

RITEにおけるCO₂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

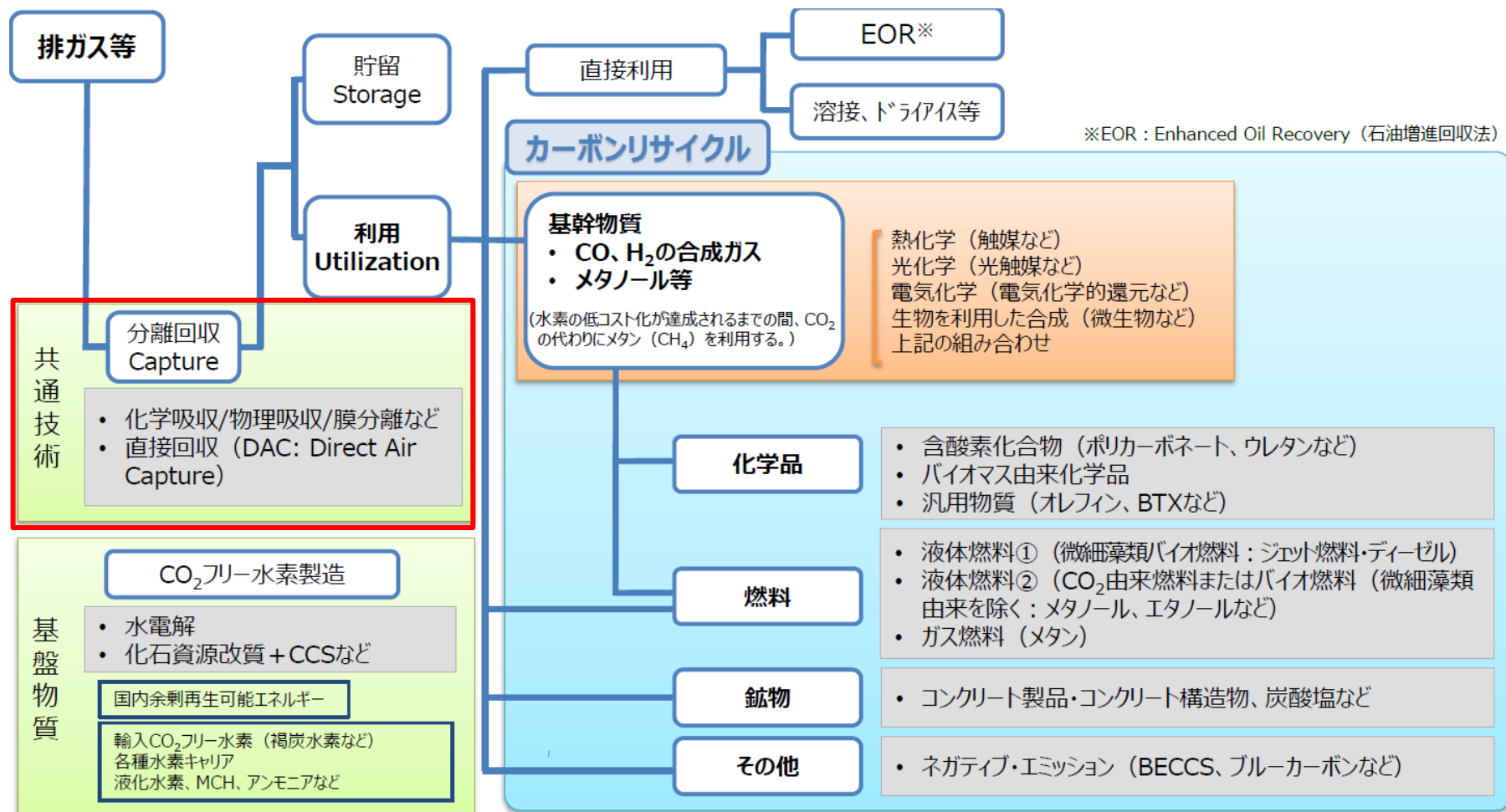
後藤 和也

(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 (CO₂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 (CO₂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／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)
- 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

- 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	CO ₂ 変換後の物質	現状※ ¹	課題	既存の同等製品の価格※ ¹	2030年	2050年以降
共通技術	CO ₂ 分離回収	一部実用化(化学吸収法)、その他手法は研究・実証段階 【価格例】 4000円程度/t-CO ₂ (化学吸収法)	所要エネルギーの削減 など	—	1000~2000円台/t-CO ₂ (化学吸収、固体吸収、物理吸収、膜分離)	1000円以下/t-CO ₂

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）

CO₂排出源と分離回収技術

事業用発電

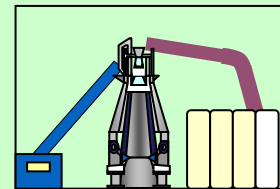
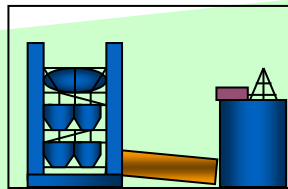
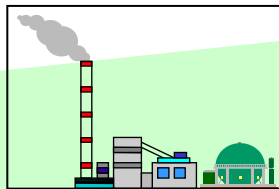
窯業・土石等

鉄鋼等

化学

CO₂排出源

部門別CO₂排出量
(環境省、2017年)



年間排出量

4.5億t-CO₂

0.8億t-CO₂

1.6億t-CO₂

0.8億t-CO₂

CO₂濃度

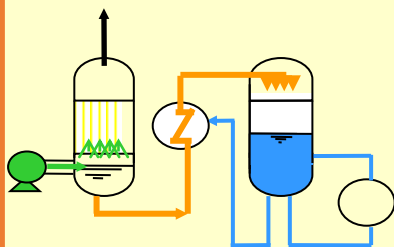
6%-14%

20%

25%

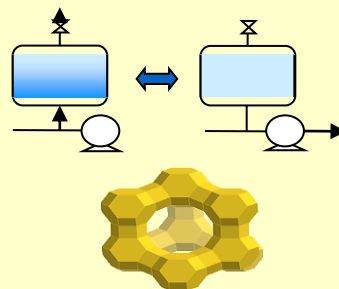
30-50%

分離回収



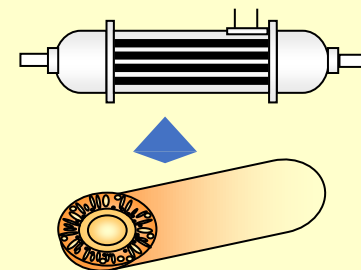
液体の技術

- ・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

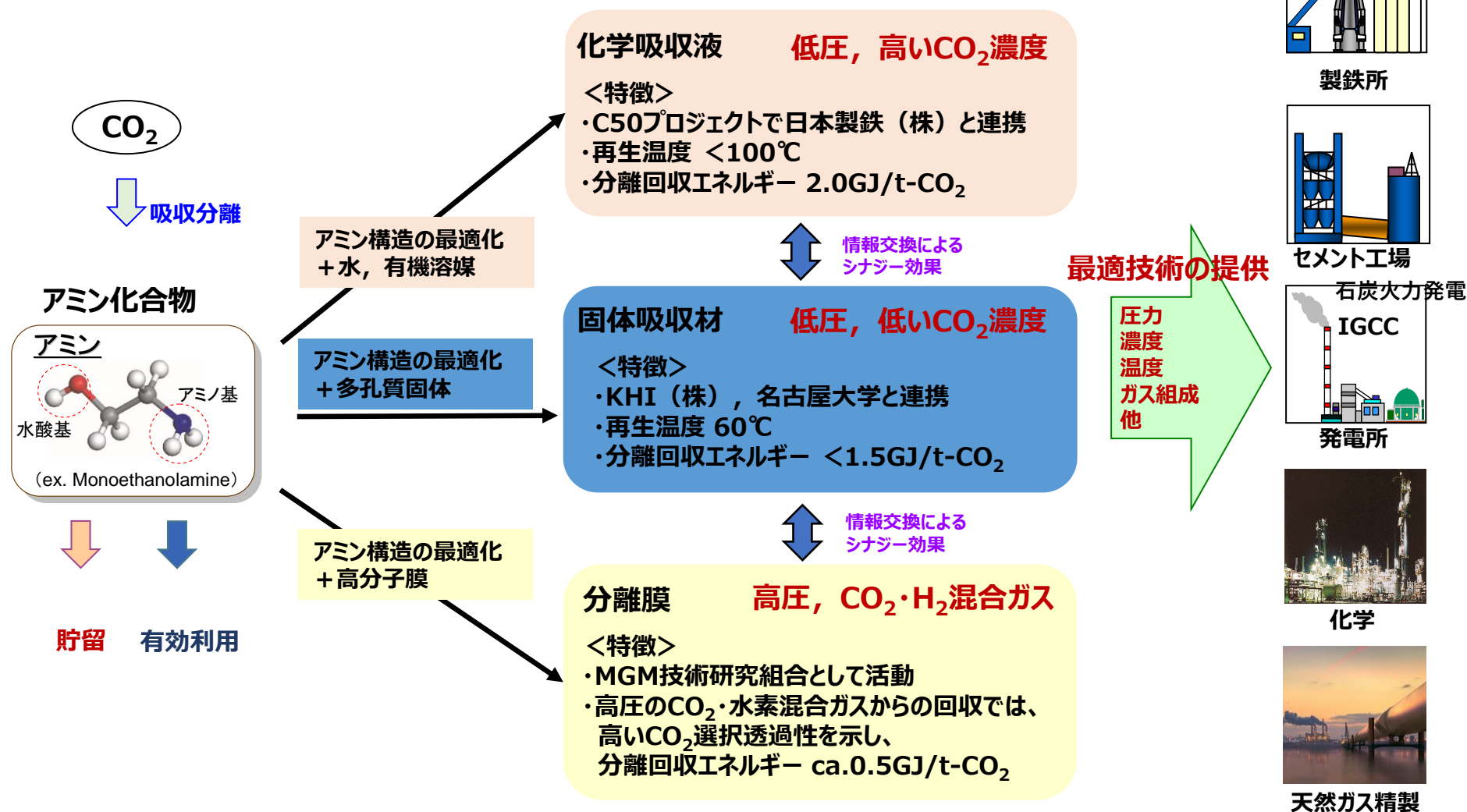


膜分離技術

- ・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）

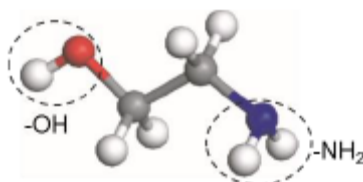
地球温暖化防止 → 発生源に適したCO₂分離・回収技術



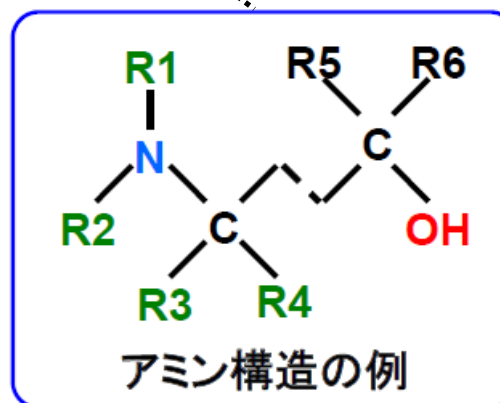
(参考) アミン化合物：官能基と分子設計

アミノ基: N

- ・ 電子密度 (電子供与性)
- ・ CO_2 との反応 (カルバメートアニオンまたはバイカー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



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_2 放散性
- ・ 反応熱

CO₂分離回収技術 (RITEの研究開発)

【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)/CO₂分離回収技術開発/高性能吸収液の開発
(高炉ガスからのCO₂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/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

(石炭火力発電所からのCO₂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/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ガスからのCO₂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)



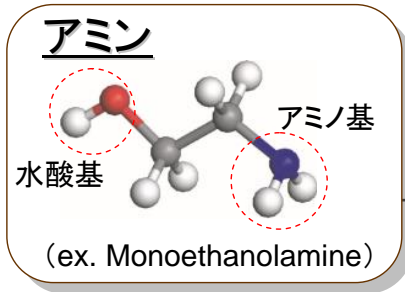
商業化2号機
(住友共同電力新居浜西火力発電所内)

www.eng.nssmc.com

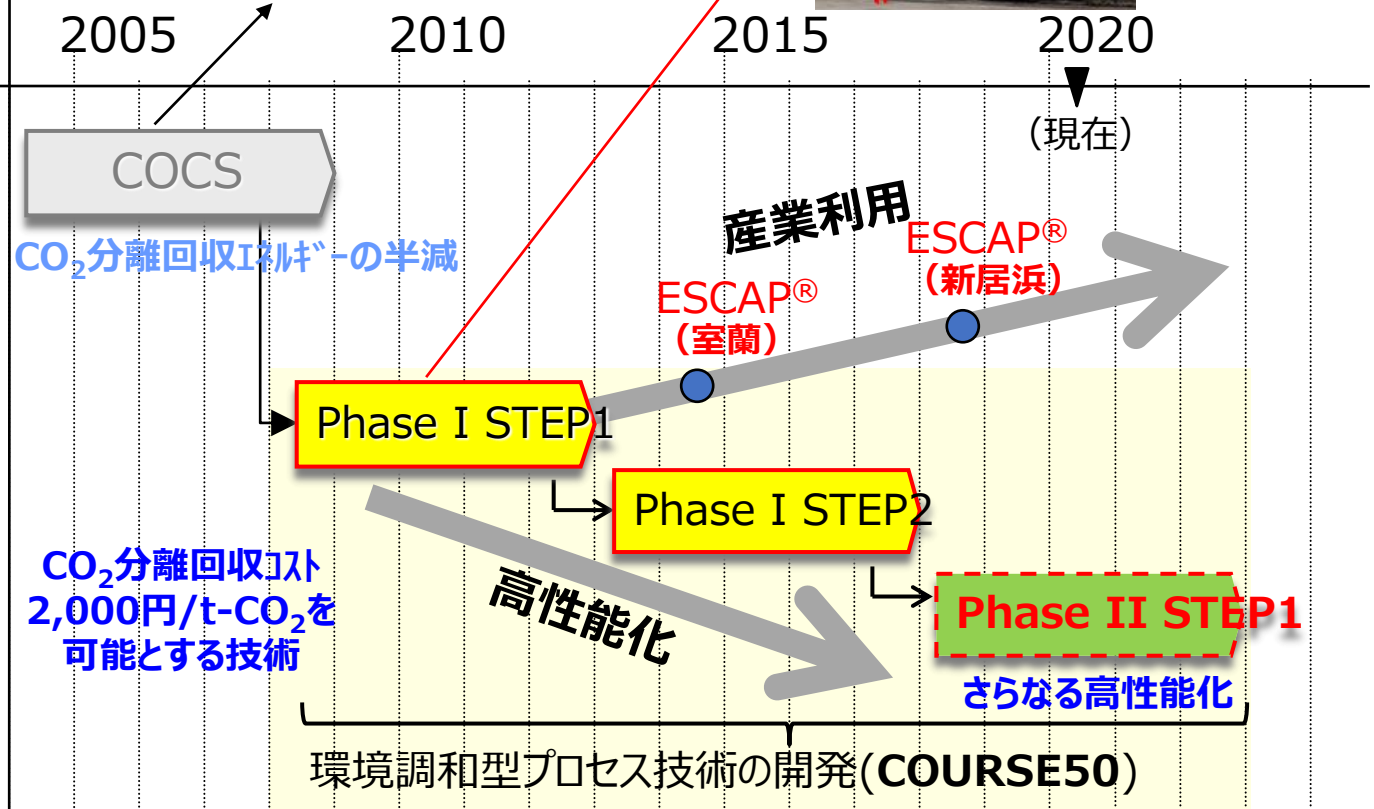
	1号機 (2014～)	2号機 (2018～)
設備規模	120 t/day	143 t/day
排出源	製鉄熱風炉	石炭火力 (※)
CO ₂ 用途	産業用CO ₂ 製造	飼料添加物製造

※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

吸収液の研究開発プロジェクト

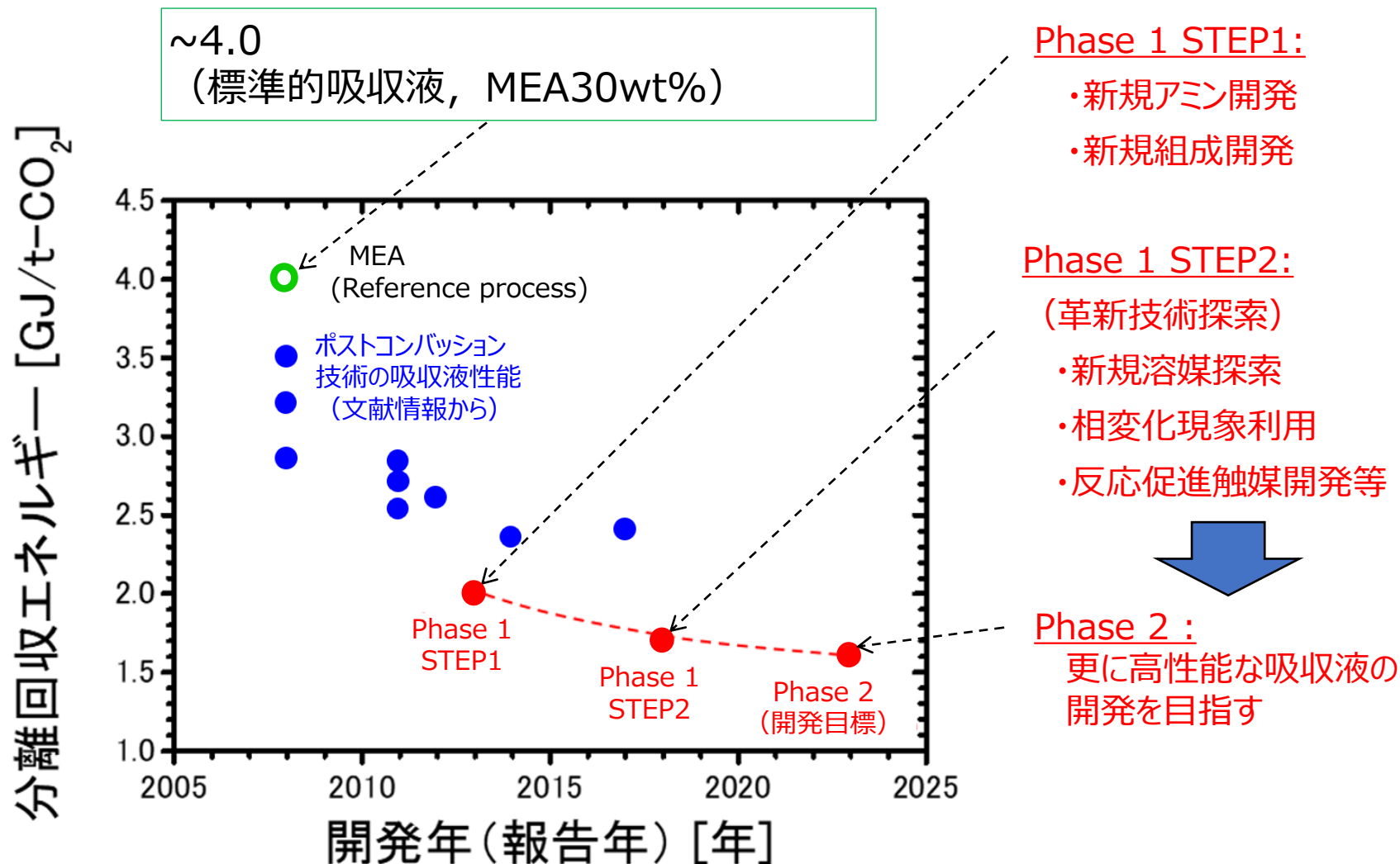


日鉄
エンジニアリング(株)



※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CO₂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)/CO₂分離回収技術開発/高性能吸収液の開発
(高炉ガスからのCO₂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/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
(石炭火力発電所からのCO₂分離・回収)

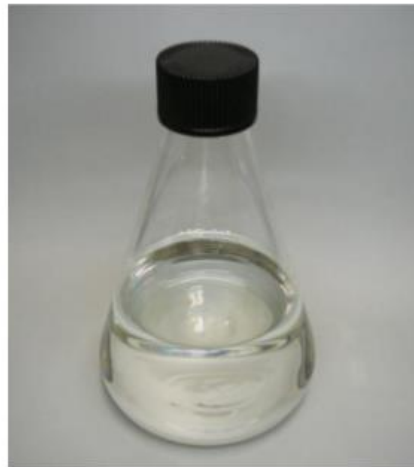
体制: RITE → (再委託) 川崎重工業(株)(移動層)、TUAT(シミュレーション)
FY2020～先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究
(石炭火力発電所でのパイロットスケール試験) KHI/RITE-名古屋大学

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

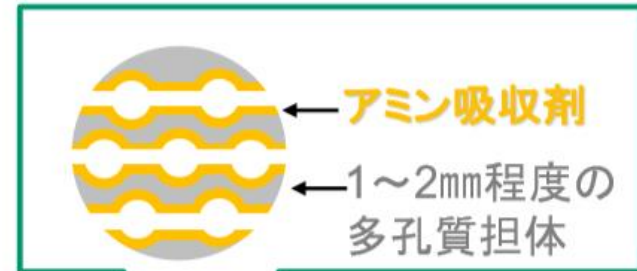
CCS研究開発・実証関連事業/CO₂分離回収技術の研究開発
/二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
(IGCCガスからのCO₂分離・回収)
体制: MGM技術研究組合

固体吸収材

多孔質担体



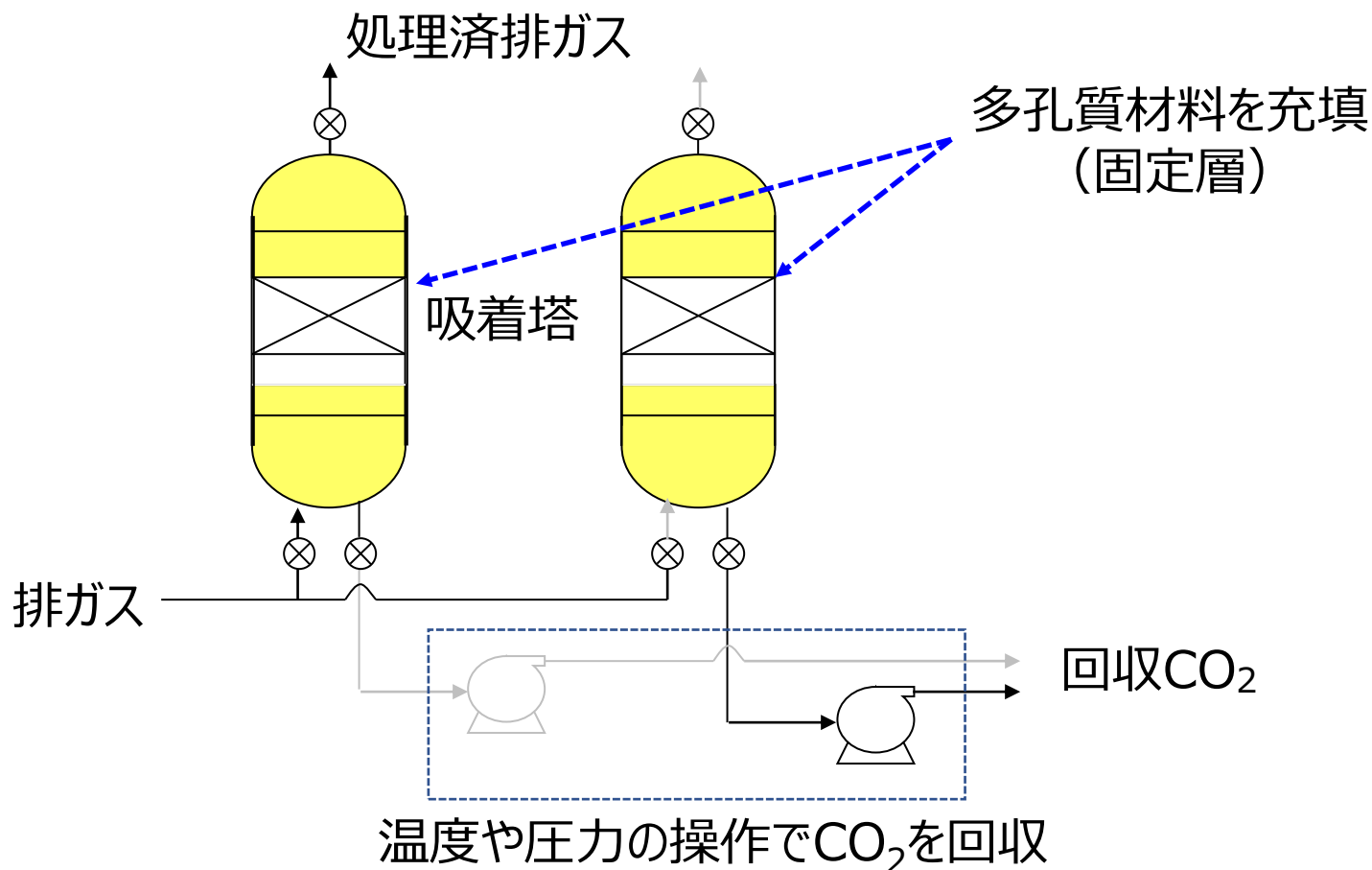
RITE開発アミン



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。

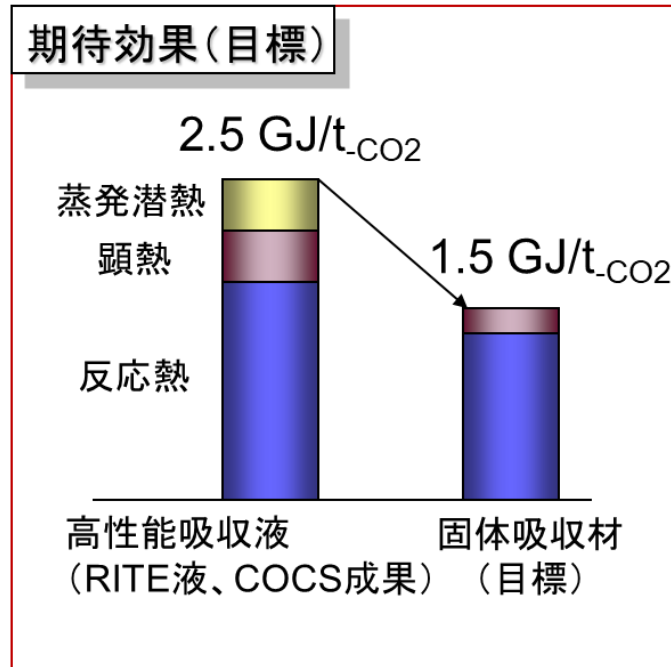
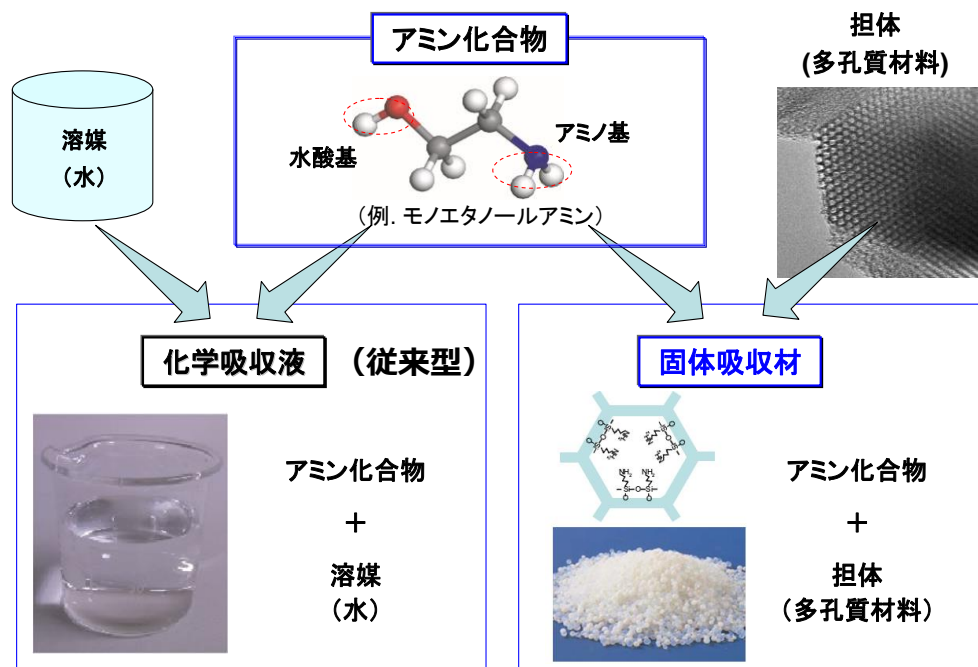
先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発

<対象> 石炭火力発電所 (燃焼後回収)

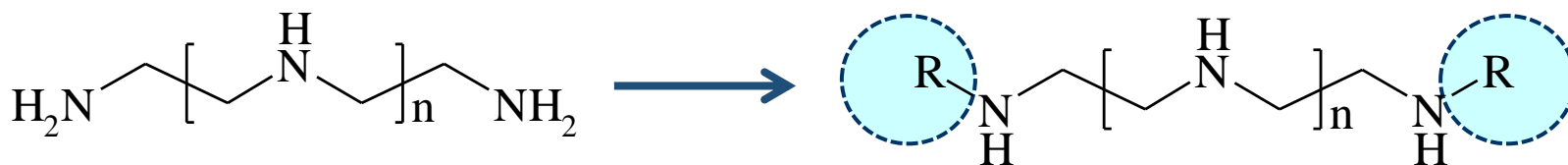
<目標> 分離回収コスト2,000円台/t-CO₂、エネルギー< 1.5 GJ/t-CO₂

○固体吸収材の特長

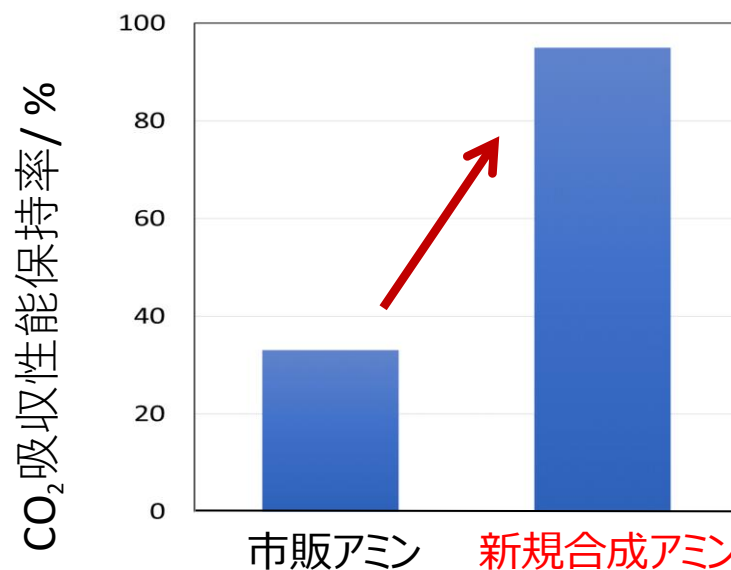
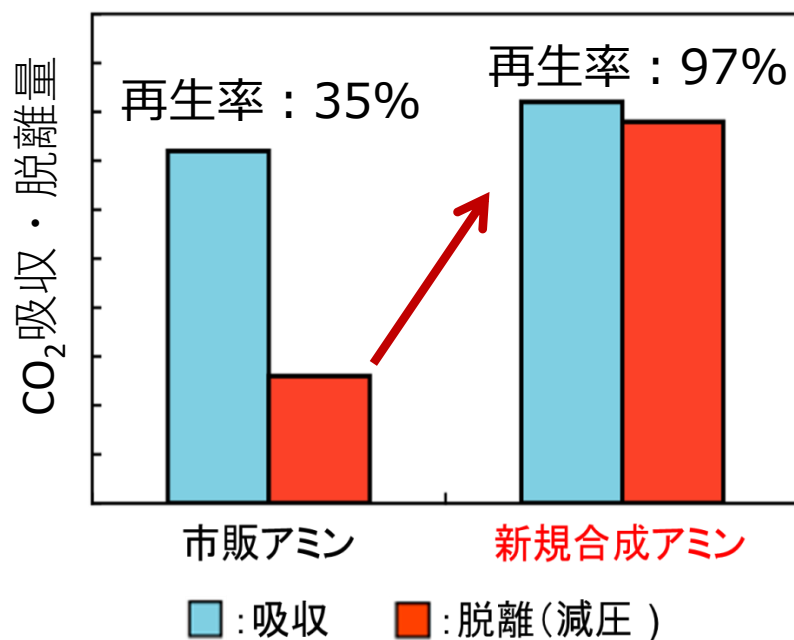
CO₂再生時に比熱の大きい水を加熱する必要が無いため、
CO₂分離回収エネルギーの低減が可能



RITE開発固体吸収材の特性



嵩高い置換基R → CO₂の吸収・脱離性能が向上



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

RITE開発アミン: 酸化劣化耐性

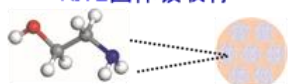
低温 (60℃) でCO₂再生率に
優れる固体吸収材を開発
RITE : 特許取得 (米国、日本)

目標達成までのロードマップ

(基盤技術開発)

FY2010～FY2014

RITE固体吸収材



革新的な省エネ型
CO₂回収を可能に



(～1L)

項目

材料開発

システム開発

内容



RITE固体吸収材

(ラボスケール: ～3kg/day)

固定層基礎試験
基本データ・特許取得

(実用化研究)

FY2015～FY2019



アミン合成設備



担体



ベンチ試験用材料搬入

(～15m³)



(ベンチスケール: ～7 t/day)

移動層適用検討
効率改善

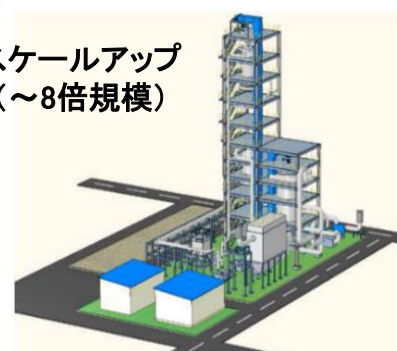
(スケールアップ・実ガス試験)

FY2020～FY2024

材料の大規模
製造技術確立

(100m³～)

スケールアップ
(～8倍規模)



(パイロットスケール: 40 t/day)

移動層実ガス試験

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CO₂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)/CO₂分離回収技術開発/高性能吸収液の開発
(高炉ガスからのCO₂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/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
(石炭火力発電所からのCO₂分離・回収)

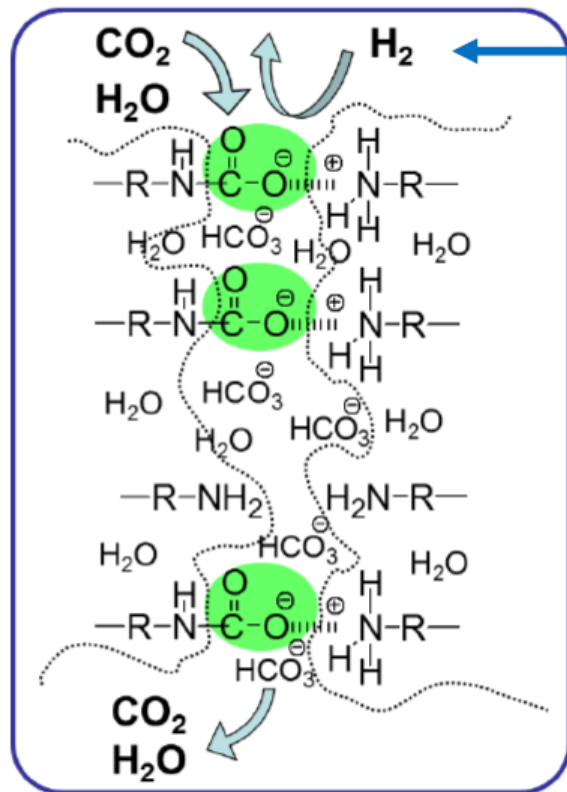
体制: RITE → (再委託) 川崎重工業(株)(移動層)、TUAT(シミュレーション)
FY2020～先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究
(石炭火力発電所でのパイロットスケール試験) KHI/RITE-名古屋大学

【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/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ガスからのCO₂分離・回収)

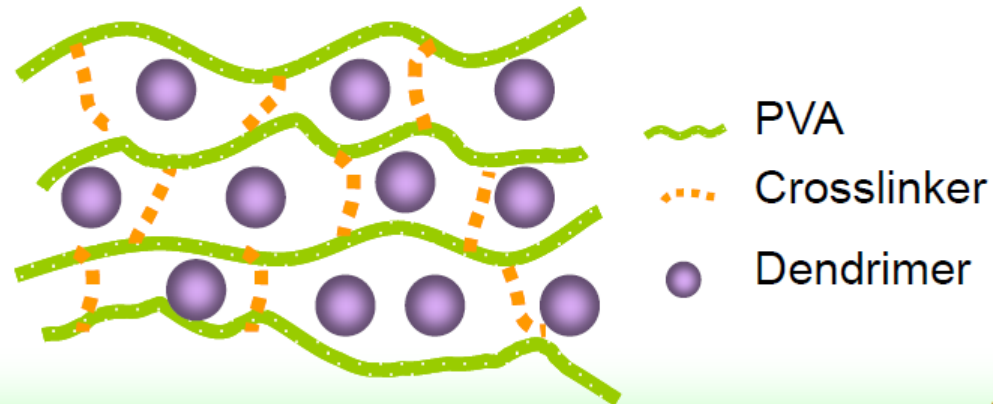
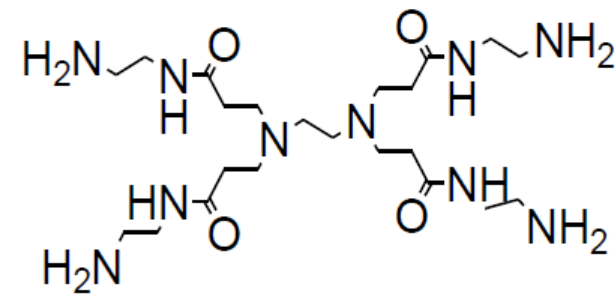
体制: MGM技術研究組合

RITE開発膜 (CO₂分子ゲート膜)



分子サイズ(nm)

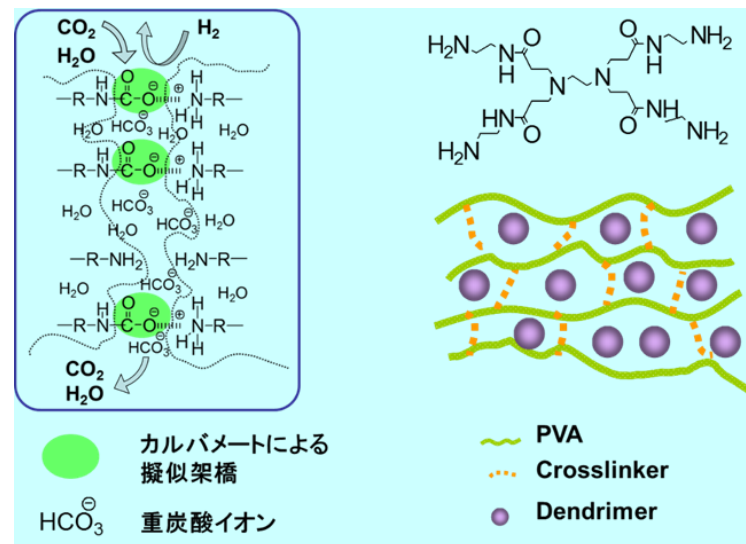
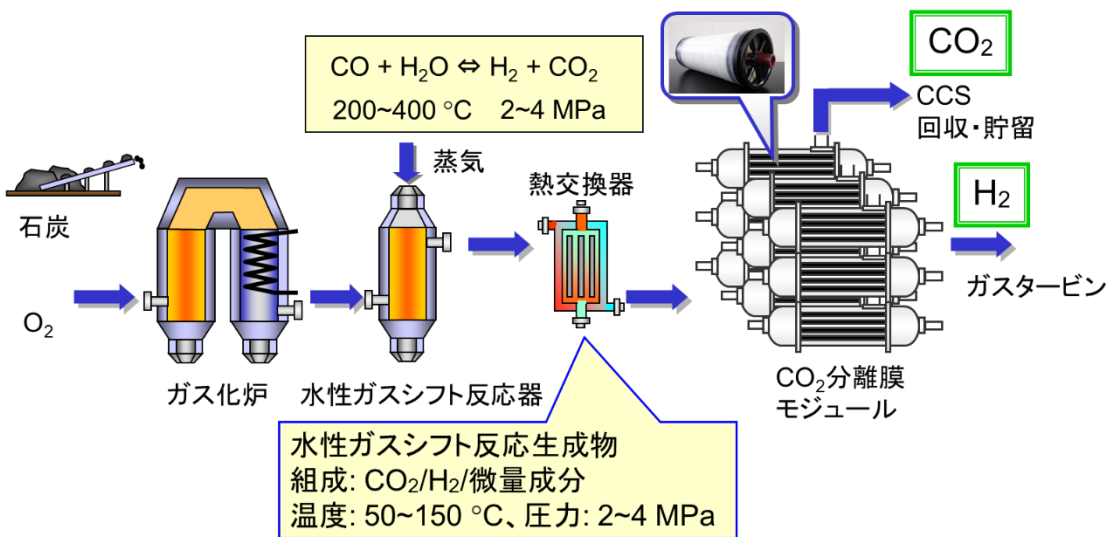
H₂ < CO₂ < N₂ < CH₄
0.29 0.33 0.36 0.38



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、低コストでCO₂を分離回収しうる
高性能CO₂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> CO₂分離・回収コスト : $\leq 1,500$ 円/t- CO₂
CO₂分離・回収エネルギー : ≤ 0.5 GJ/t- CO₂



石炭ガス化ガスからの膜分離によるCO₂回収

分子ゲート膜のCO₂透過機構

分離膜の開発段階のイメージ


(基盤技術開発)

名称	単膜
概要	ラボスケールの平膜（膜面積：1.2～58cm ² 程度）
サイズ、外観	 (膜面積：1.2 cm ²)  (膜面積：58 cm ²)
課題等	膜素材開発 (分離性能向上、 耐圧性・耐久性等 向上)

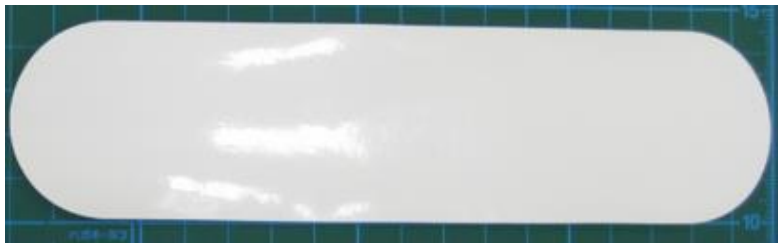
(実用化研究)

膜エレメント
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
 (2～4inch、 長さ 200mm) 
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)

膜モジュール
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
 (8 inch、 長さ 1,000mm 程度)
実機モジュール開発 (容器形状、量産化、 システム化)

CO₂分離膜と膜エレメント



CO₂分離膜



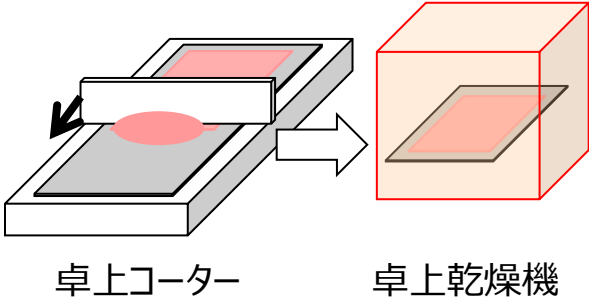
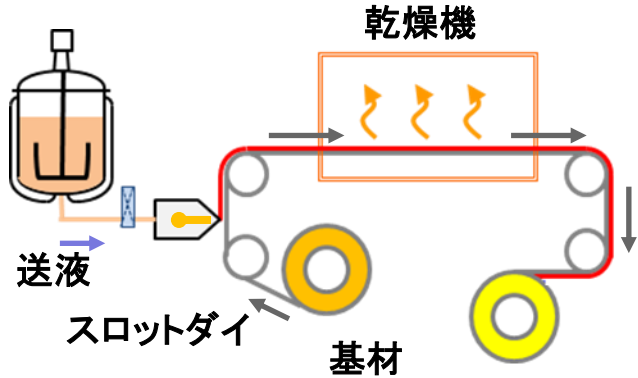
膜エレメント
(4inch; 長さ200mm)



膜モジュール
(2inch用ハウジング)

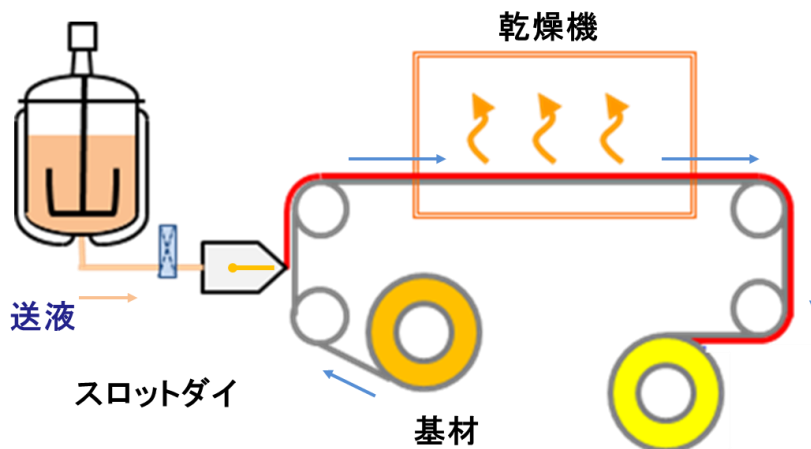
連続製膜技術の開発

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>卓上コーター 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	不可	可
生産性	低	高
溶液粘度	広範囲の塗布可能	枚葉製膜よりは範囲限定
基材固定	可	完全固定は難

連続製膜技術の開発

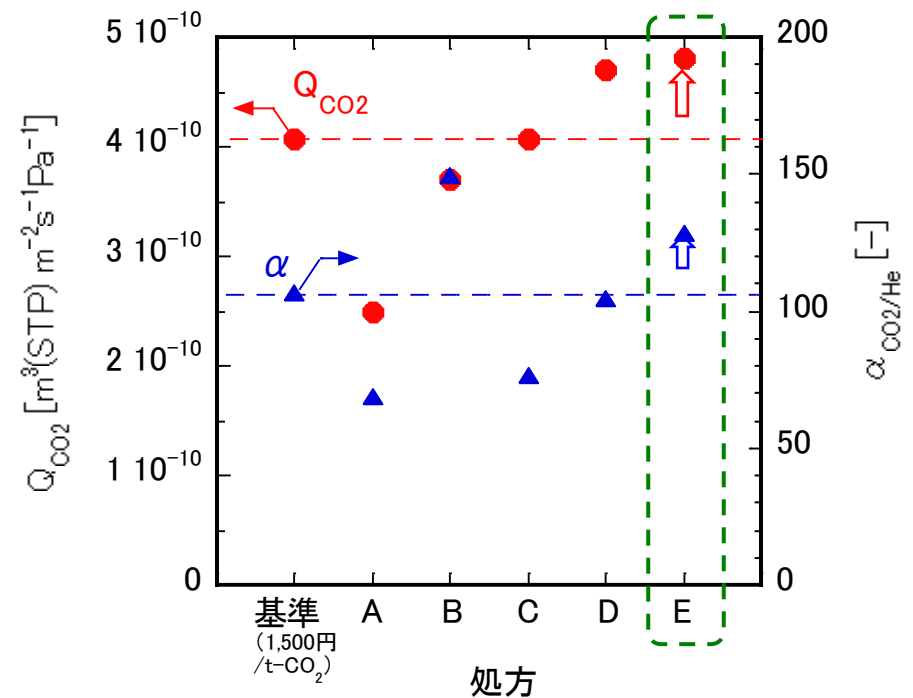
連続製膜の効率改善



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*)

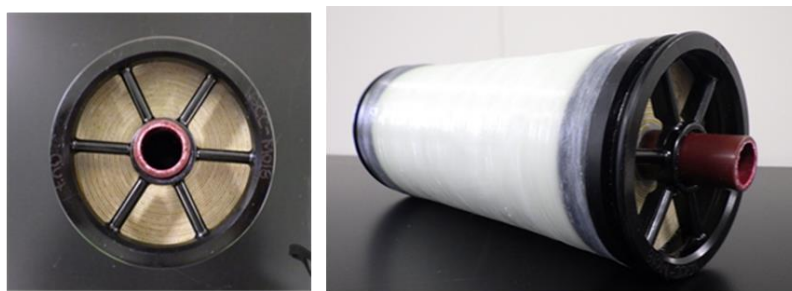


薄膜化・膜組成等の最適化 (処方E) :
回収コスト $\leq 1,500$ 円/t- CO_2
を達成しうる目標性能達成

* 条件 : 温度 : 85℃ ; 供給側CO2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

CO₂分離膜エレメントの 量産化検討

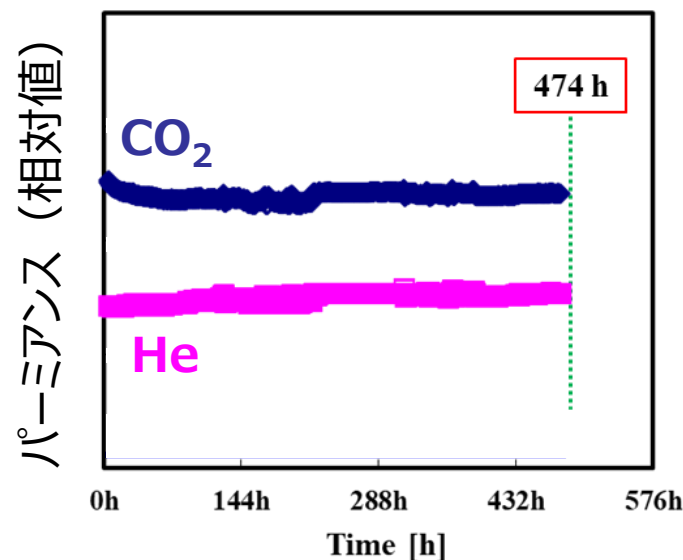


膜エレメント外観
(4インチ径、長さ 200mm)

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（集ガスパイプ、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℃；供給側：全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO₂/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

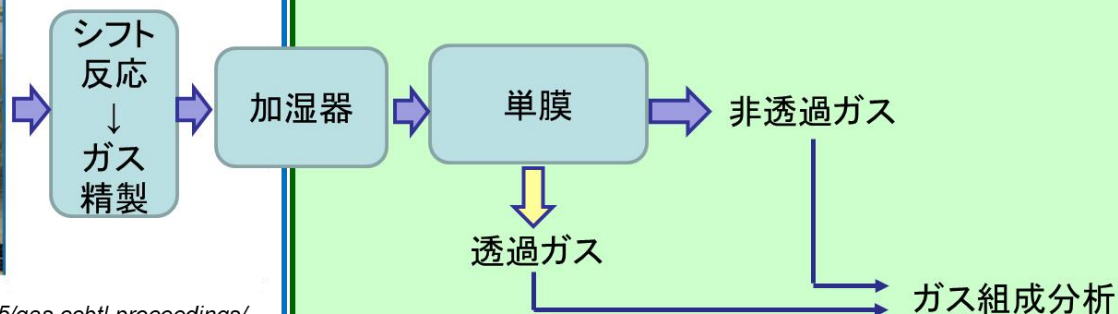
ガス流量
80Nm³/h

Feed Preparation

Gasification Unit

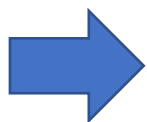


<https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Events/2015/gas-ccbtl-proceedings/Gasification-and-CTL-Workshop-Presentation-2015-UKCAER.pdf>



・膜素材の**実ガス耐性**を確認中

・模擬ガス（H₂S濃度 ～1,000 ppm）
を用いた加速試験により、**H₂S耐性**を確認



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

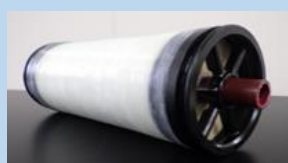


単膜
(膜の基礎)

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)



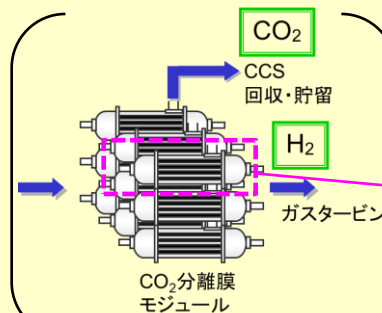
膜エレメント
(単膜を巻いたもの)

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
(～20倍規模で、
実機エレメント製作法の確立)

+

実機膜モジュールシステムの開発
(モジュール多段化の性能検証)



膜モジュール
(エレメントを圧力容器
に装填したもの)

膜モジュール製法とシステムの確立

2030頃

IGCC用
商用化

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。

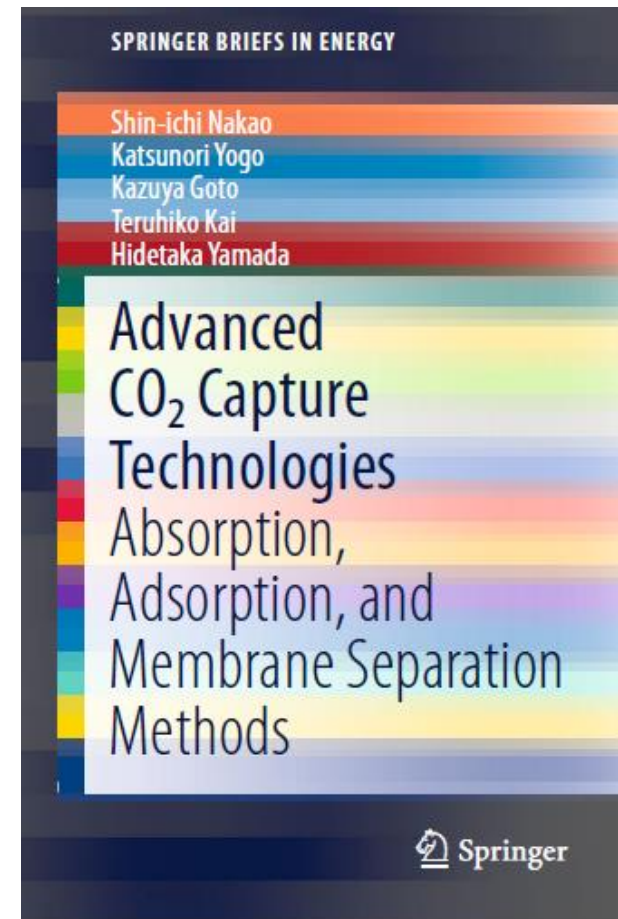
Advanced CO₂ Capture Technologies

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

