

CO₂分離回収技術の実用化 に向けた取り組み

(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CO₂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CO₂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CO₂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CO₂を削減する手段としても有効。

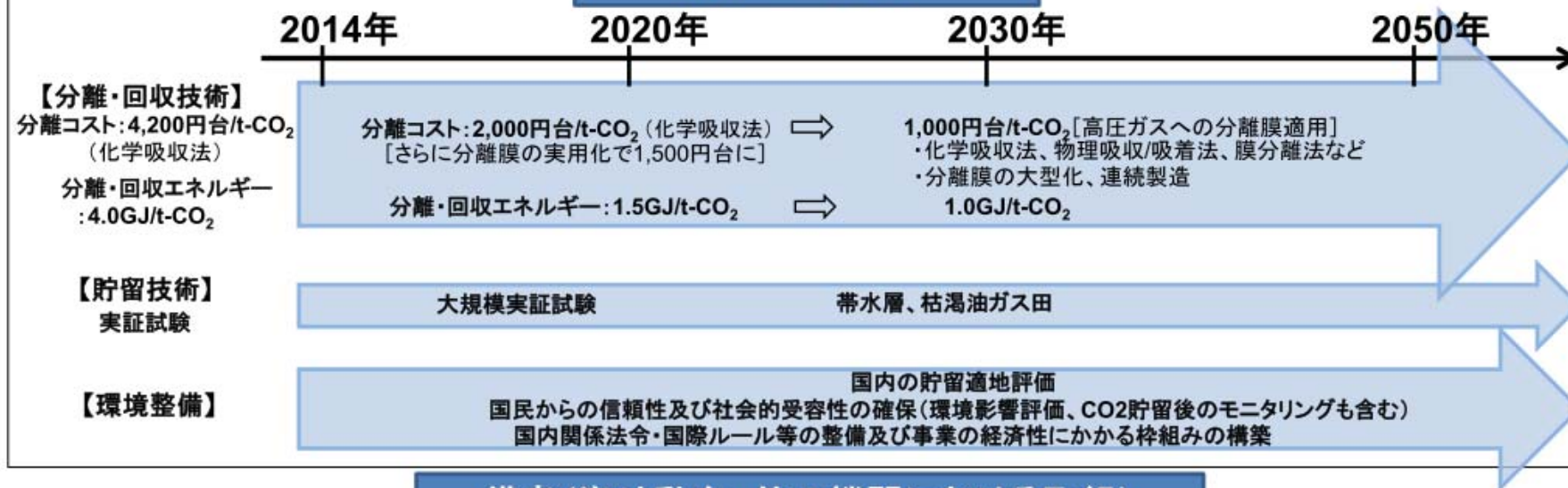
当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

- CCSは、大規模排出源の排ガス等からCO₂を分離・回収し、地下貯留することにより、CO₂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CO₂分離回収技術や、安全性向上に有効な地下貯留したCO₂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CO₂を地下貯留するためのCO₂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。
- CO₂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)
 - 2050年を見据えた革新的なエネルギー関連技術の研究開発体制
- エネルギー革新戦略 (METI)
 - 2030年に向けたエネルギー政策

(2017年9月とりまとめ)

- エネルギー環境イノベーション戦略に関するロードマップ (ワーキンググループ)
 - 特定した分野の技術ロードマップの策定、効率的な研究開発体制の構築

「エネルギー・環境イノベーション戦略」で推進する革新技术

有望分野の特定

- ①非連続で大きいインパクト、②大きな排出削減ポテンシャル、
③産学官の総力結集、④日本が先導し優位に立てる技術

エネルギーシステム統合技術： AI・IoT等を活用し、エネルギーシステム全体を最適化

システムを構成するコア技術： 次世代パワエレ、革新的センサー、多目的超電導の開発

分野別革新技术

省エネルギー



- 1, 革新的生産プロセス：革新的な分離膜や触媒の開発
- 2, 超軽量・耐熱構造材料：材料の軽量化・耐熱化

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の開発
- 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

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の開発
- 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

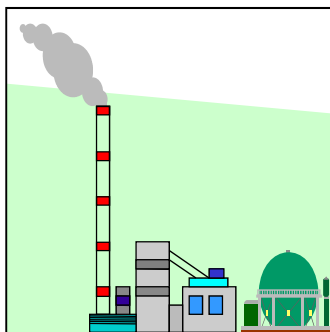
- ★ 7, **CO₂固定化・有効利用**：排ガス等からCO₂を分離回収し、化学品等の原料へ転換・利用

【5】二酸化炭素固定化・有効利用（抜粋）
本戦略における**CO₂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CO₂分離・回収技術**を追求する。本技術は、CO₂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。

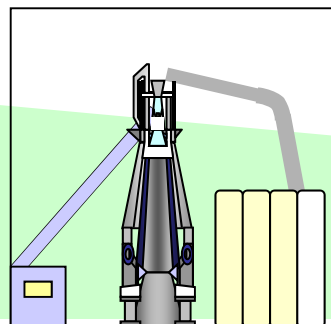
発生源に適したCO₂分離・回収技術

発生源の規模・CO₂ガス圧により最適な回収技術の開発

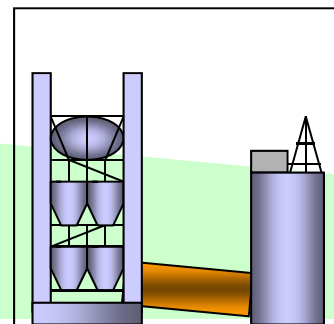
火力発電所



製鉄所(高炉等)



セメント工場



製油所等



国内CO₂発生量
(億トン/年)

4.6

1.9

0.7

1.0

CO₂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

RITEにおけるCO₂分離・回収技術

【NEDO委託事業】

H25FY～H29FY

・化学吸収法 **COURSE50**

(高炉ガスからのCO₂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**

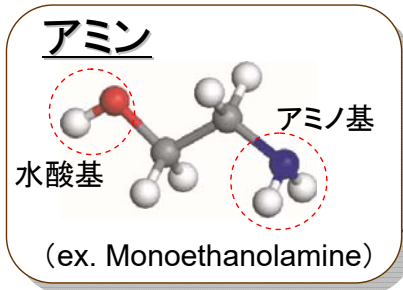
(石炭火力発電からのCO₂分離・回収)

H27FY～

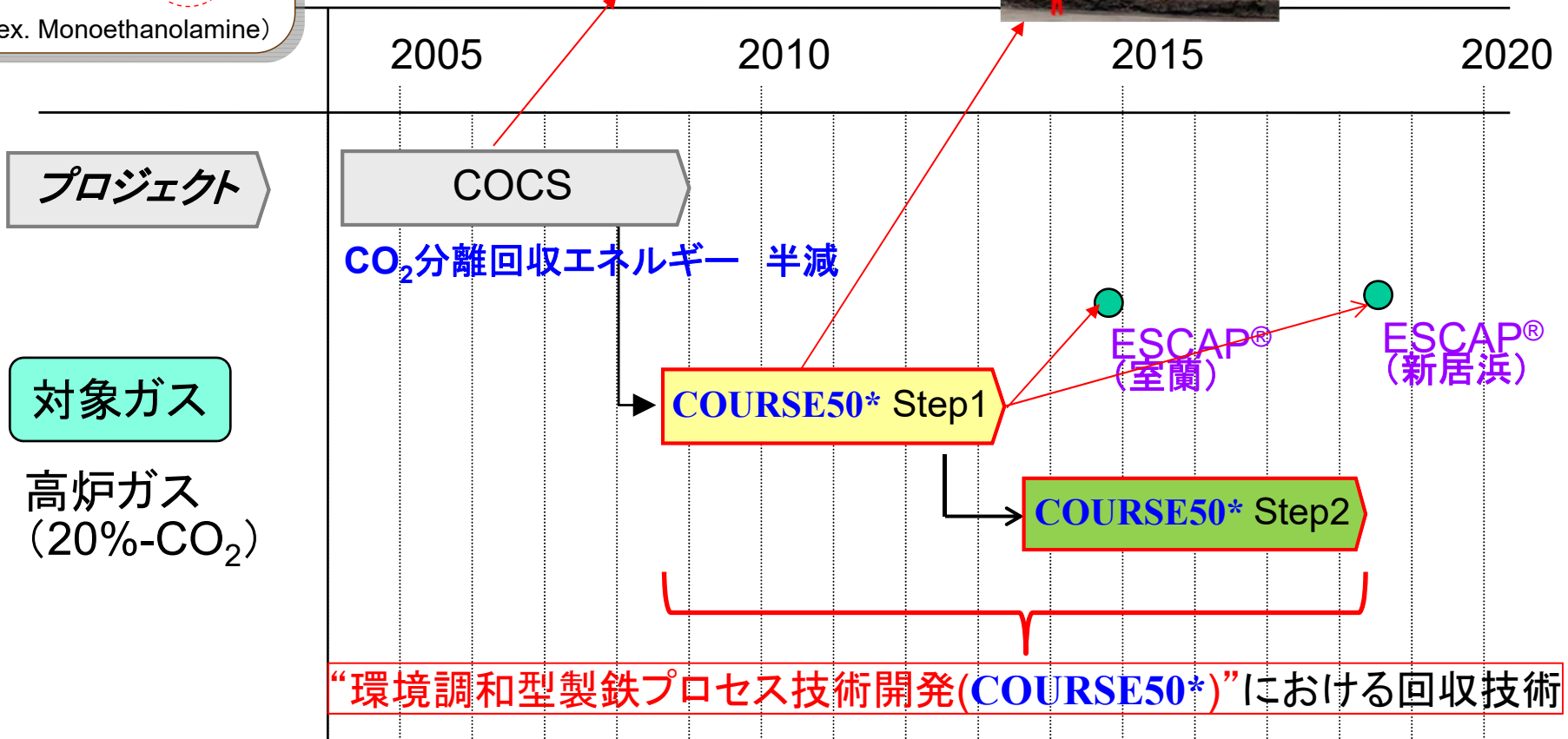
・膜分離法 **二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業**

(IGCCガスからのCO₂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



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)

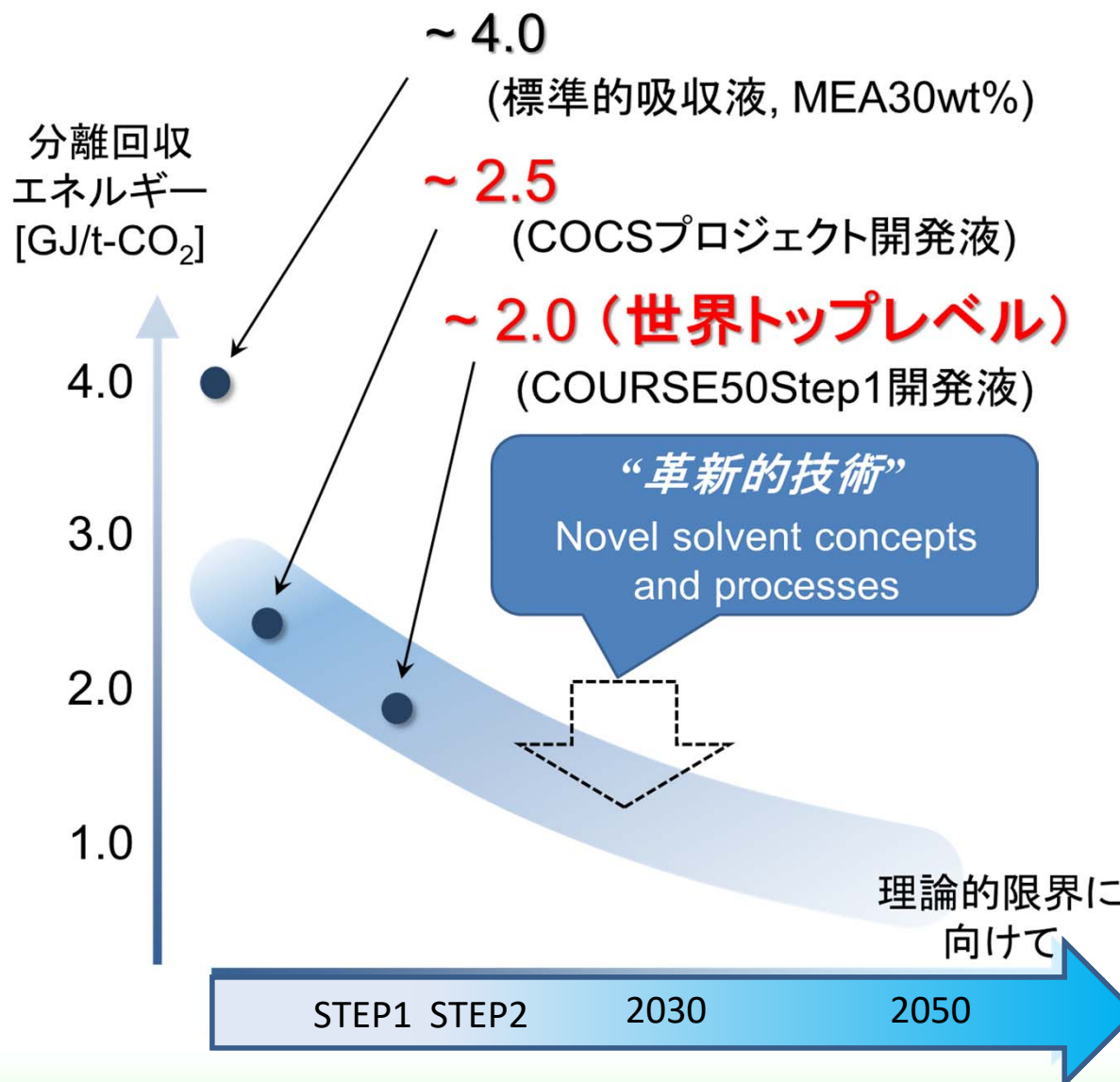
⇒ Step1に引き続き、新日鐵住金株式会社殿との共同実施
(平成25年～平成29年度)

[目標] 高炉ガスからのCO₂分離・回収コスト2,000円/t-CO₂以下
を確実なものとする新規高性能吸収液の開発

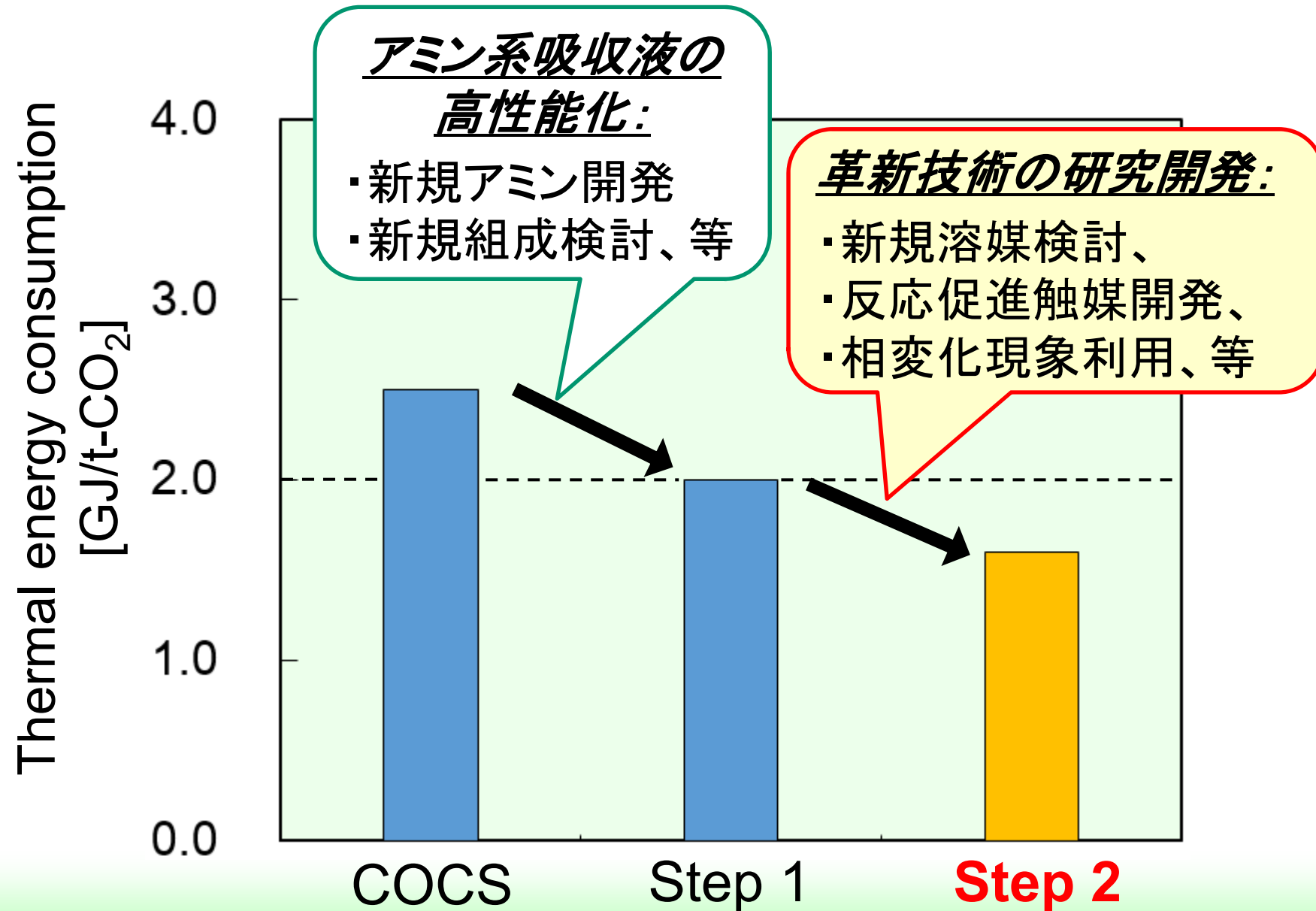
[高性能吸収液の開発目標]

- ◎ 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



エネルギー消費低減への取組み



COURSE50成果の産業利用

COURSE50において開発した化学吸収液の一つは、新日鉄住金エンジニアリング(株)のCO₂回収設備(ESCAP®)*に採用。

- 1号機 稼働中(製鉄所)
- 2号機 2018年稼働予定(**発電所**)

✓ 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分離回収として、
日本で初めての商業設備となる。

* ESCAP®: 新日鉄住金エンジニアリング(株)において
開発された省エネ型二酸化炭素回収設備



商業化1号機
(新日鐵室蘭製鉄所)

www.eng.nssmc.com

RITEにおけるCO₂分離・回収技術

【NEDO委託事業】

H25FY～

・化学吸収法 **COURSE50**

(高炉ガスからのCO₂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CO₂分離・回収)

H27FY～

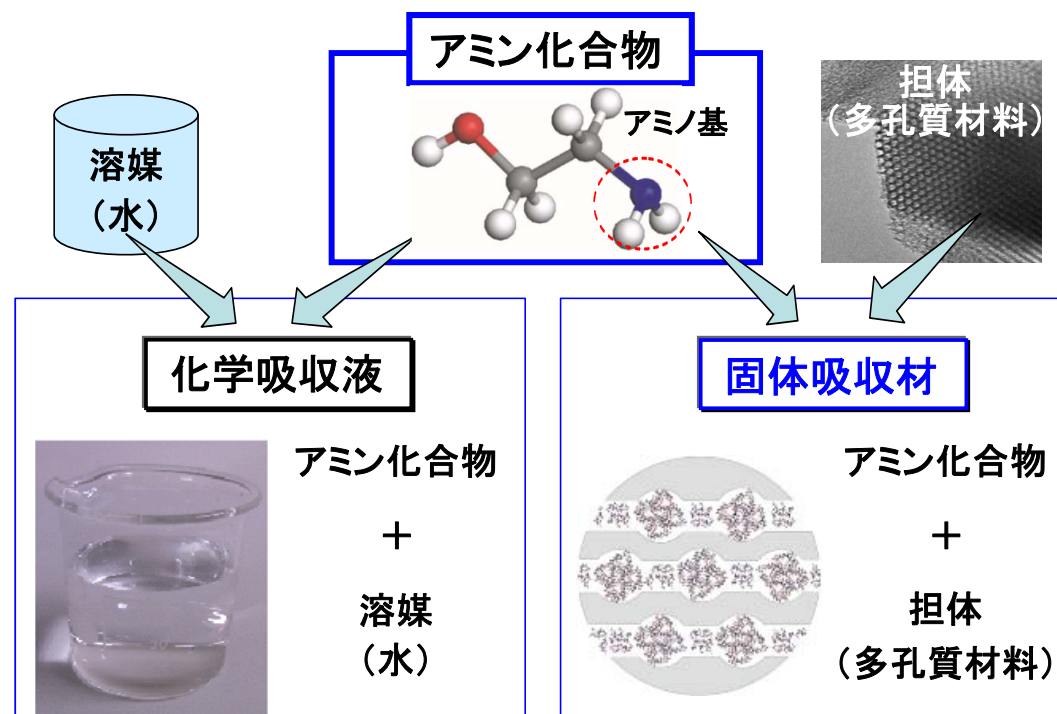
・膜分離法 **二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業**

(IGCCガスからのCO₂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

実用化研究フェーズ(H27年度～)

対象: 石炭火力発電所 目標: 分離回収エネルギー: $< 1.5 \text{ GJ/t-CO}_2$



【海外の動向】

RTI (米国事業)

- ・PEI (市販アミン) / シリカ
- ・ベンチ試験を実施
- ・再生温度: $> 110^\circ\text{C}$
- ・約 2.5 GJ/t-CO_2

KEPCO (韓国事業)

- ・ K_2CO_3 / 担体
- ・パイロット試験実施中
- ・再生温度: $120\text{--}140^\circ\text{C}$
- ・約 5 GJ/t-CO_2

① 固体吸収材は化学吸収液に比べ比熱が小さい

② RITE開発アミンは低温再生が可能 (60°C)

RITE (本事業) → 分離回収エネルギーを大幅に低減可能

ラボスケールCO₂分離回収試験

ラボスケール連続試験装置(固定層3塔切替仕様)で
目標性能(≤ 1.5 GJ/t-CO₂)を達成



吸着カラム
(3塔切替式)

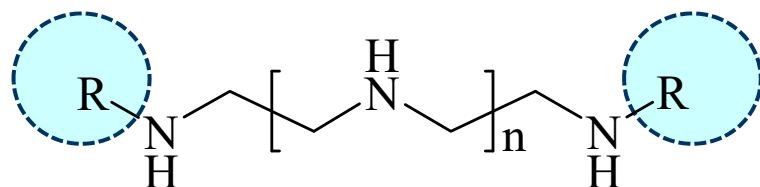
1
サイクル

Step	操作			時間
	カラム1	カラム2	カラム3	
1	(昇圧)	脱着	洗浄	3 or 4 min
2	吸着		(待機)	
3				
4	洗浄	(昇圧)	脱着	3 or 4 min
5	(待機)	吸着		
6				
7	脱着	洗浄	(昇圧)	3 or 4 min
8		(待機)	吸着	
9				
100サイクル後試験終了				

吸収材	運転温度	cycle時間	洗浄時間	回収率	回収純度	消費E
H28ベンチ試験用 (市販アミンブレンド)	80 °C	9 min	10 sec	92.8 %	88.3 %	1.47 GJ/t
H29ベンチ試験用 (RITEアミン)	60 °C	9 min	30 sec	94.7 %	> 99 %	1.41 GJ/t
		12 min		99.0 %	> 99 %	1.38 GJ/t

※ 圧カスイング再生: 脱着時減圧(約15 kPa)

固体吸収材のスケールアップ合成技術開発



RITE開発アミン
置換基Rの効果でCO₂吸収脱離性能向上

アミン合成設備



担体



	ベンチ試験用RITEアミン	固体吸収材製造
H28	<u>0.5t</u> を合成 (ベンチ試験用に市販アミンとブレンド)	担持に有機溶媒を使用 処理量に課題 (バッチあたり $< 10^{-2} \text{ m}^3$)
H29	<u>3.5t</u> を合成 (RITEアミンのみを使用してベンチ試験材を製造)	水を溶媒として使用 処理量を大幅増大 (バッチあたり $\sim 10 \text{ m}^3$)

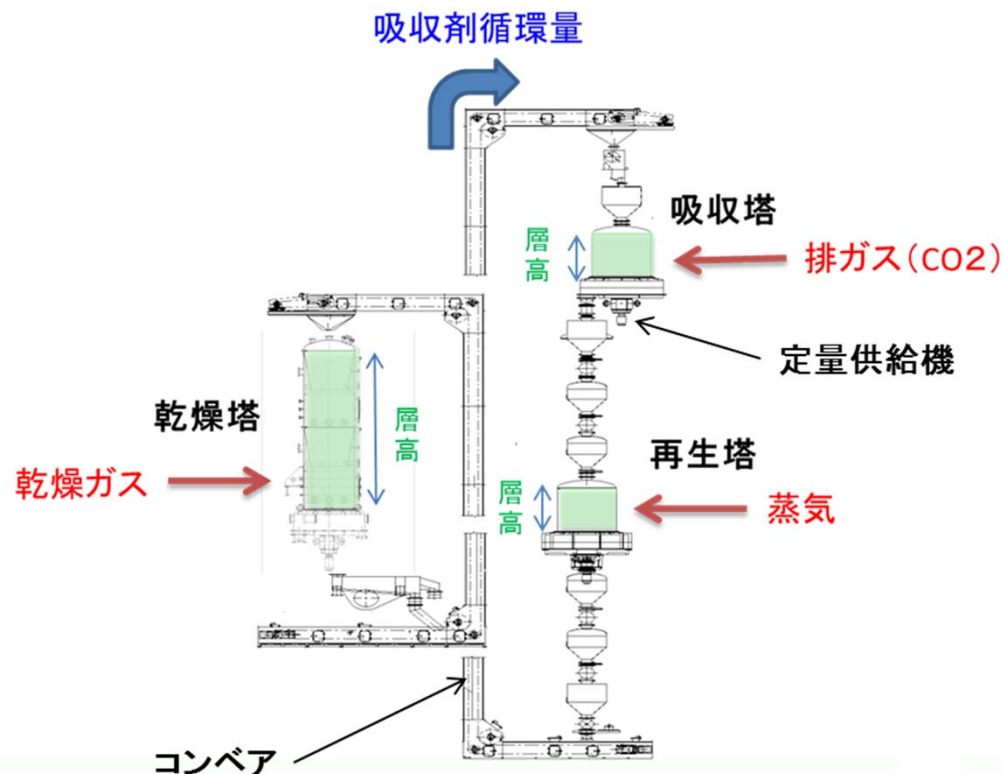
**10m³規模の合成
技術を確立**

◎中間目標達成
→ 更なるスケールアップへ

ベンチスケール燃焼排ガス試験

＜試験目的＞

- ・吸収材の移動特性及びCO₂回収性能の把握
- ・要素機器改善による回収CO₂純度の向上
- ・ガス中水分の計測機器選定
- ・実ガス試験に向けた課題抽出



＜ベンチ試験装置の概観＞
(川崎重工業 明石工場内に設置)

設備仕様

吸収材循環量 4～12 m³/h

吸収塔: 層高 0.4～1.8 m

再生塔: 層高 0.4～1.8 m

蒸気量 ～500 kg/h

乾燥塔: 乾燥ガス量 ～3,400 Nm³/h

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

2010 ～ 2014



ラボ試験
(数kg/day)

RITE
CO₂連続回収
試験装置

実用化研究
フェーズ

(先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業)

2015

2016

2017

2018

2019



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



実ガス試験
(40 t/day)

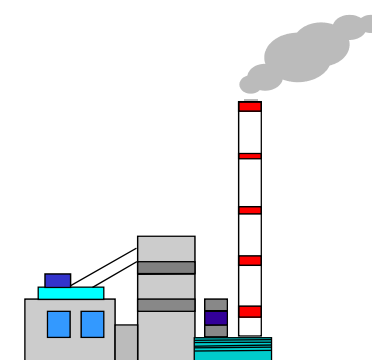
関西電力舞鶴発電所内
で実施予定
(2017/9/19プレスリリース)

実証・商用化
フェーズ

2020 ～

大規模
CCS

石炭火力プラント
+ 制度的仕組みの導入



石炭火力発電所等
(3,000t/day)

成果まとめと今後の予定

成果

- ラボレベルの小型連続回収試験装置を用いたCO₂連続回収試験において、優れたCO₂分離回収性能を有することを実証し、再生エネルギー<1.5 GJ/t-CO₂を達成した。
- 10m³規模での新規固体吸収材合成を可能とするスケールアップ合成技術を確立した。
- 川崎重工業(株)明石工場に設置されている移動層システムの試験装置を利用して、CO₂回収量3~5 t-CO₂/day規模のベンチスケール燃焼排ガス試験を開始した。

今後の予定

- 実ガス試験に向けた材料最適化、要素技術完成
- 関西電力舞鶴発電所内で40 t-CO₂/day規模の実ガス試験を実施予定

RITEにおけるCO₂分離・回収技術

【NEDO委託事業】

H25FY～

・化学吸収法 **COURSE50**

(高炉ガスからのCO₂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**

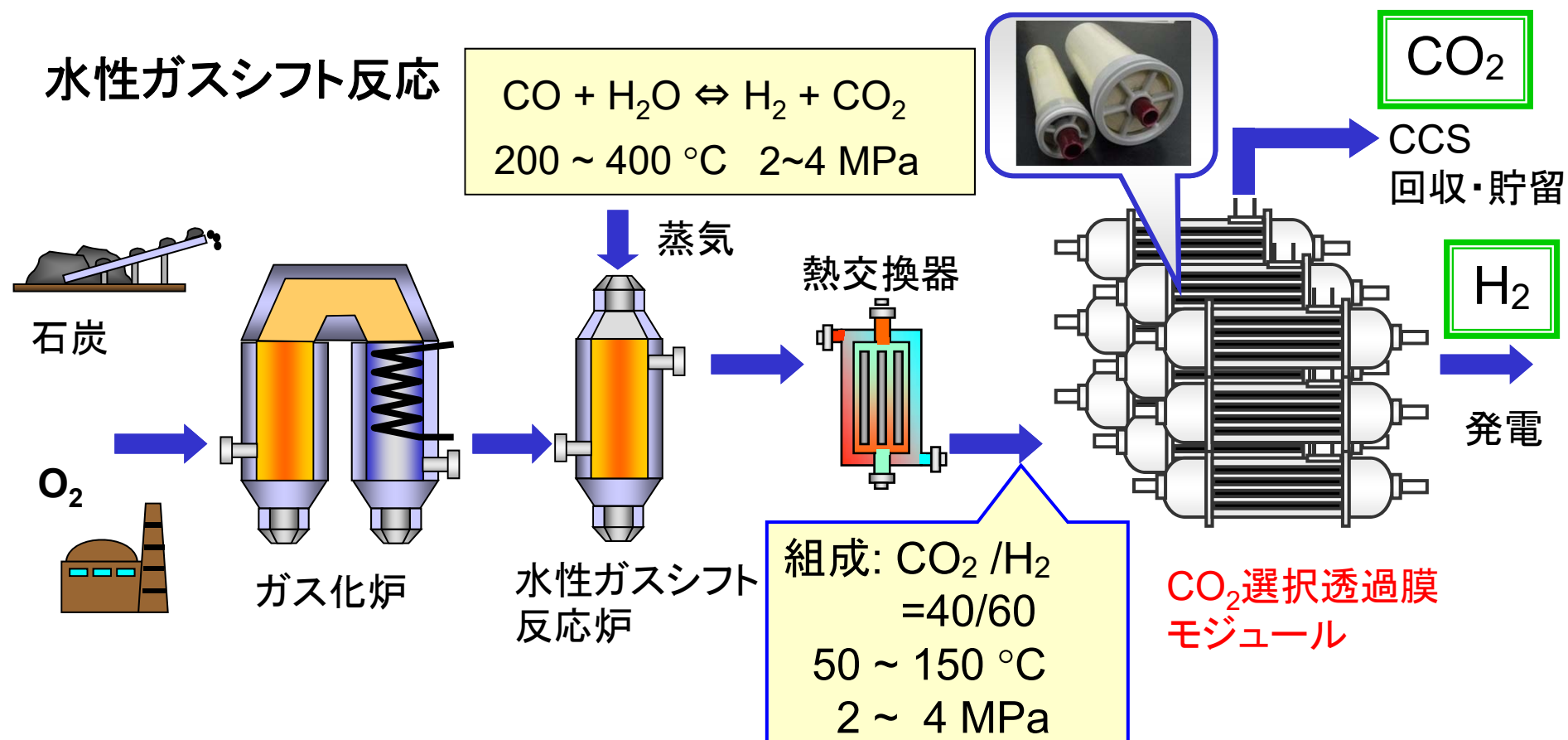
(石炭火力発電からのCO₂分離・回収)

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CO₂分離・回収)

次世代型分離膜モジュールの開発



CO₂分離膜モジュール研究開発事業

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

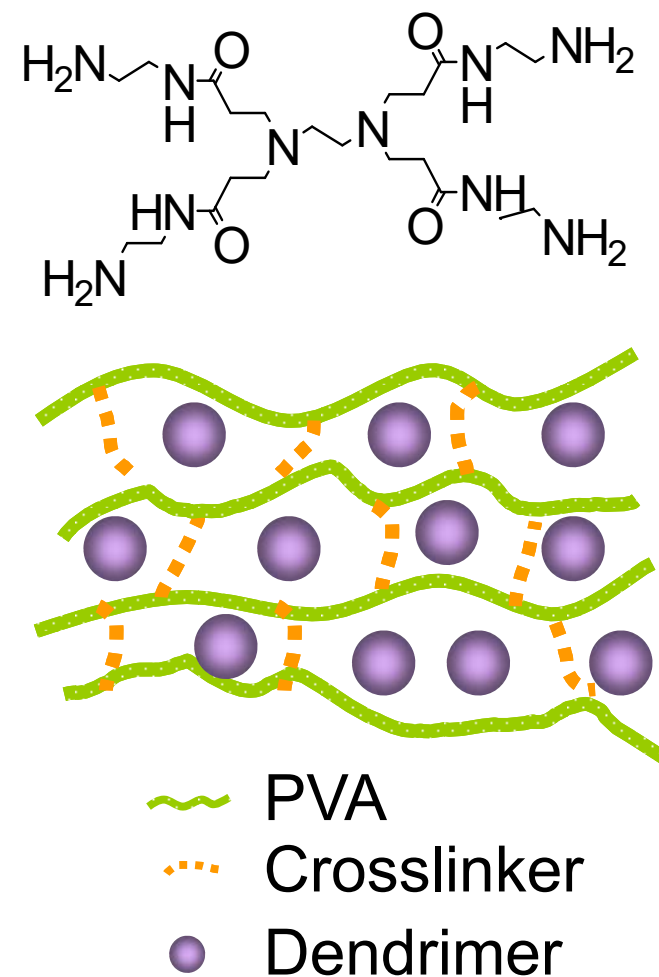
二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業(METI)

- * 二酸化炭素回収技術高度化事業(H23FY～H26FY)
目標 回収コスト 1,500円/t-CO₂を実現する
CO₂選択透過(分子ゲート)膜モジュールの基礎研究

二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業(METI)

- * 二酸化炭素回収技術実用化研究事業(H27FY～H28FY)
- * CO₂分離回収技術の研究開発事業(H29FY～H31FY予定)
目標 石炭ガス化炉からの実ガスを用いた検証試験

RITE
Research Institute of Innovative
Technology for the Earth



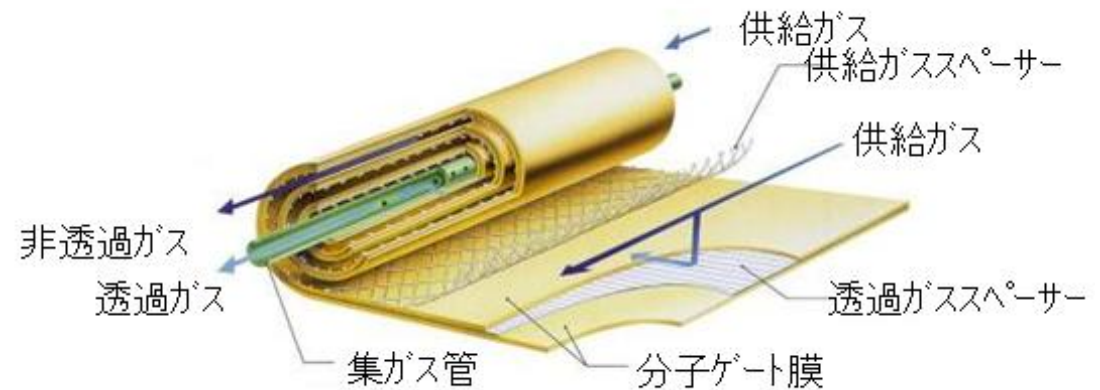
CO₂分離膜エレメント



膜エレメント

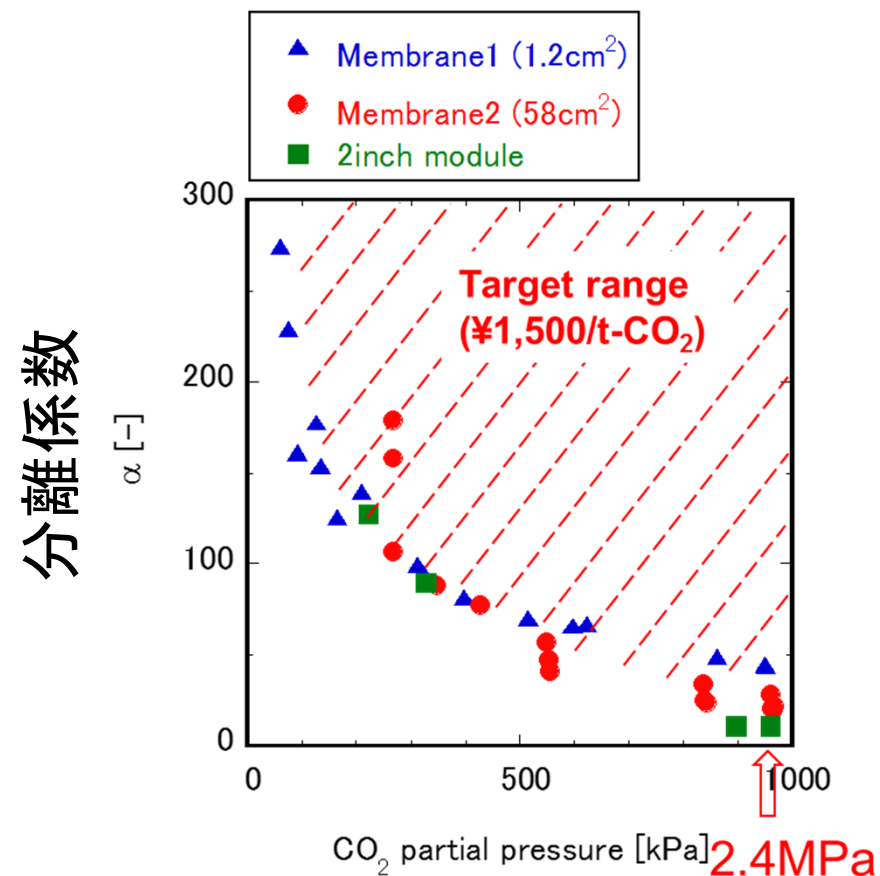
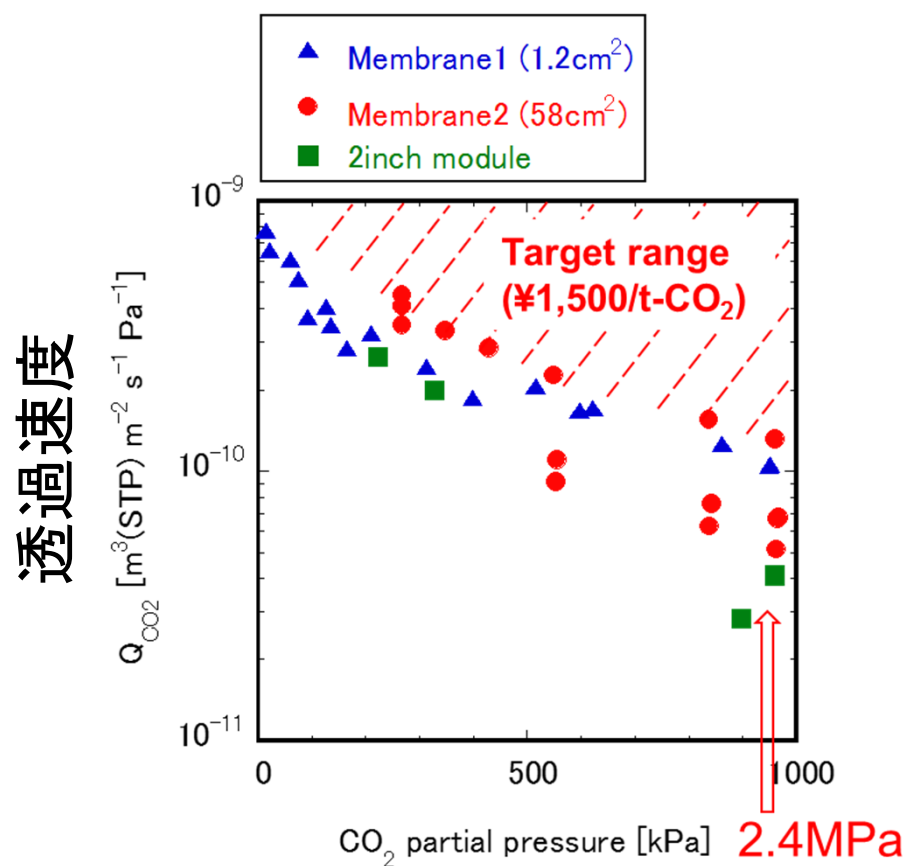
スパイラル膜エレメント

左: 直径2inch, 右: 直径4inch;
長さ=200mm



スパイラル膜エレメントの構造

分子ゲート膜のCO₂分離性能

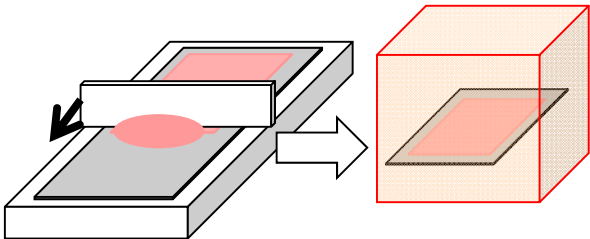
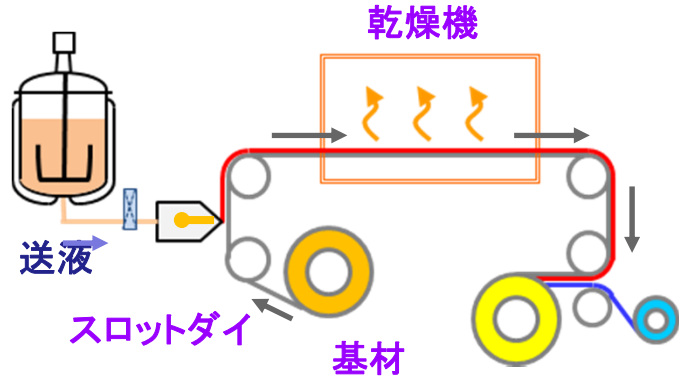


模擬ガス、ラボスケールで、目標性能を達成
→ 実用化に向けた膜エレメント開発と実ガス等の実用化試験

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

連続製膜機を用いた製膜

実用化に向け、一定長さ以上の大面積塗布が可能で
生産性も高い連続製膜での分離膜の製膜技術を開発

	枚葉製膜	連続製膜
	 卓上コーター 卓上乾燥機	 乾燥機 送液 スロットダイ 基材
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と膜の分離性能

➤ 連続製膜技術の開発

- ・塗布液粘度の調整
- ・乾燥時間の検討
- ・塗布厚みの検討

➤ 連続製膜した膜の単膜及び作製した膜エレメントの分離性能

- ・試作エレメント

直径 2inch、長さ 220mmのエレメントを試作

	Q_{CO_2}	Q_{He}	α
	[m ³ (STP)/m ² /s/Pa]	[m ³ (STP)/m ² /s/Pa]	
単膜(連続製膜)	1.94E-11	1.18E-12	16.5
膜エレメント	1.83E-11	1.54E-12	11.9

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(スweepなし)

→ 薄膜化および薄膜を用いたエレメント化を検討中

海外実ガス試験についての検討

国内での実ガス試験には、水性ガスシフト反応器、各種前処理設備の製造、設置を含む費用と準備期間が必要

→水性ガスシフト反応器、各種前処理設備を保有する試験サイトとして、ケンタッキー大学※が有望な候補地と判明。現在、調整中。

※University of Kentucky – Center for Applied Energy Research (UK-CAER)

<ガス化炉: Gasification>

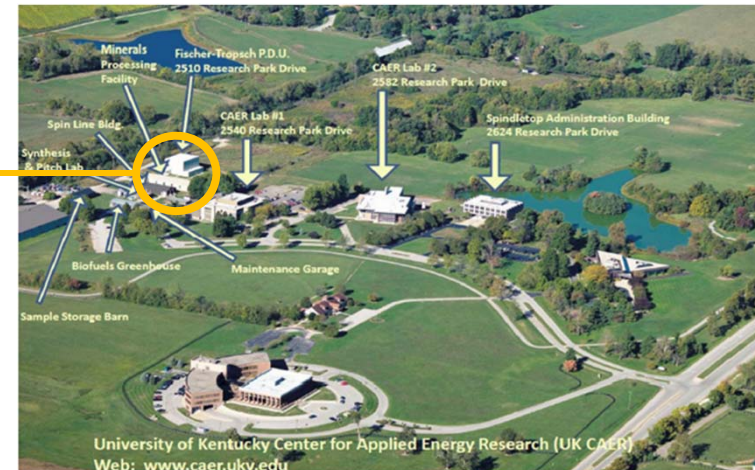
- 石炭専焼 (石炭+バイオマス混焼も可能)
- 酸素吹きプラント
- 石炭使用量: 1ton/day
- Syngas流量: 72.6kg/h

<水性ガスシフト反応器: WGS>

- H_2/CO 比
反応前0.7 ⇒ 反応後2.0
- Co、Fe触媒

<酸性ガス処理設備>

- アミン吸収液による回収法
- 昇圧設備: 2.76MPa
- 脱硫設備 (処理ガスS分<1ppm)



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

CO₂分離膜実用化に向けたロードマップ

基盤技術研究 実用化研究フェーズ 実証フェーズ 商用化フェーズ
2011 15 20 25 30 35



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- CO₂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
- ・ CO₂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）

- ・COURSE50の開発液が民間企業の省エネ型CO₂回収設備に採用され、2018年に商業化2号機へ適用予定。
- ・次年度以降、新規継続プロジェクトにおいて、エネルギー消費が更に削減可能な新規吸収液の実用化技術確立を目指す。

2. 固体吸収法（石炭火力ガス）

- ・ラボレベルの小型連続回収試験装置を用いたCO₂連続回収試験において、再生エネルギー<1.5 GJ/t-CO₂を達成した。
- ・今後は、実試験を関西電力(株)舞鶴発電所内で行う予定。

3. CO₂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、実用化試験による技術課題を抽出し、その解決を行っており、CO₂分離膜の量産化に向けた連続製膜技術を確立した。
- ・石炭ガス化実ガスによる試験に向け、国内外のIGCC実ガス試験サイトを選定し、実ガス試験準備を進めている。

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