

「次世代火力発電等技術開発／
石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

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	1
プロジェクト用語集	5
1. 事業の位置付け・必要性について	1-1
1. 事業の背景・目的・位置付け	1-1
2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	1-7
2-1. NEDOが関与することの意義	1-7
2-2. 実施の効果（費用対効果）	1-8
2. 研究開発マネジメントについて	2-1
1. 事業の目標	2-1
1-1. 酸素吹IGCC実証	2-1
1-2. CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証	2-2
1-3. CO ₂ 分離・回収型IGFC実証	2-5
2. 事業の計画内容	2-6
2-1. 研究開発の内容	2-6
2-2. 研究開発の実施体制	2-16
2-3. 研究開発の運営管理	2-17
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	2-18
3. 情勢変化への対応	2-21
3-1. エネルギー基本計画	2-21
3-2. 電力システム改革	2-22
3-3. 海外における石炭火力発電を取り巻く情勢	2-22
4. 中間評価結果への対応	2-23
5. 評価に関する事項	2-27
3. 研究開発成果について	3-1
1. 事業の全体の成果	3-1
1-1. 酸素吹IGCC実証	3-1
1-2. CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証	3-2
2. 研究開発項目毎の成果	3-3
2-1. 酸素吹IGCC実証	3-3
2-2. CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証	3-28
3. 成果の普及	3-37
4. 知的財産の確保に向けた取組	3-37
4. 成果の実用化に向けての見通し及び取組について	4-1
1. 本事業における実用化について	4-1
2. 実用化に向けた取組	4-2
3. 市場の動向・競争力	4-8
4. 波及効果	4-12

（添付資料）

1. プロジェクト基本計画
2. 特許論文等リスト

概要

		最終更新日	2017年5月12日
プロジェクト名	次世代火力発電等技術開発／ 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業		プロジェクト番号 P16002
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 高橋主査（2017年4月現在） 山本主査（2016年4月～2016年9月）		
0. 事業の概要	<p>石炭火力発電から排出される二酸化炭素（CO2）を大幅に削減するため、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革新的な低炭素石炭火力発電の実現を目指して「石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）実証事業」を実施する。本事業は以下の3段階に分けて実施する。</p> <p>(1) 第1段階（2012～2018年度）：IGFCのベースとなる酸素吹石炭ガス化複合発電技術（酸素吹IGCC）の実証事業を行う。本事業は2012年より経済産業省の補助事業として実証が開始され、2016年度からNEDOが助成事業として事業を承継している。</p> <p>(2) 第2段階（2016～2020年度）：酸素吹IGCC実証試験設備とCO2分離・回収設備を組み合わせたCO2分離・回収型酸素吹IGCCのシステムとしての性能や運用性、信頼性、経済性についての実証事業を行う。</p> <p>(3) 第3段階（2018～2021年度）：CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証試験設備に燃料電池を付設したCO2分離・回収型酸素吹IGFCの実証事業を2018年度より実施する。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>経済産業省は、次世代火力発電技術を早期に技術確立、実用化するための方策に関するこれまでの議論を踏まえ、2016年6月30日に「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」をとりまとめた。本ロードマップに記載の「2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針」においては、石炭火力発電はガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクルに燃料電池を組み合わせたトリプルコンバインドサイクルへと技術開発の段階が進展するとされている。また、「個別技術の開発方針」において、高効率石炭火力発電技術では、酸素吹IGCCが2018年度頃の技術確立（発電効率46～50%）に、IGFCは2025年度頃の技術確立（発電効率55%）に取り組むことが示されている。更に、CO2分離・回収技術のうち物理吸収法では、2020年度頃の技術確立（回収コスト2000円台/t-CO2）の実現に取り組むことが示されている。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>IGFCの早期技術確立に向け、各段階の目標を以下の通り設定する。</p> <p>(1) 第一段階：酸素吹IGCC実証</p> <p>(a) 基本性能：送電端効率40.5%程度を達成することで、商用機における送電端効率約46%達成の目処を得る。また、最新の微粉炭火力と同等の環境目標値を達成する（O2濃度16%換算で、SOx：8ppm、NOx：5ppm、ばいじん：3mg/m3N）。</p> <p>(b) 多炭種適合性：瀝青炭及び灰融点の低い亜瀝青炭を用いて炭種適合範囲を把握する。</p> <p>(c) 設備信頼性：5,000時間の長時間耐久性試験を行い、商用機における年利用率70%以上の見通しを得る。</p> <p>(d) プラント制御性・運用性：事業用火力設備として必要な運用特性・制御性を確認する（不可変動率1～3%/分）</p> <p>(e) 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になる見通しを得る。</p> <p>(2) 第二段階：CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証</p> <p>(a) 基本性能（発電効率）：新設商用機（1,500℃級IGCCにおいて、CO2を90%回収しつつ、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。</p> <p>(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%以上、及び回収CO2純度99%以上を得る。</p> <p>(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。</p> <p>(d) 経済性：商用機におけるCO2分離回収の費用原単位について技術ロードマップに示された費用原単位をベンチマークとして評価する。</p> <p>(e) 低温作動型サワーシフト触媒実証研究：低温作動型サワーシフト触媒を対象とし、従来触</p>		

	媒比 0.8pt の効率改善（発電効率 40%程度）が可能な条件にて 1 年程度の性能維持を確認する。 (3) 第三段階：CO2 分離・回収型 IGFC 実証（計画） (a) CO2 分離・回収型 IGFC 商用機（500MW 級）に適合した場合に、CO2 回収率 90%の条件で、発電効率 47%程度の達成見通しを得る。								
事業の計画内容	主な実施事項	2012-2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020y	2021fy	
	(1) 第一段階								
	(a) 実証試験設備建設	■	■						
	(b) 実証試験運転			■	■				
	(2) 第二段階								
	(a) 実証試験設備建設		■	■	■				
	(b) 実証試験運転					■	■		
	(3) 第三段階（計画）								
	(a) 実証試験設備建設				■	■	■		
	(b) 実証試験運転							■	
	事業費推移 （会計・勘定別に NEDO が負担した実績額（評価実施年度については予算額）を記載） （単位：百万円） ※ 2012-2015fy は METI 事業として実施	会計・勘定	2012fy	2013fy	2014fy	2015fy	2016fy	2017fy	総額
一般会計									
特別会計：第 1 段階（電源・需給の別）		1,370	7,000	6,240	5,770	3,850	1,600	25,830	
特別会計：第 2 段階（電源・需給の別）						310	2,890	3,200	
開発成果促進財源									
総 NEDO 負担額 *2012-2015fy は METI 負担		1,370	7,000	6,240	5,770	4,160	4,490	29,030	
（助成）第 1 段階：助成率 1/3		1,370	7,000	6,240	5,770	3,850	1,600	25,830	
（助成）第 2 段階：助成率 2/3						310	2,890	3,200	
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	大崎クールジェン株式会社 副社長 木田 淳志							
	プロジェクトマネージャー	NEDO 環境部 主査 高橋 洋一							

	<p>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>	<p>大崎クールジェン株式会社 株式会社日立製作所</p>
情勢変化への対応	<p>2014年4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画」の中で、石炭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の燃料として再評価されている。また、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、石炭火力の高効率化を進め、環境負荷の低減と両立しながら活用することで、2030年の石炭火力の比率を26%程度とする方向性が示された。更に、2015年12月にパリ協定が採択され、日本の目標としては、2030年度に2013年度比26%の温室効果ガスを削減することが提出されている中、達成に向けては石炭火力の高効率化が前提となっている。これらの情勢変化により、本事業の早期実用化が一層重要になっている。</p>	
中間評価結果への対応	<p>—</p>	
評価に関する事項	事前評価	—
	中間評価	2017年度(第1, 第2段階)
	事後評価	2019年度(第1段階)、2022年度(第2, 第3段階)
3. 研究開発成果について	<p>石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業の第1段階である酸素吹IGCC実証については、設備の建設、試運転を完了し、2016年度末から実証試験を開始した。また、第2段階であるCO2分離・回収型酸素吹IGCC実証については、2019~2020年度に予定している実証試験のための基本設計を実施した。</p> <p>(1) 第1段階：酸素吹IGCC実証</p> <ul style="list-style-type: none"> 発電効率については、送電端効率40.8%を確認し、本事業での目標である40.5%を達成した。 環境性能については、当初設定した目標値を達成した。 プラント制御性運用性、設備信頼性、多炭種適用性、経済性等については今後の実証試験を通じて検証する。 <p>(2) 第2段階：CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証</p> <ul style="list-style-type: none"> CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証研究については、設備の基本設計を実施し、見積のための購入仕様を作成した。 低温サワーシフト触媒実証研究については、基本設計を実施し、システム構成、機器仕様を決定した。 基本性能の確認、プラント運用性・信頼性の確認、経済性の検討については2019~2020年度に実証試験を行い検証する。 	
	投稿論文	「査読付き」3件、「その他」58件
	特許	<p>「出願済」40件、「登録」24件、「実施」0件(うち国際出願6件)</p> <p>特記事項：</p> <ul style="list-style-type: none"> 本事業の建設フェーズでは新たな知財は出願されていないが、本事業の実施に必要な知財は前身のEAGLEプロジェクト等において出願している(40件)。 実証試験開始後は必要に応じ特許出願を行う。
	その他の外部発表(プレス発表等)	新聞・雑誌・TV等：28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	<p>①実用化・事業化の見通し</p> <ul style="list-style-type: none"> 第1段階である酸素吹IGCCについては、2020年度頃技術確立し、その後速やかに商用規模(500MW程度)の酸素吹IGCCプラントが商用化される。 第2段階であるCO2分離・回収型IGCCについては、2020年度頃技術確立し、CO2貯留技術の開発進展に応じて送電端効率40%程度のCO2分離・回収型IGCCプラントが商用化される。 第3段階であるCO2分離・回収型IGFCについては、2025年度頃に商用規模で送電端効率55%程度のIGFCに向けた中小型IGFC技術を確立し、燃料電池、GTFCの技術開発進展に応じてCO2 	

	<p>分離・回収型 IGFC プラントが商用化される。</p> <p>②実用化・事業化に向けた戦略</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国内については、事業実施者の親会社である中国電力㈱・電源開発㈱が本事業の成果を石炭火力の新設・リプレースへの導入を目指す。その上で、他の電気事業者等に対しても導入を働きかける。 ・海外については、国内の商用機運転実績を積極的に発信し、海外市場において「高効率化、CO2削減等」の従来石炭火力に対する優位性をアピールする。特に低廉な低品位炭に適した発電方式として、今後、電力需要が拡大し、石炭火力発電の普及拡大が見込まれるアジア・大洋州を中心に海外普及を図る。また、CO2分離・回収型 IGCC/IGFCについては、CO2貯留技術が実用化されている国（豪州等）において普及を図る 	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2016年1月 作成
	変更履歴	2016年4月改訂（実施体制，PM，評価時期等の変更） 2016年9月改訂（評価時期，研究開発スケジュール等の変更） 2017年2月改定（研究開発項目の追加，PM・PLの修正，評価実施時期の修正等）

プロジェクト用語集

名称	略号	意味
インターロック	INT	機器の誤操作や事故の未然防止、また事故が拡大することを防ぐために、正常な運転の行われる条件を逸脱した際に自動的に設備を停止する等機器の運転を制御するもの。
EAGLE 炉		本事業で採用する 1 室 2 段旋回流方式の噴流床ガス化炉で、HYCOL 試験、EAGLE パイロット試験の技術知見を踏まえたもの。
液化天然ガス	LNG	メタンを主成分とした天然ガスを冷却し液化したもの。
ガスタービン	GT	圧縮空気と燃料の燃焼によって生じた高温高圧の燃焼ガスによってタービンを回し動力を得る原動機で、排気熱を利用し蒸気タービンとの複合発電を行うことでプラント効率を高めることができる。
ガスタービン燃料電池複合発電	GTFC	燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの 3 つを組み合わせる複合発電を行うもの。
空気分離設備	ASU	大気中の空気から酸素と窒素を分離する設備。酸素はガス化炉の酸化剤として、窒素は石炭・チャー搬送用等として供給される。
グラントフレア		ガス化炉で生成したガスのうちプラント起動・停止操作時および緊急操作時等に系統内から放出されるガスを燃焼処理によって無害化し、安全に大気放散する保安設備。
高位発熱量	HHV	燃料が発生することのできる全熱熱量。低位発熱量 (LHV) は HHV から水蒸気の潜熱を差し引いた化学反応分の熱量。
固体酸化物形燃料電池	SOFC	固体電解質を用いた燃料電池で他の燃料電池と比較して高温高圧化に適している。水素あるいは一酸化炭素を燃料として電気エネルギーを発生させる。
自動プラント起動・停止装置	APS	プラント状況を把握しながら各機器の起動・停止、自動弁の開閉を自動で行う各マスタにキック指令を出力するシステム。
自動プラント制御装置	APC	プラント全体を協調性をもって制御する方法。本プラントでは、発電機出力指令に対し、ガスタービン燃料ガス量とガス化炉の石炭供給量をバランスさせながらプラント負荷変化を行う統括負荷制御システムで APC を実現している。

名称	略号	意味
シフト反応		一酸化炭素と水蒸気から水素と二酸化炭素を生成する反応。 $(CO+H_2O\leftrightarrow H_2+CO_2)$ 硫化水素を含有するガスを対象とした場合を「サワーシフト」、硫化水素ガスを含有しない場合を「スイートシフト」という。
蒸気タービン	ST	ボイラで発生した蒸気により動力を得る原動機。
スラグ		石炭灰が高温の石炭ガス化炉で溶けてガラス状に固まったもの。石炭灰をスラグ化し排出できることで、灰の減容化が図れる。
石炭ガス化燃料電池複合発電	IGFC	石炭をガス化して利用する発電方式で、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3つの複合発電を行うもの。IGCCを上回る発電効率が達成可能となる。
石炭ガス化反応		固体燃料である石炭を無灰ベースの一酸化炭素や水素等の可燃性ガス転換する一連の反応。
石炭ガス化複合発電	IGCC	石炭をガス化して利用する発電方式で、ガスタービンと蒸気タービンとの複合発電を行うことで従来の微粉炭火力発電を上回る発電効率が達成可能となる。ガス化方式によって酸素吹と空気吹の2種類ある。
CO2 圧入-石油増進回収	EOR	油田の油層に CO2 を圧入し、地下に残った原油を回収するとともに CO2 を地中に貯留する技術。
先進的超々臨界圧火力発電	A-USC	蒸気温度 700℃以上の超臨界圧火力発電。
送電端効率		発電機で発生した発電端電力量から発電所内で消費される所内電力量を差し引いた送電端電力量を電力発生のために供給された総熱量で除したもの。
チャー		石炭を熱分解した時にできる未反応固体生成物で未燃炭素と灰分を主成分とする。
超々臨界圧火力発電	USC	蒸気温度 566℃～600℃級の超臨界圧火力発電。
熱回収ボイラ	SGC	ガス化炉で生成された高温の石炭ガス化ガスの顕熱を回収するためにガス化炉の後段に設置されたボイラ

名称	略号	意味
排熱回収ボイラ	HRSG	ガスタービンの排ガスの余熱を回収して蒸気を発生させるボイラ。
冷ガス効率		石炭が持つ発熱量が生成ガス発熱量に転換した割合[%]、石炭ガス化におけるエネルギー転換効率を表す。

1. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が長く、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。

(1) 政策的重要性

平成26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、平成26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。平成27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、経済効率性、環境適合、安定供給)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、平成28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、石炭火力やCO₂回収・利用(CCUS)を含む次世代火力発電関連技術を早期に技術確立し、実用化するための技術ロードマップ(図1-1、図1-2、図1-3)がとりまとめられ、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し、今後とも、官民一体となり技術開発を加速化させることとしている。このとりまとめの中でも、当該技術は第1段階が「中型酸素吹IGCC技術実証」、第2段階が「物理吸収法技術実証」、第3段階が「小型IGFC技術実証」として次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表に記載されており、次世代の石炭火力発電の中核的な技術として位置付けられたところである。

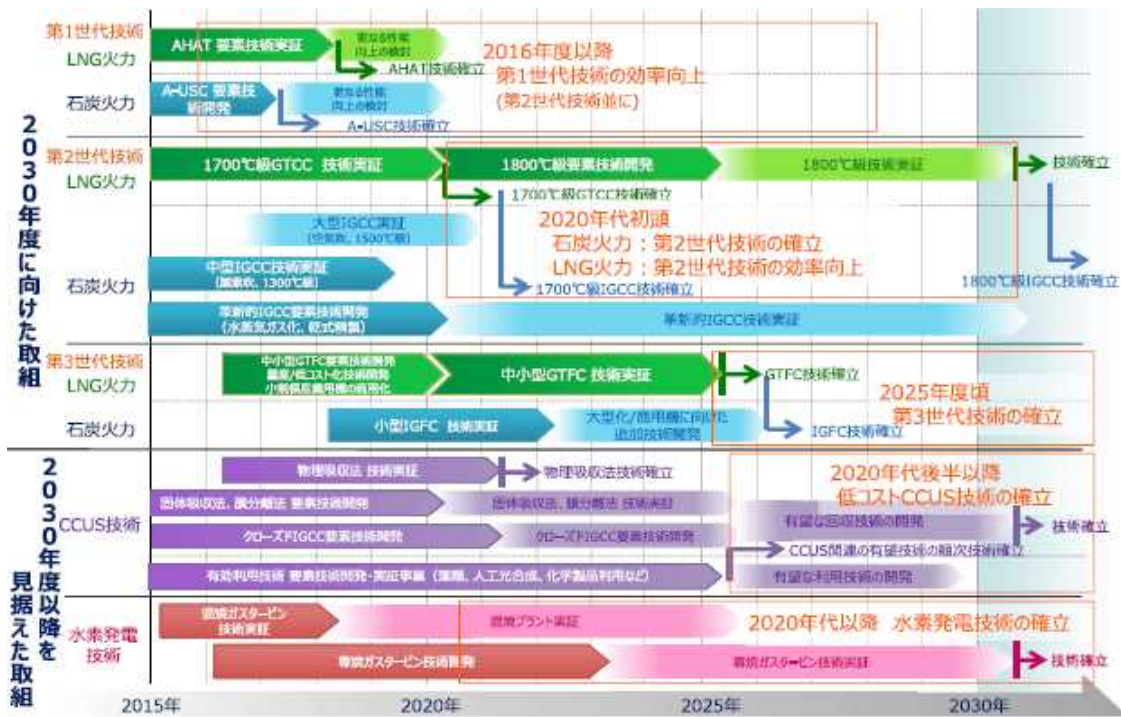


図 1-1 次世代火力発電に係る技術ロードマップ



図 1-2 次世代火力発電に係る技術ロードマップ (次世代火力発電技術)

次世代のCO₂回収関連技術の開発の見通し

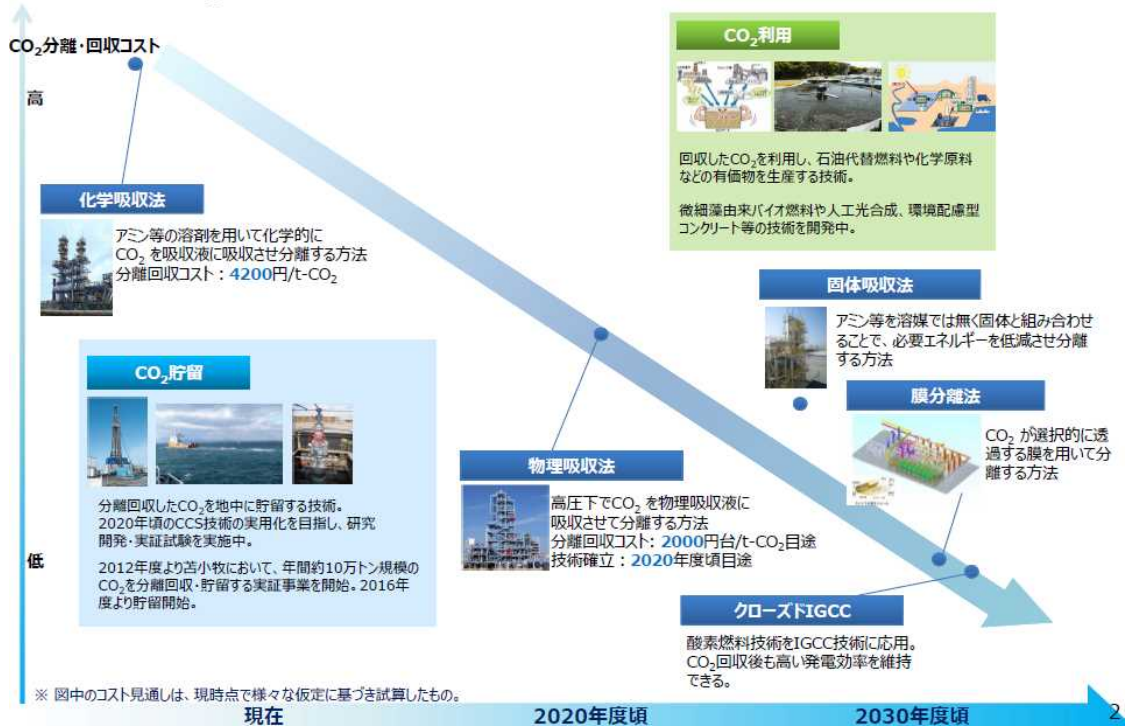


図 1-3 次世代火力発電に係る技術ロードマップ (CO₂回収関連技術)

(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) を実用化し、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が進められている。

(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 CO₂-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。世界のプロジェクトの計画等進捗例を図 1-4 に示す。

IGCC の実証事業は、表 1-1 に示すとおりである。1990 年代に実施された Buggenum IGCC (オランダ)、Puertollano IGCC (スペイン)、Wabash River IGCC、Tampa IGCC (いずれもアメリカ) が 4 大プロジェクトとして知られている。

内、Buggenum は、欧州の再生エネルギー拡大の影響を受け、2013年3月末に廃止され、Puertollano についても、同様の理由により、2015年8月に廃止されている。Wabash River については、天然ガス価格の低下や運転費用の増加によりアンモニア製造設備への転換を予定している。なお、Tampa については、ガス化しやすいペトロコクスとの混焼により運転を継続しているが、スラッシングの発生が主要因で、連続運転時間が3,000時間以下と短い。

一方、本実証機では、1室2段旋回流方式の採用により、同様の事象を回避することができる。

最近では、Edwardsport(アメリカ)、GreenGen(中国)が運転を開始しているが、いずれにおいても、連続運転時間は短い。

本プロジェクトでは EAGLE の連続運転時間 1,295 時間を踏まえ、5,000 時間の長期耐久試験において信頼性を確立することを目標としており、これを達成したあかつきには、他の先行機を凌駕する成果となる。

表 1-1 海外における IGCC の実証事業

プロジェクト名称	Buggenum	Wabash River	Tampa	Puertollano	Edwardsport	Tianjin (GreenGen)	大崎ケルゲン
プロジェクト国	オランダ	アメリカ	アメリカ	スペイン	アメリカ	中国	日本
ステータス	2013年4月閉鎖	実証機/商用運転 アンモニアプラント転換	実証機/商用運転	2015年8月閉鎖	商用機/商用運転	実証機/商用運転	実証機/実証運転
商用運転開始日	1998年～2013年4月	2000年～	2001年～	1998年～2015年8月	2013年6月～	2012年12月～	-
ガス化炉	Shell炉	Dow(E-Gas)炉	GE(Texaco)炉	PRENFLO炉	GE炉	TPR炉 (HCEPR炉)	EAGLE炉
概略図							
ガス化方式	1室1段	2室2段	1室1段	1室1段	1室1段	2段2室	1室2段
石炭供給方式	ドライフィード	スラリーフィード	スラリーフィード	ドライフィード	スラリーフィード	ドライフィード	ドライフィード
ガス化炉 炉壁	水冷耐火壁	耐火材	耐火材	水冷耐火壁	耐火材	水冷耐火壁	水冷耐火壁
ガス化剤	酸素	酸素	酸素	酸素	酸素	酸素	酸素
冷ガス効率	81～76%	81～72%	75～73%	76～74%	75～73%	83～81%	82%
使用炭種	海外炭 18炭種	地元炭 現在ペトロコクス専焼	地元炭 現在ペトロコクス混焼	地元高灰分炭と ペトロコクス混焼	地元炭	褐炭 無煙炭	インドネシア炭他 (第1段階で4炭種)
排水処理	蒸発乾固	蒸発乾固	蒸発乾固	蒸発乾固	河川放流	海域放流	海域放流
石炭処理量(t/日)	2,000	2,600	2,300	2,600	4,100	2,000	1,180
発電端出力(MW)	284	297	315	335	784	265	166
送電端効率 計画(%)	41.4	37.8	39.7	41.5	38.5	41	40.5
(HHV) 実績(%)	41.4	39.7	37.5	41.7	未公開	未公開	-
連続運転時間 実績	3,291時間	1,848時間	2,500時間程度	954時間	1,700時間程度	1,900時間程度	目標:5,000時間
スラッシング等による閉塞	発生有り	発生有り	発生有り	発生有り	未公開	未公開	EAGLEパイロット試験では発生なし

IGCC からの CO2 分離回収の実証事業は、表 1-2 の通り米国の Tampa と Kemper が挙げられる。Kemper は、空気吹 IGCC を対象とし、低い CO2 回収効率であるにも関わらず、送電端効率(CO2 回収含)28.1%となっている。また Tampa は、酸素吹 IGCC を対象としているが、送電端効率 (IGCC) 37.5%と低く、化学吸収法の CO2 分離・回収方式を採用している。

本プロジェクトでは、EAGLE 炉の 1 室 2 段旋回流方式による世界最高水準の冷ガス効率に加え、高圧・高濃度の CO2 を対象に高圧プロセスで優位であり今後さらなる向上が見込める物理吸収法を用いて効率的に CO2 を分離し、IGCC システムとの最適化をすることで、CO2 分離回収をしていない微粉炭火力と同等 (送電端効率 (HHV) : 40% 程度) の発電効率を持つ CO2 分離・回収型 IGCC を目指しており、これを達成したあ

かつきには、他の先行機を凌駕する成果となる。

表 1-2 CO2 分離回収型 IGCC 海外先行事例との比較(効率は HHV)

	Tampa	Kemper	OCG
場所	米国 FL 州	米国 MS 州	日本
実施者	TECO/NETL	Southern Co.	大崎クールジェン
ガス化炉	GE 炉	KBR 炉×2	EAGLE 炉
ガス化剤	酸素吹き	空気吹き	酸素吹き
石炭処理量	2,300t/d	13,800t/d(褐炭)	1,180t/d
炭種	瀝青炭 現在はペトロコクス混焼	褐炭 無煙炭	亜瀝青炭、瀝青炭 (第1段階は4炭種)
送電端出力	250MW	582MW	136MW
送電端効率 (IGCC)	37.5%	36%	40.5%【45.6%※】
送電端効率 (CO2 含)	-	28.1%	39.2%【39.1%※】
CO2 回収実証			
運転開始	2014 年	2017 年予定	2018 年
CO2 回収率	20%	65%	15%
CO2 回収効率	90%	65%	90%
シフト反応	(乾式脱硫⇒)Sweet	Sour	(湿式脱硫⇒)Sweet
CO2 吸収	化学	物理 (脱硫含)	物理 (改良方式)
CO2 回収量	820t/d	8,200t/d	410t/d

※参考値 商用機・90%CO2 回収における値

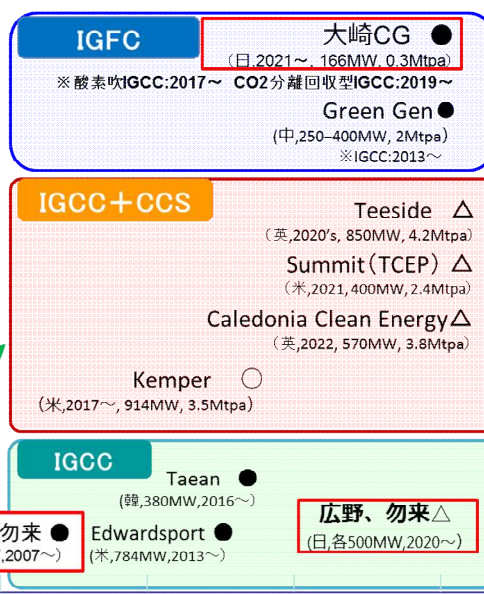
【海外プロジェクトの例】

Kemper

- ・米国 Southern 社
- ・発電端出力582MW
- ・2015試運転開始
- ・貯留量3.0Mtpa

Green Gen

- ・中国 GreenGen社
- ・発電容量 250MW~400MW
- ・2013運転開始



● 運転中
○ 建設中
△ 計画
年数は運開予定時期
□ : 日本プロジェクト

図 1-4 世界のプロジェクトの進捗例

(Japan CCS フォーラム 2015 NEDO 資料(2015.6)に IAE が加筆, GCCSI データを元にアップデート)

(4) 次世代火力発電等技術開発の意義

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)に実証事業をはじめ、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。

なお、本事業は、次世代火力発電技術開発のうち、究極の高効率発電であるIGFCとCO₂分離回収を組み合わせた実証試験を行うものであり、その意義は大きい。

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

従来の石炭火力発電設備より高効率かつ低品位炭を含む多炭種に対応可能な本技術の実証は、今後のエネルギー・環境政策における重要政策の一つである石炭火力発電の高効率化を実現するための鍵となるものであり、極めて重要な事業である。

また、酸素吹 IGCC、CO₂ 分離・回収型 IGCC、CO₂ 分離・回収型 IGFC の開発は、「科学的価値の観点から見た先導性」、「研究開発費」、及び「環境問題への先進的対応」という観点からも NEDO が支援する必要性は引き続き高いと考えられる。

【科学的価値の観点から見た先導性】

本事業において実証を行う酸素吹 IGCC の核となる酸素吹ガス化炉 (EAGLE 炉) は、独自の 1 室 2 段旋回流方式により世界最高水準のガス化効率を達成する他、多炭種適用性、信頼性の点で海外の先行ガス化炉を凌駕することが期待できることから、実用化した場合には世界的に普及を拡大していくことが望めるとともに、酸素吹 IGCC では、燃焼前の石炭ガスから効率よく CO₂ を回収できる。さらに、CO₂ 分離・回収型 IGCC に燃料電池を組み込んだ CO₂ 分離・回収型 IGFC の実証は、世界に先立ち実施するものであり、その革新性は高く、IGFC が実現すれば石炭火力最高の発電効率を達成できることから革新的低炭素石炭火力の実現に必要な発電技術である。しかしながら IGFC の実現には平行して開発が進められている燃料電池や GTFC など要素技術の成果が必要であり、研究開発の難易度が高いことから民間企業だけで実施するにはリスクが高く NEDO の関与が必要不可欠である。

【研究開発費】

本事業を実施するためには、実際に商用機発電所の約 1/3 規模の実証試験設備を構築する必要があるため、民間企業単独では費用負担、実証試験リスクが大きい。

【環境問題への先進的対応】

国内においては、「長期エネルギー需給見通し」の温室効果ガス削減目標 (2030 年度に 2013 年度比 26.0%) の達成に向けて、石炭火力については、現在の USC を超える低炭素化技術が前提とされており、高効率石炭火力である IGCC が果たす役割は大きくなっている。なお、2030 年度に運転開始から 40 年を超える石炭火力は約 1,000 万 kW に達すると見込まれており、リプレースに際して、IGCC は従来以上に重要なものと考えられるが、発電所計画から運転開始まで 10 年近くを要することを考慮すると、国費を投入した早期の実証試験の実施が必要である。

第 2 段階の CO₂ 分離・回収型 IGCC、第 3 段階の CO₂ 分離・回収型 IGFC の実証は、平成 28 年 5 月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」において言及されている、2050 年までに 80% の温室効果ガスの排出削減を目指す長期目標を実現するために必要な技術開発であるが、効率の低下と発電コストの上昇につながり市場原理に基づく研究開発の実施インセンティブが働かないことから、NEDO の主導が必要である。更に、本技術を国際展開することにより地球規模の気候変動対応にも貢献可能であるが、国際展開にあたっては、国内での早期の技術確立が前提となる。

一方、アメリカやヨーロッパに加え中国及び韓国等の新興国においても IGCC や CO₂ 分離・回収型 IGCC の技術開発・実証が進められており、迅速かつ着実な予算確保は我が国の国際競争力を維持する上で必要であり、産業政策の観点から重要である。

2-2. 実施の効果（費用対効果）

本事業において酸素吹IGCC、CO2分離・回収型IGCC、CO2分離・回収型IGFCが確立し、確立した技術を国内の石炭火力の新設、リプレースに適用することで、国内における石炭消費量の抑制とCO2排出量削減に貢献する。

さらに、日本の持つ最新のクリーンコール技術を、諸外国の新設火力と老朽化した低効率石炭火力のリプレースに適用することで、諸外国における石炭消費量の抑制と、CO2排出削減に貢献する。国内において以下の導入効果が見込まれる。

（1）経済効果^[1,2]

石炭火力発電所の建設コストは、約25万円/kWと試算されている。2020年から30年間で出力60万kW級のIGCCリプレース需要を試算すれば14ユニットであり、経済効果は約2兆円となる。さらに、CO2分離・回収型IGCC、IGFCについては、CO2分離・回収設備、燃料電池設備建設による経済効果が加わる。

（2）CO2削減効果

発電効率が現行（USC）の最高レベルの40%（送電端効率（HHV）。以下同じ）から46%（IGCC：1,500℃級GT）まで向上すれば、CO2排出量は約1割強、55%（IGFC）まで向上すれば、約3割の削減が可能。

さらに、CO2分離・回収型IGCC、IGFCについては、CCSと組み合わせることによりCO2の排出を大幅に抑制することが可能となる。表1-3に、国内におけるCO2削減量を試算する。

表 1-3 IGFC等導入による国内におけるCO2削減効果

	発電効率	kWhあたりのCO2排出量	CO2排出量*	CO2削減量	CO2削減割合
現行USC	40%	0.82kg/kWh	4,900万t/年	ベース	ベース
IGCC	46%	0.71kg/kWh	4,200万t/年	700万t/年	約15%
IGFC	55%	0.59kg/kWh	3,500万t/年	1,400万t/年	約30%
CO2分離・回収型IGCC	40%	0.08kg/kWh	480万t/年	4,420万t/年	約90%
CO2分離・回収型IGFC	47%	0.07kg/kWh	420万t/年	4,480万t/年	約90%

*：60万kW、14ユニットに適用された場合の排出量を試算

$850\text{万kW} (60\text{万kW} \times 14\text{ユニット}) \times 8760\text{時間} \times 0.8 (\text{稼働率}) = 59.6\text{G kWh/年}$

現行USC： $59.6\text{G kWh/年} \times 0.82\text{kg/kWh} = 4,900\text{万t/年}$

（3）雇用創出効果^[3]

出力60万kW級のIGCCにリプレースすることで、1ユニットあたり建設中の4年間に毎年約1,000人規模の雇用が新たに創出される。14ユニットの雇用（4年間）創出効果は約1万4千人と試算される。さらに、CO2分離・回収型IGCCについては、CO2分離・回収設備設置分の雇用も加わる。

また、石炭火力発電所に関連する老朽化した石炭インフラ設備を新設することによる経済効果や、雇用創出効果も期待できる。

[1] 発電コスト検証WG (2015年5月11日) 資料より

[2] リプレース需要

- 2020年から2050年までの30年間で運転開始後40年を経過する石炭火力発電所は3,400万kWであり、石炭火力にリプレースすると想定。
- 内訳を、酸素吹IGCC/IGFC、空気吹IGCC、USC、A-USCで1/4ずつとすれば850万kW。
- 1ユニットの出力60万kWとすれば、30年間で14ユニットの潜在需要と試算。

[3] エコプロダクツ2009 クリーンコールセミナー資料より

世界においては、石炭火力は2016年～2040年にかけて世界全体で約1,023GW (41GW/年) が新設され (リプレースを含む)、アジア・大洋州は、約825GW増加 (33GW/年) と増加量の大半を占める。

アジア・大洋州は産炭国も多く、利用する炭種、導入時期、他産業との連携等のニーズに応じた日本の高効率石炭火力発電技術の導入促進で地球環境問題対策に大きく貢献することが期待出来る。

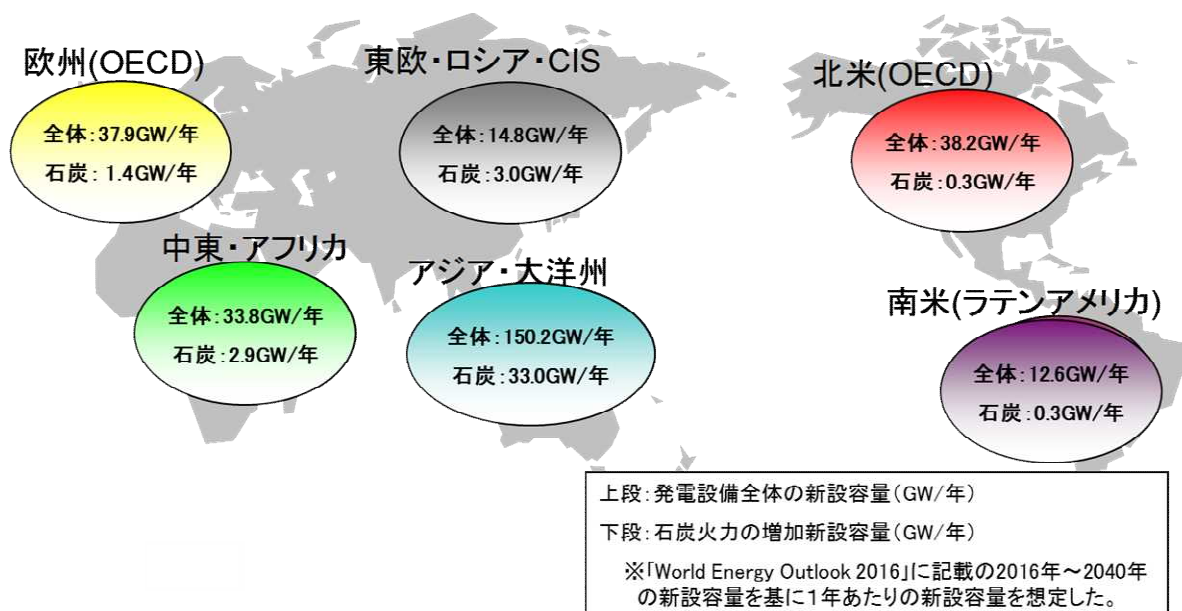


図1-5 世界の石炭火力の導入見通し

2. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1-1. 酸素吹 IGCC 実証

本事業は、適用炭種幅が広く、かつ、冷ガス効率が高い等の特長を有する我が国独自の酸素吹 1 室 2 段旋回型噴流床ガス化炉を採用した、酸素吹 IGCC の実用化前最終段階の検証を行うものである。酸素吹 IGCC の実用化に向け表 2-1 に示す目標を達成すべく、酸素吹 IGCC 実証試験設備（166MW）を建設し実証試験運転を行う。なお項目別の目標設定の理由は表 2-2 に示す。

表 2-1 酸素吹 IGCC 実証 開発目標

項目	目標
発電効率	送電端効率 (HHV) : 40.5%程度 <現状の水準> 微粉炭火力 (200MW 級) の送電端効率 (HHV) : 38%
環境性能	SOx (O2=16%) : 8ppm NOx (O2=16%) : 5ppm ばいじん (O2=16%) : 3mg/Nm3 <現状の水準> 過去 5 年間に運転開始した主な微粉炭火力 SOx (O2=16%) : 8~16ppm NOx (O2=16%) : 8~15ppm ばいじん (O2=16%) : 2~3mg/Nm3
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・制御性を確認する。 (出力変化速度 : 1~3%/分) <現状の水準> 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、国内最新鋭微粉炭火力は出力変化速度 1~3%/分である。
設備信頼性	商用機において年利用率 70%以上の見通しが得られること。 (長時間耐久性試験 : 5,000 時間) <現状の水準> 近年の石炭火力の稼働率は 70~80%で運用されている。
多炭種適用性	炭種性状適合範囲の把握。 <現状の水準> 微粉炭火力は灰融点の高い瀝青炭、先行の IGCC ではガス化に適する低品位炭（亜瀝青炭や褐炭）が主流である。

経済性	<p>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が得られること。</p> <p><現状の水準> 発電単価：12.3 円/kWh（社会的費用含む）</p>
-----	--

表 2-2 酸素吹 IGCC 実証 目標設定理由

項目	目標設定理由
発電効率	<p>実用化されているガスタービンのなかでも最高効率である 1,500℃級ガスタービンを採用した酸素吹 IGCC 商用機(石炭処理量 2,000~3,000t/d) が実現した場合に、送電端効率(HHV)約 46%が達成される見通しを得るため。</p> <p>※商用機の 1/2~1/3 倍の規模で 1,300℃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(HHV) 40.5%を達成すれば、1,500℃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(HHV)約 46%を達成する見通しを得ることが出来る。</p>
環境性能	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ため。
プラント制御性・運用性	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は同等の制御性、運用性が求められるため。
設備信頼性	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は同等の信頼性が求められるため。
多炭種適用性	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ため。
経済性	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、発電原価が微粉炭火力と同等以下とすることが求められるため。

1-2. CO2 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

本事業は、石炭火力発電から排出される CO2 を大幅に削減するため、高効率石炭火力発電技術である「酸素吹石炭ガス化複合発電(IGCC)」に「CO2 分離回収設備」を組み合わせた大型実証設備においてシステム検証を行い、商用スケールでの実用化を目指すものである。実証研究は表 2-3 の目標を達成すべく実施する。なお、テーマ別の目標設定の理由を表 2-4 に示す。

表 2-3 C02 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証 開発目標

テーマ	目標・現状の水準
C02 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証研究	<p>新設商用機において、C02 を 90%回収しつつ、発電効率 40%(送電端、HHV※)程度の見通しを得る。※高位発熱量基準</p> <p>C02 分離・回収装置における C02 回収効率：90%以上、回収 C02 純度：99%以上</p> <p>(現状の水準)</p> <p>C02 回収効率、回収 C02 純度については、上記と同等の性能がパイロット試験レベルで確認されている。ただし、これら性能を満足した上で、大型実証プラント規模で分離回収に必要な所要動力を把握し、送電端効率への影響を評価することについては、これまで取組がなされていない。</p>
	<p>C02 分離・回収型 IGCC システムについて、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 C02 分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。</p> <p>(現状の水準)</p> <p>C02 分離回収システムの個々の要素技術はパイロット試験規模で検証がなされているが、発電システムとの一貫プロセスとしての運用性、長期信頼性等は検証されていない。</p>
	<p>商用機における C02 分離・回収の費用原単位について技術ロードマップに示された費用原単位をベンチマークとして評価する。</p> <p>(現状の水準)</p> <p>「エネルギー関係技術ロードマップ」において、現時点で技術確立がなされている化学吸収法による C02 分離回収コストは約 4200 円/t-C02 である。本事業においては 2020 年代で 2000 円台/t-C02 をベンチマークとする。</p>
低温作動型サワーシフト触媒実証研究	<p>本研究では、上述の「C02 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証研究」の目標の一つである「新設商用機において C02 を 90%回収しつつ発電効率（送電端、HHV ベース）40%程度を達成」を踏まえ、低温作動型サワーシフト触媒を対象として多段シフト反応器で長時間運転を実施し、従来触媒と比較して 0.8pt の効率改善効果となる送電端効率 40%を達成可能な運転条件(蒸気量 25%削減)にて 1 年程度の性能維持を確認する。</p> <p>(現状の水準)</p> <p>平成 23～25 年度に実施した「物理吸収法におけるサワーシフト反応最適化研究」では、C02 分離回収システム付設による発電効率低下を抑制することを目的として、シフト反応用蒸気</p>

<p>の低減可能性を触媒上への炭素析出、及び耐久性といった触媒健全性の観点から評価した。その結果、シフト反应用蒸気低減を目的に開発された低温作動型サワーシフト触媒において、反应用蒸気を従来よりも25%低減した条件にて1,000時間程度は初期性能が維持されることが確認された。</p>

表 2-4 CO2 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証 目標設定理由

テーマ	目標設定理由
<p>CO2 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証研究</p>	<p>システム基本性能の検証</p> <p>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とで、低炭素且つ高効率の CO2 分離・回収型 IGCC の普及につながる。</p> <p>IGCC 実証機に CO2 分離・回収装置（CO2 回収率 15%規模）を付設して試験を実施し、発電効率 39.2%程度（送電端、HHV）を達成すれば、商用機で発電効率 40%程度の見通しを得ることができる。</p> <p>革新的低炭素型石炭火力の実現の為に 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。</p> <p>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。</p> <p>プラント運用性・信頼性の検証</p> <p>現状の石炭火力は変動する需要に出力を追従させることが求められる。第 1 段階の実証では、負荷変化率 1~3%/分 を目指しており、CO2 分離・回収型 IGCC についてもこれに追従することをターゲットとする。また、IGCC の起動停止にも追従した運用手法を確立する。</p> <p>経済性の検証</p> <p>CO2 分離・回収型 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ことで、経済的な方式を選択する。</p>
<p>低温作動型サワーシフト触媒実証研究</p>	<p>「物理吸収法におけるサワーシフト反応最適化研究（平成 23~25 年度）」での研究成果はシフト反応器単段での評価、且つ 1,000 時間の短期運転によるものであった。商用のシフトプロセスではシフト反応による CO 転化率を高めるために多段構成とし、また、定期点検で装置を停止するまで最大 1 年間程度の運転が必要と見込まれる。</p>

1-3. CO2 分離・回収型 IGFC 実証

本事業は、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)」の技術確立に向けて、CO2 分離・回収型 IGCC システムと燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスから CO2 を回収した後の水素リッチガスの燃料電池への適用性を確認するため、CO2 分離・回収型小型 IGFC システムで実証を行うものである。実証研究は表 2-5 の目標を達成すべく実施する。なお、目標設定の理由は表 2-6 に示す。

表 2-5 CO2 分離・回収型 IGFC 実証 開発目標

項目	目標
システムの検証	CO2 分離・回収型 IGFC 商用機 (500MW 級) として、CO2 回収率 90% の条件で、送電端効率 47% (HHV) 程度の達成見通しを得る。

表 2-6 CO2 分離・回収型 IGFC 実証試験 目標設定理由

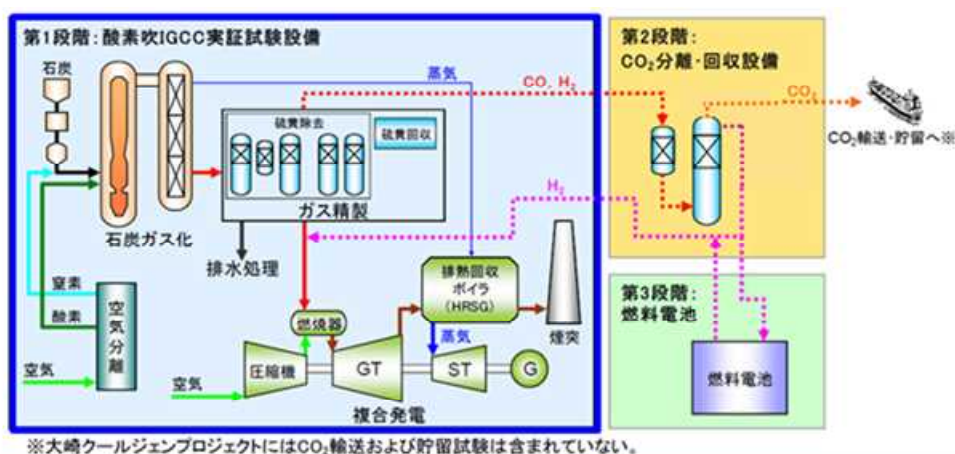
項目	目標設定理由
システムの検証	新設商用 IGFC (500MW 級) において、CO2 を 90% 回収しつつ発電効率 47% 程度 (送電端、HHV) の見通しを得ることで、低炭素排出かつ CO2 分離・回収型 IGCC から更に高効率の石炭火力発電技術を確立することが出来る。

2. 事業の計画内容

2-1. 研究開発の内容

2-1-1. 研究開発計画

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石炭火力発電の実現をめざし、第1段階としてIGFCの基幹技術である酸素吹石炭ガス化複合発電（酸素吹IGCC）の実証試験を実施する。また、第2段階として、当該IGCC実証設備にCO₂分離・回収設備を設置し、CO₂分離・回収型IGCCの実証試験を実施する。さらには第3段階として当該設備に燃料電池を組み込んだCO₂分離・回収型IGFCの実証試験を実施する。図2-1にプロジェクトの概要を図2-2にスケジュールを示す。



第1段階	第2段階	第3段階
酸素吹IGCC実証	CO ₂ 分離・回収型IGCC	CO ₂ 分離・回収型IGFC

図2-1 プロジェクト概要

年度	平成24年度 (2012年度)	平成25年度 (2013年度)	平成26年度 (2014年度)	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	平成31年度 (2019年度)	平成32年度 (2020年度)	平成33年度 (2021年度)
第1段階 酸素吹IGCC実証	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>酸素吹IGCC詳細設計・建設</p> <p>土木・建築工事着工</p> <p>工事設計</p> <p>設計・製作</p> <p>据付工事着工</p> <p>据付工事</p> </div> <div style="width: 35%;"> <p>実証試験</p> <p>単体試験運転</p> <p>総合試運転</p> <p>信頼性確認、多炭種対応他</p> </div> </div>									
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>適用技術評価概念設計</p> <p>・EAGLEのCO₂分離・回収試験結果から実証試験地点に適したCO₂分離・回収方式（物理・化学）を評価選定</p> </div> <div style="width: 35%;"> <p>CO₂分離・回収詳細設計・建設</p> <p>・既存設備改造</p> <p>・CO₂分離・回収IGCC実証試験設備の設計・製作・建設</p> </div> </div>									
第2段階 CO ₂ 分離・回収型IGCC実証	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>技術調査概念設計</p> <p>・石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性調査、精密ガス精製技術の仕様を検討</p> </div> <div style="width: 35%;"> <p>CO₂回収一体型IGCC/IGFC詳細設計・建設</p> <p>・既設設備改造</p> <p>・IGFC基盤技術検証試験設備の設計・製作・建設</p> </div> </div>									
第3段階 CO ₂ 分離・回収型IGFC実証	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>・IGFCシステム実証</p> </div> <div style="width: 35%;"> <p>実証試験</p> </div> </div>									

図2-2 プロジェクトスケジュール

2-1-1-1. 酸素吹 IGCC 実証試験

(1) 実証試験設備建設

実証試験設備は、敷地の大半が造成済みであり、既設の揚運炭設備、石炭貯蔵設備、上水や軽油等のユーティリティ供給設備、復水器冷却水取放水設備及び煙突を利用することが可能で、より合理的に実証試験を行うことが出来る中国電力株式会社大崎発電所構内に建設することとし、新たに建設する設備を最小限とすることにより効率的に実証事業を実施することができる。

実証試験設備の建設にあたっては、図 2-3 に示す 166MW 酸素吹 IGCC 実証試験設備について必要な土木、建築工事、機械装置の設計、製作及び据付を行う他、建設した実証試験設備と既設設備との接続を行う。

また、建設された各機器の単体試運転を行い、プラント全体の機能を確認するための総合試運転を行う。

17万kW級 酸素吹IGCC実証試験設備の概要

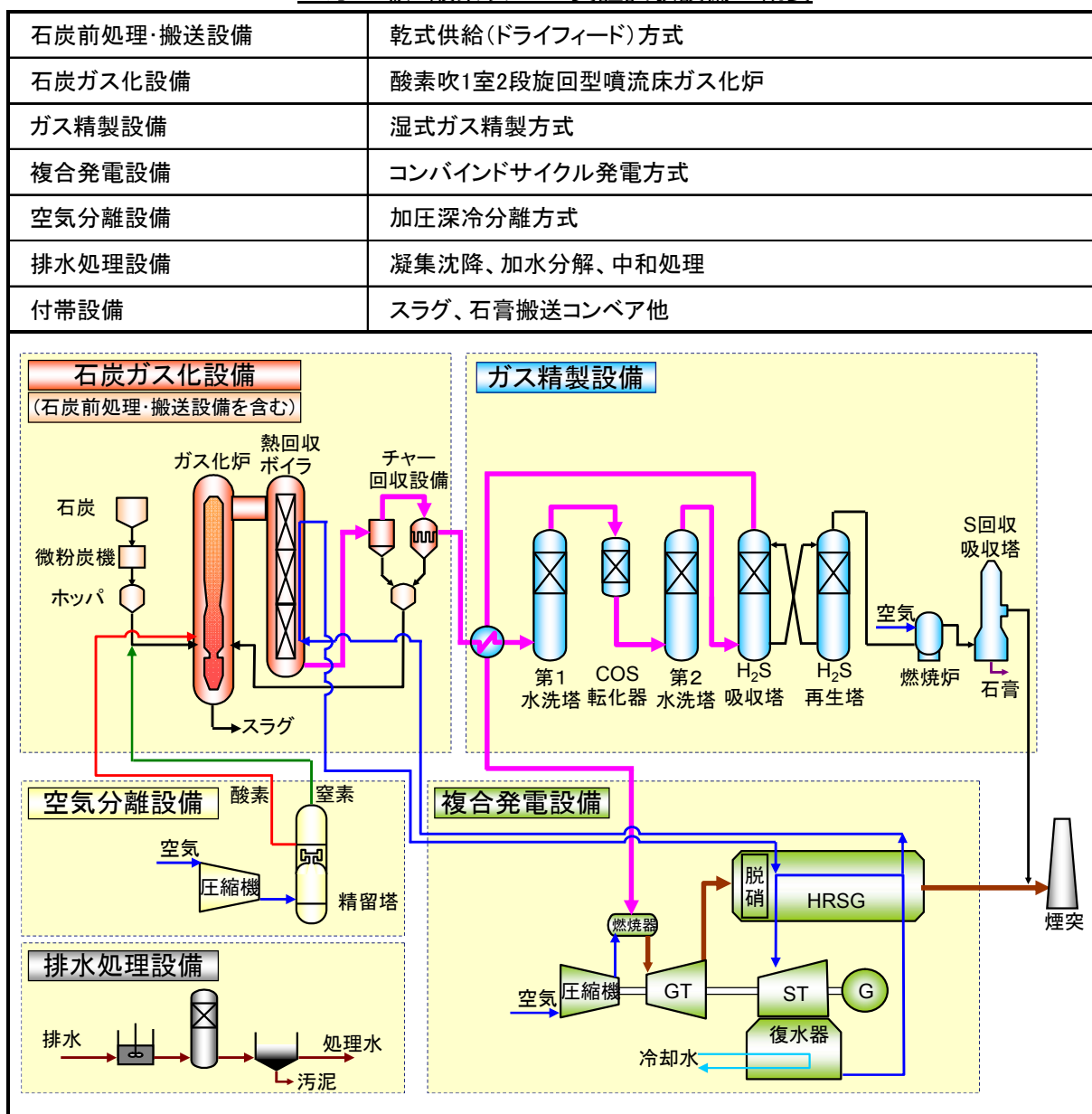


図 2-3 酸素吹 IGCC 実証試験設備概要

(2) 実証試験運転

多目的石炭ガス製造技術 (EAGLE : Coal Energy Application for Gas Liquid & Electricity) で開発したガス化炉は、ガス化炉の上段部および下段部に複数の微粉炭および酸素を供給するバーナを配置し各段のバーナを仮想円の接線方向に配置することでガス化炉内に旋回流を形成し、旋回流下でガス化を行うガス化炉である。このガス化炉は上段バーナと下段バーナへ供給する酸素を適切に配分することでガス化炉の上下に温度勾配を付け、望ましい温度プロファイルを形成することが可能である。すなわち下段バーナにはスラグの安定流下に必要な高温を維持するために必要な酸素量を供給し、上段バーナへは下段バーナより少ない酸素量を供給し、ガス化炉全体への酸素供給量を最適化することで高い冷ガス効率とスラグの安定流下を両立することが可能である。また、炉内に形成された旋回流により微粉炭粒子の炉内滞留時間を長くすることでガス化反応を促進し未燃炭素と灰分を主成分とする「チャー」の発生を抑制することが可能であるのに加え、炉内の旋回流により熔融・半熔融状態となった石炭灰の炉内滞留を促進し生成ガスへの同伴を抑えることでガス化炉出口部でのスラッキング防止を図ることが可能である。

上述の特性はガス化炉内に形成される旋回流によりもたらされるものであるが、スケールアップに伴う炉径の拡大にあたってはバーナや炉壁の状態を適正な状態に維持しつつ旋回流の効果を得ること等が課題となる。実証試験においては設計アルゴリズムでは想定していない事象の発生が有り得るため、試験運転の結果を評価検討し設計アルゴリズムの妥当性を確認することが必要である。

また、IGCC 実証試験設備は商用機と同様の設備構成とし、実証試験運転を行う過程で従来の石炭火力発電所と同様の運用 (部分負荷運用、負荷変化速度) が可能であることを検証する必要がある。生成ガスの圧力の変動を抑制しつつ発電出力の高い追従性、安定性を実現するためには、空気分離設備や石炭ガス化設備といった上流側設備、ガス精製設備や複合発電設備といった下流側設備の静特性、動特性を把握し、これを織り込んだ制御とする必要があり、このプラント制御技術を確立することが課題の一つに挙げられる。

【実施内容】

実証試験運転を行うにあたっては、実証試験設備の起動、停止及び通常運転時の操作手順や異常時の操作手順等について検討を行い、試験運転に用いる手順書、マニュアル類として纏め、安全でより効率的に実証試験運転を行う。

また、計画通りに試験運転を行うために必要な設備点検及び修繕を行う他、設備の耐久性を評価するために必要な設備点検を行う。

実証試験運転期間内に行う試験運転を以下に示す。

(i) 運転最適化試験

酸素吹 IGCC 実証試験設備について、各設備の調整を行ったうえで事業用火力発電設備としての基本性能 (発電効率、環境性) を確認する。

(ii) 信頼性確認試験

商用機において、従来の石炭火力と同等の年利用率 70% 以上の見通しが得られることを目標に、5,000 時間の長時間耐久性確認試験を行う。

(iii) 運用性確認試験

事業用火力発電設備として必要な運転特性・制御性 (出力変化速度 : 1~3%/分等) の確認を行うことを目標に運用性確認試験を行う。

(iv) 多炭種適用試験

炭種性状適合範囲の確認を行うことを目標に、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低

い亜瀝青炭及び微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭を利用した多炭種適用試験を行う。

(v) 総合評価

実証試験運転や設備点検・保守の実績を取り纏め、経済性を含めた総合的な評価を行う。

(3) 情報収集、支援研究

酸素吹 IGCC 実証試験をより効率良く実施するため、以下に示す情報収集、支援研究を行う。

(a) 酸素吹 IGCC に関する情報収集・市場性調査

海外における酸素吹 IGCC の技術動向や運用実績について調査を行い、実証試験設備の詳細仕様や実証試験運転におけるトラブル解決の方向性決定等に役立てる。また、GUA (Gasification Users Association) 等の国際会議および国内の会議等で関連情報の収集を行う。さらに、商用化に向けた国内外における酸素吹 IGCC の市場性調査等を実施する。

(b) CO₂ 分離・回収型 IGFC 実証試験に向けた情報収集

酸素吹 IGCC 実証試験後に予定している CO₂ 分離・回収型 IGFC 実証試験に向け、燃料電池及び精密ガス精製技術について情報収集を行う。情報収集の結果を基に CO₂ 分離・回収型 IGFC 実証試験で検証すべき発電システムについて検討を行う。

(c) プラント性能解析及び支援研究

試運転により得られた各種データを基にプラント性能について解析・評価を行う。必要に応じ、運用性向上或いはトラブル解決に必要な要素試験等の支援研究を行う。

2-1-1-2. CO₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

(1) CO₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

① システム基本性能の検証

(a) CO₂ 分離回収設備の設計・製作・据付

図 2-4 に CO₂ 分離回収設備の基本仕様と実証試験設備概要を示す。実証試験設備を発電プラントに組み込むに当たっては発電プラント特有の運用性(発電負荷変動や燃料性状変化への対応)を考慮して設備を設計する必要がある。また、CO₂ 分離回収による発電効率へのマイナス影響を最小化すべく、排熱回収やユーティリティ削減の可否を検証可能な試験設備とする必要がある。

既設 IGCC に実証プラント規模の CO₂ 分離回収設備を追加設置する取組は世界的にも前例が少なく、参考となる設計情報も限られることから、上記留意点を十分に考慮した上で設備設計を行う。

実証規模	IGCC ガスからの CO ₂ 回収率 15%相当 (定格ガス量：16, 250m ³ N/h)
CO ₂ 吸収再生方式	物理吸収方式
CO シフト方式	スイートシフト方式 IGCC 設備ガス精製吸収塔出口ガス拔出し

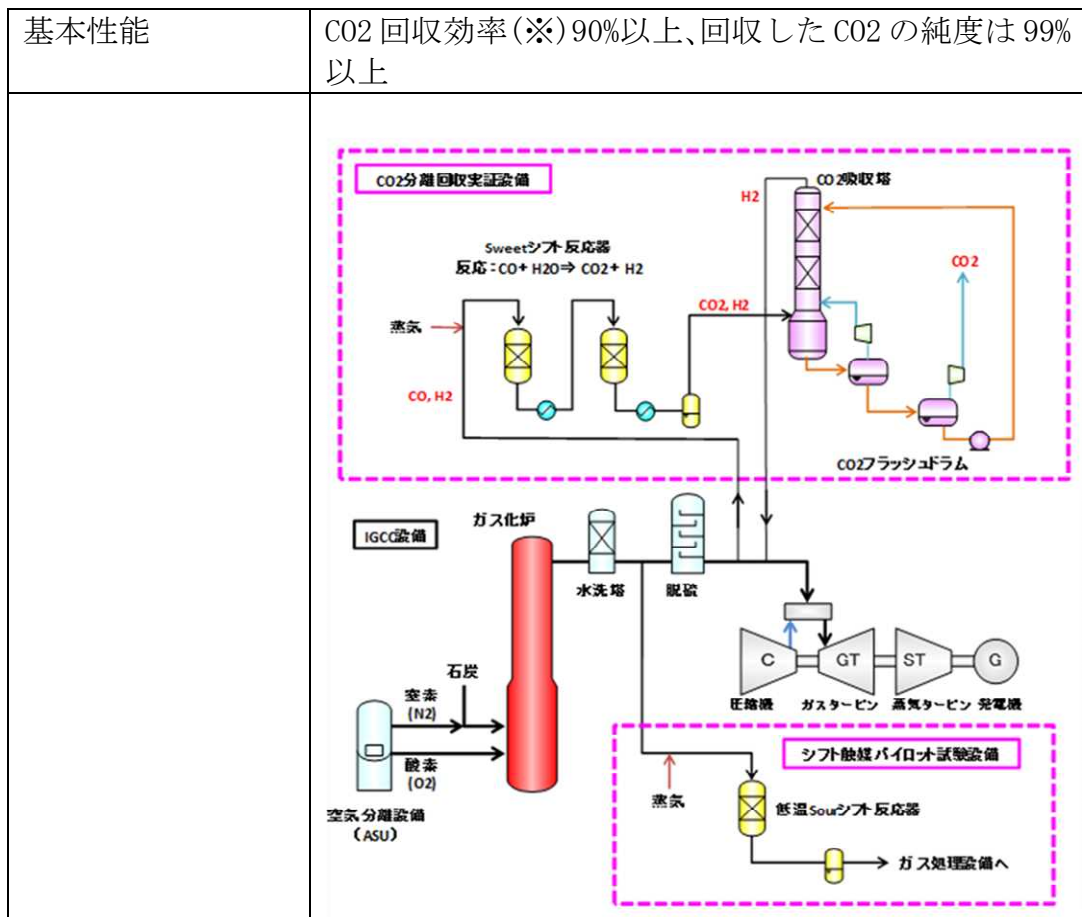


図 2-4 CO2 分離・回収型 IGCC 実証設備概要

(b) 基本特性確認および運転パラメータ最適化

CO2 分離回収設備は、「CO2 回収効率 90%以上」、「回収 CO2 純度 99%以上」を指標として設計される。ただし、これら指標は現段階で法的要求事項として定められているものではなく、また実用化段階でどのような水準が求められるかを見通すことは困難である。従って、以下の試験を実施し、CO2 回収効率や回収 CO2 純度について、これら指標の前後の値となる運転条件において各々のケースでどのような発電効率となるか関係を把握し、商用プラントにおける最適設計および運用指針策定のベースとなるデータを得る。

(i) プロセス基本特性データの取得

大型実証プラント規模における定格条件での運転を行い、CO2 回収効率や回収 CO2 純度、熱物質収支(マスヒートバランス)、ユーティリティ使用量等の基本特性データを取得し、計画性能との比較、乖離要因の分析を行う。

(ii) CO シフト設備における条件変化試験

シフト蒸気量低減試験や触媒活性の温度依存性評価等を実施する。

(iii) CO2 吸収再生設備における条件変化試験

吸収液循環量(吸収塔 L/G 比)、フラッシュドラム圧力の影響評価や吸収液温度依存性評価等を実施する。

(c) 発電効率影響評価

CCS に係る費用を低減するためには CO2 分離回収に伴う発電効率の低下を出来るだけ抑制し、効率低下による燃料費増嵩を抑えることが重要である。

実証試験で取得したプロセス基本特性および条件変化試験における最適運用条件検討結果を踏まえ、別途構築するCO₂分離・回収型IGCCシステムのシミュレーションモデルにおいて発電効率評価を実施し、商用段階での送電端効率について評価する。

②プラント運用性・信頼性の検証

発電プラントにCO₂分離回収設備を組み合わせたシステムにおいて、変動する各種運転条件に対して長期間安定的にプラント運用が可能であることを実証するために、約1年に亘る実証試験を通じて、負荷変動や原料ガス組成等の運転条件の変動、触媒性能低下や不純物の蓄積等経年的な状況変化においても安定的に設備を運用できることを確認、また、設備のメンテナンス作業を通じて適切な点検方法や点検頻度等を検討し、設備の設計や運転保守(O&M)方法の妥当性を検証する。

③経済性の検証

CCSの本格導入に向けてはCCSの経済的デメリットとなるCO₂分離回収コストを現状推定値(=4,000円台/ton-CO₂)よりも大幅に縮減することが必要である。実証試験を通じて得たデータに基づく各種評価結果、費用実績等を踏まえ、将来的に商用規模のCO₂分離・回収型IGCCシステムを実用化する場合のCO₂分離回収コスト(円/ton-CO₂)について評価を実施する。

④ その他調査

CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証研究をより効率よく効果的に実施するため、以下に示す調査を実施する。

(a) 基本特性確認試験

実証試験設備の設計および試験計画の立案に必要なデータを取得すべく、必要に応じて触媒や吸収液の基本特性試験をラボレベルで実施する。

(b) 情報収集

IGCCからのCO₂分離回収技術について国内外で実施されているパイロット試験、実証試験を中心に動向調査を実施し、状況に応じて設備設計や試験計画への反映を適宜行う。

酸素吹IGCCとCCSを組み合わせたパッケージとしての石炭ガス化複合発電技術確立の為、CCS事業の状況調査を実施する。

海外展開も見据えて、関連する政策、規制、技術開発、他プロジェクト動向等に関する調査を実施する。

(2) 低温作動型サワーシフト触媒実証研究

(日立製作所と大崎クールジェンの共同研究)

①サワーシフト触媒実証試験設備の設計製作据付

(a) 低温作動型シフト触媒の概要

COシフト反応は発熱反応であるため、反応温度が低いほどCOからCO₂への平衡転化率は高くなる。実機では、触媒層を通過するガスは反応熱により加熱され、ある温度でそれ以上反応が進行しなくなり平衡状態となる。触媒層へ導入するガス温度と水蒸気供給量を変えたときの、平衡転化率を図2-5に示す。水蒸気供給量を増加すると、反応物質が増えるため、理論転化率も上昇する。

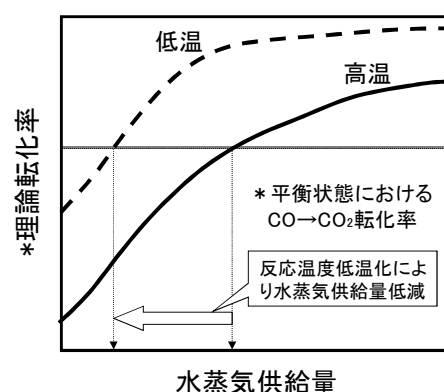


図 2-5 シフト反応の特徴

また、上述したように、触媒へ導入するガスの温度が低いほど平衡転化率は上昇する。この原理に基づき、蒸気添加量の低減を目的として、低温で高い活性を有し、低温運用による平衡上のメリットによりシフト蒸気削減余地を生み出すことを可能とする触媒を開発した。先に実施した「物理吸収法におけるサワーシフト反応最適化研究」(平成 23～25 年度)では、CO₂ 分離回収システム付設による発電効率低下を抑制することを目的として、シフト反応用蒸気の低減可能性を触媒上への炭素析出、及び耐久性といった触媒健全性の観点から評価した。その結果、シフト反応用蒸気低減を目的に開発された低温作動型触媒において、反応用蒸気を従来よりも 25%低減した条件にて 1,000 時間初期性能が維持されることが確認された。更に、開発触媒を新設商用 IGCC に適用することで送電端効率 40%(HHV) 程度を達成できる見通しを得た。

(b) サワーシフト触媒実証試験設備

サワーシフト触媒実証設備のシステム構成を図 2-6 に示す。

前プロジェクトではシフト反応器は単段構成であったのに対し、本プロジェクトでは実機運用方式である多段(2 段)構成とする。既設 IGCC の水洗塔出口から抽気した生成ガスと所内生成のシフト蒸気を混合した際、合流後のガスが露点を下回らないように蒸気加熱器で予備加熱する。蒸気合流後の生成ガスを所定の触媒入口温度となるように電気加熱器で調整した後、No. 1 シフト反応器に供給する。シフト反応後のガスは冷却器にて冷却、その後冷却過程で生成したドレンをドレン捕集器で除去する。ドレン除去後のガスを再度蒸気、電気加熱器にて加熱し、ガス温度を No. 2 反応器入口温度に調節した後、No. 2 シフト反応器に供給する構成とする。

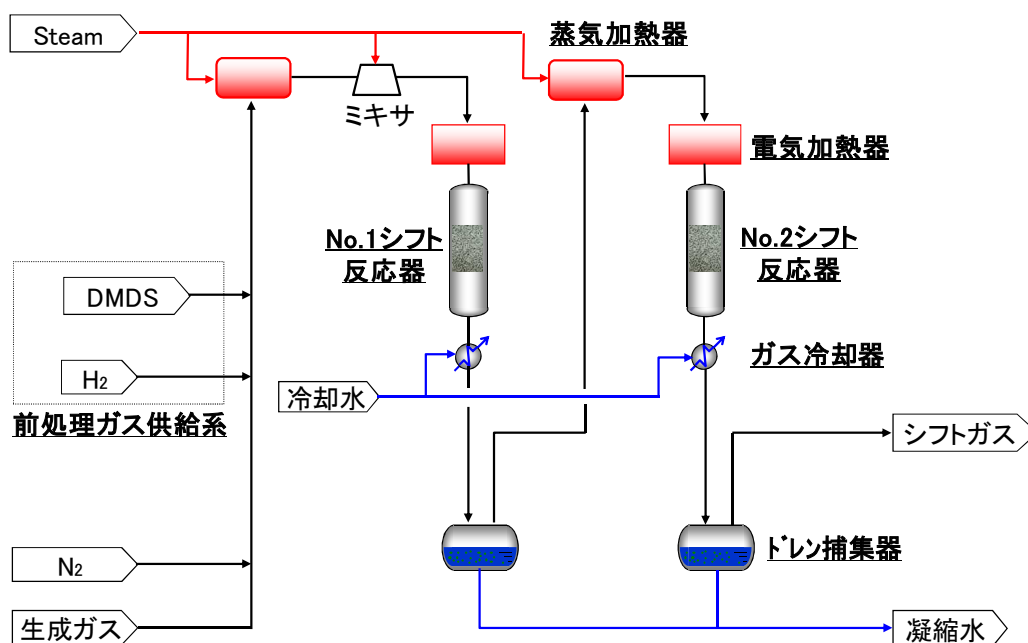


図 2-6 サワーシフト触媒実証試験設備システム構成

②低温作動型シフト触媒の長時間実証試験 (株)日立製作所、大崎クールジェン(株)

低温作動型サワーシフト触媒の長時間実証試験を実施し、触媒性能の経時変化を評価する。

長時間の触媒性能維持を目標に掲げているが、例えば設備製作の工期遅れや実証試験中の触媒試験設備又は上流プラントの想定外のトラブルによる実証試験期間の短縮等で目標期間の性能維持が確認できない可能性がある。このような課題に対し、模擬ガスを用いた要素試験による長時間連続試験により触媒の経時劣化挙動と触媒の

組成や物性変化等の関係を把握し、物性や触媒組成データから触媒寿命を予測する手法を確立して臨む予定である。

2-1-1-3. CO2 分離・回収型酸素吹 IGFC 実証計画

CO2 分離・回収型 IGCC プラントに燃料電池を組み合わせた場合の、システムの検証およびプラントの耐久性・信頼性を検証する必要がある。検証するシステムは表 2-7 の通りとし、その他、CO2 分離回収無しの IGFC で必要な、ガスクリーンアップ技術のパイロット試験を実施する計画である。

表 2-7 実証試験システム計画概要

燃料電池	固体酸化物形燃料電池 (SOFC)
実証規模	1MW 級ユニット×2 台
システム概要	CO2 分離・回収型 IGCC 設備の CO2 分離後の水素リッチガスを分岐し、SOFC に導入する。 IGCC 脱硫後、CO2 分離前の石炭ガス化ガスを分岐し、ガスクリーンアップ技術の実証試験を行う。

実証システム計画の概略系統を図 2-7 に示す。IGFC に適用する燃料電池としては、作動温度が高く、ガスタービンとの組合せが可能で、CO と H₂ を主成分とする石炭ガス化ガスを利用でき、また、IGFC への適用を考える場合、高効率化の観点から高压化への対応が可能であることが望ましいことから、燃料電池は高温高压プロセスに適する「固体酸化物形燃料電池 (SOFC)」を採用する計画である。

SOFC は現在、メーカーにおいて、250kW 級モジュールが市場導入前の段階であり、また、1MW 級ユニット (600kW 級×2 モジュール) の開発が実施される予定で、その成果を第 3 段階での SOFC 実証試験システムユニットへ反映する計画である。

実証規模は「1MW 級ユニット×2 台」とし、現況で SOFC ユニットの単機での最大規模は 1MW 級であり、SOFC の大容量化は、1MW 級ユニットを並列で使用する形で対応することを計画している。SOFC を並列で使用する場合に対して、燃料供給の制御と、発電電力の集電の確認が必要であるが、これは、2 つのユニットの並列運転にて確認および技術を確立することで、3 つ以上の並列運転への拡張は可能である。

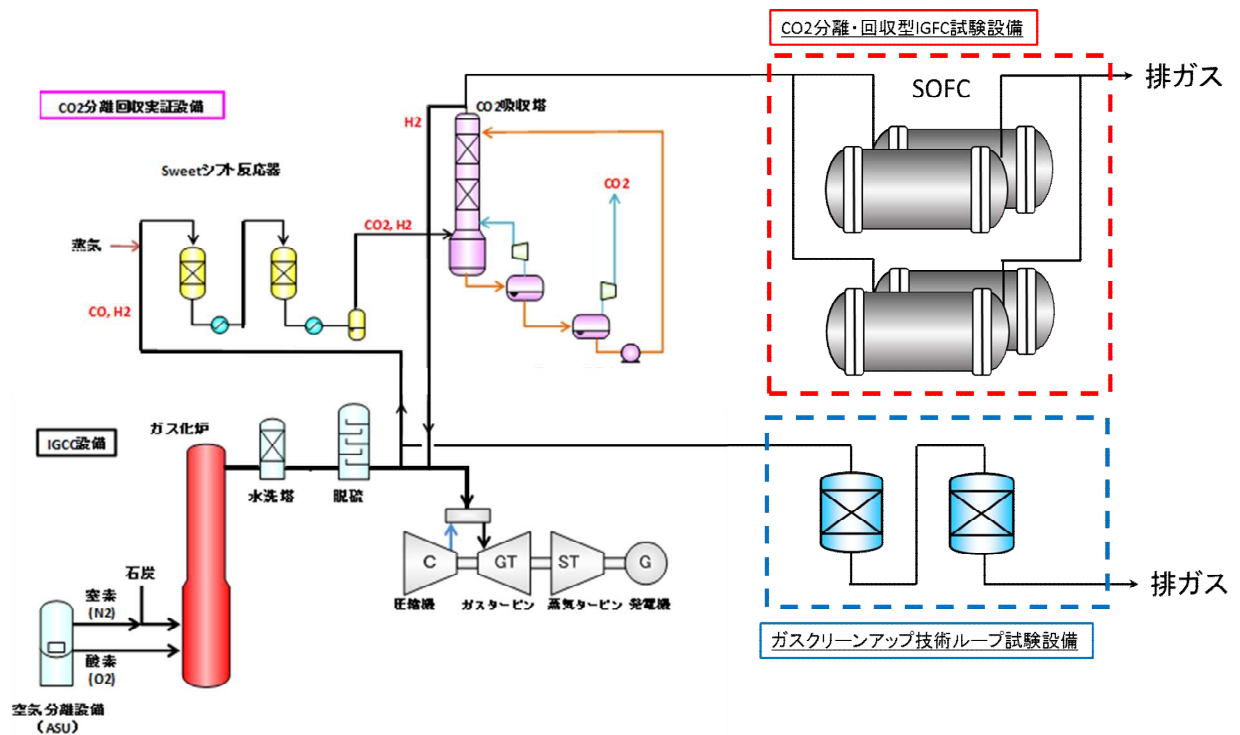


図 2-7 実証試験システムの計画系統

試験は、石炭ガス化ガスから CO₂ を分離した後の水素リッチガスを SOFC ユニットに導入して行う。試験により、運用性と信頼性を把握する。

合わせて、CO₂ 分離回収設備と燃料電池の協調運転を確立する。CO₂ 分離回収設備の運転条件の変化による燃料電池への燃料ガスの変動への対応等を確認する。

また、石炭火力発電の最高効率を達成する IGFC (CO₂ 分離無し) を念頭に、IGCC での脱硫後のガスを直接燃料電池に導入するために必要な、燃料電池被毒成分を対象とするガスクリーンアップ技術検証のため、IGCC ガス精製設備出口からのガスを用いて試験ループ系統にて燃料電池被毒成分吸着材への通ガス試験を行う。

上述の実証試験の成果より、CO₂ 分離・回収型 IGFC 商用機 (500MW 級) を想定したシステム検討を行い、送電端効率 47% (HHV) 程度の達成可否の見通しを得る。

更に、大型 IGFC 技術開発に向けた課題を整理する。

2-1-2. 資金配分

2-1-2-1. 酸素吹 IGCC 実証

石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業は、総合科学技術会議および産業構造審議会の事前評価を経て、経済産業省補助事業として、平成24年度から開始し、平成28年度よりNEDO助成事業へ引き継がれている。

第1段階は、平成24年度から平成30年度までの期間を予定しており、酸素吹IGCC実証試験設備の設計および建設を行い、平成29年3月から実証試験を開始した。工程及び事業費の年度展開を表2-8に示す。

本事業の総事業費は、平成26年度から新規に発注を行うものについて競争入札を実施したことに加え、一部設備の仕様の詳細精査、現地工事の最適化等により、総事業費を削減、約840億円となる見込みである。

大崎クールジェンと出資会社である中国電力及び電源開発との間で研究委託契約を締結し、実証事業費のうち補助金(補助率:1/3)を除いた2/3については両出資会社からの分担金で賄い実証事業を確実に遂行する。

表2-8 第1段階 酸素吹IGCC実証事業の工程および事業費計画

年度		平成24年度 (2012年度)	平成25年度 (2013年度)	平成26年度 (2014年度)	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	合計	
第1段階 酸素吹IGCC実証 (助成率:1/3)	当初	事業費(億円)	41.1	183.0	194.1	183.9	183.0	60.9	57.0	903.0
		補助額(億円)	13.7	61.0	64.7	61.3	61.0	20.3	19.0	301.0
	現状	事業費(億円)	41.2	210.0	187.1	173.0	115.4	48.0	62.0	836.7
		補助額(億円)	13.7	70.0	62.4	57.7	38.5	16.0	20.7	278.9
	実施内容									

※ 「現状」欄は平成27年度まで実績額を記載している。

2-1-2-2. CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証の研究開発費を表2-9に示す。

第2段階の総事業費は約275億円を見込んでいる。建設工程の進捗に合わせ予算の年度展開を見直しているが、総事業費に変更はない。

CO2分離・回収型IGCC実証研究の開発費用と低温作動型サワーシフト触媒研究の大崎クールジェン分については、出資会社である中国電力株式会社及び電源開発株式会社と大崎クールジェン(株)の間で研究委託契約を締結し、実証事業費のうち助成金(補助率2/3)を除いた1/3については両出資会社から負担金で賄い実証研究を確実に実施する。

また、低温作動型サワーシフト触媒研究の(株)日立製作所分については、実証事業費のうち補助金(補助率2/3)を除いた1/3については自社負担金で賄い実証試験研究を確実に実施する。

表 2-9 第 2 段階 CO₂ 分離・回収型 IGCC 実証事業の工程および事業費計画

年度		平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	平成31年度 (2019年度)	平成32年度 (2020年度)	合計	
第2段階 CO ₂ 分離・回収型 IGCC実証 (助成率: 2/3)	当初	事業費(億円)	17.7	53.1	55.8	72.0	76.4	275.0
		OCG分	17.6	52.9	55.7	71.8	76.2	274.2
		日立分	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.8
		補助額(億円)	11.8	35.4	37.2	48.0	50.9	183.3
	現状	事業費(億円)	4.7	43.3	71.1	99.4	56.5	275.0
		OCG分	4.6	43.2	71.0	99.3	56.2	274.3
		日立分	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.8
		補助額(億円)	3.1	28.9	47.4	66.3	37.7	183.3
	実施 内容	CO ₂ 分離・回収詳細設計・建設					実証試験	
		・既存設備改造 ・CO ₂ 分離・回収IGCC実証試験設備の設計・製作・建設				・CO ₂ 分離・回収IGCCシステム実証		

2-2. 研究開発の実施体制

2-2-1. 酸素吹 IGCC 実証

本研究開発の実施体制は図 2-8 のとおりである。本事業を実施することを目的として、中国電力と電源開発の共同出資により大崎クールジェンが設立され、事業実施者となっている。

中国電力が自社の発電所敷地、発電所の付帯設備を提供し、電源開発はこれまでの技術開発で得られた技術ノウハウ等を提供する。

また、中国電力と電源開発は、本プロジェクトに係る基礎的研究開発を行い技術的なサポートを行っている。

本事業は、酸素吹 IGCC について、事業用火力発電設備としての実用化へ向けた最終段階の検証を行うものであり、検証された技術の普及促進の観点からも酸素吹 IGCC が実用化した場合にその運用を行うと想定される電気事業者が主体となり事業を実施することが望ましい。

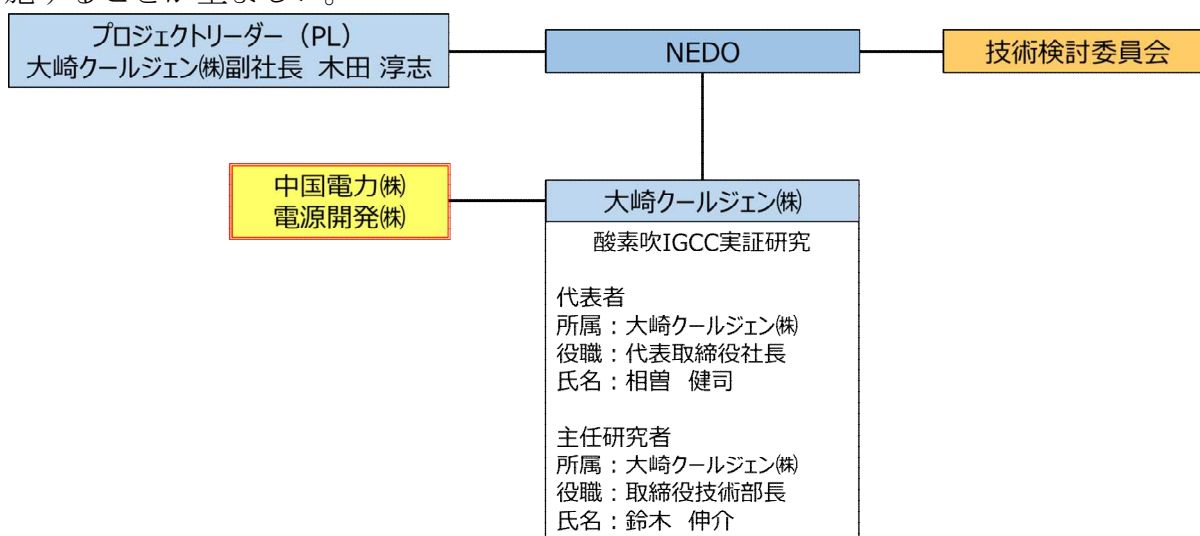


図 2-8 第一段階 研究開発実施体制

プロジェクトリーダーは、RUN 毎に試運転調整会議や技術課題検討会議を実施し、プロジェクトの状況や成果と課題を把握するとともに、プロジェクト計画や工程に反映させるとともに、第三者の学識経験者による技術検討委員会を3回/年程度、及び試運転・実証試験評価検討会をそれぞれ3回/年程度開催し、実施計画、進捗状況の確認、実施結果の評価を受けるとともに、実証試験においてトラブルが発生した場合に解決策等の指導・助言を適宜プロジェクトに反映させている。

2-2-2. CO2 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

本研究開発の実施体制は、図 2-9 のとおりである。

CO2 分離・回収型 IGCC 実証研究と低温作動型サワーシフト触媒研究で構成され、前者と後者の研究のため設備建設とその運営を大崎クールジェン株式会社が実施し、後者の研究のうち、基本設計を日立製作所が実施する。

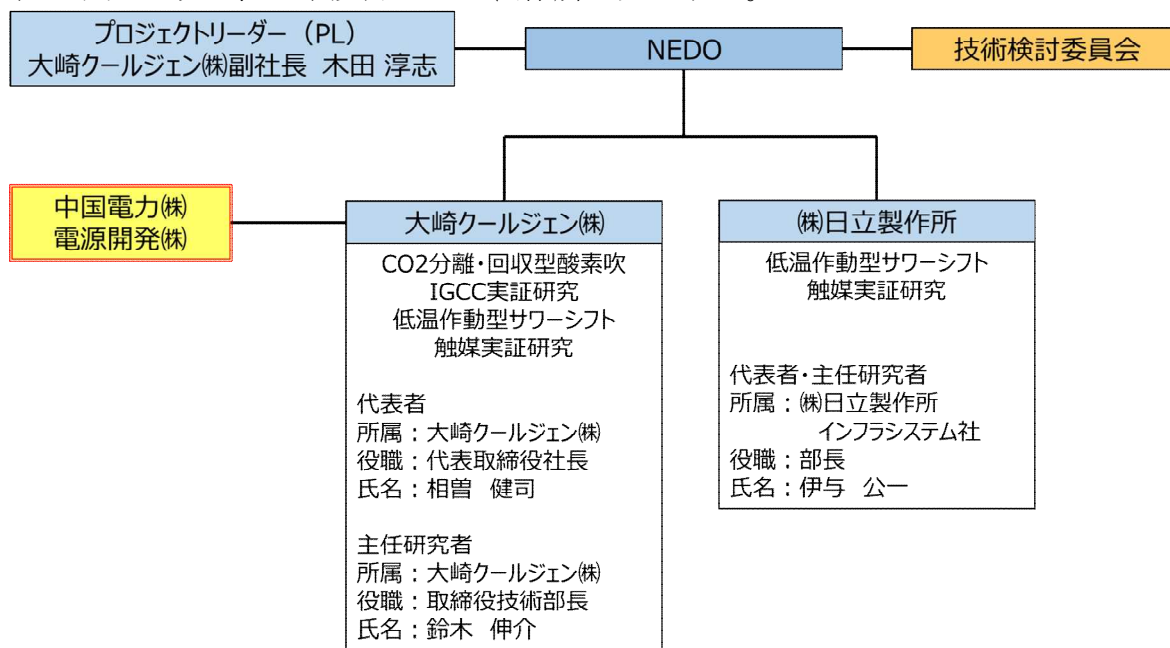


図 2-9 第 2 段階 研究開発実施体制

2-3. 研究開発の運営管理

(1) 運営

本事業の運営は図 2-10 の体制で実施している。

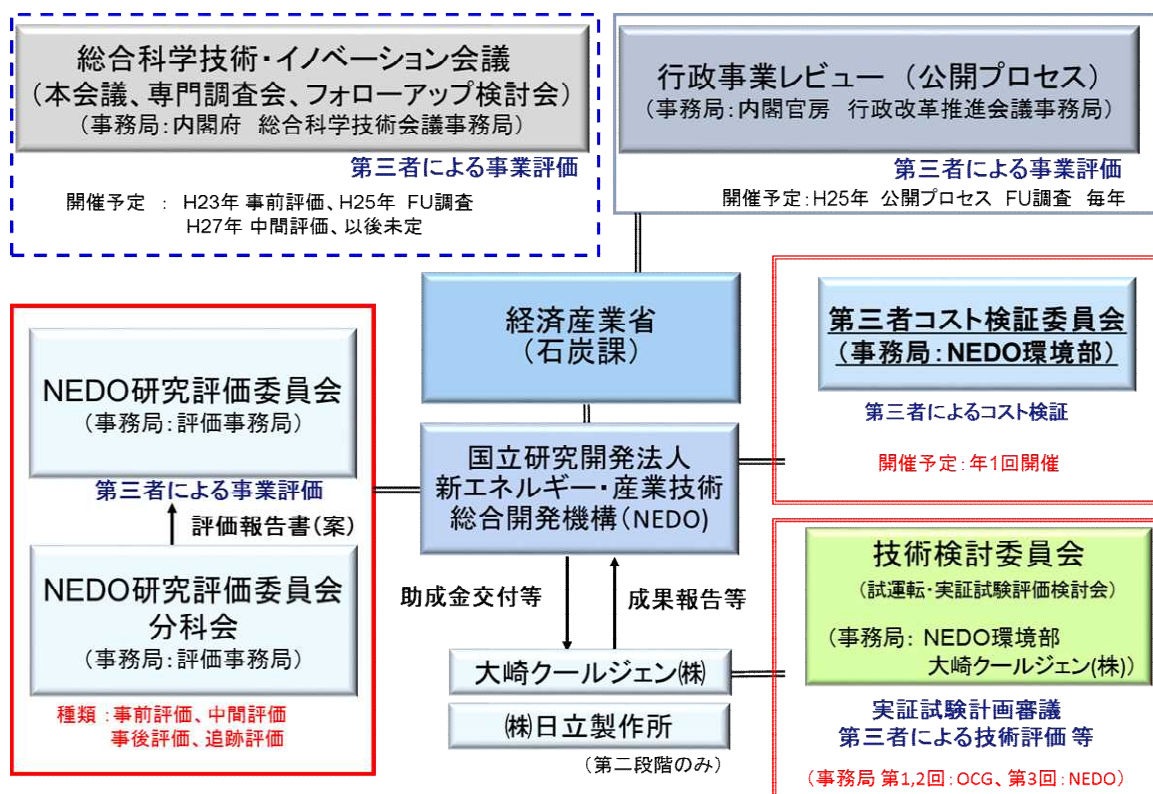


図 2-10 研究開発運営体制

なお、平成 25 年度の行政事業レビュー（秋のレビュー）において、本実証事業については、PDCA サイクルが十分に機能しているとは言い難く、「第三者の専門家を入れた国によるコスト検証の仕組みの導入などによるコスト削減を図るべきではないか。」との指摘を踏まえ、「コスト検証委員会」（非公開）を設置し、平成 26 年度以降の毎年の補助金交付決定前（1～3 月）に、国として、第三者によるコスト検証を実施している。

補助金交付決定を受けるにあたって、第三者によるコスト検証委員会では実施体制、コスト削減、事業計画について検証が実施され、全体として妥当との判断を受けている。

（２） 技術評価体制

第三者の学識経験者で構成される「技術検討委員会」（非公開）において、事業実施計画、事業進捗状況の確認、事業実施結果の評価に加え、実証試験においてトラブルが発生した場合に解決策等の指導・助言を受けることで、より効果的に実証事業を遂行している。

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） 実用化に向けた取組

本事業は、石炭火力の低炭素化を達成するため不可欠なものであり、事業終了後の早期商用展開に向け、実証試験目標の確実な達成を目指し NEDO の支援の下、必要な資源を投入していく。早期普及拡大によるコスト低減を目指して成果を積極的に公開するとともに、知財の実施許諾や技術提携等を含めた横展開を図る。あわせて、発電用途のみならず多用途利用も視野に入れ、有効性を PR することで酸素吹石炭ガス化技術の普及拡大を図る。

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、石炭火力においては、現在の USC を超える低炭素化技術が求められている。さらに、近年、中国、インド等の石炭需要の拡大により高品位炭の可採年数が急激に減少している背景を受け、今後は低品位炭への需要拡大が見込まれ、高効率で多炭種対応性に優れる酸素吹石炭ガス化技術のニーズが高まると想定している。

本事業終了後、事業実施者の親会社である電源開発・中国電力は本事業の完遂成果を将来の低炭素石炭火力として導入を目指す。続いて、他の電気事業者等に対しても導入を働きかける。

※電源開発・中国電力は、多くの石炭火力（設備出力両社計：10,964MW、国内石炭火力発電の約 24%：平成 28 年度時点）を保有している。

また、国内の商用機運転実績を背景に、海外市場に対して「高効率化、CO₂削減等」の従来石炭火力との優位性をアピールし、低廉な低品位炭に適した発電方式として、今後、電力需要が拡大し、石炭火力発電の普及拡大が見込まれるアジア・大洋州を中心に海外普及を図る。

具体的には、電力、肥料向け等、相手国のニーズの把握、技術の優位性・信頼性について理解を促進するため実証試験の成果を積極的に発表・PR する等、相手国との交流を図る。従来から、今後の国際展開を見据え、アメリカ・オーストラリア等での国際会議において、プロジェクトの概要や進捗状況について発表、産炭国であるオーストラリアのメディア視察受入を行っており、今後も継続的に行っていくほか、親会社とも協調しながら、産炭国に加え石炭輸入国（台湾等）等の海外電力会社および電力技術者の見学受入を積極的に実施していくこととしており、JICA 研修事業の一環としてモンゴルやミャンマー等の電力技術者の受入を実施している。

また、相手国のニーズにより本技術の特長を活かした設計・建設に加え、実証試験等を通じて培った運用・管理を含むシステム提案を行うことで、我が国独自の高性能酸素吹石炭ガス化技術と、我が国が誇る O&M 技術をパッケージ化し、官民一体（メーカー含む）となったオールジャパン体制でのインフラシステム輸出につなげるべく、国の政策へ貢献していく。

（2）実用化に向けた知財戦略

本事業で得られる知的財産としては、「ガス化炉等のスケールアップにおける最適化などのプラント設計上の基本技術的な知的財産」、「IGCC 発電プラントとしてのオペレーション・メンテナンスなどの運用面に関する知的財産」が考えられる。

オペレーション・メンテナンスなどの運用面に関する知的財産については、ノウハウ化（秘匿化）することで、競合他社への優位性を確保する方が有益である場合も考えられるため、本事業にて得られる知的財産については、プロジェクトに関する各メーカーと、将来的な事業展開に活用できるような知財協定を締結し、その内容に応じて特許化またはノウハウ化（秘匿化）を行い、国際展開を図る。また、現状において、IGCC 設備として国際標準（ISO）化はされていないが、IGCC の技術を促進することによって、デファクトスタンダード化を目指し、国際展開を図る。

具体的には、国内において、他の電力事業者やメーカーなどへの展開を図るために、成果報告会等における情報提供・共有などを積極的に行うとともに、今後の事業進展に合わせて更なる普及展開策を図っていく。本事業において得られる知財は、他企業等からの要望に応じて、実施許諾や技術提携等による積極的な横展開を図っていく。

海外においては、今後、石炭火力の普及が見込まれるアジア・大洋州を中心として展開していくことを考えており、相手国のニーズを把握しつつ、オールジャパン

でシステムインフラ輸出を実現しようとする動きを見ながら、国際特許を含め、対象国における戦略的な知財の取得に取り組み、国際競争力を確保する。

また、本実証事業において今後発生する知的財産に関しては、大崎クールジェン内に知財担当窓口を設置した上で、両親会社（中国電力、電源開発）の知財管理部門と一体となって、特許管理、知財の横展開を実施する。

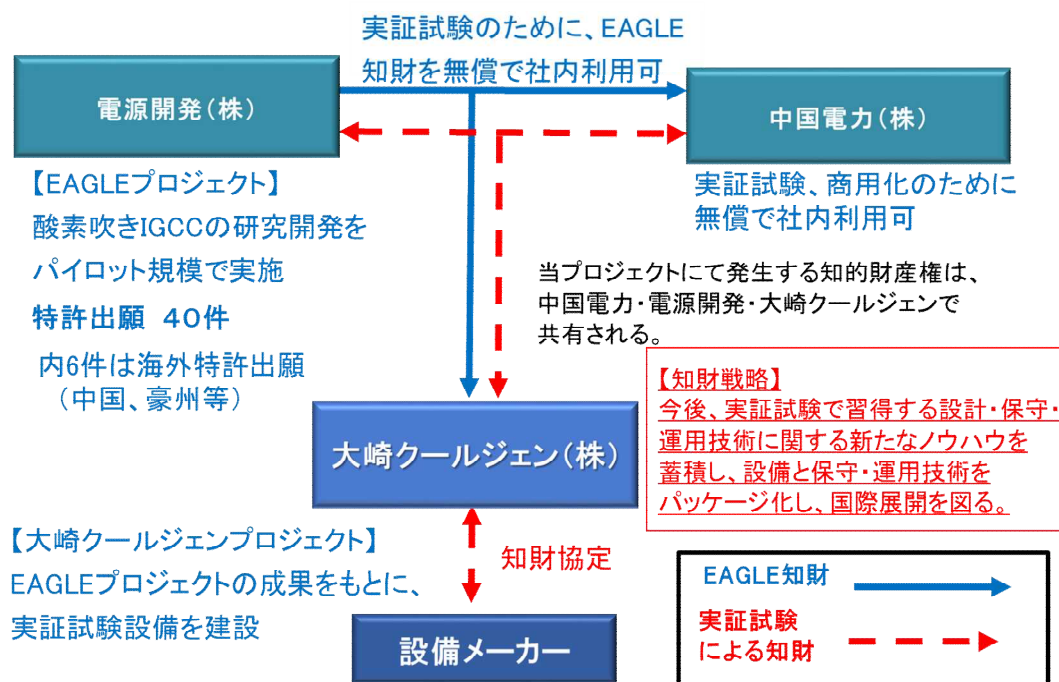


図 2-11 本事業における知財戦略

3. 情勢変化への対応

石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業開始（平成 24 年度）以降、下記のような情勢変化があり、本実証事業の重要性が一層強くなったと考えられる。

3-1. エネルギー基本計画

平成 26 年 4 月 11 日に閣議決定された新しい「エネルギー基本計画」の中で、石炭は、温室効果ガスの排出量が多いという問題はあるが、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再評価されている。

第 1 段階で実証する IGCC は、「発電効率を大きく向上させることで発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に低下させる高効率化技術として開発をさらに進める。」とされている。

その他、日本の政策等における IGCC の重要な位置づけについて表 2-10 に示す。

表 2-10 日本の政策等における IGCC の位置づけ

日本の政策等	記載内容（抜粋等）
科学技術基本計画 (平成 23 年 8 月 19 日 閣議決定)	「グリーンイノベーションの推進」の中で、石炭ガス化複合発電等と二酸化炭素の回収及び貯留を組み合わせたゼロエミッション石炭火力の実現に向けた研究開発等の取組を推進する。
科学技術イノベーション総合戦略 2015 ～未来創造に向けたイノベーションの懸け橋～ (平成 27 年 6 月 19 日 閣議決定)	重点的取組「高効率かつ高効率かつクリーンな革新的発電・燃焼技術の実現」において、2030 年までの成果目標が以下のとおり記載されている。 ・2020 年代に先進超々臨界圧火力発電と高効率・高信頼性石炭ガス化複合発電を実用化し、輸出促進 ・2030 年代に石炭ガス化燃料電池複合発電を実用化 ・2020 年頃までに二酸化炭素分離・回収・貯留技術を実用化
平成 27 年度科学技術重要施策アクションプラン対象施策の特定について (平成 26 年 9 月 19 日 総合科学技術・イノベーション会議)	<高効率化かつクリーンな石炭火力発電の実現> 本施策では、究極の高効率石炭火力発電技術である石炭火力発電技術である IGFC と CO2 分離・回収技術を組み合わせた革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。そのための取組として、IGFC の基幹技術である酸素吹 IGCC を確立させるべく、信頼性、耐久性、高効率性、経済性等を実証する。
環境エネルギー技術革新計画 (平成 25 年 9 月 13 日 総合科学技術会議)	「2030 年頃までに実用化が見込まれる技術」として、高効率石炭火力の更なる高度化と CCS 技術との組合せが記載されており、各技術項目のロードマップ等の「1. 高効率石炭火力」の中で、IGCC および IGFC が記載されている。さらに、「10. 二酸化炭素回収・貯留(CCS)」では、火力発電システムとのインターフェースの確保が重要とされている。
エネルギー関係技術開発ロードマップについて (平成 26 年 12 月 経済産業省)	技術ロードマップ「9. 高効率石炭火力発電」で IGCC の記載あり。
次世代火力発電に係る技術ロードマップ (平成 28 年 6 月 経済産業省)	2030 年度に向けた取組の中心となる技術として、酸素吹 IGCC を 2018 年度頃技術確立、IGFC を 2025 年度頃技術確立、量産後従来機並みの発電単価を実現することとの記載あり。 2030 年度以降を見据えた取組に係る技術として、物理吸収法による CO2 分離回収技術を 2020 年頃技術確立、回収コスト 2000 円台/t-CO2 を実現との記載あり。

3-2. 電力システム改革

電気事業の自由化は、卸電力自由化は1995年より、小売供給自由化は2000年の大口需要家を対象に実施されて以降、段階的に実施されており、事業者としても自由化範囲拡大を念頭に競争力（安定性、経済性、環境性）のある電源の開発が必要だという認識のもと、安定供給性や経済性に優れた石炭火力の更なる効率向上を目指し、本事業を立ち上げ、推進してきている。

現在、国が進めている電力システム改革において、2016年に小売全面自由化、2018年～2020年目途に小売料金規制撤廃の法整備がなされている。電力自由化に向けては、競争力のある電源を確保するため、各分野の事業者が多くの石炭火力の新増設を計画中である。安全性、経済性、安定供給性ととともに環境性、いわゆる3E+Sは我が国のエネルギー政策の基本であり、環境性に優れた本技術の早期実用化が一層重要になってくる。

3-3. 海外における石炭火力発電を取り巻く情勢

2015年12月開催予定の気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において京都議定書に代わる温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして「パリ協定」が採択され、主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新すること、その実施状況を報告し、レビューを受けることが合意された。また世界共通の長期目標として、気温上昇を2℃より十分低く保持すること、1.5℃に抑える努力を追及することにも言及された。世界的に環境負荷低減に向けた規制が厳しくなっている。

米国においては、2013年6月にオバマ大統領が「オバマ大統領気候変動計画（米国）」を発表、その中で石炭火力発電にとってはCCSを設置しなければ現状達成が困難なレベルのCO₂排出基準（環境保護庁規制案：約0.499kg-CO₂/kWh）の制定が検討されている。またイギリスにおいては排出原単位基準（EPS）が制定され、新設の場合は設備のCO₂排出原単位0.45kg-CO₂/kWhという規制値が、カナダにおいては新設の石炭火力発電所、経済的耐用年数に達した古い発電所を対象に0.42kg-CO₂/kWhの排出基準が課されており、CCS設備を備えない新規石炭火力は建設が困難な状況にある。

さらに米英は、平成26年4月OECD輸出信用に関する国際ルールを決めるOECD輸出信用会合で石炭火力向けの輸出信用の原則禁止を共同提案した。

それに対し、日本は石炭火力に頼らざるをえない国が多い中、高効率化こそが現実的な気候変動対策であると主張、平成27年11月、石炭火力向け支援に関する見直し案として、高効率石炭火力向けの支援は継続するが低効率の石炭火力向けの支援を制限することで合意した。

今後経済発展を進める新興国、途上国がその増大する電力需要に応えるためには、一定程度石炭火力発電プラントの新増設・リプレースに依存せざるをえないことは明らかであり、こうした中、新興国では公的金融支援がなければ、高効率な石炭火力発電プラントよりも低コストながら低効率な発電プラントが導入されることになり、CO₂排出抑制の観点からはむしろ望ましくない結果となる恐れがあることが懸念されている。

こうしたCO₂排出規制の強化に向けた検討の動きがある中、米国政権がトランプ大統領に交代し、気候変動に関する政策変更が明らかになっているものの、長期的な視点に立てば、世界的に気候変動への対策が強化されていくことは避けられないと考えられる。エネルギー資源の大半を輸入に頼る我が国においては、安定供給性やコストの面で優れたエネルギー源である石炭火力は今後も必要不可欠な存在であり、今後も

その役割を継続的に果たしつつ環境影響を抑制していくためには、高効率の石炭火力発電を利用していく必要がある。

また、アジアなどにおいて LNG（液化天然ガス）はいまだ高価格であり、経済発展を進める新興国、途上国がその増大する電力需要に応えるためには、主に自国産の低廉な石炭を使った火力発電に頼らざるを得ない国も多いこと、さらに、これまで IGCC や CCS の開発を推進してきた米国や欧州において、前者では、シェールガス革命により、後者では再生可能エネルギーの大量導入により、高効率石炭火力の開発・導入が停滞している状況下において、日本で IGCC や CO₂ 分離・回収型 IGCC, IGFC の開発を進めることは、低廉な低品位炭に適した発電方式として、今後、電力需要が拡大するアジア・大洋州を中心に海外普及が望め、世界的な CO₂ 排出削減に貢献できることから、重要である。

4. 中間評価結果への対応

平成 23 年度 総合技術科学会議

事前評価コメント	対処方針
<p>国際競争力を確保することが重要であることから、可能な限り事業期間を短縮していくことを検討する必要がある。</p>	<p>本事業設備建設については、建設工程会議（月 1 度程度）に加え、週間工程会議を開催して、工事状況を全関係者で把握し、円滑かつ早期の工事実施を図っている。</p> <p>実証試験については、信頼性の検証試験（長時間耐久試験）を実証初期に行うこと等により、実用化の見通しを早期に得るようにするほか、複数の技術実証をまとめて行うなど、早期実用化に向けて鋭意取組を進めている。</p>
<p>第 2 段階移行評価を行う中間評価の具体的な評価項目、実施時期・方法、評価結果の事業見直しへの反映手順等について、全体の事業計画の中で明確に位置付ける必要がある。</p>	<p>第 2 段階の事業開始直前である本年度に、中間評価を実施している。</p> <p>なお、H26～27 年度に事業実施者の親会社が FS（NEDO 事業として）を実施し、実証を行う CO₂ 分離・回収方式や規模等の実証計画を取り纏め、技術検討委員会に諮った。石炭火力として備えるべき運用性、信頼性を有する CO₂ 分離・回収型 IGCC を構築し、商用化の目途を得ること、さらに CO₂ を回収しても微粉炭火力並みの発電効率を達成することが実証に値すると判断した。</p>
<p>経済産業省においては、今後、実証事業の実施にあたって、全体計画の妥当性や技術的課題についての確かな評価が行われるよう対応を検討していくことが求められる。</p>	<p>本事業の中間・終了時評価については、概ね 3 年ごと（直近では、第 2 段階・第 3 段階を開始する直前である、平成 27 年度・29 年度）に開催される産業構造審議会 評価 WG 等の場において評価を行うこととし、『経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・</p>

	<p>評価基準（平成 25 年 4 月、平成 27 年 4 月）』に基づき評価を実施する。</p> <p>事業者が実施する、外部有識者による技術検討委員会をこれまでに計 12 回開催し、委員の意見・助言を踏まえ、設備計画や実証試験内容に反映している。</p>
--	---

平成 24 年度 産業構造審議会事前評価

事前評価コメント	対処方針
<p>今後、海外に事業展開をするためにも、研究開発成果の帰属にどのようにマネジメントしていくのかという知財戦略を始めのうちに明確に定めるべき。</p>	<p>今後発生する知財に関しては、大崎クーレン内に知財担当窓口を設置した上で、両親会社（電源開発、中国電力）の知財管理部門と一体となって、特許管理、知財の横展開していく。</p> <p>親会社である中国電力、電源開発、および設備メーカーと当社との間で、本事業に関する知財協定を締結している他、プロジェクトの実施意義を最大限に高めるため、「OCG プロジェクト推進会議」を年 1、2 回程度開催し、酸素吹 IGCC の商用化・事業化に関する情報交換等を行っている。</p>
<p>この事業は究極的な技術開発を目指しており、長期的な視点で見る必要がある。日本が一番独占できる方向に持って行くためには、燃料電池の熱利用や冷却に関する技術開発等も前もって取り組むなど、第 3 段階までの見通しを早急につけるべき。</p>	<p>親会社で、以下の IGFC に関する検証を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ EAGLE Step1（平成 14～18 年度） ガス精製設備の性能評価を実施 ○ NEDO 「IGFC 向け石炭ガス化ガスのクリーンナップ要素研究」（平成 24～26 年度） ○ NEDO 「燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術適用性調査」（平成 26 年度） ○ NEDO 「燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究」（平成 27 年度～）

平成 25 年度 総合科学技術会議フォローアップ

事前評価コメント	対処方針
<p>必要な分析を行い、コストも考慮して研究開発を進めていると認められるが、初期コストの低減に向けて取組を進める必要がある。</p> <p>市場や海外での技術開発の動向を継</p>	<p>コスト評価のベースとなる実証試験設備コストについて、競争入札、仕様の詳細精査、現地工事の最適化等により事業開始時点より削減を図っている。</p>

<p>続的に把握し、競争力・採算性の詳細な分析を進め、コスト等に関する適切な目標の設定や見直しを行い、研究開発実施内容に反映させることが求められる。</p>	<p>今後、実証試験において、技術開発によるコストダウン効果やランニングコスト等の評価を実施し、競争力や採算性の詳細な分析を行う。</p>
<p>事業状況に応じ、売電収入の取扱いを踏まえた国の予算計画を中間評価に適切に反映させることが望まれる。</p>	<p>補助金適正化法等に則り、適切に処理するスキームを引き続き構築中。</p>
<p>先進国ではCO2排出規制が強化されており、石炭火力発電システムの導入時にはCO2分離・回収技術との組み合わせが必須になりつつある。</p> <p>本プロジェクトの第2段階のCO2分離・回収型IGCCを想定した、競争力強化方策を含む市場戦略を具体化する必要がある。</p>	<p>相手国との交流を図り、相手国の電力ニーズ等の把握を行っている。</p> <p>今後の国際展開を見据え、アメリカ・オーストラリア等での国際会議において、プロジェクトの概要や進捗状況について発表を行った。また、産炭国であるオーストラリアのメディア視察受入を行っており、今後も継続的に行っていく。そのほか、親会社とも協調しながら、産炭国に加え石炭輸入国（台湾等）等の海外電力会社および電力技術者の見学受け入れを積極的に実施していくこととしており、JICA研修事業の一環としてモンゴルやミャンマー等の電力技術者の受入を実施している。</p> <p>酸素吹ガス化は燃料成分濃度が高いため、合成燃料製造等の化学分野と電力との組み合わせで展開を図っていく。</p>

平成27年度 中間評価

産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

ワーキンググループコメント	コメントに対する対処方針
<p>海外市場を含めて非常に重要な技術であることから、今後もしっかりと海外の動向を把握し、研究計画に反映すること。</p>	<p>従前より海外動向を把握しながら、事業を実施しているが、引き続きこの取組を継続し、必要に応じて研究計画に反映する。</p>
<p>親会社との連携が非常に重要であり、特に事業者（電力会社）のみならず、メーカーも成果普及に関わることができるような知財の所有等について、今後も親会社と連携して取り組むこと。</p>	<p>プロジェクトに関する各メーカーと、将来的な事業展開に活用できるように知財権の実施及び実施許諾等の取扱いを定める知財協定を締結し、発電用途及び発電以外の用途向けの成果普及について、メーカーが関わる事ができる体制を構築する。成果普及にあたっては、知財の共有先でもある両親会社と連携して取り組む体制を継続</p>

	している。
第2段階については特に費用対効果をよく意識し、研究計画に反映していくこと。	第2段階の研究計画については、エネルギー関係技術開発ロードマップ（2014年12月）に示す費用原単位（2020年代で2,000円台/t-CO ₂ ）を商用段階のベンチマークとして、引き続き費用対効果を検証しながら、必要に応じて研究計画に反映していく。

平成27年度 中間評価

総合科学技術・イノベーション会議 評価専門調査会

区分	指摘事項概論	対応方針
事業戦略	・海外の動向を把握し、研究計画に反映	・石炭ガス化炉、IGCC、CO ₂ 分離・回収等に関する最新技術動向調査を実施している。
	・酸素吹の用途を開拓、空気吹との役割分担を含めた展開戦略を立案	・酸素吹ガス化炉の優位性、多用途化等も見据えた事業展開戦略の検討を行う。
	・海外での事業採算性の検討	・海外案件発掘を見据えた酸素吹石炭ガス化炉の事業採算性の検討を行う。
	・酸素吹IGCCとCCSを組合せたパッケージとしての石炭ガス化複合発電技術確立	・CCS技術の情報収集のため、苫小牧CCS事業等の状況調査を実施している。 ・CO ₂ 液化、輸送、貯留技術の調査を実施する。
知財戦略	・事業者（電力会社）、メーカーも成果普及ができるような知財の所有等に関する取組	・第2段階含めEPCメーカーと知財協定を締結する。 ・知財管理体制を構築した。
	・海外との協力関係構築や第3国による技術盗用への防衛策等を含めた知財戦略を立案	・海外における知財戦略を検討する。
経済性	・商用機を想定した酸素製造コスト削減のための方策検討	・酸素製造技術の最新動向を調査する。
	・イニシャルコスト、ランニングコストの縮減、及び高い送電端効率の追求	・実証試験結果を踏まえ、商用化を検討する。
	・第2段階については特に費用対効果を意識し、研究計画に反映	・CO ₂ 分離・回収技術の最新動向を調査している。 ・第2段階事業実施を通じて、コスト縮

		減、効率向上手法を検討する。
第3段階 に向けて	・燃料電池メーカー等と連携し、酸素吹IGCCへの燃料電池の組み入れが実施できるよう研究開発を加速	・IGFC関連技術の最新動向を調査する。 ・第3段階に向けた調査研究及び概念設計を実施する。

5. 評価に関する事項

以下に本プロジェクトに係る評価の履歴を示す。

- 総合科学技術会議（第101回）
実施時期：平成23年12月
（評価専門調査会：10月、12月 評価検討会：10月、11月）
- 産業構造審議会 産業技術分科会 第58回評価小委員会
実施時期：平成25年3月
（評価検討会：平成24年12月、平成25年1月）
- 総合科学技術会議 評価専門調査会（第103回）
実施時期：平成25年11月
（評価専門調査会：5月 フォローアップ検討会：7月）
- 産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・評価小委員会ワーキンググループ
実施時期：平成27年8月
（評価検討会：6月、7月）
- 総合科学技術・イノベーション会議（第14回）
実施時期：平成27年12月
（評価専門調査会：9月、11月 評価検討会：10月）

【評価委員】

- 総合科学技術会議（第101回）評価検討会評価委員

奥村 直樹	総合科学技術会議 議員
松橋 隆治	評価専門調査会 専門委員
伊藤 恵子	評価専門調査会 専門委員
中杉 修身	評価専門調査会 専門委員
君島 真仁	芝浦工業大学 システム理工学部 機械制御システム学科 教授
佐藤 義久	大同大学 工学部 電気電子工学科 教授
松村 幾敏	JX日鉱日石エネルギー 顧問
吉識 晴夫	帝京平成大学 健康メディカル学部 教授

- 産業構造審議会 産業技術分科会 評価検討会

堤 敦司 東京大学 エネルギー工学連携研究センター 教授
 内山 洋司 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻 教授
 尾崎 和弘 電気事業連合会 技術開発部長
 東嶋 和子 サイエンス・ジャーナリスト
 村岡 元司 株式会社N T Tデータ経営研究所
 社会・環境戦略コンサルティング本部 本部長 パートナー

○総合科学技術会議評価専門調査会（第103回）評価委員（フォローアップ検討会）

久間 和生 評価専門調査会 会長
 竹中 章二 株式会社東芝執行役常務待遇 スマートコミュニティ事業統括部
 首席技監
 松橋 隆治 東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻教授
 君島 真仁 芝浦工業大学 システム理工学部 機械制御システム学科 教授
 松村 幾敏 元 JX 日鉱日石エネルギー 顧問
 吉識 晴夫 東京大学名誉教授

○産業構造審議会 産業技術環境分科会 中間評価検討会

堤 敦司 東京大学 生産技術研究所
 エネルギー工学連携研究センター特任教授
 内山 洋司 筑波大学 名誉教授
 梅田 健司 電気事業連合会 技術開発部長
 東嶋 和子 サイエンス・ジャーナリスト
 藤井 俊英 電気事業連合会 技術開発部長
 村岡 元司 株式会社N T Tデータ経営研究所
 社会・環境戦略コンサルティング本部 本部長 パートナー

○総合科学技術・イノベーション会議（第14回）評価検討会評価委員

久間 和生 総合科学技術・イノベーション会議議員
 原山 優子 総合科学技術・イノベーション会議議員
 菱沼 祐一 東京ガス株式会社 燃料電池事業推進部長
 松橋 隆治 東京大学大学院 工学系研究科 教授
 岡崎 健 東京工業大学 ソリューション研究機構 特命教授
 岡崎 照夫 日鉄住金総研株式会社 調査研究事業部 環境エネルギー部長
 佐藤 義久 東京工業大学 原子炉工学研究所 非常勤講師
 竹内 純子 特定非営利活動法人 国際環境経済研究所 理事・主席研究員
 巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部
 事業企画ユニット シニアコーディネーター
 田中 加奈子 国立研究開発法人 科学技術振興機構
 低炭素社会戦略センター 主任研究員
 原田 道昭 一般財団法人石炭エネルギーセンター 上席調査役

3. 研究開発成果について

1. 事業の全体の成果

1-1. 酸素吹 IGCC 実証

総合試運転が終了した時点で、事業初年度（H29 年度）に設定した中間目標に対し、研究開発項目、目標に対する成果と達成度及び課題等を表 3-1 に整理した。

達成見込みが十分であると判断しており、今後、さらに良好な試験結果を得られるよう取り組んでいく。

表 3-1 酸素吹 IGCC 実証の中間目標（平成 29 年度）および達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度※	今後の課題と解決方針
発電効率	送電端効率(HHV):40.5%程度を達成する	試運転におけるプラント性能確認にて、送電端効率40.8%を確認し、当初目標を達成した	○	H28-30 年度の実証試験を通じて、実績を積上げる
環境性能	SOx (O2=16%):8ppm NOx (O2=16%):5ppm ばいじん (O2=16%):3mg/Nm3 を達成する	試運転におけるプラント性能確認にて、目標値以下となっていることを確認し、当初目標を達成した	○	H28-30 年度の実証運転を通じて、実績を積上げる

※○達成、△達成見込み（中間）、×未達

総合試運転が終了した時点で、事業最終年度（H30 年度）に設定した最終目標、研究開発項目、現状、達成見通しを表 3-2 に整理した。

現時点においても、各目標の達成見込みが十分であると判断しており、今後、さらに良好な試験結果を得られるよう取り組んでいく。

表 3-2 酸素吹 IGCC 実証の最終目標（平成 30 年度）および達成見通し

研究開発項目	現状	最終目標 (平成 30 年度末)	達成見通し
プラント制御運用性	試運転において、当初目標である負荷変化率 3%/分の見通しを得た	事業用火力設備として必要な運転特性及び制御性を確認する。	H28-30 年度の実証運転を通じて、事業用火力として必要な運転特性及び制御性を確認できる
設備信頼性	IGCC 定格出力まで段階的に試験を進め、各設備の性能等を評価した	商用機において年間利用率 70%以上の見通しを得る	H29 年度の実証運転において長時間耐久試験を実施し、年間利用率 70%の見通しが得られる

多炭種適用性	試運転期間においては、設計炭1炭種を用いて適合性を評価した	灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する	H30年度に他の設計炭2炭種を含む数炭種を用いた運転を実施することで適合性を確認できる
経済性	建設費、保守運転費を確認中	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	実証運転を通じて保守運用費を検証することで、発電原価が微粉炭火力と同等以下となる見通しを得る

1-2. CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証

H28年度はCO2分離回収設備の設備仕様を決定し、契約手続きを実施した。平成29年度の間目標に対し、成果と達成度及び課題等を表3-3に、最終目標の達成見通しを表3-4に整理した。

表3-3 CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証の間目標（平成29年度）および達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証研究	CO2分離・回収設備の詳細設計を完了する	詳細設計のための基本設計を完了した	△	H29年度末には詳細設計を完了する必要がある
低温サワーシフト触媒実証研究	主要機器（制御システム以外）の詳細設計を完了する	基本設計を実施し、システム構成、機器仕様を決定した	△	H29年度には主要機器の詳細設計を完了する必要がある

※○達成、△達成見込み（中間）、×未達

表3-4 CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証の最終目標（平成32年度）および達成見通し

研究開発項目	現状	最終目標 （平成30年度末）	達成見通し
システム基本性能の検証（発電効率）	基本設計にて目標達成に向けた設備仕様を決定し、購入手続きを実施中	新設商用機においてCO2を90%回収しつつ、発電効率40%程度の見通しを得る	H31～H32年度の実証運転にて目標効率を達成の見込み

システム基本性能の検証（回収効率・純度）	基本設計にて目標達成に向けた設備仕様を決定し、購入手続きを実施中	C02 分離・回収装置において C02 回収効率 99%以上 回収 C02 純度 99%以上 を達成する	H31～H32 年度の実証運転にて、目標効率・純度を達成の見込み
プラント運用性・信頼性の検証	基本設計にて目標達成に向けた設備仕様を決定し、購入手続きを実施中	C02 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	H31～H32 年度の実証運転にて、運用手法を確立する見込み
経済性の検証	基本設計にて目標達成に向けた設備仕様を決定し、購入手続きを実施中	商用機における C02 分離・回収の費用原単位を評価する	H31～H32 年度の実証運転にて、費用原単位の評価が得られる
低温作動型サワーシフト触媒実証	実証試験の基本設計を実施中	送電端 40%程度を達成可能な運転条件で、1 年程度の性能維持を確認する	H31～H32 年度の実証運転にて、目標を達成の見込み

2. 研究開発項目毎の成果

2-1. 酸素吹 IGCC 実証

2-1-1. 実証試験設備建設

酸素吹 IGCC 実証試験設備は、敷地の大半が造成済みであり、既設の揚運炭設備、石炭貯蔵設備、上水や軽油等のユーティリティ供給設備、復水器冷却水取放水設備及び煙突を利用することが可能で、より合理的に実証試験を行うことが出来る中国電力大崎発電所構内に建設している。（図 3-1）

また、166MW の酸素吹 IGCC 実証試験設備について、必要な土木・建築工事、機械・電気・制御装置の設計、製作及び据付工事を行う他、建設した実証試験設備と大崎発電所既設設備との接続を行っている。

建設は平成25年3月に着工し、石炭前処理設備、ガス化炉設備、ガス精製設備、複合発電設備、排水処理設備、空気分離設備に区分して進めた。平成27年度末で、機械・電気設備の主な大物機器の据付け、単体試運転が完了、平成28年4月からガスタービン点火、同6月に初並列、同7月石炭でのガス化炉火入れを行い、8月より総合試運転を実施し、平成29年3月から実証試験を開始した。

(1) 全体設備設計検討

①地点

(a) 実証試験の実施計画地点

広島県豊田郡大崎上島町中野 6208 番地 1
中国電力株式会社 大崎発電所構内

(b) 敷地形状

対象事業実施区域：中国電力大崎発電所敷地面積 約 50 万 m²
そのうち、実証設備設置予定地 約 5 万 m²

実証試験設備は図 3-1 に示す対象事業実施区域のうち、大崎発電所 1-2 号機の建設が予定されていた（平成 20 年 6 月に建設計画中止）区域に設置している。

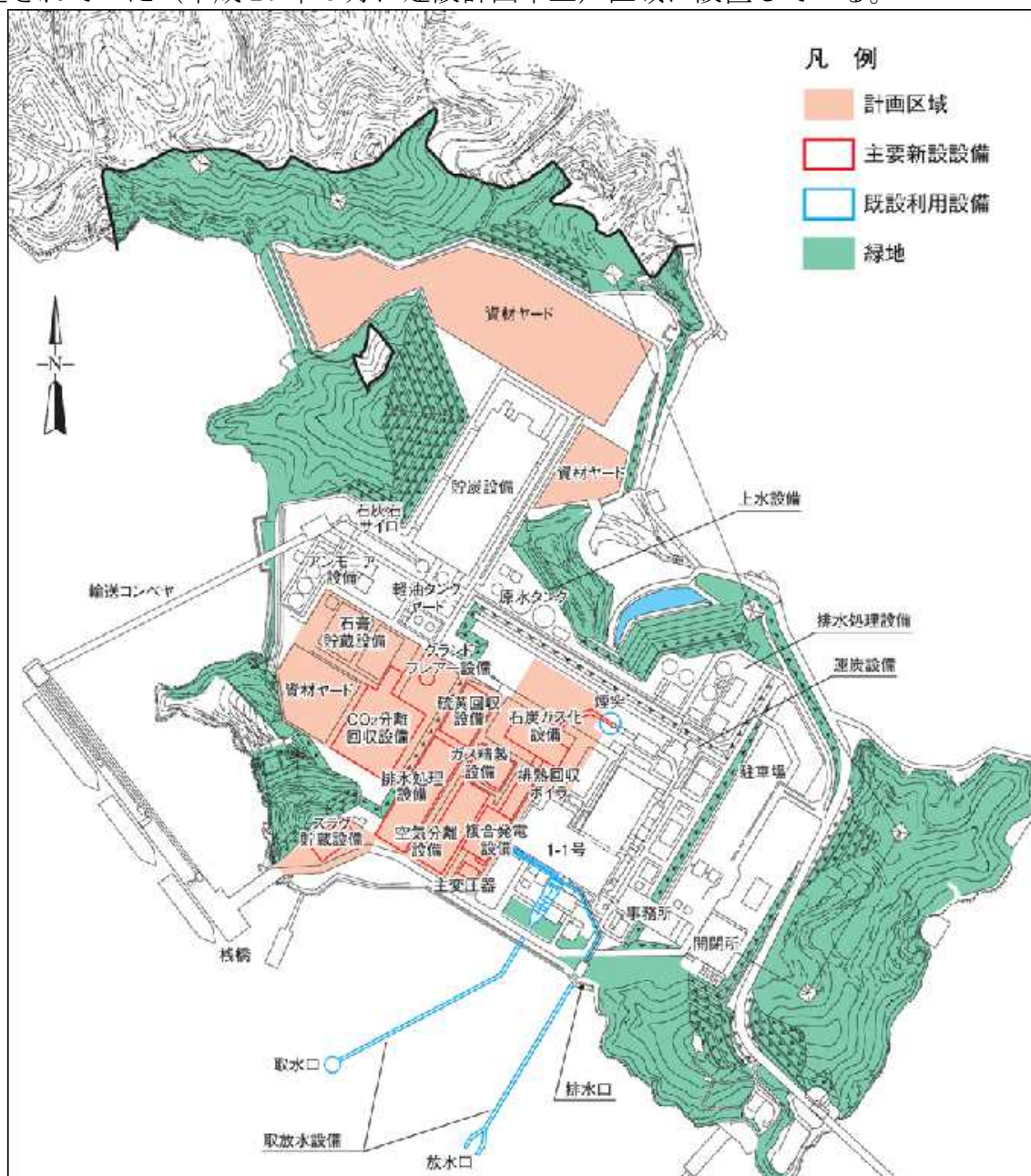


図 3-1 敷地形状図

②環境諸元

(a)ばい煙

石炭火力発電設備として、最高水準の環境性能を満足するべく、ばい煙諸元を表 3-5 のとおり設定した。

表 3-5 ばい煙諸元

項目		単位	計画値	環境保全対策
硫黄酸化物	排出濃度	ppm	10	湿式化学吸収法および湿式石灰石膏法による脱硫
	排出量	m ³ N/h	12	
窒素酸化物	排出濃度	ppm	6	ガスタービン (GT) 低 NO _x 燃焼器および乾式アンモニア接触還元法による脱硝
	排出量	m ³ N/h	8	
ばいじん	排出濃度	mg/m ³ N	5	サイクロン・キャンドル型フィルタによる乾式脱じん
	排出量	kg/h	6	

注：排出濃度は乾きガスベースで O₂=16%換算値にて示した。

(b)排水

大崎クールジェン株および中国電力が広島県および大崎上島町と締結している「環境保全に関する協定書」の記載値以下となるようにするとともに、大崎発電所構内から海域へ排出する排水量は、実証設備および大崎発電所からの排水量の合計が日最大量 650m³/日以下とするよう運用する計画である。

(c)基本計画

設備計画として酸素吹 IGCC 商用機には、微粉炭に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から灰融点の高い亜瀝青炭までの適用炭種の広さがもとめられるために以下を考慮した。

・石炭ガス化方式

石炭ガス化方式は、ガス化効率が高く、燃料電池を組み合わせた石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) による飛躍的な発電効率の向上が期待できるとともに、発電以外の産業への幅広い分野に適用が期待できる酸素吹方式を採用する。

酸素吹石炭ガス化方式は石炭のガス化剤に酸素を使用する方式で、石炭ガス化ガスの主成分が一酸化炭素 (CO) と水素 (H₂) であることから、IGCC 用のみならず IGFC 用または合成燃料・化学原料製造などの多目的用として開発が進められてきた。

本実証試験では、パイロット試験で開発および検証が進められた EAGLE 炉をスケールアップして、実証規模での検証を行う。

・炭種

設計炭は、EAGLE パイロット試験の成果を踏まえ、高効率・安定運用を見込むことができ、かつ各設備の容量計画に用いる炭種とし、表 3-6 に示す A 炭、B 炭、C 炭の 3 炭種とする。特に、EAGLE パイロット試験で豊富なデータを有する B 炭を性能確認炭とする。

A 炭： 水分が多く、発熱量が低い炭 (亜瀝青炭)

B 炭： 性能確認炭 (亜瀝青炭)

C 炭： 硫黄分が高く、灰分が高い炭（瀝青炭）

表 3-6 炭種性状一覧表

			設計炭		
			性能確認炭		
銘柄			A 炭	B 炭	C 炭
項目	ベース	単位			
発熱量	恒湿	MJ/kg	22.6	25.2	27.4
全水分	到着	%	31.5	27.4	14.5
水分	恒湿	%	17.6	13.1	9.01
灰分	恒湿	%	3.0	1.7	6.01
揮発分	恒湿	%	39.8	42.9	40.70
固定炭素	恒湿	%	39.6	42.3	45.07
全硫黄	恒湿	%	0.13	0.12	0.70
燃料比	恒湿	-	0.99	0.99	1.13

・出力規模

出力規模は、パイロット試験により得られた知見に基づき、石炭ガス化設備・ガス精製設備・複合発電設備等全体システムの連携を考慮した適正なスケールアップについて検討を行い設定した。

一般的に、ボイラやガス化炉等、一定の容積、圧力条件下で燃焼やガス化などの熱反応を伴う設備をスケールアップするにあたり、技術開発の設備（パイロット規模）に対し経験的知見からも 10 倍以内のスケールで実証設備を構築している。

先行機のスケールアップ実績および本実証機スケールアップ計画を図 3-2 に示す。実証設備は、スケールアップ実績である EAGLE 炉（150t/d）の 10 倍以内とし、その中で選定可能な高効率ガスタービン出力を考慮し、石炭処理量を 1,180t/d に設定している。また、実証設備から商用規模へのスケールアップも海外先行機と同程度の比率とすることが可能である。

この規模でもっとも高効率な発電システムが実現可能なガスタービンとして、タービン入口温度が 1,300℃級である 100MW 級ガスタービンを採用する。さらに、ガス化炉ならびにガスタービンの下流に設置する排熱回収ボイラから発生する蒸気流量等を踏まえ、発電システムとして最適な蒸気タービンを選定した。これにより、大気温度 5℃においてガスタービン出力は 108MW、蒸気タービン出力は 58MW より、実証設備の合計出力は 166MW となる。

海外先行機とのスケールアップの比較					(石炭処理量)
GE炉	パイロット	→	実証機	→	実証機
	165 t/d	約6倍	1,000 t/d	約2.3倍	2,300t/d (Tampa)
Shell炉	パイロット	→	実証機		
	250 t/d	約8倍	2,000t/d(Buggenum)		
EAGLE炉	パイロット	→	実証機 (本実証事業)	→	商用機
	150 t/d	約8倍	1,180t/d	約2.5倍	3,000t/d級

出典：“Gasification Technology Status-December 2006 Product ID Number 1012224”
Electric Power Research Institute (EPRI)

(参考) 国内空気吹先行機のスケールアップ (石炭処理量)

勿来IGCC	パイロット	→	実証機	→	商用機
	200 t/d	約8.5倍	1,700t/d	約2倍	実証規模の約2倍と想定

勿来IGCC 出典) 日本ガスタービン学会誌 Vo137 NO.2 (2009年3月)

図 3-2 先行機の実績と本実証機のスケールアップ計画

・基本仕様

実証設備の基本仕様を表 3-7 に示す。

ガス化炉はEAGLE 炉をスケールアップした酸素吹一室二段旋回型噴流床ガス化炉である。ガス化炉へ高圧で微粉炭を吹き込むための石炭前処理設備、ガス化用酸素の供給設備として、深冷分離方式の空気分離設備を設置する。ガス精製設備の方式には、パイロット試験で検証した湿式化学吸収法および湿式石灰石膏法を適用する。このほか、ガス化炉へ高圧で微粉炭を吹き込むための石炭前処理設備、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせて高効率発電を実現する複合発電設備、主変圧器のほか、取放水設備、排水処理設備、燃料設備、グランドフレア等の付属設備などで実証設備を構成する。これら付属設備の一部は実証試験実施地点の既設発電所の設備を共用する。

表 3-7 酸素吹石炭ガス化複合発電実証設備の基本仕様

主要機器	基本仕様
石炭前処理設備	微粉炭搬送：差圧搬送制御方式
石炭ガス化設備	酸素吹一室二段旋回型噴流床方式
空気分離設備	加圧深冷分離方式
ガス精製設備	湿式化学吸収法（MDEA） 湿式石灰石石膏法
排熱回収ボイラ（HRSG）	再熱複圧自然循環型
ガスタービン（GT） 蒸気タービン（ST）	1軸型コンバインドサイクル発電方式 ガスタービン：開放サイクル型 蒸気タービン：再熱復水型
発電機	全閉横置円筒回転界磁形同期発電機
主変圧器	導油風冷式
排煙脱硝装置	乾式アンモニア接触還元法
排水処理設備	プロセス排水処理設備
	排水処理設備（ドラムブロー水，生活排水処理）
取放水設備	深層取水（海底取水管方式）／水中放水
付属設備	グラントフレア
	軽油サービスタンク
	運炭設備 新設部分：ベルトコンベヤ方式
	運炭設備 既設部分：ベルトコンベヤ方式
	屋内式貯炭場
	軽油タンク
	自然循環式所内ボイラ
	鋼製自立形煙突

注：黄色箇所は、新規建設設備を示す。

③全体配置図

(a)計画条件

実証設備の機器配置は図 3-3 に示す通り、大崎発電所 1-2 号機の建設が予定されていた区域を含む造成済みの空地进行を有効に活用するとともに、大崎発電所から燃料の石炭や上水等のユーティリティの供給を受けることにより、運炭設備および港湾設備等の新たな建設工事を行わないこととしている。また、煙突および復水器冷却水取放水設備については、大崎発電所の既設設備を利用することにより、新たに大規模な土地の造成を行わない計画とする。

上記理由により、実証設備の機器配置については新規にプラントを計画する場合に比べて一定の制約が発生するものの、既設設備を最大限活用することによって、設備費用を極力低減している。

(b)主要機器配置の考え方

実証試験設備の全体配置は、大崎発電所既設設備の共用、建設工事の円滑化等を考慮の上、各設備を最適配置し合理化に努めるとともに、関連法規に準拠した離隔距離確保する。

- ・ 設備配置の基本的な考え方は、大型設備であるガス化炉設備およびコンバインド設備の配置を決定したうえで、その他設備を最適配置する。
- ・ 既設流用する石炭コンベヤの位置を考慮して石炭前処理設備を配置し、石炭前処理設備にガス化炉設備を隣接させる。
- ・ 復水器冷却水取放水設備、開閉所との繋ぎ込みおよび煙突位置を考慮し、コンバインド設備を大崎発電所 1-1 号機建屋と隣接する形で配置する。
- ・ グランドフレア設備については、周辺設備での影響および安全性を考慮して配置する。
- ・ 設備の保安区画は「発電用火力電気設備に関する技術基準を定める省令（経済産業省）」で規定されている設備間距離が保たれるよう配置する。

設備名		考え方	
	石炭前処理設備	既設石炭コンベヤを延長して石炭を受入れる計画であることから、石炭コンベヤ延長距離が最短となり、かつ微粉炭乾燥用排気ダクトの繋ぎ込みを考慮した位置に配置する。	
	石炭ガス化設備	石炭前処理設備からの石炭供給距離の短縮化を図るため、排熱回収ボイラ設備（HRSG）煙道を挟んで石炭前処理設備に隣接して配置する。	
	ガス精製設備	ガス精製設備	ガス化炉設備および複合発電設備との中間プロセスとなることから、取合い配管が最短となるようガス化炉設備の南側に配置する。また、可燃性ガスを取扱う設備のため、火気取扱設備であるガス化炉、ガスタービンより 8m 以上の離隔距離を確保する。
		リサイクルガス系統設備	ガス精製設備からの精製ガスをガス化炉設備へ再供給するため、それぞれの設備に近接するように、道路を挟んで、各設備の西側に配置する。
		硫黄回収系統	入口側ガスの腐食性が高いため、ガス精製設備から硫黄回収系統までのダクト敷設距離が短くなるよう、ガス精製設備の北西側（RG 圧縮機の北側）に配置する。
	複合発電設備	ガスタービン（GT） 蒸気タービン（ST） 発電機	複合発電設備の配置は、ガス精製からの燃焼ガス供給系統、ガスタービン排ガス系統、循環水系統、主変圧器配置の全体最適化を検討し、実証試験設備の南西位置に配置する。
		排熱回収ボイラ（HRSG）	HRSG～煙突の繋ぎ込み距離および微粉炭乾燥用排ガスダクト（HRSG～ミル）が最短となるよう前処理設備の南側に配置する。
	排水処理設備（新設）	主としてガス化炉設備とガス精製設備排水を処理することから、両設備近傍となるガス精製設備の南西側に設置した。	
	空気分離設備	他設備との全体バランスを考慮し、ガス精製設備南側に配置する。酸素が支燃性であることから、可燃性ガスを扱うガス化炉設備とガス精製設備より 8m 以上の離隔距離を確保する。	
	電気設備	主変圧器	開閉所への繋ぎ込みを配慮し、複合発電設備の南側に配置する。
		所内変圧器	IPB 分岐長さが最小となるよう主変圧器の西側に隣接して配置する。
	付帯設備	煙突	大崎発電所 煙突外筒を利用して設置する。
		ベントガス処理設備（グラウンドフレア）	グラウンドフレアからの熱的影響を考慮し高さのある工作物に対して距離を取った位置に配置する。

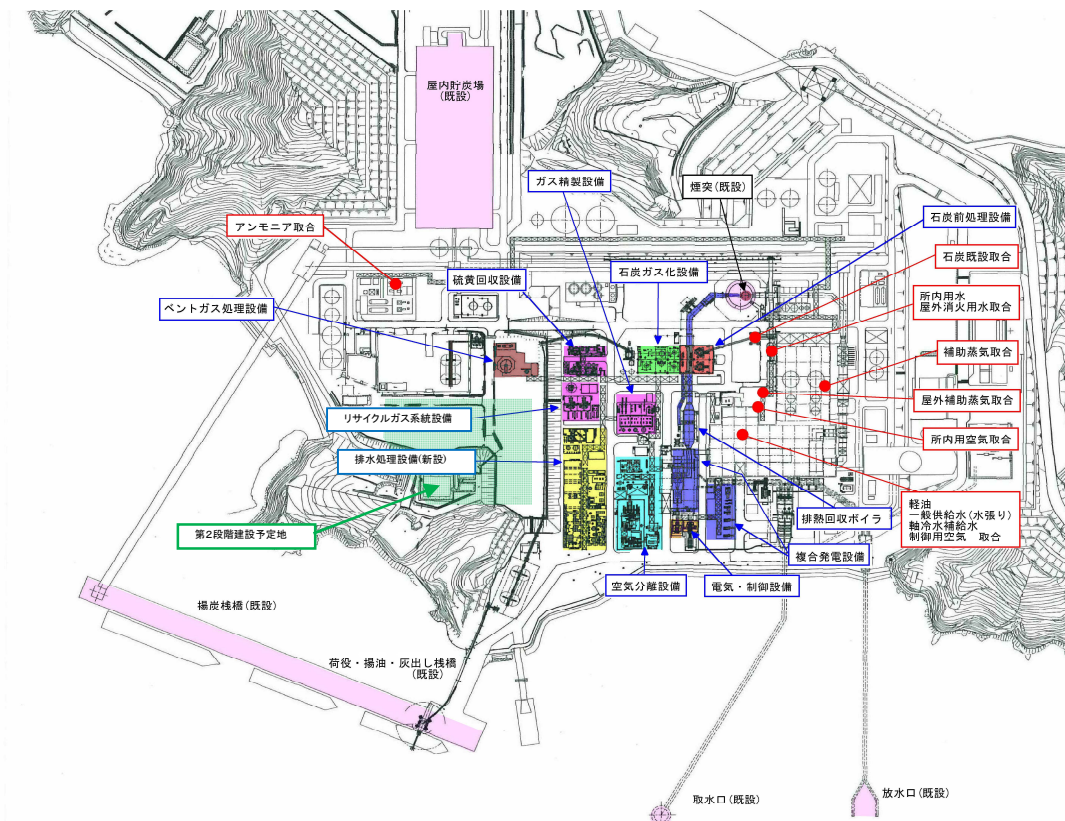


図 3-3 全体配置図

(2) 個別設備の詳細検討

①石炭前処理設備

図 3-4, 3-5 に石炭前処理設備機器配置図および完成写真を示す。石炭は石炭前処理設備で粉碎乾燥させて微粉炭とし、搬送用媒体として純度 99.5vol%以上の窒素を用いた差圧搬送によってガス化炉へ供給する。燃料搬送方式には微粉炭と水を混ぜたスラリー方式もあるが、同方式はスラリー中水分の蒸発潜熱が大きいいため、ガス化炉の冷ガス効率を高めることができるドライフィード方式を採用する。

また、ガス化炉および熱回収ボイラ (SGC) を出た生成ガスに含まれるチャーは、サイクロンおよびチャーフィルタにて加圧下で回収され、 N_2 気流搬送によって、ガス化炉のチャーバーナに供給される。

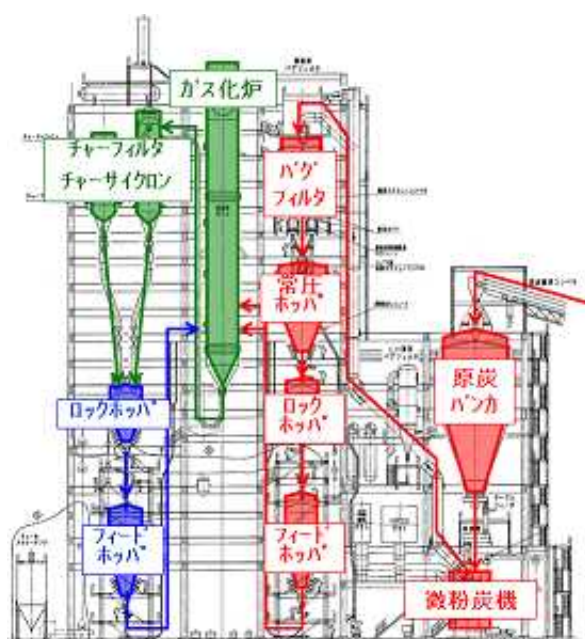


図 3-4 石炭前処理設備機器配置図

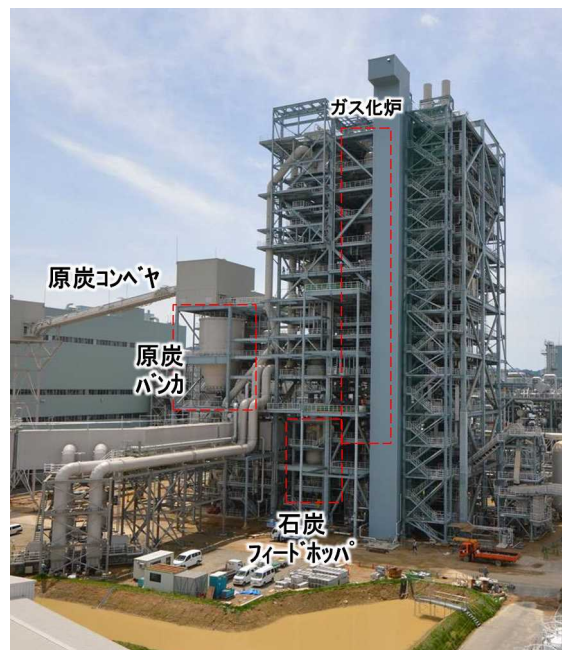


図 3-5 石炭前処理設備

②石炭ガス化設備

ガス化炉について、図 3-6、3-7 に完成写真と断面図を示す。酸素吹一室二段旋回型噴流床ガス化炉で、ガス化剤は純度 95.0vol%以上の酸素である。

ガス化炉の炉壁は、水冷管で冷却されており（水冷壁）、高温に耐えられるよう設計されているのと同時に、炉内のガス化反応で生じた熱を水冷管で回収して蒸気を発生させる。温度が特に高いガス化部の内面には耐火材が施工されているが、ガス化運転中は耐火材表面にスラグが付着し、水冷壁の冷却によって一部が固化し、コーティング層を形成して耐火材および水冷壁を保護する（スラグコーティング）。

ガス化炉で生成した高温の石炭ガス化ガス（生成ガス）の顕熱を回収するため、ガス化炉上部の熱回収部および、ガス化炉後段に熱回収ボイラ (SGC) を配置し熱交換により飽和蒸気を生成、複合発電設備の排熱回収ボイラ (HRSG) で発生する高圧飽和蒸気と合流後、HRSG 過熱器で過熱され、蒸気タービンへ供給される。

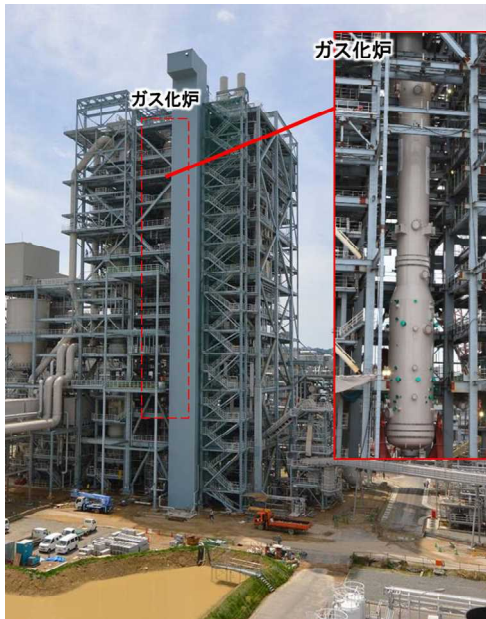


図 3-6 石炭ガス化炉

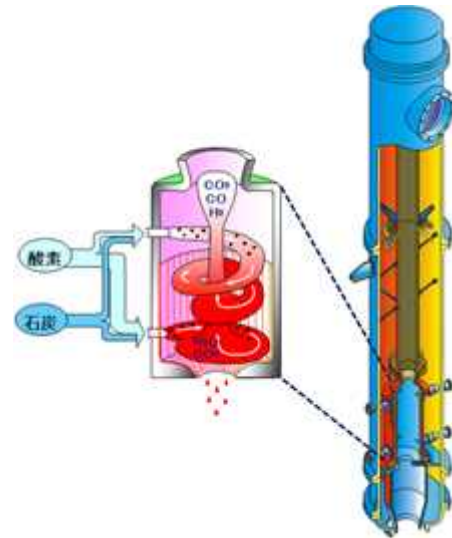


図 3-7 石炭ガス化炉断面図 (EAGLE ガス化炉)

③ガス精製設備

(a) 生成ガス精製系統設備

石炭ガス化設備からガス精製設備（図 3-8 参照）に供給された生成ガスには、硫化水素（ H_2S ）、残留ダスト、ハロゲン系成分、アンモニア（ NH_3 ）等が含まれる。これら成分は、腐食や吸収塔吸収液（MDEA）の劣化要因となる。また、 NH_3 は、ガスタービンにおいてフューエル NO_x を生成させる。このため、ベンチュリースクラバを設置し生成ガス中のダストを除去、棚段式の水洗塔においてハロゲン、 NH_3 を水洗除去する。生成ガス中の硫黄分の形態は、硫化水素（ H_2S ）および硫化カルボニル（ COS ）である。生成ガスからの硫黄分除去には、パイロット試験で使用実績がある触媒による COS 転化方式と湿式化学吸収方式を組み合わせ用いる。吸収塔吸収液（MDEA）は、 H_2S を吸収するが COS は吸収しない特性があるので、吸収塔の上流で COS 加水分解反応（ $\text{COS} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2$ ）により COS を H_2S に転化する。

COS 転化触媒は、パイロット試験で使用実績がある酸化チタン系触媒を使用する。この触媒はハロゲンによる被毒に対して比較的耐性のある触媒であるが、ハロゲン存在下に長時間晒されることにより劣化を生じ得ることから、 COS 転化器の信頼性を優先し、 COS 転化器はハロゲンを除去する第一水洗塔下流側に設置する。

吸収塔で H_2S を吸収した吸収液は、再生塔で脱圧、加熱されて H_2S を脱離し、脱離した H_2S は硫黄回収系統へ送られ、石膏として固定化、回収される。

吸収塔出口の精製ガス温度は約 50°C まで低下するため、ガス精製入口ガス／ガス熱交換器でチャーフィルタ出口ガス（ガス精製入口ガス）と熱交換し、約 340°C まで上昇させ、ガスタービン燃焼効率を上昇させ、燃料消費流量低減を図る。

(b) リサイクルガス系統設備

ガス精製設備の吸収塔出口精製ガスの一部は、チャーフィルタの逆洗ガス、ガス化炉および SGC のスートブローガスなどとして利用するため、リサイクルガス圧縮機でそれぞれの機器に昇圧供給する。

(c) 硫黄回収系統

図 3-9 に硫黄回収設備を示す。硫黄回収系統は、ガス精製設備の再生塔で脱離された H_2S を含む酸性ガスを受け入れ、再生排ガス処理炉において硫黄分を SO_2 に酸化する。燃焼ガスは次工程の硫黄回収吸収塔へ供給する。

硫黄回収吸収塔の吸収液は高濃度のカルシウムや亜硫酸を含むため、亜硫酸カル

シウムなどの付着によるスケーリングが運転の障害になる場合がある。このため、硫黄回収吸収塔には、スケーリングによる運転障害を生じにくいスプレー塔を適用し、石灰石石膏法により、SO₂を石膏として固定し、脱水機で水分除去し、製品石膏として回収する。

再生排ガス処理炉において、SO₂の一部はSO₃となる。石灰石石膏法ではSO₃の除去率が低いことから、湿式電気集じん器によりSO₃を除去する。



図 3-8 ガス精製設備



図 3-9 硫黄回収設備

④複合発電設備

図 3-10, 3-11 に複合発電設備系統図と完成写真を示す。ガスタービンは 100MW 級 GT を用いる。燃焼器には分散混合型燃焼器を適用し、燃焼速度の速い燃料ガスに対して、耐逆火性と低 NO_x の両立を可能としている。

ガス化炉上部熱回収部および SGC 給水は HRSG で予熱された給水が送られる。また、HRSG への給水は、各設備の蒸気加熱器から回収したドレンで加熱した上で供給する。

蒸気サイクルは再熱複圧とする。HRSG では、石炭ガス化設備で発生した高圧蒸気を HRSG で発生した高圧蒸気と混合、過熱器を通過させた後、高圧蒸気タービンへ供給する。高圧蒸気タービンを出た蒸気は HRSG で発生した中圧蒸気と混合、再熱器通過後、中低圧蒸気タービンを駆動し、復水器（真空度 722 mmHg）で冷却され復水となる。また、HRSG は脱硝設備を有し、燃焼ガス中の NO_x を低減する。

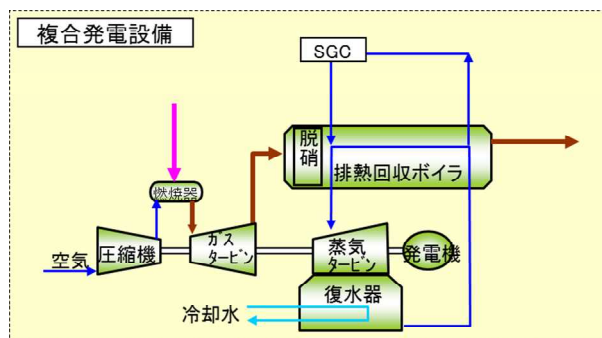


図 3-10 複合発電設備系統図

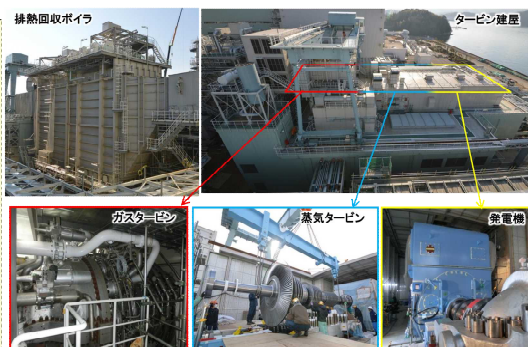


図 3-11 複合発電設備

⑤排水処理設備

図 3-12、3-13 に排水処理フロー図と完成写真を示す。新設するプロセス排水処理設備は、実証プラントの石炭ガス化設備、生成ガス精製系統、硫黄回収系統で発生する、COD、NH₃ 等を含む IGCC 特有の排水を、排水基準を満足する水質にまで処理するための設備である。

IGCC 特有の排水に含まれる各対象成分に応じて、凝集沈殿、分解、ろ過、中和処理等の単位操作を適切に組み合わせた高度排水処理プロセスで除去した後、海域に排出する。

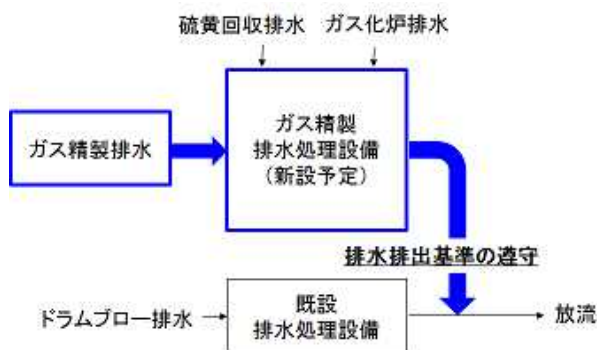


図 3-12 排水処理フロー図



図 3-13 排水処理設備

なお、比較的清浄度の高いタービン系排水については、既設大崎発電所の排水処理設備を使用し処理している。

⑥空気分離設備

図 3-14、3-15 に空気分離設備系統構成と完成写真を示す。大容量空気分離設備で実績の多い深冷分離方式を採用し、純度 95.0vol%以上の酸素および純度 99.5vol%以上の窒素を製造する。酸素はガス化炉における酸化剤として、窒素は石炭搬送・チャージャー搬送用等として供給される。

ガスタービン燃焼器に低 NO_x 型の分散混合型燃焼器を採用したことにより、NO_x 低減用の窒素噴射が不要となり、また、ガスタービン圧縮機からの抽気が不要なことから、空気分離設備の空気源としてガスタービン圧縮機抽気は使用しない。これに伴い、空気源が大気になることから、空気分離設備の運転圧力を低下させ、原料空気圧縮機の負荷を軽減する。

低温部での水分、CO₂ 等の凝結を防止するために、原料空気は吸着塔（モレキュラーシーブス吸着器）で凝結分除去の前処理を行う。寒冷発生源には空気昇圧膨張タービンを適用する。

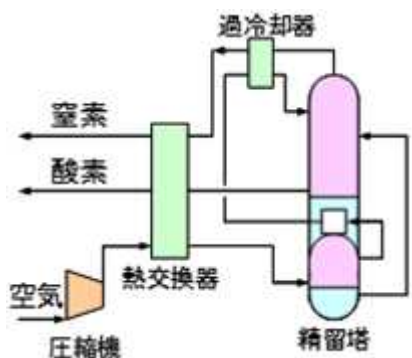


図 3-14 深冷分離方式系統構成

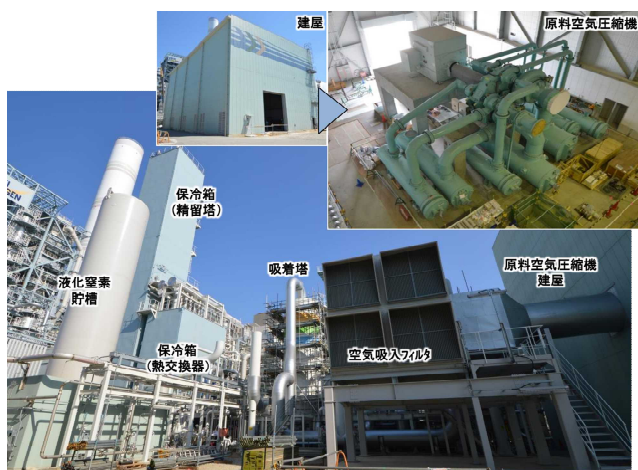


図 3-15 空気分離設備

(3) EAGLE 成果による設計反映事項

実証試験設備の設計にあたり、EAGLE パイロット試験の成果を最大限反映しており、実証試験においてこれらについて検証する。主な反映事項について、表 3-8 に整理する。

表 3-8 EAGLE 成果による設計反映事項

設備	項目	内容
石炭前処理設備	微粉炭・チャー搬送方式	・ 差圧搬送方式の採用
石炭ガス化設備	ガス化炉隔壁部の環境改善	・ ガス化部隔壁部の正圧化 ・ SGC 連通部陣笠の採用 (2 重化)
	ガス化部温度監視方法	・ 可動式熱電対の採用
	スラグタップ保温対策	・ スラグ流下促進ノズルの設置
	鉄スラグ生成対策	・ ガス化部底面の構造変更
ガス精製設備	腐食防止対策	・ 塔槽類及び熱交換器の最適配置 ・ 適切な材料選定
複合発電設備	GT 燃焼器燃焼方法	・ 燃焼方法改善による環境負荷低減
排水処理設備	排水処理方法	・ ガス精製排水の高度処理

(4) 製作・据付

①製作・据付工程

IGCC実証機の建設は平成25年3月に着工し、石炭前処理設備、ガス化炉設備、ガス精製設備、複合発電設備、排水処理設備、空気分離設備ほか各設備の工事を実施した(図3-16参照)。大物機器(排熱回収ボイラ、ガス化炉、SGC等)については工場にて製作し、大崎発電所物揚棧橋にて水切りを行い現地に据付することにより工程短縮とコスト削減が図られている。なお、建設中の延べ作業人数は約396千人である。

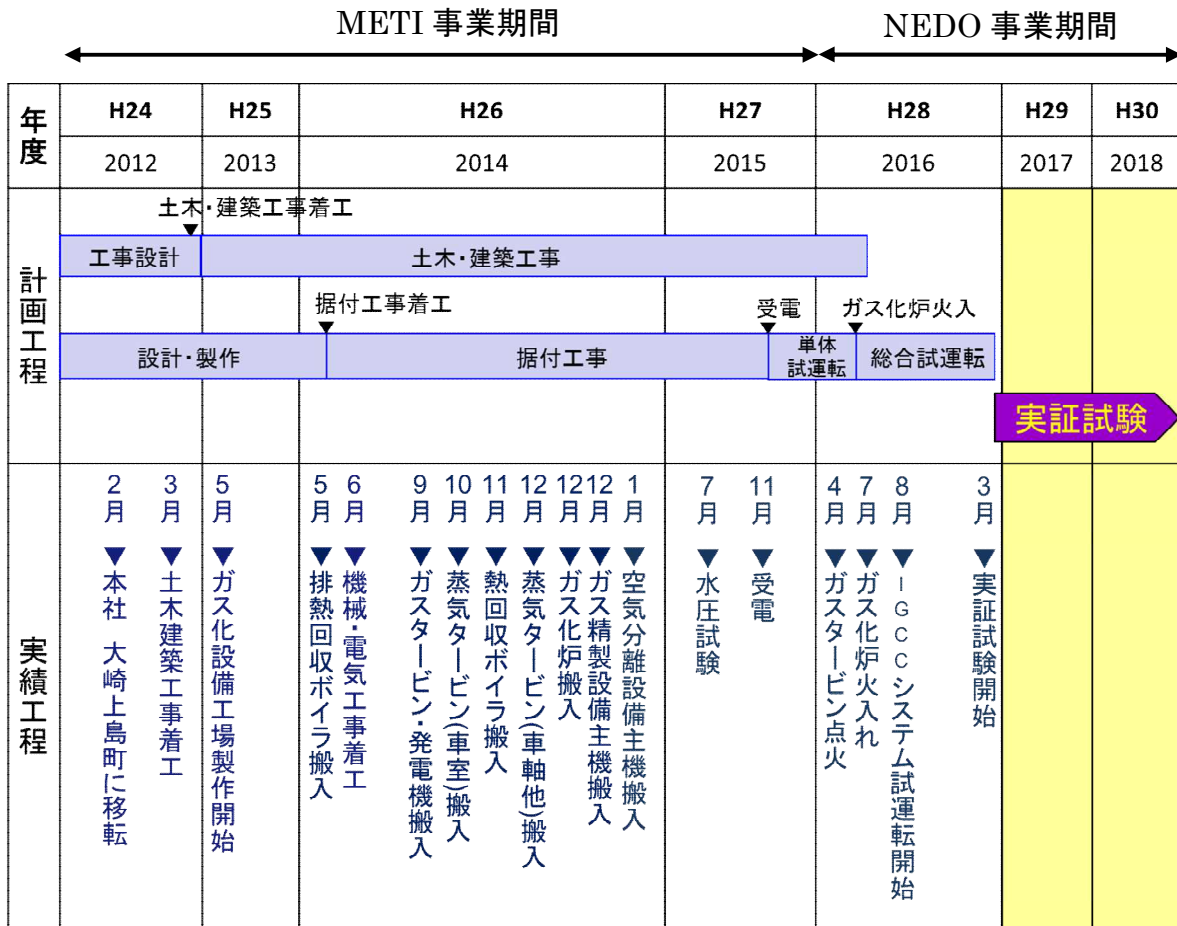


図 3-16 建設工事スケジュール

②製作・据付状況

排熱回収ボイラ、ガス化炉の搬入・据付状況を図 3-17, 3-18 に示す。



図 3-17 排熱回収ボイラ搬入・据付状況



図 3-18 ガス化炉搬入・据付状況

建設段階初期の平成 25 年 4 月 25 日時点及び建設段階末期の平成 29 年 3 月 1 日に煙突から見た設備全体の写真を図 3-19 に示す。

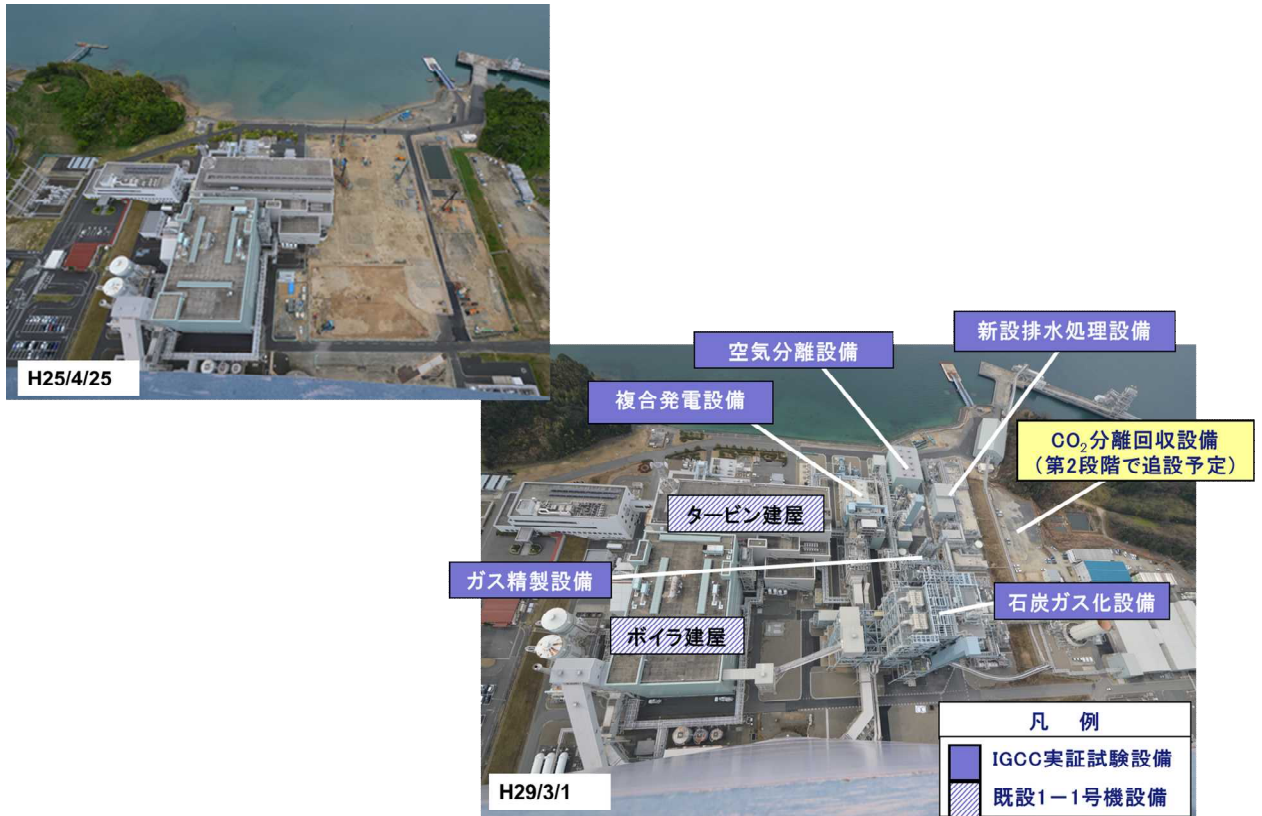


図 3-19 設備全体写真（煙突より）

建設段階末期の平成 29 年 3 月 1 日に西側から見た設備全体の写真を図 3-20 に示す。



図 3-20 設備全体写真（西側より）

(5) 試運転状況

① 試運転工程と実績

表 3-9 に試運転工程とその実績を示す。平成 27 年 11 月の受電以降、機器単体・系統試運転、連携システム運用調整を目的とした総合試運転を実施した。

表 3-10 に総合試運転の試験項目と目標、達成状況を示す。総合試運転では、平成 28 年 4 月に軽油によるガスタービン設備試運転を行った。また、6 月に送電網との初並列を行い、発電と送電がともに可能であることを確認した。同年 7 月、ガス化炉石炭投入試験を実施、石炭ガスが生成されることを確認した。

その後、RUN1 において、ガス化炉で発生した石炭ガスにより GT 通気を行い、ST と連携した複合発電方式による発電が可能であることを確認した。また、安全性の確認のための 25% 負荷遮断試験を行った。

RUN2 においては、100% 負荷遮断試験を行い、ガス化炉が緊急停止した際においてもガス閉じ込めに成功し、安全に停止できることを確認した。RUN3 においては、運転特性を把握しつつ制御パラメータの設定変更を中心とした APS・APC 調整を行い、安定的な自動運転制御ができることを確認した。RUN4 においては、これまでの試運転実績を踏まえたガス化炉設備全般の設計レビューや運転管理方法の強化改善を行い、建設段階の総仕上げとなる設備引き取りに向けた性能確認、引取試験を行い、実証試験を開始した。

表 3-9 第一段階 単体・総合試運転工程表

年度	METI 事業期間							NEDO 事業期間							29				
	27年度							28年度											
月	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
単体・系統試運転	■																		
総合試運転																			
GT設備試運転	4/27,28 無負荷試運転							▼ 初並列 6/18											
ガス化炉 石炭投入試験	■ 石炭投入試験 7/1~22																		
ガス化炉運転 RUN1	25%負荷遮断試験他 8/16~9/21							■ GT通気（総合関係運転）8/18											
RUN2	50~100%負荷遮断試験他 10/2~11/11							■											
RUN3	ガス化炉・GT特性確認 APS・APC調整 11/19~12/28							■											
RUN4	各設備運用・性能確認、引取試験 APS調整 2/2~2/28、3/25~3/28																		
実証試験																■ 実証試験開始 ▼			

表 3-10 実証試験項目ごとの主な成果

試験項目	主要目的	主要試運転実績
石炭投入試験	<ul style="list-style-type: none"> ・石炭、チャー投入 ・ガス化炉 INT 試験 ・負荷データ取得 ・GT 並列、油焚負荷運転 	<ul style="list-style-type: none"> ・石炭ガス化起動手順の確立 ・ガス化炉 INT 試験正常動作
RUN1	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス化炉 100%負荷 ・ガス化炉加圧点火起動 ・ST 通気、GT 燃料切替 ・2/4 負荷遮断試験 ・総合 INT 試験 ・所内全停電試験 ・グラントフレア燃焼試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス化炉 100%負荷達成 ・石炭ガス化複合発電開始 ・GT75%負荷データ採取 ・2/4 負荷遮断試験実施 ・総合 INT 試験正常動作 ・所内全停試験正常動作 ・グラントフレア運用手法の確立
RUN2	<ul style="list-style-type: none"> ・発電機出力 100%運転 ・ガス化炉連続運転 ・ガス精製他性能試験 ・3/4 負荷遮断試験 ・4/4 負荷遮断試験 ・プラント制御試験 (APC) ・GT 燃焼調整 	<ul style="list-style-type: none"> ・発電機出力 100%達成 ・ガス化炉連続運転達成 ・ガス精製、硫黄回収性能試験実施 ・3/4 負荷遮断試験実施 ・4/4 負荷遮断試験実施 ・APC 調整試験 ・GT 燃焼調整実施
RUN3	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス化炉 100%負荷運転 ・GT 燃焼調整 ・全体制御試験 (APC・APS) ・プラント性能予備試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス化炉最適調整運転 ・ランバックの正常動作検証 ・発電機出力増減負荷目標達成 ・APS によるプラント起動自動化検証
RUN4	<ul style="list-style-type: none"> ・GT-HPT 過速度トリップ試験 ・プラント性能確認試験、負荷試験 ・グラントフレア機能確認、燃焼調整 	<ul style="list-style-type: none"> ・GT-HPT 過速度トリップ試験 ・プラント性能確認、負荷試験実施 ・APS によるプラント停止確認 ・グラントフレア燃焼調整試験

②目標に対する状況

(a)発電効率について

実証試験が H29 年度を通じて行われるため、最終的にはその結果により確定するものであるが、これまでの総合試運転を通じて得られた結果は表 3-11 のとおりである。

冷ガス効率と発電効率共に、目標値を上回っていることを確認した。更なる効率向上に向けて取り組んでいく。

表 3-11 発電効率に関するデータ

項目	実績	計画値または 目標値	参考
発電端出力	165.6MW	計画値 165.9MW	-
所内動力	25.3MW	計画値 26.0MW	-
送電端出力	140.3MW	計画値 139.9MW	-
冷ガス効率	82.7%	計画値 82.1%	EAGLE 実績 82%
発電端効率 (HHV)	48.1%*	計画値 48.0%	-
送電端効率 (HHV)	40.8%*	目標値 40.5%	-

*補正值

(b)環境性能について

これまでの総合試運転で得られた結果として、表 3-12 に煙突入口排ガスばい煙値を示す。目標値を満足していることから、環境保全対策が効果を上げていることを確認した。

表 3-12 煙突入口排ガスばい煙値

項目		単位	目標値	実績	環境保全対策
硫黄酸化物 (SO _x)	排出濃度	ppm	8	<8	湿式化学吸収法および湿式石灰石石膏法による脱硫
窒素酸化物 (NO _x)	排出濃度	ppm	5	<5	ガスタービン (GT) 低 NO _x 燃焼器および乾式アンモニア接触還元法による脱硝
ばいじん	排出濃度	mg/m ³ N	3	<3	サイクロン・キャンドル型フィルタによる乾式脱じん

注：排出濃度は乾きガスベースで O₂=16%換算値にて示した。

(c) プラント制御性・運用性について

総合試運転を通じ、以下のプラント自動制御試験を実施した。

- ・プラント自動制御モード切替、各モード制御安定性の検証
- ・発電機出力負荷変化率 3%/分における増減負荷の検証
- ・保護機能の検証（増減ブロック、クロスリミット、GT/ガス化炉ランバック）

その結果、目標としている負荷変化率：1～3%/分に対し、負荷変化率 5%/分を達成できる見込みであり、ならびに安定した制御であることを確認した。プラント自動起動試験においては、GT 起動～定格負荷までを 18 時間以内（仕様要求）、各ブレークポイント毎に自動起動可能であることを確認した。

今後は負荷変化率の更なる向上、送電端出力制御の実現、通常運用負荷（111～166MW）の範囲拡大に向けて検討を継続する。

(d) 設備信頼性

平成 29 年 4 月 21 日における、累積の発電時間は約 1,775 時間、発電電力量は約 159,775MWh、石炭ガス化運転時間は約 1,408 時間となっている。また、石炭ガス化連続運転時間としては、480 時間を達成している。引き続き、長時間耐久試験において信頼性を確認をする。

(e) 多炭種適用性

試運転期間においては、設計炭である B 炭を用いてプラント性能評価した。今後の実証試験において、灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

(f) 経済性

これまでの建設にかかった費用の集計および、今後実証試験において運転、保守費を確認していく計画であり、これらを踏まえて発電原価の算出等、経済性の評価を行う。

2-1-2. 実証試験運転

平成 29 年 3 月 28 日から実証試験を実施した。実証試験を開始するにあたっては、総合試運転の実績を踏まえ、実証試験設備の起動、停止及び通常運転時の操作手順や異常時の操作手順等について検討を行い、運転に用いる手順書、マニュアル類として纏め、安全でより効率的に実証試験運転を行う。また、計画通りに実証試験を行うために必要な設備点検及び修繕を行う他、設備の耐久性を評価するために必要な設備点検を行う。設備点検実績から保守コスト算出に必要なデータを得る。実証試験期間内に行う試験及びその工程を表 3-13 に示す。

(1) 基本性能試験

酸素吹 IGCC 実証試験設備について、各設備の調整を行ったうえで、事業用火力発電設備としての基本性能（発電効率、環境性能等）を確認する。

(2) 信頼性確認試験

商用機において、従来の石炭火力と同等の年利用率 70%以上の見通しが得られることを目標に、5,000 時間の長時間耐久性確認試験を行う。

(3) 多炭種適用試験

炭種性状適合範囲の確認を行うことを目標に、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭及び微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭を利用した多炭種適用試験を行う。

(4) プラント制御運用性確認試験

事業用火力発電設備として必要な運転特性・制御性（出力変化速度：1～3%/分等）の確認を行うことを目標に運用性確認試験を行う。

(5) 実証評価

実証試験運転や設備点検・保守の実績を取り纏め、経済性を含めて総合評価を行う。

表 3-13 実証試験工程

年度 月	28	29年度				30年度			
	3	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
基本性能確認 信頼性確認 運用制御性確認		▼実証試験開始 500H		5,000H					
中間点検									
中間点検後確認試験									
多炭種適用性確認									
定期事業者検査									
運用性向上試験									
実証試験評価									

2-1-3. 情報収集、支援研究

(1) 世界の石炭ガス化技術の変遷

石炭ガス化技術の変遷を図 3-21 に示す。図は、石炭ガス化炉の特徴と開発経緯を大まかな年代別に整理したもので、固定床や流動床の石炭ガス化炉開発は、1925 年の大正末期にまで遡る。固定床の代表であるルルギ炉は、1925 年から現代に至るまで商用機として健在であり、その代表格がチェコの Vresova IGCC である。

現在石炭ガス化技術の主流となっている噴流床ガス化技術は、1950 年代に独の Coppars・トチェック炉と米テキサコ炉が開発され、Coppars・トチェック炉はその後シェル炉とプレフロー炉として、Buggenum IGCC、Puertollano IGCC で実証されている。またテキサコ炉は、名前を GE 炉に変え Tampa IGCC として実証されている。1975 年代になると米ダウ炉、東独 GSP 炉が開発され、ダウ炉は E-GAS (Conoco) 炉として、Wabash River IGCC として実証され、GSP 炉は、GSP (Siemens) 炉となっている。

一方わが国の石炭ガス化技術は、1980 年代に水素製造用として、HYCOL 炉のパイロットプラントを開発し、その後燃料電池用石炭ガス化複合発電パイロットプラントとして EAGLE に引継がれ、2016 年には石炭処理量 1,180t/d の実証プラントが大崎 IGCC として運転を開始する予定である。空気吹 IGCC の技術開発は、クリーンコールパワーで国の補助事業として 2007 年度より実証試験を開始、2010 年度に終了 (250MW) し、IGCC 技術の成熟化に向けた検証を 2013 年 3 月に完了し、同年 4 月から商用機として運転を開始し、世界最長の連続運転時間 (3,917 時間) を達成している。さらに、福島県に商用規模 (500MW 級) 2 基の建設計画がある。

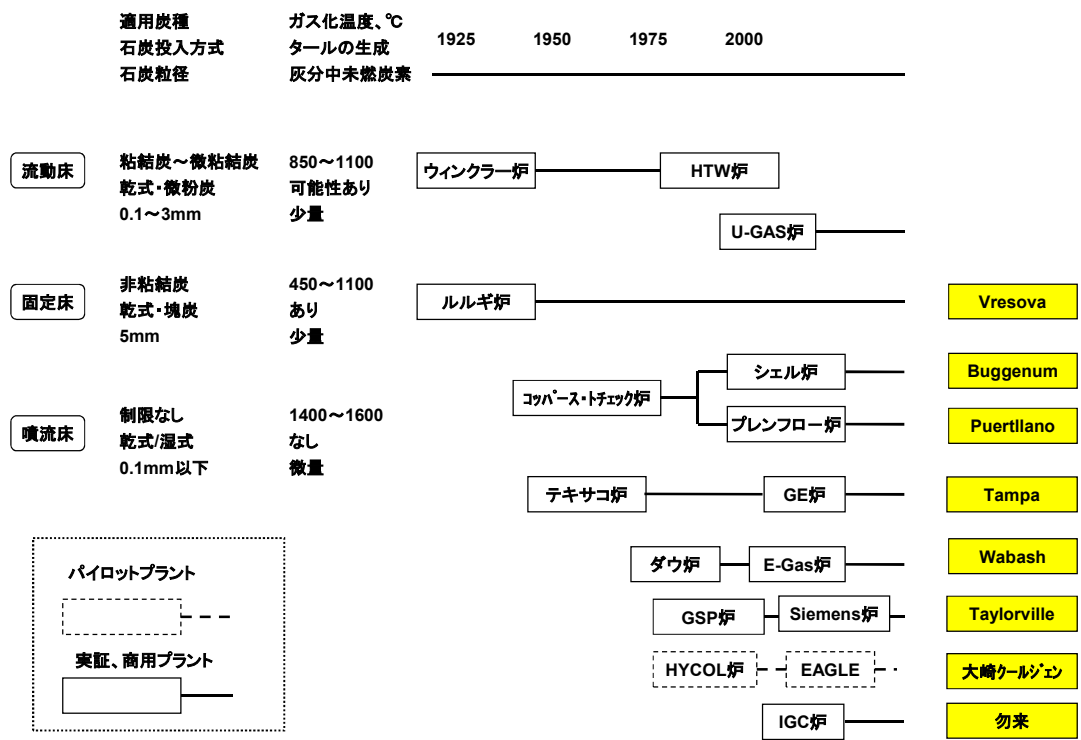


図 3-21 石炭ガス化技術の変遷

(2) 国内外 IGCC 動向調査

国内外 IGCC 調査結果を表 3-14 に示す。

表 3-14 国内外 IGCC 動向調査結果

プロジェクト名称		Buggenum	Wabash River	Tampa	Puertollano	クリーンコルハワー (常磐共同火力)
プロジェクト国		オランダ	アメリカ	アメリカ	スペイン	日本
実証機・商用機の別		2013年4月閉鎖	実証機/商用運転	実証機/商用運転	2015年8月閉鎖	実証機/商用運転
ステータス		閉鎖	商用運転中 (アンモニアプラント転換)	商用運転中	閉鎖	商用運転中
実証試験期間		1994年1月～ 1998年1月	1995年10月～ 1999年12月	1996年9月～ 2001年9月	1997年12月～	2007年9月～2010年6月 2010年7月～2013年3月
商用運転開始日		1998年～2013年4月	2000年～	2001年～	1998年～2015年8月	2013年4月～
事業費総額	現地通貨	850Mギルダー	438.2MUS\$	606.9MUS\$	110.490Mペセタ	896.4億円
プラント建設費	現地通貨	—	—	—	—	—
事業費総額	円	510億円	499億円	738億円	884億円	896.4億円
プラント建設費	円	—	—	—	—	—
為替レート		60円/ギルダー	113.96円/\$	121.54円/\$	0.8円/ペセタ	—
補助金額	現地通貨	不明	219.1MUS\$	151MUS\$	4,958Mペセタ	—
補助金額	円	補助金あり	250億円	183億円	39.6億円	252.15億円
補助率	%	不明	50	24.9	4.48	30
ガス化炉		Shell炉	Dow(E-Gas)炉	GE(Texaco)炉	PRENFLO炉	電中研/三菱炉
概略図						
ガス化方式		1室1段	2室2段	1室1段	1室1段	2室2段
石炭供給方式		ドライフィード	スラリーフィード	スラリーフィード	ドライフィード	ドライフィード
ガス化炉 炉壁		水冷耐火壁	耐火材	耐火材	水冷耐火壁	水冷耐火壁
ガス化剤		酸素	酸素	酸素	酸素	空気
冷ガス効率		81～76%	81～72%	75～73%	76～74%	77～75%
使用炭種		海外炭 18炭種 高灰溶融点炭は 融点降下剤必要	地元(インドア)炭 現在はヘトロクス専焼	地元炭 (Pittsburgh#8他) 現在はヘトロクス混焼	地元高灰分炭と ヘトロクス混焼	設計炭 中国炭に加え ロシア、インドネシア、 米国、カナダ等 合計9炭種
排水処理		蒸発乾固	蒸発乾固	蒸発乾固	蒸発乾固	海域放流
石炭処理量	t/日	2,000	2,600	2,300	2,600	1,700
発電出力(計画値)						
発電端(Gross)	MW	284	297	315	335	250
送電端(Net)	MW	253	262	250	300	220
送電端効率(HHV)						
計画	%	41.4	37.8	39.7	41.5	40.5
実績	%	41.4	39.7	37.5	41.7	40.6
連続運転時間実績		3,291時間	1,848時間	2,500時間程度	954時間程度	3,917時間

プロジェクト名称		Edwardsport	Tianjin (GreenGen)	Kemper	Taan	国産酸素吹IGCC 商用機※	大崎クールジェン
プロジェクト国		アメリカ	中国	アメリカ	韓国	日本	日本
実証機・商用機の別		商用機	実証機	商用機	実証機	—	実証機
ステータス		商用運転中	実証運転中	建設中	実証運転中	—	実証運転中
実証試験期間		—	2012年12月～	—	2016年8月～	—	2017年3月～
商用運転開始日		2013年6月～	—	2017年～運転開始予定	—	—	—
事業費総額	現地通貨	3,550MUS\$	419.6MUS\$	6.6BUS\$	1,556Bウォン	—	—
プラント建設費	現地通貨	—	—	—	—	—	—
事業費総額	円	3,668億円	393億円	5,569億円	1,057億円	—	895億円
プラント建設費	円	—	—	—	—	—	—
為替レート		103.34円/\$	93.57円/\$	84.38円/\$	0.0679円/ウォン	—	—
補助金額	現地通貨	593.5MUS\$	5MUS\$	270MUS\$	467Bウォン	—	—
補助金額	円	612.6億円	4.7億円	227.8億円	317.1億円	—	298.3億円
補助率	%	16.7	1.2	4.1	30	—	33.3
ガス化炉		GE炉	TPRI炉 (HCERI炉)	KBR炉	Shell炉	EAGLE炉	EAGLE炉
概略図							
ガス化方式		1室1段	2段2室	高速循環流動床	1室1段	1室2段	
石炭供給方式		スラリーフィード	ドライフィード	ドライフィード	ドライフィード	ドライフィード	ドライフィード
ガス化炉 炉壁		耐火材	水冷耐火壁	水冷耐火壁	水冷耐火壁	水冷耐火壁	水冷耐火壁
ガス化剤		酸素	酸素	空気	酸素	酸素	酸素
冷ガス効率		75～73%	83～81%	—	81～76%	83%	82%
使用炭種		インディアナ炭 ミッドウェスタン炭	内モンゴル褐炭 晋城無煙炭	ミシシッピ褐炭	遼青炭～亜遼青炭	海外炭 (インドネシア炭)	インドネシア炭他 (第1段階で4炭種)
排水処理		河川放流	海域放流	—	—	海域放流	海域放流
石炭処理量	t/日	1,5Mt/年	2,000	13,800(褐炭)	2,670	2,400	1,180
発電出力(計画値)							
発電端(Gross)	MW	784	265	914	380	369	166
送電端(Net)	MW	618	225	582	300	319	140
送電端効率(HHV)							
計画	%	38.5	41	28.1※CO2 65%回収	42	45.6	40.5
実績	%	未公開	未公開	—	—	—	—
連続運転時間実績		1,700時間程度	1,900時間程度	—	2,000時間程度	—	目標:5,000時間

※商用機は、大崎クールジェンプロジェクトをスケールアップした場合の試算。

(3) 酸素吹 IGCC 市場性調査

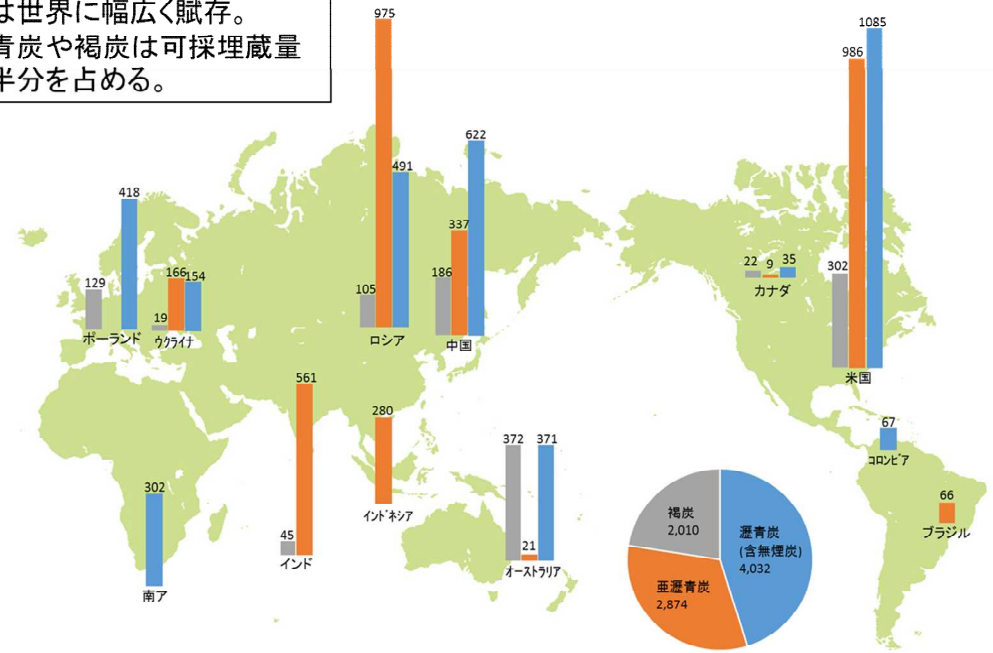
商用化に向けた国内外における酸素吹 IGCC の市場性調査を計画し、平成 28 年度分を実施した。

表 3-15 酸素吹 IGCC 市場性調査項目および内容

	調査項目	調査内容
Phase 1	世界全体および国内について、公開文献や統計情報をもとに IGCC の市場性を調査 ● 世界全体での酸素吹 IGCC (CO2 回収付き含む) の市場性の傾向を把握 ● 国内での IGCC のニーズおよび市場ポテンシャルを把握	● 世界の石炭(遼青炭、亜遼青炭、褐炭)の資源量、分布および価格 ● 国内・世界の電力市場規模(現況、将来)、電力価格 ● 酸素吹 IGCC から併産可能なプロダクト(水素、シingas、メタノール、等)に対する需要動向、価格 ● 競合技術の動向、商品化に向けたステージ・市場普及度 ● 環境面、CO2 排出面に関する一般的な規制動向
Phase 2	Phase 1 の調査をもとに、高い市場性が見込める有望な地域を候補地域として、 ● 専門的な情報の収集、ヒアリング、現地調査等を実施	候補地域別に： ● 酸素吹 IGCC に適する石炭の資源量・分布の詳細、価格 ● 電力市場規模(現況、将来)、電力

	<ul style="list-style-type: none"> ● 酸素吹 IGCC (CO2 回収付き含む) の市場性の観点で情報を整理 	<p>価格</p> <ul style="list-style-type: none"> ● コストターゲット (イニシャル、ランニング) ● 酸素吹 IGCC に対するニーズ ● 環境面、CO2 排出面に関する規制動向 ● 酸素吹 IGCC 導入に係る市場の特徴、課題
--	---	---

石炭は世界に幅広く賦存。亜瀝青炭や褐炭は可採埋蔵量の約半分を占める。



出典: WEC "2013 Survey of Energy Resources"

図 3-22 Phase 1 調査例：世界の石炭可採埋蔵量と分布

Phase 1 の調査結果に基づき、Phase 2 での調査対象となる、高い市場性が見込める有望な地域を選定している。

2-2. CO2 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

2-2-1. CO2 分離・回収型酸素吹 IGCC 研究

CO2 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験は、中国電力大崎発電所敷地内に建設が完了している酸素吹 IGCC 実証試験設備に、新たに建設する CO2 分離回収設備を接続し実施する。

平成 28 年度 4 月より、設備の仕様検討を開始、平成 28 年度末時点で基本設計は完了し契約手続きを実施している。

(1) 設備仕様

①基本方針

性能目標として、新設 IGCC 商用機において CO₂ を 90%回収しつつ発電効率約 40% (新設 IGCC、1500℃級ガスタービン採用、送電端、HHV ベース) を達成できる見通しを得ることを掲げている。CO₂ 分離回収の実施による発電効率低下の要因としては以下が挙げられる。

- (a) ガスタービン入口燃料性状の変化(CO が減少し H₂ が増加)によりガスタービン入熱が減少し、ガスタービン出力が低下する。
- (b) 上記影響によりガスタービン排気温度が低下し排熱回収ボイラ (HRSG) における収熱量が低下。蒸気発生量が低下するとともに CO₂ 分離回収工程で蒸気が消費されることにより、蒸気タービン入口の蒸気量、蒸気温度が低下し蒸気タービン出力が低下する。
- (c) CO₂ 分離回収工程における補機動力により所内率が増加し送電端出力が低下する。

このうち、(b)については CO₂ 分離回収工程における蒸気の消費量を低減することにより、(c)については運転パラメータを最適化し CO₂ 分離回収性能を維持しつつ補機動力量を低減することにより、発電効率低下の抑制を図ることとする。

本設備の設計方針は、上記の背景および立地地点の特性を踏まえ、以下の基本方針にて設計するものとする。

- ・ 複合発電設備の蒸気系統からの抽気量を低減すべく、CO シフト工程で発生するシフト反応熱の有効利用により発生させた蒸気をシフト蒸気として再利用する。
- ・ 運転パラメータの最適化により補機動力低減の可能性を検証すべく、各機器は幅広い運転レンジを有するものとする。
- ・ 系内で発生した凝縮水・排水は有効利用または焼却処理し系外排出しないこととする。

②設備仕様条件

CO₂ 回収効率 : 90.0mol%以上とする。

回収 CO₂ 純度 : 99.0mol% (dry ベース)以上とする。

原料ガス : CO₂ 分離回収設備は IGCC 実証機ガス精製出口ガスを一部分岐し、原料ガスとして CO₂ 分離回収設備に供給する。

H₂ リッチガス : CO₂ 分離回収設備は CO シフトプロセスおよび CO₂ 吸収プロセスを経た処理ガス (H₂ リッチガス) を、ガスタービン燃料として所定の条件に昇温昇圧し、ガス精製出口ガス系統に合流返送する。

表 3-16 CO₂ 分離回収設備 原料ガス条件

項目	単位	条件
定格原料ガス量 (wet)	m ³ N/h	16,250
精製ガス圧力	MPaG	2.74
精製ガス温度	℃	342

表 3-17 CO₂ 分離回収設備 原料ガス組成

成分	単位	性能計画点
CO	mol%(wet)	56.86
H ₂	mol %(wet)	27.98
CO ₂	mol %(wet)	3.48
H ₂ O	mol %(wet)	0.42
N ₂	mol %(wet)	8.96
Ar	mol %(wet)	1.11
CH ₄	mol %(wet)	1.19
H ₂ S	ppm-mol (wet)	H ₂ S+COS ≤ 23
COS	ppm-mol (wet)	
NH ₃	ppm-mol (wet)	≤ 1
HCN	ppm-mol (wet)	≤ 0.1
ばいじん	mg/m ³ N(wet)	≤ 1
合計	mol %(wet)	100

③個別設備設計検討

(a)CO シフト設備

CO シフト系統設備は、所定量の炭素を CO₂ として回収するために、IGCC 実証機で発生する H₂、CO を主成分とする石炭ガス化ガスの一部を抽気し、水性シフト反応により CO と H₂O を CO₂ と H₂ に転化する設備である。S 吸着器、熱交換器、気液分離器、シフト反応器、H₂ リッチガス圧縮機、凝縮水ドラム、シフト凝縮水ストリップ、再生蒸気発生器等で構成される。

シフト反応の触媒としてスイートガスシフト触媒を採用し、コンパクトでより高い CO 転化率を達成する為に、反応速度の高い高温シフト触媒を前段に配置し、後段には発熱反応である水性ガスシフト反応の平衡転換率を高めるべく、低温条件で作動する低温シフト触媒を配置する系統構成としている。

また、原料ガスには 10~20ppm 程度の硫化水素および硫化カルボニルを含むため、シフト触媒の被毒を抑制する為に、前段の S 吸着塔で精密脱硫を行う。

なお、系内で発生した凝縮水・排水を熱交換器及び再生蒸気発生器で加熱し蒸気として有効利用し無排水化を図るとともに、IGCC 複合発電設備の蒸気抽気量を低減すべく、CO シフト工程で発生するシフト反応熱の有効利用により発生させた蒸気をシフト蒸気として再利用し、熱の有効利活用を図る。また、H₂ リッチガス昇温の熱源としてもシフト反応熱を利用する。

シフト反応器にて生成されるメタノール、アンモニア等の副生成物の系内濃縮対策として、シフトガス水洗塔、ストリッパ、焼却設備を設置する。

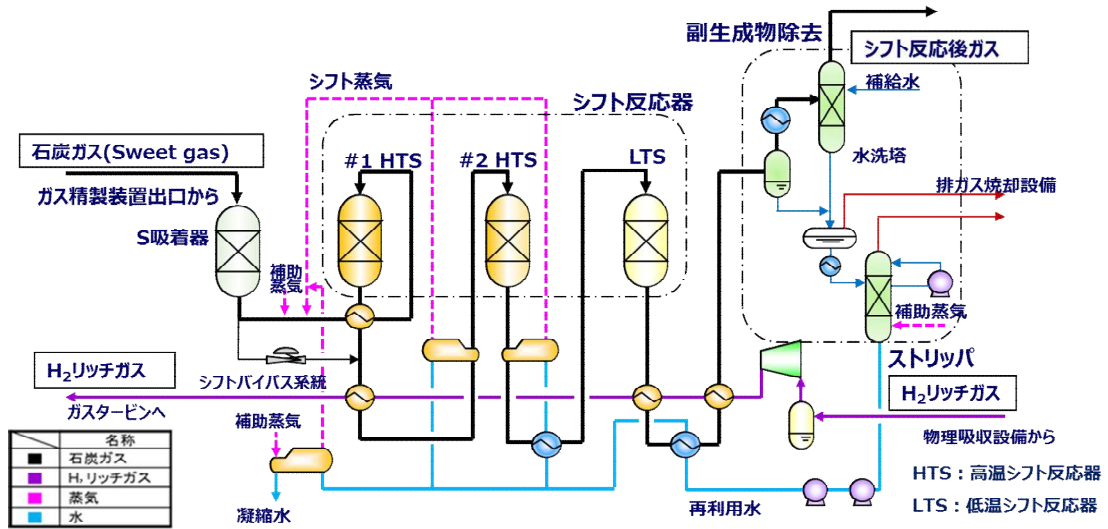


図 3-23 CO シフト系統

(b) CO₂ 吸収再生設備

CO₂ 吸収再生系統設備は、CO シフト系統設備から流入する CO₂ と H₂ を多く含むガスから、CO₂ を分離回収する設備である。CO₂ 吸収塔、CO₂ フラッシュドラム、物理吸収液再生塔等から構成される。

CO シフト系統設備からのガスは、CO₂ 吸収塔において物理吸収液と接触し、ガス中の CO₂ を選択的に吸収する。

CO₂ を分離された H₂ リッチガスは、CO シフト系統設備に返送され H₂ ガス圧縮機によって昇圧され IGCC ガスタービンへ返送される。

CO₂ を分離した物理吸収液は段階的に減圧することで CO₂ を放散し、再生・再利用する。また、物理吸収液中の水分量を制御するために、物理吸収液の一部を物理吸収液再生塔に送り脱水する。

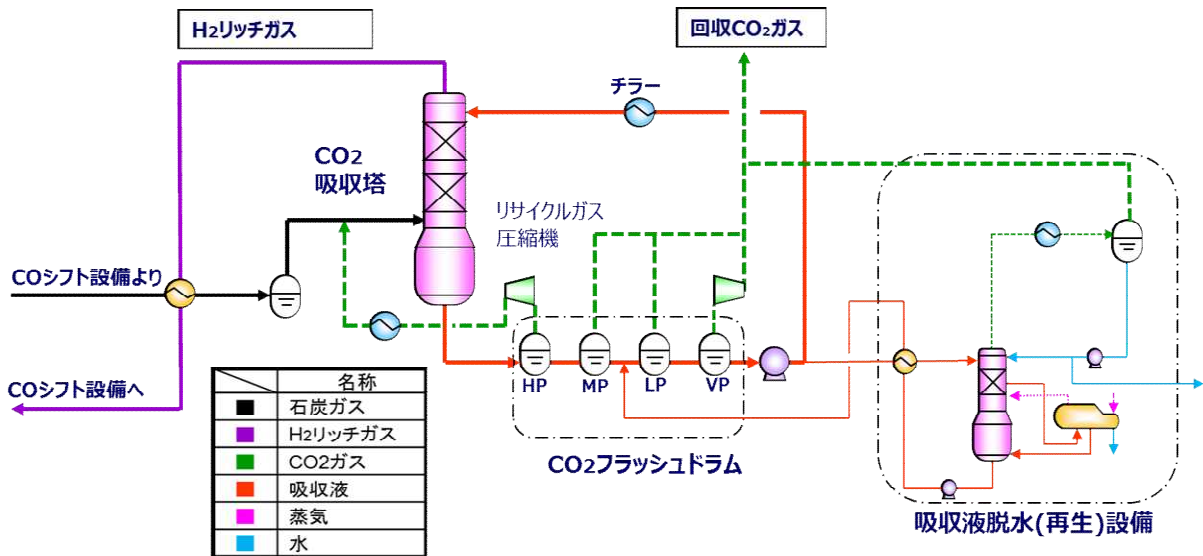


図 3-24 CO₂ 吸収再生系統

C02 吸収液は、改良型の吸収液を採用した。改良型は粘度が低いという物性により低温度での運転が可能となる。“低温化”により C02 ガスの吸収選択性が高まり、単位吸収液当たりの C02 溶解度が增加するため吸収液循環量を低減することができる。低温化のため吸収液冷却用動力(冷凍機動力)は増加するものの、補機動力全体では1割程度の削減が見込める。さらに、設備のコンパクト化も図れる。

④配置図

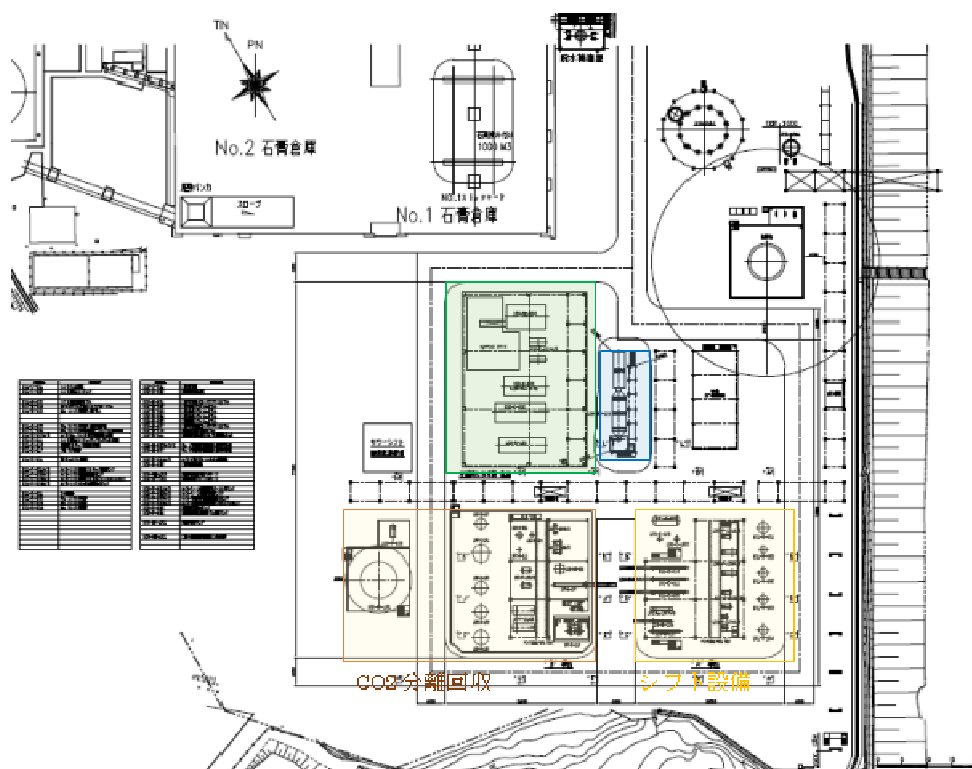


図 3-25 配置図

(2) 実証試験工程

「システムの基本性能」、「プラント運用性・信頼性」および「経済性」を検証すべく、実証試験を図 3-26 の通り計画している。

年度		H31年度	H32年度
単体・系統試運転		■	
総合試運転		■	設備引取期限
実証試験	パラメータ最適化(単独+組合せ)	■	
	長時間信頼性検証		■
	炭種影響評価		■
	性能評価		■

図 3-26 実証試験スケジュール

①パラメータ最適化

パラメータを変化させることにより、最適な運転条件を探索する。単独のパラメータのみを変化させて個別に最適化を図った後、各パラメータを組合せてシステム全体の最適化を行う。

②長時間信頼性検証

最適運転条件において、長時間連続運転時の信頼性検証を行う。IGCC の負荷追従性、触媒活性の経時変化、吸収液の安定性(フォーミング発生状況)等を確認する。

③炭種影響評価

炭種性状の違いによる性能への影響を確認する。

④性能評価

長期間運用後のプラントにおける性能確認試験を行い、触媒活性や吸収液性能への影響を確認する。

2-2-2. 低温サワーシフト触媒実証研究

(1) 基本運転条件の選定

実証設備の基本設計に先立ち、実証試験条件について検討した。性能計画炭である B 炭ガス化後の、第一水洗塔出口ガスが触媒実証設備に流入し、H₂O/CO 比 1.2mol/mol となるように水蒸気を添加した後のガス組成における露点は約 190℃である。実証試験中の環境変化や上流設備の状態変動による外乱の影響で、一時的に入口ガス温度が低下する可能性を考慮し、No. 1 反応器入口温度は露点から 15℃の尤度を見込み、205℃とした。No. 1 反応器にて平衡状態までシフト反応が進行した場合、No. 2 反応器入口における露点は約 155℃であるため、No. 2 反応器入口温度は当初の計画通り 200℃とした。また、反応器の空間速度(SV:Space Velocity)については No. 1、No. 2 でそれぞれ 6,500、2,500Nh⁻¹ とした。これはこれまで実施してきた要素試験と EAGLE での 1,000h 実証試験結果から実機における触媒の反応速度を算出し、反応速度を考慮した静特性解析により平衡運転に必要な量を算出、更に、触媒劣化に起因する安全率を考慮して選定した。なお、現在計画している定常シフト反応時における生成ガス供給量 200m³N/h から、各反応器に充填する触媒量はそれぞれ 48、120L となる。

表 3-18 サワーシフト触媒実証試験条件

項目	選定条件
No.1 反応器入口温度(℃)	205
No.2 反応器入口温度(℃)	200
No.1 反応器入口 H ₂ O/CO 比(mol/mol)	1.2
No.1 反応器 SV(Nh ⁻¹)	6,500
No.2 反応器 SV(Nh ⁻¹)	2,500

(2) 触媒実証設備のシステム構成

触媒実証設備のシステムフローを図 3-27 に示す。本設備は蒸気加熱器、電気加熱器、シフト反応器、ガス冷却器、及びドレン捕集器を主要機器として構成され

る。本体設備のガス精製プロセスの第一水洗塔の出口から生成ガスを一部分岐して本設備へ供給する。第一水洗塔出口ガスは約 130℃の計画であり、7～10%程度の水分を含む。抽気口から実証設備入口までの移送時の放熱による温度低下によって、水分が凝縮するためドレン捕集器 1 でドレンを除去する。ドレンを除去した生成ガスは、まず蒸気加熱器で約 160℃まで昇温される。その後、蒸気混合器で反応用蒸気が添加された後に、電気加熱器 1 で No. 1 シフト反応器入口温度である 205℃に調節し、No. 1 シフト反応器に供給される。No. 1 シフト反応器が平衡運転された場合、反応器出口でのシフトガス温度は約 470℃となる。本シフトガスはガス冷却器 1 に送られ、200℃まで冷却される。ガス冷却器 1 後のガスが放熱の影響等で冷却された場合は電気加熱器 2 にて 200℃に調節されて No. 2 シフト反応器に供給される。No. 2 シフト反応器が平衡運転された場合、反応器出口でのシフトガス温度は約 280℃となる。本シフトガスは冷却器 2 で 45℃以下まで冷却され、ドレン捕集器 2 で未反応の水蒸気由来の凝縮水を分離した後、本体設備のガス精製プロセスの第二水洗塔入口ガスへ合流させる。一方、凝縮水は CO₂ 回収設備用焼却設備へ送られる。性能確認計画炭である B 炭を対象として、定常状態でのマスバランスを計算した結果を表 3-20 に示す。2 段シフトプロセスにおける CO 転化率は 91.3%、COS 転化率は 93.1%、及び HCN 分解率は 100.0%が得られることが分かった。

サワーシフト触媒は、シフト反応に供する前に活性化を目的として還元硫化処理を行う必要がある。前処理方法としては液化 H₂S を用いた H₂S 硫化方式と常温で液体である DMDS (ジメチルジスルフィド) を用いた DMDS 硫化方式の 2 通りがあるが、本実証試験では要素試験や EAGLE 実証試験で実績のある H₂S 硫化方式を主方式とする。一方の DMDS 硫化方式は、脱硫触媒の硫化においては実績があるがサワーシフト触媒では実績が少ない。しかし、液化 H₂S よりも DMDS の方が安全面で管理が容易であると考えられるため、長時間実証試験終了後に、DMDS 硫化方式の確立を目的とした追加実証試験を実施可能なプロセスとする。

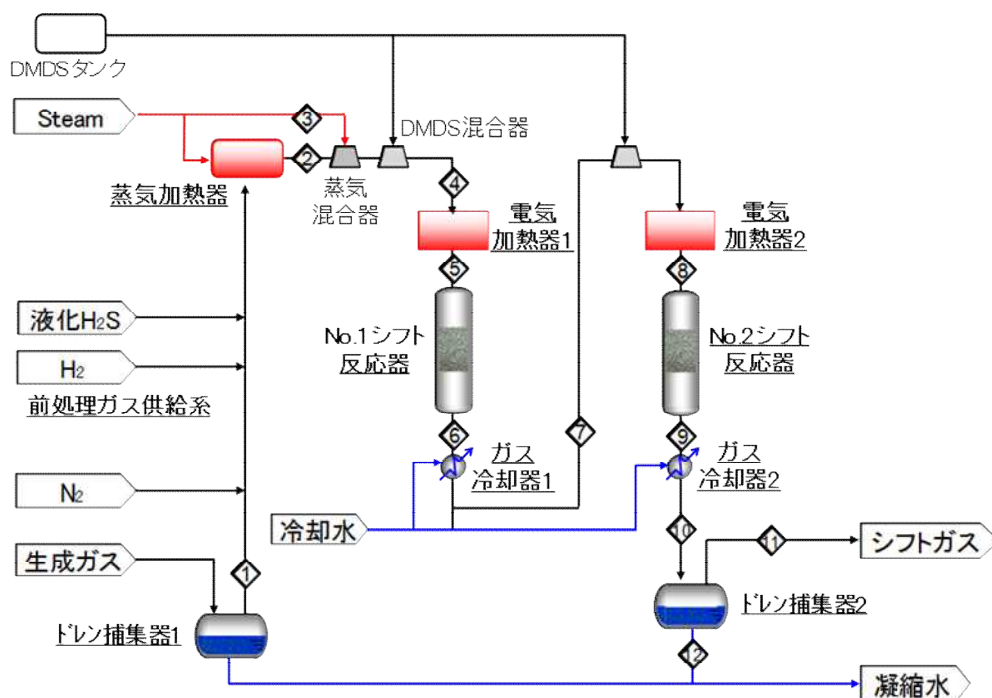


図 3-27 低温作動型サワーシフト触媒実証設備のプロセスフロー

表 3-19 マスバランス計算結果(B 炭, 設備入口温度 30℃)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		生成ガス	生成ガス	蒸気	生成ガス	シフトガス	シフトガス	シフトガス	シフトガス	シフトガス	シフトガス	シフトガス	凝縮水
CO	vol%	56.14	56.14	0.00	33.57	33.57	9.92	9.92	9.92	2.94	2.94	3.28	0.10
H ₂	vol%	27.63	27.63	0.00	16.52	16.52	40.18	40.18	40.18	47.16	47.16	52.86	0.12
CO ₂	vol%	4.78	4.78	0.00	2.86	2.86	26.52	26.52	26.52	33.50	33.50	36.12	11.93
H ₂ O	vol%	0.14	0.14	100.00	40.29	40.29	16.62	16.62	16.62	9.64	9.64	0.25	87.13
N ₂	vol%	8.86	8.86	0.00	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.92	0.17
Ar	vol%	1.09	1.09	0.00	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.73	0.02
CH ₄	vol%	1.18	1.18	0.00	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.79	0.06
H ₂ S	volppm	320	320	0	191	191	205	205	205	207	207	206	212
COS	volppm	28	28	0	17	17	3	3	3	1	1	1	2
NH ₃	volppm	1281	1281	0	766	766	804	804	804	805	805	359	4479
HCN	volppm	65	65	0	39	39	0	0	0	0	0	0	0
温度	℃	30.0	160.0	251.0	200.0	205.0	470.8	200.0	200.0	279.2	45.0	45.0	45.0
圧力	MPaG	3.2	3.2	3.92	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
質量流量	kg/h	192.48	192.48	108.15	300.62	300.62	300.62	300.62	300.62	300.62	300.62	266.54	34.09
体積流量	m ³ /h	2000	2000	134.5	334.5	334.5	334.5	334.5	334.5	334.5	334.5	298.3	36.1
CO転化率	%						70.5			91.3			
COS転化率	%						82.1			93.1			
HCN分解率	%						99.5			100.0			

2-2-3. 情報収集

競合技術及び他プロジェクトの最新動向を把握の為、国内外の CO₂ 分離・回収型 IGCC に係る技術動向、IGCC からの CO₂ 分離・回収技術の動向及び CCUS の動向に関して以下の項目について調査を計画し、H28 年度分を実施した。

CO₂ 分離・回収型 IGCC 動向調査

- ・ CO₂ 分離・回収型 IGCC の最新情報把握
- ・ IGCC と CO₂ 分離・回収設備との適合性

CCS 他動向調査

- ・ CCS プロジェクトの最新動向
- ・ CCUS の動向及び IGCC との適合性

C02 分離回収技術動向調査

- ・ C02 分離回収技術の最新動向及び将来性

(1) Tampa、Kemper IGCC 最新状況調査

表 3-20 Tampa、Kemper IGCC 最新状況

	Tampa IGCC	Kemper IGCC
概要	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 発電端出力 320MW (最大) 、CO220%回収 ✓ 2015 年度の設備稼働率 78% ✓ Convective Syngas Cooler の細管の詰りにより、常に 100 日程度でプラントを停止して 3 日間の清掃を実施 ✓ RTI の実証プロジェクトとして、2014 ~2016 年に固体吸着による脱硫 (Warm Desulfurization Process) *+ CO2 回収の検証を実施、回収方式は化学吸収法式、CO2 は大気放出 ✓ CO220%回収により、燃料ガス中の H2 濃度が 33%から 42%まで上昇。既設 GT が 60%までは対応可能なため、運転する上でのパラメータの変更のみをメーカーにて実施したとのこと 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 発電端出力 582MW (最大) 、524MW (石炭ガス化ガスのみ) 、CO265%回収 ✓ 主要設備は空気吹の流動床ガス化炉 (TRIGTM) 2 基、GT2 基、ST1 基、H2S 吸着、CO2 分離回収設備 2 系列、石炭乾燥設備 ✓ CO2 分離回収は H2S との 2 段回収方式を採用 ✓ 現在、片系毎の試運転を実施中、2017 年の第一四半期中に商用運転開始予定 ✓ パイロット装置から石炭供給量で 100 倍程度の大幅なスケールアップをしているが、現状では重大な問題は起きていないとのこと ✓ 試運転で分離回収した CO2 について、CO2 井からの CO2 と合わせて EOR 利用を開始している

(2) CO2 の有効利用に関する調査

日本における炭酸ガス生産量は約 120 万 t 程度で推移しており、液化炭酸ガスが約 60%、ドライアイスが約 40%。液化炭酸ガスは溶接用が約半数、次いで飲料用が 15%前後となっている。炭酸ガスは、用途によって品質を変えず、最も厳しい飲料用に併せて品質規格を定め、製造している。

炭酸ガス原料の主な仕入れ先は、従前は石油精製工場が約 50%、アンモニア製造工場が約 30%であったが、石油精製工場の統廃合、アンモニア製造工場の相次ぐ閉鎖により、原料が不足している。日本ではタンクローリー(10t 程度)で輸送しているが、長距離輸送が増えることで運送費が高騰している。

表 3-21 炭酸ガス品質例

- ・ 純度 99.95%以上
- ・ 約 30 の分析項目で基準値以下であること
- ・ 無色の気体で臭いがなく、水中で濁りが無く、異常な味が無い

3. 成果の普及

プロジェクトの進捗にあわせて、見学対応、ホームページ（日本語、英語）やプロジェクトガイド（広報誌）を通じたプロジェクトの情報発信を実施。さらに地元の高等専門学校との「発電所内 3D 案内システム共同研究開発」などを通して、本事業の理解普及活動を実施している。

（1）見学者対応

平成 29 年 3 月末までの実績：3,096 名

（2）地元とのコミュニケーション

第 1 回大崎上島町産業文化祭すみれ祭り説明パネル出展（平成 26 年 2 月）

第 2 回大崎上島町産業文化祭すみれ祭り説明パネル出展（平成 27 年 2 月）

第 3 回大崎上島町産業文化祭すみれ祭り説明パネル出展（平成 28 年 2 月）

第 4 回大崎上島町産業文化祭すみれ祭り説明パネル出展（平成 29 年 2 月）

（3）発電所内 3D 案内システム共同研究開発

地元大崎上島町の独立行政法人国立高等専門学校機構広島商船高等専門学校と共同で、「発電所内 3D 案内システム共同研究開発」を実施。3D グラフィクスで実証試験発電所を再現し、タブレット端末などを使い、あたかも発電所内を歩いて見学しているかのように体験できる「見学対応システム」、IGCC 設備の配置を瞬時に検索できる「機器検索システム」を開発した。

4. 知的財産の確保に向けた取組

本事業の実施に必要な知財は、前身の EAGLE プロジェクト等において出願（40 件）している。本事業開始以降、建設段階であった為、新たな知財は得られていないが、今後実証運転に移行し、知財が創出された場合は速やかに特許出願を行う。

4. 成果の実用化に向けての見通し及び取組について

1 本事業における実用化について

(1) 実用化の内容

酸素吹 IGCC 実証が終了する 2018 年度（平成 30 年度）以降、既に天然ガス焚で実用化している 1500℃級ガスタービンを酸素吹 IGCC プラントに適用することにより、商用規模(500MW 相当)で送電端効率（HHV）:46%程度の酸素吹 IGCC が商用化される。

CO₂ 分離・回収型 IGCC 実証が終了する 2020 年度(平成 32 年度)以降、低炭素を目指した高効率の CO₂ 分離・回収型石炭火力技術が確立し、CO₂ 貯留技術の開発成果を組み合わせることで送電端効率 40%程度の石炭火力且つ CO₂ 排出量の大幅削減が可能な CO₂ 分離・回収型 IGCC プラントが商用化される。

CO₂ 分離・回収型 IGFC 実証が終了する 2021 年度（平成 33 年度）以降、追加の技術開発や別途開発が進んでいる GTFC の技術開発成果を活用することで、2025 年頃に商用規模で送電端効率 55%(HHV)程度の IGFC に向けた、中小型 IGFC 技術が確立される。さらに燃料電池や GTFC の技術開発進展に応じて CO₂ 分離・回収型 IGFC プラントが商用化される。

本実証事業により確立した技術を国内のみならずアジア・大洋州諸国を中心とした海外へ輸出することで我が国の産業力強化に資すると共に、輸出先の国々における CO₂ 排出量の抑制に貢献することが出来る。

(2) 実用化の実施者等

本事業終了後、事業実施者の親会社である電源開発・中国電力は本事業の成果を将来の低炭素石炭火力として導入を図るべく新設・リプレースでの導入を目指す。続いて、他の電気事業者等が導入していくことが考えられる。

*中国電力・電源開発は多くの石炭火力（設備出力両社計:10,964MW、国内石炭火力の約 24%、平成 28 年時点）を保有している。

また、国内の商用機運転実績を背景に、海外市場において「高効率化、CO₂ 削減等」の従来石炭火力に対する優位性をアピールし、低廉な低品位炭に適した発電方式として、今後、電力需要が拡大し、石炭火力発電の普及拡大が見込まれるアジア・大洋州を中心に海外普及を図る。特に、CO₂ 分離・回収型 IGCC/IGFC については、CO₂ 貯留技術が実用化している国（オーストラリア等）において普及を図る。

具体的には、電力、肥料向け等、相手国のニーズの把握、技術の優位性・信頼性について理解を促進するため実証試験の成果を積極的に発表・PR する等、相手国との交流を図る。従来から、今後の国際展開を見据え、アメリカ・オーストラリア等での国際会議において、プロジェクトの概要や進捗状況について発表、産炭国であるオーストラリアのメディア視察受入を行っており、今後も継続的に行っていくほか、親会社とも協調しながら、産炭国に加え石炭輸入国（台湾等）等の海外電力会社および電力技術者の見学受入や発表・PR 活動を積極的に実施していくこととしており、JICA 研修事業の一環としてモンゴルやミャンマー等の電力技術者を受入れた他、ウクライナ、インド、台湾などの電力関係者の受入を実施している。

また、相手国のニーズにより本技術の特長を活かした設計・建設に加え、実証試験等を通じて培った運用・管理を含むシステム提案を行うことで、我が国独自の高性能酸素吹石炭ガス化技術と、我が国が誇る O&M 技術をパッケージ化し、官民一体（メーカー含む）となったオールジャパン体制でのインフラシステム輸出につなげるべく、

国の政策へ貢献していく。

2. 実用化に向けた取組

(1) 研究開発の動機

石炭資源は、エネルギーセキュリティーと経済性の両面で優れた燃料であるが、地球環境との親和性が求められている。酸素吹石炭ガス化技術は、このニーズへの回答の一つとして、燃料電池との組み合わせによる飛躍的な発電効率の向上のほか、CO₂ 分離・回収、水素製造、石油代替燃料製造等、幅広い可能性を有している。

中国電力と電源開発は、電源構成上の石炭比率が高く、地球温暖化問題に対応した石炭の有効利用・高度利用という関心を共有することから、本実証事業の実施に至ったものである。

実施にあたっては、電源開発が国およびNEDOの支援を受けて研究開発してきた、多目的石炭ガス製造技術（EAGLE: Coal Energy Application for Gas Liquid & Electricity）の成果を活用し、中国電力大崎発電所構内で実証試験設備の建設、実証試験を効率的に進めるために、中国電力と電源開発の共同出資により大崎クールジェンを設立したものである。

なお2015年12月に気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において、パリ協定が採択され、世界的に環境負荷低減の方向性が固まってきた中、CO₂削減策に対する多様なアプローチをしていく必要がある、本事業は、エネルギーロスの少ないCO₂分離・回収型IGFCの確立を目的とするものであり、CCSチェーンのなかでも最も重要な基盤技術である発電からのCO₂分離・回収技術の大幅な効率向上とコスト低減に寄与できる。

(2) 事業として成功すると考えた理由

IGFCの基盤技術となる酸素吹IGCCの核である酸素吹ガス化炉（EAGLE炉）は、独自の1室2段旋回流方式により世界最高水準の冷ガス効率を達成する他、多炭種適用性、信頼性の点で海外の先行ガス化炉を凌駕することが期待できることから、実用化した場合には世界的に普及を拡大していくことが望める。さらに、酸素吹IGCCでは、燃焼前の石炭ガスから効率よくCO₂を回収できるため、革新的低炭素石炭火力の実現に不可欠な発電技術である。

また、高効率石炭火力発電から更にCO₂排出を削減するには、CO₂分離・回収が不可欠であるが、CO₂を分離する為のエネルギー損失による発電効率の著しい低下が課題である。一方、本事業で検証するCO₂分離・回収型酸素吹IGCCは、高圧・高濃度のCO₂を対象に高圧プロセスで優位な物理吸収法を用いて効率的にCO₂を分離し、IGCCシステムとの最適化を目指しており、本システムが検証されればCO₂回収によるエネルギー損失を抑え、CO₂分離・回収をしていない微粉炭火力と同等（送電端効率（HHV）：40%程度）の発電効率を持つCO₂分離・回収型IGCCの見通しを得ることができる。

加えて、平成33年度までのCO₂分離・回収型IGFC実証において、小型IGFC技術を実証し、国が別途実施するGTFCの技術開発成果等を活用した場合、商用規模CO₂回収率90%の条件で47%程度（送電端効率（HHV））の発電効率達成の見通しを得ることができる。

① EAGLE 酸素吹ガス化技術の海外酸素吹ガス化技術に対する優位性

EAGLE 酸素吹技術は、海外の酸素吹技術に対して、(a) 発電効率（冷ガス効率）の高

さ、(b)低品位炭（亜瀝青炭や褐炭）を中心とした適合炭種の広さ、(c)高度な排水処理技術、(d)幅広い産業用途への活用の面で優位性がある。

(a)発電効率（冷ガス効率）の高さ

1室1段方式を用いている海外の酸素吹ガス化炉は、ガス化部全体をガス化および灰の熔融に必要な温度域まで上げなくてはならない。海外のIGCCが対象としている亜瀝青炭は、ガス化に必要な温度域は比較的低い、灰の熔融温度はそれよりも高く、灰の熔融点温度が温度律速となっている。すなわち、ガス化部全体を高温にするために石炭の燃焼割合が増え、熱損失が大きくなり冷ガス効率が低下する。

一方EAGLE炉は、1室2段旋回流方式を採用していることから、ガス化部の中で温度勾配を設けることができるため、灰を熔融する部分だけを高温とすることができ、ガス化炉内での石炭の燃焼割合は海外と比べて少なく、冷ガス効率を高くすることができる。また、海外IGCCでガス化炉の炉壁に耐火材を用いているプロジェクトと比較して、EAGLE炉では水冷耐火壁を採用しており耐火壁から熱回収することで発電効率を高めている。

これらの理由により海外のガス化炉の送電端効率（HHV）は38～42%程度であるが、EAGLE炉の商用機は1,500℃級GTにより送電端効率（HHV）46%の高効率が期待できる。

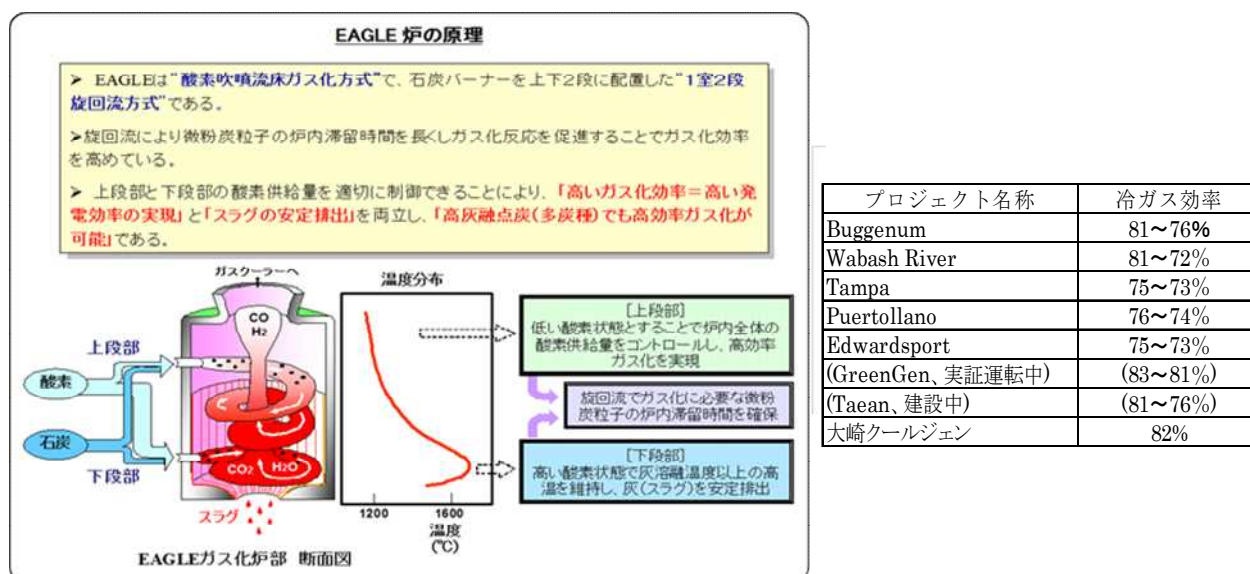


図 4-1 EAGLE 炉の原理、冷ガス効率

(b)適合炭種の広さ

酸素吹の採用によるガス化炉の高温化、1室2段による炉内温度の最適化により、ガス化に適する低品位炭（亜瀝青炭や褐炭）はもとより、微粉炭火力で利用される灰熔融点の高い高品位炭（瀝青炭）まで高効率にガス化できるという優位性がある。海外のIGCCは使用できる石炭が亜瀝青炭を中心としているのに対し、大崎クールジェンプロジェクトは瀝青炭の一部までガス化でき、幅広い炭種に対応できる。

多炭種対応:高灰溶融点炭、低灰分炭

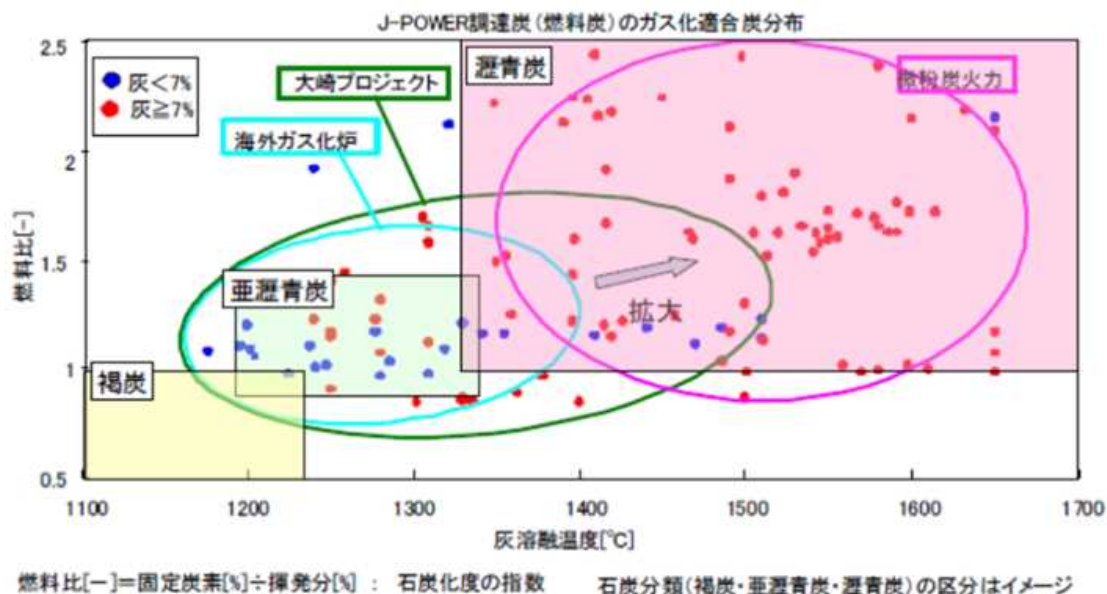


図 4-2 ガス化適合炭分布

(c) 高度な排水処理技術

先行している海外の IGCC の多くは、山元の石炭もしくは限定された石炭を利用している。また、内陸に立地していることから無排水化もしくは排水規制の緩い地点に限られており、排水処理設備を設置していないか、処理能力の低い設備を設置しているのが現状である。

一方、大崎クールジェンプロジェクトで開発実証しようとしているシステムは、対応炭種の幅の広さ、かつ沿岸立地を可能とする高度な排水処理技術を有している点が特徴である。

IGCC からの排水には、微粉炭火力からのものに比べるとガス化特有の成分が含まれ、処理対象の排水濃度は格段に高く、高度な排水処理技術を必要とする。本実証試験を通じて、炭種の変化による含有不純物量の変化と、発電出力の変動による不純物量の変化に伴う、排水処理設備の負荷変化に対応しつつ、日本で最も厳しい排水基準が要求される瀬戸内海水域の適合水準まで確実に処理できる最適な排水処理システムを確立することにより、放流水の水質による立地制約を受けずに、IGCC を世界に普及させる際のハードルを引き下げることができる。

(d) 幅広い産業用途への活用

酸素吹方式で生成した石炭ガス化ガスは N_2 成分が少なく燃料成分濃度が高いため、合成燃料製造など、産業用途への活用にも有利である。具体的には、化学産業では石炭ガス化ガス中の一酸化炭素(CO)と水素(H_2)から合成燃料やアンモニア、肥料などを含む多様な製品を製造できること、ガス産業はメタン(CH_4)等のSNG(代替天然ガス)を製造できること、石油精製産業では脱硫用に水素(H_2)を利用できることなどが期待される。

②酸素吹 IGCC の空気吹 IGCC に対する優位性

酸素吹 IGCC と空気吹 IGCC との違い(優位性)について、以下に示す。

(a) 設備の特徴

空気吹方式の空気分離設備は、石炭搬送に必要な窒素を製造するためのものであるため、酸素吹方式に比べ小型であり、所内動力が小さい。一方で、酸素吹方式は、石炭ガス化剤として使用される酸素を製造する空気分離設備が大型になるものの、石炭ガス化ガス中に含まれる窒素が少なくなることで、生成ガス量は空気吹の約半分となり、ガス化炉設備、ガス精製設備およびCO₂回収設備を小さくできる。

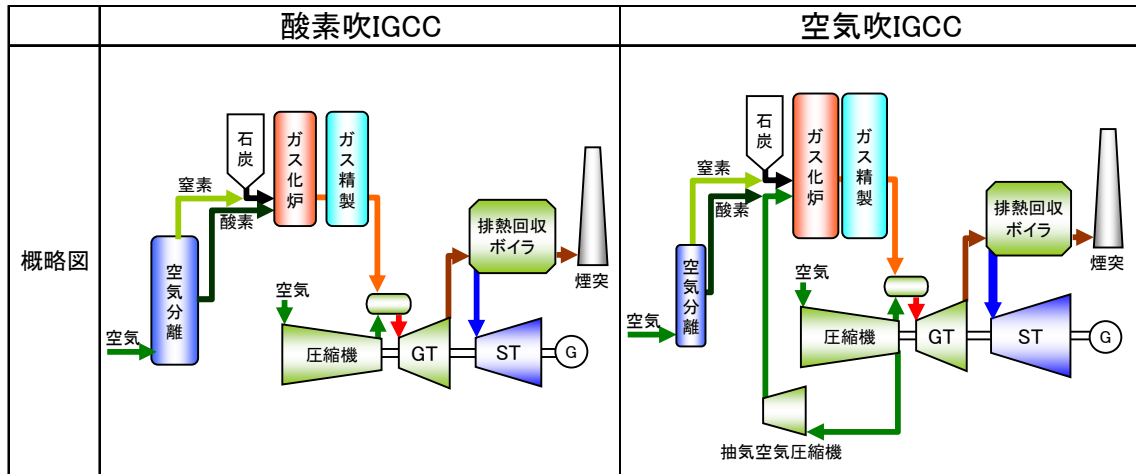


図 4-3 酸素吹・空気吹方式の設備概要

(b) 石炭ガス化ガスの燃料成分割合及び発熱量

酸素吹方式で発生する石炭ガス化ガスは、空気吹方式に比べ N₂ が少なく燃料成分 (CO、H₂) の割合が高く発熱量が高い。

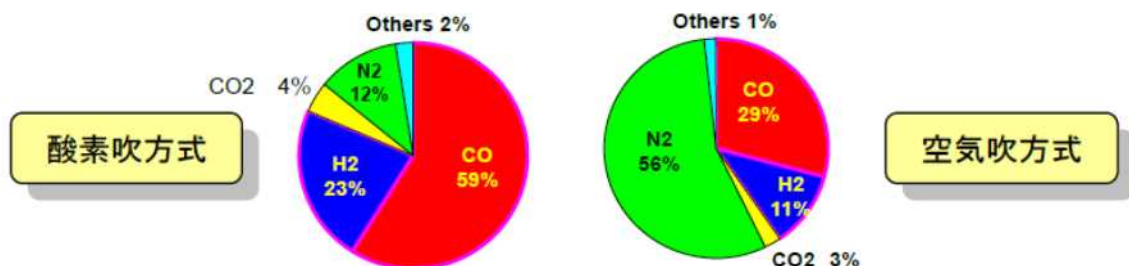


図 4-4 酸素吹・空気吹方式による石炭ガス化ガスの成分割合

酸素吹と空気吹の比較例

- ・ 酸素吹方式の石炭ガス化ガスの発熱量：約 10.5MJ/Nm³(約 2,500kcal/Nm³)
- ・ 空気吹方式の石炭ガス化ガスの発熱量：約 4.8MJ/Nm³(約 1,150kcal/Nm³)

(c) 酸素吹 IGCC の更なる高効率化の可能性

酸素吹方式は空気吹方式に比べて石炭ガス化ガスの発熱量は約 10.5MJ/Nm³(約 2,500kcal/Nm³)と高いため、さらなるガスタービンの高温化への適用性が高いと考えられる。

(d) 空気吹 IGCC と酸素吹 IGCC の効率比較

上記の通り、酸素吹方式は空気吹方式に比べガスの発熱量が高いことに加え、冷ガス効率が高いことから、ガスタービン出力が大きくなり発電端効率は高くなるが、空気分離装置が消費する動力が大きいため、送電端効率においては空気吹方式と同等となる。例えば、商用規模で比較した場合は、両システムとも送電端効率 46%程度となる。

(e) 酸素吹方式で生成した石炭ガス化ガスの産業用途への活用

酸素吹方式で生成した石炭ガス化ガスは発熱量が高いため、合成燃料（GTL（液体燃料）、SNG（合成天然ガス））・H₂・アンモニア・肥料の製造等、発電のみならず石炭ガス化ガスの産業用途への活用が可能となる。

③ 効率的なCO₂分離・回収

(a) IGCCにおける物理吸収法の優位性

CO₂分離・回収技術については、化学産業等でアミン等のアルカリ溶液を用いた化学吸収法やエーテル等を用いた物理吸収法が商用化されている。化学吸収法は、アルカリ性溶液にCO₂を化学反応によって吸収させ、吸収液を過熱することによりCO₂を放出して回収するのに対し、物理吸収法は、ポリエチレングリコール等の吸収液にCO₂を吸収させ、その後減圧(加熱)することによりCO₂を放出して回収することから、高圧プロセスにおいて優位である。本事業で実証する物理吸収法は、将来のIGCCの高効率化技術として期待される高温ガスタービンプロセスでは対象ガスの高圧化により、化学吸収法に比べ更なる効率向上が見込める技術である。

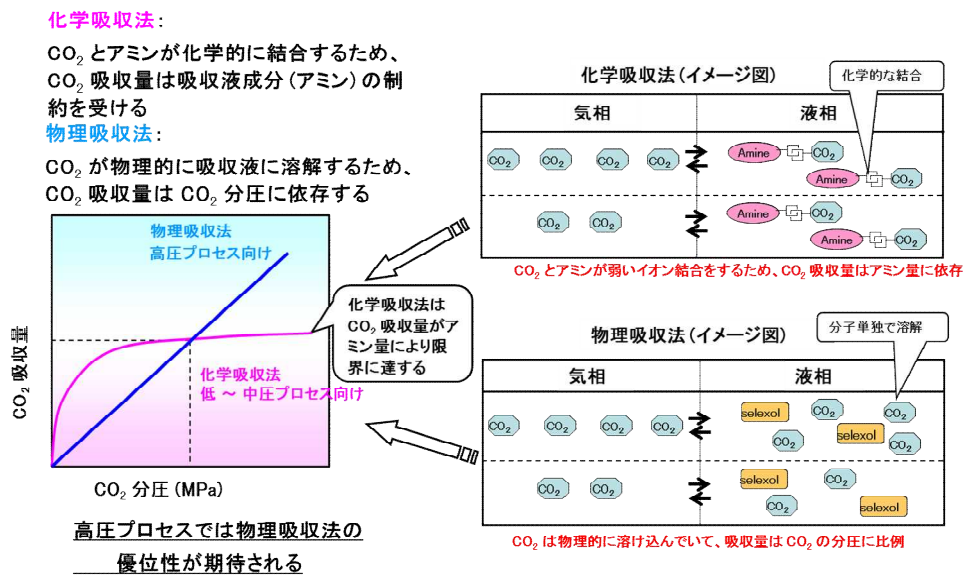


図 4-5 化学吸収法と物理吸収法の特徴

(b) 酸素吹 IGCC の優位性

酸素吹方式は、生成ガス中に窒素成分が少なく生成ガスの量が空気吹方式より少ないことに加え、シフト反応後のガス中にCO₂が多く含まれるため、高濃度のCO₂を効率的に回収することが可能なシステムである。

✓ 酸素吹方式は、生成ガス中のCO、H₂濃度が高く窒素成分が少ないので、生成ガス量が少なく、シフト反応後の生成ガス中のCO₂濃度も高いことから、CO₂回収に有利。

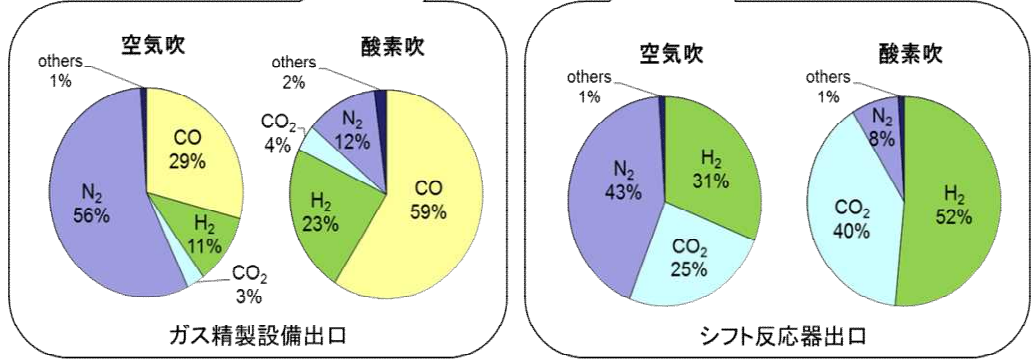
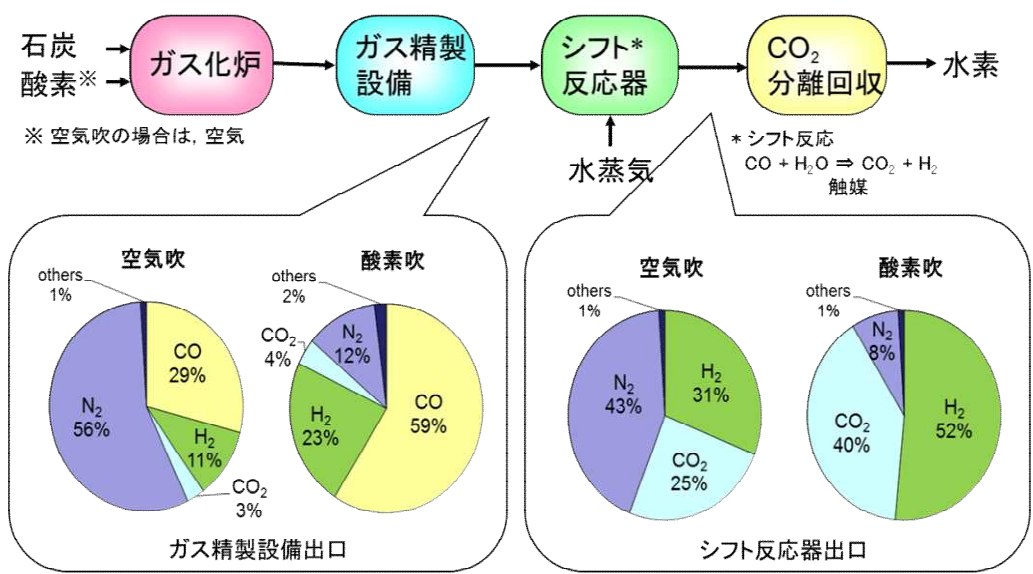


図 4-6 酸素吹・空気吹方式におけるシフト反応前後のガス組成

④IGFC への展開

酸素吹方式は、空気吹方式と比べ、生成ガス中の燃料成分 (CO、H₂) の割合が大きいことから、起電力が大きく燃料電池の効率が高い。そのため IGFC に適用した場合も発電効率の向上が見込める。

	酸素吹	空気吹
起電力	1.22 V	1.17 V
ガス組成		

出典：公開情報を基に電中研で試算

図 4-7 ガス組成と起電力

(3) 実用化のスケジュール

酸素吹 IGCC 実証試験により、技術を確認するが、実証試験の成果を踏まえ、商用規模 (大型機) の主要設備・付属機器の合理化や効率面・コスト面・トラブル事例の恒久対策等の詳細検討を行う。

例えば、実証試験により、EAGLE パイロット試験から大崎クールジェンプロジェクトへのスケールアップ手法の妥当性を検証し、シミュレーション等を行うことで、商用機に向けたスケールアップ手法の構築および改善を検討していく。

実証試験運転により得られた運用面での知見および日常保守、定期点検およびトラブル事例の恒久対策等による設備維持管理面での知見を蓄積し、商用機における設備・機器の設置数および配置等の最適化を検討していく。

また、実証試験で使用しなかった新規炭種についても、電源開発が所有する試験研究設備での検証等による、ガス化特性等の把握についても併せて検討していく。

併せて、発電用途のみならず産業用途においても、事業化調査等を通じて、導入検討先の要望・用途に応じた設計を検討し、実用化・商用化につなげていくとともに、ガス化炉の設計・製作の習熟化、仕様標準化によるコストダウンを図る。

産業用途については、合成燃料、水素、アンモニア、肥料の製造などへの活用が考えられる。電源開発（株）が NEDO 委託事業として、EAGLE 炉を適用して、自然発火性が高く水分が多いため輸送性に劣る豪州のビクトリア褐炭を用い、山元でガス化および CO2 分離・回収を行うことで水素を製造し、貯蔵、利用までが一体となった液化水素のサプライチェーン構築を目指す研究開発にも取り組んでおり、適合炭種が広く、燃料成分濃度が高い EAGLE 炉の優位性を活かした産業用途への国際展開を図る。

さらに CO2 分離・回収型 IGCC の実証が終了する 2020 年度以降、実証試験により得られた CO2 分離・回収型 IGCC の運用面、設計面の知見を反映し、CO2 分離・回収型 IGCC の商用化につなげる。

加えて、CO2 分離・回収型 IGFC により小型 IGFC 技術実証を行い、それにより得られた運用面、設計面の知見を反映し、大型化/商用機に向けた追加技術開発や 2025 年度頃の IGFC の技術確立につなげる。

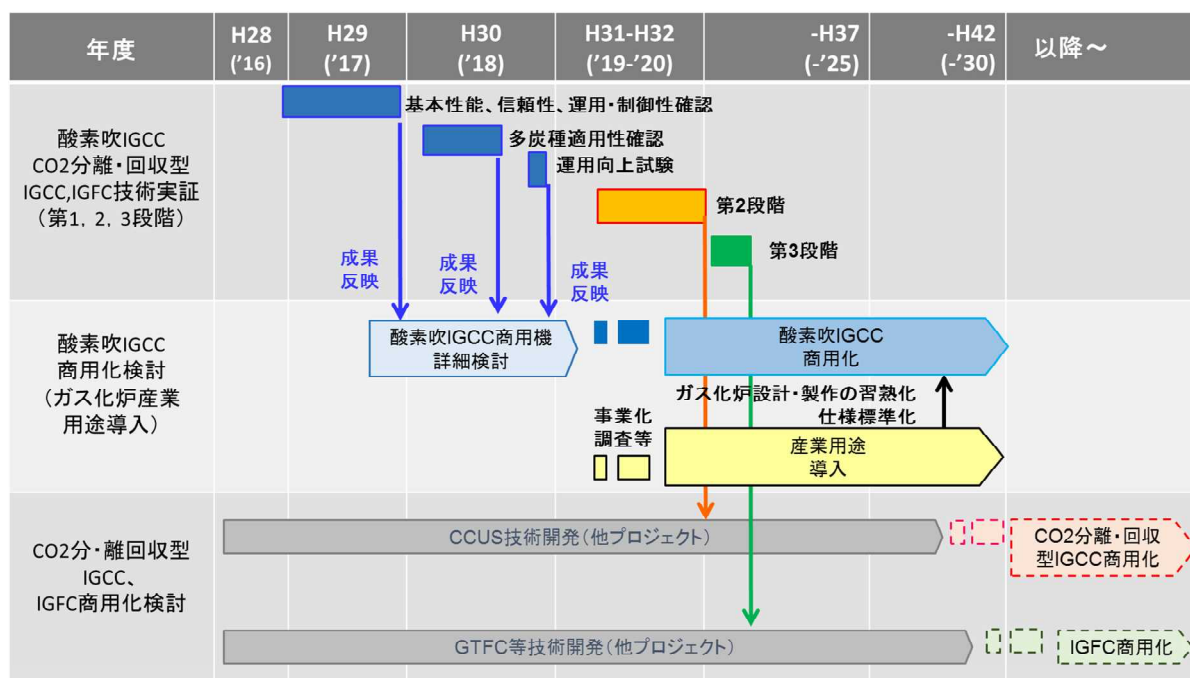


図 4-8 実用化スケジュール

3. 市場の動向・競争力

(1) 市場規模

国内において、石炭火力発電所の建設コストは、約25万円/kWと試算されている^[1]。市場規模としては、2020年から30年間で出力600MW級のIGCC/IGFCリプレース需要を試算すれば14ユニットであり、経済効果は約2兆円となる^[2]。さらに、CO2分離・回収型IGCCについては、CO2分離・回収設備建設による経済効果が加わる。

[1] 発電コスト検証WG（2015年5月11日）資料より

[2] リプレース需要

- 2020年から2050年までの30年間で運転開始後40年を経過する石炭火力発電所の総容量は34GWであり、石炭火力にリプレースすると想定。
- 内訳を、酸素吹IGCC/IGFC、空気吹IGCC、USC、A-USCで1/4ずつとすれば8.5GW。
- 1ユニットの出力600MWとすれば、30年間で14ユニットの潜在需要と試算。

世界においては、石炭火力は2016年～2040年にかけて世界全体で約1,023GW(41GW/年)が新設され(リプレースを含む)、アジア・大洋州は、約825GW増加(33GW/年)と増加量の大半を占める。

アジア・大洋州は産炭国も多く、利用する炭種、導入時期、他産業との連携等のニーズに応じた日本の高効率石炭火力発電技術の導入促進で地球環境問題対策に大きく貢献することが期待出来る。

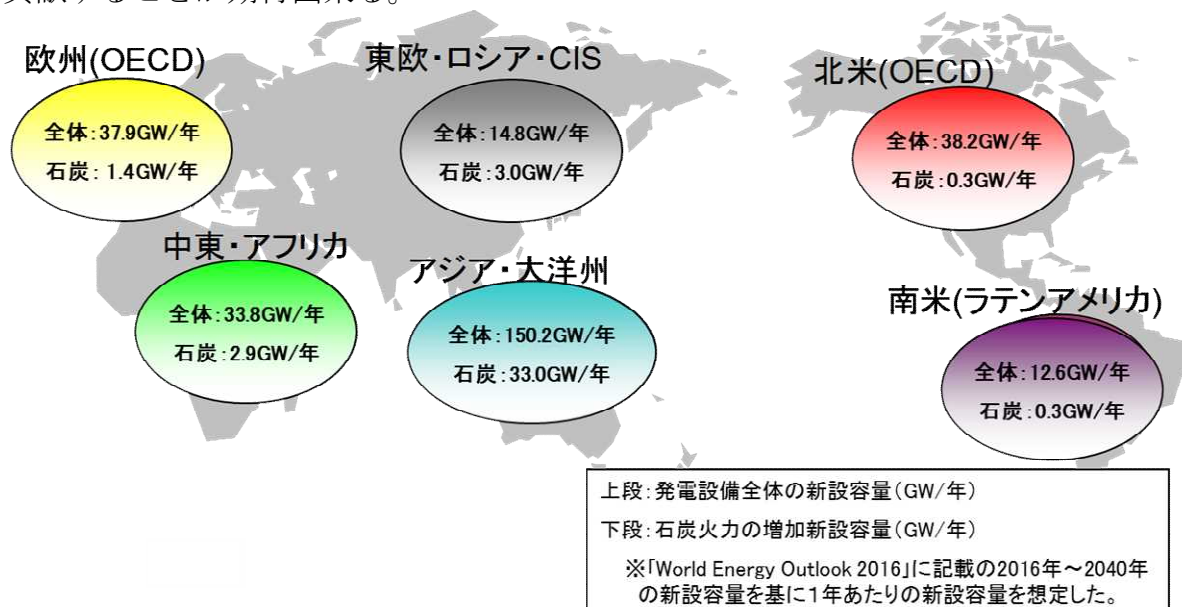


図 4-9 世界の石炭火力の導入見通し

(2) 競合が想定される他社の開発状況とそれに対する優位性

IGFC については GreenGen (中国) が計画中と発表されているが、具体的な計画については明らかにされていない。一方、IGCC の実証事業としては、1990 年代に実施された Buggenum IGCC (オランダ)、Puertollano IGCC (スペイン)、Wabash River IGCC、Tampa IGCC (いずれもアメリカ) が 4 大プロジェクトとして知られている。

内、Buggenum は、欧州の再生エネルギー拡大の影響を受け、2013 年 3 月末に廃止され、Puertollano についても、同様の理由により、2015 年 8 月に廃止されている。Wabash River については、天然ガス価格の低下や運転費用の増加によりアンモニア製造設備への転換を予定している。なお、Tampa については、ガス化しやすいペトロコークスとの混焼により運転を継続しているが、スラッシングの発生が主な要因で、連続運転時間が 3,000 時間以下と短い。

一方、本実証機では、1 室 2 段旋回流方式の採用により、同様の事象を回避することができる。

最近では、Edwardsport (アメリカ)、GreenGen (中国) が運転を開始しているが、いずれにおいても、連続運転時間は短い。

国内においては、空気吹 IGCC の技術開発 (250MW) がクリーンコールパワーで国の補助事業として、2007 年度より実証試験を開始、2010 年度に終了した。その後、IGCC 技術の成熟化に向けた検証を 2013 年 3 月に完了、同年 4 月から常磐共同火力株が商用機として運転を開始し、世界最長の連続運転時間 (3,917 時間) を達成している。さらに、福島県に商用規模 (540MW) 2 基の建設計画がある。

本プロジェクトでは EAGLE の連続運転時間 1,295 時間を踏まえ、5,000 時間の長期耐久試験において信頼性を確立することを目標としており、これを達成したあかつきには、他の先行機を凌駕する成果となる。

表 4-1 海外における IGCC の実証事業

プロジェクト名称	Buggenum	Wabash River	Tampa	Puertollano	Edwardsport	Tianjin (GreenGen)	大崎クールジェン
プロジェクト国	オランダ	アメリカ	アメリカ	スペイン	アメリカ	中国	日本
ステータス	2013年4月閉鎖	実証機/商用運転 アンモニアプラント転換	実証機/商用運転	2015年8月閉鎖	商用機/商用運転	実証機/商用運転	実証機/実証運転
商用運転開始日	1998年～2013年4月	2000年～	2001年～	1998年～2015年8月	2013年6月～	2012年12月～	-
ガス化炉	Shell炉	Dow(E-Gas)炉	GE(Texaco)炉	PRENFLO炉	GE炉	TPRI炉 (HCERI炉)	EAGLE炉
概略図							
ガス化方式	1室1段	2室2段	1室1段	1室1段	1室1段	2段2室	1室2段
石炭供給方式	ドライフィード	スラリーフィード	スラリーフィード	ドライフィード	スラリーフィード	ドライフィード	ドライフィード
ガス化炉 炉壁	水冷耐火壁	耐火材	耐火材	水冷耐火壁	耐火材	水冷耐火壁	水冷耐火壁
ガス化剤	酸素	酸素	酸素	酸素	酸素	酸素	酸素
冷ガス効率	81～76%	81～72%	75～73%	76～74%	75～73%	83～81%	82%
使用炭種	海外炭 18炭種	地元炭 現在ペトロコクス専焼	地元炭 現在ペトロコクス混焼	地元高灰分炭と ペトロコクス混焼	地元炭	褐炭 無煙炭	インドネシア炭他 (第1段階で4炭種)
排水処理	蒸発乾固	蒸発乾固	蒸発乾固	蒸発乾固	河川放流	海域放流	海域放流
石炭処理量(t/日)	2,000	2,600	2,300	2,600	4,100	2,000	1,180
発電端出力(MW)	284	297	315	335	784	265	166
送電端効率 計画(%)	41.4	37.8	39.7	41.5	38.5	41	40.5
送電端効率 実績(%)	41.4	39.7	37.5	41.7	未公開	未公開	-
連続運転時間 実績	3,291時間	1,848時間	2,500時間程度	954時間	1,700時間程度	1,900時間程度	目標5,000時間
スラッキング等による閉塞	発生有り	発生有り	発生有り	発生有り	未公開	未公開	EAGLEパイロット試験では発生なし

IGCC からの CO2 分離・回収の実証事業としては、米国の Tampa と Kemper が挙げられる。Kemper は、空気吹 IGCC を対象とし、低い CO2 回収効率であるにも係わらず、送電端効率(CO2 回収含)28.1%となっている。また Tampa は、酸素吹 IGCC を対象としているが、送電端効率 (IGCC) 37.5%と低く、乾式脱硫の実証を目的としており、化学吸収法の CO2 分離・回収方式を採用している。

本プロジェクトでは、EAGLE 炉の 1 室 2 段旋回流方式による世界最高水準の冷ガス効率に加え、高圧・高濃度の CO2 を対象に高圧プロセスで優位であり、今後さらなる向上が見込める物理吸収法を用いて効率的に CO2 を分離し、IGCC システムとの最適化をすることで、CO2 分離・回収をしていない微粉炭火力と同等 (送電端効率 (HHV) : 40%程度) の発電効率を持つ CO2 分離・回収型 IGCC を目指しており、これを達成したあかつきには、他の先行機を凌駕する成果となる。

表 4-2 CO2 分離・回収型 IGCC 海外先事例との比較(効率は HHV)

	Tampa	Kemper	OCG
場所	米国 FL 州	米国 MS 州	日本
実施者	TECO/NETL	Southern Co.	大崎クールジェン
ガス化炉	GE 炉	KBR 炉×2	EAGLE 炉
ガス化剤	酸素吹き	空気吹き	酸素吹き
石炭処理量	2,300t/d	13,800t/d(褐炭)	1,180t/d
仕様炭種	瀝青炭 現在はペトロコクス混焼	褐炭 無煙炭	亜瀝青炭、瀝青炭 (第1段階は4炭種)
送電端出力	250MW	582MW	136MW
送電端効率 (IGCC)	37.5%	36%	40.5% 【45.6%※】

送電端効率 (CO2 含)	-	28.1%	39.2% 【39.1%※】
CO2 回収実証			
運転開始	2014 年	2017 年予定	2018 年
CO2 回収率	20%	65%	15%
CO2 回収効率	90%	65%	90%
シフト反応	(乾式脱硫⇒) Sweet	Sour	(湿式脱硫⇒) Sweet
CO2 吸収	化学	物理 (脱硫含)	物理 (改良方式)
CO2 回収量	820t/d	8,200t/d	410t/d

※参考値 商用機・90%CO2 回収における値

(3) 価格競争力

発電コスト検証WG報告(経済産業省 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 長期エネルギー需給見通し小委員会 H27.5)を基に、IGCC 建設コストを微粉炭火力の1.2倍と見込んで発電コストを試算する。

微粉炭火力の発電単価 12.3 円/kWh のうち、イニシャルコスト(資本費)は 2.1 円/kWh を占める。

他方、酸素吹 IGCC 商用機のイニシャルコストは 2.7 円/kWh と見込まれるが、しかしながら、発電効率が高いことや、燃料価格が瀝青炭よりも安価な亜瀝青炭を使用できるため、ランニングコスト(運転維持費、燃料費、社会的費用(火力発電ではCO2対策費))が 9.2 円/kWh となり、微粉炭火力のランニングコスト 10.2 円/kWh よりも低減でき、発電原価は 11.9 円/kWh と同程度と試算される。

本実証を通じて、建設費、保守運転費用を検証し、上記コスト試算の検証を実施する。

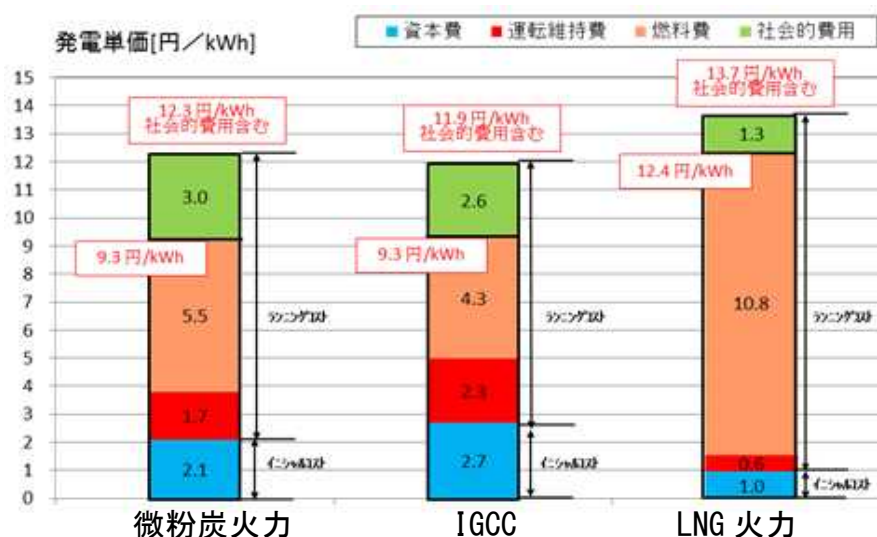


図 4-10 電源別発電コスト試算

NEDO 委託事業「IGCC における CO2 分離回収システムの最適化に関する検討」結果を元に、商用規模で、Sour シフト物理吸収方式で CO2 を 90%回収した場合の CO2 回収コストを試算すると 2000 円台/t-CO2 となる。これは、「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」で提示された各 CO2 分離・回収技術の回収コストと比較しても遜色ないレベルである。

表 4-3 CO2 分離・回収技術比較
「次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料より」

分離回収技術	コスト(円/t-CO2)	技術確立(年度)
① 化学吸収法	4,200円 ※ポストコンバッションの場合	技術確立済み
② 物理吸収法	2,000円台	2020
③ 固体吸収法	2,000円台 ※新設石炭火力の燃焼後回収想定時試算値	2020
④ 膜分離法	1,000円台 ※IGCCの燃焼前回収、昇圧無し想定時試算値	2030
⑤ 酸素燃焼法	3,000円台	2015

燃料電池のうち SOFC については、「NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010」において、大容量コンバインドシステムでの単価として初期導入時は数 10 万円/kW から 100 万円/kW、普及時には 15 万円/kW 以下をターゲットにされている。本実証を含めた燃料電池の開発・実証試験において、耐久性や設備信頼性を確認するとともに、大量生産技術の開発が求められている。

4. 波及効果

(1) 経済効果^{[1][2]}

石炭火力発電所の建設コストは、約 25 万円/kW と試算されている。2020 年から 30 年間で出力 60 万 kW 級の IGCC リプレース需要を試算すれば 14 ユニットであり、経済効果は約 2 兆円となる。さらに、CO2 分離・回収型 IGCC、IGFC については、CO2 分離・回収設備、燃料電池設備建設による経済効果が加わる。

(2) CO2 削減効果

発電効率が現行 (USC) の最高レベルの 40% (送電端効率 (HHV)。以下同じ) から 46% (IGCC : 1,500℃級 GT) まで向上すれば、CO2 排出量は約 1 割強、55%(IGFC) まで向上すれば、約 3 割の削減が可能。

さらに、CO2 分離・回収型 IGCC、IGFC については、CCS と組み合わせることにより CO2 の排出を大幅に抑制することが可能となる。表 4-4 に、国内における CO2 削減量を試算する。

表4-4 IGFC等導入による国内におけるCO2削減効果

	発電効率	kWhあたりのCO2排出量	CO2排出量*	CO2削減量	CO2削減割合
現行USC	40%	0.82kg/kWh	4,900万t/年	ベース	ベース
IGCC	46%	0.71kg/kWh	4,200万t/年	700万t/年	約15%
IGFC	55%	0.59kg/kWh	3,500万t/年	1,400万t/年	約30%
CO2分離・回収型IGCC	40%	0.08kg/kWh	480万t/年	4,420万t/年	約90%
CO2分離・回収型IGFC	47%	0.07kg/kWh	420万t/年	4,480万t/年	約90%

* : 60万kW, 14ユニットに適用された場合の排出量を試算

850万kW (60万kW×14ユニット) ×8760時間×0.8 (稼働率) =59.6G kWh/年

現行USC : 59.6GkWh/年×0.82kg/kWh=4,890万t/年

(3) 雇用創出効果

また、雇用創出効果としては、出力600MW級のIGCC/IGFCにリプレースすることで、1ユニットあたり建設中の4年間に毎年約1,000人規模の雇用が新たに創出される^[3]。14ユニットの雇用（4年間）創出効果は約1万4千人と試算される。

また、石炭火力発電所に関連する老朽化した石炭インフラ設備を新設することによる経済効果や、雇用創出効果も期待できる。

[1]発電コスト検証WG（2015年5月11日）資料より

[2]リプレース需要

- 2020年から2050年までの30年間で運転開始後40年を経過する石炭火力発電所の総容量は34GWであり、石炭火力にリプレースすると想定。
- 内訳を、酸素吹IGCC/IGFC、空気吹IGCC、USC、A-USCで1/4ずつとすれば8.5GW。
- 1ユニットの出力600MWとすれば、30年間で14ユニットの潜在需要と試算。

[3] エコプロダクツ2009 クリーンコールセミナー資料より

(4) 産業用途への活用等

酸素吹き石炭ガス化技術、IGCC、CO₂分離・回収型IGCC技術が確立すると、褐炭等低品位炭を利用した水素製造による水素社会の構築、電力と化学原料製造による電力需給に対応したコプロダクション等、多岐にわたる関連技術への波及が期待される。また、ガス化燃料にバイオマス等を利用することによって再生可能エネルギーの有効活用も可能となる。

本事業が対象とする酸素吹きガス化は、空気吹きガス化と比較して、石炭ガス化ガス中のN₂成分が少なく燃料成分濃度が高いため、合成燃料製造など、産業用途への活用にも有利である。具体的には、石油精製産業では脱硫用に水素（H₂）を利用できること、化学産業では石炭ガス中の一酸化炭素（CO）と水素（H₂）から合成燃料を含む多様な製品を製造できること、ガス産業はメタン（CH₄）等のSNG（代替天然ガス）を製造できること、などが期待される。

電源開発では、既にNEDO委託事業として、EAGLE炉を用いて豪州のビクトリア褐炭から水素（H₂）を製造し、貯蔵、輸送、利用までが一体となった液化水素のサプライチェーン構築を目指す研究開発にも取り組んでいる。

(5) EOR、CO₂有効利用技術（CCU）との連携

回収したCO₂のEORへの活用や、環境配慮型コンクリートや人工光合成など、分離回収したCO₂に付加価値をつけるCCU技術開発との連携が期待できる。特にEORが実用化されている国においてCO₂分離・回収型IGCC/IGFCの普及が見込める。

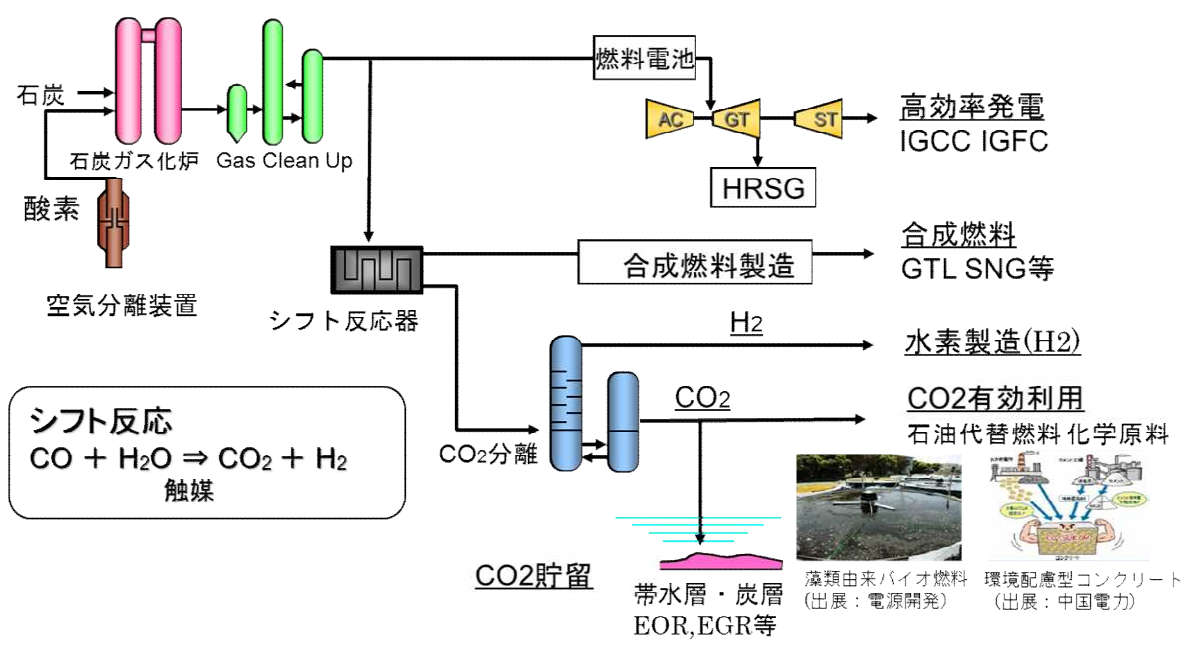


図 4-11 酸素吹きガス化炉の技術の多様性イメージ

「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

平成27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、平成28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。

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が進められている。

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。

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。

（2）研究開発の目標

①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅向上やCO₂分離・回収後においても高効率を維持すること及びCO₂有効利用等、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確立を目指す。

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、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、天然ガスパイプラインの許容圧力変動による、負荷変動対応能力は、6,000万kWと推定される。そのうち、1割をCO₂由来のメタンで代替すると、1,300億円を獲得する。

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。

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（2／3助成）
- 3) CO₂分離・回収型IGFC実証

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（2／3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) 石炭火力の競争力強化技術開発
- 7) CO₂有効利用技術開発

研究開発項目⑤ CO₂回収型クローズド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）]

3. 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 木田淳志

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 佐藤順、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 佐藤順、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 西岡映二、PL：電源開発株式会社 小俣浩次

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 小俣浩次

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) 石炭火力の競争力強化技術開発

PM：NEDO 佐藤順、PL：NEDOにおいて選定

7) CO₂有効利用技術開発

PM：NEDO 村上武、PL：NEDOにおいて選定

研究開発項目⑤ CO₂回収型クローズドIGCC技術開発

PM：NEDO 足立啓、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 足立啓、PL：NEDOにおいて選定

(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。

4. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、平成28年度から平成33年度までの6年間とする。なお、研究開

発項目①及び②は平成24年度から平成27年度、研究開発項目③は平成20年度から平成27年度まで経済産業省により実施したが、平成28年度よりNEDOが実施している。

5. 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う。

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を平成29年度及び平成31年度、事後評価を平成34年度に実施する。研究開発項目②は、平成30年度に中間評価、平成33年度に事後評価を実施する。研究開発項目④1)は前倒し事後評価を平成30年度に実施し、2)は事後評価を平成30年度に実施し、3)、4)及び6)は、事後評価を平成32年度に実施し、5)は中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成32年度に実施し、7)は前倒し事後評価を平成31年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成31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、事後評価を平成33年度に実施する。

6. 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。

知財マネジメント適用プロジェクトは、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発の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、6)石炭火力の競争力強化技術開発及び7)CO₂有効利用技術開発である。

(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。

7. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成28年1月、基本計画制定。

(2) 平成28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) 平成28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) 平成29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④(1)、5)の前倒しの区分を明確化し、④(6)、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。

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。

平成26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、平成26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・回収を組合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

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

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。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

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。

1. 達成目標

[実施期間]

酸素吹 I G C C 実証：平成 24 年度～30 年度（うち平成 24 年度～27 年度は経済産業省において実施）

CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 実証：平成 28～32 年度

CO₂分離・回収型 I G F C 実証：平成 30 年度～33 年度

[中間目標（平成 29 年度）]

1) 酸素吹 I G C C 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 I G C C 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 I G C C 実証

CO₂分離・回収設備の詳細設計を完了する。

[最終目標（平成 30 年度）]

1) 酸素吹 I G C C 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 I G C C 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 I G C C 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 I G C C 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。

(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 I G C C 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。

[最終目標（平成33年度）]

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。

(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。

(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。

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：平成24年度～32年度（うち平成24年度～27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）：平成24年度～29年度（うち平成24年度～27年度は経済産業省において実施）

1. 研究開発の必要性

平成20年3月に閣議決定された「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」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、平成23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 (平成30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 (平成32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 (平成29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]平成20年度～28年度（うち平成20年度～27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（平成28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]平成27年度～30年度（うち平成27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（平成26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

[最終目標（平成30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。

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]平成27年度～29年度（うち平成27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と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（平成29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]平成28年度～31年度

1. 研究開発の必要性

平成27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、2020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

[最終目標（平成31年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

- ・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（燃料器、燃料／空気差圧制御系、排燃料・排空気・空気抽気）。

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]平成28年度～31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ア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

[最終目標（平成31年度）]

(1) I G F Cシステムの検討

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

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。

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]平成28年度～31年度（うち平成27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（平成26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（平成29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 (平成32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。

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

[実施期間]平成29年度～31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。

そこで、日本の高効率発電技術と共にユーザーニーズに的確にマッチングした日本の高いO&M品質を長期保守契約（L T S A）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ことから、L T S Aを実現するために必要な技術開発を実施する。

2. 具体的研究内容

L T S A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、開発し、発電所における技術実証に活用する。

3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

L T S A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確立する。

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]平成29年度～31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CO₂有効利用技術=CCU (Carbon Capture and Utilization) 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国産の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 (平成31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⑤ 「CO₂回収型クローズドIGCC技術開発」

[実施期間]平成27年度～31年度（うち平成27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、石炭火力発電の高効率化に加え、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。

本システムの実現に向けては、平成20年度から平成26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。

3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

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。

[最終目標（平成31年度）]

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。

研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

[実施期間]平成28年度～33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、そして、CO₂の回収、貯留・利用の推進が重要である。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、国内外の石炭利用技術分野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、CCT関連やCCS関連の調査を実施する。また、IEA/CCC(Clean Coal Centre)、IEA/FBC(Fulldized Bed Combustion)、GCCSI(Global CCS Institute)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石炭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、低コスト高効率石炭火力発電システム実現に向けた検討を進める。

3. 達成目標

[最終目標（平成33年度）]

石炭利用技術分野において、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。

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]平成29年度～32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

[最終目標（平成32年度）]

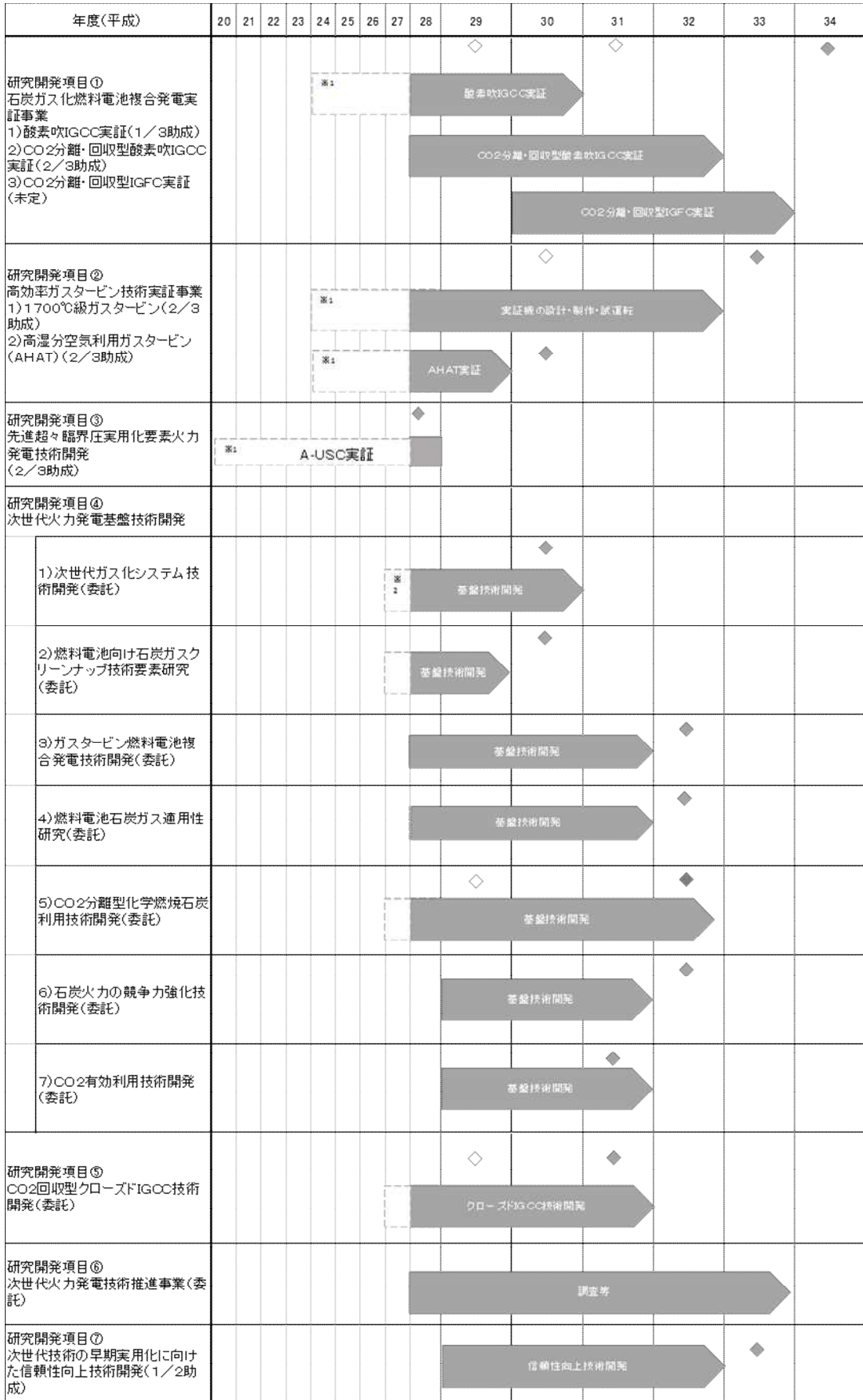
事業終了時において送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成可能な商用プラントへ適用する長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術を確立する。

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。

研究開発スケジュール

◇中間評価 ◆事後評価



※1 経済産業省にて実施したプロジェクトでH28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

添付資料 2

【特許論文等リスト】

【特許】 前身の EAGLE プロジェクト等において出願している特許を参考まで記載する。
平成 15～25 年度(40 件)

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称
1	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2003-364639	国内	2003/10/24	登録	ガス化処理装置及び方法
2	電源開発(株) (株)日立製作所	特願 2003-388009	国内	2003/11/1	登録	気体処理装置の液面調整制御方法
3	電源開発(株) (株)日立製作所	特願 2004-182230	国内	2004/6/21	登録	電気透析装置を備えた脱硫装置
4	電源開発(株) (株)日立製作所 ハブコック日立(株)	特願 2005-29131	国内	2005/2/4	登録	固体燃料ガス化装置およびガス化方法
5	電源開発(株) (株)日立製作所	特願 2005-46659	国内	2005/2/23	公開	石炭ガス化システムのガス精製方法
6	電源開発(株) ハブコック日立(株) (株)日立製作所	特願 2005-241296	国内	2005/8/23	登録	粗粒分離機能付きチャー搬送装置
7	電源開発(株) (株)日立製作所 ハブコック日立(株)	特願 2005-246068	国内	2005/8/26	登録	加圧型ガス化装置、その運転方法およびガス化発電装置
8	電源開発(株) (株)日立製作所	特願 2006-000313	国内	2006/1/5	登録	ガス精製システムおよびガス精製方法
9	電源開発(株) (株)日立製作所 ハブコック日立(株)	PCT/JP2006/3016 18	PCT	2006/2/1	公開	固体燃料ガス化装置及びガス化方法
10	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2007-74287	国内	2007/3/22	公開	二段ガス化炉
11	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2007-74288	国内	2007/3/22	登録	ガス化炉
12	電源開発(株) (株)日立製作所 ハブコック日立(株)	11/883442	外国	2006/2/1	公開	固体燃料ガス化装置及びガス化方法
13	電源開発(株) (株)日立製作所 ハブコック日立(株)	200680003973.4	外国	2006/2/1	登録	固体燃料ガス化装置及びガス化方法
14	電源開発(株) (株)日立製作所 ハブコック日立(株)	2006211317	外国	2006/2/1	登録	固体燃料ガス化装置及びガス化方法
15	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2007-114257	国内	2007/4/24	登録	ガス化炉、ガス化発電プラント、ガス化装置及びガス化炉の運転方法
16	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2007-183189	国内	2007/7/12	公開	ガス化方法及び装置
17	電源開発(株) (株)日立製作所	特願 2007-183194	国内	2007/7/12	登録	再生式脱硫装置及び脱硫システム
18	電源開発(株) 栗田工業(株)	特願 2007-188346	国内	2007/7/19	登録	石炭ガス化排水の処理方法及び処理装置
19	電源開発(株)	特願 2007-236658	国内	2007/9/12	登録	反応炉装置および反応炉内ガ

						ス温度推定方法
20	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2008-110404	国内	2008/4/21	登録	加圧粉体供給装置及びその運 転方法
21	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2008-278963	国内	2008/10/30	公開	固体燃料ガス化バーナ及び固 体燃料ガス化バーナを備えた ガス化炉
22	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2008-325706	国内	2008/12/22	公開	気流搬送微粉体用の分配器及 び分配方法
23	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2009-005176	国内	2009/1/13	公開	気流層ガス化炉の運転方法
24	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2009-102678	国内	2009/4/21	登録	ロックホッパ装置及び石炭ガ ス化複合発電システム並びに それらの運転方法
25	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2009-102680	国内	2009/4/21	公開	気流層ガス化炉及びその運転 方法
26	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2009-104427	国内	2009/4/22	公開	ガス化用バーナ、及びガス化用 バーナの燃料供給方法
27	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2009-118721	国内	2009/5/15	登録	スラグ排出装置及びスラグ排 出方法
28	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2010-141772	国内	2010/6/22	登録	フィルタ装置の再生方法及び フィルタ装置の再生システム
29	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2010-160830	国内	2010/7/15	登録	ガス化炉
30	電源開発(株) (株)日立製作所	特願 2010-179117	国内	2010/8/10	登録	ガス化発電システム
31	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2010-206218	国内	2010/9/15	登録	ガス化炉、ガス化炉の運転方 法、及び石炭ガス化複合発電プ ラント
32	電源開発(株) ハブコック日立(株)	2010246510	外国	2010/11/29	登録	ガス化炉、ガス化発電プラン ト、ガス化炉の運転方法、及び ガス化発電プラントの運転方 法
33	電源開発(株) ハブコック日立(株)	201010571848.1	外国	2010/11/30	公開	ガス化炉、ガス化発電プラン ト、ガス化炉の運転方法、及び ガス化発電プラントの運転方 法
34	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2010-266067	国内	2010/11/30	登録	ガス化炉、ガス化発電プラン ト、ガス化炉の運転方法、及び ガス化発電プラントの運転方 法
35	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2011-121840	国内	2011/5/31	登録	CO シフト反応装置及びこれ を備えた石炭ガス化複合発電 システム
36	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2012-209838	国内	2012/9/24	公開	ガス化炉
37	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2012-230717	国内	2012/10/18	公開	スラグ排出装置及びスラグ排 出方法
38	電源開発(株) ハブコック日立(株)	特願 2013-190518	国内	2013/9/13	公開	石炭ガス化装置
39	電源開発(株) (株)日立製作所 ハブコック日立(株)	特願 2013-207767	国内	2013/10/2	公開	CO シフト反応装置及び該 CO シフト反応装置の運転方法

40	電源開発(株) 千代田化工建設(株)	特願 2014-071947	国内	2014/3/31	公開	サワーシフト触媒のスタートアップ方法
----	-----------------------	----------------	----	-----------	----	--------------------

【論文】

a.国内投稿(14件)

平成 24 年度(1 件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	貝原 良明 渡辺 喜久	大崎クールジェンプロジェクトの概要	火力原子力発電 2013 年 1 月号	有	2012/01/01

平成 25 年度(3 件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	藤井 準次	大崎クールジェンプロジェクトの概要及び今後の計画について	日本エネルギー学会誌 2013 年 5 月号	無	2013/05/01
2	外岡 正夫	大崎クールジェンプロジェクトの概要～石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業～	季報 エネルギー総合工学 Vol36 No.3	無	2013/10/01
3	藤井 準次	大崎クールジェンプロジェクトの概要と今後の計画について	クリーンエネルギー (2013.10 月号)	無	2013/10/01

平成 26 年度(2 件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	相曾 健司 渡辺 喜久	Outline of the OSAKI COOLGEN project (The Oxygen-blown IGCC demonstration project)	日本機械学会 2014 年 10 月号	有	2014/10/01
2	椎屋 光昭	大崎クールジェンプロジェクトの概要～石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業～	電気評論 2014 年 11 月号	無	2014/11/01

平成 27 年度(2 件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	椎屋 光昭	大崎クールジェンプロジェクトの概要～石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業～	触媒年鑑 2015 年版	無	2015/04/01
2	荒木 雅	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況	火力原子力発電協会	有	2015/04/01

平成 28 年度(6 件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	椎屋 光昭 江草 和也	大崎クールジェン酸素吹 IGCC プロジェクトの概要及び進捗状況	日本ガスタービン学会誌 7 月号	無	2016/05/18
2	椎屋 光昭 紺野 亜紀子	酸素吹 IGCC 実証プロジェクト ～大崎クールジェンプロジェクトの概要及び進捗状況～	配管技術	無	2016/06/14
3	椎屋 光昭	石炭ガス化燃料電池複合発電の技術開発の状況について	次世代火力発電/日刊工業新聞社	無	2016/07/11
4	椎屋 光昭	大崎クールジェンプロジェクトの概	電気計算	無	2016/08/01

	紺野 亜紀子	要	10月号		
5	椎屋 光昭 江草 和也	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要及び進捗状況	エネルギーと動力 第287号	無	2016/09/01
6	椎屋 光昭	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要及び進捗状況	OHM 12月号	無	2016/10/01

b.海外投稿(2件)
平成26年度(1件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1		THE OSAKI COOLGEN PROJECT	The global Status of CCS 2014(GCCSI)	無	2015/04/01

平成27年度(1件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1		THE OSAKI COOLGEN PROJECT	The global Status of CCS 2015(GCCSI)	無	2015/04/01

【外部発表】

a.国内発表(32件)
平成24年度(4件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	有森 映二	大崎クールジェンプロジェクトの紹介	日本機械学会 2012年度年次大会	2012/09/11
2	貝原 良明	大崎クールジェンプロジェクトの概要	平成24年度 火力原子力発電大会	2012/10/04
3	藤井 準次	大崎クールジェンプロジェクトの概要及び今後の計画について	エコテクノ2012 クリーンコールテクノロジーセミナー	2012/10/11
4	外岡 正夫	大崎クールジェンプロジェクト概要	群馬大学 第15回環境エネルギーセミナー特別講演	2012/12/26

平成25年度(1件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	貝原 良明	大崎クールジェンプロジェクト ～石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業～	中国地域エネルギー・温暖化対策推進会議	2013/07/17

平成26年度(8件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	貝原 良明	大崎クールジェンプロジェクト ～石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業～	CCT ワークショップ2014	2014/07/15
2	外岡 正夫	大崎クールジェンプロジェクト ～酸素吹 IGCC 実証試験事業～	広島経済同友会環境エネルギー委員会	2014/08/29
3	千代延 恭太	OSAKI COOLGEN PROJECT	石炭ガス化技術国際シンポジウム	2014/09/10
4	椎屋 光昭	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要および実証設備建設	第51回石炭科学会議	2014/10/23

		の進捗状況		
5	荒木 雅	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況 ～石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業～	火力原子力発電大会 中部大会	2014/10/23
6	外岡 正夫	酸素吹 IGCC 実証プロジェクト ～大崎クールジェンプロジェクト～	グリーン・イノベーション 2014	2014/11/23
7	外岡 正夫	大崎クールジェンプロジェクト	平成 26 年度 第 1 回石炭エネルギー委員会	2015/02/18
8	外岡 正夫	大崎クールジェンプロジェクト	コプロワークショップ	2015/02/20

平成 27 年度(11 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	飯田 浩道	酸素吹石炭ガス化技術実証試験プロジェクトについて	日本学術振興会 148 委員会	2015/05/28
2	椎屋 光昭	大崎クールジェンプロジェクトの概要と進捗状況	火力発電セミナー	2015/06/19
3	相曾 健司	大崎クールジェンプロジェクトの概要と進捗状況	CCT ワークショップ 2015	2015/07/02
4	紺野 亜紀子	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要及び進捗状況	日本エネルギー学会	2015/08/04
5	椎屋 光昭	大崎クールジェンプロジェクトの概要と建設状況について	第 14 回九州低炭素システム研究会	2015/10/07
6	中田 勝啓	大崎クールジェンプロジェクト(酸素吹 IGCC 実証プロジェクト)の進捗状況	平成 27 年度 火力原子力発電大会	2015/10/08
7	椎屋 光昭	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要および実証設備建設の進捗状況	第 52 回石炭科学会議	2015/10/29
8	松井 倫広	酸素吹石炭ガス化技術実証試験プロジェクトについて	日本エネルギー学会・西部支部 講演会	2015/11/13
9	相曾 健司	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要と進捗状況	第 9 回日中省エネルギー・環境総合フォーラム 石炭火力発電分科会	2015/11/29
10	下手 麻子 紺野 亜紀子 田淵 浩 山本 英生	革新的低炭素石炭火力発電の実現に向けて ～大崎クールジェンプロジェクトにおける若手技術者の取り組み～	第 23 回環境エネルギーセミナー	2015/12/21
11	荒木 泰三	酸素吹 IGCC 実証機石炭ガス化ガスのガス精製システム	化学工学会 第 81 年会	2016/03/13

平成 28 年度(9 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	木田 淳志	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況と第 2 段階の計画概要	CCT ワークショップ 2016	2016/07/19
2	米田 恭	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要及び進捗状況	エネルギー学会第 25 回大会	2016/08/10
3	大原 祐樹	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要と進捗状況	日本機械学会 2016 年度年次大会	2016/09/13
4	江草 和也	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要及び進捗状況	第 53 回石炭科学会議	2016/10/27
5	梅崎 雅之	大崎クールジェンプロジェクト(酸素吹	平成 28 年度 火力原子力	2016/10/27

		IGCC 実証プロジェクト)の進捗状況	発電大会	
6	下手 麻子	大崎クールジェンプロジェクト -日本のクリーンコール技術を世界へ-	エコプロダクツ 2016 クリーンコールセミナー	2016/12/09
7	鈴木 伸介	大崎クールジェンプロジェクト ~石炭ガス化複合発電実証事業~	第 17 回北海道エネルギー資源環境研究発表会	2017/01/17
8	木田 淳志	大崎クールジェンが取り組む革新的低炭素石炭火力発電「IGCC 実証プロジェクト」	JPI 日本計画研究所 講演会	2017/2/27
9	相曾 健司	大崎クールジェンプロジェクトの概要 -酸素吹石炭ガス化複合発電実証事業-	次世代火力発電 EXPO セミナー発表	2017/3/3

b.海外発表(12 件)
平成 24 年度(1 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	清水 正明	Osaki Coolgen Project Update	Gasification Users Association (GUA) Meeting	2012/10/31

平成 25 年度(2 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	富永 真司	Osaki CoolGen Project Update	Gasification Users Association (GUA) Meeting	2013/10/16
2	相曾 健司	Outline of the Osaki CoolGen Project (IGCC Demonstration Project)	ICOPE(International Conference on Power Engineering)	2013/10/25

平成 26 年度(2 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	相曾 健司	High Efficiency Low Emissions coal thermal power generation Technology (The Osaki Coolgen Project of Oxygen-blown IGCC Demonstration)	第 4 回日豪石炭ワークショップ	2014/06/24
2	清水 正明	Osaki CoolGen Project Update	Gasification Users Association (GUA) Meeting	2014/10/29

平成 27 年度(2 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	紺野 亜紀子	The Osaki Coolgen Project of Oxygen-blown IGCC demonstration	Gasification Users Association (GUA) Meeting	2015/10/14
2	志田尾 耕三	The Osaki Coolgen Project of Oxygen-blown IGCC demonstration	ICOPE(International Conference on Power Engineering)	2015/12/02

平成 28 年度(5 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	中村 郷平	The Osaki Coolgen Project Oxygen-blown IGCC demonstration	IEA Clean Coal Centre HELE 2016 Workshop	2016/05/23
2	山下 進	Osaki CoolGen Project Update	EPRI Asia Coal Power Technology Seminar	2016/09/06
3	紺野 亜紀子	The Osaki Coolgen Project	Gasification Users Association (GUA) Meeting	2016/10/19

		Oxygen-blown IGCC demonstration		
4	紺野 亜紀子	IGCC with CO2 capture demonstration The Osaki CoolGen Project	The 1 st Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilisation	2016/11/28
5	相曾 健司	Realization of innovative high efficiency and low emission coal fired power plant The Osaki-coolgen Project	The 1 st Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilisation	2016/11/29

c.新聞・雑誌等への掲載(27件)

平成 24 年度(5 件)

番号	掲載内容	掲載媒体	発表年月
1	プロジェクト内容	ガスエネルギー新聞	2012/10/10
2	プロジェクト内容	日刊工業新聞	2012/11/30
3	プロジェクト概要、建設工事着工	NHK ニュース	2013/01/06
4	プロジェクト概要、展望(社長インタビュー)	中国新聞	2013/02/10
5	土建着工安全祈願祭	NHK ニュース、電気新聞他	2013/03/01 2013/03/02

平成 25 年度(1 件)

番号	掲載内容	掲載媒体	発表年月
1	プロジェクト概要、建設工事状況 (社長インタビュー) 大崎上島町の期待 (高田町長インタビュー)	RCC ラジオミライレポート	2013/07/06 2013/07/13

平成 26 年度(11 件)

番号	掲載内容	掲載媒体	発表年月
1	ガス化炉工場製作公開	電気新聞、中国新聞、朝日新聞、NHK ニュース	2014/06/04
2	機電着工安全祈願祭	電気新聞、中国新聞	2014/06/05
3	プロジェクト内容	エネルギーフォーラム	2014/06/30
4	プロジェクト内容	月刊エネコ (フジサンケイビジネスアイ)	2014/09/10
5	プロジェクト内容	電気新聞、中国新聞、日刊工業新聞、NHK ニュース	2014/12/10
6	ガス化炉搬入	月刊 Wedge	2015/01/20
7	プロジェクト内容	電気新聞記事広告	2015/01/27
8	プロジェクト内容	日刊工業新聞記事広告	2015/01/30
9	プロジェクト内容	月刊投資経済	2015/02/01
10	日本のクリーンコール技術	Australian Financial Review	2015/02/13
11	地球温暖化防止に寄与する発電技術 (IGCC の仕組み、CO2 削減率)	広島ホームテレビ地球派宣言	2015/03/21

平成 27 年度(5 件)

番号	掲載内容	掲載媒体	発表年月
1	プロジェクト内容	エネルギーフォーラム	2015/10/01
2	プロジェクト内容	NHK クローズアップ現代	2015/11/26
3	プロジェクト内容	熊本日日新聞	2015/12/20
4	プロジェクト内容	電気新聞	2016/02/01
5	プロジェクト内容	中国新聞	2016/02/26

平成 28 年度(6 件)

番号	掲載内容	掲載媒体	発表年月
1	第 2 段階事業着手プレスリリース	中国新聞、日経新聞、電気新聞、日刊工業新聞、日経産業	2016/04/05
2	プロジェクト内容	PRESIDENT 記事広告	2016/04/18
3	酸素吹 IGCC システム本格的試運転開始プレスリリース	電気新聞、中国新聞、日経産業 日刊工業	2016/08/23 2016/08/25
4	プロジェクト内容	月刊日経エコロジー	2016/09/08
5	プロジェクト内容	NHK ニュースお好みワイド広島	2016/11/24
6	実証試験開始	中国新聞、日経新聞、電気新聞、化学工業日報	2017/03/31

d.その他(2 件)

番号	掲載内容	会議名	発表年月
1	プロジェクト概要パネル展示	G7 北九州エネルギー大臣会合	2016/5/1-2
2	プロジェクト概要パネル展示	2016CSLF Technical Workshop	2016/10/5