

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15338

研究課題名（和文）トポロジー制御による一時網目のレオロジー制御法確立と新規眼科補助剤開発

研究課題名（英文）Establishment of rheological control method of transient network by topology control and development of novel ophthalmic viscosurgical device

研究代表者

片島 拓弥 (Katashima, Takuya)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師

研究者番号：20759188

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：この研究では、過渡的網目材料のトポロジーとレオロジー特性との相関を調査し、得られた指導原理に基づいて新しい眼科手術補助剤のプロトタイプを開発することを目指した。材料のレオロジー制御は医療分野で重要であったが、従来の材料は必要な特性を満たすことができず、根本的な改善が必要であった。申請者は、トポロジーを精密に制御することにより、線形・非線形粘弾性と網目構造の関係を系統的に調査し、機構を明らかにした。さらに、得られた原理に基づいて、流動誘起相分離を利用することで、トレードオフの関係にあった貯留性と注入性の共存を可能にする技術を確認した。これらの結果に基づき、眼科手術補助剤のプロトタイプを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過渡的網目材料のレオロジー特性は、会合点のミクロな会合・脱離のダイナミクスからマクロな粘弾性までマルチスケールの制御・解析が必要であった。本申請では、構造の制御されたモデル材料を用いることで、種々のスケールのダイナミクスを系統的に評価し、比較することで新しい学理を構築した。得られた学理は、今後、過渡的網目材料を実在料として応用する際の、設計指針の根幹をなすものであり、レオロジーの学問領域を大幅に広げるものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, I aimed to investigate the correlation between network topology and rheological properties, clarify the principles of transient networks, and develop a prototype for a new ophthalmic surgical adjuvant based on the obtained guiding principles. Controlling the rheology of materials has been crucial in the medical field, but conventional materials have not been able to satisfy the required properties, necessitating fundamental improvements. The applicant systematically investigated the relationship between linear and non-linear viscoelastic characteristics and network structures by altering the topology, and clarified the mechanisms. Furthermore, based on the acquired scientific principles, we have established a technology that allows for the coexistence of storage and injectability, which had previously been in a trade-off relationship, by utilizing flow-induced phase separation. Based on these results, we developed a prototype for an ophthalmic adjuvant.

研究分野：レオロジー

キーワード：レオロジー 一時網目 粘弾性 動的共有結合 白内障

1. 研究開始当初の背景

レオロジー制御剤とは、対象材料に添加することで、硬さや粘度を制御するものである。一般的には食品や化粧品のテクスチャー改良などに用いられる一方で、医療用材料のレオロジー制御は潜在的に存在している。例えば、眼科手術中に眼球内の空隙を一時的に充填・術野を確保する手術補助剤や、出血部に塗布することで出血を抑制する止血剤などにおけるレオロジー制御は重要である。これら医薬品は、注射や内視鏡等の細管の中を通すため、高せん断変形がかかる。このような場面においては、注射しやすいように粘度が下がった方が好ましい。一方で、患部に塗布・充填した後は、ある時間固体的に振る舞うことが望まれるため、ひずみ速度の小さい領域では硬さが要求される。従来のレオロジー制御剤には、ヒアルロン酸などの高分子鎖が、架橋点を持たずからみ合った状態の溶液が利用されてきた。しかし、高分子からみ合い溶液において、弾性率や粘度などのレオロジー特性を自在に制御することは理論上不可能であった。

近年、この状況を改善するべく、「一時網目」が注目されつつある。一時網目は、高分子の末端や側鎖に非共有結合性の可逆的な会合基を有し、溶液中で一時的な網目構造を形成し、会合点の寿命に起因する粘弾性を示す。

従来の一時網目では、分子内結合や架橋点となるコアの凝集数・網目鎖長の不均一分布などの静的な構造不均質性に加え、網目とミセルなどのダイナミクスの不均一性などの種々の構造不均質性が存在した(図1)。これらの構造不均質性は、一般に制御が困難であるため、構造と物性の相関を理解するための妨げとなっていた。さらに、従来理論では一時網目のレオロジー特性は会合点の寿命のみによって決まると考えられてきたため、会合点の化学構造のみに着目し、その網目トポロジーとの相関については未解明であった。このように、一時網目の分野において、そのレオロジー特性を予測できる材料も理論もない状態であった。

この状況を克服し、医用材料として利用できる材料の設計のために、申請者は、網目の分岐点となる高分子を合成した。その末端間を相互に会合するボロン酸とジオールで修飾した2種類の前駆体を合成し、これらを混合することで一時網目を作製した。

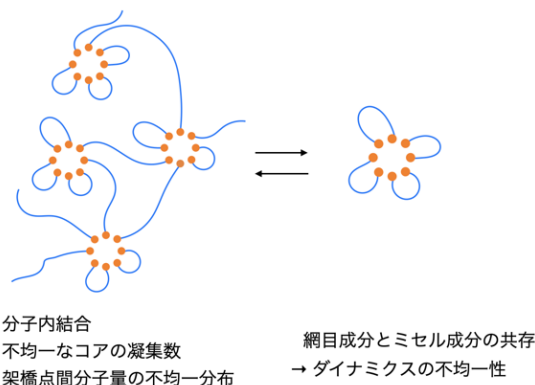


図1. 一時網目の構造不均質性

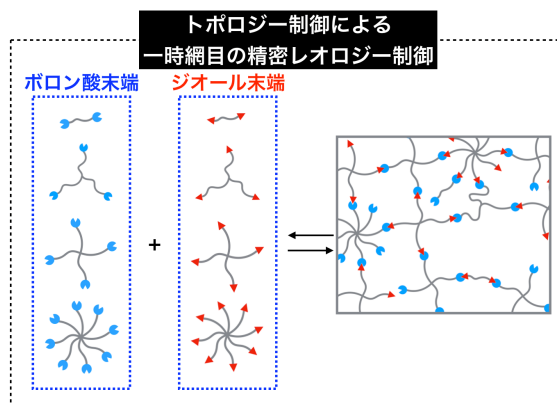


図2. 星型高分子からなるモデル一時網目

2. 研究の目的

従来の研究は、レオロジー特性の分子モデルを推測する際に、次の課題があった。

- A) 会合度が濃度や溶媒に依存するため、結節点の分岐数が不明瞭
- B) 分子内環化反応による、結節点間分子量が不均一に分布
- C) 未会合末端数の評価ができず、網目の結合性の評価が不可能

一方で、申請者が提案するトポロジー制御した一時網目の最大の独自性は、

- A) 分岐数が均一であること
- B) 結節点間の分子量が均一であること
- C) 分光法による結合率の定量評価可能なこと

である。実験的にこれらの物性測定を評価することで、網目トポロジーとレオロジー特性の理解ができる。本研究の目的は、トポロジー制御による一時網目の新規レオロジー制御法の学理を解明し、得られた知見から臨床応用に適した医用レオロジー制御剤を開発することである。

3. 研究の方法

レオロジー特性の実現のために、一時網目のトポロジーによるレオロジー制御メカニズムを分子論的に理解し、そのコンセプトのもと、新規レオロジー制御剤を開発すべく、次のサブテーマを設定した。

- (ア) トポロジー制御された一時網目の精密な作り分け
- (イ) 線形・非線形粘弾性測定によるレオロジー特性の学理解明
- (ウ) 一時網目のトポロジー制御による新規医用レオロジー制御剤の開発と実証実験

一時網目の精密な作り分けにおいて、高分子濃度、分子量、混合比率をパラメータとして、系統的に制御した一時網目を作製した。これらの試料について、動的粘弾性測定による貯蔵・損失弾性率の周波数依存性を測定することで、線形粘弾性応答 (緩和強度・時間・粘度) の評価、および定常流動測定による非線形粘弾性応答 (せん断粘度) の評価を通して、線形・非線形粘弾性の現象論的な理解を行った。さらに、表面プラズモン共鳴法を用いて、末端の会合動力学を独立に評価し、マクロな物性との比較を行い、学理構築を目的とした。

4. 研究成果

(1) 線形粘弾性

ボロン酸とジオールの会合・脱離定数を表面プラズモン共鳴法によって評価し、脱離時定数とマクロな粘弾性緩和時間の比較を行った。

その結果、粘弾性緩和と会合点の脱離過程の温度依存性はよく一致し、粘弾性の素過程は脱離によって誘起されることが示唆された。また、脱離時間と粘弾性緩和時間の直接的な比較から、粘弾性緩和時間は網目の結合性の増加に伴い遅延した。高結合率側においては、複数回の脱離イベントが粘弾性緩和に必要なことがわかった。一方で、低結合率側では、脱離時間より粘弾性緩和時間の方が短時間となった (図 3)。これらの結果から、粘弾性緩和時間は、応力を支持する鎖 (応力鎖) の寿命によって決定されることが示唆された。

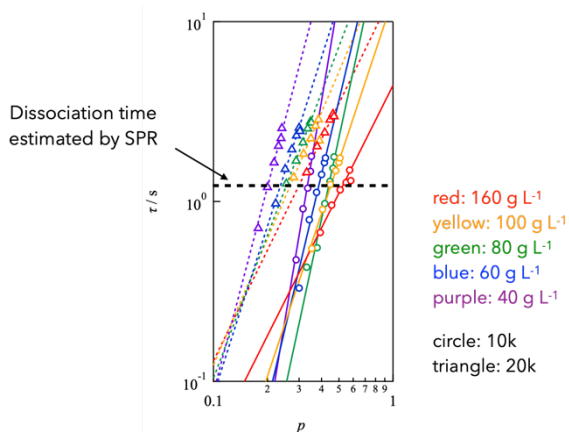


図 3. 粘弾性緩和時間と網目トポロジーの相関

(2) 非線形粘弾性

スタートアップシエア流動測定によって、せん断による応力の時間発展を評価した。ワイセンベルク数が 1 未満の低せん断速度の応力は線形粘弾性のデータをもとにボルツマンの重畳原理からの予測とよく一致した。一方で、高せん断速度領域では、応力の極大挙動 (ストレスオーバーシュート) が見られた。そこで、ストレスオーバーシュートを起こすひずみと網目のトポロジーの相関を取得した。

オーバーシュートは網目鎖の伸び切りひずみよりも数倍小さいひずみで起こっていることが明らかになり、従来の静的な網目をベースとした分子モデルとの相違を明らかにした。また、ワイセンベルク数に対して、固有のべき指数を示すことがわかった。この結果は、絡み合い高分子のストレスオーバーシュートと同様の結果であり、一時網目においても部分鎖ダイナミクスがストレスオーバーシュートを決定づけていることを実験的に示唆した。

また、インジェクタブル応用時には、ストレスオーバーシュートが打ち心地の悪さを誘起することも、臨床医からのインタビューで明らかにした。そのため、オーバーシュートの抑制が必要である一方で、ストレスオーバーシュートは網目固有の現象であり、制御はできても抑制はできないことを明らかにした。

(3)

オーバーシュートを抑制するために、細管内での流動挙動の解析を行ったところ、通常の一時的網目では細管内で層流ができ、それによってオーバーシュートを引き起こすひずみが印加されていた。そこで、我々は流動誘起相分離を利用することで、層流をあえて崩し、インジェクト時の不快感を克服した新しい手法を提案した。実際に、本手法を用いることで、23G の細い針を無理なく流動させる眼科手術補助剤のプロトタイプを作製した。

以上の結果は、一時網目の基礎物性を理解・制御する上で重要な知見であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tang Jian, Katashima Takuya, Gupit Caidric Indaya, Li Xiang, Mitsukami Yoshiro, Yokoyama Yuki, Sakumichi Naoyuki, Chung Ung-il, Shibayama Mitsuhiro, Sakai Takamasa	4. 巻 250
2. 論文標題 Non-swellability of polyelectrolyte gel in divalent salt solution due to aggregation formation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 124894 ~ 124894
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2022.124894	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 Katashima Takuya, Kudo Ryota, Naito Mitsuru, Nagatoishi Satoru, Miyata Kanjiro, Chung Ung-il, Tsumoto Kouhei, Sakai Takamasa	4. 巻 11
2. 論文標題 Experimental Comparison of Bond Lifetime and Viscoelastic Relaxation in Transient Networks with Well-Controlled Structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 753 ~ 759
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.2c00152	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 Murakami Tomoya, Hoshi Sujin, Okamoto Fumiki, Sakai Takamasa, Katashima Takuya, Naito Mitsuru, Oshika Tetsuro	4. 巻 223
2. 論文標題 Analysis of the sustained release ability of bevacizumab-loaded tetra-PEG gel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Experimental Eye Research	6. 最初と最後の頁 109206 ~ 109206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.exer.2022.109206	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 Katashima Takuya, Kudo Ryota, Onishi Ryoya, Naito Mitsuru, Nagatoishi Satoru, Miyata Kanjiro, Tsumoto Kouhei, Chung Ung-II, Sakai Takamasa	4. 巻 2
2. 論文標題 Effects of network connectivity on viscoelastic relaxation in transient networks using experimental approach	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Soft Matter	6. 最初と最後の頁 1059156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frsfm.2022.1059156	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 Katashima Takuya, Kobayashi Ryunosuke, Ishikawa Shohei, Naito Mitsuru, Miyata Kanjiro, Chung Ung-il, Sakai Takamasa	4. 巻 8
2. 論文標題 Decoupling between Translational Diffusion and Viscoelasticity in Transient Networks with Controlled Network Connectivity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Gels	6. 最初と最後の頁 830 ~ 830
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/gels8120830	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 Ishikawa Shohei, Kato Motoi, Si Jinyan, Chenyu Lin, Kimura Kohei, Katashima Takuya, Naito Mitsuru, Kurita Masakazu, Sakai Takamasa	4. 巻 12
2. 論文標題 Molecular Weight-Dependent Diffusion, Biodistribution, and Clearance Behavior of Tetra-Armed Poly(ethylene glycol) Subcutaneously Injected into the Back of Mice	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 510 ~ 517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.3c00044	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 Katashima Takuya	4. 巻 53
2. 論文標題 Rheological studies on polymer networks with static and dynamic crosslinks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1073 ~ 1082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-021-00505-y	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 Fujiyabu Takeshi, Sakai Takamasa, Kudo Ryota, Yoshikawa Yuki, Katashima Takuya, Chung Ung-il, Sakumichi Naoyuki	4. 巻 127
2. 論文標題 Temperature Dependence of Polymer Network Diffusion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 237801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.127.237801	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 Katashima Takuya	4. 巻 50
2. 論文標題 Molecular Understanding of Viscoelasticity in Transient Polymer Networks Based on Multiple Methods	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nihon Reoroji Gakkaishi	6. 最初と最後の頁 51 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1678/rheology.50.51	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 Ohira Masashi, Katashima Takuya, Naito Mitsuru, Aoki Daisuke, Yoshikawa Yusuke, Iwase Hiroki, Takata Shin-ichi, Miyata Kanjiro, Chung Ung-il, Sakai Takamasa, Shibayama Mitsuhiro, Li Xiang	4. 巻 34
2. 論文標題 Star Polymer-DNA Gels Showing Highly Predictable and Tunable Mechanical Responses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2108818 ~ 2108818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202108818	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 Katashima Takuya, Kagami Ryo, Chung Ung-il, Sakai Takamasa	4. 巻 48
2. 論文標題 Similarity in Linear Viscoelastic Behaviors of Network Formation and Degradation Processes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nihon Reoroji Gakkaishi	6. 最初と最後の頁 191 ~ 198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1678/rheology.48.191	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 Kim Junhyuk, Fujiyabu Takeshi, Sakumichi Naoyuki, Katashima Takuya, Yoshikawa Yuki, Chung Ung-il, Sakai Takamasa	4. 巻 53
2. 論文標題 Mixing and Elastic Contributions to the Diffusion Coefficient of Polymer Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7717 ~ 7725
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c01427	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 Tang Jian, Katashima Takuya, Li Xiang, Mitsukami Yoshiro, Yokoyama Yuki, Sakumichi Naoyuki, Chung Ung-il, Shibayama Mitsuhiro, Sakai Takamasa	4. 巻 53
2. 論文標題 Swelling Behaviors of Hydrogels with Alternating Neutral/Highly Charged Sequences	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 8244 ~ 8254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c01221	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 Tang Jian, Katashima Takuya, Li Xiang, Mitsukami Yoshiro, Yokoyama Yuki, Chung Ung-il, Shibayama Mitsuhiro, Sakai Takamasa	4. 巻 7
2. 論文標題 Effect of Nonlinear Elasticity on the Swelling Behaviors of Highly Swollen Polyelectrolyte Gels	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gels	6. 最初と最後の頁 25 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/gels7010025	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23件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Takuya Katashima, Ryota Kudo, Mitsuru Naito, Satoru Nagatoishi, Kanjiro Miyata, Ung-il Chung, Kohei Tsumoto, Takamasa Sakai
2. 発表標題 Molecular Origin of Viscoelasticity in Dynamic-crosslinked Gels with Well-Controlled Structures
3. 学会等名 13th International Gel Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuya Katashima
2. 発表標題 Mechanical Properties of Dynamic Cross-Linked Hydrogels with well-controlled structures and Biomedical Applications
3. 学会等名 第71回高分子討論会日韓ジョイントセッション (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片島拓弥
2. 発表標題 網目構造の制御された会合性高分子網目を用いたマイクロ動力学とマクロ物性の相関解明
3. 学会等名 第98回高分子若手研究会[関西] (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片島拓弥
2. 発表標題 星型ポリマーからなる会合性網目の物性とバイオマテリアル応用への試み
3. 学会等名 第183回東海高分子研究会講演会(夏季研究会) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoya Onishi, Takuya Katashima, Mitsuru Naito, Kanjiro Miyata, Ung-il Chung, Takamasa Sakai
2. 発表標題 Overshoot behavior of dynamically crosslinked hydrogels under start-up shear flow
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西遼哉、片島拓弥、内藤瑞、宮田完二郎、鄭雄一、酒井崇匡
2. 発表標題 構造明確な過渡的高分子網目の定常流動下におけるオーバーシュート挙動
3. 学会等名 第70回レオロジー討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Yasuda, Naoyuki Sakkumichi, and Takamasa Sakai
2. 発表標題 Semidilute scaling law of osmotic pressure for polymer gel swelling
3. 学会等名 Polymer Network Group 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Yasuda, Naoyuki Sakkumichi, and Takamasa Sakai
2. 発表標題 Universal equation of state of osmotic pressure in polymer network system
3. 学会等名 Canadian Material Science Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Yasuda, Naoyuki Sakkumichi, and Takamasa Sakai
2. 発表標題 Semidilute scaling principle for polymer gels
3. 学会等名 Gel Sympo 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Yasuda, Takuya Katashima, Naoyuki Sakumichi, Mitsuru Naito, Kanjiro Miyata, Ung-il Chung, and Takamasa Sakai
2. 発表標題 Universality of osmotic pressure in dynamic covalent networks
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片島拓弥、工藤凌太、内藤 瑞、宮田完二郎、鄭雄一、酒井崇匡、長門石暁、津本浩平
2. 発表標題 過渡的網目の粘弾性緩和と網目構造の相関
3. 学会等名 第70回レオロジー討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 工藤稜太、片島拓弥、内藤瑞、宮田完二郎、鄭雄一、酒井崇匡
2. 発表標題 4分岐高分子からなる一時網目の粘弾性とその分子機構
3. 学会等名 レオロジー学会 第48年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤稜太、片島拓弥、内藤瑞、長門石暁、宮田完二郎、鄭雄一、津本浩平、酒井崇匡
2. 発表標題 均一な分岐構造を持つスライムのミクロな会合挙動とマクロな粘弾性の相関
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤稜太、片島拓弥、内藤瑞、宮田完二郎、津本浩平、長門石暁、鄭 雄一、酒井崇匡
2. 発表標題 過渡的網目の会合動力学と粘弾性緩和の相関
3. 学会等名 第69回レオロジー討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林隆之助, 片島拓弥, 石川昇平, 工藤俊太, 内藤瑞, 津本浩平, 長門石暁, 鄭雄一, 酒井崇匡
2. 発表標題 末端会合性網目の異常拡散と会合ダイナミクスの関係
3. 学会等名 関東高分子若手研究会 2022年度 学生発表会・交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片島拓弥
2. 発表標題 Mechanical Properties of Doubly Crosslinked Gels
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片島拓弥
2. 発表標題 スライムのレオロジー
3. 学会等名 関東高分子若手研究会 サマーキャンプ2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片島拓弥
2. 発表標題 スライムの粘弾性緩和の分子機構
3. 学会等名 2021年度高分子化学構造・物性相関研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Katashima, Mitsuru Naito, Satoru Nagatoishi, Kanjiro Miyata, Ung-il Chung, Kohei Tsumoto, Takamaisa Sakai
2. 発表標題 Effect of nano-dissociation kinetics on macroscopic viscoelasticity in four-branched transient networks
3. 学会等名 Material Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片島拓弥
2. 発表標題 Relationship between dissociation kinetics and viscoelasticity in four-branched transient networks
3. 学会等名 レオロジー講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Katashima
2. 発表標題 Viscoelastic Study on Transient Networks Composed of Mutually Reactive Branched Polymers
3. 学会等名 3rd GLowing Polymer Symposium in KANTO (GPS-K 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片島拓弥
2. 発表標題 Mechanical properties of doubly crosslinked gels
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会 (コロナウイルス蔓延のため中止であったが、発表としては成立) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya KATASHIMA, Mitsuru NAITO, Ung-il CHUNG, Kanjiro MIYATA, Takamasa SAKAI
2. 発表標題 Viscoelasticity of Transient Networks Composed of Mutually Reactive Branched Polymer
3. 学会等名 International Congress on Rheology (Online (Brazil)) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 執筆者：57名、技術情報協会	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 589
3. 書名 動的粘弾性測定とそのデータ解釈事例	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 相分離構造を有する高分子材料	発明者 片島拓弥、酒井崇 匡、宮田完二郎、内 藤瑞、増井公祐	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-76350	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 分岐数制御による相分離構造を有する高分子材料	発明者 片島拓弥、酒井崇 匡、宮田完二郎、内 藤瑞、増井公祐	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-76349	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 粒子状物質を局所放出するためのキャリア材料	発明者 片島拓弥、酒井崇 匡、栗田昌和、石川 昇平、鎌田宏幸、増	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-169353	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 会合性高分子材料	発明者 酒井崇匡、宮田完二 郎、内藤瑞、片島拓 弥、増井公祐	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-181612	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻 片島・鄭研究室ホームページ
<https://rheo.tkyo/>

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------