

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：13501

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19111

研究課題名（和文）ポリフェニレンイオノマーへの挑戦

研究課題名（英文）A challenge for polyphenylene ionomers

研究代表者

宮武 健治（MIYATAKE, Kenji）

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号：50277761

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：研究代表者はこれまでイオン導電性高分子薄膜に関する研究を行ってきており、固体高分子形燃料電池の高性能化を実現する材料開発や新知見の創出に貢献してきた。特に最近、ベンゼン環とスルホン酸基のみからなるポリフェニレンイオノマー（SPP-QP）の開発に成功し、これがプロトン導電性高分子薄膜として優れた特性と安定性を示すことも明らかにしている。本研究ではポリフェニレンイオノマーの物性制御を目的として、フェニレン基の結合位置およびその連結性が薄膜物性に及ぼす効果を検討した。その結果得られたポリフェニレンイオノマー（SPP-BP）が高いプロトン導電率と優れた化学安定性を示すことを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

芳香族高分子にイオン性基を導入する研究は国内外で活発に行われているが、高イオン導電率と化学安定性を共に満たす柔軟な薄膜材料は見出されていない。本研究では研究代表者が開発に成功したポリフェニレンイオノマーの物性と構造を詳細に解析し、イオン導電性高分子薄膜における課題の解決法を提案できた。特に、燃料電池や水電解システムなど水素社会の中核技術に成り得る成果を得ることができた。学術的には、高分子化学・電気化学・材料化学の境界を跨ぐ学問領域を切り拓く意義を有している。

研究成果の概要（英文）：We found that a new and simple version of sulfonated polyphenylene (SPP-QP) with no extra substituents provided thin membranes with bendability, high proton conductivity, high gas barrier property, and excellent chemical stability. In the present study, we investigated simpler, more cost-effective synthetic strategy for highly stable, proton conductive polyphenylene membranes is reported. The title polyphenylene ionomer (SPP-BP) from dichlorobenzenesulfonic acid and dichlorobiphenyls. The SPP-BP membrane with optimized m-biphenylene/p-biphenylene ratio for hydrophobic moiety exhibited outstanding chemical stability as well as high proton conductivity under a wide range of the humidity.

研究分野：高分子化学

キーワード：ポリフェニレン イオノマー 高分子薄膜 イオン伝導

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

二次電池、燃料電池、電気分解などのエネルギーデバイスは、持続社会の形成と発展を担っている。これらの核となる技術の一つである電解質はイオンのみを選択的に透過する役割を持つが、多くの場合、溶液(液体)が用いられている。電解質溶液に変えて固体の高分子薄膜を用いることができれば、軽量化、安全性、低コスト化の観点から大変魅力的である。研究代表者はこれまでイオン導電性高分子薄膜に関する研究を行ってきており、固体高分子形燃料電池の高性能化を実現する材料開発や新知見の創出に貢献してきた。特に最近、ベンゼン環とスルホン酸基のみからなる単純な構造であるポリフェニレンイオノマー(SPP-QP, 図1)の開発に成功し、これがプロトン導電性高分子薄膜として優れた特性と安定性を示すことを見出した¹⁾。フッ素系高分子電解質膜としてよく知られるNafionと同程度のプロトン導電率と化学安定性を、フッ素を全く含まない高分子電解質膜で初めて達成した例として大きな注目を集めている。

このポリフェニレンイオノマーは単純な構造であるにもかかわらず、これまでの各種芳香族系電解質膜の優れた特徴を保持しながら、決定的な欠点であった化学・機械安定性をも克服できる可能性を秘めている。具体的には、1) 加速劣化試験である加熱したフェントン溶液(微量のFe²⁺を含む過酸化水素水溶液)中において長時間全く化学構造が変化しないこと、2) 水があまり存在しない(低湿度)条件においても10mS/cm以上の高いプロトン導電率と120%以上の伸び率を示すこと、3) 水素や酸素の透過率が低く極めて高いイオン/気体選択透過性を示すこと、4) 限られた運転条件ではあるが燃料電池発電試験において優れた発電性能と1000時間の耐久性を示すことができるとすでに明らかになっている。

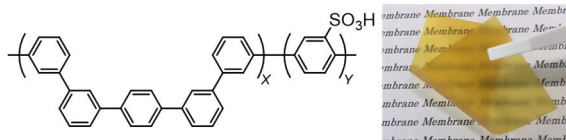


図1 ポリフェニレンイオノマー(SPP-QP)の化学構造と薄膜

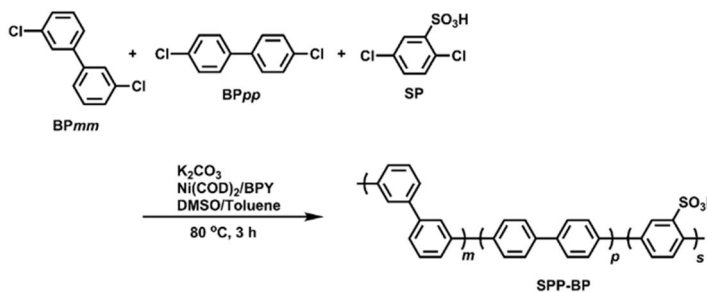
2. 研究の目的

本研究では、研究代表者らが独自の分子設計指針に基づいて合成に成功したポリフェニレンイオノマーについて、合成方法の確立と薄膜物性(プロトン導電性、薄膜強度、化学安定性など)を司るための分子構造要件を明らかにし、ポリフェニレンイオノマーを新しい機能高分子材料として位置付けることを目的とする。具体的には、主鎖フェニレン環の結合位置に着目し、mおよびp位の結合の規則連続性の制御と物性に及ぼす効果を検討した。

3. 研究の方法

ポリ(p-フェニレン)は剛直な直線平面分子であるために高結晶性、低溶解性、低成膜性を示すことが知られている。他方、ポリ(m-フェニレン)は屈曲性は増すが結合部位が立体的に近接して重合反応が進みにくい。スルホン酸基を置換したポリフェニレンにおいてこの課題を解決するための指針として、持続長(persistence length or lp: 高分子鎖が直線性を持続する長さ)に着目した。ポリフェニレン主鎖中のm-結合割合を増加していくと持続長は著しく低下し、50mol%以上では1nm程度以下になることが分子力場計算から予測されている。ポリエチレンなどの汎用高分子ではlp < 1 nmの場合に柔軟で強靱な薄膜を形成することが多いが、ポリフェニレンでも同様にランダムコイル構造をとり溶解性や成膜性に優れたバルク材料に繋がる可能性が期待できる。

そこで、異なる構造のモノマーを用いてポリフェニレンイオノマーの合成反応を検討した。具体的には式1に示すようにm:pフェニレン組成比は同じ4:1であるが、これまで用いてきたジクロロキンケフェニレンに変えてジクロロピフェニルを用いてスルホジクロロベンゼンとの共重合反応を行った。これまでの経験からハロゲン置換型モノマーの合成法や有機配位子を有するNi(cod)₂を用いた重合反応についての知見を蓄積しているため、この方法を用いて重合反応を行った。得られたポリフェニレンの構造解析、分子量測定、薄膜形成、含水率とプロトン導電率の測定を行い、従来までのポリフェニレンイオノマーとの比較を行った。



式1 ジクロロピフェニルモノマーを用いたポリフェニレンイオノマー(SPP-BP)の合成方法

4. 研究成果

m-位およびp-位にジクロロ基が結合したピフェニルモノマーの組成を変化させて得られた共重合体のイオン交換容量(IEC)、分子量、収率、溶解性、成膜性を表1に纏めた。

表1 ジクロロピフェニルモノマーを用いた重合によるポリフェニレンイオノマーの合成結果

組成 ^a			IEC (meq/g)			分子量(kDa) ^b		収率 (%)	溶解性 ^c	成膜性
m	p	s	仕込み	NMR	滴定	M _n	M _w			
0.00	1.09	1.00	3.1	3.8 ^d	-	16.8 ^d	119.6 ^d	85	×	-
0.12	0.97	1.00	3.1	3.5 ^d	-	25.3 ^d	114.7 ^d	95	×	-
0.55	0.55	1.00	3.1	2.8 ^d	-	35.2 ^d	137.9 ^d	98	×	-
0.88	0.22	1.00	3.1	2.4	2.4	36.6	136.4	94	○	○
0.97	0.12	1.00	3.1	2.5	-	28.0	95.6	88	○	×
1.09	0.00	1.00	3.1	2.2	-	23.1	74.4	94	○	×

a モノマー組成, b ゲル浸透クロマトグラフ測定による, c DMSO への溶解性, d 溶解した部分のみ

いずれの組成においても重合反応はほぼ定量的に進行した。p-体のみから成る SPP-BP は溶媒に不溶であったが、m-体の組成増加に伴って溶解性は向上し、m-/p- = 4/1 以上の組成において DMSO などの非プロトン性極性溶媒に完全に溶解した。¹H NMR スペクトルにおいて芳香族のプロトンピークは十分な帰属が不可能であったため、m-/p- 組成を求めることはできなかった(図 2)。他方、SP の組成から求められる IEC はモノマーの仕込み組成から求められる値に比べてやや低い値(約 80-86%程度)であったことから、SP モノマーは BP モノマーと比較して、やや反応性が低いものと思われる。SPP-BP の分子量は、m-/p- = 4/1 の組成までは比較的高く重量平均分子量(M_w) が 100kDa 以上であったが、さらに m-体組成を増加させると分子量は低下した。これは立体障害により反応が進行しにくくなったためであると思われる。m-/p- = 4/1 の組成の SPP-BP から得られた薄膜は同じ m-/p- 組成の SPP-QP 膜と同様に柔軟かつ強靭であった。

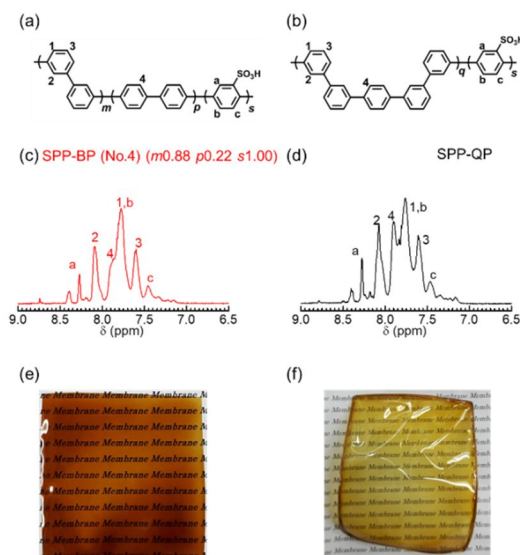


図 2 SPP-BP, SPP-QP の(a) (b) NMR 帰属, (c) (d) ¹H NMR スペクトル, (e) (f) 薄膜写真

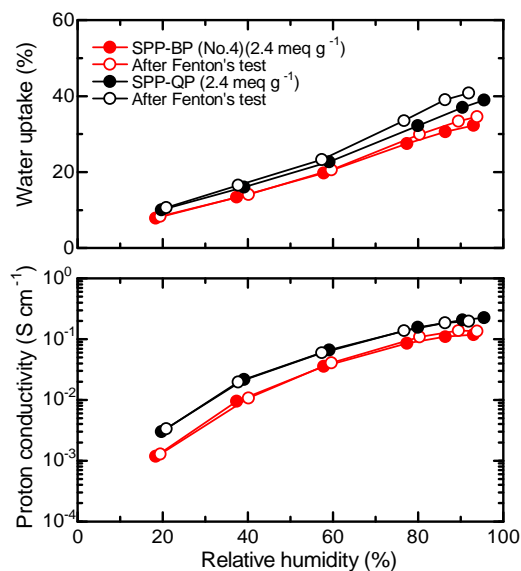


図 3 80 における SPP-BP, SPP-QP 膜の(a) 含水率 (b) プロトン導電率の湿度依存性

図 3 に 80 における SPP-BP の含水率とプロトン導電率の湿度依存性を示す。比較として同じ条件で測定した SPP-QP(同じ IEC 値)のデータも含めている。SPP-BP 膜は幅広い湿度範囲にわたって SPP-QP 膜よりも若干低い含水率とプロトン導電率を示した。これは SPP-BP 膜では疎水部構造の繰り返し単位が小さいことにより親疎水相分離構造が小さくなったためであると考えられる。しかし相対湿度 20%という乾燥条件においても 10⁻³S/cm 以上の高いプロトン導電率を示していることから、ポリフェニレンイオノマーの優れた物性を確認することができた。

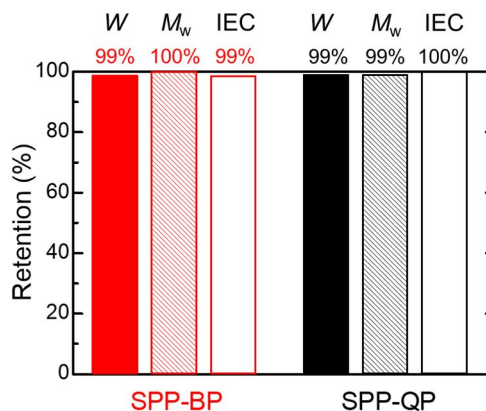


図 4 SPP-BP, SPP-QP 膜の化学安定性試験結果: 重量(W), 重量平均分子量(M_w), IEC の変化率

次に、SPP-BP 膜の化学安定性を評価した。評価方法は 80 のフェントン試薬 (2ppm の硫酸鉄を溶解させた 3% 過酸化水素水溶液) に薄膜を 1 時間浸漬した後、重量、分子量、イオン交換容量の変化を測定するものである。図 4 に示すようにいずれの物性値もほとんど変化は認められず、優れた化学安定性を示した。また、含水率やプロトン導電率とその湿度依存性にも変化は認められなかった。SPP-QP、SPP-BP 膜で同様に化学的に安定であることは、ポリフェニレンイオノマー膜の主鎖構造にヘテロ結合を含まず、C-C 結合のみから構成されていることに由来するものと考えられる。

< 引用文献 >

1) J. Miyake, R. Taki, T. Mochizuki, R. Shimizu, R. Akiyama, M. Uchida, K. Miyatake, *Sci. Adv.*, 3, eaao0476 (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shimizu Ryo, Otsuji Kanji, Masuda Akihiro, Sato Nobuyuki, Kusakabe Masato, Iiyama Akihiro, Miyatake Kenji, Uchida Makoto	4. 巻 166
2. 論文標題 Durability of Newly Developed Polyphenylene-Based Ionomer Membranes in Polymer Electrolyte Fuel Cells: Accelerated Stress Evaluation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 F3105 ~ F3110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0131907jes	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 Miyake Junpei, Miyatake Kenji	4. 巻 3
2. 論文標題 Quaternized poly(arylene perfluoroalkylene)s (QPAFs) for alkaline fuel cells ? a perspective	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 1916 ~ 1928
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9se00106a	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 Shiino Keisuke, Miyake Junpei, Miyatake Kenji	4. 巻 55
2. 論文標題 Highly stable polyphenylene ionomer membranes from dichlorobiphenyls	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7073 ~ 7076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc02475a	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 Long Zhi, Zhang Yaojian, Miyake Junpei, Miyatake Kenji	4. 巻 58
2. 論文標題 Effect of Alkanediol Additives on the Properties of Polyphenylene-Based Proton Exchange Membranes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 9915 ~ 9920
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.9b01564	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 KAWAMOTO Teppei, MIYATAKE Kenji, INUKAI Junji at al.	4. 巻 58
2. 論文標題 In-plane distribution of water inside Nafion [®] thin film analyzed by neutron reflectivity at temperature of 80 °C and relative humidity of 30%~80% based on 4-layered structural model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SIID01 ~ SIID01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0c7c	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 KAWAMOTO Teppei, AOKI Makoto, KIMURA Taro, CHINAPANG Pondchanok, MIZUSAWA Takako, YAMADA Norifumi L., NEMOTO Fumiya, WATANABE Takeshi, TANIDA Hajime, MATSUMOTO Masashi, IMAI Hideto, MIYAKE Junpei, MIYATAKE Kenji, INUKAI Junji	4. 巻 87
2. 論文標題 Sublayered Structures of Hydrated Nafion [®] Thin Film Formed by Casting on Pt Substrate Analyzed by X-ray Absorption Spectroscopy under Ambient Conditions and Neutron Reflectometry at Temperature of 80 °C and Relative Humidity of 30%~80%	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 270 ~ 275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.19-00042	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 Long Zhi, Miyake Junpei, Miyatake Kenji	4. 巻 2
2. 論文標題 Partially Fluorinated Polyphenylene Ionomers as Proton Exchange Membranes for Fuel Cells: Effect of Pendant Multi-Sulfophenylene Groups	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 7527 ~ 7534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b01513	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 Koronka Daniel, Matsumoto Akinobu, Otsuji Kanji, Miyatake Kenji	4. 巻 9
2. 論文標題 Partially fluorinated copolymers containing pendant piperidinium head groups as anion exchange membranes for alkaline fuel cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 37391 ~ 37402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra07775h	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 Kimura Taro, Matsumoto Akinobu, Inukai Junji, Miyatake Kenji	4. 巻 3
2. 論文標題 Highly Anion Conductive Polymers: How Do Hexafluoroisopropylidene Groups Affect Membrane Properties and Alkaline Fuel Cell Performance?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 469 ~ 477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b01733	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 Long Zhi, Miyake Junpei, Miyatake Kenji	4. 巻 93
2. 論文標題 Sulfonated Poly(arylene perfluoroalkylene) Terpolymers as Novel Proton Exchange Membranes for High Performance Fuel Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 338 ~ 344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190351	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 Hosaka Ibuki, Sawano Takatoshi, Kimura Taro, Matsumoto Akinobu, Miyake Junpei, Miyatake Kenji	4. 巻 93
2. 論文標題 Differences in the Synthetic Method Affected Copolymer Sequence and Membrane Properties of Sulfonated Polymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 393 ~ 398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190309	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 宮武健治	4. 巻 7
2. 論文標題 炭化水素系電解質膜の開発状況	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 工業材料	6. 最初と最後の頁 24 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 三宅純平、宮武健治	4. 巻 72
2. 論文標題 プロトン導電性高分子薄膜の設計と燃料電池への応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学と工業	6. 最初と最後の頁 665 ~ 667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Jinju Ahn, Ryo Shimizu, and Kenji Miyatake	4. 巻 6
2. 論文標題 Sulfonated aromatic polymers containing hexafluoroisopropylidene groups: a simple but effective structure for fuel cell membranes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. A	6. 最初と最後の頁 24625-24632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8TA09587F	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 Ryo Akiyama, Naoki Yokota, Kenji Miyatake	4. 巻 52
2. 論文標題 Chemically Stable, Highly Anion Conductive Polymers Composed of Quinquephenylene and Pendant Ammonium Groups	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 2131-2138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.8b02199	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 Daniel Koronka, Ahmed Mohamed Ahmed Mahmoud, Kenji Miyatake	4. 巻 57
2. 論文標題 Effect of Cross-linking on the Properties of Partially Fluorinated Anion Exchange Membranes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Polym. Sci., A: Polym. Chem.	6. 最初と最後の頁 1059-1069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pola.29360	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 Mizuki Ozawa, Taro Kimura, Kanji Otsuji, Ryo Akiyama, Junpei Miyake, Makoto Uchida, Junji Inukai, Kenji Miyatake	4. 巻 3
2. 論文標題 Structurally Well-Defined Anion Exchange Membranes Containing Perfluoroalkyl and Ammonium-Functionalized Fluorenyl Groups	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 16413-16419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.8b02742	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 Kenji Miyatake and Yuma Shimizu	4. 巻 91
2. 論文標題 PtNi Alloy Nanoparticles Prepared by Nanocapsule Method for ORR Catalysts in Alkaline Media	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 1495-1497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180175	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 Jinju Ahn and Kenji Miyatake	4. 巻 1
2. 論文標題 Sulfonated Terpolymers Containing Alkylene and Perfluoroalkylene Groups: Effect of Aliphatic Groups on Membrane Properties and Interface with the Catalyst Layers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl. Energy Mater.	6. 最初と最後の頁 3965-3972
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.8b00684	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39件(うち招待講演 5件/うち国際学会 17件)

1. 発表者名 宮武健治
2. 発表標題 高プロトン導電性高分子薄膜：分子設計とエネルギーデバイスへの応用
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Junpei Miyake, Kenji Miyatake
2 . 発表標題 Quaternized Poly(arylene perfluoroalkylene)s (QPAFs) for Alkaline Fuel Cells
3 . 学会等名 International Conference on Fluorine Chemistry 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Uchida, R. Shimizu, K. Otsuji, A. Masuda, N. Sato, M. Kusakabe, A. Iiyama, K. Miyatake
2 . 発表標題 Durability of Newly Developed Polyphenylene-Based Ionomer Membranes in Polymer Electrolyte Fuel Cells: Accelerated Stress Evaluation
3 . 学会等名 236th Meeting of the Electrochemical Society (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Kawamoto, A. Makoto, T. Kimura, T. Mizusawa, N. L. Yamada, J. Miyake, K. Miyatake, J. Inukai
2 . 発表標題 In-Plane Distribution of Water inside Nafion Thin Film Analyzed By Neutron Reflectivity at Temperature of 80 °C and Relative Humidity of 30-80%
3 . 学会等名 236th Meeting of the Electrochemical Society (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Kawamoto, A. Makoto, T. Kimura, T. Mizusawa, N. L. Yamada, J. Miyake, K. Miyatake, J. Inukai
2 . 発表標題 Distributions of Water inside Nafion Thin Films on Different Substrates Analyzed by Neutron Reflectometry under Controlled Temperature and Humidity
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Z. Long, J. Miyake, K. Miyatake, J. Inukai
2. 発表標題 Sulfonated Poly(arylene perfluoroalkylene) Terpolymers as Proton Exchange Membranes
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 俊貴、内田 誠、宮武 健治
2. 発表標題 新規芳香族系高分子電解質を用いたフッ素フリー燃料電池への展開：膜および触媒層としての評価
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 Zhi Long, Junpei Miyake, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Effect of the Multi Sulfophenylene Groups on the Properties of Poly(arylene perfluoroalkylene) (SPAF) Membranes
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 渡邊 峻行、三宅 純平、宮武 健治
2. 発表標題 多孔性基材を用いた芳香族系高分子電解質補強膜の作製と物性
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 保坂 伊吹、日下部 正人、三宅 純平、宮武 健治
2. 発表標題 汎用的なNi化合物を用いたプロトン導電性芳香族高分子の合成と物性
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 椎野 佳祐、木村 太郎、大友 季哉、山田 武、有馬 寛、廣井 孝介、高田 慎一、三宅 純平、犬飼 潤治、宮武 健治
2. 発表標題 スルホン酸化ポリフェニレン電解質薄膜の合成、構造と物性
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 田中 俊貴、内田 誠、宮武 健治
2. 発表標題 芳香族系イオノマーのアノード触媒層への応用と起動時耐久性の向上効果
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川本 鉄平、青木 誠、木村 太郎、シナポン ボンチャノック、水沢 多鶴子、山田 悟史、根本 文也、渡辺 剛、谷田 肇、松本 匡史、今井 英人、三宅 純平、宮武 健治、犬飼 潤治
2. 発表標題 中性子反射率測定によるSiO ₂ 、PtおよびC基板上的ナフィオン薄膜の含水構造
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富安 啓輔、富安 啓輔、茂木 昌都、松本 匡史、今井 英人、富永 大輝、三宅 純平、宮武 健治、犬飼 潤治
2. 発表標題 中性子準弾性散乱と分子動力学計算によるNafion 膜と芳香族系電解質膜の研究
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Miyatake and Junpei Miyake
2. 発表標題 Polyphenylene Ionomers as Fuel Cell Membranes
3. 学会等名 The 12th International Polymer Conference (IPC2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮武健治
2. 発表標題 次世代燃料電池を目指した高分子薄膜への挑戦
3. 学会等名 第50回有機合成セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮武健治
2. 発表標題 イオン伝導性芳香族高分子の設計と燃料電池への応用
3. 学会等名 高分子学会18-2有機エレクトロニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮武健治
2. 発表標題 燃料電池の高性能化を目指したイオン伝導性薄膜の開発：山梨大学における産学官連携と大学院教育
3. 学会等名 秋田大学新素材・機能性材料開発セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ibuki Hosaka, Masato Kusakabe, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Widely Applicable Copolymerization with NiBr ₂ for Synthesis of Sulfonated Aromatic Copolymers
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mizuki Ozawa, Junpei Miyake, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Synthesis and Evaluation of Novel Anion Exchange Membranes Containing Perfluoroalkyl and Ammonium-Functionalized Fluorenyl Groups
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Shiino, Junpei Miyake, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Synthesis of Novel Sulfonated Polyphenylenes
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jinju Ahn, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Sulfonated Terpolymers Containing Perfluoroalkyl and Alkyl Groups for Application to PEMFC
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayuki Watanabe, Junpei Miyake, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Reinforcement Effect in Sulfonated Aromatic Polymers as Fuel Cell Membrane", 8th International Fuel Cell Workshop
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daniel Koronka, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Effects of Cross-Linking on the Properties of Anion Exchange Membranes
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taro Kimura, Naoki Yokota, Ryo Akiyama, Kenji Miyatake, Junji Inukai
2. 発表標題 Relationship between Bulk/Surface Conductivities of Anion Exchange Membranes and Fuel-Cell Performance
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhi Long, Yaojian Zhang, Junpei Miyake, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Effect of Alkyl Chain Length of the Cross-Linking Segment on the Properties of Polyphenylene-Based Proton Exchange Membranes for Fuel Cell Applications
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Shimizu, Akihiro Masuda, Nobuyuki Sato, Kenji Miyatake, Akihiro Iiyama, Makoto Uchida
2. 発表標題 Durability of Sulfonated Poly(phenylene) Quinquephenylene Membrane in Accelerated Stress Evaluation
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiki Tanaka, Makoto Uchida, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Application and Evaluation of Aromatic Hydrocarbon Ionomer as Binder in Fuel Cell Catalyst Layers
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kanji Otsuji, Naoki Yokota, Kenji Miyatake, Makoto Uchida
2. 発表標題 Performance Evaluation of Anion Exchange Membrane Fuel Cells Using Electrolytes with Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Skeletons
3. 学会等名 8th International Fuel Cell Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 犬飼 潤治、宮武 健治
2. 発表標題 燃料電池用電解質膜の高次構造と発電性能
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 横田 尚樹、三宅 純平、宮武 健治
2. 発表標題 芳香族系アニオン導電性高分子薄膜における化学的安定性の向上
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 Jinju Ahn, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Synthesis and properties of sulfonated poly(phenylene)s containing hexafluoro propane groups as fuel cell membranes
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 Daniel Koronka, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Effect of cross-linking on the properties of partially fluorinated anion exchange membranes
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 大辻 寛二、横田 尚樹、宮武 健治、内田 誠
2. 発表標題 新規アニオン交換電解質を用いたアニオン交換膜形燃料電池の性能評価
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大辻 寛二、横田 尚樹、柿沼 克良、、宮武 健治、内田 誠
2. 発表標題 非貴金属カソード触媒と炭化水素系電解質を用いたアニオン交換膜形燃料電池の性能評価
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 俊貴、内田 誠、宮武 健治
2. 発表標題 新規芳香族系高分子電解質を用いたフッ素フリー燃料電池への展開：膜および触媒層としての評価
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 Zhi Long, Junpei Miyake, Kenji Miyatake
2. 発表標題 Effect of the Multi Sulfophenylene Groups on the Properties of Poly(arylene perfluoroalkylene) (SPAF) Membranes
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 木村 太郎、松本 彬伸、宮武 健治、犬飼 潤治
2. 発表標題 ヘキサフルオロイソプロピリデン基を疎水部に含むアニオン導電性芳香族系高分子の合成と物性
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 保坂 伊吹、日下部 正人、三宅 純平、宮武 健治
2. 発表標題 汎用的なNi化合物を用いたプロトン導電性芳香族高分子の合成と物性
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kenji Miyatake (ed. by Naotoshi Nakashima)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 564
3. 書名 Nanocarbons for Energy Conversion: Supramolecular Approaches	

〔産業財産権〕

〔その他〕

山梨大学クリーンエネルギー研究センター燃料電池研究部門 http://www.fcgroup.yamanashi.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
--	---------------------------	-----------------------	----