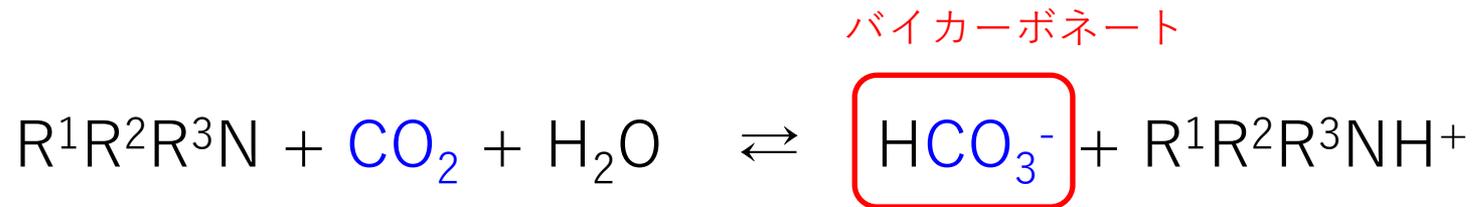


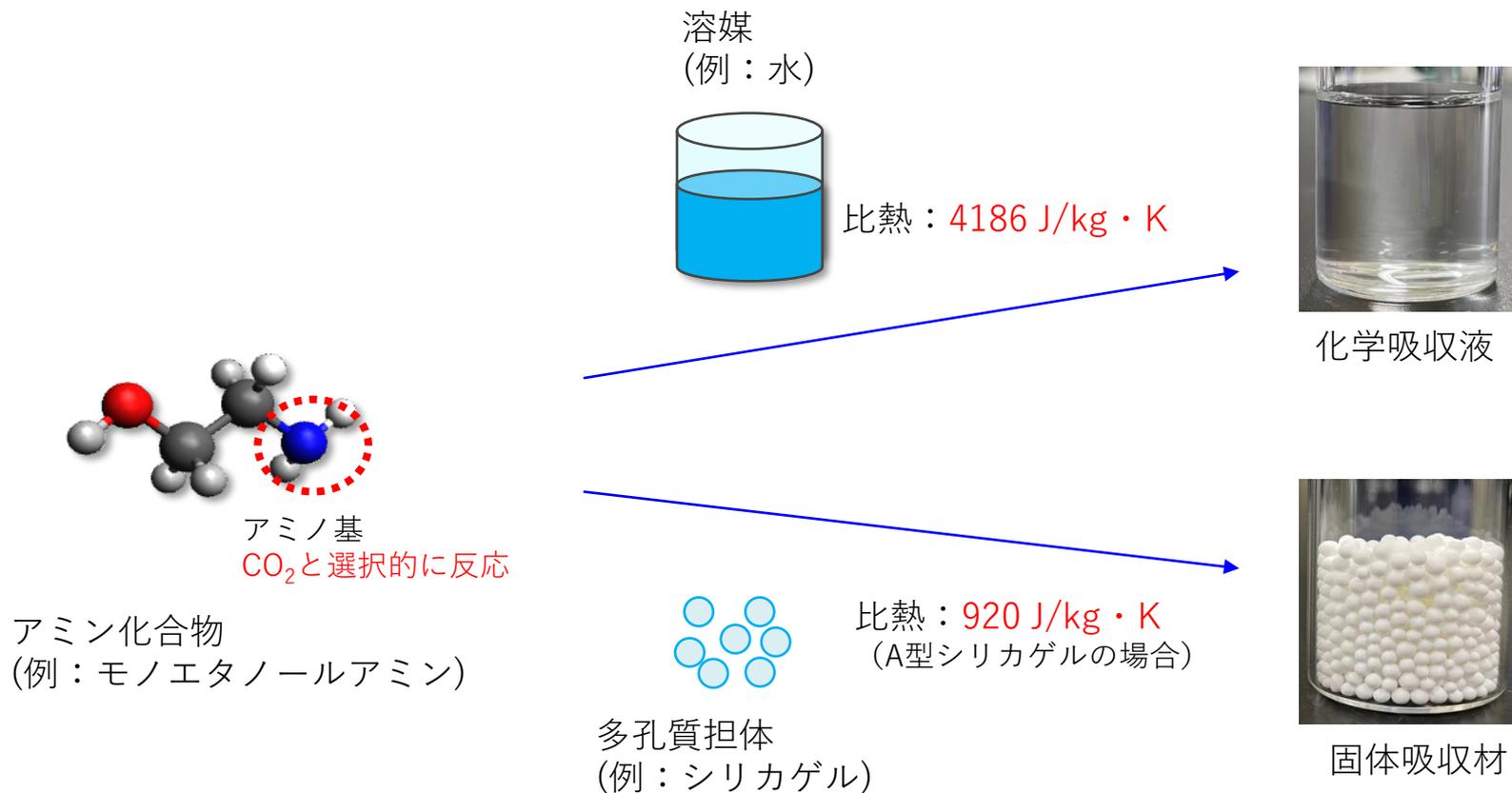


公益財団法人地球環境産業技術研究機構
化学研究グループ 主任研究員 木下 朋大

化学吸収法(アミン吸収法)とは

アミンとCO₂との化学反応を利用してCO₂を吸収・脱離させる方法。





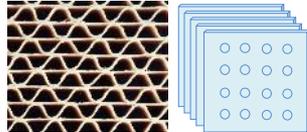
固体吸収材の特徴

- ①水や溶媒を含まないため、加熱に必要なエネルギーが小さい
- ②蒸発潜熱による熱ロスがない
- ③多孔質担体由来の大きな比表面積による優れた気液接触性

固体吸収材の開発を行っているNEDO事業

技術	適用先	CO ₂ 濃度	事業名	体制	現Phase
膜	IGCC・水素製造プラント	40 % (~3MPa)	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/CO ₂ 分離・回収技術の研究開発/二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発/高性能CO ₂ 分離膜モジュールを用いたCO ₂ -H ₂ 膜分離システムの研究開発	NEDO事業 ・MGM技術研究組合	2021~
吸収液	高炉ガス	22 %	グリーンイノベーション基金事業/製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト/高炉を用いた水素還元技術の開発/外部水素や高炉排ガスに含まれるCO ₂ を活用した低炭素化技術等の開発/C-2: CO ₂ の分離・回収技術	NEDO事業 ・日本製鉄 ・RITE	2022~
固体吸収材	発電所(石炭火力)	12~14 %	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/CO ₂ 分離・回収技術の研究開発/先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究	NEDO事業 ・川崎重工業(KHI) ・RITE	2020~
固体吸収材	天然ガス火力	3~5 %	グリーンイノベーション基金事業/CO ₂ の分離回収等技術開発/低圧・低濃度CO ₂ 分離回収の低コスト化技術開発・実証/天然ガス火力発電排ガスからの大規模CO ₂ 分離回収技術開発・実証/天然ガス燃焼排ガスからの低コストCO ₂ 分離・回収プロセス商用化の実現	NEDO事業 ・千代田化工建設 ・JERA ・RITE	2022~
固体吸収材	大気	0.04%	ムーンショット型研究開発事業/地球再生に向けた持続可能な資源循環を実現/大気中からの高効率CO ₂ 分離回収・炭素循環技術の開発	NEDO事業 ・金沢大 ・RITE	2020~
吸収液 吸着剤 分離膜等	各種燃焼排ガス	≦ 10 %	グリーンイノベーション基金事業/CO ₂ の分離回収等技術開発/低圧・低濃度CO ₂ 分離回収の低コスト化技術開発・実証/CO ₂ 分離素材の標準評価共通基盤の確立	NEDO事業 ・産総研 ・RITE	2022~

事業ごとの固体吸収材の特徴

	石炭火力 (CO ₂ 濃度12~14%)	天然ガス火力 (CO ₂ 濃度3~5%)	DAC (CO ₂ 濃度0.04%)
システムイメージ			
O ₂	約5%	約13%	約21%
不純物など	SO _x , NO _x を含有	NO _x を含有	不純物は基本的にはないがガス(大気)の組成は季節や天候によって大きく変わる
アミンの特徴	CO ₂ 濃度が比較的高いのでアミンとCO ₂ の相互作用は弱くし、低温再生性を重視。	O ₂ 濃度が比較的高いため、酸化劣化耐性が重要。アミンとCO ₂ の相互作用はある程度強くする必要がある。	アミンとCO ₂ の相互作用は(低温再生できる範囲で)強く、優れた酸化劣化耐性も持ち合わせていなくてはならない。
担体の特徴	移動層に適用するために 摩擦強度 、 圧壊強度 に優れた担体かつ 流動しやすい球状 である必要がある。  ←機械強度に優れた球状担体	固定層なので 担体の機械強度 はそれほど 必要ない 。性能とコストの両立を重視。  ←安価な高比表面積担体 (押し出し成形等も可能性あり)	送風動力を削減するため、 圧力損失 の少ない構造体である必要がある。  ←低圧損のハニカム or シート状担体

先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究 (カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発)

～FY2019 (基盤技術開発)

FY2020

FY2021

FY2022

FY2023

FY2024

Kawasaki
Powering your potential



ベンチスケール試験
(～5 t/day)

改造・効率改善



ラボスケール試験
(～3 kg/day)

パイロット試験
設備詳細設計

パイロット試験設備製作

7月着工



パイロット試験
(40 t/day)

試運転

実ガス試験・
プロセス評価

9月試運転完了

材料開発

性能向上のための材料改良

材料の評価・改良

試験用材料提供

製造プロセスの最適化
試験用材料製造

材料製造方法の改良・技術確立
サプライチェーン構築

プロセス開発

シミュレーターの高精度化と最適運転
プロセスの検討

シミュレーターの改良

使用環境等に応じた性能予測

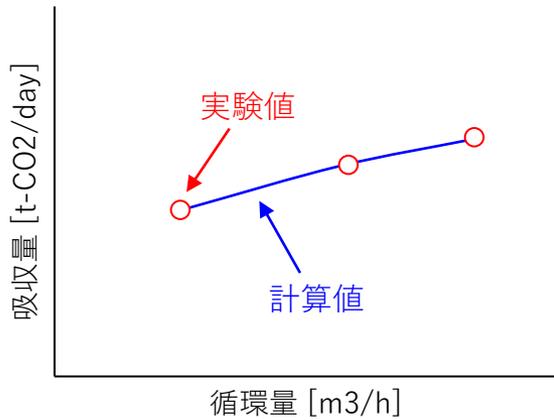


数10m³規模の固体吸収材の工業的な製造方法を確立。

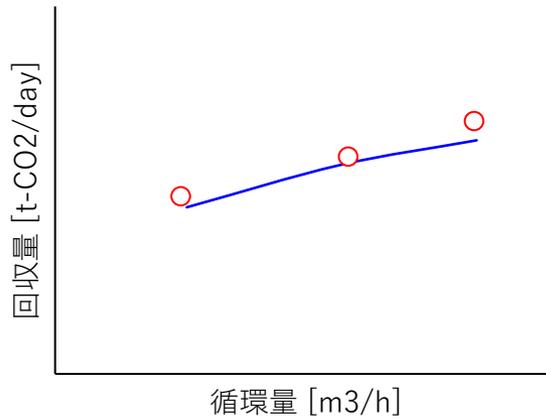
商用化に向けて製造プロセスの最適化や劣化材の処理(リクレーミングなど)についても検討中。

ベンチ試験シミュレータ(感度解析例)

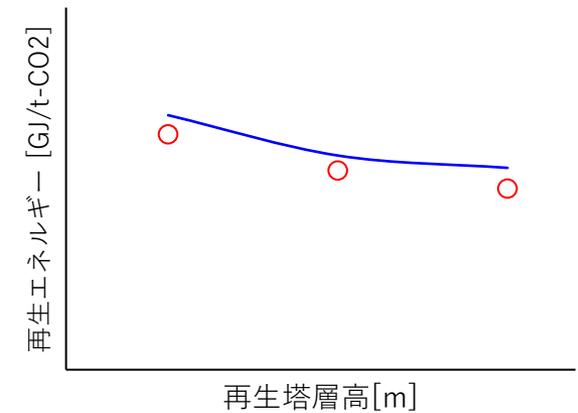
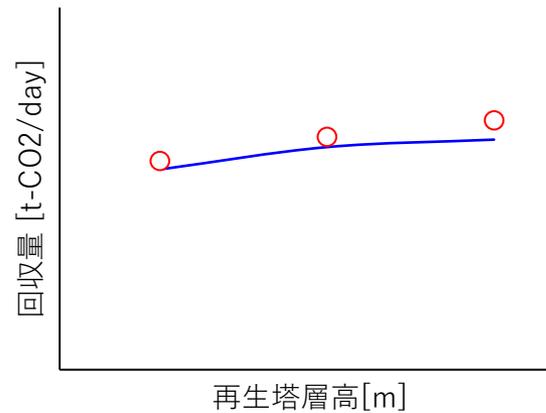
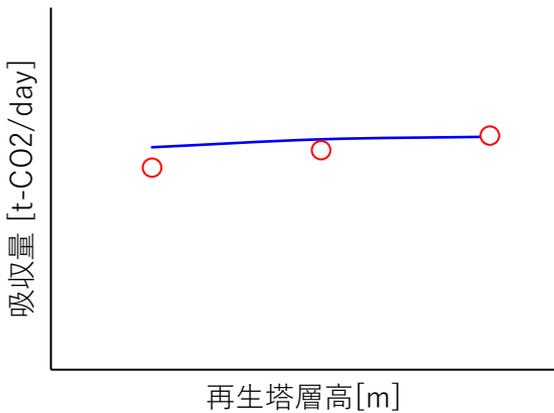
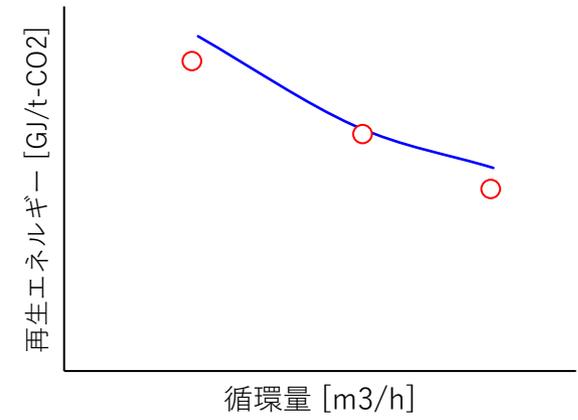
吸収量
[t-CO₂/d]



回収量
[t-CO₂/d]



分離回収エネルギー
[GJ/t-CO₂]



今後はパイロット試験データを基にパイロット試験シミュレータの信頼性評価と最適な運転プロセスの検討を実施する予定。

天然ガス燃焼排ガスからの低コストCO₂分離・回収プロセス 商用化の実現(グリーンイノベーション基金事業)

事業の目的・概要

- (1) 天然ガス利用のカーボンニュートラル化に向けて、ガスタービン排ガスからの低濃度CO₂分離回収コストの低減を実現できる固体吸収材をコアとする国産技術を開発する。
- (2) 低コストプロセスを構築し、早期の社会実装につなげるため、商用化を念頭に置いたベンチ試験、実ガス実証試験による技術実証を行う。

実施体制

※太字：幹事企業

千代田化工建設株式会社、株式会社JERA、
公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)

事業期間

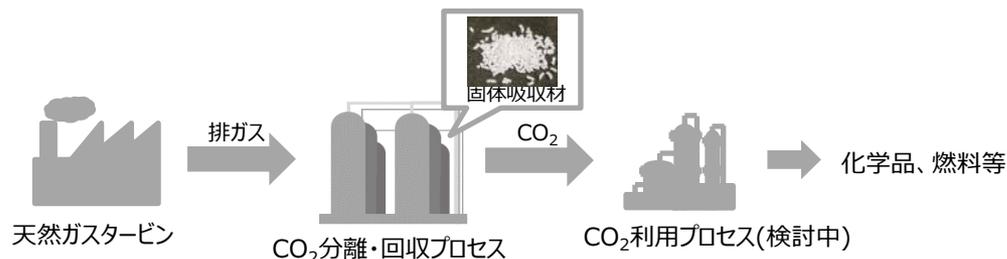
2022年度～2030年度（9年間）

事業規模など

- 事業規模：約100億円
 - 支援規模*：約87億円
- *インセンティブ額を含む。今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり
補助率など：委託→2/3補助（インセンティブ率は10%）

事業イメージ

吸収材開発 プロセス開発 実ガス実証



天然ガス燃焼排ガスからのCO₂分離・回収プロセスの概念図

2022

2024

2026

2030

吸収材の開発
新規固体吸収材の開発
及びラボ試験

ベンチ試験
性能確認・エンジニアリングデータ取得

実ガス実証試験
全体システム検討、長期運転実証

RITE

吸収材開発を担当

- 天然ガスタービン排ガス向け**新規固体吸収材の開発**
- 新規固体吸収材**量産方法の開発**

RITEの社会実装に向けた取組内容

- CCUSとのインテグレーション検討のサポート
- 新規固体吸収材のコストダウン検討等を担当

共同研究開発

千代田化工(CYD)

プロセス開発を担当

- CO₂分離回収プロセスの開発
- 商業機の概念設計とR&D方針へのフィードバック
- ベンチ・実ガス試験装置の設計・運転
- 商業機の試設計
- CCUS*1)とのインテグレーションの検討

CYDの社会実装に向けた取組内容

- マーケティング・市場調査
- プロセスのコストダウン検討等を担当

共同研究開発

JERA

火力発電所での実ガス実証試験を担当

- 火力発電所とのインテグレーション検討
- 事業計画の策定
- 火力発電所での実機実証試験

JERAの社会実装に向けた取組内容

- 全体システムの検討
- JERAゼロエミッション2050日本版ロードマップに沿った事業化検討等を担当

本プロジェクトの目的：天然ガスタービン排ガスからの低コストCO₂分離・回収プロセス商用化の実現

固体吸収材における水分の影響

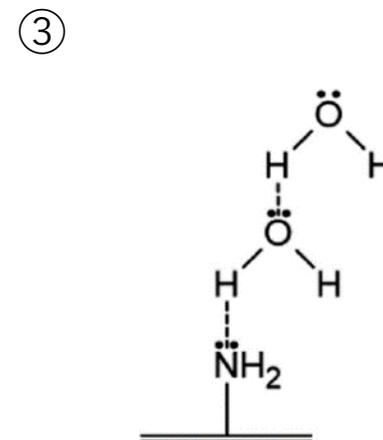
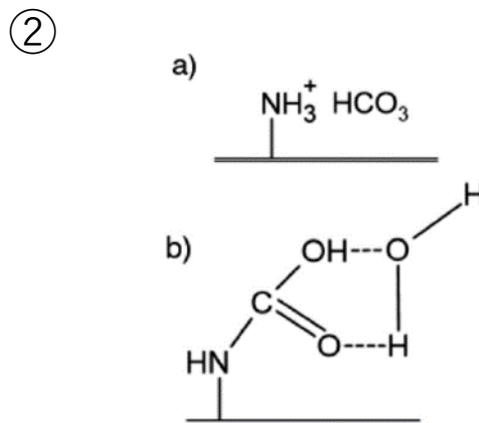
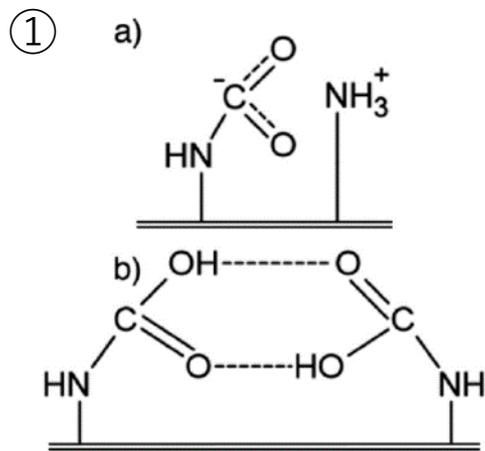


Fig. 1 Species that CO_2 adsorbs as on amine-functionalised sorbents in the absence of water. (a) Ammonium carbamate. (b) Paired carbamic acid.

Fig. 2 Additional species that CO_2 adsorbs as on amine-functionalised sorbents in the presence of water. (a) Ammonium bicarbonate. (b) Water stabilised carbamic acid.

Fig. 3 Hydrogen bonding of water onto supported amine groups.

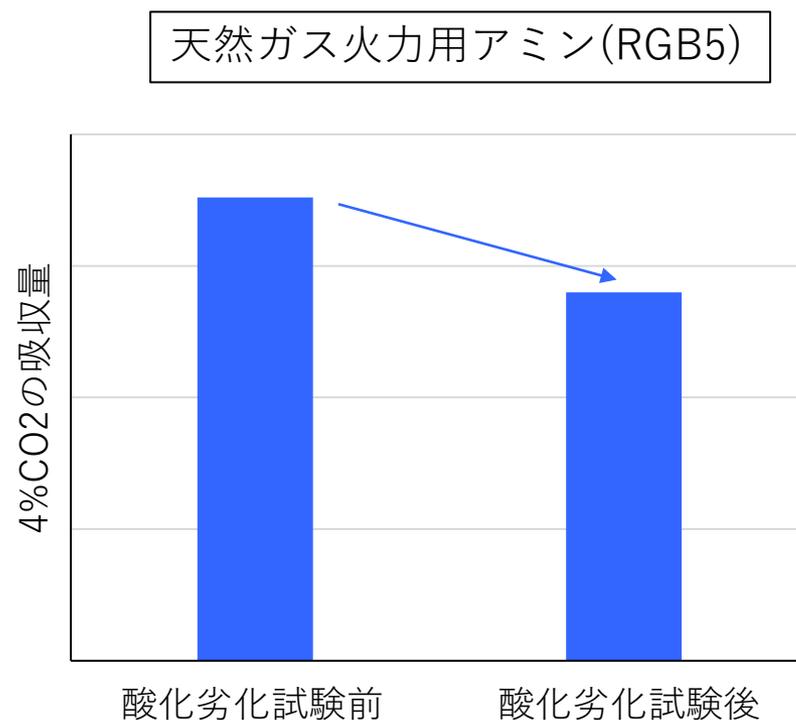
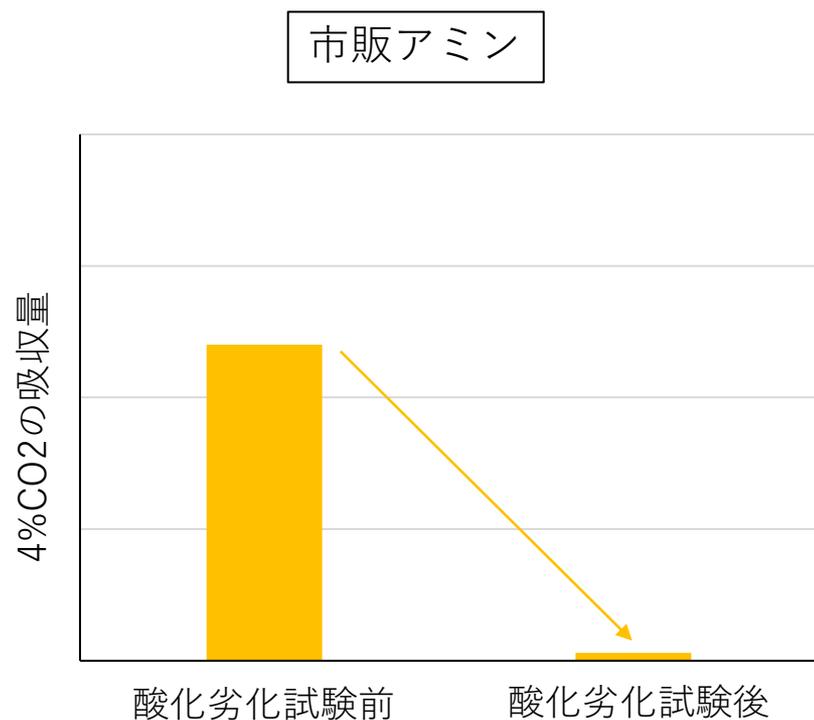
この研究では H_2O の影響として、以下の報告がなされている。

- ①カルバメートとペアカルバミック酸【 CO_2 吸収量が増加する反応】
- ②バイカーボネート生成【 CO_2 吸収量が増加する反応】
- ③アミンと H_2O が水素結合し、吸着サイトを奪う【 CO_2 吸収量が減少する反応】

必ず有利に働くわけではない

開発したアミンの酸化劣化耐性

100°Cの空気に42hさらして強制的に酸化劣化を促進させた結果を以下に示す。



市販アミンよりもCO₂吸収量に優れ、酸化劣化に対して非常に強いアミンを開発した。

※左右の図で軸のスケールは同じ

大気中からの高効率CO₂分離回収・炭素循環技術の開発 (ムーンショット型研究開発事業)

大気中から直接CO₂を回収 (Direct Air Capture) し、回収したCO₂を有価物に転換する炭素循環技術の確立に向けて、以下の研究開発を実施する。

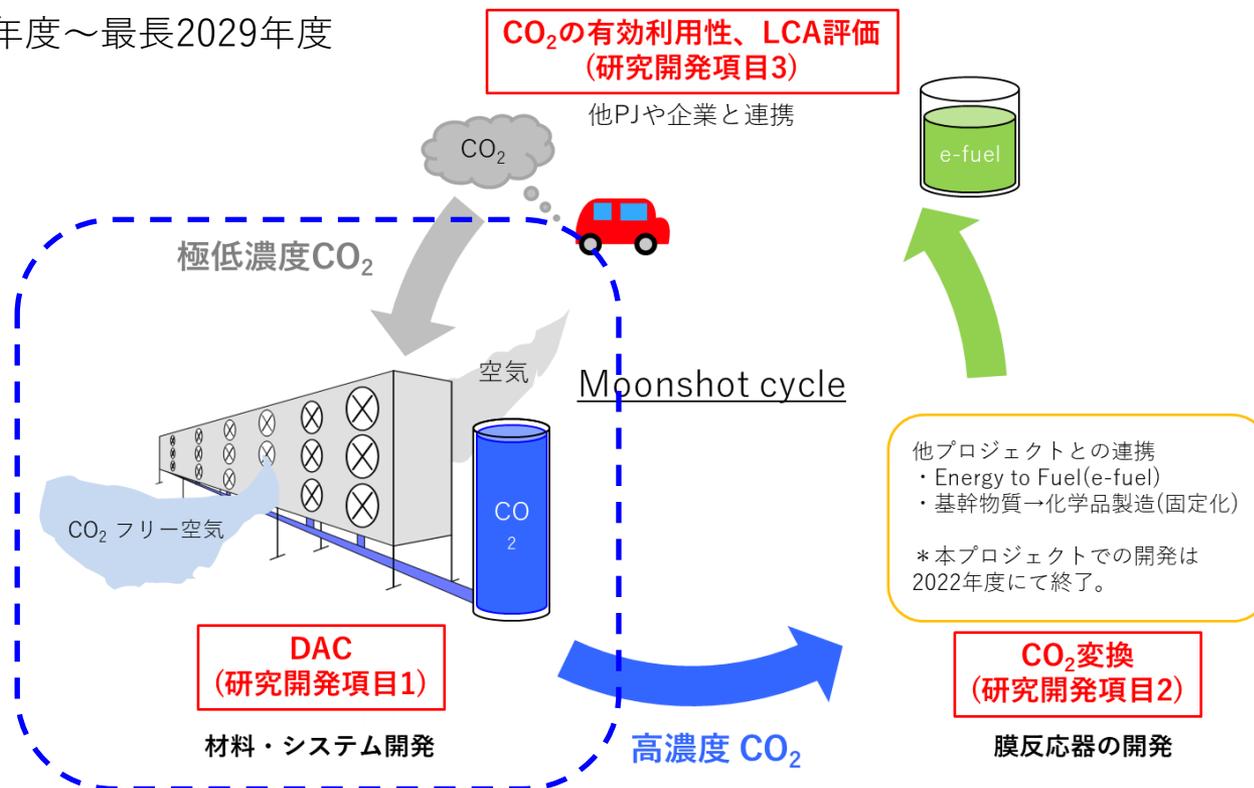
【実施内容】

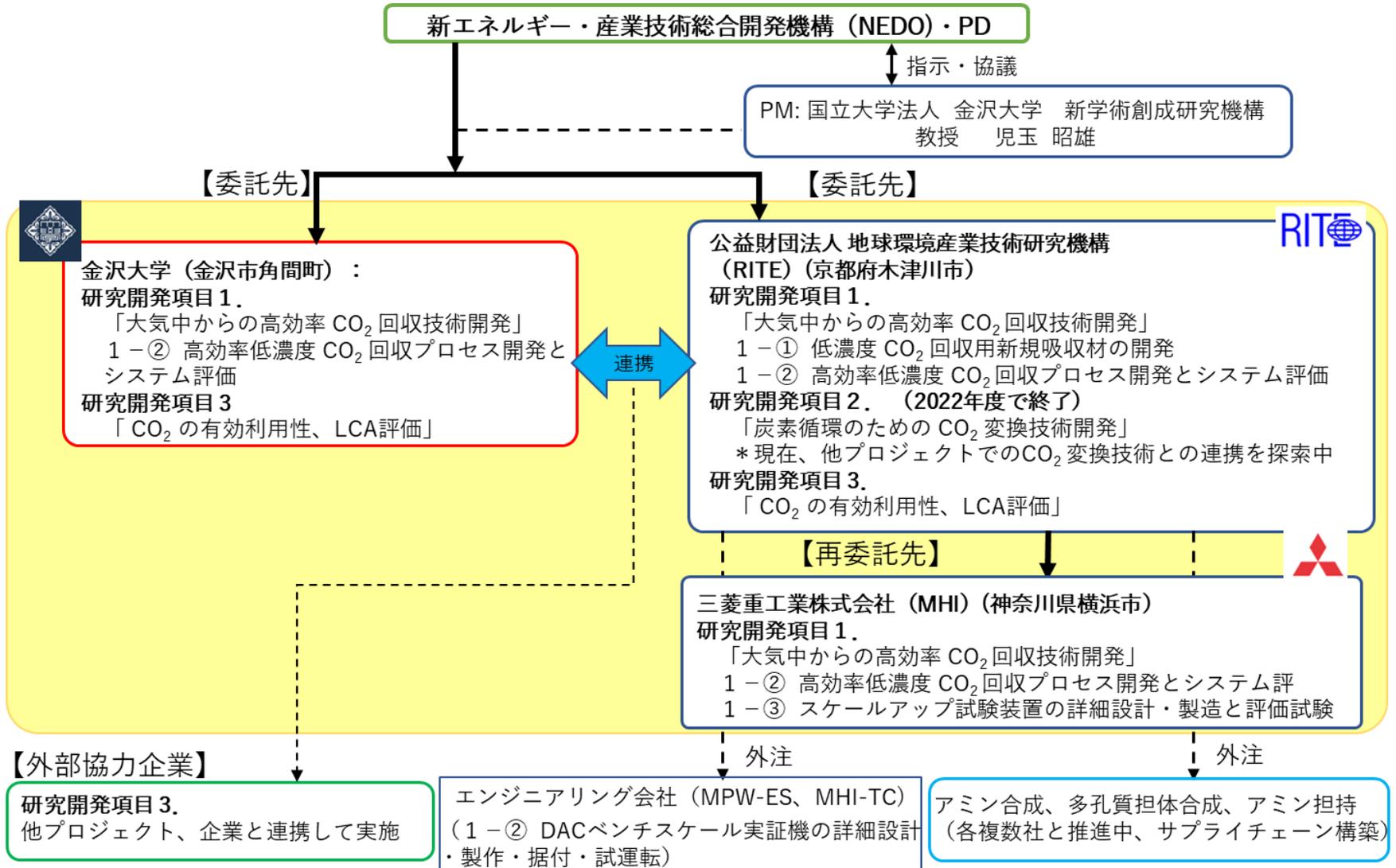
研究開発項目1. 大気中からの高効率CO₂回収技術開発 →RITE固体吸収材の適用

研究開発項目3. CO₂の有効利用性、LCA評価 →他プロジェクト、企業との連携

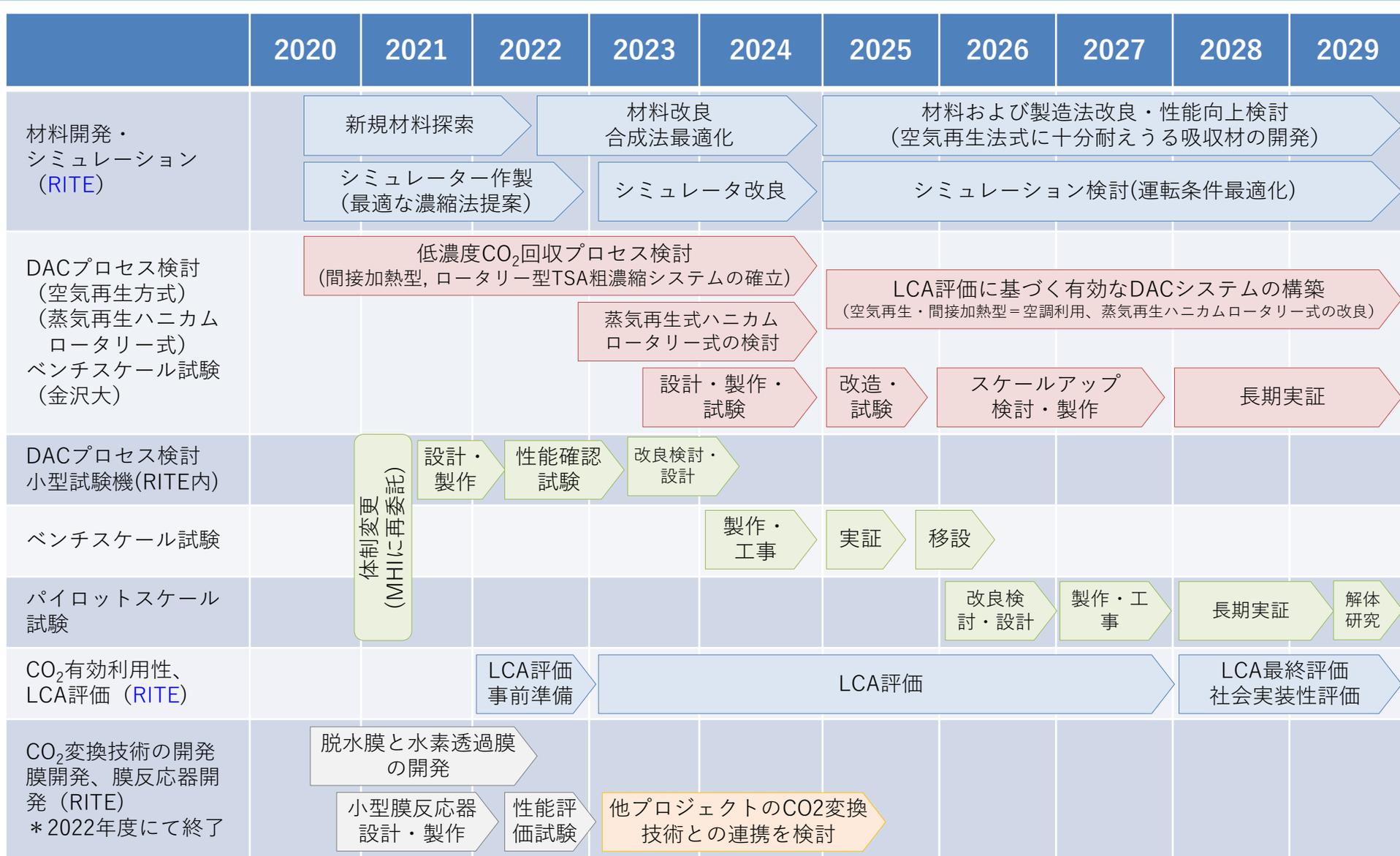
* 研究開発項目2. 炭素循環のためのCO₂変換技術開発 (液体炭化水素燃料合成) は2022年度にて終了。
他プロジェクトのCO₂変換技術との連携を探索中。

【期間】 2020年度～最長2029年度

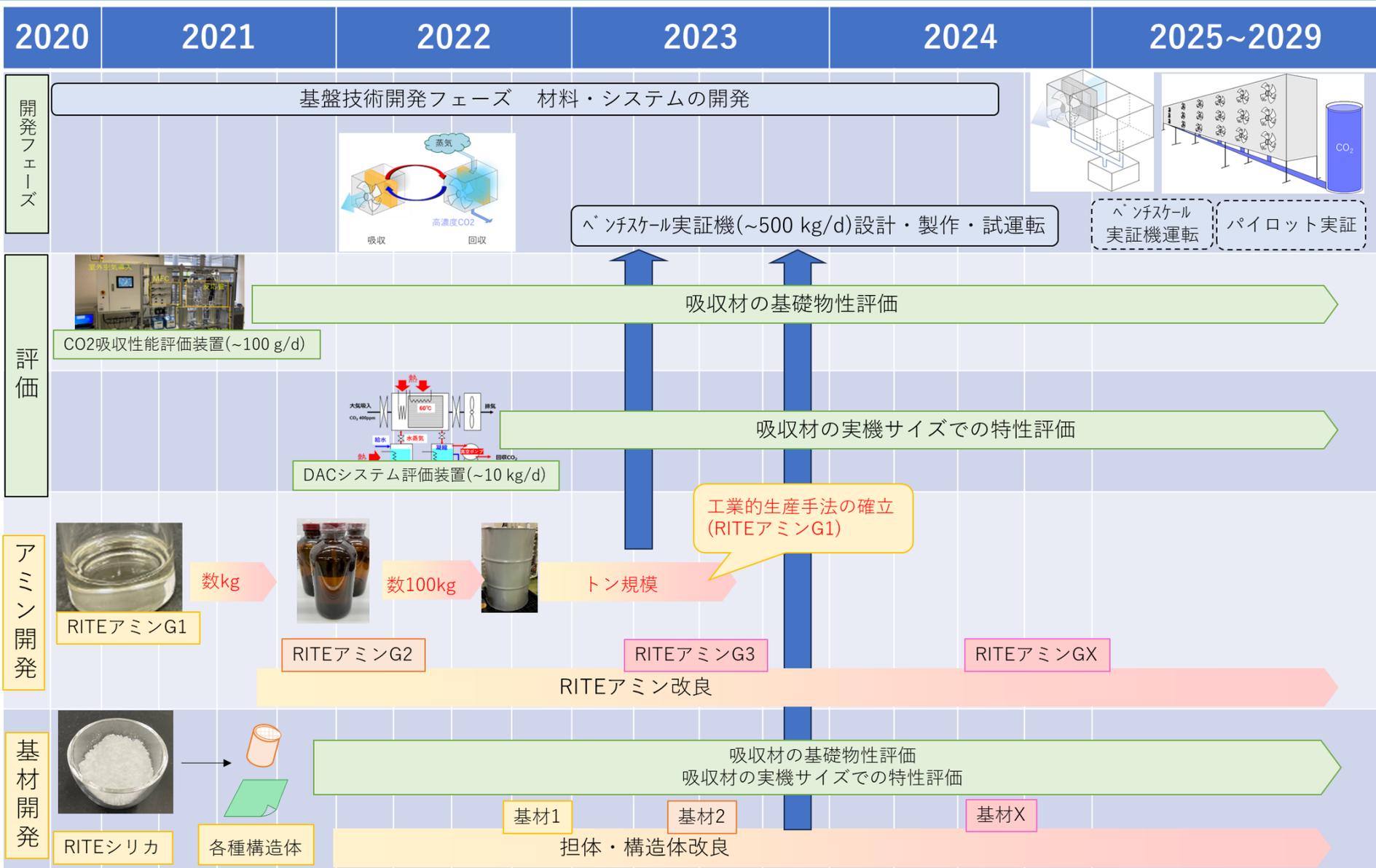




全体スケジュール



材料開発のスケジュール



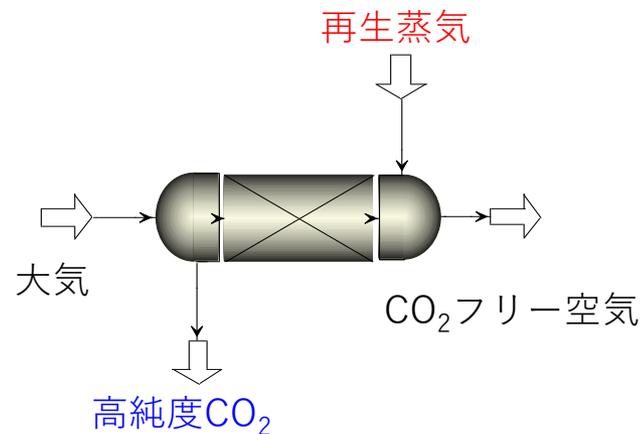


ラボ試験装置(~数100g/d)

基礎物性データの提供



材料特性の改良提案



プロセスシミュレーション

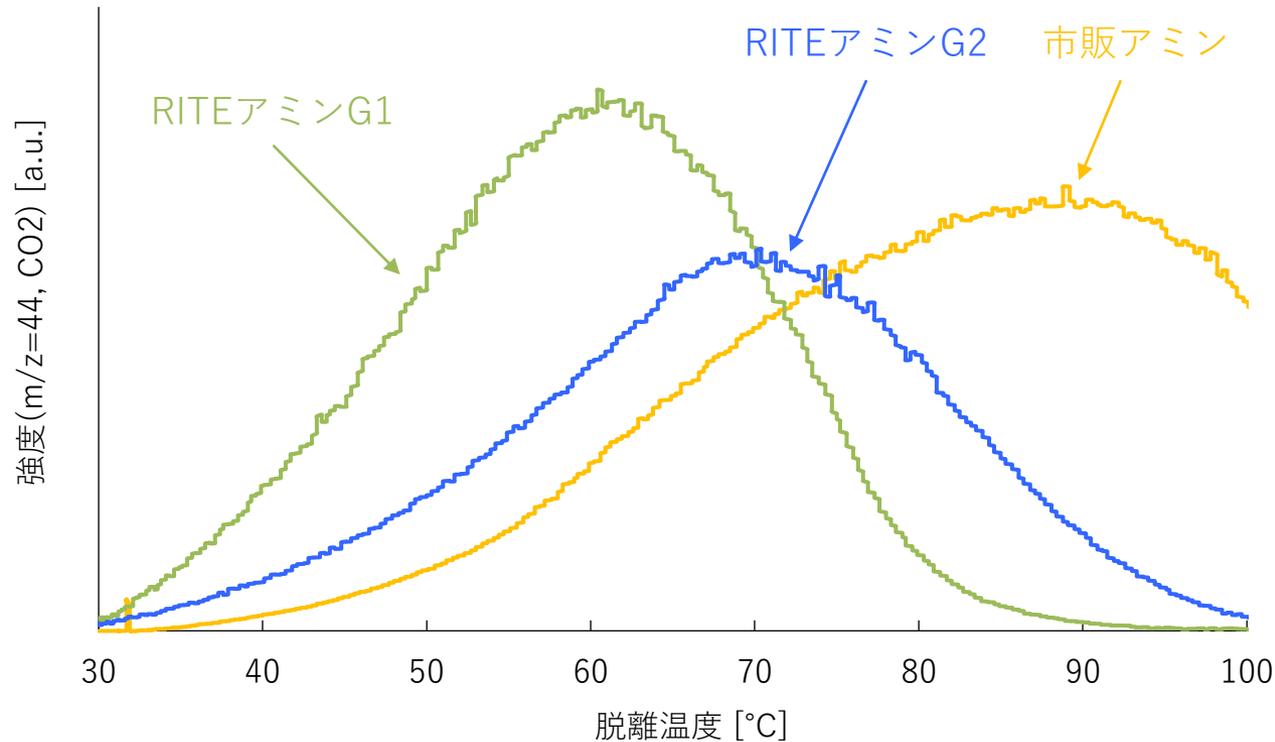
材料特性の改良提案
実プロセスへの適用性検証



DACシステム評価装置(~数kg/d)

材料特性の改良提案
基礎物性データの提供

CO₂脱着温度とアミン種の関係



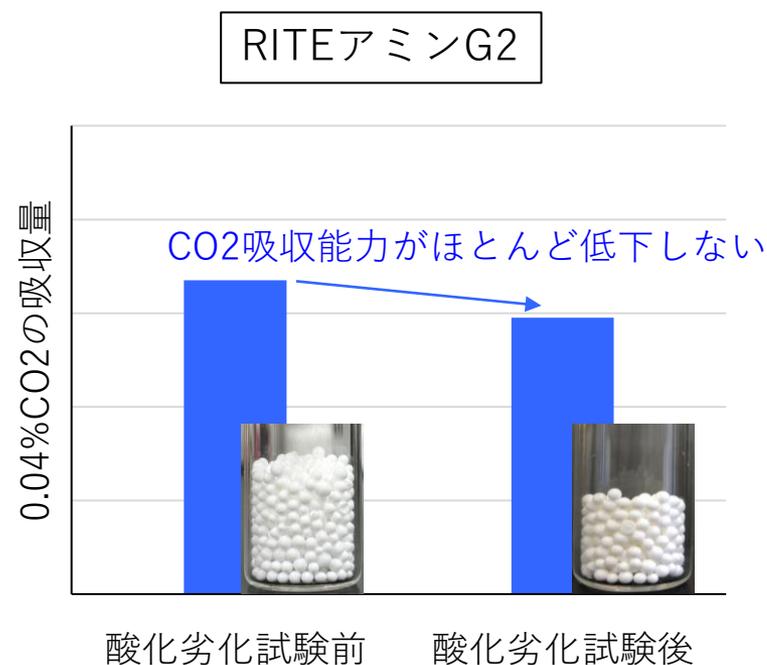
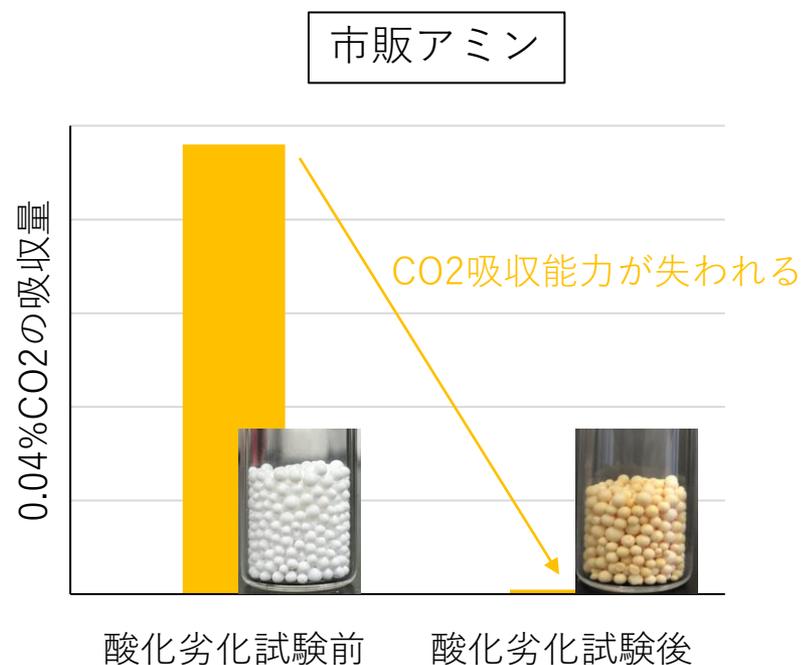
RITEアミンG1：低温再生性は良いが、酸化劣化耐性をもっと高めたい。

RITEアミンG2：低温再生性を犠牲にせず、酸化劣化耐性を大幅に向上。

新たに開発したRITEアミンの特徴

酸化劣化に対する耐性

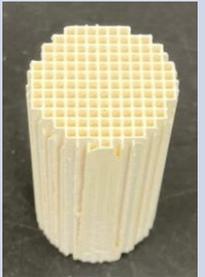
100°Cの空気に42hさらして強制的に酸化劣化を促進させた結果を以下に示す。

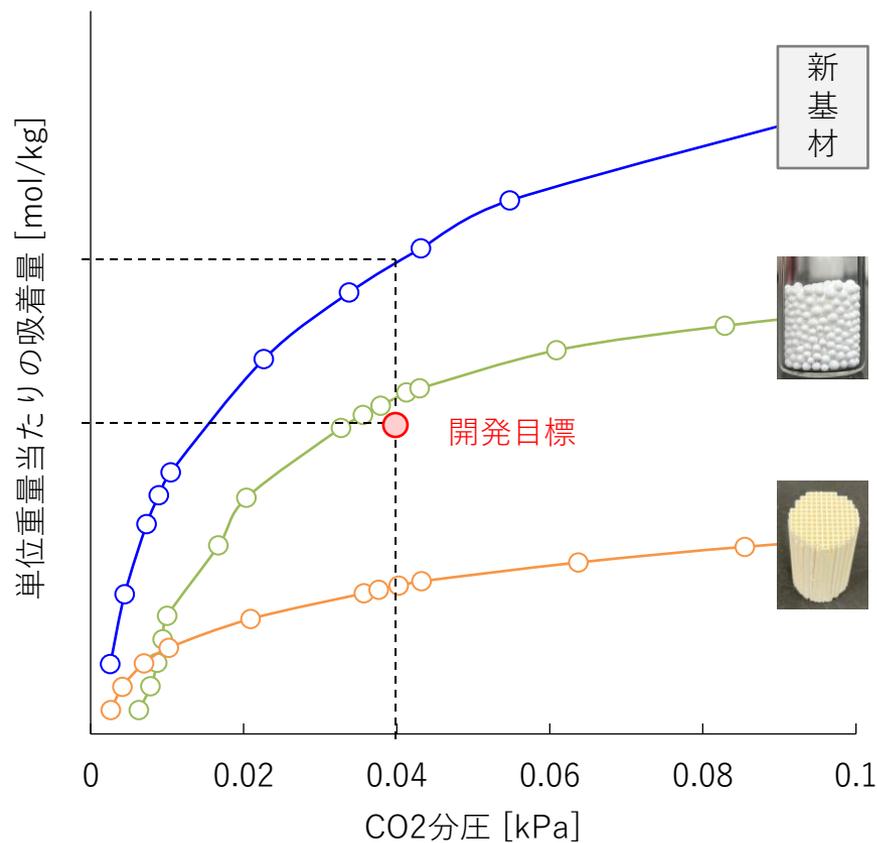


RITEアミンG2の開発で得られた知見をもとに、G3を開発中。

※左右の図で軸のスケールは同じ

新たに開発した担体の特徴

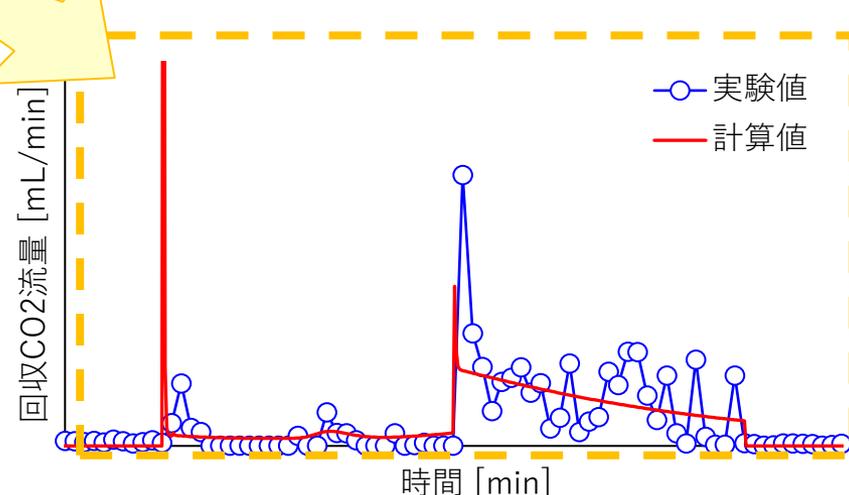
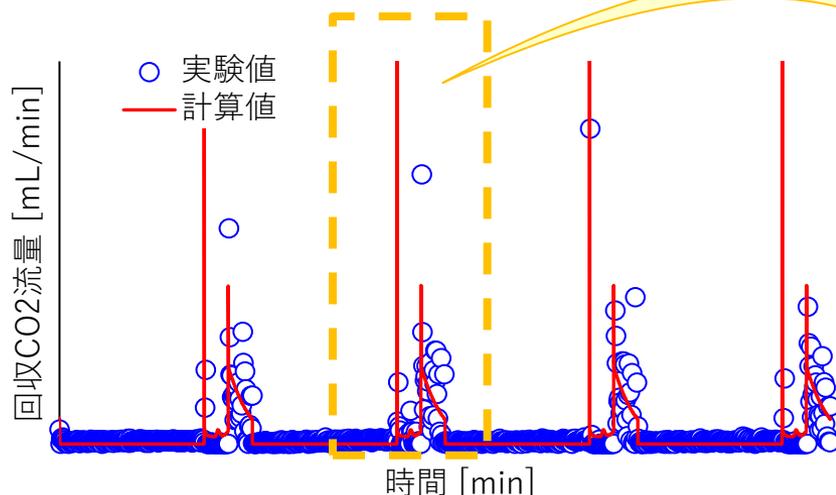
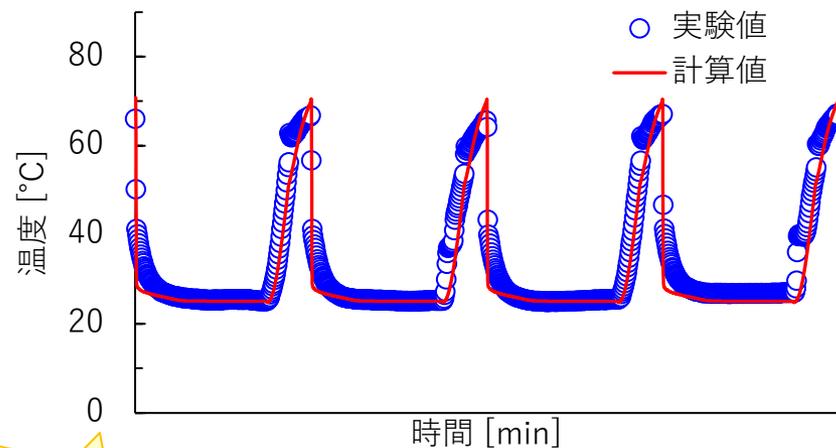
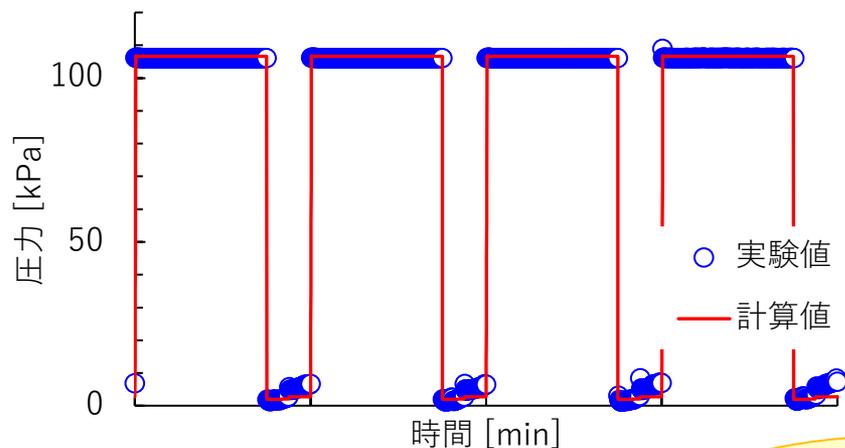
ビーズ	ハニカム	新基材
		全く新しい 構造体
充填率 : 大 吸収量 : 大 圧力損失 : 大	接触効率 : 大 圧力損失 : 小 吸収量 : 小	充填率 : 大 吸収量 : 大 圧力損失 : 小 (構造に依存)



RITEアミンと相性の良い担体を開発し、開発目標を大幅に上回るCO₂吸収量を確認。

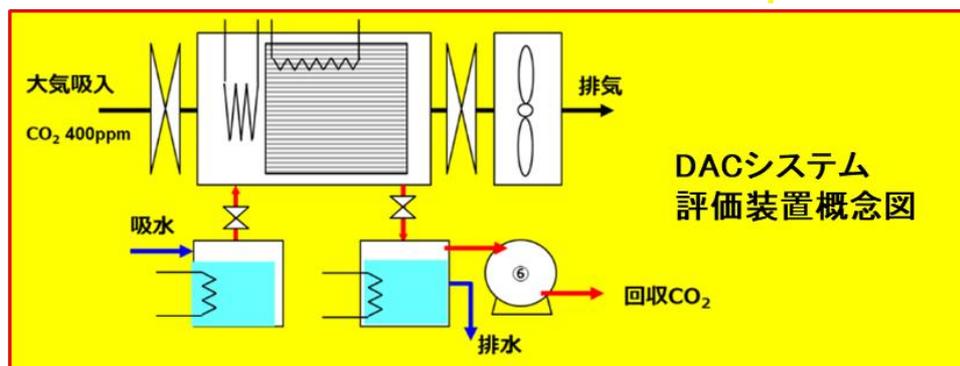
シミュレーションによる吸脱着挙動の把握

新基材の挙動を予測可能なシミュレーションモデルの構築(ラボ試験装置)

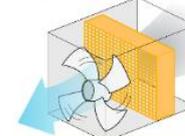


ビーズ、ハニカム、新基材のいずれにおいてもシミュレーションモデルを構築。

DACシステム評価装置による材料評価

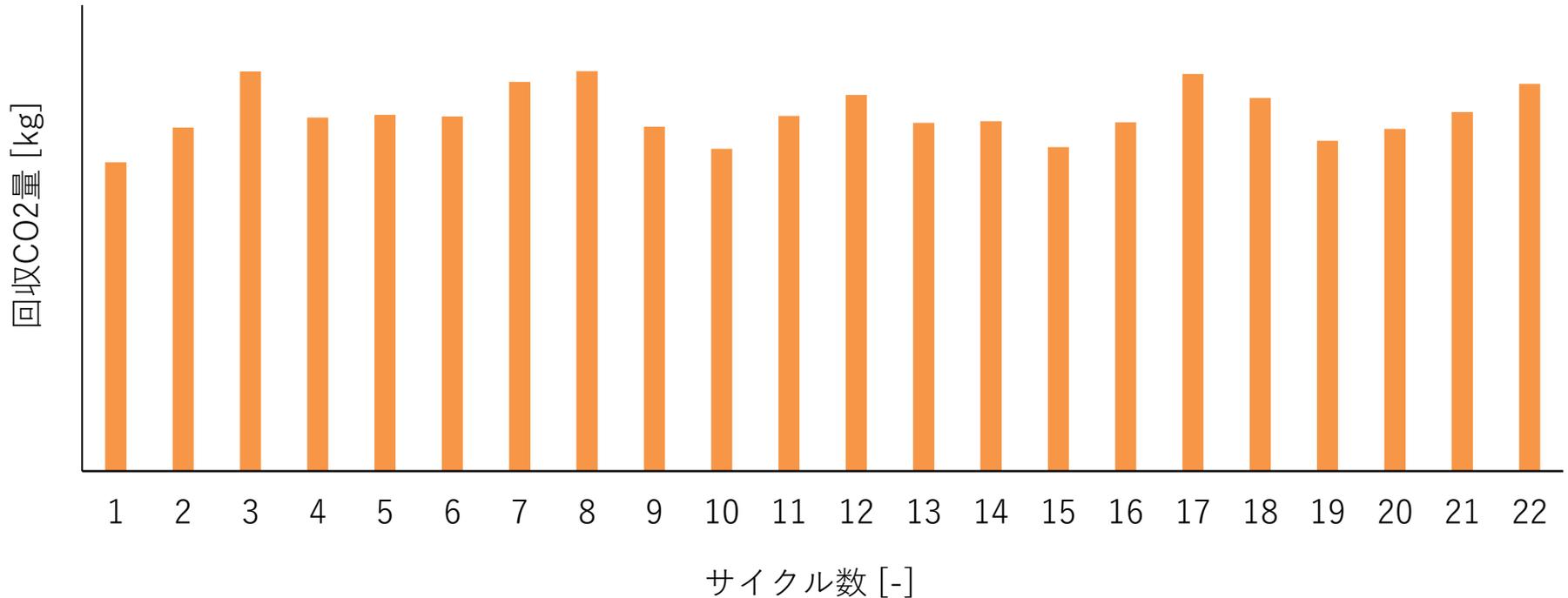


- 処理量 ~数kg-CO₂/day
- ・実機サイズの高性能評価



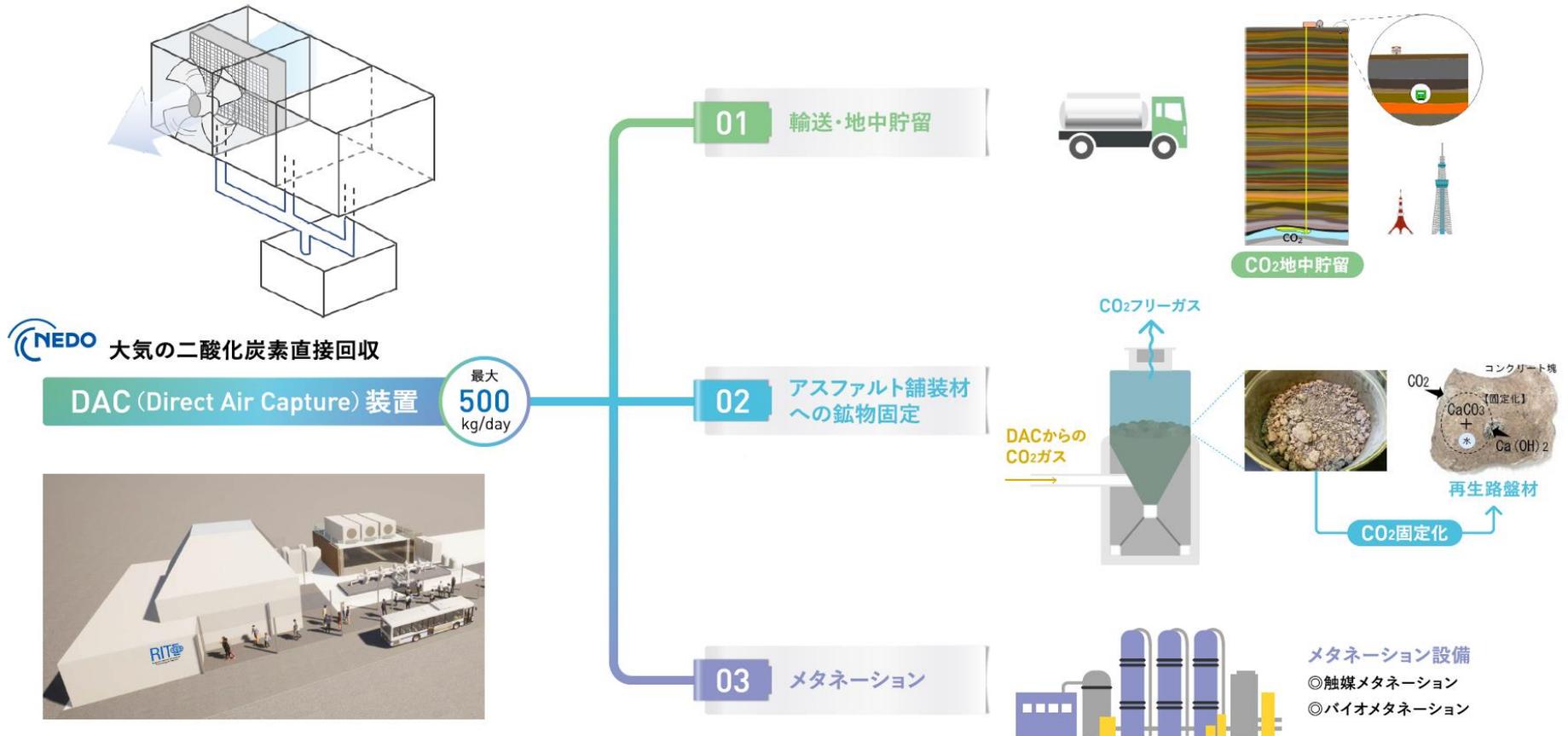
開発したDACシステム評価装置を設置
RITE・三菱重工が連携

RITEアミンG1 + 従来基材(ハニカム)



安定して大気中から高濃度(>95%)のCO₂を回収できることを確認。

(この試験の回収量は3 kg/day程度)

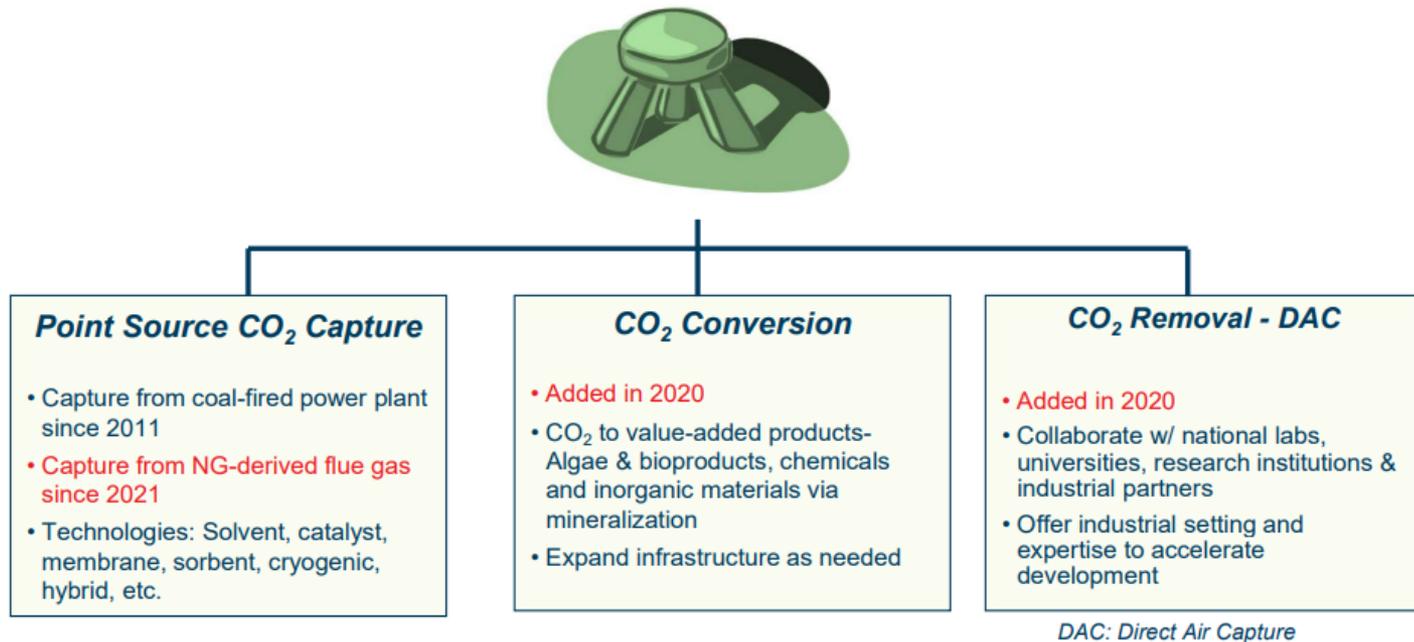


2023年7月20日 RITEプレスリリース (https://www.rite.or.jp/news/press_releases/pdf/press20230720.pdf) より

2021年度以降に米国で開始されたDACプロジェクト(固体吸収材)

No.	実施者	プロジェクト番号	プロジェクト名	開始日
1	State University of New York (SUNY)	米DOE/ FE0031969	Direct Air Capture using Trapped Small Amines in Hierarchical Nanoporous Capsules on Porous Electrospun Fibers	02/01/2021 ~10/31/2023
2	Columbia University	米DOE/ FE0031963	Next Generation Fiber-Encapsulated Nanoscale Hybrid Materials for Direct Air Capture with Selective Water Rejection	01/01/2021 ~10/31/2022
3	Palo Alto Research Center (PARC), Inc.	米DOE/ FE0031951	TRAPS: Tunable, Rapid-uptake, AminoPolymer aerogel Sorbent for direct air capture of CO ₂	02/16/2021 ~03/31/2023
4	Cormetech, Inc.	米DOE/ FE0032094	Bench-Scale Testing of Monolithic Poly Propyleneimine Structured Contactors for Direct Air Capture of Carbon Dioxide	09/15/2021 ~09/14/2023
5	Carbon Collect, Inc.	米DOE/ FE0032097	Spatiotemporal Adaptive Passive Direct Air Capture	10/01/2021 ~06/30/2023
6	Global Thermostat, LLC	米国/ DOE FE0031957	Demonstration of a Continuous-Motion Direct Air Capture (DAC) System	10/01/2020 ~07/31/2023
7	Black and Veatch Corporation	米DOE/ FE0032101	Scaleup and Site-Specific Engineering Design for Global Thermostat Direct Air Capture Technology	10/01/2021 ~03/31/2023
8	University of Cincinnati	米国/ DOE FE0032128	Energy-Efficient Direct Air Capture System for High Purity CO ₂ Separation	10/01/2021 ~10/31/2024
9	Georgia Tech Research Corporation	米DOE/ FE0032129	Hybridizing Heat-Integrated 3D Printed Modules with Mass Manufacturable, Low Pressure Drop Fiber Sorbents	10/01/2021 ~09/30/2023
10	University of Illinois	米DOE/ FE0032100	Direct Air Capture-Based Carbon Dioxide Removal with United States Low-Carbon Energy and Sinks	10/01/2021 ~03/31/2023

NCCC – Technical Program



https://netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/23CM_PSCC29_Wu.pdf

以前は石炭燃焼排ガスを対象とした CO₂分離回収技術のプロジェクトが中心であったが、今回は天然ガス複合サイクル(NGCC)燃焼排ガスを対象としたプロジェクトが増加していた。

報告研究機関	ガス源	CO2分離回収技術	特徴
NCCC (実ガス試験センター)	石炭燃焼排ガス NGCC燃焼排ガス	吸収法、吸着法、膜分離法など	NFCC実ガス試験を2021年に開始 DAC, Uについても試験実施
TCM (実ガス試験センター)	流動接触分解装置排ガス NGCC燃焼排ガス	吸収法、膜・吸着剤ハイブリッドプロセス	TCMは商用化前の最終段階の評価 (アミン分解物評価など)
TDA Research, Inc.	石炭燃焼排ガス	膜・吸着剤ハイブリッドプロセス	膜でCO ₂ の一部と水を分離し、後段の吸着剤でCO ₂ を分離する。 経済性評価により低コストを確認。
ION Clean Energy	NGCC燃焼排ガス	吸収法(非水系吸収液)	パラメータ変化試験、耐久性試験などを実施。大規模実証試験を計画。
MTR	石炭燃焼排ガス	膜(Polaris)	WITCにて膜としての最大規模の実証試験装置(30t/d)を建設中。
Electricore, Inc., Svante	石炭燃焼排ガス	Dual-adsorbent (MOF structured adsorbent)	アミンとMOFを直列的に組み合わせた吸着剤を新規開発。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の以下の委託業務の結果得られたものです。

- ・カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発 (JPNP16002)
- ・グリーンイノベーション基金事業 (JPNP21024)
- ・ムーンショット型研究開発事業 (JPNP18016)

DAC (Direct Air Capture) 実験棟の整備にあたっては、SMBC日興証券株式会社及び三井住友DSアセットマネジメント株式会社のイノベーティブカーボンニュートラルファンドから頂いた寄付金を使わせていただきました。

ご清聴ありがとうございました。