

補助事業番号 2024M-550

補助事業名 2024年度 ハイドレートによる淡水・塩同時回収技術 補助事業

補助事業者名 大村 亮

1 研究の概要

ハイドレート生成、分解を用いた海水淡水化および製塩を今までより大きなスケールで実現することを目的として研究を行った。ハイドレートは海水からハイドレート法による海水淡水化および製塩では廃棄物が排出されないため、環境に優しい手法である。使用するハイドレートは、安全性と共焦点の観点から考慮してCO₂ハイドレートを採用した。本事業では海水淡水化プラントの設計、運転に必要なデータとして相平衡条件の測定を行った。また、結晶成長観察によりハイドレートの生成分解動特性を解明した。本事業で得られた研究成果の一部は国際学術論文として世界に公表した。本事業を通じ、ハイドレートによる淡水・塩同時回収技術開発の基盤となり得る知見を得られた。

2 研究の目的と背景

本研究の目的は、ハイドレートの生成・分解を用いた海水淡水化および製塩を今までより大きなスケールで実現させることである。ハイドレート法による海水淡水化および製塩では廃棄物が排出されない、環境に優しい手法である。背景としては、全世界的に水不足が加速する中RO法（逆浸透膜法）という海水淡水化技術が普及しつつある。RO法とは浸透圧以上に加圧した海水を半透膜に通すことで淡水を得る方法である。しかし、RO法では膜の耐久性の問題から塩濃度6～7%までしか濃縮できず、淡水の回収率は55%に留まっている。また、濃縮された海水は海に廃棄されており、環境への影響が懸念される。さらに、濃縮された海水を海に廃棄するのではなく、塩を取り出して有効活用することが望ましい。ハイドレート法によって、海水淡水化と製塩を同時に行い、これらの課題の解決を目指す。図1にハイドレート法による海水淡水化プロセスの概略図を示す。

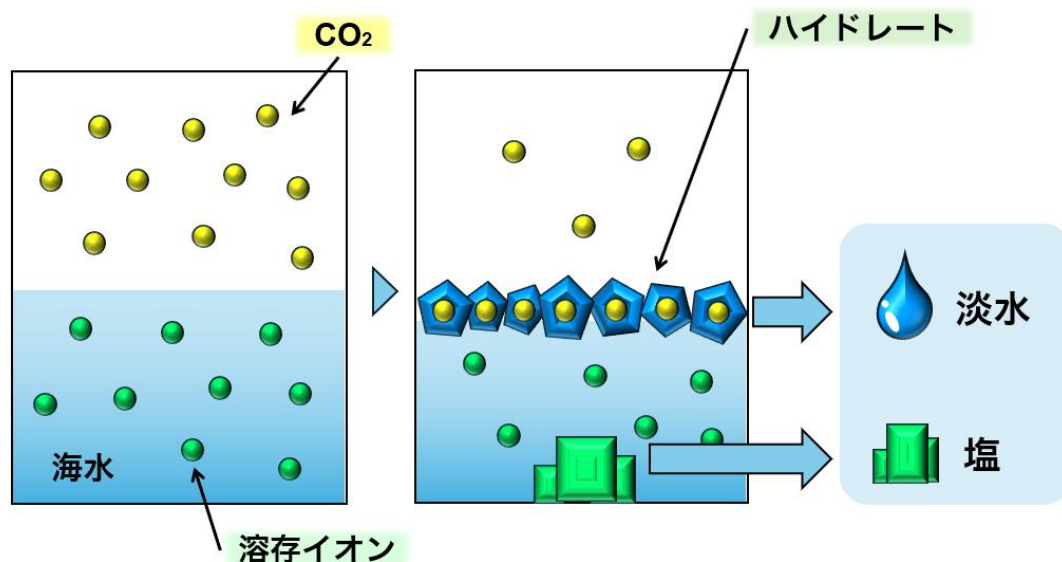


図1 ハイドレート法による海水淡水化プロセスの概略図

3 研究内容

(1)相平衡条件測定

NaCl 水溶液+CO₂系における CO₂ハイドレートの相平衡条件の測定を行った。ハイドレートが生成する限界の温度・圧力条件である相平衡条件の理解は、ハイドレート法による海水淡水化技術の実用化に不可欠である。本研究で測定した NaCl 水溶液の濃度は質量分率 0.20 とした。ハイドレート法による海水淡水化技術は CO₂ハイドレートと塩の同時回収を 1 つの目的としており、測定した濃度は 2 つの固体が同時に生成する共焦点に近い値である。

(2)ハイドレート結晶成長観察

質量分率0.20のNaCl水溶液系におけるCO₂ハイドレートの結晶成長の観察を行った。ハイドレートの結晶形態はハイドレートスラリ（水とハイドレートの混合物）の機械的性質に影響する。そのため工業スケールにおける海水淡水化処理能力の向上のためには高濃度海水におけるハイドレートの結晶形態の理解が欠かせない。ハイドレートの結晶形態は、系の圧力における相平衡温度と系の温度の差（サブクール温度）に依存することが報告されており、サブクール温度を変化させて高濃度NaCl水溶液におけるCO₂ハイドレートの結晶成長の観察を行った。

(3)プラントの概念設計・基本設計

従来のハイドレート連続生成装置を参考に、前段階予冷装置・ガス駅混合装置・ハイドレート生成管・密度分離装置・塩取り出し弁・ハイドレート脱水装置を有したプラントの概念設計および基本設計を行った。これまでの基礎研究で測定されたハイドレートの相平衡条件をもとに、システム圧力・温度を決定した。また、実際のフローにおいて問題なく運転できるようモニタリングするため、各所に温度・圧力計を設置した。さらに、実際のラボプラントで使用する圧力計、チラー、配管の径、材質の決定も行った。

(4)ハイドレート連続生成実験

ハイドレート連続生成プロセスは、従来のバッチ式における生成速度の制約を解消し、固相濃度の増加に伴う生産効率の飛躍的な向上を可能にする。一方で、濃度上昇は、流動性の悪化や配管壁面への付着によるシステム閉塞を引き起こす。本研究では、この生成量の増加と閉塞しない連続安定運転を両立させる最適な運転条件を見出した。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で設計したプラントを、計測した相平衡条件と結晶成長分解挙動を利用して運転することで、海水淡水化および製塩を現状より大きなスケールで実現できる。ハイドレートをを用いた海水淡水化技術は、真水の回収率が高く、廃棄物も発生しないため、環境負荷の低い淡水化技術として普及することが期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業は研究代表者が長年研究対象としてきたクラスレートハイドレートの物性研究の一環として、海水淡水化にハイドレートを利用することを目的として、NaCl水溶液におけるCO₂ハイドレートの物性測定および結晶成長観察、さらには連続生成実験と、プラント建設に向けた概念設計・基本設計を行ったものである。これまで研究代表者は環境・エネルギー問題の解決に向けて研究に取り組んできた。本事業は人口増加や地球温暖化に伴う淡水需要の増加に対し、ハイドレートをを用いて低環境負荷の淡水生産技術の開発を目指している。研究代表者がこれまで培ってきたハイドレートの物性測定および結晶観察の知見を活かし本事業に取り組んだ。未報告であったハイドレートの物性値と結晶成長挙動を明らかにしたという点において、研究代表者はハイドレートをを用いた海水淡水化の技術開発を一步前進させたと言える。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

Akari Gibo, Seiya Nakao, Ryo Ohmura, Keita Yasuda, “Eutectic conditions of carbon dioxide clathrate hydrate and sodium Chloride: Implications for zero liquid discharge seawater desalination”, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, available online; DOI: 10.1016/j.jiec.2024.12.041

Ryonosuke Kasai, Leo Kamiya, Keita Yasuda, Ryo Ohmura, Dynamics and Morphology of CO₂ Hydrate Crystals Formed in Highly Concentrated Sodium Chloride Aqueous Solution. ACS Sustainable Resour. Manage. 2025, 2 (9), 1769–1775.
<https://doi.org/10.1021/acssusresmg.5c00269>.

Yuta Agatsuma, Mion Orita, Yukari Sukegawa, Kouki Mekaru, Rinnosuke Tamaki, Ryo Ohmura, Keita Yasuda, “Eutectic crystallization of cyclopentane clathrate hydrate and calcium sulfate: Implications for seawater desalination”, Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 13, 2025, Paper ID:118029, DOI: 10.1016/j.jece.2025.118029.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 大村研究室(ケイオウギジユクダイガク リコウガクブ キカイコウガクカ オオムラケンキュウシツ)

住 所： 〒223-8582

神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1 35-103

担 当 者： 大村亮(オオムラリョウ)教授

担 当 部 署： 慶應義塾大学 理工学部 機械工学科(ケイオウギジユクダイガク リコウガクブ キカイコウガクカ)

E - m a i l: rohmura@mech.keio.ac.jp

U R L: <https://www.ohmura.mech.keio.ac.jp>

