

令和 2 年 4 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：17H03115

研究課題名(和文) ナノメートルサイズの揃った空孔を有する超薄膜の調製

研究課題名(英文) Preparation of porous polymeric membrane with nano size pore

研究代表者

原田 明 (Harada, Akira)

大阪大学・産業科学研究所・特任教授(常勤)

研究者番号：80127282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：シクロデキストリン(CD)の分子認識と置換基を修飾可能な特徴を利用して、簡便にCDを有する分離膜を作製する手法を開発した。 β -CDの水酸基をアセチル化することで(PAc-CD)、エチルアクリレート(EA)に溶解し、バルク重合によりCDを含む分離膜を得た(CD membrane (BP))。CDを含まないIPEA膜は環境汚染物質であるビスフェノールA (BPA)をほとんど吸着しなかったのに対し、CD membrane (BP)はBPAを吸着した。バルク重合可能なCDを作製することによって、環境汚染物質を水中から分離する膜を簡便に作成することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

化学産業におけるエネルギー消費が年々増加し、そのエネルギー消費の約40%が蒸留操作による分離・精製に費やされている。混合物から分離・センシングを可能にする材料として、多孔性材料や高分子膜が知られているが、前者は溶媒に不溶であることから汎用性、製膜性、均一性が、後者は膜中の空孔サイズのコントロールが困難であった。本申請研究はこれらの問題を解決し、簡便にナノメートルサイズの空孔を持つ分離膜を作製した点が特徴である。

研究成果の概要(英文)：We have demonstrated an efficient synthetic methodology to prepare polymeric membranes containing CDs. Bulk polymerization of ethyl acrylate containing peracetylated β -CD (Pac-CD) yields a CD-based porous polymeric membrane [CD membrane (BP)]. Krypton adsorption measurements reveal that the CD membrane (BP) has a porous structure. The specific surface of the CD membrane (BP) is 10 times higher than that of a CD-based polymeric membrane prepared by solution casting using a solution containing poly(ethyl acrylate) and Pac-CD. Due to the large specific surface area of the CD membrane (BP) and molecular recognition of CD, we also demonstrate that the CD membrane (BP) can separate an environmental pollutant from water.

研究分野：高分子・超分子

キーワード：シクロデキストリン ポリマー膜 分離膜 バルク重合 分子認識

1. 研究開始当初の背景

化学産業におけるエネルギー消費が年々増加し、そのエネルギー消費の約 40%が蒸留操作による分離・精製に費やされている。そのため、さまざまな混合物から分離・センシングを可能にする、ナノメータサイズの空孔を有する材料に多大な関心が寄せられている。このような材料の空孔は大きさによりマクロ孔(>50 nm)、メソ孔(2 ~ 50 nm)、ミクロ孔(<2 nm)に分類され、特にミクロ孔を有する材料はそのサイズが分子サイズに近い、優れた分離やセンシング能を持つ。このような材料として、古くからゼオライト等の無機材料が用いられてきたが、近年では有機金属構造体(MOF)のような有機無機材料が自在にその空孔サイズをコントロールできることから、その応用は化合物の分離・センシングに留まらず、例えば Li 電池のセパレータや逆浸透膜のような水の浄化への利用も注目されている。しかしながら、これら材料は溶媒に不溶であることから汎用性、製膜性、均一性に欠けるといふ欠点がある。これに対し、優れた汎用性、製膜性、均一性を持つ材料として高分子膜が広く知られているが、空孔の作成は相分離等の方法を用いているためにその大きさをコントロールすることは非常に困難である。これを解決するため、ポリマー材料中にナノメータサイズの空孔を有する材料を分散させる研究が近年盛んに行われており、ナノメータサイズの大きさがそろった空間が高密度で存在する薄く丈夫な高分子膜の開発が望まれている。

2. 研究の目的

研究全体の構想は、分子サイズであるナノメータサイズの空孔を持つ高分子薄膜の調整から始まり、最終的には自在に空孔サイズをデザイン可能であり、且つ長期間使用可能というように実社会で耐えうる分離膜を開発することにある。研究期間内では、主にその研究の根幹となる空孔サイズのコントロールと、その空孔構造を保持しつつタフで長寿命なポリマー膜の作成を行う(図1)

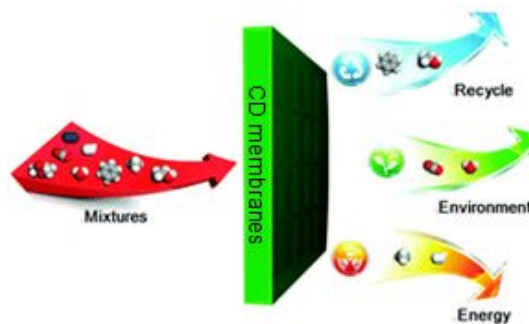


図1. 本申請の目的。

3. 研究の方法

シクロデキストリン(CD)はグルコピラノースユニットからなる環状糖で、ナノメータ程度の空孔を有する(図2)。CDの特徴は分子を選択的にその空孔内に取り込む分子認識能を有することである。本研究ではCDを含む多孔性ポリマー膜の作製を行う。加えて、ホスト-ゲスト相互作用もその薄膜内に導入し、自己修復性や強靭性を付与し、長寿命化を行う。

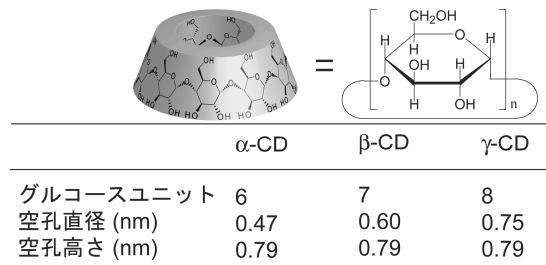


図2. CDの化学構造。

4. 研究成果

(1) CD存在下におけるバルク重合による高分子分離膜の作製(図3)

我々はまず、ポリマー中にCDを導入することによる多孔性ポリマー膜の合成を行った。この際に求められることは、簡便且つ大量に合成出来ること、耐水性を有することである。これらを達成する方法として疎水性ポリマー中へのCDの導入を試みた。最も簡便な手法であるCD存在下での疎水性モノマー(エチルアクリレート)のバルク重合を試みたが、多孔性が認められなかった。これはCDが親水性であるため、疎水性であるエチルアクリレート中では凝集したためであると考えられる。そこで、CDにアセチル基を導入し、疎水性のCD誘導体を新たに合成し、エチルアクリレート中でバルク重合を行った[CD membrane (BP)]。この際にCDに適切な官能基(アセチル基)を導入することにより、エチルアクリレート中に溶解し、均一なポリマー膜の作製が可能となった。CDを含まないポリエチルアクリレート(PEA)膜は環境汚染物質であるビスフェノールA(BPA)をほとんど吸着しなかったのに対し、CD membrane (BP)はBPAを吸着した。この結果は、CDの分子認識能による水中からのBPAの選択的な吸着を示唆している。興味深いことにPEAとCD誘導体をCHCl₃に溶解し、溶液キャスト法で得られたCD膜[CD membrane (SC)]よりもCD membrane (BP)は、表面積の多きさから多くのBPAを吸着した(図4)。

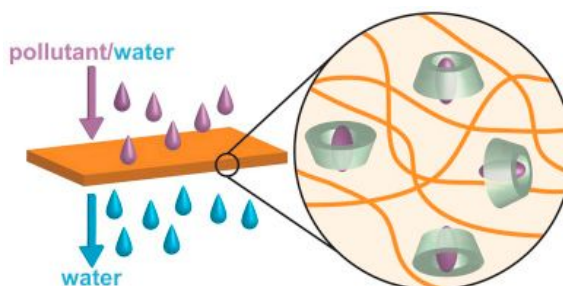


図3. 汚染物質を分離するCD含有ポリマー膜

この理由を調べるために SEM 測定を行うと、CD membrane (SC)には凝集体が観察されたのに対し、CD membrane (BP)においては、凝集体は観察されず、均一であった。これは CD membrane (BP)中では CD が均一に分散していることを示唆しており、そのため CD membrane (BP)の表面積が CD membrane (SC)よりも大きくなったのだと考えられる。これらの結果から、バルク重合可能な CD 誘導体を作製することによって、環境汚染物質を水中から分離する膜を簡便に作成することに成功した[1]。

(2) CD モノマー存在下におけるバルク重合による強靱性高分子膜の作製

CD 誘導体存在下にてバルク重合を行うことによってポリマー膜に多孔性を付与できることが分かったため、次にポリマー膜の材料寿命を伸ばすために強靱化を行った。具体的には、前項で得られた CD 誘導体にビニル基を修飾することにより CD モノマーとし、エチルアクリレート中でバルク重合を行った(PEA-CD) (図 5)。PEA-CD をダンベル試験片に成型し、引張試験を行った。PEA-CD を破壊するために必要なエネルギー(破壊エネルギー)は PEA や PEA 間を共有結合にて架橋した材料の破壊エネルギーよりも大きかった。興味深いことに、PEA-CD の破壊エネルギーは CD モノマーとエチルアクリレートを CHCl_3 中で溶液重合により得られた材料の破壊エネルギーよりも大きかった(図 6)。この理由を調べるために、NOESY NMR 測定を行ったところ、CD と PEA のプロトンにクロスピークが観測された。これは CD が PEA を包接しロタキサン構造をしていることを示唆している。これらの結果から、CD をモノマー化することによってロタキサン構造で架橋された材料を作製でき、材料の強靱化が可能であることが分かった[2-8]。

(3) CD モノマーとゲストモノマー存在下におけるバルク重合による強靱性と自己修復性を兼ねた高分子膜の作製

ポリマー膜の更なる長寿命化を目指し、自己修復性ポリマー膜の合成を行った。CD モノマーに加えて、ゲストモノマーも用いて、バルク重合を行った。ゲストモノマーと CD モノマーをエチルアクリレート中に溶解し、バルク重合を行った(ホスト-ゲスト架橋材料) (図 7)。得られた材料をダンベル試験片に成型し、引張試験を行った。ホスト-ゲスト架橋材料の破壊エネルギーは PEA や PEA 間を共有結合にて架橋した材料の破壊エネルギーより大きかった(図 8)。この破壊エネルギーはロタキサン架橋材料とほぼ同様であり、カッターナイフにポリマー膜を突き立てても破れないほど強靱であった。自己修復性を評価するために、ホスト-ゲスト架橋材料を切断し、その切断面同士を接触させ、24 時間静置した。材料片の片方をピンセットで持ち上げると、材料全体が持ち上がり、材料が接着したことが確かめられた。この際、接着した材料の両端を引っ張っても材料は切断面で剥離しなかった。このような挙動は PEA 間を共有結合にて架橋した材料やロタキサン架橋材料には見られなかった。切断面でホスト-ゲスト包接錯体形成により自己修復が見られたのだと考えられる。修復率を定量的に観察するため、(接着後の破壊エネルギー/破断前の破壊エネルギー) $\times 100 =$ 修復率とすると、ホスト-ゲスト架橋材料の修復率は 60%以上であった。この際に、材料片接触後の静置の

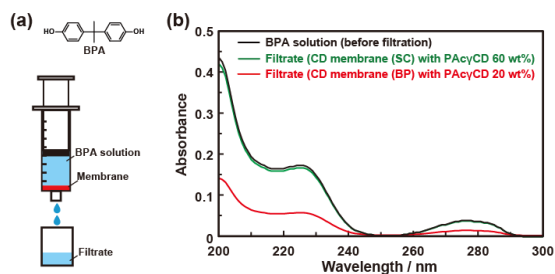


図 4. BPA 溶液の UV-Vis スペクトル。ろ過前(黒線)、CD membrane (SC)でろ過した溶液(緑線)、CD membrane (BP)でろ過した溶液(赤線)。

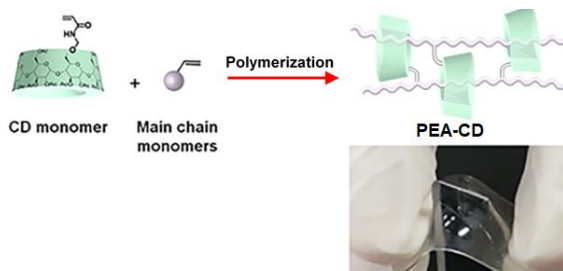


図 5. 強靱性 CD 含有ポリマー膜

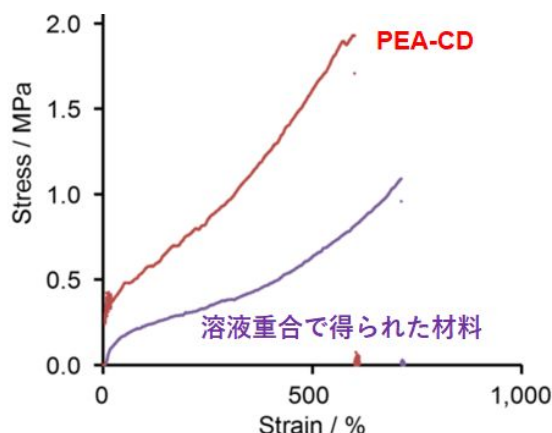


図 6. PEA-CD (赤線)と溶液重合により得られた材料(紫線)の応力 - 歪曲線

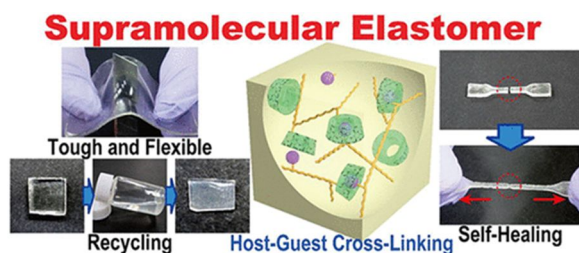


図 7. 強靱性と自己修復性を備えた CD - ゲスト含有ポリマー膜

際の温度を 80 °C にすると修復率は 90% 以上となり、室温よりも短時間で修復した。修復を起こすためにはホスト - ゲスト包接錯体を形成する必要がある。そのためにはポリマー側鎖に導入されたホストとゲストが切断面上で出会う必要がある。この際にはポリマー中のホストとゲストの運動性、つまりポリマーの運動性が重要である。温度を上昇させることによってポリマーの運動性が向上し、修復率・修復速度が共に向上したのだと考えられる。これらの結果から、CD モノマーとゲストモノマーの両者存在下でバルク重合することによってホスト - ゲスト包接錯体で架橋された材料を作製でき、材料に自己修復性と強靱性の両性質を付与できることが分かった[9-19]。

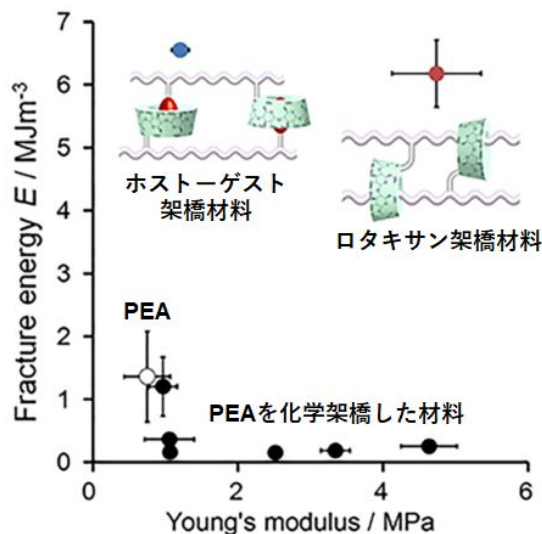


図 8. 材料強度の比較

<引用文献>

1. Kobayashi, Y.; Nakamitsu, Y.; Zheng, Y.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A. *Polymer* **2019**, *177*, 208-213.
2. Kobayashi, Y.; Nakamitsu, Y.; Zheng, Y.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A., *Chem. Commun.* **2018**, *54*, 7066-7069.
3. 特願 2017-039908 原田明・高島義徳・呑村優・以倉俊平
4. 小林裕一郎、高島義徳、原田明, *科学と工業*, **2018**, *92*, 283-290.
5. Ikura, R.; Park, J.; Osaki, M.; Yamaguchi, H.; Harada, A.; Takashima, Y. *Macromolecules* **2019**, *52*, 6953-6962.
6. 大崎基史, 高島義徳, 原田明, *プラスチックス*, **2019**, *70*, 37-42.
7. Garry, S.; Osaki, M.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A., *Chem. Commun.*, **2020**, *accepted*.
8. Ikura, R.; Osaki, M.; Yamaguchi, H.; Harada, A.; Takashima, Y., *Polymer*, **2020**, *accepted*.
9. Takashima, Y.; Sawa, Y.; Iwaso, K.; Nakahata, M.; Yamaguchi, H.; Harada, A., *Macromolecules*, **2017**, *50*, 3254-3261.
10. Takashima, Y.; Yonekura, K.; Koyanagi, K.; Iwaso, K.; Nakahata, M.; Yamaguchi, H.; Harada, A., *Macromolecules*. **2017**, *50*, 4144-4150.
11. 特願 2017-095058 原田明・高島義徳・呑村優・以倉俊平・小林裕一郎
12. Kobayashi, Y.; Zheng, Y.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A., *Chem. Lett.* **2018**, *47*, 1387-1390.
13. Takashima, Y.; Otani, K.; Kobayashi, Y.; Aramoto, H.; Nakahata, M.; Yamaguchi, H.; Harada, A., *Macromolecules*, **2018**, *51*, 6318-6326.
14. Nomimura, S.; Osaki, M.; Park, J.; Ikura, R.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A., *Macromolecules*, **2019**, *52*, 2659-2668.
15. Sinawang, G.; Kobayashi, Y.; Yongtai, Z.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H. *Macromolecules*, **2019**, *52*, 2932-2938.
16. Hashidzume, A.; Yamaguchi, H.; Harada, A. *Eur. J. Org. Chem.*, **2019**, *21*, 3344-3357.
17. Garry, S.; Kobayashi, Y.; Osaki, M.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H., *RSC Advances* **2019**, *9*, 22295-22301.
18. Okano, N.; Osaki, M.; Ikura, R.; Takashima, Y.; Yamaguchi, H.; Harada, A., *ACS Appl. Polym. Mater.*, **2020**, *2*, 1553-1560.
19. Aramoto, H.; Osaki, M.; Konishi, S.; Ueda, C.; Kobayashi, Y.; Takashima, Y.; Harada, A.; Yamaguchi, H. *Chem. Sci.*, **2020**, *accepted*.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Kobayashi Yuichiro, Zheng Yongtai, Takashima Yoshinori, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	4. 巻 47
2. 論文標題 Physical and Adhesion Properties of Supramolecular Hydrogels Cross-linked by Movable Cross-linking Molecule and Host-guest Interactions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1387 ~ 1390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180646	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 Takashima Yoshinori, Otani Kohei, Kobayashi Yuichiro, Aramoto Hikaru, Nakahata Masaki, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	4. 巻 51
2. 論文標題 Mechanical Properties of Supramolecular Polymeric Materials Formed by Cyclodextrins as Host Molecules and Cationic Alkyl Guest Molecules on the Polymer Side Chain	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 6318 ~ 6326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.8b01410	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 Yuichiro, Nakamitsu Yukie, Zheng Yongtai, Takashima Yoshinori, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	4. 巻 54
2. 論文標題 Control of the threading ratio of cyclic molecules in polyrotaxanes consisting of poly(ethylene glycol) and α -cyclodextrins	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7066 ~ 7069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CC01776J	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 Yongtai, Kobayashi Yuichiro, Sekine Tomoko, Takashima Yoshinori, Hashidzume Akihito, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	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 1 ~ 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 Hashidzume Akihito, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Cyclodextrin-Based Rotaxanes: from Rotaxanes to Polyrotaxanes and Further to Functional Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.201900090	査読の有無 無
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 Sinawang Garry, Kobayashi Yuichiro, Zheng Yongtai, Takashima Yoshinori, Harada Akira, Yamaguchi Hiroyasu	4. 巻 印刷中
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 印刷中
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 無
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 Itano Misaki, Kobayashi Yuichiro, Takashima Yoshinori, Harada Akira, Yamaguchi Hiroyasu	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 無
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 Suguru Nomimura, Motofumi Osaki, Junsu Park, Ryohei Ikura, Yoshinori Takashima, Hiroyasu Yamaguchi, Akira Harada	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Self-Healing Alkyl Acrylate-Based Supramolecular Elastomers Cross-Linked via Host-Guest Interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.9b00471	査読の有無 無
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 Takashima Yoshinori, Yonekura Koki, Koyanagi Kohei, Iwaso Kazuhisa, Nakahata Masaki, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	4. 巻 50
2. 論文標題 Multifunctional Stimuli-Responsive Supramolecular Materials with Stretching, Coloring, and Self-Healing Properties Functionalized via Host?Guest Interactions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 4144 ~ 4150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b00875	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 Hashidzume Akihito, Kuse Akihiro, Oshikiri Tomoya, Adachi Seiji, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	4. 巻 73
2. 論文標題 A pseudo-rotaxane of β -cyclodextrin and a two-station axis molecule consisting of pyridinium and decamethylene moieties, and its deuteration in deuterium oxide	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Tetrahedron	6. 最初と最後の頁 4988 ~ 4993
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tet.2017.05.044	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 Takashima Yoshinori, Sawa Yuki, Iwaso Kazuhisa, Nakahata Masaki, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	4. 巻 50
2. 論文標題 Supramolecular Materials Cross-Linked by Host?Guest Inclusion Complexes: The Effect of Side Chain Molecules on Mechanical Properties	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 3254 ~ 3261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.7b00266	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 Yongtai, Kobayashi Yuichiro, Sekine Tomoko, Takashima Yoshinori, Hashidzume Akihito, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	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 Commun. Chem.	6. 最初と最後の頁 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 Nomimura Suguru, Osaki Motofumi, Takashima Yoshinori, Yamaguchi Hiroyasu, Harada Akira	4. 巻 47
2. 論文標題 Formation of Inclusion Complexes of Poly(hexafluoropropyl ether)s with Cyclodextrins	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 322 ~ 325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.171112	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32件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Yuichiro Kobayashi, Yoshinori Takashima, Hiroyasu Yamaguchi, Akira Harada
2. 発表標題 Self-Healing Supramolecular Hydrogel: Polyrotaxane Cross-Linked By Host-Guest Interactions
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年 ~ 2019年

1. 発表者名 Yongtai ZHENG, Yoshinori Takashima, Hiroyasu Yamaguchi, Akira Haradaa
2. 発表標題 Visible chiral discrimination via macroscopic selective assembly
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年 ~ 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Takashima, Hiroyasu Yamaguchi, Akira Harada
2. 発表標題 Supramolecular polymeric materials functionalized by host-guest interactions and its mechanical properties
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年 ~ 2019年

1. 発表者名 Garry Sinawang, Yuichiro Kobayashi, Motofumi Osaki, Yoshinori Takashima, Hiroyasu Yamaguchi, Akira Harada
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～2019年

1. 発表者名 Junsu Park, Yoshinori Takashima, Aoi Yamada, Takuya Katashima, Tadashi Inoue, Akira Harada, Hiroyasu Yamaguchi
2. 発表標題 Novel method to prepare hydrophobic cyclodextrin-based supramolecular materials
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 シナワン ガリー・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～2019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～2019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～2019年

1. 発表者名 高島 義徳・山口 浩靖・原田 明
2. 発表標題 高分子の架橋制御により生み出される超分子ソフトマテリアルの機能
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 小林裕一郎・高島義徳・山口 浩靖・原田 明
2. 発表標題 ホスト-ゲスト相互作用によって架橋されたポリロタキサンを含む超分子ゲルの自己修復性挙動
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年～2019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～2019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～2019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 ビオロゲン修飾アルキル鎖とシクロデキストリンの包接錯体を架橋点とした超分子ヒドロゲル
3. 学会等名 第35回シクロデキストリンシンポジウム
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 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及び疎水性ゲスト分子の違いによる超分子ヒドロゲルの力学物性の変化
3. 学会等名 第35回シクロデキストリンシンポジウム
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Yuichiro Kobayashi, Yoshinori Takashima, Hiroyasu Yamaguchi, Akira Harada
2. 発表標題 Self-Healing Supramolecular Hydrogel: Polyrotaxane Cross-Linked By Host-Guest Interactions
3. 学会等名 First International Conference on 4D Materials and Systems (4DMS) (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Yongtai Zheng, Yuichiro Kobayashi, Tomoko Sekine, Yoshinori Takashima, Akihito Hashidzume, Hiroyasu Yamaguchi, Akira Harada
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～2019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～2019年

1. 発表者名 小林 裕一郎・中満 幸恵・高島 義徳・山口 浩靖・原田 明
2. 発表標題 CDとPEGからなるポリロタキサンの貫通率の制御
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 原田明
2. 発表標題 シクロデキストリンを用いたメカニカル材料の構築
3. 学会等名 日本化学会第95春季年会 (招待講演)
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95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95春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshinori Takashima, Suguru Nomimura, Hiroyasu Yamaguchi, Akira Harada
2. 発表標題 Self-healable polymeric materials based on the interaction between cyclodextrins and guest molecules
3. 学会等名 9th Asian Cyclodextrin Conference (9ACC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原田 明・高島 義徳・山口 浩靖
2. 発表標題 ホスト(シクロデキストリン)-ゲストゲルの調製
3. 学会等名 第26回ポリマー材料フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吞村 優・荒本光・以倉 峻平・高島 義徳・山口 浩靖・原田 明
2. 発表標題 疎水性シクロデキストリンを用いた包接錯体を架橋点とする超分子エラストマーの作製と物性評価
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 吞村 優・荒本光・以倉 峻平・高島 義徳・山口 浩靖・原田 明
2. 発表標題 疎水性シクロデキストリンを用いた無溶媒重合法による超分子エラストマーの作製と物性評価
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 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 以倉 峻平・高島 義徳・原田 明・山口 浩靖
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 以倉 峻平・高島 義徳・原田 明・山口 浩靖
2. 発表標題 可動性架橋点を持つ超分子材料の作製とその力学特性評価
3. 学会等名 第6回 JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2017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 無溶媒条件下における超分子エラストマーの作製
3. 学会等名 第15回ホスト-ゲスト・超分子シンポジウム SHGSC2017
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 口タキサン構造を架橋点に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66回高分子学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Harada
2. 発表標題 Supramolecular Materials: Self-healing and Stimuli-responsive Polymeric Materials through Host-Guest Interactions
3. 学会等名 253th ACS San Francisco (招待講演) (国際学会)
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	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 重合用組成物及びその重合体並びに重合体の製造方法	発明者 原田明・高島義徳・ 呑村優・以倉俊平・ 小林裕一郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-095058	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ホスト基含有重合性単量体、高分子材料及びその製造方法、並びに、包接化合物及びその製造方法	発明者 原田明・高島義徳・ 呑村優・以倉俊平	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-039908	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究協力者	小林 裕一郎 (Kobayashi Yuichiro) (10739676)	大阪大学・理学研究科高分子科学専攻・助教 (14401)	