

# 「カーボンニュートラル実現に向けた CO<sub>2</sub>分離回収技術開発への取り組み」

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

化学研究グループ

余語 克則



- **カーボンニュートラルについて**  
(グリーン成長戦略、カーボンリサイクル)
- **内外のCO<sub>2</sub>分離回収技術開発動向(燃焼排ガス)**  
(日本企業の国内の開発動向・海外での大規模試験)
- **RITEのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発への取り組み**  
(分離膜、化学吸収液、固体吸収材、ムーンショット型研究開発PJ、今後の展開)
- **海外のDAC(Direct Air Capture)技術開発の動向**  
(DACの設備規模、DOEプロジェクト、Carbon Engineering、Climeworks、Global Thermostat)
- **まとめ**



## 11 (1) カーボンリサイクル (カーボンリサイクル・マテリアル産業)

### 主な今後の取組

- 低価格かつ高性能なCO<sub>2</sub>吸収型コンクリート、CO<sub>2</sub>回収型のセメント製造技術を開発する。
  - 公共調達による販路拡大により、コスト目標として、2030年に既存コンクリートと同価格 (=30円/kg) を目指す。防錆性能を持つ新製品を開発・実証し、建築物やコンクリートブロックに用途拡大を図る。
  - セメント原料(石灰石) 燃焼時のCO<sub>2</sub>回収、回収CO<sub>2</sub>と廃棄物を原料としたセメント製造技術を確立。
- カーボンフリーな合成燃料を、2040年までに自立商用化、2050年にガソリン価格以下とする。2030年年頃の実用化を目標に、SAFのコスト低減・供給拡大のための大規模実証を進める。
  - CO<sub>2</sub>と水素を反応させて製造する合成燃料について、革新的技術の開発を今後10年間に集中的に実施。また、SAFの製造技術を確立。
- 2050年に人工光合成によるプラスチック原料について、既製品と同価格を目指す。
  - 変換効率の高い光触媒を開発し、製造コストを2030年までに約2割削減。また、保安・安全規制の検討を2030年までに先取りして実施。
  - 2030年にバイオマス・廃プラスチック由来化学品の製造技術を確立。ナフサ分解炉の高度化も進める。
- より低濃度・低圧な排ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収する技術の開発・実証を進める。
  - 2030年には、分離回収技術の更なる低コスト化とEOR (Enhanced Oil Recovery) 以外の用途拡大を実現。
  - 2050年に年間10兆円と目される世界の分離回収市場のうち、3割のシェア確保を目指す。

分離回収設備  (排気中CO <sub>2</sub> の分離回収)	<b>市場獲得に向けた分離回収技術の低コスト化が課題</b> ・EOR (CO <sub>2</sub> 注入による石油生産増) や化学用途向けに、発電所からの高濃度CO <sub>2</sub> の分離回収設備は、既に生産段階。(日本企業がCO <sub>2</sub> 回収プラント実績において、トップシェア。日本の産学の特許数が多い。) ・様々な濃度や特性を持つCO <sub>2</sub> 排出源から低コストでの回収技術が、今後の開発課題。	<b>低コスト化を通じた需要拡大</b> ・市場規模として、2030年時点で、世界で約6兆円/年、2050年には約10兆円/年にまで拡大を見込む。 ・2030年に、分離回収技術の更なる低コスト化と、EOR以外の用途への拡大実現を目指す。 ・低コスト化につながる高効率なCO <sub>2</sub> 分離回収技術を開発。 ・分離回収の標準評価技術の確立後、国内外への展開を加速するため、国際標準化を検討。 ・実証に当たっては2025年日本国際博覧会等の場の活用も検討。 ・2050年に、世界の分離回収市場で年間10兆円の3割シェア実現 (約25億CO <sub>2</sub> トンに相当) を目指す。
--	---	---

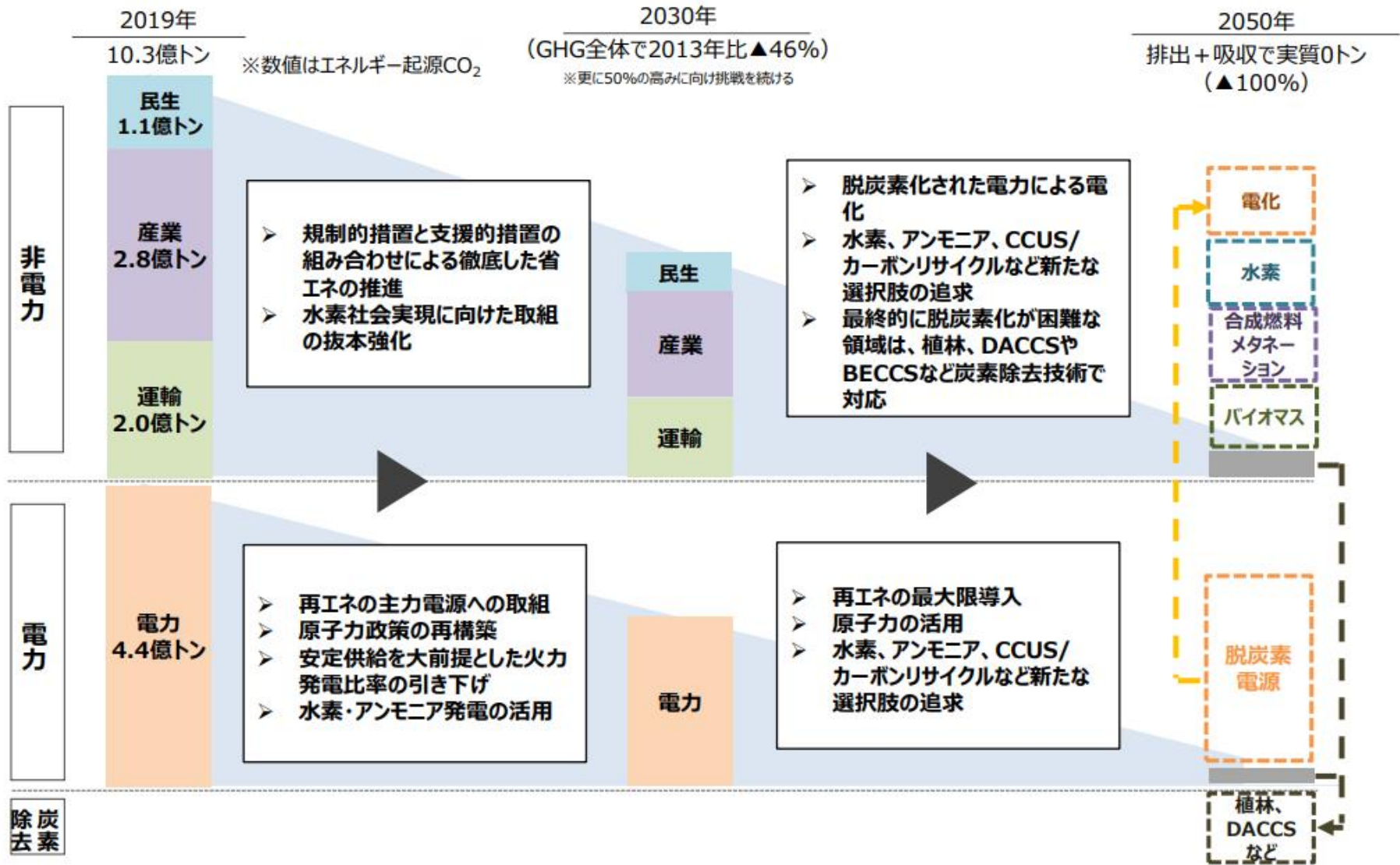
(参考) 大気中からのCO<sub>2</sub>直接回収 (Direct Air Capture) 現状と課題

- ・世界的にも要素技術開発段階。国内でも、ラボレベルでの開発を2020年に開始。
- ・エネルギー効率が低く、大気中からの回収コストが高い。

今後の取組

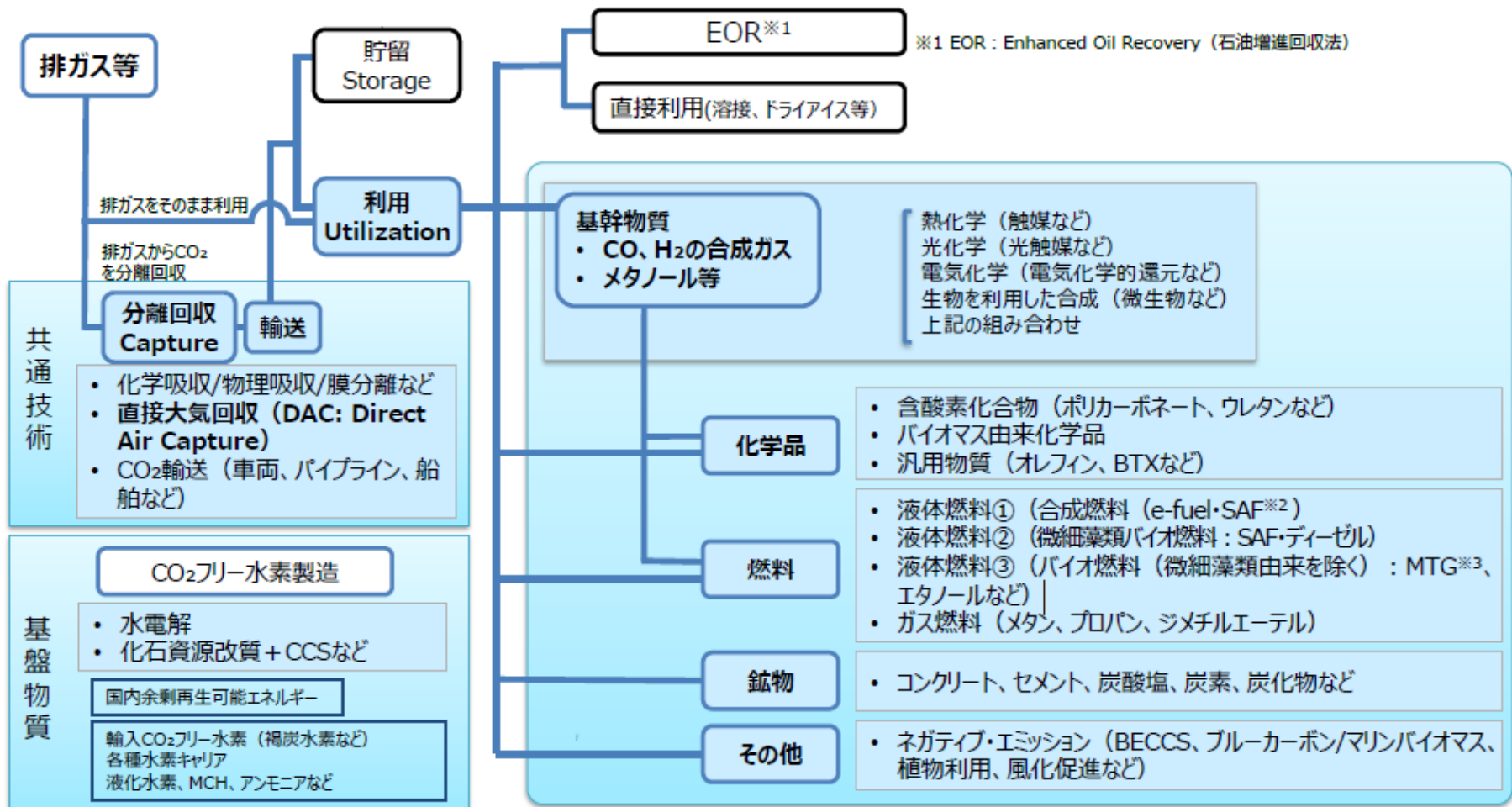
- 大気中からの高効率なCO<sub>2</sub>回収方法について技術開発を進め、低コスト化、2050年実用化を目指す。

# 2050年カーボンニュートラルの実現



# カーボンリサイクルとは\*

- **カーボンリサイクル**：CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化によりコンクリート等、人工光合成等により化学品、メタネーション等により燃料へ再利用し、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制。



※2 SAF: Sustainable aviation fuel  
※3 MTG: Methanol to Gasoline

# カーボンリサイクルとは\*

## (参考) カーボンリサイクル技術・製品概要

※1 価格は事務局調べ  
 ※2 基幹物質、化学品（一部の含酸素化合物を除く）、燃料の多くの技術は普及するために安価で、大量の、CO<sub>2</sub>フリー水素が必要、バイオマス由来の場合にも水素処理等に用いる水素が必要。

	CO <sub>2</sub> 変換後の物質	カーボンリサイクル技術現状※1	課題	既存の同等製品の価格※1	2030年	2040年以降
基幹物質	合成ガス メタノール等	一部実用化、革新的プロセス（光、電気等利用）は研究開発段階	変換効率・反応速度の向上、触媒の耐久性向上 など	-	プロセスの低コスト化	プロセスの更なる低コスト化
化学品	含酸素化合物	一部実用化（ポリカーボネート等）、その他は研究開発段階 【価格例】 既存の同等製品程度（ポリカーボネート）	ポリカーボネートはCO <sub>2</sub> 排出量の更なる削減 ポリカーボネート等以外の実用化（転換率・選択率の向上）	300-500円程度/kg （ポリカーボネート（国内販売価格））	既存のエネルギー・製品と同等のコスト	更なる低コスト化
	バイオマス由来化学品	技術開発段階（非可食性バイオマス）	低コスト・効率的な前処理技術、変換技術 など	-	既存のエネルギー・製品と同等のコスト	更なる低コスト化
	汎用品 （オレフィン、BTX等）	一部実用化（石炭等から製造した合成ガス等を利用）	転換率・選択率の向上 など	100円/kg （エチレン（国内販売価格））	-	既存のエネルギー・製品と同等のコスト
	液体燃料 （微細藻類燃料）	実証段階 【価格例】 バイオジェット燃料 1600円/L	生産率向上、低コスト・効率的な前処理技術 など	100円台/L （バイオジェット燃料（国内販売価格））	既存のエネルギー・製品と同等のコスト（100-200円/L）	更なる低コスト化
燃料	液体燃料 （CO <sub>2</sub> 由来燃料またはバイオ燃料（微細藻類由来を除く））	技術開発段階（合成燃料（e-fuel-SAF）、バイオエタノールのうち、可食性バイオマス由来については一部実用化） 【価格例】 合成燃料 約300~700円/L	現行プロセスの改善、システム最適化 など	50-80円 （原料用アルコール（輸入価格））  約130円 （工業用アルコール（国内販売価格））	-	合成燃料：ガソリン価格以下のコスト 既存のエネルギー・製品と同等のコスト
	ガス燃料 （メタン、プロパン、シメタン）	技術開発/実証段階	システム最適化、スケールアップ、高効率化 など	40-50円/Nm <sup>3</sup> （天然ガス（輸入価格））	CO <sub>2</sub> 由来CH <sub>4</sub> のコストダウン	既存のエネルギー・製品と同等のコスト
鉱物	コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物	一部実用化、低コスト化に向けた様々な技術の研究開発が実施中 【価格例】数百円/kg（道路ブロック）	CO <sub>2</sub> と反応させる有効成分の分離、微粉化 など	30円/kg （道路ブロック（国内販売価格））	道路ブロック：既存のエネルギー・製品と同等のコスト	道路ブロック以外：既存のエネルギー・製品と同等のコスト
共通技術	CO <sub>2</sub> 分離回収（DAC含む）	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> 2000円以下/t-CO <sub>2</sub> （DAC）
基盤物質	水素	概ね技術確立済み（水電解等）、他の手法を含め低コスト化に向けた研究開発が実施中	低コスト化 など	-	30円/Nm <sup>3</sup>	20円/Nm <sup>3</sup> （プラント引き渡しコスト）

カーボンニュートラル達成に向けて、CO<sub>2</sub>分離回収コストの低減が求められている

- **カーボンニュートラルについて**  
(グリーン成長戦略、カーボンリサイクル)
- **内外のCO<sub>2</sub>分離回収技術開発動向(燃焼排ガス)**  
(日本企業の国内の開発動向・海外での大規模試験)
- **RITEのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発への取り組み**  
(分離膜、化学吸収液、固体吸収材、ムーンショット型研究開発PJ、今後の展開)
- **海外のDAC(Direct Air Capture)技術開発の動向**  
(DACの設備規模、DOEプロジェクト、Carbon Engineering、Climeworks、Global Thermostat)
- **まとめ**

# CCUSに関わる最近の国内企業の動向

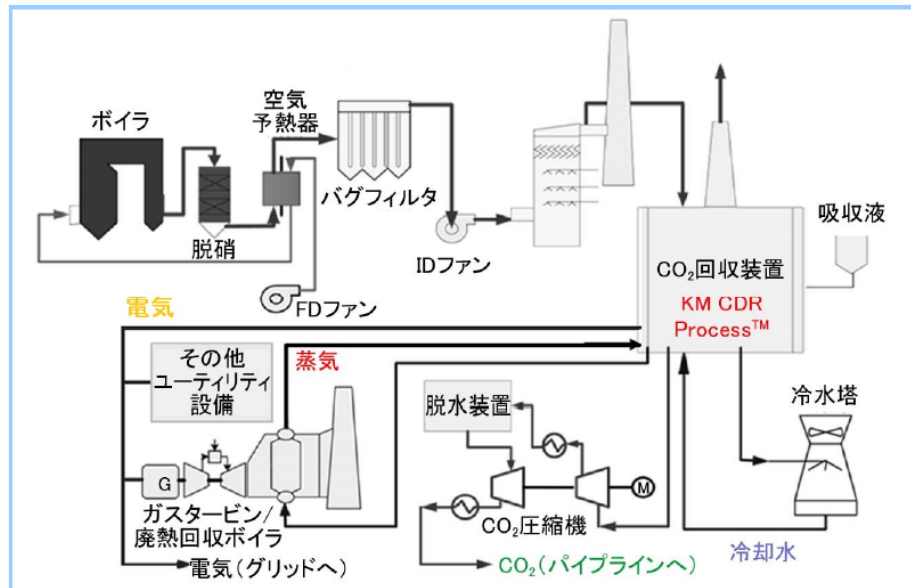
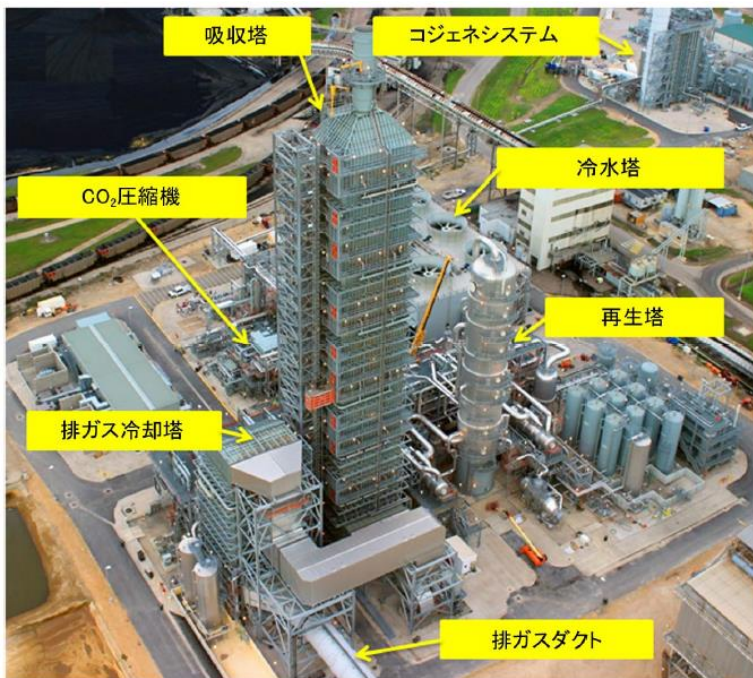
企業	最近の報道等	時期（規模）
三菱重工グループ	ノルウェーMongstadでの世界最大級CO <sub>2</sub> 回収実験施設での実証試験（新規開発液）	2021年5月～ （10万t/y）
	セメントプラント向けCO <sub>2</sub> 回収・貯留システムの調査(Canadaリーハイセメント社とThe International CCS Knowledge Centreの共同調査)	2021年秋完了予定 （60万t/y）
	洋上用CO <sub>2</sub> 回収装置検証試験（三菱造船、川崎汽船、日本海事協会）	2021年 （0.1 t/day）
東芝エネルギーシステムズ	大規模CO <sub>2</sub> 分離回収実証（三川発電所：バイオマス発電） *環境省「環境配慮型CCS実証事業」18法人で受託	2020年10月運転開始（500t/day）
	積水化学のごみ再資源化（エタノール化）実証プラントの排ガスからの高純度CO <sub>2</sub> 回収（岩手県久慈市）	2021年度末～ （10 kg/day）
北海道電力、IHI、JFEエンジニアリング	NEDO委託事業「CO <sub>2</sub> 大量排出源からのCO <sub>2</sub> 分離・回収、集約利用に関する技術調査事業」 大型商用石炭火力発電所におけるCCUS社会実装に向けた検討（調査地点：北海道電力苫東厚真石炭火力発電所）	2021年8月～ 2023年2月
JFEエンジニアリング	清掃工場から排出される排ガスからのCO <sub>2</sub> を回収し、利用するCCUプロセスの実証実験 （清掃工場「クリーンプラザふじみ」（三鷹市、調布市）	2022年度までの試験計画（規模不明）
太平洋セメント	炭素循環型セメント製造プロセス技術開発(セメントキルンに適した実用的なCO <sub>2</sub> 回収・カーボンリサイクル技術の開発)	2020年11月～ （10t/day）

新たなCO<sub>2</sub>排出源やCCUに対する実用段階の技術が検討されている



# CCUSに関する最近の国内企業の動向:三菱重工

## Petra Nova:米国テキサス州EORプロジェクト向けCO<sub>2</sub>回収



JX 石油開発(株)及び米国独立系発電事業者のNRG エナジー社が共同で推進している大型原油増進回収(EOR)プロジェクト

**世界最大のCO<sub>2</sub>回収プラント  
(4,776トン/日)**

**2016年12月末に商業運転開始**

項目	内容
プラント場所	Thompsons (米国テキサス州)
プロジェクトオーナー	Petra Nova 社※ ※ JX 石油開発(株)及び NRG エナジー社の合弁会社
ガス源	NRG WA Parish 発電所 610MW 石炭焚火力発電設備
プロセス	KM CDR Process™
吸収液	KS-1™ 吸収液
プラント規模	240MW 相当
CO <sub>2</sub> 回収率	90%
CO <sub>2</sub> 回収量	4776トン/日

## テストセンターMongstad (ノルウェー) での大規模実証

関西電力(株)と新たに共同開発した「Advanced KM CDR Process™」に使われる**新規のアミン吸収液「KS-21™」**の長期実証

- 石油精製工場から供給される**2種の煙道ガス** (1つは天然ガス火力の**燃焼排ガス**) が対象
- KS-21™開発液:  
揮発性、劣化耐性がKS-1™より優れている
- 2021年5月から開始



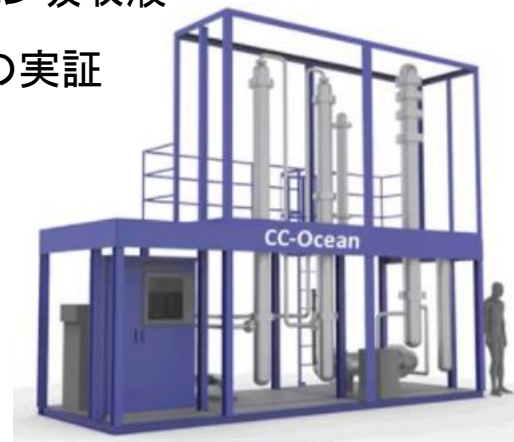
Mongstad CO<sub>2</sub> 回収技術センター (TCM) : 年間10万tの回収規模

<https://www.mhi.com/jp/news/210304.html>

## 洋上用CO<sub>2</sub>回収試験装置検証試験

陸上プラント用の**CO<sub>2</sub>回収小型装置を実船に搭載**し、試験運転および計測を実施

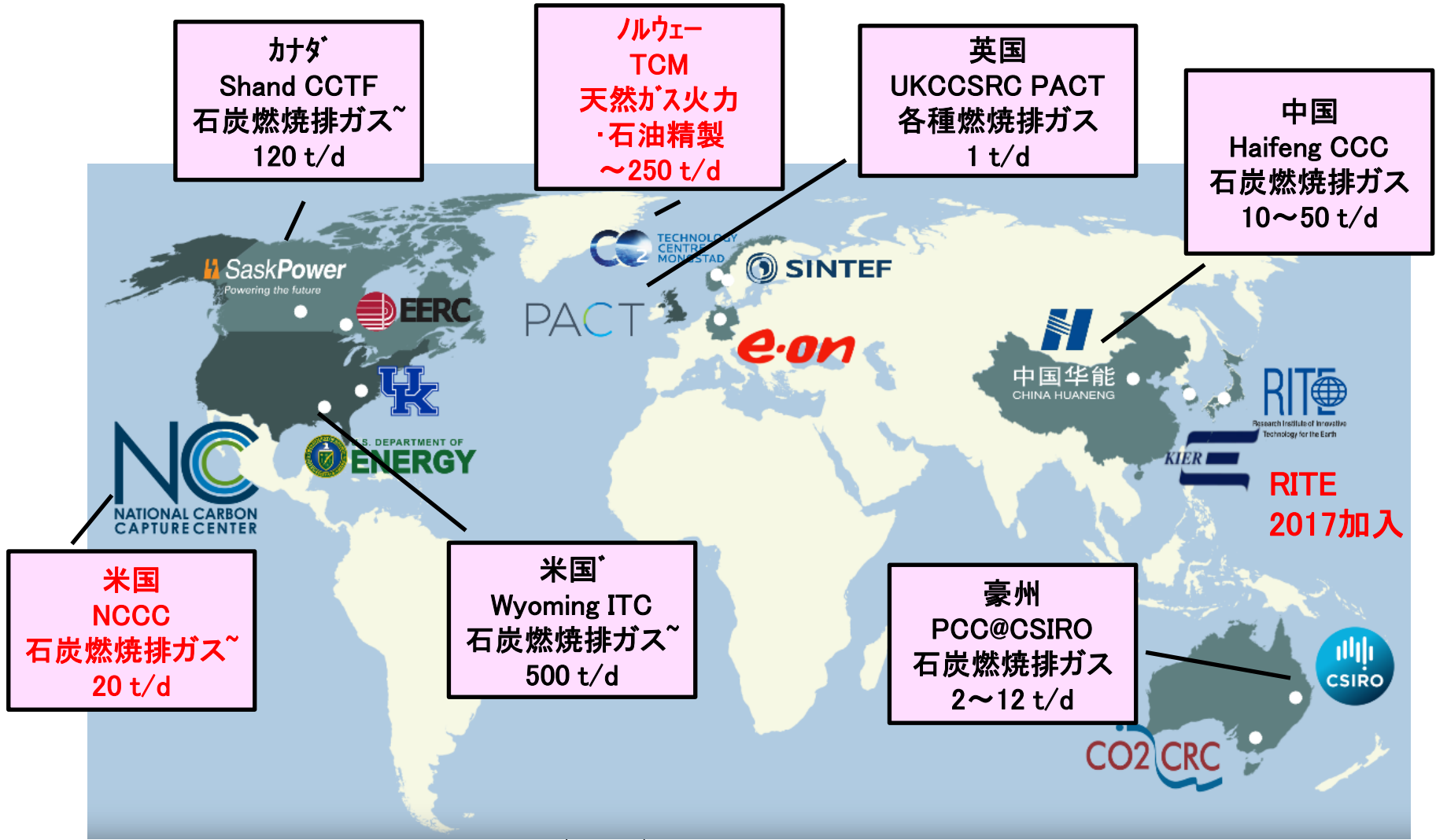
- 国土交通省補助事業「海洋資源開発関連技術高度化研究開発事業」
- 名称「CC-Ocean (Carbon Capture on the Ocean project)」
- 三菱造船、川崎汽船、日本海事協会の共同実施
- 0.1t/d規模, アミン吸収液
- 2021年に7カ月の実証を計画



デモプラントイメージ

<https://www.mhi.com/jp/news/20083101.html>

# CO<sub>2</sub>回収技術の実ガス試験センター



International Test Center Network (ITCN)

CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発を推進する世界各地の施設のグローバル連合(2012年設立)

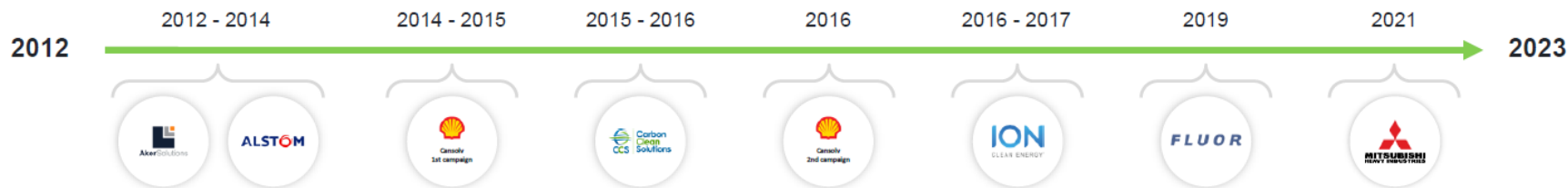
➤ 日本には実ガス試験・実証試験のための拠点が無い

# Mongstadの試験実績 (2012~2021)

## Test campaigns conducted in 9 years of operation

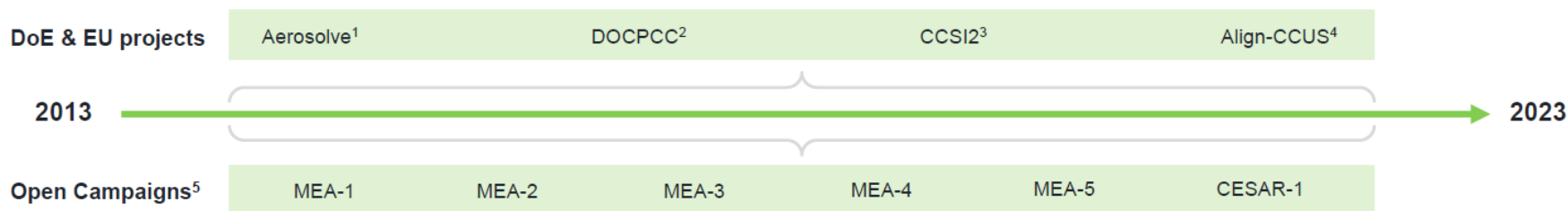
### Proprietary test campaigns

Vendors conduct proprietary testing with their own technology.



### Non-proprietary test campaigns

Several open scientific campaigns with non-proprietary solvent in collaboration with universities and research organisations, as well as several projects together with the EU.



<sup>1</sup> Project regarding aerosol-related emissions

<sup>2</sup> Demonstration of Optimal Control of Post-Combustion Capture Processes

<sup>3</sup> Carbon Capture Simulation for Industry Impact

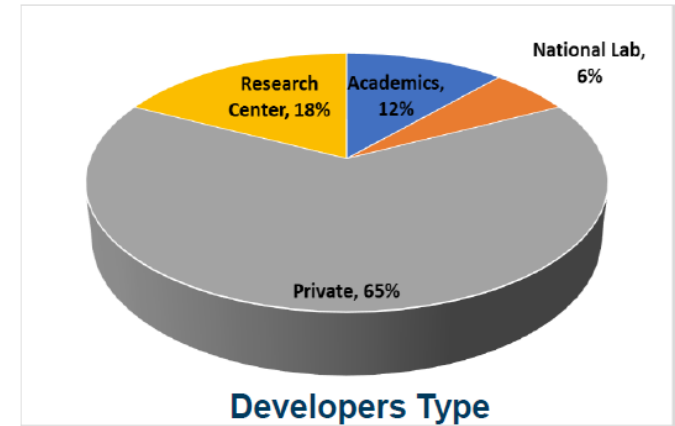
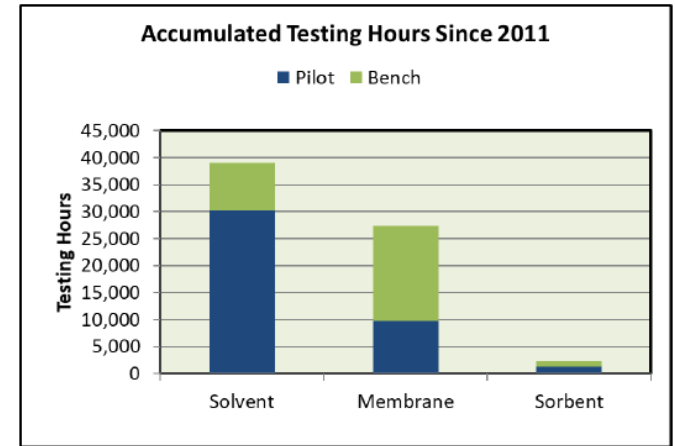
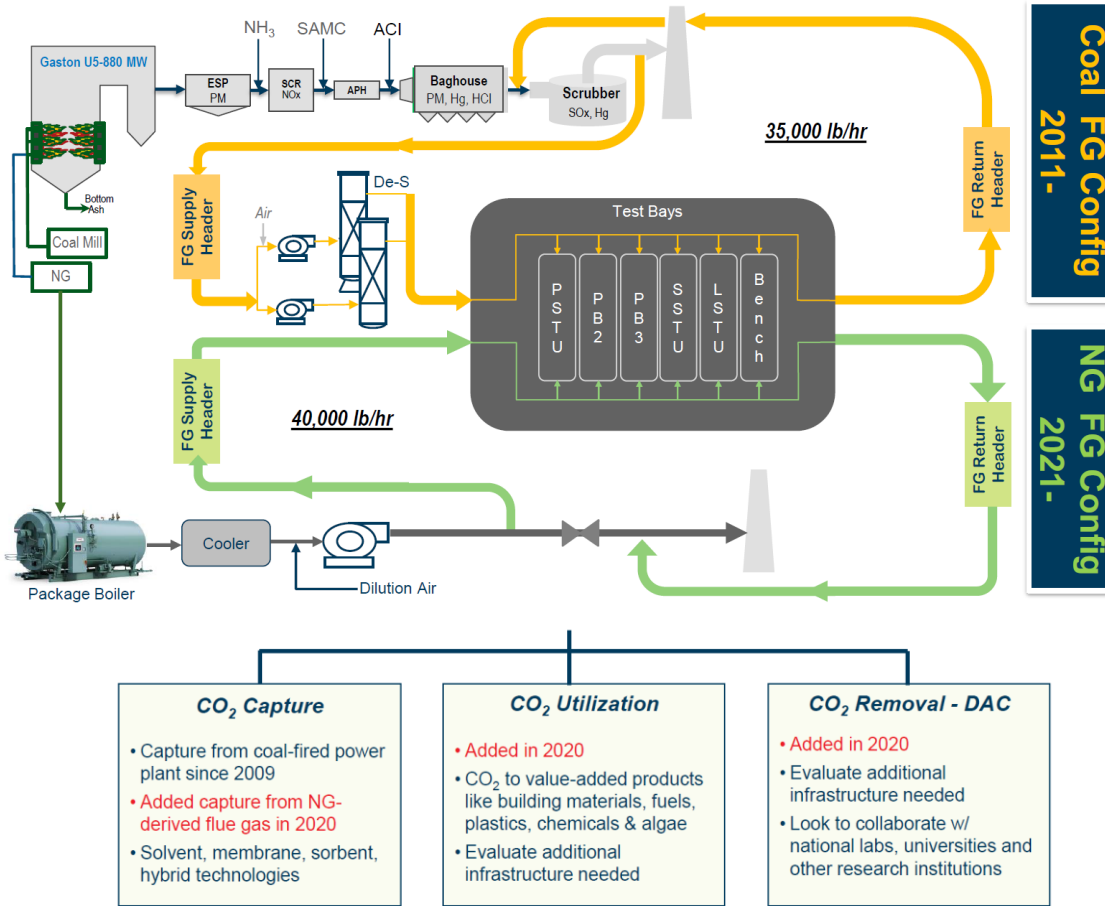
<sup>4</sup> Accelerating Low carbon Industrial Growth through CCUS

<sup>5</sup> Long-term testing with monoethanolamine solvents and CESAR-1 (AMP+PZ) solvent

Proprietary testing >20,000 hrs

Non-proprietary testing >20,000 hrs

# NCCCの試験実績(2011~2021)



これまでに68,000時間以上の運転実績、46技術(33機関)を試験/計画  
 内8技術が10MW以上にスケールアップ  
 7か国が国際共同参画(カナダ、中国、ドイツ、インド、日本、ノルウェー、英国)  
 2020年~UtilizationとDACをTechnical Programに追加  
 2021年~40,000lb/h flue gasのパッケージボイラーを追加、天然ガスに対応

- **カーボンニュートラルについて**  
(グリーン成長戦略、カーボンリサイクル)
- **内外のCO<sub>2</sub>分離回収技術開発動向(燃焼排ガス)**  
(日本企業の国内の開発動向・海外での大規模試験)
- **RITEのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発への取り組み**  
(分離膜、化学吸収液、固体吸収材、ムーンショット型研究開発PJ、今後の展開)
- **海外のDAC(Direct Air Capture)技術開発の動向**  
(DACの設備規模、DOEプロジェクト、Carbon Engineering、Climeworks、Global Thermostat)
- **まとめ**

# RITEにおけるCO<sub>2</sub>分離・回収技術(国プロ)

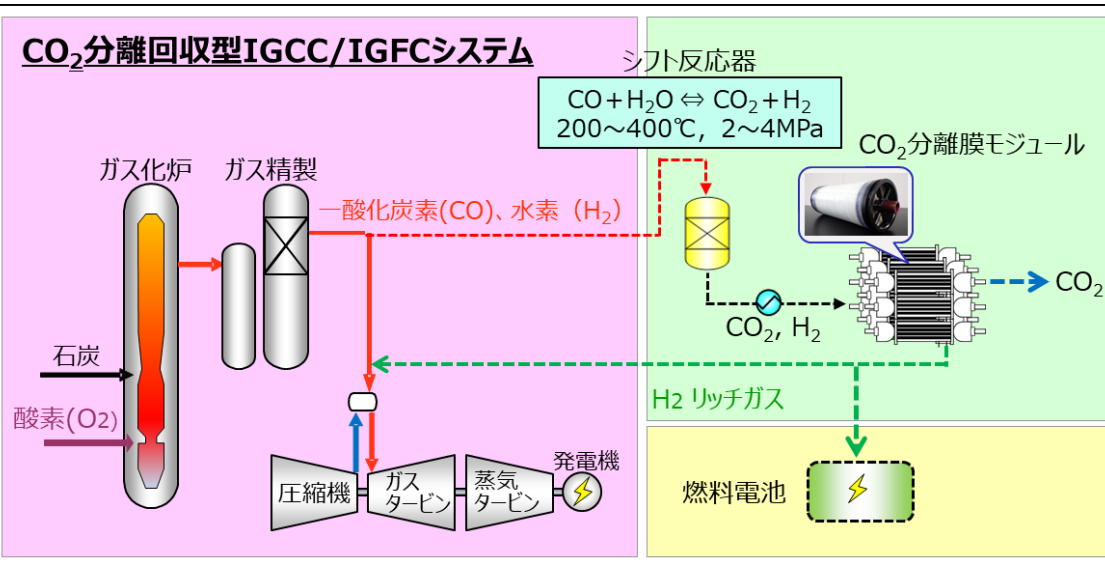
技術	適用先	CO <sub>2</sub> 濃度	事業名	体制	期間 (現行 Phase)
膜	IGCC	40% (2.4MPa)	CCUS研究開発・実証関連事業/CO <sub>2</sub> 分離回収技術の研究開発/二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発	NEDO事業 ・MGM技術研究組合	2018 ～ 2021
吸収液	高炉ガス	22%	環境調和型プロセス技術の開発/水素還元活用プロセス技術開発(フェーズⅡ-STEP1)/CO <sub>2</sub> 分離回収技術開発/高性能吸収液の開発	NEDO事業 ・日本製鉄 ・RITE	2008 ～
固体吸収材	発電所 (石炭火力)	13%	CCUS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の石炭燃焼排ガス適用性研究	NEDO事業 ・KHI ・RITE、 ・名古屋大	2020 ～
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 <sub>2</sub> 分離回収・炭素循環技術の開発	NEDO事業 ・金沢大 ・RITE	2020 ～

# 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

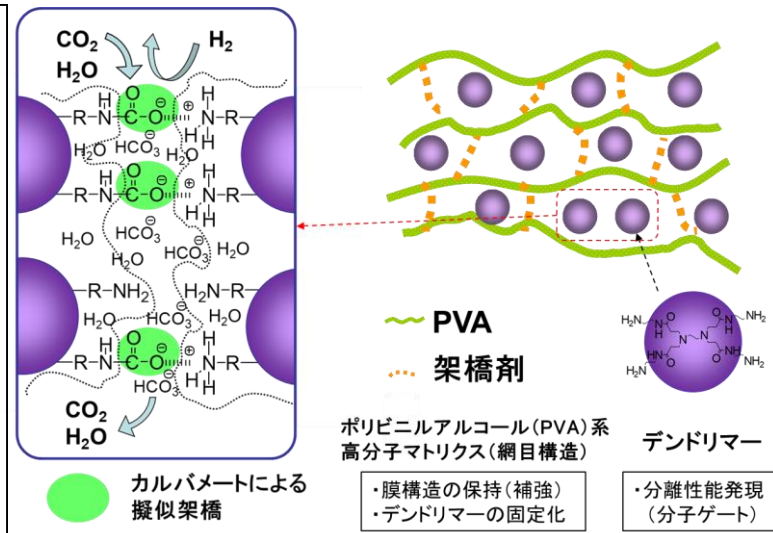
<対象> **高圧**の燃料ガスから省エネルギー、低コストでCO<sub>2</sub>を分離回収しうる  
高性能CO<sub>2</sub>選択透過膜(分子ゲート膜)技術の実用化研究(**燃焼前回収**)

<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>

## CO<sub>2</sub>分離回収型IGCC/IGFCシステム



(大崎クールジェンプロジェクトガイドvol.13の資料をRITEで追記)

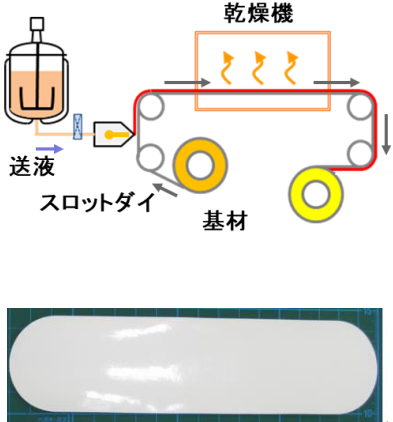
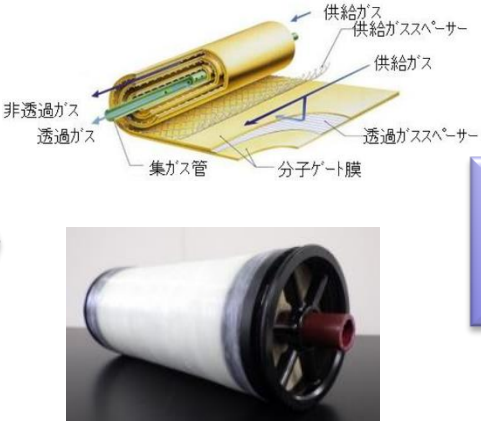
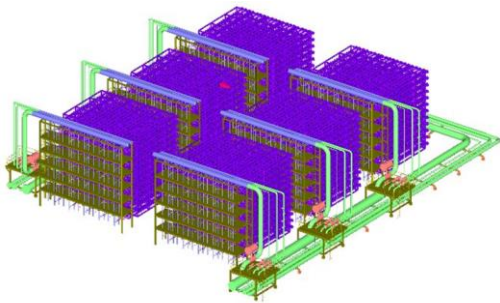


高性能CO<sub>2</sub>選択透過膜を用いた  
石炭ガス化複合発電(IGCC)からのCO<sub>2</sub>分離回収

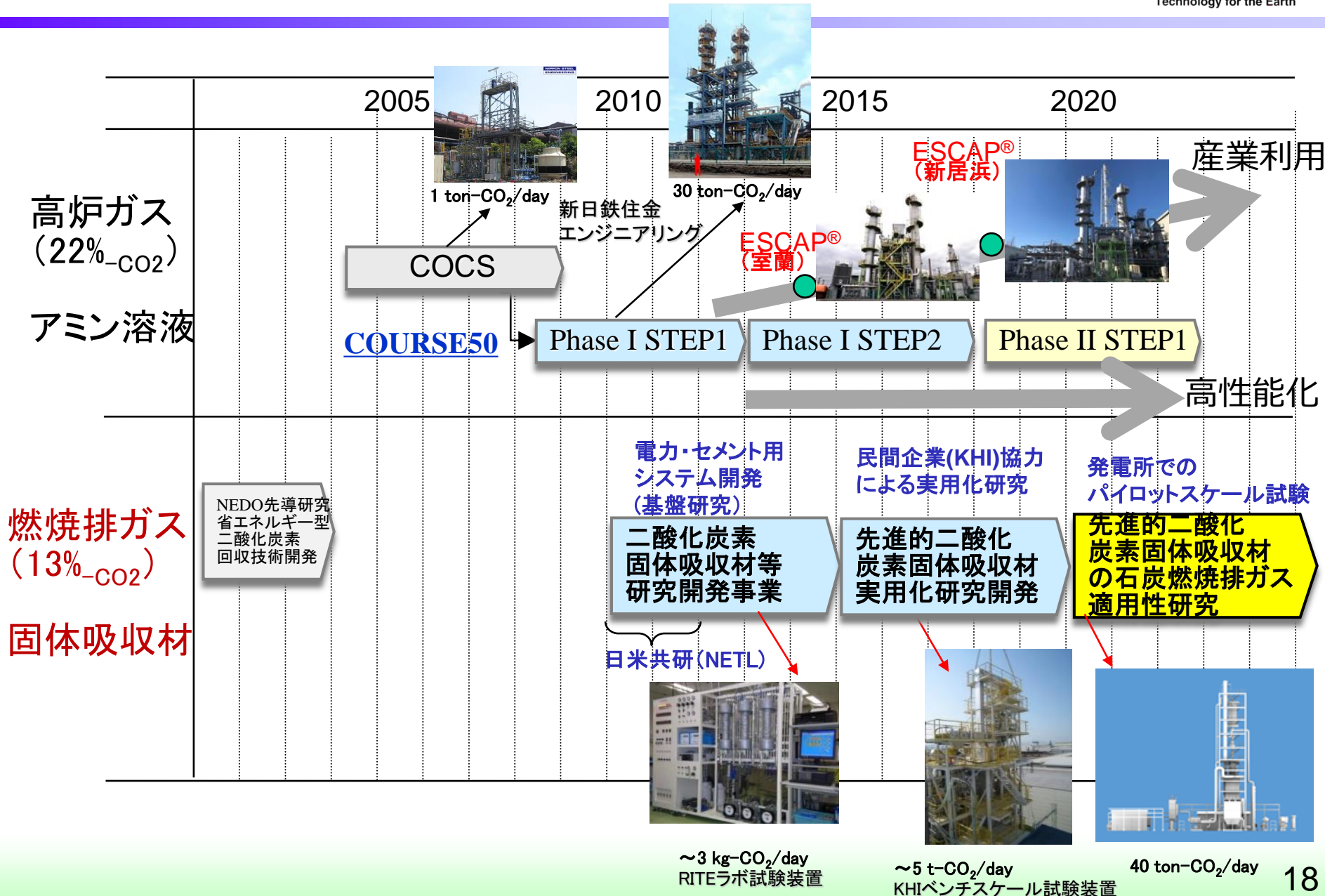
分子ゲート膜のCO<sub>2</sub>透過機構



# 分離膜モジュールの開発

名称	製膜技術	エレメント化技術	システム化技術
概要	平膜の連続製膜技術開発	大面積膜を用いた膜エレメントの開発	膜モジュールを用いた膜分離システムの開発
外観	 <p>乾燥機</p> <p>送液</p> <p>スロットダイ</p> <p>基材</p> <p>平膜</p>	 <p>供給ガス</p> <p>供給ガススペーサー</p> <p>供給ガス</p> <p>非透過ガス</p> <p>透過ガス</p> <p>集ガス管</p> <p>分子ゲート膜</p> <p>膜エレメント</p>	 <p>設備イメージ全景図</p>
課題等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続製膜技術(大面積化)</li> <li>・膜素材開発(分離性能、耐圧性・耐久性等の向上)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エレメント部材開発(シール技術等)</li> <li>・エレメント製作処方の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機モジュールの開発</li> <li>・膜分離システムの設計・製作</li> </ul>

# RITEにおける化学吸収法の研究開発



# CCUS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の石炭燃焼排ガス適用性研究

～FY2019 (基盤技術開発)

FY2020

FY2021

FY2022

FY2023

FY2024

**Kawasaki**  
Powering your potential



ベンチスケール試験  
(～5 t/day)

パイロット試験設  
備詳細設計

パイロット試験設備製作

★  
7月着工

パイロット試験  
(40 t/day)



実ガス試験・プロセス評価

撤去

材料開発

性能向上のための材料改良

材料の評価・改良

試験用材料提供

製造プロセスの最適化  
試験用材料製造

材料製造方法の改良・技術確立  
サプライチェーン構築

プロセス開発

シミュレーターの高精度化と最適運転プ  
ロセスの検討

シミュレーターの改良

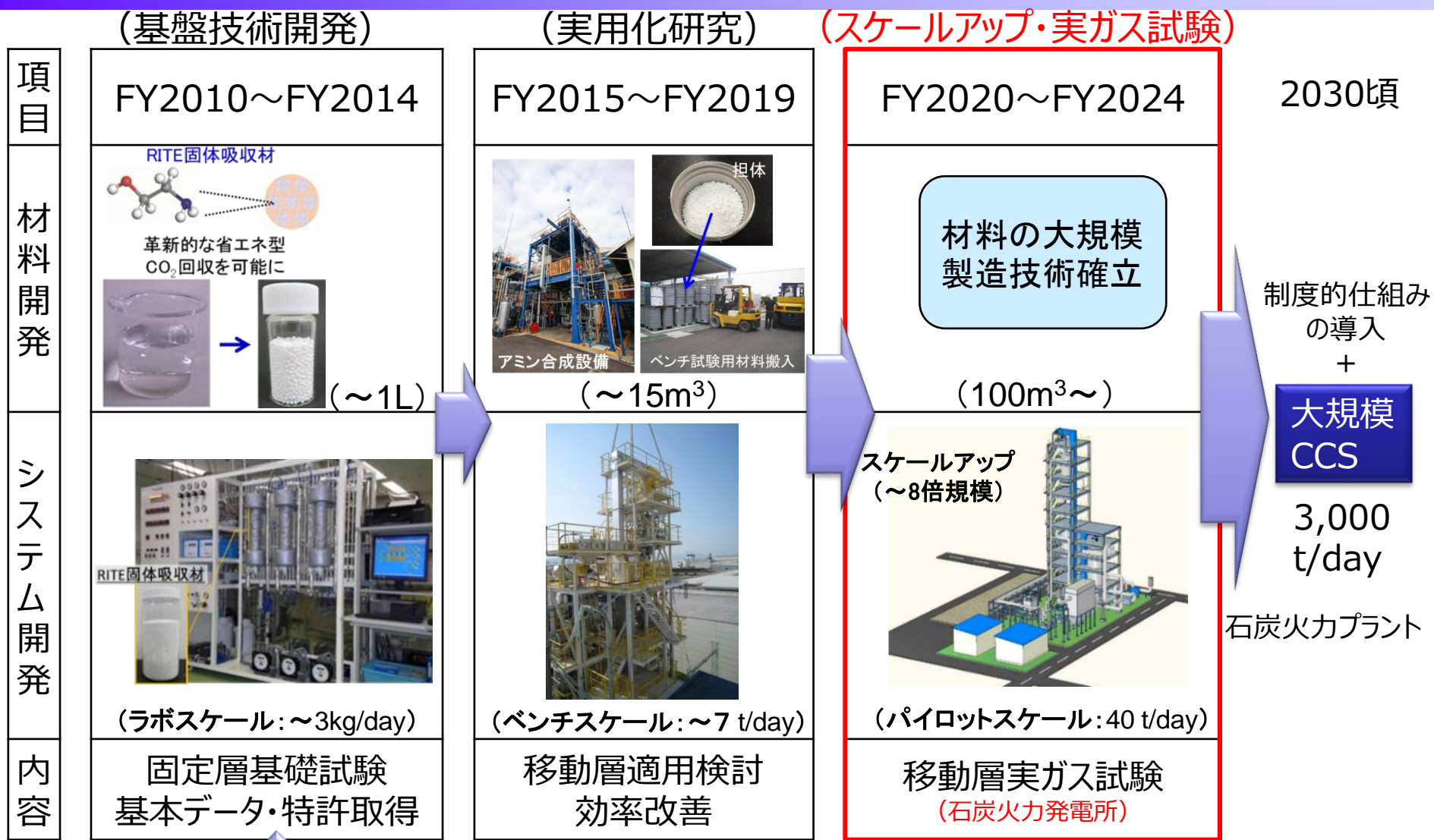
使用環境等に応じた性能予測

改造・効率改善



ラボスケール試験  
(～3 kg/day)

# 固体吸収材開発：目標達成までのロードマップ



用途展開 (閉鎖/宇宙空間、大気からの回収、その他発生源 (LNG火力等))

# 「ムーンショット型研究開発事業／2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」

(1) 温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術の開発(NEDO HP等から作成)

(表中敬称略、PMの五十音順)

	研究開発プロジェクト	委託先 (再委託 or 共同実施)	DAC方式	Utilization
①	電気エネルギーを利用し大気CO <sub>2</sub> を固定するバイオプロセスの研究開発	産業技術総合研究所 (PM:加藤 創一郎) 東京工業大学、名古屋大学	電気利用CO <sub>2</sub> 固定 (人工合成微生物)	ポリマー原料、 燃料等
②	大気中からの高効率CO <sub>2</sub> 分離回収・炭素循環技術の開発	金沢大学 (PM:児玉 昭雄) 地球環境産業技術研究機構(RITE)	ハニカムローター (金沢大) 固体吸収材 (RITE)	FT合成燃料
③	電気化学プロセスを主体とする革新的CO <sub>2</sub> 大量資源化システムの開発	東京大学 (PM:杉山 正和) 大阪大学、理化学研究所、 宇部興産 (株)、清水建設 (株)、 千代田化工建設 (株)、古河電気工業 (株)	・物理吸着 (清水建設) ・電気化学的CO <sub>2</sub> 富化 (大阪大学)	エチレン等
④	C <sup>4</sup> S*研究開発プロジェクト *C <sup>4</sup> S: Calcium Carbonate Circulation System for Construction(建設分野の炭酸カルシウム循環システム)	東京大学 (PM:野口 貴文) 北海道大学	廃コンクリート (カルシウム溶液)	炭酸カルシウムコンクリート
⑤	冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発	名古屋大学 (PM:則永 行庸) 東邦瓦斯 (株)、東京理科大学	Cryo-DAC用吸収液 (冷熱活用CO <sub>2</sub> 昇華)	-----
⑥	大気中CO <sub>2</sub> を利用可能な統合化固定・反応 (quad-C system)の開発	東北大学 (PM:福島 康裕) 大阪市立大学、(株)ルネサス・エナジー・リサーチ	層状化合物 (東北大) CeO <sub>2</sub> (大阪市立大) 促進輸送膜 (RER)	尿素誘導体等
⑦	“ビヨンド・ゼロ”社会実現に向けたCO <sub>2</sub> 循環システムの研究開発	九州大学 (PM:藤川 茂紀) 熊本大学、北海道大学	シリコンゴム (PDMS) 薄膜 (九州大)	炭素燃料
⑧	資源循環の最適化による農地由来の温室効果ガスの排出削減	東北大学 (PM:南澤 究) 農業・食品産業技術総合研究機構、東京大学	(N <sub>2</sub> O削減技術)	-----

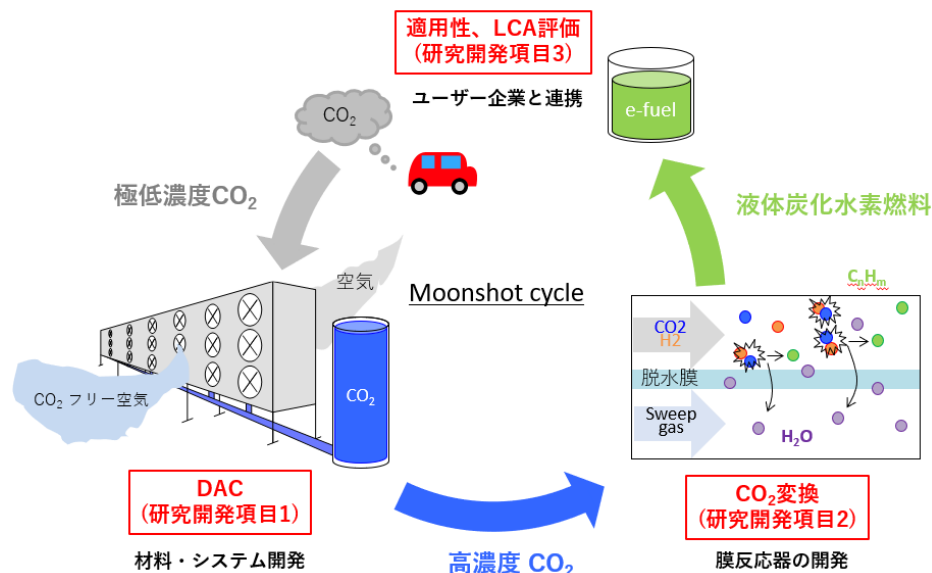


# ムーンショット目標4 採択テーマ② 大気中からの高効率CO<sub>2</sub>分離回収・炭素循環技術の開発

国立大学法人金沢大学  
公益財団法人地球環境産業技術研究機構

## 【実施内容】

1. 大気中からの高効率CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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

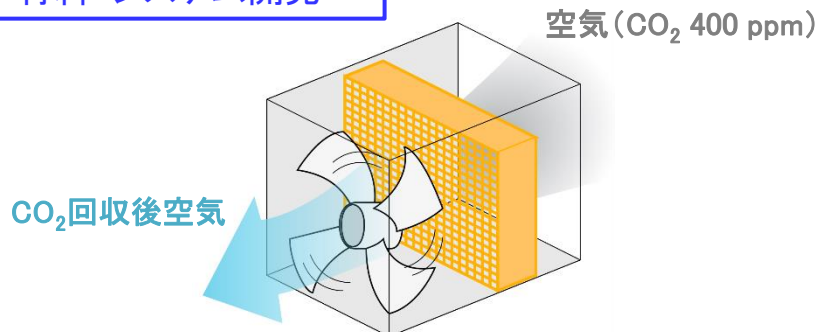


## 2030年までのKPI

2029年度: CO<sub>2</sub>変換反応に適用可能な純度のDAC技術を確立。回収CO<sub>2</sub>を原料として液体炭化水素燃料を高効率で製造可能なCO<sub>2</sub>変換技術を開発。このDAC & CO<sub>2</sub>変換システムに対するライフサイクルアセスメント評価を行い、その正味のCO<sub>2</sub>削減効果を検証し、有効な地球温暖化問題対策であることを確認。

## 2020～2024年度 (基盤技術開発フェーズ)

### 材料・システム開発



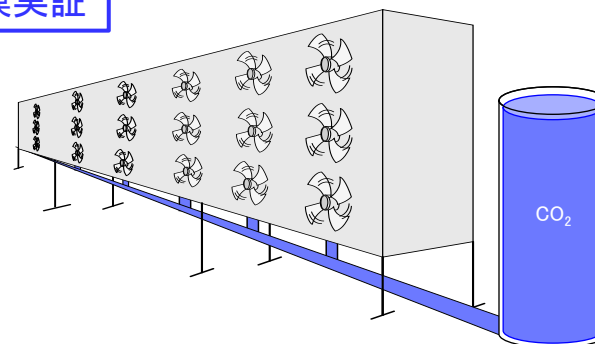
### 開発項目

- ・DAC用新規吸収材の開発
- ・圧損(送風動力)の低減
- ・装置の小型化
- ・高効率プロセス開発

小規模装置の技術確立

## 2025以降 (パイロット試験(予定))

### 大規模実証



### 大規模実証による検証項目

- ・数t/dのCO<sub>2</sub>を大気から直接回収し、CO<sub>2</sub>変換反応に適用可能な純度のDAC技術の確立
- ・吸収材や装置の耐久性の評価  
(季節や温湿度、設置場所などの影響評価)

地球温暖化問題対策として有効なDACシステムの構築に目途

## 1. 膜分離法（高压ガス）

- ・実用的な連続製膜技術開発と膜エレメントスケールアップ(4インチ)を実施
- ・膜素材の機械的強度向上による起動停止、湿度変動等に対する安定性を確認
- ・実ガス試験を実施、膜エレメントの不純物に対する耐性を確認

## 2. 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)
- ・適用先拡大に向けて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

## 3. 固体吸収法（石炭火力ガス）

- ・移動層ベンチスケール試験結果を活用しシミュレーターを高精度化(誤差10%以内)
- ・昨年度より実ガス試験フェーズを開始、今年7月にパイロット試験装置を着工
- ・大規模化・実用化に向けて、材料/製造技術の改良を実施中

## 4. 固体吸収法（DAC: Direct Air Capture）

- ・ムーンショット型研究開発事業においてDACに適した材料探索とシステム検討を実施中
- ・民間企業との連携体制を構築し、大規模化に向けた装置開発を実施予定

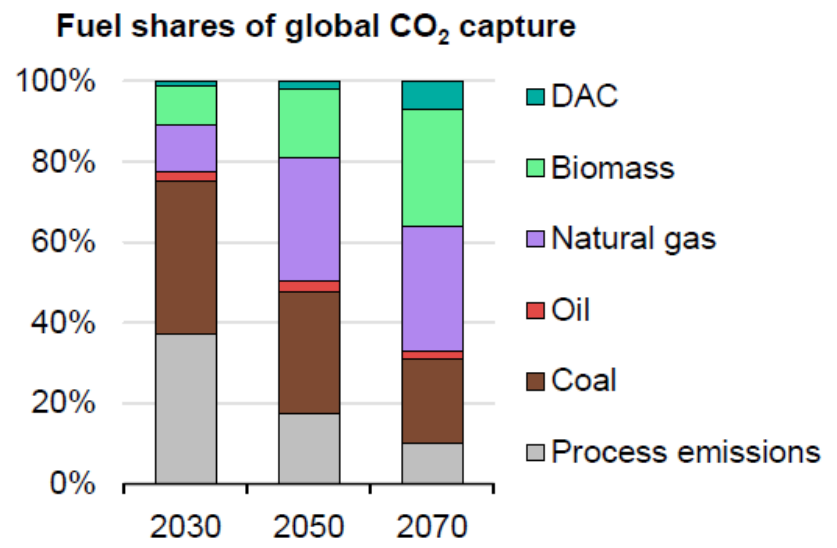
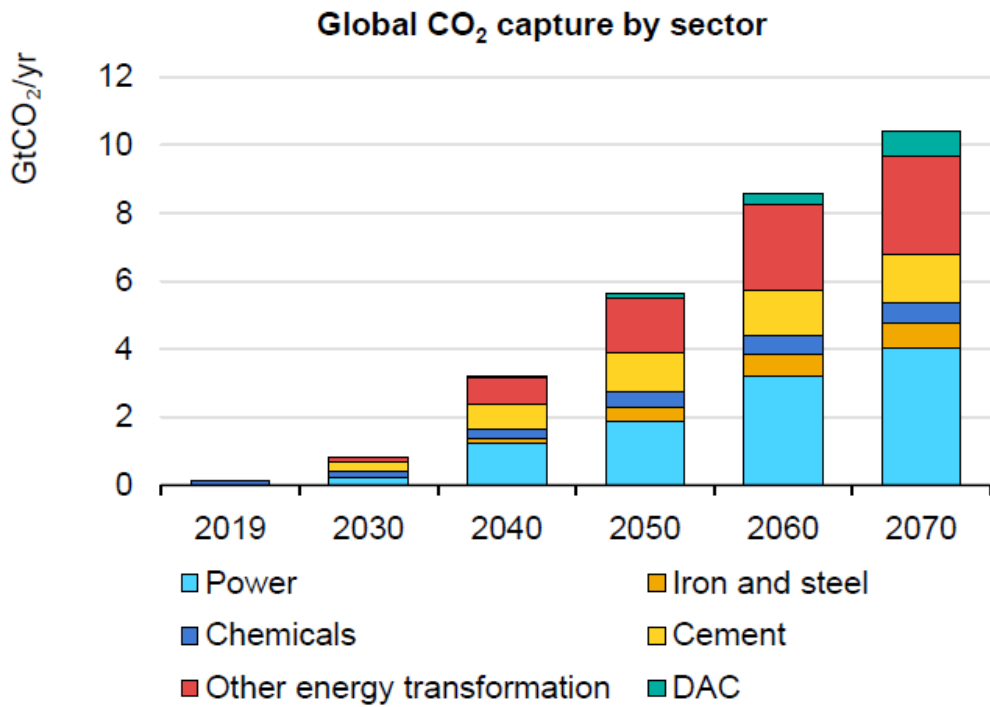


# 今後の展開：低濃度排出源からのCO<sub>2</sub>回収への展開

これまでに石炭火力、製鉄からのCO<sub>2</sub>回収技術の早期実用化を目指した開発を実施。今後、開発した技術をもとに、より低濃度のCO<sub>2</sub>排出源（天然ガス火力、大気等）にも対応できるように開発を進める予定

適用先	CO <sub>2</sub> 濃度	酸素濃度	実施状況
天然ガス精製	10～50% (8MPa)	-----	-----
石炭ガス化 (IGCC、天然ガス改質)	40%程度 (2～4MPa)	-----	NEDO事業 (MGM)
高炉ガス	20～22%	-----	NEDO事業実施中 2018～2021
セメント工場	18～20%	9%程度	(検討中)
発電 (石炭火力)	13%	5%程度	NEDO事業実施中 2020～2024
発電 (天然ガス火力: conventional) 事業所 (燃焼ボイラー)	8～10%	3～10%	(検討中)
発電 (天然ガス火力: コンバインド)	3～5%	13%程度	(検討中)
宇宙空間、閉鎖空間	数千 ppm	19%	JAXAと共同で実施中
大気 (DAC)	400 ppm	19%	NEDOムーンショット事業 2020～2024

低コスト・高耐久性の材料、低圧力損失のシステムの開発が重要



IEA 2020. All rights reserved.

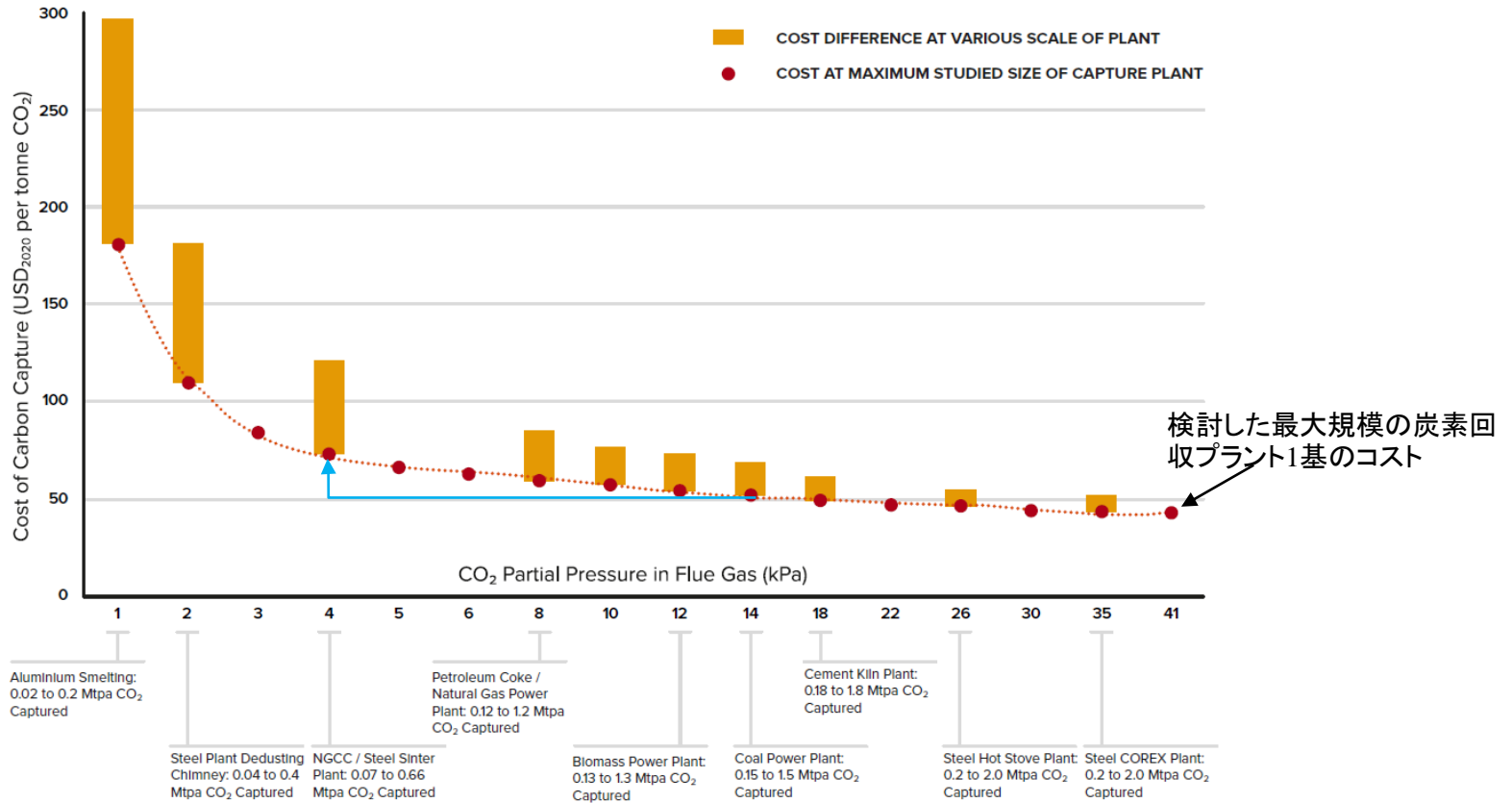
持続可能開発シナリオ:

今後のCO<sub>2</sub>回収の役割として、天然ガス、バイオマスの寄与が増大

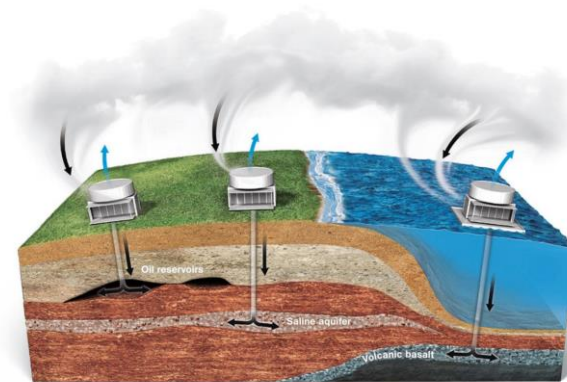


LNG火力(CO<sub>2</sub>濃度3~5%)からのCO<sub>2</sub>回収技術を早急に確立する必要がある

## CO<sub>2</sub>分圧と規模の影響 (常圧排ガス)



- **カーボンニュートラルについて**  
(グリーン成長戦略、カーボンリサイクル)
- **内外のCO<sub>2</sub>分離回収技術開発動向(燃焼排ガス)**  
(日本企業の国内の開発動向・海外での大規模試験)
- **RITEのCO<sub>2</sub>分離回収技術開発への取り組み**  
(分離膜、化学吸収液、固体吸収材、ムーンショット型研究開発PJ、今後の展開)
- **海外のDAC(Direct Air Capture)技術開発の動向**  
(DACの設備規模、DOEプロジェクト、Carbon Engineering、Climeworks、Global Thermostat)
- **まとめ**



## DAC Transformational (TRL 2-3).. Materials



### Solvents

HARVARD UNIVERSITY



Aqueous alkaline solvent with novel alkalinity concentration swing (ACS) cycle

### Membranes



hybrid polymer membrane

### Sorbents

InnoSeptra

physical sorbents



hybrid sorbent in low vacuum swing adsorption process

IWVC

amine-functionalized sorbent in novel isothermal pressure swing regeneration cycle



membrane adsorbent for rapid temperature swing adsorption

Susteon

catalyzed amine-doped solid sorbent



MOF-based sorbent



MOF- and P-dendrimer-based sorbents



MOF-based sorbent

parc

A Xerox Company

polyamine aerogel sorbent



amine-encapsulated sorbent embedded in porous fibers



fiber-encapsulated nanoparticle organic hybrid materials (NOHMs)-based sorbents

Novel Concepts UK



enhanced depolarized electro-membrane system (solvent/membrane contactor)



electrochemical cell with membranes

DE-FOA-0002188



Materials & Process Development for Next Generation DAC 10

分離回収技術: 固体吸収材 19, 膜 4, 吸収液 1, ハイブリッド 1、電気化学的1

スケール: ベンチ 5, ラボ 21

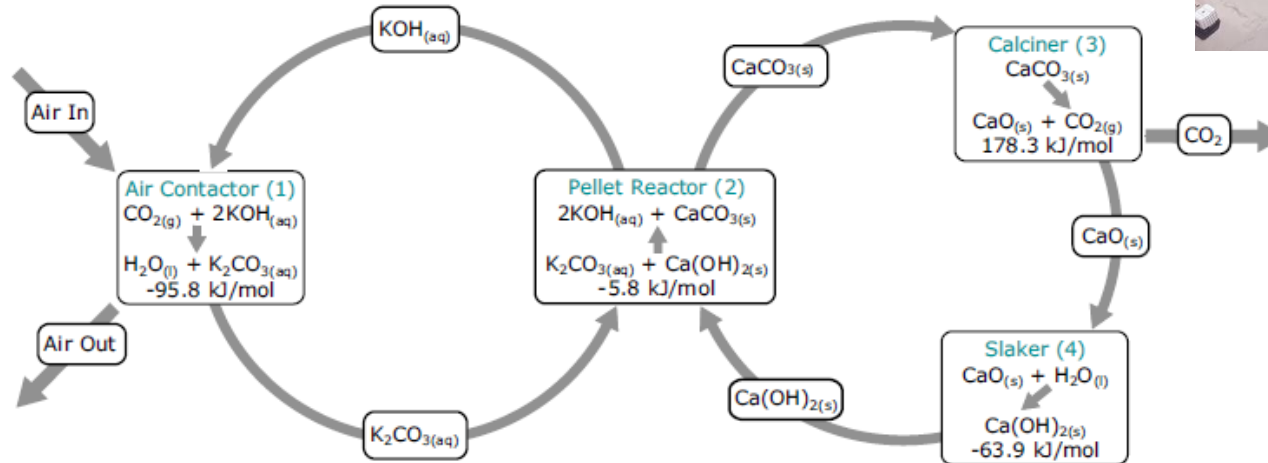
# 海外のDAC企業の大規模化の動き\*

\*各企業HP,各種資料よりRITE作成

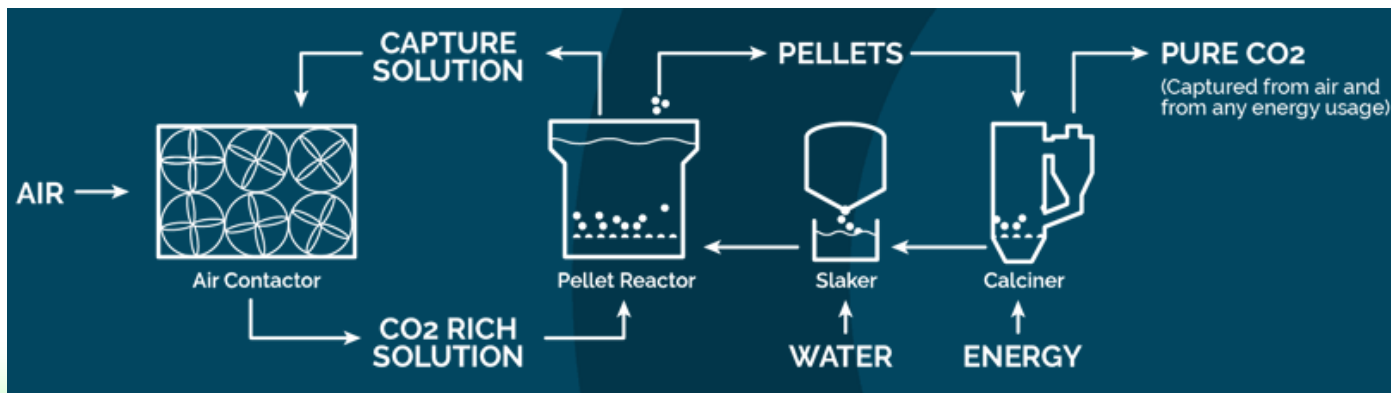
企業	実施場所		Project (協力企業)	CO <sub>2</sub> 回収量	適用先	期間
Carbon Engineering (Canada)	米国	Permian Basin in West Texas	Occidental Petroleum 1PointFive	100万t/y 設計中	EOR/地中貯留	2022に建設開始、 2024年後半開始予定 (世界初の100万t/y DACプラント)
	英国	North-East Scotland	Dreamcatcher Project (Storegga)  AtmosFUEL Project (LanzaTech UK、British Airways、Virgin Atlantic)	50~100万t/y 設計中	Acorn CCSプロジェクトとの連携  1億L/yのJet燃料	2021 FS 2022 詳細設計 2026年までに稼働
	カナダ	Squamish, British Columbia	Direct Air Capture Innovation Center (BBA)	不明 (操作, 実験用1,250m <sup>2</sup> の建物)	DACとAIR TO FUELS プロセスの完全統合	まもなく稼働? 隣接パイロットプラントで2015年からDAC、2017年から燃料変換
Climeworks (Switzerland)	アイスランド	Hellisheiði Geothermal Power Plant	Project Silverstone (Carbfix, ON Power)  Project Orca (Carbfix)	7万ton圧入済 計画34,000t/y  4,000t/y(現状世界最大)	地中 (玄武岩層) 貯留	2012 Pilotスケール開始、新Plant 2025稼働予定  2021 9月~Orca稼働
	ドイツ スウェーデン	Dresden  Herøya	Koperniks(Power-to-X) Project (Snnfire, INERATEC)	不明	FT合成 (Norsk e-Fuel)	2023年 1000万L 2026年 1億L 予定
Global Thermostat (USA)	チリ	Magallanes (チリ南のパタゴニア地方)	Haru Oni Project (Porsche, Siemens Energy, Enel Green Power, ENAP, ExxonMobil)	1ユニット当たり2,000t/y	eFuel合成 (MTG)	2022 13万L 2024 5500万L 2026 5.5億L のeFuel製造

# 海外のDAC企業の動向① : Carbon Engineering

- 会社名 : Carbon Engineering (Canada)
- 材料 : 吸収液 KOH/Ca(OH)<sub>2</sub>
- コスト : \$94-\$232/t-CO<sub>2</sub> (CCUを考慮に入れた場合を含む)
- その他 : 唯一の水溶液系  
システム・物質収支などについての詳細を公開している  
石油会社がスポンサー



D.W. Keith, G. Holmes, D.S. Angelo, K. Heidel, A Process for Capturing CO<sub>2</sub> from the Atmosphere, *Joule* **2** (2018) 1573-1594



## Orca Project :

2021年9月8日 Orca稼働（アイスランドに建設した新しい設備）

ClimeworksのDACとCarbfixの地中貯留（鉱物化）の組み合わせ

Orca : **CO<sub>2</sub>回収量4,000 t/y**、これまでで世界最大の気候変動対策施設



 climeworks



## Haru Oni project : チリ南部のパタゴニア地方

独シーメンス社 : ドイツ政府の支援 (800万ユーロ) を受け、HIF, AME、Enel, ENAP, Porche, Exxon Mobilと進めている。

風力発電で発生させた電力でPEM電解槽を用いて水素を製造DACで回収したCO<sub>2</sub>とのMTG反応で「eFuel」を製造 (2022年: 13万L、2024年: 5,500万L、2026年: 5.5億L)



## カーボンニュートラルの達成に向けて

- ・今年6月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、7月にはカーボンリサイクル技術ロードマップ（2019年6月策定）が改定された。
- ・ロードマップにDAC（Direct Air Capture）や合成燃料が追記されるとともにカーボンリサイクル製品の普及次期が2040年に前倒しされた。
- ・2050年分離回収市場（10兆円見込み）の3割シェア獲得を目指すとしている。

## CO<sub>2</sub>分離回収技術開発

- ・国内企業はCCUを含めた各種研究開発を加速、海外の実ガス試験センターでの大規模試験も実施中されている。
- ・RITEでは吸収液を一部実用化し、固体吸収材、膜分離についても大規模化・実用化に向けて、材料/製造技術の改良を実施中、低濃度用のCO<sub>2</sub>回収技術開発にも着手し民間企業と協力して開発を進めている。

## 海外でのDACの大規模化の動き

- ・日本および米国DOE予算では、2024年までは基礎研究が中心であるが、既に海外の企業ではCarbon Engineering、Climeworks、Global Thermostatが大規模化を進めており、100万トン/y規模での回収を予定している。  
また、既にClimeworksはアイスランドでCO<sub>2</sub>の鉱物化と組合わせたCO<sub>2</sub>回収ビジネスを展開しているため、日本でも早期大規模化・実証が必要であろう。

## 謝辞:

本成果は、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)の委託業務「環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発(フェーズII-STEP1)」(日本鉄鋼連盟 COURSE50)の結果得られたものである。

本研究開発は、経済産業省および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)からRITEが受託した「先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発」およびNEDOからKHI/RITEが受託した「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」により実施された。

本研究開発は、経済産業省および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)から次世代型膜モジュール技術研究組合が受託した「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」および「二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業」により実施された。

本研究開発は、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)からRITEが受託した「ムーンショット型研究開発事業/地球環境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<sub>2</sub>分離回収・炭素循環技術の開発」により実施された。



ご清聴をありがとうございました。

Research Institute  
of  
Innovative Technology for the Earth