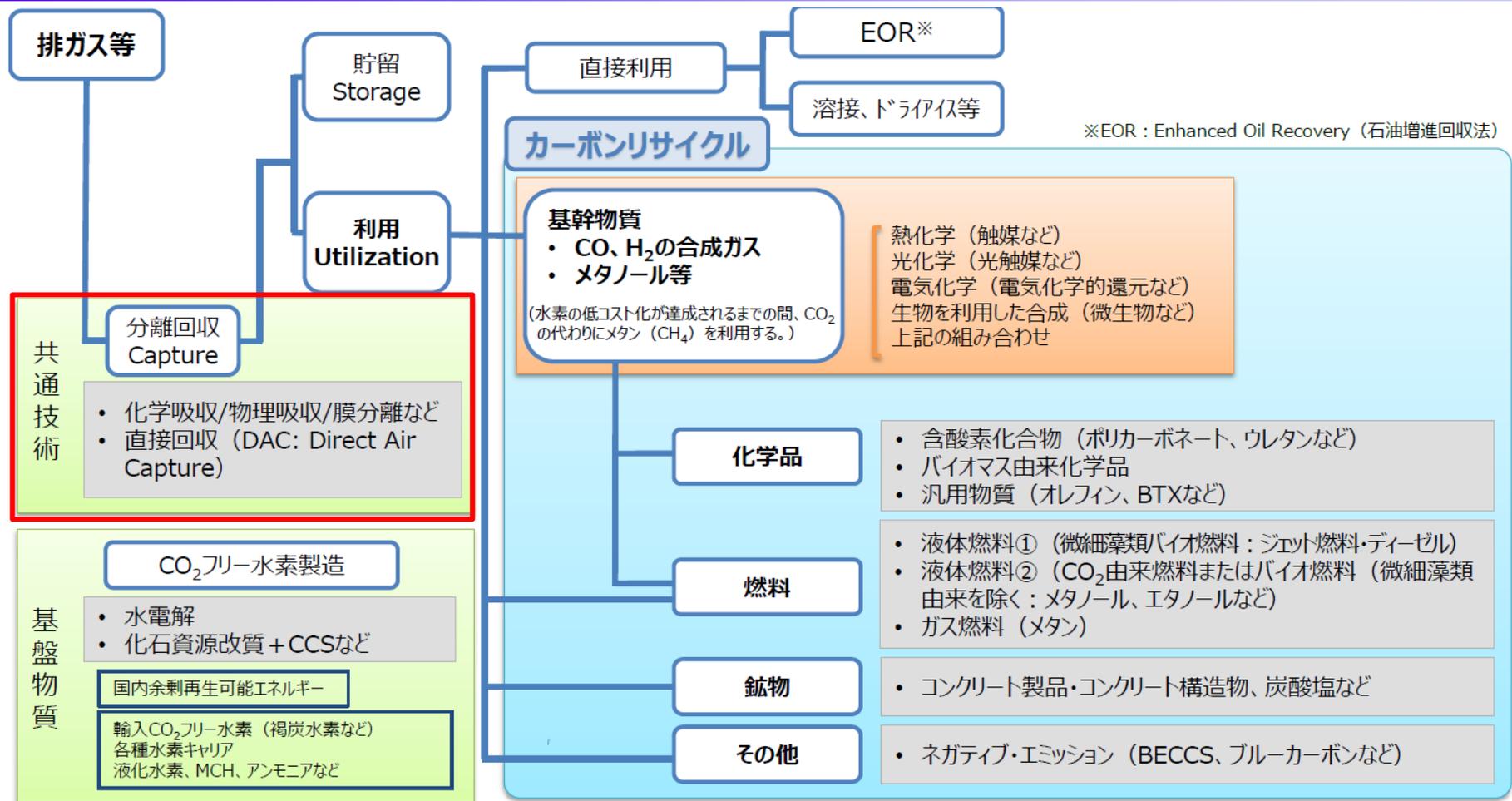


# CO<sub>2</sub>分離回収技術の実用化検討と 今後の展開

(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



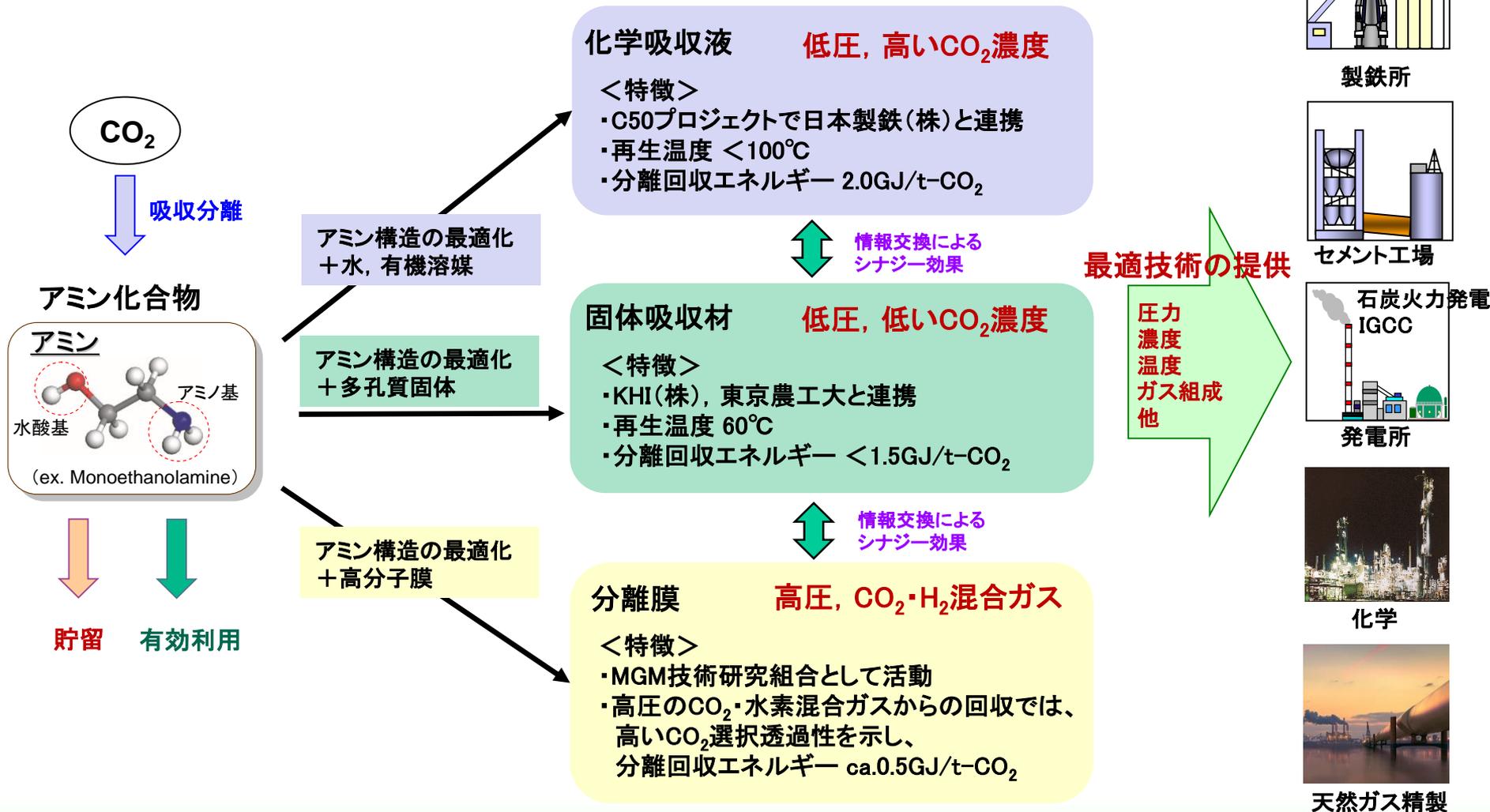
# CCUS/カーボンリサイクル



カテゴリー	CO <sub>2</sub> 変換後の物質	現状 <sup>※1</sup>	課題	既存の同等製品の価格 <sup>※1</sup>	2030年	2050年以降
共通技術	CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> (化学吸収法)	所要エネルギーの削減 など	—	1000~2000円台/t-CO <sub>2</sub> (化学吸収、固体吸収、物理吸収、膜分離)	1000円以下/t-CO <sub>2</sub>

# アミン化合物を中心とした CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発

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



# 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)

## 【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

Phase 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**

# COURSE50の技術課題とCO<sub>2</sub>削減目標

世界初の水素還元活用とCO<sub>2</sub>分離回収によるCO<sub>2</sub>排出量30%削減を目指す

水素還元⇒  
10%削減

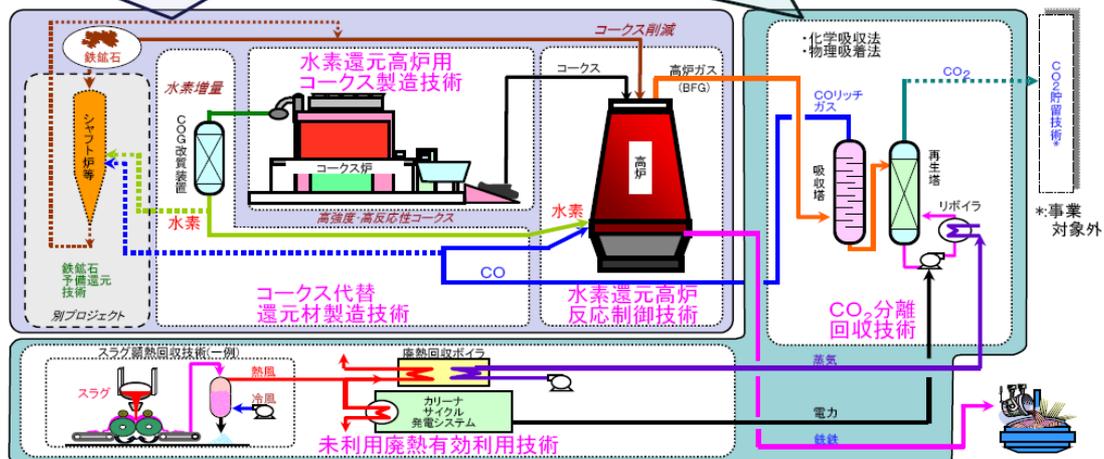
(1) CO<sub>2</sub>排出量削減技術開発

水素をコークスの一部代替として鉄鉱石を還元し、CO<sub>2</sub>を10%削減

(2) CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

高炉ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収し、CO<sub>2</sub>を20%削減

CO<sub>2</sub>分離・回収  
⇒20%削減



出典) NEDO環境技術分野事業報告会 (H開30.7.19開) 資料に加筆

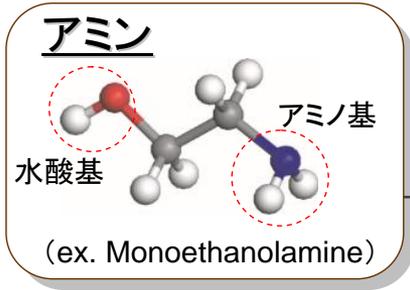
鉄鋼セクター固有技術開発		2010	2020	2030	2040	2050	2100
COURSE50	高炉による水素還元 (所内水素)		開発			実機化	
Super COURSE50	高炉による水素還元 (外部水素)	ステップアップ		開発			
水素還元製鉄	高炉を用いない水素還元製鉄		ステップアップ		開発		実機化
CCS	高炉ガス等からのCO <sub>2</sub> 回収		開発				実機化
CCU	製鉄所起源CO <sub>2</sub> の有価化			開発			実機化

超革新技術(水素還元製鉄、CCSU等)、系統電源のゼロエミッション化により2100年の鉄鋼プロセスの脱炭素化達成を想定

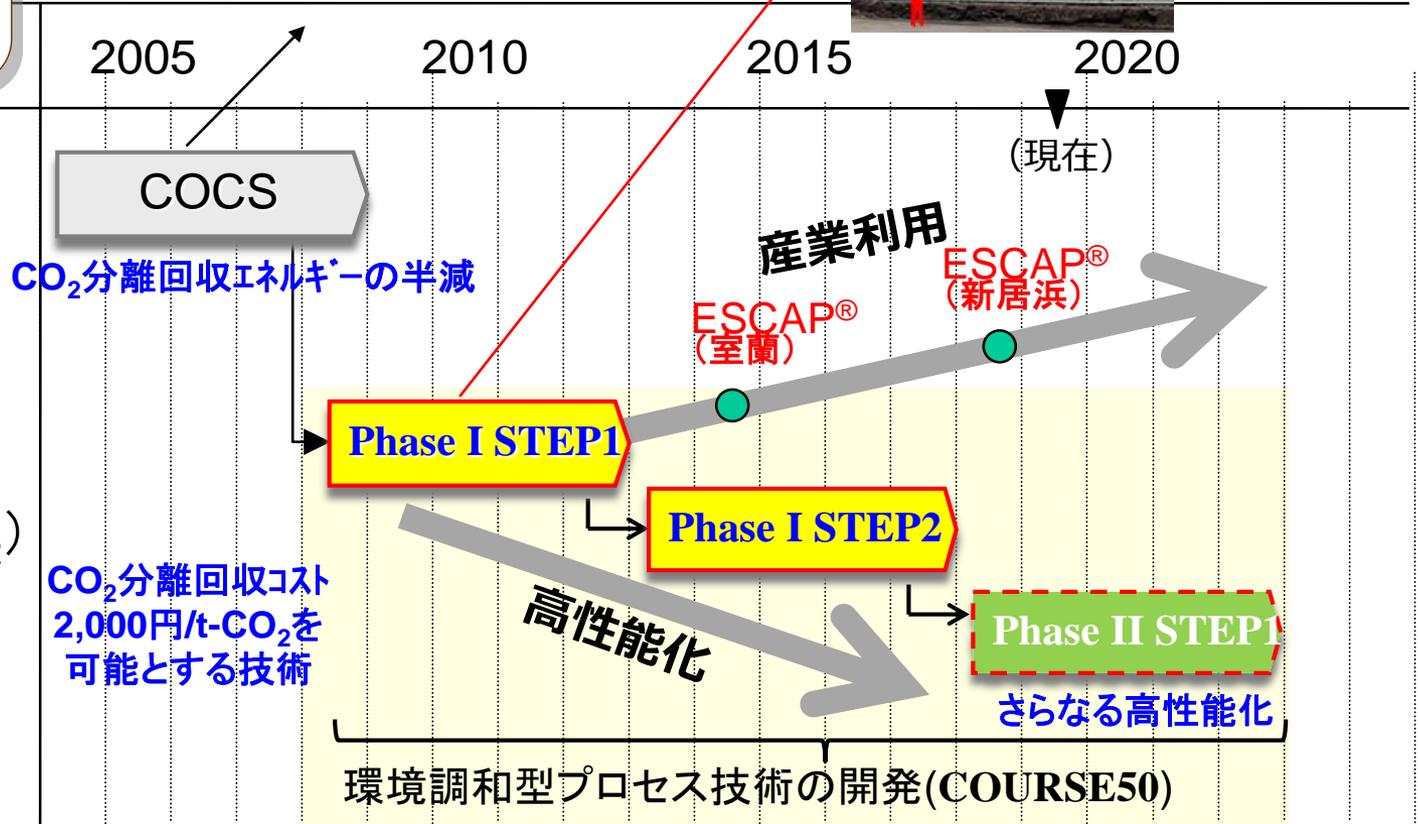
水素還元製鉄: 炭素還元製鉄と等価な水素価格 = 7.7 円 / Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub> \*

\* 出典: 日本鉄鋼連盟 長期温暖化対策ビジョン『ゼロカーボンスチールへの挑戦』平成30年11月19日

# 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

# 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)

## 【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)

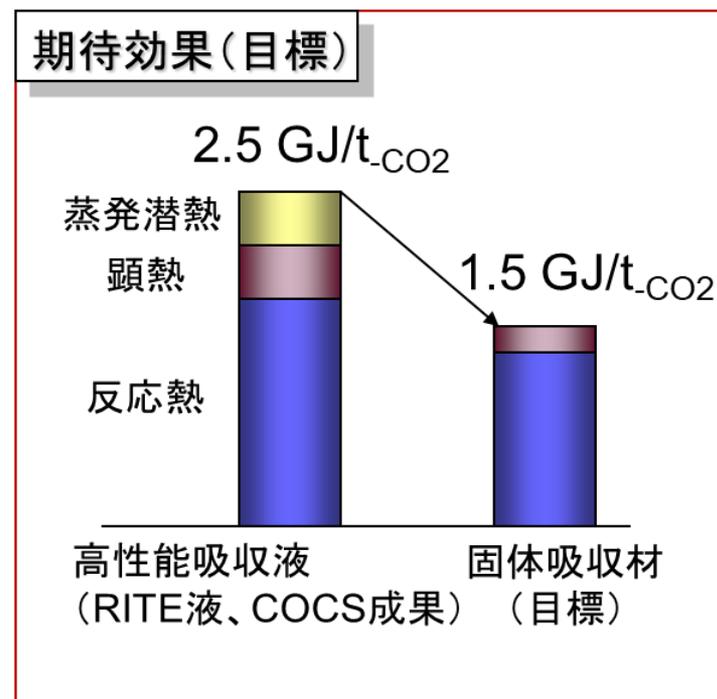
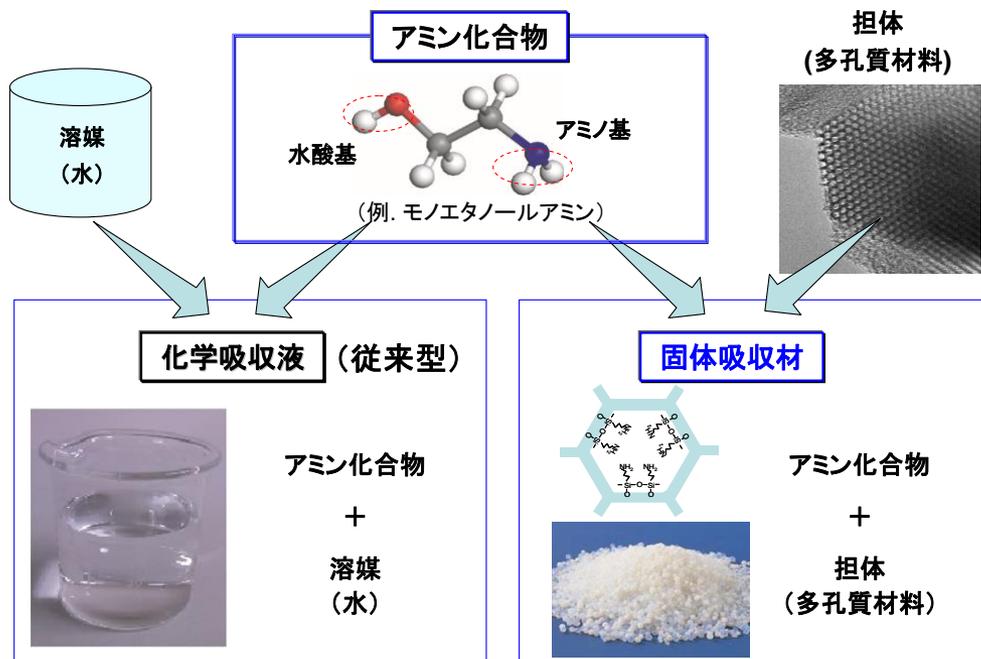
体制: MGM技術研究組合

# 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)

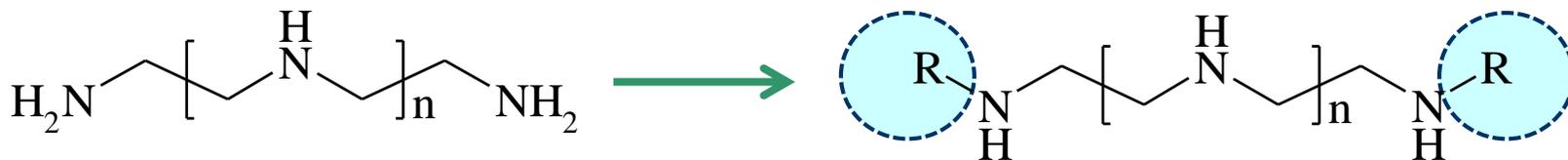
<目標> 分離回収コスト2,000円台/t-CO<sub>2</sub>、エネルギー< 1.5 GJ/t-CO<sub>2</sub>

○固体吸収材とは

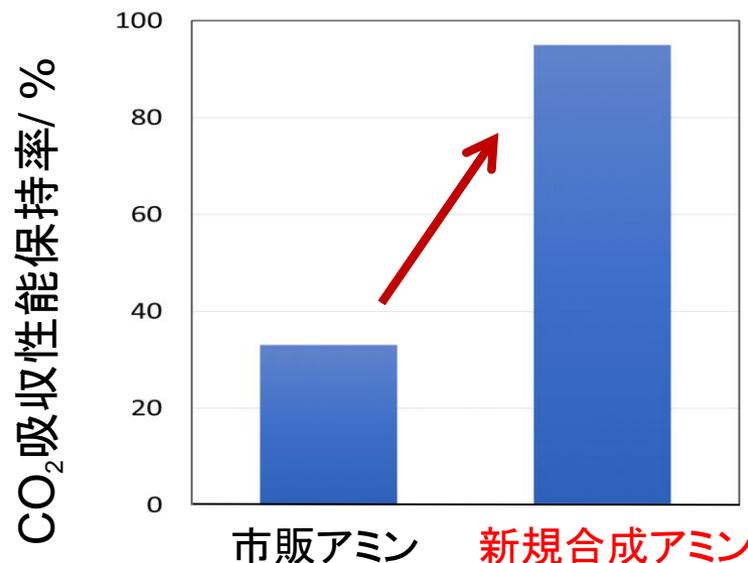
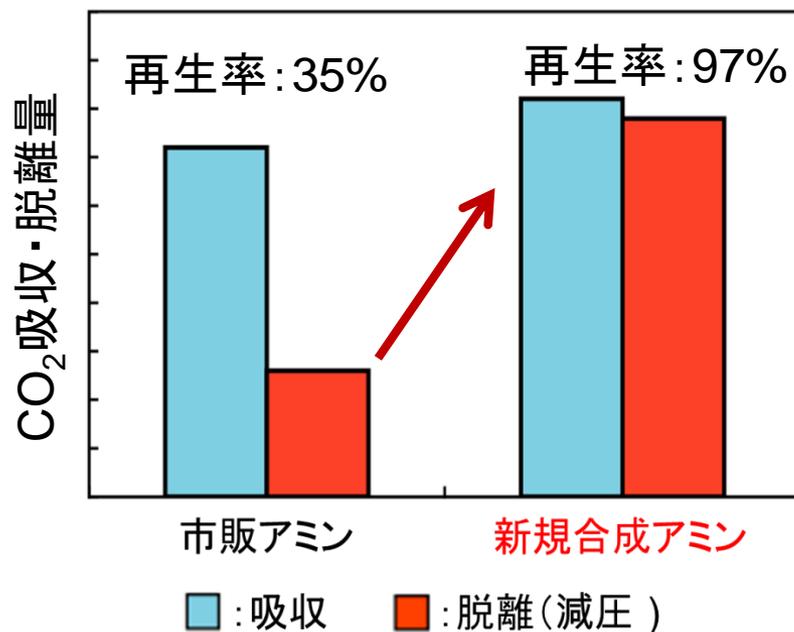


CO<sub>2</sub>再生時に比熱の大きい水を加熱する必要が無いため、CO<sub>2</sub>分離回収エネルギーの低減が可能

# RITE開発固体吸収材の酸化劣化耐性



嵩高い置換基R → CO<sub>2</sub>の吸収・脱離性能が向上



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%)

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)

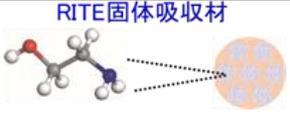
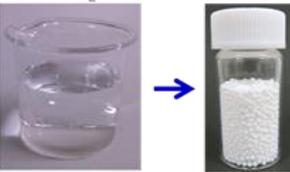
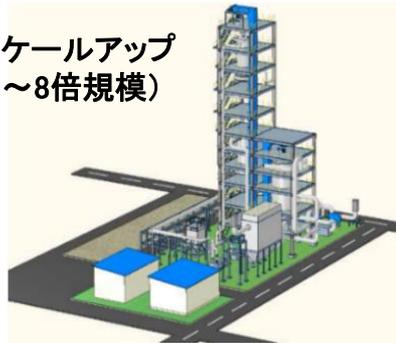
RITE開発アミン:酸化劣化耐性

# 目標達成までのロードマップ

(基盤技術開発)

(実用化研究)

(スケールアップ・実ガス試験)

項目	FY2010～FY2014	FY2015～FY2019	FY2020～FY2024	2030頃
材料開発	<p>RITE固体吸収材</p>  <p>革新的な省エネ型 CO<sub>2</sub>回収を可能に</p>  <p>(～1L)</p>	 <p>アミン合成設備</p>  <p>担体 ベンチ試験用材料搬入</p> <p>(～15m<sup>3</sup>)</p>	<p>材料の大規模 製造技術確立</p> <p>(100m<sup>3</sup>～)</p>	<p>制度的仕組み の導入 +</p> <p><b>大規模 CCS</b></p> <p>3,000 t/day</p> <p>石炭火カプラント</p>
システム開発	 <p>RITE固体吸収材</p> <p>(ラボスケール: ～3kg/day)</p>	 <p>(ベンチスケール: ～7 t/day)</p>	<p>スケールアップ (～8倍規模)</p>  <p>(パイロットスケール: 40 t/day)</p>	
内容	<p>固定層基礎試験 基本データ・特許取得</p>	<p>移動層適用検討 効率改善</p>	<p>移動層実ガス試験 発電所内で実施にむけて 検討中</p>	

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)

## 【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

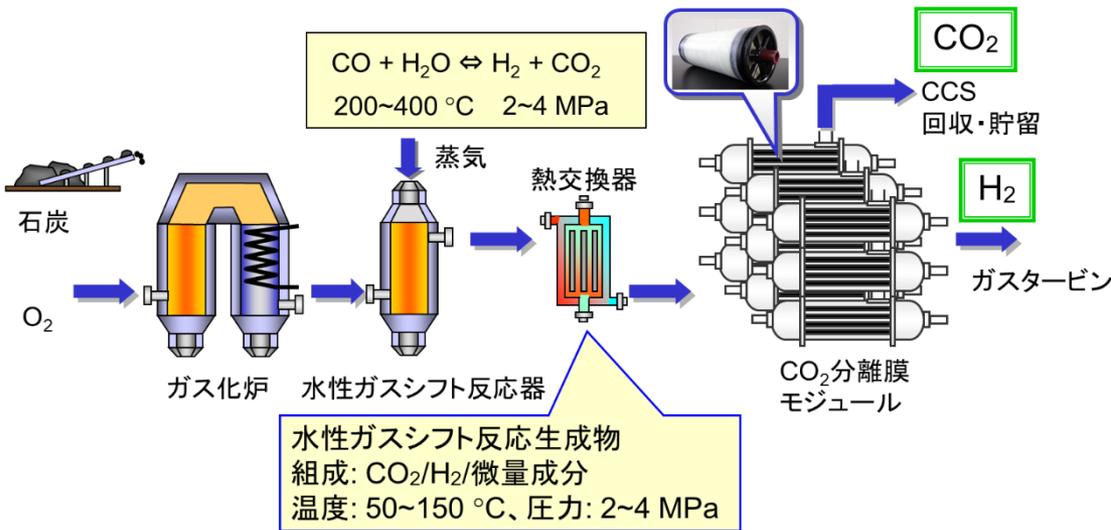
(IGCCガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収)

体制: MGM技術研究組合

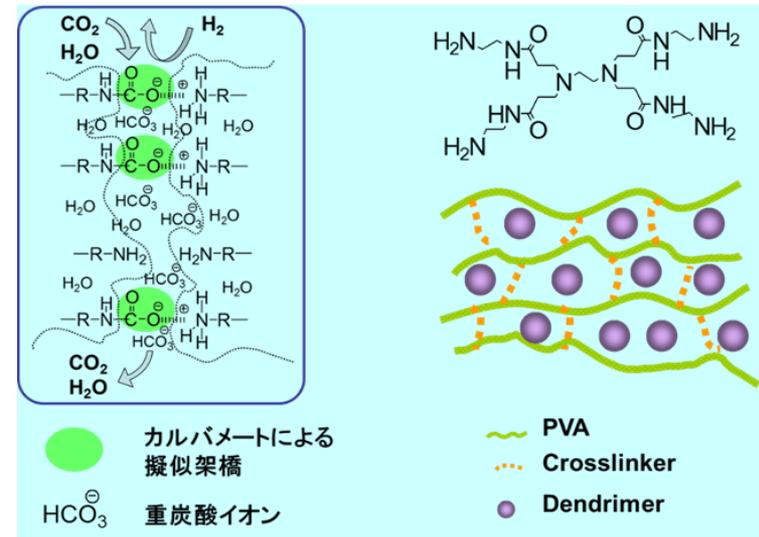
# 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

<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 : ≤1,500円/t- CO<sub>2</sub>  
CO<sub>2</sub>分離・回収エネルギー : ≤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



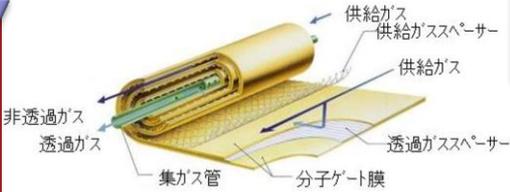
分子ゲート膜のCO<sub>2</sub>透過機構

# 分離膜の開発段階のイメージ

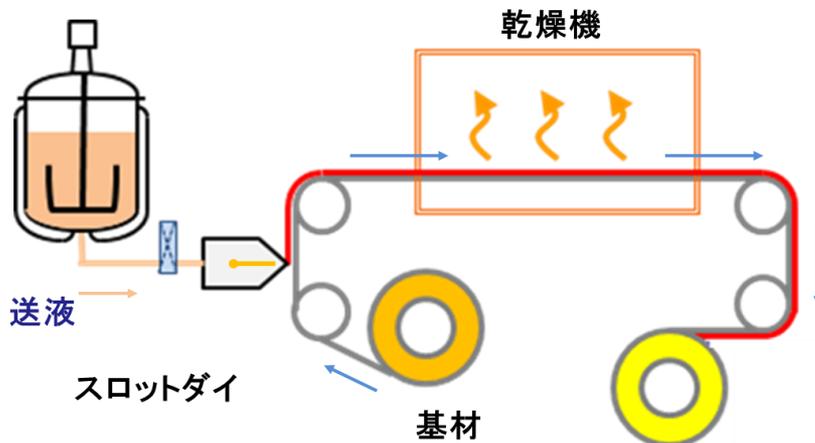
## (基盤技術開発)

## (実用化研究)

## (実機)

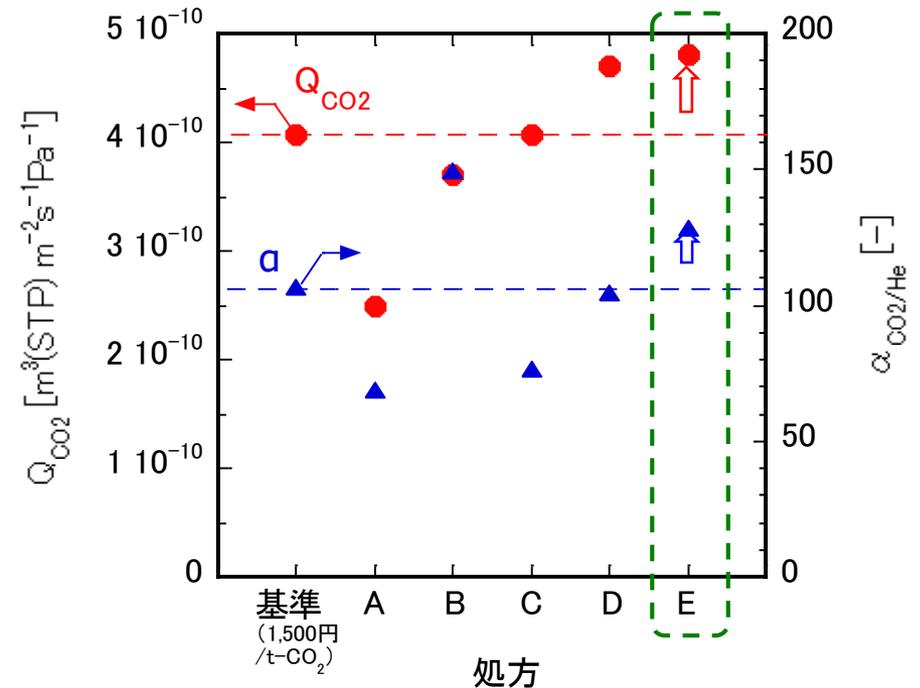
名称	単膜	膜エレメント	膜モジュール
概要	ラボスケールの平膜 (膜面積: 1.2~58cm <sup>2</sup> 程度)	大面積の膜を用いた構造体 膜・支持体・流路材などを一体化したもの	膜エレメントとそれを収納する 容器 (ハウジング) を組み合わせたもの
サイズ、 外観	 (膜面積: 1.2 cm <sup>2</sup> )  (膜面積: 58 cm <sup>2</sup> )	 (2~4inch、長さ 200mm)  <p>供給ガス 供給ガススペーサー 供給ガス 透過ガス 透過ガススペーサー 集ガス管 分子ゲート膜 非透過ガス</p>	 (8 inch、長さ 1,000mm程度) 
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)

## 連続製膜の効率改善



## 膜組成最適化検討

(模擬ガス試験\*)

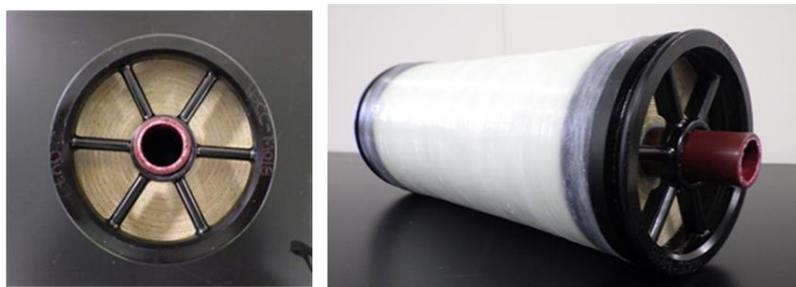


**連続製膜速度の向上**  
(従来比3~10倍)  
⇒ 膜の大量生産が可能



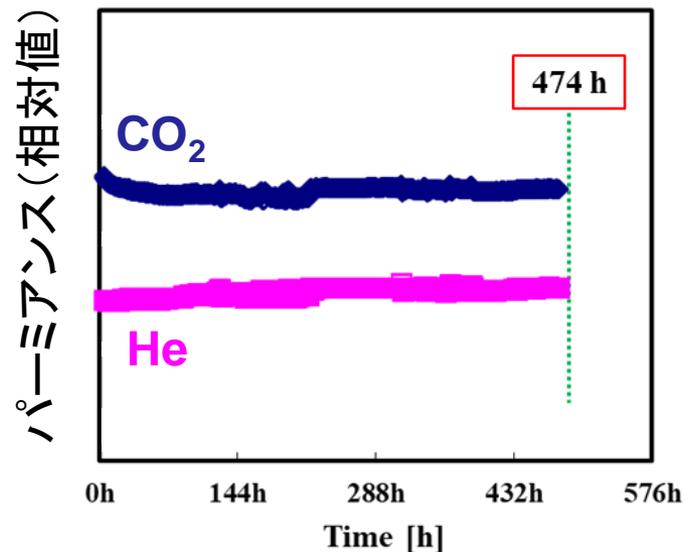
薄膜化・膜組成等の最適化(処方E):  
**回収コスト ≤ 1,500円/t-CO<sub>2</sub>を達成**  
しうる目標性能を達成

## CO<sub>2</sub>分離膜エレメント の量産化検討

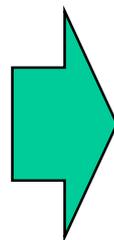


膜エレメント外観  
(4インチ径、長さ200mm)

## 全圧2.4 MPaでの性能評価



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



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

# 石炭ガス化炉実ガス試験

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H<sub>2</sub>S耐性を確認**

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

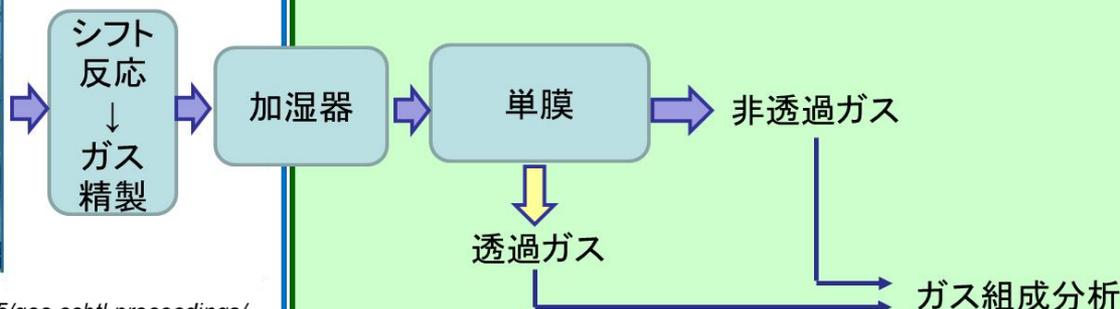
ガス流量  
80Nm<sup>3</sup>/h

Feed Preparation

Gasification Unit



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



・**実ガス**により膜素材のH<sub>2</sub>S耐性を確認



・現在、**模擬ガス**(H<sub>2</sub>S濃度 ~1,000 ppm)を用いた加速試験を実施中  
(膜素材のH<sub>2</sub>S耐性を確認後、膜エレメントの評価を実施予定)

膜エレメントの実ガス試験:

国内実ガスサイトでの実施を含め、評価設備の準備を進めている。

# 実用化に向けたロードマップ

FY2011

2015

2019 2020

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

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)

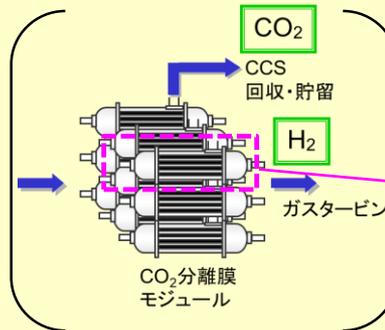
単膜  
(膜の基礎)

基本組成検討  
特許取得

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

## 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、高圧プロセス用の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6.6 t/d、回収率90%を達成。
- ・固体吸収材の実ガス暴露試験を開始、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。今後、膜エレメントの実ガス試験を実施予定。
- ・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。

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