



**CARBON
RECYCLING
FUND INSTITUTE**

一般社団法人カーボンリサイクルファンド

2022年度CRF研究助成活動 採択テーマ一覧

一般社団法人
カーボンリサイクルファンド
(CRF)

2022年9月

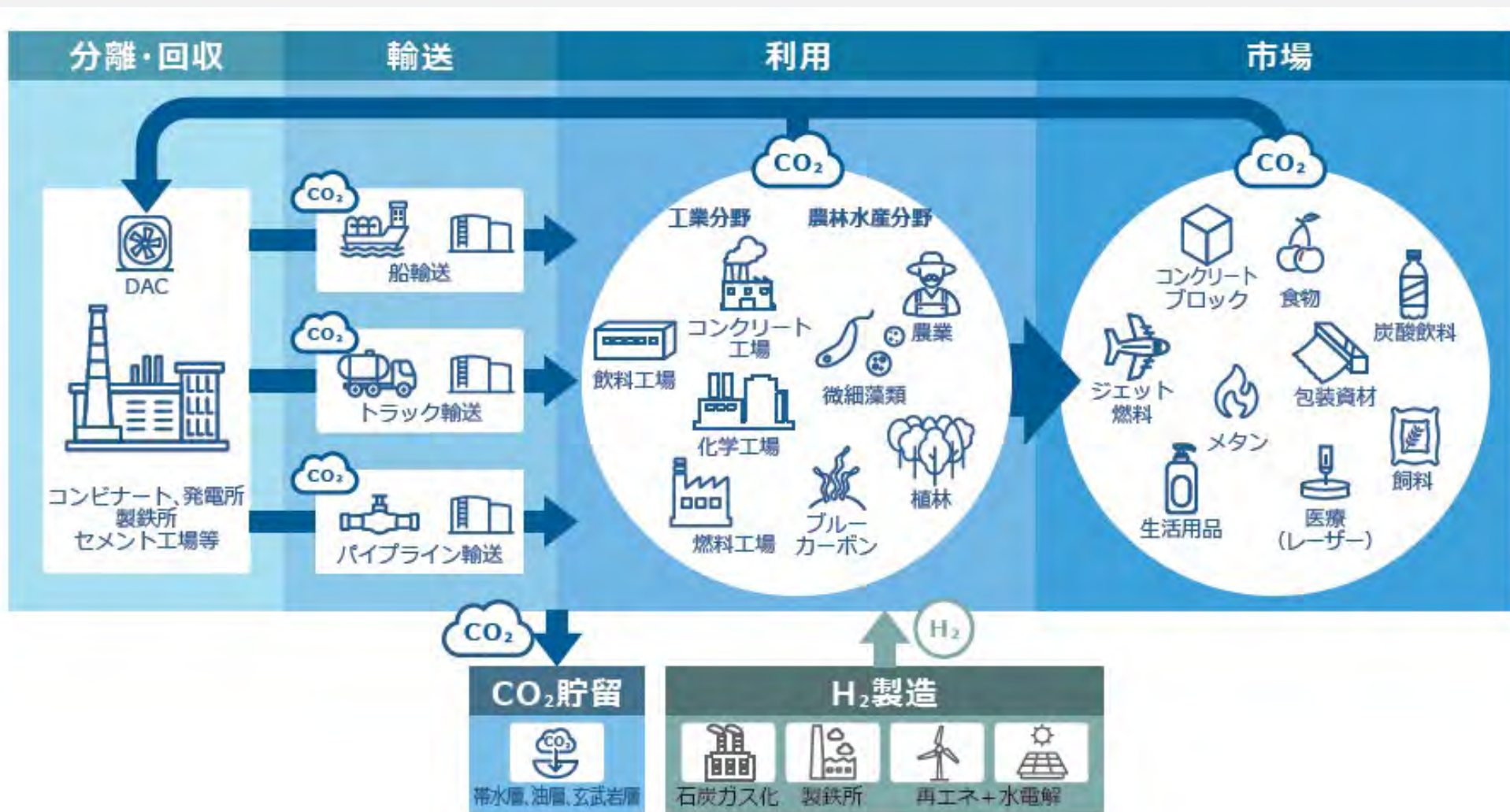
- 民間資金の特徴を活かした柔軟な運用で
カーボンリサイクルに係る研究シーズ（アイデア、人）を発掘、取り組みを支援

	概要
助成対象	企業、大学、法人等に属する研究者又は研究者チーム
募集テーマ (具体例)	<p>社会的課題を解決するため、CO₂（あるいは炭素原子）を資源として利用するカーボンリサイクル、関連技術、カーボンリサイクルを実現するための社会科学分野等に関する研究</p> <p>(具体例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● CO₂分離回収(直接空気回収)・固定化技術(鉱物化等) ● 燃料・化学品へのCO₂転換技術 ● 社会科学やカーボンリサイクル普及に向けた制度設計等の分野 ● 炭素資源(プラスチック等)の循環に係る技術 ● 生物等を活用した技術（細菌・バクテリア等・バイオミミック含） ● カーボンリサイクルの価値向上に係る技術 ● CO₂吸収源(土壌、森林・植林、ブルカーボン、農林水産等)活用によるカーボンリサイクル分野 ● その他（水素製造・アンモニア製造、気候変動対応に資する技術等）
評価ポイント	独創性・革新性・従来技術に対する優位性、課題設定の仕方や企業との連携などの社会実現可能性等
助成規模	1,000万円程度/件（平均助成額約700万円/件）
応募・採択件数	2020年度：39件応募→12件採択、2021年度：46件応募→12件採択 2022年度：一般公募55件→14件採択、スタートアップ枠(新設)29件→2件採択
研究の成果等	基本的に研究者に帰属。



CRF研究助成活動の特徴

CO₂の発生源から回収、輸送、利用までのCO₂バリューチェーンを見据え、広い範囲でのカーボンリサイクルにかかる研究（社会科学分野含む）を支援し、イノベーションを創出。



2022年度CRF研究助成活動（一般公募枠）

採択テーマ一覧

- 一般公募枠は、55件の応募の中から、14件を採択（40歳以下の若手研究者から6件を採択）

● : 40歳以下の若手研究者 ● : 女性

分野	研究課題名	研究代表者名（所属機関）（敬称略）
鉱物化によるCO ₂ 固定化技術	①水と熱を必要としない次世代型二酸化炭素固体吸収剤の開発	佐藤 公法（国立大学法人東京学芸大学）
	②微生物燃料電池を用いた次世代大気中CO ₂ 固定化技術の研究開発	佐野 大輔（国立大学法人東北大学）
	③木灰を用いたバイオマスコンクリートの実用強度化	大内雅博（高知県公立大学法人 高知工科大学）
燃料への転換技術	④先端的蓄熱技術を応用した熱交換器レスCO ₂ メタネーションプロセスの開発	●能村 貴宏（国立大学法人北海道大学）
化学品への転換技術	⑤革新的光触媒設計が拓く超高効率CO ₂ 還元	●吉田 朋子（公立大学法人大阪 大阪公立大学）
	⑥環状ポリフィリン多量体が織りなす小分子変換反応	倉持 悠輔（学校法人東京理科大学）
化学品への転換技術（生物活用）	⑦バイオマス資源を原料にしたナイロン前駆体化合物の微生物生産技術開発	●清水 雅士 （マイクロバイオフィクトリー株式会社）
	⑧革新的CO ₂ 利用に向けたC1完全バイオ循環空間デザイン	●野田 修平 （国立研究開発法人理化学研究所）
炭素資源等の循環に係る研究	⑨産業廃棄物の水熱処理によるCO ₂ 還元法の開発	坪内 直人（国立大学法人北海道大学）
CO ₂ 分離回収に係る技術	⑩固体化をトリガーとする大気中CO ₂ 選択的回収技術の開発	稲垣 冬彦 （学校法人神戸学院 神戸学院大学）
社会科学等の研究	⑪カーボンリサイクル製品の普及を促進するメッセージング手法	●小松 秀徳（一般財団法人電力中央研究所） （Saint Mary's 大学との国際共同研究）
CO ₂ 吸収源に係る研究	⑫海洋におけるCO ₂ 吸収・循環過程の見える化のための次世代モビリティの開発と沿岸浅海域のブルーカーボンの解析	山本 郁夫（国立大学法人長崎大学）
	⑬高濃度二酸化炭素環境下における光合成速度を高める機能性肥料開発に向けた植物中のエピジェネティクス解析	●●松下 祥子（学校法人日本大学）
	⑭植物による二酸化炭素吸収を増進する薬剤の開発	●高橋洋平（国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学）

- スタートアップ枠は、29件の応募の中から2件を採択（40歳以下以下の若手研究から、1件を採択）
- 一般公募枠と合わせて、3件のスタートアップを採択。

● : 40歳以下の若手研究者 ● : 女性

分野	研究課題名	研究代表者名（所属機関）（敬称略）
CO ₂ 分離回収に係る技術	⑮多孔性配位高分子（PCP/MOF）を用いたCO ₂ 分離回収プロセスの開発	浅利 大介（株式会社Atomis）
炭素資源等の循環に係る研究	⑯未利用バイオマス残渣を活用したカーボンニュートラル技術および炭素価値の創出に関する開発	●川谷 光隆（Innovare株式会社） （バンドン工科大学等との国際共同研究）

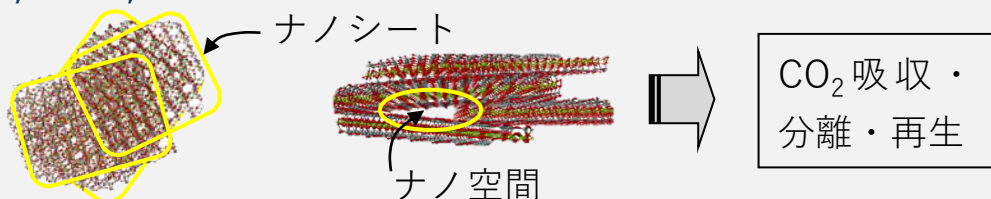
研究代表者（所属機関）：佐藤 公法（国立大学法人東京学芸大学）
参加機関：クニミネ工業株式会社

鉱物化による CO₂
固定化技術

概要：資源的に安定で環境負荷のない粘土鉱物を用いて、水と熱を用いずにCO₂吸収、分離、再生可能な固体吸収剤を開発する。

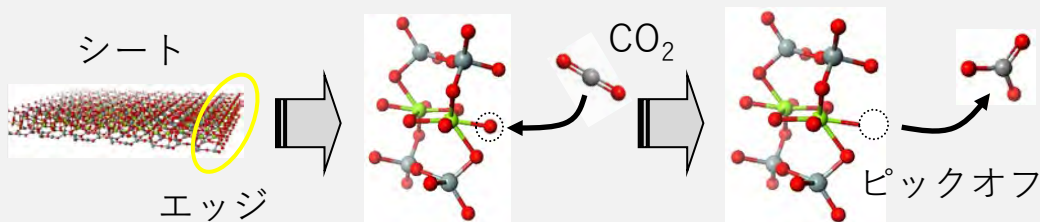
1. 研究の背景及び課題

粘土鉱物中には、最小ユニットである二次元ナノシートが部分的にオーバーラップするため、内部にナノシートエッジを露呈したナノ空間が高密度に存在する。本研究ではこのようなナノ空間内で安定な分子であるCO₂を活性化させ、水と熱を用いずに炭酸水素塩化によるCO₂吸収、分離、再生を可能とする固体吸収剤を開発する。



2. 課題に対する解決策

提案する炭酸水素塩化によるCO₂吸収では、安定なCO₂分子がナノシートエッジから酸素をピックアップして活性化するプロセスが律速となる。ピックアップ素過程を促進させるため、粘土鉱物の一次粒子サイズの縮小化を試みる。一方で、層間のナトリウムイオン濃度もCO₂吸収を律速する。ナトリウムイオン濃度を増加させるため、陽イオンを層間に保持する能力の指標である陽イオン交換容量の向上を試みる。



3. 研究の特徴

固体吸収材の課題として、①性能が十分に高いとは言えない、②担持体を必要とする（あるいは製造する必要がある）、③分解劣化しやすい、④再生蒸気を必要とする、⑤環境リスクへの懸念が挙げられる。本課題で提案する粘土鉱物を用いた固体吸収剤は、これらを全て解決する。既に予備的研究で、CO₂吸収量35重量パーセントを達成している。よりコンパクトな吸収・分離・回収システムの実現、ベンチ試験やパイロット試験に向けたスケールアップの過程でコスト削減につながることも期待される。

4. 波及効果

本研究により開発される粘土鉱物を用いた固体吸収剤は、低コスト化、低エネルギー消費化、長寿命化の点から優位性が高い。加えて環境に負荷がない材料であることも特筆される。予備的研究段階で開発したいくつかの固体吸収剤は、ガス圧0.05から6メガパスカルのCO₂ガスに対して35重量パーセントほどのCO₂を安定して吸収することがわかっている。このようなガス圧領域での卓越した吸収特性から、ベンチ試験やパイロット試験などのスケールアップ後には、製鉄所の高炉ガス、火力発電所の排ガス、石炭ガス化ガス発電の排ガスに対して波及効果が期待される。

②微生物燃料電池を用いた次世代大気中 CO₂固定化技術の研究開発

研究代表者（所属機関）：佐野大輔（国立大学法人東北大学）
参加機関：新日本空調株式会社、ヤンマーホールディングス株式会社

鉱物化による CO₂
固定化技術

概要：エアカソード型微生物燃料電池を用いた次世代大気中二酸化炭素固定化技術を開発し、カーボンニュートラルの達成に貢献

1. 研究の背景及び課題

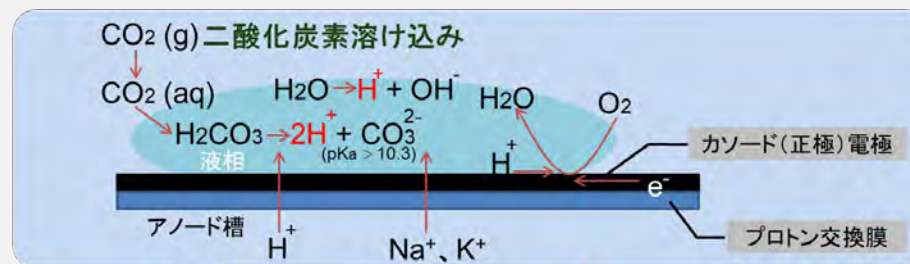
- ◆ 2050年カーボンニュートラルの実現に向け、二酸化炭素回収・貯留（Carbon dioxide Capture and Storage : CCS）技術などが盛んに研究されている。
- ◆ 現時点でのCCS技術における主流の方法はアルカリ性溶液（吸収液）を用いる化学吸収法である。
- ◆ 化学吸収法は、吸収液に二酸化炭素を化学反応で吸収させ、重炭酸イオンとして回収するものであるが、アルカリ性溶液の合成に一定のエネルギーが必要であり、また二酸化炭素回収後のアルカリ性溶液の処分コストや、回収した二酸化炭素を分離してアルカリ性溶液を再利用するためのコストが問題となる

3. 研究の特徴

- ◆ MFCを用いたアルカリ性水溶液の合成において電気生産菌の活性を活用し、そのエネルギー源として下水由来有機物を用いることで、捨てられる下水をエネルギー源とした大気中二酸化炭素の回収・固定を行う。
- ◆ 本技術では、炭酸／重炭酸塩以外の化学物質を含まないアルカリ性溶液に二酸化炭素が溶解し、水が蒸発することで炭酸塩／重炭酸塩が析出し固形物として回収されるため、従来の化学吸収法で発生するアルカリ性溶液の処分コストや再利用コストが生じない。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 微生物燃料電池（Microbial Fuel Cells : MFC）を用いた独自のアルカリ性溶液合成法を提案し、その実用化を目指す。
- ◆ MFCを用いたアルカリ性水溶液の合成において電気生産菌の活性を活用し、そのエネルギー源として下水由来有機物を用いることで、捨てられる下水をエネルギー源とした大気中二酸化炭素の回収・固定を行う。



空気カソード型
MFC

下水処理場



下水処理における
LCCO₂をニュートラルに

4. 波及効果

- ◆ 人間活動により発生する下水を用い、広く浅く大気中二酸化炭素を固定する次世代の「**コビキタスCCS**」が実現する。

③木灰を用いたバイオマスコンクリートの実用強度化

研究代表者（所属機関）：大内 雅博（高知県公立大学法人 高知工科大学）

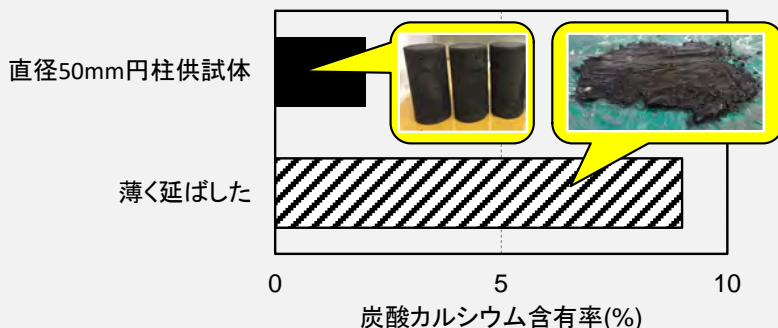
鉱物化による
CO₂ 固定化技術

概要：木質バイオマス発電の副産物である木灰のみから成るバイオマスコンクリート（「木灰コンクリート」）の実用強度化技術を開発する。練混ぜ水中の二酸化炭素濃度を高め、木灰に含まれる酸化カルシウムの炭酸硬化反応を促進させることにより建設材料として必要な強度増進を図る。

1. 研究の背景及び課題

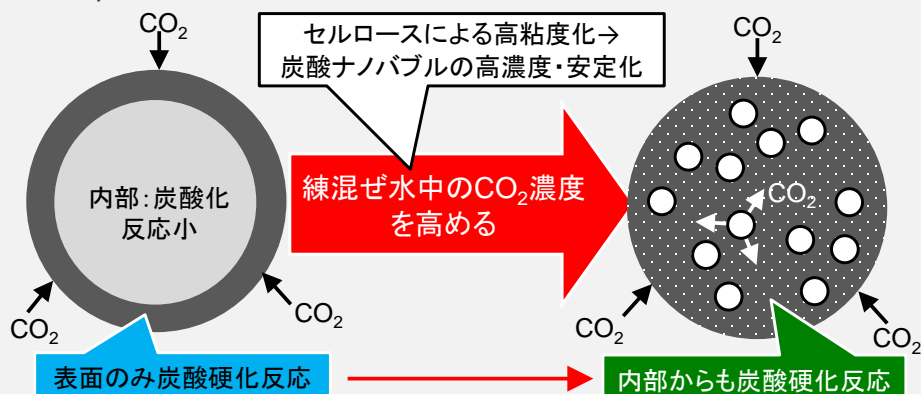
大気中の二酸化炭素と反応して炭酸カルシウム生成により硬化する木灰コンクリートの圧縮強度は4N/mm²と不十分。

実用強度化のためには反応する二酸化炭素供給量を高める必要があるが、内部への供給は困難である。



2. 課題に対する解決策

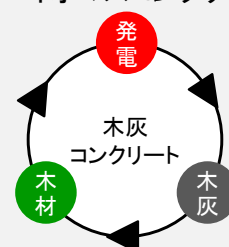
練混ぜ水中の二酸化炭素を濃度を高めると共に粘度を高めて安定化し、内部から炭酸硬化反応を促進して強度増進を図る。



3. 研究の特徴

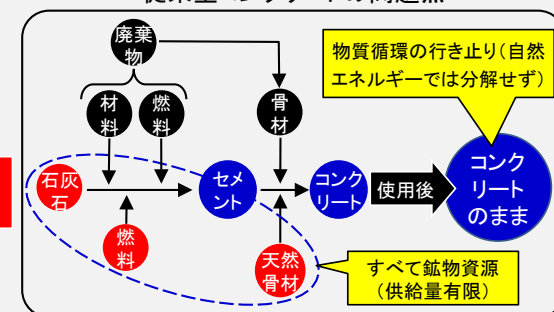
自然エネルギーによる物質循環にこだわり、現生植物由来の材料のみを使用。

木灰コンクリート=物質循環するバイオマスコンクリート



物質循環問題解決のために

従来型コンクリートの問題点



4. 波及効果

直接：木灰コンクリートの強度増進のための二酸化炭素吸収増
間接：作業効率向上による林業活性化と二酸化炭素吸収増



④先端的蓄熱技術を応用した 熱交換器レスCO₂メタネーションプロセスの開発

研究代表者（所属機関）：能村貴宏（国立大学法人北海道大学大学院工学研究院）
参加機関：国立大学法人北海道大学大学院工学研究院、一般財団法人エネルギー総合工学研究所

燃料への
転換技術

概要：蓄熱触媒を用いた反応熱制御技術を開発し、CO₂メタネーションの普及に貢献

1. 研究の背景及び課題

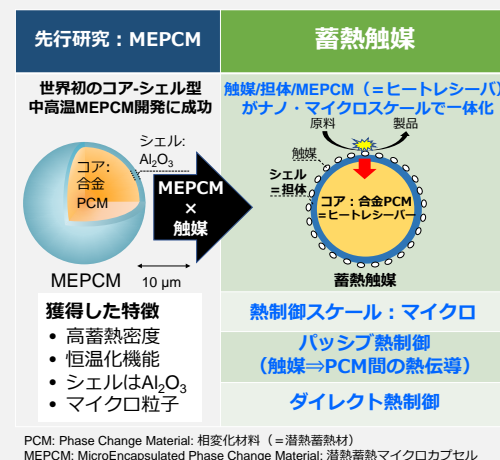
- ◆ CO₂メタネーションプロセスでは触媒層内におけるホットスポットの発生、収率の低下、触媒劣化が課題となっている。
- ◆ 上記の課題への対応策として、シェル&チューブ式やプレート式熱交換器を用いた反応熱制御技術の適用が検討されているが、冷却制御により反応熱が“低温排熱化”してしまい、有効利用できず反応プロセス全体のエネルギー効率を低下させてしまうこともまた課題となっている。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 北海道大学では200～800°程度で利用可能なコア-シェル型潜熱蓄熱マイクロカプセル（*h*-MEPCM: Hokkaido university MicroEncapsulated Phase Change Material）を開発している。*h*-MEPCMは作動温度での蓄熱量はAl₂O₃の約300倍と極めて高蓄熱密度な先進的蓄熱材料である。
- ◆ *h*-MEPCMと触媒または触媒/触媒担体を一体化させた蓄熱触媒を開発し、その潜熱蓄熱機能によるパッシブかつダイレクトに反応熱を一定温度で吸放熱制御可能な反応熱制御・循環利用プロセスを構築することで、上記の問題を解決できる可能性がある。

3. 研究の特徴

- ◆ 蓄熱触媒 = 反応熱制御機能、熱輸送機能を持つ触媒。
- ◆ *h*-MEPCMを基盤とした先端的蓄熱技術を反応熱の制御に適用したいわば「蓄熱型」の新たな反応器設計概念の提案。



4. 波及効果

- ◆ CO₂メタネーションにおける種々の技術的課題の解決。
- ◆ 反応器における熱交換器部分の熱交換器レス化の実現。
- ◆ 吸発熱反応のインテグレーション・コプロダクションによる排熱レス触媒反応プロセスの実現。
- ◆ 合成メタンの利用による既存インフラを用いたグリーン水素の輸送、合成メタン消費由来のCO₂回収利用を組み合わせることによるCO₂リサイクル。
- ◆ CO₂メタネーション以外の反応系への展開による化学プロセスの省エネ化。

研究代表者（所属機関）：吉田 朋子（大阪公立大学）
参加機関：名古屋大学

化学品への
転換技術

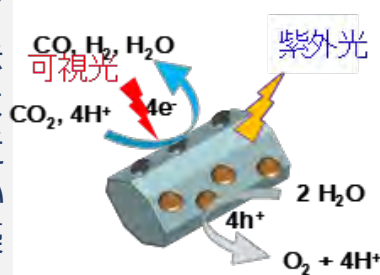
概要：紫外光だけでなく可視・近赤外光も利用する新規光触媒を開発し、革新的CO₂還元反応システムを構築

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 太陽光エネルギーと光触媒を用いた人工光合成（水による二酸化炭素還元反応）は、各種燃料や化学品の原料となる合成ガス（CO及びH₂）を生産するため、環境・エネルギー問題解決に資する革新技術として注目を集めている。しかし、この反応ではバンドギャップの大きな半導体光触媒を用いるため、太陽光のうち紫外光しか利用できず、CO生成効率が低いという問題点がある。このため、紫外光だけでなく、可視・近赤外光も利用する新規光触媒を開発することでCO₂還元反応効率を向上させることが課題となっている。

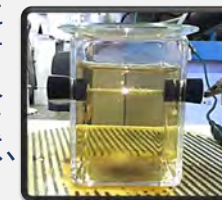
2. 課題に対する解決策

- ◆ 我々は、金属ナノ粒子助触媒を担持した酸化ガリウム（Ga₂O₃）に対して、光触媒のバンド間電子励起を促す紫外光に加えて金属ナノ粒子助触媒のプラズモン励起を促す可視・近赤外光を照射するとCO₂還元反応活性が格段に向上することを最近見出している。
- ◆ 本研究では、金属ナノ粒子助触媒のサイズ・形状を最適化することで、可視・近赤外領域の吸光度を格段に高めることにより、紫外光の電子励起作用と、可視・近赤外光の加熱作用の相乗効果に基づいた高効率CO₂還元反応システムを構築することで、課題を解決する。



3. 研究の特徴

- ◆ 溶液還元法やコロイド合成法等の従来法によって金属ナノ粒子が合成されているが、触媒被毒の原因となる分散剤や保護配位子が残存するため、清浄表面を持つナノ粒子助触媒の合成は未だ困難である。これに対して本研究では、液中プラズマ法を応用した独創的な触媒調製法を確立することが特徴となっている。触媒反応に適した清浄表面を持つ様々な金属ナノ粒子助触媒を高速合成し、そのサイズと形状、析出分布を緻密に制御することができる。



4. 波及効果

- ◆ 本研究で開発するカーボンリサイクル技術は、産業活動から排出されるCO₂を利用して、あらゆる基幹化成品、燃料合成につながる合成ガス（CO+水素）、メタノール、エタノールに変換するものであることから、産業に応用される実現性が極めて高い。特に製鐵所や石炭火力発電所から排出される高濃度CO₂を対象とした大規模なCO₂削減・資源化が期待される。
- ◆ 液中プラズマ法を応用した金属ナノ粒子の高速合成が確立すれば、学術・科学技術分野だけでなく産業界において非常に大きな波及効果が期待される。

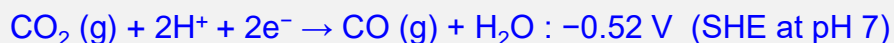
研究代表者（所属機関）：倉持 悠輔（東京理科大学）
参加機関：

化学品への
転換技術

概要：CO₂やN₂などの小分子を環状ポルフィリン多量体が形成する特異環境内で選択的に高エネルギー物質へと変換していく。

1. 研究の背景及び課題

太陽エネルギーを用いてCO₂を還元し高エネルギー物質を得ることは、環境及びエネルギー問題を一挙に解決できる技術として注目を集めている。一方で、水の存在下にてCO₂を選択的に還元することは、以下のような熱力学的に起こりやすい水素生成が競合するため困難である。



そのため水存在下でCO₂還元反応を優先的に進行させるためには適切な触媒が必要である。例えば、金属カルボニル錯体を半導体光触媒に担持すると、水を電子源として光とCO₂から水素生成を伴わずに高選択的にCOやギ酸を生成することができる。ただし、さらに還元が進んだメタノールやメタンなどの高エネルギー物質を高選択的に得ることは難しい。

アンモニアは主に肥料用に生産される汎用化学物質であり、またその高いエネルギー密度から化石燃料の有望な代替燃料としても期待されている。しかし現状では、アンモニアは窒素と水素を触媒下で高圧・高温下で反応させることで得られており膨大なエネルギーを要する。そのため、いかに温和な条件でアンモニアを得るかが研究課題となっている。

2. 課題に対する解決策

CO₂還元反応においては、COなどの還元生成物が触媒から脱離し大気中に放出されるため継続した反応が起こりにくい。またアンモニア合成では反応性の乏しい窒素を捕捉することが困難である。これらの課題を解決するために、(1) 生成したCO₂還元生成物を保持、または窒素を捕捉、(2) 反応触媒を内包可能なナノ空孔が必要である。

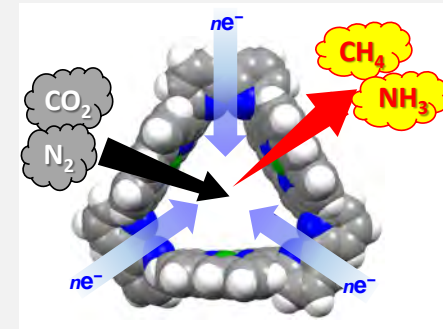
3. 研究の特徴

ビピリジン架橋環状ポルフィリン多量体：ポルフィリンで囲まれたナノ空孔内部にビピリジン配位子が存在するため、ここを介して多数かつ異種の金属イオンや錯体をその空孔内に集積できる。

本研究では、これら環状ポルフィリン多量体とそれが形成するナノ空孔及び配位子場を利用して、以下2つの反応について検討を行っていく。

① 光触媒的CO₂逐次還元反応

光触媒的CO₂還元反応を行い、金属カルボニル錯体触媒上で生成したCOをナノ空孔に閉じ込めることで、さらに還元が進んだ生成物やCOを原料とする有機生成物を創成する。



② 常温常圧下で窒素固定反応

ナノ空孔内で取り込んだ窒素分子にビピリジン上に導入した複数のヒドリド錯体からプロトン共役電子移動を行い、常温常圧下で窒素からアンモニアまで多電子還元反応を行う。

4. 波及効果

本研究で開発した環状ポルフィリン多量体触媒をペロブスカイト太陽電池や半導体光触媒等と組み合わせることができれば、水分解によって水素の代わりにCO₂を炭素源とする有用化学物質を得ることや、常温常圧条件下で窒素を取り込み太陽光と窒素から触媒的にアンモニアを合成することが可能となる。

⑦ バイオマス資源を原料にしたナイロン 前駆体化合物の微生物生産技術開発

研究代表者（所属機関）：清水雅士（マイクロバイオファクトリー株式会社）
参加機関：地方独立行政法人大阪産業技術研究所

化学品への転換技術
（生物活用）

概要：ナイロン前駆体化学物質をバイオマス資源から生産することで、ナイロン製造における二酸化炭素排出低減に貢献

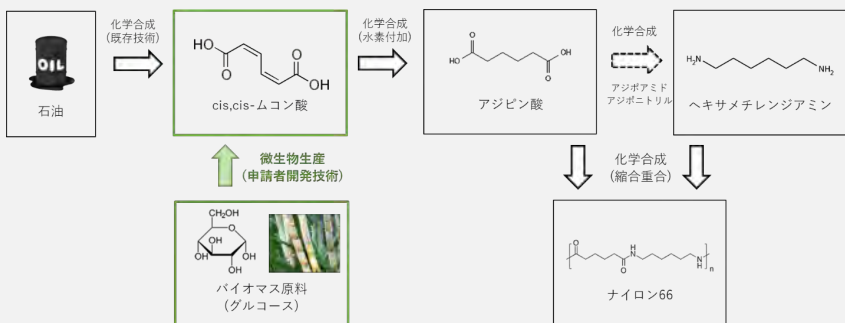
1. 研究の背景及び課題

ナイロンは世界で3兆円以上(出典：Grand View Research, Inc., 2022)の市場規模を誇る汎用化学品です。各種ナイロンのうち、最も生産量が多いナイロン66は自動車や電気部品、繊維製品等に幅広く利用されています。ナイロン66の原料となるアジピン酸やヘキサメチレンジアミンは現在は石油資源から作られます。

持続可能なナイロン製造のためには、石油資源に依存せずに再生可能なバイオマス資源から製造する技術の開発が重要になります。

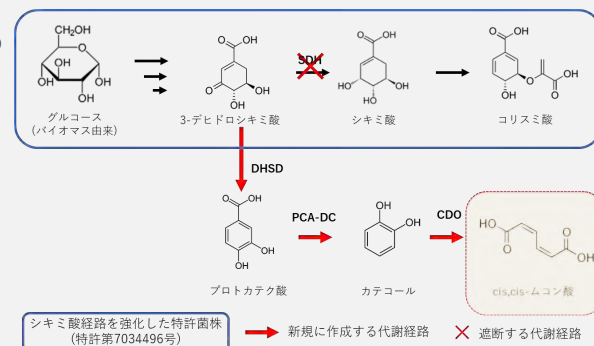
2. 課題に対する解決策

バイオマス資源から得られるグルコースを原料に、微生物を活用し、ナイロンの原料に利用できるcis,cis-ムコン酸を生産することで、石油資源に依存しないナイロン製造技術を開発します。



3. 研究の特徴

芳香族化合物を高生産する特許菌株をベースに遺伝子組み換えを行うことで、グルコースからcis,cis-ムコン酸を発酵生産する微生物を開発します。



4. 波及効果

石油原料からナイロン66を1kg製造すると、7.58kgの二酸化炭素が発生します(出典：経産省)。ナイロン66は世界で約200万トン毎年生産されるため、年間約1,500万トンの二酸化炭素がナイロン66製造工程から発生しています。また、ナイロン66原料となるアジピン酸はその製造時に二酸化炭素の300倍の温室効果を持つ亜酸化窒素が副産物として発生します。

申請者が開発する技術はバイオマス資源を利用するため、カーボンニュートラルです。また、発酵プロセスでは亜酸化窒素は発生しないため、化学合成法に比べ、サステナブルな製法になります。

⑧革新的CO₂利用に向けた C1完全バイオ循環空間デザイン

研究代表者（所属機関）：野田修平（理化学研究所）
参加機関：理化学研究所、神戸大学

化学品への転換技術

概要：CO₂由来メタノールから化成品原料を作る微生物を開発し、CO₂の有効活用に貢献する。

1. 研究の背景及び課題

近年、CO₂の有効利用を目指すカーボンサイクルという概念の重要性が、声高に叫ばれている。微生物を用いたCO₂からの燃料・化成品生産は、常温常圧下で反応が完結するという究極にクリーンなプロセスを設計することが可能である。微生物を用いたCO₂から直接の物質生産については、光合成細菌による研究が進められているが、その生産速度の遅さや生産性の低さ、大規模生産の難易度などから、産業化への障壁は非常に高い。本申請では、CO₂によるカーボンサイクルを仲介する化合物としてメタノールに注目した。

2. 課題に対する解決策

近年、C1化学の発展に伴い、CO₂のメタノールへの変換に関わる技術が急速に発展している。工場排出CO₂のカーボンサイクルを目的として技術開発が進められており、再生メタノールは化学変換により化成品や燃料に変換され再利用される。また、重要な基礎原料であるメタノールは景気に左右されず安定供給可能であり、微生物を用いてメタノールから有用化合物を合成する技術開発は、① CO₂由来メタノールの利用による直接的なCO₂活用、② バイオプロセスを用いたメタノール大規模利用による産業界全体でのカーボンサイクル、以上2つの観点から、CO₂有効利用に向けた強力な戦略の柱になる。



3. 研究の特徴

申請者らは、合理的酵素開発、人工進化的代謝制御の両独自技術を基盤として、マレイン酸やブタジエンを含む、これまでに微生物合成が不可能だった有用化合物の微生物合成に次々と成功した（Nat Commun, 2021; Nat Commun, 2020; Nat Commun, 2017）。本申請ではこれらの基盤技術を基に、微生物を用いてCO₂由来のC1メタノールを常温常圧下で有用化合物へと増炭する究極の技術開発を行う。

4. 波及効果

本研究の大きな特徴は、微生物が直接利用することが難しいCO₂ではなく、CO₂からの合成方法が確立されている目づ、産業的に安定供給が可能なC1メタノールを原料として微生物を用いて究極にクリーンなカーボンサイクルプロセスを開発することである。現在、幅広く検討されているCO₂をメタノール経由で化成品原料に変換する完全化学プロセスの一部をバイオプロセスに置き換えることで、CO₂の有効利用及びプロセス全体でのCO₂排出削減を同時に達成することが可能となる。また、微生物プロセスの部分に関しては、我が国には長年の歴史の中で培われた醸造産業やアミノ酸発酵産業における微生物の大規模培養プロセスに関する蓄積されたノウハウがあり、技術の産業移転は極めて現実的である。微生物が難利用性のCO₂や取り扱いに危険性のあるギ酸ではなく、液体で安定に貯蔵可能なメタノールに着目した点も生産プロセスの安全性と言った面において将来的に信頼度の高い技術開発である。

⑨産業廃棄物の水熱処理による CO₂ 還元法の開発

研究代表者（所属機関）：坪内直人（北海道大学）
参加機関：なし

炭素資源等の
循環に係る研究

概要：Al 種の回収/NH₃ 製造/不純物除去/カーボンサイクル (CO₂ 利用)/有価物 (H₂、有機酸) の併産を可能とする Al dross 無害化・リサイクル法を開発し、当該産業の低炭素化と発展に貢献

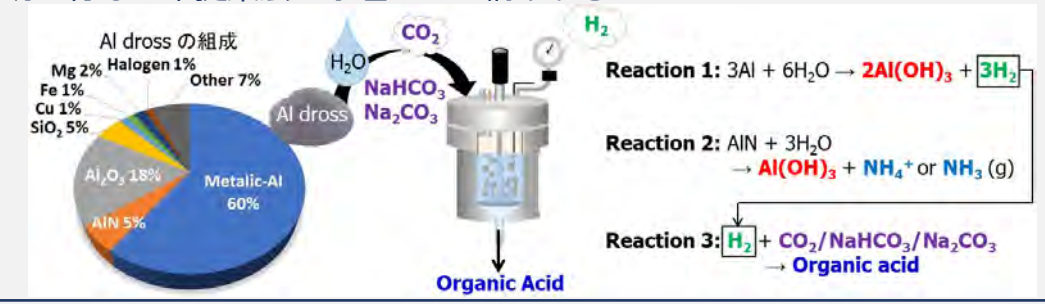
1. 研究の背景及び課題

Al は軽量なため CO₂ 排出量削減を目指す自動車産業等で需要増加が見込まれるものの、製造工程で発生するドロスとその残灰 (dross) (37万t/年) は H₂O と反応し NH₃ を生成する AlN と溶出するハロゲンを含んでいるため、利活用法が制限されている。

現在 3 万 t/年の dross が埋立て処理されているが、費用の高騰や処理場の逼迫から一部生産現場で保管されており、この問題は今後更に深刻化すると予想される。そのため dross の無害化法を含めたリサイクルの開発が喫緊の課題である。しかし、既存 dross 処理法は低 AlN 分解率、高エネルギー・CO₂排出であり、カーボンリサイクルは全く考慮されていない。操業条件や設備等の効率化のみによる今後の Al 産業の大幅な CO₂ 排出量削減は困難である事は明白であるため、Zero Carbon 型の dross 無害化リサイクル法の開発が待たれている。

2. 課題に対する解決策

産業廃棄物として埋立処理されている dross のCO₂-水熱処理を行い、
①ドロス中の金属AlとH₂Oの反応によるAl再資源(Al(OH)₃)化とH₂製造
②有害物質 (ハロゲン (Cl,F) の除去と dross 中の AlN の NH₃ への転換
③水熱反応で発生するH₂とCO₂の反応を利用した有価物質(有機酸)製造
を効率で実施可能な最適反応条件の提示と分子レベルでの反応機構解明を行ない本提案法の原理基盤を構築する。



3. 研究の特徴

表1 Al dross の無害化処理・リサイクル法に関する既往の技術と提案法の比較

手法	原理	CO ₂ 排出量	エネルギー消費	メリット・デメリット
水処理	水への浸漬	少	少 (<100°C)	低N除去率(60%), Cl が多く残存
水熱処理	加圧熱水処理	少	少(250-300°C)	低N除去率(67%), Cl 除去率 98%
焼成法	AlN加熱分解	多	多(1300-1800°C)	高エネルギー・CO ₂ 排出, 分解率小
熔融処理法	プラズマ加熱	多	多(>800°C)	高エネルギー・CO ₂ 排出操業
テルミット法	Al を Zn還元剤に利用	多	多(>1000°C)	高品位(高Al含有量)のdrossのみしか適用できない-低品位drossは不向き
本提案法	加圧熱水処理 CO₂還元利用	極少 (CO₂利用)	少(200-350°C) 排熱利用	Al製造工程の排熱利用を想定, 無害化、リサイクルと有価物(有機酸, NH₃)製造が可→高付加価値

➡ 既存法はいずれもカーボンリサイクルは全く考慮されていない
特徴：カーボンリサイクル併用型リサイクル法 (CO₂ 還元を利用した有価物 (有機酸、NH₃、H₂) 製造と dross リサイクルの技術) の報告は皆無であり、本研究は革新性と独創性が極めて高い。

4. 波及効果

- CO₂ の有機酸転換やH₂、NH₄⁺の副生が可能なことから、後者の自産業での利用によりAl 産業からの CO₂ 排出量 (141万t-CO₂/年) 削減に寄与
- Drossから生産される水酸化 Al 量は約 4~50 万t/年で既存の水酸化 Al 製造法 (バイヤー法) の本法への代替のみでも (CO₂ 還元を含めない) 2,200t/年以上の CO₂ を削減可能と試算される。
- 本提案法で生成する H₂ 量は CO₂ 還元作用するものも含めて 0.05~0.7万t/年と見積もられ、そのH₂ を利用した有機酸製造による CO₂ 削減量は 35~45万t/年以上と推算され、Al産業の低炭素化に寄与。
- 本提案法はCO₂削減が可能のため、他金属産業からの金属含有廃棄物処理にも応用可能。→日本国内の製錬所 (Cu, Fe, Ni, Zn 等のダストやスラグ) の低炭素化に寄与できる可能性有。

⑩ 固体化をトリガーとする 大気中CO₂選択的回収技術の開発

研究代表者（所属機関）：稲垣 冬彦（神戸学院大学）
参加機関：なし

CO₂分離回収
に係る研究

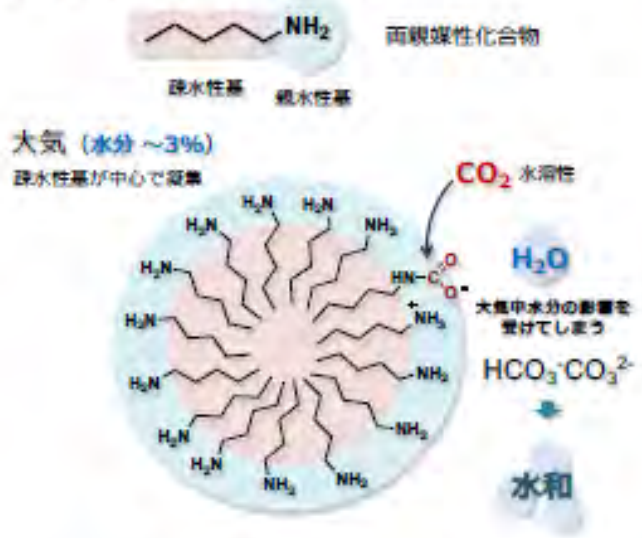
概要：水分離可能なCO₂回収技術を開発し、脱炭素技術の普及に貢献

1. 研究の背景及び課題

- ◆ CO₂吸収・放出剤は、CO₂加熱放出時の水加熱分のエネルギー削減が急務だが、吸収剤に用いるアミンは親水性基のため、従来含水は避けられない問題とされてきた。

従来の常識

両親媒性化合物が大気中に存在すると、大気中水分の影響で親水性官能基が外側に位置し、CO₂を吸収後に大気中水分の影響を受けて炭酸水素塩や炭酸塩、水和物に変化すると考えられてきた。



2. 課題に対する解決策

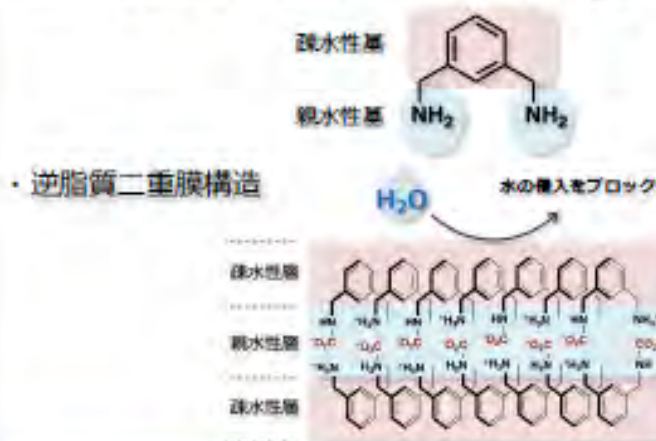
- ◆ 創薬技術を応用し、アミン近傍に疎水性官能基を導入し、耐水性を発現させる。

3. 研究の特徴

- ◆ 従来の常識を覆し、逆脂質二重膜構造によるCO₂選択的吸収・放出剤の開発が可能。

新技術

疎水性基を適切に配置すると、大気中CO₂を選択的に吸収する。



4. 波及効果

- ◆ 水分離可能な効率的DAC吸収・放出剤

研究代表者（所属機関）：小松秀徳（（一財）電力中央研究所）
参加機関：Saint Mary's University

社会科学等の
研究

概要：カーボンリサイクル技術・製品を敬遠する態度を緩和させるメッセージを、情報発信者の望ましいプロフィールまで含めて設計することで、カーボンリサイクル技術・製品の普及促進に貢献する。

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 新技術は、実際リスクが小さくても未知のリスクとして恐れられ、誤情報などにより普及が進まなくなる場合も多い。カーボンリサイクル製品も同様の状況に直面する可能性があるが、こうした問題が**科学的に正確な情報提供のみで解決することはほとんどない**。
- ◆ 低環境負荷を目的とした技術や製品は一般に高コストである。補助金制度による大量生産で価格が低下する場合もあるが、非効率な技術や製品まで延命し、増税による国民負担となることも多い。
- ◆ **表現方法の工夫のみで、カーボンリサイクル技術・製品の受け入れられやすさを高めるメッセージ設計が必要**である。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 既に複数のトピックや国において有効性が確認されている、**血縁者からの支援を想起させるメッセージ**を改良し、カーボンリサイクル技術・製品の受け入れやすさを高める情報提供手法として設計する（図はBECCS技術の普及促進を狙ったメッセージのイメージ）。
- ◆ 情報提供者のプロファイル（ソーシャルネットワーキングサービスでのフォロワー数など）がメッセージの効果に与える影響を評価し、**メッセージ発信を行うにあたっての望ましい人物像を特定**する。



3. 研究の特徴

- ◆ 生物進化の知見を活用し、一貫した理論体系に基づいてメッセージ設計が可能となり、実世界での試行錯誤を削減することができる（表）。
- ◆ 我が国においてのみならず、環境意識が非常に高いカナダにおいても効果測定を実施し、**二カ国で比較分析することを通じて、より効果的なメッセージを確立**する。

	従来手法	提案手法
設計指針	個別具体的な理論が散在	進化心理学に基づく一貫した理論体系
実世界での試行錯誤	必要	不要 （計算機上の事前検討で代替）

4. 波及効果

- ◆ カーボンリサイクル製品・技術の普及促進が可能になる。将来登場するカーボンリサイクル製品について、製造過程で使用される物質などが取りざたされて**風評被害を生じるリスクを軽減**する。
- ◆ 各種カーボンリサイクル関連施設を建設する際、PR活動に活用することで、立地交渉がよりスムーズに進められるようになる。
- ◆ メッセージの表現方法と発信者のみを事前に決定するアプローチであるため、経済的インセンティブに訴えかける方法よりも、はるかに低コストで幅広く適用可能であり、**大きな費用対効果が期待**できる。
- ◆ 利他性に訴えかけるメッセージを活用するため、こうした価値観が強い**ミレニアル世代やZ世代などへの訴求力が期待**される。

研究代表者（所属機関）：山本 郁夫（国立大学法人長崎大学）
参加機関：JAMSTEC、気象庁気象研究所、長崎海洋産業クラスター形成推進協議会

CO₂吸収源に
係る研究

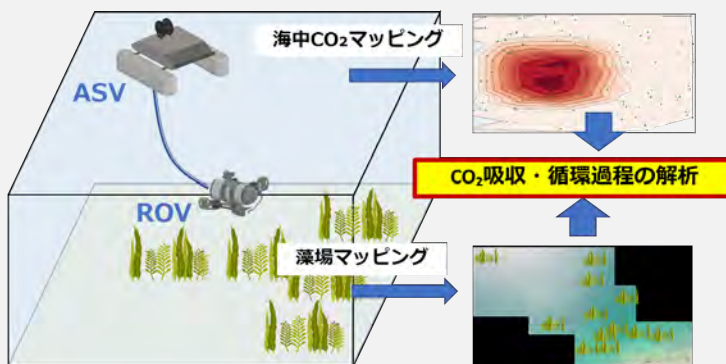
概要：複数のセンサユニットを搭載した海洋モビリティを開発し、海中CO₂濃度と藻場の育成状況を同時に把握可能とすることで、海中でのCO₂吸収・循環過程の解析に貢献

1. 研究の背景及び課題

海洋は人間活動によって排出されたCO₂の約4分の1を吸収し、温暖化の緩和に貢献しているとされる。特に沿岸域に着目すると、CO₂吸収源として大型海藻場の寄与が非常に大きいことが推定されている。しかし、海水中のCO₂測定は、pCO₂に加えpH等の計測が必要なためセンサーの重量負荷が大きくなり、海洋モビリティによるエリアマッピングを前提にした自動計測はほとんど行われておらず観測データは不足しており、実態把握と循環過程の解明が進んでいないのが現状となっている。

2. 課題に対する解決策

ASVとpCO₂センサ、藻場観測のためカメラを搭載したROV連携ユニットにより、海中CO₂濃度等の計測と藻場観測を同時に行い、海中でのCO₂吸収・循環過程の解析を可能とする。ASVと各種ユニットはケーブルにより接続されており、位置データとセンサ値を関連付けてマッピングすることが可能となる。長崎県内の実証フィールドにおける実海域試験を、藻場の異なる生育ステージ毎に行い、海中でのCO₂吸収・循環過程における藻場の寄与についての解析を行う。



3. 研究の特徴

海洋モビリティによる浅海域での海水中のCO₂の自動計測や精度の高いエリアマッピングはこれまでにほとんど行われていない。本研究では、これまでに山本研究室で開発してきたASVとROVの連携システムを応用し、ASV側の測位に合わせてセンサユニットによる計測とROVによる藻場撮影を行うことで、CO₂濃度分布と藻場生育状況をマッピングし、これまでに十分に定量化がなされてこなかったブルーカーボンの解析を可能とする。

4. 波及効果

- ◆ 本研究により、海水中のCO₂を含む全炭酸やO₂を定量的に「見える化」し、そのデータを藻場育成状況とも関連付けることで、ブルーカーボンの定量化が可能となる。
- ◆ CO₂吸収・循環が正確に評価できるようになることで、クレジットとして取引されるCO₂吸収量が正確に評価できるようになる。
- ◆ 日本近海でのブルーカーボンの実数を把握することにより、国際的枠組みに対し、日本の正確な排出CO₂量を主張することができる。
- ◆ 海中CO₂濃度などが藻場に与える影響を把握することで、効果的な藻場の育成方法を確立できる。
- ◆ 日本における、「センシング機能を持つ水中ロボット」の開発力を高めることができる。

研究代表者（所属機関）：松下祥子（学校法人日本大学理工学部）
参加機関：なし

CO₂吸収源に
係る研究

概要：高濃度二酸化炭素環境下における植物中のエピジェネティクス解析法を確立し、光合成速度を高める機能性肥料開発を目指すことにより、カーボンリサイクルおよびネガティブエミッションへ貢献する

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 地球温暖化への寄与度が高い二酸化炭素を有効利用源とする植物および大気中の二酸化炭素の回収・吸収に適した土壌環境の整備が求められている。
- ◆ 植物のエピジェネティクス制御機構を土壌環境から制御することにより、長期的な高濃度二酸化炭素環境下における光合成速度の低下を抑える手法開発に応用できると考えられる。
- ◆ しかしながら、光合成速度の低下を効率よく抑制可能なエピジェネティックなDNA修飾制御機構および土壌中の制御因子は不明である。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 分子の分布を直接解析可能なマトリクス支援レーザー脱離イオン化-イメージング質量分析（MALDI-IMS）を用いた高濃度二酸化炭素環境変化に伴うエピジェネティクス発現解析手法の確立を目指す。
- ◆ 制御にかかわる植物内のシグナル伝達機構を明らかにし、光合成速度を高める機能性肥料開発に繋げる。

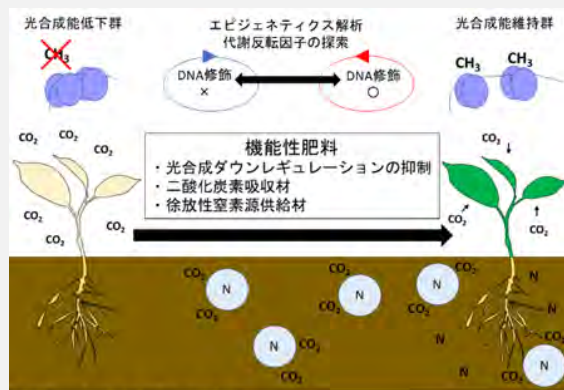


図1. 本研究の概要

3. 研究の特徴

- ◆ MALDI-IMSを用いた植物中のエピジェネティクス分布解析は世界初の試みである。
- ◆ 土壌中機能性肥料成分の組織内移行を評価可能手法が確立することとなり、革新性の高い研究であると言える。
- ◆ 機能性肥料として、土壌中に放出されるといったドラッグデリバリーシステムのような肥料作製にも応用可能な点にも新規性がある。
- ◆ 各種エピジェネティック修飾の解析と同時に植物中代謝物や機能性肥料の植物移行を解析する手法はなく、従来技術と比較して優位性は高い。

4. 波及効果

- ◆ 長期的な高濃度二酸化炭素環境下においても効率よく光合成を行う植物の育成が可能となり、二酸化炭素の利用効率が向上するため、カーボンリサイクルの推進が見込まれる。
- ◆ ネガティブエミッション効果を期待し、二酸化炭素の吸収源を用いた肥料の開発を目指すことにより、更なる二酸化炭素削減効果が期待できる。
- ◆ 機能性肥料の大量生産が実現すれば、世界への肥料の輸出・技術提供を介した経済効果も望める。
- ◆ 他の環境要因に適応するエピジェネティクス機構を解析することにより、農作物のブランド化への応用も可能になると考えられる。

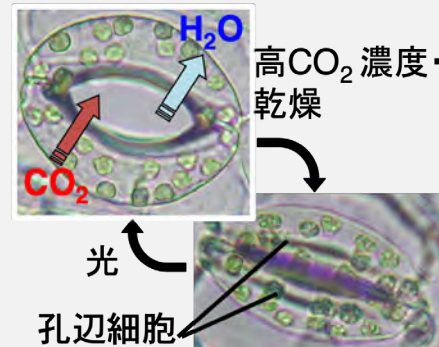
研究代表者（所属機関）：高橋 洋平（名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所）
参加機関：なし

CO₂吸収源に係る
研究

概要：植物のCO₂感知機構を操作する薬剤を開発し、植物によるCO₂吸収を促進してバイオマスへの炭素固定を増進する

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 植物は気孔を介して90%以上のCO₂を吸収する
- ◆ 気孔は光に応答して開口して光合成の材料となるCO₂吸収を促進する
- ◆ 人為的気孔開口により植物のCO₂吸収を増進できる可能性

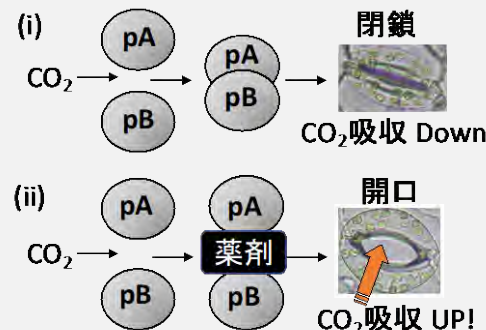


3. 研究の特徴

- ◆ 植物生理学的アプローチ
- ◆ 気孔の生理機能を大気CO₂吸収増進に活用
- ◆ 申請者らが見出したCO₂センサー「pA/pB」に着目した、先駆性・新規性の高い研究
- ◆ 植物の本来的・普遍的機能を活用した薬剤開発
- ◆ 名古屋大ITbMに蓄積するケミカルバイオロジーのノウハウを活用

2. 課題に対する解決策

- ◆ CO₂センシングのキーとなるタンパク質相互作用(pA/pB;右図)を阻害する薬剤により、気孔開口を維持することによりCO₂吸収の増進を狙う
- ◆ 薬剤スクリーニング、分子モデリングを駆使



4. 波及効果

- ◆ 光合成による炭素固定を加速して、年間2千億トンともいわれる植物の炭素固定能力を活用
- ◆ 農地・森林に新たな利用価値
- ◆ 植物生理学を基盤とした炭素循環への新たなアプローチ
- ◆ 遺伝子組み換えを使用しない新たな生物資源活用法

研究代表者（所属機関）：浅利 大介（株式会社Atomis）
参加機関：－

CO₂分離回収に係る技術

概要：多孔性配位高分子（PCP/MOF）を用いたCO₂分離回収プロセスを開発し、オンサイトなCO₂供給システムの普及に貢献する。

1. 研究の背景及び課題

CO₂直接空気回収(CO₂-DAC)は複数のプラントが既に稼働している。一方で**高コストが広域普及の足かせに**。

◆CO₂-DACにかかるコスト



◆2つのコスト課題

1. CO₂の分離回収ランニングコスト

アミン吸着材とCO₂の吸着エネルギーが大きい。

2. 設備コスト

給気に大型ファンが必要。設備コストの約5割を占める。²⁾

2. 課題に対する解決策

対策1:最適な固体吸着剤の開発

対策2:ガス回収システムの開発

¹⁾RITE「二酸化炭素固体吸着材の実用化に向けた研究開発の進展」
²⁾国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター
「二酸化炭素のDirect Air Capture (DAC)法のコストと評価 (Vo) 1.2」

3. 研究の特徴

最適な固体吸着剤の開発

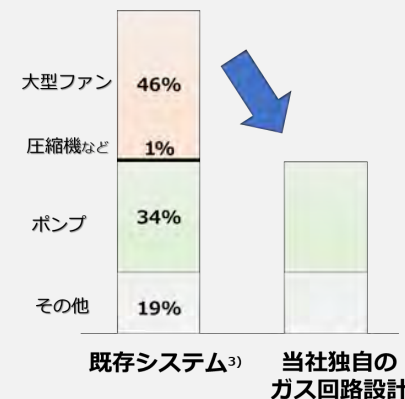
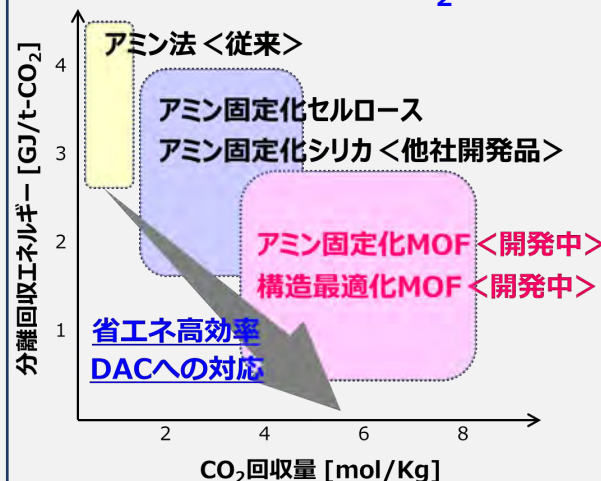
◆CO₂回収量と省エネ化の両立

◆ウェット環境でもCO₂吸着

ガス回収システムの開発

◆大型ファン削減(コスト▲47%)

◆省スペース



³⁾国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター
「二酸化炭素のDirect Air Capture (DAC)法のコストと評価 (Vo) 1.2」

4. 波及効果

◆CO₂ポンベの輸送や処理にかかっていた費用を削減

◆オンサイトなCO₂供給源として利用可能

◆用途展開：ドライアイス、農業用ガス、メタネーション、炭酸水など

研究代表者（所属機関）：川谷 光隆（Innovare株式会社）
参加機関：立命館大学、バンドン工科大学(インドネシア)、プリンス・オブ・ソンクラ大学（タイ・予定）

炭素資源等の
循環に係る研究

概要：東南アジアで、バイオ炭を活用した土壌炭素固定プロセスや蓄電池用キャパシタなどを開発し、カーボンニュートラルの実現に貢献

1. 研究の背景及び課題

- ◆ Innovare社は、東南アジアに偏在するプランテーションで収集可能な未利用バイオマスを原料とするバイオリファイナリー事業を推進。
- ◆ 未利用バイオマス資源である木の実からは、植物油を抽出するが、そのほかの残渣の有効利用は、廃棄物削減や事業価値向上の観点から、優先すべき課題として取り組んでいる。
- ◆ 特に、本事業で扱う未利用バイオマス資源は、世界的にも活用事例が少ないことから、その利用方法や収率などで不明な点が多いため、本事業での研究開発を通じた評価を行う。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 未利用バイオマス資源からは植物油を抽出するが、その残渣としては、殻と種子の搾り滓の2種類が残る。
- ◆ そこで、本研究では、①殻部分を加工した後に得られる粉末のバイオ炭化による用途開発として土壌炭素固定とキャパシタの開発、②植物油残渣を用いたバイオガス原料としての活用可能性を検討する。
- ◆ 各研究開発は、インドネシアや日本の大学との産学連携により、研究開発を進める。



3. 研究の特徴

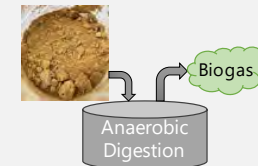
- ◆ これまでのInnovare社の調査では、本研究開発で用いる未利用バイオマス資源を使った事業化は当社以外に確認がされておらず、世界で唯一の事業者である。
- ◆ 殻の用途開発では、カーボンネガティブに繋がる土壌炭素固定や、将来的なエネルギー利用の核となるバッテリー関連部材の開発により、面的なカーボンニュートラルの実現に貢献する。
- ◆ 残渣を使ったバイオガスへの適用では、地域エネルギーの脱炭素だけでなく、エネルギーアクセスが脆弱な地域への導入による社会開発への貢献も目指す。



土壌炭素固定



バッテリー部材



バイオガス

4. 波及効果

- ◆ 土壌炭素固定では、Jクレジットや米国 NPO Verra（民間認証クレジット団体）の方法論等を活用したCO2貯留量を策定する。
- ◆ キャパシタやバイオガスについては、サンプル製作等により評価を行い、CO2削減効果の評価を行う。
- ◆ 本研究開発を行うことで、東南アジアに偏在するプランテーションに対して、原料調達による副収入を創出することができ、プランテーションの維持管理を促進できる。