

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03066

研究課題名(和文) 両親媒性ランダムコポリマーを基盤とした精密ナノ会合体の創出

研究課題名(英文) Creation of Precision Self-Assemblies with Amphiphilic Random Copolymers

研究代表者

寺島 崇矢 (Terashima, Takaya)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70452274

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、親水性ポリエチレングリコール鎖と疎水性アルキル基を側鎖にもつ両親媒性ランダム共重合体を設計し、これらを水中で自己組織化して、ミセルに代表される精密ナノ会合体を創出した。とくにここでは、ランダム共重合体の一次構造(分子量、組成、側鎖構造)により、ミセルのサイズや会合数、温度応答性を自在に制御できる自己組織化システムの開発と、選択的かつ動的な会合を実現するセルフソーティングシステムの構築により、自己修復性と選択的接着性をもつハイドロゲルやナノ構造材料の創成へと展開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、サイズや会合数、温度応答性などの構造・物性因子を自在に制御できるミセル会合体、自己修復性や選択的接着性を持つハイドロゲル、多様なナノ構造材料などの設計指針を与える。これら一連の自己組織化材料は、水中で狙いの特性や機能を発現するカプセル化剤やバイオ材料などとして利用できる可能性を秘めており、医薬分野への応用展開が期待される。本研究は、高分子化学・材料化学における基礎的知見を深化させ、水環境に適応した高機能材料創成を実現し、ライフサイエンス分野への貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this work, we developed controlled self-assembly systems of amphiphilic random copolymers bearing hydrophilic poly(ethylene glycol) chains and hydrophobic alkyl groups to create precision nanoaggregates including folded polymer micelles and related self-assemblies: (1) precision control of the size, aggregation number, and thermoresponsive properties of the polymer micelles by the primary structure (molecular weight, composition, pendant design); (2) dynamic self-sorting of binary polymer blends into discrete micelles via selective chain exchange between micelles; (3) self-healing and selectively adhesive hydrogels; and (4) nanostructured functional materials.

研究分野：高分子化学

キーワード：両親媒性高分子 ランダム共重合体 自己組織化 ミセル セルフソーティング ハイドロゲル 温度応答性 ナノ構造体

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

両親媒性コポリマーは、水中で疎水性相互作用によりミセルなどの会合体を形成するため、疎水性化合物を内包するカプセル化材などに応用でき、機能性高分子材料として重要である。このような目的には、一般に親水性と疎水性の鎖が結合したブロックコポリマーが利用されることが多いが、会合体の特性を決定するサイズや会合数などを「精密に」かつ「予測して」制御することは困難であった。また、イオン性基と疎水性アルキル側鎖を持つ両親媒性ランダムコポリマーは、水中でユニマーミセルを形成する(森島ら *Macromolecules* **1995**, *28*, 2874)と報告されている。しかし、機能性高分子の精密合成に適したリビングラジカル重合法などが確立されていなかった時代背景から、一次構造(鎖長、組成分布)があまり制御されていない共重合体が用いられていることが多く、その結果、ミセル会合体のサイズや会合数を精密に制御した例も少ない。

一方近年筆者らは、親水性ポリエチレングリコール(PEG)鎖と疎水性ドデシル基を「側鎖」に持つ両親媒性ランダムコポリマーが、水中にて疎水性相互作用により一分子で折り畳まれ、安定なユニマーミセルを形成することを見出した(*Macromolecules* **2014**, *47*, 589)。さらにこのポリマーは、ユニマーミセルを形成する下限鎖長以下の場合、共重合組成のみで決定される一定サイズの多分子会合ミセルを形成し、会合数も自在に制御できることが明らかとなった(*Macromolecules* **2016**, *49*, 5084)。また、組成選択的な会合により、異種会合体を同時に共存できる可能性も見出しつつある。このような精密会合体の形成は、タンパク質が特定の折り畳み(3次)構造の形成を経て、選択的に認識(Self-Sorting)して精密会合体(4次構造)を構築する機構と類似し、とくに一次構造制御と側鎖同士の選択的自己組織化が鍵となる。

このような背景のもと、本研究では親水性PEG鎖や疎水性アルキル基などを持つ様々な両親媒性ランダム共重合体を精密に合成し、水中で疎水性側鎖が精密に自己組織化し、サイズや会合数、温度応答性を狙い通りに制御できる会合体を構築できると着想した。また、これらの関連する両親媒性高分子・ランダム共重合体を種々合成し、その一次構造により精密に制御できる自己組織化システムを構築できれば、様々な会合体の構造を狙い通りに制御できるだけでなく、目的とする物性や機能をもつ自己組織化材料を自在に創出でき、革新的と言える。

2. 研究の目的

本研究では、ポリエチレングリコール(PEG)鎖に代表される親水性・温度応答性基とアルキル基などの疎水性基を「側鎖」にもつ両親媒性ランダム共重合体を水中で自己組織化し、ミセルに代表される精密ナノ会合体を創出する。とくに、両親媒性ランダム共重合体の一次構造(分子量、組成、連鎖配列)、側鎖構造、主鎖骨格を設計し、会合体のサイズ、会合数、温度応答性を自在に制御できる手法と異種ポリマーが共存する条件での選択的な会合技術の確立を目的とする。さらに、これら一連の会合制御技術を用いて、マルチコンパートミセルやハイドロゲルなど機能性材料の創出へと展開する。

(1) 両親媒性高分子・ランダム共重合体の精密合成と分子設計

リビングラジカル重合により、親水性PEG鎖と疎水性アルキル基(ドデシル、ブチル基など)を側鎖に持つ両親媒性ランダムコポリマーを合成する。ここでは、分子量や組成、側鎖構造など一次構造の異なるポリマーを設計する。さらに、側鎖構造や主鎖骨格、モノマー連鎖配列の異なる両親媒性コポリマーも合成し、(2)-(4)の結果をフィードバックして、設計指針を確立する。

(2) 両親媒性高分子・ランダム共重合体の自己組織化と温度応答性

上記ポリマーを用い、水中での自己組織化挙動を評価する。得られた会合体をサイズ排除クロマトグラフィー(SEC)や静的・動的散乱(MALLS, DLS)、小角X線散乱(SAXS)で解析し、サイズや分子量、会合数を決定する。さらに、水中でのLCST型相分離挙動を評価し(曇点の決定)、会合体の構造(組成やサイズ)と温度応答性(曇点)を制御する手法を確立する。また、会合体の形態も明らかにする。これより、ポリマーの一次構造と会合構造・温度応答性の相関を明らかにし、一次構造により会合体のサイズや曇点を精密に制御できるシステムを構築する。

(3) 両親媒性ランダム共重合体のセルフソーティングとハイドロゲルへの展開

組成(疎水性)の異なるポリマーを2種類以上混合し、組成や側鎖選択的な会合、すなわち異種会合体を同時に共存できるシステムを構築する。さらに、このセルフソーティング挙動を生かして、物性を自在に制御でき、自己修復性などをもつハイドロゲルを創出する。

(4) 両親媒性高分子によるナノ構造体や機能性材料

両親媒性ランダムブロック共重合体を用いて、マルチコンパートミセルなどに代表される特殊なナノ構造やナノ空間をもつ会合体を構築する。また、両親媒性高分子をベースとする機能性会合体を設計し、その構造を生かした機能発現を目指す。

3. 研究の方法

リビングラジカル重合により、側鎖構造や一次構造(分子量:鎖長、組成、配列)の異なる様々な両親媒性高分子・ランダム共重合体を合成し、水中や有機溶媒中での自己組織化挙動、および生成したナノ会合体の構造を系統的に調べた。高分子鎖の一次構造は、サイズ排除クロマトグラフィー(SEC)や核磁気共鳴法(NMR)などにより決定し、会合体の構造やサイズは、光散乱検出器(MALLS)付きSECや動的散乱、小角X線散乱(SAXS)、透過型電子顕微鏡(TEM)、原子間力顕微鏡(AFM)などにより評価した。またゲルや固体材料の物性は、示差走査熱量計(DSC)やレオメーターなどにより評価した。

4. 研究成果

(1) 両親媒性高分子・ランダム共重合体の精密合成と分子設計

金属触媒を用いたリビングラジカル重合により、親水性 PEG 鎖と疎水性アルキル基（ブチル基、ドデシル基、オクタデシル基など）をもつ両親媒性ランダム共重合体を合成した（図 1a）。

ここでは、主鎖骨格の構造（剛直性）が水中での自己組織化に与える影響を調べるため、メタクリレート型、アクリレート型、アクリルアミド型のランダム共重合体を設計し、側鎖構造の影響も調べるため、メタクリレート型においてはアルキル基の構造も変化させた。また、一次構造の影響も調べるため、分子量（重合度:DP）や組成（疎水/親水バランス）、連鎖配列（ランダム、グラジエント、二方向グラジエント、ランダムブロック）の異なる共重合体も設計した。

いずれの場合も、モノマー種に応じた触媒・開始剤系を選択すると、よく制御された共重合体を合成できた。例えば、ルテニウム触媒を用いて、PEG メタクリレート（PEGMA）と疎水性アルキルメタクリレート（RMA）をリビングラジカルランダム共重合すると、分子量や組成制御され、分子量分布の狭い ($M_w/M_n < 1.2$)

様々な両親媒性ランダム共重合体を合成した。PEGMA と RMA は、いずれの仕込み量においても等速度で消費され、側鎖構造や組成などに依存せず、連鎖配列が完全にランダムな共重合体を与えた。一方、PEGMA（メタクリレート）とドデシルアクリレート（DA）をリビングラジカル共重合すると、PEGMA から DA へと組成が連続的に変化するグラジエント共重合体を得ることができた。

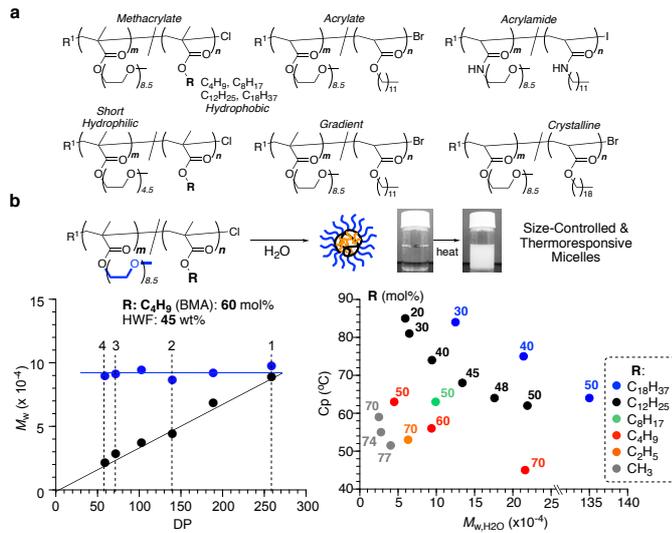


図 1. (a) 両親媒性高分子・ランダム共重合体の設計. (b) 水中での自己組織化による精密ミセル構築およびサイズと温度応答性の精密制御.

(2) 両親媒性高分子・ランダム共重合体の自己組織化と温度応答性

上記で合成した両親媒性高分子・ランダム共重合体の水中での会合挙動と生成したミセルの構造を調べた。まずここでは、これらのポリマーの水溶液を SEC-MALLS 測定し、その絶対重量平均分子量 (M_w) を水中と有機溶媒 (*N,N*-ジメチルホルムアミド: DMF) 中で比較した（図 1b）。その結果、両親媒性ランダム共重合体は、水中で疎水性側鎖の会合と主鎖の折り畳みにより、サイズが 10 nm 程度に揃った極めて小さなユニマーミセルや多分子ミセルを形成した。SEC-MALLS に加え、動的光散乱や小角 X 線散乱 (SAXS) 測定などにより、様々な共重合体ミセルを多角的に解析した結果、ミセルのサイズや会合数、構造などについて、以下が明らかとなった。

- ・ミセルのサイズ：組成や側鎖構造に依存して決定され、ユニマーミセルを形成する臨界鎖長 (DP_{th}) 以下の場合、鎖長に依存せず、常に一定サイズのミセルを形成する。この挙動は、メタクリレート型、アクリレート型、アクリルアミド型のいずれのランダム共重合体においても普遍的に見られた。また、そのサイズは、疎水性部位の重量分率により決定され、親水性 PEG 鎖長が短くする、または疎水性側鎖を長くすると、ミセルサイズが増加した。グラジエント共重合体の場合、ミセルサイズの均一性が低下し、連鎖配列に偏り少ないランダム配列が、サイズの均一性に重要であることを見出した。

- ・ミセルの会合数：組成や側鎖長（疎水/親水バランス）のみでサイズが決定される特徴から、ポリマーの鎖長を制御することで、会合数を自在に制御できる。この特徴もアルキル基（ブチル基 - オクタデシル基）や主鎖構造に依存せず、普遍的であった。

- ・ミセルの構造：SAXS により、疎水性側鎖が集積化したコアをもつ球状ミセル構造を持つことが明らかとなった。

- ・温度応答性 これら一連のミセル会合体は、PEG 鎖の温度応答性により、水中で下限臨界溶液温度 (LCST) 型の溶解性を示した（図 1b）。さらに、そのミセルの曇点とサイズは、共重合体の組成やアルキル基の構造により自在に制御できることを見出した。

以上から、ポリマーの一次構造制御により、会合体のサイズや構造、温度応答性を自在に制御できる自己組織化システムの構築に成功した。

(3) 両親媒性ランダム共重合体のセルフソーティングとハイドロゲルへの展開

両親媒性ランダム共重合体は、組成やサイズによりミセルサイズが決定される特徴をもつ。この点に着目し、異なる組成や側鎖構造のランダム共重合体を水中で混合し、その選択的な会合挙動（セルフソーティング挙動）やミセル形成を調べた（図 2）。セルフソーティング挙動は、少量のナフタレン (Np) やピレン (Py) で機能化した両親媒性ランダム共重合体ミセルを SEC 測定と

蛍光測定 (蛍光エネルギー移動:FRET) することで評価した。

その結果、以下が明らかとなった。

- PEG 鎖とアルキル基をもつ両親媒性ランダム共重合体は、異種ポリマーが共存しても水中で同一の組成や側鎖構造のポリマー同士で選択的に会合し、異なるミセルを同時に形成する。

- セルフソーティングしたミセルは、同一のミセル同士で選択的に鎖を交換する挙動を示す。すなわち、両親媒性ランダム共重合体は、自己と他者を識別して、同じポリマー同士で動的に会合する特性を持つ。

この動的なセルフソーティング挙動を生かすと、自己修復性と選択的な接着性を併せ持つ水ゲルを創出できると期待される。実際、両親媒性ランダム共重合体 (A) と親水性 PEG 鎖 (B) からなる ABA トリブロックコポリマーは、効率的に水ゲルを与えた (図 3)。この水ゲルは、自己修復性と選択的な接着性を持ち、両親媒性ランダム共重合体の設計により粘弾性などの物性も制御できる可能性を見出しつつある。

(4) 両親媒性高分子によるナノ構造体や機能性材料

両親媒性高分子・ランダム共重合体の精密な自己組織化を生かし、特殊なナノ構造をもつ組織体や機能性会合体を創出した。

①ナノ構造体 両親媒性ランダムブロック共重合体を用い、そのブロックセグメントの鎖長や組成、側鎖構造を設計すると、ダブルコアミセルやタドポールポリマー、ネックレスミセル、マルチコンパートメントミセルなど、多種多様なナノ構造体を創出できることを見出した (図 4a)。

また、結晶性オクタデシル基と親水性 PEG 鎖をもつランダム共重合体は、水中で結晶性コアミセルやベシクル、ヘキサン中で PEG コアをもつ逆ミセルを形成する (図 4b)。このポリマーは、固体・フィルム状で結晶化して側鎖型マイクロ相分離を起こし、5-6 nm 程度の微細なラメラ構造を形成することも明らかとなった。

②機能性会合体 両親媒性ランダム共重合体からなるナノ構造体は、高活性高分子触媒や分子認識材料として利用できる。

例えば、鉄触媒をコアに担持したランダム共重合体ナノ粒子は、様々な機能性メタクリレートのリビングラジカル重合触媒として有効であった。とくに、高い活性を維持しつつ、高い官能基耐性 (メタクリル酸の直接共重合にも利用可能) や触媒リサイクル性、触媒除去性を併せ持つ点が特筆すべきである (図 4c)。

以上、本基盤研究 (B) では、両親媒性ランダム共重合体の一次構造 (分子量、組成、連鎖配列) や側鎖構造を設計し、ミセル会合体のサイズや会合数、温度応答性を自在に制御できる手法を確立することに成功した。さらに、動的かつ選択的な会合技術 (セルフソーティング挙動) の発見と確立により、自己修復性や選択的な接着性を併せ持つ水ゲルを創出した。また、これら一連の制御自己組織化技術により、多種多様な機能性ナノ構造体の創出も達成した。

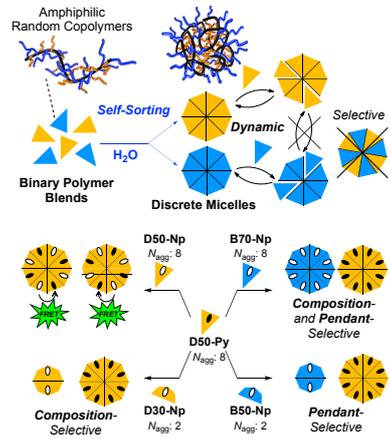


図 2. 両親媒性ランダム共重合体のセルフソーティング挙動。

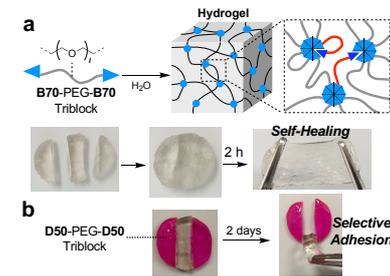


図 3. セルフソーティング挙動を生かした (a) 自己修復性と (b) 選択的接着性をもつ水ゲル。

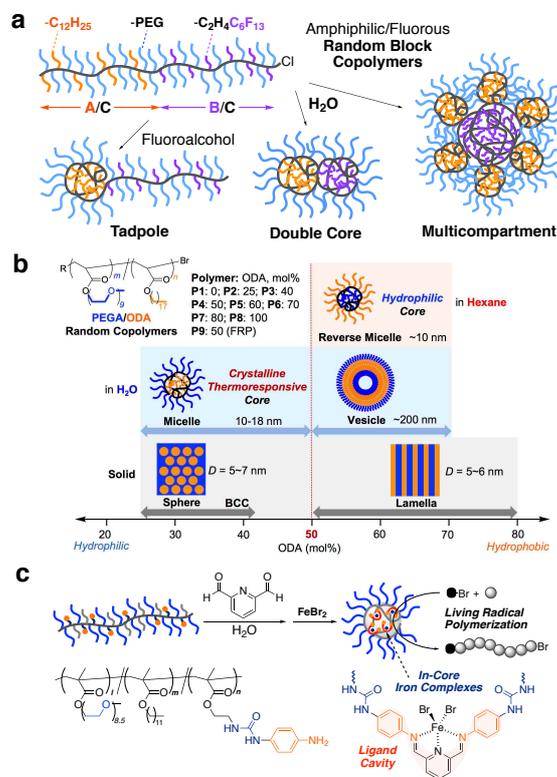


図 4. 両親媒性ランダム共重合体による (a, b) ナノ構造体、(b) 微細マイクロ相分離材料、(c) 高機能ポリマー触媒の創出。

また、これら一連の制御自己組織化技術により、多種多様な機能性ナノ構造体の創出も達成した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsumoto Mayuko, Sawamoto Mitsuo, Terashima Takaya	4. 巻 8
2. 論文標題 Orthogonal Folding of Amphiphilic/Fluorous Random Block Copolymers for Double and Multicompartment Micelles in Water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 320 ~ 325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.9b00078	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsumoto Mayuko, Takenaka Mikihiro, Sawamoto Mitsuo, Terashima Takaya	4. 巻 10
2. 論文標題 Self-assembly of amphiphilic block pendant polymers as microphase separation materials and folded flower micelles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 4954 ~ 4961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9py01078e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koda Yuta, Terashima Takaya, Ouchi Makoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Unnatural Oligoaminosaccharides with N-1,2-Glycosidic Bonds Prepared by Cationic Ring-Opening Polymerization of 2-Oxazoline-Based Heterobicyclic Sugar Monomers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 1456 ~ 1460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.9b00674	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagao Chitose, Sawamoto Mitsuo, Terashima Takaya	4. 巻 58
2. 論文標題 Molecular imprinting on amphiphilic folded polymers for selective molecular recognition in water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Polymer Science	6. 最初と最後の頁 215 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pol.20190003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ommura Yasuyuki, Imai Shota, Takenaka Mikihiro, Ouchi Makoto, Terashima Takaya	4. 巻 9
2. 論文標題 Selective Coupling and Polymerization of Folded Polymer Micelles to Nanodomain Self-Assemblies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 426 ~ 430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.0c00013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takaya Terashima	4. 巻 1285
2. 論文標題 Programmed Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolymers in Water via Controlled Radical Polymerization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Symp. Ser.	6. 最初と最後の頁 143 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/bk-2018-1285.ch008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoki Shibata, Mayuko Matsumoto, Yuji Hirai, Mikihiro Takenaka, Mitsuo Sawamoto, Takaya Terashima	4. 巻 51
2. 論文標題 Intramolecular Folding or Intermolecular Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolymers: On-Demand Control by Pendant Design	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 3738 ~ 3745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.8b00570	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Goki Hattori, Mikihiro Takenaka, Mitsuo Sawamoto, Takaya Terashima	4. 巻 140
2. 論文標題 Nanostructured Materials via the Pendant Self-Assembly of Amphiphilic Crystalline Random Copolymers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 8376 ~ 8379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b03838	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Daiki Ito, Yusuke Ogura, Mitsuo Sawamoto, Takaya Terashima	4. 巻 7
2. 論文標題 Acrylate-Selective Transesterification of Methacrylate/Acrylate Copolymers: Postfunctionalization with Common Acrylates and Alcohols	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 997 ~ 1002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.8b00502	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Susan K. Kozawa, Kazuma Matsumoto, Ayaka Suzuki, Mitsuo Sawamoto, Takaya Terashima	4. 巻 57
2. 論文標題 Self-assembly of amphiphilic ABA random triblock copolymers in water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 313 ~ 321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pola.29178	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jeong Hoon Ko, Arvind Bhattacharya, Takaya Terashima, Mitsuo Sawamoto, Heather D. Maynard	4. 巻 57
2. 論文標題 Amphiphilic fluorous random copolymer self-assembly for encapsulation of a fluorinated agrochemical	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 352 ~ 359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pola.29187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shota Imai, Mikihiro Takenaka, Mitsuo Sawamoto, Takaya Terashima	4. 巻 141
2. 論文標題 Self-Sorting of Amphiphilic Copolymers for Self-Assembled Materials in Water: Polymers Can Recognize Themselves	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 511 ~ 519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b11364	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mayuko Matsumoto, Mitsuo Sawamoto, and Takaya Terashima	4. 巻 8
2. 論文標題 Orthogonal Folding of Amphiphilic/Fluorous Random Block Copolymers for Double and Multicompartment Micelles in Water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 320 ~ 325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.9b00078	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumoto Mayuko, Terashima Takaya, Matsumoto Kazuma, Takenaka Mikihiro, Sawamoto Mitsuo	4. 巻 139
2. 論文標題 Compartmentalization Technologies via Self-Assembly and Cross-Linking of Amphiphilic Random Block Copolymers in Water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 7164 ~ 7167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b03152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 寺島 崇矢、澤本 光男	4. 巻 74
2. 論文標題 両親媒性ランダムコポリマーの自己組織化 一次構造制御による精密ナノ会合体の創出	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 高分子論文集	6. 最初と最後の頁 265 ~ 277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1295/koron.2017-0033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kimura Yoshihiko, Terashima Takaya, Sawamoto Mitsuo	4. 巻 218
2. 論文標題 Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolyacrylamides into Uniform and Necklace Micelles in Water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecular Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 1700230 ~ 1700230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/macp.201700230	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Azuma Yusuke, Terashima Takaya, Sawamoto Mitsuo	4. 巻 6
2. 論文標題 Self-Folding Polymer Iron Catalysts for Living Radical Polymerization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 830 ~ 835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.7b00498	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ko Jeong Hoon, Terashima Takaya, Sawamoto Mitsuo, Maynard Heather D.	4. 巻 50
2. 論文標題 Fluorous Comonomer Modulates the Reactivity of Cyclic Ketene Acetal and Degradation of Vinyl Polymers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 9222 ~ 9232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b01973	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hattori Goki, Hirai Yuji, Sawamoto Mitsuo, Terashima Takaya	4. 巻 8
2. 論文標題 Self-assembly of PEG/dodecyl-graft amphiphilic copolymers in water: consequences of the monomer sequence and chain flexibility on uniform micelles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 7248 ~ 7259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7py01719g	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Imai Shota, Hirai Yuji, Nagao Chitose, Sawamoto Mitsuo, Terashima Takaya	4. 巻 51
2. 論文標題 Programmed Self-Assembly Systems of Amphiphilic Random Copolymers into Size-Controlled and Thermoresponsive Micelles in Water	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 398 ~ 409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b01918	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ogura Yusuke, Takenaka Mikihiro, Sawamoto Mitsuo, Terashima Takaya	4. 巻 51
2. 論文標題 Fluorous Gradient Copolymers via in-Situ Transesterification of a Perfluoromethacrylate in Tandem Living Radical Polymerization: Precision Synthesis and Physical Properties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 864 ~ 871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b02512	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計48件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Controlled self-assembly of amphiphilic polymers: Design strategies for precision nanostructure materials
3. 学会等名 258th ACS Fall 2019 National Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaya Terahsima
2. 発表標題 Self-healing yet selectively adhesive hydrogels by the self-assembly of amphiphilic random triblock copolymers
3. 学会等名 258th ACS Fall 2019 National Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 ControlledSelf-Assembly of Amphiphilic Polymers for Next Generation Materials
3. 学会等名 2019 National Polymer Congress of CHINA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Self-assembly of Amphiphilic Polymers for Controlled Nanostructure Materials
3. 学会等名 The 16th Pacific Polymer Conference (PPC16) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ポリマーの自己組織化によるミセル構築：構造と動的認識の精密化に向けて
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 祥彦、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ブロックモノマーによる単分散ポリマーミセルの創出：ランダム共重合体を越えた精密化
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊神 孝哉、木村 祥彦、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 ランダムコポリマーのミクロ相分離：側鎖設計による微細化とナノ構造制御
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 慧、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーによるセルフソーティングミセル：側鎖構造と自己認識
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺島 崇矢、阿形 健一、伊藤大城
2. 発表標題 両親媒性ランダムトリブロックコポリマーの自己組織化による自己修復性ハイドロゲル
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 恩村 康之、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 ポリマーミセルの選択的結合と自己組織化：両親媒性ポリマーの高次構造制御に向けて
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊丹 丈尋、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性グラフトランダムコポリマーの精密合成と自己組織化：水に可溶な超高分子量ブラシポリマー
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺島 崇矢、伊藤 大城
2. 発表標題 一分子架橋ポリマーナノ粒子：エステル交換反応による精密合成と物性
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ポリマーの自己組織化システム：精密重合から集合構造の制御へ
3. 学会等名 第68回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 慧、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダム共重合体の動的自己組織化：ミセルとセルフソーティングの制御
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊神 孝哉、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 ランダム共重合体の側鎖自己組織化によるマイクロ相分離構造の制御
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊丹 丈尋、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性グラフトコポリマーの自己組織化：グラフト鎖の会合による構造と物性の制御
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 恩村 康之、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 動的な結合形成と自己組織化による両親媒性ポリマーミセル材料の創出
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Nanoscale Self-Assembly Materials of Amphiphilic Random and Block Copolymers
3. 学会等名 256th ACS National Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Amphiphilic Random Copolymers: From Self-Assembly to Nanostructure Materials
3. 学会等名 2nd International Conference of Molecular Engineering of Polymers (MEP-2018, MEP-2) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolymers into Nanostructured Materials
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺島 崇矢、服部 剛樹
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーによるナノ構造材料：結晶性側鎖を利用した会合体構築とマイクロ相分離
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 祥彦、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 分岐型側鎖を持つ両親媒性ポリアクリルアミドの合成と自己組織化
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺島 崇矢、今井 翔太
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーのセルフソーティング：ナノ会合体の選択的構築からゲルのマクロスケール認識へ
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 恩村 康之、今井 翔太、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ポリマーナノ会合体の精密結合法とマルチコンパートメント化
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊丹 丈尋、服部 剛樹、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性グラフトコポリマーの精密合成：配列制御と自己組織化によるナノ構造構築
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 大城、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 ステル交換反応による位置選択的機能化ポリマーとポリマーナノ粒子の合成
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 祥彦、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ブロックモノマーを基盤とする機能性高分子：精密合成と自己組織化
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 恩村 康之、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ポリマー会合体の精密結合：配列制御とナノ構造体構築に向けて
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊丹 丈尋、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性グラフトコポリマーの自己組織化と温度応答性：ポリマー鎖の集積化による特異性
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 慧、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーのミセル形成とセルフソーティング：側鎖設計と溶媒による構造制御
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーの自己組織化を基盤とするハイドロゲル
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 大城、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 位置選択的エステル交換反応によるポリマーナノ粒子の精密合成
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Self-Assembly and Functions of Amphiphilic Random Copolymers Controlled by Primary Structure
3. 学会等名 254th ACS national meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Self-Assembly and Self-Sorting of Amphiphilic Random Copolymers: From Design to Functions
3. 学会等名 KCS Spring Meeting 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Controlled Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolymers in Water
3. 学会等名 The 15th Pacific Polymer Conference (PPC-15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーを基盤とした精密ナノ会合体の創出
3. 学会等名 第88回高分子若手研究会[関西] (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺島 崇矢、柴田 基樹、松本 真由子、澤本 光男
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーを基盤とする精密会合体の創出
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今井 翔太、寺島 崇矢、澤本 光男
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーの水中自己組織化とセルフソーティング
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺島 崇矢、東 勇佑、澤本 光男
2. 発表標題 イミン機能化一分子鎖星型ポリマー：可逆構造制御と触媒機能
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺島 崇矢、神林 昌、小倉 裕介、澤本 光男
2. 発表標題 選択的エステル交換反応を基盤とするタンデム重合と高分子合成
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 服部 剛樹、寺島 崇矢、澤本 光男
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーの自己組織化と精密会合体の創出：連鎖配列とセルフソーティング挙動
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村 祥彦、寺島 崇矢、澤本 光男
2. 発表標題 アクリルアミド型両親媒性ランダムコポリマー：精密合成と自己組織化
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Precision Self-Assembly and Self-Sorting of Amphiphilic Random Copolymers
3. 学会等名 第66回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺島 崇矢
2. 発表標題 高分子ナノゲルの精密構築と機能：星型ポリマーとランダムコポリマーを基盤として
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤 大城、寺島 崇矢、澤本 光男
2. 発表標題 局所選択的エステル交換反応に基づく高分子反応と機能性ポリマーの合成
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今井 翔太、寺島 崇矢、澤本 光男
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーのセルフソーティング：選択的かつ動的な自己組織化
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 服部 剛樹、寺島 崇矢、澤本 光男
2. 発表標題 両親媒性ポリマーナノ粒子：可逆的なミセル形成とコアの結晶化・複合化
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村 祥彦、寺島 崇矢、澤本 光男
2. 発表標題 水素結合性アミド基を持つ両親媒性環状骨格ポリマー：刺激応答性会合体と動的環化システムの構築
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Takaya Terashima, Mitsuo Sawamoto	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 400
3. 書名 Single-Chain Nanoparticles via Self-Folding Amphiphilic Copolymers in Water, in Single-Chain Polymer Nanoparticles	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京都大学大学院工学研究科高分子化学専攻 高分子生成論分野 http://www.living.polym.kyoto-u.ac.jp</p>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考