



**CARBON
RECYCLING
FUND INSTITUTE**

一般社団法人カーボンリサイクルファンド

2023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)

2023年9月

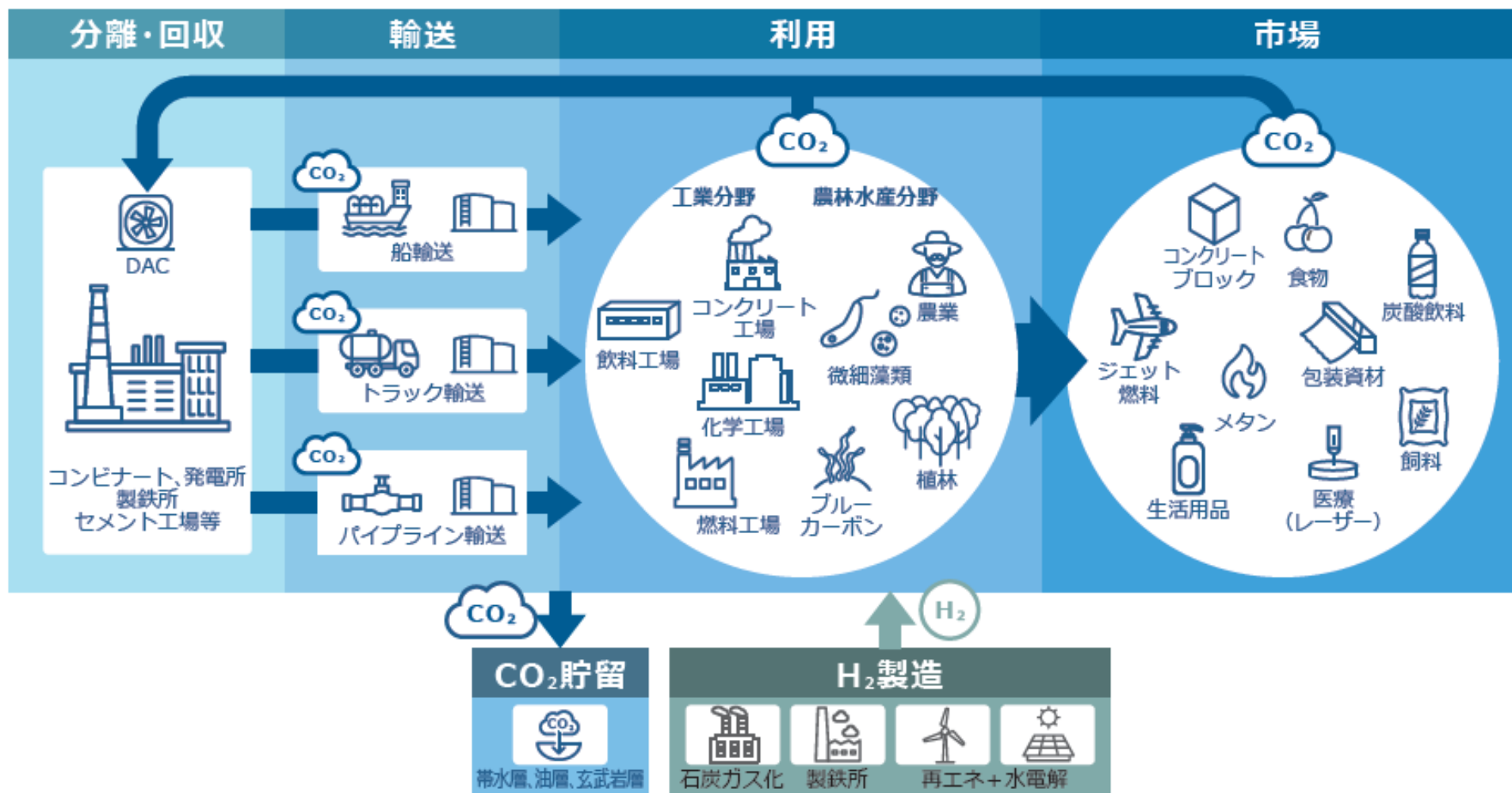
- 民間資金の特徴を活かした柔軟な運用でカーボンリサイクルに係る研究シーズ（アイデア、人）を発掘、取り組みを支援
- 過去の採択テーマから複数の国プロジェクトが生まれ、社会実装に向け進展

	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 2022年度からは、スタートアップ枠を設置
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CR、関連技術、CR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・ハイミミック等含む） ● 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、ブルーカーボン、農林水産等)活用によるネガティブエミッション分野 ● 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 企業との連携などの社会実現可能性等
助成規模・期間	1,000万円程度/件（平均助成額約700万円/件）・2年以内を目標
応募・採択件数	2020年度：35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29件→2件採択 2023年度：一般公募56件⇒14件採択、スタートアップ枠31件→2件採択
研究成果の帰属	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。



● : 40歳以下の若手研究者 緑 : スタートアップ企業

分野	研究課題名	研究代表者名 (所属機関)
CO ₂ 分離回収 (排気回収)	① 無欠陥MOF極薄膜が拓くCO ₂ 分離回収の実用化	田中 俊輔 (学校法人関西大学)
	② 革新的分離剤と光触媒による常温・常圧CR技術	田中 秀樹 (国立大学法人信州大学)
CO ₂ 分離回収 (DAC)	③ 新たなCO ₂ 放出システムによる高効率大気中CO ₂ 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)
	④ 革新分離膜と光応答性吸収剤によるDACシステムの開発	今堀 龍志 (学校法人東京理科大学)
	⑤ 【スタートアップ支援枠】 ゼオライトを用いた Direct Air Capture システムの開発	● 池上 京 (Planet Savers株式会社)
燃料への転換	⑥ 革新的オンデマンドレーザー駆動化学プロセスの開発	● 桑原 彬 (国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学)
化学品への 転換	⑦ 電気化学的CO ₂ 電解還元反応用高効率電極触媒の開発	● 伊藤 良一 (国立大学法人筑波大学)
	⑧ CO ₂ を原料とする革新的ダイレクトメタノール製造のための流動層 プラズマリアクターの開発	小林 信介 (国立大学法人東海国立大学機構 岐阜大学)
	⑨ 廃棄シリコンを還元剤とするCO ₂ の選択的化成品転換システムの開発	本倉 健 (国立大学法人横浜国立大学)
	⑩ 電気化学的脱水反応を利用したCO ₂ の有用化学品への変換技術の開発	● 竹内 勝彦 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所)
化学品への 転換 (生物活用)	⑪ 油脂工業原料の脱農産物依存：微生物を用いたCO ₂ からの高級アルコール 製造技術の開発	● 西尾 幸祐 (株式会社CO ₂ 資源化研究所)
社会科学	⑫ カーボンニュートラルな農山漁村にむけたレジーム変革：炭素吸収産業の 競争力向上のための基礎的考察	鷲津 明由 (学校法人早稲田大学)
高付加価材への転換	⑬ 二酸化炭素からのカーボンナノチューブ膜の直接コーティング技術の開発	● 鈴木 祐太 (学校法人同志社 同志社大学)
	⑭ CO ₂ を炭素源とするグリーンサステイナブル分子変換	森内敏之 (公立大学法人大阪 大阪公立大学)
炭素資源利用 (バイオマス)	⑮ 未利用炭素資源を有効利用する電気化学デバイスの開発	● 井戸 彬文 (一般財団法人電力中央研究所)
	⑯ 【スタートアップ支援枠】 大気中のCO ₂ 濃縮と高効率エネルギー生産を同時に実現する次世代 バイオマス発電技術の開発	● 間澤 敦 (京都大学イノベーションキャピタル 株式会社)
CO ₂ 直接利用	⑰ CO ₂ ハイドレート蓄放電システム	小原 伸哉 (国立大学法人北海道国立大学機構 北見工業大学)

① 無欠陥MOF極薄膜が拓くCO₂分離回収の実用化

田中 俊輔（関西大学 環境都市工学部 エネルギー環境・化学工学科 分離システム工学研究室）

CO₂分離回収
に係る技術

概要：金属有機構造体（MOF）を欠陥なく、かつ究極に薄膜化することによって、低圧・低濃度のCO₂を低コストで分離回収する膜分離技術の社会実装に貢献する。

1. 研究の背景及び課題

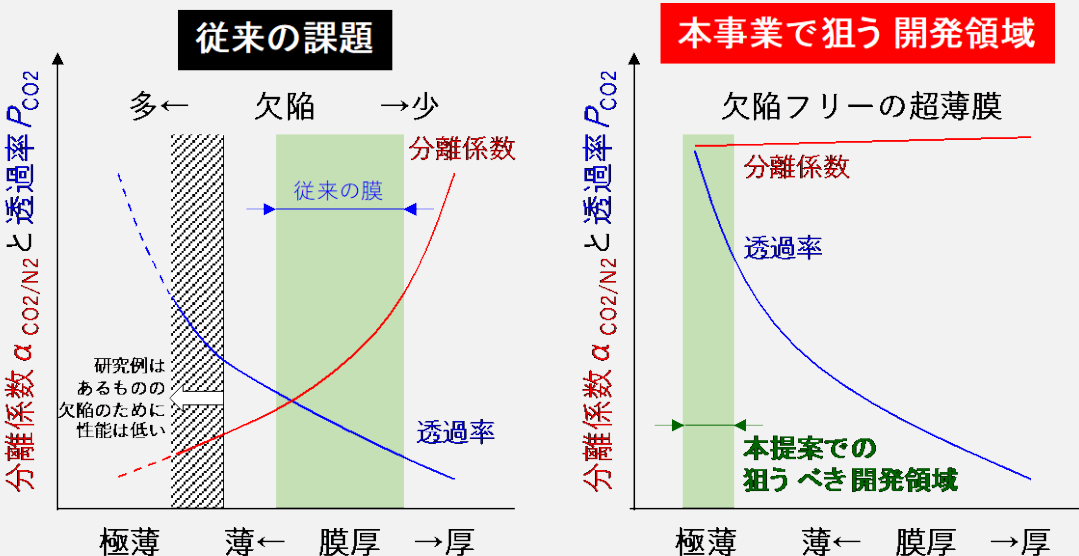
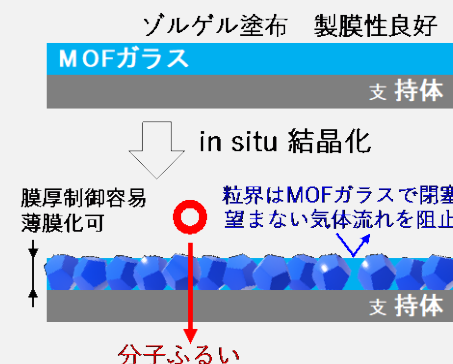
- ◆ 工業炉や中小廃棄物処理施設、集合施設・オフィスなどから排出されるCO₂の濃度は、極めて希薄（10%以下）であり、分離の駆動力の確保が難しいことが最大の課題。
- ◆ 小規模排出源（CO₂濃度5～10%）から直接CO₂を回収するためには、膜間差圧が極めて小さい条件においても作動する究極に薄い分子ふるい膜の開発が必要。
- ◆ 低圧・低濃度CO₂に対して規則性ナノ多孔質材料は材料の一部で高分離（選択）性能が認められるが、薄膜化するほどに発生する欠陥が課題。社会実装できる材料は未だ無い状態。

2. 課題に対する解決策

- ◆ Direct Air Capture（DAC）用の固体吸着剤としての実用化が検討されている金属有機構造体（MOF）を欠陥なく、かつ超薄膜化することで、究極の選択性と透過性を両立させる。

3. 研究の特徴

- ◆ MOFをガラス化して成形加工性を最大限に引き上げることによって超薄膜化を達成する。
- ◆ ガラス相⇄結晶相間のMOFの構造転移を製膜技術へ適用することによって無欠陥MOF膜の作製が期待できる。



4. 波及効果

- ◆ 本事業で開発する無欠陥MOF極薄膜は、CO₂排出量の40%以上を占める低濃度排出源や空気中のCO₂に対して安価な分離手段を提供するものである。産業、運輸部門のうち石炭火力発電による排出量と同程度のCO₂に膜分離技術を適用することにより5,000億円/年のコスト削減効果が見込まれる。回収されたCO₂を燃料、化学品、コンクリートなどに活用する技術の開発も並行して進められており、分離回収と組み合わせたサプライチェーン構築、ビジネスモデル確立が期待される。

研究代表者（所属機関）：田中 秀樹（国立大学法人信州大学）
参加機関：国立大学法人京都大学、学校法人東京理科大学、国立大学法人東京工業大学

CO₂分離回
収に係る技術

概要：工業炉・ボイラーなどの分散CO₂排出源を対象とした常温・常圧における超省エネCO₂分離・リサイクル技術を開発

1. 研究の背景及び課題

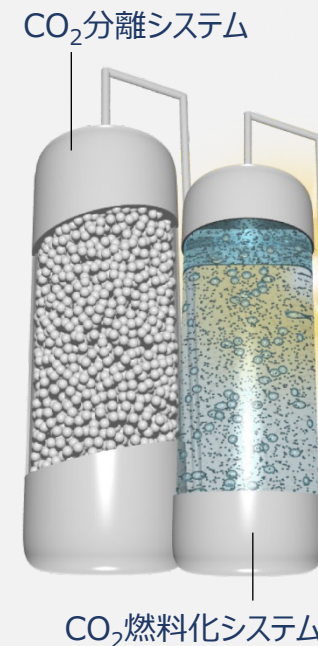
- ◆ 燃烧式工業炉のCO₂排出量は日本における総排出量の約6%に達し、さらに各種規模のボイラーからのCO₂も含めると、そのCO₂排出量は無視できない規模となっている。よって、それら中小規模の分散排出源に適したCO₂分離装置の開発が急務となっている。
- ◆ 分散排出源向けのCO₂分離装置は特に小型化・低コスト・省エネを追求する必要があり、かつ、オンサイトでのCO₂変換によって燃料を合成・リサイクルし、CO₂分離・リサイクル装置の導入に伴う負担を軽減することも、その普及には欠かすことのできない課題と言える。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 「超省エネCO₂分離システム」の開発：排ガス中の水蒸気よりもCO₂を優先的に吸着する革新的分離剤を用い、通常、CO₂分離エネルギーの約30%が消費される除湿工程を不要とする。さらに、CO₂脱着に要する真空排気工程をも不要とし、常温・常圧プロセスとすることで省エネ化を実現する。
- ◆ 「オンサイトCO₂燃料化システム」の開発：回収されたCO₂を光触媒によってCO + O₂ガスに変換(太陽光・LEDを使用)し、これを工業炉・ボイラーにリサイクルすることで燃料を削減する。そして、この燃料削減分をCO₂分離・変換コストに充当する。
- ◆ CO + O₂ガスのリサイクルによって、工業炉・ボイラーからの排ガス中のCO₂濃度を増加させ、CO₂分離装置の小型化を可能とする。

3. 研究の特徴

- ◆ 「超省エネCO₂分離システム」は動カコストが極めて小さくなることに特徴があり、全く新規なプロセスである。既に本システムに適した吸着剤を見出している。本研究では1/10,000スケールの装置を製作し、その操作論とコンセプトの実証試験を行う(予備実験を実施済：特許申請準備中)。
- ◆ 「オンサイトCO₂燃料化システム」はCO + O₂ガスを燃料としてリサイクルすることに新規性がある。本研究では、CO₂変換に適した助触媒の探索を主に実施する。
- ◆ 燃烧プロセスの高度省エネ化とCO₂分離・変換コストの最小化を実現するためのプロセス設計を行う。



4. 波及効果

- ◆ CO + O₂ガスを燃料としてリサイクルすることで、燃料の削減を可能とするならば、CO₂分離・変換装置導入のマインドが生まれるものと考えられる。本システムの普及(既存の工業炉やボイラーへのレトロフィットまたは新規装置への付属)に伴うCO₂削減効果は、約6,000万t-CO₂/年(2050年)に達することが期待される。

研究代表者（所属機関）：稲垣 冬彦（神戸学院大学）

CO₂分離回収
に係る技術

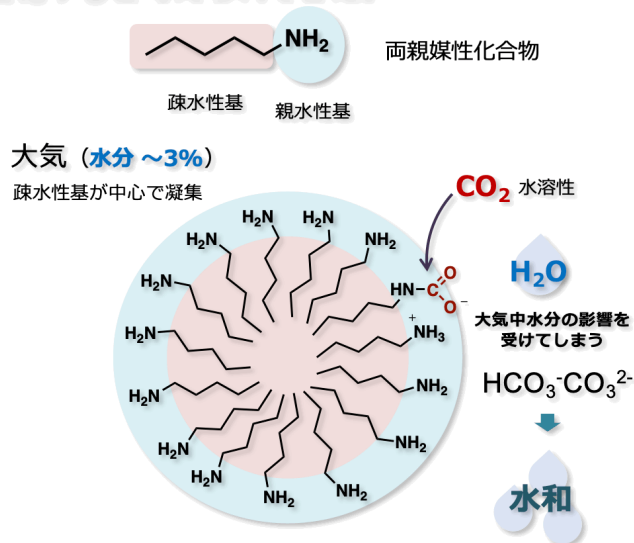
概要：新たなCO₂放出システムによる水分離可能なCO₂回収技術を開発し、脱炭素技術の普及に貢献

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

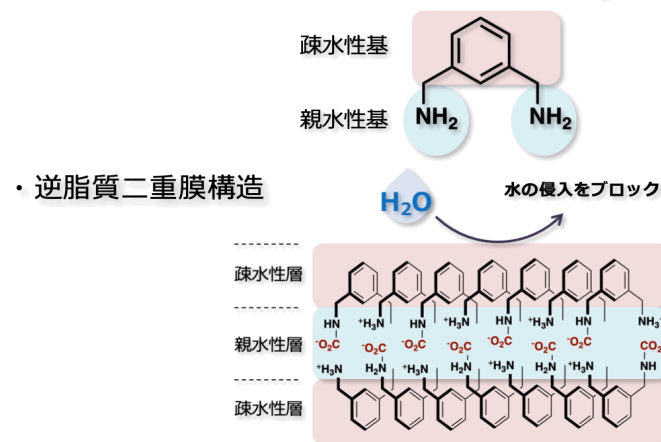
- ◆ 見出した新たなCO₂放出システムを活用し、高効率大気中CO₂回収技術を開発する。

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

- ◆ 新しいCO₂回収方式によるCO₂回収技術の変革

④ 革新分離膜と光応答性吸収剤による DACシステムの開発

研究代表者（所属機関）：今堀龍志（東京理科大学）
参加機関：信州大学金子Gr.、岡山大学大久保Gr.、金沢大学大坂Gr.

CO₂分離回収
に係る技術

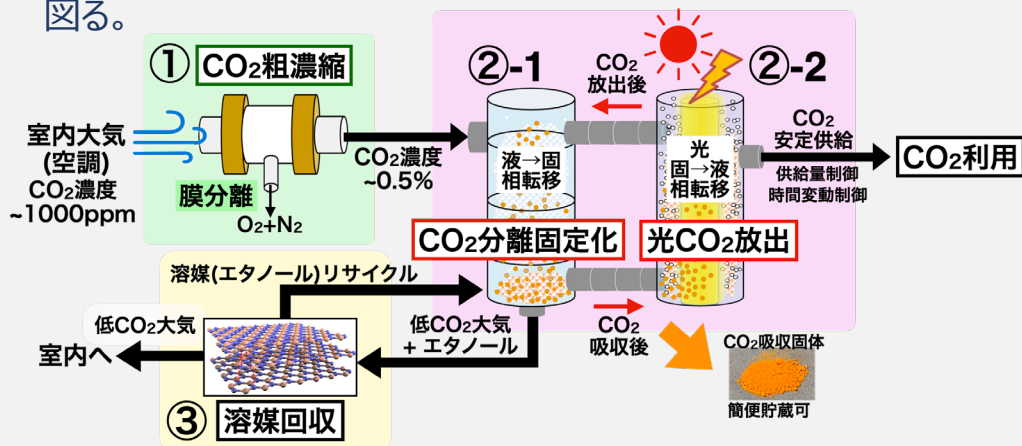
概要：革新CO₂分離膜と光応答性・固/液相転移CO₂吸収・放出剤を融合させ、迅速・高効率、且つ太陽光利用による省エネDACを実現する。加えて窒化ホウ素吸着剤によって溶媒リサイクルを実現し、大量処理・コンパクト・低コストな汎用型DACシステムを構築する。

1. 研究の背景及び課題

- ◆ カーボンニュートラルの実現に資する DAC技術を広く普及させるためには、安価で汎用性の高いDACシステムの開発が急務である。
- ◆ 現状のDACの課題は、希薄な大気中CO₂の分離効率の低さによる装置の大型化とそれに伴うコスト増、CO₂回収の高エネルギープロセスによる間接的CO₂排出と運用コストの増加等が挙げられる。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 本研究では、高速膜分離と高速CO₂吸収を融合させることで、迅速・高効率なDACを実現する。DACで分離したCO₂は、太陽光を直接利用して放出し、大気からの省エネCO₂分離・回収を実現する。また、窒化ホウ素吸着剤による省エネ溶媒リサイクルを実現し、溶媒使用量を削減することで、装置のコンパクト化、低コスト化を図る。



3. 研究の特徴

◆ 革新分離膜と革新CO₂吸収剤による高速DAC

世界最高性能のグラフェン包接ゼオライト分離膜を用いて大気中CO₂を5倍以上粗濃縮し、続くCO₂分離を加速する。CO₂の分離には、世界最高速の大気からのCO₂分離を実現する光応答性・固/液相転移CO₂吸収剤を用いる。2つの革新CO₂分離技術の融合により、より高速・高効率なDACを実現する。

◆ 太陽光を用いる省エネCO₂放出

用いる光応答性・固/液相転移CO₂吸収剤は、太陽光によってCO₂を放出することができるため、省エネDACを実現できる。

◆ 窒化ホウ素吸着剤を用いる溶媒リサイクル

極性分子の高い吸着能を有する窒化ホウ素吸着剤の細孔サイズを制御し、省エネ・迅速・大容量の溶媒リサイクルシステムを実現する。

4. 波及効果

- ◆ 2050年までに、CO₂分離回収量10kg-CO₂/日の小規模DACシステムを30万基、CO₂分離回収量10t-CO₂/日の大規模システムを3万基導入し、合計1億1060万t-CO₂/年のCO₂分離回収を実現する。
- ◆ 2050年に、太陽光利用による投入熱エネルギー削減の省エネ効果は921.7億kWh/年、それによるコスト削減は6451.7億円となる。CO₂分離回収コスト9622.2億円/年(\$60/t-CO₂で試算、145円/\$)と合わせ、総額1兆6,000億円以上の経済効果が見込まれる。

⑤ ゼオライトを用いた Direct Air Capture (DAC:大気中 CO₂ 直接回収) システムの開発

研究代表者 (所属機関) : 池上京 (Planet Savers株式会社)
参加機関 : Planet Savers株式会社

CO₂分離回収
に係る技術

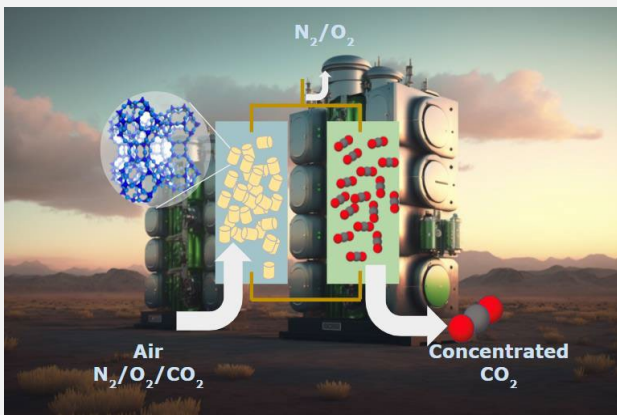
概要 : 革新的吸着材と装置を開発しDirect Air Capture技術の低コスト化と普及に貢献

1. 研究の背景及び課題

- ◆ カーボンニュートラル達成にはネガティブエミッション技術が不可欠
- ◆ DACは期待されるネガティブエミッション技術だがコスト低減が必須
- ◆ 低コスト化へ向けて必要な技術は下記
 - ◆ 安価で高寿命な吸着材
 - ◆ 吸着したCO₂の脱着にかかるエネルギーの低減
 - ◆ DACシステムの建設費低減

2. 課題に対する解決策

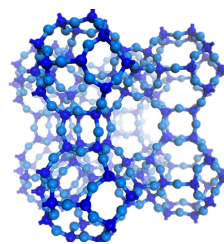
- ◆ 無機多孔質材料であるゼオライトを利用
 - ◆ 熱エネルギーを必要としないCO₂脱着システム
 - ◆ 建設不要なモジュール型DAC装置
- を開発することができればDACの大幅な低コスト化が可能と試算



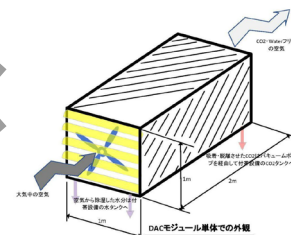
3. 研究の特徴

- ◆ 安価な材料でありながら長い寿命のため大幅に吸着材コスト減
- ◆ 吸着速度や脱離のしやすさを制御する処理方法開発
- ◆ 圧力損失を低減する吸着システム

①革新的CO₂吸着材

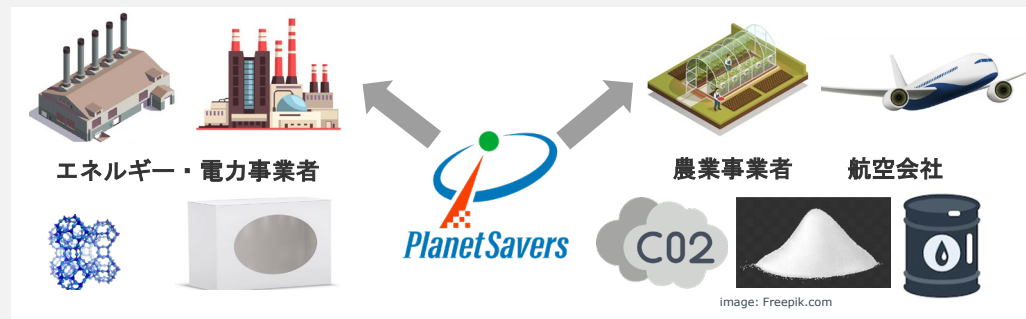


②モジュール型
DAC装置



4. 波及効果

- ◆ 将来的には年間1GtのCO₂を除去しカーボンニュートラルに貢献
- ◆ 様々な事業者と連携しカーボンクレジットを創出、CO₂資源化



⑥ 革新的オンデマンドレーザー 駆動化学プロセスの開発

研究代表者（所属機関）：桑原彬（名古屋大学）
参加機関：名古屋大学、静岡大学

燃料への
転換技術

概要：極短パルスレーザーを用いた化学プロセス（ $H_2 \cdot CH_4$ 製造）を開発し、水素エネルギーの普及やカーボンニュートラルに貢献する。

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 事業所発生 CO_2 の資源化・ CO_2 フリーの水素製造により、将来のカーボンニュートラルに貢献する技術が必要。
- ◆ パルスレーザーは常温常圧の系でも局所的に化学反応を誘起することができ、化学プラントサイズの小型化が可能。
- ◆ 研究代表者らは、海水から直接水素を製造することに成功したが、社会実装に向けたレーザー駆動化学プロセス（LDCP）のスケールアップ（製造量の向上）は未踏領域である。
- ◆ LDCPでは、スポット付近でのみ光化学反応が起こり、かつ、レーザー光強度の限界値が存在するため、スケールアップは難しい。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 光の自己機能で生じるレーザーフィラメンテーション（図1）を発現させ、レーザー光軸方向にチャンネル状の反応場を生成することで製造量の向上を試みる。
- ◆ レーザーフィラメンテーションとは、フェムト秒レーザーのようなピークエネルギーがGW級に達する場合、自己電場で凸レンズの効果が発現するとともに、光電離で生じた電子が凹レンズの効果を成し、反応場が延伸する現象である。

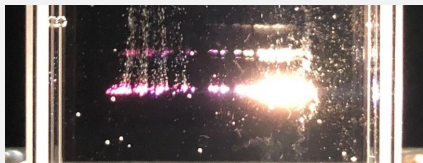


図1 水中レーザーフィラメンテーションの様子。チャンネル状に光絶縁破壊が起こり、気泡群が複数個所で発生している。

3. 研究の特徴

- ◆ 従来、レーザー光の分岐フォントやレーザー高出力化が検討されているが、コスト面で実現性が低い。
- ◆ 本技術は、レーザー光軸方向にエネルギーを分散させながら、チャンネル状の反応場で連鎖的に水素を製造するとともに、気泡成長を促進し、製造量の“ジャンプ”を試みる。
- ◆ CO_2 資源化のため、液体原料への溶解（又は固体材料への吸着）及びLDCPにより、メタネーションプロセスを開発する。

4. 波及効果

- ◆ 本スケールアップ技術は、全てのLDCPに応用可能であり、常温常圧のプロセス制御に優位性を有する。
- ◆ 大型の電気分解槽に比べ、面積比較で1000分の1程度であり、小型で可搬型のシステムを構築できる。
- ◆ 将来的にフェムト秒レーザーの量産化やフォトニック結晶レーザーの実用化により、LDCPの大幅なコスト低減が期待できる。
- ◆ 事業所発生 CO_2 の資源化（メタネーション）や手軽な水素製造に利用できる。

⑦ 電気化学的CO₂電解還元反应用 高効率電極触媒の開発

研究代表者（所属機関）：伊藤良一（国立大学法人 筑波大学）

化学品への
転換技術

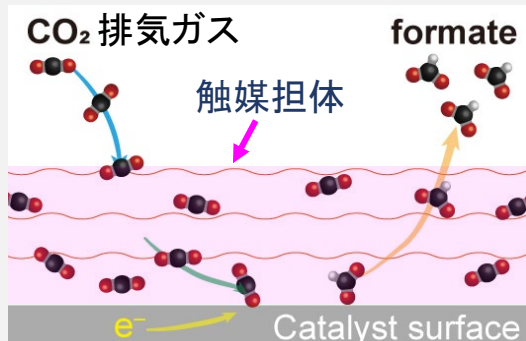
概要：気体CO₂をよく吸着し、電極近傍にCO₂を貯蔵しておくことが可能な複合電極触媒を開発し、気体CO₂フロー型電解合成セル構築に貢献

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 日本は「2050年までに温室効果ガスの排出量の収支をゼロにする」という数値目標を国際社会に約束している。
- ◆ 経済や利便性を犠牲にすることなくCO₂の排出量削減をするにはCO₂の再利用・資源化以外に選択肢はない。
- ◆ その選択肢の一つとして再生可能エネルギーを用いて電気化学的にCO₂を還元し、有用な化成品（メタン、メタノール、ギ酸）を生み出す電解合成手法がある。
- ◆ 本研究は、経済活動とカーボンニュートラルを同時に実現する持続可能なCO₂排出量削減を目指し、気体CO₂を直接電解する電極触媒の開発を行う。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 日本のCO₂総排出量40%を占めるエネルギー部門から排出されるCO₂は気体のため、気体CO₂を原料とした気体フロー型電解合成セルの開発が求められている。
- ◆ 気体CO₂を自身に取り込むのと同時に触媒反応後に不足したCO₂を即座に供給する機能を触媒担体に持たせることで、気体フロー型電解合成セルにも適応可能なカソードによる気体CO₂の直接電解を実現する。

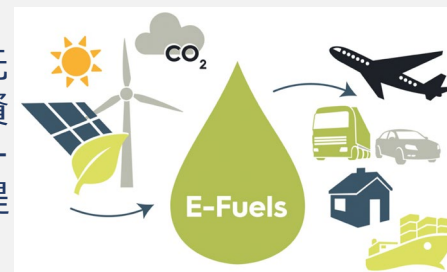


3. 研究の特徴

- ◆ 現在主流の電気化学的CO₂還元研究は、電解液にCO₂を飽和させて液体中で電気化学反応を行う手法である。また、異なる結晶面（例えばCu(111)面と(100)面）、pHによる生成物収率への影響、過電圧制御などが着目されている。
- ◆ 本研究は、CO₂を吸着貯蔵できる触媒担体を電極と複合化することで、様々な化成品が共有している電気化学変換の第一ステップであるCO₂を触媒表面へ吸着させるまた吸着を促進させる重要性を理解する。さらに、触媒表面サイトに豊富に存在するCO*が目的とする生成物の選択性に与える普遍的なメカニズムを明らかにしようとする従来の研究にはない切り口で研究を行う。

4. 波及効果

- ◆ 電気化学的CO₂還元による有用な化成品合成は、CO₂排出量の削減だけでなく、カーボンニュートラル製品しか受け付けなくなるであろう欧州や欧米への持続可能な輸出が可能とする。
- ◆ 電気化学的CO₂還元法は、現在議論が盛んな合成燃料e-fuelの合成への適応が可能である。
- ◆ 経済性がある電気化学的CO₂還元法は、CO₂は捨てるものではなく、資源として再利用可能という新しいカーボンニュートラルの在り方を社会へ提示してくれる新技術である。



⑧ CO₂を原料とする革新的ダイレクトメタノール製造のための流動層プラズリアクターの開発

研究代表者（所属機関）：小林 信介（東海国立大学機構 岐阜大学）
参加機関：東京農工大学

化学品への
転換技術

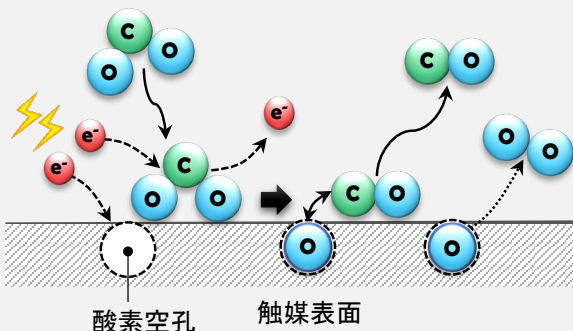
概要：常温・常圧下でメタノールの直接合成をおこなう革新的なプラズマ触媒ガス改質装置を開発し、CO₂利用および余剰電力利用に貢献。

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 現在強く推奨されている自然エネルギーへの移行は**エネルギーの貯蔵技術とセットで検討**しなければならない。
- ◆ 貯蔵技術として、水素やアンモニアに加えて、運輸燃料や化学原料として利用可能な**メタノールの生産が期待**されている。
- ◆ 化石燃料を原料とする従来メタノール製造技術に対して、プラズマ反応を利用したガス改質が注目を集めており、特にプラズマと触媒を組み合わせたPCSは**常温・常圧下でメタノール合成可能**である。
- ◆ 現在のPCS開発は触媒開発が中心であり、**PCS装置に関する研究は極めて少ない**。

2. 課題に対する解決策

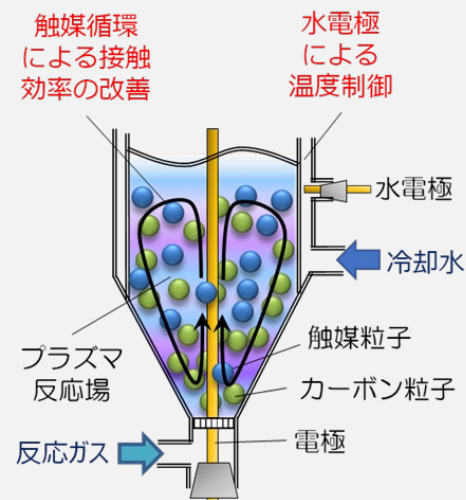
- ◆ 高効率なPCS装置を実現するためには、下図に示すように電子による触媒や反応ガスの活性と**活性化された反応ガスや電子を触媒表面上に効率的に接触、吸収、そして反応させる必要がある**。



- ◆ 本研究開発では従来触媒反応に広く利用されている流動層とプラズマ反応装置を融合した**流動層型のPCSを世界に先駆けて開発**する。

3. 研究の特徴

- ◆ 本装置の特徴は、高密度プラズマ反応場で触媒を流動化(分散)させることにより**プラズマと触媒の接触効率を向上させる発想**にあり、発想を具現化する装置として流動層とプラズマ反応装置を組み合わせた点にある。
- ◆ **反応温度や圧力の制御において優位性**があり、**スケールアップが容易**である点でも魅力がある。



4. 波及効果

- ◆ 変動の激しい自然エネルギー需給に応じて**スイッチのオンオフ一つで常温・常圧メタノール合成が可能**である。
- ◆ PCS装置は、地域分散(小型)、自然エネルギー変動、化学物質貯蔵、貯蔵物の有用性や市場など、将来の地域エネルギーシステムに呼応しており、また**将来想定される社会ニーズを満足可能な装置**である。
- ◆ 本開発PCS装置はメタノールの生産だけではなく、**他の化学合成にも適用可能**であることから地域ニーズに合わせた分散型エネルギー貯蔵装置としての汎用性も極めて高い。

⑨ 廃棄シリコンを還元剤とするCO₂の 選択的化成品転換システムの開発

研究代表者（所属機関）：本倉 健（横浜国立大学）
参加機関：電源開発株式会社

化学品への
転換技術

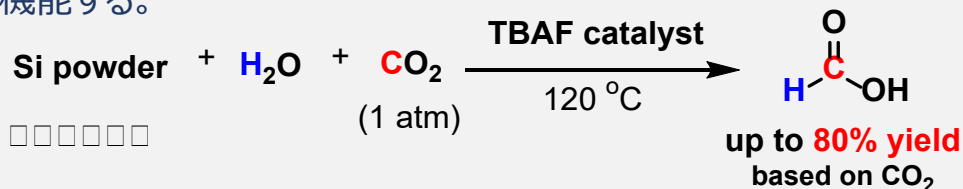
概要：廃棄太陽光パネル等から回収される廃棄シリコンを還元剤として、CO₂の還元反応を実施する。火力発電所からの排気ガスに含まれるCO₂をギ酸やメタノールへと変換する触媒システムを開発する。

1. 研究の背景及び課題

- ◆ CO₂の還元反応によって、ギ酸やメタノール等の化成品原料を合成するための反応開発が重要視されている。
 - ◆ 還元剤として水素（H₂）を用いる種々の反応が開発されているが、H₂を用いるCO₂の還元は高温高压条件が必要である。
 - ◆ 還元剤としてシリコン（Si）を用いることができれば、CO₂の還元は温和な条件で進行する。
 - ◆ 使用済みのシリコンは廃棄物として回収することができ、例えば廃棄太陽光パネルに含まれている。パネルからのシリコンの分離方法は確立されつつあるが、回収シリコン自身に明確な用途は無い。
- ⇒ **廃棄シリコンを還元剤とするCO₂変換反応の開発が期待される。**

2. 課題に対する解決策

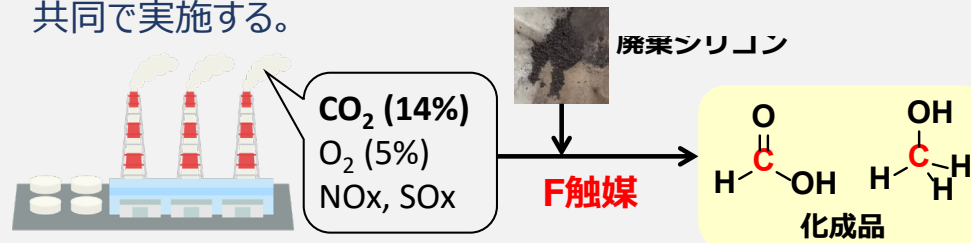
- ◆ 当研究室では、太陽光パネルからの回収シリコンを用いて、1 atmのCO₂から収率80%でギ酸を合成することに成功している。この際、tetrabutylammonium fluoride (TBAF) が有効な触媒として機能する。



この反応システムによるCO₂変換反応を展開する。

3. 研究の特徴

- ◆ TBAF触媒と廃棄シリコンを用いる反応を、火力発電所からの排気ガス中のCO₂変換へと適用する。この研究を電源開発株式会社と共同で実施する。



- ◆ 排気ガス中のCO₂濃度、その他に含まれる不純物の影響を明らかにし、高収率でギ酸を得るための条件を検討する。
- ◆ シリコンを用いる反応システムを、ギ酸からさらに還元が進行したメタノールの合成へと展開する。フッ化物触媒の対カチオン構造を設計し、選択的にメタノールを生成する触媒の開発を目指す。

4. 波及効果

- ◆ シリコンを還元剤に用いることで、温和な条件でのCO₂資源化反応が実現できる。本研究成果は、火力発電所排気ガスだけでなく、種々の排出CO₂の変換反応へ応用できる可能性が高い。
- ◆ 太陽光パネルの排出量は近年増加しており、有効なりサイクル方法の確立が必須である。廃棄パネルから回収されるシリコンの有価値りサイクルへ貢献できる。

⑩ 電気化学的脱水反応を利用した CO₂の有用化学品への変換技術の開発

研究代表者（所属機関）：竹内勝彦（国立研究開発法人 産業技術総合研究所）
参加機関：筑波大学

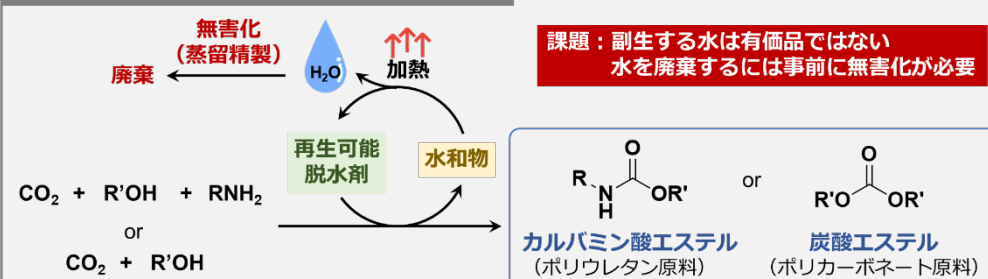
化学品への
転換技術

概要：電気化学的脱水反応を開発することで、副生する水をそのまま取り出すのではなく、有価品かつ分離が容易な水素・酸素に分解しながら系外に排出させる新たな脱水反応系を構築し、水の副生を伴うCO₂の有用化学品変換反応の高效率化を実現する。

1. 研究の背景及び課題

- ◆ CO₂を原料とした有用化学品合成では脱水反応が重要であるが、副生する水の分離・廃棄のコスト・エネルギーが課題であった。

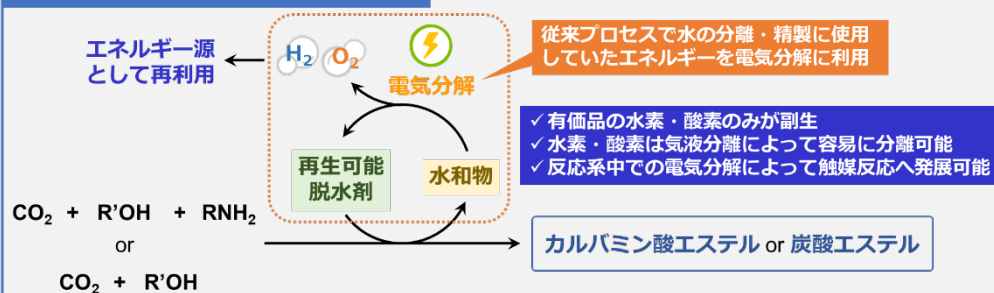
図1：従来の再生可能脱水剤を用いたCO₂利用反応



2. 課題に対する解決策

- ◆ 電気化学的脱水反応を開発し、副生する水をそのまま取り出すのではなく、有価品かつ分離が容易な水素・酸素に分解しながら系外に排出させる新たな脱水反応系を構築する。

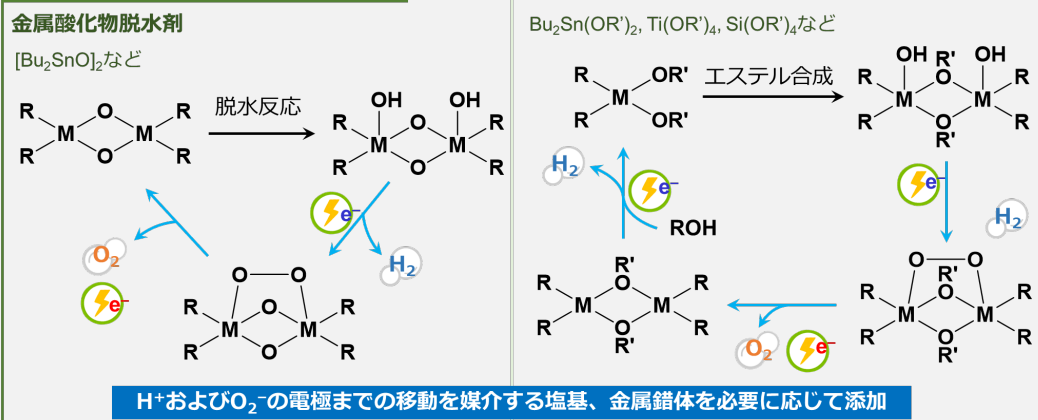
図2：本研究が提案する新規反応プロセス



3. 研究の特徴

- ◆ 申請者らが知見を有している金属酸化物、金属アルコキッド等の脱水剤について、官能基や配位子の導入によってその電気化学特性を適宜調整しながら電気化学的な再生反応を試みる。

図3：脱水剤の電気化学的再生法の概要



4. 波及効果

- ◆ ポリウレタン原料合成に応用できた場合、約500万トン/年のCO₂削減効果が期待される。加えて、ポリウレタン原料合成過程で約23万トン/年の水素を副次的に製造できる。さらに、本研究成果を脱水反応で工業的に製造されているポリエステル（市場規模2兆円）や酢酸エチル（市場規模6000億円）などの市場規模が非常に大きな化学品の製造に応用した場合、その低コスト化、省エネルギー化に加え、大量の水素製造も可能になる。

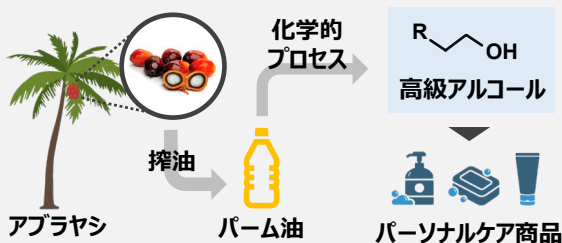
研究代表者（所属機関）：西尾幸祐（株式会社CO₂資源化研究所）
参加機関：株式会社CO₂資源化研究所

化学品への転換技術
（生物活用）

概要：UCDI®水素菌を用いるCO₂からの高級アルコール製造法を開発し、植物油に依存しない持続可能な油脂工業原料の安定供給に貢献する。

1. 研究の背景及び課題

高級アルコールはパーソナルケア商品の製造に欠かせない油脂化学製品である。主要な原料であるパーム油の需要は年々増加傾向にあるが大量生産により様々な社会問題を引き起こされる。環境負荷の少ない持続可能な油脂工業原料の生産法が急務とされている。

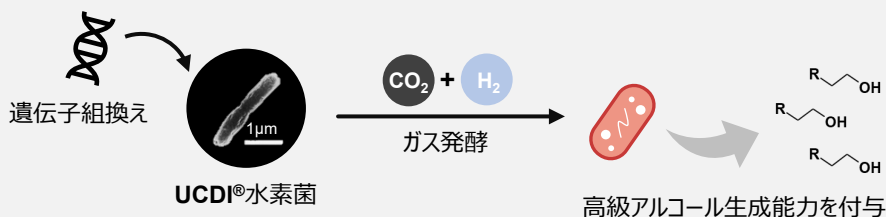


パーム油産業により引き起こされる社会問題

プランテーションによる森林破壊
森林減少による生物多様性の損失
泥炭地の乾燥による大規模火災
強制労働・低賃金労働

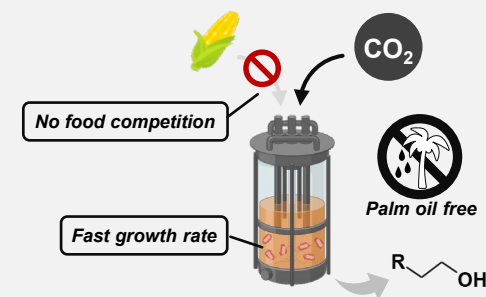
2. 課題に対する解決策

アブラヤシ等の農産物に依存しない高級アルコール製造法としてCO₂を炭素原料、水素をエネルギー源として増殖するUCDI®水素菌を用いたバイオプロセスによる生産法を提案する。遺伝子組換えによりUCDI®水素菌の高級アルコール生成株を作製し、CO₂からの高級アルコール製造技術を開発することでパーム油産業における社会問題の解決を目指す。



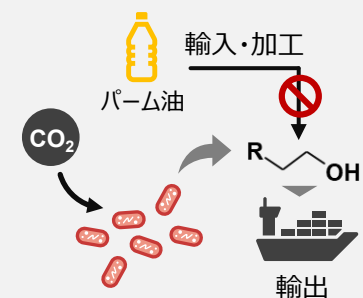
3. 研究の特徴

①温室効果ガスであるCO₂を高級アルコールへ微生物変換する手法は従来の植物油脂を原料とする化学プロセスよりも高度のサステナビリティを有する。②UCDI®水素菌は、これまでに報告されているガス状炭素を原料として増殖する微生物よりも圧倒的に速い増殖速度を持つため工業スケールでの物質生産により適している。③UCDI®水素菌はCO₂を炭素原料とするため大腸菌や酵母を用いる物質生産のように糖類などの食料資源との競合が起こらない。



4. 波及効果

UCDI®水素菌を用いたバイオプロセスは、高度に持続可能な高級アルコール製造法を実現し、パーム油増産に伴う社会問題の解決に貢献できる。また、UCDI®水素菌は安定して入手可能なCO₂を原料として増殖するため、高級アルコールの国内製造が可能となる。パーム油の純輸入国である日本は価格や供給量などが輸出国の情勢により不安定となる危険性をはらんでいるが、本研究の完成により輸入依存からの脱却のみならず、高級アルコールの輸出国に転ずることも期待される。



研究代表者（所属機関）：鷲津明由（早稲田大学）

社会科学等の
研究

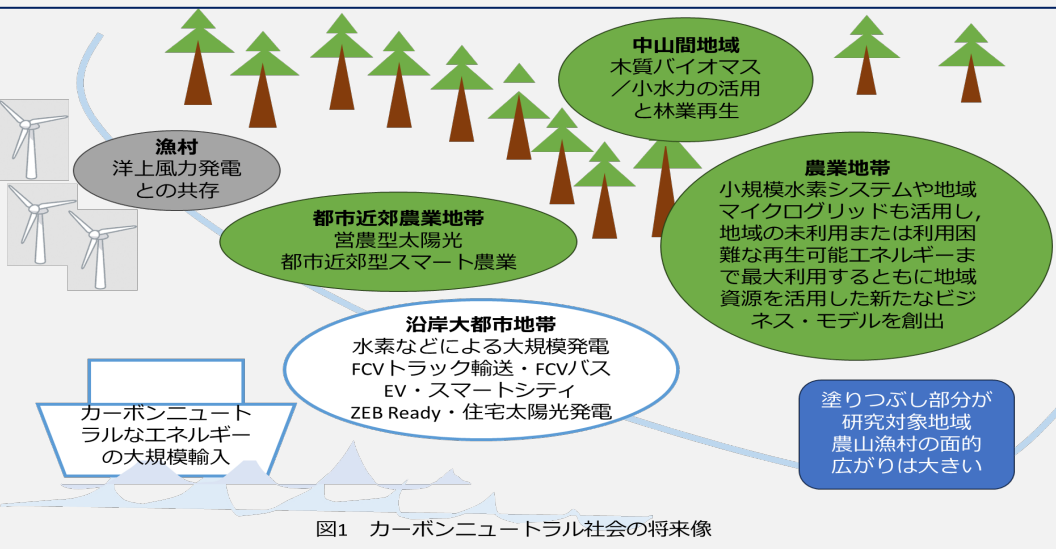
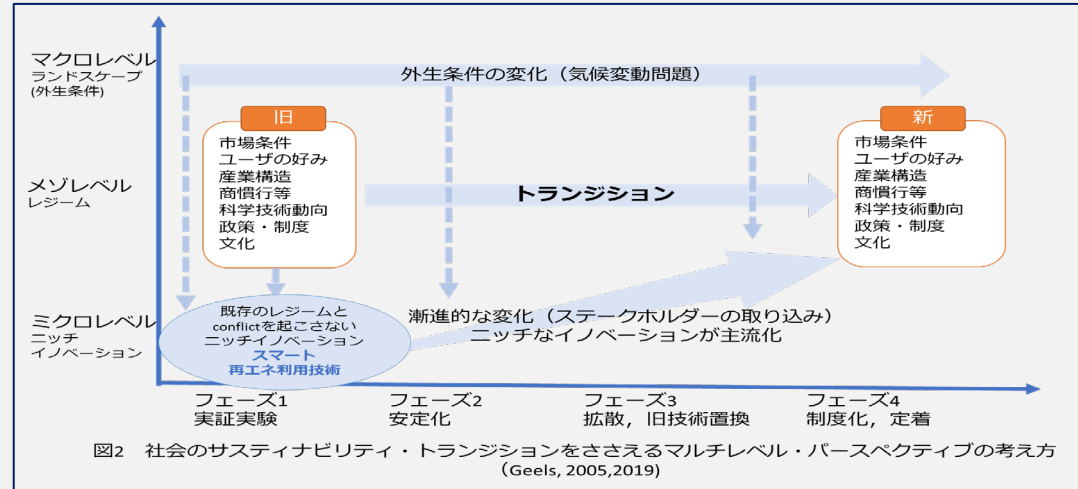
概要：農山漁村の既存レジームにおける課題を発見し再生可能エネルギーを活用したスマート農山漁村の構築のための具体的処方箋を提示

1. 研究の背景及び課題

◆ 陸海域の炭素循環を健全に保持していくうえで農林水産業の役割は大きい。炭素循環社会へ移行においては、農林水産業を「炭素吸収産業」として位置づけ、その活性化を通じて農山漁村の抱える人口減少など様々な社会問題を同時解決するとともに、同産業を社会経済メカニズムに組み込むことが重要である。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 図1は本研究が描くカーボンニュートラル社会の将来像である。
- ◆ 再エネを活用し地域の課題解決も同時に達成できるような農山漁村構築のために必要なレジーム改革を推進する必要がある。



3. 研究の特徴

- ◆ 望ましい社会への移行をマネジメントするための方法論としてサステナビリティ・トランジションという考え方が注目されている。
- ◆ それによれば、新しい社会へ移行の原動力となる革新的技術(ここでは農山漁村における再エネ利用技術)を主流化するには、レジーム改革を効果的に推進する必要がある(図2)。

4. 波及効果

- ◆ 本研究は、農山漁村における再エネ利用促進を阻む既存レジームにおける課題とその処方箋を具体的に示すことで、再エネを活用したスマート農山漁村の実現に貢献する。
- ◆ スマート農山漁村が経済メカニズムに組み込まれることにより、炭素循環と経済循環の同時達成が可能になる。

⑬ 二酸化炭素からのカーボンナノチューブ膜の 直接コーティング技術の開発

研究代表者（所属機関）：鈴木祐太（同志社大学）

高付加価値材
への転換技術

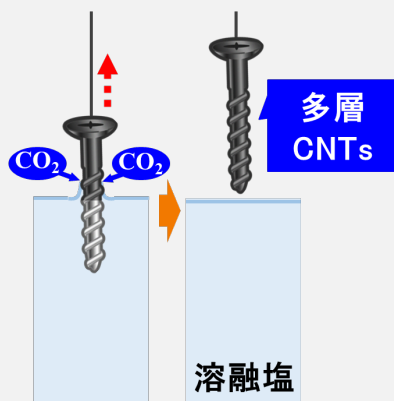
概要：CO₂を100%原料とした金属基材への全面カーボンナノチューブ膜のコーティング技術を開発し、機能性炭素めっき材料の創製に貢献

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 先端炭素材料であるカーボンナノチューブ（CNTs）は集積回路、小型高性能CPUや電子部品の素材として期待されているが、従来のCNTs製造法は炭素の原料が化石燃料由来の黒鉛。
- ◆ 金属基板へのCNTsコーティングにより、全く新しい機能性炭素めっき材料の創製が可能。機械・自動車・電子部品・医療など幅広い産業分野において活躍することが期待。
- ◆ CO₂を原料としたCNTsコーティング技術はCO₂ネガティブエミッションに資する技術となり、カーボンリサイクル社会の実現に貢献。

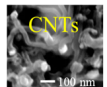

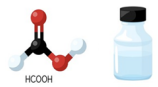
2. 課題に対する解決策

- ◆ 研究代表者らは、**熔融塩電解法**を利用してCO₂ガスからニッケル母材上への直接CNTsの合成に成功（Y. Suzuki et al., Electrochim. Acta, 456, 2023）。
- ◆ 本研究：(i)母材の選定, (ii)電解条件の最適化, (iii)全面コーティング技術の開発（右図）。



3. 研究の特徴

- ◆ CO₂からの多層CNTsの創製プロセスは既存法に類を見ない。
- ◆ 必要な材料は**塩・CO₂・卑金属触媒**という豊富な資源であり、駆動力は電力のみとした反応。

電解技術	本提案	報告例 1	報告例 2
技術概要	CNTsコーティング 	COガス 	ギ酸溶液 
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○安定・安全な固体状 ○高い生成効率 ○低い電解エネルギー 	<ul style="list-style-type: none"> ○大量合成セル開発済 ×CHガスへ更なる変換要 ×有毒 	<ul style="list-style-type: none"> ○溶液の直接利用 ×液体分離が困難 ×低い反応速度

4. 波及効果

- ◆ 本提案技術では産業排ガスや大気中から分離・回収したCO₂を原料として機能性炭素材料の合成が可能。
- ◆ 再生可能エネルギー由来の電力を駆動力として用いることで**CO₂ネガティブエミッション**に資する技術として貢献。
- ◆ 従来法である黒鉛を原料としたCNTs合成プロセスと比較して、**CNTs1t当たり約3tのCO₂削減効果**（条件：合成効率90%）。
- ◆ CNTsコーティング材は機械工具・金型装飾品, 工業電解用電極, 電池材料, 浄化膜や医工学分野での新規機能性材料として貢献。

研究代表者（所属機関）：井戸彬文（電力中央研究所）

バイオマスエネルギー
の利用技術

概要：小型かつ高効率なバイオマス発電システムの構築に向けた電気化学デバイスの開発を行い、未利用炭素資源の利用拡大に貢献する

1. 研究の背景及び課題

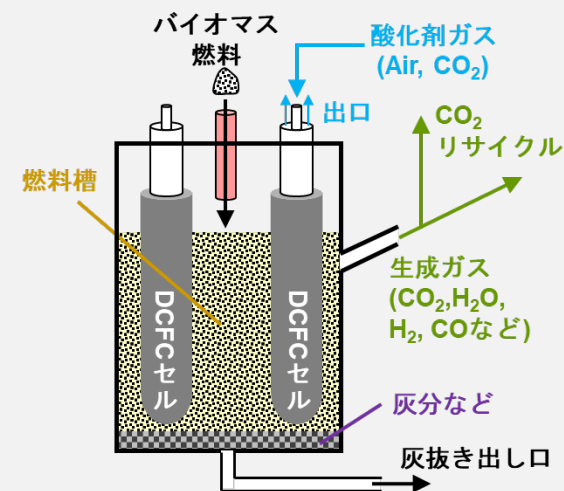
- ◆ 燃料の安定的な調達・供給が難しいため大規模化には適さない未利用バイオマスが多くある。
- ◆ 林地残材等のバイオマス資源が利用されていない理由として、バイオマスの集積にコストがかかるうえに発電効率が低いため、小規模では採算が合わないことが挙げられる。
- ◆ そのため、バイオマス発電システムにはさらなる小規模化かつ高効率化が求められている。

2. 課題に対する解決策

- ◆ 電気化学反応を用いて固体炭素を直接燃料とするダイレクトカーボン燃料電池(DCFC)に着目した。
- ◆ 既存の燃焼・ガス化反応を採用する方式と比べて、電気化学反応による発電は小規模でも効率が低下しない特長がある。
- ◆ そのため、既存のバイオマス発電システムと比較して、DCFCを用いた発電システムはより小規模化可能かつ高い発電効率を有することが期待される。

3. 研究の特徴

- ◆ これまでに、円筒形構造を有し溶融炭酸塩を電解質に用いた当所独自のデバイスを開発した。
- ◆ 1,000時間以上で出力密度120mW/cm²程度の安定した連続発電に成功している。
- ◆ 実用化へのステップとして本研究では、バイオマス燃料を直接利用することによるセルへの影響評価や、生成ガスからCO₂を分離する技術の検討を行う。



円筒形DCFCのイメージ図

4. 波及効果

- ◆ 発電規模は需要・燃料供給に合わせて柔軟に設定できるため、マイクログリッドのような地産地消のエネルギーシステムを構築しやすい。
- ◆ 災害時の非常用電源、輸送手段(EV)への充電、農業電化への活用といった様々な利用先が期待できる。
- ◆ 炭化物の貯留や小規模で回収したCO₂の固定化により、カーボンネガティブのシステムとすることも可能である。

⑮ 大気中のCO₂濃縮と高効率エネルギー生産を同時に実現する次世代バイオマス発電技術の開発

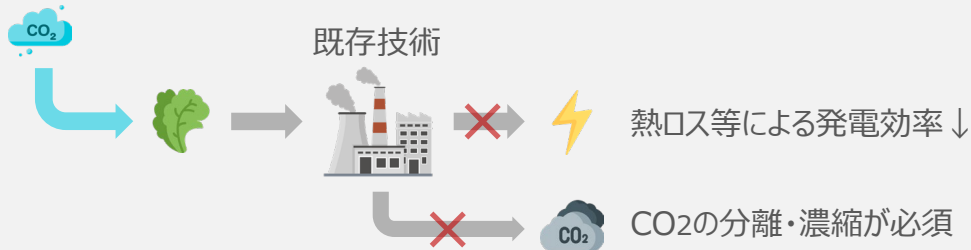
研究代表者（所属機関）：間澤 敦（京都大学イノベーションキャピタル株式会社）
参加機関：京都大学大学院 工学研究科

バイオマスエネルギー
の利用技術

概要：バイオマスを燃やすことなく、金属イオンの酸化・還元反応を用いて電気エネルギーを取り出す革新的発電技術を確立し、高効率・高CO₂濃縮・小型のバイオエネルギー炭素回収事業の展開を目指す。

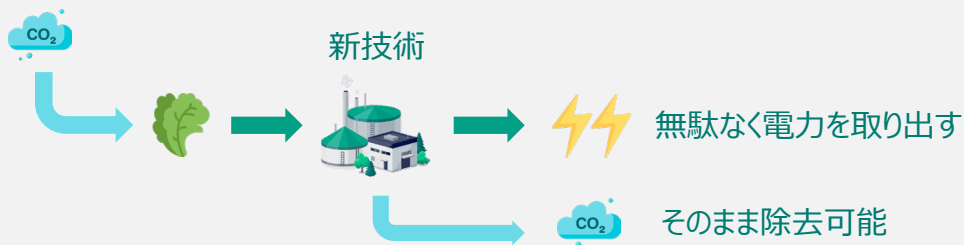
1. 研究の背景及び課題

- ◆ カーボンニュートラルを達成するには、通常のCO₂削減のみならず大気中のCO₂除去による「負の排出量」の創出が必要不可欠。
- ◆ バイオエネルギー炭素回収（BECCS）は有効な手段として期待されるが、既存技術はエネルギー効率やCO₂分離・濃縮コストの課題があり、持続可能なアプローチにはなっていない。



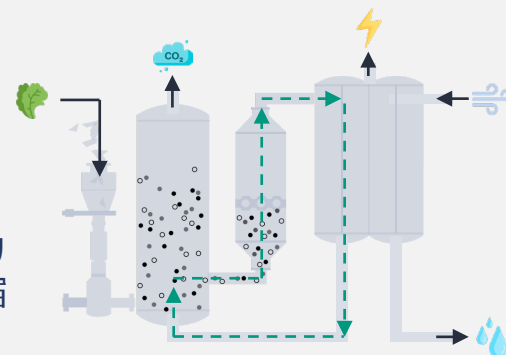
2. 課題に対する解決策

- ◆ 非燃焼の次世代プロセスを確立し、高効率・高CO₂濃縮・小型のバイオエネルギー炭素回収事業を実現する。

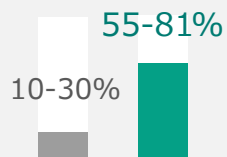


3. 研究の特徴

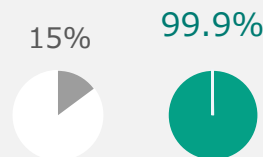
- ◆ 京都大学にて独自に開発した湿式ケミカルルーピング技術。
- ◆ 金属イオンの酸化・還元反応を利用した新しいプロセスでありバイオマス資源から無駄なく電力を生み出すことができ、CO₂濃縮不要。小規模分散化も容易。



発電効率



生成CO₂濃度



小型化



4. 波及効果

- ◆ これまでコストが合わず利用できなかった低品位バイオマス資源（農業残渣・食品廃棄物・間伐材など）を用いて、経済性と持続可能性を満たすバイオエネルギー炭素回収を場所を選ばず展開可能。

研究代表者（所属機関）：小原伸哉（国立大学法人 北海道国立大学機構 北見工業大学）
参加機関：北海道ガス株式会社

CO₂直接
利用技術

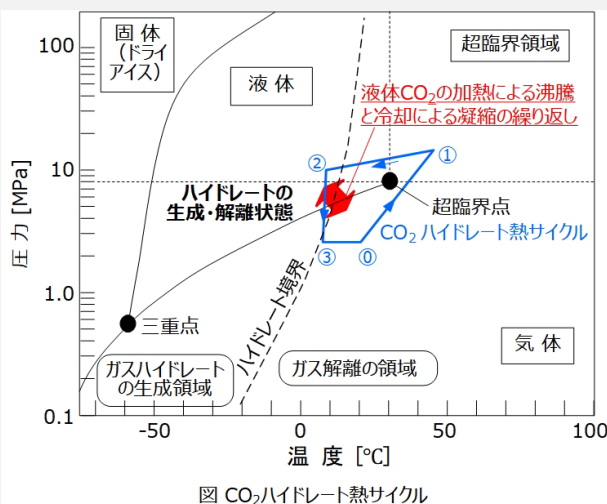
概要：CO₂ハイドレート熱サイクルを用いた蓄電装置を開発し、低温廃熱などの未利用エネルギーの回収に貢献

1. 研究の背景及び課題

- ◆ 概ね200℃以下の低温廃熱は、1次エネルギー消費のおよそ7割を占めている。そこで、数十℃の小温度差に適用でき、しかも100℃を下回る低温廃熱に対応でき、エネルギー体積密度に優れると考えられる、CO₂ハイドレート熱サイクルに着目した。
- ◆ ガスハイドレートの特異な解離膨張特性に着目して、低温廃熱や大気などの未利用エネルギーから電力を発生させると、約54%の効率が得られた（未利用エネルギーは入力としてカウントしない）。
- ◆ CO₂ハイドレート熱サイクルのガス解離損失を15%まで減らせると、**充放電効率85%の安価な蓄電装置が実現**できる。

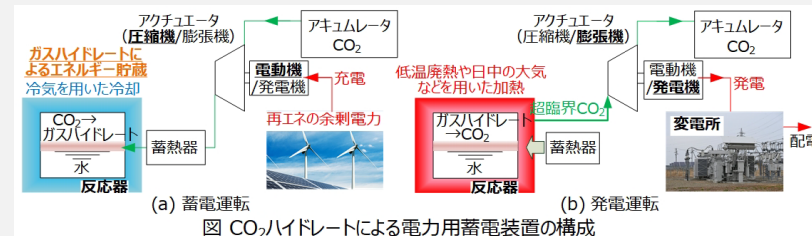
2. 課題に対する解決策

- ◆ 図中の②－③－①の過程では、CO₂は液体から気体へと状態変化するため、この過程で**反応容器の圧力をわずかなエネルギーで操作して、液体CO₂の沸騰と凝縮を反復させる。**これにより15%程度の**生成・解離効率の増加を予想している。**



3. 研究の特徴

- ◆ 本研究の終了時には、競合技術（NAS電池、充放電効率85%、エネルギー体積密度160kWh/m³）と同程度の充放電効率で、**エネルギー体積密度130kWh/m³程度のCO₂ハイドレート蓄放電システムが実現する。**



4. 波及効果

- ◆ 提案技術はCCSなどで貯留したCO₂を作動流体として用いるもので、国内の1次エネルギー消費の課題であった、「**低温で小温度差の未利用エネルギーの有効利用**」をすることで、**安価に蓄エネルギー（蓄電）と放電を繰り返し行えるようになる。**
- ◆ 例えば、火力発電1kWhの運転で排出されたCO₂を回収して提案技術で利用すると、CO₂は系外に放出せず繰り返し用いて未利用エネルギーを回収するため、1kWh以上の電力が得られる。**理論上では提案技術を導入することで、貯留されたCO₂に応じた火力発電の発電量を上回る電力を、低温廃熱や外気から得られることになり、我が国のエネルギー自給率に貢献できるという波及効果がある。**

研究代表者（所属機関）：森内敏之（大阪公立大学）

高付加価値材
への転換技術

概要：本研究では、二酸化炭素を炭素源とするグリーンサステイナブルな分子変換技術の創出を目指し、リン有機触媒による二酸化炭素の活性化に基づく触媒的分子変換システムを開発する。

1. 研究の背景及び課題

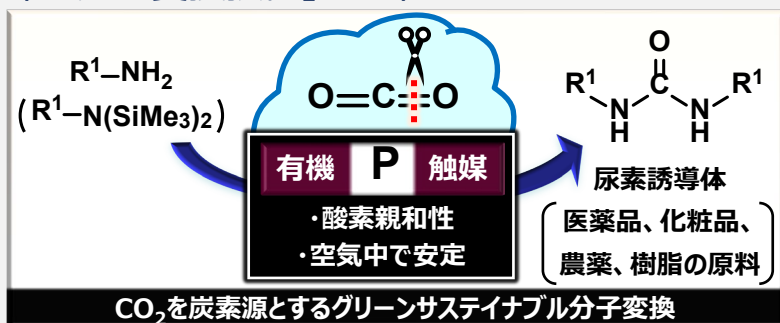
◆ 二酸化炭素を高付加価値な化学品に変換する触媒の開発は、持続可能な低炭素および炭素循環型社会の実現のための重要な研究課題である。従来華々しく触媒として用いられてきた貴金属群は枯渇や環境負荷の懸念があるとともに、触媒として使用されてきた金属の多くは酸素や水に不安定であるという問題点がある。また、環境問題が危惧されている今日では、「グリーン・サステイナブルケミストリー」の観点を踏まえた反応プロセスの開発が求められており、希少金属触媒を代替する低環境負荷な触媒システムの開発が切望されている。

3. 研究の特徴

◆ 本研究課題では、空気中で安定なリン化合物を有機分子触媒として利用することにより、常圧の二酸化炭素の触媒的活性化を行い、炭素源として有機化合物へ効率良く取り込んでいる。二酸化炭素を濃縮・精製せずに、直接捕捉・利用するCarbon Dioxide Capture and Utilization技術として、持続可能な低炭素および炭素循環型社会の実現に大きく寄与するものである。また、リン触媒の酸素親和性を巧みに触媒機能に組み込んだ独自性と創造性に優れたグリーンサステイナブルな分子変換システムである。

2. 課題に対する解決策

◆ 本研究では、「二酸化炭素（CO₂）の酸素の捕捉が可能な酸素親和性を有するリン化合物を有機分子触媒として利用し、二酸化炭素の捕捉・反応を可能にするアミン基質の活性化に基づく二酸化炭素の分子変換技術」を立案した。



4. 波及効果

◆ カーボンリサイクルが実現されれば、日本において二酸化炭素排出の約 50% が資源として利用されることが予想されている。本研究課題で二酸化炭素から触媒的に合成される尿素化合物は医薬品、化粧品、農薬、樹脂の原料などに広く利用されている有用な化合物であるとともに、イソシアネートやウレタンの原料にも利用可能である。本研究開発が成功し、事業化を達成することができれば、二酸化炭素の資源化に大きく貢献することができる。また、有機触媒による二酸化炭素の捕捉・利用を可能にする本研究課題は、希少金属触媒を代替する低環境負荷な触媒システムとして、「グリーン・サステイナブルケミストリー」の観点からも大きな波及効果・インパクトを与えることは必定である。