

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02780

研究課題名(和文) 時空間マッピング解析に基づく高分子ネットワーク系の階層的不均一性と応力分布

研究課題名(英文) Hierarchical Heterogeneity and Stress Distribution in Polymer Network Systems by Spatio-Temporal Mapping Analysis

研究代表者

春藤 淳臣 (Shundo, Atsuomi)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：40585915

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)：高分子液体・溶液に分散したプローブ粒子の熱運動を解析し、密度揺らぎと不均一性の可視化を検討した。観測時間が緩和時間よりも短い場合、系の物性は空間的に不均一であることを確認した。また、ネットワークの形成・固化プロセスは、不均一性の程度ならびにその長さスケールの変化を伴って進行することを明らかにした。さらには、このような不均一性は、最終的な材料の応力分布、靱性や破壊挙動に影響を与えることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子ネットワークは樹脂やゴム、ゲル等の様々な材料にみられる構造であり、シーリング材、接着剤、構造材料等として広く用いられている。安全性や信頼性の確保・向上に向けて、材料の靱性や寿命の予測・制御が強く求められているが、それには至っていないのが現状である。本研究で得られた不均一性と応力分布、延性・破壊挙動に関する科学的知見は、力学特性や破壊挙動の制御、寿命予測に資するものと期待される。

研究成果の概要(英文)：To visualize a density fluctuation and a spatial heterogeneity, thermal motion of the probe particles dispersed in polymer liquid and solution has been analyzed. As a result, they were spatially heterogeneous in terms of the physical properties when the observation time scale was shorter than relaxation time. Also, the network formation process was accompanied by the changes in the extent and the length scale of the heterogeneity. Such a change in the heterogeneity was related to the stress distribution, thereby toughness and fracture behavior of the resultant materials.

研究分野：高分子科学、超分子化学

キーワード：高分子 ナノテクノロジー 動的不均一性 応力集中

1. 研究開始当初の背景

高分子ネットワークは樹脂やゴム、ゲル等の様々な材料にみられる構造であり、シーリング材、接着剤、医用材料等として広く用いられているため、安全性や信頼性の確保・向上に向けて、材料のタフネス性(靱性)や寿命の予測・制御が強く求められている。しかしながら、材料の破壊機構は未だ統一的に理解されていないため、タフネス性や寿命の正確な予測・制御には至っていないのが現状である。

我々はこれまでに、光ピンセットや粒子追跡法に基づく時空間物性解析法を確立し、ソフトマテリアルの物性における空間不均一性を明らかにしてきた。一連の研究で申請者がとくに注目している点は、(1) 巨視的に流動する液体状態であっても微視的には濃度揺らぎが存在し、(2) 観測時間が系の緩和時間よりも十分に短い場合—すなわち系が固体として振る舞う場合、濃度揺らぎの凍結に起因する不均一性が発現することにある。したがって、緩和時間が長くなるネットワークの形成・固化過程においても不均一性が発現しうる。高分子系の不均一性は、未架橋高分子の場合異なり、アニーリング等によって緩和させることができない。そのため、系中の不均一な反応・固化過程が架橋点あるいはそのクラスターの空間的なばらつき、ひいては材料を変形させた際の不均一な応力分布に繋がるとの考えに至った。

2. 研究の目的

本研究では、(1) 高分子ネットワークの形成・固化過程における不均一性の発現と応力分布の関係、および (2) 応力分布とタフネス性・寿命との関係を正確に理解し、力学物性が精密に制御された材料の設計原理・指針を創出することを目的とした。

3. 研究の方法

試料中に分散したナノ粒子の熱運動に基づき、周囲媒体の物性に関する情報を取得する。粒子の熱運動は平均二乗変位、 $\langle \Delta r^2(t) \rangle$ を用いて定量的に表される。 $\langle \Delta r^2(t) \rangle$ と観測時間(t)の関係に一般化 Stokes-Einstein 式を適用し、粒子周囲の局所領域における貯蔵・損失弾性率や緩和時間(τ)を算出できる。この手法は、汎用のレオメーターと比較して、(1) 粒子サイズに応じた空間スケールでの測定ができる、(2) 試料中の粒子すなわち測定場所を選ぶことによって空間分割測定ができる等の利点がある(図1参照、文献①)。

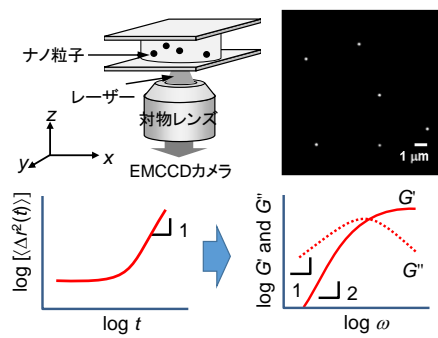


図1 局所物性解析法の模式図。

4. 研究成果

(1) 数 nm 程度の空間スケールにおける物性を解析するため、測定装置を新たにセットアップし、高分子液体であるアクリル酸 *n*-ブチルとアクリル酸 2-ヒドロキシエチルの共重合体の局所物性を評価した。その結果、高分子液体中には、ナノスケールにおける密度揺らぎが存在し、観測時間が系の緩和時間よりも短い場合、不均一性が発現することを明らかにした(図2参照、文献②)。また、高分子鎖を化学架橋した場合、長時間スケールにおいても不均一性が維持されることも確認した。

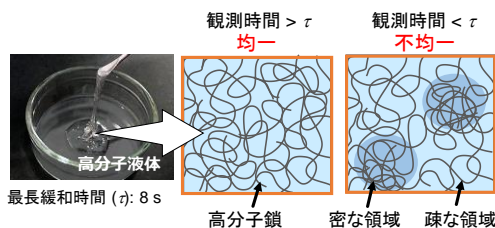


図2 アクリル酸 *n*-ブチルとアクリル酸 2-ヒドロキシエチルの共重合体の密度揺らぎ。

(2) ポリ(*N*-イソプロピルアクリルアミド)(PNIPAM) に代表される温度応答性高分子の水溶液は、ある温度(曇点、 T_{cp})以上に加熱すると相分離し、白濁する。PNIPAM 水溶液をその曇点近傍で静置すると、系の緩和時間が十分長くなり、ゲル化(固化)することを見出した。このゲル化過程の局所物性を検討した結果、ゲル化は物性の不均一化を伴って進行すること、および不均一性の特性長さは 50 nm 程度であることを明らかにした(図3参照、文献③)。

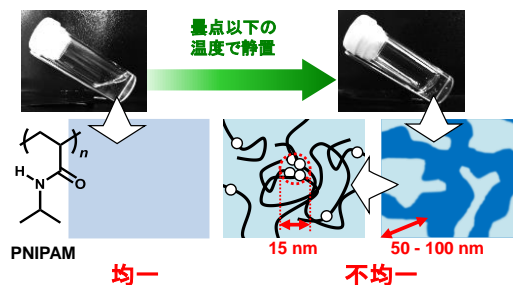


図3 PNIPAM 水溶液のゲル化とそれに伴う不均一性の発現。

(3) ナノセルロース (NC) は、微結晶セルロースを物理的に解繊して得られる高アスペクト比のナノ繊維であり、様々な分野への応用展開が期待されている。解繊後の NC 水分散液について検討した結果、メゾスコピックスケールにおいて不均一であり、その特性長さは超音波照射によって制御できることを見出した。不均一性の特性長さが異なる水分散液を用いて、NC 含有高分子複合膜を作製したところ、NC 水分散液の不均一性は、最終的な複合材料の応力分布、ひいては延性に影響を及ぼすことを明らかにした (図 4 参照、文献④)。

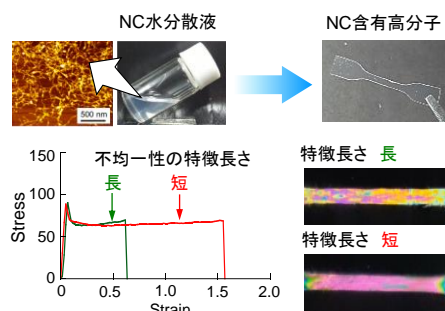


図 4 NC 水分散液の不均一性の特性長さ制御、およびそれによる NC 含有高分子複合膜への延性の付与。

(4) エポキシとアミンの付加反応によって得られた高分子ネットワークの不均一性は、その反応条件によって制御できることを見出した (図 5 参照、文献⑤)。ネットワークの不均一性は、ガラス転移近傍における動的不均一性に影響を及ぼすことを確認した。とくに、ネットワークの架橋密度が高いほど、動的に不均一であり、協同運動再配置領域 (CRR) のサイズが減少した。動的不均一性の程度が異なる系を良溶媒に浸漬し、その破壊挙動を観察したところ、より動的に不均一なほど短時間で破壊に至ることを明らかにした (図 6 参照、文献⑤)。さらに、材料の寿命予測法の確立を指向し、ネットワークの架橋点が温度時間換算則 (TTS) に及ぼす影響を検討した。その結果、架橋密度が高いほど自由体積の熱膨張係数が低く、高温におけるエントロピー弾性の発現が抑制されることを明らかにした。

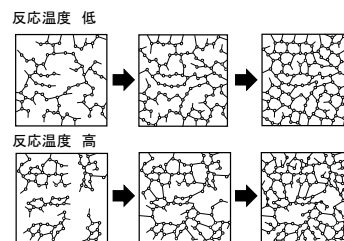


図 5 反応温度に基づく高分子ネットワークの不均一性の制御。

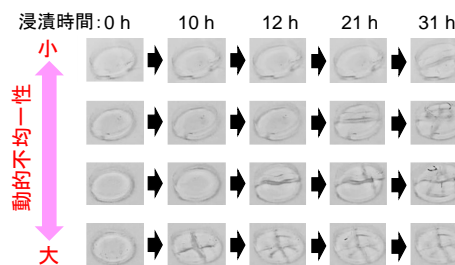


図 6 良溶媒に浸漬した高分子ネットワーク系の膨潤破壊挙動。

<引用文献>

- ① M. Aoki, A. Shundo, R. Kuwahara, S. Yamamoto, K. Tanaka, Mesoscopic Heterogeneity in the Curing Process of an Epoxy-Amine System. *Macromolecules*, **52**, 2075 (2019).
- ② Y. Wu, A. Shundo, Y. Yasukochi, K. Tanaka, Time-dependent Heterogeneity in Polyacrylic Pressure Sensitive Adhesive. *Eur. Polym. J.*, **134**, 109812 (2020).
- ③ T. Kogo, A. Shundo, C. Wang, K. Tanaka, Spatial Heterogeneity Accompanying Gel Formation of Poly(*N*-isopropylacrylamide) Aqueous Solution at a Temperature below Cloud Point. *Macromolecules*, **53**, 10964 (2020).
- ④ Y. Matsumoto, A. Shundo, H. Hayashi, N. Tsuruzoe, Keiji Tanaka, Effect of the Heterogeneous Structure on Mechanical Properties for a Nanocellulose-Reinforced Polymer Composite. *Macromolecules*, **52**, 8266 (2019).
- ⑤ M. Aoki, A. Shundo, S. Yamamoto, K. Tanaka, An Effect of Heterogeneity on Fracture Behavior of Glassy Epoxy Resins. *Soft Matter*, **16**, 7470 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Atsuomi Shundo, Mika Aoki, Satoru Yamamoto, Keiji Tanaka	4. 巻 54
2. 論文標題 Effect of Cross-linking Density on Horizontal and Vertical Shift Factors in Linear Viscoelastic Functions of Epoxy Resins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 9618-9624
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.macromol.1c01293	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 Atsuomi Shundo, Mika Aoki, Satoru Yamamoto, Keiji Tanaka	4. 巻 54
2. 論文標題 Cross-linking Effect on Segmental Dynamics of Well-defined Epoxy Resins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 5950-5956
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.macromol.1c00513	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 Takuro Kogo, Atsuomi Shundo, Chi Wang, and Keiji Tanaka	4. 巻 53
2. 論文標題 Spatial Heterogeneity Accompanying Gel Formation of Poly(N-isopropylacrylamide) Aqueous Solution at a Temperature below Cloud Point	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 10964-10971
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.macromol.0c02292	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 該当する

1. 著者名 Mika Aoki, Atsuomi Shundo, Satoru Yamamoto, Keiji Tanaka	4. 巻 16
2. 論文標題 Effect of Heterogeneous Network on Glass Transition Dynamics and Solvent Crack Behavior of Epoxy Resins	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 7470-7478
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d0sm00625d	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 Yihao Wu, Atsuomi Shundo, Yuji Yasukochi and Keiji Tanaka	4. 巻 134
2. 論文標題 Time-dependent Heterogeneity in Polyacrylic Pressure Sensitive Adhesive	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 109812-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eurpolymj.2020.109812	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 Atsuomi Shundo, Yuji Matsumoto, Hisato Hayashi, Nobutomo Tsuruzoe, Hisao Matsuno, Keiji Tanaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Mesoscopic Heterogeneity in Nanocellulose-Containing Cell Storage Medium	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Material Chemistry B	6. 最初と最後の頁 4570-4574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TB00219D	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 Yuji Matsumoto, Atsuomi Shundo, Hisato Hayashi, Nobutomo Tsuruzoe, Keiji Tanaka	4. 巻 52
2. 論文標題 Effect of the Heterogeneous Structure on Mechanical Properties for a Nanocellulose-Reinforced Polymer Composite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 8266-8274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Mika Aoki, Atsuomi Shundo, Kenji Okamoto, Tatsuya Ganbe, Keiji Tanaka	4. 巻 51
2. 論文標題 Segregation of an Amine Component in a Model Epoxy Resin at a Copper Interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 359-363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Mika Aoki, Atsuomi Shundo, Ruichi Kuwahara, Ssatoru Yamamoto, Keiji Tanaka	4. 巻 52
2. 論文標題 Mesoscopic Heterogeneity in the Curing Process of an Epoxy-Amine System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 2075-2082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計34件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 春藤淳臣、吉田萌華、田中敬二
2. 発表標題 超分子ファイバー含有高分子コンポジットの凝集状態と力学特性
3. 学会等名 2021年繊維学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武谷亮佑、春藤淳臣、山本智、田中敬二
2. 発表標題 エポキシ硬化物の力学特性に及ぼすアミン系硬化剤の級数の影響
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 春藤淳臣、青木美佳、山本智、田中敬二
2. 発表標題 エポキシガラスの不均一性とソルベントクラック挙動の関係
3. 学会等名 東京大学物性研究所短期研究会「ガラスおよび関連する複雑系の最先端研究」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 光木紘介、春藤淳臣、山本智、田中敬二
2. 発表標題 エポキシ硬化物における化学量論比がネットワークおよび力学特性に及ぼす影響
3. 学会等名 令和3年度九州地区高分子若手研究会・夏の講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuro Kogo, Atsuomi Shundo, Chi Wang, Keiji Tanaka
2. 発表標題 Evolution of heterogeneity and gelation of poly(N-sopropylacrylamide) aqueous solution at a temperature below cloud point
3. 学会等名 25th Congress of the International Union of Crystallography (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木美佳、春藤淳臣、山本智、星野大樹、田中敬二
2. 発表標題 異なる硬化過程を経由したエポキシ樹脂の不均一構造が引張特性に与える影響
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 伊田怜也、春藤淳臣、山本智、田中敬二
2. 発表標題 エポキシ樹脂の不均一硬化過程と力学特性
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 春藤淳臣、青木美佳、山本智、田中敬二
2. 発表標題 エポキシ硬化物中の架橋点がセグメント運動に及ぼす影響
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 Kosuke Mitsuki, Atsuomi Shundo, Satoru Yamamoto, Keiji Tanaka
2. 発表標題 Off-stoichiometry Effect on Network Structure and Tensile Properties of an Epoxy Resin
3. 学会等名 Fall Annual Meeting of The Polymer Society of Korea (PSK) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 光木紘介、春藤淳臣、山本智、田中敬二
2. 発表標題 エポキシ硬化物における化学量論比がネットワーク構造に及ぼす影響
3. 学会等名 第11回 CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武谷亮佑、春藤淳臣、山本智、田中敬二
2. 発表標題 エポキシ硬化物における鎖延長剤が力学特性に及ぼす影響
3. 学会等名 第11回 CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武谷亮佑、春藤淳臣、山本智、田中敬二
2. 発表標題 エポキシ硬化物におけるダングリグ鎖が力学特性に及ぼす影響
3. 学会等名 接着界面科学研究会Part 第8回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 春藤淳臣、松本裕治、水流添暢智、田中敬二
2. 発表標題 超分子ファイバー分散系の不均一性制御とフィラーとしての応用
3. 学会等名 2021年 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thao Phan, Mika Aoki, Atsuomi Shundo, Satoru Yamamoto, Keiji Tanaka
2. 発表標題 Effect of Chemical Structure on Reaction Kinetics and Mechanical Properties of Epoxy-Amine Systems
3. 学会等名 令和3年度高分子学会九州地区高分子若手研究会・冬の講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 春藤 淳臣、板垣 望、川口 大輔、田中 敬二
2. 発表標題 水と接した高分子ヒドロゲル界面における分子鎖ダイナミクス
3. 学会等名 日本レオロジー学会第47年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsuomi Shundo, Nozomi Itagaki, Daisuke Kawaguchi, Keiji Tanaka
2. 発表標題 Dynamics of Chains in a Hydrogel Film at Water Interface
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 Yihao Wu, Atsuomi Shundo, Keiji Tanaka
2. 発表標題 Nanoscale Heterogeneity in an Acrylic Adhesive
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 Atsuomi Shundo, Aoki Kawaguchi, Keiji Tanaka
2. 発表標題 Deformation-induced Change in Heterogeneity of a 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 Yihao Wu, Atsuomi Shundo, Yuji Yasukochi, Keiji Tanaka
2. 発表標題 Nanoscale Density Fluctuation in a Polyacrylic Adhesive
3. 学会等名 第68回レオロジー討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 春藤淳臣、古後拓朗、畑中大輔、水流添暢智、田中敬二
2. 発表標題 ジェランガムファイバー分散培地のメソスコピックな不均一性と細胞浮遊性
3. 学会等名 2020年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 春藤淳臣
2. 発表標題 ソフトマテリアルの局所領域におけるレオロジー解析
3. 学会等名 Materials Research Meeting Forum 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木美佳、春藤淳臣、山本智、田中敬二
2. 発表標題 異なる硬化過程を経由したエポキシ樹脂の不均一性
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田萌華、春藤淳臣、田中敬二
2. 発表標題 超分子ファイバー含有高分子複合膜の力学特性
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古後拓朗、春藤淳臣、畑中大輔、水流添暢智、田中敬二
2. 発表標題 ジェランガム含有培地の不均一性が細胞浮遊性に与える影響
3. 学会等名 レオロジー学会第46年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 春藤淳臣、松本裕治、水流添暢智、田中敬二
2. 発表標題 ジェランガム含有培地のメソスコピックな不均一性とその制御
3. 学会等名 レオロジー学会第46年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木美佳、春藤淳臣、山本智、田中敬二
2. 発表標題 硬化過程の異なるエポキシ樹脂の膨潤破壊挙動
3. 学会等名 第57回日本接着学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田萌華、春藤淳臣、田中敬二
2. 発表標題 超分子ファイバーで強化した高分子の力学物性
3. 学会等名 第57回日本接着学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 春藤淳臣
2. 発表標題 ナノファイバー分散系における空間不均一性とそれに基づく材料設計
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田萌華、春藤淳臣、田中敬二
2. 発表標題 超分子ナノファイバー含有高分子複合材料の凝集状態と力学特性
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuomi Shundo
2. 発表標題 Heterogeneous Structure and Mechanical Properties of Nanocellulose Composites
3. 学会等名 Japan Taiwan Bilateral Polymer Symposium 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aoki Kawaguchi, Atsuomi Shundo, Yuji Yasukochi, Keiji Tanaka
2. 発表標題 Nano-Rheological Properties in a Polymer Network under Deformation
3. 学会等名 Korea-Japan Joint Symposium on Polymer Science 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田萌華、戸谷匡康、春藤淳臣、田中敬二
2. 発表標題 超分子ファイバーで強靱化した高分子複合膜の凝集状態と力学特性
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuomi Shundo, Yuji Matsumoto, Hisato Hayashi, Nobutomo Tsuruzoe, Hisao Matsuno, Keiji Tana
2. 発表標題 Mesoscopic Heterogeneity in Cell Culture Medium Containing Nanocelluloses
3. 学会等名 2019 Pusan-Gyeongnam/Kyushu-Seibu Joint Symposium on High Polymer (19th) and Fiber (17th) Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川口碧生、春藤淳臣、安河内裕司、田中敬二
2. 発表標題 高分子ネットワークのナノスケールにおける空間不均一性
3. 学会等名 2019年 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 春藤淳臣、田中敬二	4. 発行年 2021年
2. 出版社 (一社) 日本接着学会	5. 総ページ数 4
3. 書名 接着の技術誌	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 脂質ペプチド型ゲル化剤とポリアルキレンオキシドとを含有する高分子複合材料	発明者 田中敬二、春藤淳 臣、吉田萌華	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-90206	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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		
中国	National Cheng Kung University		