

科学研究費助成事業「新学術領域研究（研究領域提案型）」 研究概要
〔令和6年度事後評価用〕

令和6年6月30日現在

機関番号：12601

領域設定期間：令和元年度～令和5年度

領域番号：6104

研究領域名（和文） 水圏機能材料：環境に調和・応答するマテリアル構築学の創成

研究領域名（英文） Aquatic Functional Materials：Creation of New Materials Science
for Environment-Friendly and Active Functions

領域代表者

加藤 隆史（Takashi KATO）

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70214377

交付決定額（領域設定期間全体）：（直接経費）1,185,200,000 円

研究成果の概要 本研究領域では、「水を分子としてとらえる」という独自の視座に基づき、未開拓であった「水環境（水圏）において働く材料の構築学」と「水の基礎物性科学」の融合による水圏機能材料および水圏機能材料構築学の学理を創成した。特に水の構造と材料機能の相関関係を系統的に解明した。

加藤の超分子・液晶材料の構築技術をもとに、ナノチャネル構造を有する自己組織化膜を形成させた[*Adv. Sci.*, **2024**, *Adv. Mater.*, **2022**]。これらは優れたウイルス除去能や選択的イオン透過能と99.9999%以上のウイルス除去率を有する水処理膜として機能した[*J. Mater. Chem. A*, **2023**, *Small*, **2020**]。また加藤らが開発した極めて均一かつ1ナノメートル以下でサイズの揃った孔を持つ液晶高分子の自己組織化膜を用い、原田（A02）と大型放射光施設 SPring-8 を用いる軟X線蛍光分光により液晶高分子膜中の水を調べた結果、イオンを取り巻く水の水素結合構造が孔の中で安定に存在するかどうか、イオンの選択的な透過機能に影響を及ぼすことを解明した[*J. Phys. Chem. Lett.*, **2023**, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2020**]。さらに、鷲津・渡辺（A02）と協同で自己組織化膜ナノチャネル内の水分子の水素結合および自由エネルギー状態を量子・分子連成法という新しいシミュレーション手法により解明した[*Sci. Adv.*, **2021**]。

今清水（A02）、菱田（A02）らは、サブテラヘルツ領域の電磁波の照射により、タンパク質の周囲にある水分子の運動を励起し、水和状態を変化させる現象の観測に成功した[*Nat. Commun.*, **2023**]。

中畑（A03）、田中求、中村（A01）、池本（A02）らは、植物に着想を得た重金属イオン捕捉材料を水圏-非水圏界面にて超高集積化することにより、有害な重金属イオンを高効率で除去する水圏環境浄化システムを構築した[*Nat. Commun.*, **2024**]。

加藤（A01）や田中求（A03）らに代表される、領域メンバーが持つ幅広い国際ネットワークは本領域の大きな特徴の一つであり、研究成果を国際共著論文として広く世界へ発信した（延べ154報）。代表例として選択的にイオンが輸送されるキネティクスを電子信号解析から明らかにした[*J. Phys. Chem. B*, **2024**]。また、加藤（A01）、牧浦（A01）らとコーネル大（米）との連携による、液晶分子の配列の乱れから生体分子認識を精密に検出した研究[*ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2023**]や、カールスルーエ工大（独）との連携による3Dプリント構造体に接着した細胞を力学制御がある[*Sci. Adv.*, **2020**]。

さらに南（A01）や藤野（A03）らは水圏にて安定に作動する電子デバイス材料を構築した[*J. Am. Chem. Soc.*, **2023**, *J. Mater. Chem. C*, **2023**]。

上記の一部の研究成果からも、「既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域の創成を目指す」という当初の目標に対して、目標以上の内容を達成できたと言える。

研究分野：有機化学・高分子化学・無機化学・錯体化学・液晶学・界面物性化学・半導体工学・バイオマテリアル・放射光科学・ソフトマター物理学・理論物理学・分子シミュレーション・レオロジー学・生物工学・生物発想科学・環境科学・結晶成長学

キーワード：水圏機能材料・分子設計・合成化学・水の相互作用・水の基礎物性・精密計測・水素結合・バイオ機能・シミュレーション・持続可能性評価

水圏機能材料：本研究領域では、地球上の水が占めている海や川などの部分のみならず、生体内、水が存在する生活・産業の場などにおいて働く材料を水圏機能材料として定義する。水を分子としてとらえ、その振る舞いや材料との相互作用などを考えるときに、

共通の材料科学の問題として捉えることができるためである。

1. 研究開始当初の背景

「水」は、人類の安全・安心のために必須であり、重要な課題である。そのため「水」は、様々な角度から研究対象となっている。国連の持続可能な開発目標 (SDGs) の一つにも「すべての人に対する、持続可能な水源と水と衛生の確保」が掲げられている。さらに、今後の人類の持続的な発展のためには、生物・文明に必須である水と調和しながら最大限機能を発揮する材料の構築は喫緊の課題である。しかし、「水環境 (水圏) において働く材料の構築学」と「水の基礎物性科学」の融合分野は未開拓であった。

材料の環境調和・人類の持続的な発展は非常に重要な課題である (図1)。そのためには、水なしでは機能しないシステムである我々生命体や地球環境にとって、「水圏」で自在に高機能を発揮する材料の新しい設計原理が求められている。従来の水の科学では、水単独での水素結合や結晶・液体構造の研究が主流であった。生体分子やバイオマテリアルとの相互作用などの研究が行われることが始まりかけていた。このような根源的な材料設計原理を創出するためには、水と物質の構造・機能の相関に立脚した、原子・分子レベルからナノ集合レベル、さらにマクロ材料レベルに至る水の構造・相互作用・運動をとらえ、それらの深い理解から、水圏 (水環境) において高度に機能発現する材料を構築し、統合的な材料構築学を確立する必要があると考えられた。



図1. 本研究領域で提案する「水圏機能材料構築学」の創成

2. 研究の目的

本研究領域では、「材料科学」と「水の基礎科学」の融合とそれによる材料創製に焦点をあてる (図2)。「水」の存在下において環境と調和・相互作用しながら機能を発揮する材料を「水圏機能材料」と定義し、「水」と「材料」の相互作用を分子レベル・ナノ集合レベルでとらえ、水と物質の構造・機能相関の基礎学理に依拠しつつ、材料科学に展開する「水圏機能材料構築学」を創成することを目的とした。

本研究領域では、水環境 (水圏) において、材料に高度な「機能」を発揮させるために下記の具体的な課題に対して、水と材料の相互作用に焦点をおいた水の材料科学の展開という学術の創成に努めた。

機能材料構築学として、(1)水圏電子・イオン機能 (界面接続)、(2)水圏バイオ・環境機能 (融合機能発現)、(3)水圏メカノ機能 (水環境合成)、といった学術領域と水の学理の融合が本研究領域の全体構想である。

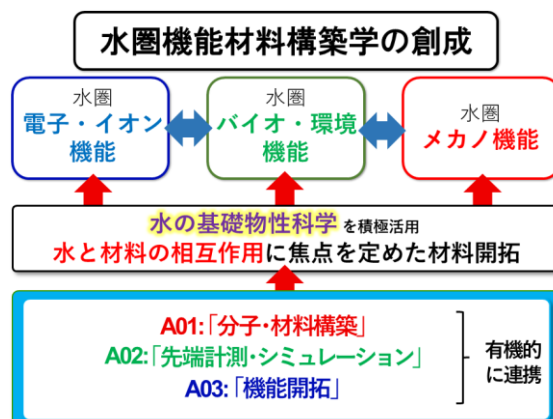


図2. 本領域における「水圏機能材料構築学」の創成に関する組織図

3. 研究の方法

本研究領域においては、「水」と「材料」の相互作用を分子レベル・ナノ集合レベルでとらえ、水と物質の構造・機能相関の基礎学理に基づいて、「水圏機能材料」という学問を創成した点が特徴である。有機化学・高分子化学、物理学、バイオマテリアル学、計測および計算科学、工学を含めた広い視点を取り入れて研究を行った。

我々生命体や地球環境は、水の存在なしでは機能しない。本領域では、材料科学の立場から、水の分子としての振る舞いに焦点をあてた。「水圏」を水分子の存在する場、すなわち、地球上の環境や、生活・産業の場、および生体内とする。これらの場において、水分子と他の分子・原子・材料との相互作用が重要な役割を果たすという共通点に注目した。

「水環境 (水圏)」で自在に高機能を発揮する材料開発のためには新しい材料設計原理が求められる。水と物質の構造・機能の相関に立脚した統合的な材料構築学を確立する必要がある。従来の水の基礎科学では、水単独での物性・構造の研究が中心であった。また、これまでの材料、電子材料・高分子材料などの開発では、非水圏での使用を意識したものが主であった。本研究領域では別々に発展してきた水の学理と、材料の科学を統合・展開させるという方法論により、水圏機能材料構築学という学問の創成を行うことにした。

4. 研究の成果

(1) -① A01-1 水圏機能材料の基盤となる分子設計・分子集合体の構築

(a) 選択的なイオン輸送・分離機能を発現する機能性液晶の合成 加藤らは、選択的なイオン透過能を示す扇状や棒状のイオン性液晶分子を合成・配列・重合し、ナノチャネル構造によって優れたウイルス除去能を示す水処理膜を開発した[J. Mater. Chem. A, **2023**, Small, **2020**]。また、ナノチャネル構造内の水分子とイオンの運動性の違いを分子動力学計算から明らかにした[Adv. Sci., **2024**, Sci. Adv., **2021**]。

(b) 無機コロイド液晶の水圏合成 加藤の水圏合成で得られる生分解性無機コロイド液晶がフットニック機能を示すことを見出した[Adv. Mater., **2024**]。軽量強靱材料の基盤となる無機コロイド液晶のせん断下での挙動を A02 瀬戸と中性子散乱法により明らかにした[Nanoscale, **2020**]。

(c) 水分子の集合構造とイオン透過機能の相関解明 加藤らが開発した、極めて均一かつ 1 ナノメートル以下でサイズの揃った孔を持つ液晶高分子の自己組織化膜について、A02 原田と協力し、SPRING-8 の軟 X 線発光計測を用いて液晶高分子膜中の水を調べた結果、イオンを取り巻く水の水素結合構造が孔の中で安定であることを見出し[J. Phys. Chem. Lett., **2023**, Angew. Chem. Int. Ed., **2020**]、シミュレーション手法からもイオンの選択的な透過機能に影響を見出した[Sci. Adv., **2021**] (図 3)。

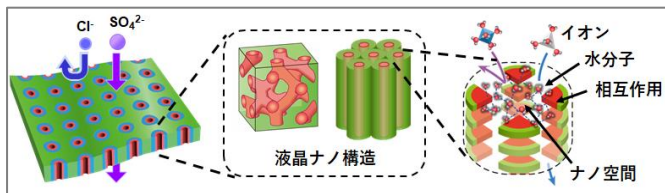


図 3. 選択的なイオン輸送・分離機能を有する水圏機能材料

研究成果は論文として 52 報を発表した。

公募研究との共同研究等による成果 (加藤、熊木(A01 公募)) [ACS Appl. Mater. Interfaces, **2021**]、(牧浦、加藤) [ACS Appl. Mater. Interfaces, **2021**]、(牧浦、藤野(A01 公募)) [J. Am. Chem. Soc., **2023**]、(寺島、A02 菱田) [Macromolecules, **2023**]、(原、A03 藤井) [Macromolecules, **2022**]。

(1) -② A01-2 水圏機能材料創製のための機能分子の精密合成

水圏-非水圏をつなぐ分子創製技術を系統的に検証し、それらの有効性を実証した (図 3)。

(a) 生体着想分子との複合化 有機半導体-生体着想分子の融合により、水中で安定な有機薄膜の形成に成功した(辻、A03 田中求)。

(b) 両親媒性分子の活用 疎水性分子の水-THF 混合溶媒中への分散挙動と構造-機能相関を中性子小角散乱等により解明した (辻、A02 菱田、瀬戸、A03 中畑) [J. Phys. Chem. Lett., **2023**]。

(c) 構造可変分子の構築 水分子の可逆的吸脱着で色が変わる多孔質有機結晶を創製した(武田、A02 池本、渡辺、A03 松葉、石割(A01 公募)、相良(A03 公募)) [Chem. Commun., **2024**, Commun. Chem., **2020**]。

(d) 環境調和性高分子の活用 水との相互作用制御で生体親和性と分解性が向上した高分子を開発した(福島、A01 加藤、A03 田中賢)[ACS Biomater. Sci. Eng., **2021**]。

研究成果は論文として 44 報を発表した。

公募研究との共同研究等による成果 [辻、長谷川(A01 公募) RSC Adv., **2021**, **2023**]。

(2) -① A02-1 水圏機能材料の先端構造・状態解析

(a) 水の運動の特徴付け 生体親和性高分子の水和水の速い局所運動、遅い局所運動(瀬戸、A03 田中賢) [J. Phys. Chem. B, **2022**]、広範囲の拡散運動 (図 4 A) を中性子準弾性散乱で明らかにし、230 K 付近で起こる低温結晶化の分子論的要因を解明した (瀬戸) [J. Chem. Phys., **2024**]。タンパク質の付着安定性と第二水和圏の水の相関をテラヘルツ分光で見出した (菱田、A03 田中賢) [J. Phys. Chem. B, **2022**]。またリン脂質の水の運動の遅延が第二水和圏の水素結合確率で制御されることを見出した (菱田、樋口) [Langmuir, **2021**]。

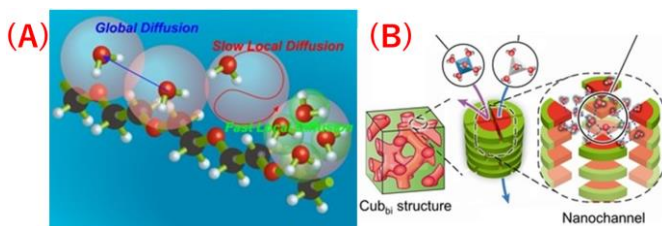


図 4. 先端計測で明らかにした材料と相互作用する水の構造・運動状態と材料機能の関係

(b) 水の構造の特徴付け 原子間力顕微鏡 (AFM)、水晶振動子マイクロバランス (QCM)、軟 X 線発光分光により、生体親和性高分子上の水が相分離を引き起こし、低密度領域で C=O 基上の水と四面体配位の水が中間水生成の足場となり、血液適合性に寄与することを見出した (原田、池本、A03 田中賢) [Langmuir, **2022**]。一方、機能性イオン液晶膜細孔中の水を軟 X 線発光分光で解析し、イオン近傍の水分子の水素結合がイオンの選択的な透過性に影響することを見出した (原田、A01 加藤) [Angew. Chem. Int. Ed., **2020**] (図 4 B)。研究成果は論文として 63 報を発表した。

公募研究との共同研究等による成果 高分子界面の水分子配置を解明 (鳥居(A02 公募)、池本、A03 田中賢、原田、A02 鷲津) [J. Phys. Chem. B, **2022**]。サブテラヘルツ光照射によるタンパク質の構造安定化の促進現象解明 (今清水 (A02 公募)、菱田) [Nat. Commun., **2023**]。

(2) -② A02-2 計算科学による水圏機能材料の設計

(a) 「つなぐ」 A01 加藤の自己組織化イオン機能液晶の水の構造・水の透過プロセスを明らかにした(鷲津) (図 4B) [Sci. Adv., 2021]。また A01 加藤の単分子膜において、タンパク質吸着した際の膜構造変化、および界面近傍の水分子の動態を解明した(渡辺) [Langmuir, 2020]。

(b) 「はたらく」 A03 田中賢と A01 福島の生体親和性高分子の構造安定性の評価と分子設計指針を提案した(渡辺, 樋口) [Macromolecules, 2022]。

(c) 「つくる」 A03 高島の提案する高分子接着系について、イオン濃度と接着強度に関する知見を得た(樋口) [Biomacromolecules, 2020]。水溶液系の流動-分子マルチフィジックスシミュレータを完成させた(鷲津) [J. Mol. Liq., 2024]。

研究成果は論文として 43 報を発表した。

公募研究との共同研究等による成果 原 (A01 公募) の新奇ならせん構造を示すカラムナー液晶の GI-XRD で得られる配向構造、形成メカニズムの解明(渡辺) [Chem. Commun., 2020]。相良 (A03 公募) のロタキサン型超分子メカノフォアにおいて軸末端ストッパーサイズと包接-解離状態間の自由エネルギー差の関係を全原子シミュレーション (渡辺) [J. Mater. Chem. C, 2023]。若林 (A01 公募) の水圏自己組織化プロセスを解明(樋口) [Chem. Commun., 2022]。

(3) -① A03-1 水圏機能材料の電子・イオン機能開拓

(a) 生物着想型重金属イオン捕捉材料の機能開拓 植物に着想を得た重金属イオン認識高分子を界面に自己組織化させ、その水和構造変化を水晶振動子マイクロバランス (QCM-D、共通機器) などで定量化し、この水和構造変化に伴う細胞モデルとの相互作用を明らかにした [Soft Matter, 2023]。この材料を水圏-非水圏界面にて超高集積化し、有害な重金属イオンを高効率で除去する水圏環境浄化システムを構築した [Nat. Commun., 2024]。

(b) 水圏で機能する電子材料の機能開拓 A01 加藤らと共に、超分子液晶水処理膜で GaN デバイス表面を機能化し、Cl⁻より大きな SO₄²⁻がより速く選択的に輸送されるメカニズムを解明した [J. Phys. Chem. B, 2024]。

(c) 細胞制御材料を開拓 田中求と中畑は、A03 高島らとの共同研究で、細胞制御材料を開拓した [Adv. Healthcare Mater., 2023, ACS Appl. Polymer Mater., 2022, Sci. Adv., 2020]。

研究成果は論文として 58 報を発表した。

公募研究との共同研究等による成果 宮田 (A02 公募) の周波数変調原子間力顕微鏡 (AFM) によるイオン捕捉に伴う構造変化の計測 [Nanoscale Adv., 2021]、林 (A01 公募) の AFM によるデンドリマー超薄膜の血液防汚性の解明 [RSC Adv., 2020]、原野 (A01 公募) らの C₆₀ 膜の構造解析 [Adv. Mater., 2022]、芹澤 (A01 公募) らのナノセルロースの抗菌機能の解明 [ACS Biomater. Sci., 2024]、長谷川 (A01 公募) らの Eu イオン錯体の水中での会合状態の解明 [Sci. Rep., 2024]。

(3) -② A03-2 水圏機能材料のバイオ・環境機能開拓

精密に制御した生体親和性高分子 PMEa およびオレフィン高分子を合成し、側鎖導入間隔および含水環境における主鎖セグメント運動に応じて中間水の発現量変化を見出した。放射光 (A02 原田、池本)・中性子 (A02 瀬戸)・計算 (A02 鷲津、渡辺、樋口、菱田) との連携により、材料界面の中間水の水素結合状態や運動性は、自由水と不凍水の状態であること、およびそれらと生体親和性との相関を明らかにした (図 5)。また、中間水を形成する高分子と生体分子の共通の物理化学物性を明らかにした。

研究成果は論文として 77 報を発表した。

公募研究との共同研究等による成果 芹澤 (A01 公募) との共同研究によりセルロース系分子集合体の水和状態を系統的に解析 [Colloids Surf. B, 2022]。原 (A01 公募)、長瀬 (A03 公募) らと水和高分子の構造評価

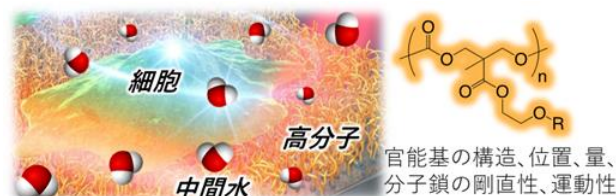


図 5. 分子の化学構造と水和状態を制御することで、生体分子や細胞を認識する生体親和性の発現

を中性子散乱実験から解析 [Macromolecules, 2022]、児島 (A03 公募) と連携し PEG デンドリマーの水和薬物担体機能を解明 [Mater. Sci. Eng. C, 2021, Polym. J., 2023]。

(3) -③ A03-3 水圏機能材料のメカノ機能開拓

(a) 水圏にて機能する自己修復膜 非共有結合性相互作用と共有結合形成を組み合わせ、スクラッチ傷が修復する膜を作製した。[ACS Appl. Polym. Mater., 2020, Adv. Mater., 2020]

(b) 水圏にて機能する異種材料接着 熱力学的に機能するホスト-ゲスト相互作用と速度論的に機能するアミド結合形成を利用して、異種接着を実現した [ACS Appl. Polym. Mater., 2021]。

(c) 水圏融合材料 セルロースと金属塩としてカルシウムを用いて、水圏融合材料を作製した。破壊靱性は適切な金属塩濃度で向上した [Biomacromolecules, 2020]。

(d) 可動性架橋ネットワークの編み込みを駆使した強靱化材料 異種ポリマーを主鎖に持つ別の可動性架橋ネットワークを編み込むことで可動性デュアルネットワーク (DC) 材料の作製に成功した [NPG Asia. Mater., 2022]。

研究成果は論文として 65 報を発表した。

公募研究との共同研究等による成果 高島、南 (A01 公募)、仁科 (A01 公募) は可動性架橋高分子と導電性カーボンフィラーを複合化し、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 [ACS Appl. Mater. Interfaces, 2023, ACS Polymers Au, 2023]。

5. 主な発表論文等（受賞等を含む）

発表論文数 657 件（重複無し）、計 906 件（共同研究での重複を含めた延べ数）。代表的な論文として、加藤の水圏合成で得られる生分解性無機コロイド液晶がフォトニック機能を示すことを見出した[*Adv. Mater.*, **2024**]。水処理膜に新たな「分子ふるい」の機能を発見した論文[*Angew. Chem. Int. Ed.*, **2020**]、温度によって色が変わる新しい分子性多孔質結晶の開発に関する論文[*Commun. Chem.*, **2020**]、強靱でリサイクル可能な自己修復性超分子材料に関する論文[*Adv. Mater.*, **2020**]、自己組織化イオン液晶膜の最高構造が水処理機能に対して有利に働くことを理論的に解明した論文[*Sci. Adv.*, **2021**]、水がポリマーの相分離を誘起し血液適合性を制御するメカニズムを解明した論文[*Langmuir*, **2022**]、フラーレン分子超薄膜で水をサンドウィッチした二次元ナノ薄膜の合成と機能を解明した論文[*Adv. Mater.*, **2022**]、水を含む大気下で安定なアンバイポーラ型半導体デバイスに関する論文[*J. Am. Chem. Soc.*, **2023**]（図 6）、サブテラヘルツ波が水とタンパク質のミクロ混合の加速を示した論文[*Nat. Commun.*, **2023**]などが挙げられる。

【研究項目 A01 分子・材料構築】（A01：計 378 件 計画研究 96 件 公募研究 282 件）

- (1) *Yoshiki Ishii, Nobuyuki Matubayasi, Go Watanabe, *Takashi Kato, and *Hitoshi Washizu, “Molecular Insights on Confined Waters in the Nanochannel of Self-Assembled Ionic Liquid Crystal”, *Sci. Adv.*, **7**, eabf0669 (2021). A01A02 共同研究.
- (2) *Hayato Tsuji, Masaki Nakahata, Mafumi Hishida, Hideki Seto, Ryuhei Motokawa, Takeru Inoue, Yasunobu Egawa, “Water Fraction Dependence of the Aggregation Behavior of Hydrophobic Fluorescent Solutes in Water–Tetrahydrofuran”, *J. Phys. Chem. Lett.*, **14**, 11235–11241 (2023). A01A02A03 共同研究.
- (3) Masatoshi Ito, *Tomoko Fujino, Lei Zhang, So Yokomori, Toshiki Higashino, Rie Makiura, Kanokwan Jumtee Takeno, Taisuke Ozaki, and *Hatsumi Mori, “Ambipolar Nickel Dithiolene Complex Semiconductors: from One- to Two-Dimensional Electronic Structures Based upon Alkoxy Chain Lengths”, *J. Am. Chem. Soc.*, **145**, 2127–2134 (2023). A01 内共同研究.

【研究項目 A02 先端計測・シミュレーション】（A02：計 190 件 計画研究 121 件 公募研究 69 件）

- (1) Ryusuke Watanabe, Takeshi Sakamoto, Kosuke Yamazoe, Jun Miyawaki, *Takashi Kato, and *Yoshihisa Harada, “Ion Selectivity of Water Molecules in Subnanoporous Liquid-Crystalline Water-Treatment Membranes: A Structural Study of Hydrogen Bonding”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **59**, 23461–23465 (2020). A01A02 共同研究.
- (2) *Taiki Tominaga, Mafumi Hishida, Daiki Murakami, Yoshihisa Fujii, Masaru Tanaka, *Hideki Seto, “Experimental Evidence of Slow Mode Water in the Vicinity of Poly(ethylene oxide) at Physiological Temperature”, *J. Phys. Chem. B*, **126**, 1758–1767 (2022). A02A03 共同研究.
- (3) Hiroshi Yamagishi, Sae Nakajima, Jooyoung Yoo, Masato Okazaki, *Youhei Takeda, Satoshi Minakata, *Ken Albrecht, Kimihisa Yamamoto, Irene Badia-Dominguez, Maria Moreno Oliva, M. Carmen Ruiz Delgado, Yuka Ikemoto, Hiroyasu Sato, Kenta Imoto, Kosuke Nakagawa, Hiroko Tokoro, Shin-ichi Ohkoshi, and *Yohei Yamamoto, “Sigmoidally Hydrochromic Molecular Porous Crystal with Rotatable Dendrons”, *Commun. Chem.*, **3**, 118 (2020). A01A02 共同研究.

【研究項目 A03 機能開拓】（A03：計 338 件 計画研究 185 件 公募研究 153 件）

- (1) *Marc Hippler, Kai Weißenbruch, Kai Richler, Enrico Lemma, Masaki Nakahata, Benjamin Richter, Christopher Barner-Kowollik, Yoshinori Takashima, Akira Harada, Eva Blasco, *Martin Wegener, *Motomu Tanaka, and *Martin Bastmeyer, “Mechanical Stimulation of Single Cells by Reversible Host-Guest Interactions in 3D Microscaffolds”, *Sci. Adv.*, **6**, eabc2648 (2020). A03 内共同研究.
- (2) Junsu Park, Shunsuke Murayama, Motofumi Osaki, Hiroyasu Yamaguchi, *Akira Harada, *Go Matsuba, and *Yoshinori Takashima, “Extremely Rapid Self-Healable and Recyclable Supramolecular Materials through Planetary Ball Milling and Host-Guest Interactions”, *Adv. Mater.*, **32**, 2002008 (2020). A03 内共同研究.
- (3) *Kazuki Fukushima, Kodai Matsuzaki, Masashi Oji, Yuji Higuchi, Go Watanabe, Yuki Suzuki, Moriya Kikuchi, Nozomi Fujimura, Naofumi Shimokawa, Hiroaki Ito, Takashi Kato, *Seigou Kawaguchi, *Masaru Tanaka, “Anisotropic, Degradable Polymer Assemblies Driven by a Rigid Hydrogen-Bonding Motif That Induce Shape-Specific Cell Responses”, *Macromolecules*, **55**, 15–25 (2022). A01A02A03 共同研究.

受賞・受章等：414 件。代表的な受賞内容として、紫綬褒章（表彰機関：内閣府）：加藤（A01 計画）、高分子学会 高分子科学功績賞：加藤（A01 計画）、高分子学会賞：宮田（A03 公募）、文部科学大臣表彰若手科学者賞：武田（A01 計画）・渡辺（A02 計画）・南（A01 公募）・中村（A01 公募）・石割（A01 公募）・桶舘（A03 公募）・杉原（A03 公募）、日本化学会学術賞：辻（A01 計画）・三浦（A01 公募）、Advanced Materials Hall of Fame：加藤（A01 計画）、ChemComm Emerging Investigator 2020：渡辺（A02 計画）、などがある。

ホームページ等

<https://www.aquatic-functional-materials.org/index.html>、kato@chiral.t.u-tokyo.ac.jp

水を含む大気下で安定なアンバイポーラ型半導体デバイスを実現

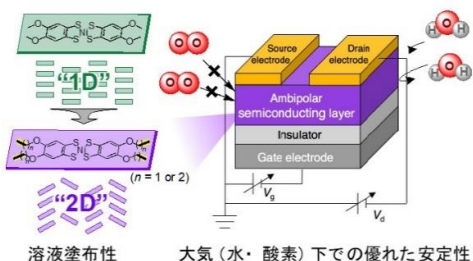


図 6. A01 公募研究者 藤野（東京大学）の代表的な研究成果