

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02020

研究課題名(和文) 両親媒性ランダム・交互共重合体の花型ミセルが形成する高次秩序構造とその応用

研究課題名(英文) Higher-Order Structure Formed by Flower Micelles of Amphiphilic Random and Alternating Copolymers

研究代表者

佐藤 尚弘 (Sato, Takahiro)

大阪大学・理学研究科・教授

研究者番号：10196248

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：両親媒性ランダム共重合体が水溶液中で形成する自己集合体(ランダム会合体、花型ミセル、フラワーネックレス)を特徴づける会合数、疎水性コア数、流体力学的半径等を、主鎖構造(ビニル系ポリマーと疎水化多糖)、親水基の化学構造、重合度、疎水基含量を系統的に変えて調査し、分子設計により両親媒性ランダム共重合体の自己集合体構造をある程度制御できるようになった。

また、両親媒性ランダム共重合体のモデルと見なせる両親媒性交互共重合体が形成する花型ミセルは、分子量・組成分布があっても構成する疎水性コアとループ鎖のサイズが揃うことより、高濃度溶液で球状粒子系のコロイド結晶と類似の高次構造を形成することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

両親媒性ランダム共重合体が水溶液中で形成する高分子ミセルは、ドラッグデリバリーシステムへの応用が近年注目されているが、高濃度で形成される高次の秩序構造は、フォトニック結晶、リソグラフィ、選択的透過膜、イオン伝導膜などへの応用も期待される。当該研究の成果は、両親媒性ランダム共重合体のそのような応用する際に必要となる、高分子ミセル構造とその高次構造を制御する技術の基盤となる。また、タンパク質構造予想は今後のバイオテクノロジー技術の根幹となるが、両親媒性ランダム共重合体とタンパク質との構造類似性により、両親媒性ランダム共重合体が形成する高分子ミセル構造の理解は、タンパク質構造予想にも寄与する。

研究成果の概要(英文)：Amphiphilic random copolymers form different self-assemblies (random aggregate, flower micelle, and flower necklace) in an aqueous solution by association of hydrophobic groups attached to the copolymer chain. Structural parameters of the self-assemblies were related to the main chain structure, the chemical structure of hydrophilic groups, degree of polymerization, and the hydrophobic content. These achievements make molecular design possible, which can control the self-assembly structure of amphiphilic random copolymers.

In addition, the flower micelle formed by the amphiphilic alternating copolymer, which can be regarded as a model of the amphiphilic random copolymer, have the uniform sizes of the hydrophobic core and the loop chain, even if they have molecular weight and composition distributions. This uniformity in size enables the flower micelle to form higher-order arrangements in concentrated solutions, just like the colloidal crystal formed by spherical particle systems.

研究分野：高分子溶液学

キーワード：両親媒性高分子 ランダム共重合体 交互共重合体 花型ミセル フラワーネックレス 光散乱 小角X線散乱

1. 研究開始当初の背景

ブロック共重合体はバルク状態で様々な規則的なマイクロ相分離構造を形成し、電子材料・光学材料・分離膜など様々な分野への応用が期待されている。また、両親媒性ブロック共重合体が選択溶媒中で形成する高分子ミセルは、その制御されたサイズや刺激応答性を利用したドラッグデリバリーシステムとしての応用も近年注目されている。

これに対して、両親媒性ランダム共重合体はモノマー組成とモノマー連鎖を精密に制御できないため、そのバルク中および溶液中における集合体構造は、ブロック共重合体ほど秩序的ではないと考えられてきた。ところが、最近の研究により、両親媒性ランダム共重合体は、分子量分布や組成分布が揃っていないにもかかわらず、水溶液中でサイズの揃った花型ミセルを形成することが報告されるようになってきた^{①, ②}。ブロック鎖の重合度がそろったブロック共重合体を合成するには各種のリビング重合法を用いる必要があるのに対し、分子量・組成分布をそろえる必要のないランダム共重合体の合成は、より簡便なラジカル重合法で合成できる点で、実用化に向けて後者にメリットがある。

ブロック共重合体が選択溶媒中で形成する高分子ミセルの研究と比較して、両親媒性ランダム共重合体の溶液中での自己集合体の構造特性化の研究はずっと遅れている。さらに、その自己集合した両親媒性ランダム共重合体の溶液の濃度を上げたときに形成される可能性のある高次構造に関しては、ほとんど研究例がない。このような研究背景の下で当該研究をスタートさせた。

2. 研究の目的

(1) 両親媒性ランダム共重合体は、希薄水溶液中で、疎水性間の引力相互作用により自己集合体を形成する。その自己集合体は、図1に示すように、花型ミセル、フラワーネックレス、およびランダム会合体に大別される。このうち、花型ミセルは定まった数 (N_{core}) の疎水性コアとその周りを取り囲むループ鎖からなる。共重合体鎖には持続長 q で特徴づけられる固有の剛直性を有し、ループ鎖を形成できる最小の経路長 l_{loop} は $1.6q$ で与えられる。したがって、モノマー単位の経路長を h とすると、疎水性含量 x が臨界値 $x_c = h/l_{loop}$ を超えると重合度が $N_{0,1}$ の共重合体鎖は経路長が l_{loop} の最小ループ鎖を $hN_{0,1}/l_{loop}$ 本形成し、各ループ鎖が疎水性コアと接触する位置に存在する λ 個の疎水性基が疎水性コア内に格納され、それ以外のループ鎖に結合した疎水性基は疎水性コア外に存在する。疎水性含量 x が x_c より小さいと、(疎水性の疎水性が十分強い場合) ループ鎖は最小ループ鎖より大きくなり、すべての疎水性基は疎水性コア内に格納される。

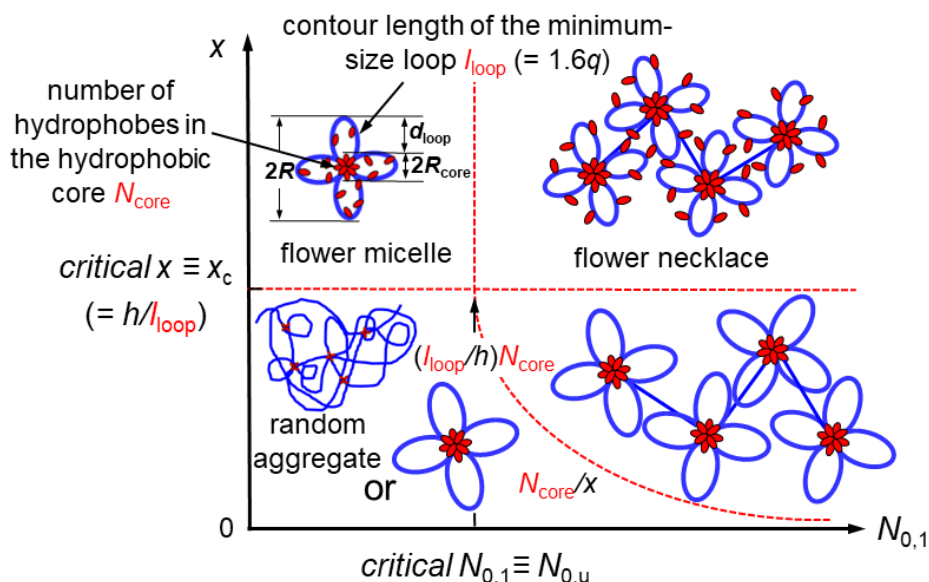


図1 両親媒性ランダム共重合体が形成する自己集合体モデル

疎水性コア内に格納されている1本の共重合体鎖に属す疎水性基数は、 $x > x_c$ では $\lambda h N_{0,1} / l_{loop}$ で与えられるが、この疎水性基数が N_{core} より小さいと1本の共重合体鎖だけでは安定な疎水性コアを形成できない。そのため $m (= N_{core} l_{loop} / \lambda h N_{0,1})$ 本の共重合体鎖が会合して一個の花型ミセルを形成する。重合度 $N_{0,1}$ が臨界値 $N_{0,u} = (\lambda h / l_{loop}) N_{core}$ に等しいときには一本の共重合体鎖で花型ミセル (ユニマーミセル) を形成し、 $N_{0,1} > N_{0,u}$ ではモノマー単位数が $N_{0,u}$ の単位花型ミセル $n_c (= N_{0,1} / N_{0,u})$ 個で構成されるフラワーネックレスが形成される。

疎水性の疎水性が十分強い場合、 $x < x_c$ では1本の共重合体鎖は $x N_{0,1}$ 本のループ鎖を形成

し、 $m (=N_{\text{core}}/xN_{0,1})$ 本の共重合体鎖が会合して一個の安定な花型ミセルを形成する。 $N_{0,1} > N_{\text{core}}/x$ ではモノマー単位数が N_{core}/x の単位花型ミセル $n_c (=xN_{0,1}/N_{\text{core}})$ 個で構成されるフラワーネックレスを形成する。疎水基の疎水性がそれほど強くない場合には、 $x < x_c$ では（疎水基数 N_{core} の）安定な疎水性コアは必ずしも形成されず、不定数の疎水基が会合して架橋点となったランダム会合体を形成する。

上記のような両親媒性ランダム共重合体の形成する自己集合体の構造は、重合度 $N_{0,1}$ と疎水基含量 x 以外に、ランダム共重合体の主鎖構造と親水基・疎水基の化学構造にも依存する。当該研究の第 1 の目的は、両親媒性ランダム共重合体の自己集合体構造がそれらにどのように依存するかを系統的に調査し、自己集合体構造を予言し、分子設計できるようにすることである。

(2) 疎水基含量 x が上記の臨界値 x_c を超えると、両親媒性ランダム共重合体の自己集合体構造は x およびモノマー連鎖様式には依存しなくなる。したがって、両親媒性交互共重合体が形成する花型ミセルおよびフラワーネックレスの構造は、両親媒性ランダム共重合体のそれらと基本的には同一視できる。両親媒性交互共重合体は、疎水基含量に分布がないために、両親媒性ランダム共重合体に対する理想的なモデル鎖とみなせる。

花型ミセル・フラワーネックレスの疎水性コアを構成する疎水基の会合数 N_{core} はほぼ一定値をとり、かつループ鎖の経路長 l_{loop} も共重合体鎖の q で決まっているので、疎水性コアおよび（単位）花型ミセルのサイズはほぼ一定値をとっていると考えられる。そのような規則的な構造をとる高分子ミセルの水溶液濃度を増加させていくと、サイズが均一な球状粒子系と同様な高次構造（コロイド結晶）を形成する可能性がある。当該研究のもう一つの目的は、両親媒性ランダム共重合体のモデルとして両親媒性交互共重合体のミセル溶液が高濃度で形成する高次構造を調査することにある。

3. 研究の方法

(1) 両親媒性ランダム共重合体の自己集合体構造は、静的・動的散乱（SLS、DLS）、小角 X 線散乱（SAXS）、小角中性子散乱（SANS）、共重合体水溶液に可溶化させたピレンからの蛍光測定を用いて調べられ、重量平均会合数（集合体あたりの共重合体鎖数） m_w 、集合体あたりの疎水性コア数 n_c 、回転半径 $(S^2)^{1/2}$ 、流体力学的半径 R_H 、散乱関数 $P(k)$ などによって特性化される。これまでの研究で、すでに数多くの両親媒性ランダム共重合体の水溶液中で形成される自己集合体の構造が調べられてきたが、当該研究では、生体膜を構成しているリン脂質の親水基と類似する 2-メタクリロイルオキシエチルホスホリルコリン（MPC）を親水性モノマー、ドデシルメタクリレート（DMA）を疎水性モノマーとする両親媒性ランダム共

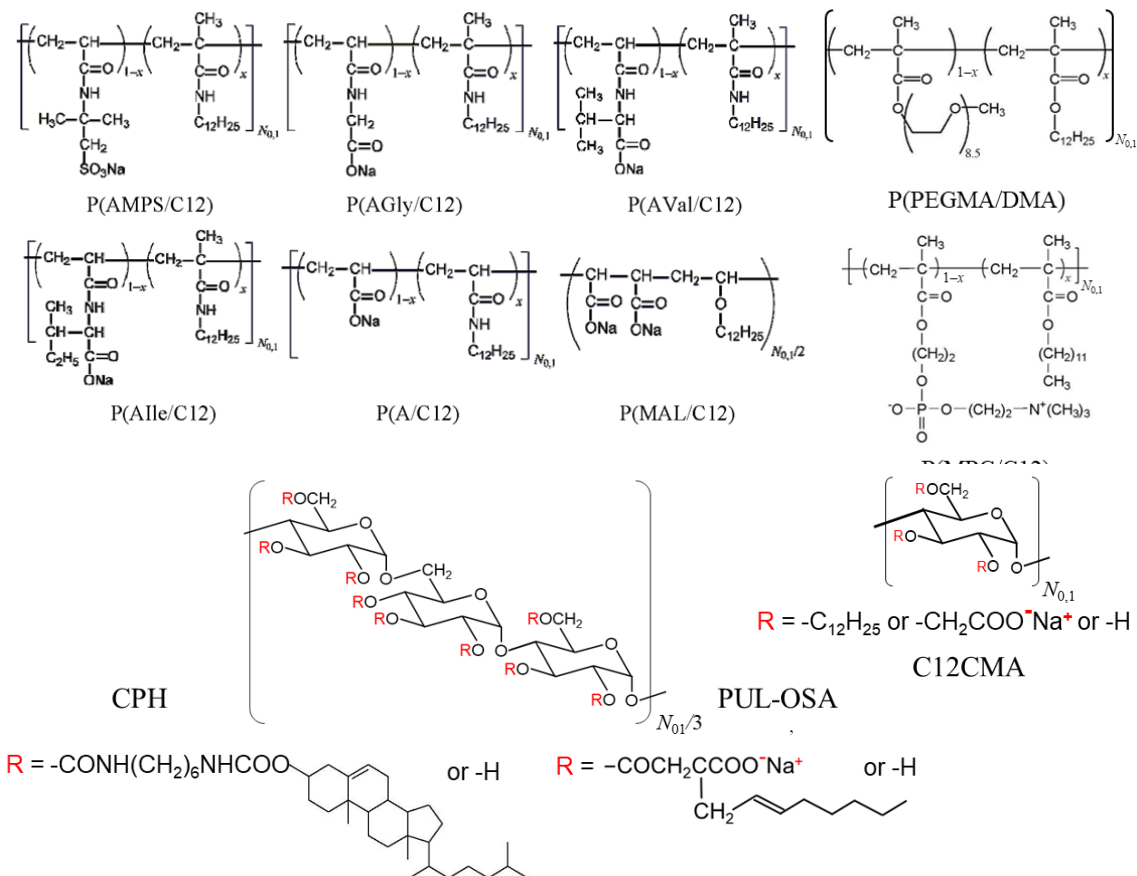


図 2 当該研究で扱った両親媒性ランダム・交互共重合体の化学構造

重合体 P(MPC/DMA)、および水溶性多糖であるプルラン (PUL) に無水コハク酸オクチル (OSA) を高分子反応させて合成した疎水化多糖 PUL-OSA が水溶液中で形成する自己集合体の構造を新たに調べ、図 2 に示すこれまでに調べられてきた両親媒性ランダム共重合体および両親媒性交互共重合体 P(MAL/C12)の結果と比較して、重合度 $N_{0,1}$ 、疎水基含量 x 、ランダム共重合体の主鎖構造、および親水基の化学構造にどのように依存するかを調べた。測定に用いた P(MPC/DMA)試料は、兵庫県立大の遊佐博士より提供を受け、PUL-OSA 試料は市販されている分子量分布の狭い $N_{0,1} = 142 \sim 4540$ の標準 PUL 試料を水に溶かし、OSA をゆっくり滴下して高分子反応させ、精製後に得られた置換度 DS の異なる試料を用いた。

(2) 両親媒性ランダム共重合体のモデル高分子と見なせる両親媒性交互共重合体 P(MAL/C12)が水溶液中で花型ミセルを形成する重合度 $N_{0,1}$ が 140 と 210 の 2 試料について、最高濃度を 0.26 g/cm^3 まで上げて SAXS 測定を行い、花型ミセルが形成する高次構造について調べた。また、水溶液中でフラワーネックレスを形成する $N_{0,1}$ が 556、671、1370、3070 の P(MAL/C12)の 4 試料については最高濃度を 0.1 g/cm^3 まで上げて SAXS 測定を行い、かつフラワーネックレス構造の濃度依存性を調べる目的で、ピレンを可溶化させて蛍光測定を同程度の高濃度まで上げて測定した。

4. 研究成果

(1) 両親媒性ランダム共重合体が水溶液中で形成する自己集合体の構造特性化

分子量の異なるプルラン (PUL) 試料に無水コハク酸オクチル (OSA) を反応させ、置換度 DS の異なる疎水化多糖 PUL-OSA を合成した。以下、PUL-OSA の試料名を、たとえば P100DS20 などと表す。P の後の数字が合成に用いた PUL の kg/mol の単位で表した分子量

(モル質量)、 DS の後の数字がモル%で表した DS の値である。最初に、PUL の分子量と DS の異なる PUL-OSA 試料の水溶性に対する SAXS 散乱関数を図 3 に示す。まず、分子量が 100×10^3 の無置換の PUL 試料 P100 の散乱関数は、低角度領域に平坦部があり、散乱波数 k が増加するに伴い、単調に減少している。この散乱関数は、分子内排除体積効果を受けたみみず鎖に対する理論散乱関数 (図中の一点鎖線) によりフィットできる。一方、 DS が 38 mol%以上の PUL-OSA 試料に対する散乱関数は $k \sim 1.5 \text{ nm}^{-1}$ 付近に極小を有する。図 3 のところでも述べたように、この極小は電子密度の低いアルキル鎖でできた疎水性コアの存在を示している。(P100DS20 試料の散乱関数には明確な極小は認められないが、 $k \sim 1.5 \text{ nm}^{-1}$ 付近で下に凸になっており、極小が現れる前兆が現れている。) 低 k 領域のデータを無視して (図中の実線に従い)、各 PUL-OSA 試料の散乱関数より、自己集合体の重量平均会合数 m_w を見積もった。

次に、PUL-OSA 試料の水溶性に蛍光物質であるピレンを添加して蛍光寿命測定を行い、ミセルあたりの疎水性コア数 n_c を求めた。 DS が 0.8 以上の n_c の結果を、図 4 に中抜きの黒丸で示す。結果は 1 より大きく、PUL-OSA 試料が多核のフラワーネックレスを形成していることを示している。データ点は少しばらついてはいるが、図中の傾き 1 の直線で示すように、 DS が 0.8 以上の n_c はミセルあたりのグルコース残基数 $N_0 = m_w N_{0,1}$ に比例している。この比例性は、フラワーネックレスに期待される結果である。

最後に、ビニル系両親媒性交互共重合体 P(MAL/C12)と疎水化多糖の単位花型ミセルの形状について比較する。図 5 に

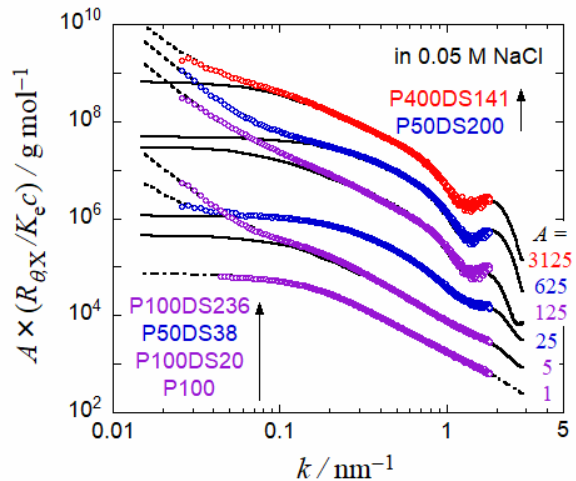


図 3 PUL-OSA の水溶液に対する SAXS 散乱関数

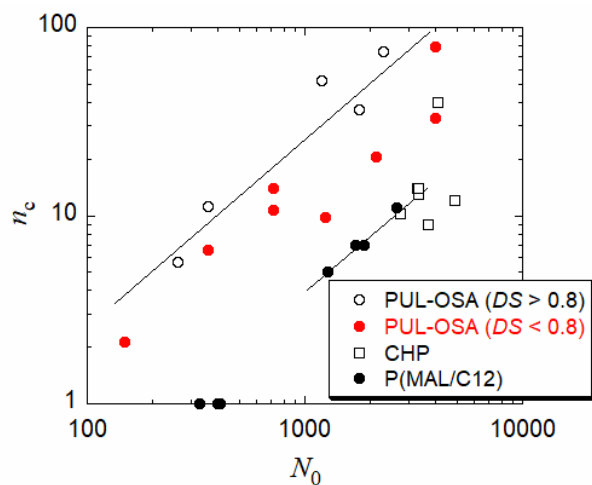


図 4 疎水化多糖の自己集合体あたりの疎水性コア数 n_c

は、単位花型ミセルの疎水性コア半径 R_{core} とループ鎖の数 $n_{\text{loop}} (=mhN_{0,1}/l_{\text{loop}})$ を示す。前者は3種類の共重合体ミセルではほぼ一致しているが、後者はPUL-OSAの単位花型ミセルが4本程度であるのに対して、P(MAL/C12)のそれは10本以上のループ鎖からなっている。PUL-OSAでは、グルコース残基あたり3個の疎水基が置換可能で、疎水性コアと接触するループ鎖の根元で、より多くの疎水基が疎水性コアに入ることができるため、より少ないループ鎖で疎水性コアを形成するのに必要な疎水基数 N_{core} に達することができると考えられる(C12CMAの場合は、図2に示すように疎水基とイオン性基の両方がグルコース残基に置換されるため、疎水基密度はPUL-OSAよりも低い)。

(2) 両親媒性交互共重合体 P(MAL/C12) の高濃度水溶液中での高次構造形成

球状粒子の濃厚溶液が、いわゆるコロイド結晶を形成し、美しい構造色を呈することはよく知られている。上で述べたように、一定の長さをもつ疎水基が決まった数 (N_{core}) だけ集まって形成される疎水性コアと ($x > x_c$ の場合) 一定の経路長の主鎖でできたループ鎖で構成される花型ミセルおよびフラワーネックレスは、分子量分布がそれほど狭くなくてもサイズが揃っている。そのために、球状粒子系と同様な高次の規則構造が濃厚溶液中で形成される可能性がある。

図6には、水溶液中で花型ミセルを形成する $N_{0,1} = 140$ のP(MAL/C12)の質量濃度 $c = 0.258 \text{ g/cm}^3$ の濃厚溶液に対する SAXS 散乱関数を示している。温度が 25°C においては、散乱波数 $k = 0.7 \text{ nm}^{-1}$ と 1.6 nm^{-1} の付近に極大、 $k = 0.9 \text{ nm}^{-1}$ 付近に極小をもつ(低角度における急激な散乱関数の増加は、巨大なランダム会合体の存在を示唆するが、ここでは議論しない)。極小は、電子密度の低いアルキル基で形成された疎水性コアからの散乱に起因しており、濃厚溶液中でも規則的な花型ミセル構造が維持されていることを示している。他方、 $k = 0.7 \text{ nm}^{-1}$ 付近の極大は、散乱X線の花型ミセル間の干渉効果によるもので、ここには示していないが、濃度の増加に伴って次第に極大が現れてくる。

温度を 25°C よりも下げると、 $k = 0.6 \text{ nm}^{-1}$ と 1.2 nm^{-1} と 1.5 nm^{-1} の付近に鋭い極大が出現する。これらの鋭いピークは、溶液内で高次の秩序構造が形成されたことを示唆している。花型ミセルは、サイズが均一な球状粒子に類似していると考えられるので、球状粒子系のコロイド結晶と似た高次構造を想定しているが、その高次構造の詳細については現在調査中である。

<引用文献>

- ① Y. Tominaga et al., *J. Phys. Chem. B*, **114**, 11403–11408 (2010)
- ② Y. Hirai et al., *Macromolecules*, **49**, 5084–5091 (2016)

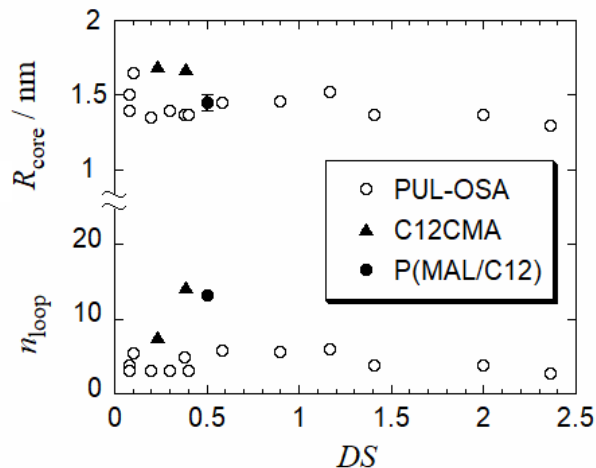


図5 3種類の両親媒性共重合体が形成する単位花型ミセルの疎水性コア半径とループ鎖数

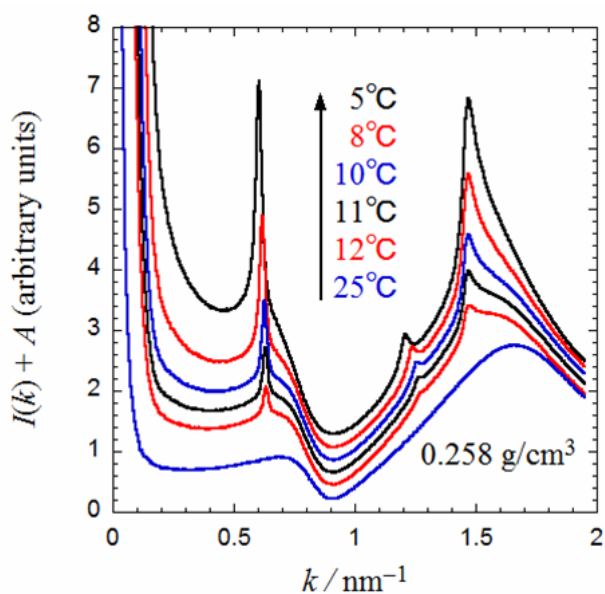


図6 花型ミセルを形成する P(MAL/C12)の濃厚溶液に対する SAXS 散乱関数の温度依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Jia Yang, Takahiro Sato	4. 巻 12
2. 論文標題 Conformation of Pullulan in Aqueous Solution Studied by Small-Angle X-Ray Scattering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 1266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym12061266	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 Yan Li, Takahiro Sato	4. 巻 36
2. 論文標題 Multiple Association-Dissociation Equilibria in Solutions of Amphiphilic Molecules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 8323-8343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c01067	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 Jia Yang, Takahiro Sato	4. 巻 53
2. 論文標題 Micellar Structure of a Hydrophobically Modified Pullulan in an Aqueous Solution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7970-7979
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c01319	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 SATO Takahiro, LI Yan	4. 巻 75
2. 論文標題 Structural Studies of Polymer Nano-Assemblies in Solution by Scattering Techniques	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 KOBUNSHI RONBUNSHU	6. 最初と最後の頁 293 ~ 336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1295/koron.2018-0003	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 該当する

1. 著者名 SATO Takahiro, TAKAHASHI Rintaro	4. 巻 76
2. 論文標題 Kinetics of Block Copolymer Micelles Formed in Solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 KOBUNSHI RONBUNSHU	6. 最初と最後の頁 3 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1295/koron.2018-0052	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 Sezonenko Tetiana, Qiu Xing-Ping, Winnik Françoise M., Sato Takahiro	4. 巻 52
2. 論文標題 Dehydration, Micellization, and Phase Separation of Thermosensitive Polyoxazoline Star Block Copolymers in Aqueous Solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 935 ~ 944
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.8b02528	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 Kameyama Yuki, Kitamura Shinichi, Sato Takahiro, Terao Ken	4. 巻 35
2. 論文標題 Self-Assembly of Amphiphilic Amylose Derivatives in Aqueous Media	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 6719 ~ 6726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b00985	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 Kuang Chen, Yusa Shin-ichi, Sato Takahiro	4. 巻 52
2. 論文標題 Micellization and Phase Separation in Aqueous Solutions of Thermosensitive Block Copolymer Poly(<i>N</i> -isopropylacrylamide)- <i>b</i> -poly(<i>N</i> -vinyl-2-pyrrolidone) upon Heating	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 4812 ~ 4819
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.9b00807	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21件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Jia Yang, Takahiro Sato
2. 発表標題 オクテニルコハクコはく酸無水物により疎水化されたプルランの水溶液中でのミセル形成
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 竹内佐保美、佐藤尚弘
2. 発表標題 フラワーネックレスミセルを形成する両親媒性交互共重合体の濃厚水溶液
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 植野悠一, 佐藤尚弘
2. 発表標題 水溶液中における両親媒性交互共重合体と球状タンパク質との複合体形成
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 韓 佳運, 佐藤 尚弘
2. 発表標題 ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)の相分離水溶液中におけるコロイドの分散状態
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 江上侑希, 佐藤尚弘
2. 発表標題 両親媒性交互共重合体の水溶液中におけるミセル構造のpH依存性
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 柳下 薫, 佐藤尚弘
2. 発表標題 カチオン性界面活性剤で安定化されたエマルションの分散状態
3. 学会等名 第66回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江上侑希, 佐藤尚弘
2. 発表標題 両親媒性交互共重合体の水溶液中におけるミセル構造のpH依存性
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 Jia Yang, Takahiro Sato
2. 発表標題 Micellar Structure of a Hydrophobically Modified Pullulan in Aqueous Solution
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 韓 佳運, 佐藤 尚弘
2. 発表標題 感熱応答性高分子の水溶液中で起こる相分離現象
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 浅野 到、齋藤 弘樹、佐藤 尚弘
2. 発表標題 油中油乳液のブロック共重合体による乳化安定化
3. 学会等名 第29回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tetiana Sezonenko, Xing-Ping Qiu, Francoise M. Winnik, 佐藤尚弘
2. 発表標題 感熱応答性ポリオキサゾリン星型ブロック共重合体の水溶液中での脱水和・ミセル化・相分離
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 韓 佳運, 佐藤 尚弘, 高橋 倫太郎
2. 発表標題 ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)の相分離水溶液中におけるコロイドの分散状態
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 Chen Kuang, Takahiro Sato, Shin-ichi Yusa
2. 発表標題 Effect of Addition of PNIPAM homopolymer on the Phase Separation and Micellization in Aqueous Solutions of PNIPAM-b-Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) upon Heating
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 江上侑希, 佐藤尚弘
2. 発表標題 両親媒性交互共重合体の水溶液中におけるミセル構造のpH依存性
3. 学会等名 第65回高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋原真衣, 佐藤尚弘
2. 発表標題 カチオン性界面活性剤により安定化された乳液の分散状態
3. 学会等名 第65回高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀧口俊樹, 佐藤尚弘
2. 発表標題 球状タンパク質とアニオン性界面活性剤の水溶液中における相互作用の温度依存性
3. 学会等名 第65回高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 兼三, 佐藤 尚弘
2. 発表標題 大豆油とレシチンと水からなる乳液中におけるコロイド分散状態
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 佐藤 尚弘
2. 発表標題 両親媒性ランダム・周期共重合体が溶液中で形成する花形ミセル
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 Jia Yang, Takahiro Sato
2. 発表標題 Conformation and Self-Association Behavior of Hydrophobically Modified Pullulan by Octenyl Succinic Anhydride in Aqueous Media
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 高橋 倫太郎, Narayanan Theyencheri, 遊佐 真一, 佐藤 尚弘
2. 発表標題 ポリマーゾームの形成過程の動力学
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 Jia Yang, Takahiro Sato
2. 発表標題 Conformation and Self-Association Behavior of Hydrophobically Modified Pullulan by Octenyl Succinic Anhydride in Aqueous Media
3. 学会等名 2nd GLowing Polymer Symposium in KANTO (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高分子学会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京化学同人	5. 総ページ数 496
3. 書名 基礎高分子科学 第2版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

佐藤研究室 大阪大学大学院理学研究科高分子科学専攻 http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/sato/
--

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
研究分担者	寺尾 憲 (Terao Ken) (60334132)	大阪大学・理学研究科・准教授 (14401)	

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			
韓国	Korea University			
フィンランド		University of Helsinki		