

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13784

研究課題名(和文) 高分子高密度ブラシの自己集合形成手法の構築と応用

研究課題名(英文) High-density liquid crystalline polymer brushes formed via surface segregation and self-assembly

研究代表者

永野 修作 (Nagano, Shusaku)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40362264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：液晶鎖の自己集合性と高分子薄膜の表面偏析構造を用いた新たな高分子ブラシ構造の調製法を提案した。本手法では、ポリスチレン(PS)ブロック鎖と側鎖型液晶性高分子ブロック鎖を持つ液晶性ブロック共重合体(PS-b-PAz)とPSとの混合膜(PS-b-PAz/PS膜)を調製するだけで、ブラシ膜が調製できる。表面構造解析から、PS-b-PAz/PS膜中にPAzブロック鎖は、表面に偏析し、ほぼ伸びきり主鎖となっており、高度な高密度ブラシ構造を形成する。本手法は、予め合成したブロック共重合体を高分子基材に少量添加するだけで簡単に調製できる特徴から、ポリマーブラシ構造の新たな形成手法として期待できる。

研究成果の概要(英文)：High-density polymer brushes on substrates exhibit unique properties and functions stemming from the extended conformations due to the surface constraint. To date, such chain organizations have been mostly attained by synthetic strategies of surface-initiated living polymerization. We show herein a new method to prepare a high-density polymer brush architecture using surface segregation and self-assembly of diblock copolymers containing a side-chain liquid-crystalline polymer (SCLCP). The surface segregation is attained from a film of an amorphous base polymer (polystyrene, PS) containing a minor amount of a SCLCP-PS diblock copolymer upon annealing above the glass-transition temperature. The polystyrene portion of the diblock copolymer can work as a laterally mobile anchor for the favorable self-assembly on the polystyrene base film.

研究分野：高分子化学・光機能化学

キーワード：高分子ブラシ 液晶性高分子 ブロックコポリマー ミクロ相分離構造 表面偏析 高分子薄膜

1. 研究開始当初の背景

重合技術の発展により、高分子の高密度ブラシ構造を持つ薄膜が様々なポリマーにて調製できるようになり、その特性に関する研究が盛んに行われている。高密度ブラシ構造は、表面から高分子鎖が垂直に延伸された特異なコンフォメーションと配向構造を持ち、その力学特性や生体適合性・非適合性、配向特性などを利用した様々な応用が提案されている。しかしながら、このような、高密度高分子ブラシ構造は、多段階の表面開始リビングラジカル重合を必要とし、基材として用いる物質は、無機化合物が主流であった。

我々は、液晶性ブロック共重合体の表面偏析現象により高分子薄膜表面から膜内部を配向制御する新たな表面機能化手法を提案している(Angew. Chem. Int. Ed., 52, 5988-5991 (2013), Nat. Commun., 5, 3320 (2014))。これらの表面偏析界面の液晶性ブロック共重合体の高分子鎖構造の解析の結果、末端基を固定された高分子液晶の自己集合性が高密度ブラシ構造を形成する駆動力としてきわめて有用に働いていることを突きとめた。

2. 研究の目的

上記の研究背景を踏まえ、液晶性高分子ブロック共重合体の「液晶の自己集合構造」と「高分子表面偏析構造」により、高分子基剤に液晶性高分子ブロック共重合体を添加、加熱するだけで表面偏析高密度ブラシ構造を発現する新たな簡便手法を創出することを目的とした(図1)。

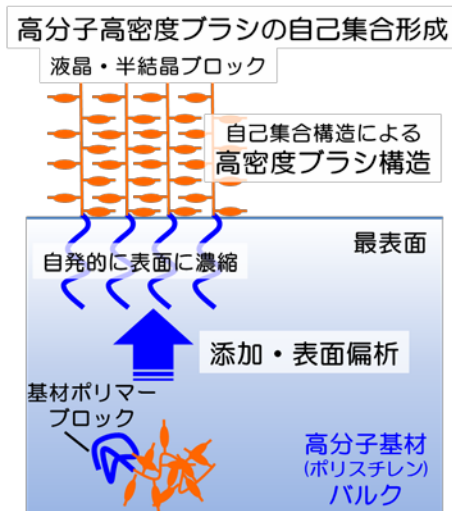


図1. 本研究の提案する液晶の自己集合性と高分子の表面偏析を利用した高分子高密度ブラシ形成

3. 研究の方法

スメクチック液晶性アゾベンゼンポリマーとポリスチレンからなる液晶性ブロック共重合体(PS-*b*-PAz)を原子移動ラジカル重合(ATRP)法により合成した(図2)。PSブロックの分子量は等しく、PAzブロックの分子量が異なるPS-*b*-PAzを調製した。高分子基材とな

るPSホモポリマー($M_w = 194,000$)に少量添加(重量比で5-10 wt%)し、クロロホルムを溶媒として石英基板上に膜厚約500 nmのスピンコート膜(PS-*b*-PAz/PS膜)を作製した。この膜をPSのガラス転移温度およびPAzの等方相への転移温度以上である130°Cにて24時間アニール処理を施した。調製した膜の表面状態を水の接触角測定により測定し、表面に偏析している高分子成分を調べた。また、ミクロトームにてPS-*b*-PAz/PS膜の断面超薄切片を切り出し、RuO₄処理した膜断面構造を透過型電子顕微鏡(TEM)にて観察した。薄膜の液晶構造は、紫外可視吸収スペクトル測定および斜入射小角X線散乱(GI-SAXS)測定より解析した。

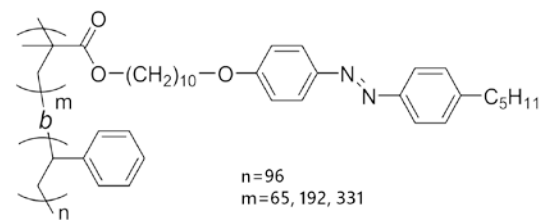


図2. 本研究にて合成した液晶性ブロック共重合体PS-*b*-PAz

4. 研究成果

PAz単独膜、PS単独膜、PS-*b*-PAz/PS膜の水との接触角(θ_w)を測定した結果を表1に示す。PAz単独膜とPS単独膜のアニール後の接触角を比較すると、PAz単独膜の値(113°)は、PSの接触角の値(96°)より10°以上高くなった。よって、PAzはPSよりも表面エネルギーが低いことがわかる。また、PS-*b*-PAz/PS膜のアニール後の接触角は110-112°であり、PS単独膜の接触角よりも大きくPAz単独膜の接触角とほぼ同様な値を示した。これは、PS-*b*-PAzを少量添加したPS膜の表面では、表面エネルギーの低いPAzブロックが偏析していることを強く示唆する。

表1. PSおよびPAz、PS-*b*-PAz/PS混合膜の加熱処理前後の水との接触角

samples	Ascast	Annealed
	θ_w / deg	θ_w / deg
PAz	105.8 ± 0.9	113.4 ± 0.6
PS	94.6 ± 0.4	95.9 ± 1.0
PS ₉₆ - <i>b</i> -PAz ₆₅ (5 wt%)/PS	107.2 ± 0.6	109.9 ± 0.4
PS ₉₆ - <i>b</i> -PAz ₁₉₂ (10 wt%)/PS	107.1 ± 0.1	110.7 ± 0.3
PS ₉₆ - <i>b</i> -PAz ₃₃₁ (10 wt%)/PS	107.9 ± 0.2	112.1 ± 0.5

PS-*b*-PAz/PS膜をPAzの分子量が異なる3種について作製し、薄膜断面TEM像を図3に示す。超薄切片試料は、RuO₄染色したものを観察した。いずれの膜も、表面側に層状の明るいドメインが観察された。芳香族系の置換基はRuO₄染色に強く染色されるため、黒く観察される部分はフェニル基の密度の高いPS部分と推定される。よって、黒く観察された厚い部分はPSドメイン、明るい表層

は PAz ドメインであると帰属できる。少量添加したブロック共重合体の PAz ブロック鎖は、基材である PS 膜に表面選択的に偏析していることが観察された。また、TEM 像からわかるように、表面に偏析している PAz ブロック層の厚みは、添加するブロック共重合体の PAz ブロック鎖の分子量(分子鎖長)の大きさによって増加していくことがわかる。

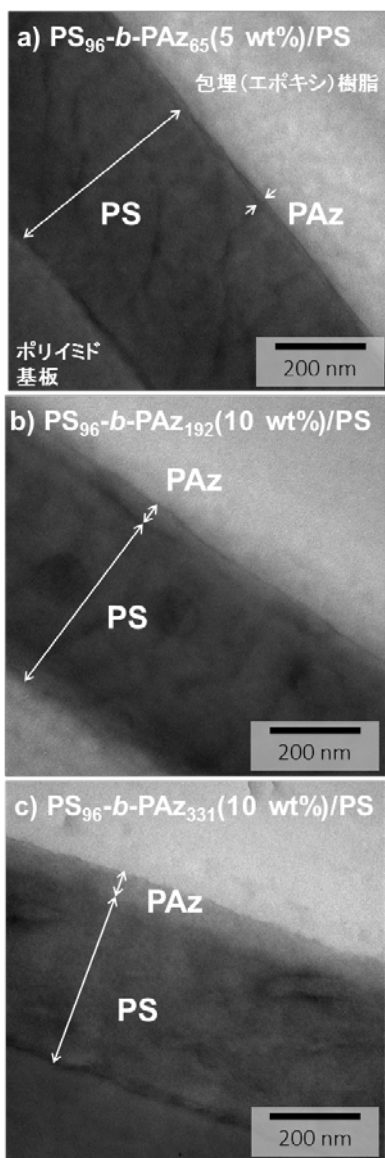


図 3. PS-*b*-PAz/PS 膜の断面 TEM 観察像：(a)PS₉₆-*b*-PAz₆₅/PS, (b)PS₉₆-*b*-PAz₁₉₂/PS および (c)PS₉₆-*b*-PAz₃₃₁/PS (RuO₄にて染色後、観察)

図 4 に、膜表面に観察された PAz ブロック層の厚みを PAz ブロック鎖の重合度(N)に対してプロットした結果を示す。観察された PAz ブロック層の厚みは PAz ブロック鎖の重合度に対して直線的に増加し、その近似直線(赤線)は $0.202N \text{ nm}$ となった。同じ主鎖骨格を持つ PMMA の all trans 状態の高分子鎖長 ($0.254N \text{ nm}$)と比較して、偏析した PAz ブロック鎖の鎖長は、伸びきり鎖長の 80%に相当することが見積もられる。したがって、表面偏析している PAz ブロック鎖は伸びきり鎖に近い

主鎖構造をとっていることが明らかとなった。

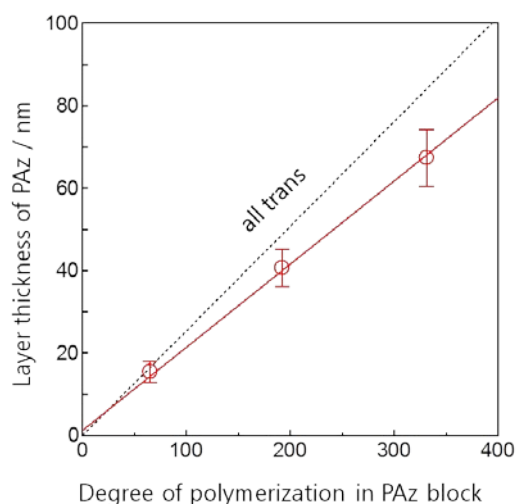


図 4. 断面観察から求めた PS-*b*-PAz/PS 膜中の PAz ブロック鎖の重合度と PAz ブロック鎖の膜厚の関係(破線は、ポリ(メチルメタクリレート)鎖が all-trans 状態の時の分子長を示す)

PS-*b*-PAz/PS 膜の PAz ブロックの詳細な構造解析を行った。PS-*b*-PAz 単独膜の紫外可視紫外可視吸収スペクトルを測定したところ、アニール処理によってアゾベンゼンの π - π^* 遷移に由来する吸収ピークの減少および極大吸収波長のブルーシフトが観測され、メソゲンである Az 部位がホメオトロピック配向したことが確認された。一方で、PS-*b*-PAz/PS 膜の as-cast 膜およびアニール膜の吸収スペクトルを比較したところ、アニールによる大きな吸収ピークの減少や吸収波長のシフトは観察されなかった。よって、表面偏析した PAz ブロックは、単独膜とは異なる分子配向を有していることが示唆される。

PS-*b*-PAz 単独膜と PS-*b*-PAz/PS 膜の液晶温度下 95°C における GI-SAXS 測定を行い、それぞれの液晶相の配向構造を解析した。PS-*b*-PAz 単独膜では、面外方向 $q = 1.87 \text{ nm}^{-1}$ に散乱ピークを検出し、Bragg 面間隔は $d = 3.4 \text{ nm}$ と算出された(図 5a)。この面間隔は PAz が形成するスメクチック A 相に対応しており、面外方向の散乱はスメクチックラメラ構造が基板水平方向に形成されたホメオトロピック配向であることを示す。一方で、PS-*b*-PAz/PS 膜は、スメクチック A 相由来の散乱($q = 1.83 \text{ nm}^{-1}$, $d = 3.4 \text{ nm}$)が面内方向のみに検出された(図 5b)。この面内方向の散乱は、スメクチック相のラメラ構造が基板に対して垂直方向に形成したことを示し、PS-*b*-PAz/PS 膜表面の偏析した PAz ブロック鎖は、ランダムプレーナー配向性のスメクチック A 相を形成することが明らかとなった。

通常ホメオトロピック配向性を示す PAz ブロック鎖が、表面偏析した状態では大きく異なったランダムプレーナー配向を示すことは、側鎖型高分子液晶膜の配向制御の上で興

味深い。表面偏析した PS-*b*-PAz は、PS 基材に強い親和性を持つ PS ブロックをアンカリングし、表面エネルギーの低い PAz ブロック鎖を表面に向けた界面活性剤の様な構造をとることが想像される。アンカリングされた状態にてスメクチック液晶の自己集合性が駆動力となり、PAz ブロック鎖が自由界面に対して垂直方向に伸びきった主鎖構造とそれに伴い液晶相のランダムプレーナー配向が誘起されたと結論づけることができる。このような液晶配向構造は、表面開始リビンググラフト重合で得られる液晶性高密度ブラシ膜(*Macromolecules*, 2009, 42, 312-318)と同様であり、液晶性ブロック共重合体の表面偏析により自己集合的にポリマーブラシ構造が形成される新たなポリマーブラシの形成手法と位置づけることができると考えている。

本研究では、基材となる PS と強い親和性のある PS 鎖を有する液晶性ブロック共重合体の表面偏析現象によって、PS 鎖がアンカーとなり液晶性ポリマーブラシ構造が自己集合的に構築されることを見出した。本手法で構築される液晶性ポリマーブラシ構造は、あらかじめ合成したブロック共重合体を高分子基材に少量添加・加熱するだけで簡単に調製できるという特徴から、ポリマーブラシ構造の新たな形成手法として期待できる。

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 27 件)

- 1) S. Mitsui, S. Nagano, M. Hara, T. Seki, "SRG Inscription in Supramolecular Liquid Crystalline Polymer Film: Replacement of Mesogens", *Crystals*, 7, 52(1-10). (査読有)
- 2) Y. Nagao, K. Krishnan, R. Goto, M. Hara, S. Nagano, "Effect of Casting Solvent on Interfacial Molecular Structure and Proton Transport Characteristics of Sulfonated Polyimide Thin Films", *Anal. Sci.*, 33, 35-39 (2017). (査読有)
- 3) Y. Hashimoto, T. Sato, R. Goto, Y. Nagao, M. Mitsuishi, S. Nagano, J. Matsui, "In-plane oriented highly ordered lamellar structure formation of poly (N-dodecylacrylamide) induced by humid annealing", *RSC Adv.*, 7, 6631-6635 (2017). (査読有)
- 4) T. Motokawa, M. Makino, K. Yamamoto, H. Takase, S. Nagano, Y. Enomoto-Rogers, T. Iwata, T. Kawaguchi, M. Sakaguchi, "Chemical surface modification of aluminum oxide nanoparticles with graft copolymer of aluminum oxide and poly (isobutyl vinyl ether) mechanochemically synthesized in vacuum at low temperature", *Ad. Powder Tech.*, 28 (1), 266-279 (2017).

(査読有)

- 5) K. Mukai, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, "High-density liquid crystalline polymer brushes formed via surface segregation and self-assembly", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 128, 14234-14238 (2016). (査読有)
- 6) R. Kurimoto, K. Kanie, K. Uto, S. Kawai, M. Hara, S. Nagano, Y. Narita, H. Honda, M. Naito, M. Ebara, R. Kato, "Combinational Effects of Polymer Viscoelasticity and Immobilized Peptides on Cell Adhesion to Cell-selective Scaffolds", *Anal. Sci.*, 32, 1195-1202 (2016). (査読有)
- 7) H. Yabu, J. Matsui, M. Hara, S. Nagano, Y. Matsuo, Y. Nagao, "Proton Conductivities of Lamellae-Forming Bioinspired Block Copolymer Thin Films Containing Silver Nanoparticles", *Langmuir*, 32, 9484-9491 (2016). (査読有)
- 8) S. Laokroekiat, M. Hara, S. Nagano, Y. Nagao, "Metal-Organic Coordination Network Thin Film by Surface-Induced Assembly", *Langmuir*, 32, 6648-6655 (2016). (査読有)
- 9) R. Kurimoto, K. Kanie, N. Idota, M. Hara, S. Nagano, T. Tsukahara, Y. Narita, H. Honda, M. Naito, M. Ebara, R. Kato, "Combinational Effect of Cell Adhesion Biomolecules and Their Immobilized Polymer Property to Enhance Cell-Selective Adhesion", *Int. J. Polym. Sci.*, 2016, 2090985 (2016). (査読有)
- 10) M.A. Rashed, S. Laokroekiat, M. Hara, S. Nagano, Y. Nagao, "Fabrication and Characterization of Cross-linked Organic Thin Films with Nonlinear Mass Densities", *Langmuir*, 32, 5917-5924 (2016). (査読有)
- 11) D. Tanaka, T. Mizuno, M. Hara, S. Nagano, I. Saito, K. Yamamoto, T. Seki, "Evaluations of Mesogen Orientation in Thin Films of Polyacrylate with Cyanobiphenyl Side Chain", *Langmuir*, 32, 3737-3745 (2016). (査読有)
- 12) 永野修作, 田中大介, "液晶高分子薄膜の分子配向と自由界面の影響", *C&I Commun.*, 41, 21-23 (2016). (査読有)
- 13) S. Nagano, "Inducing Planar Orientation in Side - Chain Liquid Crystalline Polymer Systems via Interfacial Control", *Chem. Rec.*, 16, 378-392 (2016). (査読有)
- 14) Y. Saito, T. Higuchi, H. Jinnai, M. Hara, S. Nagano, Y. Matsuo, H. Yabu, "Silver Nanoparticle Arrays Prepared by In Situ Automatic Reduction of Silver Ions in Mussel - Inspired Block Copolymer Films", *Macromol. Chem. Phys.*, 217, 721-721 (2016). (査読有)
- 15) K. Takagi, K. Yamauchi, S. Kubota, S. Nagano, M. Hara, T. Seki, K. Murakami, Y.

- Ooyama, J. Ohshita, M. Kondo, H. Masu, "Fused π -conjugated imidazolium liquid crystals: synthesis, self-organization, and fluorescence properties", *RSC Adv.*, 6, 9152-9159 (2016). (査読有)
- 16) T. Nakai, D. Tanaka, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, "Free Surface Command Layer for Photoswitchable Out-of-Plane Alignment Control in Liquid Crystalline Polymer Films", *Langmuir*, 32, 909-914 (2016). (査読有)
- 17) M. Sano, M. Hara, S. Nagano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, "New Aspects for the Hierarchical Cooperative Motions in Photoalignment Process of Liquid Crystalline Block Copolymer Films", *Macromolecules*, 48, 2217-2223 (2015). (査読有)
- 18) M. Sano, F. Shan, M. Hara, S. Nagano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, "Dynamic photoinduced realignment processes in photoresponsive block copolymer films: effects of the chain length and block copolymer architecture", *Soft Matter*, 11, 5918-5925 (2015). (査読有)
- 19) M. Akai-Kasaya, Y. Okuaki, S. Nagano, T. Mitani, Y. Kuwahara, "Coulomb Blockade in a Two-Dimensional Conductive Polymer Monolayer", *Phys. Rev. Lett.*, 115, 196801(1-6) (2015). (査読有)
- 20) T. Takeshima, W. Liao, Y. Nagashima, K. Beppu, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, "Photoresponsive Surface Wrinkle Morphologies in Liquid Crystalline Polymer Films", *Macromolecules*, 48, 6378-6384 (2015). (査読有)
- 21) D. Tanaka, Y. Nagashima, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, "Alternation of side chain mesogen orientation caused by the backbone structure in liquid crystalline polymer thin films", *Langmuir*, 31, 11379-11383 (2015). (査読有)
- 22) D. Yamaoka, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, "Photoalignable Radical Initiator for Anisotropic Polymerization in Liquid Crystalline Media", *Macromolecules*, 48, 908-914 (2015). (査読有)
- 23) K. Krishnan, H. Iwatsuki, M. Hara, S. Nagano, Y. Nagao, "Influence of Molecular Weight on Molecular Ordering and Proton Transport in Organized Sulfonated Polyimide Thin Films", *J. Phys. Chem. C*, 119, 21767-21774 (2015). (査読有)
- 24) T. Sato, Y. Hayasaka, M. Mitsuishi, T. Miyashita, S. Nagano, J. Matsui, "High Proton Conductivity in the Molecular Interlayer of a Polymer Nanosheet Multilayer Film", *Langmuir*, 31, 5174-5180 (2015). (査読有)
- 25) T. Seki, K. Fukuhara, M. Sano, M. Hara, S. Nagano, "Photoalignment of Liquid Crystalline Polymer Films Containing Mesostuctures and a Free Surface Command Layer", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 614, 118-123 (2015). (査読有)
- 26) M. Sano, T. Murase, M. Hara, S. Nagano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, "Photo-switching Behavior of Microphase Separated Structure in Liquid Crystalline Azobenzene Block Copolymers Possessing Different Poly(alkyl methacrylate) Blocks", *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 617, 5-13 (2015). (査読有)
- 27) 永野 修作, 関 隆広, "液晶性高分子薄膜の自由界面からの配向制御", *液晶*, 19, 7-14 (2015). (査読有)
- [学会発表] (計 125 件)
- 1) 野田玲央奈, 原光生, 永野修作, 関隆広, "アゾベンゼンとオリゴエチレンオキシドを側鎖に持つ両親媒性コポリマーの側鎖表面偏析と光濡れ性変化", 第 19 回液晶化学研究会シンポジウム(2015), 2015 年 5 月 15 日, 名古屋大学
- 2) 野田 玲央奈, 原 光生, 永野修作, 関隆広, "アゾベンゼンとオリゴエチレンオキシドを側鎖に持つ両親媒性ランダムコポリマー薄膜の光による濡れ性変化", 第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 27 日-29 日, 札幌コンベンションセンター
- 3) 向井 孝次, 原 光生, 永野修作, 関隆広, "表面に偏析した側鎖型液晶性ブロックコポリマーの液晶配向挙動", 第 64 回高分子学会年次大会, 2015 年 5 月 27 日-29 日, 札幌コンベンションセンター
- 4) 野田玲央奈, 原光生, 永野修作, 関隆広, "アゾベンゼンとオリゴエチレンオキシドを側鎖に持つ両親媒性ランダムコポリマー薄膜の光濡れ性変化", 平成 27 年度繊維学会年次大会, 2015 年 6 月 10 日-12 日, タワーホール船堀
- 5) 永野修作, "液晶性ブロック共重合体の界面における配向構造 平成 27 年度繊維学会年次大会", 2015 年 6 月 10 日-12 日, タワーホール船堀
- 6) 野田玲央奈, 原光生, 永野修作, 関隆広, "アゾベンゼンとオリゴエチレンオキシドを側鎖に持つ両親媒性ランダムコポリマー薄膜の光による濡れ性変化と記憶効果", 2015 年日本液晶学会討論会, 2015 年 7 月 9 日, 東工大すずかけ台キャンパス
- 7) 永野修作, 関 隆広, "液晶性ブロック共重合体薄膜の光配向挙動の階層的理解", 第 64 回高分子討論会, 2015 年 9 月 15 日-17 日, 東北大学川内キャンパス
- 8) 永野修作, 向井孝次, 原光生, 関隆広, "表面偏析した液晶性ブロック共重合体のポリマーブラシ構造", 第 64 回高分子

- 討論会, 2015年9月15日-17日, 東北大学川内キャンパス
- 9) S. Nagano, “Hietarchical Molecular Motions in the Photoreorientation Process for Liquid Crystalline Block Copolymer Films”, Japan-Korea Joint Symposium 2015, 2015年10月29日-31日, 北九州国際会議場
- 10) 向井孝次, 原光生, 永野修作, 関隆広, “表面偏析した液晶性アゾベンゼンブロックコポリマー鎖のポリマーブラシ構造”, 第25回日本MRS年次大会, 2015年12月8日-10日, 横浜
- 11) 永野修作, “液晶性アゾベンゼンブロック共重合体の光再配向過程の分子階層挙動”, 第25回日本MRS年次大会, 2015年12月8日-10日, 横浜
- 12) S. Nagano, “Hietarchical liquid crystalline structure in high proton conductive sulfonated polyimide films”,
- 13) K. Mukai, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Self-assembly polymer brush via surface segregation of liquid crystalline block copolymer”, 2015 環太平洋国際化学会議 (PACIFICHEM2015), 2015年12月15日-20日, Hawaii Convention Center
- 14) 永野修作, “ミクロ相分離構造の光配向の分子階層挙動”, 高分子基礎研究会 2015, 2016年1月29日-31日, 湯布院FITセミナーハウス
- 15) 永井美帆, 原光生, 永野修作, 関隆広, “POSS 側鎖とアゾベンゼン側鎖を持つランダム共重合体の自己集合による規則構造の形成”, 日本化学会第96春季年会, 2016年3月24日-27日, 同志社大学京田辺キャンパス
- 16) 向井孝次, 原光生, 永野修作, 関隆広, “表面に偏析した側鎖型液晶性ブロック共重合体の液晶配向構造”, 第20回液晶化学研究会シンポジウム, 2016年7月4日-5日, 東京大学山上会館
- 17) K. Mukai, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Polymer brush structure formed via surface segregation of liquid crystalline block copolymer”, KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics 2016 (KJF-ICOMEPE), 2016年9月4日-7日, アクロス福岡
- 18) R. Noda, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Structuring and Photoalignment of Hetero Smectic Lamella Structure in LC random copolymer films”, KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics 2016 (KJF-ICOMEPE), 2016年9月4日-7日, アクロス福岡
- 19) 永井美帆, 原光生, 永野修作, 関隆広, “スメクチック液晶側鎖とかご型シロキサン側鎖を持つランダム共重合体の特異なラメラ構造”, 2016年日本液晶学会討論会, 2017年9月5日-7日, 大阪工業大学 大宮キャンパス
- 20) 永井美帆, 原光生, 永野修作, 関隆広, “液晶メソゲン側鎖とかご型シロキサン側鎖を持つランダム共重合体の液晶性とラメラ構造”, 第65回高分子討論会, 2016年9月14日-16日, 神奈川大学横浜キャンパス
- 21) 向井孝次, 原光生, 永野修作, 関隆広, “液晶性ブロック共重合体の表面偏析によって形成するポリマーブラシ構造”, 第65回高分子討論会, 2016年9月14日-16日, 神奈川大学横浜キャンパス
- 22) S. Nagano, “Alternation of Liquid Crystalline Orientations in Smectic Side Chain Liquid Crystalline Polymer Films by Backbone Structure”, 20th International Symposium on Advanced Display Materials & Devices (ADMD2016), 2016年10月19日-21日, 上海
- 23) M. Nagai, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Highly Ordered Lamellar Structure of Random Copolymers with Liquid Crystalline Azobenzene and POSS Side-Chain Units”, 20th International Symposium on Advanced Display Materials & Devices (ADMD2016), 2016年10月19日-21日, 上海
- 24) 永野修作, “高分子液晶材料の光配向制御と表面・界面の役割”, 第9回 ChemBio ハイブリッドレクチャー, 2016年10月8日, 東京大学 武田ホール
- 25) 永野修作, “薄膜の X 線散乱-液晶性高分子薄膜を中心に-”, 液晶基礎講座(2016), 2016年12月10日, 大阪産業大学梅田サテライトキャンパス
- 他 100 件
- [その他]
ホームページ等
- 1) 高分子鎖を簡単に垂直に立てるー表面偏析と自己組織化による高分子ブラシ調製法ー,
<http://www.chem-station.com/blog/2016/12/polymerbrushes.html>
- 2) 高分子鎖を簡単に垂直に立てるー表面偏析と自己組織化による高分子ブラシ調製法ー,
http://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20161012_engg.pdf
6. 研究組織
(1) 研究代表者
永野 修作 (Shusaku NAGANO)
名古屋大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 40362264