

石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業の概要 (中間評価)

平成27年 6月22日

資源エネルギー庁資源・燃料部石炭課

大崎クールジェン株式会社

目 次

1. 事業の概要
2. 事業アウトカム
3. 研究開発内容及び事業アウトプット
4. 国が実施することの必要性
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制
7. 費用対効果
8. 総合科学技術会議等による評価

1. 事業の概要 ～プロジェクト概要～

概 要

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目指し、第1段階としてIGFCの基幹技術である酸素吹石炭ガス化複合発電(酸素吹IGCC)の実証試験を実施する。また第2段階として、当該IGCC実証設備にCO2分離・回収設備を設置し、CO2分離・回収型IGCCの実証試験を実施する。さらには第3段階として当該設備に燃料電池を組み込んだCO2分離・回収型IGFCの実証試験を実施する。

予算総額

【第1段階】298億円(補助金ベース)(補助率:1/3)

平成 年度	24	25	26	27	28	29	30	合計
事業費(億円)	41.1	209.9	187.1	178.5	160.5	60.9	57.0	895
予算(億円)	13.7	70.0	62.4	59.5	53.5	20.3	19.0	298

【第2段階】183億円(補助金ベース)(補助率:2/3)

平成 年度	28	29	30	31	32	合計
事業費(億円)	17.7	53.1	55.8	72.0	76.4	275
予算(億円)	11.8	35.4	37.2	48.0	50.9	183

実 施 者

大崎クールジェン株式会社

プロジェクト リーダー

大崎クールジェン株式会社 代表取締役社長 貝原良明

1. 事業の概要 ～プロジェクト概要～

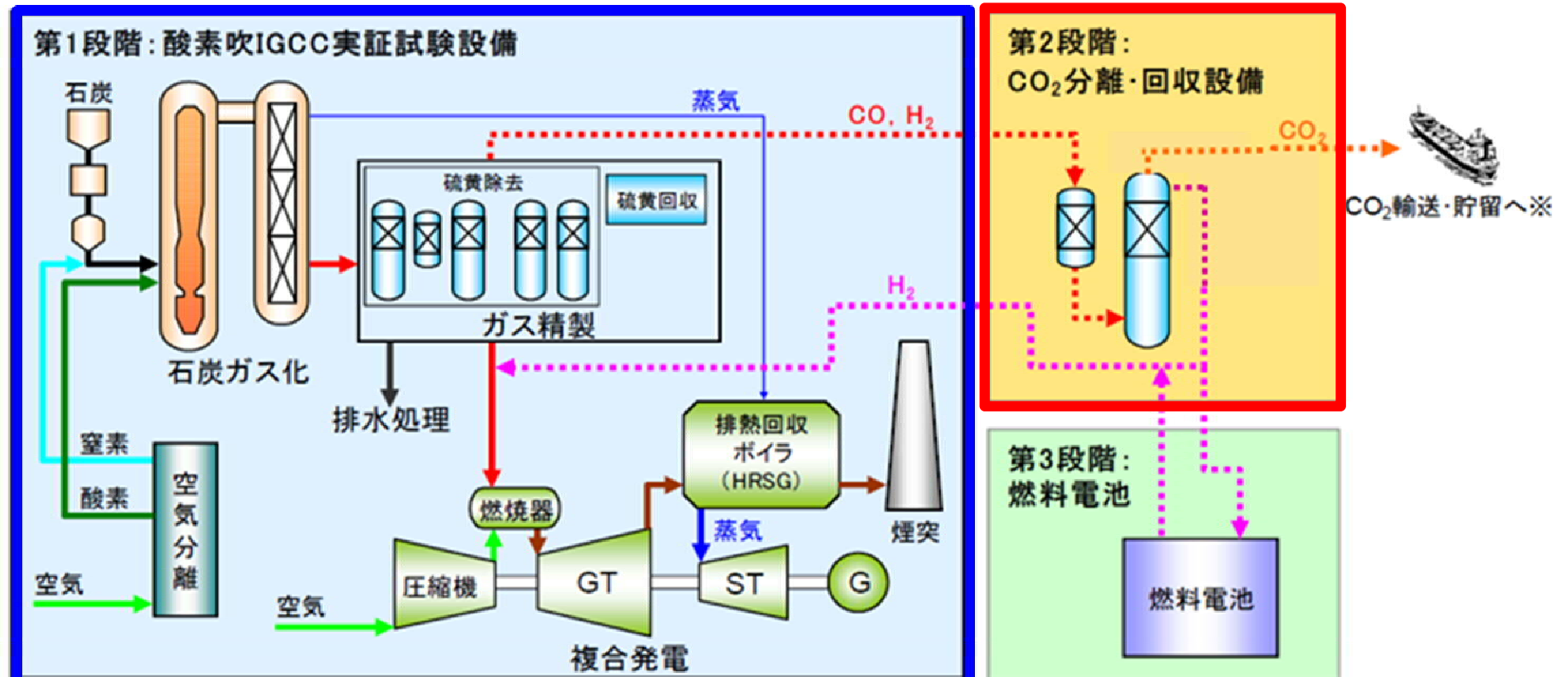
実施期間

平成24年度～平成33年度（10年間）

- 第1段階（酸素吹IGCC実証） 平成24年度 ～ 平成30年度
- 第2段階（CO₂分離・回収型IGCC実証） 平成28年度 ～ 平成32年度
- 第3段階（CO₂分離・回収型IGFC実証） 平成30年度 ～ 平成33年度

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

1. 事業の概要 ～プロジェクト概念図～



※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れていない。

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

2. 事業アウトカム ～技術に関する施策の概要～

石炭火力の低炭素化

国内石炭火力の更なる低炭素化・ゼロエミッション化

国内の石炭火力の高効率化または石炭火力に二酸化炭素回収・貯留(Carbon dioxide Capture and Storage)技術を組み合わせたゼロエミッション化で低炭素化を図ることにより、石炭火力から排出される二酸化炭素排出量の大幅削減に貢献する。



- ゼロエミッション石炭火力発電に向けた調査
- 高効率石炭火力の開発・実証
 - ・石炭ガス化複合発電技術
→IGCC/IGFC
 - ・微粉炭火力発電技術
→A-USC
- ゼロエミッション石炭火力発電技術
→CO₂回収型IGCC(IGFC)/酸素燃焼
- ゼロエミッション石炭火力発電に向けたCCS技術の開発・実証
 - ・CO₂分離・回収技術
→燃焼後回収/燃焼前回収

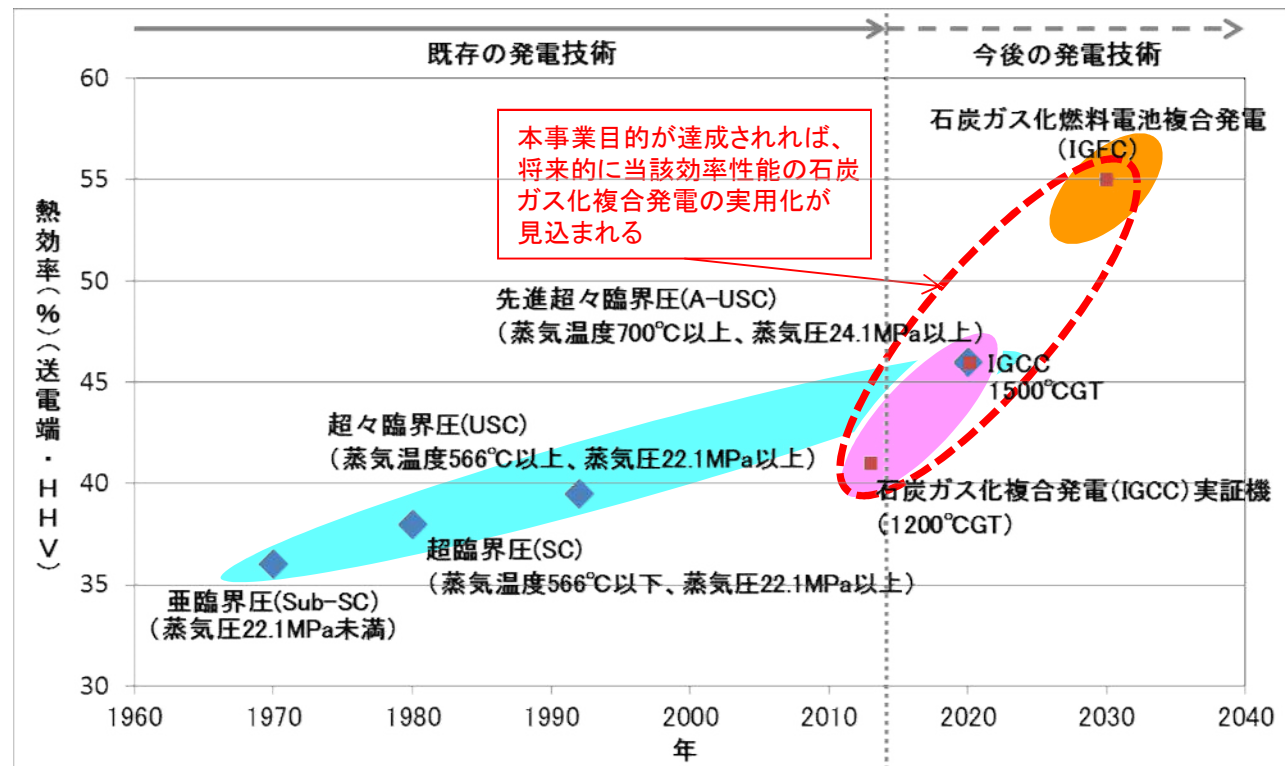
海外石炭火力の技術移転による低炭素化

低品位炭の多目的利用

液化・ガス化技術の開発・導入

改質技術の開発・導入

石炭火力発電の効率向上のロードマップ



出典：鉱業小委員会 第1回資料(2014)、日本再興戦略(2013)から作成

2. 事業アウトカム ～事業の目的～

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

▶第1段階:酸素吹IGCC実証

IGFCの基幹技術である酸素吹石炭ガス化複合発電(IGCC)の実証試験設備(166MW)を建設し、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・信頼性に係る実証を行う。

▶第2段階:CO₂分離・回収型IGCC実証

第1段階で構築したIGCC実証試験設備にCO₂分離・回収設備(CO₂回収率※15%)を組み入れて、CO₂分離・回収型石炭火力発電システムとしての性能・運用性・経済性・信頼性に係る実証を行う。

※CO₂回収率[IGCC全体のCO₂回収割合]:(分離回収されたCO₂ガスのC量/IGCC全体ガスのC量)×100

▶第3段階:CO₂分離・回収型IGFC実証

第2段階で構築したCO₂分離・回収型IGCCシステムに燃料電池を組み込み、石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性を確認し、最適な石炭ガス化燃料電池複合発電(CO₂分離・回収型IGFC)システムの実証を行う。

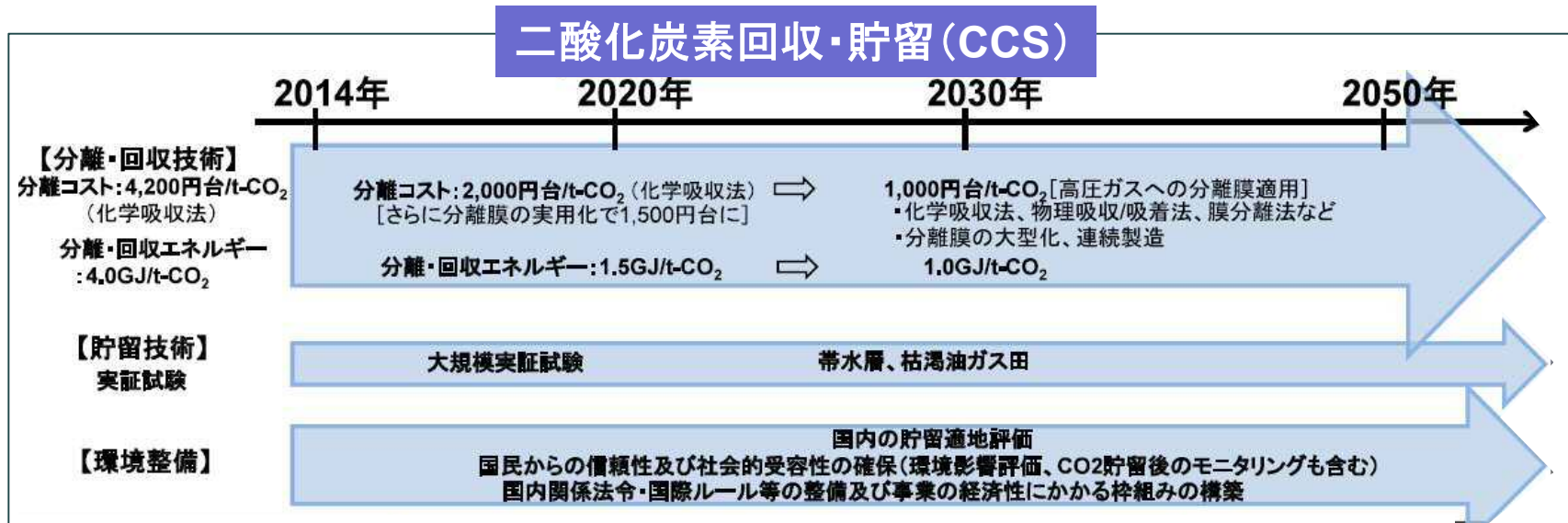
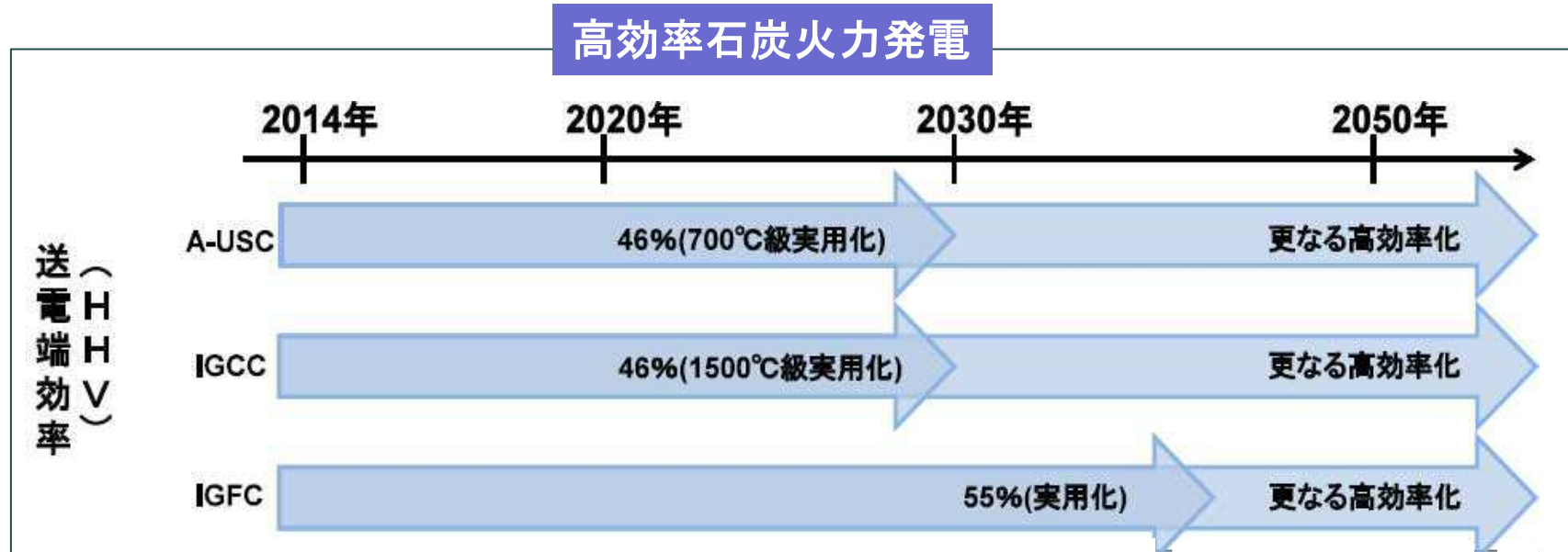
2. 事業アウトカム ～事業の必要性～

- 石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が約113年と長く、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当たりCO₂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。
- なお、平成26年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、IGCCの開発・実用化を進めるとともに、2020年頃のCCS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。

2. 事業アウトカム ～内容及び時期～

- 世界の温室効果ガスの排出を2050年までに半減するという長期目標を達成するため、当省は「Cool Earthーエネルギー革新技術計画」(平成20年3月)を策定し、重点的に取り組むべき革新的なエネルギー技術を「21」分野選定。「21」分野の技術には、「高効率石炭火力発電」が含まれている。
- また、至近では、第四次エネルギー基本計画を踏まえて、2014年(平成26年)12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。

2. 事業アウトカム ～ロードマップ～



エネルギー関係技術開発ロードマップ (経済産業省 平成26年12月)

2. 事業アウトカム ～内容及び時期～

- 本事業は高効率石炭火力発電である酸素吹IGCCの実証試験(第1段階)の後にCO₂分離・回収設備(CO₂の輸送・貯留・利用実証を除く)を組み込んだ実証試験(第2段階)を行うとともに、更に燃料電池を組み込んだCO₂分離・回収型IGFCの実証試験(第3段階)を実施するものである。
- 本事業の第1段階が終了する2018年度(平成30年度)以降、既に天然ガス焚で実用化している1500℃級ガスタービンを酸素吹IGCCに適用することにより、送電端効率(HHV):46%の酸素吹IGCCが実用化できる。
- 本事業の第2段階が終了する2020年度(平成32年度)以降、低炭素を目指した高効率のCO₂分離・回収型石炭火力が実現できる。
- NEDOが事業用燃料電池開発ロードマップに示す大型燃料電池を開発し、本事業の第3段階が終了する2021年度(平成33年度)以降、石炭火力発電の飛躍的な高効率化を可能とするCO₂分離・回収型IGFCが実現できる。

2. 事業アウトカム

＜アウトカムが実現した場合の効果の程度＞

○石炭火力発電の**高効率化によりCO2排出量の抑制**が可能となる。更に**CCSを組み合わせた場合はCO2排出量を大幅に抑制**することが可能となる。

【CO2排出量の抑制効果】

現状の最新鋭微粉炭火力(送電端効率(HHV):40%※)のCO2排出原単位は0.8kg-CO2/kWhであるが、IGCC(送電端効率(HHV):46%)では、0.7kg-CO2/kWh、IGFC(送電端効率(HHV):55%)が実現した場合は0.6kg-CO2/kWh、更にCCSを組み合わせた場合は0.1kg-CO2/kWh程度と大幅に減少する。

※出典：BATの参考表【平成26年4月時点】

＜アウトカムに至るまでの中間段階の目標値＞

○本事業における**酸素吹IGCC実証が終了する2018年度(平成30年度)までに、送電端効率(HHV):46%、CO2排出原単位0.7kg-CO2/kWhを達成する酸素吹IGCCの技術確立を目指す。**

○本事業における**CO2分離・回収型IGCC実証が終了する2020年度(平成32年度)までに、送電端効率(HHV):40%程度を達成するCO2分離・回収型IGCC(CO2回収率90%)の技術確立を目指す。更に、CCSを組み合わせた場合、CO2排出原単位は0.1kg-CO2/kWh程度まで減少することが期待できる。**

3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～研究開発の意義(1)～

- 最新の微粉炭火力発電(USC)は、石炭を燃焼し発生した蒸気のみで発電を行うが、酸素吹IGCCは、固体燃料である石炭を酸素で高効率にガス化した後、ガスタービンと蒸気タービンとで高効率複合発電を行うもの。また、酸素吹IGCCでは、微粉炭火力発電では利用できない灰溶融点の低い石炭(低品位炭)を活用できる。つまり酸素吹IGCCは、これまで利用できなかった**低品位炭を用いて高効率発電を実現する技術**である。さらに、酸素吹IGCCでは、**燃焼前の石炭ガスから効率良くCO₂を回収できるため、革新的低炭素石炭火力の実現に不可欠な発電技術**である。
- 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技術**である。

3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～研究開発の意義(2)～

- 高効率石炭火力発電から更にCO₂排出を削減するには、CO₂分離回収が不可欠であるが、CO₂を分離する為のエネルギー損失による発電効率の著しい低下が課題である。一方、本事業で検証するCO₂分離・回収型酸素吹IGCCは、高圧・高濃度のCO₂を対象に高圧プロセスで優位な物理吸収法を用いて効率的にCO₂を分離し、IGCCシステムとの最適化を目指しており、本システムが検証されればCO₂回収によるエネルギー損失を抑え、CO₂分離回収をしていない微粉炭火力と同等(送電端効率(HHV):40%程度)の発電効率を持つCO₂分離・回収型IGCCの見通しを得ることができる。
- 物理吸収法は、将来のIGCCの高効率化技術として期待される高温ガスタービンプロセスでは、対象ガスの高圧化により、化学吸収法に比べ更なる効率向上が見込める技術である。
- これにより、国内のCO₂分離・回収型IGCCの普及に寄与できるとともに、今後電力需要の伸びとともに石炭火力の新設が予想されるアジア・大洋州等においても普及が望め、世界的なCO₂排出削減に貢献できる技術である。

3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階目標値～

従来の石炭火力発電と比較し、性能(発電効率、環境性能)、運用性(プラント制御性、設備信頼性、多炭種適応性)、経済性の面で同等以上を目指す。

目標・指標		妥当性・設置理由・根拠等
発電効率	送電端効率(HHV):40.5%程度	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。 ※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。
環境性能	SOx 8ppm(O ₂ =16%) NOx 5ppm(O ₂ =16%) ばいじん 3mg/Nm ³ (O ₂ =16%)	我が国における最新の微粉炭火力は世界的に見ても最高水準の環境諸元を達成しており、酸素吹IGCCを導入する場合には同等の環境諸元を達成することが求められるため。
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	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	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	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信頼性が求められるため。
多炭種適用性	炭種性状の適合範囲の把握	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	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。	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。

3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第2段階目標値～

石炭火力として備えるべき運用性、信頼性を有するCO₂分離・回収型IGCCの技術を確立すること。CO₂を回収しても微粉炭火力並みの発電効率を目指すこと。

目標・指標		妥当性・設置理由・根拠等
基本性能 (発電効率)	新設商用機において、CO ₂ 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。	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。 IGCC実証機にCO₂分離・回収装置(CO₂回収率15%規模)を付設して試験を実施し、発電効率39.2%程度(送電端、HHV)を達成すれば、商用機で発電効率40%程度の見通しを得ることができる。
基本性能 (回収効率・純度)	➢ CO₂分離・回収装置における CO₂回収効率:90%以上 ➢ 回収CO₂純度:98%以上	➢ 革新的低炭素型石炭火力の実現の為にCO₂分離・回収装置単体における回収効率は90%以上を目標とする。 ➢ 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対応可能なレベルとして、エネルギーロスの低減可能な運転条件でも体積百分率98%以上を目標とする。
プラント運用性・ 信頼性	CO ₂ 分離・回収型IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性について検証する。	商用機において、CO ₂ 分離・回収型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CO ₂ 分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証することが必要である。
経済性	商用機におけるCO ₂ 分離回収の費用原単位を評価する。	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・回収装置建設時期や発電所敷地等の制約に応じた評価を実施することで、経済的な方式を選択できること。

CO₂回収効率〔分離回収装置単体のCO₂回収割合〕: $(\text{分離回収されたCO}_2\text{ガスのC量} / \text{CO}_2\text{分離回収装置導入ガスのC量}) \times 100$

CO₂回収率〔IGCC全体のCO₂回収割合〕: $(\text{分離回収されたCO}_2\text{ガスのC量} / \text{IGCC全体ガスのC量}) \times 100$

3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～類似の研究開発～

- 本事業における酸素吹IGCC実証(第1段階)に類する事業としては、平成11年度から平成22年度まで当省にて実施した「噴流床石炭ガス化発電プラント実証」(出力規模が250MW級の空気吹IGCC実証)が挙げられる。
- 酸素吹IGCCはIGFCの基幹技術として位置付けられ、空気吹IGCCよりも石炭ガス中の燃料成分(CO、H₂)の割合が高い。つまり石炭ガスの発熱量が高く、**ガスタービンの高温化(1700℃級等)にも容易に対応可能**であり、IGCC単体でも更に高効率化できるポテンシャルを有している。
- ガス化技術単体で比較しても、酸素吹ガス化は、石炭ガス中のN₂成分が空気吹ガス化より少ないため、合成燃料製造(水素、GTL(液体燃料)、SNG(合成天然ガス))など、発電用途のみならず産業用途への活用も可能であることに加え、炭種適合範囲も広い。よって酸素吹IGCCは、空気吹IGCCより**市場規模が大きく、炭種制約も少ないため、国産IGCCを世界に普及させることができる技術**と言える。
- また、本事業におけるCO₂分離・回収型IGCC実証(第2段階)は米国Tampa、Kemperと2つの実証計画が進んでいるが、前者は乾式脱硫の実証を目的としており、CO₂分離方式としては化学吸収法を採用していること、後者は空気吹きIGCCを対象とし低いCO₂回収効率であることが本事業と異なり、**本事業のような高効率を目指したものではない**。
- CO₂分離・回収型IGFC実証(第3段階)に類する事業は無い。

3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(1)～

＜第1段階工程＞

年度	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
計画工程	土木・建築工事着工						
	工事設計	土木・建築工事					
			据付工事着工		受電	ガス化炉火入	
	設計・製作		据付工事	単体 試運転	総合 試運転		
						実証試験	
実績工程	3月 ▼土木建築工事着工		5月 ▼排熱回収ボイラ搬入 9月 ▼ガスタービン・発電機搬入 10月 ▼蒸気タービン(車室)搬入 11月 ▼熱回収ボイラ搬入 12月 ▼蒸気タービン(車軸他)搬入 12月 ▼ガス化炉搬入 12月 ▼ガス精製設備主機搬入 1月 ▼空気分離設備主機搬入	7月 ▽水圧試験 11月 ▽受電			

3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(2)～

<全景(煙突より)>



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(3)～

＜全景(地上より)＞



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(4)～

19

＜基礎工事＞



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(5)～

＜建屋工事＞



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(6)～

<ガス化炉工場製作>

ガス化炉(Gasifier)

熱回収ボイラ
(SGC: Syngas cooler)

熱回収部



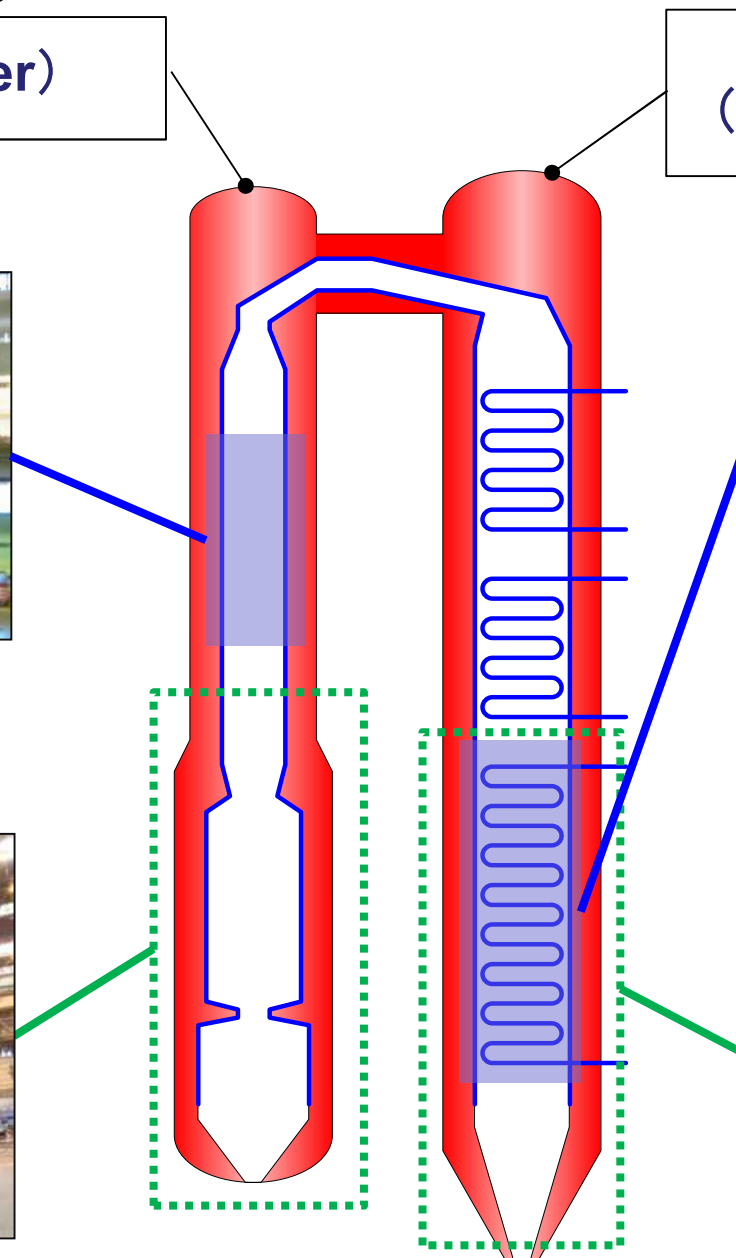
ガス化炉下部胴
(圧力容器)



SGC節炭器



SGC
中間+下部胴
(圧力容器)



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(7)～

22

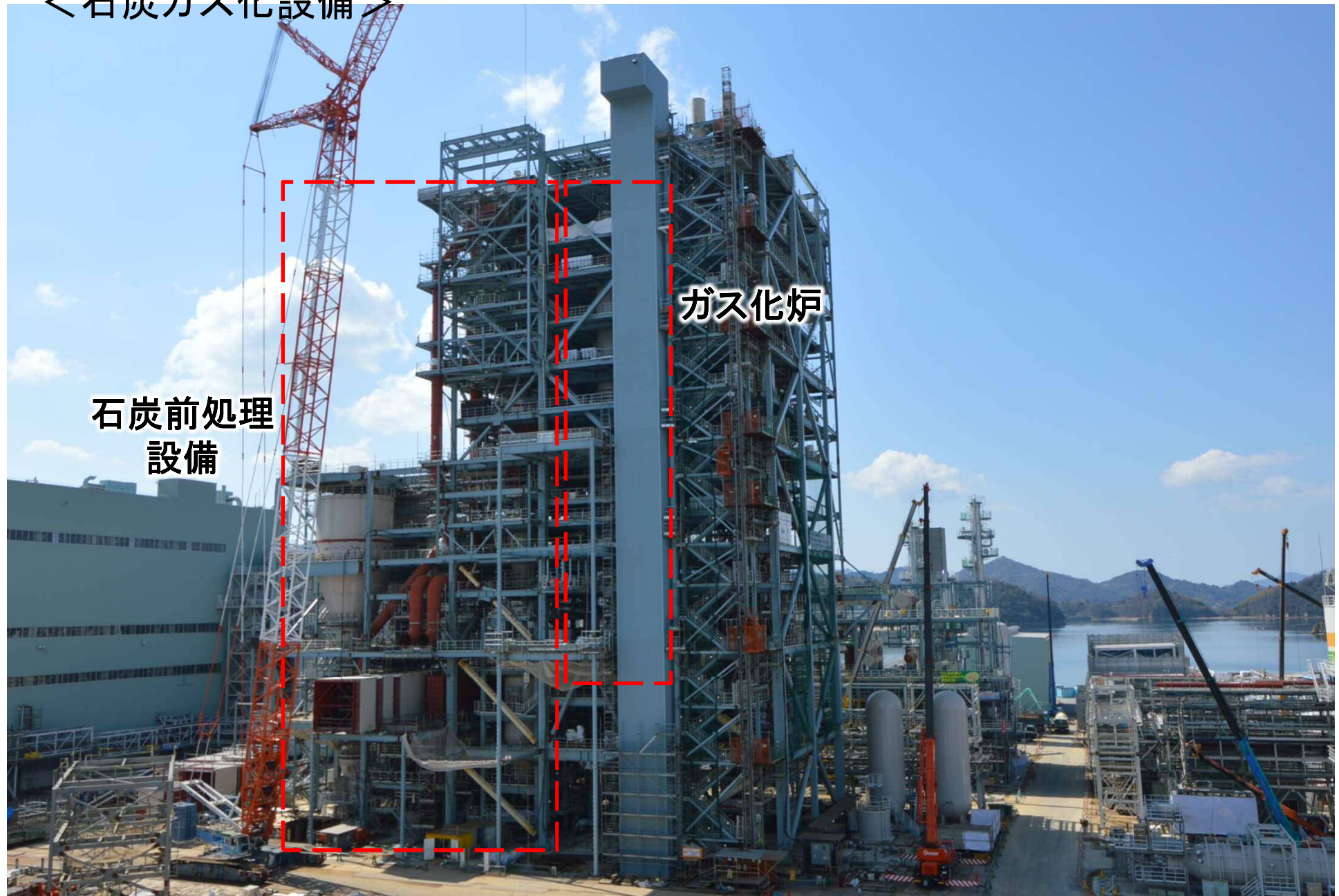
＜ガス化炉搬入据付状況＞



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(8)～

23

＜石炭ガス化設備＞



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(9)～

24



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(10)～

25

ガス精製設備



リサイクルガス設備



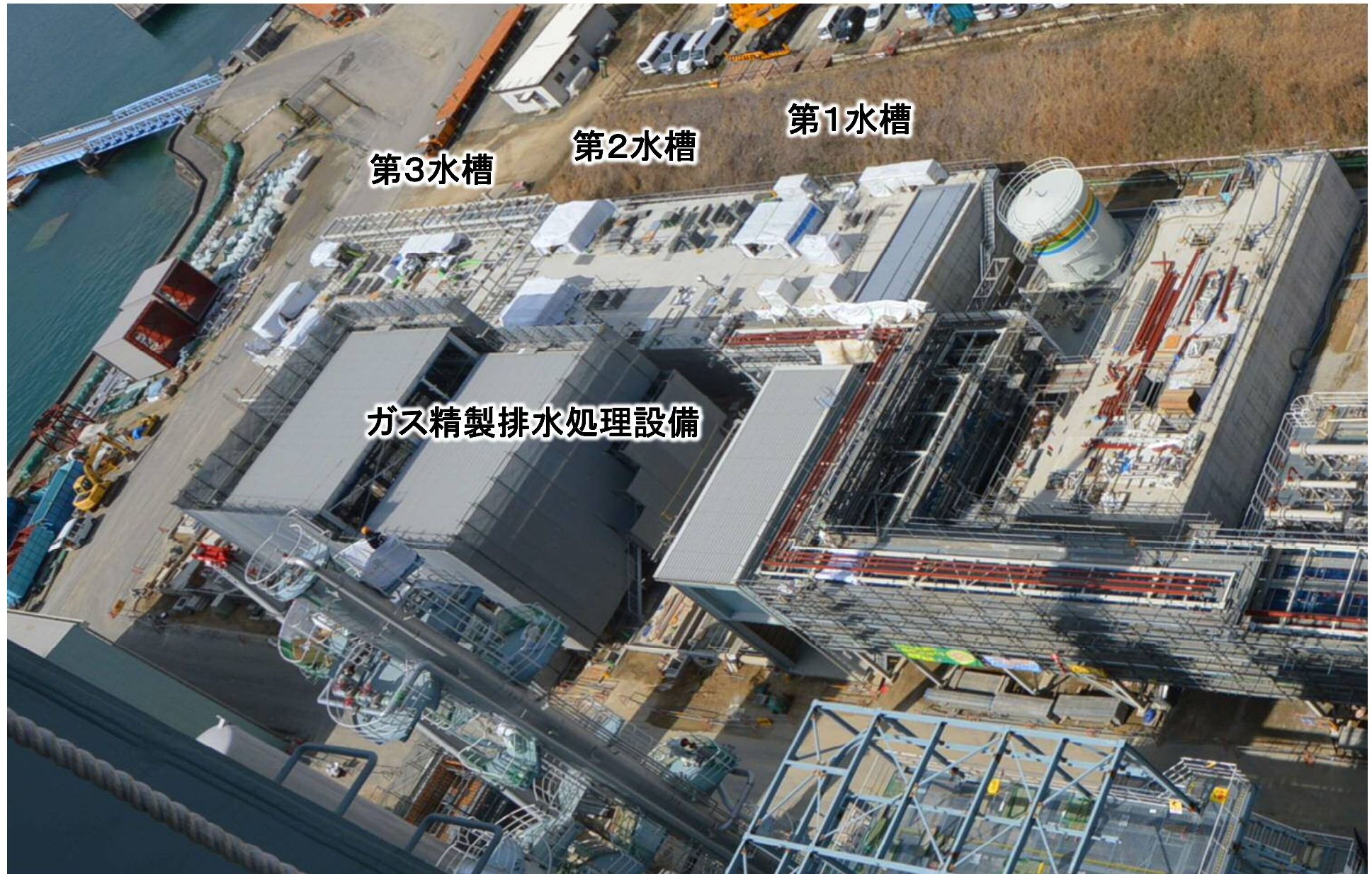
硫黄回収設備



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(11)～

26

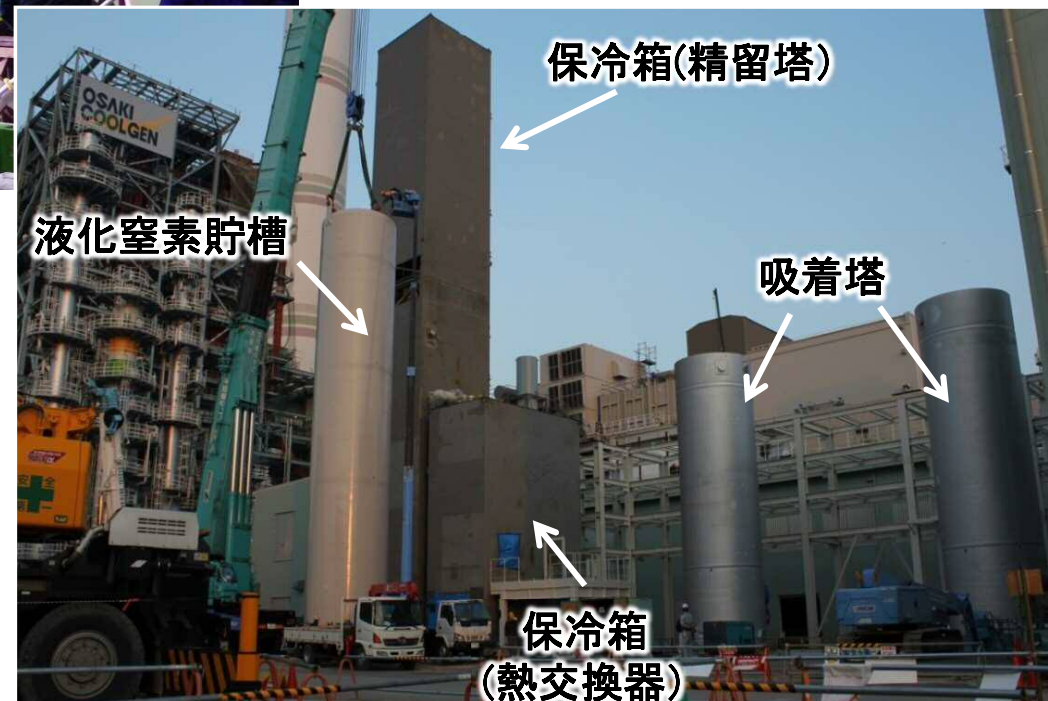
＜排水処理設備＞



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(12)～

27

＜空気分離設備＞



3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(13)～

＜国内外IGCCプロジェクト一覧＞

プロジェクト名称		Buggenum	Wabash River	Tampa	Puertollano	Edwardsport	Kemper	クリーンコールパワー (常磐共同火力)	国産酸素吹IGCC 商用機※	大崎クールジェン
プロジェクト国		オランダ	アメリカ	アメリカ	スペイン	アメリカ	アメリカ	日本	日本	日本
実証機・商用機の別		2013年4月閉鎖	実証機	実証機	実証機	商用機	商用機	実証機	—	実証機
ステータス		閉鎖	商用運転中	商用運転中	商用運転中	商用運転中	建設中	商用運転中	—	建設中
実証試験期間		1994年1月～ 1998年1月		1996年9月～ 2001年9月				2007年9月～2010年6月 2010年7月～2013年3月	—	2016年9月～
商用運転開始日		1998年～2013年4月	2000年～	2001年～	1998年～	2013年6月～	2016年～運転開始予定	2013年4月～	—	—
事業費総額	現地通貨	850Mギルダー	438.2MUS \$	606.9MUS \$	110.490Mペセタ	3,550MUS \$	5,500MUS \$	896.4億円	—	—
プラント建設費	現地通貨	—	—	—	—	—	—	—	—	—
事業費総額	円	510億円	499億円	738億円	884億円	3,668億円	4,638億円	896.4億円	—	896億円
プラント建設費	円	—	—	—	—	—	—	—	—	—
為替レート		60円/ギルダー	113.96円/\$	121.54円/\$	0.8円/ペセタ	103.34円/\$	84.38円/\$	—	—	—
補助金額	現地通貨	不明	219.1MUS \$	151MUS \$	4,958Mペセタ	593.5MUS \$	270MUS \$	—	—	—
補助金額	円	補助金あり	250億円	183億円	39.6億円	612.6億円	225.1億円	252.15億円	—	298.3億円
補助率	%	不明	50	24.9	4.48	16.7	4.9	30	—	33.3
ガス化炉		Shell炉	Dow(E-Gas)炉	GE(Texaco)炉	PRENFLO炉	GE炉	KBR炉	電中研/三菱炉	EAGLE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	高速循環流動床	2室2段	1室2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	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	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	空気	空気	酸素	酸素
冷ガス効率		81～76%	81～72%	75～73%	76～74%	75～73%	—	77～75%	83%	82%
使用炭種		海外炭 18炭種 高灰溶融点炭は 融点降下剤必要	地元(インディアナ)炭 現在はベドロックス混焼	地元炭 (Pittsburgh#8他) 現在はベドロックス混焼	地元高灰分炭と ベドロックス混焼	インディアナ炭 ミッドウェスタン炭	ミシシッピ褐炭	設計炭 中国炭に加え コロンビア、ロシア、インドネシア、 米国、カナダ等 合計9炭種	海外炭 (インドネシア炭)	インドネシア炭他 (第1段階で4炭種)
排水処理		蒸発乾固	蒸発乾固	蒸発乾固	河川放流	—	—	海域放流	海域放流	海域放流
石炭処理量	t/日	2,000	2,600	2,300	2,600	1.5Mt/年	4,600	1,700	2,400	1,180
発電出力(計画値)									—	—
発電端(Gross)	MW	284				784	914	250	369	166
送電端(Net)	MW	253	262	250		618	582	220	319	140
送電端効率(HHV)									—	—
計画	%	41.4	37.8	39.7	41.5	38.5	28.1※CO2 65%回収後	40.5	45.6	40.5
実績	%	41.4	39.7	37.5	41.7	—	—	40.6	—	—
連続運転時間実績		3200時間超	1,800時間程度	2500時間程度	1,000時間程度	1,000時間程度	—	3917時間	—	目標5,000時間

※商用機は、大崎クールジェンプロジェクトをスケールアップした場合の試算

3. 研究開発内容及び事業アウトプット ～第1段階成果(14)～

29

<情報発信活動>

学会誌及び業界誌への投稿(7件)、国内外における講演・発表(18件)を実施し、情報発信を行った。

年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	合計
投稿	1	3	3	7
講演・発表	5	3	10	18

また、テレビ報道、新聞記事報道(合計17件)が行われ、市民が情報を得る機会を提供できた。

年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	合計
報道	5	1	11	17

4. 国が実施することの必要性

＜科学的価値の観点から見た先導性＞

○石炭は化石エネルギーの中でも供給安定性・経済性に優れたエネルギーである一方で、熱量あたりのCO₂排出量が他の化石エネルギーと比べて多く、低炭素化を目指した高効率な石炭ガス化複合発電技術(酸素吹IGCC、IGFC)やCCSを組み合わせた低炭素化が重要。また、亜瀝青炭等の低品位炭も火力発電燃料として利用することが将来的に重要。したがって、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、エネルギー政策及び環境政策の観点から重要である。

○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。さらに、酸素吹IGCCでは、燃焼前の石炭ガスから効率よくCO₂を回収できるため、革新的低炭素石炭火力の実現に不可欠な発電技術である。

4. 国が実施することの必要性

＜研究開発費、期間＞

○本事業は、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**。また、本事業の成果は、我が国における電力供給の一翼を担う石炭火力発電設備として普及見込みであるとともに、国際展開により地球規模の気候変動対応にも貢献可能であることから費用対効果が極めて高く、**国が資金的支援をする必要性は極めて高い**。

＜環境問題への先進的対応＞

○さらに、国内において一定割合の石炭火力を含むエネルギーミックスを前提に温室効果ガスの削減目標案が議論されている中、第2段階のCO2分離回収の実証は、**地球環境問題に対応する為に重要な技術開発であるが、効率の低下につながり、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、国の主導が必要である**。また、本事業の成果は、我が国における電力供給の一翼を担う石炭火力発電設備として普及見込みであるとともに、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。

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

＜アウトカムに至るまでの戦略＞

- 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国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IGCCの普及拡大を図る。

＜成果のユーザーの段階的イメージ・仮説＞

- 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石炭火力に関する選択肢のひとつとして将来の石炭火力導入に関する検討を行い、積極的に導入を図る**。続いて、他の電気事業者等が導入していくことが考えられる。

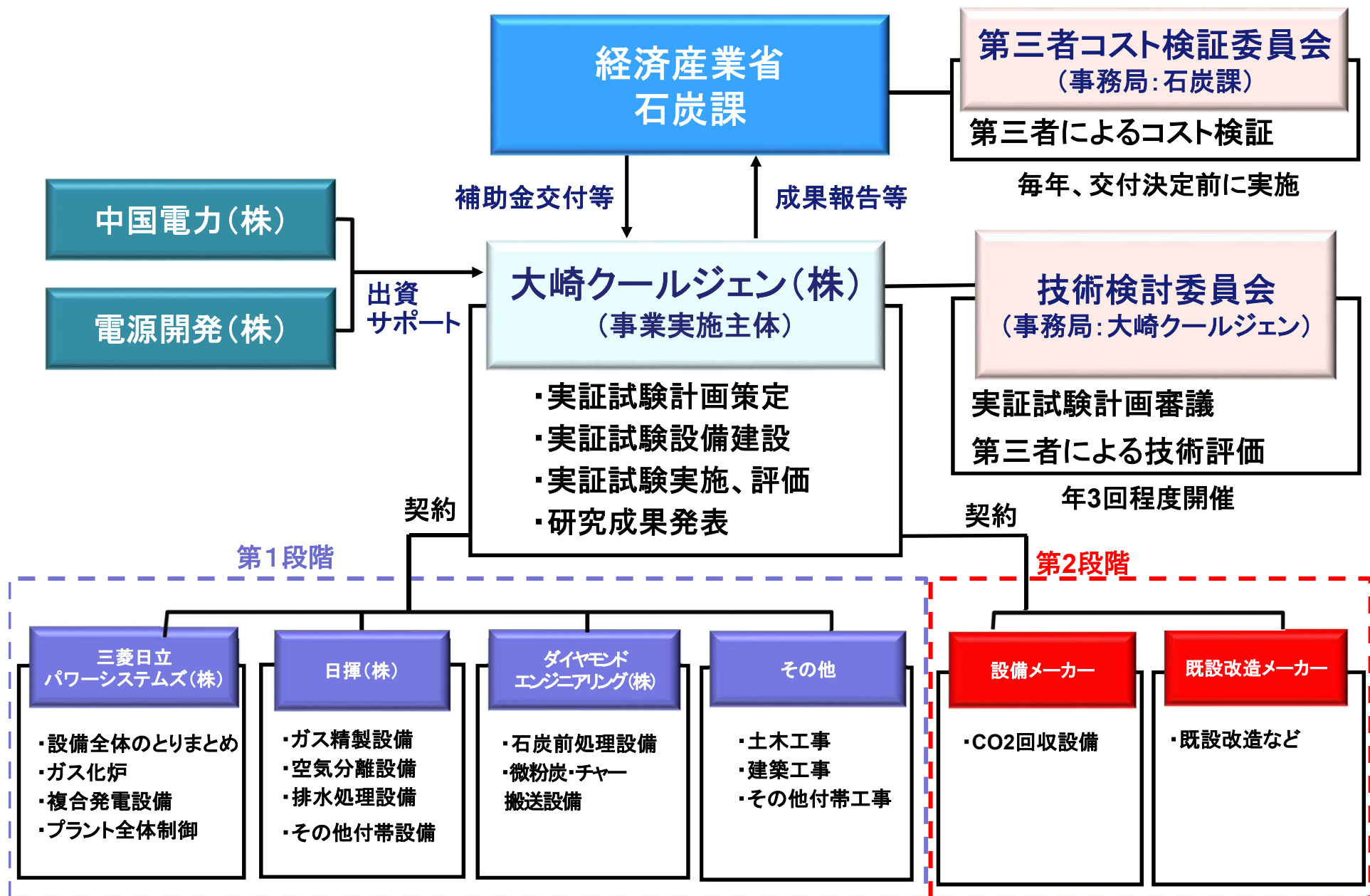
電源開発・中国電力は、多くの石炭火力(設備出力両社計:11,002MW、国内石炭火力発電の約26%:平成23年度時点)を保有している。

- また、我が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**。

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等 ～開発計画～

年度		平成24年度 (2012年度)	平成25年度 (2013年度)	平成26年度 (2014年度)	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	平成31年度 (2019年度)	平成32年度 (2020年度)	平成33年度 (2021年度)
第1段階 酸素吹IGCC実証	補助金額	13.7億円	70.0億円	62.4億円	59.5億円	53.5億円	20.3億円	19.0億円	第1段階 補助金額 約300億円(見込み)		
	実施内容	酸素吹IGCC詳細設計・建設 実証試験 ・設計製作 ・土木工事 ・設計製作 ・土木工事 ・設計製作 ・土木工事 ・機電工事 ・設計製作 ・土木工事 ・機電工事 ・水圧試験 ・受電 ・機電工事 ・ガス化運転 ・設備竣工 ・基本性能確認 ➢プラント性能 ➢環境性能 ・多炭種適用性確認 ・設備信頼性確認 ➢長時間耐久試験 ・制御性、運用性確認 ➢負荷変化率 ➢起動停止時間 ・経済性評価									
第2段階 CO ₂ 分離・回収型 IGCC実証	実施内容	適用技術評価概念設計 CO₂分離・回収詳細設計・建設 実証試験 ・EAGLEのCO₂分離・回収試験結果から実証試験地点に適したCO₂分離・回収方式(物理、化学)を評価選定 ・既存設備改造 ・CO₂分離・回収IGCC実証試験設備の設計・製作・建設 ・CO₂分離・回収IGCCシステム実証									
第3段階 CO ₂ 分離・回収型 IGFC実証	実施内容	技術調査概念設計 CO₂回収一体型IGCC/IGFC 詳細設計・建設 実証試験 ・石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性調査、精密ガス精製技術の仕様を検討 ・既設設備改造 ・IGFC基盤技術検証試験設備の設計・製作・建設 ・IGFCシステム実証									

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等 ～実施体制～



6. 研究開発の実施・マネジメント体制等 ～知財戦略～

○「戦略性を持った権利確保・普及展開」と「出口を見据えた研究開発マネジメント」を検討していく。

○前者は、国内の石炭火力新設・リプレイスへの適用、海外へのインフラ輸出を視野に入れて、**特許権の取得、権利の保護、展開戦略等について事業の進捗に合わせて詳細検討していく方針**である。

○後者は、当該技術は化学工業分野への事業展開も可能であることから、エンジニアリング体制を踏まえた知財の所有等について、**メーカーも成果普及に携わることができる仕組み**を検討しているところである。

○国内においては、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。

7. 費用対効果

新たなクリーンコール技術の開発・実証を積極的に推進し、確立した技術を国内の石炭火力の新設、リプレイ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

日本

クリーンコール技術の
開発・実証

クリーンコール技術
の普及

ビジネスリターン、
クレジット移転等

技術移転、
事業参加等

諸外国

石炭消費量の抑制、
CO₂排出削減

クリーンコール技術
の積極適用

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イ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。

7. 費用対効果

国内における導入効果

▶CO2削減効果

発電効率が現行(USC)の最高レベルの40%(送電端、HHV。以下同じ)から46%(IGCC:1500℃級GT)まで向上すれば、CO2排出量は約1割強、55%(IGFC)まで向上すれば、約3割の削減が可能。さらに、CCSと組み合わせることによりCO2排出を大幅に抑制することが期待できる。

▶経済効果

石炭火力発電所の建設コストは、約25万円/kWと試算※1。

2020年から30年間で出力60万kW級のIGCCリプレイス需要を試算すれば14ユニットであり※2、経済効果は約2兆円となる。更に、CO2分離・回収型IGCCについては、CO2分離・回収設備建設による経済効果が加わる。

▶雇用創出効果

出力60万kW級のIGCCにリプレイスすることで、1ユニットあたり建設中の4年間に毎年約1000人※3規模の雇用が新たに創出される。14ユニットの雇用(4年間)創出効果は約1万4千人と試算される。更に、CO2分離・回収型IGCCについては、CO2分離・回収設備分の雇用も広がる。

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(2015/5/11) 資料より

※3 エコプロダクツ2009 クリーンコールセミナー資料より

※2 リプレイス需要

▶2020年から2050年までの30年間で運転開始後40年を経過する石炭火力発電所は3,400万kWであり、石炭火力にリプレイスすると想定。

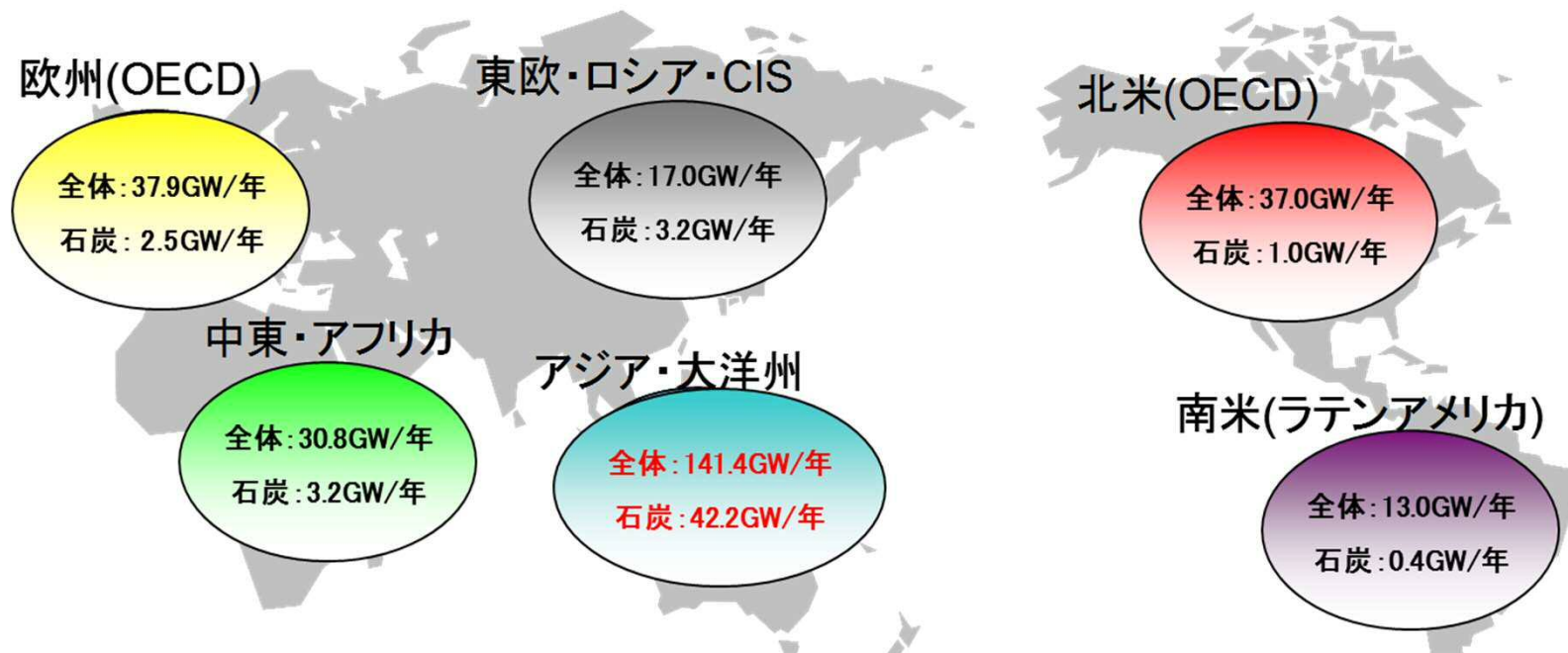
▶内訳を、酸素吹IGCC/IGFC、空気吹IGCC、USC、A-USCで1/4ずつとすれば850万kW。

▶1ユニットの出力60万kWとすれば、30年間で14ユニットの潜在需要と試算。

7. 費用対効果

石炭火力新設の世界需要

- 石炭火力は2014～2040年にかけて世界全体で約1,360GW新設(リプレイス含む)され(52.5GW/年)し、アジア・大洋州は約1,100GW増加(42.2GW/年)と新設容量の大半を占める見込み。
- 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大きく地球環境問題対策に貢献することが期待出来る。



上段: 発電設備全体の 신설容量 (GW/年)

下段: 石炭火力の増加 신설容量 (GW/年)

※「World Energy Outlook 2014」に記載の2014年～2040年の 신설容量(新政策シナリオ)を基に1年あたりの 신설容量を想定した。

8. 総合科学技術会議等による評価

＜総合評価＞

- 酸素吹IGCCにCO₂分離・回収技術及び燃料電池を組み合わせた複合発電システムの開発は、推進すべき一つの方向。
- 第1段階の酸素吹IGCCは、IGFCを実現するための基幹技術であり、単体でも、発電事業及び新事業創出の観点から将来的に有望な技術であることから、国支援の下で取り組むべき。
- 第2段階及び第3段階への移行については、経済産業省が行う評価を基に、総合科学技術会議としても必要な評価を実施。

＜指摘事項への対応＞

1-1. 市場での競争力、事業採算性の明確化	
事前評価 指摘事項（H23.12）	対応状況
➤ 国内外IGCC先行事例と比較検討し、<u>事業費の精査</u>を行い、本事業が後発事業であるという位置付けも踏まえ、実用化に向けた<u>市場競争力、システムとしての事業採算性</u>について明確にする必要がある。	➤ <u>PCFやLNG火力の発電単価と比較し、事業費精査</u>を行っている。 ➤ EAGLE炉は、<u>高ガス化効率、多炭種適用性、信頼性</u>で海外先行ガス化炉を上回り、<u>高い競争力</u>が期待される。事業費精査の結果、<u>事業採算性の確保</u>が期待できる。 ➤ 進捗に即して<u>定量的データを蓄積し、実運用化試算</u>を行い、<u>今後競争力や採算性の詳細な分析</u>を行う予定。
フォローアップ 指摘事項(H25.11)	
➤ 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、<u>初期コストの低減</u>に向けて取組を進める必要がある。 ➤ 市場や海外での技術開発の動向を継続的に把握し、<u>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</u>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。	

8. 総合科学技術会議等による評価

1-2. 市場での競争力、事業採算性の明確化	
事前評価 指摘事項 (H23.12)	対応状況
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。	経済産業省で、事業者と請負業者との工程会議の頻度を増す等の手段を検討し、今後も工期短縮に向けた努力を継続し、可能な限り早期の実用化を目指す。

2-1. 中間評価結果の事業計画への反映	
事前評価 指摘事項 (H23.12)	対応状況
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。	『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』に基づき評価を実施する。 - H26～27年度にFSを実施し、商用IGCCに対するCO2分離・回収技術の適用可能性評価や、最適な設定の検証を行い、実証に値する技術課題の有無の判断を行う。

2-2. 国の予算の見直し	
事前評価 指摘事項 (H23.12)	対応状況
実証運転での売電収入を見込み、国の予算計画の見直し、あるいは当該収益を国庫への納付等の手続きをとる必要がある。	売電収入を特定収入として見込み、補助対象経費から控除する等、補助金適正化法等に則り適切に処理する予定。
フォローアップ 指摘事項 (H25.11)	
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。	

8. 総合科学技術会議等による評価

41

3-1. 酸素吹 IGCC の国際展開戦略

事前評価 指摘事項 (H23.12)	対応状況
➤ <u>想定される市場の規模や競合技術との関係等を常に把握することにより、国際展開戦略について、検討し示していく必要がある。</u>	➤ <u>先進国においては、高効率な石炭火力発電及びCO2分離・回収技術のニーズがある。</u> ➤ <u>また、アジア新興国においては、国内電力需要の増大、肥料等、化学産業の市場拡大が見込まれる。</u> ➤ <u>これらの先進国及びアジア新興国などのニーズに合わせ、海外競合他社に対する市場毎の競争力の強化を図りながら、国際展開戦略を検討することで、市場の獲得に努めていく。</u>
フォローアップ 指摘事項(H25.11)	
➤ <u>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。</u> ➤ <u>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。</u>	

4-1. 外部有識者による全体の計画及び技術的課題の事前評価

事前評価 指摘事項 (H23.12)	対応状況
➤ <u>第1段階から第3段階までの全体の計画及び技術的課題について、事前に外部有識者による評価を行う必要があったと判断される。</u> ➤ <u>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。</u>	➤ <u>経済産業省では、産業構造審議会 産業技術分科会 評価小委員会等において、全体計画の妥当性や技術的課題について評価を受けるとともに、大崎クールジェン(株)においても技術検討委員会を設置し、第三者の有識者から技術的知見に基づく意見・コメント等を求めていくこととしている。</u> ➤ <u>また、経済産業省では実証事業についても研究開発の要素があるものは技術評価の対象としており、産業構造審議会評価WG(旧評価小委員会)にて審議を行うこととしている。</u>

8. 総合科学技術会議等による評価

～産業構造審議会 評価小委員会～

コメント① (H25.3)	対処方針①
➤ 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。	➤ 知的財産戦略として、「出口を見据えたマネジメント」と「戦略性を持った権利確保・普及展開」を検討していくことが必要と考える。 ➤ 前者は、<u>事業者(電力会社)のみならずメーカーも成果普及に携わることができるようにエンジニアリングの体制、知的財産の所有等について引き続き検討している。</u> ➤ 後者は、相手国のニーズを把握し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、<u>海外での特許権の取得、権利の保護、展開戦略等について事業の進捗に合わせて詳細検討していく。</u>

コメント② (H25.3)	対処方針②
➤ この事業は究極的な技術開発を目指しており、長期的な視点で見る必要がある。日本が一番独占できる方向に持って行くためには、<u>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。</u>	➤ 現在、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)において、大容量化が可能である等の理由からSOFC(固体酸化物形燃料電池)の研究開発が進められているところであり、この成果も注視しつつ<u>第3段階移行時に開発状況等を評価し、最適な燃料電池について有識者を含めて選定することとしている。この進捗に合わせて、IGFCとしての具体的な開発計画を所要のタイミングで作成する方針である。</u>