

背景

CO₂ partial pressure (bar)

濃度 (1000 bar: 現在の25000倍！)

大気CO₂
バイオマス
溶存有機物
堆積した有機物
海に溶けているCO₂
炭酸塩堆積物
化石燃料

地殻の全炭素の4割は生物鉱物化（バイオミネラリゼーション）により堆積したものである

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（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

炭素化合物の標準生成ギブス自由エネルギー比較

炭酸塩鉱物化産業利用

出典：資源エネルギー庁

概要

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

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開発	○
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、ウミ、ゼブラフィッシュで毒性試験と遺伝子評価方法を実施	遺伝子群の定量的評価、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 + H₂O → H₂CO₃ Mgに影響されにくいCaCO₃製造法

CO₂を炭酸にするためにはアルカリ添加が必須

※海水からMg(OH)₂製造後排出されるパイロダクト

海水にアルカリを入れるとMg(OH)₂が生成してしまう→Mgの阻害を受けぬようpHを調整することが重要

海水にアルカリを直接投入

予めアルカリ+海水のpHを調整し最適化

2mol塩基（ポリアミン）
CO₂ 1mol
Ca 1mol
海水or 脱Mg海水※
炭酸塩析出
炭酸塩 1mol CaCO₃

製造時のエネルギーは実質混合のみ

実施内容：1-① CaCO₃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CaCO₃
攪拌条件の調整
種晶添加の検討
使用する塩基の変更

実施内容：1-③ kg単位のCaCO₃製造試験

1～10t規模のCaCO₃製造試験

NF膜装置 反応タンク 吸収塔

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（パブリング）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

【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

C：カルサイト
V：バテライト

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。

※シラヒグニに關してもレフレンスとして16874配列を取得済み

今後の課題

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、連続結晶法の試験、環境影響評価の実施などを行う

導入設備

2025年度 年間5t程度生産ベンチプラント（海水処理量：1m³/h）
2026～27年度 年間1000t規模パイロットプラント（30m³/h）
2027～28年度 年間約7万t規模実機設備（2000m³/h）

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

今後の課題：コスト削減・マーケティング拡大

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：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が検討

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

用途利用
建築物
化粧品
プラスチック
製紙
インク

用途開発が可能

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

展望

・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鉱物化技術開発は世界初の技術である
・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