

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25248048

研究課題名(和文) 共重合体の構造構築を基盤とした複合マテリアルの創製

研究課題名(英文) Creation of Complex Soft Materials Based on Self-Assembly of Block Copolymers

研究代表者

松下 裕秀 (MATSUSHITA, Yushu)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60157302

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,700,000円

研究成果の概要(和文)：ブロック共重合体分子の一次構造を反映させた分子デザインから新しい構造を創出した。Polyisoprene(I), Polystyrene(S), Poly(2-vinylpyridine)(P)を成分とした、線状ISP共重合体ブレンドから、1)断面が四角の正方充填柱状構造、2)5配位ドメインを持つ新規構造を得た。また、Poly(4-hydroxystyrene)-b-PMMA(HM)とPが短いISP星型ブロックのブレンドから、PとH間の水素結合を利用してナノポーラス構造を得た。さらに、SP二元共重合体にイオン液体を加える手法で特定の可視光を反射するフォトニック膜を創製した。

研究成果の概要(英文)：New tiling patterns have been created from three component block terpolymers having polyisoprene(I), polystyrene(S) and poly(2-vinylpyridine)(P) as incompatible chemical species. Firstly, binary ISP terpolymer blends with different chain lengths in both two end blocks have been found to show 1) a new cylindrical structure whose rectangular I and P domains are aligned tetragonally and 2) two new tiling structures with large oblong unit cells. The latter tiling patterns can be regarded as approximants of a quasicrystalline tiling with decagonal symmetry. Secondly, a new nanoporous structure has been formulated from ISP/HM(poly(4-hydroxystyrene-b-methylmethacrylate) blend united via hydrogen bonding between P and H components. Furthermore, a photonic film has been created by selectively swelling P domain of a SP diblock copolymer with an ionic liquid as a solvent.

研究分野：高分子材料科学

キーワード：ブロック共重合体、マイクロ相分離構造、ブレンド、5配位ドメイン、水素結合、ナノポーラス構造、フォトニックフィルム

1. 研究開始当初の背景

研究開始時には、先行して行った科学研究費補助金基盤研究 A (2010-2012) による研究成果を基盤にして、1) ジャイロイド骨格を持つナノポーラス構造の構築とナノポアへの金属ナノ粒子の充填、および 2) 種々の 2 成分星型共重合体とホモポリマーブレンドからのナノポーラス構造構築、を目指した。しかし、1) ジャイロイド型ナノポーラス構造創製、2) 星型共重合体の定量的精密合成 の 2 点について、初期の計画通りに研究は進捗しなかった。そこで、計画の軌道修正を行い、2 成分二元および 3 成分三元ブロック共重合体、ならびに 3 成分星型共重合体を基本分子として、これらのブレンド物からの新規構造形成に研究の重心を切り替えて研究を進めた。具体的には、I) 線状 3 成分ブロック共重合体二様ブレンドが作る構造、II) 3 成分星型ブロック共重合体/2 成分ブロック共重合体間の水素結合を利用した、ナノポーラス構造の構築 及び III) 二元共重合体/イオン液体混合物からのフォトニック膜形成に関する研究である。

2. 研究の目的

3 成分三元ブロック共重合体は、中央ブロックがブリッジ型の形態を採ることなどの特徴をもち、二元共重合体とは異なるモルフォロジーを呈する。ここではまず、組成が異なる 3 元共重合体の二様ブレンドからの新規構造構築を目指す。また 3 成分星型共重合体は棒状構造を作りやすいため、この分子を基盤にして水素結合能をもつ成分を含むブレンドから新規棒状構造を生み出し、化学処理により棒状のナノポーラス構造を創出する。さらに、2 成分共重合体に対する選択溶媒としてのイオン液体を用い、構造周期の大きなフォトニック膜を創製する。

3. 研究の方法

研究用のブロック共重合体及びホモポリマー試料は、いずれもアニオン重合法によって精密に設計・合成した分子量分布、組成分布の狭い分子である。本研究では、I) ISP-I/ISP-II 二様ブレンド、II) ISP/HM 星型/線状ブレンド のいずれも高分子ブレンド物を対象とする。特に、II) では、水素結合を形成する P, H 成分を含んでいるので、2 つの試料の溶液混合物では、THF/トルエンを溶媒として用い、不均一溶液とならないように注意深く試料を調製した。また III) SP/イオン液体混合物では、低分子量の溶媒を用いた高分子溶液を経て、高分子濃度が系統的に異なるイオン液体溶液の試料をシリーズで用意した。

上記の高分子成分は、I: polyisoprene, S: polystyrene, P: poly(2-vinylpyridine), H: poly(4-hydroxystyrene), M: polymethylmethacrylate を表している。

4. 研究成果

I) 線状 3 成分ブロック共重合体二様ブレンドが作る構造

前項同様、線状 ISP 二元共重合体が作る三相構造について、両端鎖である I, P の長さが各々異なり、総分子量と中央ブロック S 鎖の分子量はほぼ等しい 2 種の共重合体ブレンドを調製し、以下の 2 系統の新規構造を得た。

(1) 2 種類の四角柱が互いに正方充填した柱状構造

2 種の共重合体 ISP- α (M=124 kg/mol, I/S/P=0.39/0.56/0.05) と ISP- β (M=122 kg/mol, I/S/P=0.06/0.62/0.32) の 60/40 ブレンドフィルムを THF 溶液からキャストして得た。このブレンドは平均値として M=123k, I/S/P=0.23/0.59/0.18 という特徴を持つ。図 1 にこのブレンドの二次元 TEM 像と一方の柱のみ取り出した三次元 TEM 像を示した。断面が四角を呈した灰 (P 相)、黒 (I 相) は、いずれも四角柱の形態を持ったドメインであることが明白である。この構造は、2 種のブロック共重合体試料が、ドメイン形成時に局在化したことにより得られた。

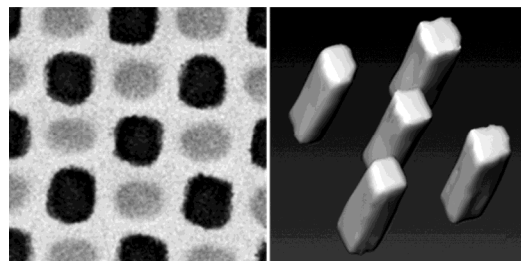


図 1. 線状 ISP 三元ブロック共重合体二様ブレンドの角柱正方充填構造を示す、a) 二次元 TEM 写真、b) 3 次元 TEM 写真。Reprinted with permission from ACS Macro Letters 2014, 3, 166-169. Copyright 2014 American Chemical Society.

(2) 5 配位ドメインを持つ新規タイリング構造

上記 (1) と同じ親分子を混合した二様ブレンドについてブレンド比を変えてさらに詳細に構造構築の様子を観察したところ、ISP- α /ISP- β の混合比が 48/52, 40/60 のとき新規構造が出現した。それらの共通の特徴は、1) 5 配位ドメイン構造を有すること、2) 非常に大きな単位格子を持つこと、である。まず、48/52 ブレンドでは、一辺が 120 nm の六角形を単位格子として持つことが明らかとなった。これに対して図 2 には、40/60 ブレンドの構造観察結果を示す。灰色ドメイン (P 相) の周りに黒色ドメイン (I 相) が 5 配位する新しい構造である。X 線回折実験の結果と突き合わせたところ、この構造の単位格子は、131 nm, 279 nm を 2 辺とする長方形で表されることが判明した。このような、物

質が直接作るドメインを超える大きな単位格子を持つ構造は、合金系などでも知られていて、10 回対称準結晶の近似結晶ともみなされている。

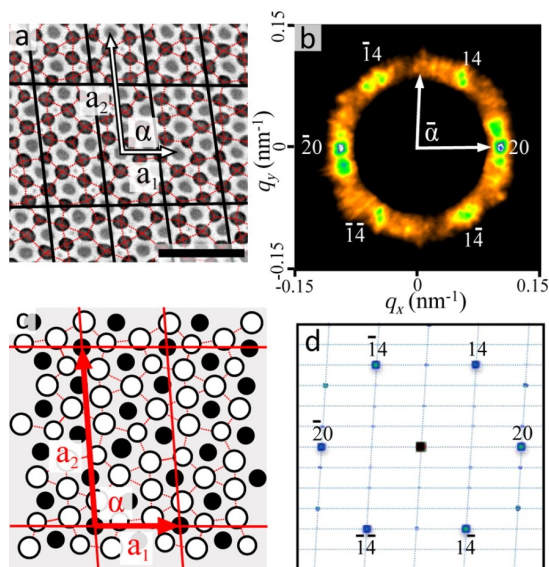


図 2. 線状 ISP 三元ブロック共重合体二様ブレンドが作る新規タイリング構造 a) TEM 写真、b) X 線小角散乱回折図、c) TEM 像模式図、d) c のフーリエ変換図。Reprinted with permission from *Macromolecules* 2015, 48, 1538-1542. Copyright 2015 American Chemical Society.

II) 3 成分星型ブロック共重合体/2 成分ブロック共重合体間の水素結合を利用した、ナノポーラス構造の構築

本項では、I, S 鎖の間に短い P 鎖が分岐状に生えた星型の共重合体 ISPstar ($M=264$ kg/mol, I/S/P=0.41/0.51/0.08、I, S の組成比をそろえるために、I ホモポリマー少量添加し I/S/P=0.46/0.46/0.08) に対し、Poly(4-hydroxystyrene)-b-polymethylmethacrylate (HM, $M=86$ kg/mol, H/M=0.07/0.93) をブレンドした混合体の構造構築について調べた結果を示す。P 成分に対して H 成分は、溶液中で水素結合することが知られており、ここでは 2 種の分子が複合体を作り、あたかも星型ブロック共重合体のように振舞うことを利用した。図 3 に HM 分率が 0.3 のときの構造を示す。図 3 a では、単純な黒 (I 相) の六方充填構造に見えるが、試料を酢酸/メタノールに浸漬して HM 共重合体を取り除いたナノポーラス像 b では、明るいドメインが 4 配位/5 配位している様子がわかる。X 線回折パターンと比べた結果、図 3 a に赤で書き入れたように、83 nm, 156 nm を 2 辺として持つ大きな長方形が単位格子とする新規構造であることが明らかとなっている。

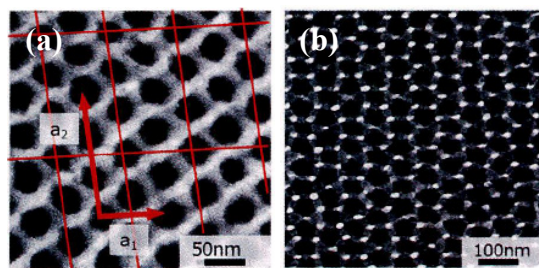


図 3. a) ISP 星型共重合体と HM 二元共重合体ブレンドの構造、b) 化学処理により HM 二元共重合体を取り除いたナノポーラス構造

III) 二元共重合体/イオン液体混合物からのフォトニック膜形成

この実験では SP ($M=78$ kg/mol、S/P=0.50/0.50) 二元共重合体を基盤試料とする。SP をまず 1,4-ジオキサンに溶解して 5wt% 程度の溶液を作製し、基板上にスピコートすることで数 μm 厚の SP 薄膜を得た。THF とクロロホルムの混合溶媒の蒸気を用いてアニール処理を行った後、イミダゾリウムビス (トリフルオロメタンスルフォニル) イミダイドとイミダゾールの混合物 (モル比で 3:4) をイオン液体 (IL) として添加し、P 相を選択的に膨潤させた。図 4 には、ニートの共重合体と膨潤後の構造を比較する。S 相に大きな影響なく P 相のみが膨潤して、繰り返し周期が約 3 倍になっていることがわかる。後者では、379 nm にピークを持つ反射スペクトルが観察された。膨潤度の違いで周期が変えられることも同時に確かめられており、単純な二元共重合体から比較的容易に可視光を自在に反射するフォトニックフィルムが得られることが判明した。

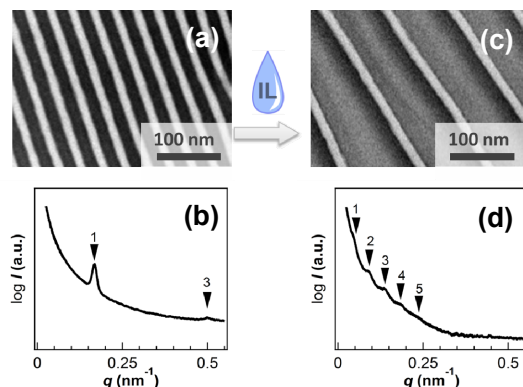


図 4. a) SP 二元共重合体を示すラメラ構造と b) その X 線小角散乱パターン、c) イオン液体で P 相を選択的に膨潤させた SP 共重合体の構造と d) その X 線小角散乱パターン。Reprinted with permission from *Macromolecules* 2014, 47, 4103-4109. Copyright 2014 American Chemical Society.

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 11 件)

1. Mikihiro Hayashi, **Atsushi Noro, Yushu Matsushita**
“Highly Extensible Supramolecular Elastomers with Large Stress Generation Capability”
Originating from Multiple Hydrogen Bonds on the Long Soft Network Strands
Macromolecular Rapid Communications **37**, 678-684 (2016). (査読有)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/marc.201500663/abstract>
2. Yusuke Asai, **Atsushi Takano** and **Yushu Matsushita**
“Creation of Cylindrical Morphologies with Extremely Large Oblong Unit Lattices from ABC triblock Terpolymer Blends”
Macromolecules **48**, 1538-1542 (2015). (査読有)
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma5025818>
3. **Atsushi Noro**
“Design and Viscoelasticity Control of Supramolecular Soft Materials Bearing Noncovalent Cross-links”
Nihon Reoroji Gakkaishi **43**, 125-133 (2015). (査読有)
<http://doi.org/10.1678/rheology.43.125>
4. Mikihiro Hayashi, Satoru Matsushima, **Atsushi Noro, Yushu Matsushita**
“Mechanical Property Enhancement of ABA Block Copolymer-Based Elastomers by Incorporating Transient Cross-Links into Soft Middle Block”
Macromolecules **48**, 421-431 (2015). (査読有)
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma502239w>
5. Y. Izumi, M. Yamada, **A. Takano** and **Y. Matsushita**
“A New Periodic Pattern with Five-Neighbored Domain Packing from ABC Triblock Terpolymer / B Homopolymer Blend”
Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics **53**, 907-911 (2015). (査読有)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/polb.23714/abstract>
6. **Atsushi Noro**, Yusuke Tomita, Yuya Shinohara, Yoshio Sageshima, Joseph J. Walsh, **Yushu Matsushita**
“Photonic Block Copolymer Films Swollen with an Ionic Liquid”
Macromolecules **47**, 4103-4109 (2014). (査読有)
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma500517e>
7. Y. Asai, K. Yamada, M. Yamada, **A. Takano** and **Y. Matsushita**
“Formation of Tetragonally-Packed Rectangular Cylinders from ABC Block Terpolymer Blends”
ACS Macro Letters **3**, 166-169 (2014). (査読有)

<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/mz400647v>

8. Yoshio Sageshima, **Atsushi Noro, Yushu Matsushita**
“Structural Isomer Effects on the Morphology of Block Copolymer/Metal Salts Hybrids”
Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics **52**, 377-386 (2014). (査読有)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/polb.23421/abstract>
 9. Satoru Matsushima, Mikihiro Hayashi, Hajime Yamagishi, **Atsushi Noro, Yushu Matsushita**
“Preparation and Viscoelasticity of Hydrogen Bonded Supramolecular Ion Gels Composed of ABA Triblock Copolymer and C Homopolymer in an Ionic Liquid”
Nihon Reoroji Gakkaishi **42**, 135-141 (2014). (査読有)
<http://doi.org/10.1678/rheology.42.135>
 10. Mikihiro Hayashi, **Atsushi Noro, Yushu Matsushita**
“Viscoelastic properties of supramolecular soft materials with transient polymer network”
Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics **52**, 755-764 (2014). (査読有)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/polb.23479/abstract>
 11. L. Fang, Y. Takahashi, **A. Takano**, and **Y. Matsushita**
“Molecular Weight Dependence of Viscoelastic Properties for Symmetric Poly(styrene-*b*-2-vinylpyridine)s in the Nanophase Separated Molten States”
Macromolecules **46**, 7097-7105 (2013). (査読有)
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma400957p>
- [学会発表] (計 34 件、他多数)
1. **Atsushi Noro**, Maho Ohno, **Yushu Matsushita**
“Electrically Responsive Soft Photonic BCP Films”
APS March Meeting 2016 (国際学会)、2016年03月14日～2016年03月18日、Baltimore Convention Center, Baltimore, MD
 2. **A. Takano**, M. Watanabe, Y. Asai, J. Suzuki, **Y. Matsushita**
“Preparation and Morphology of AB_n Miktoarm Block Copolymers”
APS March Meeting 2016 (国際学会)、2016年03月14日～2016年03月18日、Baltimore Convention Center, Baltimore, MD
 3. **野呂篤史**、大野真穂、富田裕介、**松下裕秀**
「不揮発なプロトン性溶媒により膨潤させたブロック共重合体フォトニック膜のナノ構造と光学特性」
第27回高分子ゲル研究討論会、2016年01月18日～2016年01月19日、東京大学山上会館
 4. **高野 敦志**、**松下裕秀** (招待講演)

「複合高分子を利用した準周期構造、あるいは近似結晶構造の構築」
第20回準結晶研究会、2015年12月17日～2015年12月19日、東京理科大学 葛飾キャンパス

5. 浅井裕介、**高野敦志**、**松下裕秀**
「ABC トリブロック共重合体二様ブレンドにより形成される近似結晶構造」
第20回準結晶研究会、2015年12月17日～2015年12月19日、東京理科大学 葛飾キャンパス

6. **Atsushi Noro** (招待講演)
“A New Strategy for Mechanical Property Enhancement of ABA Block Copolymer Based Elastomers: Incorporation of Dynamic Hydrogen Bonds into a Melt Middle”
Pacific Polymer Conference 14 (国際学会)、2015年12月09日～2015年12月13日、Grand Hyatt Resort and Spa Kauai, Hawaii USA

7. **Y.Matsushita** (招待講演)
“Ordered Structures with Extremely Large Oblong Unit Cell from Block Terpolymer Systems”
IUPAC 11th International Conference on Advanced Polymers via Macromolecular Engineering (APME 2015) (国際学会)、2015年10月18日～2015年10月22日、Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan

8. 大野真穂、**野呂篤史**、**松下裕秀**
「ブロック共重合体/プロトン性溶媒から調製したソフトフォトニック膜の電場応答性」
第64回高分子討論会、2015年09月15日～2015年09月17日、東北大学川内キャンパス

9. **野呂篤史**、富田裕介、**松下裕秀**
「不揮発性酸性溶液により膨潤させたブロック共重合体フォトニック膜のナノ構造と光学特性」
第64回高分子討論会、2015年09月15日～2015年09月17日、東北大学川内キャンパス

10. 浅井裕介、**高野敦志**、**松下裕秀**、藤吉好則
「ABC トリブロック共重合体二様ブレンドより形成される新規マイクロ相分離構造」
第64回高分子討論会、2015年09月15日～2015年09月17日、東北大学川内キャンパス

11. **高野敦志**、近藤弘隆、浅井裕介、**松下裕秀**
「トリブロック共重合体ブレンドより形成される新規六方充填棒状マイクロ相分離構造」
第64回高分子討論会、2015年09月15日～2015年09月17日、東北大学川内キャンパス

12. 大野真穂、**野呂篤史**、**松下裕秀**
「ブロック共重合体ソフトフォトニック膜の作製と電場応答性」
第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

13. Kimberley N. Craigen、大野真穂、**野呂篤史**、**松下裕秀**
“Fabrication of Thermoresponsive Block Copolymer Photonic Films Swollen with an Ionic Liquid”

第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

14. 近藤弘隆、**高野敦志**、**松下裕秀**
「ABC/ABA/CBC トリブロック共重合体三様ブレンドの新規マイクロ相分離構造」

第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

15. 渡邊桃加、**高野敦志**、**松下裕秀**
「モデルボトルブラン共重合体の精密合成とその新規マイクロ相分離構造」

第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

16. 吉田恵、**高野敦志**、**松下裕秀**
「水素結合性ブロック共重合体ブレンドを用いたモルフォロジー制御とメソポーラス構造の構築」

第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

17. 宮瀬晴子、浅井裕介、**高野敦志**、**松下裕秀**

「水素結合性ブロック共重合体ブレンドを用いた特異的な棒状タイリング構造の構築」
第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

18. 高桑麻衣、仲座拓矢、**高野敦志**、大谷肇、**松下裕秀**

「2成分多元ブロック共重合体のシークエンス制御とその表面の性質」
第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

19. 森貴裕、**野呂篤史**、**松下裕秀**
「強偏析系ブロック共重合体の合成と微細周期構造」

第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

20. 初川敬祐、**野呂篤史**、**松下裕秀**
「ブロック共重合体/イオン液体混合系のナノ相分離構造」

第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

21. 浅井大登、**野呂篤史**、**松下裕秀**
「ブロック共重合体/色素ハイブリッドの調製とナノ相分離構造」

第64回高分子学会年次大会、2015年05月27日～2015年05月29日、札幌コンベンションセンター

22. **Atsushi Noro**, Yusuke Tomita, Yuya Shinohara, Yoshio Sageshima, Joseph J. Walsh, **Yushu Matsushita**, Edwin L. Thomas

“Block copolymer photonic films swollen with a nonvolatile ionic liquid”

The 10th SPSJ International Polymer Conference,
2014年12月02日～2014年12月05日、EPOCAL
TSUKUBA, Tsukuba, Japan

23. **Atsushi Noro** (招待講演)

“Self-assembled polymer nanomaterials”
第63回高分子討論会、2014年09月24日～
2014年09月26日、長崎大学

24. 宮瀬晴子、**高野敦志**、**松下裕秀**

「水素結合性ABC星型共重合体/DE二元ブ
ロック共重合体ブレンドの階層的周期構造」
第63回高分子討論会、2014年09月24日～
2014年09月26日、長崎大学

25. **Yushu Matsushita** (招待講演)

“Self-assembly of ABC terpolymer systems from
periodic to aperiodic structures”
International Union of Crystallography, 23rd
Congress, 2014年08月05日～2014年08月12日、
Montreal, Canada

26. 浅井裕介、**高野敦志**、**松下裕秀**

「鎖長分布を有するABCトリブロック共重
合体により形成されるマイクロ相分離構造」
第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

27. 宮瀬晴子、**高野敦志**、**松下裕秀**

「水素結合性ABC星型共重合体/DEブロック
共重合体ブレンドを用いたマイクロ相分離構造
制御」

第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

28. 渡邊桃加、**高野敦志**、**松下裕秀**

「ボトルブラシ共重合体の合成とマイクロ相分
離構造」

第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

29. 吉田恵、**高野敦志**、**松下裕秀**

「水素結合性ブロック共重合体を用いたミク
ロ相分離構造制御」

第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

30. 提嶋佳生、**野呂篤史**、**松下裕秀**

「ポリビニルピリジンの構造異性がブロック
共重合体/金属塩ハイブリッドの凝集構造に
及ぼす影響」

第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

31. 林幹大、松島智、Yuanyuan Zhuang、**野呂
篤史**、**松下裕秀**

「ABAトリブロック共重合体と多官能性架橋
剤からなる超分子ソフト材料の調製」

第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

32. 大野真穂、富田裕介、**野呂篤史**、**松下裕
秀**、Joseph J. Walsh、Edwin L. Thomas

「混合イオン液体による膨潤を利用したブ
ロック共重合体ソフトフォトリソ膜の作製」

第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

33. 富田裕介、提嶋佳生、**野呂篤史**、**松下裕
秀**、篠原佑也、Joseph J. Walsh、Edwin L.
Thomas

「ブロック共重合体ブレンドからなるイオン
液体膨潤ソフトフォトリソ膜の作製とその
性質」

第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

34. **野呂篤史** (招待講演)

「外場応答性ソフトマテリアルの設計と展
開」

第63回高分子学会年次大会、2014年05月28日
～2014年05月30日、名古屋国際会議場

[図書] (計 3件)

1. **Y. Matsushita**

Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials,
Section of “Block copolymers” & “Microphase
Separation”, Springer, 2015

2. **松下裕秀**、**高野敦志**

化学、題目「複合高分子の自発構造ーアルキ
メデスタイリングと準結晶タイリング」、化
学同人、2015

3. **野呂篤史**

自己組織化マテリアルのフロンティア、題目
「相分離型超分子ソフト材料」、フロンテ
ア出版、2015

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

<http://morpho.apchem.nagoya-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

松下裕秀 (MATSUSHITA, Yushu)

名古屋大学 大学院工学研究科・教授

研究者番号：60157302

(2)研究分担者

高野敦志 (TAKANO, Atsushi)

名古屋大学 大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00236241

川口大輔 (KAWAGUCHI, Daisuke)

九州大学 分子システムデバイス国際リー
ダー教育センター・准教授

研究者番号：70362267

野呂篤史 (NORO, Atsushi)

名古屋大学 大学院工学研究科・助教

研究者番号：90377896

(3)連携研究者 なし