

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22218

研究課題名（和文）ポリマーミセルの精密連結が拓く革新的自己組織化高分子材料の創成

研究課題名（英文）Creation of innovative self-assembled materials via the precision coupling and accumulation of polymer micelles

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） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、両親媒性ランダム共重合体を基盤とするポリマーミセルをポリイオンコンプレックス形成などにより結合する手法を開発し、この手法によりミセルをドメインとするナノ構造体や、優れた物性を発現する自己組織化材料を創出した。さらに、両親媒性高分子・共重合体の精密設計により、ハイドロゲルや温度応答性ミセルゲル、ポリマーナノ粒子による結晶性制御材料、側鎖型相分離による微細ラメラ構造材料、サイズ分布のない単分散ミセルなど、革新的な自己組織化材料の創成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子は、現代の暮らしを支える必要不可欠な材料であり、その材料物性は、高分子鎖の分子構造と集合構造に依存する。本研究では、球状ポリマーミセルやナノ粒子を精密に集積化する手法や、側鎖の自己組織化により高分子鎖を精密に配列させる手法を開発し、ひも状高分子が無秩序に絡まって構成される従来型材料とは異なり、精密なナノ集合構造をもつ自己組織化材料を創出した。これにより、物性を自在に制御できるハイドロゲルや温度応答性ゲル、微細ミクロ相分離材料、精密ミセル・ナノ構造体の創出に成功した。これらの材料は、医薬分野（医用高分子、デリバリー材料など）や電子情報分野（パターンニング材料など）への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this work, we developed precision coupling methodologies of amphiphilic random copolymer micelles via polyion complex formation and related physical interaction to produce nanostructure materials consisting of micelle nanodomains and self-assembled materials with excellent physical properties and functions. Additionally, we successfully established the design criteria of amphiphilic (co)polymers to create innovative self-assembled polymer materials including hydrogels, thermoresponsive micelle gels, crystallinity-controlled materials with polymer nanoparticles, sub-10 nm lamellar microphase separation materials, and monodisperse polymer micelles like proteins.

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 ハイドロゲル ミクロ相分離 温度応答性
ラメラ構造

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

一般に、バルク状高分子は、ひも状のポリマー鎖が無秩序に絡み合った状態でありたつ。このため、高分子材料を延伸すると、ポリマー鎖の絡み合いがほどけて破断する。もしポリマー鎖をコンパクトに折り畳んで球状のユニマーミセルを形成し、このミセル同士を三次元的に連結/積層化すると、ポリマー鎖を精密に集合した自己組織化材料を創出できる可能性がある。このような高分子材料は、ミセル会合体の形態変化により応力を分散できると予想され、すぐれた機械特性や延伸性を示す可能性がある。

近年我々は、親水性ポリエチレングリコール (PEG) 鎖と疎水性アルキル基を側鎖に持つ両親媒性ランダム共重合体が、水中で疎水性効果により一分子で折り畳まれ、サイズの小さな球状ユニマーミセル (粒径: ~10 nm) を形成することを見出した (*Macromolecules* **2014**, *47*, 589)。このランダム共重合体は、アルキル基の種類や共重組成 (親水性/疎水性バランス)、重合度 (DP) を制御すると、水中で選択的にユニマーミセルを形成する (*Macromolecules* **2016**, *49*, 5084)。例えば、PEG メチルエーテルメタクリレート (PEGMA) とドデシルメタクリレート (DMA) のランダム共重合体は、30 mol% の DMA の場合、DP が 140 のときユニマーミセルを形成する。そこで、球状ミセルを連結したナノ構造体の構築を目指して、異なる疎水基 (A: ドデシル基, B: ベンジル基) と PEG 鎖 (C) を導入した A/C-B/C ランダムブロック共重合体を設計した。それぞれのブロック (A/C or B/C) をユニマーミセルに適した組成と DP に設計すると、水中でそのブロックが独立して折り畳まれ、この共重合体は分子内に 2 つの異なるナノ空間を持つ構造を形成した (*J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 7164)。このように、ランダム共重合体の精密な自己組織化を利用することで、球状ミセルが 2 つ連結した特殊な構造体の構築に成功した。

このような背景から、本研究では、鎖状ポリマーを球状ユニマーミセルへと変換し、これを精密に結合ないし集積化できれば、ポリマーミセルを構成ユニットとする自己組織化材料を創出できると着想した。これにより、ポリマー鎖が無秩序に絡み合っ成り立つ従来型の高分子材料とは一線を画す材料設計指針を構築でき、革新的な物性や機能をもつ材料創成への展開が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、ポリマーミセルをポリイオンコンプレックス形成などにより結合・集積化する手法を開発し、これを用いてミセルを二量化、重合 (交互共重合、配列制御)、三次元ネットワーク化し、ミセルや球状ポリマーナノ粒子が集積化した自己組織化材料を創出することを目的とした。本研究を進める上で、新たに設計した両親媒性高分子・共重合体の水中での自己組織化や温度応答性、固体状での結晶性や自己組織化を調べた結果、ミセル連結に立脚した自己組織化材料に加え、両親媒性ポリマーミセルの精密構築や、結晶性を制御したバルク材料や微細マイクロ相分離構造もつ革新的な自己組織化材料の創成も達成した。

3. 研究の方法

- (1) 高分子合成: リビングラジカル重合により、様々な親水性基と疎水性アルキル基を側鎖にもつ両親媒性ランダムブロック共重合体や各種共重合体などを合成した。組成や分子量、側鎖構造、連鎖配列を制御し、その一次構造により水中で精密にミセルを構築する手法を確立した。
- (2) ミセルサイズや自己組織化挙動の評価: 水中で形成したミセルは、水系光散乱検出器付きサイズ排除クロマトグラフィー (SEC-MALLS など) により水中での分子量 ($M_{w,H2O}$) を決定し、その会合数を見積もった。蛍光測定によりミセルの結合や自己組織化を評価した。
- (3) その他: ポリマーミセルの温度応答性は、水溶液の透過光強度により評価した。ポリマーの熱物性や相分離構造は、示差走査熱量測定や小角 X 線散乱、中性子反射率測定で評価した。

4. 研究成果

(1) ポリマーミセルの精密連結法の開発と自己組織化材料創成

① ミセルの精密連結法の開発

まず、ポリイオンコンプレックス形成により、ポリマーミセルを精密に連結する手法を開発した (図 1)。4 級アンモニウム塩 (カチオン) or カルボン酸塩 (アニオン) を末端近傍に持ち、親水性 PEG 鎖と疎水性アルキル基 (ドデシル基 etc) を側鎖に持つ両親媒性ランダムブロック共重合体をリビングラジカル重合により合成した。カチオン性ないしアニオン性の短いブロック鎖を PEG/アルキルランダム共重合体の片末端または両末端に導入したランダムブロック共重合体を設計し、ミセル結合に適した分

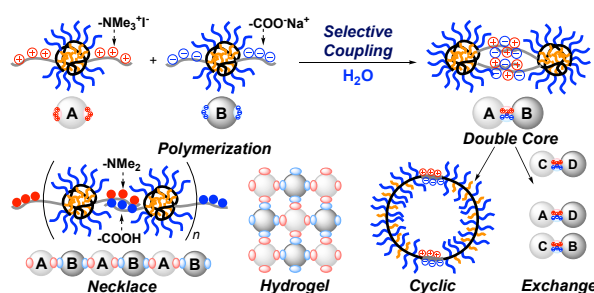


図 1. 両親媒性ランダム共重合体ミセルの結合による自己組織化ポリマー材料の創成。

子設計を探索した (図 2)。PEG/アルキル基ランダム共重合体の組成や DP は、ユニマーミセル形成に適した設計とした。

次に、これらのポリマーを水に溶解し、その水溶液をサイズ排除クロマトグラフィー-光散乱 (SEC-MALLS) で評価した。一連のランダム共重合体は、カチオン性ないしアニオン性の短いブロック鎖をもつユニマーミセルを形成していることがわかった。

そこで、これらのカチオン性部位をもつミセルとアニオン性部位をもつミセルを水中で混合し、ミセルの精密連結を検討した。SEC-MALLS や蛍光エネルギー移動 (FRET)、小角 X 線散乱により、生成したミセル会合体を評価・解析した。その結果、カチオン性ミセルとアニオン性ミセルは、水中では選択的に 1:1 で結合し、ダブルコアミセルを形成していることが明らかとなった。このように、相補的な結合部位を持つランダム共重合体ミセルを混合すると、ミセル同士を精密に連結できることがわかった。興味深いことに、カチオン性ないしアニオン性の短いブロック鎖を 2 箇所導入したポリマーミセルも、その 2 つのミセルが結合したダブルコアミセルを選択的に生成した。これら 2 つのミセルドメインは、静電相互作用により結合されているため、水中ではダブルコアミセル同士でドメインを交換していることもわかった (図 1)。また、食塩などを過剰に添加すると、その結合を切断することも可能であった。このように、ポリイオンコンプレックス形成を利用すると、ミセルドメインの結合と動的な交換、切断を自在に制御できることがわかった。

② ミセルの重合とハイドロゲルへの展開

次に、ミセル同士をさらに集積化するため、ミセルと結合点の設計を種々検討した (図 2)。その結果、アミノ基を含む短いブロックセグメントを 2 つもつミセルとカルボン酸部位を含むブロックセグメントを 2 つもつミセルを混合すると、これらのミセルが交互に連結したネックレスミセルを生成した。アミノ基やカルボン酸部位を末端近傍にもつ 4 本枝星型ポリマーを設計してミセル化し、これらを混合すると、ハイドロゲルを得た (図 3)。このように、ミセルと相互作用部位の設計により、ミセルを結合、重合、集積化した自己組織化材料を創出することに成功した。

現在、本研究で得た知見を元に、より高い延伸性や機械強度をもつ材料創成を目指して、ミセルを架橋点とするハイドロゲルやネットワーク材料の設計へと展開している。

(2) ミセルの温度応答性ゲル化

PEG 系ランダム共重合体ミセルは、水中で LCST 型の温度応答性を示し、その曇点は組成に依存して変化する。そこで、この温度応答性を利用して、ミセルの集積化を検討した。

疎水性ドデシル基を 60mol% 含む疎水性の高いランダム共重合体を用いて水中でミセル化し、その濃厚水溶液の温度応答性を調べたところ、温度上昇に伴い、水溶液全体がゲル化することを見出した (図 4)。この温度応答性ゲル化挙動は、疎水性アルキル基の構造や組成、およびポリマーの全体濃度に依存し、そのゲル化温度も制御できることが明らかとなった。

(3) 結晶性ポリマーナノ粒子や両親媒性ランダム共重合体の自己組織化材料

① ポリマーナノ粒子による結晶性制御

ポリマーナノ粒子を固体状で集積化することを目指し、結晶性オクタデシル基をもつポリマーナノ粒子の合成とその結晶性を評価した (図 5)。ヒドロキシエチルメタクリレートとメチルアクリレート (MA)、及び疎水性かつ結晶性のオクタデシルメタクリレートからなる両親媒性三

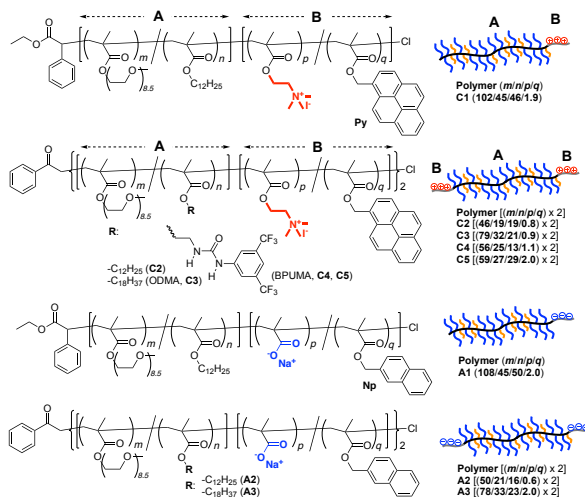


図 2. ミセルの動的結合に向けた両親媒性ランダムブロック共重合体の設計。

興味深いことに、カチオン性ないしアニオン性の短いブロック鎖を 2 箇所導入したポリマーミセルも、その 2 つのミセルが結合したダブルコアミセルを選択的に生成した。これら 2 つのミセルドメインは、静電相互作用により結合されているため、水中ではダブルコアミセル同士でドメインを交換していることもわかった (図 1)。また、食塩などを過剰に添加すると、その結合を切断することも可能であった。このように、ポリイオンコンプレックス形成を利用すると、ミセルドメインの結合と動的な交換、切断を自在に制御できることがわかった。

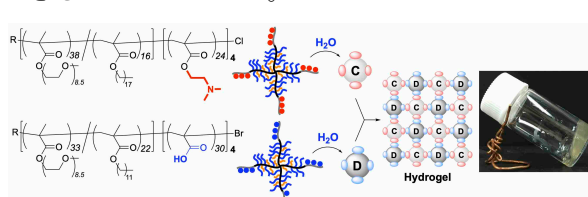


図 3. 両親媒性ランダムブロック共重合体ミセルの集積化によるハイドロゲル。

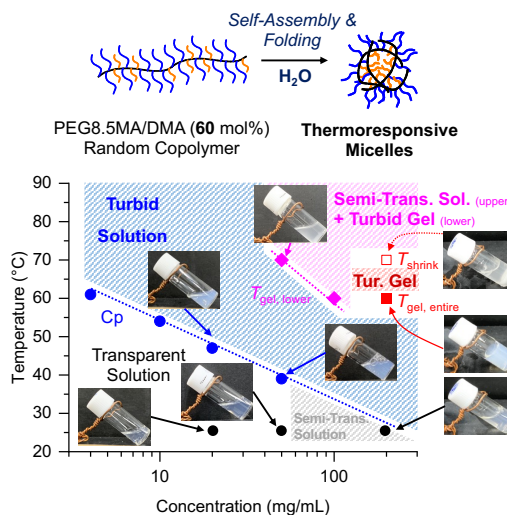


図 4. 両親媒性ランダム共重合体ミセルの温度応答性とゲル化挙動。

元ランダム共重合体を設計した。このポリマーは、オクタン中で側鎖の水酸基が集積化したコアを持つ逆ミセルを形成した。この逆ミセルを形成した状態で側鎖水酸基と MA ユニットの分子内でエステル交換反応させ、一分子鎖で架橋したポリマーナノ粒子を合成した。このポリマーナノ粒子は、分子内架橋が進行につれて球状になり、その結果、固体状での結晶性が低下することがわかった。

以上から、ポリマーナノ粒子を集積化することで、バルク材料の結晶性を制御できることが明らかとなった。

② ランダム共重合体の側鎖型マイクロ相分離による微細ラメラ構造材料

水中でのミセル形成に有効な親水性 PEG 鎖と疎水性アルキル基を側鎖にもつランダム共重合体の固体物性を調べた。オクタデシル基をもつ両親媒性ランダム共重合体は、オクタデシル基の結晶化を伴いながら、側鎖同士がマイクロ相分離し、ドメイン間隔が 5–6 nm 程度の微細ラメラ構造を形成することを見出した。

そこで、ポリマーの分子構造を系統的に変化させて相分離挙動を調べた結果、比較的柔軟なアクリレート型主鎖骨格が効率的な相分離に有効で、そのドメイン間隔は共重合組成と側鎖長により制御できることを見出した (図 6)。また、環化ランダム共重合体を用いて、ラメラ構造に環状ユニットを導入することも可能であった。さらに、PEG やヒドロキシエチル基とオクタデシル基をもつランダム共重合体の溶液をシリコン基板上にスピコートすると、ラメラ構造が積層化した薄膜を構築することも見出した。

このように、両親媒性ランダム共重合体は、球状ミセルとして集積化した材料を与えるのみならず、側鎖の相分離/自己組織化によりポリマー鎖を精密に配列集積化した微細マイクロ相分離材料も創出できることがわかった。

(4) 両親媒性ポリマーによる精密ミセル構築と構造制御

ランダム共重合体ミセルは、共重合組成によりサイズを制御できる特徴をもつが、原理的に含まれる組成分布により、ミセルサイズに多少分布が生じる問題があった。

そこで、よりサイズ分布の狭いミセルを構築し、自己組織化材料へと展開することを目指して、一つのモノマーユニットの側鎖に親水性 PEG 鎖と疎水性アルキル基を共にもつ両親媒性ブロックモノマーを設計し、その単独重合により両親媒性ホモポリマーを合成した。このホモポリマーは、共重合に由来する組成分布がないため、精密な自己組織化が期待される。実際、この両親媒性ホモポリマーは、ある特定の臨界重合度 (DP_{th}) 以下の場合、水中で極めてサイズ分布の狭いミセルを形成し、SEC による分子量分布はサイズ分布のないタンパク質とほぼ同等であった (図 7)。

ミセルサイズは、疎水性アルキル基が長くなるにつれて大きくなり、 DP_{th} 以上でロッド状ミセルを形成する可能性が示唆された。さらに、分子量分布が広いポリマーは、球状ミセル (DP_{th} より短いポリマー) とロッド状ミセル (DP_{th} より短いポリマー) を同時に形成した。これは、重合度に依存してセルフソーティングすることを意味し、ポリマー鎖が鎖長選択的に会合する革新的な自己組織化挙動を見出した。

さらに、ランダム共重合体の精密な自己組織化に着目して、親水性ポリエチレングリコール鎖と PEG/アルキル基ランダム共重合体を結合した両親媒性ランダムブロック共重合体を設計した。この共重合体は、ブロック共重合体ミセルに類似したコアシェル型ミセルを形成し、さらに、ランダム共重合体を会合ユニットとすることで、ミセルサイズや会合数の制御も可能であった。このように両親媒性ポリマーの一次構造を制御することで、ミセル会合体の精密構築に成功した。

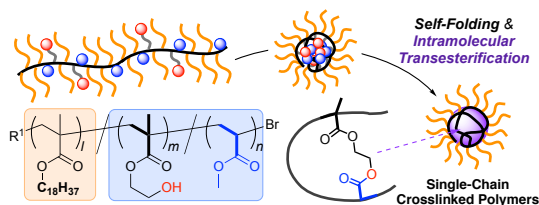


図 5. 結晶性ランダム共重合体によるポリマーナノ粒子の設計。

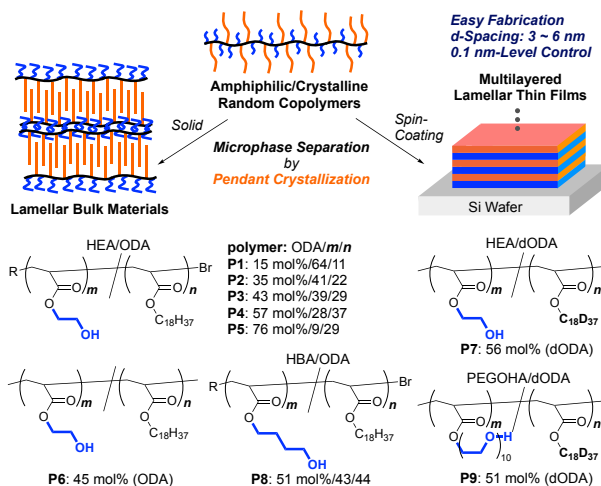


図 6. 両親媒性ランダム共重合体のマイクロ相分離による微細ラメラ構造の構築とラメラ積層化薄膜の創成。

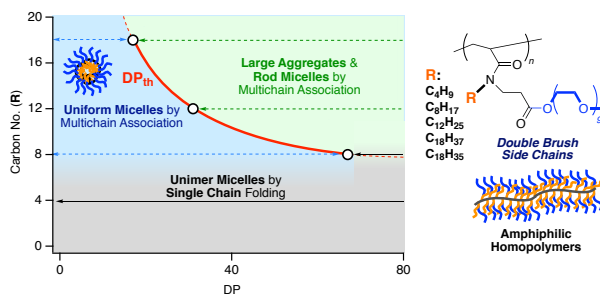


図 7. 両親媒性ホモポリマーミセル：アルキル基と重合度がミセル形成に与える影響。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shibata Motoki, Terashima Takaya, Koga Tsuyoshi	4. 巻 168
2. 論文標題 Micellar aggregation and thermogelation of amphiphilic random copolymers in water hierarchically dependent on chain length	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 111091 ~ 111091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eurpolymj.2022.111091	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 Hibino Masayuki, Tanaka Kei, Ouchi Makoto, Terashima Takaya	4. 巻 55
2. 論文標題 Amphiphilic Random-Block Copolymer Micelles in Water: Precise and Dynamic Self-Assembly Controlled by Random Copolymer Association	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 178 ~ 189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c02186	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 Ikami Takaya, Watanabe Yuki, Ogawa Hiroki, Takenaka Mikihiro, Yamada Norifumi L., Ouchi Makoto, Aoki Hiroyuki, Terashima Takaya	4. 巻 10
2. 論文標題 Multilayered Lamellar Materials and Thin Films by Instant Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolymers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 1524 ~ 1528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.1c00571	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 Shibata Motoki, Terashima Takaya, Koga Tsuyoshi	4. 巻 54
2. 論文標題 Thermoresponsive Gelation of Amphiphilic Random Copolymer Micelles in Water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 5241 ~ 5248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00406	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	4. 巻 42
2. 論文標題 Cation Template Assisted RAFT Cyclopolymerization of Hexa(Ethylene Glycol) Di(meth)acrylates to Thermoresponsive Pseudo Crown Ether Polymers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecular Rapid Communications	6. 最初と最後の頁 2000670 ~ 2000670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/marc.202000670	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, Takenaka Mikihiro, Ouchi Makoto, Terashima Takaya	4. 巻 53
2. 論文標題 Self-Sorting of Amphiphilic Block-Pendant Homopolymers into Sphere or Rod Micelles in Water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 4942 ~ 4951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c00620	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 Terashima Takaya	4. 巻 69
2. 論文標題 Controlled Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolymers into Folded Micelles and Nanostructure Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Oleo Science	6. 最初と最後の頁 529 ~ 538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5650/jos.ess20089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kimura Yoshihiko, Ouchi Makoto, Terashima Takaya	4. 巻 11
2. 論文標題 Folded amphiphilic homopolymer micelles in water: uniform self-assembly beyond amphiphilic random copolymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 5156 ~ 5162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0py00685h	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 Ito Daiki, Kimura Yoshihiko, Takenaka Mikihiro, Ouchi Makoto, Terashima Takaya	4. 巻 11
2. 論文標題 Single-chain crosslinked polymers via the transesterification of folded polymers: from efficient synthesis to crystallinity control	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 5181 ~ 5190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0py00758g	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	4. 巻 139
2. 論文標題 Morphology transition of amphiphilic homopolymer self-assemblies in water triggered by pendant design and chain length	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 110001 ~ 110001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eurpolymj.2020.110001	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 Sahori, Ommura Yasuyuki, Watanabe Yuki, Ogawa Hiroki, Takenaka Mikihiro, Ouchi Makoto, Terashima Takaya	4. 巻 12
2. 論文標題 Amphiphilic random and random block terpolymers with PEG, octadecyl, and oleyl pendants for controlled crystallization and microphase separation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 1439 ~ 1447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0py01505a	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 Ikami Takaya, Kimura Yoshihiko, Takenaka Mikihiro, Ouchi Makoto, Terashima Takaya	4. 巻 12
2. 論文標題 Design guide of amphiphilic crystalline random copolymers for sub-10 nm microphase separation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 501 ~ 510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0py01618g	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, Sahori Imai, Takenaka Mikihiro, Terashima Takaya	4. 巻 54
2. 論文標題 Amphiphilic Random Cyclopolymers as Versatile Scaffolds for Ring-Functionalized and Self-Assembled Materials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00231	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, 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 -

〔学会発表〕 計44件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 柴田基樹、寺島崇矢、古賀毅
2. 発表標題 両親媒性ランダム共重合体水溶液の温度応答性ゲル化：会合構造と巨視的物性の関係
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口遥己、寺島崇矢、井田大地
2. 発表標題 ポリメタクリル酸-2-(2-メトキシエトキシ)エチルの稀薄水溶液物性
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日比野雅之、大内誠、寺島崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダムブロック共重合体のミセル形成：動的会合挙動と温度応答性
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅野陸重、伊神孝哉、大内誠、寺島崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダム共重合体ミセル：セルフソーティングと共自己組織化の可逆制御
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺島崇矢、伊神孝哉
2. 発表標題 両親媒性ランダム共重合体のミクロ相分離とラメラ積層化薄膜の創成
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井彩帆里、大内誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 ランダム共重合体の側鎖型ミクロ相分離：ナノ構造制御と材料創成
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅井啓彰、楠山直征、大内誠、寺島崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダム共重合体ミセルを架橋点とするハイドロゲルの合成
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日比野雅之、高田慎一、廣井孝介、大内誠、寺島崇矢
2. 発表標題 精密かつ動的に会合するランダム共重合体ミセル：小角中性子散乱による鎖交換挙動の解明
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅井啓彰、大内誠、寺島崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダム共重合体ミセルを架橋点とするハイドロゲル：ネットワークの設計と物性・自己修復性
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺島崇矢、伊神孝哉
2. 発表標題 ランダム共重合体のマイクロ相分離とナノ構造薄膜：結晶性と水素結合性が秩序-無秩序転移に与える影響
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井彩帆里、大内誠、寺島崇矢
2. 発表標題 側鎖デザインが拓くランダム共重合体のマイクロ相分離
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅野陸童・大内誠・寺島崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダム共重合体ミセルのセルフソーティングと共自己組織化：環境に応答する識別と会合
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Controlled self-assembly and self-sorting of amphiphilic polymers for dynamic functional materials
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Self-assembled nanostructure polymer materials created with folded micelles and pendant microphase separation
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaya Terashima
2. 発表標題 Self-Assembly and Self-Sorting Systems of Amphiphilic Polymers: From Molecular Design to Nanostructured Materials
3. 学会等名 2021 KAIST International Symposium, Future of Polymer Chemistry 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺島 崇矢、田中 慧
2. 発表標題 両親媒性ランダムコポリマーミセル：セルフソーティングと共自己組織化に向けた分子デザイン
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺島 崇矢、木村 祥彦
2. 発表標題 両親媒性ホモポリマーのセルフソーティングミセル: 高密度な結晶性側鎖によるモルフォロジー転移
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺島 崇矢、恩村 康之、伊丹 丈尋
2. 発表標題 両親媒性ポリマーミセルを集積化した自己組織化マテリアル：ナノドメイン構築とハイドロゲル
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 日比野 雅之、田中 慧、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ポリマーミセル：一次構造による動的会合挙動の制御
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井 彩帆里、恩村康之、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 多元ランダム・ブロック共重合体の結晶性とマイクロ相分離
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020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微細マイクロ相分離：結晶性側鎖と水素結合性基を鍵として
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田 基樹、寺島 崇矢、古賀 毅
2. 発表標題 会合性ランダム共重合体の水中における自己組織化と温度応答性ゲル化
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ランダム共重合体の自己組織化：中性子小角散乱や中性子反射率測定による構造解析
3. 学会等名 第69回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2020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マイクロ相分離：ラメラ構造の精密化と積層化に向けた分子デザイン
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井 彩帆里、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性多元共重合体のマイクロ相分離：結晶性側鎖の配置制御とマルチドメイン構築
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 日比野 雅之、大内 誠、寺島 崇矢
2. 発表標題 両親媒性ポリマーミセルの設計指針：構造と動的挙動の制御
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020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：集合構造制御が拓く高分子材料
3. 学会等名 2020年度東海高分子学生研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

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 Terashima
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 Controlled Self-Assembly of Amphiphilic Polymers for Next Generation Materials
3. 学会等名 2019 National Polymer Congress of CHINA (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) (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

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小林修、北之園拓	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 319
3. 書名 水中有機合成の開発動向	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------