

**「カーボンニュートラル達成に向けた
CO₂分離回収・有効利用技術開発の動向とRITEの取り組み」**

2023年12月20日

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

化学研究グループ

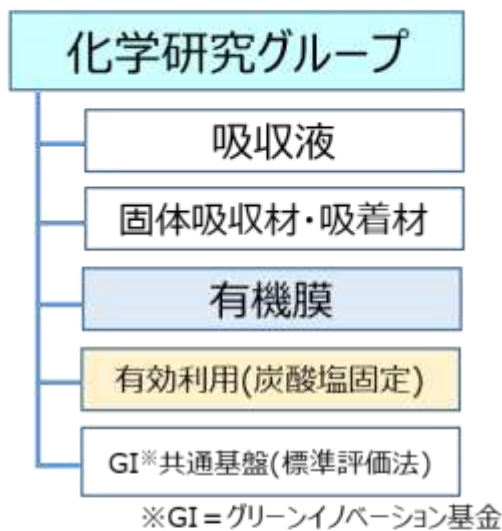
余語 克則



2023年度化学研究グループの体制

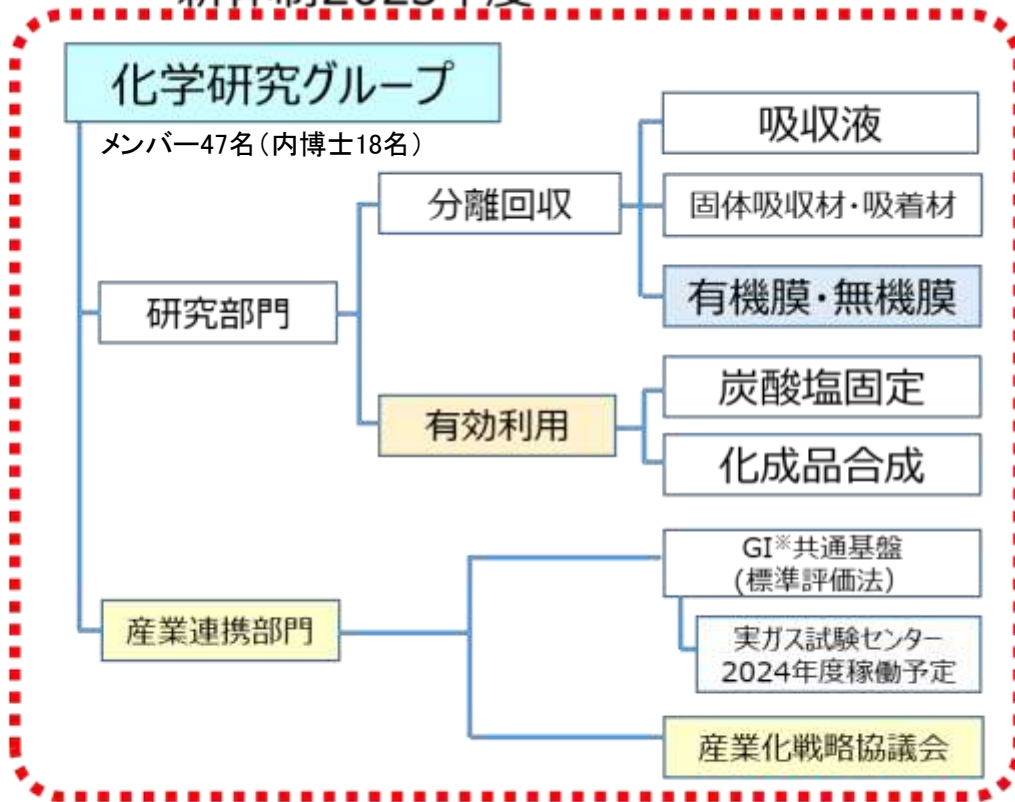
これまで無機膜研究センターと化学研究グループで個別に実施してきた有機膜と無機膜の開発、また、CO₂有効利用に関する研究開発を連携させるため、2023年度から両組織を統合し、効率的な運営を行う組織体制とした。今後、CO₂分離回収・有効利用にかかわる各種技術の早期実用化・産業化を目指して、産業化戦略協議会の活動内容を拡張。

従来体制～2022年度

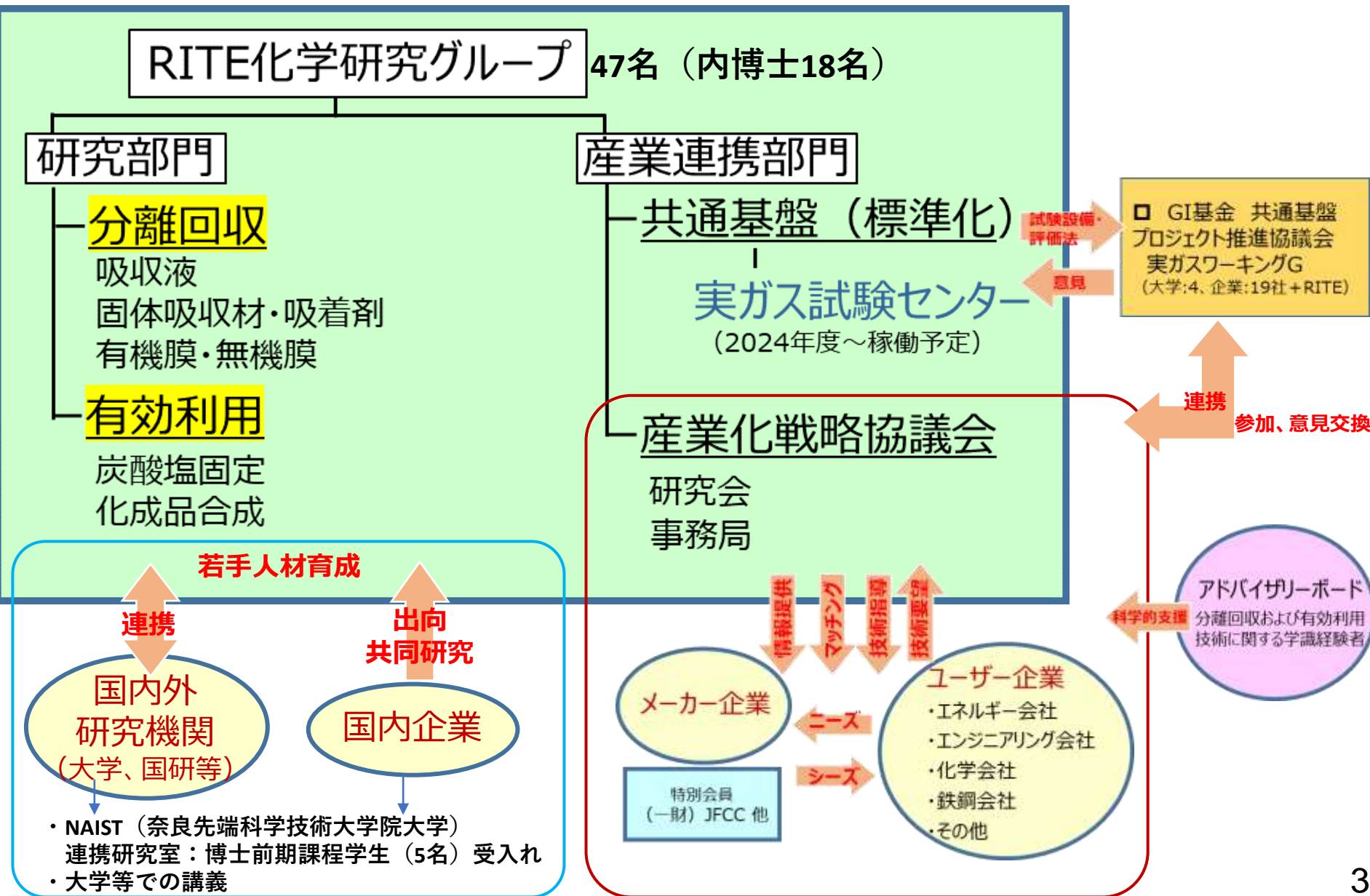


組織改編

新体制2023年度～



有機膜と無機膜を一体として運営
産業化戦略協議会の対象を無機膜からCO₂分離回収・有効利用に拡張



産業化戦略協議会の活動内容

企業会員と共にCO₂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】23社（11月30日現在）

◆ 共通活動

- 1) 研究会の実施
- 2) 会員限定セミナーの開催
- 3) 会員向け情報発信（ニーズ・シーズ情報、ホットピックス）
- 4) 革新的CO₂分離回収・有効利用技術シンポジウムの開催



会員限定セミナーの開催



シンポジウムの開催

図1-1

Design of Silica Membrane for Development of Highly Permeable Hydrogen Separation Membranes with Hydrothermal Stability

著者名	J. Kim, Chon. Sun	所属	Hyosung University et al.
論文種別	国際	掲載誌	Hyosung University

図1-2は、H₂透過率と水蒸気透過率の関係を示すグラフである。H₂透過率は、CO₂透過率の増加とともに減少する傾向を示している。これは、CO₂透過率の増加に伴って、膜の孔径が狭くなり、H₂の透過性が低下するためである。また、CO₂透過率の増加に伴って、膜の厚さも増加していることが確認されている。これは、CO₂透過率の増加に伴って、膜の厚さが厚くなり、H₂の透過性が低下するためである。

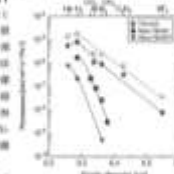


図1-2 H₂透過率とCO₂透過率の関係
● H₂透過率、○ CO₂透過率
(単位: Figure 2)

ニーズ・シーズ情報
(セミナーの文献・特許紹介)

◆ 2023年度の全体スケジュール

4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
総会	HP更新	情報発信	セミナー 研究会準備 HP更新	研究会準備	研究会準備 情報発信 HP更新	セミナー	膜研究会 情報発信 HP更新	CO ₂ 研究会 情報発信	膜研究会 HP更新	シンポジウム CO ₂ 研究会	セミナー

産業化戦略協議会の活動内容

◆会員限定セミナーの開催

第23回セミナー 2023年7月31日（オンライン）

1	「高分子膜でDACを目指す -超高CO ₂ 透過分離膜の開発-」 東京都立大学 都市環境科学研究科 環境応用化学域 教授 川上 浩良 氏
2	「分離ナノ膜を用いる大気からの直接的CO ₂ 回収」 九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー研究所 教授 藤川 茂紀 氏

第24回セミナー 2023年10月2日（東京会場＋オンラインハイブリッド）

1	「New Transformational Membrane Technology Advanced to Skid Testing for CO ₂ Capture from Flue Gases」 オハイオ州立大学 教授 W.S.Winston Ho 氏（同時通訳付き）
2	「炭酸ガス製造を取り巻く現状とCO ₂ 分離回収技術について」 エア・ウォーター株式会社 プラント・機器開発センター 貝川 貴紀 氏

第25回セミナー 2024年3月7日予定（東京会場＋オンラインハイブリッド）

1	「CO ₂ 吸収材としてのイオン液体に関する講演（予定）」 日本大学 工学部 応用生命化学科 准教授 児玉 大輔 氏
2	「MOFを用いたCO ₂ 分離回収技術に関する講演（予定）」 日本製鉄株式会社 技術開発本部 先端技術研究所 上代 洋 氏

産業化戦略協議会の活動内容

◆研究会の実施

□CO₂分離回収研究会（会員企業11社が参加）

目的	国内外の研究開発状況、市場動向等の情報収集および共有化
概要	CO ₂ 分離回収の情報収集、収集した情報に基づくロードマップに関する議論、ロードマップ作成

第1回研究会（2023年12月5日）

DAC技術の必要性、DAC Hubs Project概要、DAC Coalition企業概要紹介とディスカッション

第2回研究会（2024年2月予定）

各DAC企業の技術概要とトピックス紹介とディスカッション

□膜反応器研究会（会員企業9社が参加）

目的	国内外の研究開発状況、市場動向等の情報収集および共有化
概要	膜反応器の情報収集、収集した情報に基づくロードマップに関する議論、ロードマップ作成

第1回研究会（2023年11月22日）

膜反応器の全般に関する情報提供とディスカッション

第2回研究会（2024年1月予定）

CO₂フリー水素製造に関する情報提供とディスカッション

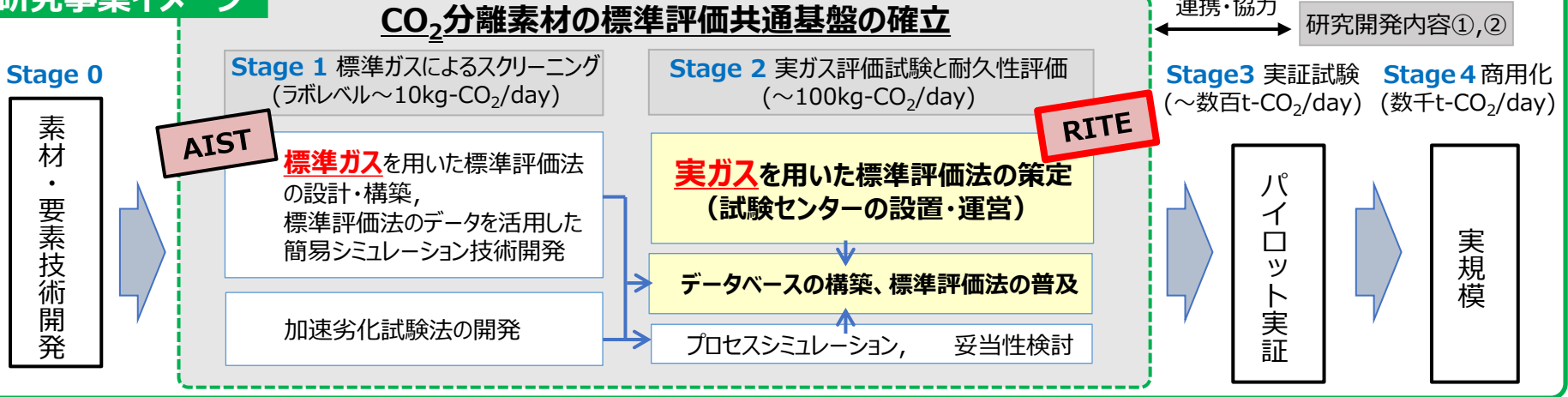
問合せ先

（公財）地球環境産業技術研究機構 化学研究グループ まつよし こもの 松好、菰野
TEL (0774) 95-5086 e-mail: kagaku@rite.or.jp

CO₂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、CO₂濃度10%以下）を対象とした実ガス試験センターを新設し、標準評価法を確立します。

研究事業イメージ



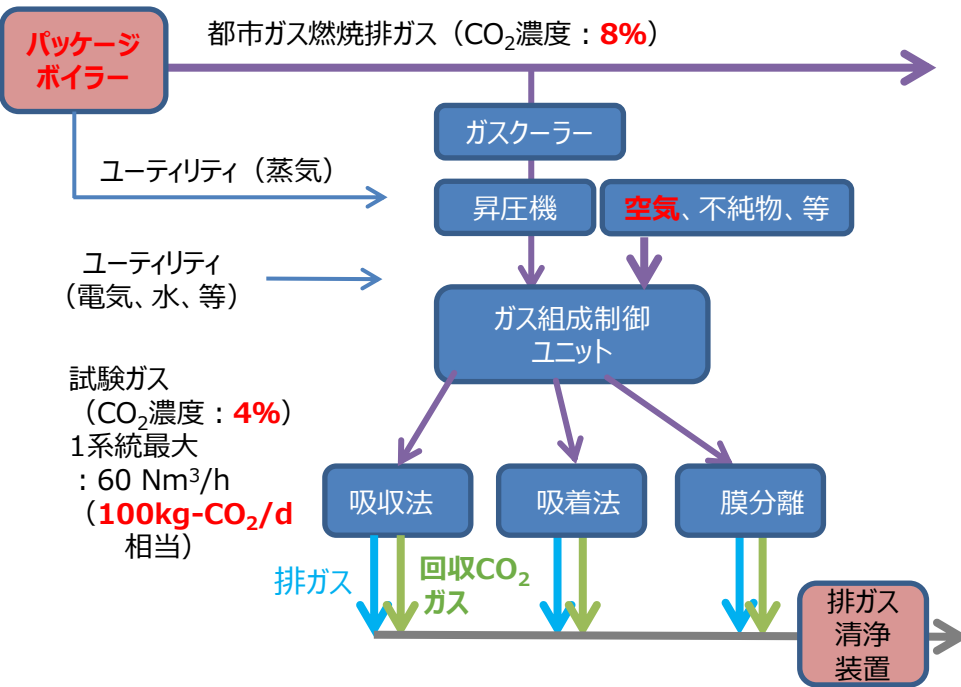
【グリーンイノベーション基金事業／CO₂の分離回収等技術開発プロジェクトとの連携】

★：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 ₂ 分離回収技術開発・実証	性能向上	→	★	スケールアップ検討	→	★	建設、実ガス実証	→	→	TRL7～
	プロセス開発	→	★	TRL5～6	→	→	→	→	→	
② 工場排ガス等からの中小規模CO ₂ 分離回収技術開発・実証 (5事業) (スケジュールは例、事業により異なる)	性能向上	→	★	スケールアップ検討	→	★	建設、実ガス実証	→	→	TRL7～
	プロセス開発	→	★	TRL5～6	→	→	→	→	→	
③ CO ₂ 分離素材の標準評価共通基盤の確立	設計	→	★	素材評価とデータ集積	→	★	国際標準化検討	→	→	
	建設	→	★	→	→	→	→	→	→	

実ガス試験センターの概要と標準評価法

実ガス試験センター概要



＜導入予定のパッケージボイラー＞

項目	仕様
燃料	都市ガス13A
燃料消費量	20.3 Nm ³ /h
相当蒸気量	350 kg/h
最大排ガス量	1 t/d (CO ₂ 量で)
使用電源	AC200V3相
取扱者資格	不要



標準評価法

中立かつ公平な評価を実現する

- ✓ 吸収法、吸着法、膜分離法を対象
- ✓ 各手法に対し、標準評価材および標準測定条件を規定



評価装置の正しさを確認、実ガスと標準ガスとで揃え、比較可能とする



- ✓ 評価、特性データ取得時において、押さえておくべき試験条件を明確化
- ✓ 評価バウンダリも明確化

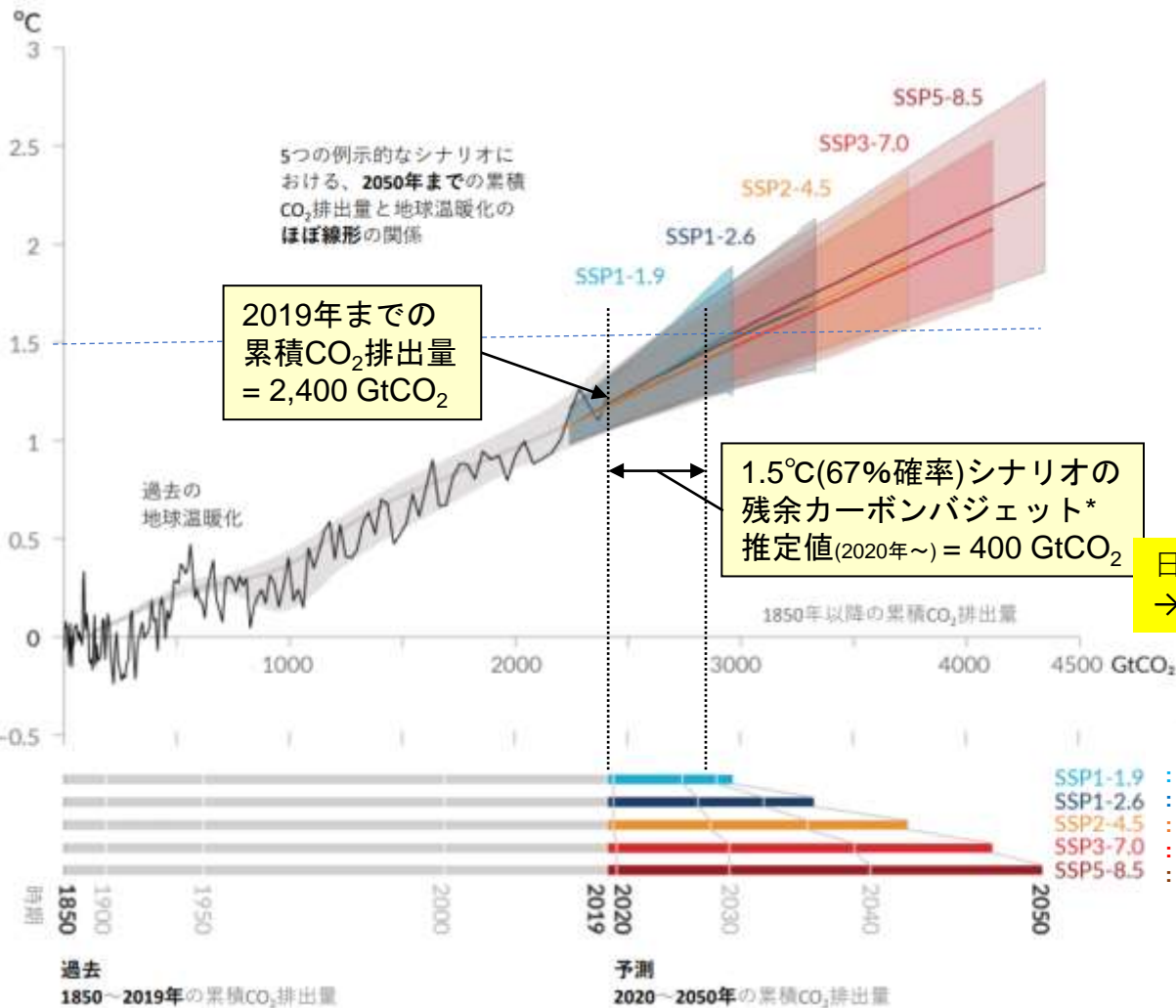
- プロジェクト推進協議会で議論する。
- JIS等を参考に進める。
- 国際的な情報や取組（ISOなど）も踏まえたものとする。

※ ISO/TC265 : CCSにおける設計、建設、運用、環境計画とマネジメント、リスクマネジメント、定量化、モニタリングと検証、及び関連活動の標準化活動。
RITEが国内審議団体を務めています。

＜今後の予定＞ 関係者と協議しながら、
‘24FYの設立・確立を目指します

IPCC AR6 :

CO₂の累積排出量と世界平均気温上昇の関係



・ 累積人為起源CO₂排出量と世界平均地上気温はほぼ線形の関係

・ 気温の上昇を安定させるためには人為的CO₂排出量を正味ゼロにする必要あり

日本の排出量：世界の3.2%
→日本の残余カーボンバジェット≒128億トン

*残余カーボンバジェット：温暖化を特定の気温水準以下に抑えるにあたり、まだ排出しうるCO₂の量

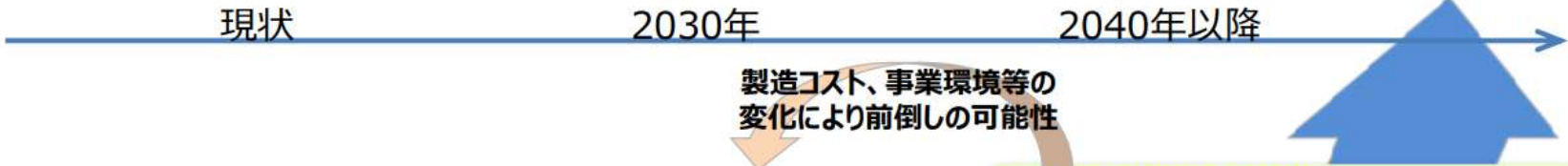
カーボンリサイクルロードマップ

カーボンリサイクルを拡大していく絵姿

- 水素の調達環境や技術成熟度等を踏まえつつ、各製品分野における可能な限り早期の技術確立、低コスト化、普及を目指し、技術開発や実証を進める。

※市場投入や海外展開を見据え、CO₂削減効果（環境価値）についてLCA等の観点を含め、意識することが重要。

LCA : Life Cycle Assessment (ライフサイクルアセスメント)



製造コスト、事業環境等の変化により前倒しの可能性

2040年頃から普及

- 化学品 汎用品（オレフィン、BTX等）
- 燃料 グリーンLPガス
- 鉱物 コンクリート製品（建築、橋梁等の用途）

安価な水素供給かつ2040年以降に普及可能なカーボンリサイクル製品について、製造方法の効率化、スケールアップ。

カーボンリサイクルに資する研究・技術開発・実証を推進。特に、商用化に向けて、水素が不要な製品や技術成熟度が高い製品を重点的に技術開発。

化学品（ポリカーボネート等）

プロセス改良等によるCO₂排出量の更なる削減

燃料（SAF等）

現状から1/8～1/16程度に低コスト化

鉱物（コンクリート製品（道路ブロック等））

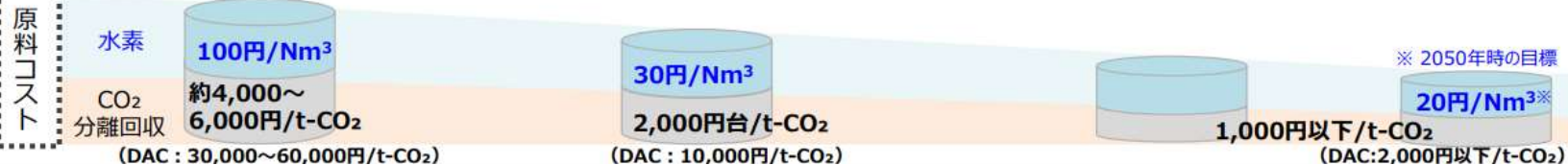
現状から1/3～1/5程度に低コスト化

2030年頃から普及

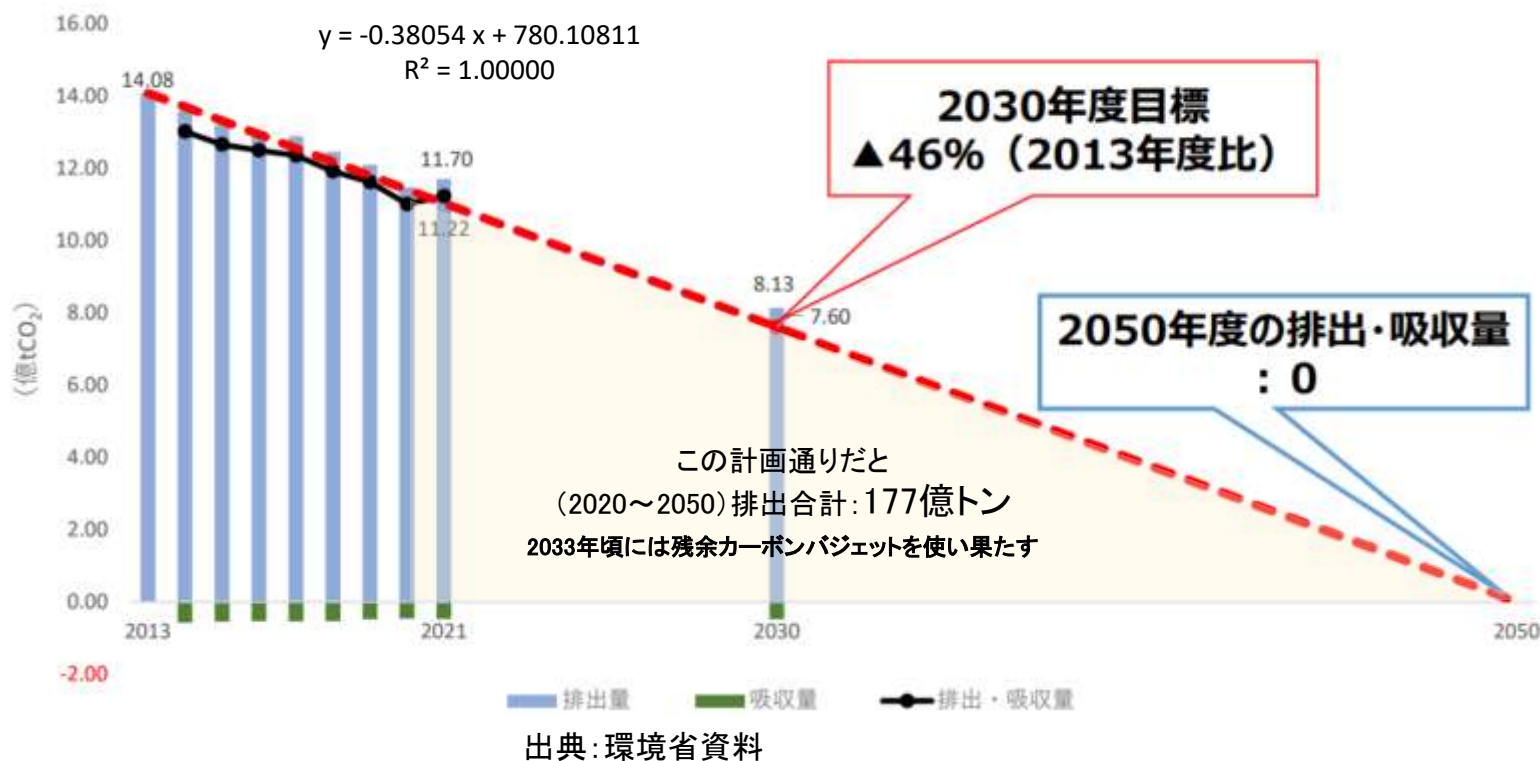
- 化学品 ポリカーボネート 等
- 燃料 合成燃料、SAF、合成メタン
- 鉱物 コンクリート製品（道路ブロック等）、セメント

- 更なる低コスト化
- 消費が拡大

2050年時点での最大CO₂リサイクル量（国内利用されるカーボンリサイクル製品相当）：約2億～1億トン（CO₂の由来、発生地点（国内外）、固定期間の長短は問わない最大ポテンシャル）



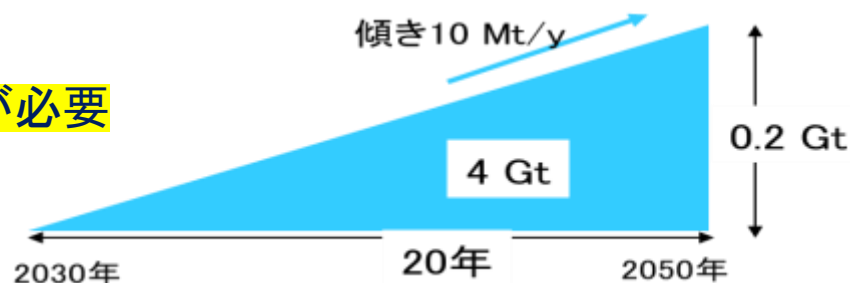
カーボンニュートラル達成に向けて



国内2億トン/yを実施するために必要な設備規模

2050年に0.2Gtのシナリオなら1Mt/yの設備を

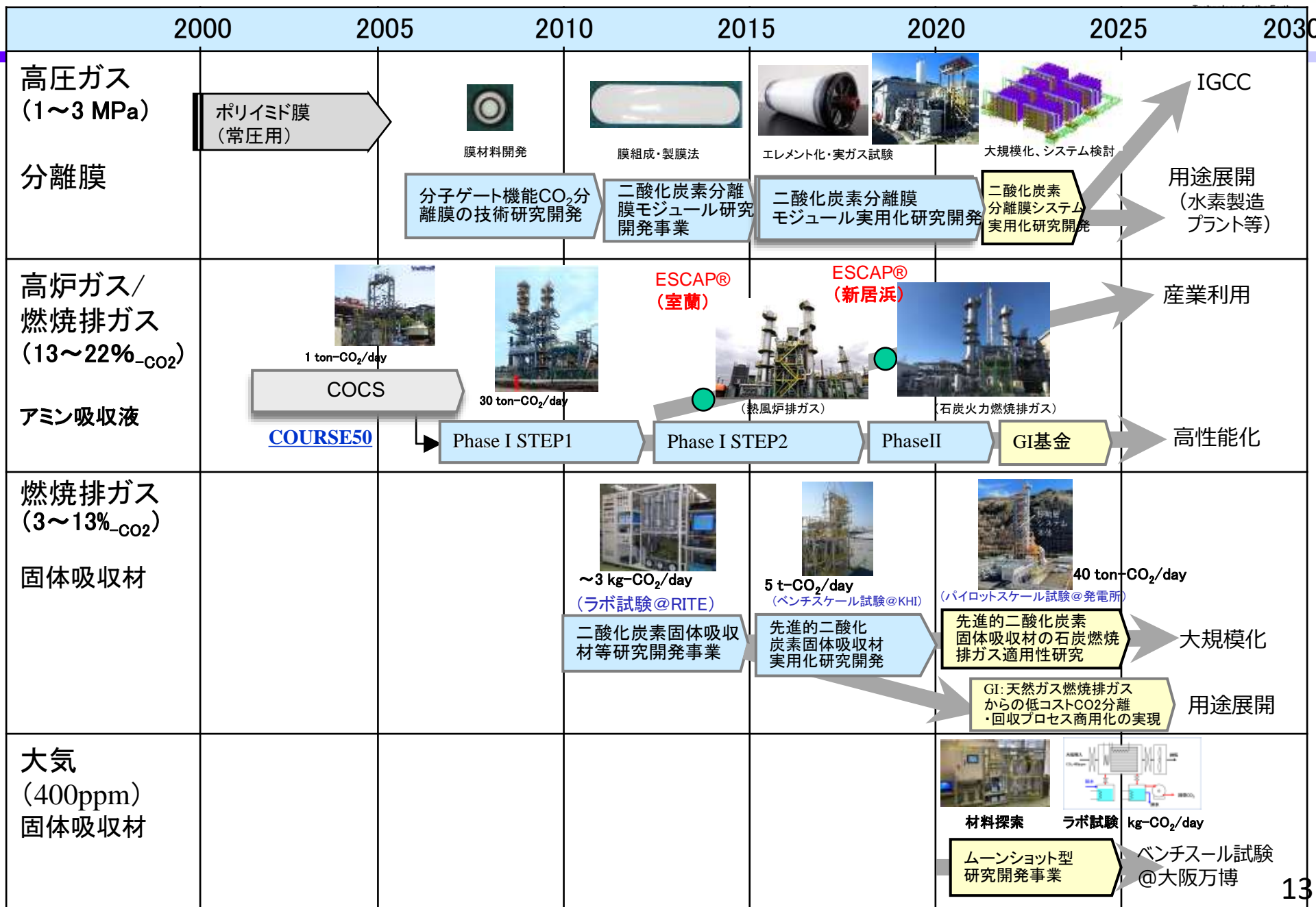
2030年頃から10台/年で建設し200台の設備が必要



R05化学研究グループ実施事業(国プロ)

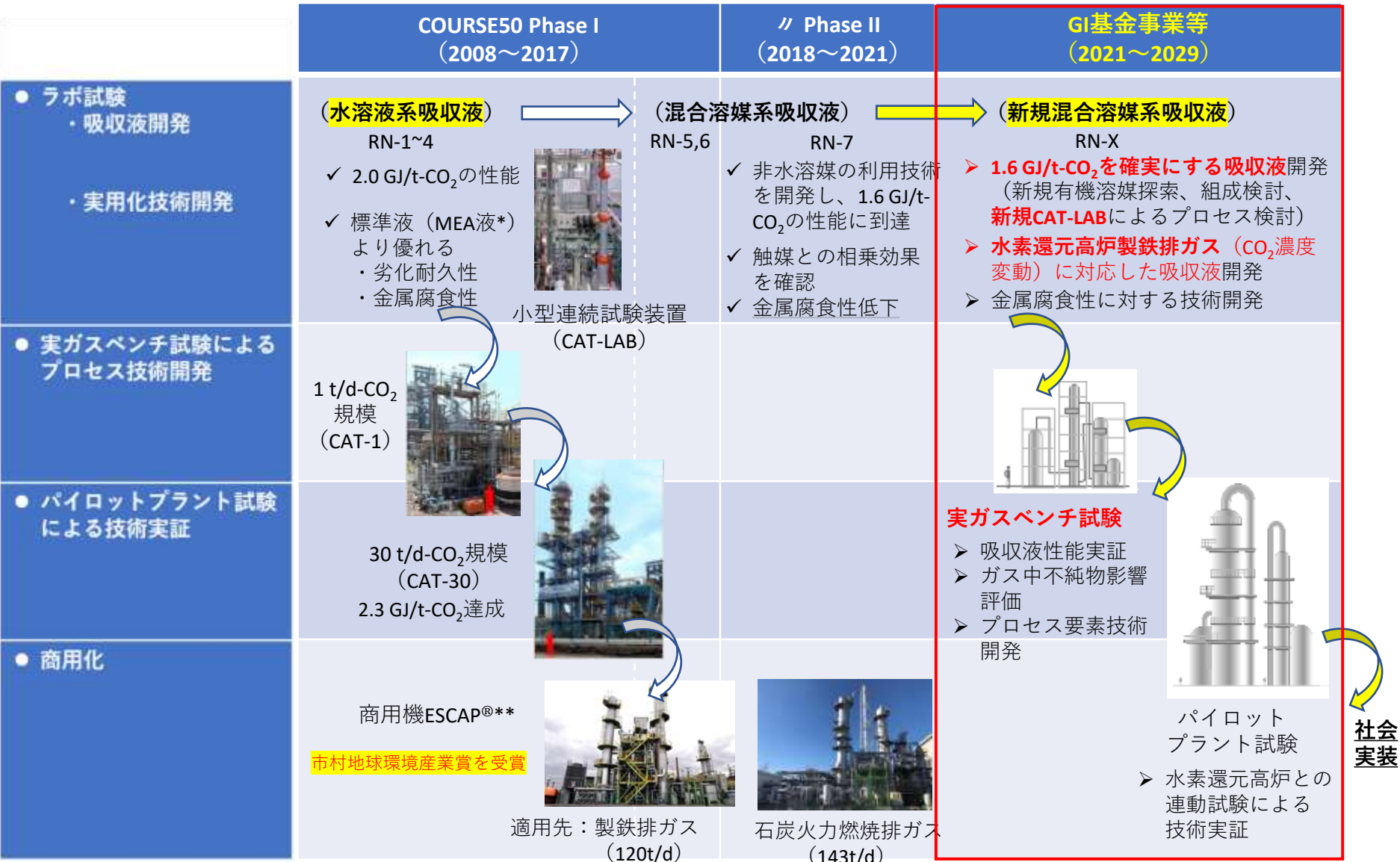
技術	適用先	CO ₂ 濃度	事業名	体制	期間 (現行Phase)
吸収液	高炉ガス	20～22%	グリーンイノベーション基金事業／製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト／高炉を用いた水素還元技術の開発／外部水素や高炉排ガスに含まれるCO ₂ を活用した低炭素化技術等の開発／C-2: CO ₂ の分離・回収技術	NEDO事業 ・日本製鉄 ・RITE	2021～ 2029
固体吸収材	発電所 (石炭火力)	13～15%	カーボンリサイクル・次世代火力発電事業/CO ₂ 分離回収技術の研究開発/先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究	NEDO事業 ・KHI ・RITE、 ・名古屋大(再委託)	2020～ 2024
固体吸収材	天然ガス火力	3～5%	グリーンイノベーション基金事業／CO ₂ の分離回収等技術開発／低圧・低濃度CO ₂ 分離回収の低コスト化技術開発・実証／天然ガス火力発電排ガスからの大規模CO ₂ 分離回収技術開発・実証／天然ガス燃焼排ガスからの低コストCO ₂ 分離・回収プロセス商用化の実現	NEDO事業 ・千代田化工建設 ・JERA ・RITE	2022～ 2030
固体吸収材	大気	400 ppm	ムーンショット型研究開発事業/地球環境球再生に向けた持続可能な資源循環を実現/大気中からの高効率CO ₂ 分離回収・炭素循環技術の開発	NEDO事業 ・金沢大 ・RITE ・MHI(再委託)	2020～ 2024 (2029)
分離膜 (有機膜)	IGCC 水素製造装置	40% (～3MPa)	カーボンリサイクル・次世代火力発電事業/CO ₂ 分離回収技術の研究開発/二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発/高性能CO ₂ 分離膜モジュールを用いたCO ₂ -H ₂ 膜分離システムの研究開発	NEDO事業 ・MGM技術研究組合	2021～ 2023
分離膜 (無機膜)	有効利用(メタノール合成)	回収後の 高濃縮CO ₂ を利用	カーボンリサイクル・次世代火力等発電技術開発/CO ₂ 排出削減・有効利用実用化技術開発/化学品へのCO ₂ 利用技術開発/CO ₂ を用いたメタノール合成における最適システム開発	NEDO事業 ・JFEスチール ・RITE	2023～ 2025
吸収液 吸着剤 分離膜 等	各種燃焼排 ガス	10%以下	グリーンイノベーション基金事業／CO ₂ の分離回収等技術開発／低圧・低濃度CO ₂ 分離回収の低コスト化技術開発・実証／CO ₂ 分離素材の標準評価共通基盤の確立	NEDO事業 ・産総研 ・RITE	2022～ 2030

RITEにおけるCO₂分離回収技術の研究開発



高性能吸収液の開発：概要

NEDO事業 (GI基金) / 日本製鉄(株)と共同実施



* 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(株)の省エネ型CO₂回収設備

先進的二氧化碳素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究[NEDO事業]

【目的】

- 1) CO₂分離回収コストの低減に貢献する革新的な技術である固体吸収材の開発
- 2) 石炭火力発電所実ガスを用いたパイロットスケールでの信頼性、運用性、環境影響評価

2022(令和4)年度



パイロット試験設備
の建設



固体吸収材の
製造・供給

移動層シミュレーションモデル
効率的運転プロセス検討

2023～2024(令和5～6)年度

- ・吸収材循環運転
- ・実ガスからのCO₂分離回収確認

試運転

- ・パイロット試験設備運転
- ・定格負荷試験(40t/day)
- ・パラメータ影響試験
- ・運転安定性評価試験

実ガスCO₂回収試験

- ・パイロット試験使用材の分析・評価
- ・効率的な材製造プロセスの検討
- ・メイクアップスキームの検討

実用化に向けたパイロット試験結果に基づく
固体吸収材の改良及び製造プロセスの最適化

- ・実ガス組成、装置特性等の反映
- ・CO₂とH₂Oの相互作用の検討

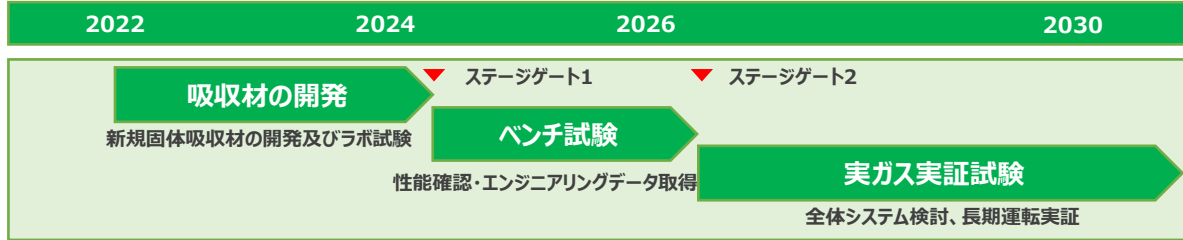
パイロット試験設備への適用に向けた
移動層シミュレーションモデルの検討及び改良

グリーンイノベーション基金事業/CO₂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CO₂分離・回収プロセス商用化の実現)

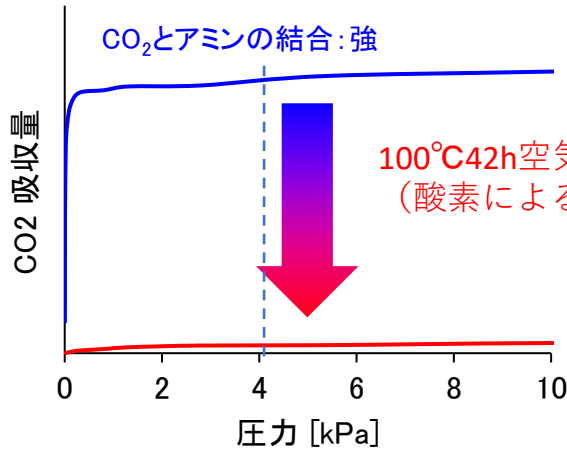
【目的】

低CO₂濃度（4%前後）、高O₂濃度（13%）の天然ガス火力発電所排ガスから効率的にCO₂を分離回収する
高い酸化劣化耐性を有する新規固体吸収材の開発

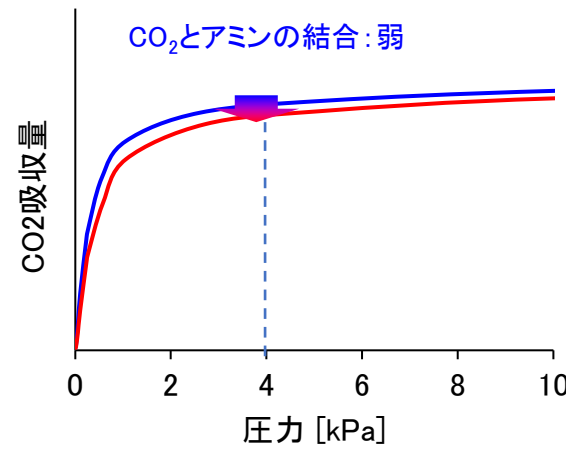
●事業スケジュール



●実施体制



CO₂吸収量に優れた市販アミン



RITE開発アミン(RGB3)

- ✓ 優れたCO₂吸収量
- ✓ 優れた酸化劣化耐性
- ✓ 低温再生可能

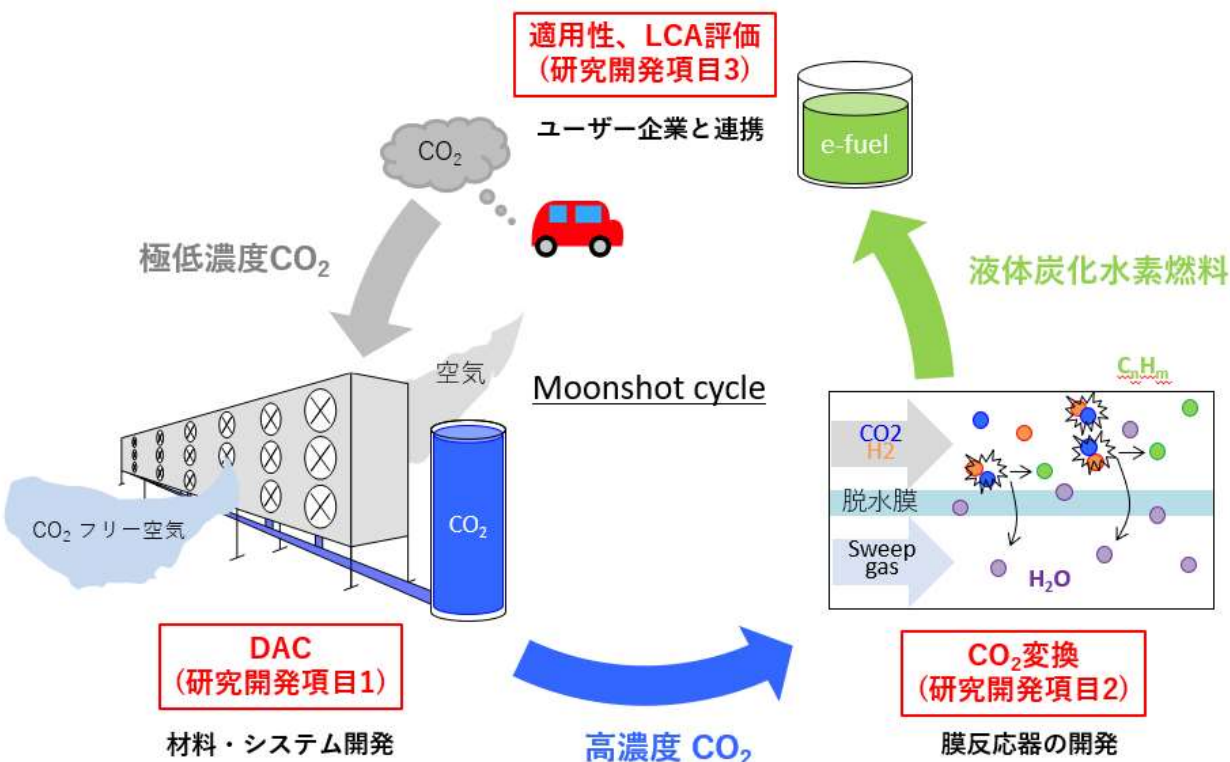
昨年度までの成果と今後の予定

- ▶ 酸化劣化耐性に優れた、新しい骨格構造を有するアミンを開発
- ▶ ベンチスケール試験に向けてラボ→工業的製造方法の検討に着手 (tonレベル合成)

ムーンショット型研究開発事業： 大気中からの高効率CO₂分離回収・炭素循環技術の開発

【実施内容】

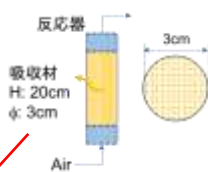
1. 大気中からの高効率CO₂回収 (Direct Air Capture) 技術開発
→ RITE固体吸収材の適用、金沢大デシカントローター技術の知見の適用
2. 炭素循環のためのCO₂変換技術開発 (液体炭化水素燃料合成)
→ 膜反応器による高効率化
3. 液体炭化水素燃料適用性、システム全体のLCA評価 → ユーザー企業と連携



昨年度中間評価
FT合成：
FY2022で終了
DAC：
大規模化に注力

DAC技術開発：ミュレーションとラボ・システム評価の連携による開発体制

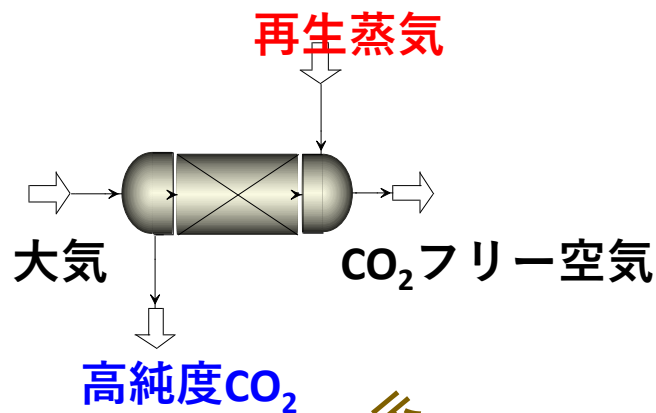
ラボ試験装置(~数100g/d)



基礎物性データの提供

材料特性の改良提案

プロセスシミュレーション



最適な運転プロセスの提示

モデルの改良提案

DAC実験棟 (RITE敷地内設置)



DACシステム評価装置(~数kg/d)

・実機サイズのハニカム等性能評価

スケールアップ 運転条件

三菱重工業(株)

省力化法の提案

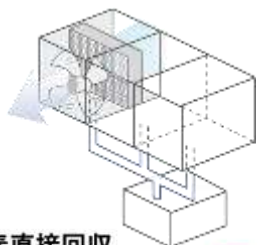
実プロセスへの
適用性検証

材料特性の改良提案

2025大阪万博会場実証エリアでの計画



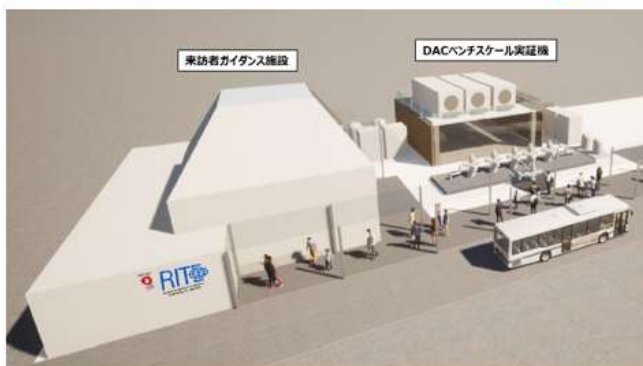
DACCS、バイオメタネーション、CO₂分離回収の全体レイアウト、基本設計、工事計画策定中



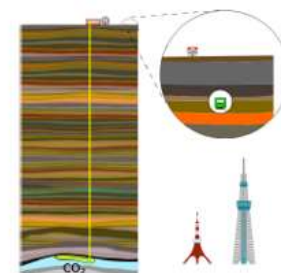
大気中の二酸化炭素直接回収

DAC (Direct Air Capture) 装置

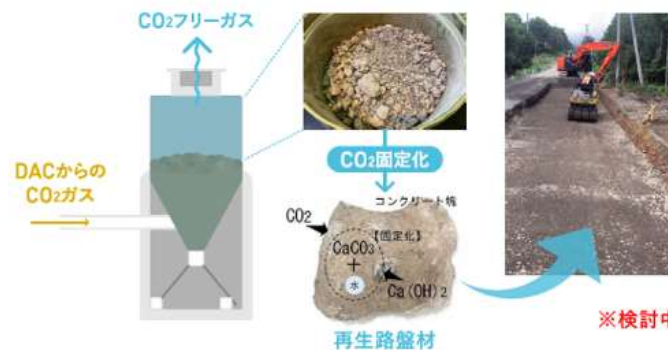
最大
500
kg/day



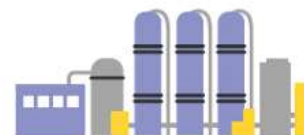
01 輸送・地中貯留



02 アスファルト舗装材への鉱物固定*



03 メタネーション

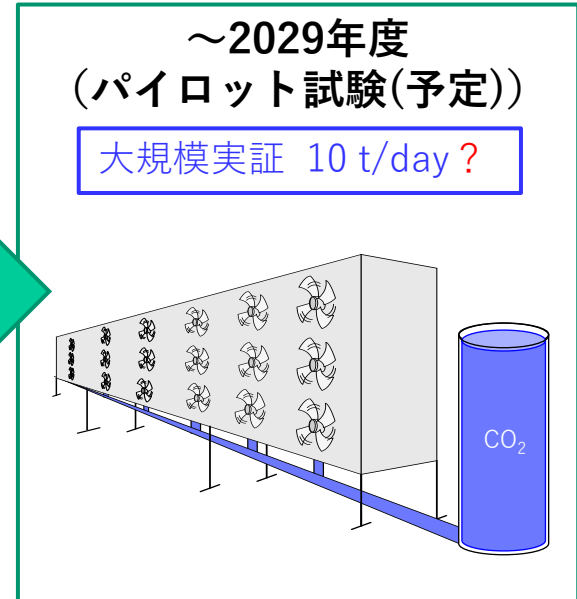
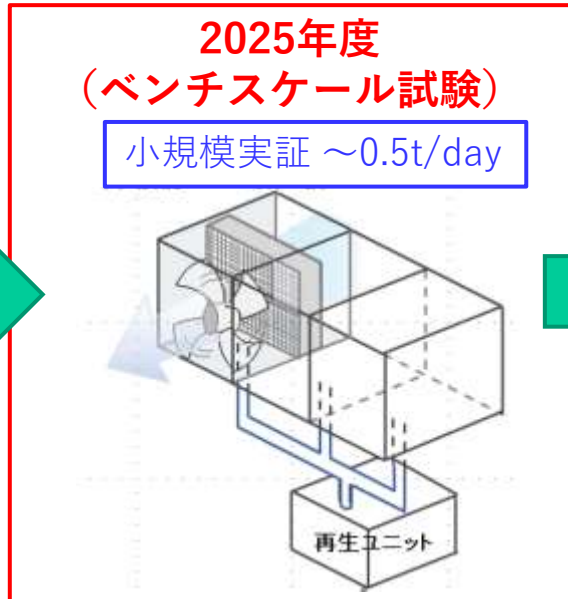
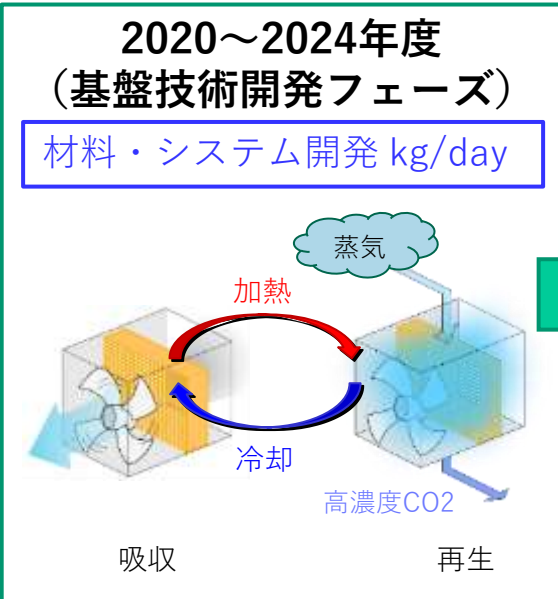


メタネーション設備

- ◎触媒メタネーション
- ◎バイオメタネーション

目標と計画：三菱重工との連携による 材料開発およびDAC装置開発加速

年度	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	
従来計画 前半：基礎研究 後半：実用化研究	基盤技術開発(Phase 1) ①DAC用新規材料開発(RITE) ②DAC用新規システム開発(KU,RITE,MHIENG) ③高効率e-fuel合成技術開発(RITE)					基盤技術開発(Phase 2)(①～③の改良・性能向上) 改良・パイロット試験装置設計 パイロット試験装置製作 パイロット試験					
開発加速 トータルシステムの早期検証と課題抽出、大阪万博にて、社会受容性の獲得、開発加速 (大阪万博にて実証予定)	小型要素試験機(1ユニット)	小型試験機製作	性能確認試験	改良検討・実証機設計	製作・工事 会場設置実証機(ベンチ)～0.5 t/day 規模	実証	万博実証の知見をフィードバック、改良 成果を活用・改良 課題克服 社会実装を加速				LCA評価 社会実装性評価



大規模化・社会実装を加速

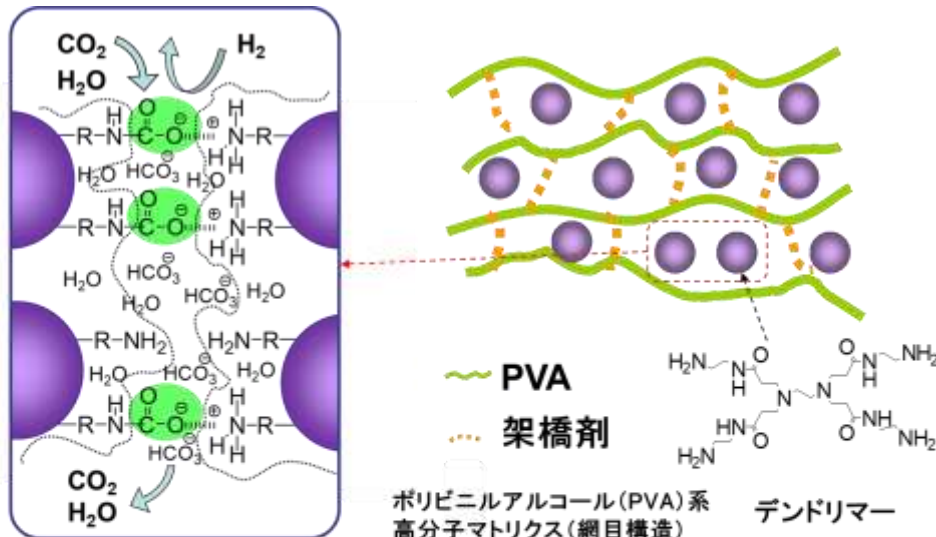
RITEが保有する膜分離技術

膜	構造	特長	主な用途
<p>分子ゲート膜 (有機膜)</p>	<p> <chem>NC(=O)NCCN(C)CNC(=O)N</chem> <chem>NC(=O)NCCN(C)CNC(=O)N</chem> </p> <ul style="list-style-type: none"> PVA Crosslinker Dendrimer 	<p>CO₂/H₂混合ガスからCO₂を選択的に透過 (分子ゲート機能)</p>	<ul style="list-style-type: none"> CO₂/H₂分離 (IGCC、水素製造用としてMETI事業で開発中)
<p>(ピュアシリカ) ゼオライト膜</p>		<ul style="list-style-type: none"> 結晶の均一細孔 熱的・化学的安定性 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂/CH₄分離 MCH脱水素 蒸留代替(脱水)
<p>対向拡散CVD シリカ膜</p>	<p>シリカ原料、拡散、反応、シリカ膜(細孔内へ析出)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 水素透過速度・選択性が極めて高い 構造設計の自由度が高い 	<ul style="list-style-type: none"> MCH脱水素 He回収
<p>細孔内充填型 パラジウム膜</p>	<p>保護層</p>	<ul style="list-style-type: none"> 耐久性向上とコスト低減の可能性 製膜位置の制御が可能 	<ul style="list-style-type: none"> NH₃脱水素 天然ガス改質

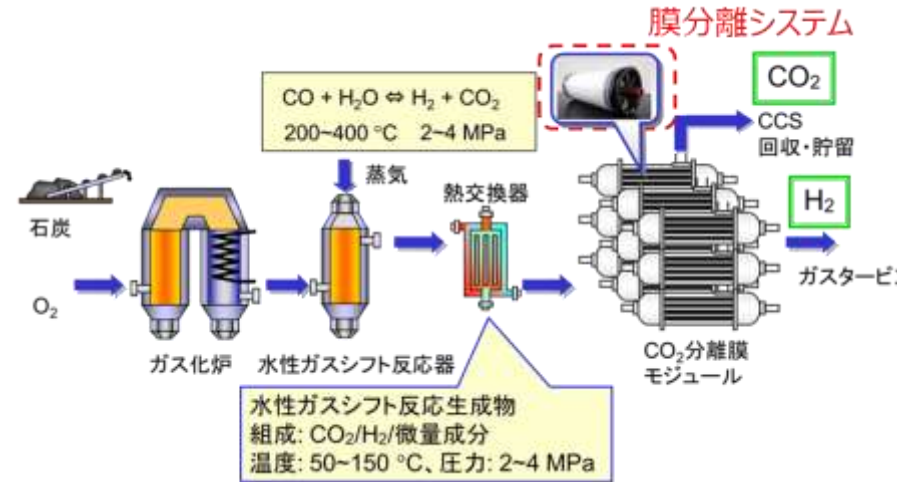
分離膜モジュール開発

<分子ゲート膜（保有技術）>

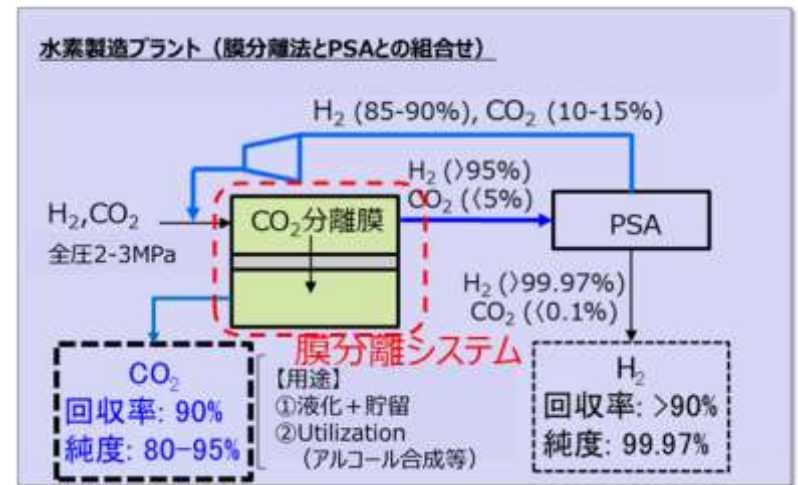
H₂の透過を阻害し、CO₂を選択的に透過する機能膜



高いCO₂/H₂選択性 + 高い耐圧性
⇒ 高压ガス (IGCC、水素製造) からの分離に適している。



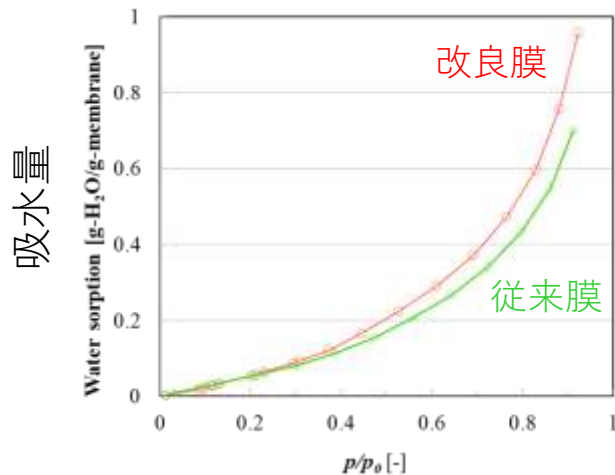
適用先①：CO₂分離回収型IGCCシステム



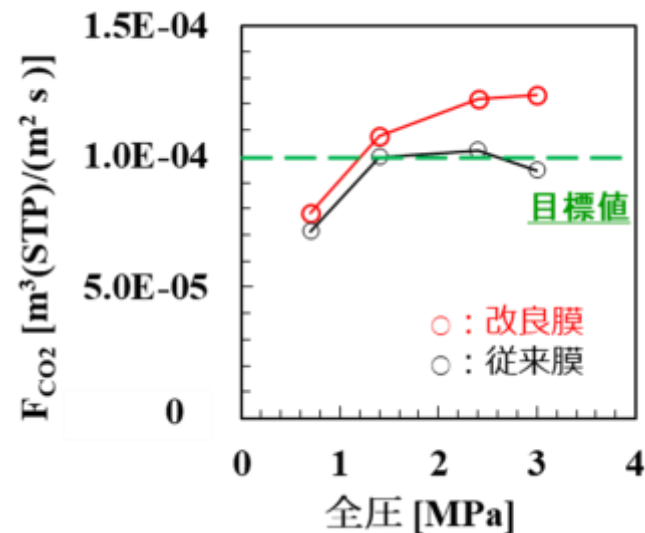
適用先②：水素製造プラント

「CO₂分離回収型IGCC向け分離膜システムの開発」:進捗状況

分離膜の改良：①高含水化（分離機能層）
②細孔径分布制御（支持膜）



高压域での
CO₂透過流束
大幅に向上



※CO₂/He選択性: 30 @3MPa

膜分離システムの構築

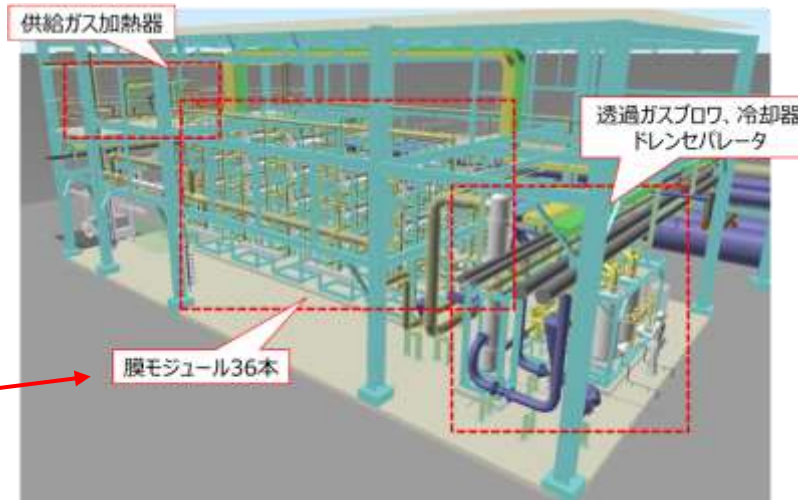
膜エレメント
Φ10cm×60cm長



膜モジュール



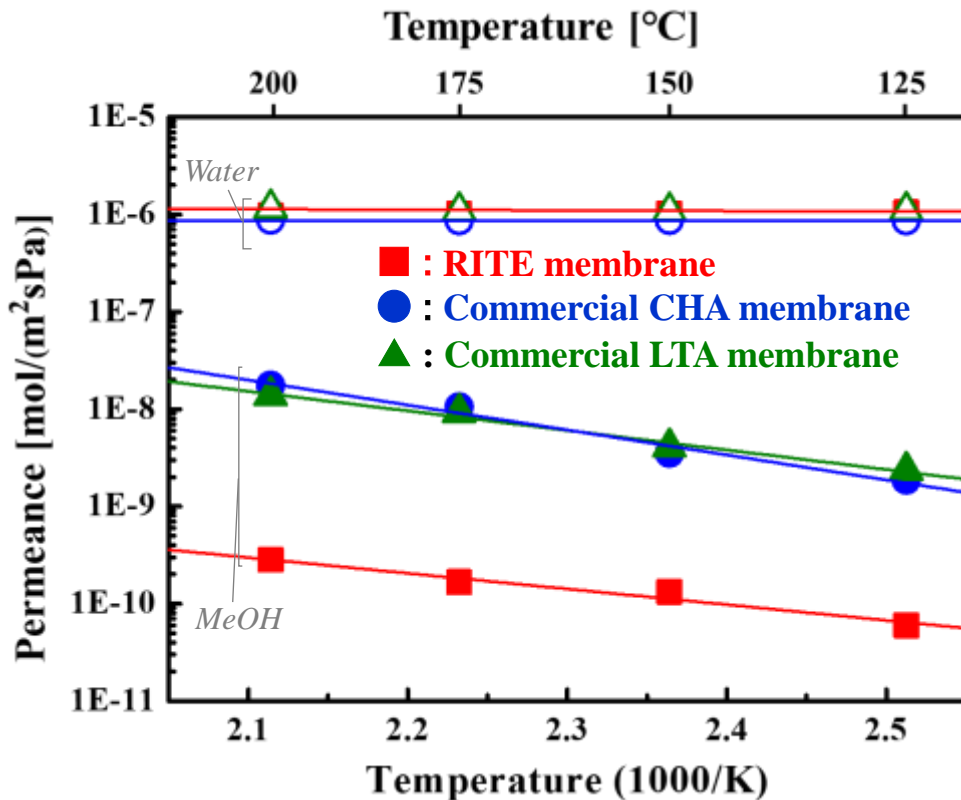
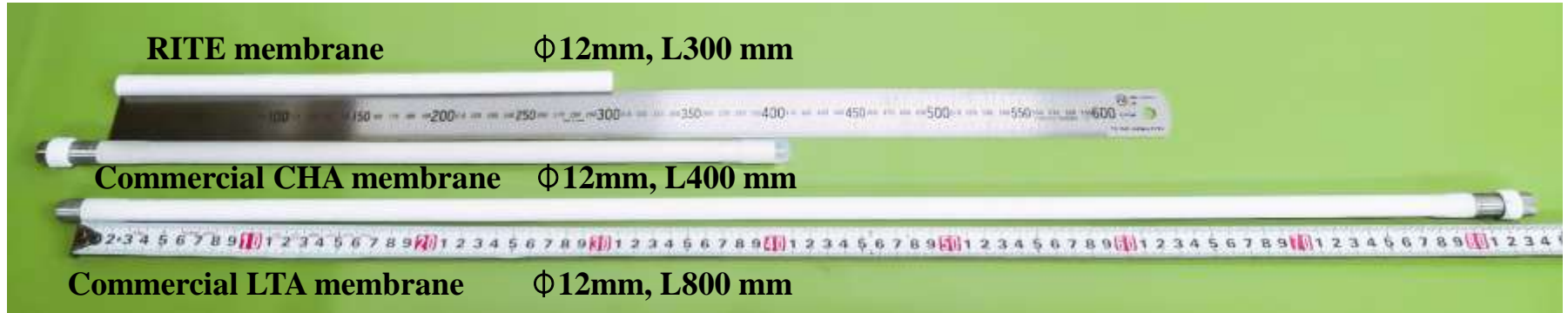
モジュール36本を1ユニットとするイメージ



能力（シミュレーション値）

CO ₂ 分離回収	想定値
回収率 (%)	90%
純度 (%)	95%

RITEの脱水膜(無機膜)の性能(水-メタノール分離)



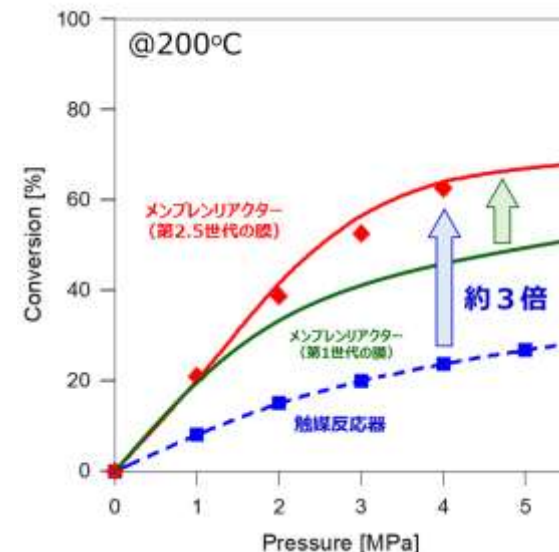
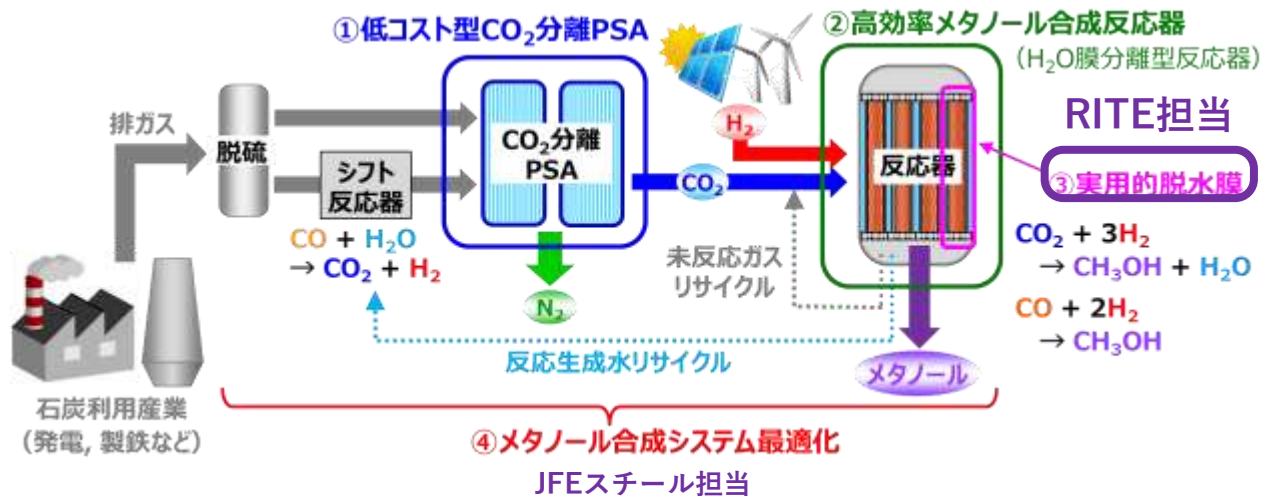
RITE脱水膜

(Si-rich LTAゼオライト膜) :

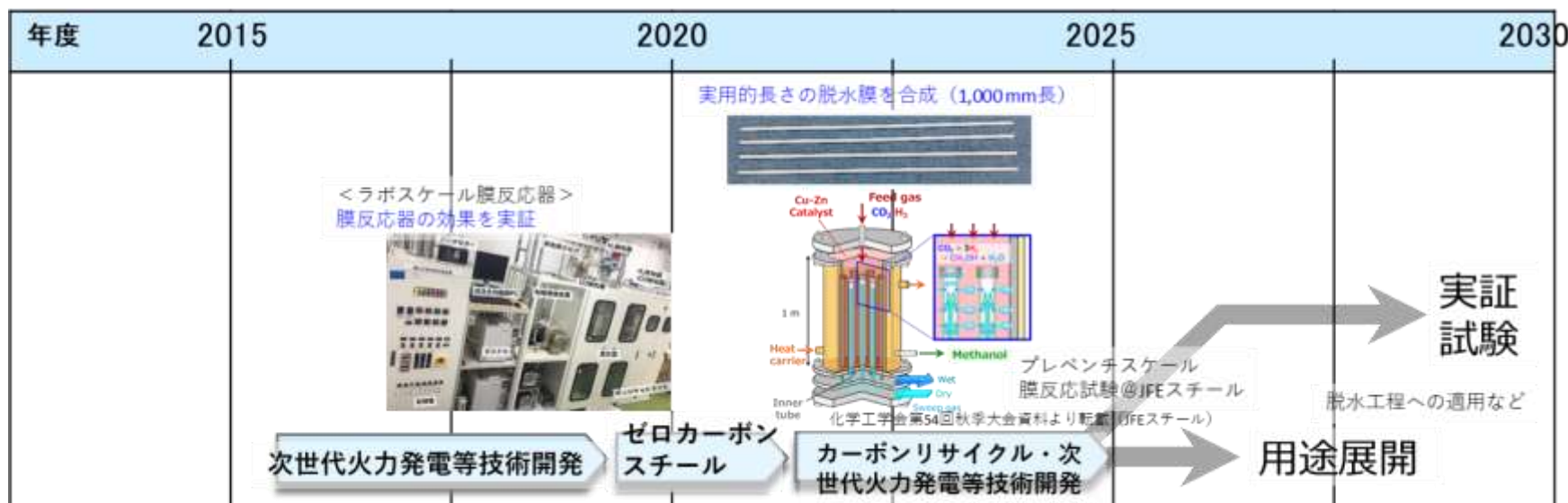
市販の脱水膜2種よりも
分離性能が高い

(特許取得：特許第7321260号)

カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発 (CO₂を用いたメタノール合成における最適システム開発)



Ref.; M. Seshimo et al., *Membranes*, **11** (2021) 505.



Ref) 未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西 (2023年9月21日)

まとめ：内外の開発動向とRITE技術の位置づけ・今後の展開

①化学吸収液：

現状では三菱重工(株)が世界トップランナー(シェア7割)が、海外でも非水溶媒系、相分離系等、回収エネルギー低減に向けた研究開発と同時に、大規模化、装置のコンパクト化の研究開発が進んでいる。

RITEも小規模ながらこれまでに実用化に成功、分離回収エネルギーで世界トップレベル、

→GI基金で非水溶媒系の開発を行いつつ、低コスト化、大規模CCSに向けて適用先拡大を進める

②固体吸収材：

パイロット試験が各所で実施されている。DACは海外で一部実用化され、大規模化が加速されているが、現行技術はコストが高すぎるため大規模普及は困難と思われる。

日本のDAC開発は現状、先行海外企業と比較して遅れている。RITEが開発中の技術は、分離回収エネルギーの低減が見込まれるがまだ小規模であり、今後の大規模化が課題。

→現行PJにてベンチスケール・パイロット試験等を経て、早期大規模化を進め、巻き返しを図る。

実用化に向けては材料の製造・補充スキームの確立も課題(民間企業と検討中)

③膜分離法：

有機膜：海外では燃焼排ガス向け(Post combustion)向けの試験が多い

RITEの膜はCO₂/H₂混合ガスからCO₂を選択的に透過するという点がユニーク

→膜の特性を生かし、水素製製造用途に向けてモジュール開発・実用化を加速

無機膜：CO₂分離膜、水素分離膜、脱水膜ともに膜性能(基礎研究)としては世界トップレベル。

社会実装を目指したモジュール化、大規模化が課題

→民間企業と連携して実用化に向けた大規模化・モジュール開発を進める。

④産業連携(産業化戦略協議会、共通基盤)：

産業化戦略協議会の活動および、CO₂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を行っていく。

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ファンドから頂いた寄付金を使わせていただきました。

ご清聴ありがとうございました。



**Research Institute
of
Innovative Technology for the Earth**