

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25620089

研究課題名(和文)多環状ポリマーの新規精密合成法の開発

研究課題名(英文)Development of novel precise synthetic method of multicyclic polymer

研究代表者

佐藤 敏文(SATO, Toshifumi)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80291235

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、これまで合成が困難であった多環状ポリマーの簡便かつ精密に合成する手法を確立した。さらに、得られた各種多環状ポリマーの物性を系統的に評価することで、多環状構造とポリマー物性の相関関係を明らかにした。具体的には、リビング重合と分子内クリック反応を巧みに組み合わせることで多彩な構造を持った多環状ホモポリマーならびにブロックコポリマーを精密合成で出来ることを見出した。この手法をもとに合成した一連の多環状ポリマーを用いることで、多環状構造とポリマー物性の相関関係を系統的に評価することが可能となった。

研究成果の概要(英文):The synthesis of well-defined multicyclic polymers (figure-eight-shaped and trefoil-shaped homo- and copolymers) was achieved by the combination of living/controlled polymerization and click cyclization. The effect of multicyclic architecture on the micelle properties was also investigated. We have synthesized the well-defined figure-eight-shaped and trefoil-shaped polyethers using the combination of the t-Bu-P4-catalyzed ring-opening polymerization of epoxides and intramolecular click cyclization. The strategy should also be effective for the synthesis of amphiphilic figure-eight-shaped and trefoil-shaped block copolyethers. In order to investigate the aggregation behavior of the amphiphilic block copolyethers, the hydrodynamic diameter and the critical aggregation concentration were determined by dynamic light scattering and fluorescence technique using pyrene, respectively.

研究分野：高分子化学

キーワード：リビング重合 環状高分子 両親媒性高分子 ブロックコポリマー

1. 研究開始当初の背景

近年、環状構造をもった高分子(大環状ポリマー)の合成やその物性の解析が活発に行われ、一般の直線状高分子とは異なった特異な物性を発現することが明らかにされつつある。これに対し、8字型やクローバー型、カテナン型などの複数の環状ユニットから成る多環状ポリマーはその合成の困難さから物性解析はほとんど行われていない。それゆえに、多環状ポリマーの効率的かつ簡便な合成手法の開発は急務の課題であり、物性解明への展開は学術的興味のみならず産業的にも価値が高い。我々は最近、Graysonらが報告した分子内クリック環化反応による大環状ポリマーの合成法をさらに発展させ、大環状ポリエステルやポリエーテルの精密合成を世界に先駆けて達成した。本手法をさらに拡張することで、様々な多環状ポリマーの合成に適用可能であると考えた。

2. 研究の目的

以上の背景から本研究では、これまで合成が困難であった8字型やクローバー型等を含む多環状ポリマーを簡便かつ精密に合成する方法論の確立を目的とした。具体的には重合開始剤の分子設計とリビング重合の組合せにより開始末端に n 個のアジド基、停止末端に n 個のアセチレン基を有するポリマーを精密合成し、続く分子内クリック環化により n 個の環状ユニットから成る種々の多環状ポリマーを合成する。本手法を応用し、より複雑な構造を有する多環状ポリマーや多環状ジブロックポリマーの合成へと展開する。さらに、以上のようにして合成したポリマーの物性を系統的に評価・検討することで、これまで検討されていなかったポリマーの環状構造と物性の相関関係を明らかにした。

3. 研究の方法

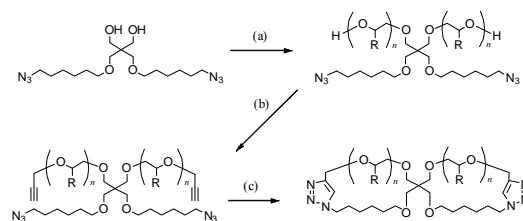
(1) 8字型ポリブチレンオキシド(8-PBO)の合成

グローブボックス内、試験管に 2,2-ビス(((6-アジドヘキシル)オキシ)メチレン)-1,3-プロパンジオールストック溶液 $((N_3)_2-(OH)_2$; 460 μL , 460 μmol ; 1.0 M in toluene)、トルエン (873 μL)、*t*-Bu-P₄ (230 μL , 230 μmol ; 1.0 M in hexane) およびブチレンオキシド (BO; 1.20 mL, 13.8 mmol) を加えて重合を開始した。20 時間後、系内に過剰量の安息香酸を加えて重合を停止した。活性アルミナを用いたスカッドカラムにより精製した後溶媒を減圧留去し、無色透明な粘稠体を得た $((N_3)_2-(PBO)_2$, 収量 1.03 g; 収率 87.5%)。

シュレンク管に $(N_3)_2-(PBO)_2$ ($M_{n,NMR} = 2,460$, $M_w/M_n = 1.08$; 136 mg) の THF 溶液 (3.68 mL) を加え、30 分間脱気した。その後、アルゴン雰囲気下 40 °C で水素化ナトリウム (60% 流動パラフィン分散; 14.9 mg, 332 μmol) を加えて 1 時間撹拌した。室温まで冷却した後、プロパルギルプロミド (25.0

μL , 332 μmol) を加えて 48 時間反応させた。反応後、メンブランフィルターを用いて反応溶液をろ過した。溶媒を減圧留去した後、黄色透明な粘稠体を得た $((N_3)_2-(PBO-C\equiv C)_2$, 収量 98.8 mg; 収率 72.8%)。

三口フラスコ内に DMF (100 mL) を加えて 30 分脱気した後、アルゴン雰囲気下 120 °C で臭化銅 (225 mg, 1.55 mmol) および N,N,N',N'',N''' -ペンタメチルジエチレントリアミン (PMDETA; 648 μL , 3.11 mmol) を加えた。その後、別のなし型フラスコで脱気した $(N_3)_2-(PBO-C\equiv C)_2$ ($M_{n,NMR} = 2,530$, $M_w/M_n = 1.06$; 39.3 mg) の DMF 溶液 (7.76 mL) を 0.3 mL \cdot h⁻¹ の速さで滴下した。滴下終了後、アルゴン雰囲気下 120 °C でさらに 24 時間反応させた。反応後、活性アルミナを用いたスカッドカラムおよび分取 SEC (溶離液; CHCl₃) により精製し、褐色な粘稠体を得た。(8-PBO, 収量 25.0 mg; 収率 63.6%)



Scheme 1. (i) ROP of epoxide monomer. (ii) Propargylation of the polyepoxide containing two azide groups. (iii) Click-cyclization.

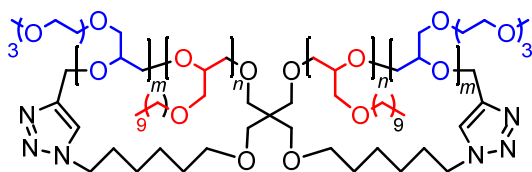
(2) 両親媒性8字型ポリエーテル(8-BCP)の合成

グローブボックス内で、試験管に $(N_3)_2-(OH)_2$ (23.0 μL , 23.0 μmol , as 1.00 mol \cdot L⁻¹ stock solution in toluene)、トルエン (144 μL)、*t*-Bu-P₄ (23.0 μL , 23.0 μmol , as 1.00 mol \cdot L⁻¹ stock solution in hexane) および、デシルグリシジルエーテル (DGE; 276 μL , 1.17 mmol) を加えた。室温で 20 時間撹拌した後、トルエン (226 μL) と 2-(2-(2-メトキシエトキシ)エトキシ)エチルグリシジルエーテル (TEGGE; 241 μL , 1.17 mmol) を加え室温でさらに 20 時間撹拌した。過剰量の安息香酸を加えて重合を停止し、活性アルミナを用いたスカッドカラムにより精製した後、455 mg の白色粘稠体を得た $((N_3)_2-(PDGE-b-PTEGGE)_2$, $M_{n,NMR} = 21,800$, $M_{n,SEC} = 14,000$, $M_w/M_n = 1.04$. 収率 91.0%)。

シュレンク管に $(N_3)_2-(PDGE-b-PTEGGE)_2$ ($M_{n,NMR} = 21800$, $M_w/M_n = 1.04$; 300 mg) の THF 溶液 (4.00 mL) を加え、30 分間脱気した。その後、アルゴン雰囲気下 40 °C で水素化ナトリウム (60% 流動パラフィン分散; 6.00 mg, 150 μmol) を加えて 1 時間撹拌した。室温まで冷却した後、プロパルギルプロミド (11.3 μL , 150 μmol) を加えて 48 時間反応させた。反応後、メンブランフィルターを用いて反応溶液をろ過し、反応物残渣を取り除い

た。溶媒を減圧留去した後、282 mg の黄色透明な粘稠体を得た ($(N_3)_2$ -(PDGE-*b*-PTEGGE-C≡C)₂, 収率 94.0%)。

三口フラスコ内に DMF (100 mL) を加えて 30 分 アルゴンバブリングした後、アルゴン雰囲気下 120 °C で臭化銅 (64.6 mg, 450 μmol) および PMDETA (188 μL, 900 μmol) を加えた。その後、別のなし型フラスコでアルゴンバブリングした $(N_3)_2$ -(PDGE-*b*-PTEGGE-C≡C)₂ (100 mg, 4.50 μmol) の DMF 溶液 (2.25 mL) を 0.30 mL·h⁻¹ の速さで滴下した。滴下終了後、系内にアセチレンを有するポリスチレン樹脂 (PS-C≡C; 30.0 mg)、臭化銅 (13.0 mg, 90.0 μmol) および PMDETA (37.0 μL, 180 μmol) を加え、アルゴン雰囲気下 120 °C でさらに 24 時間反応させた。反応後、活性アルミナを用いたスカッドカラムおよび分取 SEC (溶離液: CHCl₃) により精製し、46 mg の褐色な粘稠体を得た (8-BCP, 収率 46.0%)。

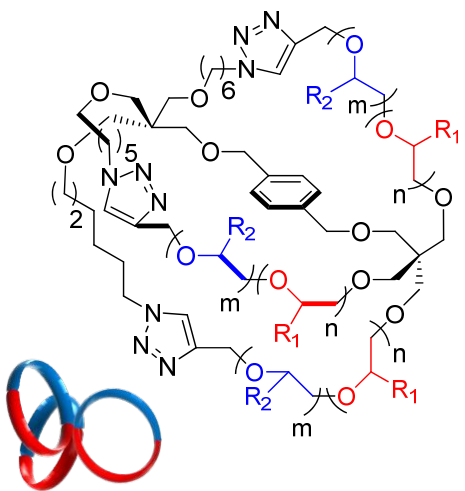


8-BCP



(3) 両親媒性クローバー型ポリエーテルの合成

両親媒性 8 字型ポリエーテルの合成法を応用し、 $(N_3)_3$ -Bn-(OH)₃ を開始剤に用いることで PDGE および PTEGGE ブロックからなる両親媒性クローバー型ポリエーテルの合成を行った。



4. 研究成果

(1) 8 字型ポリブチレンオキシド (8-PBO) の合成

8-PBO を合成するために以下の反応を行った。はじめに、2 つのアジド基を有するジオ

ールを開始剤に用いた ブチレンオキシド (BO) の重合を行い、α 末端に 2 つのアジド基を有する PBO ($(N_3)_2$ -(PBO)₂) を合成した。続いて、得られた $(N_3)_2$ -(PBO)₂ の ω 末端水酸基をプロパルギルプロミドとの反応によりエチニル化し、 $(N_3)_2$ -(PBO-C≡C)₂ を得た。最後に、 $(N_3)_2$ -(PBO-C≡C)₂ の分子内クリック反応により 8-PBO を合成した。各反応で得られた生成物に対してサイズ排除クロマトグラフィー (SEC) および ¹H NMR 測定を行った。いずれのポリマーにおいても ¹H NMR 測定から見積もられた数平均分子量 ($M_{n,NMR}$) は理論値 ($M_{n,theo}$) と良い一致を示し、分子量分散度は 1.07 以下の狭い値であった。また、SEC より見積もられた生成物の数平均分子量 ($M_{n,SEC} = 2,330$) は $(N_3)_2$ -(PBO)₂ の $M_{n,SEC}$ (3,020) よりも小さくなり、クリック反応により排除体積効果が減少したことが確認された。さらに、¹H NMR 測定と質量分析の結果から、生成物は 8-PBO であることが明らかとなった。以上の結果から、BO の重合とクリック反応の組み合わせによる 8-PBO の精密合成を達成した。

(2) 両親媒性 8 字型ポリエーテルの合成

両親媒性 8 字型ポリエーテル(8-BCP)の合成は疎水性モノマーとしてデシルグリシジルエーテル (DGE)、親水性モノマーとして 2-(2-(2-メトキシエトキシ)エトキシ)エチルグリシジルエーテル (TEGGE) を用いて行った。8-BCP の合成に先立ち、*t*-Bu-P₄ を触媒、3-フェニルプロパノール (PPA) を開始剤とした DGE と TEGGE のブロック共重合を行い([DGE]₀/[TEGGE]₀/[PPA]₀ = 50/50/1)、直線状の BCP (*l*-BCP) を合成した。ブロック共重合の進行はサイズ排除クロマトグラフィー (SEC) と ¹H NMR で確認した。続いて本ブロック共重合系を応用することで 8-BCP の合成を試みた。8-BCP は *t*-Bu-P₄ を触媒、 $(N_3)_2$ -(OH)₂ を開始剤とした DGE と TEGGE のブロック共重合を行った後([DGE]₀/[TEGGE]₀/[(N₃)₂-(OH)₂]₀ = 50/50/1)、ω 末端水酸基をエチニル化し、分子内クリック環化反応を行うことで合成した。得られた 8-BCP の構造は ¹H NMR および IR スペクトルから確認した。また、クリック環化前後で SEC トレースが低分子量側へシフトしたことから、分子内環化が進行したことが強く示唆された。得られた 8-BCP の数平均分子量 ($M_{n,NMR}$) はそれぞれの理論値 ($M_{n,theo}$) と良く一致し、SEC トレースは単峰性で分子量分散度 (M_w/M_n) は 1.06 であった。以上の結果から 8-BCP の精密合成を達成した。なお、*l*-BCP および 8-BCP のモノマー組成は DGE と TEGGE がそれぞれ 50 量体となるように合成した。続いて、合成した各ポリマーの水溶液について動的光散乱 (DLS) 測定を行い、水中での会合体の粒径を測定した。*l*-BCP と比べて 8-BCP の方が大きい粒径を示し、TEGGE と DGE の組成比が同じであ

るにも関わらず異なった粒径を示した。また、透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察からも DLS 測定の結果と同じ傾向が得られた。このことから両親媒性ポリマーは高分子の構造に由来して水中での会合挙動が変化することが示唆された。

(3) 両親媒性クローバー型ポリエーテルの合成

初めに $(N_3)_3\text{-Bn-(OH)}_3$ を開始剤に用いた DGE と TEGGE の共重合を行い、末端に 3 つのアジド基を有する PDGE-*b*-PTEGGE ($(N_3)_3\text{-Bn-(PDGE-}b\text{-PTEGGE)}_3$) の合成を試みた。DGE をファーストモノーとし $[M_1]_0/[M_2]_0/[I]_0/[Cat.] = 50/50/1/0.5$ で重合を行った。所定の時間重合した後、モノマーはほぼ完全に消費され、 $M_{n,NMR}$ は $M_{n,th}$ と良い一致を示した。また、 $^1\text{H NMR}$ 測定では、ポリマーの主鎖由来のピークに加え、開始剤のアジド基隣接メチレン (3.24 ppm) およびベンジル基 (4.41-4.46) に由来するピークが確認された。生成物の SEC トレースは単峰性を示し M_w/M_n は 1.05 と狭い値を示した。以上の結果から、本重合系により $(N_3)_3\text{-Bn-(OH)}_3$ を開始剤とした $(N_3)_3\text{-Bn-(PDGE-}b\text{-PTEGGE)}_3$ の合成を達成した。

分子内クリック反応による両親媒性クローバー型ポリエーテルを合成するために $(N_3)_3\text{-Bn-(PDGE-}b\text{-PTEGGE)}_3$ の末端エチニル基化による $(N_3)_3\text{-Bn-(PDGE-}b\text{-PTEGGE-C}\equiv\text{CH)}_3$ の合成を試みた。精製後に得られた生成物の $^1\text{H NMR}$ スペクトル解析を行ったところ、 N_3 -PDGE-*b*-PTEGGE の各プロトンのピークに加えてエチニル基のプロトン (2.48 ppm) およびエチニル基に隣接するメチレンプロトン (4.33 ppm) のピークが新たに検出された。したがって、末端エチニル基化は定量的に進行し、 $(N_3)_3\text{-Bn-(PDGE-}b\text{-PTEGGE-C}\equiv\text{CH)}_3$ が得られたことが確認された。

次に、 $(N_3)_3\text{-Bn-(PDGE-}b\text{-PTEGGE-C}\equiv\text{CH)}_3$ について分子内クリック反応を行うことで両親媒性クローバー型ポリエーテルの合成を試みた。反応条件はこれまでに行った環化条件と同様とし、褐色透明な粘稠体を得た。粗生成物に対する SEC 測定の結果より、高分子量側に若干の肩が見られ、2 量体の形成が示唆された。この肩ピークは分取 SEC により精製を行うことで除去可能であった。精製した生成物の $M_{n,SEC}$ は 12,000 となり反応前のポリマーにおける値 (15,300) よりも小さな値を示した。また、環化反応前後でのピークトップの $M_{n,SEC}$ の比は 0.74 となり、クリック反応によりポリマーの分子内環化が進行したことが示唆された。生成物の $^1\text{H NMR}$ スペクトル上にトリアゾール環のプロトン (7.62 ppm) およびそれらに隣接するメチレンプロトン (4.31 ppm, 4.78 ppm) に由来するピークが新たに検出され、エチニルプロトンに由来するピークが消失したことが確

認された。また、 $M_{n,NMR}$ は $M_{n,th}$ と良い一致を示した。さらに、IR スペクトル測定より環化前後でアジド基由来のピーク (2098 cm^{-1} 付近) が完全に消失していることが確認された。以上より、 $(N_3)_3\text{-Bn-(PDGE-}b\text{-PTEGGE)}_3$ の末端官能基化および分子内クリック反応を用いた両親媒性クローバー型ポリエーテルの精密合成を達成した。得られたクローバー型ポリエーテルの水溶液についても水中における会合体の粒径測定を行った。その結果、*l*-BCP および 8-BCP よりもさらに小さい粒径の会合体を形成することが判明した。このことより、環状構造の数が会合挙動を制御する因子となり得ることを見出した。

以上の結果より、重合開始剤の分子設計とリビング重合の組合せにより開始末端に n 個のアジド基、停止末端に n 個のアセチレン基を有するポリマーを精密合成し、続く分子内クリック環化により n 個の環状ユニットから成る種々の多環状ポリマーの合成法を確立した。また、合成したポリマーの物性を系統的に評価・検討することで、環状構造と物性の相関関係を明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8 件)

磯野拓也、佐藤悠介、覚知豊次、佐藤敏文、
フォスファゼン塩基を触媒に用いた置換工ボキシドのリビング開環重合系の開発、高分子論文集、72 (5), 295-305 (2015)、査読有、DOI: 10.1295/koron.2014-0095

Chen, Y., Xiao, N., Fukuoka, M., Yoshida, K., Duan, Q., Satoh, T., Kakuchi, T., Synthesis and thermoresponsive properties of four-arm star-shaped poly(*N*-isopropylacrylamide)s bearing covalent and non-covalent cores, *Polym. Chem.*, 6 (19), 3608-3616 (2015), 査読有, DOI: 10.1039/C5PY00277J

Chen, Y., Xiao, N., Satoh, T., Kakuchi, T., Synthesis of 3-, 4-, 5-, 6-, 7-, 8-, 9-, 10-, 11-, and 12-armed star-shaped poly(styrene oxide) Ru(II) complexes by a click-to-chelate approach, *Polym. Chem.*, 5 (17), 4993-5001 (2014), 査読有, DOI: 10.1039/C4PY00314D

Kikuchi, S., Chen, Y., Fuchise, K., Takada, K., Kitakado, J., Sato, S.-i., Satoh, T., Kakuchi, T., Thermoresponsive properties of 3-, 4-, 6-, and 12-armed star-shaped poly[2-(dimethylamino)ethyl methacrylate]s prepared by core-first group transfer polymerization, *Polym. Chem.*, 5 (16), 4701-4709 (2014), 査読有 DOI: 10.1039/C4PY00290C

Isono, T., Kondo, Y., Ozawa, S., Chen, Y., Sakai, R., Sato, S.-i., Tajima, K., Kakuchi, T., Satoh, T., Stereoblock-like Brush Copolymers

Consisting of Poly(L-lactide) and Poly(D-lactide) Side Chains along Poly(norbornene) Backbone: Synthesis, Stereocomplex Formation, and Structure-Property Relationship, *Macromolecules*, 47 (20), 7118-7128 (2014), 査読有, DOI: 10.1021/ma501647m

Isono, T., Sato, Y., Miyachi, K., Chen, Y., Sato, S.-i., Tajima, K., Satoh, T., Kakuchi, T., Synthesis of Linear, Cyclic, Figure-Eight-Shaped, and Tadpole-Shaped Amphiphilic Block Copolyethers via *t*-Bu-P₄-Catalyzed Ring-Opening Polymerization of Hydrophilic and Hydrophobic Glycidyl Ethers, *Macromolecules*, 47 (9), 2853-2863 (2014), 査読有, DOI: 10.1021/ma500494e

Isono, T., Kamoshida, K., Sato, Y., Takaoka, T., Sato, S.-i., Satoh, T., Kakuchi, T., Synthesis of Star- and Figure-Eight-Shaped Polyethers by *t*-Bu-P₄-Catalyzed Ring-Opening Polymerization of Butylene Oxide, *Macromolecules*, 46 (10), 3841-3849 (2013), 査読有, DOI: 10.1021/ma4006654

Makiguchi, K., Ogasawara, Y., Kikuchi, S., Satoh, T., Kakuchi, T., Diphenyl Phosphate as an Efficient Acidic Organocatalyst for Controlled/Living Ring-Opening Polymerization of Trimethylene Carbonates Leading to Block, End-Functionalized, and Macrocyclic Polycarbonates, *Macromolecules*, 46 (5), 1772-1782 (2013), 査読有, DOI: 10.1021/ma4000495

〔学会発表〕(計 19 件)

笹森哲弥・磯野拓也・田島健次・佐藤敏文, ルテニウム触媒を用いた両末端ノルボルネン官能基化ポリ乳酸の環化重合, 2014年度高分子学会北海道支部研究発表会, 2015/1/26, 北海道大学学術交流会館(北海道・札幌)

佐藤敏文, 特殊構造高分子の合成と構造解析, 昭光サイエンティフィック(株) 光散乱測定セミナー(高分子分析編), 2014/11/13, グランパークプラザ(東京都)

Yusuke Satoh, Takuya Isono, Toyaji Kakuchi, Toshifumi Satoh, Synthesis of cyclic and figure-eight-shaped amphiphilic block copolyether via ring-opening polymerization and click reaction, Korea-Japan Joint Polymer Symposium 2014, 2014/10/31, Daejeon (Korea)

佐藤敏文, 多角度光散乱検出器と粘度検出器を用いた高分子の形状情報解析, 2014年度日本分析化学会北海道支部公開セミナー, 2014/9/4, 旭川工業高等専門学校(北海道・旭川)

宮地香奈・磯野拓也・佐藤悠介・佐藤信一郎・佐藤敏文・覚知豊次, 立体規則性を制御したブロック共重合体の精密合成と熱物性評価, 2014年度北海道高分子若手研究会, 2014/8/29, 定山溪ビューホテル(北海道・札幌)

宮地香奈・磯野拓也・佐藤悠介・佐藤信一郎・佐藤敏文・覚知豊次, 両親媒性アイソタクティックジブロックコポリエーテルの精密合成, 日本化学会北海道支部 2014年夏期研究発表会, 2014/7/18, 苫小牧工業高等専門学校(北海道・苫小牧)

Toshifumi Satoh, Takuya Isono, Yougen Chen, Toyaji Kakuchi, Synthesis of Complex Macromolecular Architecture Using Clickable Polymer, MACRO2014, 2014/7/9, Chiang Mai (Thailand)

佐藤悠介・宮地香奈・磯野拓也・田島健次・覚知豊次・佐藤敏文, 両親媒性タッドポール型ブロックコポリエーテルの合成, 第63回高分子学会年次大会, 2014/5/29, 名古屋国際会議場(愛知県・名古屋)

松野拓彦・佐藤悠介・磯野拓也・田島健次・覚知豊次・佐藤敏文, リビング開環重合とクリック反応を用いた多環状ポリカプロラク톤の精密合成, 第63回高分子学会年次大会, 2014/5/29, 名古屋国際会議場(愛知県・名古屋)

佐藤悠介・宮地香奈・磯野拓也・田島健次・覚知豊次・佐藤敏文, マルチクリック環化による8の字型ブロックコポリエーテルの精密合成, 化学系学協会 2014年冬季研究発表会, 2014/1/28, 北海道大学(北海道・札幌)

末政大地・齋藤憲吾・中村亮介・田島健次・梶典弘・佐藤敏文, 大環状ポリ(3-ヘキシルチオフェン)の精密合成, 化学系学協会 2014年冬季研究発表会, 2014/1/28, 北海道大学(北海道・札幌)

Toshifumi Satoh, Takuya Isono, Yohei Kondo, Issei Otsuka, Yoshiharu Nishiyama, Redouane Borsali, Toyaji Kakuchi, Synthesis and Characterization of Stereo-Miktoarm Star-Shaped Polylactide, The 13th Pacific Polymer Conference (PPC13), 2013/11/21, Grand Hi-Lai Arena (Kaohsiung, Taiwan)

佐藤悠介・磯野拓也・田島健次・覚知豊次・佐藤敏文, Precise synthesis of figure-eight-shaped amphiphilic block copolyether via ring-opening polymerization and click reaction, Japan-Korea Joint Polymer Symposium 2013, 2013/10/31, 東京工業大学

(東京都)

佐藤悠介・磯野拓也・田島健次・覺知豊次・佐藤敏文, Precise synthesis of figure-eight-shaped amphiphilic block copolymer, 第20回国際先端錯体工学研究会シンポジウム, 2013/9/12, 長春理工大学(長春・中国)

牧口孝祐・小笠原啓孝・覺知豊次・佐藤敏文, Synthesis of macrocyclic poly(trimethylene carbonate) via ring-opening polymerization and click cyclization, 第20回国際先端錯体工学研究会シンポジウム, 2013/9/12, 長春理工大学(長春・中国)

佐藤悠介・磯野拓也・田島健次・覺知豊次・佐藤敏文, クリック反応を用いた両親媒性8の字型ブロックコポリエーテルの精密合成, 2013年度北海道高分子若手研究会, 2013/8/30, 札幌市アイヌ文化交流センター(北海道・札幌)

佐藤悠介・鴨志田健介・磯野拓也・田島健次・覺知豊次・佐藤敏文, 両親媒性8の字型ブロックコポリエーテルの精密合成, 日本化学会北海道支部 2013年夏季研究発表会, 2013/7/20, 北見工業大学(北海道・北見)

佐藤悠介・鴨志田健介・磯野拓也・佐藤敏文・覺知豊次, 両親媒性8の字型ブロックコポリエーテルの精密合成および会合挙動, 第62回高分子学会年次大会, 2013/5/30, 京都国際会議場(京都府・京都)

鴨志田健介・佐藤悠介・磯野拓也・佐藤敏文・覺知豊次, リビング開環重合とクリック反応を用いた特殊構造ポリブチレンオキシドの精密合成, 第62回高分子学会年次大会, 2013/5/30, 京都国際会議場(京都府・京都)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 敏文 (Toshifumi Satoh)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 80291235

(2) 研究分担者

覺知 豊次 (Toyoji Kakuchi)
北海道大学・大学院工学研究院・特任教授
研究者番号: 80113538

(3) 研究分担者

陳 友根 (Yougen Chen)

北海道大学・大学院工学研究院・特任助教
研究者番号: 00731837

(4) 研究分担者

磯野 拓也 (Takuya Isono)
北海道大学・大学院工学研究院・特任助教
研究者番号: 70740075