

# 低炭素社会を目指す 化学研究グループの取り組み

(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



# CCSとCO<sub>2</sub>分離・回収技術

## 「環境エネルギー技術革新計画(2013年9月)」における技術ロードマップ(CCS)

### 当該技術を必要とする背景

- 本技術は大規模なCO<sub>2</sub>の削減を可能とする技術であり、特に、途上国を中心に今後も利用拡大が見込まれる石炭をはじめとする化石燃料から生じるCO<sub>2</sub>排出削減として有効。
- 製鉄の工程で原料として利用される石炭は代替が困難であり、製造プロセスから生じるCO<sub>2</sub>を削減する手段としても有効。

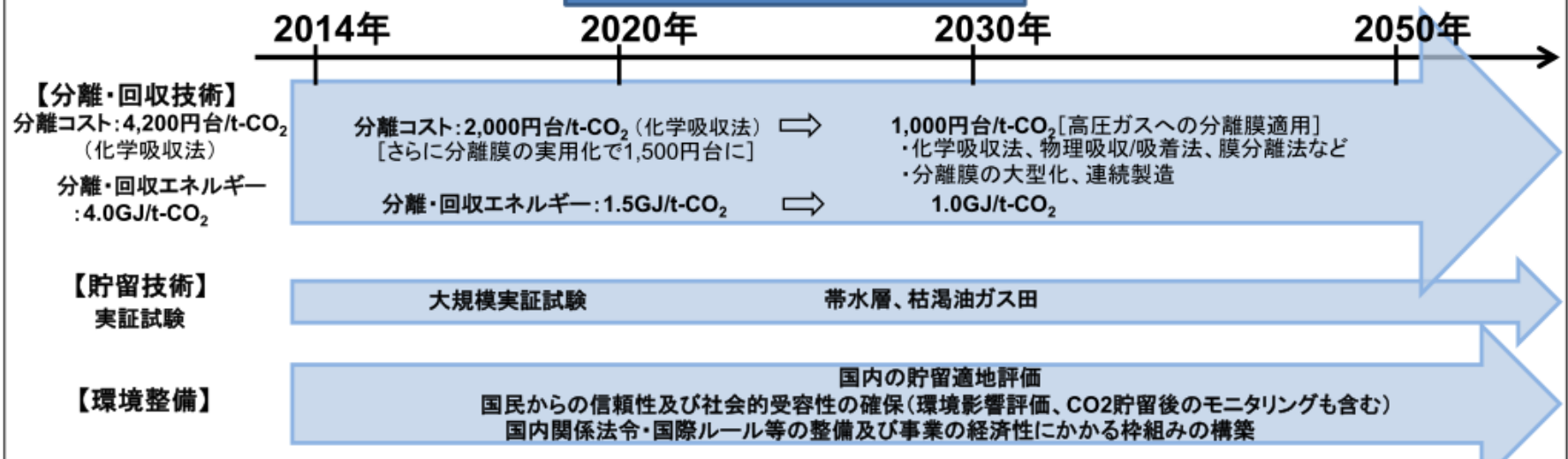
### 当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

- CCSは、大規模排出源の排ガス等からCO<sub>2</sub>を分離・回収し、地下貯留することにより、CO<sub>2</sub>排出の削減に貢献する技術。
- 実用化への課題であるコストの低減に有効なCO<sub>2</sub>分離回収技術や、安全性向上に有効な地下貯留したCO<sub>2</sub>のモニタリング技術の研究開発を実施。

### 導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

- 安全にCO<sub>2</sub>を地下貯留するためのCO<sub>2</sub>貯留適地評価を実施
- CCS導入に関する国内ルールの整備
- 国際的な安全・管理基準の整備

### 技術ロードマップ



### 備考(海外動向、他の機関における取組)

- CCSプロジェクトは、炭素税等を背景にノルウェー等で数件が実施されている。
- CO<sub>2</sub>圧入によるEOR(石油増進回収法)は、米国を中心に10件程度進行中である。

# COP21以降における国内の動き

- パリ協定を踏まえた地球温暖化対策
  - 約束草案を踏まえた地球温暖化対策の取組み計画の策定
    - 2030年度中期目標の着実な達成(温室効果ガス2013年度比26%削減)
    - 長期的な目標を見据えた、地球温暖化対策と経済成長を両立させる革新的技術の開発を強化する取組みを進めていく必要性。

(2016年4月策定済み)

- **エネルギー環境イノベーション戦略** (内閣府総合科学技術・イノベーション会議)
  - 50年の長期的観点で推進する革新技術の研究開発体制
- エネルギー革新戦略 (METI )
  - 30年エネルギーミックス実現を見据えたもの

## I. 戦略の位置付け

- COP21で言及された「2℃目標」の実現には、世界の温室効果ガス排出量を2050年までに240億トンを程度に抑えることが必要。現在、世界全体で500億トンを程度排出されている温室効果ガスは、各国の約束草案の積上げをベースに試算すると、2030年に570億トンを程度と見込まれており、約300億トンの追加削減が必要。これには、世界全体で抜本的な排出削減のイノベーションを進めることが不可欠。
- 「Society 5.0」（超スマート社会）の到来によって、エネルギー・システム全体が最適化されることを前提に、2050年を見据え、削減ポテンシャル・インパクトが大きい有望な革新技術を特定。技術課題を抽出し、中長期的に開発を推進。  
⇒ 2℃目標達成に必要な約300億トン超のCO<sub>2</sub>削減量のうち、本戦略で数10億～100億トンの削減を期待。

※JAEAの試算を踏まえ、期待した技術分野において既に開発・実証が進んでいる技術の適用と合わせた数字

## II. 有望分野の特定

- ①これまでの延長線の技術ではなく、非連続的でインパクトの大きい革新的な技術
- ②大規模に導入することが可能で、大きな排出削減ポテンシャルが期待できる技術
- ③実用化まで中長期を要し、且つ産学官の総力を結集すべき技術
- ④日本が先導し得る技術、日本が優位性を発揮し得る技術

エネルギーシステム  
統合技術

- 革新技術を個別に開発・導入するだけでなく、ICTによりエネルギーの生産・流通・消費を互いにネットワーク化し、デマンドレスポンス（DR）を含めてシステム全体を最適化。AI、ビッグデータ、IoT等を活用。

システムを構成する  
コア技術

- 次世代パワエレ：電力損失の大幅削減と、新たなシステムの創造
- 革新的センサー：高耐環境性、超低電力、高寿命でメンテナンスフリー
- 多目的超電導：モーターや送電等への適用で、電力損失を大幅減

## 省エネルギー



- 1 革新的生産プロセス
  - 高温高压プロセスの無い、革新的な素材技術
  - > 分離膜や触媒を使い、20～50%の省エネ
- 2 超軽量・耐熱構造材料
  - 材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上
  - > 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用

## 蓄エネルギー



- 3 次世代蓄電池
  - リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池
  - > 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行
- 4 水素等製造・貯蔵・利用
  - 水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発
  - > CO<sub>2</sub>を出さずに水素等製造、水素で発電

## 創エネルギー



- 5 次世代太陽光発電
  - 新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電
  - > 発電効率2倍、基幹電源並みの価格
- 6 次世代地熱発電
  - 現在は利用困難な新しい地熱資源を利用
  - > 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大

7 CO<sub>2</sub>固定化・有効利用

- 排ガス等からCO<sub>2</sub>を分離回収し、化学品や炭化水素燃料の原料へ転換・利用
- > 分離回収エネルギー半減、CO<sub>2</sub>削減量や効率の格段の向上

## III. 研究開発体制の強化

【5】二酸化炭素固定化・有効利用  
(抜粋)

本戦略における**CO<sub>2</sub>分離・回収コストの低減に向けた取組**としては、研究開発を加速し、複数の分離法の組み合わせも含め、**最も効率の高いCO<sub>2</sub>分離・回収技術**を追求する。本技術は、CO<sub>2</sub>の大量処理が可能である二酸化炭素分離回収貯留（CCS）技術のコスト低減にも大きく寄与するものである。

国際共同研究開発を推進

・途上国、新興国への導入を見据え、国際標準化等の共同作業を模索

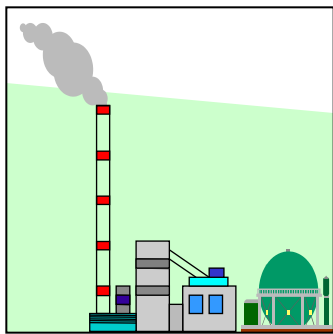
※ICEF(Innovation for Cool Earth Forum):イノベーションによる気候変動問題の解決を目指して我が国が主催する世界の最先端の議論と協力を促進する国際的プラットフォーム



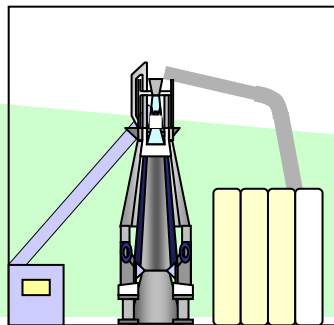
# 発生源に適したCO<sub>2</sub>分離・回収技術

## 発生源の規模・CO<sub>2</sub>ガス圧により最適な回収技術の開発

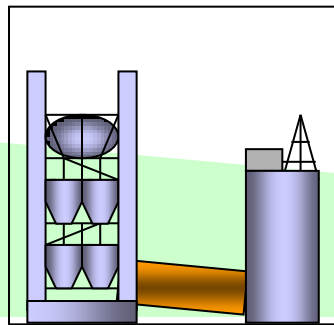
火力発電所



製鉄所(高炉等)



セメント工場



製油所等



国内CO<sub>2</sub>発生量  
(億トン/年)

3.7

1.8

0.5

0.1

CO<sub>2</sub>ガス圧力

低圧、高圧 (IGCC)

低圧

低圧

高圧、低圧

適用

大規模  
低圧・高圧

中規模  
低～高圧

大～中・小規模  
中・高圧

方法

化学吸収法  
化学吸収・物理吸収

吸着法  
固体吸収法

膜分離法

## 【 NEDO委託事業】

H25FY～

・化学吸収法 **COURSE50**

(高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

## 【 METI直轄委託事業】

H27FY～

・固体吸収法 **先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業**

(石炭火力発電からのCO<sub>2</sub>分離・回収)

H27FY～

・膜分離技術 **二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業**

(IGCCガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

## 【NEDO委託事業】

H25FY～

・化学吸収法 **COURSE50**

(高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

## 【METI直轄委託事業】

H27FY～

・固体吸収法 **先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業**

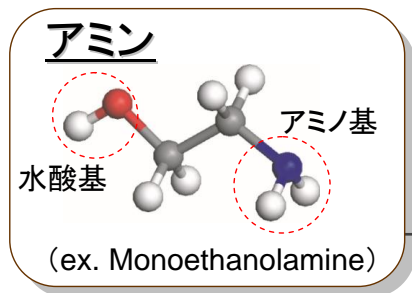
(石炭火力発電からのCO<sub>2</sub>分離・回収)

H27FY～

・膜分離法 **二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業**

(IGCCガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

# 高性能化学吸収液の開発



新日鉄住金  
エンジニアリング



2005

2010

2015

2020

プロジェクト

COCS

CO<sub>2</sub>分離回収エネルギー 半減

対象ガス

高炉ガス  
(20%\_CO<sub>2</sub>)

COURSE50\* Step1

COURSE50\* Step2

ESCAP®  
(室蘭)

ESCAP®  
(新居浜)

“環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50\*)”における回収技術

ESCAP®は、新日鉄住金エンジニアリング株式会社の省エネ型二酸化炭素回収設備の商業機  
RITEと新日鉄住金株式会社がCOURSE50\*で共同開発した化学吸収液が採用されている。  
環境調和型製鉄プロセス技術開発(COURSE50\*):国立研究開発法人NEDO殿委託事業



◎ 「環境調和型製鉄プロセス技術開発」第1段階第2ステップ  
(COURSE50 Phase1 Step2)を実施中(NEDO殿委託事業)

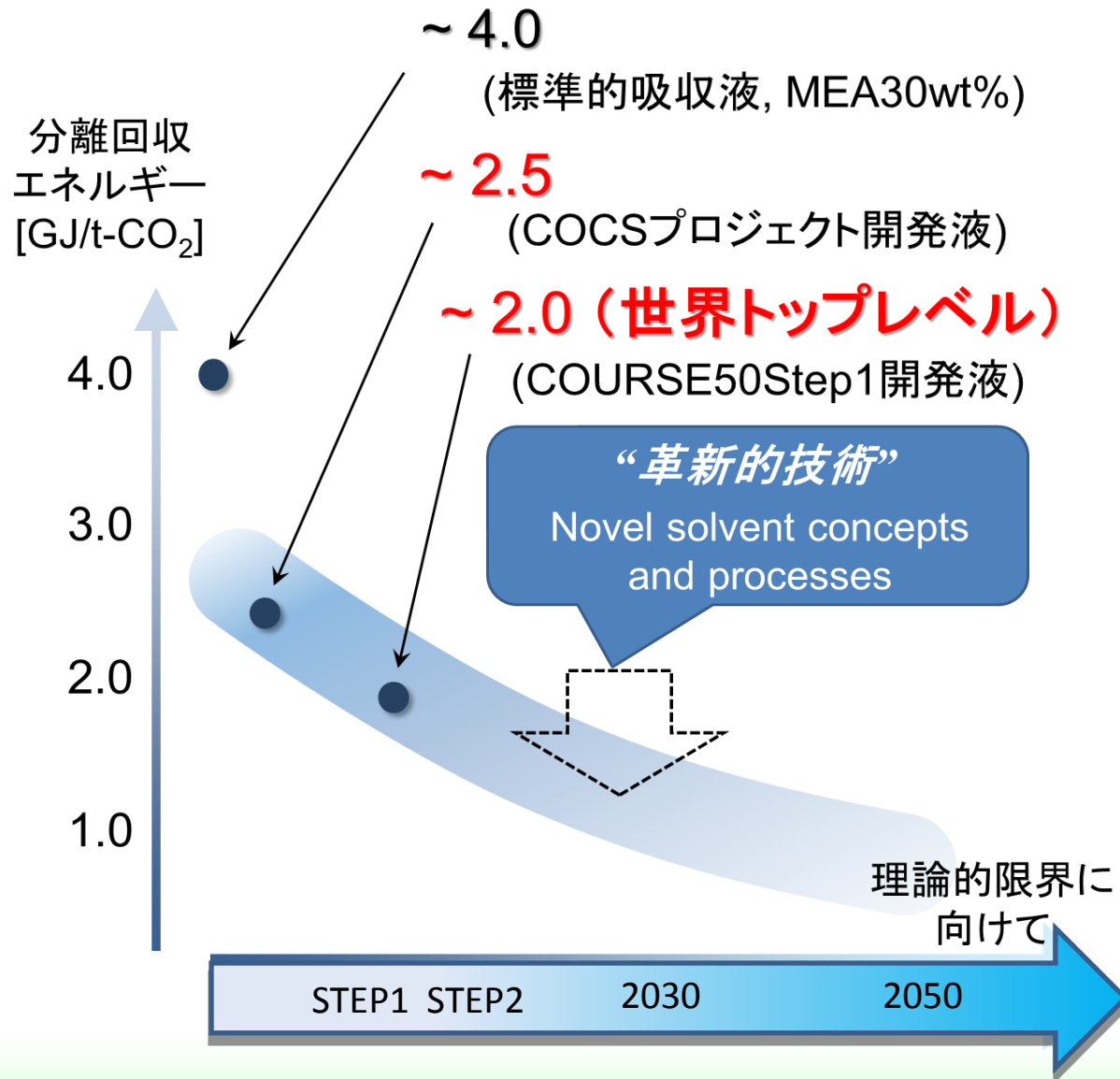
⇒ Step1に引き続き、新日鐵住金株式会社殿との共同実施  
(平成25年～平成29年度)

[目標] 高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収コスト2,000円/t-CO<sub>2</sub>以下  
を確実なものとする新規高性能吸収液の開発

[高性能吸収液の開発目標]

- ◎ 分離・回収エネルギーの更なる低減
- ◎ 再生温度の一層の低減
- ◎ CAT-LAB性能評価

# 高性能化学吸収液開発への挑戦



## 【 NEDO委託事業】

H25FY～

・化学吸収法 **COURSE50**

(高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

## 【 METI直轄委託事業】

H27FY～

・固体吸収法 **先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業**

(石炭火力発電からのCO<sub>2</sub>分離・回収)

H27FY～

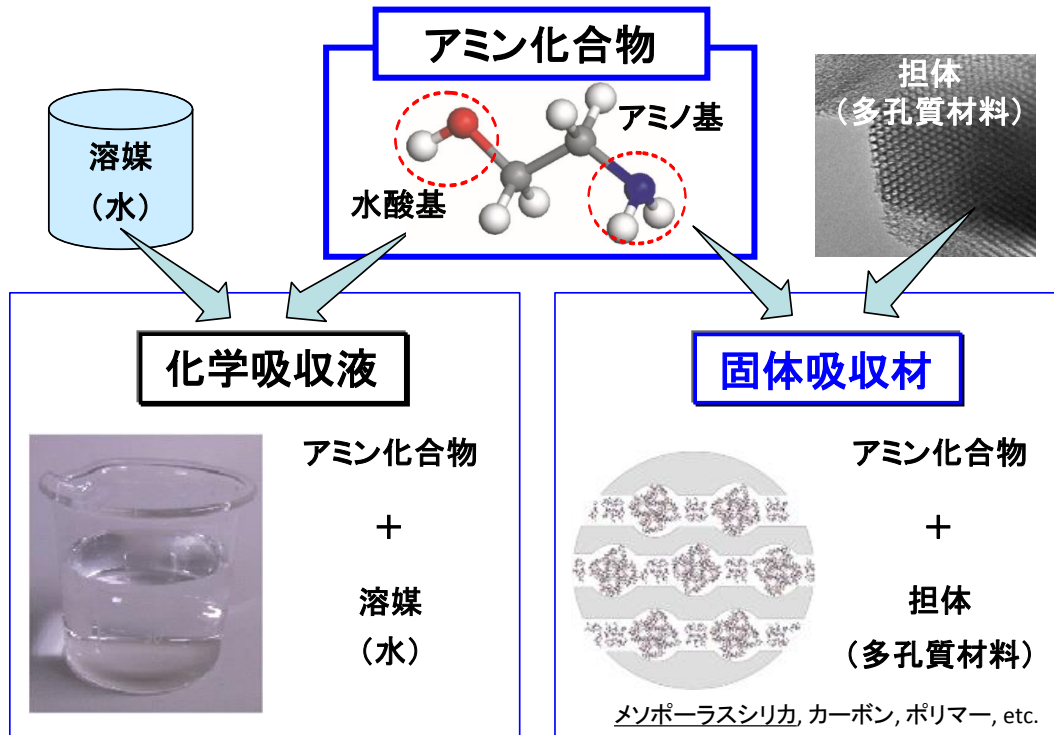
・膜分離法 **二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業**

(IGCCガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

# 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業

## 目標(実用化研究フェーズH27~31年度)

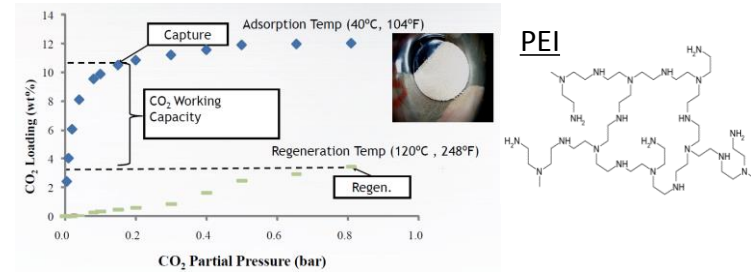
石炭火力発電所の燃焼排ガスに対してCO<sub>2</sub>分離回収エネルギー:< 1.5 GJ/t-CO<sub>2</sub>



再生時に比熱の大きな水を加熱する必要が無い  
ため、回収エネルギーの低減が可能

## 研究①:

ADA Environmental Solutions (US)



アミン含浸固体吸収材 (PEI担持シリカ)  
流動層-温度スイング (40°C/120°C)  
回収エネルギー: 2.8 GJ/t-CO<sub>2</sub>

## 研究②: KEPCO (韓国)



炭酸塩系固体吸収材  
流動層-温度スイング  
(70°C/140~200°C)  
回収エネルギー:  
5 GJ/t-CO<sub>2</sub>

# 固体吸収材：研究開発ロードマップ

基盤技術研究  
フェーズ

実用化研究  
フェーズ

実証・商用化  
フェーズ  
(補助事業)

2010~2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020~

(先進的二氧化碳素固体吸収材実用化研究開発事業)

大規模  
CCS

石炭火カプラント

+ 制度的仕組みの導入



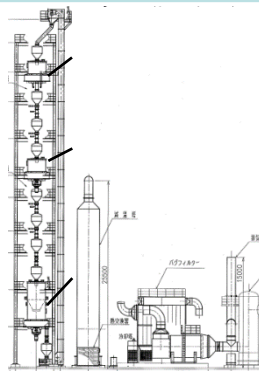
ラボ試験  
(数kg/day)

RITE  
CO<sub>2</sub>連続回収  
試験装置

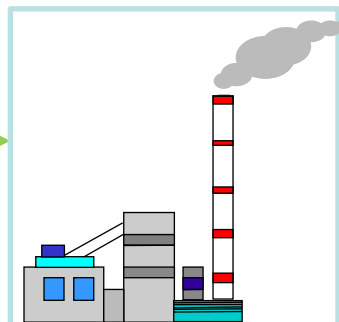


ベンチ試験  
(数t/day)

川崎重工業(株)  
KCC移動層  
ベンチ試験装置



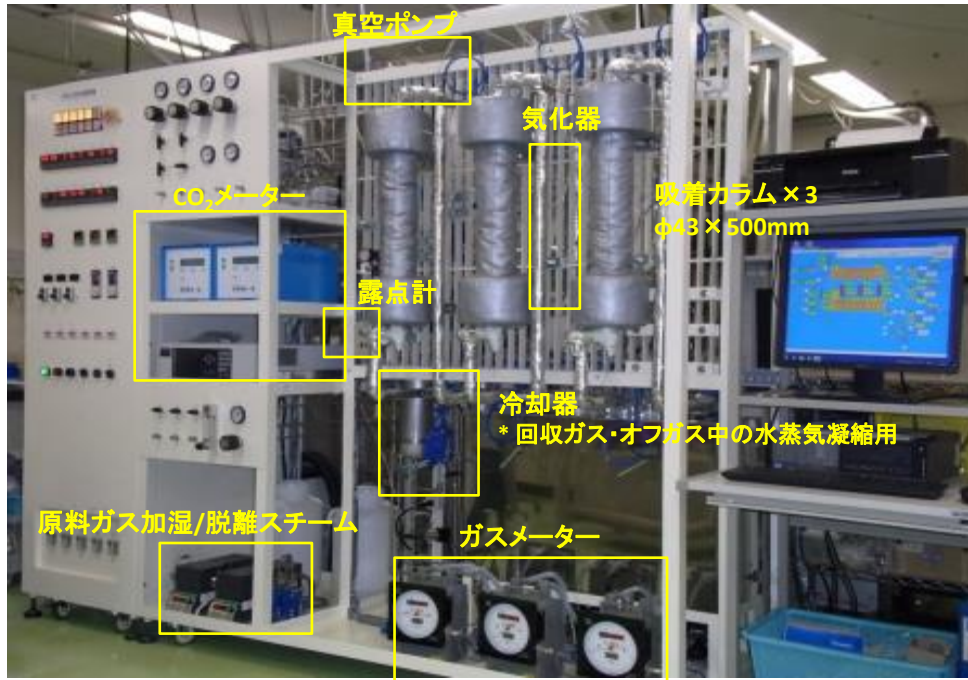
燃焼排ガス実ガス試験  
(数十t/day)



石炭ボイラ  
排ガスへ適用  
(3,000t/day)

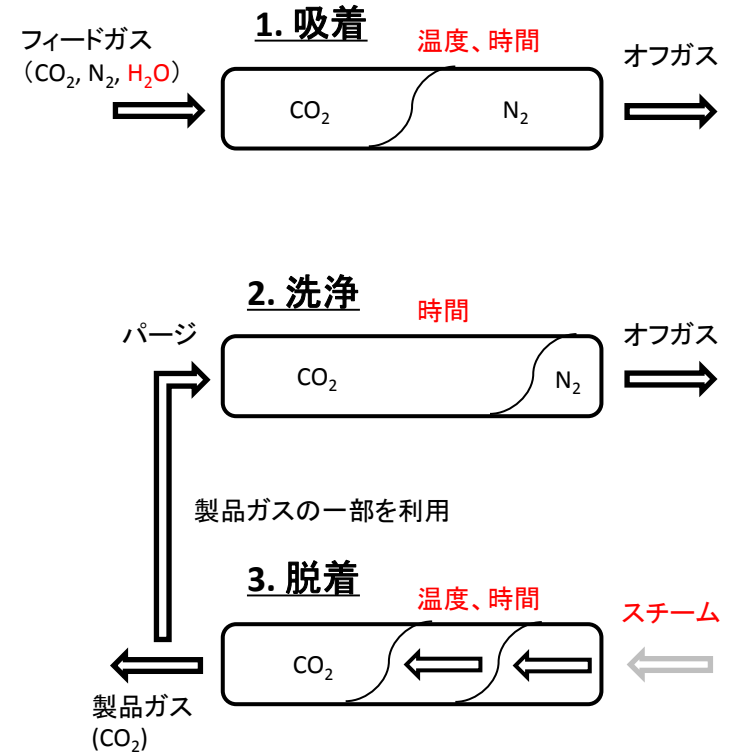
# ラボスケールCO<sub>2</sub>分離回収試験

## 回収試験装置外観



## 分離プロセス概要

\*赤字は回収性能に影響する操作因子

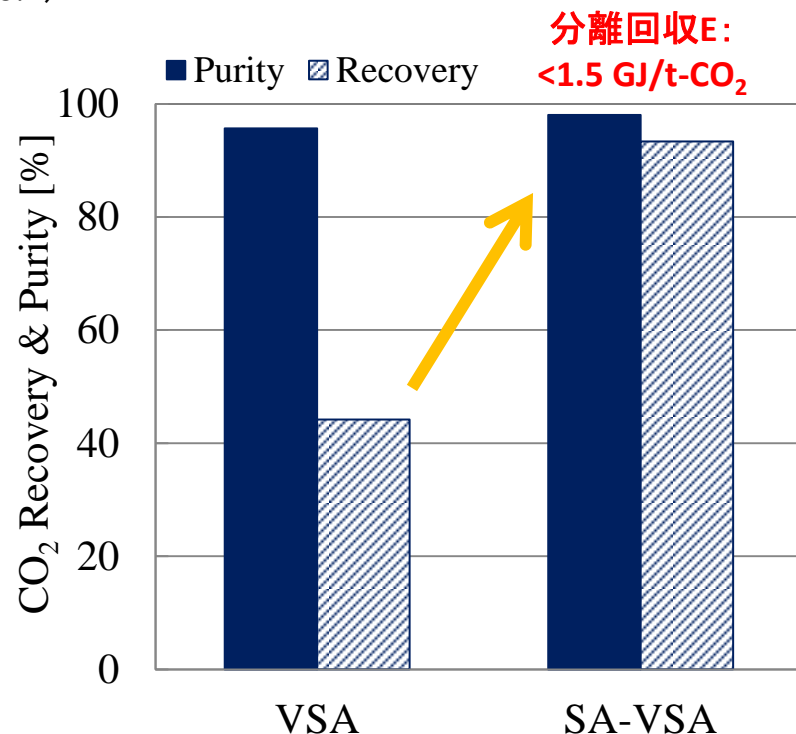
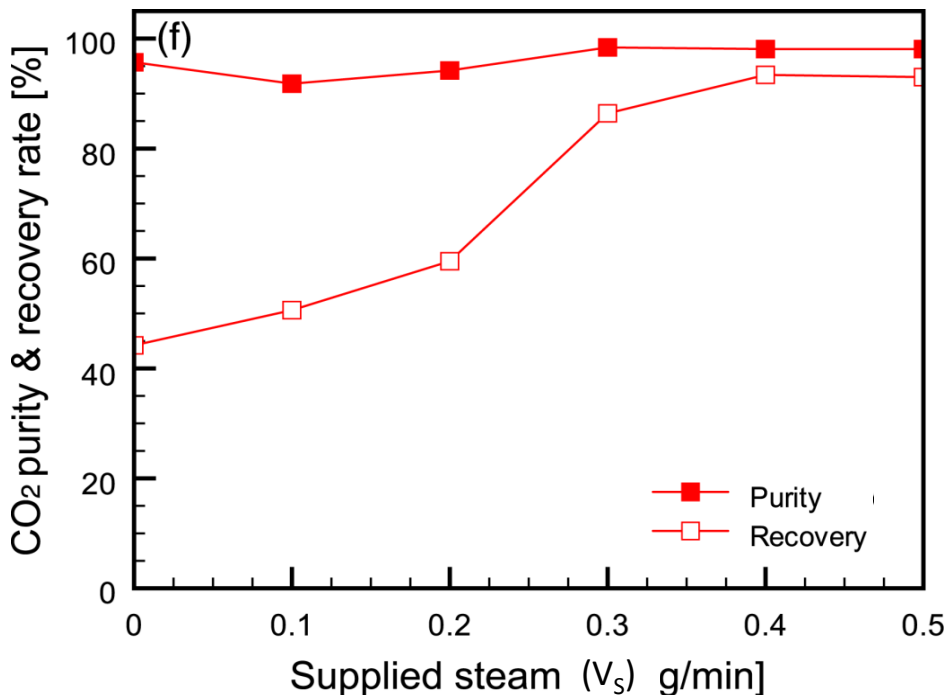


プロセス性能(回収純度・回収率)を評価し、操作条件を最適化

→減圧再生(VSA)と蒸気再生(SA-VSA)プロセスの比較

# 脱着工程におけるスチーム供給の効果

スチーム供給量 $v_s$ の影響 ( $T_{ad}:60^\circ\text{C}$ ,  $T_C:9\text{min}$ ,  $T_R:40\text{sec}$ , RH50%)



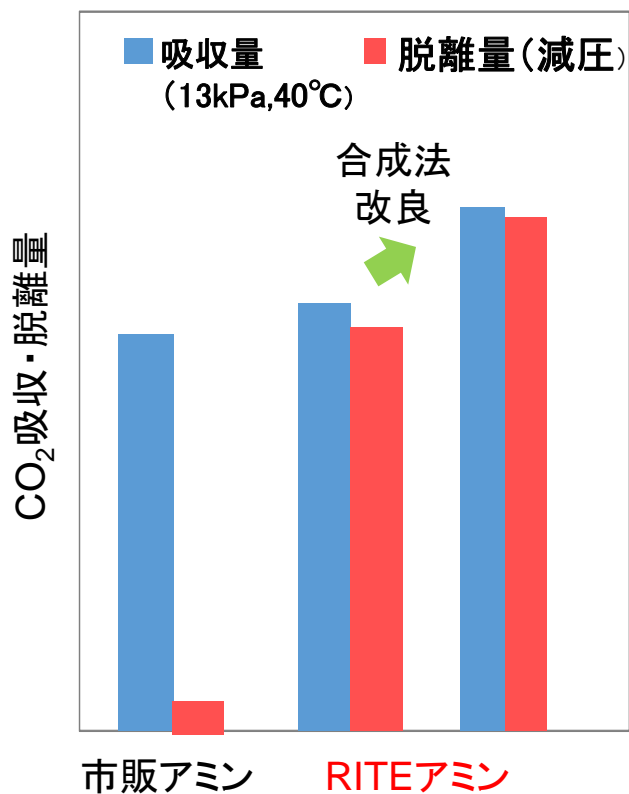
▶ スチームの供給量と共に回収性能が向上

→スチーム供給により脱着時のCO<sub>2</sub>分圧が減少したことに加え、水蒸気の吸着熱または水蒸気自体の熱エネルギーが供給されたことにより脱着が促進

▶ **回収純度>98%、回収率>93%**で湿潤模擬ガス(11%CO<sub>2</sub>)からCO<sub>2</sub>を回収(VSAの2倍)

→RITE固体吸収材が優れたCO<sub>2</sub>分離回収性能を有することを実証

# ベンチ試験に向けたRITEアミンのスケールアップ合成



ベンチ試験材  
組成の検討  
・  
スケール  
アップ合成



川崎重工業(株)  
KCC移動層  
ベンチ試験装置

RITEアミンのスケールアップ合成法を検討  
→今後ベンチ試験にて性能評価予定



# 成果まとめと今後の予定

## 成果

- ラボ試験においてRITE固体吸収材をSA-VSAプロセスに適用し、高分離回収性能(純度>98%、回収率>93%)かつ低分離回収エネルギー(1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>)が示された。また、高い水蒸気耐久性に関する実証された。移動層プロセスに適用することで、更なる回収エネルギーの低減が期待される。
- 民間企業と協力して、移動層システムの課題を抽出し、ベンチスケール燃焼排ガス試験方法を検討した。40 t-CO<sub>2</sub>/d規模のスケールアップ試験装置を概念設計した。
- ベンチ試験に向けてRITEアミンのスケールアップ合成手法を検討し、吸収分離性能向上とベンチ試験用材料調製方法を確立した。

## 今後の予定

- 民間企業(KHI)と協力したベンチ試験の実施、課題抽出
- 実ガス試験に向けた材料最適化、要素技術完成

## 【 NEDO委託事業】

H25FY～

・化学吸収法 **COURSE50**

(高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

## 【 METI直轄委託事業】

H27FY～

・固体吸収法 **先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業**

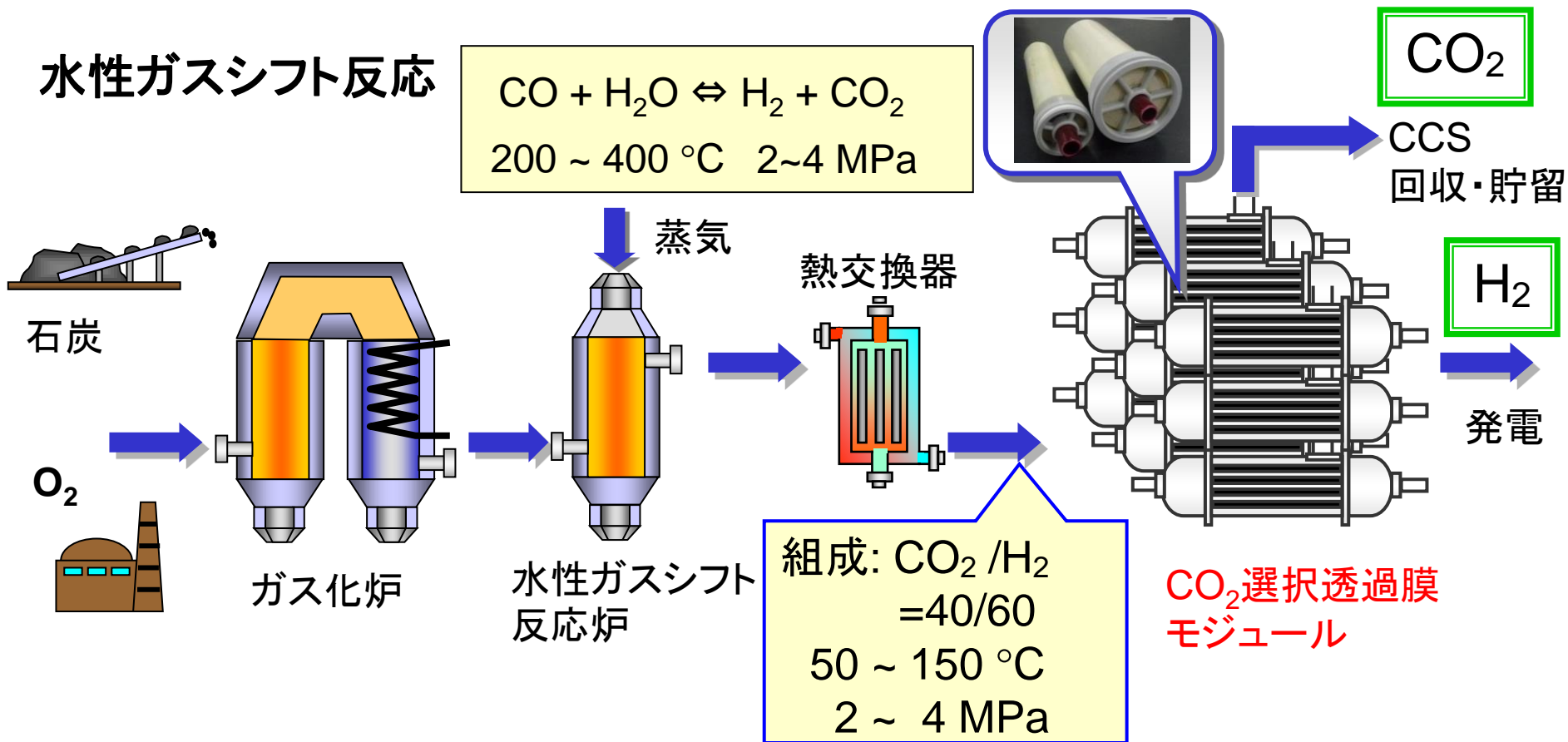
(石炭火力発電からのCO<sub>2</sub>分離・回収)

H27FY～

・膜分離法 **二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業**

(IGCCガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

# 次世代型分離膜モジュールの開発



## 研究開発体制

### 次世代型膜モジュール技術研究組合

～H28年3月 (株)クラレ、日東電工(株)、  
新日鉄住金エンジニアリング(株)、住友化学(株)、RITE  
H28年4月～ 住友化学(株)、RITE

### 二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業(METI)

\* 二酸化炭素回収技術高度化研究事業(H23～H26)

目標 回収コスト 1,500円/t-CO<sub>2</sub>を実現する

CO<sub>2</sub>選択透過(分子ゲート)膜モジュールの基礎研究

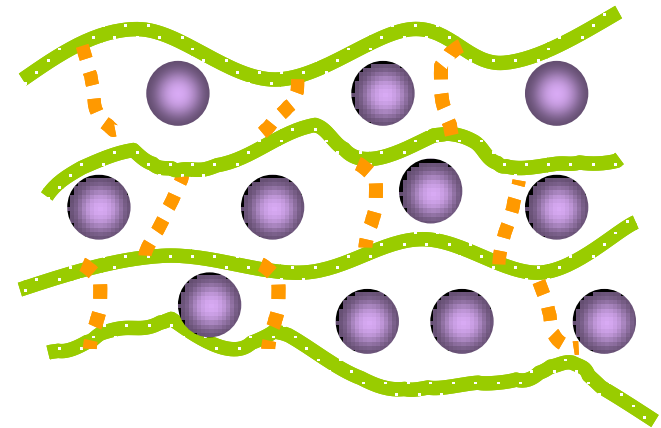
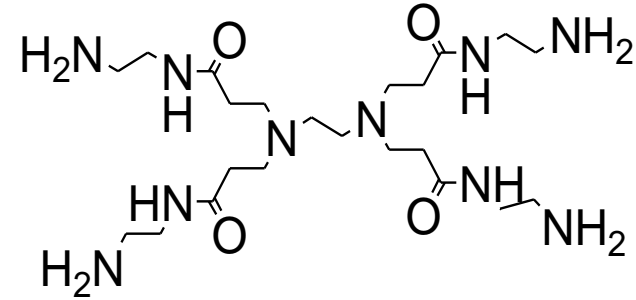
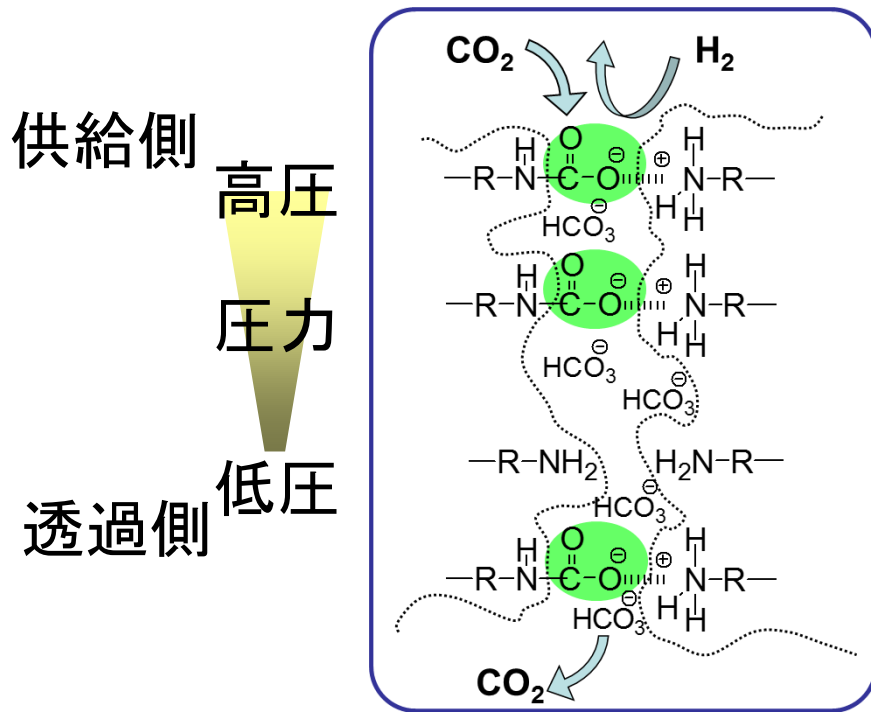
\* 二酸化炭素回収技術実用化研究事業(H27～H32予定)

実用化研究(小型ガス化炉による実ガス試験)

目標 IGCC+CO<sub>2</sub>回収プラント運転

# CO<sub>2</sub>分子ゲート膜とは

## CO<sub>2</sub>分子ゲート機能を有する革新的なCO<sub>2</sub>分離膜



- PVA
- - - Crosslinker
- Dendrimer

### CO<sub>2</sub>分子ゲート膜

## CO<sub>2</sub>分離膜



Membrane1  
(膜面積: 1.2 cm<sup>2</sup>)



Membrane2  
(膜面積: 58 cm<sup>2</sup>)



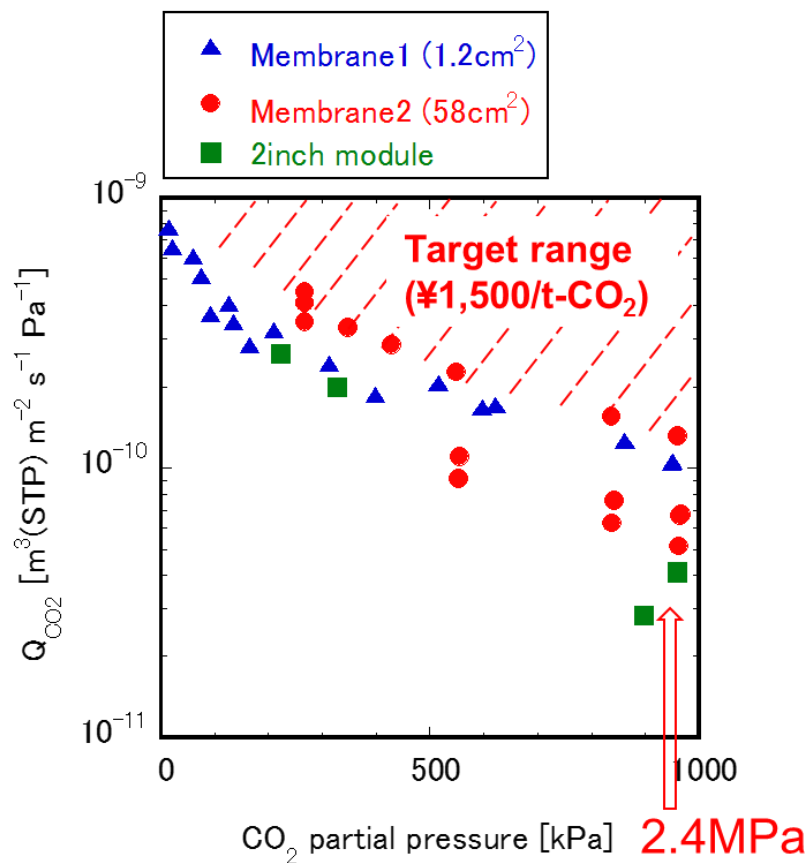
## 膜エレメント

Spiral membrane elements

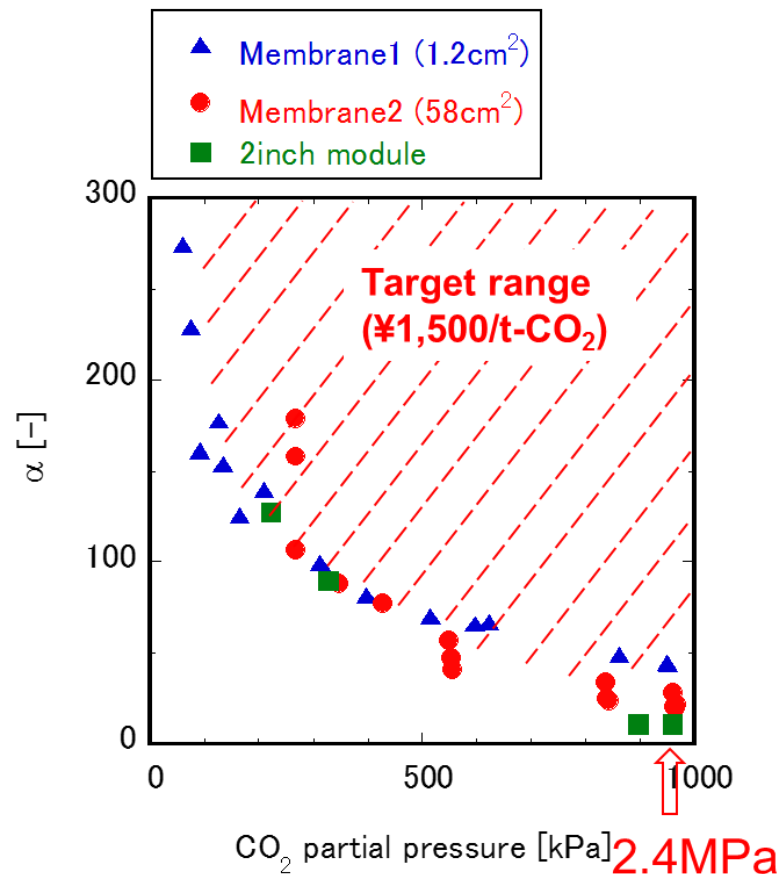
(Left: 2inch, Right: 4inch;  
L=200mm)

# 分子ゲート膜のCO<sub>2</sub>分離性能

透過速度



分離係数

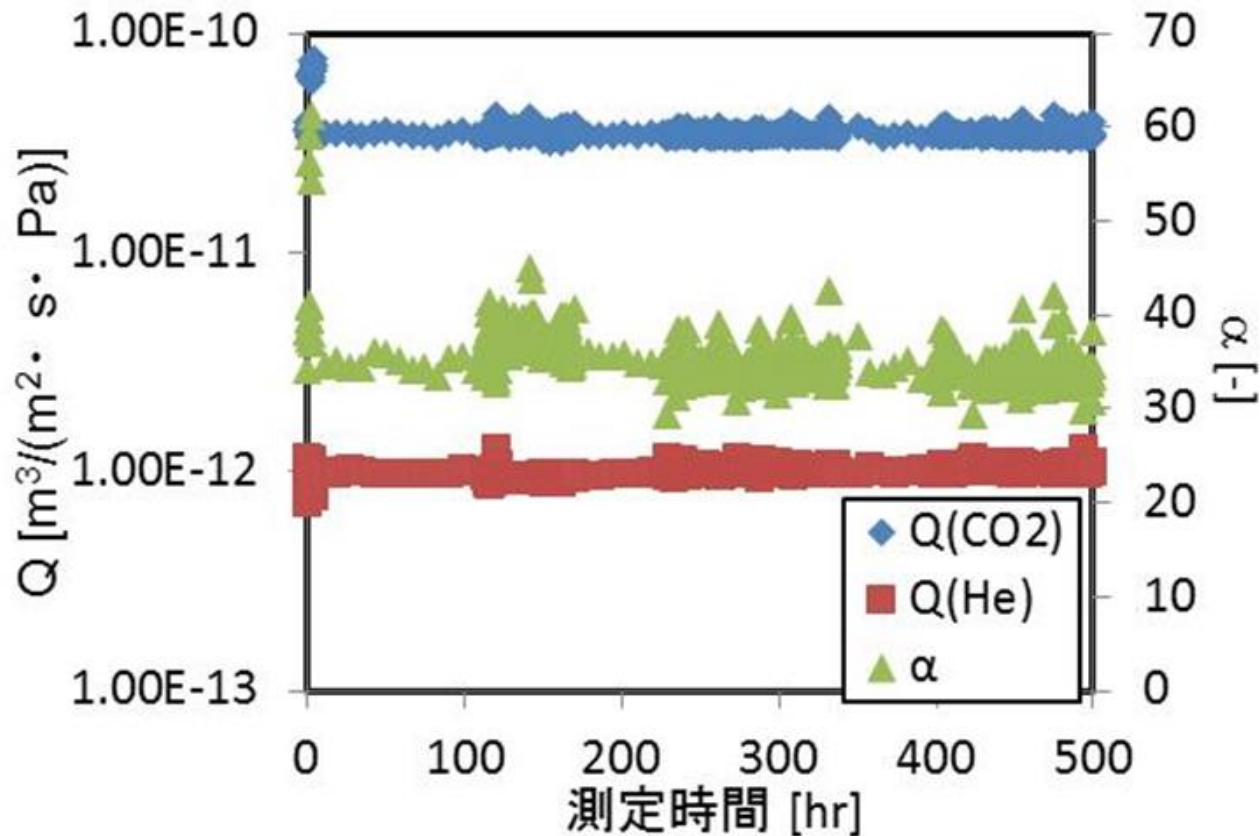


模擬ガス、ラボスケールで、目標性能を達成

→ 実用化に向けた膜エレメント開発と実ガス等の実用化試験

\*操作条件: 85°C, 供給ガス: 0.7~2.4MPaA; 透過側: 大気圧(Ar sweep gas).

# 耐圧性、耐久性の改良



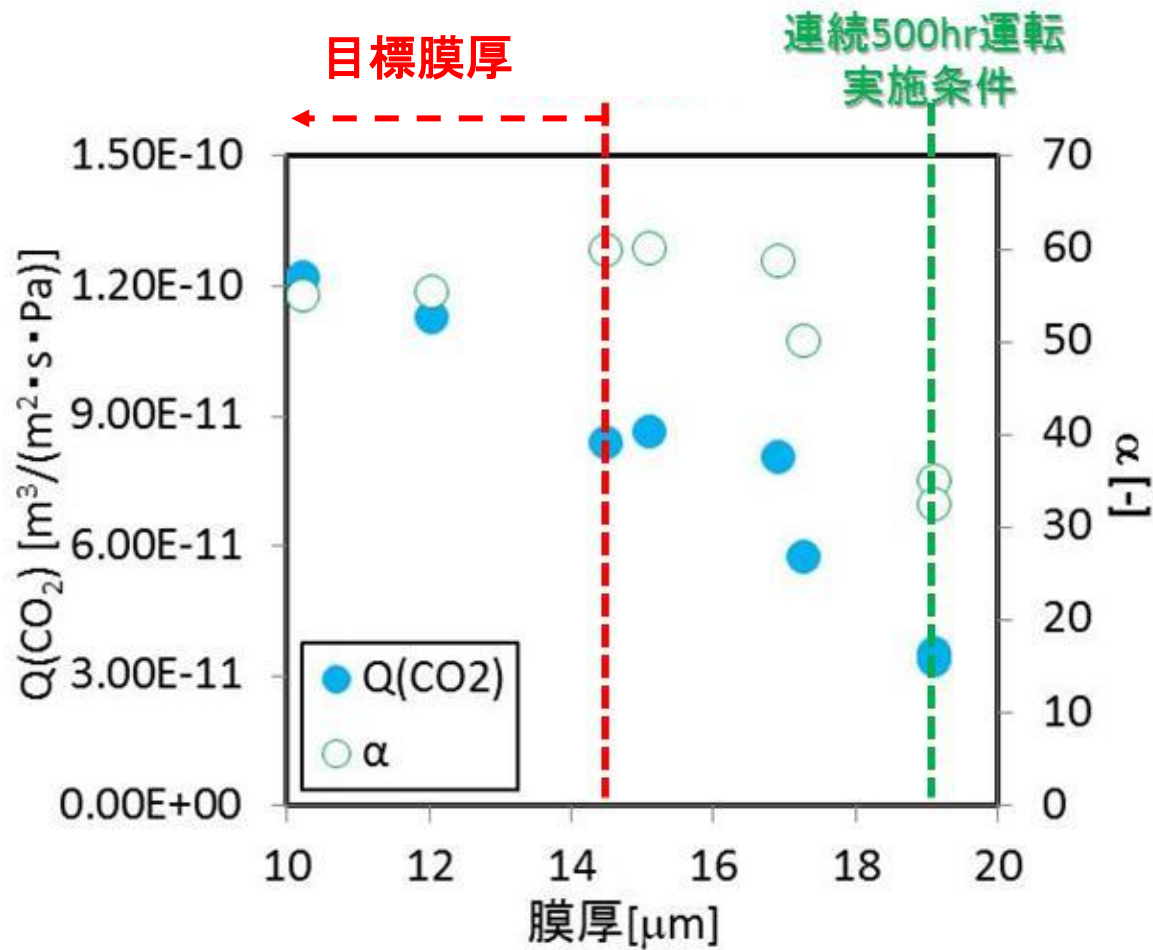
耐圧性、耐久性向上のための高分子マトリクス改良

- ・耐加水分解性
- ・膜の機械的強度(硬さ)の制御

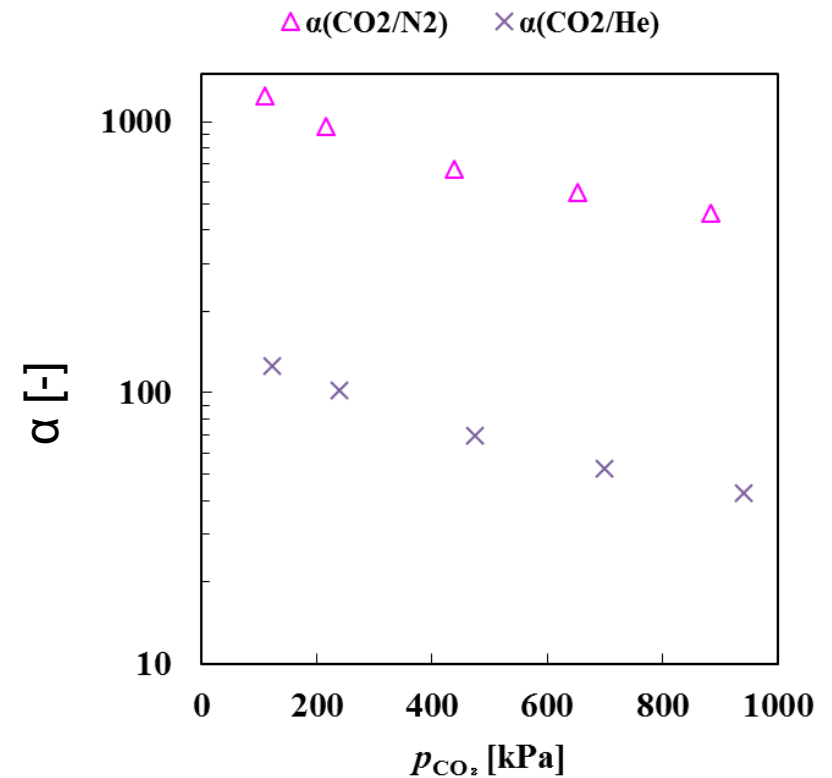
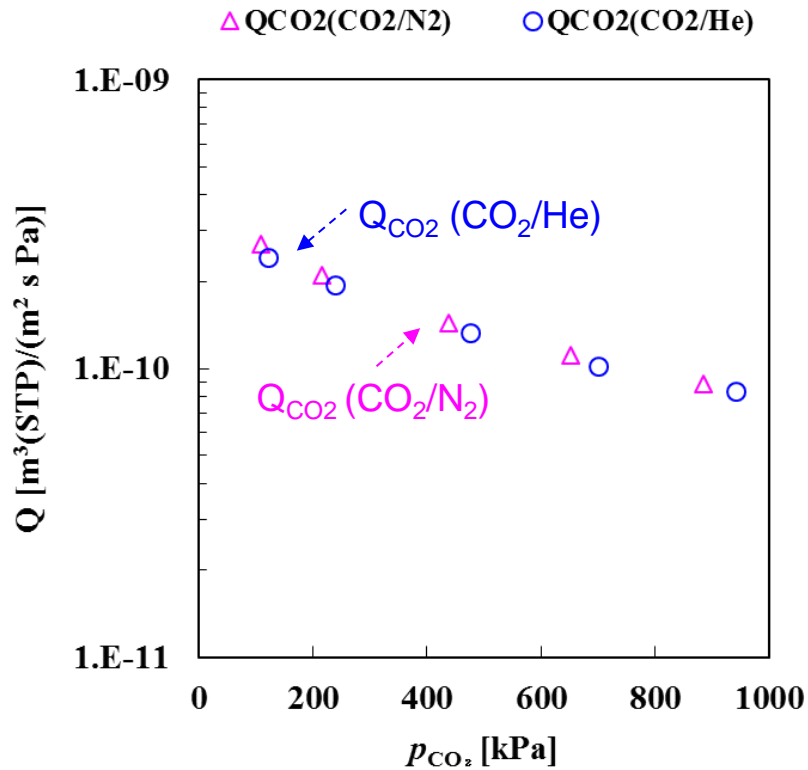
測定条件: 温度:85°C、供給側:2.4 MPa、透過側大気圧(Arスweep)、  
供給ガス組成:CO<sub>2</sub>/He=40/60(vol./vol.)、湿度:60%RH



# 耐久性を改良した膜の分離性能の膜厚依存性

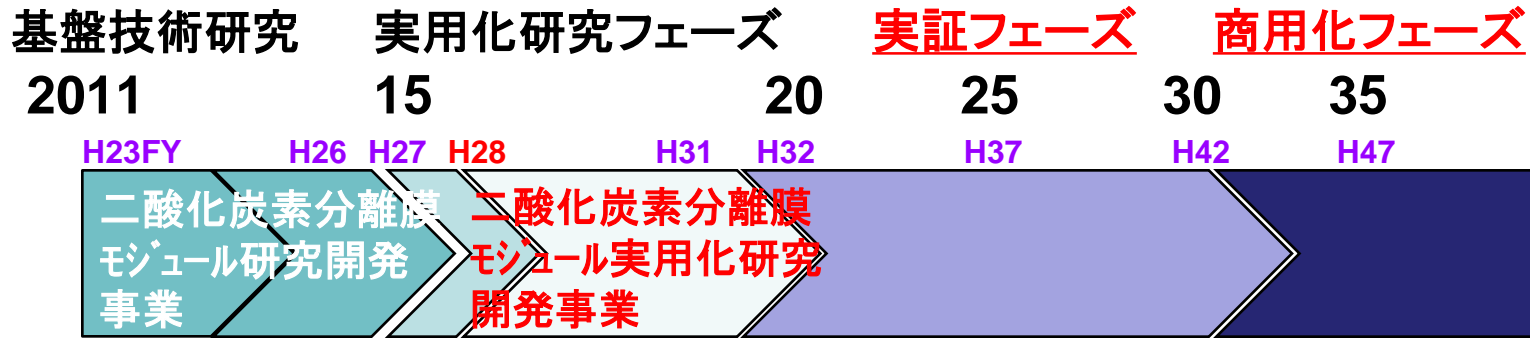


# CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>分離性能とCO<sub>2</sub>/He分離性能の比較



操作条件： 温度: 85°C, CO<sub>2</sub>/He=40/60~5/95%, 湿度: RH60%,  
供給側全圧: 2.4 MPa ; 透過側全圧: 大気圧(Ar sweep gas).

# CO<sub>2</sub>分離膜実用化に向けたロードマップ



## 研究・開発体制

次世代型膜モジュール  
技術研究組合

+ IGCC関係企業との連携  
(電力会社、エンジニアリング会社等)

2) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業 (H27FY~)  
(計画・課題)

- 実ガス等の実用化試験による技術課題の抽出、解決
- 実用化段階の分離・回収コスト1,500円/t- CO<sub>2</sub>以下の達成
- 実機膜モジュールシステムの開発

実証フェーズ・商用化フェーズにおける課題

- IGCC実ガス、実機での長期試験、大規模な実証試験による実績の蓄積
- 膜、モジュールの商業生産プロセスの検討、膜大面積化、量産体制の構築
- CO<sub>2</sub>分離膜プロセス採用に向けた活動

## 1. 化学吸収法（高炉ガス）

- ・熱移送の効率化と併せ1.6 GJ/t-CO<sub>2</sub>の達成と共に、目標である分離回収コスト2000円以下/t-CO<sub>2</sub>達成の目途を得た。
- ・今後は、液組成の最適化と最適プロセスの提案を行う。

## 2. 固体吸収法（石炭火力ガス）

- ・低温（減圧）脱離性能に優れた固体吸収材を用いたラボスケール連続回収試験を実施し、再生エネルギー 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成
- ・今後は、民間企業との連携によるスケールアップ、実ガス試験を行う。

## 3. CO<sub>2</sub>分離膜（IGCCガス）

- ・前プロジェクトで確立した基盤技術を元に、実用化のために必要な、耐圧性、耐久性等のプロセス適合性、膜エレメント製作等に関する技術課題を抽出し、その解決を行っている。
- ・石炭ガス化実ガスによる試験に向け、エレメントの製作とモジュールの設計、製作準備を進めている。

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