

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 7 日現在

機関番号：54701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410104

研究課題名(和文)芳香族リン系イオン液体による導電性高分子の高機能化と色素増感太陽電池への応用

研究課題名(英文) Functionalization of conducting polymers by aromatic phosphonium based ionic liquids and the application to dye-sensitized solar cells

研究代表者

綱島 克彦 (Tsunashima, Katsuhiko)

和歌山工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号：90550070

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：イオン液体は色素増感太陽電池の次世代電解質として注目されている。また、色素増感型太陽電池の対極として導電性高分子が検討されている。本研究では、共役系官能基を有するホスホニウムイオン液体を創製して芳香族化合物の電解重合反応の電解質として適用し、得られる導電性高分子膜の高機能化を行いながら、新たな色素増感型太陽電池の対極としての可能性を評価した。その結果、当該イオン液体のドーピング効果により導電性高分子膜の導電性や電気化学応答性が向上し、新たな対極材料の候補となることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Ionic liquids have been regarded as promising electrolytes for dye-sensitized solar cells. Conducting polymers have also been developed as the counter electrode materials. In this work, ionic liquids based on quaternary phosphonium cations containing a pi-conjugated functional group was synthesized, being employed as high performance electrolytes for electropolymerizations of aromatic compounds in order to evaluate the possibility of the conducting polymers as counter electrode materials used in dye-sensitized solar cells. It was found that the electrical conductivity and electrochemical response of the conducting polymer films were improved by doping effect of the ionic liquids, which indicates that the conducting polymer films could be regarded as potential candidates for novel counter electrode materials.

研究分野：化学

キーワード：イオン液体 四級オニウム塩 導電性高分子 芳香族化合物 有機太陽電池 色素増感型太陽電池 電解質

### 1. 研究開始当初の背景

イオン液体(常温溶融塩)は有機溶媒と異なり、難揮発性というユニークな物理化学特性を有することから、ドライアップの心配がない色素増感太陽電池電解質として近年注目されている。しかしながら、既存の有機溶媒電解液系に比較して、イオン液体系では電解液中の輸送特性やヨウ素レドックス特性が低く、高い変換効率は達成されていないのが現状である。また、報告されているイオン液体のほとんどは窒素系のイミダゾリウムカチオン類を主体とするものに限定されていた。この状況において報告者らは、新たな色素増感太陽電池電解質として芳香環をカチオンに有するリン系四級ホスホニウム型イオン液体類を合成してその特性を精査し、芳香族型カチオン由来の相互作用に起因する良好な導電性と安定性が発現することを見出している。一方、色素増感太陽電池に用いられる白金電極の代替材料として、共役系を有する“導電性高分子”が検討されているが、イオン液体電解質系と組み合わせて用いる学術研究例は殆ど見られないのが現状であった。

### 2. 研究の目的

報告者らは、共役系官能基としてフェニル基を導入した四級ホスホニウム型カチオンをデザインし、高導電型アニオンと組み合わせることによって新規芳香族型イオン液体類の創製に成功している。電子供与性であるメトキシメチル基の導入によってカチオン電荷を適度に弱めて低融点化および低粘性化を実現しており、その結果、ヨウ素レドックス対を含む電解液の輸送特性の向上も確認されている。これらの特性は、リン原子上の空d軌道が関与する相互作用によるものと解釈されている。このような知見に基づき、当該芳香族型イオン液体を用いれば、共役系高分子鎖と、イオン液体中の芳香環およびリン原子の空d軌道との間に相互作用を生起させる可能性があると考え、芳香族ホスホニウムイオン液体電解質と導電性高分子電極を相乗効果的に用いた全く新しい色素増感太陽電池電極系を構想した。

そこで本研究では、まず種々の官能基を有する芳香族ホスホニウムイオン液体を創製し、これらをピロールやチオフェン等の電解重合反応の電解質として適用しながら得られる重合膜の高機能化を行い、新たな色素増感型太陽電池の対極としてのポテンシャルを検証することを目的とした。さらに、得られた導電性高分子の物性、電気化学特性および太陽電池特性を評価の対象とし、芳香環やリン原子の空d軌道に起因する相互作用効果を探究した。

### 3. 研究の方法

#### (1)イオン液体の合成と物理化学特性解析

出発物質として、トリエチルホスフィン、トリブチルホスフィン、ジメチルフェニルホスフィン、メチルジフェニルホスフィンを選定した。これらの三級ホスフィンとハロゲン化アルキルによる四級化反応(有機溶媒中、80℃, 24h) およびそれに後続するアニオン交換反応(純水中、室温)による2段階の合成反応によりイオン液体を合成した。得られたイオン液体については十分に純水洗浄および減圧加熱脱水により精製した。これらの試料について、融点(DSC) 密度(振動式密度計) 粘度(コンプレート型粘度計) 導電率(交流インピーダンス測定) 熱分解温度(TGA) 電気化学安定性(LSV, CV)の測定を行った。

#### (2)電解重合反応と重合膜の解析

得られたイオン液体を電解質とし、白金または透明電極を作用極とする三極式セルを用いて、アニリン、ピロール、チオフェンおよびチオフェン誘導体等の電解酸化重合反応を行った。得られた重合膜について、電気化学応答(CV)および電気伝導率(直流四端子法)の測定、および電子顕微鏡観察を行った。

#### (3)色素増感型太陽電池の特性評価

得られたイオン液体にヨウ素レドックス対を添加した電解液を調製し、この電解液をN3色素を吸着させた酸化チタン電極と白金対向電極からなる太陽電池セルに用いて、AM1.5の照射条件のソーラーシミュレータを用いて太陽電池特性を評価した。さらに、上記(2)で得られた導電性高分子膜を対向電極に用いたセルについても同様に測定した。

### 4. 研究成果

#### (1)新規イオン液体電解質の設計と特性解析

まず実験的観点から合成化学的アプローチの取りやすいものとして、カチオンの側鎖中に共役系が含まれるタイプのものとして、フェニル基やアリル基が含まれる四級ホスホニウムカチオンをデザインした。これに対応するアニオンとしては、近年リチウム電池電解質として注目されている $N(SO_2F)_2^-$ (FSA)を採用したところ、従来型のアニオンを用いた場合のイオン液体よりも低粘性かつ高導電性のイオン液体が得られることが分かった。さらなる発展系として、色素増感型太陽電池の電解質として注目されている $B(CN)_4^-$ (TCB)アニオンやカルボン酸アニオンを主体とする四級ホスホニウム型イオン液体、加えてホスホニウムイオン液体を含有するポリメチルメタクリレート系ポリマー電解質をも新たに設計して合成し、特異な輸送特性を示すイオン液体のシリーズを提案した。

#### (2)イオン液体電解質を用いた電解重合反

### 応系の設計と重合膜の解析

上記(1)にて得られた高導電性イオン液体を電解質として用いて、ピロール、アニリン、チオフェンおよびチオフェン誘導体のような典型的な芳香族化合物をモノマーとする電解酸化重合反応を行ったところ、いずれの場合にも平滑かつ緻密で導電性を有する重合膜が得られることがわかった(図1)。特に、得られた重合膜の中でもポリチオフェン誘導体(P3HTおよびPEDOT)については高い電気伝導性を示す重合物が形成されることがわかり、本研究における色素増感型太陽電池の導電性高分子対極として有望な候補となることが示唆された。さらなる拡張系として、導電助剤としてカーボン粒子を懸濁させたイオン液体電解液中でのアニリンの電解重合反応系ではカーボン粒子を取り込んだ高導電性コンジット重合膜が得られている。加えて、ピフェニル骨格を有する芳香族ジアミン化合物をモノマーとする電解重合反応系についても探索を行い、新たな導電性高分子電極系の可能性も示唆された。

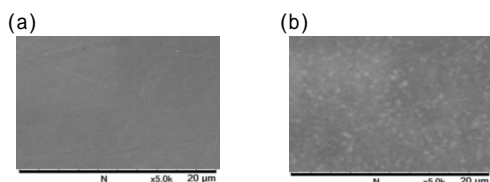


図1. ホスホニウムイオン液体中での電解重合反応により得られたポリピロールの電子顕微鏡写真; (a) ホスホニウム TCB 塩による重合物, (b) ホスホニウム FSA 塩による重合物。

### (3)イオン液体電解質と導電性高分子電極を用いた色素増感型太陽電池の評価

新たに設計されたホスホニウムイオン液体型電解質、およびこれらの電解質とのマッチングにより創製された導電性高分子電極を用いた色素増感太陽電池の構築とセル特性評価(I-V特性や変換効率等)を実施した。まず、ポリチオフェンおよびポリチオフェン誘導体(P3HTおよびPEDOT)を導電性高分子材料の主たる検討対象とした。これらの導電性高分子の電気化学特性を、FSA アニオン等を有する芳香環導入型ホスホニウムイオン液体を電解質とする系で評価したところ、高い電気化学応答を示すことが確認された。この実験検討の中で、ホスホニウムカチオンの重合膜へのドーピングにより重合膜の特性に及ぼす高い支援的效果が発現することが分かり、導電性高分子材料の高機能化の新たな方法論を提案するものとして、今後の新たな展開への布石となる知見も得られた。さらに、当該重合膜を太陽電池セルの電極材料に適用したところ、条件の最適化も含めて更なる改良の余地は残されているものの、相応の発電性能を示すことが確認され、本研究にて設計

されたイオン液体と導電性高分子対極との組み合わせにより新たな色素増感型太陽電池系を構築できることがわかった。

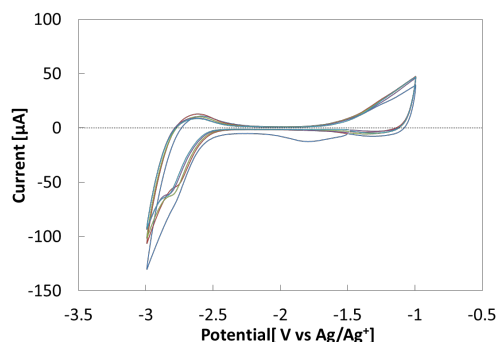


図2. ホスホニウム FSA 塩イオン液体中でのポリチオフェン誘導体(PEDOT)膜の電気化学応答。

### 5. 主な発表論文等 (研究代表者は下線)

[雑誌論文](計5件)

1. 綱島克彦, 四級ホスホニウム型イオン液体の特性と応用, *溶融塩および高温化学*, 査読有, 57巻, 2014, 67-74.
2. Katsuhiko Tsunashima, Yuki Sakai, Masahiko Matsumiya, Physical and Electrochemical Properties of Room-Temperature Ionic Liquids Containing Allyl-Based Phosphonium Cations and Bis(fluorosulfonyl)amide Anion, *ECS Transactions*, 査読有, 66巻, 2015, 33-39, DOI: 10.1149/06627.0033ecst.
3. Keiichi Nishihata, Katsuhiko Tsunashima, Masahiko Matsumiya, Physicochemical and Electrochemical Properties of Room-Temperature Ionic Liquids Based on Quaternary Phosphonium Cations and Tetracyanoborate Anion, *ECS Transactions*, 査読有, 72巻, 2016, 9-15, DOI: 0.1149/07233.0009ecst.
4. Keiichi Nishihata, Katsuhiko Tsunashima, Yasushi Ono, Masahiko Matsumiya, Electropolymerization of Thiophene in a Bis(fluorosulfonyl)-amide Based Phosphonium Ionic Liquid, *ECS Transactions*, 査読有, 75巻, 2017, 99-103, DOI: 10.1149/07552.0099ecst.
5. Jin Shimada, Katsuhiko Tsunashima, Mayu Ue, Kazuki Iwasaki, Tetsuya Tsuda, Susumu Kuwabata, Hideyuki Kanematsu, Nobumitsu Hirai, Takeshi Kogo, Akiko Ogawa, Physical and Electrochemical Properties of Ionic Liquids Based on

Quaternary Phosphonium Cations and Carboxylate Anions As Electrolytes, *ECS Transactions*, 査読有, 75 巻, 2017, 105-111, DOI: 10.1149/07552.0105ecst.

〔学会発表〕(計 55 件)

1. 網島克彦, 四級ホスホニウム型イオン液体の特性と応用, 第 184 回溶融塩委員会, 2014 年 6 月 24 日, 舞鶴市西駅交流センター
2. 網島克彦, リン系イオン液体の特性と電気化学的応用, 2014 年度第 1 回関西電気化学研究会, 2014 年 7 月 12 日, 大阪府立大学 I-site なんば
3. 網島克彦, 福島雅広, 山中悠平, 松宮正彦, FSA アニオン型ホスホニウムイオン液体の特性に及ぼす置換基導入の影響, 第 5 回イオン液体討論会, 2014 年 10 月 29 日, 横浜シンポジア
4. 西畑慶一, 網島克彦, テトラシアノボレートアニオンを有する四級ホスホニウム型イオン液体の合成と物性, 2014 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2014 年 12 月 13 日, 関西大学千里山キャンパス
5. 網島克彦, 四級ホスホニウムカチオンを有するイオン液体の開発と応用展開, 和歌山県化学技術者協会第 4 回若手技術者交流会, 2015 年 2 月 24 日, 和歌山県商工会議所
6. 西畑慶一, 網島克彦, 松宮正彦, テトラシアノボレートアニオンを有するホスホニウムイオン液体の物性と電気化学特性, 電気化学会第 82 回大会, 2015 年 3 月 15 日, 横浜国立大学
7. 本間和雅, 網島克彦, 小野恭史, 松宮正彦, FSA アニオン型ホスホニウムイオン液体中でのピロールの電解重合反応, 電気化学会第 82 回大会, 2015 年 3 月 15 日, 横浜国立大学
8. 山崎脩平, 網島克彦, 岩崎和紀, 津田哲哉, 桑畑 進, 松宮正彦, 乳酸アニオンを有する四級ホスホニウム型イオン液体の合成と物性, 電気化学会第 82 回大会, 2015 年 3 月 15 日, 横浜国立大学
9. Katsuhiko Tsunashima, Yuki Sakai, Masahiko Matsumiya, Physical and Electrochemical Properties of Room-Temperature Ionic Liquids Containing Allyl-Based Phosphonium Cations and Bis(fluorosulfonyl)amide Anion, 227th The Electrochemical Society Spring Meeting, May 26, 2015, Chicago, IL, USA
10. 西畑慶一, 本間和雅, 網島克彦, 小野恭史, 松宮正彦, 四級ホスホニウム型イオン液体の電解重合反応への応用, 第 39 回有機電子移動化学討論会, 2015 年 6 月 26 日, 長崎大学
11. 網島克彦, イオン液体のエネルギー変換/貯蔵デバイスへの応用, 2015 年度電気化学会関西支部奈良地区講演会, 2015 年 6 月 30 日, 奈良工業高等専門学校
12. 西畑慶一, 本間和雅, 網島克彦, 小野恭史, 松宮正彦, ホスホニウムイオン液体中でのピロールの電解重合反応に及ぼすアニオンの影響, 2015 年電気化学秋季大会, 2015 年 9 月 11 日, 埼玉工業大学
13. Keiichi Nishihata, Katsuhiko Tsunashima, Masahiko Matsumiya, Preparation and physicochemical properties of phosphonium ionic liquids based on tetracyanoborate anion, 66th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, October 5, 2015, Taipei, Taiwan
14. 西畑慶一, 網島克彦, 松宮正彦, 小野恭史, テトラシアノボレートアニオン型ホスホニウムイオン液体中でのピロールの電解重合反応と重合膜の特性解析, 第 6 回イオン液体討論会, 2015 年 10 月 26 日, 同志社大学今出川キャンパス
15. 網島克彦, 西畑慶一, 本間和雅, 松宮正彦, 小野恭史, 低粘度型ホスホニウムイオン液体を電解質として用いたピロールの電解重合反応, 第 47 回溶融塩化学討論会, 2015 年 10 月 29 日, 神戸大学
16. 西畑慶一, 網島克彦, 松宮正彦, 小野恭史, ホスホニウムイオン液体中でのチオフェンの電解重合反応, 2015 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2015 年 12 月 12 日, 同志社大学今出川キャンパス
17. 南尚希, 網島克彦, 井本充隆, 森清一, 竹田元則, 芳香族ジアミン化合物の電気化学挙動に及ぼす置換基の影響, 2015 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2015 年 12 月 12 日, 同志社大学今出川キャンパス
18. 土田裕介, 網島克彦, ホスホニウムイオン液体を用いたポリマー電解質の物理化学特性, 2015 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2015 年 12 月 12 日, 同志社大学今出川キャンパス
19. 伊藤大樹, 網島克彦, 松宮正彦, 小野恭史, イオン液体を用いた導電性高分子複合電極の調製と電気化学挙動, 2015 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2015 年 12 月 12 日, 同志社大学今出川キャンパス
20. 網島克彦, リン系イオン液体の特性とプロトン伝導性電解質としての可能性, 平成 27 年度グリーン・イノベーション研究成果企業化促進フォーラム, 2015 年 12 月 22 日, ナレッジキャピタル コングレコンベンションセンター
21. 西畑慶一, 網島克彦, 松宮正彦, 小野恭史, ホスホニウムイオン液体を電解質として用いたチオフェン類の電解重合反応, 電気化学会第 83 回大会, 2016 年 3 月 29 日, 大阪大学吹田キャンパス
22. 西畑慶一, 網島克彦, 松宮正彦, 小野恭史, ポリチオフェン類の電解合成反応と

- 重合膜特性に及ぼすホスホニウムイオン液体の効果, 電気化学会第 83 回大会, 2016 年 3 月 29 日, 大阪大学吹田キャンパス
23. 南尚希, 網島克彦, 井本充隆, 森清一, 竹田元則, 種々の芳香族ジアミン化合物の電気化学挙動解析, 電気化学会第 83 回大会, 2016 年 3 月 29 日, 大阪大学吹田キャンパス
24. 土田裕介, 網島克彦, ホスホニウムイオン液体を含有するポリメチルメタクリレート系ポリマー電解質の調製と物理化学特性, 電気化学会第 83 回大会, 2016 年 3 月 29 日, 大阪大学吹田キャンパス
25. 網島克彦, 伊藤大樹, 松宮正彦, 小野恭史, ホスホニウムイオン液体中でのアニリンの電解重合反応, 電気化学会第 83 回大会, 2016 年 3 月 29 日, 大阪大学吹田キャンパス
26. Keiichi Nishihata, Katsuhiko Tsunashima, Masahiko Matsumiya, Yasushi Ono, Tetracyanoborate Anion Based Phosphonium Ionic Liquids as Electrolytes for Pyrrole Electropolymerization, 229th The Electrochemical Society Spring Meeting, May 31, 2016, San Diego, CA, USA
27. Katsuhiko Tsunashima, Daiki Ito, Masahiko Matsumiya, Yasushi Ono, Electrooxidative Polymerization of Aniline in Phosphonium Ionic Liquids and Characterization of the Polyaniline Films, 229th The Electrochemical Society Spring Meeting, June 1, 2016, San Diego, CA, USA
28. 網島克彦, 南尚希, 小野恭史, 井本充隆, 森清一, 竹田元則, 芳香族ジアミン化合物の電気化学挙動とその導電性高分子膜形成, 第 40 回有機電子移動化学討論会, 2016 年 6 月 23 日, 新潟大学
29. Katsuhiko Tsunashima, Keiichi Nishihata, Kazumasa Honma, Daiki Ito, Yasushi Ono, Masahiko Matsumiya, Design of phosphonium ionic liquids for electrosynthesis of conducting polymers, 67th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, August 24, 2016, The Hague, Netherlands
30. Keiichi Nishihata, Katsuhiko Tsunashima, Yasushi Ono, Masahiko Matsumiya, Electropolymerization of Thiophenes in a Bis(fluorosulfonyl)-amide Based Phosphonium Ionic Liquid, 2016 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science, October 4, 2016, Honolulu, Hawaii, USA
31. Jin Shimada, Katsuhiko Tsunashima, Mayu Ue, Kazuki Iwasaki, Tetsuya Tsuda, Susumu Kuwabata, Nobumitsu Hirai, Hideyuki Kanematsu, Takeshi Kogo, Akiko Ogawa, Physical and Electrochemical Properties of Ionic Liquids Based on Quaternary Phosphonium Cations and Carboxylate Anions as Electrolytes, 2016 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science, October 4, 2016, Honolulu, Hawaii, USA
32. Katsuhiko Tsunashima, Naoki Minami, Yasushi Ono, Mitsutaka Imoto, Seiichi Mori, Motonori Takeda, Electrochemical Behavior of Aromatic Diamines and the Growth of Conducting Films, 2016 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science, October 5, 2016, Honolulu, Hawaii, USA
33. 土田裕介, 網島克彦, 松宮正彦, ホスホニウムイオン液体を用いたポリマー電解質の特性に及ぼすカチオン構造依存性, 第 7 回イオン液体討論会, 2016 年 10 月 24 日, 金沢市文化ホール
34. 西畑慶一, 網島克彦, 小野恭史, 松宮正彦, 導電性高分子の特性に及ぼすホスホニウムイオン液体の n 型ドーピング効果, 第 7 回イオン液体討論会, 2016 年 10 月 25 日, 金沢市文化ホール
35. 嶋田仁, 網島克彦, 谷篤史, 岩崎和紀, 津田哲哉, 桑畑進, カルボン酸アニオン型ホスホニウムイオン液体の特性とセミクラスレートハイドレート生成挙動, 第 7 回イオン液体討論会, 2016 年 10 月 25 日, 金沢市文化ホール
36. 土田裕介, 網島克彦, 松宮正彦, ホスホニウム型ポリマーゲル電解質の調製と物理化学特性, 第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016, 2016 年 11 月 15 日, タワーホール船堀
37. 西畑慶一, 網島克彦, 松宮正彦, 小野恭史, ホスホニウムイオン液体を用いたチオフェン類の電解重合反応とその重合膜特性, 第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016, 2016 年 11 月 16 日, タワーホール船堀
38. 西畑慶一, 網島克彦, 小野恭史, 松宮正彦, ポリチオフェン類の重合膜特性に及ぼすホスホニウムカチオンのドーピング効果, 2016 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2016 年 12 月 10 日, 大阪府立大学
39. 南尚希, 網島克彦, 小野恭史, 井本充隆, 森清一, 竹田元則, 種々の芳香族ジアミン化合物の電解酸化重合反応, 2016 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2016 年 12 月 10 日, 大阪府立大学
40. 西畑慶一, 網島克彦, 松宮正彦, テトラシアノボレート型ホスホニウムイオン液体の調製と色素増感型太陽電池電解質への応用, 第 22 回高専シンポジウム, 2017

- 年 1 月 28 日, 鳥羽商船高専
41. 土田裕介, 綱島克彦, 山田裕久, 松宮正彦, ポリメチルメタクリレート系ポリマー電解質の物理化学特性に及ぼすホスホニウムイオン液体の効果, 第 22 回高専シンポジウム, 2017 年 1 月 28 日, 鳥羽商船高専
  42. 南尚希, 綱島克彦, 小野恭史, 井本充隆, 森清一, 竹田元則, 芳香族ジアミン化合物の電解重合反応と導電性高分子形成に及ぼすモノマー構造依存性, 第 22 回高専シンポジウム, 2017 年 1 月 28 日, 鳥羽商船高専
  43. 嶋田仁, 綱島克彦, 谷篤史, 岩崎和紀, 津田哲哉, 桑畑進, カルボン酸アニオン型ホスホニウムイオン液体の物性と準包接水和物の生成挙動, 第 22 回高専シンポジウム, 2017 年 1 月 28 日, 鳥羽商船高専
  44. 齋田哲宏, 綱島克彦, 岩崎和紀, 津田哲哉, 桑畑進, ジシアナミドアニオンを有する不飽和型ホスホニウムイオン液体の調製と物理化学特性, 第 22 回高専シンポジウム, 2017 年 1 月 28 日, 鳥羽商船高専
  45. Ahmad Faiz Ibadurrahman, 伊藤大樹, 綱島克彦, 山田裕久, 片倉勝己, 兼松秀行, 平井信充, 幸後健, ホスホニウムイオン液体中でのアニリンの電解重合反応とポリアニリン複合電極の調製, 第 22 回高専シンポジウム, 2017 年 1 月 28 日, 鳥羽商船高専
  46. 西畑慶一, 綱島克彦, 小野恭史, 松宮正彦, 色素増感型太陽電池電解質としてのテトラシアノボレート型ホスホニウムイオン液体の物理化学特性, 第 19 回化学工学会学生発表会, 2017 年 3 月 4 日, 大阪大学豊中キャンパス
  47. 土田裕介, 綱島克彦, 山田裕久, 松宮正彦, 四級ホスホニウム型イオン液体を用いたポリマーゲル電解質の開発, 第 19 回化学工学会学生発表会, 2017 年 3 月 4 日, 大阪大学豊中キャンパス
  48. 南尚希, 綱島克彦, 小野恭史, 井本充隆, 森清一, 竹田元則, 芳香族ジアミン化合物の電解重合反応と導電性高分子形成に及ぼすモノマー構造依存性, 第 19 回化学工学会学生発表会, 2017 年 3 月 4 日, 大阪大学豊中キャンパス
  49. 嶋田仁, 綱島克彦, 谷篤史, 岩崎和紀, 津田哲哉, 桑畑進, 種々のカルボキシレートアニオンを有するホスホニウムイオン液体の物性と準包接水和物の生成挙動, 第 19 回化学工学会学生発表会, 2017 年 3 月 4 日, 大阪大学豊中キャンパス
  50. 西畑慶一, 綱島克彦, 小野恭史, 松宮正彦, ポリチオフェン電解重合膜へのホスホニウムカチオンドーピングに及ぼすカチオンサイズ依存性, 電気化学会第 84 回大会, 2017 年 3 月 25 日, 首都大学東京

51. 西畑慶一, 齋田哲宏, 綱島克彦, 小野恭史, 松宮正彦, 芳香環を有するホスホニウムイオン液体を用いたポリチオフェン類への n 型ドーピング挙動, 電気化学会第 84 回大会, 2017 年 3 月 25 日, 首都大学東京
52. 土田裕介, 綱島克彦, 山田裕久, 松宮正彦, 保田真吾, 的場哲也, 石田勝之, ホスホニウム型ポリマー電解質の物理化学特性に及ぼす架橋剤の影響, 電気化学会第 84 回大会, 2017 年 3 月 25 日, 首都大学東京
53. 南尚希, 綱島克彦, 井本充隆, 森清一, 竹田元則, アントラセン環構造を有する芳香族ジアミン化合物の電気化学的挙動, 電気化学会第 84 回大会, 2017 年 3 月 25 日, 首都大学東京
54. 嶋田仁, 綱島克彦, 谷篤史, 岩崎和紀, 津田哲哉, 桑畑進, カルボキシレートアニオン型ホスホニウムイオン液体の物性と準包接水和物生成に及ぼすアニオン構造依存性, 電気化学会第 84 回大会, 2017 年 3 月 25 日, 首都大学東京
55. 嶋田仁, 村上亮太, 綱島克彦, 楠部真崇, 西本真琴, 兼松秀行, 平井信充, 幸後健, 小川亜希子, 多価カルボン酸をアニオンとする四級ホスホニウム塩の調製と物理化学特性, 電気化学会第 84 回大会, 2017 年 3 月 25 日, 首都大学東京

〔図書〕(計 1 件)

1. Katsuhiko Tsunashima, “ Rechargeable Batteries: Materials, Technologies and New Trends”, Chapter 10, “ Phoshonium-Based Ionic Liquids”, Springer, 2015, pp.291-310.

〔その他〕

研究室ホームページ:

<https://tsunaken.wixsite.com/tsunaken>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

綱島 克彦 (TSUNASHIMA KATSUHIKO)

和歌山工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号: 90550070