

# 大気中からの 高効率CO<sub>2</sub>分離回収・炭素循環技術の開発



PM：児玉 昭雄

国立大学法人金沢大学 教授

PJ参画機関：

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE)



# 本日の報告内容

1. 研究開発の概要、研究開発項目および期間
2. 2029年度の達成目標
3. 開発体制
4. 開発するDAC(Direct Air Capture)技術の概要
5. 産業化・社会実装のイメージ
6. 開発スケジュール
7. 研究開発項目の進捗状況・成果



# 1. 本研究開発の概要、研究開発項目および期間

◆大気中から直接CO<sub>2</sub>を回収（Direct Air Capture）し、回収したCO<sub>2</sub>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。

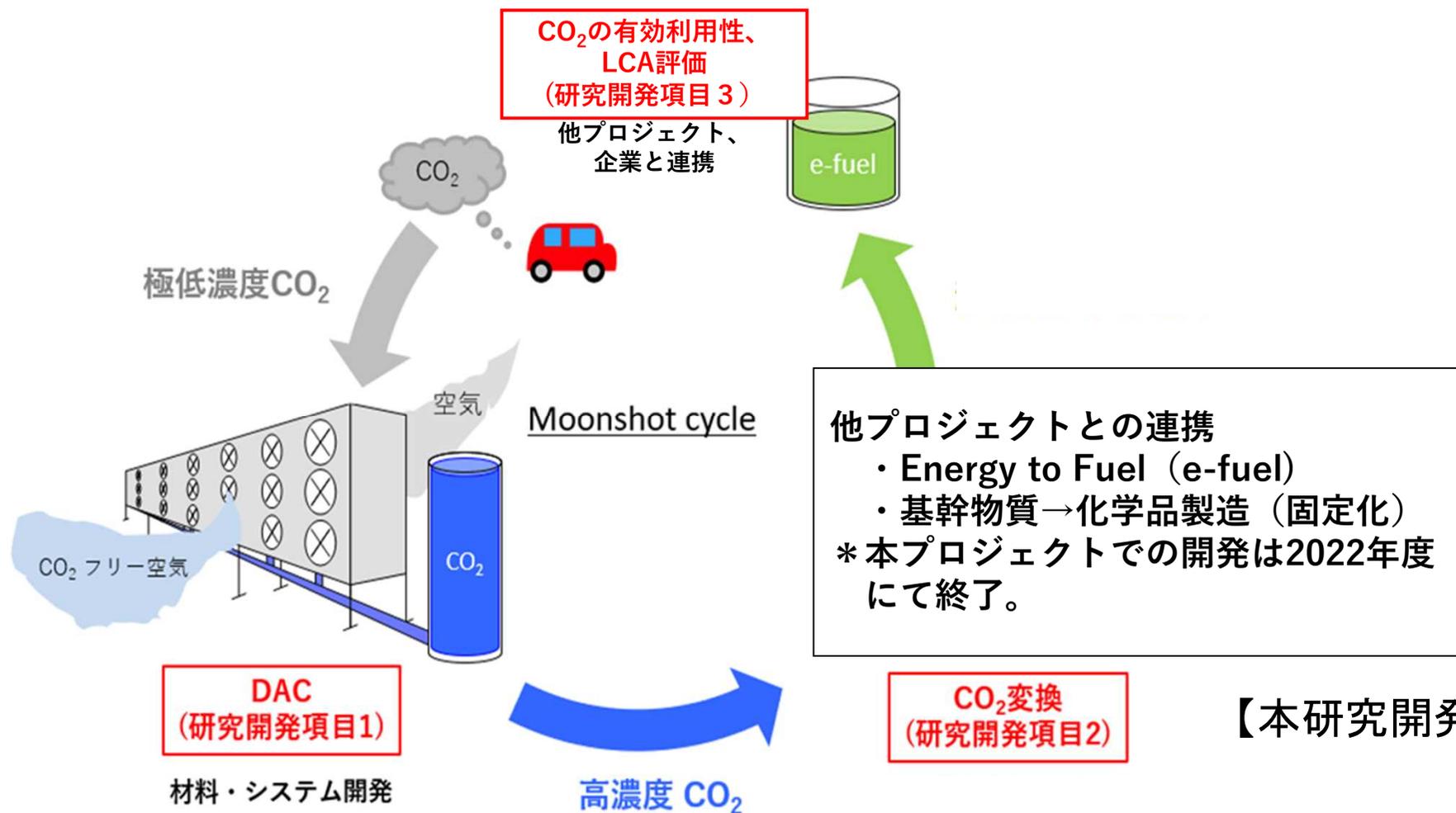
## 【実施内容】

研究開発項目1. 大気中からの高効率CO<sub>2</sub>回収技術開発 → RITE固体吸収材の適用

研究開発項目3. CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>変換技術との連携を探索中。

【期間】 2020年度～2029年度



【本研究開発の概要図と資源循環のイメージ】



## 2. 2029年度の最終目標

### 研究開発項目1. 「大気中からの高効率CO<sub>2</sub>回収技術開発」

- ・ 開発した固体吸収材を用いた数t/day 規模のパイロットスケール試験を実施し、CO<sub>2</sub>変換反応に適用可能な純度のDAC技術を確立する。
- ・ 分離回収エネルギーや分離回収コストを踏まえ、地球温暖化問題対策として有効なDACシステムの構築に目途を得る。

(目標設定理由：海外の先行事例を超える性能を達成)

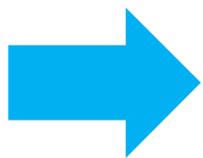
### 研究開発項目2. 「炭素循環のためのCO<sub>2</sub>変換技術開発」

- ・ 2022年度末にて終了。他プロジェクトのCO<sub>2</sub>の変換技術との連携を探索中。

### 研究開発項目3. 「CO<sub>2</sub>の有効利用性、LCA評価」

- ・ 大気中からのCO<sub>2</sub>回収と回収したCO<sub>2</sub>の変換反応を通じたLCA評価によりCO<sub>2</sub>の削減効果を検証し、地球温暖化問題対策として有効であることを確認する。
- ・ 他のプロジェクトや企業と連携してLCA評価、実適用性評価、経済性の評価を行う。。

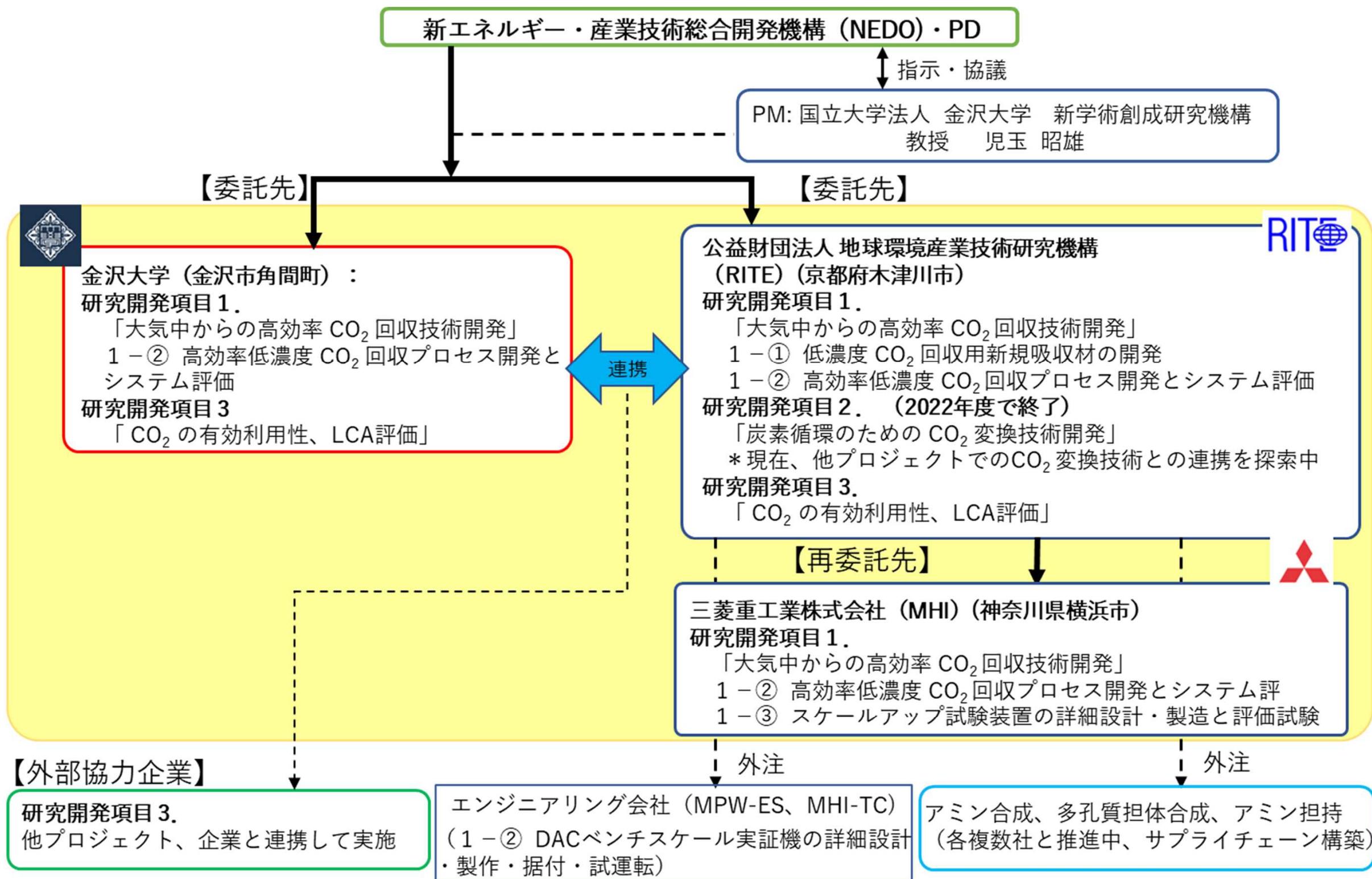
(目標設定理由：早期社会実装には他プロジェクトや企業と連携した評価が不可欠)



将来的な炭素循環社会の実現に目途を得る



# 3. 大気中からの高効率CO<sub>2</sub>分離回収・炭素循環技術の開発体制





# 4. 開発するDAC(Direct Air Capture)技術の概要

## 【再生方式が異なるDAC技術の開発】

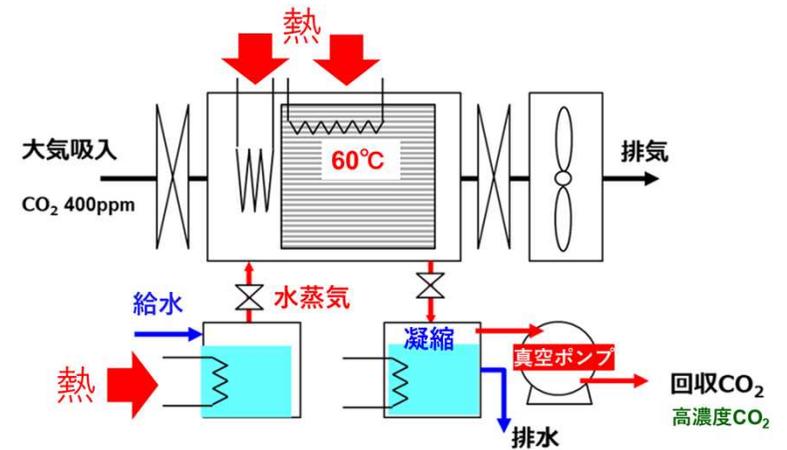
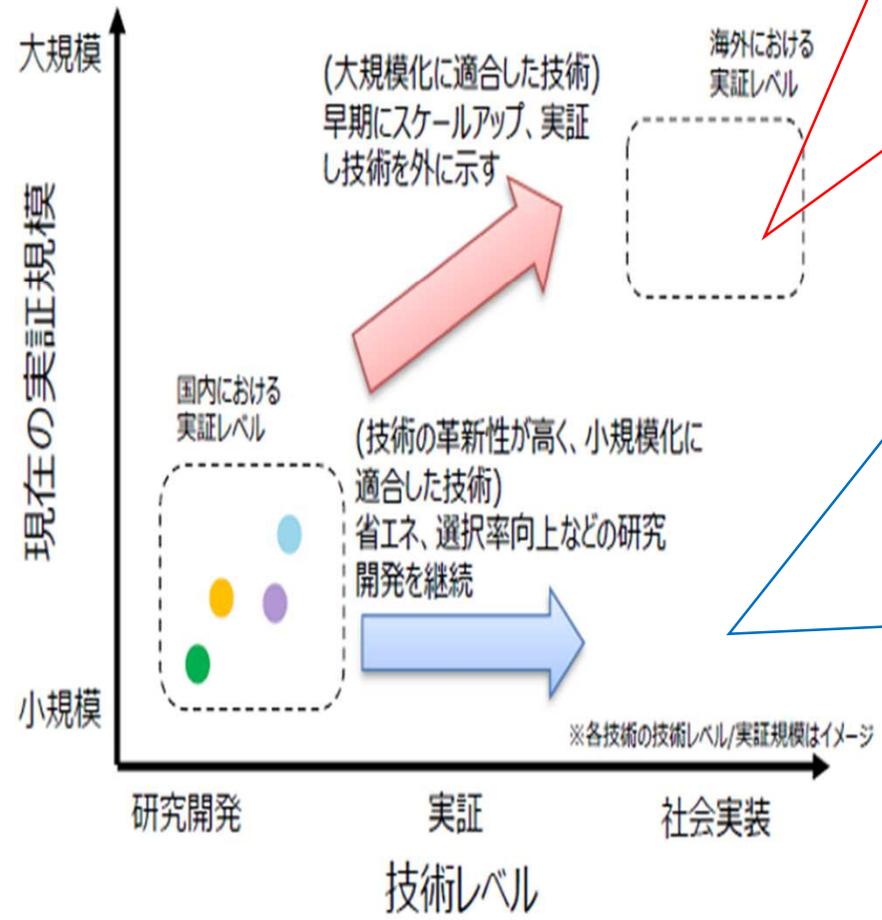
	バッチ式	ハニカムロータリー式
蒸気再生	<p>間接加熱 + 低温蒸気パージ RITE</p> <p>高濃縮</p>	<p>大気圧蒸気加熱 (蒸気潜熱も利用) 金沢大学</p> <p>高濃縮</p>
空気再生	<p>間接加熱 + 空気パージ 金沢大学</p> <p>粗濃縮</p>	<p>空気加熱 金沢大学</p> <p>粗濃縮</p>



# 5. 産業化・社会実装のイメージ

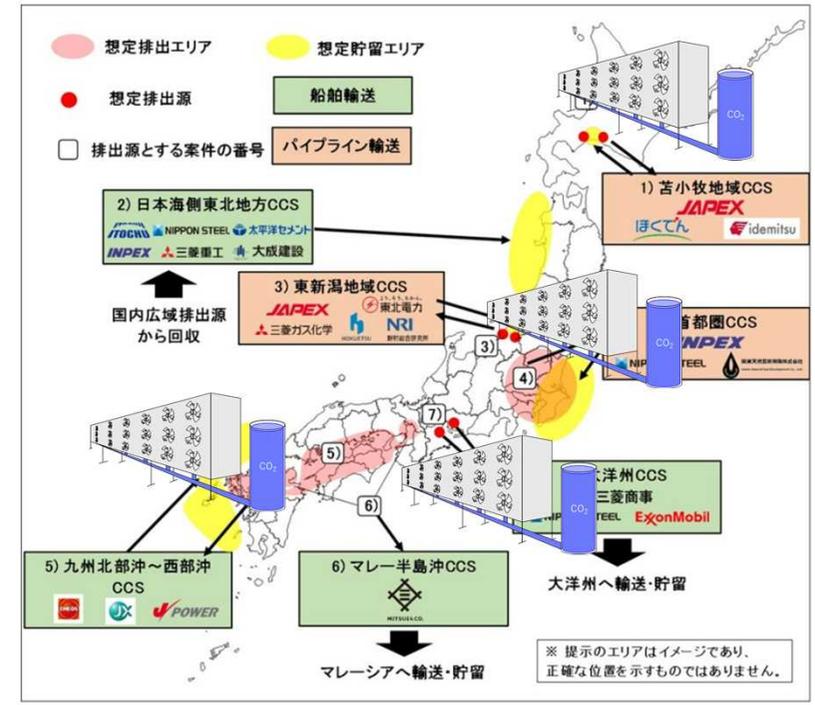
## 今後の方向性

適合する規模に応じて、今後の方向性を選択。  
特に大規模に適合した技術は、海外での大規模実証の進展より、早期のスケールアップが必要。

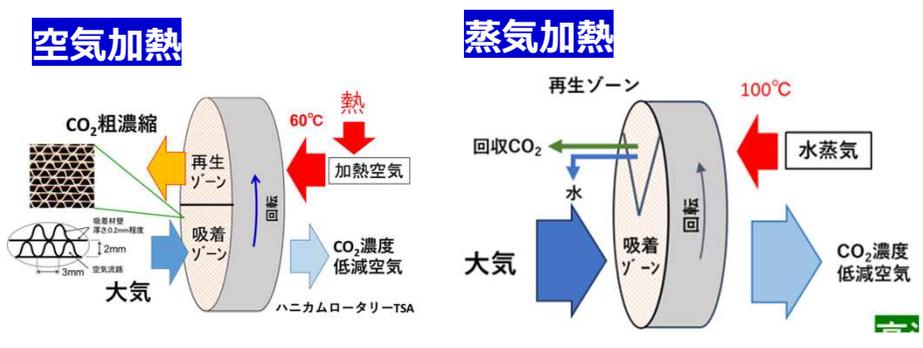


## 蒸気再生式 (RITE/MHI)

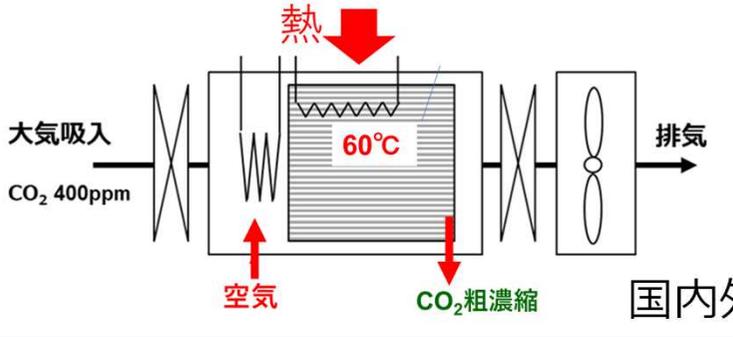
国内：将来的な先進的CCS事業との連携等  
海外：海外企業へのライセンス（材料、システム）  
海外事業への参画等



<https://www.meti.go.jp/press/2023/06/20230613003/20230613003.html>  
をもとに作成、あくまでもイメージで各事業との具体的連携を示すものではない



## ハニカムロータリー式 (金沢大)



## 間接加熱+空気パーズ式 (金沢大)

国内外：中・小型分散向け（空調システムとの複合化等）

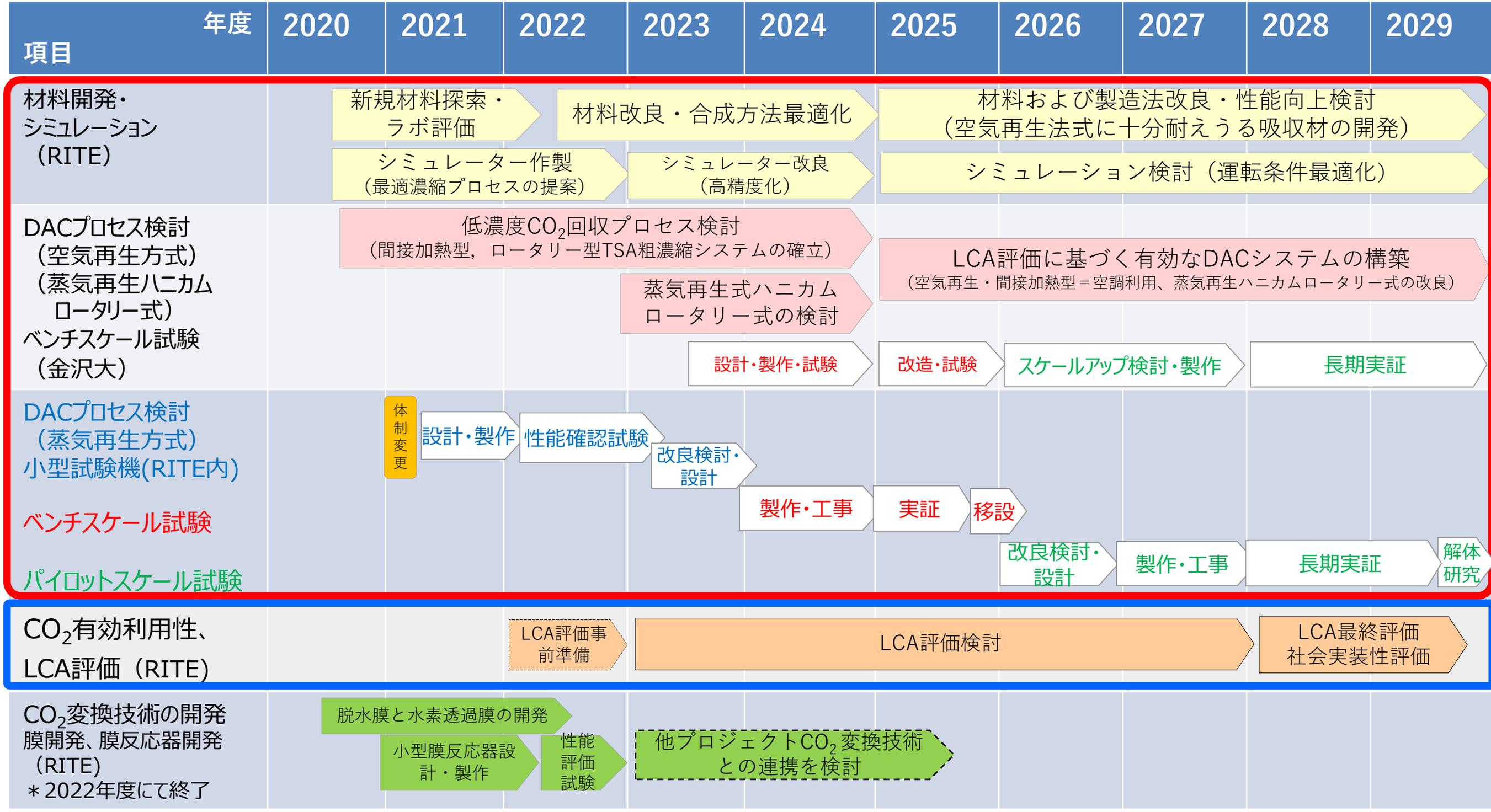
出典：ネガティブエミッション市場創出に向けた今後の方針について (METI)



# 6. 開発スケジュール

上：研究項目 1  
下：研究項目 3

DAC技術開発  
LCA評価





# 7. 進捗状況・成果

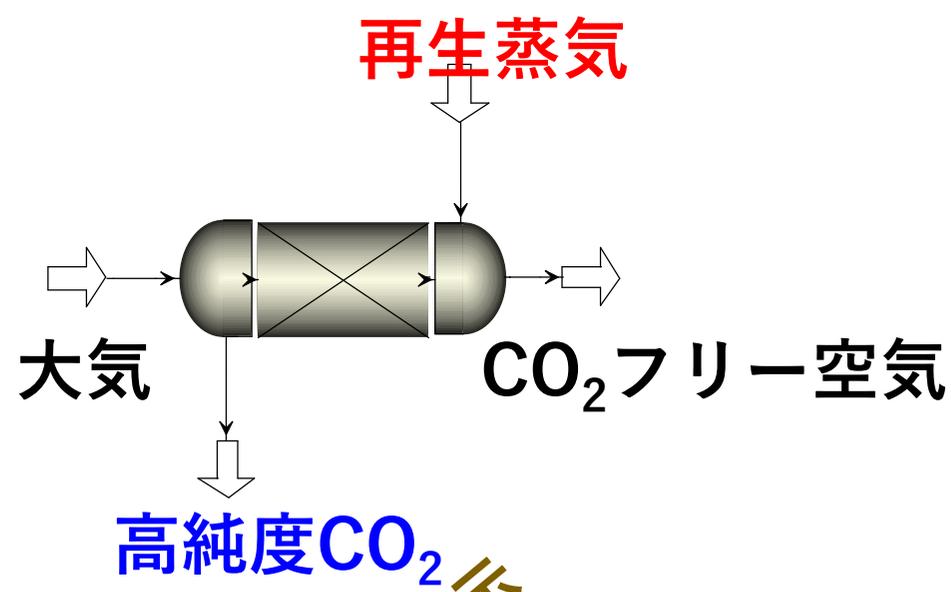
## 研究開発項目1 DAC(Direct Air Capture)技術の開発

蒸気再生方式: シミュレーションとラボ・システム評価の連携による開発体制

ラボ試験装置(~数100g/d)



プロセスシミュレーション



基礎物性データの提供

← 材料特性の改良提案

実プロセスへの  
適用性検証

← 材料特性の改良提案



DACシステム評価装置(~数kg/d)

最適な運転プロセスの提示

← モデルの改良提案

スケールアップ 運転条件

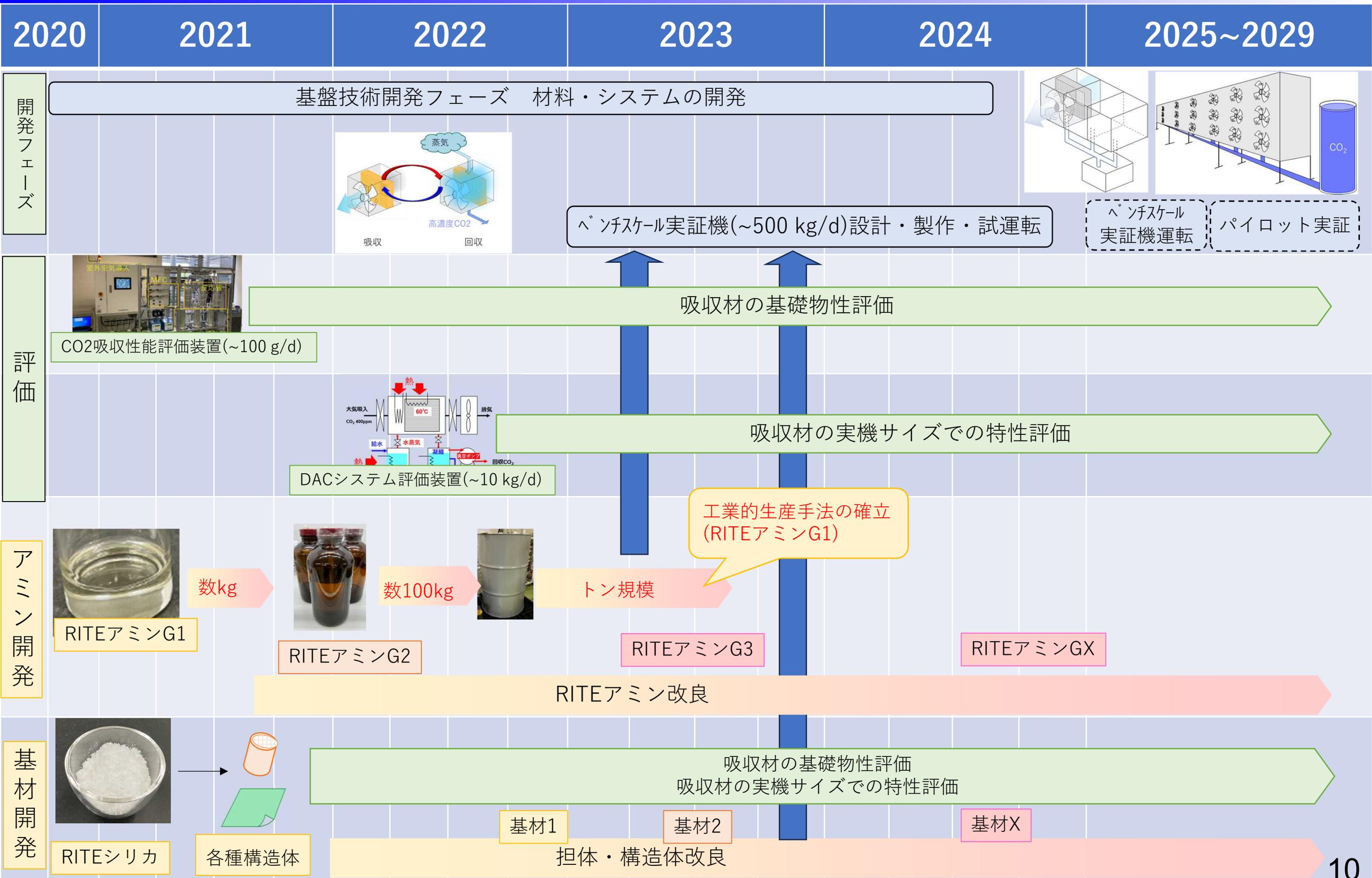
← 三菱重工業(株)

← 省力化法の提案



# 7. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-① DAC用アミン、担体の開発 (RITE)





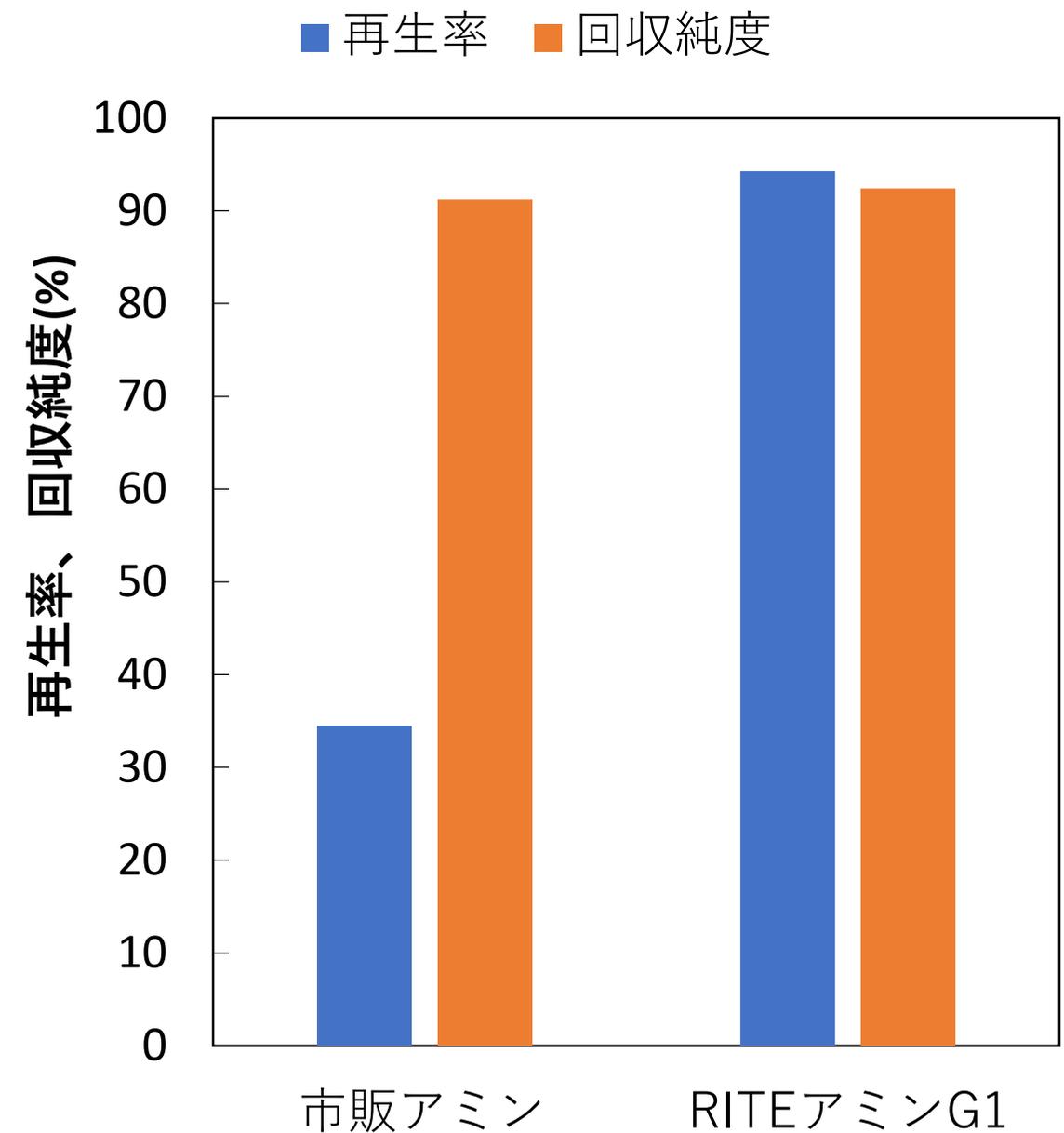
# 7. 進捗状況・成果 研究開発項目 1-① DAC用RITEアミンの性能

## “RITE開発アミン”の特徴

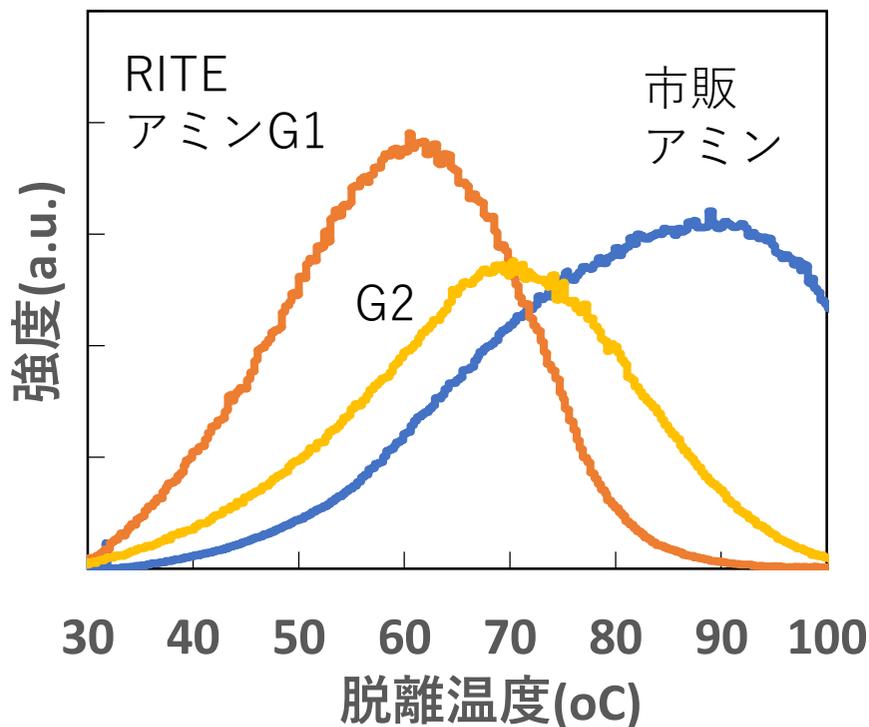
### ・市販アミンとの比較

	市販アミン	RITEアミン G1	RITEアミン G2
脱離温度	90°C	60°C	70°C
吸収量	高	低	中
酸化劣化耐性	×	○	◎

### ・脱着性能評価(60°C 減圧蒸気)



### RITEアミンのCO2脱離曲線



### RITEアミンの酸化劣化



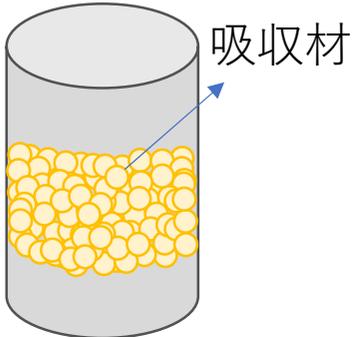
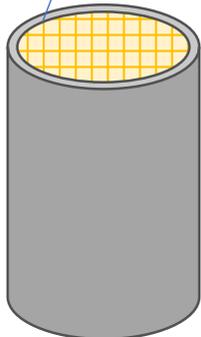
**RITEアミンG1：60°CでCO<sub>2</sub>を脱離可能：改良検討継続中**  
**RITEアミンG2他：耐久劣化性能向上と他性能改良を継続中**



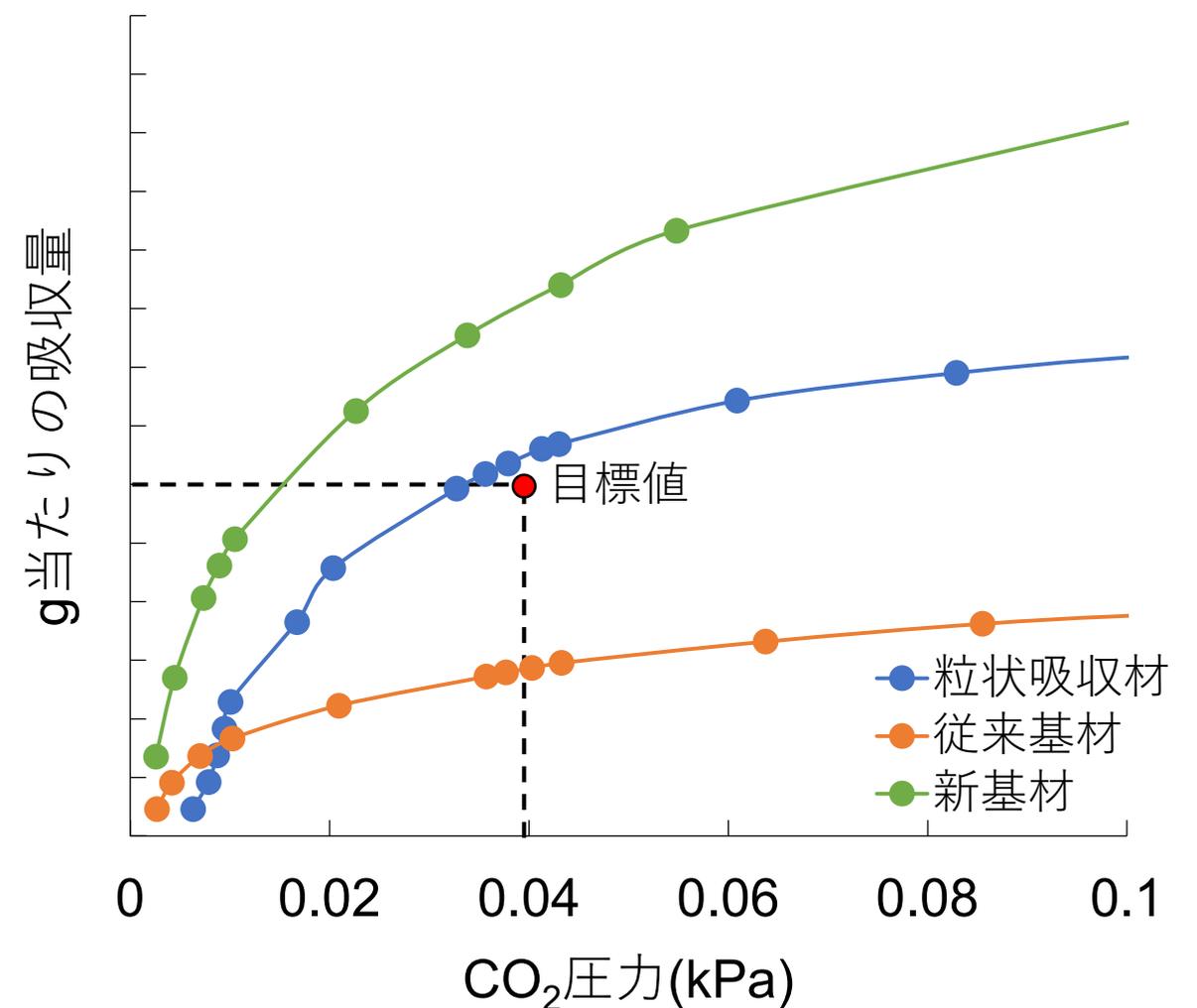
### 基材の検討状況

### RITEアミンG1担持新基材の性能

候補吸収材の構造と特徴

粒状	従来基材 (ハニカム構造)	新基材
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>高充填率</li> <li>高吸収量</li> <li>高圧力損失</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高接触効率</li> <li>低圧力損失</li> <li>低吸収量</li> </ul>	<p>従来基材とは異なる形状、材質</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高充填率</li> <li>高吸収量</li> <li>低圧損化可能(構造に依存)</li> </ul>

CO<sub>2</sub>平衡吸着量測定結果  
測定温度：20°C



異なる材質、構造の基材検討を実施中

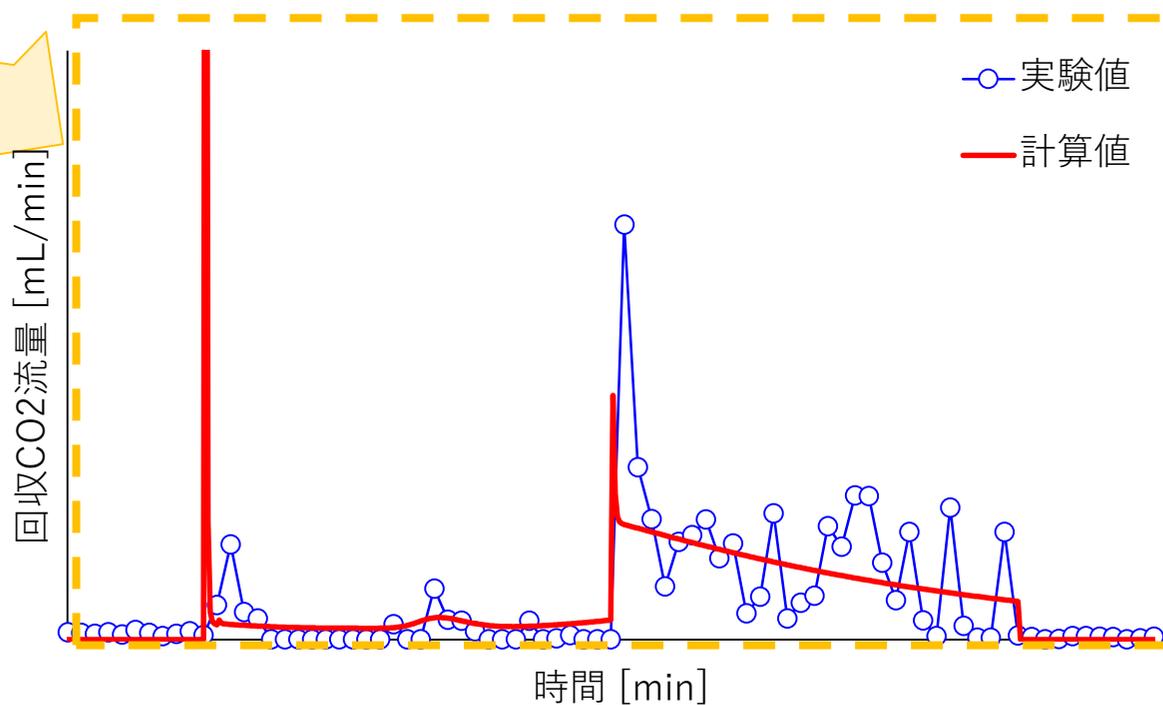
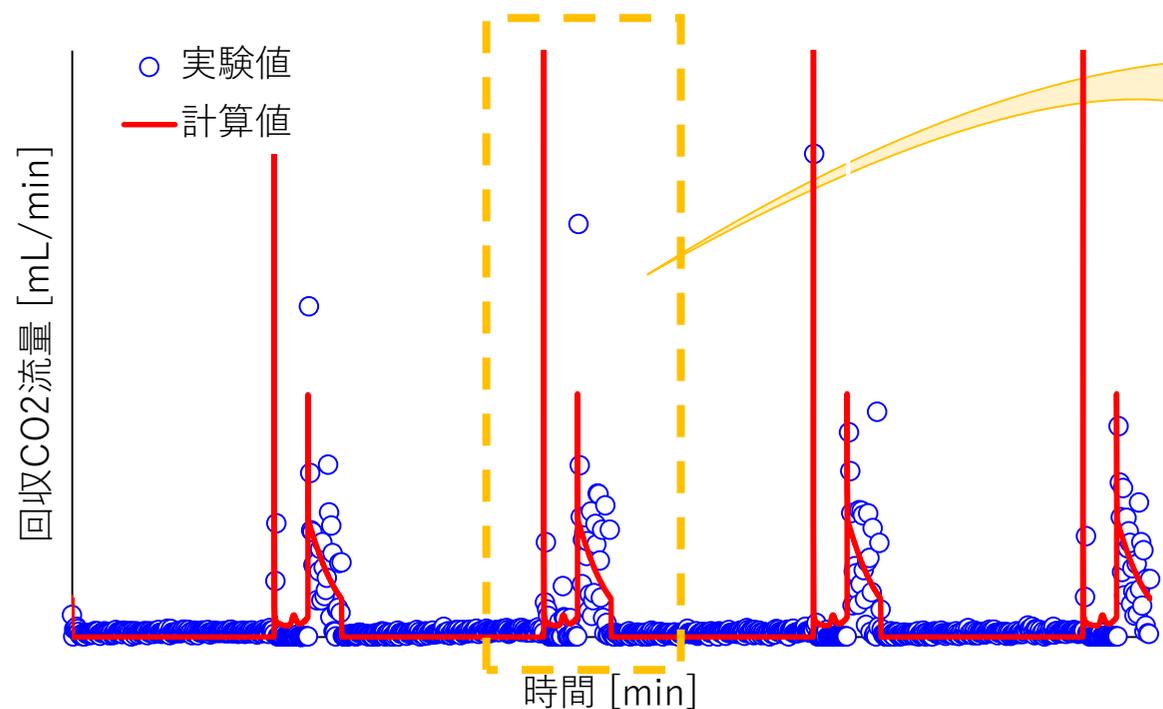
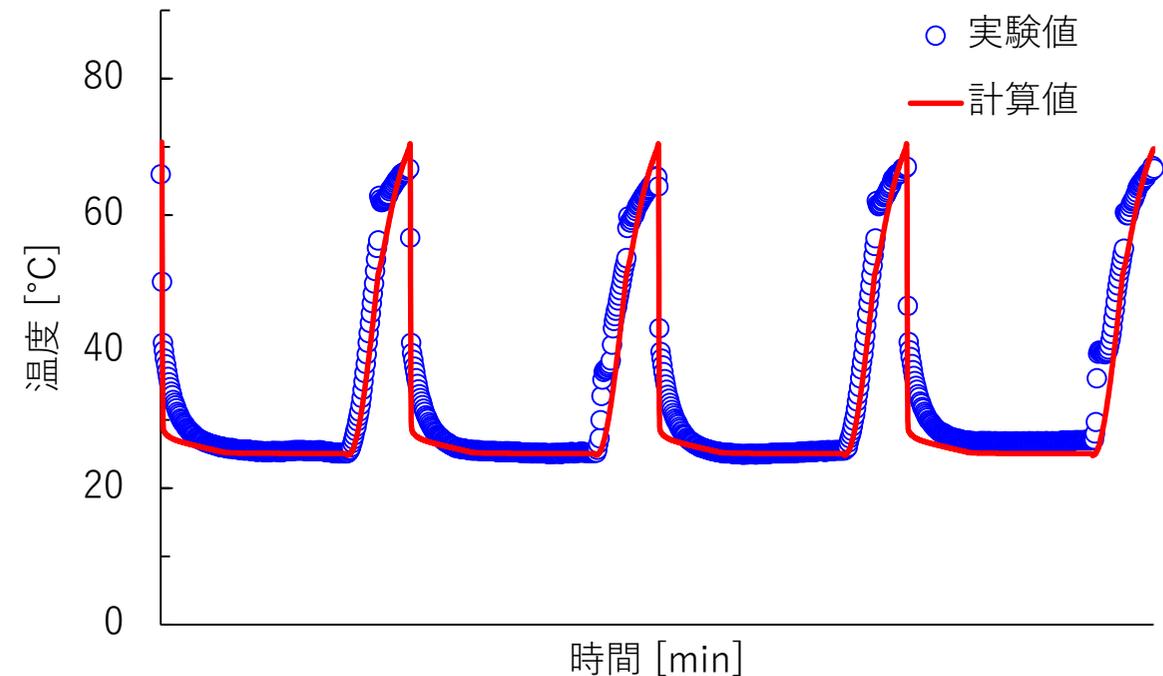
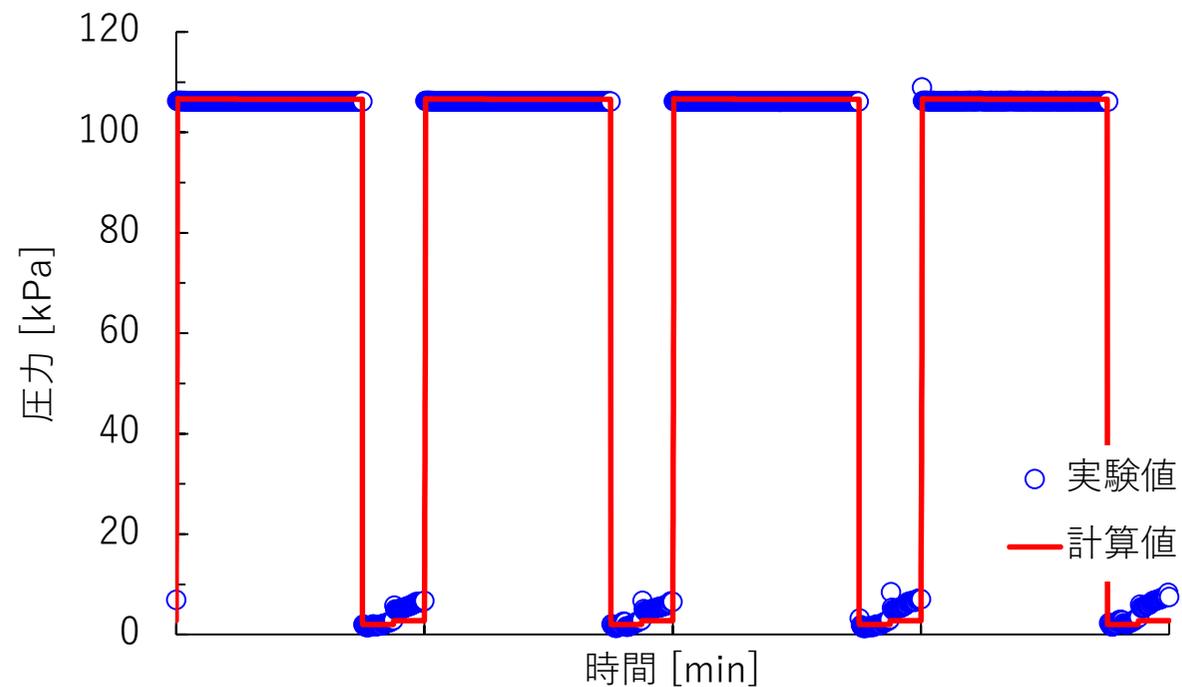
新基材：目標値を大幅に上回る性能



# 7. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-② シミュレータの構築

### シミュレーションによる吸脱着挙動の予測



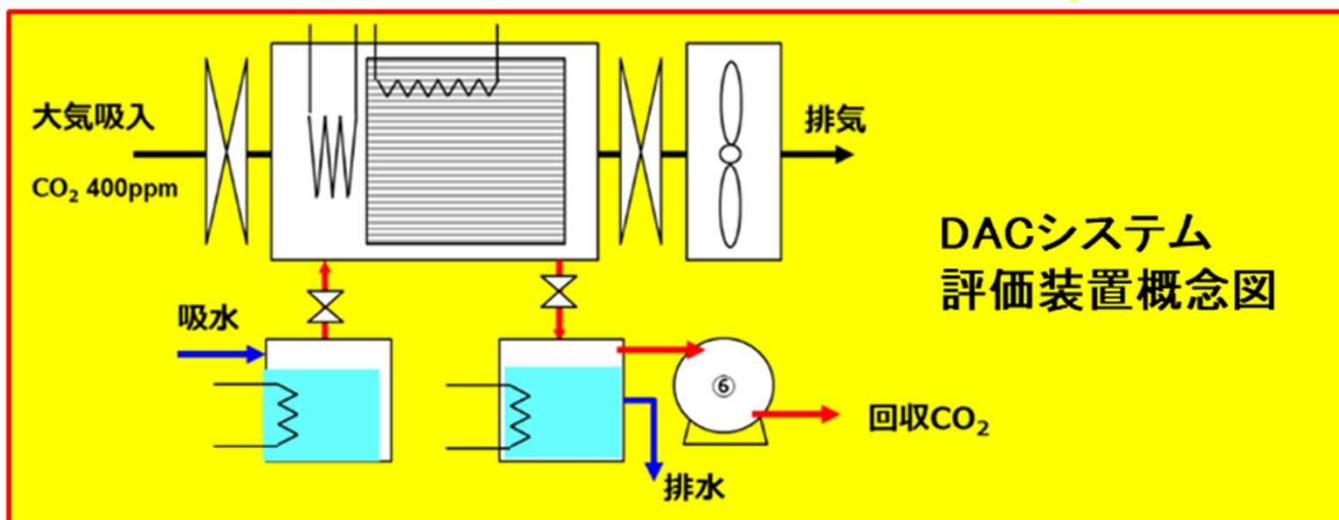
構築したシミュレータによって新基材の吸脱着挙動を精度よく予測できることを確認。



# 7. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-② DACシステム評価装置での試験

### 【DAC実験棟(RITE敷地内設置)でのDACシステム評価装置試験】



■ 処理量 ~数kg-CO<sub>2</sub>/day  
・実機サイズのハニカム性能評価

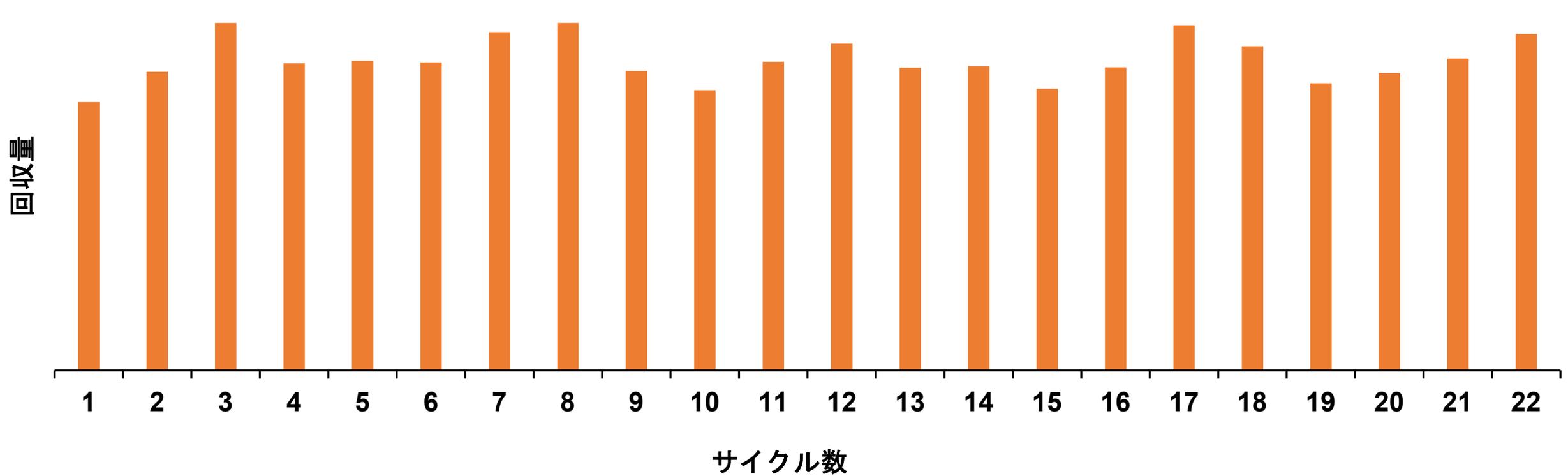
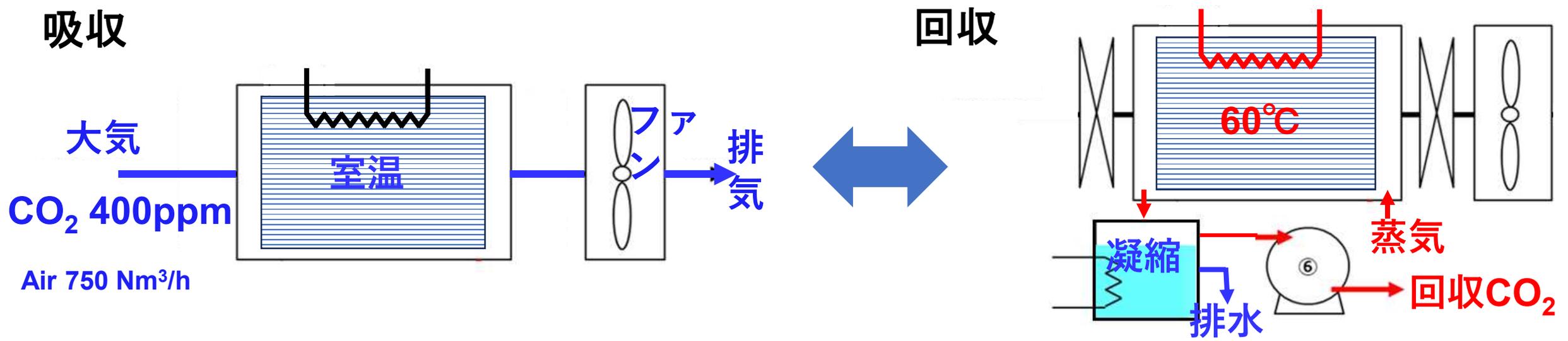
開発したDACシステム評価装置を設置  
RITE・三菱重工エンジニアリングが連携



# 7. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-② DACシステム評価装置での試験

### RITEアミン担持従来ハニカム吸収材を用いた連続回収試験の結果



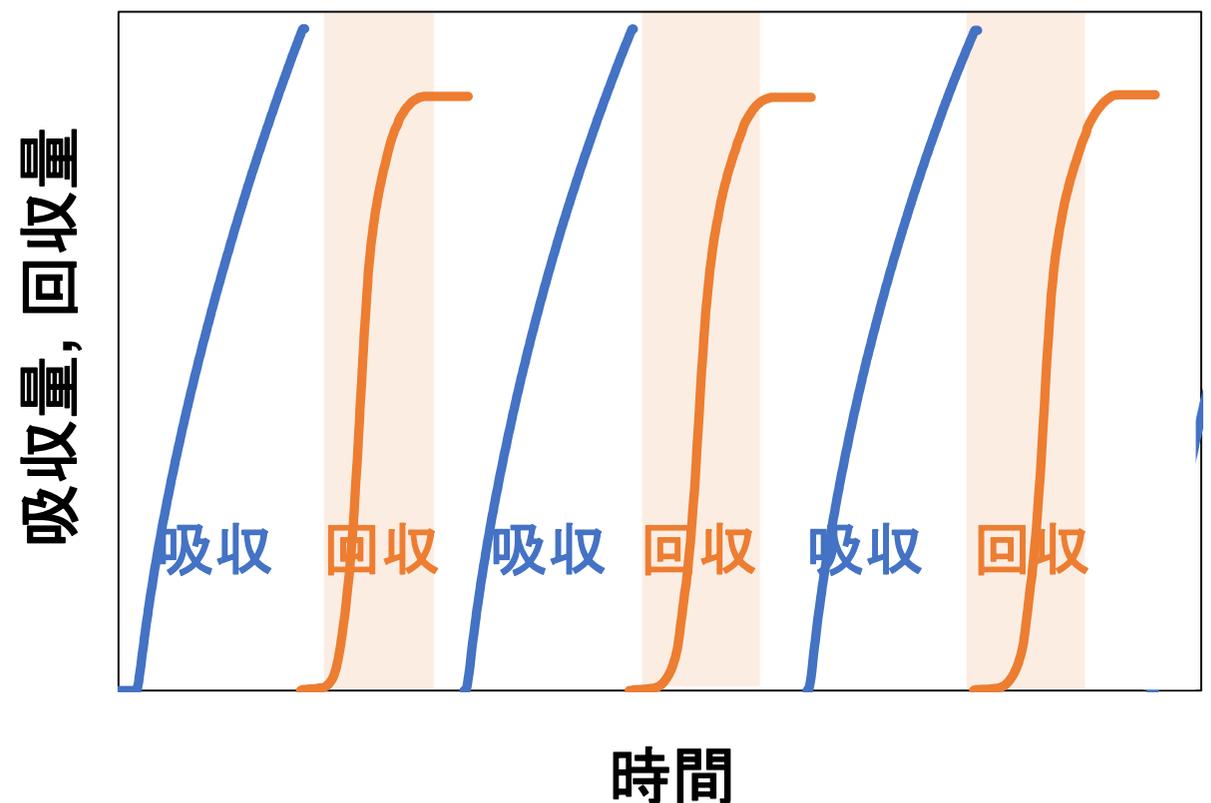
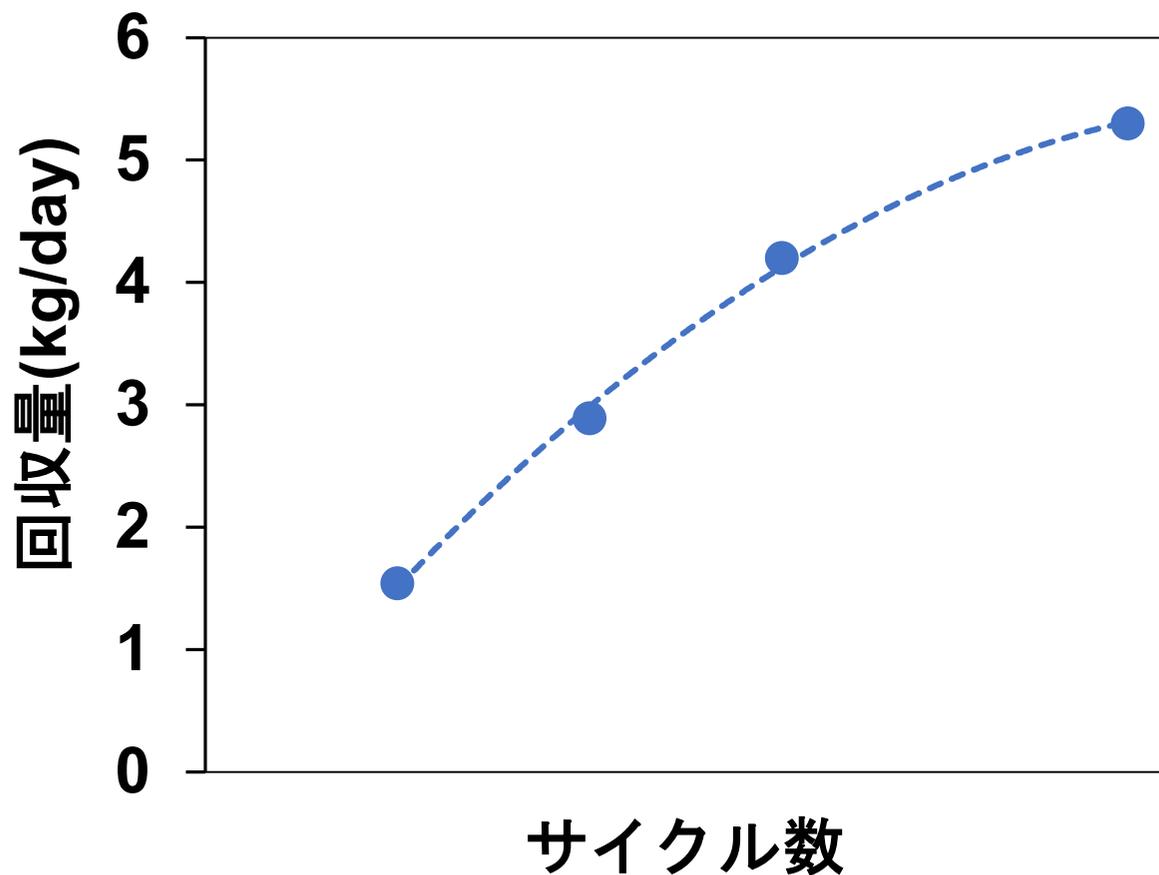
- ・ 回収CO<sub>2</sub>濃度 > 95%
- ・ 回収量は平均 3 kg/day



### 基材の改良

- ①吸収量の増大
- ②熱伝導性の改善
- ③吸収速度の向上

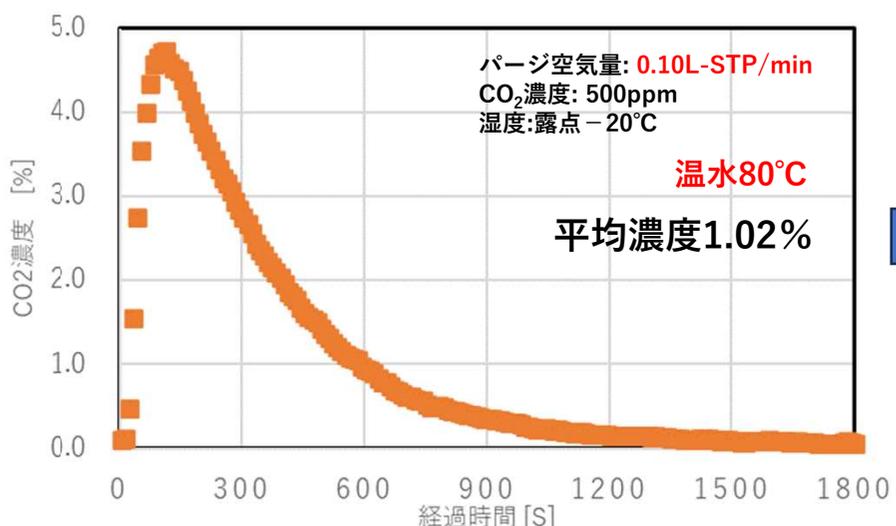
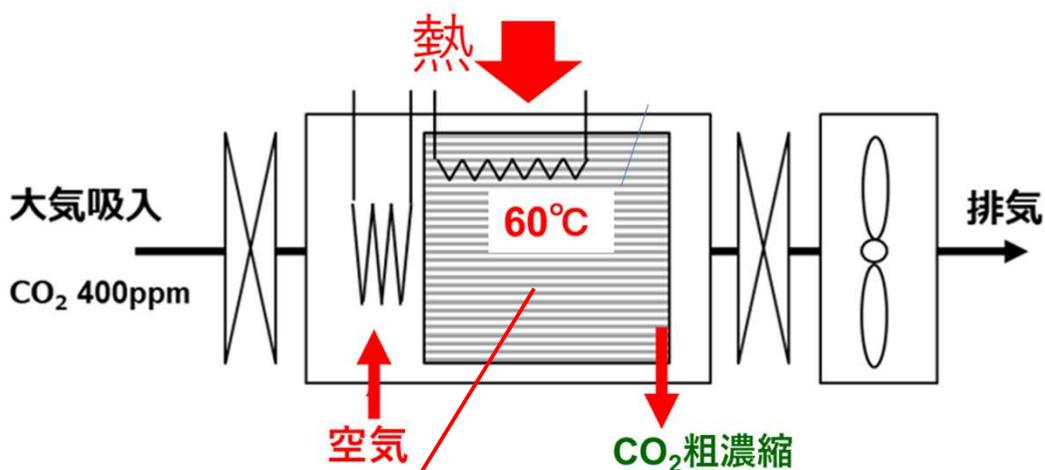
⇒ 上記改良によりサイクル数が増加し1日あたりの回収量が向上



基材の改良によりCO<sub>2</sub>回収量がおおよそ5kg/dayまで向上

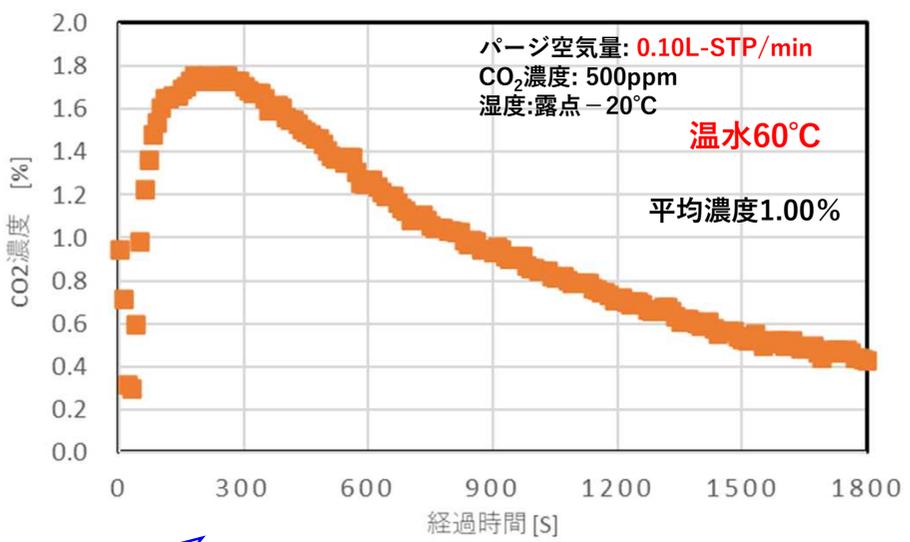
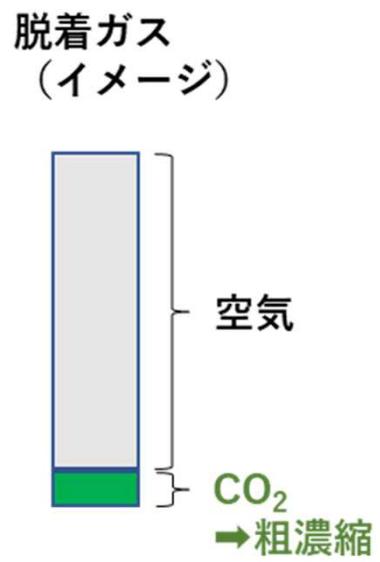


# 7. 進捗状況・成果 空気再生・間接加熱型DAC



CO<sub>2</sub>濃縮度と回収量が最大となる装置・操作指針の構築

実機風量(面風速2m/s)での実用可能性の確認



“塗布”に代わる間接加熱型吸着塔の検討  
単位体積あたりの吸着容量増大、迅速加熱と熱損失低減

アミン塗布熱交換器

再生温度60°C～80°CでCO<sub>2</sub>濃度は平均で1%程度(20倍濃縮)  
80°C再生で瞬間的には5%に到達

【空気再生方式】  
CO<sub>2</sub>に加えて空気中の水蒸気を吸着  
CO<sub>2</sub>だけではなく、水蒸気も脱離

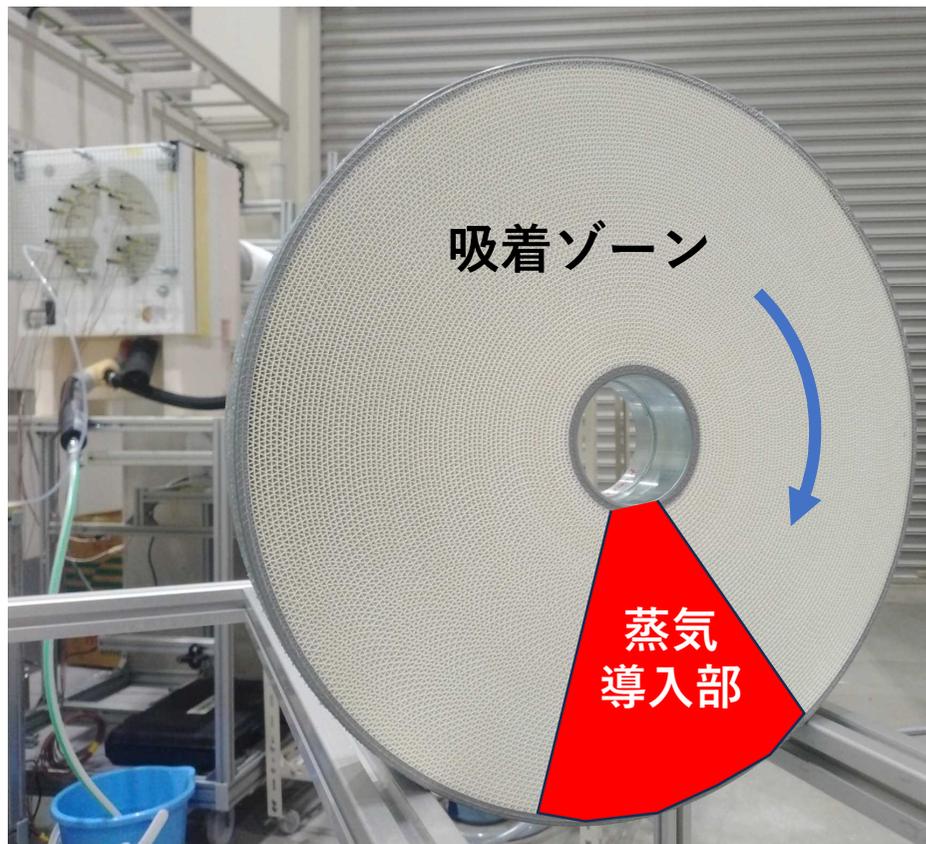
水蒸気の吸着脱離に伴う熱負荷が大きい  
比較的簡単な装置構成

空調(除湿)プロセス+DAC  
ビル空間をCO<sub>2</sub>回収場とするPJとの連携

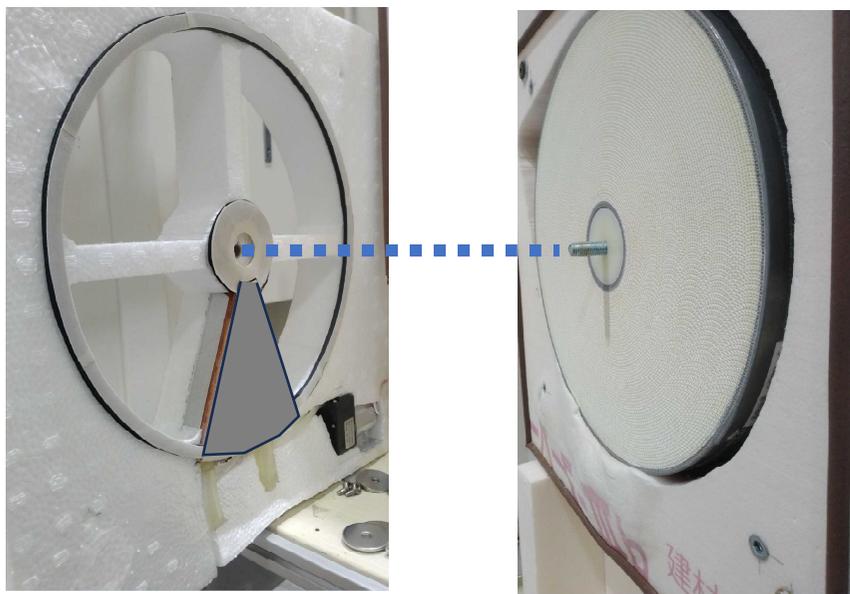


# 7. 進捗状況・成果

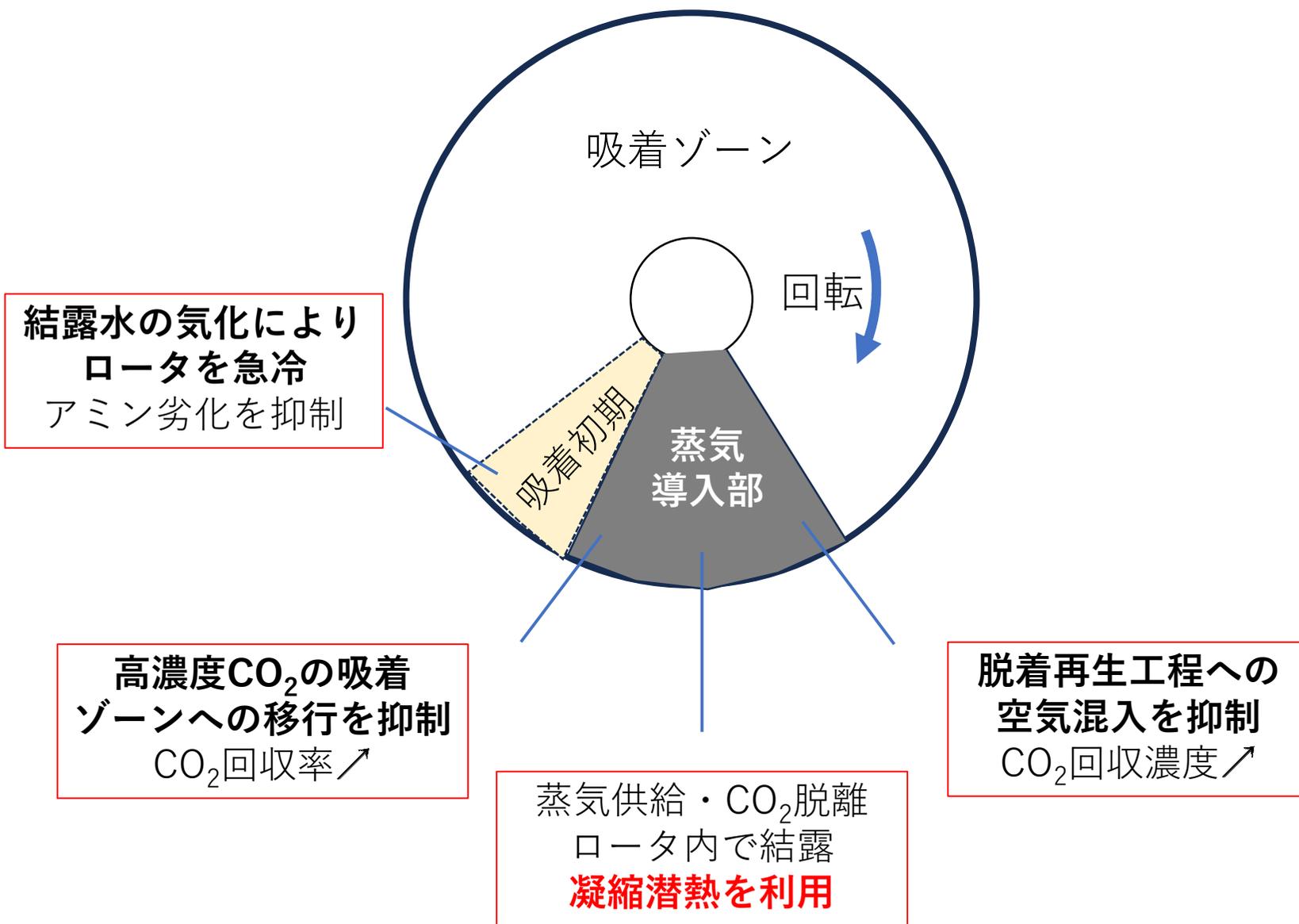
# 蒸気再生ハニカムロータリーDAC



アミン担持ハニカムロータ  
(Φ320mm×50mm)



## 蒸気再生ハニカムロータリーDACの特長



従来の蒸気再生では吸着材層での結露を回避  
⇒ 蒸気顕熱だけを利用



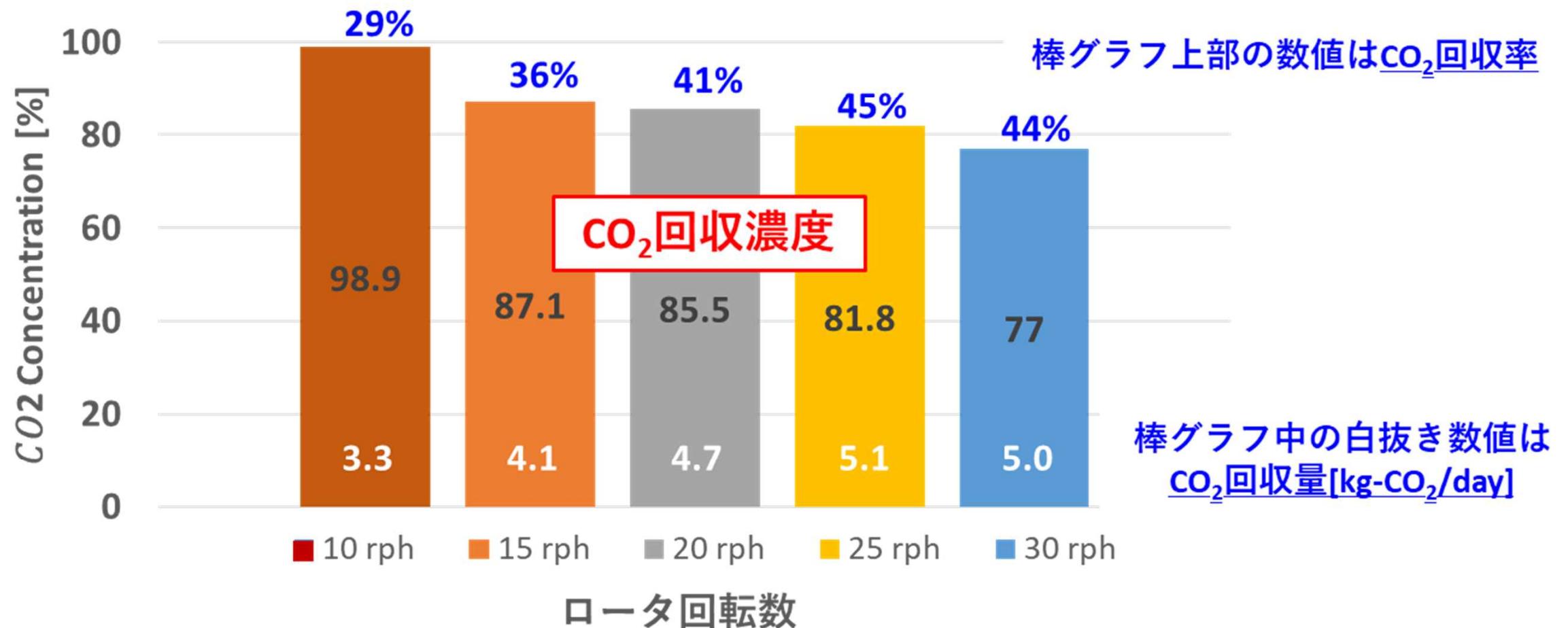
# 7. 進捗状況・成果 蒸気再生ハニカムロータリー-DAC

## 【実験条件】

空気風量 = 600m<sup>3</sup>/h (面風速 = 2.6m/s)  
空気温湿度およびCO<sub>2</sub>濃度は成り行き  
蒸気供給量 = 成り行き

## 【使用ロータ】

直径320mm × 厚さ50mm  
(有効直径は300mm)



**装置・操作の最適化⇒CO<sub>2</sub>回収濃度と回収率を高い値で両立を目指す**

100℃蒸気は必要であるが、比較的簡単な装置構成で空气中CO<sub>2</sub>が高濃縮できることを実証

酸化劣化耐性に優れたアミンを開発中 (RITE)

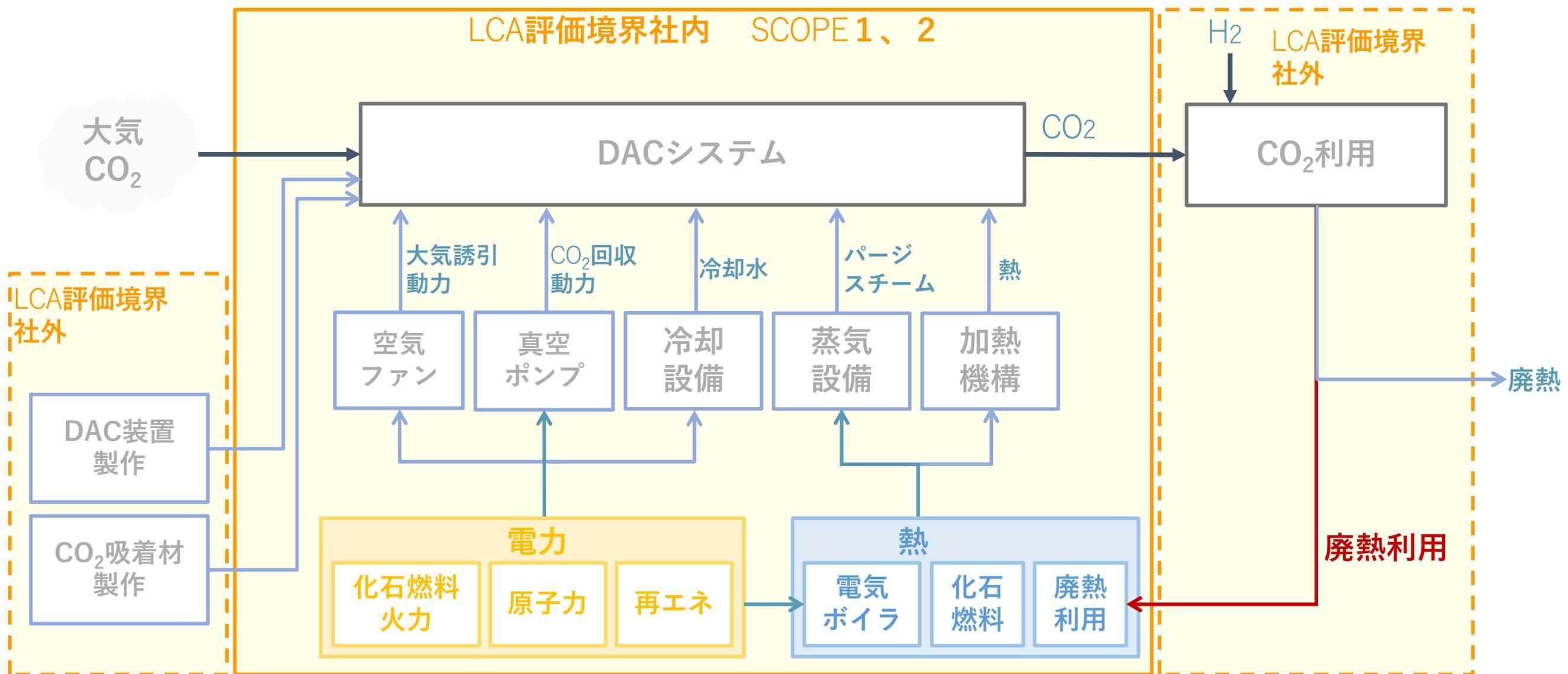


# 7. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 3-①

## CO<sub>2</sub>有効利用性、LCA評価

- LCA評価の足掛かりとして、試験機データを活用した運転評価を行うべく算定対象を設定。
- DAC装置・吸着材製作にかかるCO<sub>2</sub>排出量を調査中。包括的なLCA評価を実施予定。





# 成果のまとめ

## 研究開発項目1.大気中からの高効率CO<sub>2</sub>回収技術開発

### 1-①低濃度CO<sub>2</sub>回収用新規吸収材の開発

- 低温での吸脱着性能、耐久性能に優れたアミン候補材の改良を継続中。
- 新基材の適用によりCO<sub>2</sub>吸着性能が向上することを確認した。
- 新基材改良により、吸着速度の向上も確認されており、CO<sub>2</sub>回収量の更なる向上が図れる見込み。

### 1-②高効率低濃度CO<sub>2</sub>回収プロセス開発とシステム評価

- ラボでの新基材の吸脱着工程を再現できるシミュレーションを構築した。
- 実機サイズ構造体を評価可能なDACシステム評価装置での試験にて、改良新基材は、サイクル数の増加により、5kg/dayのCO<sub>2</sub>回収性能が得られることを確認した。
- 空気再生・間接加熱型について、空気中CO<sub>2</sub>の粗濃縮に成功するとともに高性能化指針を見出した。また、空調(除湿)への適用を社会実装の1つの形と考え、他のPJとの連携検討を開始した。
- 蒸気再生ハニカムロータリー式DACについては、100°C蒸気は必要であるが、比較的簡単な装置構成で空気中CO<sub>2</sub>が高濃縮できることを実証した。



**ご清聴いただきありがとうございました**