

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.5

海水と生体アミンを用いたCO₂鉱物化法の研究開発 (カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電技術 推進事業／カーボンリサイクル技術の共通基盤技術開発)

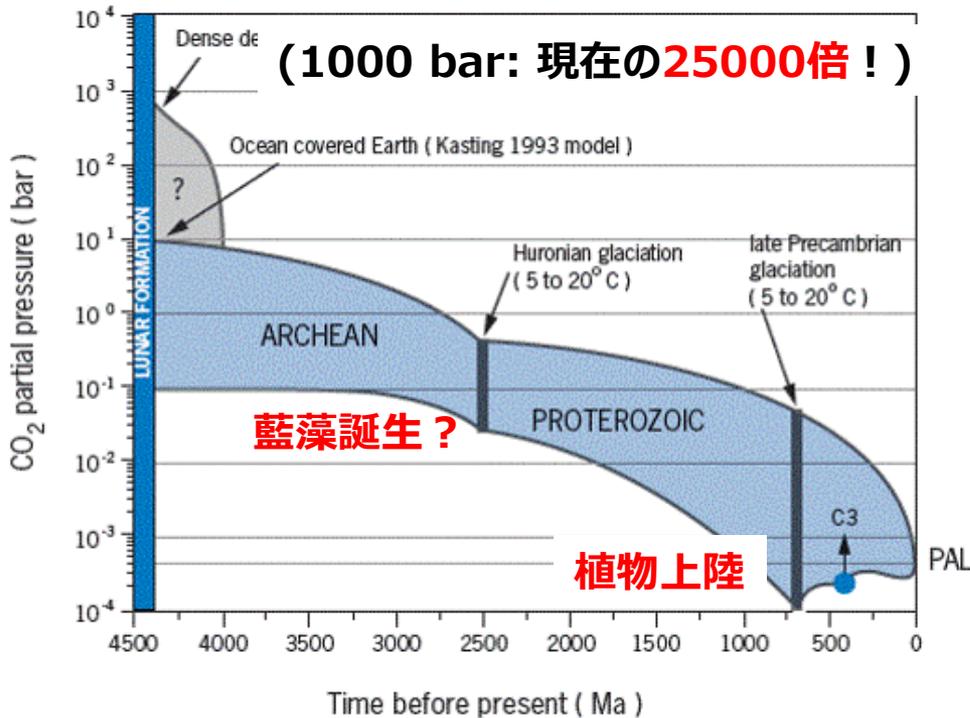
発表：2025年7月17日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 *森安賢司

(株)日本海水*、(学)北里大学、(国)東京大学、(株)出光興産、(国研)産総研、(国)琉球大学
問い合わせ先 株式会社日本海水 <https://www.nihonkaisui.co.jp/inquiry/>

背景



□ 大気CO ₂	6.4 x 10 ¹⁷ gC
□ バイオマス	8.3 x 10 ¹⁷ gC
□ 溶存有機物	1.5 x 10 ¹⁸ gC
□ 堆積した有機物	3.5 x 10 ¹⁸ gC
□ 海に溶けている CO ₂	3.8 x 10 ¹⁹ gC
□ 炭酸塩堆積物	1.8 x 10 ²² gC
□ 化石燃料	2.5 x 10 ²² gC

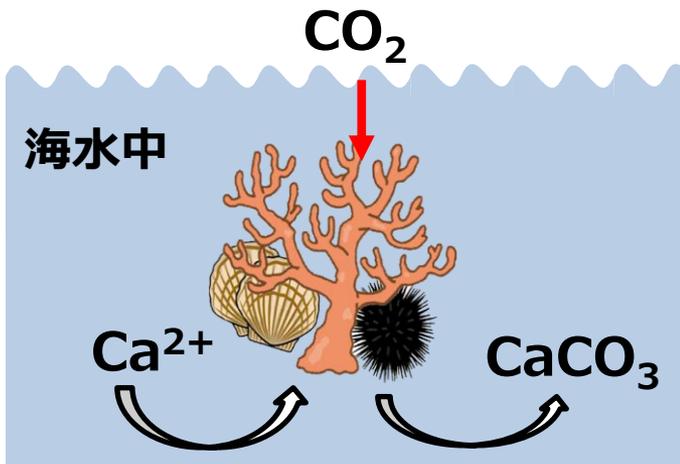
全炭素の4割は生物鉱物化（バイオミネラリゼーション）により堆積されている

バイオミネラリゼーション…生物による海水Caを用いたCO₂の鉱物化

【特徴・メリット】

- ①Ca源が膨大量（地球上の大気CO₂全量固定×220回分）
- ②Caイオンの状態で存在→スラグ利用時のような酸での溶解不要

→商業規模で効率よく模倣することを目指す

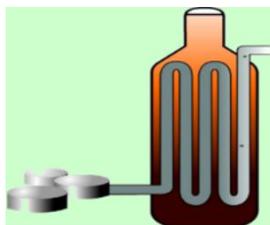


目的

- 炭酸塩鉱物化法…①外部からのエネルギーが不要なCO₂削減技術 (CCUS)
②成果物 (炭酸塩) の活用先が多く注目されている
→**効率的な新技術**が求められている

CO₂削減技術の例

化学品合成



メタネーション

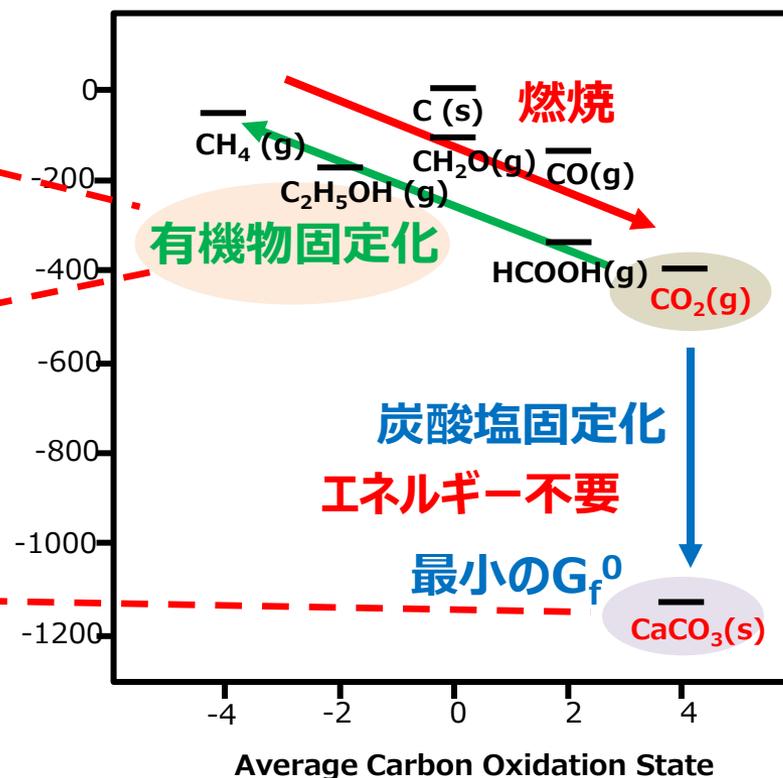


炭酸塩鉱物化
産業利用



出典：資源エネルギー庁

炭素化合物の 標準生成ギブス自由エネルギー比較



目的：海水をCa源とした新たな炭酸塩鉱物化法の開発を目的とした。³

事業概要と目標

- 研究開発項目①：「廃海水と排ガスレベルのCO₂及びポリアミン等を用いたCaCO₃製造法確立」
研究開発項目②：「廃海水と排ガスレベルのCO₂を原料とした際のCaCO₃結晶制御による高付加価値化」
研究開発項目③：「ポリアミン等の海洋生物に対する毒性試験と影響評価」

研究開発項目

- ①-1 廃海水と排ガスレベルのCO₂を原料としたCaCO₃製造条件の検討
- ①-2 ポリアミン等の回収・再生方法の検討
- ①-3 kg単位のCaCO₃製造試験
- ①-4 生産プロセスの設計
- ②-1 回収の容易なラージサイズのCaCO₃粒子を製造する技術の開発
- ②-2 開発したCaCO₃製造技術のスケールアップ
- ③ ポリアミン等の海洋生物に対する毒性試験と影響評価

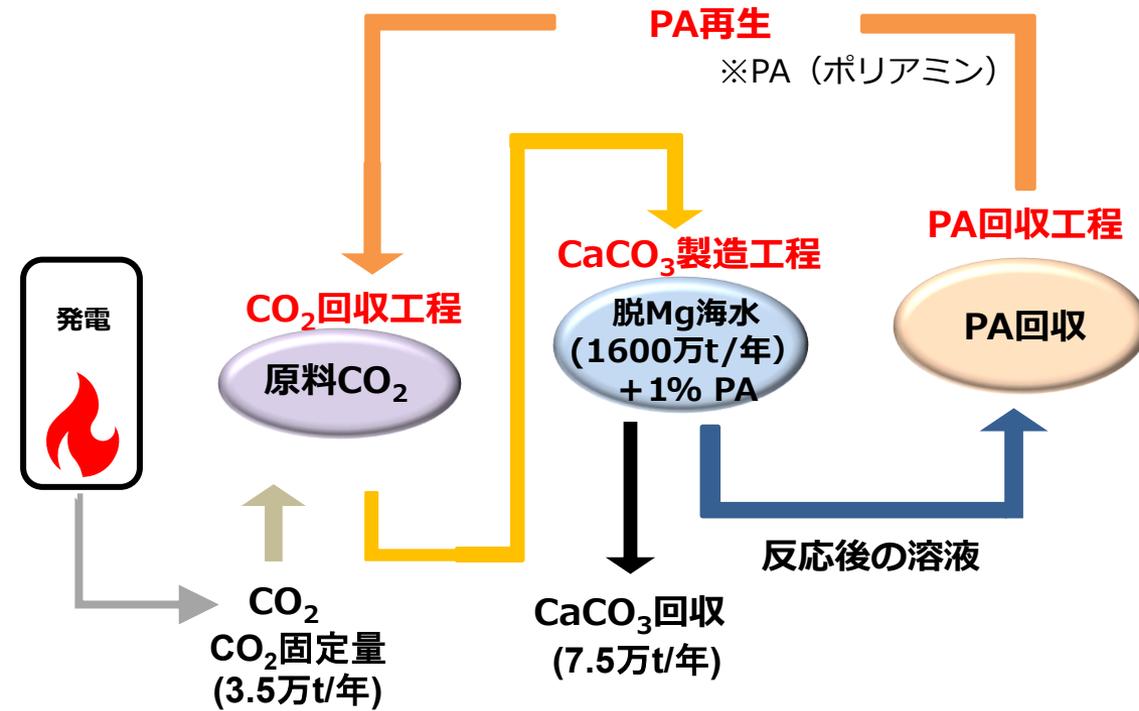


図 想定する社会実装スケールのマテバラ

本事業目標：廃海水と排ガスレベルのCO₂を利用してCaCO₃を製造する新規プロセスを確立し、CaCO₃回収率90～95%およびポリアミン回収率96%以上を達成すること。

kgスケールから1トンタンクスケールへのスケールアップ試験を実施し、連続運転可能なプロセス設計の基盤を構築するとともに、使用するポリアミンについて標準海洋生物を用いた急性毒性試験を行い、環境影響が顕著でないことを確認することを目指す。

研究スケジュール

		22年度	23年度	24年度
研究開発項目① 廃海水と排ガスレベルのCO ₂ 及びポリアミン等を用いたCaCO ₃ 製造法確立	①-1 廃海水と排ガスレベルのCO ₂ を原料としたCaCO ₃ 製造条件の検討	500mLスケールでのCaCO ₃ 製造	CaCO ₃ 製造に適した条件の検証	最適なCaCO ₃ 製造条件を決定
	①-2 ポリアミン等の回収・再生方法の検討	ポリアミン回収の実験系を整備 ポリアミン再生法検討	ポリアミン回収の条件調整	最適なポリアミン回収法を確立
	①-3 kg単位のCaCO ₃ 製造試験	1トタンク設置、kg単位の製造実施	CaCO ₃ 製造試験、プロセス設計	10ト廃海水による試験運転
	①-4 生産プロセスの設計	プロセスの予備検討	CO ₂ 吸収、CaCO ₃ 析出工程の機器選定	プロセス全体の設計、経済性・CO ₂ 削減効果の評価
研究開発項目② 廃海水と排ガスレベルのCO ₂ を原料とした際のCaCO ₃ 結晶制御による高付加価値化	②-1 回収の容易なラージサイズのCaCO ₃ 粒子を製造する技術の開発	ラボレベルで回収可能なラージサイズのCaCO ₃ 合成	ラボレベルでラージクリスタル以外にも回収が可能となる形態のCaCO ₃ 合成	1トタンクでのCaCO ₃ を最もコストが安く、短時間で合成可能な方法を選定
	②-2 開発したCaCO ₃ 製造技術のスケールアップ		1トタンクを用いてラージサイズのCaCO ₃ 大量合成	1トタンクでのCaCO ₃ を結晶制御技術の確立
研究開発項目③ ポリアミン等の海洋生物に対する毒性試験と影響評価	③ ポリアミン等の海洋生物に対する毒性試験と影響評価	石灰化生物（ウニ・サンゴ等）の飼育試験	毒性試験・遺伝子評価試験	海生生物への影響評価のとりまとめ

研究成果（進捗概要）

番号	項目	内容	2024年度目標	達成度
①-1	廃海水と排ガスレベルのCO ₂ を原料としたCaCO ₃ 製造条件の検討	ラボスケールでCaCO ₃ 製造条件の目標を達成	CaCO ₃ 回収率95% が目標	○
①-2	ポリアミン等の回収・再生方法の検討	CaCO ₃ 製造に適したポリアミンを選定。回収方法も検討。	アミン回収率95% が目標	○
①-3	kg単位のCaCO ₃ 製造試験	1 トンスケールのタンクで目標のCaCO ₃ 回収率を達成、一度に4kg以上のCaCO ₃ 製造可能	CaCO ₃ 回収率88% が目標	○
①-4	生産プロセスの設計	CO ₂ 回収工程のシミュレーション構築、炭酸塩析出用のタンクを計算により設計	プロセス全体のPFDを作成する。経済性及びCO ₂ 削減効果を評価	○
②-1	回収の容易なラージサイズのCaCO ₃ 粒子を製造する技術の開発	攪拌の有無やバイオミネラル粉末を種結晶とする複数の方法で沈降可能なサイズのCaCO ₃ 製造法構築	ラボレベルで回収が容易となる形態のCaCO ₃ の合成系を構築する	○
②-2	開発したCaCO ₃ 製造技術のスケールアップ	バイオミネラル粉末を用いた種結晶法が1 トンスケールで利用可能であることを確認	日本海水における1トンスケールでの結晶制御技術を確立	○
③	ポリアミン等の海洋生物に対する毒性試験と影響評価	サンゴ、ウニ、ゼブラフィッシュで毒性試験と遺伝子評価方法を実施	遺伝子群の定量評価、メタゲノム解析の追試	○

実施内容： 1-①

CaCO₃製造条件の検討



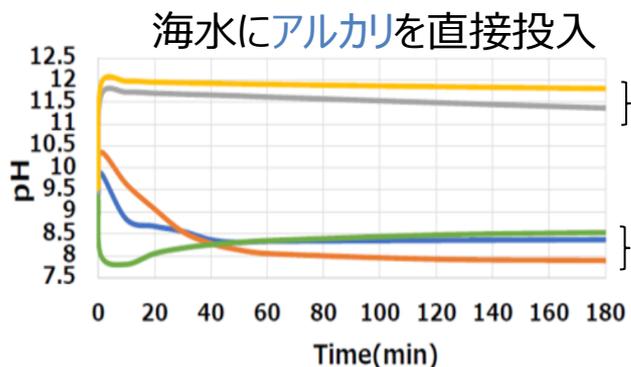
CO₂を炭酸にするためにはアルカリ添加が必須

Mgに影響されにくいCaCO₃製造法

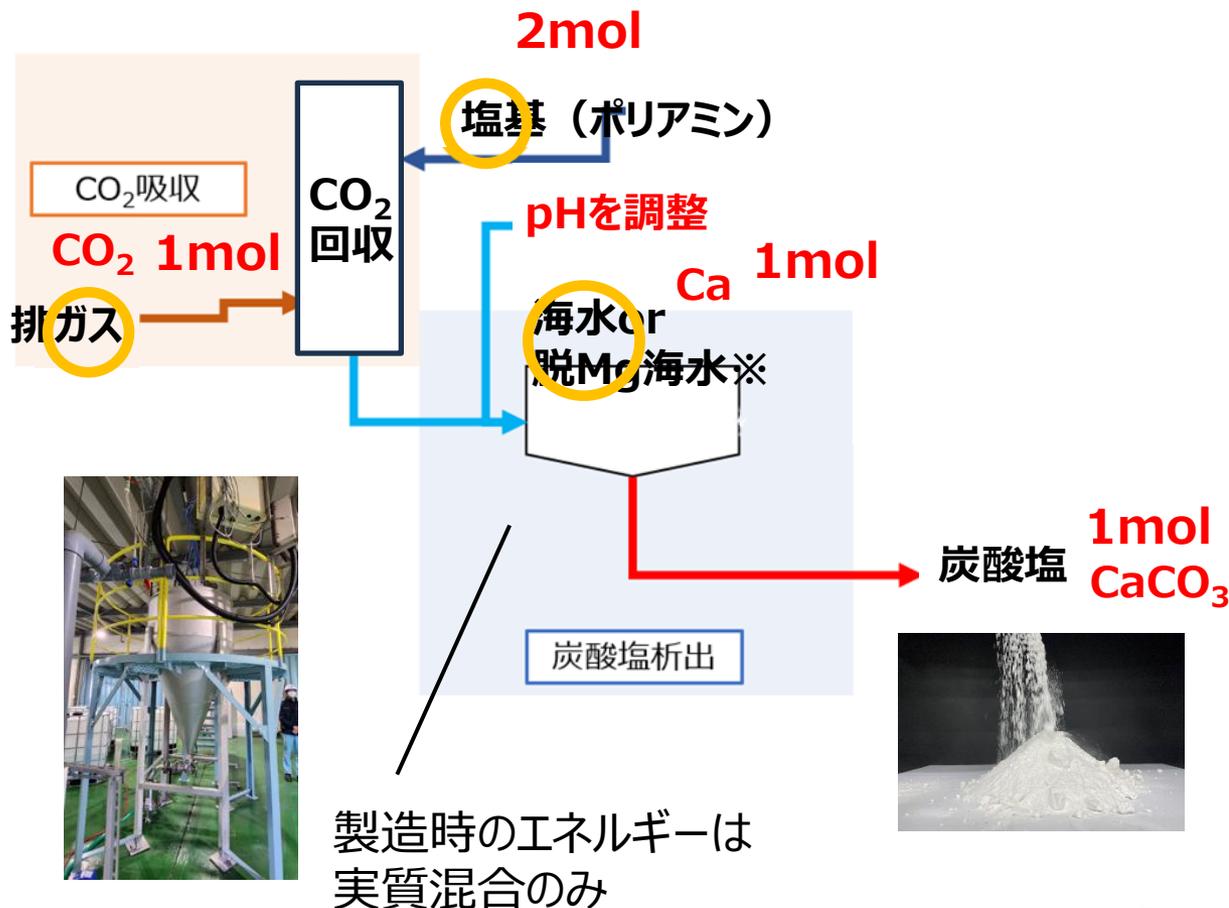
※海水からMg(OH)₂製造後
排出されるバイプロダクト

海水にアルカリを入れると
Mg(OH)₂が生成してしまう

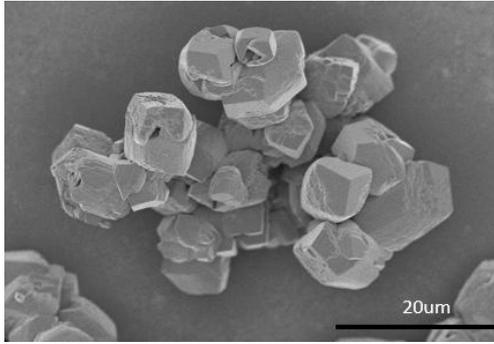
→Mgの障害を受けぬようpHを
調整することが重要



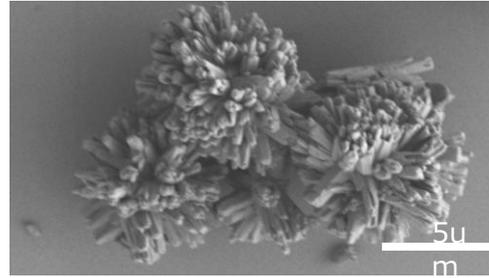
予めアルカリ+海水のpHを
調整し最適化



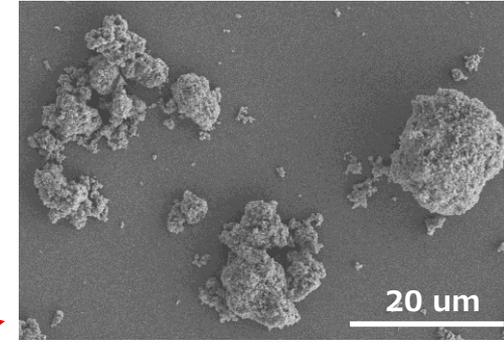
実施内容： 1-① CaCO_3 製造条件の検討



アルカリのpHを調整



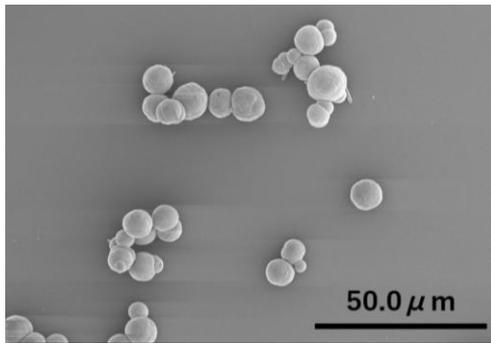
海水Mg濃度の
制御



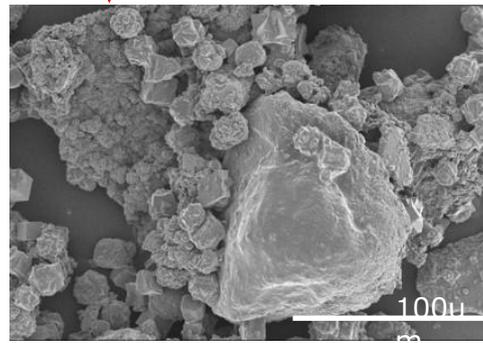
有機高分子剤を添加

結晶制御した
 CaCO_3

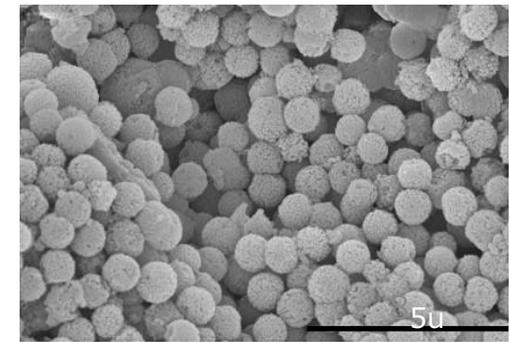
攪拌条件の調整



種晶添加の検討



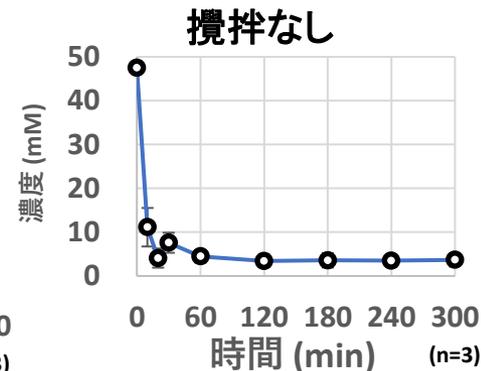
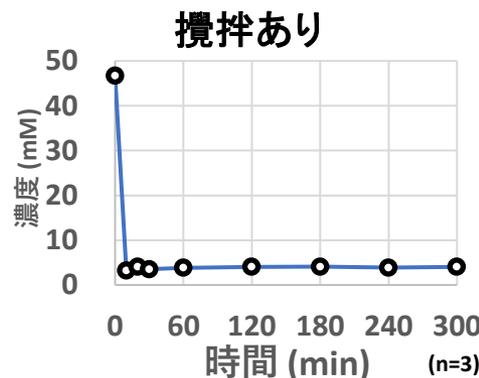
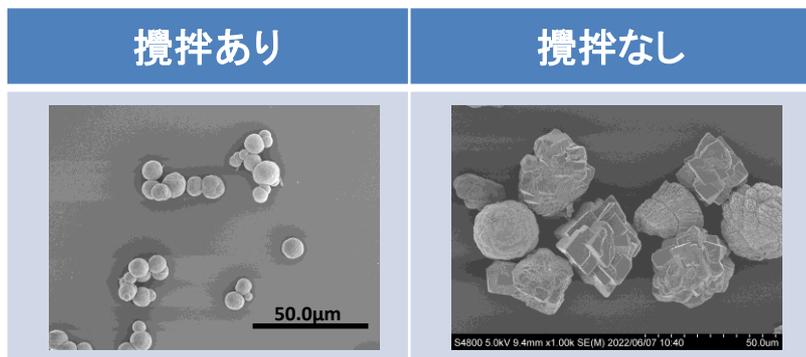
使用する塩基の変更



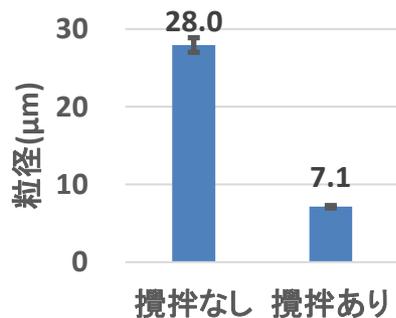
② – 1 回収の容易なラージサイズのCaCO₃粒子を製造する技術の開発

- ・ 攪拌（バブリング）の有無でCaCO₃粒径の変化を確認。
- ・ 攪拌ありの場合はバテライト、なしの場合はカルサイトが主に合成。

【結晶サイズ・結晶形状】 走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて観察

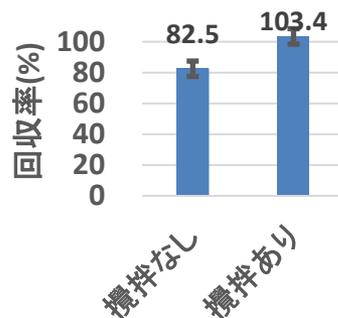


【粒径比較】 ImageJを用いて粒径を測定

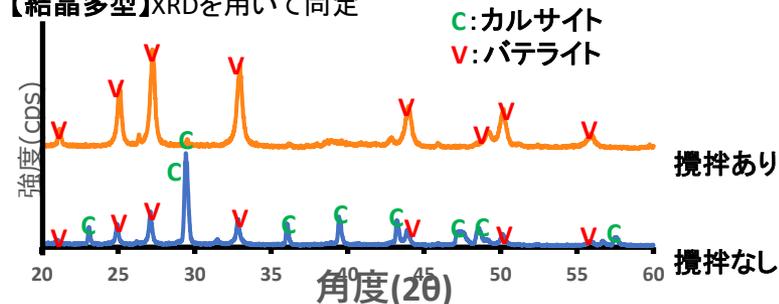


(Tukey-Kramer検定により5%水準で有意差を確認)

【回収率】 生成物重量・ICP-MSから回収率を定量化

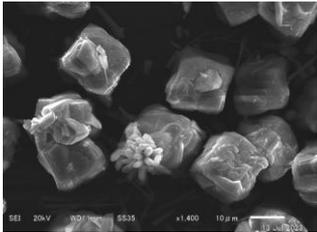
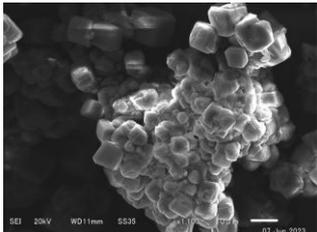
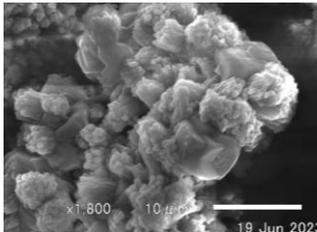
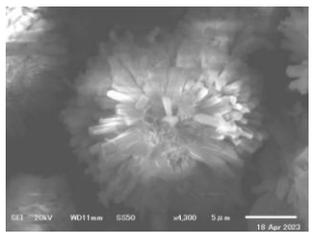
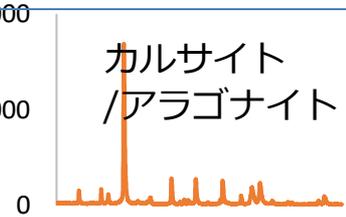
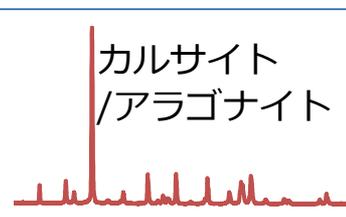
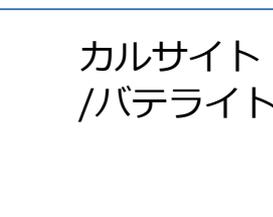


【結晶多型】XRDを用いて同定



②-2 開発したCaCO₃製造技術のスケールアップ

- スケールアップしても種結晶を入れることでラージクリスタルとなり回収量が改善。

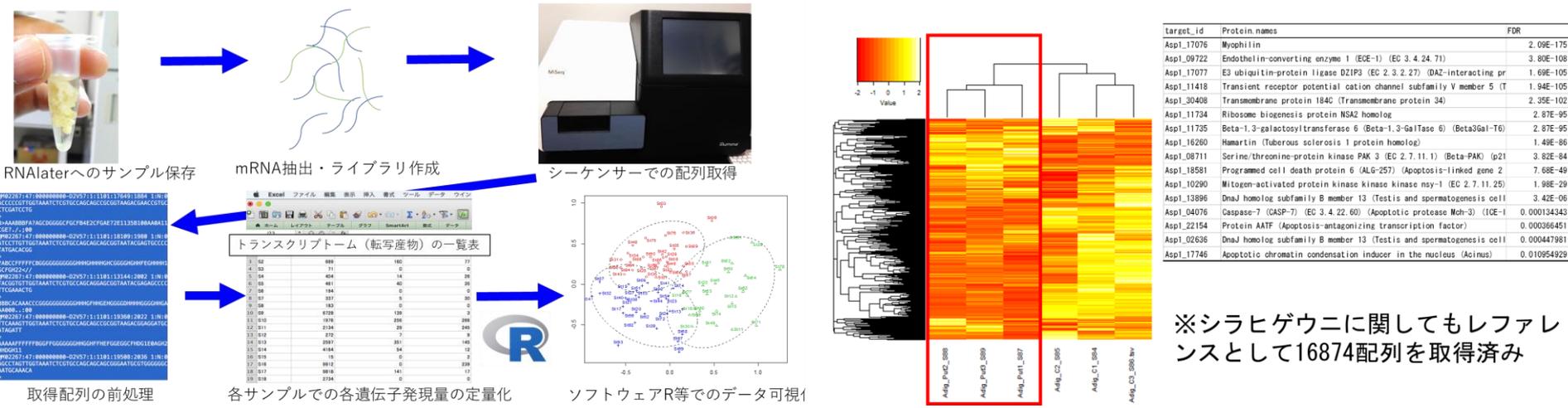
	添加なし	試薬CaCO ₃	ホタテ粉末	アコヤガイ粉末
SEM				
XRD				
反応前Ca	36.9mol	41.1mol	44.9mol	40.7mol
反応後Ca	1.5mol	2.2mol	3.7mol	5.2mol
回収量	4.3kg	4.8kg	4.5kg	4.4kg
白色度	100%	99%	98%	93%

③ポリアミン等の海洋生物に対する毒性試験と影響試験

2024年度は、網羅的遺伝子発現解析で絞り込まれた遺伝子群を対象に、リアルタイムPCRによる定量化を行い、廃海水組成が海洋生物に及ぼす影響を詳細に浮き彫りにする。また前年度までの進行状況に応じて、廃海水のメタゲノム解析の追試を実施し、影響評価のとりまとめを行った。

攪乱後の環境影響評価に向けた網羅的遺伝子発現解析の適用

ユビミドリイシ・プトレシシ処理サンプルの網羅的遺伝子発現解析の結果



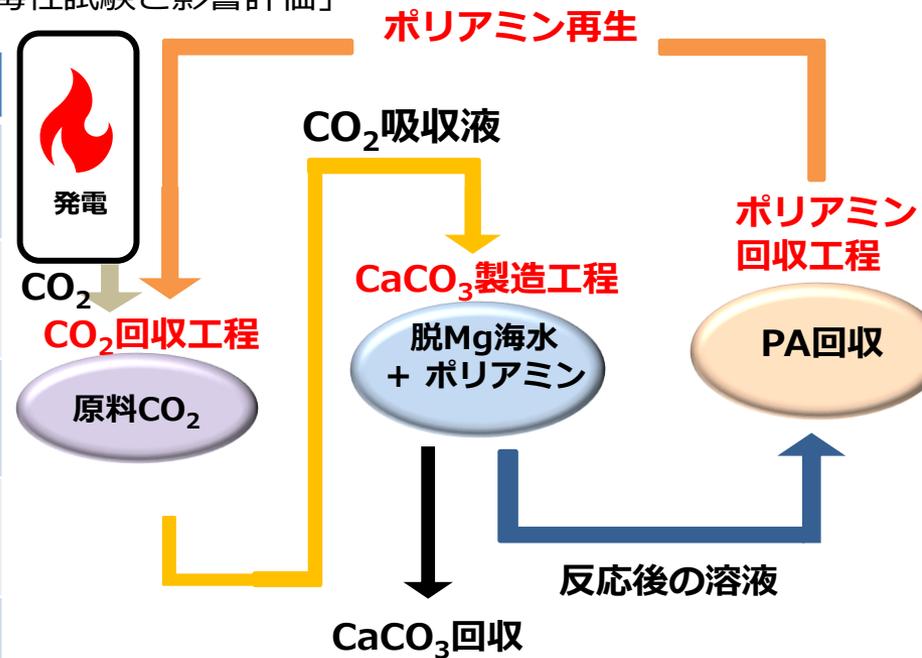
※シラヒゲウニについてもレファレンスとして16874配列を取得済み

※Polyamine impact on reef building coral physiology: insights from rearing experiments and RNA seq analysis, *Scientific Reports*, 14, 23465 (2024).

2023年12/15に投稿。2024年10/08改訂受理。

- 研究開発項目①：「廃海水と排ガスレベルの CO₂ 及びポリアミン等を用いた CaCO₃ 製造法確立」
- 研究開発項目②：「廃海水と排ガスレベルの CO₂ を原料とした際の CaCO₃ 結晶制御による高付加価値化」
- 研究開発項目③：「ポリアミン等の海洋生物に対する毒性試験と影響評価」

各項目	目標	達成度
廃海水と排ガスレベルのCO ₂ を原料としたCaCO ₃ 製造条件の検討	CaCO ₃ 回収率95%が目標で達成に向けて研究を実施する	○
ポリアミン等の回収・再生方法の検討	アミン回収率95%が目標で達成に向けて研究を実施する	○
kg単位のCaCO ₃ 製造試験	CaCO ₃ 回収率88%が目標で達成に向けて研究を実施する	○
生産プロセスの設計	プロセス全体のPFDを作成する。経済性及びCO ₂ 削減効果を評価	○
回収の容易なラージサイズのCaCO ₃ 粒子を製造する技術の開発	ラボレベルで回収が容易となる形態のCaCO ₃ の合成系を構築の継続検討	○
開発したCaCO ₃ 製造技術のスケールアップ	日本海水における1トタンクスケールでの結晶制御技術を確立	○
ポリアミン等の海洋生物に対する毒性試験と影響評価	遺伝子群の定量評価、メタゲノム解析の追試	○



検討したプロセスフロー図

タイトル：海水中のカルシウムとアルカリを使用するCO₂鉱物化プラントの実証化研究

【概要】

- ・海水 / 廃海水を用いてCO₂を固定、CaCO₃を製造・販売
- ・ベンチ→パイロット→実機検討を3年間で実施
- ・実ガスの検討、連続晶析法の試験、環境影響評価の実施などを行う

2025年度

2026～27年度

2027～28年度

導入設備

年間**5t**程度生産
ベンチプラント
(海水処理量：1m³/h)

年間**1000t**規模
パイロットプラント
(30m³/h)

年間約**7万t**規模
実機設備
(2000m³/h)

実機に向けた検証、データ蓄積

実施事項

サンプル出し
要求品質/量を確認

プレ生産、連続運転
市場への適合性確認

2030年以後
他工場へ技術展開

今後の技術課題

最終目標：バイオマス発電所の実排ガスを用いてCaCO₃を製造

25年：1m³ベンチ試験にて試作、不純物の分析

諸手続き、ガス配管工事着工

26年：30m³パイロットプラントへのガス供給

→製品としての性能評価開始

最終目標：製造コストの大部分を占めるアルカリのコストを削減する

25年：使用原料検討、決定（1m³ベンチ）

廃アルカリの可能性を探索（ラボ）

26年：決定した原料で量産化（30m³パイロット）

廃アルカリ溶出プラントの設計を検討

最終目標：結晶析出を検討し、より効率的な連続晶析を設計し安定生産を確立

25年：ラボ試験の実施→①～③から選定

1m³ベンチプラント稼働

26年：30m³パイロット機稼働

27年：運転条件確立、2000m³実機の事業性判断

今後の課題：マーケティングの拡大（需要家へのCaCO₃供給と評価）

最終目標：サンプル提供をスピード化、需要見込みの確度を上げる

25年：1m³ベンチで海水を安定処理

26年：30m³パイロットを安定処理（毎時150キロ）

高付加価値品を1m³ベンチで量産

27年：パイロット機の処理時間を拡大（最大24h、年間1000t規模）

製造したCaCO₃を需要家に提供し各種材料として使用可能か検討

主な用途

・建築材料

・ゴム

・プラスチック

・製紙

・化粧品

・ガラス原料 ほか

市販の炭酸塩と同等のスコアは達成、最大需要量見込み>>最大供給可能量

- 海洋生物のバイオミネラリゼーションを模した新規の高効率なCO₂鉱物化技術開発である
- 膨大なCa資源をもとにしたCO₂固定が実現可能
- 成果物（CaCO₃）は多様な用途が期待でき、売り先の探索も進んでいる状況
- 工場及びいわき市周辺での復興事業にもなり得る
- **CO₂削減技術として社会へアピールしていきたい**



震災前の
小名浜工場



震災直後の
様子

