

最先端・次世代研究開発支援プログラム  
事後評価書

研究課題名	イオン液体を利用した二酸化炭素物理吸収プロセスの構築
研究機関・部局・職名	日本大学・工学部・准教授
氏名	児玉 大輔

**【研究目的】**

地球温暖化対策技術の一つとして、火力発電所など大規模固定発生源の排出ガスに含まれる二酸化炭素を大気中に拡散させることなく分離回収し、地中や海洋に隔離・貯留する技術開発が進められている。このような大規模技術を実現するためには、分離回収コストを大幅に削減することが重要である。現在、アルカノールアミン類などを利用した化学吸収法が商用プラントとして一部稼働しているが、吸収液の再生コストが 50%を占め、エネルギー消費に著しい問題がある。コスト削減のため、室温程度で駆動可能な低エネルギー再生型吸収液の開発が望まれている。

イオン液体 (IL: Ionic Liquid) は、蒸気圧がほぼゼロとみなせ、熱及び化学的安定性に優れ、従来の溶媒には無い様々な特長を持つことから最近注目されている。このイオン液体を利用し、二酸化炭素の分離回収状態を常圧から高压へ変換できれば、吸収液の再生に蒸留操作などを一切必要とせず、従来の吸収液再生エネルギーコストを大幅に削減できる (図 1, 表 1)。

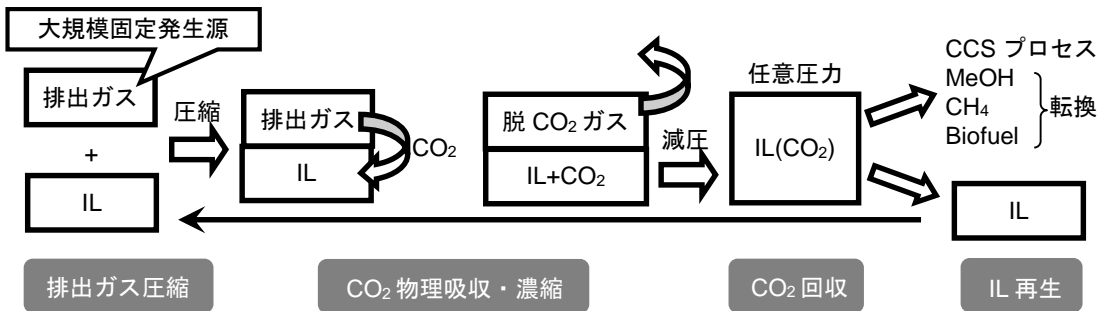


図 1 イオン液体を利用した二酸化炭素物理吸収プロセス概念図

イオン液体を利用し二酸化炭素を分離回収した後、地中や海洋に隔離・貯留する CCS (Carbon-dioxide Capture and Storage) プロセスを設計操作する際、イオン液体の二酸化炭素吸収特性を詳細に把握しておく必要がある。イオン液体-ガス系の研究は、イミダゾリウム系イオン液体を主な対象として、欧米各国を中心に精力的に進められているが、国内では、私の研究グループがイオン液体-二酸化炭素系の *pVT* や溶解度などについての研

表 1 アミン法とイオン液体法の比較

	アミン法	イオン液体法
吸収原理	化学吸収	物理吸収
吸収条件	常温、常圧	常温、 <u>高压 (~10 MPa)</u>
再生条件	<u>高温</u> 、常圧	常温、 <u>任意圧力</u>
吸収液再利用	<u>高温処理</u> 必要	容易

究を開始し始めたばかりで、まだ十分とは言い難い状況である。これまで、アミド型構造(*N,N*-ジメチルホルムアミド; DMF)を持つイオン液体[DMFH][TFSA]を合成し、このイオン液体に対するガス溶解性や選択性、飽和液密度やモル体積濃度挙動などについて明らかにし発表(**特開2009-106909, J. Supercrit. Fluids 52, 189-192 など**)した。

今までの研究において、[DMFH][TFSA]の二酸化炭素溶解度は、同じアニオン骨格を持つイミダゾリウム系イオン液体の[BMIM][TFSA]と同等で、同圧下では温度降下に伴い溶解度が增加することを明らかにした。一方、モル体積ベースでは、カチオンの分子量に起因し、二酸化炭素の吸収量が増大することを確認(図2)した。今後さらに低エネルギー再生型吸収液を開発するためには、高価なイミダゾリウム系イオン液体ではなく、安価で化学的安定性に優れたイオン液体を対象に、二酸化炭素など酸性ガス溶解メカニズムの検討を早急に進める必要がある。

本研究では、室温程度で駆動可能なガス吸収液を合成し、ガス溶解メカニズムを解明するとともに、熱力学物性推算モデルからガス吸収効果や平衡物性と輸送物性との関連性を明らかにする。また、イオン液体混合溶液のマクロ相分離を用い、溶媒特性や機能を制御し、晶析や分離精製など特異的な場としての応用を試みる。

具体的には、アニオンにリチウム塩を用いたイオン液体を新たに合成し、二酸化炭素溶解メカニズムを解明する。現在、リチウム塩をアニオンに用いたイオン液体を二次電池や蓄電器などの電解質に用いる検討がなされているが、ガス吸収特性データは皆無であり、電気化学的エネルギー変換デバイスの安全性を担保する意味でも本研究は重要である。イオン液体のガス吸収量がガス成分の種類によってどの程度異なるのか、二酸化炭素だけでなく硫黄酸化物や窒素酸化物についても研究を進める。また、イオン液体の粘度を系統的に測定し、平衡物性と輸送物性との関連性を明らかにする。量子化学計算による熱力学物性推算モデルからイオン液体-二酸化炭素系のガス吸収効果について議論し、イオン液体の合成計画に反映させる。アルカノールアミン類などを利用した化学吸収法に代わり、イオン液体を利用した低コストで環境負荷の低い二酸化炭素吸収プロセスの構築を目指す。さらに、イオン液体混合溶液に二酸化炭素を作用させた際のマクロ相分離が、晶析や分離精製に展開可能か検証する。

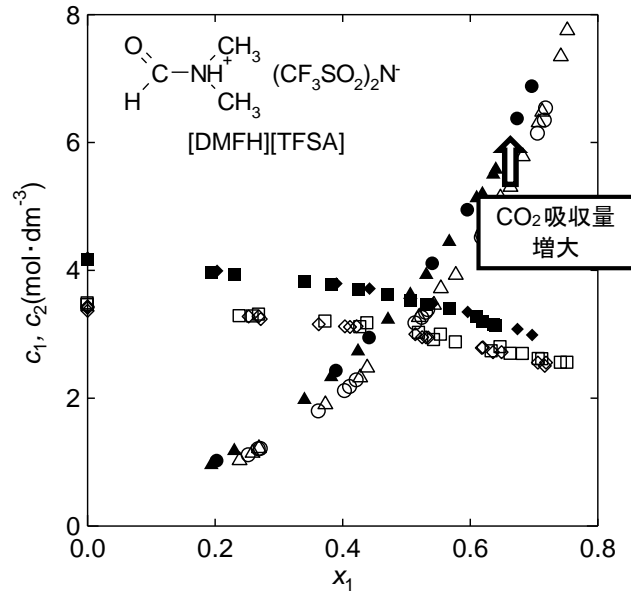


図2 イオン液体の二酸化炭素吸収量

[DMFH][TFSA]  
 二酸化炭素体積濃度  $a_1$ : ●: 25°C, ▲: 40°C  
 イオン液体体積濃度  $a_2$ : ■: 25°C, ◆: 40°C  
 [BMIM][TFSA]  
 二酸化炭素体積濃度  $a_1$ : ○: 25°C, △: 40°C  
 イオン液体体積濃度  $a_2$ : □: 25°C, ◇: 40°C

【総合評価】	
○	特に優れた成果が得られている
	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】	
① 総合所見	
<p>イオン液体の溶解度・相平衡および輸送物性に関する基礎研究では、国としての技術的レベルの確保が重要である。その意味で本研究課題の独自性・重要性は高い。本研究課題では、これまで世界中の研究者が主に使用してきたイミダゾリウム系のイオン液体が高価であることを指摘し、安価なイオン液体を合成することを目的の一つとしている。</p> <p>安価で高効率なガス吸収液の開発では、対称グリコールエーテルのグライムにリチウム塩を添加した溶液を合成し、常圧・高圧振動管式密度計や容量体積可変型溶解度測定装置などを用い、溶液の基本的性質と二酸化炭素吸収特性について評価を進めた。</p> <p>また、従来プロセスの化学吸収法（アミン法）と本研究で提案している物理吸収法（イオン液体法）でのエネルギー効率差に基づき算定し、イオン液体を利用した二酸化炭素物理吸収プロセスは、従来の化学吸収法によるプロセスと比較し 1/3 の二酸化炭素排出量で、二酸化炭素排出の総合収支での削減率は 22%の見込みになること、プラントを大型化し二酸化炭素処理量を増加させると熱消費量の更なる低減が見込まれること、石炭ガス化複合発電ではガスを圧縮するポンプ動力のエネルギー源が不要となり、さらに二酸化炭素排出量を削減できること、開発した吸収液ごとにプロセスシミュレータなどによる試算を継続的に進めていくことを明らかにした点は高く評価される。</p>	

② 目的の達成状況	
<p>・ 所期の目的が  <input checked="" type="checkbox"/> 全て達成された ・ <input type="checkbox"/> 一部達成された ・ <input type="checkbox"/> 達成されなかった</p>	
<p>安価で高効率なガス吸収液の開発では、対称グリコールエーテルのグライムにリチウム塩を添加した溶液を合成し、常圧・高圧振動管式密度計や容量体積可変型溶解度測定装置などを用い、溶液の基本的性質と二酸化炭素吸収特性について評価を進めた。</p> <p>これら研究成果に関しては、エンジニアリング会社や化学会社などからの問い合わせが多数あり、共同での予算申請や共同研究契約に繋がった。また、物理吸収プロセスの評価については、エンジニアリング会社や他大学などとの協力体制もでき、本プロセスの実用化に向けた成果を出すことができたことは評価に値する。</p>	

### ③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が  
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が  
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

基礎研究の面からみると、非対称混合系の高圧相平衡関係と同じ条件での飽和液体密度・粘度の同時測定を可能にする装置開発は世界的にも類を見ない。実用面では、二酸化炭素の大気中濃度増加抑制の基礎技術の吸収媒体として、より有効なイオン液体分子の探索も期待できる点に先進性、優位性があると思われる。

二酸化炭素の分離回収状態を、常圧から高圧に変換することで吸収液の再生に蒸留操作が不要になり、エネルギーコストを大幅に削減できるだけでなく、**プロセス全体での二酸化炭素総排出量も大きく低減できる**。また、Selexol 液など物理吸収液やアミン系化学吸収液と比べ、揮発による環境汚染の防止、吸収液の劣化やロスの低減を図ることができ、経済性も極めて優れる。さらに、単位体積あたりの二酸化炭素吸収性に優れるため、石炭ガス化複合発電の排ガス前処理など高濃度二酸化炭素排出源に広く適用可能であり、ガス吸収装置の小型化にも寄与できる。

当初の目的の他、イオン液体がメタンハイドレートの生成を促進する成果は、学術的にも工業的にも意味のある成果であると考えられる。

### ④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

イオン液体を利用し二酸化炭素などを回収する物理吸収法では、従来の化学吸収法で必要であった吸収液再生エネルギーの大半が不要となるため、分離回収エネルギー消費量を約 1/3 程度削減可能と考えられる。大規模隔離技術全体における分離回収エネルギーが占める割合は、従来技術で約 70%とされていることから、**隔離技術全体で約 50%低減されたプロセスの構築が期待できる**。また、本研究の進捗によって、イオン液体の大量生産化や製造コスト低減化により、更なる応用分野の広がりにつながり、ひいては我が国の省エネルギー化に大きく貢献できると考えられる。

### ⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

予期していなかった天災と原子力発電所事故の影響で計画どおりに進まなかった面があるが、全体としてはほぼ順当なマネジメントが行われていると考えられる。ただ、査読有の論文数がまだ3件と少ない。今後の積極的な公表が望まれる。

イオン液体による CO<sub>2</sub> 吸収技術の研究開発は海外でも盛んに行われており、本研究の優位性と位置づけをはっきりさせるためには海外の査読論文で発表することは重要である。