

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410134

研究課題名(和文) 超精密マイクロゲル星型ポリマー：新規合成法による自在構造制御と機能の創出

研究課題名(英文) Precision Microgel Star Polymers: Structure Control Technologies and Functions

研究代表者

寺島 崇矢 (Terashima, Takaya)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：70452274

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、両親媒性ランダムコポリマーや水素結合性ブロックコポリマーが形成するサイズの揃ったミセルを効率的に架橋する手法を開発し、本手法を用いると、サイズやドメイン構造が制御されたマイクロゲル星型ポリマーを精密に合成できることを見出した。また、両親媒性ランダムコポリマーをベースとして精密ナノ空間を有する特殊構造・機能性星型ポリマーを創出するとともに、機能性星型ポリマーを用いて特異な機能(触媒機能、分子認識)の発現へと展開した。さらに、本研究過程で両親媒性ランダムコポリマーが水中で精密に自己組織化することを見出し、組成や鎖長に応じて会合体のサイズや会合数を自在に制御する手法の構築に成功した。

研究成果の概要(英文)：This work deals with the creation of microgel star polymers with designed nano-space/domains for unique functions. For this, novel synthetic strategies were developed via the intramolecular crosslinking of self-folding amphiphilic random copolymer unimer micelles in water or the dynamic covalent or physical crosslinking of hydrogen-bonding block or random copolymer micelles in organic or aqueous media. Importantly, the primary structure of the copolymer precursors (prepared by living radical polymerization) and micelle size are directly reflected to the size and structure of resulting star polymers; thus, on-target control of three-dimensional structure and spaces in microgel star polymers was successfully achieved. Star polymers with designed nanospaces served as efficient nanoreactors for living radical polymerization and nanocapsules for selective molecular recognition. Additionally, precision self-assembly systems with amphiphilic random copolymers in water were also developed.

研究分野：高分子化学

キーワード：星型ポリマー ミクロゲル 両親媒性コポリマー ランダムコポリマー ユニマーミセル 水素結合
ナノ空間 マルチコンパートメント

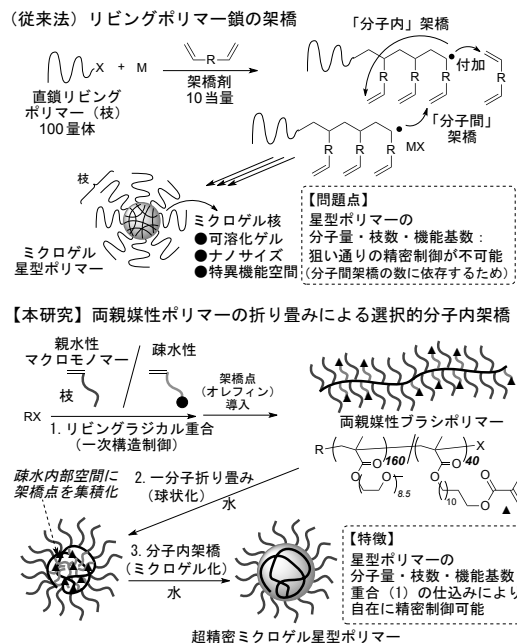
1. 研究開始当初の背景

マイクロゲル星型ポリマーは、中心のマイクロゲル核が直鎖枝ポリマーで囲まれたコア-シェル型のマイクロゲルを指し、枝ポリマーの設計により各種溶媒中にマイクロゲルを可溶化できる。申請者は、この核を機能空間と捉え、世界に先駆け機能性マイクロゲル星型ポリマーを多数合成し、これらを用いた特異な触媒反応（ナノリアクター）や分子認識（ナノカプセル）を種々報告してきた。

この星型ポリマーは、リビング（ラジカル）重合により、直鎖リビングポリマー鎖（or マクロ開始剤）を多官能性モノマーで局所的に架橋すると簡単に合成できるものの（図1：従来法）、分子量等の一次構造制御において、以下の問題点が存在した。

問題点と課題 マイクロゲル化の際、枝ポリマーからの生長反応（モノマーへの付加）と分子間及び分子内架橋の計3種類の反応が同時に進行する。その結果、星型ポリマーの枝数は、枝ポリマー同士の立体的反発により「受動的」に制御される「分子間」架橋の数で決まり、分子量はその枝数および枝ポリマーと架橋剤の仕込み比（枝一本あたりのモノマー付加数）に依存する。

従って、マイクロゲル星型ポリマーでは、生成機構の原理上、分子量・枝数・マイクロゲル内の機能基数を狙い通りに設計することは不可能であり、枝ポリマーに応じて架橋剤（モノマー）の仕込み量を「経験的」に調節して（例えば、100量体枝に対して10等量の架橋剤）制御するしか方法がなかった。しかし、これらの一次構造を「自在かつ狙い通りに」制御する手法の開発は、精密な機能の創出に向けて極めて重要な課題と言える。



(図1) 超精密マイクロゲル星型ポリマーへの戦略: 従来法との違い

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では分子量・サイズ・組成比・構造を狙い通りに制御した

「超精密マイクロゲル星型ポリマー」を自在に創出できる新規合成法(図1: 以下一例)を開拓する。

- 1) 両親媒性ブラシポリマーの精密合成: 親水性マクロモノマー(枝)と疎水性モノマーのリビングラジカル共重合(枝数・分子量の制御); 架橋点の導入(架橋点数の制御)
- 2) 水中での一分子折り畳み: 疎水性架橋点を内部に集積化(球状化)
- 3) 水中での分子内架橋: 疎水性部位の固定化(マイクロゲル化)

このように重合、折り畳み、分子内架橋の3ステップに分離すると、1)でのモノマー組成・重合度・機能基数をマイクロゲル星型ポリマーに直接反映でき、極めて精密な制御が実現できる。

さらに、このような新規合成法を利用して特殊構造・精密ナノ空間を持つ星型ポリマーの構築へと展開し、星型ポリマーの構造と特性に立脚した特異な機能創出を目指した。

3. 研究の方法

本研究では、1) 超精密マイクロゲル星型ポリマーの合成と構造解析、2) 特殊構造星型ポリマーの合成と精密ナノ空間・ドメインの構築、3) 超精密マイクロゲル星型ポリマーの機能発現を目的として、以下の手法で研究を遂行した。

両親媒性ランダムコポリマーやブロックコポリマーが水や有機溶媒中で形成するサイズの揃ったユニマーミセルや多分子会合ミセルを効率的に架橋し、その前駆体ポリマーの一次構造とミセルサイズを反映したマイクロゲル星型ポリマーを精密合成した。ポリマー前駆体の一次構造は、リビングラジカル重合で制御した。ミセル化の駆動力には、水中での疎水性効果、水素結合による自己組織化を用いた。架橋には、ラジカル反応による共有結合性架橋やイミン結合(動的共有結合)や水素結合による可逆的な架橋を用いた。生成ポリマーは、サイズ排除クロマトグラフィー(SEC)や核磁気共鳴法(¹H NMR, NOE etc)、UV-vis、静的/動的な光散乱(MALLS, DLS)、小角X線散乱(SAXS)などで詳細に構造を評価した。さらに、機能性星型ポリマーを触媒反応や分子認識などに利用し、その機能を評価した。

また、上記研究の過程で、両親媒性ランダムコポリマーが水中で精密に自己組織化し、会合体のサイズや会合数を自在に制御できることも見出した(研究成果: 4))。

4. 研究成果

(1) 超精密マイクロゲル星型ポリマーの合成
①一分子鎖星型ポリマー: 両親媒性ランダムコポリマーを用いた水中での分子内架橋

親水性 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コポリマーは、鎖長(重合度)と組成比(疎水性)を制御すると、水中で疎水性側鎖が効率的に自己集合して、

一分子鎖で折り畳まれたユニマーミセルを選択的に形成する。このユニマーミセルは、比較的短かつ多数の PEG 鎖で疎水性コアが覆われた構造を持ち、「動的な」一分子星型ポリマーと位置づけできる (論文 9, 10, 13, 18-20)。

そこで、この疎水性側鎖アルキル基の末端にオレフィン (メタクリレート) を導入した両親媒性ランダムコポリマー前駆体を設計し、これを水中でユニマーミセル化した後、ラジカル反応 (アゾ開始剤 or 水溶性ルテニウム触媒) により分子内架橋すると、一分子鎖星型ポリマーを効率的に合成できることを見出した (図 2)。本合成法は、以下の特徴を持つ。

- ・高い制御性：星型ポリマーの分子量と組成を前駆体の一次構造で制御できる。
- ・高い効率：高濃度でも選択的に分子内架橋が可能 (1-8wt%) (論文 16)

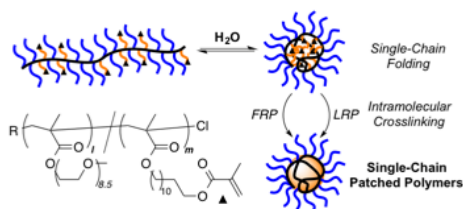


図 2. 一分子鎖星型ポリマーの精密合成

②可逆的ミクロゲル星型ポリマー：イミン結合 (動的共有結合) によるミセル架橋

イミン結合は、アルデヒドとアミンから効率的に生成し、pH に応答して可逆的に切断可能で、さらに金属への配位能も有するなど、機能性動的共有結合として注目される。

そこで、イミン結合による架橋反応を鍵として、三次元構造を可逆的に変化できるミクロゲル星型ポリマーを精密に合成する手法を開発した。ここでは、水素結合性ウレア基とアニリンユニットを持つ機能性メタクリレート ApUMA を設計し、ApUMA を用いた 2 つの星型ポリマー合成法を開発した：(方法 1, 図 3) 水素結合性 ApUMA ブロックコポリマーミセルの架橋；(方法 2, 図 6 参照) ApUMA 機能化両親媒性ランダムコポリマーの水中での分子内架橋。(論文 8)

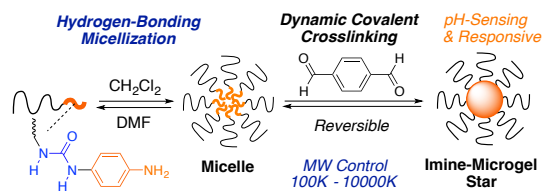


図 3. イミン結合によるミクロゲル星型ポリマーの合成 (方法 1)

これらの手法は、いずれも「コポリマー前駆体が形成するサイズの揃ったミセルを多官能性アルデヒドで架橋する」ルートを経由するため、星型ポリマーをほぼ定量的に合成でき、サイズも極めて精密に制御できる。

③水素結合性 (超分子構造形成) 架橋による一分子鎖ナノ粒子・星型ポリマーの合成

キラルアルキル鎖を持つベンゼン-1,3,5-トリカルボキシアミド(chiral BTA)は、溶媒を選択すると、水素結合を駆動力としてらせん状超分子自己組織化構造体を形成することが知られている。そこで、このchiral BTAを側鎖に持つランダムコポリマーを設計し、この水素結合性自己組織化により一分子鎖で折り畳み、可逆的に構造を変化できる一分子鎖ナノ粒子・星型ポリマーを創出した (図4)。選択的に一分子鎖星型ポリマーを構築するには、組成や連鎖配列、モノマーの設計が重要であることが明らかとなった。(論文5, 17)

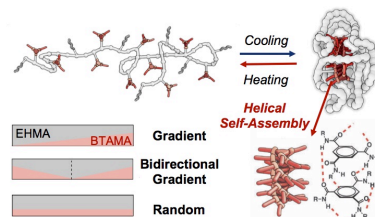


図 4. 水素結合による一分子鎖ナノ粒子・星型ポリマーの合成

(2) 特殊構造星型ポリマーの合成と精密ナノ空間・ドメインの構築

①ダブルドメインポリマー

親水性 PEG 鎖 (C) と二種類の疎水性アルキル基 (A:ドデシル基、B:ベンジル基)、疎水性オレフィンを側鎖に持つ A/C-B/C 両親媒性ランダムブロックコポリマーを用い、水中での一分子鎖折り畳みと分子内架橋を経て、一分子鎖で 2 つの異なる疎水性ドメイン (A と B) を有するミクロゲル星型ポリマーを創出することに成功した (図 5)。ここでは、疎水性基 A と B にそれぞれ相分離しやすい組合せを選択し、そのブロックセグメントが独立して折り畳み構造を形成させるため、その重合度を約 200、疎水性モノマー組成を 40 mol% に設定した (論文 12)。生成ポリマーの構造は、光散乱、小角 X 線散乱、電子顕微鏡、NMR 測定 (NOE) により決定した。なお、疎水性基 A と B が均一に分布したランダム共重合体の場合、A と B が共に集積化された一分子鎖星型ポリマーを得た。(論文 3)

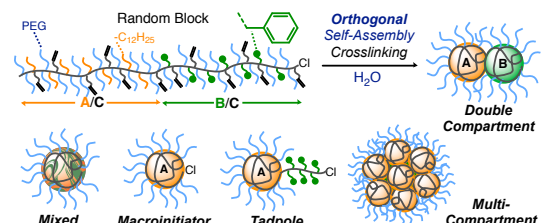


図 5. 特殊構造ミクロゲル星型ポリマー

②ミクロゲル開始剤によるタドポール星型ポリマーとマルチコンパートメント会合体

両親媒性ランダムコポリマーをベースとする一分子鎖星型ポリマー (1, ①参照) は再活性化可能な塩素末端を 1 つ有する。そこで、

これをマイクロゲル型マクロ開始剤としてリビングラジカル重合に組合せ、親水性マイクロゲルと疎水性直鎖ポリマーからなる両親媒性タドポール星型ポリマーを合成した。本ポリマーを水中で自己組織化すると、極めて小さなナノ空間が集積化したマルチコンパートメント会合体を創出できた (図5)。

このようにランダムコポリマーをベースとする精密ナノ空間・ドメイン構築法は独創性と新規性が高く (前例なし)、今後の応用展開が期待される。(論文3)

(3) 超精密マイクロゲル星型ポリマーの機能

①一分子鎖星型ポリマー鉄触媒：リビングラジカル重合 鉄錯体を担持した一分子鎖星型ポリマー触媒を設計し、リビングラジカル重合 (LRP) の触媒として応用した (図6)。まず、親水性 PEG 鎖と疎水性ドデシル基、イミン結合による架橋に有効な ApUMA を含む両親媒性ランダムコポリマーを水中でアルデヒド誘導体により分子内架橋し、架橋スペーサーにビスイミノピリジン配位子を精密空孔として持つ星型ポリマーを合成した。このビスイミノピリジン配位子は FeBr_2 と効率的に錯形成した。この星型ポリマー鉄触媒は、LRP において高い活性と官能基耐性 (アルコール中での重合、メタクリル酸の直接重合、酸素に耐性) を示し、さらに、生成物の容易な回収や触媒リサイクルも可能な高機能触媒として作用することがわかった。(投稿中)

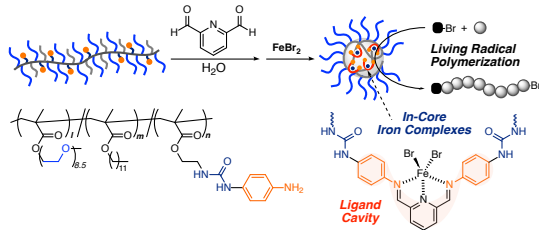


図6. 星型ポリマー鉄触媒の設計と応用

②精密空孔一分子鎖星型ポリマー：選択的分子認識・捕捉 アニオン性色素を鋳型に用いた分子インプリント法により、4級アンモニウム塩の配置とその鋳型に適応したナノ空孔を持つ一分子鎖星型ポリマーを設計した。本星型ポリマーは、異なるアニオン性色素の共存下において、鋳型に用いた色素を選択的に捕捉する傾向を見出した。(投稿準備中)

③イミン機能化星型ポリマー

イミン機能化星型ポリマーは、pH やトランスイミノ化により可逆的に構造変化でき (星型と直鎖)、色の変化を伴う pH センシング、イミン結合によるポスト機能化など、機能性材料として新たな展開が見出された。(論文8)

(4) 両親媒性ランダムコポリマーによる精密ナノ会合体の創出

①自己組織化によるサイズ・会合数の制御

PEG 鎖とドデシル基を持つ両親媒性 PEGMA/DMA ランダムコポリマーは、組成を

適切に設計すると効率的にユニマーミセルを形成するが、ポリマー鎖長が会合挙動に与える影響については解明されていなかった。そこで、上記の研究過程で組成 (DMA : 20 - 50 mol%) と鎖長 (重合度: 40 - 600) が水中での会合挙動に与える影響について系統的に調べたところ、本コポリマーは、ある臨界鎖長以下の場合、組成のみに依存した一定サイズの多分子会合体を形成するという極めて特異な自己組織化挙動が明らかとなった。

以下に、その会合特性を要約する。

- ・本コポリマーは、分子内会合 (一分子折り畳み) と分子間会合の間に明確な臨界鎖長をもち、その臨界鎖長は疎水性 DMA の組成の増加につれて増大する。

- ・ユニマーミセルを形成する臨界鎖長以下の場合、鎖長に依存せず一定サイズ・分子量の会合体を形成し、そのサイズは組成のみに依存して決定される (図7, DMA 40 mol%)。

- ・本コポリマーが形成する多分子会合体のサイズと分子量は、DMA 組成の増加とともに増加する。

- ・多分子会合体のポリマー鎖数 (会合数) を予測して精密に制御できる ($N_{agg} = 1, 2, 3$ etc.)。

- ・一定サイズのナノ会合体は、幅広い濃度領域 (0.02 - 100 mg/mL) で長期にわたり安定に存在できる (~4 か月)。(論文12, 2)

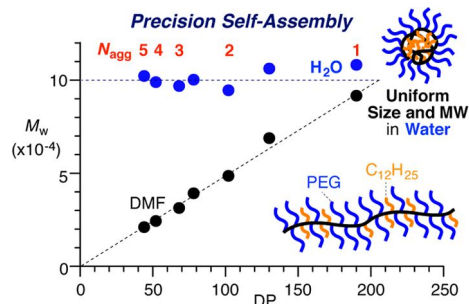


図7. 両親媒性ランダムコポリマーの水中自己組織化：組成による会合体のサイズ制御

②組成選択的自己組織化：Self-Sorting 挙動

PEGMA/DMA ランダムコポリマーは、組成の異なる共重合体 (DMA 組成 : 50 and 30 mol%) を水中で混合しても、同一組成ポリマー同士の選択的な分子間会合が起こり、サイズと疎水性の異なるナノ会合体を同時に共存させることができる (図8)。このセルフソーティング (self-sorting) 挙動は、通常明確に分子認識する超分子化合物で報告されるが、本研究のように単純な両親媒性コポリマーの会合における報告例はなく、革新的な選択的自己組織化システムと言える。(論文12)

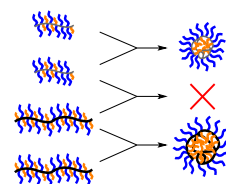


図8. 両親媒性ランダムコポリマーの Self-Sorting : 組成選択的自己組織化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 29 件)

1. 寺島 崇矢、澤本 光男、「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」高分子論文集 *in press* (2017). (査読有) <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/koron/-char/ja/>
2. Y. Kimura, T. Terashima, M. Sawamoto, Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolyacrylamides into Uniform and Necklace Micelles in Water, *Macromol. Chem. Phys. in press* (2017). (査読有) [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)1521-3935](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)1521-3935)
3. M. Matsumoto, T. Terashima, K. Matsumoto, M. Takenaka, M. Sawamoto, Compartmentalization Technologies via Self-Assembly and Cross-Linking of Amphiphilic Random Block Copolymers in Water, *J. Am. Chem. Soc.*, **139**(21), 7164–7167 (2017). (査読有) DOI: 10.1021/jacs.7b03152
4. Y. Ogura, T. Terashima, M. Sawamoto, Synthesis of Fluorinated Gradient Copolymers via In Situ Transesterification with Fluoroalcohols in Tandem Living Radical Polymerization, *Polym. Chem.*, **8**(15), 2299–2308 (2017). (査読有) DOI: 10.1039/C7PY00073A
5. Y. Ogura, M. Artar, A. R. A. Palmans, M. Sawamoto, E. W. Meijer, T. Terashima, Self-Assembly of Hydrogen-Bonding Gradient Copolymers: Sequence Control via Tandem Living Radical Polymerization with Transesterification, *Macromolecules*, **50**(8), 3215–3223 (2017). (査読有) DOI: 10.1021/acs.macromol.7b00070
6. T. Terashima, M. Sawamoto, Microgel Star Polymer Catalysts as Active and Functional Nanoreactors for Organic Reactions and Polymerizations, Springer, Poli (ed), *Effects of Nanoconfinement on Catalysis, Fundamental and Applied Catalysis*, 125-146 (2017). DOI: 10.1007/978-3-319-50207-6_6
7. Y. Ogura, T. Terashima, M. Sawamoto, Amphiphilic PEG-Functionalized Gradient Copolymers via Tandem Catalysis of Living Radical Polymerization and Transesterification, *Macromolecules*, **50**(3), 822-831 (2017). DOI: 10.1021/acs.macromol.6b02358
8. Y. Azuma, T. Terashima, M. Sawamoto, Precision Synthesis of Imine-Functionalized Reversible Microgel Star Polymers via Dynamic Covalent Cross-Linking of Hydrogen-Bonding Block Copolymer Micelles, *Macromolecules*, **50**(2), 587-596 (2017). DOI: 10.1021/acs.macromol.6b02403
9. K. Matsumoto, T. Terashima, T. Sugita, M. Takenaka, M. Sawamoto, Amphiphilic Random Copolymers with Hydrophobic/Hydrogen-Bonding Urea Pendants: Self-Folding Polymers in Aqueous and Organic Media, *Macromolecules*, **49**(20), 7917-7927 (2016). (査読有) DOI: 10.1021/acs.macromol.6b01702
10. Y. Koda, T. Terashima, H. D. Maynard, M. Sawamoto, Protein Storage with Perfluorinated PEG Compartments in a Hydrofluorocarbon Solvent, *Polym. Chem.* **7**(14), 6694-6698 (2016). (査読有) DOI: 10.1039/C6PY01333C
11. Y. Kimura, Y. Miyabara, T. Terashima, M. Sawamoto, Polyacrylamide Pseudo Crown Ethers via Hydrogen Bond-Assisted Cyclopolymerization, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* **54**(20), 3294-3302 (2016). (査読有) DOI: 10.1002/pola.28218
12. Precision Self-Assembly of Amphiphilic Random Copolymers into Uniform and Self-Sorting Nanocompartments in Water, Y. Hirai, T. Terashima, M. Takenaka, M. Sawamoto, *Macromolecules* **49**(14), 5084–5091 (2016). (査読有) DOI: 10.1021/acs.macromol.6b01085
13. Y. Koda, T. Terashima, M. Sawamoto, Multimode Self-Folding Polymers via Reversible and Thermoresponsive Self-Assembly of Amphiphilic/Fluorous Random Copolymers, *Macromolecules*, **49**(12), 4534–4543 (2016). (査読有) DOI: 10.1021/acs.macromol.6b00998
14. Y. Ogura, T. Terashima, M. Sawamoto, Terminal-Selective Transesterification of Chlorine-Capped Poly(Methyl Methacrylate)s: A Modular Approach to Telechelic and Pinpoint-Functionalized Polymers, *J. Am. Chem. Soc.*, **138**(15), 5012–5015 (2016). (査読有) DOI: 10.1021/jacs.6b01239
15. Y. Koda, T. Terashima, M. Sawamoto, LCST-Type Phase Separation of Poly[poly(ethylene glycol) methyl ether methacrylate]s in Hydrofluorocarbon, *ACS Macro Lett.* **4**(12), 1366–1369 (2015). (査読有) DOI: 10.1021/acsmacrolett.5b00771
16. T. Terashima, T. Sugita, M. Sawamoto, Single-Chain Crosslinked Star Polymers via Intramolecular Crosslinking of Self-Folding Amphiphilic Copolymers in Water, *Polym. J.* **47**(10), 667-677 (2015). (査読有) DOI: 10.1038/pj.2015.54
17. M. Artar, E. R. J. Souren, T. Terashima, E. W. Meijer, A. R. A. Palmans, Single Chain Polymeric Nanoparticles as Selective Hydrophobic Reaction Spaces in Water, *ACS Macro Lett.* **4**(10), 1099-1103(2015). (査読有) DOI: 10.1021/acsmacrolett.5b00652
18. T. Sugita, K. Matsumoto, T. Terashima, M. Sawamoto, Synthesis of Amphiphilic Three-Armed Star Random Copolymers via Living Radical Polymerization and their Unimolecular Folding Properties in Water,

Macromol Symp, **350**, 76-85 (2015). (査読有)

DOI: 10.1002/masy.201400027

19. Y. Koda, T. Terashima, M. Sawamoto, H. D. Maynard, Amphiphilic/Fluorous Random Copolymers as a New Class of Non-Cytotoxic Polymeric Materials for Protein Conjugation, *Polym. Chem.* **6**(2), 240-247 (2015). (査読有)

DOI: 10.1039/c4py01346h

20. T. Terashima, Functional Spaces in Star and Single-Chain Polymers via Living Radical Polymerization, *Polymer Journal* **46**(10), 664-673 (2014). (査読有)

DOI: 10.1038/pj.2014.57

21. Y. Koda, T. Terashima, M. Sawamoto, Fluorous Microgel Star Polymers: Selective Recognition and Separation of Polyfluorinated Surfactants and Compounds in Water, *J. Am. Chem. Soc.* **136**(29), 15742-15748 (2014). (査読有) DOI: 10.1021/ja508818j

22. T. Terashima, H. Kojima, M. Sawamoto, Core-Imprinted Star Polymers via Living Radical Polymerization: Precision Cavity Microgels for Selective Molecular Recognition, *Chem. Lett.* **43**(11), 1690-1692 (2014). (査読有)

DOI: 10.1246/cl.140605

23. T. Terashima, S. Nishioka, Y. Koda, M. Takenaka, M. Sawamoto, Arm-Cleavable Microgel Star Polymers: A Versatile Strategy for Direct Core Analysis and Functionalization, *J. Am. Chem. Soc.* **136**(29), 10254-10257 (2014). (査読有) DOI: 10.1021/ja505646p

[学会発表] (計 76 件)

1. T. Terashima, M. Sawamoto, Precision Self-Assembly and Self-Sorting of Amphiphilic Random Copolymers in Water, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC2016), 12/14/2016 (Fukuoka).

2. T. Terashima, M. Sawamoto, Compartmentalized Functional Polymers via Living Radical Polymerization: Design of Primary/Branched Structures to Nanospaces and Functions, 252th ACS National Meeting, 8/24/2016 (Philadelphia, USA).

3. T. Terashima, M. Sawamoto, Sequence-Controlled Functional Polymers: From Modular Synthesis to Precision Self-Assembly and Functions, 252th ACS National Meeting, 8/24/2016 (Philadelphia, USA).

4. T. Terashima, Single-Chain Crosslinked Star Polymers via Intramolecular Crosslinking of Self-Folding Amphiphilic Copolymers in Water, 第 65 回高分子学会年次大会 2016 年 5 月 26 日 (神戸 ; 神戸国際会議場)

5. T. Terashima, M. Sawamoto, Single-Chain Folding and Multi-Chain Aggregating Polymers via Living Radical Polymerization: Synthetic Macromolecules with Protein-Like Structure, Spaces, and Functions, 250th ACS National

Meeting, 8/16/2015 (Boston, USA).

6. T. Terashima, M. Sawamoto, Functional Nanospace Macromolecules via Precision Crosslinking and Association Technologies of Polymer Chain, Pacificchem, 12/16/2015 (Hawaii, USA).

[図書] (計 3 件)

1. 金岡 鐘局、寺島 崇矢、星型ポリマー、CSJ カレントレビュー 精密重合が拓く高分子合成、日本化学会編、化学同人、2016, 144

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

<http://www.living.polym.kyoto-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺島 崇矢 (TERASHIMA, Takaya)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 : 70452274

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :

(4) 研究協力者

()