

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870179

研究課題名(和文)無機ナノチューブによる刺激応答性材料の設計を目指した分子技術の創出

研究課題名(英文)Creation of molecular technology for stimuli-responsive materials consisting of inorganic nanotube

研究代表者

敷中 一洋 (Shikinaka, Kazuhiro)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00507189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：無機ナノチューブイモゴライト：IGを元とした新規刺激応答材料を創製することを目的に下記項目を達成した。

(1)IGと有機高分子網目の複合による刺激応答性高強度ゲルについて、有機高分子化学構造による物性制御に成功した。(2)IGと二官能性有機酸(DA)によるチクソトロピー性ゲルについてDAの化学構造による物性制御を達成しゲルのチクソトロピー発現メカニズムを明らかにした。また溶媒のイオン液体への置換を通じ電気伝導性に優れたチクソトロピー制素材として応用できることを見出した。(3)IGとDAによるチクソトロピー性ゲルについて流動によるIG配向構造付与と相互侵入網目形成を通じ異方性高強度ゲルへと導いた。

研究成果の概要(英文)：We achieved following sections for creation of novel stimuli-responsive materials consisting of inorganic nanotube "Imogolite (IG)".

(1) We controlled the physical properties of strong hydrogels consisting of IG and organic network polymer by changing chemical structure of organic network polymer. (2) The control of physical properties of thixotropic gels consisting of IG and difunctional organic acid (DA) was achieved. Furthermore, mechanism of emergence of thixotropy in the gel was revealed. The thixotropic electrolyte was also obtained by changing a solvent of IG thixotropic gel from water to ionic liquid. (3) An anisotropic strong hydrogel was obtained by emergence of oriented structure of IG and creation of interpenetrated polymer network.

研究分野：高分子物理・コロイド化学

キーワード：ナノチューブ ゲル 刺激応答素材 異方性材料 キラリティー 電解質素材

1. 研究開始当初の背景

ナノチューブを基とした機能材料創製は国内外で幅広く研究が成されている。無機高分子である粘土鉱物イモゴライト (IG) は中空円筒状構造を持ち高いアスペクト比 (長さ数百 nm × 直径 2 nm) を有するナノチューブである。実験室における合成が可能で、近年新たな大量合成法が提案されている (例: *J. Am. Chem. Soc.*, **2009**, *131*, 17080.)。現在までに、IG の多孔性を生かした吸湿型ヒートポンプシステムにおける熱交換剤としての利用 (特開 2002-081889) や IG の高いアスペクト比を生かした有機材料へのナノファイラーとしての利用 (*Soft Matter*, **2005**, *1*, 372.) が提案されている。IG の利用は生体適合材料といった機能材料分野に渡っており、例えば IG に対する良好な細胞付着特性や細胞培養特性が報告されている (*J. Biomed. Nanotechnol.*, **2010**, *6*, 59)。しかし **高濃度 (0.3 wt%以上) での IG の溶媒ないし有機 (高) 分子への均一分散が出来なかった** ために、IG の特性を反映出来る程高い割合で IG を含んだ自立材料としての展開が困難であった。

申請者はこれまでに IG のアミド/カルボン酸といった有機分子と相互作用する性質に着目、重合基を持つアクリルアミド (AAm) 分子との複合後 AAm を重合し IG と AAm が均一分散したゲルを得た。本ゲルは通常の AAm に比べ引張破断強度に於いて約 20 倍という高強度ゲル (以下 IG ゲルと記す) である (*Polym. Adv. Technol.*, **2011**, *22*, 1212.)。加えて合成 IG の精製法を検討し、**水中において従来より 10 倍以上の高濃度 (最大約 7 wt%) での IG 均一分散を達成した (Polymer, 2013, 54, 2489.)**。

超純水に分散した IG を 5 wt% 含有した高強度 IG ゲルは、約 0.2 (mm/mm) という微小な歪で降伏現象を起こしかつ検光子 - 偏光子位置に対し異方的かつ可逆的に複屈折を発現する (Polymer, 2013, 54, 2489.)。具体的には IG ゲルの複屈折率が引張歪印加により 0 から 7×10^{-5} となりその変化は可逆的かつ異方的である。本結果は IG ゲルが力学刺激に応答し配向構造化する刺激応答性材料であることを示唆する。

更に、**IG を二官能性有機酸 (例としてマレイン酸に代表されるジカルボン酸) と混合し、衝撃に応じた可逆的固/液転移であるチクソトロピー性を示すゲルを創製した**。時分割放射光 X 線散乱と凍結サンプルに対する走査透過型電子顕微鏡による測定を通じ、IG の橋掛けによるネットワーク形成に伴い系がチクソトロピー性を示すことが明らかとなり、分子 (集合体) 構造とチクソトロピー挙動の関係を本材料系を通じ初めて直接的に提唱した (*Small*, **2014**, *10*, 1813.)。

以上の経緯の元に、本研究では IG と有機酸の複合を通じ得られる「引張に応じた無秩序/秩序構造転移や衝撃に応じた高速な可

逆的固/液転移を示す機能性材料」について検討をおこなう。具体的には有機酸の分子構造 (幾何異性/官能基種/炭素数) と力学特性/光学特性/刺激応答性の相関を解明し、**IG 生来の性質 (例: 剛直性) を併せ持ちかつ力学的性能/刺激応答性が制御された IG - 有機酸複合材料を創製する**。更に IG の無機ナノチューブとしての剛直性を利用し、チクソトロピー性ゲルにおける印加を通じた IG の配向を試みる。配向を相互侵入網目 (IPN) 形成により固定し、**異方的光学特性/力学特性/電気化学的特性を持つゲルを得る**。IPN ゲルはチクソトロピーネットワークを含むため衝撃吸収材料等への応用も期待される。

2. 研究の目的

本研究では、**刺激応答性を持つイモゴライト (IG) - 有機酸複合ゲルの力学特性/刺激応答性を制御する分子設計を目指した基盤技術を創出** するため、次の課題を遂行する。

重合性有機酸添加 - 高分子化を通じた IG 高強度刺激応答性ゲルの物性制御

(1) IG と重合性有機酸の相互作用を有機酸官能基により制御し、望みの力学強度/刺激応答性を有する IG 高強度刺激応答性ゲルの設計指針を示す。

IG - 二官能性有機酸複合によるチクソトロピー性ゲルの物性制御

(2) IG と二官能性有機酸の相互作用を有機酸構造 (炭素数/幾何異性) により制御し、望みの粘弾性/刺激応答性を有する IG チクソトロピー性ゲルの設計指針を示す。

(3) 固/液転移過程における外場刺激印加を通じ IG が一軸に配向したゲルを創成する。

得られる知見は、IG - 有機酸複合ゲルの衝撃吸収材料/生体代替材料/応力センサー等各種分野への応用を志向した分子設計を可能とし、分子構造と力学強度/粘弾性/刺激応答性の相関を解明、非ニュートン流体挙動を始めとした非線形現象への理解を促す学術的知見を与える。

3. 研究の方法

(1) 重合性有機酸による高強度刺激応答性 IG 含有ゲルの物性制御

申請者はこれまでの研究で IG と重合性有機酸アクリルアミド (AAm) を水中で混合した後 AAm を重合させ可逆的な無秩序/秩序構造転移を起こす高強度ゲルを合成した (*Polymer*, **2013**, *54*, 2489.)。ゲル中の重合性有機酸は IG と相互作用し、架橋点となっていると予想されるため、本課題ではゲルの力学特性 (剛性、靱性) や歪応答性の制御を有機酸分子構造によりおこなう。これまでに予備の実験にて AAm と類似の構造を持つ *N*-メチルアクリルアミドや *N*-イソプロピルアクリルアミド (NIPA) を IG と混合し重合をおこなってもゲル化しないことを確認している。本結果は、アミド基に結合したメチル

基 / イソプロピル基の存在により IG と重合性有機酸の相互作用が阻害されたためと考えられ、**IG と組み合わせる有機酸の官能基を適切に選択すれば IG と有機酸の相互作用に応じた望みの力学強度や刺激応答性を持つゲルが合成できる**ことを示唆する。

既報において、IG 表面にはカルボン酸 / ホスホン酸 / スルホン酸が吸着すると報告されている (*Materials*, 2010, 3, 1709.)。本研究では**アクリル酸 (AA) / ビニルホスホン酸 (VPA) / 2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸 (AMPS) 等を IG 存在下で重合しゲルを得て、有機酸分子構造とゲルの力学強度について系統的な知見を得る**。加えて NIPA や 4-アクリロイルモルフォリン (ACMO) を例とした IG と相互作用しない重合性有機酸を共重合させ、剛性 / 靱性 / 刺激応答性の制御を試みる。

ゲルの力学強度 / 光学特性 / 分子配向度は引張試験 / 複屈折観察 / X 線散乱実験よりそれぞれ評価する。

(2) IG と二官能性有機酸によるチクソトロピー性ゲルの物性制御

申請者はこれまでに IG と二官能性有機酸 (DA) を水中で混合し、IG によるネットワークから成るチクソトロピー性ゲルを得た。DA としてマレイン酸 (MA) を用いると IG と MA の混合物は 53 分でゲル化し、6 秒以内で 100% 力学強度が回復する可逆的固 / 液転移を示す (図 2)。DA の構造、例えば幾何異性により混合物のゲル化挙動は異なる。例えば MA と同じ化学式を持ち幾何異性が異なるフマル酸では 20 分程度でゲル化が完了する。以上予備的知見の元に本研究では **IG と各種 DA から成るチクソトロピー性ゲルの力学物性や構造を系統的に評価する**。

具体的には IG と DA の混合物について、動的粘弾性測定よりチクソトロピー性を、剛体振り子型自由減衰振動測定より IG の橋掛け / ネットワーク形成速度をそれぞれ評価する。ゲルの構造は時分割 X 線散乱とクライオ電子顕微鏡法 + 走査透過型電子顕微鏡 + エネルギー分散型 X 線分光法を組み合わせた元素マッピングより評価する。上記の検討より「チクソトロピー性 / IG と DA の構造化過程 / ゲルの動的構造転移過程」と「IG と DA 間相互作用」の関係を理解し、IG と DA から成るチクソトロピー性ゲルの粘弾性 / 刺激応答性 / 分子構造の制御を試みる。

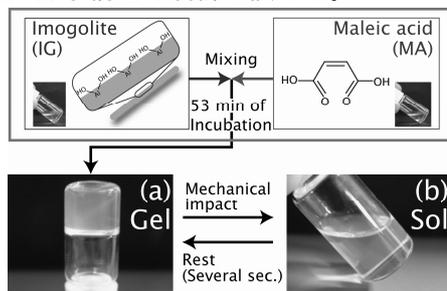


図 1: IG と DA によるチクソトロピー性ゲル上: IG の模式図および MA の化学構造。下:

振動印加に応じた固(a) / 液(b) 転移

(3) IG と DA によるチクソトロピー性ゲルへの配向構造付与

液 / 固転移と同時のずり印可を通じチクソトロピー性 IG ゲルへの配向構造付与をおこなう。具体的には IG と DA からなるチクソトロピー性ゲルに衝撃を加え液化した後、流動をかけ IG の配向を誘起する。続く固化により IG の配向を固定する。上記手順を経たチクソトロピー性ゲルにおける IG の配向は図 2 の通り達成している。本系について流動速度を通じた配向制御をおこなう。配向は X 線散乱より得られる配向パラメータより評価する。加えてゲルに同梱させた他の重合性分子をネットワーク化しチクソトロピー性を排除、IG による配向構造を有する相互侵入網目 (IPN) ゲルを得る。IPN ゲルについて光学特性 / 力学特性 / 電気化学的特性の異方性を複屈折 / 引張破断強度 / プロトン伝導度より評価する。

図 2: 流動による配向構造を有するチクソトロピー性イモゴライトゲルにおける異方的複屈折

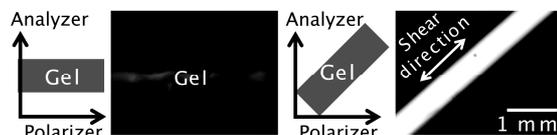


図 2: 流動による配向構造を有するチクソトロピー性イモゴライトゲルにおける異方的複屈折

4. 研究成果

(1) 高強度刺激応答性 IG 含有ゲルの力学特性制御

IG と重合性有機酸を複合した高強度ゲルについてアクリル酸 AA を用いて引張破断強度が約 3 MPa (既報でアクリルアミド [AAm] を用いた場合の約 4 倍) に達する高強度化を達成した (図 3)。加えて組成に依存した引張化における複屈折発現を確認した。またビニルホスホン酸 (VPA) / 2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸 (AMPS) を用いた場合はモノマーと IG を混合した段階で不均一な沈殿物が得られゲルが得られなかった。一方ヒドロキシエチルアクリレートを用いた場合は引張破断強度・破断歪み共に AA, AAm を用いた場合に比して低下し、IG と重合性有機酸の相互作用が複合ゲルの高強度化に必須であることが明らかとなった。更に AA と *N*-イソプロピルアクリルアミド (NIPA) を IG 存在下で共重合することで温度に応答して膨潤 / 収縮を示すゲルを創製した。

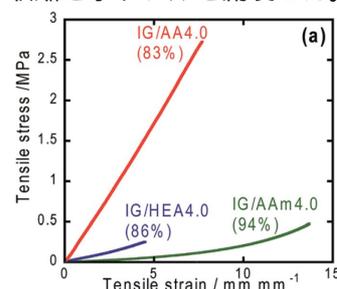


図 3: IG と各種有機酸による高強度ゲルの引

張応力歪特性

加えて走査透過電子顕微鏡 (STEM) による二次元元素マッピングを通じゲル内部における IG 表面へのカルボン酸付着を実験的に確認することに成功した。

(2) IG と二官能性有機酸によるチクソトロピー性ゲルの物性制御とゲル化機構解明

IG と二官能性有機酸 (DA) を複合したチクソトロピー性ゲルについて DA 種に依る物性制御を達成した。例えば IG 表面に付着する DA 分子間の水素結合形成力を分子構造で制御し、最速 3 秒間で固/液転移を示すゲルの開発に成功した (図 4)。更に放射光小角 X 線散乱による構造評価と剛体振り子型自由減衰振動測定による構造化過程評価より、IG によるクラスター形成とクラスターによるネットワーク形成が段階的に起こることで鋭敏なチクソトロピー性と高い弾性率を持つゲルが得られることが明らかとなった。剛体振り子型自由減衰振動測定の結果からは IG 構造化における熱力学的パラメータを算出することに成功し、パラメータとゲルの弾性率およびクラスター構造の相関を定量的に関係づけることに成功した。

加えて当初の計画にはなかったが、チクソ

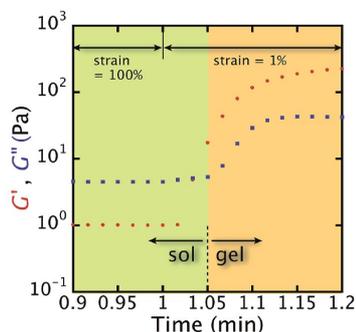


図 4: IG によるチクソトロピー性ゲルの高速な液/固転移挙動。DA にメサコン酸を用いると 3 秒の間での相転移 (貯蔵弾性率 G' と喪失弾性率 G'' の反転) が起こる

トロピー性ゲルの溶媒を水からイオン液体に置換することで IG ゲルの電気伝導性に優れたチクソトロピー性材料へ応用できる可能性を見出した。

(3) IG と DA によるチクソトロピー性ゲルへの配向構造付与を通じた異方性材料の創製

IG と DA から成るチクソトロピー性ゲルについて、流動配向に続く IPN 化を通じて自立可能でかつ IG の配向構造を保持した高強度ゲルへと導いた。具体的には IG と相互作用しない重合性モノマーであるヒドロキシエチルアクリレートと架橋剤および重合開始剤を含有したチクソトロピー性ゲルを作製し、液化に続く流動を経た固化をおこない配向ゲルを得た。その後紫外光照射により含浸したモノマー・架橋剤を重合させ IPN ゲルを調製した (図 5)。引張試験やプロトン伝導性評価から IPN ゲルが IG の配向方向に応じて異なる力学特性・電気化学的特性を示すこと

を明らかにした。

加えて当初の計画にはなかったが DA に対しキラリティー (不斉炭素) を導入し、流動配向をおこなうことで IG 表面水酸基のらせん配列と DA のキラリティーに応じた IG ナノチューブの巨視的らせん秩序の発現にも成功した。

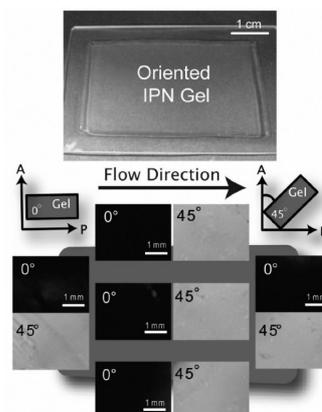


図 5: IG による配向構造を持つ IG-DA-ヒドロキシエチルアクリレートによる IPN ゲル

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

(*: Corresponding Author)

1. Kazuhiro Shikinaka*, Natsumi Taki, Keisuke Kaneda, Yoichi Tominaga, “Quasi-solid electrolyte: a thixotropic gel of imogolite and an ionic liquid”, *Chem. Commun.*, **2017**, 53, 613-616. DOI: 10.1039/C6CC07765J (査読有)
2. Kazuhiro Shikinaka*, Saori Mori, Kiyotaka Shigehara, Hiroyasu Masunaga, Takamasa Sakai, “Kinetics-dominated structure and stimuli-responsiveness in the assembly of colloidal nanotubes”, *RSC Adv.*, **2016**, 6, 52950-52956. DOI: 10.1039/C6RA12425A (査読有)
3. Kazuhiro Shikinaka*, Hiroto Kikuchi, Tei Maki, Kiyotaka Shigehara, Hiroyasu Masunaga, Hisako Sato, “Chiral-Linkage-Induced Hierarchical Ordering of Colloidal Achiral Nanotubes in their Thixotropic Gel”, *Langmuir*, **2016**, 32, 3665-3669. DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b00352 (査読有)
4. 敷中一洋, “低分子物質群による機能性材料の創製”, *繊維学会誌*, **2016**, 72(6), 304. (査読無)
5. Kazuhiro Shikinaka, “Design of

- stimuli-responsive materials consisting of rigid cylindrical inorganic polymer "imogolite" ", *Polym. J.*, **2016**, *48*(6), 689-696 ([Front Cover](#)). doi:10.1038/pj.2016.12 (査読有)
6. **Kazuhiro Shikinaka***, Ayaki Abe, Kiyotaka Shigehara, "Nanohybrid Film Consisted of Hydrophobized Imogolite and Various Aliphatic Polyesters", *Polymer*, **2015**, *68*, 279-283. doi.org/10.1016/j.polymer.2015.05.039 (査読有)
 7. **Kazuhiro Shikinaka***, Tomomi Yokoi, Yumi Koizumi-Fujii, Masaki Shimotsuya, Kiyotaka Shigehara, "Robust Imogolite Hydrogels with Tunable Physical Properties", *RSC Adv.*, **2015**, *5*, 46493-46500. DOI: 10.1039/C5RA07437A (査読有)
 8. **Kazuhiro Shikinaka***, Kiyotaka Shigehara, "Ordered Structurization of Imogolite Clay Nanotubes by the Spatiotemporal Regulation of their Assemblies", *Colloids Surf. A*, **2015**, *482*, 87-91. doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.04.029 (査読有)
 9. **Kazuhiro Shikinaka***, Yumi Koizumi, Kiyotaka Shigehara*, "Mechanical/Optical Behaviors of Imogolite Hydrogels Depending on their Compositions and Oriented Structures", *J. Appl. Polym. Sci.*, **2015**, *132*, 41691 (6 page). DOI: 10.1002/app.41691 (査読有)
 10. **敷中一洋**, "微小繊維状粘土鉱物/微小粒子状木質資源を用いた機能素材の創製", *繊維学会誌(繊維と工業)*, **2015**, *71*(10), 487-491. (査読無)
 11. **敷中一洋**, "剛直円筒状無機高分子による刺激応答性ハイドロゲルの創製", *高分子*, **2015**, *64*(5), 264-265. (査読無)
 12. **Kazuhiro Shikinaka***, Hiroshi Kimura, "Reversible Viscosity Change of Nanotubular Colloidal Aqueous Suspensions Responding to an Electric Field", *Colloid Surf. A*, **2014**, *459*, 1-3. doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.06.035 (査読有)
 13. Keisuke Kaneda, Keisuke Uematsu, Hiroyasu Masunaga, Yoichi Tominaga, Kiyotaka Shigehara, **Kazuhiro Shikinaka***, "Flow-Orientation of Internal Structure and Anisotropic Properties on Hydrogels Consisted of Imogolite Hollow Nanofibers", *Seni Gakkaishi*, **2014**, *70*(7), 137-144. <http://doi.org/10.2115/fiber.70.137> (査読有)
- [学会発表](計 21 件)
- 【招待講演】
1. **Kazuhiro Shikinaka**, "Smart Gel Consisting of Cylindrical Inorganic Polymer", FiMPART2017 (2017, Jul, Bordeaux, France)
 2. **敷中一洋**, "剛直円筒状無機高分子による機能性素材の創製", 第 66 回高分子学会年次大会 (2017 年 5 月, 幕張メッセ(千葉県千葉市))
 3. **Kazuhiro Shikinaka**, "Stimuli-responsive materials consisting of cylindrical clay mineral "Imogolite"", The 2nd Japan-Taiwan Joint Workshop on Nanospace Materials (2016, Dec, National Institute for Materials Science, Tsukuba Ibaraki)
 4. **敷中一洋**, "かたい粘土鉱物を作る柔らかな刺激応答性材料", 第 26 回 Clayteam セミナー (2016 年 11 月, 産業技術総合研究所東北センター、宮城県仙台市)
 5. **敷中一洋**, "異方形粘土鉱物による機能性複合材料", 第 104 回複合材料懇話会 (2016 年 9 月, 群馬大学、群馬県桐生市)
 6. **Kazuhiro Shikinaka**, "Functional Materials Consisted of Rigid Cylindrical Inorganic Polymer "Imogolite"", The EMN meeting on Polymer (Polymer 2016) (2016, Jan, Hong Kong, China)
 7. **敷中一洋**, "低次元物質群の織り成す機能性自己組織化材料", 第 30 回中国四国地区高分子若手研究会 (2015 年 11 月, にぎたつ会館、愛媛県松山市)
 8. **敷中一洋**, "剛直無機ナノチューブの自己組織化による機能性材料", 西日本ナノシート研究会ワークショップ 2014 (2014 年 12 月, 山口大学。山口県山口市) 【一般講演】
 9. **Kazuhiro Shikinaka**, Hiroto Kikuchi, Tei Maki, Hiroyasu Masunaga, Hisako Sato, Chiral-Linkage-Induced Helical Ordering of Rigid Cylindrical Inorganic Polymer in their Thixotropic Gel, Gelsympo 2017 (2017 年 3 月, 日本大学、千葉県船橋市)
 10. **敷中一洋**, 金田恵介、増永啓康、富永洋一、重原淳孝, 剛直円筒状無機高分子イモゴライトと有機酸による機

- 能性ハイブリッドゲルの創製, 第 35 回無機高分子研究討論会 (2016 年 11 月, 山上会館、東京都文京区)
11. **Kazuhiro Shikinaka**, Keisuke Kaneda, Tei Maki, Hiroyasu Masunaga, Yoshihito Osada, Kiyotaka Shigehara, Stimuli-Responsive Hydrogels Consisting of Cylindrical Inorganic Polymer, The International Rubber Conference 2016 (2016 年 10 月, 北九州国際会議場、福岡県北九州市)
 12. **敷中一洋**, 菊地洋人, 増永啓康, 牧偵, 佐藤久子, 重原淳孝, 超分子キラリティー発現によるイモゴライトチクソトロピー性ゲルの高次秩序化, 第 60 回粘土科学討論会 (2016 年 9 月, 九州大学、福岡県東区)
 13. **敷中一洋**, 滝夏摘, 富永洋一, 剛直円筒状無機高分子とイオン液体による刺激応答性ゲルの創製, 平成 28 年度繊維学会年次大会 (2016 年 6 月, タワーホール船堀、東京都江戸川区)
 14. **敷中一洋**, 滝夏摘, 富永洋一, 剛直円筒状無機高分子とイオン液体による刺激応答性ゲルの創製, 第 27 回ゲル研究討論会 (2016 年 1 月, 山上会館、東京都文京区)
 15. **Kazuhiro Shikinaka**, Keisuke Kaneda, Tei Maki, Hiroyasu Masunaga, Stimuli-responsive gel consisted of rigid inorganic nanotube “imogolite”, PACIFICHEM2015 (2015 年 12 月 Hawaii, USA)
 16. **敷中一洋**, 横井友美, 下津谷正樹, 重原淳孝, 剛直円筒状無機高分子イモゴライトと有機高分子による刺激応答性ゲルの力学 / 光学特性制御, 第 63 回レオロジー討論会 (2015 年 9 月, 神戸大学、兵庫県神戸市)
 17. **敷中一洋**, 森佐織, 重原淳孝, 増永啓康, イモゴライトと二塩基酸から成るチクソトロピー性ゲル形成過程の速度論的考察, 第 64 回高分子討論会 (2015 年 9 月, 東北大学、宮城県仙台市)
 18. **敷中一洋**, 富永洋一, 木村浩, イモゴライト水分散系の電気伝導性と電気粘性効果, 第 59 回粘土科学討論会 (2015 年 9 月, 山口大学、山口県山口市)
 19. **Kazuhiro Shikinaka**, Tomomi Yokoi, Keisuke Kaneda, Yoshihito Osada, Hiroyasu Masunaga, Kiyotaka Shigehara, Robust hydrogel reinforced by an addition of imogolite which shows strain-induced reversible isotropic-anisotropic structural

transition, International Symposium on Fiber Science and Technology (ISF2014) (2014 年 10 月, ビックサイト東京ファッションタウンホール、東京都江東区)

20. **敷中一洋**, 木村浩, イモゴライト水分散液のエレクトロレオロジー効果, 第 58 回粘土科学討論会 (2014 年 9 月, 福島市 A・O・Z、福島県福島市)
21. **敷中一洋**, 金田恵介, 森佐織, 牧偵, 増永啓康, 長田義仁, 重原淳孝, 剛直棒状無機分子の架橋によるチクソトロピー性ハイドロゲルの創製, レオロジー学会第 41 回年会 (2014 年 5 月, 東京大学生産研、東京都目黒区)

〔図書〕(計 1 件)

1. **Kazuhiro Shikinaka**, Yoshiro Kaneko, Yoshiyuki Kuroda, Nobuyoshi Miyamoto, “Functionalization of Molecular Architectures: Advances and Applications on Low-dimensional Compounds”, Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., 2017, in press. (ページ数未定)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: イオン伝導性を有する組成物
 発明者: **敷中一洋**, 富永洋一, 金田恵介
 権利者: 国立大学法人東京農工大学、興国インテック株式会社
 種類: 特許権
 番号: 特開 2016-199428
 出願年月日: 2015 年 4 月 10 日
 国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等
 研究代表者の HP:
<https://kazuhiro-shikinaka.jimdo.com/>
 農工大プレスリリース:
http://www.tuat.ac.jp/outline/disclosure/pressrelease/2016/20161221_01.html

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
敷中 一洋 (SHIKINAKA, Kazuhiro)
東京農工大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 00507189
- (2) 研究分担者
無し
- (3) 連携研究者
無し
- (4) 研究協力者
無し