

カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発

⑫CO₂分離・回収技術の研究開発

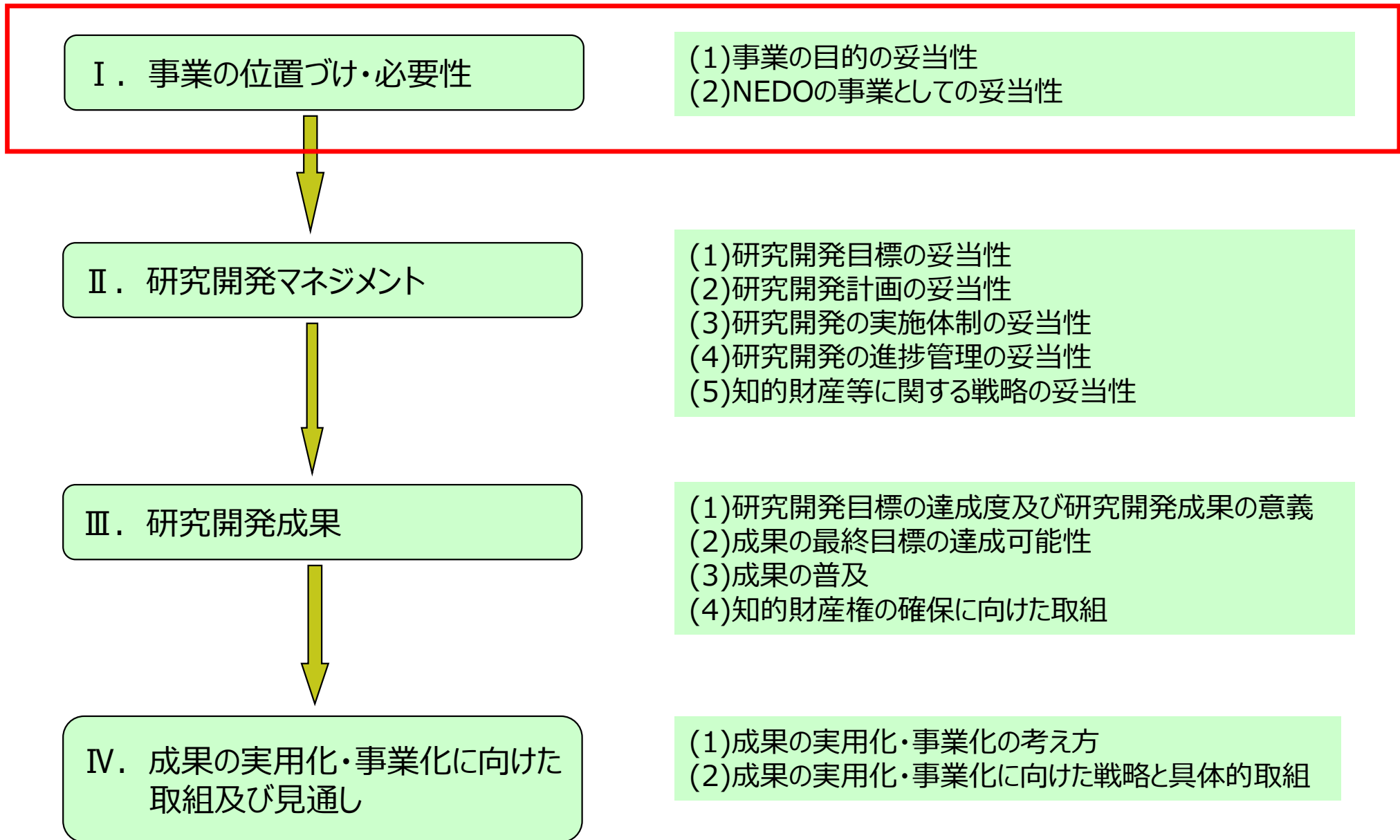
- 2) 先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究
- 3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
- 4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO 環境部

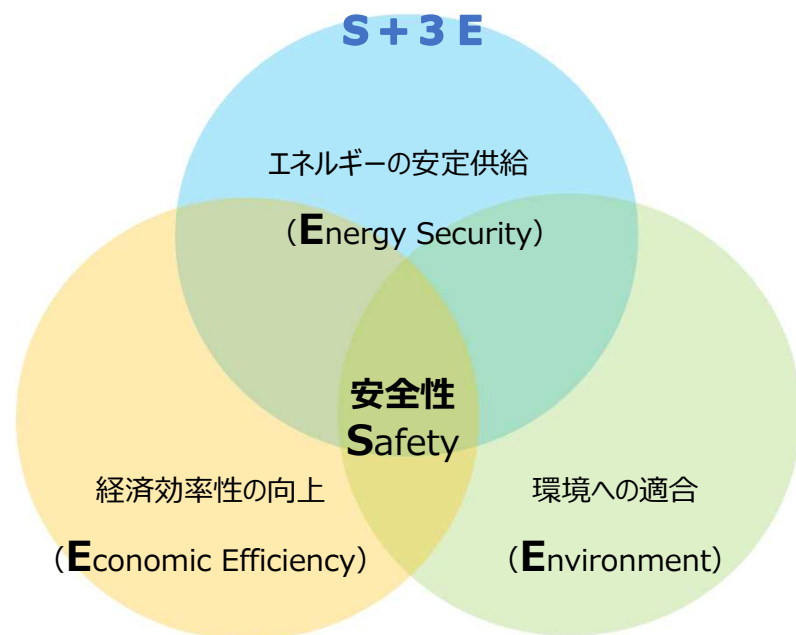
2022年10月18日



◆ 事業実施の背景と事業の目的

現在のエネルギー政策（第6次エネルギー基本計画/2021年10月）

エネルギー政策の大原則



S+3Eを大前提に、2030年度の新たな削減目標や2050年カーボンニュートラルという野心的な目標の実現を目指し、あらゆる可能性を排除せず、使える技術は全て使うとの発想に立つことが今後のエネルギー政策の基本戦略となる。

- ◆ 火力発電は電力の安定供給や電力レジリエンスを支えてきた重要な供給力であるとともに、現時点の技術を前提とすれば、再生可能エネルギーの変動性を補う調整力として重要な機能を保持していることを踏まえ、安定供給を確保しつつ、その機能を如何にして脱炭素電源に置き換えていくかが鍵となる。
- ◆ 火力発電の脱炭素化に向けては、燃料そのものを水素・アンモニアに転換させることや、排出されるCO₂を回収・貯留・再利用することで脱炭素化を図ることが求められる。
- ◆ CCU（Carbon Capture and Utilization）／カーボンリサイクルは、CO₂を資源として捉え、鉱物化や人工光合成等により素材や燃料等へ再利用することで大気中へのCO₂排出抑制が可能となる。また、CO₂の分離・回収設備を設置することで、既存の化石燃料の調達体制や設備を活用しつつCO₂排出削減に貢献できるという利点も有している。

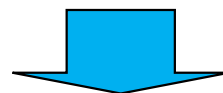
【石炭】

現時点の技術・制度を前提とすれば、化石燃料の中で最もCO₂排出量が大いだが、調達に係る地政学リスクが最も低く、熱量当たりの単価も低廉であることに加え、保管が容易であることから、現状において安定供給性や経済性に優れた重要なエネルギー源である。今後、石炭火力は、再生可能エネルギーを最大限導入する中で、調整電源としての役割が期待されるが、電源構成における比率は、安定供給の確保を大前提に低減させる。

◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

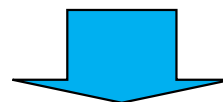
火力発電の脱炭素化に向けては、排出されるCO₂を回収・貯留・再利用することで脱炭素化を図ることが求められる（エネルギー基本計画、2021年10月）



**CO₂の貯留もしくは再利用のためのCO₂源を確保するために
「CO₂分離・回収技術」が必要**

事業の目的

CO₂分離・回収技術にかかるエネルギー消費が大きく、コストが高い



省エネルギーで低コストなCO₂分離・回収技術の確立

◆政策的位置付け

➤ 革新的環境イノベーション戦略（2020年1月策定）

CCSコストの大半を占めるCO₂分離・回収コストの低減に向け、燃焼後回収用（大気圧～低圧ガス対象）の固体吸収材や燃焼前回収用（高圧ガス対象）の分離膜を用いた分離・回収技術の研究を推進する。更に、CCUS/カーボンリサイクルの基盤となる低コストのCO₂分離回収技術の確立として、2050年までにCO₂分離回収コスト1,000円/t-CO₂を目指す。

➤ 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021年6月策定)

電力部門の脱炭素化:火力については、CO₂回収を前提とした利用を、選択肢として最大限追求
電力部門以外（産業・運輸・業務・家庭部門）の脱炭素化：電化が中心となるが、熱需要には、水素などの脱炭素燃料、化石燃料からのCO₂の回収・再利用も活用

➤ カーボンリサイクル技術ロードマップ°（2021年7月改定）

CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルに係る技術は、将来有望な選択肢の一つであり、そのイノベーションを加速化していく。

➤ パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（2021年10月閣議決定）

電力部門に求められる取組として、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、コスト低減等の研究開発を推進することを提示。

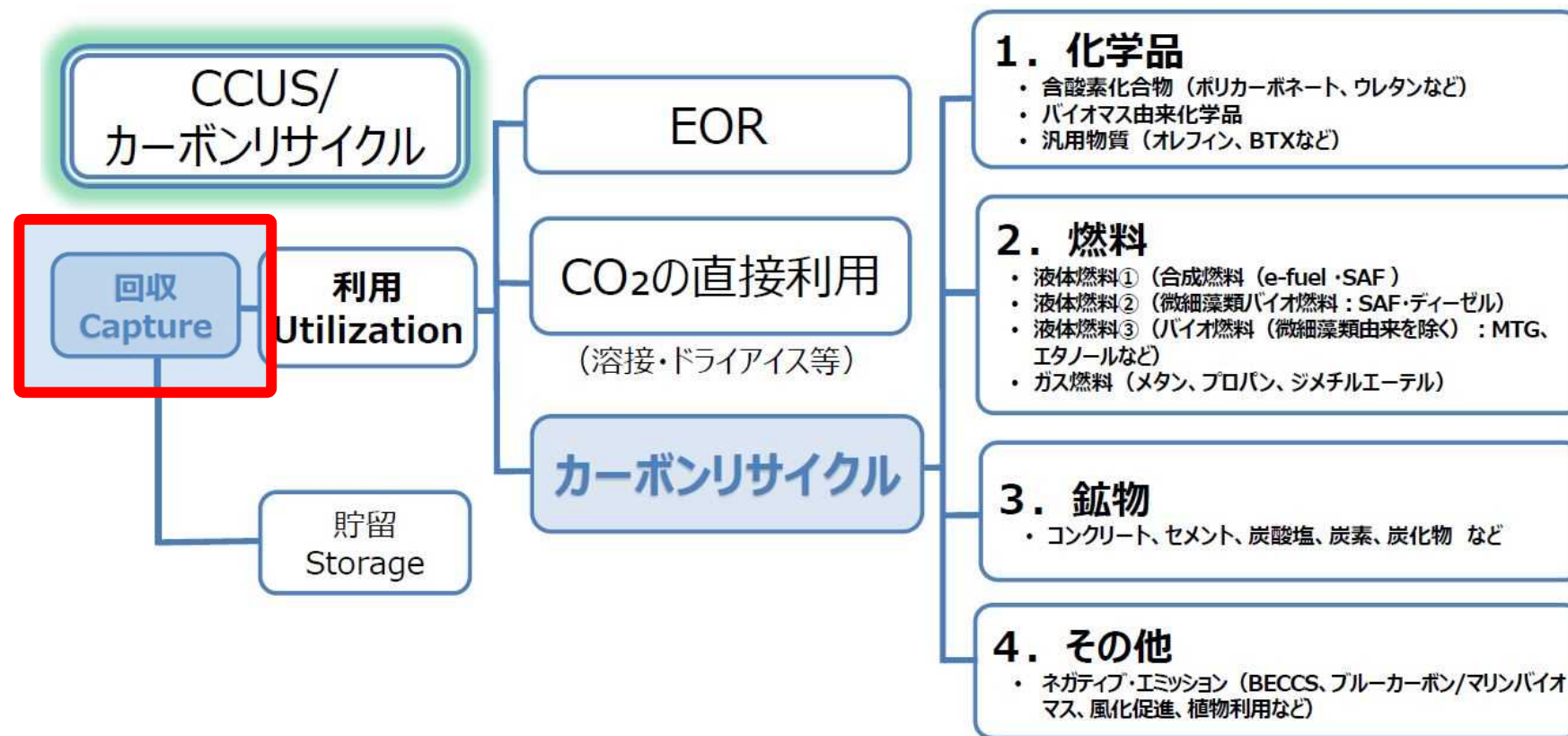
➤ CCS長期ロードマップ検討会 中間とりまとめ（2022年5月）

研究開発や実証等を引き続き実施し、分離・回収、輸送・貯留というCCSバリューチェーン全体でコストを低減し、日本の産業競争力の維持・強化に貢献する。

◆ 技術戦略上の位置付け

■ カーボンリサイクル技術ロードマップ

- ・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、化学品、燃料、鉱物等に再利用される。
- ・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。



◆ 技術戦略上の位置付け

- ✓ 「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2019年6月、2021年7月改訂)
CO₂分離・回収の<個別技術>として「**固体吸収法**」「**膜分離法**」、その**目標値が明記**。

共通技術

● CO₂分離回収技術

<技術課題>

- 設備・運転コスト及び所要エネルギーの削減
新しい材料(吸収材、吸着材、分離膜)の開発
(選択性、容量、耐久性の向上)
基材の製造コストの低減
プロセスの最適化(熱、物質、動力等)など
- CO₂排出原、用途に応じた分離回収法の選定
- CO₂発生源と需要・供給先を連携させたカーボンサイクルに
適合するCO₂分離回収システムの構築(コプロダクション)
- エネルギー消費とコスト評価手法の明示化、評価基盤確立
- 輸送、貯蔵
輸送コストの低減(大量輸送、液化技術)
CO₂需給量の調整・運用機能

<個別技術>

- 化学吸収法(温度差(現行プロセス))
4,000円程度/t-CO₂、所要エネルギー2.5GJ程度/t-CO₂
- 物理吸収法(圧力差(実証段階))
- 固体吸収法(温度差)(研究開発段階)**
- 物理吸着法(圧力差・温度差、小スケールでメリット、
選択率、容量、耐久性の向上、新材料の開発)
- 膜分離法(圧力差)**
- その他、深冷分離法、Direct Air Capture など

<CO₂回収を容易にするためのプロセス技術>

- 酸素富化燃焼・クローズドIGCC
低コスト酸素供給技術の開発
- ケミカルルーピング
低コスト、長寿命の酸素キャリアの開発

<具体的な取組例>

- 低コスト型分離回収技術の開発
- 液体CO₂の船舶輸送の技術の開発

2030年のターゲット

低圧ガス用(燃焼排ガス、高炉ガスなど、濃度数%~、常圧
程度でのCO₂分離)
2,000円台/t-CO₂
所要エネルギー1.5GJ/t-CO₂
化学吸収法、固体吸収法、物理吸着法など

高圧ガス用(化学プロセス、燃料ガスなど、濃度数十%、
数MPaでのCO₂分離)
1,000円台/t-CO₂
所要エネルギー0.5GJ/t-CO₂
物理吸収法、膜分離法、物理吸着法など

- その他プロセス全体の見直し(CO₂分離回収機能を備えた
発電・化学合成システム)
クローズドIGCC・ケミカルルーピングなど
1,000円台/t-CO₂
所要エネルギー0.5GJ/t-CO₂

<CO₂分離回収システムの構築>

- CO₂排出原および用途に適合した省エネルギー、低コストとな
るCO₂分離回収のシステム化
- 10,000時間連続運転の実現(耐久性、信頼性の実証)

<分離素材標準評価技術の確立>

- 評価プロトコル確立による素材開発加速の実現

<CO₂輸送・貯蔵システムの構築>

- CO₂排出原および用途に適合した省エネルギー、低コストとな
るCO₂輸送・貯蔵手段の確立
液化(冷却、圧縮)、貯蔵(コンテナ、タンク)、輸送(車両、
パイプライン、船舶など)

2040年以降 のターゲット

<分離回収実用化>

- 1,000円~数百円
/t-CO₂の達成
- CO₂分離回収システ
ムの耐久性、信頼性
の向上、小型化
- CO₂発生源と用途先
の運用に応じたCO₂
分離回収システムの
最適化
- CO₂分離回収および
輸送システムの本格
普及
- CO₂ネットワーク化
(回収・輸送・利用イ
ンフラ、ハブ&クラス
ター など)

◆ 技術戦略上の位置付け

- CCSによるCO₂削減に係るコスト試算では、分離・回収が占める割合が大きい
- カーボンプライシングへの対応として、CO₂分離・回収に係るコスト削減の取り組みが重要

➤ CCSコストの試算結果の例※1

CO₂分離・回収コスト： 4,170円/t-CO₂

CO₂昇圧コスト： 1,710円/t-CO₂

CO₂輸送コスト： 2,760円/t-CO₂

CO₂圧入コスト： 1,360円/t-CO₂

試算条件

- 排出源：製鉄所
- 分離・回収方法：化学吸収法（DEA）
- 貯留量：100万t-CO₂/年
- 輸送距離：1,000km
- 貯留条件：海底下震度1,200m

➤ カーボンプライシング(炭素税)の例※2

スウェーデン： 15,470円/t-CO₂

ノルウェー： 6,912円/t-CO₂

スイス： 11,140円/t-CO₂

※1 「平成17年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究開発成果報告書」22page
http://www.rite.or.jp/results/result_reports/pdf/2005-chichu-1.pdf)

※2 「海外の炭素税・排出量取引事例と我が国への示唆」5page
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_neutral_jitsugen/pdf/004_01_00.pdf)

◆ 国内外の研究開発の動向と比較

➤ 固体吸収法によるCO₂分離・回収技術の開発動向

国	機関	方式	実績 [t/d]	分離・回収 エネルギー	特徴等
韓国	KEPCO/ KIER ^{※1}	流動層* (二塔) 140-200°C再生	< 200	5 GJ/t	炭酸カリウム担持吸収材 200 t/d装置完成 (2013)
米国	RTI/ NETL ^{※2}	流動層* (多段二塔) >110°C再生	< 0.15	2.5 GJ/t	市販アミン (PEI) 担持シリカ ベンチ試験 (~2015)
カナダ	Svante ^{※3}	移動層 (高速回転ナノ フィルタ) 温度スイング	< 30	4 GJ/t	30 t/d装置完成 (2019)
欧州	Shell/ TU Wien ^{※4}	流動層 (多段二塔) 100-120°C再生	0.7	3.5 GJ/t	アミン系吸収材 100 t/d装置建設計画中
日本	KHI/ RITE/ NEDO	移動層 60°C再生	7	1.5 GJ/t	新規合成アミン担持シリカ 40 t/d装置建設中 (本評価対象事業)

※1: GHGT-12 (October 5-9, 2014)

※2: Nelson et al. Energy Procedia (2017)

※3: 2021 Carbon Management and Oil and Gas Research Project Review Meeting (August 2-31, 2021)

※4: GHGT-14 (October 21-25, 2018)

◆ 国内外の研究開発の動向と比較

➤ 膜分離法によるCO₂分離・回収技術の開発動向

国	機関	分離ガス (適用先)	試験条件	特徴
米国	MTR※1	燃焼排ガス	CO ₂ 濃度： ~14%	Polaris™ membrane (高分子系) ベンチスケール (20t/d) での実証試験
米国	GTI Energy, University at Buffalo※1	燃焼排ガス	温度： 80℃ 全圧： 0.1MPa CO ₂ 濃度： 4~12%	酸化グラフェンを用いた新規膜材料 ラボレベルで高いCO ₂ /N ₂ 分離性能
米国	オハイオ州立大 学※2	水素 (IGCC)	温度： ~110℃ 全圧： 3~3.5MPa CO ₂ 濃度： 31%	高いCO ₂ /H ₂ 分離性能を示す促進輸送膜 ベンチスケールでの実証試験
日本	ルネッサンス・エ ナジー・リサーチ ※3	水素 (水素製造シ ステム用メン ブレンリアクター)	温度： 160℃ 全圧： 0.6MPa CO ₂ 濃度： 7.4%	CO ₂ 選択透過膜とCO 変成触媒を組み合わせたメンブレンリアクター
日本	次世代型膜モ ジュール技術 研究組合	水素 (IGCC)	温度： 85℃ 全圧： 2.4MPa CO ₂ 濃度： 40%	膜および部材の長期耐久性を考慮した温度条件において、目標性能を達成する膜材料 (促進輸送膜) を開発 単膜の2,000時間の耐久性、膜エレメントの実ガス耐性を確認

※1： 2022 Carbon Management Project Review Meeting (August 15-19, 2022)

※2： 2021 Carbon Management and Oil and Gas Research Project Review Meeting (August 2-31, 2021)

※3： 膜 (MEMBRANE) , 37 (2) , 80-86 (2012)

◆他事業との関係

【NEDO事業】 環境調和型製鉄プロセス技術の開発

CO₂分離回収コストの削減と未利用排熱を利用するための実用化検証を行い、最終的に製鉄所における現状の全排出レベルに比較して約30%のCO₂削減を可能にする技術を開発する。

【NEDO事業】 石炭ガス化燃料電池複合発電実証

石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減するため、石炭ガス化燃料電池複合発電とCO₂分離・回収を組み合わせた発電技術の実証を行う。

【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

低圧・低濃度ガス（CO₂濃度:10%以下）に対して、2030年2,000円台/t-CO₂以下のCO₂分離回収コストを実現するための技術確立を目指す。

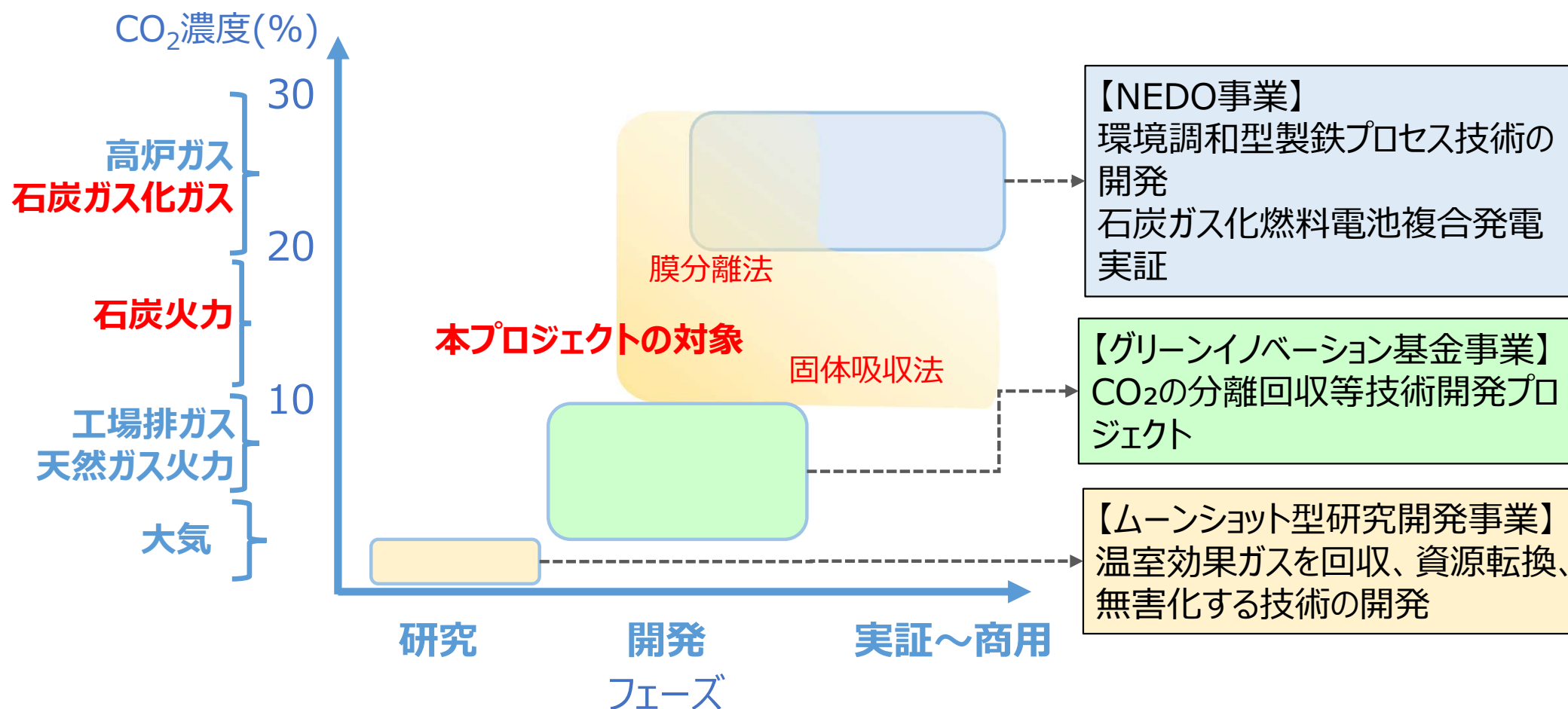
【ムーンショット型研究開発事業】

温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術の開発

大気中に拡散し低濃度な状態（0.04%程度）のCO₂を直接回収する技術（DAC : Direct Air Capture）の開発に取り組む。

◆他事業との関係

- 様々な産業分野/ガス種/CO₂濃度に対する分離・回収技術に取り組んでいる
- 本事業は、石炭火力等に係るガス中濃度十数%のCO₂を分離・回収するための、技術開発から実証フェーズの取り組み



◆ 実用化に向けた戦略

石炭火力発電に適用する様々なCO₂分離・回収技術が検討されている
 本事業では、固体吸収法、膜分離法の技術開発を実施

CO₂分離・回収コスト

高

化学吸収法



CO₂と液体との化学反応を利用して分離・回収する方法
 4,200円/t-CO₂

物理吸収法



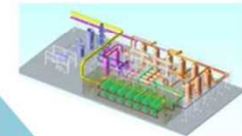
CO₂を液体中に溶解させて分離・回収する方法
 2,000円台/t-CO₂

固体吸収法



CO₂の固体吸収材を利用して分離・回収する方法
 2,000円台/t-CO₂

膜分離法



CO₂分離機能を持つ膜を利用して分離・回収する方法
 1,000円台/t-CO₂

クローズドIGCC

酸素-CO₂ガス化炉とクローズドガスタービンを組み合わせた発電システム
 CO₂を分離・回収する工程が不要

石炭焚ボイラー

ポストコンバッション
 CO₂回収技術
 (化学吸収法・
 固体吸収法・膜分離法)

石炭ガス化

プレコンバッション
 CO₂回収技術
 (化学吸収法・
 物理吸収法・膜分離法)

酸素燃焼

ケミカルルーピング

クローズドIGCC

分離・回収装置が必要
 分離・回収装置なし
 石炭火力発電におけるCO₂分離・回収技術の分類

※ 図中のコストは様々な仮定に基づき試算したもの。

経済産業省「次世代火力発電に係る技術ロードマップ/技術参考資料集」(2016年6月)を基にNEDO作成

2020年度頃

2030年度頃

次世代のCO₂回収関連技術の開発の見通し

◆NEDOが関与する意義

- NEDOは、**CCSやカーボンリサイクル分野**の研究開発を実施しており、CO₂分離・回収技術を確立することにより、これらの分野への展開が可能。
- CO₂分離・回収技術は、生産性向上、省エネルギーなど**事業者の利益に直接寄与しにくい技術**である。
- CO₂分離・回収技術は、研究開発の**難易度が高く**、必要な**投資規模が大きい**。また実用化までのリードタイムが長い。
- NEDOは、産学官の技術力・研究力を最適に組み合わせることで研究開発を推進でき、他の事業とも連携させ、カーボンニュートラル社会へ向け、**一貫した技術開発として総合的なマネジメントを行うことが可能**。

NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果 (費用対効果)

- 固体吸収法によるCO₂分離回収コストを2,500円/t-CO₂と想定
- 石炭火力発電所から排出されるCO₂の10%を分離・回収する際に、従来技術（化学吸収法）に対する固体吸収法を適用することによる費用対効果

CO₂分離・回収コスト削減効果(2030年)**238億円/年****プロジェクト費用の総額(~2022年度)****99.8億円**

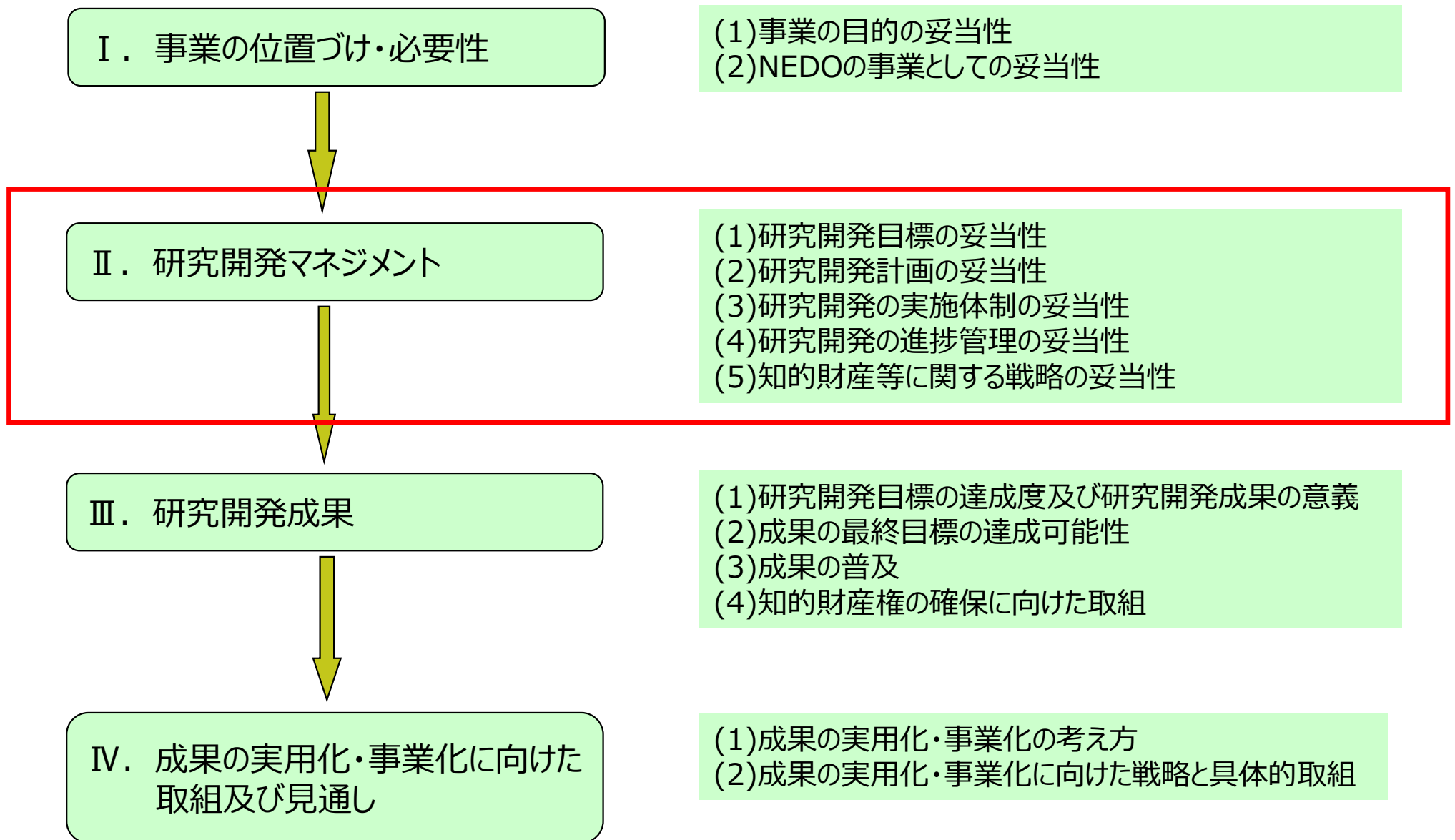
(内 METI事業費 10.2億円)

>

- 石炭火力発電の年間CO₂排出量：1.4億t-CO₂/年
(9,340億kWh/年 × 19% × 0.8kg-CO₂/kWh × 0.001)
- 10%相当量をCO₂分離・回収する際のコスト
固体吸収法を適用する場合：350億円/年 (1.4億t-CO₂/年 × 10% × 2,500円/t-CO₂)
化学吸収法を適用する場合：588億円/年 (1.4億t-CO₂/年 × 10% × 4,200円/t-CO₂)

CO₂分離・回収コスト削減効果 算出の前提条件

- 2030年の総発電電力量：9,340億kWh/年(第6次エネルギー基本計画)
- 石炭火力の比率：19% (第6次エネルギー基本計画、野心的見通し)
- 石炭火力のCO₂排出原単位：0.8 kg-CO₂/kWh (超々臨界圧USC)
- 固体吸収法の分離・回収コスト：2,500円/t-CO₂
化学吸収法の分離・回収コスト：4,200円/t-CO₂



◆事業の目標

➤ 中間目標

(固体吸収法) 移動層パイロットスケール試験設備すべての機器の据付、受電を完了し、石炭火力発電所煙道から移動層パイロットスケール試験設備へ実燃焼排ガスを導入し、CO₂を分離し回収出来ることを確認する。固体吸収材のスケールアップ製造技術開発を行い、パイロット試験開始に必要な固体吸収材の供給を完了する。また、移動層シミュレーションによる実ガス試験での最適運転条件を提示する。

(膜分離法) 実用化段階で想定される条件下でCO₂分離・回収に用いることができる分離膜材料の設計方針の見通しを得て、評価設備による性能検証を開始する。

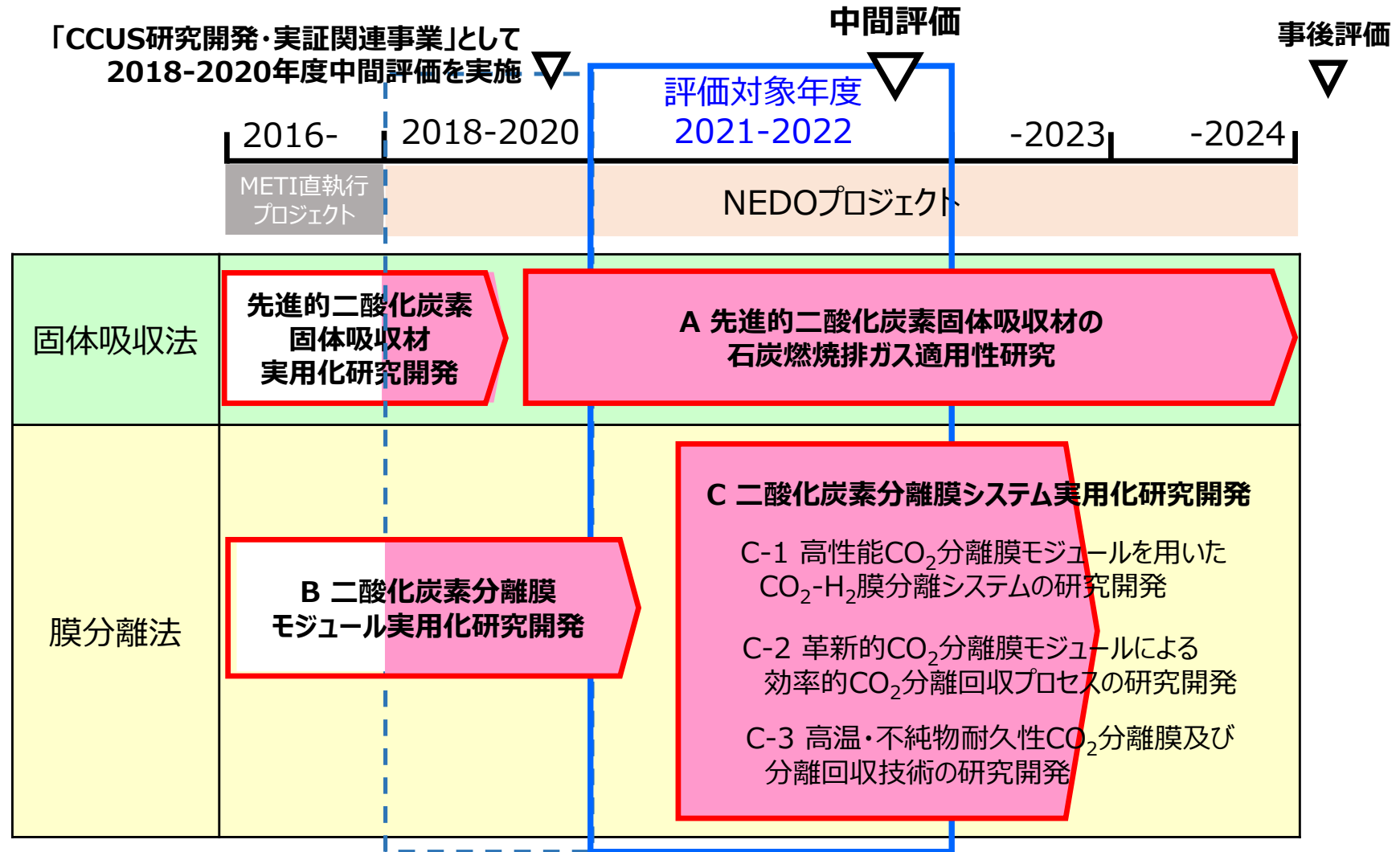
➤ 最終目標

(固体吸収法) 火力発電所などの燃焼排ガスなどからCO₂を分離・回収する固体吸収法について、実燃焼排ガスからのCO₂分離・回収連続運転を実施し、パイロットスケール設備においてCO₂分離・回収エネルギー1.5GJ/t-CO₂の目途を得る。

(膜分離法) 火力発電等で発生するガスからのCO₂の分離・回収において、CO₂の利用プロセスに適する分離膜材料を適用した分離膜システムを開発し、比較的高い圧力を有するガスからのCO₂の分離・回収においては実用化段階でCO₂分離・回収エネルギーが0.5GJ/t-CO₂を達成できる技術を開発する。

◆ 研究開発のスケジュール

➤ 2018年度より、NEDOプロジェクトとして研究開発を推進



◆ 中間評価結果への対応

2020年度に実施した中間評価（「CCUS研究開発・実証関連事業」）の主な指摘事項に対する対応を以下に示す。

指摘		対応
1	プロセス間の連携（例えば、CO ₂ 分離回収と利用プロセスの統合）や、相乗効果の期待できるプロジェクト間の連携を含むような、マネジメントを進めてほしい。	固体吸収法においては、分離回収したCO ₂ を適切な条件で利用先へ供給するための実証を行うこととした。 膜分離法においては、排出源や有効利用先を念頭とした検討を実施することとした。
2	膜分離事業は他の事業に比べ研究開発が遅れており、最終目標達成への明確な道筋を示す必要があると思われる。	実用化に求められる技術課題と解決手段を踏まえた目標達成までの道筋を明確にした次フェーズの研究開発として、「二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発」に着手することとした。

◆ 研究開発目標と根拠

固体吸収法：A 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

研究開発項目	研究開発目標	根拠
① 固体吸収材移動層システムのスケールアップ実ガス試験	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・40 t-CO₂/d相当の固体吸収材循環の達成 ・固体吸収材のこぼれや異常破砕を起こさない運転の達成 ・性能確認試験・安定運転評価の準備完了 ・舞鶴発電所実ガスをパイロットスケール試験設備に導入し、CO₂の分離・回収を確認 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ボイラの負荷変動等への追従性、長期安定性確認 ・システム追設による周辺施設への環境影響評価完了 ・シミュレータによる最適運転条件での実ガス試験の実施 	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・次フェーズ試験の実施のために、固体吸収材循環量と循環運転の安定性、また、実ガス導入によるCO₂の分離・回収を確認する必要がある。 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事業化のために、ボイラの負荷変動等での追従性、周辺施設への影響を把握し、運用方法・制御ロジックを確立させておく必要がある。 ・長期運転安定性試験を実施し、経済性評価のデータを取得する必要がある。
② 高効率CO ₂ 分離回収技術基盤技術開発 1 固体吸収材の性能向上及び製造技術開発 2 高度シミュレーション技術の開発と最適プロセスの検討	<p>【中間目標】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 固体吸収材のスケールアップ製造および性能向上の目処付け完了 <ul style="list-style-type: none"> ・パイロット試験に必要な固体吸収材供給の完了 2 移動層シミュレーションの高度化の達成 <ul style="list-style-type: none"> ・実ガス試験での最適運転条件の提示 <p>【最終目標】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 固体吸収材の製造体制構築・製造技術の目途付け完了 <ul style="list-style-type: none"> ・固体吸収材の適用性拡大 2 固体吸収材プロセスシミュレーション技術の確立 	<p>【中間目標】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 システムの早期実用化と適用性拡大を図る。パイロット試験開始までに着実な供給を行う。 2 高度化のため、水蒸気の吸着離脱機構、ヒートバランスを考慮したモデルが必要となる。 <p>【最終目標】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 我が国の技術ロードマップとの整合を取る。 2 実機規模のスケールアップに対応した移動層シミュレーション技術確立の必要がある。

◆研究開発目標と根拠

膜分離法：B 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

研究開発項目	研究開発目標	根拠
①実ガスを用いたCO ₂ 分離性能試験による課題抽出と解決	<ul style="list-style-type: none"> ・実ガス試験による不純物耐性の評価完了 ・IGCC 適用課題の把握と解決 	<ul style="list-style-type: none"> ・実用化のためには、実ガスを用いた分離性能および耐久性評価が不可欠である。
②膜材料と膜エレメントの最適化	<ul style="list-style-type: none"> (1) 所定圧力での目標分離性能 (CO₂透過流束、純度)の達成 (2) 分離性能低下が所定値以内であること (3) 所定サイズの膜エレメント製作完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・膜材料と膜エレメントの最適化による目標分離性能と目標耐久性が、目標コストを達成するために必要である。
③経済性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の回収率、純度の条件で <ul style="list-style-type: none"> (1)コスト：1,500円/t-CO₂以下 (2)エネルギー：0.5GJ/t-CO₂以下 ・膜分離システムのプロトタイプ製作完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・新規CO₂分離・回収技術としての省エネルギー、低コストの指標を設定した。
④CO ₂ 分離回収技術に関する情報収集発信	<ul style="list-style-type: none"> ・国際学会やシンポジウム等によるCO₂分離・回収技術情報の研究開発への活用と成果の発信 	<ul style="list-style-type: none"> ・効率的に研究開発を進めるためには、技術情報調査の活用が有効である。また、シンポジウムの開催により国民との科学・技術対話に取り組む。

◆研究開発目標と根拠

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-1 高性能CO₂分離膜モジュールを用いたCO₂-H₂膜分離システムの研究開発

研究開発項目	研究開発目標	根拠
①CO ₂ 分離膜プロセスの基本仕様検討	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 膜分離システムの基本仕様決定 研究開発項目②、③の個別目標の設定完了 	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 膜分離システムの基本仕様を2022年度中に決定し、②、③の目標を設定する。
②分離膜及び膜モジュールの開発	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 目標分離性能・耐久性達成の目処付け完了 改良支持膜の目処付け、連続製膜条件の明確化 膜エレメントの仕様決定 商用サイズ膜モジュールの仕様方針決定 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 広幅連続製膜処方の確立 膜エレメントの基本製法確立 目標分離性能・耐久性達成 商用サイズ膜エレメントの基本製法確立 	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 最終目標達成のために、2022年度中の改良支持膜の目処、連続製膜条件の明確化、および商用サイズ膜モジュールの仕様方針の決定が必要である。 前事業成果に基づく分離性能・耐久性の目標値として設定した。 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 本事業後の実証・実用化のために、広幅連続製膜処方の確立および商用サイズ膜エレメントの基本製法の確立が必要である。
③膜分離システムの基本設計	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 膜分離システム構成要素の基本仕様決定 膜分離システムの基本設計完了 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 目標分離回収エネルギー・コストの達成 CO₂分離・回収を可能とするシステムの構築完了 	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 最終目標達成のために、膜分離システム構成要素の基本仕様決定および膜分離システムの基本設計を2022年度中に完了させる必要がある。 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 目標分離回収エネルギー・コストを達成し、膜分離システムの適用性を明らかにすることで、本事業後の実証・実用化につなげる。

◆研究開発目標と根拠

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-2 革新的CO₂分離膜モジュールによる効率的CO₂分離回収プロセスの研究開発

研究開発項目	研究開発目標	根拠
①CO ₂ 分離膜の分離性能向上とベンチ試験用膜モジュールの作製	<p>【中間目標】 所定サイズの膜モジュールにつき、所定のCO₂透過流束、選択性の達成</p> <p>【最終目標】 所定サイズのベンチ試験向け中空糸膜モジュールの開発完了</p>	<p>【中間目標】 ・回収したCO₂を化成品合成に利用するために、CO₂回収純度を設定して試算した結果より、目標CO₂透過流束及び選択性を設定した。</p> <p>【最終目標】 ・ベンチ試験には膜面積のスケールアップが必要であるため、所定の有効膜面積の中空糸膜モジュールを開発する必要がある。</p>
②CO ₂ 分離膜中空糸膜モジュールによる実排ガスを用いたベンチ試験	<p>【中間目標】 ベンチ評価設備の設計完了 簡易評価による実排ガス耐久性把握</p> <p>【最終目標】 所定時間の連続耐久性の達成</p>	<p>・膜モジュールを一定期間実排ガスに接触させた場合の劣化状況を評価し、膜モジュールの耐久性を把握する必要がある。</p>
③CO ₂ 分離膜中空糸膜モジュールによる膜分離システムの構築	<p>【中間目標】 膜分離プロセスモデルの構築完了</p> <p>【最終目標】 排出源、有効利用先を含めた検討による最適運転条件の提示</p>	<p>・膜分離プロセス単体の改良ではコスト削減に限界があるため、有効利用先に悪影響を及ぼさない範囲で低コストでCO₂分離・回収を行う事のできる条件を探索する必要がある。</p>

◆研究開発目標と根拠

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-3 高温・不純物耐久性CO₂分離膜及び分離回収技術の研究開発

研究開発項目	研究開発目標	根拠
① 高温・不純物耐久性炭素多孔質支持体の開発	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・換算耐用年数の評価手法の確立 ・支持体連続試作の実施 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・換算耐用年数の評価 ・支持体連続製造の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・分離・回収コスト低減を睨んだ膜交換頻度 ・支持体低コスト化に必要な連続製造プロセスの基本条件を確定 ・連続製造プロセスを想定した再現性確保
② 炭素多孔質支持体への薄膜分離機能層の形成技術の開発	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・所定条件での製膜、不良箇所の発生形態データ類型化 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・所定条件での連続製造の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・支持体表面への分離機能層形成技術 ・不良箇所低減と連続した形成条件 ・連続製造プロセスを想定した再現性確保
③ 高温・不純物耐久性CO ₂ 分離膜の開発	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・膜モジュール試作および高温環境での膜性能の評価完了 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・膜性能評価、高温・不純物耐久試験用モジュール設計・試作の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂分離・回収コスト目標を達成する膜性能（製膜コスト含め、目標値は合理的に適宜見直す） ・膜モジュールとして機能させるために必要な不良箇所の発生頻度 ・排ガス対象として高温環境での動作を保証する
④ 高温・不純物環境下でのCO ₂ 分離・回収技術および分離膜評価技術の開発	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実排ガス環境での膜性能評価・結果の整理と課題抽出 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・換算耐用年数および膜性能評価完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂分離・回収コスト目標を達成する膜交換頻度
⑤ 省エネ・低コストとなるCO ₂ 分離・回収プロセスの机上での試算と整理	<p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂利活用先調査および結果の整理 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂分離・回収プロセスの机上試算条件へのフィードバック 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂利活用先を想定した分離膜プロセス開発で実用化につなげる ・CO₂利活用を普及させるために合理的に必要なCO₂分離・回収コストを設定

◆プロジェクト費用

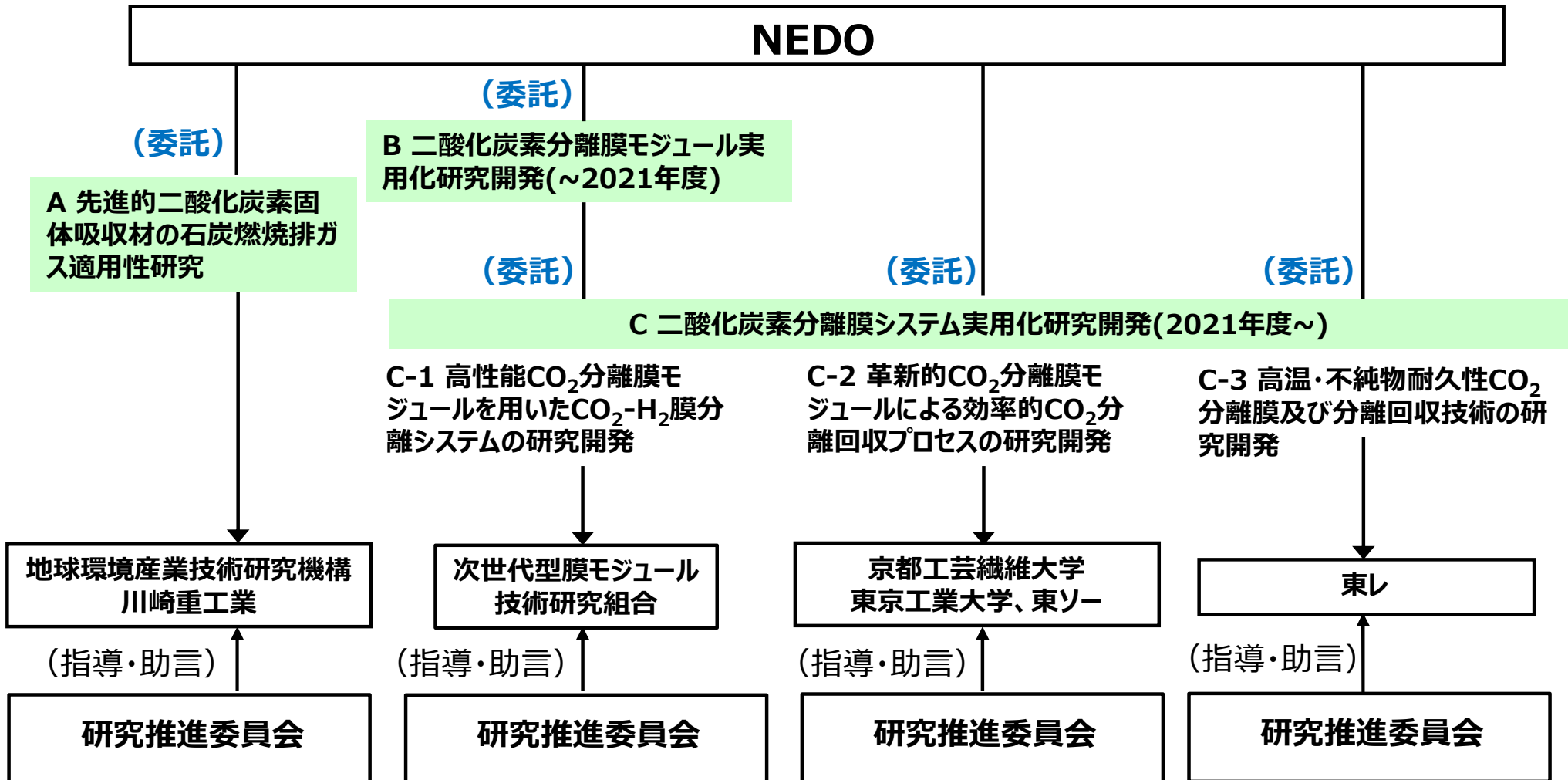
評価対象年度 (単位：百万円)

研究開発テーマ	METI事業 2016～ 2017	2018	2019	2020	2021	2022	合計
・固体吸収法	(645)	先進的固体吸収材 実用化研究開発 550	694	756	A 先進的二氧化碳固体吸収材の 石炭燃焼排ガス適用性研究 2,591	2,635	7,226 (7,871)
・膜分離法	(373)	B 二氧化碳分離膜モジュール 実用化研究開発 183	408	220	C 二氧化碳分離膜システム 実用化研究開発 155	771	1,737 (2,110)
合計	(1,018)	733	1,102	976	2,746	3,406	8,963 (9,981)

【2021－2022年度】 6,152百万円

◆ 研究開発の実施体制

- 2018年度よりNEDOの委託事業として実施
- NEDOが有する技術的知見や産学官の専門家とのネットワークを活用し、各プロジェクトの技術的成果や政策的効果を最大化するための体制を構築



◆ 研究開発の進捗管理

- NEDOは、各々の事業に対して**外部有識者で構成する技術検討委員会を開催**するとともに**実施者が主催する研究推進委員会に参加**し、事業の進捗や計画、目標達成の見通しなどにつき指導・助言を受けることで、より効果的な事業推進に努めた。
- NEDOは、**研究開発実施者と密接に連携**し、研究開発の進捗状況を把握した。また、毎月、従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリング等により実施状況を確認し、目標達成の見通しを常に把握することに努めた。
- NEDOは、**プロジェクト関係者との打ち合わせを適宜実施**し、研究開発の成果及び課題を把握し、プロジェクト計画や工程に反映させた。さらに、それぞれの**研究開発項目の相互連携**を図り、研究開発全体の成果ならびに知見が的確かつ最大限に得られるよう調整した。

◆ 動向・情勢の把握と対応

◆ 動向・情勢の把握

- 2020年10月 2050年カーボンニュートラルの実現を目指す宣言
- 2020年12月 経済産業省にて**2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略**において、期待される14の重要分野について**実行計画を策定**
- 2021年6月 経済産業省にて同グリーン成長戦略を更に具体化
 - ①政策手段や各分野の目標実現の内容の具体化
 - ②脱炭素効果以外の国民生活のメリットの提示
- 2021年11月 気候変動枠組条約締結国会議（COP26）
既存の火力発電をゼロエミッション化し、活用することを提言

◆ 動向・情勢に応じた対応

CO₂分離・回収において、省エネルギーかつ低コストな固体吸収法・膜分離法の実現を目指す**本事業の重要性は増加**。

早期の実用化に向け、技術確立を推進する。

◆ 開発促進財源投入実績

固体吸収法：A 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

件名	年度	金額	目的	成果
固体吸収材移動層システムのスケールアップ実ガス試験	2021年度	212百万円	パイロットスケール試験設備について ① 連続運転対応 ② 固体吸収材の固着対策 ③ CO ₂ 供給・制御機能の追加	① 実運用と同じ長期間連続運転に伴う騒音抑制により連続運転が可能になる見込み ② 固体吸収材の装置内固着を抑制できる見込み ③ 分離・回収するCO ₂ を利用先に安定的に供給する実証試験が可能となる見込み

◆知的財産権等に関する戦略

【基本戦略】

- 「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を踏まえた知的財産の取扱いを行う。
- ノウハウとして秘匿化するものと権利化するものを区分する。

B 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

CO₂分離膜モジュールの研究開発については、最大の競争域であることから、材料や製造方法は秘匿し、研究開発によって得られるCO₂分離プロセスなど周辺の技術を積極的に知財化する。

◆ 知的財産管理

✓ 知的財産権の帰属及び取扱い方法について文書化して管理

知的財産権の帰属

産業技術力強化法第17条第1項に規定する4項目及びNEDOが実施する知的財産権の状況調査（バイ・ドール調査）に対する回答を条件として、知的財産権は全て発明等をなした機関に帰属。

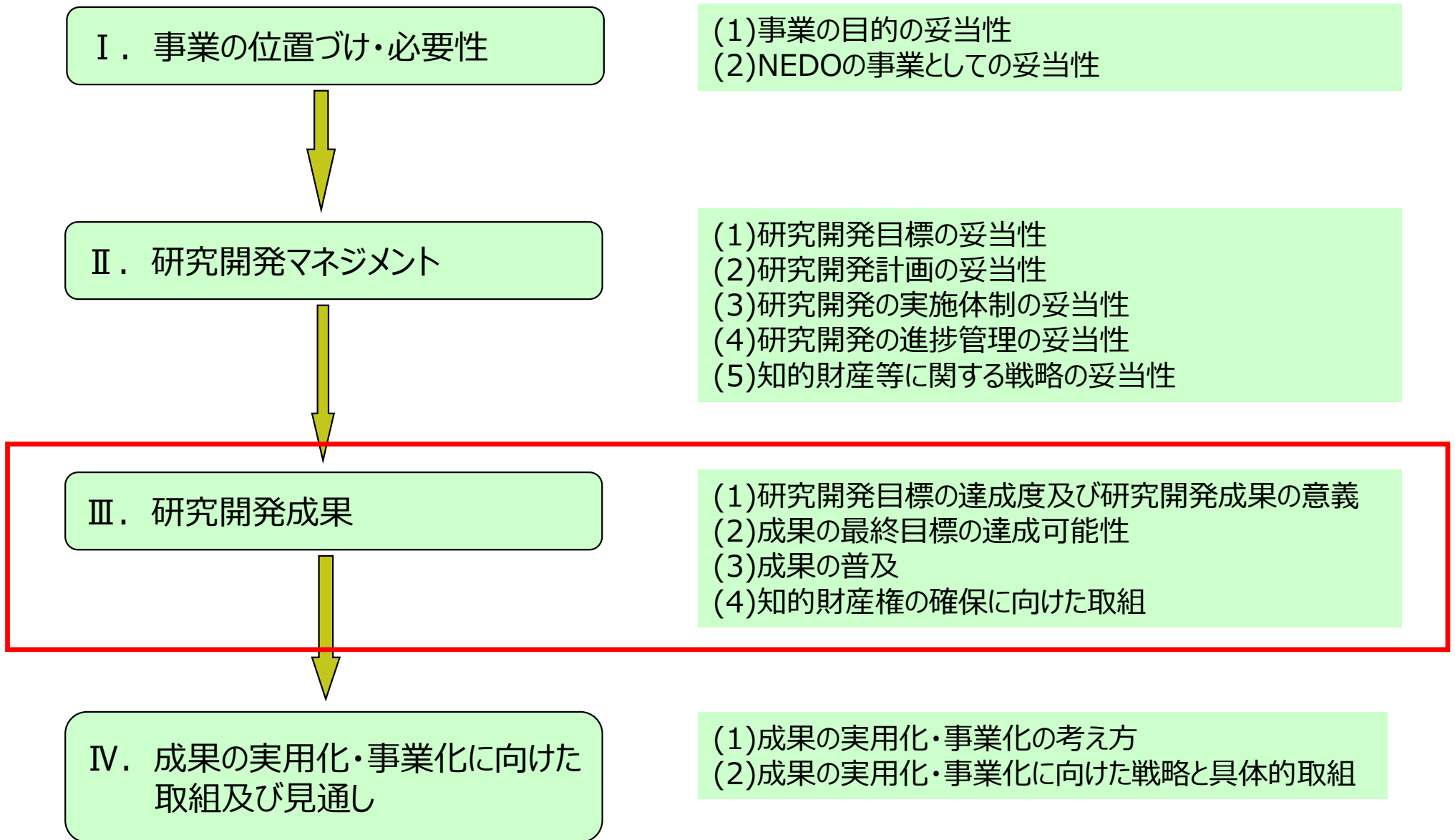
知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項

NEDO知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財運営委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成済み。

データマネジメントに係る基本方針（NEDOデータ方針）に関する事項

NEDOデータ方針に記載された「全実施機関で構成する知財運営委員会（または同機能）」を整備し、「データの取扱いに関する合意書」を作成済み。

✓ 本事業で得られた知財については、関係各機関の知財管理部門と連携し、特許管理、知財管理を推進



◆各個別テーマの成果と意義

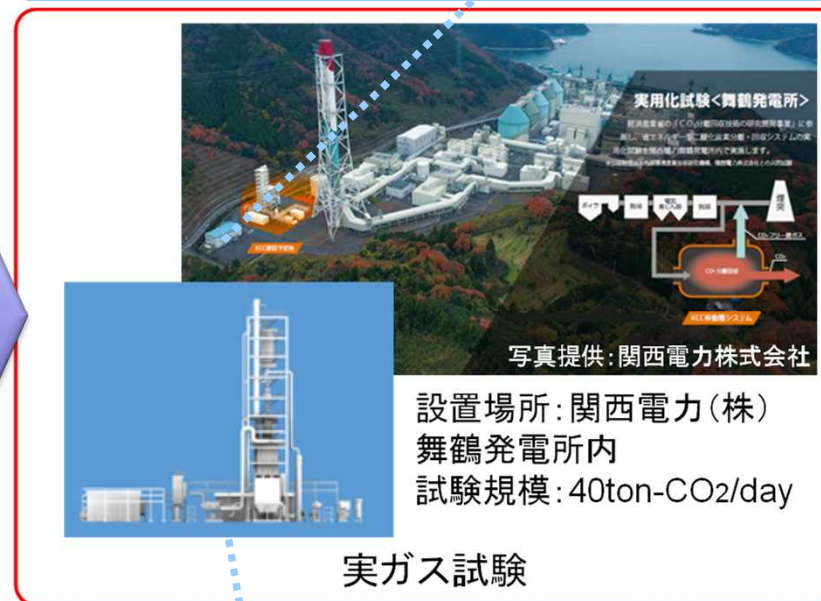
固体吸収法：A 先進的二氧化碳素固体吸収材の石炭燃烧排ガス適用性研究

【成果】

- ・パイロット試験用固体吸収材の仕様決定および製造完了



- ・機器の工場製作が完了し、工場検査実施の上、出荷完了
- ・法規制対応、地元説明、土工工事の完了



- ・シミュレータによる効率的な運転プロセスの解明
- ・シミュレータの推算精度の向上

【意義】

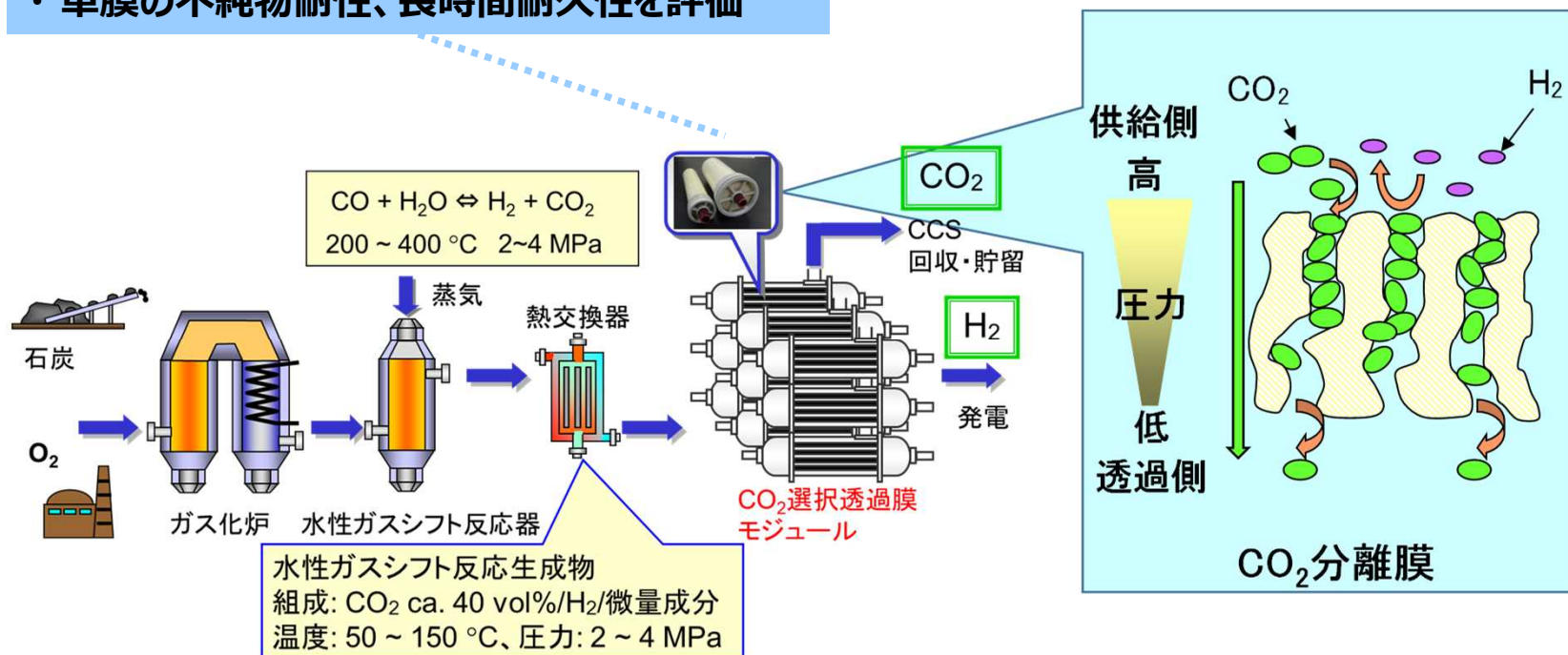
CO₂分離・回収コストを現行技術より低減できる固体吸収材移動層システムについて、実ガス試験の実施に繋げることができた

◆各個別テーマの成果と意義

膜分離法：B 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

【成果】

- ・ 単膜のエネルギー・コスト目標値を達成
- ・ 単膜の不純物耐性、長時間耐久性を評価



【意義】

CO₂分離・回収コストを現行技術より低減できる膜分離システム向けの膜素材を提供できた

◆各個別テーマの成果と意義

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-1 高性能CO₂分離膜モジュールを用いたCO₂-H₂膜分離システムの研究開発

【成果】

・ IGCC, 水素製造プラントを想定した膜分離システムの基本仕様案の策定

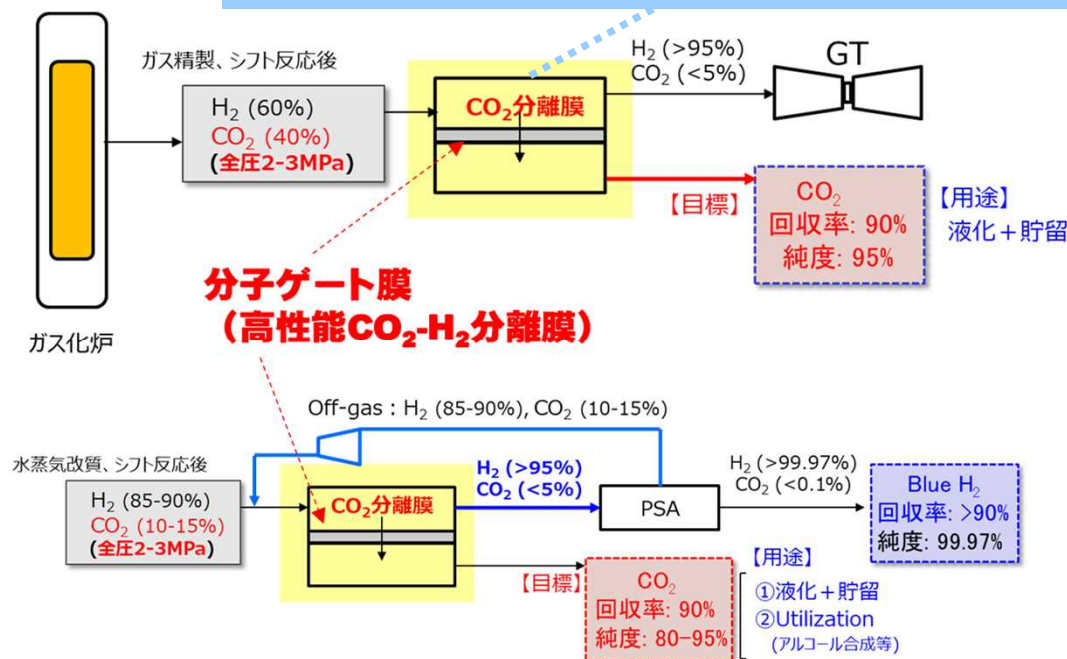
・ 高圧ガスへの耐圧性がある材料を開発
・ 温湿度制御部の基本仕様の改良案を作成

IGCCへの 膜分離システム適用

高圧ガス (2-3MPa)
CO₂濃度40%

水素製造プラントへの 膜分離システム適用

高圧ガス (2-3MPa)
CO₂濃度10-15%



【意義】

CO₂分離・回収コストを現行技術より低減できる膜システムの確立に寄与できた

◆各個別テーマの成果と意義

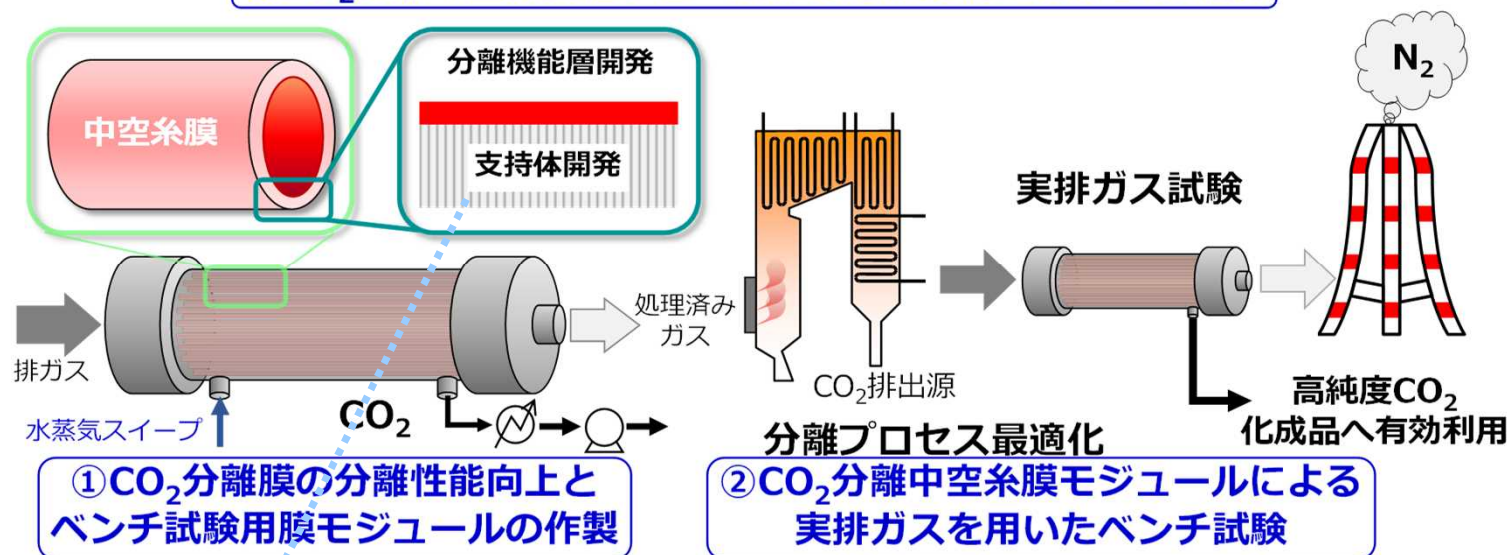
膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-2 革新的CO₂分離膜モジュールによる効率的CO₂分離回収プロセスの研究開発

【成果】

- ・膜モジュール操作条件の探索完了
- ・プロセスモデルの構築を実施

③CO₂分離中空糸膜モジュールによる膜分離システムの構築



- ・CO₂と良好な相互作用が予測されるナノゲル構造を決定
- ・支持体となる中空糸膜を作成

- ・ベンチ評価設備設計を実施

【意義】

CO₂分離・回収コストを現行技術より低減できる膜システムの確立に寄与できた

◆各個別テーマの成果と意義

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

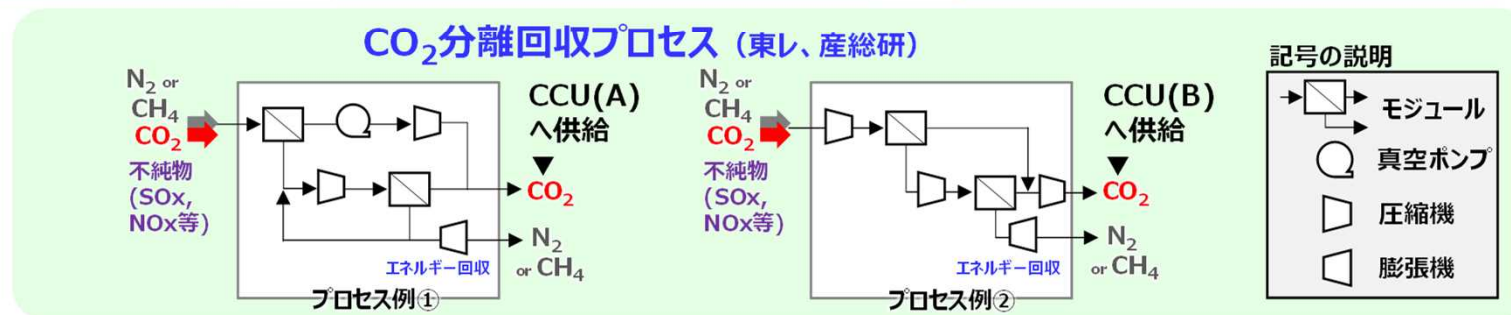
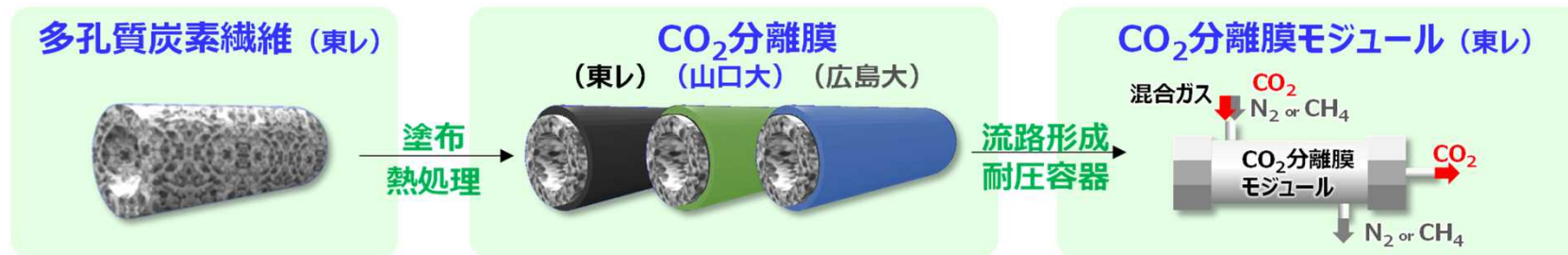
C-3 高温・不純物耐久性CO₂分離膜及び分離回収技術の研究開発

【成果】

- ・耐用年数の評価手法を整理
- ・酸化耐久性、擦過傷対策の立案

- ・所定サイズでの成膜完了
- ・不良箇所の形態分類完了

- ・所定値のCO₂/N₂を達成



- ・メタノール化の場合、CO₂純度60%以上が必要であることを確認
- ・プロセスシミュレータを選定し、試算できることを確認

【意義】

CO₂分離・回収コストを現行技術より低減できる膜システムの確立に寄与できた

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

固体吸収法：A 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

研究開発項目	中間目標(2022年度)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① 固体吸収材移動層システムのスケールアップ実ガス試験	<ul style="list-style-type: none"> ・40t-CO₂/d相当の固体吸収材循環の達成 ・固体吸収材のこぼれや異常破砕を起こさない運転の達成 ・性能確認試験・安定運転評価の準備完了 ・舞鶴発電所実ガスをパイロットスケール試験設備に導入し、CO₂の分離・回収を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器の工場製作が完了し、工場検査実施の上、出荷完了した。 ・各種法規制に関する調査・対応、地元説明および土工事を完了した。 	△ (2023年3月達成見込み)	<p>現地での据付不具合が生じた場合、全体工程に影響を与える可能性がある。</p> <p>据付不具合が発覚した場合、不具合対策を講じ修正・改造・調整を行うことで、全体工程を遵守する。</p>
② 高効率CO ₂ 分離回収技術基盤技術開発 1 固体吸収材の性能向上及び製造技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・固体吸収材のスケールアップ製造及び性能向上の目途付け完了 ・パイロット試験に必要な固体吸収材供給の完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・パイロット試験用の固体吸収材の仕様を決定した。 ・パイロット試験に必要な量の固体吸収材の製造を完了した。 	△ (2023年3月達成見込み)	<p>パイロット試験の進捗に合わせた固体吸収材の供給を行う必要がある。進捗状況等の情報共有を適切に行う。</p>
② 高効率CO ₂ 分離回収技術基盤技術開発 2 高度シミュレーション技術の開発と最適プロセスの検討	<ul style="list-style-type: none"> ・移動層シミュレーションの高度化の達成 ・実ガス試験での最適運転条件の提示 	<ul style="list-style-type: none"> ・構築したシミュレータにより、効率的な運転プロセスを明らかにした。 ・湿度がCO₂吸着量へ及ぼす影響の実験的評価を行い、シミュレータの推算精度を向上させた。 	△ (2023年3月達成見込み)	<p>パイロット試験の結果とシミュレーション結果を比較してモデルの信頼性を評価し、装置固有の特性などを考慮したモデルに修正する。更なる精度向上に向けてCO₂とH₂Oの相互作用の解明を行う。</p>

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

膜分離法：B 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

研究開発項目	最終目標（2021年度）	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① 実ガスを用いた試験による課題抽出と解決	<ul style="list-style-type: none"> ・実ガス試験による不純物耐性の評価完了 ・IGCC 適用課題の把握と解決 	<ul style="list-style-type: none"> ・実ガス試験による単膜、膜エレメントの不純物耐性の評価を完了した。 ・IGCC適用課題を把握し解決した。 	○	-
② 膜材料と膜エレメントの最適化	<ul style="list-style-type: none"> (1) 所定圧力での目標分離性能 (CO₂透過流束、純度)の達成 (2) 分離性能低下が所定値以内であること (3) 所定サイズの膜エレメント製作完了 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 単膜の初期特性において目標分離性能を達成した。 (2) 単膜の耐久性を確認した。分離性能低下に対し、対策案を策定した。 (3) 耐圧性を有する膜エレメントの基本製法を確立した。 	○	単膜の長期耐久性向上、耐久性目標の達成 膜エレメントの性能向上、CO ₂ 分離回収コスト・エネルギーに関する目標性能の達成 スイープ構造、広幅化による実機に向けた膜エレメント開発
③ 経済性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の回収率、純度の条件で (1) コスト：1,500円/t-CO₂以下 (2) エネルギー：0.5GJ/t-CO₂以下 ・膜分離システム概念設計完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・単膜の初期特性において目標コスト、エネルギーを達成。膜エレメントについて、技術課題と対策を明らかにした。 ・膜分離システム概念設計を完了した。 	○	スイープ構造の膜エレメントの採用等による分離性能と耐久性の向上による膜エレメントでの目標コスト、エネルギーの達成
④ 情報収集発信	<ul style="list-style-type: none"> ・国際学会やシンポジウム等によるCO₂分離・回収技術情報の研究開発への活用と成果の発信 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術情報調査を実施し、研究開発に反映した。 ・シンポジウムを通じて研究成果を発信した。 	○	-

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-1 高性能CO₂分離膜モジュールを用いたCO₂-H₂膜分離システムの研究開発

研究開発項目	中間目標(2022年度)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① CO ₂ 分離膜プロセスの基本仕様検討	<ul style="list-style-type: none"> 膜分離システムの基本仕様決定 研究開発項目②、③の個別目標の設定完了 	<ul style="list-style-type: none"> IGCC、水素製造プラントを想定した膜分離システムの基本仕様案を設定した。 	○	運転コストの整理→構成要素基本仕様のコスト比較 水素製造コスト目標の設定→ブルー水素の検討事例を参考にコスト試算条件の設定
② 分離膜及び膜モジュールの開発	<ul style="list-style-type: none"> 目標分離性能・耐久性達成の目処付け完了 改良支持膜の目処付け、連続製膜条件の明確化 膜エレメントの仕様決定 商用サイズ膜モジュールの仕様方針決定 	<ul style="list-style-type: none"> 耐圧性のある材料を開発した。 広幅支持膜のカール対策法を開発した。 膜材料として目標分離性能達成の目処を得た。 	△ (2023年3月達成見込み)	耐久性検証→最適化した膜の長期連続試験 改良支持膜を用いた製膜条件検討 スイープ式膜エレメントでの性能検証とスイープ構造最適化 膜エレメントとしての目標達成 商用サイズ膜モジュールの仕様検討
③ 膜分離システムの基本設計	<ul style="list-style-type: none"> 膜分離システム構成要素の基本仕様決定 膜分離システムの基本設計完了 	<ul style="list-style-type: none"> 膜分離システムの温湿度制御部の基本仕様の改良案を作成した。 	△ (2023年3月達成見込み)	湿度制御部、温度制御部の詳細検討 項目①を踏まえた基本仕様の検討

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-2 革新的CO₂分離膜モジュールによる効率的CO₂分離回収プロセスの研究開発

研究開発項目	中間目標（2022年度）	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①CO ₂ 分離膜の分離性能向上とベンチ試験用膜モジュールの作製	・所定サイズの膜モジュールにつき、所定のCO ₂ 透過流束、選択性の達成	・CO ₂ の透過を促進するナノゲルの構造を決定した。 ・支持体となる中空糸膜が作成できた。	△ (2023年3月達成見込み)	選定した膜材料を用いてCO ₂ 分離膜の開発を行う。
②CO ₂ 分離膜中空糸膜モジュールによる実排ガスを用いたベンチ試験	・ベンチ評価設備の設計完了 ・簡易評価による実排ガス耐久性把握	・ベンチ評価設備設計を実施した。 ・実排ガス耐久性（簡易評価）を実施した。	△ (2023年3月達成見込み)	ベンチ評価設備の設計実行、簡易評価方法の選定を行う。
③CO ₂ 分離膜中空糸膜モジュールによる膜分離システムの構築	・膜分離プロセスモデルの構築完了	・膜モジュール操作条件探索が完了した。 ・Aspen Plusによりプロセスモデルを構築した。	△ (2023年3月達成見込み)	膜モジュールモデルのAspen Plusフローシートへの組み込み、排出源と利用先のプロセスモデルの作成を行う。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

膜分離法：C二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-3 高温・不純物耐久性CO₂分離膜及び分離回収技術の研究開発

研究開発項目	中間目標（2022年度）	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① 高温・不純物耐久性炭素多孔質支持体の開発	・換算耐用年数の評価手法の確立 ・支持体連続試作の実施	・換算耐用年数の評価手法を調査・整理 ・酸化耐久性について重量保持率99%以上を達成 ・擦過傷対策を立案	△ (2023年3月達成見込み)	連続試作時の擦過傷対策として、連続搬送に伴う支持体と装置との接触部材質を変更
② 炭素多孔質支持体への薄膜分離機能層の形成技術の開発	・所定条件での製膜、不良箇所の発生形態データ類型化	・所定サイズでの製膜完了 ・不良箇所の形態分類完了	△ (2023年3月達成見込み)	不良箇所の形態分類毎に対策立案、個別設備面で課題を設定済み
③ 高温・不純物耐久性CO ₂ 分離膜の開発	・膜モジュール試作および高温環境での膜性能の評価完了	・所定値のCO ₂ /N ₂ を達成	△ (2023年3月達成見込み)	分離機能層の高性能化 高CO ₂ 透過度化 高CO ₂ /N ₂ 分離係数化 高CO ₂ /CH ₄ 分離係数化
④ 高温・不純物環境下でのCO ₂ 分離・回収技術および分離膜評価技術の開発	・実排ガス環境での膜性能評価・結果の整理と課題抽出	-	△ (2023年3月達成見込み)	-
⑤ 省エネ・低コストとなるCO ₂ 分離・回収プロセスの机上での試算と整理	・CO ₂ 利活用先調査および結果の整理	・メタノール化に必要なCO ₂ 純度60%以上を確認 ・プロセスシミュレータを選定、試算できることを確認	△ (2023年3月達成見込み)	-

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

研究開発テーマ	成果	達成度※	意義
A 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	パイロット試験の準備(設備、固体 吸収材、運転条件シミュレーショ ン)を進めた。	△ (2023年3 月達成見込 み)	パイロットスケール試験の実施に向けた準備を着実に進めた。
B 二酸化炭素分離膜 モジュール実用化研究 開発	膜モジュールを開発し、石炭ガス化 ガスによる実ガス試験を実施した。	○	二酸化炭素膜分離システムに適用可能な膜モジュールを得ることができた。
C 二酸化炭素分離膜 システム実用化研究開 発	火力発電等で発生するガスから CO ₂ を分離・回収する分離膜シス テムの分離膜材料の開発を開始し た。	△ (2023年3 月達成見込 み)	分離膜プロセスと分離特性を確認することができた。

※ A,Cは中間目標(2022年度)に対する達成度, Bは最終目標(2021年度)に対する達成度

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、X未達

◆ 成果の最終目標の達成可能性

固体吸収法：A 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

研究開発項目	最終目標 (2024年度末)	現状と達成見込み
① 固体吸収材移動層システムのスケールアップ実ガス試験	<ul style="list-style-type: none"> ・ボイラの負荷変動等への追従性、長期安定性確認 ・システム追設による周辺施設への環境影響評価完了 ・シミュレータによる最適運転条件での実ガス試験の実施 	<p>(現状)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機器の工場製作完了し、工場検査実施の上、出荷完了した。 ・各種法規制に関する調査・対応、地元説明および土工事を完了した。 <p>(達成見込み)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2023年度からスケールアップ実ガス試験を実施することを通じて、最終目標はいずれも達成できる見込み。
② 「高効率CO ₂ 分離回収技術基盤技術開発」 1 固体吸収材の性能向上及び製造技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・固体吸収材の製造体制構築・製造技術の目途付け完了 ・固体吸収材の適用性拡大 	<p>(現状)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・固体吸収材のベンチスケールでの事前評価試験を実施し、パイロット試験用の固体吸収材の仕様を決定した。 ・パイロット試験開始に必要な量の固体吸収材の製造を完了した。 <p>(達成見込み)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今後、大規模実装に向けた製造技術開発および適用性拡大に取り組み、最終目標は達成できる見込み。
② 「高効率CO ₂ 分離回収技術基盤技術開発」 2 高度シミュレーション技術の開発と最適プロセスの検討	<ul style="list-style-type: none"> ・固体吸収材プロセスシミュレーション技術の確立 	<p>(現状)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構築したシミュレータによりベンチ試験とパイロット試験条件の比較検討を行い、効率的な運転プロセスを明らかにした。 <p>(達成見込み)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今後、シミュレータの精度向上を図ることにより、最終目標は達成できる見込み。

◆ 成果の最終目標の達成可能性

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-1 高性能CO₂分離膜モジュールを用いたCO₂-H₂膜分離システムの研究開発

研究開発項目	最終目標 (2023年度末)	現状と達成見込み
① CO ₂ 分離膜プロセスの 基本仕様検討	<ul style="list-style-type: none"> 膜分離システムの基本仕様決定 研究開発項目②、③の個別の目標の設定 	<p>(現状)</p> <ul style="list-style-type: none"> IGCC、水素製造プラントを想定した膜分離システムの基本仕様案を設定した。 <p>(達成見込み)</p> <ul style="list-style-type: none"> 今後、基本仕様の決定と目標設定に取り組み、目標は達成できる見込み
② 分離膜及び膜モジュールの 開発	<ul style="list-style-type: none"> 広幅連続製膜処方の確立 膜エレメントの基本製法確立 目標分離性能・耐久性達成 商用サイズ膜エレメントの基本製法確立 	<p>(現状)</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐圧性のある材料を開発した。 広幅支持膜のカール対策法を開発した。 膜材料として目標分離性能達成の目処を得た。 <p>(達成見込み)</p> <ul style="list-style-type: none"> 引き続き膜エレメントの製法確立や目標性能・耐久性達成に向けて取り組み、最終目標は達成できる見込み
③ 膜分離システムの基本 設計	<ul style="list-style-type: none"> 目標分離回収エネルギー・コストの達成 天然ガスからの水素製造においてCO₂分離・回収を可能とするシステムの構築完了 	<p>(現状)</p> <ul style="list-style-type: none"> 膜分離システムの温湿度制御部の基本仕様の改良案を作成した。 <p>(達成見込み)</p> <ul style="list-style-type: none"> 今後、システム構成要素の詳細検討や基本設計に取り組み、最終目標は達成できる見込み

◆ 成果の最終目標の達成可能性

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-2 革新的CO₂分離膜モジュールによる効率的CO₂分離回収プロセスの研究開発

研究開発項目	最終目標 (2023年度末)	現状と達成見込み
① CO ₂ 分離膜の分離性能向上とベンチ試験用膜モジュールの作製	・所定サイズのベンチ試験向け中空糸膜モジュールの開発完了	(現状) ・透過促進剤の選定と中空糸膜支持体作製技術を開発した。 (達成見込み) ・今後、ベンチ試験中空糸膜モジュールの開発に取り組み、目標を達成できる見込み。
② CO ₂ 分離膜中空糸膜モジュールによる実排ガスを用いたベンチ試験	・所定時間の連続耐久性の達成	(現状) ・ベンチ評価設備の設計に着手した。 (達成見込み) ・今後、ベンチ評価設備による試験を実施し、目標を達成できる見込み。
③ CO ₂ 分離膜中空糸膜モジュールによる膜分離システムの構築	・排出源、有効利用先を含めた検討による最適運転条件の提示	(現状) ・膜の運転条件を探索した。 ・膜モジュールモデルを作成した。 ・膜分離システムを構築した。 (達成見込み) ・今後、最適運転条件の探索に取り組み、目標を達成できる見込み。

◆ 成果の最終目標の達成可能性

膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

C-3 高温・不純物耐久性CO₂分離膜及び分離回収技術の研究開発

研究開発項目	最終目標 (2023年度末)	現状と達成見込み
① 高温・不純物耐久性炭素多孔質支持体の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の換算耐用年数 ・所定長さおよび所定回数の支持体連続試作 	(現状) <ul style="list-style-type: none"> ・換算耐用年数の評価手法を調査・整理 ・酸化耐久性につき重量保持率99%以上を達成、擦過傷対策を立案 (達成見込み) 今後、換算耐用年数の評価や支持体試作を行い、達成の見込み
② 炭素多孔質支持体への薄膜分離機能層の形成技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・所定条件、回数での連続試作 	(現状) <ul style="list-style-type: none"> ・所定サイズの製膜完了 ・不良箇所の形態分類完了 (達成見込み) 今後、連続試作を実施し、達成の見込み
③ 高温・不純物耐久性CO ₂ 分離膜の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の膜性能 ・高温試験用モジュール設計・試作 	(現状) <ul style="list-style-type: none"> ・所定値のCO₂/N₂を達成 (達成見込み) 今後、モジュール設計・試作を行い達成の見込み
④ 高温・不純物環境下でのCO ₂ 分離・回収技術および分離膜評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・所定の換算耐用年数 ・所定の膜性能 	- (達成見込み) 今後、膜性能と換算耐用年数の評価を行い、達成の見込み
⑤ 省エネ・低コストとなるCO ₂ 分離・回収プロセスの机上での試算と整理	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂利活用先の調査結果の精査と整理 ・CO₂分離・回収プロセスの机上試算条件へのフィードバック ・CO₂分離・回収コスト1,500円/t-CO₂未満 	(現状) <ul style="list-style-type: none"> ・メタノール化に必要なCO₂純度60%以上を確認。 ・プロセスシミュレータを選定、問題なく試算できることを確認 (達成見込み) 今後、CO ₂ 分離・回収コストの試算等を実施し、達成の見込み

◆ 成果の普及

(カッコ内の数字は今後の見込み)

固体吸収法 A 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

	2021年度	2022年度	計
論文	2	0	2
研究発表・講演	14	2 (4)	16 (4)
受賞実績	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	6	4 (4)	10 (4)
展示会への出展	0	0	0

※2022年8月時点

膜分離法 B 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

	2021年度	2022年度	計
論文	1	0 (3)	1 (3)
研究発表・講演	8	2 (5)	10 (5)
受賞実績	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	3	0	3
展示会への出展	0	0 (1)	0 (1)

※2022年8月時点

◆知的財産権の確保に向けた取組**特許出願件数** (うち、カッコ書きの中は見込み)

	2021年度	2022年度	計
A 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	2	0	2
B 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発 C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発	2	0 (6)	2 (6)

※2022年8月時点

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化の考え方
- (2)成果の実用化・事業化に向けた戦略と具体的取組

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

固体吸収法 A 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

実用化とは、『石炭火力等の実燃焼排ガスからのCO₂分離・回収連続運転が可能となること』

事業化とは、『当該研究開発に係る技術、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ、CO₂排出削減)に貢献すること』をいう。

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

膜分離法 B 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

実用化とは、『CO₂を選択的に透過する膜素材を見い出し、実ガスに適用し得る膜分離プロセスを明らかにすることで、より省エネルギーで低コストなCO₂分離・回収技術の見通しを得ること』をいう。

固体吸収法：A 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

◆ 実用化・事業化に向けた戦略

プロジェクト期間中に石炭火力実排ガスによるCO₂分離・回収の連続運転を行い、運転データ等からCO₂大規模排出源向けのスケールアップ検討を行い、多様な適用先へ展開できるようにする。

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組

プロジェクト期間後は、CO₂大規模排出源向けのスケールアップへの課題抽出や対策の検討を行うと共に、固体吸収材についても製造プロセスの最適化を行い、大規模排出源向けの固体吸収材の供給ができるようにする。

◆ 成果の実用化・事業化の見通し

プロジェクト期間中に石炭火力実排ガスによるCO₂分離・回収の連続運転を行うことによって、実用化を見通せるものと思われる。
さらに、プロジェクト期間後、大規模排出源向け等、多様な排出源に向けた適用検討を進めることにより、事業化を見通せるものと思われる。

**膜分離法：B 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発**

◆実用化に向けた戦略

実用化に向けて、分離膜モジュールの研究開発→分離膜システムの研究開発→分離膜システムの実証 → 商用生産に向けた検討 を段階的に進める。

◆実用化に向けた具体的取組

分離膜システムの実証として、実ガスへの耐久性およびCO₂分離・回収コストを評価する。

◆成果の実用化の見通し

CO₂を選択的に透過する膜素材を見だし、実ガスに適用し得る膜分離プロセスを明らかにすることができる。

さらに、その後に分離膜システムの実証、商用生産に向けた検討を行うことにより、より省エネルギーで低コストなCO₂分離・回収技術の見通しを得ることができる。

したがって、上記の「実用化に向けた戦略」を着実に実行することによって、成果の実用化が十分に見通せるものと思われる。

◆波及効果

社会的・経済的効果

CCUS/カーボンリサイクルのためのCO₂を低コストで確保し、カーボンニュートラル全体に係るコストの削減に貢献できる。

技術的効果

本プロジェクトで開発した技術は、石炭火力のみならず、化学品製造等のプロセスガスからのCO₂回収など、様々な対象への応用展開が期待できる。

人材育成効果

本プロジェクトを通じて、CO₂分離・回収のみならず、エネルギー分野に関わる企業・大学の技術者の育成に繋げることができる。

本プロジェクトを通じて、産学連携による若手の育成に貢献できる。