

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 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：15K13785

研究課題名(和文)高伸縮性超分子エラストマーの創製：従来分子設計における盲点への着眼

研究課題名(英文)Creation of highly elastic supramolecular elastomers: paying attention to blind spots in conventional molecular designs

研究代表者

野呂 篤史(Noro, Atsushi)

名古屋大学・工学研究科・講師

研究者番号：90377896

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：室温においてガラス状であるブロック鎖と非共有結合性官能基を有する溶融ブロック鎖からなるブロック共重合体から、高伸縮性を示し、かつ強靱である超分子エラストマー(非共有結合エラストマー)を調製した。超分子エラストマーは、非共有結合性官能基を有さない従来型のブロック共重合体熱可塑性エラストマーよりも優れた力学特性を示した。溶融ブロックへの非共有結合性官能基の組み込みは、高伸長性と強靱さを同時に示す超分子エラストマーを調製するのに有用であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Highly elastic, tough supramolecular elastomers (noncovalent-bonded elastomers) were prepared from block copolymers composed of glassy, solid blocks and molten blocks with multiple noncovalent bonding functional groups. Reversible addition fragmentation chain transfer polymerization was used to synthesize polystyrene-b-poly[(butyl acrylate)-co-acrylamide]-b-polystyrene (S-Ba-S) that serves as a supramolecular elastomer. S-Ba-S showed much better mechanical properties than polystyrene-b-poly(butyl acrylate)-b-polystyrene (S-B-S) of a conventional thermoplastic elastomer without noncovalent bonding functional groups, even in spite of having almost the same total average molecule weight. Therefore, incorporation of noncovalent bonding functional groups into molten blocks was found to be useful to prepare supramolecular elastomers attaining high extensibility and toughness simultaneously.

研究分野：高分子化学、高分子・繊維材料

キーワード：エラストマー 超分子エラストマー 非共有結合性エラストマー 非共有結合 タフネス 伸縮性 ブロック共重合体 可逆的付加開裂連鎖移動重合

1. 研究開始当初の背景

材料用途の多様化・複雑化に応じて高性能ソフト高分子材料が盛んに研究されている。その一つである熱可塑性エラストマー (TPE) は、室温においてガラス状もしくは結晶性の硬いポリマー成分 (たとえばガラス転移温度 T_g が室温より高い) と熔融状態の柔らかいポリマー成分 (T_g が室温より低い) とを連結させて得られるポリマーのことである。硬いポリマー成分はドメインを形成し、架橋点のように振る舞うことで巨視的な流動を妨げ、一方で柔らかい成分は硬いポリマー成分に連結されて熔融網目を形成している。ゆえに室温では流動せずにゴム弾性を発現し、免震材から文房具にまで様々なところで利用されている。

典型的な TPE としてはポリスチレン-ポリイソプレン (もしくはポリブタジエン) -ポリスチレントリブロック共重合体のような ABA トリブロック共重合体 (たとえば Quintac®SIS や Kraton® D SBS) が知られている。今日においても TPE に関する研究は盛んに行われている。最近では A 末端鎖間で共有結合を生じさせる研究が進められている。たとえば、ガラス状末端鎖に非共有結合性官能基を導入した研究が報告されている。エラストマーではないが、我々は ABA トリブロック共重合体の A 末端鎖中に非共有結合性官能基を組み込むことで超分子ポリマーゲルを調製している。しかしいずれの研究においても、ドメイン内に存在するガラス状末端鎖のセグメント運動が凍結されているため、ドメイン内で生成する非共有結合は室温での力学特性に大きな影響を及ぼすことなく、性能向上には十分に生かされていなかった。

そこで我々は非共有結合を導入することによる効果は、セグメント運動が生じる部位にこそその影響が強く生じると考え、水素結合性官能基であるアミド基を導入した熔融 B 鎖とガラス状 A 鎖とを連結させた ABA トリブロック共重合体を合成し、その力学特性を評価した (Macromolecules 2015, 48, 421-431.)。具体的にはポリ (4-ビニルピリジン) -b-ポリ (アクリル酸ブチル-co-アクリルアミド) -b-ポリ (4-ビニルピリジン) (以下では P-Ba-P と記述) と、アミド基を導入していないポリ (4-ビニルピリジン) -b-ポリアクリル酸ブチル-b-ポリ (4-ビニルピリジン) (以下では P-B-P と記述) を可逆的付加開裂連鎖移動 (RAFT) 重合法により合成した (図 1 参照)。末端鎖、中央鎖の平均重合度はそれぞれ約 24 (両末端分合わせてで約 48)、約 200、全体平均分子量が約 3 万と、分子特性がほぼ同じであったにも関わらず、アミド基を有した P-Ba-P のほうがすぐれた最大応力、破断伸び、タフネス等を示した。この力学特性の違いは熔融中央鎖へのアミド基導入の効果であるといえる。しかし用いた熔融 Ba 中央鎖の分子量が 2 万 5 千程度と小さかったため、その破断伸びは 200%にとどまり、ゆえに応力

ひずみ曲線の内面積から見積もられるタフネスも 2.8 MJ/m^3 にとどまっており、商用のエラストマーの物性 (破断伸び $> 800 \%$ 、引張強度 (最大応力) $> 10 \text{ MPa}$ 、靱性 $> 30 \text{ MJ/m}^3$) には及ばないものであった。

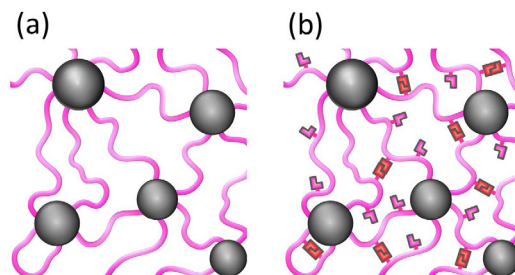


図 1. (a) 非共有結合性官能基を含有しない ABA トリブロック共重合体が形成する高分子網目。 (b) 非共有結合性官能基を含有した ABA トリブロック共重合体が形成する高分子網目。

2. 研究の目的

本研究課題では、現在までの超分子ソフト材料研究で得られた知見をエラストマー材料創製に適用し、非共有結合を組み入れた高性能な超分子エラストマーを創製する。その際、従来型 TPE の研究における分子設計上の盲点 (セグメント運動が生じている熔融 B 中央鎖間で非共有結合が形成させていないことや、熔融 B 中央鎖の分子量が大きくないこと) に着目し、分子設計においてこの点を考慮した ABA トリブロック共重合体 (熔融 B 中央鎖に非共有結合性官能基を含み、かつ高分子量体) を調製することで、高性能な超分子エラストマー、特に高応力・高伸長を同時に示すものを創製する。具体的には、商用のエラストマーの物性を超えるような高破断伸び $> 1000 \%$ 、高引張強度 $> 10 \text{ MPa}$ 、高靱性 $> 30 \text{ MJm}^3$ の実現を目指す。

3. 研究の方法

① 熔融鎖中の水素結合性官能基含量が異なる ABA トリブロック共重合体の合成と超分子エラストマーの調製

二官能性 RAFT 剤 (S, S' -ビス (R, R' -ジメチル- R'' -酢酸) トリチオカーボネート) とスチレンモノマーとを混合して加熱することで、ポリスチレン (S) を合成した。得られた S 鎖の中央部には RAFT 剤残基が導入されているため、これをマクロ RAFT 剤として、アクリル酸ブチルモノマーとアクリルアミドモノマーとをランダム共重合することで、ポリスチレン-b-ポリ (アクリル酸ブチル-co-アクリルアミド) -b-ポリスチレン (以下では S-Ba-S と略す) を合成した (図 2 参照)。また、重合時に混合するアクリル酸ブチルモノマーとアクリルアミドモノマーの比率を変えることでアミド基含有率は異なるが全体分子量がほぼ等しいトリブロック共重合体

も合成した。プロトン核磁気共鳴法によって分子特性を評価したところ、ブロック共重合体の分子量はどれもおよそ 11 万でアミド基含有率は 0、11、16、28 mol%であった。ちなみにアミド基含有率が 0 mol%とは S-B-S (ポリスチレン-*b*-ポリアクリル酸ブチル-*b*-ポリスチレン) のことである。X (=0、11、16、28) を Ba 中央鎖中のアミド基含有率としたとき、サンプルコードを S-Ba-S(X%)と表すことにする。得られた試料をピリジンに溶解させ、50 °Cで2日間溶媒キャスト、真空乾燥することで均一な膜試料を得た。引張試験 (試料の治具間距離約 10 mm、ひずみ速度約 2 mm/s、初期ひずみ速度 0.20 s⁻¹、) により伸長特性を評価した。

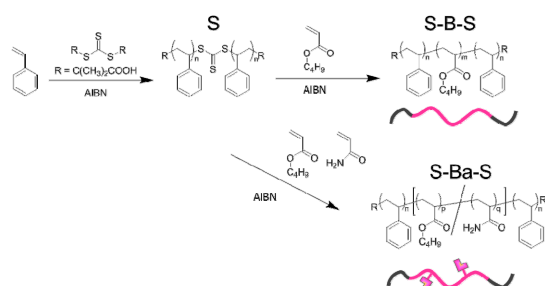


図 2. S-B-S、S-Ba-S の合成スキーム。

②水素結合性溶融中央鎖の分子量が異なる ABA トリブロック共重合体の合成と超分子エラストマーの調製

上記の①で用いたのと同様の二官能性 RAFT 剤とスチレンモノマーとを常圧下で混合して加熱することで、ポリスチレン (S) を合成した。得られた S 鎖をマクロ RAFT 剤として、これとアクリル酸ブチルモノマー、アクリルアミドモノマーとを混合・加熱し共重合することで、S 鎖の中央部に 2 つのモノマーがランダムに挿入された S-Ba-S を合成した (S₂-Ba-S と呼ぶことにする)。また S をマクロ RAFT 剤として、コモノマーとの仕込み比を変えて 300MPa の高圧下で RAFT 共重合することで、分子量の大きな S-Ba-S (以下では高分子量のことを L₂-Ba-S と記述する) も合成した。ゲル浸透クロマトグラフィーとプロトン核磁気共鳴法によって分子特性を評価したところ、S₂-Ba-S の S の分子量は 3 万 8 千 (両末端分合わせて)、Ba 中央鎖の分子量は 25 万、アミド基含有率は 19%であった。一方高圧 RAFT 重合で合成した L₂-Ba-S の S の分子量は 3 万 8 千 (両末端分合わせて)、Ba 中央鎖の分子量は 314 万、アミド基含有率は 23%であった。S₂-Ba-S、L₂-Ba-S それぞれをピリジンに溶解し、溶媒キャスト、真空乾燥を施すことで S₂-Ba-S、L₂-Ba-S の均一なエラストマー膜を得た。引張試験 (試料の治具間距離約 12mm、伸長速度 2.5mm/s、初期ひずみ速度約 0.21s⁻¹) により伸長特性を評価した。

4. 研究成果

①溶融鎖中の水素結合性官能基の含量が超分子エラストマーの力学特性に及ぼす影響

(関連の雑誌論文 1、2、関連の学会発表 1~3、5~9、11、13)

結果は示さなさいが、得られた膜に対して FT-IR 測定を行ったところ、水素結合形成に由来するアミドの N-H 伸縮振動 (3350 cm⁻¹) の吸収が見られ、S-Ba-S ではアミド基間で自己相補的な水素結合を形成していることを確認できた。一方 S-Ba-S(0%)では水素結合形成に由来する吸収を確認できなかった。

図 3 には引張試験によって得られた応力-歪み曲線を示す。横軸がひずみ ϵ (%), 縦軸が応力 σ (MPa) である。S-Ba-S(0%) (従来型の TPE に相当) は 16 倍以上に伸張できたが、応力はほとんど発生しなかった。溶融中央鎖に水素結合性官能基を導入した S-Ba-S(11%) (超分子エラストマーに相当) では、12 倍にまで伸張でき (破断伸び ϵ_b は約 1100%)、かつ最大応力 σ_{max} も 3.0 MPa となった (タフネスは 19 MJ/m³)。分子量が 3 万の P-Ba-P と比較すると、ヤング率を除いた最大応力、破断伸び、タフネスのすべてにおいて優れた力学特性を示すエラストマーとなっていることが分かった。アミド基含有率がより大きい S-Ba-S(16%)では、11 倍までに伸張でき、 σ_{max} は 13 MPa まで大きくなった (タフネスは 65 MJ/m³)。アミド基含有率が大きくなることで水素結合性の動的架橋の数も増加し、見かけの架橋密度が上昇したためと考えられる。さらにアミド基含有率の大きい S-Ba-S(28%)では、 σ_{max} はさらに大きくなって 17 MPa であったが、破断伸び ϵ_b は 6 倍程度にとどまった (タフネスは 57 MJ/m³)。伸長時間に開裂・切断されない水素結合数が多くなり、結果としてガラス状ドメインへの応力集中も避けられなくなって、ドメイン崩壊・試料破断を容易に引き起こしたと考えられる。

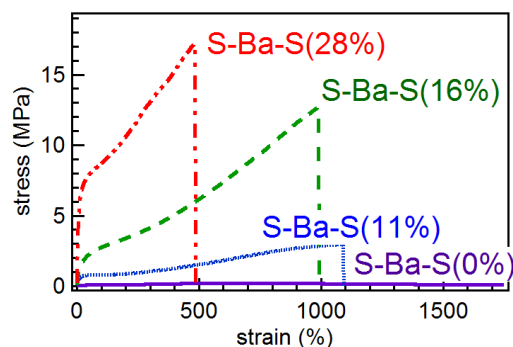


図 3. S-Ba-S(X%)の応力-ひずみ曲線。

上記の成果については研究代表者が Guest Editor を務めた Polymer 誌 Supramolecular Polymer 特集号にて論文を発表した。

②水素結合性溶融中央鎖の分子量が超分子エラストマーの力学特性に及ぼす影響

(関連の雑誌論文 4、関連の学会発表 1~3、5~8、15、18、20、22、24)

S_S-Ba-S、L_S-Ba-S は熔融成分である Ba の分子量がそれぞれ 25 万、314 万と大きく、特に L_S-Ba-S では Ba 組成が 0.99 であるにもかかわらず、S_S-Ba-S、L_S-Ba-S とも自立性のある膜となった。S-Ba-S 中の一部のアミド基間で自己相補的な水素結合を形成しているためと考えられる。

これら 2 つの試料の引張試験結果を図 4 に示す。S_S-Ba-S では中程度の応力を発生し、ヤング率 E が 1.3 MPa、最大応力 σ_{\max} が 7.4 MPa、破断伸び ε_b が 550 %、応力-ひずみ曲線の内面積から求まるタフネスが 12 MJ/m³ であった。

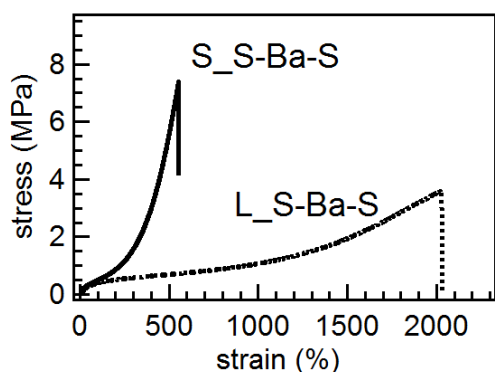


図 4. S_S-Ba-S、L_S-Ba-S の応力-ひずみ曲線.

さらに分子量の大きな L_S-Ba-S では E は 0.77 MPa、 σ_{\max} は 3.6 MPa、 ε_b が 2030 %、タフネスは 28 MJ/m³ であった。 E 、 σ_{\max} が S_S-Ba-S と比べて半分程度となったが、 ε_b は 4 倍程度に大きくなっており、それに応じてタフネスも 2 倍以上となった。高分子量熔融鎖への水素結合性官能基の導入により熔融鎖間で水素結合を形成するが、この水素結合は引張により比較的容易に開裂するので、応力集中を生じにくく、かつ熔融鎖が長がったために大きな伸びを示し、ゆえに全体として大きなタフネスを示すようになったと考えられる。

上記の結果については Macromolecular Rapid Communications 誌で発表し、裏表紙でその内容が取り上げられた。

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/marc.201670034/abstract>

またブロック共重合体ソフト材料に関する研究として、ソフトフォトニック膜 (発表した雑誌論文 4、学会発表 4、10、12、16、17、19、21、23) やソフトエラストマー、プロトン伝導膜に関する研究成果も発表、出願した (図書や産業財産権の項も参照のこと)。

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 5 件)

1. Kajita, Takato; Noro, Atsushi*; Matsushita, Yushu
"Design and Properties of Supramolecular Elastomers"
POLYMER in press. (査読有)
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.03.010>
2. 野呂篤史*、梶田貴都、松下裕秀
「ブロック共重合体超分子エラストマー」
日本ゴム協会誌 2017, 90, 9-13. (査読有)
<http://doi.org/10.2324/gomu.90.9>
3. Noro, Atsushi*; Tomita, Yusuke; Matsushita, Yushu; Thomas, Edwin, L.
"Enthalpy-Driven Swelling of Photonic Block Polymer Films"
MACROMOLECULES 49 (23) 8971-8979 DEC 13 2016. (査読有)
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.macromol.6b01867>
4. Hayashi, Mikihiro*; Noro, Atsushi*; Matsushita, Yushu
"Highly Extensible Supramolecular Elastomers with Large Stress Generation Capability Originating from Multiple Hydrogen Bonds on the Long Soft Network Strands"
MACROMOLECULAR RAPID COMMUNICATIONS 37 (8) 678-684 APR 2016. (査読有)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/marc.201500663/abstract>
5. 野呂篤史*
「非共有結合架橋を有した超分子ソフト材料の設計と粘弾性制御」
日本レオロジー学会誌, 2015, 43, 125-133. (受賞論文)
<http://doi.org/10.1678/rheology.43.125>

[学会発表] (計 47 件)

1. 野呂篤史 (招待講演)
「ブロック共重合体ソフト材料-柔らかさとナノ相分離の融合がもたらす材料進化-」
16-2 超分子研究会、2017 年 01 月 20 日、早稲田大学西早稲田キャンパス
2. Atsushi Noro (招待講演)
"Design and Properties of Functional Soft Materials via Polymer Self-Assembly and Supramolecular Interactions"
IPC2016、2016 年 12 月 13 日~2016 年 12 月 16 日、Fukuoka International Congress Center
3. 野呂篤史 (招待講演)
「非共有結合性ソフト高分子材料の設計及び物性」
第 47 回中部化学関係学協会支部連合、2016 年 11 月 05 日~2016 年 11 月 06 日、豊橋技術科学大学

4. **野呂篤史** (招待講演)
「ブロック共重合体フォトニック材料ー
ナノ相分離構造の光学応用ー」
16-1 高分子ナノテクノロジー研究会、
2016年06月28日、東工大岡山キャン
パス
5. **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 Block"
Pacific Polymer Conference 14, 2015年12
月09日~2015年12月13日、Grand Hyatt
Resort and Spa Kauai, Hawaii USA
6. **野呂篤史** (招待講演)
「デザイナーポリマー材料ー高分子自己
組織化と超分子相互作用の協働ー」
第84回高分子若手研究会[関西]、2015年
07月25日~2015年07月26日、六甲山
YMCS
7. **野呂篤史** (招待講演)
「高分子自己組織化と分子間相互作用制
御を基盤とした高性能ソフト材料の創
製」
第50回東海化学工業会総会、2015年05
月15日~2015年05月15日、名古屋大
学
8. **野呂篤史** (招待講演)
「非共有結合架橋を有した超分子ソフト
材料の設計と粘弾性制御」
日本レオロジー学会第42年会、2015年
05月13日~2015年05月14日、京都大
学おうばくプラザ
9. **Atsushi Noro**, Takato Kajita, Yushu
Matsushita
"Effects of the Number of Hydrogen Bonds
on Mechanical Properties of Block
Copolymer-Based Supramolecular
Elastomers"
APS March Meeting 2017, 2017年03月13
日~2017年03月17日
10. **Atsushi Noro**, Yusuke Tomita, Yushu
Matsushita, Edwin L. Thomas
"Photonic Block Polymer Films Prepared by
Enthalpy-Driven Swelling"
APS March Meeting 2017, 2017年03月13
日~2017年03月17日
11. 梶田貴都, **野呂篤史**, 松下裕秀
「ブロック共重合体超分子エラストマー
の力学特性に及ぼす水素結合性官能基導
入量の影響」
第28回高分子ゲル研究討論会、2017年
01月16日~2017年01月17日、東京大
学
12. **野呂篤史**, 大野真穂, 松下裕秀
「ブロック共重合体フォトニック膜の電
場応答挙動」
第64回レオロジー討論会、2016年10月
28日~2016年10月30日、大阪大学豊中
キャンパス
13. 梶田貴都, **野呂篤史**, 松下裕秀
「ブロック共重合体超分子エラストマー
の調製と力学特性」
第65回高分子討論会、2016年09月14
日~2016年09月16日、神奈川大学
14. **Atsushi Noro**, Takato Kajita, Yushu
Matsushita
"Preparation and Mechanical Properties of
Block Copolymer-Based Supramolecular
Elastomers via Hydrogen Bonding"
ICR2016, 2016年08月08日~2016年08
月13日、Kyoto TERRSA
15. **野呂篤史**, 林幹大, 松下裕秀
「高応力・高伸長を同時に示す水素結合
性超分子エラストマーの調製」
第65回高分子学会年次大会、2016年05
月25日~2016年05月27日、神戸国際
会議場
16. **野呂篤史**, 大野真穂, 松下裕秀
「不揮発なプロトン性溶媒で膨潤させた
電場応答性ブロック共重合体フォトニッ
ク膜の調製と添加塩の影響」
第65回高分子学会年次大会、2016年05
月25日~2016年05月27日、神戸国際
会議場
17. **野呂篤史**, 大野真穂, 松下裕秀
「電場応答性ブロック共重合体ソフトフ
ォトニック膜の調製と構造・光学特性」
PF研究会「徹底討論！小角散乱の魅力~
基礎・応用・産業利用」、2016年03月30
日~2016年03月31日、高エネルギー加
速器研究機構研究本館小林ホール
18. **Atsushi Noro**, Mikihiro Hayashi
"Block Copolymer Based Supramolecular
Elastomers with High Extensibility and
Large Stress Generation Capability"
APS March Meeting 2016, 2016年03月14
日~2016年03月18日、Baltimore
Convention Center, Baltimore, MD
19. **Atsushi Noro**, Maho Ohno, Yushu
Matsushita
"Electrically Responsive Soft Photonic BCP
Films"
APS March Meeting 2016, 2016年03月14
日~2016年03月18日、Baltimore
Convention Center, Baltimore, MD
20. **Atsushi Noro**, Mikihiro Hayashi, Yushu
Matsushita
"Highly Extensible and Sufficiently Tough
Supramolecular Elastomers via Block
Polymer Self-Assembly and Hydrogen
Bonding"
ICRIS'16, 2016年03月07日~2016年03
月08日、Kyoto University, Kyoto
21. **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
22. **野呂篤史**, 林幹大, 松下裕秀
「水素結合性溶融鎖とガラス状ドメインからなるブロック共重合体超分子エラストマーの調製」
第27回エラストマー討論会、2015年12月03日～2015年12月04日、北九州国際会議場
23. **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
24. **野呂篤史**, 林幹大, 松下裕秀
「自己相補的水素結合性溶融鎖を中央ブロックとした ABA トリブロック共重合体の調製とそのエラストマー特性」
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

他 23 件

〔図書〕(計 2 件)

1. **野呂篤史**, 松下裕秀
書名: CSJ カレントレビュー第27号『構造制御による革新的ソフトマテリアル創成～ブロックコポリマーを中心として～』
担当セクション: 14章フォトニック材料
出版社: 化学同人
発行年: 2017年予定
2. **野呂篤史**
書名: 自己組織化マテリアルのフロンティア
担当セクション: 第5章第2節相分離型超分子ソフト材料
出版社: フロンティア出版
発行年: 2015年

〔産業財産権〕

○出願状況(計 5 件)

1. 名称: 無加湿系プロトン伝導膜, その製法及び燃料電池
発明者: **野呂篤史**ら
権利者: 名古屋大学
種類: 特許
番号: PCT/JP2017/012358
出願年月日: 2017年03月27日
国内外の別: 外国
2. 名称: 無加湿系プロトン伝導膜, その製法及び燃料電池
発明者: **野呂篤史**ら
権利者: 名古屋大学
種類: 特許

番号: JP2016-085786
出願年月日: 2016年04月27日
国内外の別: 国内

3. 名称: 非共有結合性ソフトエラストマー及びその製法
発明者: **野呂篤史**ら
権利者: 名古屋大学
種類: 特許
番号: PCT/JP2016/063152
出願年月日: 2016年04月22日
国内外の別: 外国
4. 名称: Non-volatile photonic material and production method of the same
発明者: **Atsushi Noro** et al.
権利者: 名古屋大学、マサチューセッツ工科大学
種類: 特許
番号: U.S. Patent Ap14/891,234
出願年月日: 2016年02月15日
国内外の別: 外国

5. 名称: 非共有結合性ソフトエラストマー及びその製法
発明者: **野呂篤史**ら
権利者: 名古屋大学
種類: 特許
番号: JP2015-96442
出願年月日: 2015年05月11日
国内外の別: 国内

○取得状況(計 1 件)

1. 名称: ブロック共重合体の製法及びそのブロック共重合体を用いたフォトニック材料
発明者: **野呂篤史**、平松竜輔、富田裕介、松島智、古市康太、提嶋佳生、松下裕秀
権利者: 国立大学法人名古屋大学
種類: 特許
番号: 第6132395号
取得年月日: 2017年04月28日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://morpho.apchem.nagoya-u.ac.jp/member-no.ro.html>

6. 研究組織
- (1) 研究代表者
野呂篤史 (NORO, Atsushi)
名古屋大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号: 90377896
- (2) 研究分担者 なし