

海水に通電することで CO₂をミネラルとして固定化

東京科学大学 物質理工学院 材料系
准教授 磯部 敏宏

2026年6月25日

背景：気候変動の緩和

年間100～200億トンのCO₂を除去する必要 →CO₂の排出を0にするだけでは不十分 [1]

ネガティブエミッション技術 (NETs)：大気中のCO₂を回収・吸収し、貯留・固定化することで大気中のCO₂除去する技術

植林・再生林	植林は新規エリアの森林化、再生林は自然や人の活動によって減少した森林への植林	[2]
土壌炭素貯留	バイオマスを土壌に貯蔵・管理する技術(自然分解によるCO ₂ 発生を防ぐ)	
バイオ炭	バイオマスを炭化し炭素を固定する技術	
BECCS	バイオマスの燃焼により発生したCO ₂ を回収・貯留する技術	
DACCS	大気中のCO ₂ を直接回収し貯留する技術	
風化促進	玄武岩などの岩石を粉砕・散布し、風化を人工的に促進する技術。風化の過程(炭酸塩化)でCO ₂ を吸収	
海洋肥沃・生育促進	海洋への養分散布や優良生物品種等を利用することにより生物学的生産を促してCO ₂ 吸収・固定化を人工的に加速する技術。大気中からのCO ₂ の吸収量の増加を見込む。	
植物残差海洋隔離	海洋中で植物残差に含まれる炭素を半永久的に隔離する方法(自然分解によるCO ₂ 発生を防ぐ) ブルーカーボンのみならず外部からの投入を含む	
海洋アルカリ化	海水にアルカリ性の物質を添加し、海洋の自然な炭素吸収を促進する炭素除去の方法	
DOC	海水に溶け込んだCO ₂ 、炭酸イオンを電気化学的な方法で回収する技術	

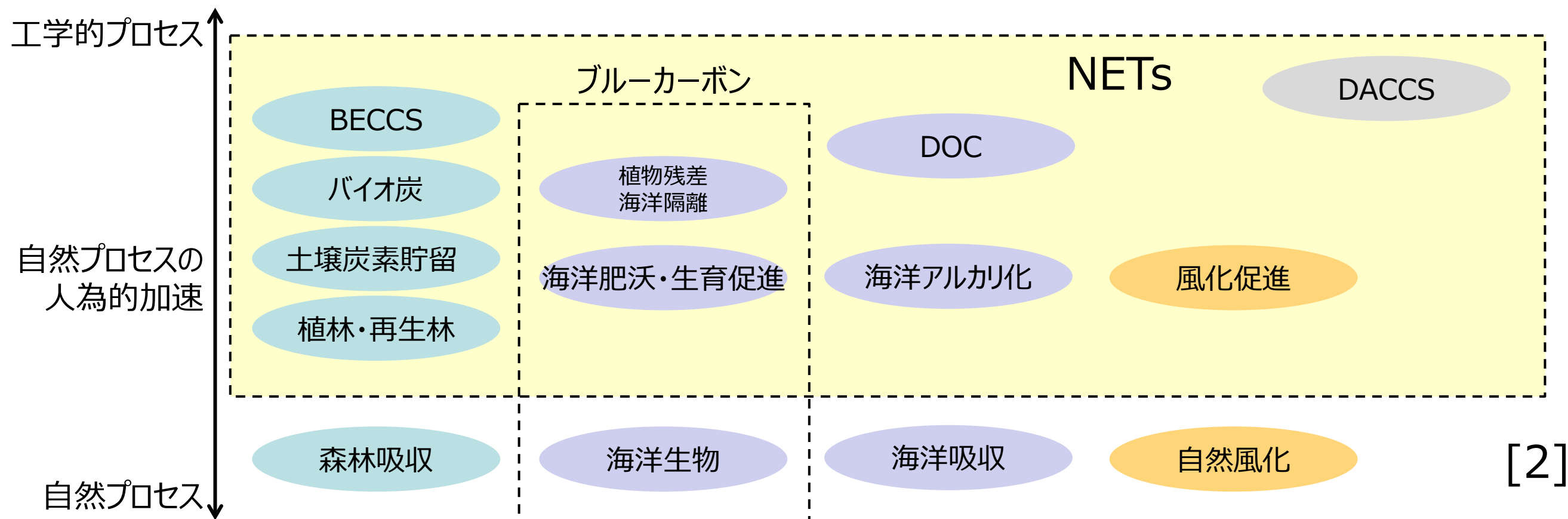
[1] K. Lebling et al., Ocean-based Carbon Dioxide Removal: 6 Key Questions, Answered (2022).

[2] NEDO,「ネガティブエミッション技術(NETs)について」

背景：気候変動の緩和

年間100～200億トンのCO₂を除去する必要 → CO₂の排出を0にするだけでは不十分 [1]

ネガティブエミッション技術 (NETs)：大気中のCO₂を回収・吸収し、貯留・固定化することで大気中のCO₂除去する技術



[1] K. Lebling et al., Ocean-based Carbon Dioxide Removal: 6 Key Questions, Answered (2022).

[2] NEDO, 「ネガティブエミッション技術(NETs)について」を参考に作図

Direct Ocean Capture (DOC)の先行研究 [3]

海洋表層海水を電解処理

重炭酸イオン及び炭酸イオン

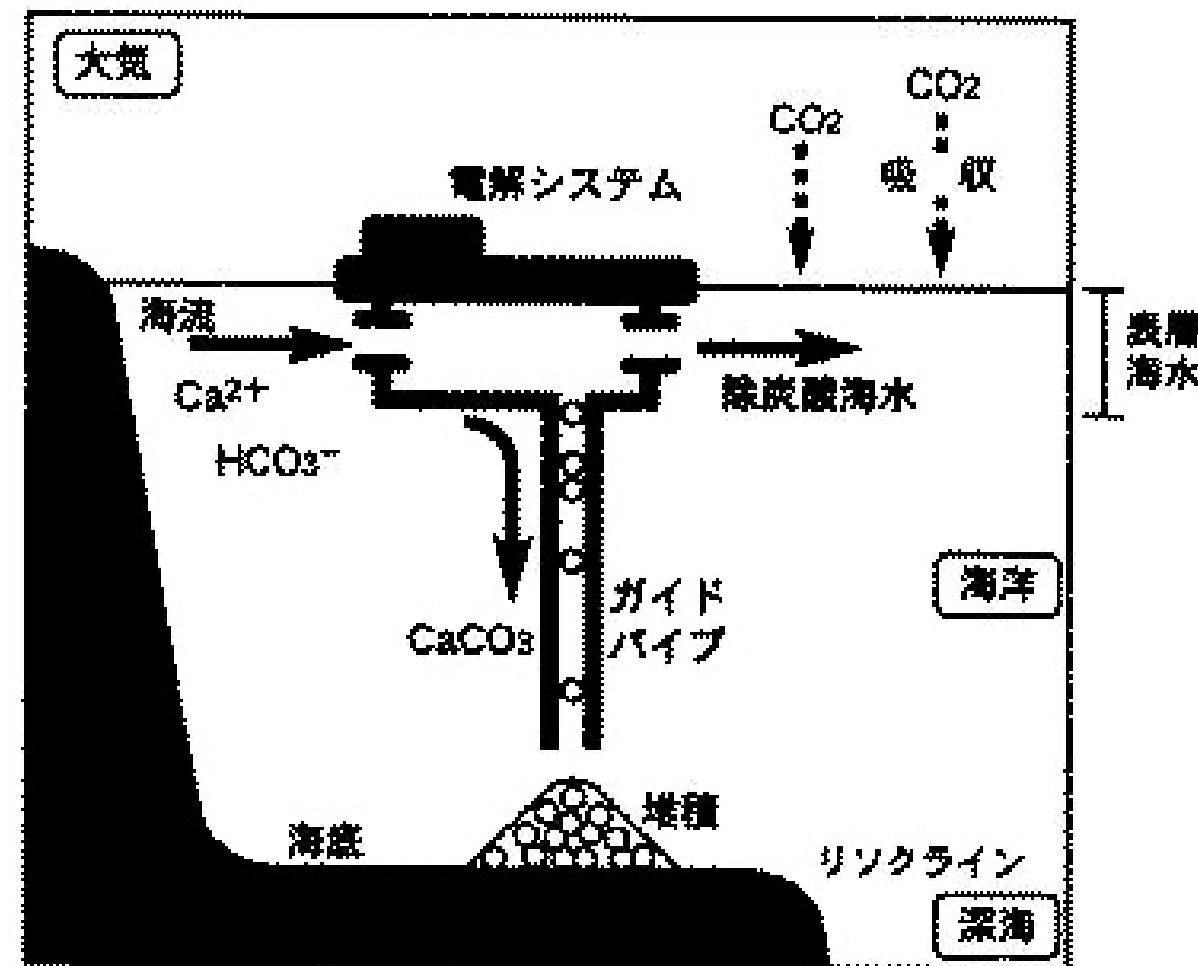
+

カルシウム及びマグネシウム

↓

不溶性炭酸塩を生成

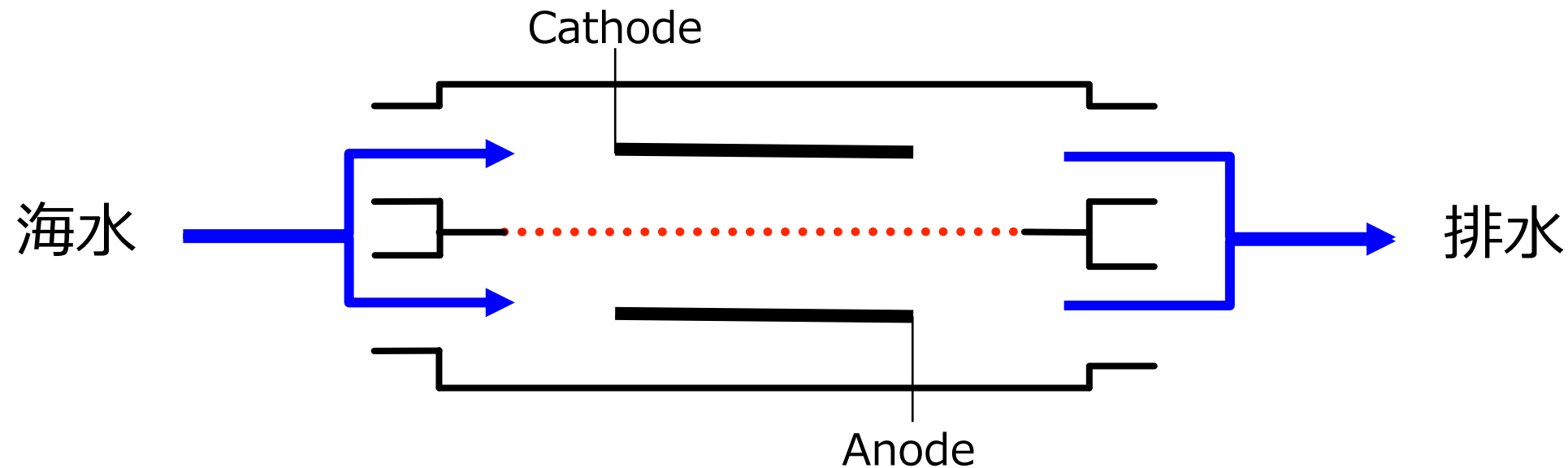
→海水中に含まれる重炭酸イオン及び炭酸イオンを固定化



Direct Ocean Capture (DOC)の先行研究 [4]

海水中の Ca^{2+} と炭酸種イオンを電気化学的に反応させ、 CaCO_3 を生成することで海洋の CO_2 吸収促進

- カソード側で $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + 0.5\text{H}_2$
- フロー型電解処理により、カソード側で H_2 ガスと2～20 μm の CaCO_3 微粒子、アノード側で少量の O_2 ガスが生成
- 電解処理中に CO_2 の気相放出はなく、処理後の海水はpH 8.3～8.7（元の海水より少しだけ高い）
- 生成した沈殿物：aragonite (CaCO_3) brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) →生成量や組成は電解条件によって変化
- 炭酸イオンを CaCO_3 として海底に固定・隔離 → 海洋表層の大気 CO_2 吸収を促進？



新技術のコンセプト

- やりたいこと

カソード側の海水中で以下の反応



※ただし、 0.5H_2 は H^+ 、 HCO_3^- などの形で海水中に存在しても良い

- 前提条件

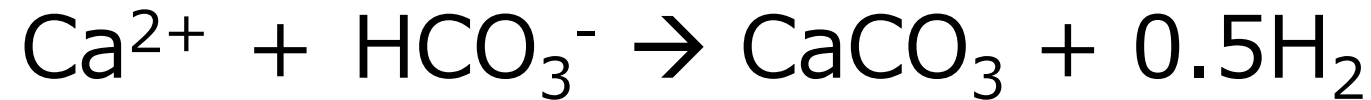
- 運転に化石燃料を使わない → 太陽電池を想定し、5V以下で運転
- 連続式チャンバーで反応を想定したバッチ実験
- 添加剤は使わない
- CaCO_3 の溶解度積から、pH

- 目標

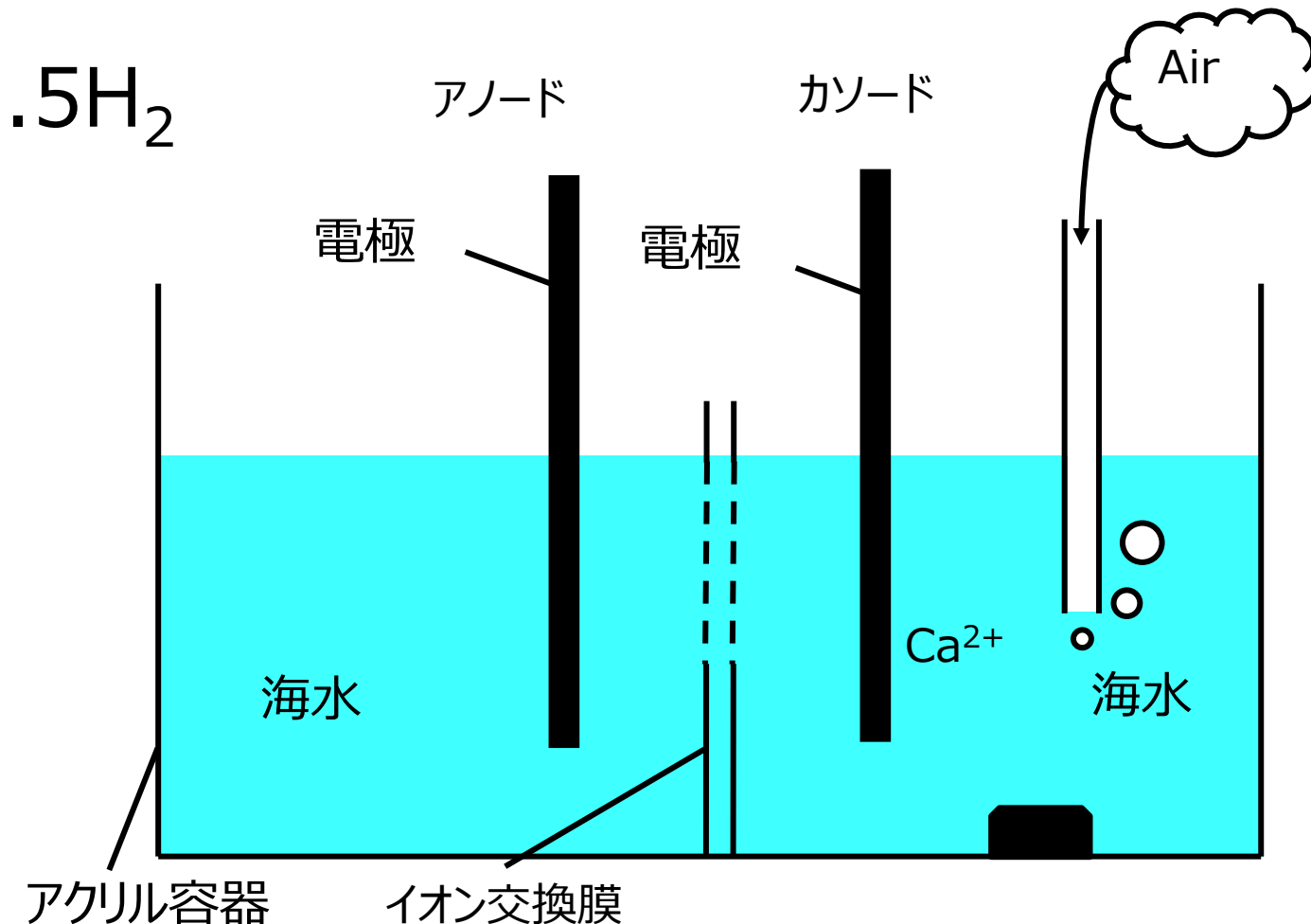
- エネルギー効率の高いプロセス → 高純度の CaCO_3
- 沈殿物の資源化 → 高純度の CaCO_3 ?
- 副生成物の少ないプロセス、又は、副生成物が出ても容易に回収できるシステム

新技術の特徴

- やりたいこと
カソード側の海水中で以下の反応

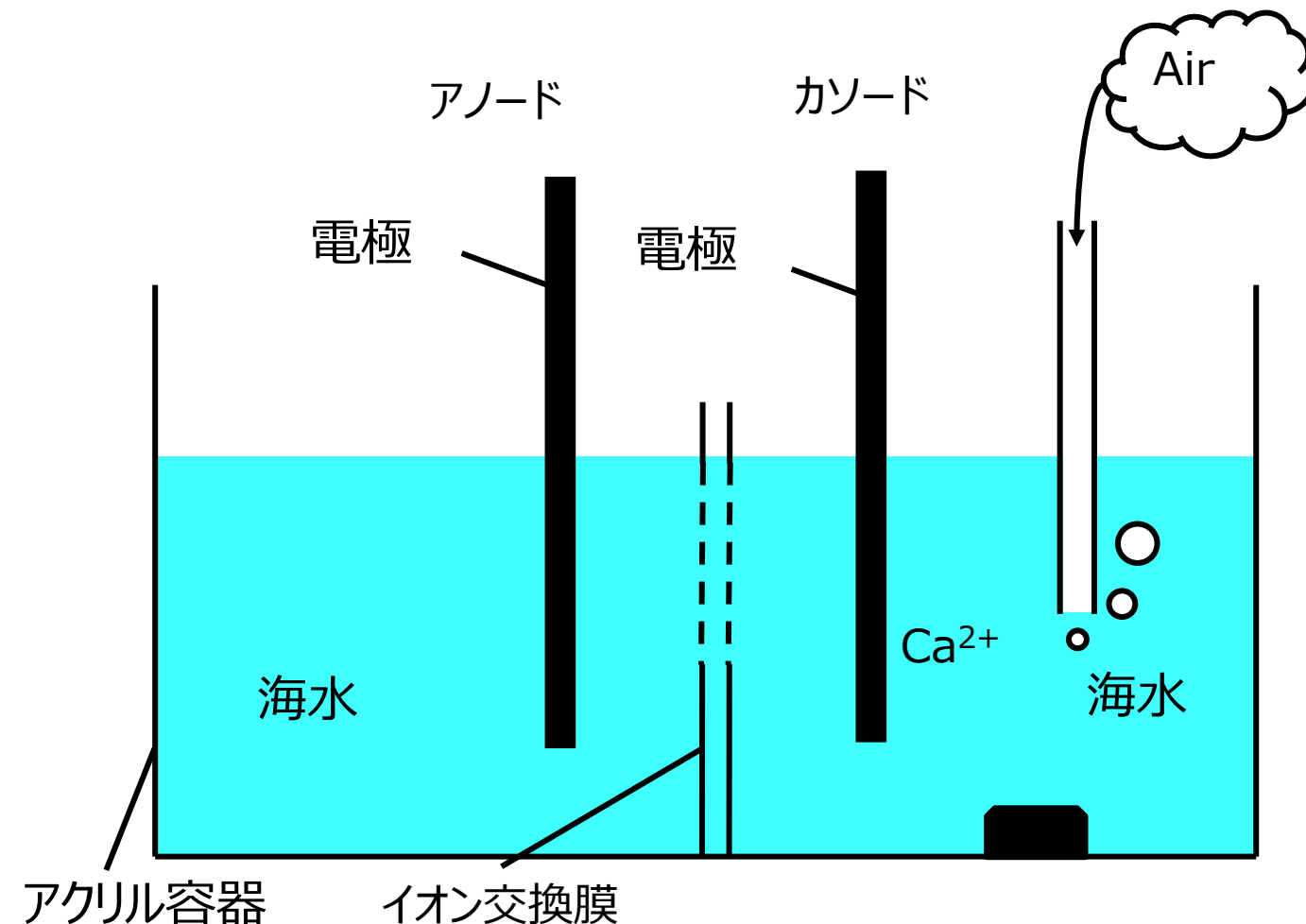


- 反応の促進法
 - Ca^{2+} の高濃度化
 - 通電による電気泳動
→カソード付近で Ca^{2+} 高濃度化
 - CO_3^{2-} の効率的な供給
 - 例えば、空気のバブリングなど？



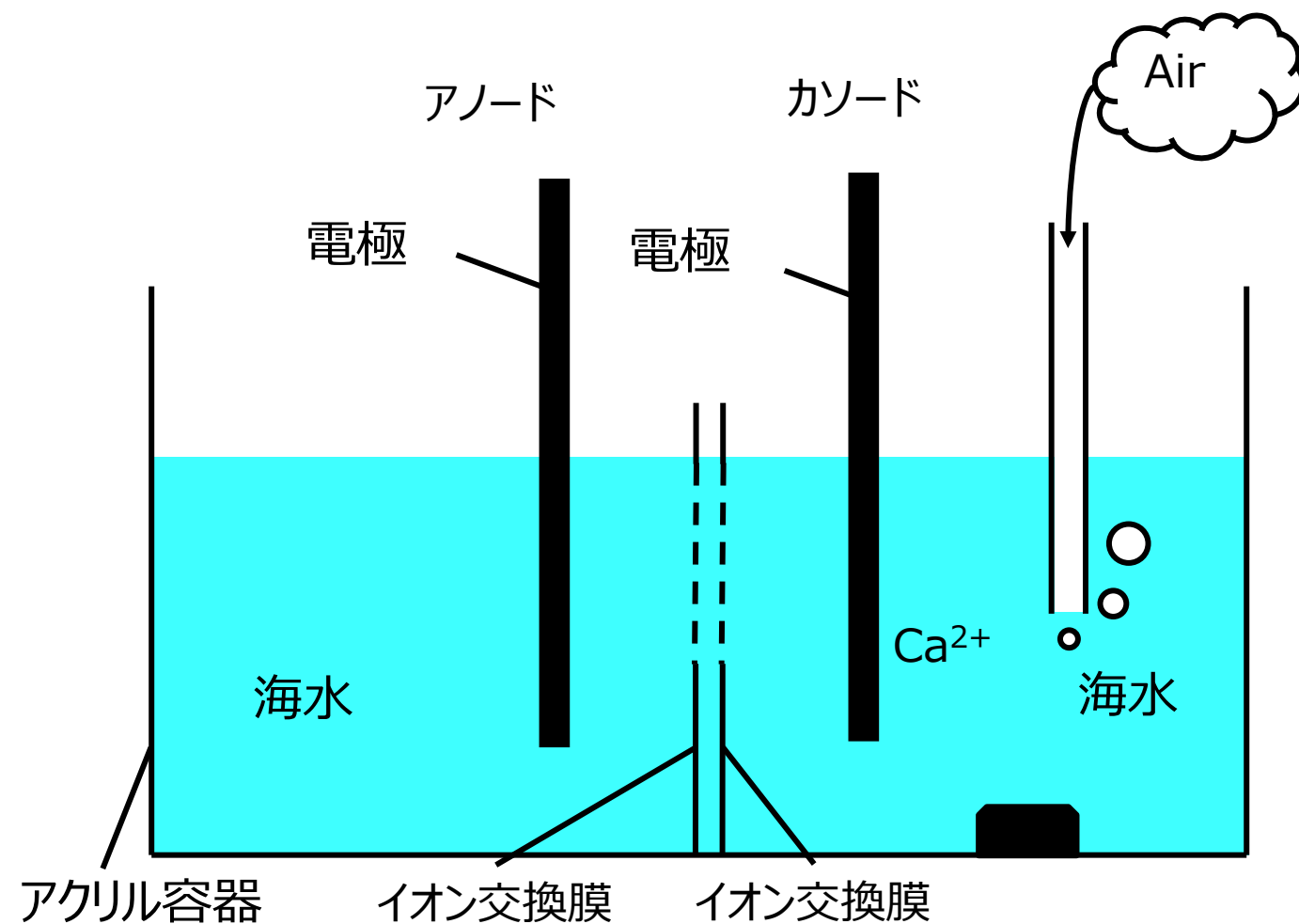
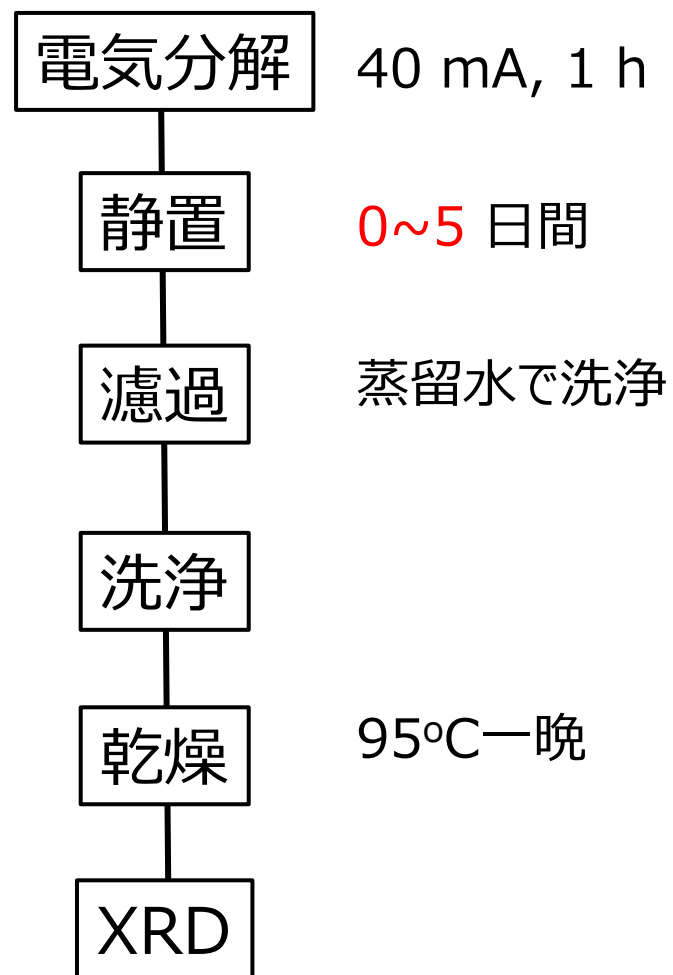
新技術の特徴

- Ca^{2+} の高濃度化
 - 通電による電気泳動
→カソード付近で Ca^{2+} 高濃度化
- 実験
 - 通電条件
→20 – 40 mA
 - 平衡到達時間
→0 – 5日
 - イオン交換膜の設置の必要性の検討
→あったほうがいい
- CO_3^{2-} の効率的な供給
 - 例えば、空気のバブリングなど
→モジュール次第でなくてもOK

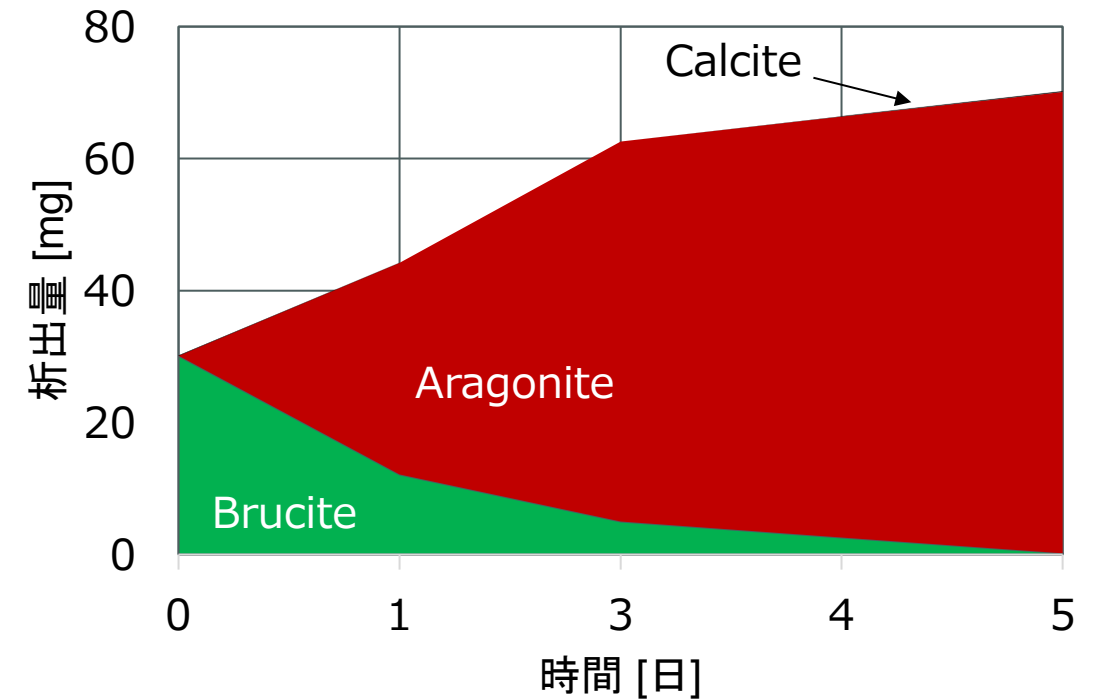
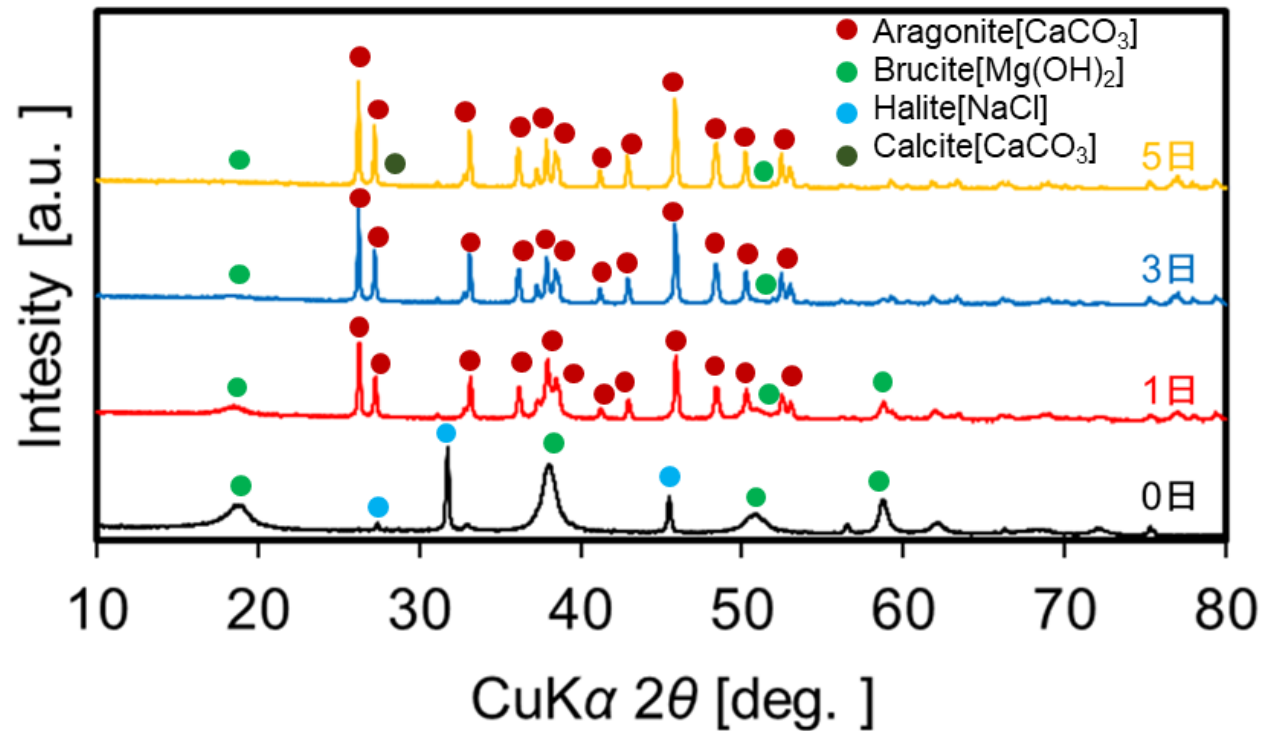


通電条件

【バブリング無条件において電流値と析出の関係を調査】



静置条件

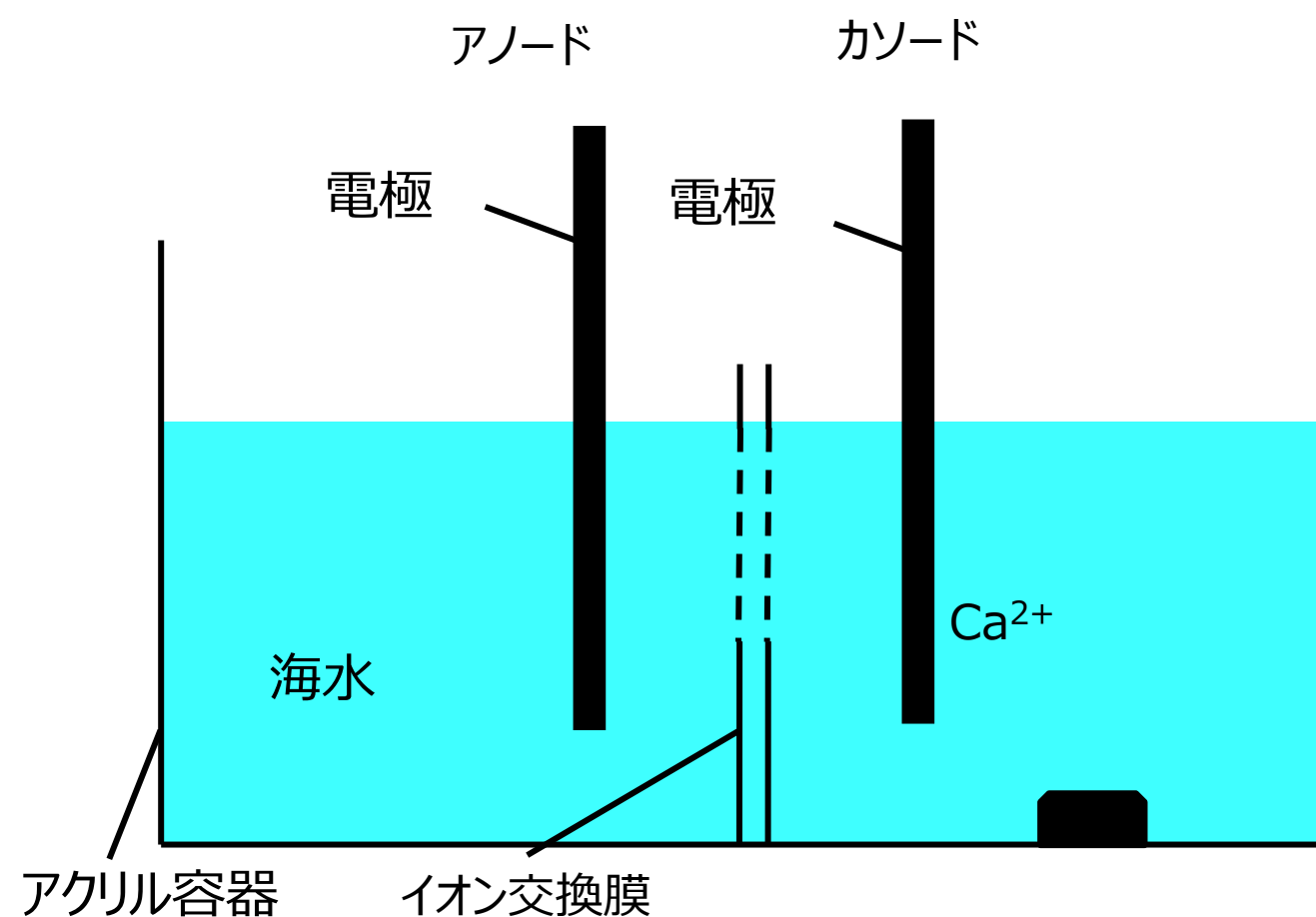
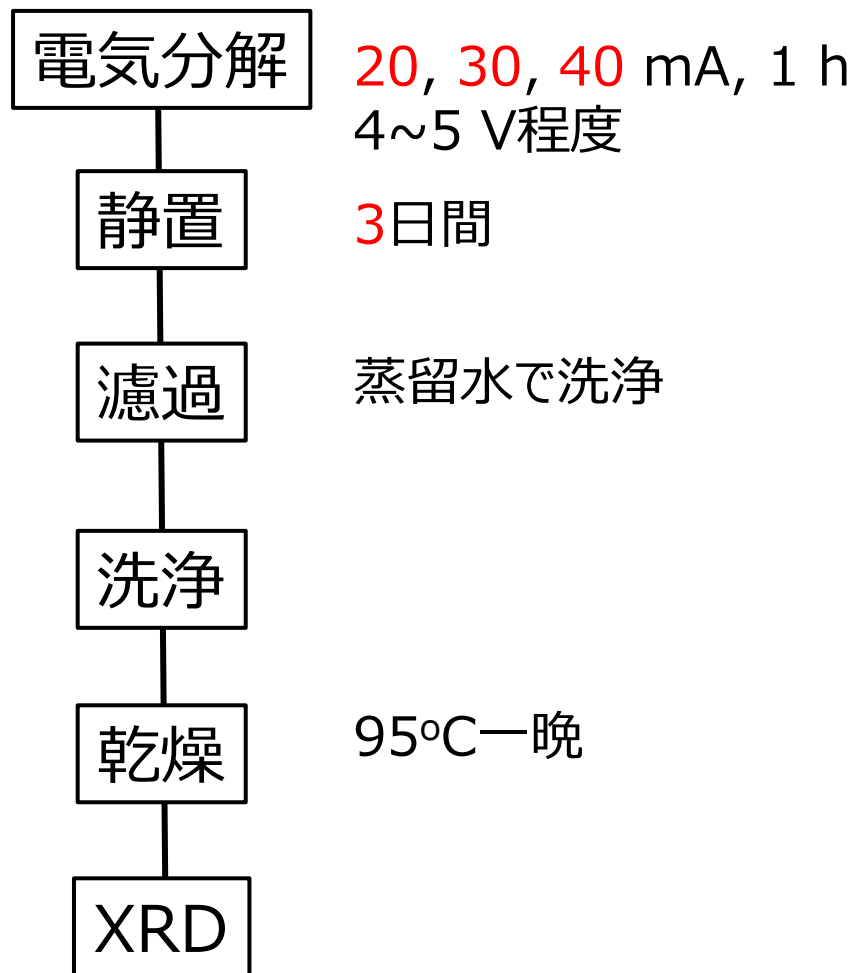


- 0日（電気分解直後）→主相は $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- 1~3日→ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ & CaCO_3
- 5日→ほぼ CaCO_3

静置時間と析出量がトレードオフ
→原因究明済み：現在は短時間化に成功

通電条件

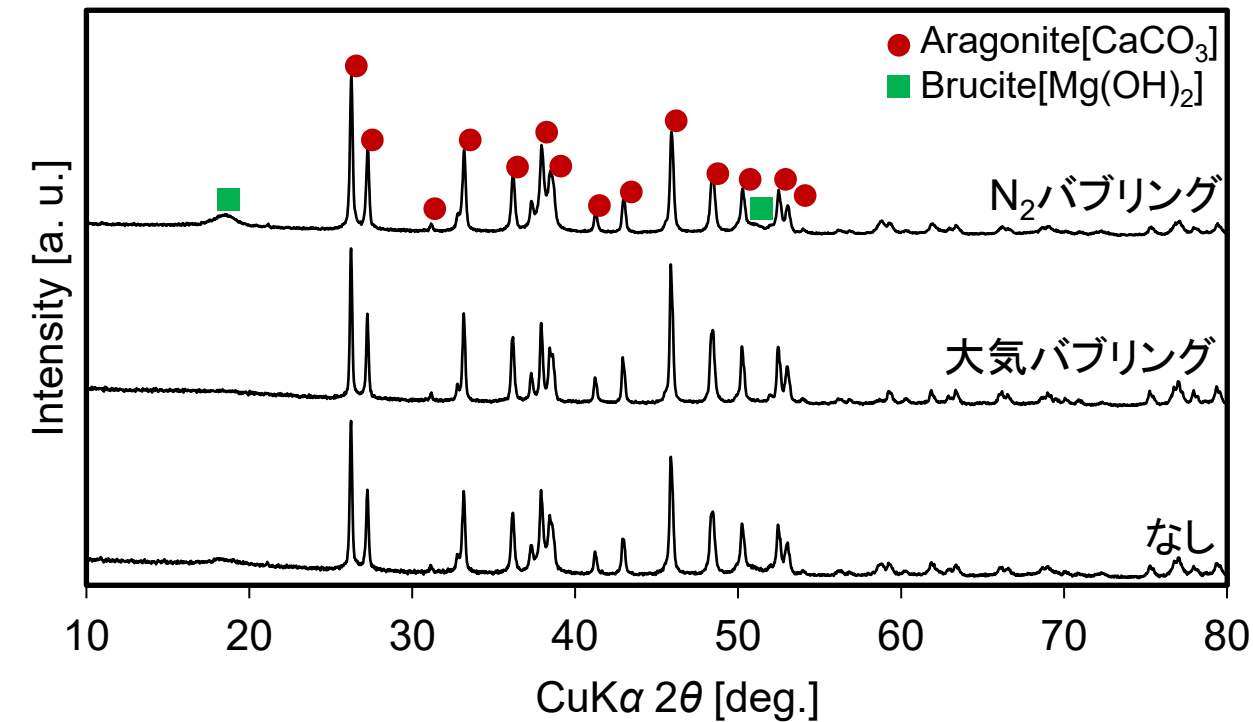
【バブリング無条件において電流値と析出の関係を調査】



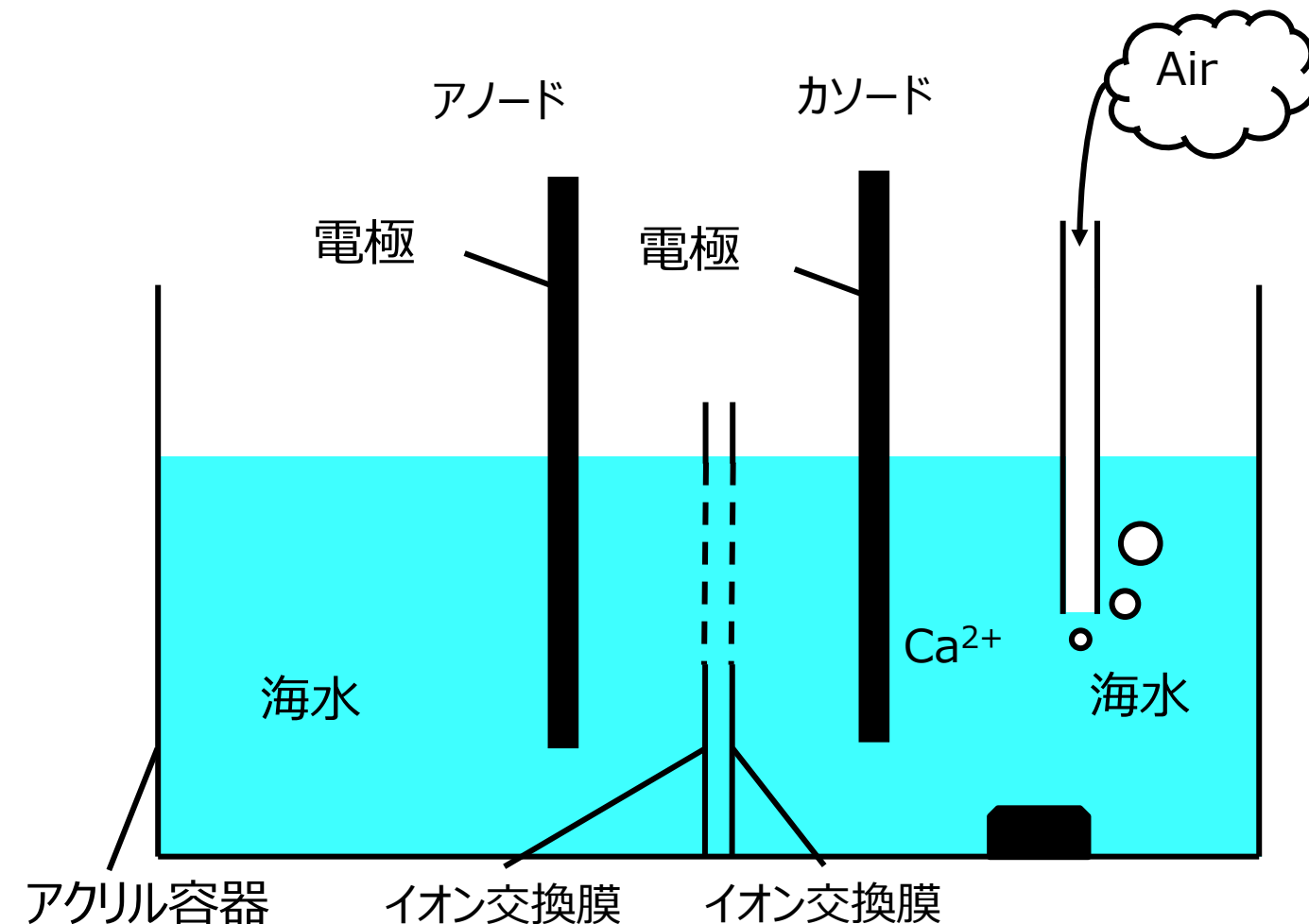
	20 mA	30 mA	40 mA
全析出量 [mg]	2.4	7.8	49.2
Brucite (Mg(OH) ₂) [mol%]	-	-	10
Aragonite (CaCO ₃) [mol%]	-	-	90
Calcite (CaCO ₃) [mol%]	-	-	0
Halite (NaCl) [mol%]	-	-	0

20,30 mAでは、析出量が少なすぎて分析不可

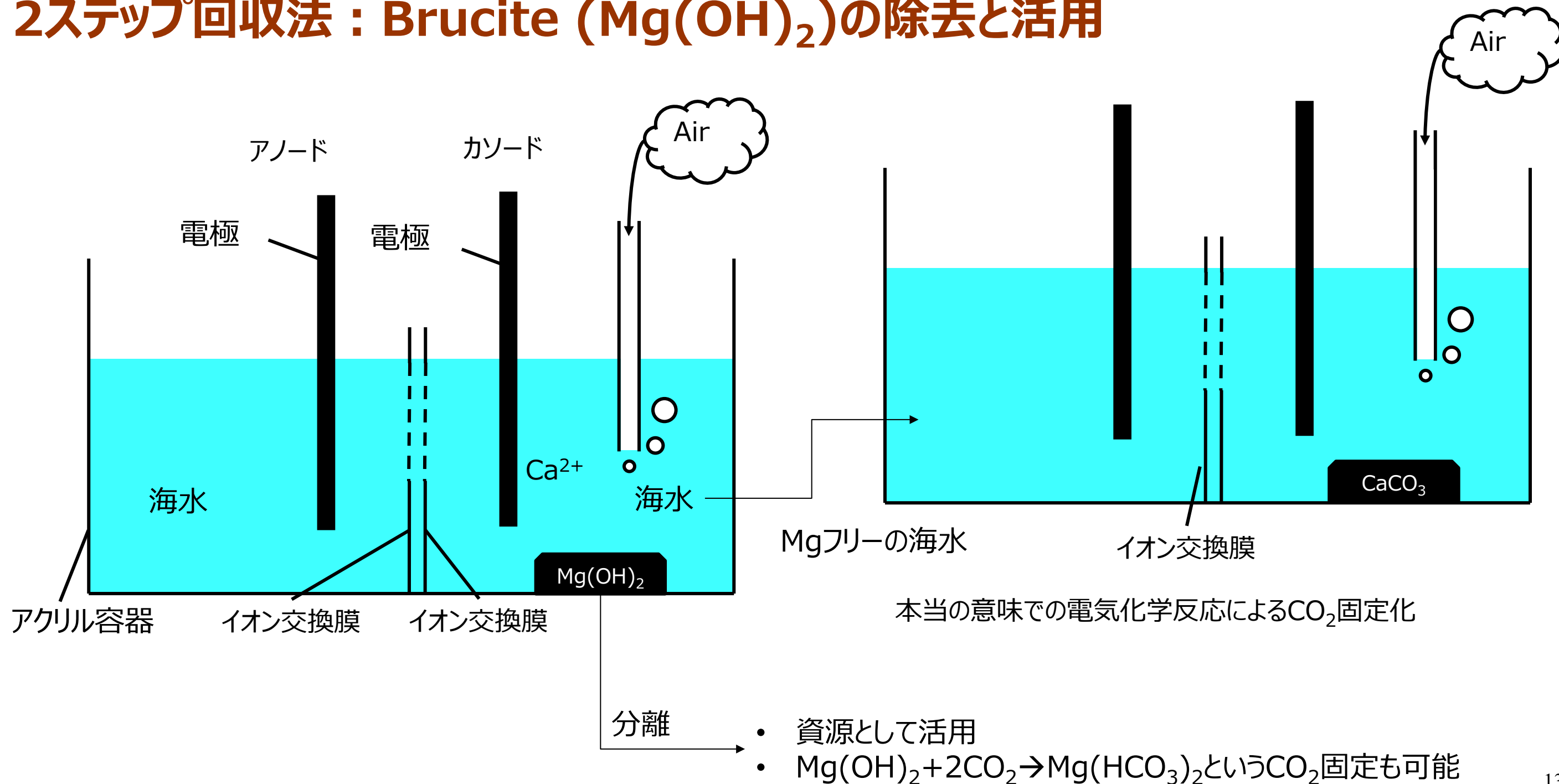
通電時にバブリング



- ほとんど影響なし
→0日で析出する物質が主にBruciteであるため
- 通電でCa²⁺の濃度を上昇させることが有効



2ステップ回収法：Brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)の除去と活用



まとめ

1 ステップ

- 通電後は $\text{Mg}(\text{OH})_2$ が沈殿
- 静置することでカソード側の海水中で以下の反応が促進 → CO_2 の固定化に成功
$$\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + 0.5\text{H}_2$$
- 静置時間が必要な原因は究明済み →短時間化に成功

2 ステップ

- 通電後は $\text{Mg}(\text{OH})_2$ が沈殿 →分離回収することで、 Mg^{2+} フリーの海水
- Mg^{2+} フリーの海水にイオン交換膜をセットし、通電すると
$$\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + 0.5\text{H}_2$$

の反応が起こる → CO_2 の固定化に成功

実用化に向けた課題

- 現在、反応式と反応が開始する条件が検討済み。
しかし、連続式チャンバーは未開発。
- 今後、連続式チャンバーの設計に必要な実験データを
取得し、連続式チャンバーの作製を行っていく。
- 実用化に向けて、スケールアップの必要もあり。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・バッチ実験による条件出し	
現在	・CaCO ₃ を効率的に析出するパラメータの洗い出し	処理量、処理速度の社会ニーズの調査
2年後	・スケールアップに向けた実験 ・スモールサイズの連続式モジュールの試作	モジュールの素材の選定 環境アセスメント
5年後	・耐久性の評価 ・ミドルサイズの連続式モジュールの試作	

企業への期待

- 連続式チャンバーの開発については、バッチ式の実験データを基に、共同開発を考えている。
- チャンバーの設計・開発技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、海岸沿いにプラントを持つ企業のCO₂ネガティブエミッションの一助になればと考えている。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、シンプルな要素技術で構成されているため、想定される用途に合わせて、様々なチャンバー形状が設計できる。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：二酸化炭素固定化方法、及び二酸化炭素固定化装置
- 出願番号：特願2026-040495
- 出願人：東京科学大学
- 発明者：磯部敏宏、伊藤俊輔、原 広希

産学連携の経歴

- 2015年-2018年 N社と共同研究実施（負熱膨張材料）
- 2017年-2018年 T社と共同研究実施（ガス分離膜）
- 2019年-2022年 三井金属と共同研究実施（負熱膨張材料）
→販売中
- 2024年-2025年 GTIE 起業家支援プログラム（エントリーコース）採択（陶芸）
→販売準備中
- 2024年-現在 T社と共同研究実施（負熱膨張材料）
→特許出願
- 2026年- T社と共同研究実施（負熱膨張材料）

お問い合わせ先

東京科学大学 (Science Tokyo)
産学共創機構技術プロモーション室
T E L 03-5734-3817
e-mail consult@cim.isct.ac.jp