

環境に調和する機能性高分子材料の創製

青島貞人、井上正志、今田勝巳、浦川理、宇山浩、鬼塚清孝、小林裕一郎、高島義徳、寺尾 憲、橋爪章仁、原田明、山口浩靖

自然共生高分子科学プロジェクト

【緒言】 本研究プロジェクトにおいては、高分子に関する各方面の研究者が集まり、「新しい持続可能な高分子材料の開発」を目的にプロジェクトを推進する。特に材料設計において、架橋設計に注目し、周囲の環境に調和し、応答する材料の創製を試みる(図1)^[1]。

【環状ポリフェニレンスルフィドを用いた高分子材用の強靱化】産業副産物である環状ポリフェニレンスルフィド(PPS)を新たなホスト分子として活用した高分子複合材料を構築した。ポリ(スチレン-エチルアクリレート)(PS-PEA)への複合において、環状PPSを主鎖が貫通した可動性架橋と π - π スタッキングの相乗効果により、硬質材料の強靱化とヤング率向上に成功した(図2)^[2]。

【自己修復性・強靱性シリコン材料の開発】ホスト-ゲスト相互作用による可逆性架橋を用い、シリコン材料へ自己修復性を付与した^[3]。可動性架橋の導入による強靱性の付与に成功した^[4]。通常、混合困難なシリコン主鎖とアクリレート主鎖を可動性架橋でつなぐことで、無色透明かつ高い靱性の有機-無機複合材料が得られた(図3)^[5]。

【カーボン複合材料からなるストレスセンサー】可動性架橋を有する導電性カーボンフィラー(KB)複合材料を作製し、延伸ひずみによる可動性架橋の解離に起因した電気抵抗変化を用いたひずみ応答性の付与に成功した。指に装着された複合材料のひずみを検出してサーボモーターが同じ動作をする遠隔操作システムも実現した(図4)^[6]。

【参考文献】

- [1] Ikura, R.; Park, J.; Osaki, M.; Yamaguchi, H.; Harada, A.; Takashima, Y., *NPG Asia Mater.*, **2022**, 14,10.
- [2] Ding, Y.; Park, J.; Ikura, R.; Nara, S.; Toda, K.; Takashima Y. *Macromolecules* **2023**, 56, 3132-3140.
- [3] Yoshida, D.; Park, J.; Ikura, R.; Yamashita, N.; Yamaguchi, H.; Takashima, Y. *Chem. Lett.* **2023**, 52, 93-96.
- [4] Yoshida, D.; Park, J.; Yamashita, N.; Ikura, R.; Kato, N.; Kamei, M.; Ogura, K.; Igarashi, M.; Nakagawa, H.; Takashima, Y. *Polym. Chem.* **2023**, 14, 3277-3285.
- [5] Yamashita, N.; Yamaoka, K.; Ikura, R.; Yoshida, D.; Park, J.; Kato, N.; Kamei, M.; Ogura, K.; Igarashi, M.; Nakagawa, H.; Takashima, Y. *Soft Matter* **2023**, 19, 9074-9081.
- [6] Ikura, R.; Kajimoto, K.; Park, J.; Murayama, S.; Fujiwara, Y.; Osaki, M.; Suzuki, T.; Shirakawa, H.; Kitamura, Y.; Takahashi, H.; Ohashi, Y.; Obata, S.; Harada, A.; Ikemoto, Y.; Nishina, Y.; Uetsuji, Y.; Matsuba, G.; Takashima, Y. *ACS Polymers Au* **2023**, 3, 394-405.



図1. 高分子材料の架橋設計の基づいた機能性高分子材料の創製

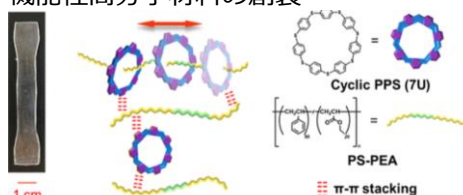


図2. 環状ポリフェニレンスルフィドを用いた高分子材用の強靱化

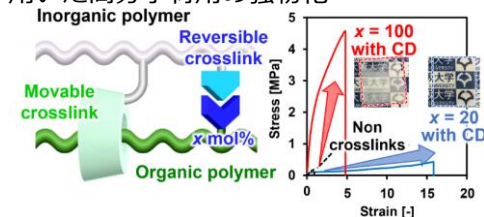


図3. 可動性架橋を用いた無色透明かつ高い靱性の無機-有機複合材料の創製

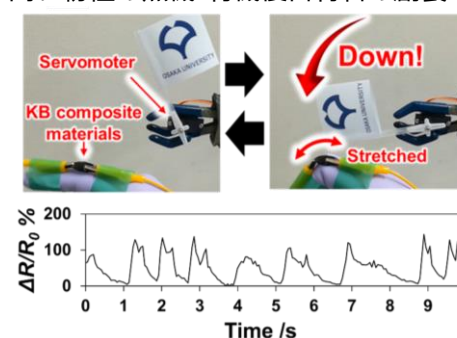


図4. 可カーボン複合可動性架橋材料を用いた遠隔操作システム

研究業績リスト

I 査読論文

Self-healable Poly(dimethyl siloxane) Elastomers Based on Host-guest Complexation between Methylated β -Cyclodextrin and Adamantane

Daichi Yoshida, Junsu Park, Ryohei Ikura, Naoki Yamashita, Hiroyasu Yamaguchi, Yoshinori Takashima

Chemistry Letters, **52**, 2 (2023), 93-96

DOI: 10.1246/cl.220458

Self-healable and Conductive Hydrogel Coatings Based on Host-guest Complexation between β -Cyclodextrin and Adamantane

Junsu Park, Hiroki Tamura, Masaki Nakahata, Yuichiro Kobayashi, Hiroyasu Yamaguchi, Katsuhiko Nakajima, Hiroaki Takahashi, Satoshi Takata, Kengo Kayano, Akira Harada, Kazuhiro Hatano, Yoshinori Takashima

Chemistry Letters, **52**, 3 (2023), 172-176

DOI: 10.1246/cl.220535

Cyclic Polyphenylene Sulfide as Additive to Improve the Mechanical Properties of Polystyrene-Based Materials

Yuyang Ding, Junsu Park, Ryohei Ikura, Saori Nara, Kazuki Toda, Yoshinori Takashima

Macromolecules, **56**, 8 (2023), 3132-3140

DOI: 10.1021/acs.macromol.3c00148

Tough citric acid-modified cellulose-containing polymer composites with three components consisting of movable cross-links and hydrogen bonds

Junsu Park, Yuki Asaki, Yuki Fujiwara, Takuma Wada, Ryohei Ikura, Akihide Sugawara, Takashi Konishi, Go Matsuba, Yasutomo Uetsuji, Hiroshi Uyama, Yoshinori Takashima

Polym. J. **55** (2023), 1151-1164.

DOI: 10.1038/s41428-023-00823-3

Highly Stretchable Stress-Strain Sensor from Elastomer Nanocomposites with Movable Cross-links and Ketjenblack

Ryohei Ikura, Kota Kajimoto, Junsu Park, Shunsuke Murayama, Yusei Fujiwara, Motofumi Osaki, Tomohiro Suzuki, Hidenori Shirakawa, Yujiro Kitamura, Hiroaki Takahashi, Yasumasa Ohashi,

Seiji Obata, Akira Harada, Yuka Ikemoto, Yuta Nishina, Yasutomo Uetsuji, Go Matsuba, and Yoshinori Takashima

ACS Polymers Au, **3** (2023), 394–405.

DOI: 10.1021/acspolymersau.3c00010

II 国際会議等における発表

Design and mechanical properties of Hyrogels: the relation between relaxation time and fracture energy (口頭)

Subaru Konishi, Yoshinori Takashima, Junsu Park, Osamu Urakawa, Tadashi Inoue, Go Matsuba
Physics of Soft and Active Matter in Different Spatio-Temporal Domains

2023 年 3 月 9 日

Kyoto University (Institute for Advanced Study)

Multi-Energy Dissipation Mechanisms in Supramolecular Hydrogels with Fast and Slow Relaxation Modes (口頭)

Yoshinori Takashima, Subaru Konishi, Junsu Park, Osamu Urakawa, Tadashi Inoue, Go Matsuba
Physics of Soft and Active Matter in Different Spatio-Temporal Domains

2023 年 3 月 9 日

Kyoto University (Institute for Advanced Study)

III 国内会議等における発表

複数の親水性高分子を用いた超分子材料の作製およびクエン酸変性セルロースとの複合化 (口頭)

和田 拓真・朝木 佑貴・以倉 峻平・朴 峻秀・久禮 文章・竹中 直巳・菅原 章秀・宇山 浩・高島 義徳

第 72 回高分子学会年次大会

2023 年 5 月 24 日 - 26 日

G メッセ群馬

Cyclic Polyphenylene Sulfide as Additive to Improve the Mechanical Properties of Polystyrene-based Materials (口頭)

Yuyang Ding, Junsu Park, Ryohei Ikura, Saori Nara, Kazuki Toda, Yoshinori Takashima

第 72 回高分子学会年次大会

2023 年 5 月 24 日 - 26 日

G メッセ群馬

可動性架橋を用いた異種高分子複合材料の機能設計（口頭）

以倉 峻平・村山 駿介・池本 夕佳・大崎 基史・山口 浩靖・原田 明・松葉 豪・高島 義徳

第 72 回高分子学会年次大会（口頭）

2023 年 5 月 24 日 - 26 日

G メッセ群馬

可動性架橋材料のアップサイクルによるひずみ応答性材料の創製（口頭）

以倉 峻平・梶本 晃太・朴 峻秀・村山 駿介・藤原 雄生・大崎 基史・鈴木 智大・白川 瑛規・北村 裕二郎・高橋 宏明・大橋 康正・小幡 誠司・原田 明・池本 夕佳・仁科 勇太・上辻 靖智・松葉 豪・高島 義徳

第 11 回 JACI/GSC シンポジウム

2023 年 6 月 13 日 - 14 日

一橋大学（一橋講堂），東京都千代田区

疎水凝集と可動性架橋を有するヒドロゲルの力学特性の調査（ポスター）

西田 幸輝・以倉 峻平・小西 昂・浦川 理・小西 隆士・井上 正志・松葉 豪・高島 義徳

第 20 回 ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム

2023 年 6 月 17 日 - 18 日

東京都立大学（南大沢キャンパス），東京都八王子市

クエン酸変性セルロースと可逆性架橋超分子材料の複合化によるグリーンマテリアルへの展開（口頭）

和田 拓真・以倉 峻平・朴 峻秀・久禮 文章・竹中 直巳・菅原 章秀・宇山 浩・高島 義徳

第 69 回高分子研究発表会（神戸）

2023 年 7 月 14 日

兵庫県民会館，兵庫県神戸市

シリコーンを用いた可動性架橋異種高分子複合材料の力学物性評価（口頭）

山下 尚輝・吉田 大地・朴 峻秀・以倉 峻平・加藤 野歩・亀井 正直・小倉 健太郎・五十嵐 実・中川 秀夫・高島 義徳

第 69 回高分子研究発表会（神戸）

2023 年 7 月 14 日

兵庫県民会館，兵庫県神戸市

Upgrading Polycaprolactone-Polyurethane Elastomers with Biodegradable Backbone and Movable Crosslinking (口頭)

Jiaxiong Liu, Ryohei Ikura, Akihide Sugawara, Yuya Takahashi, Bunsho Kure, Naomi Takenaka, Junsu Park, Hiroshi Uyama, Yoshinori Takashima

第 69 回高分子研究発表会(神戸)

2023 年 7 月 14 日

兵庫県民会館, 兵庫県神戸市

可逆性架橋と水素結合を導入した強靱なクエン酸変性セルロース複合材料の作製と力学特性評価 (口頭)

和田 拓真・以倉 峻平・山岡 賢司・朴 峻秀・久禮 文章・竹中 直巳・菅原 章秀・宇山 浩・高島 義徳

第 71 回高分子討論会

2023 年 9 月 26 日 - 28 日

香川大学(幸町キャンパス), 香川県高松市

IV 著書

該当なし

V 受賞と知的財産

特許名称: 樹脂組成物及びその製造方法

発明者: 高島 義徳, 宇山 浩, 朴 峻秀, 朝木 佑貴, 和田 拓真, 麻生 隆彬, 竹中 直巳, 久禮 文章, 高橋 佑弥

出願人: 国立法人大阪大学、共栄社化学株式会社

出願番号: 特願 2023-001809

出願日: 2023 年 1 月 10 日

VI その他研究業績、発表文献

金 昌明、高島義徳、原田明

シクロデキストリンを用いた自己修復ポリマーの開発 (Development of Cyclodextrin-Based Self-Healing Polymers)