

平成30年6月6日現在

機関番号：82108

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05495

研究課題名(和文) ブロック共重合体の時間構造化を基盤とした動的バイオミメティクスの開拓

研究課題名(英文) Frontier of dynamic biomimetics based on the spatio-temporal structurization of block copolymers

研究代表者

上木 岳士 (UEKI, Takeshi)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・主任研究員

研究者番号：00557415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,800,000円

研究成果の概要(和文)：ブロック共重合体(BCPs)は互いに混ざり合わない高分子成分を共有結合で連結した物質群であり、熱力学的平衡状態でnm～umの特徴的長さを持つ秩序構造を形成する。本研究ではこれらBCPsが形成する一般的な空間秩序に時間周期性を与え、生体機能が示す動的な性質を模倣したバイオミメティクス材料を構築した。具体的には化学振動反応の1つとしてよく知られているBelousov-Zhabotinsky(BZ)反応の振動子をBCPsの化学構造に導入させることで、BZ反応基質の化学エネルギーがBCPs自身の運動エネルギーへの変換に繋がるような分子設計を試み、nm～umの空間秩序が振動する動的ソフト材料を提案した。

研究成果の概要(英文)：Block copolymers (BCPs) are macromolecules that are made from incompatible polymer components covalently connected together, and form spatially regulated structure with the size range from nm to um under thermodynamically static states. In this research, we provided periodicity to such spatio-structure formed by BCP self-assembly and aimed to develop novel biomimetic materials that can express dynamic functions, usually observed in biological materials in nature. In particular, the transducer of the Belousov-Zhabotinsky (BZ) reaction, a well-known chemical oscillation reaction, was introduced into the chemical architecture of BCPs. By combining BCPs molecular platform that chemical energy from BZ reaction substances with mechanical energy of BCPs themselves, we proposed preparation of novel soft materials that could exhibit periodic oscillation of spatial scale ranging from nm to um.

研究分野：高分子材料化学

キーワード：自己組織化 ブロック共重合体 ゲル 化学振動反応 分子機械

1. 研究開始当初の背景

生体組織に見られる複雑な構造を抽出することで高度な機能を持った人工材料を創るバイオミメティクスが発展している。これまで、生物系を模倣しようという多大な努力によって様々な空間構造を利用した機能性材料が実現してきた。生体内の微小空間に目を向けると、水溶性タンパク質内部の疎水空間形成、区画化領域への分子の閉じ込め、二重膜を介した選択的物質輸送など nm~ μ m オーダーの構造秩序が機能の重要な役割を占めていることがわかる。この空間サイズはブロックコポリマー(BCP)の自己集合によって人工的に再現できる。BCPは非相溶な高分子成分が連結された物質群で、分子内/間の相互作用が複雑に競合する結果、平衡相で自発的に三次元秩序を形成する。この構造は可逆的な非共有結合を基盤としており、化学構造や配列、外部環境の僅かな変化に応じて的確に形成されることから高次な微視構造を創りこむ強力な方法論である。しかしこの空間スケールにおいて生命を特徴付ける、自発的挙動や時間周期性、動的な構造間相転移は重要な性質であるが、(Fig. 1)それを模倣ないしは機能材料化する術はなかった。

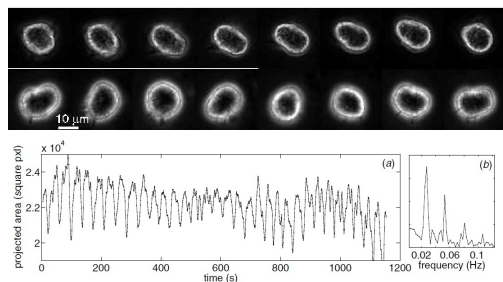


Fig. 1 生体内では nm~ μ m オーダーの時空間周期構造変化が重要な役割を果たしている。例えば神経末端ではベシクルの形成/崩壊に伴った物質や情報の選択的伝達が発現している。ある種の線維芽細胞は足場との接触が失われると Ca の濃度勾配を駆動力としたアクチオシンの自律的収縮に由来する形状振動が観測される。(Nature 1995, 375, 645., Phys. Biol. 2007, 4, 268.)

2. 研究の目的

これまで BCP に秩序構造を形成させるためには、系を熱力学的な平衡状態に到達させるか、あるいは速度論的な緩和(準安定)状態に陥らせる必要があった。これら構造化の概念はいずれも静的なもの(構造化の選択律において系のエントロピーの時間微分がゼロ(平衡)、あるいは極小値(定常)の条件)である。一方、これら静的構造化の概念にとらわれることなく、BCPをビルディングブロックとして動的な構造化ができれば、散逸構造に特徴的な分子や要素のオーダーを遙かに超える空間波長を持つ秩序や、構造のダイナミズムを浮き彫りにすることができる。BCPの時空間構造化とも言うべき、このような学術領域を切り拓き、高分子のマイクロ相分離がマクロ

スケールな機能発現につながるバイオミメティクス材料を設計することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究提案に先立ち、研究代表者は Belousov-Zhabotinsky(BZ)反応と呼ばれる化学振動反応の振動子を BCP 構造内に導入すると、一定条件下で周期的な時空間構造転移を引き起こすことを見出していた。(Chem. Commun., 2013, 49, 6947.)BZ 反応は一般的にマロン酸のような有機酸(還元剤)が強酸、酸化剤存在下でゆるやかに酸化されていく非平衡の流れの中で Ru(bpy)₃のような金属触媒がその酸化状態を周期的に変化させる化学振動反応である。代表者が提案した BZ 反応回路内包型 BCP はあたかも生体内のモータータンパク質が、ATP 等の化学エネルギーを利用して運動エネルギーを獲得するように、分子自身が BZ 反応基質を消費/代謝しながら微小な空間スケールで自律運動する。本研究提案では自励振動 BCP が形成する精密な時空間構造を階層的に制御し、マクロスケールで機能を発現する動的バイオミメティクス材料を目指す。具体的には以下2つの分子システムの構築を目指す。(1)生体環境で駆動する動的マイクロコンベア (2)自励振動 BCP の時空間ナノ相分離を利用した人工アメーバ運動

4. 研究成果

(1) 生体環境で駆動する動的マイクロコンベア

ビニリデン基を導入した Ru(bpy)₃含有 BCP を RAFT 重合により合成した。この BCP がベシクル構造に自己集合した状態で、適切な反応条件で処理したところベシクルの二重膜部分が共有結合でつながれた架橋ベシクルを与えた。精製した架橋ベシクルを適量の酸化剤(NaBrO₃など)、酸(HNO₃など)、そして還元剤(マロン酸など)を溶解させた BZ 反応基質溶液に浸漬したところ、外部刺激のスイ

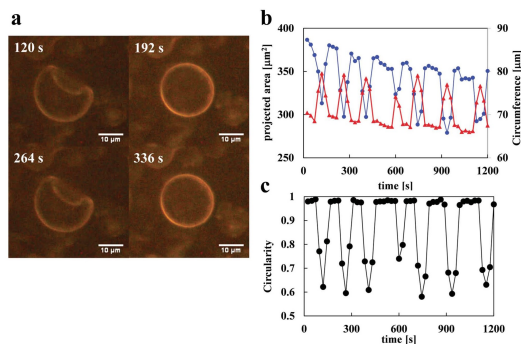


Fig. 2 ブロック共重合体の自己集合および後架橋によって得られたベシクルは周期的な体積変化のみならず、高分子膜の水和に伴う座屈変形が観測された。(Adv. Mater., 2015, 27, 837.)

ッチングなしに、心筋細胞のように周期的な膨潤-収縮を見せた。さらに水和に伴う高分子膜の伸展による座屈不安定性に起因して、周期的に膜が変形する中空構造に特異的な振動モードが観測された。(Fig. 2)また、この研究では Ru(bpy)₃ ビニルモノマーを直接 RAFT 共重合するのではなく、温度応答性である NIPAAm とランダム性の高いシークエンス分布を与えるアミノ基含有メタクリルアミド (NAPMAm) を共重合した後、カップリング反応により Ru(bpy)₃ を導入した。結果として Ru(bpy)₃ が高分子鎖に均一に分散され、効果的な振動現象が生起することが確認された。この考察はモノマー反応性比に基づく高分子鎖中のシークエンス分布解析からも支持された。(Chaos, 2015, 25, 064605) BCP のみならず、水 | オイル界面に自己集合した P(NIPAAm-*r*-NAPMAm) マイクログルを活性エステル(N-アクリロイルスクシンイミジル

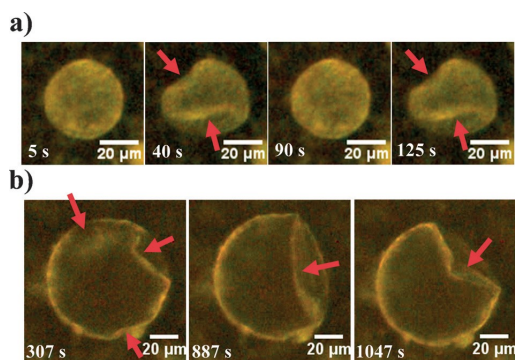


Fig.3 ブロック共重合体のみならず、ナノゲル微粒子をテンプレートにした中空ベシクル構造(コロイドソーム)形成にも挑戦した。多孔質な膜構造に由来する複雑な変形挙動が認められた。(Angew. Chem. Int. Ed., 2016, 55, 5179., selected as Hot paper, and as Front cover.)

基: NAS)を含む線形高分子により固定化し、表面のアミノ酸残基に Ru(bpy)₃ を修飾することで Ru(bpy)₃ 触媒を含有した中空微粒子、すなわち自励振動コロイドソームを合成した。コロイドソームは多孔性の中空微粒子であり溶媒の透過性が高い。このため、膜の変形からの素早い緩和が起こり、上述の BCP テンプレート系では見られなかった多点での座屈、ならびに座屈点の移動など複雑な形状振動が確認された。(Fig. 3)さらに弾性論による考察からサイズが大きいほど形状振動が生起しやすいことを示した。このような複雑な振動は非接着状態の繊維芽細胞の形状振動でも発現しており、かつサイズが大きいほど、その形状振動は複雑化することが報告されている。この結果は生体細胞とのアナロジーからも非常に興味深い結果であり、本研究は Angew. Chem. Int. Ed. において編集者の評価が特に高い論文である Hot Paper に認定され、Front Cover に採択された。

(2) 自励振動 BCP の時空間ナノ相分離を利

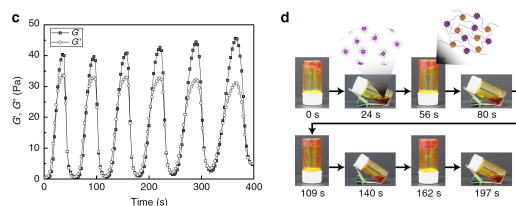


Fig. 4 ABC 型トリブロック共重合体の時空間構造化を利用したゾル-ゲル振動。化学振動反応の酸化還元振動にカップリングした、明確な G' (貯蔵弾性率) と G'' (損失弾性率) の交差が見られる。粘性率の振幅は 1000 mPa s 以上で、これは天然に存在するアメーバの原形質の粘性振幅に匹敵する。(Nature Commun., 2017, 8, 15862.)

用した人工アメーバ運動

研究開始当初、研究代表者らは両端に Ru(bpy)₃ 含有高分子を持ち、中央に親水性のポリエチレンオキシド(PEO)を配した ABA 型のトリブロック共重合体を合成していた。本 BCP は適切な BZ 反応条件下において、高分子の自律的集合-解離ならびにこれにカップリングした粘性率の振動が発現することも確認済みであった。(Sci. Rep., 2015, 5, 15792.) しかし本系の粘性率振動は 1~2 mPa s 程度と非常に小さく、自然界のアメーバが移動する際に原形質が生起させる粘性率振幅(数 100~数 1000 mPa s)には遠く及ばなかった。代表者らは本研究助成期間中に様々な化学構造、シークエンス分布を試験し、用いる BCP の分子設計を抜本的に見直した。結論として、片末端に NIPAAm と疎水性の *n*-ブチルアクリレートからなるランダム共重合体を、中央に親水性のジメチルアクリルアミドを配し、もう片末端を上記の NAPMAm と NIPAAm のランダム共重合体を前駆構造とした自励振動セグメントとする ABC 型のトリブロック構造を用いた。このトリ BCP では BZ 振動反応条件に置かれた時、すでに片末端が凝集したミセルを形成しており、ABA 型に比べてダングリングチェーンやループ構造を作りにくい。時分解動的な光散乱測定からはその振動波形において従来の ABA 型とは明らかに異なる、逐次的な高分子の集合を暗示する流体力学的半径の経時的な成長が観測された。

Fig. 4 に ABC 型高分子の BZ 反応条件下における貯蔵弾性率 G' および損失弾性率 G'' を時間に対してプロットした結果を示す。 G' および G'' は 5wt% という低い高分子濃度にもかかわらずいずれも $10^3 \sim 10^4$ mPa · s 程度という既報に比べて破格的な振幅で振動し、自律的ゾル-ゲル振動を明確に示す。 G' と G'' の周期的な交差が確認された。この成果は Nature Commun. 2017, 8, 15862. に採録が決定し、新聞、web ニュース等、各種メディアにも紹介されるなど注目を集めた。本研究は人工の高分子を構成成分として、生体が示すソフトでしなやかな動的挙動を再現した実績である。

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 21 件、すべて査読あり)

1. Ryota Tamate, Kotomi Takahashi, **Takeshi Ueki**, Aya Mizutani Akimoto*, Ryo Yoshida* “Macroscopic adhesion of thermoreversible ABC triblock copolymer-based hydrogels via boronic acid-sugar complexation” *Macromol. Rapid Commun.*, (2018), in press.
2. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki**, Aya Mizutani Akimoto, Ryo Yoshida, Toshiyuki Oyama, Hisashi Kokubo, Masayoshi Watanabe* “Photocurable ABA triblock copolymer-based ion gels utilizing photodimerization of coumarin” *RSC Advances*, **8**, 3418-3422 (2018), DOI: 10.1039/c7ra13181j.
3. Yumi Kobayashi, Yuza Kitazawa, Kei Hashimoto, **Takeshi Ueki**, Hisashi Kokubo, Masayoshi Watanabe* “Thermo-sensitive phase separation behavior of poly(benzyl methacrylate)/solvate ionic liquid solutions” *Langmuir*, **33**, 14105-14114 (2017), DOI: 10.1021/acs.langmuir.7b03378.
4. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki***, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida “Effect of substrate concentrations on the aggregation behavior and dynamic oscillatory properties of the self-oscillating block copolymers” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **19**, 20627-20634 (2017), DOI: 10.1039/C7CP03969G.
5. Kenta Fujii*, **Takeshi Ueki***, Kei Hashimoto, Yumi Kobayashi, Yuza Kitazawa, Kazu Hirosawa, Masaru Matsugami, Koji Ohara, Masayoshi Watanabe, Mitsuhiro Shibayama “Microscopic structure of solvated poly(benzyl methacrylate) in an imidazolium-based ionic liquid: High-energy X-ray total scattering and all-atom molecular dynamics simulation study” *Macromolecules*, **50**, 4780-4786 (2017), DOI: 10.1021/acs.macromol.7b00840.
6. Michika Onoda, **Takeshi Ueki***, Ryota Tamate, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida* “Amoeba-like self-oscillating polymeric fluids with autonomous sol-gel transition” *Nature Commun.*, **8**, 15862 (2017), DOI: 10.1038/ncomms15862.
7. **Takeshi Ueki***, Ko Matsukawa, Tsukuru Masuda, Ryo Yoshida* “Protic ionic liquids for the Belousov-Zhabotinsky reaction: Aspects of the BZ reaction in protic ionic liquids and its use for the autonomous coil-globule oscillation of a linear polymer” *J. Phys. Chem. B.*, **121**, 4592-4599 (2017), DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b01309.
8. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki***, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida* “Autonomous unimer-vesicle oscillation by totally synthetic diblock copolymers: Effect of block length and polymer concentration on spatio-temporal structures” (2017), selected as “Front cover” *Soft Matter*, **13**, 4559-4568 (2017), DOI: 10.1039/C7SM00563F.
9. Ryota Tamate, Kotomi Takahashi, **Takeshi Ueki**, Aya Mizutani Akimoto*, and Ryo Yoshida* “Self-assembly of thermo-reversible hydrogels via molecular recognition toward a spatially organized co-culture system” *Biomacromolecules*, **18**, 281-287 (2017), DOI: 10.1021/acs.biomac.6b01672
10. Kazu Hirosawa, Kenta Fujii*, **Takeshi Ueki**, Yuza Kitazawa, Masayoshi Watanabe, Mitsuhiro Shibayama*, “Pressure response of a thermo-responsive polymer in an ionic liquid” *Macromolecules*, **49**, 8249-8253 (2016), DOI: 10.1021/acs.macromol.6b01987.
11. Timothy P. Lodge*, **Takeshi Ueki**, “Mechanically tunable, readily processable ion gels by self-assembly of block copolymers in ionic liquids” *Acc. Chem. Res.*, **49**, 2107-2114 (2016), DOI: 10.1021/acs.accounts.6b00308.
12. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki***, Yuza Kitazawa, Morinobu Kuzunuki, Masayoshi Watanabe, Aya Mizutani Akimoto, Ryo Yoshida* “Photo-dimerization induced dynamic viscoelastic changes in ABA triblock copolymer-based hydrogels for 3D cell culture”, *Chem. Mater.*, **28**, 6401-6408 (2016), DOI: 10.1021/acs.chemmater.6b02839.
13. Kazu Hirosawa, Kenta Fujii*, **Takeshi Ueki**, Yuza Kitazawa, Kenneth C. Littrell, Masayoshi Watanabe, Mitsuhiro Shibayama* “SANS study on solvated structure and molecular interactions of thermo-responsive polymer in a room temperature ionic liquid” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **18**, 17881-17889 (2016), DOI: 10.1039/c6cp02254e.
14. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki***, Ryo Yoshida* “Evolved colloidosomes undergoing cell-like autonomous shape oscillations with buckling” *Angew. Chem. Int. Ed.*, **55**, 5179-5183 (2016), selected as “Hot paper” and as “Front cover” DOI: 10.1002/anie.201511871.
15. Yuza Kitazawa, **Takeshi Ueki**, Lucas McIntosh, Saki Tamura, Kazuyuki Niitsuma, Satoru Imaizumi, Timothy P. Lodge, Masayoshi Watanabe* “Hierarchical sol-gel transition induced by thermo-sensitive self-assembly of an ABC triblock copolymer in an ionic liquid” *Macromolecules*, **49**, 1414-1423 (2016). DOI: 10.1021/acs.macromol.5b02616.
16. Michika Onoda, **Takeshi Ueki***, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida* “Multiblock copolymers exhibiting spatio-temporal structure with autonomous viscosity oscillation” *Sci. Rep.*, **5**, 15792, (2015). DOI: 10.1038/srep15792.
17. Koji Horigome, **Takeshi Ueki**, Daisuke Suzuki* “Direct visualization of swollen microgels via scanning electron microscopy

using ionic liquids”, *Polym. J.*, **48**, 273-279 (2016). DOI: 10.1038/pj.2015.103.

18. **Takeshi Ueki**, Ryoji Usui, Yuzo Kitazawa, Timothy P. Lodge, Masayoshi Watanabe “Thermally reversible ion gels with photohealing properties based on triblock copolymer self-assembly” *Macromolecules*, **48**, 5928-5933 (2015). DOI: 10.1021/acs.macromol.5b01366.

19. **Takeshi Ueki***, Michika Onoda, Ryota Tamate, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida “Self-oscillating AB diblock copolymer developed by post modification strategy” *Chaos*, **25**, 064605-1-8 (2015). DOI: 10.1063/1.4921687.

20. **Takeshi Ueki**, Yutaro Nakamura, Ryoji Usui, Yuzo Kitazawa, Soonyong So, Timothy P. Lodge*, Masayoshi Watanabe* “Photo-reversible gelation of a triblock copolymer in an ionic liquid” *Angew. Chem. Int. Ed.*, **54**, 3018-3022 (2015). DOI: 10.1002/anie.201411526R1.

21. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki***, Ryo Yoshida* “Self-beating artificial cells: Design of cross-linked polymersomes showing self-oscillating motion” *Adv. Mater.*, **27**, 837-842 (2015). DOI: 10.1002/adma.201404757.

[学会発表] (計 42 件)

1 小野田実真, 玉手亮多, **上木岳士**, 柴山充弘, 吉田亮, “アメーバのようにゾル-ゲル転移する自励振動高分子溶液の創製とその駆動環境制御” 第29回高分子ゲル研究討論会, 東京大学, 東京都文京区, 2018年1月12日, 優秀演題賞

2. 玉手亮多, **上木岳士**, 柴山充弘, 吉田亮 “高分子構造及び溶液条件が自励振動ブロック共重合体の振動挙動に与える影響” 第29回高分子ゲル研究討論会 2018年01月12日 東京工業大学、蔵前会館くらまえホール、東京都目黒区

3. 小野田実真, **上木岳士**, 秋元文, 玉手亮多, Timothy P. Lodge, 吉田亮, “異種ABC型トリブロック共重合体ブレンドによるレオロジー特性及びゲル化点制御” 第29回高分子ゲル研究討論会, 東京大学, 東京都文京区, 2018年1月12日

4. 小野田実真, 玉手亮多, **上木岳士**, 柴山充弘, 吉田亮, “自律的にゾル-ゲル振動する高分子溶液の創製とアメーバ型ソフトマシン実現への展開” 第27回インテリジェント材料/システムシンポジウム, 東京女子医科大学先端生命医科学研究所, 東京都新宿区, 2018年1月10日

5. **上木岳士** “ブロック共重合体の自己組織化ー自己集合によるソフト材料と散逸構造を基盤とした動的バイオミメティクス” 第5回IoLコロキウム 山口大学工学部、常磐キャンパス、山口県宇部市 2017年12月12日 (招待講演)

6. 玉手亮多, **上木岳士**, 秋元文, 吉田亮, 小久保尚, 渡邊正義 “ABAトリブロックコポリマーからなる光・温度応答性イオンゲルの創

製と光パターンニングへの応用” 第8回イオン液体討論会 2017年11月23日～2017年11月24日 東京農工大学、小金井キャンパス、東京都小金井市

7. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki**, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida “Fabrication of self-oscillating vesicles and colloidosomes undergoing autonomous structural changes” 11th International Gel Symposium (GelSympo2017) 2017年03月07日～2017年03月09日 日本大学津田沼キャンパス、千葉県習志野市

8. Michika Onoda, **Takeshi Ueki**, Ryota Tamate, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida, “Artificial Amoeba: Self-oscillating polymeric fluids with autonomous sol-gel transition”, 11th International Gel Symposium, Nihon University, Narashino, Chiba, Japan, 2017. 03.09. Received Best Student Soft Matter Poster Award

9. 小野田実真, 玉手亮多, **上木岳士**, 柴山充弘, 吉田亮, “人工アメーバ: 超分子集合により駆動される自律的ゾル-ゲル振動” 第26回インテリジェント材料/システムシンポジウム, 東京女子医科大学先端生命医科学研究所, 東京都新宿区, 2017年1月11日, 奨励賞

10. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki**, Yuzo Kitazawa, Michinobu Kuzunuki, Masayoshi Watanabe, Aya Mizutani Akimoto, Ryo Yoshida “Photo dimerization induced dynamic viscoelastic changes in ABA triblock copolymer based hydrogels for 3D cell culture” 3rd International Conference on Biomaterials Science in Tokyo (ICBS2016) 2016年11月28日～2016年11月30日 東京大学、伊藤国際学術研究センター、東京都文京区

11. 玉手亮多, **上木岳士**, 北沢侑造, 葛貫森信, 渡邊正義, 秋元文, 吉田亮 “光二量化により動的に粘弾性を変化できるABAトリブロックコポリマーを基盤としたハイドロゲルの創製と三次元細胞培養への応用” 第66回ネットワークポリマー討論会 2016年10月19日～2016年10月21日 千葉大学 けやき会館、千葉県千葉市

12. 小野田実真, 玉手亮多, **上木岳士**, 柴山充弘, 吉田亮, 自律的にゾル-ゲル転移する自励振動高分子溶液の創製, 第66回ネットワークポリマー講演討論会, 千葉大学, 千葉県千葉市, 2016年10月19日, ベストプレゼンテーション賞

13. Ryota Tamate, **Takeshi Ueki**, Yuzo Kitazawa, Michinobu Kuzunuki, Masayoshi Watanabe, Aya Mizutani Akimoto, Ryo Yoshida “Physical to chemical hydrogels: photodimerization induced dynamic viscoelastic changes of ABA triblock copolymer-based hydrogels for 3D cell culture” 2nd International Symposium on Nanoarchitectonics for Mechanobiology 2016年07月27日～2016年07月28日 物質・材料研究機構、茨城県つくば市

14. 小野田実真, **上木岳士**, 柴山充弘, 吉田亮, “自律的ゾル-ゲル振動の発現を目指した

マルチブロック共重合体の設計戦略” 第 27 回高分子ゲル研究討論会, 東京大学, 東京都文京区, 2016 年 1 月 19 日, 優秀演題賞

15. Ryota Tamate, Takeshi Ueki, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida “Self-oscillating vesicles: Spontaneous cyclic changes of supramolecular structures formed by synthetic diblock copolymers” CEMSupra 2016 2016 年 01 月 13 日～2016 年 01 月 14 日 東京大学, 東京都文京区

16. Ryota Tamate, Takeshi Ueki, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida “Self-oscillating vesicles: Spontaneous cyclic changes of supramolecular structures formed by synthetic diblock copolymers” Pacifichem 2015 2015 年 12 月 15 日～2015 年 12 月 20 日 Honolulu, Hawaii, USA

17. Michika Onoda, Takeshi Ueki, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida, “Self-oscillating multiblock copolymers with dynamic viscoelastic oscillation”, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2015), Honolulu, Hawaii, USA, 2015. 12.15-20

18. Takeshi Ueki “Self-oscillating block copolymers” 14th Pacific Polymer Conference (PPC-14), Kauai, Hawaii, USA, 2015. 12.9-15. (invited)

19. 上木岳士 “イオン液体とブロック共重合体を用いた自己組織化に関する研究” 高分子学会 第 30 回茨城地区「若手の会」交流会、茨城県つくば市、2015 年 10 月 21 日 (依頼講演)

20. 小野田実真, 上木岳士, 柴山充弘, 吉田亮, 自律的なゾル-ゲル振動を発現するマルチブロック共重合体の設計戦略, 第 64 回高分子討論会, 東北大学, 宮城県仙台市, 2015 年 9 月 15 日

21. Ryota Tamate, Takeshi Ueki, Mitsuhiro Shibayama, Ryo Yoshida “Self-oscillating vesicles: Spontaneous cyclic changes of supramolecular structures formed by synthetic diblock copolymers” International Symposium on Nanoarchitectonics for Mechanobiology 2015 年 07 月 29 日～2015 年 07 月 30 日 物質材料機構、茨城県つくば市

22. 上木岳士, 玉手亮多, 小野田実真, 柴山充弘, 吉田亮, 自励振動ブロック共重合体の動的構造転移, 第 64 回高分子学会年次大会, 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市, 2015 年 5 月 26 日

他 20 件

〔図書〕 (計 4 件)

1. “ブロック共重合体の時空間構造化に基づく新機能開拓” 上木岳士, 吉田亮, 玉手亮多, 小野田実真 「ブロック共重合体の構造設計と応用展開」、竹中幹人監修、印刷中 (2018)

2. “光二量化により粘弾性を変化できる ABA トリブロックコポリマーを基盤とした動的ハイドロゲルの創製と三次元細胞培養への応用” 玉手亮多, 上木岳士, 北沢侑造, 葛貫森信, 渡邊正義, 秋元文, 吉田亮 「ネットワークポリマー」、合成樹脂工業協会、ネットワークポリマー編集委員会、2 月号, 38, p.p. 103-109, (2017).

3. “第II編 物質・材料設計 第7章 イオン液体中への高分子の溶解性と材料化” 上木岳士, 渡邊正義 「イオン液体研究最前線と社会実装」、渡邊正義監修、シーエムシー出版, p.p. 161-169, (2016)

4. “ブロック共重合体の自己集合を利用したイオンゲル” 北沢侑造, 上木岳士, 小林優美, 渡邊正義 「ネットワークポリマー」、合成樹脂工業協会、ネットワークポリマー編集委員会、1 月号, 37, p.p. 41-52, (2016).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
(NIMS 研究者紹介サービス SAMURAI)
https://samurai.nims.go.jp/profiles/ueki_takeshi/publications#article

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上木 岳士 (UEKI Takeshi)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・主任研究員

研究者番号：00557415