

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／

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」

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	3
プロジェクト用語集	6
1. 事業の位置付け・必要性について	8
1. 事業の背景・目的・位置づけ	
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	
2.1 NEDO が関与することの意義	
2.2 実施の効果（費用対効果）	
2. 研究開発マネジメントについて	12
1. 事業の目標	
2. 事業の計画内容	
2.1 研究開発の内容	
2.2 研究開発の実施体制	
2.3 研究開発の運営管理	
2.4 研究開発成果の実用化・事業化 [※] に向けた マネジメントの妥当性	
3. 情勢変化への対応	
4. 中間評価結果への対応	
5. 評価に関する事項	
3. 研究開発成果について	18
1. 事業全体の成果	
2. 研究開発項目毎の成果	
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	23
1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	

（添付資料）

- ・プロジェクト基本計画
- ・特許論文等リスト

「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）

◇中間評価、◆事後評価

年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
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) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)					※1					◇			◇			◆		
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(1/2助成) 2) 高温空気を利用したガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1						◇			◆				
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(2/3助成)					※1	A-USC実証												
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(委託)									※2	基盤技術開発		2018年度以降は研究開発項目⑤へ統合						
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)									※2	基盤技術			◆					
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)												◇				◆		
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)												◇				◆		
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)									※2	基盤技術開発		2018年度以降は新規公募にて研究開発項目④8)で実施						
6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発(委託)													◇			◆		

概要

		最終更新日	2020年6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／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	プロジェクト番号	P16002					
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM 名久井 博之 (2020年6月現在) " " 中元 崇 (2017年4月～2019年3月)							
0. 事業の概要	<p>長期保守契約(LTSA)を実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を特定し、試験装置の整備、計測を行う。また、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。具体的案件は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上：伝熱管加熱部の温度計測技術の適用燃料種拡大および数値解析を用いた伝熱管加熱部の温度推定技術の適用範囲拡大 ➤ TypeIVクリープボイド初期検出システムの開発：超精密音響 TypeIVクリープボイド評価装置を用いた定量評価計測システムの確立 ➤ 高分解能フェーズドアレイの開発：フェーズドアレイ高分解能化の課題抽出と対策検討および実機適用基盤技術の開発 ➤ 火力発電設備の余寿命・故障予兆診断技術開発：故障の予兆と原因特定および対応策の検討および設備検査と運転データ分析に基づいた余寿命診断 							
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>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。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。</p>							
2. 研究開発マネジメントについて								
事業の目標	<p><u>中間目標</u>（2020年度）：長期保守契約（LTSA）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。</p> <p><u>最終目標</u>（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。</p>							
事業の計画内容	主な実施事項	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	
	伝熱管の温度推定技術の向上							
	クリープボイド初期検出システムの開発							

	余寿命・故障予兆診断技術開発							
事業費推移	特別会計（需給）	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額
	総 NEDO 負担額（委託費）	156	291	171	3,000			3,618
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	三菱日立パワーシステムズ(株) 山内 康弘 東北大学 三原 毅						
	プロジェクトマネージャー	環境部 名久井 博之						
	委託先	三菱日立パワーシステムズ(株)（再委託先：三菱重工業(株)） 東北大学、東北発電工業(株)						
情勢変化への対応	プロジェクト開始時(2017年度)は、日本の石炭火力の国際的な競争力を向上させるために、運転・保守品質を高め高稼働率を実現させる技術開発を実施してきた。ところが、昨今の自然変動電源（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きていることから、2020年度より石炭火力の負荷変動に対応する技術に焦点を当てた研究開発を実施することとした。							
評価に関する事項	中間評価	2020年度 中間評価						
	事後評価	2023年度 事後評価						
3. 研究開発成果について	【全体中間目標】 長期保守契約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した。							
	【個別中間目標】							
	・ 伝熱管の温度推定技術の向上：伝熱管加熱部の温度計測技術の適用燃料種と数値解析を用いた伝熱管加熱部の温度推定技術の適用範囲を拡大した。							
	・ クリープボイド初期検出システムの開発：超精密音響 TypeIVクリープボイド評価装置を用いた定量評価計測システムを確立した。							
	投稿論文	0件						
特許	0件							
その他の外部発表（プレス発表等）	学会発表 3件							
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	微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術については、国内微粉炭焚き火力発電所において、開発技術のボイラ火炉への拡張も含めた長時間の実機検証（ボナ本数、伝熱パネル枚数、火炉サイズなど）を行い、2022年度以降の実用化・事業化を目指す。 クリープボイド初期検出システムについては、本事業終了後、2年間は国内のUSC石炭火力発電プラントで実績を蓄積する。3年目からは、同プラントでの実績をベースに、国内の							

	シェア拡大に繋げていく。また シェアの拡大見込みを基に、検査会社へのライセンス供給も視野に入れ、日本国内技術のシェア拡大に繋げていく。	
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 改訂（目的、目標、内容、スケジュール等の追加、修正）

プロジェクト用語集

名称	略号	意味
エロージョン		固体、液体および気体が材料との相対的動きや衝撃的な繰り返し作用によって生ずる機械的力によって材料表面を変形・劣化させ、少しずつ材料を脱離させその場所に減肉を生じさせる現象。
クリープ		物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともに歪みが増大する現象。
高位発熱量		高位発熱量もしくは総発熱量は、燃焼後の生成物を燃焼前の温度に戻し、生成した水蒸気がすべて凝縮した場合の発熱量である。燃焼で生成された水が液体で存在するような一般的な温度で燃焼反応のエンタルピー変化を想定しているため、総発熱量は燃焼熱に等しい値となる。熱量計で測定される熱量は高位発熱量である。
再熱蒸気		超高圧または高圧タービンで仕事をした後、再度ボイラで過熱された蒸気であり、再度タービンで仕事をする。
酸化スケール		金属を空気中または他の酸化雰囲気中で加熱したとき表面に生じる酸化物の被膜
主蒸気		ボイラで発生する最高圧力、最高温度の蒸気
石炭		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間高い地圧と地熱などによる加圧、乾留などの作用を受けて変質した可燃性固体。火力発電などに用いられる石炭は、製鉄業でコークス用に用いられる原料炭と区別して一般炭と呼ばれる。一般に、発熱量 4,000kcal/kg 以下、湿分と水分の合計が 30%以上、灰分 40%以上の、揮発分 10%以下のものは低品位炭と呼ばれる（火力原子力発電技術協会 纂：火力発電用語辞典より）。
送電端出力		発電機出力ー所内動力
超音波探傷試験 Ultrasonic Testing	UT	超音波のパルス信号として機械的な振動を金属材料等の表面や内部に伝播させることにより、音響的に不連続な部分からの反射信号や反射強度、伝播時間などにより、材料内部のきずや長さ、形状などを非破壊で評価し、その良否判定を検査規格などにより良否判定する技術。
超々臨界圧汽力発電 Ultra Super Critical pressure	USC	蒸気温度 593℃以上の超臨界圧汽力発電
熱効率		電気出力／投入熱量
ボイラ		ボイラは、燃料を燃焼させて得た熱を水に伝え、水蒸気や温水

		(=湯)に換える熱交換装置を持った熱源機器。
--	--	------------------------

1. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

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

(図 1-1)。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 (図 1-2)。

インドネシア、マレーシア、ポーランド等の石炭火力導入国では、計画外停止の回避や稼働率確保のニーズが大きく、ボイラ故障や石炭品質管理等の課題を抱えている。よって、ユーザーメリットは、主に稼働率向上、メンテ補修費削減によるものが大きい (図 1-3)。日本の国際競争力を維持、強化していくためには、他国の追随を許さない、高水準の稼働率実現やメンテナンス費低減に向けた高度な O&M 技術開発が必要であり、高稼働率/高信頼性を保証することを可能とする様な計測、解析技術 (シミュレーション含む) が有効と考えられる。日本の高い O&M 品質を長期保守契約 (LTSA) で提供するビジネスモデルを構築することで、結果として日本の石炭火力発電所の競争力が向上すると考えられる。

2018 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、「低炭素型インフラ輸出」を積極的に推進することとしており、「相手国のエネルギー政策や気候変動対策との整合的な形で、原則、世界最新鋭である超々臨界圧 (USC) 以上の発電設備について導入を支援する」こととしている (図 1-4)。

また、同基本計画において、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。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 (図 1-5)。

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。

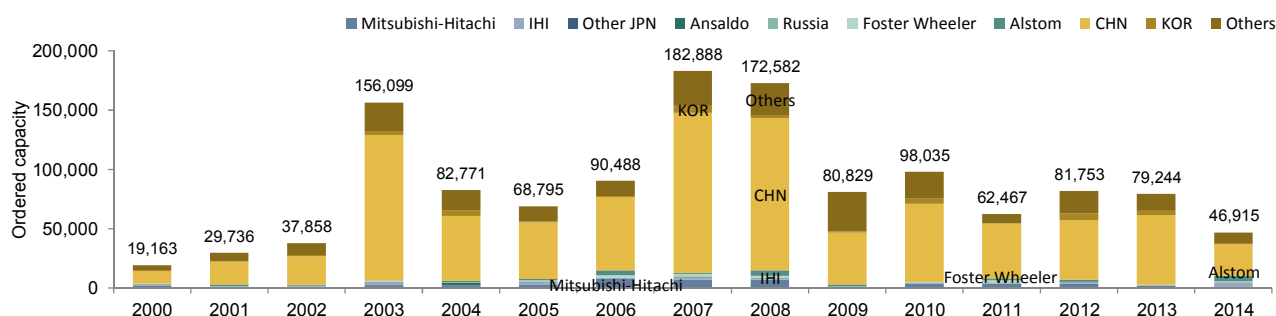


図 1-1 全世界の各社シェアの推移 (ボイラ)

出典：NEDO 成果報告書「平成 26 年度～平成 27 年度成果報告書 クリーン・コール・テクノロジー推進事業/日本の石炭火力発電技術の競争力強化の検討」を一部加工

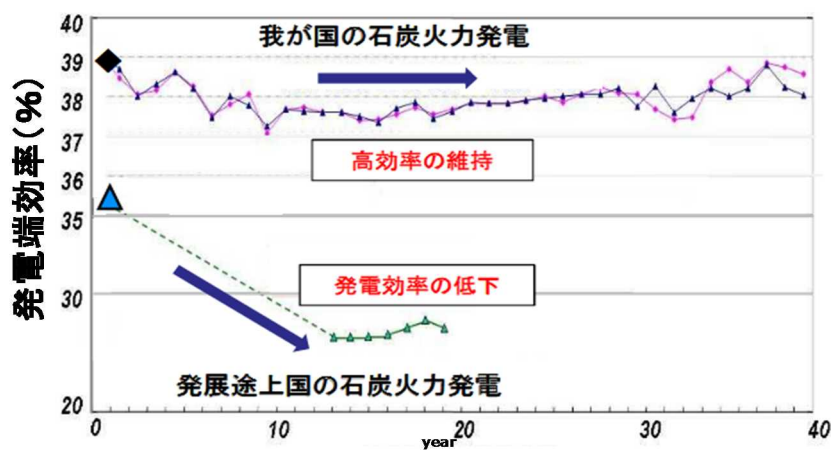


図 1-2 設備設置後の発電効率

出典：電気事業連合会

	課題（ニーズ）	O&Mサービス	ユーザーメリット[Million USD / year]					
			効率向上	稼働率向上	補修費削減	計画外停止の回避		
						予備機起動停止	社会的信頼	事業リスク低下
マレーシア	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 石炭品質の低下（亜瀝青炭へのシフト） ✓ チューブリークによる計画外停止 ✓ ボイラー出口温度上昇による効率低下 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 燃焼シミュレーションDB構築による燃焼状態管理 ✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断 	6.2 △	39 ○	20 ○	0.3 △	- △	- ◎
インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 石炭品質の低下（亜瀝青炭へのシフト） ✓ ボイラートラブルに起因する計画外停止 ✓ パーツストック合理化 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 燃焼シミュレーションDB構築による燃焼状態管理 ✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断 	- =	16 ○	20 ○	0.3 △	- △	- ○
ポーランド	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 再エネ対応 ✓ 環境負荷の低減 ✓ 計画外停止の根絶 ✓ 石炭品質管理 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 部分負荷効率向上サービス ✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断 	1.1 △	17.6 ○	3.5 △	0.3 △	- ◎	- ○

図 1-3 石炭火力導入各国のニーズ

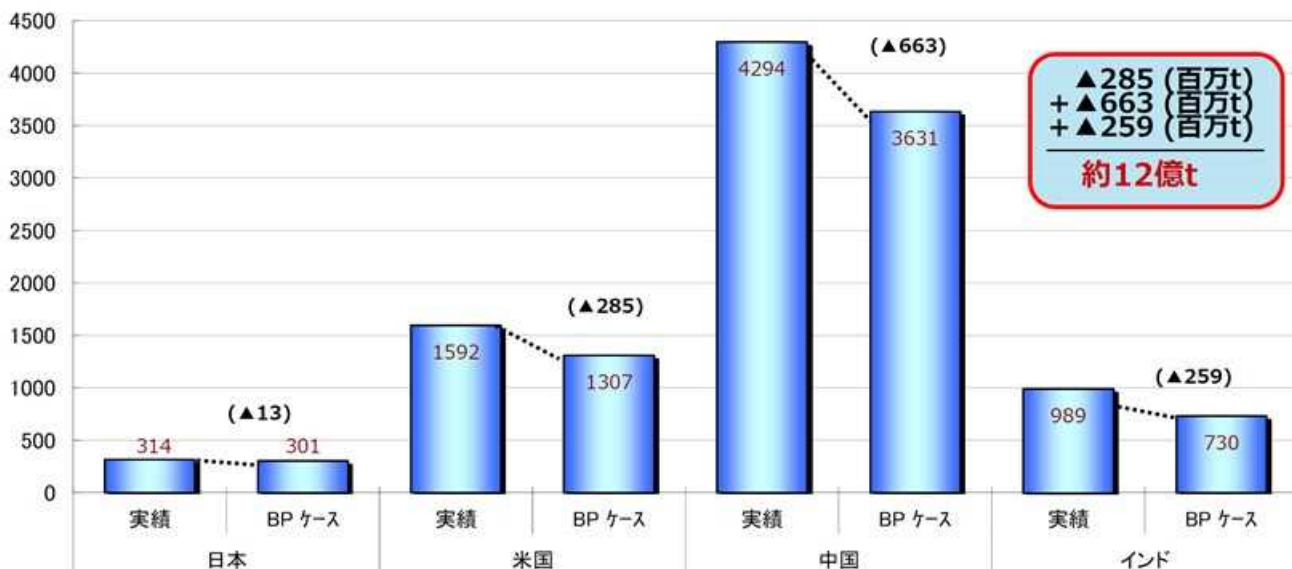


図 1-4 石炭火力発電からの CO2 排出量実績(2014 年)と日本の最高効率適用ケース

(出典) 資源エネルギー庁, 国によって異なる石炭火力発電の利活用, 2018

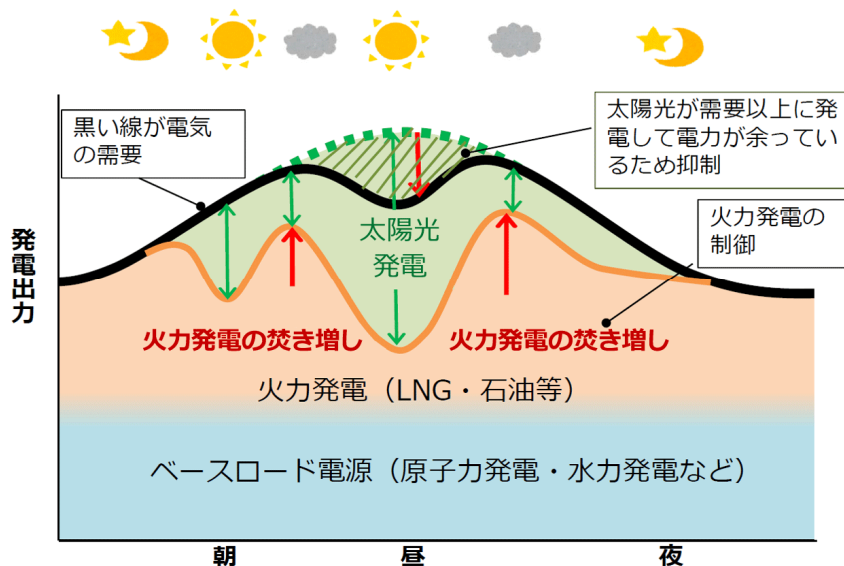


図 1-5 電力需給のイメージ

出典：資源エネルギー庁ホームページ

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDO が関与することの意義

全世界的な石炭火力に対する逆風の中で、将来の環境規制が経営リスクとなり得ることから、民間企業における石炭火力技術開発への投資が十分に見込めない状況となっている。

一方で、日本のエネルギー政策上、石炭火力の調整力と信頼性・運用性の向上が低炭素型インフラ輸出の拡大や電力の需給バランスの維持等の社会的な利益につながることから、「エネルギー・地球環境問題の解決」と「産業技術力の強化」をミッションとする NEDO が関与することが望ましい。

2.2 実施の効果 (費用対効果)

① プロジェクト NEDO 負担額の総額：36.2 億円

② マーケットの現状及び将来の規模

(1) 海外シェア拡大

海外の石炭火力は 2019～2040 年にかけて 540GW 新設*¹される見込み (図 2-1) ⇒ 24GW/年⇒ 想定される市場規模は約 6 兆円/年*²。世界のボイラ市場に占める日本企業のシェアは 7.5%*³なので、2 倍 (15%)に拡大するとインフラ輸出は 0.4 兆円/年の増額となる。

* 1: 「World Energy Outlook 2019」記載の 2018 年～2040 年の新設容量 (リプレースを含む、建設中を除く)。

* 2: コスト等検証委員会で提示された 2030 年の石炭火力発電建設単価 25 万円/kW を適用。

* 3: 三菱総合研究所, 製造基盤技術実態等調査事業, 2016 年

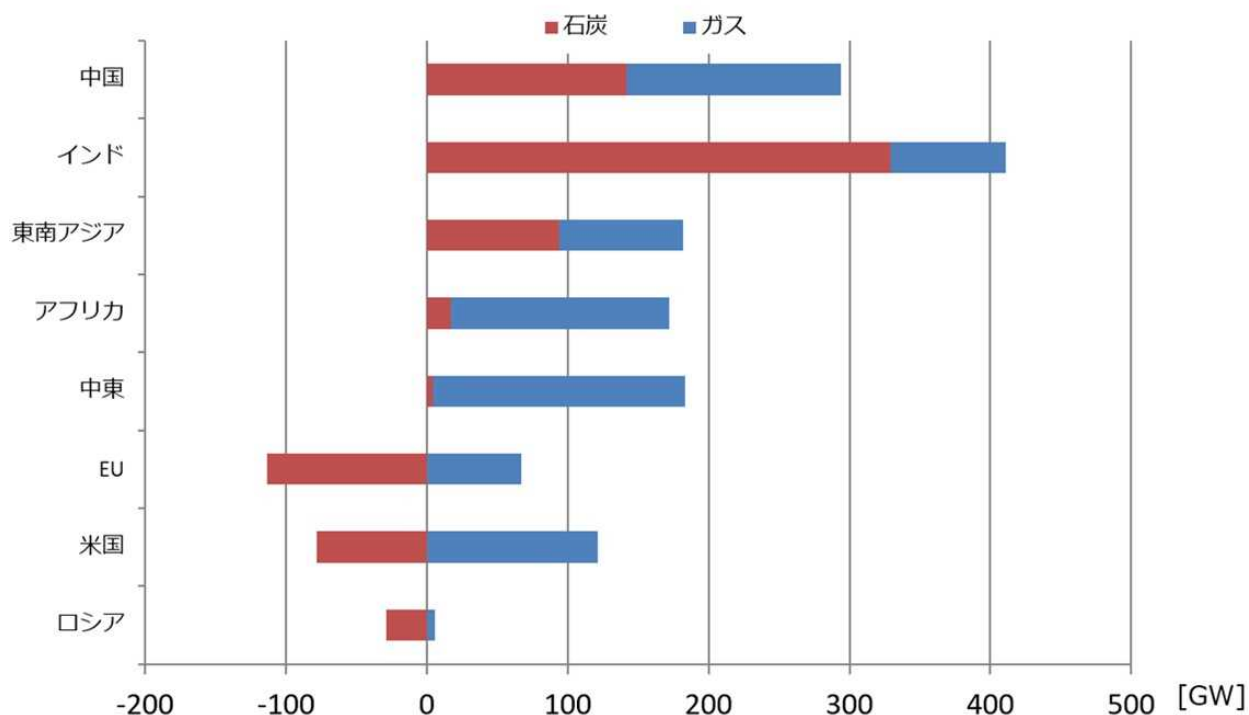


図 2-1 主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増加見通し(2015-2040)

(出典) 資源エネルギー庁, 国によって異なる石炭火力発電の利活用, 2018

(2) 補修費削減

現在、国内 USC 石炭火力発電プラントの主要配管は損傷の有無に関わらず、運転時間を基に約 15 年で全交換されている。ボイラの寿命を 50 年と仮定すると 3 回の交換が必要となるが、本事業成果技術により必要箇所のみでの交換、または交換周期を 20 年程度に延伸できれば、ボイラ寿命内での交換回数は 2 回に抑える事ができる。1 プラントあたり 1 回交換分費用の 100 億円の削減効果があり、国内 24 基を想定すると 2,400 億円となる。

2. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

中間目標（2020 年度）：長期保守契約（LTSA）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。



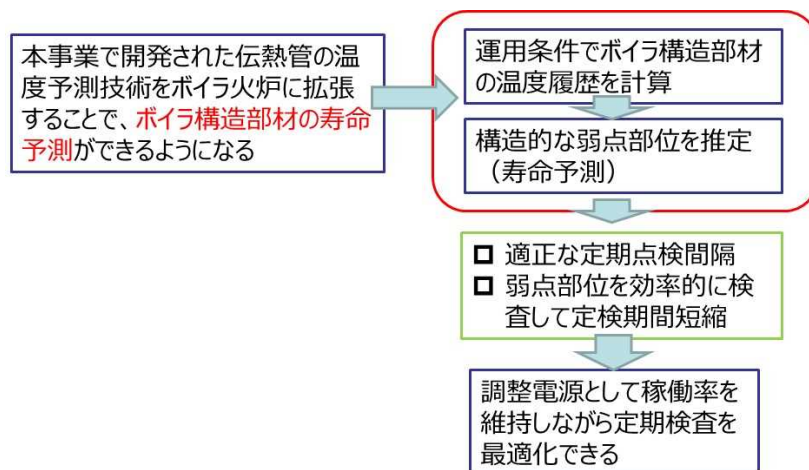
2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

石炭火力発電分野において LTSA を提供するために必要な技術開発要素（各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術）を特定し、開発する。また、発電所における技術実証に活用するスキームを検討する。具体的案件は以下の通り。

（1）微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上

今後再エネ導入量拡大によって石炭火力も負荷変動運転が必要となり、負荷変動によるボイラ構造部材の低サイクル疲労、炉壁温度分布の拡大で耐圧部、非耐圧部ともに従来より厳しい運用条件になると予想される。



そのため、炭種条件・ガス流れ条件等が異なる条件での伝熱管温度・ガス温度などの詳細データを取得すると共に、炭種条件・ガス流れ条件等が異なる条件での数値解析による伝熱管温度分布予測を実証し、加熱部最高温度の推定誤差が 0～+20℃の範囲に入ることを確認する。

高温材料を 650℃で使用する場合、従来の推定誤差は+30℃のため、680℃の寿命カーブを採用している。開発後の推定誤差は+20℃のため、670℃の寿命カーブを採用可能となる。従来では 10 万時間と見込

んでいた寿命が、採用する寿命カーブの見直しにより 20 万時間と推定でき、+10 万時間延長可能となる(図 2-1)。

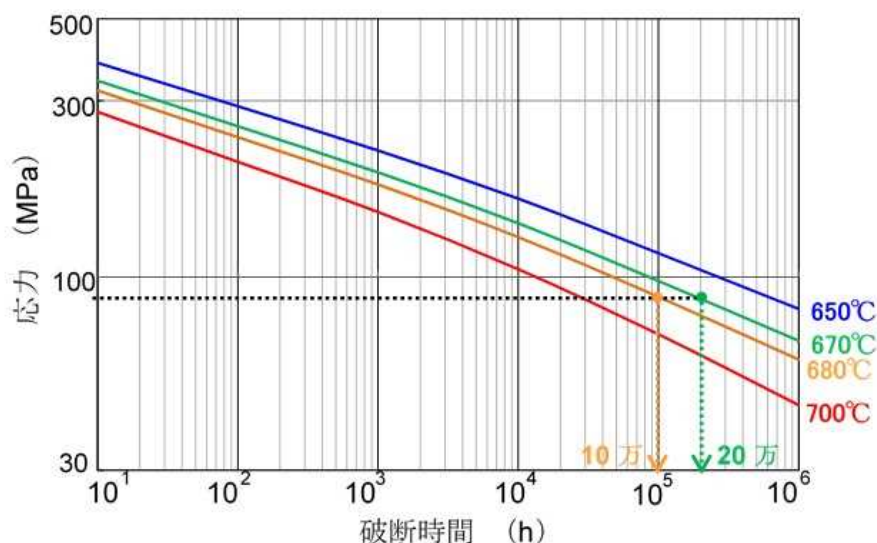


図 2-1 SUPER304H のクリープ破断特性

「あたりあ 第 46 巻 第 2 号 (2007) , 高効率火力発電伝熱管用高強度ステンレス鋼管 SUPER304H (火 SUS304J1HTB) の開発」のデータを基に作成

(2) Type IV クリープポイド初期検出システムの開発

石炭火力発電所の主要配管溶接継手では、局所的にクリープポイドが発生することが明らかとなっている(図 2-2)。しかし、クリープポイドの計測法は確立されていないため、現状は、非破壊検査は保全計画には活かされず供用時間に応じて部材の交換が行なわれている(図 2-3)。石炭火力発電所の高クロム鋼配管溶接部で Type IV クリープポイドがき裂になる前の初期段階で計測できれば、非破壊計測に基づいて保全計画を立てることができる(図 2-4)。

本研究では、予備研究により取得した特許技術を基に、世界に先駆け石炭火力の保全手法の確立に向け以下の 3 項目を実施した。

- 1) 火力発電サイトの定期検査に使える精密音響 Type IV クリープポイド評価装置を開発
- 2) 受信波形の SN 比改善に向けたシステム改良の検討
- 3) 微小クリープポイドの音響検出メカニズムの基礎検討

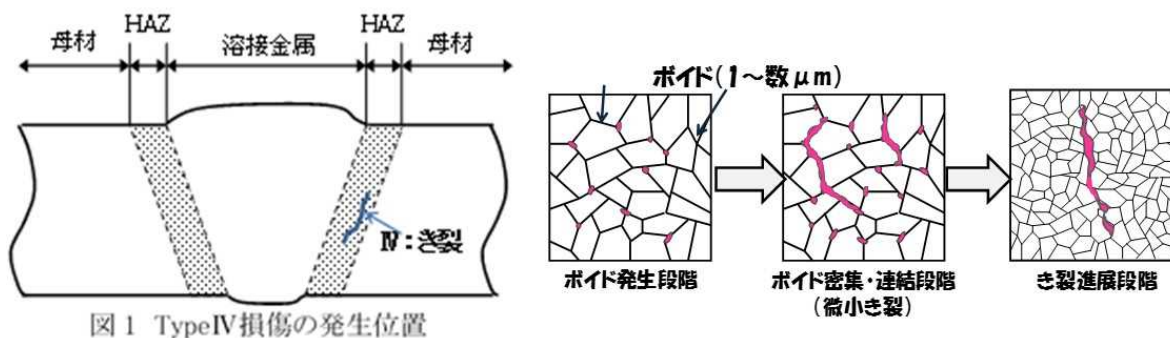


図 2-2 クリープ損傷メカニズム

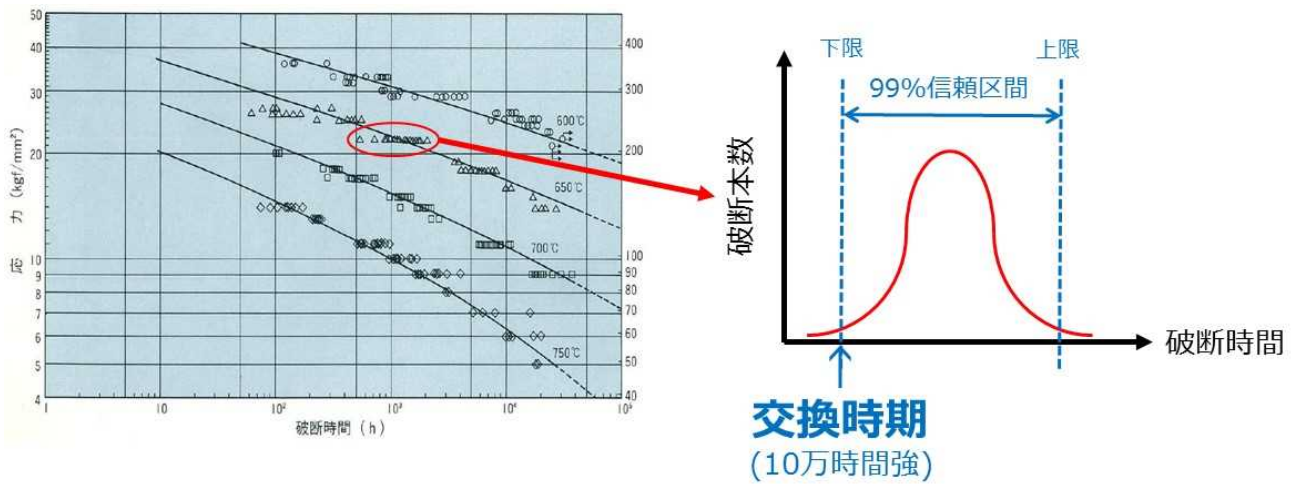


図 2-3 配管の交換時期の設定イメージ

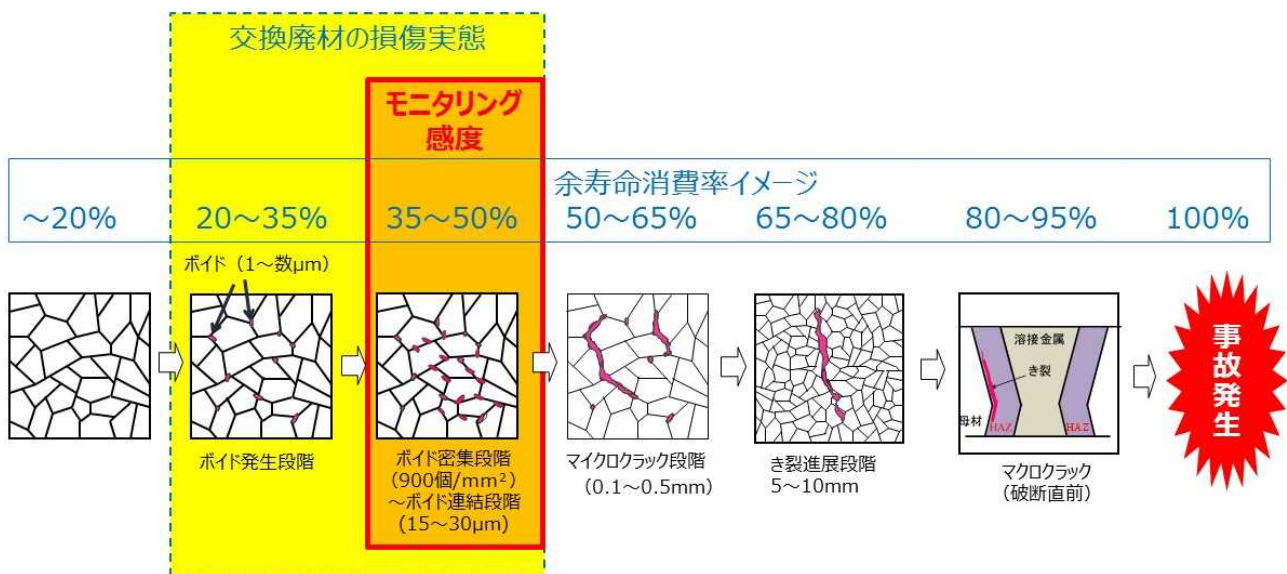


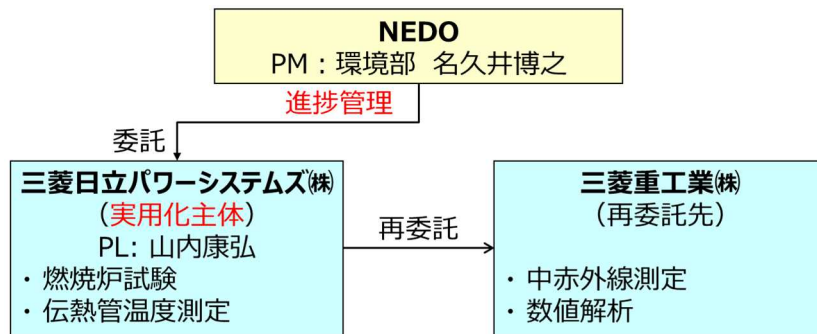
図 2-4 クリープポイド初期検出システム開発のモニタリング感度

表 2-1 各事業の研究開発予算

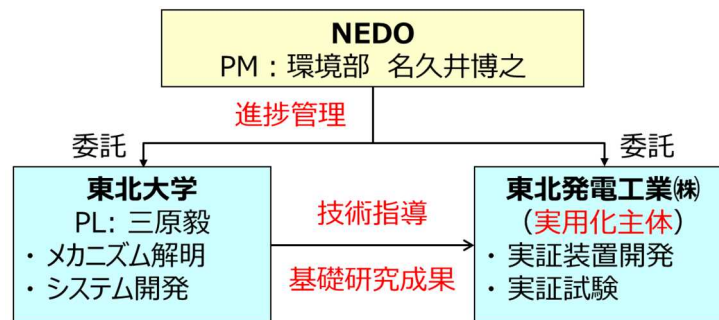
	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	事業 合計
微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の 温度推定技術の向上	146	198	137	-	-	-	481
TypeIV クリープポイド初期検出シス テムの開発	10	93	34	-	-	-	137
余寿命・故障予兆診断技術開発	-	-	-	3,000			3,000
年度合計	156	291	171	3,000			3,618

2.2 研究開発の実施体制

(1) 微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上



(2) TypeIV クリープボイド初期検出システムの開発



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、必要な措置を講じた。

PM は、外部有識者で構成する技術検討委員会を 2019 年 2 月 1 日に開催し、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(図 2-5)。また、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し、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。

PL は、プロジェクト関係者との打ち合わせを頻繁に実施し、各研究開発項目の進捗状況、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。

- ・ 中間目標も達成しており、よくマネジメントされている。
- ・ 実際使おうとすれば様々な制約があると思うので、それを意識して実施すると将来的な競争力強化につながっていくのではないかと期待している。
- ・ クリープ損傷研究については電力ニーズが非常に高い。
- ・ 石炭火力の競争力強化につながるのではないかと期待している。
- ・ メンテナンス関係で他の国がなかなかできないような研究であり、石炭火力の競争力強化を海外に輸出する非常に大事な技術開発である。
- ・ どちらの技術開発も実用化すると、部品の交換時期や使用限度が分かるようになるので期待している。石炭火力の停止期間を短くすることで、とても競争力が出てくる。
- ・ 実用の世界でできることをしっかり引っ張り出して、社会とつながる形で技術が使えるようになるとよい。

2.4 研究開発成果の実用化・事業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、NEDO、実施者とも普及に努めた（NEDO 主催の環境技術分野事業報告会や電力会社向け技術成果発表会、実施者による学会発表等）。今後、国際ジャーナルに4報程度の投稿を予定している。

NEDO は2018年7月19日、NEDO 本部において「NEDO 環境技術分野事業報告会」を開催した。この報告会の中で、本プロジェクトに関する概要やこれまでの成果と今後の方針を報告した。



環境技術分野事業報告会

NEDO は2019年11月15日、NEDO 本部において、ユーザーニーズを研究開発に反映させると共に、研究成果の早期社会実装を促進させることを目的に、その成果を社会実装の主体となる電気事業者へ紹介する「NEDO 火力発電技術開発成果発表会」を開催した。9電力、電事連、電中研から51名が参加し、事前アンケートで10電力中、7電力が本事業の発表を希望した。本事業については、「重要な課題でニーズに合っている」との感想を得た。



電力会社向け技術成果発表会

② 知的財産権の帰属

「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（委託の成果に係る知的財産権の帰属）の規定等に基づき、原則として、事業成果に関わる知的財産権は全て委託先に帰属させる。

③ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「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。

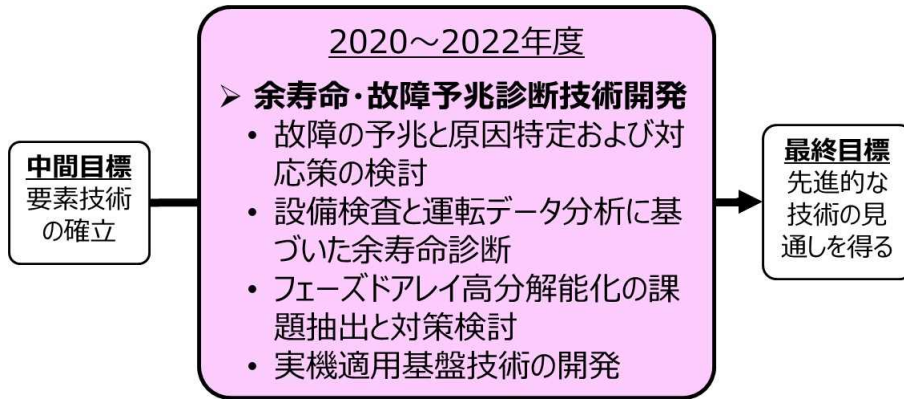
3. 情勢変化への対応

プロジェクト開始時(2017 年度)は、日本の石炭火力の国際的な競争力を向上させるために、運転・保守品質を高め高稼働率を実現させる技術開発（石炭火力の競争力強化技術開発）を実施してきた。ところが、昨今の自然変動電源（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きていることから、2020 年度より石炭火力の負荷変動に対応する技術に焦点を当てた研究開発を実施することとした。負荷変動対応技術は、日本の石炭火力発電プラントの品質をより高め、長期保守契約（LTSA）の寄与へつながる。

3. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

モニタリング等の要素技術が確立したことから、今後、余寿命・故障予兆診断技術開発を行うことにより最終目標は達成できる見込みである。



2. 研究開発項目毎の成果

(1) 微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上

微粉炭焚きボイラの信頼性向上のためには、運転中の伝熱管温度を予測することが重要である。本研究では石炭燃焼環境下における伝熱管のメタル温度予測技術の検証のために、水冷および空冷の模擬伝熱管、バーナごとの微粉炭流量を計測する微粉炭流量計、伝熱管近傍のガス温度を計測する高度トラバース装置等を大型燃焼試験設備に設置し、石炭種や燃焼空気比の変化などの種々の条件下で燃焼試験を実施した(図 3-1)。また、燃焼試験を再現した数値解析を行い、試験結果との比較を行った(図 3-2)。その結果、数値解析により予測した最高メタル温度および温度分布傾向は実測値を良く捉えており、実機ボイラのメタル温度予測に有効であることを確認した(図 3-3)。また、中赤外線カメラを用いることでメタル温度傾向や伝熱管への灰付着等が把握できることを確認した。

表 3-1 目標と達成状況(微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上)

目標	達成状況
炭種条件・ガス流れ条件等が異なる条件での伝熱管温度・ガス温度などの詳細データ取得する。	大型燃焼試験設備を用い、炭種条件・ガス流れ条件等が異なる条件での伝熱管温度・ガス温度などの詳細データを取得できた。
数値解析による伝熱管温度分布予測を実証し、加熱部最高温度の推定誤差が0～+20℃の範囲に入ることを確認する。	中赤外線カメラ、レーザー計測装置などで各部温度、炉内伝熱流動状況、伝熱管の灰付着状況等を把握し、数値解析精度の検証を行った結果、加熱部最高温度の推定誤差が0～+20℃の範囲に入ることを確認できた。

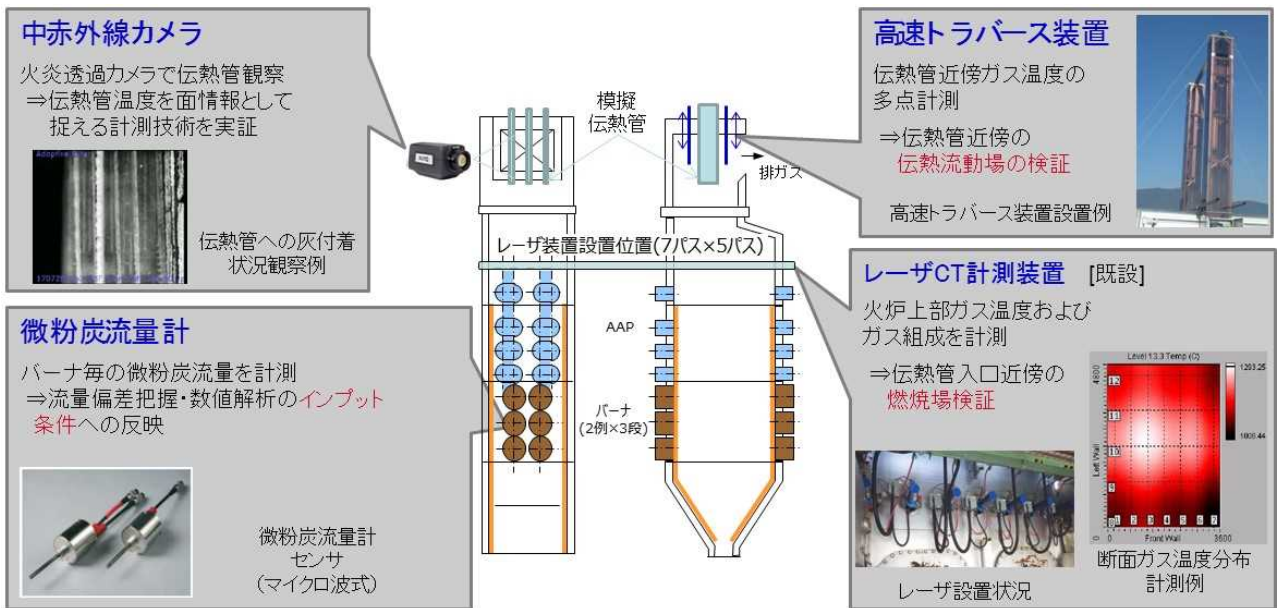


図 3-1 大型燃焼試験設備における伝熱管温度・ガス温度測定

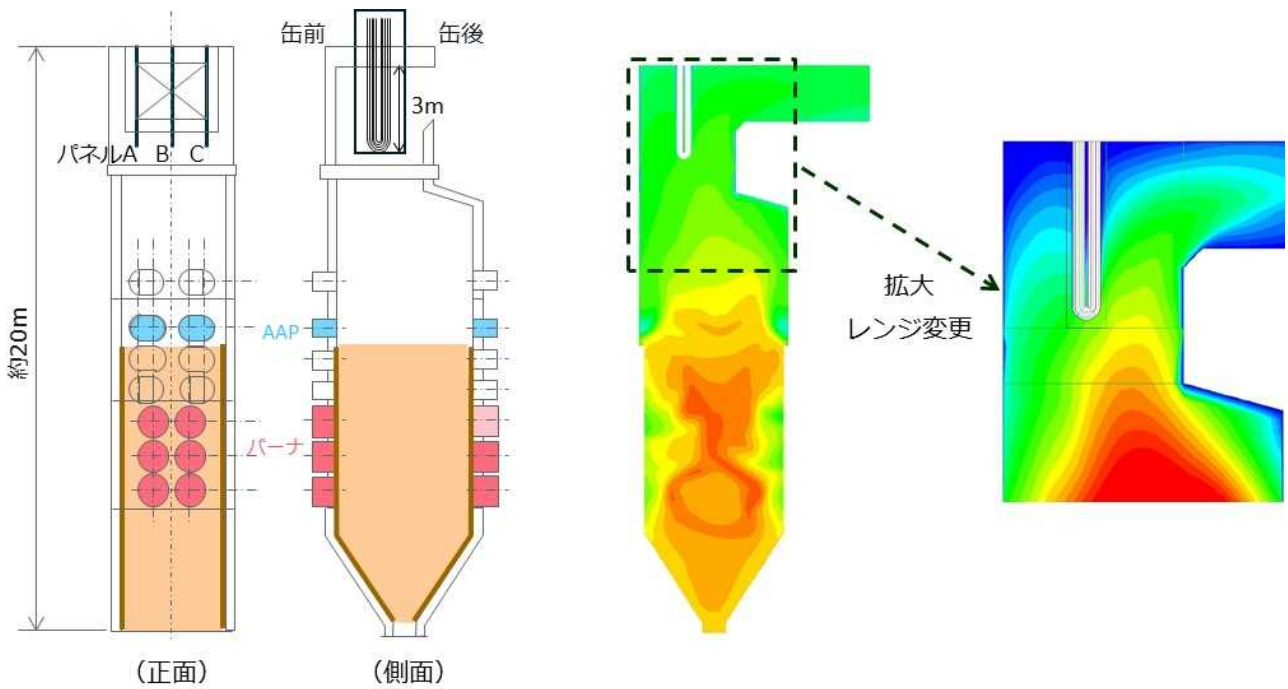


図 3-2 炉内燃焼・伝熱流動解析結果 (ガス温度)

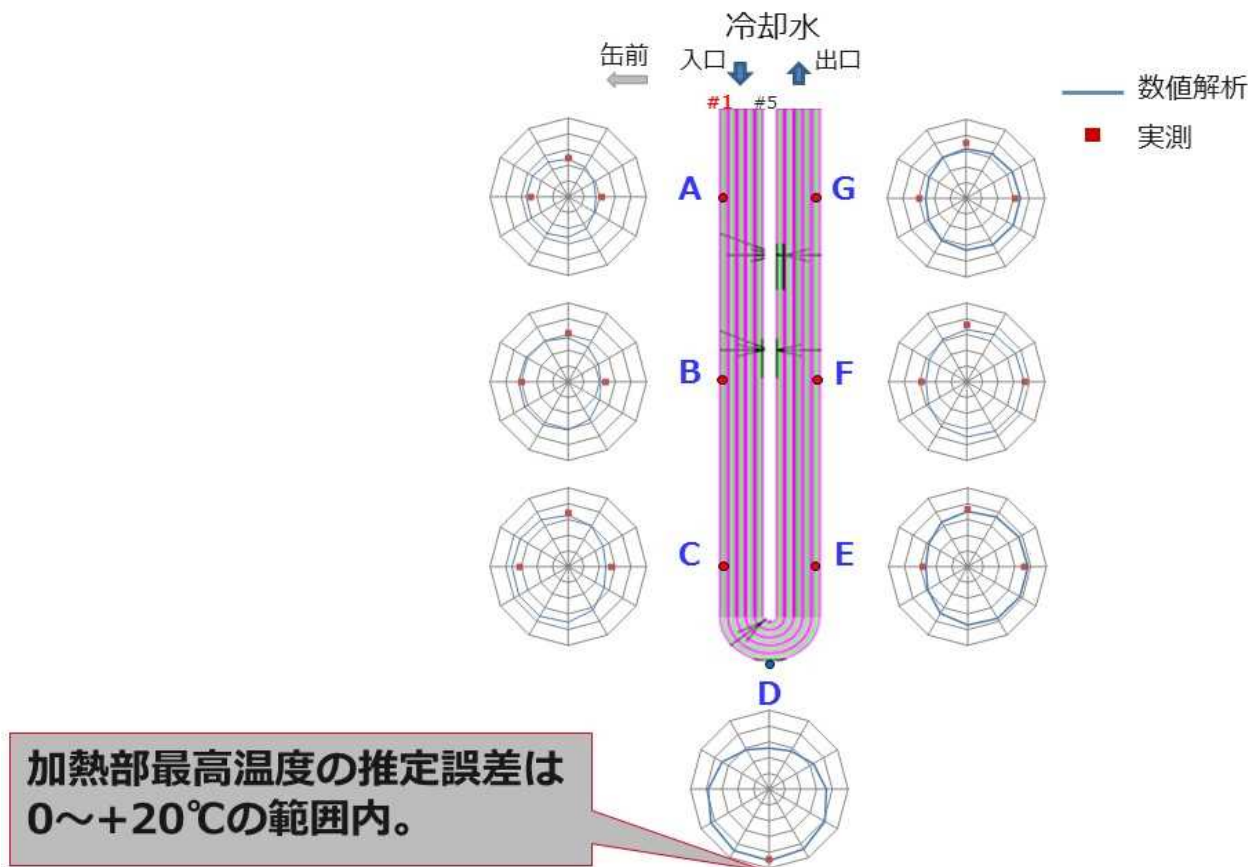


図 3-3 数値解析により予測した最高メタル温度および温度分布傾向と実測値

(2) Type IV クリープポイド初期検出システムの開発

東北大学は、計測システムの中核となる、大口径非球面集束斜角探触子と、励振用のマルチパルサーにより、後方散乱波の音響映像を用いる音響映像法を提案し、プロトタイプ機の試作・開発を担当した。さらに試作した斜角集束探触子や、開発したパルサーでの計測波形、さらに後方散乱波を用いた音響映像法のクリープ損傷評価の有効性について、基礎特性を調べた。さらに本技術で、Φ数 μm の微小クリープポイド密集が、波長 590 μm の超音波（鋼中 10 MHz）の集束で計測可能となるメカニズムについて、主に FEM 解析シミュレータを開発し、条件を変えた解析結果の検討により考察を加えた。

一方、東北発電工業は、溶接内部にクリープポイドが発生した実機廃却材から試験体を作製し、試験体および東北大学が検証したシステムと斜角集束探触子をベースに、実機火力発電配管の定期点検時に実用できる音響映像システムを試作・開発した(図 3-4, -5)。具体的には、これまで実験室的計測法と考えられてきた水浸映像法を、さらに精密化改造し、現場計測可能な水槽機構、非球面斜角集束探触子を精密の機械走査することで、新しい精密散乱波音響映像システムを開発した(図 3-6)。さらに定期検査毎に同じ位置を計測モニターするため、フェーズアレイで溶接部会合部を検出し、開発した精密音響映像システムで 10 μm ピッチの粗画像で材損傷部を見つけ、最終的に 1 μm ピッチで 1 × 1 mm の精密音響画像による 3 段階で、クリープ損傷の精密な位置同定が行えるシステムである(図 3-6, -7)。

以上により、火力発電機器の定期点検時に実用できる、初期クリープ損傷検出用の、精密計測システムを世界で初めて完成した(図 3-8)。

表 3-2 目標と達成状況(Type IV クリープポイド初期検出システムの開発)

目標	達成状況
配管内部の溶接会合部に発生する μm オーダーのクリープポイド 900個/ mm^2 程度を検出できる。	使用済配管から試験体を切り出し、592個/ mm^2 のクリープポイドを識別した。
検出時間：20分	60分を25分まで短縮した。
寸法・重量：定検現場可搬仕様	総重量は20kg以下となり、9分割にユニット化して可搬性を高めた。

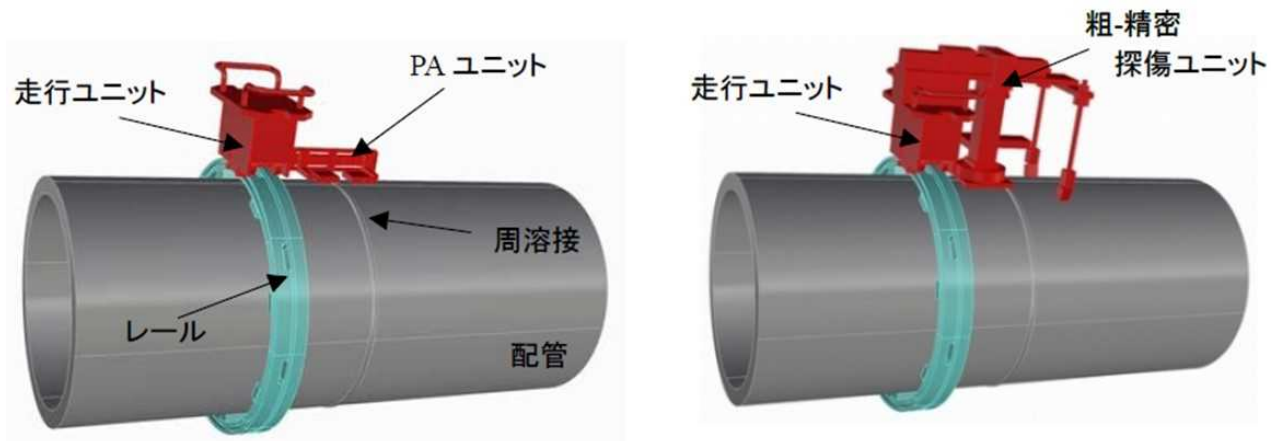


図 3-4 実機火力発電配管の定期点検時に実用できる音響映像システムのセッティング

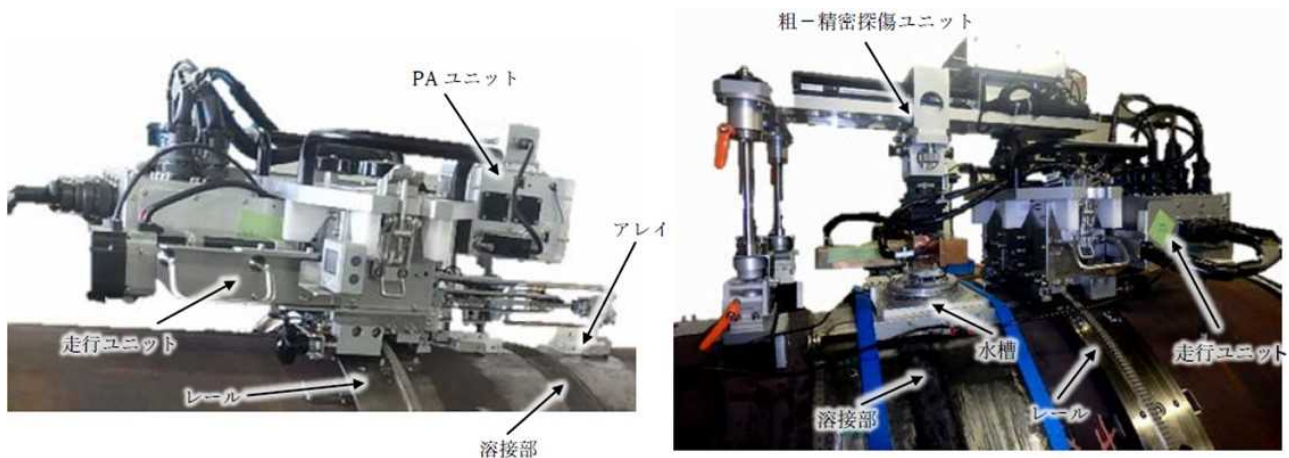


図 3-5 フェーズドアレイ(PA)ユニットと粗-精密探傷ユニット

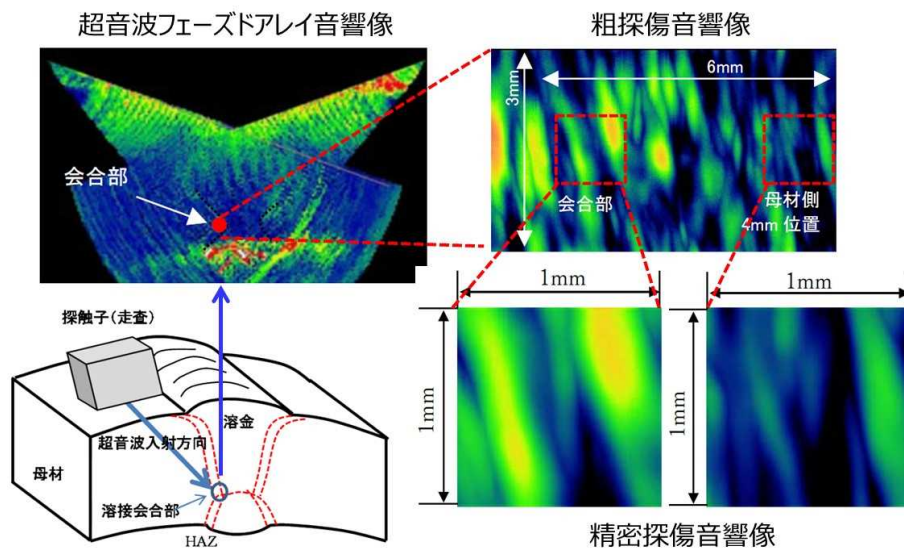


図 3-6 フェーズアレイ音響像と粗-精密探傷音響像

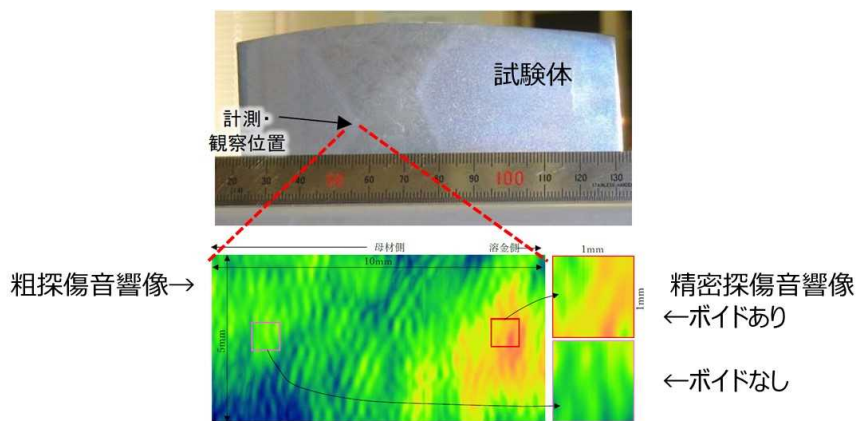


図 3-7 592 個/mm² のクリープボイドの有無の探傷音響像



レールユニット



走行ユニット



フェーズアレイユニット

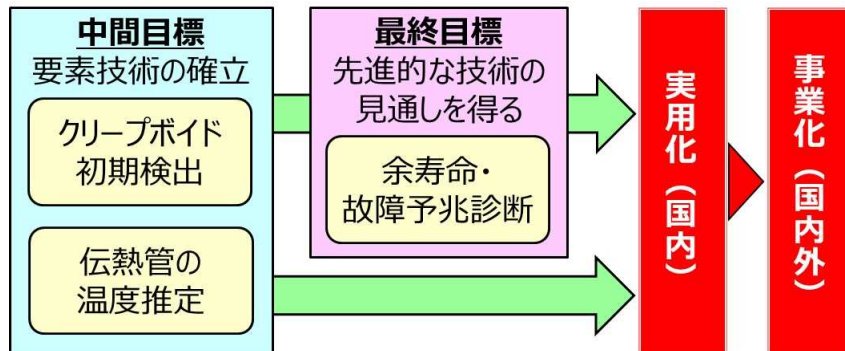


粗-精密探傷ユニット

図 3-8 ボイド計測装置のセッティングと計測イメージ

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

本事業において、各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を確認し、更に保守・運用性を向上させるための先進的な技術の見通しを得て、国内での実用化・国内外での事業化につなげる。一部、確立した要素技術の実用化・事業化も目指す。



(1) 微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上

① 成果の実用化・事業化に向けた戦略

石炭火力発電の過熱器、再熱器等に用いられている耐熱金属材料は経年的に強度が低下する性質を持つことから、適切な時期に更新を行うことが必要であるが、伝熱管加熱部に多数の熱電対を設置して長期間監視する手法は、熱電対の耐久性・経済性から現実的ではない。本事業の成果により、少数の計測点から各部の温度推定を正確に行うことで、少ない投資で各部の寿命管理が可能となる。また、本事業で開発された伝熱管の温度予測技術をボイラ火炉に拡張することで、ボイラ構造部材の寿命予測が可能となり、より有用な技術として国内外の微粉炭焚きボイラへの普及・展開を見込む。

② 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

国内微粉炭焚き火力発電所において、実機スケール（ボナ本数、伝熱パネル枚数、火炉サイズなど）での長時間の検証を行う。世界的な再生可能エネルギー導入拡大に伴い、石炭火力の負荷調整力向上ニーズが高まっており、負荷変動時の信頼性向上のため、火炉壁管も含めた検証を実施する。

③ 成果の実用化・事業化の見通し

実用化・事業化は下記の3ステップを計画している。

- ① 2019年度まで：大型試験設備による実証試験
- ② 2021年度まで：国内微粉炭焚き火力発電所での実機検証
- ③ 2022年度以降：実用化・事業化

2019年度までの大型試験設備による実証試験（本事業）において、伝熱管の温度推定の目標精度を達成。今後は、国内微粉炭焚き火力発電所において、開発技術のボイラ火炉への拡張も含めた長時間の実機検証を行い、2022年度以降の実用化・事業化を目指す。

④ 波及効果について

微粉炭焚きボイラの運転・信頼性向上技術を確認することで、日本の石炭火力発電の競争力強化に寄与できる。石炭火力発電の負荷調整力が向上することで、系統安定性を担保したうえでの再生可能エネルギーの導入量増加が期待できる。また、負荷調整力向上により運用性が向上するため、既存石炭火力の活用につながる。

(2) Type IVクリープボイド初期検出システムの開発

① 成果の実用化・事業化に向けた戦略

各電力会社が共通で抱える超々臨界（USC）石炭火力主要配管溶接部の保全において、クリープボイドの評価法開発に切実なニーズがある。本事業で USC 石炭火力実機プラント主要配管溶接内部のクリープボイド密集度計測システムを開発した。利用形態としては、石炭火力発電プラントの定期検査におけるクリープボイド密集度評価を行い、発電事業者の保全計画に資するデータ提供を実施する形態を想定している。

② 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

国内 USC 石炭火力発電プラントにおいて検証を重ね、当該プラントの余寿命評価手法として確立させて、業務開始する。課題としては、本技術の一般的な認知度を拡げることと適用箇所の拡大と考えている。認知度に関しては実績や技術の発表等、適用箇所に関しては主要配管の管台等への拡大を検討する。

③ 成果の実用化・事業化の見通し

本事業終了後、2 年間は国内の USC 石炭火力発電プラントで実績を蓄積する。3 年目からは、同プラントでの実績をベースに、国内のシェア拡大に繋げていく。また、シェアの拡大見込みを基に、検査会社へのライセンス供給も視野に入れ、日本国内技術のシェア拡大に繋げていく。

④ 波及効果について

現在、USC 石炭火力発電プラント溶接部内部におけるクリープ損傷評価のニーズは大きいですが、専門家の間でも既存の技術では微小損傷（クリープボイド）の計測は不能と考えられている。本事業成果で実機クリープ損傷の初期段階が評価できることを実証することは大きなインパクトを持つと考えられる。また、国内外における研究成果発表、論文投稿等を通じ、当該技術に関する認知度を拡げることに関連技術*の展開も図られるものと考えている。

* 関連技術：自動車鋼板などで問題となってきた鋼製造過程における金属間介在物の評価
医療超音波で多用される水中マイクロバブルの評価
各種材料の経年損傷に伴う微視組織評価 等

【特許論文等リスト】：学会発表

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	相澤威一郎	東北発電工業	高クロム鋼溶接部 TypeIVクリープポイド 検出方法の提案	一般社団法人日本 非破壊検査協会 平成30年度秋 季講演大	2018年11月
2	有賀健、多田隈 聡、小阪健一 郎、山内康弘、 高山明正、森匡 史	三菱日立パ ワーシステム ズ、三菱重工 業	微粉炭焚きボイラ伝 熱管温度予測技術の 実証	第24回動力・エネ ルギー技術シンポジ ウム	2019年6月
3	多田隈聡、有賀 健、小阪健一 郎、山内康弘、 高山明正、森匡 史	三菱日立パ ワーシステム ズ、三菱重工 業	微粉炭焚きボイラ伝 熱管温度予測技術の 実証	日本機械学会 中 国四国支部 第58 期総会・講演会	2020年3月

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。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、2019年6月に策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」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。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、石炭需要の拡大に伴って、増大する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）の技術の開発・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

地球温暖化問題の対策として、CO₂排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで巨額の研究開発費を投じ、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おり、日本と同様にIGCCや先進的超々臨界圧火力発電（A-USC）、高効率ガスタービン、CO₂有効利用技術等の開発が進められている。また、大幅なCO₂削減を達成するため、CO₂分離・回収を行ったIGCCやCCS-EOR（石油増進回収）の実証といったプロジェクトも進められている。近年の世界的な環境志向の高まりを受け、環境装置の需要は急激に高まっている。特に、中国では環境規制が大幅に見直されており、他国で開発された環境装置を新たに導入している他、自国において、低コスト環境装置の開発が盛んに行われている。

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、火力発電所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。ま

た、インフラ輸出による日本の輸出拡大に貢献できる他、石炭消費国の産業活性化にも貢献できる。

(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やCO₂分離・回収後においても高効率を維持する技術及び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。CCUSの実現に向け、CO₂分離・回収コスト1,000円台/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、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、2050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BTX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。

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)

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) 高湿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) 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 次世代火力発電技術推進事業 [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
- 2) 研究拠点におけるCO₂有効利用技術開発・実証事業

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
- 2) 液体燃料へのCO₂利用技術開発
- 3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO₂利用技術開発

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

- 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)]

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④2)、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新エネルギー部を加える。

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 高橋洋一、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 山中康朗、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アップ要素研究

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 高橋洋一、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 高橋洋一、PL:電源開発株式会社 早川宏

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 名久井博之、PL:契約毎に設置

7) CO₂有効利用技術開発

PM:NEDO 西海直彦、PL:日本大学工学部客員教授 坂西欣也

8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

PM:NEDO 名久井博之、PL:NEDOにおいて選定

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 青戸冬樹、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⑧CO₂有効利用拠点における技術開発

PM：牛嶋隆士、PL：NEDOにて選定
研究開発項目⑨ CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発

PM：山中康朗、PL：NEDOにて選定
研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

PM：NEDO 西海直彦

(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、効率の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2024年度までの9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。

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年度及び2020年度に、事後評価を2023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2020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、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦～⑩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⑨は、中間評価を2022年度、事後評価を2024年度に実施する。研究開発項目⑩は、中間評価を2019年度、事後評価を2022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次世代火力発電技術推進事業、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及び、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業は、「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①石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業3)、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次世代火力発電技術推進事業、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及び、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業のうち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) 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。

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。

(11) 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。

(12) 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。

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。

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石炭ガス化燃料電池複合発電（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。

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。

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：2016～2022年度
- 3) CO₂分離・回収型IGFC実証：2018年度～2022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2,000～3,000 t/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効率は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。

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。

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）

高温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、高温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ナップ技術要素研究

[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、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术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、2022年度から開始する中小型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と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) I G F Cシステムの検討

[最終目標 (2019年度)]

I G F C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。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～2020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 (2020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) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

[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ベースロード電源の燃料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、高効率化およびCO₂排出削減が望まれている。

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・回収できる流動床ガス化燃焼を適用した技術が有望視されている。また、この技術は、バイオマス等を燃料として発電することによるCO₂排出削減、および副生物として水素を製造できる技術として期待されている。

本技術の適用先としては、バイオマスや水素等の市場が拡大傾向にあることから、その市場への導入を目指し、流動床ガス化燃焼を適用した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

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。

3. 達成目標

[中間目標（2022年度）]

流動床ガス化燃焼を応用した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）]

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にする。

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を効率でしのぐ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を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3 t/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50 t/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、の可能性があることが分かった。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。

開発したガス化技術の活用先拡大に向け、 O_2/CO_2 ガス化に水蒸気を加えた $O_2/CO_2/H_2O$ ガス化技術を活用し、ポリジェネレーションシステムを構築するための技術課題を整理する。

3. 達成目標

[中間目標 (2017年度)]

CO_2 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)]

CO_2 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 CO_2 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 「次世代火力発電技術推進事業」

[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。また、日本の優れた火力発電技術を海外に展開していくことにより、地球規模での温暖化問題の解決を推進していく必要がある。

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及び技術開発動向等の調査や、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/CCC (Clean Coal Centre)、IEA/FBC (Fulldized 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CCT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～2021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（2021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～2024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、2019年6月に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」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、拠点の運営業務、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。

[最終目標（2024年度）]

2030年の実用化に向け、広島県大崎上島の研究拠点にて個々の技術開発および実証試験を行い、各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～2024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。2019年6月に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」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を通じて、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示された。

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は、CO₂やH₂Oから基幹物質であるCO、H₂の合成ガスあるいはメタノール等を製造する技術、これら基幹物質から汎用物質であるオレフィンやBTX（ベンゼン・トルエン・キシレン）等を製造する技術やバイオマス由来の化学品を製造する技術などが必要である。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。

[最終目標（2024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事業を実施し、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。

2) 液体燃料へのCO₂利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2024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。2019年6月に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」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を通じて、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示された。

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

液体燃料（CO₂由来燃料またはバイオ燃料（微細藻類由来を除く））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、バイオエタノールなど微生物利用合成ガス製造プロセスの最適化検討などに取り組む。

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。

[最終目標（2024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事業を実施し、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。

3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO₂利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2024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。2019年6月に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」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を通じて、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示された。

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への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）]

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への各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。

[最終目標（2024年度）]

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への各CO₂利用技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、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。

研究開発項目⑩ 「石炭利用環境対策事業」

[実施期間] 2016年度～2021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、「エネルギー基本計画」においても、重要なベースロード電源と位置付けられており、今後とも新興国を中心に世界的に利用が拡大していくと見込まれている。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、石炭需要の拡大により増大する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

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、石炭灰有効利用の用途を広げる。

2) 石炭利用技術開発

石炭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。

[最終目標（2021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。

石炭灰の有効利用、及び削減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。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、また設計・施行指針を作成することで、石炭ガス化溶融スラグの製品化用途の提案をする。

年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
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) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)					※1					酸素吹IGCC実証			◇					
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(1/2助成) 2) 高温分空利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1						実証機の設計・製作・試運転			◇				
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(2/3助成)		※1			A-USC実証													
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(委託)									※2	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(委託)									※2	基盤技術			◇					
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)																		◇
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)																		◇
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)									※2	基盤技術開発								
6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発(委託)																		◇
7) CO ₂ 有効利用技術開発(委託)																		◇
8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発(委託)																		◇
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(委託)																		◇
研究開発項目⑤ CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発(委託)									※2	CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発								
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)																		
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(1/2助成)																		

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトで2016年度からNEDOへ移管
 ※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

年度(西暦)	1982	~	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
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)											◇			◆
									CO2有効利用拠点化推進事業					
									研究拠点におけるCO2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											◇			◆
									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											◇			◆
									液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発					
3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO ₂ 利用技術開発											◇			◆
									炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への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								◇			◆			
1) 石炭利用環境対策推進事業				※ 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		※ 1	セメント不使用フライアッシュ製造技術開発											
								石炭ガス化熔融スラグのコンクリート実規模性能試験						

※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