

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/15/2020

専攻名 (専門分野) Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	佐藤 航平	指導 教員 Advisor	中垣 隆雄 印 Seal
研究指導名 Research guidance	エクセルギー工学	学籍番号 Student ID number	5218B036-2		
研究題目 Title	廃かん水を用いた有価物併産 CO <sub>2</sub> 固定化プロセス ～プロセスごとの要求仕様の明確化～				

## 1. 緒言

IPCC や IEA の報告書に産業革命以前からの気温上昇を 2 °C 未満に抑制する「2 °C シナリオ(2DS)」が記載されており、そのためには 2100 年までに人為的 CO<sub>2</sub> 排出量を正味ゼロ以下にする必要がある。現在、CO<sub>2</sub> 回収技術は化学吸収法、CO<sub>2</sub> 隔離技術としては地下貯留が主流だが、単純埋設では収益を期待できないため、導入促進策が打たれない限り普及拡大には時間がかかる。したがって、CCS に加え、生成物により利益創出可能な CO<sub>2</sub> 固定化技術も必要である。その代表例として、石油増進回収法(EOR)や有機・無機物への固定化(CCU)があるが、最も量的寄与の期待できる EOR でも 2DS の達成に必要な CO<sub>2</sub> 削減量の数%程度である。CO<sub>2</sub> の有機物への固定は収益こそ期待できるが、CO<sub>2</sub> の固定期間は数か月から数十年と短い欠点もある。

固定期間の長い有価物併産 CO<sub>2</sub> 隔離技術として、アルカリ土類金属(Mg, Ca)を用いた CO<sub>2</sub> 固定化法が挙げられる。十分に長い固定期間に加え、CO<sub>2</sub> の鉱化による炭酸塩(骨材)としての収益化も期待され、政府のカーボンリサイクル技術にも早期の社会実装が明記されている。

## 2. Brine to Bricks プロセス

本研究では Mg 源として、海水淡水化プラントの廃かん水中 Mg に着目した。従来の Mg 利用の CO<sub>2</sub> 固定化法は、薬品添加などの外部依存の CO<sub>2</sub> 排出の懸念がある。そこで、添加物を内部でリサイクルした CO<sub>2</sub> 固定化プロセスとして、Brine to Bricks(BtB)を提案してきた(図 1)。本プロセスは 5 つの単位操作

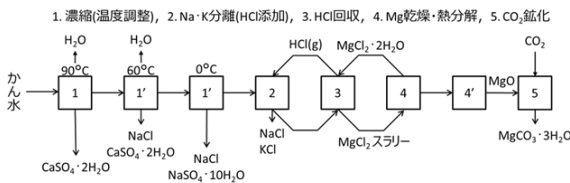


図 1 BtB プロセス概要

(1)~(5)で構成されており、(1)かん水を蒸発濃縮し、脱塩範囲内で塩を沈殿させ、CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O、NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O および H<sub>2</sub>O を回収する。(2)濃縮かん水に無水 HCl ガスを添加し、NaCl および KCl を沈殿させ、回収する。(3)HCl を含むかん水に固体の MgCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O を添加し、HCl を回収する。この HCl を(2)で再利用し、添加物の新規生産を回避する。(4)HCl 回収後に得られるスラリー状の MgCl<sub>2</sub> を MgCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O まで乾燥させ、得られた MgCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O の一部を(3)の HCl 回収に使い、残りを昇温することで、MgO を生成する。(5)MgO を CO<sub>2</sub> 鉱化する。本プロセスは、Aspen Plus および Phreeqc によるシミュレーション、およびプラスコスケールでの実験で成立の見通しが得られている。

## 3. 蒸発濃縮プロセス

水の蒸発は膨大なエンタルピーを必要とし、操作に必要なエネルギーは蒸発方法により大きく変化する。そこで、操作に必要なエネルギーを低減した上で、有価物を単一化合物として回収可能な蒸発方法を検討した。有価物の析出条件を調査した結果、蒸発率の高精度な管理(~82%)が必要と判明した。そこで、蒸発率の管理が容易かつ操作に必要なエネルギーを低減可能な、濡れ壁と送風機を組み合わせた蒸発装置(図 2)を提案する。大規模淡水化プラント(100,000 m<sup>3</sup>/day)に本装置を適用した場合の、電力量(E)および敷地面積(A)を計算した。まず、水の局所蒸発速

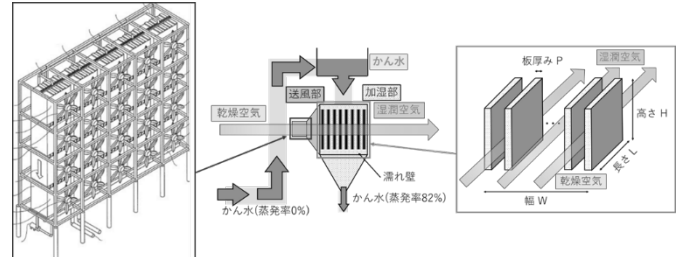


図 2 送風蒸発装置

度分布を定常 2 次元モデルにより算出した(図 3)。水の蒸発速度に影響を及ぼすパラメータは、空気温度(T<sub>a</sub>)、相対湿度(φ)、かん水温度(T<sub>w</sub>)、水膜厚(t)、かん水の落下速度(V<sub>w</sub>)、風速(V<sub>a</sub>)、板間隔(δ)、板長さ(L)および板高さ(H)の 9 種類である。T<sub>a</sub>、φ および T<sub>w</sub> は気候など現地の環境に依存する。t は薄いほど水の比表面積が増大し、蒸発速度が向上するため、水膜が破断しない範囲での最小値 [1] とした。V<sub>w</sub> は t の関数とした。H は 50 m 以下とし、上限値でも蒸発率が 82% に至らない場合、底部かん水を再度濡れ壁の上部へ循環するとした。E は送風機とポンプの駆動電力とし、圧力損失および流量から計算される。1 つのケーススタディとして、

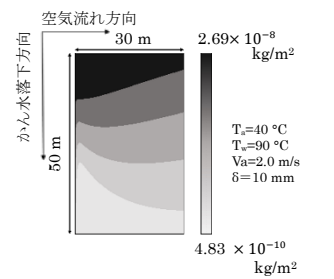


図 3 局所蒸発速度分布

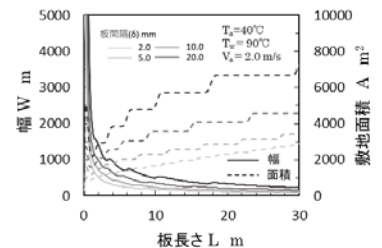


図 4 板長さに対する幅

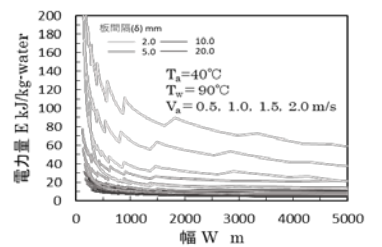


図 5 幅に対する電力量

## 4. CO<sub>2</sub> 鉱物化プロセス

MgO を用いた CO<sub>2</sub> の鉱物化には、湿度の管理が重要である。これは、「MgO 粒子表面に H<sub>2</sub>O 膜が形成され、CO<sub>2</sub> のイオン化促進」および「MgO 粒子内部に H<sub>2</sub>O が拡散し、Mg<sup>2+</sup> イオンを外殻方向へ輸送するパスの形成」のためである。そこで、NaCl、KCl および H<sub>2</sub>O を組み合わせた湿度管理法を確立した。また、MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 由来の MgO の CO<sub>2</sub> 鉱物化促進法として、(i) MgO 薄膜化による総比表面積の増大、(ii) 熱分解温度制限による MgO の結晶度抑制、(iii) MgCO<sub>3</sub> 添加による結晶成長エネルギーの低減のいずれも有効であることを実験にて確認した。

[1] 小泉安郎、他「垂直円管外等温流下液膜の最小ぬれ膜厚量に関する研究。」日本機械学会論文集 B 編 65.638 (1999) : 3414-3421.