

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 10 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2011～2015

課題番号：23225003

研究課題名(和文) 極微な領域規制に基づくメソ薄膜の形態発現と光応答系の創成

研究課題名(英文) Mesoscopically Sized and Restricted Polymer Thin Films for Creation of New Photoresponsive Functions

研究代表者

関 隆広 (Seki, Takahiro)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40163084

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 144,000,000円

研究成果の概要(和文)：約30年前に研究が創始された液晶配向プロセスは、すでに液晶ディスプレイの製造にも応用され産業的にも重要であるが、その現象の基礎的理解には未解明な部分が多い。本研究では、これまで扱われてこなかった、高分子液晶物質が微小な構造をもつ場合や、凹凸形成を伴う膜を対象として、その挙動を解明することを目的とした。具体的には、ブロック共重合体のマイクロ相分離構造の光配向、インクジェット塗布した際の微小領域での相分離挙動、光応答リンクル形成等を対象とし、光配向プロセスにおける新たな展開と理解の深化を進めた。また、研究途上での予期せぬ展開として、高分子液晶膜の配向を空気側から制御する新たな光配向手法も提案した。

研究成果の概要(英文)：The photoalignment technology was initiated approximately 30 years ago, and now has become a significant tool in industry to fabricate liquid crystal display devices. However, many fundamental issues still need to be elucidated. This project dealt with the photoalignment behavior in systems containing mesoscopic structures, in restricted sized films, and further non-plane surface systems. Herein, we attempted to elucidate the mechanism in the photoalignment process of microphase separation structures in block copolymer films, phase separation structure of blended polymers in small sized state obtained by inkjet printing, and proposed the photoresponsive surface wrinkle systems. Through these approaches, deeper understandings on the photoalignment processes were obtained, and new procedures were proposed. In particular, we originally proposed the photoalignment processes based on the manipulation of the free surface of liquid crystal polymer films.

研究分野：高分子化学

キーワード：光配向プロセス ブロック共重合体 高分子ブレンド 超微小塗布 表面リンクル 自由界面制御 アゾベンゼン

1. 研究開始当初の背景

液晶ディスプレイパネルへの応用に代表されるように、液晶物質は現代社会において不可欠である。液晶物質をデバイス技術に活用するためには分子配向制御が鍵であり、そのために偏光照射や斜め照射を用いた光配向プロセスに関する研究が、30年近くわたって当研究の代表者や分担者により勢力的に進められてきた。

これまでの研究は液晶性高分子薄膜を中心とした界面での光形態制御や配向現象について系統的な知見が蓄積されてきたが、膜形態そのものは巨視的かつ平面膜に限られていた。極微小形態の膜や、非平面形状の膜を対象とした光配向挙動や相分離などの高分子の挙動に関しての知見はほとんどなく、これらの新たな研究推進で、質的に異なる光応答系が創出されることが期待される。

2. 研究の目的

上記の背景に基づき、本研究では、光配向プロセスや系の高度化を行うとともに、平面方向にも極微界面の規制を加えた膜系の検討を進めた。具体的には、光応答性ブロック共重合体の光配向に係る理解の深化、サブフェムトリットルの超微量液滴から得る高分子ブレンド膜、ブロック共重合体膜の諸特性の解明と展開、および表面リンクル現象の光制御に関する新たな高分子機能化学の展開を進めた。このよう高度に次元規制を受けた膜状態からいかなる自己集合現象を示すかについて詳細かつ系統的な理解を得るとともに、それに基づく階層構造を有する新たな光応答システムの構築を目指した。

3. 研究の方法

(1) 微小領域規制に基づく形態発現と光応答高分子システムの構築

メソスコピックな階層レベル(典型的には約10~100nm)の構造体を形成するブロック共重合体の配向制御を進めた。名大グループでは、アゾベンゼン液晶高分子とコイル型高分子からなるジブロック共重合体にて、光でマイクロ相分離構造を膜の面内と面外(膜厚方向)に光により自由に配向を制御できることを示した。本研究には、放射光施設によるX線のリアルタイム観測等により、マイクロ相分離構造の光再配向のメカニズムの解明を試みた。

さらに、サブフェムトリットルの超微量液滴の塗布による1μm径以下の解像度のドット形成あるいは描画に基づく新たな光機能表面と構造体の構築を目指した。

(2) 光応答表面リンクル形成

本研究では、我々が蓄積してきたアゾベンゼン系光応答高分子膜の知見に基づき、光による弾性変調とレリーフ形成(膜厚変調)させたアゾベンゼン高分子膜をスキン層としてエラストマーに乗せ、表面リンクル(シワ)形成現象の光制御という新たな研究を進め

た。表面リンクル現象は安価にてパターン形成が可能であるため海外では大きな注目を集めているが、光応答リンクル形成の考え方を導入した研究はそれまでみあたらない。

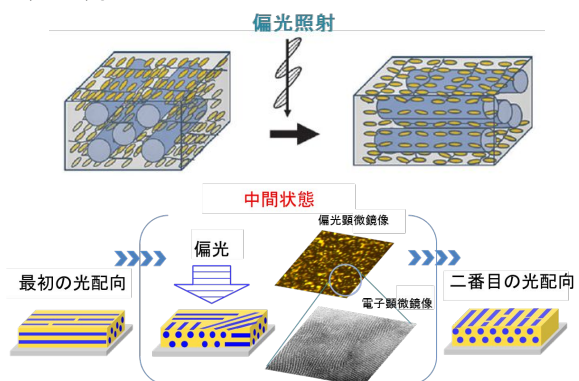
(3) 光配向プロセスの高度化と多様化

本研究の遂行に不可な光配向プロセスと材料系の高度化と多様化を進めることは極めて重要である。これまで、光配向を行う光反応部位としては、光異性化と光二量化が主流であったが、本研究では光 Fries 転移を利用した光配向プロセスの提案と実証を行う。また、従来、光反応部位の可視域での着色がその用途の制限となることがあるため、可視域で透明な光反応ユニットを利用した光配向プロセスを開発する。さらに表面光配向現象の理解を得るために表面のみの分子配向の情報を NEXAFS により選択的に得ることも目指した。

(1)と(2)は名古屋大学、(3)は主に兵庫県立大が担当した。

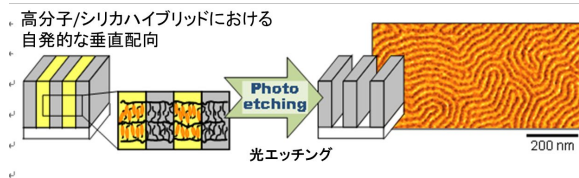
4. 研究成果

(1) ブロック共重合体薄膜系では、微小領域の制御に先立ち、スピンコート薄膜でのミクロ相分離構造の光配向挙動の把握を進めた。ミクロ相分離構造の方位を偏光を用いて変換できることを明らかにし、その過渡的变化に対するリアルタイム観測を放射光施設(つくばPF)にて行った(*Angew. Chem. Int. Ed.* **51**, 5884 (2012))。液晶の光再配向挙動とミクロ相分離構造の再配向はきわめて協同性の強い非線形的なプロセスであることが分かるとともに、光再配向プロセスは、サブドメインの回転機構で進むことを明らかにした(*Macromolecules* **47**, 7178 (2014), *Macromolecules* **48**, 2217 (2015), *Soft Matter* **11**, 5918 (2015))。



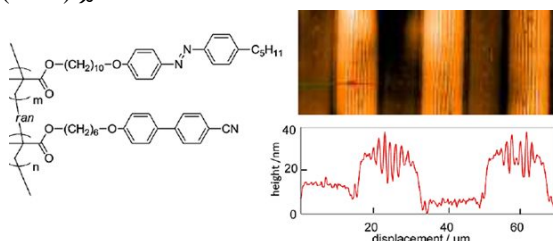
こうした結果を踏まえ、ブロック共重合体に対するインクジェットによる微小領域での挙動の観測へ向け、調製条件や観測手段を探索した。物質吐出量がサブフェムトリットルもの微小量に規制されることで基板と空気界面の効果強く受け、特異な自己集合/組織構造、特に高分子ブレンド系でありながら、ブロック共重合体のマイクロ相分離レベルの微細な相分離が発現することが分かった(未発表)。

さらに、サーモトロピック液晶性とリオトロピック液晶性を複合させた微小領域相分離型のブロック共重合体にて、自発的に垂直配向が誘起されることを見出した。(*Bull. Chem. Soc. Jpn.* **86**, 1151 (2013))



(2) 光応答表面リソグラフィー形成

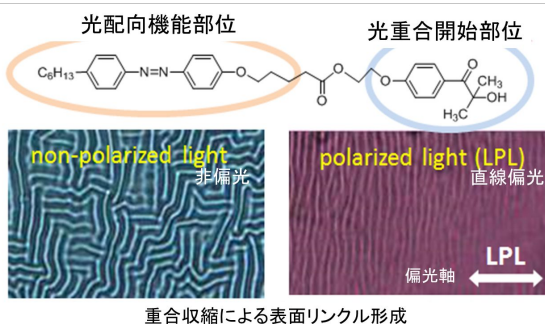
シリコンエラストマー膜の表面上に液晶性アゾベンゼン薄膜を設ける手段として、薄膜の転写と表面グラフト重合を行った。光照射によりリソグラフィー構造を局所的に消去させるあるいは、膜厚変調によるリソグラフィー波長変調の実証を行った(*Macromolecules* **48**, 6378 (2015))。



一方で、エラストマー膜への表面グラフトの基礎データとして、石英基板上にて ATRP および ROMP 法によるアゾベンゼン液晶高分子のグラフト鎖の配向・構造特性を評価した。(*Macromolecules* **46**, 8275 (2013), *Langmuir* **29**, 7571 (2013))

固体基板への表面グラフト重合の知見に基づき、エラストマー表面への液晶モノマーのグラフト重合を適用している。ROMP 法がエラストマー上のブラシ形成に好都合であることがわかった。

さらに、光配向能を持つ光重合開始剤を新たに提案・合成し、これをエラストマー表面で液晶モノマーを偏光照射により異方的に重合収縮させることに基づくリソグラフィー形成プロセスを開発した。この手法では力学的に延伸・圧縮させることなく、重合に伴う液晶の自己組織化がリソグラフィー形成をさせる特徴を持つ(*Macromolecules* **48**, 908 (2015))。



重合収縮による表面リソグラフィー形成

(3) 光配向プロセスの高度化と多様化

本基盤研究で重要な研究要素である液晶

材料の光配向に関する基礎的知見の蓄積と新たな応用に向け、偏光軸選択的に光反応するメソゲンを有する新規高分子液晶の開発、および光配向させたフィルムの3次元配向微細構造の詳細な解明を実施した。おもな成果は以下の3点である

安息香酸エステル系のメソゲンを側鎖に有する高分子液晶を合成し、それらが偏光軸選択的に光フリース転位すること、さらに液晶温度で熱処理することで自己組織的に分子配向できることを新たに見出した。また、フリース転位生成物の着色化をふせぐ目的で、類似構造である安息香酸チオエステルを側鎖に有する高分子液晶を新規合成し、それらの光分子配向挙動を詳細に調査した結果、通常のエステルと同様に熱増幅型の光分子配向が誘起できることを明らかにした(*Macromolecules* **45**, 8547 (2012), *Macromolecules* **46**, 2092 (2013))。



可視光域で透明かつ光異性化反応に基づく光配向材料の創成を目的に、側鎖にN-ベンジリデンアニリン誘導体を有する高分子液晶を合成し、それらの光配向挙動および偏光ホログラムによる表面レリーフの形成を試みた。その結果アゾベンゼン誘導体と類似の光配向挙動を示すことを明らかにし、新しい光配向材料として期待できることを見出した(*Macromolecules* **47**, 324 (2014), *Jpn. J. Appl. Phys.* **53**, 128002 (2014))。

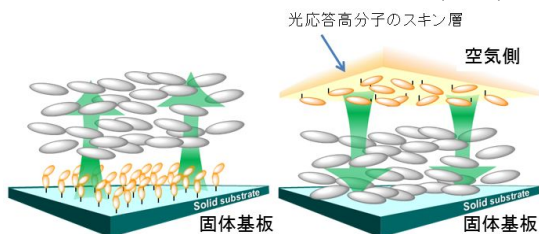
光分子配向したフィルムの極表面 (< 10 nm) の配向構造の解明を目的に、放射光を用いた吸収端近傍 X 線吸収微細構造(NEXAFS) スペクトルによる芳香環部位の3次元配向評価を実施した。その結果、バルクフィルムでは平均化された配向度が低い場合でも極表面は良好に面内一軸的に分子配向する場合があることや、ごく表面ではメソゲン分子の傾斜配向は困難であることなどが判明した(*Macromolecules* **47**, 2080 (2014))。

(4) 空気表面からの液晶材料の光配向制御(計画外の展開)

ブロック共重合体のマイクロ相分離構造の光配向のスイッチング挙動の観測を進めるうちに、空気界面の制御がホモポリマー液晶系とブロック共重合体系ともに本質的に重要であることが明らかとなった(*Angew. Chem. Int. Ed.* **52**, 5988 (2013))。

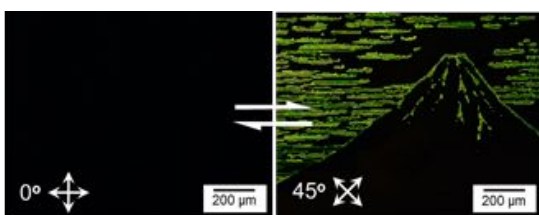
光配向表面はこれまで専ら固体基板が用いられており、多くの知見が得られている。本研究では空気側の表面に設けた 20 nm 程度のアゾベンゼンブロック共重合体の超薄膜を用いて、空気側から高分子液晶膜の分子配向を光で自由に制御する方法を初めて提案した。本研究で導入したインクジェット装置

を用いて空気界面側を描画し、微小領域規制に基づく光応答系を実現した。光配向現象が見出されて約 30 年経過するが、すべて固体表面を用いたものであった。空気界面からの光配向が可能とする知見は初めてであり、液晶材料の配向制御プロセスにおける革新的な展開である (*Nat. Commun.* **5**, 3320 (2014))。



従来法:
固体表面で起こる光反応で
液晶分子を配向させる

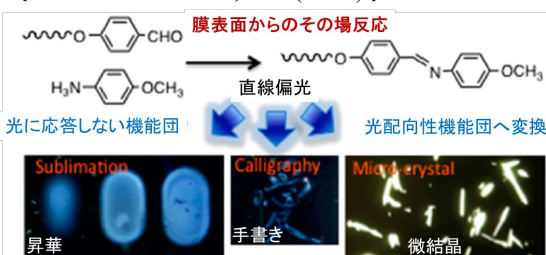
新手法:
空気側に形成された光反応薄膜
を用いて液晶分子を配向させる



自由界面にインクジェットで描画して得た液晶配向パターン例

こうした知見によってさらに、自由界面に設けた光応答スキン層により、光に反応しない高分子液晶メソゲンの垂直/水平配向のスイッチングを実現し、自由界面からの動的なコマンド効果を実証した (*Langmuir* **32**, 909 (2016))。

また、芳香族アルデヒドを側鎖を持つアモルファス高分子膜の上に芳香族アミンを昇華法等で乗せ空気界面側からシッフ延期型のメソゲンをその場(in situ)化学反応で発生させ、光配向を行う手法も新たに提案した (*ACS Macro Lett.* **4**, 764 (2015))。



これら自由界面から液晶を配向させる方法の提案は、当初予想しなかった成果であるとともに、液晶配向制御における新規で多様な方向性を提案するものであると期待できる。今後この方法論の展開を精力的かつ広範囲に進めていく所存である。

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 102 件) 代表的なものを以下に示す。

- 1) T. Nakai, D. Tanaka, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, Free surface command layer for the photoswitchable out-of-plane alignment control in liquid crystalline polymer films, *Langmuir*, **32** (3), 909-914 (2016). DOI: 10.1021/acs.langmuir.5b04325. [査読有]
- 2) T. Takeshima, W.-y Liao, Y. Nagashima, K. Beppu, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, Photoresponsive surface wrinkle morphologies in liquid crystalline polymer films, *Macromolecules*, **48** (18), 6378-6384 (2015). DOI: 10.1021/acs.macromol.5b01577. [査読有]
- 3) 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** (42), 11379-11383 (2015). DOI:10.1021/acs.langmuir.5b02442. [査読有]
- 4) 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 chain length and block copolymer architecture, *Soft Matter*, **11** (29), 5918-5925 (2015). DOI: 10.1039/C5SM01140J. [査読有]
- 5) M. Sano, M. Hara, S. Nagano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, New Aspects in the Hierarchical Cooperative Motions of the Photoalignment Process of Liquid Crystalline Block Copolymer Films, *Macromolecules*, **48**(7), 2217-2223 (2015). DOI: 10.1021/acs.macromol.5b00299. [査読有]
- 6) D. Yamaoka, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, Photoalignable Radical Initiator for Anisotropic Polymerization in Liquid Crystalline Media, *Macromolecules*, **48**(4), 908-914 (2015). DOI: 10.1021/ma5025279. [査読有]
- 7) N. Kawatsuki, T. Washio, J. Kozuki, M. Kondo, T. Sasaki, H. Ono, Photoinduced orientation of photoresponsive copolymers with N-benzylideneaniline and nonphotoreactive mesogenic side groups, *Polymer*, **56**, 318-326 (2015). DOI: 10.1016/j.polymer.2014.11.007 [査読有]
- 8) N. Kawatsuki, Y. Taniguchi, M. Kondo, Y. Haruyama, S. Matsui, Photoinduced Orientation Structure in the Bulk and at the Near-surface of a Photoalignable Liquid Crystalline Polymer Film, *Macromolecules*, **48**, pp. 2203-2210. (2015). DOI: 10.1021/ma5025957 [査読有]
- 9) N. Kawatsuki, K. Miyake, M. Kondo, Facile Fabrication, Photoinduced Orientation, and Birefringent Pattern Control of Photoalignable Films Comprised of

- N-Benzylideneaniline Side Groups, *ACS Macro Lett.*, **4**, 764-768. (2015). DOI: 10.1021/acsmacrolett.5b00357 [査読有]
- 10) M. Sano, S. Nakamura, M. Hara, S. Nagano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, Pathways toward photoinduced alignment switching in liquid crystalline block copolymer films, *Macromolecules*, **47** (20), 7178-7186 (2014). DOI: 10.1021/ma501803g [査読有]
 - 11) T. Seki, New strategies and implications for the photoalignment of liquid crystalline polymers, *Polym. J.* (invited review), **46** (11), 751-768 (2014). (cover picture). DOI: 10.1038/pj.2014.68 [査読有]
 - 12) K. Fukuhara, S. Nagano, M. Hara, T. Seki, Free-surface molecular command systems for photoalignment of liquid crystalline materials, *Nat. Commun.*, **5**, 3320 (1-8), (2014). DOI: 10.1038/ncomms4320 [査読有]
 - 13) T. Seki, Meso- and Microscopic Motions in Photoresponsive Liquid Crystalline Polymer Films, *Macromol. Rapid Commun.* (invited review), **35**, 271-290 (2014). DOI: 10.1002/marc.201300763 [査読有]
 - 14) N. Kawatsuki, H. Matsushita, T. Washio, J. Kozuki, M. Kondo, T. Sasaki, H. Ono, Photoinduced Orientation of Photoresponsive Polymers with N-Benzylideneaniline Derivative Side Groups, *Macromolecules*, **47**, 324-332 (2014). DOI: 10.1021/ma4023247 [査読有]
 - 15) N. Kawatsuki, Y. Inada, M. Kondo, Y. Haruyama, S. Matsui, Molecular Orientation at the Near-surface of Photoaligned Films Determined by NEXAFS, *Macromolecules*, **47**, 2080-2087 (2014) DOI: 10.1021/ma5000738 [査読有]
 - 16) M. Kondo, K. Okumoto, M. Hashimoto, N. Kawatsuki, Mechanochromic luminescence characteristics of pyridine terminated chromophores in the solid-state and in a poly(vinyl alcohol) matrix, *Chem. Asian J.*, **9** (11), 3188-3195 (2014). (cover page) DOI: 10.1002/asia.201402739 [査読有]
 - 17) N. Kawatsuki, R. Hosoda, M. Kondo, T. Sasaki, H. Ono, Molecularly Oriented Surface Relief Formation in Polymethacrylates Comprised of N-Benzylideneaniline Derivative Side Groups, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **53**, 128002 (2014) DOI:10.7567/JJAP.53.128002 [査読有]
 - 18) J. W. Park, S. Nagano, S.-J. Yoon, T. Dohi, J. Seo, T. Seki, S. Y. Park, High Contrast Fluorescence Patterning in Cyanostilbene-Based Crystalline Thin Films: Crystallization-Induced Mass Flow via a Photo-Triggered Phase Transition, *Adv. Mater.*, **26** (9), 1354-1359 (2014). DOI: 10.1002/adma.201304250 [査読有]
 - 19) T. Seki, S. Nagano, M. Hara, Versatility of Photoalignment Techniques: From Nematics to a Wide Range of Functional Materials, *Polymer* (invited review), **54** (22), 6053-6072 (2013). DOI: 10.1016/j.polymer.2013.08.058 [査読有]
 - 20) H. A. Haque, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, Photoinduced In-Plane Motions of Azobenzene Liquid Crystal Mesogens Affected by the Flexibility of Underlying Amorphous Chains, *Macromolecules*, **46** (20), 8275-8283 (2013). DOI: 10.1021/ma401536r [査読有]
 - 21) H. A. Haque, S. Kakehi, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, Highly Controlled Photoresponsive Liquid Crystalline Polymer Brush Attained by Ring Opening Metathesis Polymerization, *Langmuir*, **29** (25), 7571-7575 (2013). DOI: 10.1021/la4002847 [査読有]
 - 22) K. Fukuhara, Y. Fujii, Y. Nagashima, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, Liquid Crystalline Polymer and Block Copolymer Domain Alignment Controlled via Free-Surface Segregation, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **52** (23), 5988-5991 (2013). DOI: 10.1002/anie.201300560 [査読有]
 - 23) M. Hara, S. Nagano, T. Seki, Spontaneous Formation of Vertically Aligned Lamellae in Thin Films of Block Copolymer-Silica Hybrid Material, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **86**, 1151 (2013).
 - 24) N. Kawatsuki, H. Uchimura, R. Hosoda, M. Kondo, Synthesis and Photoinduced Reorientation of Liquid Crystalline Polymers with Phenyl Thiobenzoate Side Groups, *Macromolecules*, **46**, 2092-2099 (2013). DOI: 10.1021/ma4003193 [査読有]
 - 25) Y. Hayata, S. Nagano, Y. Takeoka, T. Seki, Photoinduced Volume Transition in Liquid Crystalline Polymer Gels Swollen by a Nematic Solvent, *ACS Macro Lett.*, **1** (11), 1357-1361 (2012). DOI: 10.1021/mz300447j [査読有]
 - 26) W. Li, T. Dohi, M. Hara, S. Nagano, O. Haba, K. Yonetake, T. Seki, Phototriggered Mass Migration Consorted with Surface Dewetting in Thin Films of a Liquid Crystalline Azobenzene-containing Dendrimer, *Macromolecules*, **45** (16), 6618-6627 (2012). DOI: 10.1021/ma301170x [査読有]
 - 27) H. A. Haque, S. Nagano, T. Seki, Lubricant Effect of Flexible Chain in the Photoinduced Motions of Surface-grafted Liquid Crystalline Azobenzene Polymer Brush, *Macromolecules*, **45** (15), 6095-6013 (2012). DOI: 10.1021/ma300843x [査読有]
 - 28) S. Nagano, Y. Koizuka, T. Murase, M. Sano, Y. Shinohara, Y. Amemiya, T. Seki, A

- Synergy Effect in Morphology Switching: Real Time Observation of Photo-orientation of Microphase Separation in Block Copolymer, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **51** (24), 5884-5888 (2012). DOI: 10.1002/anie.201201346 [査読有]
- 29) N. Kawatsuki, H. Miki, M. Kondo, M. Nakamura, Photoluminescent Color Tuning in Fluorene Derivative/Copolymer Composite Films Based on H-Bonds, *Langmuir*, **28**, 4534-4542(2012) DOI: 10.1021/la205035s (Highlighted by "Noteworthy Chemistry" in American Chemical Society) [査読有]
- 30) N. Kawatsuki, H. Matsushita, T. Washio, M. Kurita, and M. Kondo, Photoinduced Reorientation of a Liquid Crystalline Polymer with Phenyl Benzoate Mesogenic Side Groups on the Basis of an Axis-Selective Photo-Fries Rearrangement, *Macromolecules*, **45**, 8547-8554 (2012). DOI: 10.1021/ma301950g [査読有]

〔学会発表〕(計 477 件) 基調・招待講演の一部のみを以下に示す。

- (1) T. Seki, D. Ymaoka, M. Hara, S. Nagano, Photoalignable Radical Initiator for Anisotropic Polymerization in Liquid Crystalline Media, *19th International Symposium on Advanced Display Materials and Devices (ADMD 2015)*, 韓国慶州, 2015/10/22-23
- (2) N. Kawatsuki, S. Minami, R. Fujii, M. Kondo, Photoinduced orientation of non-photoreactive liquid crystalline polymer doped with cinnamic acid derivatives via H-bond, *The 19th International Symposium on Advanced Display Materials and Devices (ADMD 2015)*, 韓国慶州, 2015/10/22-25, 2015
- (3) T. Seki, Photoalignment of liquid crystalline polymers commanded from the free surface, *7th Italian-Japanese Workshop on Liquid Crystals*, Biblioteca Classense in Ravenna, Italy, 2014/07/7-9
- (4) N. Kawatsuki, Comparison of molecular orientation structure of photoalignable liquid crystalline polymer films at the near-surface and in bulk, *7th Italian-Japanese Workshop on Liquid Crystals and 11th National SICL Meeting*, Ravenna (Biblioteca Classense), Italy, 2014/7/8
- (5) T. Seki, Photoresponsive liquid crystalline polymer films: Molecular architecture and dynamic functions (基調講演), *International Symposium on Advanced Display Materials and Devices (ADMS2013)*, Fudan University・中国上海, 2013/6/27-28

- (6) T. Seki, Smart Photoresponsive Polymer Thin Films, *2012 USA-Japan Seminar on Polymer Synthesis*, Santa Barbara, California・USA, 2012/11/30-12/5
- (7) S. Nagano, Active Photoswitching of Microphase Separation Cylinders in a Liquid Crystalline Azobenzene Block Copolymer thin film, *International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials (ICEAN) 2012*, Brisbane・Australia, 2012/10/24

〔図書〕(計 10 件) 代表的なものを記す。

- (1) T. Seki, N. Kawatsuki, M. Kondo, Photoresponsive, Photosensitive and Photoalignable Materials, *Handbook of Liquid Crystals* (J. W. Goodby, P. J. Collings, T. Kato 編), Vol. 8: Applications of Liquid Crystals, Wiley-VCH, chapter 18, pp. 539-579 (2014).
- (2) T. Seki, M. Hara, S. Nagano, Photoinduced Alignment and Structuring in Thin Films of Azobenzene-Containing Liquid Crystalline Polymers, *New Frontiers in Photochromism* (M. Irie, Y. Yokoyama, T. Seki 編), chapter 5, pp. 79-99, Springer, Heidelberg (2013).

〔その他〕

ホームページ

名古屋大学・関研究室

<http://www.apchem.nagoya-u.ac.jp/06-BS-2/sekiabo/index-j.html>

兵庫県立大学・川月研究室

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/msc/kawatuki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関 隆広 (SEKI, Takahiro)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40163084

(2) 研究分担者

竹岡 敬和 (TAKEOKA, Yukikazu)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20303084

永野 修作 (NAGANO, Shusaku)

名古屋大学・ベンチャービジネスラボラトリー・准教授

研究者番号：40362264

原 光生 (HARA, Mitsuo)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10631971

川月 喜弘 (KAWATSUKI, Nobuhiro)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60271201