

# 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：兎玉 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)



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. 社会実装のイメージ
4. 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
5. 開発スケジュール
6. 研究開発項目の進捗状況・成果



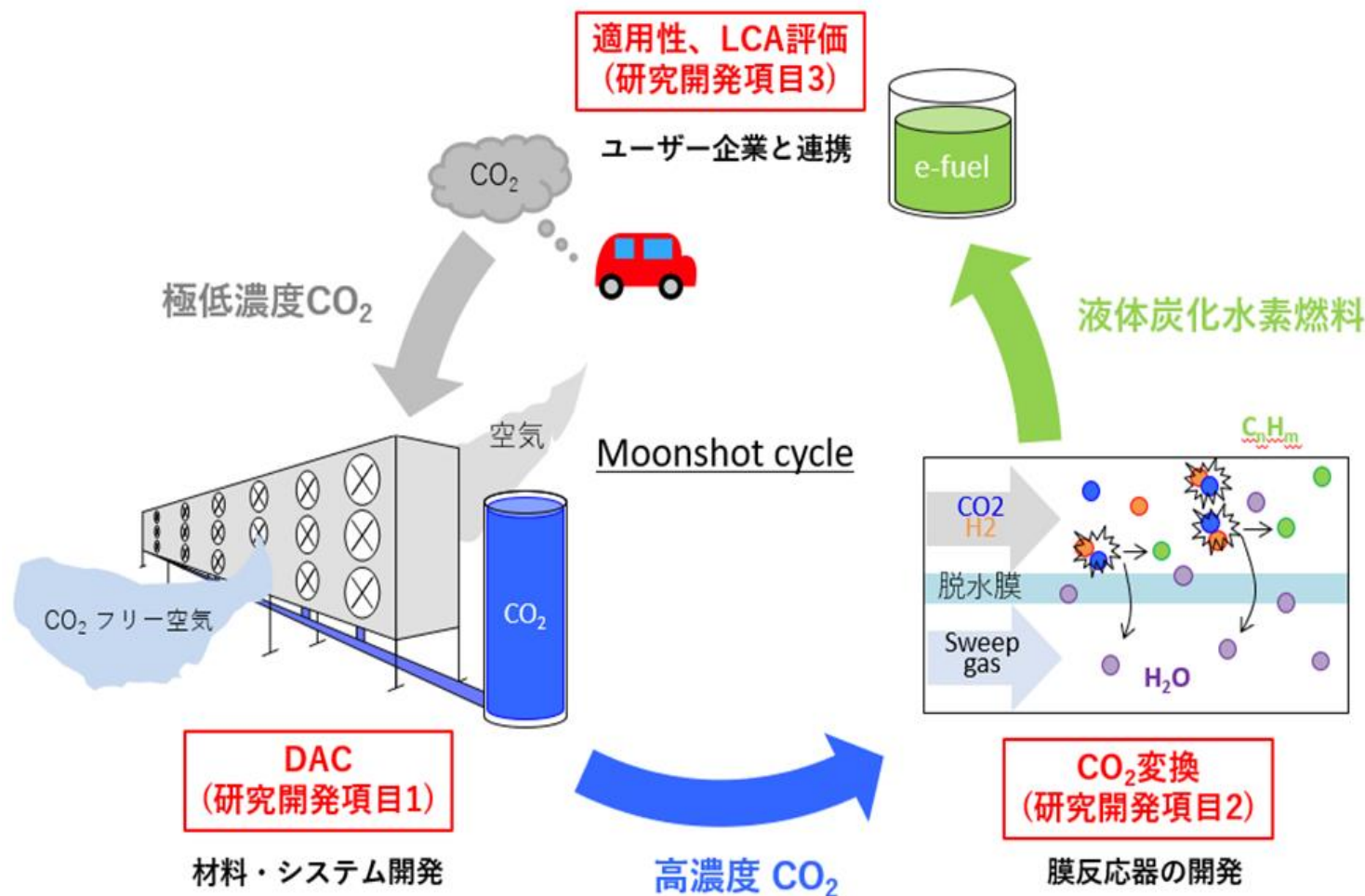
# 1. 本研究開発の概要、研究開発項目および期間

◆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）  
→ 膜反応器による高効率化
- 研究開発項目3. 液体炭化水素燃料適用性、LCA評価 → ユーザー企業と連携

【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」

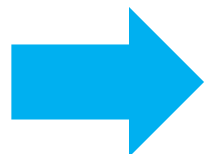
- ・ DACで回収されたCO<sub>2</sub>を原料として液体炭化水素燃料を高効率で製造可能なCO<sub>2</sub>変換技術を開発する。
- ・ Extractor-Distributor一体型膜反応器等による反応の制御と高効率化の検討を行い、実用に資するCO<sub>2</sub>の変換率を達成可能な最適膜反応プロセスをパイロットレベルで実証し、実用化に目途を得る。

(目標設定理由：商用運転のFT合成変換効率80%と同等レベル)

### 研究開発項目3. 「液体炭化水素燃料適用性、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。
- ・ ユーザー企業による液体炭化水素燃料の適用性評価を行い、早期社会実装が可能であることを確認する。

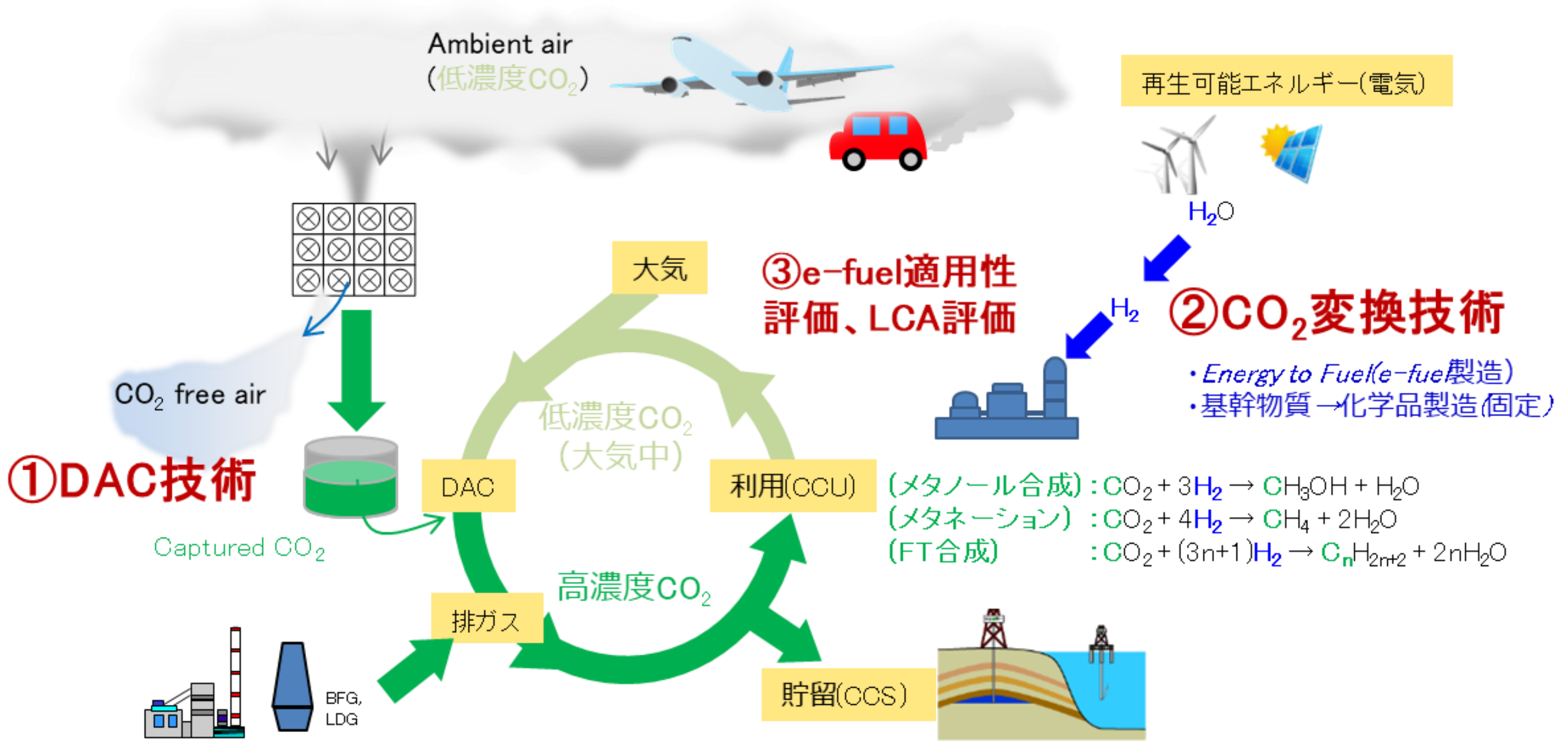
(目標設定理由：早期社会実装にはユーザー企業と連携した評価が不可欠)



将来的な炭素循環社会の実現に目途を得る



# 3. 社会実装のイメージ



カーボンニュートラル達成にはCO<sub>2</sub>有効利用およびNegative emission技術 (DACCS\*、BECCS\*\*など)が不可欠 ⇒ 高効率なCO<sub>2</sub>回収技術・変換技術の開発

\*Direct Air Capture with Carbon Storage, \*\*Bioenergy with Carbon Capture and Storage



# 4. 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

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) ・ PD

指示・協議

PM: 国立大学法人金沢大学 新学術創成研究機構  
教授 児玉 昭雄

【委託先】

【委託先】

金沢大学 (金沢市角間町) :

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」  
1-② 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

研究開発項目 3

「液体炭化水素燃料適用性、LCA 評価」

連携

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE) (京都府木津川市)

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  
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

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」  
2-① 高効率 CO<sub>2</sub> 変換技術の開発と最適プロセス検討

研究開発項目 3.

「液体炭化水素燃料適用性、LCA 評価」

【再委託先】

三菱重工業エンジニアリング株式会社 (MHIENG) (神奈川県横浜市)

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」  
1-② 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  
1-③ スケールアップ試験装置の詳細設計・製造と評価試験

【外部協力企業】

研究開発項目 3.

「液体炭化水素燃料適用性、LCA 評価」  
トヨタ自動車社 (株) (愛知県豊田市) と連携して実施

エンジニアリング会社

(2-② スケールアップ試験装置の詳細設計・製造と評価試験 (液体燃料合成))

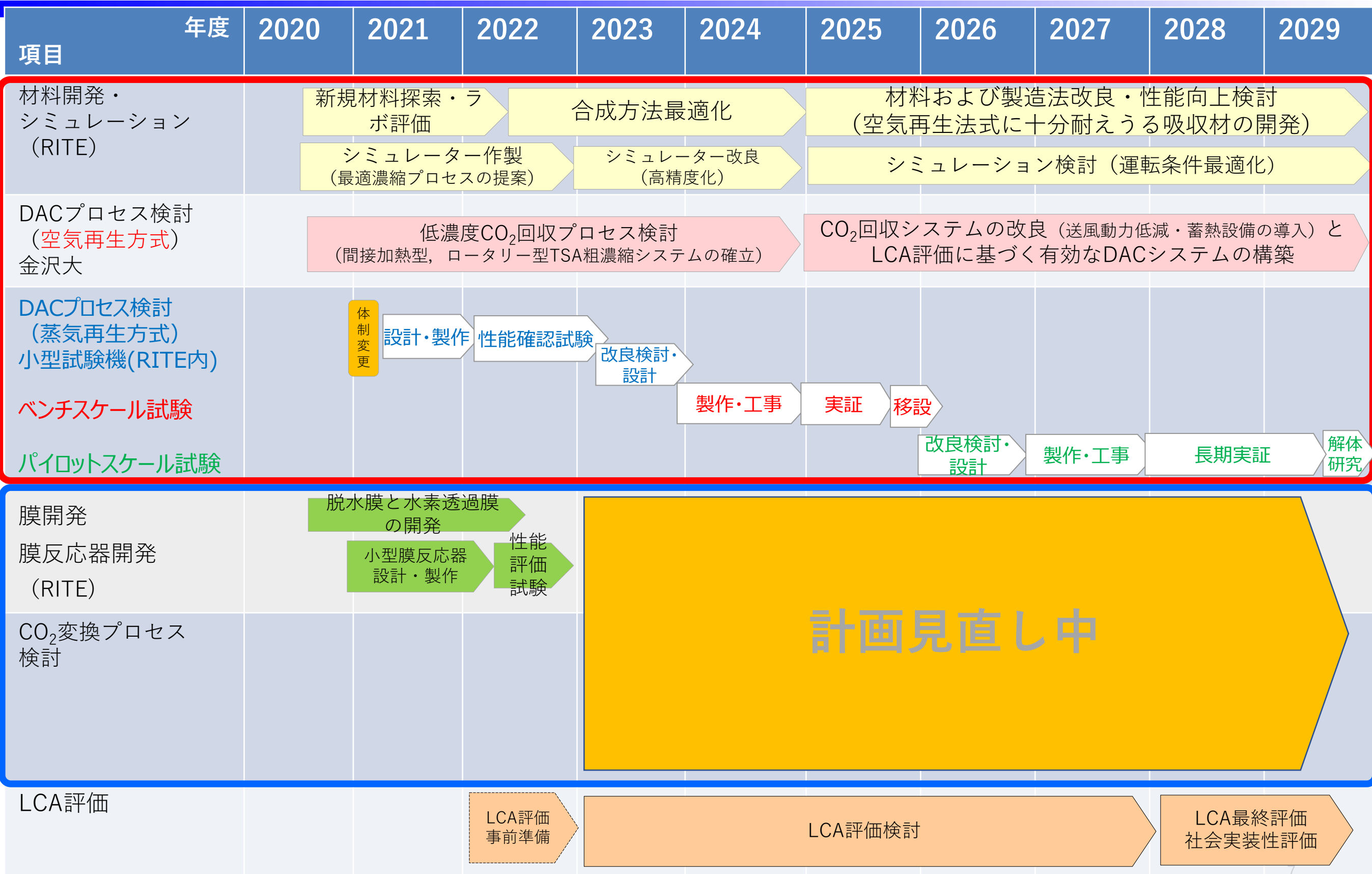
アミン合成、多孔質担体合成、アミン担持  
(各複数社と推進中、サプライチェーン構築)

外注

外注



# 5. 開発スケジュール 上 : DAC技術開発 下 : CO<sub>2</sub>変換技術開発 (見直し中)





# 6. 進捗状況・成果

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

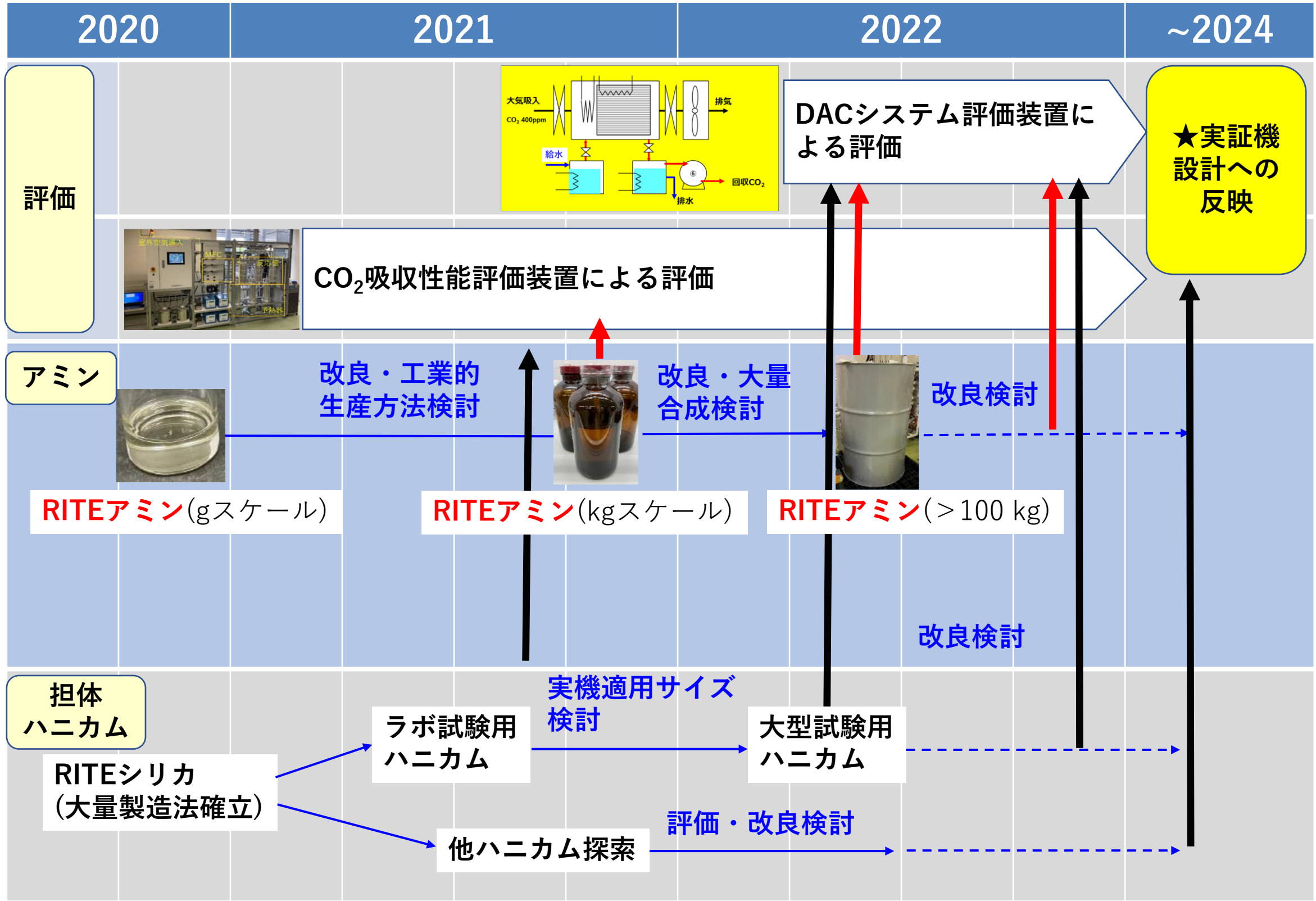
### 【再生方式が異なるDAC技術の開発】

	研究開発対象	所要エネルギー・濃縮性能
蒸気再生		<p>吸収工程： 送風動力（大気導入）</p> <p>再生工程： 蒸気製造 吸収材・容器の加熱 真空ポンプ動力</p> <p><b>高濃縮</b></p>
空気再生		<p>吸収工程： 送風動力（大気導入）</p> <p>再生工程： 吸収材・容器の加熱</p> <p><b>粗濃縮</b></p>
		<p>吸収工程： 送風動力（大気導入）</p> <p>再生工程： 吸収材の加熱（空気加熱）</p> <p><b>粗濃縮</b></p>





# 6. 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)





# 6. 進捗状況・成果

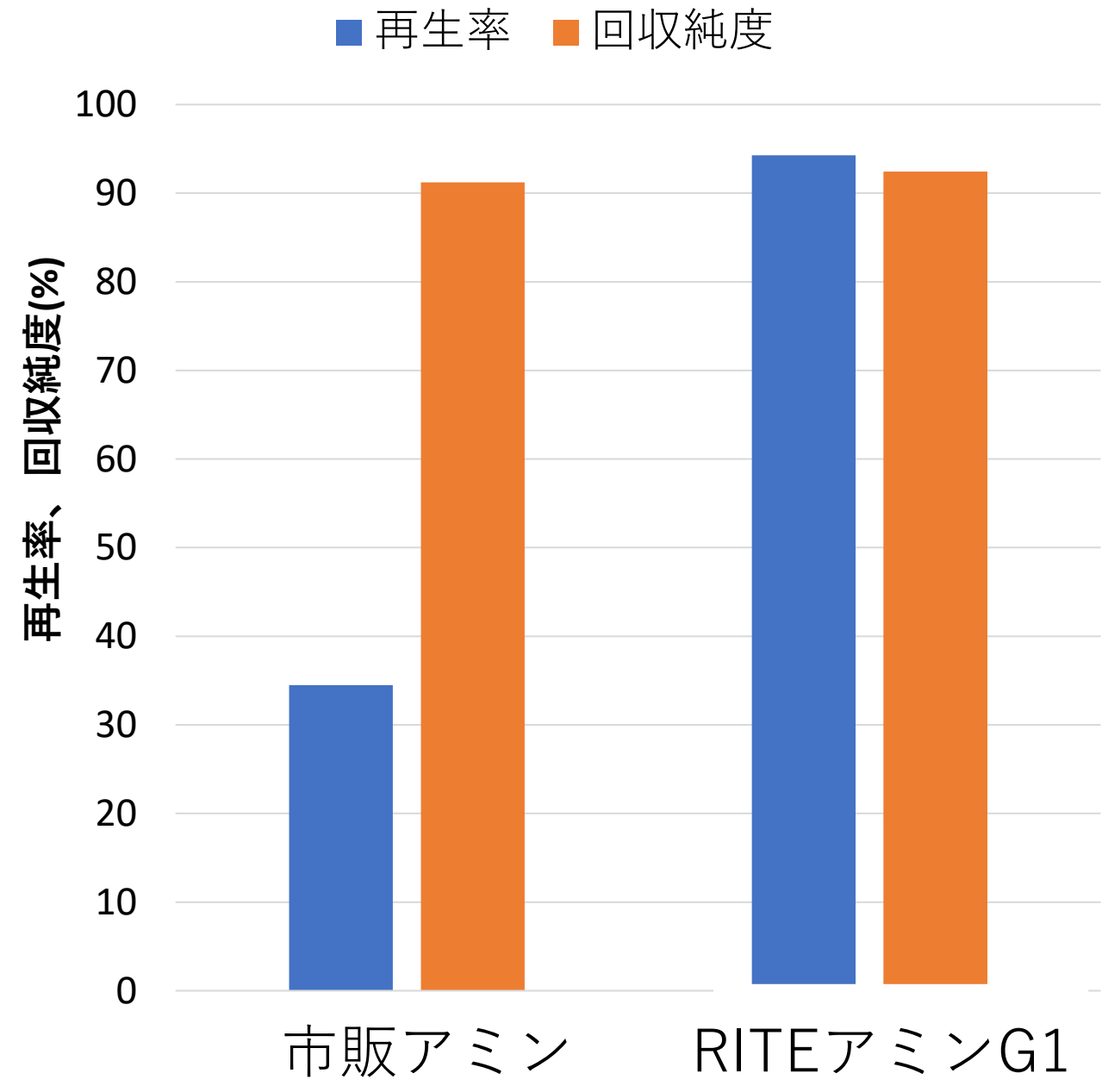
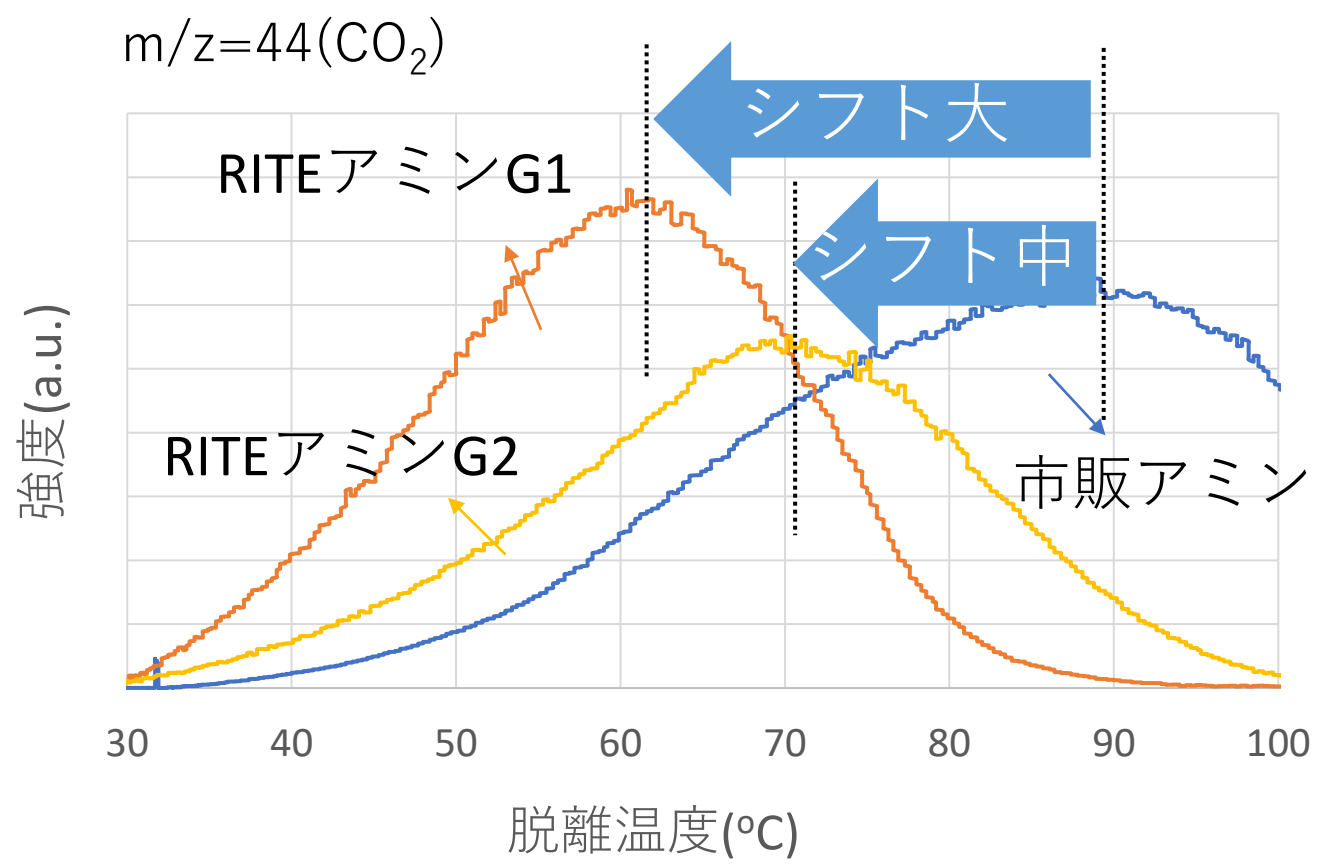
## 研究開発項目 1-① DAC用RITEアミンの性能



### 室温空気吸着後のCO<sub>2</sub>脱着性能評価

・ CO<sub>2</sub>-TPD測定結果

・ 60°Cの減圧蒸気による脱着性能評価



	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	×	○	◎

**RITEアミンG1：60°CでCO<sub>2</sub>を脱離可能：改良検討継続中**



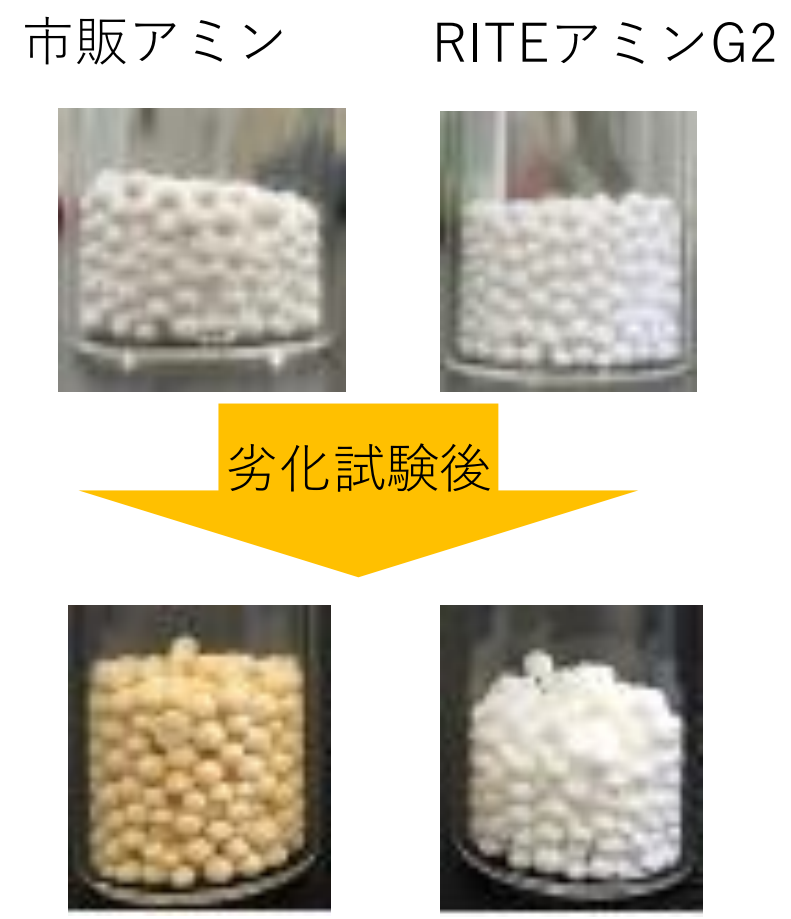
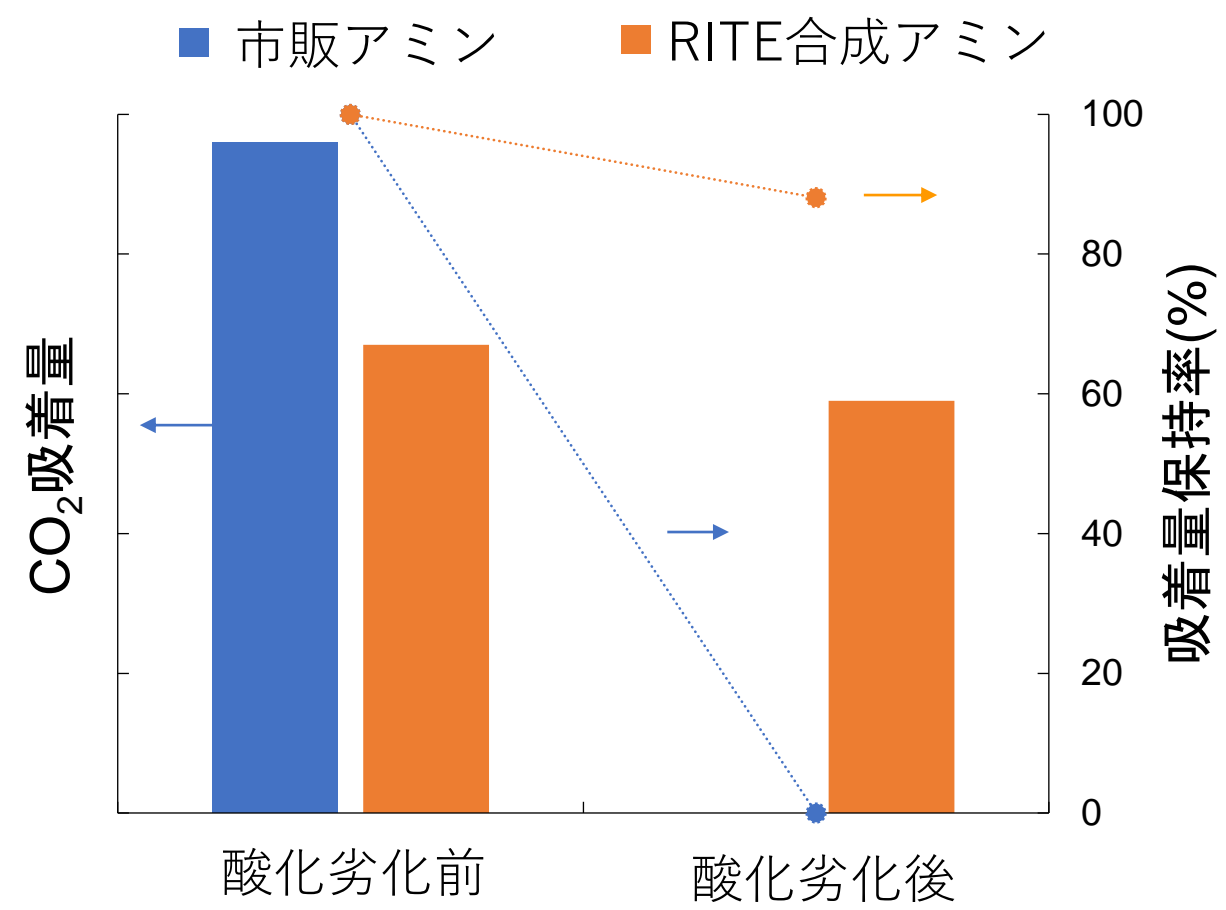
# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-① DAC用RITEアミンの性能

### 【RITEアミンG2の酸化劣化耐性】

(酸化劣化条件：空気流通下, 100°C, 42 h)

酸化劣化前後の吸着量 (@0.04kPa)



**RITEアミンG2：酸化劣化耐性が高いアミン構造に目途  
(ラボ合成レベル)  
→吸脱着性能向上の継続と工業的生産方法検討**

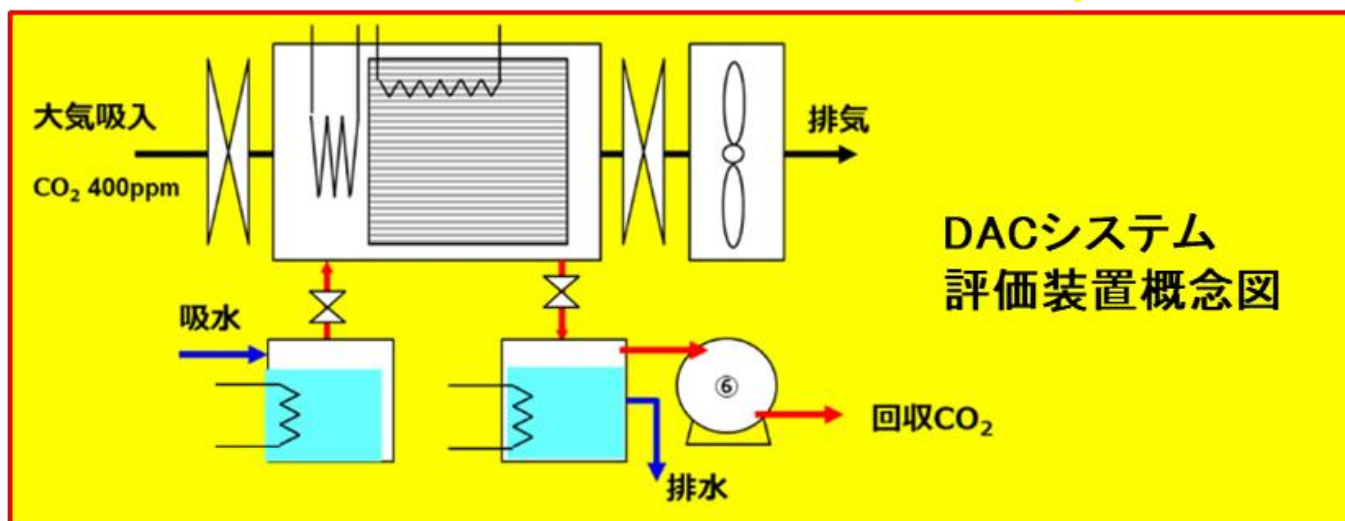


# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-② DACシステム評価装置での試験開始

### 【DAC実験棟(RITE敷地内設置)にてDACシステム評価装置の試験開始】

(2022.9.20 NEDO、MHIエンジ、RITE、3者プレスリリース)



■ 処理量 **~数kg-CO<sub>2</sub>/day**  
 ・実機サイズの高性能性能評価



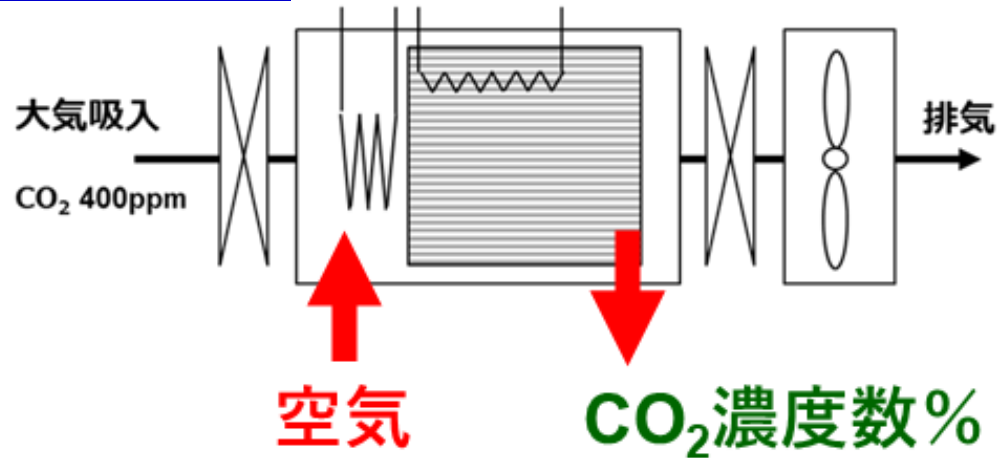
**開発したDACシステム評価装置を設置  
 RITE・三菱重工エンジニアリングが連携**



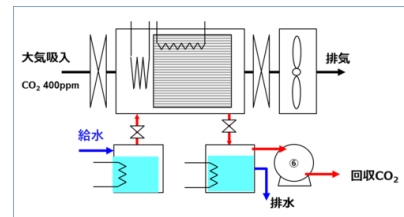
# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-② 空気再生型DAC（粗濃縮）の狙い

### 間接加熱式

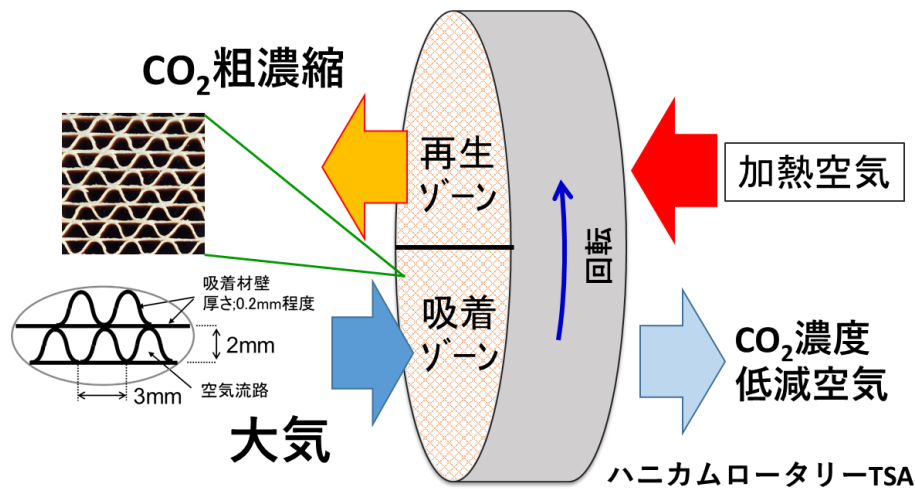


### 高濃縮プロセス (例：蒸気再生式)



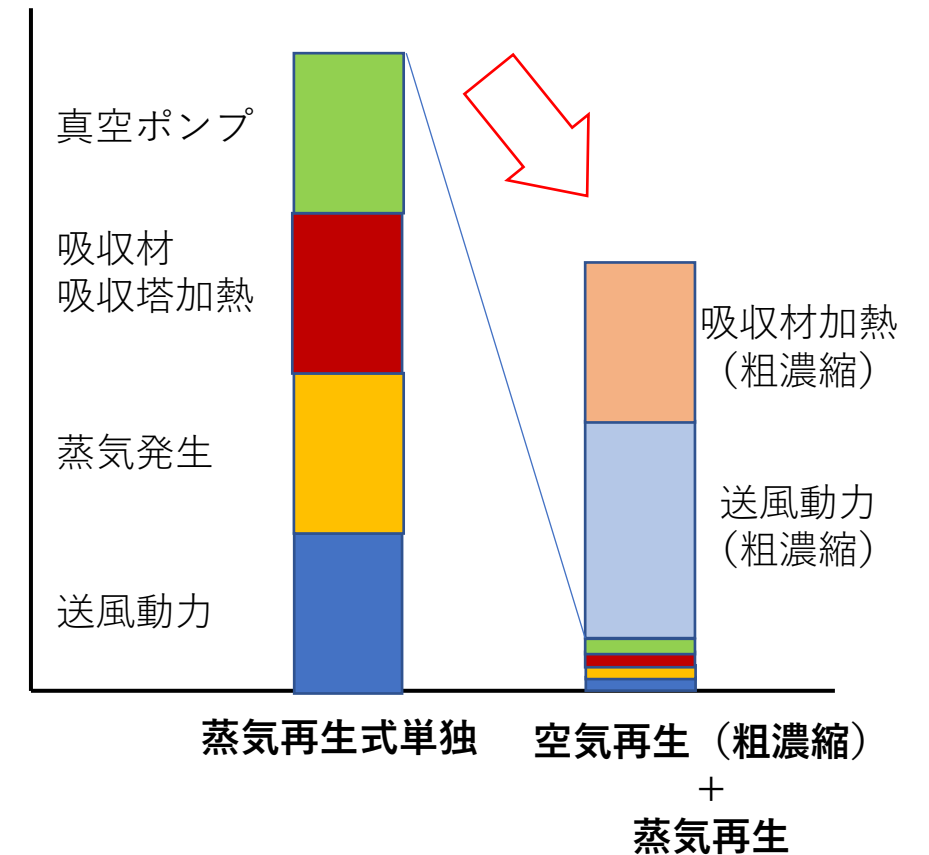
接続する高濃縮プロセス  
(この例では蒸気再生式)の  
サイズはかなり小さくなる

### ハニカムロータリー式



ハイブリッド化による  
所要エネルギーの削減

所要エネルギー



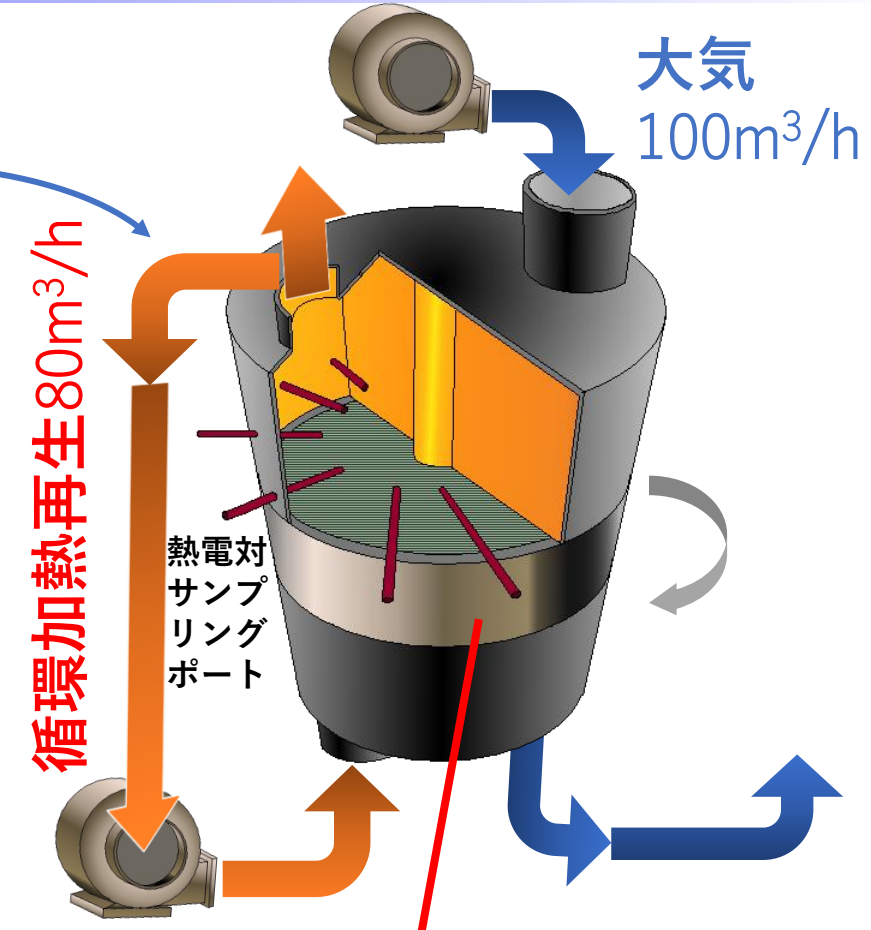
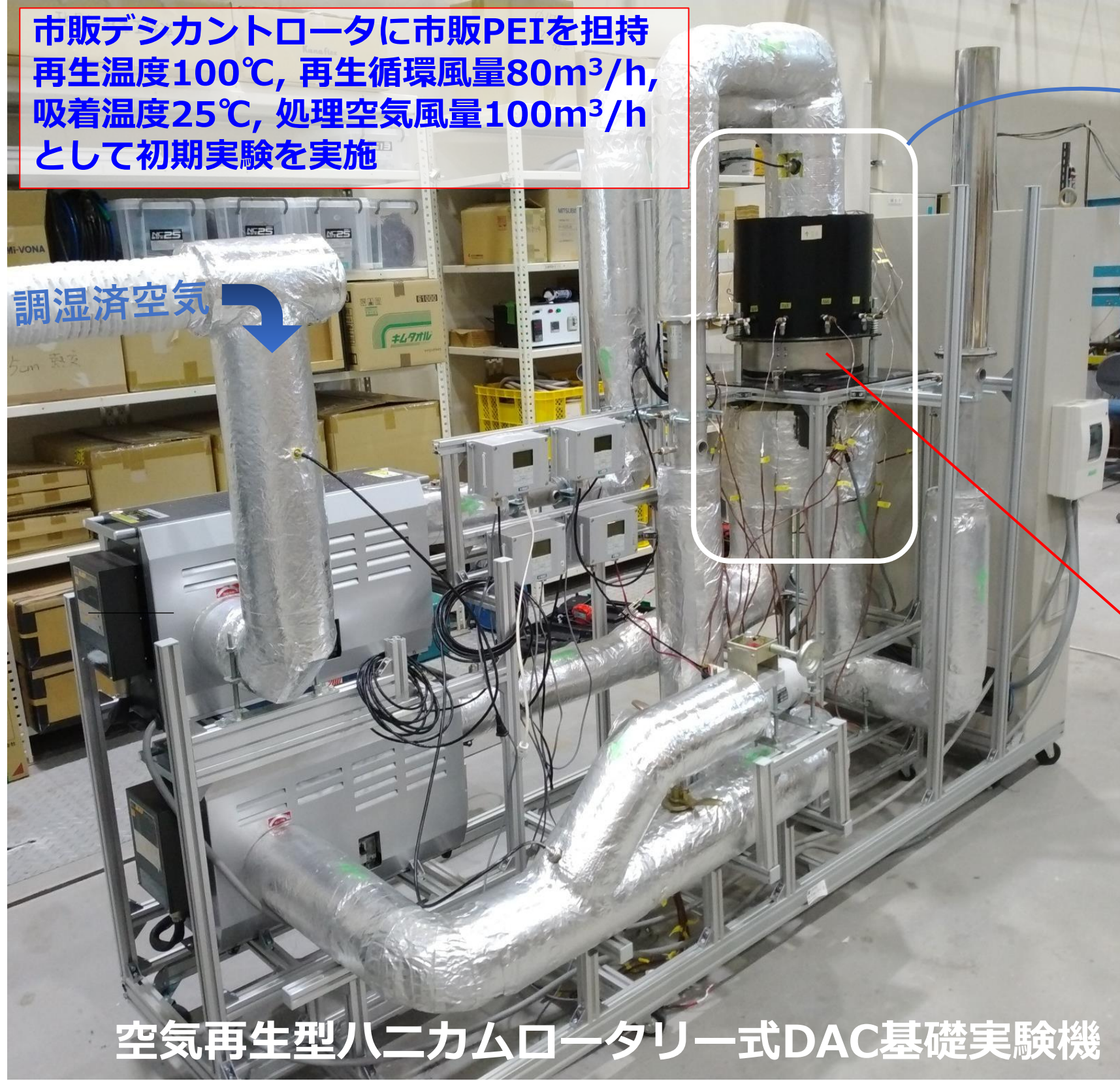
空気再生（間接加熱式・ロータリー式）を既存の高濃縮プロセスあるいは蒸気再生式の前処理装置とし、DACシステムのエネルギー効率を高める



# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-② 空気再生ハニカムロータリー式

市販デシカントロータに市販PEIを担持  
再生温度100℃, 再生循環風量80m<sup>3</sup>/h,  
吸着温度25℃, 処理空気風量100m<sup>3</sup>/h  
として初期実験を実施



空気再生型ハニカムロータリー式DAC基礎実験機

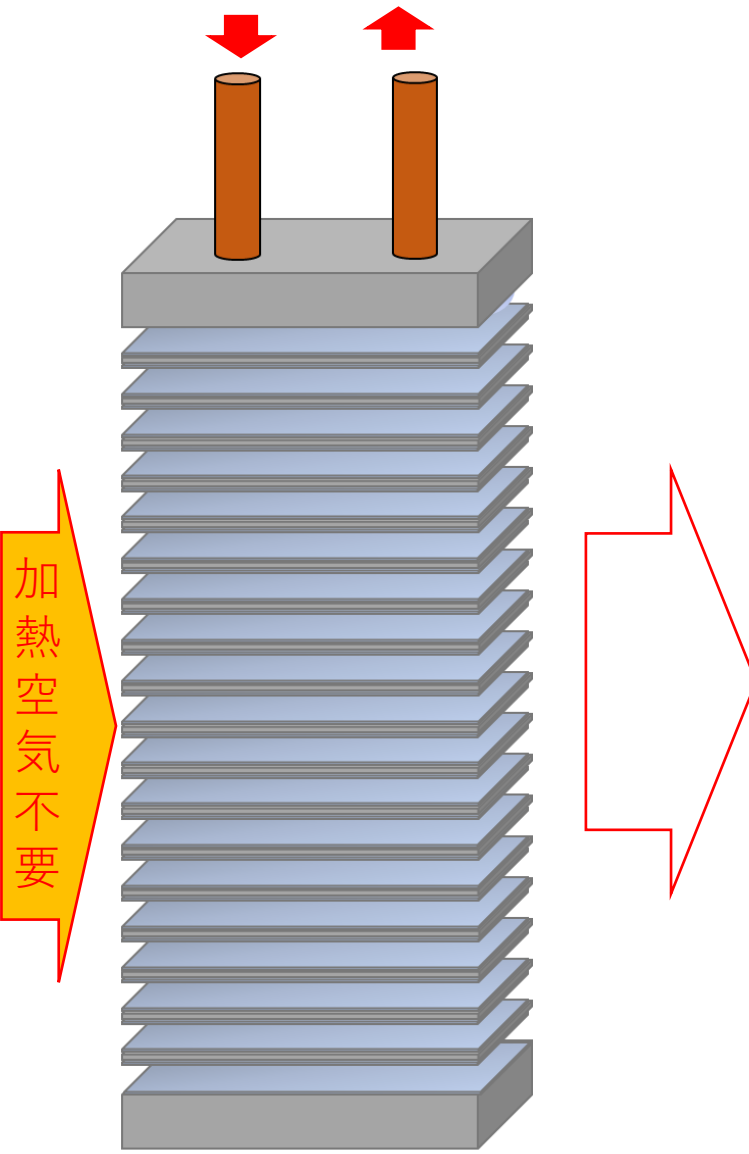


# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-② 空気再生間接加熱式

### 熱交換型吸着塔

温水 (60 °C)



熱交換器に  
アミンを塗布

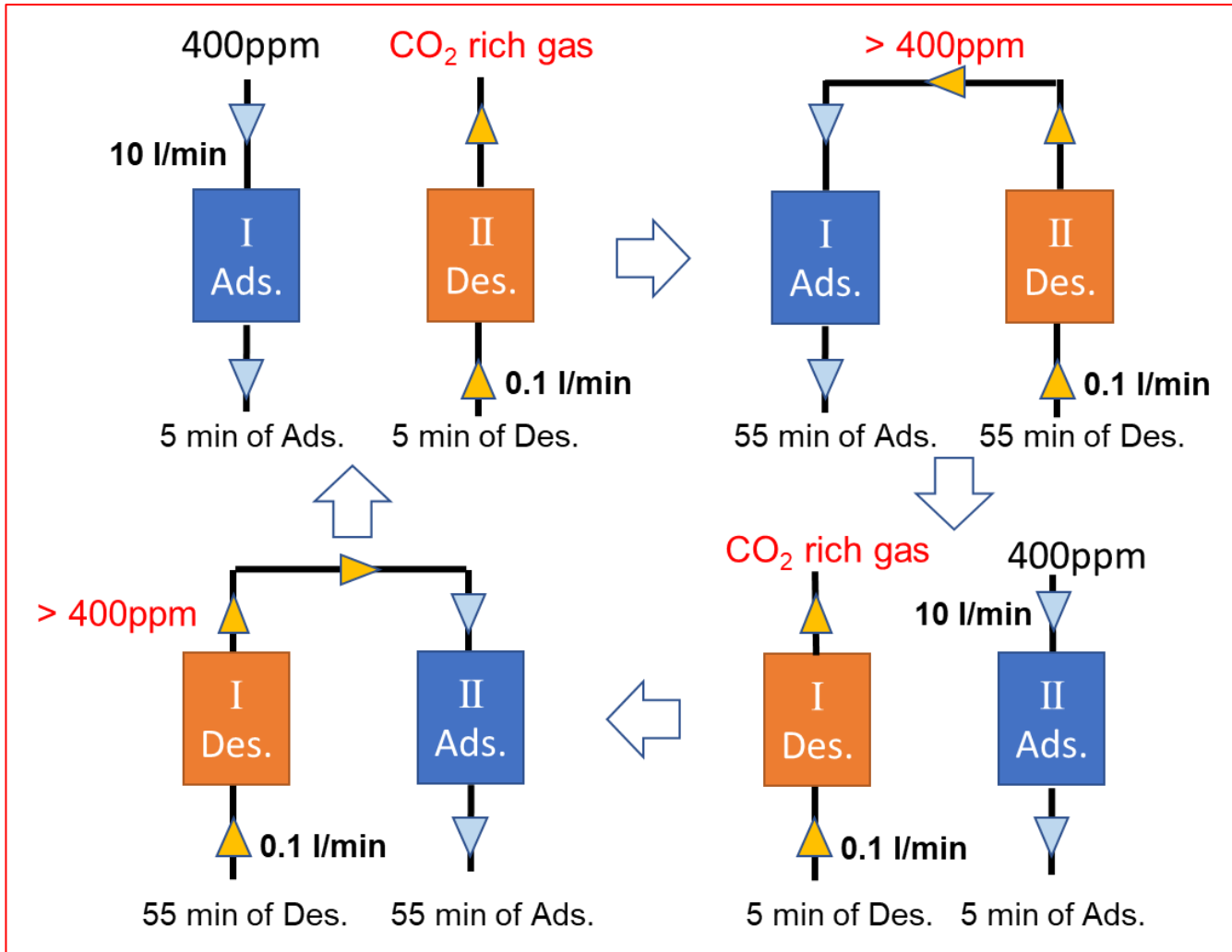
別流路を流れる温水で  
アミンを熱伝導加熱

CO<sub>2</sub>脱離用加熱空気量を最小化することで  
CO<sub>2</sub>回収濃度を上げることができる

### 濃縮部還流操作の付与

#### 性能向上施策：脱着出口CO<sub>2</sub>濃度変化を考慮

- ・ 脱着工程初期の高濃度CO<sub>2</sub>のみを回収
  - ・ 脱着工程後半の低濃度CO<sub>2</sub>は吸着塔に還流
- ➔ 回収CO<sub>2</sub>濃度の上昇と回収率の向上



吸着材充填塔で検証



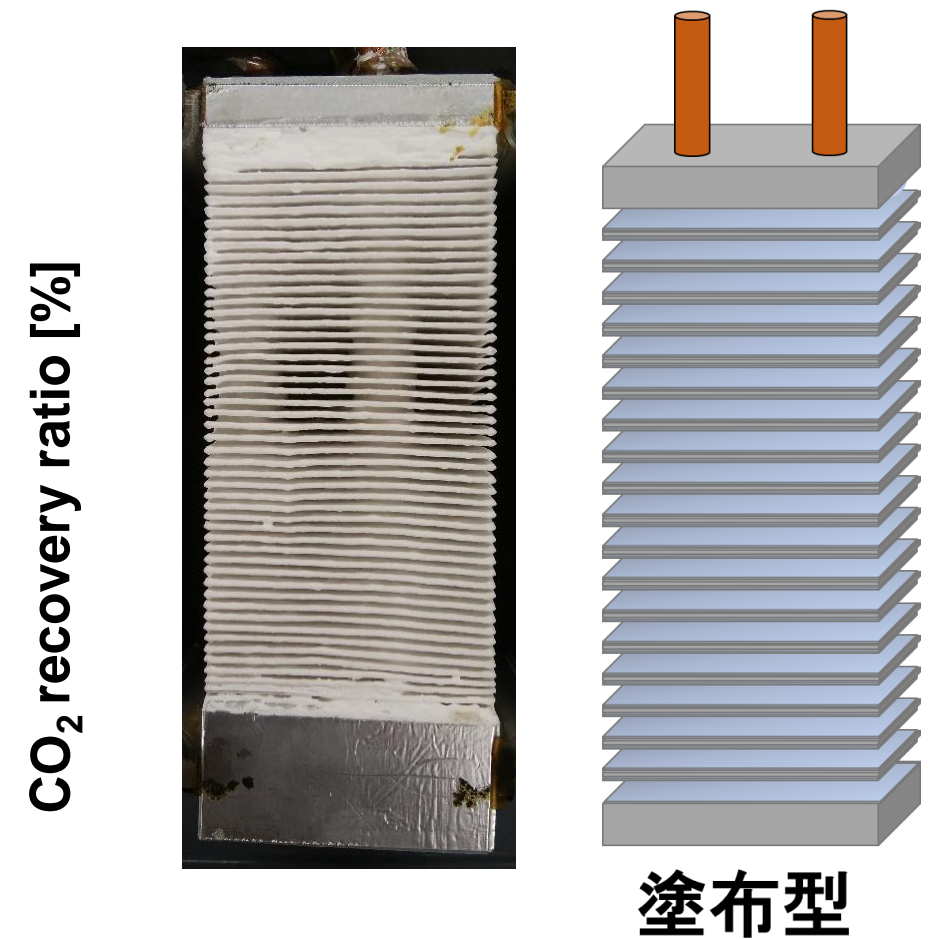
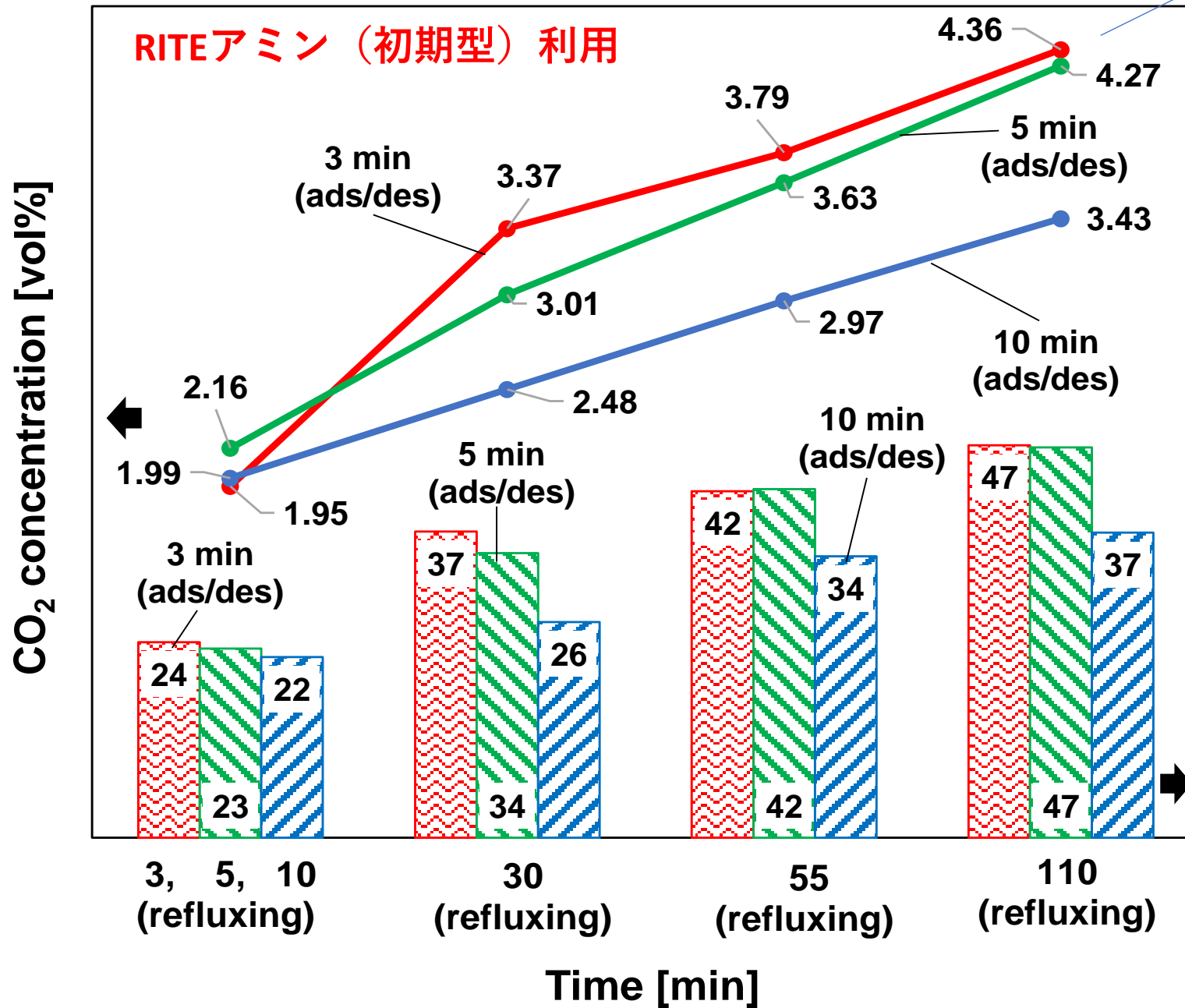
# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 1-②

## 空気再生間接加熱式

Feed gas: 10 L/min (DP=5°C)  
Purge gas: 0.05 L/min (DP=5°C)  
20°C-60°C TSA

空気再生式で100倍濃縮を達成



技術課題：  
RITEアミンの熱交換器への塗布  
アルミフィン+担体+アミン  
or アルミフィンへの直接担持





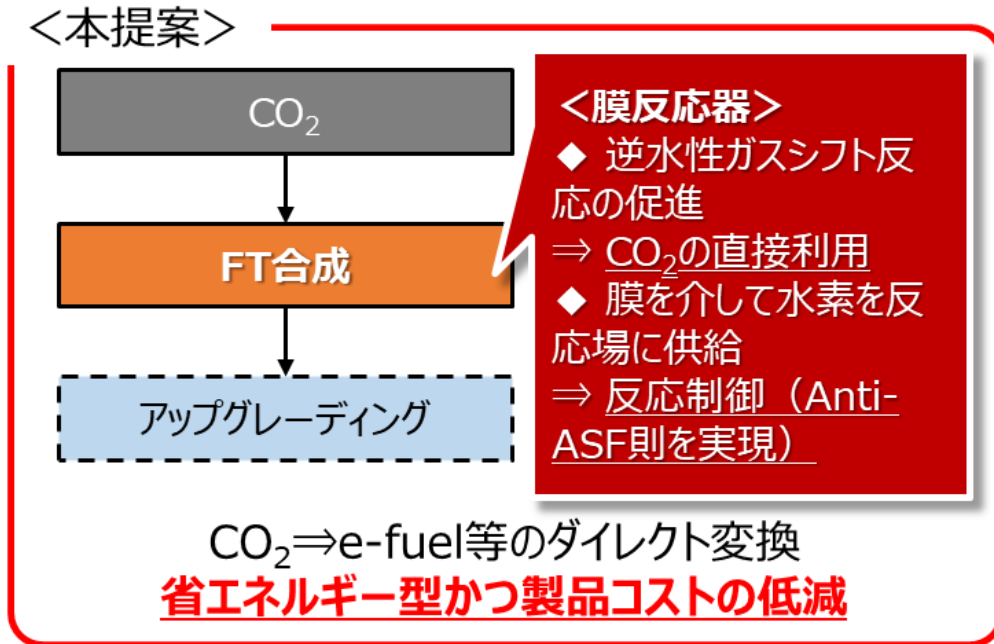
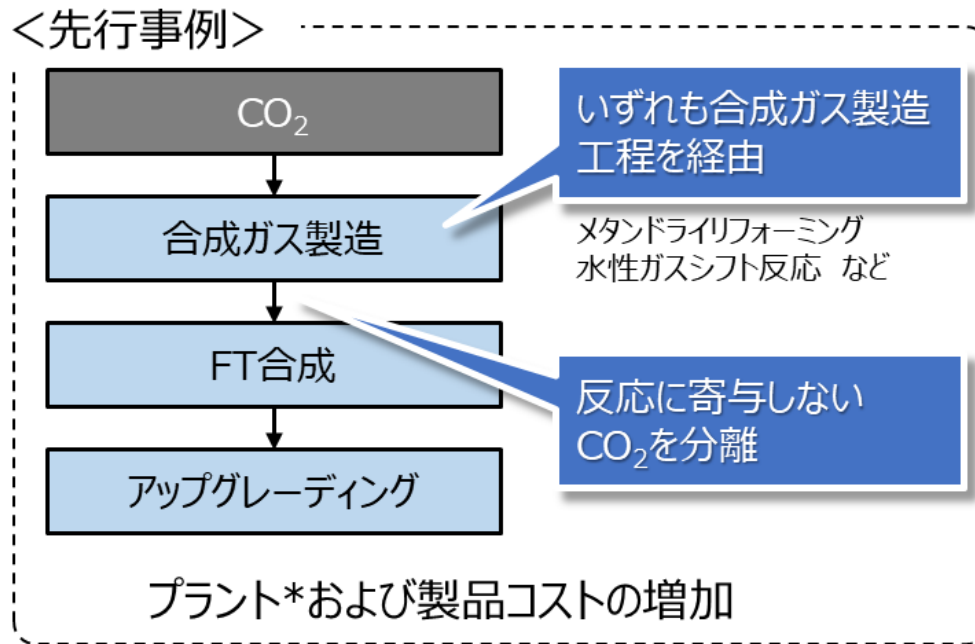
# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目2 炭素循環のためのCO2変換技術開発

### 【CO2変換技術への膜反応器の適用】

現行の技術

液体炭化水素燃料（FT合成）⇒ 合成ガス製造を経由するプロセス



\*プラントコストの内訳；合成ガス製造65~70%、FT合成21~24%、アップグレーディング9~19%

#### 技術的な課題

- ✓ 生成したH<sub>2</sub>Oが**触媒を劣化**、および**水性ガスシフト反応が促進**（CO<sub>2</sub>が生成）
- ✓ 大きな発熱反応であり、**除熱が必要**
- ✓ 生成ワックス分が触媒上へ蓄積し、**活性が低下**
- ✓ 逐次反応であり、**反応制御が困難**

#### 膜反応器適用のメリット

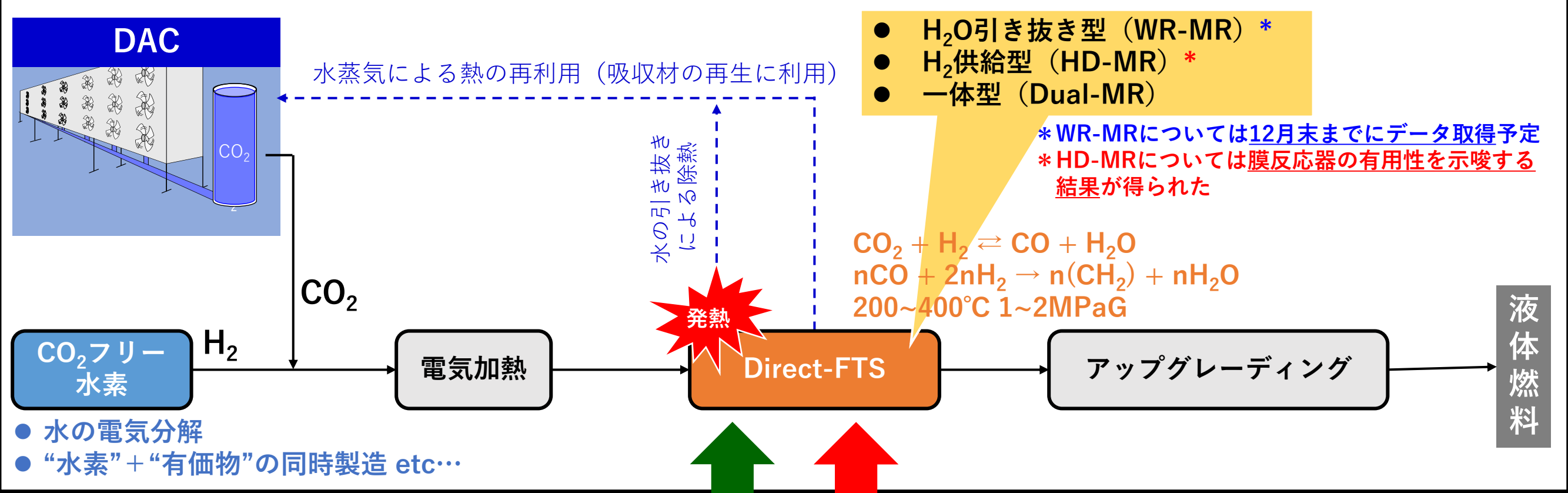
- ✓ 膜を介して反応系外にH<sub>2</sub>Oを除去  
⇒ **触媒劣化を抑制**するとともに**CO生成側に反応を促進**。**効率的な除熱**も可能
- ✓ 膜を介して反応場にH<sub>2</sub>を供給  
⇒ **逐次的に起こる反応を抑制**し、**ワックス分の生成を抑制**可能



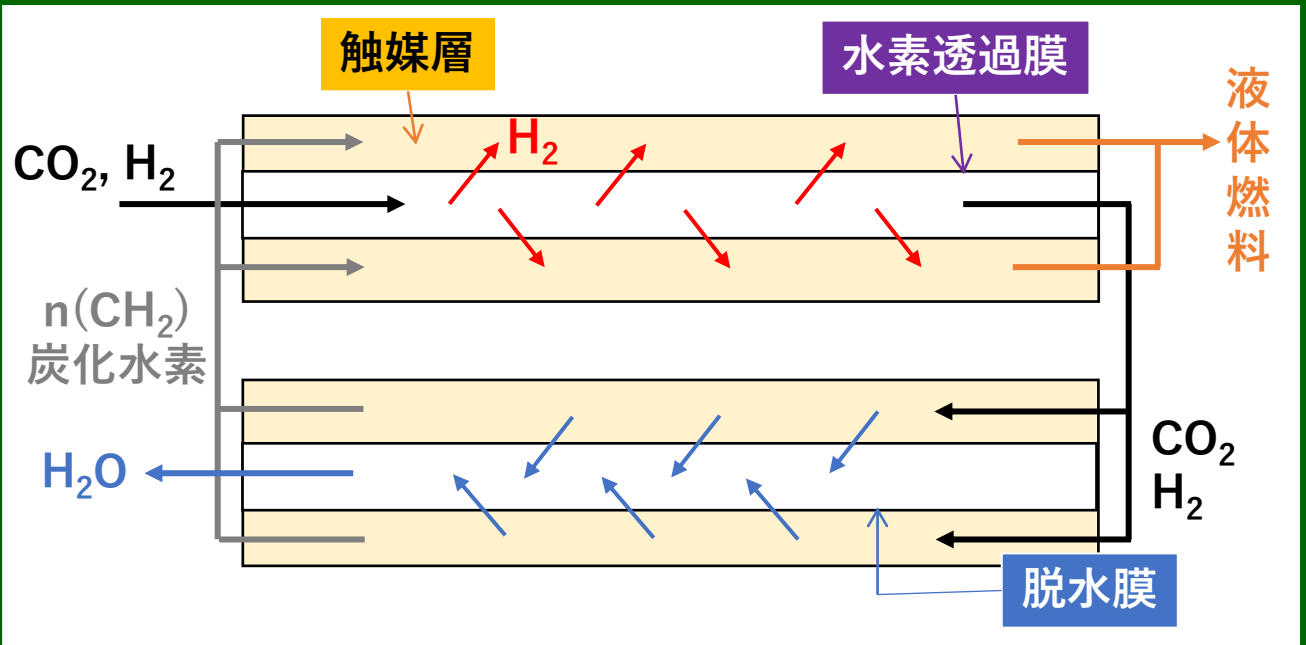
# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目2-① 膜反応器を用いたFT合成プロセスのイメージ

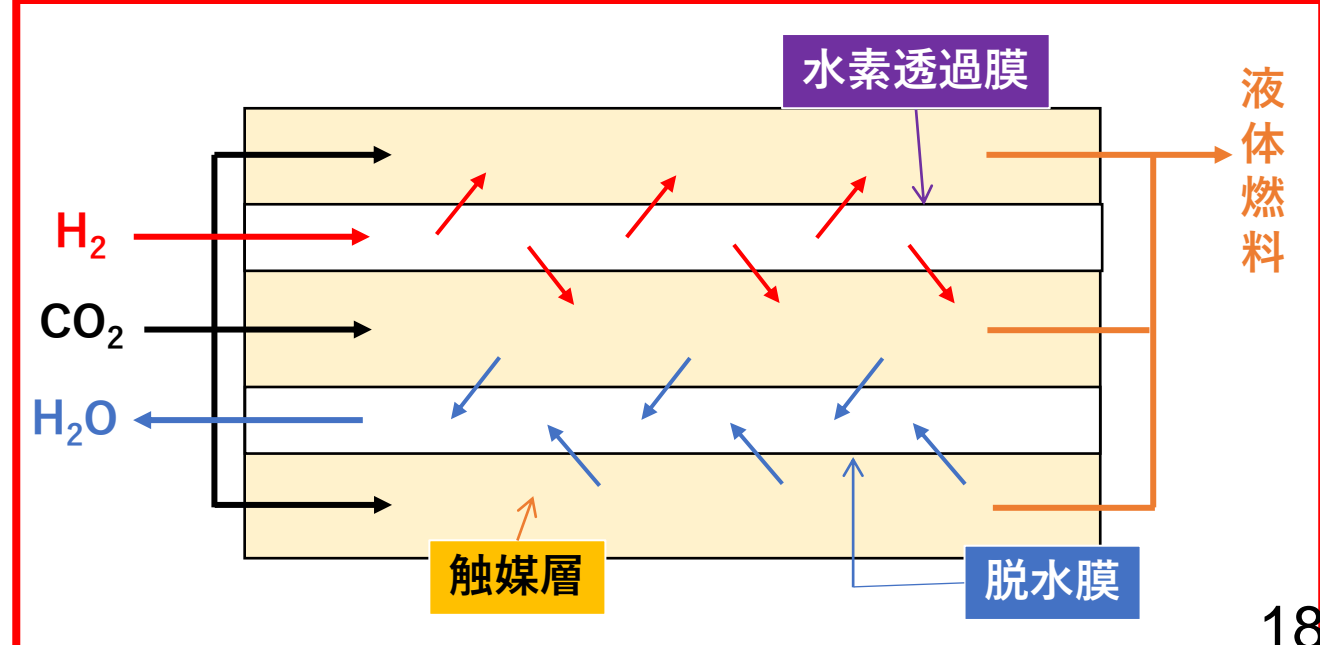
### 膜反応器を用いたCO<sub>2</sub>のダイレクト変換



#### 【2 step型】 Dual-MR (H<sub>2</sub>O引き抜き型⇒H<sub>2</sub>供給型)



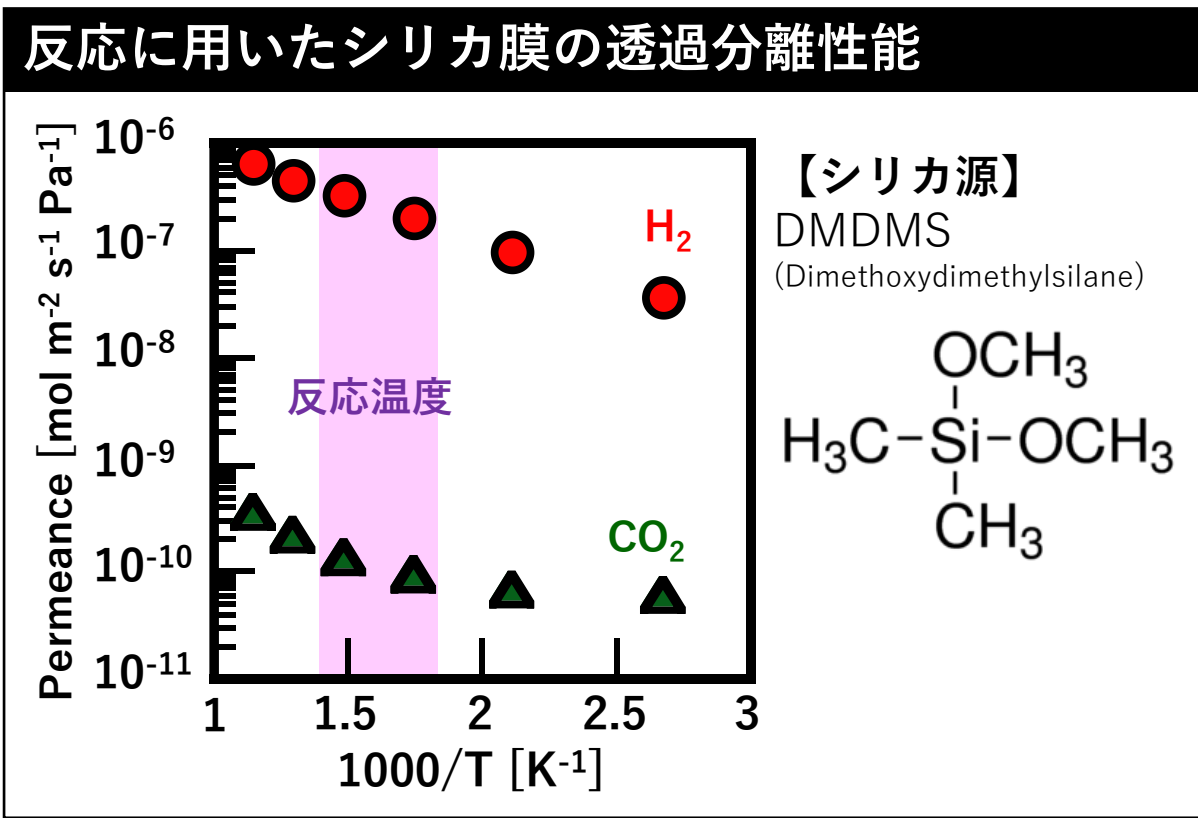
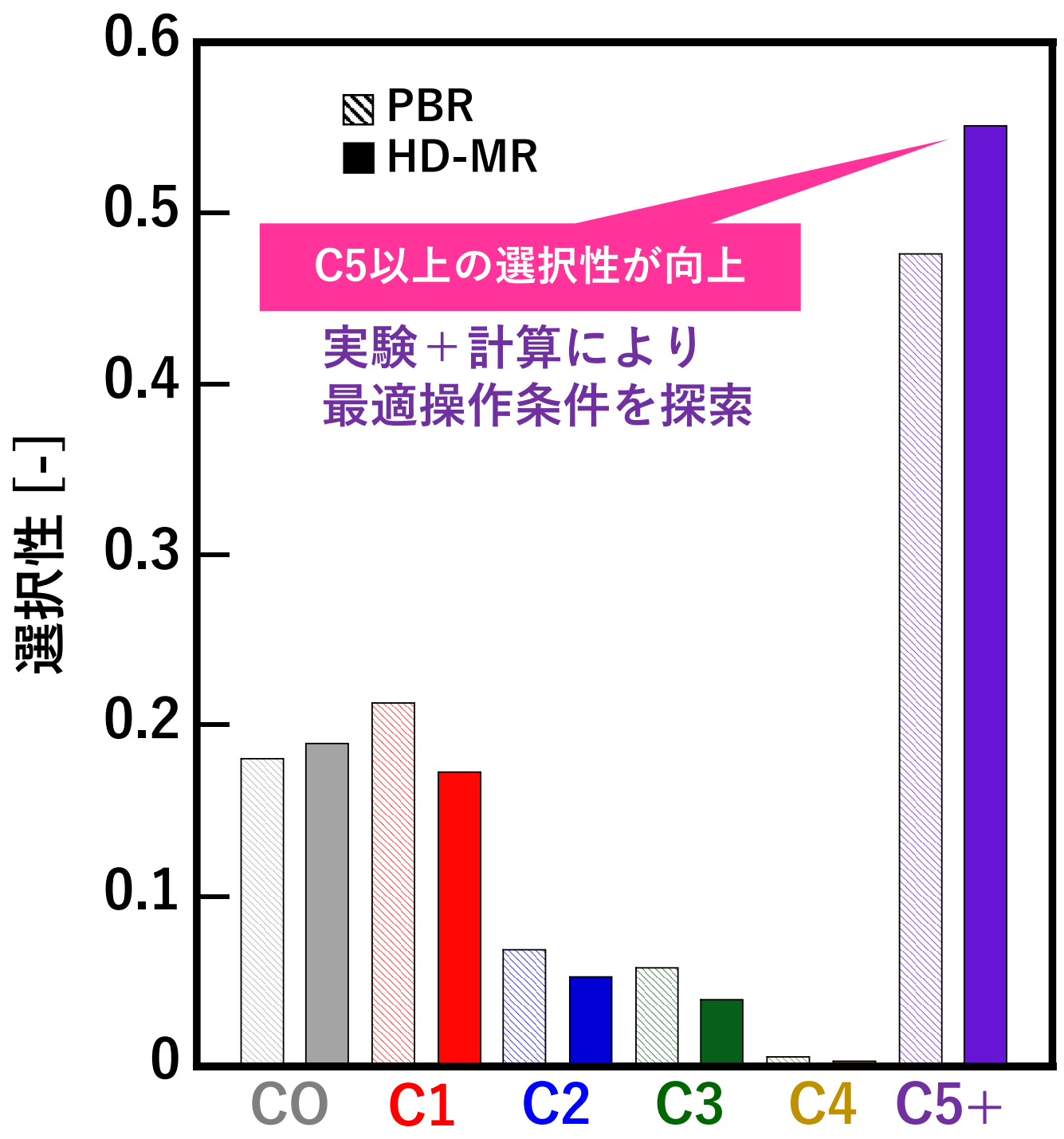
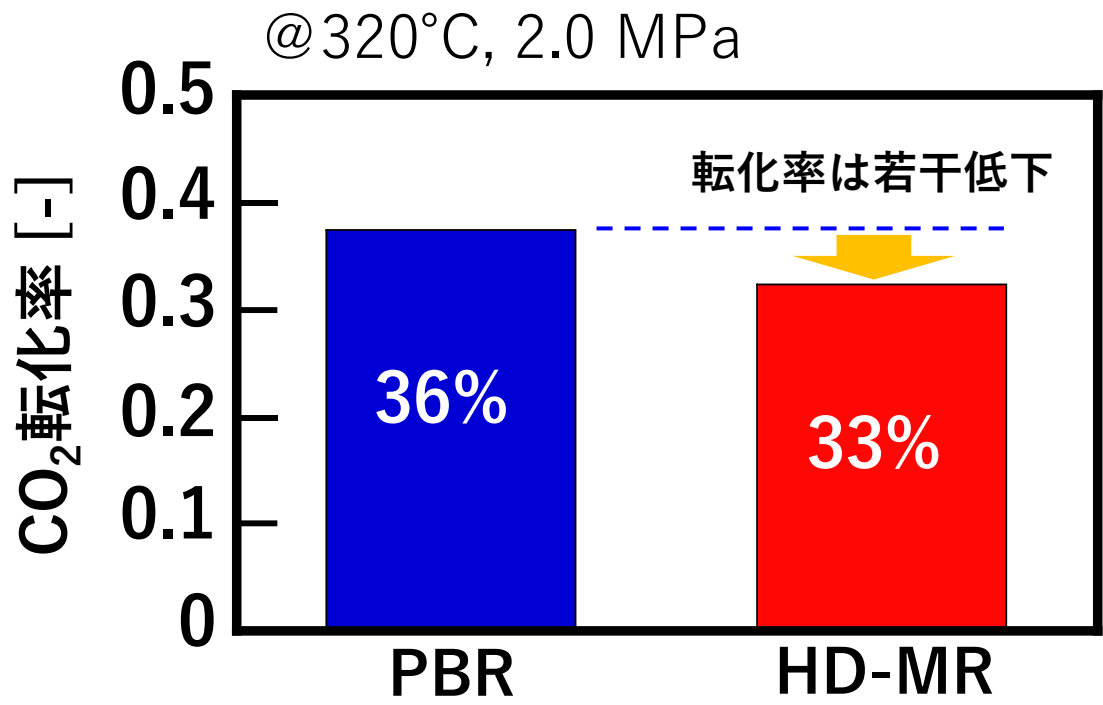
#### 【一体型】 Dual-MR (H<sub>2</sub>O引き抜き型 + H<sub>2</sub>供給型)





# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目2-① H<sub>2</sub>供給型膜反応器の有用性の検討



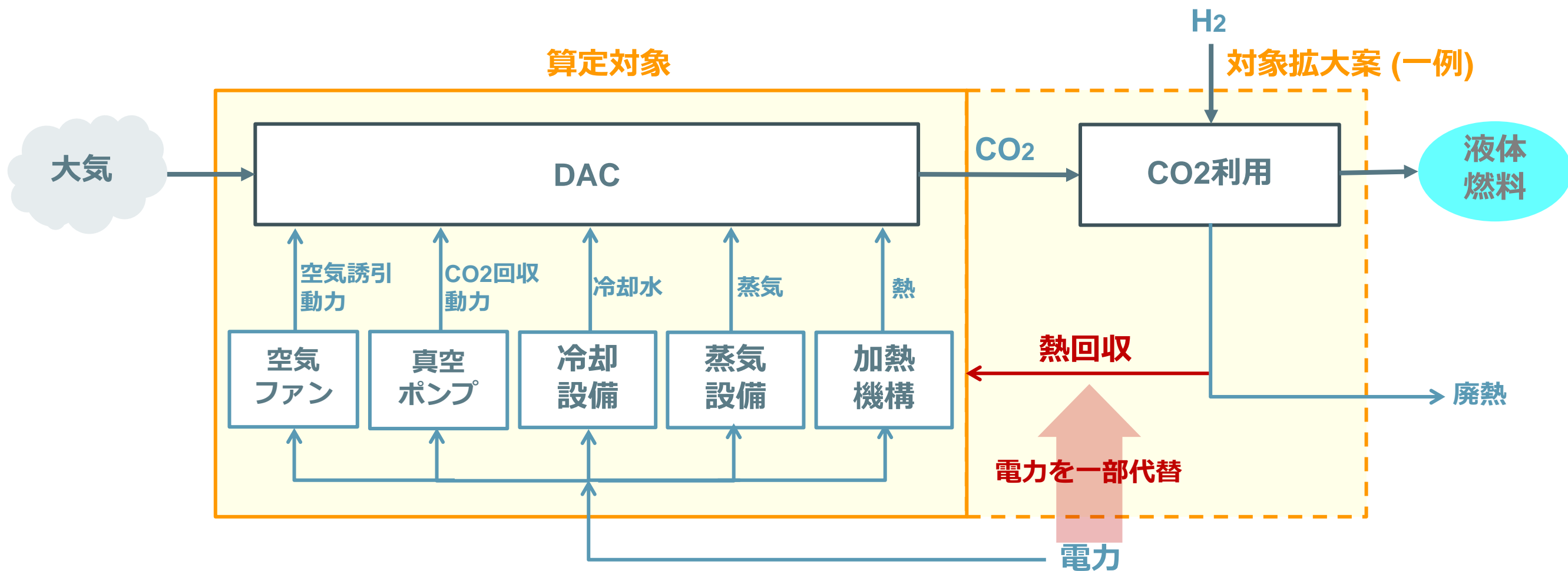
シリカ膜を用いたH<sub>2</sub>供給型膜反応器の有用性が示唆された



# 6. 進捗状況・成果

## 研究開発項目 3-① 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
- 試験機では**運転負荷が電力**で賄われている形だが、大型実証・実機を見据え、収支改善のため**廃熱の直接投入**を検討中



- 試験機データを活用した運転評価の枠組みを構築
- 実際の算定評価および関連設備との統合による最適化を検討予定



# 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を見出した
- ハニカム材へのアミン担持量、吸着性能が向上した

### 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

- 蒸気再生型DACの試験設備を整備、実証試験を開始
- シミュレーションによる再生蒸気供給速度の影響を把握し、蒸気再生での試験装置の効率的な運転方針を提案
- 空気再生方式DAC、特に間接加熱型について高性能化指針を見出し空气中CO<sub>2</sub>の粗濃縮に成功

## 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

### 2-①高効率CO<sub>2</sub>変換技術の開発と最適プロセス検討

- 膜反応器:HD-MRにおいて、C5以上の炭化水素選択性の向上、膜反応器の有用性を確認

\* 研究開発項目2. に関しては、2023年度以降の計画見直し中。



以上