



イオン液体研究会

サーキュラーNo.23

CONTENTS

P1 Topics

イオン液体を用いたジャイロイド構造設計
東京農工大学大学院 工学研究院 生命機能科学部門 一川 尚広

P10 開催報告

2024年度イオン液体研究会 開催報告
東京農工大学 一川 尚広、田中 正樹、中村 暢文

P13 学会参加・受賞報告

電気化学会 進歩賞(佐野賞)受賞報告
横浜国立大学 多々良 涼一

Dense ionic fluids Faraday Discussion 参加報告・受賞報告
横浜国立大学 上野研究室 博士課程後期2年 須藤 拓

P16 留学体験記

Deakin大学滞在記
大阪大学大学院基礎工学研究科 近藤 慎司

P19 研究グループ紹介

～大阪大学 山田研究室～
大阪大学 産業科学研究所 エネルギー・環境材料研究分野 山田 裕貴

P24 事務局からの連絡

第14回イオン液体討論会など

イオン液体を用いたジャイロイド構造設計

東京農工大学大学院 工学研究院 生命機能科学部門
(工学府 生命工学専攻)
一川尚広

1. はじめに

このような場で、これまで私が推進してきた研究を紹介する機会をいただき、イオン液体研究会サーキュラーの編集委員の皆様へ深く感謝いたします。この Topics 記事では、これまでの私が助教または准教授に昇任してから進めてきたイオン液体研究を紹介させていただきます。

『液晶』というと『ディスプレイ』を思い浮かべる方がほとんどではないかと思われませんが、実際には『液晶』とは、液体の『液』と結晶の『晶』を合わせて作られた単語であり、液体と結晶(固体)の『中間の状態』を示す言葉である。ディスプレイとしての応用が圧倒的に花咲き、社会にも大きなインパクトを及ぼし、科学者以外にも認知される単語となったことは凄いことである。『液晶』という状態の1つの応用先としてディスプレイがあることは間違いないが、それ以外の様々な応用可能性が『液晶』には潜んでいる。液晶相を示す物質または形成される分子集合構造の形態に応じて様々に分類することができるが、その中でも、ナノ相分離型の液晶は、分子レベルでの相分離を駆動力として多様な次元性を持った分子集合構造を形成するソフトマターである(図 1)^[1-3]。私は、ナノ相分離型液晶が形成する液晶相の一つである双連続キュービック液晶相に着目して長らく研究を推進してきた^[4-7]。特に、私が助教として大野・中村研に着任した時、大野・中村研で開発されてきた非常に個性的なイオン液体を数多く目の当たりにし、これらの個性的なイオン液体の特徴を活かした自己組織性(液晶性)イオン液体の研究を進めてきたので、イオン液体の種類の観点から研究テーマを分類して、以下で紹介させていただきます。

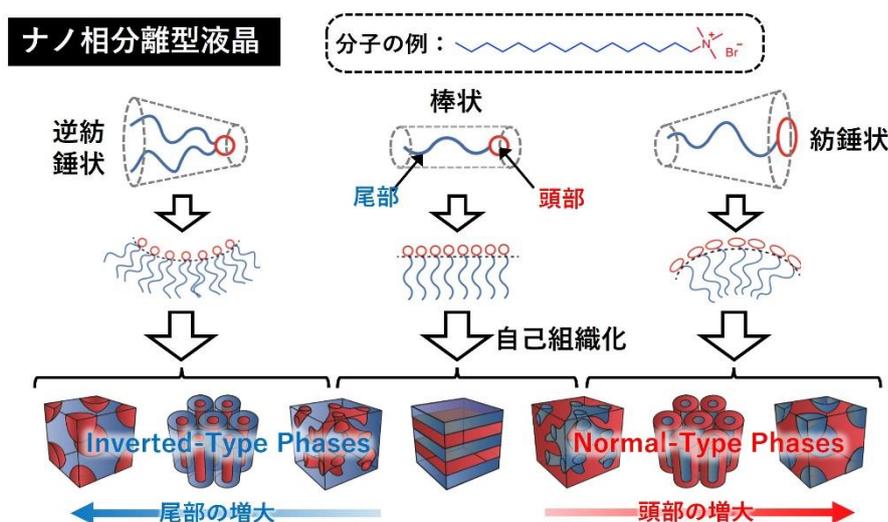


図 1. ナノ相分離型の液晶が形成する様々なナノ構造

Topics

2. Zwitterion を用いた両親媒性分子設計

2. 1. Zwitterion を用いた双連続キュービック液晶

カチオンとアニオンが共有結合で連結した Zwitterion は単独では融点の高い結晶性の固体であるが、 LiTf_2N または HTf_2N など当モルで混合すると、固体と固体を混ぜているにも関わらず液体となることを大野らが 2000 年代の初頭に見出した^[8,9]。これは Zwitterion と LiTf_2N (または HTf_2N) の間で HSAB 則に従ったイオン交換が起こり、イオン液体のようなイオンペアが形成されるためだと考えられる。このようにして得られた液体は、 Li^+ または H^+ を選択的に伝導する媒体として興味深い。そのような中、私は、『Zwitterion と LiTf_2N (または HTf_2N) がイオンペアを形成する特性』に着目した。この特性を利用すれば、棒状の両親媒性 Zwitterion を設計した時、適切なサイズのアニオンを持つ酸またはリチウム塩を加えることで、両親媒性 Zwitterion/酸 (またはリチウム塩) が形成する複合体の『疑似的な分子実効形状』を棒状から紡錘状まで自在に調整でき、それに伴い、双連続キュービック液晶相の発現を誘起できるのではと考えた (図 2)。特に、双連続キュービック液晶相は、スメクチック液晶相とカラムナー液晶相の中間域で発現する液晶相として知られているため、この間となるように添加する酸 (またはリチウム塩) の対アニオンのサイズ及び等量を調整することで、多くの両親媒性 Zwitterion が目的の双連続キュービック液晶相を形成することが分かった^[10-19]。

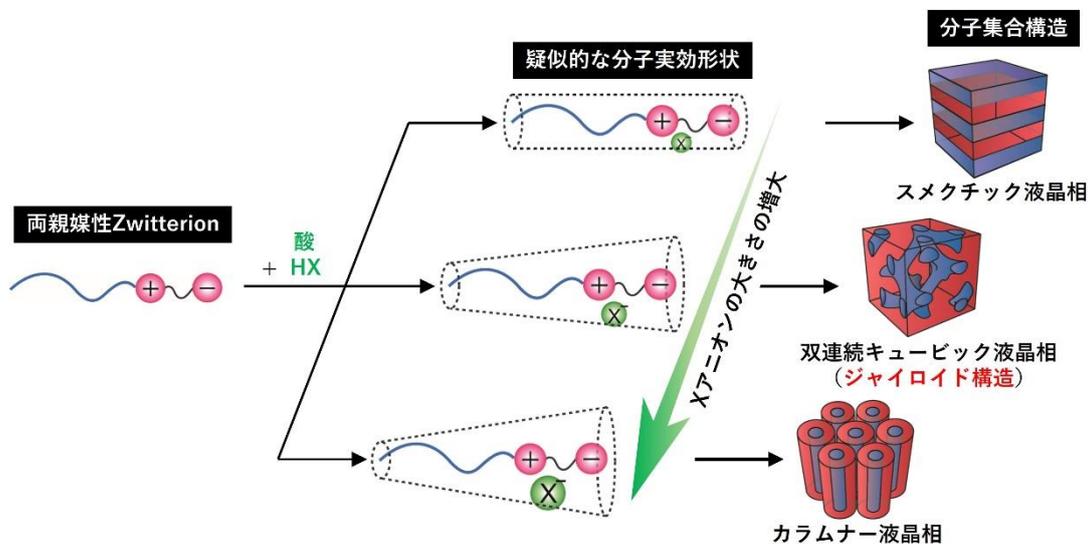


図 2. 両親媒性 Zwitterion を用いたナノ相分離型液晶相の制御

Topics

2. 2. ジャイロイド極小界面を用いた三次元プロトン伝導

両親媒性 Zwitterion (例えば、図 3a の **PyZI**) と HTf_2N の複合体^[10] は双連続キュービック液晶相を発現し、ジャイロイド構造を形成する(図 3b)。双連続キュービック液晶相の形成は偏光顕微鏡観察・X 線回折測定などで同定することができる。例として、**PyZI**/ HTf_2N 複合体がカラムナー液晶相から双連続キュービック液晶相へと転移する過程を偏光顕微鏡を通して観察した時のテクスチャの変化を図 3c に示す。異方的な構造を持つカラムナー液晶相の時には、液晶相特有の光学組織が観察されるが、光学的に等方な双連続キュービック液晶相への転移が始まると複屈折が消失していき、完全に真黒な状態へと変化していく。

PyZI/ HTf_2N 複合体が形成するジャイロイド構造において、両親媒性 Zwitterion の末端のスルホネート基は全てジャイロイド極小界面上に配列している(図 3b)。また、その親水的な界面は、ピリジニウムカチオンと Tf_2N から構成される疎水的なイオンペア(疎水性レイヤー)によってサンドイッチされた構造になっているため、少量の水を添加すると、ジャイロイド極小界面に沿ってのみ水分子が取り込まれ、極めて薄いがマクロに連続した水の三次元ナノシートが形成されるのではないかと考えた。また、この三次元ナノシートに沿って高速なプロトン伝導が生じるのではないかと期待した。実際に、少量の水を含ませた化合物に対して交流インピーダンス法によりイオン伝導度を評価すると、含水率の上昇に伴い、急激な伝導度の上昇を見出すことができ、高速なプロトン伝導を実現できることを明らかとした^[10]。

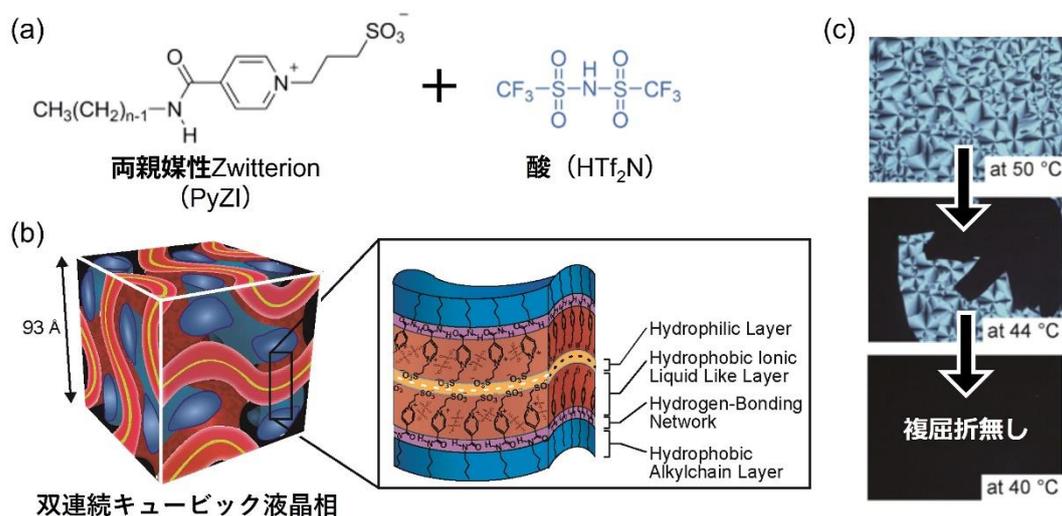


図 3. a) 両親媒性 Zwitterion (**PyZI**) と HTf_2N の分子構造、b) **PyZI**/ HTf_2N 複合体が形成する分子集合構造、c) カラムナー液晶相から双連続キュービック液晶相へと転移する過程を偏光顕微鏡観察した時のテクスチャの変化

Topics

次に、両親媒性 Zwitterion が形成する分子集合構造を固定化することを目的として、重合性官能基を導入した両親媒性 Zwitterion を設計した(図 4a 左)^[13]。この分子も酸および適量の水の存在下、双連続キュービック液晶相を発現した。双連続キュービック液晶状態で *in situ* 重合したところ、自立性の高分子膜を得ることができた(図 4a 右)。膜の含水率は湿度コントロールなどで調整できた。膜内のナノ構造を Sheffield 大学の Zeng 博士らとシンクロトン X 線散乱測定により調べたところ、図 4b に示すような三次元電子密度マップを作ることに成功した。また、含水率が変化してもジャイロイド構造を維持していることも分かった。三次元電子密度マップを比較したところ、含水率の上昇に伴い、ジャイロイド極小界面上の電子密度が最密(紫)から少し低くなる(青)ことが分かり、界面に沿って水分子が取り込まれていることを示唆する結果を得ることができた。

膜内の水分子のダイナミクスがプロトン伝導機構に強く関与すると考え、総合科学研究機構(CROSS)中性子科学センターの山田武博士と協力して、中性子準弾性散乱測定により水分子のダイナミクスを解析した。膜内の水分子は全て結合水として存在するものの、局所的な運動をしていることが分かった。これらの結果より、膜内のプロトン伝導機構が高速な界面プロトンホッピング伝導機構であることを明らかとした^[18]。スルホネート基を高密度に配列することで、プロトンがホッピングする際の活性化エネルギーが極めて低減されて、このような機構が働いたと考察している。今後、このような設計が、例えば PFAS フリーなプロトン伝導電解質膜や高温または低温でも駆動する燃料電池の開発などに貢献できればと考えている。

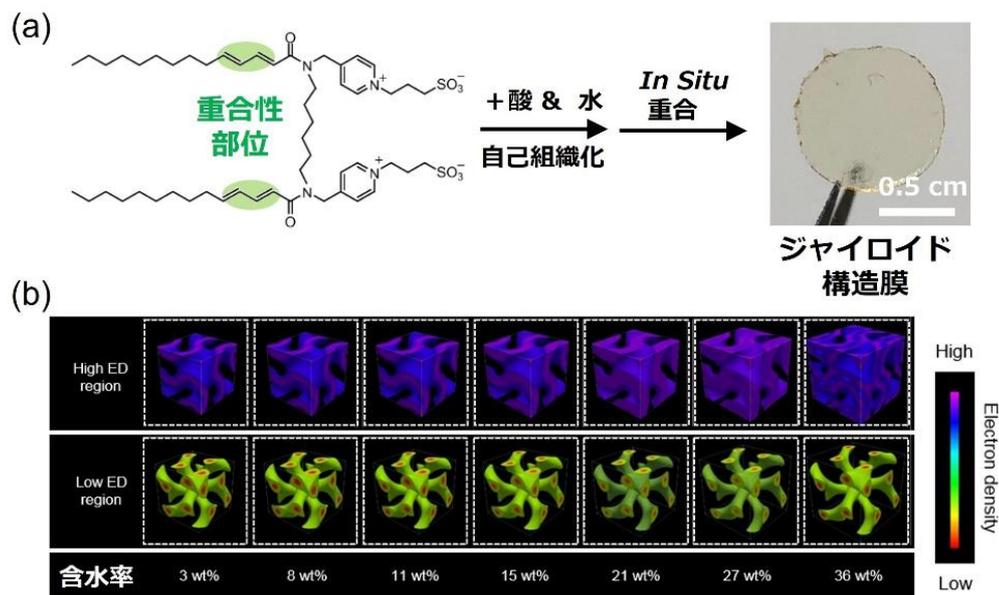


図 4. a) 我々が設計した重合基を有する両親媒性 Zwitterion とそれを用いたジャイロイド構造膜、
b) ジャイロイド構造膜中の電子密度マップの含水率依存性

Topics

3. アミノ酸イオン液体を用いたリオトロピック液晶

液晶の中には、溶媒と両親媒性分子の混合物からなるものが存在し、それらはリオトロピック液晶と呼ばれる。主に、水や有機溶媒を溶媒とした系がほとんどであるが、イオン液体を溶媒としたリオトロピック液晶も 2000 年代初頭から報告され始めた^[20-22]。イオン液体と両親媒性分子は混ざりあわない組み合わせも多く、イオン液体の選択が極めて重要である。そのような中、私は大野研で 2005 年に開発された天然アミノ酸をアニオンとして有するイオン液体(アミノ酸イオン液体)^[23,24]に着目した。フッ素系アニオンを有する汎用のイオン液体と比較して、アミノ酸イオン液体は高い水素結合能を有している点の特徴である。水が優れたリオトロピック液晶溶媒として機能する理由の1つとして、水分子の高い水素結合能が挙げられる。この事実を踏まえ、アミノ酸イオン液体はイオン液体の中でも優れた自己組織化(促進)溶媒となるのではないかと着想した。更に、アミノ酸イオン液体のアニオン側鎖 R を調整することで、溶媒の水素結合能を調整することができるため、『溶媒設計』により両親媒性分子の自己組織化をコントロールする方法論を構築できるのではないかと着想した(図 5)。実際に様々な両親媒性分子とアミノ酸イオン液体を組み合わせる成分比によって現れる液晶相をまとめた相図を作製していくと、この着想が概ね妥当であることが分かった。アニオン種の選択で得られる相図は大きく変化し、目的としている双連続キュービック液晶相の発現の有無も変化することが分かった^[25-27]。

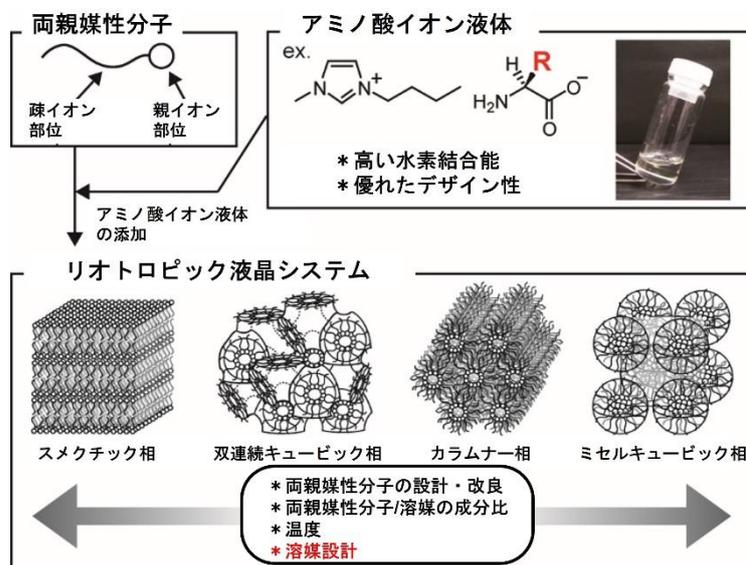


図 5. アミノ酸イオン液体を溶媒としたリオトロピック液晶設計

4. アトロプ異性化を利用した捩じれ構造設計

双連続キュービック液晶が形成するジャイロイド構造は、ダブルジャイロイド構造であり、右捩じれと左捩じれのネットワークが入れ子になった構造である^[28,29]。このような分子集合構造を誘起するためには、分子自体も捩じれを有していた方が良くはないかと考え、捩じれ構造の導入に挑戦した。具体的には、図 6a に示したようにベンゼン環に二つのイミダゾリウム環が結合した構造を設計すると、R のかさ高さ次第で、ベンゼン環とイミダゾリウム環を結ぶ C-N 結合の回転が抑制され、軸不斉を形成する(アトロプ異性化)。もう少し具体的に説明すると、2つのイミダゾリウム環の捩じれの向きの組み合わせに従って、R 体、S 体、および *meso* 体の3種類の立体異性体を形成する。このような立体異性体の形成は、¹H NOESY NMR による ¹H-¹H 間の相関を観測することにより明らかにすることができた^[30,31]。この特異なイオン骨格を頂点とした扇形のイオン性液晶分子を設計したところ、アニオン種や扇形部位のアルキル鎖の長さ次第で、目的の双連続キュービック液晶相を形成することが分かった^[30,31]。液晶状態における三次元電子密度マップを構築したところ、図 6b,c に示すような一辺の長さが約 9 nm のジャイロイド構造を可視化することに成功した。イオン性部位が三次元のナノチャンネル(橙色)を形成し、アルキル鎖末端が青色で示した三次元極小界面上に位置するように配列してこのような構造が出来上がっていると考えられる。バルク状態における『分子自体の捩じれ』と『捩じれた分子集合構造(ダブルジャイロイド構造)』の因果関係を明確にするのは非常に困難であるが、今後もこのような分子のコンフォメーションに着目した液晶設計と機能設計に挑戦していきたい。また、このような素材は、イオン性の三次元ナノチャンネルを有しているので、CO₂ などを選択的に取り込み透過するガス分離膜などへの応用を期待している。

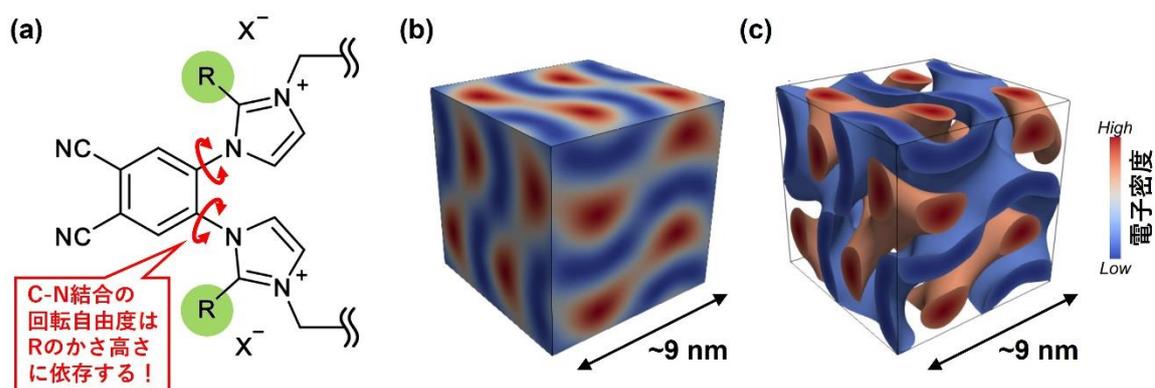


図 6. a) アトロプ異性化を有するイオン性骨格、b, c) このイオン構造を有する扇形イオン性液晶分子が形成するジャイロイド構造中の電子密度マップ(c は電子密度の高い領域と低い領域のみを可視化している。)

5. LCST 型イオン液体を利用した凝集誘起発光の On/Off 制御

大野らは 2007 年にある種のホスホニウム塩型イオン液体が水中で LCST 型相転移を示すことを見出した^[32]。それ以降、当時、大野・中村研に所属していた河野雄樹博士(現、産総研主任研究員)を中心として精力的に研究が進められ^[33-35]、世界的にもこのイオン液体の LCST 型相転移挙動を研究する科学者が増え続けている^[36-38]。この現象は、温度上昇に伴うホスホニウムカチオンからの脱水和とそれに伴うイオン凝集が駆動力であると考えられる。一相 \leftrightarrow 二相相転移を利用した分離や抽出などに関する研究が注目されてきたが、我々は、この現象を『物質(分子)の凝集/解離の自在制御』に使えるのではないかと着想した。そこで、一つの例として、様々な凝集誘起型の機能の中でも、『凝集誘起発光 (Aggregation-Induced Emission: AIE)』に着目した^[39,40]。AIE は、ある種の芳香族化合物が溶液中で消光するが、固体状態では強く発光する現象のことであり、Ben Zhong Tang らが 2000 年代の初頭に見出した現象である^[39]。通常は、AIE 化合物を良溶媒に溶かし、少しずつ貧溶媒を加えて析出する過程で発光特性の Off \rightarrow On を追跡する実験を行う。このような AIE 挙動をイオン液体の LCST 型相転移挙動と連動させることができないかと考え、図 7a に示したような Tetraphenylethylene をアニオン骨格に導入したホスホニウム塩を設計した^[41]。このホスホニウム塩は、室温では結晶で、水に可溶であるが、このホスホニウム塩を溶かした水溶液を加熱していくと約 39 °C で白濁し(イオン液体濃度によって相転移温度は変化する)、ホスホニウム塩が水和イオン液体の微小液滴として析出し始める。この白濁状態のサンプルに励起光を照射すると、AIE に伴う発光を観察することができた(図 7b)。単なる光の散乱でないことは、発光波長からも明らかであった。Tetraphenylethylene 骨格を持たない類似のホスホニウム塩との比較からも、Tetraphenylethylene 誘導体アニオンからの AIE 発光であることを確認付けることができた。このように LCST 型相転移に伴い発光特性の On/Off を制御することに成功した(図 7b)。今後も、このようなイオン液体の動的な挙動を活かした様々な凝集誘起型の機能制御に挑戦していきたい。

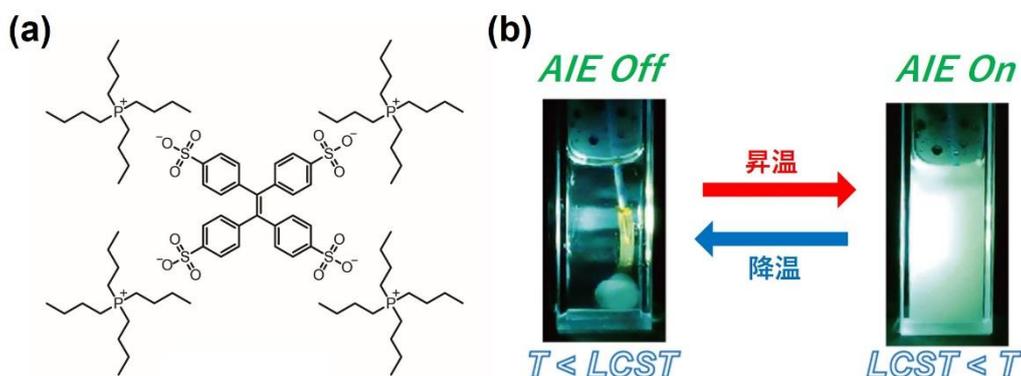


図 7. a) 我々が設計した Tetraphenylethylene 誘導体アニオンを有するホスホニウム塩型のイオン液体、b) このイオン液体が水中で LCST 型相転移挙動に伴い AIE 発光の Off \leftrightarrow On を変化する様子

6. 終わりに

私自身は 2005 年から液晶化学の研究をスタートし、これまでイオン液体を基盤として、良く言えば特異な、悪く言えば変な素材を色々と生み出してきた。この間、イオン液体に大変ワクワクを与えられてきたなと感じており、イオン液体には感謝するばかりである。もちろん研究指導して下さった恩師の皆様、一緒に研究に挑戦してくれた学生さん、共同研究者の皆様、またイオン液体コミュニティの皆様にも深く感謝するばかりです。ジャイロイド構造を偏光顕微鏡で観察すると複雑折が無く、真っ暗である。この真っ暗の先にどのような輝かしい機能・応用・可能性が秘められているか、私自身にも分からないが、これからも今回紹介させていただいたような研究をさらに推進し、『液晶』という単語を再度、世界に響き渡らせたい！

引用文献

- [1] T. Kato, N. Mizoshita, and K. Kishimoto, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **45**, 38 (2006)
- [2] T. Kato, M. Yoshio, T. Ichikawa, B. Soberats, H. Ohno, and M. Funahashi, *Nat. Rev. Mater.*, **2**, 17001 (2017)
- [3] J. Uchida, B. Soberats, M. Gupta, and T. Kato, *Adv. Mater.*, **34**, 2109063 (2022)
- [4] T. Ichikawa, M. Yoshio, A. Hamasaki, T. Mukai, H. Ohno, and T. Kato, *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 10662 (2007)
- [5] T. Ichikawa, M. Yoshio, A. Hamasaki, J. Kagimoto, H. Ohno, and T. Kato, *J. Am. Chem. Soc.*, **133**, 2163 (2011)
- [6] M. Henmi, K. Nakatsuji, T. Ichikawa, H. Tomioka, T. Sakamoto, M. Yoshio, and T. Kato, *Adv. Mater.*, **24**, 2238 (2012)
- [7] T. Ichikawa, M. Yoshio, S. Taguchi, J. Kagimoto, H. Ohno, and T. Kato, *Chem. Sci.*, **3**, 2001 (2012)
- [8] M. Yoshizawa, M. Hirao, K. I-Akita, and H. Ohno, *J. Mater. Chem.*, **11**, 1057 (2001)
- [9] M. Yoshizawa and H. Ohno, *Chem. Commun.*, 1828 (2004)
- [10] T. Ichikawa, T. Kato, and H. Ohno, *J. Am. Chem. Soc.*, **134**, 11354 (2012)
- [11] T. Matsumoto, T. Ichikawa, J. Sakuda, T. Kato, and H. Ohno, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **87**, 792 (2014)
- [12] T. Kobayashi, T. Ichikawa, T. Kato, and H. Ohno, *Adv. Mater.*, **29**, 1604429 (2017)
- [13] T. Kobayashi, Y. Li, A. Ono, X. Zeng, and T. Ichikawa, *Chem. Sci.*, **10**, 6245 (2019)
- [14] T. Ichikawa, T. Kato, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, **55**, 8205 (2019)
- [15] A. Maekawa, T. Kobayashi, and T. Ichikawa, *Polym. J.*, **53**, 463 (2021)
- [16] T. Kobayashi, Y. Li, Y. Hirota, A. Maekawa, N. Nishiyama, X. Zeng, and T. Ichikawa, *Macromol. Rapid Commun.*, **42**, 2100115 (2021)
- [17] H. Oshiro, T. Kobayashi, and T. Ichikawa, *Mol. Syst. Des. Eng.*, **7**, 1459 (2022)

Topics

- [18] T. Ichikawa, T. Yamada, N. Aoki, Y. Maehara, K. Suda, and T. Kobayashi, *Chem. Sci.*, **15**, 7034 (2024)
- [19] T. Ichikawa, *Polym. J.*, **49**, 413 (2017)
- [20] N. Kimizuka and T. Nakashima, *Langmuir*, **17**, 6759 (2001)
- [21] R. Atkin and G. G. Warr, *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 11940 (2005)
- [22] T. L. Greaves and C. J. Drummond, *Chem. Soc. Rev.*, **37**, 1709 (2008)
- [23] K. Fukumoto, M. Yoshizawa, and H. Ohno, *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 2398 (2005)
- [24] H. Ohno and K. Fukumoto, *Acc. Chem. Res.*, **40**, 1122 (2007)
- [25] T. Ichikawa, K. Fujimura, M. Yoshio, T. Kato, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, **49**, 11746 (2013)
- [26] K. Fujimura, T. Ichikawa, M. Yoshio, T. Kato, and H. Ohno, *Chemistry-An Asian J.*, **11**, 520 (2016)
- [27] T. Ichikawa, T. Kato, and H. Ohno, *Chem. Commun.*, **55**, 8205 (2019)
- [28] C. Dressel, T. Reppe, M. Prehm, M. Brautzsch, and C. Tschierske, *Nat. Chem.*, **6**, 971 (2014)
- [29] C. Dressel, F. Liu, M. Prehm, X. Zeng, G. Ungar, and C. Tschierske, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **53**, 13115 (2014)
- [30] N. Uemura, T. Kobayashi, S. Yoshida, Y. Li, K. Goossens, X. Zeng, G. Watanabe, and T. Ichikawa, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **59**, 8445 (2020)
- [31] T. Ichikawa, S. Obara, S. Yamaguchi, Y. Tang, T. Kato, and X. Zeng, *Chem. Commun.*, 2024, DOI: 10.1039/D4CC03002H
- [32] K. Fukumoto and H. Ohno, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **46**, 1852 (2007)
- [33] Y. Kohno, H. Arai, S. Saita, and H. Ohno, *Australian J. Chem.*, **64**, 1560 (2011)
- [34] Y. Kohno and H. Ohno, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **14**, 5063 (2012)
- [35] Y. Kohno and H. Ohno, *Chem. Commun.*, **48**, 7119 (2012)
- [36] R. Wang, W. Leng, Y. Gao, and L. Yu, *RSC Adv.*, **4**, 14055 (2014)
- [37] A. Nitta, T. Morita, K. Nishikawa, and Y. Koga, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **19**, 16888 (2017)
- [38] H. Kang, D. E. Suich, J. F. Davies, A. D. Wilson, J. J. Urban, and R. Kostecki, *Commun. Chem.*, **2**, 51 (2019)
- [39] Y. Hong, J.W. Y. Lama, and B. Z. Tang, *Chem. Commun.*, 4332 (2009)
- [40] J. Luo, Z. Xie, J. W. Y. Lam, L. Cheng, H. Chen, C. Qiu, H. S. Kwok, X. Zhan, Y. Liu, D. Zhu, and B. Z. Tang, *Chem. Commun.*, 1740 (2001)
- [41] H. Iwasawa, D. Uchida, Y. Hara, M. Tanaka, N. Nakamura, H. Ohno, and T. Ichikawa, *Adv. Opt. Mater.*, **11**, 2301197 (2023)

2024 年度イオン液体研究会 開催報告

東京農工大学大学院 工学研究院 生命機能科学部門
(工学府 生命工学専攻)

一川 尚広、田中 正樹、中村 暢文

今年のイオン液体研究会は、2024年6月14日(金)に東京農工大学小金井キャンパス140周年記念会館(エリプス)の3F多目的ホールにて対面形式で開催いたしました。この研究会は、イオン液体研究会を主催とし、東京農工大学、東京農工大学COI-NEXT拠点、東京農工大学機能イオン液体研究拠点が共催として加わる形で企画されました。今年は東京農工大学の創基150周年ということもあり、東京農工大学創基150周年記念事業の冠も付して実施させていただきました。また、今年がイオン液体研究会創立20周年ということで、記念品のボールペンも作製しました。

今回のイオン液体研究会のテーマは、実行委員の中村・一川・田中で色々と思案いたしました。東京農工大学は、「カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点」を設置し、当該分野に関する研究及び取り組みを活発に推進してきています。このプロジェクトは、COI-NEXT 共創分野(育成型)から2023年度より共創分野(本格型)へ昇格しております。このような背景を受け、今年度のイオン液体研究会のテーマを「炭素循環型社会実現に資するイオン液体ーバイオ応用、CO₂分離を中心にー」と設定し、6名の講師の先生方を選定し、御講演を依頼させていただきました。

前半のセッションでは、バイオ応用に資するイオン液体研究について3名の先生に招待講演をお願いしました。理化学研究所の宮本昂明先生は、「双性イオン液体による植物細胞壁のバリア機能の緩和と葉緑体遺伝子導入への応用」と題して御講演くださいました。植物葉緑体のゲノム改変は、作物の増収や炭素循環型の生産系の構築に重要な技術ですが、植物細胞が有する細胞壁の存在がDNA導入の妨げになっているとのことです。そこで、細胞壁透過性を向上させるツールとして、双性イオン液体を活用したアプローチを考案し、その手法について御説明くださいました。金沢大学の黒田浩介先生は、「バイオエタノール自動生産」の現在地」と題して御講演くださいました。セルロースをエタノールに変換するためには、「結晶化度を下げるための前処理」「加水分解」「微生物発酵」が重要とのことです。このプロセスを同一イオン液体内で、同一条件下で行うことを目指した研究について御紹介くださいました。微生物への低毒性の観点から双性イオン液体に絞ってイオン液体設計を進められており、融点の低い双性イオン液体の設計やそれぞれの双性イオン液体を用いた際における発酵効率などについて概説してくださいました。最終目標まではまだまだ遠いとのことです。3年以内にイオン液体を使ってお酒を作ってみせると情

Meeting

報交換会で明言されていました。防衛大学の竹清貴浩先生は、「イオン液体を用いた蛋白質の低温保存」と題して御講演くださいました。蛋白質の低温保存は、希少価値の高い蛋白質(例えば、バイオ医薬品や遺伝子組換え蛋白質など)を高品質で長期間保存するための重要な技術とのことです。このような技術におけるイオン液体水溶液の有用性について御講演くださいました。また、ここでは明記は避けませんが、直近で発見された成果も発表してください、当該分野の加速的な発展を期待させる御講演でありました。

後半は、主に CO₂ 分離に関係した講演を3名の先生方をお願いしました。産業技術総合研究所の牧野貴至先生は、「イオン液体の CO₂ 化学吸収特性の制御と Direct Air Capture への応用」と題して御講演くださいました。牧野先生は、CO₂ を直接回収・固定するネガティブエミッション技術の中でも Direct Air Capture (DAC) 技術に着目し御研究を進められており、イオン液体を用いた DAC用分離膜の研究成果について御講演くださいました。特に、混合イオン液体を用いた設計を強く推進されており、混合イオン液体の物性や CO₂ 分離性能について御説明くださいました。中央大学の森寛敏先生は、「電子状態計算と情報科学技術を組み合わせたイオン液体の機能設計」と題して御講演くださいました。これまでのイオン液体に関するシミュレーションの多くは、実験に合うように古典力場を設定することで状態を再現するものでしたが、この方法では、静電ポテンシャルの異方性を考慮することができず、特定の機能に特化したイオン液体を設計することは難しいとのことで、森先生らは、電子状態インフォマティクスを基盤とした「イオン構造の自動探索」と「実験科学的な知見」「精密測定技術」を連携する手法を考案されたとのことです。この手法を用い、CO₂ を効率的に吸収するイオン液体として、40 万種の候補の中から 3 種にまで絞る手法を解説してくださいました。東京農工大学の兼橋真二先生は、「イオン液体と高分子がつくり出す構造と機能」と題して御講演くださいました。高分子膜の性能向上として、高分子素材の分子デザインに基づいた精密合成だけでなく、高分子の改質、高分子と異種成分とのコンポジット化(複合化)による分離膜性能向上について概説してくださいました。特に、高分子とゼオライトや MOF などの組み合わせでは、粒子と高分子マトリックスの間の界面欠損が問題になることが多いことを御説明され、そのような界面欠損を埋めるための素材としてイオン液体が極めて有望な素材であることを御説明くださいました。

どの御講演に対しても、発表後に会場から多くの質問の手が挙がっておりました。特に、講演者同士の質問も多く、テーマを絞った形でのセッションを企画した甲斐があったと感じました。

講演会終了後、イオン液体研究会代表世話人の桑畑進先生(大阪大学)の進行でイオン液体研究会総会が行われ、イオン液体研究会の状況報告や、第 14 回イオン液体討論会(11 月 12-14 日、郡山市中央公民館)に関するアナウンスが行われました。その後、東京農工大学工学部総合会館に移動し、情報交換会が開催されました。情報交換会には 46 名の方が参加してくださいました。今回の研究会は、東京農工大学での開催ということもあり、東京農工大学の特別招聘教授である大野弘幸先生に乾杯の御挨拶をいただきました。今年はイオン液体 20 周年で、2004 年に創立されたイオン液体研究会が「成人」を迎えたことを喜んでいらっしゃいました。大野先生

Meeting

の乾杯の挨拶を皮切りに、情報交換会は和気あいあいと進行いたしました。桑畑先生の中締めの後も、話が尽きず、遅くまで盛り上がりました。イオン液体研究会への御参加が初めての講師の先生方も会員の皆様と深く交流されており、イオン液体研究会が益々発展する契機になったのではないかと感じました。

最後になりますが、今回の研究会には合計 115 名の方が参加してくださいました(その内訳は、会員 35 名、学生会員 33 名、賛助会員 19 名、非会員 24 名、招待 4 名)。ご参加くださいました皆様、ありがとうございました。また、会場の設営から事前準備、後片付けなど運営の全ての業務に関して、研究会事務局の三谷さん、中村研・一川研の多くの学生及びスタッフの島倉さんと大塚さんに大変お世話になりました。皆様に深く感謝いたします。さらに、今回の研究会は「炭素循環型社会実現に資するイオン液体」をテーマにしており、東京農工大学の COI-NEXT 拠点より大きなご支援を賜りました。ここに深く感謝の意を示します。今回のイオン液体研究会が当該拠点の益々の進展に少しでも貢献できたとしたならば幸いです。



講演会の様子



大野先生による乾杯の挨拶(情報交換会)

Award

電気化学会 進歩賞(佐野賞)受賞報告

横浜国立大学
多々良 涼一

2024年3月14日より16日にかけて、名古屋大学 東山キャンパスにて電気化学会第91回大会が行われました。この2日目の授賞式において、2024年電気化学会進歩賞(佐野賞)を受賞致しましたのでご報告をさせていただきます。私は横浜国立大学の渡邊正義先生、獨古薫先生のもとで博士の学位を取得した後、マサチューセッツ工科大学の Yang Shao-Horn 先生のもとで博士研究員、東京理科大学の駒場慎一先生のもとで助教・講師を務めさせて頂き、本年2024年4月に母校である横浜国立大学に准教授として戻って参りました。このような賞を頂戴できたのも、これまでお世話になった各研究室の先生方、諸先輩、同僚、学生の皆様のご指導、ご協力の賜物であり、この場をお借りして深く御礼を申し上げます。また科研費、JST、NEDO、各種民間財団からの貴重なご支援によってこれまで研究を続けて参りました。関係各位に感謝申し上げますとともに、自ら研究費を申請していく立場になった今、これまで不自由ない研究環境を与えてくださった各研究室の先生方に益々頭が上がらない思いです。

今回、「次世代蓄電池を指向した濃厚電解液及び電極界面設計に関する研究」という業績題目にて本賞を頂くことができましたが、このテーマは私が学生時代より扱っておりました溶媒とイオン液体をきっかけとして始まりました。イオン液体研究会ではご存じの方も多いかとは存じますが、溶媒とイオン液体はリチウム塩とグライムの等モル混合物などに見られるように、多座配位性溶媒のキレート効果によって安定な溶媒和イオンが形成し、イオン液体としての物理化学特性を示すような系です。塩と溶媒の等モル混合物ですので、これは非常に塩濃度の濃い、濃厚電解液と言うこともできます。私の博士論文はこの溶媒和イオン液体から、(イオン液体的性質を示さない単なる)濃厚電解液まで探索範囲を広げ、物理化学的性質や電気化学特性を調査しておりました。学位取得後も様々な形で「擬イオン液体的な電解液」の研究に携わってきたひとつの集大成として本賞を頂戴でき、大変光栄に思います。これからもイオン液体研究の発展に微力ながら貢献できればと思っておりますので、今後とも何卒よろしくお願ひ致します。



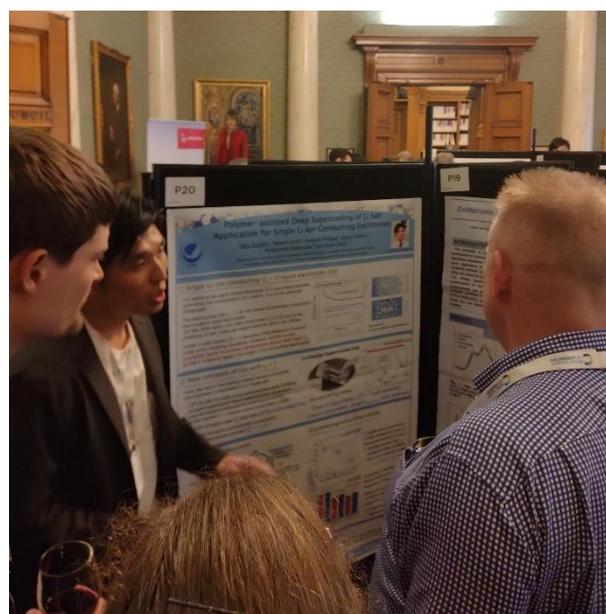
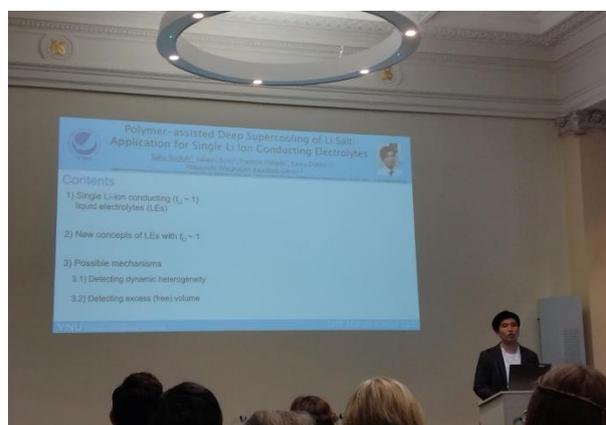
Report

Dense ionic fluids Faraday Discussion 参加報告・受賞報告

横浜国立大学 化学・生命系理工学専攻 上野研究室
博士課程後期2年 須藤 拓

2024年7月8日から10日までイギリスのロンドンで開催された Dense ionic fluids Faraday Discussion に参加しました。会場はピカデリーのバーリントンハウス。イギリスらしい格式高い建物で、その荘厳さに到着当初から圧倒されました。イギリスまでは国際情勢の影響もあって、直行便で14時間を超えるフライトとなり、時差も8時間あるため、イギリス入国時にはボヤボヤしていた筆者の脳みそも、会場に漂う歴史と知識の気配に一気に覚醒したことを覚えています。英国王立化学会: Royal Society of Chemistry (RSC) が主催する Faraday Discussion は、よく知られているような国際会議とは少し毛色の異なる国際会議です。口頭発表者は事前に研究論文を執筆し、学会に提出します。そして査読を通過した論文については、前もって参加者全員に公開され、発表内容が既知の状態で開催が進行します。したがって、口頭発表の時間は5分程度ですが、質疑応答の時間が一人当たり40分ほどあたえられ、議論と討論が全面に押し出されたユニークな発表形式をとります。この形式上、口頭発表は数が限られてしまっていますが、教授・准教授のみならず、自分と同じ立場の博士学生も論文を投稿して発表しており、トップレベルの研究者たちの意識とレベルの高さを痛感させられました。一方で、学会初日にはポスター発表の場も設けられており、口頭発表を行う世界トップクラスの研究者や実績のある研究者たちが、若手研究者や大学院生と語り合う場となりました。

筆者は今回、”Polymer-assisted deep supercooling of Li salt: application for single Li ion conducting liquid electrolytes” というタ



上：lightening poster session での様子
下：ポスター発表の様子

Report

イトルでポスター発表を行いました。ポスター発表直前には”Lightning poster session”というセッションもあり、参加者の前でフラッシュプレゼンテーションを行った後に、ポスター会場へと移動しました。本発表では、室温で固体の Li 塩に微量の高分子を添加することで、室温で安定な過冷却液体が得られるという発見と、その発現メカニズムについて報告しました。応用先として Li イオンバッテリーに用いられる次世代電解質となることも併せて報告し、たくさんの研究者が議論を交わしに来てくださいました。特に、RSC 前会長である Tom Welton 教授との討論では、自身が報告した過冷却液体は本当に「液体なのか？」ということで議論が白熱しました。イオン液体研究の権威と実際に向かい合っただけの討論は、自身の研究に興味を持っていただけただけのことに関するうれしさと共に、英語のスキルが未熟な自分では伝えたいことが十全には伝えられない悔しさを覚えることとなりました。本会議では、幸運にも自身の研究はポスター賞 (PCCP Poster Prize) を受賞することとなり、研究内容の手ごたえと電池材料への世間への注目度を感じました。また、最後まであきらめず、熱意をもって研究内容を伝えようとした姿勢も評価されたのかなと個人的には思っています。



いただいた賞状と指導教員の上野先生
RSC 本部前にて

今回の Dense ionic fluids Faraday Discussion への出席を含め、筆者の国際会議への参加は二度目となります。本会議の参加人数はそれほど大多数というわけではないながらも、世界的に有名な先生方が参加されており、三日間という比較的タイトなスケジュールであることから、非常に密度の濃い時間を過ごさせていただきました。たくさんの学びを得ることができましたが、中でも一番の刺激を受けたのは、Massachusetts Institute of Technology 所属の Daniel Markiewitz 氏の口頭発表です。彼は、筆者と同学年の博士学生にあたるのですが、理知に富む発表内容もさることながら、自身と同じ博士学生が、世界トップクラスの教授・准教授に混ざって、論文を執筆し、その内容について議論を交わしているという状況に、尊敬の念を抱きました。また、同時に「まだまだである。」と自身の未熟さを痛感いたしました。そのような遥かなる高みにいるトップクラスの研究者たちの存在と、自分の立ち位置の再確認を実際に行える機会というものには存外によくあるものではなく、巡り合えた幸運に感謝しています。また、今回の国際会議への出席を許可くださった指導教員の上野和英先生をはじめ、いつもお世話になっている渡邊正義先生、筆者を教え導き、支えてくださる数多くの方にこの場を借りて感謝申し上げます。今後も研究に邁進していく所存ですので、引き続きのご指導・ご鞭撻の程よろしくお願いいたします。

Overseas Experience

Deakin 大学滞在記

大阪大学大学院基礎工学研究科 助教
近藤 慎司

1. はじめに

私は、2023 年 3 月に学位取得後、日本学術振興会の海外特別研究員の助成を受け、オーストラリアのメルボルンにある Deakin 大学に 1 年間滞在しました。海外ポスドクになるまでの経緯、初めての海外での長期滞在、円安に伴う物価の高さに苦しみながらも、日本とは異なる研究生活や国際交流で得られた経験をお伝えできればと思います。本記事が、今後留学を検討している学生・研究者の皆さんに少しでも参考になれば幸いです。

2. 留学までの経緯

博士後期課程 2 年(D2)の 10 月頃、大体この時期から学位取得後の進路を考え始めました。これまで私は修士課程修了後に一度企業に就職した経験もあり、アカデミックキャリアに進むことは既に決めていました。そして、学位取得後は一度海外で研究してみたいという気持ちもありました。海外に行く有効な手段の一つに、日本学術振興会のフェローシップがあり、海外特別研究員(海外学振)や特別研究員 PD(期間中の一部を海外で滞在可能)があります。特に前者は、申請時には留学先の先生の承諾書が必要なため、早速準備を始めました。留学先を選定するにあたり、(恥ずかしながら)明確な研究の方向性を持っていなかったため、「研究を幅広く行っていること・共同研究が盛んなこと・国際性豊かなこと」を軸に、手当たり次第メールを送りました。幸運にも何件か返信を頂き、その中でイオン液体の分野で著名な Maria Forsyth 教授の研究室に決めました。結果的には、幸いにも海外学振に採択が決まり、順調に留学先が決まりましたが、海外の先生方と連絡を取る中で、ポスドクを募集している他の先生を紹介してもらったり、大学独自の研究員フェローシップがある事を知り、海外学振が不採択の場合でも色々な選択肢が生まれました。まずは連絡を取る行動力が何より重要だと実感しました。

3. 留学中での生活

渡航に際し、D3 の 10 月頃にビザを申請したのですが、許可が下りたのは渡航予定日(4/1)の 1 週間前でした。後になって分かったことですが、申請した研究者用ビザには博士号取得が必須であり、修了見込み書では許可が下りないということです。大学の正式な学位取得日が 3/24 であったため、すぐに証明書をアップロードしたところ、翌日には許可が下りました。しかし、なぜ許可が下りないのか当時はっきりとは分かっていなかったため、4 月に間に合わない場合は、所属研究室に一時的に席を置かせてもらう手続きなど、直前まで慌ただしかったです。無事、メルボルンに着いて浮かれるのも束の間、次に大変なのは家探しでした。Deakin 大学にはスタッフ用のアパ

Overseas Experience

ートはありましたが、狭い割に家賃も高い事もあり、当時は自分で探せばいいかと楽観的に考えていました(結果的に通勤 1 時間、家賃も割高になってしまいました...)。コロナが落ち着いてきたタイミングと重なったこともあり、アパートの内見には一度に 20 人ほど集まり、中々審査が通らない日々が続きました(メルボルンではオーナー側が居住者を審査して決めます)。そのため最初の 3 週間は大学に通いながら、Airbnb で居住地を転々としながら、内見に行っていました。

メルボルンは、都市部にはオーストラリア初の駅「Flinders Street 駅」や「Victoria 州立図書館」など歴史的建築物が並び、至る所にローカルカフェがあるコーヒー文化が根強い都市です。また、トラムと呼ばれる路面電車で 20 分ほど南に進んだ St Kilda というエリアには大きなビーチがあります。私はこの地区に住んでいたため、週末はビーチでのんびりしたりとオーストラリアらしい(?)生活を楽しんでいました。一方で、大学は東に 1 時間弱トラムで移動した Burwood という郊外にあります。距離にして 14 km とかなり遠いというわけではないのですが、メルボルンでは電車が細部まで通っておらず、交通の主な手段は車とトラムになります。都市部を離れるとトラムの通行レーンは車を同じなため、頻繁に起こる渋滞に巻き込まれ、時間がかかってしまいます。そのため、ロードバイクで通った方が通勤時間が短いという事に気づき、毎日自転車通っていた時期もありました(結局、夏の暑さに負けて週 1,2 回程度になってしまいました)。

所属先の Maria Forsyth グループは、教授 3 名、准教授 4 名、研究員・PhD 学生含め計 60 人以上で構成され、世界各国の留学生が集まる国際性豊かな研究室です。新メンバーの受け入れにも慣れており、研究室内で定期的集まるイベント(各国の伝統料理を持ち寄る会、ワークアウトなど)があったりと、研究室に順応しやすい環境でした。また、研究室の大半が英語の Non-native 国出身であることもあり、英語の言語能力に対する偏見が少ないのが、私にとって非常に良かった(コミュニケーションが消極的にならずに済んだ)と思います。



図 1. (上) メルボルンの街並みと (下) Forsyth 研究グループの雰囲気

Overseas Experience

4. 留学中での研究

滞在中は、イオン液体型高分子とリチウム塩を複合した固体電解質のイオン輸送機構を実験・計算科学の両面から明らかにする研究を行っていました。博士課程で行っていた研究と同様に蓄電池の電解質研究に取り組んでいたため、研究設備は似たような環境でした。ここにしかない設備は特になかったのですが、自分が興味のある事柄に対して Forsyth 教授が積極的に他の先生を紹介してくれたおかげで、米国や欧州を始めとする多くの研究者との共同研究に繋げることを出来たのが一番の収穫だったと思います。実際のディスカッションには Forsyth 教授は参加せず、私とスーパーバイザーで参加する事がほとんどでしたが、先方の先生方は私を一研究者として対等にディスカッションしてくれたため、研究者として自信ができました。また、滞在先では「Catch-up」といって居室の外でフランクに議論する機会が多く、疑問がすぐに解決できたことも研究が順調に進んだ点であると思います。また滞在期間中は、前所属研究室の渡邊正義先生・上野和英先生と Forsyth グループとの共同研究を目的とした国際共同研究が採択されたことをきっかけに交流も広がり、充実した研究生生活を送っていました。

そんな中、11月頃には来年度の計画をぼんやりと考え始めました。海外学振の期間は2年のため、このまま滞在することも可能でしたが、必ずしもここにいらなくても一緒に研究を続けられるのではないかと考え始めました。そこで一つの選択肢として、共同研究先であった Oak Ridge National Laboratory の Alexei P. Sokolov 教授の研究室に行き、高分子電解質のイオン伝導と構造緩和の起源をより深く理解することを考えており、先方からも受入の許可は頂いていました。また同時期に、日本での公募情報で現職の公募があり、これまで著者が取り組んできた材料設計の知見と、公募先の多角的なオペランド界面分析を組み合わせる事で、複雑な電気化学界面の新たな理解に取り組めるのではないかと考え始めました。この選択には、スーパーバイザーである Fangfang Chen 博士や日本の先生方にも相談に乗って頂き、色々な選択肢を考えました。結果的には、年末の一時帰国のタイミングで公募先の研究室への訪問し、その後面接を通して採用頂くことができ、3月をもって海外生活が終わりました。

5. 最後に

1年という短い期間でしたが、Forsyth 研究室のオープンな研究環境で、多くの研究者との共同研究を通して研究活動を進める事が出来ました。このような環境だからこそ、積極的にコミュニケーションを取り、自分の意見も主張することで対等な関係性を築くことが出来た結果、帰国後の現在も、共同研究など綿密な関係を継続することが出来ていると思います。本記事が、今後海外留学を検討している方に少しでも参考になれば幸いです。最後に、本滞在を快く迎えて頂いた Maria Forsyth 教授・Fangfang Chen 博士、そして海外留学をご支援頂いた日本学術振興会に心より感謝申し上げます。

Laboratory

研究室紹介 ～大阪大学 山田研究室～

大阪大学 産業科学研究所 エネルギー・環境材料研究分野
山田 裕貴

【はじめに】

大阪大学山田研究室は 2021 年 4 月に発足した新しい研究室です。電気化学を中核学問として、エネルギー貯蔵・変換デバイスの研究を行っております。本稿では、電気化学・電池の研究者としてイオン液体との接点を持つに至った経緯、研究室の立ち上げも含め、当研究室の活動について紹介させていただきます。

【イオン液体との接点】

筆者は、もともとイオン液体を直接の研究対象としてきたわけではありません。学生時代から続けて研究してきたのは、「高濃度電解液」と呼ばれる液体材料群です。リチウムイオン電池用電解液では、 LiPF_6 などのリチウム塩と炭酸エチレン(EC)などの有機溶媒を組み合わせた有機電解液が使われていますが、その塩濃度はイオン伝導度が最大となる 1 mol/L (M)付近に最適化されてきました。一方、筆者らが着目したのは、概ね 3 M 以上の濃度領域となります。このような高濃度電解液は、筆者が学生時代を過ごした京都大学大学院工学研究科の小久見善八先生・安部武志先生の研究室で 2003 年に発表されたものですが、粘度の上昇とイオン伝導度の低下を招くため、電池用電解液としては不適との先入観から、しばらく研究開発の対象外とされてきました。筆者らは、高濃度化によって、イオンと溶媒の配位状態を含む液体構造が大きく変化し、それに起因した様々な電気化学的新機能が発現することを 2010 年頃から発表してきました。例えば、1)電位窓の拡張、2)安定な電極不働態被膜の形成、3)電極反応の高速化、4)金属腐食反応の抑制などが挙げられ、電池電解液として非常に魅力的な機能です。これらの機能は、横浜国立大学の渡邊先生らのグループが提案した、リチウム塩とグライムを等モルで混合した「溶媒和イオン液体」でも同時期に見いだされております。つまり、電池用電解液の高濃度化というアプローチで誕生した「高濃度電解液」と、溶媒和カチオンをイオン液体の構成イオンととらえることで誕生した新たなイオン液体群「溶媒和イオン液体」が、ここで学術的にオーバーラップしたことになり、私自身がイオン液体との接点を持つきっかけとなりました。2019 年度イオン液体研究会(慶應義塾大学)で初めて講演させていただき、その後も 2023 年度イオン液体研究会、COIL-9、Faraday Discussion (Dense ionic fluids)で招待講演の機会をいただき、イオン液体に関わるさまざまな分野の先生方と交流させていただいております。

Laboratory

【独立と研究室立ち上げ】

2010年に京都大学大学院工学研究科で博士を取得した後は、東京大学大学院工学系研究科山田淳夫先生の研究室の助教に着任し、その後、講師、准教授と昇任させていただきました。当時まだブルーオーシャンの状態であった高濃度電解液に様々な機能・現象が次々と見つかっていくのは研究者として非常に楽しく、夢中で研究を行いました。当初は高濃度電解液の欠点（高粘度、高コストなど）ばかりがクローズアップされ、特に実用志向の参加者が多い電池系の学会では批判を受けました。論文投稿でも受理までに相当な苦労はありましたが、海外を中心に認められ始め、30代中盤までの段階で *Nature Energy* や *Nature Communications*、*JACS*、*Angew. Chem. Int. Ed.* などの高IF雑誌に多くの論文を掲載することができました。また、高濃度電解液の黎明期に多くの論文を出していたこともあり、その後世界的に高濃度電解液の研究が盛んになった際には、多くの論文で引用していただけることになり、これらの業績が自身のキャリア形成の基盤となりました。

准教授昇任後に、自身の研究ともマッチした大阪大学産業科学研究所のエネルギー・環境材料研究分野教授の公募を見つけ、幸運にもご縁をいただきました。着任は2021年4月1日でしたが、ヒアリング後に最終候補者になった旨の連絡をいただいたのが2020年12月下旬、教授会での正式承認の連絡をいただいたのが2021年2月中旬という状況で、公私ともにバタバタでの引っ越しとなりました。当時はまだコロナ禍真っ只中であり、東京-大阪間の移動さえ自粛ムードとなっており、一度も現地に行くことなくストリートビューとオンライン内見で自宅となる賃貸マンションを契約し、家族で引っ越しました。実験装置類については、業者の手配等も含めこの短期間で移設させるのは不可能であり、結局夏頃の移設となりました。装置の移設とその後研究室の立ち上げには相当なお金がかかりました。この点、最も幸運であったのは、ちょうど異動になった時点で2つのJSTプロジェクト(さきがけとALCA-SPRING)に参画していたということです。JSTのプロジェクトでは、全てかどうかは分かりませんが、研究者の独立・研究室立ち上げに対して非常に手厚いサポートをしていただけます。私の場合、さきがけとALCA-SPRINGからPO裁量経費として追加予算をいただき、産研からの運営費と合わせて装置の移設と実験室の基本的な整備をスムーズに行うことができました。

スムーズな研究室立ち上げをすることができたのは、前任の教授(菅沼克昭先生)が研究室のポジション(准教授・助教)とスペース(居室・実験室)を非常にきれいな状態で受け渡していただいたことが非常に大きな要因でもありました。着任1年目で、助教として近藤靖幸先生(専門:電気化学、界面反応、炭素材料)、准教授として片山祐先生(専門:電気化学、in situ 界面解析、物質変換反応)に加わっていただき、彼らの大変なご尽力もあり、概ね3年で通常稼働まで持っていくことができました。

【研究室概要】

大阪大学には主に吹田、豊中、箕面の3つのキャンパスがあり、当研究室は大学本部や工学

Laboratory

部、医学部、薬学部などがある吹田キャンパスにあります。吹田キャンパスは、1970年の大阪万博が開催された太陽の塔がある万博記念公園の北西部に位置しています。大阪の中心部となる大阪駅(梅田)からは直線距離で13 kmほど北に離れた場所にあります。伊丹空港や新大阪駅には比較的アクセスしやすい場所です。



研究室メンバー(2024年4月花見)

当研究室が所属しているのは、産業科学研究所、通称「産研(英語名称:SANKEN)」という組織になります。産研は、第1研究部門(情報・量子科学系)、第2研究部門(材料・ビーム科学系)、第3研究部門(生体・分子科学系)、産業科学ナノテクノロジーセンター、産業科学AIセンターの主に5部門からなり、全28研究室から構成されています。化学、物理、生物、薬学、電気電子、情報など、非常に幅広い分野の研究者が所属しています。このうち、当研究室は第2研究部門(材料・ビーム科学系)に所属しています。産研は、1研究室あたりの基本スペースが400平米(それ以上は課金)、教員ポジションは教授1、准教授1、助教2に設定されており、非常に恵まれた研究環境をいただきました。

産研は附置研究所ですので、独自に学生を受け入れてはけません。したがって、各研究室が工学、理学、基礎工学、薬学、情報科学、生命機能の各研究科の協力講座となり、それらの研究科から大学院生・学部生を受け入れる形となっています。協力講座は、基幹講座と比べて配属学生数が少なく設定されるのがほとんどですが、その取り決めも各研究科・専攻によって全く異なります。当研究室は、工学研究科環境エネルギー工学専攻の協力講座として学生を受け入れていますが、4年生は最大2名、修士課程・博士後期課程は各学年それ以上の学生を受け入れてもよいとされており、協力講座としては非常に恵まれた環境となっています。これまで他大学からも多くの学生を受け入れ、2024年度現在、4年生2名、修士1年7名、修士2年7名、博士後期課程7名(社会人博士4名含む)となっており、教員・研究員・共同研究員・事務補佐員を含めると計30名の研究室となっています。

産研は附置研究所ですので、独自に学生を受け入れてはけません。したがって、各研究室が工学、理学、基礎工学、薬学、情報科学、生命機能の各研究科の協力講座となり、それらの研究科から大学院生・学部生を受け入れる形となっています。協力講座は、基幹講座と比べて配属学生数が少なく設定されるのがほとんどですが、その取り決めも各研究科・専攻によって全く異なります。当研究室は、工学研究科環境エネルギー工学専攻の協力講座として学生を受け入れていますが、4年生は最大2名、修士課程・博士後期課程は各学年それ以上の学生を受け入れてもよいとされており、協力講座としては非常に恵まれた環境となっています。これまで他大学からも多くの学生を受け入れ、2024年度現在、4年生2名、修士1年7名、修士2年7名、博士後期課程7名(社会人博士4名含む)となっており、教員・研究員・共同研究員・事務補佐員を含めると計30名の研究室となっています。

【研究戦略・内容】

当研究室では、エネルギーを「貯める(二次電池)」「変換する(燃料電池)」「使う(CO₂還元、N₂還元など)」という3つの電気化学プロセス・デバイスに関係する材料・技術の研究を行っています。その中でも、当研究室が目指す大きな方向性は、電気化学応用を志向した「“液体”材料化学」の創成です。二次電池をはじめとする電気化学デバイスの研究室は、国内・国外問わず非常に多く存在していますが、その多くが固体(電極や触媒)の専門家を中心として構成されています。結果として、無数の電極材料や触媒材料の開発がなされており、それに伴い固体材料化学の分

Laboratory

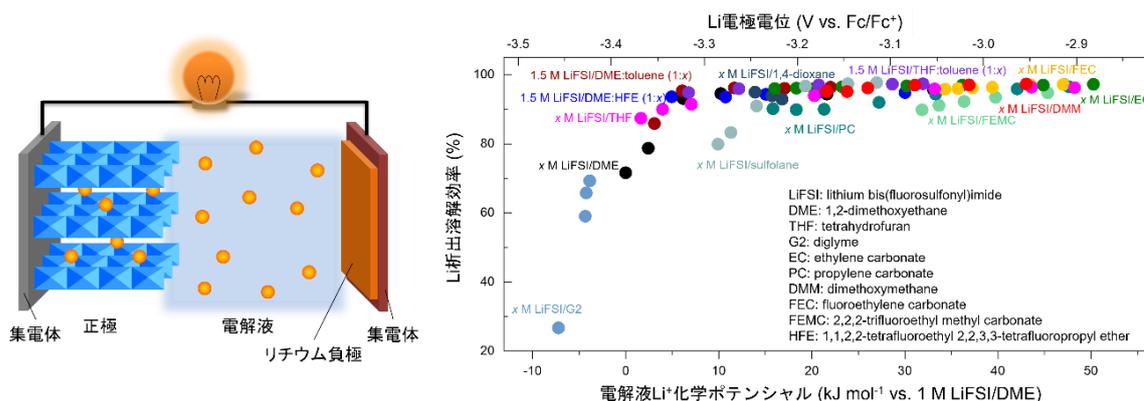
野は大きく発展してきました。一方、高性能の電極や触媒だけで高性能の電気化学デバイスが完成するわけではありません。例えば、リチウムイオン電池では、高電圧を示す電極を開発したとしても、その電圧に耐えられる電解液がなければ、デバイスとしては破綻します。ここに、固体の専門家を中心とした既存の研究室の限界があると考えています。このような現状を鑑み、当研究室では、液体(電解液)や界面の専門家を中心に構成することで、既存の研究室とは全く逆のアプローチで電気化学デバイスの研究開発を行っています。具体的には、我々にしかできない、新たな電解液材料の開発や電解液設計指針の確立を中心として、これまでにない性能・機能を持った電気化学デバイスの開発に挑戦しています。また、固体材料化学がそうであったように、液体材料においてもその構造(溶媒和・イオン会合・中長距離秩序など)と様々な物性・機能発現を明確にリンクさせることで、求められる物性・機能を持った合理的な液体材料設計を可能にする「液体”材料化学」の創成を目指します。特に最近興味を持って取り組んでいる内容の一部を以下に紹介します。

1. 電解液 Li^+ 化学ポテンシャルに着目した二次電池電解液設計

電解液中の Li^+ 化学ポテンシャルは局所配位状態によって大きく変化しますが、更にそれが様々な電気化学反応(例えば、リチウム金属二次電池の充放電効率)に大きな影響を与えることを最近見いだしました(*Nat. Energy*, 7, 1217 (2022))。これに基づき、 Li^+ 化学ポテンシャルを設計因子とした新たな電解液の開発が進行中です。

2. 革新的な電気化学デバイス応用を志向した新電解液溶媒の開発

リチウムイオン電池では炭酸エチレン(EC)が必要不可欠な溶媒として商品化以降採用されてきましたが、それが電池の性能や安全性の限界となっている部分もあります。我々は、有機合成化学を専門とする東北大学岡弘樹先生との共同研究により、既存の電解液設計概念を覆す新溶媒の設計・合成を行っています。



リチウム金属二次電池における電解液 Li^+ 化学ポテンシャルと Li 析出溶解効率の相関性(*Nat. Energy*, 7, 1217 (2022))

Laboratory

【おわりに】

これまでのキャリアを振り返りながら、当研究室について紹介させていただきました。まず、当研究室を支えていただいている多くの先生方、研究室関係者の皆様、プロジェクト関係者の皆様に深く感謝申し上げます。そして、上記の研究を強力に推進する原動力となっているのは、2023年に始動した科研費学術変革領域研究(B)「活イオン液体の科学」です。発案者である岩橋崇先生(東京工業大学)、芹澤信幸先生(慶應義塾大学)、西直哉先生(京都大学)に誘っていただき、鈴木栞先生(北海道大学)、岡弘樹先生(東北大学)、黒田浩介先生(金沢大学)とともに立ち上げた液体材料に関する研究領域です。これまで独立して研究が行われてきた高濃度電解液、溶媒和イオン液体、深共晶溶媒等の液体材料系を、その共通点である、反応イオン(=活イオン)が濃縮された液体(=活イオン液体)として再定義し、その統合的概念の確立を目指すものです。この領域において、志を同じくする若手研究者で切磋琢磨しながら、未知の研究領域を切り開いていくその“面白さ”が、我々の活動の大きな原動力となっています。今後、「活イオン液体」を中心として、イオン液体研究会の発展に少しでも寄与できればと考えております。末筆ではありますが、今回執筆の機会をいただきました編集委員の先生方に深く感謝申し上げます。

Announcement

イオン液体研究会関連行事のご案内

イオン液体研究会主催

■ 第 14 回イオン液体討論会 ■ イオン液体研究会発足 20 周年記念講演

日程: 令和 6(2024)年 11 月 12 日(火)~14 日(木)

主催: イオン液体研究会

会場: [郡山市中央公民館・勤労青少年ホーム](#) 福島県郡山市麓山一丁目 8 番 4 号

記念講演 第 1 部 : 濱口 宏夫先生(東京大学)・西川 恵子先生(千葉大学)

記念講演 第 2 部 : 渡邊 正義先生(横浜国立大学)、伊藤 敏幸先生(鳥取大学)

特別講演 : 津田 哲哉先生(千葉大学)

口頭講演 : 1 階 多目的ホール、2 階 講義室 3・4 口頭講演賞を授与

ポスター講演 : 2 階 講義室 5・6・7 ポスター賞を授与

URL: https://www.ilra.jp/14th_jsil/index.html

事前参加登録締切: 2024 年 10 月 25 日(金)

通常参加登録締切: 2024 年 11 月 6 日(水)

実行委員長: 金久保 光央(産業技術総合研究所)

実行委員 : 児玉 大輔(日本大学)、高奈 秀匡(東北大学)、金子 泰(東北大学)、
五舛目 清剛(産業技術総合研究所)、河野 雄樹(産業技術総合研究所)

第 7 回若手の会

日時: 令和 6(2024)年 11 月 12 日(火) 14:00~17:00

会場: 郡山市中央公民館 2 階 講義室 3・4

■ 令和 7(2025)年イオン液体研究会 ■

日程、会場: 未定

■ 第 15 回イオン液体討論会 ■

日程、会場: 未定

関連国際会議

[PRiME 2024](#), L02 - Molten Salts and Ionic Liquids 24 (MSIL-24) in Memory of Yasuhiko Ito, Oct. 6-11, Honolulu, USA

The 10th International Congress on Ionic Liquids, November 17-21, 2025

Perth, Australia

Physical and Analytical Electrochemistry in Ionic Liquids 7 248th ECS Meeting, October 12-16, 2025, Chicago, IL

Editorial Note

■編集後記

この度のサーキュラー23号では、東京農工大学・一川尚広先生に「イオン液体を用いたジャイロイド構造設計」という題目にてトピックス記事をご寄稿頂きました。本記事では、イオン液体の特徴的なバルク構造形成性を積極的に制御し、新たな物性・機能を創成する一川先生の先端研究について、その一端を丁寧に解説頂きました。続いて、2024年6月14日(金)に実施されました「2024年度イオン液体研究会」の開催報告を、東京農工大学・中村暢文先生をはじめとする実行委員の先生方にご執筆頂きました。今年のイオン液体研究会は「炭素循環型社会実現に資するイオン液体 – バイオ応用、CO₂分離を中心に –」をテーマに、関連分野でご活躍の研究者6名のご講演に加え、講演会終了後の情報交換会が開催されました。本記事は、講演会・情報交換会の大変盛況な様子をうかがい知ることができる内容となっております。受賞報告では、「電気化学会・進歩賞(佐野賞)」を受賞されました横浜国立大学・多々良涼一先生、「Dense ionic fluids Faraday Discussion」にてポスター賞(PCCP Poster Prize)を受賞されました横浜国立大学・上野研究室の須藤拓氏に記事をご執筆頂きました。特に、横国大・須藤氏には「Dense ionic fluids Faraday Discussion」の学会報告も併せてご執筆頂き、当該学会の特徴的な発表形式や現地の様子についてご紹介頂きました。受賞された多々良先生、須藤氏におかれましては、誠にありがとうございます！留学体験記では、大阪大学・近藤慎司先生に Deakin 大学・Maria Forsyth 先生の研究室での滞在についてご報告頂きました。留学準備から留学先での苦労話、研究の楽しさについて親切にご紹介頂き、留学を検討されております若手研究者にとって大変意義深い内容となっているかと思えます。最後に、研究グループ紹介として、大阪大学・山田裕貴先生に記事をご寄稿いただきました。2019年イオン液体研究会にて、はじめてイオン液体研究会の活動に参加頂きました山田先生は、2021年に東大より阪大に移られて、一から研究室を立ち上げられました。本記事では、山田先生の高濃度電解液に着目したユニークな研究内容だけでなく、研究室の立ち上げについてもご紹介頂いており、こちらも若手研究者にとって大変有意義な記事になっているかと存じます。結びといたしまして、この度お忙しいところ貴重な記事をご寄稿頂きました皆さま方には深く感謝申し上げます。誠にありがとうございました。

■編集委員

岩橋 崇 (東京工業大学物質理工学院・助教)
西 直哉 (京都大学大学院工学研究科・准教授)
河野 雄樹 (産業技術総合研究所化学プロセス研究部門・主任研究員)

■事務局からのお知らせ

会員の皆様で本サーキュラーに掲載されたい記事がございましたら、お知らせください。
ご連絡先: ionicliquid@officepolaris.co.jp

■著作権について

本サーキュラーに掲載されている記事の著作権はイオン液体研究会に属します。