

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03416

研究課題名(和文) 複数の相互作用を導入した多機能ソフトマテリアルの創製

研究課題名(英文) Creation of multi-functional soft materials by introducing plural interaction units

研究代表者

山口 浩靖 (Yamaguchi, Hiroyasu)

大阪大学・理学研究科・教授

研究者番号：00314352

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：DNAやタンパク質などの生体高分子は特異的な相互作用を介して複雑でユニークな構造を構築し、高度な機能を発現する。本研究では、複数の相互作用を組み合わせるにより高度な機能発現ができると考え、側鎖に複数の超分子化学的な相互作用部位をもつ高分子を合成した。超分子化学的な相互作用部位を持たないフィルムは非常に脆いのに対し、水素結合ユニットを導入した高分子フィルムは柔軟性を示した。さらに水素結合と配位結合の2種ユニットを導入したフィルムの破壊エネルギーは、水素結合のみを持つフィルムよりも4倍高かった。このフィルムは優れた自己修復性と形状記憶特性有することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水素結合と配位結合の2種の相互作用を高分子に導入することで、自己修復性と形状記憶特性の両特性を示す超分子材料を創製することに成功した。1つの相互作用だけでは脆い材料になるが、2種の相互作用導入で強靱化し、さらに高度な機能を付与することができた。また、超分子架橋ユニットとして電子ドナーと電子アクセプターとの相互作用に注目した材料では、両ユニットの導入率の増加に伴い、弾性率が高くなった。この超分子材料を様々な速度で引張試験を行った結果、引張速度に依存して応力・歪みが向上した。これは化学架橋体には見られない挙動である。超分子材料ならではの早いタイムスケールでの相互作用部位の再結合が観測された。

研究成果の概要(英文)：Supramolecular polymerization of high-molecular weight monomeric units is developed and various excellent supramolecular polymeric materials with plural non-covalent interaction units have been prepared. In this study, supramolecular polymeric materials based on the self-assembly of a tritopic polymer using the combination of hydrogen bonding and metal-ligand interactions were synthesized. We demonstrated that the introduction of two independent non-covalent interactions into a polymer is a useful strategy to prepare multi-functional and multi-responsive materials. The fracture energy of the resultant polymeric materials is higher than that of polymeric materials without non-covalent interactions or with one non-covalent interaction.

研究分野：超分子科学

キーワード：ヒドロゲル 水素結合 配位結合 電荷移動錯体 応力 歪み 形状記憶性 自己修復性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、自己修復や刺激応答性材料の創製、持続可能な社会に貢献できる環境に配慮した材料の創出に関心が寄せられている。これらの材料創製では、非共有結合を介した可逆的(=リユース可能な)物質集積システムが最適であると考えられる。しかし、非共有結合の科学・超分子科学に基づいて創製された材料は本格的な実用化には至っていない。分子レベルでの挙動を巨視的に機能化できる材料の開発が望まれる。本研究グループでは、配位結合可能な有機金属錯体と配位子ユニットを導入したゲルをそれぞれ合成し、これらのゲルが配位結合により特異的に自己集積するシステムを開発した。天然のヘム酵素はタンパク質と補因子(鉄ポルフィリン)から構成されている。この鉄ポルフィリンにタンパク質中のヒスチジンが配位して錯体を形成する。汎用性高分子ポリアクリルアミドゲルに鉄ポルフィリンとヒスチジンをそれぞれ固定し、2種類のゲルを接触させると、ゲルが接着した。この接着挙動はpH応答性があり、競争剤(ここではヒスチジン水溶液)存在下、ゲル集積体は解離し、競争剤を取り除くと再びゲルが集積することを見出した。さらに、酵素の構成要素を別々に導入した高分子材料を用いて、高分子材料の集積・機能化へ展開できた。これらの巨視的ゲル接着は、水素結合、静電相互作用、 $\pi$ - $\pi$ 相互作用など、あらゆる非共有結合を利用して高分子材料を高度に集積できると考えた。これらの知見をもとに、実用化に耐えうるスマート材料の創製が望まれていた。

### 2. 研究の目的

複数の非共有結合因子を導入することで、様々な応力に耐えうる柔らかくて壊れにくい高分子材料を創製する。水系で強く働く相互作用、 $\pi$ - $\pi$ 相互作用や疎水性相互作用を活用する。これらの相互作用が特定の2種類の化合物間で働くような分子設計を行う。本研究では、主に下記の2つのシステムを構築し、共有結合で架橋された高分子材料との特性の相違を明確にするとともに、新たな機能発現を目指した。

(1) 超分子架橋ユニットとして電子ドナーと電子アクセプターを用いた。両者からなる電荷移動錯体の可逆的な結合・解離を利用すれば色調変調や自己修復のような機能発現が期待される。

(2) 水素結合と金属配位結合の2種の非共有結合部位をもつ新たなポリマーを合成した。キャスト法により超分子フィルムを作製し、材料の力学的強度を測定するとともに新しい機能を探索した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 電荷移動錯体形成活用型超分子材料

電子ドナーにピレン(Py)を、電子アクセプターとしてトリニトロベンゼン誘導体(TNB)を用い、これらのユニットを高分子側鎖に導入することにより、電荷移動錯体形成により高分子鎖が物理的に架橋されるシステムを設計した。低分子系の電荷移動錯体の会合定数は大きくないが、水溶性ポリマーによって水の中に分散された状態の電子ドナーと電子アクセプターの間の相互作用は、多点相互作用により低分子系の会合定数よりも大きくなると考えられる。電荷移動錯体形成により生じる新たな吸収帯をモニターすることで架橋点の情報を得た。この材料の応力-歪特性をモニターした。また、材料の強度測定において、引張速度を変化したときの挙動を併せて

観測した。

## (2) 水素結合・配位結合共存型超分子材料

二種類の非共有結合を導入したポリマーを合成し、それを用いた超分子材料の作製を試みた。ここではウレイドピリミジノン(UPy)と2,2'-ビピリジン(bpy)ユニットを有する ABA 型ブロックポリマーを合成した。ABA 型トリブロックポリマーは、A にガラス転移温度の高い Hard なポリマー、B にガラス転移温度の低い soft なポリマーを用いることで熱可塑性のエラストマーとなる。UPy は四点で水素結合を形成し、自己相補的にダイマーを形成する ( $K > 10^7 \text{ M}^{-1}$  in  $\text{CHCl}_3$ )。また多くの遷移金属イオンに対してキレート配位子としてはたらく bpy は二あるいは三配位の錯体を形成する。これらの要素を組み合わせ、金属配位子である bpy をコアに持ち、両末端に水素結合部位である UPy を持ったポリマーを合成した。このポリマーは末端の UPy の水素結合形成を通して線状の超分子ポリマーを形成すると考えられる。ここに金属イオンを添加すると bpy との金属錯体が超分子ポリマーの架橋点として働き、さらに巨大なネットワークを有する超分子集合体を形成すると予想した。二種非共有結合導入による超分子フィルムの力学的強度への影響、外部刺激応答性、自己修復性、形状記憶性などの機能について評価した。

## 4. 研究成果

(1) PyとTNBを同一高分子側鎖に有するランダムコポリマー(Py-TNB-copolymer)を合成した。高分子の主鎖にはアクリルアミド(AAm)、トリエチレングリコールアクリレート(TEGA)の2種類を用いた。AAmを用いたPy-TNB-copolymerの高濃度溶液(17wt%)について粘弾性測定を行った。Py-TNB-copolymer中のPyとTNBの導入率の増加に伴い、弾性率が上昇することがわかった。弾性率の上昇には、高分子鎖間での電荷移動錯体形成が寄与していると考えられる。主鎖成分に TEGAを用いたポリマーの乾燥体 (a)

(Py-TNB TEG elastomer)について、様々な速度で引張試験を行った結果、Py-TNB TEG elastomerは、引張り速度に依存して応力・歪みが向上した(図1a)。このエラストマーを一度加温した後に冷やすと、破断エネルギーが元の状態よりも大きくなった(図1b)。このような挙動は化学架橋体には見られなかった。引張速度の違いによって電荷移動錯体の解離挙動が異なると考えられる。

Py-TNB TEG elastomerは化学架橋体と比べてヒステリシスが多く残り、各歪みの帰りの応力よりも次の歪みの行きの方の応力の方が上回っていることがわかった。Py-TNB TEG elastomerでは電荷移動錯体が早いタイムスケールで再形成されていることが示唆された。

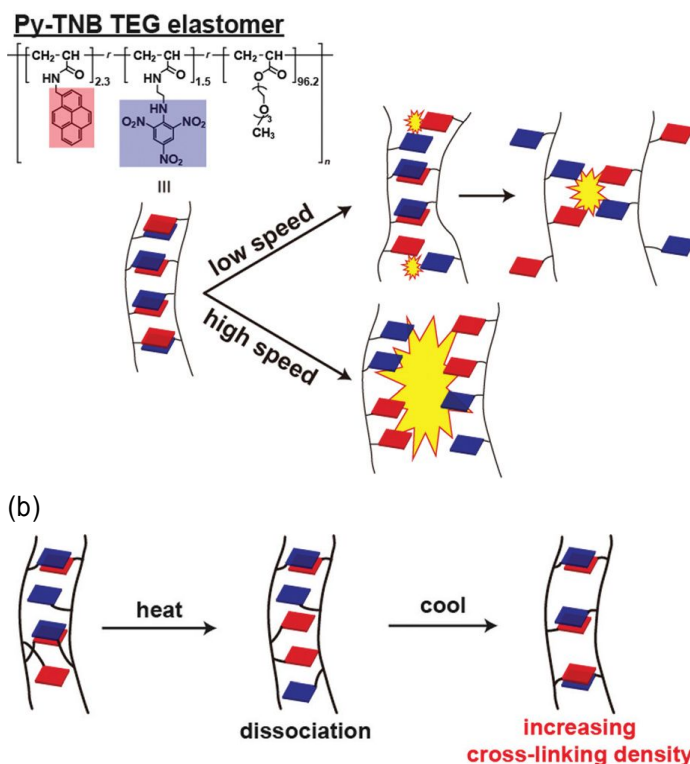


図1. PyとTNBを同一高分子側鎖に導入した高分子材料(Py-TNB TEG elastomer)の力学応答特性(a)と加温効果(b).

(2) 水素結合ユニット(Upy)と金属配位子(bpy)を導入したポリマーを合成した(図2)。キャスト法によりこのポリマーの超分子フィルムを作製し、材料の物性を評価した。

図2の bpyPVL-PLA のフィルム(OH フィルム)は脆く簡単に割れた。一方、水素結合ユニットを導入した bpyPVL-PLAU のフィルム (UPy フィルム) は柔軟性を示した。OH フィルムに見られた 50°C付近の PVL ブロック由来の融解ピークが、UPy フィルムでは明確には観察されなかった。このことは末端の水素結合形成を通して超分子ポリマーが生成したことを示唆している。見かけの分子量増加に伴いポリマーの運動性が極端に減少し、PVL ブロックの結晶化が妨げられたと考えられる。OH フィルムの透明性は低く、簡単に割れてしまうが、UPy フィルムは透明性を有し、かつ柔軟であったことも超分子ポリマーの生成を強く示唆している。

UPy フィルムに  $Fe^{2+}$  を添加するとヤング率は  $Fe^{2+}$  添加で低下、さらに添加量を増やすと上昇した。破壊エネルギーは  $Fe^{2+}$  の添加に応じて増大した。金属錯体形成による力学的強度の向上が示された。また  $Zn^{2+}$ 、 $Co^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$  フィルムの破壊エネルギーはこの順に大きくなる傾向を示した。これは bpy とこれらの金属イオンとの全安定度定数の大小と一致した。この結果から金属錯体の安定度が力学的強度と相関があることが示唆された。

超分子フィルムの外部刺激応答性、自己修復性、形状記憶性について評価した。 $Cu^{2+}$  フィルムは還元剤、酸化剤を作用させると可逆的に色調の変化と破壊エネルギーの変化を示したことから酸化還元刺激応答性を示すことがわかった。フィルムの自己修復性について調査したところ、OH フィルムに比べて UPy フィルムと その  $Fe^{2+}$  添加フィルムは非共有結合形成に伴うポリマー

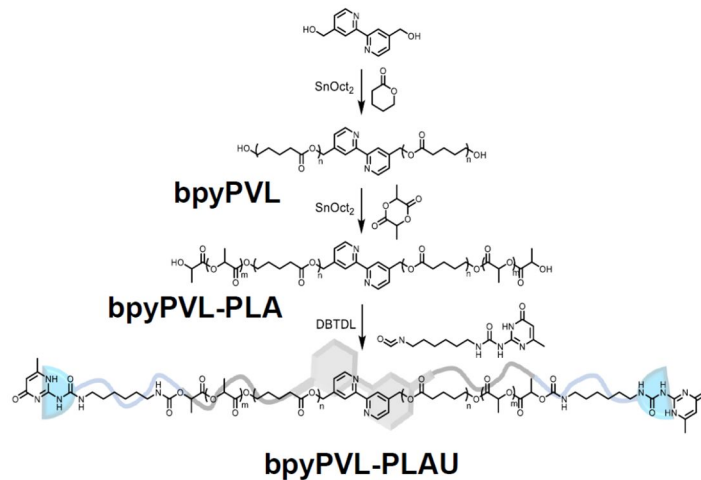


図2. Upy と bpy を導入した ABA 型トリブロックポリマーの合成.

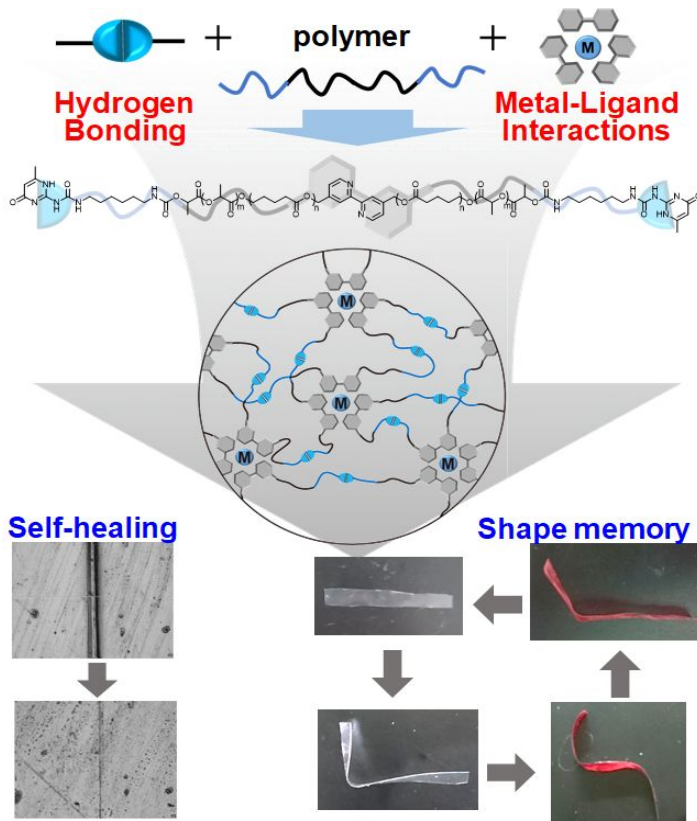


図3. 水素結合と配位結合の2種類の相互作用部位をもつポリラクトンからなる超分子材料の自己修復性と形状記憶性.

の結晶性の低下により、より低温で高い自己修復性を示すことがわかった。また UPy フィルムは熱と金属錯体形成によってポリマーネットワーク構造を制御可能で、triple shape memory 特性を示した (図 3)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Kobayashi, Y.; Kohara, K.; Kiuchi, Y.; Onoda, H.; Shoji, O.; Yamaguchi, H.	4. 巻 56
2. 論文標題 Control of Microenvironment around Enzymes by Hydrogels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC01332C	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 Aramoto, H.; Osaki, M.; Konishi, S.; Ueda, C.; Kobayashi, Y.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.	4. 巻 11
2. 論文標題 Redox-Responsive Supramolecular Polymeric Networks Having Double-Threaded Inclusion Complexes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 4322 ~ 4331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SC05589D	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 Sinawang, G.; Osaki, M.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A.	4. 巻 56
2. 論文標題 Supramolecular Self-Healing Materials from Non-Covalent Cross-Linking Host-Guest Interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4381 ~ 4395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC00672F	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 Kobayashi, Y.; Hirase, T.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.	4. 巻 10
2. 論文標題 Self-Healing and Shape-Memory Properties of Polymeric Materials Cross-Linked by Hydrogen Bonding and Metal-Ligand Interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 4519 ~ 4523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9PY00450E	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 Itano, M.; Kobayashi, Y.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.	4. 巻 55
2. 論文標題 Mechanical Properties of Supramolecular Polymeric Materials Cross-Linked by Donor-Acceptor Interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 3809 ~ 3812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC01472A	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 Sinawang, G.; Kobayashi, Y.; Osaki, M.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.	4. 巻 9
2. 論文標題 Mechanical and Self-Recovery Properties of Supramolecular Ionic Liquid Elastomers Based on Host-Guest Interactions and Correlation with Ionic Liquid Content	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 22295 ~ 22301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9RA04623B	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 Sinawang, G.; Kobayashi, Y.; Zheng, Y.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.	4. 巻 52
2. 論文標題 Preparation of Supramolecular Ionic Liquid Gels Based on Host-Guest Interactions and Their Swelling and Ionic Conductive Properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 2932 ~ 2938
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.8b02395	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 Ikejiri, S.; Takashima, Y.; Osaki, M.; Yamaguchi, H.; Harada, A.	4. 巻 140
2. 論文標題 Solvent-Free Photoresponsive Artificial Muscles Rapidly Driven by Molecular Machines	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 17308 ~ 17315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b11351	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 Zheng, Y.; Kobayashi, Y.; Sekine, T.; Takashima, Y.; Hashidzume, A.; Yamaguchi, H.; Harada, A.	4. 巻 1
2. 論文標題 Visible Chiral Discrimination via Macroscopic Selective Assembly	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 4~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-017-0003-x	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 Koyanagi, K.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A.	4. 巻 50
2. 論文標題 Movable Cross-Linked Polymeric Materials from Bulk Polymerization of Reactive Polyrotaxane Cross-Linker with Acrylate Monomers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 5695~5700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b00797	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 -

[学会発表] 計54件(うち招待講演 3件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Kiuchi, Y.; Kobayashi, Y.; Yamaguchi, H.
2. 発表標題 Control of a Cascade Reaction Using Enzymes Modified with Poly(N-isopropylacrylamide)
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田村洋樹, 以倉峻平, 大崎基史, 高島義徳, 山口浩靖, 原田明
2. 発表標題 可動性の架橋点を有する超分子材料の光刺激応答性と力学特性の評価
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 山崎誠司, 伊田翔平, 金岡鐘局, 山口浩靖
2. 発表標題 酵素を導入した刺激応答性高分子により促進されたカスケード反応
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 Cao, Y.; Takasaki, T.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.
2. 発表標題 Control of Photoinduced Electron Transfer by the Complex Formation of Water-Soluble Porphyrin with Polyvinylpyrrolidone
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 土屋日奈子, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖, 宇山浩
2. 発表標題 ホスト-ゲスト相互作用と金属配位を組み合わせた超分子ヒドロゲルの作製とその物性評価
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 山口浩靖
2. 発表標題 分子認識に基づく機能性超分子材料・システムの創製
3. 学会等名 第24回 産学高分子研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋日奈子, 高島義徳, 山口浩靖, 宇山浩, 原田明
2. 発表標題 クエン酸変性セルロースナノファイバー/ホスト-ゲスト超分子材料の複合化とその物性評価
3. 学会等名 第17回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曹藝霖, 高崎友絵, 高島義徳, 山口浩靖
2. 発表標題 ポリビニルピロリドン存在下のポルフィリン誘導体とメチルピオローゲン間の光誘起電子移動
3. 学会等名 第17回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamaguchi, H.
2. 発表標題 Creation of Multi-Functional Soft Materials by Introducing Plural Interaction Units
3. 学会等名 The 16th Pacific Polymer Conference (PPC16) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamaguchi, H.
2. 発表標題 Functionalization of Supramolecular Complexes by Hybridization of Transition Metal Complexes with Biomolecules
3. 学会等名 Indiana Summit 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Park, J.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.
2. 発表標題 Multi-Functional Supramolecular Materials by Mixing Hydrophobic Cyclodextrin Based Host Polymer and Guest Polymer: Recycle, Healing, and Toughening
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 以倉峻平, 大崎基史, 山口浩靖, 原田明, 高島義徳
2. 発表標題 可動性架橋導入による疎水性高分子材料の強靱化
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡野七海, 山口浩靖, 原田明, 高島義徳
2. 発表標題 ホストゲスト相互作用を用いた光刺激応答性高分子材料の作製
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kobayashi, Y.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A.
2. 発表標題 Rapid Self-Healing Materials Consisting of Polyrotaxane Cross-Linked by Host-Guest Interactions
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西昂, 荒本光, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンとカチオン性ゲスト分子の包接錯体により架橋された超分子ヒドロゲルの力学物性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tamura, H.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H.
2. 発表標題 Preparation of Stimuli-Responsive Polymeric Materials Based on the Sliding Motion of Supramolecules
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米井進, 以倉峻平, 高島義徳, 大崎基史, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 ホスト-ゲスト含有ヒドロゲルの接着率の含水量依存性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sinawang, G.; Kobayashi, Y.; Osaki, M.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A.
2. 発表標題 Supramolecular Ionic Liquid Gel Using Host-Guest Inclusion Complexes with Cyclodextrin
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Cao, Y.; Takasaki, T.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.
2. 発表標題 Photoinduced Electron Transfer between Porphyrin Derivative and Methylviologen under the Existence of Polyvinylpyrrolidone
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sinawang, G., 小林裕一郎, 大崎基史, 高島義徳, 山口浩靖, 原田明
2. 発表標題 ホスト-ゲスト包接錯体で架橋されたイオン液体ゲル
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒本光, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンの包接錯体により架橋された超分子ヒドロゲルの力学物性と酸化還元応答性
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 以倉峻平, 呑村優, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンモノマーを用いた無溶媒重合による超分子架橋材料の作製とその力学特性評価
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡野七海, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンとスチルベンを利用した超分子材料の作製とその光応答性
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朴峻秀, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 新規な作製方法を取り入れた疎水性シクロデキストリン超分子材料の物性評価
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小西昂, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンと種々の疎水性分子を側鎖に導入した超分子ヒドロゲルの作製とその力学物性評価
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒本光, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンとピオロゲン誘導体の包接錯体により架橋された高強度酸化還元応答性アクチュエータ
3. 学会等名 第7回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zheng, Y.; Kobayashi, Y.; Sekine, T.; Takashima, Y.; Hashidzume, A.; Yamaguchi, H.; Harada, A.
2. 発表標題 Visible Chiral Discrimination via Macroscopic Selective Assembly
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Polymer Chemistry (PC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡野七海, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンとスチルベンを用いた超分子材料の作製
3. 学会等名 第16回ホス-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡野七海, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンと光応答性分子を用いた超分子材料の作製
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒本光, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンとピオロゲン誘導体の包接錯体により架橋された酸化還元応答性アクチュエータ
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 以倉峻平, 呑村優, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンモノマーを用いた無溶媒重合による超分子 架橋材料の作製とその力学特性評価
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平瀬智大, 高島義徳, 山口浩靖
2. 発表標題 水素結合と金属配位結合の両ユニットを導入したポリマーの合成と機械的特性
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 小原健司, 小野田浩宜, 荘司長三, 山口浩靖
2. 発表標題 温度応答性高分子ゲルを用いたシクロムP450の活性制御
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 鈴木優菜, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 ホスト-ゲスト相互作用と金属配位を組み合わせた超分子ヒドロゲルの作製とその力学特性評価
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 岡野七海, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 無溶媒条件でのポリアクリルアミド系超分子材料の作製とその力学特性評価
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 荒本光, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 ピオロゲン誘導体の包接錯体により架橋された高分子材料の力学物性と酸化還元応答性
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 以倉峻平, 呑村優, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 可動性架橋点に有する超分子材料の無溶媒重合による作製とその力学特性評価
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 山口浩靖
2. 発表標題 超分子錯体が形成する特異的反應場
3. 学会等名 平成29年度日本素材物性学会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池尻伸治, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 架橋点の滑走を駆動力とする光刺激応答性高分子材料の作製・評価
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 以倉峻平, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 無溶媒条件下における可動性架橋材料の作製
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 後藤史明, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 包接錯体と金属錯体の二種類の架橋を有する超分子ヒドロゲルを用いた材料間接着への利用
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荒本光, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 可動性と可逆性の架橋から形成された超分子材料の力学特性と酸化還元応答性の評価
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池尻伸治, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 架橋点間の伸縮により駆動する光刺激応答性高分子材料の作製と評価
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 以倉峻平, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 シクロデキストリンモノマーを用いた無溶媒重合による超分子材料の作製とその力学特性評価
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山口浩靖, 高崎友絵
2. 発表標題 ポルフィリンに特異的に結合する高分子を用いた光誘起電子移動制御
3. 学会等名 第11回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池尻伸治, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 架橋点間距離の変化により駆動する光刺激応答性高分子材料の作製
3. 学会等名 第34回シクロデキストリンシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 後藤史明, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 包接錯体形成と金属錯体形成を分子接着技術とした高分子ゲルの接着と力学物性評価
3. 学会等名 第63回高分子研究発表会 (神戸)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池尻伸治, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 環分子のスライドにより駆動する光刺激応答性高分子材料の作製
3. 学会等名 第63回高分子研究発表会 (神戸)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林祐輝, 高島義徳, 原田明, 山口浩靖
2. 発表標題 ロタキサンのよりトポロジカルに架橋された光応答性ゲルアクチュエータ
3. 学会等名 第63回高分子研究発表会 (神戸)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荒本光, 高島義徳, 山口浩靖, 原田明
2. 発表標題 シクロデキストリンとピオロゲンを利用した酸化還元刺激応答性材料の作製
3. 学会等名 第63回高分子研究発表会 (神戸)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 以倉峻平, 高島義徳, 山口浩靖, 原田明
2. 発表標題 可動性架橋点を有する超分子材料の作製とその力学特性評価
3. 学会等名 第63回高分子研究発表会 (神戸)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高崎友絵, 池田憲昭, 中村格雄, 濱田憲昭, 高島義徳, 山口浩靖
2. 発表標題 ポリビニルピロリドン添加によるポルフィリンからピオロゲン誘導体への光誘起電子移動の制御
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧野早恵, 高島義徳, 山口浩靖
2. 発表標題 温度応答性高分子を用いたヘム酵素の反応制御
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 板野美咲, 高島義徳, 山口浩靖
2. 発表標題 電子ドナーと電子アクセプターを側鎖に有する高分子の合成とその物性評価
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小林裕一郎, 山口浩靖, 原田明	4. 発行年 2019年
2. 出版社 情報技術協会	5. 総ページ数 608
3. 書名 次世代のポリマー・高分子開発, 新しい用途展開と将来展望	

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪大学大学院理学研究科 超分子機能化学研究室 最近の研究 <a href="http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/yamaguchi/research/index.html#link7">http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/yamaguchi/research/index.html#link7</a>
--

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
---------------------------	-----------------------	----