

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：37401

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2008 ～ 2012

課題番号：20111011

研究課題名（和文） 分子認識を駆使する高分子超構造体の創製と機能

研究課題名（英文） Development and functions of polymer-based supramolecular architectures on the bases of molecular recognition

研究代表者

新海 征治 (SHINKAI SEIJI)

崇城大学・工学部・教授

研究者番号：20038045

研究成果の概要（和文）：アロステリック効果を人工系に組み込むことで、ナノ分子集合体による機能創発を実現した。1) ゲスト添加によって伸張・収縮を制御可能な動的二次元超分子ポリマーを開発。2) 規則性二次元配列を持つ導電性高分子の薄膜を構築。3) らせん性多糖を基本骨格に、ナノ物質輸送システムや高感度分子センサを開発。4) 閾値型の金属センサやキラルメモリを開発。会合誘起型蛍光プローブとの協同的自己集合による分子センサを開発。

研究成果の概要（英文）：The new type of nano-size supramolecules showing dynamic function were successfully developed on the basis of allosteric effects as follows; 1) expansion/contraction tunable nano architecture, 2) highly-ordered film consist of the conductive polymers, 3) nano size transportation system based on a helical polysaccharide, 4) molecular sensor possessing the non-linear response properties.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
2009年度	12,200,000	3,660,000	15,860,000
2010年度	13,300,000	3,990,000	17,290,000
2011年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
2012年度	10,800,000	3,240,000	14,040,000
総計	57,400,000	17,220,000	74,620,000

研究分野：理工学系研究

科研費の分科・細目：ナノサイエンス

キーワード： 多糖・分子認識・超構造・機能創発・機能性高分子

### 1. 研究開始当初の背景

超分子組織体は、“building block”の集積により形成される。これまでに創製された超分子組織体は「自己集合」に基づく集積によって構築されたものであり、その対象とされた building block は「低分子」であることが多かった。一方で、共有結合による「小分子の集積体」の一形態として高分子があり、これまでに様々な機能を持つ高分子や、様々な戦略に基づく高分子合成法が確立されてきた。この故に、分子集積体による動的機能の創発を意識する場合には、既に一定の機能

が付与された「高分子」を「プログラム化」により集積した方が目的に到達しやすい。この作業仮説を満足するには、多点相互作用の制御の確立が必要となる。我々は本研究に着手するまでに、共役系高分子を階層的に配列させるための新たな試みとして、アロステリズムの概念を導入した架橋型の「分子クランプ」を用いて、共役系高分子を等間隔にかつ高い配向性を以て組織化した超分子膜の創製に成功していた。また、 $\beta$ -1,3-グルカン類のらせん構造の内側に存在する一次元的な空洞に、カーボンナノチューブ、ポリシラン、

導電性高分子、金ナノ粒子などの機能性材料を取り込むことで一次元的複合体を形成し、水中に安定に分散できることを見出し、この特異な分子包摂能を活用して、高分子の規則性配列や導電性高分子との複合化による刺激応答型ナノ材料の開発にも成功していた。そこで本研究では、「低分子系の分子認識」の研究で得られた知見をもとに、高分子に対する多点分子認識を基盤とした動的機能システムの構築に挑むこととした。

## 2. 研究の目的

多角的な分子認識過程を制御し、機能性高分子の能動的集積とその集積化に起因して動的に発現する機能の創発（運動特性、光学特性の動的変換・制御など）を目指す。

アロステリズムの概念を導入した人工の架橋素子「分子クランプ」により、共役系高分子の規則的配列に成功している。このコンセプトを拡張して、新たな機能創発素子として Multi-point Interactive Allosteric Receptor (MIAR) を創製し、機能性高分子の配列とその集積体形状のプログラム化、および外的環境に反応して物理的形状や化学的特性を動的に変える機能性高分子集積体を開発する。また、 $\beta$ -1,3-グルカン類はカーボンナノチューブ、導電性高分子などを巻き込み、一次元的な水溶性の合成高分子・天然物ハイブリッド機能材料を創出する。そこで、生体分子に対する結合モチーフを側鎖に導入した  $\beta$ -1,3-グルカン類と機能性高分子との一次元的複合体を調製し、生体分子を仲立ちとした機能性高分子の多角的集積に挑む。さらに生体分子の動的機能特性を活用し、機能性高分子集積体の動的機能創発を目指す。

## 3. 研究の方法

機能性高分子の集積化の起点となる MIAR を有機合成する。MIAR には、アロステリズムを発現出来るように設計された分子に複数の分子認識部位、および外部因子に反応して特性変化を誘起する要素 (inducer) を導入する。さらに異なる分子認識部位を導入したヘテロな MIAR も合成する。これらを用いて共役系高分子などの機能性高分子の自己組織化による集積について検討し、MIAR の分子設計とその機能発現について知見を得る。機能の創発が期待できる分子集積体については、その機能を評価するとともに、外的環境変化による機能制御について詳細に検討を行う。以上から得られる知見を吟味して、創発化学へのアプローチを開拓する。

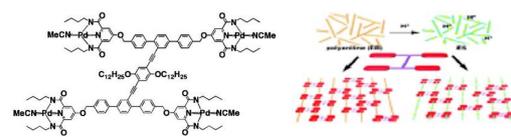
有機合成的手法により、側鎖に特定のタンパク質の結合モチーフを導入したシゾフィラン・カードランを合成する。この修飾シゾフィラン・カードランに非水溶性の機能性高分子を取り込むことで、水溶化した複合材料

を調製する。様々な機能性高分子を包含した複合材料を用意して、これらを所定のタンパク質と結合させることで集積化する。集積化に際しては、タンパク質が持つ構造的・化学的特性を踏まえて、その空間配置や配向などの精密な制御を目指す。機能の創発が期待できる分子集積体については、その機能を評価するとともに、タンパク質が持つ特性を利用して、外部環境に反応して機能を創発するナノ・バイオ融合型の動的機能材料へと展開を図る。

## 4. 研究成果

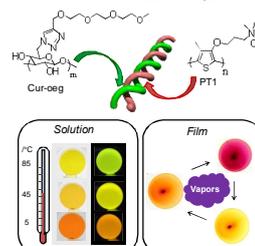
金属配位部位としてピリジン骨格を導入したポルフィリンを、Pd を架橋金属として組織化することで、一次元的に伸張した超分子ポリマーを作成した。この一次元超分子は連結部の分子回転にともなって、伸張・収縮が可能であるが、その伸張状態は  $C_{60}$  をゲストとした錯形成によって誘起されることが明らかとなった。この錯形成過程はゲスト濃度に対して劇的な変曲点を有するシグモイド型の挙動を示し、アロステリズム介在により伸張・収縮を閾値処理的に制御出来ることが明らかとなった。

共役系高分子を配位結合により配列・集積化する分子クランプを開発した。この分子は、ポリアニリンを高い規則性を持って二次元的に配列し、結晶性の薄膜を形成出来ることが明らかになった。さらに、ポリアニリンを一般的なドーパントであるカンファースルホン酸であらかじめ処理した後に集積化を行うことで、導電性の超分子薄膜へと展開することに成功した。(Chem. Eur. J., 2009)



カチオン性のポリフェニレンエチニレン (PPE) と SPG からなる一次元ナノワイヤー状複合体にアニオン性の発光性半導体量子ドット (QD) をコーティングすることによって、有機無機のナノハイブリッドを構築した。

さらに、アクセプター性分子であるテトラニトロフルオロン (TNF) を添加することにより、TNF と PPE との電荷移動錯体形成にともなって、QD からナノワイヤー状複合体へのエネルギー移動が生じる蛍光消光型の高感度センサと

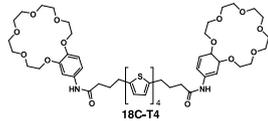


しての機能が発現することを見出した。  
(*Chem. Asian J.*, 2009)

次に、タービジン基を数%導入した SPG のカーボンナノチューブ複合体に、オリゴヒスチジンを発現させたミオシンを配位結合によって連結することに成功した。これにより、生体疑似環境下においてアクチンフィラメント上を複合体が移動できる人工のコンテナ輸送モデルを世界に先駆けて開発した。  
(*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2010)

さらに、オリゴエチレングリコール鎖を導入した修飾 Cur (Cur-oeg) とカチオン性のポリチオフェン (PT1) からなる複合体が、特異な外部刺激応答性を示すことを見出した。PT1/Cur-oeg 複合体は、水溶液中において、温度変化により色と蛍光の連続的な変化を示した。さらにこの複合体は、フィルム状態においても、蒸気環境によって色の変化を示すことが明らかとなった。PT1/Cur-oeg 複合体が柔軟ならせん構造を形成していることが示唆された。  
(*J. Am. Chem. Soc.*, 2010)

スペーサー部位に水素結合部位としてアミド基を導入したベンゾクラウンエーテル型の



双頭型界面活性剤 (18C-T4) は、高い一次元的分子集積を示し、クロロホルムをゲル化した。この分子はアセトニトリル中でも繊維状会合体を形成するが、ゲルを形成することは無い。ここに種々の金属塩を添加した所、クラウンエーテル部位との錯形成に不利な Na<sup>+</sup>などの金属イオン存在下では、会合形態に変化は確認されなかったが、K<sup>+</sup>や Cs<sup>+</sup>共存下では、自己組織体の形状に大きな変化が観測された。

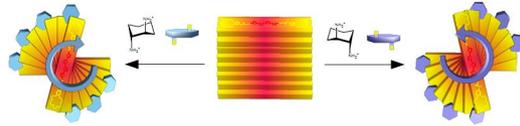
18C-T4 が形成するクロロホルムゲルは K<sup>+</sup>および Cs<sup>+</sup>の添加に伴ってゲルの安定性が低下した。ゲルの不安定化はカチオンの添加量が 18C-T4 : cation = 1 : 1 に至ったところで劇的に進行し、ゾルへの相転移が誘発されることが確認され、アロステリズムの介在が確認された。この相転移に伴って、超分子ゲル繊維の消失が確認されたことから、クラウンエーテル部位と金属カチオンの錯形成に伴って、18C-T4 の溶解性が向上し、相転移が誘起されたと考えられる。

さらに、18C-T4 の形成するゲルは、キラルなビスアンモニウム型のゲスト分子の添加に伴って、CD 活性となることが明らかとなった。キラルなモノアンモニウム型分子共存下では CD が発現しないことから、ゲルが CD 活性になるためにはビスアンモニウム型のゲスト分子によるクラウンエーテル部間の架橋が必須であることが確認された。また、ゲルが示す CD 強度はビスアンモニウム型分子の添加に伴って上昇し、クラウンエーテル部

位とアンモニウムカチオンの量論比が等しくな

る 18C-T4 : bisammonium salt = 1:1 までの添加で飽和することが確認された。

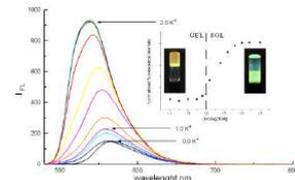
興味深いことに、ゲスト不在下でのゲルは物理的振動による破壊に対して不可逆であり、ゲルを再形成することはないのに対して、



ビスアンモニウム型のゲスト分子存在下でチキソトロピー性を示すことが明らかとなった。キラルなビスアンモニウム型のゲスト分子存在下でも、物理的振動による破壊後に再形成したゲルの CD が回復しないことから、本系は熱と物理刺激を使い分けることで、キラルメモリとして機能することが示された  
(*Chem. Commun.*, 2011)。

グアデジニウムを有するテトラフェニルエチレン誘導体による生体由来リン酸化化合物のセンシングにアロステリック効果のような分子の自己集合を利用したシグナル増幅システムを蛍光プローブに導入することができれば、これまでにない蛍光プローブの機能創発が可能となる。しかし、有機色素を利用した従来の蛍光プローブでは会合により消光が起こるため、分子の自己集合を利用するシグナル増幅システムの積極的な導入は困難であった。そこで我々は今回、会合体形成により発光する会合誘起型蛍光プローブ (TPE) と標的物質 (ATP) との協同的な自己集合により、S 字型の非線形蛍光応答が得られることを初めて見出し、蛍光 応答に閾値が存在して標的物質の ON/OFF 検出が可能となることを実証した。

糖を不斉源とするポリチオフェン誘導体の会合ポリチオフェンは立体的混み合いのため平面構造を取りにくく、らせん構造を取りやすい “Prochiral” の性質を有する。最近我々は、カチオン性ポリチオフェン (PT1) が多糖やアデノシン三リン酸 (ATP) などの生命分子とキラルな複合体を形成することを明らかにした。そこで、今回は PT1 の凝集過程を利用した単糖構造のパターン認識への展開を行った。PT1 と単糖の共存下、貧溶媒の添加によりアキラルな PT1 を凝集させると PT1 の会合体が示す吸収波長域に誘起 CD が観測された。さらに、その誘起 CD のコットン効果は、添加する糖の光学活性に応じて反転した。興味深いことに、観測されるコットン効果の強度と糖の比旋光度の間に相関があることが示唆された。以上の手法は糖認識における新たなキラルセンシング法開拓のための新技術となると期待される。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計22件)

- 1) Noguchi T, Shiraki T, Dawn A, Tsuchiya Y, Ngoc, Lien L.T, Yamamoto T, Shinkai S, Nonlinear fluorescence response driven by ATP-induced self-assembly of guanidinium-tethered tetraphenylethene, *Chem. Commun.*, 2012, *48*, 8090-8092. DOI:10.1039/C2CC33262K (査読有)
- 2) Shiraki T, Dawn, A, Tsuchiya Y, Yamamoto T, Shinkai S, Unexpected chiral induction from achiral cationic polythiophene aggregates and its application to the sugar pattern recognition, *Chem. Commun.*, 2012, *48*, 7091-7093. DOI:10.1039/C2CC33162D (査読有)
- 3) Tsuchiya Y, Haraguchi S, Ogawa M, Shiraki T, Kakimoto H, Gotou O, Yamada T, Okumoto K, Nakatani S, Sakanoue K, Shinkai S, Fine wettability control created by a photochemical combination method for inkjet printing on selfassembled monolayers, *Adv. Mater.*, 2012, *24*, 968-972. DOI: 10.1002/adma.201104277 (査読有)
- 4) Dawn A, Shiraki T, Ichikawa H, Takada A, Takahashi Y, Tsuchiya Y, Lien L.T.N, Shinkai S, Stereochemistry-dependent, mechanoresponsive supramolecular host assemblies for fullerenes: Guest-induced enhancement of thixotropy, *J. Am. Chem. Soc.*, 2012, *134*, 2161-2171. DOI:10.1021/ja211032m (査読有)
- 5) Sobczuk, Adam A.; Tsuchiya, Youichi; Shiraki, Tomohiro; Tamaru, Shun-ichi; Shinkai, Seiji, Creation of Chiral Thixotropic Gels through a Crown-Ammonium Interaction and their Application to a Memory-Erasing Recycle System, *Chem. Eur. J.*, 2012, *18*, 2832-2838. DOI:10.1002/chem.201103249 (査読有)
- 6) Youichi TSUCHIYA, Tomohiro SHIRAKI, Takashi MATSUMOTO, Kouta SUGIKAWA, Kazuki SADA, Akihito YAMAMOTO, Seiji SHINKAI, Supramolecular Dye Inclusion Single Crystals Created from 2,3,6-Trimethyl- $\beta$ -cyclodextrin and Porphyrins, *Chem. Eur. J.*, 2012, *18*, 456-465. DOI:10.1002/chem.201102075 (査読有)
- 7) Shiraki, Tomohiro; Dawn, Arnab; Lien, Le Thi Ngoc; Tsuchiya, Youichi; Tamaru, Shun-ichi; Shinkai, Seiji, Heat and light dual switching of a single-walled carbon nanotube/thermo-responsive helical polysaccharide complex: a new responsive system applicable to photodynamic therapy, *Chem. Commun.*, 2011, *47*, 7065-7067. DOI:10.1039/c1cc11288k (査読有)
- 8) Lien, Le Thi Ngoc; Shiraki, Tomohiro; Dawn, Arnab; Tsuchiya, Youichi; Tokunaga, Daisuke; Tamaru, Shun-ichi; Enomoto, Naoya; Hojo, Junichi; Shinkai, Seiji, A pH-Responsive carboxylic  $\beta$ -1,3-glucan polysaccharide for one-dimensional complexation with guest macromolecules, *Org. Biomol. Chem.*, 2011, *9*, 4266-4275. DOI:10.1039/c1ob05114h (査読有)
- 9) Arnab DAWN, Tomohiro SHIRAKI, Shuichi HARAGUCHI, Hiroki SATO, Kazuki SADA, Seiji SHINKAI, Transcription of Chirality in the Organogel Systems Dictates the Enantiodifferentiating Photodimerization of Substituted Anthracene, *Chem. Eur. J.*, 2010, *16*(12), 3676-3689. DOI:10.1002/chem.200902936 (査読有)
- 10) Munenori NUMATA, Kenji KANEKO, Hitoshi TAMIYAKI, Seiji SHINKAI, "Supramolecular" Amphiphilic Created by Wrapping Poly(styrene) with the Helix-Forming  $\beta$ -1,3-Glucan Polysaccharide, *Chem. Eur. J.*, 2009, *15*(45), 12338-12345. DOI:10.1002/chem.200901783 (査読有)
- 11) Takahiro KASEYAMA, Shinji TAKEBAYASHI, Rie WAKABAYASHI, Seiji SHINKAI, Kenji KANEKO, Masayuki TAKEUCHI, Supramolecular Assemblies of Polyaniline through Cooperative Bundling by a Palladium-Complex-Appended Synthetic Cross-Linker, *Chem. Eur. J.*, 2009, *15*(42), 12627-12635. DOI:10.1002/chem.200902305 (査読有)
- 12) Arnab DAWN, Norifumi FUJITA, Shuichi HARAGUCHI, Kazuki SADA, Seiji SHINKAI, Studies on a New Class of Organogelator Containing 2-Anthracenecarboxylic Acid: Influence of Gelator and Solvent on Stereochemistry of the Photodimers, *Org. Biomol. Chem.*, 2009, *7*(21), 4378-4385. DOI:10.1039/b910741j (査読有)
- 13) Rie WAKABAYASHI, Tomohiro IKEDA, Yohei KUBO, Seiji SHINKAI Masayuki TAKEUCHI, Unexpected Effects of Terminal Olefins on a Cooperative Recognition System That Implicate Olefin-Olefin Interactions, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2009, *48*(36), 6667-6670. DOI:10.1002/anie.200901970 (査読有)
- 14) Arnab DAWN, Norifumi FUJITA, Shuichi HARAGUCHI, Kazuki SADA, Seiji SHINKAI, An Organogel System Can Control the Stereochemical Course of Anthracene Photodimerization, *Chem. Commun.*, 2009,

16, 2100-2102. DOI:10.1039/b820565e (査読有)

15) Tomohiro IKEDA, Seiji SHINKAI, Kazuki SADA, Masayuki TAKEUCHI, A Preliminary Step toward Molecular Spring Driven by Cooperative Guest Binding, *Tetrahedron Lett.*, 2009, 50(17), 2006-2009. DOI:10.1016/j.tetlet.2009.02.086 (査読有)

16) Shuichi HARAGUCHI, Munenori NUMATA, Chun LI, Yoko NAKANO, Michiya FUJIKI, Seiji SHINKAI, Circularly Polarized Luminescence from Supramolecular Chiral Complexes of Achiral Conjugated Polymers and a Neutral Polysaccharide, *Chem. Lett.*, 2009, 38 (3), 254-255. DOI:10.1246/cl.2009.254 (査読有)

17) Tatsuya KITAHARA, Norifumi FUJITA, Seiji SHINKAI, Photoresponsive Fluorescence Color Change Derived from TICT in an Organogel System, *Chem. Lett.*, 2008, 37 (9), 912-913. DOI:10.1246/cl.2008.912 (査読有)

18) Munenori NUMATA, Kazunori SUGIYASU, Takanori KISHIDA, Shuichi HARAGUCHI, Norifumi FUJITA, Sun Min PARK, Young Ji YUN, Byeang Hyeon KIM, Seiji SHINKAI, Creation of Polynucleotide-Assisted Molecular Assemblies in Organic Solvents: General Strategy toward the Creation of Artificial DNA-like Nanoarchitectures, *Org. Biomol. Chem.*, 2008, 6 (4), 712-718. DOI:10.1039/b713354e (査読有)

19) Kazunori SUGIYASU, Shin-ichiro KAWANO, Norifumi FUJITA, Seiji SHINKAI, Self-Sorting Organogels with p-n Heterojunction Points, *Chem. Mater.*, 2008, 20 (9), 2863-2865. DOI:10.1021/cm800043b (査読有)

20) Kazuyuki NOBUSAWA, Atsushi IKEDA, Jun-ichi KIKUCHI, Shin-ichiro KAWANO, Norifumi FUJITA, Seiji SHINKAI, Reversible Solubilization and Precipitation of Carbon Nanotubes through Oxidation-Reduction Reactions of a Solubilizing Agent, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2008, 47 (24), 4577-4580. DOI:10.1002/anie.200800095 (査読有)

21) Tadashi OKOBIRA, Kentaro MIYOSHI, Kazuya UEZU, Kazuo SAKURAI, Seiji SHINKAI, Molecular Dynamics Studies of Side Chain Effect on the  $\beta$ -1,3-D-Glucan Triple Helix in Aqueous Solution, *Biomacromol.*, 2008, 9 (3), 783-788. DOI:10.1021/bm700511d (査読有)

22) Shinji TAKEBAYASHI, Seiji SHINKAI, Masato IKEDA and Masayuki TAKEUCHI, *Org.*

*Biomol.* Metal Ion Induced Allosteric Transition in the Catalytic Activity of an Artificial Phosphodiesterase, *Chem.*, 2008, 6 (3), 493-499. DOI:10.1039/b716196d (査読有)

[学会発表] (計43件)

1) 新海征治, アロステリズムの概念を基盤とする機能分子設計, 分子ナノシステムの創発化学「領域終了シンポジウム」, 2013.2/1-2 (東京)

2) 野口 誉夫、新海 征治, 会合誘起型蛍光プローブによる生体由来リン酸化合物の高感度検出, 新学術領域「分子ナノシステムの創発化学」第4回全体会議, 2012.8/17-18 (長野)

3) 田丸 俊一、新海 征治, 不斉転写超分子ゲルと非平衡型超分子ファイバー形成, 新学術領域「分子ナノシステムの創発化学」第4回全体会議, 2012.8/17-18 (長野)

4) 三原将、平尾みなみ、田丸俊一、新海征治, 規則性構造を持つ高分子薄膜の創製の試み, 日本化学会第92春季年会, 2012.3/26-29 (神奈川)

5) Seiji SHINKAI, From “Classic” Molecular Machines to Dynamic Control of Supramolecular Assemblies, *Supramolecular Chemistry in 21st Century*, 2011.11/26-27 (ポーランド)

6) 白木智丈, 土屋陽一, Arnab DAWN, Thi Ngoc LIEN LE, 新海征治, 熱と光に応答して可逆的に集合する高分子複合体を利用した機能性色素の内包・放出制御, 新学術領域研究第3回全体会議, 2011.8/19-20 (大分)

7) Arnab DAWN, Adam A. SOBCZUK, 白木智丈, 田丸俊一, 新海征治, Stimuli-responsive gels showing thixotropic self-healing properties, 新学術領域研究第3回全体会議, 2011.8/19-20 (大分)

8) Tomohiro SHIRAKI, Arnab DAWN, Thi Ngoc LIEN LE, Youichi TSUCHIYA, Shun-ichi TAMARU, Seiji SHINKAI, Responsive polymer complex fabrication through supramolecular wrapping with helix-forming polysaccharide derivatives obtained by a click reaction, Gordon Research Conference, 2011.6/19-24 (イタリア)

9) 田丸俊一, 新海征治, Development of supramolecular nanocomposites based on semi-artificial branched polysaccharides, 60th SPSJ Annual Meeting (international session), 2011.5/26-27 (大阪)

10) Arnab DAWN, Tomohiro SHIRAKI, Youichi TSUCHIYA, Thi Ngoc LIEN LE, Seiji SHINKAI, A Supramolecularly Controlled Mechanoresponsive Host Assembly for

Fullerenes, 第6回九州大学未来化学創造センターシンポジウム, 2011.5/20 (福岡)

11) Thi Ngoc LIEN LE, 白木智丈, Arnab DAWN, 土屋陽一, 榎木尚也, 北條純一, 新海征治, pH-responsive Carboxylic  $\beta$ -1,3-glucan Polysaccharide for Complexation with Polymeric Guests, 第6回九州大学未来化学創造センターシンポジウム, 2011.5/20 (福岡)

12) 田丸俊一, 自己組織化を基盤とする動的機能材料開発, 高分子九州支部フォーラム, 2011.3/12 (福岡)

13) 田丸俊一, 規則的分子配列を目指した高分子材料設計, 新学術領域「分子ナノシステムの創発化学」第二回公開シンポジウム, 2011.2/4-5 (東京)

14) 田丸俊一, 徳永大輔、新海征治, Preparation and properties of modified beta-1,3-glucans, 2010 環太平洋国際化学会議, 2010.12/15-20 (Honolulu)

15) 田丸俊一, 新海征治, 分子集合過程に働く協同効果, 新学術領域「分子ナノシステムの創発化学」第二回全体会議, 2010.8/20-21 (山梨)

16) T.N. Lien LE, Tomohiro SHIRAKI, Daisuke TOKUNAGA, Shun-ichi TAMARU, Noriyuki ENOMOTO, Junichi HOJO and Seiji SHINKAI, Carboxylic  $\beta$ -1,3-glucan polysaccharide: Synthesis, Characterization and Complexation with Single-stranded Home RNAs, 5th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry, 2010.6/6-10 (奈良)

17) Arnab DAWN, Tomohiro SHIRAKI and Seiji SHINKAI, From Photochirogenesis to Mechanoresponsive Supramolecular Assembly: Anthracene-based Gelators in Action, 5th International Symposium on Macrocyclic and Supramolecular Chemistry, 2010.6/6-10 (奈良)

18) 白木智丈, 土屋陽一, 新海征治, 半導体量子ドットの集合に基づくエネルギー移動を利用した 2,4,6-トリニトロトルエンのレシオメトリック蛍光センシング, 日本化学会第90回春季年会, 2010.3/26-29 (大阪)

19) 土屋陽一, 小森智貴, 平野美奈子, 白木智丈, 角五彰, 井出徹, グン剣萍, 山田淳, 柳田敏雄, 新海征治, 多糖を基体とした分子モーター駆動の人工コンテナ輸送システム, 日本化学会第90回春季年会, 2010.3/26-29 (大阪)

20) 徳永大輔, 田丸俊一, 新海征治, 多価イオン導入カードランの創成と機能, 日本化学会第90回春季年会, 2010.3/26-29 (大阪)

〔図書〕(計2件)

1) Pritam MUKHOPADHYAY, Shin-ichiro KAWANO, Norifumi FUJITA and Seiji SHINKAI, American Scientific Publishers, Bottom-up Nanofabrication (A Development Journey from First through Second Generation of Organogels), 351-381 (2009)

2) Sudip MALIK, Norifumi FUJITA and Seiji SHINKAI, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., Chirality at the Nanoscale (Gels as a Media for Functional Chiral Nanofibers), 93-114 (2009)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

新海 征治 (SHINKAI SEIJI)  
崇城大学・工学部・教授  
研究者番号: 20038045

### (2) 研究分担者

田丸 俊一 (TAMARU SHUN-ICHI)  
崇城大学・工学部・准教授  
研究者番号: 10454951

吉原大輔 (YOSHIHARA DAISUKE)  
公益財団法人九州先端科学技術研究所  
ナノテク研究室・研究員  
研究者番号: 40633409

白木 智丈 (SHIRAKI TOMOHUMI)  
公益財団法人九州先端科学技術研究所  
ナノテク研究室・研究員  
研究者番号: 10508089

沼田 宗典 (NUMATA MUNENORI)  
京都府大院生命環境科学研究科・准教授  
研究者番号: 70423564

### (3) 連携研究者

竹内 正之 (TAKEUCI MASAYUKI)  
独立行政法人物質・材料研究機構ナノ研究センター・グループリーダー  
研究者番号: 70264083

杉安 和憲 (SUGIYASU KAZUNORI)  
独立行政法人物質・材料研究機構先端的共通技術部門・主任研究員  
研究者番号: 80469759