

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05733

研究課題名（和文）動的な高分子希薄系を用いた物理劣化のモデル構築

研究課題名（英文）Exploring models for physical degradation of polymers using diluted dynamic polymeric system

研究代表者

酒井 崇匡（Sakai, Takamasa）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：70456151

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 28,500,000円

研究成果の概要（和文）：朽ちゆく高分子材料の分解挙動の研究では、時間と構造変化に対応する動的な高分子希薄系をモデルに用いて実験を行った。4分岐ポリエチレングリコールからなるスライム状のモデル物質を設計し、ミクロな動力学とマクロな粘弾性ダイナミクスとの相関を解明し、ミクロとマクロ間の解離存在とミセルなどの成分拡散の影響を確認し、生体内動態を検証した。さらに、自発的な相分離を形成するモデル粘弾性液体を用いて、分岐ポリエチレングリコールの変数による相分離の存在を明らかにした。これらの研究は、高分子材料の劣化と分解の理解を深め、精緻なモデル構築に寄与するものと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子の分解をモデル化する上で、簡素な系を用いたモデル実験は必要不可欠である。本申請で対象とした粘弾性液体・塑性体は、高分子全般の粗視化モデルとして利用可能であり、かつポリエチレングリコールと水の2成分系から、作り分けができる技術確立した。

また、従来の研究では材料内の分子ダイナミクスの不均質性を定量評価することが困難であったが、モデル材料を用いたミクロとマクロの物性を比較することで、その不均質性を論じる基盤を得た。これらの結果は、高分子全般の分解ダイナミクスをモデル化する上で、基礎的な知見となる得るものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In the study of the decomposition behavior of deteriorating polymer materials, experiments were conducted using a dynamic polymer dilute system as a model that responds to time and structural changes. A slime-like model material was designed from 4-branched polyethylene glycol, and the correlation between microscopic dynamics and macroscopic viscoelastic dynamics was elucidated. The existence of dissociation between the micro and macro scales and the influence of component diffusion, such as micelles, was confirmed, and in vivo dynamics were verified. Furthermore, by using a model viscoelastic liquid that spontaneously forms phase separation, the presence of phase separation due to variables of 4-branched polyethylene glycol was revealed. These research efforts are believed to deepen our understanding of the deterioration and decomposition of polymer materials and contribute to the construction of more refined models.

研究分野：高分子

キーワード：粘弾性液体 動的な高分子希薄系

1. 研究開始当初の背景

材料は、使用環境において必ず劣化する。特に構造材料の場合は、劣化による材料特性の低下はほとんど許容されないために、究極的な材料の破断である「破壊」や、繰り返しの使用に対する破壊特性の低下である「疲労」が従来学問されてきた。構造材料は、比較的クリーンな環境で用いられ、その寿命を終えるために、リサイクルやリユースが比較的容易であり、環境への影響は比較的小さい。

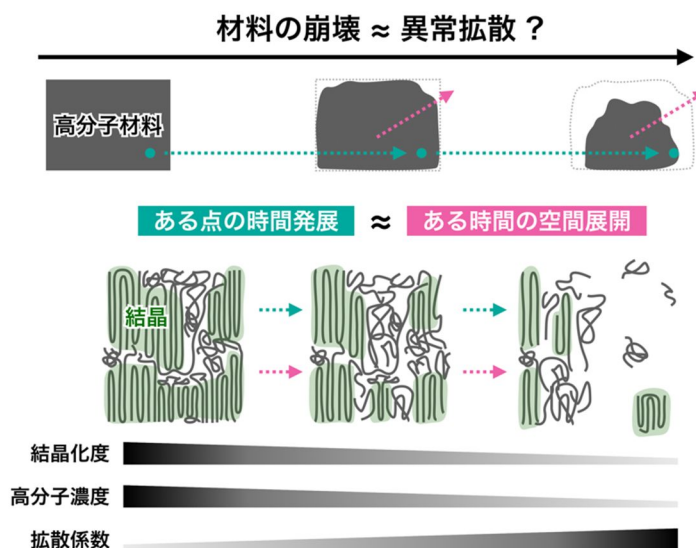
一方、劣化が運命づけられている材料も存在する。例えば、タイヤ、船底用の塗料、生体用癒着防止剤などは、その使用環境中で摩耗、溶解されることを前提として材料設計がなされる。「磨耗」や「溶解」は大きな構造変化を伴うために、モデル化が困難であり、その学理解明は未だなされていない。また、摩耗粉や溶解物は環境中に放出されざるを得ず、環境への影響は大きく、現在、社会問題化している。

2. 研究の目的

「朽ちゆく材料」は劣化・分解し、環境中に拡散される。すなわち、大きな観点で見ると、分解挙動は拡散挙動として捉えることもできる。本研究の目的は、朽ちゆく材料の分解を拡散として捉え、新しい学術を構築することである。

本研究では、「朽ちゆく材料」の劣化・分解を調査するために、簡素なモデル高分子系を構築し、実験・解析を通して、分解のモデル化を行う。適切なモデル実験系を構築する上で、少なくとも以下に示す二つの点を考慮する必要がある。

一つは、高分子材料の持つ複雑さを適切に包含すること、もう一つの要求特性は、頻回の実験が可能な、速いスケールの分解挙動を持つことである。適切な「複雑さ」と「時間スケール」を持つ材料として、動的な高分子希薄系を提案した。動的な高分子希薄系は、その名の通り、時間により構造変化する希薄な高分子系である。具体的には、粘弾性液体、粘弾性塑性体と、その混合物を含む。以下に示す様に、粘弾性液体はアモルファス、粘弾性塑性体は結晶類似の特性を持つ。これらをモデル物質として、系統的な実験を行うことにより、高分子の分解の簡素なモデルを得ることを目的とする。



3. 研究の方法

以下に示す、モデル系について、分子動力学、メソスケール構造、マクロ動力学、拡散(分解)挙動を観察し、それらの相関をモデル化することで、階層性を有する高分子材料の分解挙動を理解することを目的とする。分子動力学には NMR、メソスケール構造は放射光散乱・マイクロレオロジー測定、マクロ動力学にはレオメーター・蛍光褪色回復法などを用いる。また、必要に応じて、顕微動的な光散乱や固体高分解能核磁気共鳴

散乱などの最先端の実験を組み合わせることにより、階層性を持つダイナミクスの解明に努めた。

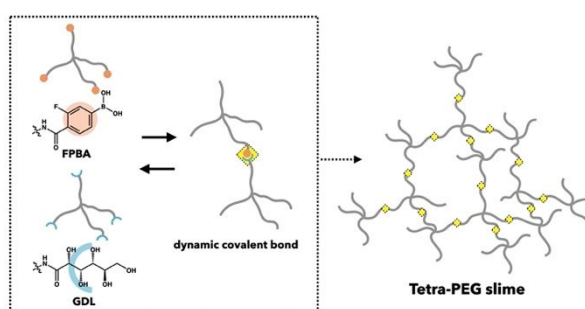
アモルファスのモデル: 相互に動的な結合を形成する 2 種類の 4 分岐ポリエチレングリコールから作製する。

結晶性高分子のモデル: 相互に動的な結合を形成する 2 種類の分岐ポリエチレングリコールから作製した。分岐数と濃度を制御することで、相分離構造を形成することを発見し、空間不均質な結晶性高分子のモデルとして利用した。

これらのモデル材料について、種々のスケールにおける熱力学および動力学評価と分解(拡散)の相関を評価した。

4. 研究成果

簡素なモデル系の構築とマクロな物性評価と、その分子動力学の解明を行った。簡素なモデル系として、相互に動的な結合を形成する 2 種類の 4 分岐ポリエチレングリコールからなるスライム状の物質 (Tetra-PEG スライム) を設計した。具体的には、ジオール末端の 4 分岐のポリエチレング



リコール (Tetra-PEG-GDL) とフェニルボロン酸末端の 4 分岐のポリエチレングリコール (Tetra-PEG-FPBA) を合成した。合成した高分子のキャラクタリゼーションはボロン酸核磁気共鳴法、およびゲル濾過クロマトグラフィーを用いて行い、pH5-9 に調整したリン酸緩衝溶液に溶解し、2 液を混合することで、ジオールとフェニルボロン酸の動的共有結合を利用したスライムの調整に成功した。

得られた Tetra-PEG スライムの高分子濃度・前駆体高分子モル質量・バッファの pH を変え、系の充填率・要素の運動性・隣接高分子との平衡結合率を系統的に制御し、その浸透圧測定と線形粘弾性測定を網羅的に行った。浸透圧測定では、特に同分子量・同濃度の高分子溶液と高分子ゲルの浸透圧と比較することで、一時的な架橋も永続的な架橋も浸透圧には同様の影響を与えることを実験的に示した。また、線形粘弾性測定では、温度と周波数を変化させることでその緩和弾性率・粘弾性緩和時間を網羅的に評価した。その結果、緩和弾性率は高分子濃度に強く依存する一方で、網目サイズの依存性がほぼ観察されなかった。これらの結果は、従来の動的な架橋モデルとして提案されている Tobolsky のモデルでは説明ができず、動的な架橋網目の粘弾性について既存のモデルの限界を示した。さらに、蛍光プローブ修飾したモデル粘弾性液体を合成し、蛍光褪色後回復法を用いて、その拡散係数を評価し、拡散時間と拡散距離の比例関係が崩れる異常拡散が観察された。また、reference となるゲルの膨潤動力学について、その温度依存性を評価し、協同拡散係数にはエントロピー弾性由来の他に、エネルギー弾性由来の効果があることを初めて明らかにした。このことから、実際の外界への分解時には、ネットワークのみならず、ミセルのようなネットワークに連結していない成分の拡散が律速になりうることを示した。

また、マウスの皮下に分子量の異なる PEG を注入し、体内動態を精査した。その結果として、分子量 20000 を超えると、極端に代謝が遅れ、肝臓などへの蓄積が見られる

ことが明らかとなった。

結晶のモデルとして、自発的な相分離を形成するモデル粘弾性液体を用いた。4分岐ポリエチレングルコールの濃度や分岐数のみならず、結合性を変数とした相図を作成し、浸透圧駆動ではないダイナミクス不均質性が相分離を誘起していることを明らかにし、空間的に不均質な系の簡素なモデルの構築を行った。

これらの成果は、高分子の分解をモデル化する上で、ベンチマークとなる材料および評価法の構築に資するものであると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 12件）

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 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 -
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	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 Ishikawa Shohei, Yoshikawa Yuki, Kamata Hiroyuki, Chung Ung-il, Sakai Takamasa	4. 巻 14
2. 論文標題 Simple Preparation of Injectable Hydrogels with Phase-Separated Structures That Can Encapsulate Live Cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 35444 ~ 35453
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsam.2c09906	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 Michael Charalambos, Apostolides Demetris E., Patrickios Costas S., Sakai Takamasa	4. 巻 18
2. 論文標題 Dually-dynamic covalent tetraPEG hydrogels end-linked with boronate ester and acylhydrazone groups	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 5966 ~ 5978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SM00594H	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 該当する

1. 著者名 Masubuchi Yuichi, Yamazaki Ryohei, Doi Yuya, Uneyama Takashi, Sakumichi Naoyuki, Sakai Takamasa	4. 巻 18
2. 論文標題 Brownian simulations for tetra-gel-type phantom networks composed of prepolymers with bidisperse arm length	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 4715 ~ 4724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SM00488G	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

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-swellingability 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 Fujiyabu Takeshi, Sakumichi Naoyuki, Katashima Takuya, Liu Chang, Mayumi Koichi, Chung Ung-il, Sakai Takamasa	4. 巻 8
2. 論文標題 Tri-branched gels: Rubbery materials with the lowest branching factor approach the ideal elastic limit	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abk0010	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 Okata Shinya, Hoshina Katsuyuki, Hanada Kazumasa, Kamata Hiroyuki, Fujisawa Ayano, Yoshikawa Yuki, Sakai Takamasa	4. 巻 84
2. 論文標題 Hemostatic Capability of a Novel Tetra-Polyethylene Glycol Hydrogel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Annals of Vascular Surgery	6. 最初と最後の頁 398 ~ 404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.avsg.2022.01.016	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 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 Ohira Masashi, Nakagawa Shintaro, Sampei Ryotaro, Noritomi Takako, Sakai Takamasa, Shibayama Mitsuhiro, Li Xiang	4. 巻 19
2. 論文標題 Effects of network junctions and defects on the crystallization of model poly(ethylene glycol) networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 1653 ~ 1663
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SM01036D	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 Aomura Kosuke, Yasuda Yusuke, Yamada Takeshi, Sakai Takamasa, Mayumi Koichi	4. 巻 19
2. 論文標題 Quasi-elastic neutron scattering study on dynamics of polymer gels with controlled inhomogeneity under uniaxial deformation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 147 ~ 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SM00784C	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 Masubuchi Yuichi, Doi Yuya, Ishida Takato, Sakumichi Naoyuki, Sakai Takamasa, Mayumi Koichi, Uneyama Takashi	4. 巻 56
2. 論文標題 Phantom Chain Simulations for the Fracture of Energy-Minimized Tetra- and Tri-Branched Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 2217 ~ 2223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.3c00047	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, Kamata Hiroyuki, Chung Ung-il, Sakai Takamasa	4. 巻 11
2. 論文標題 On-demand retrieval of cells three-dimensionally seeded in injectable thioester-based hydrogels	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 23637 ~ 23643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA01934A	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 Sakumichi Naoyuki, Yoshikawa Yuki, Sakai Takamasa	4. 巻 53
2. 論文標題 Linear elasticity of polymer gels in terms of negative energy elasticity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1293 ~ 1303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-021-00529-4	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 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 Fujiyabu Takeshi, Sakumichi Naoyuki, Katashima Takuya, Liu Chang, Mayumi Koichi, Chung Ung-il, Sakai Takamasa	4. 巻 8
2. 論文標題 Tri-branched gels: Rubbery materials with the lowest branching factor approach the ideal elastic limit	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabk0010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abk0010	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 Yoshikawa Yuki, Sakumichi Naoyuki, Chung Ung-il, Sakai Takamasa	4. 巻 11
2. 論文標題 Negative Energy Elasticity in a Rubberlike Gel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 11045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.11.011045	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 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100件 (うち招待講演 41件 / うち国際学会 19件)

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 酒井崇匡
2. 発表標題 構造制御された高分子ゲルの医療への応用展開
3. 学会等名 超分子研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Negative energy elasticity in a rubberlike gel
3. 学会等名 MACRO2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸、吉川 祐紀、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルにおける負のエネルギー弾性
3. 学会等名 日本ゴム協会2021年年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Negative energy elasticity in a rubberlike gel
3. 学会等名 IUTAM Symposium on Gels (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長原颯大
2. 発表標題 粗視化分子動力学法による水中 Poly(ethylene glycol) 一本鎖の弾性の解析
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルにおける負のエネルギー弾性
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 安田 傑, 作道 直幸, 酒井 崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの平衡膨潤を予測する浸透圧の準希薄スケーリング則
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021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 酒井崇匡
2. 発表標題 実験的アプローチによる高分子ゲルの構造物性相関の解明
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 作道直幸
2. 発表標題 Velocity jump of crack propagation in rubber-like materials
3. 学会等名 IUTAM Symposium on Gels (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの医用応用にむけた基礎学理の解明
3. 学会等名 第 64 回 茨城地区活動講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeshi Fujiyabu
2. 発表標題 Universal Description of Diffusion Coefficient of Polymer Network
3. 学会等名 The 19th UT2-Mac Workshop (国際学会)
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 関東高分子サマーキャンプ (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルにおける準希薄スケーリング原理
3. 学会等名 2021年度高分子化学構造・物性相関研究会
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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道 直幸, 白井伸宙
2. 発表標題 高分子ゲル弾性の統計力学モデル
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 安田 傑, 作道 直幸, 酒井 崇匡
2. 発表標題 星型分岐性高分子溶液から見る 高分子ゲルの浸透圧の普遍性
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、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マイ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 早川 愛璃彩, 齊藤千晶, 作道 直幸, 酒井 崇匡
2. 発表標題 均一な三分岐網目を有する高分子ゲルのき裂進展挙動
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 作道直幸、吉川 祐紀、酒井崇匡
2. 発表標題 様々な分岐構造を持つ高分子ゲルにおける負のエネルギー弾性
3. 学会等名 物理学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 テトラPEGゲルの発明とゲルに関する普遍法則の発見
3. 学会等名 第418回ゴム技術フォーラム月例会(招待講演)
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 作道 直幸, 白井伸宙
2. 発表標題 高分子ゲル弾性の統計力学モデル
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 長原 颯大, 作道 直幸, 久保 淳, 梅野 宜崇, 酒井 崇匡
2. 発表標題 粗視化分子動力学による水中 Poly(ethylene glycol) 一本鎖の弾性の解析
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 酒井崇匡
2. 発表標題 精密な網目構造を有する高分子ゲルをもちいたゲル弾性の熱力学的解析
3. 学会等名 ネットワークポリマー講演討論会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 粘弾性固体における亀裂進展速度ジャンプ
3. 学会等名 粘着研究会第179回 (11月度) 例会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井 崇匡
2. 発表標題 動的散乱法による高分子ゲルの協同拡散係数の解析
3. 学会等名 第33回散乱研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸、大友元奎、吉川 祐紀、酒井崇匡
2. 発表標題 ゲルの弾性率において網目のトポロジーに依存する因子と独立な因子の特定
3. 学会等名 2021年度高分子基礎物性研究会・高分子計算機科学研究会 合同討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長原 颯大、作道 直幸、酒井 崇匡、久保 淳、梅野 宜崇
2. 発表標題 粗視化モデルによる水中における Poly(ethylene glycol)一本鎖の弾性の解析
3. 学会等名 2021年度高分子基礎物性研究会・高分子計算機科学研究会 合同討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Tri-branched gels: Low branching factors make rubbery materials ultra_elastic
3. 学会等名 MRM2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Katashima
2. 発表標題 Effect of nano-dissociation kinetics on macroscopic viscoelasticity in four-branched transient networks
3. 学会等名 MRM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルにおける負のエネルギー弾性
3. 学会等名 レオロジー講演会
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 Takeshi Fujiyabu
2. 発表標題 Systematic and clear discussion about the polymer gel dynamics using well-defined macroscopic parameters of polymer gels
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Yoshikawa
2. 発表標題 Negative energy elasticity in a rubber-like gel
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Ultra-elastic hydrogel consisting of minimal network
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルの熱力学：準希薄スケーリング原理と負のエネルギー弾性
3. 学会等名 駒場物性セミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 ゴム・ゲルのレオロジー
3. 学会等名 レオロジー学会イブニングセミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉川 祐紀、大友元奎、作道直幸、酒井崇匡
2. 発表標題 負のエネルギー弾性の観点から見た高分子ゲルの線形弾性
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安田 傑, 作道 直幸, 酒井 崇匡
2. 発表標題 de Gennes の c^* 定理を否定する 高分子ゲルの準希薄スケーリング則
3. 学会等名 第33回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Low branching factors make rubbery materials ultra-elastic
3. 学会等名 SNU-UT Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 ゲルって何？
3. 学会等名 超異分野学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの医用応用にむけた基礎学理の解明
3. 学会等名 医用高分子研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 Tri-branched gels: Low branching factors make rubbery materials ultra-elastic
3. 学会等名 JTBPS2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川 愛璃彩, 齊藤千晶, 作道直幸, 酒井崇匡
2. 発表標題 均一な三分岐網目を有する高分子ゲルのき裂進展挙動
3. 学会等名 関東修論レオロジー発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルにおける負のエネルギー弾性
3. 学会等名 統計物理学懇談会 (第 9 回) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの物理に基づくバイオマテリアルの合理的創出
3. 学会等名 持続社会発展のための機能化学研究委員会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 作道直幸、齊藤千晶、早川愛璃彩、酒井崇匡
2. 発表標題 均一な高分子ゲルの示す線形破壊力学的な亀裂進展挙動
3. 学会等名 物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 ハイドロゲルの精密制御による医療応用展開
3. 学会等名 日本科学会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 Tri-branched gels: Rubbery materials with the lowest branching factor approach the ideal elastic limit
3. 学会等名 MRS2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲル の基礎物理の新展開と材料としての社会実装
3. 学会等名 バイオトライボロジシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022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との関係
3. 学会等名 関東高分子若手会学生発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安田傑, 作道直幸, 酒井崇匡
2. 発表標題 ゲル化過程における浸透圧を記述する普遍的状態方程式
3. 学会等名 関東高分子若手会サマーキャンプ 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田傑, 作道直幸, 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子のゲル化過程における浸透圧の普遍的状態方程式
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田傑, 片島拓弥, 作道直幸, 酒井崇匡, 内藤瑞, 宮田完二郎, 鄭雄一,
2. 発表標題 分岐数が均一なスライムの浸透圧
3. 学会等名 第19回関東ソフトマター研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田傑, 片島拓弥, 作道直幸, 酒井崇匡, 内藤瑞, 宮田完二郎, 鄭雄一,
2. 発表標題 相互会合性分岐高分子が構成する一時網目の浸透圧
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安田傑, 作道直幸, 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの膨潤収縮を記述する浸透圧の準希薄スケーリング仮説
3. 学会等名 第32回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田傑, 作道直幸, 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルのゲル化過程における浸透圧の普遍性
3. 学会等名 関東高分子若手研究会 2020年度 学生発表会・交流会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田傑, 作道直幸, 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルのゲル化過程における浸透圧の普遍性
3. 学会等名 第 25 回東日本支部修士発表会(関東地区修士発表会)及び第 60 回関東地区レオロジー研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川 祐紀、尼川真衣、片島拓弥、作道直幸、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルへのゲスト鎖導入による弾性の減少の解明
3. 学会等名 第69回 高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川 祐紀、作道直幸、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルにおける負のエネルギー弾性の支配法則
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川 祐紀、尼川真衣、片島拓弥、作道直幸、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの弾性におけるゲスト鎖添加による負の補強効果
3. 学会等名 第69回 高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川 祐紀、尼川真衣、片島拓弥、作道直幸、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルへのゲスト鎖添加による弾性率の「補弱」効果
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会 (2021年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平征史、内藤瑞、柴山充弘、Li Xiang
2. 発表標題 二本鎖 DNA によって架橋された温度応答性物理ゲルの網目の構造解析
3. 学会等名 関東高分子若手会サマーキャンプ 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平 征史、辻 由依、Li Xiang、酒井 崇匡、柴山 充弘
2. 発表標題 重水素化ラベルを用いた小角中性子散乱による理想的な高分子網目の定量的解析
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平 征史、辻 由依、Li Xiang、酒井 崇匡、柴山 充弘
2. 発表標題 重水素化ラベルを用いた小角中性子散乱による理想的な高分子網目の定量的解析
3. 学会等名 日本中性子科学会 第20回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平征史、内藤瑞、柴山充弘、Li Xiang
2. 発表標題 DNAゲルの構造と物性評価
3. 学会等名 関東高分子若手研究会 2020年度 学生発表会・交流会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Fundamentals and biomedical applications of hydrogels
3. 学会等名 Workshop 2020 on Sustainable Development: Nanobiomaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Fundamentals and biomedical applications of hydrogels
3. 学会等名 日本化学会東北支部会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの学理解明とバイオマテリアルとしての応用
3. 学会等名 関東非線形非平衡バイオソフトマターセミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 構造の制御された高分子ゲルの破壊挙動
3. 学会等名 関西レオロジー研究会第78回例会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Developments in the fundamental physics of polymer gels and application as biomaterials
3. 学会等名 International webinar on gels and networks（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Development in fundamental physics of polymer gels
3. 学会等名 GPSK2020（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの基礎物理の新展開と、材料としての社会実装
3. 学会等名 MRM2020（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井崇匡
2. 発表標題 医療用ハイドロゲルの開発と社会実装へ
3. 学会等名 先端ナノデバイス・材料テクノロジー第151委員会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takamasa Sakai
2. 発表標題 Development in the fundamental physics of polymer gels and application as biomaterials
3. 学会等名 Spring Meeting FOR2811(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤千晶, 作道直幸, 酒井崇匡
2. 発表標題 均一網目構造を有する高分子ゲルにおけるき裂進展挙動
3. 学会等名 第25回東日本支部修士発表会(関東地区修士発表会)及び第60回関東地区レオロジー研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤千晶, 作道直幸, 酒井崇匡
2. 発表標題 均一網目構造を有する高分子ゲルにおける破壊挙動
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Fujiyabu, Kengo Arai, Takuya Katashima, Ung-il Chung, Toshiyuki Shikata, Takamasa Sakai
2. 発表標題 Effect of Molecular Structure on Hydration Behavior of Poly(ethylene glycol) in Aqueous Solution
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Fujiyabu, Yuki Yoshikawa, Masashi Ohira, Takuya Katashima, Naoyuki Sakumichi, Xiang Li, Ung-il Chung, Takamasa Sakai
2. 発表標題 Effect of Solvent Quality on Diffusion Coefficient of Polymer Network
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤敷岳志、吉川祐紀、大平征史、片島拓弥、作道直幸、Li Xiang、鄭雄一、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子網目の拡散係数に及ぼす溶媒の質の影響
3. 学会等名 第32回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金俊赫、藤敷岳志、作道直幸、片島拓弥、吉川祐紀、鄭雄一、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子網目の拡散係数への混合と弾性の寄与
3. 学会等名 第32回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金俊赫、藤藪岳志、作道直幸、片島拓弥、吉川祐紀、鄭雄一、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子網目の拡散係数への混合と弾性の寄与
3. 学会等名 関東高分子若手研究会 2020年度 学生発表会・交流会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秦 裕樹、李 一、鄭 雄一、酒井 崇匡
2. 発表標題 高分子クラウディングおよび希薄環境下での分子結晶化における排除体積と重なり合いの効果
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
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 Polymers
3. 学会等名 International Congress on Rheology, 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片島 拓弥、内藤 瑞、鄭 雄一、宮田 完二郎、酒井 崇匡
2. 発表標題 相互連結性分岐高分子からなる一時網目の粘弾性
3. 学会等名 第47回レオロジー年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Katashima
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（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片島 拓弥、内藤 瑞、鄭 雄一、宮田 完二郎、酒井 崇匡
2. 発表標題 均一分岐数を有する過渡的網目の粘弾性特性
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルの平衡膨潤方程式
3. 学会等名 オンライン高分子化学構造・物性相関研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルの普遍的熱力学
3. 学会等名 関東高分子若手会サマーキャンプ 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 作道直幸、安田傑、酒井崇匡
2. 発表標題 ゲル化過程における浸透圧の普遍的状態方程式
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 作道直幸、吉川 祐紀、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルのやわらかさを決める方程式
3. 学会等名 第69回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルにおける浸透圧の準希薄スケーリング則
3. 学会等名 第19回関東ソフトマター研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 作道直幸、梁暎斌、塩見滉平、中嶋健、吉川 祐紀、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルおよび高分子一本鎖における負のエネルギー弾性
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 作道直幸、吉川 祐紀、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの弾性率の支配方程式
3. 学会等名 第32回高分子ゲル研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子材料における亀裂進展速度ジャンプ
3. 学会等名 高分子学会講演会「高分子材料による接着とその破壊」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 作道直幸、安田傑、酒井崇匡
2. 発表標題 高分子ゲルの膨潤過程の浸透圧
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会 (2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作道直幸
2. 発表標題 高分子ゲルにおける負のエネルギー弾性
3. 学会等名 第21回IPBセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

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〕

<p>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 酒井・鄭研究室ホームページ https://gel.tokyo/tetra-gel/ 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 酒井・鄭研究室ホームページ https://gel.tokyo/tetra-gel/</p>

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