

「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」

事業原簿

公開版

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------------

—目次—

概 要

プロジェクト用語集

1. 事業の位置付け・必要性について	1-1
1.1. 事業の背景・目的・位置づけ	1-1
1.2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	1-5
1.2.1 NEDO が関与することの意義.....	1-5
1.2.2 実施の効果（費用対効果）	1-5
2. 研究開発マネジメントについて	2-1
2.1. 事業の目標.....	2-1
2.2. 事業の計画内容	2-1
2.2.1 研究開発の内容.....	2-1
2.2.2 研究開発の実施体制	2-5
2.2.3 研究開発の運営管理	2-6
2.2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性.....	2-6
2.3. 情勢変化への対応.....	2-8
2.4. 評価に関する事項	2-9
3. 研究開発成果について	3-1
3.1. 事業全体の成果	3-1
3.2. 研究開発項目毎の成果.....	3-2
3.2.1 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.....	3-2
3.2.2 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発	3-3
3.2.3 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発	3-4
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	4-1
4.1. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて.....	4-1

(添付資料)

- ・特許論文等リスト
- ・プロジェクト基本計画

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」事業一覧（抜粋）

年度(西暦)	1982	~	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
研究開発項目⑧ CO ₂ 有効利用拠点における技術開発(委託・助成)											◇			◇		
									CO ₂ 有効利用拠点化推進事業							
									研究拠点におけるCO ₂ 有効利用技術開発・実証事業							
研究開発項目⑨ CO ₂ 排出削減・有効利用実用化技術開発(委託・助成)																
1) 化学品へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇			◇		
									化学品へのCO ₂ 利用技術開発							
2) 液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇			◇		
									液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発							
3) コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇			◇		
									コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO ₂ 利用技術開発							
4) 気体燃料へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)												◇			◇	
									気体燃料へのCO ₂ 利用技術開発							
研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業(委託・助成)								◇			◇			◇		
1) 石炭利用環境対策推進事業(委託)				※2	石炭発熱性調査・先導研究、スラグの規格化、石炭灰発生量及び有効利用実態調査、石炭灰利用・削減技術開発等											
2) 石炭利用技術開発(2/3補助)			※1	セメント不使用フライアッシュ製造技術開発												
					石炭ガス化溶融スラグのコンクリート実規模性能試験											
研究開発項目⑪ アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業(委託・補助)															◇	
									アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業							
研究開発項目⑫ CO ₂ 分離回収技術の研究開発(※3)									◇		◇			◇		
1) 先進的 ^{※1} 二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発					先進的 ^{※1} 二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発											
2) 先進的 ^{※1} 二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究									先進的 ^{※1} 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				※1	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									二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発							

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> <p>・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</p> <p>・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>							

	<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>	
<p>中間評価結果への対応</p>	<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>	
<p>評価に関する事項</p>	<p>中間評価</p>	<p>2020 年度、2022 年度実施</p>
	<p>事後評価</p>	<p>2025 年度実施(予定)</p>
<p>3. 研究開発成果について</p>	<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）

プロジェクト用語集

名称	略号	意味
二酸化炭素回収・貯留 C arbon D ioxide C apture and S torage (Sequestration)	CCS	発電所や天然ガス鉱山など大規模な排出源で発生するCO ₂ を、他のガスから分離・回収し、安定した地層に貯留することにより、CO ₂ を大気から長期間隔離する技術。
二酸化炭素回収・有効利用・貯留 C arbon Dioxide C apture, U talization and S torage (Sequestration)	CCUS	CCSにCO ₂ の利用に関する技術を含めた技術のこと。CO ₂ 利用先としてカーボンリサイクルやEORなどがある。
石炭ガス化複合発電 I ntegrated coal G asification C ombined C ycle	IGCC	石炭をガス化し得られた石炭ガス化ガスを燃料として、高効率のガスタービン複合発電システムで発電する高効率発電システム。
透過流束		単位膜面積、単位時間、および単位分圧差あたりのガス透過量を示す物理量であり、1 GPU=7.5 × 10 ⁻¹² m ³ (STP)/(m ² s Pa)が単位として汎用されている。
モジュール		分離膜を実際に使用するために集合化させたものであり、エレメントとも言われる。中空糸膜あるいはスパイラル膜が主に実用化されている。

1. 事業の位置付け・必要性について

1.1. 事業の背景・目的・位置づけ

(1) 事業の背景

第6次エネルギー基本計画(2021年10月)において、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ことが示されている。

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。その中でも石炭については、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排出量が大きい、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。

このように、火力発電の脱炭素化に向けて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は「CO₂分離・回収技術」が必要である。

(2) 事業の目的

CO₂分離・回収技術においては、分離・回収にかかるエネルギー消費が大きく、コストが高いことから、省エネルギー化および低コスト化が課題となっている。

そこで、本事業は「省エネルギーで低コストなCO₂分離・回収技術の確立」を目的として実施する。

(3) 事業の位置付け

・政策的位置付け

CO₂分離・回収技術は、以下で示すように政策的に位置づけられている。

・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する。

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・再利用も活用する。

・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、将来有望な選択枝の一つであり、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している。

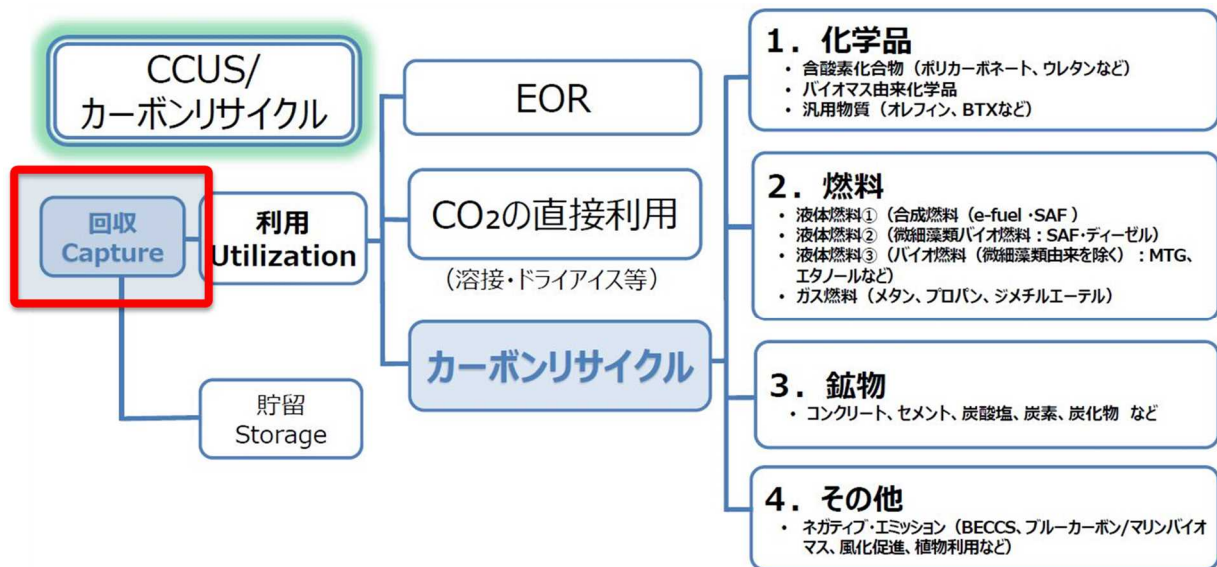
・CCS長期ロードマップ検討会 中間とりまとめ（2022年5月）

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(2021年7月)

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。CO₂分離・回収の個別技術として、「固体吸収法」「膜分離法」、その目標値が明記されている。



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）

図 1.1-1 カーボンリサイクル技術ロードマップにおける CO₂ 分離・回収の位置付け

CCS 全体における CO₂ 分離・回収コストの影響は大きい。また、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は重要である。

CCS 全体のコスト計算の例^{※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

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

関連する国内外の研究開発の動向とその中での当該事業の位置付けを次表に示す。

・固体吸収法による CO₂ 分離・回収技術の開発動向

表 1.1-1 国内外の研究開発の動向（固体吸収法）

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）

・膜分離法による CO₂ 分離・回収技術の開発動向

表 1.1-2 国内外の研究開発の動向（膜分離法）

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°C 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°C 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°C 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°C 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）

1.2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.2.1 NEDO が関与することの意義

- ・ 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である。
- ・ 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て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である。

以上より、本事業は NEDO が持つこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業である。

1.2.2 実施の効果（費用対効果）

石炭火力発電により生じる CO₂ のうち 10% を固体吸収法で回収する場合の、現行技術（化学吸収法）に対する費用対効果を示す。

まず、本事業に係るプロジェクト費用の総額は 99.8 億円（～2022 年度）である。（内、METI 事業費は 10.2 億円）

次に、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 CO₂ 分離・回収コスト削減効果を示す。

第 6 次エネルギー基本計画において、2030 年における年間総発電電力量は 9,340 億 kWh であり、2030 年エネルギーミックスの野心的な見通しとして、石炭火力の比率は 19% と示されている。石炭火力の CO₂ 排出原単位を 0.8 kg-CO₂/kWh とする（超々臨界圧 USC）。現行技術（化学吸収法）による分離・回収コスト 4,200 円/t-CO₂、固体吸収法による分離・回収コスト 2,500 円/t-CO₂ を仮定する。

この場合、石炭火力発電の年間 CO₂ 排出量は 1.4 億 t-CO₂/年（9,340 億 kWh/年 × 19% × 0.8kg-CO₂/kWh × 0.001）である。このうち 10% 相当量を CO₂ 分離・回収する際のコストを計算すると、現行技術（化学吸収法）を適用する場合は 588 億円/年（1.4 億 t-CO₂/年 × 10% × 4,200 円/t-CO₂）、固体吸収法を適用する場合は 350 億円/年（1.4 億 t-CO₂/年 × 10% × 2,500 円/t-CO₂）となる。よって、CO₂ 分離・回収コスト削減効果は 238 億円/年（2030 年を想定）となる。

したがって、本事業の実施による費用対効果は大きい。

2. 研究開発マネジメントについて

2.1. 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。

2.2. 事業の計画内容

2.2.1 研究開発の内容

(1) 本事業で取り組む研究開発テーマ

本事業では、石炭火力発電所等で発生するガスから CO₂ を分離・回収するのに有効な技術として、固体吸収法および膜分離法について研究開発を行う。

(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

石炭火力発電所の燃焼排ガスに最適化された、固体吸収材移動層システムの研究開発を行う。

固体吸収材移動層システムの CO₂ 分離・回収試験を実施するために、移動層パイロットスケール試験設備 (40t-CO₂/d 規模) について、設計・建設・運転等を行う。また、固体吸収材の性能向上を図るとともに、固体吸収材の大量製造技術、移動層システムにおける CO₂ 分離・回収等の各工程にかかるプロセスシミュレーション技術等、CO₂ 固体吸収法に関わる基盤技術開発を行い、石炭火力発電所からの実燃焼排ガスを用いて、固体吸収法による石炭燃焼排ガスへの適用性を研究する。

研究開発項目毎の目標を次表に示す。

表 2.2-1 研究開発項目毎の目標

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碎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。

(3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

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CO₂を分離・回収するのに有効な分離膜技術について、実ガスを用いた実用化研究を行う。

研究開発項目毎の目標を次表に示す。

表 2.2-2 研究開発項目毎の目標

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	<ol style="list-style-type: none"> (1) 所定圧力での目標分離性能 (CO₂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 	<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 <ol 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設計完了 	<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。
④ CO 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・技術対話に取組む。

(4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

火力発電所等で発生するガスから CO₂ を分離・回収するのに有効な膜分離技術について、実ガスに適用可能な分離膜モジュールおよび分離膜システムの実用化研究を行う。

また、CO₂ 分離・回収プロセスと CO₂ 利用プロセスの統合を考慮した膜分離技術の研究開発を行う。

各テーマの研究開発項目毎の目標を次表に示す。

・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

表 2.2-3 研究開発項目毎の目標

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	【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。

・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

表 2.2-4 研究開発項目毎の目標

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。

・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证する
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

（４）研究開発のスケジュール及び費用

本事業において実施するテーマの研究開発のスケジュール及び費用を各々次に示す。

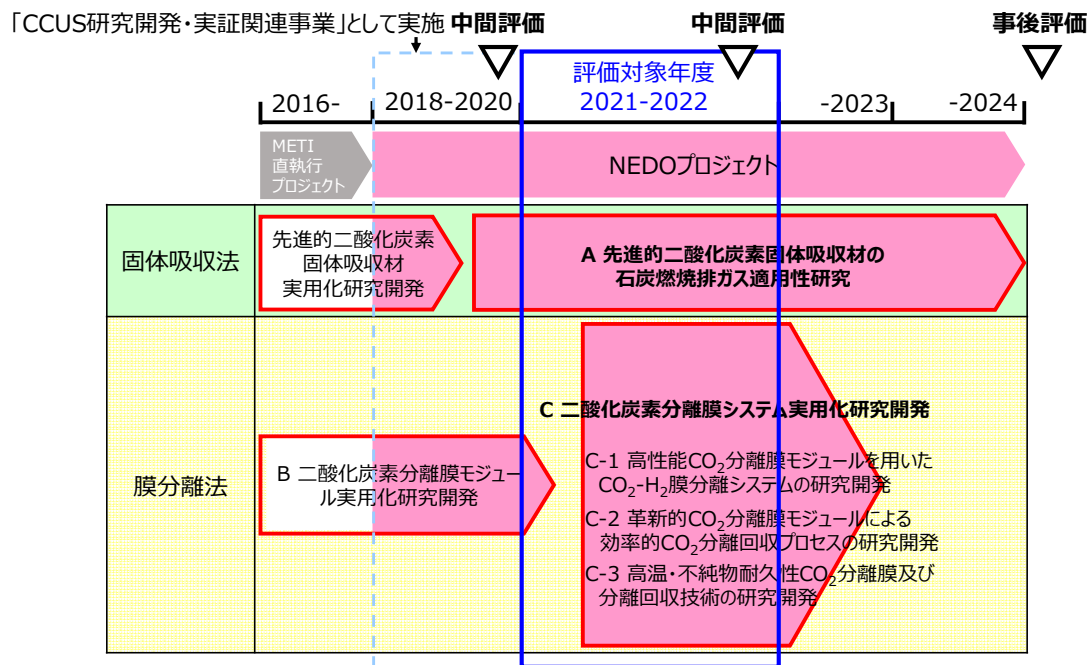


図 2.2-1 研究開発のスケジュール

表 2.2-1 研究開発費用

研究開発テーマ	METI事業 2016～ 2017	評価対象年度					合計
		2018	2019	2020	2021	2022	
・固体吸収法	(645)	先進的固体吸収材 実用化研究開発	694	756	2,591	2,635	7,226 (7,871)
・膜分離法	(373)	B 二酸化炭素分離膜モジュール 実用化研究開発	408	220	155	771	1,737 (2,110)
合 計	(1,018)		1,102	976	2,746	3,406	8,963 (9,981)

【2021 - 2022年度】 6,152百万円

2.2.2 研究開発の実施体制

プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー（以下「PM」という。）を任命する。
本事業において実施する研究開発テーマにおける実施体制を示す。

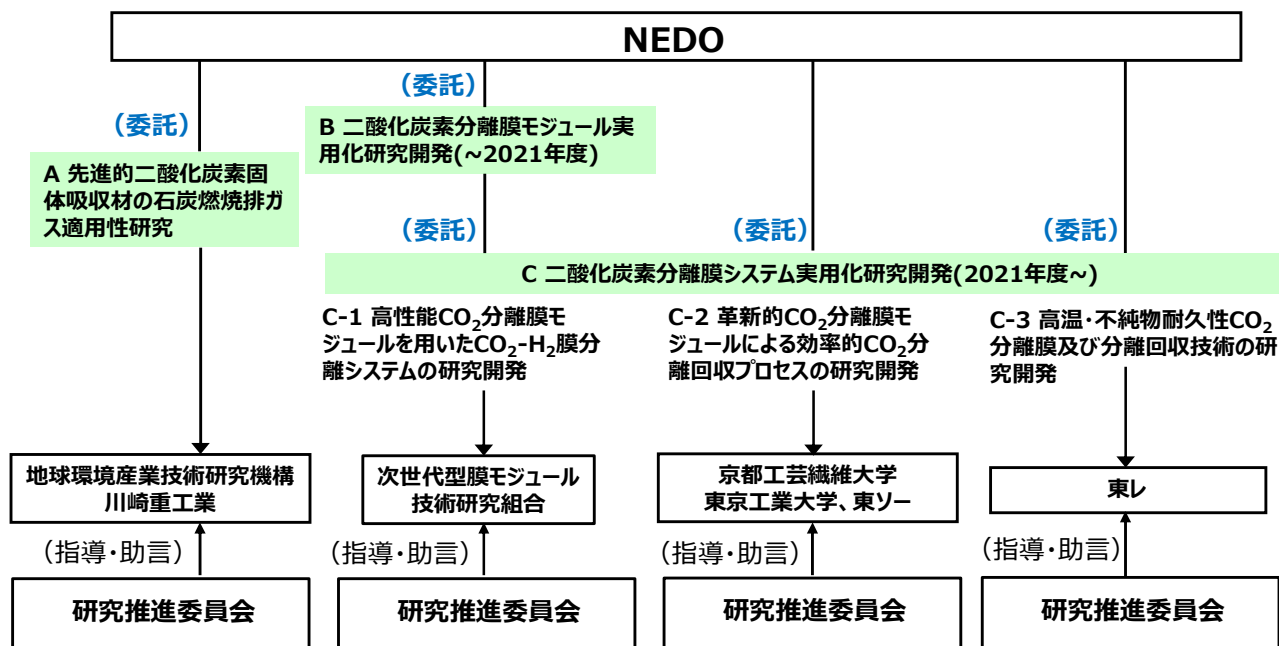


図 2.2-2 研究開発の実施体制

2.2.3 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施した。

- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。

2.2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

(1) 成果の普及

得られた事業成果については、講演会、シンポジウム、学会発表、出展等での積極的な成果の発信を行った。

固体吸収法 ・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

表 2.2-2 成果の普及（固体吸収法）

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

表 2.2-3 成果の普及（膜分離法）

	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

（２）知的財産等に関する戦略

以下を基本戦略とする。

- ・ 「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。

例) 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ため、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。

（３）知的財産管理

知的財産権の帰属については、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する。

知財マネジメントに係る運用として、「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。全実施機関で構成する知財運営委員会、または同機能を有する委員会を整備した上で、「知財の取り扱いに関する合意書」を作成済みである。

データマネジメントに係る運用として、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用する。全実施機関で構成する知財運営委員会、または同機能を有する委員会を整備した上で、「データの取り扱いに関する合意書」を作成済みである。

なお、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、知財管理を推進する。

表 2.2-4 特許出願件数

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

2.3. 情勢変化への対応

2020年11月前後から、カーボンニュートラルを目指した情勢の変化が明瞭になってきた。

- ・ 2020年10月26日、当時の菅内閣総理大臣が所信表明演説において、我が国が2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言した。
- ・ 2021年4月には、地球温暖化対策推進本部及び米国主催の気候サミットにおいて、「2050年目標と整合的で、野心的な目標として、2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向けて、挑戦を続けていく」ことを表明した。
- ・ 2020年12月に経済産業省にて「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。
- ・ 2021年6月にはグリーン成長戦略の内容がさらに具体化された。その中では、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がなされている。
- ・ 2021年11月には、気候変動枠組条約締結国会議（COP26）が開催され、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した。

このような情勢の変化に対して、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、本事業の重要性が高まっている。早期の実用化に向け、技術確立を推進する。

2.4. 評価に関する事項

2020年度に実施された本事業の中間評価（「CCUS 研究開発・実証関連事業」）の結果を、本事業の実施内容に反映した。

- ①評価の実施時期：2020年度
- ②評価手法：外部評価
- ③評価事務局：評価部
- ④評価項目・基準：標準的評価項目・基準
 - 「事業の位置づけ・必要性について」
 - 「研究開発マネジメントについて」
 - 「研究開発成果について」
 - 「成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」

⑤評価委員

分科会長：末包 哲也 国立大学法人東京工業大学 工学院 教授

分科会長代理：松橋 隆治 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 教授

委員：川上 浩良 東京都立大学 学長補佐 都市環境学部 環境応用化学科 教授

委員：栗原 正典 早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 環境資源工学科 教授

委員：則永 行庸 国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 大学院工学研究科
化学システム工学専攻 教授

委員：本江 誠治 電源開発株式会社 土木建築部企画業務室

委員：宮川 俊彦 SAKURA ビジネスコンサルティング株式会社 代表取締役

表 2.3-1 2020 年度中間評価の主な指摘事項に対する対応

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まで含め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。

3. 研究開発成果について

3.1.事業全体の成果

各プロジェクトの目標に対する達成状況を次表に示す。研究開発はスケジュールに対して順調に進捗し、2022年度の間目標を達成できる見込みである。

表 3.1-1 事業全体の成果

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、×未達

3.2.研究開発項目毎の成果

3.2.1 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

研究開発項目毎の中間目標と達成状況および成果の最終目標の達成可能性を次表に示す。

(1) 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

表 3.2-1 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

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>

(2) 成果の最終目標の達成可能性

表 3.2-2 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

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。

3.2.2 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

2021年度終了事業であり、研究開発項目毎の最終目標と達成状況を次表に示す。

(1) 研究開発項目毎の最終目標と達成状況

表 3.2-3 研究開発項目毎の最終目標と達成状況

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。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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、CO₂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	<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) ENEC[®]：0.5GJ/t-CO₂以下 ・膜分離システムの概念設計完了 	<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。 ・膜分離システムの概念設計を完了した。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<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。 	○	—

◎ 大きく上回って達成、○達成、×未達

3.2.3 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

研究開発項目毎の中間目標と達成状況および成果の最終目標の達成可能性を次表に示す。

(1) 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

表 3.2-4 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

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

(2) 成果の最終目標の達成可能性

表 3.2-5 成果の最終目標の達成可能性

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の個別目標の設定 	(現状) <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。 (達成見込み) <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 	(現状) <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。 (達成見込み) <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 	(現状) <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。 (達成見込み) <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

・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

研究開発項目毎の中間目標と達成状況および成果の最終目標の達成可能性を次表に示す。

(1) 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

表 3.2-6 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

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。
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	・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。
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	・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。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

表 3.2-7 成果の最終目標の達成可能性

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。

・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

研究開発項目毎の中間目標と達成状況および成果の最終目標の達成可能性を次表に示す。

(1) 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

表 3.2-8 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

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

(2) 成果の最終目標の達成可能性

表 3.2-9 成果の最終目標の達成可能性

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	・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) ・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	・所定条件、回数での連続試作	(現状) ・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	・所定の膜性能 ・高温試験用モジュール設計・試作	(現状) ・所定値のCO ₂ /N ₂ 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	・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	・CO ₂ 利活用先の調査結果の精査と整理 ・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 分離・回収コスト1,500円/t-CO ₂ 未滿	(現状) ・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、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

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

4.1. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

(1) 固体吸収法

1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

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。

実用化および事業化の戦略として、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。

2) 実用化・事業化に向けた取組

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。

3) 実用化・事業化に向けた取組

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。

(2) 膜分離法

1) 成果の実用化に向けた戦略

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。

実用化に向けた戦略として、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。

2) 実用化に向けた取組

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。

3) 実用化に向けた取組

分離膜モジュールの研究開発および分離膜システムの研究開発により、CO₂ を選択的に透過する膜素材を見いだし、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。

(3) 波及効果

社会的・経済的な波及効果として、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。

技術的な波及効果として、本プロジェクトで開発した技術は、石炭火力のみならず、化学品製造のプロセスからのCO₂回収など、様々な対象への応用展開が期待できる。

人材育成効果として、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。また、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。

●プロジェクト基本計画

P 1 6 0 0 2
P 1 6 0 0 3
P 1 0 0 1 6
P 9 2 0 0 3

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

2015年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力発電分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、2016年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、CO₂削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。また、2021年10月に策定された「第6次エネルギー基本計画」においては、火力発電は再生可能エネルギーの変動性を補う調整力・供給力として柔軟な運転（幅広い負荷変動への対応）が求められることから、負荷変動対応や機動性に優れた火力技術開発等の取組を推進することとしている。

2050年に向けて化石燃料の利用に伴うCO₂の排出を大幅に削減していくためには、あらゆる技術的な選択肢を追求していく必要があることから、CO₂を炭素資源（カーボン）と捉え、これを回収し、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を推進することとしており、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、カーボンニュートラル社会を実現するための重要分野の1つにカーボンリサイクル技術が位置づけられた。また、「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月策定、2021年7月改訂）において、カーボンリサイクル技術の確立、普及を目指していくこととしている。

2020年3月に策定された「新国際資源戦略」では、CO₂排出削減に向け、液体アンモニアの混焼を含めて着実に技術開発等を進めることが必要とされている。

石炭利用に伴って発生するCO₂、SO_x、NO_x、ばいじん等への対応や、石炭灰及びスラグの有効利用方策を確立することが大きな課題である。そのため、今後とも石炭を活用し、エネルギー需給安定化に貢献していくためにも、より高度なクリーンコールテクノロジーの開発が必要である。

②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率の世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電（IGCC）が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅なCO₂削減を実現しうるCO₂の回収・貯留・利用（CCUS）やCO₂フリー燃料の利用技術の開発・推進も重要なテーマであり、国内でのCCS（二酸化炭素の回収・貯留）大規模実証事業や貯留ポテンシャル調査等に加え、CO₂を炭素資源と捉え、これを回収し、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を推進する取組や石炭火力発電におけるアンモニア混焼試験が進められている。

また、我が国においては、石炭の排ガスに関して、世界的に見ても非常に厳しい環境基準（環境保全協定値）が定められ、その基準が遵守されている。そのような背景から、脱硫、脱硝、ばいじん処理技術等、高度な環境保全技術が過去から培われており、日本の強みが発揮できる分野のひとつである。一方、石炭利用に伴い排出する石炭灰については、主にセメントの原料として、これまでは有効利用されてきたが、近年セメント生産量は減少傾向にあり、セメント原料に代わる石炭灰の利用方法の確立が喫緊の課題である。

③世界の取組状況

気候変動対策のため、2021年11月時点では世界の150ヶ国以上で年限付きのカーボンニュートラル目標が掲げられており、各国でCO₂排出量を大幅に削減するための基礎研究から技術開発、実証研究等の様々な取組が行われている。火力発電のCO₂排出の削減に向けた高効率化、ゼロエミッション火力発電、再エネ導入時の負荷変動対応に向けた開発等が海外でも進められている。また、火力発電とCCUSの組み合わせによるカーボンニュートラルにも注力する方向であり、火力発電や各種産業等の排ガスからのCO₂を分離・回収する技術として、高性能の材料等を用いて省エネルギー・低コストを目指す化学吸収法や物理吸着法、膜分離法等の研究開発と実証等が世界各地で進められている。さらに、回収したCO₂を様々な物質に変換させて有効利用する技術についても、先進的な取組が行われており、CO₂と水素から基礎化学品や機能性化学品、液体燃料や気体燃料を合成する技術、コンクリート等にCO₂を効率的に固定化させる技術の開発や実証等が進められている。

④本事業のねらい

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業をはじめ、石炭火力、LNG火力の双方につき、新たな火力発電技術の開発等を実施する。また、火力発電から発生するCO₂排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、CO₂フリー燃料の利用及び火力発電所等から発生する大量のCO₂を効率的に分離・回収・有効利用するための技術開発等を実施する。これまでの火力発電に係る技術開発は、個別の技術ごとに進められていたが、石炭火

力、LNG火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するためには、個別技術開発を統合し、包括的かつ一体的に推進することが有効である。そこで、次世代火力発電技術に係る事業を本事業において統合し、関連事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。また、LCA的な観点も含めたCO₂の利用に係るカーボンリサイクル技術開発を一元的に進めることで、火力発電プロセスの更なる効率化を図るとともに、CO₂排出削減に向けた取り組みの効率化を図る。

石炭の効率的利用、環境対応等を目的として、石炭利用の環境対策に関する調査・技術開発を実施する。これらの取組により、石炭の安定調達性が増し、石炭を安価で安定的に使用することが可能となり、我が国におけるエネルギーセキュリティの向上に資する。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅な向上技術、調整力確保に寄与する負荷変動対応発電技術、CO₂分離・回収後においても高効率を維持する技術、CO₂フリー燃料の利用技術、低コストなCO₂分離・回収技術及びCO₂有効利用技術（カーボンリサイクル等）により、CO₂排出の削減に寄与する革新的なカーボンリサイクル技術及び次世代火力発電技術の見通しを得る。また、石炭灰の有効利用率を100%まで向上させるなど、石炭の有効利用技術を確立する。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）商用機として送電端効率63%（高位発熱量基準）を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%（高位発熱量基準）を達成する。また、世界の火力発電市場は、今後、2040年にかけて石炭火力では約520兆円、LNG火力では約270兆円で、累計790兆円の規模が見込まれる。年平均では約30兆円であり、このうちのシェア1割、約3兆円の次世代火力技術の市場を獲得する。また、2040年頃に燃料としての年間アンモニア利用量1,000万トンを達成し、アンモニア35,000円/tを想定した場合において、3,500億円相当の燃料アンモニア市場を創出する。CCUSの実現に向け、CO₂分離・回収コスト1,000円/t・CO₂という大幅な低減を達成する。また、CO₂有効利用の一例として、CO₂由来のメタンで天然ガスパイプラインの許容圧力変動幅の1割を活用して負荷変動対応に供する場合として、1,300億円相当の天然ガス代替を獲得する。また、負荷変動対応技術を確立することで、電力市場整備の一つとして進められてきた調整力公募市場（短期間での電力需給調整能力（ΔkW 価値）を取引する市場公募）での電力供給機会の更なる創出に寄与し、電力市場の活発化に貢献する。

また、カーボンリサイクルの観点からは、2030年頃に短期的に実現可能な技術（ポリカーボネートなどの化学品、バイオジェットなどの液体燃料、道路ブロックなどのコンクリート製品など）を既存のエネルギー・製品と同等のコスト実現を目指すとともに、2040年以降に実現をめざした需要の多い汎用品（オレフィン

やB T Xなどの化学品、ガス、液体などの燃料、汎用コンクリート製品など)へ拡大する。

③アウトカム目標達成に向けての取組

市場ニーズを見極めつつ、各技術開発プロセスの進捗管理を行い、開発優先度の調整、開発スケジュールの最適化、技術開発の相互連携を図り、中長期の火力発電技術開発の全体プロセスの最適化・効率化を図る。そして、技術開発のプロセスにおけるコスト低減の取組と信頼性の確保により、商用機導入を早期に拡大する。

(3) 研究開発の内容

火力発電の効率化及びCO₂フリー燃料の利用、CO₂分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証、石炭灰や溶融スラグの有効利用及び削減に関する調査及び技術開発並びに排煙処理技術等の環境対策に関する調査等を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（NEDO負担1/3、2/3、1/2）により実施するとともに、必要に応じてステージゲート審査を用いる。

なお、個別研究開発項目の研究開発内容の詳細については、別紙にて記載する。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [助成事業]

- 1) 酸素吹IGCC実証 (1/3助成)
- 2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証 (1/3, 2/3助成)
- 3) CO₂分離・回収型IGFC実証 (1/2助成)
- 4) 信頼性向上、低コスト化 (1/3助成)
- 5) CO₂分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発 (1/2助成)

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]

- 1) 1700℃級ガスタービン
(2016～2018年度：2/3助成、2019～2020年度：1/2助成)
- 2) 高温分空気利用ガスタービン (AHAT) (2/3助成)

研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発 [助成事業 (2/3助成)]

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]

- 1) 次世代ガス化システム技術開発
- 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
- 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
- 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
- 5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発
- 7) CO₂有効利用技術開発
- 8) CO₂分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発
- 9) 機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究

研究開発項目⑤ CO₂回収型次世代IGCC技術開発 [委託事業]

研究開発項目⑥ カーボンリサイクル・次世代火力推進事業 [委託事業]

研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 [助成事業 (1/2助成)]

研究開発項目⑧ CO₂有効利用拠点における技術開発 [委託・助成事業]

- 1) CO₂有効利用拠点化推進事業 [委託・助成事業]

- 2) 研究拠点におけるCO₂有効利用技術開発・実証事業 [委託・助成事業]
研究開発項目⑨ CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発 [委託・助成事業]
1) 化学品へのCO₂利用技術開発 [委託・助成事業]
2) 液体燃料へのCO₂利用技術開発 [委託・助成事業]
3) コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO₂利用技術
開発 [委託・助成事業]
4) 気体燃料へのCO₂利用技術開発 [委託・助成事業]

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業 [委託・助成事業]

- 1) 石炭利用環境対策推進事業 [委託事業]
2) 石炭利用技術開発 [助成事業 (2/3 助成)]

研究開発項目⑪ アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業 [委託・助成
事業]

- 1) 要素研究 [委託事業]
2) 実証研究 [助成事業 (1/2 助成)]

※1) の実施者を公募した後の、1) から2) への移行の可否は、外部有識者で
構成される委員会の審査 (ステージゲート審査) を経て決定する。

研究開発項目⑫ CO₂分離・回収技術の研究開発 [委託事業]

(2021年度までは「CCUS研究開発・実証関連事業」において実施)

- 1) 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発
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

研究開発項目⑬ 火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業 [委託・助成事業]

- 1) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の技術開発・
2) 実証研究 [委託・助成事業]
2) 石炭火力の負荷変動対応技術開発・実証研究 [委託・助成事業]

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本事業は、NEDOが単独又は複数の企業、大学等の研究機関 (原則、国内に研究
開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の
活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りでは
ない。) から、原則公募によって実施者を選定し実施する。ただし、移管事業に関し
てはこの限りではない。

NEDOは、プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技
術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネー
ジャー (以下「PM」という。) を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャ
ルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じ
て研究開発責任者 (プロジェクトリーダー、以下「PL」という。) を指名する。

なお、研究開発項目ごとのPM、PLは以下のとおり。また、研究開発項目④
2)、3)、4) は、推進にあたって、燃料電池に関する情報共有と開発戦略の整合
性を図るため、プロジェクトチーム (PT) にNEDOスマートコミュニティ・エネ
ルギーシステム部を加える。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM: NEDO 戸島正剛、PL: 大崎クールジェン株式会社 木田一哉

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業

1) 1700℃級ガスタービン

PM: NEDO 園山希、PL: 三菱重工業株式会社 石坂浩一

2) 高温分空気利用ガスタービン (AHAT)

PM: NEDO 山中康朗、PL: 三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発

PM: NEDO 足立啓、PL: 一般社団法人高効率発電システム研究所 福田

雅文

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発

1) 次世代ガス化システム技術開発

PM: NEDO 中田博之、PL: 一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ要素研究

PM: NEDO 春山博司、PL: 電源開発株式会社 早川宏

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

PM: NEDO 福原敦、PL: 三菱日立パワーシステムズ株式会社 北川雄一郎

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM: NEDO 福原敦、PL: 電源開発株式会社 大畑博資

5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

PM: NEDO 中田博之、PL: 一般財団法人石炭エネルギーセンター 原田道昭

6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

PM: NEDO 野原正寛、PL: 契約毎に設置

7) CO₂有効利用技術開発

PM: NEDO 天野五輪磨、PL: 国立研究開発法人産業技術総合研究所 坂西欣也

8) CO₂分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発

PM: NEDO 森匠磨

9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究

PM: NEDO 新郷正志、PL: 一般財団法人電力中央研究所 渡辺 和徳

研究開発項目⑤ CO₂回収型次世代IGCC技術開発

PM: NEDO 青戸冬樹、PL: 一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発

PM: NEDO 西里友志、PL: 一般社団法人高効率発電システム研究所 福田雅文

研究開発項目⑧ CO₂有効利用拠点における技術開発

PM: NEDO 戸島正剛

研究開発項目⑨ CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発

PM: NEDO 荒川純

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

PM: NEDO 菅本比呂志

研究開発項目⑪ アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業

PM: NEDO 園山希

研究開発項目⑫ CO₂分離・回収技術の研究開発

PM：選定中

研究開発項目⑬ 火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業

PM：選定中

(2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

①進捗把握・管理

PMは、PLや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する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

②技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

3. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、2016年度から2026年度までの11年間とする。なお、研究開発項目①及び②は2012年度から2015年度、研究開発項目③は2008年度から2015年度まで経済産業省により実施したが、2016年度からNEDOが実施している。研究開発項目⑫は2018年度から2021年度まで「CCUS研究開発・実証関連事業」により実施したが、2022年度より本事業で実施する。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、事業の意義及び目標達成度や成果に係る技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。研究開発項目①～⑤、⑦～⑨、⑪については、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を行い、⑩については事業評価を行う。

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を2017年度、2020年度及び2023年度に、前倒し事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目②は、中間評価を2018年度、事後評価を2021年度に実施する。研究開発項目④1)は、研究開発項目⑤と統合の上、評価を行う。研究開発項目④2)は、事後評価を2019年度に実施する。研究開発項目④3)、4)は、中間評価を2019年度に、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目④5)は中間評価を2017年度に実施し、研究開発項目④6)は、中間評価を2020年度に、事後評価を2023年度に実施し、研究開発項目④7)は前倒し事後評価を2021年度に実施し、研究開発項目④8)は中間評価を2022年度に、事後評価を2025年度に実施し、研究開発項目④9)は前倒し事後評価を2021年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評価を2017年度、前倒し事後評価を2020年度に実施する。研究開発項目⑥は、調査事業については内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦～⑪の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施し、共通基盤技術開発については研究開発項目⑨の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施、先導研究については内容に応じて研究開発項目⑨、⑪の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目⑧および研究開発項目⑨1)、2)、3)は、中間評価を2022年度及

び2025年度、事後評価を2027年度に実施する。研究開発項目⑨4)は中間評価を2023年度、前倒し事後評価を2026年度に実施する。研究開発項目⑩は、中間評価を2019年度、2022年度、前倒し事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目⑪は、事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目⑫は、中間評価を2022年度、事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目⑬は、中間評価を2024年度、前倒し事後評価を2026年度に実施する。

5. その他の重要事項

(1) 委託事業成果の取扱い

①成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

②標準化等との連携

得られた事業成果については、標準化等との連携を図り、我が国の優れたカーボンリサイクル・次世代火力発電等技術を普及させるために、標準化への提案等を積極的に行う。

③知的財産権の帰属

事業成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

なお、海外動向や国際展開を見据えた知財管理を行うとともに、海外における知財の確保を積極的に推進する。

④知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発及び研究開発項目⑥カーボンリサイクル・次世代火力推進事業、研究開発項目⑧CO₂有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業及び研究開発項目⑪アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業、研究開発項目⑫CO₂分離・回収技術の研究開発、研究開発項目⑬火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業は、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

⑤データマネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)、研究開発項目⑥カーボンリサイクル・次世代火力推進事業、研究開発項目⑧CO₂有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業及び研究開発項目⑪アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業、研究開発項目⑫CO₂分離・回収技術の研究開発、研究開発項目⑬火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業のうち2018年度以降に公募を行う事業は、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用する。

(2) 基本計画の変更

PMは、当該事業の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ハ、第三号及び第六号イに基づき実施する。

(4) 委託先等以外の第三者の土地に設置した資産の処分方法

研究開発項目⑧においては委託先等以外の第三者の土地に拠点整備インフラを設置する予定である。第三者の土地に設置した資産であっても、委託先は、委託事業終了後、有償により、NEDOに帰属する資産をNEDOから譲り受けることとなっている（約款第20条の2①）。ただし、以下の要件を満たすものに限り、委託事業内における当該資産の解体撤去を実施できる。

・事業目的達成後に、取得資産を設置した第三者の敷地等の速やかな原状回復を必要とし、かつ、その時点で利活用できない資産（機能が著しく低下している、移設するとその機能を失う等、物理的に使用できない資産）である場合

(5) その他

最新の技術動向や政策上の必要性に鑑み、必要に応じた研究開発項目の追加や見直しを行うことがある。本事業の実施を通じて、イノベーションの担い手として重要な若手研究員及び女性研究員の育成や中堅・中小・ベンチャー企業等を支援することとする。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2016年1月、基本計画制定。

(2) 2016年4月、3. 研究開発の実施方式（1）研究開発実施体制 研究開発項目③、④ 1）と2）、⑤のPMの変更。

5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5）中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒し。

別紙 研究開発項目④ 5）の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒し。

研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒し。

(3) 2016年9月、5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5）中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

別紙 研究開発項目④ 5）の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

(4) 2017年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の（2）研究開発の目標並びに（3）研究開発の内容に、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発6）石炭火力の競争力強

化技術開発、7) CO₂有効利用技術開発及び研究開発項目⑦次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発の内容を追加した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

5. 評価に関する事項の①及び⑥の実施時期を修正し、並びに④1)、5)の前倒しの区分を明確化し、④6)、7)、⑦を追加した。

6. その他の重要事項の(1)委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に知財マネジメント適用プロジェクト名を追記した。

(5) 2017年5月

3. 研究開発の実施体制(1)研究開発実施体制 研究開発項目②の1)と2)及び④の6)のPMの変更。

(6) 2017年6月

研究開発項目④の1) 3. 達成目標に中間目標を設定し、2017年度に中間評価を実施する。

(7) 2018年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(3)研究開発の内容のうち、研究開発項目①の2)、3)の助成率を変更した。また、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発、9)機動性に優れる広付加帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究の内容を追加した。また、研究開発項目④次世代火力基盤技術開発1)次世代ガス化システム技術開発を、研究開発項目⑤に統合し、研究開発項目⑤の名称を変更した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

5. 評価に関する事項の④1)、6)、8)、9)の評価時期を追記・修正した。

6. その他の重要事項の(1)委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に注釈を追記した。

(8) 2018年7月

3. 研究開発の実施方式(1)研究開発実施体制 研究開発項目④2)、8)のPMの変更、及び、研究開発項目④5)のPLの変更、研究開発項目④6)のPLの記載変更。別紙 研究開発項目⑥ 1. 研究開発の必要性、2. 具体的研究内容にかかる記載を一部変更した(バイオマスに係る記載の追記)。

(9) 2018年9月

3. 研究開発の実施方式において、研究開発項目①及び研究開発項目④7)、9)のPLの変更、4. 研究開発の実施期間の変更、5. 評価に関する事項の研究開発項目①の中間評価時期及び事後評価時期の変更、研究開発項目④2)の評価時期変更、研究開発項目④5)の事後評価を削除。6. その他の重要事項のデータマネジメントに係る運用に研究開発項目①3)を追記。また、別紙 研究開発項目①について、期間の延長および、2)CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目④9)について、目標値を補足。研究開発スケジュール表の修正。

(10) 2019年1月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(3)研究開発の内容において、研究開発項目②1)の助成率の変更。5. 評価に係る事項において、研究開発項目⑦の中間評価の追加及び事後評価時期の変更、研究開発項目④8)の前倒し事後評価時期の変更。別紙 研究開発項目④8)の実施期間の変更。別紙 研究開発項目④9)の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目⑥の2. 具体的研究内容に燃料多様

化に係る記載を追記。別紙 研究開発項目⑦の実施期間の変更及び中間目標の策定、最終目標年度の変更。研究開発スケジュール表の修正。

(1 1) 2019年7月

和暦から西暦へ表記修正。3. 研究開発の実施方式において、研究開発項目④6)、7)、9)、⑤及び⑦のPMの変更。5. 評価に関する事項において、研究開発項目④3)、4)の中間評価の追加及び研究開発項目④2)、3)、4)の事後評価時期の変更。別紙 研究開発項目④3)、4)について、実施期間の延長、中間目標の策定及び最終目標の修正。研究開発項目⑥の文言修正。研究開発スケジュール表の修正。その他誤記修正。

(1 2) 2020年2月

改訂： 基本計画の名称変更、基本計画「クリーンコール技術開発」の統合による記載内容の移管、1. 研究開発の目的・目標・内容(1)(2)において内容の追加、1. 研究開発の目的・目標・内容(3) 研究開発の内容及び2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制において名称変更と項目の追加、3. 研究開発の実施期間において期間変更及び追加、4. 評価に関する事項において評価時期の変更及び追加、5(1)④知財マネジメントに係る運用⑤データマネジメントに係る運用において対象研究開発項目の追加、研究開発項目④3)4)において中間評価結果反映のため最終目標を追記。研究開発項目⑧⑨の追加、研究開発項目⑩の移管。

(1 3) 2020年3月

5. その他重要事項(4) 委託先等以外の第三者の土地に設置した資産の処分方法、(5)その他において追記。

(1 4) 2020年7月

2. 研究開発の実施方式 (1) 研究開発の実施体制 研究開発項目②2) ④3)、4)、8) ⑧、⑨のPMと研究開発項目④8)の名称を変更。別紙 研究開発項目④8) 1. 研究開発の必要性、2. 具体的研究内容、3. 達成目標の記載から噴流床ガス化技術に係る記載を追記 別紙 研究開発項目⑤ 2. 具体的研究内容の記載から噴流床ガス化技術(ポリジェネレーション)に係る記載を削除。研究開発スケジュール表の修正。その他誤記修正。

(1 5) 2020年9月

2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制 研究開発項目①、④6)、⑧のPMを変更、④4)のPLを変更、⑧と⑨のPLに関する記載を削除。

(1 6) 2020年10月

2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制 研究開発項目①、⑧のPMを変更。

(1 7) 2021年1月

1. 研究開発の目的・目標・内容(1)(2)において内容の追加、1. 研究開発の目的・目標・内容(3) 研究開発の内容及び2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制において項目の追加、3. 研究開発の実施期間において期間変更、4. 評価に関する事項において評価時期の変更及び追加、5(1)④知財マネジメントに係る運用⑤データマネジメントに係る運用において対象研究開発項目の追加、研究開発項目①2)の内容拡充、研究開発項目①4)5)、⑨4)の追加。研究開発項目⑩の追加。

- (18) 2021年5月、2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発実施体制 研究開発項目④3)、4)、6)、7)及び8)、研究開発項目⑦、研究開発項目⑩のPMの変更。
- (19) 2021年6月
1. 研究開発の目的・目標・内容(3) 研究開発項目⑨3)における項目名の変更。別紙 研究開発項目⑨3)の項目名の変更および内容の拡充。
- (20) 2021年7月
5. その他の重要事項(1) 委託事業成果の取扱い④知財マネジメントに係る運用及び⑤データマネジメントに係る運用における対象研究開発項目の変更。
- (21) 2022年3月
1. 研究開発の目的・目標・内容(1)(2)において内容の追加、1. 研究開発の目的・目標・内容(3) 研究開発の内容及び2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制において項目の追加、3. 研究開発の実施期間において期間変更及び記載の追加、4. 評価に関する事項において評価時期の変更及び追加、5(1) ④知財マネジメントに係る運用、⑤データマネジメントに係る運用において対象研究開発項目の追加。別紙において、研究開発項目⑦、研究開発項目⑧、研究開発項目⑨、研究開発項目⑩において期間変更及び研究開発項目⑫、研究開発項目⑬の追加。
- (22) 2022年8月
2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制における部署名の変更。別紙研究開発項目⑥2.の組織名の修正。

研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

1. 研究開発の必要性

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が約110年と長く、かつ世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発電量当たりのCO₂排出量が多く、地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO₂排出量の抑制が求められている。

したがって、石炭火力発電の高効率化及びCO₂排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留（CCS）の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、2014年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。

2021年10月「第6次エネルギー基本計画」において、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一方で、脱炭素化を見据えつつ、次世代の高効率石炭火力発電技術であるIGCCや石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）などの技術開発等を推進することが盛り込まれている。

以上のとおり、石炭火力発電におけるCO₂排出量の課題を克服していくことが一層重要となっており、石炭火力発電の高効率化及びCO₂排出量削減を目指す本事業の必要性は大きい。

2. 具体的研究内容

本事業では、石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、究極の高効率石炭火力発電技術であるIGFCとCO₂分離・回収を組み合わせた実証試験を行い、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。

1) 酸素吹IGCC実証（1／3助成）

IGFCの基幹技術である酸素吹IGCCの実証試験設備により、性能（発電効率、環境性能）、運用性（起動停止時間、負荷変化率等）、経済性及び信頼性に係る実証を行う。

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証（1／3、2／3助成）

酸素吹IGCC実証試験設備とCO₂分離・回収設備を組み合わせ、CO₂分離・回収型石炭火力システムとしての性能、運用性、信頼性及び経済性に係る実証を行う。また、CO₂分離・回収装置を追設した場合のIGCC運用性について実証を行う。更に、CO₂分離・回収と組み合わせたCO₂液化プロセスを構築する。加えて、IGC

Cの負荷変動に対応したCO₂分離・回収装置とIGCC設備の運用性について実証を行う。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証(1/2助成)

CO₂分離・回収型酸素吹IGCCシステムと燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性を確認し、最適なCO₂分離・回収型IGFCシステムの実証を行う。

4) 信頼性向上、低コスト化(1/3助成)

酸素吹IGCCシステムの早期商用化を実現すべく、設備信頼性の向上及び経済性の改善に係る実証を行う。

5) CO₂分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発(1/2助成)

CO₂分離・回収型IGCCシステム及びIGFCシステムのCO₂分離・回収設備の負荷変動に対応すべく、CO₂分離・回収負荷変動対応ガスタービンの環境性能、安定性、信頼性に係る要素技術開発を実施する。

3. 達成目標

[実施期間]

- 1) 酸素吹IGCC実証：2012年度～2018年度(うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施)
- 2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証：2016年度～2022年度
- 3) CO₂分離・回収型IGFC実証：2018年度～2022年度
- 4) 信頼性向上、低コスト化：2021年度～2022年度
- 5) CO₂分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発：2021年度～2025年度

[中間目標(2017年度)]

1) 酸素吹IGCC実証

(a) 発電効率：40.5%程度(送電端効率、高位発熱量基準)を達成する。

商用機の1/2～1/3倍の規模で、1300℃級ガスタービンを採用する実証試験設備により送電端効率(高位発熱量基準)40.5%を達成すれば、1500℃級ガスタービンを採用する商用機(石炭処理量2,000～3,000t/d)で送電端効率約46%を達成する見通しが得られる。

(b) 環境性能：「SO_x<8ppm」、「NO_x<5ppm」、「ばいじん<3mg/Nm³」を達成する(O₂=16%)。

我が国における最新の微粉炭火力は世界的に見ても最高水準の環境諸元を達成しており、酸素吹IGCCを導入する場合には同等の環境諸元を達成することが求められる。

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO₂分離・回収設備の詳細設計を完了する。

[中間目標(2020年度)]

1) 酸素吹IGCC実証

(a) プラント制御性運用性：事業用火力発電設備として必要な運転特性及び制御性を確認する。

我が国における微粉炭火力はベースからミドル電源として運用されており、酸素吹IGCC商用機を導入する場合にも同等の制御性、運用性を確保する。

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率70%以上の見通しを得る。

我が国における微粉炭火力は年間利用率70%以上で運用されており、酸素吹IGCC商用機を導入する場合にも同等の設備信頼性を確保する。

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

酸素吹IGCC商用機には、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から、微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭までの適用炭種の広さが求められる。商用化に向け、実用化時期や日本への供給可能性も考慮に入れつつ、性能と経済性を評価する。

(d) 経済性：商用機において発電原価が微粉炭火力と同等以下となる見通しを得る。

国内外において酸素吹IGCC商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。また、海外普及を目的としたマイルストーンを検討する。

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

(a) 基本性能（発電効率）：新設商用機において、CO₂を90%回収しつつ、発電効率40%（送電端効率、高位発熱量基準）程度の見通しを得る。

CO₂回収時のエネルギーロスによる発電効率の低下という課題に対し、CO₂を90%回収（全量ガス処理）しながらも、現状の微粉炭火力と同等レベルの発電効率40%程度の見通しを得る。これを実現するために、実証機プラントにおいて、CO₂分離・回収にかかるエネルギー原単位「0.90GJ/t・CO₂（電気エネルギー換算）」を発電効率に係る性能として確認する。

(b) 基本性能（回収効率・純度）：CO₂分離・回収装置における「CO₂回収効率>90%」、「回収CO₂純度>99%」を達成する。

革新的低炭素型石炭火力の実現のためにCO₂分離・回収装置単体における回収率は90%以上を目標とする。CO₂地中貯留から求められる可能性があるCO₂純度について、湿式物理吸収法を使って定常運転時、体積百分率99%以上を目標とする。

(c) プラント運用性・信頼性：CO₂分離・回収型IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性を検証する。

商用機において、CO₂分離・回収型酸素吹IGCCシステムを構築するには、プラントの起動停止や、発電所特有の負荷変動等に対し、IGCC本体に追従したCO₂分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。また、生成ガスの全量をCO₂分離した場合のIGCC運転との相互影響やガスタービン性能についても検証する。

(d) 経済性：商用機におけるCO₂分離・回収の費用原単位を評価する。

CO₂分離・回収型酸素吹IGCCを普及させるに当たっては、費用原単位評価が必要であり、CO₂分離・回収装置建設時期や発電所敷地等の制約に応じた評価を実施する。また、実用化・事業化に向けたマイルストーンを検討する。

(e) IGCCプラント運用性：

CO₂分離・回収装置を追設した場合のIGCC運転への影響を確認し、運用性を検証する。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

CO₂分離・回収型IGFC実証設備の詳細設計を完了する。また、機器製作に着手する。

[最終目標（2022年度）]

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO₂液化プロセス開発：CO₂分離・回収型IGCCとCO₂液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築する。

CO₂分離・回収負荷変動対応IGCC運用性向上：IGCCの負荷変動に伴うCO₂分離・回収設備の追従性を確認し、運用性を検証する。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

500MW級の商業機に適用した場合に、CO₂回収率90%の条件で、47%程度の発電効率（送電端効率、高位発熱量基準）達成の見通しを得る。

4) 信頼性向上、低コスト化

信頼性向上により5,000時間以上の長期運転の達成、また経済性向上により早期商用化の見通しを得る。

[中間目標（2023年度）]

5) CO₂分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

水素濃度の変動に対応した燃焼試験を開始する。

[最終目標（2025年度）]

5) CO₂分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

CO₂分離・回収の負荷変動に伴う、経時的な水素濃度変化に対応したガスタービン燃焼技術を確立する。

研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

[実施期間]

1700℃級ガスタービン：2012年度～2020年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）

高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）：2012年度～2017年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）

1. 研究開発の必要性

2008年3月に閣議決定された「Cool Earth —エネルギー革新技术計画」において、天然ガスタービンの高効率化が環境負荷低減の実現のための重要な技術開発であると位置づけられている。また、2011年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO₂排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。

また、高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）は、ガスタービンサイクルを改良したシステムであり、比較的早期に実用化が期待できる高効率発電システムで、電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機（10万kW程度）の高効率化（45%（高位発熱量基準）→51%（高位発熱量基準）以上）を目的とした日本オリジナルの技術であり、世界初となるAHATの実用化は急務である。

これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。

さらに、石炭ガス化複合発電（IGCC）や石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）における更なる効率向上には、将来的に1700℃級ガスタービンやAHATシステムの導入が不可欠である。

2. 具体的研究内容

1) 1700℃級ガスタービン

1700℃級ガスタービンにおける性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発を実施する。例として、製造技術・検査技術の開発、超高温高負荷タービンの信頼性向上、過酷環境下でのデータ取得のための特殊計測技術開発等を実施する。また、1700℃級での実証運転時における特殊計測の実施、試運転データの評価・分析を行い、商用化の検討を実施する。

2) AHAT

AHATシステムについては、ユーザーニーズとしてミドル運用以上（年間50回以上の起動・停止）における長期信頼性が求められていることから、既存40MW級総合試験装置の改造による実証機製作、実証試験による長期信頼性評価を実施する。また、実証機試験結果を用いて商用機化の検討を実施する。

3. 達成目標

1) 1700℃級ガスタービン

【中間目標（2018年度）】

1700℃級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発により、商用機に適用できる見通しを得た上で、設計・製作の仕様を決定する。

【最終目標（2020年度）】

1700℃級ガスタービンの実証試験データの取得、及び評価を実施し、送電端効率57%達成（高位発熱量基準）の見通しを得る。

2) AHAT

【最終目標（2017年度）】

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

- ・ミドル運用（年間50回以上の起動・停止）の2倍である年間100回以上の起動・停止での実証試験を実施し、等価運転時間 10,000時間以上を確保する。

（等価運転時間とは、起動・停止等の機械装置の寿命を考慮し、同等の連続運転時間とみなせる運転時間）

研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

[実施期間] 2008年度～2016年度（うち2008年度～2015年度は経済産業省において実施）

1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により700℃以上の蒸気温度を達成できる先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発（A-USC）の実現可能性が見えてきた。

本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高い発電効率を実現できるA-USCの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

(1) システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

(2) ボイラ要素技術

700℃級候補材料について、耐久試験により、10万時間の長期信頼性を確保する

(3) タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

(4) 高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

(5) 実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

3. 達成目標

[最終目標（2016年度）]

蒸気温度を700℃へ高めるための要素技術開発を実施し、2020年以降において商用プラントでの送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成の技術的見通しを得る。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

1) 次世代ガス化システム技術開発

[実施期間] 2015年度～2018年度（うち2015年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。

2. 具体的研究内容

次世代高効率石炭ガス化発電システムについて、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発を実施する。

酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっている。

そこで、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。

これまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型IGCCガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだIGCCシステムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があると分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) IGCCシステム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだIGCCの最適化システム試設計及び経済性検討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

[最終目標（2018年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

2018年度以降については研究開発項目⑤CO₂回収型クローズドIGCC技術開発と統合して、新名称 研究開発項目⑤CO₂回収型次世代IGCC技術開発とする。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究

[実施期間] 2015年度～2017年度（うち2015年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は石炭をガス化させ、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせるトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率発電技術として、実現が望まれている。

クールアースエネルギー革新技術開発ロードマップにおいても2025年頃の高効率石炭火力発電技術として55%の送電端効率を目指すIGFCが位置づけられている。

IGFCにおいては、燃料である石炭ガス化ガスに多種類の微量成分が含まれており、この微量成分の一部が燃料電池の劣化を招き、長期信頼性を損なう可能性があることが懸念されている。

そのため、IGFCの実現に向けては、石炭ガス化ガス中の微量成分の燃料電池への影響を把握するとともに、燃料電池の被毒成分に対するガス精製技術を確立することが必要である。

2. 具体的研究内容

燃料電池用ガス精製技術と燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を確認する。また、特定された被毒成分に対して、成分を許容レベルまで除去するガス精製技術を検討し、模擬ガスによる性能評価を行う。

3. 達成目標

[最終目標（2017年度）]

- ・模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を評価する。
- ・模擬ガス試験により燃料電池用ガス精製技術性能を評価し、ガス精製技術を確立する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間] 2016年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

2015年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）については、小型GTFC（1,000kW級）の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC（10万kW級）の実証事業を経て、発電効率63%程度、CO₂排出原単位：280g-CO₂/kWh程度を達成し、2025年頃に技術を確立することが示されている。また、量産後は従来機並の発電単価を実現することとされている。

さらには、同ロードマップにおいて、IGFCの技術を確立するためには、GTFCの開発成果を活用していくことが示されており、次世代火力発電技術の早期確立に向けて、本事業の必要性は高い。

2. 具体的研究内容

小型GTFC（1,000kW級）の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発し、中小型GTFCの技術実証に活用する。

3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発する。

- ・高圧SOFCモジュールを開発する。
- ・ガスタービンとの関係技術を確立する（燃焼器、燃料／空気差圧制御系、排燃料・排空気・空気抽気）。

[最終目標（2021年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

- ・燃料電池の高性能化による中小型GTFCシステムの最適化を行う。
- ・小型GTFC（出力1,000kW級）において、57%LHV（低位発熱量基準）の発電効率（送電端）の見通しを得る。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

[実施期間] 2016年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は、石炭をガス化し、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種類の発電形態を組み合わせるトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率石炭火力発電技術として、その実現が望まれている。

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、IGFCの開発方針として、2025年度頃技術確立、発電効率55%及び量産後従来機並の発電単価の実現を目指すことが示された。

IGFCを構成する高温型燃料電池については、現在、天然ガスを燃料とした燃料電池の開発が進んでいるが、石炭ガスを燃料とした場合の適用性についての検証及びシステムの検討を行う必要がある。

燃料を石炭ガスとした場合に、燃料電池の劣化を引き起こすガス中被毒成分濃度の確認と被毒成分の除去技術についての研究は、すでに着手されている。

IGFCを構成する燃料電池モジュールについて、石炭ガスを燃料とした場合の運用性や性能を把握する必要があることから、実燃料電池モジュールを用いた石炭ガス燃料の適用性試験を行い、その結果を踏まえて、IGFCの技術確立に必要な実証機に係るシステム検討を行う必要がある。

2. 具体的研究内容

(1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、CO₂分離・回収を行わないIGFCとCO₂分離・回収型IGFCについて、ケーススタディを行い、送電端効率とコストの試算を行う。IGFCの実用化に向けた課題、商用化システムの検討結果及び(2)の成果を踏まえて、IGFC実証システムについて検討を行い、実証機の容量を決定のうえ、試設計を行う。

(2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガス燃料の適用性試験に供する高温型燃料電池モジュールについては、天然ガス燃料で既に実用化されている燃料電池モジュールとする。本試験に係る設計、製作、据付け等を行い、まず、天然ガスを燃料とした試運転を行う。次いで、天然ガスをH₂リッチガスに改質した燃料を用い、燃料電池モジュールの運用性、性能等を把握するとともに、天然ガス燃料の場合との比較から課題を抽出する。さらに、石炭ガス化の実ガスを燃料として、燃料電池の被毒成分をガス精製によりクリーンナップしたうえで燃料電池モジュールに供給し、その運用性、性能等を把握するとともに、石炭ガス適用時の課題を抽出する。さらに、これまで実績のない石炭ガスによる運転を行うことから、燃料電池セル及びモジュール内部構造への影響を把握するため、装置の解体調査を行い、石炭ガス適用時の課題を抽出する。

3. 達成目標

(1) IGFCシステムの検討

[最終目標 (2019年度)]

IGFC実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

(2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

[中間目標 (2019年度)]

H₂リッチガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの基本性能を確認するとともに、発電性能を最適化するための運用性を確立する。また、石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの基本性能を確認する。

[最終目標 (2021年度)]

石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの運用性と性能を把握し、課題を抽出する。また、石炭ガス適用時の燃料電池出力変化率を天然ガスと同等の1%/min程度とする石炭ガス化炉連係システムを構築する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

[実施期間] 2015年度～2017年度（うち2015年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとされている。

現在、石炭の燃焼排ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO₂の分離・回収技術の開発が進められているが、CO₂分離・回収工程において多くのエネルギー損失が発生することが課題となっている。これを解決するため、エネルギー損失のない高効率でありながら、CO₂の分離・回収が可能な化学燃焼石炭利用技術について、実用化に向けた開発を実施する。

2. 具体的研究内容

従来、石炭の燃焼時の排気ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO₂分離・回収に当たっては、この過程における多くのエネルギー損失が課題となっているが、CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術においては、酸素キャリアとなる金属を媒体とする石炭の燃焼反応と金属の酸化反応を二つの反応器で別個に発生させることにより、CO₂の分離・回収装置及び空気分離装置が不要となり、エネルギー損失のないCO₂の分離・回収が可能である。

さらに、CO₂分離型化学燃焼石炭火力発電は、流動床燃焼技術を用いることから多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）が活用でき、IGCCやA-USCが大規模プラントであるのに対して、中小規模プラント（10～50万kW）におけるCO₂の分離・回収に適しているといった特長がある。

しかしながら、実用化に向けては、酸素キャリアのコスト抑制及び反応塔の小型化に向けた酸素キャリアの反応性の向上という課題がある。

そこで、有望な酸素キャリアの評価と選定並びにプラント構築を目的として、以下の項目を実施する。

(1) 酸素キャリアの評価と選定

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等について要素試験にて評価を行い、コストを踏まえて選定する。

(2) プラント試設計及び経済性検討

酸素キャリアの反応性からプロセス解析を行うとともに酸素キャリアの流動や循環を検討し、プラント試設計を行う。この結果をもとに経済性検討を行う。

(3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等並びに流動や循環を含むプラントの成立性を検証するため、ベンチ試験装置を製作し、試験・評価を行う。

3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標（2020年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるCO₂分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

2017年度の間評価で、中間目標は達成したものの「データ解釈の精密化と実用的な設計提案の立案についてより深く検討する」ことが求められたことから、研究開発体制を見直す必要があると考えた。従って2017年度で本研究を中止し、研究開発の内容を見直し、ラボ試験を行いデータを蓄積し精度向上を図ると共に、実用的な設計立案に向け、実機設計技術の確立を目指した要素研究を「研究開発項目④8）流動床ガス化燃焼技術を応用した石炭利用技術開発」で実施する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

[実施期間] 2017年度～2022年度

1. 研究開発の必要性

日本の石炭火力発電所は、長年の技術開発の成果により、高い発電効率や排出ガス対策で、世界的に最高レベルの技術を有している。しかしながら、日本の技術を採用したプラント価格は、他の国のプラントに比べて高価であるため、国際市場に於いて必ずしも高い競争力を有しておらず、海外での導入事例も限られているのが現状である。日本の石炭火力発電所が受注に至った地域では、厳しい技術要件が定められており、日本の高効率発電技術が入札時に評価されている一方、他国性の石炭火力発電所を導入した諸外国のユーザーの多くが、稼働率の低下をはじめとしたオペレーション上の様々な課題を抱えている。

また、2019年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」において、石炭は「現状において安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として評価されているが、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、適切に出力調整を行う必要性が高まると見込まれる」とされている。さらに、2021年10月に閣議決定された「第6次エネルギー基本計画」において、今後、石炭火力は、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とされている一方で、「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」とされている。

今後とりわけ自然変動電源（太陽光・風力）の導入が拡大する中で、電力の需給バランスを維持し周波数を安定化するために、火力発電等による調整力の一層の確保と信頼性・運用性の向上が求められている。

そこで本事業では、石炭火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるための先進的な技術開発を実施する。そのことにより、日本の石炭火力発電プラントの競争力向上にも寄与する。

2. 具体的研究内容

負荷変動対応に伴う事故リスクと保守コスト低減に必要な故障予知・寿命予測等の保守技術および石炭火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるための先進的な技術開発を実施する。

3. 達成目標

[中間目標（2020年度）]

長期保守契約（L T S A）等に寄与できる各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を確立する。

[最終目標（2022年度）]

負荷変動対応に伴う事故リスクと保守コスト低減に必要な故障予知・寿命予測等の保守技術および石炭火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるための先進的な技術の見通しを得る。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

7) CO₂有効利用技術開発

[実施期間] 2017年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源である。

しかし、これら石炭火力発電ではCO₂排出量が比較的多く、将来的にCO₂分離・回収有効利用：Carbon Capture and Utilization (CCU) が検討されている。現時点ではCO₂の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造等により利益を創出する可能性がある。

2030年度以降を見据え、将来の有望なCCU技術の確立を目指して、我が国の優れたCCT (Clean Coal Technology) 等に、更なる産業競争力を賦与する事が可能なCCU技術について、実用化に向けた開発を実施する。

2. 具体的研究内容

短～中期において大規模且つ高濃度のCO₂ (99%以上)を、エネルギーとして工業的に活用可能な技術開発を実施する。一例として、メタネーション技術については石炭火力発電所等から回収した高濃度CO₂の適用性を評価する。

3. 達成目標

[最終目標 (2021年度)]

事業終了時に本事業として実施するCO₂有効利用技術の適用性を確認する。一例としては、将来的に天然ガス代替では0.9円～1.4円/MJ (LHV)を見通す経済性を評価する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

8) CO₂分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発

[実施期間] 2020年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画において、石炭火力は、安定供給性と経済性に優れたエネルギー源として評価されているものの、温室効果ガスの排出量が多いという問題があるため、脱炭素化を見据えた高効率化が望まれている。

石炭火力からのCO₂排出抑制技術としては、CO₂の分離・回収技術があるが、エネルギー損失が大きいことから、発電システムとしてCO₂を分離・回収できるガス化技術を適用した技術が有望視されている。また、この技術は、バイオマスや炭素系廃棄物等を燃料として発電することによるCO₂排出削減や有価な生産物（水素や化学品等）の製造に応用できる技術として期待されている。

本事業ではガス化技術を適用して、燃料を多様化するとともに、有価な生産物を併産することで、CO₂分離・回収コストの低減を目指したCO₂分離・回収型ポリジェネレーションシステムを構築する火力発電設備設計技術の確立に向けた技術開発を実施する。

2. 具体的研究内容

CO₂分離・回収型ポリジェネレーションシステムを構築可能な技術として、流動床ガス化燃焼技術と噴流床ガス化技術がある。

(1) 流動床ガス化燃焼技術の適用

流動床ガス化燃焼技術は、流動床技術をベースとして、空気燃焼塔、揮発分（可燃性ガス）反応塔、石炭反応塔（ガス化）で構成され、流動材（酸素キャリア）を媒介として空気燃焼塔で流動材を酸化し、酸化された流動材を揮発分反応塔、石炭反応塔に供給し、酸化された流動材の酸素を用いて石炭をガス化し、発生した可燃性ガスを燃焼させるシステムで、窒素が揮発分反応塔や石炭反応塔に同伴されないことから、石炭は燃焼後、CO₂、水蒸気、ばいじんとなる。煤塵を集塵機で捕集し、ガス温度を下げることで水蒸気を凝縮するとCO₂ガスのみが分離・回収できる。

本技術は中小規模（100MW級）の発電プラントにも適用でき、多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）に活用できる。また、水素反応器を追加することにより、水素併産が期待できる。また、別置きのCO₂分離・回収装置や空気分離装置が不要であることから、エネルギー損失がないCO₂分離・回収および水素製造が可能となる。

具体的研究内容としては、水素併産に最適な流動材の選定およびシステム開発、プラント構成の最適化を実施し、流動床ガス化燃焼を適用した火力発電設備設計技術確立のための研究開発を実施する。例えば、流動材を利用した水素製造技術の最適化、バイオマス燃焼の適用性、長期運転における課題検討などを実施する。

(2) 噴流床ガス化技術の適用

酸素吹き石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することから、熱分解の一部をガスタービン排熱等を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上が可能となる。このようなO₂/CO₂/H₂O吹き噴流床ガス化技術をベースと

し、燃料として石炭だけでなく炭素系廃棄物等を利用することでCO₂排出量を削減し、化学品を併産することでCO₂分離・回収コストの低減が期待できる。

具体的研究内容としては、炭素系廃棄物燃焼の適用性検証、ガス化ガスからの化学合成技術の選定、システム構成の最適化を実施し、噴流床ガス化技術を適用した火力発電設備設計技術確立のための研究開発を実施する。

3. 達成目標

[中間目標（2022年度）]

CO₂分離・回収型ポリジェネレーションシステムの実証設備設計に必要な要素技術の確立に目途をつける。

[最終目標（2024年度）]

CO₂分離・回収型ポリジェネレーションシステムにより分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せる火力発電設備の設計技術確立および経済性を評価する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

9) 機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究 [実施期間] 2018年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

我が国では、2050年に温室効果ガス80%削減の目標が掲げられており、その達成に向けた手段の一つとして、再生可能エネルギー電源（以下、再エネ電源）の増加が見込まれている。2015年7月に公表された、長期エネルギー需給見通しにおいて示された2030年度の電源構成比では、太陽光発電が7%の発電電力量を占めることになる。太陽光発電の利用率を平均の13%とすると、約6400万kWの設備容量を必要とし、これは国内事業用の全発電設備容量の1/4程度に相当する。一方で、普及の拡大が予測される太陽光発電や風力発電の出力は天候に大きく影響を受けるため、電力の安定供給を考えた場合、系統安定化が必要不可欠である。

火力機は、大量に導入される再エネ電源に対応して、需給調整や周波数調整など重要な役割を果たしている。例えば、太陽光発電の日中に生じる急激な天候変動等による大幅な出力変動に対応するには、ガスタービン複合発電（以下、GTCC）を用いることが有望な手段の一つであるが、現状の性能では起動時間が長い、出力変化速度が遅い、最低出力が高い等の課題がある。

そこで本研究開発では、再生可能エネルギー電源の大量導入時の電力安定供給とCO₂排出量削減の両立を狙い、既存の火力発電設備へのレトロフィットやリプレース向けに定格時の効率を維持したうえで、機動力と再エネ出力不調時のバックアップ電源の両機能を具備した、機動性に優れた広負荷帯高効率GTCCを開発するため、中核機器であるガスタービン（以下、GT）の負荷変動対応に係る要素技術を開発し、実機に組み込める目処を得ることを目的とする。

2. 具体的研究内容

急速起動・出力変動時のGTCCの安定運転の実現に向け、GTの数値解析技術、材料技術、燃焼技術、制御技術、冷却・シール技術などの要素技術開発を行う。具体的には、試験設備を用いて、燃焼器の急速起動・燃焼負荷変動・ターンダウン等の試験、軽量化したタービンロータの設計と翼の試作、クリアランスや冷却・シール空気の能動制御機構の設計等を行い、実証に進める目処を得る。

並行して、発電事業者にとって重要となる設備信頼性の確保に向けて、合理的な設備保守技術の開発研究に取り組むとともに、実機レトロフィットによる機器実証の準備を行う。

表 先行研究で設定されたGTCCとしての目標性能

	起動時間 (ホットスタート)	出力変化速度	1/2 負荷における定格からの効率低下 (相対値)	最低出力 (一軸式)
開発目標	10分	20%/分	10%	10%
(参考) 現状性能	60分	5%/分	15%	45%程度

3. 達成目標

[最終目標 (2021年度)]

- ・ 先行研究で設定した目標性能（上表）を実現する目処を得るために、実規模の燃焼器を設計・試作し、単缶実圧燃焼試験により、無負荷から定格まで5分で到達すること、最低負荷条件においても安定燃焼が可能であることを確認する。
- ・ 急速起動、出力変化速度向上、最低負荷引き下げ、部分負荷時の効率低下抑制を含む、GTCCシステムとしての運転制御技術とGT後流（HRSG－蒸気タービン側）の成立性・性能評価、急速起動に寄与する動翼・ロータの軽量化については、実プラントの設計に反映できる目処を得る。
- ・ 合理的な設備運用保守を行うために、従来の考え方からの違いを整理する。
- ・ 対象GTCCと他の調整力電源（揚水発電、蓄電池など）の経済性を比較評価し、事業として成立するための課題を整理する。
- ・ 既存設備のレトロフィットによる実証研究計画を立案し、実証試験の仕様を明らかにする。

研究開発項目⑤ 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」

[実施期間] 2015年度～2020年度（うち2015年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後CO₂排出量抑制のためには、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのご次世代高効率石炭火力発電技術等の開発に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。

しかしながら、CCSは多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロス可能な限り低減する必要がある。

2. 具体的研究内容

本技術開発においてはCO₂回収型クローズドIGCCの開発、水蒸気を添加した次世代ガス化システム及び両技術の相乗効果確認を実施する。とりわけ相乗効果については、既存のIGCCへ両要素技術の適用性についても効果を検証する。クローズドIGCCシステムは、排ガスCO₂を一部系統内にリサイクルすることにより、CO₂回収型石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上することのできる、世界でも例のない次世代IGCCシステムである。本システムは高効率に加え、CO₂の100%回収が可能であるため、CO₂を排出しないゼロエミッション石炭火力の実現が期待できる。また、次世代ガス化システムは、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発に向けて、酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっていることから、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。CO₂回収型クローズドIGCCの実現に向けては、2008年度から2014年度まで実施した「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量3t/dの小型ガス化炉を活用し、送電端効率42%（高位発熱量基準）以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。

本事業では、この基盤技術開発の成果を活用し、実機により近い大型のサイズのガス化炉において検証を行い、システム実現に向け、基盤技術をより確実な技術として発展させるとともに、他のCO₂分離・回収技術と比較した本システムの経済的優位性を確認することを狙いとする。

具体的には、石炭投入量50t/d規模のガス化炉を用いた、O₂/CO₂ガス化技術の実証や乾式ガス精製システムの実証といった高効率発電を可能とする各要素技術を開発する。また、セミクローズドGTについては、燃焼試験とCFD解析を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。

次世代ガス化システムのこれまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型 I G C C ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだ I G C C システムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があると分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) I G C C システム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだ I G C C の最適化システム試設計及び経済性検討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

また、両技術の相乗効果確認及び既存の I G C C へ適用した場合の効果を検証する。

3. 達成目標

[中間目標 (2017年度)]

CO₂回収型クローズド I G C C については、送電端効率42% (高位発熱量基準)を見通すための要素技術確立の目途を得る。

次世代ガス化システムについては、既存の I G C C (1500℃級GTで送電端効率46~48%)を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

[最終目標 (2020年度)]

CO₂回収型クローズド I G C C については、2019年度までに送電端効率42% (高位発熱量基準)を見通すための要素技術を確立する。

次世代ガス化システムについては、2018年度までに既存の I G C C (1500℃級GTで送電端効率46~48%)を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

両技術の相乗効果として、2020年度までにCO₂回収型クローズド I G C C の目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。

研究開発項目⑥ 「カーボンリサイクル・次世代火力推進事業」

[実施期間] 2016年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

長期エネルギー需給見通しにおける基本方針は、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現することである。2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO₂を一層削減するには、次世代技術の普及による更なる高効率化や再生可能エネルギーの利用拡大、並びにカーボンリサイクルの推進が重要である。これらの推進を実現するには中長期的な研究開発も重要であるため、革新的技術の先導研究や調査が必要となる。

2. 具体的研究内容

最新の技術動向や社会情勢、社会ニーズに合わせ、国内外の火力発電技術分野およびカーボンリサイクルにおける最新技術の普及可能性、技術開発動向、産業間連携等の調査や、新規技術開発シーズ発掘のための調査を実施する。また、IEA/ICSC (International Centre for Sustainable Carbon)、IEA/FBC (Fluidized Bed Combustion)、等に参画し、技術情報交換・各種技術情報収集を行うとともに、国内関係者への情報提供を行う。また、今後の国際市場における日本の火力発電所受注に向けて、高い競争力を発揮できる戦略及びビジネスモデルを構築する。さらに、低コスト高効率次世代火力発電システム実現に向けた検討や次世代火力発電における燃料多様化（バイオマス、アンモニア等）のための調査および先導研究を進める。また、カーボンリサイクルにおいては、要素技術検討のための共通基盤技術開発（CO₂還元、炭酸塩化等）を進める。

3. 達成目標

[最終目標（2024年度）]

火力発電技術分野において、CO₂排出量低減、環境負荷低減及び国際競争力の強化を図るために必要となる基礎的情報や、最新情報の収集・解析及び将来における次世代火力の技術開発や導入可能性について、関連技術の適応性、課題等の調査を行う。また、海外との協力を通して、我が国の優れたCC_Tの導入に向けた取組を行う。カーボンリサイクル分野において、先導研究や調査の成果を俯瞰して、関連技術の経済性や導入可能性、CO₂削減効果に関する基礎的情報や課題を整理する。

研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」

[実施期間] 2017年度～2022年度

1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン適用材料開発については、長期高温環境下での使用を想定したクリープ試験を実施する等、更なる信頼性の向上が必要である。本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高温材料信頼性向上及び保守技術開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 高温材料信頼性向上試験

信頼性向上のため、クリープ疲労試験、異種材料溶接部健全性評価、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等を実施する。

(2) 保守技術開発

タービンロータ超音波探傷試験（UT検査）等の精度向上、高効率化、適用箇所の拡大を目的とした非破壊検査技術開発を実施する。

3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2021年度末までの試験計画を策定する。

表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術については、技術確立の見通しを得る。

[最終目標（2022年度）]

事業終了時において送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成可能な商用プラントへ適用する長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術を確立する。

4. その他重要事項

本事業については、他の事業との連携を図りながら、ユーザー及び外部有識者等の意見を適切に反映し、着実な運営を図る。情報発信及び知財化についても、技術の流出防止と適宜知財化を適切に助成先へ指導する。

研究開発項目⑧「CO₂有効利用拠点における技術開発」 [委託・助成事業]

[実施期間] 2020年度～2026年度

1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO₂排出量が比較的多い課題がある。このような石炭火力を中心とした産業部門から生成するCO₂を削減するため、経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月策定、2021年7月改訂）において、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示された。

2019年9月に開催されたカーボンリサイクル産学官国際会議において、経済産業省より、カーボンリサイクル3Cイニシアティブ、すなわち、3つのCのアクションとして、①相互交流の推進（"C"aravan）、②実証研究拠点の整備（"C"enter of Research）、③国際共同研究の推進（"C"ollaboration）に取り組むことが示された。

カーボンリサイクル技術の開発を効率的に進めるためには、CO₂の分離・回収が行われている場所において、カーボンリサイクル技術開発を重点的に進める必要がある。

2. 具体的研究内容

1) CO₂有効利用拠点化推進事業

CO₂が得られる広島県大崎上島を研究拠点に、複数の企業や大学等が要素技術開発および実証試験等を行うための拠点化に向けた検討および整備を行い、拠点の運營業務、要素技術開発および実証試験の総括的な評価等を行う。

2) 研究拠点におけるCO₂有効利用技術開発・実証事業

2030年の実用化に向け広島県大崎上島の研究拠点において、CO₂有効利用に係る要素技術開発および実証試験を実施する。

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

複数の企業や大学等が要素技術開発および実証試験等を行うための拠点化に向けた検討および整備を行う。また、CO₂有効利用に係る要素技術開発を行い、実現可能性を検討し、拠点候補地で行うべき事業を選定する。

[中間目標（2025年）]

当該拠点化に向けた追加整備を必要に応じて行う。また、CO₂有効利用に係る要素技術開発や実証試験を行い、実施済の要素技術開発等についてCO₂有効利用技術の経済性、CO₂削減効果等を評価する。

[最終目標（2026年度）]

CO₂有効利用に係る要素技術開発や実証試験を行い、2026年度まで実施した要素技術開発等についてCO₂有効利用技術の経済性、CO₂削減効果等を評価する。

研究開発項目⑨ 「CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発」 [委託・助成事業]

1) 化学品へのCO₂利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2026年度

1. 研究開発の必要性

火力発電や各種工場で排出される二酸化炭素（CO₂）を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一つとして重要なものと考えられている。経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月策定、2021年7月改訂）では、化学品や燃料（液体や気体燃料）、鉱物（コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物など）などの分野を中心に、カーボンリサイクル技術を活用した製品の、コスト低減や用途拡大に向けた技術開発を進める方向性が示された。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においてカーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられた。

化学品へのCO₂利用技術については、既存の化石燃料由来化学品に代替可能でありCO₂削減・CO₂固定化に繋がること、高付加価値品製造に利用可能であること、新規技術導入による効率向上やコスト低減の可能性があること等から、カーボンリサイクル技術として実現への期待は大きい。一方で、現状では基礎研究レベルに留まる研究も多く、今後重点的に技術開発に取り組むべき分野である。

2. 具体的研究内容

CO₂を原料とした化学品の合成において、CO₂と水素あるいは合成ガスから一段で直接オレフィンを合成する技術や、CO₂と水素あるいは合成ガスからBTX（ベンゼン・トルエン・キシレン）等を製造する技術の開発、CO₂分離・回収技術とメタノール合成技術とを一体化させたシステムの技術の開発等が必要である。これらについて高効率な製造技術の開発や、全体システムの最適化を行い、適用条件の明確化や事業性の検討を行う。

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

CO₂を原料とした化学品合成の各技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[中間目標（2025年度）]

CO₂を原料とした化学品合成の各技術について技術開発もしくは実証研究を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO₂削減効果および経済性評価を実施する。

[最終目標（2026年度）]

CO₂の排出源や製品の用途等に応じた適用技術の成果の整理を行い、化学品に関するカーボンリサイクル技術の実用化の見通しを得る。

2) 液体燃料へのCO₂利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2026年度

1. 研究開発の必要性

火力発電や各種工場で排出される二酸化炭素（CO₂）を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一つとして重要なものと考えられている。経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月策定、2021年7月改訂）では、化学品や燃料（液体や気体燃料）、鉱物（コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物など）などの分野を中心に、カーボンリサイクル技術を活用した製品の、コスト低減や用途拡大に向けた技術開発を進める方向性が示された。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においてカーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられた。

CO₂由来の液体燃料については、既存の石油サプライチェーンを活用でき液体燃料の低炭素化を促進する技術であることから、カーボンリサイクル技術としての実現への期待は大きい。一方で、現状では生産効率やコストなどの面で課題が大きいことから、普及に向けて技術開発に取り組む必要がある。

2. 具体的研究内容

CO₂を原料とした既存の液体化石燃料（ガソリン、軽油等）の代替品となり得る液体燃料（微細藻類由来のバイオ燃料を除く）製造に関するFT合成やその他合成反応など製造プロセスの改善などを通じ、CO₂を有効利用しつつ、その排出削減を目指す技術開発を行う。

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

CO₂を原料とした液体燃料合成の各技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[中間目標（2025年度）]

CO₂を原料とした液体燃料合成の各技術について技術開発もしくは実証研究を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO₂削減効果および経済性評価を実施する。

[最終目標（2026年度）]

CO₂の排出源や製品の用途等に応じた適用技術の成果の整理を行い、液体燃料に関するカーボンリサイクル技術の実用化の見通しを得る。

3) コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO₂利用技術開発 [実施期間] 2020年度～2026年度

1. 研究開発の必要性

火力発電や各種工場で排出される二酸化炭素（CO₂）を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一つとして重要なものと考えられている。経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月策定、2021年7月改訂）では、化学品や燃料（液体や気体燃料）、鉱物（コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物など）などの分野を中心に、カーボンリサイクル技術を活用した製品の、コスト低減や用途拡大に向けた技術開発を進める方向性が示された。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においてカーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられた。

コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO₂利用については、CO₂固定化ポテンシャルが高いこと、生成物が安定していること、土壌改質などへの適用も見込めることなどから、カーボンリサイクル技術としての実現への期待は大きく、早期の社会実装が望まれる分野である。

2. 具体的研究内容

鉄鋼スラグ、廃コンクリート、石炭灰等の産業副産物、廃鉱物、海水（かん水）等からの有効成分（CaやMgの化合物）の分離や微粉化等の前処理の省エネ化、湿式プロセスにおける省エネ化、安価な骨材や混和材等の開発および炭素・炭化物の生成技術などの要素技術を開発する。また、CO₂発生源から製造・供給までの一貫システム構築・プロセスの最適化、用途拡大と経済性の検討を行い事業性について検討する。

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへの各CO₂利用技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[中間目標（2025年度）]

コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへの各CO₂利用技術について技術開発もしくは実証研究を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO₂削減効果および経済性評価を実施する。

[最終目標（2026年度）]

CO₂の排出源や製品の用途等に応じた適用技術の成果の整理を行い、コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などに関するカーボンリサイクル技術の実用化の見通しを得る。

4) 気体燃料へのCO₂利用技術開発

[実施期間] 2021年度～2026年度

1. 研究開発の必要性

火力発電や各種工場で排出される二酸化炭素（CO₂）を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一つとして重要なもの

のと考えられている。経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月策定、2021年7月改訂）では、化学品や燃料（液体や気体燃料）、鉱物（コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物など）などの分野を中心に、カーボンリサイクル技術を活用した製品の、コスト低減や用途拡大に向けた技術開発を進める方向性が示された。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においてカーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられた。

気体燃料へのCO₂利用技術については、既存の化石燃料を代替可能であり既存燃料市場へ適応した場合、大規模なCO₂削減を実現する可能性を持つことや、既存のインフラを活用可能な点から技術確立後のCO₂削減効果の波及のしやすさが大きく期待される等、カーボンリサイクル技術として実現への期待は大きい。一方で、現状では基礎研究レベルに留まる研究も多く、今後重点的に技術開発に取り組むべき分野である。

2. 具体的研究内容

CO₂を原料とした気体燃料製造技術においては、触媒長寿命化や活性マネージメント、熱マネージメント、スケールアップ検討、電解技術等を活用した基盤技術等の開発が必要である。これらについて高効率な製造技術の開発や全体システムの最適化、またそれらを通じた低コスト化検討等を行う。

3. 達成目標

[中間目標（2023年）]

CO₂を原料とした気体燃料製造の各技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標（2026年度）]

CO₂の排出源や製品の用途等に応じた適用技術の成果の整理を行い、気体燃料に関するカーボンリサイクル技術の実用化の見通しを得る。

研究開発項目⑩ 「石炭利用環境対策事業」

[実施期間] 2016年度～2025年度

1. 研究開発の必要性

石炭は、経済性、供給安定性に優れた重要なエネルギー資源であり、「第6次エネルギー基本計画」においては、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ている。一方、石炭利用に伴い発生するCO₂、SO_x、NO_x、ばいじん等への対策や、石炭灰やスラグの有効利用方策を確立することが喫緊の課題である。

2. 具体的研究内容

石炭利用に伴い発生する環境影響の低減等に貢献する技術の開発を行う。

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用時に必要な環境対策に関わる調査を実施する。また、今後のCCT開発を効率的に支援するコールバンクの拡充及び石炭等の発熱性に係る調査・技術開発を行う。

石炭灰の発生量や有効利用に関する実態調査等を行う。具体的には、国内石炭灰排出量・利用量を把握するとともに、海外の石炭灰利用技術及び利用状況等を調査する。また、石炭等の燃焼灰利用及び削減に係る技術開発を行う。

さらに、石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品として規格化することにより、スラグ製品として新しい販路を開拓し、石炭等の燃焼灰有効利用の用途を広げる。

2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用用途拡大に関する技術開発を行う。

セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術の開発を実施する。加えて、低品位フライアッシュの硬化体原材料としての適用範囲を把握し、有望視される用途（土木分野、建築分野、環境分野等）に適した硬化体製造技術を確立する。

石炭ガス化溶融スラグを利用したコンクリート構造物を製造し、強度、組成、耐久性などに関する評価試験を実施し、信頼性・性能の確認を行う。また、コンクリートを使用する際のガイドラインとなる設計・施行指針を作成する。

3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用環境対策に関わる調査、コールバンクの拡充及び石炭等の発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術の確立に向けた知見を得る。

石炭等の燃焼灰の有効利用、及び削減に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

また、新たな石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品としての規格化の見通しを得る。

石炭の有効利用に資する国内石炭灰排出量・利用量等の共通基盤データをとりまとめる。

2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確立し、製品化に向けた用途を提案する。

[中間目標（2022年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭等の発熱性を把握すると共に、石炭管理の指針に資する知見を得る。石炭等の燃焼灰の有効利用、削減及び用途拡大に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないコンクリート製造技術を確認、製品性能の見通しを得る。また、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、また設計・施工指針を作成するための知見を得る。

[最終目標（2025年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用環境対策に関わる調査、コールバンクの拡充及び石炭等の発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術確立の見通しを得る。

石炭等の燃焼灰の有効利用、及び削減及び用途拡大に寄与する技術確立の見通しを得る。

また、新たな石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品としての規格化の見通しを得る。

石炭の有効利用に資する国内石炭灰排出量・利用量等の共通基盤データを取りまとめる。

2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確認し、製品化に向けた用途を提案する。加えて、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、設計・施行指針を作成する見通しを得る。

研究開発項目①「アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業」 [委託・助成事業]
[実施期間] 2021年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

2018年7月「第5次エネルギー基本計画」では、石炭は、経済性、供給安定性に優れた重要なエネルギー資源であり、重要なベースロード電源と位置付けられている。また、既存のインフラを有効利用した脱炭素化のための技術開発として、アンモニアを燃料として直接利用する技術開発が挙げられている。また、2021年10月「第6次エネルギー基本計画」では、アンモニアを燃料とした発電は燃焼時にCO₂を排出せず、カーボンニュートラル実現に向けた電源の脱炭素化を進める上で有力な選択肢の一つと位置付けられている。

2020年3月に策定された「新国際資源戦略」では、CO₂排出削減に向け、液体アンモニアの混焼を含めて着実に技術開発等を進めることが必要とされている。

CO₂フリーアンモニアは、水素を輸送・貯蔵できるエネルギーキャリアとして、火力発電の燃料として直接利用が可能であり、燃焼時にはCO₂を排出しない燃料として、温室効果ガスの排出量削減に大きな利点がある。

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用は、2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO₂を一層削減し、アンモニアをはじめとする水素エネルギーの社会実装に繋がる技術開発である。

2. 具体的研究内容

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術を実証すべく、設備費、運転費並びにアンモニアの製造・輸送コストを考慮した経済性検討、実証試験に必要な技術検討などを実施する。

1) 要素研究 [委託事業]

2) 実証研究 [助成事業 (1/2助成)]

※1)の実施者を公募した後の、1)から2)への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査(ステージゲート審査)を経て決定する。

3. 達成目標

[中間目標 (2023年)]

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術の見通しを得る。

[最終目標 (2024年度)]

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術を確立する。

研究開発項目⑫ CO₂分離・回収技術の研究開発 [委託事業]

[実施期間] 2018年度～2024年度

(2021年度までは「CCUS研究開発・実証関連事業」において実施)

1. 研究開発の必要性

2020年1月に策定された「革新的環境イノベーション戦略」においては、CO₂分離・回収コストの低減が技術課題として記載されており、新たな研究開発・実証として、固体吸収材や分離膜を用いた分離回収技術が挙げられている。

また、2021年7月に経済産業省が改定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」では、CO₂の分離・回収は共通技術として重要な位置づけとされている。

本事業では、石炭火力発電所等で発生するガスからCO₂を分離・回収するのに有効な技術として、固体吸収法および膜分離法について研究開発を行う。

2. 具体的研究内容

(1) 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発【2019年度終了】

CO₂の分離・回収技術の一つである化学吸収法のうち、高効率な回収が可能な「アミンを固体に担持した固体吸収材」について、燃焼排ガスを対象としたプラン1ト試験設備を用いた実用化研究を行う。

(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

石炭火力発電所の燃焼排ガスに最適化された、固体吸収材移動層システムの研究開発を行う。

固体吸収材移動層システムのCO₂分離・回収試験を実施するために、移動層パイロットスケール試験設備(40t-CO₂/d規模)について、設計・建設・運転等を行う。また、固体吸収材の性能向上を図るとともに、固体吸収材の大量製造技術、移動層システムにおけるCO₂分離・回収等の各工程にかかるプロセスシミュレーション技術等、CO₂固体吸収法に関わる基盤技術開発を行い、石炭火力発電所からの実燃焼排ガスを用いて、固体吸収法による石炭燃焼排ガスへの適用性を研究する。

(3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

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CO₂を分離・回収するのに有効な分離膜技術について、実ガスを用いた実用化研究を行う。

(4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

火力発電所等で発生するガスからCO₂を分離・回収するのに有効な膜分離技術について、実ガスに適用可能な分離膜モジュールおよび分離膜システムの実用化研究を行う。

また、CO₂分離・回収プロセスとCO₂利用プロセスの統合を考慮した膜分離技術の研究開発を行う。

3. 達成目標

(1) 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発

[最終目標] 2019年度

CO₂分離・回収エネルギーを1.5GJ/t-CO₂を達成する固体吸収材・システムを開発する。

(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1.5 GJ/t-CO₂の目途を得る。

(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0.5 GJ/t-CO₂以下を達成する分離膜技術を開発する。

(4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

[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。

[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0.5 GJ/t-CO₂以下を達成できる技術を開発する。

研究開発項目⑬「火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業」 [委託・助成事業]

1) 機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の技術開発・実証研究 [委託・助成事業]

[実施期間] 2022年度～2026年度

1. 研究開発の必要性

2021年10月に策定された「第6次エネルギー基本計画」では、再生可能エネルギーを大量導入するには、調整力の確保等の電力システムの柔軟性の向上が必要であるとされており、火力発電の今後の在り方についても、安定供給を大前提に設備容量の確保が挙げられている。

火力発電の運用性向上を目指すため、調整力電源の安定性維持に貢献する機動性に優れたガスタービン複合発電（GTCC）に適用する技術について、既存設備への適用を対象とした社会実装に取り組むことが重要である。

2. 具体的研究内容

急速起動・出力変動時のGTCCの安定運転の実現に向け、発電事業者が抱える現状ガスタービンの課題に対し、本事業の要素研究にて確立した燃焼技術、制御技術、数値解析技術等を中心とした要素研究の成果を、発電事業者の設備投資コストをできるだけ抑えた形で実用化する検討を実施し、最低負荷の引き下げや出力変化速度改善の検証等を行う。

1) 要素研究 [委託事業]

2) 実証研究 [助成事業 (1/2助成)]

※1)の実施者を公募した後の、1)から2)への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査（ステージゲート審査）を経て決定する。

3. 達成目標

[中間目標 (2024年度)]

機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電について、電力事業者の方針や対象機器の要求仕様等に応じた設備仕様等をまとめる。

[最終目標 (2026年度)]

機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電について、実証設備での目標性能達成の目途を得る。

研究開発項目⑬「火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業」 [委託・助成事業]

2) 石炭火力の負荷変動対応技術開発・実証研究 [委託・助成事業]

[実施期間] 2023年度～2026年度

1. 研究開発の必要性

2021年10月に策定された「第6次エネルギー基本計画」において、火力発電は、再生可能エネルギーの瞬時的・継続的な発電電力量の低下にも対応可能な供給力を持つ形で設備容量を確保することを求められており、とりわけ自然変動電源（太陽光・風力等）の導入が今後拡大する中で、電力の需給バランスを維持し周波数を安定化するために、火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性の向上が必要となる。

2. 具体的研究内容

火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるために、機動性に優れる広負荷帯高効率発電用ボイラに関する技術開発・実証研究を実施する。

1) 要素研究 [委託事業]

2) 実証研究 [助成事業（1／2助成）]

※1)の実施者を公募した後の、1)から2)への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査（ステージゲート審査）を経て決定する。

3. 達成目標

[最終目標（2026年度）]

負荷変動対応に伴う事故リスクと保守コスト低減に必要な故障予知・寿命予測等の保守技術および火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるための先進的な技術の社会実装に向けた見通しを得る。

年度(西暦)	1982	~	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
研究開発項目⑧ CO ₂ 有効利用拠点における技術開発(委託・助成)											◇				◇
									CO ₂ 有効利用拠点化推進事業						
									研究拠点におけるCO ₂ 有効利用技術開発・実証事業						
研究開発項目⑨ CO ₂ 排出削減・有効利用実用化技術開発(委託・助成)															
1) 化学品へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇				◇
									化学品へのCO ₂ 利用技術開発						
2) 液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇				◇
									液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発						
3) コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇				◇
									コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO ₂ 利用技術開発						
4) 気体燃料へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)												◇			◇
									気体燃料へのCO ₂ 利用技術開発						
研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業(委託・助成)								◇							◇
1) 石炭利用環境対策推進事業(委託)									石炭発熱性調査・先導研究、スラグの規格化、石炭灰発生量及び有効利用実態調査、石炭灰利用・削減技術開発等						
2) 石炭利用技術開発(2/3補助)															
									セメント不使用フライアッシュ製造技術開発						
									石炭ガス化溶融スラグのコンクリート実規模性能試験						
研究開発項目⑪ アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業(委託・補助)															◇
									アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業						
研究開発項目⑫ CO ₂ 分離回収技術の研究開発(※3)									◇		◇				◇
1) 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発															
									先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発						
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															
									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															
									二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発						
4) 二酸化炭素分離システム実用化研究開発															
									二酸化炭素分離システム実用化研究開発						

※1 経済産業省にて実施

※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

※3 2021年度までは「CCUS 研究開発・実証関連事業」において実施

年度(西暦)	1982	~	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
研究開発項目⑬ 火力発電負荷変動対応技術開発・ 実証事業													◇		◆
1) 機動性に優れる広負荷帯 高効率ガスタービン複合発電 の技術開発・実証研究													機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の 技術開発・実証研究		
2) 石炭火力の負荷変動対応 技術開発・実証研究													石炭火力の負荷変動対応技術開発・実証研究		

●特許論文等リスト

固体吸収法

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	公益財団法人地球環境産業技術研究機構、川崎重工業株式会社	2019372694 PCT/JP2019/042335	豪州、 PCT	2019/10/29 (移行日 2021/2/2)	登録	二酸化炭素分離回収システム及び方法	山本 信 他
2	川崎重工業株式会社	2019369728 PCT/JP2019/042336	豪州、 PCT	2019/10/29 (移行日 2021/2/2)	登録	二酸化炭素分離回収システム及び方法	西 部 祥 平 他

※ 出願中の内容については非公開

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Duc Sy Dao	RITE	Enhancement of CO2 Adsorption / Desorption Properties of Solid Sorbents Using Tetraethylenepentamine / Diethanolamine Blends	ACS Omega 2020, 5, 37, 23533-23541	有	2020/9/4
2	Quyen T. Vu	RITE	Effects of Amine Structures on Oxidative Degradation of Amine-Functionalized Adsorbents for CO2 Capture	Industrial & Engineering Chemistry Research 2021, Vol. 60, p.4942-4950	有	2021/4/7
3	Tomohiro Kinoshita	RITE	Simulation-Based Optimization of Fixed-Bed Continuous CO ₂ Capture Process with an Amine-Impregnated Solid Sorbent	Industrial & Engineering Chemistry Research 2021, Vol. 60, p.9906-9914	有	2021/7/21

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	奥村 雄志	KHI	Development of Solid Sorbent Technology by Kawasaki	15th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies	2021/3/17
2	西部 祥平	KHI	Demonstration of Kawasaki CO2 Capture (KCC) Moving-bed System with Solid Sorbent at Coal-fired Power Plant	International Conference on Power Engineering-2021	2021/10/17-21
3	西部 祥平	KHI	Development of CO2 Capture Technology with Solid Sorbent Utilizing Low-Temperature Steam	The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment	2021/12/14-17
4	奥村 雄志	KHI	固体吸収材を用いた CO2 分離回収技術 (KCC:Kawasaki CO2 Capture) について	化学工学会関東支部 第 53 回 Continuing Education シリーズ講習会	2022/1/18
5	奥村 雄志	KHI	当社の固体吸収材を用いた CO2 分離回収技術の開発	CO2 分離回収・資源化コンソーシアム 第 2 回講演会	2022/2/22
6	沼口 遼平	KHI	Kawasaki CO2 Capture : 排ガスおよび大気からの CO2 除去技術	日本機械学会関西支部第 97 期定時総会講演会	2022/3/16
7	山田秀尚	RITE	Advanced low-temperature-regenerable solid sorbent system for post-combustion CO2 capture	GHGT-15 (Web)	2021/3/16
8	Quyen Thi Vu	RITE	Degradation behavior of purified components of tetraethylenepentamine impregnated solid sorbents for CO2 capture	GHGT-15 (Web)	2021/3/15
9	余語克則	RITE	CCUS/カーボンサイクル推進に向けた CO2 分離回収技術開発の展開	未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西	2020/9/24

10	余語克則	RITE	二酸化炭素固体吸収材の実用化に向けた研究開発の進展	日本エネルギー学会・関西支部エネルギー技術講演会	2020/10/30
11	余語克則	RITE	二酸化炭素固体吸収材の実用化に向けた研究開発の進展	革新的 CO2 分離回収技術シンポジウム	2021/2/2
12	Quyen Thi Vu	RITE	Oxidative Deterioration of Polyamnes-Inpregnated Solid Sorbents: Effect of Amine Structures	IEAGHG 6th Post Combustion Caputure Conference (PCCC-6)	2020/10/21
13	Quyen Thi Vu	RITE	Stability of Amine Solid Sorbents for Postcombustion CO2 Caputure	The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment (CUUTE-1)	2021/12/16

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	KHI	循環炭素社会への挑戦	化学工業日報	2020/11/9
2	KHI	有力事業者の取り組みと戦略分析	2022年版 CCUS (CO2 回収・利用・貯留) 技術の動向&将来展望 (矢野経済研究所)	2022/2/28
3	KHI	《最新特集》CO2を処分せよ③ 25年以降の市場活性化見据え、開発進む二酸化炭素回収装置	週間エコノミスト	2022/3/14
4	RITE、KHI	二酸化炭素固体吸収材の実用化に向けた研究開発の進展	二酸化炭素回収・貯留 (CCS) 技術の最新動向 (株シーエムシー出版)	印刷中
5	KHI	固体吸収材による火力発電所からのCO2 分離回収実証	分離技術 52 巻 2 号	2022/3/31

膜分離法

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1							

※ 出願中の内容については非公開

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	査読	発表年月
1	Shuhong Duan, Firoz A. Chowdhury, Teruhiko Kai, and Shingo Kazama	Research Institute of Innovative Technology for the Earth	Hydroxy-Functionalized PAMAM Dendrimer as a CO ₂ -Selective Molecular Gate for CO ₂ Membrane Separation	Key Engineering Materials (Vol. 920)	有	(accepted for publication)

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	甲斐照彦	公益財団法人地球環境産業技術研究機構	CCUS のための CO ₂ 分離回収技術の技術開発動向	セミナー「～Direct Air Capture (DAC)を含めた～CO ₂ 分離回収の技術開発と適用動向」	2020/8/18
2	Shuhong Duan, Firoz A. Chowdhury, Teruhiko Kai	Research Institute of Innovative Technology for the Earth	Hydroxy-Functionalized PAMAM Dendrimer as a CO ₂ -Selective Molecular Gate for CO ₂ Membrane Separation	The Fifth International Conference on New Material and Chemical Industry (NMCI2020)	2020/11/15
3	Teruhiko Kai, Shuhong Duan, Fuminori Ito, Kenjiro Ishiguro, Koji Baba, Keisuke Sugita	Research Institute of Innovative Technology for the Earth	Development of CO ₂ molecular gate membrane modules for pre-combustion CO ₂ capture	International Congress on Membranes & Processes 2020 (ICOM2020)	2020/12/9
4	中尾真一	次世代型膜モジュール技術研究組合	二酸化炭素分離膜モジュール実用化開発の進捗について	革新的 CO ₂ 分離回収技術シンポジウム	2021/2/2

5	甲斐照彦	公益財団法人 地球環境産業 技術研究機構	CCUS/カーボンサイクルの ための CO2 分離回収技術 の開発動向	山口地区化学工学懇話会 第 77 回講演会	2021/6/15
6	甲斐照彦	公益財団法人 地球環境産業 技術研究機構	CCS のための二酸化炭素 分離膜モジュールの研究開 発	第 37 回 ニューメンブレ ンテ クノロジーシンポジウム 2021	2021/10/5
7	甲斐照彦	公益財団法人 地球環境産業 技術研究機構	CCUS/カーボンサイクルの ための CO2 分離回収技術 の開発動向	大阪大学社会人教育プログ ラム：第 2 回共通特別講 義	2021/7/20
8	甲斐照彦	公益財団法人 地球環境産業 技術研究機構	CCUS のための CO2 分離 回収技術の開発動向	セミナー：「中国四国地区 の化学産業における低炭素 化の取り組み」	2021/11/26
9	Teruhiko Kai, Shuhong Duan, Fuminori Ito, Kenjiro Ishiguro, Koji Baba, Keisuke Sugita, Shin-ichi Nakao	Molecular Gate Membrane module Technology Research Association	Development of molecular gate membrane modules for pre-combustion CO2 capture	The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment (CUUTE-1)	2021/12/14- 17
10	中尾真一	公益財団法人 地球環境産業 技術研究機構	カーボンニュートラルを支える CO2 分離回収技術	革新的環境技術シンポジウ ム 2021	2021/12/1
11	中尾真一	次世代型膜モ ジュール技術研 究組合	二酸化炭素分離膜モジュ ール技術の研究開発概要	革新的 CO2 分離回収技 術シンポジウム	2022/2/2
12	甲斐照彦	公益財団法人 地球環境産業 技術研究機構	CCUS のための CO ₂ 膜分 離技術の開発動向	日本膜学会講演会「二酸 化炭素分離膜開発の最新 動向と今後の展望」	2022/3/10

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月日
1	甲斐照彦, 山田秀尚, 木下朋大	1.エネルギー資源探査・開発技術、 CCS	研究開発の俯瞰報告書 環境・エ ネルギー分野 2021年	2021/3/3
2	甲斐照彦	CO2 分離膜開発の進展	電気評論 環境技術ノート	2021/9/1
3	Shuhong Duan, Teruhiko Kai	CO2 Capture by Membrane	Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation	2021/10/5
4	甲斐照彦、瀬下雅博	4.1.1 節概論(2)「CO2 回収用膜」	化学技術のフロンティアシリーズ① サーキュラー・バイオエコノミーを支え る分離技術	2022/2/2