

「CO₂の分離・回収等技術開発」プロジェクトの 研究開発・社会実装の方向性

2021年9月
経済産業省
産業技術環境局
資源エネルギー庁

1. 本プロジェクトの背景

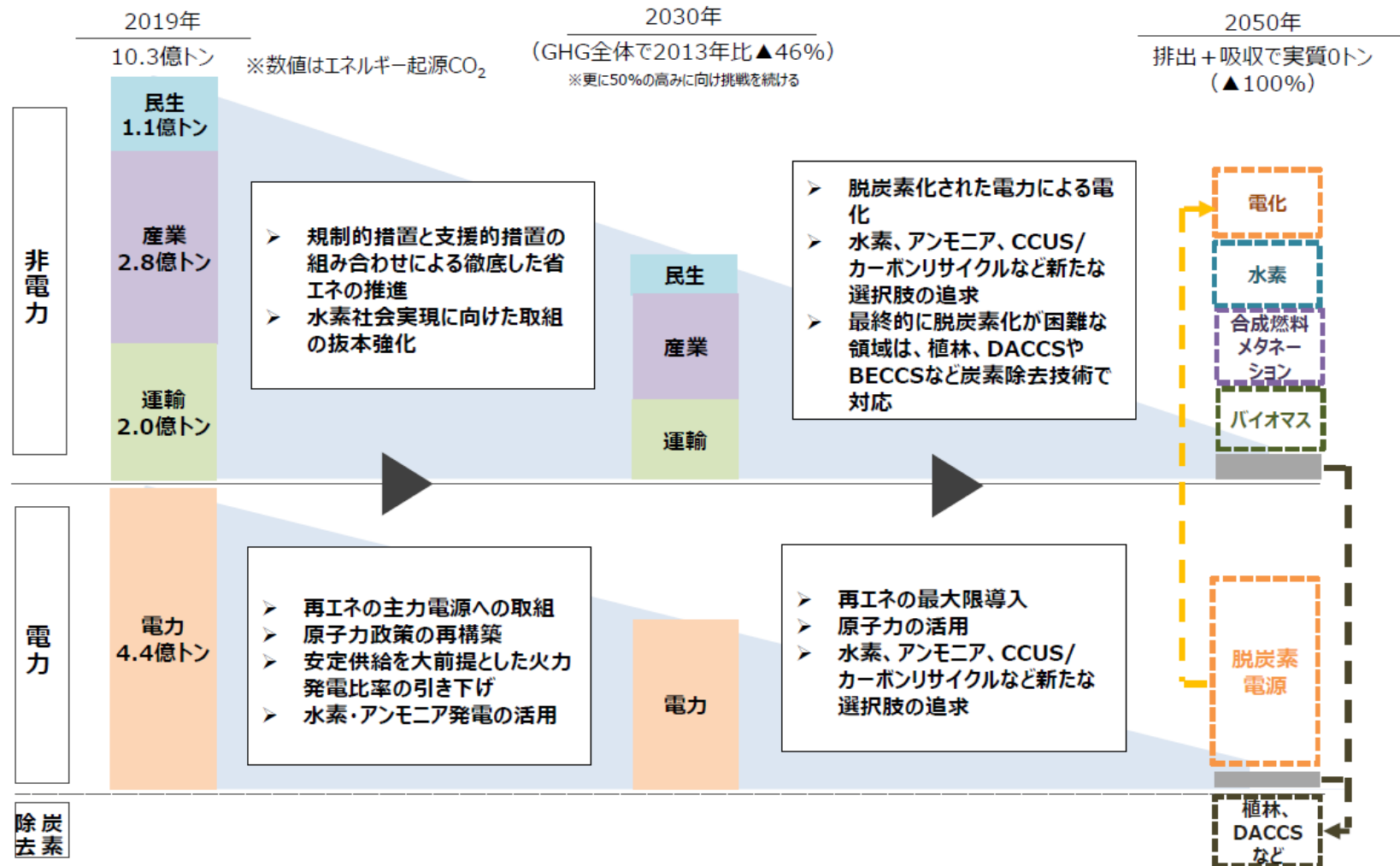
- ー カーボンニュートラル社会における「CO₂分離回収」の位置付け
- ー 産業化に向けた道筋と必要な政策支援の全体像

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容とスケジュール

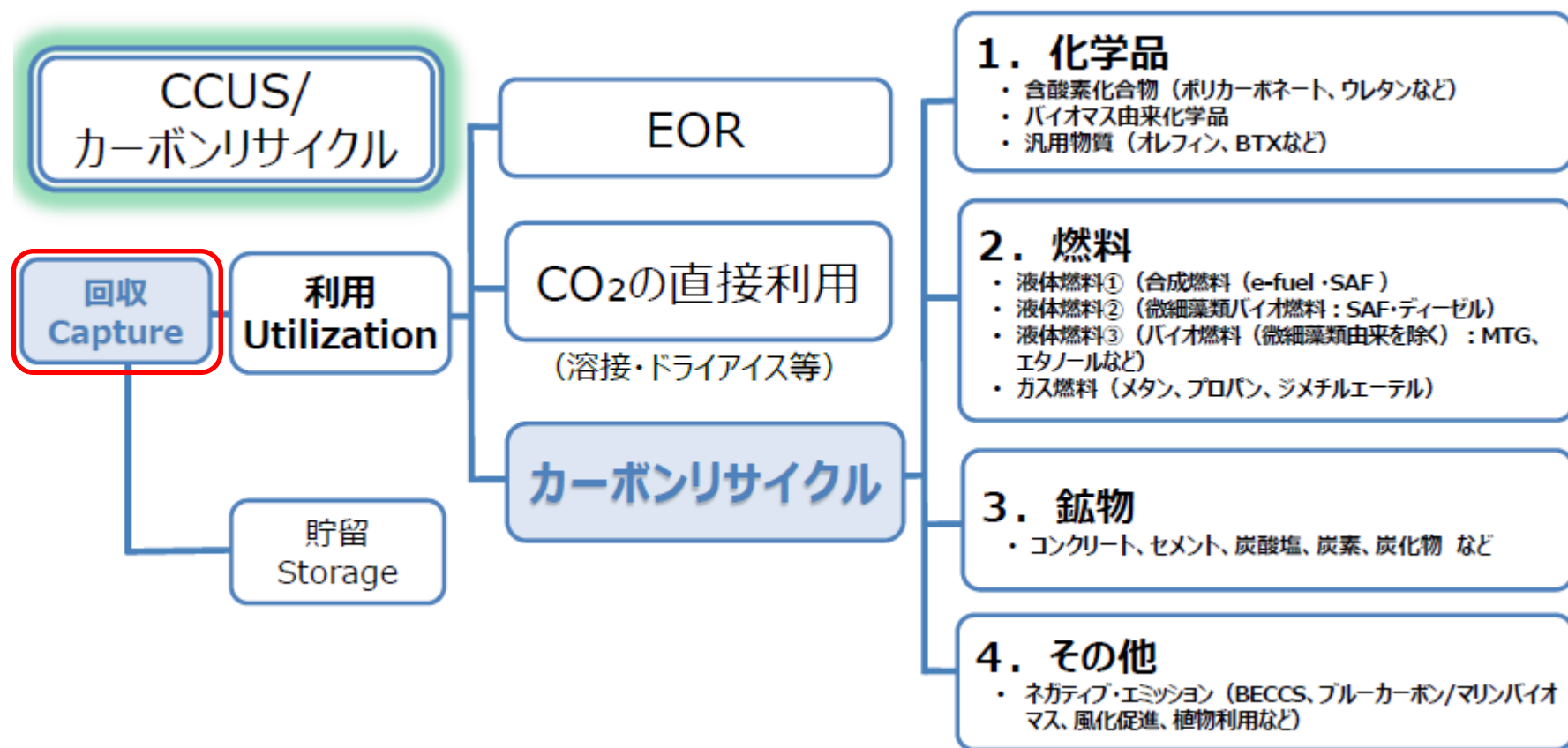
2050年カーボンニュートラルの実現に向けたCO₂分離回収の役割

- 2050カーボンニュートラルに向けて、再エネ導入を最大限進めるとしても電力、産業部門等で不可避となるCO₂排出には、「CO₂分離回収」を最大限活用する必要。



カーボンリサイクルにおけるCO₂分離回収技術の役割

- カーボンリサイクルにおいて、回収されたCO₂は、CO₂フリー水素等との化学反応等を経て、鉱物（コンクリート）、燃料、化学品等に再利用される。
- CO₂分離回収はそれらの共通技術でありカーボンリサイクルの社会実装にむけての必須技術である。



(補足) グリーン成長戦略におけるCO₂分離回収の役割 (抜粋)

- カーボンニュートラルに向け、電力部門ではCO₂回収を前提とした火力利用を選択肢として最大限追求（特にアジア）し、電力部門以外の熱需要には水素化に加えCO₂回収で対応する。

- 電力部門の脱炭素化は大前提。

→ 現在の技術水準を前提とすれば、全ての電力需要を100%単一種類の電源で賄うことは一般的に困難。

→ あらゆる選択肢を追求。

再エネ ……最大限導入。コスト低減、地域と共生可能な適地の確保、蓄電池活用。

→ 洋上風力・太陽光・蓄電池・地熱産業を成長分野に。

水素発電 …… 選択肢として最大限追求。供給量・需要量の拡大、インフラ整備、コスト低減。

→ 水素産業・燃料アンモニア産業を創出。

火力+CO₂回収 …… 選択肢として最大限追求。技術確立、適地開発、コスト低減。

→ 火力は必要最小限、使わざるを得ない（特にアジア）。

→ カーボンリサイクル産業の創出。

原子力 …… 安全性向上、再稼働、次世代炉。

→ 可能な限り依存度を低減しつつ、安全最優先での再稼働。

→ 安全性等に優れた炉の追求。

- 電力部門以外（産業・運輸・業務・家庭部門）は、「電化」が中心。熱需要には、「水素化」、「CO₂回収」で対応。

→ 電力需要は増加 → 省エネ関連産業を成長分野に。

産業 …… 水素還元製鉄など製造プロセスの変革

運輸 …… 電動化、バイオ燃料、水素燃料

業務・家庭 …… 電化、水素化、蓄電池活用

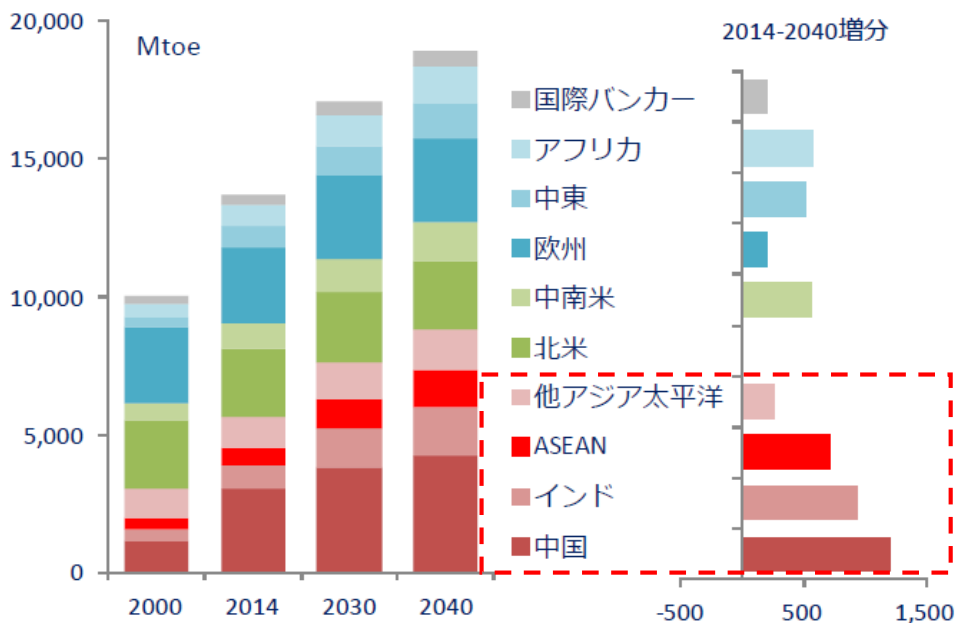
→ 水素産業、自動車・蓄電池産業、運輸関連産業、住宅・建築物関連産業を成長分野に。

出典：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（概要資料）
（2021年6月18日）より抜粋

(参考) アジアにおける天然ガス火力+CCSの有用性

- 電力需要が急拡大するアジア太平洋地域では、再エネの導入も進むが、依然として、化石燃料が供給を支える重要な電源と予想されている。
- 特に、未だ電力アクセスが低く、安価な電気を要する東南アジアでは、主力電源及び再生可能エネルギーの出力変動に対応する観点からも、将来的に天然ガス火力+CCSの需要が増える可能性。

地域別一次エネルギー需要の動向



世界の一次エネルギー需要の増分の大半がASEANを含むアジア太平洋地域の需要増によってもたらされる

出典：アジア・世界の長期エネルギー需要見通し
(日本エネルギー経済研究所, 2017)

(ベトナムの例) 日本企業が関心を持つ新規LNG to Powerプロジェクト



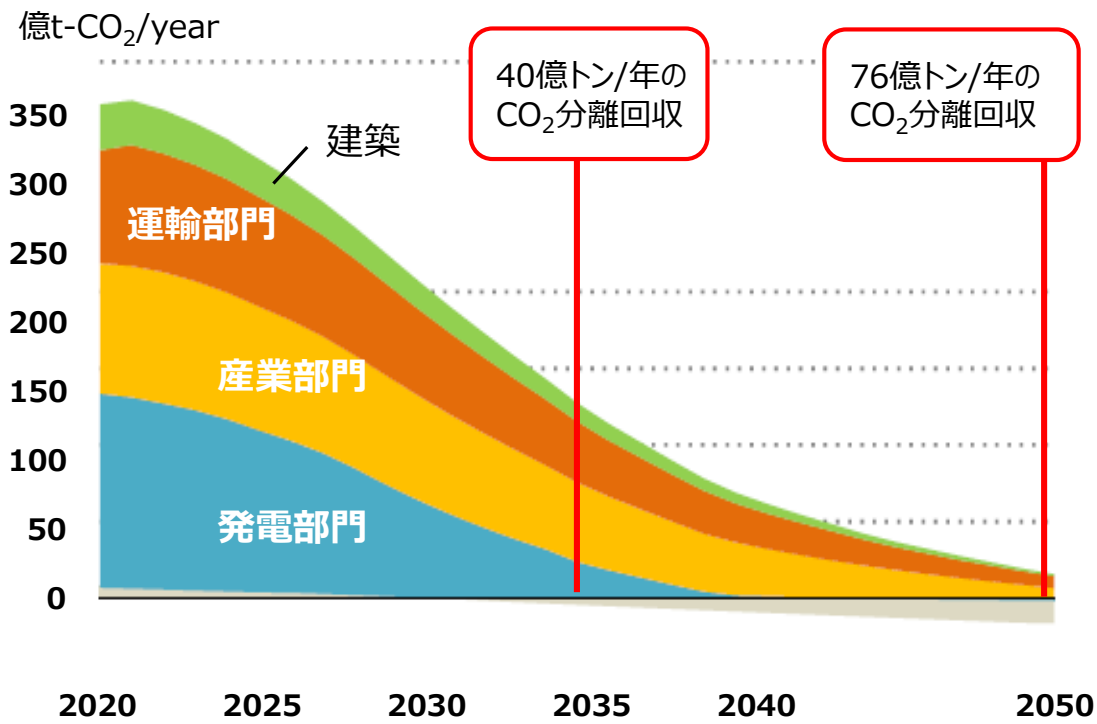
	案 件 名
1	クアンニンLNG to Power
2	ハイフォンLNG to Power
3	カナLNG to Power
4	ソンミーLNG to Power
5	ロンソンLNG to Power
6	タンフオックLNG to Power
7	カマウLNG to Power

出典：報道等公表資料より経済産業省作成

IEAネットゼロシナリオ（NZE）におけるCO₂分離回収技術の位置づけ

- IEAの2050年ネットゼロエミッションシナリオ（NZE）においては2035年に40億トン、**2050年に76億トンのCO₂分離回収が予想**されている。
- バイオ燃料由来CO₂回収、大気中CO₂回収(DAC)も増加するが、**2050年断面でも化石燃料由来CO₂の回収が大部分を占める**。

ネットゼロエミッションシナリオにおける世界のCO₂排出量



各産業分野毎のCO₂分離回収のマイルストーン

単位：Mt-CO₂/year

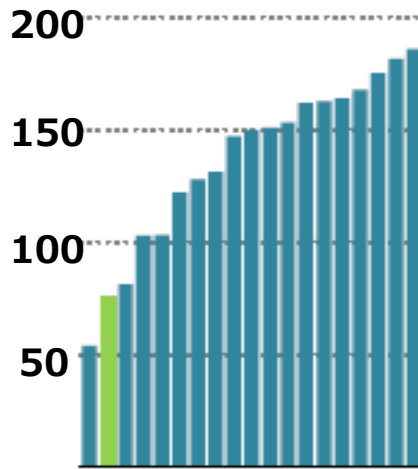
	CO ₂ 排出分野	2020	2030	2050
化石燃料	火力	3	340	860
	産業	3	360	2620
	水素製造	3	455	1355
	非バイオ燃料製造	30	170	410
バイオ燃料	火力	1	90	570
	産業	0	15	180
	バイオ燃料製造	0	150	625
	DAC	0	70	630

(参考) 他のシナリオにおけるCO₂分離回収技術の位置づけ

- IPCC1.5℃特別報告書で分析された、2050年にCO₂ネットゼロとなる18シナリオにおいては、**2050年に必要なCO₂分離回収量は50～180億トンに分布**（中央値150億トンは、IEA NZE 76億トンに対して2倍以上大きいレベル）
- 同報告書において、1.5℃シナリオでの一次エネルギー動向は、CCSなしの化石燃料が顕著に減じる一方で、**CCSありの化石燃料の拡大**（下図赤枠）が示された。

2050年CO₂ネットゼロシナリオにおけるCO₂分離回収量の分布（出典1）

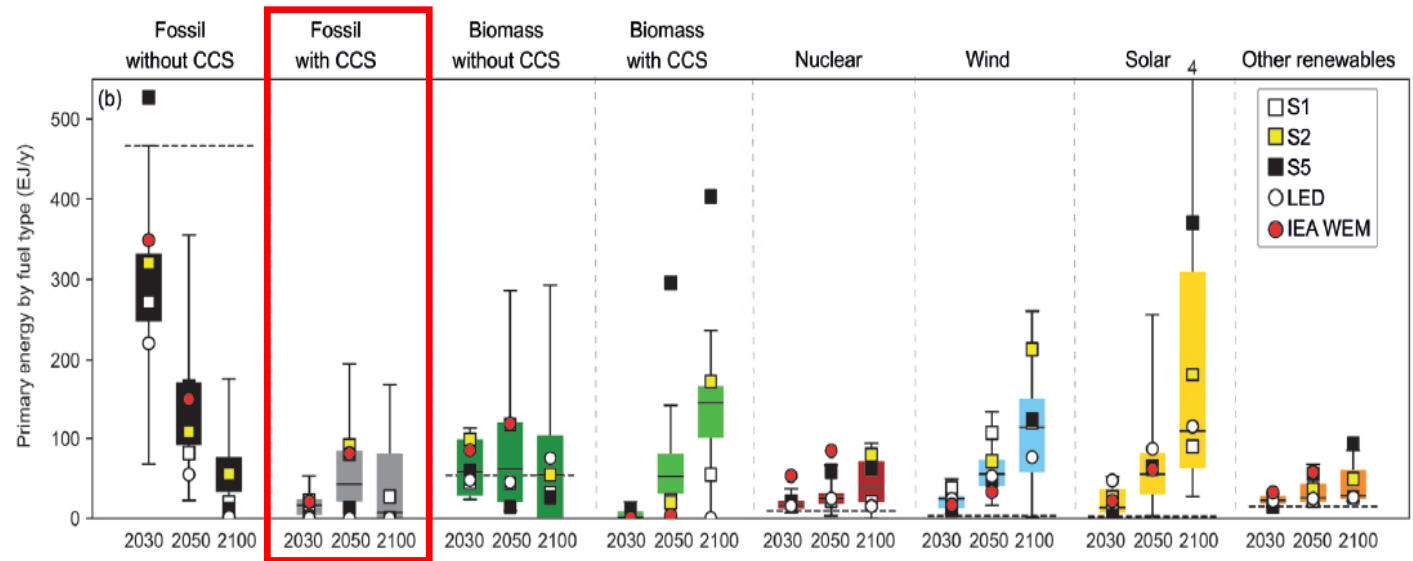
億t-CO₂/year



IEA NZEシナリオ

他の18本の縦棒はIPCC1.5℃特別報告書で分析された2050年CO₂ネットゼロシナリオでのCO₂分離回収量の分布を示す

地球温暖化を 1.5℃に抑える「オーバーシュートなし」または「限られたオーバーシュート」モデル）における一次エネルギー予測（出典2）

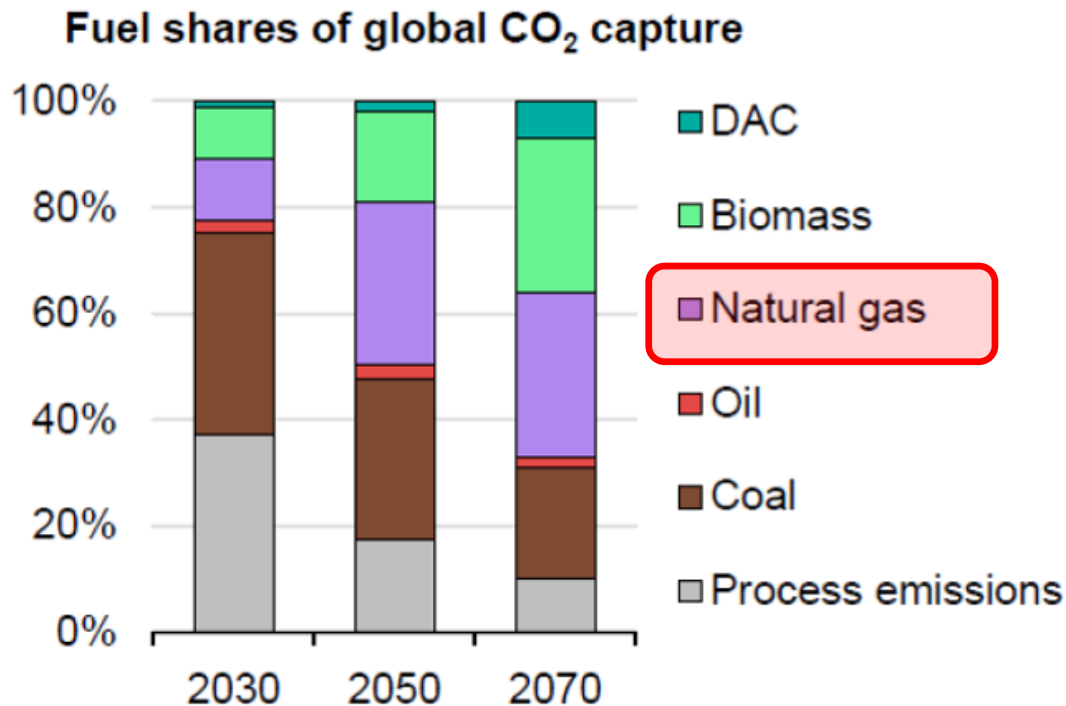


一次エネルギー量は、最大値及び最小値（ヒゲ）、四分位範囲（箱）、中央値（黒い横棒）で示される。水平の黒い点線は 2015 年時点の一次エネルギー量を示す。

CO₂分離回収が必要となる化石燃料の長期トレンド

- CO₂排出源となる化石燃料は、排出ガス中のCO₂濃度の比較的高い石炭・石油の寄与は減じ、CO₂濃度の低い天然ガス等の寄与が増す方向。天然ガスを燃料とする天然ガス火力、工場排ガス等のCO₂分離回収は、今後重要性が高まる状況。

Sustainable Development Scenario(SD シナリオ)



2050年時点で、CO₂分離回収される燃焼ガスの約30%が天然ガス排ガス由来になると見込まれる（回収CO₂量は20億トン超が見込まれる）。

海外のカーボンニュートラル政策におけるCO₂分離回収

- 先進国のカーボンニュートラル政策において、カーボンリサイクル技術、CO₂の分離回収技術は重要技術として位置づけられ、意欲的なマイルストーンが設定されている。

2030目標

カーボンニュートラル 目標

CO₂分離回収に関連した政策等

日本

▲46%

2013年比

<NDC再提出(2020年3月)>

2050年

カーボンニュートラル

<総理所信演説(2020年10月)>

ネガティブエミッション、及びカーボンリサイクルで必要な CO₂源を確保するため、CO₂分離回収技術の開発・実証が不可欠。今後、高効率な CO₂分離回収技術を開発し、低コスト化と、用途へ拡大を実現し、**2050 年に、世界の分離回収市場のうち3 割のシェア確保を目指す。**

<グリーン成長戦略(2021年6月)>

アメリカ

2025年

▲50-52%

2005年比

<NDC再提出(2021年4月)>

2050年

カーボンニュートラル

<2020年7月バイデン氏の公約>

天然ガス発電および産業部門の脱炭素化技術を加速するためにDOEが開発支援。2030年までに商業展開することを目標として、発電および産業用アプリケーションの炭素回収および貯留に焦点として開発支援。また2008年より**EORとCO₂貯留を対象とした税額控除制度**も整備。

<<https://www.energy.gov/fe/articles/doe-announces-75-million-accelerate-technologies-decarbonization-natural-gas-power-and>>

EU

▲55%

1990年比

<NDC再提出(2020年12月)>

2050年

カーボンニュートラル

<長期戦略提出(2020年3月)>

欧州グリーンディールにおいて、脱炭素が困難な経済分野における、水素などの再生可能燃料・低炭素燃料の利用促進が謳われており、この中で**炭素回収・利用の推進、低炭素燃料の定義の明確化、クリーン燃料の利用促進**が明記されている。

<The European Green Deal (2019年12月)>

英国

▲68%

1990年比

<NDC再提出(2020年12月)>

2050年

カーボンニュートラル

<長期戦略提出(2020年12月)>

2030年までに最大10億ポンドを投資して、4つの産業クラスターでのCCUSの設立を支援。北東部、ハンバー、北西部、スコットランド、ウェールズなどの地域に「スーパープレイス」を建設して、**2030年までに年間最大1,000万トンのCO₂を回収。**

<グリーン産業革命のための10ポイント計画(2020年11月)>

海外のCO₂分離回収プロジェクト

- 天然ガス精製、火力発電所、セメント、鉄鋼などの産業分野の排ガスを対象として、CO₂分離回収の大規模実証プロジェクトが、欧州、米国、中国等で実施計画中。
- 米国が2008年にEORとCO₂貯留(CCS)を対象にした創設した税額控除制度は、事業の採算性を向上させてCO₂分離回収技術の実装とCCUS 促進に向けた大きな駆動力となっている。

現在**操業中**の海外のCO₂分離回収プロジェクト例

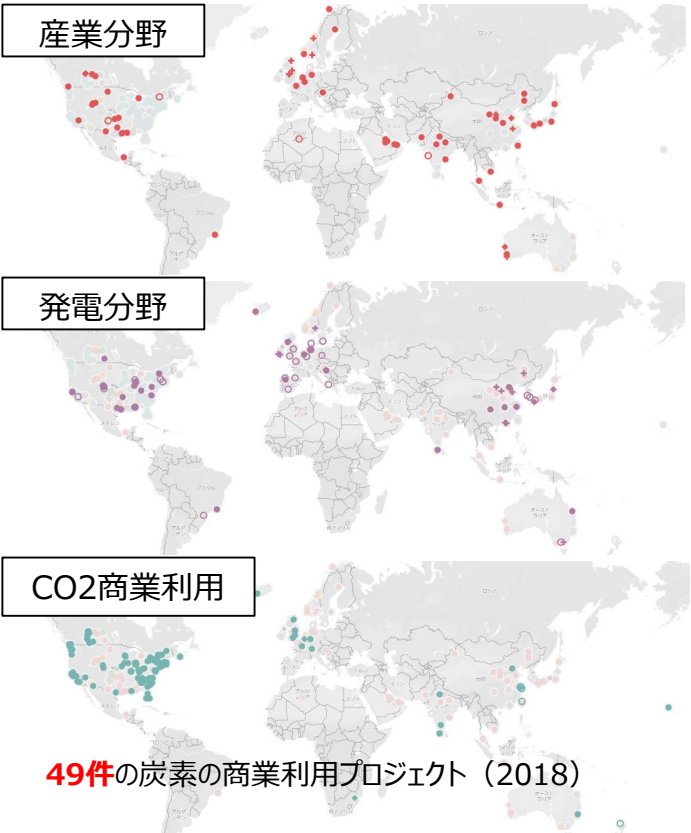
プロジェクト (国)	CO2排出源	操業開始	用途	回収能力
SHUTE CREEK 	天然ガス精製	1986	EOR	700万トン/年
COFFEYVILLE 	肥料製造	2013	EOR	100万トン/年
UTHMANIYAH 	天然ガス精製	2015	EOR	80万トン/年
PETRA NOVA 	火力発電	2017	EOR	140万トン/年
GORGON 	天然ガス精製	2019	CCS	340万トン/年

現在**建設・計画段階**の海外のCO₂分離回収プロジェクト例

プロジェクト (国)	CO2排出源	操業予定	用途	回収能力
YANCHANG 	化学品製造	2021	EOR	41万トン/年
MAGNUM 	火力発電	2024	CCS	200万トン/年
CLEAN GAS PJ 	火力発電	2024	CCS	170万トン/年
DRY FORK 	火力発電	2025	CCS	300万トン/年
NORTHERN GAS 	水素製造	2026	CCS	150万トン/年

出典：各種資料を基にNEDO 技術戦略研究センター作成

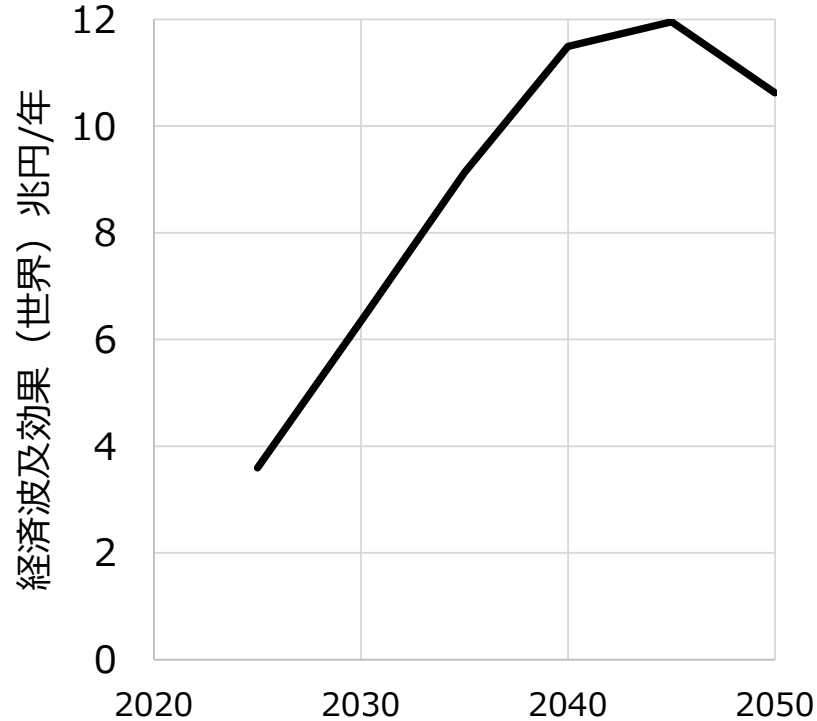
世界のCO₂分離回収実施状況（計画含）



CO₂分離回収の世界市場

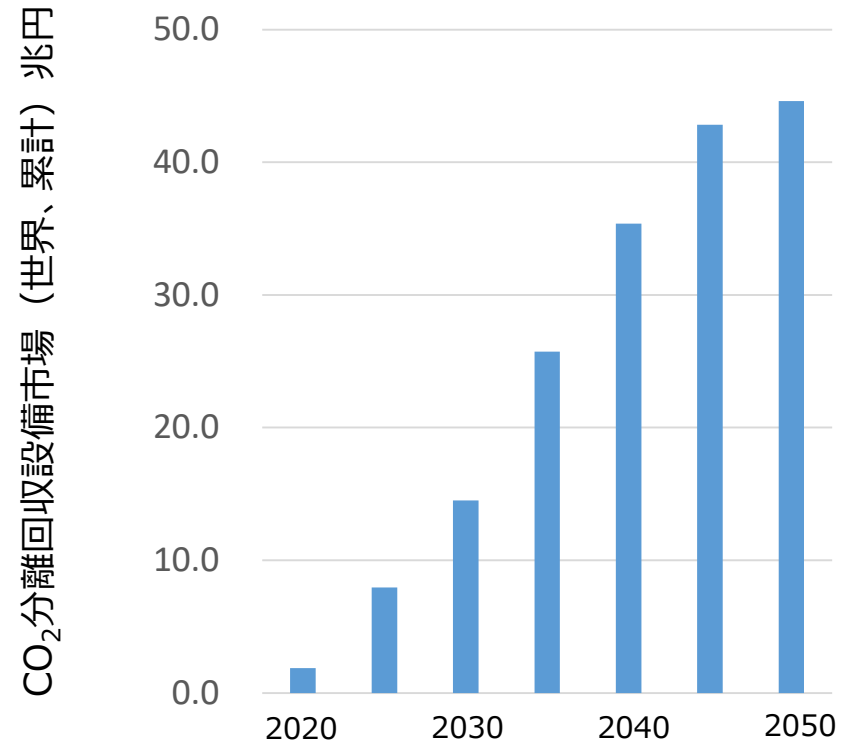
- 2050年のプラント、素材、薬品や燃料費等を含むCO₂分離回収の経済波及効果は、10兆円/年の規模と試算。（CO₂分離回収量はIEA B2DSケース）
- CO₂分離回収設備市場だけでも、2050年までに累計45兆円に達すると予測。

CO₂分離回収 経済波及効果



市場は、(分離回収コスト目標・予測 × ETP2017のB2DSにおける分離回収量) で試算。分離回収コストは日本、米国、中国のコスト目標・推定の平均。分離回収量はETP2017(Energy Technology Perspectives 2017)のB2DS(Beyond 2°C scenario)を参照。費用内訳はBOUNDARY DAM, PETRA NOVA, SHANDの実績の平均値をGlobal CCS Institute「GLOBAL STATUS OF CCS TARGETING CLIMATE CHANGE 2019」のグラフからNEDO TSCで読取。

CO₂分離回収設備市場



累計設備市場は、ETP2017のB2DSにおける分離回収量とCO₂回収量あたりの設備費を乗ずることで試算。CO₂回収設備コストは、低炭素社会戦略センター(LCS)「CCS（二酸化炭素回収貯留）の概要と展望分離回収コスト」を参考とし、毎年3%の価格低下があると仮定してMETI試算。

1. 本プロジェクトの背景

- ー カーボンニュートラル社会における「CO₂分離回収」の位置付け
- ー 産業化に向けた道筋と必要な政策支援の全体像

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容とスケジュール

CO₂分離回収の社会実装シナリオ（排出源別）

- 低濃度CO₂排ガス（石炭→ガス）からのCO₂分離回収、及び、長期的には大気からのCO₂分離回収（DAC）が牽引することで、CO₂分離回収の社会実装が拡大。
- CO₂は地下貯留処理(EOR含む)に加え、長期的に、カーボンリサイクル原料としての用途が拡大。

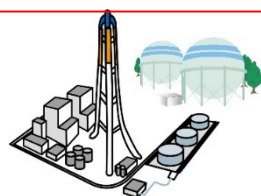
石炭火力発電所



石炭火力からのCO₂
は徐々に縮小へ

12~14%CO₂

天然ガス火力発電所



4~5%CO₂

※天然ガス複合サイクル火力発電（NGCC）のケース

地下貯留（CCS,EOR）



カーボンリサイクル／CCUによるグリーン製品



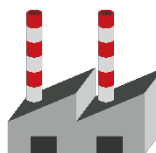
CO₂ H₂ → 燃料
化学品等



●市場（産業・ビジネス）

日本メーカーが強みを持つ従来の火力発電向けプラント／素材事業（石炭火力等のCO₂分離回収プラントで日本は70%の世界シェア）に加え、カーボンリサイクル向けのビジネス拡大を想定。CO₂マネジメントなど新たな産業の形成にも期待。

中小規模工場



7~9% CO₂

※ナフサ由来の可燃ガスを燃料とする工業炉のケース

DAC

大気
N₂ O₂ CO₂



大気中 0.04%CO₂

2020

2030

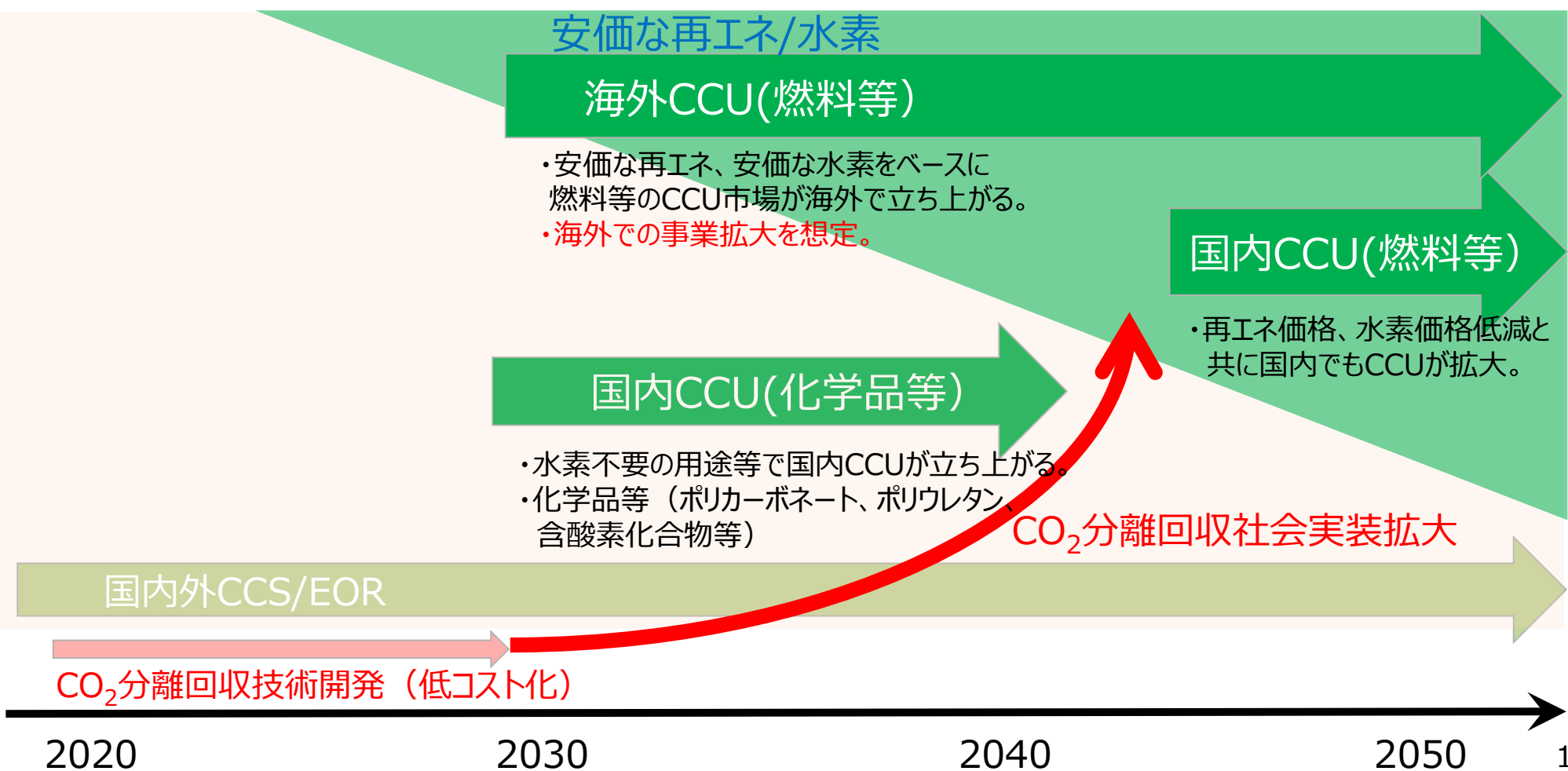
2040

2050

13

CO₂分離回収の社会実装シナリオ（用途別）

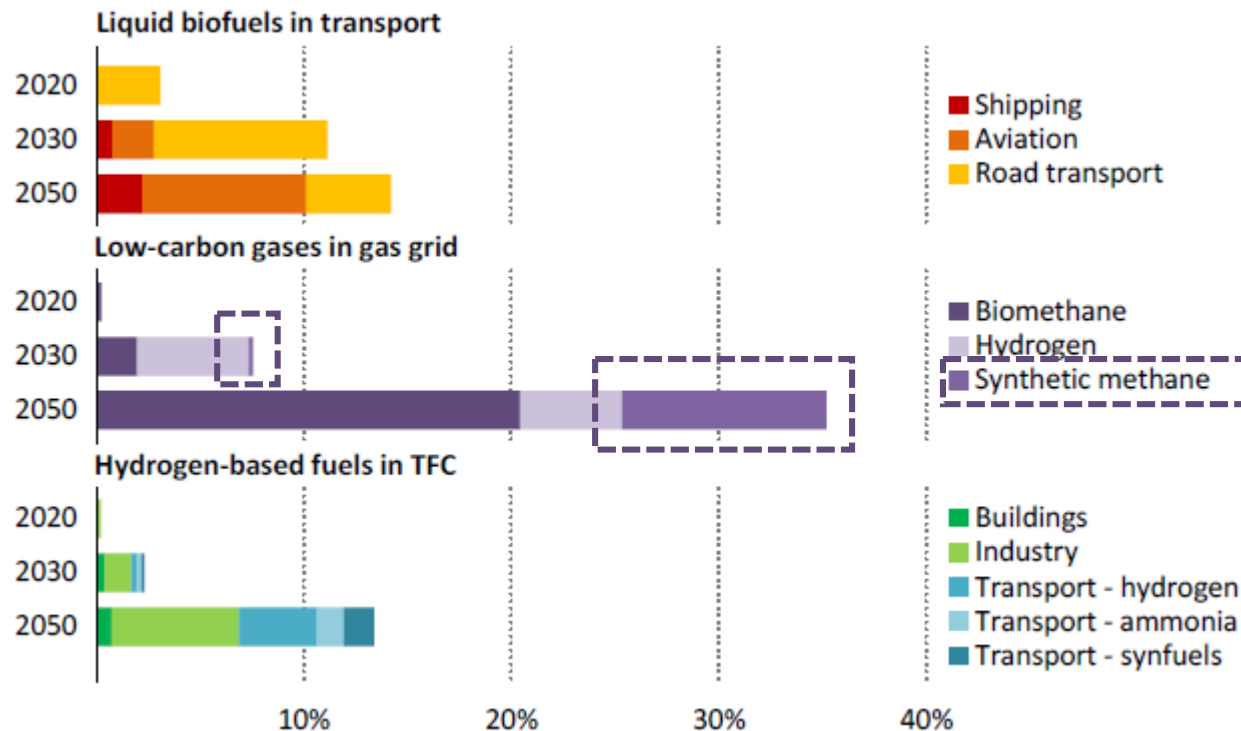
- カーボンリサイクル(CCU)拡大には安価な再エネ／水素が必要。国内では水素不要の化学品等のCCU向けから社会実装が立ち上がると想定。
- 安価な再エネ/水素が必要となる合成燃料等のカーボンリサイクルは再エネ豊富な海外適地での社会実装が先行する可能性があり、この場合にはCO₂分離回収は、海外での事業拡大を想定。



(参考) 合成燃料(合成メタン)の導入予測

- CO₂を原料として製造される合成メタンは、将来のLow-carbon gasとして高い期待。
- IEA NetZeroシナリオでは、2030年には導管注入が顕在化し、2050年にはLow-carbon gasの内約3割を占めると予測される。CCU分野で一大産業への成長を予測。

Low-Emission Fuelの分野毎の世界供給量予測 (IEA Net Zero by 2050)



CO₂分離回収

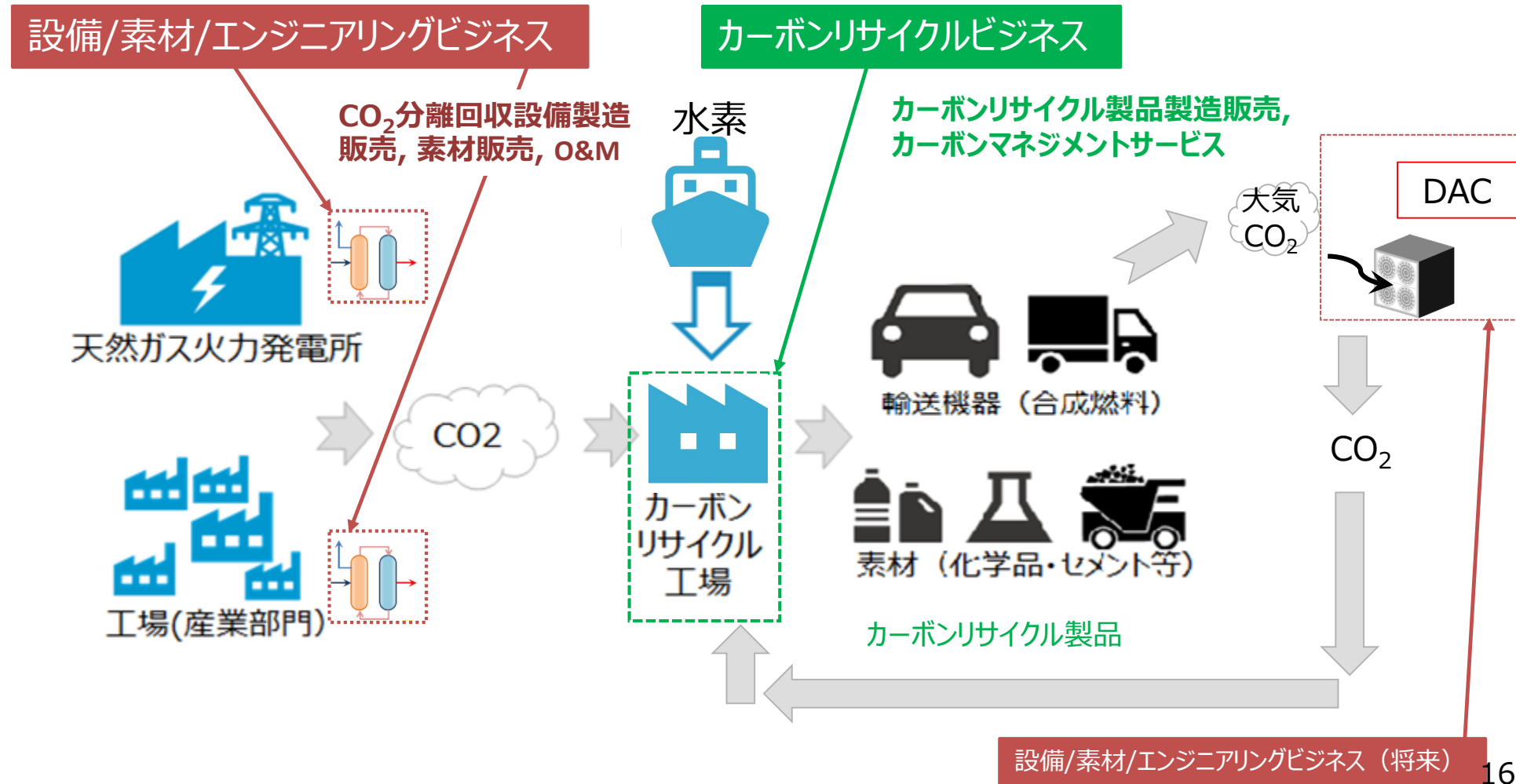
↓
CO₂ + H₂ → 合成メタン

IEAは2030年には合成メタンの導管注入が顕在化、2050年にはLow-carbon gasの内約3割を占めると予測。

→ CCU分野で一大産業に成長すると予測

CO₂分離回収の産業イメージ

- CO₂分離回収に関わる産業として、CO₂分離回収設備ビジネス（素材、O&M含む）に加え、カーボンリサイクルビジネス（カーボンマネジメント、カーボンリサイクル製品製造販売、等）への展開が期待される。

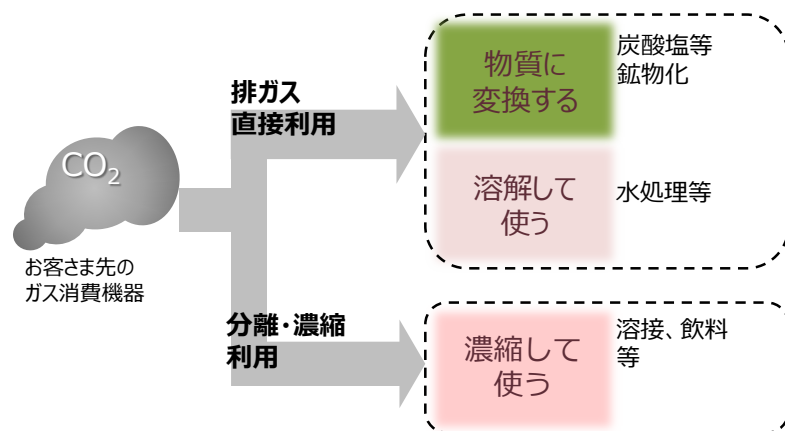


(参考) カーボンマネジメントの構想例

- 都市ガス供給事業者が需要家排出のCO₂を分離回収・活用するサービスや、製造業において工場でのカーボンニュートラル化をサプライチェーン全体に展開・支援する構想が検討されている。

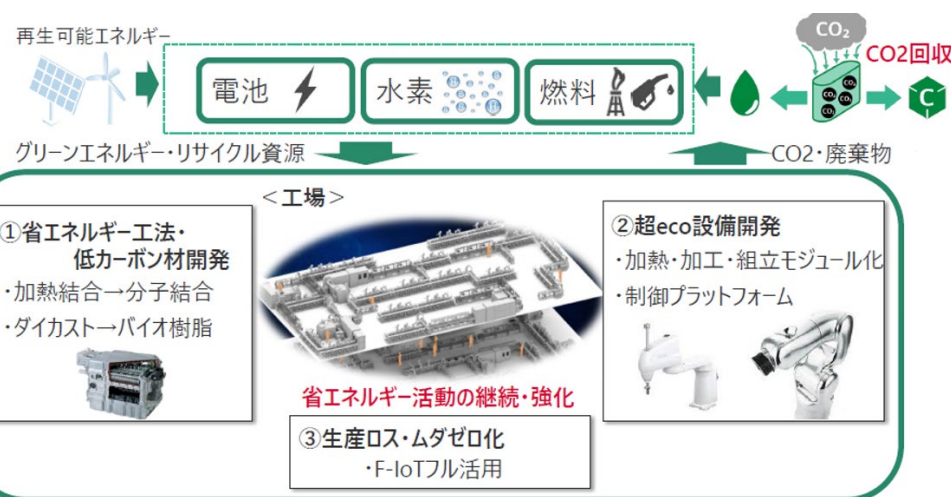
都市ガス需要家先でのカーボンリサイクル

- 都市ガス需要家先で排出されるCO₂を回収し、活用する技術開発、サービス化を加速。
- 需要家との共同実証を経て、2023年度のサービス化を目指す。



工場でのカーボンリサイクル

- カーボンニュートラル工場構想を発表。工場から出るCO₂を含めてリサイクルし、カーボンニュートラルモノづくりを実践。
- サプライチェーン全体のカーボンニュートラルに向け展開・支援。



日本企業のCO₂分離回収技術の国際競争力

- 日本企業はこれまで、商用化されている石炭火力等の高濃度CO₂排ガスの分離回収プラントでトップシェア。
- 今後市場拡大が予想されるCO₂濃度10%以下のCO₂分離技術開発を推進することで、CO₂分離回収事業の分野でさらなる産業競争力を獲得することを期待。

技術方式	主な実績	国内企業	海外競合
アミン吸収法	・天然ガス随伴ガス、リフォーマーなどの高圧ガスへの適用で海外メーカ等の吸収剤が市場先行したが、 <u>低圧ガス向けには日系メーカーが高性能吸収剤を開発し、商用適用と実証でリード。</u>	三菱エンジ 東芝 日鉄エンジ	BASF Shell Dow Linde
物理吸着法	・海外はリフォーマー向け等で多くの実績。日本は製鉄向けではCOURSE50で世界に先駆け実ガス実証を完了。 <u>物理吸着システム設備に特段の優劣はないが、CO₂吸着剤では日本メーカに存在感あり欧米でも採用実績。</u>	住友精化 JFEエンジ 大陽日酸 クラレ	Linde UOP Air Liquid
膜分離法	・天然ガス随伴ガスへの適用で海外メーカ（UOP）が高分子膜適用で先行したが、 <u>日本メーカーは高性能な分離膜（分子ゲート膜、ゼオライト膜）開発を開発し、実証で世界をリード。</u>	日本ガイシ RITE 住化、東レ 三菱化学	UOP
物理吸収法	・天然ガス随伴ガス、リフォーマーなどの高圧ガスへの適用で海外メーカが存在感。		Linde, UOP Air Liquid

CO₂分離回収に関わるビジネスモデル（想定）

- CO₂分離回収が設備・素材ビジネスからカーボンリサイクルビジネスへ拡大するにおいてマネタイズの対象も拡大するが、共通する産業競争力の源泉は、CO₂分離回収コストの低減にある。

	設備/素材/エンジニアリングビジネス	カーボンリサイクルビジネス
主たる担い手 （想定）	①分離素材メーカー ②プラント設備メーカー ③エンジニアリングメーカー(EPC)	①化学メーカー（→化学品等） 石油精製事業者（→液体燃料等） ガス事業者（→合成メタン等） ②カーボンマネジメントサービス事業者
ビジネスモデル （マネタイズ）	①CO ₂ 分離素材販売 （吸収材、吸着材、分離膜） ②CO ₂ 分離回収設備販売 ③CO ₂ 分離プラント販売 O&M	①カーボンリサイクル製品販売 ②カーボンマネジメントサービス （客先のCO ₂ を回収・処理するサービス）
将来を見据えた産業競争力の源泉	低コスト、低エネルギーなCO₂回収実現 （革新的なCO ₂ 分離素材/プロセスに基づくCO ₂ 分離回収コストの低減）	カーボンリサイクル製品のコストダウン -安価なCO ₂ 回収 （CO ₂ 分離回収コストの低減） -カーボンリサイクル製品製造コストの低減 （革新的製造プロセス、安価なH ₂ 入手など世界を見渡したサプライチェーン構築）

CO₂分離回収の産業化に向けた視座

- 多様なCO₂排出源（低濃度排ガス、様々な排出規模）に対してCO₂分離回収費用の低減を図ることでCO₂分離回収の適用範囲が拡大。
- プラント、素材などの既存産業に加え、新たにCO₂をマネジメントするサービスビジネス等が加わり、CO₂分離回収産業が多層的に発展。
- カーボンリサイクル製品が普及するには、炭素削減価値が市場評価される仕組み（カーボンプライシング）が必要。CO₂分離性能評価技術の標準化も産業拡大に寄与。

項目	内容
技術開発	<u>多様なCO₂排出源（低濃度排ガス、様々な排出規模）に対するCO₂分離回収費用の低減は、CO₂分離回収の適用範囲拡大に資する</u> 。産業の中核となるプラント及び分離回収素材の販売・運用においては、CO ₂ 分離回収費用の低減が競争力の源泉。
産業的多層化	CO ₂ 分離回収産業の従来の担い手である、プラント、素材メーカ、に加え、新たに <u>CO₂排出削減をマネジメントするサービスビジネスの拡大</u> を促すことで、CO ₂ 分離回収産業が多層的に発展することを期待。
制度設計 (環境価値創出) (標準化)	現状では、CO ₂ 価格が有償、逆有償であっても、将来のカーボンリサイクル製品の <u>炭素削減価値が市場評価されることが必要</u> 。カーボンリサイクル製品の <u>炭素削減価値を正しく評価するLCAの評価手法確立</u> とともに、 <u>効果的なカーボンプライシングの制度設計</u> により、カーボンニュートラルに資する形でCO ₂ 分離回収産業が発展する可能性がある。また、 <u>国内素材、プラント性能の優位性を市場形成に繋げるため、CO₂分離性能の評価技術の標準化</u> も必要。

産業化に向けた政策支援の全体像

【技術開発】 ←本プロジェクトで一部実施（既存事業と組み合わせ）

- CO₂分離回収の課題となる、低コスト、分離回収効率の向上、低エネルギー化を実現し、市場の確保を可能とする技術開発への積極的な支援
 - 本プロジェクトでは、2030年までの実証を経て、本格的普及が見込まれる、10%以下の低濃度排ガスの分離回収技術が対象（高濃度排ガス又は大気中からのCO₂分離回収技術は既存事業で実施）

【評価技術の標準化】 ←本プロジェクトで実施

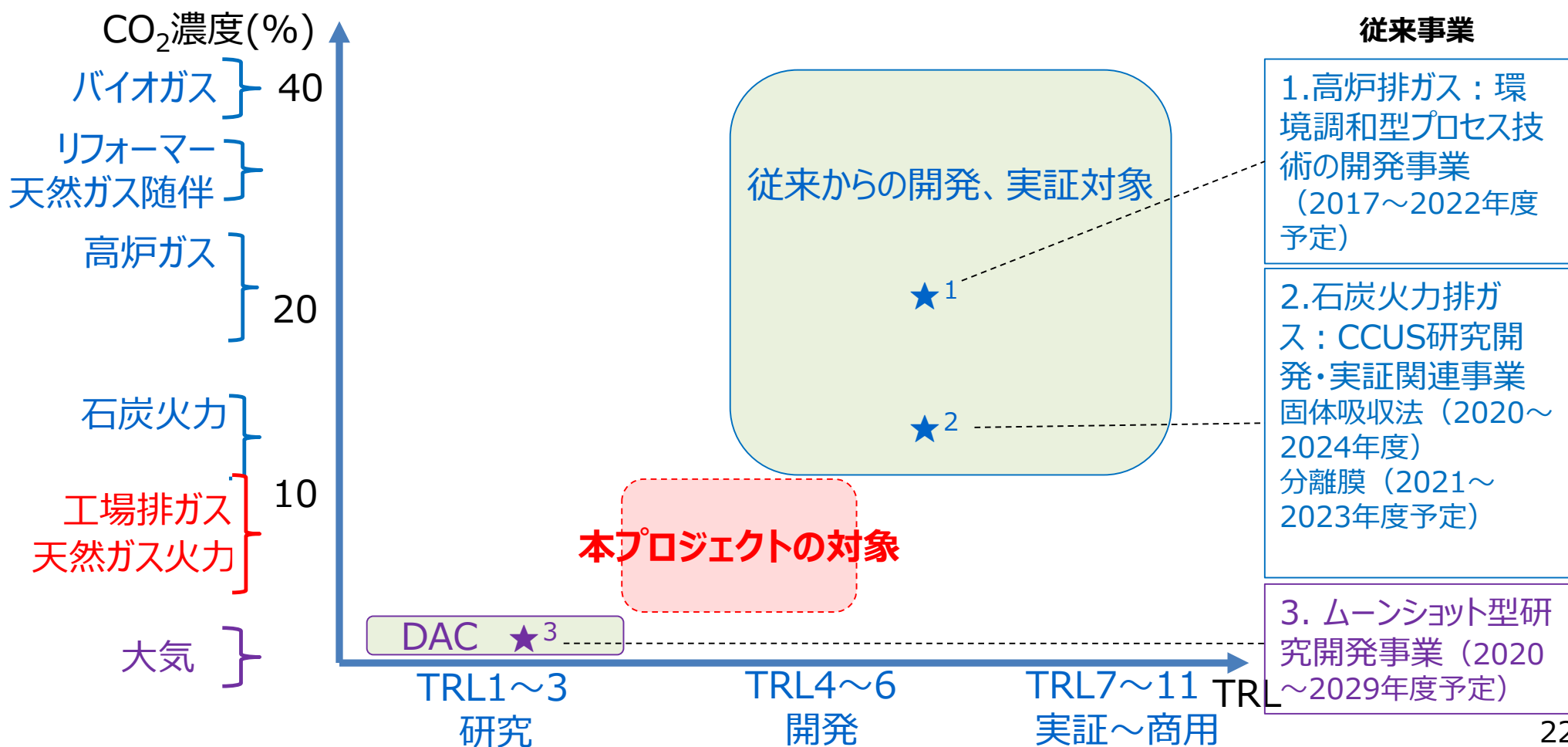
- 国内素材、プラント性能の優位性をもって海外での市場拡大に繋げるため、標準的なCO₂分離評価技術を確立し、国際標準化を推進
 - 2030年までに、実ガスを用いた標準的なCO₂分離評価技術確立、国際標準化

【効果的なカーボンプライシングの制度設計】

- カーボンニュートラルに資する形でCO₂分離回収の産業化が加速するよう、炭素削減価値が市場評価される仕組み（カーボンプライシング）の制度設計が必要。
- カーボンオフセットクレジット等を活用した炭素削減価値の取引を想定すると、CO₂排出・利活用を行う最終・中間製品製造者への負荷・取引が正確に行われることが必要。
 - 市場形成に繋がる制度設計の検討

(参考) CO₂分離回収技術開発を行う既存事業との関係性

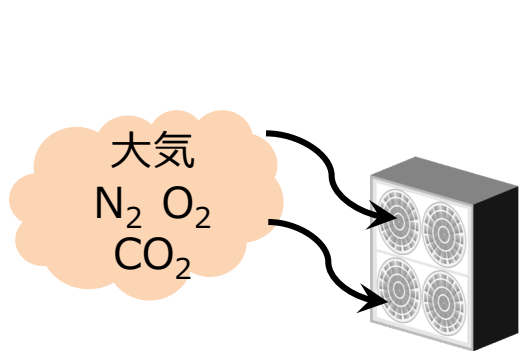
- 高炉ガス、石炭火力排ガス等の高濃度CO₂排ガスに対しては研究開発が進み、実証(TRL7)～商用(TRL9)のフェーズ。
- 一方で、天然ガス火力、工場排ガス等の～10%以下の低濃度排ガスに対する低コストなCO₂分離回収技術は開発レベルにあり(TRL4程度)、社会実装に向けては研究開発が必要。



(参考) DAC (Direct Air Capture) との関係性

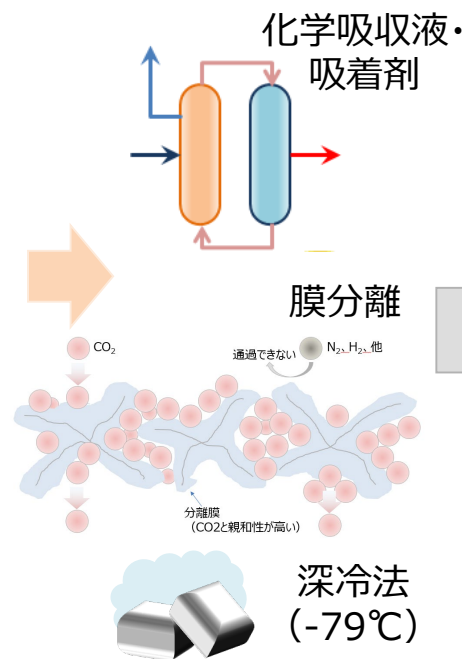
- DAC (Direct Air Capture) とは、大気中の CO_2 を直接分離し、回収する技術。 CO_2 分離回収技術と使用する原理は同じであり、本プロジェクト成果は、DAC技術の開発にも活用可能。
- 大気の CO_2 濃度は天然ガスからの排ガスの約100分の1であるため、より難易度が高く、ラボレベルの開発が必要であるため、本基金事業ではなく、ムーンショット型研究開発事業（NEDO）で実施。

DAC



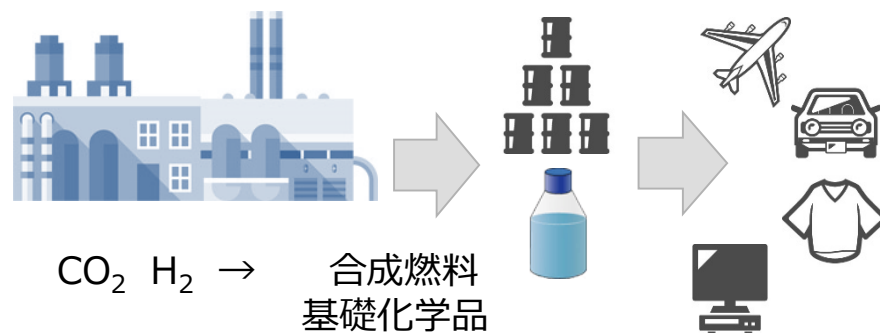
大気中 CO_2 濃度
0.04% (400ppm)

CO_2 分離・回収技術

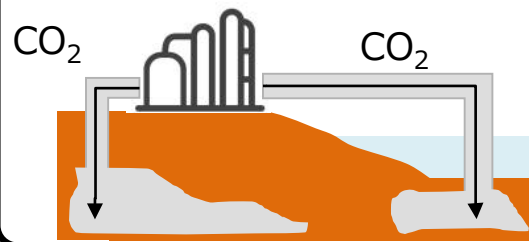


CO_2

カーボンリサイクル/CCU 資源として利用



地下貯留（固定化）



直接利用

EOR



植物工場



炭酸飲料



1. 本プロジェクトの背景

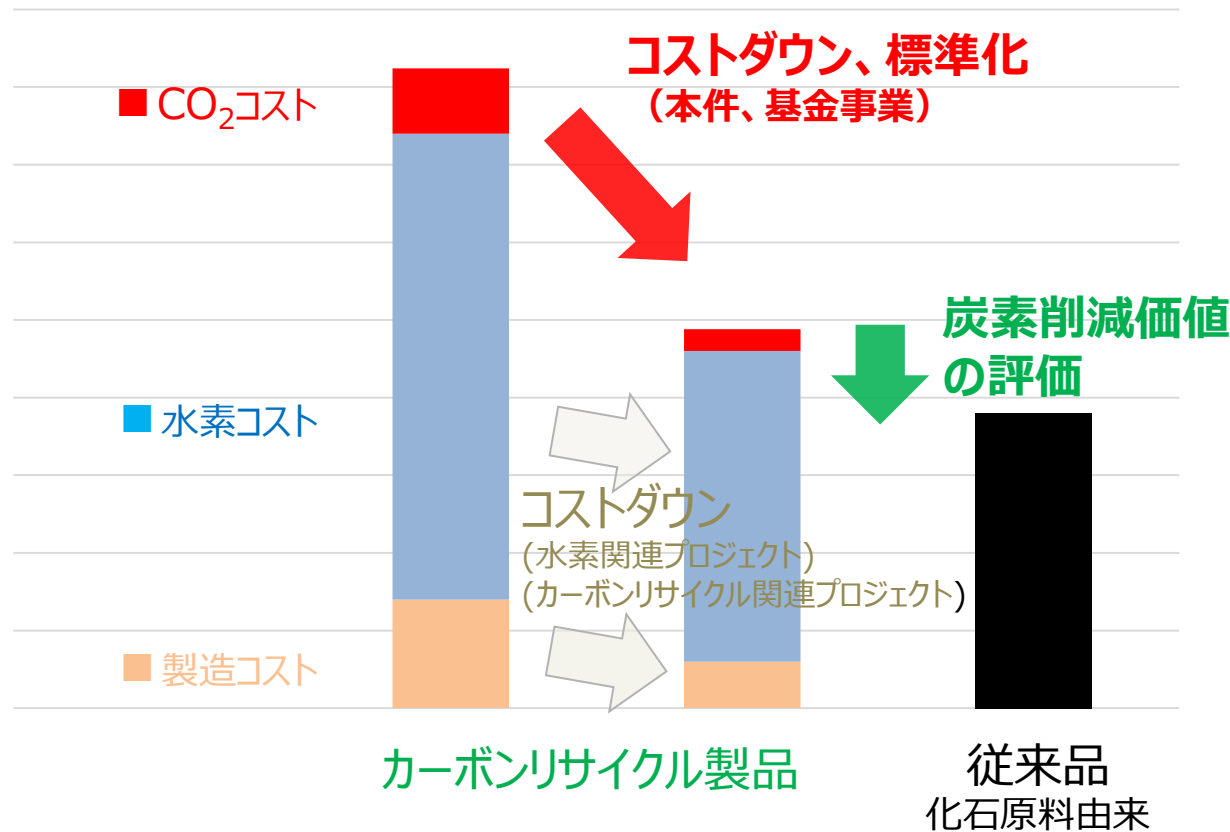
- ー カーボンニュートラル社会における「CO₂分離回収」の位置付け
- ー 産業化に向けた道筋と必要な政策支援の全体像

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容とスケジュール

CO₂分離回収の産業化に向けた政策支援イメージ

- カーボンリサイクル製品のコスト低減には、CO₂分離回収のコストダウンに加え、水素コスト、変換コストのコストダウンが必要であり、それぞれを基金で支援。従来製品（化石原料由来）との間に価格差が残る場合には炭素削減価値の評価により製品普及を図る。



CO₂分離回収コストの現状

- CO₂分離回収には、多くのエネルギー投入が必要であり、設備コストが高いという課題がある。近年の稼働プラントの例でも¥6,000台/t-CO₂以上のコストを要している状況。
- 本格的な社会普及・市場形成を目指すには、CO₂分離回収コスト化に繋がる技術開発が必要。

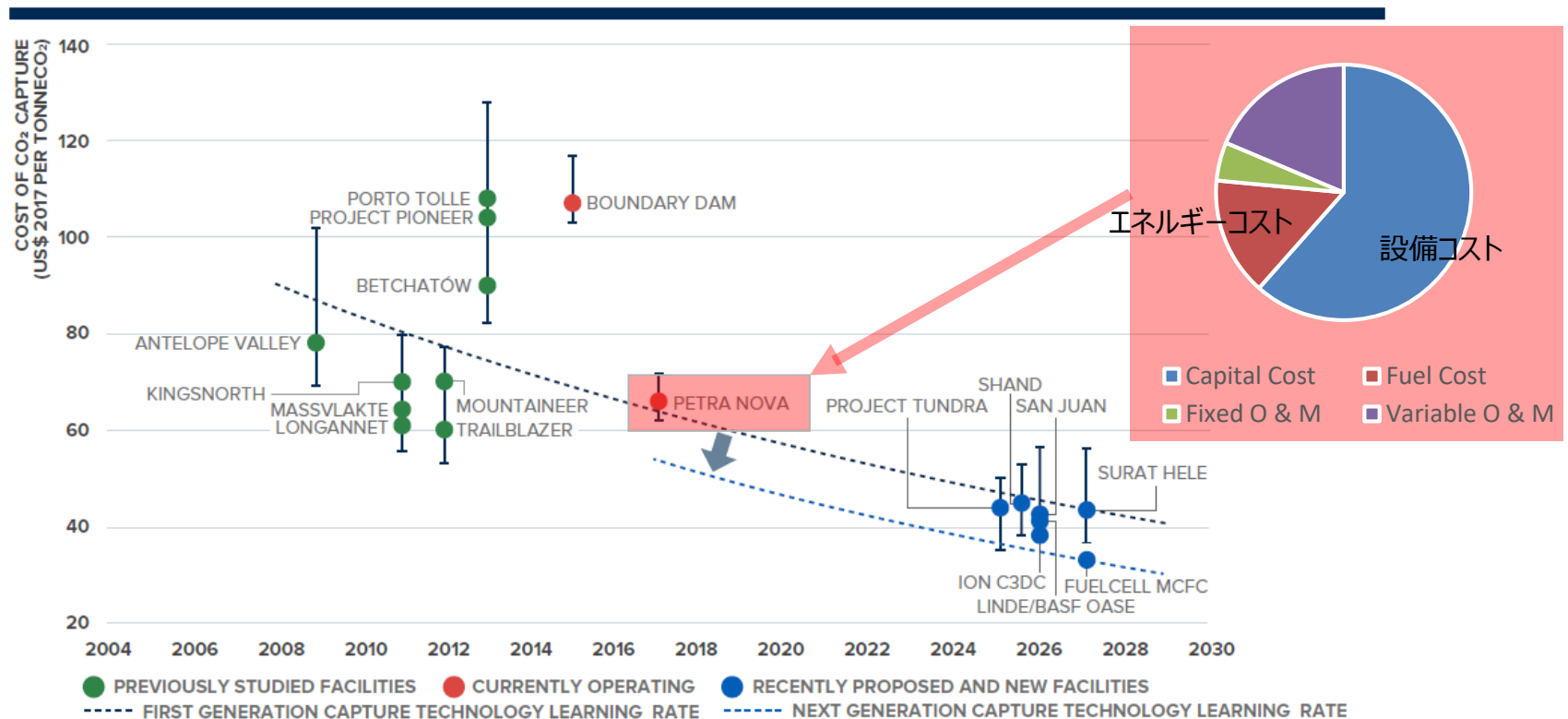


FIGURE 8 LEVELISED COST OF CO₂ CAPTURE FOR LARGE SCALE POST-COMBUSTION FACILITIES AT COAL FIRED POWER PLANTS, INCLUDING PREVIOUSLY STUDIED FACILITIES^{vii}

本プロジェクトの研究開発目標

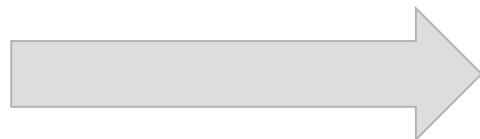
- 低濃度排ガスからの低コストなCO₂分離回収の確立には、分離回収に必要なエネルギーや設備コストの低減が課題。
- 本プロジェクトでは、CO₂濃度10%以下の排ガスに適用可能な、低コストなCO₂分離・回収技術を確立することを目指し、野心的なコスト目標として、2000円台/t-CO₂を設定。

低濃度CO₂排出源

CO₂濃度10%以下

天然ガス火力

工場排ガス、等



(開発アプローチ)
アミン吸収法、物理吸着法、膜分離法などの要素技術、システム技術等の革新

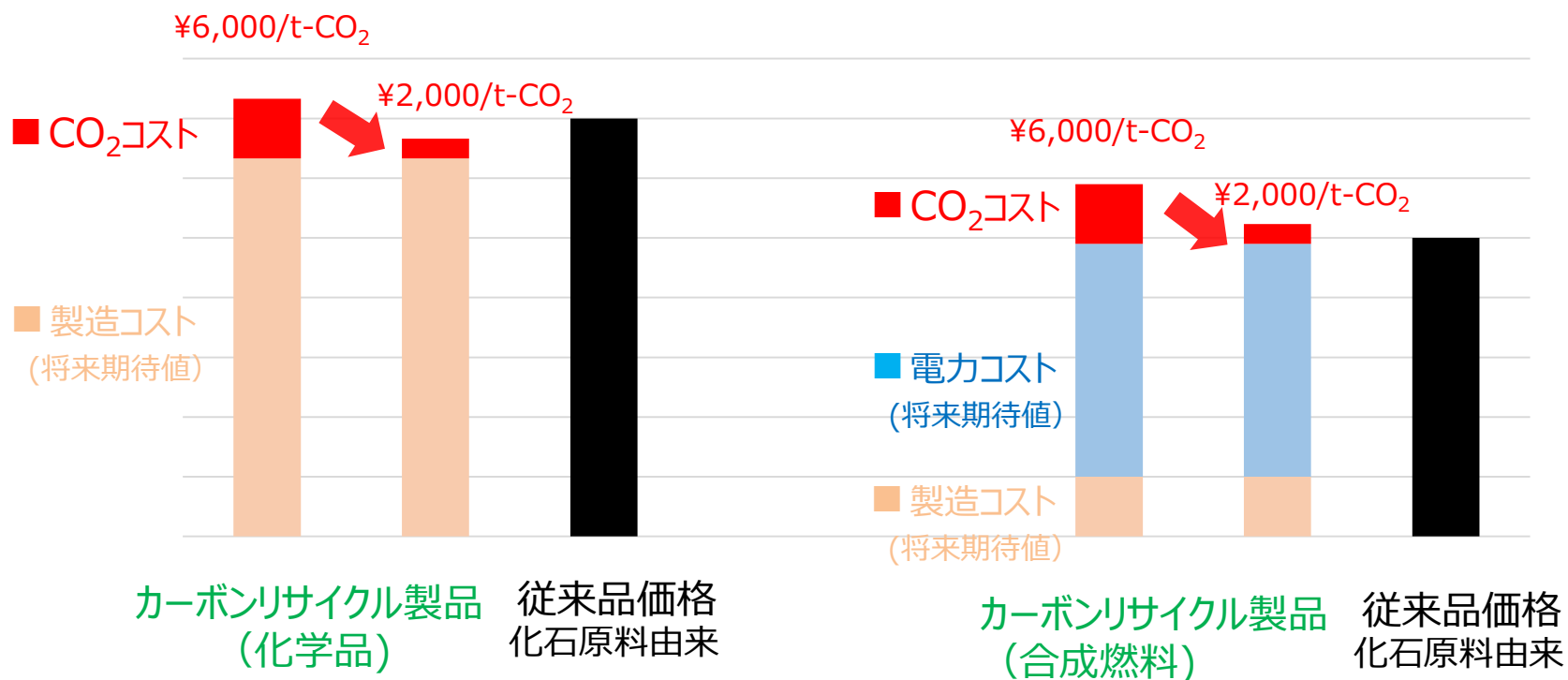
コスト目標

2000円台/t-CO₂

CO₂分離回収コスト目標の考え方

- 現在のCO₂分離回収コスト(¥6000台/t-CO₂)では、化石原料を由来とする従来品価格の15-20%を占めるインパクトがあり、これを¥2000台/t-CO₂にコストダウンすることで、カーボンリサイクル製品のコストダウンに大きな寄与となる。
- 目標達成度は、本プロジェクトで得られた実証結果と実ガスの評価基準を基に、商用化設備で想定される生産設備でのt-CO₂あたりのCO₂分離回収コスト（オペレーションコストを含む）を試算し、評価する。

カーボンリサイクル製品の製造コストに及ぼすCO₂分離回収コスト低減のインパクト（イメージ）



1. 本プロジェクトの背景

- ー カーボンニュートラル社会における「CO₂分離回収」の位置付け
- ー 産業化に向けた道筋と必要な政策支援の全体像

2. 本プロジェクトの目標

3. 本プロジェクトの研究開発内容とスケジュール

本プロジェクトの研究開発内容

- 本プロジェクトでは、分離素材の革新などを含むCO₂分離回収技術の開発とCO₂の分離回収評価項目の標準化に取り組み、さらに、これらの成果を活用して、10%以下のCO₂排出濃度の主たる排出源を想定した、技術実証を行い、分離回収の低コスト化を目指す。その際、確立された技術を利用し、回収されたCO₂を用いて化学品や燃料等を製造することも求める（化学品や燃料等の製造技術開発は本プロジェクトには含めない）。

① 天然ガス火力発電排ガスからの大規模CO₂分離回収技術開発・実証（委託→補助）

天然ガス火力発電排ガスにおけるCO₂分離回収コストの低減には、(i)運転費用(OPEX)と(ii)設備費用(CAPEX)の両面の検討が必要であり、CO₂分離回収消費エネルギーの低減、設備設計・プロセスの最適化やモジュール化等による設備コスト低減が有効。こうした課題に応じた最適なCO₂分離回収技術を選択の上、要素技術開発と10t/dを超える規模での実ガス実証を行う。

② 工場排ガス等からの中小規模CO₂分離回収技術開発・実証（委託→補助）

工場等においては、様々な場所でのCO₂分離回収が想定されるため、小型化、廃熱・冷熱利用、負荷変動対応、水分・夾雑物の分離等の多様な課題に対応することが必要。複数の利用シーンを想定し、こうした課題に応じた最適なCO₂分離回収技術（及びその組み合わせ）を選択の上、要素技術開発と0.5t/dを超える規模での実ガス実証を行う。

③ CO₂分離素材の標準評価技術基盤の確立（委託）

CO₂分離回収技術の開発を加速化するため、実ガスを用いた統一的な性能評価技術を確立する。具体的には、CO₂の分離回収量や耐久性にかかる性能評価手法を開発し、これを国際標準化する。

委託・補助の考え方と社会実装に向けた支援

【委託・補助の考え方】

研究開発内容①、②：

- 石炭火力排ガス等の比較的CO₂濃度の高い排ガスに対するCO₂分離回収技術は、海外を中心にEOR等の市場が存在する一方で、天然ガス火力発電所由来等の低濃度排ガスからのCO₂分離回収については、有望な技術方式を見定めつつ吸収材料等の要素技術を開発する段階（TRL 3～4）であり、実プラントを用いた事業化までには10年以上を要すると見込まれる。さらに、CO₂分離回収技術の事業性は、将来のCO₂に対する国内外の政策動向（カーボンプライシング等）や、カーボンリサイクルに関連する他のプロジェクト等の技術開発動向にも依存するなど、不確実性が高く、見込みづらい。このため、本開発は委託事業として開始するが、要素技術開発が進展し、実ガス実証を開始するタイミングにおいて、その事業リスクを踏まえ、補助事業へと移行する。
- 排出源毎に最適な技術方式は異なると考えられるため、①及び②の実施主体については、異なることを想定。また、②については、工場の中の様々な排出源毎に、CO₂分離回収の複数の技術課題を解決する必要があるため、4件程度の採択を予定。これらは相互に競争させつつ、ステージゲート審査において、有望な技術に絞り込みを図っていくことを原則とするが、技術的に相互補完的に検討が必要な部分については、連携を求める。

研究開発内容③：

- 標準評価技術基盤の確立は様々な企業が利用可能な評価技術の開発であり、受託者自身の裨益が小さい協調領域の取組であるため、委託事業とする。

【社会実装に向けた支援】

CO₂分離回収技術に関する研究開発の成果を広く国内外に発信し、社会実装の加速に向けて国内外の資金や開発ニーズを呼び込むことを目的として、大阪・関西万博の活用を想定。

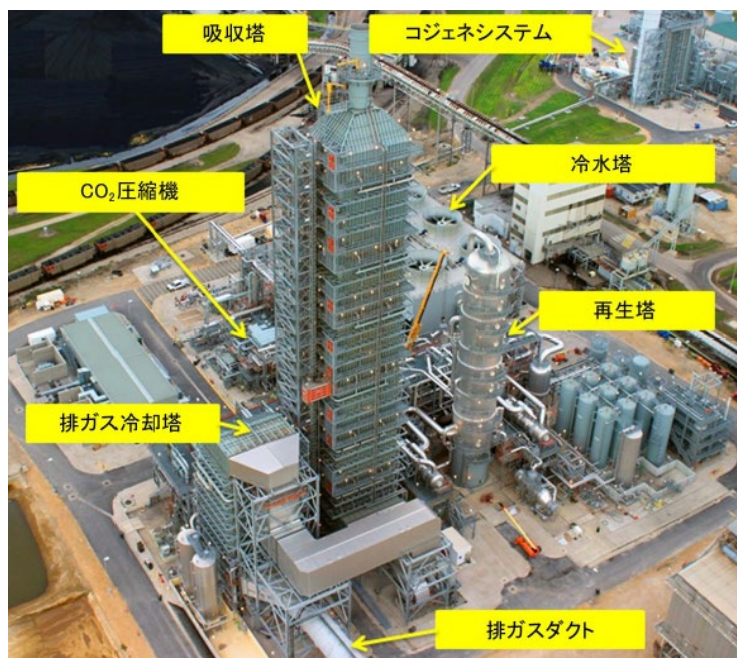
低濃度CO₂排ガスからのCO₂分離回収の技術課題

- 低濃度排ガスは処理するガスボリュームが増えるため、設備が大きくなり、また、ポンプなどの補機の消費エネルギーも大きくなってしまう。
 - － 設備の大型化を最小限にとどめるには、圧力損失を低減する設備設計等が必要となる。
 - － 補機のエネルギー効率の向上も必要となる。
 - 低濃度排ガスに対してCO₂回収を行うには、
 - (a)CO₂に対して吸収・吸着力のより強いCO₂分離素材を用いるか、
 - (b)それら素材の投入量を増やすか、いずれかが必要だが、両者ともCO₂の回収に多くのエネルギーを要してしまう。
 - － こうしたトレードオフを解消するには、アミン吸収法であれば、水の潜熱・顕熱をカットする新たな固体系の素材開発が必要であり、また、物理吸着法であれば、熱ではなく、圧力差によって再生を行う相変化型の素材開発が必要となる。
 - － 排熱、冷熱の有効活用など総合的なエネルギーマネジメントもより一層必要となる。また、電気スイング等の新たな分離技術への挑戦も必要となる。
 - 低濃度排ガスは、相対的に酸素濃度が高く、アミン等の素材の劣化が促進されるため、（材料入れ替えの）メンテナンスコストが増えてしまう。
 - － 酸化劣化に強い耐性を有する素材の開発が必要となる。
- ⇒ これらの課題を解決するためには、**低濃度排ガスに適したCO₂分離回収の基盤（材料）技術を確立**するとともに、複数の有望な技術方式（アミン吸収法、物理吸着法、膜分離法等）の特性を比較しつつ、**用途に応じて最適な技術を組み込んだシステムを構築**することが必要。

(参考) アミン吸収法の特徴と技術課題

- 実績も豊富で大量のCO₂分離回収に向く一方で、吸収したCO₂を回収するための熱エネルギーが大きいことが課題であり、新たな固体吸収剤等の開発が必要。

アミン吸収法の商用例

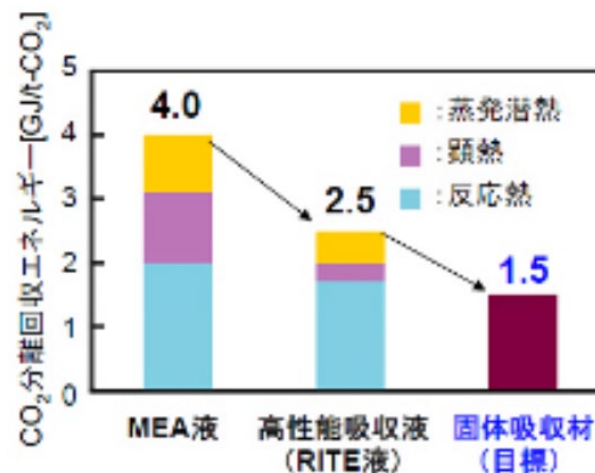
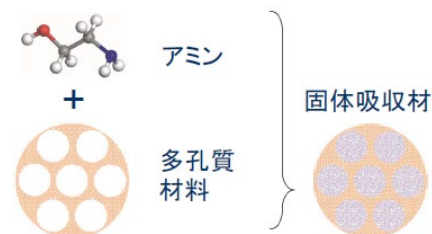


三菱重工エンジニアリング Petra Nova

出典：三菱重工技報 Vol.55

- ・世界最大の石炭火力排ガス処理プラント (4776t/d)
- ・独自のアミン吸収液 KS-1™
- ・蒸気/電気統合による省エネ設計

新規アミン吸収材の開発例



RITE 固体吸収剤

出典：RITE CO₂回収技術高度化事業ホームページ

- ・水の蒸発潜熱/顕熱をカットする新規固体吸収材
- ・分子設計したアミンと多孔材料の新規複合剤

(参考) 物理吸着法の特徴と技術課題

- 分離回収エネルギーが相対的に小さく、コンパクトな設計が可能であるという特徴があるが、吸着剤によっては水分の吸着阻害や寿命が短いことが課題。化学安定性が高く、低圧・低濃度でも吸収量が多い新規吸着剤の開発が必要。

高炉排ガスへの実証例

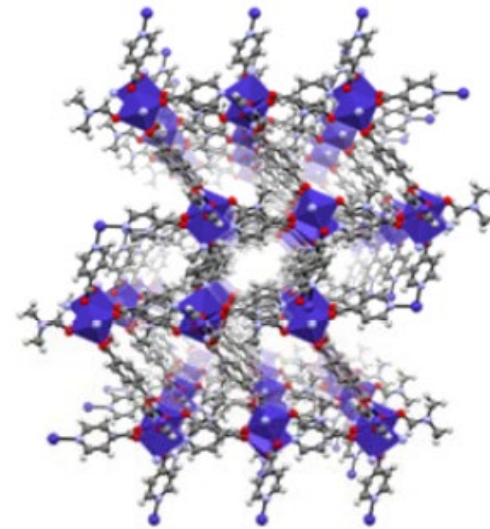


出典：NEDO COURSE50成果報告書

住友精化/JFE COURSE50 (2012)

- ・CO₂回収原単位129.7 kWh/t-CO₂達成
- ・化学吸収法との組み合わせにより、高濃度CO₂排ガスに対して2000円/t-CO₂達成に目処。

新規吸着材の開発例



Co-MOF 出典：立教大学プレスリリース (2020)

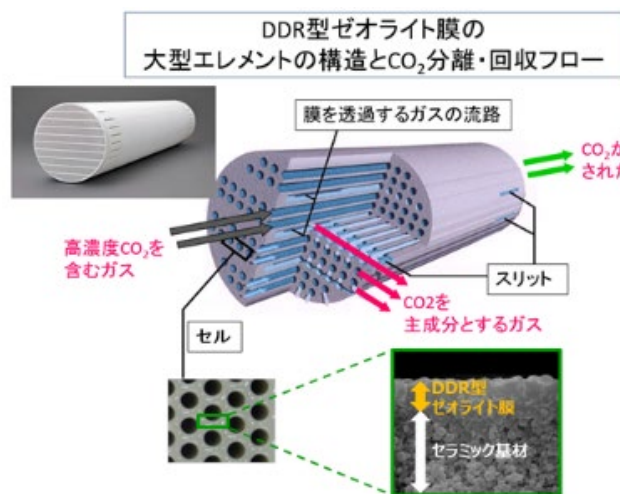
日本曹達/立教大学 (2020)

- ・イソニコチン酸を補助配位子とする新たな分子設計により、新規なCO₂吸蔵材料を開発。

(参考) 膜分離法の特徴と技術課題

- CO₂の選択的分離が可能であり、設備が簡易であるが、分離性能や安定性の向上が課題。微量不純物に対する安定性や分離性能に優れる新規分離膜の開発が必要。

ゼオライト分離膜

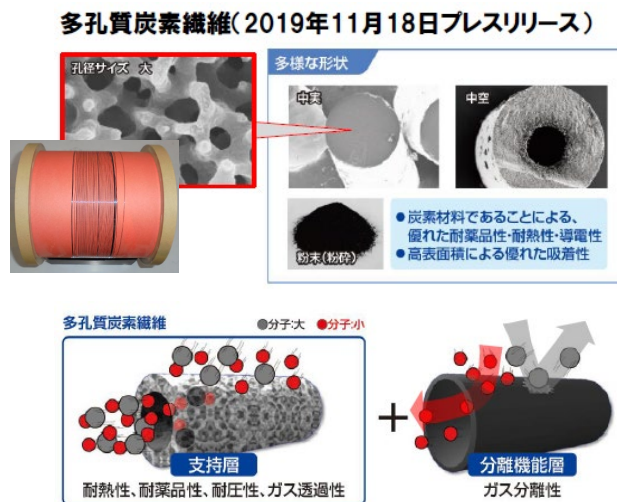


出典：日本ガイシプレスリリース資料 (2019)

日本ガイシ／日揮

- ・世界最大級のセラミックス製分離膜
- ・北米で随伴ガス実証開始(2019)

炭素系分離膜

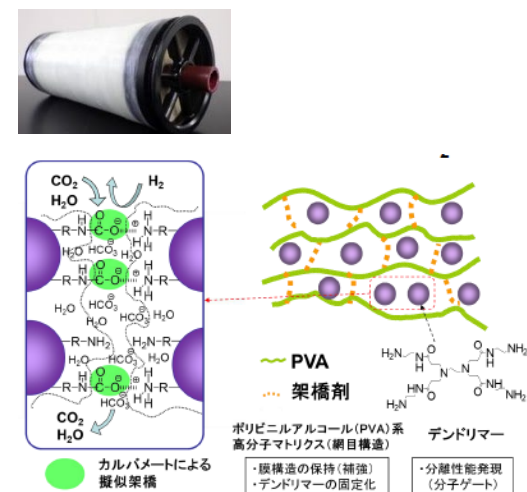


出典：東レプレスリリース資料 (2021)

東レ

- ・世界初の多孔質炭素繊維利用
- ・CO₂分離層との複合化

高分子分離膜



出典：RITE 革新的CO₂分離回収技術シンポジウム資料 (2020)

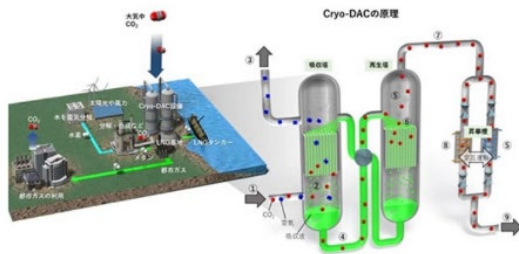
住友化学/RITE

- ・CO₂を選択的に透過する“分子ゲート機能”実現

(参考) その他のCO₂分離回収技術の例

- 前述の技術方式以外にも、有望な技術方式が存在。こういった技術活用の可能性も排除せず、幅広い技術を開発対象の候補とした上で、用途に応じて最適な技術を選択し、CO₂分離回収コストを下げていくことが重要。

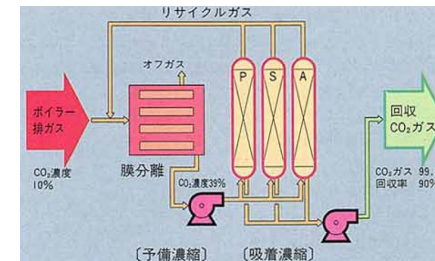
冷熱利用



- ・LNG冷熱によりCO₂を固化し、減圧を得る。減圧ポンプ動力不要となりCO₂回収エネルギーが低減。

東邦ガス／名古屋大学(2021) 出典：東邦ガスプレスリリース資料 (2021)

ハイブリッド法

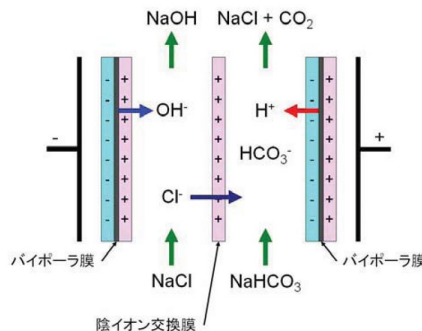


- ・膜分離(CO₂荒取り)と、物理吸着法(高濃縮)の併用により、CO₂回収エネルギーが低減。

中国電力

出典：中部電力技術開発ライブラリー58号

電気透析法

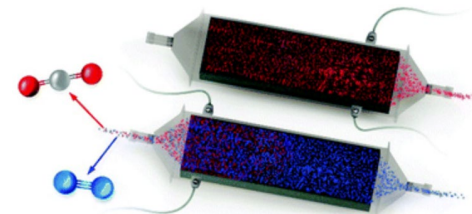


- ・イオン交換膜を用いた電気透析法によりCO₂を分離する。イオン交換膜のイオン抵抗の低減によりCO₂回収エネルギー低減が期待される。

成蹊大学／東京大学

出典：SCEJ 42nd Autumn Meeting 資料

電気スイング法



- ・導電ポリマーを被覆した電極のON/OFFによりCO₂を吸着/分離する。

MIT (2019)

出典：Energy Environ. Sci誌., (2019年), 12, 3530—3547

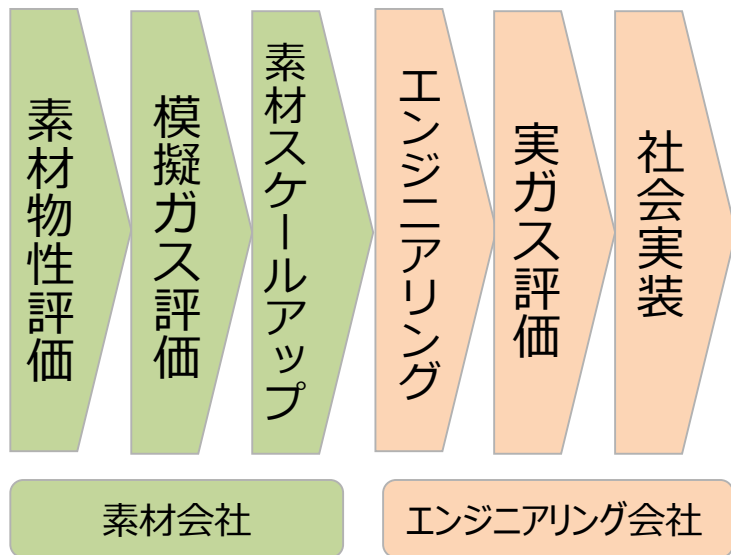
低濃度CO₂排出源の分類と技術選択の方向性（研究開発内容①②）

- 大規模排出源となる天然ガス火力（①）では、大量の排ガス処理が必要。アミン吸収法が中心的な技術候補。
- 工場等の中小規模の排ガス（②）は、その排出源毎に不純物などの成分が異なる上、設備設置スペース、利用できる熱などの条件も異なる。中小規模排ガスには、物理吸着法、膜分離法等や、それらのコンビネーション法等が技術候補になり、排出源毎に適材適所の技術を選ぶ必要。
- ①では1件程度、②では適用箇所と適用技術の組み合わせの中から社会実装の予見性と波及効果が高い案件を4件程度実施予定。ただし、要素技術開発から実ガス実証に移行するタイミングでステージゲートを設け、政策効果が期待出来ないものや、開発要素が類似するものについて、絞り込みを行う。

規模分類	排出源（例）		排ガス処理に求められる要件	技術選択（例）
①大規模	天然ガス火力発電所		大量排ガス処理	アミン吸収法
②中小規模	工場	ボイラー	小型化、廃熱利用	物理吸着法、膜分離法、コンビネーション法、他
	化学プラント	ナフサ分解炉	含水成分への対処	
	ガスプラント、素材産業	ガスエンジン、コジェネ	負荷変動対応、冷熱利用	
	素材産業	加熱処理炉	NOx等夾雑成分への対処	

CO₂分離回収性能評価における課題

- CO₂分離回収技術の開発には、(i)素材開発（素材会社）、(ii)エンジニアリング開発（エンジニアリング会社）、の連携が必要であるが、これまで事業者毎にCO₂分離回収の評価条件が異なるなど性能共有が円滑に進まない課題があった。
- また、実ガス評価は、素材メーカ、エンジニアリングメーカいずれにとってもガス入手の困難性などから実施が容易ではなく、その実施が遅れ、後になって素材の致命的な課題が顕在化するなど、手戻りが生じる課題があった。



- ・統一的な評価条件がない
- ・実ガス評価が困難

産業界の声

エンジニアリング会社

「様々な素材の提案を受けるが、評価条件が異なるために、優劣の判断がつかないことがある」

「海外に実ガス評価センターがあり、魅力的であるが、スケジュール通りに進まないなどの課題もある」

素材会社

「自社で基礎的な評価はできるが、実ガス評価はハードルが高い」

(参考) 海外での実ガス評価センターの動向

- 海外には公的な試験センターがあり、実ガス試験環境が整備されている。中国も当該技術支援を加速。大規模な試験環境を構築しつつある。
- 日本はCO₂分離回収の要素技術で先行するも、実ガス試験では海外に依存するケースも多く、日本のデータが流出し、主導権を奪われかねない状況。

国	米国		カナダ		ノルウェー	英国	豪州	中国
施設	National Carbon Capture Center ^{1,2}	Wyoming Intergrated Test Center ³	Shand Carbon Capture Test Facility ^{1,4}	CMC Research Institutes ⁸	Technology Centre Mongstad ^{1,5}	UKCCSRC PACT ⁶	PCC @CSIRO ⁹	Haifeng Carbon Capture Center ⁷
設立年	2009	2018	2015	2018	2012	2012	2005	2018
排出原	石炭 燃焼後排ガス	石炭 燃焼後排ガス	石炭 燃焼後排ガス	天然ガス火力 CO ₂ (to 25%) with impurities	天然ガス火力、 石油精製	石炭 燃焼後排ガス (天然ガス等 の各種排出源 に接続可能)	石炭 燃焼後排ガス	石炭 燃焼後排ガス
回収能力 tCO ₂ /day	< 20t/day	— (20 MW)	< 120t/day	< 1 t/day	~250t/day (12MW)	1 t/day (~150kW)	2-12 t/day	10-50 t/day

¹RITE 革新的環境技術シンポジウム2014 : <http://www.rite.or.jp/news/events/pdf/nakao-ppt-kakushin2014.pdf>

²NETL (Agreement Number : FE0022596) : <https://netl.doe.gov/project-information?p=FE0022596>

³Wyoming Intergrated Test Center : <https://www.wyomingitc.org/>

⁴Shand Carbon Capture Test Facility : <https://www.saskpower.com/Our-Power-Future/Infrastructure-Projects/Carbon-Capture-and-Storage/Shand-Carbon-Capture-Test-Facility>

⁵Technology Centre Mongstad : <https://tcmda.com/>

⁶UKCCSRC PACT : <https://pact.group.shef.ac.uk/facilities/>

⁷Global CCS Insitute. The Global Status of CCS 2018

⁸CMC Research Institutes <https://cmcgghg.com/ccci/facilities/>

⁹Cottrell et al. (2009) Post-combustion capture R&D and pilot plant operation in Australia <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.133>

CO₂分離回収技術の実ガス性能の統一的評価に向けて（研究開発内容③）

- 実ガスを用いてCO₂分離回収技術の性能を統一的に評価するためには、
 - ① 素材メーカーとエンジニアリング会社との連携体制を構築し、データを取得・集積すること
 - ② 標準的な性能評価手法（評価方法や評価項目等）を策定すること
 - ③ 加速劣化システムやシミュレーション技術を用いた耐久性評価手法を開発すること
 - ④ ②及び③で開発した評価手法を国際標準化すること、等が重要。

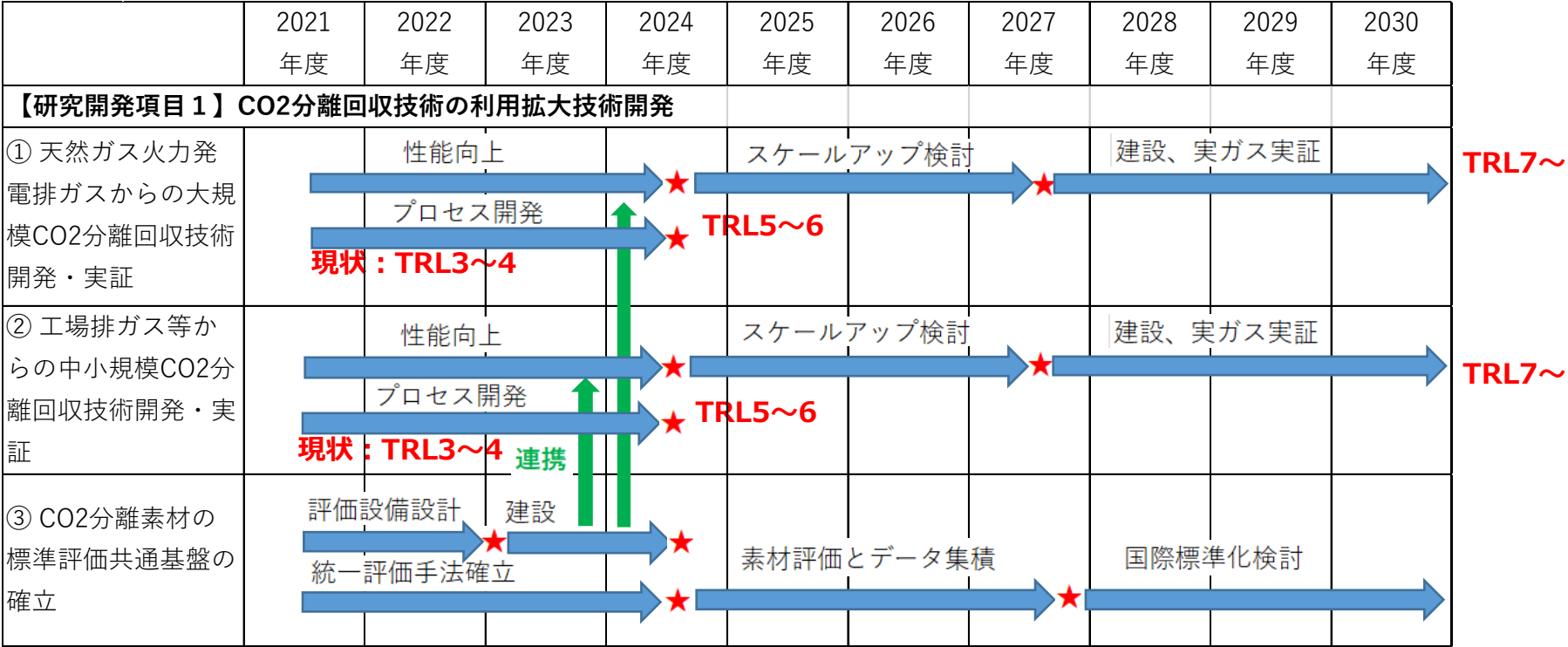
開発項目	取組内容	概要
①データ取得・集積	1-1.協議会の設置	情報共有のハブとして協議会を設置して素材／エンジニアリングメーカー等の連携体制を構築。 その上で、両者からデータを取得・集積。
	1-2.性能データ取得と集積	
②標準評価手法の策定	2-1. 評価指標の定義	評価指標を定義の上、標準評価材をベンチマークとして標準評価プロトコルを作成。 評価材の基礎物性を確認する標準ガス評価に加えて、実ガス評価を行うインフラ/体制を準備し、CO ₂ 分離技術に関する統一された評価手法を策定。
	2-2. 評価手順（プロトコル）の作成	
	2-3. 標準ガスの設定	
	2-4. 実ガスの設定	
③耐久性評価技術の開発	3-1. 加速劣化標準システム整備	シミュレーション技術も活用しながら、長期を要する耐久性評価を加速して実施できる評価技術を開発。
	3-2. シミュレーション技術構築	
④国際標準化 （上記②及び③）	4. 海外センターと連携、標準化推進	海外実ガスセンターと情報交換・連携を進め、優れた日本技術を広く海外に展開するために評価手法を国際標準化する。

関連プロジェクトとの連携について

- グリーンイノベーション基金において、関連するプロジェクトは以下の通り。
 - ◆ ⑦CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発
 - ◆ ⑧CO₂等を用いた燃料製造技術開発
 - ◆ ⑨CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発
 - ◆ ⑪廃棄物処理のCO₂削減技術開発
- 上記プロジェクトは、**分離回収されたCO₂を用いたカーボンリサイクル技術を2024年度以降に実証**する予定。
- 本プロジェクトでは、2024年度頃までに分離回収に必要な吸収剤等の要素技術を開発し、その後分離回収を目的としたスケールアップと実ガス実証を行う予定であるため、**上記関連プロジェクトの実証においても、本プロジェクトで開発した分離回収技術を活用することも検討**する（当然ながら、開発内容の重複は排除する）。また、事業を開始する段階において、実証地域等を調整し、異なるプロジェクトの実施者間でCO₂の受け渡しを行うといった連携も想定される。
- こうしたプロジェクト間の連携を徹底することで、本プロジェクトの開発成果の着実な社会実装を推進する。

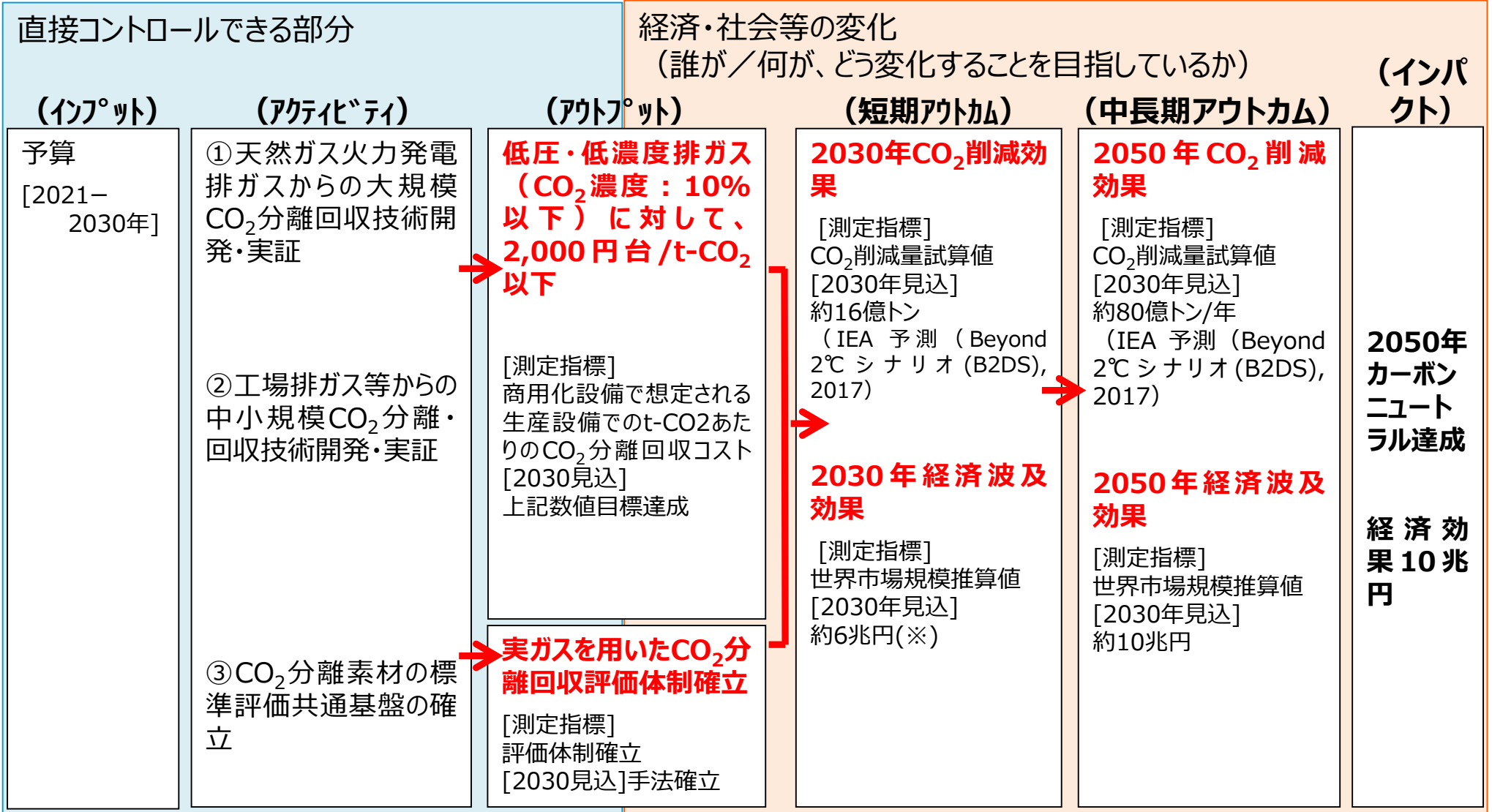
想定実施スケジュール（例）

- 具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、想定される一例は以下のとおり（2030年頃の商用化を想定）。
- 要素技術開発の進捗を踏まえ、スケールアップ検討、実ガス実証の実施の可否をステージゲートにて判断する。スケールアップ検討への移行のタイミングにおいて、事業者の追加公募も検討。



★：ステージゲート

CO₂の分離回収技術開発プロジェクトのロジックモデル



アウトプットの達成が、アウトカムの発現につながることを示すエビデンス
※レポートベースでのエビデンスを提示。FSを行った場合には結果に即した記載をする。

市場は、(分離回収コスト目標・予測 × ETP2017のB2DSにおける分離回収量) で試算。分離回収コストは日本、米国、中国のコスト目標・推定の平均値を用いた。