

「次世代火力発電等技術開発／  
CO2回収型クローズドIGCC技術開発・  
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」

事業原簿

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

## —目次—

|  |        |
|--|--------|
| 「次世代火力発電等技術開発」事業一覧.....                                | - 1 -  |
| 概 要.....   | - 2 -  |
| プロジェクト用語集.....   | - 7 -  |
| 1. 事業の位置付け・必要性について.....                                | - 9 -  |
| 1. 事業の背景・目的・位置づけ.....                                  | - 9 -  |
| 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....                           | - 12 - |
| 2.1 NEDO が関与することの意義.....                               | - 12 - |
| 2.2 実施の効果.....   | - 12 - |
| 2. 研究開発マネジメントについて.....                                 | - 13 - |
| 1. 事業の目標.....  | - 13 - |
| 2. 事業の計画内容.....  | - 14 - |
| 2.1 研究開発の内容.....                                       | - 14 - |
| 2.2 研究開発の実施体制.....                                     | - 15 - |
| 2.3 研究開発の運営管理.....                                     | - 16 - |
| 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.....                      | - 16 - |
| 3. 情勢変化への対応.....                                       | - 18 - |
| 4. 評価に関する事項.....                                       | - 19 - |
| 3-1. クローズド IGCC 研究開発成果について.....                        | - 20 - |
| 1. 事業全体の成果.....  | - 20 - |
| 2. 研究開発項目毎の成果.....                                     | - 22 - |
| 2.1 O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立..... | - 22 - |
| 2.2 炭種適合性評価ツールの構築.....                                 | - 26 - |
| 2.3 セミクローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築.....                    | - 30 - |
| 2.4 GT 燃焼器基本構造の開発.....                                 | - 33 - |
| 2.5 セミクローズド GT システムの概念設計.....                          | - 34 - |
| 2.6 CO <sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討.....             | - 35 - |
| 3-2. 次世代ガス化システム研究開発成果について.....                         | - 38 - |
| 1. 事業全体の成果.....  | - 38 - |
| 2. 研究開発項目毎の成果.....                                     | - 39 - |
| 2.1 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証.....                          | - 39 - |
| 2.2 エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価.....                        | - 45 - |
| 2.3 水蒸気添加 IGCC のシステム検討.....                            | - 46 - |
| 4-1. クローズド IGCC の成果の実用化に向けた取組及び見通しについて.....            | - 48 - |
| 4-2. 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.....             | - 49 - |

(添付資料)

・プロジェクト基本計画

# 「次世代火力発電等技術開発」事業一覧

| 年度(平成)   | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>研究開発項目①</b><br>石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業<br>1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成)<br>2) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3助成)<br>3) CO2分離・回収型IGFC実証(未定) |    |    |    |    | ※1 |    |    |    |    | ◇  |    | ◇  |    |    | ◆  |
|  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>研究開発項目②</b><br>高効率ガスタービン技術実証事業<br>1) 1700℃級ガスタービン(2/3助成)<br>2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)                         |    |    |    |    | ※1 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>研究開発項目③</b><br>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 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>研究開発項目④</b><br>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) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◇  |    | ◆  |    |    |    |
| 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) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◇  |    |    |    | ◆  |    |
| 6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◆  |    |
| 7) CO2有効利用技術開発(委託)   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◆  |    |
| <b>研究開発項目⑤</b><br>CO2回収型クローズドIGCC技術開発(委託)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◇  |    | ◆  |    |    |    |
| <b>研究開発項目⑥</b><br>次世代火力発電技術推進事業(委託)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>研究開発項目⑦</b><br>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)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◆  |

本事業原簿記載

◇ 中間評価  
◆ 事後評価

## 概要

|                    |   | 最終更新日    | 平成 29 年 10 月 2 日 |
|--------------------|---|----------|------------------|
| プロジェクト名            | 次世代火力発電等技術開発／CO2回収型クローズドIGCC技術開発・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   | プロジェクト番号 | P16002<br>P10016 |
| 担当推進部/<br>PMまたは担当者 | CO2回収型クローズドIGCC 環境部 PM:足立 啓(平成29年10月現在)<br>細田 兼次(平成27年8月～平成28年3月)<br>次世代ガス化システム 環境部 PM:中田 博之(平成29年10月現在)<br>佐藤 順(平成27年12月～平成28年3月)  |          |                  |
| 0. 事業の概要           | <p>エネルギー基本計画(平成26年4月閣議決定)においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電(IGCC)等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。</p> <p>クローズド IGCC ではCO2回収を行っても、高い発電効率を達成できる、革新的な発電システムに関する技術開発を行う。また、次世代ガス化システムでは現在開発中のIGCCを効率でしのぐ、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向上の技術開発を行う。</p> |          |                  |
| 1. 事業の位置付け・必要性について | <p>石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後CO2排出量抑制のためには、石炭火力発電の高効率化に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。</p> <p>しかしながら、CCSは多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロス可能な限り低減する必要がある。</p>   |          |                  |
| 2. 研究開発マネジメントについて  |   |          |                  |
| 事業の目標              | <p>(1)クローズド IGCC<br/>[中間目標(平成29年度)]<br/>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。<br/>[最終目標(平成31年度)]<br/>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。</p> <p>(2)次世代ガス化システム<br/>[中間目標(平成29年度)]<br/>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。<br/>[最終目標(平成30年度)]<br/>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。</p>   |          |                  |



|   |                          |   |       |       |       |
|---|--------------------------|---|-------|-------|-------|
| 事業の計画内容<br>(クローズドIGCC)  | 主な実施事項                   | H27fy   | H28fy | H29fy |       |
|   | 3TPD ガス化他                |   |       |       |       |
|   | 50TPD ガス化他               |   |       |       |       |
|   | システム検討                   |   |       |       |       |
| 事業の計画内容<br>(次世代ガス化システム)                                       | ①水蒸気添加による冷ガス効率向上の検証      |   |       |       |       |
|   | ②エネルギー効率の高い酸素性製造装置の適用性評価 |   |       |       |       |
|   | ③水蒸気添加IGCCのシステム検討        |   |       |       |       |
| 事業費推移<br>(会計・勘定別にNEDOが負担した実績額(評価実施年度については予算額)を記載)<br>(単位:百万円) | 会計・勘定                    | H27fy   | H28fy | H29fy | 総額    |
|   | 一般会計                     | —   | —     | —     | —     |
|   | 特別会計(需給)                 | 389   | 1,702 | 1,239 | 3,330 |
|   | (1)クローズドIGCC             | 381   | 1,627 | 952   | 2,960 |
|   | (2)次世代ガス化システム            | 8   | 75    | 287   | 370   |
|   | 開発成果促進財源                 | —   | —     | —     | —     |
|   | 総 NEDO 負担額               |   |       |       |       |
| 委託  | (委託)                     |   |       |       |       |
|   |                          |   |       |       |       |
| 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             | (1)CO2 回収型クローズドIGCC 環境部 足立 啓<br>(2)次世代ガス化システム 環境部 中田 博之   |       |       |       |
|   | 委託先                      | (1)CO2 回収型クローズドIGCC<br>(一財)電力中央研究所<br>三菱重工業(株)<br>三菱日立パワーシステムズ(株)<br><br>再委託先(電中研):九州大学、名古屋大学、福岡大学、愛媛大学、福岡女子大学<br><br>(2)次世代ガス化システム<br>(一財)電力中央研究所<br><br>再委託先:産業技術総合研究所、九州大学、名古屋大学 |       |       |       |

|                      |   |  |
|----------------------|---|--|
| <p>情勢変化への対応</p>      | <p>2014年4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画」の中で、石炭は安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されている。また、2015年7月に決定された「長期エネルギー需給見通し」において、石炭火力の高効率化を進め、環境負荷の低減と両立しながら活用することで、2030年の石炭火力の比率を26%程度とする方向性が示された。更に、2015年12月にパリ協定が採択され、日本の目標としては、2030年度に2013年度比26%の温室効果ガスを削減することが提出されている中、達成に向けては石炭火力の高効率化が前提となっている。これらの情勢変化により、本事業の早期実用化が一層重要になっている。</p>   |  |
| <p>評価に関する事項</p>      | <p>事前評価</p>   | <p>—</p>   |
|                      | <p>中間評価</p>   | <p>2017年度 中間評価</p>                                     |
|                      | <p>事後評価</p>   | <p>2019年度 事後評価(クローズド IGCC)<br/>2018年度 事後評価(次世代ガス化)</p> |
| <p>3. 研究開発成果について</p> | <p>(1) CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC</p> <p>①O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立<br/>酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討および 3TPD 小型石炭ガス化炉による検討を実施した。50TPD 炉に CO<sub>2</sub> 供給設備などの建設を完了して試運転により運用に問題ないことを確認した。3TPD 炉に微粉炭高濃度搬送システムなどを追設し、ガス化試験により微粉炭搬送性能などを確認するとともに、運転方法を確立しており、高 CO<sub>2</sub> 濃度での基準炭のガス化基本性能データの取得を終える見込である。</p> <p>② 炭種適合性評価ツールの構築<br/>数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上および炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築を実施した。これまでに取得した4炭種に加え、新たに2炭種の反応性データを取得し、3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する見込である。また、高温熔融スラグ諸物性の温度依存性予測式を構築し、炉形状を考慮したスラグ排出解析ツールに導入する見込である。</p> <p>③クローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築<br/>酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討、3TPD 小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討および炭素析出対策の検証を実施した。50TPD 炉用にハロゲン予備除去系を含む3塔切替式の乾式脱硫性能検証装置を製作、据付し、調整運転を終える見込である。また、3TPD 炉用の高圧試験設備を追設して、試運転調整を兼ねた予備試験を行い、当該試験結果を元に、高圧条件における脱硫剤の性能評価に着手する見込である。さらに、炭素析出速度評価設備を導入し、圧力およびガス組成が炭素析出特性に及ぼす影響を評価する見込である。</p> <p>④GT 燃焼器基本構造の開発<br/>模擬ガスを用いる 1/3 スケール GT 燃焼器試験設備を設計、製作した。1/3 スケールGT燃焼器を用いた燃焼試験により、燃焼特性を評価予定。</p> <p>⑤クローズド GT システムの概念設計<br/>単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出を実施した。燃料中不純物(NH<sub>3</sub>)や希釈剤中 NO などが NO<sub>x</sub> 生成に及ぼす影響を検討する予定である。排気バイパスラインで得られた加熱条件等、設計データに基づき、排気循環ループを追設し、基準条件における排気循環燃焼試験により、排気循環ガスの経時的な組成変化を確認する見込である。</p> |  |

|                        |  |
|------------------------|--|
|                        | <p>⑥CO<sub>2</sub>回収型 IGCC システム全体検討<br/>     想定する最新システムを対象に、Energy Winを用いて循環排ガス組成を考慮した上で、送電端効率の試算データおよび 2015 年に公開されたコスト等検証ワーキングの発電コスト試算法を用いて、発電コストの試算データを更新する見込みである。また、フェーズ 1 で想定したシステムを対象に汎用化学プロセスシミュレータ Aspen Plus を用いて、本システム全体の熱物質収支解析モデルを構築して、熱効率の評価を可能とした。回収 CO<sub>2</sub> の不純物基準などに関する調査・検討を通じ、システム構築の準備を整えた。これに加え、全体システムの成立性検討と送電端効率 42%(HHV)達成のための技術課題を整理予定である。さらに、回収 CO<sub>2</sub> の不純物基準などに関する調査・検討を通じ、システム構築の準備を整えた。</p> <p>(2)次世代ガス化システム<br/>     2017 年度の間目標達成に向け、3TPD 規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉に水蒸気過熱設備を設置し、本ガス化炉を用いた水蒸気ガス化試験を行い、試験方法を確立する見込みである。<br/>     主な実施事項の進捗は以下の通り。</p> <p>①水蒸気添加による冷ガス効率向上の検証<br/>     3TPD 規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉を対象に数値解析により水蒸気添加時のガス化性能を予測した。ガス化試験を実施し、数値解析結果と比較評価することにより、水蒸気注入効果を評価する見込み。</p> <p>②エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価<br/>     各種酸素製造技術を調査し、各技術の仕様や特徴を整理した結果、現状で次世代ガス化システムへの適用が期待できる酸素製造技術は、既存技術の深冷分離技術のみであることが分かった。次世代ガス化システムの特性に合わせた深冷分離法の機器構成を明らかにする見込み。</p> <p>③水蒸気添加のシステム検討<br/>     発電コスト検証ワーキンググループによる算定方式を用い、IGCC の送電端効率向上に対する発電コストの感度解析を行った。水蒸気添加 IGCC システムにおける建設単価の目標を明らかにする見込み。</p> |
| 投稿論文                   | <p>(1)クローズド IGCC<br/>         「査読付き」15 件、「その他」1 件</p> <p>(2)次世代ガス化システム<br/>         「査読付き」0 件、「その他」0 件</p>   |
| 特 許                    | <p>(1)クローズド IGCC<br/>         「出願済」5 件(うち国際出願 0 件)</p> <p>(2)次世代ガス化システム<br/>         なし。</p>   |
| その他の外部発表<br>(プレス発表等)   | <p>(1)クローズド IGCC<br/>         「学会等発表」45 件、「受賞実績」4 件、「研究報告・雑誌投稿」7 件</p> <p>(2)次世代ガス化システム<br/>         「学会等発表」6 件(予定 4 件含む)、「研究報告・雑誌投稿」1 件</p>   |
| 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見 | <p>(1) CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC<br/>         CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC では、全体システムとして 2030 年代の商用化を目指しているが、「石炭 CO<sub>2</sub> 搬送」および「乾式ガス精製」等の要素技術はこの度のフェーズ2で開発の見通しを得ている。これらの要素技術は既存の IGCC へ適用することで更なる高効率化が可能であり、2020 年代前半の成果の活用を目指してい</p>   |

|                      |   |  |
|----------------------|---|--|
| <p>通しについて</p>        | <p>る。また、発電用途のみならず化学用途へ転用可能であり幅広い成果の普及を見込んでいる。</p> <p>(2)次世代ガス化システム<br/>       数値解析による商用規模ガス化炉の評価技術が確立することで、実機への適用が可能となる。3TPD よりも大きな規模で実績を積むため、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む。既に世界各国に普及している産業用の酸素吹きガス化炉も、本プロジェクトの副次効果としての適用先と考えられる。</p> <p>なお、二室二段噴流床ガス化炉以外のガス化炉においても水蒸気の効果的利用の概念を適用することが可能であり、炉形式に応じた基本的な数値解析技術を開発することで、本プロジェクトで得られた知見を用いて実機への適用を検討できる。</p> |  |
| <p>5. 基本計画に関する事項</p> | <p>作成時期</p>   | <p>平成 28 年 1 月 作成</p>  |
|                      | <p>変更履歴</p>   | <p>平成 28 年 4 月改訂(実施体制, PM, 評価時期等の変更)<br/>       平成 28 年 4 月改訂(評価時期, 研究開発スケジュール等の変更)<br/>       平成 29 年 2 月改訂(研究開発項目の追加, PM・PL の修正, 評価実施時期の修正等)<br/>       平成 29 年 6 月改訂(中間目標の設定、中間評価時期の修正)</p> |

プロジェクト用語集

| 名称   | 略号   | 意味  |
|--|------|---|
| 石炭ガス化複合発電<br>Integrated coal<br>Gasification Combined<br>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<br>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<br>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。<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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。 $CO + H_2O \rightleftharpoons H_2 + CO_2$   |
| 炭素転換率<br>Carbon conversion<br>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<br>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<br>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。  |



| 名称  | 略号  | 意味  |
|---|-----|---|
| 石炭<br>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。<br>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。<br>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)。                          |
| 二酸化炭素分離・貯留<br>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   |
| 空気分離装置<br>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<br>Hot gas clean-up system                           |     | 従来のが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。 |
| クローズドガスタービンシステム<br>Closed cycle gas turbine system              |     | 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。  |
| セミクローズドガスタービンシステム<br>Semi-closed cycle gas turbine system       |     | 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。  |

## 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

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

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発熱量当たりの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。

#### (1) 政策的重要性

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電(IGCC)の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留(CCS)の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、平成26年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。平成27年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S(安全性、経済効率性、環境適合、安定供給)を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、平成28年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、石炭火力やCO<sub>2</sub>回収・利用(CCUS)を含む次世代火力発電関連技術を早期に技術確立し、実用化するための技術ロードマップ(図1-1、図1-2、図1-3)がとりまとめられ、火力発電の高効率化、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し、今後とも、官民一体となり技術開発を加速化させることとしている。

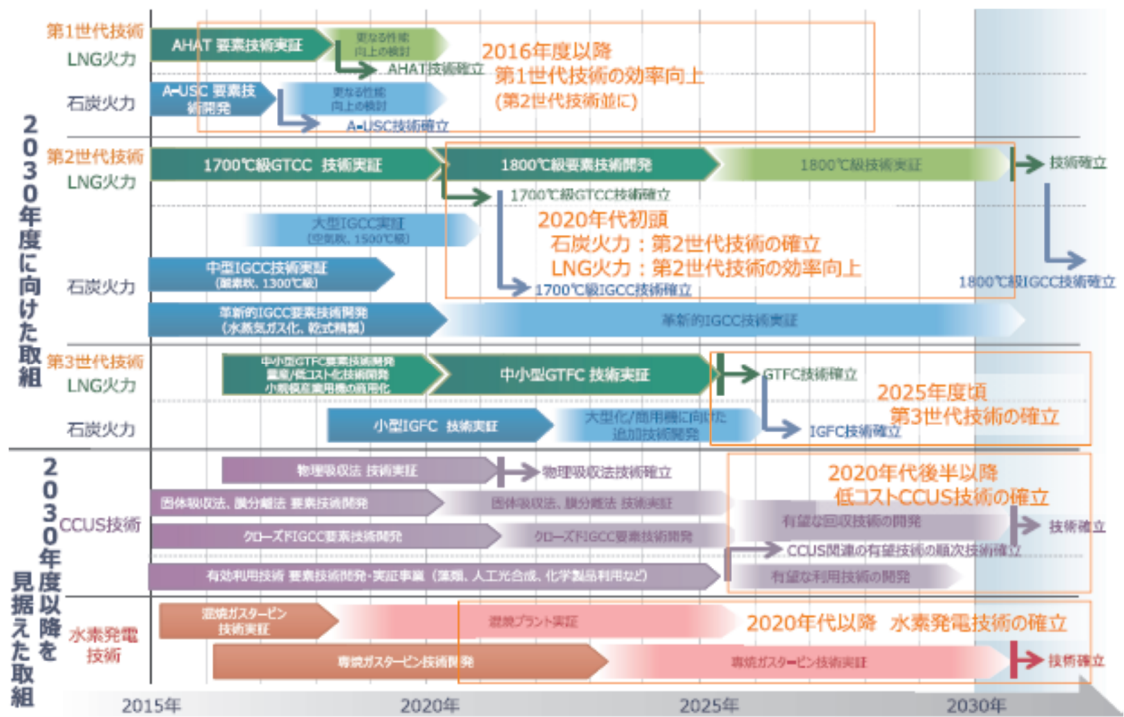


図 1-1 次世代火力発電に係る技術ロードマップ

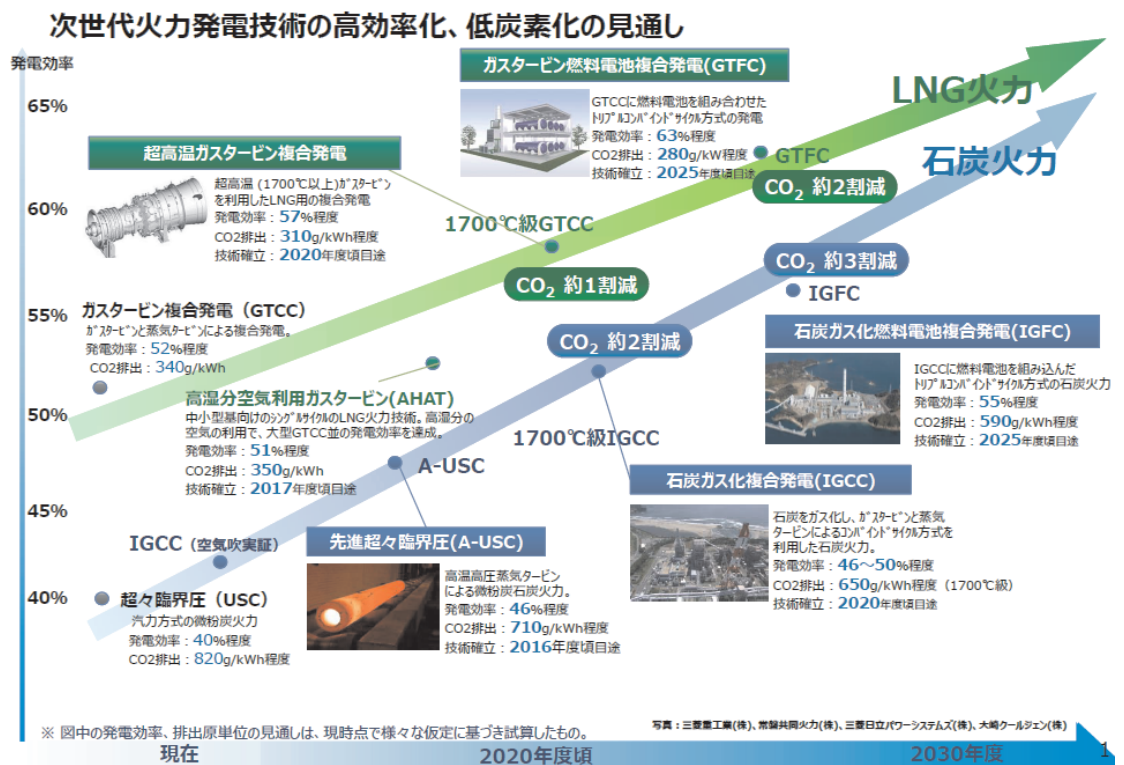


図 1-2 次世代火力発電に係る技術ロードマップ(次世代火力発電技術)





## 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

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必要があり、次世代火力発電技術と位置付けられている IGCC の高効率化によって CO<sub>2</sub> 排出量削減が可能であり社会的必要性が大きい。しかし、本技術は研究開発の難易度が高く、投資規模も大きいため、民間企業だけではリスクが高いことから NEDO の関与が必要不可欠である。

### 2.2 実施の効果

図 1-4 へ示す主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増減見通しの通り、世界的に地球温暖化対策を念頭に置いた政策が進む中、欧米の石炭火力は縮小傾向であるものの、アジアや豪州などの石炭火力は今後も導入が進む見込みであり、世界全体では石炭火力発電の容量(GW)が約 25%増える予想されている。また、表 1-1 へ示す現行 USC との発電効率および CO<sub>2</sub> 排出量の比較の通り、発電効率の向上により大幅な CO<sub>2</sub> の削減が達成でき、実施の効果は大きい。

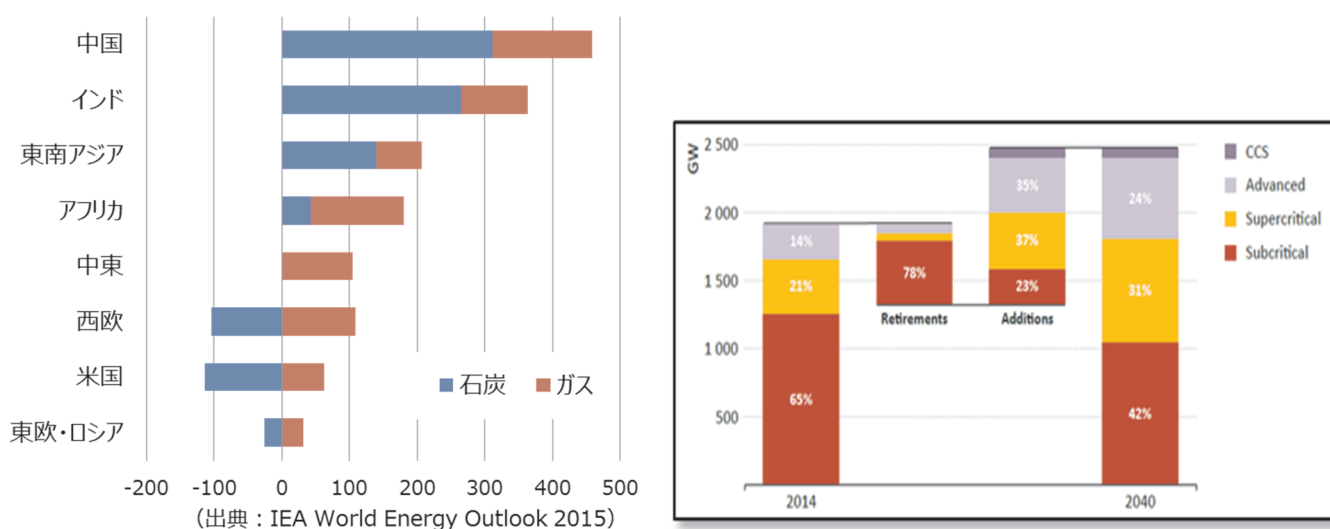


図 1-4 主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増減見通し(2015-2040)

#### (1) クローズド IGCC における実施の効果

国内ターゲット市場は 2040~2060 年頃の国内発電所リプレースへの本格導入を想定(想定条件: 経年 40~60 年で廃止)すると、出力 400MW 級規模の発電所が約 18 基導入される見込みである(全廃止容量 40~95GW の 1/9)。これは建設費単価約 30~40 万円/kW とすると、約 2.5 兆円の市場が期待できる。海外ターゲット市場については、国内で効果を確認後、海外への普及展開が期待でき、展開時期が 2050 年代以降で未確定要素が多いものの、CCS 火力としての送電端効率の優位性は極めて高い上、新興国を中心に海外の石炭火力新設需要は大きいものと考えられる。

#### (2) 次世代ガス化における実施の効果

水蒸気を 1500°C 級 GT を適用した IGCC へ添加することで発電効率が約 2 ポイント向上し、燃料費を約 4%削減できると試算されている。2030~2050 年頃の国内発電所リプレースへの本格導入を想定

(想定条件: 経年 40~60 年で廃止)すると、出力 500MW 級規模の水蒸気添加 IGCC が約 15 基導入見込みである(全廃止容量 80~100GW の 1/12)。これは建設費単価約 30 万円/kW とすると、約 2.3 兆円の市場が期待できる。海外ターゲット市場についてはクローズド IGCC と同様に本技術を取り入れた IGCC を普及・展開することが期待できる。

表 1-1 現行 USC との発電効率および CO2 排出量の比較

|                  | 発電効率<br>(送電端,HHV) | kWh あたりの<br>CO2 排出量 | CO2 排出量** | CO2 削減量            | CO2 削減割合 |
|------------------|-------------------|---------------------|-----------|--------------------|----------|
| 現行 USC           | 40%               | 0.82kg/kWh          | 250 万 t/年 | ベース                | ベース      |
| IGCC             | 46%               | 0.71kg/kWh          | 218 万 t/年 | 32 万 t/年           | 約 13%    |
| CO2 回収型ク<br>ローズド | 42%               | 0kg/kWh             | 0 万 t/年   | 240 万 t/年(回<br>収量) | 約 100%   |
| 次世代ガス化<br>システム   | 48%*              | 0.68 kg/kWh         | 208 万 t/年 | 42 万 t/年           | 約 17%    |

\*: 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。

\*\* : 500MW に適用された場合の排出量を試算

$$500\text{MW} \times 8,760 \text{ 時間} \times 0.7 (\text{稼働率}) = 3,066,000 \text{ MWh/年}$$

$$\text{現行 USC: } 3,066,000,000 \text{ kWh/年} \times 0.82\text{kg/kWh} = 2,514,120\text{t-CO}_2/\text{年} \div 250 \text{ 万 t/年}$$

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

本事業を通じて、発電効率の大幅向上や CO2 分離・回収後においても高効率を維持すること等、CO2 排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の確立を目指す。

#### (1) CO2 回収型クローズド IGCC

[中間目標(平成29年度)]

送電端効率42%(高位発熱量基準)を見通すための要素技術確立の目途を得る。

[最終目標(平成31年度)]

送電端効率42%(高位発熱量基準)を見通すための要素技術を確立する。

#### (2) 次世代ガス化システム

[中間目標(平成29年度)]

既存のIGCC(1500°C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(平成30年度)]

既存のIGCC(1500°C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。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### (1) CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC

本システムは、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。

本システムの実現に向けては、平成20年度から平成26年度まで実施した「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量 3TPD 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 50TPD 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。

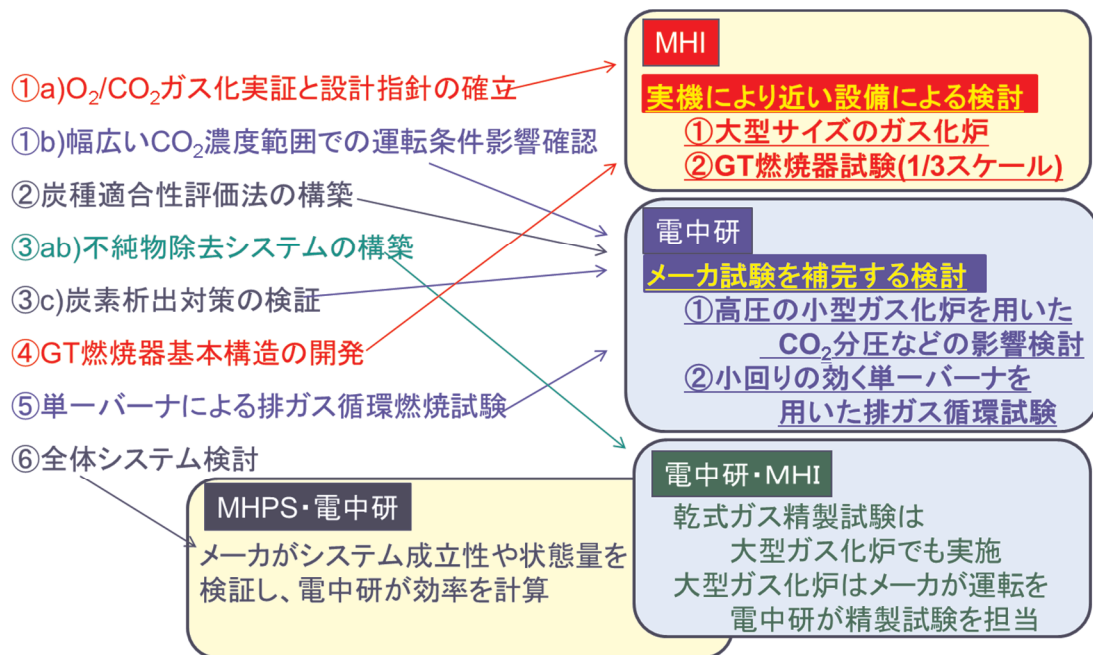


図 2-1 CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC 役割分担

5

#### (2) 次世代ガス化システム

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。

## 2.2 研究開発の実施体制

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。

(1) CO2 回収型クローズド IGCC

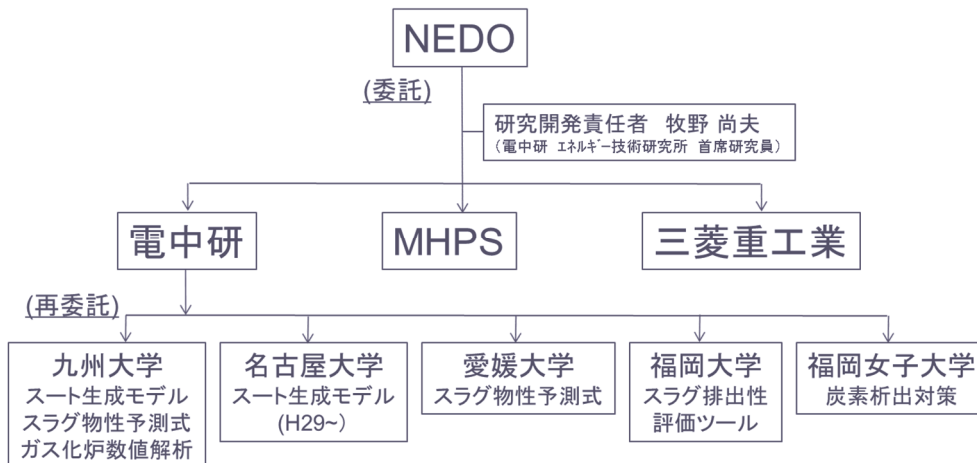


図 2-2 CO2 回収型クローズド IGCC 実施体制



## (2) 次世代ガス化システム

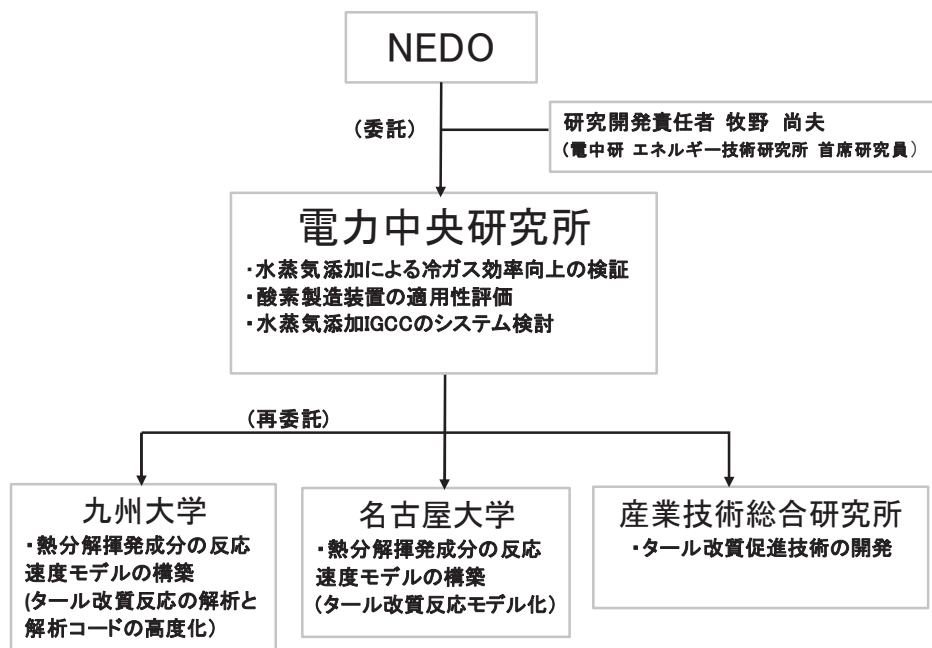


図 2-3 次世代ガス化システム実施体制

### 2.3 研究開発の運営管理

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

#### (1) 進捗把握・管理

PMI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

PMI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。

### 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

クローズド IGCC における実用化とは、システムに必要な O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 石炭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、石炭ガス化一貫システム(次フェイズ)および従来型 IGCC に活用できることである。本技術の要素技術である O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 石炭ガス化技術は産業用ガス化炉などに、乾式ガス精製技術は従来型 IGCC に活用でき、一層の効率向上に向けた道が拓ける。

次世代ガス化システムでは数値解析による商用規模ガス化炉の評価技術が確立することで、実機への適用が可能となる。3TPD よりも大きな規模で実績を積むことが早期実用化につながることから、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が考えら

れる。既に世界各国に普及している産業用の酸素吹きガス化炉も、本プロジェクトの副次効果としての適用先と考えられることから、情報発信を行いアピールに努める。なお、二室二段噴流床ガス化炉以外のガス化炉においても水蒸気の効果的利用の概念を適用することが可能であり、炉形式に応じた基本的な数値解析技術を開発することで、本プロジェクトで得られた知見を用いて実機への適用を検討できる。

実用化・事業化につなげる知財戦略・標準化戦略については、ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願せず、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方針とする。

本プロジェクトにおける特許出願・論文投稿件数を、それぞれ表 2-1、表 2-2 に示す（H29 年度は予定を含む）。

表 2-1 「CO2 回収型クローズド IGCC 技術開発」の特許出願、論文投稿件数

|           | H27 年度 | H28 年度 | H29 年度 | 合計   |
|-----------|--------|--------|--------|------|
| 研究発表      | 19 件   | 13 件   | 11 件   | 43 件 |
| 論文投稿      | 5 件    | 5 件    | 2 件    | 12 件 |
| 雑誌**等への投稿 | 0 件    | 3 件    | 0 件    | 3 件  |
| 特許        | 1 件    | 1 件    | 3 件    | 5 件  |

\* 動力協会誌などへの投稿

表 2-2 「次世代ガス化システム技術開発」の特許出願、論文投稿件数

|         | H27 年度 | H28 年度 | H29 年度 | 合計  |
|---------|--------|--------|--------|-----|
| 研究発表    | 0 件    | 2 件    | 4 件    | 6 件 |
| 論文投稿    | 0 件    | 0 件    | 0 件    | 0 件 |
| 雑誌等への投稿 | 0 件    | 1 件    | 0 件    | 1 件 |
| 特許      | 0 件    | 0 件    | 0 件    | 0 件 |

「CO2 回収型クローズド IGCC 技術開発」においては、電中研と再委託先大学で連携し、研究発表 43 件（電中研 31 件、MHPS 1 件、九州大 1 件、愛媛大 4 件、福岡大 5 件、福岡女子大 1 件）、論文 12 件（電中研 9 件、九州大 1 件、愛媛大 1 件、福岡大 1 件）、と積極的に情報発信を行い、外部有識者の認知を得るべく活動した。また、得られた成果を関連研究者間のミーティングなどの機会を通じて共有化し、プロジェクト全体の底上げに努めた。

また、本システムの運転方法や GT 燃焼器に関する特許を三菱重工業および三菱日立パワーシステムズ社が 2 件出願し、電中研も本事業の中で開発した乾式ガス精製関連技術などに関する特許を 3 件出願した（表 2-3）。

表 2-3 「CO2 回収型クローズド IGCC 技術開発」における出願特許

| 種別 | 出願日       | 出願番号         | 名称                          | 出願人                        | 発明者                                | 手続き状況 |
|----|-----------|--------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------|
| 特許 | 2016/2/5  | 特願2016020800 | ガス化システムおよびガス化システムの運転方法      | 三菱重工業株式会社、三菱日立パワーシステムズ株式会社 | (MHI)高島 竜平、横濱 克彦、(MHPS)多田 宏明、石井 弘実 | 出願係属中 |
|    | 2017/3/23 | 特願2017057744 | ガスタービン燃焼器及び発電システム           | 三菱重工業株式会社                  | (MHI)薛 耀華、瀧口 智志                    | 出願係属中 |
|    | 2017/4/19 | 特願2017083179 | 不純物除去剤の再生システム               | 電力中央研究所                    | 小林 誠                               | 出願係属中 |
|    | 2017/9/1  | 特願2017168870 | 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 | 電力中央研究所                    | 小林 誠                               | 出願係属中 |
|    | 2017/9/21 | 特願2017181725 | 不純物除去剤の再生システム               | 電力中央研究所                    | 小林 誠、小沢 靖                          | 出願係属中 |

### 3. 情勢変化への対応

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

#### (1) エネルギー基本計画

平成 26 年 4 月 11 日に閣議決定された新しい「エネルギー基本計画」の中で、石炭は、温室効果ガスの排出量が多いという問題はあるが、安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されている。

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

#### (2) 電力システム改革

電気事業の自由化は、卸電力自由化は 1995 年より、小売供給自由化は 2000 年の大口需要家を対象に実施されて以降、段階的に実施され、2016 年 4 月より全面自由化されており、事業者としても自由化範囲拡大を念頭に競争力(安定性、経済性、環境性)のある電源の開発が必要だという認識のもと、安定供給性や経済性に優れた石炭火力の更なる効率向上を目指し、推進してきている。

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

#### (3) 海外における石炭火力発電を取り巻く情勢

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

米国においては、2013 年 6 月にオバマ大統領が「オバマ大統領気候変動計画(米国)」を発表、その中で石炭火力発電にとっては CCS を設置しなければ現状達成が困難なレベルの CO<sub>2</sub> 排出基準(環境保護庁規制案: 約 0.499kg-CO<sub>2</sub>/kWh)の制定が検討されている。またイギリスにおいては排出原単位基準(EPS)が制定され、新設の場合は設備の CO<sub>2</sub> 排出原単位 0.45kg-CO<sub>2</sub>/kWh という規制値が、カナダにおいては新設の石炭火力発電所、経済的耐用年数に達した古い発電所を対象に 0.42kg-CO<sub>2</sub>/kWh の排出基準が課されており、CCS 設備を備えない新規石炭火力は建設が困難な状況にある。

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

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

今後経済発展を進める新興国、途上国がその増大する電力需要に応えるためには、一定程度石炭火力発電プラントの新增設・リプレースに依存せざるをえないことは明らかであり、こうした中、新興国では公的



金融支援がなければ、高効率な石炭火力発電プラントよりも低コストながら低効率な発電プラントが導入されることになり、CO<sub>2</sub> 排出抑制の観点からはむしろ望ましくない結果となる恐れがあることが懸念されている。

こうした CO<sub>2</sub> 排出規制の強化に向けた検討の動きがある中、米国政権がトランプ大統領に交代し、気候変動に関する政策変更が明らかになっているものの、長期的な視点に立てば、世界的に気候変動への対策が強化されていくことは避けられないと考えられる。エネルギー資源の大半を輸入に頼る我が国においては、安定供給性やコストの面で優れたエネルギー源である石炭火力は今後も必要不可欠な存在であり、今後もその役割を継続的に果たしつつ環境影響を抑制していくためには、高効率の石炭火力発電を利用していく必要がある。

また、アジアなどにおいて LNG(液化天然ガス)はいまだ高価格であり、経済発展を進める新興国、途上国がその増大する電力需要に応えるためには、主に自国産の低廉な石炭を使った火力発電に頼らざるを得ない国も多いこと、さらに、これまで IGCC や CCS の開発を推進してきた米国や欧州において、前者では、シェールガス革命により、後者では再生可能エネルギーの大量導入により、高効率石炭火力の開発・導入が停滞している状況下において、日本で高効率 IGCC や CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC の開発を進めることは、低廉な低品位炭に適した発電方式として、今後、電力需要が拡大するアジア・大洋州を中心に海外普及が望め、世界的な CO<sub>2</sub> 排出削減に貢献できることから、重要である。

#### 4. 評価に関する事項

##### (1)CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC

フェーズ 2 は平成 27 年度から開始し、50TPD 炉を使用したガス化試験の準備を進め、平成 29 年度下期を目途にガス化試験を開始予定である。外部有識者による評価については、試験データを取得した後に実施予定である。

なお、前フェーズ「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト/革新的 CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC 技術開発(フェーズ 1)」(事後評価)実施期間:平成 20~26 年度、における総合評価は以下の通り。

##### 1)総合評価

化石燃料資源の殆どを輸入に頼る日本にとって、本事業は世界各地に豊富に存在する石炭を将来的に有効活用する技術開発で、日本のエネルギーセキュリティの向上に大きく寄与すると同時に、輸入燃料費の低減、CO<sub>2</sub> 削減による地球温暖化防止に大きく貢献するものである。世界に先駆けて O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化の研究開発に取り組んだ意義は大きい。高い目標値(送電端効率 42%(HHV))の設定のもと、当該技術開発プロジェクトをほぼ計画通りに遂行し、目標値が達成できる条件を見出すに至ったことは高く評価できる。

一方、目標値の達成は計算結果により得られたものであり、当初計画の検討項目に実証試験が含まれていなかったことから、O<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> ガス化及び乾式脱硫の実証試験がこのプロジェクト期間内でできなかったことは残念であり、また、知財の取得数が事業規模に比して少ない。本事業により、将来日本企業が国際競争力を持ちうる領域となることが期待でき、そのためにも得られた成果に対して国際的な知財確保がなされている必要がある。

震災以降、原子力発電所の停止により膨大な燃料購入費の海外流出が続いており、また地球温暖化への世界的な取組強化など、本事業に関する社会環境・背景は大きく変化し、実施前より本事業の実施意義・必要性は格段に高まっている。研究計画は実現可能性・見込みと共に、社会のニーズ・変化に応じ

て機動的に見直す必要があるが、震災以降の急激な情勢変化を考えると、事業の加速化・前倒し検討が行えなかったのかという点が残念である。

## (2) 次世代ガス化システム

研究開発としては、平成 27 年度に立ち上げ、今回初めて中間評価を実施する。また、これまで試験準備のためのリアクターの製作や既設設備の改造が主であり、特に試験データが少なかったことから、外部有識者を招聘した技術検討会は実施していない。今後試験データが集まり次第、取り組んでいく予定である。

## 3-1. クローズド IGCC 研究開発成果について

### 1. 事業全体の成果

電力中央研究所、三菱重工業および三菱日立パワーシステムは、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)の要素技術開発に取り組んでいる。本システムは、IGCC のガスタービン(GT)排ガスをガス化炉や GT に再循環させ、必要な酸素を加えてガス化剤や燃焼用空気に代替するセミクローズド GT システムであり、CO<sub>2</sub> 回収後においても送電端効率 42%(HHV 基準)が期待される。H29 年度までに、表 3-1.1 に示すように、その中間目標を達成した。

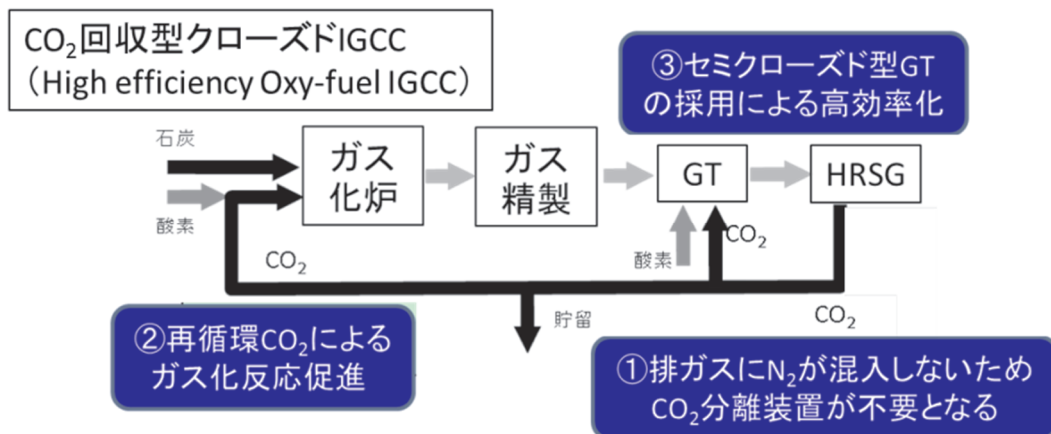


図 3-1.1 CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC システムの概念

表 3-1.1 本事業の開発項目・中間目標および達成状況

| 中間目標                               | 研究開発成果   | 達成度                 |
|------------------------------------|--|---------------------|
| 送電端効率 42%(HHV)を見通すための要素技術確立の目途を得る。 | ・種々の検討を通じてシステム成立性にかかわる課題抽出を進めるとともに、想定する最新システムにおいて 3 炭種の送電端効率が 43%HHV 以上であることを確認する見込。 | 達成見込<br>(H30 年 3 月) |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>①O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立</p> <p>(1) 酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討<br/>・CO<sub>2</sub>供給設備などを導入してO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証試験を実施し、ガス化炉システムの性能を評価する。</p> <p>(2) 3TPD 小型石炭ガス化炉による検討<br/>・微粉炭高濃度搬送システムなどを追設して3TPD炉の運転条件範囲を拡大し、試験方法を確立し、本格試験の準備を整える。</p> <p>② 炭種適合性評価ツールの構築</p> <p>a) 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上<br/>・3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する。<br/>・スート生成モデルを簡略化して3次元ガス化炉内数値解析ツールに組み込む。</p> <p>b) 炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築<br/>・高温炉内から排出されるスラグ流動挙動を解析するツールを構築する。</p> | <p>①O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立</p> <p>(1) 酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討<br/>・50TPD 炉にCO<sub>2</sub>供給設備などの建設を完了して試運転により運用に問題ないことを確認した。<br/>・H29年度下期にベース炭を用いたO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化試験を行い、ガス化性能、スラグ排出性、ガス化炉灰付着成長状況などのベースデータを取得予定。</p> <p>(2) 3TPD 小型石炭ガス化炉による検討<br/>・3TPD 炉に微粉炭高濃度搬送システムなどを追設し、ガス化試験により微粉炭搬送性能などを確認するとともに、運転方法を確立しており、高CO<sub>2</sub>濃度での基準炭のガス化基本性能データの取得を終える見込である。</p> <p>② 炭種適合性評価ツールの構築</p> <p>a) 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上<br/>・これまでに取得した4炭種に加え、新たに2炭種の反応性データを取得し、3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する見込である。<br/>・スート生成モデルを簡略化して3次元ガス化炉内数値解析ツールに組み込み、PDTF、3TPD炉の解析に適用する見込である。</p> <p>b) 炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築<br/>・高温熔融スラグ諸物性の温度依存性予測式を構築する見込である。<br/>・炉形状を考慮したスラグ排出解析ツールを構築し、前項の温度依存性予測式を導入する見込である。</p> | <p>①(1):達成見込(H30年3月)</p> <p>①(2):達成見込(H30年3月)</p> <p>②a):達成見込(H30年3月)</p> <p>②b):達成見込(H30年3月)</p> |
| <p>③セミクローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築</p> <p>(1)酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討<br/>・50TPD 炉で実施するガス精製試験の準備を整える。</p> <p>(2)3TPD 小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討<br/>・3TPD 炉で実施する高圧脱硫試験の準備を整える。</p> <p>(3)炭素析出対策の検証<br/>・速度論的な観点も加味して炭素析出特性に及ぼすガス組成と圧力の影響を評価する。</p>  | <p>③セミクローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築</p> <p>(1)酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討<br/>・50TPD 炉用にハロゲン予備除去系を含む3塔切替式の乾式脱硫性能検証装置を製作、据付し、調整運転を終える見込である。</p> <p>(2)3TPD 小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討<br/>・3TPD 炉用の高圧試験設備を追設して、試運転調整を兼ねた予備試験を行った。当該試験結果を元に、高圧条件における脱硫剤の性能評価に着手する見込である。</p> <p>(3)炭素析出対策の検証<br/>・炭素析出速度評価設備を導入し、圧力およびガス組成が炭素析出特性に及ぼす影響を評価する見込である。</p>  | <p>③(1):達成見込(H30年3月)</p> <p>③(2):達成見込(H30年3月)</p> <p>③(3):達成見込(H30年3月)</p>                        |
| <p>④ GT 燃焼器基本構造の開発</p> <p>・1/3スケールGT燃焼器試験設備を用いた模擬ガス燃</p>   | <p>④GT燃焼器基本構造の開発</p> <p>・模擬ガスを用いる1/3スケールGT燃焼器試験設備を設計、製作した。</p>  | <p>④達成見込(H30年3月)</p>  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| 焼試験により燃焼特性を評価する。  | ・1/3 スケールGT燃焼器を用いた燃焼試験により、燃焼特性を評価予定。  |  |
| ⑤セミクロード GT システムの概念設計<br>(1)単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出<br>・排気循環が GT 排ガス組成に及ぼす影響を検討する。   | ⑤セミクロード GT システムの概念設計<br>(1)単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出<br>・燃料中不純物(NH <sub>3</sub> )や希釈剤中 NO などが NO <sub>x</sub> 生成に及ぼす影響を検討する予定。<br>・排気バイパスラインで得られた加熱条件等、設計データに基づき、排気循環ループを追設し、基準条件における排気循環燃焼試験により、排気循環ガスの経時的な組成変化を確認する見込である。   | ⑤(1):達成見込(H30年3月)                          |
| ⑥CO <sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討<br>(1)諸検討結果の全体システムへの反映<br>・フェイズ1で構築したシステムを対象に、実機システムを適用したガス化炉/ガスタービンなどの性能を検討する。<br>・回収 CO <sub>2</sub> の不純物基準に関する調査・検討などを通じ、システム構築の準備を進める。<br>(2)プラント性能及び発電コストの試算<br>・想定システムの送電端効率および発電コストの試算データを更新する。 | ⑥CO <sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討<br>(1)諸検討結果の全体システムへの反映<br>・フェイズ1で想定したシステムを対象に汎用化学プロセスシミュレータ Aspen Plus を用いて、本システム全体の熱物質収支解析モデルを構築して、熱効率の評価を可能とした。全体システムの成立性検討と送電端効率 42%(HHV)達成のための技術課題を整理予定。<br>・回収 CO <sub>2</sub> の不純物基準などに関する調査・検討を通じ、システム構築の準備を整えた。<br>(2)プラント性能及び発電コストの試算<br>・想定する最新システムを対象に、Energy Win を用いて循環排ガス組成を考慮した上で、送電端効率の試算データおよび 2015 年に公開されたコスト等検証ワーキングの発電コスト試算法を用いて、発電コストの試算データを更新する見込である。 | ⑥(1):達成見込(H30年3月)<br><br>⑥(2):達成見込(H30年3月) |

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立

#### 2.1.1 酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討

CO<sub>2</sub>回収を行っても、高い発電効率を達成できる CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC(High efficiency Oxy-fuel 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、石炭投入量 50トン/日規模のベンチスケールガス化炉試験設備(図 3-1.2 50TPD ガス化炉試験設備、50TPD 炉)を用いて O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術を実証し、安定運用可能な条件を見出す計画である。

これらの試験実施に向けて、H28 年度までに、MHI 既存の 50TPD 炉への CO<sub>2</sub>供給設備、O<sub>2</sub>供給設備等の受託資産の建設を完了させるとともに、装置が計画通りの性能を満たしていることを確認するために、ガス通気試運転と CO<sub>2</sub>による微粉炭の高濃度搬送予備試験を実施した。

これらの試運転にて、実機と同様に複数の微粉炭供給ホッパを切り替えながら、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済みである。

更に、ガス化試験に供試予定のインドネシア産 MN 炭を初めとする候補炭の各種分析を実施し、実際のガス化試験時の運用方針を明確にした。





図 3-1.2 50TPD ガス化炉試験設備

H29 年度は 50TPD 炉にて、ベース炭であるインドネシア産 MN 炭を用いた  $O_2/CO_2$  ガス化試験を実施する計画である。

これまでに電中研 3TPD 炉の試験から、搬送ガスとして  $N_2$  よりもモル比熱が大きい  $CO_2$  を搬送ガスとして利用する際に、ガス化炉内の  $CO_2$  濃度が上昇することによる炉内温度の低下が確認されており、本 50TPD 炉や実機運転時もコンバスタ内部の温度低下が懸念される。このため、コンバスタの酸素比を適正に保つことで、従来の酸素吹きガス化炉に適用されている  $N_2$  搬送条件と同等のスラグ排出性を確保できることを試験にて確認する計画である。(H29 年度下期に本試験を完了させ、年度末の報告には反映させる予定である。)

ガス化特性に関しては、ガス化剤である  $CO_2$  の分圧が従来よりも高くなりガス化反応が促進され、チャー量も低減される見込みであり、本試験にて生成ガス組成や発熱量などを計測することで特性を確認する。

また、運用面でもガス化炉の各部シールガスやフィルタ逆洗用のガスとして従来の  $N_2$  から  $CO_2$  に変更しても問題なく運用できることを確認する。(各部への  $CO_2$  通気準備を完了済みである。)

ガス化試験後にはガス化炉内部および熱交換器の点検を実施することで、チャーによる伝熱管の閉塞等なく、安定運用可能であることを確認する。

また、50TPD 炉で生成した石炭ガス化ガスを用い、乾式ガス精製システムの設計データを取得する計画であり、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、高温高圧の条件において、性能を評価する装置を H29 年度上期に完成させ、H29 年度中には試運転調整を終える見込みである。ガス精製試験については、2.3.1 にて詳述する。

### 2.1.2 3TPD 小型石炭ガス化炉による検討

前述の 50TPD 炉では、設備規模が大きいこともあり、微粉炭搬送ガス以外には  $CO_2$  を投入しない計画である。そこで、ガス化剤中  $CO_2$  濃度がガス化反応などに及ぼす影響を評価するため、電中研の既設 3 トン/日石炭ガス化研究炉(3TPD 炉、小型ガス化炉)を改造して、ガス化試験を行うこととした。

本試験の実施に向け、微粉炭高濃度搬送設備(図 3-1.3)を追設した。もともと本 3TPD 炉は、酸素富化空気吹き的设计であったが、微粉炭高濃度搬送設備の導入により搬送ガスとして炉内に投入する不活性ガス量が低減されるため、ガス化剤中の  $O_2$  濃度、 $CO_2$  濃度の設定範囲を拡大できた(図 3-1.4)。

これに加え、炉内冷却用の蒸気投入系を追設するとともに、高温型耐火材を施工することにより、ガス化剤中  $O_2$  濃度の上昇に伴うコンバスタ内の高温化に備えた。

H28 年度には、微粉炭高濃度搬送設備の性能を確認する石炭ガス化試験を行い、微粉炭の定量給炭能力(図 3-1.5)や 2 本のバーナへの均等分配性(図 3-1.6)などが良好であることを確認した。

H29 年度には、運転操作工程の最適化をはかりつつ、ベースデータの取得を進めた。

これにより、実施計画書に記載した「(改造した 3TPD 炉による)試験方法を確立し、運転条件範囲を見極め、ベースデータを取得する」という初期の目標は達成され、H30 年度以降に本格実施するガス化試験によって所期の目標を達成できる目処がたった。

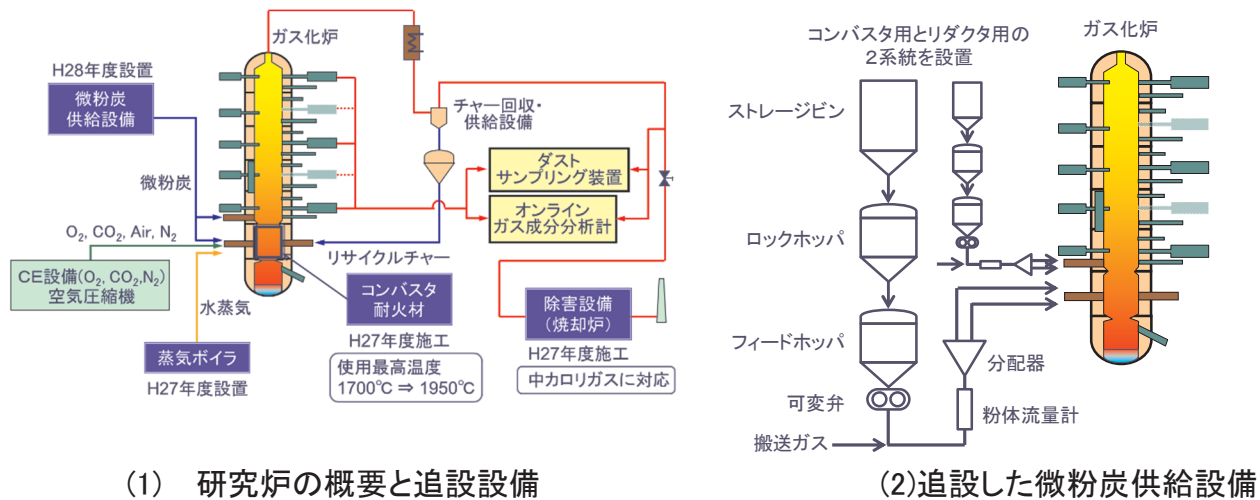


図 3-1.3 石炭ガス化研究炉の概要と追設設備  
(加圧噴流床、2 室 2 段ガス化炉、運転圧力 2MPa)

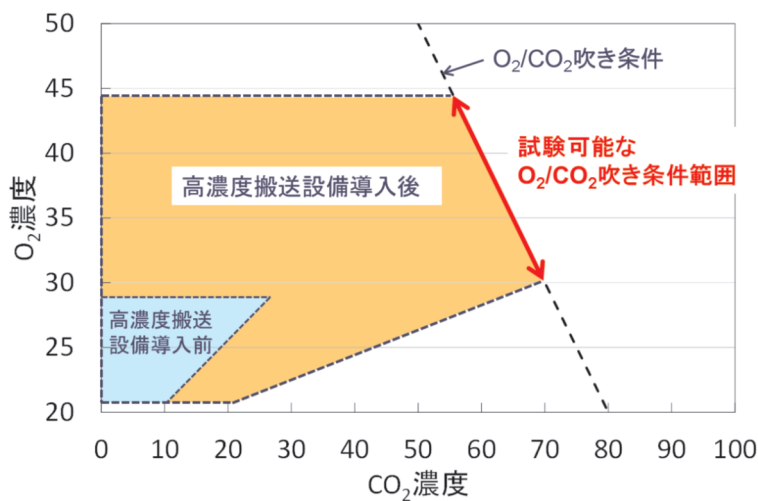
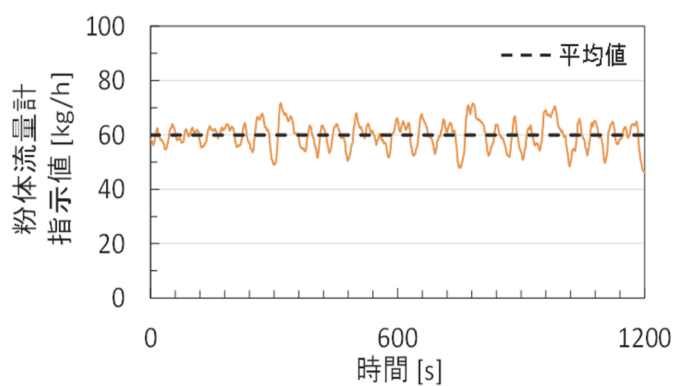
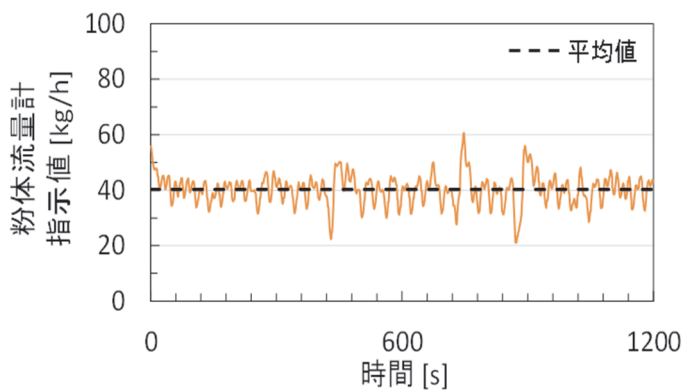


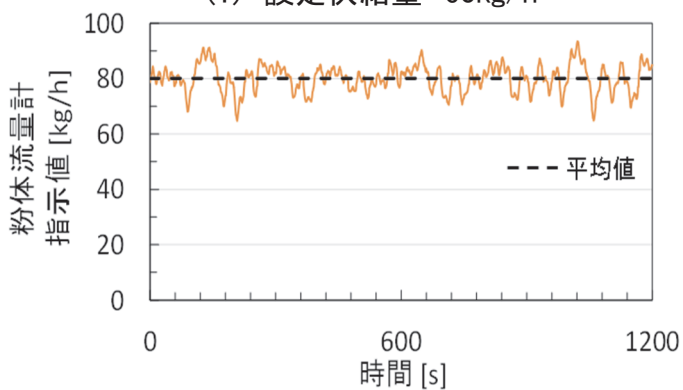
図 3-1.4 改造による試験条件範囲の拡大



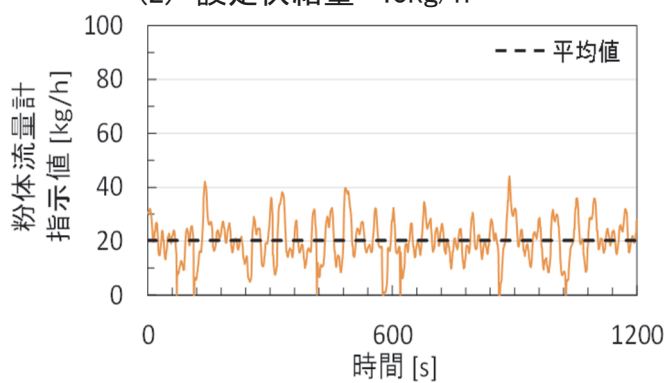
(1) 設定供給量 60kg/h



(2) 設定供給量 40kg/h

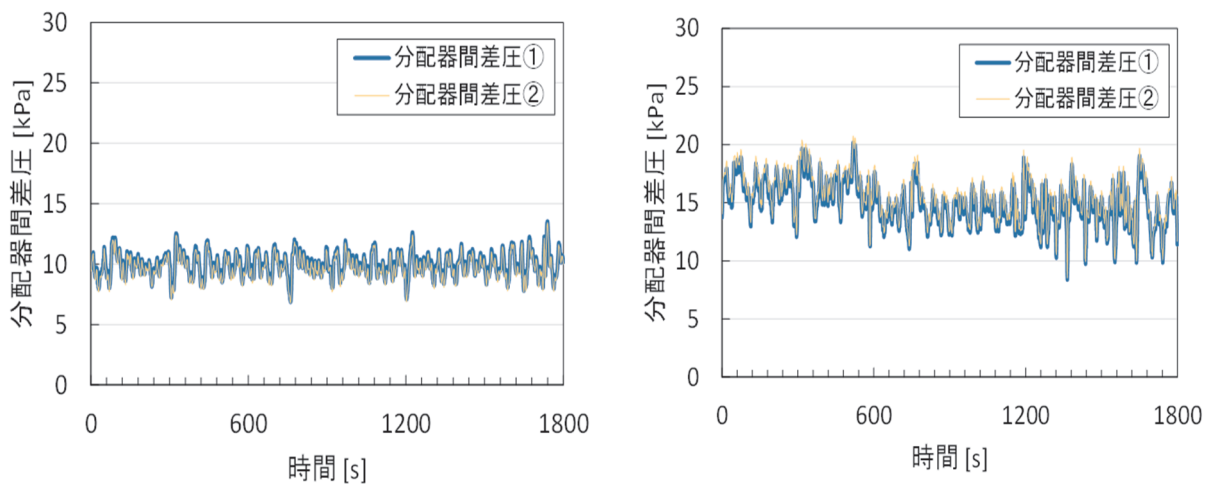


(3) 設定供給量 80kg/h



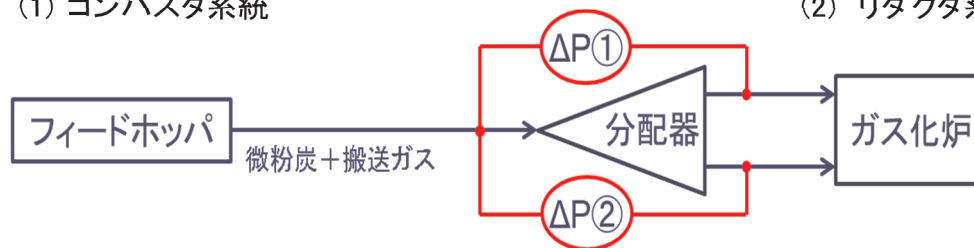
(4) 設定供給量 20kg/h

図 3-1.5 微粉炭定量給炭能力の確認試験結果



(1) コンバスタ系統

(2) リダクタ系統



(3) 計測位置の説明図

図 3-1.6 2 本のバーナへの均等分配性能確認試験結果

## 2.2 炭種適合性評価ツールの構築

本プロジェクトは、H20 年度から H26 年度まで実施した基盤技術開発研究（以下、フェイズ 1）の成果を元に始まったものであり、先行するフェイズ 1 では、開発するクローズド IGCC システムが従来にない  $O_2/CO_2$  ガス化炉を採用することから、炭種適合性を評価するツールの基盤技術を構築した。本プロジェクトでは、この基盤技術を発展させ、燃焼、ガス化反応を含むガス化炉内の流動様相を解析する 3 次元ガス化炉内数値解析ツールの高精度化と、ガス化炉の安定運転を確保する上で不可欠な溶融スラグ排出性の炭種による違いを評価するスラグ排出性評価ツールの構築を目指している。これにより、 $O_2/CO_2$  ガス化炉に適合した炭種の見極めなど、 $CO_2$  回収型クローズド IGCC におけるガス化炉の運用指針が得られるものと期待している。

### a) 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上

電中研は酸素富化空気吹き石炭ガス化炉の 3 次元ガス化炉内数値解析ツールを開発し、活用してきたが、フェイズ 1 ではさらに  $O_2/CO_2$  ガス化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、チャーガス化反応モデルに関しては、Drop Tube Furnace (DTF) (図 3-1.7、最高温度 1800°C、炉内最高圧力 2.6MPa の粒子落下型気流層管型反応炉) を用いた高温ガス化実験と熱天秤 (TG) (図 3-1.8、最高温度 1400°C、炉内圧力 0.9MPa の上皿式作動型示差熱天秤) を用いた低温でのガス化実験を組み合わせ H29 年度までに新たに 2 炭種のチャーガス化反応データを取得し、実機規模  $O_2/CO_2$  ガス化炉 3 次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種をフェイズ 1 の成果と合わせて全 6 炭種まで拡大した (図 3-1.9)。また、本ツールを用いた解析により、例えば、主にコンバスタ中央部やリダクタ下段付近でガス化反応が生じるため、 $CO$ 、 $H_2$  濃度が高くなることや、水分含有量の多い AD 炭 (気



乾水分 15%) では、DT 炭(気乾水分 4%)に比べて炉内の H<sub>2</sub> 濃度が高くなることなど、炉内における詳細なガス化挙動や、炭種による生成ガス組成の違いが評価できた。

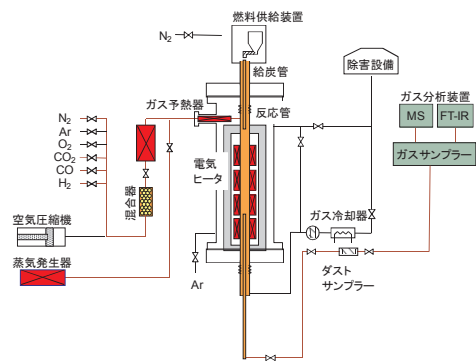


図 3-1.7 DTF 装置の概略図

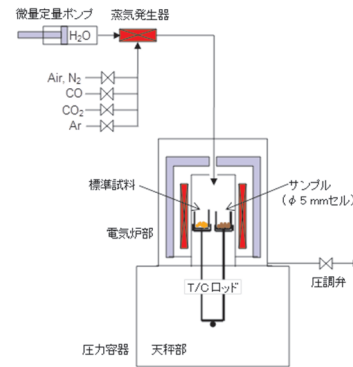
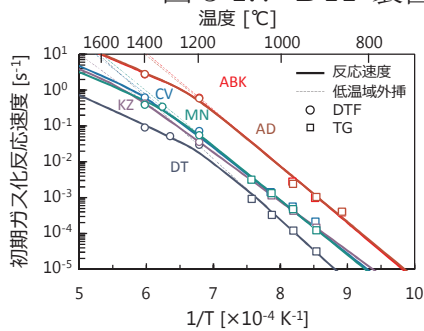
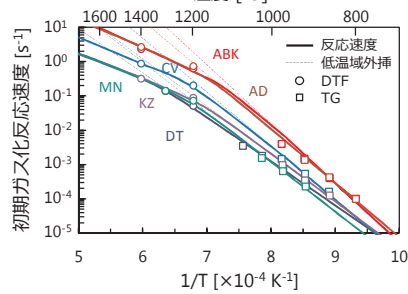


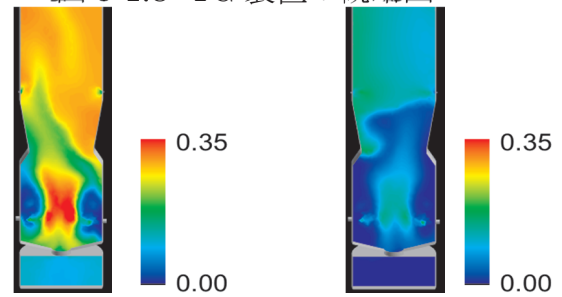
図 3-1.8 TG 装置の概略図



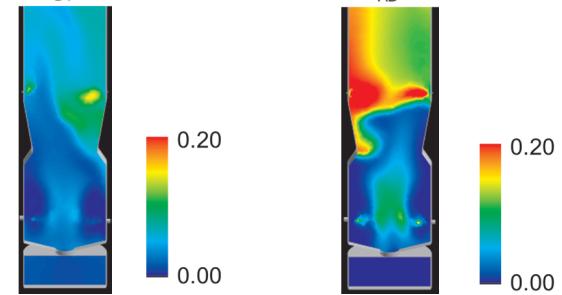
(1) CO<sub>2</sub> ガス化データ (CO<sub>2</sub> 分圧 0.2MPa)



(2) H<sub>2</sub>O ガス化データ (H<sub>2</sub>O 分圧 0.05MPa)



(1)DT 炭 CO 濃度分布 (2)AD 炭 CO 濃度分布



(3)DT 炭 H<sub>2</sub> 濃度分布 (4)AD 炭 H<sub>2</sub> 濃度分布

図 3-1.9 3次元ガス化炉内数値解析ツールによる炉内挙動解析結果の例

また、チャーと同じく固体の炭素であるものの、揮発分の複雑な気相反応を経て生成するスート(図 3-1.10(1))に関して、フェイズ 1 で開発・評価した初期熱分解モデルと気相反応モデルを、3次元炉内数値解析ツールに組み込み、基礎的な解析により動作を検証した。H29年度は引き続き、3TPD 小型ガス化炉を対象とした解析による検証を進めている。さらに、気相反応モデルの炭種適合性を高めることを狙い、多炭種の揮発分組成とその反応挙動を調査する基礎実験を実施するとともに、複数のモデルの比較検討も進めている。揮発分の反応に関する基礎実験結果の例として、初期熱分解モデルで考慮しているベンゼン、ナフタレンが他の側鎖を持つ芳香環よりも高収率で、分解しにくいことが分かり、スート生成への影響が大きいことが示唆された。(図 3-1.11)。

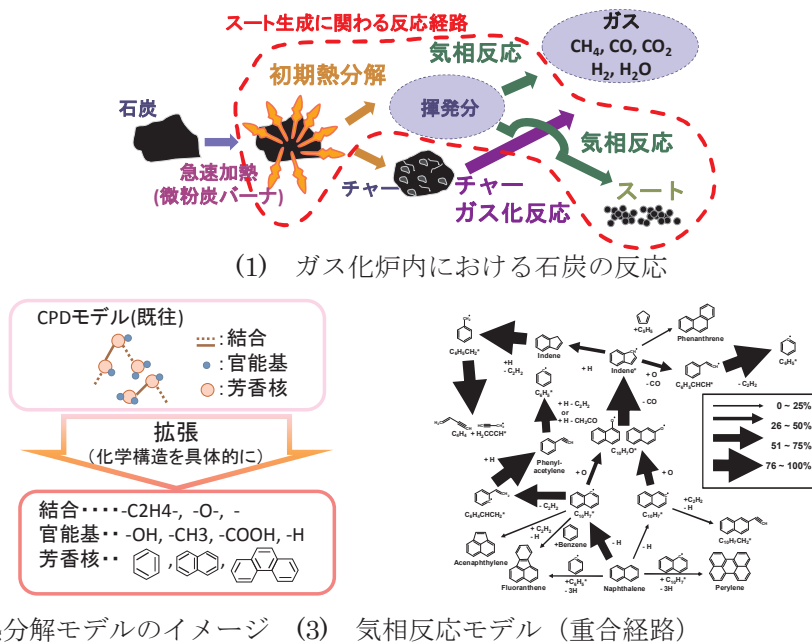


図 3-1.10 ガス化炉内における石炭の反応とスート生成モデルのイメージ

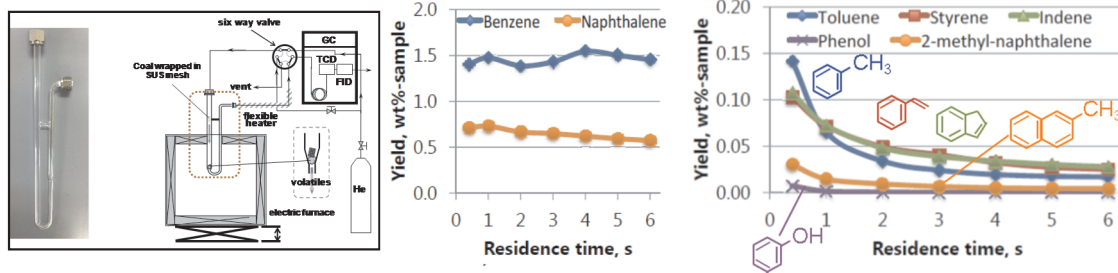
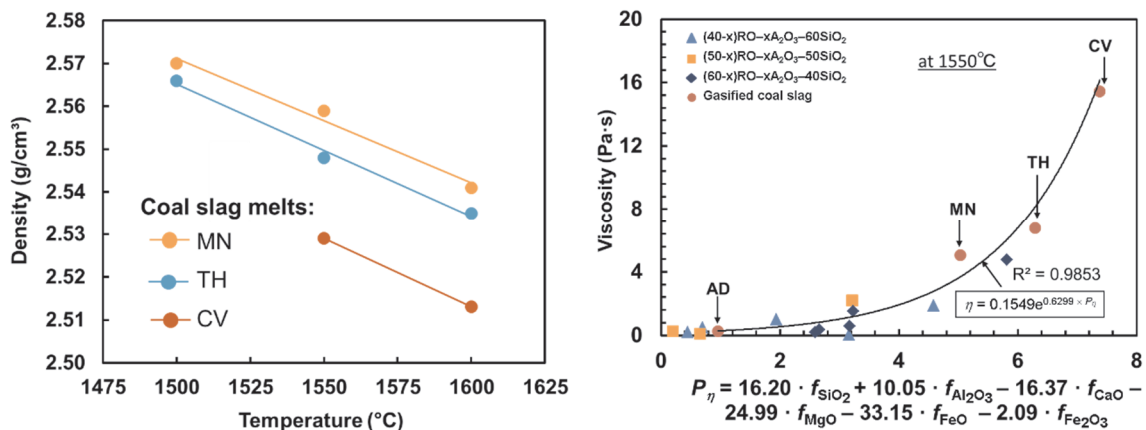


図 3-1.11 スート生成モデルの高精度化に向けた基礎試験結果(920°C, AD 炭)

## b) スラグ排出性評価ツールの構築

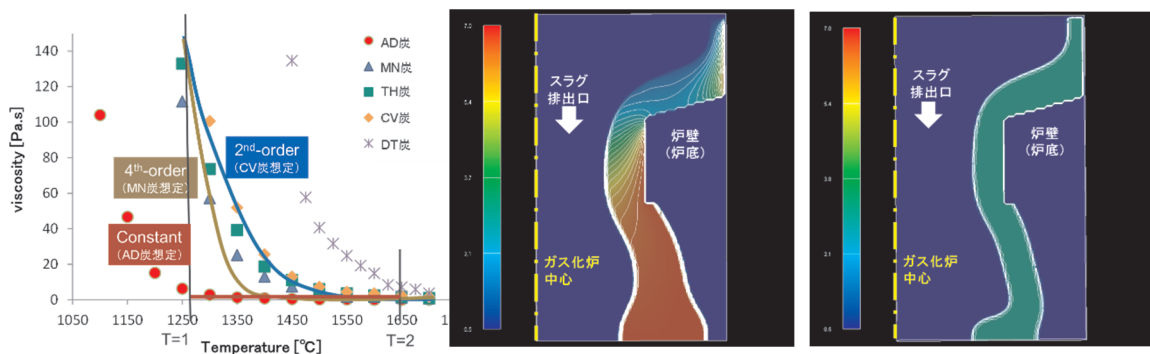
IGCCの中核設備である噴流床ガス化炉では、石炭灰を溶融させ高温の溶融スラグとして炉底から排出するが、溶融スラグの流動性は炭種によって大きく異なる。しかし、 $O_2/CO_2$ ガス化炉に限らず、空気吹き／酸素吹きいずれの噴流床石炭ガス化炉でも、スラグ排出性を事前に予測・評価する手法は確立されておらず、特定のガス化炉を安定に連続運転できる炭種、運転条件を見極める溶融スラグの排出性評価法構築が求められている。そこでフェイズ1では、溶融スラグの流下特性を予測するスラグ排出性評価ツールの基本コードを構築し、その精度を、溶融スラグを模擬した高粘性流体の流下試験データにより検証した。本プロジェクトでは、この評価ツールに実際のガス化炉を想定した形状を適用し、より実用的なツールに発展させた。また、本評価ツールが必要とする高温溶融スラグの諸物性を計測して蓄積したデータを元に、灰の元素組成などを元に、これら諸物性の温度依存性を予測する式を構築(図3-1.12)し、本評価ツールに組込むことにより、灰の元素組成などから高温溶融スラグのガス化炉からの排出特性を予測・評価できるツールの構築を目指している。例えば、高温における溶融スラグ粘度の温度依存性が大きく異なる複数の炭種について溶融スラグの流動性を評価した。スラグの冷却に伴い粘度が著しく増加するMN炭の場合は、スラグ層内に高粘度領域が形成されて流動性が低下する兆候が見られるのに対し、低温まで低い粘度が保たれるAD炭の場合は、炉底で冷却されても粘度の高い領域がほとんどみられず、良好なスラグ排出性が保たれることが予測された(図3-1.13)。



(1) 高温溶融スラグ密度の計測結果 (2) 組成パラメータ\*による高温粘度の予測例

図3-1.12 高温溶融スラグの諸物性計測・予測の状況

(\* : 組成パラメータとは灰元素組成から算出されるパラメータ)



(1) 粘度実測値と想定した粘度予測曲線 (2) MN炭スラグ層粘度分布 (3) AD炭スラグ層粘度分布

図3-1.13 スラグ排出性評価ツールを用いた炭種によるスラグ流の高温粘度評価

## 2.3 セミクローズドサイクルにおける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物を除去できることから、現行のIGCCで主流となっている湿式ガス精製システムと置き換えることにより熱効率の向上が期待される。従来のPre-Combustion型CO<sub>2</sub>回収IGCCはCO<sub>2</sub>回収のために生成ガスを湿式処理するのに対し、本プロジェクトで開発するクローズドIGCCシステムでは、シフト反応器やCO<sub>2</sub>回収設備を必要としないため、乾式ガス精製システムの採用による送電端効率の向上効果を最大限に享受できるものとされる。そこで本プロジェクトでは、50TPD炉(炉内圧 約1MPa)に実機を想定した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を設置して長時間連続運転による性能検証などを行い、大型化に必要な運転・設計データを取得する。また、炉内圧が2MPaと高い3TPD炉に高圧脱硫設備を設置して脱硫剤性能への圧力の効果を把握する計画である。

クローズドIGCCシステムが採用するO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化炉の生成ガスはCO濃度が高く、ガス温度が450℃程度まで低下する乾式脱硫プロセスにおいてハニカム脱硫剤で炭素微粒子が析出し、脱硫性能の低下などを引き起こすことが懸念された。そこで、フェイズ1において、系内で循環しているGT燃焼排ガスの一部を乾式ガス精製システムの上流で添加することで、炭素析出を抑制できることを基礎試験により確認した。本プロジェクトでは、本抑制策の実証を進めるために基礎試験によりガス組成が炭素析出速度に及ぼす影響を把握するとともに、より実機に近い圧力やガス組成での炭素析出抑制策の検証によりGT燃焼排ガス投入量の明確化なども検討する。

### 2.3.1 酸素吹き50TPD石炭ガス化試験設備による検討

本プロジェクトでは、ガス化実ガスによる長時間連続試験などに向け、50TPD炉においてハロゲン除去物除去器と固定床3塔方式の乾式脱硫装置とを組み合わせたプロセス(図3-1.14)を用いて、石炭ガス化ガスを抽気してガス精製システムの実機相当条件での性能評価と設備大型化に必要な運転・設計データの取得を目指している。そのためにOxy-fuelシステム用乾式酸性ガス除去評価装置(図3-1.15)を追設し、H28年度までに一部設備の製作・設置を終えている。H29年度内には、設備の据付と試運転調整を行い、本格試験に向けた準備を整える見込である。

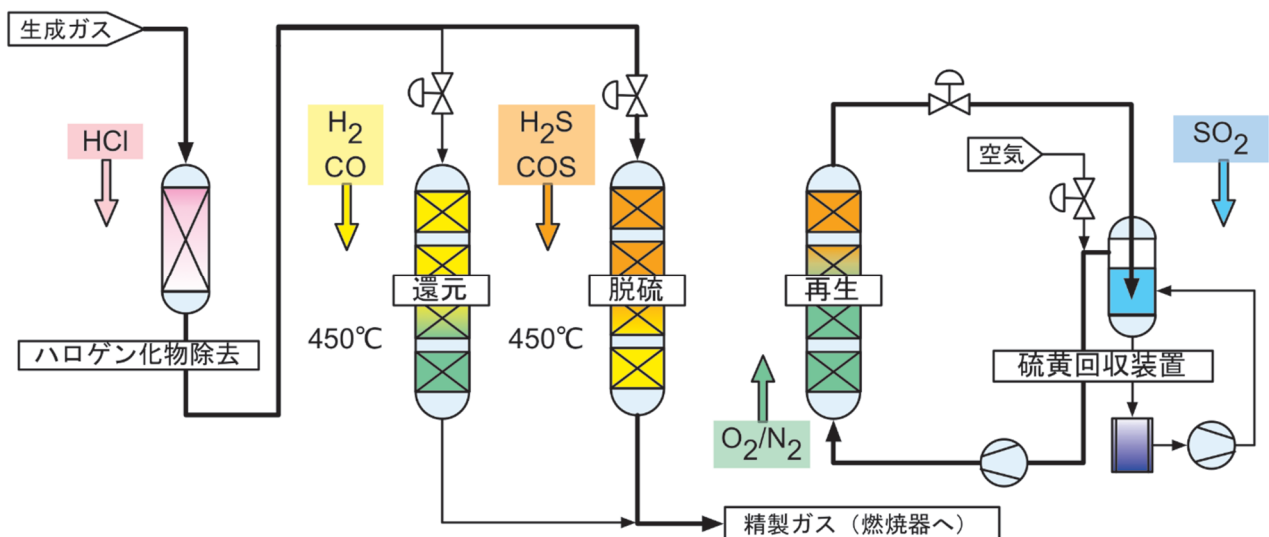


図 3-1.14 ハロゲン化物除去と固定床3塔方式乾式脱硫プロセスのコンセプト

(引 Kobayashi, Akiho, Energy Conv Manag 2016; 125:70-79.)

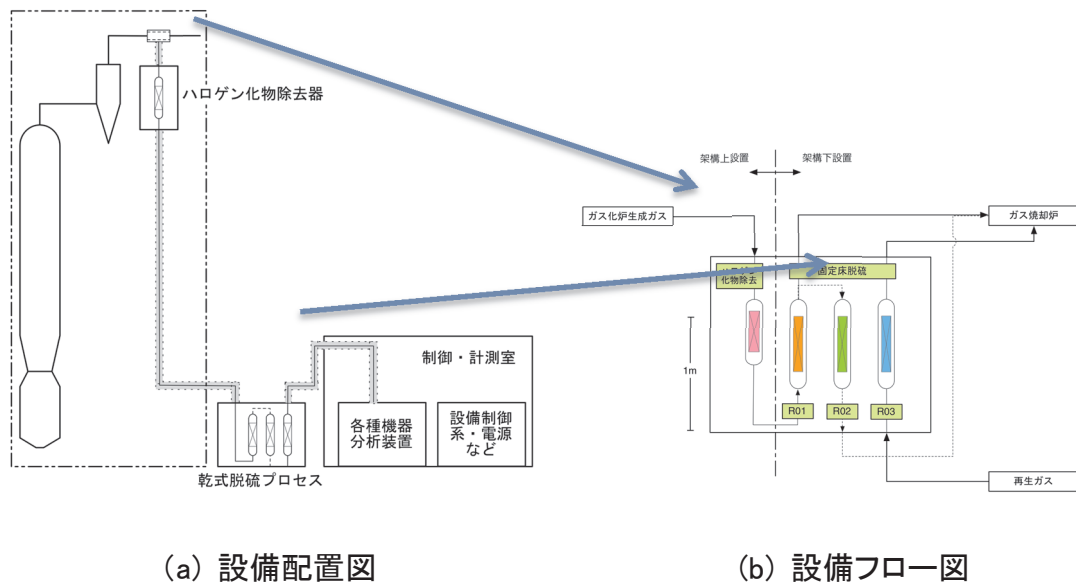


図 3-1.15 Oxy-fuel システム用乾式酸性ガス除去評価装置概略図

### 2.3.2 3TPD 小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討

実機の乾式ガス精製装置は高圧下で運転されるため、50TPD 炉(約 1MPa)よりも運転圧力が高い 3TPD 炉(約 2MPa)に高圧脱硫試験設備を追設して抽気石炭ガス化ガスを用いた試験を行い、設計データを取得する計画である。H29 年度までに設備の設置・試運転を終え、本格試験に向けた準備を整える予定である。

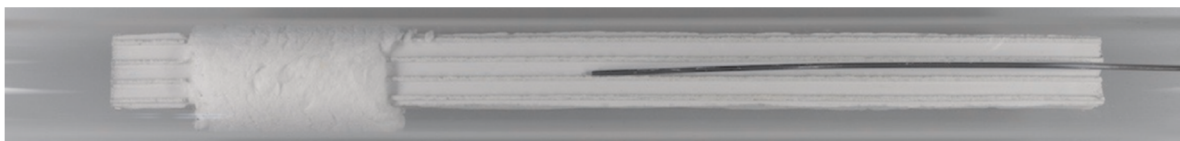
### 2.3.3 炭素析出対策の検証

フェイズ 1 で見出した炭素析出対策を検証するため、ガス組成が炭素析出速度に及ぼす影響などを確認する基礎試験を進めているが、それと並行して、調製方法の改良などによる炭素析出耐性の高い脱硫剤の開発も実施した(図 3-1.16)。十分な炭素析出抑制策が行えないガス化炉起動時を想定した厳しい条件では、改良前の脱硫剤では図 3-1.16(1)のように炭素析出により流路が損壊するなどの障害がみられたが、改良型の脱硫剤では、同一の条件でも炭素析出は発生せず健全な状態が保たれ、脱硫性能も低下しないことが確認できた(図 3-1.16(2)、図 3-1.17)。H29 年度は、炭素析出抑制策の効果を裏付けるため石炭ガスの組成や圧力の影響の把握を評価する。



(1) 改良前の脱硫剤

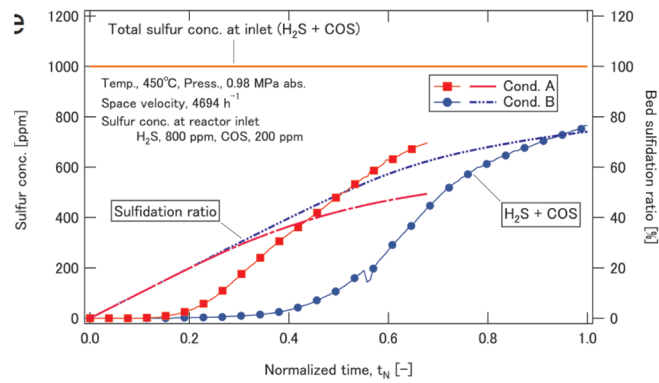
(試験後には炭素析出により流路が損壊)



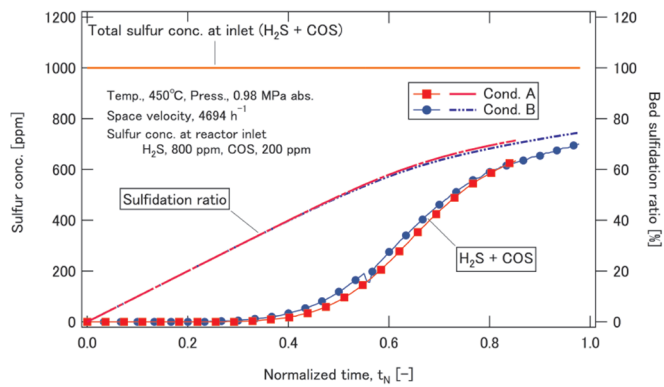
(上写真と同一条件で試験後も健全)

図 3-1.16 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 3-1.17 改良による脱硫性能の向上

(改良型脱硫剤では、改良前脱硫剤においては炭素析出が発生した厳しい条件 (Cond.A: 析出領域) でも、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 GT 燃焼器基本構造の開発

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試験数値解析により、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計画である。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。H28年度は実機燃焼器設計に必要な基礎データを取得するために(1)1/3スケール燃焼器と基礎燃焼試験装置(図3-1.18,19)設計・製作、(2)ガス供給設備製作、(3)GT基礎燃焼試験装置の試運転を実施した。

基礎燃焼試験用のスケールモデル燃焼器は、実機燃焼器と滞留時間を一致させ、スケール比を1/3として設計・製作した。燃焼器は拡散燃焼方式であり、石炭ガス化ガスの流路をリサイクルガスの流路との間に配置し、酸素ノズルは3ヶ所設置した。供試燃焼器内部には燃焼時のメタル温度計測用の熱電対(全20点)を設置した。また、燃焼器出口部にてガス温度と組成の計測が可能な構造とした。

ガス供給設備は、想定されるさまざまな炭種の組成を再現するため、ガス種ごとにガスを貯蔵し、燃焼器上流で混合する。電気ヒータにより実機と同一温度まで昇温可能である。燃焼器内部圧力は0.4MPa(A)が上限である。完成した装置を用いて燃焼器に着火し、石炭ガス化ガスを模擬した低カロリーガスを安定して燃焼できることを確認した。

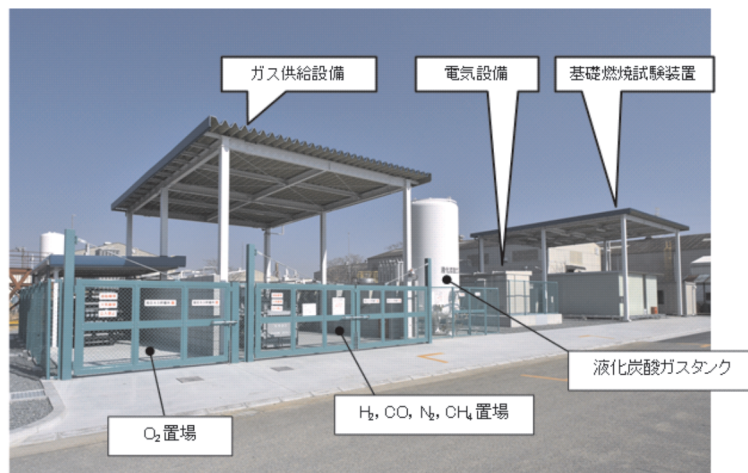


図 3-1.18 GT 基礎燃焼試験装置

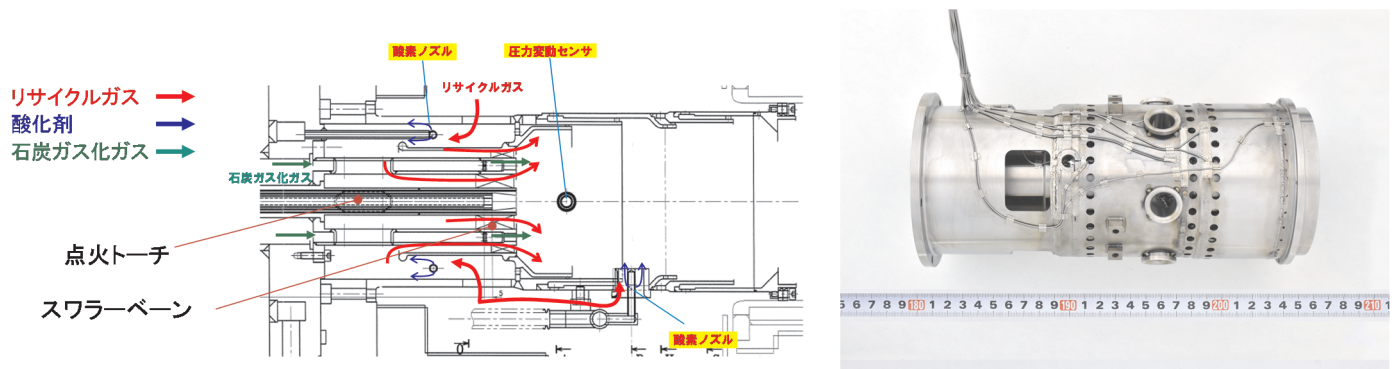


図 3-1.19 GT 基礎燃焼試験装置供試体燃焼器(スケール比 1/3)

H29年度は、GT基礎燃焼試験装置を用いて石炭ガス化ガスの燃焼試験を実施する計画である。インドネシア産MN炭の組成を基準とし、①圧力の影響(大気圧~0.4MPa(A))②炭種(石炭ガス化ガス組成)の影響、③燃焼器出口酸素濃度の影響についてそれぞれ確認する。計測項目は、燃焼器出口排ガス組成(CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、O<sub>2</sub>、CO)、燃焼器メタル温度、燃焼器圧力損失である。本試験で取得したデータを基に、実機燃焼特性評価手法を構築する。

## 2.5 セミクローズドGTシステムの概念設計

### 2.5.1 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出

クローズドIGCCにおける排気循環がGT排ガスの組成(回収CO<sub>2</sub>純度)に及ぼす影響を検討するため、単一バーナ基礎燃焼試験装置(図3-1.20)による排気循環を想定した燃焼試験を実施した。

量論比近傍(当量比 $\phi < 1$ )の燃焼で生じる残存O<sub>2</sub>(希釈剤中O<sub>2</sub>)については、希釈剤中にO<sub>2</sub>を添加した試験を行い、希釈剤中O<sub>2</sub>は燃焼効率の向上に寄与すること、排気循環を想定した場合、希釈剤中O<sub>2</sub>濃度と残存O<sub>2</sub>濃度が一致する循環O<sub>2</sub>濃度は当量比 $\phi$ によって変化することを確認した(図3-1.22)。

一方、燃料中に含まれる不純物のNH<sub>3</sub>(Fuel-N)については、燃焼後の生成NO<sub>x</sub>(Fuel-NO<sub>x</sub>)はほとんどがNOであること、石炭ガス化ガス組成の内、主にNH<sub>3</sub>濃度、CH<sub>4</sub>濃度、H<sub>2</sub>/CO比がNO<sub>x</sub>生成に影響を及ぼすことを確認した。また、希釈剤中にNOを添加した試験を行い、希釈剤中NO(Recycle NO)と燃料中NH<sub>3</sub>(Fuel-N)との相互作用は認められず、生成NO<sub>x</sub>濃度はFuel-NO<sub>x</sub>と添加したNOによるNO<sub>x</sub>を合算した濃度にほぼ等しくなること、排気循環を想定した場合、希釈剤中NO濃度と生成NO<sub>x</sub>濃度が一致する循環NO<sub>x</sub>濃度は量論比近傍(当量比 $\phi < 1$ )では当量比による違いがほとんど見られず、Fuel-NO<sub>x</sub>生成量の大きくなるCH<sub>4</sub>を含む燃料では上昇することを確認した(図3-1.23)。

H29年度は、上記結果を踏まえ、H28年度に設置した排気循環ループ(図3-1.21)を活用し、排気循環ガスの経時的な組成変化の確認に向け、基準条件における排気循環燃焼試験を進めている。

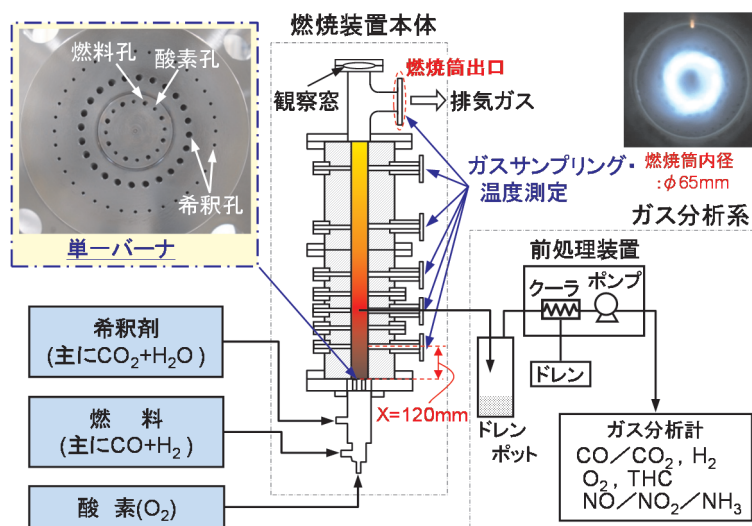


図 3-1.20 単一バーナ基礎燃焼試験装置



図 3-1.21 排気循環ループ



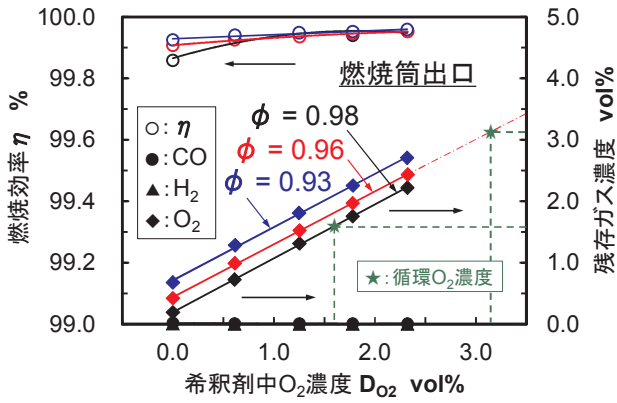


図 3-1.22 希釈剤への O<sub>2</sub> 添加結果

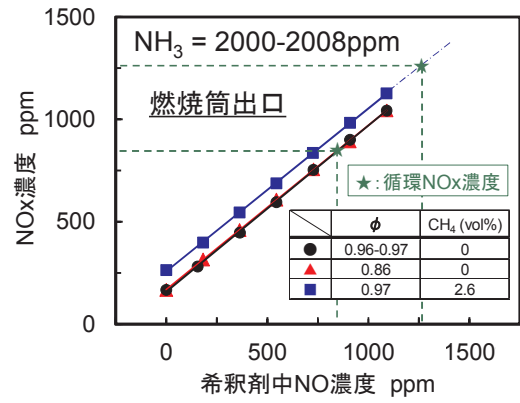


図 3-1.23 希釈剤への NO 添加結果

## 2.6 CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討

### 2.6.1 諸検討結果の全体システムへの反映

CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討を実施可能とするために、汎用化学プロセスシミュレータ Aspen Plus を用いて、本システム全体の熱物質収支解析モデルを構築して、熱効率の評価を可能とした。Aspen Plus の解析では、MHPS 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の結果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 3-1.24)とした。

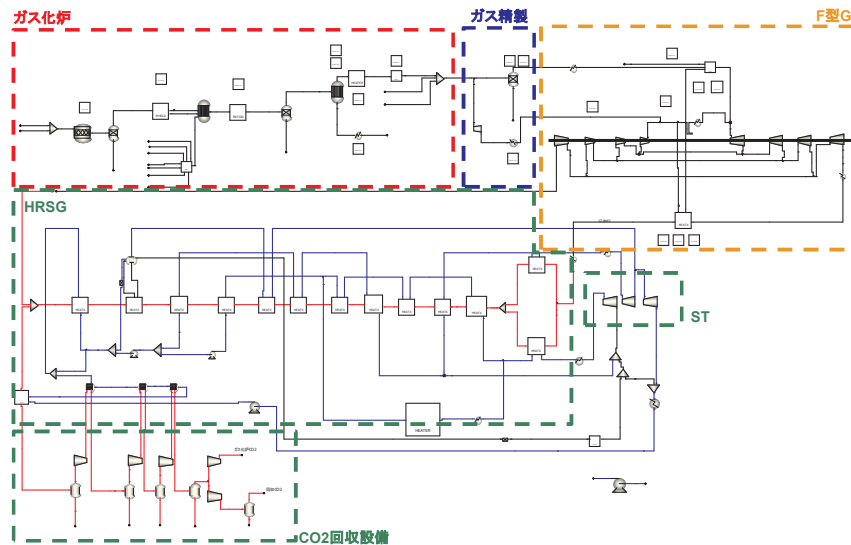


図 3-1.24 Aspen Plus 解析モデル

モデルの構築では、まずフェーズ 1 で電力中央研究所にて作成した熱物質収支を再現するモデルを構築し、計算結果が再現可能であることを確認した(図 3-1.25)。その後、実機ガス化炉・ガスタービンを想定したモデルへ改良を行い、また諸検討結果の反映として、炭素析出防止用リサイクル排ガスラインの追加、HRSG 給水温度の見直し(酸露点回避)、石炭乾燥方法の変更などを行った。

H29 年度は、ガス化炉の運転条件(ガス化炉投入蒸気・燃料比率(Steam/Coal)及び微粉炭中水分)をパラメータにプラント熱効率の解析を行っており、実現性を考慮した最適な運転点を見出すよう検討を進

めている。さらに全体システムの成立性検討と送電端効率 42% (HHV) 達成のための技術課題を整理する。

回収 CO<sub>2</sub> の不純物基準に関する調査、検討としては、CO<sub>2</sub> 回収および CCS に関する技術開発動向などを調査するとともに、不純物低減技術の調査として乾式ガス精製技術の開発動向などの調査を実施した。

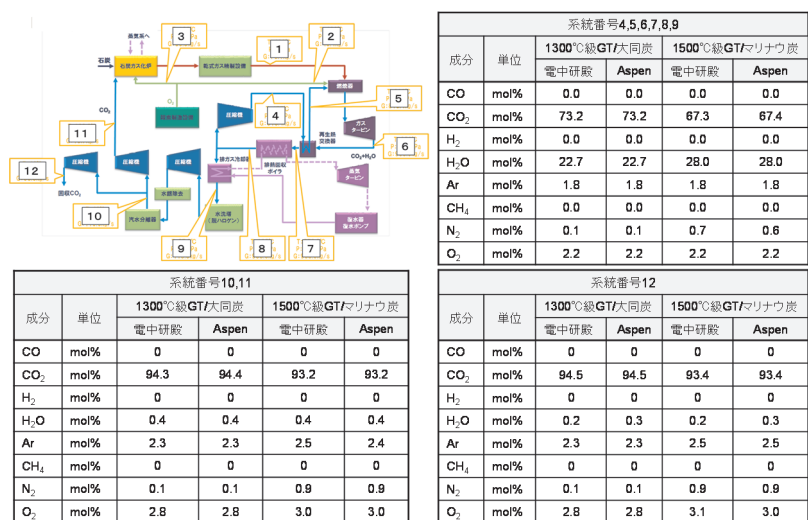


図 3-1.25 再現モデルによる各部ガス組成の計算結果比較

## 2.6.2 プラント性能及び発電コストの試算

本プロジェクトでは、種々の試験結果から得られた情報を総合的に勘案し、より実現性の高いシステムの提案を目指しており、本章では、最新システムを対象に、プラント性能および発電コストを試算、更新する。

これまでのところ、フェイズ1で想定したシステムに対する改造項目は見出されていないため、プラント性能の更新として、循環排ガス組成の影響を検討した。

フェイズ1では、循環排ガスを CO<sub>2</sub> と Ar の混合ガスと仮定して効率を計算したが、実際の循環排ガスには N<sub>2</sub> なども含まれる。そこで、前フェイズで試算対象とした 3 炭種を対象に、循環排ガスの組成を繰り返し計算で算出し、当該組成の排ガスがガス化炉および複合発電系に循環される際のプラント性能への影響を確認した。

その結果、いずれの炭種でも想定送電端効率は 43%<sub>HHV</sub> 以上となり、目標値(42%<sub>HHV</sub>)を上回る見通しが得られた(表 3-1.2)。

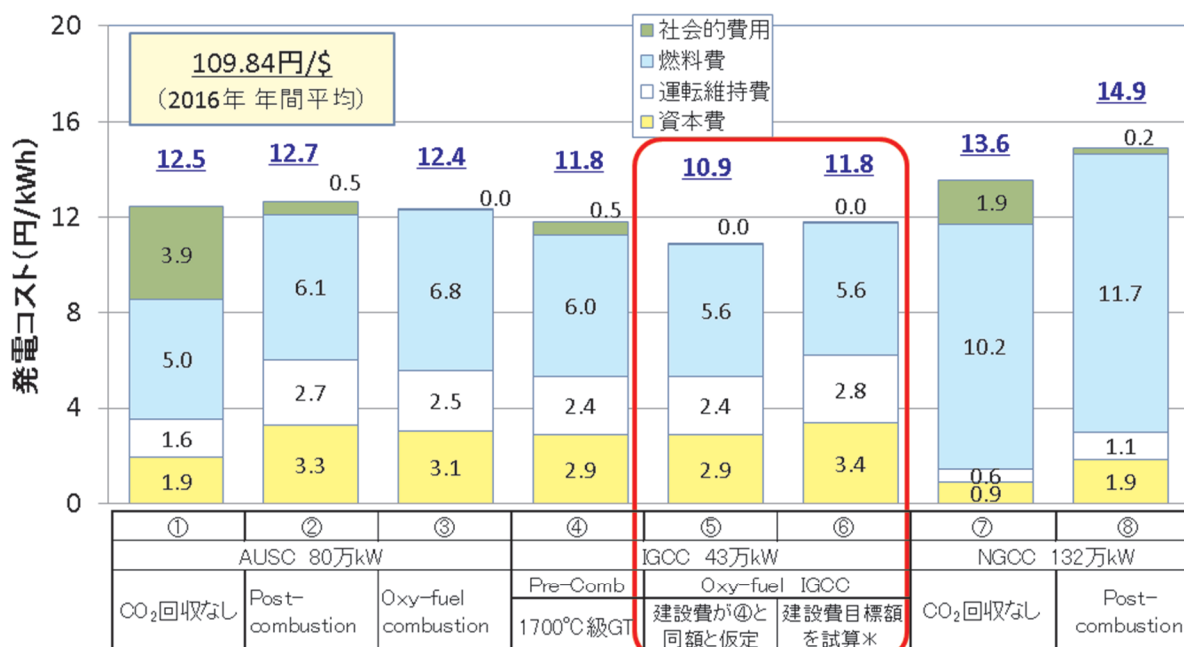
また、この送電端効率解析結果を元に、クローズド IGCC システムの発電コストを更新した。

コスト試算にあたっては、H27 年にコスト等検証ワーキングが公開した計算手法を適用した。

コスト等検証ワーキングの試算手法は、本プロジェクト前フェイズで採用した H24 年のコスト等検証委員会の手法と比べ、燃料費が高めの設定となっていることなどから、クローズド IGCC システムの発電コストは、他の CO<sub>2</sub> 回収型石炭火力②~⑤や CO<sub>2</sub> を回収しない発電システムで社会的費用を考慮した場合①よりも、優位なコストとなった(図 3-1.26)。

表 3-1.2 循環排ガス組成を考慮した送電端効率

| 炭種                | DD炭  | MN炭    | MO炭  |
|-------------------|------|--------|------|
|                   | 中国   | インドネシア | 豪州   |
| 発熱量(kJ/kg,気乾)     | 28.8 | 29.4   | 30.0 |
| 固有水分(% ,気乾)       | 3.9  | 4.7    | 3.6  |
| 灰分(% ,無水)         | 10.8 | 8.4    | 9.6  |
| 燃料比(-,無水)         | 2.26 | 1.25   | 1.86 |
| 酸素比(-)            | 0.38 | 0.38   | 0.38 |
| 送電端効率<br>(% ,HHV) | 43.8 | 43.3   | 43.4 |



\*: ⑥は「Oxy-fuel IGCCの発電コストが④の発電コストと同額となる建設費」を見積もった結果で、④の建設費の1.17倍未満なら発電コストが有利。

【試算法について】

- 1) コスト等検証ワーキングが公開した 報告書のエクセルシートを用いて試算。
- 2) 上記報告書の「2030年モデル 石炭火力」で送電端効率を48%に設定し「AUSC」、「IGCC\*」と読み替えた(\*:1700°C級GT、湿式ガス精製)
- 3) 出力は発電方式毎に統一、送電端効率とともに、ロードマップなどから、一般的と考えられる数値を設定。
- 4) 稼働年数等は上記報告書の設定値で試算。
- 5) ①、⑦の所内率や建設費単価などは上記報告書、②～④、⑧については、DOE/NETL報告書などのデータを元に設定。

図 3-1.26 コスト等検証 WG の手法による発電コスト試算

### 3-2. 次世代ガス化システム研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

次世代高効率石炭火力発電技術として、現在開発されている IGCC を効率でしのぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、電力中央研究所は、水蒸気を噴流床ガス化炉へ添加して冷ガス効率及び送電端効率の向上を図る水蒸気添加 IGCC システム(図 3-2.1)を対象とした基盤研究に取り組んでいる。平成 25 年度および平成 26 年度に実施したシミュレーションによる調査研究では、噴流床ガス化炉への高温水蒸気の添加による冷ガス効率及び送電端効率の向上と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ったことが分かった。そこで、小型ガス化炉を用いた水蒸気添加効果の検証と評価を進めており、表 3-2.1 に示すように平成 29 年度中に中間目標を達成した。引き続き最終目標の達成に向けて取り組んでゆく。

表 3-2.1 本事業の中間目標および達成状況

| 中間目標  | 研究開発成果  | 達成度                  |
|---|---|----------------------|
| 事業全体<br><br>既存の IGCC (1,500°C級ガスタービンで送電端効率 46~48% (HHV 基準)) をしの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。 | 3 トン/日規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉に水蒸気過熱設備を設置した。本ガス化炉を用いて水蒸気添加ガス化試験を実施し、試験方法を確立する見込み。  | 達成見込み<br>(H30 年 3 月) |
| ①水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証<br><br>二室二段噴流床方式の小型ガス化炉における水蒸気注入の評価   | 3 トン/日規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉を対象に、数値解析により水蒸気添加時のガス化性能を予測した。ガス化試験を実施し、数値解析結果と比較評価することにより、水蒸気注入効果を評価する見込み。                                      | 達成見込み<br>(H30 年 3 月) |
| ②エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価<br><br>エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価   | 各種酸素製造技術を調査し、各技術の仕様や特徴を整理した結果、現状で水蒸気添加 IGCC への適用が期待できる酸素製造技術は、既存技術の深冷分離技術のみであることが分かった。水蒸気添加 IGCC システムの条件に合わせて省エネルギー化した深冷分離法の機器構成を明らかにする見込み。 | 達成見込み<br>(H30 年 3 月) |
| ③水蒸気添加 IGCC のシステム検討<br><br>噴流床ガス化炉に水蒸気を添加する IGCC システムのコスト試算   | 発電コスト検証ワーキンググループによる算定方式で、IGCC の送電端効率向上に対する発電コストの感度解析を行い、水蒸気添加 IGCC システムにおける建設単価の目標を明らかにした。  | 達成見込み<br>(H30 年 3 月) |

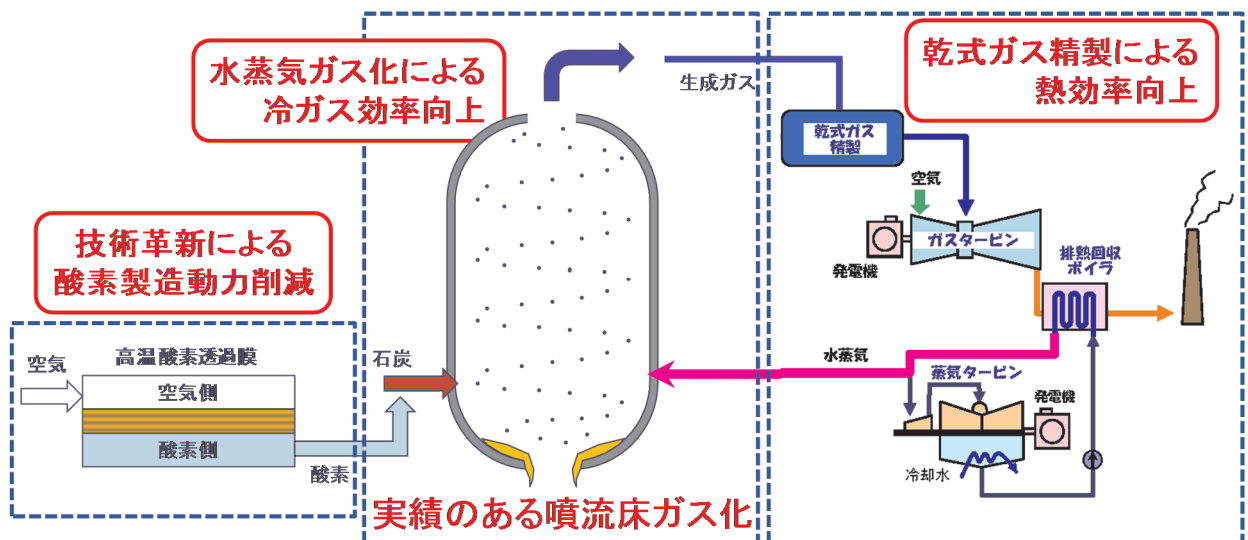


図 3-2.1 水蒸気添加 IGCC システムの概略系統図

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証として、小型ガス化炉を用いて水蒸気添加ガス化試験を実施する。また、課題とされる生成ガスへのタールの残留に対し、水蒸気添加ガス化条件におけるタールの改質反応を明らかにする実験と改質反応のモデリングを実施している。最終的に反応モデルをガス化炉内数値解析に組み込み、タールの挙動を含めたガス化炉内の反応(図 3-2.2)を予測する技術の確立し、商用規模の水蒸気添加噴流床ガス化炉の評価を可能とすることを旨とする。各項目について、以下に述べる。

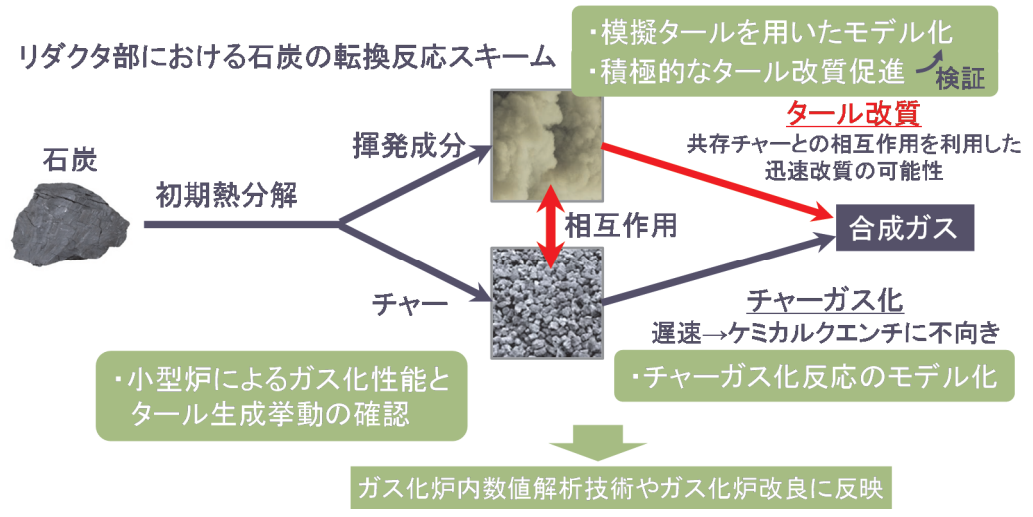


図 3-2.2 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の予測に必要な反応モデルの概要



## 2.1.1 小型ガス化炉による水蒸気添加効果の検証

### (1) 3TPD 炉による水蒸気添加ガス化試験方法の確立

二室二段噴流床ガス化炉(図 3-2.3)への水蒸気添加効果を評価するため、小型ガス化炉によるガス化試験を行い、水蒸気添加効果を検証する。ここで、ガス化性能評価およびガス化炉の安定運転に関わるスラグ排出性評価については、電力中央研究所の 3 トン/日規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉(3TPD 炉)を用い、また、タール生成挙動の評価のためには、二室二段噴流床ガス化炉の 2 段目(リダクタ)を模擬する炉(リダクタ模擬小型ガス化炉)を新たに製作している。

まず、これまでの 3TPD 炉の運転実績を踏まえ、水蒸気添加ガス化試験を実施するにあたり実施可能な試験条件を検討し、供試する石炭を決定した。次に、水蒸気添加ガス化試験に必要な温度までガス化用水蒸気を過熱するため、3TPD 炉に水蒸気過熱設備を導入する工事を進めており、平成 29 年 9 月に設置を完了する(図 3-2.4)。10 月よりガス化試験を開始し、①水蒸気投入なし(基本性能把握)、②水蒸気添加量小(水蒸気添加によるガス化性能把握)、③水蒸気添加量大(ガス化性能向上把握)の条件を計画している。これらのガス化試験より、平成 29 年度内に小型炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する見込みである。

さらに、3TPD 炉ガス化試験結果を解析し、2.1.2 節に記載するガス化炉内数値解析によるガス化性能の予測結果と比較評価することにより、水蒸気をガス化炉に添加した効果を評価する見込みである。平成 30 年度にも引き続き水蒸気添加ガス化試験を継続し、水蒸気添加効果を小型ガス化炉で検証する計画である。

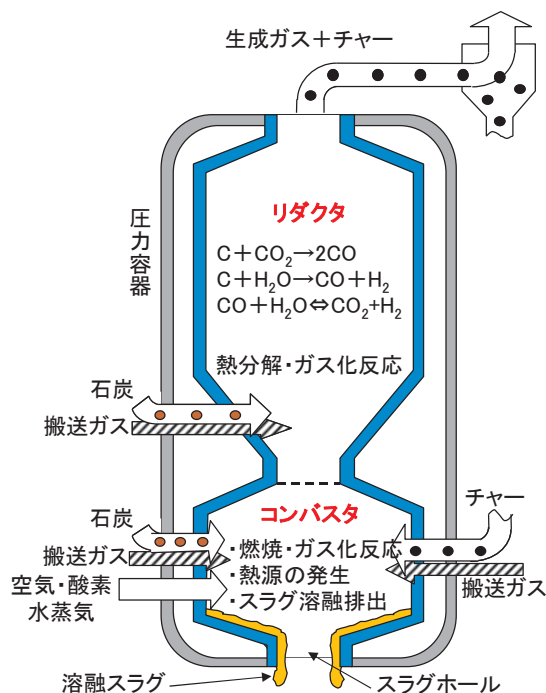


図 3-2.3 二段噴流床石炭ガス化炉の概略

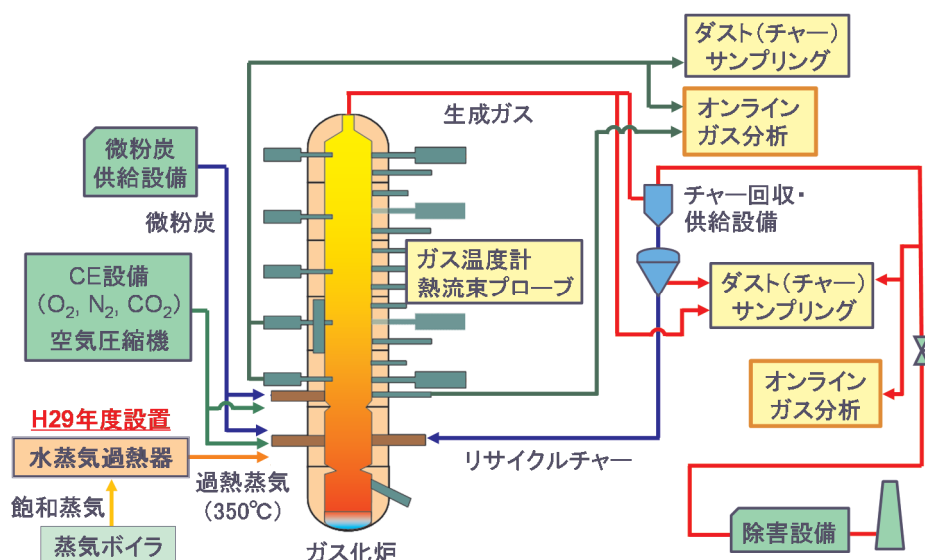


図 3-2.4 3TPD 炉の概略系統図と水蒸気過熱設備

## (2) リダクタ模擬小型ガス化炉の製作

噴流床ガス化炉で効果的に水蒸気ガス化が進む条件では、吸熱反応によりリダクタ内温度が低下すると予想されており、タールの残留が懸念される。そこで、本項目ではガス化炉で発生するタールを実際に測定し、運転条件との相関を明らかにすることを目的としている。しかし、3TPD 炉の設計において生成ガス中のタールは考慮されておらず、タールが残留する条件での運転が困難であるため、小型でフレキシビリティのあるガス化炉を新たに製作している。

コンバスタでは高温かつ投入酸素によってタールは迅速に消費される一方、リダクタで生成されるタールは、分解されずに残留する可能性があるため、新設するガス化炉ではリダクタでの反応挙動に注目している。そこで、小型で自立した炉を実現するため、コンバスタは石炭ではなく気体燃料の燃焼・改質反応で代替することとし、リダクタ部だけに石炭を供給するコンセプトとした。リダクタ模擬小型ガス化炉と名付け、図 3-2.5 に示す設備を平成 28 年度に設計した。

リダクタ模擬小型ガス化炉のコンバスタに供給する燃料ガスやガス化剤などを調整し、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、目的とするコンバスタ出口温度および組成の模擬ガスを作り出し、水蒸気添加ガス化相当条件を設定する。リダクタに投入した石炭(定格 5kg/h)は模擬ガスにより加熱されるとともに熱分解およびガス化反応が進む。リダクタ部に設置したタールサンプリングプローブでタールを捕集し、タール濃度や組成を測定することができる。平成 29 年 6 月に製作を開始しており、11 月に設置を完了し、年度内に試運転を実施する見込みである。平成 30 年度には、ガス化条件(ガス組成ならびにガス温度)を変化させた試験を行い、タールの残留条件を検討することで、水蒸気添加ガス化条件におけるタールの挙動を把握する計画である。

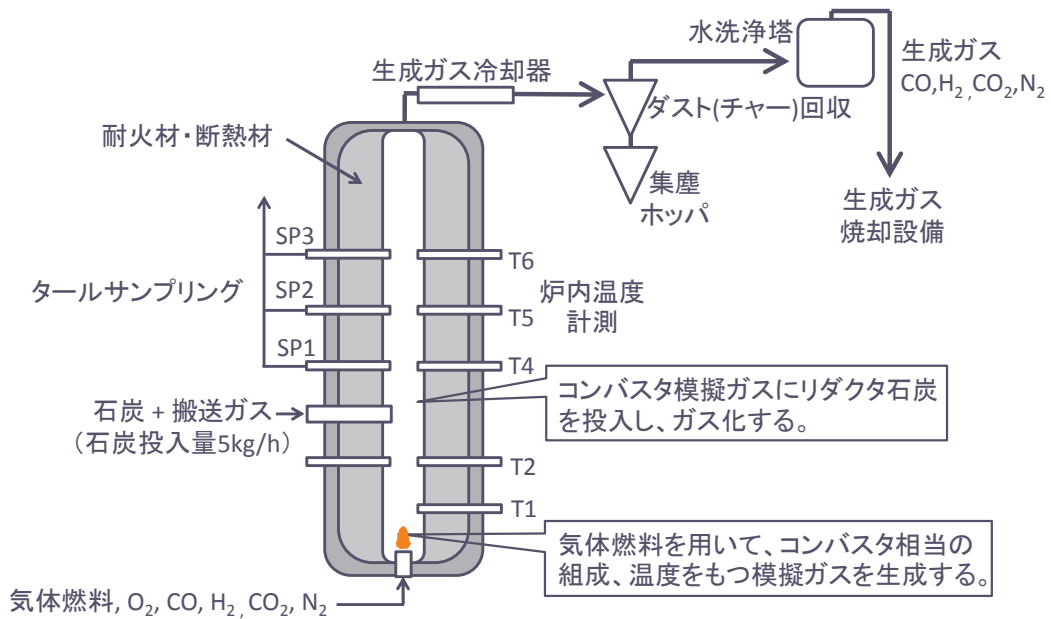


図 3-2.5 リダクタ模擬小型ガス化炉の概要

## 2.1.2 数値解析による水蒸気添加方法の適正化

### (1) ガス化炉内数値解析による 3TPD 炉ガス化試験条件の検討

3TPD 炉による水蒸気添加ガス化試験を実施するにあたり、数値解析技術を用いて事前検討を実施した。実機規模のガス化炉の開発においても数値解析技術が不可欠であり、平成 29 年度には 3TPD 炉試験結果を用いて数値解析技術の改良・検証を行う計画である。

電力中央研究所では、ガス化反応速度論と物質収支および熱収支を考慮したガス化炉の一次元数値解析によるガス化性能予測手法と、ガス化炉の形状を踏まえた三次元伝熱流動解析による詳細な炉内現象の予測手法を開発している。上述の 2.1.1 節で決定した試験候補炭に対し、3TPD 炉を対象にした一次元解析を行い、コンバスタに水蒸気を添加する際に、ガス化炉の安定運転に必要な炉内温度（スラグの安定排出に必要なコンバスタ温度）を維持できる運転条件（酸素比）を推定した。このガス化条件において、三次元熱流動解析を行った結果、図 3-2.6 に示す炉内温度分布のように、3TPD 炉で通常の運転である空気吹き条件に比べ、酸素濃度を高めて水蒸気を添加すると、特にリダクタでの吸熱大きく炉内温度が大幅に低下することが分かった。そこで、給炭量比  $R/T$ （リダクタに投入する石炭の割合）を通常の条件よりも低減することでリダクタガス温度が上昇するとともに、コンバスタの熱負荷が増えるため炉底のスラグタップ周辺の高温度域が広がる効果が得られた（図 3-2.7 左図）。このときの水蒸気濃度分布（図 3-2.7 右図）から、バーナ噴流で形成される旋回流により添加水蒸気は速やかに混合され、水蒸気がガス化反応により効率良く消費されることが確認され、熱損失の大きい小型炉でも、水蒸気の添加に伴い冷ガス効率が若干ではあるが向上することが分かった。これらの結果を踏まえて 3TPD 炉のガス化試験を実施し、数値解析技術の検証を行い、平成 30 年度には実機の炉内現象の予測を行う計画である。

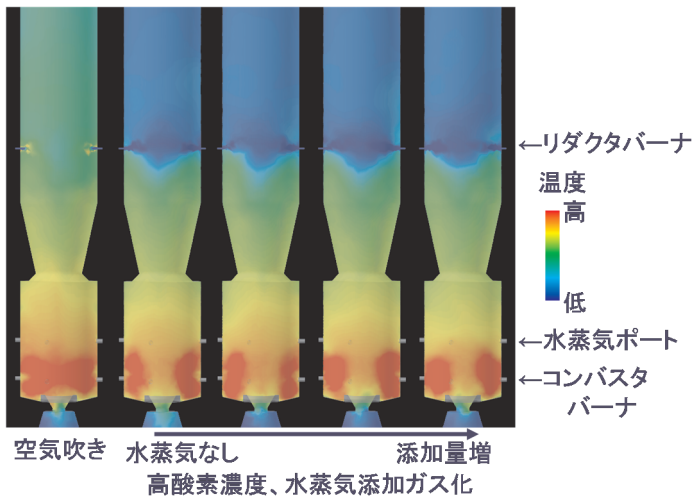


図 3-2.6 3TPD 炉内のガス温度分布予測

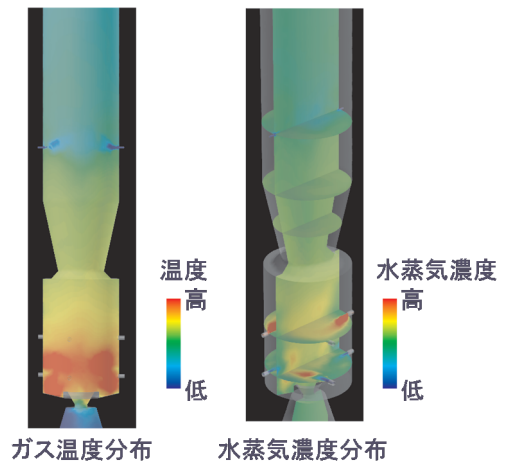


図 3-2.7 R/T 低減条件における解析

## (2) 水蒸気添加噴流床ガス化炉におけるチャーのガス化反応速度モデルの構築

上述の数値解析では、解析対象に応じた適切な数値モデルが必要である。チャーのガス化反応はガス化炉内での律速反応であり、ガス化炉の設計や性能評価には不可欠である。そこで、電力中央研究所では、噴流床ガス化炉内に相当する高温加圧条件でのチャーのガス化反応速度モデルを開発し、各種石炭の反応速度を明らかにしてきた。本プロジェクトで対象とする水蒸気添加ガス化条件においては、従来の噴流床型ガス化条件に比べて炉内温度が低下することが予測されているため、これまでに確立されたチャーガス化反応モデルの適用範囲を拡大する必要があるため、本項目ではチャーのガス化反応速度における温度履歴の影響を調べた。

噴流床ガス化炉のような気流層反応装置における気固反応を解明できるDTFを用い、亜瀝青炭に対して複数の炉内温度で熱分解実験を行い、温度履歴の異なるチャーを調製した。得られたチャーのCO<sub>2</sub>や水蒸気によるガス化反応速度をTGおよびDTFによるガス化実験で取得したところ、図3-2.8に示すように、低い温度で生成したチャーは、高温で生成したチャーよりも同一のガス化条件におけるガス化反応速度が速いことを定量的に明らかにした。その理由として、供試亜瀝青炭に含まれる鉄分がガス化反応に対して高い触媒作用を示しており、その形態(分散性)が温度履歴によって変化するためであることを明らかにした(図3-2.9)。

同様に、3TPD炉のガス化試験に供試予定の瀝青炭についても、DTFを用いた熱分解実験とチャーガス化実験を行い、温度履歴の影響を明らかにした。炭種によりチャーガス化反応のメカニズムが異なることから、複数の石炭についてデータを取得する計画としており、チャーガス化反応速度モデルにおいてチャーの生成温度を考慮することで、ガス化炉の数値解析精度の向上を図る。



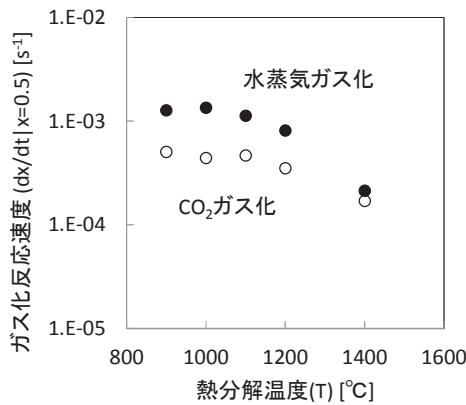


図 3-2.8 チャーのガス化反応速度に及ぼすチャー生成条件の影響

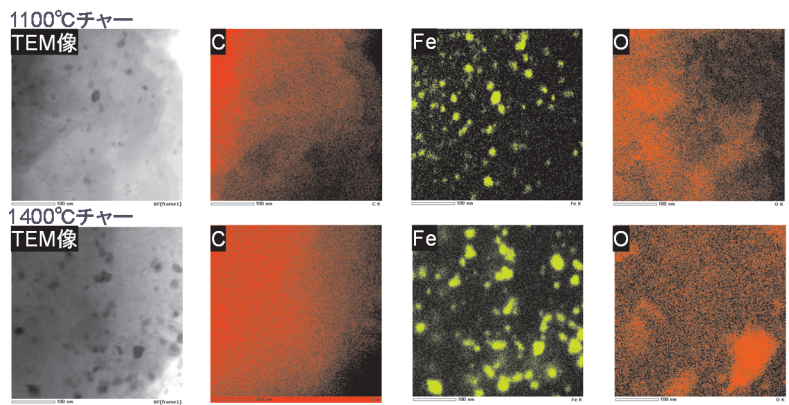


図 3-2.9 TEM 観察によるチャー中铁分の分散性

亜瀝青炭のチャーには触媒作用を示す鉄のナノ微粒子が高分散しており、高い反応性の理由である高い触媒作用をしていることが分かった。チャーの生成温度が高いほど微粒子鉄のシンタリングが進み、の粒径が大きくなり、触媒作用が低下すると考えられる。

### 2.1.3 水蒸気添加噴流床ガス化炉における熱分解揮発成分反応速度モデルの構築

ガス化炉内で、石炭の熱分解で揮発した成分は、気相での縮重合や水蒸気による改質などの反応で消費される。さらに、チャー粒子表面で揮発成分が軽質ガスと析出炭素に改質されることが知られている。前述の通り、水蒸気添加ガス化条件では、従来の噴流床型ガス化条件に比べて炉内温度が低下することが予測されるため、熱分解揮発成分の分解・改質が十分に進まず、生成ガス中にタールとして残留することが懸念されることから、タールトラブルの回避が大きな課題の一つであると考えられる。そこで、2.1.1(1)節においてリダクタ模擬小型ガス化炉におけるタール挙動を把握する一方、本項目では熱分解揮発成分の気相改質反応および接触改質反応の基礎実験から水蒸気添加噴流床ガス化条件における反応速度モデルを構築し、ガス化炉内数値解析ツールに組み込むことで、残留タールを定量的に予測することを目指している。

チャー表面における接触改質反応のモデル化に必要な実験を行うため、石炭熱分解揮発成分の代わりに模擬タール物質を用いた接触改質反応実験を行う流通式管状反応装置(図 3-2.10)を平成 28 年度に設計・製作し、基本性能を確認した。平成 29 年度には、主要な模擬タール物質に対してチャーを用いない気相改質実験を行い、2000 以上の素反応から構成される詳細化学反応モデルによる気相改質反応シミュレーションの改良と検証を完了する見込みである。平成 30 年度にはチャーを用いた模擬タール物質の接触改質実験結果から、チャー表面におけるタール改質に関する不均一反応速度モデルを構築する計画である。

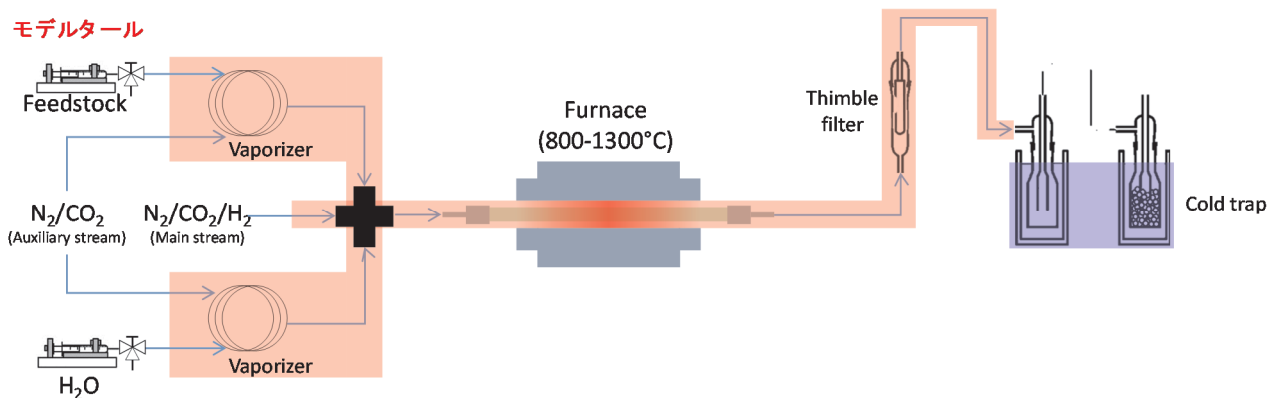


図 3-2.10 模擬タールの接触改質反応実験のための流通式管状反応装置



## 2.1.4 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

前項では、水蒸気添加噴流床ガス化炉における残留タールを定量的に予測する手法を構築することが目的である。さらに、積極的に残留タールを低減することが可能となれば、水蒸気添加 IGCC の一層の効率向上に貢献することができる。

流動層ガス化炉のように粒子濃度が高い場合には、石炭やバイオマスの熱分解揮発成分がチャー表面での接触改質反応によりタールが減少し炭素析出が起こることがすでに知られている。そこで、噴流床ガス化条件に相当する粒子濃度において、石炭熱分解揮発成分の接触改質反応を解明する実験を行うため、石炭とチャーを同時に供給して反応させる粒子落下式管状ガス化装置(図 3-2.11)の本体を平成 28 年度に設計・製作し、基本性能を確認した。平成 29 年度には、水蒸気添加噴流床ガス化条件を想定した石炭と水蒸気の供給量比において、チャーによる揮発成分の接触改質を含む実験条件でのタール生成特性を明らかにするとともに、本設備を圧力容器に格納し、加圧下での接触改質反応実験を実施可能となる見込みである。平成 30 年度にはタール生成特性における圧力影響を把握し、水蒸気添加噴流床ガス化を模擬した条件における接触改質反応によるタール低減効果を明らかにする計画である。

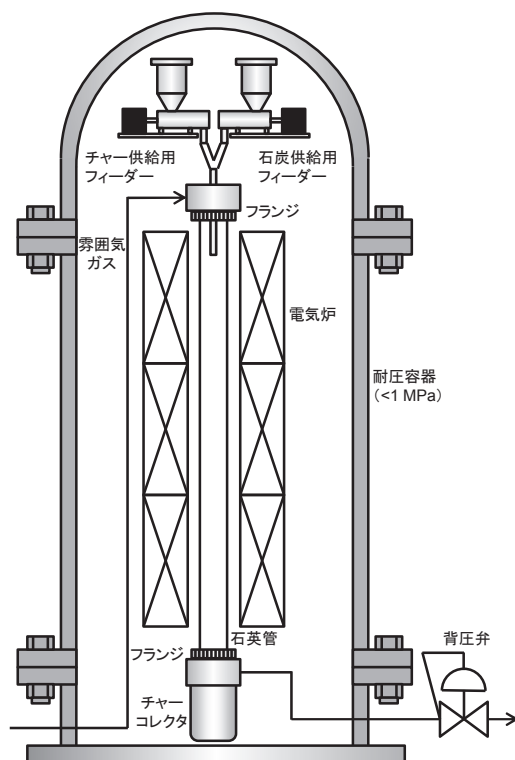


図 3-2.11 石炭とチャーを同時供給する粒子落下式管状ガス化装置

## 2.2 エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

IGCC プラントにおいて、所内動力の大半はガス化用酸素の製造のために消費されている。そこで、エネルギー効率の高い酸素製造技術が期待されている。米国 APCI 社 (Air Products and Chemicals, Inc.) ではイオン透過膜 (ITM: Ion Transport Membranes) を利用した高効率酸素製造技術 (ITM Oxygen) を開発していることから、本項目ではその開発動向を調査した。APCI 社は、米国エネルギー省の資金を受け、100 トン/日規模の酸素製造と 5MW の電力とを併産するパイロットプラントを開発した。平成 28 年 2 月に米国アレントアウンにある同社の研究開発拠点を訪問し、パイロットプラントの運転状況等についてヒアリング調査を行ったところ、平成 26 年 11 月に数機の ITM モジュールを組み込んで酸素製造試験を開始し、徐々に酸素製造量を増やして最終的に酸素製造量 40 トン/日で 450 時間の連続運転が実施されたが、電力併産の実施には至らず、平成 27 年 7 月に試験を終了したとのことであった。

平成 28 年度には酸素透過膜 (OTM: Oxygen Transport Membranes) 技術を開発している米国 Praxair 社でヒアリング調査を行った。同社は天然ガス改質プラント向けの酸素製造装置として開発を行っているが、IGCC とのインテグレーションについてはさらなる検討が必要であることが分かり、今後の大型化や IGCC への適用可能性については、注視してゆく必要があるといえる。

既存技術も含めて各種酸素製造技術を調査し、各技術の仕様や特徴を整理した結果(表 3-2)、現状で次世代ガス化システムへの適用が期待できる酸素製造技術は深冷分離技術のみであるといえる。現在の深冷分離技術による酸素分離動力原単位は約  $0.28\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{-}100\%\text{O}_2$  換算(酸素濃度 97.5mol%、常圧)

であり、平成 29 年度には次世代ガス化システムの特性に合わせた深冷分離法の機器構成を明らかにする見込みである。

表 3-2.2 各種酸素製造技術の調査結果と次世代ガス化システムへの適用性

| 項目  | 既存酸素製造法   |  | 従来の改良プロセスによる高効率化  |  |   | 高効率酸素製造法  |  |
|---|---|--|---|--|---|---|--|
|   | 複式精留型<br>深冷分離法<br>既存ASU   | 圧カスイング<br>吸着法<br>PSA   | 内部熱交換器型<br>深冷分離法<br>H D IC  | 高圧カスイング<br>吸着法<br>HT-PSA   | 自己熱再生プロセス<br>深冷分離法  | 高温酸素分離膜法  |  |
| 基本動作  | 深冷における蒸留  | 圧カスイングによる窒素吸着  | 深冷における蒸留  | 圧カスイングによる酸素吸着  | 深冷における蒸留  | 膜中酸化物イオン拡散  |  |
| 酸素濃度  | 85～99.9%  | ～93%   | ～95%  | ～99%   | 理論的には既存ASUと同様   | ～99.9%  | 純酸素発生なし  |
| 酸素発生量<br>(Nm <sup>3</sup> /h)                               | ～130,000  | 100～8,000  | 5,000～100,000   | 5,000～10,000   |   | 5,000～100,000   |  |
| 酸素圧縮方式  | 外部圧縮型(酸素圧縮機)<br>内部圧縮型(液体ポンプ)  | 酸素圧縮機  | 外部圧縮型(酸素圧縮機)<br>内部圧縮型(液体ポンプ)  | 酸素圧縮機  | 外部圧縮型(酸素圧縮機)<br>内部圧縮型(液体ポンプ)  | 酸素圧縮機   | -  |
| 作動温度  | -183℃   | 常温   | -183℃   | 600～800℃   | -183℃   | 800～900℃  | 950～1,050℃   |
| 実用化時期   | 1910年   | 1972年  | 2020年頃<br>5,000Nm <sup>3</sup> /h規模開発中                                    | 2017年頃<br>500Nm <sup>3</sup> /h規模開発中   | 未定<br>自社開発は断念   | 3年以上の開発が必要<br>自社開発は断念   | 2040～2050年<br>Oxy Combustion 向け  |
| 酸素分離動力原単位<br>(kW h/Nm <sup>3</sup> -100% O <sub>2</sub> 換算) | 多塔式低原単位型プロセス<br>97.5m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.28<br>(5,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算) | 93m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.34～0.35<br>(4,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算) | 95m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.25<br>(5,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算) | 99m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.25<br>(1,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算)        | 既存ASUと比較して約10%<br>削減するとの試算あり  | 99.9m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.23<br>(5,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算) | -  |
| 大型化の可能性   | 単機で適用済み   | 多塔基×数ユニットで<br>対応可能   | 原理的には単機で可能<br>内部熱交換器の大型化技術<br>に依存   | 多塔基×数ユニットで<br>対応可能   | 理論的には<br>既存ASUと同様   | 大型化可能<br>(1,300℃級ガスタービンとのインテ<br>グレーションに関する試算あり)                             | 大型化可能<br>(6MW so 6規模のSynGas製造設備<br>の実証を目指している)                                   |
| 経済性   | (基準)  | ユニット数増や設置面積<br>増によりコスト増  | 内部熱交換器型の製<br>造管理コスト増  | ユニット数増や設置面積<br>増によりコスト増  | 検討事例なし  | 35%コスト削減の試算あ<br>り   | Oxy Combustionへの適用に<br>より、IGCC+CCSと同等の<br>CO <sub>2</sub> 回収動力原単位が得られ<br>るとの試算あり |
| 次世代ガス化技術<br>への適用性   | ◎   | △  | ○   | △  | △   | ○   | △  |
| 備考  | 国内外のIGCC実証機・商<br>用機に採用。   | 深冷分離補等の棲み分けが<br>出来ている。中小容量で強<br>み。<br>IGCCパイロットプラント<br>に採用。                    | 既存深冷分離法における原<br>料空気圧縮機動力を、異な<br>るプロセスにて低減。                                | 既存PSAでは窒素吸着剤の<br>ところ、本法では酸素吸着<br>剤を利用して、体積比<br>分の分離動力を低減可能。<br>高純度窒素が併産出来な<br>い。 | 極低温での熱の廃棄先が課<br>題。自己熱再生理論に基づ<br>いた酸素供給部を含むプラ<br>ント全体のインテグレーションが必<br>要不可欠。 | 高温・高圧の排空から<br>IGCCとのインテグレーションに<br>て、熱や圧縮動力を回収。<br>窒素が併産出来ない。                | 酸素分離と同時に、燃料と<br>酸素とを反応させる技術で<br>あり、IGCCとのインテグ<br>レーションについては更なる検討が<br>必要。         |

### 2.3 水蒸気添加 IGCC のシステム検討

水蒸気添加 IGCC のプラントのシステム構成を検討する上で、乾式ガス精製システムを組み込むためのシステム条件を明らかにすることは重要な要素の一つである。乾式脱硫プロセスで懸念される課題としては、脱硫剤への炭素析出による性能劣化の防止が挙げられ、電力中央研究所の知見を基に、炭素析出を回避するプロセス条件を検討した。乾式脱硫プロセスの上流で生成ガスに水蒸気を添加する方法で炭素析出を回避する場合、送電端効率の低下が避けられないが、これに対し、ガス化炉への水蒸気添加量を増加させることで送電端効率を落とさずに炭素析出を回避できる条件を試算した。ただし、このときの水蒸気添加量は、ガス化反応にとっては過剰であり、ガス化炉内温度の低下が予測されることから、2.1 節で検討しているガス化炉におけるタールの挙動を踏まえながら、ガス化炉およびシステム全体の条件を検討する計画である。

平成 26 年度に実施した調査研究では、理想的な反応条件を想定したときに、ガス化炉への水蒸気添加により冷ガス効率が 8.8 ポイント向上し、それにより送電端効率が 2.4 ポイント向上することを明らかにしている。そこで、本プロジェクトでは、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験による知見や、乾式ガス精製プロセスの構成、空気分離設備の構成を踏まえた水蒸気添加 IGCC のシステム全体(図 3-2.12)のシステム条件を平成 30 年度に決定し、送電端効率の解析を精緻化する計画である。

発電コストについて、経済産業省の発電コスト検証ワーキンググループ(2015 年)による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り運転コスト(燃料費と CO<sub>2</sub> 対策費)が低減することで許容されると考え

た場合、図 3-13 に示すように、建設費単価の目標を算出することができる。例えば、IGCC の送電端効率が 2 ポイント(HHV)向上する場合、建設費単価の増加分は 10%以内が目標となるといえる。

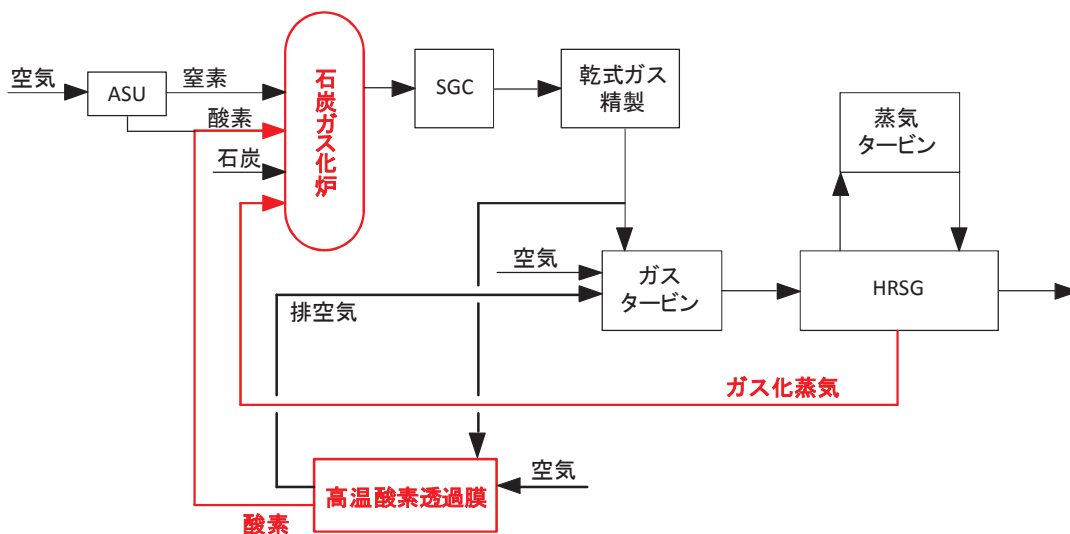


図 3-2.12 水蒸気添加 IGCC のシステム構成例

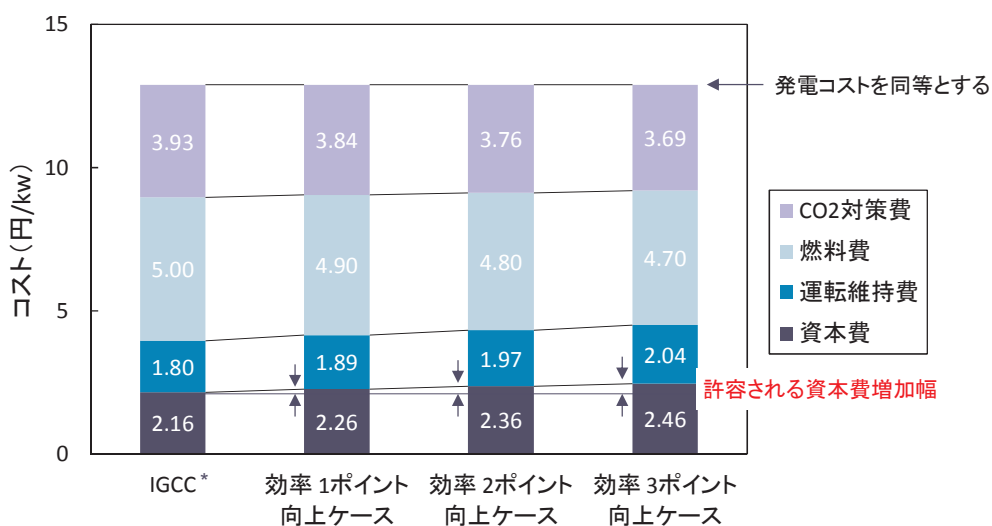


図 3-2.13 IGCC の発電コストの感度解析結果 (発電コスト検証ワーキンググループの算定方式による)

## 4-1. クローズド IGCC の成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

クローズド IGCC の実用化に向けたロードマップを図 4-1 に示す。

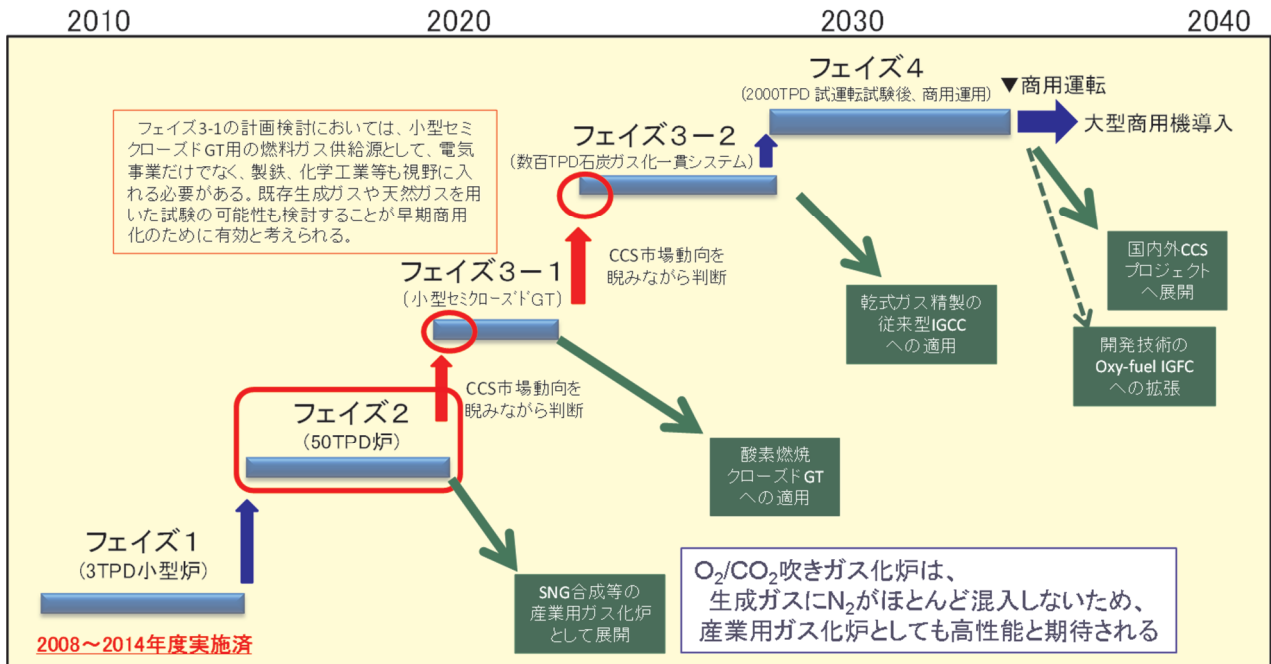


図 4-1 CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC の開発スケジュール

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、CCS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、本フェーズで用いる50TPDガス化炉でO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化を実証した後に、セミクローズドNGCCを想定したフェーズ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「本システムに必要なO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>石炭ガス化および乾式ガス精製システムなどに関する要素技術を確認し、それが石炭ガス化一貫システム(次フェーズ)および従来型IGCCに活用できること」と定義した。

実際、50TPD炉、3TPD炉によるガス化・ガス精製試験の準備が整うなど、計画は順調に進んでおり、H31年度の計画終了時には、次ステップに進むための要素技術が確立される見込である。

本プロジェクト終了時には、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化炉を商用規模(例えば2000TPD)までスケールアップできるだけのデータが整うと期待される。O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化炉は、生成ガス中にN<sub>2</sub>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、本プロジェクト終了後の副次効果として期待される。



## 4-2. 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 の送電端効率の向上を目指している。これらの技術のうち、本プロジェクトでは、水蒸気添加噴流床ガス化技術に関して実験検討を行っており、3TPD 炉を用いて水蒸気添加効果を検証し、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する。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室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いる。数値解析による商用規模ガス化炉の評価技術が確立されれば実機への適用が近いと考えられるが、パイロットプラント規模で実績を積むことが望ましいため、パイロット試験への適用を本プロジェクトにおける「実用化」と定義する。実用化に向けたステップを図 4-2 に示す。例えば、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積極的に取り組む。

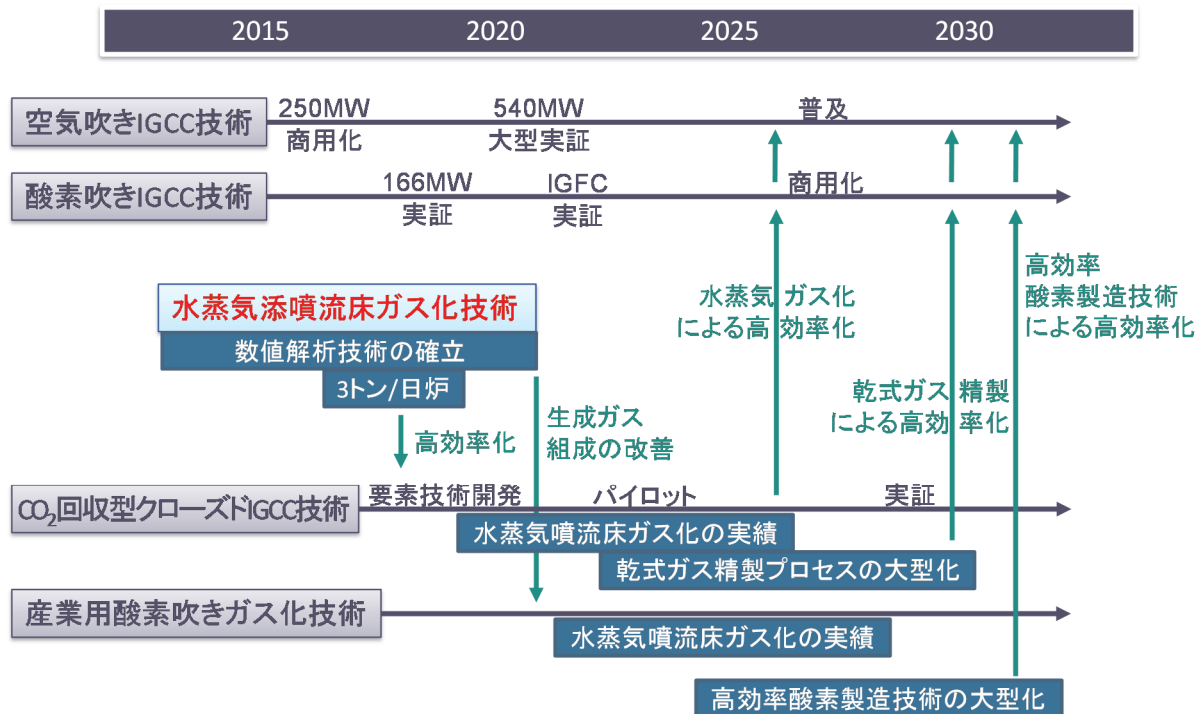


図 4-2 次世代ガス化システムに関連する技術のステップ

二室二段噴流床ガス化炉以外のガス化炉においても水蒸気の効果的利用の概念を適用することが可能であり、炉形式に応じた基本的な数値解析技術を開発することで、本プロジェクトで得られた知見を用いて実機への適用を検討できる。従って、既に世界各国に普及している産業用の酸素吹きガス化炉も、本プロジェクトの副次効果としての適用先と考えられることから、積極的に情報発信を行い、一層のアピールに努める。このような実績を重ねることで、商用規模の各種 IGCC 技術において、水蒸気添加ガス化技術が実現するようになると考えられる。

乾式ガス精製技術については、本プロジェクトにおいて、これまでの知見を用いて水蒸気添加 IGCC に適用する場合の課題を抽出し、必要な構成の検討のみを実施している。技術開発については、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進められており、同プロジェクトの将来展開の中で大型化と実証を進めることで、2030 年頃の商用規模 IGCC への適用も可能となる。

高効率酸素製造技術については、本プロジェクトにおいて、各種技術の調査と水蒸気添加 IGCC への適用性評価を行っている。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。

## 添付資料

### プロジェクト基本計画

P 1 6 0 0 2

P 1 0 0 1 6

P 9 2 0 0 3

#### 「次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

#### 1. 研究開発の目的・目標・内容

##### (1) 研究開発の目的

###### ①政策的な重要性

平成27年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、平成28年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、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。

###### ②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率は世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、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が進められている。

###### ③世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、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。

#### 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。

### （2）研究開発の目標

#### ①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅向上やCO<sub>2</sub>分離・回収後においても高効率を維持すること及びCO<sub>2</sub>有効利用等、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確立を目指す。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

#### ②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）商用機として送電端効率63%（高位発熱量基準）を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%（高位発熱量基準）を達成する。また、CCUSの実現に向け、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、天然ガスパイプラインの許容圧力変動による、負荷変動対応能力は、6,000万kWと推定される。そのうち、1割をCO<sub>2</sub>由来のメタンで代替すると、1,300億円を獲得する。

世界の火力発電市場は、今後、2040年にかけて石炭火力では約520兆円、LNG火力では約270兆円で、累計790兆円の規模が見込まれる。年平均では約30兆円であり、このうちのシェア1割、約3兆円の次世代火力技術の市場を獲得する。

#### ③アウトカム目標達成に向けての取組

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

### （3）研究開発の内容

火力発電の効率化及び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（2/3助成）
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]

- 1) 1700℃級ガスタービン（2/3助成）
- 2) 高温分空気利用ガスタービン（AHAT）（2/3助成）

研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発 [助成事業（2/3助成）]

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]

- 1) 次世代ガス化システム技術開発
- 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
- 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
- 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
- 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 6) 石炭火力の競争力強化技術開発
- 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

研究開発項目⑤ CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発 [委託事業]

研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業 [委託事業]

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

### 3. 研究開発の実施方式

#### (1) 研究開発の実施体制

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

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

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

#### 研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM：NEDO 高橋洋一、PL：大崎クールジェン株式会社 木田淳志

#### 研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業

##### 1) 1700℃級ガスタービン

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱重工業株式会社 石坂浩一

##### 2) 高温分空気利用ガスタービン（AHAT）

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

#### 研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発

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

#### 研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発

##### 1) 次世代ガス化システム技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ要素研究

PM：NEDO 西岡映二、PL：電源開発株式会社 小俣浩次

##### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

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

##### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM：NEDO 高橋洋一、PL：電源開発株式会社 小俣浩次

##### 5) 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) 石炭火力の競争力強化技術開発

PM：NEDO 中元崇、PL：NEDOにおいて選定

##### 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

PM：NEDO 村上武、PL：NEDOにおいて選定

#### 研究開発項目⑤ CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

#### 研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：NEDOにおいて選定

## (2) 研究開発の運営管理

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

### ①進捗把握・管理

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

### ②技術分野における動向の把握・分析

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

## 4. 研究開発の実施期間



本事業の実施期間は、平成28年度から平成33年度までの6年間とする。なお、研究開発項目①及び②は平成24年度から平成27年度、研究開発項目③は平成20年度から平成27年度まで経済産業省により実施したが、平成28年度からNEDOが実施している。

## 5. 評価に関する事項

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

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を平成29年度及び平成31年度、事後評価を平成34年度に実施する。研究開発項目②は、中間評価を平成30年度、事後評価を平成33年度に実施する。研究開発項目④1)は、中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成30年度に実施し、2)は事後評価を平成30年度に実施し、3)、4)及び6)は、事後評価を平成32年度に実施し、5)は中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成32年度に実施し、7)は前倒し事後評価を平成31年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成31年度に実施する。研究開発項目⑥は、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、事後評価を平成33年度に実施する。

## 6. その他の重要事項

### (1) 委託事業成果の取扱い

#### ①成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

#### ②標準化等との連携

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

#### ③知的財産権の帰属

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

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

知財マネジメント適用プロジェクトは、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発の3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発、4) 燃料電池石炭ガス適用性研究、6) 石炭火力の競争力強化技術開発及び7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発である。

### (2) 基本計画の変更

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

応を行う。

(3) 根拠法

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

(4) その他

最新の技術動向や政策上の必要性に鑑み、必要に応じた研究開発項目の追加や見直しを行うことがある。

7. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成28年1月、基本計画制定。

(2) 平成28年4月、3. 研究開発の実施方式 (1) 研究開発実施体制 研究開発項目③、④ 1) と2)、⑤のPMの変更。

5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5) 中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒し。別紙 研究開発項目④ 5) の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒し。研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒し。

(3) 平成28年9月、5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5) 中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

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

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

(4) 平成29年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(2) 研究開発の目標並びに(3) 研究開発の内容に、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発6) 石炭火力の競争力強化技術開発、7) 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) 平成29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) 平成29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、平成29年度に中間評価を実施する。

## 研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

## 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、燃焼時の単位発熱量当たりの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。

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留（CCS）の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、平成26年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。

以上のとおり、石炭火力発電における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・回収を組合せた実証試験を行い、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。

## 1) 酸素吹IGCC実証

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

2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

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。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

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。

## 2. 達成目標

### [実施期間]

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

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹 I G C C 実証：平成 28～32 年度

CO<sub>2</sub>分離・回収型 I G F C 実証：平成 30 年度～33 年度

### [中間目標（平成 29 年度）]

#### 1) 酸素吹 I G C C 実証

(a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

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

(b) 環境性能：「SO<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 I G C C を導入する場合には同等の環境諸元を達成することが求められる。

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

CO<sub>2</sub>分離・回収設備の詳細設計を完了する。

### [最終目標（平成 30 年度）]

#### 1) 酸素吹 I G C C 実証

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

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

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率 70%以上の見通しを得る。

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

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

酸素吹 I G C C 商用機には、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から、微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭までの適用炭種の広さが求められる。

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

国内外において酸素吹 I G C C 商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。

[最終目標（平成33年度）]

2) 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。

(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。

(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。

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

高温分空気利用ガスタービン（AHAT）：平成24年度～29年度（うち平成24年度～27年度は経済産業省において実施）

### 1. 研究開発の必要性

平成20年3月に閣議決定された「Cool Earth —エネルギー革新技术計画」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、平成23年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、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 (平成30年度)]

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

[最終目標 (平成32年度)]

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

#### 2) AHAT

[最終目標 (平成29年度)]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

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

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

### 研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

[実施期間]平成20年度～28年度（うち平成20年度～27年度は経済産業省において実施）

#### 1. 研究開発の必要性

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

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

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### （1）システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

##### （2）ボイラ要素技術

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

##### （3）タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

##### （4）高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

##### （5）実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成28年度）]

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

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 1) 次世代ガス化システム技術開発

[実施期間]平成27年度～30年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。

#### 2. 具体的研究内容

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

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

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

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

##### (1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

##### (2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

##### (3) IGCCシステム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（平成29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（平成30年度）]

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

#### 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究

[実施期間]平成27年度～29年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

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

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

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

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

#### 2. 具体的研究内容

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

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成29年度）]

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



## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間]平成28年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

平成27年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）については、小型GTFC（1,000kW級）の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC（10万kW級）の実証事業を経て、発電効率63%程度、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、2020年度から開始する中小型GTFCの技術実証に活用する。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

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

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

[実施期間]平成28年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は、石炭をガス化し、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種類の発電形態を組み合わせるとトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率石炭火力発電技術として、その実現が望まれている。

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

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

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

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

#### 2. 具体的研究内容

##### (1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、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アップしたうえで燃料電池モジュールに供給し、その運用性、性能等を把握するとともに、石炭ガス適用時の課題を抽出する。さらに、これまで実績のない石炭ガスによる運転を行うことから、燃料電池セル及びモジュール内部構造への影響を把握するため、装置の解体調査を行い、石炭ガス適用時の課題を抽出する。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

#### (1) I G F Cシステムの検討

I G F C実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

#### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの運用性と性能を把握し、課題を抽出する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

[実施期間]平成27年度～32年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとされている。

現在、石炭の燃焼排ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからの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（平成29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（平成32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。



## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 6) 石炭火力の競争力強化技術開発

[実施期間]平成29年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

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

そこで、日本の高効率発電技術と共にユーザーニーズに的確にマッチングした日本の高いO&M品質を長期保守契約（L T S A）で提供するビジネスモデルを構築することで、結果として日本の石炭火力発電所の競争力が向上すると考えられることから、L T S Aを実現するために必要な技術開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

L T S Aを実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を特定、開発し、発電所における技術実証に活用する。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

L T S Aを実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を確立する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

[実施期間]平成29年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

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

しかし、これら石炭火力発電では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CO<sub>2</sub>有効利用技術=CCU (Carbon Capture and Utilization) 技術について、実用化に向けた開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

短～中期において大規模且つ高濃度の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国産の技術開発を実施する。一例として、メタネーション技術については石炭火力発電所等から回収した高濃度CO<sub>2</sub>の適用性を評価する。

#### 3. 達成目標

[最終目標 (平成31年度) ]

事業終了時に本事業として実施する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⑤ 「CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発」

[実施期間]平成27年度～31年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

### 1. 研究開発の必要性

石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後CO<sub>2</sub>排出量抑制のためには、石炭火力発電の高効率化に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。

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

### 2. 具体的研究内容

本システムは、排ガス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。

本システムの実現に向けては、平成20年度から平成26年度まで実施した「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。

### 3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術確立の目途を得る。

[最終目標（平成31年度）]

送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術確立する。

## 研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

[実施期間]平成28年度～33年度

### 1. 研究開発の必要性

長期エネルギー需給見通しにおける基本方針は、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現することである。2030年以降、中長期的に火力発電から排出される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、そして、CO<sub>2</sub>の回収、貯留・利用の推進が重要である。また、日本の優れた火力発電技術を海外に展開していくことにより、地球規模での温暖化問題の解決を推進していく必要がある。

### 2. 具体的研究内容

最新の技術動向や社会情勢、社会ニーズに合わせ、国内外の石炭利用技術分野における最新技術の普及可能性及び技術開発動向等の調査や新規技術開発シーズ発掘のための、CCT関連やCCS関連の調査を実施する。また、IEA/CCC（Clean Coal Centre）、IEA/FBC（Fluidized Bed Combustion）、GCCSI（Global CCS Institute）等に参画し、技術情報交換・各種技術情報収集を行うとともに、国内関係者への情報提供を行う。また、今後の国際市場における日本の石炭火力発電所受注に向けて、高い競争力を発揮できる戦略及びビジネスモデルを構築する。さらに、低コスト高効率石炭火力発電システム実現に向けた検討を進める。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成33年度）]

石炭利用技術分野において、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。

## 研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」

[実施期間]平成29年度～32年度

### 1. 研究開発の必要性

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

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高温材料信頼性向上試験

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

#### (2) 保守技術開発

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

### 3. 達成目標

[最終目標（平成32年度）]

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

### 4. その他重要事項

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



| 年度(平成)  | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 研究開発項目①<br>石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業<br>1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成)<br>2) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3助成)<br>3) CO2分離・回収型IGFC実証(未定) |    |    |    |    | ※1 |    |    |    |    | ◇  |    | ◇  |    |    |    |
|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 研究開発項目②<br>高効率ガスタービン技術実証事業<br>1) 1700℃級ガスタービン(2/3助成)<br>2) 高温空気を利用したガスタービン(AHAT)(2/3助成)                       |    |    |    |    | ※1 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 研究開発項目③<br>先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)  |    |    |    |    |    |    |    |    | ◇  |    |    |    |    |    |    |
|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 研究開発項目④<br>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) 燃料電池向け石炭ガスクリンナップ技術要素研究(委託)   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 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) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)   |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◇  |    |    |    |    |    |
| 6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 7) CO2有効利用技術開発(委託)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 研究開発項目⑤<br>CO2回収型クローズドIGCC技術開発(委託)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◇  |    | ◇  |    |    |    |
| 研究開発項目⑥<br>次世代火力発電技術推進事業(委託)  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 研究開発項目⑦<br>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H28年度からNEDOへ移管  
 ※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施