

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14268

研究課題名(和文)単分散糖鎖ブロック共重合体によるシングルナノ相分離構造の戦略的構築

研究課題名(英文)Strategic construction of single nano-scale microphase-separated structures by monodisperse sugar-based block copolymers

研究代表者

磯野 拓也(Isono, Takuya)

北海道大学・工学研究院・助教

研究者番号：70740075

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文):オリゴ糖鎖とテルペノイドを出発物質とすることで、離散的な重合度を有する単分散ブロック共重合体(BCP)の簡便合成に成功した。こうして得られた単分散糖鎖BCPは糖鎖と炭化水素という超強偏斥な組み合わせからなっているため、2000 g/mol以下の低分子量領域でもマイクロ相分離が可能である。単分散糖鎖BCPは体積分率や重合度に応じて、周期間隔4~8 nmのラメラ、ジャイロイドおよびヘキサゴナルシリンダー状マイクロ相分離構造を形成した。また、分子量分布のあるBCPとの比較検討により、単分散であることが最小の周期間隔を維持しつつマイクロ相分離構造を再現性良く構築するために重要であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

単分散BCPは高度に秩序だったマイクロ相分離構造を形成すると考えられ、精密なナノ加工テンプレートとして期待される。しかし、煩雑な合成がネックとなり単分散BCPの基礎研究や応用利用は非常に限られる。こうした背景から、本研究ではオリゴ糖鎖とテルペノイドからなる単分散糖鎖BCPを提案した。単分散糖鎖BCPは合成が容易であるうえ、超微細領域で様々なマイクロ相分離構造を形成可能である。そのため、基礎研究素材として有用であり、単分散BCPに関する基礎科学の進歩に大いに貢献すると期待される。また、単分散糖鎖BCPから構築される微細なマイクロ相分離構造は超高解像度リソグラフィ用レジストとして応用が期待される。

研究成果の概要(英文): Monodisperse block copolymers (BCP) with discrete degree of polymerizations were readily synthesized starting from oligosaccharides and terpenoids. Since the monodisperse oligosaccharide-based BCPs are consisted of a highly immiscible pair of saccharides and hydrocarbons, they successfully microphase separate into well-ordered morphologies despite their low molecular weight of less than 2000 g/mol. Depending on the volume fraction and degree of polymerization, the BCPs formed the lamellar, gyroid, and hexagonally close-packed cylinder microphase-separated morphologies with 4 - 8 nm periodicity. By comparing with the polydisperse version of the BCPs, it was found that the monodispersity is critically important to realize the small periodicity and to reproduce the microphase-separated structures.

研究分野：高分子化学

キーワード：ブロック共重合体 ミクロ相分離 自己組織化 単分散ポリマー 糖鎖

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在広く用いられている光リソグラフィー技術は、要求される加工サイズの微細化 (~20 nm) に伴い限界を迎えつつある。近年、それに代わる次世代技術としてブロック共重合体 (BCP) リソグラフィーの実用化が切望されている¹。本手法では、互いに非相溶性な高分子鎖から構成された BCP が形成するマイクロ相分離構造を利用しており、20 nm 以下の加工を達成できるとされる。しかし、2020 年代後半に実用化が期待されている 2~3nm 解像度での半導体加工に適用可能な BCP 材料の研究開発は完全に手つかずの状況にある。例えば、2.5 nm 解像度の実現には周期間隔 5 nm のマイクロ相分離が必要であるが、6~7 nm の周期間隔 (3~3.5 nm の解像度に相当) でマイクロ相分離を実現した BCP でもわずかしき報告例はない^{2,4}。

5 nm の周期間隔を得るには BCP の分子量は数千程度の範囲である必要があり、この分子量領域にて相分離するためにはブロック間の非相溶性が極めて大きいことが要求される。他にも旧来まったく検討されてこなかった様々な難問題が想定される。こうした低分子量の高分子においては重合度 1 のばらつきが持つ影響は相対的に大きく、マイクロ相分離パターンの欠陥や界面ラフネスの増大につながる。したがって、超微細領域で秩序性の高いマイクロ相分離構造を得るためには極めて高い非相溶性を示すポリマーの組み合わせからなる単分散 ($D = M_w/M_n = 1.00$) な BCP が必要になると予想される。

このように、単分散 BCP はリソグラフィー応用に極めて有用な材料と考えられるが、その合成がネックとなって応用はおろかマイクロ相分離に関する基礎研究すらままならない状況である。これまでに単分散 BCP の合成例はいくつか報告されているが、多分散ポリマーのクロマトグラフィーによる分取精製または繰り返しユニットの逐次伸長を必要としており、詳細にマイクロ相分離挙動を検討するための系統的な BCP 合成は極めて困難である。

2. 研究の目的

我々は過去の研究において、糖鎖と疎水性高分子からなる BCP (以下、糖鎖 BCP) が非常に高い非相溶性に基づいて低分子量領域においても容易にマイクロ相分離することを見出している⁵。したがって、糖鎖と疎水性高分子の組み合わせは 5 nm に迫る周期間隔の発現を目指す単分散 BCP の構成成分として最適と考えた。また、重合度が規定された単分散オリゴ糖鎖は市販されており、比較的容易に入手できることから単分散 BCP の一成分として利便性が高い。一方、本研究では疎水性ブロックとしてイソプレン単位からなる天然由来炭化水素 (テルペノイド類) に着目した。例えば、3、4、9 つのイソプレン単位から構成されるファルネソール、トコフェロールおよびソラネソールは容易に入手可能であり、これらをオリゴ糖鎖へ連結させることで離散的な重合度を有する単分散糖鎖 BCP を容易に調製できると着想した。

そこで本研究では、オリゴ糖鎖とテルペノイドからなる単分散糖鎖 BCP の簡便合成法を確立し、単分散 BCP における一次構造と相分離の相関に関する基礎科学を構築すると同時に 2~3 nm 解像度のナノ加工へ応用可能な材料開発に繋げることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 単分散ブロック共重合体の合成

単分散糖鎖 BCP は図 1 の合成経路に従って合成した。まず、ファルネソール、トコフェロールおよびソラネソールに対してアジドヘキサ酸を縮合させ、アジド化テルペノイド (N_3 -Far、 N_3 -Toc、 N_3 -Sol) を合成した。続いて、還元末端にプロパルギル基を導入したマルトオリゴ糖 ($Glc_n-C=CH$; n = グルコースのユニット数) を既知の方法により合成した⁶。最後に、銅触媒存在下、THF と DMF の混合溶媒中でアジド化テルペノイドと $Glc_n-C=CH$ を反応させ、目的とする単分散糖鎖 BCP (Glc_n-b -Sol ($n = 1\sim 7$)、 Glc_n-b -Toc ($n = 1$ and 2)、 Glc_1-b -Far) を合成した。反応生成物を水とアセトニトリルの混合溶媒へ再沈殿することで容易に目的 BCP を単離することができ、収率はおおむね 70%以上であった。グラムスケールで単分散 BCP を合成できたことは特筆に値する。BCP の構造解析は赤外吸収スペクトル、核磁気共鳴スペクトル、マススペクトル、およびサイズ排除クロマトグラフィー測定により行った。特に、マススペクトル解析により生成 BCP が実際に単分散であることを確認した。

(2) ミクロ相分離構造の解析方法

単分散糖鎖 BCP のバルク中におけるマイクロ相分離構造を解析するため、小角 X 線散乱 (SAXS) 測定を行った。BCP 粉末をガラスキャピラリーに入れ、真空下、所定の温度で所定時間アニーリングを行った。これらのサンプルについて、高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリー BL-6A ビームライン (つくば) にて SAXS 測定を行った。SAXS 測定は室温で行った。また、一部の BCP については斜入射小角 X 線散乱 (GISAXS) 測定および原子間力顕微鏡 (AFM) 観察により、薄膜中でのマイクロ相分離構造を検討した。BCP をトルエン/DMF の混合溶媒に溶解し、表面を親水化処理したシリコン基板にスピンコートすることで薄膜サンプルを得た。GISAXS 測定は ALBA Synchrotron BL-11 (スペイン、バルセロナ) または Pohang Accelerator Laboratory 3C ビームライン (韓国、浦項) にて行った。AFM 測定は Agilent Technologies PicoPlus を使い、タッピングモードにて行った。カンチレバーは NANOSENSORS PPP-NCHR または SSS-NCHR を用いた。

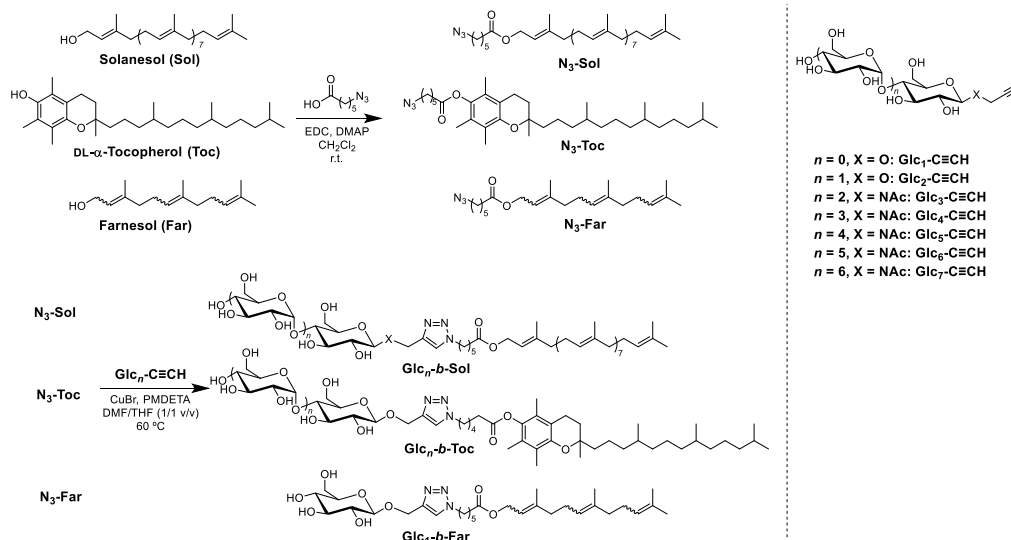


図 1. 単分散糖鎖 BCP の合成経路

4. 研究成果

(1) バルク中における単分散ブロック共重合体のマイクロ相分離

まず、ソラネソールからなる BCP ($\text{Glc}_n\text{-}b\text{-Sol}$ ($n = 1 - 7$)) について SAXS 測定を行い、バルク中におけるマイクロ相分離挙動について検討を行った。100 または 130 °C で 36 時間熱アニリングを施したサンプルの SAXS プロファイルを図 2 にまとめた。糖鎖体積分率 (f_{sugar}) が最も小さい $\text{Glc}_1\text{-}b\text{-Sol}$ の SAXS プロファイルからはヘキサゴナルシリンダー (HEX) 構造に帰属されるシャープな散乱ピークが観測されており、明確なマイクロ相分離構造を形成していることが明らかとなった。親水性ブロックの重合度がわずか 1 であるにもかかわらずマイクロ相分離したことは特筆に値する。HEX 構造の周期間隔であるドメイン間隔 ($d = 2\pi/q^*$) は 5.5 nm と計算され、これは過去に報告された糖鎖含有 BCP の中で最も小さな値である。このサンプルについては HEX に帰属される散乱ピークの他に、 $d = 12.7$ nm のラメラ構造に帰属される散乱ピークも確認された。これはマイクロ相分離ではなく、結晶化によって生じたナノ構造体と考えられる。

続いて、グルコースユニットが 1 つ増加した $\text{Glc}_2\text{-}b\text{-Sol}$ の SAXS プロファイルを解析したところ、ジャイロイド (GYR) 構造を形成していることが明らかになった。GYR 構造の格子定数 a_{cub} は 15.1 nm と見積もられた。これは糖鎖 BCP で GYR 構造を観測した初の例である。

グルコースユニット数が 3~5 の場合、どの BCP もラメラ (LAM) 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。 d は 6.7~7.5 nm と求められた。興味深いことに、グルコースユニットが 1 つ増えるに従って d は約 0.4 nm 増加することがわかった。また、 $\text{Glc}_5\text{-}b\text{-Sol}$ の SAXS プロファイルにおいて第二散乱ピークが消失していることから、ラメラの 2 つのドメイン厚みがほぼ同一であることが示唆された。各ドメインの厚みは 3.8 nm 程度と見積もられ、超微細なナノ加工用テンプレートとしての応用が期待できる。

一方、グルコースユニットが 6 と 7 の場合、SAXS プロファイルはブロードなピークを示すの

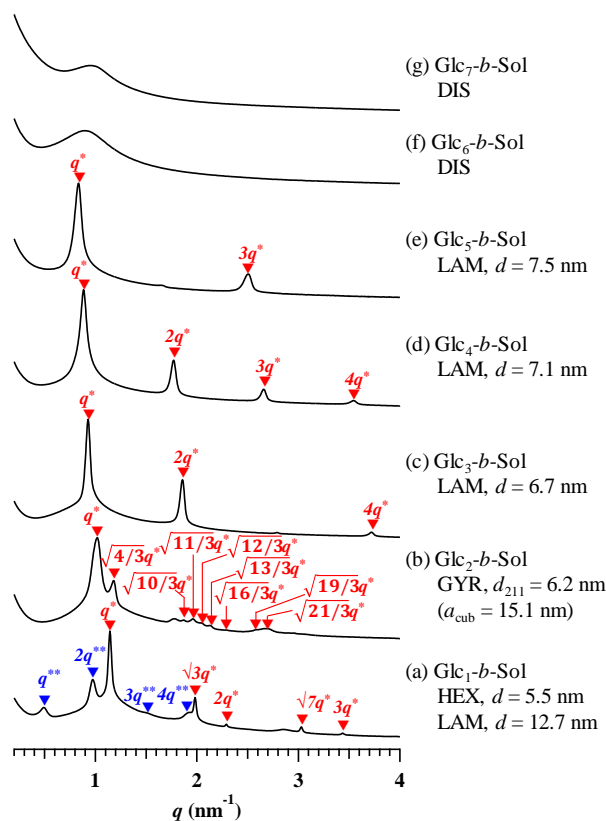


図 2. $\text{Glc}_n\text{-}b\text{-Sol}$ ($n = 1 - 7$) の SAXS プロファイル。 $\text{Glc}_2\text{-}b\text{-Sol}$ は 100 °C、その他は 130 °C で 36 時間アニリングしてから測定に供した。

みであり、明確なマイクロ相分離構造の形成は確認されなかった。これは、グルコースユニット数が増えるごとにマルトオリゴ糖のガラス転移温度が上昇し、平衡状態に達するための十分な分子運動性が得られなかったことに起因すると考えられる。

以上の相分離挙動を図 3 の相図にまとめた。相図の横軸は f_{sugar} 、縦軸は糖鎖ブロックのグルコースユニットとテルペノイドブロックのイソプレレンユニットの合計重合度 ($DP_{\text{Glc}} + DP_{\text{isoprene}}$) とした。図 3 からわかるように、 $\text{Glc}_n\text{-}b\text{-Sol}$ のマイクロ相分離構造は f_{sugar} の増大に伴って HEX から GYR、最終的に LAM へとシフトしていくことが判明した。このように体積分率に応じてモルフォロジーがシフトする傾向は一般的な BCP と基本的には一致している。したがって、単分散糖鎖 BCP においても従来の BCP の分子設計と同様、体積分率に応じてマイクロ相分離のモルフォロジーを制御できることが明らかとなった。

次に、テルペノイドブロックの重合度が小さい BCP についてもマイクロ相分離構造を検証した。その結果、 $\text{Glc}_1\text{-}b\text{-Toc}$ 、 $\text{Glc}_2\text{-}b\text{-Toc}$ および $\text{Glc}_1\text{-}b\text{-Far}$ の何れにおいてもシャープな散乱ピークが観測され、それぞれ LAM、GYR、LAM 構造に帰属された。このように分子量 1000 以下の BCP でマイクロ相分離が達成されたことは特筆に値する結果である。これは、オリゴ糖鎖と炭化水素という超強偏析な組み合わせゆえに実現されたものと考えられる。また、最も分子量の小さい $\text{Glc}_1\text{-}b\text{-Far}$ から得られた LAM 構造の d は 4.2 nm であり、これは過去に報告された有機系 BCP では最小レベルである。

以上のように、単分散なオリゴ糖鎖とテルペノイドから合成された単分散糖鎖 BCP は超微細な周期でマイクロ相分離することがわかり、そのモルフォロジーや周期間隔は各ブロックのグルコースおよびイソプレレンユニット数の設計により制御できることが明らかとなった。

(2) 分子量分布の影響

超微細領域でのマイクロ相分離において、BCP の分子量分散度が与える影響に興味を持たれる。そこで、糖鎖重合度の異なる単分散 $\text{Glc}_n\text{-}b\text{-Sol}$ ($n = 1 - 5$) をブレンドすることで意図的に分子量分布を持つ BCP サンプルを調製し、そのマイクロ相分離構造を評価した。例えば、 $\text{Glc}_1\text{-}b\text{-Sol}$ と $\text{Glc}_5\text{-}b\text{-Sol}$ を 1:1 のモル比で混合したサンプルは平均の糖鎖重合度は 3 となり $\text{Glc}_3\text{-}b\text{-Sol}$ と同等だが、糖鎖の分子量分散度 (D_{Glc}) は異なる。このように適切なモル比でブレンドすることによって $\text{Glc}_3\text{-}b\text{-Sol}$ および $\text{Glc}_4\text{-}b\text{-Sol}$ に相当する一連の多分散サンプルを調製し、熱アニーリングを施した後に SAXS 測定を行った。

多分散 $\text{Glc}_3\text{-}b\text{-Sol}$ シリーズの SAXS プロファイルを図 4 に示す。いずれのサンプルも D_{Glc} にかかわらずシャープな複数の散乱ピークが観測され、明確なマイクロ相分離構造を示すことが判明した。これは過去に Meijer ら²が報告した結果とはやや異なる。彼らは分子量分散度の増加とともに長距離秩序性が失われ、最終的にはマイクロ相分離しなくなることを報告している。多分散 $\text{Glc}_3\text{-}b\text{-Sol}$ のシリーズにおいては、 D_{Glc} の増大に伴い LAM から GYR、最終的に HEX 構造へとモルフォロジーがシフトすることが確認された。これは、分子鎖長の異なる糖鎖が混在することで糖鎖同士がパッキングする際に曲率を持った界面を形成できるようになったことに起因すると考えられる。また、同時に d も僅かながら増大する傾向が見られた。

一方で多分散 $\text{Glc}_4\text{-}b\text{-Sol}$ シリーズでは何も LAM 構造を形成しており、 d が増大するのみで D_{Glc} の増加によるモルフォロジー変化はなかった。これは $\text{Glc}_4\text{-}b\text{-Sol}$ がマイクロ相分離の相図において、ラメラ領域の中央付近に体積分率が位置しており、分子量分散度の影響による界面曲率の変化ではモルフォロジーのシフトは起こらなかったと考えられる。これに対し、 $\text{Glc}_3\text{-}b\text{-Sol}$ においては LAM と GYR の境界付近に体積分率が位置していると考えられ、わずかな界面曲率の変化によってモルフォロジーのシフトが起こったものと理解できる。

以上の結果から、マイクロ相分離構造の d を最小に保ちつつ、再現性良く同じモルフォロジーを発現させるためには単分散性が極めて重要であることが明らかとなった。しかし、一方でこの結果は分子量分散度を意図的に設計することで自在なモルフォロジーの発現や数オングストローム単位での周期間隔制御が可能であることも同時に示唆している。

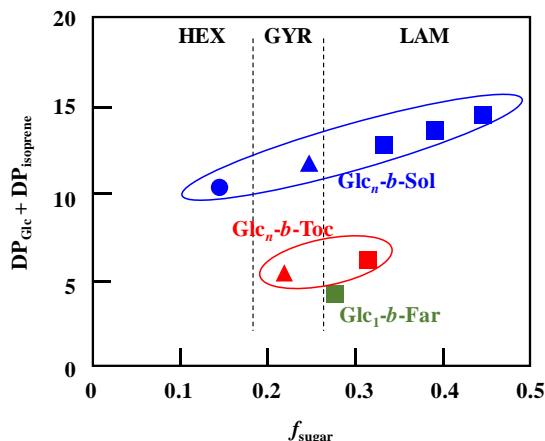


図 3. 単分散糖鎖 BCP のマイクロ相分離に関する相図。

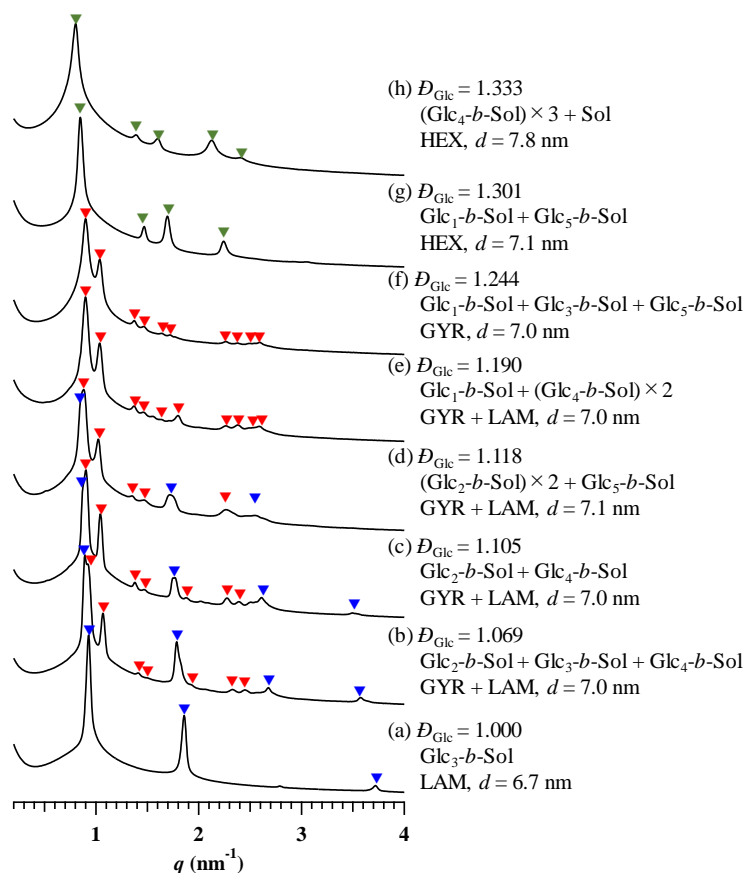


図 4. 分子量分布を有する $\text{Glc}_3\text{-}b\text{-Sol}$ サンプルの SAXS プロファイル。サンプルは 130°C で 36 時間アニーリングしてから測定に供した。

(3) 薄膜中における単分散ブロック共重合体のマイクロ相分離

BCP リソグラフィーへ応用するためには、薄膜中においてもマイクロ相分離することが求められる。そこで最後に、薄膜中における $\text{Glc}_n\text{-}b\text{-Sol}$ ($n = 1 \sim 5$) のマイクロ相分離構造を評価した。スピナーコート法によりシリコン基板上に BCP 薄膜を形成し、 85°C で 1 時間アニーリングした後に GISAXS 測定を行った。その結果、いずれの BCP においても基板に対して平行に配列したラメラ構造を形成していることが明らかとなった。また、AFM の高さ像からもテラス状の構造が確認でき、GISAXS 測定の結果を支持している。以上から、薄膜中においてもマイクロ相分離構造を形成することが確認できた。誘導自己組織化技術と組み合わせることで、ラメラ構造の配向制御が可能になれば BCP リソグラフィーへの応用が可能になると考えられる。

(4) まとめ

分子量分布の無いオリゴ糖鎖とテルペノイドを出発物質とすることで、離散的な重合度を有する単分散糖鎖 BCP の簡便合成に成功した。単分散糖鎖 BCP は糖鎖と炭化水素という超強偏斥な組み合わせからなっているため、 2000 g mol^{-1} 以下の低分子量領域でも明確なマイクロ相分離構造を形成した。また、一般的な BCP と同様に、単分散糖鎖 BCP も体積分率や重合度の設計によってマイクロ相分離構造のモルフォロジーや周期間隔を自在に制御できることが明らかとなった。今回合成した中で最も分子量が小さい $\text{Glc}_1\text{-}b\text{-Far}$ は周期間隔 4.2 nm という極めて微細なラメラ構造を形成することがわかった。こうした超微細マイクロ相分離構造は超高解像度の次世代リソグラフィー用レジストや数ナノメートルスケールのナノ構造材料合成のテンプレートとして応用が期待される。

<引用文献>

1. Jeong, S.-J. *et al. Materials Today* **2013**, *16*, 468.
2. van Genabeek, B. *et al. J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 4210.
3. Kwak, J. *et al. Macromolecules* **2017**, *50*, 6813.
4. Sinturel, C. *et al. ACS Macro Lett.* **2015**, *4*, 1044.
5. Otsuka, I. *et al. Macromolecules* **2015**, *48*, 1509.
6. Otsuka, I. *et al. Langmuir* **2010**, *26*, 2325.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Isono Takuya, Kawakami Nao, Watanabe Kodai, Yoshida Kohei, Otsuka Issei, Mamiya Hiroaki, Ito Hajime, Yamamoto Takuya, Tajima Kenji, Borsali Redouane, Satoh Toshifumi	4. 巻 10
2. 論文標題 Microphase separation of carbohydrate-based star-block copolymers with sub-10 nm periodicity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 1119 ~ 1129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8py01745j	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 Yoshida Kohei, Tanaka Shunma, Yamamoto Takuya, Tajima Kenji, Borsali Redouane, Isono Takuya, Satoh Toshifumi	4. 巻 51
2. 論文標題 Chain-End Functionalization with a Saccharide for 10 nm Microphase Separation: "Classical" PS-b-PMMA versus PS-b-PMMA-Saccharide	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 8870 ~ 8877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.8b02069	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, Yoshida Kohei, Mamiya Hiroaki, Miyagi Ken, Yamazaki Akiyoshi, Satoh Toshifumi	4. 巻 10960
2. 論文標題 Post-polymerization modification of PS-b-PMMA for achieving directed self-assembly with sub-10nm feature size	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. SPIE	6. 最初と最後の頁 109600U
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2515933	査読の有無 無
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 Hung Chih-Chien, Nakahira Saki, Chiu Yu-Cheng, Isono Takuya, Wu Hung-Chin, Watanabe Kodai, Chiang Yun-Chi, Takashima Shoichi, Borsali Redouane, Tung Shih-Huang, Satoh Toshifumi, Chen Wen-Chang	4. 巻 51
2. 論文標題 Control over Molecular Architectures of Carbohydrate-Based Block Copolymers for Stretchable Electrical Memory Devices	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 4966 ~ 4975
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.8b00874	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 Watanabe Kodai, Katsuhara Satoshi, Mamiya Hiroaki, Yamamoto Takuya, Tajima Kenji, Isono Takuya, Satoh Toshifumi	4. 巻 10
2. 論文標題 Downsizing feature of microphase-separated structures via intramolecular crosslinking of block copolymers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 3330 ~ 3339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8sc05016c	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 -

1. 著者名 Katsuhara Satoshi, 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14件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 磯野拓也、川上菜穂、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 糖鎖とポリテルペンからなる単分散ブロック共重合体の合成とモルフォロジー解析
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小牧陵也、川上菜穂、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 単分散オリゴ糖-ソラネソールブロック共重合体による シングルナノオーダー自己組織化
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小牧陵也、川上菜穂、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 オリゴ糖とソラネソールからなる単分散ブロック共重合体の自己組織化挙動
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部 2018年冬季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯野拓也
2. 発表標題 オリゴ糖鎖含有ブロック共重合体の精密合成と自己組織化
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯野拓也
2. 発表標題 Synthesis and Self-Assembly of Sugar-Based Monodisperse Block Copolymers
3. 学会等名 Taiwan Japan Bilateral Polymer Symposium 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯野拓也
2. 発表標題 Synthesis and Morphology of Sugar-Containing Low Molecular Weight Block Copolymers
3. 学会等名 Japan-Korea Joint Symposium on Polymer Science 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯野拓也
2. 発表標題 Synthesis and Nanostructure of Monodisperse Block Copolymers Consisting of Sugar and Solanesol Segments
3. 学会等名 Asian French Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小牧陵也、川上菜穂、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 Monodisperse Oligosaccharide-Solanesol BCP for Single Nano-order ultrafine Self-Assembled Structures
3. 学会等名 Japan-Korea Joint Symposium on Polymer Science 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯野拓也
2. 発表標題 Self-Assembly of Oligosaccharide-Containing Block Copolymers
3. 学会等名 Hokkaido University-National Central University Joint Symposium on Material Chemistry and Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯野拓也
2. 発表標題 Synthesis and Self-Assembly of Oligosaccharide-Based Block Copolymers
3. 学会等名 SmaSys 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯野拓也、中平早紀、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 エラストマーへの応用を目指したオリゴ糖含有ブロック共重合体の精密合成
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 小牧凌也、川上菜穂、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 Sugar-Polyterpene Block Copolymers for Sub-10 nm Microphase Separation
3. 学会等名 FAPS 2019 Polymer Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小牧凌也、川上菜穂、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 単分散オリゴ糖-ポリテルペンブロック共重合体の自己組織化挙動
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 李采訓、小牧凌也、磯野拓也、山本拓矢、田島健次、佐藤敏文
2. 発表標題 天然由来原料からなる両親媒性分子による超微細ミクロ相分離構造の構築
3. 学会等名 第54回(2019年度)高分子学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

高分子化学研究室
<http://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
--	---------------------------	-----------------------	----