeshima, S.; Ida, S.; Kanaoka, S.  
*Macromolecules* **2023**, *56*, 5635–5641.
- O-48** Correlation between Conformational Feature in Solution and Chiral Separation Ability of Linear and Nonlinear Amylose Tris(alkylcarbamate)s  
Kishimoto, A.; Ryoki, A.; Kitamura, S.; Terao, K.  
*Polymer* **2023**, *284*, 126303.
- O-49** Solution Characterization of a Hyperbranched Polysaccharide Carbamate Derivative and Specific Phase Separation Behavior Due to Chain Branching  
Mizuguchi, M.; Umeda, K.; Mizumoto, H.; Terao, K.  
*Soft Matter* **2023**, *19*, 7781–7786.

---

## Review Articles

---

- R-1** 精密重合反応を基盤とした新しい $\pi$ スタック高分子の構築  
神林直哉  
*未来社会共創を目指す研究シーズ集 2023* **2023**, 56.
- R-2** どこからが高分子？ — 均一オリゴマー合成の最近の展開  
中畑 雅樹  
*化学と工業* **2023**, 10, 706–707.
- R-3** Molecular Conformation and Intermolecular Interactions of Linear and Cyclic Amylose Derivatives in Solution  
Terao, K.; Ryoki, A.; Kitamura, S.; Sato, T.  
*Macromol. Symp.* **2023**, 408, 2200024.
- R-4** Regulation of motor activity of ciliary outer-arm dynein by the light chain 1; Implication from the structure of the light chain bound to the microtubule-binding domain of the heavy chain  
Yagi, T.; Toda, A.; Ichikawa, M.; Kurisu, G.  
*Biophys. Physicobiol.* **2023**, 20, e200008

---

## Books

---

- B-1** 複合架橋エラストマー  
以倉 峻平、朴 峻秀、高島 義徳  
持続可能な社会を支えるゴム・エラストマー (CSJカレントレビュー: 46) 新素材・自己修復・強靱化と最先端評価技術(化学同人出版) **2023**, 46, Chapter 7, 74-79.
- B-2** シクロデキストリンを用いた自己修復ポリマーの開発  
金 昌明、高島 義徳、原田 明  
月刊ファインケミカル 2023年9月号特集『自己修復ポリマーの最新研究開発動向』(株式会社シーエムシー出版) **2023**, 52.
- B-3** 可逆性結合・可動性架橋を用いた自己修復性接着システムの構築  
山岡 賢司、以倉 峻平、銭 韵鵬、高島 義徳  
接着と剥離のための高分子設計と応用, 第3編 第4章, シーエムシー出版 **2023**.
- B-4** In Vitro Flagellar Type III Protein Transport Assay Using Inverted Membrane Vesicles  
Imada, K.; Terashima, H.  
*Methods. Mol. Biol. 2646 - Bacterial and Archaeal Motility, Chapter 2*, 17–26, Humana Press (**2023**)
- B-5** 5.1 直鎖ホモポリマーの分子形態  
佐藤 尚弘, 寺尾 憲  
基礎高分子科学 演習編 第2版, pp. 92-97, 東京化学同人 (2023).
- B-6** 5.2 剛直性高分子と屈曲性高分子  
佐藤 尚弘, 寺尾 憲, 井田 大地  
基礎高分子科学 演習編 第2版, pp. 98-103, 東京化学同人 (2023).
- B-7** 5.4 分岐・環状高分子  
寺尾 憲  
基礎高分子科学 演習編 第2版, pp. 107-109, 東京化学同人 (2023).

---

## Miscellaneous Publications

---

- M-1** チオエポキシ硬化物を用いたリチウム硫黄電池  
小林裕一郎、橋本駿、堀口顕義、西村龍人、山口浩靖  
特願 2023-171267 (出願日：2023 年 10 月 2 日)
- M-2** 硫黄含有化合物及び高分子材料  
小林裕一郎、山岸佑輝、堀口顕義、北野大輝、山口浩靖  
特願 2023-521210 (出願日：2023 年 9 月 11 日)
- M-3** 樹脂組成物及びその製造方法  
高島 義徳、宇山 浩、朴 峻秀、朝木 佑貴、和田 拓真、麻生 隆彬、  
竹中 直巳、久禮 文章、高橋 佑弥  
特願 2023-001809 (出願日：2023 年 1 月 10 日)
- M-4** 高分子材料およびその製造並びに高分子材料の分解方法  
高島 義徳、朴 峻秀、以倉 峻平、松村 優成  
特許公開 2023-050042 (出願日：2023 年 3 月 27 日)
- M-5** 接着剤組成物  
高島 義徳、宇山 浩、菅原 章秀、朴 峻秀、以倉 峻平、竹中 直巳、  
久禮 文章、高橋 佑弥  
特許公開 2023-105083 (出願日：2023 年 6 月 27 日)
- M-6** Kinetics of Denaturation and Renaturation Processes of Double-stranded Helical Polysaccharide, Xanthan in Aqueous Sodium Chloride  
Terao, K.; Tomofuji, Y.  
*Spring-8/SACLA Research Frontiers 2022* **2023**, 78-79.
- M-7** 多重らせん高分子のコンホメーション変化の動力学  
寺尾 憲  
*研究シーズ集 2023(未来社会共創を目指す)*, 28, 大阪大学共創機構 (2023).



# 博士・修士論文題目と 修了者の進路

## 修士論文題目（令和5年度修了者）

| 学生氏名   | 指導教員  | 論文題目   |
|--------|-------|--|
| 上田 悠加  | 今田 勝巳 | 放線菌由来 L-グルタミン酸酸化酵素の基質認識および活性発現機構                 |
| 碓井 亜瑛子 | 今田 勝巳 | べん毛輸送 ATPase FliI 6量体の構造変化                       |
| 梅田 慧祐  | 寺尾 憲  | 剛直な部分鎖から成る多分岐多糖誘導体の溶液中における分子形態と分子間相互作用           |
| 梅田 悠樹  | 鬼塚 清孝 | ニトロゲナーゼに特異な P クラスターモデル錯体を目指した [4Fe-4S]クラスターの合成検討 |
| 江口 優人  | 青島 貞人 | 光開始リビングカチオン配列制御三元共重合の開発：分子量とモノマー配列の同時制御          |
| 甲藤 絢   | 青島 貞人 | 糖由来環状アセタールとビニルエーテルのカチオン共重合                       |
| 神垣 京之介 | 青島 貞人 | 酢酸ビニルと3-アルコキシフタリドのカチオン交互共重合                      |
| 上嶋 七佳  | 寺尾 憲  | コラーゲンのコンフォメーション変化に伴うシリカナノ粒子との複合体形成挙動の変化          |
| 川向 大誠  | 栗栖 源嗣 | 植物型フェレドキシンの中性子結晶構造解析                             |
| 木村 彰吾  | 井上 正志 | PVC ゲルアクチュエーターの電極分極と屈曲挙動の関係                      |
| 國政 弥華  | 栗栖 源嗣 | 軸糸ダイニン重鎖ストーク領域におけるアイソフォームの比較構造解析                 |
| 後藤 将輝  | 山口 浩靖 | 特異的な分子間相互作用ユニット導入樹脂を活用した配列制御有機合成                 |
| 斉藤 未久里 | 青島 貞人 | スチレン類と芳香族アルデヒドのカチオン交互共重合および選択的切断部位を有するポリスチレン類の合成 |
| 新谷 直生  | 井上 正志 | Couette 流動下におけるシアバンドの偏光イメージング                    |
| 末永 莉沙  | 寺尾 憲  | 両親媒性多糖誘導体の合成とミセル形成挙動                             |
| 田口 諒一  | 橋爪 章仁 | 金属触媒アジド・アルキン環化付加による高密度トリアゾールポリマーの一次構造制御          |

|          |       |  |
|----------|-------|--|
| 豊田 亘     | 中川 敦史 | 蛋白質における DAFS 法の開発  |
| 長尾 達希    | 寺尾 憲  | アミロース- <i>graft</i> -ポリ (N-イソプロピルアクリルアミド) の温度上昇によるナノ微粒子形成挙動  |
| 中島 碧人    | 鬼塚 清孝 | ポルフィリン誘導体を利用したらせん状ポリ (キノリレン-2,3-メチレン) の配向制御  |
| 中原 花菜    | 鬼塚 清孝 | 非常に嵩高い疎水性配位子を持つ亜硫酸オキシダーゼモデルの合成検討   |
| 西村 龍人    | 山口 浩靖 | 二官能性アセチレン誘導体と直鎖硫黄を用いた硫黄含有ポリマーの合成   |
| 沼尾 彬久    | 青島 貞人 | タンパク質の分解機構から着想を得た選択的分解性を示す高分子のリビングカチオン重合による精密合成  |
| 橋本 紗依    | 今田 勝巳 | クライオ電子顕微鏡による細菌べん毛フック成長端の構造解析   |
| 平井 誠吾    | 井上 正志 | ロタキサン型架橋エラストマーにおける架橋点の揺らぎと力学特性の関係  |
| 藤井 あかり   | 橋爪 章仁 | ボロン酸エステル形成を利用した高分子合成   |
| 藤原 瑛介    | 山口 浩靖 | 水素結合および刺激応答性ユニットを導入したポリマーの自己組織化とそのキャラクタリゼーション  |
| 古木 結夢    | 青島 貞人 | 多官能性開始剤を用いたリビングカチオン重合による様々な多分岐ポリマーの精密合成と特異な温度応答挙動  |
| 山下 尚輝    | 高島 義徳 | 可動性架橋および可逆性架橋を有する有機-無機複合材料の作製と力学物性評価   |
| 和田 拓真    | 高島 義徳 | 非共有結合を導入した高分子材料の設計と力学特性評価  |
| Xin Zhou | 高島 義徳 | A Study on Photoresponsiveness in Azobenzene-containing Polyurethane in Movable Cross-Linked Polymer Network |

以上30名

博士論文題目（令和5年度修了者）

| 学生氏名        | 指導教員  | 論文題目  |
|-------------|-------|---|
| 河合 優作       | 高島 義徳 | “Design of polymer knitting with movable crosslinks and investigation of their mechanical property”<br>(可動性架橋を用いたポリマーニットイングの設計とその力学特性調査)                            |
| 金 昌明        | 高島 義徳 | “Network design and performance pioneering in polymeric materials via reversible and movable cross-linking”<br>(可逆的および可動的架橋による高分子材料のネットワーク設計と性能開拓)                  |
| 曹 芸霖        | 山口 浩靖 | “Controlling electron transfer in polymer matrices through supramolecular interactions”<br>(超分子的相互作用を介した高分子マトリックス中の電子移動制御)  |
| Yuyang Ding | 高島 義徳 | “The application and modification of cyclic polyphenylene sulfide in supramolecular chemistry to reinforce polymers”<br>(ポリマーを強化するための超分子化学における環状ポリフェニレンスルフィドの応用と修飾) |
| 仲摩 雄季       | 寺尾 憲  | “Syntheses and structures of stereoregular hydrogenated ring-opened poly(norbornene)s”<br>(立体規則性水素化開環ポリノルボルネンの合成と構造)  |
| 吉田 大地       | 高島 義徳 | “Design of a ring-opening catalyst and polymeric materials with non-covalent bonds”<br>(非共有結合を用いた開環重合触媒と高分子材料の設計)   |

以上6名

## 令和5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）

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| ADEKA            | イノアックコーポレーション    |
| ENEOSマテリアル       | 王子ホールディングス       |
| 花王               | 関西電力             |
| クラレ              | 塩野義製薬            |
| 住友化学             | 住友電気工業           |
| 大和総研             | DIC              |
| デロイトトーマツコンサルティング | 東レ               |
| 凸版印刷             | 日油               |
| 日本M&Aセンター        | 日本ゼオン            |
| パナソニックインダストリー    | 富士フイルムヘルスケアシステムズ |
| 三井化学             | ミルボン             |
| ライオン             | レゾナック            |

進学

高分子科学専攻博士後期課程

### <博士後期課程>

就職（株式会社は省略）

|      |     |
|------|-----|
| 出光興産 | 香川県 |
| ダイセル |     |

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 2023

---

令和6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

---