

# 「CO<sub>2</sub>分離回収・有効利用技術の 社会実装に向けたRITEの取り組み」

2025年12月17日(水) 16:05～16:45

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

化学研究グループ

余語 克則



## ①化学吸収液の大規模社会実装に向けての開発状況

- ・新規開発混合溶媒系吸収液(RN-7)の評価試験

## ②固体吸収材の実用化に向けた開発状況(天然ガス火力、DAC、他)

- ・天然ガス火力:材料開発フェーズからベンチスケールフェーズへ
- ・DAC:大阪関西万博でのパイロットスケール試験(日本最大規模のDAC装置)
- ・有人宇宙活動:ISSでの軌道上実証(10/21打ち上げ予定)

## ③高圧用分離膜の実証試験に向けて

水素製造プロセスからのCO<sub>2</sub>回収実証に向けた準備状況

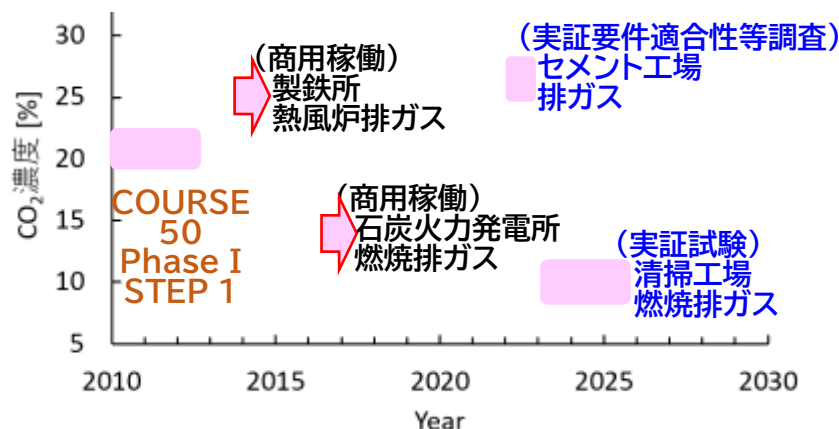
## ④炭素回収技術評価センター(RCCC:RITE Carbon Capture Center)

- ・センター整備状況(6/25お披露目会を実施)

# 化学吸収液: COURSE50成果の実用化および新規実証研究

～日鉄エンジニアリング(株)保有技術“ESCAP®”の技術展開～

## 【RITE開発の吸収液技術の利用】



※(注意) グラフは排ガスの一般的なCO<sub>2</sub>濃度を参考にプロットしたもの

### 製鉄所熱風炉排ガス

商業1号機: 日本製鉄(株)北日本製鉄所  
室蘭地区構内<sup>①</sup>



### 石炭火力発電所燃焼排ガス

商業2号機: 住友共同電力(株)  
新居浜西火力発電所構内<sup>①</sup>



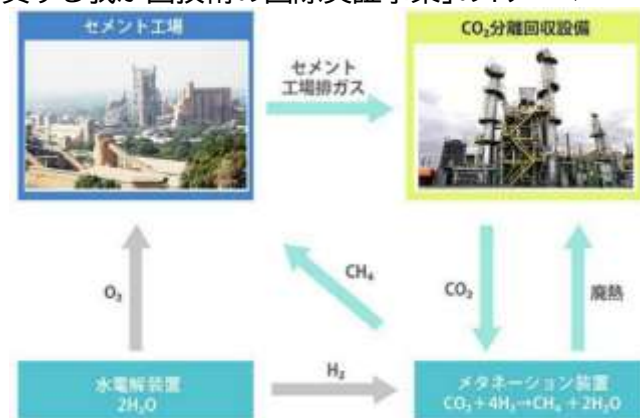
### 廃棄物処理施設(清掃工場)排ガス

GI基金事業「CO<sub>2</sub>分離・回収を前提としてCN型廃棄物  
焼却処理全体システムの開発」<sup>②, ③</sup>



### セメント工場排ガス

2022年度NEDO事業「エネルギー消費の効率化に  
資する我が国技術の国際実証事業」の1テーマ<sup>④</sup>



① [https://www.eng.nipponsteel.com/business/environment\\_and\\_energy\\_solution/escap/escap/](https://www.eng.nipponsteel.com/business/environment_and_energy_solution/escap/escap/)

(参照資料) ② <https://www.eng.nipponsteel.com/news/detail/2024021502/>

③ <https://www.eng.nipponsteel.com/news/detail/20240216/>

④ [https://www.rite.or.jp/news/events/240207RITE\\_sympo\\_hagiu\\_ppt\\_haifu.pdf](https://www.rite.or.jp/news/events/240207RITE_sympo_hagiu_ppt_haifu.pdf)

# 高性能吸収液の開発:概要

NEDO事業(GI基金)/日本製鉄㈱と共同実施

- ラボ試験  
・ 吸収液開発

- ・ 実用化技術開発

- 実ガスベンチ試験による  
プロセス技術開発

- パイロットプラント試験  
による技術実証

- 商用化

## COURSE50 Phase I (2008~2017)

### (水溶液系吸収液)

RN-1~4

- ✓ 2.0 GJ/t- $\text{CO}_2$ の性能
- ✓ 標準液 (MEA液\*)  
より優れる
  - ・ 劣化耐久性
  - ・ 金属腐食性



小型連続試験装置  
(CAT-LAB)

1 t/d- $\text{CO}_2$   
規模  
(CAT-1)



30 t/d- $\text{CO}_2$ 規模  
(CAT-30)  
2.3 GJ/t- $\text{CO}_2$ 達成



商用機ESCAP®\*\*

市村地球環境産業賞を受賞



適用先: 製鉄排ガス  
(120t/d)

## // Phase II (2018~2021)

### (混合溶媒系吸収液)

RN-5,6

- ✓ 非水溶媒の利用技術  
を開発し、1.6 GJ/t- $\text{CO}_2$   
の性能に到達
- ✓ 触媒との相乗効果  
を確認
- ✓ 金属腐食性低下

RN-7



石炭火力燃焼排ガス  
(143t/d)

## GI基金事業等 (2021~2029)

### (新規混合溶媒系吸収液)

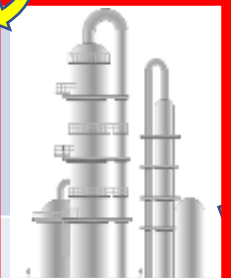
RN-X

- 1.6 GJ/t- $\text{CO}_2$ を確実にする吸収液開発  
(新規有機溶媒探索、組成検討、  
新規CAT-LABによるプロセス検討)
- 水素還元高炉製鉄排ガス ( $\text{CO}_2$ 濃度  
変動) に対応した吸収液開発
- 金属腐食性に対する技術開発



### 実ガスベンチ試験

- 吸収液性能実証
- ガス中不純物影響  
評価
- プロセス要素技術  
開発



パイロット  
プラント試験

- 水素還元高炉との  
連動試験による  
技術実証

社会  
実装

\* MEA液:モノエタノールアミン水溶液

\*\* ESCAP®:日鉄エンジニアリング㈱の省エネ型 $\text{CO}_2$ 回収設備

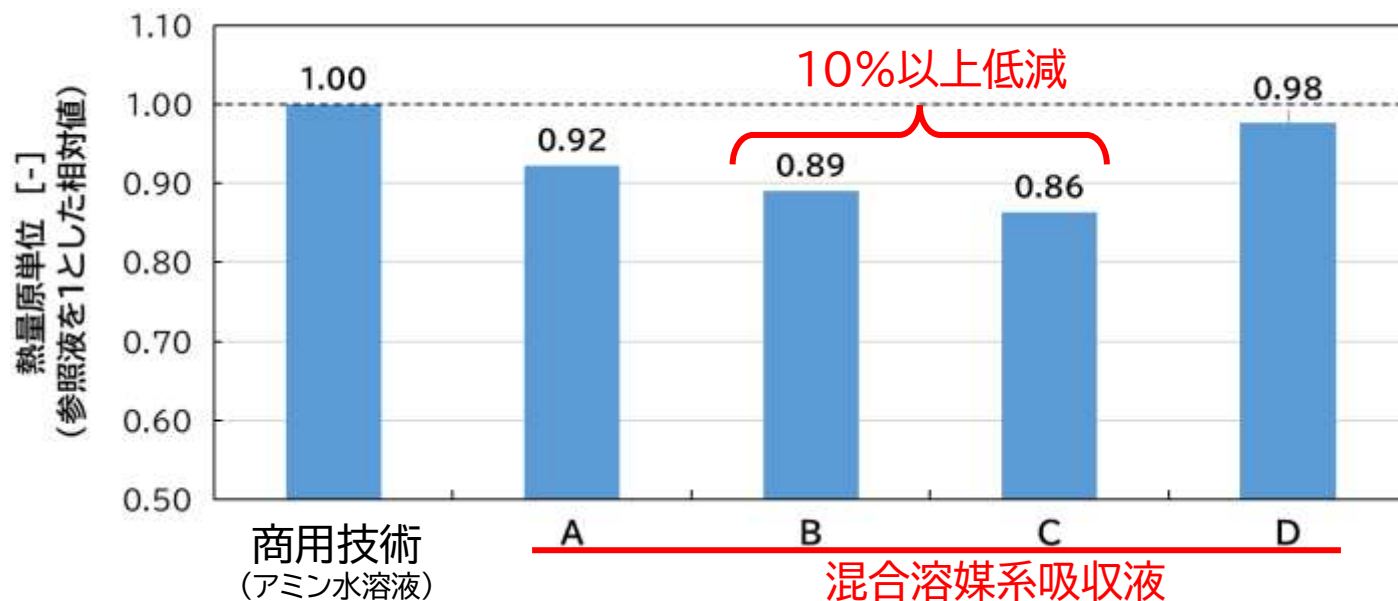
## RITEが開発した混合溶媒系吸収液のエネルギー消費及び実用性能(劣化耐久性)を検証

期間: 2024年1月～6月  
吸収場所: 日本製鉄(株) 東日本製鉄所君津地区  
試験設備: 可搬式小型CO<sub>2</sub>分離回収試験設備  
“m-ESCAP™”(日鉄エンジニアリング(株)保有)  
対象ガス: 高炉ガス(22%CO<sub>2</sub>)  
試験液: 混合溶媒系\_4種(A～D)、  
参照液\_1種(商用技術: 高性能アミン水溶液)



(CO<sub>2</sub>回収能力: 0.2～1.2 t-CO<sub>2</sub>/日)

<https://www.eng.nipponsteel.com/news/2024/20240508.html>



8月から  
パイロット試験  
(30t/day規模)  
を実施中

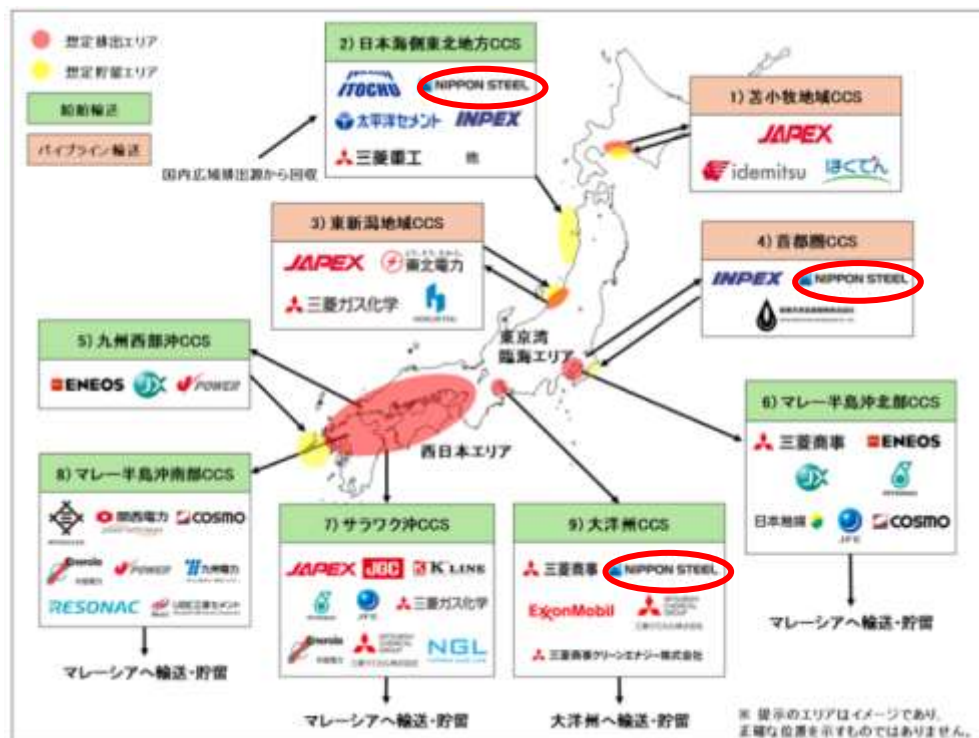
# 吸収液の大規模社会実装に向けて

## 【国内動向】

2024年5月24日

二酸化炭素の貯留事業に関する法律(CCS事業法)公布  
ロンドン議定書第6条改正受諾(CO<sub>2</sub>越境輸送)

～2026年5月23日 貯留事業・導管輸送事業の施行



先進的CCS事業に採択された9地点 (R6年6月時点)

2025年 特定区域の指定  
北海道苫小牧市沖(2月21日)  
千葉県九十九里沖(9月17日)

## 【必要な取組み】

### 千トンスケール製造への対応:

FY2026 FID(最終投資判断)

FY2030 CCS事業開始

に向けて、原料調達も含めた吸収液製造  
に関するリスク検討

吸収液原料製造および吸収液製造を担う  
化学会社との連携、協力

⇒ スケールメリット・連続プロセス化に  
よるコストダウン検討など

## 新たな吸収液開発

GI基金PJの成果(高性能吸収液)を活用しつつ、ユーザーの要望を開発へ  
フィードバックしてユーザーフレンドリーな吸収液を目指す。

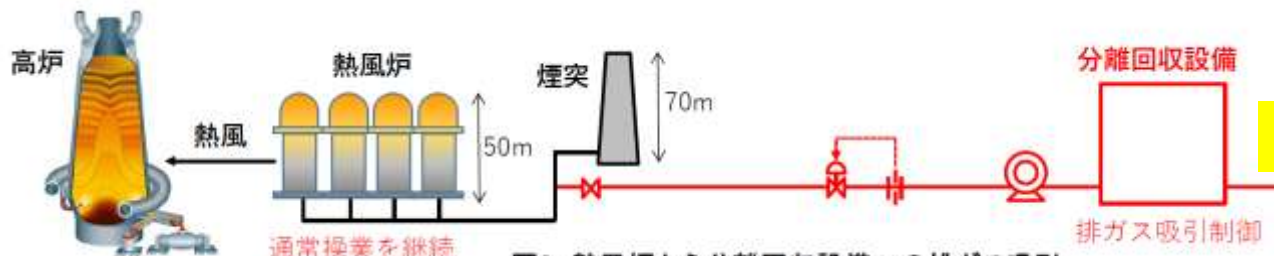
劣化抑制、発泡抑制、吸収液単価低減

# 首都圏CCS：事業概要

大都市圏の千葉・京葉臨海コンビナートから複数産業を排出源とするCO<sub>2</sub>を回収  
パイプライン\*で輸送の上、外房沖海域に貯留するCCS事業



right © 2024 INPEX CORPORATION. All rights reserved.



目標: 108万t-CO<sub>2</sub>/年

図3. 熱風炉から分離回収設備への排ガス吸引

# プロジェクトスケジュール



# 先進的CCS事業に向けた基本設計の状況

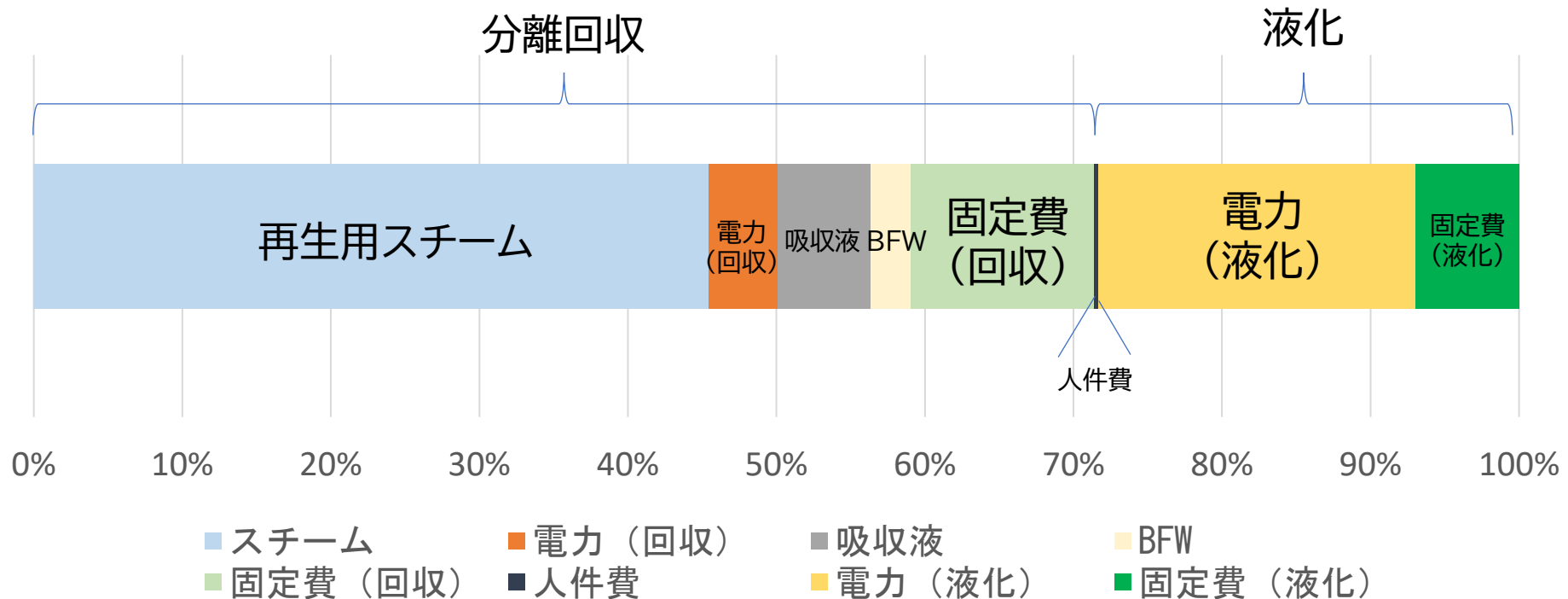


## 日鉄エンジニアリング株式会社が基本設計業務を受注、検討

案件名	発注者	備考
<b>【首都圏CCS事業】</b>		
1 CO <sub>2</sub> 分離回収設備検討業務	日本製鉄	
2 海洋設備概念設計業務	INPEX	
3 昇圧設備Pre-FEED※4業務	INPEX	
4 パイプライン路線工事FEED業務	INPEX	*
5 パイプラインステーション工事FEED業務	INPEX	*
<b>【日本海側東北地方CCS事業】</b>		
6 CO <sub>2</sub> 分離回収設備および CO <sub>2</sub> 液化・貯蔵・出荷設備検討業務	日本製鉄	
<b>【大洋州CCS事業】</b>		
7 CO <sub>2</sub> 分離回収設備検討業務	日本製鉄	
8 パイプラインルート選定および技術検討に係るエンジニアリング業務	三菱商事	*

\*NSPEとして受注

# 化学吸収法(Post-combustion)によるCO<sub>2</sub>分離回収コスト内訳\*



\*電力単価10円/kWh、スチーム単価2,000円/t、吸収液原液単価600円/kgとして試算  
(石炭火力発電所から467 t/h-CO<sub>2</sub>回収ケース)

化学吸収液:再生スチームのコストが半分程度 ⇒ 再生エネルギー低減が重要

# 標準的なMEAアミン系炭素回収プラントのコスト \$77.26 /ton-CO<sub>2</sub>(回収率90%、処理能力100万トン/年)

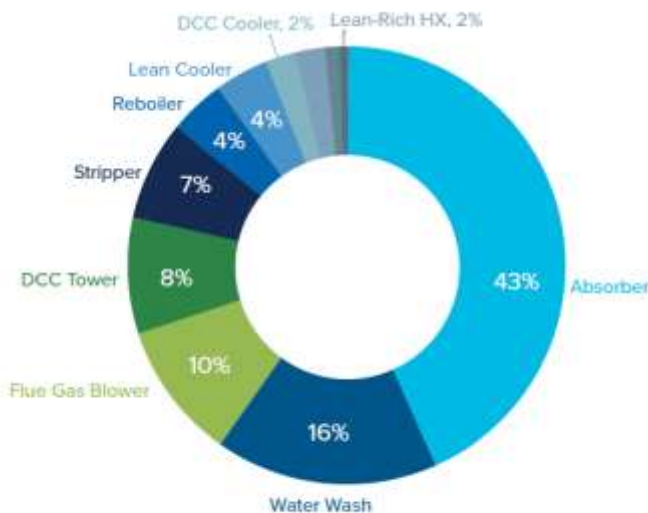


Figure 7 - Breakdown of capital costs of a typical 90% capture MEA plant. Assumptions relating to wider scope Capital Expenditures can be found in Appendix A.

**Capital Costs**  
吸収塔、水洗装置、送風機

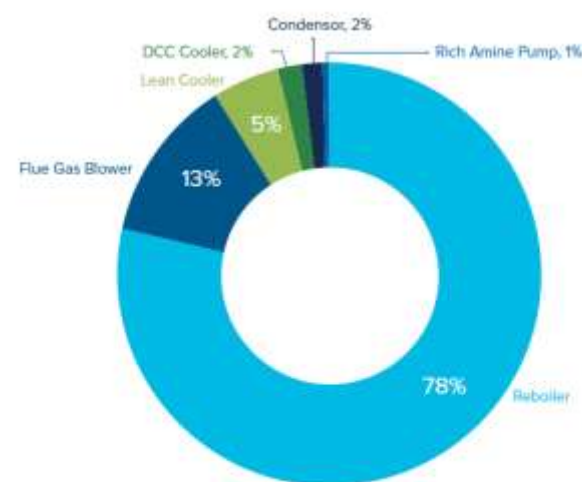


Figure 8 - Breakdown of variable operating of a typical 90% capture MEA Plant. Assumptions relating to Fixed Operating Costs such as Maintenance and Operating Labour can be found in Appendix A.

**Operating Costs**  
液再生(Reboiler)、送風、冷却

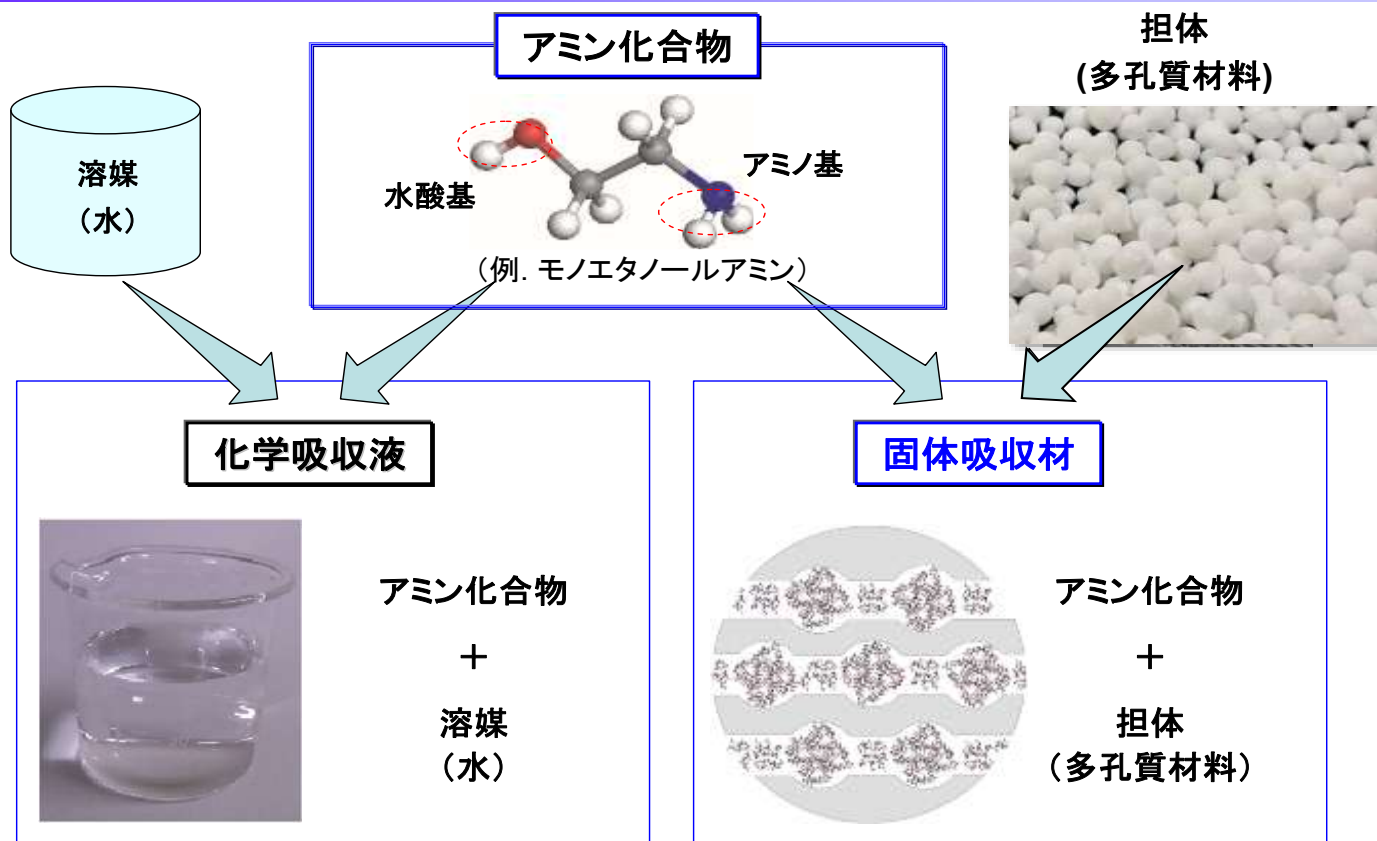
DESIGN PARAMETERS	
Cost Location Basis	Gulf Coast, United States
Present Value	2023 US\$ costs
Construction Years	3
Discount Rate	10%
Operating Life	30 years
Capacity Factor	90%
CO <sub>2</sub> Capture Rate (for standard models)	90%

OPERATING PARAMETERS	
Cooling Water Cost	\$0.0317/m <sup>3</sup>
Electricity Cost	\$77/MWh
Low-Pressure Steam Cost (6.9 bar)	19.4 US\$/tonne

← 全体:の70%近くがReboilerにかかるエネルギー消費

出典: ADVANCEMENTS IN CCS TECHNOLOGIES AND COSTS(GCCSI, 2025)

# 化学吸収液と固体吸収材



◎水の顕熱、蒸発潜熱が必要  
→ 非水溶媒系、2相分離系等の開発

<吸収剤>  
アミン  
化合物

+

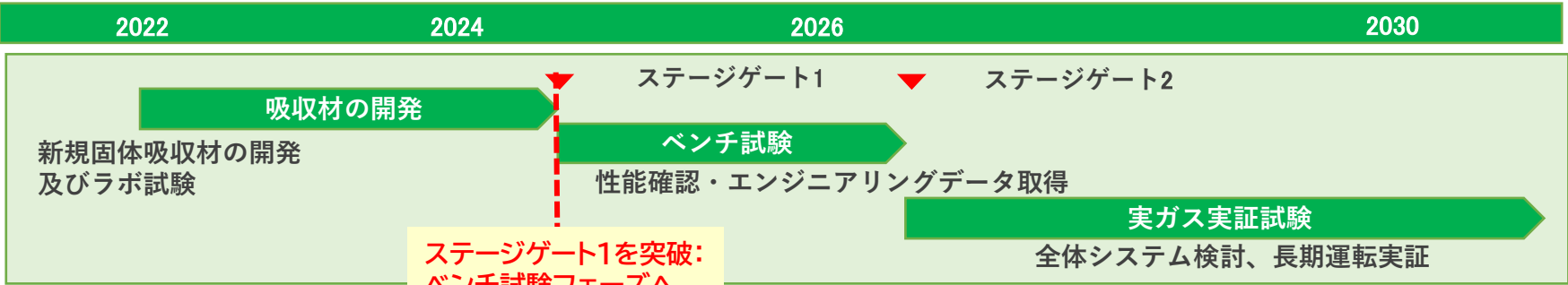
<溶媒1> 水

<溶媒2> 非水溶媒

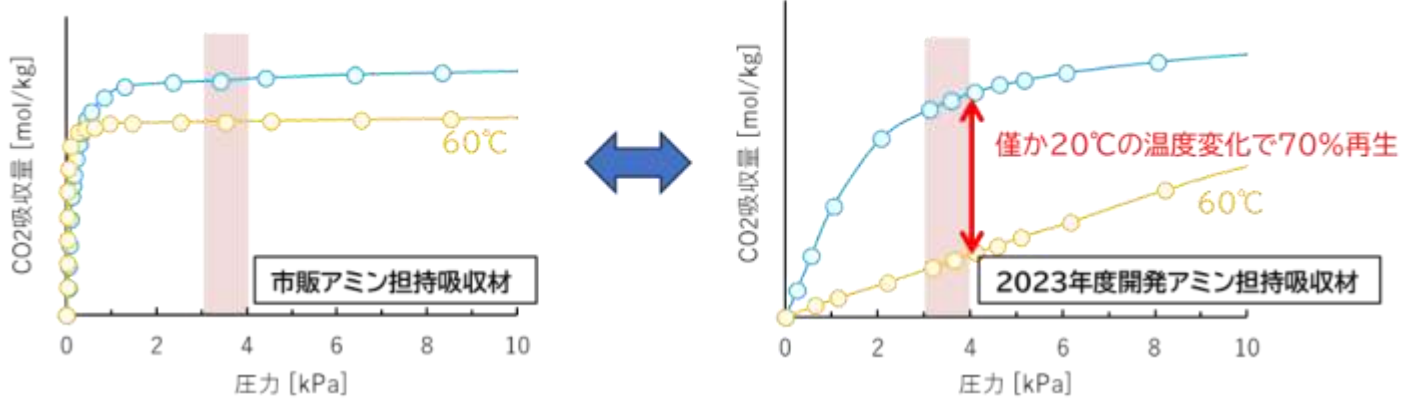
固体吸収材:

- ◎ 比熱の高い水溶媒に替わり**低比熱の多孔質材料**を担体に用いて再生に必要な**エネルギー**を低減.
- ◎ 溶媒の揮発が無いため蒸発潜熱としての**熱ロス**が**無い**.  
→ **再生温度60℃程度の低温再生プロセスの開発** (廃熱利用可能)







# NEDOグリーンイノベーション基金事業/CO<sub>2</sub>の分離回収等技術開発 (天然ガス燃焼ガス排ガスからの低コストCO<sub>2</sub>分離・回収プロセス商用化の実現)



## ① 低温で再生可能な固体吸収材の開発



## ② 加速試験による材料寿命の評価

	試験前	48時間後	72時間後	144時間後	192時間後
RGB5-F1					
PEI-F1					

## ③ 耐久性評価試験を開始



## 低濃度排出源(天然ガス燃焼)への適用事例が増加

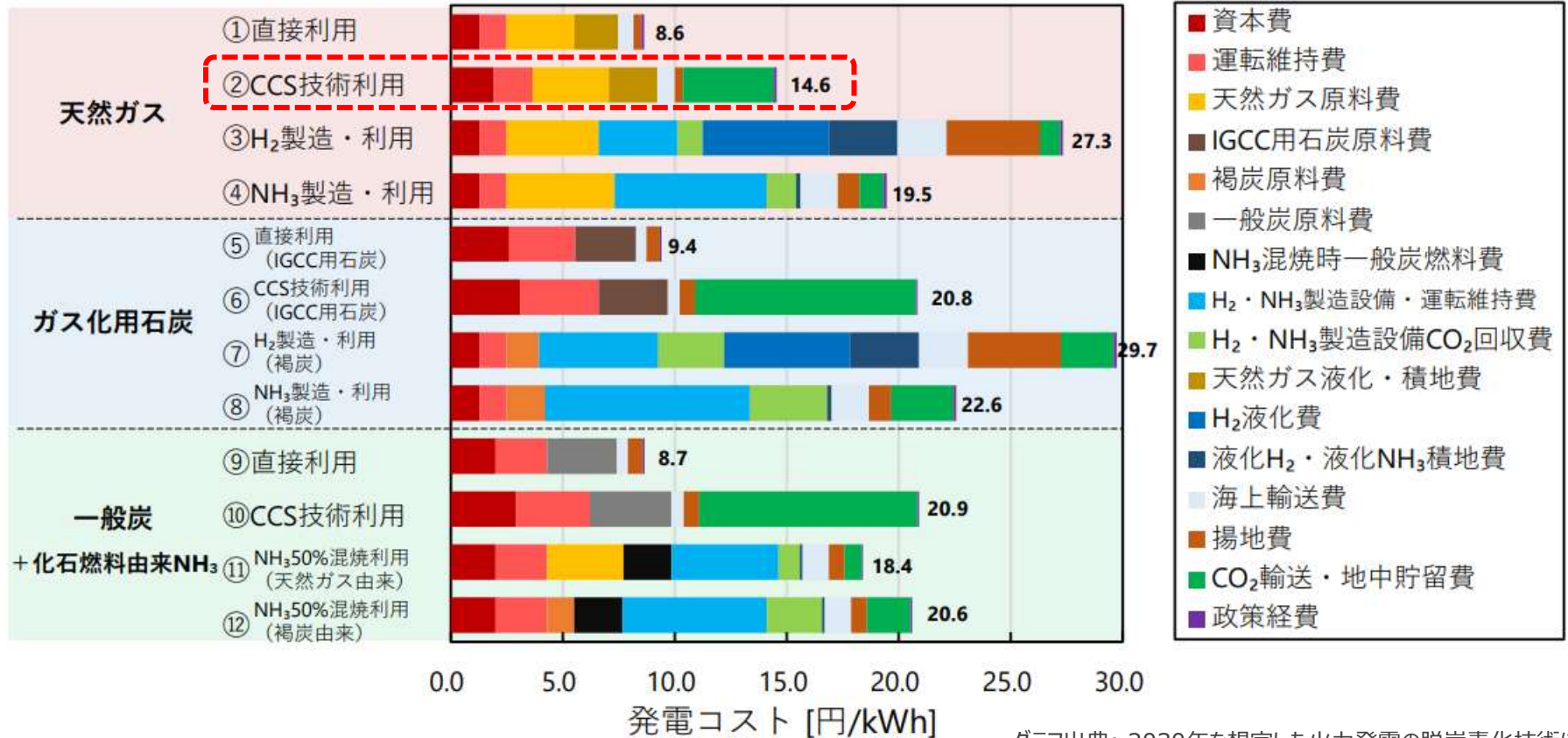
Project	Start year	Point Sources	Capacity (Ktpa)	Technology Deployed
Naortheast Energy Associates, Bellingham(CCU)	1991 to 2005	Natural gas CCGT	120	Fluor Econamine FG Plus
Tata Chemicals Northwich(CCU)	2022	Natural gas engine	40	Pentair Advanced Amine
Glacier Gas Plant (Phase 1 & 2)	2022(Phase 1) 2026(Phase 2)	Natural gas engine and turbine	160(total)	Entropy iCCS
Ravenna Phase 1	2024	Natural gas turbine	25	Mitsubishi Heavy Industries KMCDR Process
Net Zero Teesside Power	2028 (FID Approved)	Natural gas CCGT	2000	Shell Cansolv

# 1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値

## 電力kWhあたりのCO<sub>2</sub>分離回収コストの低い技術を提供する。

エネルギー源と脱炭素手法別の発電コストへの影響は、石炭火力+CCS（⑥/⑩）や、その他想定されるNH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>と比べて、2030年断面では、天然ガス+CCS（②）が最も安価と試算されている。  
⇒ 実現のためには、天然ガスタービン排ガスからCO<sub>2</sub>分離・回収コストの削減が重要。

### エネルギー源 手法



\*直接利用（①/⑤/⑨）は脱炭素技術付属なし。  
2030年以降のNH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>の技術進展によって優位性が変わる可能性はある。

グラフ出典：2030年を想定した火力発電の脱炭素化技術に対する経済性および環境性の評価，一般財団法人電力中央研究所 第一回カーボンマネジメント小委員会，2023/9

# 2025大阪関西万博でのDAC試験

## パイロットスケール規模でのDAC→Utilizationの実証中(国内初)

### ■ グリーン万博カーボンリサイクルファクトリー内で、DACでCO<sub>2</sub>を回収

- ①隣接する大阪ガスのメタネーション設備(\*1)に送られる。\*1:環境省事業(バイオメタネーション、触媒メタネーション)合成されたeメタンは迎賓館厨房、熱供給設備に供給される。
- ②エア・ウォーターのドライアイス製造設備にてドライアイス化試験も実施
- ③三菱ガス化学にメタノール合成用として供給

### パイロットスケール試験機イメージ

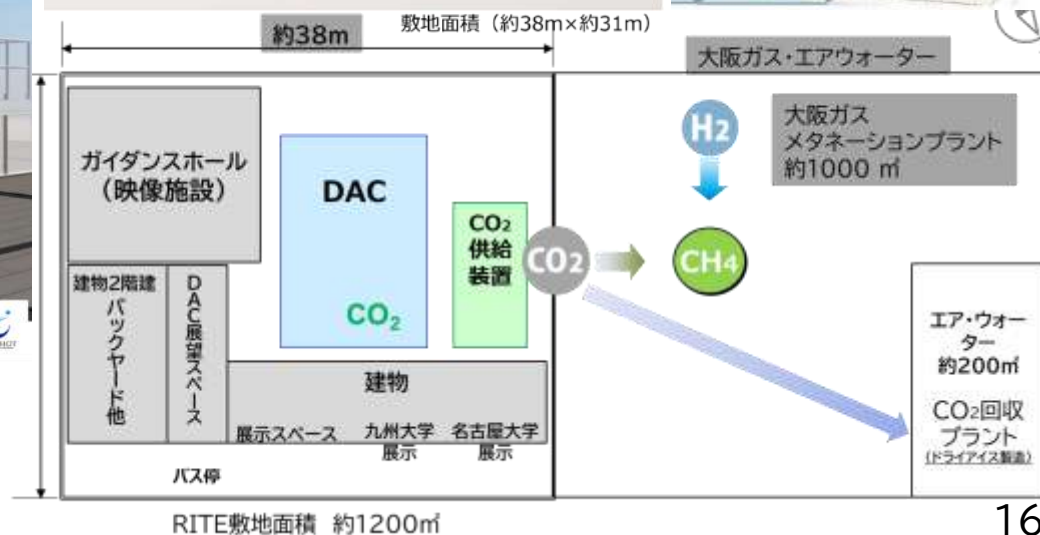
3つの吸着塔+回収ユニット(共通)

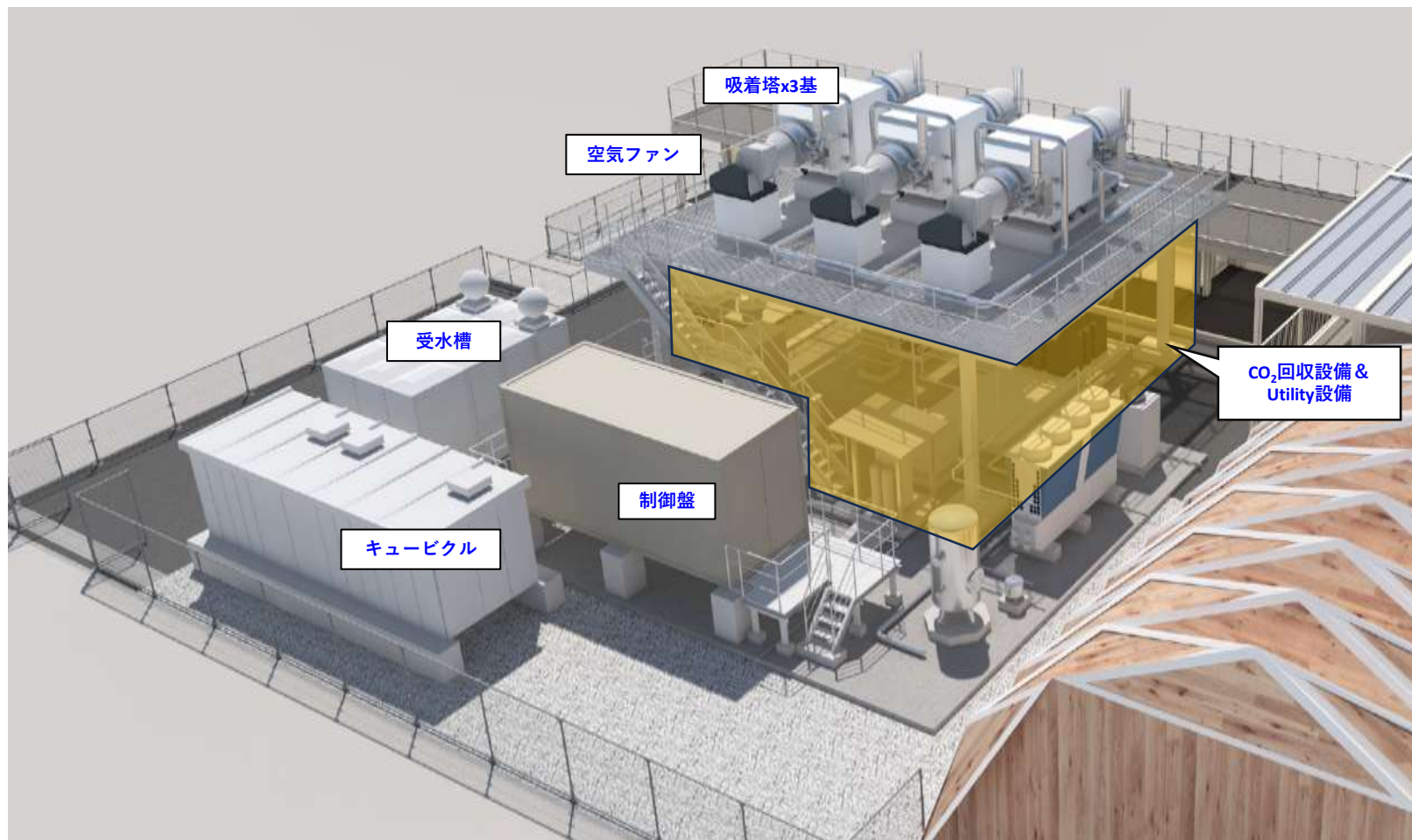


\*DACのパイロットスケール試験はNEDOのムーンショット型研究開発事業として実施



実証プラントエリア全景図



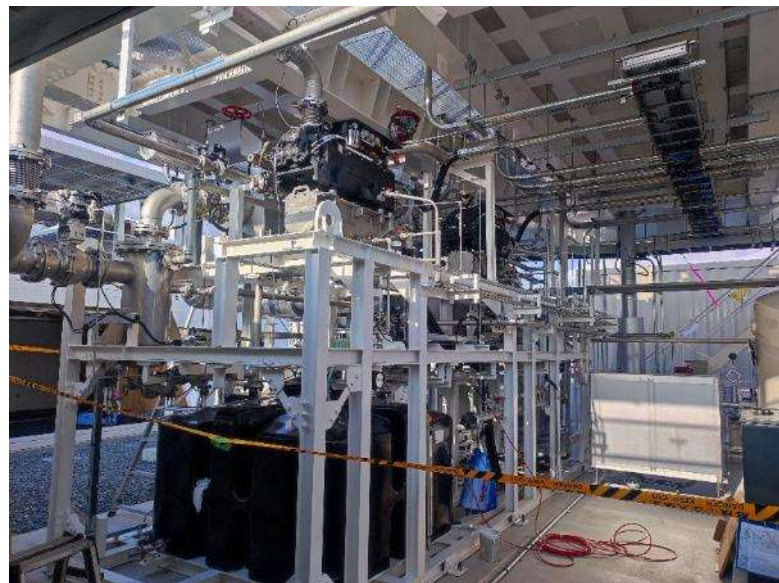
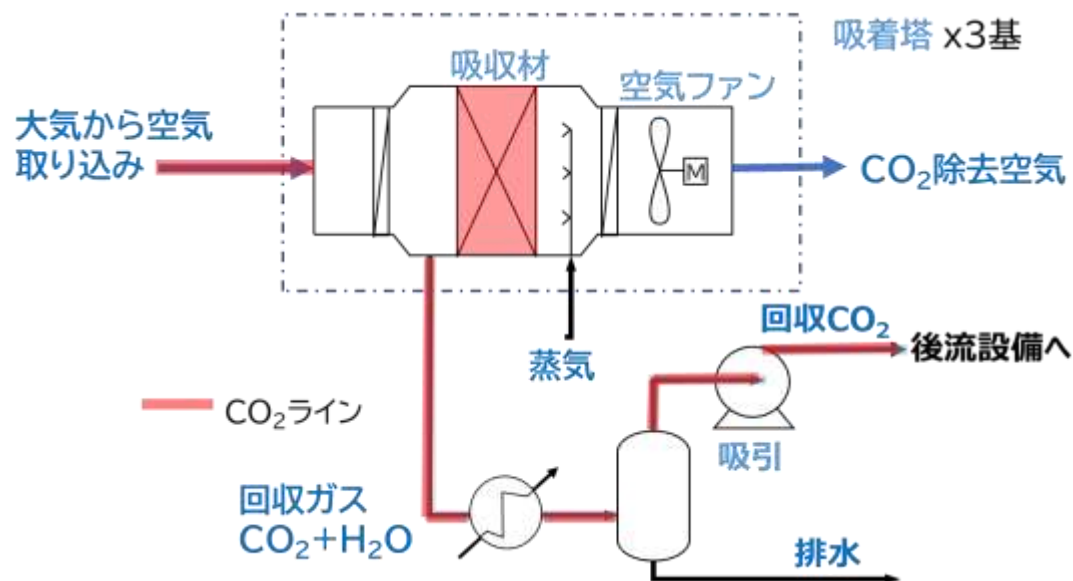


空気中のCO<sub>2</sub>を吸着する吸着塔は2Fに3基配置。1F部分はCO<sub>2</sub>回収設備及びUtility設備を配置。

# 万博DAC実証設備写真とプロセスフロー概略図



万博実証機 CO<sub>2</sub>吸着塔



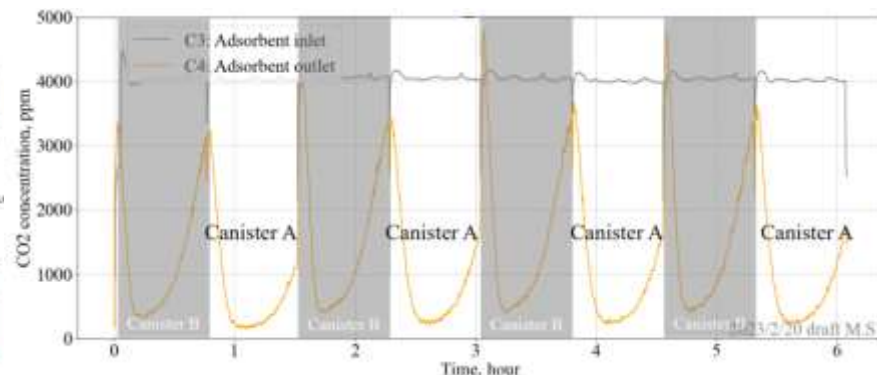
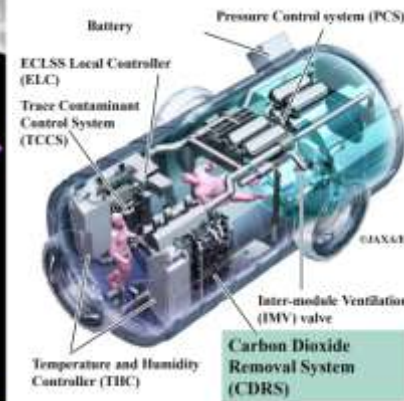
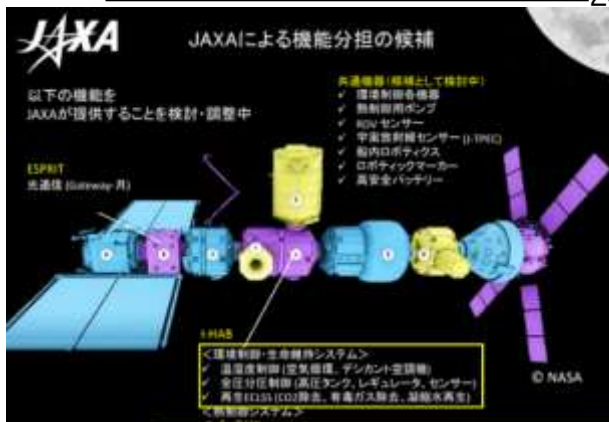
CO<sub>2</sub>回収ユニット



CO<sub>2</sub>吸着塔 CO<sub>2</sub>貯蔵タンク

# 技術の応用: 有人宇宙活動への利用(月周回有人拠点: Gateway)

## GatewayではJAXAがCO<sub>2</sub>回収装置を担当



第62回 宇宙科学技術連合講演会、OS05-3 国際宇宙探査

「将来有人宇宙探査に向けた二酸化炭素除去の軌道上技術実証システム  
(JEM Demonstration of Removing Carbon-dioxide System : DRCS)」

・日本が初めて微小重力環境下で運転するCO<sub>2</sub>除去装置

RITE固体吸収材とJAXAの技術実証装置でGatewayの要求性能を満たす性能を確認

⇒H3ロケット7号機により新型宇宙ステーション補給機1号機(HTV-X1)を国際宇宙ステーション (ISS:International Space Station) で軌道上実証を予定(10月26日打ち上げ済み)

試験結果は、JAXAが開発を進めている「環境制御・生命維持システム(Environmental Control and Life Support System: ECLSS)」技術の向上につなげる。

ECLSSはアルテミス計画で欧州宇宙機関(ESA)が開発を担当する月周回有人拠点「Gateway」の国際居住棟(International Habitation module: I-HAB)に設置される予定。

# 有人宇宙活動用CO<sub>2</sub>吸着材の開発(月周回有人拠点:Gateway)

令和7年8月7日(木)中部経済新聞 15面

## 宇宙生活の「命綱」国産化

### CO<sub>2</sub>除去装置、実地試験へ



ISSでの性能試験用に開発されたCO<sub>2</sub>除去装置—2023年7月、茨城県つくば市(JAXA提供)

ISSで現在CO<sub>2</sub>の除去を担っているのは、米国とロシア製の「環境制御・生命維持装置」だ。ISSでの試験のため作られたのは、日本の実験棟「きぼう」の棚に合う箱形で、CO<sub>2</sub>を捕集、濃度を下げ、宇宙空間に捨てる。CO<sub>2</sub>は吸着材を加熱して分離し、宇宙空間に捨てる。宇宙航空研究開発機構(JAXA)有人宇宙技術部門の山崎千秋・主任研究開発員は「除去装置は有人月基地、探査車に使う軽石のようになりそうだ。アルデミス計画で、日本は月周回基地の居住棟開発に参加している。JAXAの山崎さんは「現在の技術があれば、ISSでの性能試験用に開発されたCO<sub>2</sub>除去装置—2023年7月、茨城県つくば市(JAXA提供)」

### 月基地、探査車に活用も

宇宙で人が暮らすのに必須なのが、呼吸とともに居住空間にたまる二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の除去装置だ。命綱とも言えるこの装置を今、日本が初めて自前で開発している。2025年度中に国際宇宙ステーション(ISS)に運び、性能試験を実施する。米主導の月探査「アルデミス計画」で月の上空に建設する周回基地や、月面探査車で活用できる可能性がある。



CO<sub>2</sub>吸着材の耐久性を調べる地球環境産業技術研究機構の研究者。6月、東京都小平市

うな材料「ゼオライト」でCO<sub>2</sub>を分離する際の2500度より格段に低く、電力が節約できる。ゼオライト製の吸着材は繰り返し使うと劣化し、粉状に崩れてしまう。ISSに複数台ある装置の一部で性能が落ちると、飛行士には呼吸が危くなる運動を控えてもらうこともあった。これに対し、日本の吸着材は劣化を抑える加工を施している。ISSでは3カ月間稼働させ、想定通り動くかどうかを検証する。活躍の場は、将来の月探



CO<sub>2</sub>を吸着する液体「アミン」

設置場所に合わせて大きさや機能が調整しやすい」と話す。宇宙服を脱いで寝泊まりできる月面探査車でも役立つ可能性がある。装置を共同開発した地球環境産業技術研究機構(東京都府)の余部克則主幹研究員は「狭い車内で使うには、省エネ性能と耐久性をさらに高める必要がある」と先を見据えている。ただ、トランプ米政権が5月に公表した2026会計年度(25年10月~26年9月)の予算要求は超緊縮の内容で、月周回基地の建設中止が盛り込まれた。予算を握る議会は計画を続ける姿勢だが、先行きには不透明感も漂う。

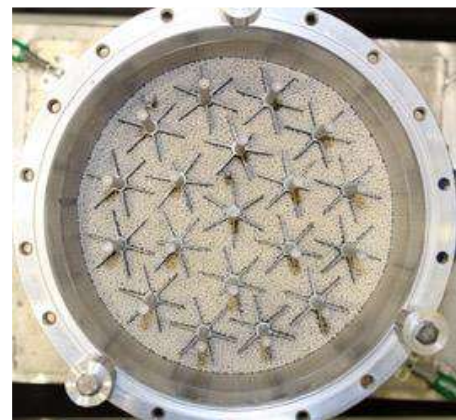
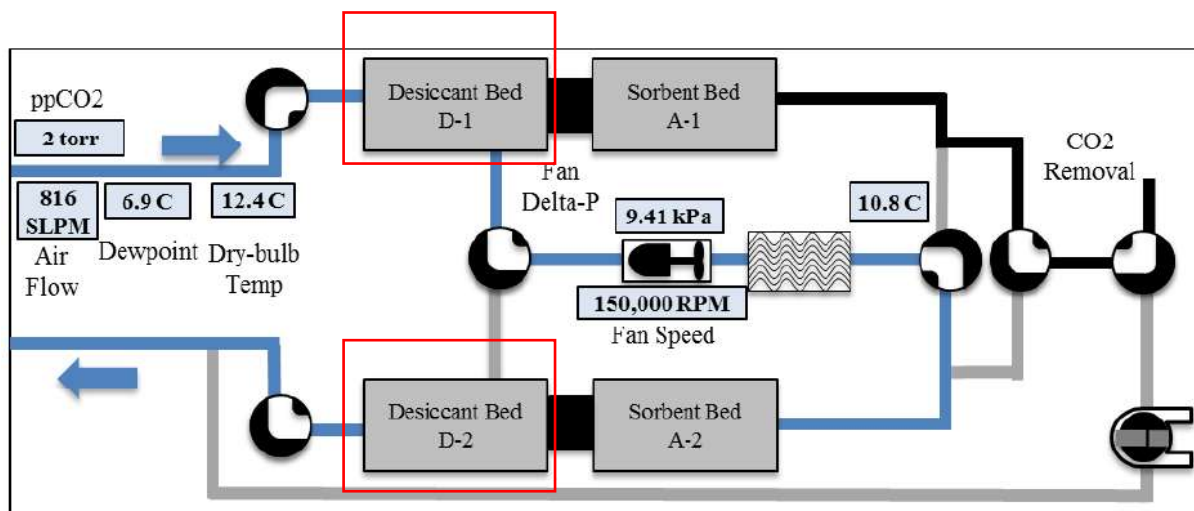
JAXAは他の売り込み先も模索する。若手化で30年に引退が見込まれるISSの後継として、米企業は建設を目指す新ステーションは有力候補だ。山崎さんは「日本の技術を世界に売り込み、存在感を高めていける」と自信を寄せていた。



CO<sub>2</sub>を吸着する液体「アミン」を染み込ませた粒子状の材料

# 国際宇宙ステーション(ISS):ゼオライトによるCO<sub>2</sub>吸着除去

ISS(国際宇宙ステーション)ではゼオライトによってCO<sub>2</sub>を除去している。  
下図は米国のCDRA(Carbon Dioxide Removal Assembly)

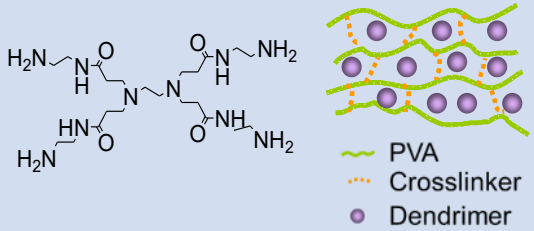
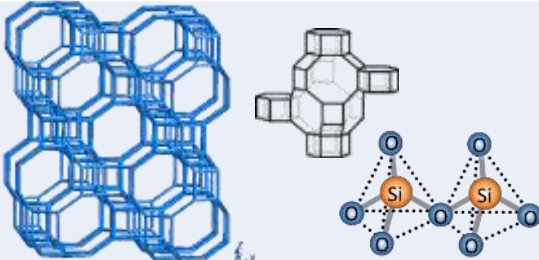
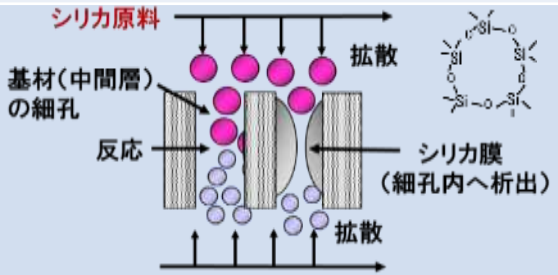



日本の実験モジュール(きぼう)にはCO<sub>2</sub>除去装置はない  
(米、口の設備を利用、CDRAは故障しやすく、ゼオライトの粉末が装置に悪影響を与えることなどが問題となっている。また水が吸着すると再生に高温が必要。)

→ 2015年より日本独自のCO<sub>2</sub>除去技術の研究を開始

粉化したゼオライトが人体や計器に悪影響を与える

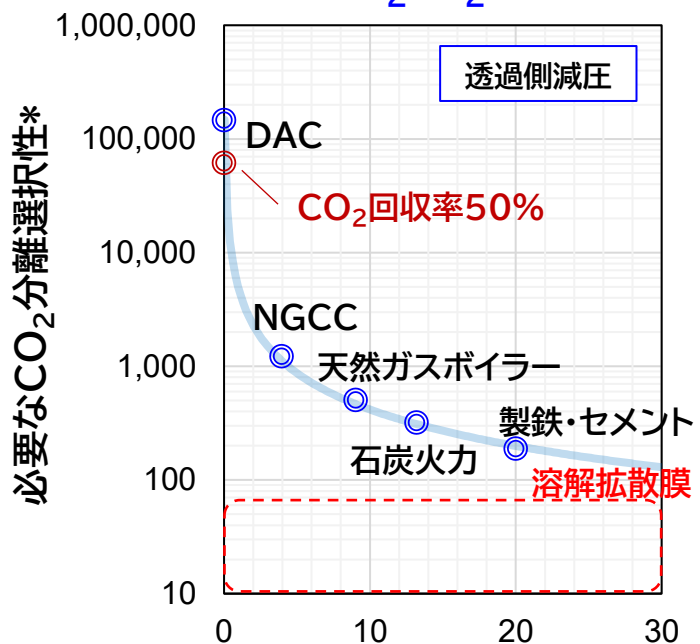
# RITEが保有する膜分離技術

膜	構造	特長	主な用途
分子ゲート膜 (有機膜)	 <p> <math>\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{N}(\text{H})-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{N}(\text{H})-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{N}(\text{H})-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2</math>              PVA              Crosslinker              Dendrimer         </p>	$\text{CO}_2/\text{H}_2$ 混合ガスから $\text{CO}_2$ を選択的に透過 (分子ゲート機能)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{CO}_2/\text{H}_2</math>分離</li> </ul> (IGCC、水素製造用としてMETI事業で開発中)
(ピュアシリカ)ゼオライト膜		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 結晶の均一細孔</li> <li>• 熱的・化学的安定性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{CO}_2/\text{CH}_4</math>分離</li> <li>• MCH脱水素</li> <li>• 蒸留代替(脱水)</li> </ul>
対向拡散CVDシリカ膜	 <p>             シリカ原料              基材(中間層)の細孔              反応              シリカ膜(細孔内へ析出)              拡散         </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水素透過速度・選択性が極めて高い</li> <li>• 構造設計の自由度が高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MCH脱水素</li> <li>• He回収</li> </ul>
細孔内充填型パラジウム膜	 <p>保護層</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 耐久性向上とコスト低減の可能性</li> <li>• 製膜位置の制御が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{NH}_3</math>脱水素</li> <li>• 天然ガス改質</li> </ul>

# 分離膜(溶解拡散膜)によるCO<sub>2</sub>回収プロセスの適用性

回収率>90%、純度>95%を満たす膜分離性能(一段分離)

常圧 0.1MPa  
CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>分離

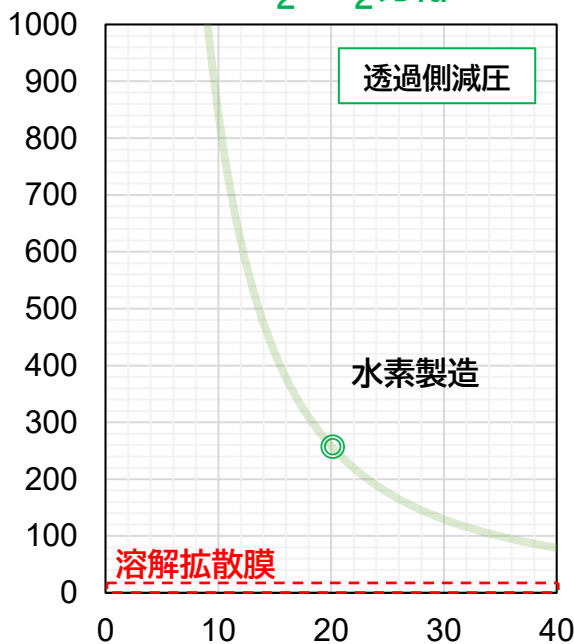


排出源CO<sub>2</sub>濃度 / %

供給側全圧=0.1 MPa,  
透過側全圧=0 kPa(理想条件)  
CO<sub>2</sub>回収率>90%  
供給ガス流量: ~0.1 m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup>

× 常圧でCO<sub>2</sub>分離

中圧 0.85 MPa  
CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>分離

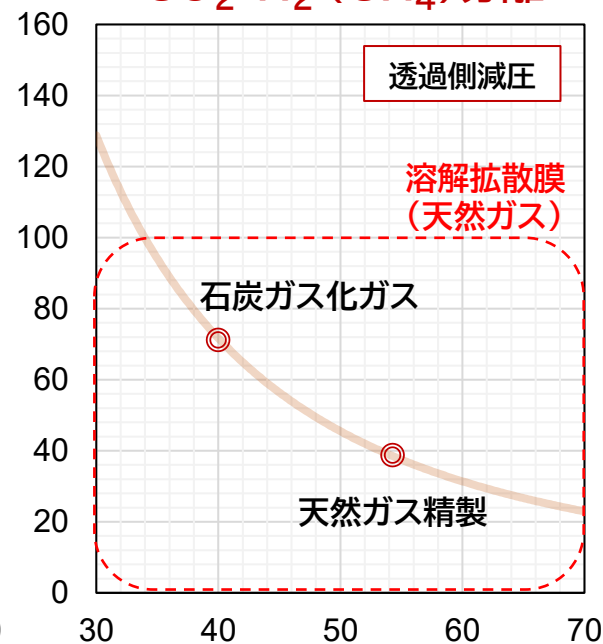


排出源CO<sub>2</sub>濃度 / %

供給側全圧=0.85 MPa,  
透過側全圧=10 kPa  
CO<sub>2</sub>回収率>90%  
供給ガス流量: ~0.6 m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup>

× 中圧でCO<sub>2</sub>分離

高圧 3.0 MPa  
CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> (CH<sub>4</sub>)分離



排出源CO<sub>2</sub>濃度 / %

供給側全圧=3.0 MPa,  
透過側全圧=10 kPa  
CO<sub>2</sub>回収率>90%  
供給ガス流量: ~4.0 m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup>

○ 高圧でCO<sub>2</sub>分離

膜分離は圧力差を駆動力とするため高圧、高CO<sub>2</sub>分圧が有利

\* $\beta$  -ミックス比

$Q_{CO_2} = 10^{-8} \text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$

# 回収率と回収コスト\*

\* (MEA吸収液で13.7mol%のCO<sub>2</sub>を100万トン/y回収ケース)

回収率が高いほどトンCO<sub>2</sub>あたりのコストは低下  
ネットゼロおよびコスト低減に向けて回収率は95%以上が標準になりつつある。  
97~98%以上の回収はコスト上昇

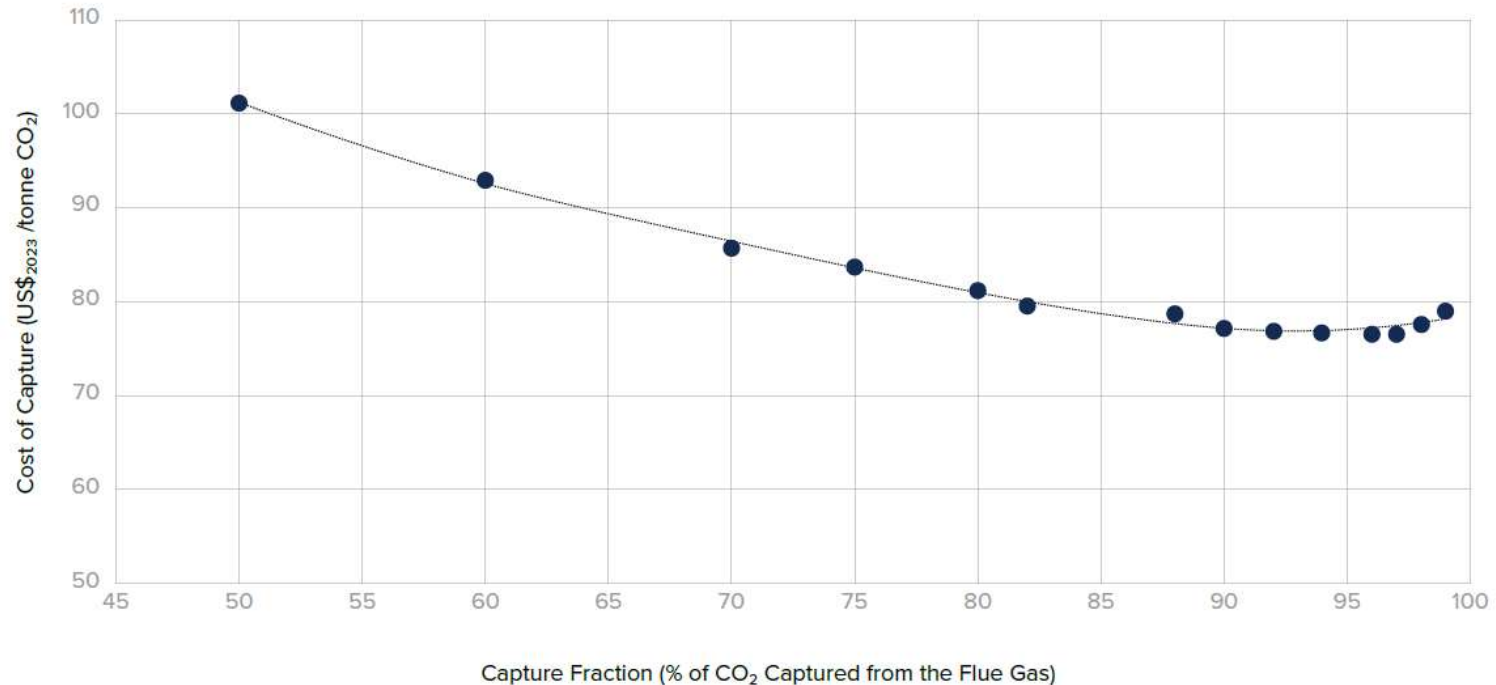
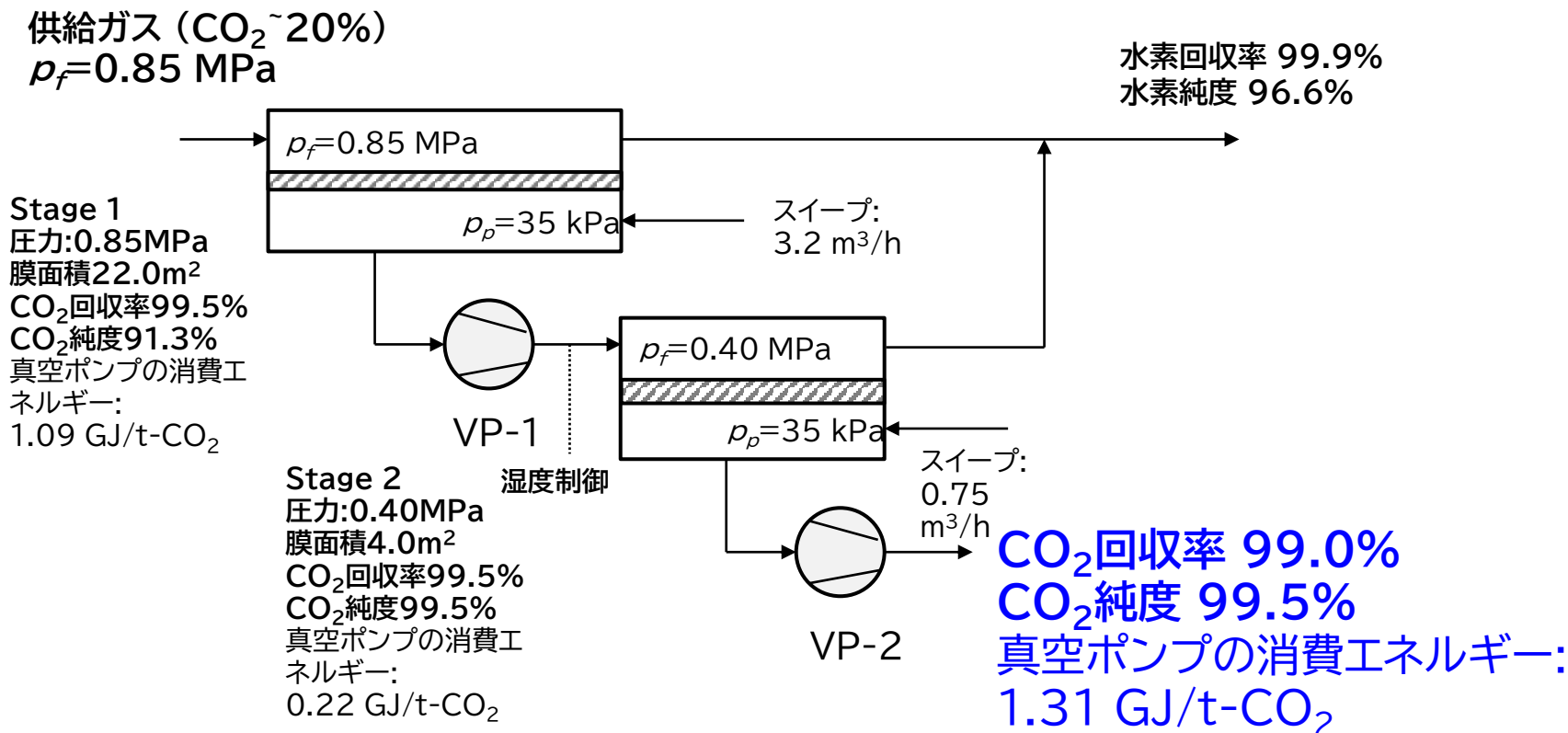


Figure 16 - Impact of varying the capture percentage of a capture plant when treating the flue gas of a 1 Mtpa of CO<sub>2</sub> from a representative coal power flue gas, costs modelled in Aspen Plus and Aspen Economic Analyser

# MGM膜によるCO<sub>2</sub>回収プロセスの適用性

## 回収率99%、純度99% (中圧、2段膜プロセス)



### <シミュレーション条件>

供給側: 0.85 MPa  
透過側減圧: 35 kPa  
ガス透過性@ $p_{\text{CO}_2} = 0.17 \text{ MPa}$   
透過速度  $F_{\text{CO}_2} = 7.6 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$   
選択性  $\alpha (\text{CO}_2/\text{H}_2) = 130$

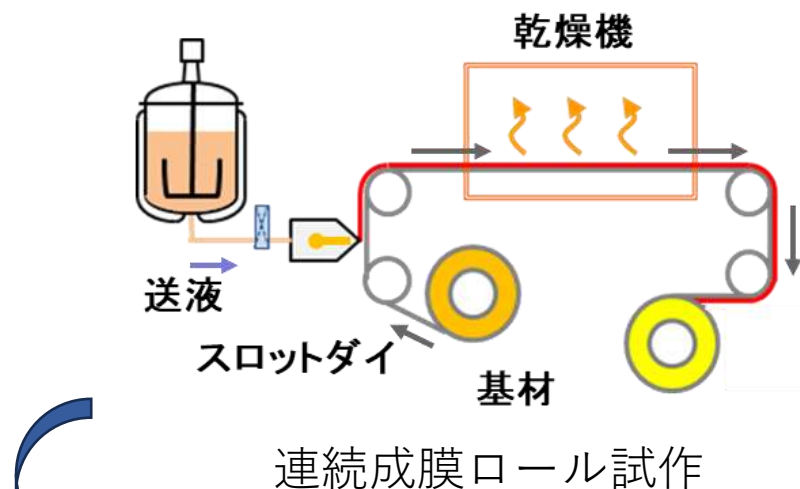
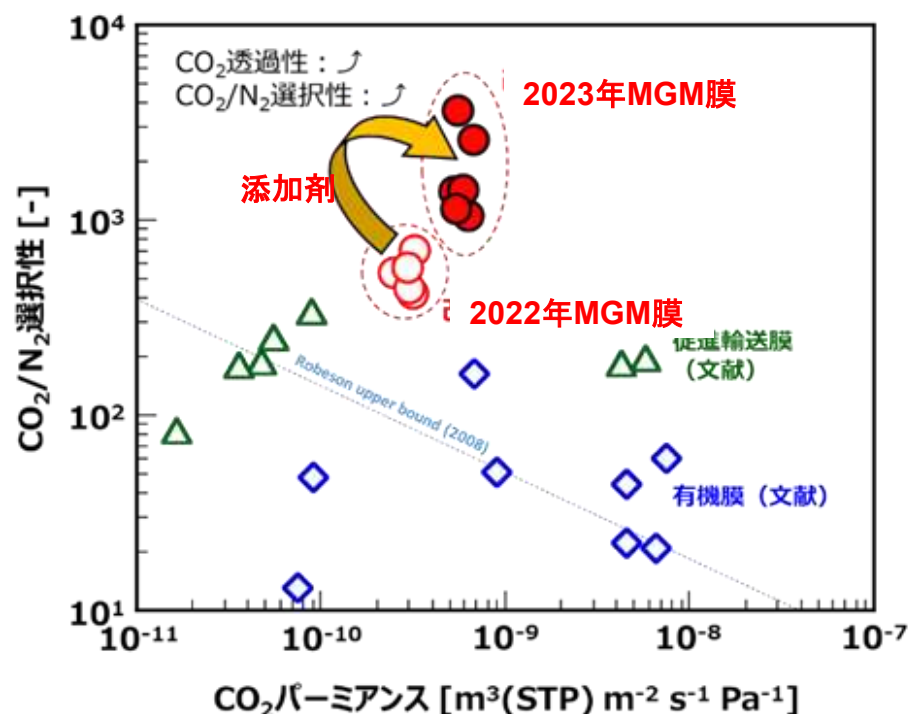
促進輸送膜の2段分離プロセスへの適用により  
回収率99%、純度99%の可能性あり

# 分子ゲート膜(MGM)

これまで開発してきた高圧用CO<sub>2</sub>分離膜の中圧水素製造システムへの適用性検討を2024年度スタートの新事業で実施する。2023年度に開発したMGM膜の実用化をはかる。

## <分子ゲート膜 性能の進展>

選択性を大幅に向上させることに成功



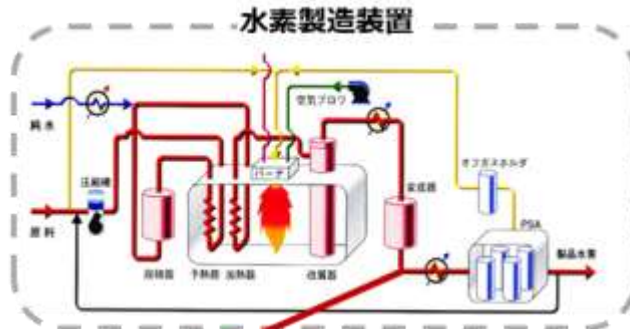
ハウジング、エレメント  
(Φ20cm 長さ60cm)

能力(シミュレーション値)

CO <sub>2</sub> 分離回収	想定値
回収率	90%
1ユニットあたり 回収量	21t/day

## 「高圧用CO<sub>2</sub>分離膜の水素製造システムへの適用性検討」

- MGM膜モジュールを三菱化工機が保有する水素製造試験装置へ組み込み、工程ガス(加圧CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>混合ガス)からCO<sub>2</sub>分離回収する試験を行う。
- 高純度CO<sub>2</sub>と高純度H<sub>2</sub>を同時に得るCO<sub>2</sub>回収型水素製造システムを実証する。

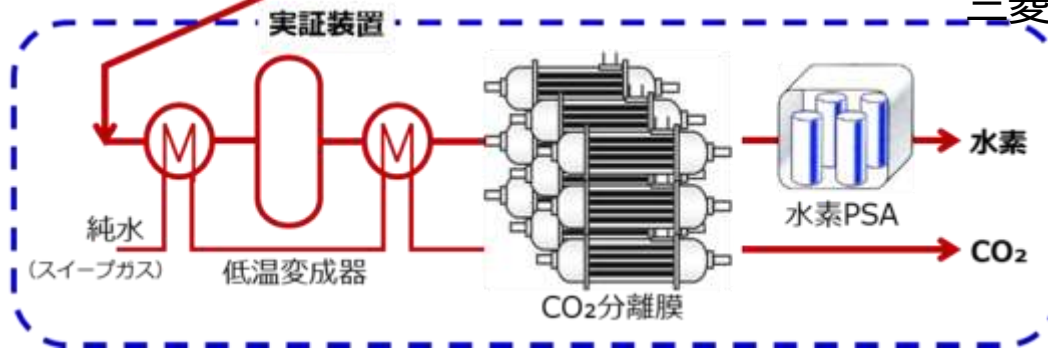


<実施期間> 2024年4月～2027年  
3月

<実施体制>

次世代型膜モジュール技術研究組合

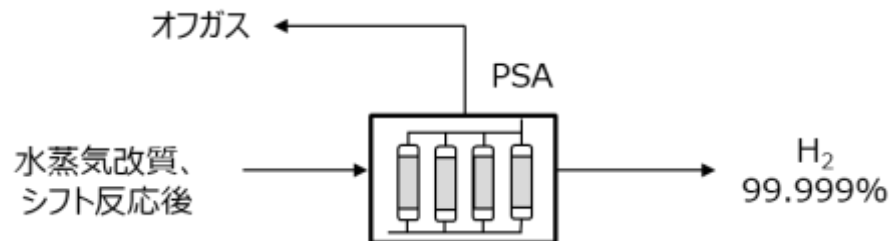
三菱化工機株式会社



年度	2024年度	2025年度	2026年度
次世代型膜モジュール 技術研究組合	膜チューニング検討、商用サイズエレメント製作検討 エレメント評価、耐久性試験		実証機用 エレメン ト製作
三菱化工機	実証機基本設計・詳細設計・製作 水素PSAラボ試験、CO <sub>2</sub> 中の水素除去試験、CO <sub>2</sub> 利用先検討		実ガス 実証試験

# 新事業プロセス(MGM膜 + PSA) Vs 従来型水素製造プロセス

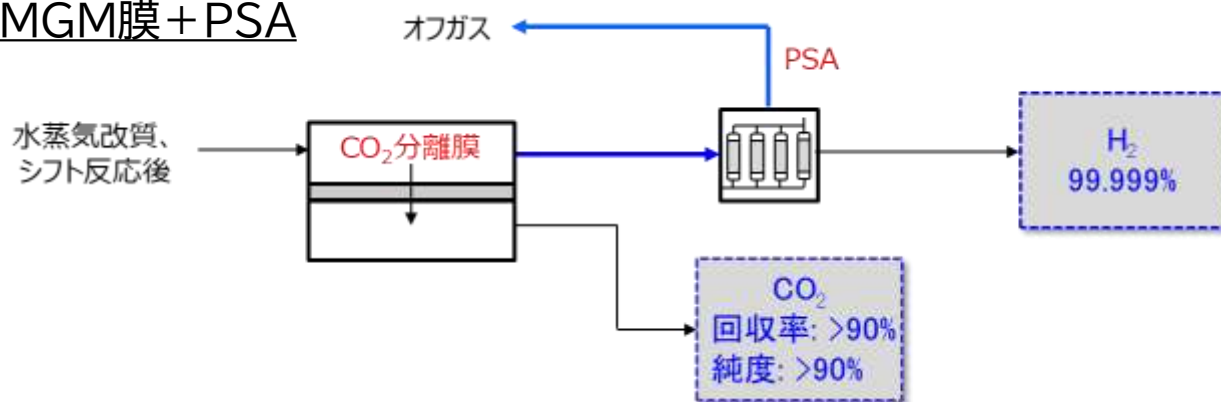
## PSA



従来型水素製造プロセス  
・CO<sub>2</sub>は回収していない。



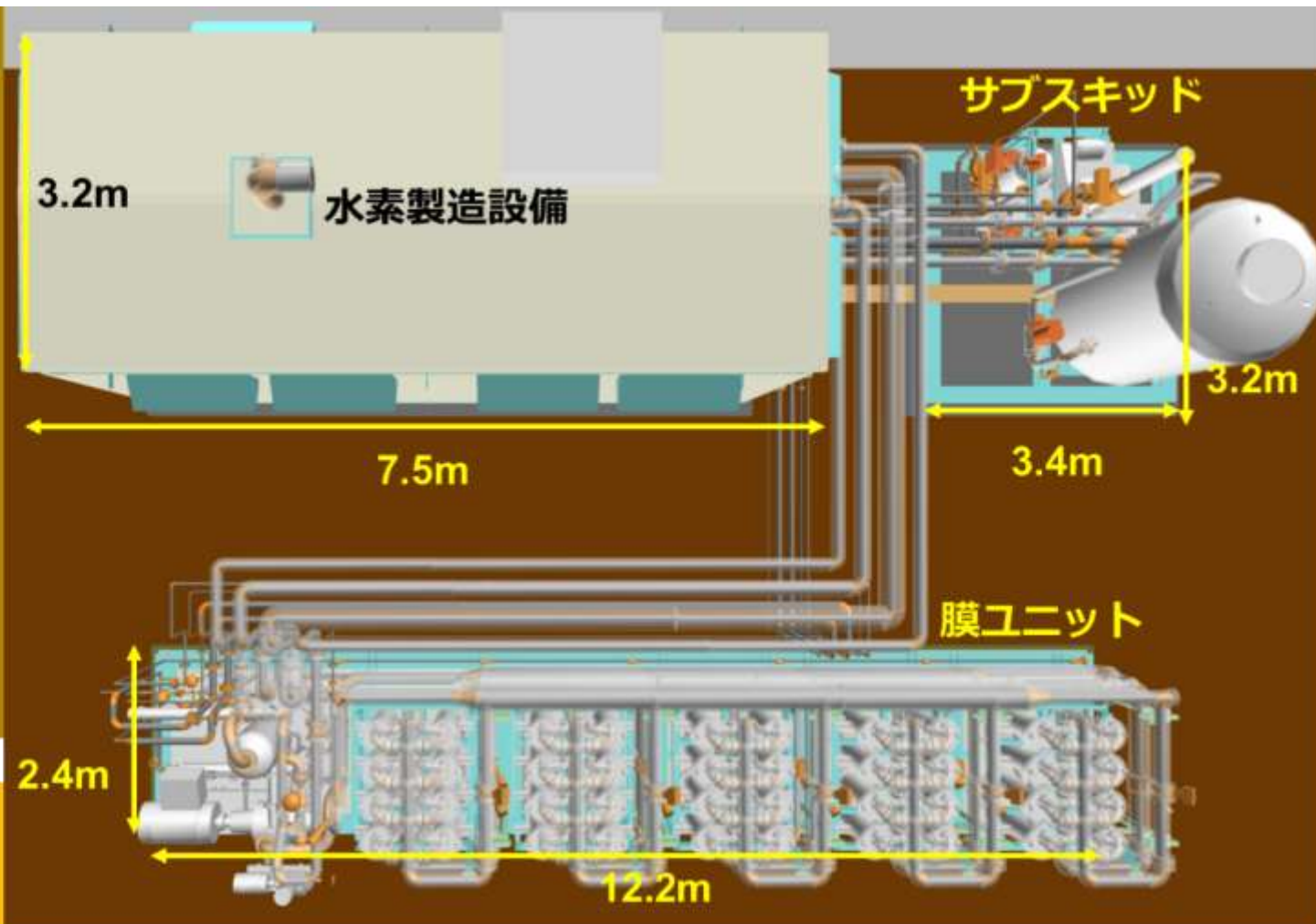
## MGM膜+PSA



新事業プロセス  
CO<sub>2</sub>分離回収型水素製造  
プロセス  
・本プロセスでは高い  
CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>分離性能が求めら  
れる  
↓  
・2023年度開発の高選択  
性MGM膜の適用により、  
CO<sub>2</sub>分離回収型プロセスの  
構築が可能  
・PSAコンパクト化も可能

## POINT

- 敷地面積10m×18m
- 1ハウジングにエレメント  
(エレメント40本)
- 膜8本×5系統で制御
- 【水素製造設備】  
HyGeia-Aと同じサイズ
- 【膜ユニット】  
40Ftコンテナサイズ



# 実証機の設置計画

## 三菱化工機 実証水素ステーション(川崎市川崎区大川町)



実証機建設予定地

水素製造装置  
水素製造量:  $300\text{Nm}^3/\text{h}$

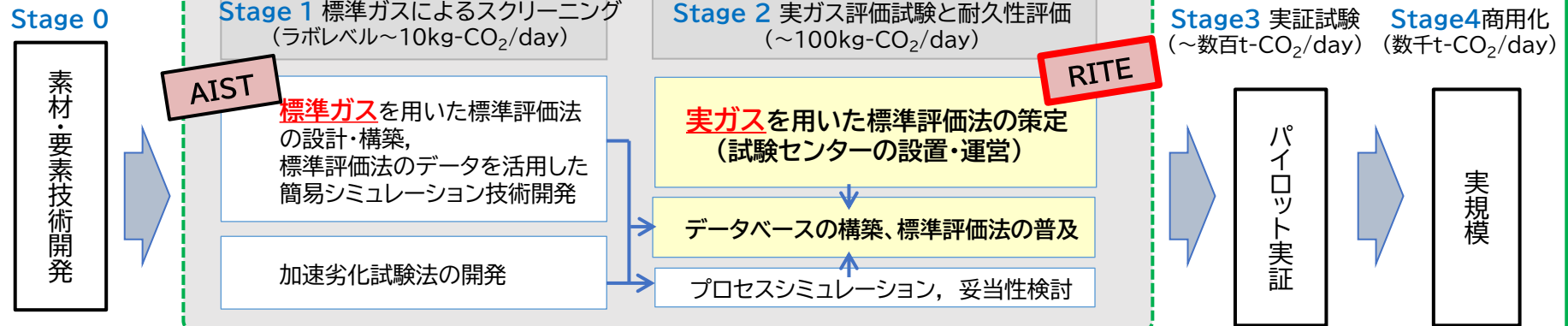
水素製造装置の変成ガスを分岐して、実証機に供給します。  
実証機の規模は水素製造量  $40\text{Nm}^3/\text{h}$  です。

# CO<sub>2</sub>分離素材の標準評価共通基盤の確立

【目的】 分離素材の中立かつ公平な評価を可能にするために、低圧・低濃度排ガス(大気圧、CO<sub>2</sub>濃度10%以下)を対象とした実ガス試験センターを新設し、標準評価法を確立する。

## 研究事業イメージ

### CO<sub>2</sub>分離素材の標準評価共通基盤の確立



## 【グリーンイノベーション基金事業／CO<sub>2</sub>の分離回収等技術開発プロジェクトとの連携】

★:ステージゲート

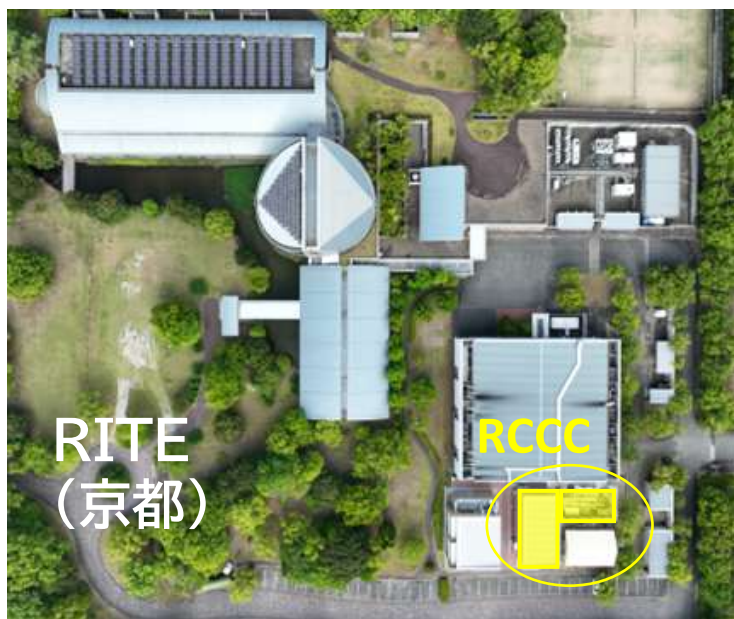
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
① 天然ガス火力発電排ガスからの大規模CO <sub>2</sub> 分離回収技術開発・実証		性能向上, プロセス開発		★	ベンチ装置調達, 建設	★		建設, 実ガス実証		
② 工場排ガス等からの中小規模CO <sub>2</sub> 分離回収技術開発・実証 (5事業)	②-1	性能向上, プロセス開発	★	性能向上, スケールアップ検討	★		建設, 実ガス実証			
	②-2,	性能向上, プロセス開発		★	スケールアップ検討		★	建設, 実ガス実証		
	②-5	性能向上, プロセス開発, スケールアップ		★	建設, 実ガス実証					
	3.4									
③ CO <sub>2</sub> 分離素材の標準評価共通基盤の確立		評価設備設計	★	建設						
	連携	統一評価手法確立		★	素材評価とデータ集積		★	国際標準化検討		

# 炭素回収技術評価センター(実ガス試験センター)

RCCC: RITE Carbon Capture Center

RITE京都本部に独立したセンター専用建屋を設置、都市ガスを燃焼させた排ガスを用いた試験設備を導入し、各種CO<sub>2</sub>分離回収素材(化学吸収液、吸着材、分離膜)の評価を実施する。

ユーティリティーヤード(面積: 116 m<sup>2</sup>)



評価棟

面積: 131 m<sup>2</sup> 高さ: 8.4 m

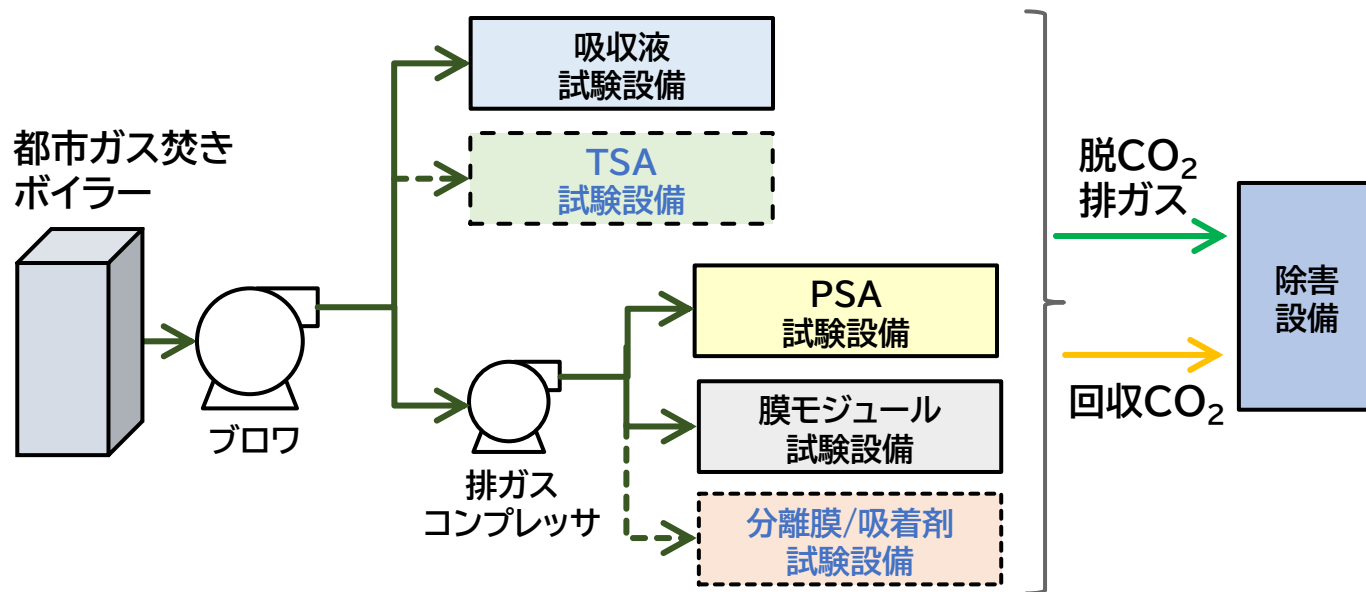


# 設備構成

## 【試験設備フロー】

供給排ガス	
流量	247 Nm <sup>3</sup> /h
温度	75 °C
組成	CO <sub>2</sub> 8.8 %
	N <sub>2</sub> 77.0 %
	O <sub>2</sub> 3.9 %
	H <sub>2</sub> O 10.3 %
	NOx 69 ppm

実測定例(2025.3)



設備	製作仕様
排ガス供給設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>都市ガスボイラー(蒸気量250kg/h相当)×2基 ※ 24時間連続供給可能</li> <li>各試験設備に対して100kg-CO<sub>2</sub>/dを供給可能</li> </ul>
吸収液試験設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸収塔(充填層部): 2mH×0.2mφ 再生塔(充填層部): 2mH×0.1mφ … 液量約70L</li> <li>吸収塔入口温度(ガス/液): 40℃ 再生圧力/温度: 0.2MPa/120℃</li> </ul>
PSA試験設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸着槽: 250A×1800L×3塔 … 1塔当り充填量 約60kg</li> <li>温度: 30℃ 圧力: 101~900kPa(吸着) 10kPa(脱着) 露点: -60℃</li> </ul>
TSA試験設備 2025製作着手, 26年度稼働予定	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸着槽: 150A×2500L×3塔 … 1塔当り充填量 約50L</li> <li>温度: 30℃(吸着) 120℃(脱着) 圧力: 101kPa(吸着) 10kPa(脱着) 露点: -30℃</li> </ul>
膜モジュール試験設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>膜モジュール: 1m程度 …フレキシブル配管で調整</li> <li>温度:30~85℃ 圧力:101~900kPa(供給) 10~101kPa(透過) 露点:-15~80℃</li> </ul>
分離膜/吸着剤試験設備 2025製作着手, 26年度稼働予定	<ul style="list-style-type: none"> <li>分離膜(単膜): 8 cm<sup>2</sup>程度, 吸着剤: 2~3 g程度</li> <li>ガス量: 0.2~1L/min ※ 単膜評価だけでなく、少量の吸着剤の実ガス試験も可能</li> </ul>

# 排ガス供給設備・ユーティリティ

- 都市ガスボイラーを2基備え、4基の試験設備に合計400kg/日相当のCO<sub>2</sub>を含む燃焼排ガスを24時間供給するとともに、試験に必要な希釈用空気や冷却水を供給する。

ボイラーユニット



計装コンプレッサ



排ガスコンプレッサ



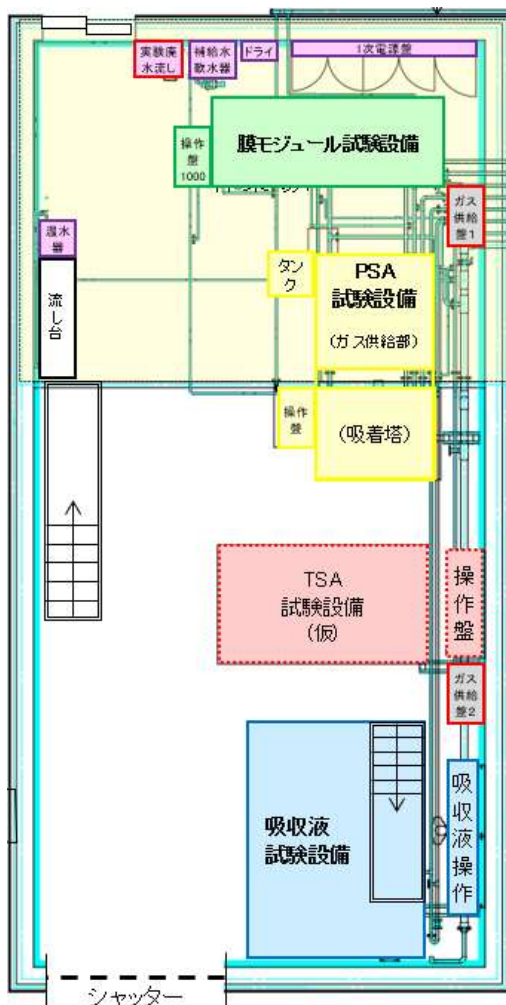
- ✓ その他補器類
  - ・冷却水
  - ・チラー水

都市ガスボイラー



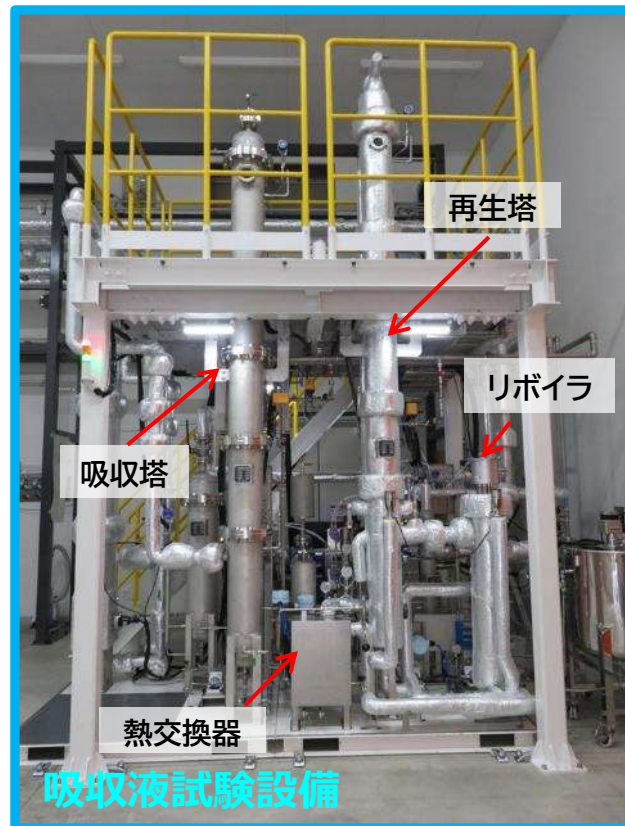
# CO<sub>2</sub>分離回収試験設備

## 評価棟内配置



- 2025年度上期から標準分離素材での試験を実施

- ✓ モノエタノールアミン水溶液
- ✓ ゼオライト13X
- ✓ ポリイミド系ガス分離膜



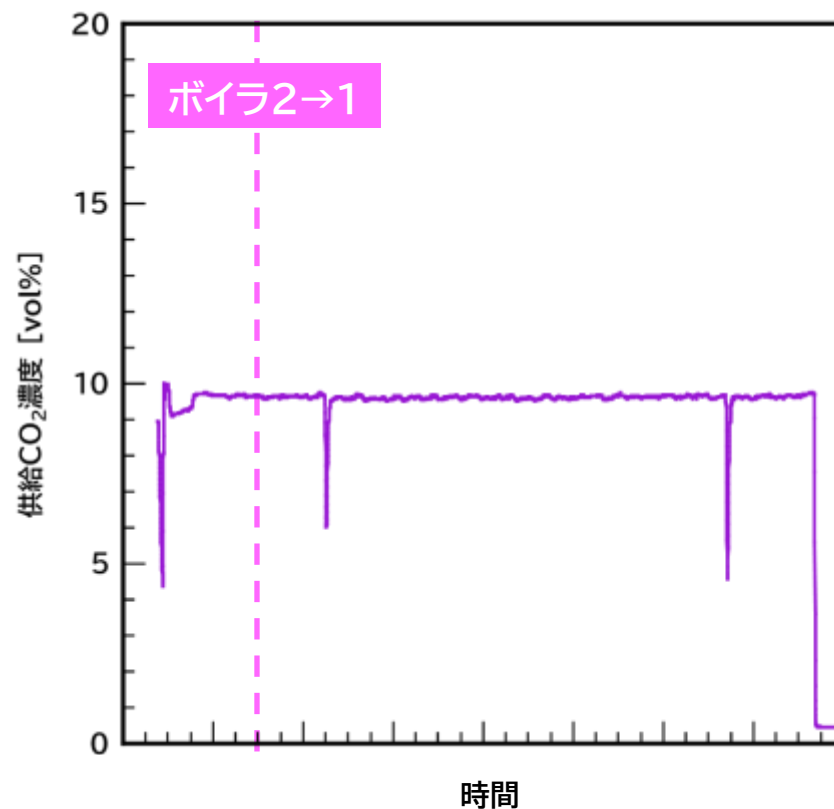
# 燃焼排ガスの安定供給(例)

- ✓ 2台のボイラの運転を自動で切り替えることで、一定CO<sub>2</sub>濃度の燃焼排ガスを各試験設備に安定して長時間供給可能。

## ① 供給排ガス性状

測定項目	記号	単位	分析値
乾きガス組成	CO <sub>2</sub>	vol%	9.4
	O <sub>2</sub>	vol%	4.4
	CO	vol%	<0.1
	N <sub>2</sub>	vol%	86.4
水分量	Xw	vol%	3.5
窒素酸化物	NOx	ppm	45
	NO	ppm	40
	NO <sub>2</sub>	ppm	5

## ② ボイラ切替運転



- RITE化学研究グループでは石炭火力、製鉄からのCO<sub>2</sub>回収技術の早期実用化・大規模化を目指した開発を実施している。先進的CCS事業での採択を目指しつつ、今後、低濃度のCO<sub>2</sub>排出源(天然ガス火力、閉鎖空間、大気等)等、多様な排出源に対応できるよう複数の技術開発を進めるとともに、CO<sub>2</sub>分離回収技術の共通基盤となる実ガス試験センターを設置・運営し、素材メーカーとエンジニアリングメーカー等の開発加速支援も行っていく予定

## ・最近の取組み状況

### ①新規開発混合溶媒系吸収液(RN-7)のCAT-30パイロットスケール試験

- 良好なベンチスケール試験結果を受け(商用化吸収液より10%程度エネルギー低減)、8月から10月にかけて日本製鉄(株) 東日本製鉄所君津地区でパイロットスケール試験を実施  
⇒2030年先進的CCS事業での採択を目指し大規模社会実装への準備を進めていく予定

### ②固体吸収材の実用化に向けた開発状況(石炭火力、天然ガス火力、DAC他)

- 石炭火力:舞鶴発電所でパイロット試験を実施中
- 天然ガス火力:Phase1のステージゲートを突破し、材料開発フェーズからベンチスケールフェーズへ
- DAC:大阪関西万博(4/13~10/13)でのDACパイロットスケール試験を実施、回収したCO<sub>2</sub>はメタン、メタノール、ドライアイスに活用. 日本最大規模のDAC装置、世界に向けて日本のDAC技術をPR
- 有人宇宙活動:地上試験において良好な性能が確認でき、ISSでの軌道上実証予定(10/26打ち上げ済み)

### ③分離膜(高圧ガス)のモジュール化・実証試験に向けての開発

- 次年度の実水素製造プロセスからのCO<sub>2</sub>回収実証に向けた準備を進めている。

### ④炭素回収技術評価センター(RCCC:RITE Carbon Capture Center)を開設

- 吸収液、膜分離、PSA、各装置が稼働(各設備に100kg/day相当の実ガスを供給可能)  
今後、TSAおよび短膜評価試験設備を追加導入、外部サンプル評価の受入れ開始予定

企業会員と共にCO<sub>2</sub>分離回収・有効利用技術の更なる活性化を図る  
活動を実施中 【会員企業】(2025年12月時点:45社+1法人)

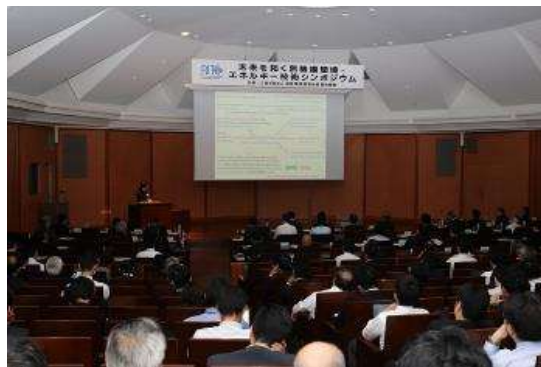
## ◆共通活動

- 1) **会員向け研究会**の実施(国内外動向、見学会、講習会等)
- 2) **会員限定セミナー**の開催(CCUSに関する招待講演)
- 3) **会員向け情報発信**(ニーズ・シーズ情報、ホットトピックス)
- 4) 革新的CO<sub>2</sub>分離回収・有効利用技術シンポジウムの開催  
(招待講演+RITE成果発表+**会員企業のポスター発表**)

次回:2026年2月10日 東京大学 伊藤謝恩ホールにて

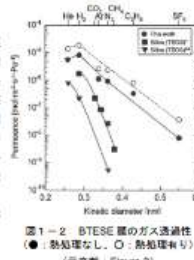


会員限定セミナーの開催



シンポジウムの開催  
(昨年度参加者:Web含め1,125名)

標題	Design of Silica Networks for Development of Highly Permeable Hydrogen Separation Membranes with Hydrothermal Stability		
論文誌	J. Am. Chem. Soc.	著者	Masakoto Kanezashi et al.
巻(号)、頁、年	131, 414-415, 2009	機関	Himshima University
要約	<p>無機膜は、有機膜が適用できない厳しい条件において使用可能であり、特にシリカ膜はH<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>炭素性等の分離膜としての適用が検討されている。シリカ膜のH<sub>2</sub>透過性向上のために、著者はBTESE (bis(trichlorosilyl)ethane)等のSi原子間に有機官能基を含む無機有機ハイブリッドアルコキシドを前駆体とした膜を提案している。無機-有機ハイブリッドの相いネットワークにより細孔径が大きくなり、透過性が向上する。</p> <p>BTESE 膜は、SiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>中間層上に BTESE 高分子ゾルを塗布後、N<sub>2</sub>雰囲気中で焼成して作製する。温度:200℃におけるガス透過性を図1-2に示す。TEOS (tetraethoxysilane) を前駆体としたシリカ膜と比較すると、H<sub>2</sub>透過性はBTESE 膜の方が約1桁大きい。しかし、BTESE 膜はガス種の違いによる透過性の差が小さく、H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>の分離係数は低い(約10)。一方、TEOS 膜のH<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>の分離係数は約1,000と極めて高い。これはシリカ膜の細孔径分布の違いによるものである。BTESE 膜の無機-有機ハイブリッドネットワークの最小単位はSi-C-Siであるため、TEOS 膜よりもSi原子間距離が大きく、細孔径も大きい。</p> <p>BTESE 膜は熱処理(300℃、3h)により透過性が向上する。これは、Si-C結合の一部が熱分解されるためであり、細孔径分布も変化する。</p> <p>通常、水蒸気分離膜の分離係数とH<sub>2</sub>透過性はトレードオフの関係にあるが、BTESE 膜は他の無機膜に比べて、高いH<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>に対する分離係数(700~10,000)と高いH<sub>2</sub>透過性(10<sup>-4</sup>mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>)を示す。また、300℃の水蒸気雰囲気下でも透過性は変化せず、水熱耐久性が高いことが確認されている。これはBTESE 膜のSi-C-Si結合によるものである。</p>		
コメント	<p>Si原子間に有機官能基を含むシラン化合物を前駆体としたシリカ膜の連続である。詳細は(1-1) 総説に詳しい。</p>		



ニーズ・シーズ情報  
(セミナーの文献・特許紹介)

# 革新的CO<sub>2</sub>分離回収・有効利用技術シンポジウム:

開催日:2026年 2月 10日(火)

会 場:東京大学 伊藤国際学術研究センターB2F 伊藤謝恩ホール+オンラインのハイブリッド形式

プログラム(予定)

講演:13:00~17:30、ポスター展示:12:00~13:00および15:55~16:25

(産業化戦略協議会会員からのポスター発表)

基調講演 福永 茂和(NEDO サークュラーエコノミー部 部長)

『NEDOのCCUS技術開発(仮題)』

招待講演① 赤瀬 英昭(三菱ガス化学 取締役 常務執行役員)

『メタノールを介した循環型経済構築に向けた取り組み「CarbopathTM」』

招待講演② 飯田 真司(INPEX 低炭素ソリューション事業本部技術推進ユニット ジェネラルマネージャー)

『INPEX低炭素ソリューション事業・CCUS事業への取り組み』

招待講演③ Mark Claessen(President, Svante Solutions and Digital Services)

『CO<sub>2</sub> capture using MOF - Next-Generation Solid Sorbent Capture: Unlocking Industrial and DAC Opportunities(仮)』 (会場 or Web調整中)

RITE活動報告(3件)

ご清聴ありがとうございました。



Research Institute  
of  
Innovative Technology for the Earth

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の以下の委託業務の結果得られたものです。

- ・CCUS研究開発・実証関連事業 (JPNP18006)
- ・カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発 (JPNP16002)
- ・環境調和型プロセス技術の開発 (JPNP13012)
- ・グリーンイノベーション基金事業 (JPNP21014, JPNP21019)
- ・ムーンショット型研究開発事業 (JPNP18016)
- ・NEDO先導研究プログラム (JPNP14004)

DAC (Direct Air Capture) 実験棟の整備にあたっては、SMBC日興証券株式会社及び三井住友DSアセットマネジメント株式会社のイノベティブ・カーボンニュートラル戦略ファンドから頂いた寄付金を使わせていただきました。