

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26288054

研究課題名(和文) 超分子相互作用を用いた温度応答性高分子システムの開発

研究課題名(英文) Molecular Design of Thermo-Sensitive Polymer Systems by Controlling Supramolecular Interaction

研究代表者

佐田 和己 (Kazuki, Sada)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80225911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：高分子鎖と溶媒だけではなく、両者と相互作用可能な低分子(エフェクターと呼ぶ。)を高分子溶液に第三の成分として加えることで温度応答性高分子を自在に設計できることを明らかにした。また、エフェクターが溶媒和分子となり、高分子を室温で溶解させ、加熱することにより高分子と低分子間の会合が切断され、高分子の自己会合による相分離を引き起こす機構を明らかにした。様々な媒質中で下部臨界共溶温度型相分離を起こすユニバーサルな温度応答性高分子の開発や光学活性なエフェクターによる高分子のキラル認識に連動した相分離の制御に成功した。さらに化学反応と高分子の相分離を共役することで、化学反応応答性高分子の構築にも成功した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we demonstrate designing principle for thermo-sensitive polymers by controlling assembly and disassembly among the ternary system consisting of a polymer, a solvent and an "effector". The effector capable of interacting both the polymer chain and the solvent molecule contributes to solvation of the polymer chain in the poor solvent at room temperature and induces desolvation from the polymer chain at elevated temperature to exhibit lower critical solution temperature (LCST) phase separation. On the basis of our design, we constructed interesting stimuli-sensitive polymers, for examples, "universal" thermo-sensitive polymer that causes LCST in a wide range of organic solvents and thermo-sensitive polymers induced by optically active effectors. Furthermore, we demonstrated organic-reaction sensitive polymers that induce polymer phase separation by organic reactions, which is the first example for conjugation of organic reactions and polymer phase separation.

研究分野：高分子化学

キーワード：温度応答性高分子 刺激応答性高分子 超分子相互作用 LCST 化学反応応答性 超分子 相分離 相転移

### 1. 研究開始当初の背景

温度応答性高分子とは溶液状態で、ある温度を臨界温度として、高分子鎖のコンフォメーションが変化し、その溶解性が劇的に変化する高分子のことである。特に高温側で不溶・凝集・収縮し、高温側で可溶・伸張・膨潤するものは、LCST (下部臨界共溶温: Lower Critical Solution Temperature)型と呼ばれ、水中の PNIPAM ( Poly(*N*-isopropylacrylamide)に代表されるように、温度応答性を利用した研究がスマートマテリアルとして幅広く展開されてきた。しかしながら、水以外の媒質中で温度応答性を示す高分子、特に LCST 型相分離挙動を起こす高分子についてはそのほとんどが高温 ( 溶媒の沸点以上 ) を要し、温和な条件 ( 0-100 ) で取り扱える系は非常に限りがあつた。また、それらの特異な溶解性変化はいずれも試行錯誤の結果または偶然の発見によるものであり、合理的な設計に基づいたものは皆無であり、設計法は未だ明らかになっていなかった。

このような状況のもと、高分子鎖同士の会合を切断し高分子と会合できる低分子 ( エフェクターと呼ぶ ) を高分子溶液に第三成分として加え、高分子を室温で溶解させる。これを加熱することにより、高分子と低分子間の会合を切断し、高分子鎖間の再会合を誘起し、凝集・沈殿させ、LCST 型の温度応答性を誘起するシステムの開発を目指した。高分子同士の会合とエフェクターと高分子との会合に様々な分子間相互作用を用いて、超分子化学に実現できれば、LCST 型高分子を自在に分子設計できることになると着想した。

### 2. 研究の目的

高分子/低分子(エフェクター)/溶媒の多成分系において、高分子とエフェクター分子間の超分子相互作用を利用した温度応答性高分子の分子設計の一般化とその機構解明を行う。高分子とエフェクター間の相互作用として  $\pi$ - $\pi$  相互作用、配位結合、水素結合など多様な分子間相互作用を用い、高分子鎖とエフェクター間の会合について超分子化学的手法をもちいた解明を行い、温度応答性高分子の分子設計についての指針の明確化を行う。さらに様々な媒質中で機能する温度応答性高分子や化学刺激応答性システムの構築を行う。さらにそれらを利用した機能性材料への展開として、機能性材料とのコンポジット化や刺激応答ゲルの構築等を検討し、高分子の凝集・コンフォメーション変化を誘起することによる新しい機能の発現を目的とした。

### 3. 研究の方法

高分子とエフェクター間の超分子相互作用を制御し、LCST 型の温度応答性高分子の分子設計を明らかにし、機能性材料の開発を行った。

(1)高分子と低分子間の超分子相互作用を利

### 用した LCST 型相分離システムの分子設計の一般化とその機構解明

様々な弱い分子間相互作用を利用して、高分子と低分子間の会合による常温付近での温度応答性の発現を実現し、われわれが提唱している LCST 型相分離のメカニズムの妥当性と一般化を検証した。また分子間相互作用として、水素結合、相互作用、配位結合、カチオン- 相互作用等の利用についても検討した。特に、エフェクター(低分子)と高分子間の相互作用を尿素間の水素結合に固定し、高分子主鎖と相互作用部位の位置・高分子主鎖を変更し、LCST 型相分離挙動を比較することで、高分子鎖の柔軟性と相互作用部位の協同性について検討した。

さらに、様々な有機溶媒や特殊な媒質中で LCST 型相分離を発現するシステムの構築を目指す。エフェクターと高分子間の相互作用の知見を利用して、エフェクターと溶媒の溶解性の制御を行い、多様な溶媒に対応した LCST 型相分離の分子設計を検討した。

### (2) LCST 型相分離システムを基礎とした化学刺激応答性システムの構築

温度応答性において、エフェクターがその高分子の溶解性の温度応答性に寄与しており、この相転移温度は一般的にエフェクター濃度が大きくなるに従い高くなる。これはエフェクターが高分子の溶解性を上げる役割をしており、エフェクター濃度が高いほど、エフェクターと高分子鎖の会合の切断に熱が必要になるためである。逆に温度一定の条件下では、エフェクターの濃度に依存して、相分離現象が誘起されることになる。つまり、多成分系における温度応答性はエフェクターの濃度による刺激へと変換可能であると言える。

ポリマーの分子認識部位に光学活性点を導入し、キラルな化合物間の相互作用の違いを利用することで、特定のキラル化合物にตอบสนองした LCST 型相分離の誘起を検討した。特に光学活性な尿素誘導体をもつ高分子を合成し、光学活性なアルコールをエフェクターとして、添加した際の温度応答を調べ、キラル認識による LCST 型相分離について検討した。また、エフェクターの化学反応を利用して、高分子ではなく、低分子の化学反応による刺激応答システムの構築を行った。

### (3) 温度応答性・化学物質応答性高分子を利用した機能性材料への展開

LCST 型温度応答性および化学物質応答性高分子は刺激にตอบสนองして、その高分子鎖が凝集し、相分離を起こす系である。これらを用いた高分子ゲルを合成し、刺激応答性について検討した。また Metal-Organic Frameworks (MOF) と温度応答性高分子の複合化を検討した。

### 4. 研究成果

(1)高分子とエフェクター分子間の超分子相

## 相互作用を利用した温度応答性高分子の分子設計の一般化

### 温度応答性高分子の分子設計の一般化

尿素を持つアクリル系高分子を用い、非極性有機溶媒中でエフェクターとして様々な化合物を共存させ、溶解性の変化と温度応答性の発現を検討した。長いアルキル基をもつ水素結合性の化合物、特にアルコール・カルボン酸などが、尿素を持つ高分子の溶解性向上に寄与し、温度応答性の発現を誘起した。水素結合性のない化合物では発現しなかった。エフェクターとして、尿素基同士の水素結合を切断し、室温で可溶化し、加熱によりエフェクターと尿素基の水素結合を切断でき、室温程度の LCST 型の相分離が観測できた。ピレンを持つアクリル系ポリマーとエフェクターとしてアクセプター分子を添加することで、同様に LCST 型相分離をデザインすることでできた。エフェクターとピレン間の電荷移動相互作用が高分子間の溶解性の向上に寄与し、熱による電荷移動錯体の分解により、高分子鎖のピレン-ピレン間の会合が起こり、不溶化するシステムとなった。これらの系により、超分子化学の観点から高分子の温度応答性の発現を定性的に理解できたと考えられる。

温度応答性の共貧溶媒についても基礎的な知見を得るべく研究を行った。特にピレンを用いた系において、広範囲に芳香族化合物を添加し、エフェクターとエフェクターに相互作用できる化合物との関係を検討した結果、いずれの物質でも相転移温度の低下がみられ、さらに芳香環のサイズにより、その低下の程度が大きくなることがあきらかになった。これらはエフェクターと第 4 成分との相互作用によって、エフェクター能が低下したためと思われる。

メタクリル系およびポリビニルエーテル系高分子に同様な尿素官能基を導入し、LCST 型相分離の発現を検討した。いずれの場合も主鎖からの距離が炭素 3 個の場合は適切なエフェクターの存在下で LCST 型の温度応答を発現することが明らかになった。これは脱溶媒力が駆動力となっており、貧溶媒中では高分子鎖が凝集するところをエフェクターによって緩く溶媒和され、熱による解離によって凝集が起こることが明らかになった。また相転移温度と相転移のヒステリシスは高分子主鎖に大きく依存することが明らかになった。アクリル系が最も鋭敏にかつ、可逆性が高い相転移をしめした。これらはやはり高分子主鎖の柔軟性と側鎖の官能基の自己会合のしやすさによって支配されていると考えられる。

### ユニバーサルな LCST 型温度応答性を持つ高分子の創製

これまでの LCST 型相分離を示す高分子は、数種類の溶媒中でのみ LCST 現象を示すものがほとんどであり、溶媒に応じて高分子そのものを変える必要があり、その相転移温度も

制御することが困難であった。そこで、自己会合性の高いピレンを導入した高分子を用いて、エフェクターの分子構造を変化させ、多様な溶媒に対応できるようにすれば、1つの高分子をデザインすることで、ユニバーサルに LCST 型相分離を発現するシステムが構築できると考えた。ピレンを持つ高分子を用いたシステムにおいて、長鎖アルキルをもつエフェクター以外にオリゴエチレングリコールをもつエフェクターを新規に合成し、エフェクター能を検討したところ、これまでに、多数の溶媒中で LCST 型相分離が観測されこれまでに存在しないユニバーサルな LCST 型温度応答性を持つ高分子相分離の創製に成功した。媒質の拡張であり、さらに特異な溶媒での、LCST 型相分離の発現につながるものであった。

## (2) LCST 型相分離システムを基礎とした化学刺激応答性システムの構築

### 光学活性な刺激に対応した LCST 型相分離系の構築

尿素を持つ高分子の相互作用部位の近傍に光学活性点を導入した。光学活性な sec-ブチルアミンから誘導される尿素モノマーを合成し、重合することにより光学活性な高分子を合成した。これに光学活性なアルコールなどを用いて、エフェクター能を検討したところ、その光学純度に応じて、相転移温度が大きく変化した。しかしながら、モノマーでの光学異性体とエフェクターの光学異性体との関係には明瞭な関係がみられず、エフェクターの分子構造やその光学異性体によって、LCST 型相分離が誘起されることのみが明らかになった。重合時の立体規則性などの変化や分子量の変化に起因すると考えられる。

### 化学反応に応答した LCST 型相分離系の構築

一般的に相転移温度はエフェクター濃度が大きくなるに従い高くなる。逆に温度一定の条件下では、エフェクターの濃度に依存して、相分離現象が誘起されることになるため、動的にエフェクター濃度を化学反応によって制御することを検討した。尿素を持つ高分子を利用し、エフェクターであるアルコールまたはカルボン酸と種々の反応剤を混ぜ、化学反応によって、エフェクター濃度を制御することとした。1級アルコール存在下で、水酸基と反応する様々な試薬を第 4 成分として添加し、化学反応と相転移の共役を検討した。その結果、trimethylsilyl cyanide を加えた場合、アルコールの濃度低下を誘起でき、尿素をもつ高分子が相分離した。さらに反応剤の量を制御することで、相転移温度を制御することが可能であった。これは化学反応により、エフェクター濃度および LCST 型相分離の制御が可能であることを示す。したがって、化学反応そのものが刺激として利用できることを世界に先駆けて示したものである。

同様なアプローチを光反応による LCST 型相分離の制御について検討した。スピロピランの光異性化により生成するメロシアニンの水素結合性を利用して、尿素をもつ高分子のエフェクターとしての機能を精査した。その結果、生成したメロシアニンが尿素高分子の溶解性を向上させることが明らかになった。しかしながら、有機溶媒中でスピロピランへの熱戻り反応が早く、すぐに不溶化が進行し、紫外光照射による高分子の溶解と光照射を止めた後、自動的に高速で相分離が生じ、速度論的なプログラムを組むことができる新しい光応答系の構築に成功した。

また、尿素をもつ高分子を利用し、エフェクターであるアルコールまたはカルボン酸の水素結合性サイトを光ケージド化合物として保護し、エフェクター能を欠損させた後、光分解により、相当する水素結合性官能基を露出させることで、エフェクターとしての機能発現を検討した。その結果、光照射により、不溶であった高分子系に温度応答性を付与することができることが明らかになった。また光反応時間を制御することでその相転移温度の制御も可能であった。これらの結果により、化学反応そのものを利用し、刺激とした応答性高分子の開発に成功した。

### (3) 温度応答性・化学物質応答性高分子を利用した機能性材料への展開

ピレンを持つ高分子を架橋しゲル化させ、そこにエフェクターを導入することで、温度応答性ゲルの開発を行った。エフェクターをいれることにより、CT 錯体の形成にともなう着色と同時に、ゲルは著しく膨潤し、高分子鎖が広がっていることが明らかになった。このような状態を加熱したところ、ゲルの収縮が観測され、温度変化に対応して、ゲルが膨潤・収縮する刺激応答性ゲルの開発に成功した。

ナノ多孔性材料として注目を集めている Metal-Organic Frameworks (MOF) の表面に事後修飾反応により、温度応答性高分子である NIPAM を導入した。その結果、水中で低温においては MOF のナノ細孔に包接されたゲスト分子が放出されるが、相転移温度以上ではゲストの放出がほとんど停止できることが明らかになり、ゲスト放出能の切り替えができる新しい輸送材料として、興味を持たれるものであった。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

Disassembly Control of Saccharide-Based Amphiphiles Driven by Electrostatic Repulsion, T. Yamada, K. Kokado, K. Sada, *Langmuir* **33**, 2610-2616 (2017). 査読有り

DOI:10.1021/acs.lanmuir.6b04360

Anisotropically Swelling Gels Attained through Axis-Dependent Crosslinking of MOF Crystals, T. Ishiwata, K. Kokado, K. Sada,

*Angew. Chem. Int. Ed.*, **56**, 2608-2612 (2017). 査読有り

DOI:10.1002/anie.201611338

Crystal Crosslinked Gels with Aggregation-Induced Emissive Crosslinker Exhibiting Swelling Degree-Dependent Photoluminescence, T. Oura, R. Taniguchi, K. Kokado, K. Sada, *Polymers* **9**, 19 (1-9) (2017). 査読有り

DOI:10.3390/polym9010019

Mesogenic Polyelectrolyte Gels Absorb Organic Solvents and Liquid Crystalline Molecules, Y. Nishikori, K. Iseda, K. Kokado, K. Sada, *Polymers*, **8**, 148 (1-8) (2016) 査読有り

DOI:10.3390/polym8040148

Lipophilic Ionomers with Bulky Ion-Pairs and Effect of Counterion on Miscibility of the Ionomer Blends, M. Ohta, T. Ono, K. Kokado, A. Kakugo, K. Sada, *Macromol. Chem. Phys.* **217**, 433-444 (2016). 査読有り

DOI:10.1002/macp.201500281

Gel thermoresponsiveness driven by switching of the charge-transfer interaction, D. H. Gharib, S. Amemori, M. Naya, K. Kokado, K. Sada, *RSC Adv.*, **5**, 89319-89322 (2015). 査読有り

DOI:10.1039/c5ra18388j

Metal-organic framework tethering PNIPAM for ON-OFF controlled release in solution, S. Nagata, K. Kokado, K. Sada, *Chem. Commun.*, **51**, 8614-8617 (2015). 査読有り

DOI:10.1039/c5cc02339d

〔学会発表〕(計 36 件)

1) 上西恭平・小門憲太・佐田和己, 電荷移動相互作用を用いた様々な溶媒での高分子溶液の温度応答性発現, 日本化学会第 97 春季年, 2017/3/19, 慶応義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)

2) 納谷昌実・小門憲太・佐田和己, ケージド化合物の光化学反応を用いた温度応答性高分子の相転移制御, 日本化学会第 97 春季年, 2017/3/17, 慶応義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)

3) 須永総玄・小門憲太・佐田和己, 親油性高分子電解質ゲルと溶藍間の相溶性評価, 日本化学会第 97 春季年, 2017/3/16, 慶応義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)

4) 黒島佳希・納谷昌実・小門憲太・佐田和己, 刺激応答性高分子への触媒担持および触媒活性制御, 日本化学会第 97 春季年, 2017/3/16, 慶応義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)

5) 小門憲太・山田泰平・河村美紅・佐田和己, スピロピラン誘導体の光異性化を用いたウレイド基含有高分子の溶解性制御, 日本化学会第 97 春季年, 2017/3/16, 慶応義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市)

6) 山田泰平・小門憲太・佐田和己, 親油性イオン対を疎水部とする両親媒性分子の形成する分子集合体の解離制御, 第 67 回コロイ

ドおよび界面化学討論会, 2016/9/22, 北海道教育大学旭川校(北海道旭川市)

7) 須永総玄・小門憲太・佐田和己, ホスホニウム塩を用いた有機溶媒高吸収性ゲルの膨潤挙動, 第 65 回高分子討論会, 2016/9/15, 神奈川大学横浜キャンパス(神奈川県横浜市)

8) 山田泰平・小門憲太・佐田和己, 極性の低い溶媒中での解離による静電斥力を利用したイオン性両親媒性分子の解離制御, 第 65 回高分子討論会, 2016/9/15, 神奈川大学横浜キャンパス(神奈川県横浜市)

9) 福島寛太・須永総玄・小門憲太・佐田和己, 親油性電解質の導入によるオリゴペプチドの可溶化, 第 65 回高分子討論会, 2016/9/14, 神奈川大学横浜キャンパス(神奈川県横浜市)

10) 上西恭平・小門憲太・佐田和己, 電子ドナー性高分子と電子アクセプター性低分子間の電荷移動相互作用を利用した高分子溶液の相分離の制御, 第 65 回高分子討論会, 2016/9/14, 神奈川大学横浜キャンパス(神奈川県横浜市)

11) 黒島佳希・納谷昌実・小門憲太・佐田和己, 低分子によって活性化される高分子担持型触媒の作製, 第 65 回高分子年次大会, 2016/5/27, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

12) 佐田和己, 低極性溶媒中での解離を利用する機能性高分子の開発, 第 65 回高分子年次大会, 2016/5/26, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

13) 須永総玄・小門憲太・佐田和己, ホスホニウム塩の導入による有機溶媒高吸収性ゲルの作製, 第 65 回高分子年次大会, 2016/5/26, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

14) 納谷昌実・小門憲太・佐田和己, 低分子の光化学反応による尿素官能基含有高分子の温度応答性発現, 第 65 回高分子年次大会, 2016/5/25, 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

15) 佐田和己, 低分子の化学反応と共役した応答性高分子の開発, 日本化学会第 96 春季年会, 2016/3/27, 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)

16) 黒島佳希・納谷昌実・濱野芳美・小門憲太・佐田和己, 低分子の添加により相分離挙動を示す触媒担持高分子の開発と触媒活性の制御, 日本化学会第 96 春季年会, 2016/3/26, 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)

17) 須永総玄・谷口諒輔・小門憲太・佐田和己, ホスホニウム塩を用いた有機溶媒高吸収性ゲルの作製, 日本化学会第 96 春季年会, 2016/3/25, 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)

18) 福島寛太・須永総玄・南部貴則・小門憲太・佐田和己, 親油性電解質を有するオリゴペプチドの合成, 日本化学会第 96 春季年会, 2016/3/25, 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)

19) 山田泰平・小門憲太・佐田和己, イオン

対を疎水部とする両親媒性分子の分子集合体形成, 日本化学会第 96 春季年会, 2016/3/24, 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)

20) 須永総玄・谷口諒輔・小門憲太・佐田和己, ホスホニウム塩を用いた親油性高分子電解質ゲルの合成, 第 27 回高分子ゲル研究討論会, 2016/1/18, 東京大学山上会館(東京都文京区)

21) Kenta Kokado, Shunjiro Nagata, Kazuki Sada, Metal-organic frameworks covered with stimuli-responsive polymers for ON-OFF controlled release, Pacific Polymer Conference 14, 2015/12/11, Grand Hyatt Resort and Spa Kauai(米国コアラ市)

22) 小門憲太・永田俊次郎・佐田和己, 刺激に応答してゲスト放出を制御可能な多孔性結晶の開発, 第 24 回有機結晶シンポジウム, 2015/11/2, 広島大学霞キャンパス広仁会館(広島県広島市)

23) 永田俊次郎・小門憲太・佐田和己, 様々な外部刺激に応答してゲスト放出の ON-OFF が可能な Metal-Organic Framework の構築, 第 64 回高分子討論会, 2015/9/17, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市)

24) 納谷昌実・濱野芳美・小門憲太・佐田和己, ゲストのキラリティーに依存した温度応答性を示す光学活性な高分子, 第 64 回高分子討論会, 2015/9/17, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市)

25) 納谷昌実・濱野芳美・小門憲太・佐田和己, キラルな尿素官能基を側鎖に有する温度応答性高分子, 2015 年北海道高分子若手研究会, 2015/8/28, 定山溪グランドホテル瑞苑(北海道札幌市)

26) 須永総玄・谷口諒輔・小門憲太・佐田和己, 親油性電解質の解離能と親油性高分子電解質ゲルの膨潤の相関, 2015 年北海道高分子若手研究会, 2015/8/28, 定山溪グランドホテル瑞苑(北海道札幌市)

27) 永田俊次郎・小門憲太・佐田和己, Metal-Organic Framework の pH 変化に応答したゲスト放出挙動, 第 64 回高分子年次大会, 2015/5/29, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)

28) 須永総玄・谷口諒輔・小門憲太・佐田和己, 有機溶媒中における電解質の解離と親油性高分子電解質ゲルの膨潤の相関, 第 64 回高分子年次大会, 2015/5/29, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)

29) 納谷昌実・濱野芳美・小門憲太・佐田和己, 光学活性な尿素官能基を有する高分子と光学活性な低分子との分子間会合による温度応答性の発現, 第 64 回高分子年次大会, 2015/5/27, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)

30) 納谷昌実・濱野芳美・小門憲太・佐田和己, 光学活性部位を導入した高分子の低分子による温度応答性の制御, 日本化学会第 95 春季年会, 2015/3/26, 日本大学理工学部

船橋キャンパス（千葉県船橋市）

31) Kazuki Sada, Shogo Amemori, Yoshimi Hamano, Kenta Kokado, Rational Molecular Design of Thermo-Sensitive Polymers by Supramolecular Interaction, IPC2014, 2014/12/2, EPOCAL Tsukuba（茨城県つくば市）

32) 永田俊次郎・小門憲太・佐田和己, 刺激応答性高分子を修飾した Metal-Organic Framework を用いたゲスト分子の放出制御, 第 63 回高分子討論会, 2014/09/24, 長崎大学（長崎県長崎市）

33) 濱野芳美・雨森翔悟・小門憲太・佐田和己, 高分子自身は関与しない化学反応を利用した高分子のコンフォメーション変化, 第 25 回基礎有機化学討論会, 2014/09/9, 東北大学川内北キャンパス（宮城県仙台市）

34) 濱野芳美・雨森翔悟・小門憲太・佐田和己, 低分子の化学反応あるいは熱刺激に共役した高分子のコンフォメーション変化, 第 12 回ホストゲスト化学シンポジウム, 2014/05/31, 東京工業大学大岡山キャンパス（東京都目黒区）

35) 濱野芳美・雨森翔悟・小門憲太・佐田和己, 低分子の光二量化反応を利用した高分子溶液の相分離, 第 63 回高分子学会年次大会, 2014/05/28, 名古屋国際会議場（愛知県名古屋市）

36) 永田俊次郎・小門憲太・佐田和己, 温度応答性高分子を修飾した Metal Organic Framework におけるゲスト分子の放出制御, 第 63 回高分子学会年次大会, 2014/05/27, 名古屋国際会議場（愛知県名古屋市）

〔図書〕（計 1 件）

1) Shogo Amemori, Kazuya Iseda, Kenta Kokado, Kazuki Sada, *Synergy in Supramolecular Chemistry*, CRC Press, 2015, Chapter 5, pp75-90

〔その他〕

ホームページ等

北海道大学物質化学研究室ホームページ：  
<http://wwwchem.sci.hokudai.ac.jp/matchemS/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐田 和己 (SADA KAZUKI)

北海道大学・大学院理学研究院・教授  
研究者番号：80225911

### (2) 研究分担者

小門 憲太 (KOKADO KENTA)

北海道大学・大学院理学研究院・助教  
研究者番号：40600226

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

なし