

「カーボンリサイクル・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
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	2-6
2. 事業の計画内容	2-7
2-1. 研究開発の内容	2-7
2-2. 研究開発の実施体制	2-21
2-3. 研究開発の運営管理	2-23
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	2-23
3. 情勢変化への対応	2-26
3-1. エネルギー基本計画	2-26
3-2. 電力システム改革	2-27
3-3. 海外における石炭火力発電を取り巻く情勢	2-28
4. 中間評価結果への対応	2-30
5. 評価に関する事項	2-35
3. 研究開発成果について	3-1
1. 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義と達成可能性	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
1-3. CO ₂ 分離・回収型IGFC実証	3-5
2. 研究開発項目毎の成果	3-6
2-1. 酸素吹IGCC実証	3-6
2-2. CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証	3-34
2-3. CO ₂ 分離・回収型IGFC研究	3-51
3. 成果の普及	3-55
4. 知的財産権等の確保に向けた取組	3-57
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	4-1
(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略	4-1
(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組み	4-5
(3) 成果の実用化・事業化の見通し	4-7

(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		2020年6月16日
プロジェクト名	カーボンリサイクル・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 P16003 P10016 P92003
担当推進部/ PMまたは担当者	推進部 環境部/PM 高橋主査 (2016年10月～2020年6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た。2016年3月～2019年2月まで実証試験を行い、全ての開発目標を達成し本事業を成功裏に終了した。</p> <p>(2) 第2段階 (2016～2022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 CO₂ 分離・回収設備の性能や運用性、信頼性、経済性を評価する。また、CO₂ 分離・回収設備を追設した場合の IGCC 運転への影響を確認し、運用性を検証する。更に、第2段階の追加研究 (2020～2022年度) として、CO₂ 分離・回収設備と液化炭酸設備を組み合わせ液化炭酸プロセスの最適化システムを構築する。</p> <p>(3) 第3段階 (2018～2022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 IGFC の実証事業を実施する。</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> <p>国は、2019 年度から CO₂ 削減による気候変動問題の解決と新たな資源の安定的な確保につながるため、CO₂ を資源と捉えたカーボンリサイクル技術を推進している。石炭火力の CO₂ の排出量は多く、カーボンリサイクルとして活用するためには、多くの発電所が沿岸地域に立地していることから、液化し大量に利用地点迄輸送する必要がある。カーボンリサイクルの普及には液化炭酸の製造コストや液化炭酸の輸送コスト削減が重要である。また、国内 CO₂ 市場はマーケットの規模は小さいものの近年の化学プラントの統廃合により、生産能力が減少し、需要の多い夏場はドライアイスを海外からの輸入に頼っている。国内需要の一助として石炭火力由来の CO₂ を国内市場に導入する意義がある。</p>			

2. 研究開発マネジメントについて

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。

(1) 第 1 段階：酸素吹 IGCC 実証

- (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、SO_x：8ppm, NO_x：5ppm, ばいじん：3mg/m³N）。
- (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。
- (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。
- (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（負荷変動率 1~3%/分）
- (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。

(2) 第 2 段階：CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

①CO₂分離・回収試験

- (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。
- (b) 基本性能（回収効率・純度）：CO₂分離・回収設備における CO₂回収効率 90%以上、及び回収 CO₂純度 99%以上を得る。
- (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。
- (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。
- (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。
- (f) CO₂分離・回収・液化炭酸プロセス実証研究：CO₂分離・回収型 IGCC と CO₂液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築する。

②IGCC 運用性実証

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

(3) 第 3 段階：CO₂分離・回収型 IGFC 実証

- (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。

事業の目標

事業の計画内容

主な実施事項	2012-2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy
(1) 第 1 段階								
(a) 実証試験設備建設	←→							
(b) 実証試験運転			←→					
(2) 第 2 段階								
①CO ₂ 分離・回収試験								
(a) 実証試験設備建設		←→						
(b) 実証試験運転						←→		
(c) 液化炭酸設備建設・試験運転						←→		
②IGCC 運用性実証								
(a) 実証試験運転						←→		
(3) 第 3 段階								
(a) 実証試験設備建設					←→			
(b) 実証試験運転							←→	

	会計・勘定	2012-2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	総額	備考
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) (委託)・(助成)・(共同研究)のうち使用しない行は削除 ※ 2012-2015fy は METI 事業として実施	一般会計								
	特別会計 (電源・需給の別)	20,370	4,032	4,467	5,693	5,526	3,809	43,897	
	開発成果促進財源								
	総 NEDO 負担額 *2012-2015fy は METI 負担	20,370	4,032	4,467	5,693	5,526	3,809	43,897	
	(助成) 第 1 段階 : 助成率 1/3	20,370	3,738	1,364	1,892			27,363	
	(助成) 第 2 段階 CO ₂ : 助成率 2/3		301	3,107	3,792	3,863	595	11,658	
	(助成) 第 2 段階 液炭 : 助成率 2/3						59	59	
	(助成) 第 2 段階 IGCC : 助成率 1/3				9	1,634	1,750	3,393	
	(助成) 第 3 段階 : 助成率 1/2				1	32	1,461	1,494	
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) 社長 木田 一哉 (2019年10月~2020年6月現在) 大崎クールジェン(株) 副社長 木田 一哉 (2018年7月~2019年9月) 大崎クールジェン(株) 副社長 木田 淳志 (2016年4月~2018年6月)							
	プロジェクトマネージャー	NEDO 環境部 主査 高橋 洋一							
	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)	大崎クールジェン(株) (株)日立製作所 (第2段階: 低温作動型サワーシフト触媒実証研究)							
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。</p> <p>また、2018年7月3日に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、2030年と2050年に向けた方針が示された。2030年に向けた方針としてはエネルギーミックスの確実な実現に向けた取組みの更なる強化とされ、2030年度の電源構成として石炭火力が26%程度維持されることから、石炭火力の高効率化・次世代化の推進と共に、よりクリーンなガス利用へのシフトと非効率石炭のフェードアウトに取り組むとしている。2050年に向けては、パリ協定発効に見られる脱炭素化への世界的なモメンタムを踏まえ、エネルギー転換・脱炭素化に向けた挑戦を掲げ、あらゆる選択肢の可能性を追求していくとしている。</p> <p>更に、近年 CO₂ を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への再利用等とともに、大気中への CO₂ 排出を抑制していく取組みが進められている。</p> <p>これらの情勢変化により、本事業の中核の技術である石炭ガス化をベースとした高効率発電並びに CO₂ 分離・回収技術の早期実用化が一層重要になっている。</p>								

<p>中間評価結果への対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・炭種選定は炭種性状から適切な石炭を見出し性能と経済性を評価すべき。 ⇒今後の実用化時期や日本への供給可能性も考慮に入れつつ、性能と経済性を評価する ・水素リッチ燃料でのガスタービンの性能評価は NEDO 関連事業等との積極的な情報交換を行うべき。 ⇒水素専焼ガスタービン研究開発の情報を共有しつつ、必要に応じ先行事業の成果も活用する。 ・第 2 段階以降で目標としている発電システム全体の送電端効率を達成するため、個々の反応器・プロセスの要求性能を明らかにすること。 ⇒個々の反応器・プロセスの要求性能についてシミュレーション等で解析する。 ・実用化、事業化に向けた進捗確認、要素技術の確立の見通しについて、マイルストーンを明確化すべき。 ⇒CCS 事業の調査結果等を基に、第 2 段階終了(2020 年度)までにマイルストーンを明確化する。 ・海外競合ガス化炉との差別化を図り、海外展開の可能性検証に着手すべき。 ⇒海外ガス化炉の技術動向、運用実績、市場性の調査を行い、競合技術との差別化を図り、海外普及を目的としたマイルストーンを検討する。 ・生成ガスを全量 CO₂分離・回収する場合のガス化炉と CO₂分離・回収運転の相互影響についてシミュレーションにより課題抽出すべき。 ⇒シミュレーション等による課題抽出について第 2 段階の実証試験計画に反映する。 	
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>－(2016 年度に METI より NEDO に本事業が継承された。)</p>
	<p>中間評価</p>	<p>2017 年度(第 1, 第 2 段階)、2020 年度(第 2、液炭、第 3 段階)</p>
	<p>事後評価</p>	<p>2020 年度(第 1 段階)、2023 年度(第 2、液炭、第 3 段階)</p>
<p>3. 研究開発成果について</p>	<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 2018 年度末迄実証試験を実施し成功裏に終了した。また、第 2 段階である CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証(CO₂分離・回収試験、IGCC 運用性実証)については、2016 年度から開始し設備の設計・製作・据付が完了し、2019 年 12 月より実証試験を実施すると共に、2020 年度に液化炭酸プロジェクトを企画した。更に第 3 段階については、2018 年度末から開始し機器の契約手続きが完了し、詳細設計・一部製作に着手した。</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・運用性については、当初設定した目標値を大きく上回り、負荷変化率 16%/分を達成したほか、送電端出力 0MW、送電端出力制御、コールド起動時間(GT 起動～定格負荷)7 時間以内の見通しといった成果が得られた。 ・設備信頼性については、当初設定した目標値を達成した。 ・多炭種適用性については、4 炭種で試験を行い、目標を達成した。 ・経済性については、当初設定した目標を達成した。 <p>(2) 第 2 段階：CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証</p> <p>①CO₂分離・回収試験</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、設備の据付工事を完了し、実証試験を開始した。 ・低温サワーシフト触媒実証研究についても、設備の据付工事を完了し、実証試験を開始した。 ・基本性能の確認、プラント運用性・信頼性確認、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。 ・CO₂分離・回収・液化プロセス実証研究については、設備仕様を決定し、購入手続きを実施中である。 ・液化 CO₂製造システムの最適化、液化 CO₂運用条件・性状については、2022 年度に実証試験を行い検証する。 <p>②IGCC 運用性実証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証運転に向けた設備改善工事を実施した。 ・IGCC 設備運用性については、2019～2020 年度に実証運転を行い評価する。 <p>(3) 第 3 段階：CO₂分離・回収型 IGFC 実証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料電池設備の基本設計が完了し、契約手続きを実施した。 ・燃料電池設備の機器設計のための事前検証試験装置を設置し、2020 年度に必要なデータを採取する。 ・システムの検証については、2021～2022 年度に実証試験を行い検証する。 	

	投稿論文	「査読付き」7件、「その他」19件
	特許	<p>前身の EAGLE プロジェクト等において出願している特許 「出願済」40件、「登録」24件、「実施」0件（うち国際出願6件） 本研究 OCG プロジェクトにおいて出願している特許 「出願済」3件、「登録」0件、「実施」0件（国際出願なし）</p> <p>特記事項： ・他社が特許を取得し使用許諾が必要になる虞が想定される内容、ノウハウの パッケージ化による秘匿化による競合他社への優位性の確保のための取組みを 含め総合的に判断し特許の出願手続きを実施。</p>
	その他の外部発表 (プレス発表等)	<p>新聞・雑誌・TV等：74件 ・第1段階終了に伴い、記者会見を行い研究成果について公表している。以降、 本件研究成果については、毎年記者会見で公開している。</p>
4. 成果の実用 化・事業化に 向けた取組及 び見通しにつ いて		<p>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 プラントの事業化検討を行い、事業性が見いだされれば実用化・事業化される。 ・第2段階である CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC については、2020 年度頃技術確立し、国の温暖化対策に関 する政策動向や 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・回収型酸素吹 IGCC プラントが実用化・事業化される。 <p>また、カーボンリサイクル技術の普及や拡大に伴い、CO₂を液化し船舶輸送が本格化することから、CO₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC に CO₂液化プロセスを組み合わせたプラントの実用化が見込める。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、大型 IGFC 実証を踏まえ CO₂分離・回収型 IGFC プラントが実用化・事業化される。 <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(株)・電源開発(株)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貯留技術のポテンシャルがある国（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	<p>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 月改訂(研究開発項目の追加, PM・PL の修正, 評価実施時期の修正等) 2017 年 5 月改訂(実施体制, PM の変更) 2017 年 6 月改訂(中間目標, 中間評価設定) 2018 年 2 月改訂(助成率の変更, 研究開発項目の追加・変更, PM・PL の追記・ 修正) 2018 年 7 月改訂(PM・PL の変更, 研究の必要性及び具体的研究内容一部変更 2018 年 9 月改訂(PL の変更, 中間評価・事後評価の変更並びに削除, 期間延長 及び最終目標を詳細化、目標値補足、スケジュール表の修正) 2019 年 1 月改訂(助成率の変更, 中間評価追加及び事後評価時期の変更等, 最終目標詳細化, 具体的研究内容の追記, 実施時期の変更・ 中間目標策定・最終目標年度の変更, スケジュール表の修正) 2019 年 2 月改訂(基本計画の名称変更, 研究開発項目の追加、移管) 2019 年 3 月改訂(委託先等以外の第三者の土地に設置した資産の処分方法の追 記)</p>

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	プラント全体の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
所内単独運転		送電線事故時に発電所を系統から切り離し、発電所のポンプなど所内負荷だけを負荷として運転を継続する方法。目的として、送電線事故から回復後、ただちに系統に接続し送電できる状態にユニットを保つことにある。
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。 $(CO+H_2O\rightleftharpoons H_2+CO_2)$ 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することで、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。
CO ₂ 圧入-石油増進回収	EOR	油田の油層にCO ₂ を圧入し、地下に残った原油を回収するとともにCO ₂ を地中に貯留する技術。
CO ₂ 回収率		(分離回収されたCO ₂ ガスのC量/ガス化炉で生成された全石炭ガス化ガスのC量) × 100
CO ₂ 回収効率		(分離回収されたCO ₂ ガスのC量/CO ₂ 分離回収装置導入ガスのC量) × 100
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。
名称	略号	意味

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。
ポストコンバッション CO ₂ 回収技術 (Post-Combustion Capture)	PCC	燃焼後の排ガス(圧力:常圧、CO ₂ 濃度約 15vol%)から CO ₂ を回収する技術であり、既存プラントに容易に導入できる利点がある。
プレコンバッション CO ₂ 回収技術 (Pre-Combustion decarbonization)	PCDC	燃焼前の高圧かつ高 CO ₂ 濃度(圧力:約 2MPa、CO ₂ 濃度約 40vol%)の石炭ガスから CO ₂ を回収する技術であり、燃焼後の排ガスから CO ₂ を回収する場合に比べ、効率やコスト面で優位性がある。

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、燃焼時の単位発熱量当たりの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がある。

(1) 政策的重要性

2014年4月に閣議決定された第4次「エネルギー基本計画」において、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た。

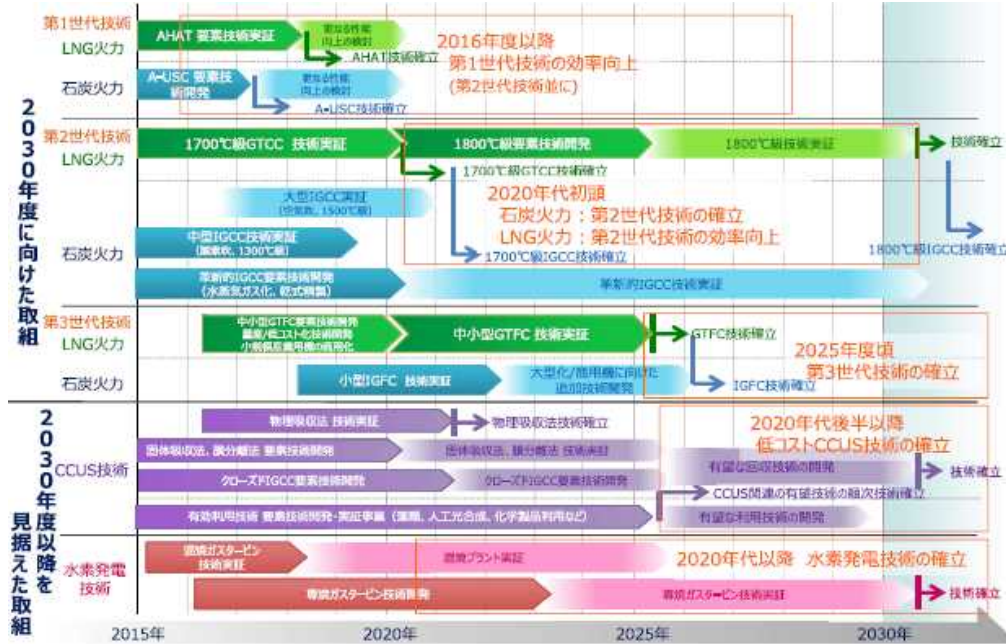
その後、エネルギー基本計画を踏まえ、2014年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。2015年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S(安全性、経済効率性、環境適合、安定供給)を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された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、2016年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、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。

また、2018年7月3日に閣議決定された第5次「エネルギー基本計画」では、2030年と2050年に向けた方針が示された。2030年に向けた方針としてはエネルギーミックスの確実な実現に向けた取組みの更なる強化とされ、2030年度の電源構成として石

炭火力が26%程度維持されることから、石炭火力の高効率化・次世代化の推進と共に、よりクリーンなガス利用へのシフトと非効率石炭のフェードアウトに取り組むとしている。2050年に向けては、パリ協定発効に見られる脱炭素化への世界的なモメンタムを踏まえ、エネルギー転換・脱炭素化に向けた挑戦を掲げ、あらゆる選択肢の可能性を追求していくとしている。

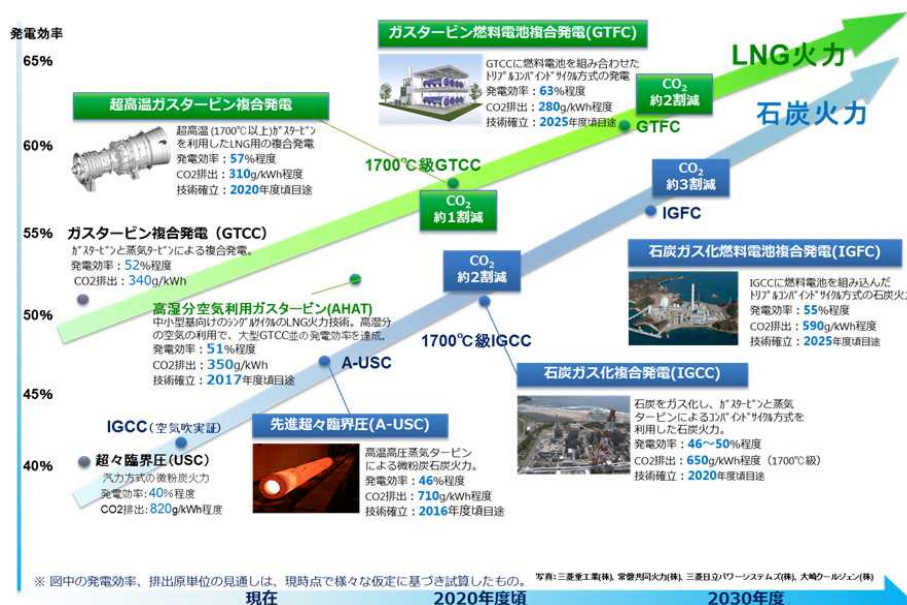
更に、2019年6月7日に経済産業省で策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への再利用等とともに、大気中へのCO₂排出を抑制していく取組みが進められている。

これらの情勢変化により、本事業の中核の技術である石炭ガス化をベースとした高効率発電並びにCO₂分離・回収技術の早期実用化が一層重要になっている。



出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ

図 1-1 次世代火力発電に係る技術ロードマップ



出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料集

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)

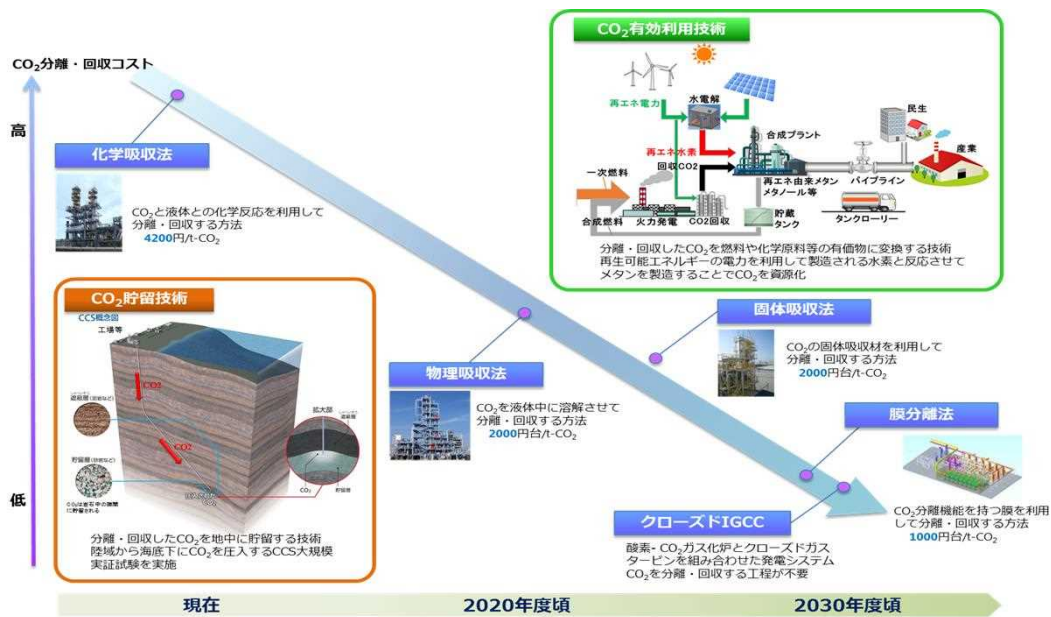


図 1-3 次世代火力発電に係る技術ロードマップ (CO₂回収関連技術)

(2) 我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率は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 (空気吹 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し、1700℃級という高温化を目指して実証試験に取り組むなど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。最近では、Edwardsport(アメリカ)、GreenGen(中国)、Taeon(韓国)が運転を開始した。

表 1-1 世界における IGCC の実証事業

プロジェクト名称	Buggenum	Wabash River	Tampa	Puertollano	Edwardsport	Tianjin (GreenGen)	Taeon	大崎ケルシェン
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	韓国	日本
ステータス	2013年4月閉鎖	IGCCからアンモニア製造プラントへ転換済	実証機/商用運転	実証機/商用運転閉鎖	商用機/商用運転	実証機/商用運転	運転中	実証運転中
商用運転開始日	1998年～2013年4月	2000年～2016年4月	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 (HCER炉)	Shell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1段	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	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	水冷耐火壁
ガス化剤	酸素	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%	81～76%	82%
使用炭種	海外炭 19炭種	地元炭 現在ハロークス専焼	地元炭 現在ハロークス混焼	地元高灰分炭と ハロークス混焼	地元炭	褐炭 無煙炭	産青炭～亜産青炭	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	2,670	1,180
発電出力(MW)	284	297	315	335	784	265	380	166
送電端効率(計画%)	41.4	37.8	39.7	41.5	38.5	41	42	40.5
(HHV) 実績%	41.4	39.7	37.5	41.7	未公開	未公開	42	40.8
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	3,917時間程度	1,995時間	2,116時間

出典：GUA Technology Status (2019年12月、EPRI)等をもとに作成

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、中国の GreenGen 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、化学吸収法の CO₂ 分離・回収方式を採用している。GreenGen も同様に酸素吹 IGCC を対象とし、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	GreenGen	OCG
場所	米国 FL 州	米国 MS 州	中国 天津市	日本
実施者	TECO/NETL	Southern Co.	HUANENG GROUP	大崎クールジェン
ガス化炉	GE 炉	KBR 炉×2	HCERI 炉	EAGLE 炉
ガス化剤	酸素吹き	空気吹き	酸素吹き	酸素吹き
石炭処理量	2,300t/d	13,800t/d(褐炭)	2,000t/d	1,180t/d
炭種	瀝青炭 現在はペトロコクス混焼	褐炭 無煙炭	内モンゴル褐炭 晋城無煙炭	亜瀝青炭、瀝青炭 (第1段階は4炭種)
送電端出力	250MW	582MW	225MW	136MW
送電端効率 (IGCC)	37.5%	36%	41%	40.5%【45.6%※】
送電端効率 (CO ₂ 含)	-	28.1%	-	39.2%【40.0%※】
CO ₂ 回収実証				
運転開始	2014年	中止	2016年	2018年
CO ₂ 回収率	20%	65%	-	15%
CO ₂ 回収効率	90%	65%	-	90%
シフト反応	(乾式脱硫 ⇒) Sweet	Sour	(湿式脱硫 ⇒) Sweet	(湿式脱硫 ⇒) Sweet
CO ₂ 吸収	化学	物理(脱硫含)	化学	物理(改良方式)
CO ₂ 回収量	820t/d	8,200t/d	274t/d	410t/d

出典：GUA Technology Status (2019年12月、EPRI)等をもとに作成
※参考値 商用機・90%CO₂回収における開発目標値

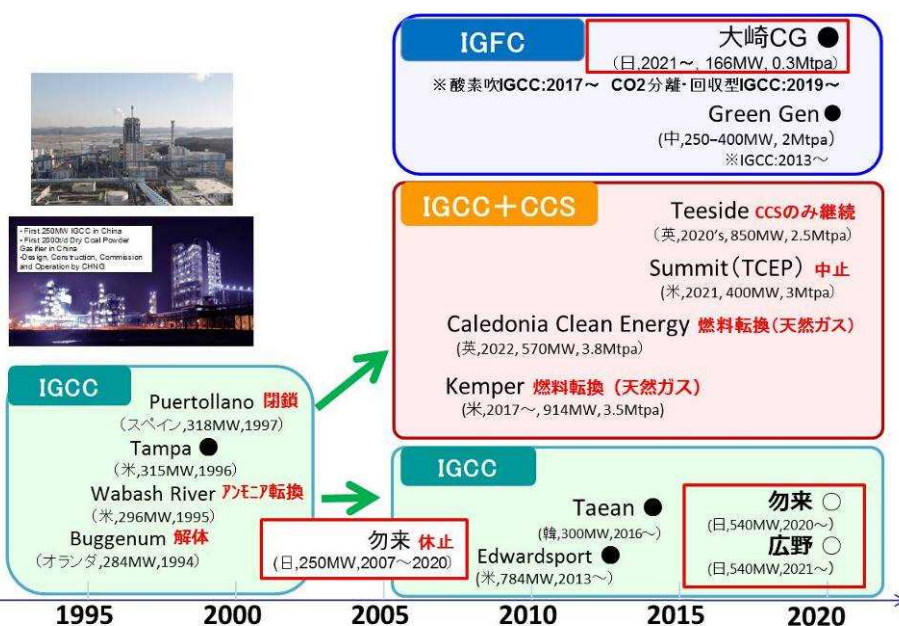
【海外プロジェクトの例】

Taeon
 ・韓国 KEPCO社
 ・発電端出力 300MW
 ・2016 運転開始

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

● 運転中
 ○ 建設中
 △ 計画中
 年数(は運開予定時期)

□ : 日本プロジェクト



出典：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
 図 1-4 世界のプロジェクトの進捗例

(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)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。

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・回収型酸素吹 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・回収型酸素吹 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、2050 年 CO₂ 排出量 80% を目指し他電源へシフトされていくと考えられるが、エネルギー安定供給の観点から一定以上石炭火力はリプレースされていくことも必要であり、リプレースの際には IGCC は発電方式の選択肢の一つとなる。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・回収型酸素吹 IGCC、第 3 段階の CO₂分離・回収型 IGFC の実証は、2019 年 6 月に閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」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、アジア・大洋州である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・回収型酸素吹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。具体的には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。2030年から20年間で出力50万kW級の酸素吹IGCCリプレース需要を試算すれば10ユニットであり、経済効果は約1.25兆円となる。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50%（IGCC：1,700°C級GT）まで向上すれば、CO₂排出量は約2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

項目	発電効率 (% HHV)	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /kWh)	CO ₂ 排出量 [※] (万t/年)	CO ₂ 削減量 (万t/年)	CO ₂ 削減割合 (%)
現行USC	40	0.82	2,873	ベース	-
IGCC(1700°C級)	50	0.65	2,278	596	21
IGFC	55	0.59	2,067	806	28
CO ₂ 分離・回収型 酸素吹IGCC	40	0.08	280	2,593	90
CO ₂ 分離・回収型 吹IGFC	47	0.07	245	2,628	91

出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料集より作成

※：50万kW、10ユニットに適用された場合の排出量を試算

500万kW（50万kW×10ユニット）×8760時間×0.8（稼働率）＝35.04G kWh/年

現行USC：35.04GkWh/年×0.82kg/kWh＝2873万t/年

(3) 雇用創出効果^[3]

出力50万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。10ユニットの雇用（4年間）創出効果は約1万人と試算される。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26日）資料より

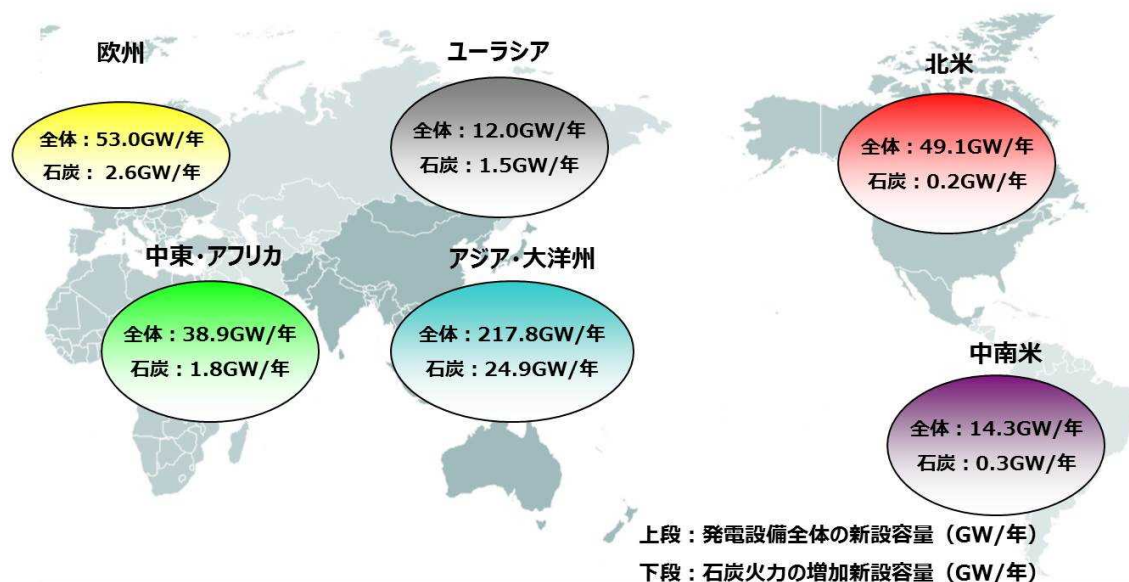
[2] リプレース需要

- 2050年に向けてCO₂排出量80%削減を目指し、ガス利用へのシフト、非効率石炭のフェードアウトが求められること、エネルギー安定供給上一定の石炭利用は維持が必要、電力システム改革で容量市場が構築されること、並びに電力需要が人口減少や省エネの推進により現状レベル（国内石炭火力発電設備容量3,800万kW）2割程度低下すると、国内では約1,500万kW程度需要があると想定。
- 2030年以降は次世代火力発電技術が実用化されると考えられることから、石炭火力技術を、酸素吹IGCC/IGFC、空気吹IGCC、A-USCで1/3ずつ分け合うとすれば500万kW。
- 1ユニットの出力50万kWとすれば、20年間で約10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、図1-5のとおり石炭火力は2019年～2040年にかけて世界全体で約687GW（31.2GW/年）が新設され（リプレースを含む）、アジア・大洋州は、約547GW増加（24.9GW/年）と増加量の約8割を占める。

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。



出典：World Energy Outlook 2019 (IEA) をもとに作成

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	SO _x (O ₂ =16%) : 8ppm NO _x (O ₂ =16%) : 5ppm ばいじん (O ₂ =16%) : 3mg/Nm ³ <現状の水準> 過去 5 年間に運転開始した主な微粉炭火力 SO _x (O ₂ =16%) : 8~16ppm NO _x (O ₂ =16%) : 8~15ppm ばいじん (O ₂ =16%) : 2~3mg/Nm ³
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> 近年の石炭火力は 70~80%の稼働率で運用されている。
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	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。 <現状の水準> 発電単価 : 12.3 円/kWh (社会的費用含む)

表 2-2 酸素吹 IGCC 実証 目標設定理由

項目	目標設定理由（意義）
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

1-2-1. 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。更に、CO₂分離・回収設備と液化炭酸設備を組み合わせ液化炭酸プロセスの最適化システムを構築する。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 CO₂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
CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証研究	<p>システム基本性能の検証</p> <p>CO₂ 分離・回収設備における CO₂ 回収効率：90%以上、回収 CO₂ 純度：99%以上</p> <p>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、HHV※)程度の見通しを得る。</p> <p>これを実現するために、実証機プラントにおいて、CO₂ 分離・回収にかかるエネルギー原単位「0.90 GJ/t-CO₂ (電気エネルギー換算)」を発電効率に係る性能として確認する</p> <p>※高位発熱量基準 (現状の水準)</p> <p>CO₂ 回収効率、回収 CO₂ 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。</p>
	<p>プラント運用性・信頼性の検証</p> <p>CO₂ 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 CO₂ 分離・回収設備の運用手法を確立し、信頼性を検証する。</p> <p>生成ガスの全量を CO₂ 分離した場合の IGCC 運転との相互影響やガスタービン性能についても検証する。</p> <p>(現状の水準)</p> <p>CO₂ 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>経済性の検証</p> <p>商用機における CO₂ 分離・回収の費用原単位を評価する。</p> <p>実用化・事業化に向けたマイルストーンを検討する。</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 CO₂ 分離・回収コストは約 4200 円/t-CO₂ である。本事業においては 2020 年代で 2000 円台/t-CO₂ をベンチマークとする。</p>

テーマ	目標・現状の水準	
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「CO₂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 CO₂ 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>2011～2013 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、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サワーシフト触媒において、反応用蒸気を従来よりも 25%低減した条件にて 1,000 時間程度は初期性能が維持されることが確認された。</p>	
CO ₂ 液化プロセス開発	CO ₂ 分離・回収・液化プロセス実証研究	<p>CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC と CO₂液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築する。</p> <p>(現状の水準)</p> <p>石炭火力から CO₂ を回収し、液化するまでの一連のシステムについて実証が行われたことはない。</p> <p>現在、国内における CO₂ の需要と供給バランスが崩れ、需要の多い夏場はドライアイスを海外から輸入する状況になっている。</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	
CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証研究	システム基本性能の検証	<p>革新的低炭素型石炭火力の実現の為に CO₂ 分離・回収設備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>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・回収設備(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>

テーマ		目標設定理由
	プラント運用性・信頼性の検証	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、CO ₂ 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。
	経済性の検証	CO ₂ 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、CO ₂ 分離・回収設備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。
低温作動型サワーシフト触媒実証研究		「物理吸収法におけるサワーシフト反応最適化研究(2011~2013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長時間の運転が必要と見込まれる。
CO ₂ 液化プロセス開発		カーボンリサイクルの普及拡大を目指し、石炭火力から回収されたCO ₂ を有効利用するための基盤技術として、CO ₂ 分離・回収設備で回収したCO ₂ を原料とする液化CO ₂ の製造・貯蔵・輸送に要するエネルギー原単位を最小化するための最適条件や運用性を検証すること、並びに、当面の利用先として国内CO ₂ 市場への適用可能性について検証する。

1-2-2. IGCC 運用性実証

本事業は、CO₂分離・回収設備を追設した場合における、IGCC設備の運用性を実証する。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 IGCC 運用性実証 開発目標

テーマ	目標
IGCCプラントの運用性実証	CO ₂ 分離・回収設備を追設した場合のIGCC運転への影響を確認し、その運用性を検証する。 <現状の水準> CO ₂ 分離・回収型IGCCについては、海外においてTampa、Greengenで運転実績がある。

表2-6 IGCC 運用性実証 目標設定理由

テーマ	目標設定理由
IGCCプラントの運用性実証	商用機において、CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCCシステムを構築するにあたり、CO ₂ 分離・回収・設備設置に伴うIGCC運転への影響を確認し、信頼性を検証する。 また生成ガス全量からCO ₂ 回収する場合において、CO ₂ 分離・回収設備とIGCC運転との相互作用やガスタービン性能を検証する。

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 2-7 の目標を達成すべく実施する。なお、目標設定の理由は表 2-8 に示す。

表 2-7 CO₂分離・回収型 IGFC 実証 開発目標

項目	目標
システムの検証	<p>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。 (現状の水準)</p> <p>米国 SECA プロジェクトでは Fuel Cell Energy が 200kW の SOFC (平板型) の開発し、MW 級の実証試験後、2025 年頃には MW 級を連結した 100MW 以上の IGFC や NGFC の開発を目指している。</p> <p>韓国 Taean IGCC では 2019 年に石炭ガス化ガスから 99.99% の高純度水素を精製し、100 kW 級発電用高分子電解質燃料電池 (PEMFC) システムの実証運転を実施した。</p>

表 2-8 CO₂分離・回収型 IGFC 実証試験 目標設定理由

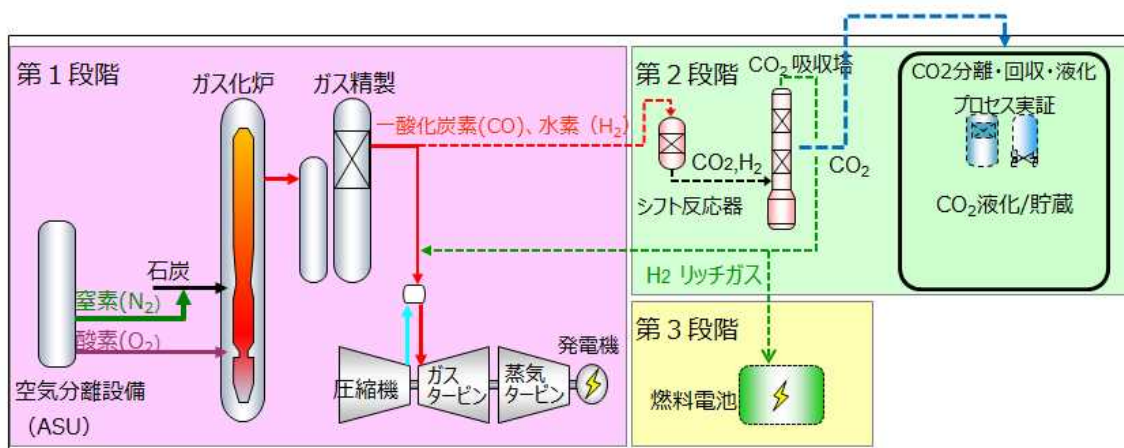
項目	目標設定理由
システムの検証	<p>新設商用 CO₂分離・回収型 IGFC (500MW 級) において、CO₂を 90%回収しつつ発電効率 47%程度 (送電端、HHV) の見通しを得ることで、「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」に示される IGFC と CO₂分離・回収 (物理吸収法) 技術を組み合わせた低炭素排出かつ高効率石炭火力発電技術を確立することが可能となる。</p>

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・回収型酸素吹IGCCの実証試験を実施する。また、CO₂分離・回収設備を追設した場合のIGCC運転への影響を確認し、運用性を検証する。更に、第2段階の追加研究(2020～2022年度)として、CO₂分離・回収設備と液化炭酸設備を組み合わせ液化炭酸プロセスの最適化システムを構築する。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表2-9にスケジュールを示す。



※大崎クールジェンプロジェクトにはCO₂輸送および貯留試験は含まない。

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

図2-1 プロジェクト概要

表2-9 プロジェクトスケジュール

年度	2012年度 (H24年度)	2013年度 (H25年度)	2014年度 (H26年度)	2015年度 (H27年度)	2016年度 (H28年度)	2017年度 (H29年度)	2018年度 (H30年度)	2019年度 (R1年度)	2020年度 (R2年度)	2021年度 (R3年度)	2022年度 (R4年度)
第1段階 酸素吹IGCC実証	設計・設計・製作・格付・試験						実証試験				
第2段階 CO ₂ 分離・回収型 酸素吹IGCC実証					設計	CO ₂ 分離・回収 詳細設計・製作・格付・試験			実証試験		
第2段階 CO ₂ 分離・回収型 IGCC運用性実証								IGCC 既設改造 実証試験			
第3段階 CO ₂ 分離・回収型 IGFC実証								IGFC 設計・製作・格付・試験			実証試験

□ : 計画

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)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 2-2 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

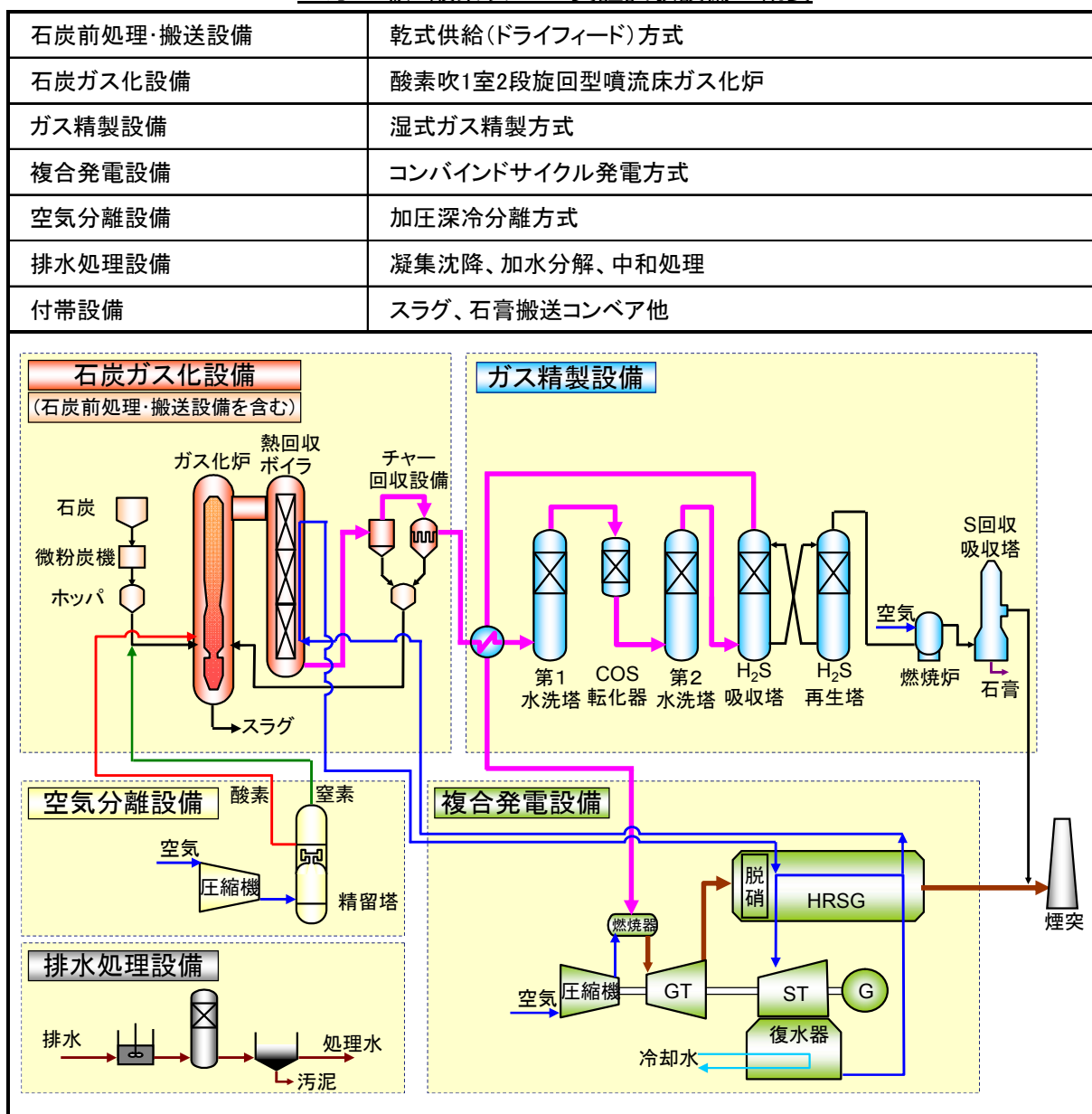


図 2-2 酸素吹 IGCC 実証試験設備概要

(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。

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し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

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。

2-1-1-2. CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

2-1-1-2-1. 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 2-3 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。

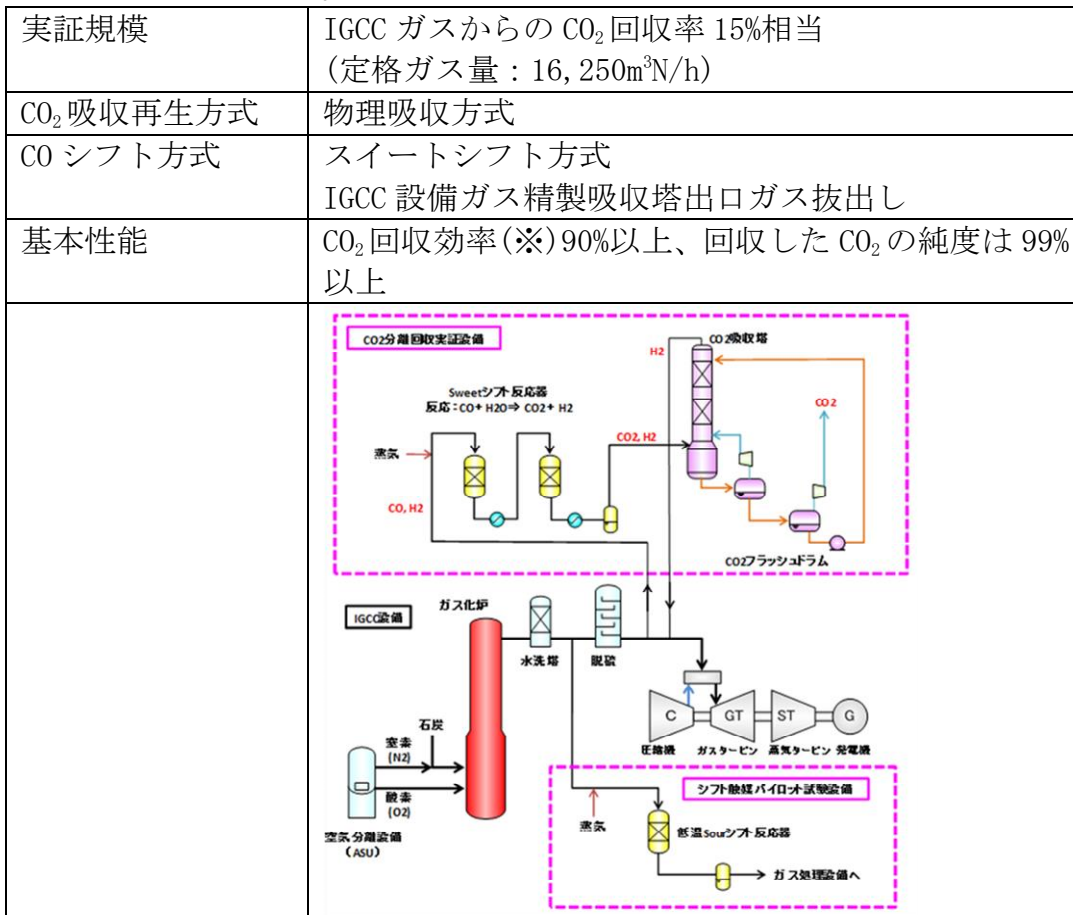


図 2-3 CO₂分離・回収型 IGCC 実証設備概要

(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・回収型酸素吹 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・回収型酸素吹 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

(株)日立製作所と大崎クールジェン(株)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 2-4 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。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」(2011～2013 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。

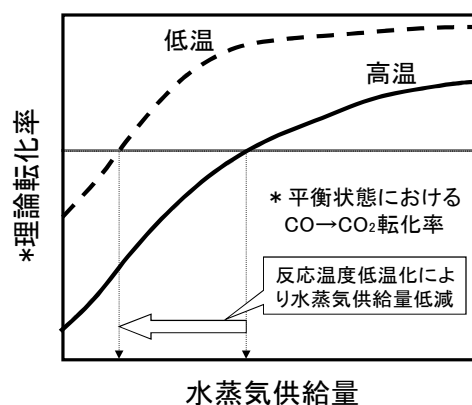


図 2-4 シフト反応の特徴

(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 2-5 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 のガス精製第 1 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 1 にて No. 2 シフト反応器入口温度まで冷却した後、No. 2 シフト反応器に供給する構成とする。No. 2 シフト反応器後のガスは冷却器 2 で冷却し、ドレン捕集器 2 で気液分離し、それぞれシフトガスはガス精製第 2 水洗塔入口へ、凝縮水は CO₂ 分離・回収設備用焼却炉へ送る。

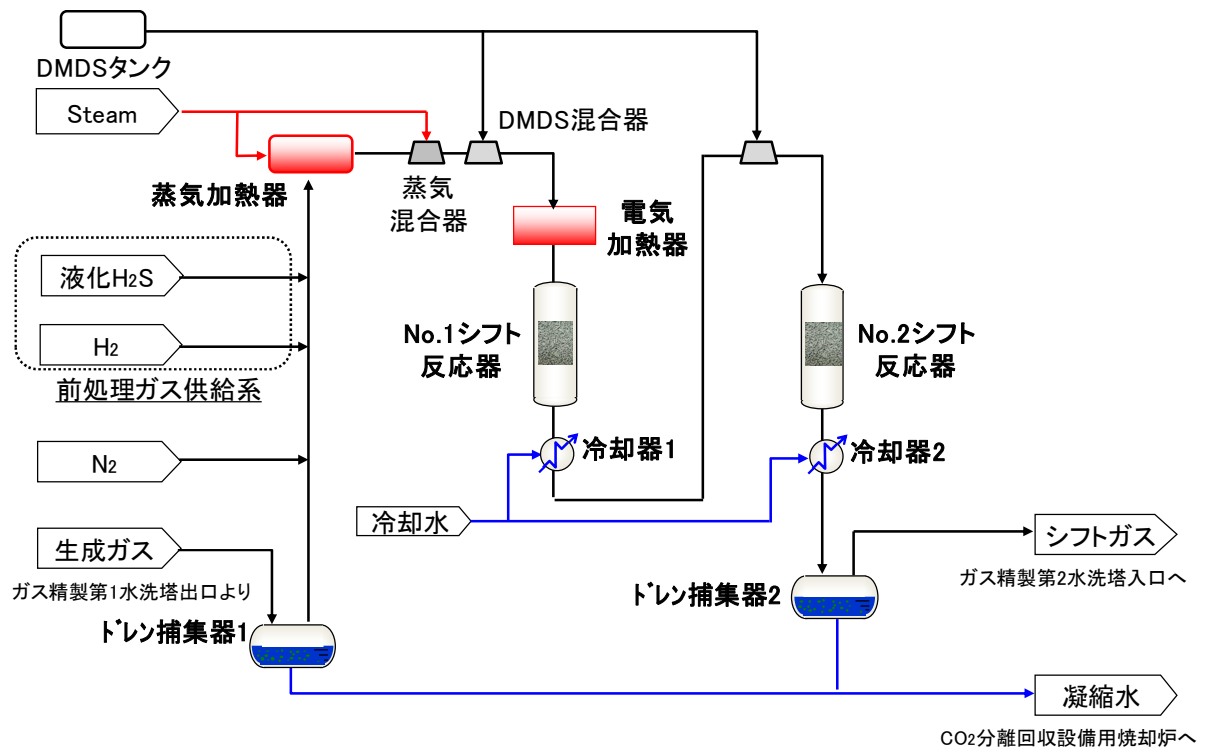


図 2-5 サワーシフト触媒実証試験設備システム構成

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。

(3) CO₂ 液化プロセス開発

カーボンリサイクルの実現に向け技術開発が進行しているが、普及のためには、経済性の向上が必要である。

- ・ 現状、石炭火力からの CO₂ 分離・回収については、物理吸収法が最も有望視されており、ガスの供給にのみならず液状での供給を視野に入れた場合、物理吸収法+液化炭酸プロセスのシステム開発はコスト的にメリットがある。
- ・ CO₂ 利用先に応じた輸送コストの削減も取り組む課題であり、大量利用を想定した場合、船舶輸送のコスト削減はインパクトがある。
- ・ 更に、近年国内 CO₂ 市場では、化学プラントの統廃合が進み、国内生産力が脆弱化傾向にある。国内 CO₂ 市場を底支えするためには、他の高純度 CO₂ 製造プロセスが必要であり、石炭火力由来の CO₂ を市場導入するのは世界初である。

以上の背景から、CO₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC と CO₂ 液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築する。

① システム基本性能の検証

(a) 物理吸収法と液化プロセスを組み合わせた液化 CO₂ 製造システムの最適化

物理吸収法を用いた CO₂ 分離・回収設備と液化プロセスを組合せて液化 CO₂ を製造した場合のエネルギー原単位を把握するとともに、システム全体を最適化し、液化 CO₂ 製造コストを最小化するための運転条件を明らかにする。

また、CO₂ 分離・回収設備と液化プロセスを組合せた液化 CO₂ 製造システムの特徴を活かし、一般的な液化 CO₂ 製造施設で具備される装置やプロセスの簡略化の可否を明らかにする。

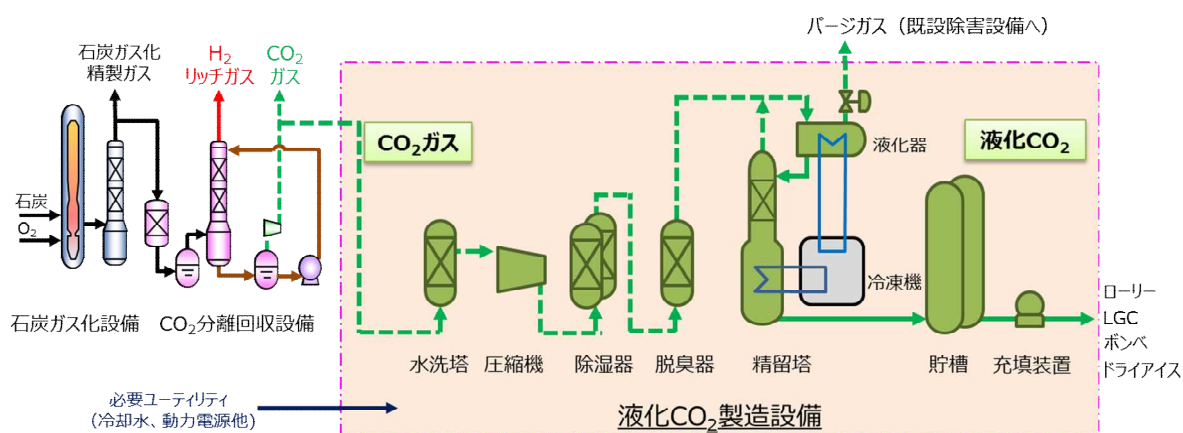


図 2-6 液化 CO₂ 製造設備

(b) 低コスト化に向けた液化 CO₂ 運用条件に関する検討

カーボンリサイクル等の普及拡大による CO₂ の利用を想定した場合、液化 CO₂ の貯蔵や輸送に係る運用条件により、流通コストが大きく影響を受けると考えられる。そこで、現状の標準的な液化 CO₂ の運用条件より緩和した低圧条件での運用性を検証する。

(c) 石炭火力由来の CO₂ 性状に関する検討

石炭火力から回収した CO₂ の利用拡大を図るため、当面の利用先として国内 CO₂ 市場への展開を視野に、液化 CO₂ の性状を詳細に調べ、市場に流通可能な性状を有するかを確認する。

② 液化 CO₂ 製造・利用技術に係る技術動向調査

CO₂有効利用に関する関連技術について調査を実施し、技術動向を把握する。

③ 総合評価

- (a) 物理吸収法と液化プロセスを組み合わせた液化 CO₂ 製造システムの最適化として、エネルギー原単位と設備簡略化に関する評価を行う。
- (b) 商用機を想定した液化 CO₂ の経済性に関する評価を行う。
- (c) 低コスト化に向けた液化 CO₂ 運用条件に関する検討として、低圧条件における液化 CO₂ の運用性とコスト低減効果に関する評価を行う。
- (d) 石炭火力由来の液化 CO₂ の国内市場導入可能性に関する評価を行う。

2-1-1-2-2. IGCC 運用性実証

(1) CO₂ 分離・回収型 IGCC 実証試験に向けた準備・検討

第1段階で使用した酸素吹 IGCC 設備に CO₂ 分離・回収設備を追設することから、CO₂ 分離・回収に伴うガスタービン入口燃料性状の変化など IGCC 設備の運転制御に及ぼす影響を考慮する必要があるため、これらの影響について検討・調査を行う。また、実証試験を円滑に実施する上で IGCC 設備の長期連続運転が必要になることから、実証試験における運用性および信頼性向上に向けた必要な設備点検・改善を行う。

(2) CO₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験運転

実証試験実施に必要な石炭ガス、蒸気、電力を CO₂ 分離・回収設備に安定的に供給し、計画通りに実証試験運転が行えるよう IGCC 設備の運転を行う。各試験の中で、IGCC の負荷変動や石炭ガスの性状変化に伴う CO₂ 分離・回収設備の応答に対する、ガスタービン等の追従性やガスタービン燃焼器への影響を評価し、IGCC 設備が安定的に運転できることを確認する。

(3) 総合評価

実証試験を通じて得た IGCC 設備運転データを基に、CO₂ 分離・回収設備を追設する場合における IGCC 設備運用性を評価する。

2-1-1-3. CO₂ 分離・回収型 IGFC 実証

CO₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC プラントに燃料電池を組み合わせた場合、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 2-10 の通りとする。

IGFC に適用する燃料電池は、高効率化の観点から、作動温度が高く、ガスタービンとの組合せが可能な高圧プロセスで、CO と H₂ を主成分とする石炭ガス化ガスを利用できる「固体酸化物形燃料電池 (SOFC)」を採用する。

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。実証システム計画の概略システムを図 2-7 に、表 2-11 に第3段階スケジュールを示す。

表 2-10 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	1.2MW 級ユニット (600kW 級×2 モジュール)
システム概要	CO ₂ 分離・回収型 IGCC 設備の CO ₂ 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、CO ₂ 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。

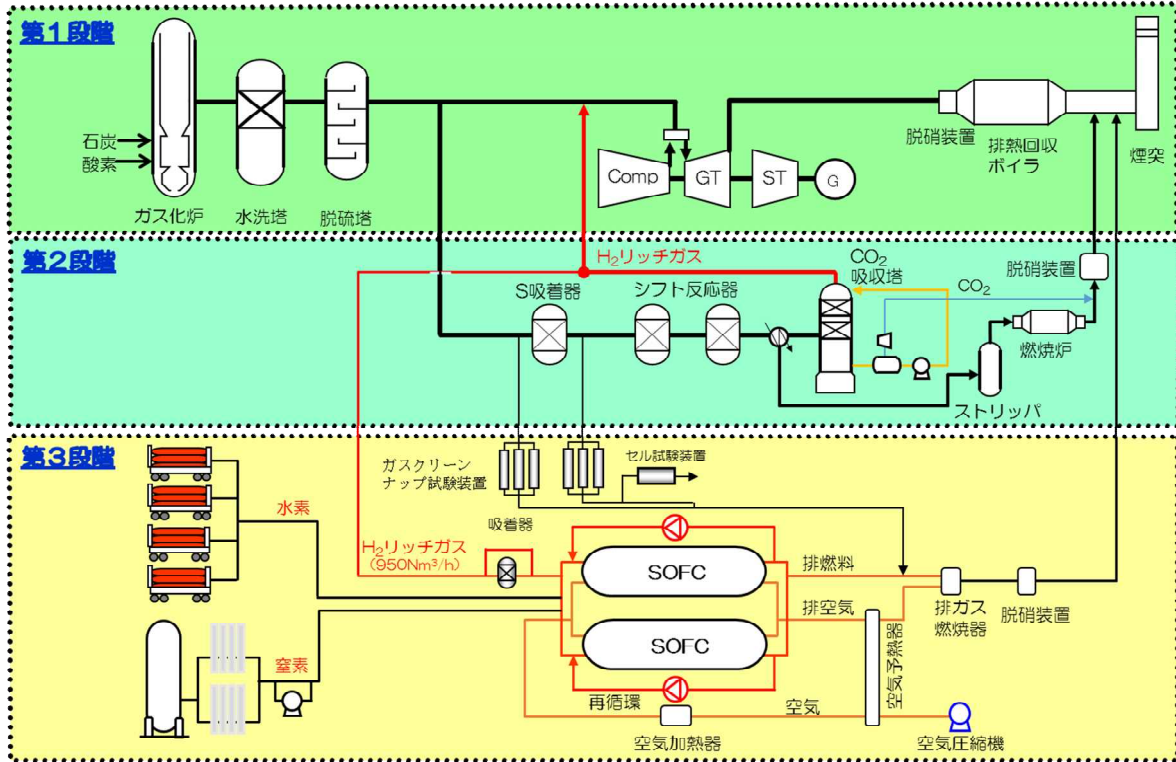


図 2-7 実証試験システムの計画系統

表 2-11 第 3 段階スケジュール

	2018 FY	2019FY				2020FY				2021FY				2022FY					
	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q		
IGCC + CO ₂ 分離回収設備						第2段階実証試験												IGCC運転	
①CO ₂ 分離・回収型IGFC実証																			
a. 実証試験設備の設計・製作・据付		仕様作成・契約手続き				詳細設計・機器製作				土木・据付工事				試運転					
b. CO ₂ 分離回収型IGFC実証試験						事前検証試験								第3段階実証試験					
(a) 燃料電池の基本性能検証																			試験
(b) 燃料電池の運用性検証																			試験
(c) 燃料電池の信頼性検証																			試験
(d) CO ₂ 分離回収型IGFC実現に向けての検討						技術調査													取り纏め
②IGFC向け石炭ガスクリーンアップ試験																			
a. 通ガス試験装置の設計・製作・据付																			据付工事
b. IGFC向け石炭ガスクリーンアップ試験																			試験
(a) COリッチガス通ガス試験																			試験
(b) IGFC向け燃料電池用ガス精製設備の概念設計																			技術検討

【研究内容】

(1) CO₂ 分離・回収型 IGFC 実証研究

① 燃料電池の基本性能検証

CO₂ 分離・回収型 IGFC では、設計燃料である天然ガスとは組成が異なる水素リッチガスを SOFC に供給するため、水素リッチガスによる SOFC の運転・制御方法を構築し、CO₂ 分離・回収型 IGFC 開発に向けた燃料電池の基礎技術を確認する。

② 燃料電池の運用性検証

燃料電池モジュールの並列運転による拡張性、CO₂ 分離・回収設備との連携運転時の協調性、発電システム全体を考慮した燃料利用率、ガスタービン連携を想定した運転圧力の高圧化等、各種パラメータ変化時の燃料電池の挙動確認、並びに発電性能を検証し、CO₂ 分離・回収型 IGFC 開発に向けた運用技術を確認するとともに、CO₂ 分離・回収型 IGFC 商用機（500MW 級）において CO₂ 回収率 90% の条件で、発電効率 47% 程度（送電端、高位発熱量基準）達成の見通しを得る。

③ 燃料電池の信頼性検証

水素リッチガス運転において、累計運転時間 3,000 時間程度、電圧低下率 0.1%/1,000 時間程度を実証し、設備信頼性を確認する。これは設計燃料である都市ガス（天然ガス）で燃料電池（SOFC）を運転した場合の設備信頼性と同等である。

④ CO₂ 分離・回収型 IGFC 実現に向けての検討

CO₂ 分離・回収型 IGFC 開発に向けた課題や技術動向を整理するとともに、経済性を検討する。

(2) IGFC 向け石炭ガスクリーンアップ試験

① CO リッチガス通ガス試験

大型 IGFC 開発に向けて、高圧 CO リッチガスに適用可能な燃料電池用ガス精製技術を確認する。IGCC の精製ガス（CO リッチガス）には燃料電池の被毒成分以外にも、金属成分など多くの不純物が含まれており、実使用環境において吸着剤の通ガス試験を行い、被毒成分や他成分との吸着状態を確認し、吸着塔設計に必要なデータを取得する。通ガス試験装置の設備仕様を表 2-12 に、概略系統を図 2-8 に示す。

表 2-12 通ガス試験装置仕様

機器	サイズ	圧力	温度
吸着剤カラム	Φ200×2500mm	2.5MPa	40℃

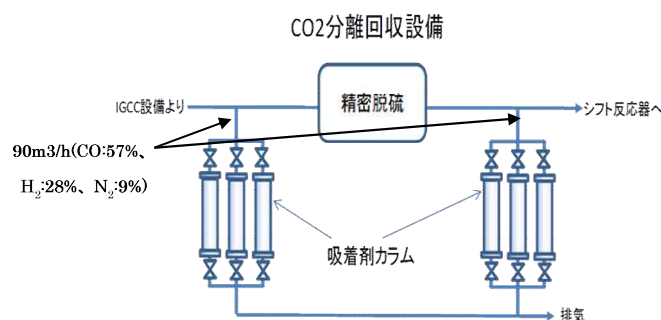


図 2-8 通ガス試験装置概略系統

②IGFC 向け燃料電池用ガス精製設備の概念設計

大型 IGFC 商用機 (500MW 級) を想定した燃料電池用ガス精製設備の概念設計を通し、設備規模や経済性並びに技術課題を把握する。

(3) 事前検証試験

石炭由来の水素リッチガスには、想定外の微量成分が含まれる可能性があり、燃料電池本体を被毒するリスクがある為、事前検証試験(SOFC セル試験・Ni 試験片曝露試験)及びガス分析により被毒成分の影響の有無を確認し、実証試験の詳細設計(吸着剤選定又は吸着材充填量等)に反映する。

SOFC セル試験装置および Ni 試験片曝露試験容器(高压用、常圧用)設備仕様を表 2-13 に、系統図を図 2-9 に示す。

試験およびガス分析の内容については以下の通りである。

- SOFC セル試験装置に水素リッチガスを供給し、試験(1,000 時間程度)後にセルの分析にて被毒影響の有無について事前確認を行う。
- Ni 試験片曝露試験容器(高压用、常圧用)に Ni 試験片等を収めて、1,000 時間程度水素リッチガスで曝露後、分析にて Ni と反応する微量成分を調べる。
- 水素リッチガスを吸収液法およびキャニスターを用いてサンプリングし、水素リッチガス中に含まれる微量成分を把握するため定性分析(Fe, Al, Mn, Cr 等)並びに定量分析(SOFC 被毒成分である S, Se, As, P, B 及び Cl)を実施する。

表 2-13 SOFC セル試験装置および Ni 試験片曝露試験容器仕様

機器	型式(サイズ)	圧力	温度
SOFCセル試験装置	15式ショートセル	常圧	約900℃
Ni試験片曝露試験容器(高压用)	φ 30×150mm	約0.6MPa	300~900℃
Ni試験片曝露試験容器(常圧用)	φ 30×150mm	常圧	300~900℃

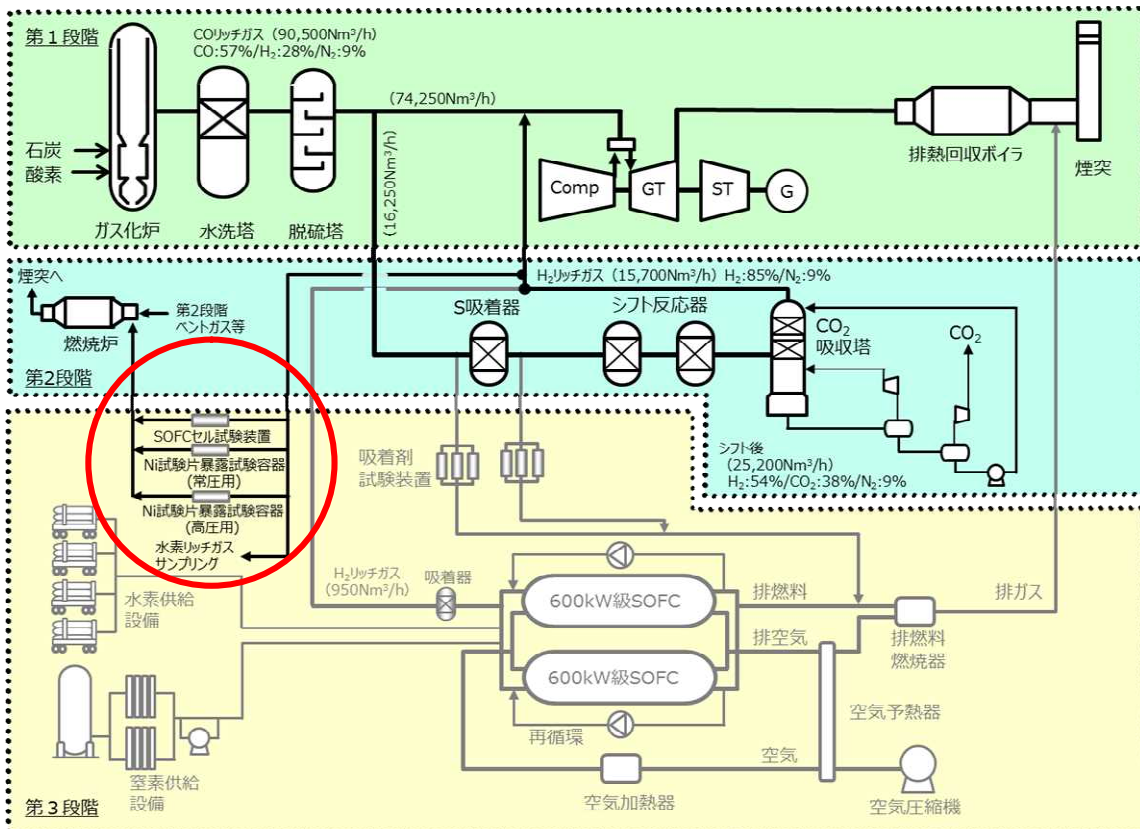


図 2-9 事前検証試験概略系統図

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、2012年度から開始し、2016年度よりNEDO助成事業へ引き継がれている。

工程及び事業費の年度展開を表2-14に示す。

大崎クールジェン(株)と出資会社である中国電力(株)及び電源開発(株)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負担金で賄い実証事業を遂行した。

本事業の総事業費は、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、現地工事の最適化に努めたこと、中国電力(株)大崎発電所の既設の揚運炭設備、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で事業費を可能な限り削減、約821億円となった。

表2-14 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			2012年度 (H24年度)	2013年度 (H25年度)	2014年度 (H26年度)	2015年度 (H27年度)	2016年度 (H28年度)	2017年度 (H29年度)	2018年度 (H30年度)	合計
第1段階 酸素吹IGCC実証 (助成率:1/3)	計画	事業費	41.1	183.0	194.1	183.9	183.0	60.9	57.0	903.0
		助成額	13.7	61.0	64.7	61.3	61.0	20.3	19.0	301.0
	現状	事業費	41.1	210.0	187.1	173.0	112.1	40.9	56.8	821.0
		助成額	13.7	70.0	62.4	57.7	37.4	13.6	18.9	273.7
実施内容										

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 実証事業の研究開発費を表2-115に示す。

CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証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(株)分については、出資会社である中国電力(株)及び電源開発(株)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。

一方、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について自社負担金で賄い実証試験研究を確実に実施する。

また、CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 運用性実証についての開発費用については、出資会社である中国電力(株)及び電源開発(株)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1/3)を除いた2/3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。

総事業費約304億円を見込んでいたが、CO₂分離・回収型 IGCC 運用性実証(助成率1/3)でCO₂分離・回収試験実施のための、第1段階を踏まえた IGCC 安定運転に必要な設備工事追加により事業費が増加となったが、可能な限り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努め、総額では約289億円に削減される見込みである。

表 2-15 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			2016年度 (H28年度)	2017年度 (H29年度)	2018年度 (H30年度)	2019年度 (R1年度)	2020年度 (R2年度)	2021年度 (R3年度)	2022年度 (R4年度)	合計
第2段階 CO ₂ 分離・回収型 IGCC実証 (助成率: 2/3)	計画	事業費	11.4	59.4	56.9	67.0	9.8	9.7	1.4	215.6
		OCG分	11.3	59.2	56.8	66.8	9.6	9.7	1.4	214.8
		日立分	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	-	-	0.8
		助成額	7.6	39.6	37.9	44.7	6.5	6.5	0.9	143.7
	現状	事業費	4.5	46.6	56.9	57.9	9.8	9.7	1.4	186.8
		OCG分	4.4	46.6	56.9	57.8	9.6	9.7	1.4	186.3
		日立分	0.1	0.06	0.02	0.1	0.2	-	-	0.5
		助成額	3.0	31.1	37.9	38.6	6.5	6.5	0.9	124.6
第2段階 CO ₂ 分離・回収型 IGCC運用性実証 (助成率: 1/3)	計画	事業費	-	-	0.3	36.6	51.6	-	-	88.5
		助成額	-	-	0.1	12.2	17.2	-	-	29.5
	現状	事業費	-	-	0.3	49.2	52.5	-	-	102.0
		助成額	-	-	0.1	16.4	17.5	-	-	34.0
実施内容		設計	CO ₂ 分離・回収 詳細設計・建設・据付・試運転			CO ₂ 分離・回収 実証試験		炭化炭酸 設計・製作・据付・試運転 実証試験		
						IGCC 既設取遣 実証試験		IGCC運用性 実証試験		

※「現状」欄は 2019 年度まで実績値を記載している。 : 計画期間

2-1-2-3. CO₂分離・回収型 IGFC 実証

CO₂分離・回収型 IGFC 実証の研究開発費を表 2-16 に示す。

第 3 段階の総事業費は約 73 億円を見込んでいる。CO₂分離・回収型 IGFC 実証研究の開発費用については、出資会社である中国電力(株)及び電源開発(株)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 1/2)を除いた 1/2 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。

第 3 段階について、新規に主契約となる燃料電池および付帯設備の競争入札を実施しており、今後一部設備の仕様内容の詳細精査に努め、現地工事の最適化等を実施していく。

表 2-16 第 3 段階 CO₂分離・回収型 IGFC 実証事業の工程および事業費計画

年度			2018年度 (H30年度)	2019年度 (R1年度)	2020年度 (R2年度)	2021年度 (R3年度)	2022年度 (R4年度)	合計
第3段階 CO ₂ 分離・回収型 IGFC実証 (助成率: 1/2)	計画	事業費	0.01	0.6	29.2	37.3	6.1	73.3
		助成額	0.006	0.3	14.6	18.6	3.1	36.6
	現状	事業費	0.01	0.6	29.2	37.3	6.1	73.3
		助成額	0.006	0.3	14.6	18.6	3.1	36.6
実施内容			IGFC 設計・製作・据付・試運転			IGFC 実証試験		

※「現状」欄は 2019 年度まで実績値を記載している。 : 計画期間

なお、NEDO において「コスト検証委員会」(非公開)を設置し、第三者によるコスト検証を毎年実施しており、大崎クールジェン(株)の実施体制、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。

2-2. 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 2-10 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(株)と電源開発(株)の共同出資により大崎クールジェン(株)が設立され、事業実施者となっている。

中国電力(株)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(株)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(株)と電源開発(株)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。

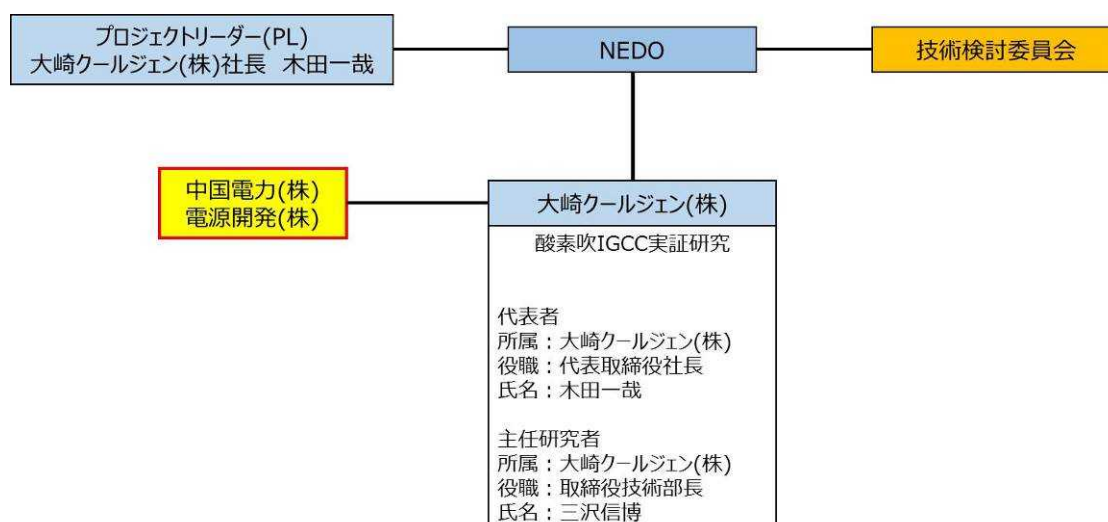


図 2-10 第 1 段階 研究開発実施体制

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 2-11 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、並びに IGCC 運用性実証、CO₂ 分離・回収・液化炭酸プロセス実証研究で構成され、研究のため設備建設とその運営を大崎クールジェン(株)が実施し、低温作動型サワーシフト触媒研究のうち、基本設計を(株)日立製作所が実施する。

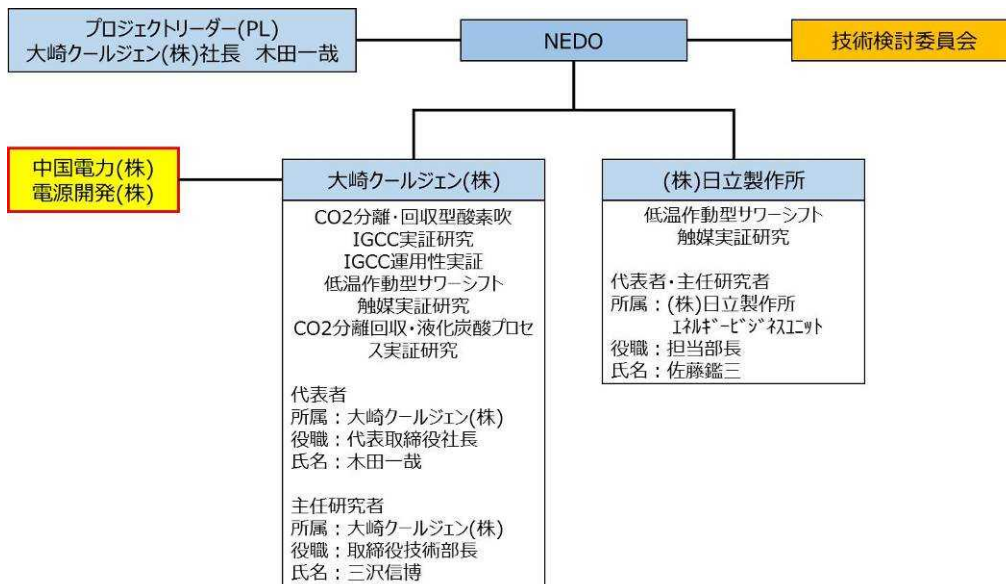


図 2-11 第 2 段階 研究開発実施体制

2-2-3. CO₂ 分離・回収型 IGFC 実証

本研究開発の実施体制は、図 2-12 のとおりである。

石炭ガス化ガス(水素リッチガス)を適用した燃料電池(SOFC)の運転は世界で初めての試みであることから、基本性能検証は三菱日立パワーシステムズ(株)との共同研究で実施する。その他運用性検証、信頼性検証、石炭ガスクリーンナップ試験等については大崎クールジェン(株)にて実施する。

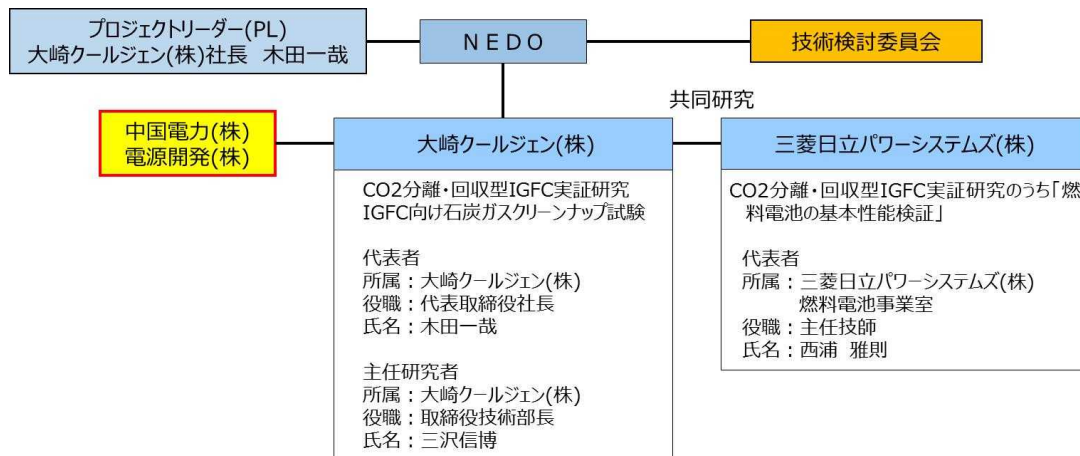


図 2-12 第 3 段階 研究開発実施体制

2-3. 研究開発の運営管理

(1) 運営

本事業の運営は図 2-13 の体制で実施している。

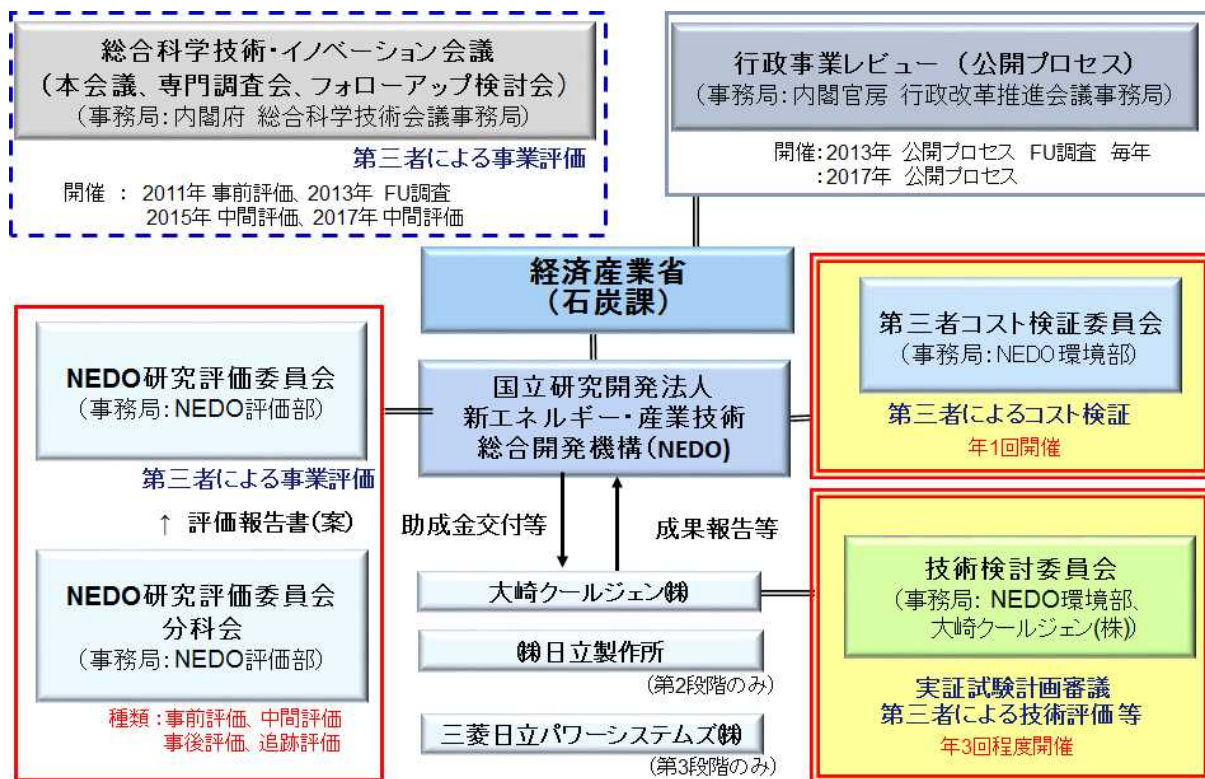


図 2-13 研究開発運営体制

運営にあたっては、NEDO 研究評価委員会のほかに第三者による「コスト検証委員会」(非公開)を設置し、第三者によるコスト検証を実施している。毎年、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。

また、第三者の学識経験者で構成する「技術検討委員会」(非公開)においては、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(株)・中国電力(株)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(株)・中国電力(株)は、多くの石炭火力（設備容量両社計：10,402MW、国内石炭火力発電の約22%:2019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発生する知的財産に関しては、大崎クールジェン(株)内に知財担当窓口を設置した上で、知財戦略会議を定期的で開催し、知財案件の抽出、

内容検討を行ったうえで両親会社（中国電力株、電源開発株）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。

なお、(株)日立製作所においては、本事業に限定した形での知財担当部署は設けていないが、新たな知的財産創生の兆しがある場合は、社内の知財担当部署と連携し、事業性を考慮した上で権利化是非を判断する。その上で、共同研究者である大崎クールジェンと相談し、両者の技術担当者と知財管理部門による検討の結果、出願する場合は権利持分 1/2 で出願する。

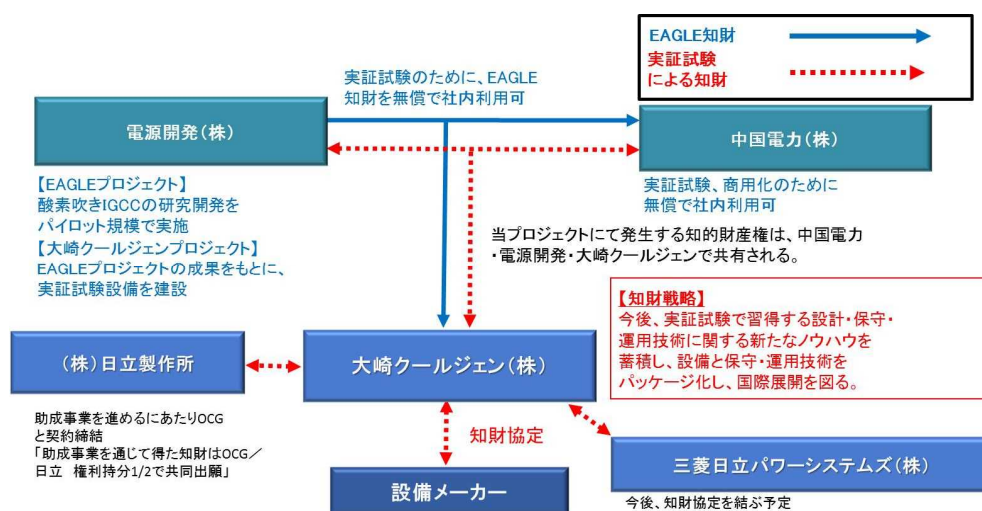


図 2-14 本事業における知財戦略

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（2012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

2014年4月11日に閣議決定された第4次「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段階で実施した酸素吹IGCC実証は、「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。

また、2018年7月3日に閣議決定された第5次「エネルギー基本計画」では、2030年と2050年に向けた方針が示された。2030年に向けた方針としてはエネルギーミックスの確実な実現に向けた取組みの更なる強化とされ、2030年度の電源構成として石炭火力が26%程度維持されることから、石炭火力の高効率化・次世代化の推進と共に、よりクリーンなガス利用へのシフトと非効率石炭のフェードアウトに取り組むとしている。2050年に向けては、パリ協定発効に見られる脱炭素化への世界的なモメンタムを踏まえ、エネルギー転換・脱炭素化に向けた挑戦を揚げ、あらゆる選択肢の可能性を追求していくとしている。

IGCCについて、引き続き「発電効率を大きく向上し、発電量当たりの温室効果ガス排出量を根本的に下げるための技術等（IGCC, CCUSなど）の開発を更に進める」とされている。

更に、2019年6月7日に経済産業省で策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への再利用等とともに、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示されている。

これらの情勢変化により、本事業の中核の技術である石炭ガス化をベースとした高効率発電並びにCO₂分離・回収技術の早期実用化が一層重要になっている。

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2-17に示す。

表2-17 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 (2011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～ (2015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。 <ul style="list-style-type: none"> ・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

<p>2016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 (2014年9月19日 総合科学技術・イノベーション会議)</p>	<p><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。</p>
<p>環境エネルギー技術革新計画 (2013年9月13日 総合科学技術会議)</p>	<p>「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。</p>
<p>エネルギー関係技術開発ロードマップ (2014年12月3日経済産業省)</p>	<p>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。</p>
<p>次世代火力発電に係る技術ロードマップ (2016年6月30日 経済産業省)</p>	<p>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。</p>
<p>第5次エネルギー基本計画 (2018年7月3日経済産業省)</p>	<p>石炭の政策の方向性として、利用可能な最新技術の導入による新陳代謝を促進することに加え、発電効率を大きく向上し、発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に下げするための技術等（IGCC、CCUSなど）の開発を更に進めるとの記載あり。</p>
<p>カーボンリサイクル技術ロードマップ (2019年6月7日経済産業省)</p>	<p>CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し再利用していくため、一つでも多くの分野での技術の確立・普及を目指すために、2030年度短期ターゲット、2050年以降を長期ターゲットとして定めている。 その項目の中に 2030年に物理吸収法による CO₂分離・回収技術の回収コスト 1000円台/t-CO₂、2050年に 1000円以下/t-CO₂をターゲットに定めた記載あり。</p>

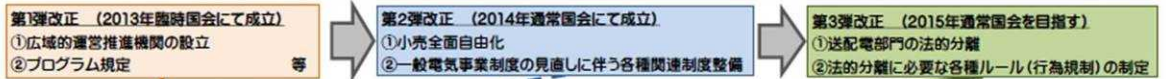
3-2. 電力システム改革

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。

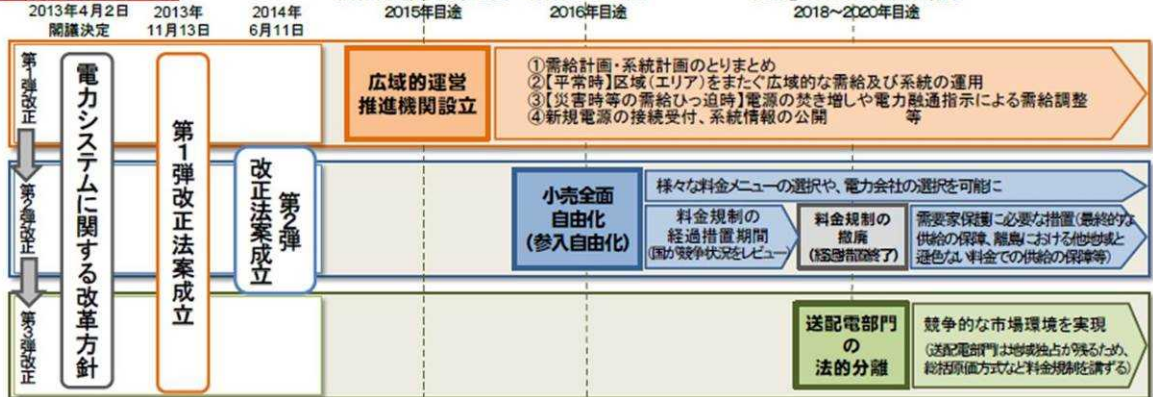
現在、国が進めている電力システム改革において、2016年に小売全面自由化、2020年に送配電部門の法的分離、料金規制の撤廃が行われた。電力自由化に向けては、安全性、経済性、安定供給性ととともに環境性、いわゆる 3E+S は我が国のエネルギー政策の基本であり、環境性に優れた本技術の早期実用化が一層重要になってくる。

法改正の工程

実施を3段階に分け、各段階で課題克服のための十分な検証を行い、その結果を踏まえた必要な措置を講じながら実行するものとする



改革実施の工程



出典：電気事業連合会 HP

図 2-15 電力システム改革の工程

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。2019年12月に開催されたCOP25では、長期目標達成に向けた明確な対策は定められなかったものの、欧州を中心とした脱石炭の流れが広まり、石炭火力発電への逆風が強まっている。

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、2014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。

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、前政権が定めた環境規制を緩和、さらには2020年11月のパリ協定離脱も通告している。しかしその一方で、カリフォルニア州など独自に環境規制を進める動きもあり、やはり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。

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しており、2015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。さらに、2018年6月に採択した「インフラシステム輸出戦略」の中では、パリ協定を踏まえ、石炭をエネルギー源として選択せざるを得ないような国に限り、日本の高効率石炭火力発電への要請があった場合には、相手国のエネルギー政策や気候変動対策と整合的な形で、世界最新鋭である超々臨界圧（USC）以上の発電設備について導入を支援するとしている。

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增設・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。

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

2011 年度 総合技術科学会議

事前評価コメント	対処方針
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。	本事業設備建設については、建設工程会議（月 1 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。 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。
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。	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。 なお、2014～2015 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 CO ₂ 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 CO ₂ 分離・回収型 IGCC を構築し、商用化の目途を得ること、さらに CO ₂ 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。
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。	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、2015 年度・2017 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・評価基準（2013 年 4 月、2015 年 4 月）』に基づき評価を実施する。 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。

2012 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
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。	今後発生する知財に関しては、大崎クールジェン(株)内に知財担当窓口を設置した上で、両親会社（電源開発(株)、中国電力(株)）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。 親会社である中国電力(株)、電源開発(株)、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>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ことが必要である。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 (2012～2016 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」(2012～2014 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」(2014 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」(2015 年度～)
---	---

2013 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>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>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>

2015 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>

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。	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。

2015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。

	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂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、コスト削減、効率向上手法を検討する。
第3段階に向けて	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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。

2017年度 中間評価

NEDO 研究評価委員会分科会

区分	指摘事項概論	対応方針
研究開発マネジメント	<ul style="list-style-type: none"> 炭種選定にあたっては、実用化時期や日本への供給可能性を考慮に入れつつ、炭種性状から適切な石炭を見いだして性能と経済性を評価すべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> 炭種選定にあたっては、先行事業の実績を踏まえて幅広い性状の石炭を検証する計画としており、今後は実用化時期や日本への供給可能性も考慮に入れつつ、性能と経済性を評価していく。
	<ul style="list-style-type: none"> CO₂除去後の水素リッチ燃料でのガスタービンの性能評価については、他のNEDO関連事業等との積極的な情報交換も行いながら進めるべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> 水素リッチ燃料でのガスタービン性能評価については、新エネルギー部が実施している「水素社会構築技術開発事業」及び「水素利用等先導研究開発事業」における水素専焼タービン研究開発の情報を共有しつつ、必要に応じ先行事業の成果も活用して推進する。 ⇒実施計画書に反映済み。 水素専焼タービン研究開発の情報収集を実施する。
研究開発成果	<ul style="list-style-type: none"> 第2段階以降で目標とされている発電システム全体の送電端効率を達成するためには、個々の反応器・プロセスでどのような性能を必要とするかについて、それぞれの数値目標を明確化されたい。 	<ul style="list-style-type: none"> 目標とされている発電システム全体の送電端効率を達成するため、個々の反応器・プロセスで必要とされる性能についてシミュレーション等を用いて解析を行い、数値目標を明確化する。 ⇒基本計画、実施方針に反映済み。 実証機プラントにおいて、CO₂分離・回収にかかるエネルギー原単位「0.90GJ/t-CO₂（電気エネルギー換算）」を発電効率に係る性能として確認する。
成果の実用化・事業化に向けた取組及び見直し	<ul style="list-style-type: none"> 実用化・事業化に向けた進捗の確認・要素技術確立の見直し、EOR等CO₂利用技術の連携等について、設定されるべき具体的な指標（マイルストーン）を明確化すべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> 実用化・事業化に向けた進捗の確認・要素技術確立の見直し、CO₂利用技術の連携等について、本事業で実施しているCCS事業の調査結果等を基に、第2段階終了時（2020年度）までにマイルストーンを明確化する。 ⇒基本計画に反映済み 実用化・事業化に向けたマイルストーンを検討する。

	<ul style="list-style-type: none"> ・海外の競合ガス化炉との差別化を図り、海外展開の可能性検証に着手すべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業で実施している海外競合ガス化技術の技術動向、運用実績、及び海外市場性等の調査結果を基に、競合技術との差を明確にし、海外普及の可能性を検証するとともに、海外普及を目的としたマイルストーンを検討する。 ⇒実施計画書に反映済み これらの調査を基に、海外普及の可能性を検証するとともに海外普及を目的としたマイルストーンを検討する。
	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂回収に関しては、現状では生成ガスの一部だけを試験に用いているが、今後は生成ガスの全量をCO₂回収設備に供給した場合のガス化炉とCO₂回収の運転の相互影響についてシミュレーションにより課題を抽出すべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> ・生成ガスの全量をCO₂回収設備に供給した場合のIGCCとCO₂回収の運転の相互影響について、シミュレーション等により課題を抽出する事を、第2段階の実証試験計画に反映する。 ⇒実施計画書に反映済み 生成ガスの全量をCO₂分離した場合のIGCC運転との相互影響やガスタービン性能について課題を整理する。

2017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	<ul style="list-style-type: none"> ・具体的な事業展開戦略の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・酸素吹の優位性、多用途化を踏まえ、他の先端高効率技術との棲み分けを含めた事業展開戦略を検討 ・海外普及を目的としたマイルストーンの検討
	<ul style="list-style-type: none"> ・海外での事業採算性の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・海外競合ガス化技術動向調査や、事業採算性に係るベンチマーク調査など市場性調査の実施
	<ul style="list-style-type: none"> ・酸素吹IGCC/IGFC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 	<ul style="list-style-type: none"> ・苫小牧CCS事業等の情報交流（継続） ・CO₂利用技術やCCSポテンシャル情報収集 ・CO₂分離・回収、液化、輸送、貯留技術調査
知財戦略	<ul style="list-style-type: none"> ・関係各社が将来的な成果普及ができるような知財の所有等に関する取組み 	<ul style="list-style-type: none"> ・第2段階含めEPCメーカーと知財協定締結 ・知財管理体制の確立
第3段階に向けて	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料電池メーカー等との連携体制によるスピード感をもった研究開発の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・IGFC関連技術最新動向調査 ・第3段階に向けた調査研究及び概念設計

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：2011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：2013年3月
（評価検討会：2012年12月、2013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：2013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：2015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：2015年12月
（評価専門調査会：9月、11月 評価検討会：10月）
- NEDO 研究評価委員会（第53回）
実施時期：2017年10月
（現地調査会：4月 分科会：5月）
- 総合科学技術・イノベーション会議（第34回）
実施時期：2017年12月
（評価専門調査会：10月、11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 ㈱NTT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)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)NTT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) 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) 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) 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

○NEDO 研究評価委員会分科会委員

清水 忠明 新潟大学工学部化学工学システム工学科 教授
藤岡 裕一 福岡女子大学国際文理学部 環境科学科 教授
黒澤 幸子 東レ経営研究所 主任研究員
中澤 治久 一般財団法人 火力原子力発電技術協会 専務理事
二宮 善彦 中部大学 工学部 応用科学科 教授
松岡 浩一 産業技術総合研究所エネルギー・環境領域 創エネルギー研究部門
義家 亮 名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻 准教授

○総合科学技術・イノベーション会議評価専門調査会委員

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
上山 隆大 総合科学技術・イノベーション会議議員
小谷 元子 総合科学技術・イノベーション会議議員

橋本 和仁 総合科学技術・イノベーション会議議員
天野 玲子 国立研究開発法人防災科学技術研究所 審議役
荒川 薫 明治大学 総合数理学部 教授
上野 裕子 三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)主任研究員
梅村 晋 トヨタ自動車(株) 基盤材料技術部長
小澤 一雅 東京大学大学院 工学系研究科 教授
尾道 一哉 味の素(株) 常務執行役員 イノベーション研究所長
門永 宗之助 Intrinsic 代表
北村 隆行 京都大学大学院 工学研究科長及び工学部長
桑名 栄二 NTTアドバンステクノロジー(株) 取締役
庄田 隆 第一三共(株) 相談役
白井 俊明 横河電機(株) マーケティング本部 シニアアドバイザー
鈴木 教洋 (株)日立製作所 執行役常務CTO兼研究開発グループ長
角南 篤 政策研究大学院大学 副学長・教授
関口 和一 日本経済新聞社 編集委員
菱沼 祐一 東京ガス(株) 燃料電池事業推進部長
福井 次矢 聖路加国際大学 学長・聖路加国際病院院長 京都大学 名誉教授
松橋 隆治 東京大学大学院 工学系研究科 教授
安浦 寛人 九州大学 理事・副学長
※2017年12月総合科学技術・イノベーション会議(第34回)実施時、日立製作所
鈴木委員不参加

3. 研究開発成果について

1. 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義と達成可能性

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(2017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。

表3-1 酸素吹 IGCC 実証の中間目標 (2017年度) および達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度※
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	○
環境性能	SOx(O ₂ =16%):8ppm NOx(O ₂ =16%):5ppm ばいじん(O ₂ =16%):3mg/Nm ³ 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	○

※○達成、△達成見込み(中間)、×未達

実証運転が終了した時点で、事業最終年度(2018年度)に設定した最終目標に対する、研究開発項目、成果、達成度を表3-2に整理した。全項目の目標を達成した上に、負荷変化率:16%/minや送電端出力0MWでの安定運転(所内単独運転相当)など、プラント運用性を広げる成果が得られた。

表3-2 酸素吹 IGCC 実証の最終目標 (2018年度) および達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度※
プラント制御運用性	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。 (出力変化速度:1~3%/分)	<ul style="list-style-type: none"> ・非常停止試験において安全停止を確認した ・負荷変化率:16%/分を達成した ・送電端出力0MWで安定運転を確認した ・送電端出力制御で良好な運用性を確認した ・コールド起動時間(GT起動~定格負荷)7時間以内の見通しを得た 	○
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 (長時間耐久性試験:5,000時間)	<ul style="list-style-type: none"> ・長時間耐久試験において、5,119時間を達成した 	○
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	<ul style="list-style-type: none"> ・4炭種を試験し良好な適合性を確認した ・運転を継続しながら炭種切替を行い、安定したプラント状態を確認した 	○

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 海外普及を目的としたマイルストーンを検討する	<ul style="list-style-type: none"> 商用機レベルで発電原価が微粉炭火力と同等になる見通しを得た アジア・大洋州での需要が見込まれ、国内商用化実績を踏まえ海外展開を実施していく 	○
-----	---	--	---

※○達成、△達成見込み（中間）、×未達

酸素吹 IGCC 実証研究の目標達成の意義として、1500℃級ガスタービンを採用する酸素吹 IGCC 商用機において、送電端効率（HHV）約 46%の見通しが得られ、国内外への普及拡大が見込まれる。

1-2. CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

1-2-1. CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証

2016 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。2017 年度の中間目標に対し、成果と達成度及び課題等を表 3-3 に、2020 年度の中間目標の達成見通しを表 3-4、CO₂分離・回収・液化プロセス実証研究の最終目標を表 3-5 に整理した。

表 3-3 CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証の中間目標（2017 年度）および達成状況

研究開発項目	目標	現状	達成度※
CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証研究	CO ₂ 分離・回収設備の詳細設計を完了する。	2017 年度に、CO ₂ 分離・回収設備の詳細設計を完了した。	○
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	2017 年度に、主要機器の詳細設計を完了した。	○

※○達成、△達成見込み（中間）、×未達

表 3-4 CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証の中間目標（2020 年度）および達成見通し

研究開発項目	目標	現状	達成度 ※	達成見通し
基本性能 (発電効率)	<ul style="list-style-type: none"> ・新設商用機で CO₂ を 90%回収しつつ、発電効率 40%程度の見通しを得る ・CO₂ 分離・回収にかかるエネルギー原単位「0.90 G J / t -CO₂ (電気エネルギー換算)」を確認する 	実証試験を実施し、基本特性確認および運転パラメータの最適化を実施中	△	2019～2020 年度の実証運転にて目標効率を達成の見込み
基本性能 (回収効率・純度)	CO ₂ 分離・回収設備において、CO ₂ 回収効率 90%以上、回収 CO ₂ 純度 99%以上を達成する	試運転調整、および引取試験での設備性能確認において、CO ₂ 回収効率・回収純度についての設備能力を確認した。実証試験においてパラメータの最適化を実施中	○	設備能力として、CO ₂ 回収効率・回収純度を確認したが、2019～2020 年度の実証運転にて最終的な評価を行う。
プラント運用性・信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・生成ガスの全量を CO₂ 分離した場合の IGCC 運転との相互影響やガスタービン性能についての検証 	実証試験を通じて、プラント運用性・信頼性に係るデータの採取を実施中。	△	2019～2020 年度の実証運転にて、運用手法を確立し、信頼性を検証する見込み
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ・商用機における CO₂ 分離・回収の費用原単位を評価する ・実用化・事業化に向けたマイルストーンを検討する 	実証試験を通じ、商用規模の CO ₂ 分離・回収費用 (円/ton-CO ₂) の評価を行うためのデータの採取を実施中	△	2019～2020 年度の実証運転にて、費用原単位の評価を行う。
低温作動型サワーシフト触媒実証	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	2019 年度に、据付工事を完了し、実証試験を実施中	△	2019～2020 年度の実証運転にて、目標を達成の見込み

※○達成、△達成見込み（中間）、×未達

表 3-5 CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証 (CO₂液化プロセス開発) の最終目標 (2022 年度) および達成見通し

研究開発項目	目標	現状	達成見通し
CO ₂ 分離・回収・液化プロセス実証研究	CO ₂ 分離・回収設備と液化炭酸設備を組み合わせ液化炭酸の最適プロセスの構築する	目標達成に向けて、機器仕様を決定し、購入手続きを実施中	2022 年度の実証運転にて、目標を達成の見込み

CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証研究、および低温サワーシフト触媒実証研究の目標達成の意義として、CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC の商用段階での 40% 程度の送電端効率の実現を確認することができるとともに、IGCC 本体に追従した CO₂分離・回収設備の運用手法の確立ができ、低炭素且つ高効率の CO₂分離・回収型 IGCC の普及につながる。

CO₂液化プロセス開発の目標達成の意義として、液化 CO₂の製造・貯蔵・輸送に係るエネルギー原単位を最小化するための最適条件を明らかにし、商用規模にスケールアップした場合の経済性について評価を行うことで、CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC と CO₂液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築することができ、石炭火力由来の液化 CO₂の当面の利用先として国内 CO₂市場への適用可能性を明らかにすることができる。

1-2-2. IGCC 運用性実証

2018 年度から CO₂分離・回収設備追設に必要な設備点検および改善工事を実施し、各試験運転を通して、IGCC 設備の運転状況を確認している。中間目標の達成見通しを表 3-6 に整理した。

表 3-6 IGCC 運用性実証の中間目標 (2020 年度) および達成見通し

研究開発項目	目標	現状	達成度 ※	達成見通し
IGCC プラントの運用性実証	CO ₂ 分離・回収設備を追設した場合の IGCC 設備運転への影響を確認し、その運用性を検証する	CO ₂ 分離・回収によるガスタービン等の追従性やガスタービン燃焼器への影響、および IGCC 設備の安定運転を確認中	△	2020 年度の実証運転にて、IGCC 設備運用性の評価を行う

※○達成、△達成見込み (中間)、×未達

IGCC 運用性実証研究の目標達成の意義として、CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実用化に向けた運用手法を確立し、CO₂分離・回収設備を追設した場合でも安定した IGCC 設備の運用が可能となる。

1-3. CO₂分離・回収型 IGFC 実証

2018、2019 年度は燃料電池設備および付帯設備の基本設計を完了し、契約手続きを実施した。2020 年度の中間目標に対し、成果と達成度及び課題等を表 3-7 に、最終目標の達成見通しを表 3-8 に整理した。

表 3-7 CO₂分離・回収型 IGFC 実証の中間目標（2020 年度）および達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度 ※	達成見通し
CO ₂ 分離・回収型 IGFC 実証研究	燃料電池設備の詳細設計を完了する。また、機器製作に着手する	詳細設計のための基本設計の完了及び契約手続きを実施した。現在、設備の詳細設計中である また、事前検証試験装置の設置を完了した	△	2020 年度中には詳細設計を完了し、機器製作に着手する必要がある 事前検証試験を実施し、機器詳細設計に必要なデータを採取する

※○達成、△達成見込み（中間）、×未達

表 3-8 CO₂分離・回収型 IGFC 実証の最終目標（2022 年度）および達成見通し

研究開発項目	目標	現状	達成見通し
発電効率	新設商用機(500MW 級)において CO ₂ 回収効率 90%の条件で、発電効率 47%程度(送電端効率、HHV)の見通しを得る	詳細設計のための基本設計の完了及び契約手続きを実施した。現在、設備の詳細設計中である	2021～2022 年度の実証運転にて目標効率を達成する見込み

CO₂分離・回収型 IGFC 実証研究の目標達成の意義として、次世代火力発電に係る技術ロードマップに示される IGFC と CO₂分離・回収(物理吸収法)技術を組み合わせた低炭素排出かつ高効率石炭火力発電技術を確立することが可能となる。

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(株)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2013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。2015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、2016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、2017年3月から実証試験を開始した。

実証試験では、まず酸素吹IGCC実証試験設備の基本性能を確認した後、長期耐久性試験として合計5,000時間を超える運転を実施した。その後、多炭種適用試験およびプラント運用性向上に関する試験を実施し、2018年10月に実証試験運転を終了した。プラント停止後は実証試験運転や設備点検・保守の実績からプラント経済性の評価を行い、2019年2月に実証試験を終了した。

(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) 大崎発電所構内

(b) 敷地形状

対象事業実施区域：中国電力(株)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(2008年6月に建設計画中止)区域に設置している。

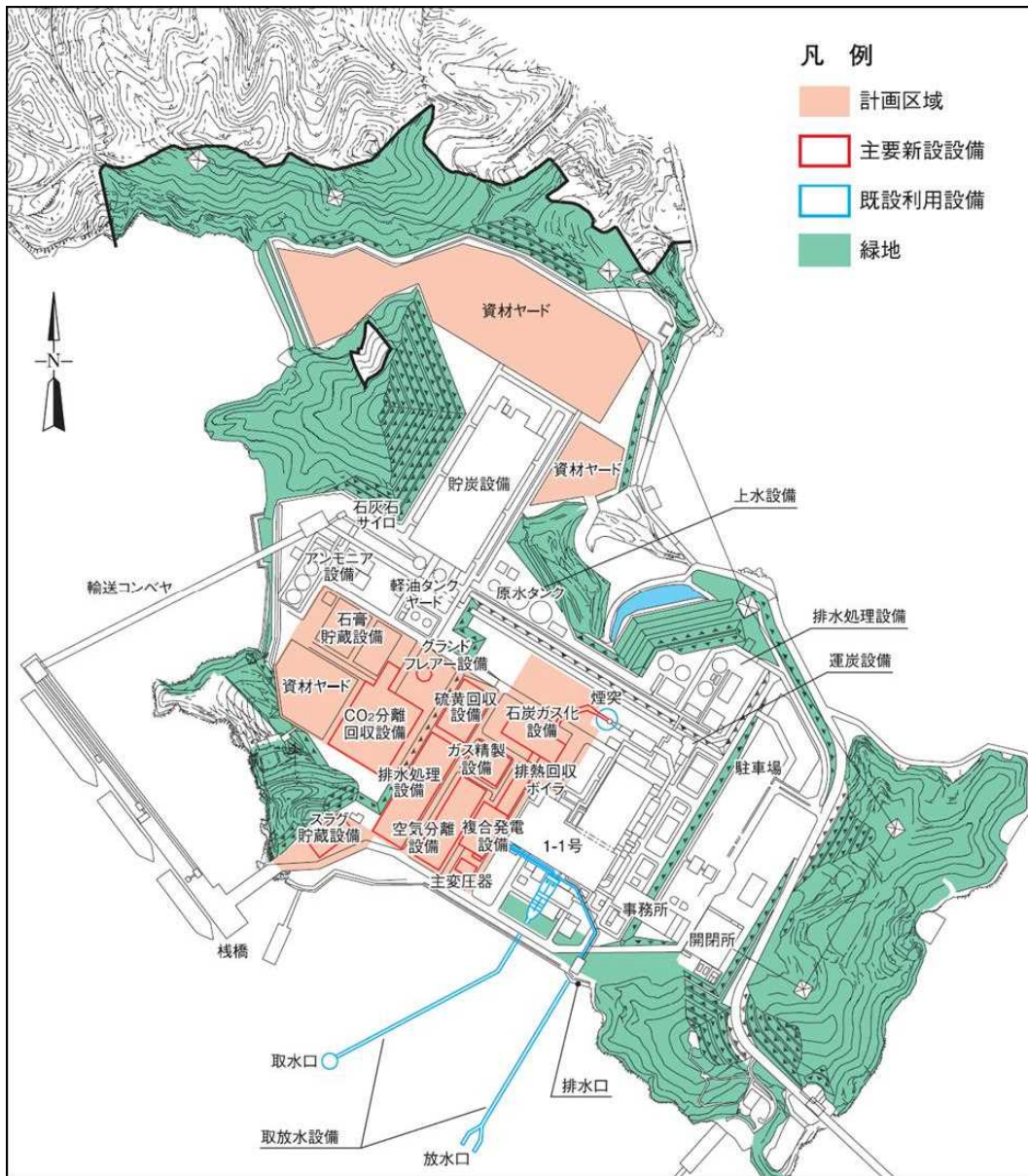


図 3-1 敷地形状図

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 3-9 のとおり設定した。

表 3-9 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(株)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 3-10 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 3-10 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：” Gasfication 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 3-11 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 3-11 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	グランドフレア
	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、白色箇所は大崎発電所既設流用設備を示す。

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を確保する。

- ・ 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する。	
	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。

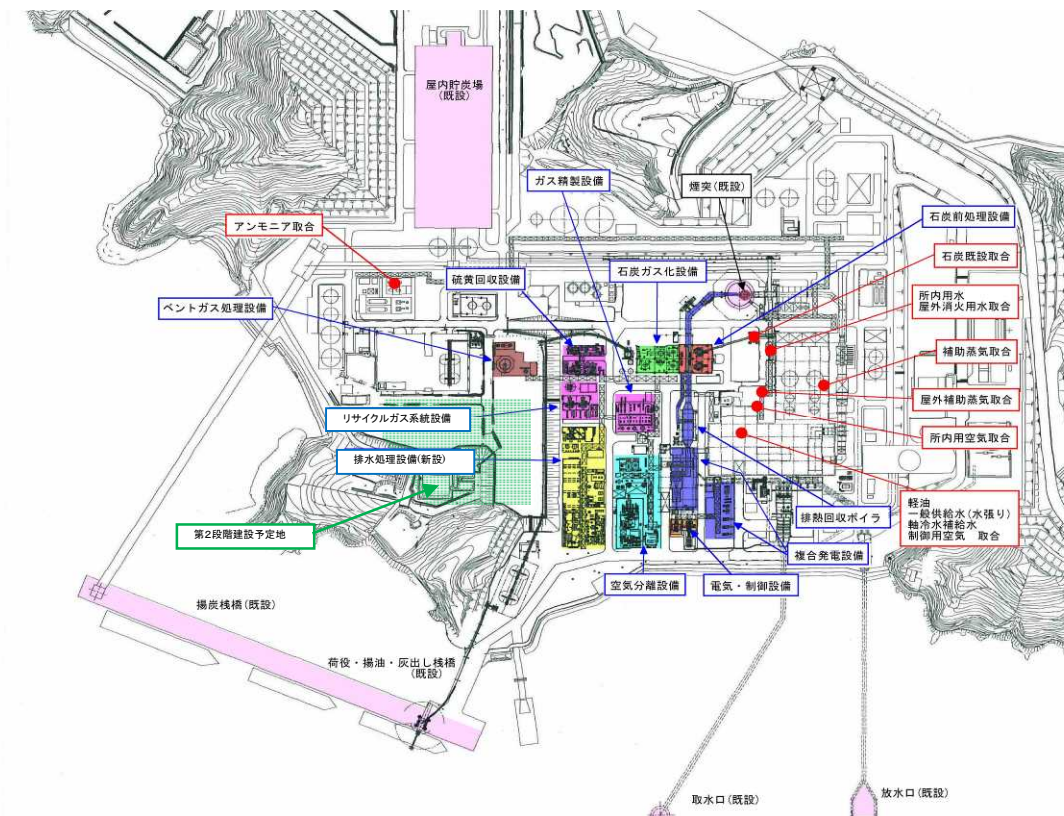


図 3-3 全体配置図

(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。

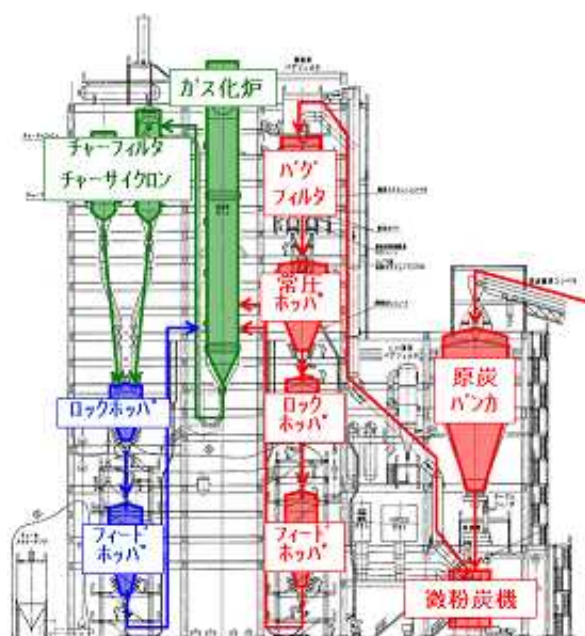


図 3-4 石炭前処理設備機器配置図

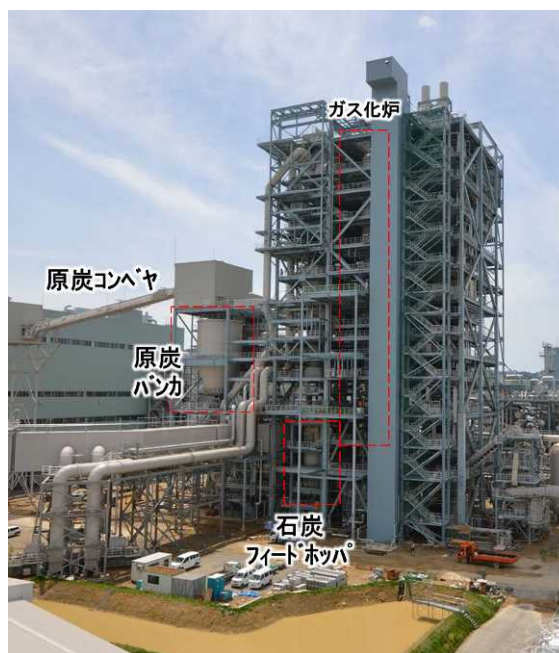


図 3-5 石炭前処理設備

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。

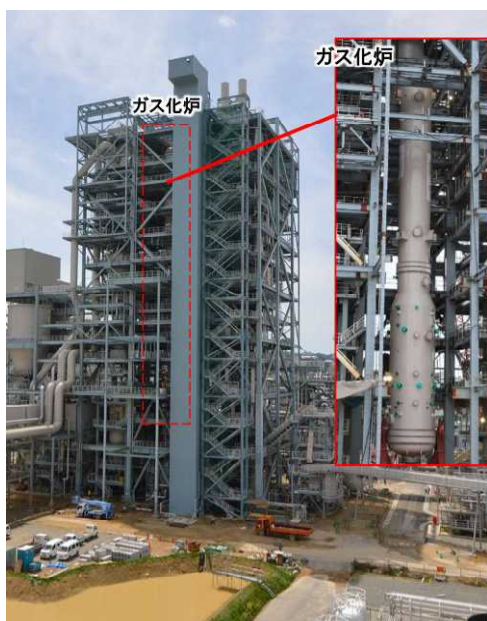


図 3-6 石炭ガス化炉

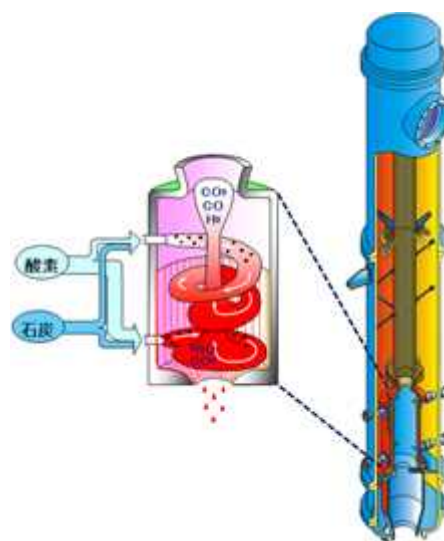


図 3-7 石炭ガス化炉断面図 (EAGLE ガス化炉)

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。

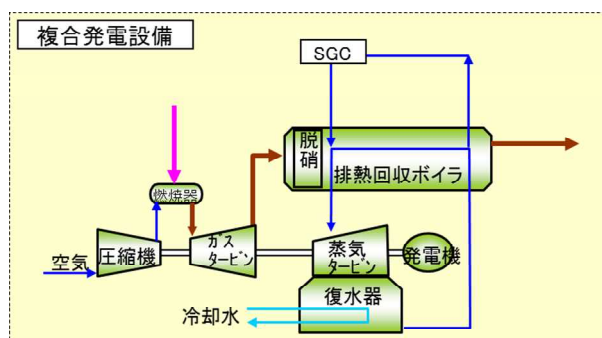


図 3-10 複合発電設備系統図



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。

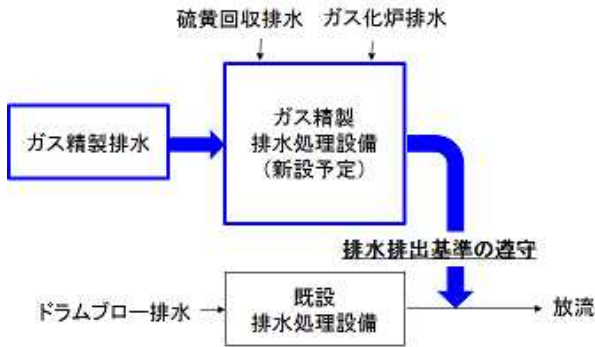


図 3-12 排水処理フロー図



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。

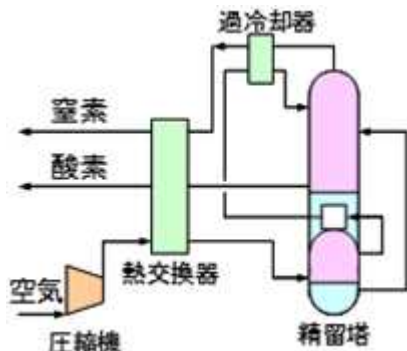


図 3-14 深冷分離方式系統構成



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 3-12 に整理する。

表 3-12 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2013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。

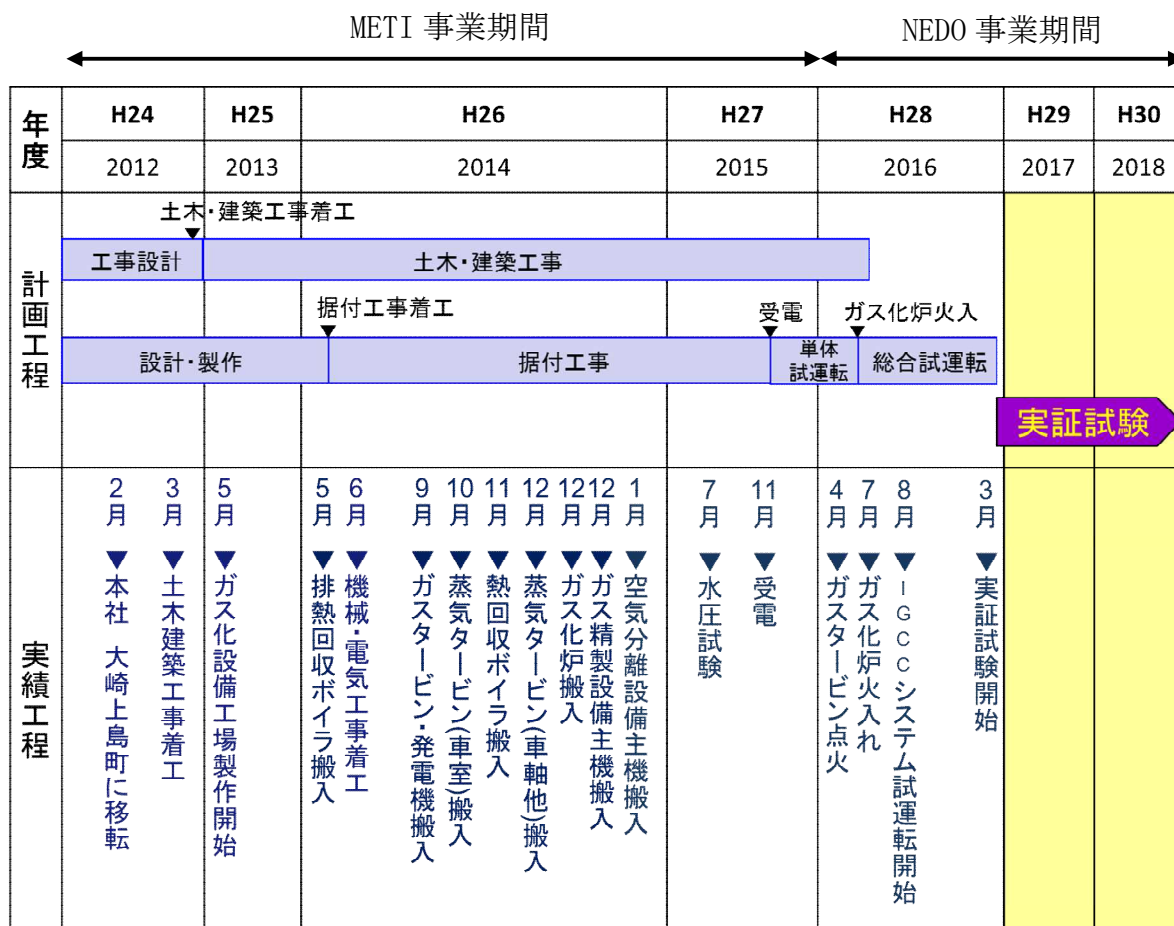


図 3-16 建設工事スケジュール

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2013年4月25日時点及び建設段階末期の2017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2017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 3-13 に試運転工程とその実績を示す。2015 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 3-14 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、2016 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 とも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 3-13 第一段階 単体・総合試運転工程表



表 3-14 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

総合試運転を通じて得られた結果は表 3-15 に示すとおりであり、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 3-15 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

総合試運転で得られた結果として、表 3-16 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 3-16 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。

(d) 設備信頼性

2017 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。

2-1-2. 実証試験運転

2017 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、経験したトラブル等も反映し、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った。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い、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こととした。実証試験期間内に行う試験及びその工程を表 3-17 に示す。

表 3-17 実証試験工程

年度	2016年度	2017年度	2018年度
実証試験	基本性能確認	2017/3/28 実証試験開始	2018/7/7 累積運転時間5,000時間到達
	信頼性確認		
	運用性向上試験		
	多炭種適用性確認試験		2018/10/8 実証試験運転完了

図 3-21 に実証試験累積運転時間を示す。Demo1 では、約 500 時間の連続運転にて基本性能を確認した。Demo2 シリーズでは、長時間耐久試験として合計 5,000 時間を超える運転を実施。その過程で起動停止に対する耐久性の確認の他、運用性向上として起動時間の短縮、負荷変化率向上等を図っている。連続運転時間は 2,168 時間を記録し、更に連続運転を実現するための課題を抽出し、設備の改良に取り組んだ。後に連続 1,000 時間を超える運転を行うことで、改良の妥当性を確認している。

Demo3 では、Demo1, 2 で使用した B 炭の他に、多炭種適用性確認試験としてそれぞれ特徴の異なる A 炭、C 炭、G 炭のガス化運転を実施したことに加え、運用性向上としてさらなる負荷変化率の向上を図った。

実証試験運転は2018年10月8日に終了し、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った。

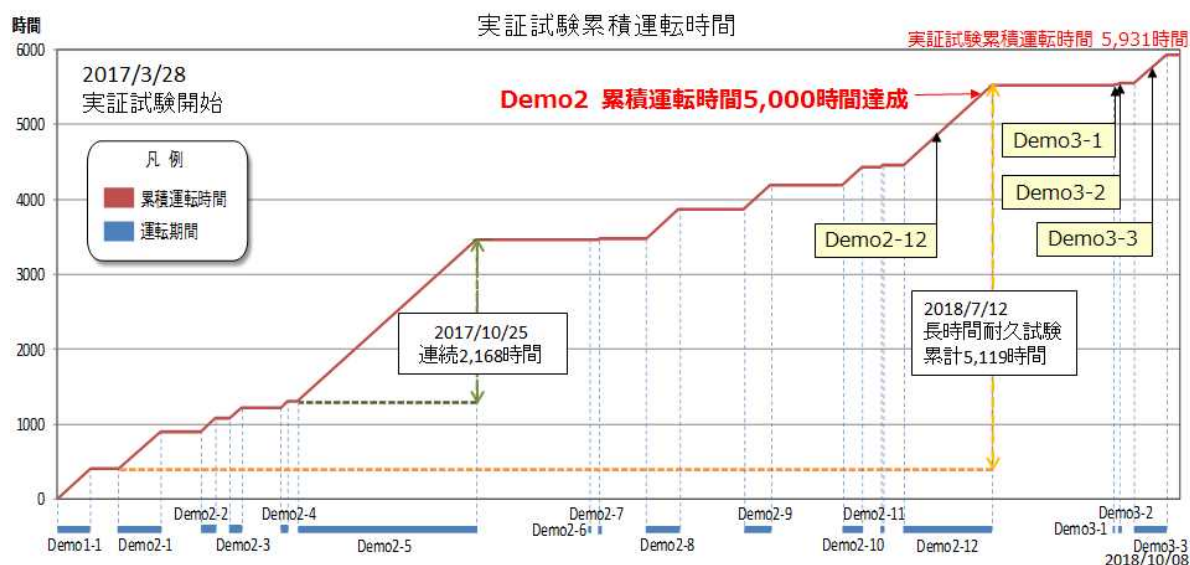


図 3-21 実証試験累積運転時間

(1) 基本性能試験

各設備の調整を行った上で事業用火力発電設備としての基本性能（プラント性能及び環境性能）を以下のとおり確認し、全ての項目について目標を達成した。表 3-18 に基本性能確認結果を示す。

表 3-18 基本性能確認結果

項 目	目 標	実 績
プラント性能 ・送電端効率 (HHV)	40.5%	40.8%
環境性能 ・硫黄酸化物 ・窒素酸化物 ・ばいじん (O ₂ :16%換算)	8ppm 5ppm 3mg/m ³ N	8ppm 未満 5ppm 未満 3mg/m ³ N 未満

送電端効率 40.8% は、17 万 kW 規模では世界最高レベルの性能である上に、1,500℃ 級 GT を採用した酸素吹 IGCC 商用機においては、送電端効率 (HHV) 約 46% の見通しが得られ、高効率化が期待できる。

(2) 信頼性確認試験

図 3-21 に示すとおり、長時間耐久試験における目標累積運転時間 5,000 時間を超える 5,119 時間を達成した。連続運転時間は 2,168 時間を確認している。さらに点検・状態確認や運転中の傾向管理、発生した不具合を踏まえ各設備の評価を行い、年間利用率 70% 以上の見通しが得られた。

(3) 多炭種適用試験

多炭種適用試験には、設計炭である B 炭に加え、表 3-19 に示す異なる炭種性状の石炭を選定した。商用機での運用を見据えると、ガス化炉運転中の炭種切替は必須であるため、本試験においても図 3-22 に示す運転状況のとおり、発電および石炭供給を継続しつつ順次炭種切替を行い、運転状態を確認した。その結果、各炭種においても環境協定値を遵守できており、設備の安定運転も確認した。

表 3-19 多炭種適用試験炭

炭種	特徴
A 炭	低発熱量炭、低灰融点炭
C 炭	高 S 分炭
G 炭	高灰融点炭、高灰分炭

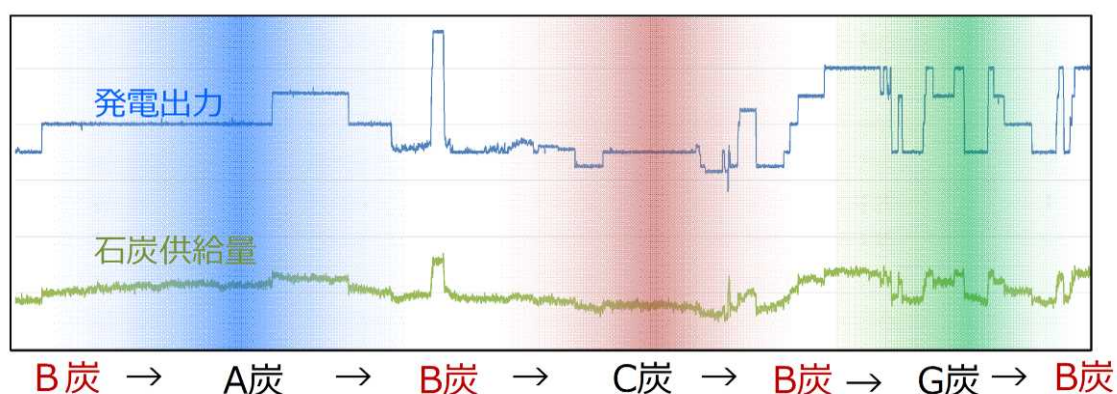


図 3-22 多炭種適用試験運転状況

(4) プラント制御運用性確認試験

我が国における微粉炭火力はベースからミドル電源まで幅広く運用されており、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。また、近年の供給が不安定な再生可能エネルギーの普及に伴い、火力発電には更なる負荷調整、系統安定化の役割を担うことが求められている。

本試験では、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）の確認を行うとともに、更なる運用性の向上を目指し運用性確認試験を実施した。

① 出力変化率試験

酸素吹 IGCC の特徴を最大限に活かしたプラント全体の制御システムを構築し、更なる負荷変化率の向上を目指す試験を行った。結果を図 3-23 に示す。現状の微粉炭火力の負荷変化率を大きく上回り、増負荷で 16%/分、減負荷で 15%/分を達成した。一方で、この高速出力変化においても、ガス化炉圧力をはじめ安定した運転状態を確認した。

高速な出力変化が可能となった理由は、図 3-24 における酸素吹 IGCC の特徴に示すように、酸素吹ガス化炉ではガス化反応が速いこと、生成ガスの発熱量が高く GT 出力比を高く取れたこと等に起因する。

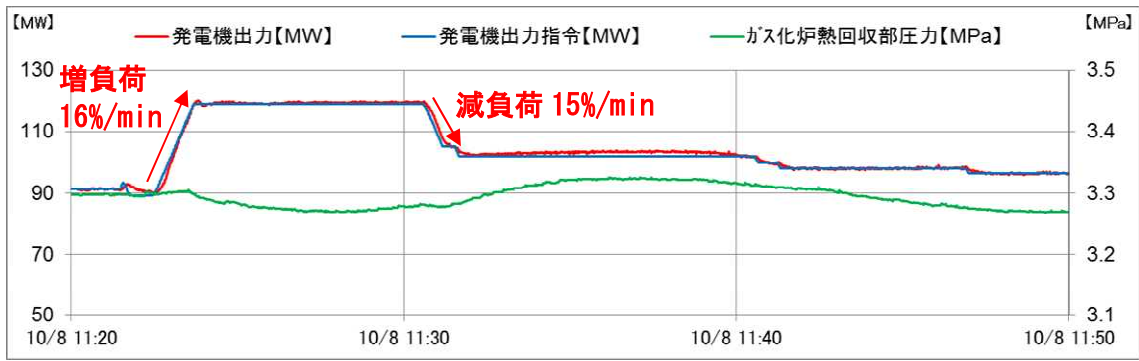


図 3-23 負荷変化試験時主要データ

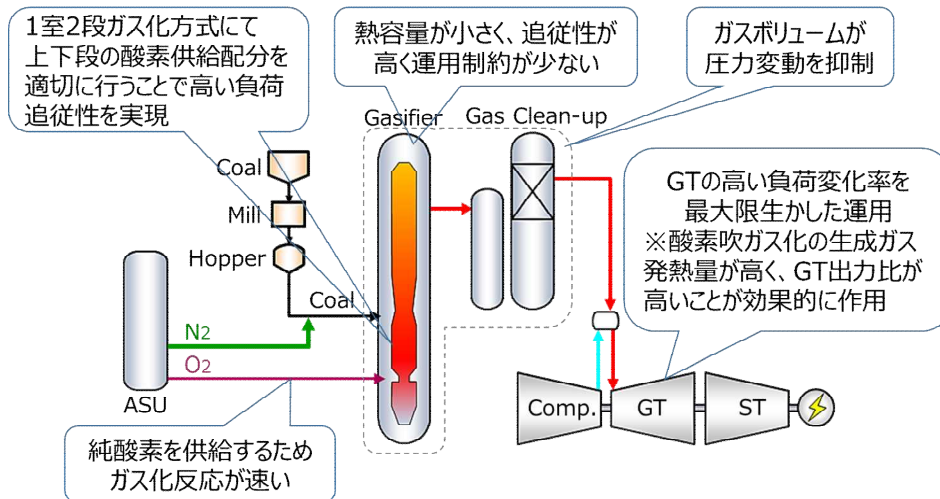


図 3-24 高負荷変化率を可能とする酸素吹 IGCC の特徴

② 起動時間短縮試験

GT 起動から定格負荷までの起動時間の短縮を目指し、起動に関わる各プロセスの見直しおよび再評価を行った。増負荷変化率の向上や運転手法の合理化に伴い、設計目標の 17.5 時間を大幅に短縮し、7 時間程度で起動可能な見通しが得られた。

③ 最低負荷試験

災害等による送電線事故やブラックアウトに対し、系統復旧までの所内単独運転での待機および系統復旧後の速やかな系統接続を想定した、最低負荷試験を実施した。図 3-25 に示す試験結果のとおり、設備の異常が発生することなく、送電端出力をゼロまで低下させた運転（所内単独運転相当）に成功した。

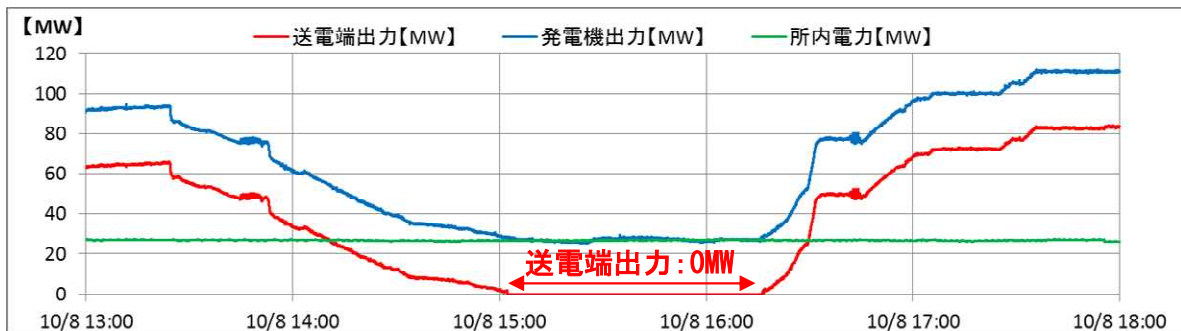


図 3-25 プラント最低負荷試験データ

④ 送電端出力制御試験

従来の発電端出力制御に加え、系統から要求される負荷を直接制御する送電端出力制御試験を実施した。ユニット運転中に制御切替を行い、送電端出力の変動を抑制するような発電機出力制御が可能であることを実証した。

(5) 経済性評価

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った。図 3-26 に経済性評価の考え方を示す。発電コスト検証ワーキンググループ報告（経済産業省 資源エネルギー庁 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 2015.5）において発電コスト検証ワーキンググループが作成した発電コストレビューシートを用い、以下の試算条件にて発電コスト（円/kWh）を試算し評価した。

- ・ 建設費は、実証機建設や実証試験の成果としての改造内容などを反映・最適化やスケールアップ、普及量産をした場合を考える。商用機にはスケールアップ効果や習熟効果を考慮する。
- ・ 燃料費は IGCC の亜瀝青炭や微粉炭火力（USC）の瀝青炭、LNG 火力の LNG 燃料価格を最新データで再評価する。
- ・ 修繕費は、実証機の保守費用の実績を基に評価する。

経済性評価・建設コスト(イメージ)

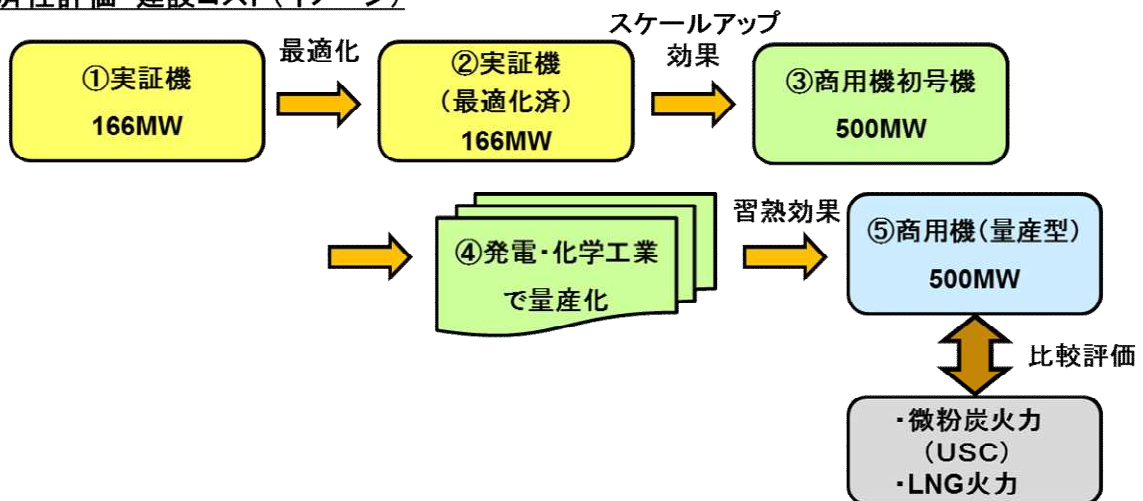


図 3-26 経済性評価の考え方

なお、発電コスト検証ワーキンググループ報告では、以下の計算方法で発電コストが計算されている。

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = \frac{\text{資本費} + \text{運転維持費} + \text{燃料費}}{\text{発電電力量}}$$

本試算においても発電コスト検証ワーキンググループの計算方法に基づき、コスト比較を行った。図 3-27 に電源別発電コスト試算の結果を示す。

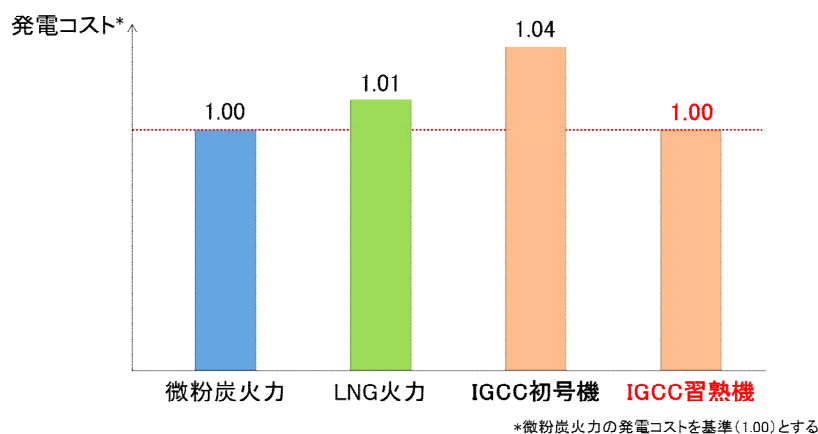


図 3-27 電源別発電コスト試算

社会的費用を除く微粉炭火力の発電コストを基準(1.00)とすると、商用機ベースの500MW酸素吹IGCC初号機のコストは1.04倍、習熟機は微粉炭火力と同額(1.00)となった。

①微粉炭火力との比較

酸素吹IGCC商用機の普及拡大を目指すためには、微粉炭火力の発電コストと同等以下である必要がある。現在市場に多く導入されている微粉炭火力(80万kW)での発電コストを試算・比較すると、酸素吹IGCCは、微粉炭火力と比べ建設費が高価になるものの、送電端効率(HHV)が46%と高く、燃料価格が瀝青炭より安い亜瀝青炭を使用できるため燃料費が低減でき、その結果発電コストは同等となる。

②LNG火力との比較

酸素吹IGCCは、LNG火力と比べ建設費が高価になるものの燃料費が安価である。シェールガス革命以降に燃料価格が低下していることを考慮しても、亜瀝青炭の使用による燃料費の優位性から、酸素吹IGCCは十分な競争力を有している。

2-1-3. 情報収集、支援研究

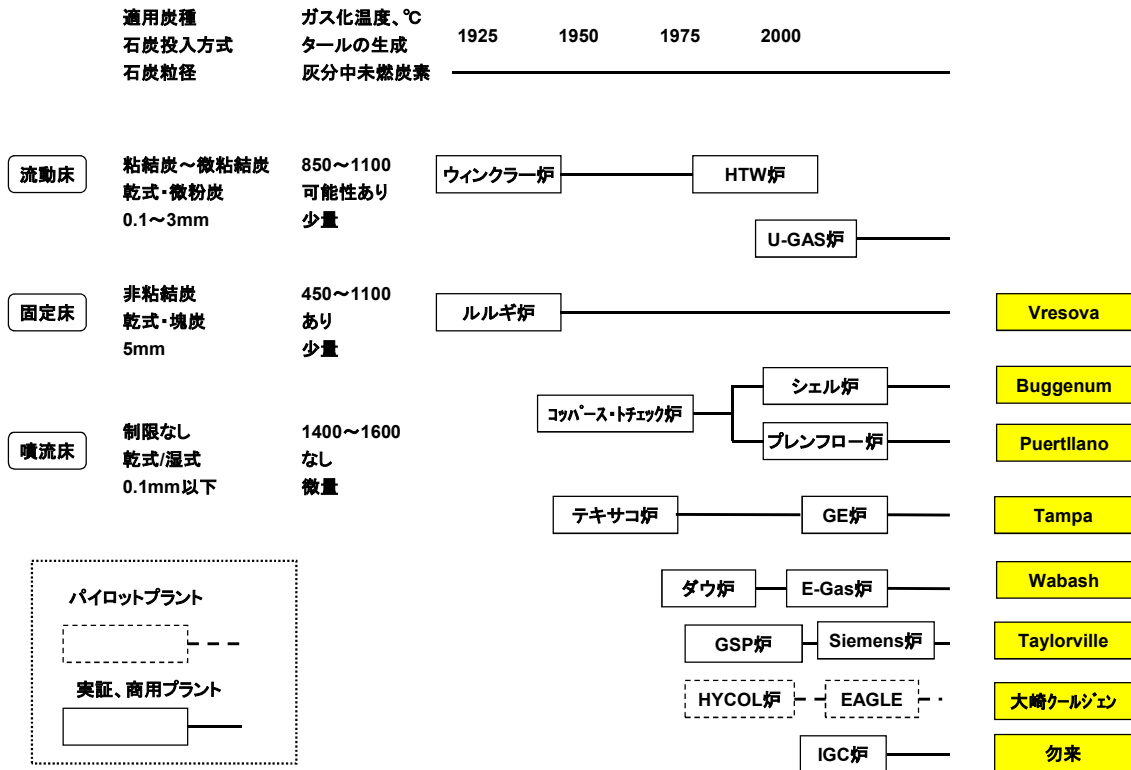
(1) 世界の石炭ガス化技術の変遷

石炭ガス化技術の変遷を図3-28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ンフロー炉として、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として運転を開始した。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(540MW級)2基の建設計画があり、勿来IGCCは2020年9月、広野IGCCは2021年9月の運転開始を目指し、建設工事を進めている。



出典：GUA Technology Status (EPRI) 等をもとに作成

図 3-28 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 3-20 に示す。

表 3-20 国内外 IGCC 動向調査結果

プロジェクト名称		Buggenum	Wabash River	Tampa	Puertollano	カーコールハワー (常盤共同火力)
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 中止 (アンモニア製造プラントへ転換)	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	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 2013年4月～2020年5月
商用運転開始日		1998年～2013年4月	2000年～	2001年～	1998年～2015年8月	
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(イデテナ)炭 現在はヘトロークス専焼	地元炭 (Pittsburgh#8他) 現在はヘトロークス混焼	地元高灰分炭と ヘトロークス混焼	中国炭他複数
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	大崎ケルシン
プロジェクト国		アメリカ	中国	アメリカ	韓国	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	中止 (天然ガス転換)	運転中	実証運転中
実証試験期間		—	2012年12月～	—	2016年9月～2017年10月	2017年3月～
商用運転開始日		2013年6月～	—	2017年～運転開始予定	—	—
ガス化炉		GE炉	TPRI炉 (HCERI炉)	KBR炉	Shell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1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
ガス化炉 炉壁		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	空気	酸素	酸素
冷ガス効率		75～73%	83～81%	—	81～76%	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	ミシシッピー褐炭	遼青炭～亜瀝青炭 (実証試験はロシア炭3炭種)	イトネシア炭他 (第1段階で4炭種)
排水処理		河川放流	海域放流	—	—	海域放流
石炭処理量	t/日	1.5Mt/年	2,000	13,800(褐炭)	2,670	1,180
発電出力(計画値)						
発電端(Gross)	MW	784	265	914	380	166
送電端(Net)	MW	618	225	582	300	140
送電端効率(HHV)						
計画	%	38.5	41	28.1※CO2 65%回収後	42	40.5
実績	%	未公開	未公開	—	42※2	40.8
連続運転時間実績		1,700時間程度	3,917時間	—	1,895時間	2,116時間

出典：GUA Technology Status (EPRI) 等をもとに作成

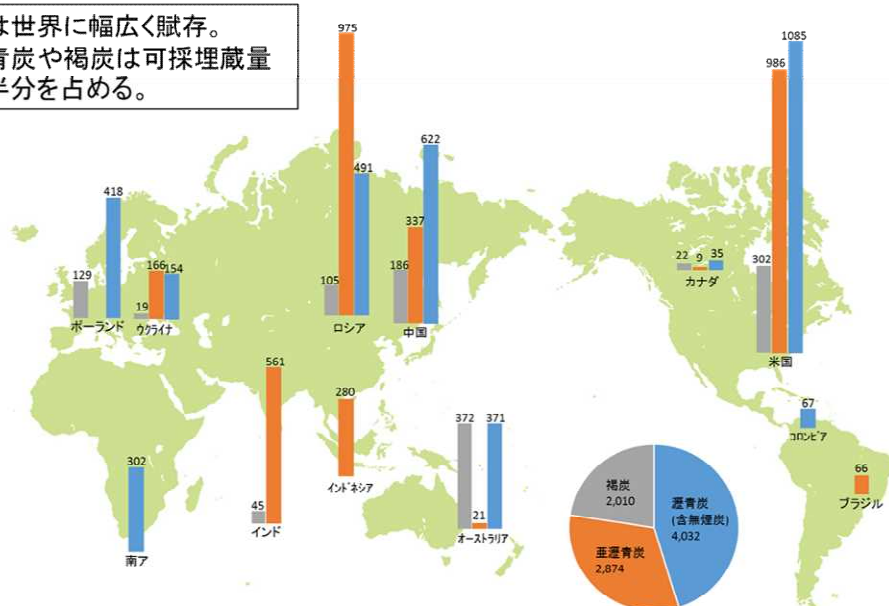
(3) 酸素吹 IGCC 市場性調査

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、2016 年度分を実施した。

表 3-21 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	<p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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
Phase 2	<p>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、</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 専門的な情報の収集、ヒアリング、現地調査等を実施 ● 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>候補地域別に：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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)、電力価格 ● 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。

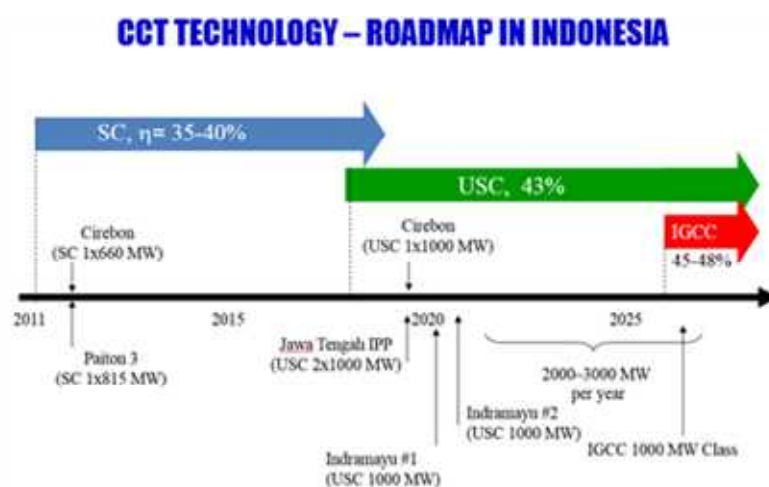


出典: WEC "2013 Survey of Energy Resources"

図 3-29 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。特に、石炭の埋蔵量が豊富でかつ石炭火力発電所を多く所有しており、今後も新設及びリプレースが見込まれ、自国で IGCC 開発を行っていないインドネシアおよびオーストラリア、欧州ではポーランドについて酸素吹 IGCC の高い市場性が見込まれるため、上記 3 か国について詳細に調査を行った。

インドネシアは、世界一の一般炭輸出国であるとともに、石炭消費国でもある。石炭火力は主力電源であり、人口増加と電力需要の増加から新規の石炭火力建設やリプレースの需要もある。環境規制が厳格化しており温室効果ガス排出量の削減の目標も掲げられ、図 3-30 に示すクリーンコールテクノロジー導入ロードマップには、2025 年頃の IGCC 導入が検討されている。亜瀝青炭の炭鉱の山元石炭火力として酸素吹 IGCC の導入可能性が十分にあるものと想定される。



出典：酸素吹 IGCC の市場性調査（石炭エネルギーセンター）

図 3-30 クリーンコールテクノロジー導入ロードマップ

オーストラリアは、世界 4 位の石炭可採埋蔵量を有しており、世界最大の石炭輸出国である。石炭火力は主力電源であり、電力需要は横這いか減少傾向にあり、石炭火力の比率も減少傾向であるが、経年石炭火力が多く、今後のリプレース需要が見込まれる。温室効果ガスの削減目標が掲げられ、過度な再生可能エネルギーの普及により SA 州において州内全停電が発生したことから、HELE の石炭火力の新設やリプレースが議論されており、酸素吹 IGCC の導入の余地がある。また、商用規模の CCS が普及し、住民の CCS への理解も高いことから CCS との親和性の高い酸素吹 IGCC は有利である。

ポーランドは、欧州最大の石炭輸出国であり、石炭火力は主力電源である。政府のエネルギー政策としては、石炭火力の削減と原子力および再生可能エネルギーの増加を掲げているが、電力需要の増加と経年火力のリプレース需要が見込まれる。今後も新規石炭火力発電所の導入を計画していることから、酸素吹 IGCC の導入の余地が十分にあるものと想定される。

以上より、アジア・大洋州やポーランドにおいて、酸素吹 IGCC の高い市場性が見込まれる地域が存在し、当プロジェクトにて開発した酸素吹 IGCC の海外普及のポテンシャルは十分にあるものと見込まれる。

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

2-2-1-1. 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(株)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。

(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 3-22 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 3-23 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パ、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。

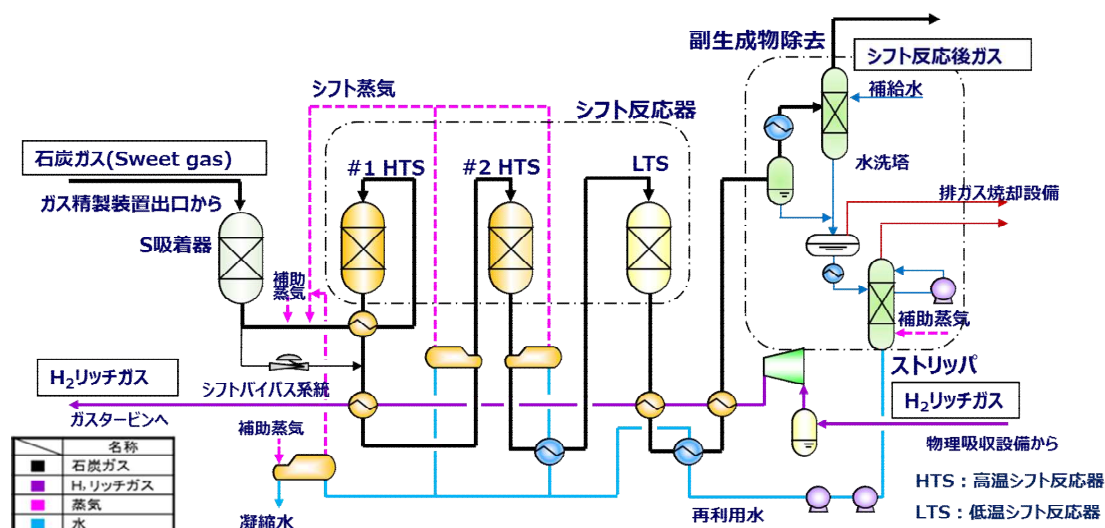


図 3-31 CO シフト系統

(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。

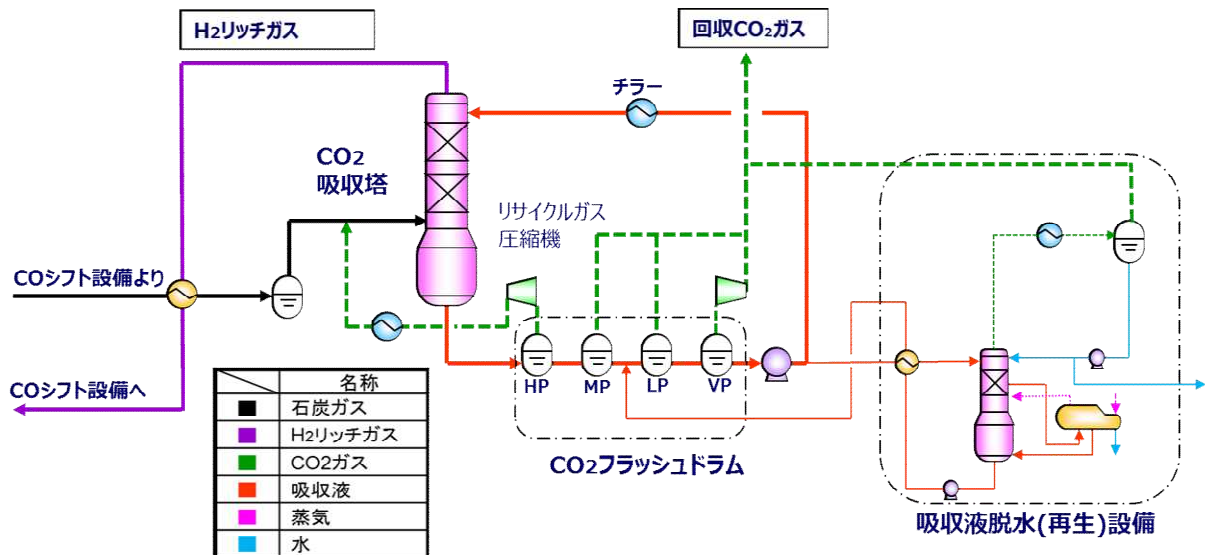


図 3-32 CO₂ 吸収再生系統

CO₂ 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 CO₂ ガスの吸収選択性が高まり、単位吸収液当たりの CO₂ 溶解度が増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。

(2) 製作・据付状況

表 3-24 に第 2 段階実証試験スケジュール、図 3-34 に機器製作・据付状況を示す。2016 年度 4 月より、設備の仕様検討を開始、2016 年度末時点で基本設計は完了し契約手続きを実施した。2017 年度にはプロセス設計、機器設計、土木建築設計を実施し土木工事に着手した。2018 年度には土木建築工事を実施し、機器調達を行った。2019 年度には機械装置、並びに電気・計装機器の据付工事を行い、試運転および性能確認試験を完了し、実証試験を開始している。

表 3-24 第 2 段階実証試験スケジュール

第 2 段階	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
大工程		▼第2段階着手	設計・製作・据付・試運転			▼'19.12 実証試験開始
凡例				▼'18.1 準備工事着工		
				▼'18.4 土工事着工		
				▼'18.8 機電工事着工		
					▼'19.6 受電	
					▼'19.8 据付完了・試運転開始	
		設計・機器製作・据付工事				

	
<p>建設当初(2018/04)</p>	<p>基礎設置(2018/08)</p>
	
<p>CO₂吸収塔据付(2018/10)</p>	<p>大型機器据付(2018/11)</p>
	
<p>吸収液タンク他据付(2019/02)</p>	<p>据付工事完了(2019/08)</p>

図 3-34 機器製作・据付状況

図 3-35 に機器配置図を示す。東側が CO シフト系統設備で、シフト反応器などが配置され、西側が吸収再生系統設備で、吸収液タンクや吸収塔、フラッシュドラム、再生塔が配置されている。北側には電気室・制御機器室建屋と圧縮機、焼却設備が配置されている。

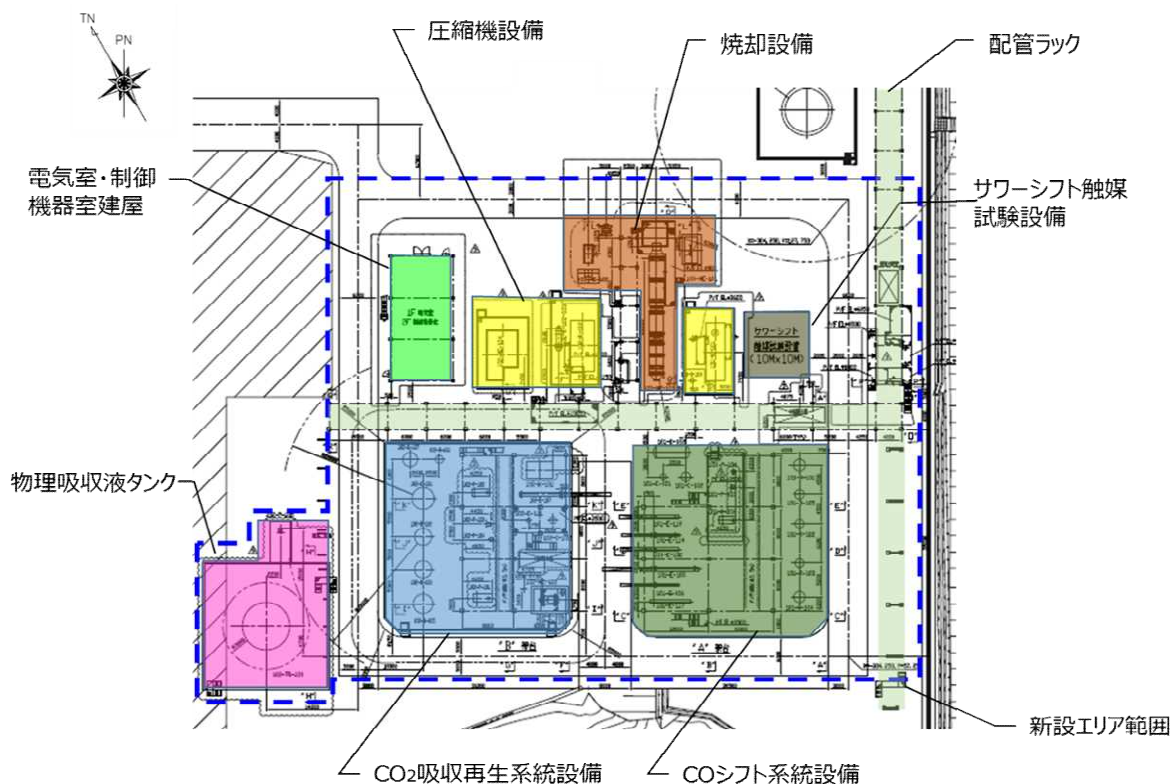


図 3-35 機器配置図

(3) 試運転状況

表 3-25 に第 2 段階試運転スケジュールを示す。2019 年 6 月の受電以降、総合試運転に向けて各種試運転、準備作業を行った。6 月から純水や制御空気などのユーティリティ系統を順次活かし、7 月から機器のモーター単体試運転を実施した。8 月からは制御装置側のシーケンステスト等を順次行いつつ、試運転準備として物理吸収液が流れる配管に残っている油やよごれを落とすために行う化学洗浄作業、シフト触媒や物理吸収液の充填を行った。

10 月下旬から IGCC からガスを受け入れて総合試運転を行い、12 月には実運転時のインターロック試験と性能確認を実施した。

表 3-25 第 2 段階試運転スケジュール

年	2019年							
	月	6	7	8	9	10	11	12
大工程		受電	ユーティリティシステムサービスイン・機器単体試運転	シーケンステスト、マスタ試験		総合試運転準備	▼ガスイン (14日)	
ユーティリティシステム サービスイン		サービスイン、フラッシング					性能試験 インターロック試験 (実運転時)	
ポンプ・ファン 機器単体試運転		モータ単体試運転	機器単体試運転					
化学洗浄 (吸収再生系統)				洗浄準備、洗浄、復旧				
シーケンス インターロックテスト			各単体シーケンステスト インターロック試験(停止時) マスタ試験					
試運転準備 (各系統充填作業他)			S吸着剤/シフト触媒充填		シフト触媒還元・ホットボルテイング	物理吸収液充填	チラー冷媒充填メカラン	燃焼炉乾燥焚き 脱硝触媒充填

性能確認において、設備の保証事項としての性能確認項目などの確認を行い、COシフト転換率、CO₂回収効率、CO₂回収純度、シフト蒸気量、所内電力、CO₂-1tあたりの回収エネルギーに係る設備の性能が引取条件を満たすことを確認した。

(4) 実証試験

「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、実証試験を表 3-27 の通り計画している。

表 3-27 実証試験スケジュール

年度		2019年度	2020年度
実証試験	パラメータ最適化・長時間信頼性 検証・炭種影響評価		
	総合評価		

① パラメータ最適化

プラント性能の維持向上、安定運転をより効率的に行うため、基本特性確認を踏まえて、シフト蒸気量や吸収液循環量等の運転条件を変化させ、最適な運転条件を検討するパラメータ最適化試験を行う。

各種パラメータ試験を踏まえ、本実証試験設備におけるCO₂分離・回収型IGCCの最適運転条件の制御方法を確立し、実証機向け制御方法を構築する。

② 長時間信頼性検証

CO₂分離・回収型 IGCC システムの運用手法を確立するために、IGCC の負荷変動に合わせたシフト蒸気量や吸収液循環量等の運用調整項目の確認、運転による触媒性能劣化や吸収液の性能低下の確認など、試運転・実証試験を通じた長時間信頼性検証試験を実施する。

③ 炭種影響評価

炭種による石炭ガスの組成変化による CO₂分離・回収設備への影響および CO₂分離・回収設備から送られた水素リッチガスによる IGCC 設備への影響について把握し、CO₂分離・回収型 IGCC プラントとしての運用手法を確立することを目的に、性状の異なる炭種を用いた試験を行い、炭種性状の違いによるプラント性能への影響を確認評価する。

④ 総合評価

CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験で得られた結果、及び低温作動型サワーシフト触媒実証試験の結果を踏まえて、実用化に向けた総合評価を実施する。

2-2-1-2. 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 52、135L となる。

表 3-28 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(°C)	205
No.2 反応器入口温度(°C)	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 3-36 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 3-29 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 流化方式は、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。

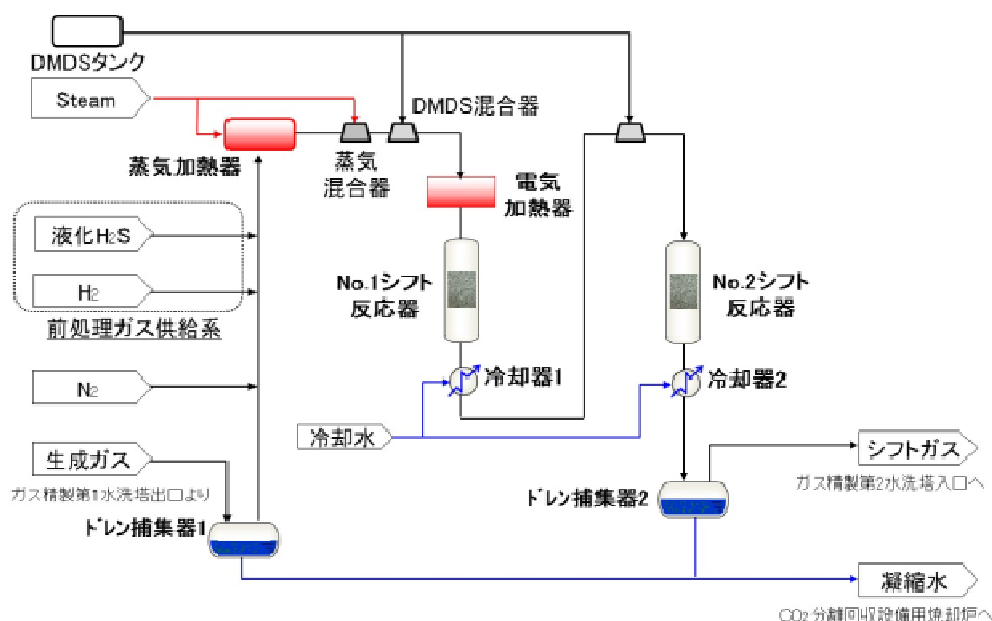


図 3-36 低温作動型サワーシフト触媒実証設備のプロセスフロー

表 3-29 マスバランス計算結果(B 炭, 設備入口温度 30°C)

		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	°C	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	200.0	200.0	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	%									93.1			
HCN分解率	%						99.5			100.0			

2-2-1-3. CO₂分離・回収・液化プロセス実証研究

(1) 設備仕様

CO₂分離・回収・液化プロセス実証研究として、CO₂分離・回収型 IGCC と CO₂液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築するため、2020 年度分として以下の基本検討を実施した。

- ・CO₂分離・回収設備と液化プロセスを組み合わせた液化 CO₂製造システムの全体構成について検討を行った。以下に、本事業で設置する液化 CO₂製造システムの主要機器と概要を示す。

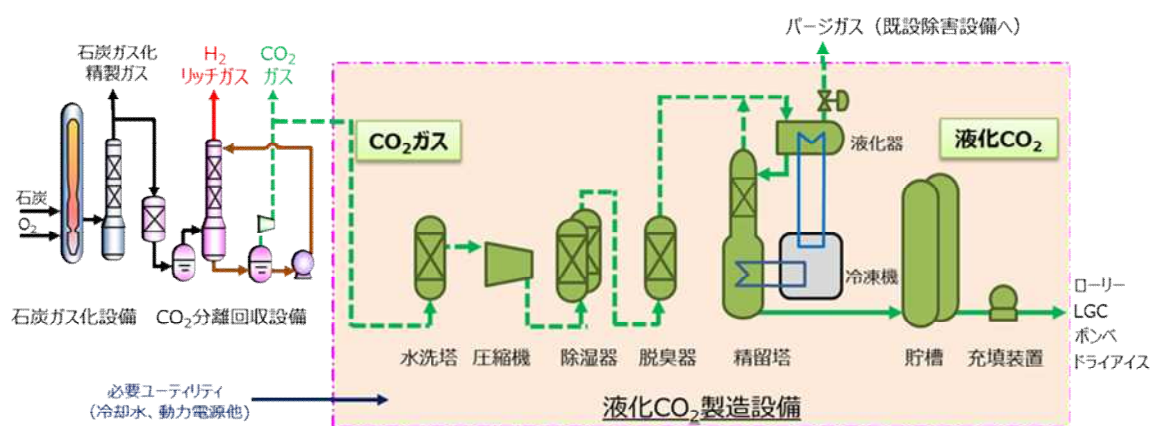


図 3-37 液化 CO₂製造設備

表 3-30 液化 CO₂製造システムの主要機器と概要

機器	概要
水洗塔	導入した CO ₂ に含まれるダストならびに水溶性不純物を除去する。一定期間運転後にサンプルを採取し、分析を行う。
圧縮機	CO ₂ を液化する圧力まで昇圧する。昇圧することで、ドライアイス化しない圧力範囲にするとともに、CO ₂ の液化温度を上昇させる。

除湿器	CO ₂ を液化する際にガス中の水分が凍結固化することを防ぐため、水分の除去を行う。除去は吸着再生方式とし、再生ガスには不活性ガス (CO ₂) を用いる。
脱臭器	ガス状の不純物除去を目的に設置する。一定期間運転後にサンプルを採取し、分析を行う。
液化器	CO ₂ ガスを冷媒により所定温度まで冷却し、液化する。
精留塔	液化CO ₂ の純度を上げる。塔底に加熱器、塔頂に冷却器を設置することで、液&ガスを循環させ、塔内での気液接触により純度を向上させる。塔頂部から不凝縮ガスを抜き出す。

- ・ 液化CO₂製造設備の仕様および発注に向けた工事計画の詳細を検討した。
- ・ CO₂分離・回収設備との取合に係る改造内容を検討する。
- ・ 設備設置に伴う地質調査や法令調査などの準備作業を行う。

(2) 実証試験内容

CO₂分離・回収型IGCCとCO₂液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築するための、実証試験の内容を検討した。

実証試験項目	内容
物理吸収法と液化プロセスを組み合わせた液化CO ₂ 製造システムの最適化	<p>(a) 液化CO₂プロセスの運転パラメータの影響評価 液化CO₂製造に要するエネルギー原単位を明らかにし、エネルギー原単位が最小となる液化システムの運転パラメータを把握する。</p> <p>(b) CO₂分離・回収設備に係る運転パラメータの影響評価 CO₂回収設備の運転パラメータを変化させ、原料ガス中CO₂濃度に対する液化CO₂の製造効率ならびに液化CO₂純度の関係を把握するとともに、エネルギー原単位を最小化する運転条件を把握する。</p> <p>(c) CO₂分離・回収設備の取出し点に関する検討 シミュレーションを用いて、複数の原料ガス取出点を設定し、エネルギー原単位やCO₂純度について比較検討を行う。</p> <p>(d) 液化CO₂製造プロセスの簡略化検討とプロセス性能評価 水洗塔や脱臭器をバイパス運転し、製造した液化CO₂の性状を確認して液化プロセスの簡略化の可否について評価を行う。</p>
低コスト化に向けた液化CO ₂ 運用条件に関する検討	0.8MPa程度の低圧条件における貯槽の運用性やエネルギー原単位を確認し、製造・貯蔵・輸送における技術的な課題を把握する。
石炭火力由来の液化CO ₂ 性状に関する検討	<p>石炭火力由来のCO₂を原料として製造した液化CO₂について詳細な分析を行い、液化CO₂に含まれる不純物を確認する。</p> <p>また、国内における一般的な流通品質となっているフードグレード(食品添加物公定書の基準や各飲料メーカーが独自に定める基準値)の要件を満足するかを評価するとともに、市場が求める性状を満足するための課題を検討する。</p>
総合評価	<p>(a) 物理吸収法と液化プロセスを組み合わせた液化CO₂製造システムの最適化として、エネルギー原単位と設備簡略化に関する評価を行う。</p> <p>(b) 商用機を想定した液化CO₂の経済性に関する評価を行う。</p> <p>(c) 低コスト化に向けた液化CO₂運用条件に関する検討として、低圧条件における液化CO₂の運用性とコスト低減効果に関する評価を行う。</p> <p>(d) 石炭火力由来の液化CO₂の国内市場導入可能性に関する評価を行う。</p>

(3) 実証試験スケジュール

表 3-31 に実証試験スケジュールを示す。

システム基本性能の検証として、2020 年度には基本検討、設計、および機器製作に着手する。2021 年度には機器製作と据付工事を完了し、2021 年度に試運転を行う。

実証試験として、2022 年度には実証試験における試験手順や試験条件、評価方法、スケジュールの詳細な検討をし、(a)物理吸収法と液化プロセスを組合せた液化 CO₂ 製造システムの最適化、(b)低コスト化に向けた液化 CO₂ 運用条件に関する検討、(c)石炭火力由来の CO₂ 性状に関する検討に係る試験を行う。

液化 CO₂ 製造・利用技術に関する技術動向調査として、2021 年度から 2022 年度にかけて、CO₂ 有効利用に関する関連技術について調査を実施し、技術動向を把握する。

総合評価として、2022 年度に (a)エネルギー原単位と設備簡略化に関する評価、(b)経済性の評価、(c)低圧条件における液化 CO₂ の運用性とコスト低減効果に関する評価、(d)石炭火力由来の液化 CO₂ の国内市場導入可能性に関する評価を行う。

表 3-31 実証試験スケジュール

事業項目	2020 年度				2021 年度				2022 年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
a) CO ₂ 液化プロセス開発												
①システム基本性能の検証												
(a) 基本検討	→											
(b) 設計		→										
(c) 製作			→									
(d) 据付					→							
(e) 試運転									→			
②実証試験												
(a) 物理吸収法と液化プロセスを組合せた液化 CO ₂ 製造システムの最適化									→			
(b) 低コスト化に向けた液化 CO ₂ 運用条件に関する検討									→			
(c) 石炭火力由来の CO ₂ 性状に関する検討									→			
③液化 CO ₂ 製造・利用技術に関する技術動向調査					→							
④総合評価									→			

2-2-1-4. 情報収集

競合技術及び他プロジェクトの最新動向の把握の為、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、2016、2017、2018、2019年度分の調査を実施した。

(1) 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(食品添加物)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。

(2) プレコンバッションに適したCO₂分離・回収技術動向調査

プレコンバッションに適したCO₂分離・回収技術について、その代表的な技術種を表3-32のようにまとめた。大きく分けると商用化されている化学吸収法、物理吸収法、研究開発段階の膜分離法、固体吸収法に分けられる。

表3-32 プレコンバッションに適したCO₂分離・回収技術

技術名	開発者	備考
化学吸収法		
①UCASOL	吸収液：DOW Chemical プロセス：UOP LLC	・JPower 若松研究所
②HiPACT	吸収液：BASF プロセス：日揮	・日揮 In Salah CCS プロジェクト ・INPEX 越路原の実証試験
物理吸収法		
①Rectisol	Lurgi [®] Linde	・南アフリカ Sasol-GTL プラント
②Selexol	吸収液：DOW Chemical プロセス：UOP LLC (Selexol / SeparALL に改良)	・JPower 若松研究所 ・大崎クールジェン実証試験 ・米国 Coffeyville Resources ガス化プラント
分離膜法		
①分子ゲート膜	次世代型膜モジュール技術研究組合 (当初は RITE、クラレ、日東電工、新日鉄住金エンジニアリング、住友化学。2016年からRITEと住友化学の2者体制。)	・米国カリフォルニア大との共同実証(RITE)
②促進輸送膜	ルネッサンス・エナジー・リサーチ	・南但広域行政事務組合のバイオガス化施設
③その他の分離膜	パラジウム膜：SINTEF、RITE(ほか) セラミックス膜：RITE、日揮(ほか) ハイブリッド膜：東農工大、メルボルン大	・NEDO 事業によるゼオライト膜利用CO ₂ 有効利用技術開発人工光合成プロジェクト ・米国 EOR (日揮)
固体吸収法		
①Ca-Looping 法	Ohio 州立大学	・ラボ試験
②Chemical Looping 法	Ohio 州立大学	・0.25～3MW SCL ⁹ Pilot Plant (米国アラバマ州)
②固体溶剤法	KIER (韓国)	・10MW Hadong 石炭火力発電所8号機にてパイロット試験中

出典：CO₂分離・回収型IGCCの実用化に向けたマイルストーン検討のための関連技術調査 2019年度調査報告書(石炭エネルギーセンター)

(3) 研究開発の状況

CO₂分離・回収技術における、膜分離法と固体吸収法の研究開発の取組み状況を以下に記す。

① 分離膜法

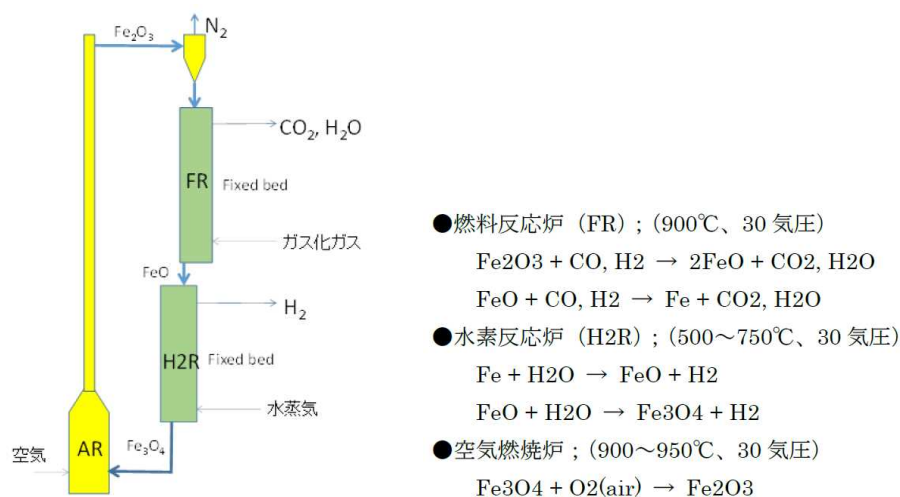
CO₂分離・回収技術の中で、膜分離法は、圧力差（分圧差）によってCO₂を分離・透過できるため、圧力を有するガス源からのCO₂分離において、他の分離法に比べて省エネルギー、低コストでの分離が期待されており、RITE(公益財団法人地球環境産業技術研究機構)と住友化学(株)により2030年頃の実用化を目指して開発がなされている分子ゲート膜、ルネッサンス・エナジー・リサーチ社が開発し実証試験が行われた促進輸送膜などがある。

② 固体吸収法

固体吸着剤を用いたプレコンバッション方式のCO₂分離・回収技術の特徴は、高温でCO₂を吸収するため、ガス化ガス中のCOをその場でシフト反応させることができ、1ステップでCOシフトとCO₂分離を行い、H₂を製造することが可能なことである。

固体吸収法は、米国のOhio州立大学がラボ試験を行う酸化カルシウムを用いたCa-Looping法と、パイロット試験を行う酸化鉄を用いたChemical Looping法の研究開発を進め、韓国エネルギー技術研究員(KIER:Korea Institute of Energy Reseach)が固体溶剤法の開発をしパイロット試験を行っている。

図3-38に酸化鉄固体吸収剤を用いたChemical Loopingによる石炭ガスのCO₂分離・回収と水素精製の概念を示す。



出典：CO₂分離・回収型IGCCの実用化に向けたマイルストーン検討のための関連技術調査 2019年度調査報告書（石炭エネルギーセンター）

図3-38 Chemical Loopingによる石炭ガスのCO₂分離と水素精製の概念

2-2-2. IGCC 運用性実証

CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験においては、IGCC 設備から CO₂分離・回収設備へ石炭ガス化ガス、電力、蒸気の供給が長時間連続して求められることから、第1段階の酸素吹 IGCC 実証試験における運転実績を踏まえ、発生した不具合事象への対策および CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC としての運用性・信頼性向上に向けた改善工事を実施した。現在は、CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験における実証試験運転に合わせ、IGCC 設備の運転を開始している。

(1) CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験に向けた準備・検討

①酸素吹 IGCC 実証試験の成果を踏まえた設備改善工事

第1段階の運転実績を踏まえ、IGCC 設備の運用性および信頼性向上に向けた改善工事を実施した。改善内容を表 3-33 に示す。

表 3-33 IGCC 設備改善工事实施内容

改善工事箇所	目的	改善内容
チャーフィルタバイパス配管 (ガス化炉設備)	応力腐食割れ対策	配管材質変更 ステンレス鋼→炭素鋼
COS 入口 GGH 伝熱管 (ガス精製設備)	硫化腐食対策	チューブバンドル材質変更 炭素鋼→ステンレス鋼

②IGCC 設備長期安定運転に資する設備改善工事

IGCC 設備を長期安定運転する上で懸念されるリスクに対し、必要な設備改善を検討・実施した。

(a) 微粉炭供給系統常圧ホッパーリターンライン追設

プラントが緊急停止した場合、微粉炭供給系統内の残炭が吸湿・固着し、搬送不良によりプラント復旧が長引く恐れがある。残炭固着防止のため、常圧ホッパー内の残炭をロックホッパー、フィードホッパーを経由して循環させるリターンラインを追設し、微粉炭搬送不良のリスクを低減した。この系統を図 3-39 に示す。

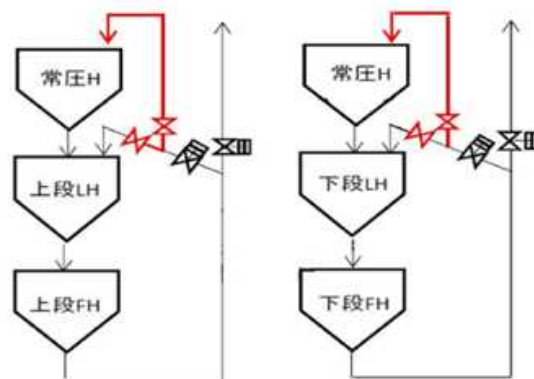


図 3-39 微粉炭供給系統

(b) チャー供給・異物取出系統改善

配管設計を見直し、異物取出系統におけるチャーが詰まりやすい曲り部を極力無くした構造にするとともに、チャー供給配管にガス加温装置によるウォーミング系統を追設し、配管閉塞によるIGCC設備停止のリスクを低減した。この系統を図3-40に示す。

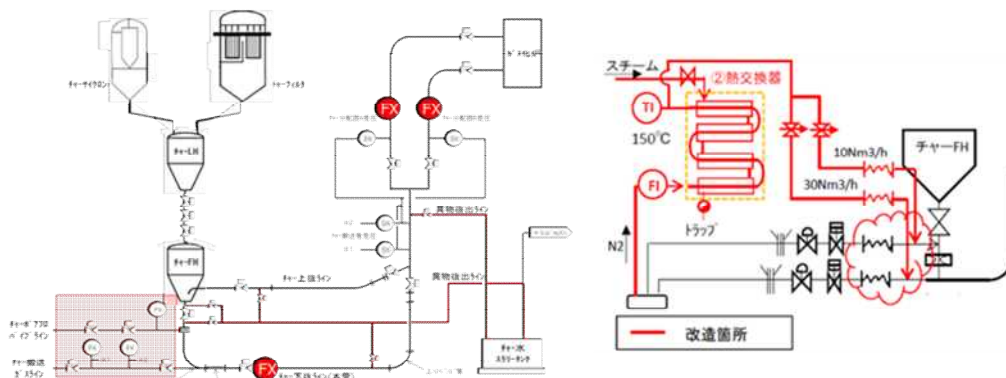


図 3-40 チャー供給・異物取出系統

(c) ガス化炉改良型可動式温度計設置

ガス化炉の安定運転に必要なガス化炉下段ガス温度の把握については、長期に渡り温度を直接計測することは困難なため、必要時にのみ温度計を挿入・計測する可動式温度計を導入していた。しかし温度計の劣化による計測不良が生じると、以降の温度計測が不可能となり、ガス化炉運転にリスクが生じていた。

このリスクを低減するために、ガス化炉の運転中においても、窒素によるシールや弁により炉内と縁切りして温度計の交換が可能な改良型の可動式温度計を導入した。(図3-41)

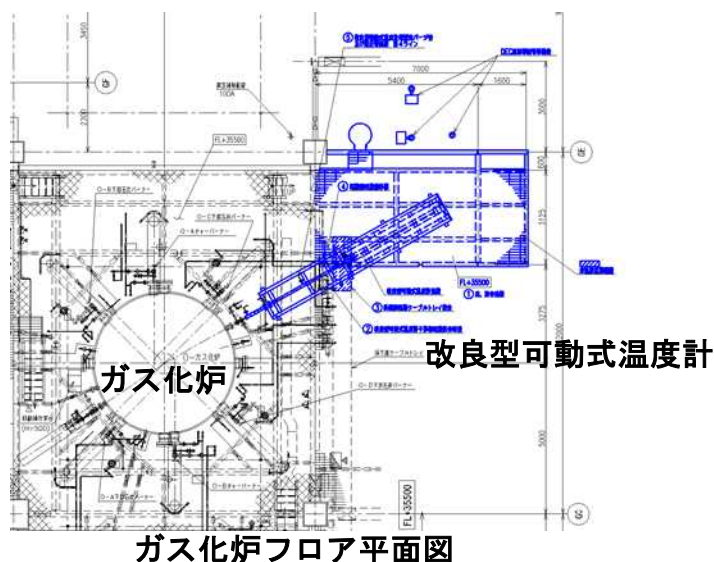


図 3-41 改良型可動式温度計

③CO₂分離・回収設備追設に伴う IGCC 設備高度化監視対策

(a) プラント監視高度化システム導入

CO₂分離・回収設備の追設に伴い運転監視対象機器・計器が増加することから、合理的な運転監視が必要なため、プラント監視高度化システム（PI System）を導入した。重点的な監視項目や異常値の予兆に関する警報を任意に編集・確認することで運転監視が合理化でき、CO₂分離・回収型 IGCC の運用性・信頼性の向上に寄与することができる。

(b) H₂リッチガス燃焼対応ガスタービン特殊計測システム導入

CO₂分離・回収設備の追設に伴いガスタービンの燃料ガス性状が大きく変化することから、燃焼器における燃焼状態の監視強化のため、特殊計測システムを導入した。燃焼器の振動やメタル温度を運転員が中央制御室から常時監視でき、また異常振動発生時には、自動で燃料比率を変更して振動値を下げる等の機能も追加している。

(2) CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験

総合試運転による IGCC 設備の機能確認の後、2019 年 12 月 25 日に CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験の開始に伴い、実証試験に必要な石炭ガス化ガス、蒸気、電力の供給を開始した。また、一定条件下において、CO₂分離・回収後のガスを用いた IGCC 設備の運転が安定的に行えることを確認した。

各試験の中で、IGCC の負荷変動や石炭ガスの性状変化に伴う CO₂分離・回収設備の応答に対する、ガスタービン等の追従性やガスタービン燃焼器への影響、および IGCC 設備の安定運転を確認する予定であり、現在継続中である。

2-3. CO₂分離・回収型 IGFC 研究

2-3-1. 実証試験建設

(1) 燃料電池設備仕様

NEDO 次世代火力発電基盤技術開発で進められている燃料電池関連研究[IGFC システム検討、燃料電池モジュール石炭ガス適用性研究、GTFC 技術開発(委託事業)]の成果を適宜反映し、燃料電池設備、付帯設備等の仕様検討を行った。表 3-34 に設備仕様を、図 3-42 には燃料電池(SOFC)システムの概略系統図を示す。

表 3-34 設備仕様

主な機器	設備仕様
燃料電池設備	固体酸化物形燃料電池(SOFC)
発電容量	1.2MW 級※(SOFC モジュール×2 並列) ※都市ガス運転時
運転圧力	0.6MPa (最大: 2.0MPa)
燃料ガス	水素リッチガス(H ₂ :85%, N ₂ :9%, CO ₂ :2%, CO:1% etc.)
付属設備	
燃料電池入口吸着器	吸着剤 Cu 系、容量 1 m ³ 、圧力 3.5MPa、温度 80℃
再循環ブロワ	遠心式ブロワ 約 2,400N m ³ /h
発電用空気圧縮機	ターボ式圧縮機(オイルフリー) 約 8,000N m ³ /h
液化窒素供給設備	液化窒素タンク(40kL)
水素供給設備	水素トレーラ供給

※大崎クールジェン(株)第3段階実証試験で使用する燃料電池(固体酸化物形燃料電池)は都市ガスを設計燃料とし、運転圧力は 0.6MPaG をベースに最高圧力 2MPaG で運転できるよう圧力条件を変更したものである。

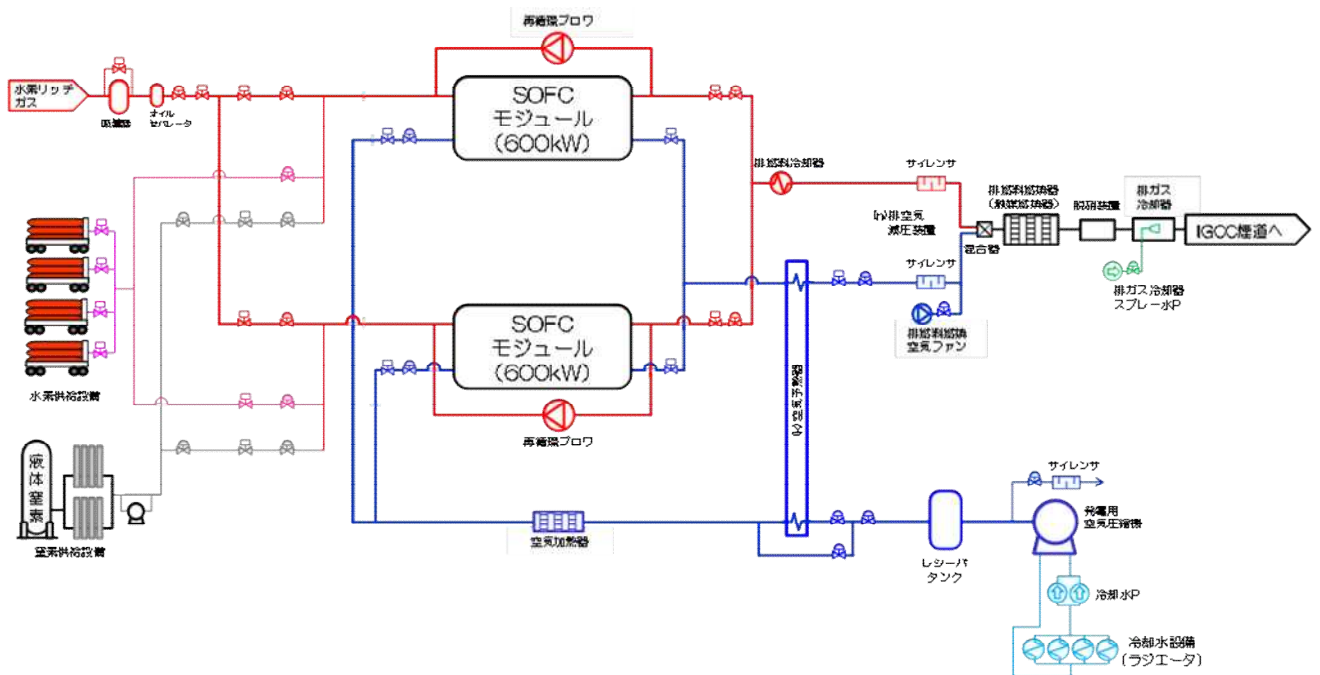


図 3-42 燃料電池(SOFC)システム概略系統図

(2) ガスクリーンナップ通ガス試験装置仕様

- 現状計画の通ガス試験装置の設備仕様を表3-35、概略系統を図3-43に示す。
- ・H₂Sの影響の有無で吸着能力に与える影響を確認するため、既設精密脱硫(CO₂分離・回収設備側)の前後からガスを抽気する。
 - ・IGCC設備より供給されるCOリッチガスを90N m³/h(30N m³/h×3カラム)程度、各系統に供給する。
 - ・通ガス条件を3条件程度変えて比較できるように、1系統につき3つのカラム容器を設置する。

表 3-35 試験容器仕様

機器	数量	流量	最高温度	最高圧力
吸着剤 カラム	S吸着器前：3本 S吸着器後：3本	28N m ³ /h/本	60℃	3.97MPaG

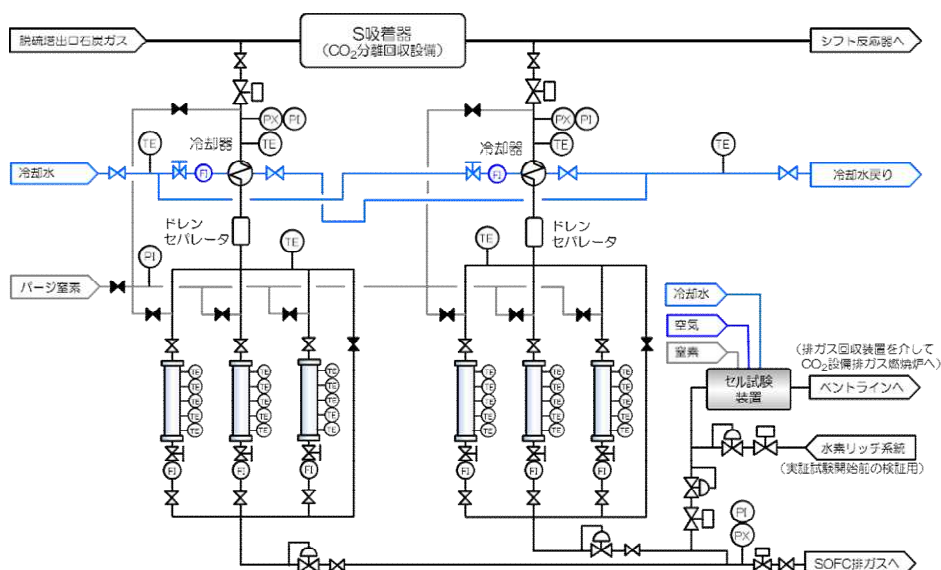


図 3-43 ガスクリーンナップ通ガス試験系統図

(3) 配置図

燃料電池設備は第2段階建設時に造成した土地の一部(約3,800 m²)に設置する。

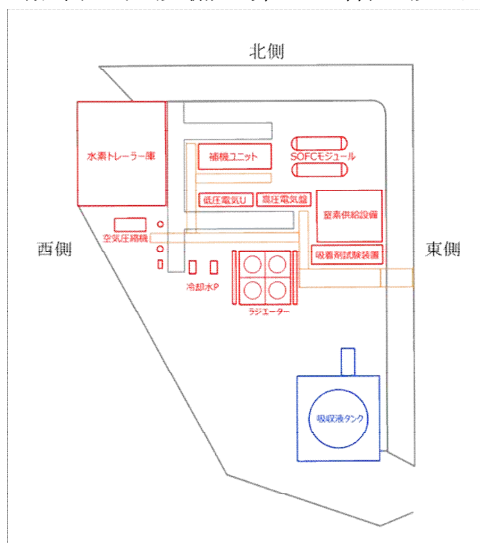


図 3-44 配置図



図 3-45 完成イメージ図

(4) 事前検証試験

2019年10月より事前検証試験装置の仕様等を検討し、SOFCセル試験装置については購買・据付が完了、Ni試験片曝露試験は契約に向け、試験容器(高圧)の詳細検討中、ガス分析については契約手続きが完了した。H₂リッチガスが安定して供給可能であることを確認後、試験を開始する(7月頃)。

① SOFCセル試験

セル試験装置は、JPOWER 若松で実施の NEDO「燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究」で導入した装置を購買し、メーカー工場にて配管や流量調節弁(H₂リッチガス仕様)など燃料系統の部品交換を行った後、設置した。図3-46に試験装置設置状況を示す



図3-46 試験装置設置状況

② Ni試験片曝露試験

Ni試験片・SOFCセル試験片等を高温・高圧および常圧チャンバー内に収めてH₂リッチガスで曝露(1,000時間程度)し、Niと反応する微量成分を調べる。高温・高圧可能な試験容器(Ni試験片曝露試験容器(高圧用、常圧用))詳細設計および機器製作に着手した。

表3-36 試験片曝露試験仕様、試験条件(計画)

	仕様、試験条件
試験片	・多孔質Ni金属 ・SOFCセル試験片
試験容器	SUS容器
温度	500℃程度
圧力	・高圧系：0.6MPa程度 ・低圧系：常圧(100kPa程度)
流量	1.0N m ³ /h程度



Ni試験片(イメージ)

③ ガス分析

水素リッチガスを吸収液法およびキャニスターを用いてサンプリングし、水素リッチガス中に含まれる微量成分を把握するため表 3-37 のとおり分析を行う。

表 3-37 ガス分析方法

	対象成分	ガス採取方法	分析方法
定量分析	硫黄(S)	キャニスター	濃縮法+GC-FPD
	水素化合物(Se、P、As、B)	吸収液(KMnO ₄ +H ₂ SO ₄)	ICP-MS/MS
	塩素(Cl)	吸収液(NaOH水溶液)	IC
定性分析		吸収液(HNO ₃)	ICP-MS/MS

2-3-2. 情報収集

国内外で実施されている燃料電池及び石炭ガス化等の関連研究の開発状況等について情報収集を行った。

- ・韓国 Taean IGCC では 2018 年 11 月に IGCC 工程で抽出された石炭ガス化ガスを精製・転換し、99.99%の高純度水素を精製することに成功しており、2019 年 11 月には精製した水素を燃料電池に供給し、実証運転を実施した。この実証運転に適用された燃料電池システムは、100 kW級発電用高分子電解質燃料電池 (PEMFC) システムであり、2025 年までに 10MW まで拡大する予定としている。

3. 成果の普及

(1) 対外発表

学会誌や業界誌への投稿や国内外における講演・発表、出展等を行い、積極的にプロジェクトの情報発信を実施している。表 3-38 にその実績を示す。なお、個別の件名については、添付資料 2 を参照のこと。

表 3-38 プロジェクト情報発信実績

年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	合計
論文投稿	1	3	3 (1)	3 (1)	6	4	1	5	26 (2)
講演・発表	5 (1)	3 (2)	10 (2)	13 (2)	15 (5)	18 (7)	15 (7)	20 (6)	99 (32)
その他出展					2		1	5 (1)	8 (1)

※表中の（ ）内は海外再掲

出典：自社集計結果

(2) 一般向け情報発信

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。さらに地元の高専専門学校との「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

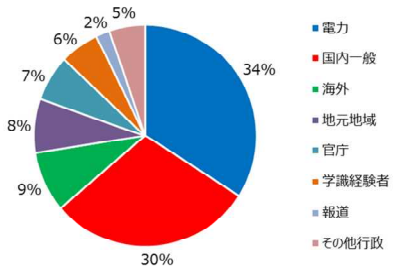
2020 年 3 月末までの実績：7,726 名（内訳を図 3-47 に示す）

<見学者>

年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	合計
団体数	24 (0)	136 (2)	168 (10)	136 (17)	178 (17)	153 (9)	185 (15)	980 (70)
人数	129 (0)	913 (13)	1168 (90)	1063 (168)	1731 (215)	1219 (74)	1503 (115)	7726 (675)

※表中の（ ）内は海外再掲

<見学者内訳>



出典：自社集計結果

図 3-47 見学対応実績

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(2014 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(2015 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(2016 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(2017 年 2 月)
- 第 5 回大崎上島町産業文化祭すみれ祭り説明パネル出展(2018 年 2 月)
- 第 6 回大崎上島町産業文化祭すみれ祭り説明パネル出展(2019 年 2 月)
- 第 7 回大崎上島町産業文化祭すみれ祭り説明パネル出展(2020 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バーチャルツアー

プロジェクト PR 用設備として「バーチャルツアー」を製作した。全ての方向を自由に見渡すことができる「全天球パノラマ」に、CG、配置図、動画などを組み合わせて設備を紹介するシステムであり、現場見学でも目にすることのできない IGCC 設備エリア内や設備内部まで見ることが可能となっている。発電所では、ロビーに設置されたタッチモニターを使用し案内ツールとして、また展示会などでは PC と接続し社外説明用として活用している。

4. 知的財産権等の確保に向けた取組

本実証事業において発生する知的財産に関しては、大崎クールジェン(株)内に知財担当窓口を設置、知財戦略会議を定期的で開催し、知財案件の抽出、内容検討、絞り込みを行い、現時点において、3件の特許出願を行っている。なお、個別の件名については、添付資料2を参照のこと。

なお、知財化にあたっては、他社が特許を取得し使用許諾が必要になるリスクが想定される事項であれば特許化を図り、ノウハウのパッケージ化を行い秘匿化することで競合他社への優位性の確保していく取組みを含め総合的に判断して実施している。

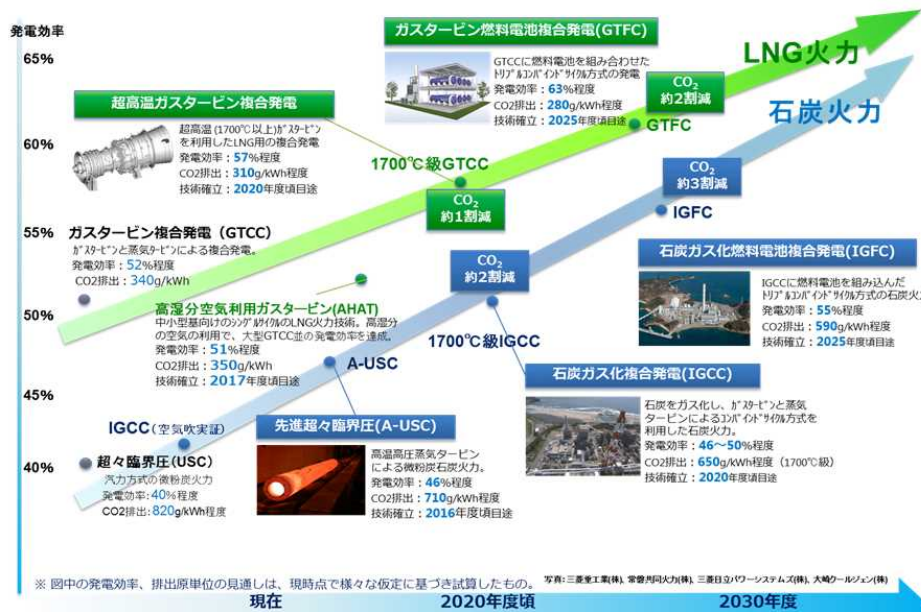
なお、両親会社（中国電力(株)、電源開発(株)）の知財管理部門と一体となって、特許管理、知財の横展開を実施している。

一方で、(株)日立製作所においては、本事業で導入している触媒の基本特許ならびに適用プロセスに関する特許は前身のEAGLEプロジェクト参画前に出願している。また、実証試験を通じて新たな知財が創生された場合は、共研パートナーである大崎クールジェンと相談し、事業性、秘匿性等を考慮して権利化を判断する。

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

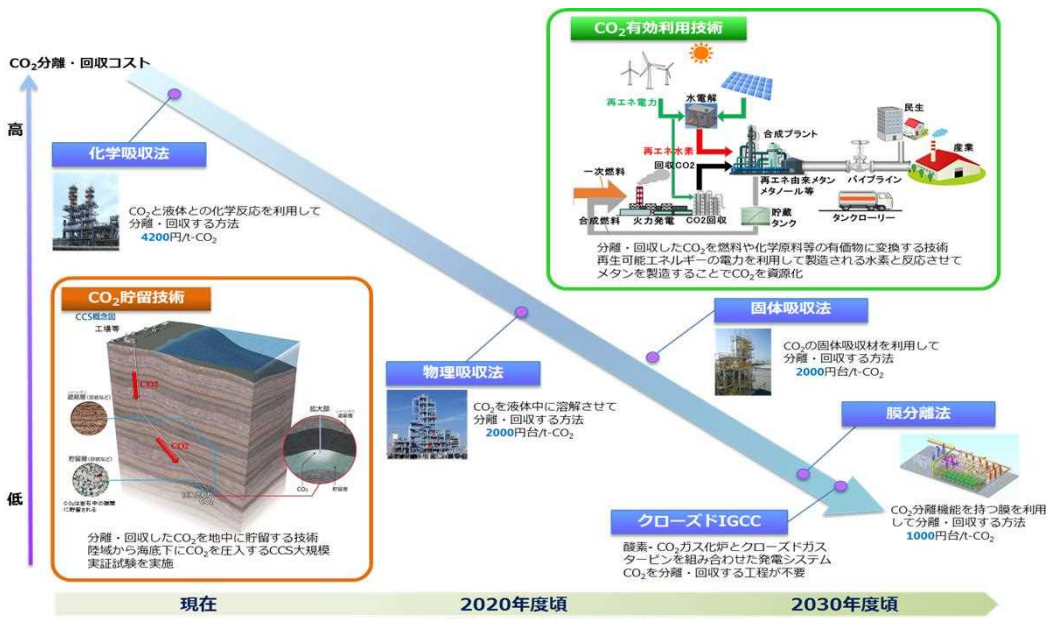
(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

本研究開発は、国の「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」実現に向け取り組んでおり、第1段階の酸素吹IGCC実証は計画通り完了した。現在、酸素吹IGCCにCO₂分離・回収設備を組み合わせたCO₂分離・回収型酸素吹IGCCの実証試験に取り組むと共に、物理吸収法と液化炭酸プロセスを組み合わせた実証試験の機器設計、並びにCO₂分離・回収型酸素吹IGCCに燃料電池を組み合わせたCO₂分離・回収型IGFCの設備設計、一部機器製作を進めている。図4-1、4-2に次世代火力発電技術に係る技術ロードマップの次世代火力発電技術、CO₂回収関連技術を示す。



出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料集

図 4-1 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）



※ 図中のコストは様々な仮定に基づき試算したもの。
(経済産業省「次世代火力発電に係る技術ロードマップ/技術参考資料集」を基にNEDO作成)

出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料集

図 4-2 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）

酸素吹 IGCC については、第 1 段階の実証試験が完了し、基本性能として目標の発電効率を達成、また目標を大幅に上回る負荷変化率を達成し運用性の高さを確認できたこと、さらには商用化に必要な設備信頼性について見通しを得ることができた。今後は、酸素吹 IGCC 商用化検討を進める時期と考える。

また、現在取り組んでいる第 2 段階の CO₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC では、CO₂ 分離・回収技術に物理吸収法を適用しており、2020 年度末に実証試験が終了すれば、技術確立できる見込みであることから、CO₂ 貯留技術が確立し、適用できる事業環境が整えば、CO₂ 排出量を 90% 程度削減しても現状の微粉炭火力 (USC) 並みの送電端効率 40% を達成できる見通しが得られる。

そして、第 2 段階の追加研究として取組む CO₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC に CO₂ 液化プロセスを組み合わせた実証試験は、CO₂ 輸送を想定して液化炭酸までの最適システムの構築、並びに輸送コスト (CO₂ を大量に輸送する船舶輸送を想定) の削減を目的とした輸送条件の緩和の可能性を追求し、将来の CCUS 実現に繋げる計画である。

更に、第 3 段階では、現状天然ガス (主成分：メタン) を燃料として利用している燃料電池に CO₂ 分離・回収後の石炭ガス化ガス (主成分：水素) が適用できるかどうか検証する試験であり、GTFC の技術開発や IGFC の追加技術開発を踏まえ IGFC が技術確立されれば、送電端効率 55% (HHV) 程度が期待され、石炭火力発電の大幅な効率向上に繋がる。実用化に関しては、IGFC に活用する燃料電池についてもガスタービン同様に GTFC が普及し量産化された後、IGFC に転用する計画であり、先行する技術の動向を注視しつつ事業化検討を進める。

想定される市場としては、国のエネルギー政策によると、2030 年に向けた対応として「温室効果ガス 26%削減」と「エネルギーミックスの実現」の方針の中で、化石燃料については、高効率な火力発電の有効活用が示されると共に、電源構成では石炭火力は 26%維持 (図 4-3 参照) される見通しである。

東北の震災以降、原子力の稼働率の低迷により国内では石炭火力の新増設の計画 (約 1,700 万 kW) (図 4-4 参照) が進み、新増設は、空気吹 IGCC (54 万 kW×2 基) はあるものの殆どが微粉炭火力 (USC) で計画されている。2030 年のエネルギーミックスを考慮すると、石炭火力の設備容量は概ね上記計画で維持できることから、2030 年迄の国内市場における酸素吹 IGCC の導入は、電力の自由化の事業環境も相まって相当の競争力強化が求められる厳しい状況にある。

一方、海外では先進国で石炭の利用を抑制する動きがあり、石炭の風当たりは強いが、アジア等の新興国では今後の自国の経済成長を支えるために石炭火力は必要と考えられており、IEA の調査報告では、2040 年迄、インド、中国、東南アジアで約 350GW 相当 (図 4-5 参照) の発電設備の新設が想定され、需要の拡大が予想される。また、国においても相手国のニーズに応じ、CO₂ 排出削減に資するあらゆる選択肢を相手国に提案し、「低炭素型インフラ輸出」を積極的に推進するとしている。

2030 年度迄の国内市場は小さいが、アジア等の新興国に目を向けると大きな市場があり、本技術の成長性、並びにインフラ輸出による経済効果が期待できる。

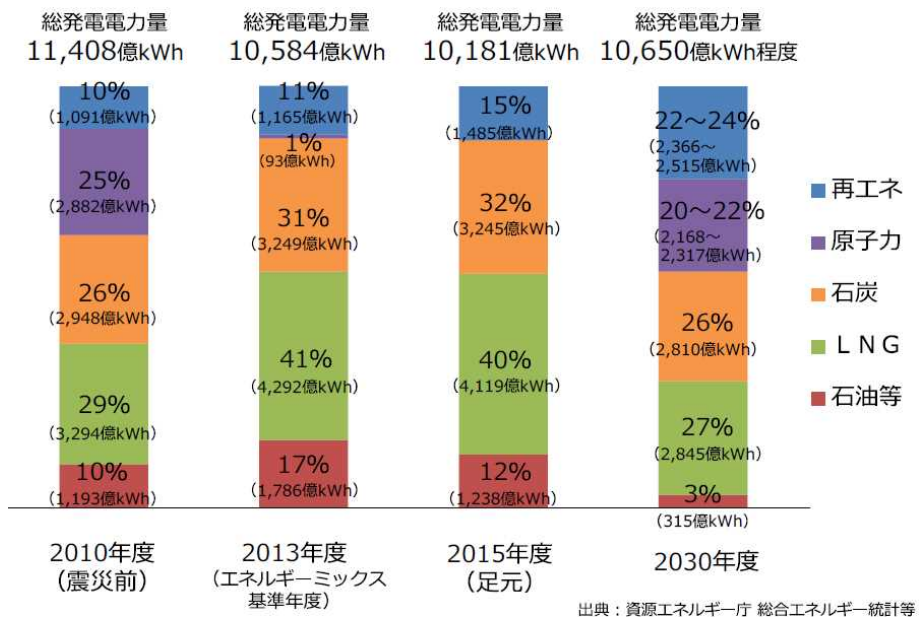
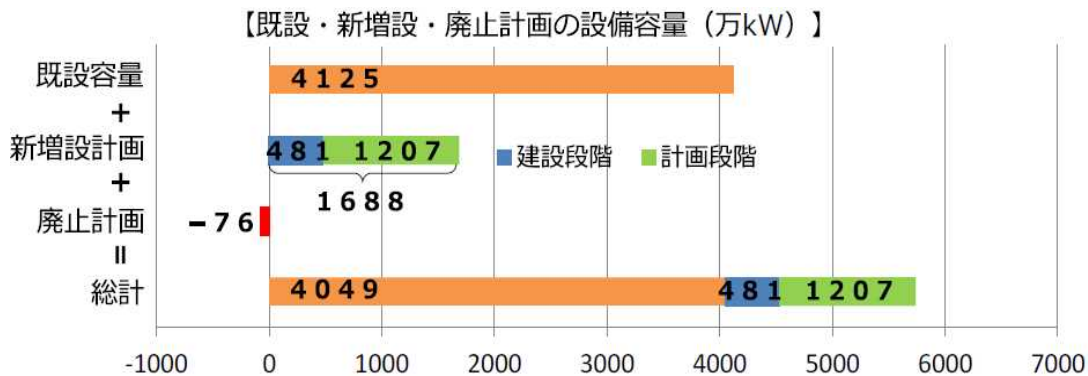
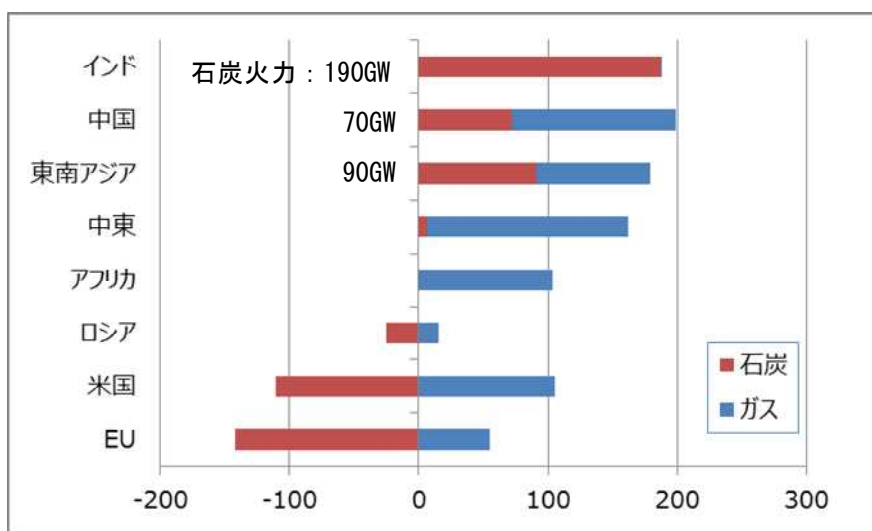


図 4-3 国内の電源構成の推移



※2017年10月現在のデータ (自家発自家消費設備を除く)
 ※出典：電気事業便覧や発電事業者各社のHP・プレスリリース等の情報より資源エネルギー庁作成

図 4-4 国内石炭火力発電設備新增設計画



発電設備容量の見通し(2018-2040) [GW]

出典：IEA World Energy Outlook 2019 公表政策シナリオ

図 4-5 世界の発電設備容量の見通し

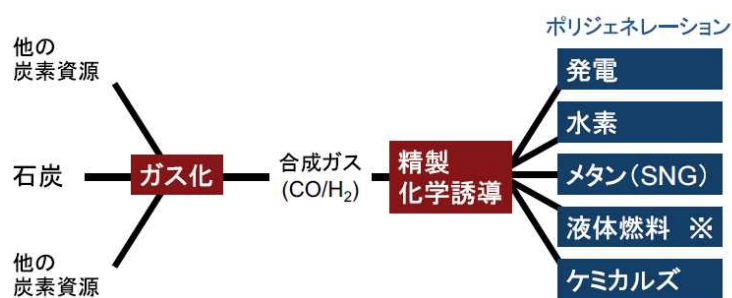
2050年に向けた対応では、「温室効果ガス80%削減を目指す」と「エネルギー転換・脱炭素化への挑戦」という方針で、化石燃料については、ガス利用へのシフト、非効率石炭火力のフェードアウト、脱炭素化に向けた水素開発に着手が示された。エネルギーセキュリティの観点から地政学リスクを緩和するためには石炭利用は不可欠と考えられることから、上記の方針を踏まえると、石炭ガス化、シフト反応を用いた水素製造、及び水素を燃料とした燃料電池による発電、並びにCO₂排出量を大幅削減するためCO₂を分離・回収して、資源利用（CCU）あるいは貯留（CCS）が求められ、CO₂回収利用貯留（CCUS）を実現するためのCO₂輸送コスト削減技術の実用化が期待される。

本研究開発は、2050年に向けた目標を実現するためのクリーンコールテクノロジーのコア技術であり、実証試験を通し実用化の知見・ノウハウを蓄積するとともに、国の政策動向を踏まえつつ事業化検討を進める。

国内市場については2050年の電源構成は、今後の議論となるが、メリットオーダーを考えると、限界費用が安い再生可能エネルギーの導入が優先され、次に原子力がベース電源として想定される。再生可能エネルギーが大量導入されれば、調整電源が必要となり、石炭火力がその役割を担うことが考えられる。2050年は温室効果ガス80%削減を目標としていることからCO₂分離・回収設備を具備した高効率石炭火力の新増設が期待できる。また、再生可能エネルギーの調整用として水分解による安価な水素が製造されれば、本研究開発の成果を用い、回収したCO₂を原料にカーボンリサイクルの普及が期待される。更に、国際連携としては、CCSに熱心なオーストラリア等（石炭資源国）で石炭ガス化を行い、シフト反応で水素を製造して、液化水素として日本に輸入することも考えられる。

そして、酸素吹石炭ガス化技術は、IGCCとして電力を供給するだけでなく、ガス中のCO/H₂比を調整した合成ガス触媒反応による化成品の製造が可能であり、ポリジェネレーション(図4-6参照)として活用できる。電力の需給調整にあわせ、電気に余剰が発生した場合は、化成品を生産することができる。

酸素吹石炭ガス化技術は、よりエネルギー効率の高い燃料利用や様々な化学品の原料(C₁化学)に転換できることから、国内外の市場で適用でき、取り分けアジア等の新興国での市場規模が大きく、経済成長に併せ成長性が期待できる。



※メタノール、ジメチルエーテル等
出典：石炭エネルギーセンター 第4回石炭基礎講座 石炭ガス資料

図4-6 石炭ガス化ガスの多様性

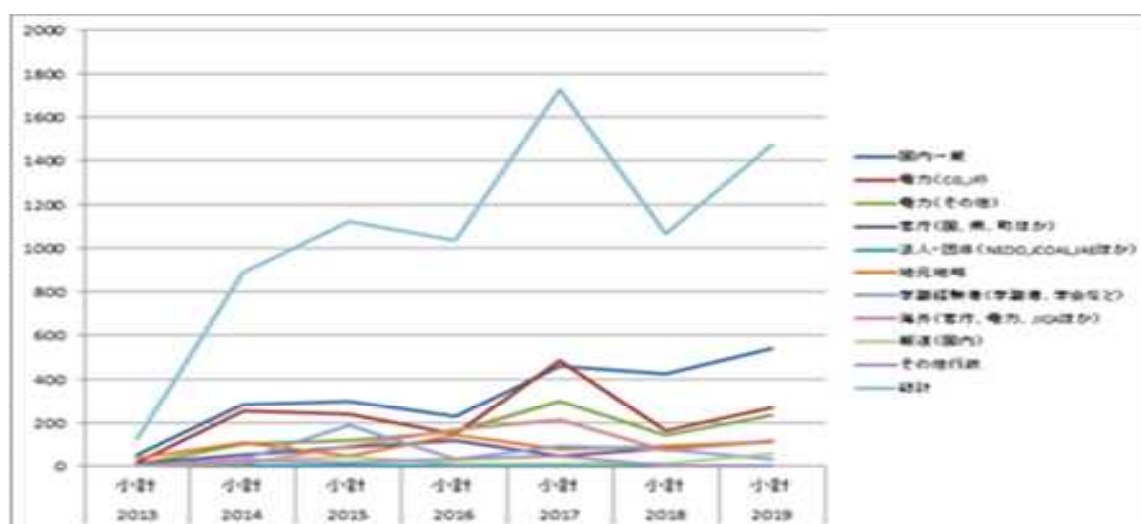
一方で、(株)日立製作所においては、本事業で導入しているサワーシフト触媒の特徴は、低硫黄濃度での反応、及び低温でも反応起動が可能であることであり、IGCCに限らず、石炭ガス化プラント全般に適用できると思われる。IGCCの本格普及は2020年代中後半以降になると考えられることから、まずは市場が立ち上がっている化学向けガスプラントを対象に触媒のリプレースに向けたプロモーションを行う。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組み

本事業終了後、実用化・事業化に取り組むのは親会社である電源開発(株)、並びに中国電力(株)であり、両親会社の石炭火力の設備容量は合計 10,402MW と国内石炭火力の約 22%を占めている。今後老朽火力のリプレースや市場への新規参入として IGCC の新設を検討している。

従って、大崎クールジェン(株)では、国内外で開催されるエネルギー関連の会議に参画して本研究成果の発表や訪問者の対応を行うなど、PR 活動を積極的に行っている。併せて海外展開を見据えて、海外の電力事情や関連する他のプロジェクトの動向調査を実施している。

具体的には、国内では、日本エネルギー学会、日本機械学会、化学工学会、石炭科学会議、火力原子力発電技術大会等、国際会議としては、アメリカの Power-Gen International や International Pittsburgh Coal Conference、東南アジアの Power-Gen Asia、及びオーストラリアの Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilization 等に参加し、プロジェクトの進捗や成果について発表した。また、親会社とも協調しながら、産炭国並びに石炭輸入国等の海外電力会社および電力技術者の見学受入、国の政策担当者や金融機関への本技術の優位性の説明等(図 4-7 参照)、幅広く PR 活動に取り組む、将来の IGCC 投資に向け理解を得られるように勤めている。



出典: 自社集計結果

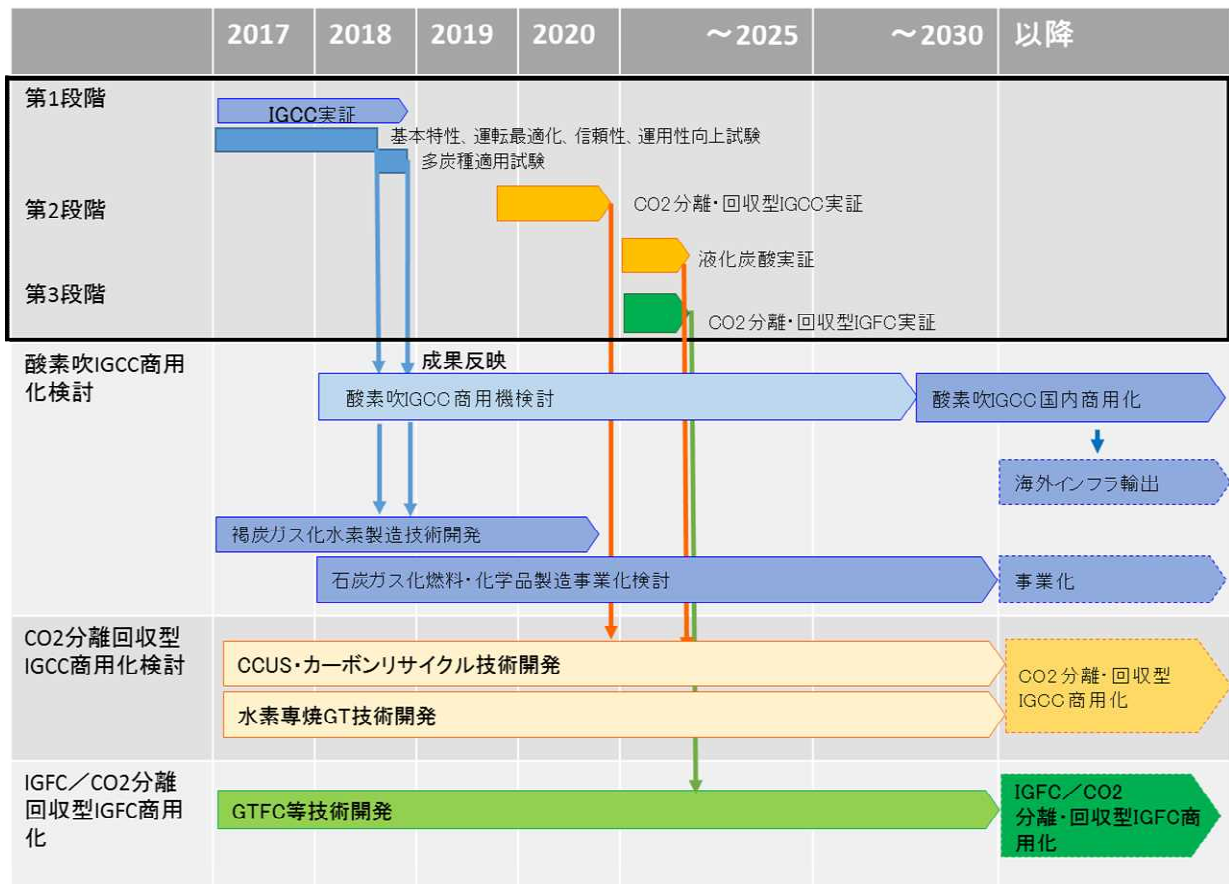
図 4-7 大崎クールジェン 来客対応実績

海外の電力市場については、産炭国や日本と友好関係が強いインドネシア、オーストラリア、ポーランドの調査を行い、国内電力需要の伸び、豊富な低品位炭の利用、油田地帯があり EOR としての CO₂ の有効活用の可能性などから 3 か国の中では、インドネシアが IGCC のニーズが高いと考えられる。

特に、インドネシアでは、実用化された実績のある技術のみ採用されている実態を踏まえると、実用化・事業化計画並びにマイルストーンとしては、酸素吹石炭ガス化技術を国内で技術確立し、実証試験から国内商用化を通して O&M 技術の知見、ノウハウを蓄積して、プラント建設、保守・運用をパッケージ化し、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繋げ、国の政策と整合性を取りながら、地球温暖化対策に貢献していきたいと考えている。

表 4-1 に実用化・事業化までの概略スケジュールを示す。

表 4-1 実用化・事業化までの概略スケジュール



(3) 成果の実用化・事業化の見通し

① 産業技術としての適用の可能性

資源に乏しい日本ではエネルギー資源の9割を海外からの輸入に依存している。国際情勢により輸入量や価格に大きな影響を及ぼすことが懸念されることから、資源の多様化、調達先の多角化などにより安定したエネルギーの確保が必要と考えられる。その中で石炭資源は、世界各地から産出され、賦存量が多いことからエネルギーセキュリティと経済性の両面で優れた燃料であるが、一方で地球温暖化の原因とされているCO₂排出量が他の化石燃料に比べ多いことが課題である。

石炭ガス化技術をベースとした酸素吹IGCC及びIGFCについては、次世代火力発電技術として高効率発電で石炭使用量を抑制できること、CO₂分離・回収設備と組み合わせることで、石炭利用上の最大の課題であるCO₂排出量を90%程度削減することが可能である。

国の「エネルギー基本計画」では、2050年に向けた対応として「温室効果ガス80%削減を目指す」としており、第2段階のCO₂分離・回収型酸素吹IGCCの開発目標は、商用機ベースでCO₂を90%回収しつつ、発電効率40%（送電端効率、HHV）程度の見通しを得ることとしている。実現すれば、CO₂を分離・回収しない現状の微粉炭火力（USC）並みの発電効率が期待できる。CCU、CCSの普及と連携し産業技術としての適用の可能性は高い。

また、昨今CO₂を資源として捉え、分離・回収し鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への再利用するカーボンリサイクルの研究開発の取り組みが進められていることから本実証試験の成果との連携が期待される。

② 実用化・事業化に向けた課題とその解決方針

IGCC実用化・事業化については、商用規模のガス化炉のスケールアップを検討しなければならない。

本研究開発において、実証試験を通し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図る。

また、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（二重化等）および配置等の最適化を検討している。

さらにCO₂分離・回収型酸素吹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の運用面、設計面の知見を反映し、商用化につなげると共に、回収したCO₂をカーボンリサイクル事業に活用できるよう液化炭酸プロセスの最適化を図る。

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の技術確立に繋げる。

③ IGCC等石炭ガス化技術の市場ニーズ・ユーザーニーズ

IGCC等の石炭ガス化技術の特徴としては、これまで利用が少ない亜瀝青炭、褐炭が使用可能と言うことであり、未利用炭の利用拡大(図4-8参照)に繋がる。石炭の利用拡大は資源輸入国である我が国にとっては、石油や天然ガスの価格上振れの抑止力になり、エネルギーの安定供給に貢献できる。

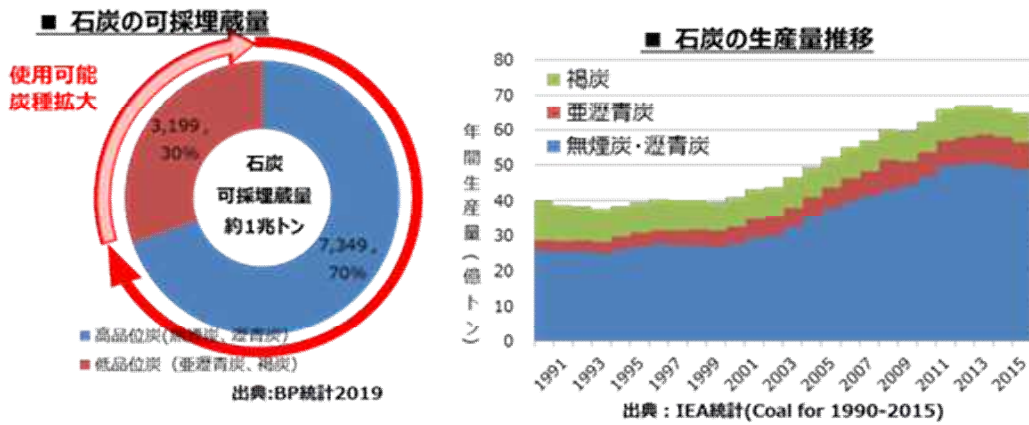


図 4-8 石炭の可採埋蔵量と生産量推移

世界的に見れば、電力需要は年々右肩上がりであり、2030年で34,140TWh、2040年で41,373TWhという見通し(図4-9参照)が報告されている。その中で石炭火力は10,000TWh程度常に一定水準の需要予測がなされている。特に新興国の経済発展に伴い、アジア・大洋州を中心に電力需要の伸びが想定され、2040年までに年間24.9GW/年の石炭火力の新設が見込まれる。(図4-10参照)これは500MW級IGCCが約50基分/年に相当し、想定する市場規模として期待できる。石炭火力を建設するのであれば、高効率石炭火力でCO₂削減が可能な本技術の市場ニーズ、ユーザーニーズに合致すると考えられる。

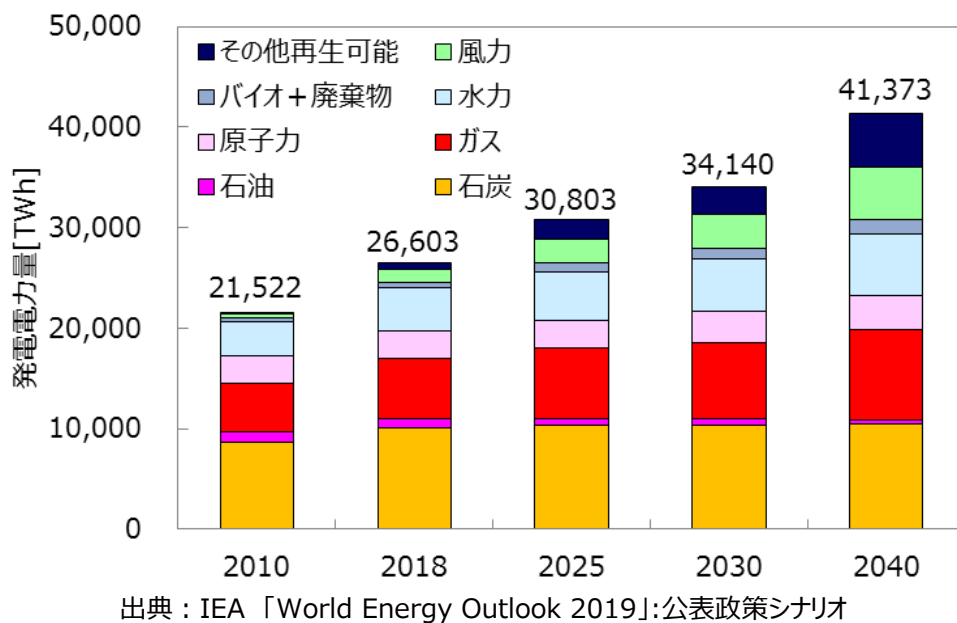


図 4-9 世界の発電電力量推移の見通し

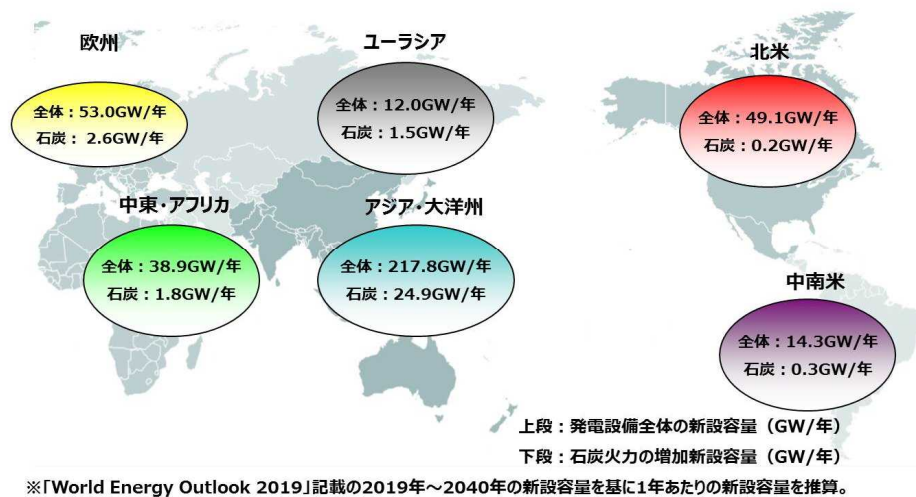


図 4-10 世界の石炭火力単年度当たりの 신설容量の推算

④ 競合技術と比較した性能面・コスト面の優位性

本研究開発の適用した IGCC 技術と競合する世界の IGCC 開発・実用化状況を表 4-2 に示す。

IGCC 技術のコアとなるガス化炉については、欧米の先行するガス化炉のメリット、デメリットを分析し、一室二段噴流床ガス化炉を採用した。ガス化炉をコンパクトにするため一室とし、乾燥させた微粉炭を上下 2 段に分けて供給することで、燃焼場とガス化を上手くコントロールし、石炭ガス化ガスのカロリー(冷ガス効率)が高くなる。(図 4-11、表 4-3 参照)

また、幅広い炭種に適用するため(図 4-12 参照)、冷却機能を高めた水冷壁と耐火材でガス化炉を構成している。

IGCC 技術開発は欧米で先行したものの、近年地球温暖化の観点から欧州では石炭火力からの撤退が表明され、その技術の適用が見送られている。一方、米国ではパリ協定からの脱退を表明したものの、シェール革命による石油・天然ガスの採掘技術の発展により安価な石油・天然ガスが市場に導入され、石炭の競争力が弱体化しており、石炭利用技術開発の様々なプロジェクトが中止や廃止に追い込まれている。

従って、今後、アジア・大洋州に導入される石炭火力については、現状最新鋭の USC、または USC の延長技術である A-USC 技術(高温・高圧部材の開発や溶接・加工技術の確立)、及び国内で実用化レベルにある空気吹き IGCC、並びに中国で技術開発中の Green Gen が想定される。

USC は既に商用機として国内外の実績があり、中国との価格競争が激化している。

直近の電力需要に対応するため、効率が著しく悪い石炭火力のリプレースには適用できるが、地球温暖化の要因である CO₂ 排出量については、820g/kWh 程度であることから、将来の CO₂ 削減を考慮すると USC 以上の高効率発電や CO₂ 分離・回収技術が必要と考えられる。

国内では、既に石炭火力については USC が標準的に導入されていることから、更なる効率向上を目指し、A-USC や IGCC、更には IGFC の開発が進められている。

A-USC と IGCC との比較においては、A-USC の発電効率は 46%程度(USC の発電効率 40%程度)、CO₂ 排出量 710g/kWh 程度であり、1500℃級 IGCC とほぼ同程度であるが、IGCC はガスタービンの更なる高効率化が期待できることから、1700℃級 IGCC では、発電効率 46～50%程度、CO₂ 排出量 650g/kWh 程度となり、A-USC に比べ IGCC 技術の方が将来の延び代がある。(表 4-4 参照)

一方、空気吹きと酸素吹きについては、1500℃級 IGCC では発電効率はほぼ同等とされているが、酸素吹きは空気吹きに比べて、石炭ガス化ガスの発熱量が高いことから、高温ガスタービンへの適用性が高く、高効率化が容易である。また昨今、再生可能エネルギー大量導入に伴い調整電源としての役割が火力発電に求められ、負荷追従性が要求されつつある。酸素吹き IGCC は今回の実証試験において GTCC 並みの負荷追従性が確認され、再生可能エネルギーとの親和性がある。更に、CO₂分離・回収を前提とすると、酸素吹きはガスボリュームが少ないことから、CO₂分離・回収設備がコンパクトにできる。(図 4-13 参照)

2030 年以降 2050 年にかけては、CO₂削減目標が益々厳しくなることから、酸素吹き IGCC のニーズが高まると想定される。

また、昨年国内では CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等と共に、大気中への CO₂排出を抑制するカーボンリサイクルの研究開発の検討が開始され、今年度より国家プロジェクトとして幾つかの有望技術が実施される。こうした技術が実用化されれば、本研究開発の第 2 段階で取り組んでいる CO₂分離・回収型酸素吹 IGCC 実証の成果が大きく貢献できる。

なお、中国 Green Gen については、その動向を注視しているものの、近年情報発信が少なく、現状実証試験を継続しているものと推察される。

今後、世界では人口増加、経済発展を考慮すると石炭火力のニーズは一定量必要と想定され、日本が取り組んでいる次世代火力発電技術開発は、地球温暖化対策に貢献できる技術開発である。現状酸素吹 IGCC は、CO₂分離・回収技術、IGFC に繋がる基幹技術であり、酸素吹き IGCC では世界最先端の石炭ガス化炉を有しており、性能面での優位性は確保できる。

表 4-2 世界の IGCC 開発・実用化状況

プロジェクト名称	単位	Buggenum	Wabash River	Tampa	Puertollano	クリーンコルムワー (発電並回収火力)	Tianjin (GreenGen)	Edwardsport	Taan	大崎ケルジエン
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	中国	アメリカ	韓国	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	実証機	商用機	実証機	実証機
ステータス		閉鎖	中止 (アンモニア製造プラントへ転換)	商用運転中	閉鎖	商用運転中	実証運転中	商用運転中	運転中	実証運転中
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～ 2001年9月	2007年9月～2010年6月 2010年7月～2013年3月	2012年12月～	—	2016年8月～2017年10月	2017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～2020年5月	—	2013年6月～	—	—
ガス化炉		Shell炉	Dow(E-Gas)炉	GE(Texaco)炉	PRENFLO炉	電中研/三菱炉	TPRP炉 (HCER炉)	GE炉	Shell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	2室2段	2段2室	1室1段	1室1段	1室1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	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	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	酸素	酸素	酸素	酸素
冷ガス効率		81～76%	81～72%	75～73%	76～74%	77～75%	83～81%	75～73%	81～76%	82%
使用炭種		海外炭 18炭種	地元炭 ヘトロクス専焼	地元炭 現在はヘトロクス混焼	地元高灰分炭と ヘトロクス混焼	中国炭他複数	褐炭、無煙炭	地元炭	遼青炭～遼西青炭	インドネシア炭他
石炭処理量	t/日	2,000	2,600	2,300	2,600	1,700	2,000	1.5Mt/年	2,670	1,180
発電出力(計画値)										
発電機(Gross)	MW	284	297	315	335	250	285	784	380	188
送電機(Net)	MW	253	262	250	300	220	225	618	300	140
送電機効率(HHV)										
計画	%	41.4	37.8	39.7	41.5	40.5	41	38.5	42	40.5
実績	%	41.4	39.7	37.5	41.7	40.8	未公開	未公開	42.2	40.8
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	3,917時間	1,700時間程度	1,995時間	2,116時間
CO2回収		段階 2013年4月閉鎖		2014年4月～CO2回収試験開始	2015年8月閉鎖		2016年～ CO2回収試験開始			2019年12月よりCO2分離回収実証試験開始
		約1万/年 石炭ガスの約0.8% (1,300m ³ /h相当)		約30万t/年	3.5万t/年		6～10万t/年			400t/日
		回収方式 (燃焼前回収)	sweetシフト、物理吸収	sweetシフト、化学吸収	sweetシフト(3,600m ³ /h)、 sourシフト(3,600m ³ /h)、 化学吸収	sweetシフト、化学吸収	sweetシフト、化学吸収			sweetシフト、物理吸収
		回収後	—	陸域塩水層への貯留を計画(Tampa敷地内)	—	—	—	—	—	—

出典：GUA Technology Status 等をもとに作成

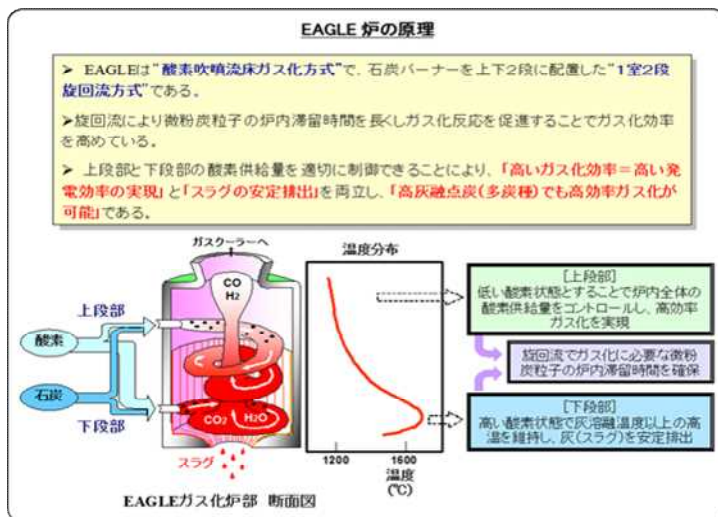


表 4-3 石炭ガス化炉冷ガス効率の比較

プロジェクト名称	冷ガス効率
Buggenum	81~76%
Wabash River	81~72%
Tampa	75~73%
Puertollano	76~74%
Edwardsport	75~73%
(GreenGen、実証運転中)	(83~81%)
(Taeon、実証運転中)	(81~76%)
大崎クールジェン	82%

図 4-11 大崎クールジェンプロジェクト石炭ガス化炉の特徴

表 4-4 発電システム別の発電効率と CO₂ 排出原単位の比較

項目	発電効率 (% HHV)	CO ₂ 排出原単位 (g-CO ₂ /kWh)
現行USC	40	820
A-USC	46	710
IGCC (1700℃級)	50	650
IGFC	55	590

出典: 次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料集より

なお、上記 IGCC のコア技術となる石炭ガス化炉について大崎クールジェンプロジェクトの優位性は以下の通り。

海外のガス化炉は、1室1段方式を用いており、ガス化部全体をガス化および灰を溶融してスラグとして排出するの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、灰の溶融温度はそれよりも高く、灰の溶融点が温度の律速となっている。すなわち、ガス化部全体を高温にするためにガス化で発生した可燃性ガス(CO、H₂)と一緒に燃焼され、冷ガス効率は低い。

一方、大崎クールジェンプロジェクトでは、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、灰を溶融する下段部分だけを高温とし安定してスラグを排出すると共に、上段はガス化雰囲気となり可燃性ガス(CO、H₂)が効率良く生成されることから、高い冷ガス効率が得られる。

多炭種対応:高灰溶融点炭、低灰分炭

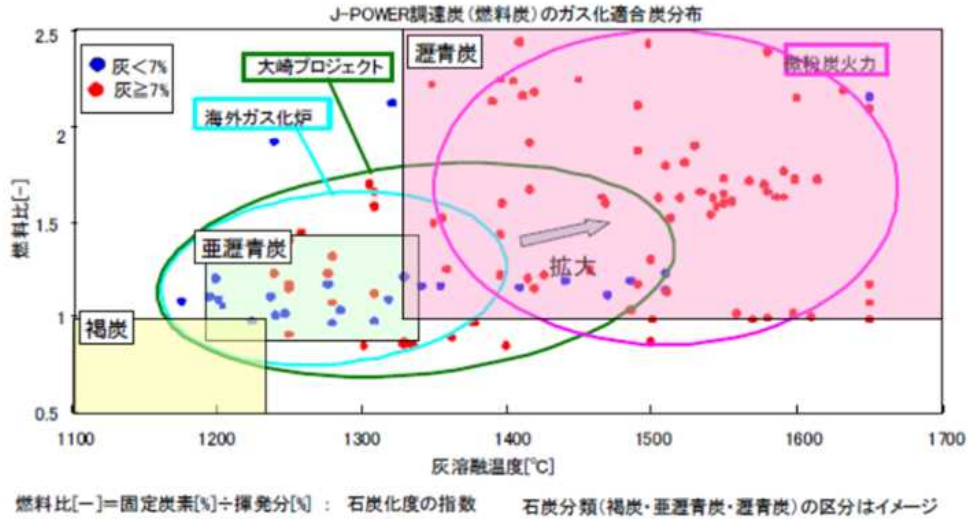


図 4-12 大崎クールジェン石炭ガス化炉炭種適用範囲

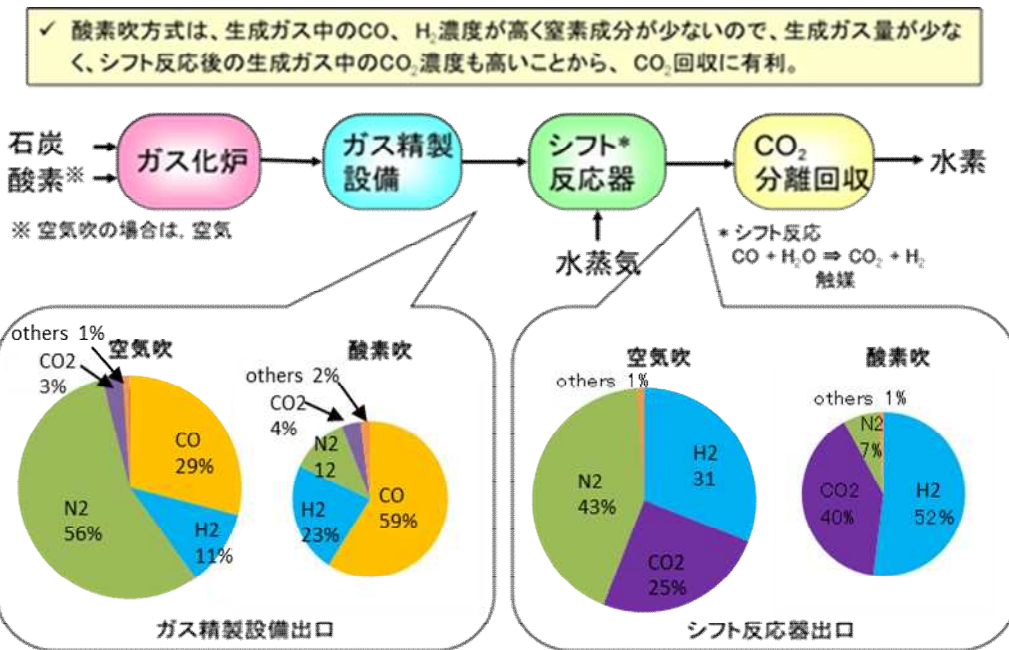


図 4-13 空気吹き及び酸素吹きの CO₂ 分離・回収設備との親和性の比較

コスト面では、IGCC 実証試験のデータをベースに検討した結果、1,500℃級ガスタービンを採用した酸素吹 IGCC 商用機 (50 万 kW) と、現在市場に多く導入されている微粉炭火力 USC (80 万 kW) の発電コストと比較すると、微粉炭火力と比べ建設費が高価になるものの、送電端効率(HHV)が 46%と高く、燃料価格が瀝青炭より安い亜瀝青炭を使用できるため燃料費が低減でき、その結果発電コストは同等と試算された。(図 4-14 参照)

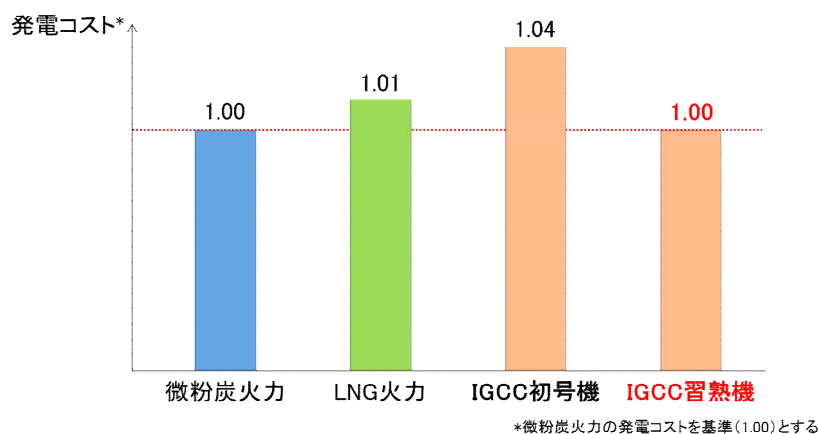


図 4-14 電源別発電コスト試算

また、CO₂分離・回収技術については、物理吸収法であり、2,000円台を開発目標にしており、高圧プロセスであることから膜分離も適用でき技術確立した場合は、更にコスト低減が期待できる。(表 4-5 参照)

表 4-5 CO₂分離・回収技術比較

分離回収技術	コスト(円/t-CO ₂)	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

出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料集より作成

IGCCをベースとした高効率発電技術については、現状発電コストをベンチマークとして開発を進め、CO₂分離・回収を前提とする場合は、より安価なシステムとのマッチングに適用でき、コスト面で優位性が確保できる見通しである。

⑤ 量産化技術を確立する見通し

量産化技術の確立については、酸素吹きガス化炉は、まだ開発段階でニーズが少ないことから、今後の市場規模の拡大によるところが大きい。微粉炭火力(USC)のボイラや蒸気タービン、並びにガス火力のガスタービン等においてもニーズが高く需要が多くなった結果、メーカー工場での機器製作の自動化、合理化が進んできた。

本実証試験においてもベースとなる設計図書は整備できることから、需要に応じ、メーカーで量産化技術の検討が進み、量産化されればイニシャルコストの削減に繋がることが期待できる。

⑥ 波及効果

(i) 技術的効果

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。

酸素吹き石炭ガス化技術は、バイオマス等を燃料として活用できる他、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、石炭ガス化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、並びにメタン(CH₄)等のSNG(代替天然ガス)を製造できる。

また、電源開発㈱では、既にNEDO委託事業として、酸素吹き石炭ガス化技術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。

更に、回収したCO₂については、EORへの活用ができる他、カーボンリサイクルの観点からは、再生可能エネルギーが供給過多の場合、水分解により安価な水素を製造できれば、CO₂を資源として鉱物化、人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への再利用できることから、化学産業やガス産業等への幅広い技術の適用が期待できる。(図4-15参照)

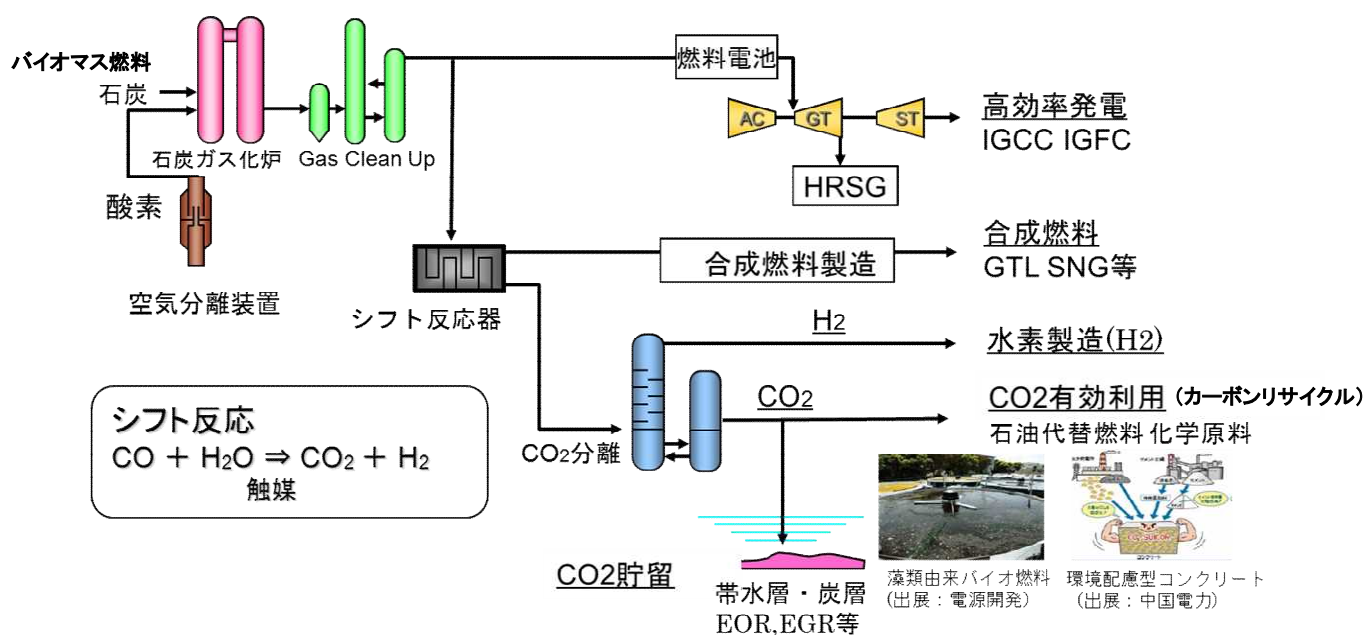


図 4-15 酸素吹きガス化炉の技術の多様性イメージ

(ii) 経済的効果及び雇用創出

2018年7月の「エネルギー基本計画」によると2030年のエネルギーミックスによる電源構成では、石炭火力は26%程度あるが、現状、国内の石炭火力新增設の計画が既に約1,700万kW程度あることを鑑みると、2030年頃までは酸素吹きIGCCを商用化するケースは、大崎クールジェン㈱の親会社のリプレースや新規地点に数基導入される程度と考えられ、本格導入は、2030年から2050年にかけてと想定される。

2050年に向けては、CO₂排出量80%削減を目指し、化石燃料については、ガス利用へのシフト、非効率石炭火力のフェードアウトが求められること、エネルギー安定供給の観点から一定の石炭利用は維持した方が国益になること、並びに電力システム改革でも新規電源へのインセンティブを働かせるため容量市場が構築されること、並びに電力需要は人口減少や省エネの推進により現状から2割程度低下を想定すると、図4-16のとおり、石炭火力のニーズは現状の8割程度が期待される。国内老朽火力のリプレースとして、約1,500万kW(3,800万kW×0.8-1,500万kW)の需要が考えられる。

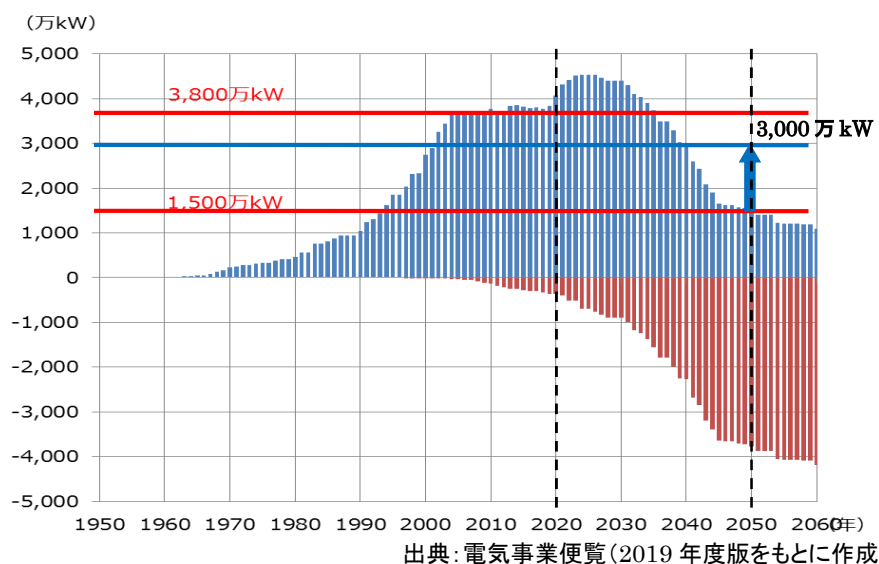


図4-16 国内石炭火力発電設備容量の推移（40年廃止）

2030年以降は次世代火力発電技術が実用化されることが考えられることから、石炭火力の適用技術としては、酸素吹きIGCC/IGFC、空気吹きIGCC、A-USCが想定される。1,500万kWを上記3つの技術で分け合うとすると、500万kWのIGCCリプレース需要があり、商用機を50万kWとすると10ユニットが建設されると試算される。

次世代石炭火力の発電原価は、各発電システムともに設備コスト上昇分、燃料価格の低減が見込めることから現状の微粉炭火力(USC)並みを目指している。ここでは、概略市場規模を算定するに当たり単純化し、発電コスト検証委員会で検討されたUSC建設単価(25万円/kW)を用い試算すると、1.25兆円(25万円/kW×50万kW×10ユニット=1.25兆円)程度の経済効果が期待できる。

実際、化石燃料を用いた火力発電設備については、2050年頃はCO₂分離・回収設備の標準化が想定されることから、更なる経済効果が期待できる。

また、出力50万kW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。10ユニットの雇用(4年間)創出効果は約1万人と試算される。

(iii) 社会的効果

2030年以降に本格導入が期待できる商用機IGCCを上記試算に基づき、10ユニット実用化された場合、表4-6のとおり現行USCと比べCO₂排出量がIGCCでは約2割減、IGFCについては約3割減が期待できる。CO₂分離・回収設備と組み合わせ、CCSあるいはCCUに活用した場合は、概ね9割のCO₂削減が可能となり、現在、社会的関心が高い、地球温暖化対策に大いに貢献できる。

表 4-6 発電システム別 CO₂ 排出削減量の比較

項 目	発電効率 (% HHV)	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /kWh)	CO ₂ 排出量※ (万t/年)	CO ₂ 削減量 (万t/年)	CO ₂ 削減割合 (%)
現行USC	40	0.82	2,873	ベース	-
IGCC(1700°C級)	50	0.65	2,278	596	21
IGFC	55	0.59	2,067	806	28
CO ₂ 分離・回収型 酸素吹IGCC	40	0.08	280	2,593	90
CO ₂ 分離・回収型 吹IGFC	47	0.07	245	2,628	91

出典：次世代火力発電に係る技術ロードマップ 技術参考資料をもとに作成

※：50万kW, 10ユニットに適用された場合の排出量を試算

500万kW (50万kW×10ユニット) ×8760時間×0.8 (稼働率) =35.04G kWh/年

現行USC：35.04GkWh/年×0.82kg/kWh=2873万t/年

(iv) 人材育成

人材育成については、親会社との人事ローテーションの中で、実証試験の運転、保守に係るOJTを通し、若手社員を教育し技術継承に勤めている。IGCCにおけるガス化運転では、微粉炭火力の燃焼と反応プロセスが全く異なることや高圧プロセスにおける粉体(微粉やチャー)ハンドリングの難しさを体験し、これまでにない運転ノウハウやメンテナンス技術を取得することができた。特に、トラブル経験は、要因分析や対策を講じ有効性を検証することで、商用機に向けた技術確立と人材育成に繋がっている。

また、燃料電池の運用検討については、燃料を都市ガス(メタンガス)から石炭ガス化ガス(水素リッチガス)に変更することが求められることから、NEDO次世代火力発電基盤技術開発の中で燃料電池の様々な適用性をユーザー視点で確認し、カスタマイズして多くの知見を習得した。得られた知見をメーカーにフィードバックし、ユーザー技術とメーカー技術の相乗効果により、良好な人材育成の機会になっている。

P 1 6 0 0 2

P 1 6 0 0 3

P 1 0 0 1 6

P 9 2 0 0 3

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

2015年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力発電分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、2016年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、CO₂削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。2050年に向けて化石燃料の利用に伴うCO₂の排出を大幅に削減していくためには、あらゆる技術的な選択肢を追求していく必要があることから、CO₂を炭素資源（カーボン）と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルを推進することとしており、2019年6月に策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、カーボンリサイクル技術の確立、普及を目指していくこととしている。石炭利用に伴って発生するCO₂、SO_x、NO_x、ばいじん等への対応や、石炭需要の拡大に伴って、増大する石炭灰及びスラグの有効利用方策を確立することが大きな課題である。そのため、今後とも石炭を活用し、エネルギー需給安定化に貢献していくためにも、より高度なクリーンコールテクノロジーの開発が必要である。

②我が国の状況

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

模実証事業や貯留ポテンシャル調査等に加え、CO₂を炭素資源と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルを推進する取組が進められている。

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

③世界の取組状況

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

④本事業のねらい

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業をはじめ、石炭火力、LNG火力の双方につき、新たな火力発電技術の開発等を実施する。また、火力発電から発生するCO₂排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、火力発電所から発生する大量のCO₂を効率的に分離・回収・有効利用するための技術開発等を実施する。これまでの火力発電に係る技術開発は、個別の技術ごとに進められていたが、石炭火力、LNG火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するためには、個別技術開発を統合し、包括的かつ一体的に推進することが有効である。そこで、次世代火力発電技術に係る事業を本事業において統合し、関連事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。また、LCA的な観点も含めたCO₂の利用に係るカーボンリサイクル技術開発を一元的に進めることで、火力発電プロセスの更なる効率化を図るとともに、CO₂排出削減に向けた取り組みの効率化を図る。

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

貢献できる他、石炭消費国の産業活性化にも貢献できる。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅な向上やCO₂分離・回収後においても高効率を維持する技術及びCO₂有効利用技術(カーボンリサイクル等)により、CO₂排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の見通しを得る。また、石炭灰の有効利用率を100%まで向上させるなど、石炭の有効利用技術を確立する。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電(GTFC)商用機として送電端効率63%(高位発熱量基準)を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%(高位発熱量基準)を達成する。また、世界の火力発電市場は、今後、2040年にかけて石炭火力では約520兆円、LNG火力では約270兆円で、累計790兆円の規模が見込まれる。年平均では約30兆円であり、このうちのシェア1割、約3兆円の次世代火力技術の市場を獲得する。CCUSの実現に向け、CO₂分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂という大幅な低減を達成する。また、CO₂有効利用の一例として、CO₂由来のメタンで天然ガスパイプラインの許容圧力変動幅の1割を活用して負荷変動対応に供する場合として、1,300億円相当の天然ガス代替を獲得する。

また、カーボンリサイクルの観点からは、2030年頃に短期的に実現可能な技術(ポリカーボネートなどの化学品、バイオジェットなどの液体燃料、道路ブロックなどのコンクリート製品など)を既存のエネルギー・製品と同等のコスト実現を目指すとともに、2050年以降に実現をめざした需要の多い汎用品(オレフィンやBTXなどの化学品、ガス、液体などの燃料、汎用コンクリート製品など)へ拡大する。

③アウトカム目標達成に向けての取組

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

(3) 研究開発の内容

火力発電の効率化及びCO₂分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証、石炭灰や溶融スラグの有効利用及び削減に関する調査及び技術開発並びに排煙処理技術等の環境対策に関する調査等を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業(NEDO負担1/3、2/3、1/2)により実施する。

なお、個別研究開発項目の研究開発内容の詳細については、別紙にて記載する。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [助成事業]

- 1) 酸素吹IGCC実証 (1/3助成)
- 2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証 (1/3, 2/3助成)
- 3) CO₂分離・回収型IGFC実証 (1/2助成)

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]

- 1) 1700℃級ガスタービン
(2016～2018年度: 2/3助成、2019～2020年度: 1/2助成)

- 2) 高温分空気利用ガスタービン (AHAT) (2/3助成)

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

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]

- 1) 次世代ガス化システム技術開発
- 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
- 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
- 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
- 5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発
- 7) CO₂有効利用技術開発
- 8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発
- 9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究

研究開発項目⑤ CO₂回収型次世代IGCC技術開発 [委託事業]

研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業 [委託事業]

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

研究開発項目⑧ CO₂有効利用拠点における技術開発 [委託・助成事業]

- 1) CO₂有効利用拠点化推進事業
- 2) 研究拠点におけるCO₂有効利用技術開発・実証事業

研究開発項目⑨ CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発 [委託・助成事業]

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

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

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

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

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

し、移管事業に関してはこの限りではない。

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

なお、研究開発項目ごとのPM、PLは以下のとおり。また、研究開発項目④2)、3)、4)は、推進にあたって、燃料電池に関する情報共有と開発戦略の整合性を図るため、プロジェクトチーム（PT）にNEDO新エネルギー部を加える。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM：NEDO 高橋洋一、PL：大崎クールジェン株式会社 木田一哉

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業

1) 1700℃級ガスタービン

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱重工業株式会社 石坂浩一

2) 高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発

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

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発

1) 次世代ガス化システム技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ要素研究

PM：NEDO 春山博司、PL：電源開発株式会社 早川宏

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

PM：NEDO 高橋洋一、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 北川雄一郎

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM：NEDO 高橋洋一、PL：電源開発株式会社 早川宏

5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

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

6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

PM：NEDO 名久井博之、PL：契約毎に設置

7) CO₂有効利用技術開発

PM：NEDO 西海直彦、PL：日本大学工学部客員教授 坂西欣也

8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

PM：NEDO 名久井博之、PL：NEDOにおいて選定

9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究

PM：NEDO 新郷正志、PL：一般財団法人電力中央研究所 渡辺 和徳

研究開発項目⑤ CO₂回収型次世代IGCC技術開発

PM：NEDO 青戸冬樹、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発

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

研究開発項目⑧CO₂有効利用拠点における技術開発

PM：牛嶋隆士、PL：NEDOにて選定

研究開発項目⑨ CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発

PM：山中康朗、PL：NEDOにて選定

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

PM：NEDO 西海直彦

(2) 研究開発の運営管理

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

①進捗把握・管理

PMは、PLや研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

②技術分野における動向の把握・分析

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

3. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、2016年度から2024年度までの9年間とする。なお、研究開発項目①及び②は2012年度から2015年度、研究開発項目③は2008年度から2015年度まで経済産業省により実施したが、2016年度からNEDOが実施している。

4. 評価に関する事項

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

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を2017年度及び2020年度に、事後評価を2023年度に実施する。研究開発項目②は、中間評価を2018年度、事後評価を2021年度に実施する。研究開発項目④1)は、研究開発項目⑤と統合の上、評価を行う。研究開発項目④2)は、事後評価を2019年度に実施する。研究開発項目④3)、4)は、中間評価を2019年度に、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目④5)は中間評価を2017年度に実施し、研究開発項目④6)は、中間評価を2020年度に、事後評価を2023年度に実施し、研究開発項目④7)は前倒し事後評価を2020年度に実施し、研究開発項目④8)は中間評価を2022年度に、事後評価を2025年度に実施し、研究開発項目④9)は前倒し事後評価を2021年度に実施

する。研究開発項目⑤は、中間評価を2017年度、前倒し事後評価を2020年度に実施する。研究開発項目⑥は、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦～⑩の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目⑧および研究開発項目⑨は、中間評価を2022年度、事後評価を2024年度に実施する。研究開発項目⑩は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度に実施する。

5. その他の重要事項

(1) 委託事業成果の取扱い

①成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

②標準化等との連携

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

③知的財産権の帰属

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

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

④知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発及び研究開発項目⑥次世代火力発電技術推進事業、研究開発項目⑧CO₂有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発及び、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業は、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

⑤データマネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目①石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業3)、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)、研究開発項目⑥次世代火力発電技術推進事業、研究開発項目⑧CO₂有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発及び、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業のうち2018年度以降に公募を行う事業は、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用する。

(2) 基本計画の変更

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

(3) 根拠法

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

(4) 委託先等以外の第三者の土地に設置した資産の処分方法

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

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

(5) その他

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

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2016年1月、基本計画制定。

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

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

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

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

(3) 2016年9月、5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5）中間評価、事後評価の

年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

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

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

(4) 2017年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の（2）研究開発の目標並びに（3）研究開発の内容に、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発6）石炭火力の競争力強化技術開発、7）CO₂有効利用技術開発及び研究開発項目⑦次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発の内容を追加した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

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

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

- (5) 2017年5月
3. 研究開発の実施体制(1) 研究開発実施体制 研究開発項目②の1)と2)及び④の6)のPMの変更。
- (6) 2017年6月
研究開発項目④の1) 3. 達成目標に中間目標を設定し、2017年度に中間評価を実施する。
- (7) 2018年2月
1. 研究開発の目的・目標・内容の(3) 研究開発の内容のうち、研究開発項目①の2)、3)の助成率を変更した。また、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発、9) 機動性に優れる広付加帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究の内容を追加した。また、研究開発項目④次世代火力基盤技術開発1) 次世代ガス化システム技術開発を、研究開発項目⑤に統合し、研究開発項目⑤の名称を変更した。
3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。
5. 評価に関する事項の④1)、6)、8)、9)の評価時期を追記・修正した。
6. その他の重要事項の(1) 委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に注釈を追記した。
- (8) 2018年7月
3. 研究開発の実施方式(1) 研究開発実施体制 研究開発項目④2)、8)のPMの変更、及び、研究開発項目④5)のPLの変更、研究開発項目④6)のPLの記載変更。別紙 研究開発項目⑥ 1. 研究開発の必要性、2. 具体的研究内容にかかる記載を一部変更した(バイオマスに係る記載の追記)。
- (9) 2018年9月
3. 研究開発の実施方式において、研究開発項目①及び研究開発項目④7)、9)のPLの変更、4. 研究開発の実施期間の変更、5. 評価に関する事項の研究開発項目①の中間評価時期及び事後評価時期の変更、研究開発項目④2)の評価時期変更、研究開発項目④5)の事後評価を削除。6. その他の重要事項のデータマネジメントに係る運用に研究開発項目①3)を追記。また、別紙 研究開発項目①について、期間の延長および、2)CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目④9)について、目標値を補足。研究開発スケジュール表の修正。
- (10) 2019年1月
1. 研究開発の目的・目標・内容の(3) 研究開発の内容において、研究開発項目②1)の助成率の変更。5. 評価に係る事項において、研究開発項目⑦の中間評価の追加及び事後評価時期の変更、研究開発項目④8)の前倒し事後評価時期の変更。別紙 研究開発項目④8)の実施期間の変更。別紙 研究開発項目④9)の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目⑥の2. 具体的研究内容に燃料多様化に係る記載を追記。別紙 研究開発項目⑦の実施期間の変更及び中間目標の策定、最終目標年度の変更。研究開発スケジュール表の修正。
- (11) 2019年7月

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

(1 2) 2020年2月

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

(1 3) 2020年3月

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

研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

1. 研究開発の必要性

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

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

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

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

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

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

2. 具体的研究内容

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

1) 酸素吹IGCC実証（1／3助成）

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

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証（1／3，2／3助成）

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

3) CO₂分離・回収型IGFC実証（1／2助成）

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

3. 達成目標

[実施期間]

- 1) 酸素吹 I G C C 実証：2012年度～2018年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）
- 2) CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 実証：2016～2022年度
- 3) CO₂分離・回収型 I G F C 実証：2018年度～2022年度

[中間目標（2017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 < 8 ppm」、 「NO_x < 5 ppm」、 「ばいじん < 3 mg / 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。

[中間目標（2020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。商用化に向け、実用化時期や日本への供給可能性も考慮に入れつつ、性能と経済性を評価する。

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

国内外において酸素吹 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。また、海外普及を目的としたマ

イルストーンを検討する。

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

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

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

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

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

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

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

(d) 経済性：商用機におけるCO₂分離・回収の費用原単位を評価する。

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

(e) IGCCプラント運用性：

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

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

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

[最終目標（2022年度）]

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

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

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

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

研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

[実施期間]

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

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

1. 研究開発の必要性

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

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

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

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

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

2. 具体的研究内容

1) 1700℃級ガスタービン

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

2) AHAT

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

3. 達成目標

1) 1700℃級ガスタービン

[中間目標 (2018年度)]

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

[最終目標 (2020年度)]

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

2) AHAT

[最終目標 (2017年度)]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

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

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

研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

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

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 研究開発の具体的内容

(1) システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

(2) ボイラ要素技術

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

(3) タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

(4) 高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

(5) 実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

3. 達成目標

[最終目標（2016年度）]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

1) 次世代ガス化システム技術開発

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

1. 研究開発の必要性

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

2. 具体的研究内容

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

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

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

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

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) IGCCシステム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

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

[最終目標（2018年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効

率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究

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

1. 研究開発の必要性

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

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

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

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[最終目標 (2017年度)]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間] 2016年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 具体的研究内容

小型GTFC(1,000kW級)の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC(10万kW)の要素技術を開発し、2022年度から開始する中小型GTFCの技術実証に活用する。

3. 達成目標

[中間目標(2019年度)]

中小型GTFC(10万kW)の要素技術を開発する。

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

[最終目標(2021年度)]

中小型GTFC(10万kW)の要素技術を確立する。

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

[実施期間] 2016年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は、石炭をガス化し、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種類の発電形態を組み合わせる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性がある。

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性がある。

2. 具体的研究内容

(1) IGFCシステムの検討

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

(2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

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

3. 達成目標

(1) IGFCシステムの検討

[最終目標（2019年度）]

I G F C実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

（2）燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

[中間目標（2019年度）]

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

[最終目標（2021年度）]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

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

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 具体的研究内容

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

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

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

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

(1) 酸素キャリアの評価と選定

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

(2) プラント試設計及び経済性検討

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

(3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

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

3. 達成目標

[中間目標(2017年度)]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標(2020年度)]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるCO₂分離型化学燃焼石

炭火力発電システムを提示する。

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

[実施期間] 2017年度～2022年度

1. 研究開発の必要性

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

また、2019年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」において、石炭は「現状において安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として評価されているが、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、適切に出力調整を行う必要性が高まると見込まれる」とされている。今後とりわけ自然変動電源(太陽光・風力)の導入が拡大する中で、電力の需給バランスを維持し周波数を安定化するために、火力発電等による調整力の一層の確保と信頼性・運用性の向上が求められている。

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[中間目標 (2020年度)]

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

[最終目標 (2022年度)]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

7) CO₂有効利用技術開発

[実施期間] 2017年度～2020年度

1. 研究開発の必要性

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

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

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[最終目標 (2020年度)]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発 [実施期間] 2020年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画において、石炭火力は、安定供給性と経済性に優れたベースロード電源の燃料として評価されているものの、温室効果ガスの排出量が多いという問題があるため、高効率化およびCO₂排出削減が望まれている。

石炭火力からのCO₂排出抑制技術としては、CO₂の分離・回収技術があるが、エネルギー損失が大きいことから、発電システムとしてCO₂を分離・回収できる流動床ガス化燃焼を適用した技術が有望視されている。また、この技術は、バイオマス等を燃料として発電することによるCO₂排出削減、および副生物として水素を製造できる技術として期待されている。

本技術の適用先としては、バイオマスや水素等の市場が拡大傾向にあることから、その市場への導入を目指し、流動床ガス化燃焼を適用した火力発電設備設計技術の確立に向けた技術開発を実施する。

2. 具体的研究内容

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

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

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

3. 達成目標

[中間目標（2022年度）]

流動床ガス化燃焼を応用した実証設備設計に必要な要素技術の確立に目途をつける。

[最終目標（2024年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せる火力発電設備の設計技術確立および経済性を評価する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

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

1. 研究開発の必要性

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

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

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

2. 具体的研究内容

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

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

表 先行研究で設定されたGTCCとしての目標性能

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

3. 達成目標

[最終目標 (2021年度)]

- ・先行研究で設定した目標性能 (上表) を実現する目処を得るために、実規模の

燃焼器を設計・試作し、単缶実圧燃焼試験により、無負荷から定格まで5分で到達すること、最低負荷条件においても安定燃焼が可能であることを確認する。

- ・急速起動、出力変化速度向上、最低負荷引き下げ、部分負荷時の効率低下抑制を含む、GTCCシステムとしての運転制御技術とGT後流（HRSG－蒸気タービン側）の成立性・性能評価、急速起動に寄与する動翼・ロータの軽量化については、実プラントの設計に反映できる目処を得る。
- ・合理的な設備運用保守を行うために、従来の考え方からの違いを整理する。
- ・対象GTCCと他の調整力電源（揚水発電、蓄電池など）の経済性を比較評価し、事業として成立するための課題を整理する。
- ・既存設備のレトロフィットによる実証研究計画を立案し、実証試験の仕様を明らかにする。

研究開発項目⑤ 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」

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

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 具体的研究内容

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

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

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

を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。

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

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) I G C C システム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

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

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

3. 達成目標

[中間目標 (2017年度)]

CO_2 回収型クローズド I G C C については、送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術確立の目途を得る。

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

[最終目標 (2020年度)]

CO_2 回収型クローズド I G C C については、2019年度までに送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術を確立する。

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

両技術の相乗効果として、2020年度までに CO_2 回収型クローズド I G C C の目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。

研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

[実施期間] 2016年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[最終目標（2024年度）]

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

研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」
[実施期間] 2017年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

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

2. 研究開発の具体的内容

(1) 高温材料信頼性向上試験

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

(2) 保守技術開発

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

3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

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

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

[最終目標（2021年度）]

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

4. その他重要事項

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

研究開発項目⑧「CO₂有効利用拠点における技術開発」[委託・助成事業]
[実施期間] 2020年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

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

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

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

2. 具体的研究内容

1) CO₂有効利用拠点化推進事業

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

2) 研究拠点におけるCO₂有効利用技術開発・実証事業

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

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

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

[最終目標（2024年度）]

2030年の実用化に向け、広島県大崎上島の研究拠点にて個々の技術開発および実証試験を行い、各CO₂有効利用技術の経済性、CO₂削減効果等を評価する。

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

1) 化学品へのCO₂利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO₂排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示された。

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

2. 具体的研究内容

CO₂を原料とした化学品の合成においては、CO₂やH₂Oから基幹物質であるCO、H₂の合成ガスあるいはメタノール等を製造する技術、これら基幹物質から汎用物質であるオレフィンやBTX（ベンゼン・トルエン・キシレン）等を製造する技術やバイオマス由来の化学品を製造する技術などが必要である。これらについて高効率な製造技術の開発や、全体システムの最適化を行う。

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

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

[最終目標（2024年度）]

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

2) 液体燃料へのCO₂利用技術開発 [実施期間] 2020年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO₂排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示された。

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

2. 具体的研究内容

液体燃料（CO₂由来燃料またはバイオ燃料（微細藻類由来を除く））製造に関するFT合成やその他合成反応など製造プロセスの改善、バイオエタノールなど微生物利用合成ガス製造プロセスの最適化検討などに取り組む。

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

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

[最終目標（2024年度）]

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

3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO₂利用技術開発 [実施期間] 2020年度～2024年度

1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO₂排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示された。

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への各CO₂利用技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標（2024年度）]

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への各CO₂利用技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO₂削減効果および経済性評価を実施する。

研究開発項目⑩ 「石炭利用環境対策事業」

[実施期間] 2016年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

石炭は、経済性、供給安定性に優れた重要なエネルギー資源であり、「エネルギー基本計画」においても、重要なベースロード電源と位置付けられており、今後とも新興国を中心に世界的に利用が拡大していくと見込まれている。一方、石炭利用に伴い発生するCO₂、SO_x、NO_x、ばいじん等への対策や、石炭需要の拡大により増大する石炭灰やスラグの有効利用方策を確立することが喫緊の課題である。

2. 具体的研究内容

1) 石炭利用環境対策推進事業

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

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

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

2) 石炭利用技術開発

石炭灰の利用用途拡大に関する技術開発を行う。

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

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

3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

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

石炭灰の有効利用、及び削減に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

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

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

2) 石炭利用技術開発

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

[最終目標（2021年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

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

石炭灰の有効利用、及び削減に寄与する技術確立の見通しを得る。

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

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

2) 石炭利用技術開発

石炭灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確立し、製品化に向けた用途を提案する。加えて、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、また設計・施行指針を作成することで、石炭ガス化溶融スラグの製品化用途の提案をする。

研究開発スケジュール

◇ 中間評価、◆ 事後評価

年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)					※1					◇			◇			◆		
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(1/2助成) 2) 高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1						◇			◆				
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1													
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																		
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)									※2	◇								
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究(委託)									※2				◆					
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)												◇			◆			
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)												◇			◆			
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)									※2	◇								
6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発(委託)													◇			◆		
7) CO ₂ 有効利用技術開発(委託)													◆					
8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発(委託)															◇			◆
9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究(委託)																◆		
研究開発項目⑤ CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発(委託)									※2	◇				◆				
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)																		
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)												◇			◆			

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトで2016年度からNEDOへ移管
 ※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

年度(西暦)	1982	~	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
研究開発項目⑧ CO2有効利用拠点における技術開発(委託・助成)											◇			◆
									CO2有効利用拠点化推進事業					
									研究拠点におけるCO2有効利用技術開発・実証事業					
研究開発項目⑨ CO ₂ 排出削減・有効利用実用化技術開発(委託・助成)														
1) 化学品へのCO ₂ 利用技術開発											◇			◆
									化学品へのCO ₂ 利用技術開発					
2) 液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発											◇			◆
									液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発					
3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO ₂ 利用技術開発											◇			◆
									炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO ₂ 利用技術開発					
研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業								◇			◆			
1) 石炭利用環境対策推進事業				※2	石炭発熱性調査・先導研究、スラグの規格化、石炭灰発生量及び有効利用実態調査、石炭灰利用・削減技術開発等									
2) 石炭利用技術開発		※1	セメント不使用フライアッシュ製造技術開発											
									石炭ガス化熔融スラグのコンクリート実規模性能試験					

※1 経済産業省にて実施

※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

添付資料2

【特許論文等リスト】

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称
1	大崎クールジェン(株) 中国電力(株) 電源開発(株)	PCT/JP2019/026371 特願 2019-555991	PCT 国内	2019/7/2 2019/10/11	出願中	グランドフレアの燃焼安定方法
2	大崎クールジェン(株) 中国電力(株) 電源開発(株)	特願 2019-169696	国内	2019/9/18	出願中	再生塔リフラックス水不純物濃度の簡易迅速評価手法
3	大崎クールジェン(株) 中国電力(株) 電源開発(株) 中電環境テクノス(株) (株)ジェイペック	特願 2019-182355	国内	2019/10/2	出願中	チャー塩化物イオン濃度の分析方法

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。
2003～2013 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	ガス化处理装置及び方法
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/JP2006/30161 8	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oppa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 (24 件)

2012 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

2013 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 Vol16 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

2014 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

2015 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

2016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 紺野 亜紀子	大崎クールジェンプロジェクトの概要	電気計算 10月号	無	2016/08/01
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

2017年度(4件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	梅崎 雅之	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	火力原子力発電協会	有	2017/05/01
2	湯沢 直史	CO ₂ 分離・回収型 IGCC 実証試験計画の紹介	日本機械学会ニュースレター	無	2017/05/15
3	石崎 勇吾 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	日本燃焼学会誌	無	2017/11/01
4	糸賀 祥治	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	火力原子力発電協会	有	2018/03/01

2018年度(1件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	三沢 信博	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの進捗状況	火力原子力発電協会	有	2018/03/01

2019年度(5件)

番号	発表者	タイトル	発表誌名	査読	発表年月
1	久保田 晴仁	大崎クールジェンプロジェクト(第1段階)国内初の酸素吹石炭ガス化複合発電実証試験	日本エネルギー学会誌 7月号	無	2019/07/01
2	遠山 克己	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況	日本ガスタービン学会誌 7月号	無	2019/07/01
3	久保田 晴仁	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況～CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証事業～	クリーンエネルギー 12月号	無	2019/12/01
4	椎屋 光昭 紺野 亜紀子	CO ₂ 分離・回収型 IGFC 実証試験計画の紹介	日本機械学会動力エネルギー部門 ニュースレター	無	2020/01/15
5	大亀 博史	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	2020/03/01

b. 海外投稿(2件)

2014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

2015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(67件)

2012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	2012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

2013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

2014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の進捗状況	第51回石炭科学会議	2014/10/23
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	2014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

2015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	2016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

2016年度(10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 IGCC 実証プロジェクト)の進捗状況	2016年度 火力原子力発電大会	2016/10/27
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
10	湯沢 直史	CO ₂ 分離・回収型 IGCC システムの実証計画	化学工学会 第 82 年会	2017/3/8

2017 年度 (11 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	中村 郷平	CO ₂ 分離回収型酸素吹 IGCC 実証の状況	石炭・炭素資源利用技術第 148 委員会第 159 回研究会	2017/05/24
2	三崎 幸夫	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 26 回日本エネルギー学会	2017/08/01
3	中村 郷平	CO ₂ 分離回収型酸素吹 IGCC 実証の状況	2017 年度日本機械学会年次大会	2017/09/04
4	三沢 信博	酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの概要及び進捗状況	EPOC エネルギーフォーラム	2017/09/26
5	椎屋 光昭	大崎クールジェンプロジェクト酸素吹 IGCC 実証試験状況	九州低炭素システム研究会	2017/10/11
6	糸賀 祥治	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	2017 年度火力原子力発電大会	2017/10/12
7	石崎 勇吾	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 54 回石炭科学会議	2017/10/19
8	椎屋 光昭	大崎クールジェンプロジェクト - 酸素吹石炭ガス化複合発電実証事業-	水素の製造と利用に関するシンポジウム	2017/12/22
9	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	ガスビジネス研究会第 29 回定例研究会	2018/01/22
10	木田 淳志	大崎クールジェンが取り組む酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの進捗状況	次世代火力発電 EXPO セミナー発表	2018/03/01
11	山本 壮平	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	化学工学会 第 83 年会	2018/03/14

2018 年度 (8 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	赤木 雄基	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 27 回日本エネルギー学会	2018/08/09
2	竹村 亮介	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの進捗状況	2018 年度日本機械学会年次大会	2018/09/10
3	三沢 信博	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの進捗状況	2018 年度火力原子力発電大会	2018/10/25
4	鈴木 伸行	大崎クールジェンプロジェクトにおける酸素吹石炭ガス化複合発電 (IGCC) 実証試験状況報告	第 55 回石炭科学会議	2018/10/30
5	安富 寿徳	大崎クールジェン酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの進捗状況	石炭・炭素資源利用技術第 148 委員会第 167 回研究会	2018/12/06
6	相曾 健司	大崎クールジェン CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験の進捗について	第 8 回革新的 CO ₂ 膜分離技術シンポジウム	2019/01/18
7	遠山 克己	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	ガスタービンセミナー	2019/01/25
8	相曾 健司	大崎クールジェンプロジェクト (第 1 段階) 国内初の酸素吹石炭ガス化複合発電実証試験	日本エネルギー学会賞表彰式	2019/02/26

2019年度(14件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	神宮 伸一	大崎クールジェン IGCC プロジェクト第 1 段階 (酸素吹 IGCC) の成果	第 389 回月例研究会 (IAE)	2019/05/10
2	相曾 健司	革新的低炭素石炭ガス化複合発電 「CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証」の進捗と第 3 段階に進む「CO ₂ 分離・回収型 IGFC」の今後の計画	JPI 日本計画研究所講演会	2019/07/08
3	木田 一哉	大崎クールジェンプロジェクト-CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証事業-	CCT ワークショップ 2019	2019/07/12
4	櫛木 健太	大崎クールジェン CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証試験の進捗について	第 28 回日本エネルギー学会	2019/08/07
5	久保田 晴仁	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況について -CO ₂ 分離・回収型酸素吹石炭ガス化複合発電実証事業-	電気学会 2019 年電力・エネルギー部門大会	2019/09/04
6	大亀 博之	大崎クールジェン CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証プロジェクトの進捗状況について	2019 年度火力原子力発電大会	2019/10/17
7	鈴木 伸行	大崎クールジェンプロジェクト CO ₂ 分離・回収型酸素吹 IGCC 実証事業の進捗状況について	第 56 回石炭科学会議	2019/10/30
8	三沢 信博	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況	大手町テクノブリッジ・シンポジウム	2019/11/08
9	久保田 晴仁	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況について-CO ₂ 分離・回収型酸素吹石炭ガス化複合発電実証事業-	気候変動・災害対策 Biz 2019	2019/12/06
10	芳賀 剛	IGFC 開発に向けた取り組みについて 大崎クールジェンプロジェクトの概要	SOFC 研究発表会	2019/12/12
11	湯沢 直史	CO ₂ 分離回収設備実証試験について	石炭・炭素資源利用技術第 148 委員会第 173 回研究会	2020/02/05
12	木田 一哉	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況について-CO ₂ 分離・回収型酸素吹石炭ガス化複合発電実証事業-	石炭エネルギー講演会	2020/02/06
13	木田 一哉	大崎クールジェンプロジェクトの取り組みについて	水素・次世代エネルギー研究会セミナー2019 Vol.2	2020/02/18
14	久保田 晴仁	大崎クールジェンプロジェクトの進捗状況-CO ₂ 分離・回収型酸素吹石炭ガス化複合発電実証事業-	広島大学エネルギー超高度利用研究拠点自立化記念シンポジウム	2020/03/13

b.海外発表(32件)

2012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

2013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
---	-------	--	--	------------

2014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

2015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

2016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 Oxygen-blown IGCC demonstration	Gasification Users Association (GUA) Meeting	2016/10/19
4	紺野 亜紀子	IGCC with CO ₂ 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

2017年度(7件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	石田 敬一	OUT LINE OF THE OSAKI COOLGEN PROJECT	ICOPE(International Conference on Power Engineering)	2017/06/29
2	相曾 健司	The Progress of Osaki CoolGen Project ~ Oxygen-blown Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle Demonstration Project ~	第26回クリーンコールデー国際会議	2017/09/06

3	村上 康浩	The Description and Progress Report ~ Ultimate Coal fired Power Generation "integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle (IGFC) with CO ₂ Capture system" Demonstration Project ~	東京炭素会議 2017	2017/09/15
4	山下 進	The Outline of Osaki CoolGen Project of Oxygen-blown IGCC Demonstration	Asia Power Week 2017	2017/09/20
5	荒木 泰三	OSAKI CoolGen –Demonstration of Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle	2017 HAPUA-JEPIC Symposium	2017/09/26
6	三沢 信博	Progress of Osaki CoolGen Project (IGCC with CO ₂ capture demonstration)	Gasification Users Association (GUA) Meeting	2017/10/18
7	江草 和也	The Outline of Osaki CoolGen Project of Oxygen-blown IGCC Demonstration	2017 IERE-TNB Putrajaya Workshop	2017/11/21

2018 年度(7 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	土田 瑞樹	Progress of Osaki CoolGen Project of Oxygen-blown IGCC Demonstration	The 2nd Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilisation	2018/04/16
2	相曾 健司	Improving Flexibility of IGCC for Harmonizing with Renewable Energy - Osaki CoolGen's efforts -	第 27 回クリーンコールデー国際会議	2018/09/11
3	中村 郷平	Progress of Osaki CoolGen Oxygen-blown IGCC with CO ₂ Capture Demonstration	2018 IERE-RWE TI Munich Workshop	2018/09/12
4	相曾 健司	Progress and Results of Oxygen-blown IGCC with CO ₂ Capture Demonstration ~ The IGCC Having Advanced Flexibility in Osaki CoolGen Project	2018 Grobal Syngas Technology Conference	2018/10/30
5	石崎 勇吾	Progress of Osaki CoolGen Project	Gasification Users Association (GUA) Meeting	2018/10/31
6	木田 一哉	日本 IGFC 技術状況とその展望	第 12 回日中省エネルギー・環境技術フォーラム	2018/11/25
7	相曾 健司	Progress of Osaki CoolGen Oxygen-blown IGCC with CO ₂ Capture Demonstration	CCS 国際シンポジウム	2019/02/21

2019 年度(6 件)

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	歌野 雅一	High Efficiency Low Emissions Coal Thermal Power Generation Technology -The Osaki Coolgen Project of Oxygen-blown IGCC with CO ₂ Capture Demonstration-	3rd International Symposium on Fuel and Energy (ISFE 2019)	2019/07/09
2	鉄山 紀弘	Progress of Osaki CoolGen Oxygen-blown IGCC with CO ₂ Capture Demonstration	POWERGEN Asia 2019	2019/09/03

3	石崎 勇吾	THE OSAKI COOLGEN OXYGEN-BLOWN IGCC WITH CO ₂ CAPTURE DEMONSTRATION PROJECT	2019 International Pittsburgh Coal Conference	2019/09/06
4	久保田 晴仁	The Progress of Osaki CoolGen Project	インドネシア ワークショップ	2019/10/16
5	鉄山 紀弘	Progress of Osaki CoolGen Oxygen-blown IGCC with CO ₂ Capture Demonstration	2019 Grobal Syngas Technology Conference	2019/10/29
6	武山 洋之	Progress of Osaki CoolGen Oxygen-blown IGCC with CO ₂ Capture Demonstration	POWERGEN International 2019	2019/11/20

c.新聞・雑誌等への掲載(74 件)

2012 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

2013 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

2014 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、CO ₂ 削減率)	広島ホームテレビ地球派宣言	2015/03/21

2015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

2016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

2017年度(11件)

番号	掲載内容	掲載媒体	発表年月
1	プロジェクト内容	電気新聞	2017/06/26
2	OCG 竣工式	中国新聞、電気新聞、日刊工業新聞、フジサンケイビジネスアイ	2017/08/10
3	竣工式	日本経済新聞	2017/08/17
4	プロジェクト内容	電気新聞	2017/09/05
5	プロジェクト内容	中国新聞	2017/09/13
6	連続運転 1,000 時間達成	電気新聞	2017/09/22
7	プロジェクト内容	電気新聞	2017/10/02
8	プロジェクト内容	電気新聞	2017/10/12
9	送電端効率 40.5%の目標達成	電気新聞	2017/10/27
10	IGCC における熱交換器技術	日本ガスタービン学会誌	2018/03/01
11	中国支部だより (プロジェクト内容)	電気設備学会誌	2018/03/10

2018年度(8件)

番号	掲載内容	掲載媒体	発表年月
1	CO ₂ 分離回収設備着工	中国新聞、電気新聞、日刊工業新聞	2018/04/03
2	CO ₂ 分離回収設備着工	広島経済レポート	2018/05/10
3	CO ₂ 分離回収設備着工	電気新聞	2018/05/28
4	プロジェクト内容	ENERGY FRONTLINE	2018/06/26
5	プロジェクト内容	原子力だより AE (青森県広報誌)	2018/11/01
6	第1段階終了	中国新聞	2019/01/19
7	第1段階終了	電気新聞	2019/03/07
8	第1段階終了	広島経済レポート	2019/03/21

2019年度(27件)

番号	掲載内容	掲載媒体	発表年月
1	第3段階着手	中国新聞、山陽新聞、電気新聞、日刊工業新聞	2019/04/18
2	第3段階着手	日本経済新聞	2019/04/22
3	第3段階着手	電気新聞	2019/05/09
4	第2段階紹介	中国新聞	2019/05/17
5	第1段階成果紹介	電気新聞	2019/05/28
6	第2段階紹介	中国新聞、電気新聞	2019/06/06
7	第2段階紹介	日刊工業新聞	2019/06/07
8	第2段階紹介	読売新聞	2019/06/14
9	CO ₂ 分離回収設備試運転開始	中国新聞	2019/09/04
10	プロジェクト内容	電気新聞	2019/10/17
11	プロジェクト内容	電気新聞	2019/10/18
12	第2段階紹介	中国新聞	2019/10/19
13	プロジェクト内容	電気新聞	2019/10/24
14	プロジェクト内容	中国新聞	2019/12/04
15	プロジェクト内容	おはようひろしま (NHK 広島)	2019/12/11
16	プロジェクト内容	中国新聞	2019/12/16
17	プロジェクト内容	日刊工業新聞	2019/12/17
18	プロジェクト内容	TV シンポジウム (NHK Eテレ)	2019/12/21
19	プロジェクト内容	ガリレオ X (BS フジ)	2019/12/22
20	第2段階実証試験開始	電気新聞	2019/12/25
21	第2段階実証試験開始	中国新聞、電気新聞	2019/12/27
22	第2段階実証試験開始	日刊工業新聞	2020/01/14
23	第2段階実証試験開始	山陽経済ウィークリー	2020/01/28
24	第2段階実証試験開始	山陽新聞	2020/02/15
25	プロジェクト内容	電気新聞	2020/02/20
26	プロジェクト内容	日経産業新聞	2020/03/19
27	プロジェクト内容	日刊工業新聞	2020/03/20

d. その他(8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
3	プロジェクト概要ブース出展	第2回関西火力発電 EXPO	2018/9/26-28
4	プロジェクト概要パネル展示	カーボンリサイクル産学官国際会議	2019/9/25
5	プロジェクト概要ブース出展	第3回関西火力発電 EXPO	2019/9/25-27
6	プロジェクト概要パネル展示	RD20 国際会議	2019/10/11
7	プロジェクト概要ブース出展	気候変動・災害対策 Biz 2019	2019/12/4-6
8	プロジェクト概要ブース出展	World Future Energy Summit 2020	2020/1/13-16