

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02769

研究課題名(和文) シングルナノサイズのマイクロ相分離構造を実現するブロック共重合体デザイン

研究課題名(英文) Design of block copolymer to create single-nanosized microphase structure

研究代表者

佐藤 敏文 (Sato, Toshifumi)

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：80291235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ブロック共重合体(BCP)が形成するマイクロ相分離構造の周期間隔を5nm程度に制御する新規方法論の確立を目指すものである。これを達成する方法論として本研究では主に、1) BCPへの分子内架橋の導入による高分子鎖の広がりの抑制ならびに2) BCPへの大環状ユニットの導入を検討した。その結果、1)の方法論では分子内架橋の導入により、対応する線状BCPと比較して47%の周期間隔縮小に成功し、2)の方法論では最大76%もの周期間隔縮小に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブロック共重合体(BCP)はマイクロ相分離構造と呼ばれる数ナノメートル周期の規則構造を形成することが知られており、この規則構造を鋳型に用いることで、従来の光リソグラフィー法では達成が難しい10 nm以下の解像度における半導体ナノ加工が期待されている。しかし、通常のBCPでは10 nm以下の解像度を実現するために必要とされる周期間隔を得ることは困難とされてきた。本研究最大の成果は、従来のBCP分子設計の枠組みとらわれない新たな周期間隔縮小法を見出したことであり、これは将来的に半導体リソグラフィーの高度化、ひいては半導体デバイスの高性能化や低コスト化に繋がるものである。

研究成果の概要(英文)：This study aims to establish new methodologies for controlling the periodicity (domain-spacing) of the microphase-separated structure formed by block copolymers (BCP) to about 5 nm. As a methodology to achieve this, in this study, we mainly examined (1) the restriction of the polymer chain dimension by introducing intramolecular cross-linking into BCP and (2) the introduction of macrocyclic units into BCP. As a result, in the methodology (1), the introduction of intramolecular cross-linking succeeded in reducing the domain-spacing by up to 47%, and in the methodology (2), the domain-spacing was reduced by up to 76% as compared with the corresponding linear BCP.

研究分野：高分子化学

キーワード：マイクロ相分離 ブロック共重合体 特殊構造高分子

1. 研究開始当初の背景

ブロック共重合体 (BCP) のマイクロ相分離を利用した微細加工技術は、10 nm 程度の周期間隔を目指す次世代リソグラフィ技術としてのみならず、高分子材料の微細構造導入による高性能化技術としても大いに期待されている。我々はこれまでに、「高 χ 値 (高い非相溶性) が期待できるオリゴ糖含有ブロック共重合体」を用いて、10 nm 前後のマイクロ相分離構造体の構築に成功している[1-4]。また、汎用的なポリスチレン-ポリメタクリル酸メチルブロック共重合体の化学修飾法でも 10 nm 前後のマイクロ相分離構造の構築に成功している[5,6]。以上に示した我々の研究により、マイクロ相分離に関する有益な実験結果が得られているものの、工業的に要求される加工サイズの微細化は限界を迎えつつあり、2020 年代後半に実用化が期待されている 5 nm 程度の周期間隔を持つ BCP 材料の研究開発はほぼ手つかずの状況にある。従って、さらなる超微細化のためには新たな概念を取り入れた技術開発が急務の課題となっており、ここ数年での重点的な研究が必要である。

2. 研究の目的

このように、5 nm 程度の周期間隔の発現は未知の領域であり、BCP ミクロ相分離の最小極限と考えてよい。本研究の BCP ミクロ相分離の限界に挑もうとするものであり、これを目的とする新規 BCP 材料の戦略的創出が本研究最大の到達点である。

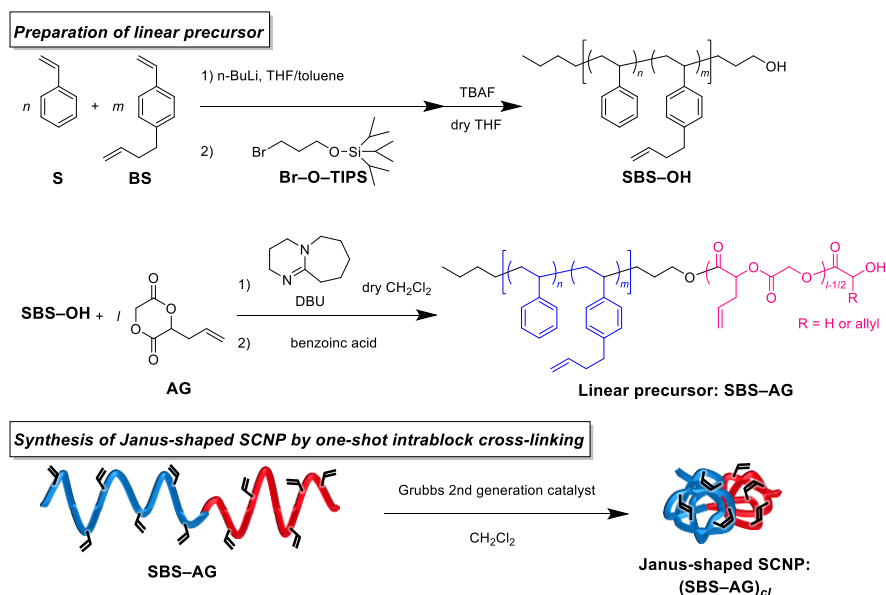
3. 研究の方法

マイクロ相分離構造の周期間隔は $N^{2/3}\chi^{1/6}$ (N は重合度、 χ は Flory-Huggins 相互作用パラメーター) に依存するため、基本的には分子量の小さい BCP を用いることで微細な周期間隔を得ることが出来る。ただし、 χN が少なくとも 10.5 以上でなければ偏斥力が不足し、マイクロ相分離自体が起こらない。そのため、5 nm のような超微細な周期間隔の発現を目指す場合には分子量を限りなく小さくする一方、 $\chi N > 10.5$ を満たすように χ を大きくする必要がある。このような戦略は多くの研究者が新規 BCP の分子設計に取り入れており、ほぼ確立されたアイデアとなっている[7]。しかし、BCP の分子量を小さくすると力学特性や耐熱性もそれに伴って低下し、リソグラフィのテンプレートとしての用途に適さなくなってくると考えられる。このような理由から、本研究では分子量の低下を伴わずに周期間隔の微細化を目指す。これを達成する主な方法として、BCP の分子内架橋と大環状ユニットの導入を本研究で実践したので、その代表的な成果を以下に示す。

4. 研究成果

4-1. 分子内架橋によるマイクロ相分離微細化

分子内架橋とは、高分子 1 本鎖を希釈条件下において分子内のみで架橋させることであり、これにより得られる高分子を単分子ナノ粒子 (SCNP) と呼んでいる[8]。SCNP は前駆体である線状高分子よりも分子の広がりが抑制されており、これによりマイクロ相分離の周期間隔縮小が期待できる。そこで本研究では



Scheme 1. 新規 SCNP の合成経路。

ポリスチレンとポリグリコール酸からなる BCP の側鎖に二重結合を導入し、大希釈条件下でオレフィンメタセシス反応を行うことで BCP の両ブロックが分子内架橋した SCNP を合成し、そのマイクロ相分離挙動を調査した。まず、Scheme 1 に従って、ポリマー鎖全体に二重結合を導入したジブロック共重合体を調製した。スチレン (S; 50 mol%) と *p*-(3-ブテンイル)スチレン (BS; 50 mol%) のリビングアニオン共重合と続く停止反応により末端水酸化基化 poly(S-*st*-BS) を得た。これをマクロ開始剤としてアリルグリコリド (AG) の開環重合を行い、線状の poly(S-*st*-BS)-*b*-

polyAG (SBS-AG; $M_{n,SBS} = 12,400$, $M_{n,AG} = 8,700$) を合成した。続いて、オレフィンメタセシス反応により SBS-AG の分子内架橋を試みた[9]。SBS-AG の大希釈 CH_2Cl_2 (0.33 g L^{-1}) 溶液に Grubbs 第二世代触媒を加え、アルゴンをバブリングしながら反応を行うことで、分子内架橋ポリマー ((SBS-AG)_{cl}) を得た。生成物の SEC 測定の結果、反応前と比較して溶出ピークが低分子量側へ大幅にシフトすることが明らかになった。一方、高分子量側には溶出ピークは見られず、分子間架橋による副生成物がほぼ存在しないことが確認できた。続いて、光散乱検出器付き SEC によって絶対分子量を求めたところ、反応前後で分子量に変化はほとんど見られなかった。これらの結果は、直鎖状前駆体である SBS-AG に比較して、(SBS-AG)_{cl} は溶液中で著しく収縮した形態となっていることを示唆している。さらに、DMF 溶液の小角 X 線散乱 (SAXS) 測定を行い、Guiner プロット解析すると慣性半径 (R_g) は 2.2 nm と求められ、反応前の SBS-AG ($R_g = 3.1 \text{ nm}$) よりもコンパクトなコンフォメーションを持つことが判明した。さらに、NMR による詳細な構造解析の結果、SBS-AG の架橋はブロック内で優先して進行し、Janus 構造を持った SCNP が得られたことが明らかとなった。

最後に、SBS-AG および (SBS-AG)_{cl} を THF 蒸気でアニーリングし、バルク状態における SAXS 測定を行い、マイクロ相分離構造を調査した (Figure 1a)。SBS-AG の SAXS プロファイルは $q^* = 0.262 \text{ nm}^{-1}$ に第一ピークを示し、さらに $2q^*$ と $\sqrt{7}q^*$ の位置に高次ピークを示した。このことから、ドメイン間隔 ($d = 2\pi/q^*$) が 24.0 nm のヘキサゴナルシリンドラー (HEX) 構造を形成していることが判明した。一方、(SBS-AG)_{cl} の SAXS プロファイルは $q^* = 0.492 \text{ nm}^{-1}$ の第一ピークに加え、 $2q^*$ の位置にもピークを示しており、ドメイン間隔 12.7 nm のラメラ (LAM) 構造を形成していることが判明した。同様のアニーリング条件で調製したサンプルに対して透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察を行った結果からも、それぞれ HEX と LAM 構造に対応する構造が確認できた (Figure 1b)。これらの結果から、分子内架橋を施すことで直鎖状体と比べて著しく小さなマイクロ相分離構造を形成できることが明らかとなった。この手法を $d = 10 \text{ nm}$ 程度の線状 BCP に適用することで、分子量を犠牲にせず 5 nm 程度の周期間隔を実現できると期待される。

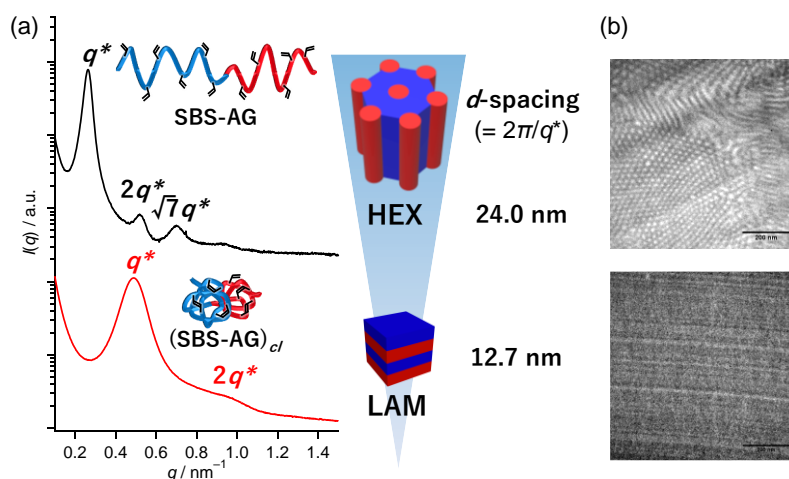


Figure 1. (a) 分子内架橋前後の SAXS プロファイル。 (b) 分子内架橋前後の TEM 画像。

同様のアニーリング条件で調製したサンプルに対して透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察を行った結果からも、それぞれ HEX と LAM 構造に対応する構造が確認できた (Figure 1b)。これらの結果から、分子内架橋を施すことで直鎖状体と比べて著しく小さなマイクロ相分離構造を形成できることが明らかとなった。この手法を $d = 10 \text{ nm}$ 程度の線状 BCP に適用することで、分子量を犠牲にせず 5 nm 程度の周期間隔を実現できると期待される。

4-2. 大環状ユニットの導入によるマイクロ相分離微細化

環状 BCP は同一分子量の線状 BCP と比較してマイクロ相分離の周期間隔が縮小することが知られている。これは環状構造とすることで R_g が減少することと関連している。同一分子量のまま、環状ユニットをさらに増やすことで周期間隔の更なる縮小が期待される。そこで、単環状、タッドポール型、8 の字型、三つ葉型、3 本鎖かご型構造を有する両親媒性 BCP をモデルに用い、それらのナノスケール薄膜に対する斜入射小角 X 線散乱 (GISAXS) 解析によって環状トポロジーがマイクロ相分離構造や周期間隔に与える影響を調査した (Figure 2)。ここで用いたサンプルは全て、過去に我々が開発した合成法に基づき調製している[10,11]。また、全て同一の親水/疎水ブロックから構成されており、その体積分率が 1:1 で、合計分子量は 22000 程度に統一している。

まず、単環状およびタッドポール型 BCP ならびに対応する線状体について薄膜状態で SAXS 測定を行った。その結果、予想通り環状ユニットの導入により、対応する線状鎖より d が縮小することが判明した。続いて、異なるブロック配列を有する 8 の字型両親媒性 BCP について薄膜状態で SAXS 測定を行った。GISAXS の定量的解析の結果、何れの 8 の字型サンプルにおいても高度に配列したマイクロ相分離構造を形成することが判明した。一方、対応する直鎖状体はラメラ状のマイクロ相分離構造を示したが、配列性は 8 の字型 BCP より圧倒的に劣っていた。また、線状体と 8 の字型サンプルの間で d に大きな差がみられることが明らかとなった。すなわち、8 の字型 BCP が形成したマイクロ相分離構造の d は線状体のそれよりも 51.3-72.8%減少していた。続いて、異なるブロック配列を有する三つ葉型および 3 本鎖かご型両親媒性 BCP ならびに対応する線状体について薄膜状態で SAXS 測定を行った。その結果、ブロック配列によってヘキサゴナルシリンドラーまたはラメラ状のマイクロ相分離構造を形成することが明らかとなった。また、多環状体が形成するマイクロ相分離構造の d は線状体と比較して大幅に減少していることがわかり、かご型 BCP では 54.8~74.5%、三つ葉型 BCP では 59.2~76.3%減少していた。 d の減少率は分子サイズと相関があり、実際にサイズ排除クロマトグラフィーの結果から同一分子量の三つ葉型

とかご型 BCP で比較すると前者の方がよりコンパクトなコンフォメーションを持つことがわかっている[11]。

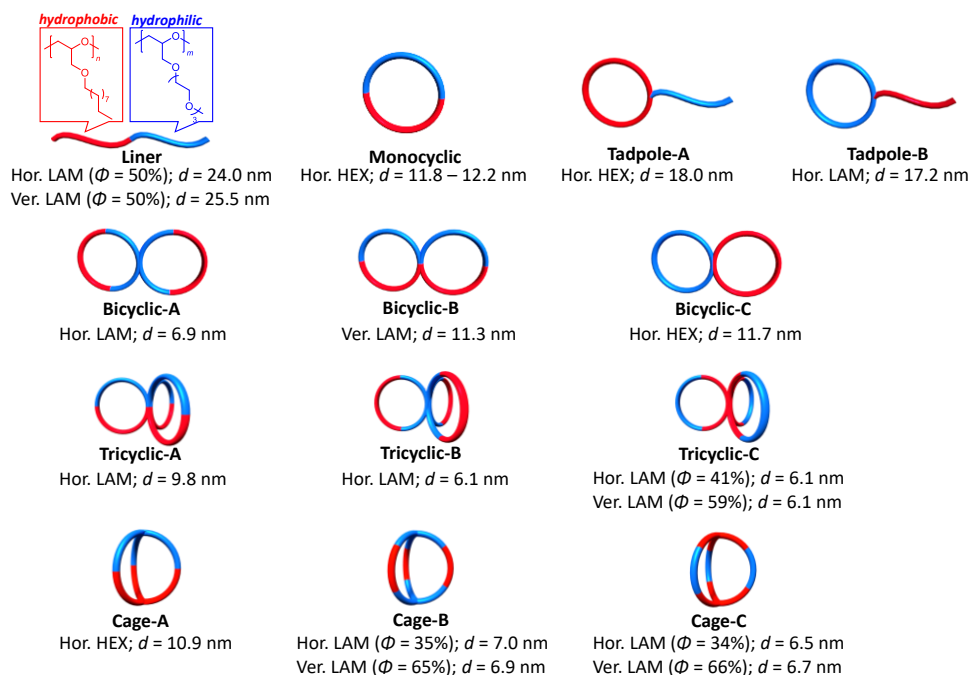


Figure 2. 各種両親媒性 BCP のトポロジーとマイクロ相分離構造のまとめ。

先述の通り、BCP の d は χ および N と関連することが知られており ($d \sim N^{2/3} \chi^{1/6}$)、分子量が同等であるサンプル間でここまで大きく d が大きく変化したことは高分子鎖のトポロジーの影響と理解することが出来る。過去のシミュレーションにより単環状ブロック共重合体が形成するマイクロ相分離構造の d は直鎖状体より最大でも 40%程度しか縮小しないことが明らかになっている[12]。そのため、線状体と比べて最大 76.3%の周期間隔縮小は特筆すべき成果と言える。以上より、ポリマー全体の分子量を一定にしたまま環状ユニット数を増やすことでさらに d を減少できることを示すことが出来た。さらに、もっとも周期間隔の縮小割合が大きい Tricycle-A については $d = 6$ nm であり、本研究の目標である 5 nm 周期をほぼ達成できたと言える。分子量 20000 以上の比較的高分子量の BCP から 6 nm レベルの超微細周期間隔を実現できたことは、次世代リソグラフィ用 BCP 材料開発の分野に強くインパクトを与える成果であると考えている。

参考文献

- Isono, T.; Otsuka, I.; Kondo, Y.; Halila, S.; Fort, S.; Rochas, C.; Satoh, T.; Borsali, R.; Kakuchi, T. *Macromolecules* **2013**, *46*, 1461-1469.
- Isono, T.; Otsuka, I.; Suemasa, D.; Rochas, C.; Satoh, T.; Borsali, R.; Kakuchi, T. *Macromolecules* **2013**, *46*, 8932-8940.
- Otsuka, I.; Zhang, Y.; Isono, T.; Rochas, C.; Kakuchi, T.; Satoh, T.; Borsali, R. *Macromolecules* **2015**, *48*, 1509-1517.
- Isono, T.;* Ree, B. J.; Tajima, K.; Borsali, R.; Satoh, T. *Macromolecules* **2018**, *51*, 428-437.
- Yoshida, K.; Tian, L.; Miyagi, K.; Yamazaki, A.; Mamiya, H.; Yamamoto, T.; Tajima, K.; Isono, T.; Satoh, T. *Macromolecules* **2018**, *51*, 8064-8072.
- Yoshida, K.; Tanaka, S.; Yamamoto, T.; Tajima, K.; Borsali, R.; Isono, T.; Satoh, T. *Macromolecules* **2018**, *51*, 8870-8877.
- Sinturel, C.; Bates, F. S.; Hillmyer, M. A. *ACS Macro Lett.* **2015**, *4*, 1044-1050.
- Lyon, C. K.; Parasher, A.; Hankin, A. M.; Tuten, B. T.; Tooley, C. A.; Frank, P. G.; Breda, E. B. *Polym. Chem* **2015**, *6*, 181-197.
- Watanabe, K.; Tanaka, R.; Takada, K.; Kim, M.-J.; Lee, J.-S.; Tajima, K.; Isono, T.; Satoh, T. *Polym. Chem.* **2016**, *7*, 4782-4792.
- Isono, T.; Satoh, Y.; Miyachi, K.; Chen, Y.; Sato, S.-i.; Tajima, K.; Satoh, T.; Kakuchi, T. *Macromolecules* **2014**, *47*, 2853-2863.
- Satoh, Y.; Matsuno, H.; Yamamoto, T.; Tajima, K.; Isono, T.; Satoh, T. *Macromolecules* **2017**, *50*, 97-106.
- Goodson, A. D.; Troxler, J. E.; Rick, M. S.; Asbaugh, H. S.; Albert, J. N. L. *Macromolecules* **2019**, *52*, 9389-9397.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ree Brian J., Satoh Yusuke, Isono Takuya, Satoh Toshifumi	4. 巻 20
2. 論文標題 Bicyclic Topology Transforms Self-Assembled Nanostructures in Block Copolymer Thin Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 6520 ~ 6525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c02268	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Watanabe Kodai, Katsuhara Satoshi, Mamiya Hiroaki, Kawamura Yukihiro, Yamamoto Takuya, Tajima Kenji, Isono Takuya, Satoh Toshifumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Highly asymmetric lamellar nanostructures from nanoparticle-linear hybrid block copolymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 16526 ~ 16534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0nr05209d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hsu Li-Che, Kobayashi Saburo, Isono Takuya, Chiang Yun-Chi, Ree Brian J., Satoh Toshifumi, Chen Wen-Chang	4. 巻 53
2. 論文標題 Highly Stretchable Semiconducting Polymers for Field-Effect Transistors through Branched Soft-Hard-Soft Type Triblock Copolymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7496 ~ 7510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c00381	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Chiang Yun Chi, Hung Chih Chien, Lin Yan Cheng, Chiu Yu Cheng, Isono Takuya, Satoh Toshifumi, Chen Wen Chang	4. 巻 10
2. 論文標題 High Performance Nonvolatile Organic Photonic Transistor Memory Devices using Conjugated Rod-Coil Materials as a Floating Gate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2002638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202002638	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Isono Takuya, Nakahira Saki, Hsieh Hui-Ching, Katsuhara Satoshi, Mamiya Hiroaki, Yamamoto Takuya, Chen Wen-Chang, Borsali Redouane, Tajima Kenji, Satoh Toshifumi	4. 巻 53
2. 論文標題 Carbohydrates as Hard Segments for Sustainable Elastomers: Carbohydrates Direct the Self-Assembly and Mechanical Properties of Fully Bio-Based Block Copolymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 5408 ~ 5417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c00611	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hsu Li-Che, Isono Takuya, Lin Yan-Cheng, Kobayashi Saburo, Chiang Yun-Chi, Jiang Dai-Hua, Hung Chih-Chien, Ercan Ender, Yang Wei-Chen, Hsieh Hui-Ching, Tajima Kenji, Satoh Toshifumi, Chen Wen-Chang	4. 巻 13
2. 論文標題 Stretchable OFET Memories: Tuning the Morphology and the Charge-Trapping Ability of Conjugated Block Copolymers through Soft Segment Branching	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 2932 ~ 2943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c18820	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jiang Dai-Hua, Ree Brian J., Isono Takuya, Xia Xiao-Chao, Hsu Li-Che, Kobayashi Saburo, Hoon Ngoi Kuan, Chen Wei-Cheng, Jao Chih-Chun, Veeramuthu Loganathan, Satoh Toshifumi, Huang Tung Shih, Kuo Chi-Ching	4. 巻 418
2. 論文標題 Facile one-pot synthesis of rod-coil bio-block copolymers and uncovering their role in forming the efficient stretchable touch-responsive light emitting diodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 129421 ~ 129421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2021.129421	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mumtaz Muhammad, Takagi Yasuko, Mamiya Hiroaki, Tajima Kenji, Bouilhac Cecile, Isono Takuya, Satoh Toshifumi, Borsali Redouane	4. 巻 134
2. 論文標題 Sweet Pluronic poly(propylene oxide)-b-oligosaccharide block copolymer systems: Toward sub-4nm thin-film nanopattern resolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 109831 ~ 109831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eurpolymj.2020.109831	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Isono Takuya, Komaki Ryoya, Lee Chaehun, Kawakami Nao, Ree Brian J., Watanabe Kodai, Yoshida Kohei, Mamiya Hiroaki, Yamamoto Takuya, Borsali Redouane, Tajima Kenji, Satoh Toshifumi	4. 巻 3
2. 論文標題 Rapid access to discrete and monodisperse block co-oligomers from sugar and terpenoid toward ultrasmall periodic nanostructures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-020-00385-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jiang Dai-Hua, Kobayashi Saburo, Jao Chih-Chun, Mato Yoshinobu, Isono Takuya, Fang Yu-Han, Lin Chun-Che, Satoh Toshifumi, Tung Shih-Huang, Kuo Chi-Ching	4. 巻 12
2. 論文標題 Light Down-Converter Based on Luminescent Nanofibers from the Blending of Conjugated Rod-Coil Block Copolymers and Perovskite through Electrospinning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 84 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym12010084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wu Ping Han, Lin Yan Cheng, Laysandra Livy, Lee Meng Hsien, Chiu Yu Cheng, Isono Takuya, Satoh Toshifumi, Chen Wen Chang	4. 巻 41
2. 論文標題 Organic-Inorganic Nanocomposite Film for High Performance Stretchable Resistive Memory Device	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecular Rapid Communications	6. 最初と最後の頁 1900542 ~ 1900542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/marc.201900542	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Katsuhara Satohi, Mamiya Hiroaki, Yamamoto Takuya, Tajima Kenji, Isono Takuya, Satoh Toshifumi	4. 巻 11
2. 論文標題 Metallopolymer-block-oligosaccharide for sub-10 nm microphase separation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 2995 ~ 3002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0PY00271B	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 貝沢 野矢・渡部 航大・磯野 拓也・山本 拓矢・田島 健次・佐藤 敏文
2. 発表標題 直鎖状ブロックコポリマーのワンステップ分子内架橋によるマイクロ相分離構造の微細化
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 勝原 哲・磯野 拓也・山本 拓矢・田島 健次・佐藤 敏文
2. 発表標題 末端にオリゴ糖鎖を有するポリビニルフェロセンの合成とマイクロ相分離挙動
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 勝原 哲・磯野 拓也・山本 拓矢・田島 健次・佐藤 敏文
2. 発表標題 シングルナノスケールでのマイクロ相分離を実現するオリゴ糖鎖含有メタロポリマーの合成
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 貝沢 野矢・渡部 航大・磯野 拓也・山本 拓矢・田島 健次・Brian J. Ree・佐藤 敏文
2. 発表標題 ブロック共重合体のブロック内架橋によるヤヌス型ポリマーの合成
3. 学会等名 2020年度 第55回北海道支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 貝沢野矢、渡部航大、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 ヤヌス型分子内架橋ブロック共重合体の合成とミクロ相分離解析
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 貝沢野矢、渡部航大、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 Synthesis of block copolymers with double intramolecularly crosslinked domains
3. 学会等名 2nd Asian-French Workshop on Polymer Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 貝沢野矢、渡部航大、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 分子内架橋ドメインからなるヤヌス型ブロック共重合体の合成
3. 学会等名 日本化学会北海道支部2019年夏季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木靖子、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、Redouane Borsali、佐藤敏文
2. 発表標題 オリゴ糖とポリプロピレンオキシドからなるブロック共重合体の合成とミクロ相分離挙動
3. 学会等名 2019年度 北海道高分子若手研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部航大、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 分子内架橋型ブロック共重合体による非対称ラメラ状ナノ構造の構築
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部航大、勝原哲、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 Controlling Feature Size and Morphology of Microphase-Separated Structures
3. 学会等名 5th DSA Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 勝原哲、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 Synthesis and Microphase Separation Behavior of Block Copolymer Consisting of Metallopolymer and Oligosaccharide
3. 学会等名 Korea-Japan Joint Symposium on Polymer Science 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中舜馬、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 ポリスチレン ポリメタクリル酸メチル共重合体のポリスチレン側鎖修飾によるミクロ相分離 挙動の制御
3. 学会等名 第54回高分子学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshifumi Satoh
2. 発表標題 Downsizing Feature of Microphase-separated Structures via Intramolecular Crosslinking of Block Copolymer
3. 学会等名 Japan Taiwan Bilateral Polymer Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshifumi Satoh
2. 発表標題 Downsizing Feature of Microphase-separated Structures via Intramolecular Crosslinking of Block Copolymer
3. 学会等名 Korea-Japan Joint Polymer Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshifumi Satoh
2. 発表標題 Downsizing Feature of Microphase-separated Structures via Intramolecular Crosslinking of Block Copolymer
3. 学会等名 2nd Asian-French Workshop on Polymer Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤敏文
2. 発表標題 高分子合成で目指す超微細構造体 - 特殊構造高分子のデザインを駆使して10nm 以下の相分離構造を作る -
3. 学会等名 PIPST学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤敏文
2. 発表標題 特殊構造高分子の精密合成 - 重合触媒開発からミクロ相分離構造解析まで -
3. 学会等名 関東高分子若手研究会2019 ミニシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kodai Watanabe, Takuya Isono, Toshifumi Satoh
2. 発表標題 Downsizing Feature of Microphase-separated Structures via Intramolecular Crosslinking of Block Copolymer
3. 学会等名 Federation of Asian Polymer Societies 2019 Polymer Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshifumi Satoh
2. 発表標題 Synthesis and Self-assembly of Sugar-based Monodisperse Block Copolymers
3. 学会等名 International Green Materials workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤敏文
2. 発表標題 オリゴ糖を有する高分子材料の合成と自己組織化
3. 学会等名 2019高分子学会東北支部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 相分離構造形成用樹脂組成物、相分離構造を含む構造体の製造方法、及び ブロックコポリマー	発明者 宮城賢、太宰尚宏、 佐藤敏文、磯野拓也、田中舜馬	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-10090	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

高分子化学研究室 https://poly-ac.eng.hokudai.ac.jp/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山本 拓矢 (Yamamoto Takuya) (30525986)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	磯野 拓也 (Isono Takuya) (70740075)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
その他の国・地域	国立台湾大学	国立台北科技大	国立台湾科技大学	
フランス	フランス国立科学研究センター・植物高分子研究所			
韓国	Pohang Accelerator Laboratory			