

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23350055

研究課題名(和文) 高分子集合体の構造解析の精密化とバイオマテリアルへの応用に向けた基盤的研究

研究課題名(英文) Precise Characterization of Macromolecular Assemblies for Quality Control of Biomaterials

研究代表者

佐藤 尚弘 (Sato, Takahiro)

大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10196248

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円、(間接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ドラッグデリバリーシステム、ナノ・キャリア、バイオセンサー、タンパク質の分離・精製・抽出や酵素の固定化・安定化などへの応用が期待されているバイオマテリアルの品質管理に必須の高分子集合体の精密な構造解析技術を確立する目的で、以下の2種類の高分子溶液系について研究を行った。(1)感熱応答性ブロック共重合体の溶液は、昇温によりミセル化と相分離が同時に起こる。その相分離溶液中でのミセルと球状濃厚相を特性化した。(2)ポリアニオンとポリカチオンが水溶液中で形成するポリイオンコンプレックスコロイド粒子の特性化とその形成機構を解明した。

研究成果の概要(英文)：Macromolecular assemblies are utilized as biomaterials like drug delivery system, nano-carrier, or bio-sensor. Precise characterization of macromolecular assemblies is essential to control the quality of those biomaterials. In this study, we have established the method for characterizing assemblies of thermoresponsive block copolymers and polyelectrolyte complexes in solution. Simultaneous micellization and phase separation took place in three thermoresponsive block copolymers investigated, all of which were weakly segregated and weakly amphiphilic block copolymers. Both micelles and concentrated-phase droplets in the solutions were characterized by small-angle X-ray scattering. The number of net charges and total charges (or the aggregation number) per the polyelectrolyte complex were determined by static and electrophoretic light scattering methods for four combinations of two polyanions and two polycations in aqueous solution to compare with proposed complex formation mechanism.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・高分子化学

キーワード：自己組織化高分子 感熱応答性高分子 ポリイオンコンプレックス ブロック共重合体 ミセル 相分離

1. 研究開始当初の背景

近年、様々な高分子がバイオテクノロジー、バイオメディカル、医薬品などの材料として利用されてきている。たとえば、両親媒性高分子や高分子電解質は薬剤を内包したドラッグデリバリーシステムやナノ・キャリア、バイオセンサーへの利用が期待されており、またタンパク質の分離・精製・抽出や酵素の固定化・安定化に利用されている。これらのバイオマテリアルに応用される高分子は、通常イオン性基、疎水性基、水素結合能のある官能基などを有しており、水溶液中でナノメートルからサブミクロンサイズの集合体を形成し、その集合体構造が応用上非常に重要である。しかしながら、その基盤的技術である高分子集合体の精密な構造解析及び構造制御の技術は確立しておらず、経験に頼っているのが実情であった。

2. 研究の目的

当該研究課題では、ナノメートルからサブミクロンサイズにおよぶ種々の高分子集合体の精密な構造解析技術を格段に進歩させ、精密に構造制御された高分子集合体製造技術の確立も目指し、バイオマテリアルの実用化に向けた技術基盤を築くことを目的とした。具体的には、以下的高分子系について研究を行った。

(1) 感熱応答性のジブロック共重合体

ジブロック共重合体が選択溶媒中でミセルを形成することはよく知られている。最近では、熱や光や pH などの外部刺激にตอบสนองしてミセルの形成や崩壊を起こすブロック共重合体が注目されている。ただし、そのような刺激応答性ブロック共重合体は、弱偏析・弱両親媒性で、これまでに研究されてきた強偏析・強両親媒性のブロック共重合体とは異なり、ミセル化と相分離が同時に起こることが判明した。そこで、我々は相分離しているブロック共重合体溶液中でのミセル及び相分離した濃厚相が形成するコロイド粒子の特性化を行った。さらに、同ブロック共重合体溶液で起こる相分離・ミセル化を Flory-Huggins 理論に基づいて考察した。

(2) 逆電荷を有する高分子電解質混合系

同系が水溶液中で形成するサブミクロンサイズのコロイド粒子の特性化を行った。このコロイド粒子は、低分子の疎水性コロイドと同様に、溶液中に存在する過剰高分子電解質成分により安定化される。そのコロイド安定化の機構についても理論的考察を行った。

3. 研究の方法

研究に用いた高分子試料は、感熱応答性ブロック共重合体については研究協力者から提供され、高分子電解質は当研究室で合成するか市販品を購入した。

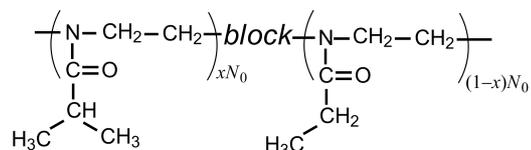
ナノメートルからサブミクロンサイズの高分子集合体の構造解析は、主として静的・動的散乱光及び小角 X 線散乱法 (SAXS) を

用いて行った。ただし、感熱応答性ブロック共重合体系については走査型示差熱測定 (DSC) ポリオンコンプレックスの系には電気泳動光散乱測定も同時に行い、集合体の構造解析および構造形成機構の解明に利用した。

4. 研究成果

(1) 感熱応答性のジブロック共重合体

ポリオキサゾリンは、生体適合性の優れた感熱応答性高分子である。側鎖にイソプロピル基とエチル基を有するポリオキサゾリンのブロック共重合体 (PIPOZ-*b*-PEOZ; 下図参照) の水溶液中でのミセル化挙動を調査した。



イソプロピル基の方がエチル基よりも疎水性が高いので、PIPOZ 水溶液の方が PEOZ 水溶液よりも曇点温度が低い。図 1 には PIPOZ-7k-*b*-PEOZ-4k の 0.1wt% 水溶液に対する DSC の結果を示す。低温側 (43 付近) のピークが PIPOZ ブロック鎖からの脱水、高温側 (55 付近) のピークが PEOZ ブロック鎖からの脱水に対応している。したがって、PIPOZ-7k-*b*-PEOZ-4k は 43 より低温では親水性、55 より高温では疎水性で、43 ~ 55 で両親媒性となると考えられる。ただし、低温側のピーク面積は、同じモノマー当たりの PIPOZ ホモポリマーのピーク面積の半分以下で、ブロック共重合体中の PIPOZ 鎖は、より親水的な PEOZ 鎖が結合していることで、ホモポリマーほど疎水的になっていないことを示唆している。

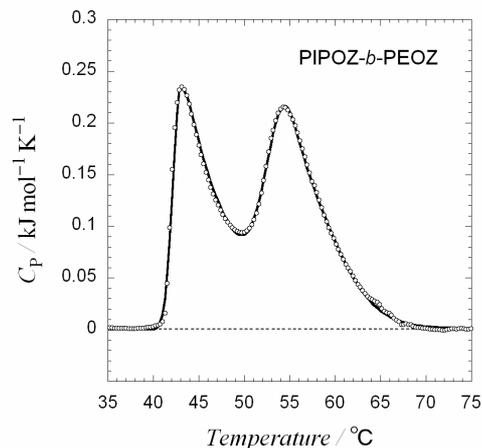


図 1. PIPOZ-7k-*b*-PEOZ-4k の 0.1wt% 水溶液に対する DSC の結果

図 2 には、PIPOZ-7k-*b*-PEOZ-4k の 2.5wt% 水溶液を室温から両親媒的な 50 に加熱した時の SAXS の結果を示す。散乱関数は、散乱ベクトルの絶対値 k が 0.3 nm^{-1} 前後に平坦

部があり、それ以下の k では急激な立ち上がり、それ以上の k 領域で急激な減衰がみられる。低角側の急激な立ち上がりは、相分離によって生じた濃厚相のコロイド粒子からの散乱、高角側の平坦部と急激な減衰は共存する希薄相中に存在する共重合体ミセルからの散乱であると考えられる。同図中の実線は、サイズ分布のある均一密度球と単分散の星型ミセルの混合物に対する理論線を表示している。このフィッティングから、この加熱水溶液中には、会合数が 11 の星型ミセルと平均半径が約 120 nm の球状の濃厚相が存在しており、加熱後 3 min では球状濃厚相の重量分率は 40% であるが、時間が経過するにしたがって、球状濃厚相が散乱体積外に沈降し 19 min 後には 0.3% まで減少している。この濃厚相の沈降により、PIPOZ-7k-b-PEOZ-4k の濃厚水溶液を長時間 50 で放置すると、巨視的な二相分離が観測された。

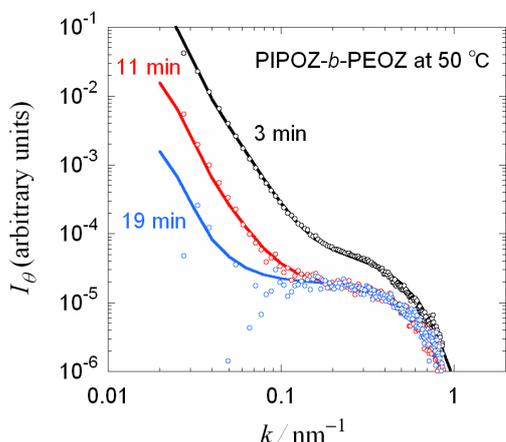
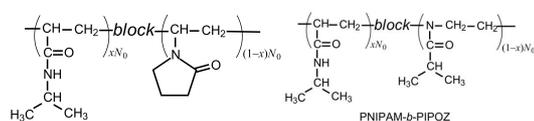


図 2 . PIPOZ-7k-b-PEOZ-4k の 2.5wt% 水溶液に対する散乱関数

PIPOZ-7k-b-PEOZ-4k の水溶液を室温から疎水性領域である 70 まで加熱すると、SAXS の散乱関数から星型ミセルに対する高角の散乱成分が消失し、長時間放置しても巨視的な二相分離は観測されなかった。50 で巨視的な二相分離が観測されたのは、球状濃厚相の表面が親水的な PEOZ ブロック鎖によって覆われてソフトになり、コロイド粒子の合体が起こりやすくなったと考えられる（粘弾性効果）。

同様な実験を、ポリ(*N*-イソプロピルアクリルアミド) (PNIPAM) とポリ(*N*-ビニル-2-ピロリドン) (PNVP) のブロック共重合体（下図左）や PNIPAM と PIPOZ のブロック共重合体（下図右）についても行った。ここで、PNIPAM は水溶液の曇点温度が PIPOZ 水溶液と近いが、メタノールを添加すると、PIPOZ の場合とは逆に曇点温度が下がる感熱応答性高分子で、PNVP は水溶液中沸点近くまで親水的な高分子である。

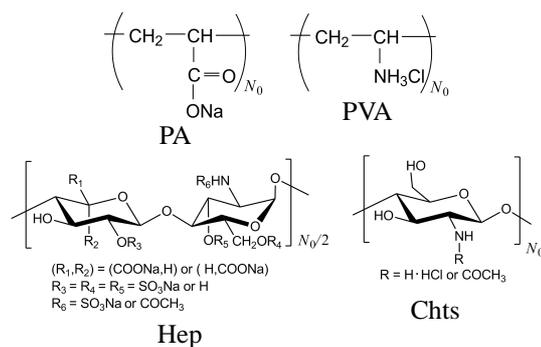


これらの二種類の感熱応答性ブロック共重合体の水溶液あるいは水-メタノール混合物溶液でも、相分離とミセル化の競合が観測された。ただし、相分離した希薄相中にミセルが形成されるには、両親媒性の強い条件（PNIPAM-*b*-PNVP 水溶液では PNIPAM 水溶液の曇点温度よりもかなり高温の 60、PNIPAM-*b*-PIPOZ ではメタノール含量が 30vol% 以上）が必要で、弱い両親媒性条件下では、単一鎖として存在し、臨界ミセル濃度が希薄相濃度よりも高いことが判明した。

他方、PNIPAM-*b*-PNVP 水溶液中で相分離したコロイド状の球状濃厚相のサイズは、高温ほど小さく、また PIPOZ-*b*-PEOZ 水溶液のような巨視的な二相分離は観測されなかった。この系では、球状濃厚相表面を覆っている親水性の PNVP ブロック鎖がコロイドを安定化させていると考えられ、ブロック共重合体の両親媒性と相分離した球状濃厚相のコロイド安定性とは、非常に微妙な関係にある。なお、PNIPAM-*b*-PIPOZ ではメタノール含量が中間の 20vol% で 40 に加熱放置した時に巨視的な二相分離が観測された。

(2) 逆電荷を有する高分子電解質混合系

下図に示すポリアクリル酸ナトリウム (PA)、塩化ポリビニルアンモニウム (PVA)、ヘパリン (Hep) およびキトサン (Chts) の間の逆電荷の高分子電解質を組み合わせた混合物水溶液について、まず少し濃度の高い溶液に生じた沈殿の元素分析を行い、正負の電荷が等モルの化学量論的な複合体が形成されていることを確かめた。



次に、沈殿が生じない希薄溶液について電気泳動光散乱と静的光散乱を行い、複合体のゼータ電位と会合数を求めた結果を図 3 と 4 に示す。横軸は、混合物中の全電荷に対する負電荷のモル分率 x_- で、ゼータ電位は当量混合物 ($x_- = 0.5$) のときにゼロ、正電荷が過剰のとき ($x_- < 0.5$) には正、そして負電荷が過剰のとき ($x_- > 0.5$) には正になっている。これは、複合体はほぼ等モルの正負電荷を有しているが、水溶液中に存在している過剰な高分子電解質がわずかに複合体に吸着して正

負のゼータ電位を生み出していることを示している。ゼータ電位の絶対値から複合体当たりの正味の電荷量を計算すると、全電荷量よりもずっと少なく、吸着量は微量であることが確かめられた。

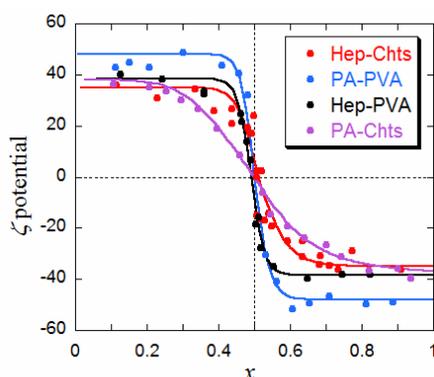


図3 . ポリオンコンプレックスのゼータ電位の混合比依存性

以上の結果から、ポリオンコンプレックスの形成は、混合直後にポリアニオンとポリカチオンが最小の中性複合体を形成し、その疎水性により複合体が凝集する。同時に過剰に存在する高分子電解質成分の複合体への吸着も起こり、ある程度吸着すると、複合体の凝集が停止して安定なポリオンコンプレックスコロイド粒子が形成されると考えられる。以上のモデルに基づき、最終安定状態の複合体の重量平均の会合数 $N_{\pm,w}$ (複合体当たりの正負の全電荷数) を定式化した。

図4には静的光散乱測定より求めた重量平均の会合数 $N_{\pm,w}$ (複合体当たりの正負の全電荷数) の混合比依存性を示す。縦軸中の $N_{\pm,N}$ は混合直後に形成された最小複合体の会合数を表す。複合体系ごとに $N_{\pm,N}$ を適当に選ぶと、実験を行った全てのデータ点が定式化した理論線(図中の実線)に従うようにでき、上記のモデルの妥当性が実証された。

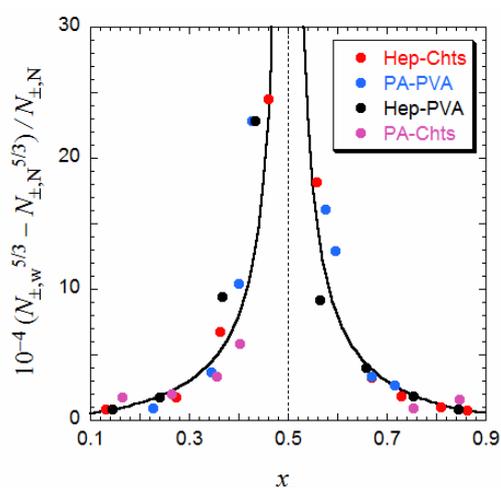


図4 . ポリオンコンプレックスの会合数の混合比依存性

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13件)

Akihito Hashidzume, Takuya Shimomachi, and Takahiro Sato, Frontal Analysis Continuous Capillary Electrophoresis Study on the Interaction of an Amphiphilic Alternating Copolymer with Triton X-100, *Int. J. Anal. Chem.*, **2011**, Article ID 617981, 6 pages (2011). 査読有

Motoki Ueda, Akihito Hashidzume, and Takahiro Sato, Unicore-Multicore Transition of the Micelle Formed by an Amphiphilic Alternating Copolymer in Aqueous Media by Changing Molecular Weight, *Macromolecules*, **44**, 2970–2977 (2011). 査読有

Yusuke Sanada, Ken Terao, and Takahiro Sato, Double Screw-Sense Inversions of Helical Chiral-Achiral Random Copolymers of Fluorene Derivatives in Phase Separating Solutions, *Polym. J.*, **43**, 832–837 (2011). 査読有

Yukari Oda, Shokyoku Kanaoka, Takahiro Sato, Sadahito Aoshima, and Kenichi Kuroda, “Block versus Random Amphiphilic Copolymers as Antibacterial Agents,” *Biomacromolecules*, **12**, 3581–3591 (2011). 査読有

Katsuyuki Ueno, Hitomi Ueno and Takahiro Sato, “Colloidal polyion complexation from sodium poly(acrylate) and poly(vinyl ammonium) chloride in aqueous solution,” *Polym. J.*, **44**, 59-64 (2012). 査読有

Ken Terao, Ryoko Kanenaga, Takahiro Sato, Kazunori Mizuno, and Hans Peter Bächinger, “Complex Formation of Collagen Model Peptides with Polyelectrolytes and Stabilization of the Triple Helical Structure,” *Macromolecules*, **45**, 392–400 (2012). 査読有

Akihito Hashidzume, Akiko Matsumoto, Takeshi Mori, Toshiyuki Shikata, and Takahiro Sato, “Phase Behavior of Aqueous Solutions of Copolymers of *N,N'*-Diisopropylfumaramide and *N*-Isopropylacrylamide: Effect of the Density of Side Chain,” *Langmuir*, **28**, 5522-5526 (2012). 査読有

Keiko Tamada, Hiroki Yamamura, Ken Terao, and Takahiro Sato, “Conformation of Single-Stranded DNA in Aqueous Solution,”

Kobunshi Ronbunshu, **69**, 399-405 (2012).
査読有

Rintaro Takahashi, Takahiro Sato, Ken Terao, Xing-Ping Qiu, and Françoise M. Winnik, "Self-Association of a Thermosensitive Poly(alkyl-2-oxazoline) Block Copolymer in Aqueous Solution," *Macromolecules*, **45**, 6111-6119 (2012). 査読有

Huidan Liu, and Takahiro Sato, "Polymer Colloids Formed by Polyelectrolyte Complexation of Vinyl Polymers and Polysaccharides in Aqueous Solution," *Chinese J. of Polym. Sci.*, **31**, 39-49 (2013). 査読有

Takahiro Sato, Kohei Tanaka, Akiko Toyokura, Rika Mori, Rintaro Takahashi, Ken Terao, and Shin-ichi Yusa, "Self-Association of a Thermosensitive Amphiphilic Block Copolymer Poly(*N*-isopropylacrylamide)-*b*-Poly(*N*-vinyl-2-pyrrolidone) in Aqueous Solution upon Heating," *Macromolecules*, **46** (1), 226-235 (2013). 査読有

Tomoe Arai, Makoto Masaoka, Tomohiro Michitaka, Yosuke Watanabe, Akihito Hashidzume, Takahiro Sato, "Aggregation Behavior of Polystyrene-based Amphiphilic Diblock Copolymers in Organic Media," *Polym. J.*, **46**(3), 189-194 (2014). 査読有

Takashi Okuhara, Akihito Hashidzume, Ken Terao, Takahiro Sato, "Aggregation and Phase Separation of Hydrophilically Modified Poly(dimethylsiloxane) in Methanol-Water Mixtures," *Polym. J.*, **46**, 264-271 (2014). 査読有

[学会発表](計34件)

Takahiro Sato, Uni-Core-Multi-Core Transition of the Micella Formed by an Amphiphilic Alternating Copolymer in Aqueous Media by Changing Molecular Weight, The 2nd FAPS Polymer Congress (Beijing, China), May 8-11, 2011

寺尾 憲, 金永亮子, 佐藤尚弘, 水野一乗, H. P. Bächinger, コラーゲンモデルペプチドの高分子電解質との相互作用と三重らせんの安定化, 第60回高分子学会年次大会(大阪), 2011年5月25-27日, 2F09.

新井友絵, 橋爪章仁, 佐藤尚弘, 両親媒性ブロック共重合体が形成する逆ミセルのキャラクタリゼーション第60回高分子学会年次大会(大阪), 2011年5月25-27日, 2F19.

徐 干晶, 下町卓也, 橋爪章仁, 佐藤尚

弘, 両親媒性高分子電解質と非イオン性界面活性剤が形成する混合ミセル, 第60回高分子学会年次大会(大阪), 2011年5月25-27日, 2F20.

玉田佳子, 佐藤尚弘, サイズ排除クロマトグラフィーによるDNA二重らせんの崩壊と再構築に関する研究第60回高分子学会年次大会(大阪), 2011年5月25-27日, 1Pe075.

上野勝之, 上野 眸, 佐藤尚弘, 水溶液中でのポリイオンコンプレックスの形成機構, 第60回高分子学会年次大会(大阪), 2011年5月25-27日, 1Pf076.

松元亜紀子, 橋爪章仁, 佐藤尚弘, *N,N'*-ジイソプロピルマルアミドのラジカル重合性と得られた共重合体の溶液物性, 第60回高分子学会年次大会(大阪), 2011年5月25-27日, 2Pb006.

高橋倫太郎, 佐藤尚弘, Qiu XingPing, Winnik Françoise, ポリ(イソプロピルオキサゾリン)とポリ(エチルオキサゾリン)から成る感熱応答性ジブロック共重合体水溶液の相分離挙動, 第60回高分子討論会(岡山), 2011年9月28-30日, 1F09.

松元亜紀子, 橋爪章仁, 佐藤尚弘, *N,N'*-ジイソプロピルマルアミド/*N*-イソプロピルアクリルアミド共重合体水溶液の相挙動, 第60回高分子討論会(岡山), 2011年9月28-30日, 1F11.

新井友絵, 橋爪章仁, 佐藤尚弘, 水添加により誘起される有機溶媒中でのブロック共重合体の会合形成, 第60回高分子討論会(岡山), 2011年9月28-30日, 1F14.

奥原隆史, 橋爪章仁, 佐藤尚弘, 親水化ポリジメチルシロキサンのメタノール-水混合物中での会合挙動, 第60回高分子討論会(岡山), 2011年9月28-30日, 1F18.

佐藤尚弘, 浦本 海, 下町卓也, 橋爪章仁, 水溶液中での両親媒性高分子と低分子界面活性剤との相互作用, 第60回高分子討論会(岡山), 2011年9月28-30日, 1F20.

玉田佳子, 佐藤尚弘, サイズ排除クロマトグラフィーによるDNA二重らせんの崩壊と再構築に関する研究, 第60回高分子討論会(岡山), 2011年9月28-30日, 2F02.

真田雄介, 櫻井和郎, 佐藤尚弘, 光学活性ポリフルオレンの相分離溶液中でのキラリティー誘起と濃厚溶液構造, 第60回高分子討論会(岡山), 2011年9月28-30日, 2B13.

上野 眸, 佐藤尚弘, ポリイオンコンプレックス形成における塩濃度依存性, 第60回高分子討論会(岡山), 2011年9月28-30日, 2M18.

中村泰子, 寺尾 憲, 佐藤尚弘, π 共役高

分子電解質の水における分子形態, 第 60 回高分子討論会(岡山), 2011 年 9 月 28-30 日, 3J13.

松田靖弘, 高辻和正, 田坂 茂, 高原 淳, 佐藤尚弘, ポリエチルオキサゾリンとポリメチルメタクリル酸が形成する会合体の水溶液中および沈殿物中での構造, 第 60 回高分子討論会(岡山), 2011 年 9 月 28-30 日, 3J06.

Takahiro Sato, Micellization and Phase Separation in Thermosensitive Block Copolymer Solutions, International Symposium on Polymer Physics 2012 (Chengdu, China), June 4-8.

Takahiro Sato, Characterization of Polymer Micelles in Copolymer Solutions by Scattering Techniques, IUPAC World Polymer Congress 2012 (Blacksburg, USA), June 24-29.

H. Liu and T. Sato, Complex Formation of Heparin and Chitosan in Aqueous Solution, International Symposium on Polymer Physics 2012 (Chengdu, China), June 4-8, P-3-7.

- ⑳ H. Yamamura, K. Tamada, K. Terao, and T. Sato, Conformation of Single-Stranded DNA in Aqueous Solution, The 5th International Symposium on Polymer Materials Science (ISPMS'12) & the 8th Osaka University Macromolecular Symposium (OUMS'12) (Toyonaka), November 10-11, 2012, P-32.

- ㉑ H. Liu and T. Sato, Polymer Colloids Formed by Polyelectrolyte Complexation of Vinyl Polymers and Polysaccharides in Aqueous Solution, The 5th International Symposium on Polymer Materials Science (ISPMS'12) & the 8th Osaka University Macromolecular Symposium (OUMS'12) (Toyonaka), November 10-11, 2012, P-33.

- ㉒ K. Uramoto, T. Shimomachi, A. Hashidzume, and T. Sato, Interaction of Amphiphilic Copolymer and Low Molecular Weight Surfactant in Water, The 5th International Symposium on Polymer Materials Science (ISPMS'12) & the 8th Osaka University Macromolecular Symposium (OUMS'12) (Toyonaka), November 10-11, 2012, P-38.

- ㉓ 佐藤尚弘, 溶液中での高分子集合体の構造解析, 第 57 回高分子夏季大学(大津), 2012 年 7 月 18-20 日.

- ㉔ 吉田 祐, 寺尾 憲, 佐藤尚弘, 水野一乗, H. P. Bächinger, コラーゲンモデルペプチドと高分子電解質との相互作用の温度変化, 第 61 回高分子学会年次大会(横浜), 2012 年 5 月 29-31 日, 3Pa077.

- ㉕ 松元亜紀子, 橋爪章仁, 佐藤尚弘, フマルアミド誘導体と N-イソプロピルアクリルアミド共重合体水溶液の相挙動, 第

61 回高分子学会年次大会(横浜), 2012 年 5 月 29-31 日, 3Pa089.

- ㉖ 新井友絵, 橋爪章仁, 佐藤尚弘, 水添加により誘起される有機溶媒中でのブロック共重合体の会合体形成に対する共重合体組成の効果, 第 61 回高分子学会年次大会(横浜), 2012 年 5 月 29-31 日, 3Pb090.

- ㉗ 浦本 海, 橋爪章仁, 下町卓也, 佐藤尚弘, 水溶液中での高分子と低分子界面活性剤との相互作用, 第 61 回高分子学会年次大会(横浜), 2012 年 5 月 29-31 日, 3Pa093.

- ㉘ 佐藤 尚弘, 豊倉 安紀子, 田中 紘平, 寺尾 憲, Xing-Ping Qiu, Francoise Winnik, 遊佐 真一, 感熱応答性ブロック共重合体の加熱水溶液中における自己集合, 第 62 回高分子学会年次大会(京都), 2013 年 5 月 29 日 - 31 日, 3E07.

- ㉙ 劉 慧丹, 佐藤 尚弘, 水溶液中におけるポリイオンコンプレックスの形成機構, 第 62 回高分子学会年次大会(京都), 2013 年 5 月 29 日 - 31 日, 2Pe125.

- ㉚ 王 碧娟, 佐藤 尚弘, 両親媒性コポリマーとホモポリマーのポリイオンコンプレックス形成, 第 62 回高分子討論会(金沢), 2013 年 9 月 11 日 - 13 日, 3Pa057.

- ㉛ 佐藤 尚弘, 高橋 倫太郎, 近藤 優壮, Winnik Francoise, 相分離溶液における感熱応答性ブロック共重合体の凝集効果, 第 62 回高分子討論会(金沢), 2013 年 9 月 11 日 - 13 日, 1H18.

〔図書〕(計 1 件)

佐藤尚弘, 講談社サイエンティフィック, 高分子の構造と物性(松下裕秀編), 2013 年, 538 頁(1 - 173 頁)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/sato/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤尚弘 (SATO, Takahiro)
大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 10196248

(2) 研究分担者

橋爪章仁 (HASHIDZUME, Akihito)
大阪大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 70294147

寺尾 憲 (TERAO, Ken)
大阪大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号: 60334132