

向科学技術振興財団 国際交流助成成果報告書

助成年度 令和7年度国際交流助成【派遣】
助成番号 MZK2026001
申請者 林 玉青 (Yuqing LIN)
神戸大学先端膜工学研究センター 特命准教授

1. 背景と目的

リチウムをはじめとするクリティカルメタルの回収には、複雑な混合溶液中から目的イオンを高速かつ選択的に分離する膜技術が求められる。しかし、従来のイオン交換膜では、イオン伝導性の向上に伴う膨潤によって選択性や安定性が低下するという課題がある。本研究では、膜内のオングストロームスケールの細孔構造と化学環境を制御し、イオン認識、ふるい分けおよび輸送エネルギー障壁の調節を通じて、高速かつ選択的なイオン輸送を実現することを目指している。



図1：ICOM 2026に参加した日本代表の一部との集合写真（米国・サンアントニオ）

本派遣では、膜科学・膜プロセスに関する国際会議 ICOM 2026 に参加し、「Promotion of Monovalent Ion Transport Enabled by Fast Nanochannels for Efficient Electrodialysis」と題して研究成果を発表した。冠エーテルを導入したポリアミド膜によるイオン選択性ナノチャネルの構築と電気透析への適用を含め、架橋構造および表面選択層を利用した膜設計について紹介した。本派遣の目的は、クリティカルメタル回収に資する研究成果を国際的に発信するとともに、専門家との討論や学術交流を通じて、今後の膜設計と分離プロセスの発展に役立つ知見を得ることであった（図1）。

2. 派遣先（国名・住所・団体等）

アメリカ合衆国テキサス州サンアントニオ

2026 International Congress on Membranes and Membrane Processes (ICOM 2026)

San Antonio Marriott Rivercenter

101 Bowie Street, San Antonio, Texas 78205, USA

3. 派遣期間

令和8年7月17日～令和8年7月25日

4. 成果

本発表では、架橋による膜内部のナノチャネル形成と、表面重合等による選択層構築の二つの観点から、一価イオンの高速・選択的輸送を実現する膜設計について報告した。膜内の電荷配置、水和環境および自由体積を制御することで、一価イオンの輸送を促進しながら、多価イオンの透過を抑制する設計指針を示した。

特に、冠エーテル機能化ポリアミド膜について、DAB15C5を導入したナノチャネルの構築、電気透析への適用、および一価／多価・一価／一価イオン分離に関する研究を紹介した。分子シミュレーションによる自由エネルギー解析では、 K^+ 、 Li^+ および Mg^{2+} の膜内輸送に異なるエネルギー障壁が存在することを示し、イオンと膜との相互作用および細孔内の水和環境が選択性に及ぼす影響を説明した。これにより、従来のサイズ排除や静電排除に加え、冠エーテルとイオンとの選択的相互作用を利用した膜設計の意義を示した。

会議期間中には、膜材料および電気透析を専門とする研究者と、イオン選択性の発現機構や資源回収への応用について意見交換を行った。こうした交流を通じて、膜単体の選択性だけでなく、イオン流束、膜抵抗、耐久性および処理対象溶液の組成を併せて評価する重要性を改めて認識した。特に、分子レベルでの選択的相互作用が、必ずしも実際の混合溶液中での高い分離性能に直結するわけではなく、競合イオンの存在や操作条件も含めて検証する必要があると考えた。また、膜内輸送機構の理解を電気透析における分離性能やエネルギー消費と結び付けることが、材料開発から実用化へ進む上で重要であると再認識した。

さらに、Journal of Membrane Science (JMS) の若手編集委員として同誌の編集委員会に出席するとともに、アジア・オセアニア膜学会 (Aseanian Membrane Society, AMS) の代表としてAMSセッションでの討論に参加した(図2)。これらの活動は、個別の研究成果の発表にとどまらず、学術誌や国際学会を通じた研究成果の共有と研究者間の交流について考える機会となった。日本からの参加者とも交流することができ、国内外の研究者とのつながりを深める貴重な機会となった(図2)。



図2. ICOM 2026におけるアジア・オセアニア膜学会 (AMS) セッション参加者との集合写真 (米国・サンアントニオ)

本会議への参加を通じて、自身の研究を膜材料設計と分離プロセスの両面から見直し、今後取り組むべき課題を整理することができた。今後は、得られた知見をリチウムを含む混合イオン系へ展開し、競合イオンの影響や実液条件下での分離性能を検証することで、電気透析によるクリティカルメタル回収の高効率化につなげる。また、今回の学術交流を継続し、関連分野の研究者との情報交換や共同研究の可能性を探りたい。

謝辞

この度は、一般財団法人向科学技術振興財団のご支援により、ICOM 2026において研究成果を発表するとともに、国内外の研究者との意義深い討論および学術交流の機会を得ることができました。今後の研究の発展につながる貴重な機会を賜りましたことに、深く感謝申し上げます。