

カーボンニュートラルを支える CO₂分離回収技術

2021年12月1日(火) 15:10～15:45

(公財) 地球環境産業技術研究機構 (RITE)
化学研究グループ
中尾 真一



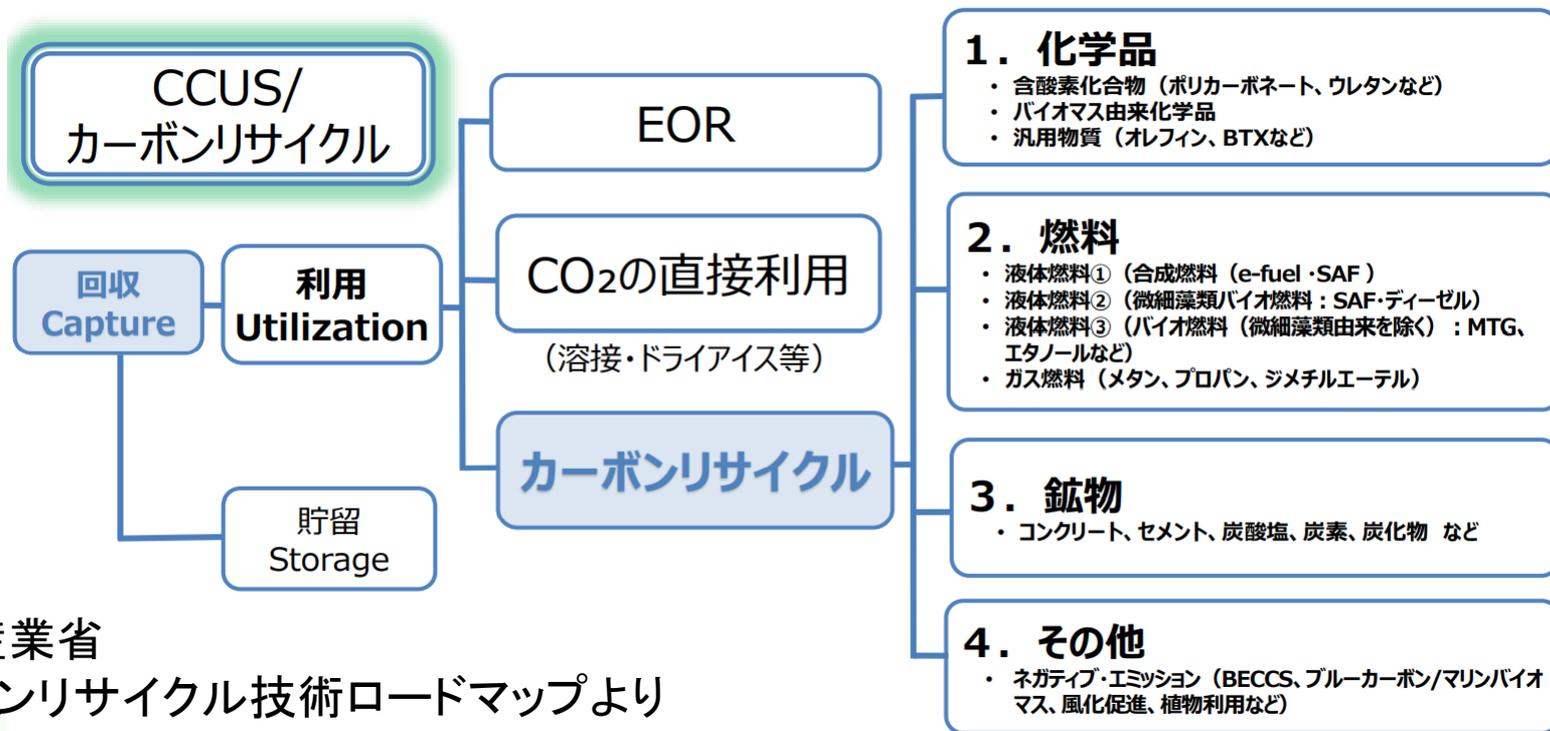
本日の内容

1. カーボンリサイクルとCO₂分離回収技術
2. CO₂分離回収技術
3. 今後の方向、まとめ

1. カーボンリサイクルとCO₂分離回収技術
2. CO₂分離回収技術
3. 今後の方向、まとめ

カーボンリサイクル

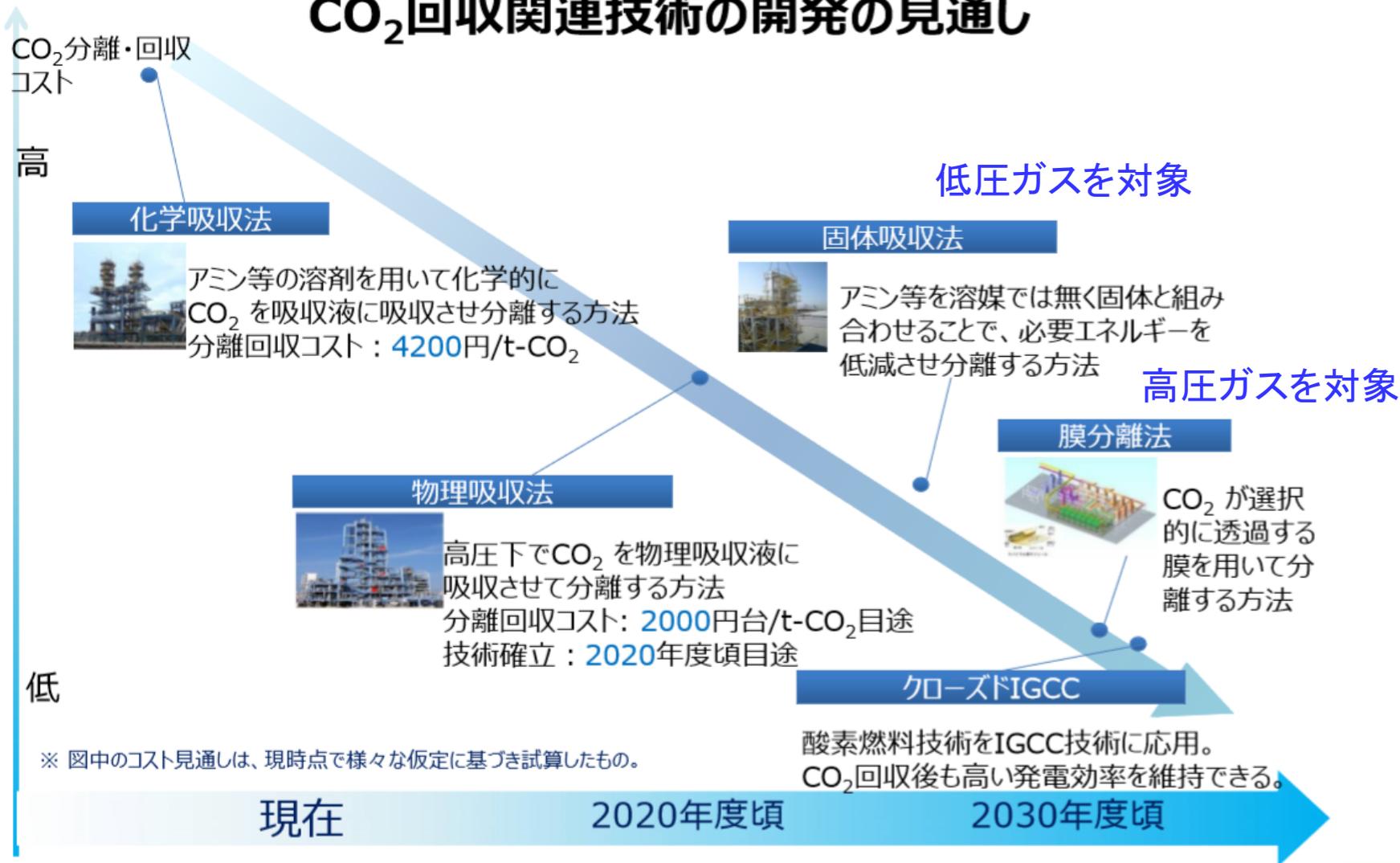
CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化によりコンクリート等、人工光合成等により化学品、メタネーション等により燃料へ再利用し、大気中へのCO₂排出を抑制。



経済産業省
カーボンリサイクル技術ロードマップより

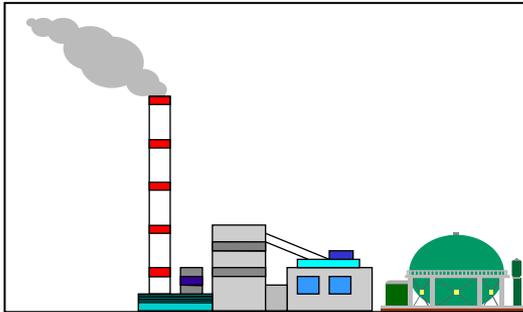
CO₂分離・回収 技術ロードマップ

CO₂回収関連技術の開発の見通し

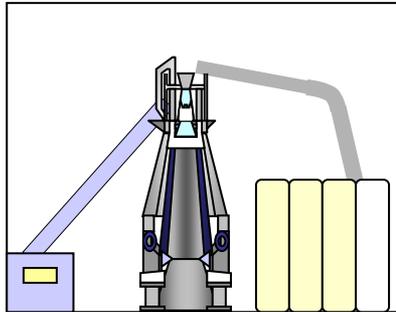


CO₂大規模固定発生源

事業用発電



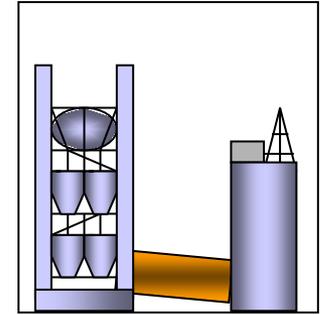
鉄鋼(高炉等)



化学



窯業・
土石等



国内CO₂発生量(億トン/年)¹⁾

4.0

1.6

0.6

0.3

CO₂ガス圧力

低圧, 高圧(IGCC)

低圧

低圧, 高圧

低圧

CO₂濃度

6-14, 40%

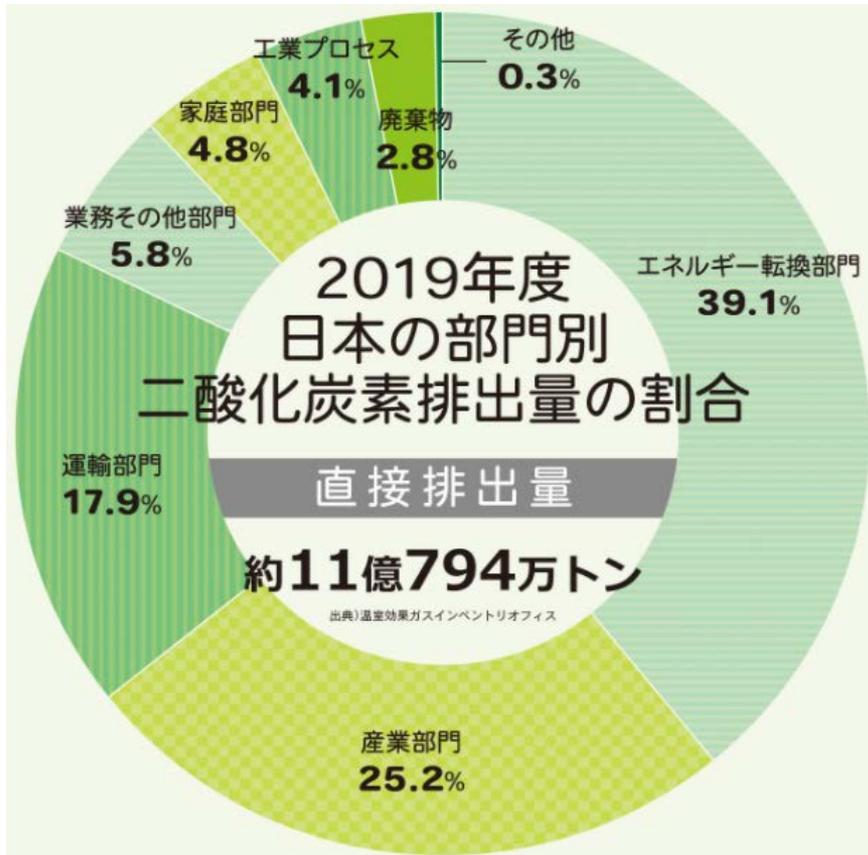
25%

30-50%

18-20%

1) 国内部門別CO₂排出量(環境省, 平成30年)

低濃度大量CO₂源



非電力部門のCO₂排出量
(運輸、業務、家庭)



総排出量の約30%



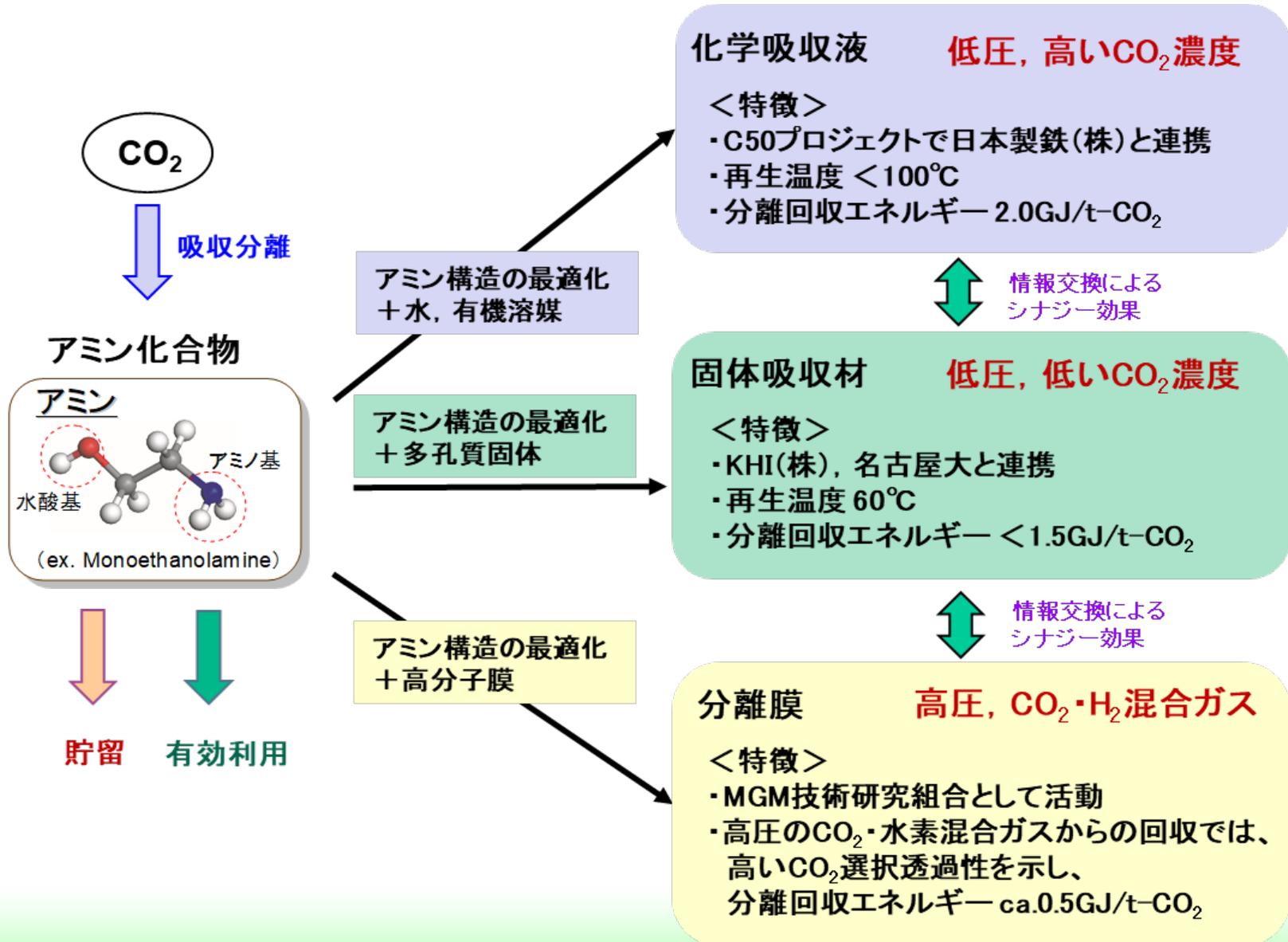
大気中に排出(400ppm)

DAC: Direct Air Capture

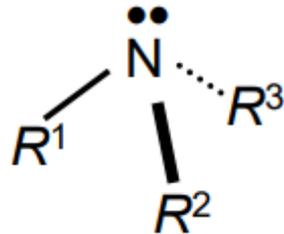
本日の内容

1. カーボンリサイクルとCO₂分離回収技術
2. CO₂分離回収技術
3. 今後の方向、まとめ

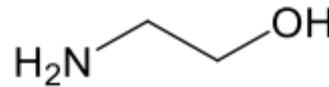
アミン化合物を用いる RITEのCO₂分離回収技術



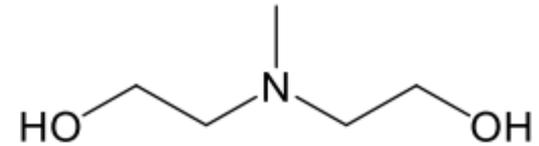
アミンとCO₂の反応



アンモニアの誘導体

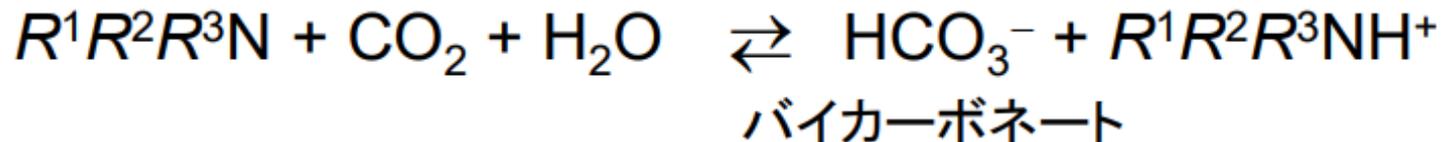
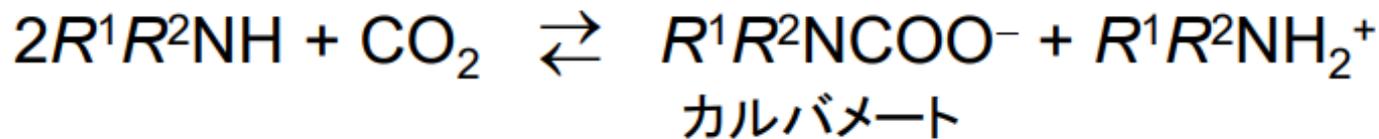


MEA



MDEA

代表的なCO₂回収用アミン(従来)



- ・ アミン種(置換基R¹, R², R³)の違いでCO₂回収性能をチューニング可能
- ・ RITEは新規合成アミンを含め、膨大なアミンのデータを蓄積

RITEにおけるCO₂分離回収技術開発

【化学吸収法】 FY2008～(NEDO委託事業)

環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発(フェーズⅡ - STEP1)/高炉ガスからのCO₂分離回収技術開発/CO₂分離回収技術開発
(高性能吸収液の開発) 体制: 日本製鉄(株) → (共同実施) RITE (吸収液開発)

【固体吸収法】 FY2015～2017(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO₂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
(石炭火力発電所からのCO₂分離・回収) 体制: KHI / RITE → (再委託) 名古屋大学

【膜分離法】 FY2015～2018(METI委託事業)、FY2018～2021(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発
/二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
(IGCC中間ガスからのCO₂分離・回収) 体制: MGM技術研究組合

【DAC】 FY2020～2029 (NEDO委託事業)

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

【化学吸収法】 FY2008～（NEDO委託事業）

「環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス
技術の開発（フェーズⅡ－STEP 1）/高炉ガスから
のCO₂分離回収技術開発/CO₂分離回収技術開発」

高性能吸収液の開発

体制：日本製鉄(株) →（共同実施）RITE（吸収液開発）

RITEアミンの実用化-COURSE50の成果

フェーズ I において開発した化学吸収液の一つは
日鉄エンジニアリング(株)の省エネ型CO₂回収設備(ESCAP[®])に採用された



商業化1号機
(日本製鉄室蘭製鉄所構内)



商業化2号機
(住友共同電力新居浜西火力発電所内)

www.eng.nssmc.com

	1号機 (2014~)	2号機 (2018~)
設備規模	120 t/day	143 t/day
排出源	製鉄熱風炉	石炭火力(※)
CO ₂ 用途	産業用CO ₂ 製造	飼料添加物製造

※2号機は化学吸収法
による石炭火力発電所
の燃焼排ガスからの
CO₂分離回収技術として
日本初の商業設備

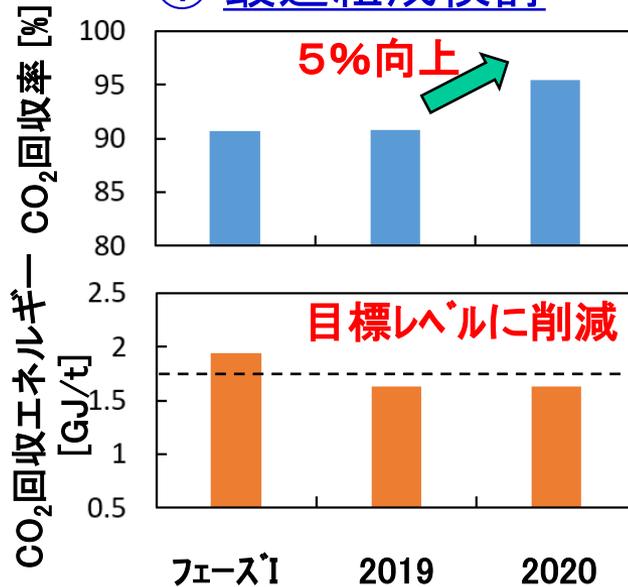
高性能吸収液の開発

1. プロジェクト・担当テーマ: 高性能吸収液の開発

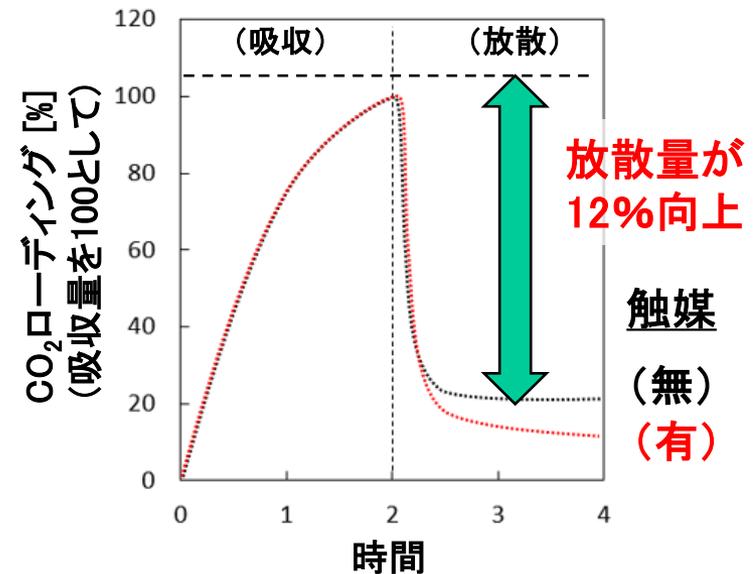
開発目標: COURSE50のフェーズ I において見出した混合溶媒吸収液を中心に、吸収液性能の更なる向上を目指すとともに、実用化研究開発を実施する。

(分離回収エネルギー目標1.6GJ/t-CO₂)

① 最適組成検討



② 新規触媒開発



【最新の成果】

- ① 低回収エネルギーの新規組成を開発
- ② 混合溶媒吸収液の放散性能を向上させる新規触媒を開発

固体吸収法

【固体吸収法】FY2015～2017(METI委託事業)
FY2018～(NEDO委託事業)

「CCS研究開発・実証関連事業/CO2分離回収技術の研究開発/
先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発」

FY2015～2020 : 移動層方式によるベンチスケール試験

体制: RITE→(再委託)川崎重工業(株)(移動層)

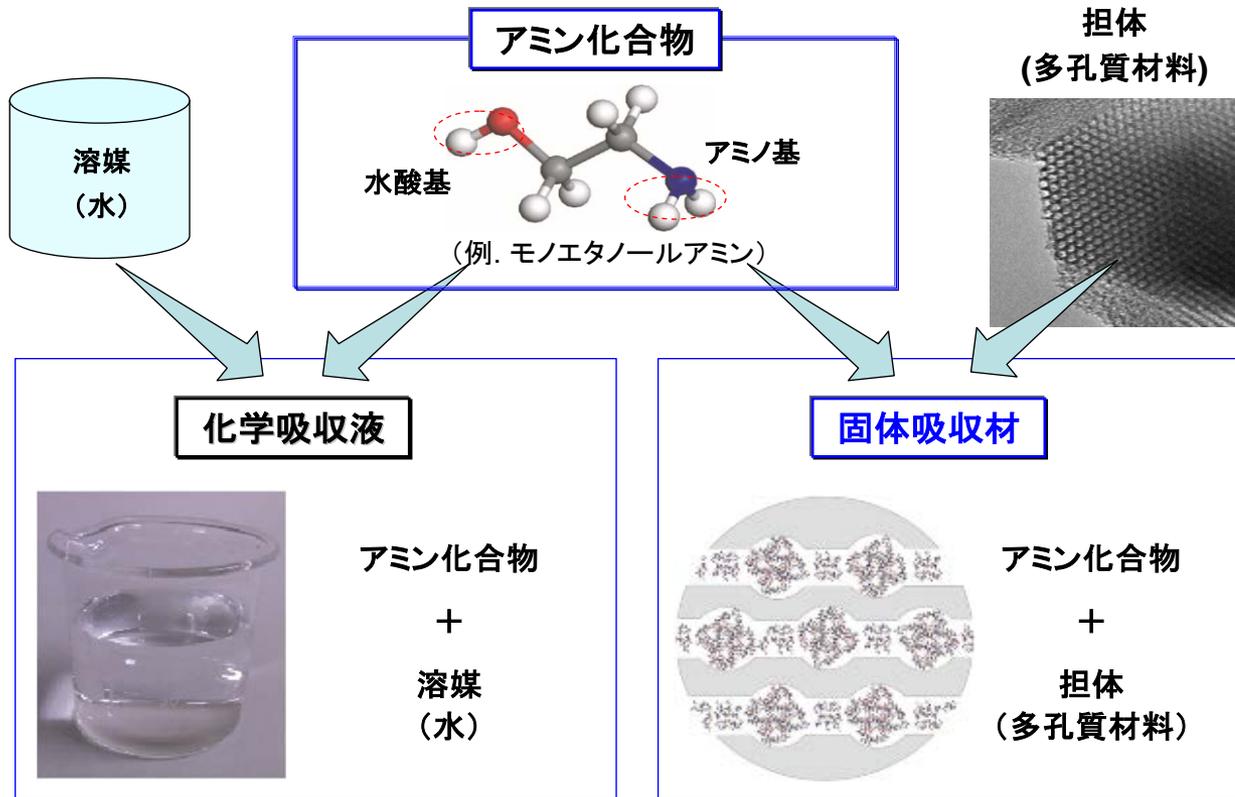
TUAT(シミュレーション)

「CCS研究開発・実証関連事業/CO2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」

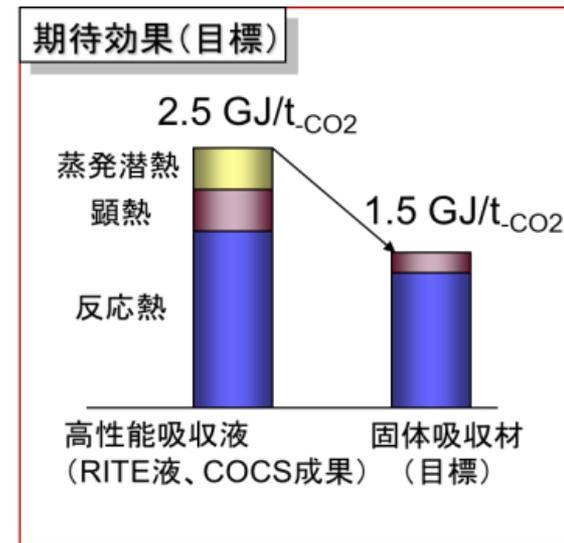
FY2020～ : 石炭火力発電所でのパイロットスケール試験

体制: KHI/RITE→(再委託)名古屋大学

固体吸収材の概念



目標コスト
2000円台/t-CO₂

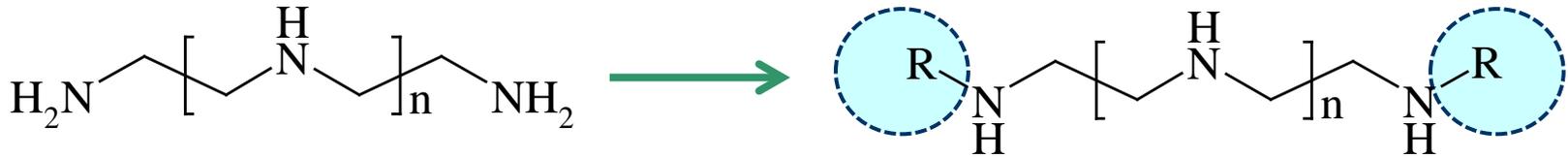


再生温度: 120°C

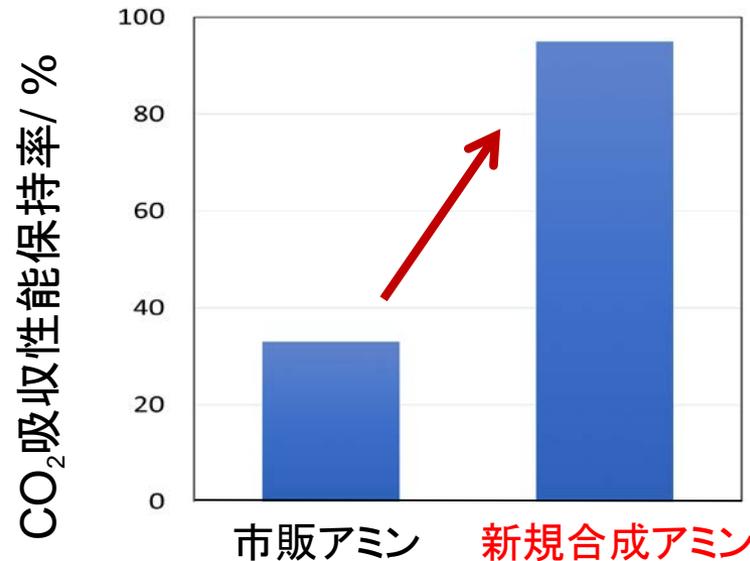
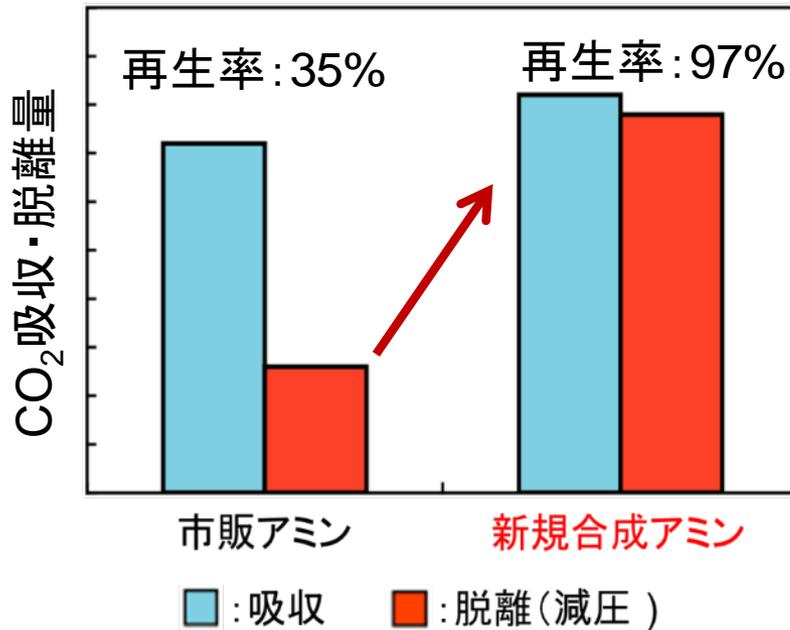
再生温度: 60°C (廃熱利用可能)

- ◎ 比熱の高い水溶媒に替わり**低比熱の多孔質材料**を担体として用いることで再生に必要な**エネルギーを低減**.
- ◎ 溶媒の揮発が無いため蒸発潜熱としての**熱ロスが無**.

RITE開発固体吸収材の性能



嵩高い置換基R → CO₂の吸収・脱離性能が向上

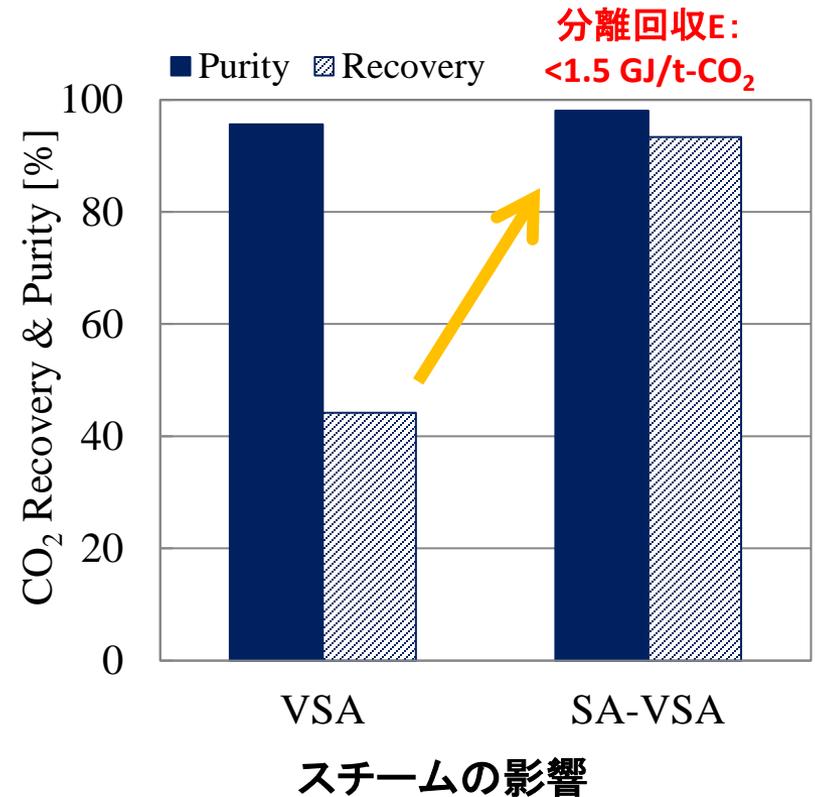
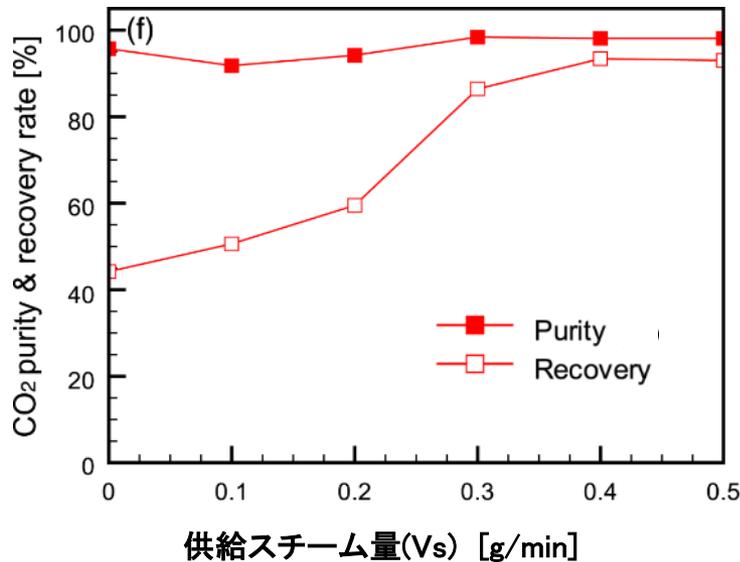


100°Cでの酸化劣化耐性評価
O₂ (20%) / N₂ (80%) / H₂O(RH50%)

低温(60°C)でCO₂再生率に
優れる固体吸収材を開発
RITE: 特許取得(米国、日本)

RITE開発アミン: 酸化劣化耐性

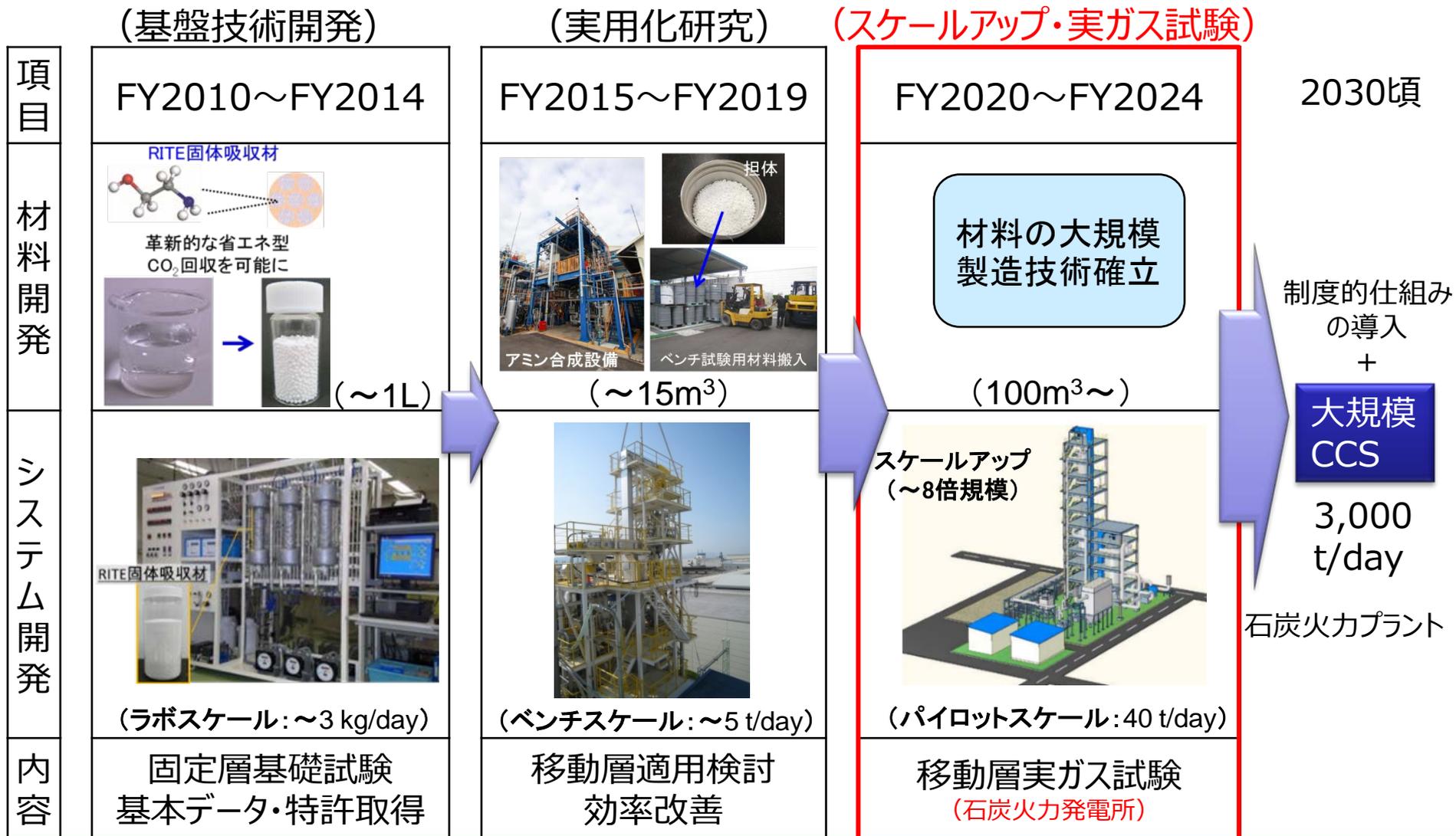
新規開発の固体吸収材を用いた減圧再生プロセス(VSA)と蒸気再生プロセス(SA-VSA)の比較.



- ▶ 脱着工程でのスチームの供給量と共に回収性能が向上
→スチーム供給によりCO₂脱着が促進
- ▶ 湿潤模擬ガス(11%CO₂)からVSAの2倍の回収率で高純度CO₂を回収
→RITE固体吸収材が優れたCO₂分離回収性能を有することを実証

(T_{ad}:60°C, T_C:9min, T_R:40sec, RH50%)

固体吸収材開発：目標達成までのロードマップ



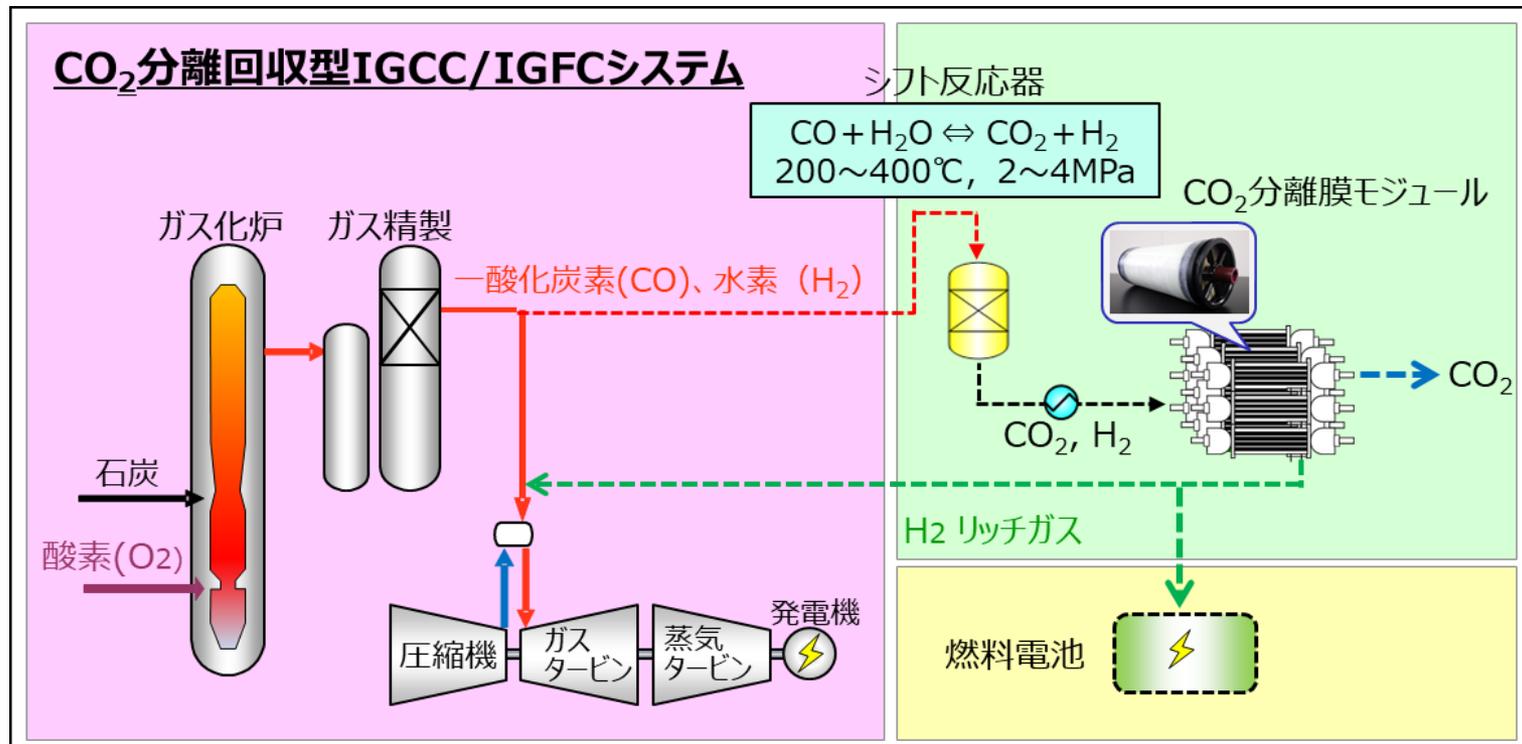
【膜分離法】FY2015～2018(METI委託事業)
FY2018～2021(NEDO委託事業)

「CCUS研究開発・実証関連事業/
CO₂分離・回収技術の研究開発/
二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発」
～IGCC中間ガスからのCO₂分離・回収～

体制：MGM技術研究組合

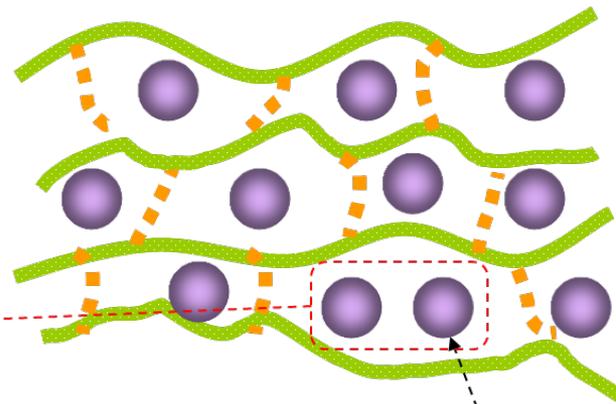
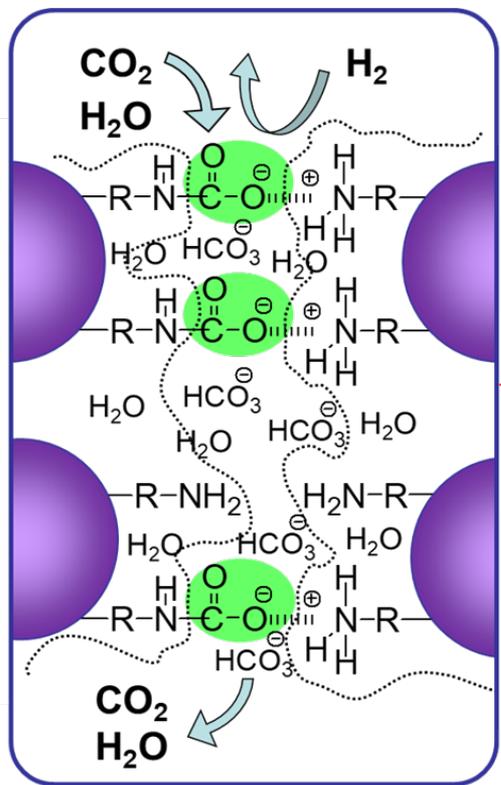
高圧の石炭ガス化ガスから低コストでCO₂を分離回収
高性能CO₂選択透過膜(分子ゲート膜)技術の実用化

<目標> CO₂分離・回収コスト : ≤1,500 円/t-CO₂
CO₂分離・回収エネルギー : ≤0.5 GJ/t-CO₂



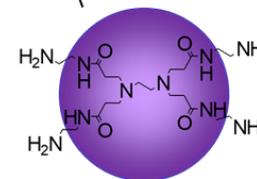
(大崎クールジェンプロジェクトガイドvol.13の資料をRITEで追記)

二酸化炭素分離膜の分離機構



~~~~~ PVA

..... 架橋剤



デンドリマー

ポリビニルアルコール(PVA)系  
高分子マトリクス(網目構造)

- ・膜構造の保持(補強)
- ・デンドリマーの固定化

- ・分離性能発現  
(分子ゲート)

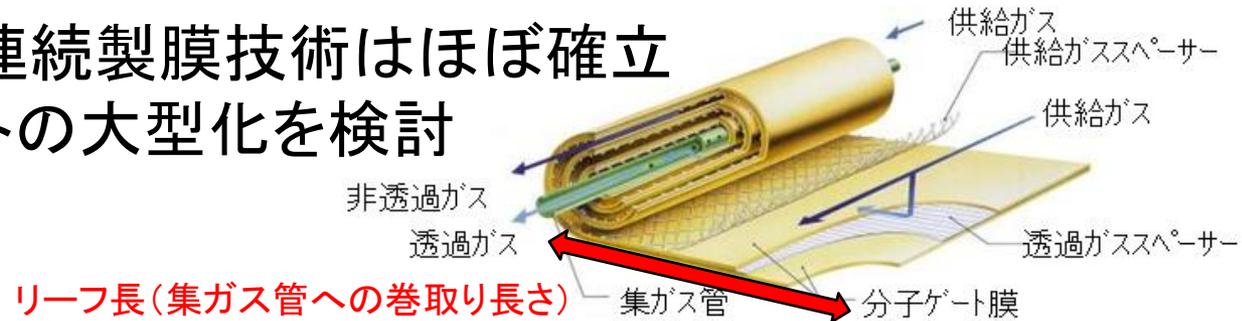
● カルバメートによる  
擬似架橋

$\text{HCO}_3^-$  重炭酸イオン

※ $\text{CO}_2$ は重炭酸イオンとして  
膜中を移動

# 膜エレメントのスケールアップ検討

単膜の開発、大面積連続製膜技術はほぼ確立  
スパイラルエレメントの大型化を検討



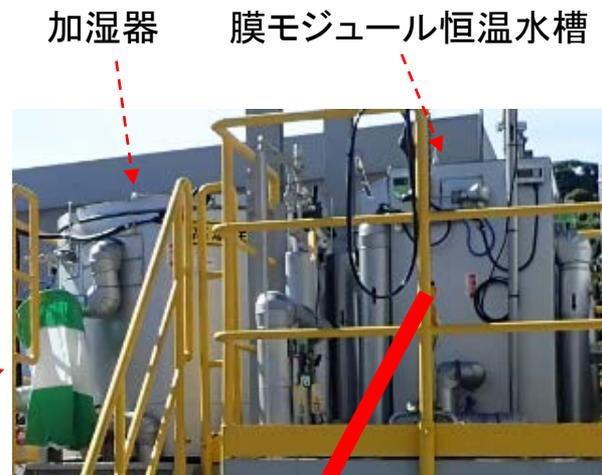
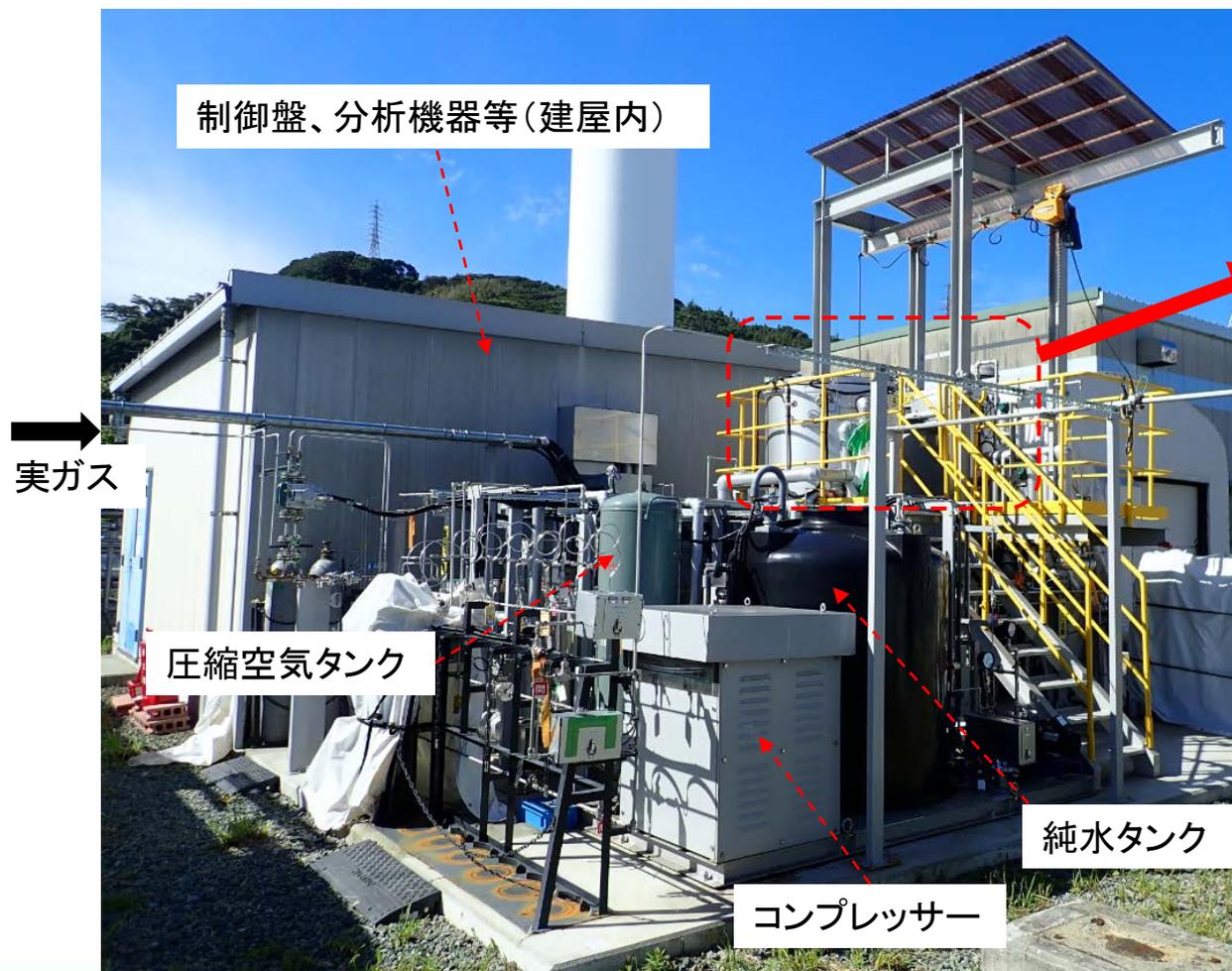
| エレメント  | 2インチ                                                                               | 4インチ (A)<br>(改良前)                                                                                           | 4インチ (B)<br>(改良後)                                                                                      | 実機相当<br>8インチ              |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| リーフ*1長 | 200~<br>300mm                                                                      | 200~<br>300mm<br>※2inchと同じ                                                                                  | 700~<br>900mm                                                                                          | 700~<br>900mm<br>(想定)     |
| 試作結果   |  | ✖リーフ長が短く<br>ハンドリング難<br> | ○ハンドリング<br>良好<br> | (4インチの<br>知見に基づき<br>検討予定) |

\*1 リーフ: 膜と透過ガススペーサーから構成され、集ガス管に接着して使用する大面積シート。リーフ長は集ガス管への巻取り長さに対応する。

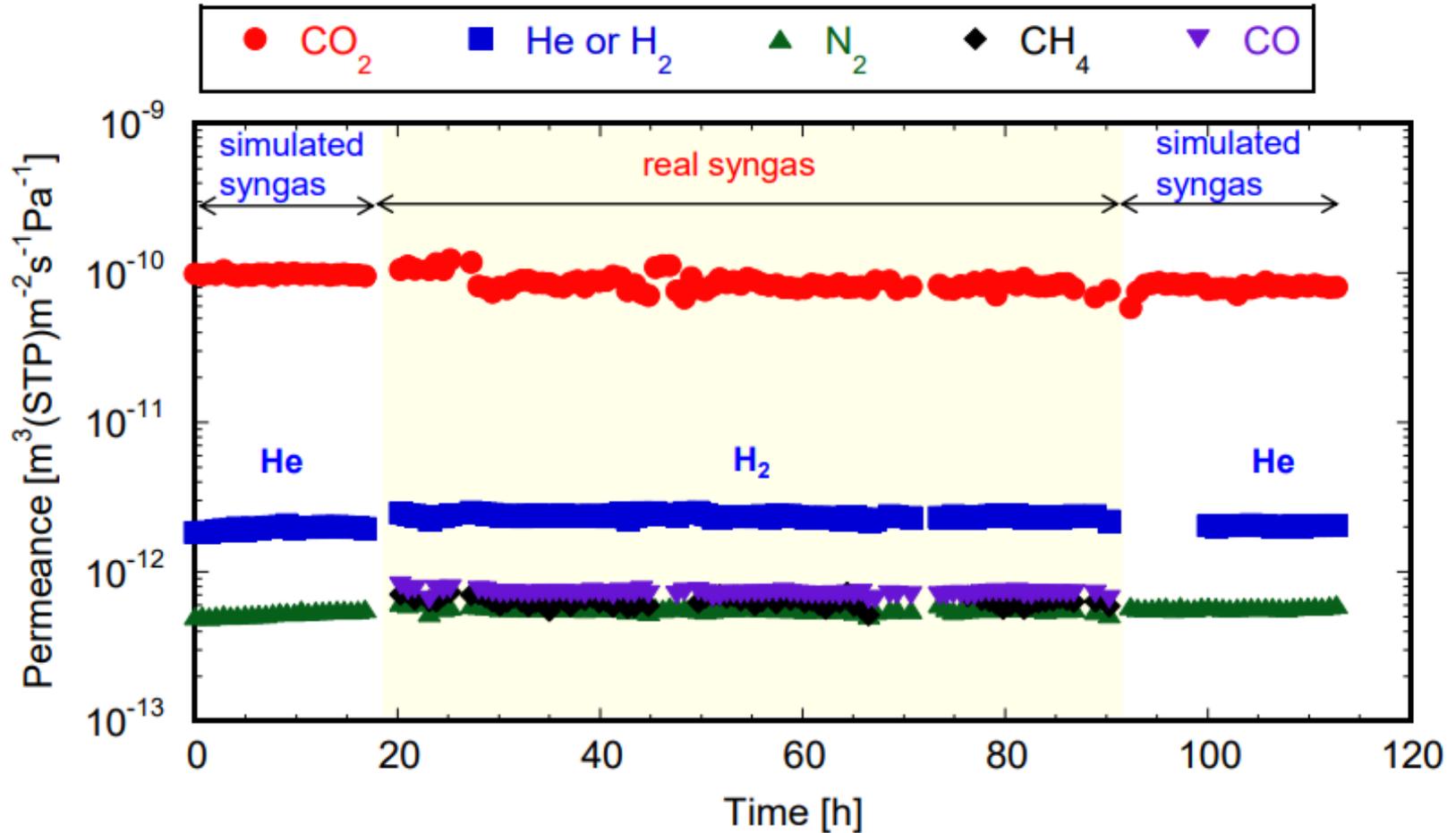
# 膜エレメントの実ガス試験

電源開発(株) 若松研究所所有の石炭ガス化炉からの実ガスを用いた試験

## 膜エレメント評価装置の外観



# 4インチ膜エレメントの実ガス試験結果



## <試験条件>

実ガス: 温度85°C, 全圧0.8 MPa, 湿度80%RH、H<sub>2</sub>S濃度約400ppm

模擬ガス: 温度85°C, 全圧0.8 MPa, 湿度80%RH、CO<sub>2</sub>/He/N<sub>2</sub>=11/19/70

# 実用化に向けたロードマップ

FY2011

2015

2020

2021

2023

2030

基盤技術研究  
フェーズ

実用化研究  
フェーズ I

実用化研究フェーズ II  
(スケールアップ、耐久性試験)

実証試験  
フェーズ

**単膜**  
基本組成検討  
特許取得



**量産化**  
(連続製膜法の確立)

↓

**小型膜エレメントの  
製作法の確立**  
(部材の最適化)

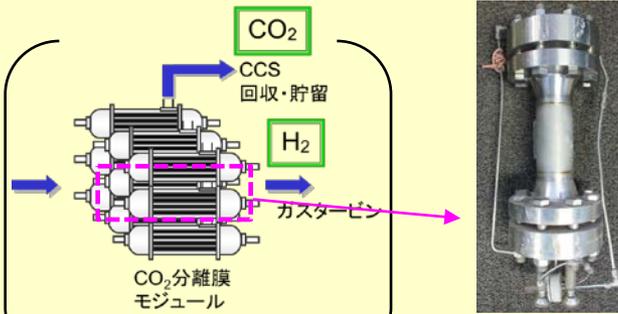


**膜エレメント**

**耐不純物性評価**  
(実ガス試験)

**膜エレメントのスケール  
アップ**  
(実機膜エレメント(製品サイズ)  
製作法の確立)

**膜分離システムの開発**  
(商用化に向けたシステム検討)



**膜モジュール**

**耐久性の確認**

2030頃  
**IGCC用  
商用化**

【研究開発プロジェクト名】

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

【実施者】 金沢大学

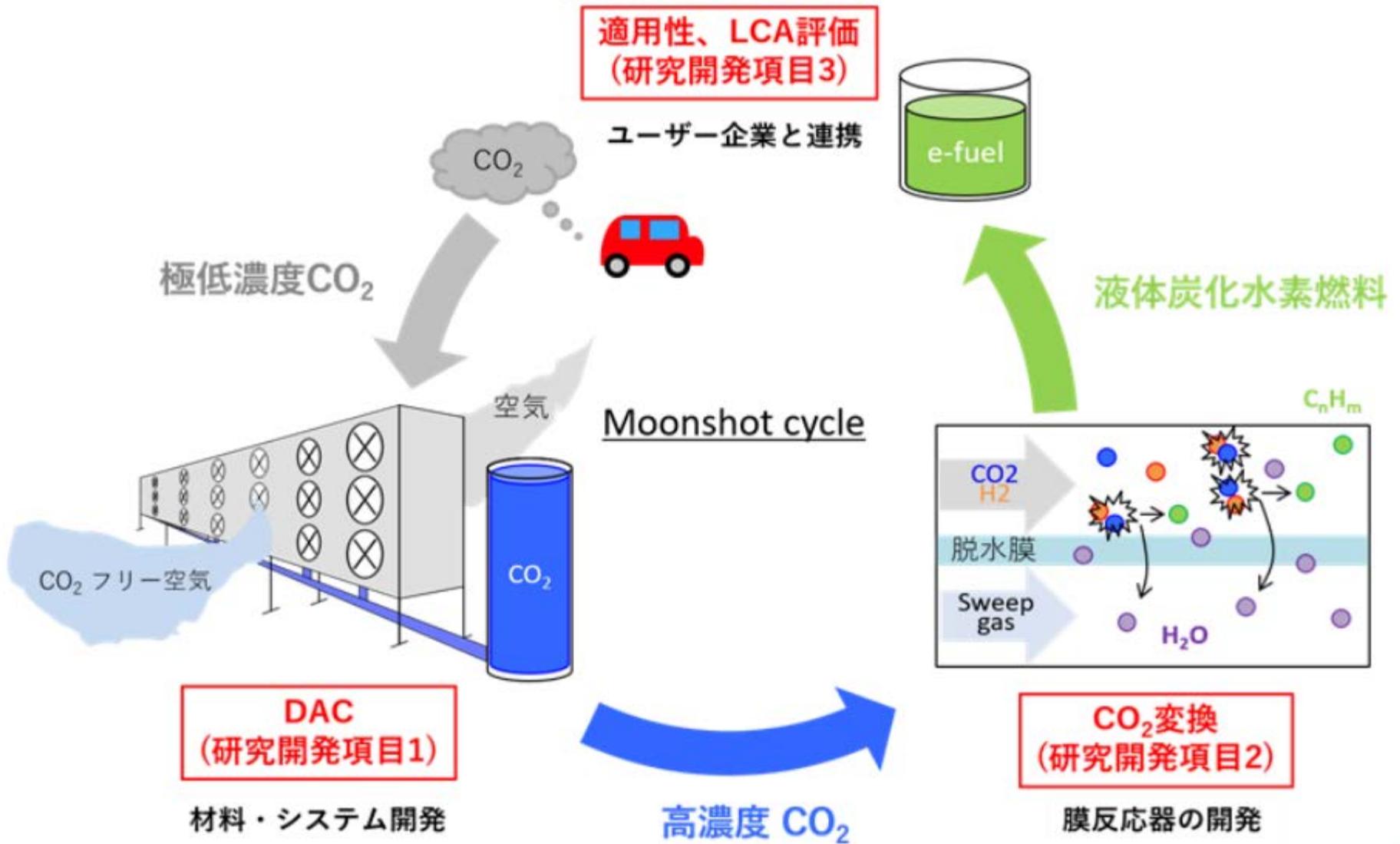
(公財) 地球環境産業技術研究機構

【期間】 2020年度～2029年度

【実施内容】

1. 大気中からの高効率CO<sub>2</sub>回収(DAC)技術開発  
→ RITE固体吸収材の適用
2. 炭素循環のためのCO<sub>2</sub>変換技術開発  
→ 膜反応器による液体炭化水素燃料合成
3. 液体炭化水素燃料適用性、LCA評価  
→ ユーザー企業と連携

# カーボンリサイクルの実現

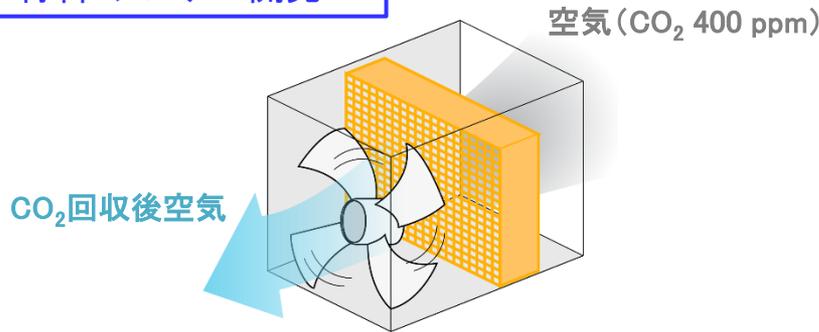




# DAC技術開発スケジュール

## 2020～2024年度 (基盤技術開発フェーズ)

### 材料・システム開発

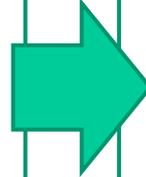


### 開発項目

- ・DAC用新規吸収材の開発
- ・圧損(送風動力)の低減
- ・装置の小型化
- ・高効率プロセス開発

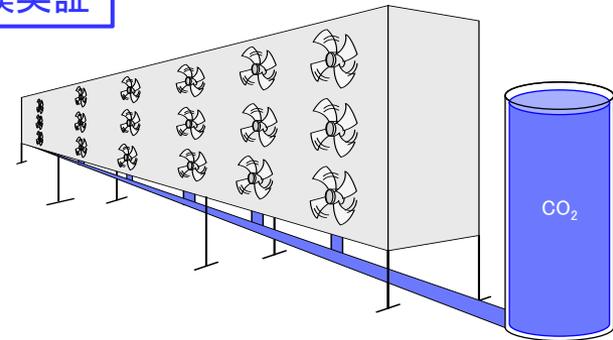


小規模装置の技術確立



## 2025以降 (パイロット試験(予定))

### 大規模実証



### 大規模実証による検証項目

- ・数t/dのCO<sub>2</sub>を大気から直接回収し、CO<sub>2</sub>変換反応に適用可能な純度のDAC技術の確立
- ・吸収材や装置の耐久性の評価  
(季節や温湿度、設置場所などの影響評価)



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

# 本日の内容

1. カーボンリサイクルとCO<sub>2</sub>分離回収技術
2. CO<sub>2</sub>分離回収技術
3. 今後の方向、まとめ

最重要課題：石炭火力、製鉄からのCO<sub>2</sub>回収技術の早期実用化



CCUS/Carbon Recycleに向けて  
多様な排出源からのCO<sub>2</sub>回収技術が必要：

これまでに開発した技術をもとに様々なCO<sub>2</sub>排出源への適用を検討

- $P_{\text{CO}_2} > 1 \text{ MPa}$  : 高圧ガス (ICGG、天然ガス、褐炭ガス化ガス)
- $P_{\text{CO}_2} \sim 1 \text{ MPa}$  : 各種化学工業プロセス (アンモニア製造他)
- $P_{\text{CO}_2} = 13 \sim 22 \text{ kPa}$  : 燃焼排ガス (石炭火力発電所、製鉄所、セメント工場)
- $P_{\text{CO}_2} = 3 \sim 7 \text{ kPa}$  : 燃焼排ガス (天然ガス火力発電所、ガスエンジン)
- CO<sub>2</sub>濃度 = 0.1 ~ 1% : 室内/閉鎖空間 (オフィス、工場、宇宙空間)
- CO<sub>2</sub>濃度 = 400 ppm : 空気中からのCO<sub>2</sub>回収 (DAC: Direct Air Capture)

## 1. 化学吸収法（高炉ガス）

- ・ 開発液を実用化、商業化2号機が稼働開始（CCU用途）
- ・ さらに高性能化を目指し、新規吸収液を開発

## 2. 固体吸収法（石炭火力ガス）

- ・ 移動層ベンチスケール試験で回収量7.2t/d、回収率90%を達成
- ・ パイロット試験に向けた実ガス試験フェーズを開始

## 3. 膜分離法（IGCCガス）

- ・ 連続製膜技術開発、小型膜エレメント開発
- ・ 硫化水素耐性、膜エレメントの初期実ガス耐久性確認

## 4. 新たな取り組み

- ・ DAC(Direct Air Capture) 研究開発開始

謝辞：本研究開発は、METI委託事業  
ならびにNEDO委託事業の一環として  
実施しました。

ご清聴をありがとうございました。

Research Institute  
of  
Innovative Technology for the Earth