



# イオン液体研究会

## サーキュラーNo.22

### CONTENTS

#### P1 Topics

イオン液体のバイオ研究 -酵素研究から創薬研究へ-  
九州大学工学研究院 次世代経皮薬物送達研究センター 後藤 雅宏

#### P12 開催報告

第13回イオン液体討論会開催報告  
新潟大学大学院 自然科学系 韓 智海、梅林 泰宏

若手シンポジウム(第6回若手の会)開催報告  
京都大学エネルギー理工学研究所 山本 貴之

#### P17 第13回イオン液体討論会 受賞者

#### P20 学会参加・受賞報告

2023 Joint Symposium on Molten Salts (MS12)  
京都大学エネルギー理工学研究所 野平研究室 修士課程2回生 石尾 吉史

#### P22 留学体験記

Australian Nuclear Science and Technology Organisation  
京都大学工学研究科 作花研究室 博士課程2回生 石井 浩介

#### P25 研究グループ紹介

～東京農工大学 中村研究室～  
田中 正樹、中村 暢文

#### P29 事務局からの連絡

第13回イオン液体討論会など

## イオン液体のバイオ研究 —酵素研究から創薬研究へ—

九州大学工学研究院  
次世代経皮薬物送達研究センター  
後藤雅宏

### 1. はじめに

イオン液体研究の中でも、バイオ関連の研究者はマイナーな方だと感じている。せっかく、Topics 記事を書くような機会をいただいても、皆さんが興味ない記事になってしまっただけでは残念である。そこで、学術的な総説調の記事ではなく、私のこれまでのイオン液体研究を、読み物ふうにとめてみることにした。なお、「イオン液体の創薬応用」に関しては、最近の総説記事があるので、そちらを参照くだされば幸いである<sup>1-3)</sup>。

### 2. 学生時代の研究を振り返って

私自身の学位論文は、バイオ研究とは全く異なる「乳化液膜によるレアメタルの抽出分離」に関する研究である。九州大学の卒研で配属された研究室が、たまたま分離工学の研究室であり、その当時、レアメタル、特に希土類金属の分離研究が流行っていた。研究室での実験は、溶媒(液液)抽出という大変地味な実験の繰り返しだった。毎日、水相に溶かした複数の希土類金属を、トルエンに溶かした抽出剤で抽出し分離していた。単純作業の繰り返しで、正直実験はあまり面白くなかった。しかし、選んだ抽出剤で希土類の選択性が大きく変化する現象に興味をもった。研究室は自由な雰囲気、で、「抽出」というキーワードを外さなければ、なんでも自由にやらせてくれた。そこで、修士に入ると、何か新しいことをやろうと世界の文献を調査することにした。しかし、その当時はインターネットもなく、文献検索は大変な作業であった。大学の図書館に籠り、大きな電話帳のような Chemical Abstract (通称ケミアブと呼ぶ)からキーワード検索し、興味ある論文が見つかったらノートに書き写し、その論文を ABC 順に配架された地下の書庫(図1)に探しに行くという方法だった。お目当ての論文が見つかったらそのページに付箋をして、図書館の複写室でコピーをしていた。ネットの発達した今では考えられないが、外国の文献を入手するのは一日仕事であった。そこで、出会ったのが、MIT のチームが提唱したエマルジョン抽出法であり、エマルジョン中の微小水滴に金属イオンを抽出すると、その体積比によって、一度に何十倍も濃縮でき



図1 九州大学旧中央図書館の書架(箱崎キャンパス)\*九州大学附属図書館 HP 豊かな資料群より転載

# Topics

るという新たな抽出分離法だった<sup>4)</sup>。その後、私はこのエマルジョン抽出法を研究に取り入れ、このテーマで学位を取得した。この論文が、私の人生を大きく変える論文になるとは、その当時は全く予想だにできなかった。ちなみに、私の卒論・修論は手書き、学位論文は、ワープロの「書院」(シャープ製)で作成した。PCで文字を書くという時代は、その後1990年代にNECの伝説のマシンPC-9801が普及してからの話になる。

### 3. バイオ研究との出会い

九州大学の国武教授の紹介で、博士修了後は、アメリカのペンシルベニア大学に10月からポスドクに行く予定になっていた。その当時(1989年)の年棒は36,000\$、1\$は、120円程度だった。ところが、私が博士の3年の時に始まった日本学術振興会の特別研究員制度(PD)に前年応募した結果が、3月に届いた。結果は、採択だった。熟慮の末、そのまま九大に残ってポスドクを続けることになった。九大では、私が初めての学振の特別研究員となった。採択された学振の研究テーマは、「逆ミセルを用いたバイオ分子の抽出技術の開拓」だった。従来から、抽出技術は、金属イオンを分離する手法として工業的にも広く利用されていた。その中で、抽出技術を、バイオ分子に応用できないかと考えての提案であった。ところが、世界ではすでにそれを成し遂げた人がいることを後に知った。それが、先のエマルジョン抽出を提案したMITのHattonグループだった<sup>5)</sup>。彼らは、AOTというスルホン酸系のアニオン性界面活性剤でマイクロエマルジョンを作ると、水中で正に帯電したリゾチームがマイクロエマルジョンの内水相に移動し抽出されるという現象を発見していた(図2)。そこで我々も、まずは彼らの研究をお手本に研究を進めた。ポスドク1年目、世界溶媒抽出会議(ISEC1990:International Solvent Extraction Conference)が京都で開催されることになっていた。Plenary Lectureの候補を外国から4人選定することになり、私がMITのHatton教授を推薦した結果、その提案が認められた。私が交渉することになったが、インターネットがない時代の交渉は困難を極めた(日本でインターネットが導入されたのは1994年頃だった)。その頃、意外と便利だったのは、国際電話によるFAXのやり取りだった。ボストンとは時差が13時間、FAXを送った次の朝、秘書のCarolという方から、OKのFAXが届いた時は嬉しかった。後に、私はこの京都の国際会議でHatton教授のお世話をしたことがきっかけで、1994年からMITのHatton研究室に留学することになった。

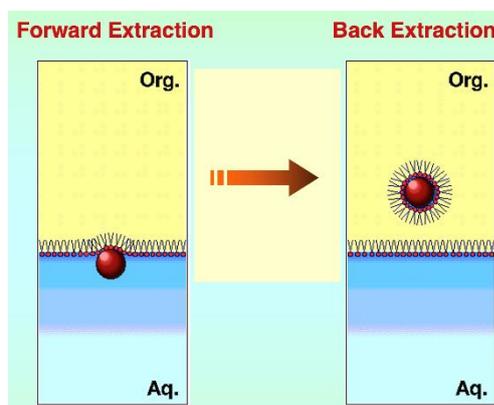


図2 MITのチームが提案した逆ミセルを用いるタンパク質の抽出操作<sup>5)</sup>

# Topics

## 4. MIT への留学

1994年の6月29日に、ボストンに到着した。空港に、Hatton 教授が迎えにきてくれ、そのまま研究室に連れて行ってくれた。教授室の扉を開けると、左手にちょっと Big な女性が座っていた。Hi Masahiro、そう、この方が秘書の Carol さんだった。その後、Carol さんには色々お世話になった。Hatton 教授から、ここで何がやりたい？と聞かれ、逆ミセルでタンパク質抽出をやりたいと返答した。ところが、逆ミセルにタンパク質を抽出すると、抽出されたタンパク質は、その高次構造が変化して変性してしまうことが問題となって、研究をやめてしまったとの回答だった。そこで、この問題を解決するために、抽出してもタンパク質が変性しないような逆ミセルの開発をさせて欲しいと申し出て、MIT での研究を開始した。タンパク質の変性の原因は、逆ミセル形成に使用するスルホン酸系の界面活性剤 AOT にあると感じていたので、新たにタンパク質抽出用の界面活性剤を合成することにした。結果的に、疎水部に2本の長鎖オレイル基を導入したリン酸型の界面活性剤(DOLPA:Di-Oleyl Phosphoric Acid)が、安定な逆ミセルを形成し、タンパク質の高い活性を保持できることを明らかにした<sup>6)</sup>(図3)。これらの成果に基づき、「Design of Surfactants Suitable for Protein Extraction by Reversed Micelles」という共著論文を発表することができた<sup>7)</sup>。Hatton 研究室では、逆ミセルを分離の場として利用するより、反応の場としての利用に興味が移っていた。その意味で、我々が開発した新しい逆ミセルは、有機溶媒中で、酵素の高い活性を保持するために役立った<sup>8)</sup>。さらに、逆ミセルのナノ空間が、変性したタンパク質のリフォールディング場として、機能することを見出した<sup>9)</sup>。MIT で強く感じたことは、日本の大学では、ある程度実験が終わってから、論文をどう書こうかと考えるが、MIT では、論文の構想を練りながら(すでに論文のストーリーは決まっている)実験すると言う感覚だった。

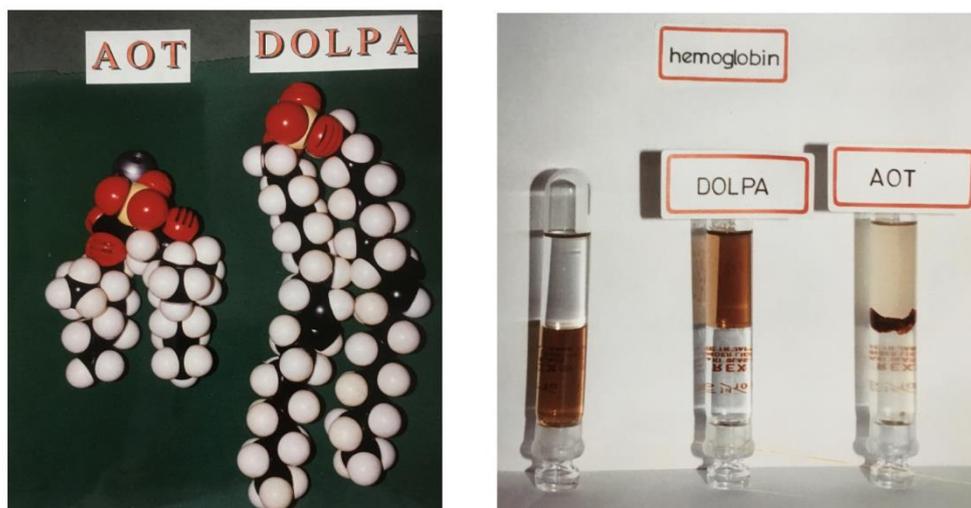


図3 新しくタンパク質抽出用に開発した DOLPA によるヘモグロビンの抽出<sup>6)</sup>(AOT ではタンパク質の変性が見られるが、DOLPA を使用すると変性が見られない)

# Topics

## 5. イオン液体との出会い

帰国後は、MITで開発した逆ミセルを利用し、有機溶媒に溶かした様々な酵素の反応に没頭した。その当時は、有機溶媒中の酵素反応がブームであった。一方で、帰国後も同じ研究室の助教授(今の准教授)として復帰したので、学生の抽出研究の指導を続けていた。ある日抽出グループの文献紹介で、1998年アラバマ大のRogersのグループが、抽出溶媒を有機溶媒からイオン液体[bmin][PF<sub>6</sub>]に代えるという論文が紹介された<sup>10)</sup>。抽出分離は、水と有機相間の分配比を利用して物質を分けるという単位操作であるが、水と混和しない塩溶液が存在するという事実に驚いた。まさに第3の液体との出会いであった。その後研究室では、1999年の卒論テーマとして、イオン液体を抽出研究に取り入れた。また、有機溶媒中の酵素研究が活発になる中、研究室でも当然のごとく、2000年の卒論テーマとして、「イオン性液体中での酵素反応の検討」を開始した。その当時は、西川先生の特定領域でイオン液体が定義される前で、研究室ではまだ、「イオン性液体」と呼んでいた。2000年に入るとやはり誰が最初にイオン液体中の酵素反応を発表するか注目が集まっていた。その後、ついに2000年の12月に、オランダのSheldonグループが、イオン液体[bmim][BF<sub>4</sub>]中での酵素反応(リパーゼ)を発表した<sup>11)</sup>。また、2001年に入ると、日本の伊藤先生<sup>12)</sup>とドイツのKraglグループ<sup>13)</sup>がほぼ同時期に、イオン液体中でのリパーゼによる不斉反応を報告している。これ以降、すごい数のイオン液体を利用した酵素反応が報告された。我々も、2002年の6月に、イオン液体[omim][PF<sub>6</sub>]中で、リパーゼをPEGでコーティングすることによって酵素の分散性を向上させ、活性が大幅に増大することを発表した<sup>14)</sup>。このように、我々の酵素研究の特徴は、酵素の表面を界面活性剤などで被覆することで、イオン液体中への酵素の分散性(溶解度)を上げる工夫にあった。中でもPEG修飾は、様々なイオン液体と相性が良く、多くの酵素をイオン液体中で活性化させるのに有効であった<sup>15)</sup>(図4)。酵素反応場としてのイオン液体の魅力は、非水溶媒なので、リパーゼなどの加水分解酵素の逆反応すなわち合成反応の場となり得ること、そして、溶解性が高いため、様々な基質が利用できる点にある。一方で、工業利用を検討した際に、最終生成物の取り出しと単離精製の難しさが課題となった。我々も、イオン液体中の酵素反応に関しては、2010年にこれまでの成果を総説としてまとめ<sup>16)</sup>、一時撤退することにした。ただ、この時に発表した総説は、現在引用回数が500回を超えて、自身の論文の最高引用数を記録している。

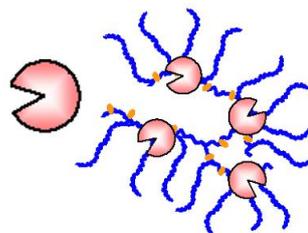
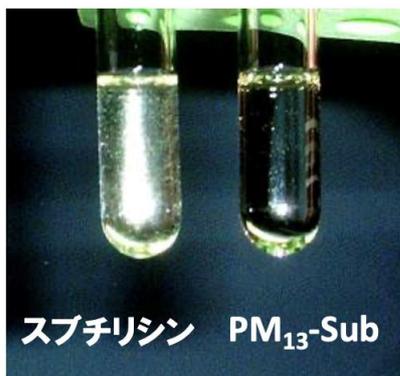


図4 酵素のPEG修飾によるイオン液体[emim][Tf<sub>2</sub>N]への溶解<sup>15)</sup>

## 6. イオン液体による創薬研究のはじまり

イオン液体を利用したDDS (Drug Delivery System) 研究のはじまりは、2007年のRogersらの報告であり<sup>17)</sup>、薬をイオン液体化するという手法である。具体的にはリドカインという麻酔薬をカチオンとし、ジオクチルスルホコハク酸をアニオンとしたイオン液体などが報告されている。これらはカチオンとアニオンの双方が薬効を示し、これらの相乗効果が期待されることから、Active Pharmaceutical Ingredient-based Ionic Liquid (API-IL) としてその後、多くの研究が行われるようになった。翌2008年、ロンドン大学の研究チームが、難溶解性薬物であるAlbendazoleとDanazolについて、イオン液体[bmim][PF<sub>6</sub>]を用いると、その溶解性が1万倍向上することを示している<sup>18)</sup>。その後、イオン液体の創薬研究は、薬剤をイオン液体化する手法と溶解剤として使用する手法に大きく分類された。さらに、イオン液体利用の三つ目は、イオン液体を経皮吸収促進剤として利用する手法である。イオン液体の経皮促進機能に関しては、我々の研究グループが、2010年に難溶解性薬物アシクロビルをモデル薬物として、イオン液体エマルジョンを利用した経皮吸収促進挙動を最初に報告した<sup>19)</sup>。

イオン液体の薬物応用には、2つの大きな特色がある。一つは、イオン液体研究者が、薬物応用に入っていく場合、もう一方は、薬学研究者が、イオン液体利用を試みる場合である。それぞれの論文を読んでいると、その立場がよくわかる。私たちの研究グループは、2008年JSPSの海外特別研究員としてバングラデッシュからMuhammad Moniruzzaman氏 (現ペトロナス大学准教授) を招聘した。彼は、有機溶媒中の酵素反応が専門で、学振採択のテーマは、「イオン液体中の酵素反応制御」であった。イオン液体中で、いかに酵素の活性を増大させるかが彼のテーマであった。一方で、同時期に博士の学生として田原義朗君 (現同志社大学准教授) がいて、隣で、DDS研究をやっていた。やはり、大きく研究を転換する場合には、異分野融合が鍵を握ると感じている。創薬研究の最大の課題は、*in vitro*試験から*in vivo*試験 (動物試験) への展開である。創薬研究は、動物試験において、試験管や細胞実験とは大きく異なる結果が得られることがしばしばある。研究室では、Monir氏の調製したイオン液体製剤を、田原君が動物試験をすることで、イオン液体の創薬研究が飛躍的に発展した。2013年7月、初めてイオン液体を使って動物試験を開始した。翌朝、学生が動物室から飛んで帰ってきた。マウスが1日で死んでしまいました。Monir氏は、典型的なイオン液体研究者で、薬に関しては全くの素人だった。イオン液体研究者の多くは、まずイミダゾリウムカチオン誘導體から試したがるので、彼の最初のサンプルも[omim]ベースのイオン液体製剤だった。イオン液体の創薬応用において、薬物の生体安全性の重要性を思い知らされた1日であった。その後、イオン液体の使用量を最小限(5%)に抑え、イオン液体[C<sub>12</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]を添加することによって、ワクチンの増大効果を確認できたのは1年後の夏であった<sup>20)</sup> (図5)。

# Topics

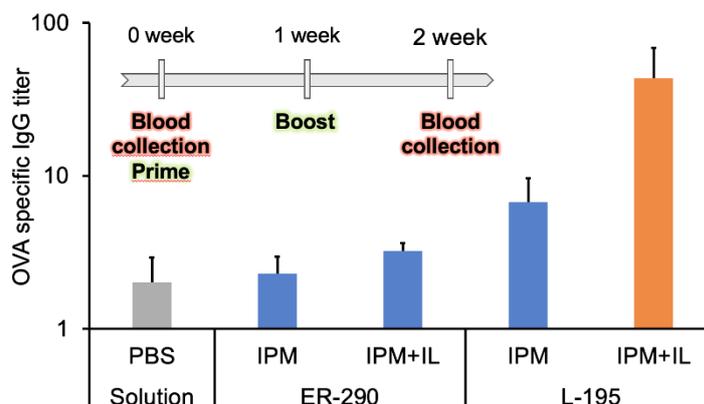


図5 イオン液体([C<sub>12</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N])による経皮ワクチンの増強効果<sup>20)</sup>(ワクチン抗原として OVA を使用、IPM: イソプロピルミリスレート、ER-290 および L-195 はスクロース型の界面活性剤)

## 7. 創薬研究のための生体適合性イオン液体

イオン液体を利用した創薬研究において、初期の頃はイミダゾリウム系のイオン液体を用いた例がほとんどであった。しかしながら、イミダゾリウムカチオンは毒性が高く、実際の医療現場での利用は困難であると、製薬企業の研究者から伝えられた。実際に臨床応用を目指すためには、安全性の高いイオン液体を開発することが必須となる。すでに、Hela 細胞などをモデルとしたイオン液体の毒性評価に関する研究は行われており、毒性に及ぼすイオン液体の分子構造に関する議論も進んでいる<sup>21)</sup>。なかでも、カチオン分子においては、コリンを用いたイオン液体が、安全性の観点から好まれている。2014 年にハーバード大の Mitragotri らは様々なイオン液体によって、低分子薬の経皮吸収が促進されるかどうかについて検討を行った<sup>22)</sup>。その中で、コリンとゲラン酸がモル比 1:2 で形成するイオン液体(CAGE)が、高い経皮吸収促進効果を示すことを報告している(図 6a)。その後、コリン-ゲラン酸は分子量の大きなインスリンやアルブミンなどのタンパク質についても経皮吸収促進効果を示すことが明らかにされている。

2005 年に大野らによって、カチオンはイミダゾリウム系の[C<sub>2</sub>mim]であるが、アニオンをアミノ酸としたイオン液体が開発された<sup>23)</sup>。このイオン液体は 20 種類の天然アミノ酸すべてにおいて、ガラス転移温度が室温以下のイオン液体であり、生体適合性のアミノ酸を使用したイオン液体として注目を浴びた。その後、2007 年にはコリンをカチオン、アミノ酸であるプロリンをアニオンとしたイオン液体が報告された<sup>24)</sup>。現在では、コリン-アミノ酸からなるイオン液体が広く利用され、カチオンとアニオンの両方が生体由来の分子である典型的な生体適合性イオン液体として注目されている(図 6b)。コリンは、代表的な安全性の高いカチオン分子であり、2017 年には、コリンを用いたイオン液体の総説も報告されている<sup>25)</sup>。我々も 2018 年に、コリン-アミノ酸(グリシン、アラニン、プロリン、フェニルアラニン、イソロイシン、セリン、ロイシン)からなるイオン液体を合成し、難水溶性の抗がん剤であるパクリタクセルを可溶化して薬物動態を検討した<sup>26)</sup>。さらに、脂肪酸も生体由来のアニオンとしては代表的な分子の一つであり、コリンをカチオン、脂肪酸をアニオンとしたイオン

# Topics

液体も生体適合性の高いイオン液体として注目されている(図 6c)。2019 年に我々は、コリンをカチオン、オレイン酸(C18:1)、リノール酸(C18:2)、エルカ酸(C22:1)をアニオンとしたイオン液体を合成し、それぞれの水中における臨界ミセル濃度や細胞毒性などを検討した<sup>27)</sup>。臨界ミセル濃度については、疎水基の長いエルカ酸が最も低く、全てのイオン液体が界面活性剤として機能することを明らかにした。細胞毒性については、コリン-オレイン酸が最も低い細胞毒性であることを示した<sup>28)</sup>。

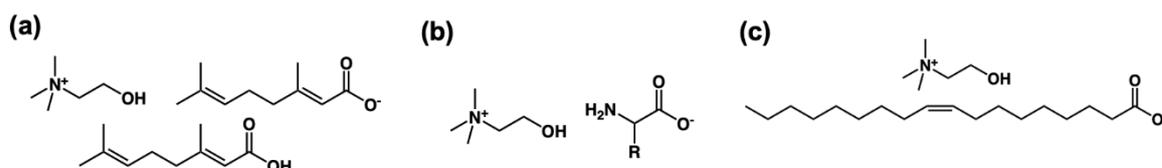


図6 生体適合性の高いイオン液体

(a)コリン-ゲラン酸(CAGE)、(b)コリン-アミノ酸、(c)コリン-オレイン酸



図7 COIL-9(リヨン)のランチ会場にて

CAGEを開発したハーバード大の Samir Mitragotri 教授と

我々は、現在注射で投与されているインスリンを、イオン液体を用いて塗り薬(経皮製剤)にすることを試みた<sup>29)</sup>。インスリンは、コリンとプロピオン酸からなるイオン液体[Cho][C3]に溶解することを明らかにし、溶解したインスリンは、高次構造を維持することを確認した(図8A)。インスリンの皮膚透過を促進するために疎水的環境を付与することが重要である。そこで、インスリンを溶解した[Cho][C3]と、油状基剤である IPM(イソプロピルミリステート)、さらにイオン液体(コリン-脂肪酸)を界面活性剤として用いて Ionic Liquid-in-Oil(IL/O) エマルジョンを調製した。この IL/O 製剤を用いてインスリンの皮膚浸透性を評価すると、インスリンは、高い経皮浸透性を示すことが明らかとなった。そこで、調製したインスリンの IL/O 製剤を、糖尿病マウスへ経皮投与し、注射投与した場合との薬物動態を検討した。その結果を図 8B に示す。インスリンを注射した場合は、血糖値が急激に低下するが、数時間でその値も元に戻った。一方、イオン液体を塗布した場合、初期の血

# Topics

糖値の低下速度は注射に劣るものの、血糖値の低下効果は長期にわたって持続した。このように、インスリンなどのバイオ医薬品に関して、イオン液体が優れた経皮吸収促進効果を発揮することが明らかとなった。

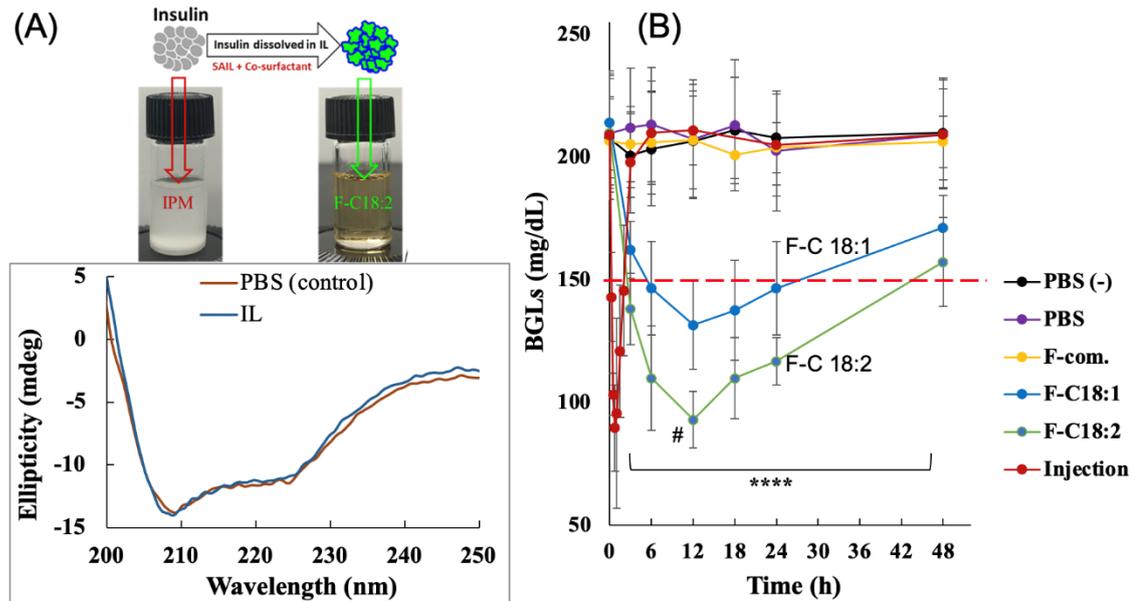


図8 イオン液体中に可溶化したインスリンの CD スペクトル(A)とイオン液体インスリンの経皮投与による血糖値の低下効果 <sup>29)</sup>F-C18:1 はコリン-オレイン酸、18:2はリノール酸

## 8. イオン液体の核酸医薬への応用展開

我々は、コリン以外のカチオンとして、生体脂質をカチオン部とし、長鎖脂肪酸と組み合わせた生体適合性の高いイオン液体を新たに開発した <sup>30)</sup>(図9)。これら脂質由来のイオン液体は、核酸医薬と LNP(Lipid Nano Particles)類似の安定な複合体を形成し、核酸の経皮吸収を促進するのみならず、トランスフェクション機能(核酸を細胞内へ導入する機能)を示すことを最近明らかにした <sup>31)</sup>。

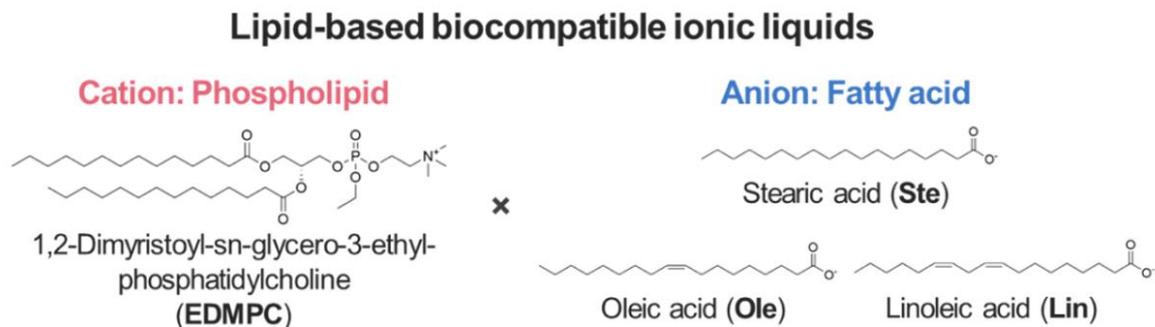


図9 核酸の経皮デリバリー用に開発された脂質由来イオン液体

# Topics

最近の核酸医薬の発展は目覚ましく、医薬品開発の新たなモダリティとして注目されている。しかしながら、核酸医薬の投与方法は現在のところ注射に限られている。注射投与は、医療従事者を必要とすることから、発展途上国など医療機関の乏しい国々では、注射に代わる簡易な投与方法が求められている。そこで我々は、核酸の経皮吸収剤の開発に着手した。核酸医薬には、通常の薬と大きく異なる点がある。それは、核酸医薬を機能させるためには、経皮吸収させるのみならず、透過後に核酸が細胞内へ取り込まれることが重要となる。つまり、核酸の経皮吸収技術を開発するには、核酸を皮膚から透過させるのみならずトランスフェクション機能も必須となる。そこで、我々は脂質由来のイオン液体に着目し、経皮吸収性とトランスフェクション機能の両面から最適なイオン液体を設計した。その結果、開発したイオン液体[EDMPC][Lin]が、オリゴ核酸の経皮浸透を促進し、さらにトランスフェクション機能があることを見出した。具体的なモデル薬として、アンチセンスオリゴ核酸のトラベデルセンを対象として、脂質由来のイオン液体を用いて調製した経皮剤による皮膚透過性を検討した結果、リノール酸をアニオン部に持つイオン液体が最も透過性を増大させることを明らかにした。さらに、この脂質由来のイオン液体を用いて調製した経皮吸収剤は、動物実験において、注射と匹敵するような制ガン効果を示すことを確認している<sup>31)</sup> (図10)。このように、イオン液体の核酸医薬への応用は、緒に就いたばかりではあるが、核酸医薬開発の新たな材料として期待される。

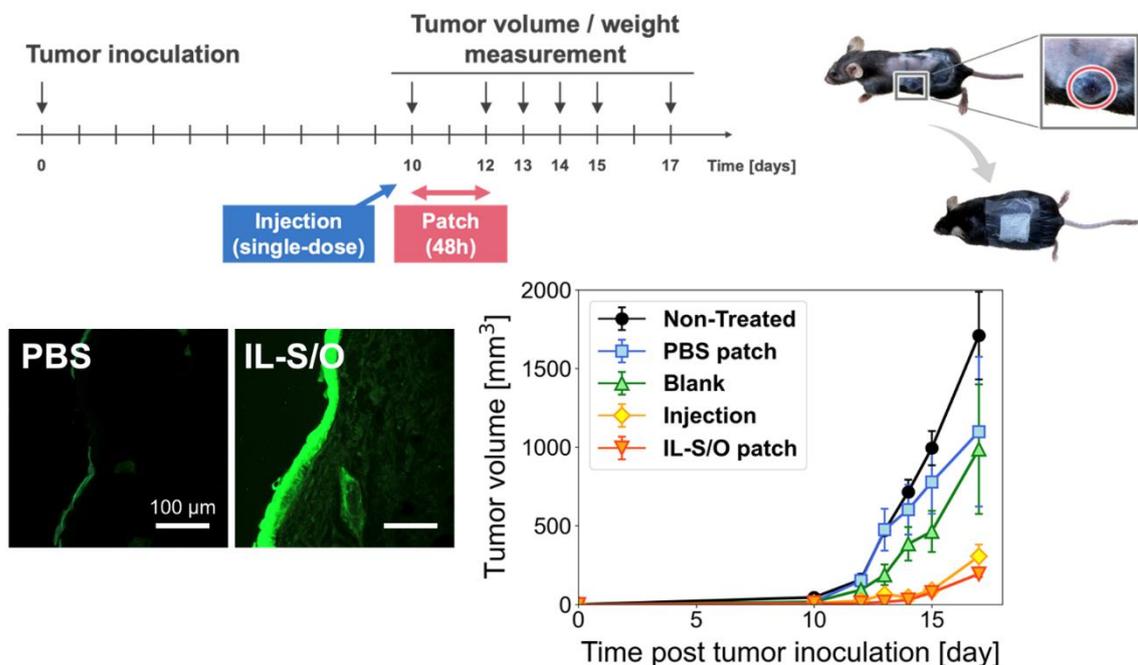


図10 脂質由来イオン液体によるアンチセンスオリゴ DNA の制ガン効果<sup>31)</sup>

## 9. おわりに

イオン液体の薬物応用においては、様々な優れた機能が明らかにされている。ただ、イオン液体の工業利用においては、高純度のイオン液体提供が鍵を握ると考えている。西川先生の特定領域研究「イオン液体の科学」においても、微量の不純物がしばしば大きな影響を及ぼすことが問題視されていたが、創薬研究においては、さらにイオン液体の品質管理が重要となる。特に、薬に使用する材料となると、GMP 基準での厳しい生産と管理が義務付けられており、そのハードルは高い。現状は残念ながら、薬物原料として認可されているイオン液体は存在しない。イオン液体研究も 20 年が過ぎ、学術研究から工業応用への期待が高まっている。我々も諦めずに、もう少し社会実装の夢に向かって挑戦したいと考えている。

謝辞:本研究を遂行するにあたり、2 度の基盤研究 S(2012~2020)と基盤研究 A(2021~2026)さらに2度の挑戦的研究(開拓)(2019~2024)のご支援を頂いた。この場を借りて心より謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 後藤雅宏, *Drug Delivery System*, **38** (3), 220 (2023)
- 2) RM. Moshikur, M. Goto, *The Chemical Record*, e202300026 (2023)
- 3) RM. Moshikur, M. Goto *et. al.*, *Pharmaceutics*, **15**(4), 1179 (2023)
- 4) M.P. Thien, TA. Hatton, D.I.C. Wang, *ACS Symp. Ser.*, **314**, 67 (1986)
- 5) KE. Cöklen, TA. Hatton, *Biotech. Prog.*, **1** (1), 69 (1985)
- 6) T. Ono, M. Goto, TA. Hatton, *Biotech. Prog.*, **12** (6), 793 (1996)
- 7) M. Goto, T. Ono, TA. Hatton, *Biotech. Bioeng.*, **54** (1), 26 (1997)
- 8) M. Goto, TA. Hatton, *Biotech. Prog.*, **14** (5), 729 (1998)
- 9) M. Goto, TA. Hatton, *Biotech. Bioeng.*, **57** (5), 620 (1998)
- 10) JG. Huddleston, AE. Visser, RD. Rogers, *Chem. Commun.*, 1765 (1998)
- 11) R.M. Lau, F. van Rantwijk, K.R. Seedon & R.A. Sheldon, *Org. Lett.*, **2**, 4189 (2000)
- 12) T. Itoh, E. Akasaki, K. Kudo, S. Shirakami, *Chem. Lett.*, 262 (2001)
- 13) S. H. Schofer, N. Kaftzik, P. Wasserscheid, U. Kragl, *Chem. Commun.*, 425 (2001)
- 14) T. Maruyama, S. Nagasawa & M. Goto, *Biotechnol. Lett.*, **24**, 1341 (2002)
- 15) K. Nakashima, T. Maruyama, N. Kamiya, M. Goto, *Chem. Commun.*, 4297 (2005)
- 16) M. Moniruzzaman, K. Nakashima, N. Kamiya, M. Goto, *Biochem. Eng. J.*, **48** (3), 295 (2010)
- 17) W L. Hough, RD. Rogers *et. al.*, *New J. Chem.*, **31**, 1429 (2007)
- 18) H. Mizuuchi, V. Jaitely, S. Murdan, AT. Florence, *Eur. J. Pharm. Sci.*, **33**, 326 (2008)
- 19) M. Moniruzzaman, M. Goto, *et. al.*, *Chem. Commun.*, **46**, 1452 (2010)
- 20) S. Araki, M. Goto, *et. al.*, *MedChemComm.*, **6** (12), 2124 (2015)
- 21) N. Adawiyah, *et. al.*, *MedChemComm.*, **7**, 1881 (2016)
- 22) M. Zakrewsky, *et. al.*, *PNAS*, **111**, 13313 (2014)

# Topics

- 23) K. Fukumoto, H. Ohno, *et. al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 2398 (2005)
- 24) S. Hu, *et. al.*, *Tetrahedron Lett.*, **48**, 5613 (2007)
- 25) BL. Gadilohar, GS. Shankarling, *J. Mol. Liq.*, **227**, 234 (2017)
- 26) MR. Chowdhury, M. Goto, *et. al.*, *Mol. Pharm.*, **15**, 2484 (2018)
- 27) MK. Ali, M. Goto, *et. al.*, *J. Colloid Interface Sci.*, **551**, 72 (2019)
- 28) Y. Tahara, M. Goto, *et. al.*, *Mol. Pharm.*, **17**, 3845 (2020)
- 29) MR. Islam, M. Goto, *et. al.*, *ACS Appl. Mater. & Inter.*, **13**, 42461 (2021)
- 30) S. Uddin, M. Goto, *et. al.*, *Chem. Commun.*, **56**, 13756 (2020)
- 31) K. Toyofuku, M. Goto, *et. al.*, *ACS Appl. Mater. & Inter.*, **15**, 33299 (2023)

# Meeting

## 第 13 回イオン液体討論会開催報告

新潟大院 自然科学系  
韓 智海、梅林泰宏

第 13 回イオン液体討論会を 2023 年 11 月 20 日(月)から 22 日(水)の 3 日間に渡り、朱鷺メッセ新潟コンベンションセンターにて開催しました。普段は天候不順の新潟ですが、風は強かったものの、本討論会の間は晴れており、活気に満ちた雰囲気の中で行われました。今年度の討論会では、基調講演1件、特別公演 2 件、口頭講演 26 件、ポスター講演 74 件が行われ、総勢 173 名が参加されました。現地実行委員会のメンバーは、実行委員長に梅林（新潟大学）、実行委員に神崎亮先生（鹿児島大学）、黒木菜保子先生（中央大学）、藤井健太先生（山口大学）、牧秀志先生（神戸大学）、松岡史郎先生（新潟大学）、森寛敏先生（中央大学）、渡辺日香里先生（東京理科大学）、そして韓（新潟大学）の 8 名が参画し、本討論会の企画・運営を進めました。また、事務局および発表者、参加者の皆様のお陰で糸魚川静岡構造線（フォッサマグナ）を超えた東北日本における初の本討論会を無事に開催することができました（東京・神奈川を除く）。この場を御借りして厚く御礼申し上げます。

令和 4 年度文化功労者に選出された西川恵子先生に基調講演を、横浜国立大学・上野和英先生ならびに北陸先端科学技術大学院大学・松村和明先生に特別講演をお願いいたしました。西川恵子先生は「乱れを科学する—ゆらぎの研究」と題して、相変化時における動的ゆらぎを熱測定や NMR 緩和時間測定により調べ、相転移時のイオンのダイナミクスについてご紹介いただきました。上野和英先生は「次世代電気化学デバイスへ向けたイオン液体に基づく電解質材料設計」と題して、高 Li イオン輸率を示す液体電解質、イオン液体-液体金属複合ゲルを用いたストレッチャブル電極、電気化学的 CO<sub>2</sub> 吸収・脱離へ向けたイオン液体型キノンの材料に関する研究結果についてご紹介いただきました。松村和明先生は「両性電解質高分子による細胞凍結保存とその再生医療応用」と題して、再生医療の実現化に向け、両性電解質高分子を用いた細胞凍結保存効果について、また凍結保護物質の分子デザイン、三次元形状の構造体の凍結特性についてご紹介いただきました。3 名の先生方の研究内容のみならず、研究に対する熱意や真摯な姿勢が随所に感じることができました。ご多忙の中、ご講演をお引き受けいただき誠にありがとうございました。

26 件の口頭講演は修士・博士学生を含む若手研究者が参加され、2 つの会場にて活発な議論や質疑応答が行われたのが印象的でした。午前・午後セッションに分かれたポスター講演では、74 件がメインホールで行われました。ポスターボードで発表者と多くの学生・研究者が議論するスタイルのみならず、会場の奥のスペースで議論する様子も多く見受けられました。今年度のポスター講演では、優秀発表賞の選定が参加者の投票によって行われ、多くの参加者が積極的に投

# Meeting

票し、高い参加率を獲得したことは記憶に残っています。午後のポスター講演の終了後、会場近くのホテル日航新潟の 30 階、鳳凰会場にて懇親会を行いました。招待者を含め、82 名が参加し、実行委員長の梅林の挨拶に続き、イオン液体研究会の世話人代表の桑畑進先生（大阪大学）のご挨拶、西川恵子先生の乾杯の音頭によって開会しました。コロナウイルス緩和に伴い、数年ぶりに開催された懇親会では、梅林研究室の 4 年生による新潟紹介やクイズが行われ、参加者たちは新潟の魅力を探る楽しい時間を過ごしました。特に新潟地酒コーナーでは大変盛り上がり、参加者たちは地域の特産品を味わいながら、交流と親睦を深めることができました。

討論会の最終日には口頭講演賞とポスター講演賞の表彰式を行いました。口頭講演賞として Green Chemistry 賞には、山本貴之さん（京都大学）、Chemical Communications 賞には、須藤拓さん（横浜国立大学）が選出されました。ポスター講演賞には、最優秀ポスター賞に猿渡彩さん（北海道大学）、優秀ポスター賞に Frederik Philippi さん（横浜国立大学/Imperial College London）、佐藤綾さん（九州大学）、小森美穂さん（関西大学）、原洋一さん（東京農工大学）が選出されました。7 名の受賞者の皆様、誠にありがとうございました。



基調講演の西川先生と特別講演の上野先生、松村先生



ポスター発表の様子



懇親会の様子

# Meeting

## 若手シンポジウム(第6回若手の会) 開催報告

京都大学エネルギー理工学研究所  
山本貴之

若手シンポジウムを令和5年11月20日(月)に朱鷺メッセで開催いたしました。前年までは、「イオン液体研究会 若手の会」という名称で、あくまでイオン液体討論会の前日イベントとして若手研究者が自主的に運営しておりましたが、今回はイオン液体討論会のプログラムに組み込まれる形で「若手シンポジウム」の名称が追加されました。しかし、本質的には何ら変わることなく、イオン液体の研究を行っている学生や若手研究者同士が交流を深めて、イオン液体研究会を盛り上げていこうということが大きな目的です。「若手の会」としては今回が6回目であり、コロナ禍を経て久しぶりの完全対面形式で実施いたしました。どの程度集まっていたか不安な面もありましたが、全体で46名(内、学生31名)の方に参加いただき、ハイブリッドで開催した前回(第5回若手の会)の参加者が54名(内、学生33名)であったことから、ほぼ例年通りの参加者数となりました。参加していただいた皆様に感謝申し上げます。



図1 若手シンポジウム参加者の集合写真

今回は学術変革領域研究(B)「活イオン液体の科学」との共催となりました。両者で企画立案を進める段階において、学生が主体的に参加することを主眼に据えている「若手の会」の考え方を踏まえ、単に先生方に講演していただくだけではなく、それに対して学生から積極的に質問ができるような方法が良いのではないかと話になりました。学生の皆さんにとって、学会や講演会で研究発表を聴いても、その場で質問をするというのは難しいことだと思います。おそらく「もしかしたら当たり前のことかもしれないから恥ずかしい」と思ったり、「自分には難しすぎるので、まあいいや」と諦めたりしている人が多いのではないのでしょうか。結局その場にいた学生以外の研究者が質問をして、時間が過ぎてしまうというのは非常によくあることだと思います。今回の若手シンポ

# Meeting

ジウムでは、些細なことでも良いので頭に浮かんだ疑問をぶつけてほしいという趣旨で、講演件数を絞って質疑応答の時間を長くする(学生からの質問を優先)、一人で考えていると質問しづらいかもしれないのでグループワークで質問を考えてもらう、といった方向で進めました。

当日は講演に先立ち、西直哉先生(京都大学)から、質問をすることの重要性やコツについてレクチャーをいただきました。質問をすることで単に自分の疑問を解決するだけではなく、その場にいる人たちの疑問も同時に解決できること、質問をするときは「絶妙なバカになる」のが大事であることなど、普段我々も考えているようなことを言語化した上で、学生をエンカレッジするような内容でした。続いて、黒木菜保子先生(中央大学)から「電子状態インフォマティクスによるCO<sub>2</sub>吸収液の迅速設計」というタイトルで、イオン液体の分野においても導入が試みられているインフォマティクスを活用した最近の研究内容について講演いただきました。さらに、「活イオン液体の科学」の代表を務められている山田裕貴先生(大阪大学)から、「“活イオン液体”の科学:特異物性とその応用」というタイトルで、従来のイオン液体およびその類似化合物群を「活イオン液体」という概念で再定義するなど、新たな応用展開を見据えた内容を講演いただきました。

それぞれの講演の後には、学生によるグループワークおよび質疑応答が行われました。我々の想定以上に多くの質問が出ただけでなく、その内容も鋭い着眼点に基づいたものが多く、非常に感心されました。学生ならではの新鮮な考え方は大きな武器だと思います。あとは自分に自信を持って研究活動を続けてほしいと思います。



図2 グループワークの様子



図3 質疑応答の様子

(長時間対応していただいた黒木先生、山田先生ありがとうございました!)

# Meeting

最後になりましたが、今回ご登壇いただきました西先生、黒木先生、山田先生に厚く御礼を申し上げます。今回の企画の意図を汲んでいただき、我々の無茶なお願いにも快く対応していただきありがとうございました。また、共同企画者(若手の会幹事)である北田敦先生(東京大学)と本林健太先生(名古屋工業大学)、共催のご提案をいただきました「活イオン液体の科学」の岩橋崇先生(東京工業大学)、現地幹事として講演会の会場と懇親会を手配いただきました韓智海先生(新潟大学)に感謝申し上げます。イオン液体研究会世話人の先生方と事務局の皆様のバックアップに謝意を表するとともに、このような素晴らしい会場で若手シンポジウムを開催できたのは、第13回イオン液体討論会実行委員長の梅林泰宏先生(新潟大学)のご厚意によるものであり、ここに御礼を申し上げます。皆様のご協力のもと、無事に会を終えることができました。一方で、今回の反省点としては、必ずしもグループワークの時間が充分には取れなかったことであり、限られた時間を有効活用できるよう改善していきたいと思っております。今回は久しぶりに懇親会も開催することができ、ようやくコロナ禍以前のような交流が出来るようになりました。次回以降もイオン液体研究を行っている学生や若手研究者のネットワーク構築の場として活用していただければ幸いです。



図4 懇親会後の集合写真

# Award

## 第 13 回イオン液体討論会 受賞者

2023 年 11 月 20 日-22 日に開催された第 13 回イオン液体討論会において、口頭講演総数 26 件のうち、口頭講演賞への応募が 12 件ありました(賞審査対象者は 2024 年 3 月 31 日現在で年齢が 37 歳以下の方です)。また、ポスター講演総数 74 件のうち、ポスター講演賞への応募が 65 件ありました(賞審査対象者は 2024 年 3 月 31 日現在で年齢が 35 歳以下の方です)。厳正なる審査を経て Chemical Communications 賞および Green Chemistry 賞をそれぞれ1名、口頭講演賞として授与されました。また、ポスター講演賞として最優秀賞 1 名・優秀賞 4 名に対し、ポスター賞が授与されました。

受賞者の皆さん、おめでとうございます！

### 口頭講演賞

● **Green Chemistry 賞** 山本 貴之さん(京都大学 エネルギー理工学研究所)

2AO03: アミド系イオン液体電解質中におけるグラファイト正極の充放電挙動

○山本 貴之、大江 理久、石尾 吉史、ヤダヴ アリシャ、野平 俊之(京大 エネ理工)

口頭講演賞をいただくことができ、大変光栄に感じております。本研究に携わった共著者の皆さまに感謝いたします。イオン液体討論会では、毎回様々な研究分野から興味深い発表が多数行われており、いつも刺激を受けています。イオン液体の魅力や長所を活かした研究展開を心掛けつつ、微力ながらイオン液体研究の発展に貢献したいと考えております。今後とも宜しく願い申し上げます。



● **Chemical Communications 賞** 須藤 拓さん(横浜国立大学 大学院理工学府)

2BO08: Polymer-assisted Liquification of Li salt

○須藤 拓<sup>1</sup>、後藤 高志<sup>1</sup>、獨古 薫<sup>1,2</sup>、渡邊 正義<sup>2</sup>、上野 和英<sup>1,2</sup>(1.横浜国大院理工、2.横浜国大 IAS)

このたびは口頭講演賞 (Chem Comm 賞) という名誉ある賞を賜り大変光栄に思うと同時に、自分の研究が評価され、とてもうれしく思います。今回の受賞は、いつも示唆に富むご指摘をくださる渡邊先生、一緒にデータをとってくれた後藤君、そして一緒に面白がって教え、導いてくださる上野先生のお力添えによるものです。この場を借りて感謝申し上げます。また、討論会後にはたくさんの先生方からお声掛けいただきました。皆様のご期待に添えるよう、また、イオン液体ならびに関連分野の発展に少しでも貢献できるよう研究に励む所存です。今後ともよろしく願いいたします。



# Award

ポスター講演賞

●最優秀ポスター賞 猿渡 彩さん(北海道大学大学院 生命科学院)

P57: Ionic liquid-polymer solutions that enable photo-reversible viscoelastic change and their application to a cell scaffold

○猿渡 彩<sup>1</sup>、上山 祐史<sup>1</sup>、中西 淳<sup>2</sup>、上木 岳士<sup>1,2</sup>(1.北大院生科院、2.NIMS)

この度は最優秀ポスター賞を頂戴し、誠にありがとうございました。普段お話できない先生方や参加者の方々と議論させていただき、大変勉強になりました。頂いたご意見やアドバイスをもとに、今後さらに深い議論ができるよう気を引き締めて研究に邁進して参りたいと思います。最後に、日頃よりご指導いただいております上木先生、共著者の方々、研究室メンバーに感謝申し上げます。



●優秀ポスター賞 Frederik Philippi さん(横浜国大院理工 / Imperial College London)

P02: Highly Symmetric Room Temperature Ionic Liquids

○Frederik Philippi<sup>1</sup>、Daniel Rauber<sup>2</sup>、Daniel Schroeder<sup>2</sup>、Tom Welton<sup>1</sup>、Christopher W. M. Kay.<sup>2,3</sup>

(1.Imperial College London、2.Saarland University、3.University College London)

The 13th Symposium on Ionic Liquids in Japan was the first time for me to visit a domestic conference in Japan and an excellent opportunity to meet the Japanese Ionic Liquids community. I was very glad to have been accepted for a poster presentation and feel honoured to receive this prize. I would like to thank the participants for this great experience and everyone who came to my poster for the many inspiring discussions!



●優秀ポスター賞 佐藤 綾さん(九州大学大学院 工学府応用化学)

P49: レドックス活性イオン液体の開発と電解水素発生触媒への応用

○佐藤 綾、星野 友、畹越 恒(九大院工)

この度はこのような賞をいただけて光栄に思います。研究分野の異なる方々の前での発表は不安や緊張がありましたが、「着眼点が面白い」というお声をいただき、大変嬉しく思います。これまでご指導いただいた畹越先生をはじめ研究室の皆様にご感謝申し上げますとともに、卒業までの残り数ヶ月も目標へ向けて研究に専念していきたいです。



# Award

●優秀ポスター賞 小森 美穂さん(関西大学 化学生命工学部)

P52: Physicochemical properties and battery performance of sulfonium-based FSA ionic liquid containing Li salt

○小森 美穂、副田 和位、奥田 大輔、石川 正司(関西大)

この度はこのような賞をいただくことができ、大変嬉しく光栄に思います。発表では多くの方から研究に対するご助言をいただき、研究への意欲が高まりました。発表にお立ち寄りいただいた方々、ご指導くださった石川先生、そして、研究室メンバーに感謝いたします。これからもこの賞を励みに、邁進してまいります。



●優秀ポスター賞 原 洋一さん(東京農工大学 工学部生命工学科)

P65: LCST 型相転移により凝集誘起発光を示すイオン液体の開発とその相転移温度の制御

○原 洋一、内田 大輔、田中 正樹、中村 暢文、大野 弘幸、一川 尚広(東京農工大)

この度はこのような賞をいただき、大変光栄に思います。普段からご指導いただいております、先生方に感謝申し上げます。また、発表にお立ち寄りいただいた多くの方々と、非常に有意義なディスカッションをさせていただくことができました。今回いただいた研究の課題や展望を今後の研究に反映していくとともに、さらなる研究の発展に努めてまいりたいと思います。



授賞式の模様

# Award

## 2023 Joint Symposium on Molten Salts (MS12) 参加・受賞報告

京都大学エネルギー理工学研究所 野平研究室  
修士課程 2 回生 石尾吉史

2023 年 11 月 12 日から 16 日に、2023 Joint Symposium on Molten Salts (MS12)が京都で開催されました。2020 年に始まったコロナ禍は、収束を見せつつありましたので、オンラインでの実施でした。MS12 は、熔融塩の関わる広い分野を扱う国際学会で、ヨーロッパやアジア等、海外からも多くの参加者が来られていました。会場は京都御所の向かいでしたので、休憩の間に御所を散策されている方も多く、私も難しい発表を聞いた後は、リフレッシュのために、よく訪れていました。

私は、この MS12 が初めての国際学会でしたので、すべての口頭発表が英語で行われていることがとても新鮮でした。私は英語があまり得意ではありませんので、発表内容を理解できるか不安でしたが、自身の研究内容に近い室温熔融塩系(イオン液体系)の発表は、理解できるものも多く、とても勉強になりました。最後の特別講演では、今年度でご退官される萩原先生が、これまで取り組まれてきたフルオロジェネート系イオン液体の研究について、総論をご発表されました。

ポスターセッションでは、64 件の発表があり、前後半の 2 部構成で行われました。私は後半のグループでしたので、前半は色々なポスターを見て回っていました。自身の研究に関係のある発表も複数ありましたので、実験方法や研究結果などについて詳しく質問をすることができ、非常に勉強になりました。また、あまり前提知識をもっていない研究でも、学生発表でしたので気軽に質問ができ、知識の幅を広げることができました。後半は、“*In-situ Raman spectroscopic analysis of the electrode/electrolyte interface in the sodium secondary battery utilizing FSA-based ionic liquids*”というタイトルで、ナトリウム二次電池の正極／電解液界面近傍のイオン液体を対象として、その場ラマン分光分析を行った内容について発表しました。海外の先生も何人か興味を持って下さり、質問を頂きました。英語での質疑応答はあまり慣れておらず、流暢に話すことはできませんでしたが、頂いた質問には少しずつ回答することができました。また、日本人の先生や学生の方からも様々な質問を頂き、回答の難しいものもありましたが、自身の理解している範囲で誠実に回答するように努めました。1 時間半の発表時間で、初めは長いと思っていましたが、始まってみるとあっという間で、濃密な時間を過ごすことができました。私の発表には拙い点もあったと思いますが、非常に興味深い発表が多かった中で、**Student Poster Award** を頂くことができました。とても嬉しく、光栄に思います。研究の成果が認められ、励みになりました。実験方法から研究・発表への姿勢に至るまで、きめ細かにご指導頂いている先生方に厚く御礼申し上げます。

MS12 は私の所属している研究室が主催の学会でもありましたので、一部運営にも携わることができました。準備のために奔走されている先生方の背中から、学会を成功裏に終えるための取り組みを学ぶことができ、とても良い経験になりました。

最後になりますが、この度は受賞報告の機会を頂きありがとうございました。

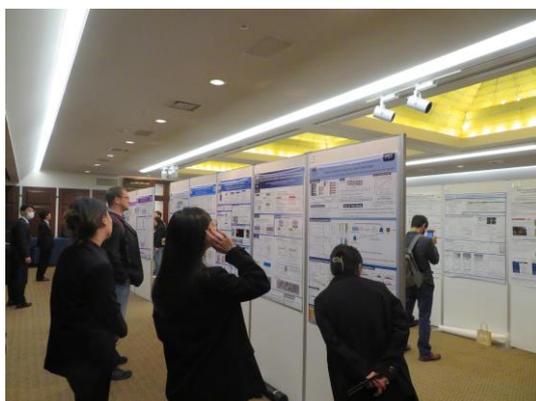
# Award



会場から見られる御所の蛤御門



京都大学・萩原理加先生による  
特別講演の様子



ポスターセッション会場の様子



授賞式の写真

# Overseas Experience

## Australian Nuclear Science and Technology Organisation 留学体験記

京都大学 工学研究科 作花研究室 D2  
石井浩介

### 1. はじめに

私は、2023年9月から12月まで、オーストラリアのシドニーにある Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) に留学しました。ANSTO は、シドニー市街からやや離れた山の中、シドニー空港から車だと30分、電車+バスだと1時間という場所にあります。原子核に関連する様々な分野が研究されており、中性子散乱実験が可能な OPAL Reactor や、National Deuteration Facility (NDF)、Nuclear Medicine Facilities などのグループが所属しています。今回、私は NDF と OPAL reactor に滞在し、NDF にてイオン液体 (IL) の重水素化を、OPAL Reactor にて重水素化 IL を用いた中性子散乱実験を行いました。本記事では、ANSTO 滞在中の研究および日々の生活をまとめました。今後留学を検討されている方や、ANSTO で中性子散乱実験を行われる予定の方の参考になれば幸いです。

### 2. 留学先選び

私は現在、中性子反射率測定 (NR) を用いて、IL が液液界面において形成する界面構造の解析を行っています。NR において重水素化物は重要な役割を果たします。中性子の散乱は原子固有の物理量である散乱長に依存し、この散乱長は軽水素と重水素で大きく異なります。そのため、軽水素化物と重水素化物で分子全体の散乱長を変化させることができます。両者を用いた NR の結果を比較することで、軽水素化物だけでは得られないより詳細な界面構造解析が可能になります。また、重水素化により IL 中の軽水素が減少するため、非干渉性散乱のバックグラウンドを小さくすることができます。しかし、使用している IL の効率的な重水素化法がなかったため、新規重水素化法の開発から検討を始めました。阿久津和宏研究員 (CROSS) とともに国内で実験を重ねた結果、スモールスケールにおいて新規重水素化法の開発に成功しました。

NR には十数グラムの IL が必要であるため、反応のスケールアップ (グラム) が必要でした。そこで阿久津さんに、IL も含めた様々な重水素化物の開発・他グループへの提供を行っている NDF を紹介いただきました。

### 3. 留学前

私が所属している京都大学工学研究科には、海外留学を奨励する「馬詰研究奨励賞」があり、採択されると旅費と留学中の生活費が支給されます。応募したところありがたいことに採択されたため、NDF group Leader である Tamim Darvish 博士が来日した際、留学を打診し承諾をいただきました。その後、Tamim と対面とオンラインでディスカッションを複数回行い、滞在中の実験内容

# Overseas Experience

を決定しました。同時に、ANSTO に滞在するための大量の事務書類作成 (研究の権利関係や VISA など) とオンライントレーニングを行いました。ANSTO 滞在中のための VISA は、特殊なもの (Temporary Work (Short Stay Specialist) visa (Subclass 400)) が求められます。そのため、パスポート以外の英文の身分証や在学証明書などを集める必要があり、大変でした。

また、ANSTO には併設されたドミトリーがなく、自力で宿泊先を探す必要がありました。宿泊費節約のためホームステイをすることに決め、不安はあったもののホームステイ先をオンラインサイトで探しました。口コミを吟味して選んだ結果、ホームステイ先は清潔でキッチンも自由に使わせてもらえたため、良いホストファミリーに巡り合うことができました。ホームステイ先では、様々な国 (コロンビア、スウェーデン、ドイツ、韓国 etc) からの研究者ではない旅行者と会話することができ、多種多様なバックグラウンドを持つ人々が世界に存在していることを肌で感じました。

ところで、ANSTO 滞在中には、山を下りてシドニー市内で宿泊するか、車を借りて足を確保することをお勧めします。ANSTO は山と谷に囲まれているため、通勤するには最寄駅の Sutherland 駅から出ているシャトルバス (平日のみ) か車を使う必要があります。また、ANSTO 周辺は、徒歩圏内にスーパーマーケットや飲食店は一切なく (所内にある ANSTO café も平日は 14 時、休日は終日閉店)、車がないと ANSTO 周辺では食料の確保が大変です。私は、Sutherland 駅から 3 駅の Miranda 駅付近に宿泊先をとりましたが、ショッピングモールやアジア食料品店があり便利でした。

## 4. 研究生活

留学中は主に、NDF にて IL の重水素化合成法のスケールアップと反応条件の検討を行いました。反応スケールやサイクル、時間、カチオンとアニオンの組み合わせなどを解析し、ラージスケールで高い重水素化率が得られる反応条件を見出すことができました。重水素化の論文を執筆中です。

NDF は先に述べた通り、重水素化物の有機合成実験・解析が主であり、有機化学や薬学のポストドク以上で構成されています。物理化学がメインで有機合成実験をほぼやってこなかった私にとって、実験装置やグループ内で行われるディスカッションの内容は非常に新鮮なものでした。

留学後一か月半たったころ、OPAL Reactor のビームライン Platypus (日本語でカモノハシ、ビームラインにはすべてオーストラリア固有種の動物の名前がついています) にて、重水素化 IL を用いて NR を行いました。NR 用の自作セルを日本から持ち込んでいたため、最初にセルとビームのアライメントを行い、その後測定を行いました。測定のため、基本的な装置の操作を覚える必要があるのですが、説明が英語かつ、操作をコマンドで行う方式だったため苦労しました。苦労はありましたが、装置担当者である Andrew Nelson 博士のサポートもあり、測定は無事成功しました。

また、滞在中には学会に二回参加し、日本での研究成果を口頭とポスターで一回ずつ発表しました。英語による口頭発表は初めてだったので緊張しましたが、無事、有益な質問とディスカッションを行うことができ、実りある学会発表になりました。

# Overseas Experience

研究生活とは異なりますが、ANSTO は実験の安全管理が厳しかったです。例えば、実験が休日をまたぐ際には、実験内容と万が一の時の対処法を示した書類を提出しなければならず、非化学者でも最低限対応できるような対策がなされていました。

## 5. 日々の生活

シドニーでは、基本的にお店は夜 6 時から 8 時に閉まります。例外的に、Coles や Woolworths などのスーパー (シドニーの至る所に存在) は夜 10 時まで開いており、仕事帰りにスーパーによることは可能です。シドニーの物価は高く、円安の影響もあり日本の二倍になります。駅の自動販売機はさらに高く、コーラの 500 ml ペットボトルが 500 円なのを見つけた際には、二度見をしてしまいました。

休日は、シドニー市内や郊外に繰り出していました。シドニー市内には、歴史的な建造物が多く残っており、博物館 (休日無料!) なども多くあります。郊外には、ブルーマウンテンズを初めとしたハイキングコースやビーチが多くあり、休日のアクティビティには困りませんでした。

また英語は、オーストラリアには移民が多いこともあり、日常生活において様々なアクセントを聞くことができます。日常生活においては困ることはなかったのですが、まれに強いアクセントの方と会話する際にはリスニングが大変でした。

## 6. まとめ

今回の海外留学が初めての留学であったため、不慣れなことも多くありましたが、無事成果を得て帰国することができました。研究成果だけでなく、海外での研究環境・生活を経験したことで、日本と海外の研究システムの違いを大いに認識することができました。最後になりますが、留学に送り出していただいた西 直哉先生、留学費をサポートしていただいた京都大学工学研究科馬詰研究奨励賞、ANSTO を紹介していただいた CROSS の阿久津和宏研究員、受け入れていただいた ANSTO NDF Leader の Tamim Darvish 博士、実験をサポートしていただいた ANSTO NDF の Carl Recsei 博士、本記事を執筆する機会をいただいた編集委員の先生方に、この場をお借りしまして厚くお礼申し上げます。



学会に参加する道中でのスリーショット。  
(左)筆者、(中) Carl、(右) Tamim



ブルーマウンテンズの風景 (筆者撮影)

# Laboratory

## 研究室紹介 ～東京農工大学 中村研究室～

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)  
田中正樹、中村暢文

### 【研究室概要】

東京農工大学は東京の多摩地区にある国立大学で、農学部は府中市に工学部は小金井市にあり、両キャンパスとも新宿から 30 分以内と交通アクセスは非常に良好です。両キャンパスとも緑も多く、大学生活を送るにはとてもよい環境だと思います。2022 年の第 12 回のイオン液体討論会では大学キャンパスを使用せず、武蔵小金井駅前の宮地楽器ホールで行いましたが、ご参加いただいた方には武蔵野の雰囲気は味わっていただけたものと思います。また、2012 年のイオン液体研究会、2017 年のイオン液体討論会は小金井キャンパスで開催いたしましたので、以前からイオン液体研究会に参加されていらっしゃる方々には記憶されておられる方も多いのではないのでしょうか。今年 2024 年のイオン液体研究会は 6 月 14 日(金)に、小金井キャンパスで開催いたしますので、是非お越しいただき、キャンパスをご覧くださいと思います。

我々の研究室は、その小金井キャンパスの 12 号館の 3 階にあります。かつては大野・中村研究室として、大野弘幸先生が教授職を退かれてからは、中村・一川研究室として、中村と一川で緩い連携を保ちながら運営しています。ゼミ合宿や卒論、修論、学会などの発表練習、区切りの飲み会などは合同で、日頃の雑誌会や研究報告会などは別々に開催しています。学生居室や実験室もおおよそ分かれています。自由に行き来できる状態にあります。助教の田中は、両方の研究室をすべて見てますので、一番大変かもしれません。中村、一川、さらには田中も、研究内容については、ほんの一部が被っているところはあるものの、それぞれ独立です。今回の研究室紹介では、中村と田中の研究についてご紹介します。一川研の研究内容についてはまた次以降のサーキュラーで機会があるかと思しますので、期待してお待ちください。

中村研の現在のメンバーは、特別招聘教授として大野先生、助教の田中、技能補佐員の 2 名のスタッフ、D3 が 1 名、M2 が 2 名、M1 が 2 名、B4 が 3 名、B3(3 年生後期から配属になります) が 4 名の全員で 17 名です。大野研時代の“飲む”研究室を引き継ぐつもりでしたが、新型コロナウイルス感染症の流行を境にその伝統も途切れかかっておりました。ようやく一川研と合同で、ここを少し復活してきています。

### 【研究テーマ】

中村研の研究グループは大きく分けて 4 つあり、①生物無機化学グループ、②生物電気化学グループ、③イオン液体グループ、④田中グループです。それぞれについて研究内容を簡単にご紹介します。イオン液体に関する研究は一部ということになってしまっていますが、ご了承ください。

# Laboratory

## ①生物無機化学グループ

このグループは、主に、金属酵素や金属タンパク質をターゲットとし、将来的に使えるものを見つけ出して、構造機能相関について調べています。②のグループでも新しい酸化還元酵素の探索や機能解明なども行ないますが、こちらのグループは環境にやさしい触媒として化学プロセスに利活用できる酵素の発見、機能解明、改良がテーマであり、バイオトランスフォーメーション (BX) 向きの酵素についての研究になります。これまでに色々な金属酵素を扱ってきましたが、現在のところ、鉄型アルコール脱水素酵素 (Fe-ADH) やシトクロム P450 (P450) (図 1) について研究しています。どちらも高い温度環境で生きている菌由来の酵素なので、熱的に安定です。これらの熱的に安定な酵素は、産業応用するのに適したものであると考えています。Fe-ADH はアルコールからアルデヒドへの変換を触媒可能であり、様々な香料の合成に利用できるものと考えています。Fe-ADH については、亜鉛を含む ADH に比べて研究は多くなく、空気に不安定であることが産業応用上不利であると考えられていました。我々は鉄イオンの代わりにニッケルイオンを導入することで空気にも安定でより活性の高い酵素を得ることができることを明らかにしています。また、P450 は、化学的に安定な炭化水素への水酸基の付加反応を部位特異的、立体特異的にワンステップで行えるため、様々な化成品合成の鍵を握る反応の触媒として期待されています。ちょっとまだ報告できるような結果は得られていませんが、これらの酵素をイオン液体中でも使えるようにしたいと思って研究しています。

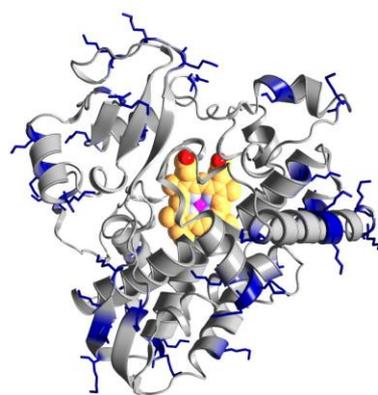


図 1 シトクロム P450 の構造

## ②生物電気化学グループ

このグループはバイオ燃料電池やバイオセンサに関する研究を行っています。これらのデバイスに適した酵素の探索に始まり、電極との電子移動の解析などの基礎研究と、より実用に近いデバイスのプロトタイプの前製なども行ないます。現在力を入れているデバイスとしては、尿中のがんマーカーであるフコースを検出するフコースセンサと、バイオマスから電気エネルギーと有用物質を同時生産する酵素バイオ燃料電池型リアクター (EBFC リアクター) があります。

フコースセンサについての研究は、ピロロキノリンキノン (PQQ) 依存型ピラノース脱水素酵素 (PDH) ががんマーカーであるフコースを特異的に酸化できることを偶然発見したことから始まりました。この酵素を電極触媒として用いて電気化学的なフコース定量センサを作るという研究ですが、そもそも、我々がこの酵素を発見する前までは、PQQ 依存型の酵素は原核生物にしか存在しないと言われており、我々はキノコ (真核生物) からこの酵素を得ており、そういう意味でも新しく、また、そのせいで、非常に苦しめられました。この酵素の初めての論文を投稿したときには、PQQ 依存型酵素は原核生物にしか存在しないと、査読者から言われてリジェクトされました。その後、PQQ がしっかりと保持された酵素の X 線結晶構造解析を行い、ようやく認められ、現在ではバイ

# Laboratory

オマス処理に有効な糖質関連酵素をまとめたデータベース CAZy に、新しいカテゴリーとして PQQ 依存型酵素類の AA12 が設けられるに至っています。センサ作製においても色々試行錯誤し、ようやく妨害物質などの影響を受けずに尿中のフコースを定量できる電極ができ、特許と論文を出すことができました。最初の論文が 2014 年ですので、10 年以上かかったこととなります。

EBFC リアクターは、酸化還元反応を触媒する酵素を電極触媒として用いた酵素バイオ燃料電池を化成品合成器(リアクター)としても用いるというもので、我々が名付けました。バイオマス由来の原料から電気エネルギーと有用化成品を同時に得るもので、グリーントランスフォーメーション(GX)に関連する研究と考えることができると思います。ヨーロッパなどでは甜菜(サトウダイコン)から砂糖を得ますが、搾りかすに含まれる大量のペクチンはほとんど利用されていません。ペクチンを加水分解して得られるガラクトン酸を酸化すればポリマー原料となるガラクトル酸ができます。とりあえず、EBFC リアクターのコンセプトを証明するために、PQQ 依存型のグルコース脱水素酵素(GDH)を電極触媒として用いて、電気エネルギーとガラクトル酸の同時生産が可能であることを示しました(図 2)。

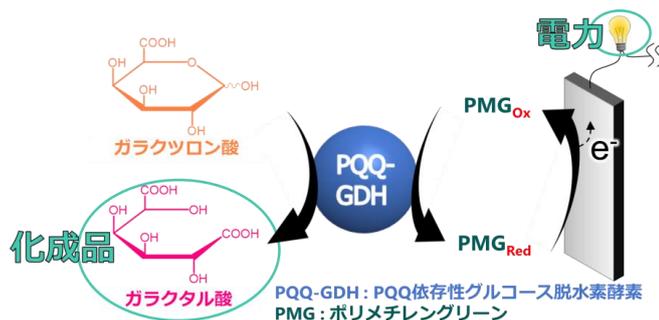


図 2 ガラクトル酸生産用 EBFC リアクターのアノード

現在、最も豊富なバイオマスであるセルロースをターゲットとして、まずは適切な酵素を得るところから行っています。木材やセルロースを溶解するイオン液体について、大野研時代に多くを学んだので、この系とイオン液体と絡めることができればと考えています。

### ③イオン液体グループ

以前は大野研のイオン液体研究を横目で見ながら、バイオとイオン液体について精力的に研究を行っていた藤田恭子先生(現東京薬科大学)のグループのサポーターとしてイオン液体研究に係わっておりました。こここのところ、門前の小僧で得た知識を生かすべく、特に下限臨界溶解温度(LCST)型相転移挙動を示すイオン液体およびそれらを高分子化した材料に関する研究を行っています。イオン液体研究会のサーキュラー17号で紹介した、イオン液体利用の混合エントロピー電池(IL-MEB)の研究も含まれます。この IL-MEB はレドックスフロー電池の代替として利用できると思っていますが、LCST 型相転移挙動そのものも興味深く、まずはその原理などについても知りたいなと思っています。LCST 型相転移挙動を示すイオン液体に重合基を導入し、高分子化すると、上手く行けば

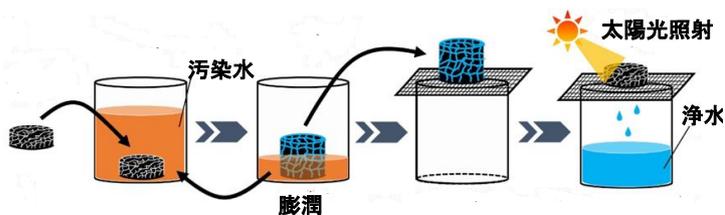


図 3 LCST 型相転移挙動を示す IL ハイドロゲルを用いた水の浄化システム

# Laboratory

LCST 型相転移挙動を示す高分子やゲルが調製できます。LCST 型の相転移挙動を示す IL ハイドロゲルが温度依存的に水を吸脱着できることを用いて、水の浄化を行うシステムを提案しました(図 3)。電気エネルギーなどのインフラが整っていないところでも、太陽光によって浄水が得られるシステムです。LCST 型相転移挙動を示す材料は、色々な用途に応用できそうで、引き続き研究を続けていきたいと思っています。

## ④田中グループ

田中グループでは、有機低分子薄膜の物性(電子伝導・発光など)に関する研究を行っており、特に、分子配向の精密制御の観点から有機電子デバイスや環境発電デバイスの高性能化に資する分子設計・成膜手法を開発しています(図 4)。主に、真空蒸着法により成膜した膜厚 100 nm 程度の非晶質・ガラス状薄膜を研究対象としていますが、非晶質と聞くと、一般的には配向せずランダムな状態を連想します。しかし、成膜過程の再表面は真空と有機薄膜との界面が必ず存在する特殊な成膜環境であることに由来して、興味深い分子配向状態を形成することができます。

特に注力しているのは、真空蒸着により成膜することで分子の永久双極子を膜厚方向に向きを(平均的に)揃えて配向する極性低分子の開発です。すなわち、分極処理を必要とせず成膜するだけで自発分極薄膜を形成でき、振動をエネルギー源とする振動発電デバイス用のエレクトレット材料としての応用が期待できます(詳細は [Chem-Station の記事](#)をご参照いただけますと幸いです)。現在は非イオンの分子設計にとどまっていますが、イオンと分極は非常に相性が良いと予想できるので、イオンを用いた分子設計にも挑戦していく予定です。今後の討論会で発表するまでに進展した際にはご助言をいただけますと幸いです。

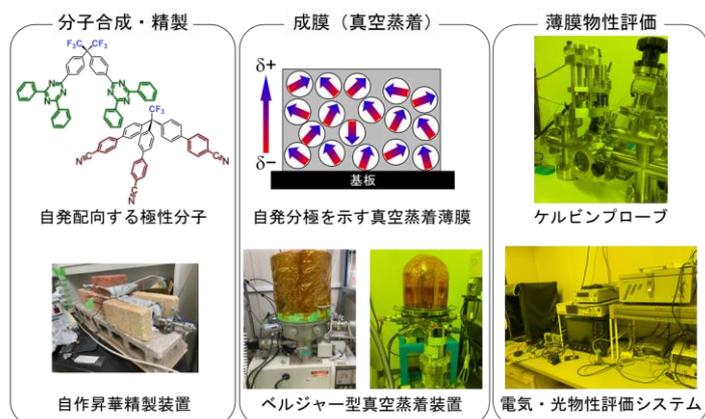


図 4 田中グループの研究および実験設備

## 【おわりに】

人生のすべてを楽しんで、かつ、全力で研究するというモットー(大野研の標語「三倍学んで、三倍遊ぶ」)を大切に、それぞれが、良い意味で自分のために研究している研究室であると思います。ご紹介した研究グループも色々で、一人一人も独立した研究テーマで行っているため、全体としての進み方としてはゆっくりで、実際に行っている学生本人は苦しいかもしれませんが、となりの人がやっている研究を横目で見ながら色々な経験ができることは長い目で見ると良いことなのではないかと思っています。研究室としては、皆様に色々とお教えいただかなくてはいけないことが沢山あることと思いますし、共同研究できることもあるかもしれません。お気軽にお声がけいただき、今後ともよろしくお願ひ致します。

# 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

#### ■ 令和 6(2024)年イオン液体研究会 ■

【日時】2024 年 6 月 14 日(金)

【主催】イオン液体研究会

【会場】東京農工大学小金井キャンパス [アクセス](#)  
140 周年記念会館(エリプス) 3F 多目的ホール  
〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

実行委員長: 中村暢文(東京農工大学)

実行委員 : 一川尚広(東京農工大学)

#### ■ 第 14 回イオン液体討論会 ■

【日時】2024 年 11 月 12(火)-11 月 14 日(木)

11 月 12(火): 若手シンポジウム

【主催】イオン液体研究会

【会場】郡山市中央公民館(郡山駅からバス約 10 分)  
〒963-8876 福島県郡山市麓山一丁目 8 番 4 号  
[中央公民館の周辺地図 \(Google マップ\)](#)

実行委員長: 金久保光央(産業技術総合研究所)

### 関連国際会議

[Faraday Discussion](#) on "Dense Ionic Fluids", July 8-10, 2024

Burlington House, London, UK

[Gordon Research Conference](#)

Ionic Liquids as Transformative Materials for Addressing Challenges in Sustainability, Energy and Health, August 4 - 9, 2024

Grand Summit Hotel at Sunday River, 97 Summit Road, Newry, Maine, United States.

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

Abstract submission deadline | April 12, 2024

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

Perth, Australia

# Editorial Note

## ■編集後記

サーキュラー22号では、九州大学の後藤雅宏先生に、トピックスとして先生のこれまでのご研究を紹介いただきました。第13回イオン液体討論会、若手シンポジウム(第6回若手の会)の開催報告について、新潟大学の韓智海先生・梅林泰宏先生、京都大学の山本貴之先生にそれぞれ執筆いただきました。第13回イオン液体討論会の口頭講演賞・ポスター講演賞の受賞者の皆様にコメントを頂きました。京都大学の石尾吉史さんには、2023 Joint Symposium on Molten Saltsの学会参加報告および Student Poster Award 受賞報告を頂きました。留学体験記として、京都大学の石井浩介さんに Australian Nuclear science and Technology Organization への留学について執筆いただきました。研究室紹介として、東京農工大学の田中正樹先生・中村暢文先生に執筆いただきました。ご多忙の中執筆いただいた皆様に心より御礼申し上げます。

サーキュラーの編集委員を拝命してはや2年が経過し、改めてイオン液体研究の幅広さ、奥深さを味わっております。特に今回のサーキュラーでは、寄稿いただいた内容を通じて、継続することの重要性を感じ取りました。イオン液体のバイオ研究を牽引されている後藤雅宏先生のトピックスでは、イオン液体を溶媒としたタンパク質抽出や酵素反応から、創薬研究に至るまで、イオン液体のバイオ利用に向けた一貫したご研究を紹介いただきました。イオン液体討論会や若手の会は、形式を柔軟にしながら継続的に開催され、イオン液体研究の発展はもちろん、学生の皆様のエンカレッジに多大な貢献を果たしていると感じます。2024年度も引き続き、イオン液体研究会主催の会議や関連する国際会議が開催される予定です。「継続は力なり」という言葉の通り、途切れることなくコツコツ積み重ねることで、チャレンジングな目標の達成や新たな発見につながるものだと、執筆いただいた先生方から鼓舞された気持ちです。今後もサーキュラーの編集を通して、イオン液体の魅力を発信できるよう励みたいと思います。(産業技術総合研究所 河野)

## ■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。

2024年3月 発行