「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12月 経済産業省 産業技術環境局 資源エネルギー庁

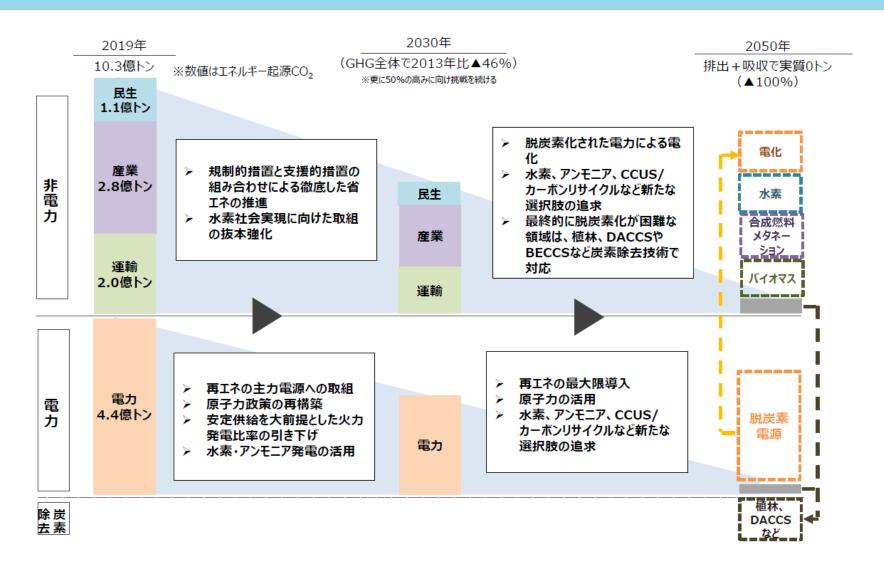
前回の委員御指摘等を踏まえた対応

- 9月13日開催の第6回エネルギー構造転換分野ワーキンググループにおける各委員及びオブザーバのご 指摘や、CO₂分離回収分野の有識者(早稲田大学 松方教授)からの御意見を踏まえ、<u>先日御提示</u> した研究開発・社会実装計画(案)を修正するとともに、同計画案に基づく予算規模を追記。
- アジアに関わらず、海外との連携が大事。国内事業者が海外に出てCCU等を行うこと等が想定される。**海外への事業展開を見据えたグローバルでの標準化等が必要。**(伊井委員) **P21**
- 技術開発だけでなく、ビジネスの試行錯誤も必要。スタートアップや中小企業が入りやすいような仕組みが必要。必要な法規制の見直しがあれば、現代風にアップデートする必要があるのではないか。EUでは一部の国がCCSに消極的で、CCSを認めないとなった場合、どのようにカウンターしていくかが重要。海外動向を見ながらプロジェクトを見直せるといい。(馬田委員) P20, 21, 22, 23, 48, 51
- 規制やある種の社会通念などが醸成されてくると、それに対する解決策としてカーボンマネジメントが理解され、使ってもらえるようになる。**企業側のニーズと大きな事業機会の提供の両面からステージゲート等で見ていってほしい。**(塩野委員) **P51**
- カーボンプライシングとのリンクをしっかり考えてほしい。化学吸収法について、アルカノールアミンを使う場合の課題は消泡、脱泡、腐食ではないかと思うので、本質を外さず考えてほしい。共通基盤をやるのは構わないが、そこで我々が欲しいのはコストだけ。コストエスティメーション出来る基盤を作ってほしい。なぜオキシフューエルとケミカルルーピングという、世界を今変えようとしている技術、CO₂回収並びにNO₂が出ないという画期的な燃焼法を取り上げないのか。(関根委員) P24, 40-43, 48, 49
- 各手法の改良と、組み合わせを探ることも重要で、組み合わせを考えるコンダクターが必要ではないか。研究開発①②でもユーザーやエンジニアリング会社を巻き込んで、中核的な役割を担ってもらうのが良い。(高島委員) P45
- 各開発技術別にCO2排出削減量を明示すべきではないか。CO₂削減量の大小が技術開発の重要度であり、投資・開発すべきかの判断につながる。(林委員) P51
- 実際の用途に合う回収技術を確立してほしい。**コンソーシアムを組んで進めたら良いのではないか。コスト以上にCO₂削減効果を見込めないといけない。削減効果も重視しながら進めてほしい。**(田村オブザーバ)P45,51
- 公的な試験センターが重要。知見のある国研の力を借りると良い。産官学の連携が大事。(今野オブザーバ) P48
- 一枚で説明できる「イノベーションマップ」のようなものがあるといい。(西口委員) P54
- DACの位置づけを明確にしてもらいたい。カーボンリサイクルはサーキュラーエコノミーの文脈で捉えることが重要。(松方教授) P4, 27

- 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
 - 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

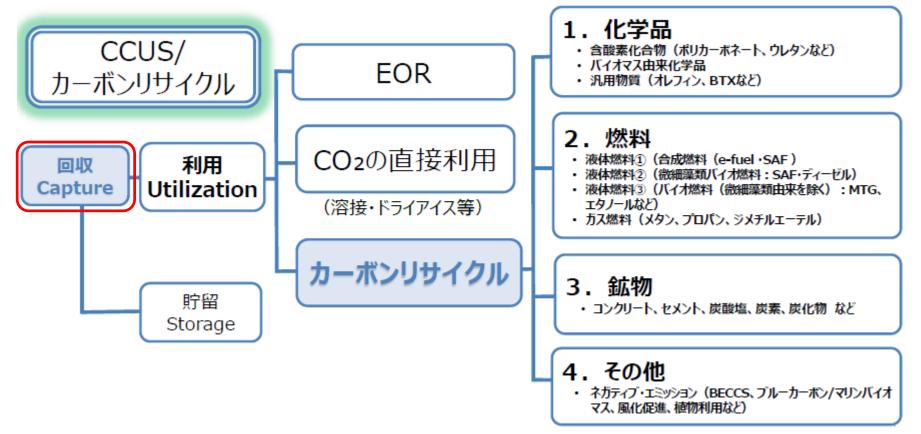
● 2050カーボンニュートラルに向けて、再エネ導入を最大限進めるとしても電力、産業部門等で不可避となるCO₂排出には、「CO₂分離回収」を最大限活用する必要。



カーボンリサイクルにおけるCO。分離回収技術の役割

修正 _{資4(p.3)}

- 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の利用はサーキュラーエコノミー実現に向 けた要素技術の一つとも捉えられる。
- 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。



カーボンリサイクル技術ロードマップ(令和3年7月改訂) 資料より図を抜粋

(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。
 - <u>電力部門の脱炭素化は大前提</u>。
 - → 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、「<u>水素化</u>」、「<u>CO2回収</u>」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
 … **雪動化**、バイオ燃料、水素燃料

 業務・家庭
 電化、水素化、蓄電池活用

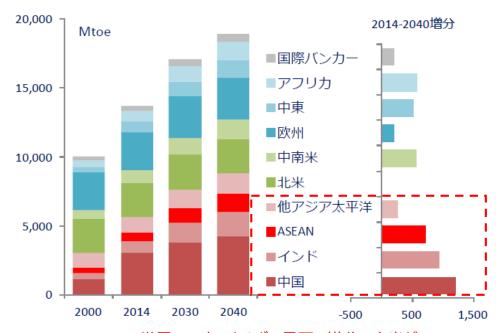
→ 水素産業、自動車・蓄電池産業、運輸関連産業、住宅・建築物関連産業を成長分野に。

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

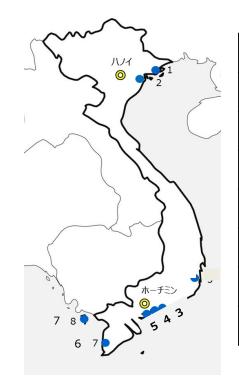
- 電力需要が急拡大するアジア太平洋地域では、再エネの導入も進むが、依然として、化石燃料が供給給を支える重要な電源と予想されている。
- 特に、未だ電力アクセスが低く、安価な電気を要する東南アジアでは、主力電源及び再生可能工え ルギーの出力変動に対応する観点からも、将来的に天然ガス火力 + CCSの需要が増える可能性。

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	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

億t-CO₂/year 40億トン/年の 76億トン/年の CO。分離回収 CO。分離回収 350 建築 300 運輸部門 250 200 産業部門 150 100 発電部門 50 0 2050 2020 2025 2030 2035 2040

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

	CO2排出分野	2020	2030	2050	
化石	火力	3	340	860	
燃料	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	火力	1	90	570	
イ オ 燃	産業	0	15	180	
料	バイオ燃料製造	0	150	625	
	DAC	0	70	630	

出典: https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050

(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CO,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。

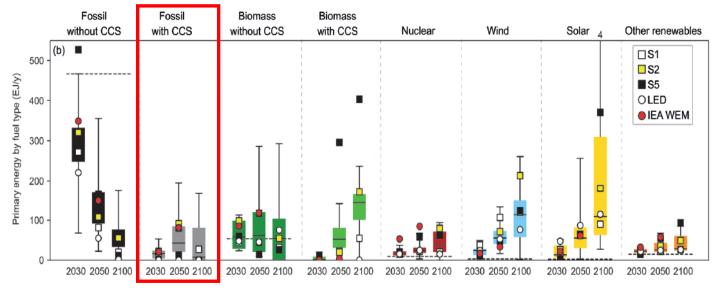
2050年CO₂ネットゼロシナリオにおける CO₂分離回収量の分布(出典1)

億t-CO₂/year 100

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

IEA NZEシナリオ

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)



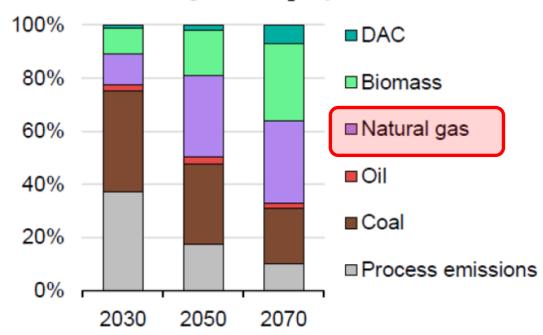
一次エネルギー量は、最大値及び最小値(ヒゲ)、四分位範囲(箱)、中央値(黒い横棒)で示される。水平の黒 い点線は2015年時点の一次エネルギー量を示す。

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)

Fuel shares of global CO₂ capture



2050年時点で、 CO_2 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 CO_2 量は20億トン超が 見込まれる)。

出典: Energy Technology perspective 2020, IEA (2020)

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CO。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。

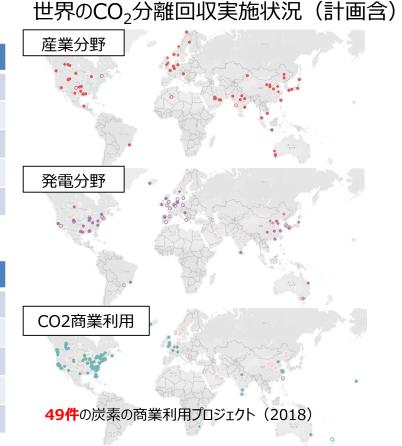
現在操業中の海外のCO。分離回収プロジェクト例

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CO。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	X	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



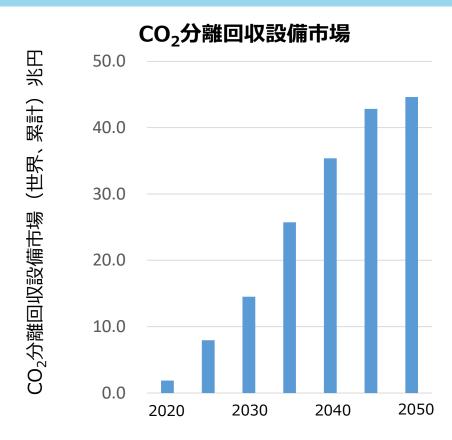
出典: Carbon Capture Project Map (2018)

CO。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 12 (世界) 兆円/年 10 6 経済波及効果 0 2020 2030 2040 2050

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。



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
- 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

CO。分離回収の社会実装シナリオ(排出源別)

- 低濃度 CO_2 排ガス(石炭→ガス)からの CO_2 分離回収、及び、長期的には大気からの CO_2 分離回収(DAC)が牽引することで、 CO_2 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。



12~14%CO₂

地下貯留(CCS,EOR)





CO2

※天然ガス複合サイクル火力発電(NGCC)のケース

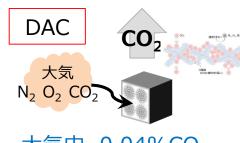
カーボンリサイクル/CCUによるグリーン製品

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。



7~9% CO₂※ナフサ中来の可燃ガスを燃料とする工業炉のケース



大気中 0.04%CO₂

14

2020 2030 2040 2050

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。

安価な再エネ/水素

海外CCU(燃料等)

- ・安価な再エネ、安価な水素をベースに 燃料等のCCU市場が海外で立ち上がる。
- ・海外での事業拡大を想定。

国内CCU(燃料等)

・再エネ価格、水素価格低減と 共に国内でもCCUが拡大。

15

国内CCU(化学品等)

- ・水素不要の用途等で国内CCUが立ち上がる
- ・化学品等(ポリカーボネート、ポリウレタン 含酸素化合物等)

CO₂分離回収社会実装拡大

国内外CCS/EOR

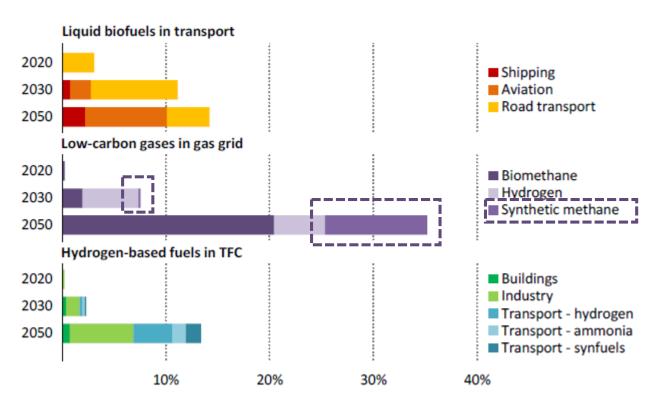
CO₂分離回収技術開発(低コズト化)

2020 2030 2040 2050

(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Lowcarbon 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)



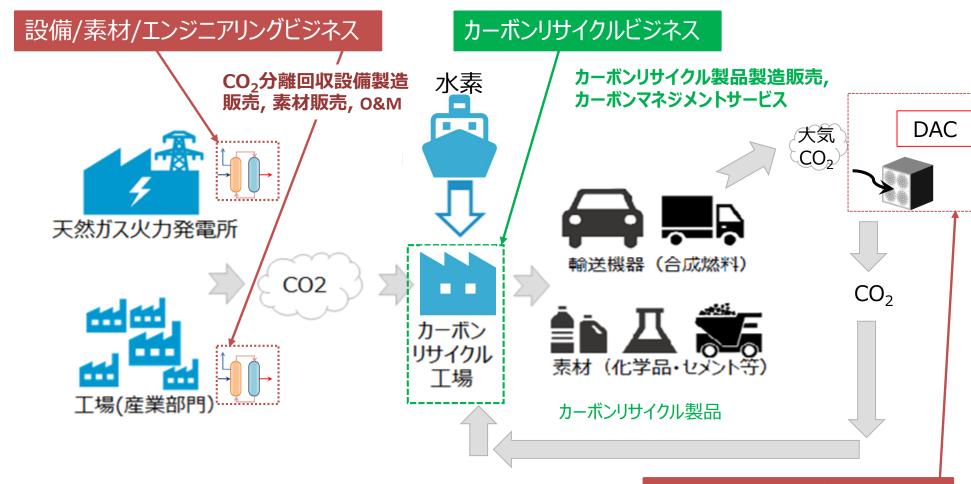
 CO_2 分離回収 \downarrow $CO_2 + H_2 \rightarrow G$ 成メタン IEAは2030年には合成メタンの導管注入が顕在化、2050年にはLow-carbon gasの内約3割を占めると予測。

→ CCU分野で一大 産業に成長すると予測

出典: IEA Net Zero by 2050資料より抜粋

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。

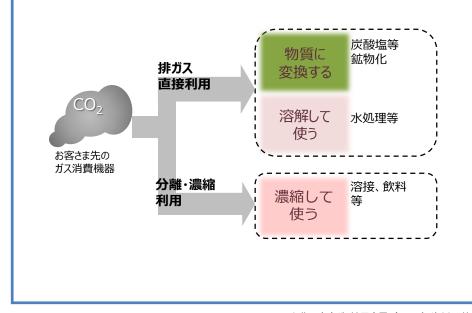


(参考) カーボンマネジメントの構想例

● 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。

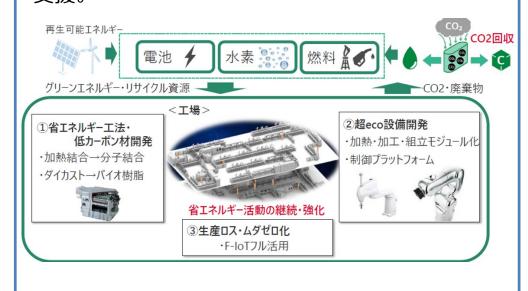
都市ガス需要家先でのカーボンリサイクル

- ・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。



出典:東京ガス社長会見(11/30)資料より抜粋

出典:「DENSO DIALOG DAY 2021 |説明資料より抜粋

日本企業のCO。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 CO_2 濃度10%以下の CO_2 分離技術開発を推進することで、 CO_2 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</u> 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。	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。物理吸着システム設備に特段の優劣はないが、CO ₂ 吸着剤では日本メーカに存在感あり欧米でも採用実績。	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、 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。	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

19

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。スタートアップの参画も期待される。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(スタートアップ参画も期待) 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 (スタートアップ参画も期待)
ビジネスモデル (マネタイズ)	 1CO₂分離素材販売 (吸収材、吸着材、分離膜) 2CO₂分離回収設備販売 3CO₂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CO₂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CO ₂ 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)

CO。分離回収の産業化に向けた視座

<u>修正</u> _{資4(p.6,7)}

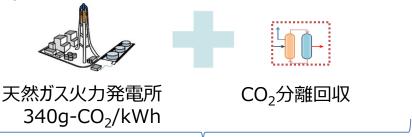
- 多様なCO₂排出源(低濃度排ガス、様々な排出規模)に対してCO₂分離回収費用の低減を図る ことでCO₂分離回収の適用範囲が拡大。
- プラント、素材などの既存産業に加え、新たにCO₂をマネジメントするサービスビジネス等が加わり、 CO₂分離回収産業が多層的に発展。
- カーボンリサイクル製品が普及するには、炭素削減価値が市場評価される仕組み(カーボンプライシング)が必要。CO₂分離性能評価技術の標準化も産業拡大に寄与。

項目	内容
技術開発	多様な CO_2 排出源(低濃度排ガス、様々な排出規模)に対する CO_2 分離回収費用の低減は、 CO_2 分離回収の適用範囲拡大に資する。 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。
産業の多層化	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>CO</u> 2 排出削減をマネジメントするサービスビジネスの拡大を促すことで、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) (法規制) (税制)	現状では、CO2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炭素 削減価値が市場評価されることが必要。カーボンリサイクル製品の炭素削減価値を正 しく評価するLCAの評価手法確立とともに、効果的なカーボンプライシングの制度設 計、二国間クレジットの活用、減税措置の導入等により、カーボンニュートラルに資する 形でCO2分離回収産業を発展させることが重要。また、国内素材、プラント性能の優 位性を世界での市場形成に繋げるため、CO2分離性能の評価技術の国際標準化 も必要。必要に応じ、技術開発の動向にあわせ障壁となる法規制の最適化を検討。

CO₂分離回収事業の世界展開に向けては、海外における国家、連邦等の様々なレベルでの様々な動きにも留意し、外部専門家の知見も取り入れ、その影響(機会とリスク)を見極めることが重要。必要に応じ、プロジェクトの見直しにも適切に取り組む。

海外動向例:欧州での天然ガス火力の扱い

- 欧州委は準備中の「EUタクソノミー」において、一定の条件を満たすガス火力発電所を「持続可能な投資」に分類することを、3月20日に欧州連合(EU)加盟国に提示したドラフトで提案。ライフサイクル全体での排出量が100g-CO2/kWh未満であることが「持続可能な投資」と認定されるための条件。
- このルールが成立すれば、実質的には天然ガス火力にCO₂ 回収システムを装備する必要があることを意味する。こうし た動向には注視が必要である。



「EUタクソノミー」適合? 100g-CO2/kWh未満

海外動向例:ドイツでのCCSの扱い

- ドイツでは、CCSは貯留量が4Mtpa CO₂に制限される上、さらには連邦の5つの州ではCCSが禁止されており、これまでCCSに対して消極的であるとみなされてきた。
- 一方、2019年12月に欧州委員会に提出した 「Climate Action Plan」では、これまでCCSに反対 してきたドイツ市民への配慮を見せた上で、産業のイノ ベーションと脱炭素化に関連し、CCS、CCUSへの取 組みに前向きな姿勢を見せている。
- ドイツでの事業展開においては、こうしたCCS、 CCUSの動向に注視が必要。

(日本の取組は次項参照)

追加

- 第6次エネルギー基本計画にCCS事業化に向けた環境整備の検討等について明記。
- CCSについては、技術的確立・コスト低減、国内外の適地開発や事業化に向けた環境整備をするため、 長期のロードマップを策定する。
- 第6次エネルギー基本計画(令和3年10月)
- 4. 2050年カーボンニュートラル実現に向けた課題と対応
- (3)電力部門に求められる取組
- ③水素・アンモニア・CCS・カーボンリサイクルにおける対応

CCSについては、技術的確立・コスト低減、適地開発や事業化に向けた環境整備を、長期のロードマップを策定し関係者と共有 した上で進めていく。CCSの技術的確立・コスト低減に向け、分離回収技術の研究開発・実証を行うとともに、貯留技術や、モニタリングの精緻化・自動化、掘削・貯留・モニタリングのコスト低減等の研究開発を推進する。また、低コストかつ効率的で柔軟性のあるCCSの社会実装に向けて、液化CO2船舶輸送の実証試験に取り組むとともに、CO2排出源と再利用・貯留の集積地とのネットワーク最適化(ハブ&クラスター)のための官民共同でのモデル拠点構築を進めていく。

また、<u>CCSの社会実装に不可欠な適地の開発については、国内のCO2貯留適地の選定のため、経済性や社会的受容性を</u> 考慮しつつ、貯留層のポテンシャル評価等の調査を引き続き推進する。また、海外のCCS事業の動向等を踏まえた上で、国内のC CSの事業化に向けた環境整備等の検討を進める。

- 5. 2050年を見据えた2030年に向けた政策対応
- (7) 火力発電の今後の在り方

(中略)

また、CCUS/カーボンリサイクルについては、2030年に向けて、技術的課題の克服・低コスト化を図ることが不可欠であり、<u>CSの商用化を前提に2030年までに導入することを検討するために必要な適地の開発、技術開発、輸送実証、事業環境整備、できるだけ早期のCCSReady導入に向けた検討に取り組むなどCCUS/カーボンリサイクルの事業化に向けた環境整備を推進する。これらの取組を通じて、安定供給に必要な設備を維持しつつ、火力発電由来のCO2排出量を着実に削減する。</u>

産業化に向けた政策支援の全体像

修正 _{資4(p.6)}

【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

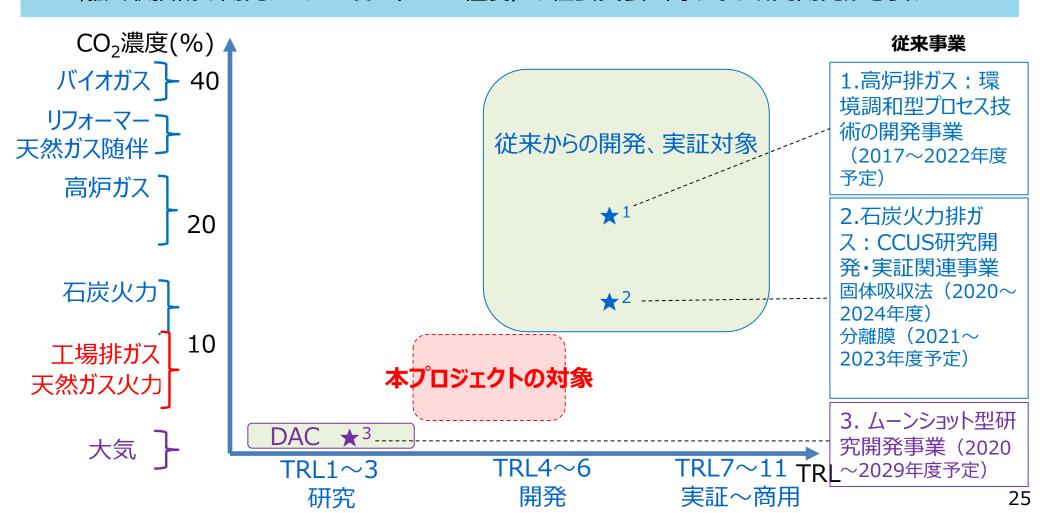
- 国内素材、プラント性能の優位性をもって海外での市場拡大に繋げるため、標準的なCO₂分離 評価技術を確立し、国際標準化を推進
 - ▶ 2030年までに、実ガスを用いた標準的なCO₂分離評価技術確立、国際標準化

【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。
 - ▶ カーボンプライシングについては本プロジェクトも踏まえた議論を行う
- 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

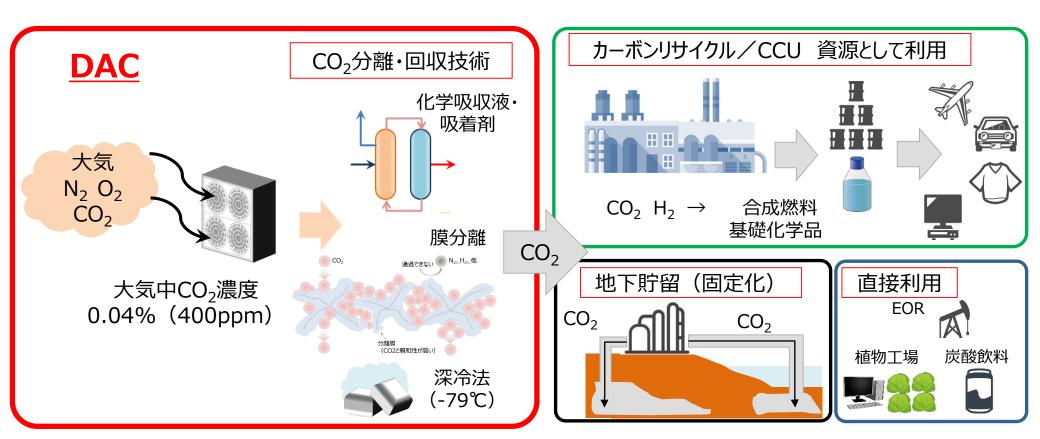
(参考) CO2分離回収技術開発を行う既存事業との関係性

- 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 $\sim 10\%$ 以下の低濃度排ガスに対する低コストな CO_2 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CO₂を直接分離し、回収する技術。CO₂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CO₂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。



(補足)ムーンショット型研究開発事業でのDACの取組

- 現在の技術でDACを実現するには、大量のエネルギー投入が必要でCO₂削減効果が小さいことや、非常に高コストであることなど、多くの課題が存在。
- 2050年までに商業規模のプラントや製品を世界的に普及させることを目標に、挑戦的な研究開発を推進。



ムーンショット目標 4 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 (研究開発プロジェクト1) 温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術の開発

当初配分額 76.6億円/3年

	研究開発プロジェクト	PM	委託先
1	電気エネルギーを利用し大気CO2を固定する バイオプロセスの研究開発	加藤 創一郎(産総研)	産業技術総合研究所、東京工業大学、名古屋大学
2	大気中からの高効率CO ₂ 分離回収・炭素循環 技術の開発	児玉 昭雄(金沢大)	金沢大学、公益財団法人地球環境産業技術研究機構
3	電気化学プロセスを主体とする革新的CO2大 量資源化システムの開発		東京大学、大阪大学、理化学研究所、宇部興産株式会社、清水建設株式会社、千代田化工建設株式会社、古河電気工業株式会社
4	C ⁴ S研究開発プロジェクト	野口 貴文(東京大)	東京大学、北海道大学
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	則永 行庸(名古屋大)	名古屋大学、東邦瓦斯株式会社、東京理科大学
6	大気中CO2を利用可能な統合化固定・反応系 (quad-C system) の開発	福島 康裕(東北大)	東北大学、大阪市立大学、株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ
7	憶ンプステハ(/)研究開発		九州大学、熊本大学、北海道大学
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	 南澤 究(東北大) 	東北大学、農業・食品産業技術総合研究機構、東京大学

1. 本プロジェクトの背景

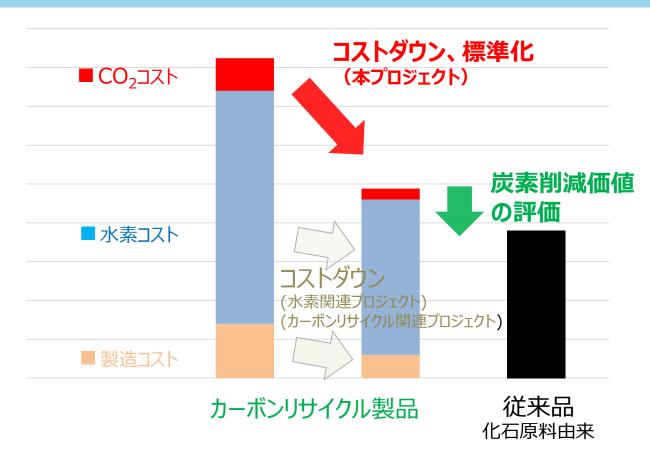
- ー カーボンニュートラル社会における「CO₂分離回収」の位置付け
- 産業化に向けた道筋と必要な政策支援の全体像

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、それぞれを本基金を通じて支援。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。



CO。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。

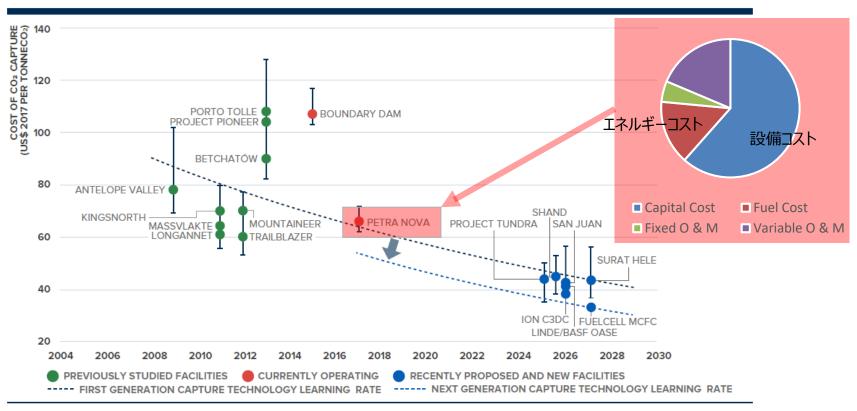


FIGURE 8 LEVELISED COST OF CO2 CAPTURE FOR LARGE SCALE POST-COMBUSTION FACILITES AT COAL FIRED POWER PLANTS, INCLUDING PREVIOUSLY STUDIED FACILITIES

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

CO。濃度10%以下

天然ガス火力

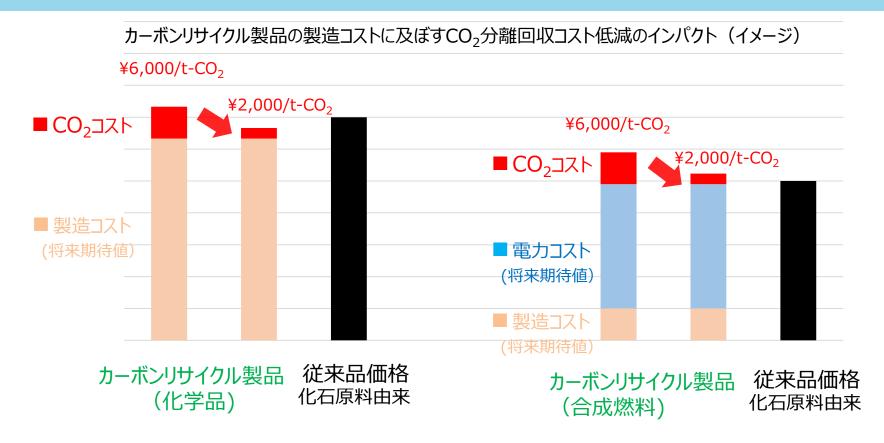
工場排ガス、等

(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有り、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。



- 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
 - 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→2/3補助)

天然ガス火力発電排ガスにおける CO_2 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、 CO_2 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 CO_2 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→2/3補助)

工場等においては、様々な場所での CO_2 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 CO_2 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)

 CO_2 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、 CO_2 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(TRL3~4)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CO。排ガスからのCO。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)COっに対して吸収・吸着力のより強いCOっ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。

(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

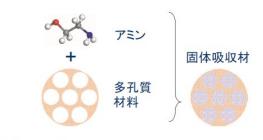


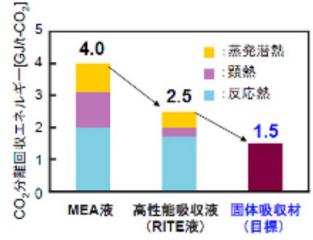
三菱重工エンジニアリング Petra Nova

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大きい新規吸着剤の開発が必要。

高炉排ガスへの実証例

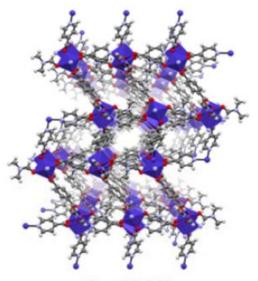


出典: NEDO COURSE50成果報告書

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 CO_2 排ガスに対して2000円/t- CO_2 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 CO_2 吸蔵材料を開発。

(参考) 膜分離法の特徴と技術課題

CO₂の<u>選択的分離が可能</u>であり、設備が簡易であるが、<u>分離性能や安定性の向上が</u>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

DDR型ゼオライト膜の 大型エレメントの構造とCO2分離・回収フロー 膜を透過するガスの流路 CO2が除去されたガス 高濃度CO2を 主成分とするガス

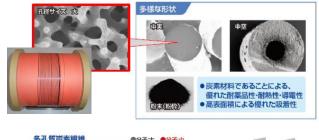
出典: 日本ガイシプレスリリース資料 (2019)

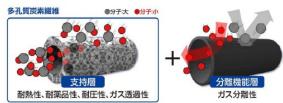
日本ガイシ/日揮

- ・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

多孔質炭素繊維(2019年11月18日プレスリリース)



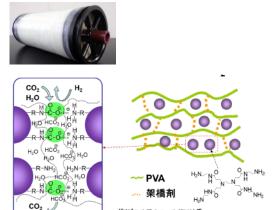


出典: 東レプレスリリース資料 (2021)

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



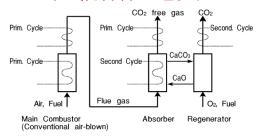
出典: RITE 革新的CO2分離回収技術シンポジウム資料 (2020)

住友化学/RITE

CO₂を選択的に透過する"分子ゲート機能"実現

● 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。

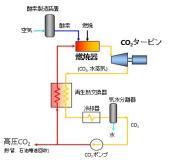
ケミカルルーピング



新潟大学 出典:http://tshimizu.eng.niigata-u.ac.jp/activ15.pdf

・CaOによる CO_2 の固定と燃料の純酸素燃焼による $CaCO_3$ の熱分解等を組み合わせることでエネルギー効率が向上。

オキシフューエル法



東芝エネルギーシステムズ(2018) 出典: https://www.toshiba-energy.com/info/info2018_0615.htm

・酸素を燃焼させ、 CO_2 を高濃度にして分離。 タービン開発が必要だが、酸素分離に必要な 電力は相対的に低く、エネルギー低減が可能。

冷熱利用

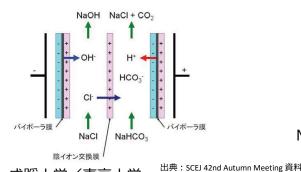


東邦ガス/名古屋大学(2021)

出典:東邦ガスプレスリリース資料 (2021)

・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。

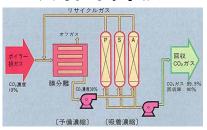
電気透析法



成蹊大学/東京大学

・イオン交換膜を用いた電気透析法により CO_2 を分離。イオン交換膜のイオン抵抗の低減により CO_2 回収エネルギー低減が期待。

ハイブリッド法



中国電力 出典:中部電力技術開発ライブラリー58号

・膜分離(CO_2 荒取り)と、物理吸着法 (高濃縮)の併用により、 CO_2 回収エネルギーが低減。

電気スイング法



MIT (2019)

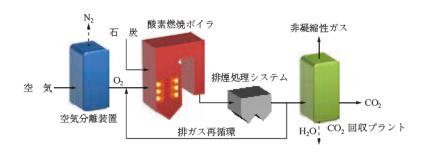
出典: Energy Environ. Sci誌., (2019年), 12, 3530--3547

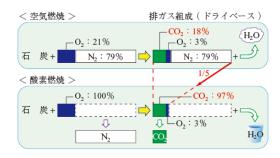
・導電ポリマーを被覆した電極の ON/OFFにより CO_2 を吸着/分離する。

(補足) オキシフューエル法によるCO2分離回収

- オキシフューエル法は、化石燃料を酸素燃焼させることで排ガス中のCO₂濃度を高め、 CO₂分離の低エネルギー化が可能(必要動力は空気分離+CO₂圧縮液化のみ)。これまで主に、石炭火力に対して実証がなされてきた状況。
- ▼ 天然ガス火力に対しては、CO₂タービンの商用化がまだ実現できていない状況であるが、 タービン実現の場合には低エネルギーでのCO₂分離回収の方法となる可能性がある。

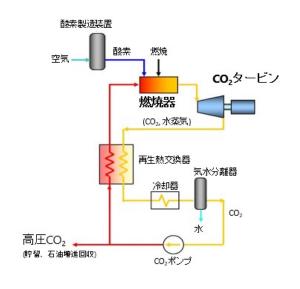
石炭火力における実証構成例(IHI)





出典:IHI技報告 Vol.55 No.4 (2018)

天然ガス火力における実証構成例 (東芝エネルギーシステムズ)

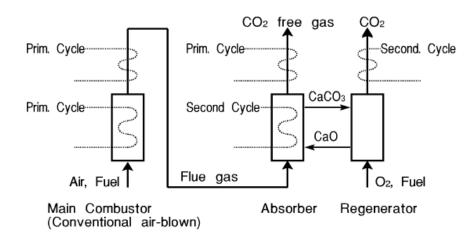


出典: 東芝エネルギーシステムズホームページ https://www.toshiba-energy.com/info/info2018_0615.htm

(補足) ケミカルルーピング法によるCO2分離回収

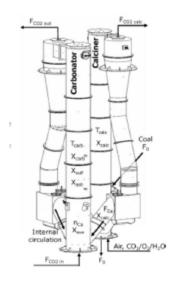
- ケミカルルーピング法の一例では、金属酸化物との反応でCO₂を反応固定し(炭酸塩化)、得られた炭酸塩は加熱により再生する(CO₂を脱離)。発電システムと組み合わせることで、炭酸塩化反応の発熱エネルギーを回収し、エネルギー効率を高めることが可能。
- 金属酸化物を流動床として使う場合には、金属酸化物の摩耗・粉塵の発生や、CO₂反応槽への炭素持ち込みによるオフガス中へのCO₂コンタミなどの課題がある。

ケミカルルーピングの構成例(新潟大学)



CaOとの反応で炭酸塩化されて固定されたCO₂は加熱により脱離され回収される。

火力発電とのインテグレート構成例(スペイン)





出典: Energy Procedia 114 (2017) 149 - 157

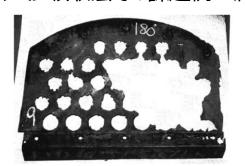
出典: http://tshimizu.eng.niigata-u.ac.jp/activ15.pdf

(補足) CO₂分離回収技術の整理

- CO₂分離回収技術の選択にあたっては、各種方法の特徴と課題を見極める必要がある。
- その開発においては本質的な課題を見逃さない対応が必要。例えば、アミン吸収法では、アミンによる配管腐食が課題の一つである。

	アミン吸収法	物理吸収法	物理吸着法	膜分離法	深冷分離法	オキシフューエル法	ケミカルループ 法
原理	化学反応	物理吸収	物理吸着	透過	液化+蒸留	酸素燃焼+液化	化学反応(金 属酸化物)
分離駆動力	温度差	分圧差	圧力差(PSA) 温度差(TSA)	分圧差	相変化	相変化	相変化
特徴	大型向き 低圧ガス向き	大型向き 高圧ガス向き 高濃度ガス向き	適用範囲大 高純度化可 コンパクト設計	小型向き 高圧ガス向き コンパクト設計	大型向き 高濃度ガス向き 高純度化可	高エネルギー効率	高エネルギー効 率 (発電とのイ ンテグレート)
課題	再生熱量大 吸収液劣化 腐食、発泡	吸収液劣化	吸着剤劣化 吸湿性	膜コスト、不純 物による劣化	設備費大	ガスタービン未商用	酸化物劣化·粉 塵
技術レベル	商用 (高濃度)	商用 (高濃度)	商用 (高濃度)	商用(荒ど り)〜実証 (高濃度)	実証 (高濃度)	実証(高濃度)	実証(高濃度)

アミン吸収法での課題例:腐食



運転開始1年後の開放検査により、吸収塔底部、熱交換器チューブ内面、再生塔の中央部を中心にSUS304の全面腐食という特異な腐食の発生が確認された例(アミン: Diglycolamine)

腐食が起きると腐食生成物が系内を汚染し、溶液の発泡傾向が高まる。その結果、溶液の流れの不均一化により、特定の場所で腐食が急速に進行することとなる。発泡抑制の目的で添加された消泡剤が系内の高温部で分解し、ファウリング、発泡、腐食問題をさらに悪化させるという悪循環に陥る。

出典:清水ら(INPEX)、材料と環境, 65, 365-368(2016)

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、	
	化学プラント	ナフサ分解炉	含水成分への対処	膜分離法、 コンビネーション	
	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	法、他	
	素材産業	加熱処理炉	NOx等夾雑成分への対処		

プロジェクト組成の考え方(研究開発内容①②)

追加 資4(p.15,16)

- 本プロジェクトは、低コストなCO2分離回収技術の確立のみならず、スケールアップ、および天然ガス 火力発電あるいは工場からの大型実証(10t/d以上もしくは0.5t/d以上)を目指すものである ので、実施体制の構築においては、社会実装を見据えた研究開発体制の構築が重要。
- プロジェクト応募に当たっては、社会実装時の事業の関係性も考慮の上、素材会社、エンジニアリング会社、及びCO2排出事業者等に可能な範囲でコンソーシアムを組んだ共同提案を求めることで、社会実装に向けたエンジニアリング検討が迅速に行われるとともに、エンジニアリング及び排出事業者の目線で最適なCO2分離回収技術が選択・開発されることを期待。

コンソーシアム

素材会社、素材系スタートアップ

エンジニアリング会社

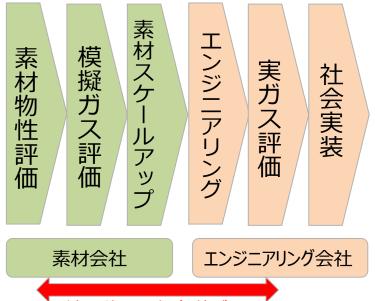
CO。排出事業者(電力、ガス、産業)

<期待される役割>

- 革新素材の開発
- ・エンジニアリング検討 (コンダクター)
- ・プロセス設計
- カーボンリサイクルを見据えた検討

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。

<u> </u>	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	天然ガス炊き ボイラ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

LRITE 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/

⁴ Shand 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

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

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)

資4(p.17)

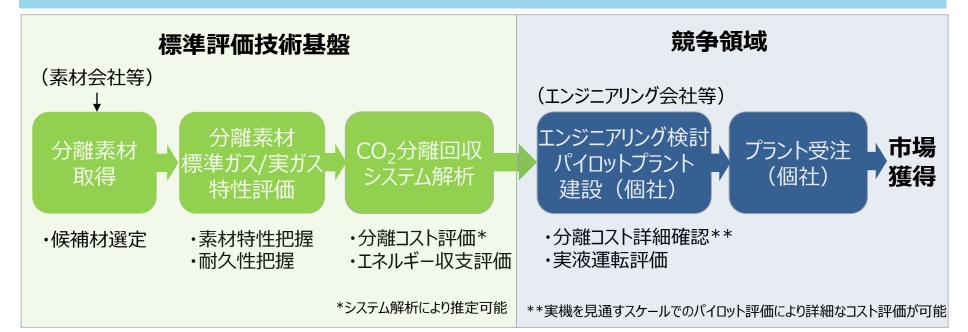
- 実ガスを用いてCOっ分離回収技術の性能を統一的に評価するためには、
 - ① 素材メーカとエンジニアリング会社との連携体制を構築し、データを取得・集積すること
 - ② 標準的な性能評価手法(評価方法/項目等)を策定すること (知見ある国研などの参画も想定)
 - ③ システム解析等によりCO。分離回収コストの評価を行う手法を開発すること
 - ④ 加速劣化システムやシミュレーション技術を用いた耐久性評価手法を開発すること
 - ⑤ ②~④で開発した評価手法の国際標準化を推進すること、等が重要。

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等の連携体制を構築。		
	1-2.性能データ取得と集積	その上で、両者からデータを取得・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		
	2-2. 評価手順(プロトコル)の作成	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		
	2-3. 標準ガスの設定	行うインフラ/体制を準備し、CO2分離技術に関する		
	2-4. 実ガスの設定	統一された評価手法を策定。		
③コスト評価	3.CO2分離回収コストの評価	標準評価手法で得られたデータを用いて、システム 解析等によりCO2分離回収コストを推定する		
④耐久性評価技術の開発	4-1. 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		
	4-2. シミュレーション技術構築	耐久性評価を加速して実施できる評価技術を開発。		
⑤国際標準化 (上記②~④)	5. 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の国際標準化を推進する。		



(補足)標準評価技術基盤におけるCO2分離回収コストの評価

- ◆ 分離素材に対して実ガス評価で得られたCO₂分離回収特性データをもとに、システム解析を用いてCO₂分離回収コストの評価を行う。これにより、低コストなCO₂分離技術のスクリーニングが可能となる。
- 有望な素材は、それに興味を示すエンジニアリングメーカに引き渡され、各社のエンジニアリング検討・パイロットプラント評価を経て、CO₂分離回収技術として完成され、市場獲得が円滑に進むことを期待。
- 標準評価基盤でのプロセスと、その後のエンジニアリング会社等によるプロセスとが断絶しないよう有機的な連繋を図ることが重要。またプロセス内でのデータ流通が円滑化するようデジタル化に努める。

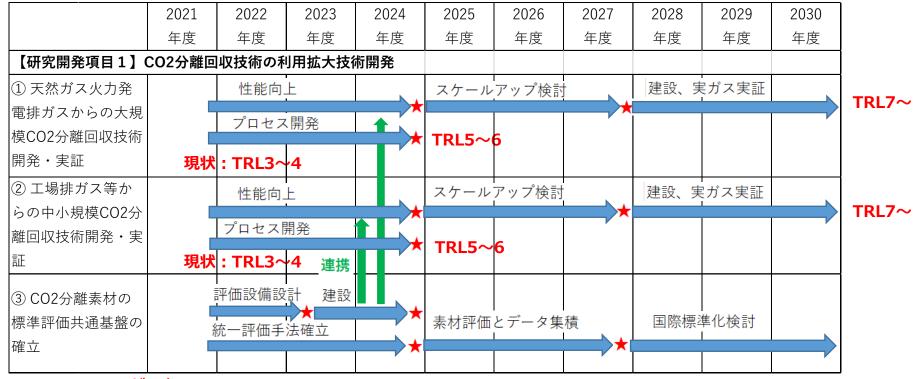


- グリーンイノベーション基金において、関連するプロジェクトは以下の通り。
 - ◆ ⑦CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発
 - ◆ ®CO₂等を用いた燃料製造技術開発
 - ◆ 9CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発
 - ◆ ⑪廃棄物処理のCO₂削減技術開発
- 上記プロジェクトは、分離回収されたCO₂を用いたカーボンリサイクル技術を2024年度以降に実証する予定。
- 本プロジェクトでは、2024年度頃までに分離回収に必要な吸収剤等の要素技術を開発し、その後分離回収を目的としたスケールアップと実ガス実証を行う予定であるため、上記関連プロジェクトの実証においても、本プロジェク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。その際、CO₂回収インフラを社会実装していく観点から、どういった機能のインフラをどこにどういった形で導入していくのが合理的か、また、CO₂利用サイトとどのように結びつけるのが効率的か、といった観点からも検討を行うことが重要。
- 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)

修正 _{資4(p.19)}

- 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。
- ステージゲートにおいては要素技術開発の進捗のみならず、国内外の動向、CO₂削減効果の見込み、企業側のニーズも確認し判断を行う。CO₂削減効果が低いと判断される技術方式は取組を中止する。



★:ステージゲート

CO。の分離回収技術開発プロジェクトのロジックモデル

追記

資4(p.22)

直接コントロールできる部分

経済・社会等の変化

(誰が/何が、どう変化することを目指しているか)

(インパ

(インフ°ット)

(アクティヒ"ティ)

(アウトフ[°]ット)

(短期アウトカム)

(中長期アウトカム)

クト)

予算

382.3億円

Γ2021-2030年1 ①天然ガス火力発電 排ガスからの大規模

CO。分離回収技術開 発•実証

予算:86.6億円

②工場排ガス等からの 中小規模CO。分離・ 回収技術開発・実証

予算:272.2億円

③CO₂分離素材の標 準評価共通基盤の確 乊

予算:23.5億円

低圧・低濃度排ガス

(CO₂濃度:10% 以下)に対して、 2,000円台/t-CO₂

「測定指標]

商用化設備で想定される 生産設備でのt-CO2あた りのCO。分離回収コスト [2030見込]

上記数值目標達成

実ガスを用いたCO₂分

離回収評価体制確立

「測定指標] 評価体制確立 [2030見込]手法確立 2030年CO。削減効

「測定指標] CO。削減量試算值 [2030年見込] 約16億トン

(IEA 予測 (Beyond 2℃ シナリオ (B2DS), 2017)

2030年経済波及 効果

「測定指標] 世界市場規模推算值 [2030年見込] 約6兆円(※)

2050年CO。削減 効果

「測定指標] CO。削減量試算值 「2030年見込] 約80億トン/年 (IEA 予測 (Beyond 2℃ シナリオ (B2DS), 2017)

2050年経済波及 効果

[測定指標] 世界市場規模推算值 [2030年見込] 約10兆円

2050年 カーボン ニュート

ラル達成

経済効 果10兆

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。

事業総額(国費負担額のみ。インセンティブ分を含む額):382.3億円

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(9/10委託→2/3補助)

- 予算額:86.6億円
- ightharpoonup 主な予算根拠: CO_2 分離回収に関する既存のNEDO事業*等を元に、実証規模を数十トン/ d とし、カーボンリサイクル設備も付帯する条件で、1件の事業を採択するとして試算。
- 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(9/10委託→2/3補助)
 - 予算額:272.2億円
 - ▶ 主な予算根拠: CO₂分離回収に関する既存のNEDO事業*等を元に、実証規模を数トン/ d とし、カーボンリサイクル設備も付帯する条件で、4件の事業を採択するとして試算。
- ③ CO₂分離素材の標準評価技術基盤の確立(委託[企業の場合は9/10委託])
 - 予算額:23.5億円
 - ▶ 主な予算根拠:設備規模0.1トン/d程度の実ガス評価試験機と、シミュレーション技術開発に必要となるソフトウェアの見積等に基づき試算。

*既存のNEDO事業としては、環境調和型プロセス技術の開発事業(2017~2022年度予定)、石炭火力排ガス:CCUS研究開発・ 実証関連事業 固体吸収法(2020~2024年度)分離膜(2021~2023年度予定)を参照した。

(補足) COっ分離回収事業の概要(イノベーションマップ)

追加

本事業では、低濃度CO₂排ガスからの低コストなCO₂分離回収技術の開発に取り組み、関連するGI プロジェクトとも連携して、カーボンリサイクル製品の製造までの技術開発を一気通貫で加速する。



関連GI基金プロジェクト

◆ 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 告技術開発

- ◆ ⑨COっを用いたコンクリート 等製造技術開発
- ◆ ⑪廃棄物処理のCO。削減 技術開発

既存事業

DAC

カーボンリサイクル

本プロジェクト

回収CO。

工場排ガス





7~9%CO₂

回収CO。

天然ガス火力排ガス



 $4 \sim 5\% CO_{-}$

既存事業

石炭火力排ガス



12~14%CO₂

革新的なCO。分離素材/システムの開発

アミン吸収法、物理吸着法、膜分離法、コンビネーション法、その他

研究開発項目②

工場排ガス等からの中小規模 CO。分離回収技術開発·実証 研究開発項目①

天然ガス火力発電排ガスからの大規 模CO。分離回収技術開発·実証

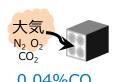
研究開発項目③

CO。分離素材の標準評価技術基盤の確立



技術波及

連携



0.04%CO₂

54