

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22245037

研究課題名(和文)時空間構造を持つ高分子材料系の構築

研究課題名(英文)Construction of polymer material systems with spatio-temporal structures

研究代表者

吉田 亮 (Yoshida, Ryo)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80256495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,600,000円

研究成果の概要(和文)：心臓の拍動のように一定条件下で自発的に周期的リズム運動を行う新しい自励振動ゲルを開発した。化学振動反応であるBZ反応をゲル内で引き起こし、その化学エネルギーを力学エネルギーに変換する分子設計を行うことによりゲルの周期的な膨潤収縮振動や高分子鎖の周期的形態変化を生み出すことに成功した。さらに生体模倣アクチュエータ、自律物質輸送システム、自励振動ポリマーブラシ表面、周期的粘弾性変化を伴う機能性流体など、時空間機能をもつ新たな自律機能材料への応用展開を試みた。またミセルやベシクル構造の自律的な形成崩壊や変形サイクルを繰り返す新規ブロック共重合体の創製に成功した

研究成果の概要(英文)：We have developed “self-oscillating” gels that undergo spontaneous cyclic swelling-deswelling changes without any on-off switching of external stimuli, as with heart muscle. The self-oscillating gels were designed by utilizing the Belousov-Zhabotinsky (BZ) reaction, as an oscillating reaction. Potential applications of the self-oscillating polymers and gels include several kinds of functional material systems with spatio-temporal structures, such as biomimetic actuators, mass transport systems and functional fluids. Further, it is possible to create a new dynamic interface by immobilizing the self-oscillating polymer. Self-oscillating polymer brush surface was prepared and its dynamic behavior was evaluated. Self-oscillation between unimer and micellar (or vesicle) structures was also realized by using a synthetic block copolymer.

研究分野：機能性高分子ゲル

キーワード：高分子ゲル バイオミメティクス 振動反応 機能性材料 自己組織化

1. 研究開始当初の背景

高分子ゲルをソフトな機能性マテリアルとして応用する試みは古くから活発に行われており、ゲルの応用展開領域の一つとして多くの研究が行われている。特に外部環境の変化(温度、電場、光など)にตอบสนองして膨潤収縮変化する刺激応答性高分子ゲルを用いて生体機能を代替・模倣する材料システムの構築に関する研究が多い。

2. 研究の目的

一方、生体では刺激応答機能のみならず、外部の刺激に依らず自律的に機能を発現する組織が多く存在する。そのため我々は、このような自律性を持つ機能性ゲルの創製を目指して、心臓の拍動のように一定条件下で自発的に膨潤収縮を繰り返す「自励振動ゲル(Self-oscillating gel)」を開発した¹⁾。本研究では、この自励振動高分子ゲルの自律機能材料としての新しい展開を目指した。

3. 研究の方法

我々は温度応答性高分子である *N*-イソプロピルアクリルアミド(NIPAAm)とルテニウムピリジン錯体(Ru(bpy)₃)を架橋剤とともに共重合した高分子ゲルを合成した。Ru(bpy)₃は化学振動反応として有名なペロソフ・ジャボチンスキー(BZ)反応を触媒する金属錯体として知られている。BZ反応はRu錯体やフェロインなどの金属触媒存在下でマロン酸やクエン酸などの有機酸が臭素酸塩により酸化される反応であり、その過程で金属触媒の酸化還元状態やいくつかの物質の濃度が周期的に変化する。そこで触媒を除いたBZ基質混合溶液下にゲルを浸漬させると、ゲルに共重合されたRu(bpy)₃の酸化還元状態が周期的に変化する。それに伴って構成する高分子鎖の親疎水性が変化し、ゲルの膨潤度および体積相転移温度が周期的に変化する。その結果、一定温度条件下であるにも関わらず自律的な膨潤収縮振動が生じる。

BZ反応は基質濃度や温度に依存して振動周期や振幅が変化するため、これらの条件を変化させることでゲルの自励振動周期や振幅を制御することが可能である。Ru(bpy)₃の光感受性を利用する、あるいはフォトクロミック分子を高分子鎖に導入することで、照射による振動挙動の制御も実現されている。さらに複数の自励振動ゲル同士を同期して協同的な運動を起こすこともできる。またBZ反応は、その反応場が空間的な広がりを持つ場合、反応物質の拡散に伴い空間を伝播するパターン(化学反応波)が生じる。この性質を利用することで、局所的な膨潤(あるいは収縮)領域が伝播するようなゲルの自律的な蠕動運動が可能となる。

4. 研究成果

(1) 自律運動を行うマイクロ・ナノアクチュエータの設計および自律的物質輸送システ

ムの構築

これまで、ゲルの形状や内部構造を制御することで、自律的に運動する新規マイクロアクチュエータへの応用展開が試みられており、人工繊毛や自律歩行ゲルなどが作製されている。このようにゲル自身が運動するアクチュエータのみならず、物質を自律的に輸送する材料として機能させることも可能である。自励振動ゲルシートの表面に円柱状の物体を乗せると、化学振動波の伝播に伴うゲル表面の周期的な膨潤収縮変化により一方に物体が輸送される(自励振動ゲルコンベア)。また自励振動ゲルを管状に成形すると、ゲルは大腸のような蠕動運動を示し内部の流体に拍動流が生じる。ゲル管内に物体を導入することで、周期的なゲル蠕動運動に伴った内部の物質輸送が可能である。

また精密重合法の一種である表面開始原始移動ラジカル重合法(SI-ATRP)を用いて、基板上に鎖長のそろった自励振動ポリマーブラシを修飾することができる。実際にこのポリマーブラシ表面で化学反応波が起こることが確認されており、自励振動界面を用いて生体分子モーターのような微小なサイズスケールで物質輸送システムの構築が期待される。

(2) 自律的な粘度変化を発現する機能性流体への展開

一方、階層的な構造変化を利用することで、自律的な粘度変化を示す高分子溶液が実現できる。沈殿重合法等を用いて作製した高分子ゲル微粒子は、微粒子自身の膨潤・収縮のみならず、コロイド安定性に起因する凝集・分散状態の変化という高次構造の変化が起こることが知られている。我々は、体積相転移温度近傍でコロイド安定性が大きく変化することを利用し、化学振動とともに膨潤収縮状態のみならず凝集分散形態も周期的に変化する自励振動ゲル微粒子を創製した。このように階層的な変化を利用することで大きな粘度振動が発現することを見出しており、新しいタイプの機能性流体としての展開が期待される。また最近では多分岐高分子の末端にターピリジンをリガンドとして導入し、酸化還元によりルテニウムと可逆的な錯体形成を起こすことで周期的な高分子網目の結合・解離を生起させ、粘度振動を発現させるシステムも報告している。

(3) 周期的な自己集合構造の変化：自励振動ブロック共重合体

ブロック共重合体は、異なる高分子鎖を化学結合によりブロック状に繋いだ高分子である。その分子構造やブロック比に依存して、自発的に種々の自己集合構造をとることが知られており、ボトムアップ型のナノ～マイクロスケール構造制御を可能とする機能性材料として、フォトニック材料や高強度材料、バイオマテリアルなどへの様々な応用が試

みられている。

我々は、親水性セグメントと自励振動セグメントからなる新しいタイプのブロック共重合体を合成した。この自励振動ブロック共重合体は、BZ 反応基質存在下において自励振動セグメントの親疎水性が周期的に変化することで、自律的にその自己集合状態が変化する。刺激に応じて自己集合状態を変化させる刺激応答性ブロック共重合体はドラックデリバリーなどバイオ分野においても広く研究されてきたが、このような自律的なナノ～マイクロ構造の動的変化はこれまでに類を見ないものである。我々はこれまでに、精密重合法を用いた分子制御により、球状ミセル構造や二重層ベシクル構造などの自己集合構造が水溶液中で自律的に形成・崩壊を繰り返す自励振動ジブロック共重合体の創製を行っている。また、ベシクル構造を架橋することで、細胞膜のように自律的に体積・形状を振動させる人工細胞の作製も実現している²⁷⁾。更に3つ以上のブロックを持つマルチブロック型自励振動ブロック共重合体を作製することで、アメーバ運動に見られるような自律的なゾル・ゲル転移を生起させる試みも行っており、バイオミメティックなマイクロマシンや機能性流体といった様々な応用展開が期待されている。

以上述べたように、自励振動高分子ゲルは材料自身に膨潤収縮状態や自己集合構造の周期的変化を自発的に生起させる回路を有している。このような時空間機能を有する材料研究は世界でも類を見ないものであり、高分子をはじめとするソフトマテリアルの新しい材料設計の方向性として極めて意義のあるものと考えている。これまでに様々な階層スケールでの自励振動現象を発現することに成功しており、これらを更に応用展開することで、革新的な時空間機能性材料を提案していきたいと考えている。

<引用文献>

1) R. Yoshida, T. Takahashi, T. Yamaguchi and H. Ichijo, *J. Am. Chem. Soc.* 118, 5134 (1996).

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62件)

1) T. Ueki, M. Onoda, R. Tamate, M. Shibayama, R. Yoshida : “Self-oscillating AB diblock copolymer developed by post modification strategy”, *Chaos*, 25, 064605 (2015).
DOI: 10.1063/1.4921687

2) R. Tamate, T. Ueki, and R. 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

3) T. Masuda, A. Terasaki, A.M. Akimoto, K. Nagase, T. Okano and R. Yoshida : “Control of swelling-deswelling behavior of a self-oscillating gel by designing the chemical structure”, *RSC Adv.*, 5, 5781-5787 (2015).

DOI: 10.1039/C4RA10675J

4) R. Tamate, T. Ueki, M. Shibayama and R. Yoshida : “Self-oscillating vesicles: Spontaneous cyclic structural changes of synthetic diblock copolymers”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 53, 11248-11252 (2014).

DOI: 10.1002/ange.201406953

5) Y. Shiraki, A.M. Akimoto, T. Miyata and R. Yoshida : “Autonomous pulsatile flow by peristaltic motion of tubular self-oscillating gels”, *Chem. Mater.*, 26, 5441-5443 (2014).

DOI: 10.1021/cm503040u

6) R. Yoshida and T. Ueki : “Evolution of self-oscillating polymer gels as autonomous polymer systems”, *NPG Asia Materials*, 6, e107 (2014).

DOI: 10.1038/am.2014.32

7) T. Ueki and R. Yoshida : “Recent aspects of self-oscillating polymeric materials: Designing self-oscillating polymers coupled with supramolecular chemistry and ionic liquid science”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 16, 10388-10397 (2014).

DOI: 10.1039/c4cp00980k

8) T. Ueki, Y. Takasaki, K. Bundo, T. Ueno, T. Sakai, Y. Akagi and R. Yoshida : “Autonomous viscosity oscillation via metallo-supramolecular terpyridine chemistry of branched poly(ethylene glycol) driven by the Belousov-Zhabotinsky reaction”, *Soft Matter*, 10, 1349-1355 (2014).

DOI: 10.1039/C3SM51537K

9) S. Nakata, M. Yoshii, S. Suzuki and R. Yoshida : “Periodic reciprocating motion of a polymer gel on an aqueous phase synchronized with the Belousov-Zhabotinsky reaction”, *Langmuir*, 30, 517-521 (2014).

DOI: 10.1021/la403675z

10) T. Masuda, M. Hidaka, Y. Murase, A.M. Akimoto, K. Nagase, T. Okano and R. Yoshida : “Self-oscillating polymer brushes”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 52, 7468-7471 (2013).

DOI: 10.1002/anie.201301988

11) T. Ueki and R. Yoshida : “Self-oscillating micelles”, *Chem. Commun.*, 49, 6947-6949 (2013).

DOI: 10.1039/c3cc38432b

12) R. Mitsunaga, K. Okeyoshi and R. Yoshida : “Design of comb-type self-oscillating gel”, *Chem. Commun.*, 49, 4935-4937 (2013).
DOI: 10.1039/c3cc42054j

13) Y. Shiraki and R. Yoshida : “Autonomous intestine-like motion of tubular self-oscillating gel”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 51, 6112-6116 (2012).
DOI: 10.1002/anie.201202028

14) T. Ueki and R. Yoshida : “Belousov-Zhabotinsky reaction in protic ionic liquids”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 51, 11991-11994 (2012).
DOI: 10.1002/anie.201205061

15) V.V. Yashin, S. Suzuki, R. Yoshida and A.C. Balazs : “Controlling the dynamics behavior of heterogeneous self-oscillating gels”, *J. Mater. Chem.*, 22, 13625-13636 (2012).
DOI: 10.1039/c2jm32065g

16) D. Suzuki, T. Kobayashi, R. Yoshida and T. Hirai : “Soft actuators of organized self-oscillating microgels”, *Soft Matter*, 8, 11447-11449 (2012).
DOI: 10.1039/c2sm26477c

17) R. Yoshida and Y. Murase : “Self-oscillating surface of gel for autonomous mass transport”, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 99, 60-66 (2012).
DOI: 10.1016/j.colsurfb.2011.09.036

18) M. Hidaka and R. Yoshida : “Self-oscillating gel composed of thermosensitive polymer exhibiting higher LCST”, *J. Controlled Release*, 150, 171-176 (2011).
DOI: 10.1016/j.jconrel.2010.11.026

19) O. Kuksenok, V.V. Yashin, M. Kinoshita, T. Sakai, R. Yoshida and A.C. Balazs : “Exploiting gradients in cross-link density to control the bending and self-propelled motion of active gels”, *J. Mater. Chem.*, 21, 8360-8371 (2011).
DOI: 10.1039/c0jm03426f

20) R. Yoshida : “Self-oscillating gels driven by the Belousov-Zhabotinsky reaction as novel smart materials”, *Adv. Mater.*, 22, 3463-3483 (2010).
DOI: 10.1002/adma.200904075

21) T. Ueno, K. Bundo, Y. Akagi, T. Sakai and R. Yoshida : “Autonomous viscosity oscillation by reversible complex formation of terpyridine-terminated poly(ethylene glycol) in

the BZ reaction”, *Soft Matter*, 6, 6072-6074 (2010).

DOI: 10.1039/c0sm00788a

〔学会発表〕(計 130 件)

招待講演

1) R. Yoshida : “Design of bio-inspired smart polymer gels showing self-oscillation”, *International Symposium on Smart Biomaterials-3rd Hoffman Family Symposium* (2015/3/18-20, Gwangju, Korea)

2) R. Yoshida : “Design of self-oscillating polymer gels toward bioinspired autonomous micro- and nanomachines”, *2015 MRS Spring Meeting & Exhibit* (2015/4/6-10, San Francisco, USA)

3) R. Yoshida : “Self-oscillating polymer gels as novel biomimetic softactuators”, *The 15th IUMRS-International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2014)* (2014/8/24-30, Fukuoka, Japan).

4) R. Yoshida : “Design of self-oscillating polymer gels coupled with supramolecular chemistry”, *248th ACS National Meeting* (2014/8/10-14, San Francisco, USA).

5) R. Yoshida : “Self-oscillating gel as novel biomimetic materials”, *International Conference Materials & Technologies (CIMTEC 2014)* (2014/6/15-19, Montecatini Terme, Italy).

6) 吉田 亮 : “ゲルを用いた時空間制御機能を持つバイオメテックシステム：超分子による新展開”, 高分子学会 13-2 超分子研究会「バイオ超分子マテリアルの新戦略」(1/16, 2014, 東京工業大学)

7) R. Yoshida : “Evolution of the self-oscillating polymer gel as novel smart materials”, *35th International Symposium on Stimuli-Responsive Materials* (2013/10/20-22, Santa Rosa, USA).

8) 吉田 亮 : “自励振動高分子ゲルの創製とバイオメテック材料への展開”, 日本化学会第 93 回春季年会アドバンステクノロジープログラム(ATP) (3/22-25, 2013, 立命館大学)

9) 吉田 亮 : “自励振動高分子ゲルの創成とフォトメカニカル制御が生み出す新たな時空間挙動”, 第 195 回フォトポリマー懇話会・第 197 回有機エレクトロニクス材料研究会合同講演会 (12/6, 2012, 東京)

10) 吉田 亮 : “機能性ゲルの新展開”, 高分子学会第 63 回医用高分子研究会 主題 = 実

用化・臨床化のための医用高分子研究 (3/13, 2013, 東京医科歯科大学)

11) R. Yoshida : “Designing self-oscillating polymer gels toward novel functional materials”, *2012 MRS Fall Meeting & Exhibit* (2012/11/25-30, Boston, USA).

12) 吉田 亮 : “高分子ゲルのバイオミメティック材料としての新展開”, (社)日本印刷学会・2012 年度第 1 回 P&I 研究会シンポジウム「印刷技術が貢献する医療・バイオ材料」(7/12, 2012, 東京)

13) 吉田 亮 : “高分子ゲルの自律機能材料としての新展開”, 公益財団法人・新化学技術推進協会 (JACI) 先端化学材料技術部会・新素材分科会講演会 (7/3, 2012, 東京)

14) R. Yoshida : “Self-oscillating polymer gels as smart materials: From linear polymer to bulk gel”, *Gordon Research Conference, Oscillations & Dynamics Instabilities in Chemical Systems* (2012/6/15-20, Colby College, USA).

15) R. Yoshida : “Design of novel functional polymer gels and their application to biomimetic materials”, *The 9th World Biomaterials Congress (9th WBC)* (2012/6/1-5, Chengdu, China).

16) 吉田 亮 : “自励振動ゲルの創製と新規バイオミメティック材料としての展開”, 超精密加工専門委員会第 62 回研究会「高度エネルギー変換材料」(7/13, 2011, 大阪)

17) R. Yoshida : “Self-oscillating polymer gels as smart materials”, *International Conference “Engineering of Chemical Complexity”*, *Honorary Conference Chairman: G. Ertl* (2011/7/4-8, Harnack House, Berlin, Germany).

18) R. Yoshida : “Self-oscillating polymer gels as novel biomimetic materials”, *Advanced Functional Polymers for Medicine 2011 (AFPM 2011)* (2011/6/15-17, University of Twente, Enschede, The Netherlands)

19) 吉田 亮 : “高分子ゲルの時空間機能制御”, 高分子学会第 51 回湘北懇話会 (6/10, 2011, 厚木)

20) R. Yoshida : “Self-oscillating gels as novel smart materials”, *High Polymer Research Group Conference* (2011/4/17-21, Pott Shrigley, UK).

21) R. Yoshida : “Self-oscillating polymer and gels as novel functional materials”, *The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010)* (2010/12/15-20, Honolulu, USA)

22) R. Yoshida : “Self-oscillating polymers and gels as novel biomimetic materials”, *6th International Symposium Stimuli-Responsive Materials 2010* (2010/10/26-27, Hattiesburg, USA).

23) R. Yoshida : “Self-oscillating polymer gels as smart materials”, *Non-Linear Dynamics and Self-Organization in Chemical Systems Workshop* (2010/10/18-20, Bordeaux, France).

24) R. Yoshida : “Self-oscillating gels as novel biomimetic materials”, *US-Japan Workshop on “Reconfigurable Multifunctional Systems: Bio-Inspired and Materials & Morphing Structures”* (2010/9/8-9, Sapporo, Japan).

25) 吉田 亮 : “自励振動ゲル: 時空間制御機能をもつ自己組織化マテリアルとしての高分子ゲル”, 応用数学連携フォーラム第 13 回ワークショップ (8/2, 2010, 東北大学)

26) 吉田 亮 : “高分子ゲルのバイオミメティック材料としての新展開”, 第 37 回高分子学会湘南地区講演会 (6/18, 2010, 住友ベークライト(株)基礎研究所)

27) R. Yoshida : “Novel biomimetic polymer gel: “Self-oscillating” gel”, *International Symposium on Polymer Chemistry, PC2010* (2010/6/2-6, Suzhou, China).

28) 吉田 亮 : “高分子ゲルの新しいバイオミメティック材料としての展開”, 日本医工学治療学会第 26 学術大会 (4/3, 2010, 東京) (教育講演)

一般発表

1) 玉手亮多、上木岳士、柴山充弘、吉田 亮 : “自励振動ベシクル: ジブロック共重合体を用いた自発的な構造変化の周期振動”, 第 26 回高分子ゲル研究討論会 (1/19-20, 2015, 東京)

2) 小野田実真、上木岳士、柴山充弘、吉田 亮 : “自律的粘弾性振動を実現する新規マルチブロック共重合体の創製”, 第 26 回高分子ゲル研究討論会 (1/19-20, 2015, 東京)

3) 増田 造、本間健太、秋元 文、長瀬健一、岡野光夫、吉田 亮 : “自励振動ポリマーブラシ表面の創製: 表面構造が動的機能発現に及ぼす影響”, 第 26 回高分子ゲル研究討論会 (1/19-20, 2015, 東京)

4) 上木岳士、松川滉、増田造、吉田 亮 : “プロトン性イオン液体を用いた BZ 反応の特性と自励振動高分子系への展開”, 第 26 回高分子ゲル研究討論会 (1/19-20, 2015, 東京)

5) R. Tamate, T. Ueki, M. Shibayama, and R. Yoshida : “Self-oscillating vesicles: spontaneous cyclic structural changes of synthetic diblock copolymers”, *Joint Symposium of Polymer Network Group and Gel Symposium 2014*, (2014/11/10-14, The University of Tokyo)

6) M. Onoda, T. Ueki, M. Shibayama and R. Yoshida : “Design of multiblock copolymers and autonomous viscoelastic oscillation of the solution”, *Joint Symposium of Polymer Network Group and Gel Symposium 2014*, (2014/11/10-14, The University of Tokyo)

7) T. Masuda, A.M. Akimoto, K. Nagase, T. Okano and R. Yoshida : “Self-oscillating polymer brushes: effective design for dynamic properties”, *Joint Symposium of Polymer Network Group and Gel Symposium 2014*, (2014/11/10-14, The University of Tokyo)

8) K. Homma, T. Masuda, A.M. Akimoto, K. Nagase, T. Okano and R. Yoshida : “Modification of self-oscillating polymer on porous glass substrate”, *Joint Symposium of Polymer Network Group and Gel Symposium 2014*, (2014/11/10-14, The University of Tokyo)

9) Y. Shiraki, A.M. Akimoto, T. Miyata and R. Yoshida : “Fabrication of tubular self-oscillating gels with intestine-like peristaltic motion and their autonomous transport function”, *Joint Symposium of Polymer Network Group and Gel Symposium 2014*, (2014/11/10-14, The University of Tokyo)

10) 上木岳土、玉手亮多、小野田実真、柴山充弘、吉田 亮 : “ブロック共重合体の時空間構造化による運動機能設計”, 第 63 回高分子討論会 (9/24-26, 2014, 長崎大学)

11) 玉手亮多、上木岳土、柴山充弘、吉田 亮 : “自励振動ベシクル: ジブロック共重合体を用いた自発的な構造変化の周期振動”, 第 63 回高分子討論会 (9/24-26, 2014, 長崎大学)

12) 増田 造、本間健太、秋元 文、長瀬健一、岡野光夫、吉田 亮 : “自励振動ポリマーブラシ表面の動的機能発現に向けた表面設計”, 第 63 回高分子討論会 (9/24-26, 2014, 長崎大学)

13) 増田 造、寺崎綾子、秋元 文、長瀬健一、岡野光夫、吉田 亮 : “自励振動ゲルの化学構造設計による膨潤収縮挙動の制御”, 第 63 回高分子討論会 (9/24-26, 2014, 長崎大学)

14) 小野田実真、上木岳土、柴山充弘、吉田 亮 : “自律的粘弾性振動を実現する新規マル

チブロック共重合体の創製と評価”, 第 63 回高分子討論会 (9/24-26, 2014, 長崎大学)

15) 白木裕介、秋元文、宮田隆志、吉田 亮 : “管状自励振動ゲルを用いた自律輸送システムの構築”, 第 63 回高分子討論会 (9/24-26, 2014, 長崎大学)

16) 玉手亮多、上木岳土、柴山充弘、吉田 亮 : “自励振動ベシクル”, 第 63 回高分子学会年次大会 (5/28-30, 2014, 名古屋国際会議場)

17) 小野田実真、上木岳土、柴山充弘、吉田 亮 : “自律的粘弾性振動を実現する新規 ABA 型トリブロック共重合体の創製と評価”, 第 63 回高分子学会年次大会 (5/28-30, 2014, 名古屋国際会議場)

18) 上木岳土、多田啓人、上野智永、酒井崇匡、吉田 亮 : “BZ 反応を駆動力とした自律的粘弾性振動に及ぼす terpyridine 修飾ポリエチレングリコールの分岐効果”, 第 63 回高分子学会年次大会 (5/28-30, 2014, 名古屋国際会議場)

19) 松川 滉、上木岳土、吉田 亮 : “プロトン性イオン液体型高分子を用いた BZ 反応”, 第 63 回高分子学会年次大会 (5/28-30, 2014, 名古屋国際会議場)

20) 本間健太、増田 造、秋元 文、長瀬健一、岡野光夫、吉田 亮 : “多孔質基材表面への自励振動ポリマー修飾と機能評価”, 第 63 回高分子学会年次大会 (5/28-30, 2014, 名古屋国際会議場)

〔図書〕(計 3 件)

1) 高田十志和、宮田隆志、吉田 亮 (編集): “驚異のソフトマテリアル 最新の機能性ゲル研究 (日本化学会編)”, 化学同人, (2010).

〔その他〕

ホームページ等

<http://cross.t.u-tokyo.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 亮 (YOSHIDA, Ryo)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号: 80256495