

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

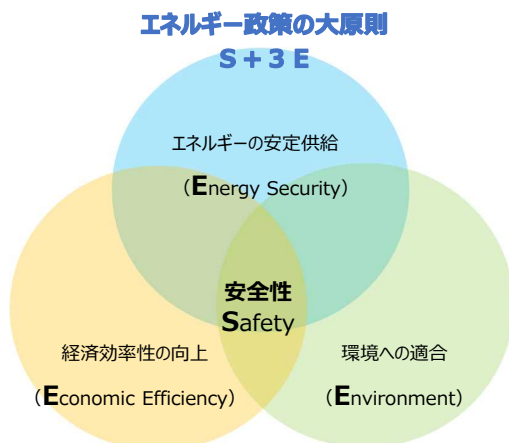
- 2) 先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究
- 3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
- 4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

(中間評価) プロジェクトの概要 (公開) (分科会資料抜粋) NEDO 環境部 2022年10月18日

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 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)



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。

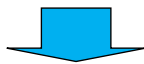
【石炭】

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。

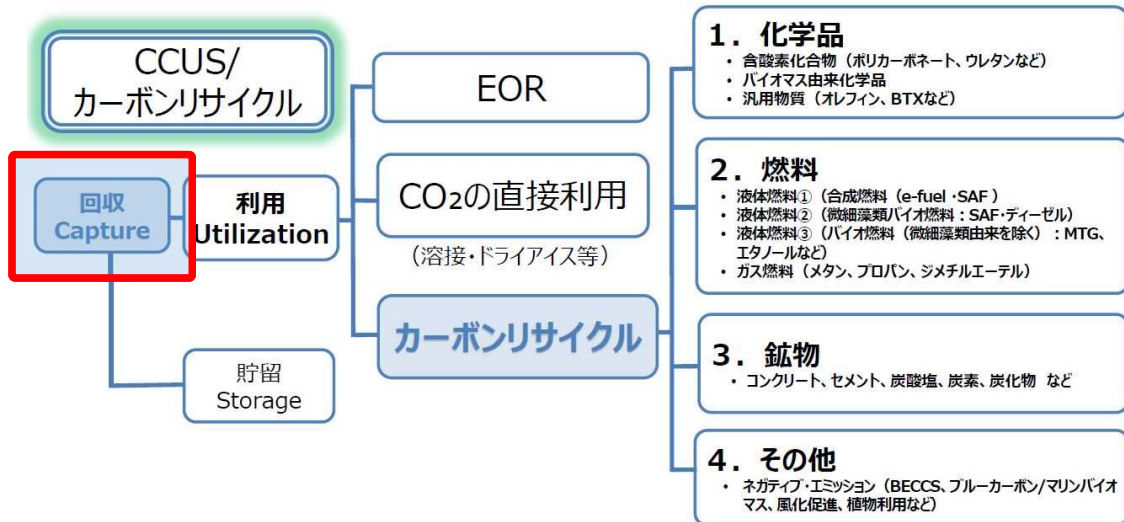
➤ CCS長期ロードマップ検討会 中間とりまとめ（2022年5月）

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。



出典：経済産業省「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2021年7月)

◆ 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>	2030年のターゲット	2040年以降のターゲット
<ul style="list-style-type: none"> 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リサイクルに適合するCO₂分離回収システムの構築(コプラクティオン) 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 	<p>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)</p> <p>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</p> <p>高圧ガス用(化学プロセス、燃料ガスなど、濃度数10%、数MPaでのCO₂分離)</p> <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 	<p><分離回収実用化></p> <ul style="list-style-type: none"> 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)
<p><個別技術></p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p><CO₂回収を容易にするためのプロセス技術></p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p><具体的な取組例></p> <ul style="list-style-type: none"> 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 	<p><CO₂分離回収システムの構築></p> <ul style="list-style-type: none"> 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) <p><分離素材標準評価技術の確立></p> <ul style="list-style-type: none"> 評価プロトコル確立による素材開発加速の実現 <p><CO₂輸送・貯蔵システムの構築></p> <ul style="list-style-type: none"> 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) 	

出典：経済産業省「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2021年7月)₃

◆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

CO ₂ 分離・回収コスト：	4,170円/t-CO ₂
CO ₂ 昇圧コスト：	1,710円/t-CO ₂
CO ₂ 輸送コスト：	2,760円/t-CO ₂
CO ₂ 圧入コスト：	1,360円/t-CO ₂

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-CO ₂
ルウェー：	6,912円/t-CO ₂
スイス：	11,140円/t-CO ₂

※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

◆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。

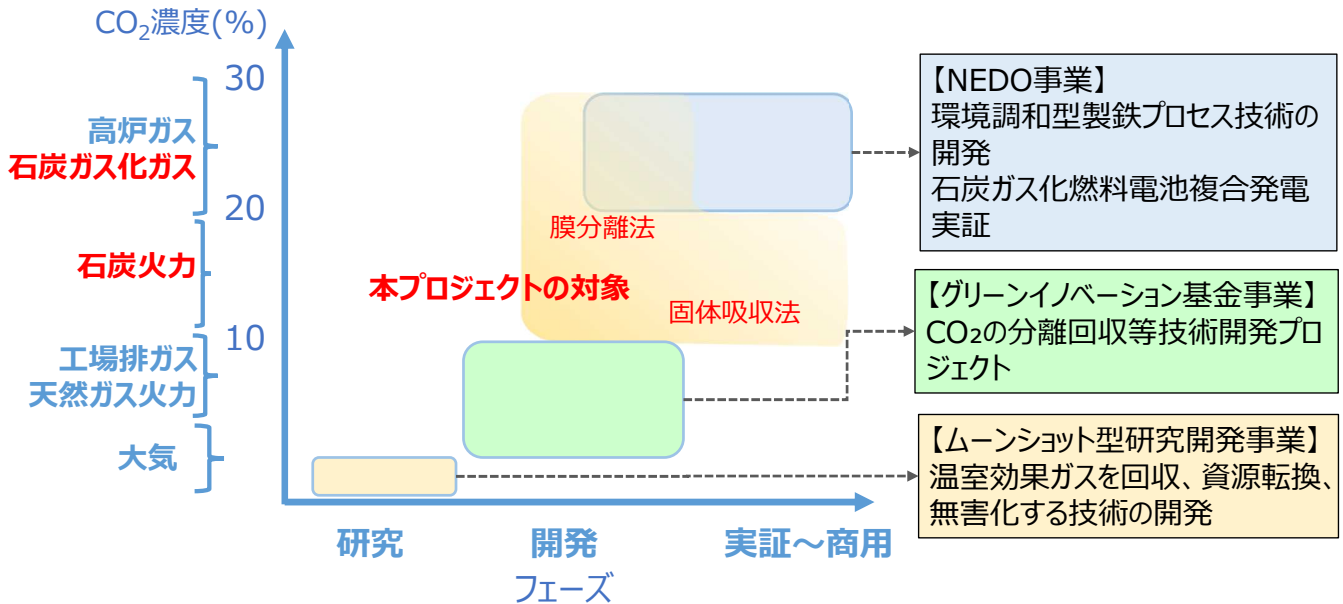
【ムーンショット型研究開発事業】

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



◆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。

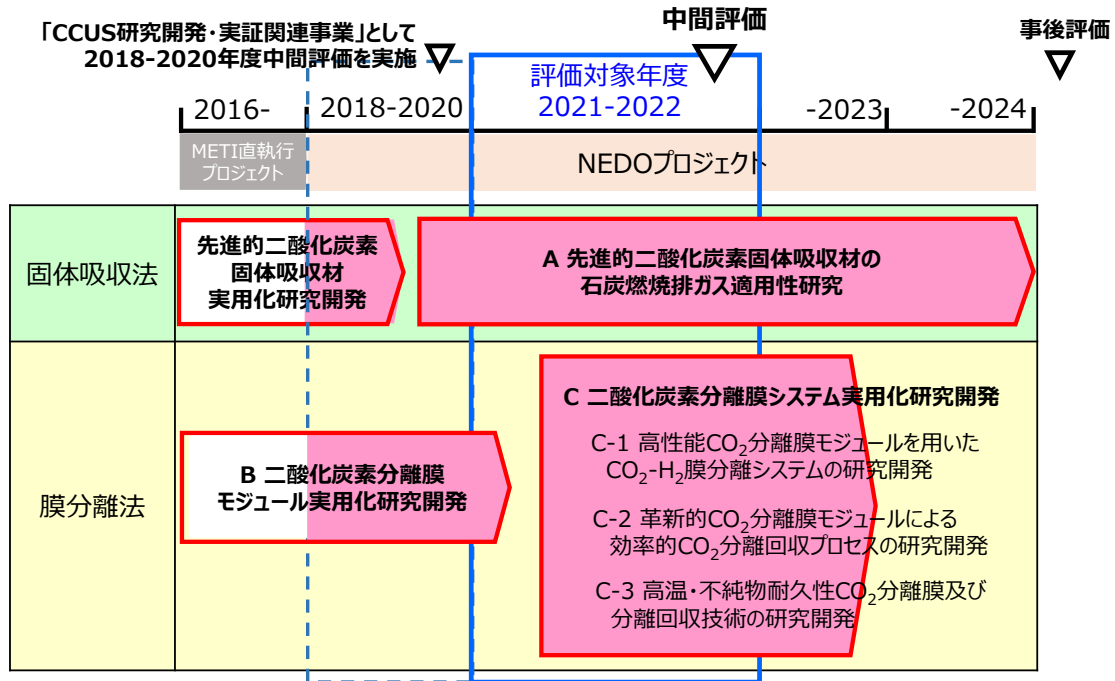
▶ 最終目標

(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



◆ 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 ・固体吸収材のご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 ・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 ・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 ・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。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆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	・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	・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	(1) 所定圧力での目標分離性能 (CO ₂ 透過流速、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	・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	・所定の回収率、純度の条件で (1)コスト：1,500円/t-CO ₂ 以下 (2)エネルギー：0.5GJ/t-CO ₂ 以下 ・膜分離システムの概念設計完了	・新規CO ₂ 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	・国際学会やシンポジウム等によるCO ₂ 分離・回収技術情報の研究開発への活用と成果の発信	・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。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆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	【中間目標】 ・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	【中間目標】 ・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	【中間目標】 ・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 【最終目標】 ・広幅連続製膜処方確立 ・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	【中間目標】 ・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。 【最終目標】 ・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	【中間目標】 ・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 【最終目標】 ・目標分離回収エネルギー・コストの達成 ・CO ₂ 分離・回収を可能とするシステムの構築完了	【中間目標】 ・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。 【最終目標】 ・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	【中間目標】 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 【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	【中間目標】 ・回収したCO ₂ を化成品合成に利用するために、CO ₂ 回収純度を設定して試算した結果より、目標CO ₂ 透過流束及び選択性を設定した。 【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。
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	【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 【最終目標】 所定時間の連続耐久性の達成	・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。
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	【中間目標】 膜分離プロセスモデルの構築完了 【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	・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CO ₂ 分離・回収を行う事のできる条件を探索する必要がある。

◆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-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	【中間目標】 ・換算耐用年数の評価手法の確立 ・支持体連続試作の実施 【最終目標】 ・換算耐用年数の評価 ・支持体連続製造の実施	・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	【中間目標】 ・所定条件での製膜、不良箇所の発生形態データ類型化 【最終目標】 ・所定条件での連続製造の実施	・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	【中間目標】 ・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 【最終目標】 ・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	・CO ₂ 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	【中間目標】 ・実排ガス環境での膜性能評価・結果の整理と課題抽出 【最終目標】 ・換算耐用年数および膜性能評価完了	・CO ₂ 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	【中間目標】 ・CO ₂ 利活用先調査および結果の整理 【最終目標】 ・CO ₂ 分離・回収プロセスの机上試算条件へのフィードバック	・CO ₂ 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 ・CO ₂ 利活用を普及させるために合理的に必要なCO ₂ 分離・回収コストを設定

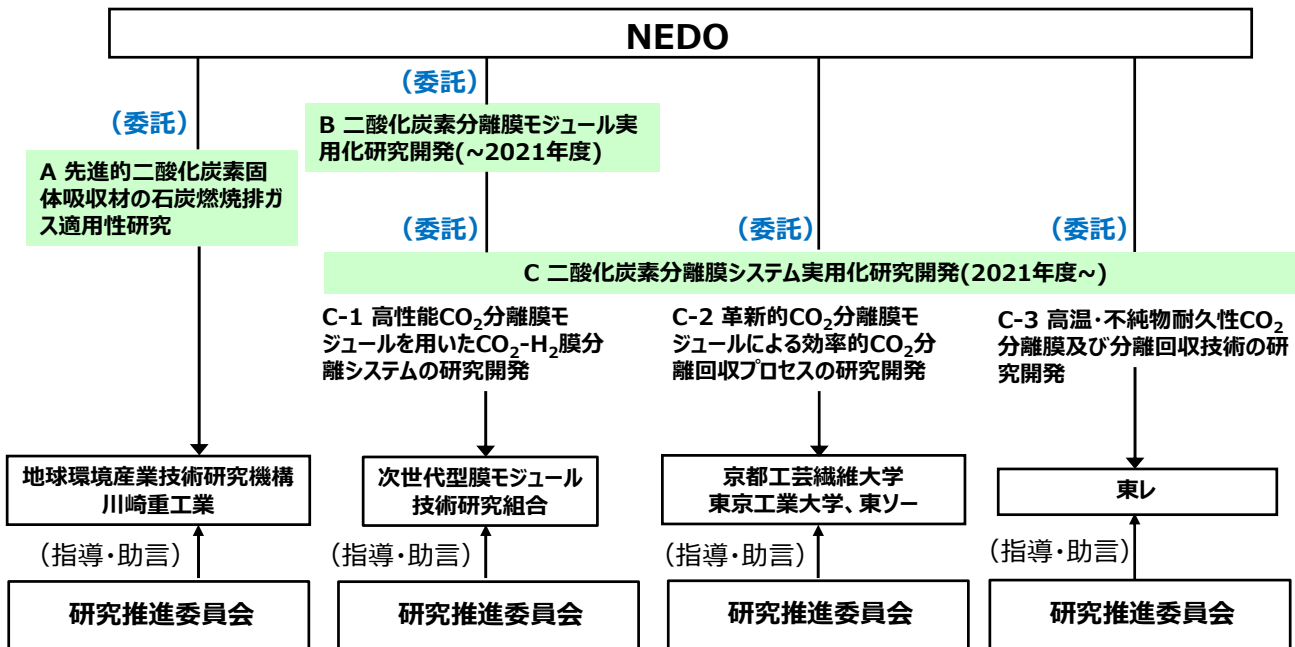
◆プロジェクト費用

研究開発テーマ	METI事業 2016～ 2017	2018	2019	2020	評価対象年度		合計
					2021	2022	
・固体吸収法	(645)	550	694	756	2,591	2,635	7,226 (7,871)
・膜分離法	(373)	183	408	220	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



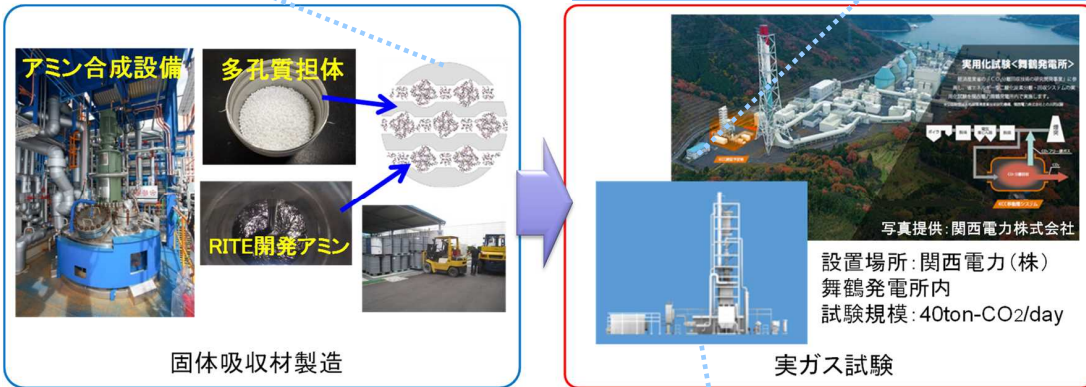
◆ 各個別テーマの成果と意義

固体吸収法：A 先進的二氧化碳素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究

【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】

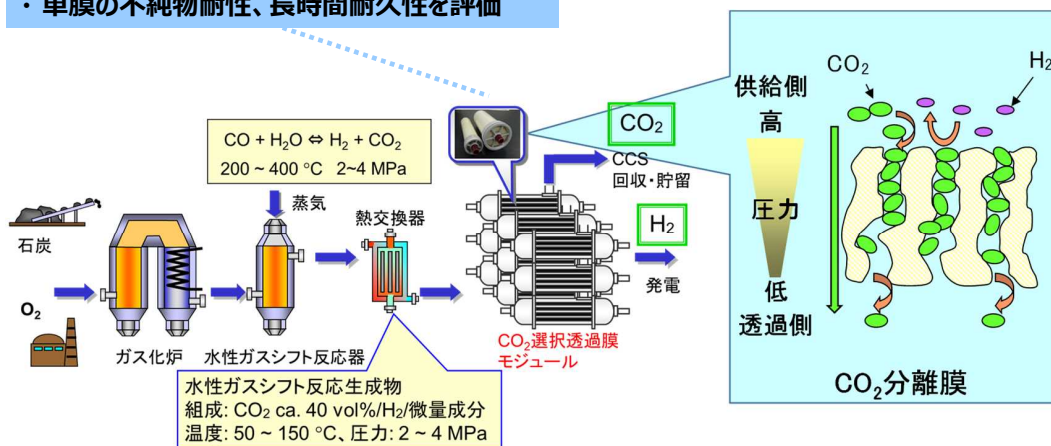
CO₂分離・回収コストを現行技術より低減できる固体吸収材移動層システムについて、実ガス試験の実施に繋げることができた

◆ 各個別テーマの成果と意義

膜分離法：B 二氧化碳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】

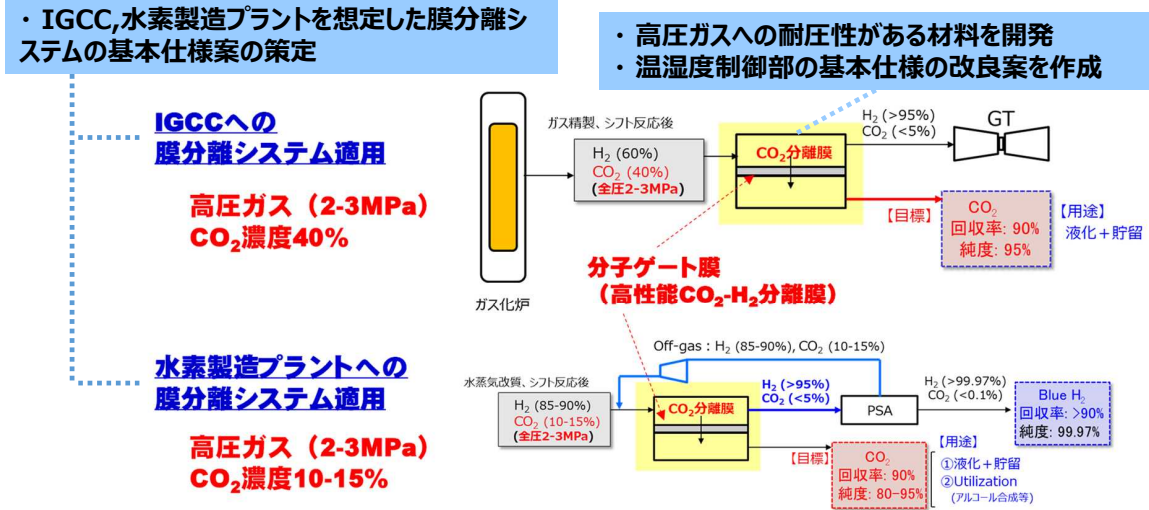
CO₂分離・回収コストを現行技術より低減できる膜分離システム向けの膜素材を提供できた

◆ 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】



【意義】

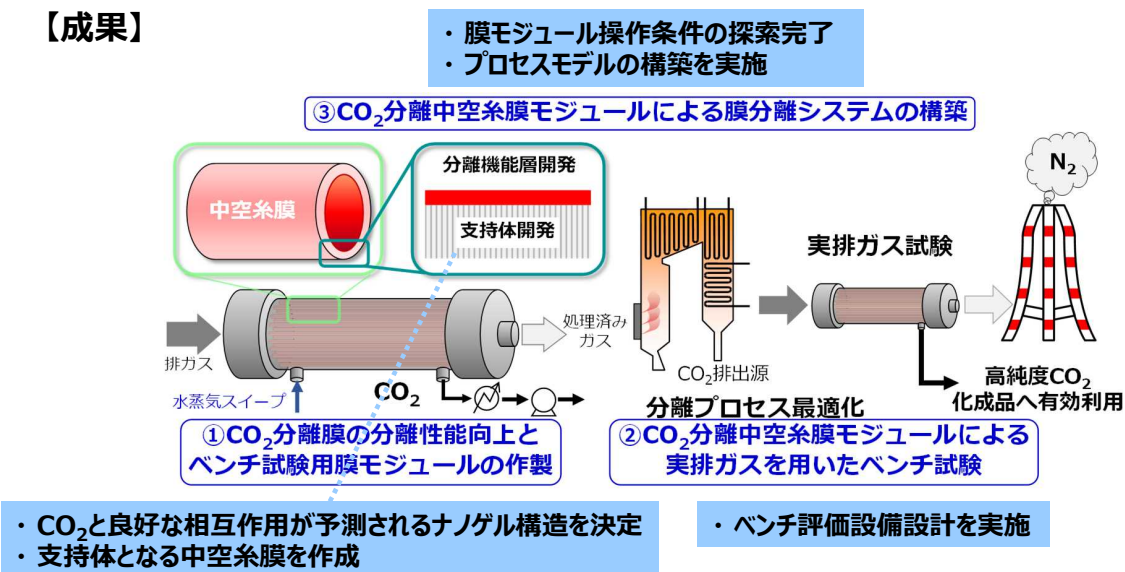
CO₂分離・回収コストを現行技術より低減できる膜システムの確立に寄与できた

◆ 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】



【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

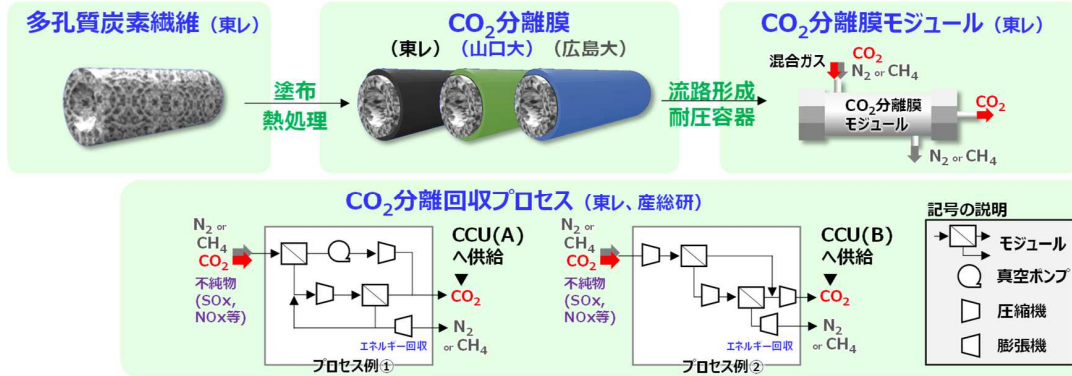
膜分離法：C 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発
C-3 高温・不純物耐久性CO₂分離膜及び分離回収技術の研究開発

【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>

3. 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

◆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	・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	・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	(1) 所定圧力での目標分離性能 (CO ₂ 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	(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 スリーブ構造、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	・所定の回収率、純度の条件で (1)コスト：1,500円/t-CO ₂ 以下 (2)I値：0.5GJ/t-CO ₂ 以下 ・膜分離システムの概念設計完了	・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。 ・膜分離システムの概念設計を完了した。	○	スリーブ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	・国際学会やシンポジウム等によるCO ₂ 分離・回収技術情報の研究開発への活用と成果の発信	・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。	○	-

◎ 大きく上回って達成、○達成、X未達

3. 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

◆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
①CO ₂ 分離膜プロセスの基本仕様検討	・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	・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	・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	・耐圧性のある材料を開発した。 ・広幅支持膜のカ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 スリーブ式膜エレメントでの性能検証とスリーブ構造最適化 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	・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	・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、X未達

3. 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

◆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

3. 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

◆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)	-

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

3. 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

◆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 先進的二氧化碳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 二氧化碳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。	○	二氧化碳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 二氧化碳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、×未達

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆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 先進的二氧化碳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 二氧化碳素分離膜モジュール実用化研究開発
 C 二氧化碳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 先進的二氧化碳素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究	2	0	2
B 二氧化碳素分離膜モジュール実用化研究開発 C 二氧化碳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

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化・事業化に向けた戦略と具体的取組

固体吸収法 : A 先進的二氧化碳素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究

◆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り、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。

概要

		最終更新日	2022年9月22日
プロジェクト名	カーボンサイクル・次世代火力発電等技術開発／⑩CO ₂ 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	プロジェクト番号	P18006
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM 布川 信 (2021年4月～2021年11月、2022年7月～現在) 環境部 PM 福原 敦 (2021年12月～2022年6月)		
0. 事業の概要	<p>本事業では、CO₂の分離・回収コストを大幅に削減するために以下の実用化研究を実施する。</p> <p>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 アミンを固体に担持した固体吸収材について、石炭火力発電所からの実燃焼排ガスを対象としたスケールアップ試験を行い、その適用性を研究する。</p> <p>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 CO₂を分離・回収する分離膜について、石炭火力発電所等で発生する実ガスに適用可能なモジュール及びシステムの実用化研究を行う。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性に ついて	<p>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。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」が必要となる。</p> <p>CO₂分離・回収技術にかかるエネルギー消費は大きく、コストが高いことから、省エネルギーで低コストなCO₂分離・回収技術の確立が求められている。</p> <p>「カーボンサイクル技術ロードマップ」においては、CO₂分離・回収の個別技術として「固体吸収法」「膜分離法」およびその目標値として、固体吸収法 2,000 円台/t-CO₂, 膜分離法 1,000 円台/t-CO₂が明記されている。</p> <p>これらの背景を踏まえ、本事業では、省エネルギーで低コストなCO₂分離・回収技術の確立を目的として「固体吸収法」および「膜分離法」の確立に向けた技術開発を実施する。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>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 [中間目標] 2022年度 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。 [最終目標] 2024年度 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。</p> <p>3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発【2021年度終了】 [最終目標] 2021年度 石炭ガス化複合発電等で発生する比較的高い圧力を有するガスからのCO₂分離・回収エネルギーについて、実用化段階(数百万t-CO₂/年規模を想定)で回収エネルギー0.5GJ/t-CO₂以下を達成する分離膜技術を開発する。</p> <p>4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発</p>		

	<p>[中間目標] 2022 年度 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。</p> <p>[最終目標] 2023 年度 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 以下を達成できる技術を開発する。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項		2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy
	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	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					
		② 高効率 CO ₂ 分離回収技術基盤技術開発					
	3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発	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					
		② 膜材料と膜エレメントの最適化					
		③ 経済性評価					
		④ CO ₂ 分離回収技術に関する情報収集発信					
	4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発						
	高性能 CO ₂ 分離膜モジュールを用いた CO ₂ -H ₂ 膜分離システムの研究開発	① CO ₂ 分離膜プロセスの基本仕様検討					
		② 分離膜及び膜モジュールの開発					
		③ 膜分離システムの基本設計					
	革新的 CO ₂ 分離膜モジュールによる効率的 CO ₂ 分離回収プロセスの研究開発	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					
		② CO ₂ 分離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					
		③ CO ₂ 分離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					
高温・不純物耐久性 CO ₂ 分離膜及び分離回収技術の研究開発	① 高温・不純物耐久性炭素多孔質支持体の開発						
	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						

		③高温・不純物耐久性 CO ₂ 分離膜の開発						
		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						
		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						
事業費推移 (単位:百万円)	会計・勘定	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額	
	総 NEDO 負担額 (委託) (固体吸収法)	550	694	756	2,591	2,635	7,226	
	総 NEDO 負担額 (委託) (膜分離法)	183	408	220	155	771	1,737	
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課						
	プロジェクト リーダー	—						
	プロジェクト マネージャー	環境部 布川 信						
	委託先 (助成事業の場合 「助成先」とするなど 適宜変更) (組合が委託先に 含まれる場合は、そ の参加企業数及び 参加企業名も記 載)	<p>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 川崎重工業(株) (公財)地球環境産業技術研究機構 (再委託先:(国)東海大学機構名古屋大学)</p> <p>3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発 次世代型膜モジュール技術研究組合 (参加2社:(公財)地球環境産業技術研究機構、住友化学(株))</p> <p>4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発 ・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 東レ(株) (再委託先:(国)山口大学、(国)広島大学、(国研)産業技術総合研究所) ・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 (国)京都工芸繊維大学 (国)東京工業大学 東ソー(株) (再委託先:(株)キッツマイクロフィルター、(株)日本炭素循環ラボ) ・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 次世代型膜モジュール技術研究組合 (参加2社:(公財)地球環境産業技術研究機構、住友化学(株))</p>						
情勢変化への 対応	<p>2020年頃から、カーボンニュートラルを目指した情勢変化が明確化。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、 							

	<p>期待される 14 の重要分野について実行計画を策定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <ul style="list-style-type: none"> 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） <ul style="list-style-type: none"> 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 <p>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。</p>	
中間評価結果への対応	<p>1. (中間評価での指摘事項)</p> <p>プロセス間の連携（例えば、CO₂ 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。</p> <p>(指摘事項への対応)</p> <p>固体吸収法においては、分離回収した CO₂ 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。</p> <p>2. (中間評価での指摘事項)</p> <p>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。</p> <p>(指摘事項への対応)</p> <p>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。</p>	
評価に関する事項	中間評価	2020 年度、2022 年度実施
	事後評価	2025 年度実施(予定)
3. 研究開発成果について	<p>[事業全体としての成果]</p> <p>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 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。</p> <p>3)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。</p> <p>4)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 CO₂ 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。</p> <p>[個別テーマとしての成果]</p> <p>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</p> <p>3)二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発 個別テーマ無し</p> <p>4)二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発 (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)</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 <p>(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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 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 	

	<p>(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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 	
	投稿論文	<p>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：2 件 3)二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発：1 件 4)二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発：0 件</p>
	特許	<p>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： 「出願済」2 件 3)二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発：「出願済」2 件 4)二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発：「出願済」0 件</p>
	その他の外部発表 (プレス発表等)	<p>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： 研究発表・講演 16 件、新聞・雑誌等への掲載 10 件 3)二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発： 研究発表・講演 8 件、新聞・雑誌等への掲載 3 件 4)二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発： 研究発表・講演 2 件</p>
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<p>[固体吸収法]</p> <p>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</p> <p>1. 実用化・事業化に向けた戦略</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>2. 実用化・事業化に向けた具体的取組</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>3. 成果の実用化・事業化の見通し</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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り、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。 <p>[膜分離法]</p> <p>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</p> <p>1. 実用化に向けた戦略</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>2. 実用化に向けた具体的取組</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発」の終了後、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。 <p>3. 成果の実用化の見通し</p> <p>「二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発」により、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。</p>	

	<p>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。</p> <p>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。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2016 年 1 月 制定
	変更履歴	2016 年 4 月、9 月、2017 年 2 月、5 月、6 月、2018 年 2 月、7 月、9 月、2019 年 1 月、7 月、2020 年 2 月、3 月、7 月、9 月、10 月、2021 年 1 月、5 月、6 月、7 月、2022 年 3 月、8 月 改訂（研究開発の実施体制、具体的研究内容、達成目標、研究開発スケジュール表等の追加、修正）