

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／  
⑤CO<sub>2</sub>回収型次世代 IGCC 技術開発」

事業原簿

公開版

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

## 概 要

### プロジェクト用語集

<b>1. 事業の位置付け・必要性について</b> .....	1-1
1. 事業の背景・目的・位置づけ.....	1-1
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	1-3
2.1 NEDO が関与することの意義.....	1-3
2.2 実施の効果（費用対効果）.....	1-3
<b>2. 研究開発マネジメントについて</b> .....	2-1
1. 事業の目標.....	2-1
2. 事業の計画内容.....	2-1
2.1 研究開発の内容.....	2-1
2.2 研究開発の実施体制.....	2-4
2.3 研究開発の運営管理.....	2-5
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性.....	2-5
3. 情勢変化への対応.....	2-5
4. 中間評価結果への対応.....	2-6
5. 評価に関する事項.....	2-7
<b>3. 研究開発成果について</b> .....	3-1
1. 事業全体の成果.....	3-1
2. 研究開発項目毎の成果.....	3-2
2.1 O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と水蒸気添加効果の検証.....	3-4
2.2 ガス化炉内三次元数値解析による商用規模ガス化炉の特性評価.....	3-8
2.3 ガス化炉三次元数値解析の精度向上.....	3-10
2.4 セミクローズドサイクルにおける乾式ガス精製システムの構築.....	3-13
2.5 システム全体検討.....	3-17
<b>4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて</b> .....	4-1
1. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて.....	4-1

(添付資料)

- ・特許論文等リスト
- ・プロジェクト基本計画



## 概要

	最終更新日	2020年10月2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／ ⑤CO <sub>2</sub> 回収型次世代IGCC技術開発	プロジェクト番号	P10016
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM 青戸 冬樹 (2020年10月現在) 環境部 PM 足立 啓 (2016年4月～2019年3月) 環境部 PM 細田 兼次 (2015年8月～2016年3月)		
0. 事業の概要	<p>クローズド IGCC システムは、排ガス CO<sub>2</sub> を一部系統内にリサイクルすることにより、CO<sub>2</sub> 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、CO<sub>2</sub> の約 100%回収が可能であるため、CO<sub>2</sub> 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を目指す。CO<sub>2</sub> 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「CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC 技術開発」において、石炭投入量 3 t / d の小型ガス化炉を活用し、送電端効率 42% (高位発熱量基準) 以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。</p> <p>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 CO<sub>2</sub> 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。</p> <p>CO<sub>2</sub> 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。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>エネルギー基本計画においては、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、今後とも世界的に需要が拡大し、世界の一次エネルギーに占める割合が高くなると見込まれているが、他の化石燃料と比べ燃焼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 CO<sub>2</sub> 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 は多大な付加的エネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロスを可能な限り低減する必要がある。</p> <p>そこで本事業では、「CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC」の要素技術開発、「次世代ガス化システム」の基盤技術開発、および、両技術を組み合わせた「CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC」の相乗効果の確認を実施する。</p>		

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>最終目標（2020年度）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC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。</li> <li>・次世代ガス化システムについては、2018年度までに既存の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。</li> <li>・両技術の相乗効果として、2020年度までにCO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC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。</li> </ul>							
事業の計画内容	主な実施事項	2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	
	①O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立	■						
	②水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証	■						
	③炭種適合性評価ツールの構築	■						
	④乾式ガス精製システムの構築	■						
	⑤システム全体検討	■						
事業費推移	特別会計（需給）	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額
	総NEDO負担額（委託費）	382	1,627	952	504	684	285	4,434
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	一般財団法人電力中央研究所 牧野 尚夫						
	プロジェクトマネージャー	環境部 青戸 冬樹						
	委託先	一般財団法人電力中央研究所（再委託先：九州大学、福岡大学、名古屋大学、愛媛大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、福岡女子大学） 三菱重工業株式会社 三菱パワー株式会社						
情勢変化への対応	<p>事業開始（2015年度）以降、下記のような情勢変化があり、本事業の早期実用化が引き続き重要な状況にある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2018年7月に閣議決定された「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。</li> </ul>							

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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」の中で、2050年までの温室効果ガスの80%排出削減の実現に向けて、石炭火力発電については商用化を前提に2030年までにCCSを導入することを検討することとしている。</li> <li>・2019年6月に経済産業省によって策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」の中で、CO<sub>2</sub>分離回収技術の低コスト化として、1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を2030年のターゲットとしている。</li> <li>・2020年7月3日、梶山経済産業大臣は、非効率な石炭火力のフェードアウトや再エネの主力電源化を目指していく上で、より実効性のある新たな仕組み導入の検討を指示した。</li> <li>・2020年7月9日、第47回経協インフラ戦略会議においては、相手国から要請があった場合は、USC以上であって我が国の最先端技術を活用した環境性能がトップクラスの石炭火力発電の導入を支援することとしている。</li> </ul>	
評価に関する事項	中間評価	2017年度 中間評価
	事後評価	2020年度 前倒し事後評価
3. 研究開発成果について	最終目標（2020年度）の達成状況	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCについては、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立、乾式ガス精製システムの構築等を実施し、諸検討結果による全体システムの最適化を行い、送電端効率42%を達成する見通しを得た。</li> <li>・次世代ガス化システムについては、水蒸気添加ガス化試験及び各種検討結果により、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た。</li> <li>・クローズドIGCCに水蒸気添加ガス化を組合せた際の相乗効果を明らかにするため、その送電端効率の評価を進めている。</li> </ul>	
	投稿論文	23件
	特許	10件
	その他の外部発表（プレス発表等）	研究発表・講演97件
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<p>本事業（フェイズ2）において、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化、水蒸気添加ガス化および乾式ガス精製等に関する要素技術を確立し、次フェイズにおける石炭ガス化一貫システムの開発が可能となった。</p> <p>フェイズ2におけるO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化、水蒸気添加ガス化、乾式ガス精製等の成果は、産業用ガス化炉やポリジェネレーションシステムとして展開することで、早期の実用化が期待できる。</p> <p>フェイズ3では、数百TPD石炭ガス化一貫システムによる検証試験後に、乾式ガス精製の従来型IGCCへの適用を目指す。</p> <p>フェイズ4では、2000TPD級の実証機の商用転用を機に、CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCCの大型商用機の導入を目指す。</p>	

	<p>2010 2020 2030 2040</p> <p>フェイズ4 (2000TPD 試運転試験後、商用運用) ▼商用運転 大型商用機導入</p> <p>フェイズ3-2 (数百TPD石炭ガス化一貫システム)</p> <p>フェイズ3-1 (小型槽CLO-STDGT) CCS市場動向を 睨みながら判断</p> <p>水蒸気 添加ガス化</p> <p>フェイズ2 (50TPD炉) CCS市場動向を 睨みながら判断</p> <p>現在 ▲</p> <p>フェイズ1 (3TPD小型炉) 2008~2014年度実施済</p> <p>乾式ガス精製の 従来型IGCC への適用</p> <p>酸素燃焼 CLO-STDGT への適用</p> <p>SNG合成等の 産業用ガス化炉 として展開</p> <p>ホリネレーションシステム (発電と化学品の併産) として展開</p> <p>O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化炉は、 生成ガスにN<sub>2</sub>がほとんど混入しないため、 産業用ガス化炉としても高性能と期待される</p> <p>国内外CCS プロジェクト へ展開</p> <p>開発技術の Oxy-fuel IGFC への拡張</p>	
5. 基本計画に 関する事項	作成時期	2016年1月 制定
	変更履歴	2016年4月、9月、2017年2月、5月、6月、2018年2月、7月、9月、2019年1月、7月、2020年2月、7月 改訂（研究開発の実施体制、具体的研究内容、達成目標、研究開発スケジュール表等の追加、修正）

## プロジェクト用語集

名称	略号	意味
石炭ガス化複合発電 Integrated coal Gasification Combined Cycle	IGCC	石炭をガス化し得られた石炭ガス化ガスを燃料として、高効率のガスタービン複合発電システムで発電する高効率発電システム。
石炭ガス化 Coal gasification		固体である石炭を熱分解反応やガス化剤との反応により、気体に転換すること。高温による熱分解反応やガス化剤との化学反応の複合反応として進行する。
ガス化剤 Gasification reagent		石炭などをガス化する際に石炭の炭素分と反応させてガス化するために用いるものをさす。 通常用いられるガス化剤には、空気、酸素、水蒸気、水素およびこれらの混合物がある。
スラグ Slag		金属酸化物や金属塩の溶融混合物をいう。IGCCにおいては、溶融状態の石炭灰を指し、炉底で水冷固化したガラス状粒子（水砕スラグ）を含めた呼称として使われている。IGCCで得られる水砕スラグは、フライアッシュと異なり、金属成分の溶出がないため、土木工事用資材など砂代替として有効利用できるものと期待されている。
スラッキング Slagging		一般に、炉内で溶融した石炭灰（スラグ）が炉内の輻射伝熱面などに付着し、冷却されて固化堆積する現象のこと。
チャー Char		石炭粒子が熱分解した際に生成される未燃固形粒子。石炭中の揮発分が熱分解などで放出されたもので、石炭粒子と比べると、一般に粒径がやや小さく、固定炭素分および灰分の含有量が相対的に増加している。
シフト反応 Water gas shift reaction		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。 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{CO}_2$
炭素転換率 Carbon conversion efficiency		投入石炭中の炭素量に対する生成ガス中炭素分の割合。
冷ガス効率 Cold gas efficiency		ガス化炉に投入した石炭の総熱量に対する生成ガスの総熱量の割合。



発電効率 Thermal efficiency		投入した燃料の総熱量に対する発電電力量の比。分子の発電電力量に対し、発電機で発生した発電電力量を基準とする発電端効率と、発電所内で消費される所内動力を差し引いた送電端効率の2つがある。
石炭 Coal		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間高い地圧と地熱などによる加圧、乾留などの作用を受けて変質した可燃性固体。 火力発電などに用いられる石炭は、製鉄業でコークス用に用いられる原料炭と区別して一般炭と呼ばれる。 一般に、発熱量4,000kcal/kg以下、湿分と水分の合計が30%以上、灰分40%以上の、揮発分10%以下のものは低品位炭と呼ばれる（火力原子力発電技術協会纂：火力発電用語辞典より）。
二酸化炭素回収・貯留 Carbon Dioxide Capture and Storage(Sequestration)	CCS	発電所や天然ガス鉱山など大規模な排出源で発生するCO <sub>2</sub> を、他のガスから分離・回収し、安定した地層に貯留したり、海洋に隔離することにより、CO <sub>2</sub> を大気から長期間隔離する技術
二酸化炭素回収・有効利用・貯留 Carbon Dioxide Capture, Utilization and Storage	CCUS	回収・貯留したCO <sub>2</sub> を有効利用すること。
空気分離装置 Air Separation Unit	ASU	プラントで使用する酸素を製造する設備。製鉄所や発電所などの大型設備においては、深冷分離法を用いて空気から酸素を分離製造することが多いが、プラント規模、必要とされる酸素純度によって他の方式が用いられることもある。
乾式ガス精製システム Hot gas clean-up system		従来のガス精製システムが湿式処理でガス化ガス中の硫黄分などを除去するのに対し、約400℃以上の高温のままにハニカム固定床脱硫材などにより硫黄分を除去するシステムが乾式ガス生成システムである。湿式処理の場合は、工程に応じたガス温度まで冷却、加熱を繰り返す必要があり、多くの熱交換工程を組み込むことで熱損失が発生した。これに対し、乾式ガス精製システムでは、ガス化炉を出た生成ガスを除塵後に温度調整なく処理できるため、効率低下が小さく、高効率システムには好適とされる。

<p>クローズドガスタービンシステム Closed cycle gas turbine system</p>		<p>発電用ガスタービンは、オープンサイクルとクローズドサイクルに大別される。前者は、ガスタービンを出た作動流体が空気予熱器や排熱回収ボイラを経て大気に放出されるシステムであり、後者では、希ガスなどの作動流体が系内に封入されており、圧縮機を経て加熱器で昇温されタービンに導かれた後に再生熱交換器、圧縮機を経て再度加熱器に循環する。</p>
<p>セミクローズドガスタービンシステム Semi-closed cycle gas turbine system</p>		<p>前項で記載したクローズドガスタービンシステムに対し、燃焼排ガスの一部を系外に排気し、残りの排ガスを系内で循環するシステムはセミクローズドガスタービンと呼ばれる。本事業原簿記載のシステムはセミクローズドガスタービンシステムである。</p>

# 1. 事業の位置付け・必要性について

## 1. 事業の背景・目的・位置づけ

エネルギー基本計画においては、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、今後とも世界的に需要が拡大し、世界の一次エネルギーに占める割合が高くなると見込まれているが、他の化石燃料と比べ燃焼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 CO<sub>2</sub> 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 は多大な付加的エネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロスを可能な限り低減する必要がある。

2016年6月に経済産業省により策定された「次世代火力発電に係るロードマップ」において、2030年以降を見据えた取組みとして、クローズド IGCC は他の競合技術との優位性を精査しつつ、さらなる開発を進めることとしている。(図 1.1-1、1.1-3)

2020年1月に統合イノベーション戦略推進会議決定された「革新的環境イノベーション戦略」において、2050年までに CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 1,000 円/t-CO<sub>2</sub> を目指した技術開発を行い、様々な CO<sub>2</sub> 排出源に対応する分離回収能力を獲得することを目指すこととしている。(図 1.1-2)

2019年6月に経済産業省によって策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、カーボンリサイクルの共通技術として、2030年に 1,000 円台/t-CO<sub>2</sub>、2050年以降に 1,000 円以下/t-CO<sub>2</sub> をターゲットとする CO<sub>2</sub> 分離回収技術の一つとしてクローズド IGCC の技術開発を進めることとしている。(図 1.1-4)

そこで本事業では、「CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC」の要素技術開発、「次世代ガス化システム」の基盤技術開発、および、両技術を組み合わせた「CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC」の相乗効果の確認を実施する。

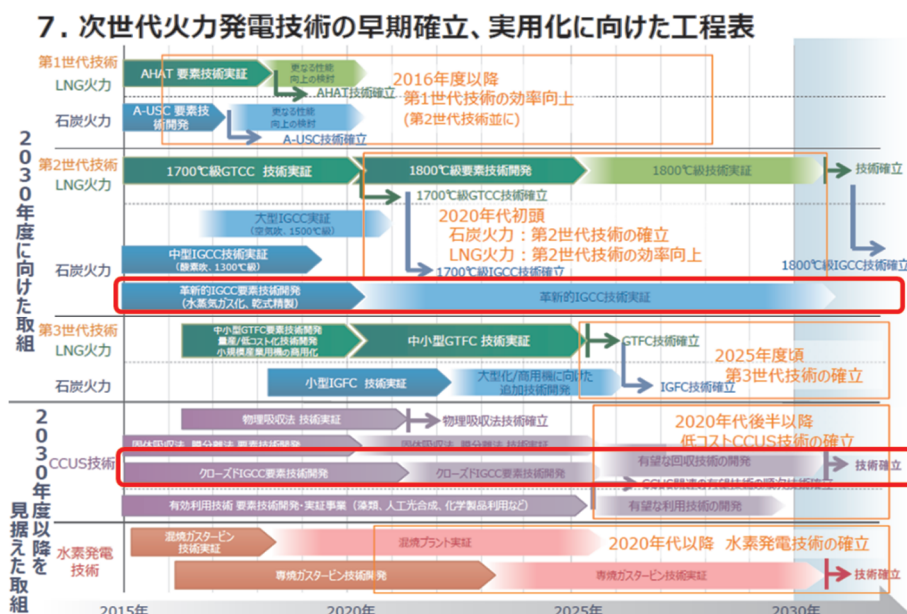


図 1.1-1 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた行程表

出典：経済産業省 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会、「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」(2016年6月)

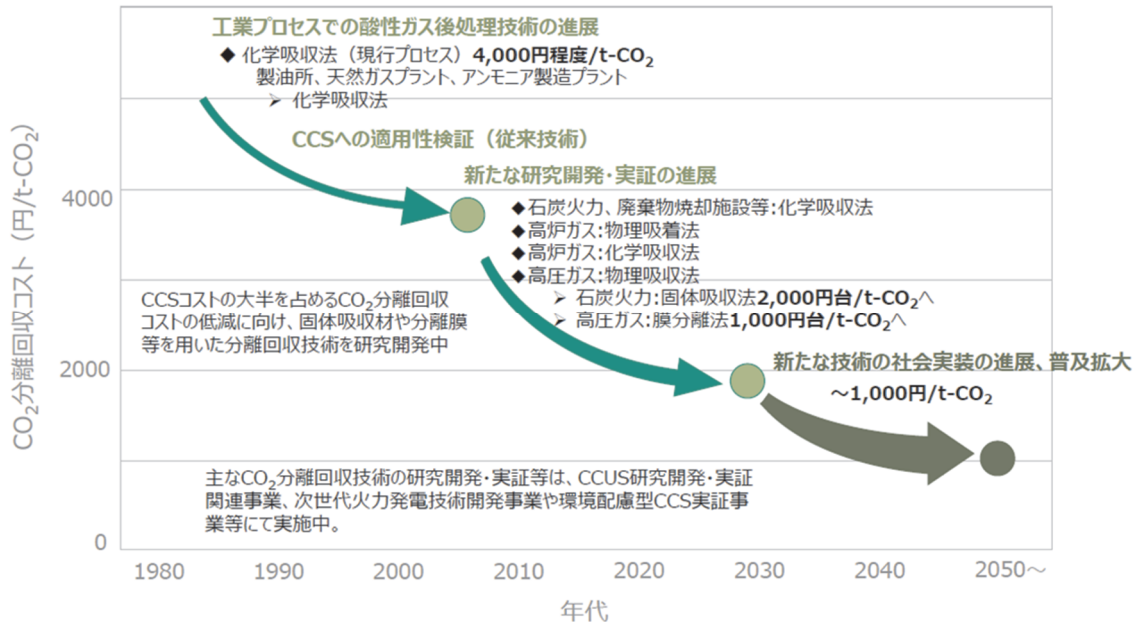


図 1.1-2 イノベーションによるコスト削減 CO<sub>2</sub> 分離回収の例  
 出典：統合イノベーション戦略推進会議決定、「革新的環境イノベーション戦略」（2020年1月）

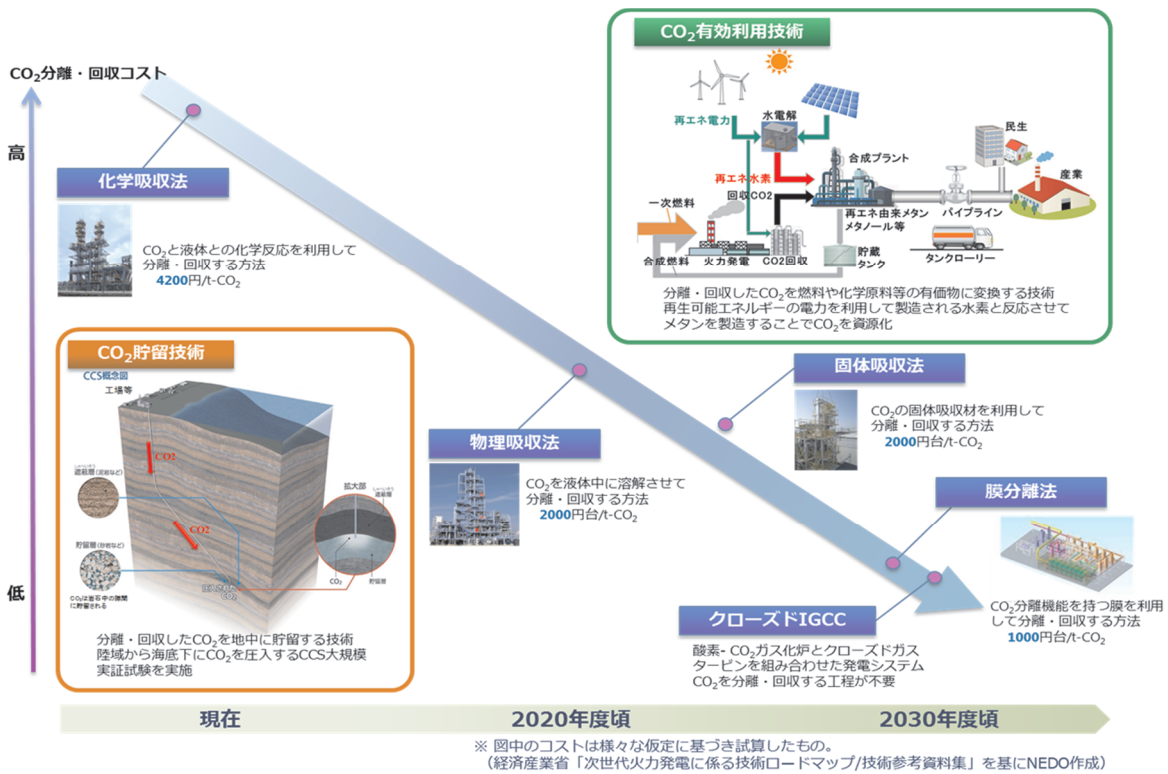
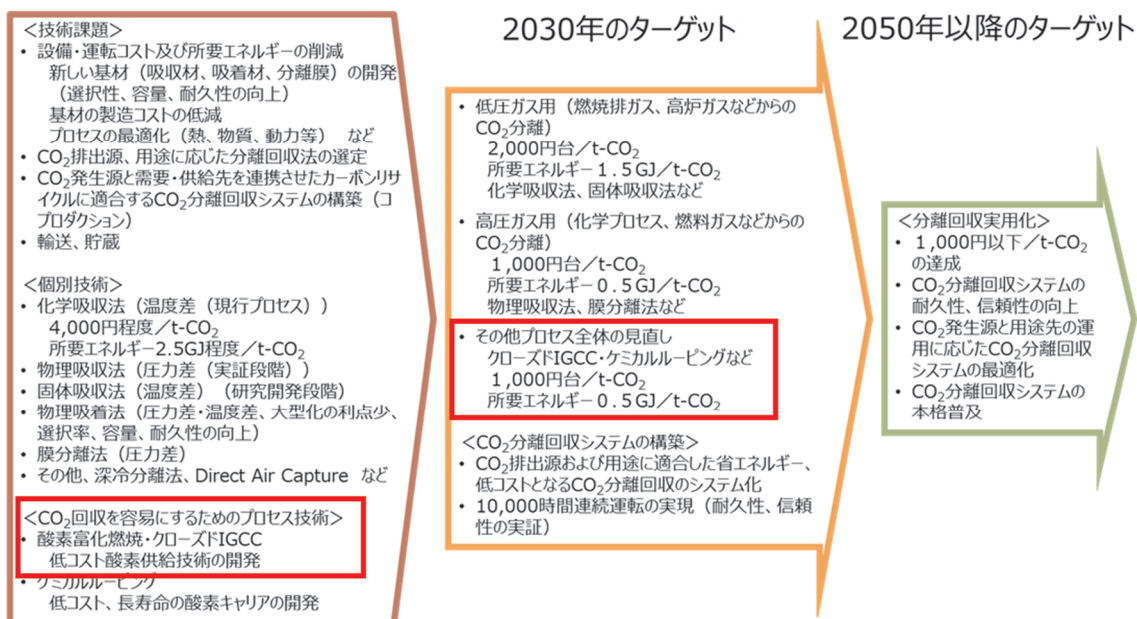


図 1.1-3 CO<sub>2</sub> 回収関連技術の開発の見通し

## 共通技術

### ● CO<sub>2</sub>分離回収技術



7

図 1.1-4 カーボンリサイクル技術ロードマップ「CO<sub>2</sub>分離回収技術」

出典：経済産業省、「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月）

## 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

「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC」は、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化、水蒸気添加、及び乾式ガス精製などを適用することにより、CO<sub>2</sub>を約100%回収しても高い発電効率が期待できるため、社会的必要性が高い。また、火力発電設備メーカーの海外競争力強化に貢献できる。

本技術開発は研究開発の難易度が高く、実用化までのリードタイムが長いことから、民間企業だけではリスクが高い。

NEDOは、大崎クールジェンプロジェクトなどのIGCC技術開発に関する知見・実績が豊富であり、マネジメント力を活かした産学連携により、事業を推進できる。

以上のことから、NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業である。

### 2.2 実施の効果（費用対効果）

① プロジェクト費用の総額（6年間）：約44億円

② ターゲット市場

#### （1）国内

2040年以降の本格導入を想定し、リプレース需要（1.5GW/年）の内、1/6についてCO<sub>2</sub>回収型次世代IGCCが導入されると試算すると、経済効果は約700億円/年となる。

※コスト等検証委員会で提示された2030年の石炭火力建設単価28.75万円/kWをベースに試算  
(1.5GW/年 × 1/6 × 28.75万円/kW = 約700億円/年)

また、従来型 CO<sub>2</sub>回収型 IGCC（送電端効率 40%）と比較し、CO<sub>2</sub>回収型次世代 IGCC（送電端効率 42.5%）は発電効率が約 2.5 ポイント向上するため、1 基（540MW 級、3,400t/日）あたりの燃料費を約 6%（約 4 億円/年）削減できる。

※一般炭 CIF 価格 8,450 円/t（2020 年 6 月）をベースに試算

（3,400t/日 × 365 日/年 × 0.7(稼働率) × 8,450 円/t × 0.06 = 約 4 億円/年）

## （2）海外

2019 年～2040 年にかけて世界全体で 687GW が新設（リプレース含む）され、その内、産炭国の多いアジア・大洋州では 24.9GW/年の見込み。

海外への展開時期は 2050 年代以降となるものの、上記の 24.9GW/年をベースに、その内 1/6 について CO<sub>2</sub>回収型次世代 IGCC が導入されると試算すると、経済効果は約 1.2 兆円/年となる。

※「World Energy Outlook2019」に記載の 2019～2040 年の新設容量を基に試算

## ③CO<sub>2</sub>削減効果の試算（国内想定）

表 1.2.2-1 のとおり CO<sub>2</sub>削減効果を試算した。

表 1.2.2-1 現行 USC との発電効率（送電端効率，HHV 以下同）および CO<sub>2</sub>排出量の比較

	発電効率	kWhあたりの CO <sub>2</sub> 排出量	CO <sub>2</sub> 排出量※2	CO <sub>2</sub> 削減量	CO <sub>2</sub> 削減割合
現行USC	40%	0.82kg/kWh	250万t/年	ベース	ベース
IGCC(1,500°C級)	46%	0.71kg/kWh	218万t/年	32万t/年	約13%
IGCC(水蒸気添加ガス化)	48%※1	0.68kg/kWh	208万t/年	42万t/年	約17%
	発電効率	kWhあたりの CO <sub>2</sub> 排出量	CO <sub>2</sub> 排出量※2	CO <sub>2</sub> 回収量	CO <sub>2</sub> 削減割合
従来型CO <sub>2</sub> 回収型IGCC	40%	0.08kg/kWh	25万t/年	225万t/年	約90%
CO <sub>2</sub> 回収型次世代IGCC	42.5%	0 kg/kWh	0万t/年	240万t/年	約100%

※1：水蒸気添加による効果のみを考慮。乾式ガス精製および酸素製造の高効率化による効果は含まず。

※2：500MW に適用された場合の排出量を試算

500MW × 8,760 時間 × 0.7（稼働率） = 3,066,000 MWh/年

現行 USC：3,066,000,000 kWh/年 × 0.82kg/kWh = 2,514,120 t-CO<sub>2</sub>/年 ≒ 250 万 t/年

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### 最終目標（2022年度）

- ・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC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。
- ・両技術の相乗効果として、2020年度までにCO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC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。

#### 目標設定根拠

- ・現時点の主力石炭火力USCの送電端効率42%を目標効率として設定し、CO<sub>2</sub>回収後も維持できることを目標として定めた。
- ・IGCCでは、ガス化炉への水蒸気注入により送電端効率が向上する可能性があるため、既存IGCCの送電端効率46～48%を凌駕できることを目標として定めた。

### 2. 事業の計画内容

#### 2.1 研究開発の内容

##### （1）本プロジェクトの概要と経緯

2015年度から「CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発」および「次世代ガス化技術開発」を進めており、2017年度の間評価結果を踏まえ、2018年度から両プロジェクトを統合し、両技術の相乗効果により更なる効率向上の見通しを得ることを最終目標に追加。（図2.2.1-1）

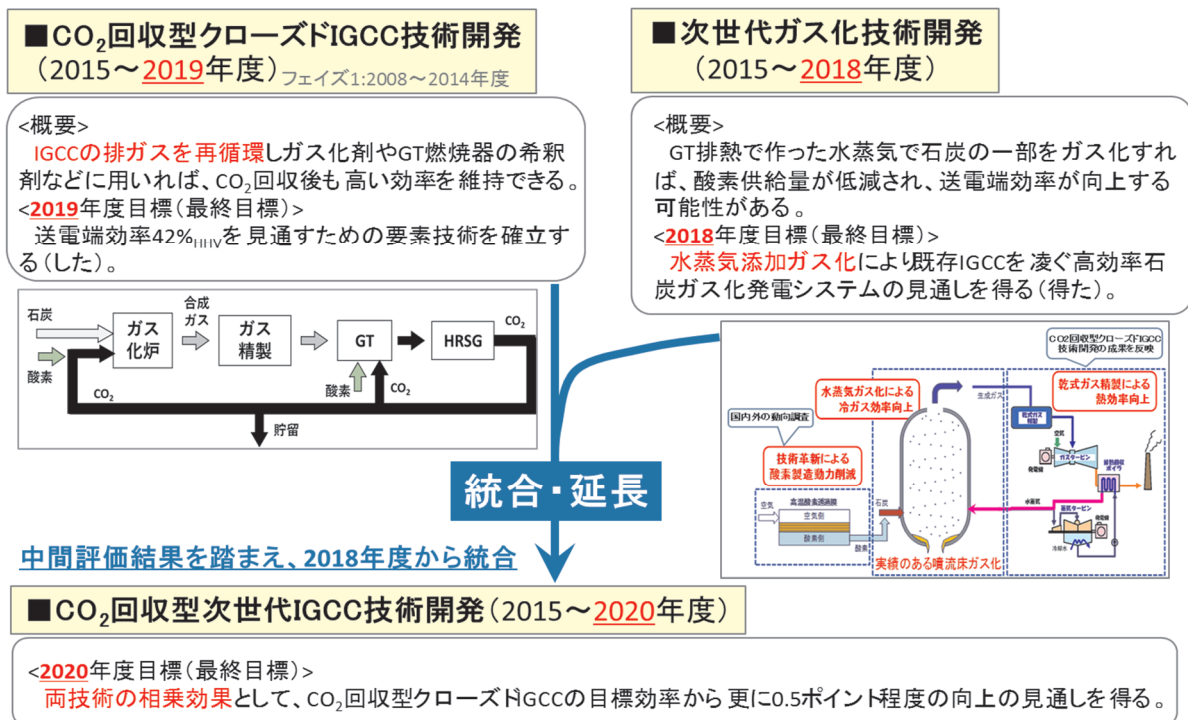


図 2.2.1-1 プロジェクトの概要と経緯

### ①CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの概要

IGCCにO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化、乾式ガス精製、セミクローズドGTを採用することにより、CO<sub>2</sub>を約100%回収後も送電端効率42%の高い効率が期待できる。(図2.2.1-2)

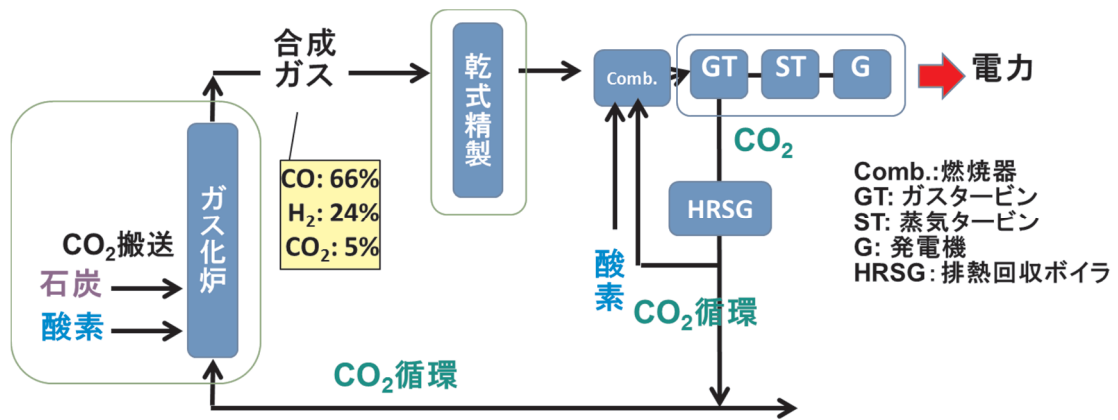


図 2.2.1-2 CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC

### ②次世代ガス化（水蒸気添加ガス化）の概要

IGCCに水蒸気添加ガス化を採用することにより、冷ガス効率の向上、送電端効率の向上が期待できる。(図2.2.1-3)

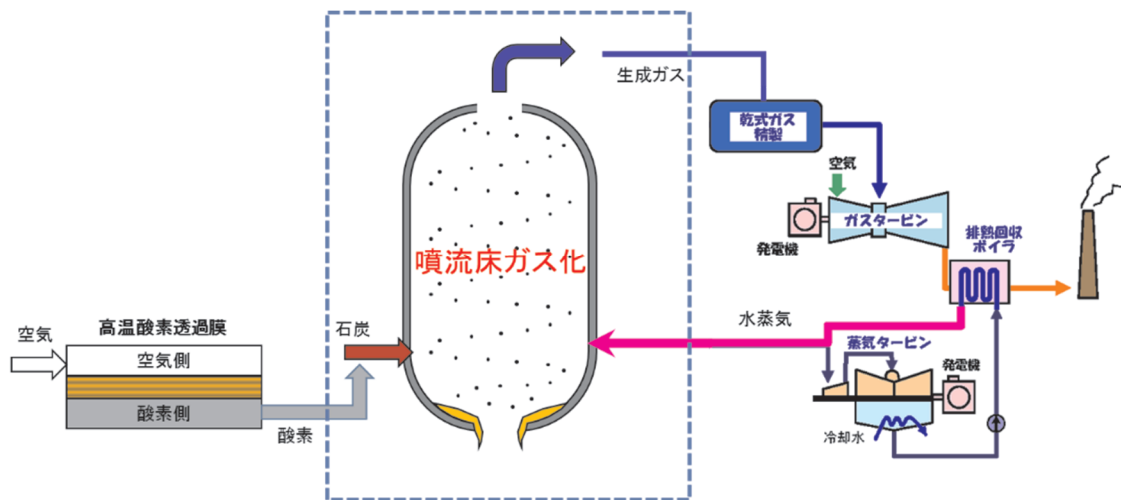
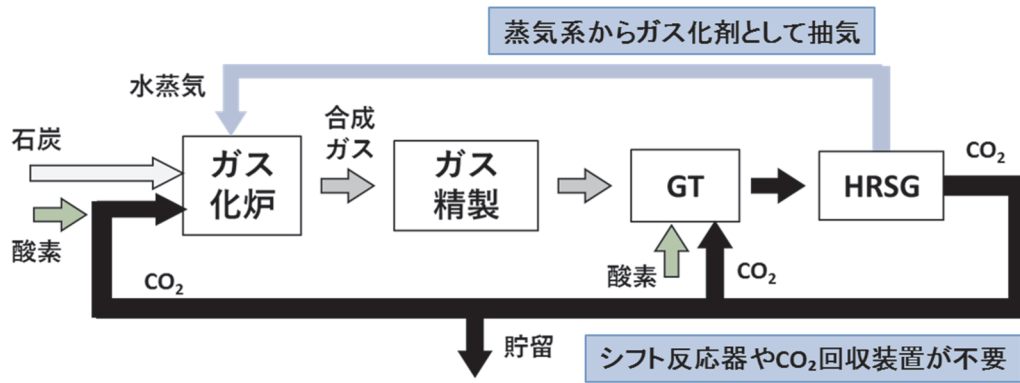


図 2.2.1-3 次世代ガス化（水蒸気添加ガス化）

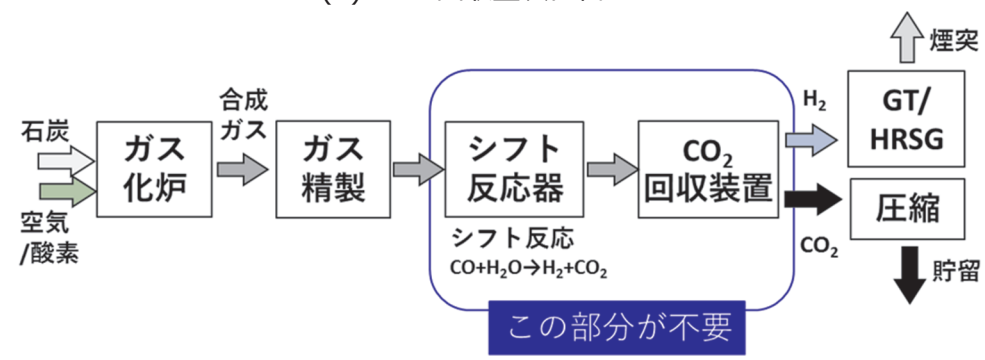
### ③CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCCの概要

CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCに水蒸気添加ガス化を適用することにより、送電端効率の更なる向上が期待できる。(図2.2.1-4)





(1) CO2回収型次世代IGCC



(2)従来型CO2回収型IGCC (参考)

図 2.2.1-4 CO2回収型次世代IGCCと従来型CO2回収型IGCCの比較

表 2.2.1-1 研究開発のスケジュールと予算

研究開発項目	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
			◇ 中間評価			◆ 事後評価	
クローズドIGCC	①O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立	50TPD炉 設備改造		ガス化試験	設計指針とりまとめ		
		3TPD炉 設備改造		ガス化試験	相乗効果評価		
	③炭種適合性評価ツールの構築	スラット生成モデル組み込みと3TPD解析による検証		炭種拡大	相乗効果評価		
		スラグ排出性評価ツール改良		高精度化			
	④乾式ガス精製システムの構築	50TPD炉用試験設備の製作		性能評価試験		装置解体調査	
3TPD炉用試験設備の製作		高圧脱硫試験評価		水蒸気添加影響評価			
⑤システム全体検討	試験装置製作		GT燃焼器基礎燃焼試験	実スケール燃焼器性能解析	設計指針とりまとめ		
	単一バーナ試験装置による排気循環燃焼試験						
	諸検討結果の次世代IGCC全体システムへの反映、効率・コスト評価						
次世代ガス化	②水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証	3TPD炉 設備改造		3TPD炉 試験(水蒸気添加)			
		リダクタ炉 設計・製作		リダクタ炉 試験(タール挙動把握、相乗効果把握)			
		商用規模ガス化炉 数値解析					

(単位：百万円)

総額	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4,434	382	1,627	952	504	684	285

## 2.2 研究開発の実施体制

### (1) CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC 技術開発 (2015~2017 年度)

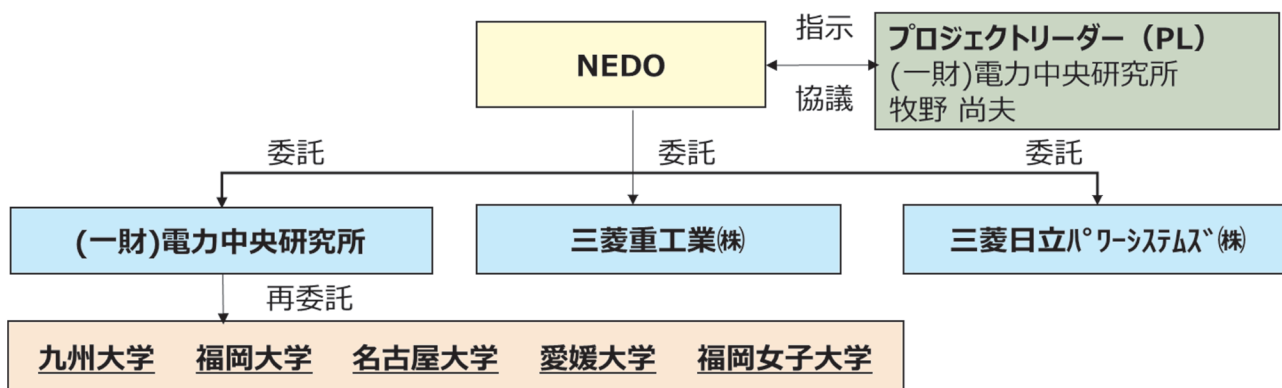


図 2.2.2-1 研究開発の実施体制 (CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC 技術開発)

### (2) 次世代ガス化システム技術開発 (2015~2017 年度)

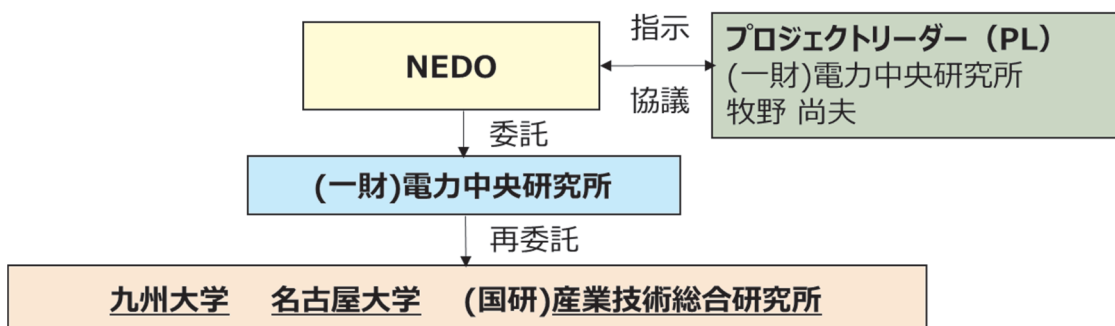
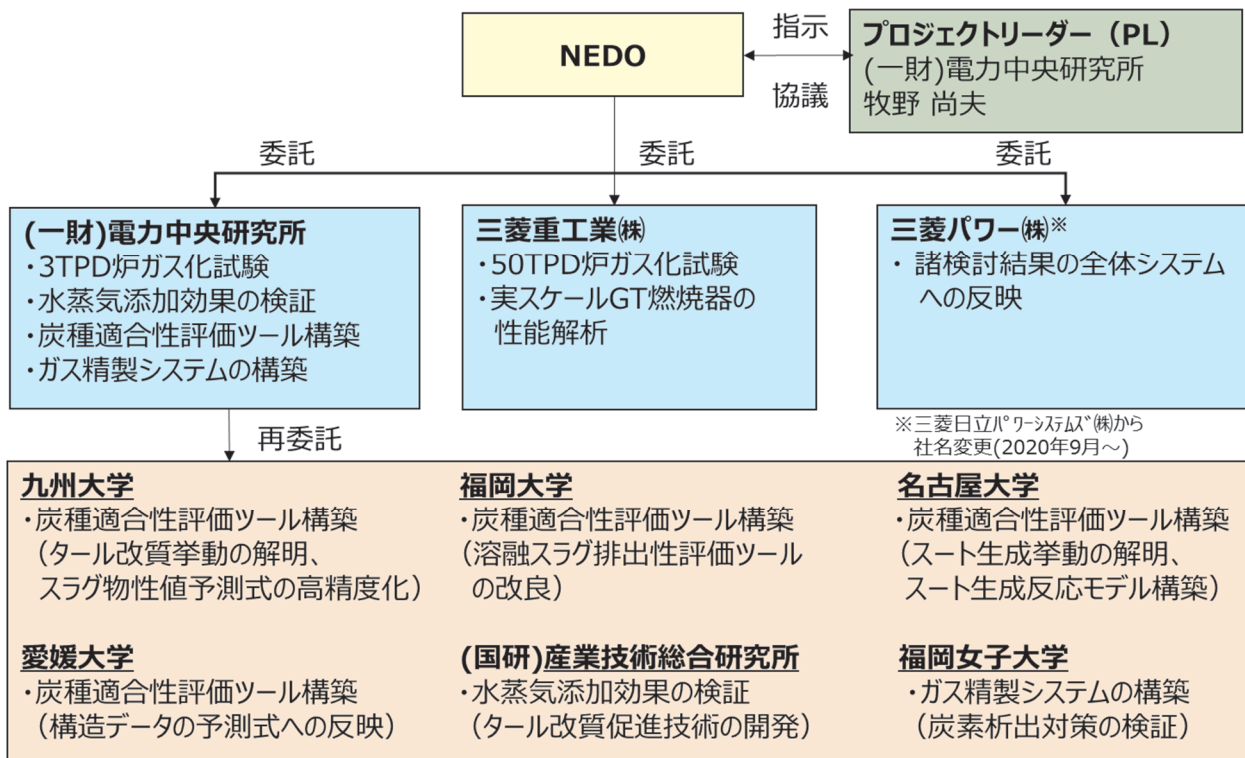


図 2.2.2-2 研究開発の実施体制 (次世代ガス化システム技術開発)

### (3) CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC 技術開発 (2018~2020 年度)



※三菱日立パワーシステムズ(株)から  
社名変更(2020年9月~)

図 2.2.2-3 研究開発の実施体制 (CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC 技術開発)

## 2.3 研究開発の運営管理

PM は、PL や実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握した。また、従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリング等により実施状況を確認し、目標達成の見通しを常に把握することに努めた。

PL は、共同実施者間での打合せや再委託先との打合せを頻繁に行うとともに、それに基づいた情報連絡会および再委託連絡会を定期的実施し、各研究開発項目の進捗状況、成果および課題を把握し、プロジェクト計画や工程に反映させた。

PM 及び PL は、本事業における O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化技術等の成果を踏まえ、産業用ガス化炉への新たな展開（ポリジェネレーションシステム）を検討した。

## 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

### （1）知的財産等に関する戦略

#### ①基本戦略

- ・ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない。
- ・知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する。

#### ②CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC

ガス化システムおよびガス化システムの運転方法、ガスタービン燃焼器および発電システムならびに不純物除去剤の再生システム等のコア技術について権利化に積極的に取り組む。

#### ③次世代ガス化システム

冷ガス効率向上のための設計手法や条件設定手法はノウハウとして保有する。ガス化炉構造の改良など設計に関わる技術については権利化に積極的に取り組む。

### （2）知的財産管理

本プロジェクトで得られた知財については、関係各機関の知財管理部門と連携し、特許管理、知財管理を進める。

「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条（委託の成果に係る知的財産権の帰属）の規定等に基づき、原則として、事業成果に関わる知的財産権は全て委託先に帰属させる。

## 3. 情勢変化への対応

事業開始（2015 年度）以降、下記のような情勢変化があり、本事業の早期実用化が引き続き重要な状況にある。

## 情勢の変化

- 2018年7月に閣議決定された「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。
- 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」の中で、2050年までの温室効果ガスの80%排出削減の実現に向けて、石炭火力発電については商用化を前提に2030年までにCCSを導入することを検討することとしている。
- 2019年6月に経済産業省によって策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」の中で、CO<sub>2</sub>分離回収技術の低コスト化として、1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を2030年のターゲットとしている。
- 2020年7月3日、梶山経済産業大臣は、非効率な石炭火力のフェードアウトや再エネの主力電源化を目指していく上で、より実効性のある新たな仕組み導入の検討を指示した。
- 2020年7月9日、第47回経協インフラ戦略会議においては、相手国から要請があった場合は、USC以上であって我が国の最先端技術を活用した環境性能がトップクラスの石炭火力発電の導入を支援することとしている。

**⇒本事業の早期実用化が引き続き重要である。**

## 4. 中間評価結果への対応

下記は、中間評価における主な指摘事項に対する対応である。

指摘	対応
1 現在主な目標が送電端効率となっているが、ある程度の目途が立った後は、連続運転等の信頼性、設備コスト、炭種適合性などを目標に加味することが望ましい。	設備コスト、炭種適合性についてはこれまでの試験にて検証中である。複数炭種で試験を行い、検証結果を <b>設計指針等に反映</b> させている。 連続運転の信頼性については、 <b>フルスペックの実証試験段階において検証</b> を行う予定。
2 全体的に主要目的の実証試験を実施するための設備改造計画が中心となっており、定量的な目標はあまり設定されていない。本格的な実証試験が開始されれば、種々のトラブルも想定されるので、速やかに試運転から本格運転が実施できる準備とモデル解析に必要な条件設定や基礎的なラボ試験による課題抽出に努力して頂きたい。	<b>定量的な目標値は送電端効率として設定</b> しており、達成するための技術開発要素を明確に設定している。クローズドIGCCは2017年度下期より50TPD炉を用いた試験を開始。これまで、 <b>シミュレーションやラボ試験の成果を踏まえ、次年度の試験条件等の検討を進めてきた</b> 。 事前に種々の予備検討を重ねた結果、 <b>試運転から本格運転に速やかに移行</b> し、所期の実証試験を実施することができた。並行して基礎検討によるサポートの準備も進めてはいたが、特にトラブルなく試験が遂行された。

	指摘	対応
3	次世代ガス化については情報発信が少ないように思われる。本技術の先進性・有効性について社会的認知を得るとともに、市場開拓に向けて積極的な情報発信をすべきである。	<p>・情報発信については、国内外の関連する技術会議を活用し<b>対外発表及び情報発信を積極的に行った</b>。2019年度には、<b>日本機械学会 動力エネルギーシステム部門 優秀講演表彰</b>を受賞（電力中央研究所 梅津宏紀）。また、<b>日本エネルギー学会 進捗賞（技術部門）</b>を受賞（電力中央研究所）した。</p> <p>・本技術の先進性・有効性については、今後<b>ユーザである電力に情報提供</b>していきたい。現在、メーカや電力中央研究所と研究を進めているが、将来的には電力を取り込んで実用化を進めたいと考えている。</p>
4	CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCC技術開発と次世代ガス化技術開発について、技術開発成果の相乗効果及び効率化の観点から両プロジェクトを統合するようコメントを受けた。	<p><b>2018年度から両プロジェクトを統合し、「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」を実施。</b></p> <p>両技術の相乗効果として、CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC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ことを目標に設定。</p>

## 5. 評価に関する事項

### (1) 中間評価（2017年度）

①評価の実施時期：2017年度

②評価手法：外部評価

③評価事務局：評価部

④評価項目・基準：標準的評価項目・基準

⑤評価委員：

分科会長：板谷 義紀 岐阜大学 大学院工学研究科 環境エネルギーシステム専攻 教授

分科会長代理：関根 泰 早稲田大学 理工学術院 先進理工学部 応用化学科 教授

委員：梅田 健司 電気事業連合会 技術開発部長

委員：清水 忠明 新潟大学 工学部 化学システム工学科 教授

委員：巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部 事業企画ユニット シニアコーディネーター

委員：中澤 治久 一般社団法人 火力原子力発電技術協会 専務理事

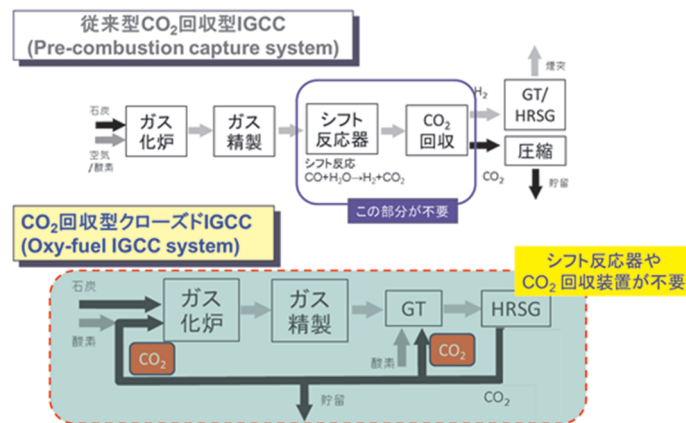
### 3. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

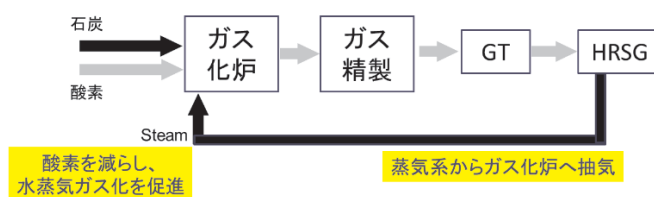
本事業では、火力発電所からの CO<sub>2</sub> 排出量を大幅に削減する革新的将来オプションとして、CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC システム(図 3.1-1(1)、クローズド IGCC)の要素技術開発に取り組んできた。本システムは、CO<sub>2</sub> を主成分とする排ガスを循環させて効果的に利用する O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹き石炭ガス化炉と、循環排ガスに O<sub>2</sub> を混合して燃焼用空気を代替するセミクローズドサイクルガスタービン(GT)を組合せたもので、CO<sub>2</sub> 回収後においても目標とする送電端効率 42% (HHV 基準) を達成できることを確認した。

一方、水蒸気添加ガス化 IGCC システム (図 3.1-1(2)) は、実績のある二段噴流床ガス化炉へガス化剤として水蒸気を添加することで冷ガス効率向上を狙うもので、2015 年度から基盤研究「次世代ガス化システム技術開発」として開発を進めてきた。2018 年度に本プロジェクトに統合された後、既存 IGCC の送電端効率を上回る見通しを得た。

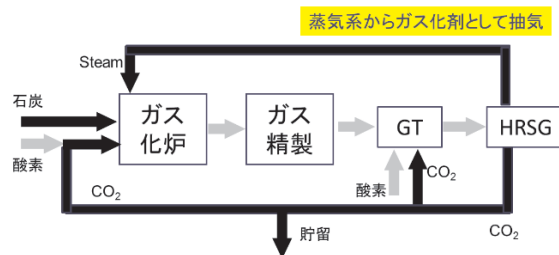
また、水蒸気添加ガス化をクローズド IGCC に組合せた CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC (図 3.1-1(3)) を対象に、その送電端効率が、クローズド IGCC の目標送電端効率を 0.5% 程度上回ること (相乗効果) の確認を進めている。



(1)CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC システム (従来型 CO<sub>2</sub>回収 IGCC システムとの比較)



(2)水蒸気添加ガス化 IGCC(次世代ガス化)システム



(3)CO<sub>2</sub>回収型次世代 IGCC システム (クローズド IGCC と水蒸気添加ガス化の統合)

図 3.1-1 開発システム概念

## 2.研究開発項目毎の成果

本事業における研究開発項目毎の目標と達成状況を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 研究開発項目毎の目標と達成状況

○達成、△達成見込み、×未達

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
<b>①O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立</b> a) 50TPD 炉ガス化試験による検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・50TPD 炉を用いた炭種変化試験を実施する。また、水蒸気添加によるデータを取得する。</li> <li>・取得データを解析して O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化炉設計指針をとりまとめる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化試験を行い、石炭性状に応じてガス化炉酸素比等を調整することで、複数の炭種に対しガス化特性（ガス組成、発熱量、スラグ排出性）を評価した。また、水蒸気添加時のデータを取得した。</li> <li>・50TPD 炉にて取得したデータを基に従来にない O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化炉設計指針をとりまとめる予定。</li> </ul>	△ (2021年2月達成予定)
b) 3TPD 炉ガス化試験による検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD 炉を用いた CO<sub>2</sub> 濃度変化試験を行う。</li> <li>・水蒸気ガス化反応促進技術を加えた相乗効果を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD 炉で O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化試験を行い、CO<sub>2</sub> 濃度増加によりガス化反応が促進されることを明らかにした。</li> <li>・3TPD 炉の O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化試験で水蒸気を添加することにより、ガス化反応が一層促進することを確認する予定。</li> </ul>	△ (2020年12月達成予定)
<b>②水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証</b> a) 3TPD 炉およびリダクタ炉による水蒸気添加効果の検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD 炉による水蒸気添加ガス化試験を行い、ガス化性能やスラグ排出性を評価する。</li> <li>・0.1TPD 規模のリダクタ炉を用いた試験により、水蒸気添加ガス化時のタール生成挙動を評価する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD 炉で複数炭種に対して水蒸気添加ガス化試験を行い、スラグの安定排出性を確保しながら、冷ガス効率を向上できる条件を明らかにした。</li> <li>・リダクタ炉を用いて水蒸気添加ガス化を想定した試験を行い、生成ガス中タール濃度のガス化条件による違いを明らかにする予定。</li> </ul>	△ (2021年2月達成予定)
b) 数値解析による水蒸気添加方法の適正化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・商用規模ガス化炉内数値解析技術を整備し、商用機ガス化炉における水蒸気添加方法の最適化を検討し、実現可能な冷ガス効率を見積もる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD 炉の三次元数値解析結果を前述②a)の水蒸気添加ガス化試験結果と比較することにより、これまでに改良を進めてきたガス化炉内三次元解析技術の妥当性を確認した。</li> <li>・商用規模ガス化炉を対象とした三次元数値解析により、水蒸気混合状況や生成ガス組成などを把握し、適切な水蒸気投入条件の設定により、高い冷ガス効率を得られることを確認した。</li> </ul>	○
c) 水蒸気添加噴流床ガス化炉におけるタール改質促進技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・残留タールの低減を図るため、接触改質反応が効果的に進む反応条件を基礎的な実験により明らかにする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水蒸気や CO<sub>2</sub> によるガス化条件、および複数の温度・圧力条件の反応実験を行い、チャー(未燃炭素粒子)の存在により、重質タールと軽質タールがともに低減することを明らかにし、この接触改質効果を予測することが可能となった。</li> </ul>	○
<b>③炭種適合性評価ツールの構築</b> a) 数値解析によるガス化炉内現象の解析精度向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化炉内数値解析について、評価可能な炭種を拡大する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化炉を想定した高温高圧下に適用可能なチャーガス化反応速度データを拡充し、数値解析コードに組み込み、瀝青炭から褐炭におよぶ9炭種について、ガス化炉内現象（組成、流速、温度の炉内分布等）を踏まえた炭種適合性評価を可能とした。</li> </ul>	△ (2021年2月達成予定)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化と水蒸気添加の組合せによる相乗効果を検討可能な数値解析コードを構築する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化と水蒸気添加の組合せによる相乗効果をガス化炉内数値解析により確認する予定。</li> </ul>	
b) 炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スラグ排出性評価ツールの解析精度向上を図るとともに、物性予測式の予測精度向上と適用炭種拡大を図る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・組成調整した模擬スラグを含む高温溶融スラグの物性実測値を蓄積することにより、適用炭種拡大と予測精度向上を図った。一方で、灰の主要元素組成から物性を予測する経験式を構築し、評価ツールに組込んだ。</li> <li>・排出性が比較的近い複数スラグの評価を想定し、両者の違いを明示できる手法を提案し、スラグ排出性評価ツールの解析精度向上を図った。</li> </ul>	○
<b>④乾式ガス精製システムの構築</b> a) 50TPD 炉ガス化ガスによる検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・50TPD 炉に乾式酸性ガス除去装置を設置し、性能評価試験を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・50TPD 炉に併設した乾式酸性ガス除去装置の長時間運転（最長 67.5 時間）を実施し、実石炭ガス化ガスを用いた乾式ハロゲン化物除去プロセスおよび乾式脱硫プロセスの性能を把握した。</li> <li>・乾式脱硫プロセスのサイクル運転時の炭素析出に関し、ハニカム脱硫剤の改良ならびにプラントでの対策として模擬燃焼排ガスを添加した場合の効果の評価した。</li> <li>・乾式酸性ガス除去装置を解体し、付着物等を調べて生成ガス中不純物に関する知見を得る予定。</li> </ul>	△ (2021 年 2 月 達成予定)
b) 3TPD 炉ガス化ガスおよび基礎試験装置による検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD 炉において高圧脱硫試験設備を用いた性能評価試験を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高 CO 濃度条件乾式ガス精製評価装置による石炭ガス化模擬ガス試験や 3TPD 炉抽気ガス試験から、乾式ハロゲン化物除去および乾式脱硫の両プロセスの基本性能を把握した。</li> <li>・プロセスの信頼性の観点から、サイクル数が増加した場合の硫黄収支や、高い圧力条件での炭素析出抑制効果などを評価した。</li> <li>・脱硫サイクル運転時の再生条件変化に伴う硫黄収支などを調べ、乾式酸性ガス除去プロセスの性能データを拡充する予定</li> </ul>	△ (2021 年 2 月 達成予定)
c) 炭素析出対策の検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構築した炭素析出対策について、速度論的な視点からの効果検証を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・速度論的な観点から、炭素の析出機構について考察し、鉄の還元によって促進される炭素析出に対して、本システムに組込んだ対策が有効に機能する要因を明らかにした。</li> </ul>	○
<b>⑤システム全体検討</b> a) 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭種やガス化条件の変化を想定した排気循環燃焼試験データを取得し、本システムの課題抽出に資する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機ガス化炉の炭種変化などを想定して燃料ガス組成を変えた排気循環燃焼試験を行い、燃料中 NH<sub>3</sub> から生成する NO<sub>x</sub> の濃度の排気循環による影響を予測可能とした。さらに、既存脱硝装置の適用によって回収 CO<sub>2</sub> の一般的な仕様基準を満たすことを明らかとした。</li> <li>・燃料ガス組成を変える燃焼試験を行い、循環ガス中 CO 濃度が回収 CO<sub>2</sub> の仕様基準を満たす当量比を把握し、実機で仕様を満たせることを明らかとした。</li> <li>・水蒸気投入を想定した試験データを拡充し、課題抽出に資する予定。</li> </ul>	△ (2021 年 2 月 達成予定)
b) 実スケール GT 燃焼器の性能解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1/3 スケールモデルでの基礎燃焼試験結果と CFD 解析により実機スケール燃焼器の性能を評価する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CFD 解析技術を 200MW 規模の実スケール燃焼器へのスケールアップ性能解析へと展開し、炭種を変化させた際の燃焼器出口のガス温度分布、ガス組成、燃焼器メタル温度を予測し、燃料の噴射角度やスワラの旋回角度、耐熱コーティング (TBC) などの対策により開発目標を満足することを確認した。</li> <li>・炭種変化において、燃焼器出口 CO 濃度の低減が可能な最適形状を決定し、設計指針に反映する予定。</li> </ul>	△ (2021 年 2 月 達成予定)



c) 諸検討結果の全体システムへの反映	<ul style="list-style-type: none"> <li>・送電端効率 42% HHV を達成可能なシステムを構築する。</li> <li>・システムにおける不純物低減対策技術の検討を実施する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各要素機器の設定条件の妥当性を確認して「現状技術で実現可能なシステム」を構築した。さらに、後述⑤d)において、詳細に送電端効率を検討する「開発要素を含むシステム」の成立性についての評価を行った。</li> <li>・システムにおける不純物低減対策技術に関する情報を収集し、本システムの構成検討に反映する予定。</li> </ul>	△ (2021年2月達成予定)
d) クローズド IGCC の性能および発電コスト試算	<ul style="list-style-type: none"> <li>・クローズド IGCC システムに水蒸気添加ガス化促進技術を適用した際の効率向上効果 (0.5%程度) を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前述③a)によるガス化炉内三次元数値解析結果や前述⑤c)などの成果を反映し、2030年代の商用化を想定した「開発要素を含むシステム」を対象に、送電端効率が目標の42%HHVを上回ることを確認し、その発電コストを評価した。</li> <li>・水蒸気添加ガス化技術を適用した際の効率向上効果を確認する予定。</li> </ul>	△ (2021年2月達成予定)
e) 次世代ガス化システムのシステム検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・商用規模水蒸気添加 IGCC システムの送電端効率を試算するとともに、発電コストを評価する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水蒸気添加ガス化 IGCC を対象に、前述②b)のガス化炉内三次元数値解析結果などを反映した効率解析を行い、水蒸気添加により効率が向上する見通しを得た。また、熱効率の向上が発電コストに及ぼす影響を評価した。</li> </ul>	○

## 2.1 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化実証と水蒸気添加効果の検証

クローズド IGCC においては、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化技術の開発が必要である。これまでの噴流床ガス化炉は O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ガス化であり、微粉炭を N<sub>2</sub> や空気で搬送しており、微粉炭を CO<sub>2</sub> で搬送した例はない。一方、水蒸気添加ガス化 IGCC では、水蒸気をガス化剤として用いる技術を開発する必要がある。炉内が高温となる酸素吹き噴流床ガス化炉では、これまで冷却用に水蒸気を利用した例はあるが、ガス化剤として効果的に活用している例はない。

そこで、MHI の酸素吹き石炭投入量 50 トン/日規模のベンチスケール石炭ガス化炉試験設備(50TPD 炉)を用いて O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化実証試験を行い、ガス化炉システムの性能を評価し、商用規模ガス化炉の設計指針を得るとともに、電中研の石炭投入量 3 トン/日規模の石炭ガス化研究炉(3TPD 炉)を用いて、実機により近い圧力 (CO<sub>2</sub> 分圧) における CO<sub>2</sub> の影響や、水蒸気添加の効果の評価した。

### 2.1.1 50TPD 石炭ガス化炉試験設備による O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化実証と設計指針確立

CO<sub>2</sub> 回収を行っても高い発電効率を達成できるクローズド IGCC における O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹き石炭ガス化炉の要素技術確立の目的を得るために、二段噴流床方式(図 3.2.1.1-1)の 50TPD 炉 (図 3.2.1.1-2) を用い、実機と同様に複数の微粉炭供給ホップを切り替えながら、搬送ガスに CO<sub>2</sub> を用いた条件においても定格の微粉炭流量にて安定搬送可能であることを確認し、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化技術を実証した。炭種変化がガス化反応性などに及ぼす影響を把握するため、性状が異なる石炭 4 種を供試し、燃料比や灰溶融点等の性状に応じてガス化炉酸素比を調整することで、複数の炭種に対する安定したガス化性能が得られる運用条件を見出し、ガス化特性 (ガス組成、発熱量、スラグ排出性) を評価した (図 3.2.1.1-3、図 3.2.1.1-4)。

また、50TPD 炉で生成した石炭ガス化ガスの一部を抽気し、クローズド IGCC で想定するガス精製システムと同じ構成の 3 塔切替式乾式ガス精製システム (電中研にて設計・製作) へ通気することで、高温高压の条件での連続ガス精製特性データを取得した。ガス精製試験については、2.4.3 項にて詳述する。

更に、水蒸気添加時の O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化特性についても取得を完了しており、これらの取得データを元に水蒸気添加運転までを想定した O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化炉設計指針をとりまとめる予定である。

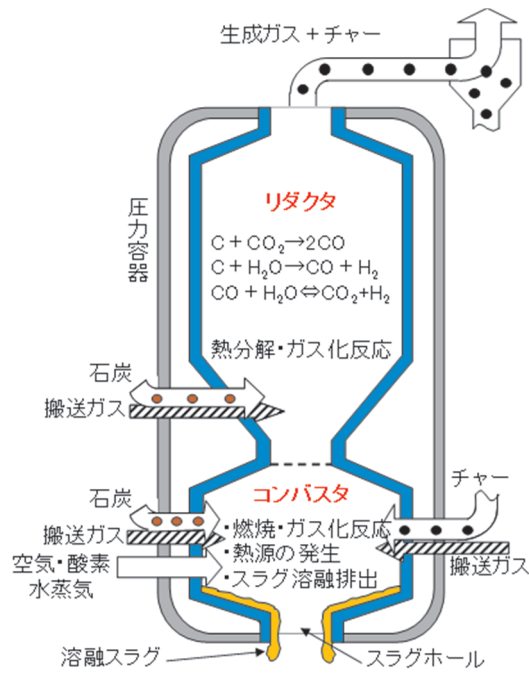


図 3.2.1.1-1 二段噴流床石炭ガス化炉の概略



図 3.2.1.1-2 50TPD 石炭ガス化炉試験設備

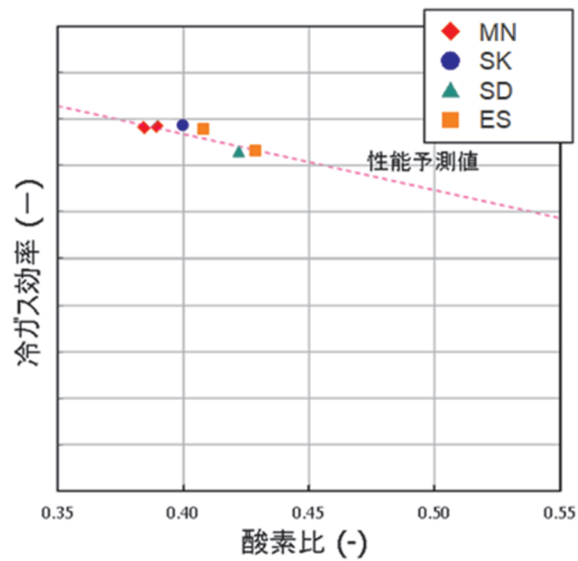


図 3.2.1.1-3 炭種変化時の O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化性能の例

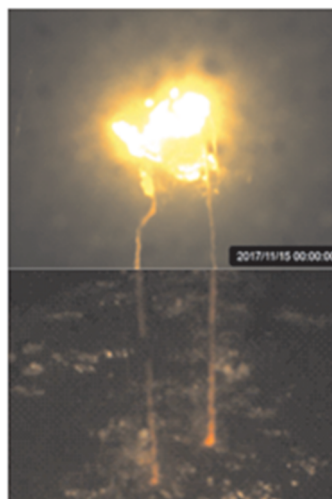


図 3.2.1.1-4 スラグ排出状況の一例

## 2.1.2 小型ガス化炉による O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化および水蒸気添加ガス化の評価

### 2.1.2.1 3TPD 炉ガス化試験による評価

3TPD 炉(炉内圧力 2MPa)では、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化条件を実現する改造を施すとともに過熱蒸気を投入可能とし、実機により近い圧力 (CO<sub>2</sub> 分圧) において、ガス化剤中 CO<sub>2</sub> がガス化特性に及ぼす影響や、水蒸気添加の効果を評価した。

#### (1) 3TPD 炉への設備追設

3TPD 炉は、酸素富化空気吹き炉(O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 吹きガス化炉)として設計された設備である。そこで、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化試験を行うにあたり、ガス化剤中 CO<sub>2</sub> 濃度の設定範囲を拡大するため、微粉炭高濃度搬送設備(図 3.2.1.2.1-1)を追設した。これにより、石炭の搬送ガスとして炉内に投入されていた大量の不活性ガスを削減でき、ガス化剤中 O<sub>2</sub> 濃度の設定範囲が広がり、「O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化試験」が可能となった(図 3.2.1.2.1-2)。

さらに、水蒸気添加によるガス化性能向上効果を検証するため、蒸気ボイラならびに電気ヒータ式の蒸気過熱器を設置し、ガス化炉内に蒸気を投入できるようにした。

#### (2) O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化(クローズド IGCC)におけるガス化特性の評価

追設した微粉炭高濃度搬送設備を用いて、以下の項目に注目して、種々の調整を行い、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化試験を行うためのガス化炉運転手法を確立した。

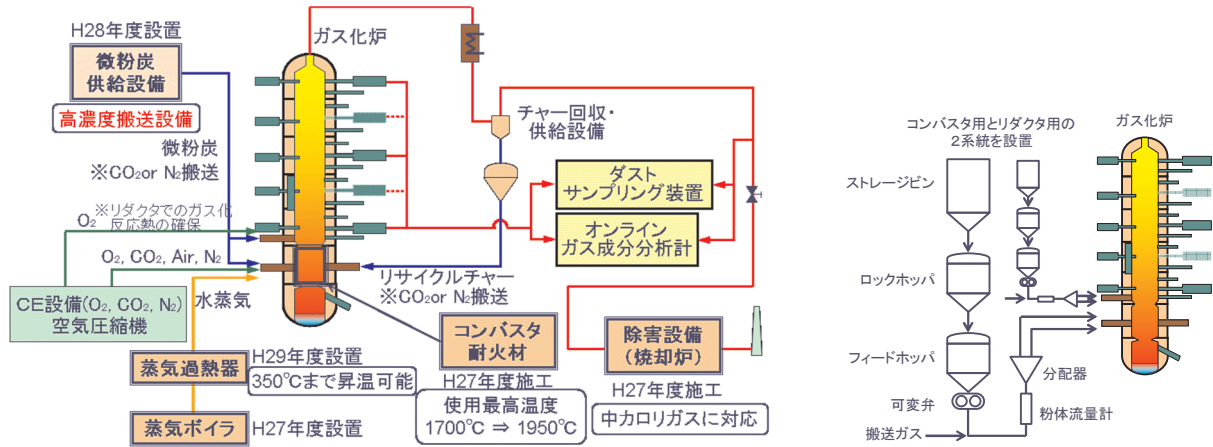
- ・搬送用ガス量の最適化
- ・複数バーナへの微粉炭等配分
- ・CO<sub>2</sub> による微粉炭の搬送特性 (従来は N<sub>2</sub> で搬送)

複数の炭種について、微粉炭搬送ガスに CO<sub>2</sub> を用いても、N<sub>2</sub> 搬送と同等な安定供給を実現したことは、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化技術の成立性を検証する上で特に有意義な成果である。

上記を反映した O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化試験により、ガス化剤中 CO<sub>2</sub> 濃度がガス化特性に及ぼす影響を評価した(図 3.2.1.2.1-3)。

まず、ガス化剤中 CO<sub>2</sub> 濃度を 29% (試番 I) から 60% (試番 II) に増加させることで(表 3.2.1.2.1-1)、CO<sub>2</sub> 濃度の増加によりガス化反応が促進され、炉内炭素転換率が向上することを明らかとした。炉内炭素転換率が

高い場合には、発生するチャー量が少ないため、運転酸素比をさらに低減できる可能性がある。そこで、炉内炭素転換率の高い O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化条件において、酸素比を下げる試験（試番Ⅲ、酸素比 0.53→0.49）を行い、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化において酸素比調整により冷ガス効率が向上することを明らかとした。



(1)3TPD 設備概要と追設設備

(2)微粉炭高濃度搬送設備概要

図 3.2.1.2.1-1 3TPD 炉へ追設した設備

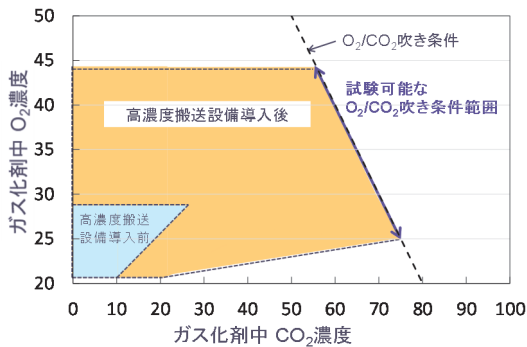


図 3.2.1.2.1-2 3TPD 炉の試験条件範囲の拡大状況

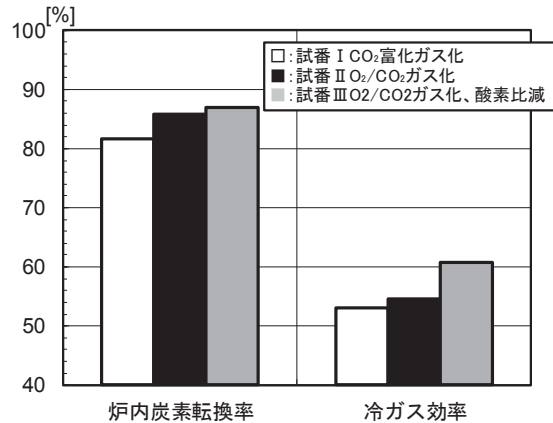


図 3.2.1.2.1-3 CO<sub>2</sub> 濃度増加による

ガス化特性への影響例

生成ガス中の炭素量

$$\text{炉内炭素転換率} = \frac{\text{生成ガス中の炭素量}}{\text{投入石炭+チャー中の炭素量}}$$

$$\text{冷ガス効率} = \frac{\text{生成ガスの高位発熱量}}{\text{投入石炭の高位発熱量}}$$

表 3.2.1.2.1-1 試験条件一覧

試番	試験目的	酸素比	ガス化剤濃度(vol%)		
			CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
I	CO <sub>2</sub> 富化ガス化 搬送ガスにCO <sub>2</sub> を利用	0.52	29	27	44
II	O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化 O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化(搬送ガス以外にもCO <sub>2</sub> 投入)	0.53	60	34	6
III	O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化：低酸素比 O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化条件で酸素比を低減	0.49	60	36	4

※コンバスタ温度が一定になるようにガス化剤のO<sub>2</sub>濃度を調整

※試番Ⅱ,ⅢのN<sub>2</sub>ガスは、機器のシールガスとして系内に混入したもの

### (3) 水蒸気添加ガス化(次世代ガス化)におけるガス化特性の評価

水蒸気をガス化剤として有効に利用する方法を確立するため、追設した蒸気ボイラならびに蒸気過熱器を用いて、 $O_2/N_2$  ガス化条件で  $350^\circ\text{C}$  の蒸気をガス化炉に投入する水蒸気添加ガス化試験を実施した。良好なスラグ排出性を確保するため、コンバスタ温度を一定に保ちつつ水蒸気を投入する条件で、複数の炭種に対して試験を行った結果、反応性が低い炭種においてガス化性能向上効果が大きいこと、また、低酸素比条件においてガス化性能の向上が顕著であることを明らかとし、水蒸気添加による冷ガス効率向上効果を評価した。

本試験結果を基に、これまでに構築してきたガス化炉内三次元数値解析技術の妥当性を確認し、システムの送電端効率を算出するための商用規模ガス化炉の運転条件検討に向けた準備を整えた(2.2.2 項に後述)。

### (4) $O_2/CO_2$ ガス化と水蒸気添加ガス化の相乗効果の検証

$O_2/N_2$  ガス化条件において水蒸気添加による冷ガス効率の向上効果が見られたことから、 $O_2/CO_2$  ガス化でも水蒸気添加により、さらにガス化反応が促進されることを検証するガス化試験を行った。 $O_2/CO_2$  ガス化と水蒸気添加ガス化を組合せた相乗効果を評価する予定である。

#### 2.1.2.2 リダクタ炉によるタール生成量の評価

二段噴流床ガス化炉の一段目のコンバスタ部は高温であるため、石炭の初期熱分解により生成したタールは迅速に分解、改質される。一方、二段目のリダクタ部では、吸熱反応であるガス化反応が進むためにコンバスタ部よりも温度が低下する。特に水蒸気などによりガス化反応が促進される条件では、吸熱反応の増大によりリダクタ内温度が低下し、生成ガス中へのタルの残留を見極める必要がある。そこで、ガス化炉内で発生するタールとガス化炉運転条件との相関を明らかにするため、リダクタ部を模擬するリダクタ模擬小型ガス化炉(リダクタ炉)を製作、設置した。

リダクタ炉では、コンバスタ出口ガスに相当する高温模擬ガスを、気体燃料の燃焼・改質反応で生成し、このガスに石炭を接触させることにより、石炭投入量  $0.1$  トン/日規模の小型炉ではあるが、熱的に自立させた。燃焼、メタン改質反応ならびに水性ガスシフト反応を組み合わせることで、コンバスタ出口ガスに相当する温度および組成の模擬ガスを作り出す条件を見出し、リダクタ炉による試験方法を確立した。石炭が熱分解、ガス化する過程で発生したタールを、サンプリングプローブで炉内から捕集し、その組成や収率の分析を進めており、ガス化条件が生成ガス中タール濃度に及ぼす影響を評価する予定である。

## 2.2 ガス化炉内三次元数値解析による商用規模ガス化炉の特性評価

本プロジェクトの前フェイズ(2008～2014 年度)では、これまでに例のない  $O_2/CO_2$  ガス化反応場に適用可能な反応モデルを構築し、これまで実機規模の酸素富化空気吹き石炭ガス化炉内の炉内現象(反応を含む流動状況)を評価してきた電中研の三次元数値解析コードに組み込んだ。

本プロジェクトでは、未検討炭種のチャーガス化反応データ取得(2.3.1 項に後述)による適用可能炭種のさらなる拡大などの改良を施した三次元数値解析コードにより、 $O_2/CO_2$  ガス化(クローズド IGCC)、水蒸気添加を伴う  $O_2/N_2$  ガス化(次世代ガス化システムにおける水蒸気添加ガス化)、水蒸気添加を伴う  $O_2/CO_2$  ガス化( $CO_2$  回収型次世代 IGCC)を対象としたガス化炉内の数値解析を行った。これにより、本プロジェクトの最終目的であるクローズド IGCC の送電端効率算出(2.5.4 項)、水蒸気添加ガス化 IGCC の送電端効率向上効果の確認(2.5.5 項)、両技術を組合せた  $CO_2$  回収型次世代 IGCC における送電端効率向上効果の確認(2.5.6 項)に向け、適切なガス化炉運転条件を見極めた。

### 2.2.1 $O_2/CO_2$ ガス化におけるガス化特性の評価

商用規模ガス化炉（入熱量約 1,000MW、図 3.2.2.1-1）を対象とするガス化炉内三次元数値解析を行い、炭種によるガス化特性の違いを評価した。ガス化炉の安定運転を維持する上で必要なコンバスタ温度を確保しつつ、冷ガス効率が向上するガス化炉運転条件を見極めた。図 3.2.2.1-2 に解析結果の一例を示す。

本解析結果を基に、システム効率計算（2.5.4 項に後述）を行い、クローズド IGCC の送電端効率を評価した。

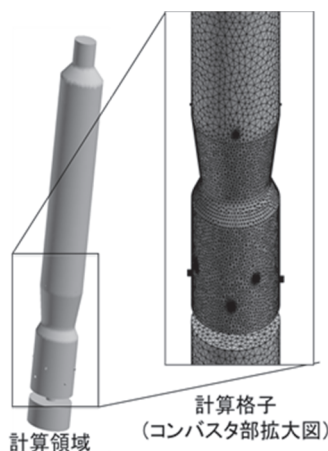


図 3.2.2.1-1 ガス化炉解析格子

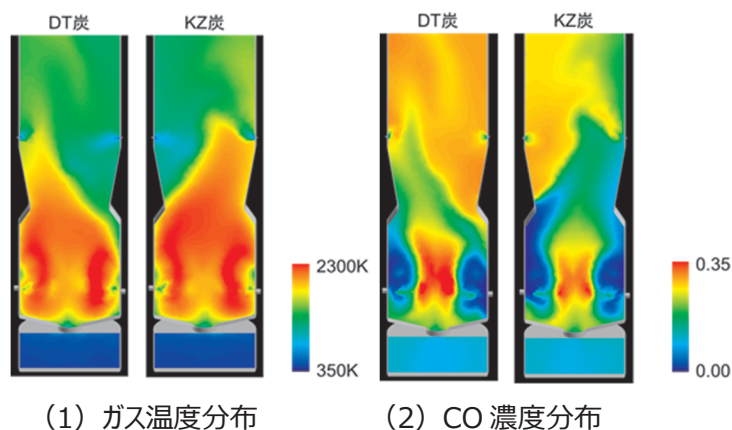


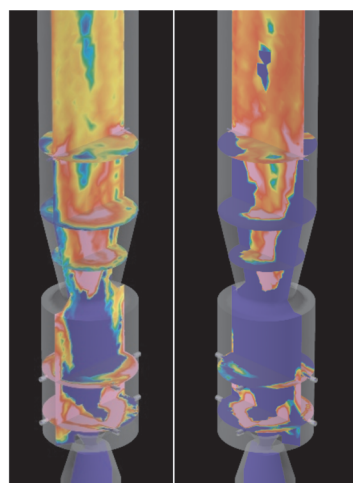
図 3.2.2.1-2 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化の三次元解析例

## 2.2.2 水蒸気添加ガス化におけるガス化特性の評価

水蒸気添加ガス化の三次元数値解析を検証するため、前述した 3TPD 炉の水蒸気添加ガス化試験条件における数値解析を実施し、試験結果（2.1.2.1 項）と比較することにより、ガス化炉内三次元数値解析の妥当性を確認した。解析結果（図 3.2.2.2-1）から、コンバスタ温度を維持しながら適切に水蒸気を添加することで、水蒸気によるガス化反応速度を増加させることができることが検証された。

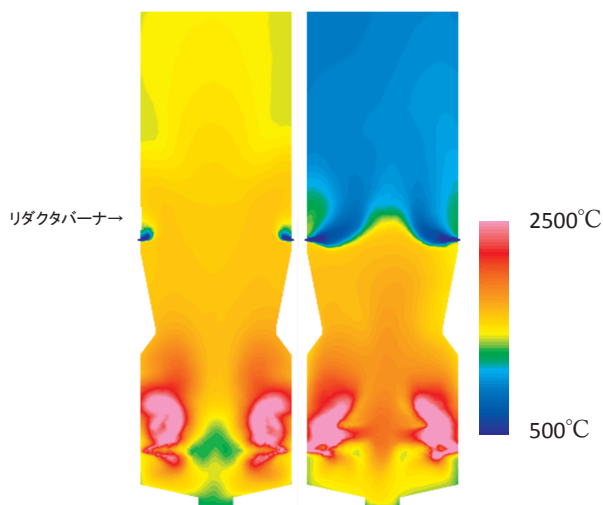
このガス化炉内三次元数値解析コードを用いて、商用規模ガス化炉（入熱量約 1,000MW）の炉内現象（組成、流速、温度の炉内分布）を解析した。その結果、基準となる水蒸気を添加しない O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ガス化条件に比べ、コンバスタ温度を維持しながら水蒸気を添加することで高い冷ガス効率が得られることが確認された。例えば、リダクタバーナ付近でみられるガス温度の大幅な低下（図 3.2.2.2-2）は、ガス化反応により顕熱が生成ガスの化学エネルギーに転換されていることを示している。これらの炉内現象を踏まえ、冷ガス効率が向上する水蒸気添加条件を見出した。

この三次元ガス化炉内数値解析結果を基に、システム効率計算（2.5.5 項に後述）を行い、水蒸気添加ガス化による効率向上効果を評価した。



水蒸気添加なし 水蒸気添加あり

図 3.2.2.2-1 3TPD 炉ガス化試験条件における水蒸気ガス化反応速度の分布（解析結果）



水蒸気添加なし 水蒸気添加あり

図 3.2.2.2-2 商用規模の水蒸気添加ガス化炉内解析結果（ガス温度分布）

### 2.2.3 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化と水蒸気添加ガス化の相乗効果の評価

クローズド IGCC の O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化に、さらに水蒸気を添加した際の相乗効果を確認するため、商用規模ガス化炉（入熱量約 1,000MW）の三次元数値解析を実施した。前述（2.2.1 項）の水蒸気を添加しない O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化条件との比較を行うことで、水蒸気添加による冷ガス効率向上効果を評価した。

本解析結果を基に、システム効率計算（2.5.6 項に後述）を行い、両技術の組合せによる相乗効果を評価する予定である。

## 2.3 ガス化炉三次元数値解析の精度向上

### 2.3.1 チャーガス化反応モデルの炭種適合性拡大

これまでに開発してきた三次元ガス化炉内数値解析コードを用いて炭種適合性評価を行う上で、石炭のガス化反応（図 3.2.3.1-1）に関わる情報が不可欠である。そこで、前フェイズでは 4 炭種を対象に O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化反応場に拡張可能な反応モデル（初期熱分解モデル、チャーガス化反応モデル、気相反応モデル）を構築した。

本プロジェクトでは、特に重要なチャーガス化反応モデルに関して、前フェイズでは未検討の新規 5 炭種について加圧型 Drop Tube Furnace（PDTF、図 3.2.3.1-2）を用いて、噴流床ガス化炉内に相当する高温・加圧条件におけるガス化反応実験を行った。解析したチャーガス化反応速度式をガス化炉内三次元数値解析コードに組み込むことにより、商用規模ガス化炉におけるガス化特性を数値解析で評価可能な範囲を、瀝青炭から褐炭に至る幅広い性状の 9 炭種に拡張した(図 3.2.3.1-3)。

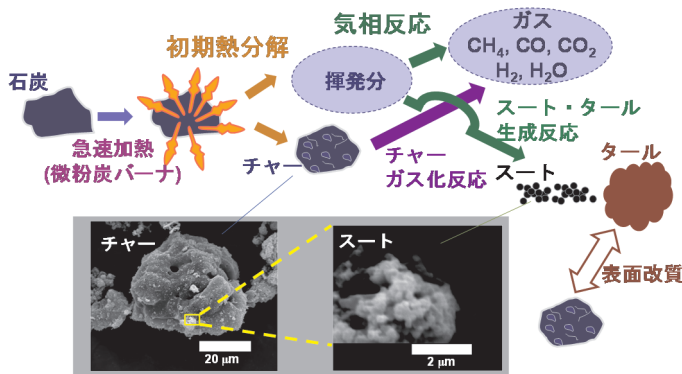


図 3.2.3.1-1 石炭のガス化炉内での反応

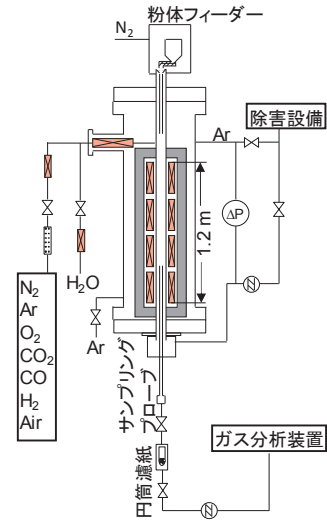


図 3.2.3.1-2 PDTF 設備概要

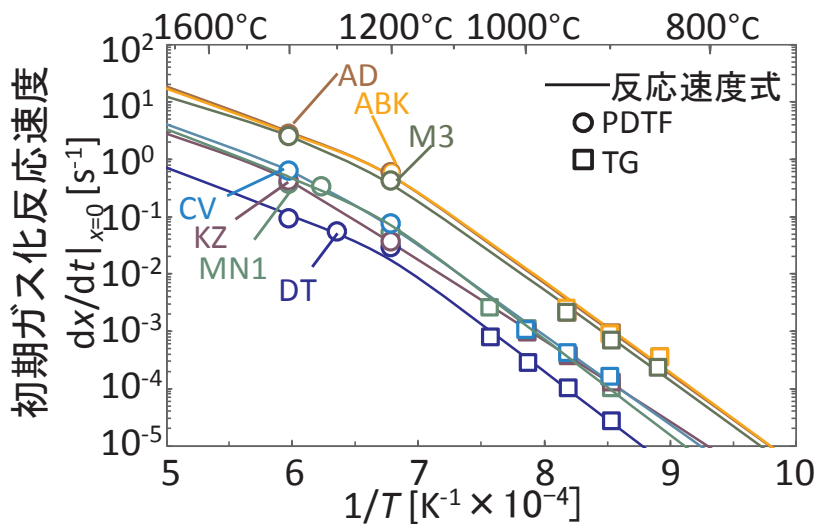


図 3.2.3.1-3 チャーガス化反応速度の温度依存性の例  
(TG: 熱天秤装置による低温度域のデータ)

### 2.3.2 スト生成／タール改質モデルの開発

噴流床ガス化炉内で放出された揮発分の一部はストに移行する（図 3.2.3.1-1）。スト生成モデルを高度化しスト生成量を精度良く見積もることができれば、ガス化炉内三次元数値解析の精度を向上できる。また、ガス化炉に水蒸気を投入する場合、炉内温度が低下してタールが改質されず噴流床ガス化炉でもタールの一部が残留する可能性があるため、タール改質モデルの構築が必要である。そこで、スト生成とタール改質の両モデルを導入して数値解析コードを拡張し、 $O_2/CO_2$  ガス化と水蒸気添加ガス化の双方に対応させ、両者の組合せによるガス化炉内現象の変化、さらには相乗効果としての送電端効率の向上度合いを精度よく評価することを目指してきた。

前フェイズではストの生成機構に関わる初期熱分解モデルとスト前駆体までの気相反応モデルを開発し、三次元ガス化炉内数値解析コードに組み込み、基礎的な解析によりその適合性を検証した。本プロジェクトでは、スト生成までを含む気相反応モデルと、チャーによりタールが改質される接触改質反応モデルを開発した。本モデルを組み込むことで、三次元ガス化炉内数値解析の精度を向上させる予定である。



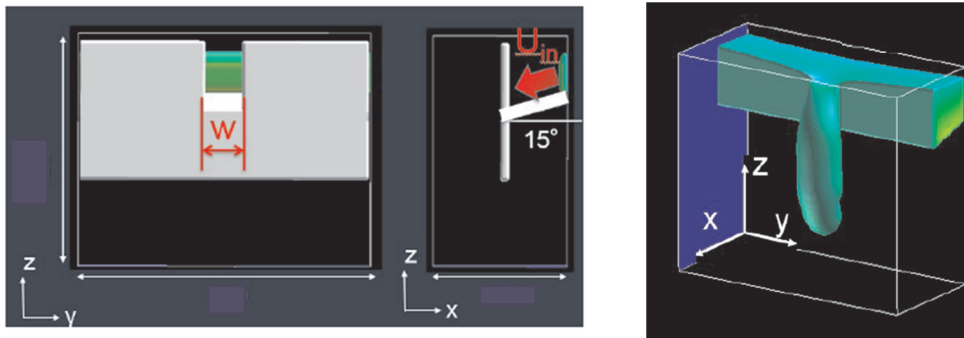
### 2.3.3 ガス化炉に関するその他の取組

#### (1) 炭種適合性評価のためのスラグ排出性評価ツール構築

本システムが採用する噴流床ガス化炉では、石炭に含まれる灰分を高温の炉内から溶融スラグとして排出させるため、溶融スラグの流動性を基に、安定運転が可能な炭種かどうかを事前に見極めることが望ましい。しかし、 $O_2/CO_2$  ガス化に限らず、新規炭種のスラグ排出性を事前に予測・評価する手法はまだ十分には確立されていない。

本プロジェクトでは、前フェイズで構築した溶融スラグの流動特性を予測するスラグ排出性評価ツールに対し、ガス化炉の実際の形状を反映し、より実用的なツールに改良した（図 3.2.3.3-1）。さらに、粘度が近い異なるスラグの排出性を、流下スラグ層の断面内における粘度分布の違いから比較する手法を構築することで、本ツールの評価精度を向上させた。

本評価ツールに必要な高温溶融スラグ諸物性（粘度、表面張力、密度）については、ガス化炉で採取した実スラグに加え、主要成分の組成を体系的に変化させた模擬スラグについても実測し、データを蓄積することにより、適用炭種拡大と予測精度の向上を図った（図 3.2.3.3-2）。一方で、灰の主要元素組成から、解析に必要な物性値（粘度、表面張力、密度）の温度依存性を予測する経験式を構築し、スラグ排出性評価ツールに組み込むことにより、一般的な分析データから新規炭種のスラグ排出性を事前に予測・評価できるツールに改良した。



(1) 3TPD 炉の炉底を想定した解析領域 (2) スラグ流動の予測例

図 3.2.3.3-1 高温溶融スラグ排出性評価ツールによるスラグ流動の解析

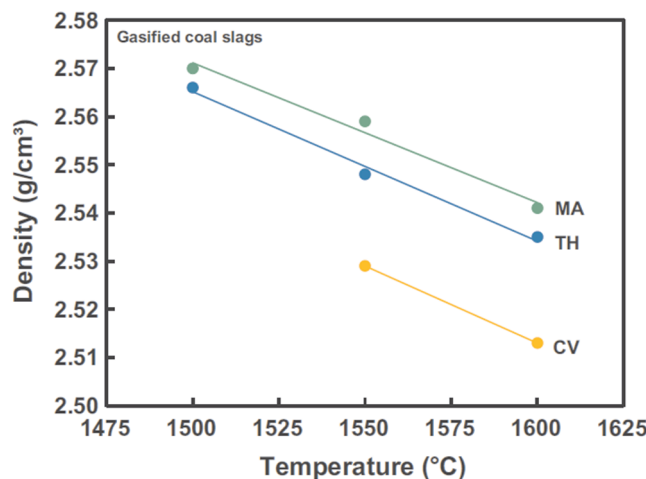


図 3.2.3.3-2 溶融スラグ物性（密度）の実測例

## (2) チャー表面におけるタール改質促進技術の開発

水蒸気添加ガス化により冷ガス効率を向上させる上で、酸素比を低減した際に残留するタールを抑制することが有効と考えられるため、タールを抑制する一つの方法としてタール改質促進技術を開発することとした。チャー表面におけるタールの接触改質を試みるため、石炭と同時にチャーも供給することで、チャーの存在がタール収率へ及ぼす影響を把握できる Drop Tube Reactor を新たに製作した。チャー表面の細孔でタールが改質され、タール収率を大幅に低減できることを確認し(図 3.2.3.3-4)、水蒸気や CO<sub>2</sub> の存在の有無、温度や圧力を変えた一連の実験から、チャー表面における接触改質効果を予測可能とした。

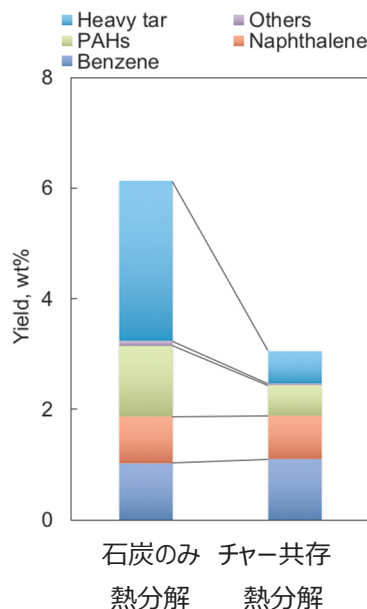


図 3.2.3.3-3 タール改質実験結果の一例

## 2.4 セミクローズドサイクルにおける乾式ガス精製システムの構築

乾式ガス精製システムは高温、高圧で硫黄化合物やハロゲン化合物を除去できるので、生成ガスの顕熱や圧力が維持されるとともに、生成ガス中の水蒸気の凝縮が起きずガス流量が減少しないという特徴を有する。既存の IGCC が採用している湿式ガス精製システムと置き換えれば、熱効率が約 2% 向上すると試算されている。本プロジェクトで開発するクローズド IGCC システムの目標とする発電効率を達成するためにも、乾式ガス精製システムの開発は重要な技術要素である。

本プロジェクトでは、前述した O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹き 50TPD 炉(炉内圧力約 1MPa)から抽気したガス化ガスにより、実機と同等のプロセス構成を想定した 3 塔式の乾式脱硫プロセスを含む乾式ガス精製システムの性能、ならびに運転操作性を検証した。具体的には生成ガス処理量 7 Nm<sup>3</sup>/h の乾式酸性ガス除去評価装置を設置して、約 68 時間の石炭ガス化実ガス連続精製試験などを行い、システムの性能や運転操作性等の検証に加えて大型化に必要な運転・設計データを取得した。

上記の実ガス試験と並行して、乾式ガス精製システムの構築に向けて必要となるバックアップデータを取得した。O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化炉の生成ガスでは CO 濃度が極めて高くなることから、ガス温度の低下に伴い炭素析出が起きる可能性がある。生成ガス温度 450℃での運転を想定している乾式脱硫プロセスにおいて、ハニカム脱硫剤の触媒効果による顕著な炭素析出と脱硫性能の低下が懸念された。前フェイズでは最も有効な対策として、プラント系内に循環させている GT 燃焼排ガスのうち、わずかな割合を乾式ガス精製システムの上流で添加する方法を立案した。この対策については、基礎試験装置により 1MPa 未満の圧力において、既に炭素析出を抑制できることを確認している。本プロジェクトでは、実機で想定されるさらに高い圧力における抑制効果を確認するため、脱硫剤の改良により炭素析出

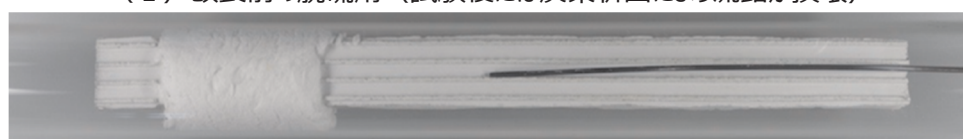
耐性の向上を図ると共に、基礎試験装置や高圧脱硫設備(炉内圧力 2MPa の 3TPD 炉に設置)を用いた脱硫剤性能や炭素析出抑制効果の評価を進めた。

### 2.4.1 乾式ガス精製システムにおける炭素析出対策の評価

前フェイズで開発した改良型脱硫剤の炭素析出耐性を評価した。ガス化炉起動時を想定し GT 燃焼排ガスを循環できない厳しい条件で比較すると、改良前の脱硫剤が図 3.2.4.1-1(1)のように炭素析出により損壊して性能が低下したのに対し、改良型の脱硫剤には顕著な炭素析出は見られず、その脱硫性能も低下しないことが明らかとなった(図 3.2.4.1-1(2)、図 3.2.4.1-2)。

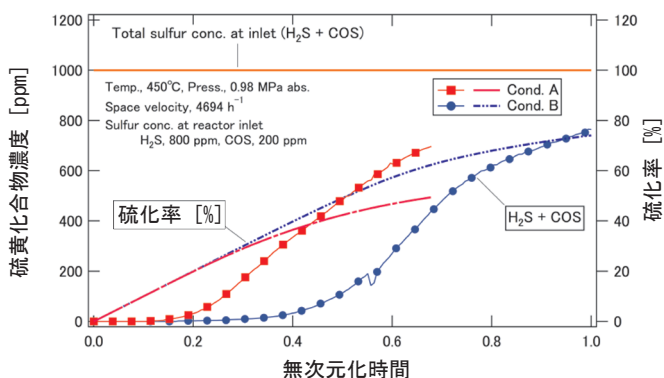


(1) 改良前の脱硫剤 (試験後には炭素析出により流路が損壊)

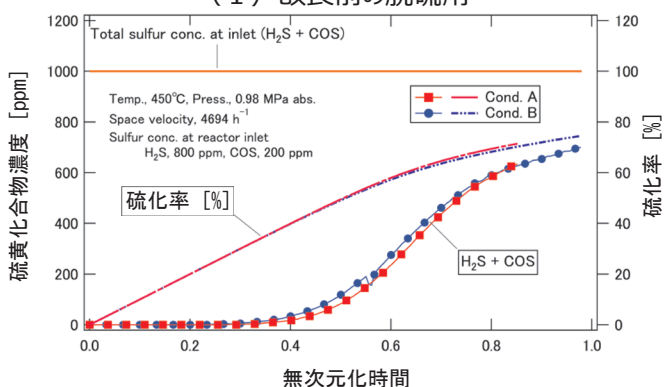


(2) 改良後の脱硫剤 (上写真と同一条件で試験後も健全)

図 3.2.4.1-1 炭素析出耐性の高い脱硫剤の開発状況



(1) 改良前の脱硫剤



(2) 改良後の脱硫剤

図 3.2.4.1-2 改良による脱硫性能の向上

(改良型脱硫剤では、改良前脱硫剤で炭素が析出した厳しい条件 (Cond.A : 析出領域) でも、炭素が析出せず、非析出領域 (Cond.B) と同等の良好な脱硫性能が得られた)

## 2.4.2 3TPD 炉および基礎試験装置による評価

実機運転条件により近い約 2MPa の高圧条件で脱硫剤の性能を評価できる試験装置を設置し(図 3.2.4.2-1)、3TPD 炉から抽気したガス化ガスを用いた高圧脱硫試験を行い、脱硫性能における圧力影響を把握するとともに、炭素析出対策の効果を確認した(図 3.2.4.2-2)。

また、脱硫サイクル運転時の性能安定性を評価するため、基礎試験装置(高 CO 濃度条件乾式ガス精製評価装置)を用いて 20 サイクルにわたる脱硫サイクル繰り返し試験を実施した。サイクル運転を重ねた時の硫黄収支や脱硫サイクル性能の安定性を評価することにより、改良脱硫剤を乾式脱硫プロセスに適用した場合の信頼性を確認した。

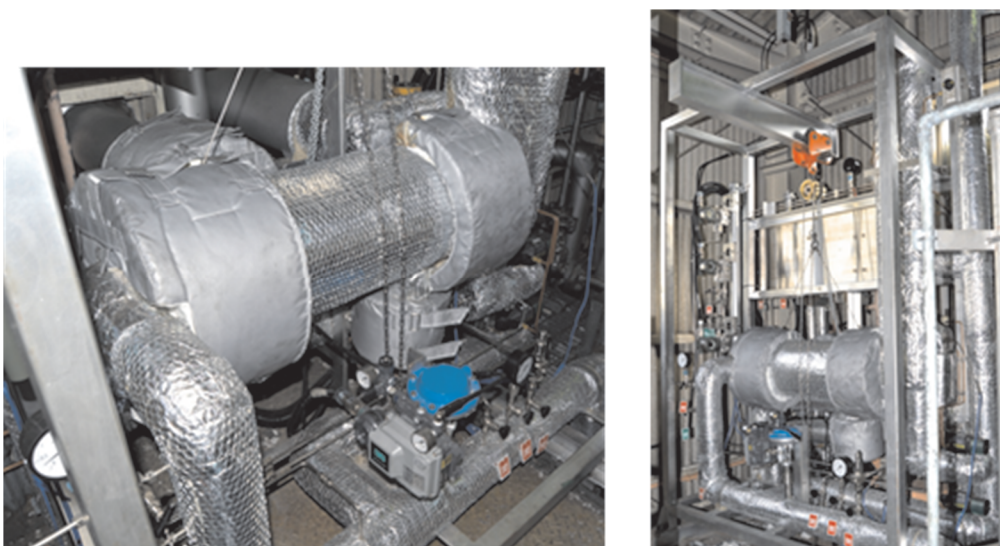


図 3.2.4.2-1 高圧試験設備外観

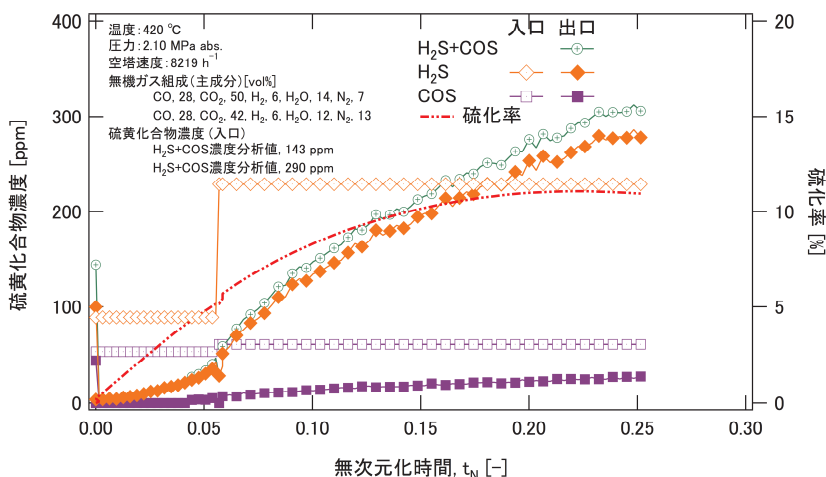


図 3.2.4.2-2 高圧試験結果の一例

## 2.4.3 50TPD 炉による乾式酸性ガス除去プロセスの評価

乾式酸性ガス除去プロセスは、上流に設置した除去ユニットによるハロゲン化物の連続除去と、下流の 3 塔切り替え式の固定床脱硫ユニットにおける脱硫、還元、再生の三工程の繰り返しによる硫黄分の連続除去とを組み合わせたシステム構成となっている(図 3.2.4.3-1)。

本プロセスの実用化に向けて、各除去ユニットの性能実証だけでなく、改良した脱硫剤の信頼性やプロセスの運転操作性に関する実証的な試験とプロセスの大型化に向けた設計データの取得が必要である。そのため、前述した

50TPD 炉と連携運転可能な乾式酸性ガス除去評価装置(図 3.2.4.3-2)を設置し、石炭ガス化実ガスを用いた連続運転試験を行った。

約 48 時間にわたる連続試験により、脱硫剤の信頼性の観点から燃焼排ガスの模擬ガス添加による炭素析出の抑止効果の検証、脱硫サイクル繰り返し性能、および固定床 3 塔の切り替え操作を含む運転操作性の実証を行い、本プロセスの成立性を検証した(図 3.2.4.3-3)。さらに、高硫黄負荷条件における最長約 68 時間の連続ガス化炉連携試験において、脱硫サイクルにおける脱硫の反応速度や再生特性として硫黄収支に係るデータも収集し、設備大型化に向けた設計に反映できる知見も取得した。

今後は、乾式酸性ガス除去評価装置を解体し、不純物付着状況などの基礎データも取得する予定である。

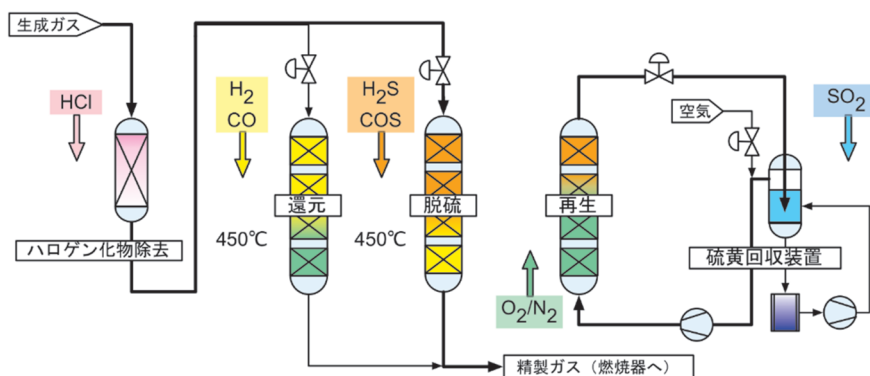
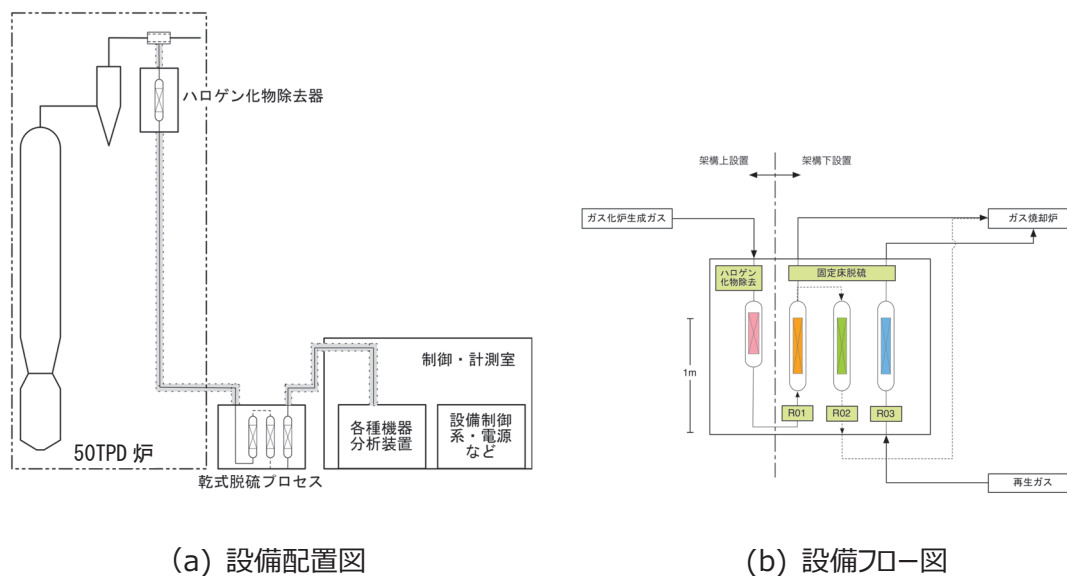


図 3.2.4.3-1 ハロゲン化物除去と固定床 3 塔方式乾式脱硫プロセスのコンセプト



(a) 設備配置図

(b) 設備フロー図

図 3.2.4.3-2 乾式酸性ガス除去評価装置概略図

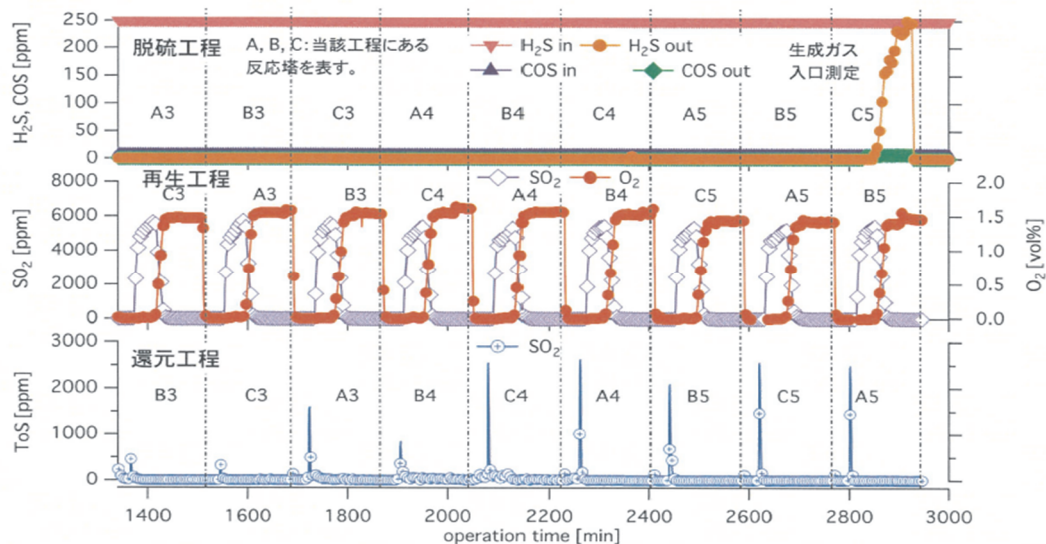


図 3.2.4.3-3 50TPD 炉試験における乾式脱硫試験結果の一例

## 2.5 システム全体検討

前節までの検討により、CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCCシステムの構成要素であるガス化炉、ガス精製の要素技術を開発した。これらを踏まえ、開発システムの送電端効率を評価するため、全体システムについて様々な検討を行った。

実機を想定し、システム各部の温度・圧力などの妥当性などから、その成立性を検討し、当該システムの送電端効率および発電コストを試算した。また、本システムに固有なセミクローズドガスタービンシステムについては、GT 燃焼器の性能解析と排ガス循環を想定した単一バーナ基礎燃焼試験を行い、全体システムの成立性検討に反映した。

### 2.5.1 実スケール GT 燃焼器の性能解析

CO<sub>2</sub>を主成分とする GT 排ガスを循環するクローズド IGCC 向け燃焼器の開発に向け、GT 基礎燃焼試験と燃焼数値解析 (CFD) により、実機スケール燃焼器の特性を評価し、循環排ガスが燃焼特性に及ぼす影響を解明するための検討を進めた。本燃焼器には、排ガス中の非凝縮性ガスを低減しつつ、投入した石炭ガス化ガスをメタル温度の制約の中で安定して完全燃焼させることが要求される。

2016 年度に設計・製作した 1/3 スケールモデル燃焼器 (図 3.2.5.1-1) と GT 基礎燃焼試験装置を用いて、2017 年度に大気圧～0.4MPa(A)までの圧力条件で基礎燃焼試験を実施し、実機燃焼器設計に必要な燃焼特性の基礎データを取得した。2018 年度は、本試験で取得した基礎燃焼試験データを基に、温度・ガス組成についての CFD 解析を実施し、圧力に対する CO 発生挙動やメタル温度分布を良好に再現できる実機燃焼特性評価手法を構築した (図 3.2.5.1-2)。更に、2019 年度に本 CFD 解析技術を 200MW 規模の実スケール燃焼器へのスケールアップ性能解析へと展開した。炭種 (燃料ガス組成) を変化させた際の燃焼器出口でのガス温度分布、ガス組成 (O<sub>2</sub>、CO 等)、燃焼器のメタル温度を予測した (図 3.2.5.1-3)。燃料の噴射角度や酸化剤スワラの旋回角度、耐熱コーティング (TBC) などの対策により開発目標を満足する最適な燃焼器形状を見出し、2020 年度にこの燃焼器形状を設計指針に反映した。

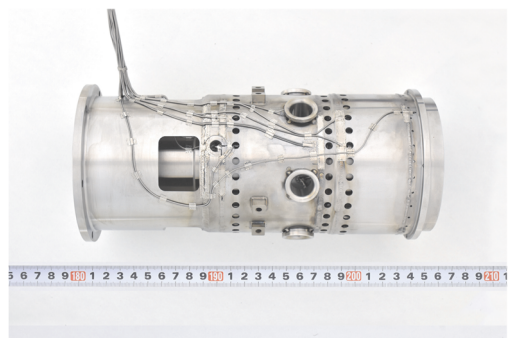
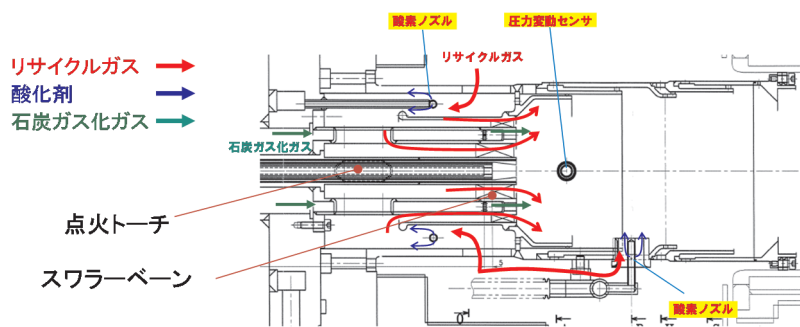
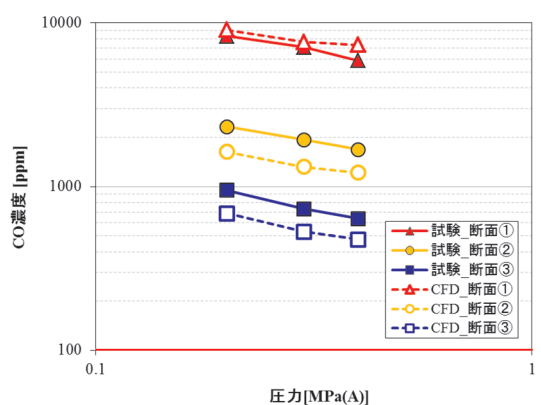
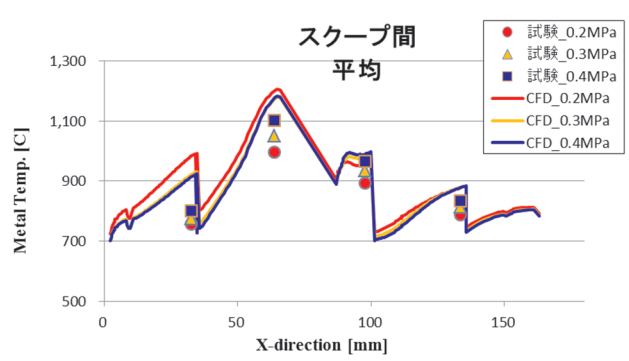


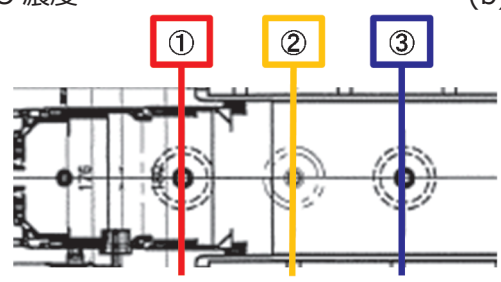
図 3.2.5.1-1 GT 基礎燃焼試験装置供試体燃焼器 (スケール比 1/3)



(a) 燃焼器出口 CO 濃度

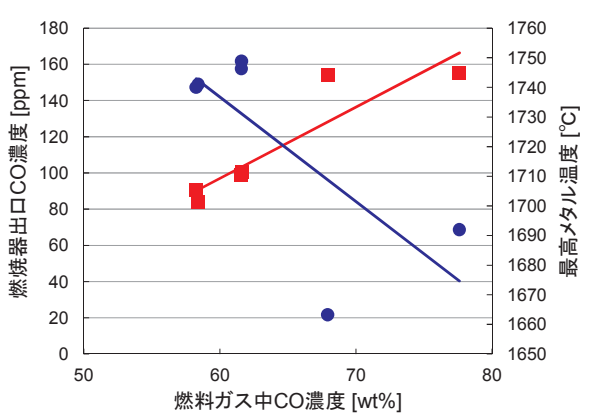


(b) 壁面メタル温度

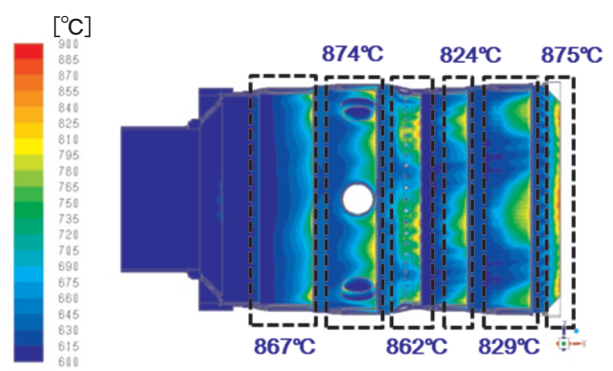


(c) 計測断面位置

図 3.2.5.1-2 1/3 スケールモデル燃焼器の CFD 解析結果と基礎燃焼試験データの比較



(a) 炭種変化時の燃焼器出口 CO 濃度



(b) 壁面メタル温度分布

図 3.2.5.1-3 実スケール燃焼器の CFD 解析結果例

## 2.5.2 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出

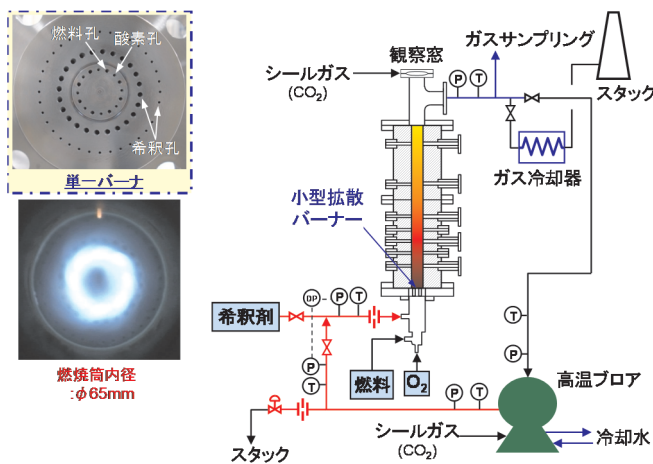
本システムは排気循環型のセミクロードサイクルGTを採用するため、燃料や酸素中に含まれる不純物の循環ガス組成への影響を確認するとともに一般的な回収CO<sub>2</sub>の仕様基準との対比により、システム全体における課題を抽出する必要がある。そのため、実験条件設定範囲の広い単一バーナ基礎燃焼試験装置に排気循環ループを追設して(図3.2.5.2-1)、基礎燃焼試験とともに、実際に排気循環燃焼試験を行い、ガス循環が燃焼排ガス組成へ及ぼす影響を評価した。

基礎燃焼試験の結果、循環CO<sub>2</sub>ガス中の不純物のうち、NO<sub>x</sub>は燃料中NH<sub>3</sub>に起因して生成され、その排出量は燃料中NH<sub>3</sub>濃度、CH<sub>4</sub>濃度など、燃料組成の影響を受けることが確認された。また、排気循環を想定して排出NO<sub>x</sub>とほぼ同量のNOを希釈剤に添加した試験を行い、今回の試験条件の範囲ではNO<sub>x</sub>濃度の低減に繋がる希釈剤中NO(Recycle NO)と燃料中NH<sub>3</sub>(Fuel-N)との相互作用はほとんど見られなかった。その結果、排出NO<sub>x</sub>濃度は、希釈剤に含まれるNOと燃焼生成するNO<sub>x</sub>それぞれの濃度値の合算にほぼ等しくなることが確認された(図3.2.5.2-2)。希釈剤中NO濃度を増加させた試験からは、排出NO<sub>x</sub>濃度は直線的に増加し、その傾きが1より小さいため、排気循環を想定した場合、一定値に収束する傾向があることを明らかとした(図3.2.5.2-3)。

次に、実際に排気ガスを循環させる排気循環燃焼試験を行い、燃料にNH<sub>3</sub>を添加した際、NO<sub>x</sub>濃度は短時間に一定値に収束すること(図3.2.5.2-4)を確認した。また、基礎燃焼試験で得られたNO<sub>x</sub>転換率を用いて、循環時の収束NO<sub>x</sub>濃度を概ね予測できることを明らかとし、その計算手法を構築した。

さらに、実機ガス化炉の供試炭を想定した燃料ガス(NH<sub>3</sub> = 2,700ppm)を用いた排気循環試験により、回収ガス中のNO<sub>x</sub>濃度は2000ppm以上が想定されること、天然ガス複合発電で採用されている既存脱硝装置を適用することによって回収CO<sub>2</sub>に求められる一般的な仕様基準(NO<sub>x</sub> < 100ppm)を満たせることを明らかとした。

循環ガス中CO濃度については、基礎燃焼試験と排気循環燃焼試験の結果から、NO<sub>x</sub>濃度とは異なり、循環による大きな濃度上昇は見られず、当量比のみに依存することがわかった、このことから、回収CO<sub>2</sub>に求められる一般的な仕様基準(CO < 2000ppm)を満たす当量比を確認し、実機で当該仕様を満たせる見通しを得た。



(1)系統概略図

(2)追設した排気循環ループ

図 3.2.5.2-1 単一バーナ基礎燃焼試験設備の概要



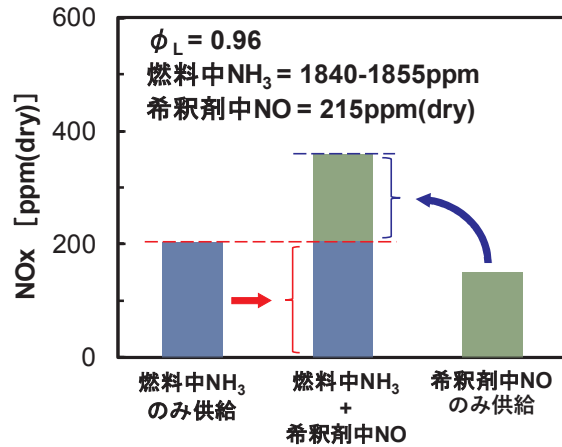
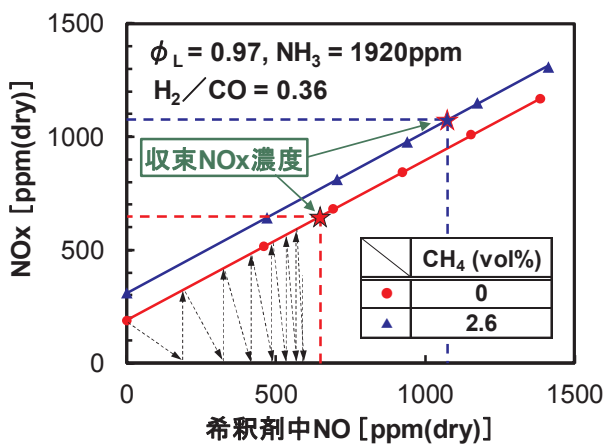
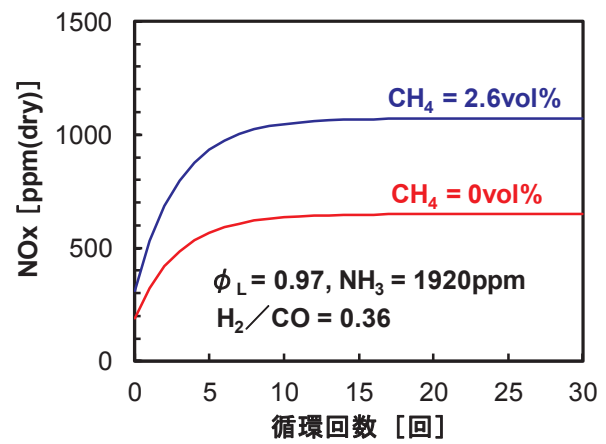


図 3.2.5.2-2 燃料中 NH<sub>3</sub>と希釈剤中 NO との相互作用確認



(1) 希釈剤中 NO の排気中 NO<sub>x</sub> 濃度への影響



(2) 排気循環に伴う NO<sub>x</sub> 濃度変化

〔(1)の実験結果から予測〕

図 3.2.5.2-3 排気循環が NO<sub>x</sub> 濃度に及ぼす影響

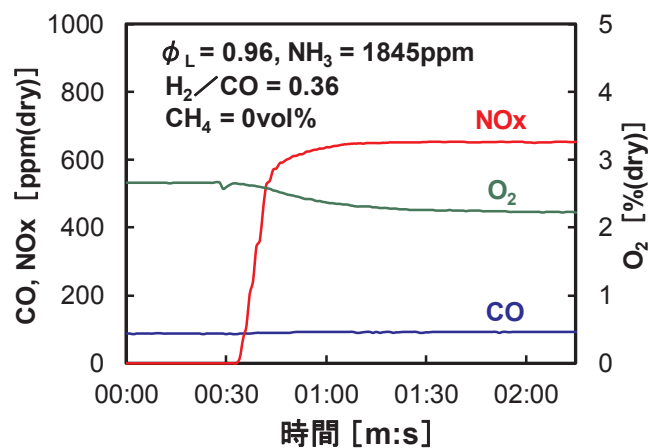


図 3.2.5.2-4 排気循環時の NO<sub>x</sub> 濃度変化

### 2.5.3 諸検討結果の全体システムへの反映

クローズド IGCC システムの性能を評価するために、本事業での諸検討結果を織り込み、システム全体の性能解析を実施した。汎用化学プロセスシミュレータである Aspen Plus を用いて、ガス化炉、ガス精製、ガスタービン、排熱回収ボイラ、蒸気タービンおよび CO<sub>2</sub> 回収システムをモデル化した。本解析では、三菱パワーが保有するガス化炉性能計算プログラム及びガスタービン性能計算プログラムから得られたデータを基にチューニングすることで、実機ガス化炉・ガスタービンを想定した解析モデル（図 3.2.5.3-1）を構築した。

性能解析の結果などから、本プロジェクトの前フェイズで行ったクローズド IGCC システムのプラント性能評価の妥当性を確認するとともに、後述（2.5.4 項）する 2030 年代の商用化を想定した「開発要素を含むシステム」についても各部の条件設定（温度・圧力など）を確認した。これに加え、回収 CO<sub>2</sub> に求められる一般的な仕様基準や対策技術などを調査し、システム構成検討に反映するとともに、技術課題を整理した。

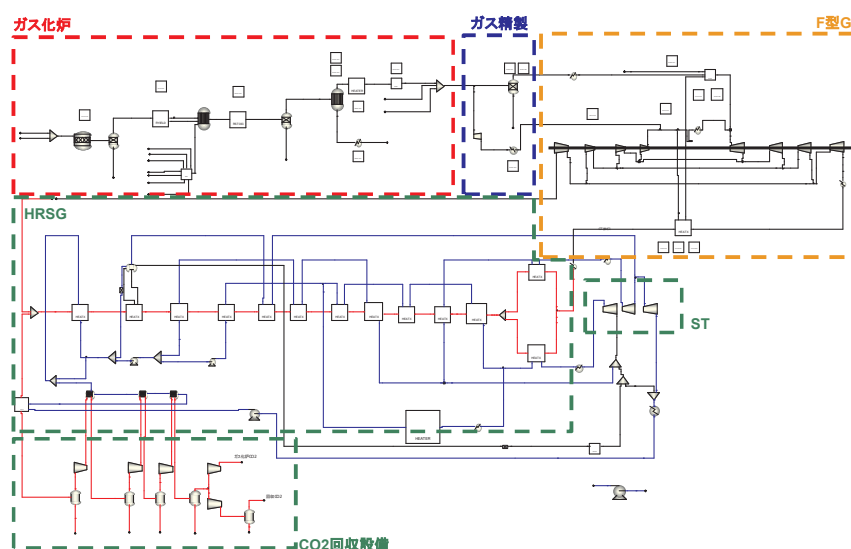


図 3.2.5.3-1 Aspen Plus 解析モデル

### 2.5.4 クローズド IGCC の送電端効率および発電コストの試算

前項（2.5.3 項）の検討を含む種々の検討結果を基に、実現性の高いシステムを前提として、2030 年代の商用化を想定した開発要素を踏まえたシステムを構築し、電中研が開発した熱効率解析ソフトウェア EnergyWin®を用いてプラント性能を評価した。また、そのデータを基に想定発電コストを更新した。

システムとして以下の改良を施した上で、前フェイズと同じ炭種（インドネシア炭）を供試した際のプラント性能を解析した結果、送電端効率は 43.5%<sub>HHV</sub>（暫定値精査中）となり、目標値\*（42%<sub>HHV</sub>）を上回ることを明らかとした（\*：回収 CO<sub>2</sub> の加圧動力を含む）。

<主な改良点>

- ・本システムの商用化が想定される 2030 年代後半までの耐熱材料などの技術開発を想定し、1500℃級 GT の採用や各部上限温度設定などを考慮したシステムを対象とした。
- ・本フェイズで実施した O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化試験と三次元ガス化炉内数値解析による知見を反映し、スラグ安定排出に必要なガス化炉内温度を維持できるガス化炉運転条件を見出し、プラント性能を評価した。
- ・GT 廻りへ設置する脱硝設備に関する条件を反映した（圧力損失など）。

次に、得られた送電端効率を基に、クローズド IGCC システムの発電コストを更新した（図 3.2.5.4-1）。

コスト試算には、経済産業省の発電コスト検証ワーキンググループ（2015年）が公開した算定方式<sup>1)</sup>を用いた。比較は、同ワーキンググループが設定した2030年想定 of 石炭火力（送電端効率48%<sub>LHV</sub>、CO<sub>2</sub>回収なしのAUSC、図3.2.5.4-1の①）以外に、DOEによる公開資料<sup>2)</sup>を参考に、CO<sub>2</sub>回収に伴う設備費（図3.2.5.4-1の資本費に相当）の増加などを考慮して推算したCO<sub>2</sub>回収ケースも対象に加えて行った（AUSCベースの燃焼後回収の発電コストが図3.2.5.4-1②、酸素燃焼の発電コストが同図③）。また、DOE報告がより低い発電コストを算定したIGCCについても比較対象に加えた。IGCCの検討に際しては、ロードマップ等で同等の送電端効率が報じられている「1700℃級GTを採用したIGCC（湿式ガス精製）」を想定し、DOE資料<sup>3)</sup>を参考に推算した燃焼前回収システムの発電コストを比較対象とした（図3.2.5.4-1④）。

クローズドIGCCの設備費については、1700℃級GTのIGCC燃焼前回収④と同等と仮定した場合⑤と発電コストが同額になる設備費を逆算した場合⑥を検討した。

その結果、クローズドIGCCシステムの設備費が④の設備費の117%未満であれば、④より優位なコストとなることが明らかとなった。この場合、他のCO<sub>2</sub>回収型石炭火力②、③やCO<sub>2</sub>を回収しない発電システムで社会的費用（主にCO<sub>2</sub>対策費）を考慮した場合①よりも、発電コストが低くなる。

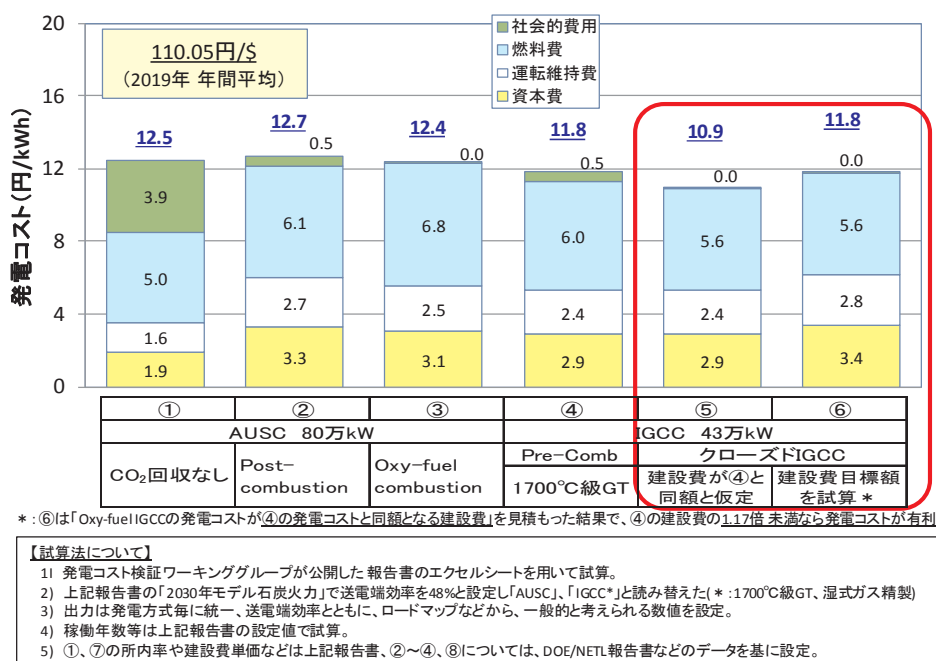


図 3.2.5.4-1 発電コストの試算（クローズドIGCC建設費の目標）

### 2.5.5 水蒸気添加ガス化 IGCC（次世代ガス化システム）の全体システム検討

蒸気系からガス化炉に水蒸気を抽気し、ガス化剤として利用する IGCC（3.1-1(2)）に対して、前述（2.2.2 項）のガス化炉内三次元数値解析結果（図 3.2.5.5-1 左図）、および、これまでの検討結果を反映して設定した各部状態量から IGCC 全体の熱効率解析を行い、水蒸気添加量が送電端効率に及ぼす影響を評価した（図 3.2.5.5-1 右図）。適切なガス化炉運転条件を設定することで、水蒸気添加量を増やすほど高い冷ガス効率得ることが可能となる。これにより、複合発電設備の燃料ガスの熱量が増加してガスタービンの出力が増加する一方で、水蒸気の抽気により蒸気タービンの出力が低下することから、水蒸気添加ガス化による送電端効率が HHV 基準で 2 ポイント程度上昇するといえる。

コスト試算に対しては、前述（2.5.4 項）と同じ算定方式を用いて送電端効率に対する感度解析を行った。新技術導入による設備コスト（資本費および運転維持費）の増加が、送電端効率の向上による運転コスト（燃料費と CO<sub>2</sub> 対策費）の低減で相殺されると考えて、建設費単価の目標値を明らかとした。例えば、IGCC の送電端効率が 2 ポイント向上する場合、建設費単価の増加分は 10%以内が目標といえる（図 3.2.5.5-2）。

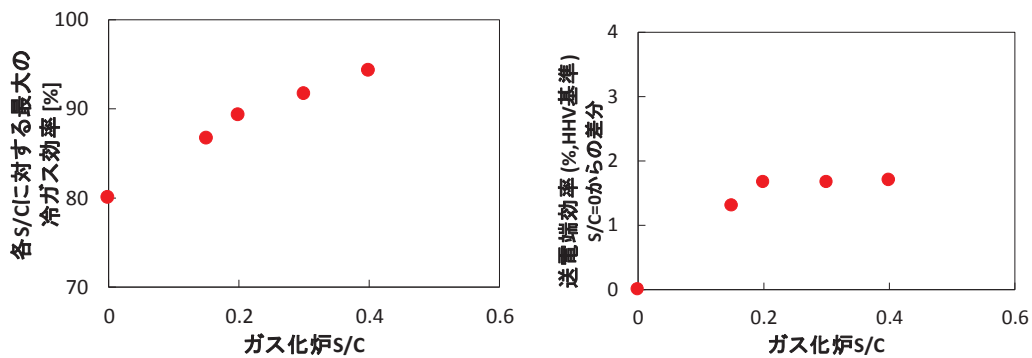


図 3.2.5.5-1 水蒸気添加ガス化時のガス化炉の冷ガス効率と IGCC の送電端効率 (S/C=ガス化蒸気供給量/全給炭量)

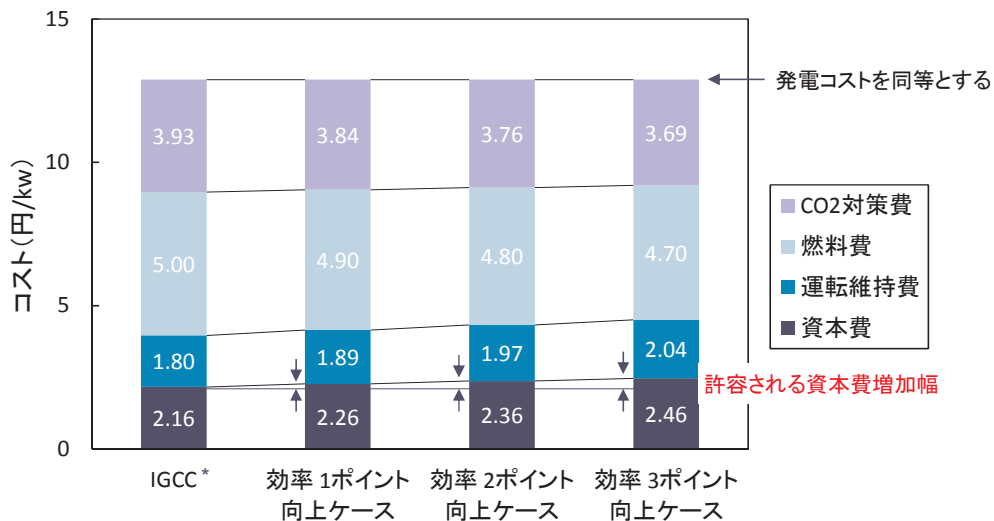


図 3.2.5.5-2 IGCC 発電コストの感度解析結果 (発電コスト検証ワーキンググループの算定方式による)

## 2.5.6 水蒸気添加ガス化との組合せによる相乗効果

前述した水蒸気添加ガス化技術をクローズド IGCC に組合せたシステムを対象に、三次元ガス化炉内数値解析で得られたガス化炉運転条件（2.2.3 項）を基に、EnergyWin®を用いてプラント性能を解析し、両技術の組合せによる相乗効果が送電端効率に及ぼす影響度を評価する予定である。

（参考文献）

1) 経済産業省、発電コスト検証ワーキンググループ、2015

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/xls/cost\\_wg\\_01.xls](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/xls/cost_wg_01.xls)

2) DOE, "Pulverized Coal Oxycombustion Power Plants, Volume1 Bituminous Coal to Electricity, Final report, Revision 2, August 2008", DOE/NETL-2007/1291

3) DOE, "Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants, Volume1 Bituminous Coal and Natural Gas to Electricity, Revision 2, November 2010", DOE/NETL-2010/1397

<https://www.nrc.gov/docs/ML1217/ML12170A423.pdf>

## 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

### 1. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本プロジェクトにおいて、 $O_2/CO_2$  ガス化、水蒸気添加ガス化および乾式ガス精製等に関する要素技術を確立し、次フェイズにおける石炭ガス化一貫システムの開発が可能となった。これを受けて、本技術の実用化に向けた取組及び見通しについて述べる。

#### (1) $CO_2$ 回収型次世代 IGCC 開発研究成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

$CO_2$  回収型次世代 IGCC の実用化に向けたロードマップを図 4.1-1 に示す。

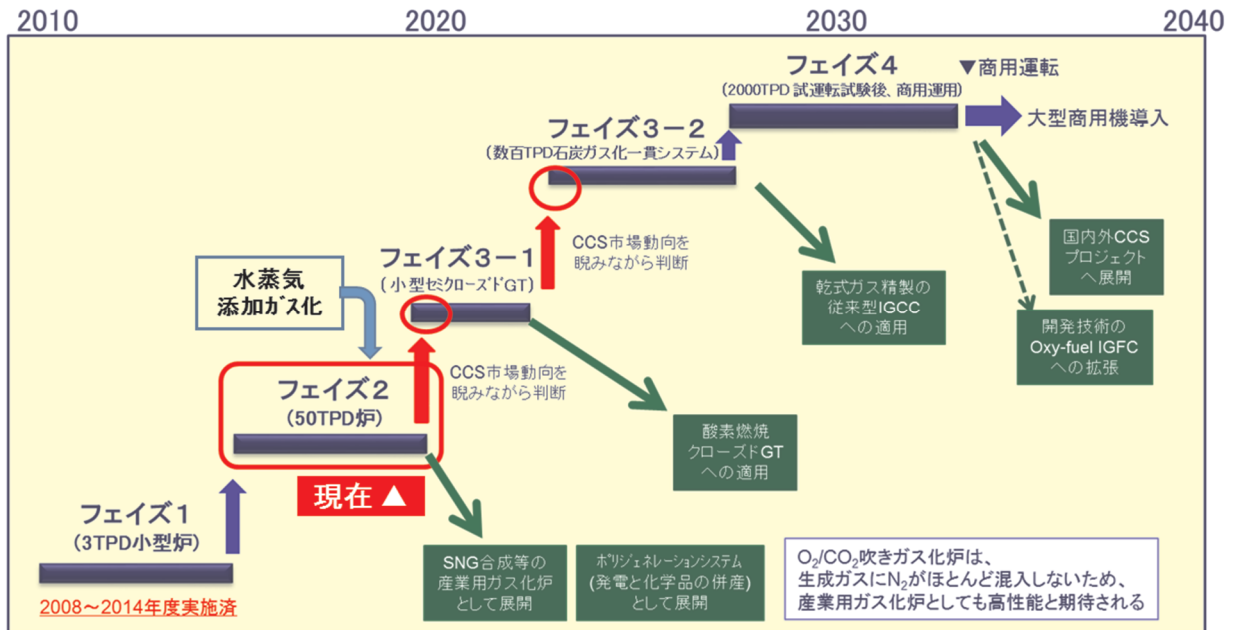


図 4.1-1  $CO_2$  回収型次世代 IGCC の開発スケジュール

本システムの開発は、従来の発電システムの開発と同様、設備の段階的スケールアップとともに、個々の技術の完成度を高めてゆく方式で進めることが望ましいと考えられる。もちろん、CCUS の導入が世界的に加速される状況となれば、各ステップの実施内容を精査して一層の加速を図ることも不可能ではないが、確実な実用化を狙うためには、段階的な開発がベースとなる。すなわち、本フェイズで用いる 50TPD ガス化炉で  $O_2/CO_2$  吹きガス化を実証した後に、セミクローズド NGCC を想定したフェイズ 3-1 を経由して、数百 TPD 規模の大型ガス化炉を軸とする石炭ガス化一貫システムの開発を行う。その結果を反映した 2000TPD 級の IGCC 実証試験を経て、大型商用機の導入は 2030 年代半ばと想定される。

こうした開発スケジュールを考慮して、本プロジェクトにおける「実用化」を「 $CO_2$  回収型次世代 IGCC システムに必要な  $O_2/CO_2$  ガス化、水蒸気添加ガス化、乾式ガス精製等に関する要素技術を確立し、それが石炭ガス化一貫システムや従来型 IGCC に活用できること」と定義した。これを受け、50TPD 炉、3TPD 炉によるガス化・ガス精製試験などを実施し、大型システム（例えば数百 TPD）までスケールアップするためのデータを整え、次ステップに進むための要素技術を確立した。

2018 年度には「次世代ガス化システム技術開発」プロジェクトと統合し、同プロジェクトで開発した水蒸気添加ガス化技術と組合せることにより、一層の効率向上が図れることを確認し、商用化への大きな追い風とした。

$O_2/CO_2$  吹きガス化炉および水蒸気添加  $O_2/CO_2$  吹きガス化炉は、生成ガス中に  $N_2$  を含まないため、SNG 合成用などの産業用ガス化炉としては直ちに実用化が可能であり、これは本プロジェクト終了後の副次的効果と

して期待される。特に、CO<sub>2</sub>や水蒸気をガス化剤として活用することで、H<sub>2</sub>/CO 比率などの生成ガス組成をコントロールし、合成原料ガスとしての品位が向上する可能性がある点についても、今後の展開を考える上で注目すべき事項といえる。

## (2) 次世代ガス化システムの成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

「次世代ガス化システム技術開発」プロジェクトでは、「水蒸気添加噴流床ガス化技術」、「乾式ガス精製技術」および「高効率酸素製造技術」を適用することで、IGCC の送電端効率を向上させる目処を得た。

これらの技術のうち、水蒸気添加噴流床ガス化技術に関して実験検討（3TPD 炉を用いた水蒸気添加効果の検証）を行い、その結果を反映した数値解析技術により商用規模の水蒸気添加噴流床ガス化炉の評価を可能とした。噴流床ガス化炉には各種炉形式が開発されているが、特に空気吹き IGCC で採用されている二段噴流床方式をベースとした酸素吹きガス化炉において、水蒸気添加による大きな冷ガス効率向上効果が期待されることから、本プロジェクトの研究対象としてきた。さらに 2018 年度から「CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC 技術開発」プロジェクトで開発されている O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化炉への適用に取り組んだ。

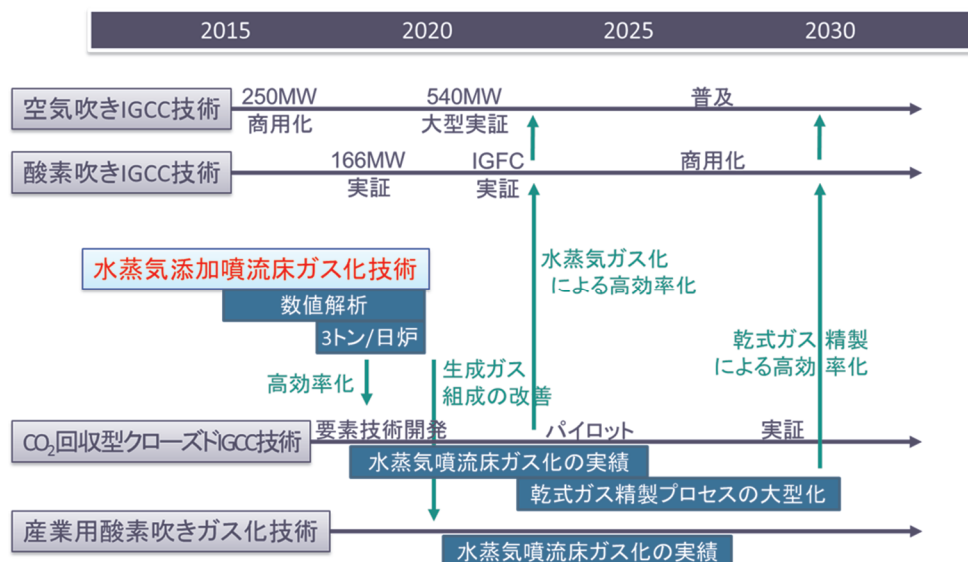


図 4.1-2 水蒸気添加ガス化、乾式ガス精製に関する技術のステップ

乾式ガス精製技術については、「CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC 技術開発」プロジェクトにおいて開発が進められてきたが、水蒸気添加ガス化 IGCC に適用する場合の課題を抽出し、必要な構成の検討を実施した。

高効率酸素製造技術については、各種技術の調査と水蒸気添加ガス化 IGCC への適用性を評価した。特に高温酸素透過膜を用いた高効率酸素製造技術は、国内外とも大型化の見通しが立っていないが、将来開発が進んだ時点で IGCC への適用が期待できる。一方、既存技術である深冷分離法については、メーカーによる省エネルギー化が適宜 IGCC へ反映されることが期待できる。

## (3) 実用化に向けた具体的取組

本事業で開発したガス化炉は、合成ガスに N<sub>2</sub> がほとんど混入しないため、産業用ガス化炉としても高性能と期待される。

また、化学合成に適した H<sub>2</sub> /CO 比率のガスが得られるとともに、その比率を調整できる見込みがあることから、化学プラントへの展開も期待できる。更に、発電と化学品を併産することで、実質的な CO<sub>2</sub> 分離・回収コストを低減し、再エネ導入等に伴う需給調整にも寄与できる、ポリジェネレーションシステムへの展開が期待できる。

## 本事業の開発成果

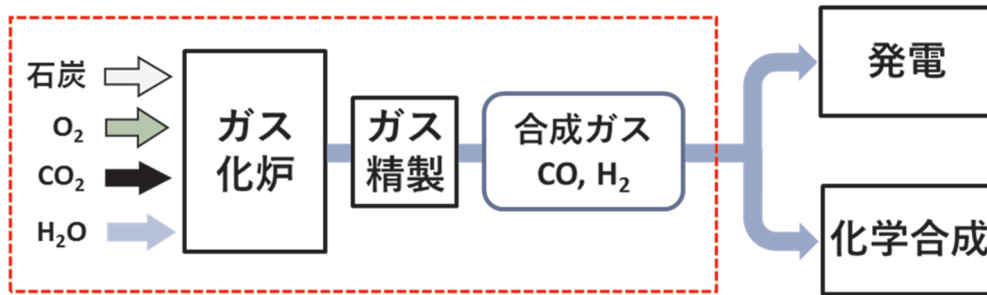


図 4.1-3 ポリジェネレーションシステムの例

### (4) 成果の実用化の見通し

石炭は、新興国を中心に今後も需要が伸びるものとみられているが、その一方で、地球温暖化対策の観点から、CO<sub>2</sub> 排出量大幅削減に向けた CCUS の導入が求められつつある。開発した CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC 技術の採用により、CO<sub>2</sub> 回収に伴う効率低下の低減、燃料費増加の回避に期待できる。また、水蒸気添加ガス化技術の適用により、更なる効率向上に期待できる。本技術の海外展開により、二国間協定を通じて、我が国の CO<sub>2</sub> 排出量削減分としてカウントできるため、環境面で貢献できる。

燃焼前回収技術については、CO<sub>2</sub> 回収後で 40%HHV を目指す技術開発が進められているが、CO<sub>2</sub> 回収後に 42%HHV を上回る高い効率が期待される実用的なシステムは他にみられない。米国 Net Power 社、8-Rivers 社などが Allam Cycle（超臨界 CO<sub>2</sub> 酸素燃焼 IGCC）の開発を進めているが、30MPa に及ぶ高圧システムの耐久性や同時脱硫・脱硝システムの性能など、検証すべき課題がある。従来型 IGCC については、さらに効率が高い水蒸気添加ガス化技術を採用すれば、燃料費を一層低減できるとともに、CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果も大きい。

数百 TPD 石炭ガス化一貫システムによる検証試験を経て、2020 年代後半に 2000TPD 級の実証機を建設し、当該実証機の商用転用を機に大型商用機の導入が可能になると考える。これに加え、本プロジェクト終了時点で、窒素をほとんど含まない産業用ガス化技術の商用化が、また次フェイズ終了後に、従来型 IGCC にも適用できる乾式ガス精製技術の商用化が可能となる。

### (5) 波及効果

国内の老朽発電所について、2040～2060 年の間に約 5GW（40 万 kW 級×12 基）が CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC にリプレイスされると推察され、1 基のリプレイス工事(4 年間)で約 1 千人の新規雇用が創出されると考えると、延べ約 1.2 万人の新規雇用が期待される。

水蒸気添加ガス化技術、乾式ガス精製技術は、CO<sub>2</sub> を回収しない従来型 IGCC の効率向上にも貢献できるため、従来型 IGCC の一層の効率向上が期待される。

海外では EOR（Enhanced Oil Recovery：原油増進回収法）向けに、CO<sub>2</sub> が 20 ドル/t-CO<sub>2</sub> 程度で取引されている。CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC の CO<sub>2</sub> 分離・回収コストは 1,000 円台/t-CO<sub>2</sub> が見込めるため、EOR 向けに展開することも期待できる。

本プロジェクトは、一部の技術開発において、再委託による大学研究者からの支援により、開発を加速化している。こうした連携により、石炭科学関連、化学工学関連、CFD 技術関連の国内基盤技術発展を通じて、日本の研究力向上に貢献している。



● 特許論文等リスト

【特許】

番号	出願者	出願場号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	三菱重工業株式会社 (MHI) 三菱日立パワーシステムズ株式会社 (MHPS)	特願 2016020800	国内	2016/2/5	出願	ガス化システムおよびガス化システムの運転方法	(MHI)高島 竜平、横濱 克彦、 (MHPS)多田 宏明、石井 弘実
2	三菱重工業株式会社	特願 2017057744	国内	2017/3/23	出願	ガスタービン燃焼器及び発電システム	薛 耀華、瀧口 智志
3	電力中央研究所	特願 2017083179	国内	2017/4/19	出願	不純物除去剤の再生システム	小林 誠
4	電力中央研究所	特願 2017168870	国内	2017/9/1	出願	ハロゲン化物吸収剤、及び、ハロゲン化物吸収剤の評価方法	小林 誠
5	電力中央研究所	特願 2017181725	国内	2017/9/21	出願	不純物除去剤の再生システム	小林 誠、小沢 靖
6	三菱重工業株式会社	特願 2018-053512	国内	2018/3/20	出願	酸素焼きガスタービン燃焼器	瀧口智志、中尾 光宏
7	電力中央研究所	特願 2018-167320	国内	2018/9/6	出願	処理ガス反応塔	小林 誠
8	電力中央研究所	特願 2019-002887	国内	2019/1/10	出願	不純物除去装置、乾式ガス精製設備及び石炭ガス化複合発電設備	小林 誠
9	電力中央研究所	特願 2019-030900	国内	2019/2/22	出願	不純物除去装置、乾式ガス精製設備及び石炭ガス化複合発電設備	小林 誠、中嶋 朗

10	三菱重工業株式会社	特願 2019-068331	国内	2019/3/29	出願	燃焼器、燃焼器システム、及びガスタービンシステム	瀧口智志、中尾光宏
----	-----------	----------------	----	-----------	----	--------------------------	-----------

## 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	小林 誠	電中研	Inhibition and elimination of carbon deposition in dry gas desulfurization process under oxy-fuel IGCC derived coal gas environment.	Fuel 152 (2015), 19-28	有	2015年6月
2	小林 誠	電中研	Performance evaluation of porous sodium aluminate sorbent for halide removal process in oxy-fuel IGCC power generation plant.	Energy 92(2015), pp. 320-327	有	2015年12月
3	Sayo Moriyama	九州大学	Synthesis and characterization of high-softening-point methylene-bridged pitches by visible light irradiation assisted free-radical bromination	Separation and Purification Technology, Volume 152, Pages 152-199 2016	有	2015年12月
4	Keiko Sasaki	九州大学	Removal mechanism of high concentration borate by co-precipitation with hydroxyapatite	Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 4, Issue 1, Pages 1092-1101	有	2016年3月
5	梅本 賢	電中研	石炭からの揮発分生成挙動を表す初期熱分解モデル	日本燃焼学会誌 第58巻 185号	無	2016年8月
6	小林 誠	電中研	Carbon behavior in the cyclic operation of dry desulfurization process for oxy-fuel integrated gasification combined cycle power generation.	Energy Conversion and Management 125(2016),70-79	有	2016年10月

7	武部博倫	愛媛大学	Density measurements of gasified coal and synthesized slag melts for next-generation IGCC	Fuel 182(2016) pp.304-313	有	2016年10月
8	沖 裕壯	電中研	Development of High-Efficiency Oxy-Fuel IGCC System	Mechanical Engineering Journal Vol.3,No.5	有	2016年10月
9	渡邊裕章	九州大学	Numerical investigation of effects of CO2 recirculation in an oxy-fuel IGCC on gasification characteristics of a two-stage entrained flow coal gasifier	Energy,2017,vol.118	有	2017年1月
10	梅本 賢	電中研	Extension of the chemical percolation devolatilization model for predicting formation of tar compounds as soot precursor in coal gasification	Fuel Processing Technology	有	2017年5月
11	武部博倫	愛媛大学	Viscosity measurement and prediction of gasified and synthesized coal slag melts	Fuel 200(2017) pp.521-528	有	2017年7月
12	丹野 賢二	電中研	Development Tendency and Prospect of High Performance Coal Utilization Power Generation System for Low Carbon Society	KONA Powder & Particle Journal	有	2017年9月
13	小林 誠	電中研	Performance evaluation of honeycomb shaped sorbent for sulfur removal in advanced oxy-fuel IGCC power generation plant.	Fuel 203 (2017) 1015-1025	有	2017年9月
14	小林 誠	電中研	Dry syngas purification process for coal gas produced in oxy-fuel type integrated gasification combined cycle power generation with carbon dioxide capturing feature.	Journal of Environmental Management, 203, Part 3, (2017), pp 925-936	有	2017年12月

15	丹野 賢二	電中研	石炭ガス化炉を対象とした燃焼・ガス化数値シミュレーション	燃焼学会誌 第 60 巻 194 号,p242-248	無	2018 年 11 月
16	Cheolyong Choi	九州 大学	Continuous Monitoring of Char Surface Activity toward Benzene	Carbon Resources Conversion, 2, pp43- 50 (2019)	無	2018 年 12 月
17	石井弘実	MHPS	Critical assessment of oxy- fuel integrated coal gasification combined cycles	Applied Energy 233- 234 (2019) pp156- 169	有	2019 年 1 月
18	石井弘実	MHPS	50t/d O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 吹き二段噴流 床石炭ガス化炉による実証試験と 商用炉への展開	日本エネルギー学会誌 第 98 巻 7 号,p165- 170	有	2019 年 5 月
19	木戸口和浩	電中 研	3t/日石炭ガス化研究炉を用いた O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 吹き石炭ガス化特性の 把握	会誌「火力原子力発電」 6 月号 (753 号)	有	2019 年 6 月
20	小林 誠	電中 研	Evaluation of Dry Acid Gas Removal Process on Bench Scale Test Facility Coupled with Syngas Produced by O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> -blown Gasifier.	Fuel 250(2019) pp.144-153	有	2019 年 8 月
21	秋保広幸	電中 研	Development of reusable mercury sorbents for an oxy-fuel IGCC power generation system	Fuel 253(2019) pp.1385-1391	有	2019 年 10 月
22	小林 誠	電中 研	Verification of proper operation of dry acid gas removal process on syngas derived by O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> -blown gasifier.	Applied Energy, Volume 252, 15 October 2019, 113402,	有	2019 年 10 月
23	Seongho Yoon	九州 大学	Cation induced microstructure and viscosity variation of molten synthetic slag analyzed by solid-state NMR	Fuel 267(2020),117310	有	2020 年 5 月

【外部発表】学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	小林 誠	電中研	石炭ガス乾式精製用多孔質ハロゲン化物吸収剤の性能向上策	化学工学会 第47回 秋季大会 M219	2015年 9月10日
2	百合 功	電中研	H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> 中における石炭ガス化燃料と酸素の基礎燃焼特性（燃料中微量成分（NH <sub>3</sub> ）の排出特性）	日本機械学会 2015 年度年次大会	2015年 9月15日
3	梅本 賢	電中研	Characterization of soot in coal gasification by CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O or O <sub>2</sub> in drop tube furnace	ICCS&T (International conference on coal science and technology)	2015年 9月28日
4	小林 誠	電中研	Cyclic operation of dry desulfurization process for Oxy-fuel IGCC power generation by avoiding carbon deposition.	10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES2015)、講演番号 0083	2015年 10月2日
5	梅本 賢	電中研	石炭ガス化におけるスート生成挙動解明—圧力依存性検討—	日本エネルギー学会 第52回石炭科学会議	2015年 10月28日
6	丹野 賢二	電中研	Oxy-Fuel IGCC 石炭ガス化炉の数値解析	日本エネルギー学会 第52回石炭科学会議	2015年 10月29日
7	原 三郎	電中研	CO <sub>2</sub> 回収型高効率 IGCC 技術の開発状況	電力エネルギー未来技術シンポジウム（東北大学）	2015年 11月15日
8	Arman	愛媛大学	Density Measurements of Alkaline Earth Silicate Melts containing Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and/or FeOx using Archimedean double-crucible method	第56回ガラスおよびフォトニクス材料討論会	2015年 11月12日
9	沖 裕壮	電中研	Development of High-Efficiency Oxy-Fuel IGCC System	ICOPE-15 (International Conference on	2015年 12月2日

				Power Engineerig-15)	
10	丹野 賢二	電中研	Numerical simulation of two stage entrained flow coal gasifier with recycled CO2 injection	ICOPE-15 (International Conference on Power Engineerig-15)	2015年 12月2日
11	岡田明子	愛媛大学	最大泡圧法による CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> 系合成スラグ融体の表面張力測定	資源・素材学会関西支部 第12回若手研究者・学生のための研究発表会	2015年 12月11日
12	梅本 賢	電中研	Oxy-fuel IGCC の基盤技術開発における石炭ガス化反応研究	石炭・炭素資源利用技術第148委員会 第153回研究会	2016年 2月9日
13	渡邊裕章	九州大学	石炭高温反応のモデリングと数値解析	日本学術振興会 石炭・炭素資源利用技術 第148委員会 第153回研究会	2016年 2月9日
14	藤岡祐一	福岡女子大学	IGCC の乾式脱硫材における鉄化合物と炭素析出の関係	化学工学会 第81回年会 B116	2016年 2月11日
15	Ahn Seungyool	電中研	Numerical analysis of an effect of CO2 recirculation on a two stage entrained flow coal gasifier	1st International Workshop on Oxy-Fuel Combustion	2016年 2月11日
16	岡田明子	愛媛大学	最大泡圧法による CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> 系スラグ融体の表面張力測定	資源・素材学会平成28(2016)年度春季大会	2016年 3月29日
17	小林 誠	電中研	Performance Evaluation of Honeycomb Shaped Dry Desulfurization Sorbent in the Syngas Expected for Advanced Oxy-fuel IGCC Power Generation Plant.	8th International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies	2016年 6月13日
18	Ahn Seungyool	電中研	Numerical analysis of formation and decomposition behavior of PAH species in a pulverized coal jet flame with an elementary kinetic mechanism	36th International Symposium on Combustion	2016年 8月4日
19	松隈 洋介	福岡大学	IGCC スラグホールにおける溶融スラグの流動シミュレーション	混相流シンポジウム 2016	2016年 8月8日

20	小林 誠	電中研	Dry syngas purification process for oxy-fuel IGCC power generation with CO2 capturing feature.	11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems	2016年 9月8日
21	濱田 博之	電中研	小型石炭ガス化炉を用いたCO2 富化ガス化特性の評価	日本機械学会 2016年度年次大会	2016年 9月13日
22	百合 功	電中研	H2O/CO2 中における石炭ガス化燃料と酸素の基礎燃焼特性（燃料中微量成分（NH3）の排出特性）	日本機械学会 2016年度年次大会	2016年 9月13日
23	小林 誠	電中研	Dry acid gas removal from high efficiency oxy-fuel IGCC system.	Gasification and Syngas Technologies Conference 2016	2016年 10月19日
24	チョウイ	九州大学	拡張 CPD モデルと気相詳細反応モデルとのカップリングによる石炭熱分解挙動数値解析	第 53 回石炭科学会 議	2016年 10月26日
25	丹野 賢二	電中研	Numerical Simulation of Two Stage Entrained Flow Coal Gasifier in Oxy-Fuel IGCC Condition	ASCON-IEEChE 2016	2016年 11月14日
26	内山未有	九州大学	X線吸収分光法による遷移金属酸化物・硫化物の構造解析	第6回CSJ化学フェスタ	2016年 11月15日
27	沖 裕壮	電中研	Development of high-efficiency oxy-fuel IGCC system	GHGT-13 (13th GreenHouse Gas control Technologies conference)	2016年 11月15日
28	丹野 賢二	電中研	Numerical Study of Effect of Operation Condition for Coal Gasifier in Oxy-Fuel IGCC	The 1st Australian-Japan Symposium on Carbon Resource Utilisation	2016年 11月28日
29	Hideyuki Awakihara	福岡大学	Shape changes of flowing-down mock slag in water	The 29th International Symposium on Chemical Engineering	2016年 12月3日

30	Naoki Yoshida	福岡 大学	Flow behavior of highly viscous fluid flowing out from overflow weir	The 29th International Symposium on Chemical Engineering	2016 年 12 月 3 日
31	松隈洋介	福岡 大学	格子ボルツマン法による溶融スラグ、多孔 質体中の流れの計算	混相流レクチャーシリー ズ 42 化学工学にお ける混相流研究の進展 (30 周年記念事 業)	2017 年 6 月 2 日
32	石井弘実	MHPS	CO2 回収型クローズド IGCC システム検 討と実証計画	日本機械学会第 22 回動力・エネルギー技 術シンポジウム	2017 年 6 月 15 日
33	百合 功	電中 研	H2O/CO2 中における石炭ガス化燃料と 酸素の基礎燃焼特性 (排気循環による 循環ガス組成への影響)	日本機械学会第 22 回動力・エネルギー技 術シンポジウム	2017 年 6 月 15 日
34	沖 裕壮	電中 研	Development of High Efficiency Oxy-fuel IGCC System	ASME Power Conference/ICOPE- 17(International Conference on Power Engineerig- 17)	2017 年 6 月 29 日
35	丹野 賢二	電中 研	Numerical Study of Effects of Operation Condition for Oxygen Blown Coal Gasifier in Oxy-Fuel IGCC	ASME Power Conference/ICOPE- 17(International Conference on Power Engineerig- 17)	2017 年 6 月 29 日
36	沖 裕壮	電中 研	CO2 回収型クローズド IGCC の開発状 況	技術情報センター講演 会「CO2 分離回収の 技術/研究開発と適用 動向」	2017 年 8 月 18 日
37	松隈洋介	福岡 大学	粘度の温度依存性を考慮した溶融スラグ の流下シミュレーション	混相流シンポジウム 2017	2017 年 8 月 19 日
38	百合 功	電中 研	H2O/CO2 中における石炭ガス化燃料と 酸素の基礎燃焼特性 (排気循環による 循環ガス組成への影響 )	日本機械学会 2017 年 年次大会	2017 年 9 月 4 日
39	松隈洋介	福岡 大学	IGCC スラグホールにおける溶融スラグの 流動シミュレーション	化学工学会 第 48 回 秋季大会 Y118	2017 年 9 月 6 日



40	丹野 賢二	電中研	石炭性状が石炭ガス化ガス組成に及ぼす影響	粉体工学会夏期シンポジウム	2017年 9月6日
41	松隈洋介	福岡大学	粘度の温度依存性と堰形状を考慮した高粘度流体の流下シミュレーション	化学工学会 第49回秋季大会	2017年 9月20日
42	Jinchang Liu	九州大学	Study of CaO and MgO fluxing actions on slag viscosity by nuclear magnetic resonance	2017 International Conference on Coal Science & Technology and 2017 Australia-China Symposium on Energy (2017 ICCS&T)	2017年 9月25日-29日
43	小林 誠	電中研	Improvement of porous halide-removal sorbent and designing a fixed bed reactor for contaminant abatement in oxy-fuel IGCC power generation.	12th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems	2017年 10月5日
44	梅本 賢	電中研	DTF 設備を用いた石炭ガス化反応速度解析	粉体工学会秋期研究発表会	2017年 10月11日
45	丹野 賢二	電中研	Oxy-Fuel IGCC 条件における石炭ガス化炉内のガス化挙動評価	第54回石炭科学会議	2017年 10月18日
46	沖 裕壮	電中研	CO2回収型クローズドIGCCの開発状況	日本計画研究所講演会「開発中の『CO2回収型クローズドIGCC』、その各要素技術の開発状況とシステム構成の検討状況」	2017年 11月7日
47	Naoki Yoshida	福岡大学	Flow Simulations of High Viscosity Fluid Considering Temperature Dependence of Viscosity	The 30th International Symposium on Chemical Engineering	2017年 12月2日
48	小林 誠	電中研	Preliminary Cyclic Operation Results of Honeycomb Desulfurization Process at Dry Gas Purification Test Facility.	1st LA Conference on Sustainable Development of Energy, Water and	2018年 1月28日

				Environment Systems	
49	Sou Hosokai	産総研	In-situ Coal Tar Reforming with Char	The 2nd Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilisation	2018年4月15日
50	丹野 賢二	電中研	Numerical Study of Effects of Operation Condition for Oxygen Blown Coal Gasifier in Oxy-Fuel IGCC	The 2nd Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilization	2018年4月16日
51	沖 裕壮	電中研	CO2回収型クローズドIGCCの開発状況	技術情報センター講演会	2018年4月27日
52	小林 誠	電中研	Evaluation of Bench Scale Test Facility of Dry Acid Gas Removal Process Operated on Syngas Produced O2-CO2 Gasifier.	9th International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies	2018年6月4日
53	秋保広幸	電中研	Development of Reusable Mercury Sorbent for Oxy-fuel IGCC Power Generation Attaining Efficient Separation of Carbon Dioxide	9th International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies	2018年6月5日
54	池田 敦	電中研	Study on the dominant factors of catalysis of inherent iron in coal for char gasification	9th International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies	2018年6月5日
55	梅津宏紀	電中研	3t/日石炭ガス化研究炉を対象とした数値解析 —水蒸気添加ガス化の特性評価—	日本機械学会第23回動力・エネルギー技術シンポジウム	2018年6月15日
56	高島 竜平	三菱重工業	CO2回収型クローズドIGCC向けO2/CO2ガス化技術の実証	日本機械学会第23回動力・エネルギー技術シンポジウム	2018年6月15日
57	松隈洋介	福岡大学	粘度の温度依存性と堰形状を考慮した溶融スラグの流動シミュレーション	日本機械学会第23回動力・エネルギー技術シンポジウム	2018年6月15日

58	杉原 正興	三菱 重工 業	高圧 O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 雰囲気下での微粉炭の 着火特性	第 27 回日本エネ ルギー学会大会	2018 年 8 月 8 日
59	池田 敦	電中 研	石炭チャーに含まれる鉄の化学形態に対 する熱分解温度の影響	第 15 回 SPring-8 産業利用報告会	2018 年 9 月 7 日
60	百合 功	電中 研	排気循環ガス (H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> ) 中における 石炭ガス化燃料と酸素の基礎燃焼特性	日本機械学会 2018 年 年次大会	2018 年 9 月 10 日
61	梅津宏紀	電中 研	3t/日石炭ガス化研究炉を対象とした数 値解析—水蒸気添加によるガス化反応 速度の変化—	日本機械学会 2018 年 年次大会	2018 年 9 月 10 日
62	佐伯 円	福岡 女子 大学	表垂鉛フェライト脱硫剤上への炭素析出 反応機構の検討	化学工学会 第 50 回 秋季大会	2018 年 9 月 18 日
63	細貝 聡	産総 研	石炭チャーによるタール改質におけるチャー 細孔構造の影響	化学工学会 第 50 回 秋季大会	2018 年 9 月 18 日
64	松隈洋介	福岡 大学	高粘度流体の粘度の温度依存性と堰形 状が堰内の液位に及ぼす影響の数値計 算	化学工学会 第 50 回 秋季大会	2018 年 9 月 25 日
65	Hiroki Nishimura	愛媛 大学	Surface Tension Measurements of CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> and CaO- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -FeOx-SiO <sub>2</sub> Glass Melts with the range of $1 \leq x \leq 1.5$ Using Maximum Bubble Pressure Method	ICG Annual Meeting 2018	2018 年 9 月 26 日
66	細貝 聡	産総 研	EFFECT OF PRESSURE ON THE TAR EVOLUTION FROM COAL AND ON THE TAR REFORMING WITH CHAR	The 14th Japan- China Symposium on Coal and C1 Chemistry	2018 年 9 月 26 日
67	梶谷史朗	電中 研	IMPROVEMENT OF COLD GAS EFFICIENCY OF AN ENTRAINED- FLOW GASIFIER BY PROMOTING STEAM GASIFICATION	The 14th Japan- China Symposium on Coal and C1 Chemistry	2018 年 9 月 26 日
68	沖 裕壮	電中 研	Update of Project to Develop high-efficiency oxy-fuel IGCC system	GHGT-14 (14th GreenHouse Gas control Technologies conference)	2018 年 10 月 23 日

69	木戸口和浩	電中研	3t/日石炭ガス化研究炉を用いた O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 吹き石炭ガス化特性の把握	平成 30 年度火力原子力発電大会	2018 年 10 月 25 日
70	則永行庸	名古屋大学	Modeling reactive flows in carbon resources conversion	Fall Symposium 2018 of KICChE	2018 年 10 月 25 日
71	池田 敦	電中研	熱分解温度の異なる石炭チャーのガス化反応性に対する拡張 RPM の適用	第 55 回石炭科学会議	2018 年 10 月 29 日
72	チョウイ	九州大学	拡張 CPD モデルと素反応モデルによる酸素燃焼方式石炭ガス化炉の数値解析	第 55 回石炭科学会議	2018 年 10 月 30 日
73	梅本 賢	電中研	加圧型 DTF によるチャーガス化反応速度解析と CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O 共存モデルの炭種拡大	第 55 回石炭科学会議	2018 年 10 月 30 日
74	佐伯 円	福岡女子大学	ハマタイトと亜鉛フェライトの炭素析出反応機構の比較	日本エネルギー学会西部支部 第 3 回学生・若手研究発表会	2018 年 11 月 22 日
75	中嶋 朗	電中研	乾式ガス精製プロセスにおける新規なハロゲン化物の除去方法の開発	化学工学会 第 84 年	2019 年 3 月 15 日
76	沖 裕壮	電中研	CO <sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC の開発状況	技術情報センター主催講演会「CO <sub>2</sub> 分離回収の技術開発と応用・適用セミナー」	2019 年 4 月 26 日
77	細貝 聡	産総研	Effect of Steam Addition on Coal Tar Reforming under the Presence of Char	5th International Conference on Polygeneration (ICP 2019)	2019 年 5 月 15 日
78	百合 功	電中研	排気循環ガス (H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> ) 中における石炭ガス化燃料と酸素の基礎燃焼特性	日本機械学会第 24 回動力・エネルギー技術シンポジウム	2019 年 6 月 20 日
79	山本 潤一郎	三菱重工業	CO <sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC 向け O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 吹きガス化特性の把握	日本機械学会第 24 回動力・エネルギー技術シンポジウム	2019 年 6 月 20 日
80	渡邊裕章	九州大学	LES modeling and simulation of coal gasification on an O <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub> gasifier in the oxy-fuel IGCC system	ASME-JSME-KSME Joint Fluid Conference 2019	2019 年 7 月 31 日

81	梶谷 史朗	電中研	二段噴流床ガス化炉における水蒸気ガス化反応の促進による IGCC システムの効率向上効果の評価	日本エネルギー学会大会	2019年 8月7日
82	武部博倫ら	愛媛大学	最大泡圧法を用いた RO-FeO <sub>n</sub> -SiO <sub>2</sub> (R=Ca, Mg;n=1-1.5) 系合成スラグ融体の表面張力測定	日本鉄鋼協会 第178回秋季講演大会	2019年 9月11日
83	小林 誠	電中研	Reactor Design of Honeycomb Desulfurization Process for Equalizing Sorbent Usage with Improved Flow Distribution.	SDEWES2019	2019年 10月1日
84	梅津宏紀	電中研	Numerical Simulation of Commercial-Scale Two Stage Entrained Flow Gasifier with Steam Enriched Conditions	ICOPE-19 (International Conference on Power Engineering-17)	2019年 10月23日
85	木戸口和浩	電中研	O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> -Blown Gasification Characteristics Using 3t/day Coal Gasifier - Effect of C/R Ratio on Gasification Performance -	ICOPE-19 (International Conference on Power Engineering-17)	2019年 10月23日
86	沖 裕壮	電中研	Update of project to develop high efficiency oxy-fuel IGCC system	ICOPE-19 (International Conference on Power Engineering-17)	2019年 10月23日
87	梅本 賢	電中研	拡張 CPD モデルを用いた石炭ガス化反応解析:適用炭種の拡大	第 56 回石炭科学会議	2019年 10月30日
88	渡邊裕章	九州大学	石炭ガス化炉内のガス化反応・スラグ流シミュレーション	第 56 回石炭科学会議	2019年 10月30日
89	則永行庸ら	名古屋大学	詳細反応化学速度モデルを用いた噴流床石炭ガス化炉における芳香族炭化水素の改質およびスス生成シミュレーション	第 56 回石炭科学会議	2019年 10月30日
90	渡邊裕章	九州大学	Large-scale multiphysics simulation of a multiphase reacting flow	The 16th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2019)	2019年 11月8日

91	池田 敦	電中研	Proposal of the kinetic model for catalytic char gasification reaction induced by inherent iron	2019 International Conference on Coal Science & Technology	2019年 11月26日
92	梶谷史朗	電中研	Experimental Verification of Improving Cold Gas Efficiency of a Two-Stage Entrained-Flow Gasifier by Promoting Steam Gasification	2019 International Conference on Coal Science & Technology	2019年 11月27日
93	則永行庸	名古屋大学	A detailed chemical kinetic modelling for reactions in a two-stage entrained flow coal gasifier	2019 International Conference on Coal Science & Technology	2019年 11月27日
94	武部博倫ら	愛媛大学	最大泡圧法を用いた CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> 系合成スラグ融体の表面張力測定	第16回「若手研究者・学生のための研究発表会」	2019年 12月6日
95	武部博倫ら	愛媛大学	RO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> 系ガラス融体の粘度測定( R=Ca, Mg )	第26回ヤングセラミスト・ミーティング	2019年 12月7日
96	沖 裕壮	電中研	CO <sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC の開発状況	技術情報センター主催講演会 「CO <sub>2</sub> 分離回収の技術開発と適用動向」	2020年 8月18日
97	丹野 賢二	電中研	石炭火力のゼロエミッション化に向けた次世代 IGCC 技術	第32回 中四国伝熱セミナー	2020年 8月27日

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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、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CO<sub>2</sub>削減を実現しうるCO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>有効利用技術等の開発が進められている。また、大幅なCO<sub>2</sub>削減を達成するため、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分離・回収後においても高効率を維持する技術及びCO<sub>2</sub>有効利用技術（カーボンリサイクル等）により、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>という大幅な低減を達成する。また、CO<sub>2</sub>有効利用の一例として、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証 (1/3, 2/3助成)
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証 (1/2助成)

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]

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

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

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]

- 1) 次世代ガス化システム技術開発
- 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
- 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
- 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
- 5) CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発
- 8) CO<sub>2</sub>分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発
- 9) 機動性に優れ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 CO<sub>2</sub>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 CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発 [委託・助成事業]

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

研究開発項目⑨ CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>利用技術開発
- 2) 液体燃料へのCO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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 園山希、PL:三菱重工業株式会社 石坂浩一

##### 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)

PM:NEDO 山中康朗、PL:三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

#### 研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発

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

#### 研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発

##### 1) 次世代ガス化システム技術開発

PM:NEDO 中田博之、PL:一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ要素研究

PM:NEDO 春山博司、PL:電源開発株式会社 早川宏

##### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

PM:NEDO 牛嶋隆士、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 牛嶋隆士、PL:電源開発株式会社 早川宏

##### 5) CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発

PM:NEDO 越後拓海、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 CO<sub>2</sub>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⑧CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発

PM：高橋洋一、PL：NEDOにて選定

研究開発項目⑨ CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発

PM：荒川純、PL：NEDOにて選定

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

PM：NEDO 西海直彦

## (2) 研究開発の運営管理

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

### ①進捗把握・管理

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

### ②技術分野における動向の把握・分析

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

## 3. 研究開発の実施期間

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

## 4. 評価に関する事項

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

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

価を2017年度、前倒し事後評価を2020年度に実施する。研究開発項目⑥は、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦～⑩の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目⑧および研究開発項目⑨は、中間評価を2022年度、事後評価を2025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⑧CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO<sub>2</sub>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⑧CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO<sub>2</sub>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）CO<sub>2</sub>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)CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目④9)について、目標値を補足。研究開発スケジュール表の修正。

(10) 2019年1月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(3)研究開発の内容において、研究開発項目②1)の助成率の変更。5. 評価に係る事項において、研究開発項目⑦の中間評価の追加及び事後評価時期の変更、研究開発項目④8)の前倒し事後評価時期の変更。別紙 研究開発項目④8)の実施期間の変更。別紙 研究開発項目④9)の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目⑥の2. 具体的研究内容に燃料多様化に係る記載を追記。別紙 研究開発項目⑦の実施期間の変更及び中間目標の策定、最終目標年度の変更。研究開発スケジュール表の修正。

(11) 2019年7月

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

(12) 2020年2月

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

(13) 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。

(14) 2020年7月

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



## 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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分離・回収設備を組み合わせ、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>分離・回収と組み合わせたCO<sub>2</sub>液化プロセスを構築する。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証（1/2助成）

CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCシステムの実証を行う。

### 3. 達成目標

#### [実施期間]

- 1) 酸素吹IGCC実証：2012年度～2018年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）
- 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証：2016～2022年度
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証：2018年度～2022年度

#### [中間目標（2017年度）]

##### 1) 酸素吹IGCC実証

(a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

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

(b) 環境性能：「SO<sub>x</sub><8ppm」、「NO<sub>x</sub><5ppm」、「ばいじん<3mg/Nm<sup>3</sup>」を達成する（O<sub>2</sub>=16%）。

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

##### 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO<sub>2</sub>分離・回収設備の詳細設計を完了する。

#### [中間目標（2020年度）]

##### 1) 酸素吹IGCC実証

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

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

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率70%以上の見通しを得る。

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

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

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

(d) 経済性：商用機において発電原価が微粉炭火力と同等以下となる見通しを得る。  
国内外において酸素吹IGCC商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。また、海外普及を目的としたマイルストーンを検討する。

## 2) CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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。

CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>分離回収にかかるエネルギー原単位「0.90GJ/t-CO<sub>2</sub>（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）：CO<sub>2</sub>分離・回収装置における「CO<sub>2</sub>回収効率>90%」、「回収CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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。CO<sub>2</sub>地中貯留から求められる可能性があるCO<sub>2</sub>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：CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分離・回収の費用原単位を評価する。

CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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：

CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO<sub>2</sub>液化プロセス開発:CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCCとCO<sub>2</sub>液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築する。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

500MW級の商業機に適用した場合に、CO<sub>2</sub>回収率90%の条件で、47%程度の発電効率（送電端効率、高位発熱量基準）達成の見通しを得る。

## 研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

### [実施期間]

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

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

### 1. 研究開発の必要性

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

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO<sub>2</sub>排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。

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

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

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

### 2. 具体的研究内容

#### 1) 1700℃級ガスタービン

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

#### 2) AHAT

AHATシステムについては、ユーザーニーズとしてミドル運用以上(年間50回以上の起動・停止)における長期信頼性が求められていることから、既存40MW級総合試験装置

の改造による実証機製作、実証試験による長期信頼性評価を実施する。また、実証機試験結果を用いて商用機化の検討を実施する。

### 3. 達成目標

#### 1) 1700℃級ガスタービン

[中間目標(2018年度)]

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

[最終目標(2020年度)]

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

#### 2) AHAT

[最終目標(2017年度)]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

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

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

### 研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

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

#### 1. 研究開発の必要性

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

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

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### (1) システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

##### (2) ボイラ要素技術

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

##### (3) タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

##### (4) 高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

##### (5) 実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（2016年度）]

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

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 1) 次世代ガス化システム技術開発

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

#### 1. 研究開発の必要性

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

#### 2. 具体的研究内容

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

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

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

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

##### (1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

##### (2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

##### (3) IGCCシステム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

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

[最終目標（2018年度）]



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

2018年度以降については研究開発項目⑤CO<sub>2</sub>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⑤CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発とする。

#### 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究

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

#### 1. 研究開発の必要性

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

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

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

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

#### 2. 具体的研究内容

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

#### 3. 達成目標

[最終目標（2017年度）]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間] 2016年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

2015年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電(GTFC)については、小型GTFC(1,000kW級)の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC(10万kW級)の実証事業を経て、発電効率63%程度、CO<sub>2</sub>排出原単位:280g-CO<sub>2</sub>/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てトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率石炭火力発電技術として、その実現が望まれている。

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

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

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

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

#### 2. 具体的研究内容

##### (1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、CO<sub>2</sub>分離・回収を行わないIGFCとCO<sub>2</sub>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H<sub>2</sub>リッチガスに改質した燃料を用い、燃料電池モジュールの運用性、性能等を把握するとともに、天然ガス燃料の場合との比較から課題を抽出する。さらに、石炭ガス化の実ガスを燃料として、燃料電池の被毒成分をガス精製によりクリーンナップしたうえで燃料電池モジュールに供給し、その運用性、性能等を把握するとともに、石炭ガス適用時の課題を抽出する。さらに、これまで実績のない石炭ガスによる運転を行うことから、燃料電池セル及びモジュール内部構造への影響を把握するため、装置の解体調査を行い、石炭ガス適用時の課題を抽出する。

### 3. 達成目標

#### (1) I G F Cシステムの検討

[最終目標 (2019年度) ]

I G F C実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

#### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

[中間目標 (2019年度) ]

H<sub>2</sub>リッチガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの基本性能を確認するとともに、発電性能を最適化するための運用性を確立する。また、石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの基本性能を確認する。

[最終目標 (2021年度) ]

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

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 5) CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>の分離・回収技術の開発が進められているが、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>の分離・回収が可能である。

さらに、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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-CO<sub>2</sub>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-CO<sub>2</sub>を見通せるCO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

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

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

[実施期間] 2017年度～2022年度

#### 1. 研究開発の必要性

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

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

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

#### 2. 具体的研究内容

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

#### 3. 達成目標

[中間目標（2020年度）]

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

[最終目標（2022年度）]

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



研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

7) CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>排出量が比較的多く、将来的にCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub> (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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発

[実施期間] 2020年度～2024年度

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画において、石炭火力は、安定供給性と経済性に優れた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CO<sub>2</sub>排出削減が望まれている。

石炭火力からのCO<sub>2</sub>排出抑制技術としては、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を分離・回収できるガス化技術を適用した技術が有望視されている。また、この技術は、バイオマスや炭素系廃棄物等を燃料として発電することによるCO<sub>2</sub>排出削減や有価な生産物（水素や化学品等）の製造に応用できる技術として期待されている。

本事業ではガス化技術を適用して、燃料を多様化するとともに、有価な生産物を併産することで、CO<sub>2</sub>分離・回収コストの低減を目指したCO<sub>2</sub>分離・回収型ポリジェネレーションシステムを構築する火力発電設備設計技術の確立に向けた技術開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

CO<sub>2</sub>分離・回収型ポリジェネレーションシステムを構築可能な技術として、流動床ガス化燃焼技術と噴流床ガス化技術がある。

##### (1) 流動床ガス化燃焼技術の適用

流動床ガス化燃焼技術は、流動床技術をベースとして、空気燃焼塔、揮発分（可燃性ガス）反応塔、石炭反応塔（ガス化）で構成され、流動材（酸素キャリア）を媒介として空気燃焼塔で流動材を酸化し、酸化された流動材を揮発分反応塔、石炭反応塔に供給し、酸化された流動材の酸素を用いて石炭をガス化し、発生した可燃性ガスを燃焼させるシステムで、窒素が揮発分反応塔や石炭反応塔に同伴されないことから、石炭は燃焼後、CO<sub>2</sub>、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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分離・回収および水素製造が可能となる。

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

##### (2) 噴流床ガス化技術の適用

酸素吹き石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することから、熱分解の一部をガスタービン排熱

等を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上が可能となる。このような $O_2/C$   
 $O_2/H_2O$ 吹き噴流床ガス化技術をベースとし、燃料として石炭だけでなく炭素系廃棄物等を利用することで $CO_2$ 排出量を削減し、化学品を併産することで $CO_2$ 分離・回収コストの低減が期待できる。

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

### 3. 達成目標

[中間目標（2022年度）]

$CO_2$ 分離・回収型ポリジェネレーションシステムの実証設備設計に必要な要素技術の確立に目途をつける。

[最終目標（2024年度）]

$CO_2$ 分離・回収型ポリジェネレーションシステムにより分離・回収コスト1,000円台/ $t-CO_2$ 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 $CO_2$ 排出量削減の両立を狙い、既存の火力発電設備へのレトロフィットやリプレース向けに定格時の効率を維持したうえで、機動力と再エネ出力不調時のバックアップ電源の両機能を具備した、機動性に優れた広負荷帯高効率GTCCを開発するため、中核機器であるガスタービン（以

下、GT)の負荷変動対応に係る要素技術を開発し、実機に組み込める目処を得ることを目的にする。

## 2. 具体的研究内容

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

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

表 先行研究で設定されたGTCCとしての目標性能

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

## 3. 達成目標

[最終目標(2021年度)]

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

## 研究開発項目⑤ 「CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>排出量抑制のためには、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。

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

### 2. 具体的研究内容

本技術開発においてはCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を一部系統内にリサイクルすることにより、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>の100%回収が可能であるため、CO<sub>2</sub>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。CO<sub>2</sub>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「CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術の実証や乾式ガス精製システムの実証といった高効率発電を可能とする各要素技術を開発する。また、セミクローズドGTについては、燃焼試験とCFD解析を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。

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

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) I G C C システム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

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

### 3. 達成目標

[中間目標 (2017年度)]

CO<sub>2</sub>回収型クローズド I G C C については、送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術確立の目途を得る。

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

[最終目標 (2020年度)]

CO<sub>2</sub>回収型クローズド I G C C については、2019年度までに送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術を確立する。

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

両技術の相乗効果として、2020年度までにCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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(CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>削減効果に関する基礎的情報や課題を整理する。

## 研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」

[実施期間] 2017年度～2021年度

### 1. 研究開発の必要性

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

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高温材料信頼性向上試験

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

#### (2) 保守技術開発

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

### 3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

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

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

[最終目標（2021年度）]

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

### 4. その他重要事項

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



## 研究開発項目⑧「CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>有効利用拠点化推進事業

CO<sub>2</sub>が得られる広島県大崎上島を研究拠点に、複数の企業や大学等が要素技術開発および実証試験等を行うための拠点化に向けた検討および整備を行い、拠点の運営業務、要素技術開発および実証試験の総括的な評価等を行う。

#### 2) 研究拠点におけるCO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>有効利用技術の経済性、CO<sub>2</sub>削減効果等を評価する。

研究開発項目⑨ 「CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>排出を抑制していく方針が示された。

化学品へのCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>削減・CO<sub>2</sub>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

CO<sub>2</sub>を原料とした化学品の合成においては、CO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>Oから基幹物質であるCO、H<sub>2</sub>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）]

CO<sub>2</sub>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）]

CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>削減効果および経済性評価を実施する。

## 2) 液体燃料へのCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>排出を抑制していく方針が示された。

CO<sub>2</sub>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（CO<sub>2</sub>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）]

CO<sub>2</sub>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）]

CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>利用については、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、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。

[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 <sub>2</sub> 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO <sub>2</sub> 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)					※1				酸素吹IGCC実証				◇			◆		
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(1/2助成) 2) 高温分空利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1				実証機の設計・製作・試運転					◆				
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)				※1	A-USC実証													
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																		
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)								※2	基盤技術開発			◇	2018年度以降は研究開発項目⑤へ統合					
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)								※2	基盤技術			◆						
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)												◇				◆		
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)												◇				◆		
5) CO <sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)								※2	基盤技術開発			◇	2018年度以降は新規公募にて研究開発項目④(8)で実施					
6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発(委託)													◇					◆
7) CO <sub>2</sub> 有効利用技術開発(委託)																		
8) CO <sub>2</sub> 分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発(委託)																◇		◆
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(委託)																		
研究開発項目⑤ CO <sub>2</sub> 回収型次世代IGCC技術開発(委託)								※2	CO <sub>2</sub> 回収型次世代IGCC技術開発									
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)																		
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)												◇				◆		

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

年度(西暦)	1982	~	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
研究開発項目⑧ CO2有効利用拠点における技術開発(委託・助成)											◇			◆
									CO2有効利用拠点化推進事業					
									研究拠点におけるCO2有効利用技術開発・実証事業					
研究開発項目⑨ CO2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CO2利用技術開発											◇			◆
									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											◇			◆
									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											◇			◆
									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				※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