

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：87103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05848

研究課題名(和文) 超分子/高分子複合ゲルによる機能増幅と高感度センサーへの応用

研究課題名(英文) Amplification of function in supramolecular/polymer composite gels and its application to highly sensitive sensors

研究代表者

新海 征治 (Shinkai, Seiji)

公益財団法人九州先端科学技術研究所・マテリアルズ・オープン・ラボ・特別研究員

研究者番号：20038045

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、機能性超分子と高分子とを融合することで、互いの機能が融合された高機能材料の開発に成功した。具体的には、ゲスト添加による凝集誘導発光分子の会合状態の制御、共役系超分子ヒドロゲル系の自己修復能の発現と制御、アニオン性多糖に誘導される超分子ヒドロゲル形成を用いた多糖センサーの構築、超分子・高分子複合ゲルによるシグナル増幅系の構築、蛍光性高分子と蛍光性小分子との超分子複合体を用いたアニオン性多糖の識別、そして半人工らせん性分岐多糖による階層的超分子構造の構築、のそれぞれを達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、超分子と高分子間に形成する分子間相互作用を適切に制御することに成功し、超分子と高分子間の機能の伝搬や、天然高分子の識別を可能にする超分子の開発に対する有益な知見が得られた。特に硫酸化多糖類の識別を可能にする検出系の構築は、医療材料の検査に貢献する極めて重要な成果である。また、超分子ゲル系の自己修復能の制御について新しい知見を見出し、性能をファインチューニング可能な自己修復材料の開発に対して有益なものである。さらに、分子包接能を持つ多糖材料と超分子の組合せによる階層的超分子構造体の構築は、階層性にもとづく機能発現を実現する超分子材料開発に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：This research project focused on the construction of innovative materials on the bases of the hybridization between supramolecules and polymers. In this study, the following results were successfully achieved; (1) control of stimuli-responsive behavior of the aggregation-induced emission molecules, (2) expression and control of the self-healing ability of -conjugated supramolecular hydrogels, (3) development of the anionic polysaccharide sensors based on the guest-induced hydrogel formation. (4) construction of a signal amplification system utilizing a supramolecular/polymer composite hydrogel, (5) discrimination of the anionic polysaccharides by using supramolecular complexes containing fluorescent polymer, and (6) construction of the hierarchical supramolecular architectures utilizing semi-artificial helical branched polysaccharides.

研究分野：超分子化学

キーワード：超分子化学 多糖 ホスト-ゲスト ヒドロゲル 刺激応答性

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

機能性分子が非共有結合的に集積することで得られる超分子は、単独の分子では到達できない新たな機能創出を実現するだけでなく、外部環境の変化に鋭敏に応答した機能制御を可能にする。この様な特長は生命の機能発現の原理にも通ずるものであり、これまでに興味深い機能を発現する超分子材料が数多く報告され、スマートマテリアルを構築するための有効な戦略として認知されてきた。超分子構築の基本原則である自己組織化は、主に溶液中で進行するため、数多くの超分子の機能発現は主に溶液中で達成されている。また、その機能の発現機構として分子集合状態の変化や集合/解離間の相転移を利用することで、より独創的な機能発現に成功している。しかし、この様な機能は、超分子が準安定状態のような「ゆらぎ」のある、比較的不安定な状態にあることで発現するため、実用的な材料に不可欠な物理的安定性は損なわれてしまう。つまり超分子材料の開発において、「多彩かつ鋭敏な機能発現」と「実用化のための高い物理的安定性の確保」は、互いに悩ましいトレードオフの関係にある。この問題を解決する糸口としてゲル系の活用が考えられる。ゲルはその内部は豊富な溶媒を含んでいるものの、巨視的には固体状の物質であるため、種々の材料設計に有用であるのみならず、生体内においても重要な役割を担っていることが知られている。当研究グループは、研究開始時以前から、光応答ゲル、レドックス応答ゲル、閾値型応答性の分子認識機能ゲル、自己修復能を持つゲルなどの機能性超分子ゲルを報告し、高機能性超分子ゲルの構築に必要な豊富な知見を蓄積して来た。

### 2. 研究の目的

本研究では、非共有結合的相互作用の形成を駆動原理として発現する、超分子の機能の強化とインテリジェントマテリアルとしての応用範囲の拡張を目標として、機能性超分子ゲルを高分子と融合することで、高分子・超分子がそれぞれ持つ機能の増強・機能変換を達成し、高分子・超分子それぞれの単独では困難な機能材料の開発を目指した。具体的には、(1) 共役系両親媒性分子を用いた自己修復性超分子ゲルの構築、(2) 多糖を中心とした高分子と超分子との複合化を基盤としたセンシング材料の開発、(3) 超分子・高分子間で機能が伝搬する超分子・高分子複合ゲルの開発、および(4) 分子包摂能を持つ多糖類を用いた階層的超分子構造の構築とその構造特性にもとづく光捕集システムの構築を目的として、研究を遂行した。

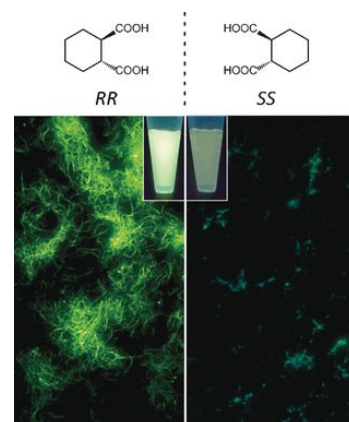
### 3. 研究の方法

共役系を中心骨格として有する種々の両親媒性物質を合成し、それらの会合特性について各種分光学的手法および顕微鏡的手法を用いて解析した。さらにそれらのゲル形成能について、反転倒立法によるゲル化判定とともに、動的粘弾性測定および示差操作熱量測定法を用いて評価した。さらに、自己修復能を示すゲルについては、同様に動的粘弾性測定を用いて、評価を行った。以上の検討結果と分子構造との相関関係について考察する事で、ゲル形成能とゲルの自己修復能に影響を及ぼす分子構造的要因について知見を得た。続いて、形成する超分子ゲル系について、温度や pH などの物理的刺激による超分子会合体の会合挙動の変化について理解を深め、これらの知見を元に、アニオン性多糖やキラルなゲスト小分子を刺激とした超分子会合体・超分子ゲル系の刺激応答性について調査することで、標的ゲストに対して特異的な識別能を発現するセンサー系の構築を行った。これらの検討に加えて、多糖類と有機小分子および高分子との複合化を利用する事で、多糖によって有機小分子が階層的に集積した超分子の構築と、その構造的特徴にもとづく機能発現について、検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) ゲスト添加による凝集誘導発光分子の会合状態の制御

我々のグループでは、すでに、カチオン性のオリゴフェニレンピニレン(OPV)型の凝集誘起発光(AIE)分子を用いて、ヘパリンやヒアルロン酸などのアニオン性の多糖類に対するセンシングについて検討し、多糖上の負電荷密度と AIE 分子上の正電荷数に応じて、異なる AIE 分子の組織化とそれに伴う検出様式の発現を確認している。これらの知見を応用して、AIE 分子のゲスト誘起による会合の多様化について検討を行った。分子内にグアニジウムカチオンを持つキラルな OPV は、エナンチオマーの関係にある RR, SS 型の 1,2-シクロヘキサジカルボン酸とそれぞれ相互作用することで、それぞれ異なる会合形態とこれに起因する発光特性を示すことが明らかとなった。また、分子内に 4 級アンモニウムとフェニルホウ酸を導入した OPV 分子は、pH 変化に応答して、全く異なる会合形態を示すことが明らかとなった。これはこの AIE 分子が、pH 依存的なフェニルホウ酸部位の荷電変化に鋭く応答して、会合形態を変化させることを示している。



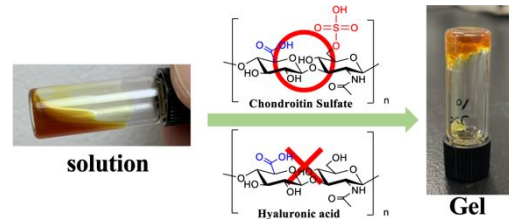
## (2) 分子間相互作用によって形成する小分子物理ゲルを利用した自己修復材料の開発

小分子の集合体を利用した自己修復材料の開発と、その自己修復能の制御に関する知見を得ることを目的に、中心骨格に 共役系骨格を有し、側鎖にアミノ酸残基を導入した化合物を複数合成し、これらのゲル形成能とゲルの自己修復特性の評価を行った。中心骨格にテトラチオフェンまたはシアノ基導入オリゴフェニレンビニレンを持ち、側鎖にペプチド構造を導入した一連の超分子ヒドロゲル化剤のゲル化能を評価した結果、ペプチド構造に疎水性であるフェニルアラニンと親水性置換基という配列を有した化合物が特定の pH 条件下でヒドロゲルを形成しやすい傾向があることを見出した。特に、フェニルアラニン-リジンのジペプチドはいずれの中心骨格に対して自己修復能を持つヒドロゲル形成した。これらの自己修復時間は中心骨格に依存して、大きな差を示すことが判明した。以上の結果から、1) フェニルアラニン-リジンは自己修復能の発現に重要であり、2) 中心骨格の違いが自己修復能の優劣に関わっていることが示された。これらの分子が類似の分子構造を持つことから、これらを混合した複合ゲルの自己修復性について評価した。興味深いことに自己修復能に優れたオリゴフェニレンビニレン型分子が数%含まれるだけで、オリゴチオフェン型分子が形成するヒドロゲルの自己修復時間が著しく短縮されることが明らかになった。このことから、類似の分子構造を持ち、異なる自己修復能を持つ分子を混合することで、自己修復能を調整出来ることが確認された。

## (3) アニオン性多糖に誘導される超分子ヒドロゲル形成を用いた多糖センサーの構築

上記の成果(2)にて開発したペプチド導入テトラチオフェン型ヒドロゲル化剤を用いて、超分子ヒドロゲル系とアニオン性多糖類との高分子・超分子複合体形成を利用することで、硫酸化グルコサミノグルカン類の識別に成功した。

ジペプチド配列としてフェニルアラニン-リジンを有するテトラチオフェン誘導体は、pH 9.5-10.5 という限られた条件でのみ超分子ヒドロゲルを形成した。これは、このゲル化剤が、この pH 条件では繊維状会合体のネットワークを形成できるのに対して、より酸性の pH 条件では顆粒状の会合体を形成し、沈殿することによることが明らかとなった。そこで、このゲル化剤がゲルを形成できない pH 6.6 の条件で、種々のポリアニオン性高分子を添加したところ、硫酸化された多糖が添加されたときにおいてのみ、顆粒状会合体から繊維状会合体への相転移が発現し、その超分子繊維が 3 次元的ネットワークを構築することでヒドロゲルを形成する事が確認された。この現象を利用する事で、アニオン性の多糖類から硫酸化グルコサミノグルカン類を識別することが可能である事が示された。本系は、pH 条件とアニオン性多糖の種類の双方が満たされた場合のみ駆動する and ゲート型の検出系であることから、高い選択性が実現したと考えられる。



## (4) 超分子・高分子複合ゲルによるシグナル増幅系の構築

テトラチオフェン・ジペプチド・トリエチレングリコールからなるノニオン性の双頭型の界面活性剤を合成した。この界面活性剤は水中で超分子会合体を形成するが、その会合過程は熱応答的であり、85°C 付近に加熱されると、会合が急速に進行し顆粒状の凝集体を形成することが明らかとなった。そこで、pH 変化や Ca<sup>2+</sup>イオン添加によって体積収縮することで知られるポリアクリル酸に上記の超分子会合体との連結ユニットとしてテトラチオフェン骨格を数%未満導入した両親媒性高分子を合成し、これをジエポキシ誘導体によって架橋する事で、高分子ヒドロゲルを得た。さらに、このゲル内部に上記の熱応答性のノニオン性界面活性剤を導入することで、超分子・高分子複合ヒドロゲルを調製した。この複合ヒドロゲルは、界面活性剤濃度がある一定以下ではほとんど影響を受けないものの、それ以上の濃度では著しく収縮し、ヒドロゲル状態を保てないことが確認された。そこで、界面活性剤濃度が高分子ゲルに影響を及ぼさない濃度領域で加熱したところ、超分子の凝集が促進される 85°C 付近で複合ゲル全体の体積が収縮することが確認された。さらに、Ca<sup>2+</sup>イオン共存下で同様の昇温実験を行った結果、応答温度にはほとんど変化が見られなかったものの、その体積収縮能が強化され、ゾル状態にまで誘導されることが確認された。以上の様に、本系で開発した超分子・高分子複合ゲルにより、超分子が持つ熱応答性と高分子が持つイオン応答性が相乗的に働くことで and ゲート型のロジックゲートとして働くソフトマテリアルの開発に成功した。

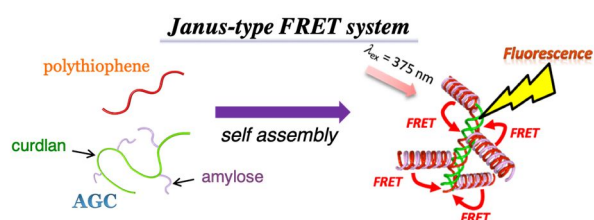
## (5) 蛍光性高分子と蛍光性小分子との超分子複合体を用いたアニオン性多糖の識別

カチオン性ポリチオフェンと、アニオン性ピレン誘導体からなる超分子複合体が、その形成過程で劇的な色調変化を示す事を見出した。この過程で、ピレン誘導体によるエキシマー形成は確認されなかったことから、ポリチオフェンとピレンとの間の相互作用形成が、色調変化の発現の原理であることが示唆された。そこで、この高分子・超分子複合体の水溶液に、アニオン性ピレン誘導体と競合してカチオン性ポリチオフェンと錯形成し得るアニオン性多糖を添加したところ、アニオン性多糖とアニオン性超分子との交換が進行したことを示す劇的な色調変化を誘発

させることに成功した。この色調変化は、多糖上のアニオンの種類やその個数に応じて発現しており、特に多糖骨格上に存在する硫酸アニオンが色調変化に大きく影響を及ぼしていることが確認された。その結果、本系を利用することで、本来困難が伴う硫酸化グルコサミノグルカン類の間の識別にもある程度成功した。硫酸化グルコサミノグルカン類間の識別は手術用薬剤等の品質調査に重要なものであるため、本研究成果は、医療に貢献し得る有益なものである。

(6) 半人工らせん性分岐多糖による階層的超分子構造の構築

三重らせん構造を持つカードランの側鎖に、一本鎖らせん構造を形成するアミロースを導入したアミロースグラフトカードラン (AGC) をすでに、合成に成功していた AGC の DMSO 溶液にカーボンナノチューブ (CNT) を混合し、この混合物を水と混合した結果、AGC と CNT との複合化に成功した。TEM 観察の結果、この複合体において CNT は主鎖となるカードラン部に選択的に包摂されていることが示唆された。さらに、この AGC/CNT 錯体のアミロース部のみにヨウ素を選択的に包摂させた。以上の結果、CNT の幹にヨウ素クラスターの枝が多数生えた形状を持つ、樹状のヘテロ超分子の構築に成功した。この様な AGC が示す分子組織能を利用して、新しい FRET 系の構築に成功した。水溶性ポリチオフェンと AGC を複合させたところ、ポリチオフェンがカードラン主鎖とアミロース側鎖の双方に包摂できる条件を見出した。興味深いことに、主鎖に複合化したポリチオフェンの吸収・蛍光は長波長シフトするのに対して、側鎖に複合化したポリチオフェンはいずれも短波長シフトする。その結果、これらのポリチオフェンは元々同一分子でありながら FRET ペアになり得る。事実、AGC のポリチオフェン錯体の蛍光スペクトル・励起スペクトル測定から、側鎖のポリチオフェンから主鎖のポリチオフェンへの効率的なエネルギー移動が観測された。これは、分子集積によって、同一の分子を FRET ペアに変換したユニークな成功例であり、我々はこれをヤヌス型 FRET ペアと名付けた。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kudoda Naofumi, Tonoue Yukie, Nogouchi Kouichiro, Shimasaki Yutaro, Inokawa Hitoshi, Takano Masayoshi, Shinkai Seiji, Tamaru Shun-ichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Guest-responsive supramolecular hydrogels expressing selective sol-gel transition for sulfated glycosaminoglycans	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-020-0341-x	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 Tamaru Shun-ichi, Honzaki Miyabi, Kamogawa Kinoshige, Hori Kaori, Kubo Miki, Kuroda Naofumi, Shinkai Seiji	4. 巻 14
2. 論文標題 Amylose grafted Curdlan; a New Class of Semi artificial Branched Polysaccharides for Hierarchical Polymeric Superstructures Created by the Action of "Orthogonal" Binding Sites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 2102-2107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201900375	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 Yoshihara Daisuke, Noguchi Takao, Roy Bappaditya, Sakamoto Junji, Yamamoto Tatsuhiro, Shinkai Seiji	4. 巻 23
2. 論文標題 Design of a Hypersensitive pH-Sensory System Created by a Combination of Charge Neutralization and Aggregation-Induced Emission (AIE)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 17663-17666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201703560	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 Noguchi Takao, Roy Bappaditya, Yoshihara Daisuke, Sakamoto Junji, Yamamoto Tatsuhiro, Shinkai Seiji	4. 巻 56
2. 論文標題 A Chiral Recognition System Orchestrated by Self-Assembly: Molecular Chirality, Self-Assembly Morphology, and Fluorescence Response	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 12518-12522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201706142	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31件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 石田 勝守, 田丸 俊一, 新海 征治
2. 発表標題 酵母由来ベータ-1,3-グルカン類の物性と機能化
3. 学会等名 日本化学会第100春期年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鴨川 氣ノ佑, 田丸 俊一, 新海 征治
2. 発表標題 アミロースグラフトカードランを用いたJanus型のFRETシステムの構築
3. 学会等名 日本化学会第100春期年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田 尚史, 枝元祐貴, 田丸 俊一, 新海 征治
2. 発表標題 超分子複合ヒドロゲルの調製と物理的特性の制御
3. 学会等名 日本化学会第100春期年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naofumi Kuroda, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Properties and function of supramolecular hybrid hydrogels toward the construction of high performance sensor
3. 学会等名 The 24th Joint Seminar of the Kyushu Branch of the CSJ and the Busan Branch of KCS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuma Ishida, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Development and characterization of sugar derivatives possessing beta-1,3-glucan unit
3. 学会等名 The 24th Joint Seminar of the Kyushu Branch of the CSJ and the Busan Branch of KCS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kinosuke Kamogawa, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Polysaccharide-assisted self-assembly of functional molecules into hierarchical superstructure and its function
3. 学会等名 The 24th Joint Seminar of the Kyushu Branch of the CSJ and the Busan Branch of KCS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Tanaka, Naofumi Kuroda, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Properties and function of hybrid gels composed of stimuli-responsive polymer and supramolecular fiber
3. 学会等名 The 24th Joint Seminar of the Kyushu Branch of the CSJ and the Busan Branch of KCS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田 尚史, 田丸 俊一, 新海 征治
2. 発表標題 物質検出系構築を指向した超分子ヒドロゲル系による刺激応答性の制御
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田 勝守, 田丸 俊一, 新海 征治
2. 発表標題 天然由来ベータ-グルカンを基盤とする機能材料の開発研究
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鴨川 氣ノ佑, 田丸 俊一, 新海 征治
2. 発表標題 半人工分岐多糖を用いたJanus型FRET系の構築
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 皓, 黒田 尚史, 田丸 俊一, 新海 征治
2. 発表標題 超分子ユニット導入型高分子/超分子複合ゲルが示す刺激応答性
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naofumi Kuroda, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Properties and function of supramolecular/polymer hybrid hydrogels toward the construction of high performance sensor
3. 学会等名 The 9th SOJO-UTP Joint Seminar on Nano and Bio Research (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Kinosuke Kamogawa, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Construction of Janus-type FRET system on the bases of semi-artificial branched polysaccharide
3. 学会等名 The 9th SOJO-UTP Joint Seminar on Nano and Bio Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuma Ishida, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Extraction and properties of yeast-derived beta-glucans
3. 学会等名 The 32nd International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kinosuke Kamogawa, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Amylose-grafted curdlan: a new class of semi-artificial branched polysaccharides for hierarchical polymeric superstructure created by action of orthogonal binding sites
3. 学会等名 The 32nd International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naofumi Kuroda, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Preparation and stimuli-responsive properties of supramolecular/polymer hybrid hydrogels
3. 学会等名 The 32nd International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田尚史, 田丸俊一, 新海征治
2. 発表標題 刺激応答性高分子/超分子複合ゲルによるシグナル増幅
3. 学会等名 第55回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田尚史, 田丸俊一, 新海征治
2. 発表標題 物質検出系構築を指向した超分子複合ゲルによる機能制御
3. 学会等名 日本化学会第99春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中皓, 黒田尚史, 田丸俊一, 新海征治
2. 発表標題 刺激応答性高分子・超分子複合ゲルの物性と機能
3. 学会等名 日本化学会第99春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鴨川氣ノ佑, 田丸俊一, 新海征治
2. 発表標題 多糖による機能性分子の階層的組織化と機能発現
3. 学会等名 日本化学会第99春期年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新海 征治
2. 発表標題 分子認識と分子集合が協創する分野の開拓
3. 学会等名 第32回二本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新海 征治
2. 発表標題 分子認識を基盤とする”強制的”分子集合と機能創出
3. 学会等名 文部科学省NPF事業第3回合同シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiji Shinkai
2. 発表標題 Saccharides as a Target for Sensing and Polysaccharides as a Gene Carrier
3. 学会等名 Tech Transfer Meeting for Dr. Tim Hunt（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiji Shinkai
2. 発表標題 Developing the Design Concept of Molecular Nano-machines to Aggregation-induced Molecular Recognition
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Aggregation-induced Emission: Materials, Mechanisms and Applications（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉原大輔・新海征治
2. 発表標題 分子認識能を有する糖付加型機能性低分子ゲル化剤の開発
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塔ノ上雪江・田丸俊一・新海征治
2. 発表標題 高分子と超分子の複合化による相乗的機能強化
3. 学会等名 第54回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川内智子・田丸俊一・新海征治
2. 発表標題 半人工分岐多糖を利用した階層性分子集積体の構築
3. 学会等名 第54回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 包摂能を有する多糖からなる刺激応答材料の開発研究
2. 発表標題 田中亜弥・田丸俊一・新海征治
3. 学会等名 第54回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoko Kawauchi, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Construction and post-modification of polysaccharide film containing fluorescent molecules for application to emitting device
3. 学会等名 30th International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Aya Tanaka, Shun-ichi Tamaru, Seiji Shinkai
2. 発表標題 Gelation and micronization properties of $\alpha$ -glucan derivatives
3. 学会等名 30th International Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 塔ノ上雪江・黒田尚史・下川拓矢・田丸俊一・新海征治
2. 発表標題 高分子/超分子複合ゲルによる刺激応答機能の相乗的強化
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Takao Noguchi, Daisuke Yoshihara, Seiji Shinkai	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 514
3. 書名 Principles and Applications of Aggregation-Induced Emission	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

## 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	田丸 俊一  (Tamaru Shun-ichi)  (10454951)	崇城大学・工学部・教授       (37401)	