

グローバルCCSインスティチュート  
日本事務所主催  
第35回勉強会

(2020年8月26日)

# RITEにおけるCO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発 ～これまでの成果と今後の取組み

後藤 和也

(公財) 地球環境産業技術研究機構  
化学研究グループ



# 自己紹介

後藤 和也

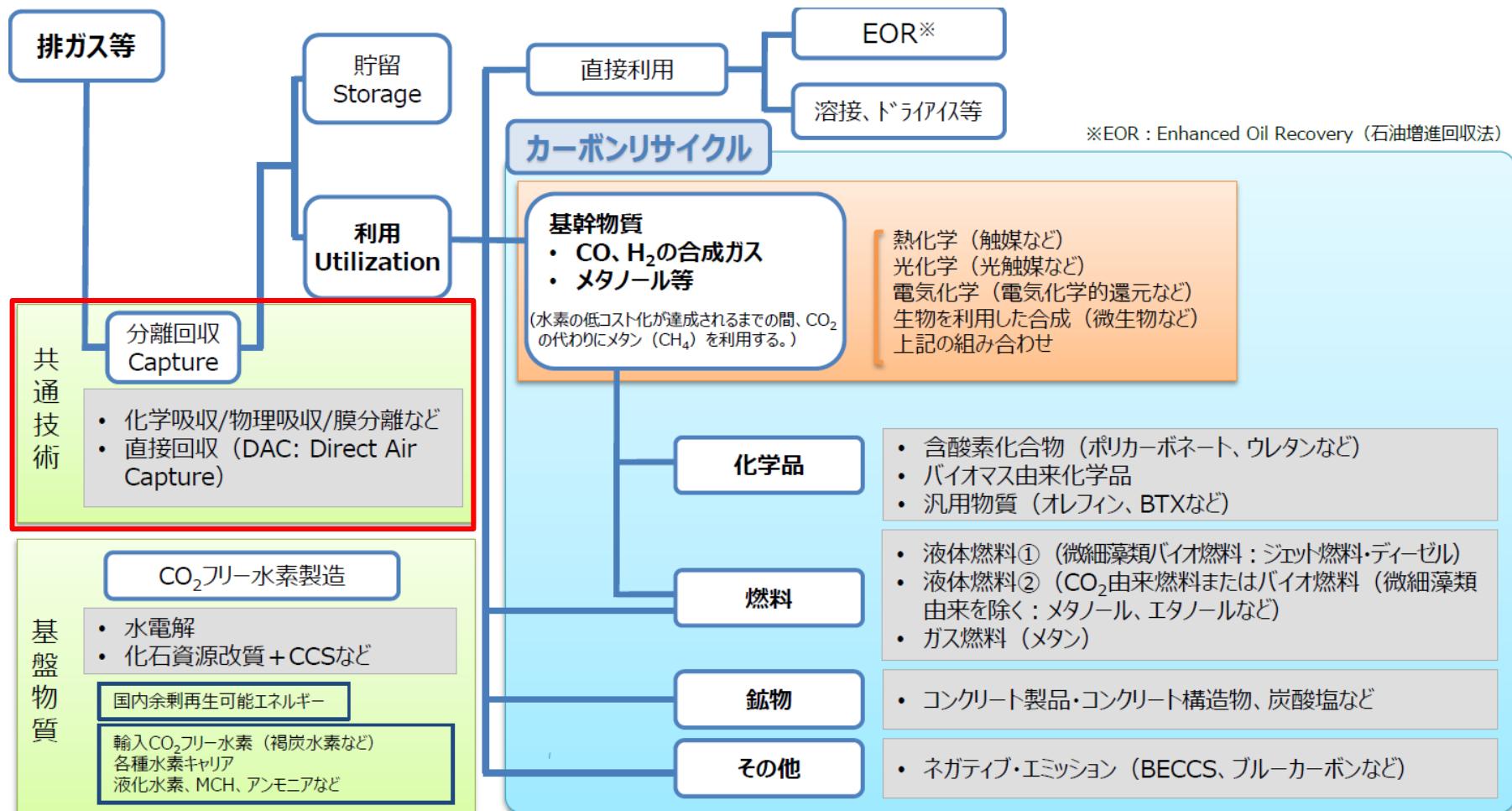
(公財) 地球環境産業技術研究機構 化学研究グループ 主任研究員

- 2005年～ RITE (民間に6年間勤務後)
- 関係プロジェクト
  - ✓ COCS  
平成17-20年度 低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発
  - ✓ COURSE50  
平成20-29年度 環境調和型製鉄プロセス技術開発 ( $\text{CO}_2$ 分離回収技術開発)  
平成30年度-現在 環境調和型プロセス技術の開発 ( $\text{CO}_2$ 分離回収技術開発)
  - ✓ 固体吸収材  
平成22-26年度 二酸化炭素回収技術高度化事業 (二酸化炭素固体吸収材等研究開発)  
平成27-令和元年度 CCS研究開発・実証関連事業／ $\text{CO}_2$ 分離回収技術の研究開発  
(先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発)
- その他
  - ✓ ISO/TC265 “Carbon Dioxide Capture, Transportation, and Geological Storage”  
国内審議委員会回収WG 事務局  
TC265 WG1(Capture) Expert

# 内容

- イントロ（スライド4枚）
- RITEにおける研究開発
  - 1. 化学吸収法
  - 2. 固体吸収材
  - 3. 膜分離法
- まとめ

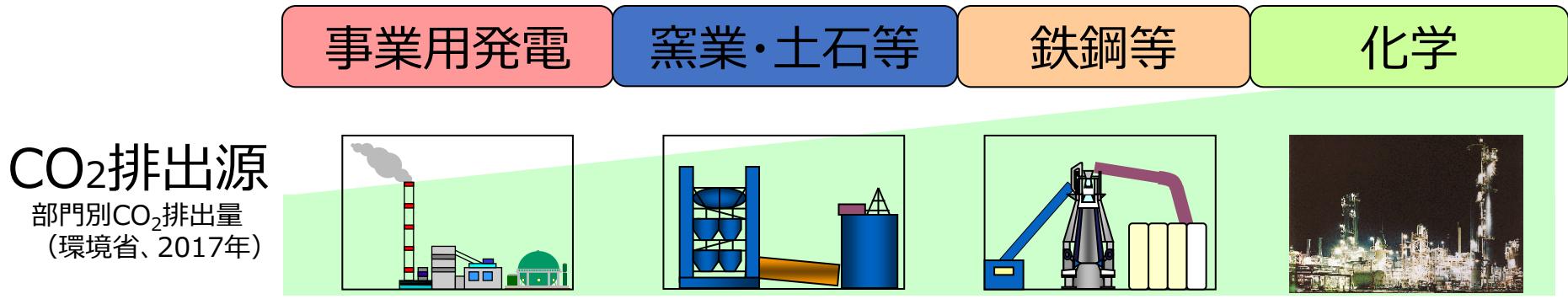
# CCUS／カーボンリサイクル



カテゴリー Category	CO <sub>2</sub> 変換後の物質 Substance after CO <sub>2</sub> conversion	現状※1 Status※1	課題 Issues	既存の同等製品の価格※1 Price of existing equivalent products※1	2030年 2030	2050年以降 2050
共通技術	CO <sub>2</sub> 分離回収	一部実用化(化学吸收法)、その他手法は研究・実証段階 【価格例】4000円程度/t-CO <sub>2</sub> (化学吸收法)	所要エネルギーの削減 など	—	1000~2000円台/t-CO <sub>2</sub> (化学吸收、固体吸収、物理吸収、膜分離)	1000円以下/t-CO <sub>2</sub>

出典： カーボンリサイクル技術ロードマップ（令和元年6月経済産業省）

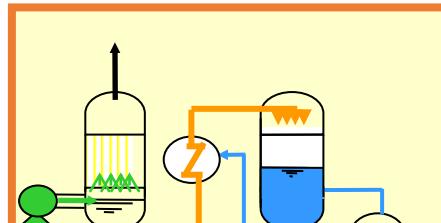
# CO<sub>2</sub>排出源と分離回収技術



CO<sub>2</sub>排出源  
部門別CO<sub>2</sub>排出量  
(環境省、2017年)

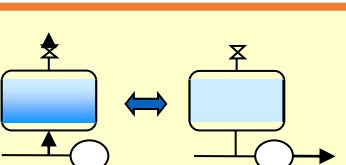
年間排出量	4.5億t-CO <sub>2</sub>	0.8億t-CO <sub>2</sub>	1.6億t-CO <sub>2</sub>	0.8億t-CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 濃度	6%-14%	20%	25%	30-50%

## 分離回収



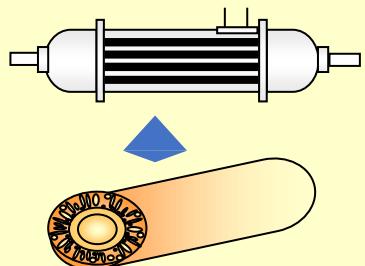
### 液体の技術

- 物理吸収液
- 化学吸収液
- アミン水溶液



### 固体の技術

- 固体吸収材
- 吸着剤
- ゼオライト

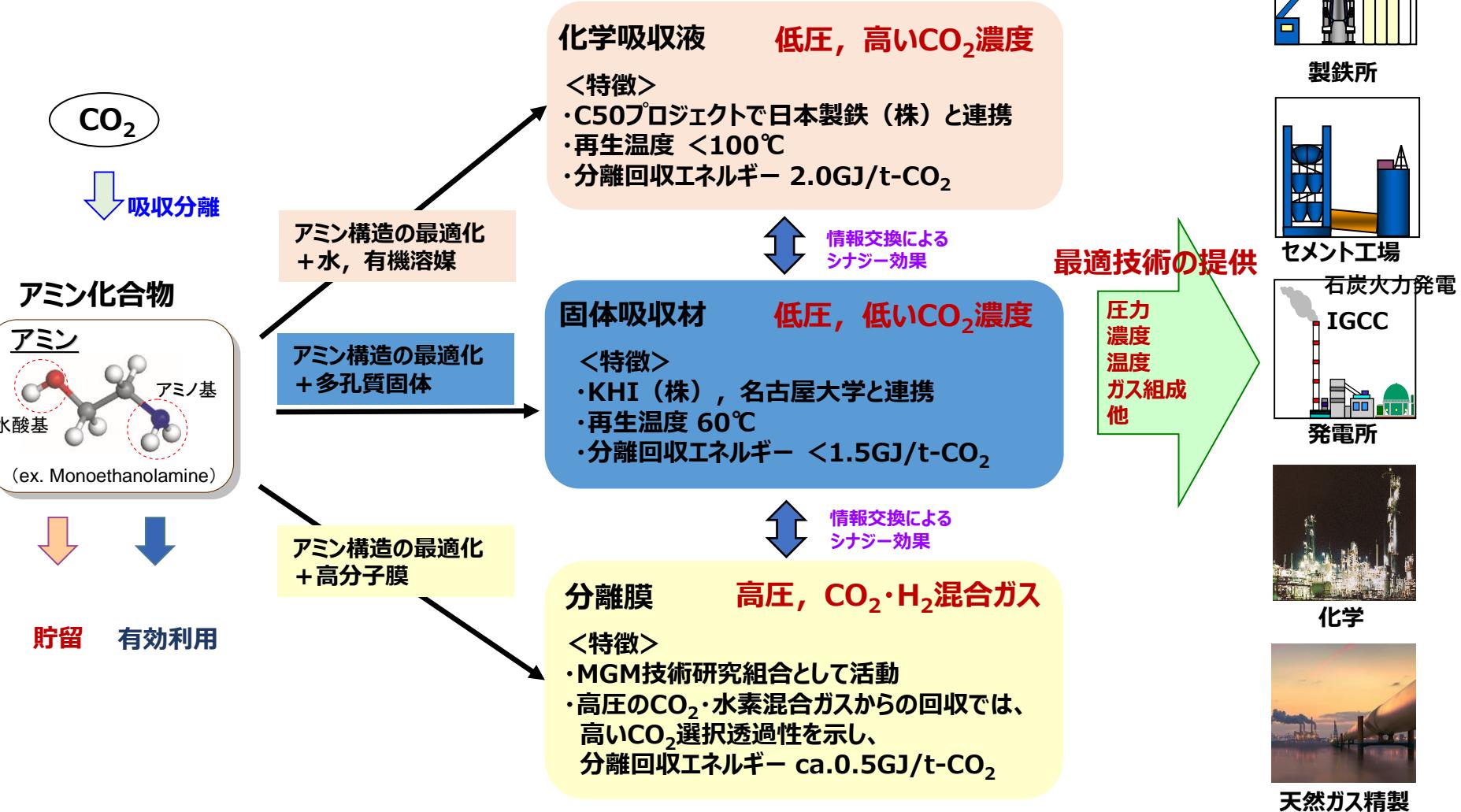


### 膜分離技術

- 多孔膜
- ゼオライト
- 促進輸送膜

# RITEの取組み（アミン化合物を中心として）

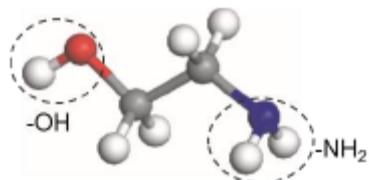
地球温暖化防止 → 発生源に適したCO<sub>2</sub>分離・回収技術



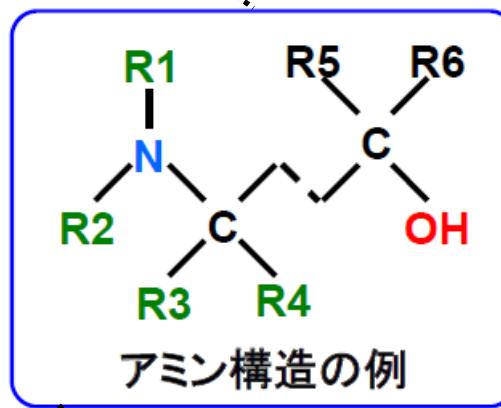
# (参考) アミン化合物：官能基と分子設計

## アミノ基: N

- ・電子密度（電子供与性）
- ・CO<sub>2</sub>との反応（カーバメートアニオンまたはバイカルボネートアニオン生成）
- ・プロトン親和性（プロトン化アンモニウムカチオン生成）
- ・1, 2, 3級アミン、アミノ基数



例 モノエタノールアミン



アミン構造の例

## ヒドロキシ基: OH

- ・電子吸引性（アミノ基の活性化）
- ・親水性（水への溶解性）
- ・水素結合生成（揮発性）

## アルキル基: R1, R2, R3, R4

- ・立体障害（カルバメート生成）
- ・CO<sub>2</sub>放散性
- ・反応熱

# CO<sub>2</sub>分離回収技術 (RITEの研究開発)

# RITEにおける研究開発

## 【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/水素還元活用プロセス技術開発  
(フェーズⅡ－STEP1)/CO<sub>2</sub>分離回収技術開発/高性能吸収液の開発  
(高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

体制: 日本製鉄(株) →(再委託)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/CO<sub>2</sub>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

(石炭火力発電所からのCO<sub>2</sub>分離・回収)

体制: RITE →(再委託)川崎重工業(株)(移動層)、TUAT(シミュレーション)

FY2020～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

(石炭火力発電所でのパイロットスケール試験) KHI/RITE-名古屋大学

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

CCS研究開発・実証関連事業/CO<sub>2</sub>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ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

体制: MGM技術研究組合

# COURSE50成果の産業利用

COURSE50 Phase I (~2012)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CO<sub>2</sub>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)



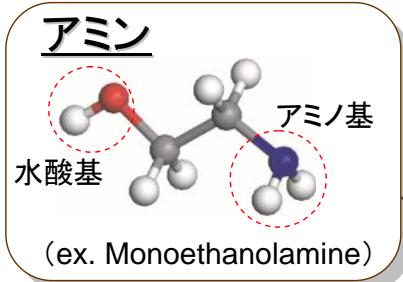
商業化2号機  
(住友共同電力新居浜西火力発電所内)

[www.eng.nssmc.com](http://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 <sub>2</sub> 用途	産業用CO <sub>2</sub> 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CO<sub>2</sub>分離回収技術として  
**日本初の商業設備**

# 吸収液の研究開発プロジェクト



日鉄  
エンジニアリング(株)

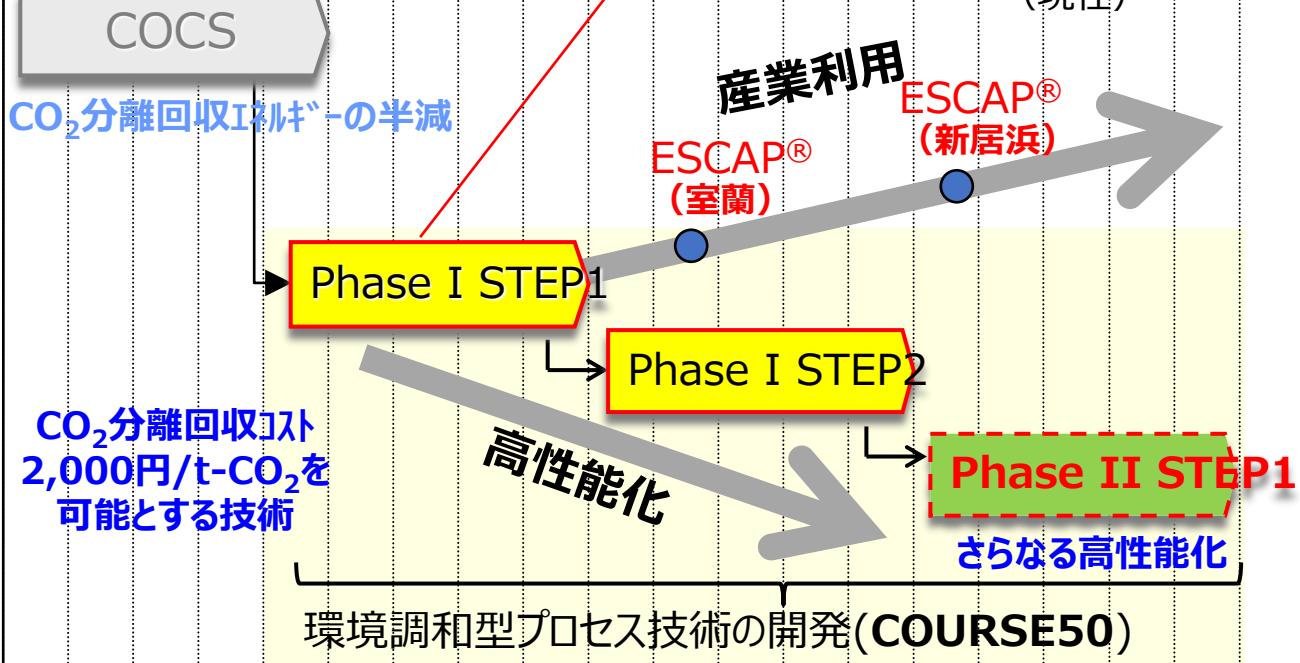


2005 2010 2015 2020  
(現在)

## プロジェクト

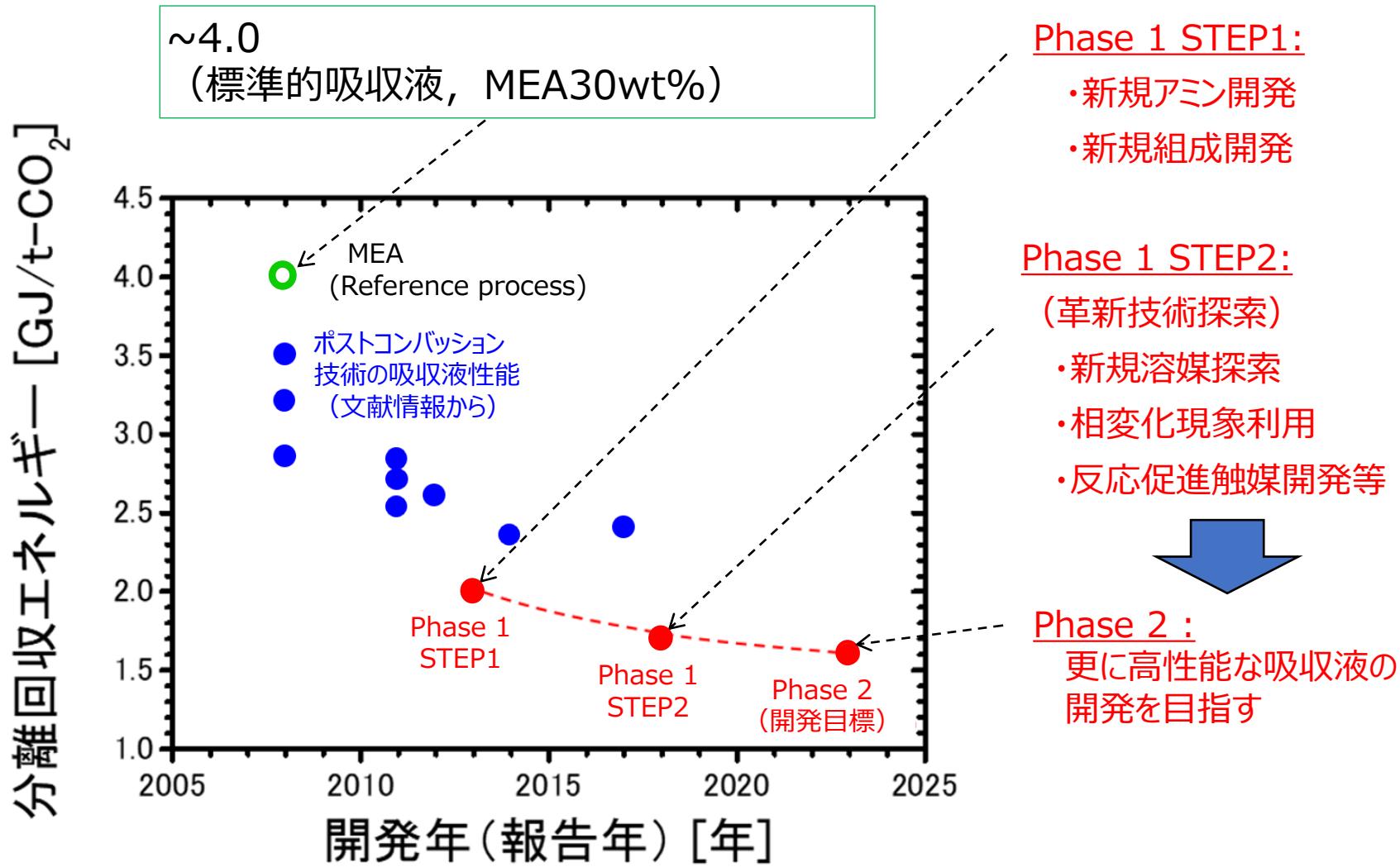
## 対象ガス

高炉ガス  
(22%-CO<sub>2</sub>)



※ESCAP® : 日鉄エンジニアリング(株)の省エネ型二酸化炭素回収設備の商用機

# 高性能吸収液の開発（アプローチと成果）



⇒ RITEは高い研究開発力を有する

# RITEにおけるCO<sub>2</sub>分離・回収技術

## 【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/水素還元活用プロセス技術開発  
(フェーズⅡ－STEP1)/CO<sub>2</sub>分離回収技術開発/高性能吸収液の開発  
(高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)  
体制: 日本製鉄(株) →(再委託)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/CO<sub>2</sub>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  
(石炭火力発電所からのCO<sub>2</sub>分離・回収)

体制: RITE →(再委託)川崎重工業(株)(移動層)、TUAT(シミュレーション)

FY2020～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  
(石炭火力発電所でのパイロットスケール試験) KHI/RITE-名古屋大学

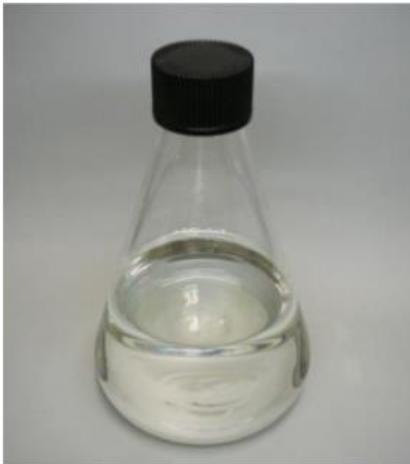
## 【膜分離法】FY2015～2018(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

CCS研究開発・実証関連事業/CO<sub>2</sub>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ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

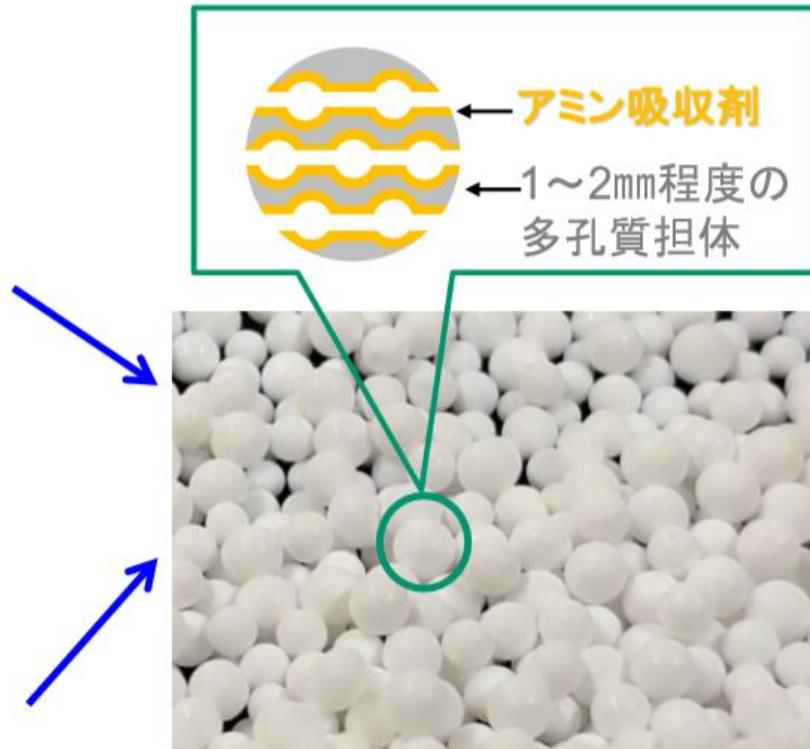
体制: MGM技術研究組合

# 固体吸収材

多孔質担体



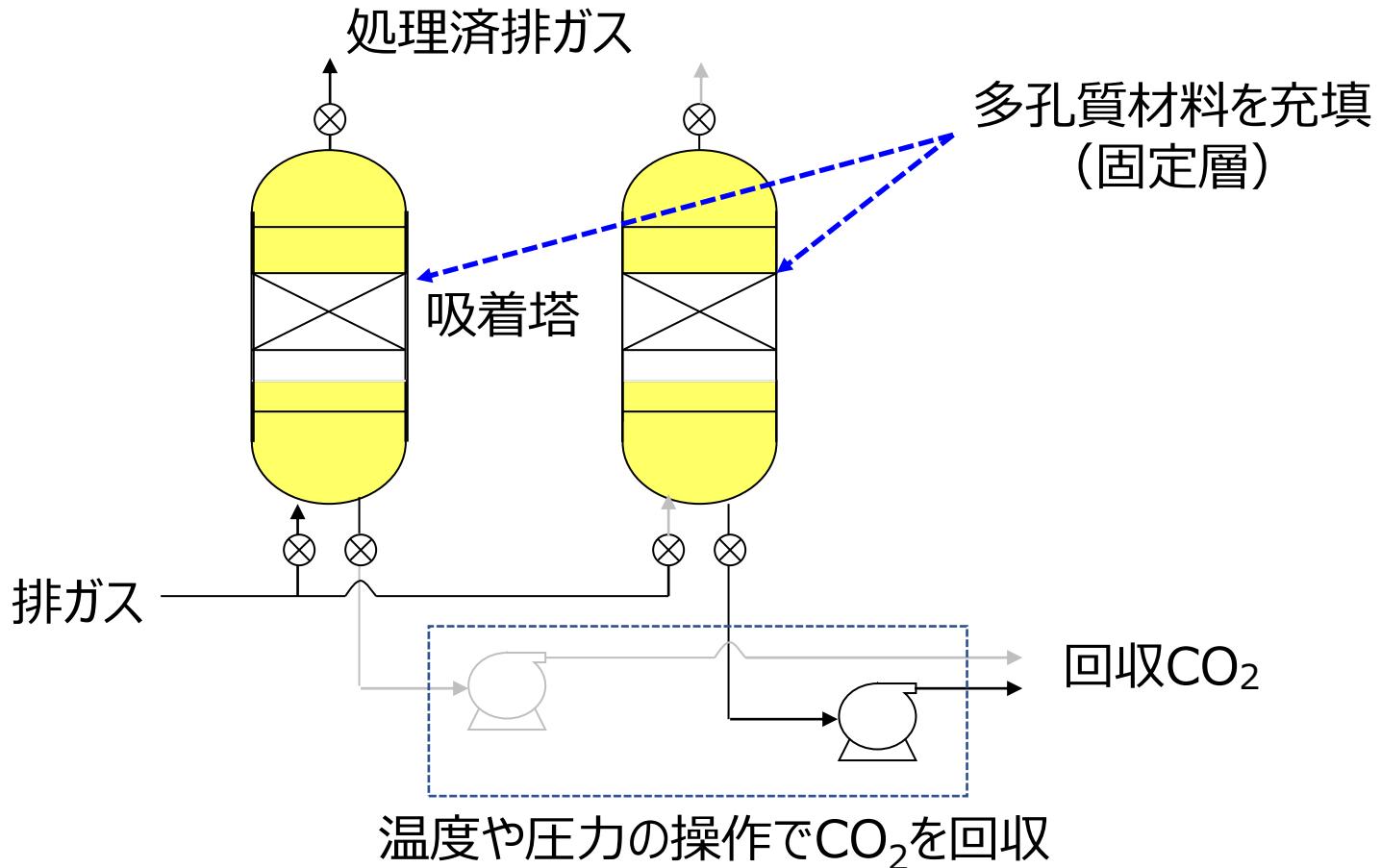
RITE開発アミン



固体吸収材

# 固体吸収材を用いた分離プロセス

## 例：固定層プロセス



その他に、移動層、流動層等のプロセスがある。

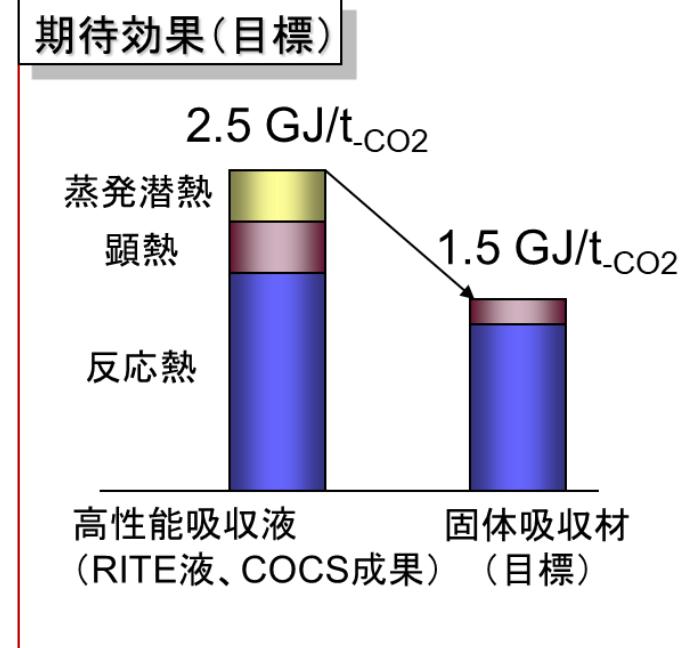
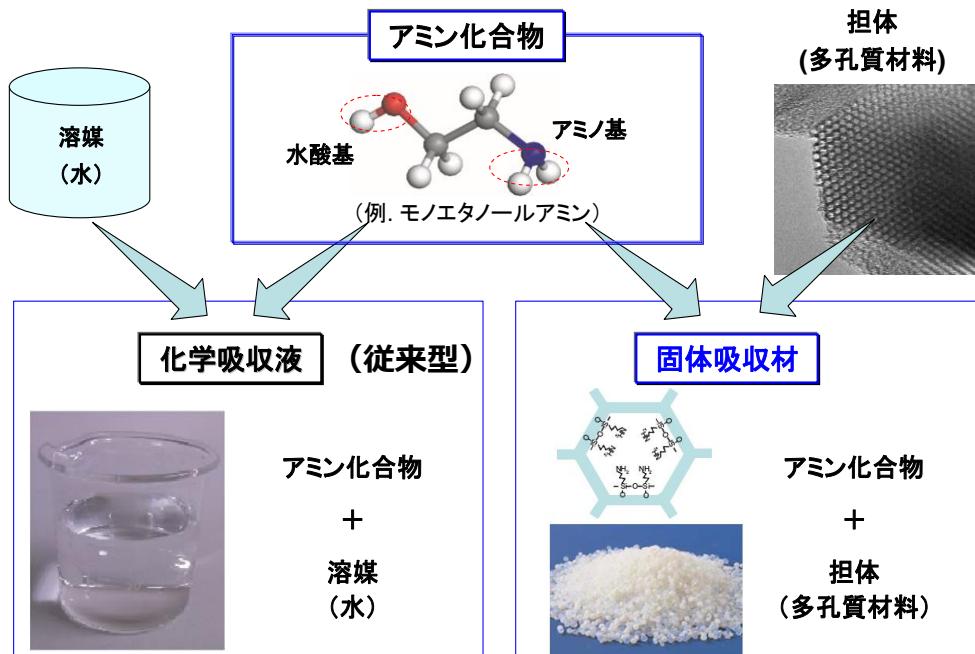
# 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発

<対象> 石炭火力発電所（燃焼後回収）

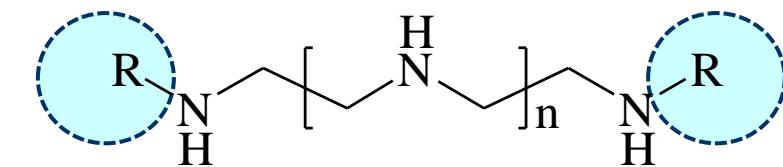
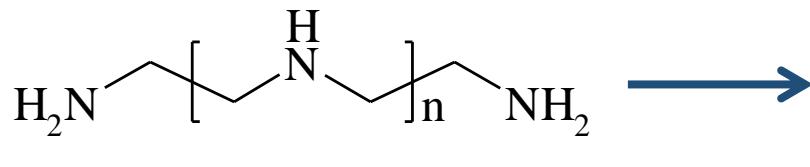
<目標> 分離回収コスト2,000円台/t-CO<sub>2</sub>、エネルギー< 1.5 GJ/t-CO<sub>2</sub>

## ○固体吸収材の特長

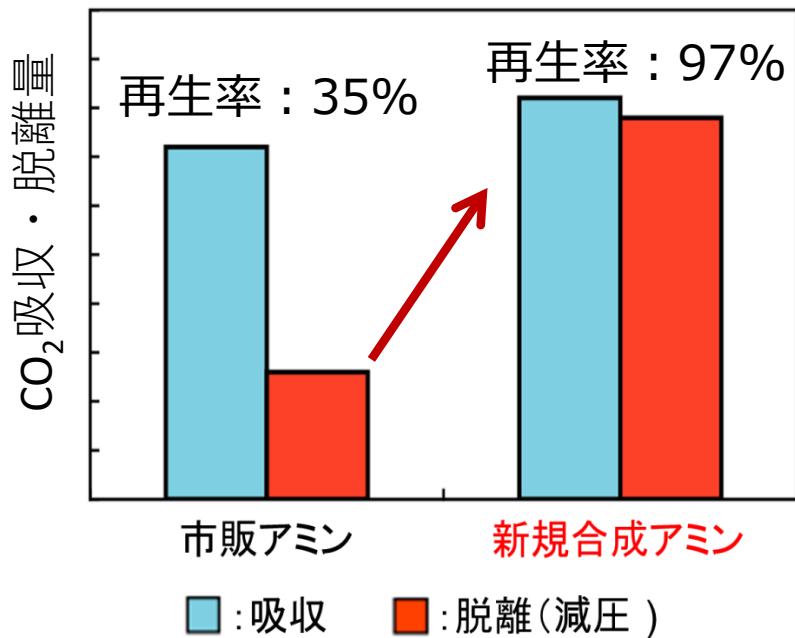
CO<sub>2</sub>再生時に比熱の大きい水を加熱する必要が無いため、  
CO<sub>2</sub>分離回収エネルギーの低減が可能



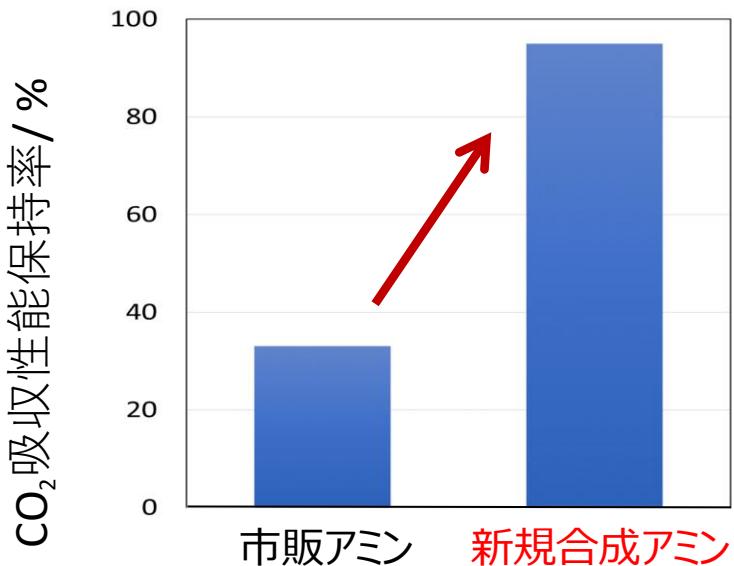
# RITE開発固体吸収材の特性



嵩高い置換基R→ CO<sub>2</sub>の吸収・脱離性能が向上



低温 (60°C) で CO<sub>2</sub>再生率に  
優れる固体吸収材を開発  
RITE : 特許取得 (米国、日本)

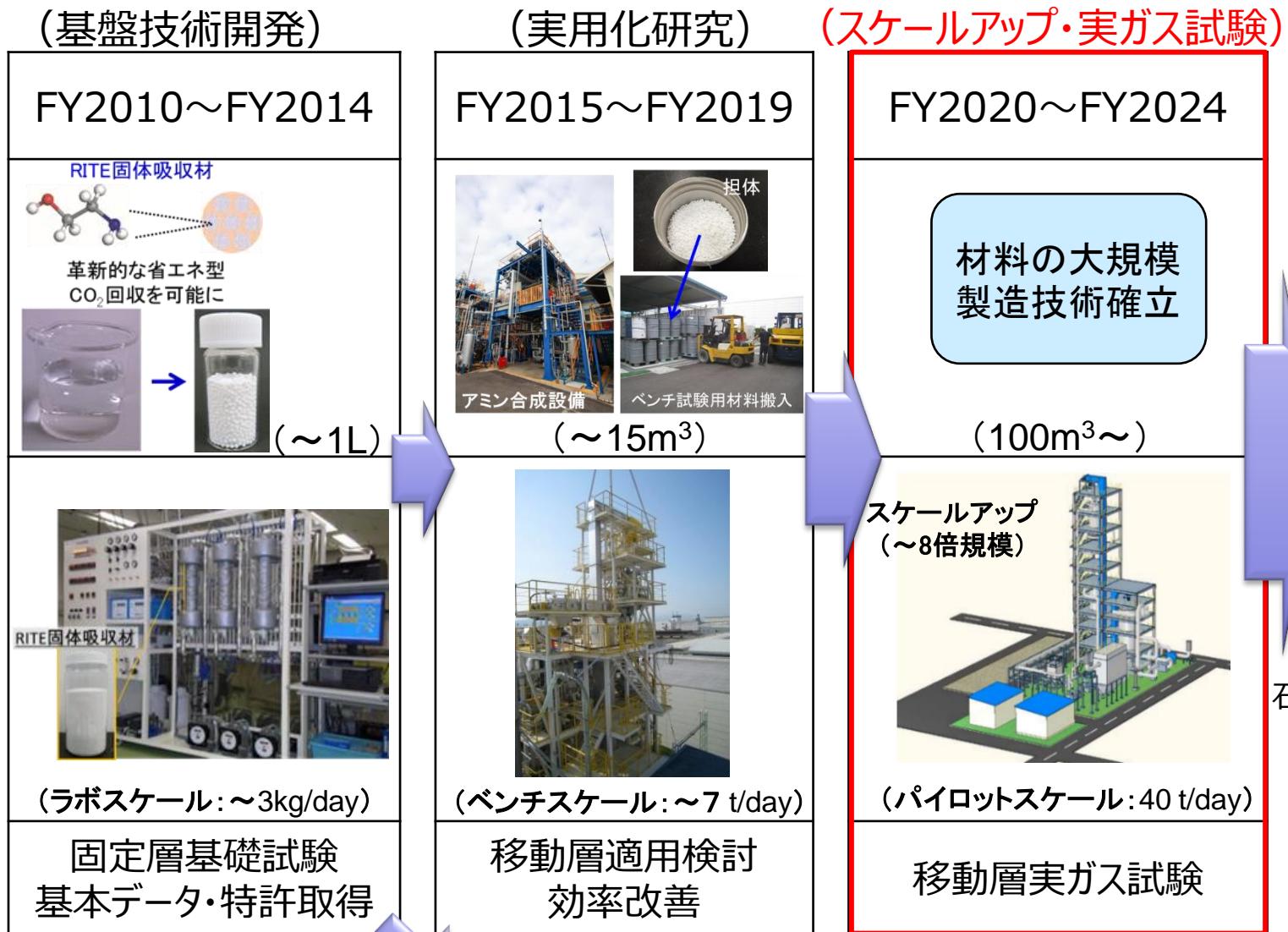


100°Cでの酸化劣化耐性評価  
O<sub>2</sub> (20%) / N<sub>2</sub> (80%) / H<sub>2</sub>O (RH50%)

RITE開発アミン:酸化劣化耐性

# 目標達成までのロードマップ

項目  
材料開発  
システム開発  
内容



2030頃

制度的仕組み  
の導入  
+

大規模  
CCS

3,000  
t/day

石炭火力プラント

用途展開 (閉鎖/宇宙空間、大気からの回収、その他発生源)

# RITEにおけるCO<sub>2</sub>分離・回収技術

## 【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/水素還元活用プロセス技術開発  
(フェーズⅡ－STEP1)/CO<sub>2</sub>分離回収技術開発/高性能吸収液の開発  
(高炉ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)  
体制: 日本製鉄(株) →(再委託)RITE(吸収液開発)

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

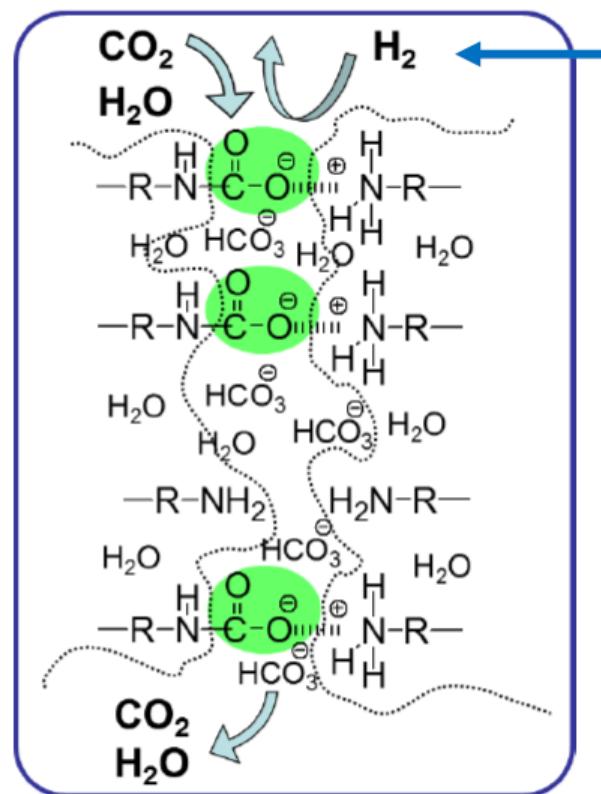
CCS研究開発・実証関連事業/CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発  
/先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発  
(石炭火力発電所からのCO<sub>2</sub>分離・回収)

体制: RITE →(再委託)川崎重工業(株)(移動層)、TUAT(シミュレーション)  
FY2020～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  
(石炭火力発電所でのパイロットスケール試験) KHI/RITE-名古屋大学

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

CCS研究開発・実証関連事業/CO<sub>2</sub>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ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)  
体制: MGM技術研究組合

# RITE開発膜 (CO<sub>2</sub>分子ゲート膜)



カルバメートによる  
擬似架橋



重炭酸イオン

分子サイズ(nm)

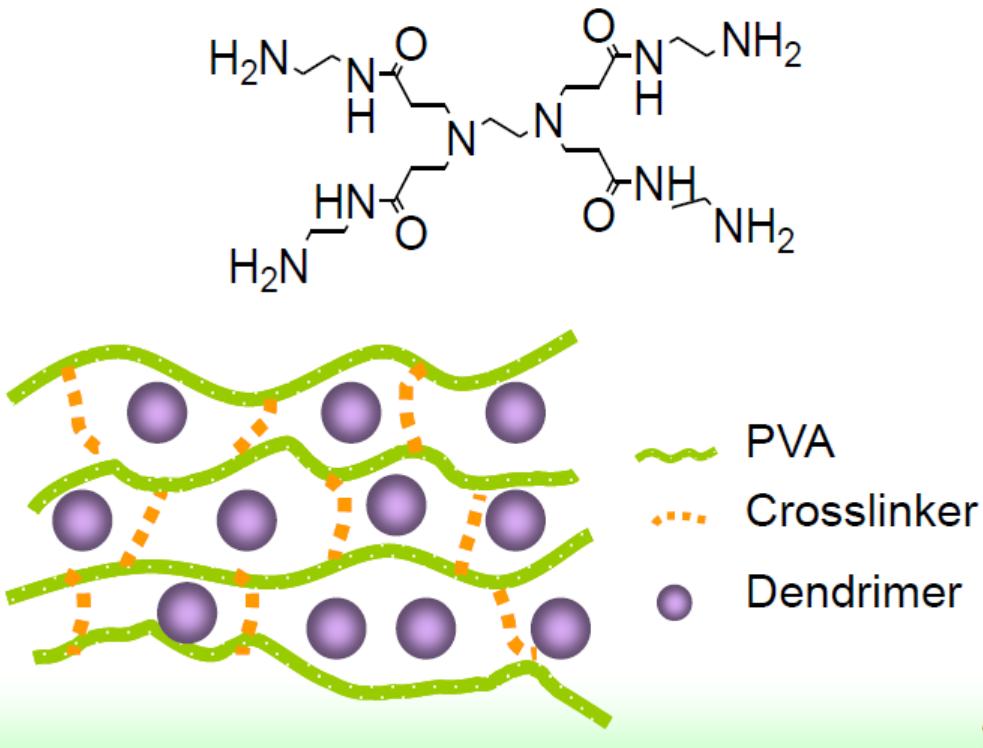
$H_2 < CO_2 < N_2 < CH_4$

0.29

0.33

0.36

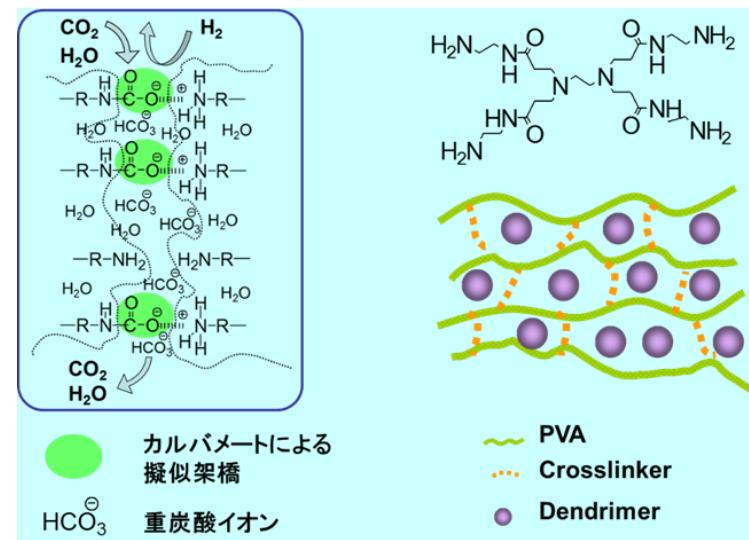
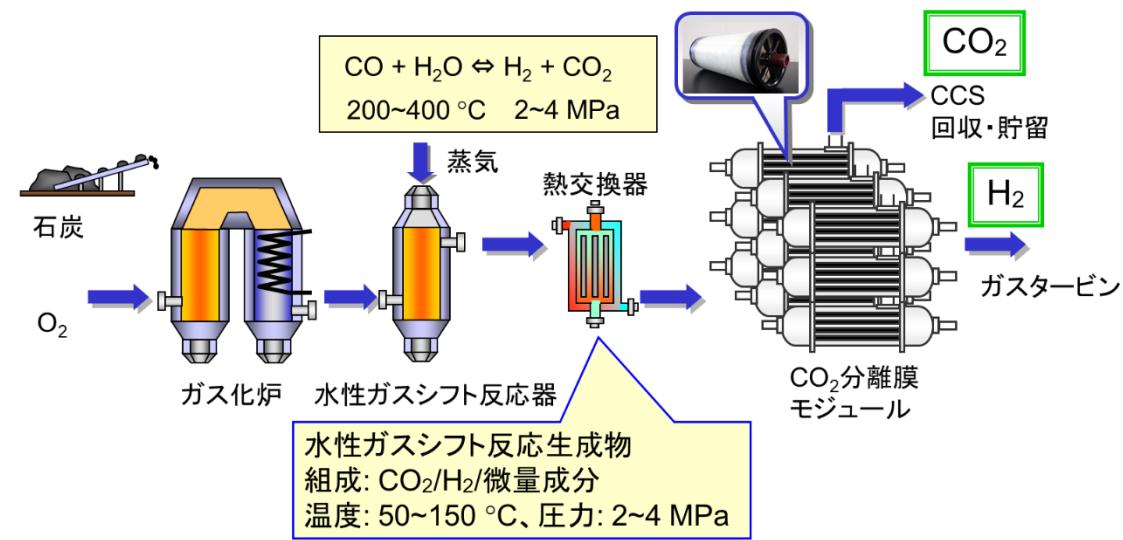
0.38



# 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

<対象> **高圧**の燃料ガスから省エネルギー、低成本でCO<sub>2</sub>を分離回収しうる高性能CO<sub>2</sub>選択透過膜（分子ゲート膜）技術の実用化研究（燃焼前回収）

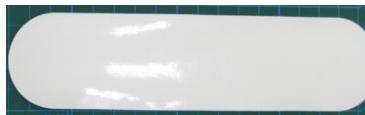
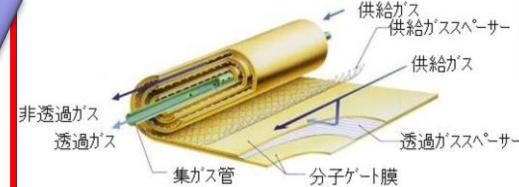
<目標> CO<sub>2</sub>分離・回収コスト :  $\leq 1,500$ 円/t- CO<sub>2</sub>  
CO<sub>2</sub>分離・回収エネルギー :  $\leq 0.5$  GJ/t- CO<sub>2</sub>



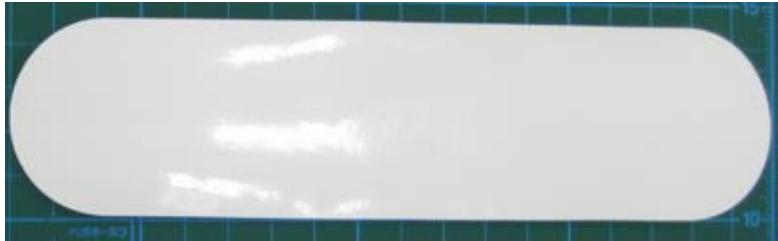
石炭ガス化ガスからの膜分離によるCO<sub>2</sub>回収

分子ゲート膜のCO<sub>2</sub>透過機構

# 分離膜の開発段階のイメージ

	(基盤技術開発)	(実用化研究)	(実機)
名称	単膜	膜エレメント	膜モジュール
概要	ラボスケールの平膜（膜面積：1.2～58cm <sup>2</sup> 程度）	大面積の膜を用いた構造体・膜・支持体・流路材などを一体化したもの	膜エレメントとそれを収納する容器（ハウジング）を組み合わせたもの
サイズ、外観	 (膜面積：1.2 cm <sup>2</sup> )   (膜面積：58 cm <sup>2</sup> )	 (2～4inch、長さ 200mm)  	 (8 inch、長さ 1,000mm 程度)
課題等	膜素材開発 (分離性能向上、耐圧性・耐久性等向上)	製膜法、エレメント部材開発 (連続製膜、大面積化、シール技術等)	実機モジュール開発 (容器形状、量産化、システム化)

# CO<sub>2</sub>分離膜と膜エレメント



CO<sub>2</sub>分離膜



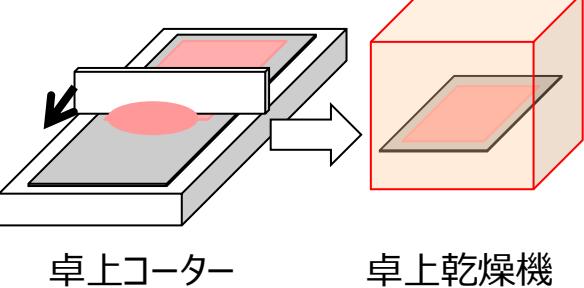
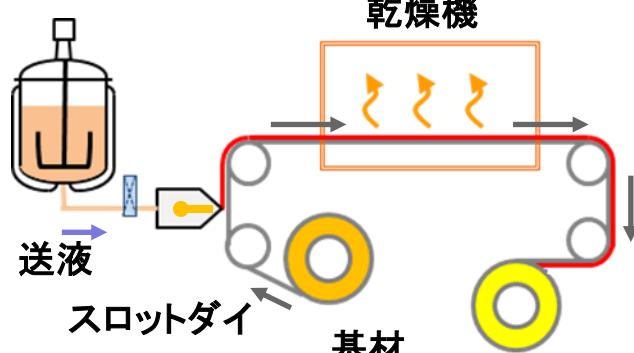
膜エレメント  
(4inch;長さ200mm)



膜モジュール  
(2inch用ハウジング)

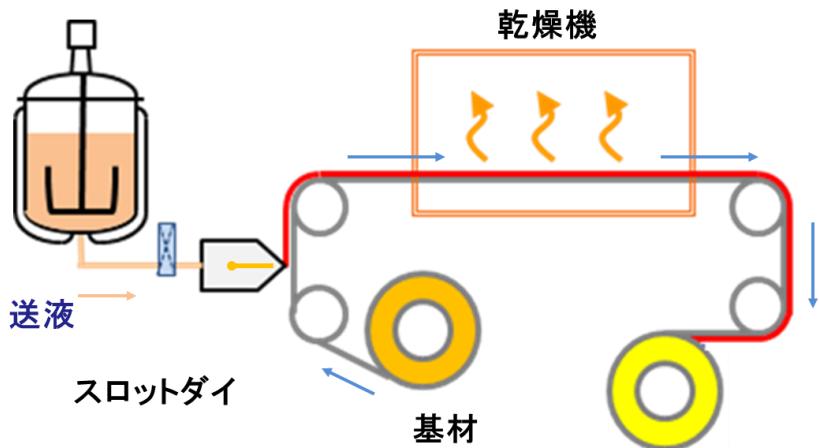
# 連続製膜技術の開発

実機適用を念頭に、大面積塗布が可能で**生産性も高い連続製膜法を開発**

方式	枚葉製膜	連続製膜
装置	 <p>卓上コーティング 卓上乾燥機</p>	 <p>乾燥機 送液 スロットダイ 基材</p>
長尺生産	<b>不可</b>	<b>可</b>
生産性	<b>低</b>	<b>高</b>
溶液粘度	<b>広範囲の塗布可能</b>	枚葉製膜よりは範囲限定
基材固定	<b>可</b>	完全固定は難

# 連続製膜技術の開発

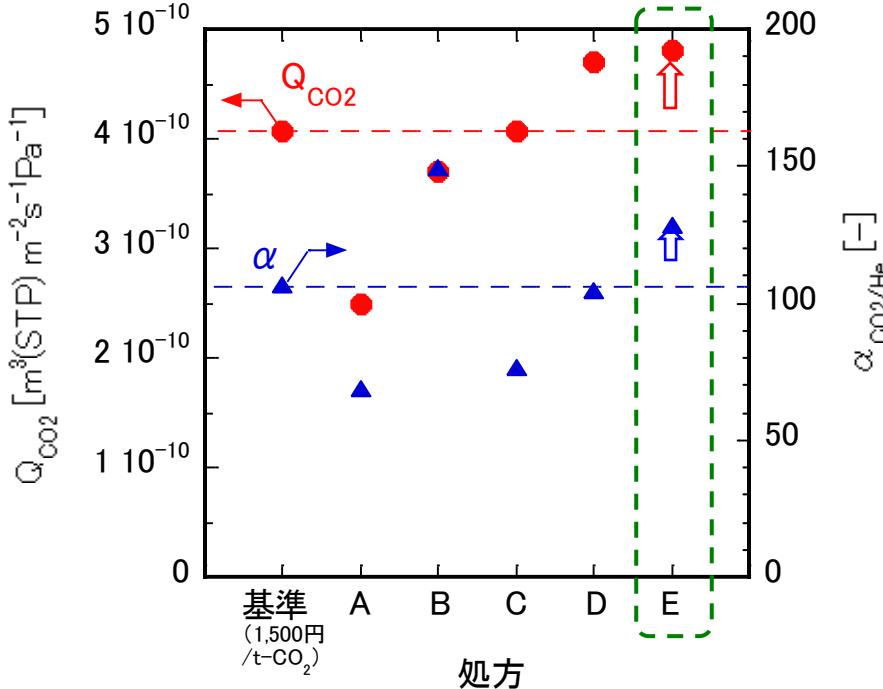
## 連続製膜の効率改善



連続製膜速度の向上  
(従来比 3~10倍)  
⇒ 膜の大量生産が可能



## 膜組成最適化検討 (模擬ガス試験\*)



薄膜化・膜組成等の最適化 (処方E) :  
回収コスト  $\leq 1,500$  円/t-CO<sub>2</sub>  
を達成しうる目標性能達成

\* 条件: 温度: 85°C ; 供給側CO<sub>2</sub>分圧: 260kPa ; 湿度60%RH ; 透過側: 大気圧

# 耐圧膜エレメント作成技術の確立

## CO<sub>2</sub>分離膜エレメントの 量産化検討

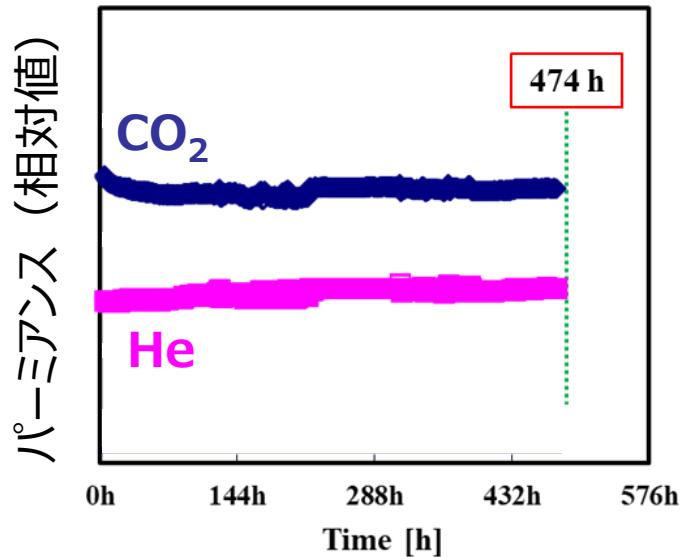


膜エレメント外観  
(4インチ径、長さ 200mm)

連続製膜分子ゲート膜を用いたス  
パイラル型膜エレメントの量産化に  
向けた検討を実施



## 全圧2.4 MPaでの性能評価



膜エレメント部材（集ガス管、ス  
ペーサー等）の最適化により  
**高圧下で安定な膜エレメントの**  
基本製法を確立

測定条件：

温度：85°C；供給側：全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO<sub>2</sub>/He=40/60 vol./vol., 湿度70%RH；透過側：大気圧

# 石炭ガス化実ガス試験

米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター（UK-CAER）で  
石炭ガス化炉からの実ガスを用い、膜素材の実ガス耐性を確認中

ケンタッキー大学(UK-CAER)

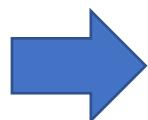
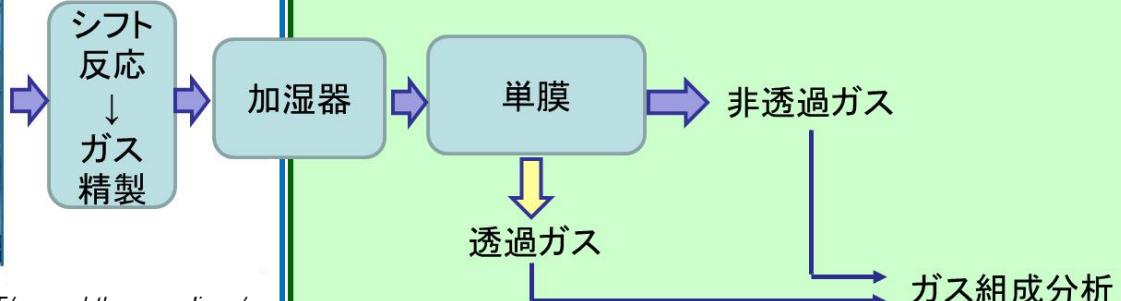
次世代型膜モジュール技術研究組合

石炭ガス化炉(酸素吹き) + シフト反応器 + ガス精製

石炭使用量  
1Ton/Day      ガス流量  
80Nm<sup>3</sup>/h



[https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Events/2015/gas-ccbt-proceedings/  
Gasification-and-CTL-Workshop-Presentation-2015-UKCAER.pdf](https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Events/2015/gas-ccbt-proceedings/Gasification-and-CTL-Workshop-Presentation-2015-UKCAER.pdf)



膜エレメントの実ガス試験：  
国内実ガスサイトにおいて実ガス試験を実施中。

# 実用化に向けたロードマップ

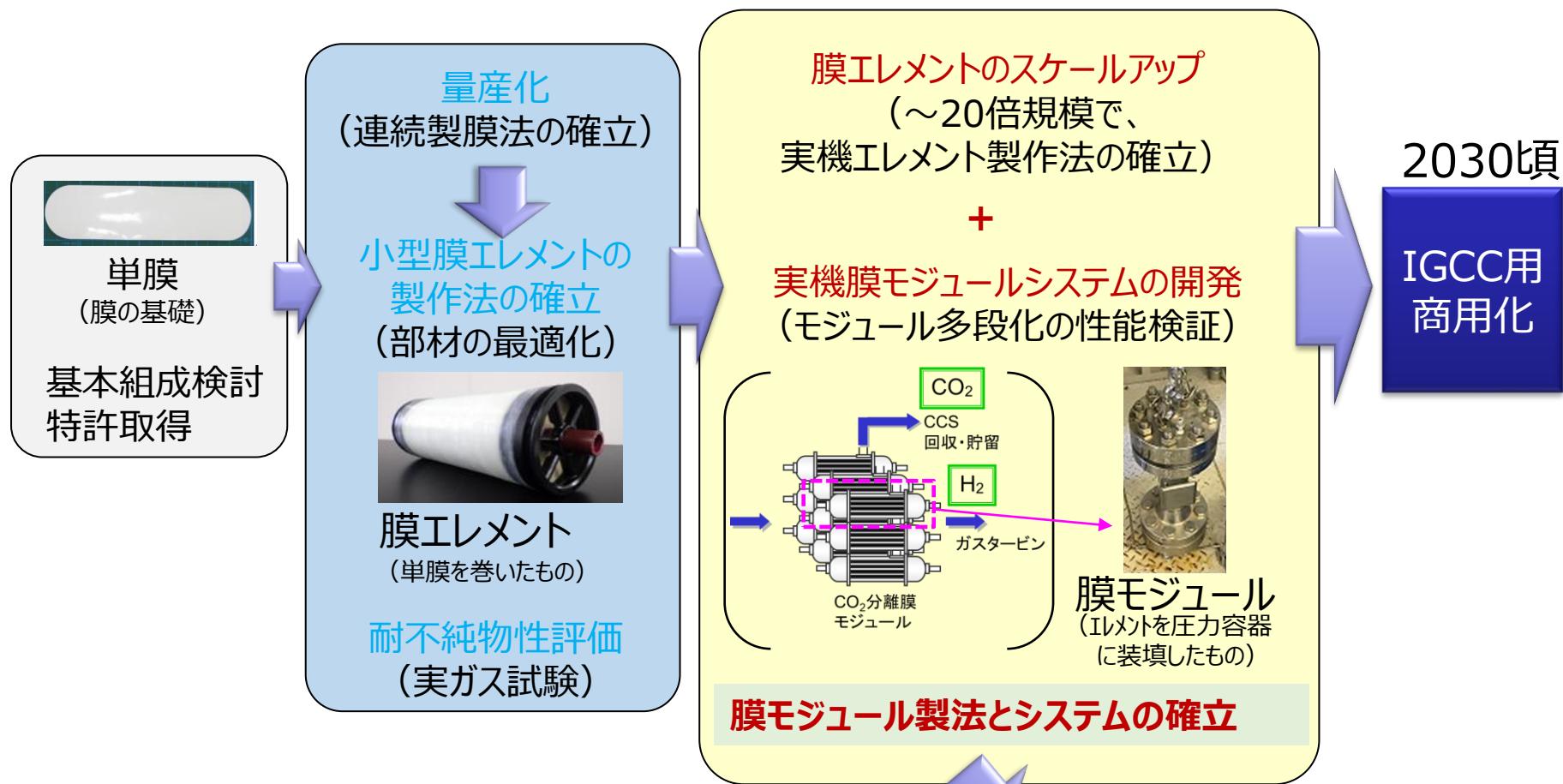
FY2011 2015 2020 2021 2025 2030

基盤技術研究  
フェーズ

実用化研究  
フェーズ

実証フェーズ  
(スケールアップ、実ガス試験)

商用化  
フェーズ



適用範囲の拡大 (EOR, 天然ガス, 褐炭ガス化ガス等)

## 1. 化学吸収法（高炉ガス）

- ・開発液を実用化、稼働中。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つつ、新規吸収液の開発を実施中。

## 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7.2 t/d、回収率90%を達成。
- ・固体吸収材の実ガス暴露試験を実施、今後、パイロット試験を実施予定。
- ・早期実用化を目指しつつ、より低濃度の排出源からの回収への展開も実施中。

## 3. 膜分離法（IGCCガス）

- ・コストダウンと大量生産に適した連続製膜技術と耐圧性膜エレメントを開発。
- ・膜素材の硫化水素耐性を確認。現在、膜エレメントの実ガス試験を実施中。
- ・膜モジュールを早期に完成し、種々の高圧排出源への適用を図る。

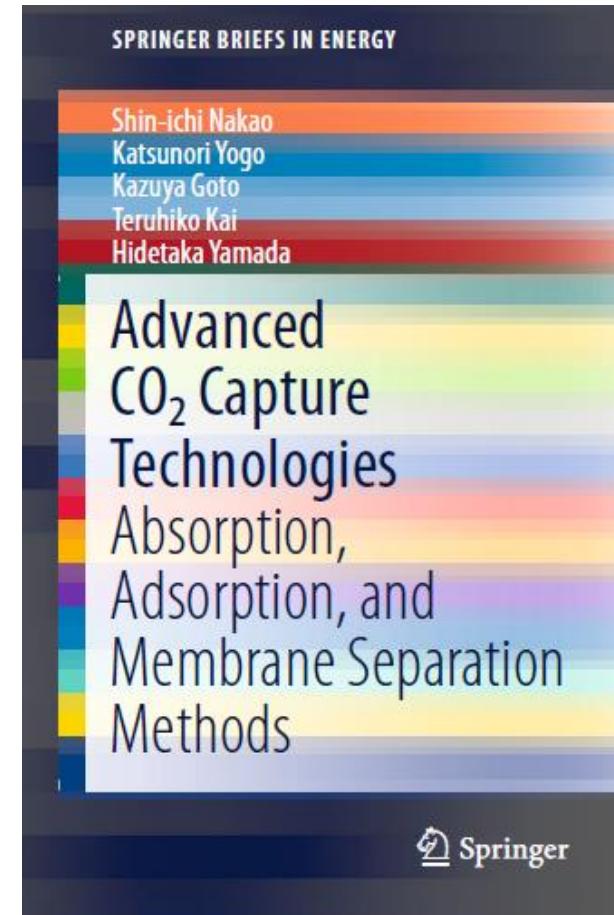
## Advanced CO<sub>2</sub> Capture Technologies

Absorption, Adsorption, and  
Membrane Separation Methods

S. Nakao, K. Yogo, K. Goto,  
T. Kai and H. Yamada

Springer

DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18858-0>



(謝辞) 発表資料中のRITE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。

ご清聴ありがとうございました。

Contact:

<http://www.rite.or.jp>

goto.ka@rite.or.jp

