

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／  
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」

事業原簿

公開版

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| 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—

## 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> .....           | <b>1-1</b> |
| 1.1 事業の背景・目的・位置づけ .....                   | 1-1        |
| 1.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性 .....            | 1-3        |
| 1.2.1 NEDO が関与することの意義 .....               | 1-3        |
| 1.2.2 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> .....            | <b>2-1</b> |
| 2.1 事業の目標 .....                           | 2-1        |
| 2.2 事業の計画内容 .....                         | 2-1        |
| 2.2.1 研究開発の内容 .....                       | 2-1        |
| 2.2.2 研究開発の実施体制 .....                     | 2-4        |
| 2.2.3 研究開発の運営管理 .....                     | 2-4        |
| 2.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性 .....  | 2-5        |
| 2.3 情勢変化への対応 .....                        | 2-6        |
| 2.4 中間評価結果への対応 .....                      | 2-7        |
| 2.5 評価に関する事項 .....                        | 2-8        |
| <b>3. 研究開発成果について</b> .....                | <b>3-1</b> |
| 3.1 事業全体の成果 .....                         | 3-1        |
| 3.2 研究開発項目毎の成果 .....                      | 3-1        |
| <b>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</b> ..... | <b>4-1</b> |
| 4.1 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて .....       | 4-2        |

（添付資料）

- ・プロジェクト基本計画
- ・特許論文等リスト

「カーボンサイクル・次世代火力発電等技術開発」事業一覧（抜粋）

◇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 |   |
|--|------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|-----------|------|------|---|
| 研究開発項目③<br>先進超々臨界圧実用化要素火力<br>発電技術開発<br>(2/3助成)     |            |   |    |    |    |    |    |    | ◆  |    |    |      |           |      |      |   |
|  | ※1 A-USC実証 |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |           |      |      |   |
| 研究開発項目⑦<br>次世代技術の早期実用化に向け<br>た信頼性向上技術開発(1/2助<br>成) |            |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ◇    | 信頼性向上技術開発 |      |      | ◆ |

※1 2015年度までは、経済産業省にて実施。2016年度以降、NEDOが実施。

# 概要

|                    |   | 最終更新日    | 2022年11月8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／<br>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  | プロジェクト番号 | P16002     |        |        |        |        |    |  |
| 担当推進部/<br>PMまたは担当者 | 環境部 PM：西里 友志（2021年4月～2022年10月現在）<br>青戸 冬樹（2019年4月～2021年3月）<br>足立 啓（2017年5月～2019年3月）   |          |            |        |        |        |        |    |  |
| 0. 事業の概要           | <p>2008～2016年度に実施した経済産業省とNEDOからの補助金（助成金）による「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発プロジェクト」において、700℃級先進超々臨界圧火力発電プラント（A-USC）製作に向けた要素技術が開発された。それに続き、本プロジェクトにおいては、A-USC 商用機の普及促進を目的として、高温材料信頼性向上技術開発と保守技術開発を行う。</p> <p>（1）高温材料信頼性向上技術開発<br/>大径管内圧クリープ試験、長時間クリープ疲労試験、溶接部長時間健全性評価、材料データベースの拡充、表面改質技術開発等を実施する。</p> <p>（2）保守技術開発<br/>タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大、Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術開発を実施する。</p> |          |            |        |        |        |        |    |  |
| 1. 事業の位置付け・必要性について | <p>開始当時から政策は脱炭素へ大きく転換（今後、石炭火力の電源構成比は低減）した。一方、脱炭素火力に向けた移行期間における適切なポートフォリオの確保や、再生可能エネルギーを最大限導入する中で調整電源としての役割が期待されている。</p> <p>⇒本事業は、既設火力への展開も可能</p>  |          |            |        |        |        |        |    |  |
| 2. 研究開発マネジメントについて  |   |          |            |        |        |        |        |    |  |
| 事業の目標              | 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。  |          |            |        |        |        |        |    |  |
| 事業の計画内容            | 主な実施事項  | 2017年度   | 2018年度     | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |    |  |
|                    | 大径管内圧クリープ試験   |          |            |        |        |        |        |    |  |
|                    | 短冊一軸クリープ試験  |          |            |        |        |        |        |    |  |
|                    | 長時間クリープ疲労試験   |          |            |        |        |        |        |    |  |
|                    | 材料データベース拡充  |          |            |        |        |        |        |    |  |
|                    | 表面改質技術開発  |          |            |        |        |        |        |    |  |
|                    | 非破壊検査精度向上・適用箇所拡大  |          |            |        |        |        |        |    |  |
|                    | UT シミュレーション技術開発   |          |            |        |        |        |        |    |  |
| 事業費推移<br>(単位:百万円)  | 会計・勘定   | 2017年度   | 2018年度     | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 総額 |  |

|              |  |  |     |     |     |     |     |     |
|--------------|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|              | 一般会計   | ---  | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|              | 特別会計<br>(電源・需給の別)  | 153  | 151 | 161 | 149 | 106 | --- | 720 |
|              | 開発成果促進財源   | ---  | --- | --- | --- | 5   | 27  | 32  |
|              | 総 NEDO 負担額   | 153  | 151 | 161 | 149 | 111 | 27  | 752 |
|              | (助成)<br>: 助成率 1/2  | 153  | 151 | 161 | 149 | 111 | 27  | 752 |
| 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<br>リーダー   | 一般社団法人高効率発電システム研究所 福田 雅文   |     |     |     |     |     |     |
|              | プロジェクト<br>マネージャー   | 環境部 西里 友志  |     |     |     |     |     |     |
|              | 助成先  | 東芝エネルギーシステムズ株式会社<br>株式会社 IHI<br>日本製鉄株式会社<br>一般社団法人電力中央研究所<br>一般社団法人発電設備技術検査協会<br>富士電機株式会社<br>三菱重工業株式会社 |     |     |     |     |     |     |
| 情勢変化への<br>対応 | <p>情勢変化</p> <p>○菅総理大臣は、2030 年に向けた温室効果ガスの削減目標について、2013 年度に比べて 46%削減することを旨とし、さらに 50%の高みに向けて挑戦を続けていくことを表明した。(2021 年 4 月)</p> <p>○「インフラシステム海外展開戦略 2025」(2022 年 6 月追補)では、2022 年 5 月の G7 気候・エネルギー・環境大臣会合コミュニケに基づき、排出削減対策が講じられていない国際的な化石燃料エネルギー部門への新規の公的 direct 支援を 2022 年末までに終了としている。</p> <p>○電力業界では、「電気事業における低炭素社会実行計画(カーボンニュートラル行動計画)」で掲げた目標の達成に向けた取組みを着実に推進するため、電気事業低炭素社会協議会を設立。同行動計画では電力需給両面における環境保全に資する技術開発に継続して取組むとして、環境負荷を低減する火力技術に A-USC、IGCC、CCS、水素・アンモニア発電等を挙げている。</p> <p>対応</p> <p>本事業における材料・製造、保守技術に関する研究開発は、既設火力の材料に代えることによって更に信頼性を向上でき、また他のエネルギープラントをより厳しい条件で運転できる可能性があるなど、その活用先は多岐にわたる。開発当初から脱炭素に向けた動きが加速するなど情勢変化はあるものの、本事業の重要性は変わらず高く、継続して研究開発を推進した。</p> |  |     |     |     |     |     |     |

|               | 評価項目   | 指摘   | 対応  |
|---------------|--|--|---|
| 中間評価結果への対応    | 1 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見直し  | 実用化・事業化の段階では、ユーザー側のメリットが明確であることが重要であり、導入した場合の定量的なメリット、例えばライフサイクルコスト等、事業化を見据えた開発指標があると良い。                                       | 前プロジェクトの「次世代火力発電等技術開発／先進超々臨界圧火力発電技術開発」において <b>事業化を見据えた経済性評価を行った</b> 。電力事業者への開発技術導入の提案においては、 <b>個々の適用先に応じて明確なコストメリットを提示する</b> 。    |
|               | 2 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見直し  | 国内外で石炭火力の新設・リプレースが想定どおりとならないリスクがある。時間の経過とともにこのリスクは高まると考えられ、市場規模も想定よりも小さくなる可能性の方が高い。そのため、一刻も早い実用化が望ましい。                         | 前プロジェクトでは要素技術（製造技術と検証）を開発し、今回のプロジェクトでは検査、寿命予測等の保守技術を開発した。これにより実用化に向けた準備が整った。さらに、 <b>開発した材料は実機に適用されており、今後も実績を確実に蓄積していく</b> 。       |
|               | 3 事業の位置付け・必要性  | 構造物、材料に関する要素的な開発技術が、A-USC 以外の事業にどこまで展開できるかを明確にし、それらを他にも適用できる一般化された形に示した上で、今後の事業を推進されることを切望する。                                  | Ni基合金は原子力分野や化学工業分野で利用されており、開発した材料、検査技術はこれらに転用可能である。また、 <b>開発技術の多くはオーステナイト鋼への適用が可能で、その展開範囲は広い</b> 。今後事業展開を図る。                      |
|               | 4 研究開発成果   | 各個別テーマの繋がり、それによって生まれるアウトプットを外部の第三者から見ても分かり易くアピールできるようにしていただく。特に、大径管の試験と短冊クリープ試験との関連性、クリープ疲労試験の立ち位置については、第三者に分かり易く説明できるよう改善を望む。 | 短冊クリープ試験は大径管の試験に先行させ、解析・検査技術の事前把握を可能とした。また、より長時間試験を実施することができた。将来火力の運用を考えた場合、頻繁な負荷変動に対応するため12時間・24時間保持条件でのクリープ疲労試験による材料特性確認は必須である。 |
|               | 5 研究開発成果   | 材料試験を伴う開発研究には、試験時間を相当に要することから、時間的制限は避けられない。そのため、要素試験で得られた材料データに基づいた数値シミュレーション等で補完することが望ましい。                                    | 大径管内圧クリープ試験において多軸応力場を考慮した構造解析を行っており、試験データとの比較や解析条件へのフィードバックにより、信頼性向上に寄与している。  |
| 評価に関する事項      | 2019 年度 中間評価   |  |   |
|               | 2022 年度 事後評価   |  |   |
| 3. 研究開発成果について | <p>中間目標及び最終目標を以下の通り設定。</p> <p>[中間目標（2019年度）]</p> <p>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。</p> <p>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、技術確立の見直しを得る。</p> <p>[最終目標（2022年度）]</p> <p>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。</p> <p>成果：以下の通り全ての研究開発項目について最終目標を達成できた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大径管内圧クリープ試験、短冊一軸クリープ試験、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、2022年度9月までに全ての試験を完了し、結果の評価を行った。</li> <li>・表面処理技術開発、非破壊検査精度向上・適用箇所拡大、UTシミュレーション技術開発については、得られた基礎データ等から保守技術を確立した。</li> </ul> |  |   |

[研究開発項目毎]

1)-(a)-1 大径管内圧クリープ試験

最終目標：大径管厚肉部材等について「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE 試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。

成果：・第一回目試験（試験温度 750℃、内圧 8.77MPa、累積 11,700h）、第二回目試験（試験温度 750℃、内圧 14.7MPa、累積 2,200h）により、「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE 試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を実施した。

1)-(a)-2 短冊一軸クリープ試験

最終目標：大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT 試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。

成果：700℃一体、750℃二体、合計三体の試験により「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT 試験検証」、「寿命予測手法検証」を実施した。

1)-(a)-3 長時間クリープ疲労試験

最終目標：試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。

成果：保持時間 1 分～24 時間のクリープ疲労試験を実施し、保持時間の増加と共に破断サイクルは低下するものの一定値に収束する傾向が確認された。クリープ損傷と疲労損傷が重畳した場合の使用限界図を得た。

1)-(b)-1 タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価

最終目標：タービン用 Ni 基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。

成果：ローター、羽根、ケーシング材等の長時間クリープ破断データ等を取得し、長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法を開発した。

1)-(b)-2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価

最終目標：タービン用 Ni 基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。

成果：TOS1X-2 ロータ材共材及び異材溶接部のクリープ破断データを取得し、長時間使用中の材料健全性を確認した。

1)-(b)-3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築

最終目標：ボイラ用 Ni 基材料の経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータ拡充、クリープ亀裂進展データ拡充等を行う。

成果：ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME 規格化への提案を行った。規格化に向け審議中。

1)-(c)-1 タービン翼表面改質技術

最終目標：高 Cr 鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。

成果：800 時間、2,000 時間、8,000 時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験等を実施し、耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証した。

2)-(a)-1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所の拡大

|                              |  |      |            |      |   |
|------------------------------|--|------|------------|------|---|
|                              | <p>最終目標：蒸気タービンロータ溶接部（Ni 基/耐熱鋼）非破壊検査（フェーズドレイ TOFD 法、セクタスキャン法）精度向上及び適用箇所を拡大する。</p> <p>・校正曲線作成の簡便化、TOFD 法センサ位置の評価、プローブ種類の検討等を実施し、非破壊検査（フェーズドレイ TOFD 法、セクタスキャン法）精度向上及び適用箇所を拡大した。</p> <p>成果：</p> <p>・超音波減衰特性の基礎データを取得した。</p> <p>・試験体を製作し、探傷基礎試験を実施した。</p> <p>2)-(b)-1 ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術開発</p> <p>最終目標：ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術を開発する。</p> <p>成果：組織情報と音速等のデータを取得、金属モデル、シミュレーションモデルモデルの検証を行い、ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術を開発した。</p> |      |            |      |   |
| 投稿論文                         | 「査読付き」15 件、「その他」20 件   |      |            |      |   |
| 特許                           | なし   |      |            |      |   |
| その他の外部発表（プレス発表等）             | 「学会発表、講演」50 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>本事業で得られた成果を広く社会に実装するため、適用できる商材の調査や、得られた技術の関連分野への部分適用の検討も実施した。</p> <p>・電源開発竹原新1号機（2020年6月運開）のボイラで使用<br/>630℃の再熱器管寄せ（オーステナイト鋼）と再熱蒸気管（高クロム鋼）の接合部に HR6W 製短管を適用した。</p>   |      |            |      |   |
| 5. 基本計画に関する事項                | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="379 1711 612 1778">作成時期</td> <td data-bbox="612 1711 1441 1778">2017年2月 作成</td> </tr> <tr> <td data-bbox="379 1778 612 1998">変更履歴</td> <td data-bbox="612 1778 1441 1998">           2018年2月 改訂（PL の追記）<br/>           2019年1月 改訂（実施期間の変更、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）<br/>           2019年7月 改訂（PM の変更）<br/>           2022年11月 改訂（事後評価に向けた全面改訂）         </td> </tr> </table>                             | 作成時期 | 2017年2月 作成 | 変更履歴 | 2018年2月 改訂（PL の追記）<br>2019年1月 改訂（実施期間の変更、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）<br>2019年7月 改訂（PM の変更）<br>2022年11月 改訂（事後評価に向けた全面改訂） |
| 作成時期                         | 2017年2月 作成   |      |            |      |   |
| 変更履歴                         | 2018年2月 改訂（PL の追記）<br>2019年1月 改訂（実施期間の変更、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）<br>2019年7月 改訂（PM の変更）<br>2022年11月 改訂（事後評価に向けた全面改訂）  |      |            |      |   |



## プロジェクト用語集

| 名称                                  | 略号    | 意味   |
|-------------------------------------|-------|--|
| アコースティックエミッション<br>Acoustic Emission | AE    | 材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波として放出する現象であり、AE 波は主に超音波領域の高い周波数成分を持つ。この AE 波を材料表面に設置した AE センサによって電気信号に変換して検出し、破壊や変形の様子を非破壊的に評価する手法を AE 法と呼ぶ。   |
| 液化天然ガス<br>Liquefied Natural Gas     | LNG   | メタンを主成分とした天然ガスを冷却し液化したもの   |
| エロージョン                              |       | 固体、液体および気体が材料との相対的動きや衝撃的な繰り返し作用によって生ずる機械的力によって材料表面を変形・劣化させ、少しずつ材料を脱離させその場所に減肉を生じさせる現象。   |
| クリープ                                |       | 物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともに歪みが増大する現象。  |
| 高位発熱量                               |       | 高位発熱量もしくは総発熱量は、燃焼後の生成物を燃焼前の温度に戻し、生成した水蒸気がすべて凝縮した場合の発熱量である。燃焼で生成された水が液体で存在するような一般的な温度で燃焼反応のエンタルピー変化を想定しているため、総発熱量は燃焼熱に等しい値となる。熱量計で測定される熱量は高位発熱量である。   |
| 再熱蒸気                                |       | 超高圧または高圧タービンで仕事をした後、再度ボイラで過熱された蒸気であり、再度タービンで仕事をする。   |
| 酸化スケール                              |       | 金属を空気中または他の酸化雰囲気中で加熱したとき表面に生じる酸化物の被膜   |
| 主蒸気                                 |       | ボイラで発生する最高圧力、最高温度の蒸気   |
| 石炭                                  |       | 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。<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）。 |
| 先進超々臨界圧汽力発電<br>Advanced-USC         | A-USC | 蒸気温度 700℃以上の超臨界圧汽力発電   |
| 送電端出力                               |       | 発電機出力—所内動力   |
| タービン                                |       | 蒸気の流れによってロータと羽根とが組み合わされたものが回転し、連続的にパワーを生み出す機械のこと。  |
| 超音波探傷試験<br>Ultrasonic Testing       | UT    | 超音波のパルス信号として機械的な振動を金属材料等の表面や内部に伝播させることにより、音響的に不連続な部分からの反射信   |

|  |      |   |
|--|------|---|
|  |      | 号や反射強度、伝播時間などにより、材料内部の傷や長さ、形状などを非破壊で評価し、その良否判定を検査規格などにより良否判定する技術。 |
| 超々臨界圧汽力発電<br>Ultra Super Critical<br>pressure          | USC  | 蒸気温度 593℃以上の超臨界圧汽力発電  |
| 日本機械学会<br>The Japan Society of<br>Mechanical Engineers | JSME | 機械工学とその関連分野の学会  |
| 熱効率  |      | 電気出力／投入熱量   |
| バルブ  |      | 管などのように閉じた流路を流れる流体に対し、流路の一部の断面積を可変とし、圧力、流量、流路などを制御する装置。弁。         |
| ボイラ  |      | ボイラは、燃料を燃焼させて得た熱を水に伝え、水蒸気や温水（＝湯）に換える熱交換装置を持った熱源機器。                |

# 1. 事業の位置付け・必要性について

## 1.1 事業の背景・目的・位置づけ

### (1) 事業実施の背景と事業の目的

#### 【開始当時】

##### <社会的背景>

温暖化対策が世界的課題であり、高効率発電技術開発による CO<sub>2</sub> 排出量削減が必要。

##### <事業の目的>

火力発電の熱効率向上による CO<sub>2</sub> 排出量の抑制が求められたため、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、700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン材料の信頼性向上及び保守技術開発を実施。

### (2) 政策的位置付け

開始当時から政策は脱炭素へ大きく転換（今後、石炭火力の電源構成比は低減）した。

一方、脱炭素火力に向けた移行期間における適切なポートフォリオの確保や、再生可能エネルギーを最大限導入する中で調整電源としての役割が期待される。

⇒本事業は既設火力への展開も可能である。

#### 【開始当時】

##### ○次世代火力発電に係る技術ロードマップ（2016 年 6 月 官民協議会）

火力発電の高効率化、CO<sub>2</sub> 削減を実現するため、A-USC を含む、次世代の火力発電技術を早期に確立・実用化するためのロードマップを提示。

##### ○第 4 次エネルギー基本計画（2014 年 4 月 閣議決定）

老朽火力発電所のリプレースや新增設による利用可能な最新技術の導入を促進することに加え、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下げするための技術（IGCC など）等の開発をさらに進める。こうした高効率化技術等を国内のみならず海外でも導入を推進していくことにより、地球全体で環境負荷の低減と両立した形で利用していく必要がある。

#### 【現在】

##### ○第 6 次エネルギー基本計画（2021 年 10 月 閣議決定）

火力発電については、安定供給を大前提に、再エネの瞬時的・継続的な発電電力量の低下にも対応可能な供給力を持つ形で設備容量を確保しつつ、以下を踏まえ、できる限り電源構成に占める火力発電比率を引き下げる。

・調達リスク、発電量当たりの CO<sub>2</sub> 排出量、備蓄性・保管の容易性といったレジリエンス向上への寄与度等の観点から、LNG、石炭、石油における適切な火力のポートフォリオを維持。（脱炭素火力に向けた転換を進めるに当たっては、化石火力の各燃料種が持つ一長一短の特徴を踏まえて、適切なポートフォリオを確保することが重要）

・次世代化・高効率化を推進しつつ、非効率な火力のフェードアウトに着実に取り組むとともに、脱炭素型の火力発電への置き換えに向け、アンモニア・水素等の脱炭素燃料の混焼や CCUS/カーボンサイクル等の CO<sub>2</sub> 排出を削減する措置の促進に取り組む。

### (3) プロジェクトの経緯

本事業は、経済産業省（METI）が 2008 年度～2015 年度まで直接実施し、その後 NEDO が継承して 2016 年度で実施した「先進超々臨界圧火力発電技術開発」の後継プロジェクトとして開始した事業。

<先進超々臨界圧火力発電技術開発 2016 年度前倒し事後評価 主な評価結果>

- ・開発目標はほぼ達成し欧米をリードできた。
- ・2025年頃に大型機の商用実証を目指す態勢が整いつつある。
- ・新材料の開発、Ni基の材料を部分的に使用等、有意義な成果が得られている。
- ・今後は、以下が必要。
  - －実機の運用を想定した課題の抽出
  - －寿命評価手法やメンテナンスのための健全性評価手法の確立
  - －更なる長時間の試験

<次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 2017年度～2022年度>

- ・A-USC 商用機の普及促進を目的として、以下の研究開発項目を設定した。
  - －高温長期材料試験による信頼性向上技術開発
  - －保守技術の開発・高度化

#### (4)国内外の研究開発の動向と比較

日本の国際競争力強化のため、次世代技術の早期実用化が必要。

##### ・アメリカ

アメリカエネルギー省（DOE）や産業界の支援を受け、A-USC 実証建設のためのチューブ、パネル等の製造・評価の要素開発を実施。

##### ・中国

Huaneng Nanjing power plant 2号機で水壁、過熱器、ヘッダー、高温配管、安全弁やバイパスなどを対象に、実缶試験を実施。

##### ・インド

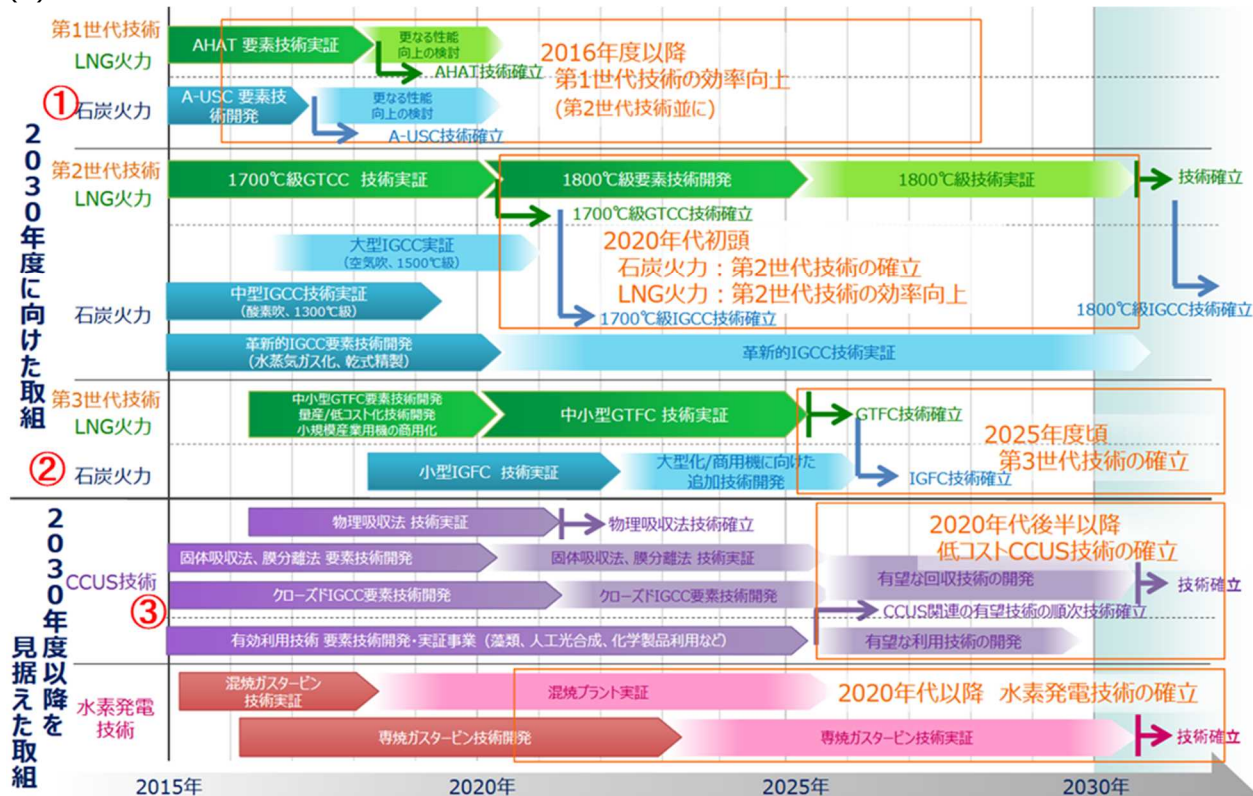
材料や製品の製造技術開発を実施し、A-USC 実証場所として、Chhattisgarh 州にある Sipat 発電所が選定。

出典：IEA-CCC INCREASING EFFICIENCY OF PULVERISED COAL-FIRED POWER PLANTS, CCC/310

2021年4月

<https://www.sustainable-carbon.org/report/increasing-efficiency-of-pulverised-coal-fired-power-plants-ccc-310/>

(5)他事業との関係



| 狙い                        | 関連するNEDOプロジェクト                     | 開発内容                           |
|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 高効率化によるCO <sub>2</sub> 削減 | ① A-USCの信頼性向上技術開発 <b>【本PJ】</b>     | A-USC適用材料の評価、保守技術の開発           |
| 高効率化によるCO <sub>2</sub> 削減 | ② 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 (IGFC)         | IGCCに燃料電池を組み込んだIGFCの実証         |
| CCUS                      | ③ CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCC技術開発 | CO <sub>2</sub> 分離回収に最適化した発電方式 |

図 1.1- 1 環境部で実施している事業との関係

出典：METI 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 2016年6月 を基に NEDO 作成

## 1.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1.2.1 NEDO が関与することの意義

次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発は、

- ・火力発電設備の高効率化による 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。
- ・研究開発の難易度が高く、投資規模も大きいいため、民間企業だけではリスクが高い。

そのため、NEDO がもつ、これまでの知見・実績を活かして推進すべき事業であった。

### 1.2.2 実施の効果（費用対効果）

(1)プロジェクト費用の総額 15 億円（補助額 7.5 億円）

(2)国内市場における販売額見込み

2050 年までに 75 億円～750 億円

(算定の考え方)

本事業で開発した材料を、定期検査等でボイラ修理時に適用する場合を想定し、以下の通り算出。なおタービンや、非破壊検査技術への適用等があれば、さらなる経済効果を見込める。

- ・World Energy Outlook, STEPS※1 では 2030、2050 年における国内の発電電力量はそれぞれ 202、65(TWh/年)
  - ・石炭火力の利用率を 70%※2 とすると、 $1(\text{TWh/年}) = 1000(\text{GWh/年})$  の発電に必要な発電容量は、 $1000(\text{GWh/年})/365(\text{日/年})/24(\text{h/日})/0.7 = 0.163(\text{GW}/(\text{TWh/年}))$
  - ・よって 2030、2050 年に必要な発電容量はそれぞれ 32.926(GW), 10.595(GW)
  - ・プラント 1 基あたりの設備容量を 70 万 kW※2 とすると、2030、2050 年にはそれぞれ 47、15 基
  - ・2050 年まで生き残るプラントで A-USC 技術による更新をするならば、今後の市場規模は 5 億円～50 億円/基 × 15 基 = 75 億円～750 億円
- なお、過熱器や再熱器等の高温部取り換え費用はプラント一基当たり 5 億円～50 億円と想定した。

※1 : STEPS (Stated Policies Scenario) 各国が表明済みの具体的政策を反映したシナリオ

※2 : METI 資源エネルギー庁 発電コスト検証ワーキンググループ「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告」

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

### (3)二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量削減効果

76 万 t-CO<sub>2</sub>/年

(算定の考え方)

2050 年における石炭火力発電設備 10GW (World Energy Outlook, STEPS シナリオから推定) が CO<sub>2</sub> 分離回収装置付き USC から同 A-USC となった場合の CO<sub>2</sub> 排出削減効果を以下の通り算出。

①USC ②A-USC ③CO<sub>2</sub> 分離回収装置付き USC ④CO<sub>2</sub> 分離回収装置付き A-USC

・送電端効率 (CO<sub>2</sub> 分離回収装置付きの場合、7 ポイントロスとした)

① : 41% ② : 46% ③ : 34% ④ : 39%

・CO<sub>2</sub> 分離回収装置による回収率 : 90%

・CO<sub>2</sub> 排出係数

① : 0.806 (kg/kWh) ※

② :  $0.806(\text{kg/kWh}) \times (41/46) = 0.718(\text{kg/kWh})$

③ :  $0.806(\text{kg/kWh}) \times (41/34) \times (1-0.9) = 0.097(\text{kg/kWh})$

④ :  $0.806(\text{kg/kWh}) \times (41/39) \times (1-0.9) = 0.085(\text{kg/kWh})$

・石炭火力発電設備容量 10GW = 1,000 万 kW、利用率 70%とした場合の CO<sub>2</sub> 削減量 (③、④比較)

$1,000 \text{ 万 kW} \times 8,764 \text{ h} \times (0.097 - 0.085) (\text{kg/kWh}) = 76 \text{ 万 t-CO}_2/\text{年}$

※ : METI 資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 第 18 回会合 資料 2 - 5「火力発電の高効率化」平成 27 年 11 月

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/018/pdf/018\\_011.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/018/pdf/018_011.pdf)

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 2.1 事業の目標

最終目標（2022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。

〔目標設定の根拠〕

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及び保守技術開発が必要である。

### 2.2 事業の計画内容

#### 2.2.1 研究開発の内容

(1)研究開発目標と根拠

A-USC 商用機の普及促進を目的として、以下の技術開発を行う。

- － 高温長期材料試験による信頼性向上技術開発
- － 保守技術の開発・高度化

表 2.2- 1 個別研究テーマごとの研究開発目標と根拠

| 研究開発項目                                   | 研究開発目標   | 根拠   |
|--|--|--|
| 1) 高温材料信頼性向上技術開発                         |  |  |
| (a) - 1 大径管内圧クリープ試験                      | 大径管厚肉部材等について「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。   | ボイラ保守の要となる部材であり、実機運転中の経年劣化を理解するためには、高圧、高温条件下での実形状部材損傷試験による、損傷形態把握と計測、検証が不可欠である。          |
| (a) - 2 短冊一軸クリープ試験                       | 大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。 | (a)-1の試験は大型試験体を用いるため試験体数、試験時間に大きな制約がある。それを補充するため、単軸応力場ではあるが、大型試験片で(a)-1に準じた試験を行う。        |
| (a) - 3 長時間クリープ疲労試験                      | 試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。            | 再生可能エネルギーを補充するために、将来的には石炭火力にも頻繁な負荷変化が要求される可能性がある。その場合、部材に生じるクリープ疲労損傷を評価するための基礎データが必要である。 |
| (b) - 1 タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価             | タービン用Ni基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。     | タービン用Ni基材料についてはこれまでクリープ破断試験を主体に信頼性検証を行ってきたが、より実機に近い条件下での信頼性を確認するために行う。                   |
| (b) - 2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価               | タービン用Ni基超合金/従来耐熱鋼の異材接合部の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。                            | タービンロータ溶接部は運転中常に高応力、高温環境下にあり、長時間の信頼性を検証する必要がある。  |
| (b) - 3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築 | ボイラ用Ni基材料の経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータ拡充、クリープ亀裂進展データ拡充等を行う。         | ボイラは規格により設計、製作されるので、新材料の規格化が必要である。また、実機運用においては溶接補修が行われ、その信頼性検証が必要である。                    |
| (c) - 1 タービン翼表面改質技術                      | 高Cr鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。  | A-USCでは従来の高Cr鋼もできる限り高温で使用するが、表面酸化が問題になる場合がある。そこで、表面改質によりより高温での使用を可能とする。                  |
| 2) 保守技術開発                                |  |  |
| (a) - 1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大    | 蒸気タービンロータ溶接部（Ni基/耐熱鋼）非破壊検査（フェーズドレイTOFD法、セクタスキャン法）精度向上及び適用箇所の拡大をする。     | フェーズドレイ TOFD 法、セクタスキャン法の実機運用時の校正 IP および校正作業を削減するとともに運用範囲を拡大し、実機ロータの運用信頼性を向上する。           |
| (b) - 1 ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術開発   | ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術を開発する。                                     | Ni基合金やオーステナイト鋼は比較的結晶粒が大きく、UT検査では粒界でのノイズが大きいため、UTシミュレーションにより、ノイズと疵の判別を的確に行えるようになる。        |

(2)研究開発のスケジュール

当初計画では、2017-2020年度の事業計画であったが、以下の通り期間延長を行った。

- 外部有識者を含む開発推進委員会での指摘を踏まえた大径管内圧クリープ試験の計画見直し（配管形状と試験条件の最適化）を行うため、1年間期間を延長。（2019年2月交付決定）
- 同試験において、2021年度に試験を開始した第2回目試験では、3試験体を同時に試験するための試験体形状と起動方法の検討を行うため、さらに半年間期間を延長（2022年2月交付決定）

表 2.2- 2 研究開発のスケジュール



(3)開発促進財源投入実績

表は2回目の延長に関する実績。なお金額は補助額を示す。

表 2.2- 3 開発促進財源投入実績の目的と成果

| 件名                              | 年度                  | 金額<br>(百万円)   | 目的   | 成果  |
|---------------------------------|---------------------|---------------|--|---|
| 大径管第二回目<br>試験体の検査、調<br>査等       | 2021、<br>2022<br>年度 | 14<br>IHI、MHI | 第二回目試験体の検査、<br>調査等を行い、材料劣<br>化、損傷状況を把握す<br>る。                            | 試験温度 750℃、内圧 14.7MPa の条<br>件で、第二回目試験を累積 610h、<br>2,200h 遂行後、試験体の検査、調査等<br>を行い、材料劣化、損傷状況を把握した。                           |
| 大径管第二回目<br>試験のセンサ、運<br>転、検査、調査等 | 2021、<br>2022<br>年度 | 18<br>電中研     | 大径管第二回目試験の<br>センサ購入、運転、検査、<br>調査等を行い、試験を遂<br>行する。また、試験後の試<br>験体の状態を把握する。 | 第二回目試験のセンサ購入、運転、検査、<br>調査等を行った。<br>試験温度 750℃、内圧 14.7MPa の条<br>件で、第二回目試験を累積 610h、<br>2,200h 遂行し、多軸応力場での試験体<br>損傷形態を把握した。 |



(4)プロジェクト費用

総事業費：15 億円（助成率 1/2、補助額 7.5 億円）

表は各研究開発項目における年度ごとの補助額を示す。

表 2.2- 4 各研究開発項目の補助額

(単位：百万円)

| 研究開発項目             |                                  | 2017<br>年度 | 2018<br>年度 | 2019<br>年度 | 2020<br>年度 | 2021<br>年度 | 2022<br>年度 | 合計  |
|--------------------|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| 高温長期材<br>料試験       | 大径管内圧クリープ試験                      | 78         | 86         | 71         | 65         | 63         | 27         | 390 |
|                    | 短冊一軸クリープ試験                       | 8          | 7          | 10         | 7          | 5          |            | 36  |
|                    | 長時間クリープ疲労試験                      | 9          | 7          | 4          | 5          | 4          |            | 29  |
| 材料データ<br>ベース拡充     | タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価             | 6          | 6          | 13         | 12         | 8          |            | 45  |
|                    | タービンロータ溶接部長時間健全性評価               | 6          | 6          | 5          | 7          | 5          |            | 29  |
|                    | ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築 | 31         | 19         | 29         | 25         | 27         |            | 130 |
| タービン翼表面改質技術開発      |                                  | 8          | 9          | 16         | 15         | 0          |            | 50  |
| 非破壊検査精度向上及び適用箇所の拡大 |                                  | 0          | 3          | 5          | 4          | 0          |            | 11  |
| UT検査シミュレーション技術開発   |                                  | 9          | 9          | 9          | 9          | 0          |            | 35  |
| 合計                 |                                  | 153        | 151        | 161        | 149        | 111        | 27         | 752 |

## 2.2.2 研究開発の実施体制

プラントメーカ、材料メーカ、非破壊検査、研究機関など、幅広い分野で構成。それぞれに分担を明確化し、研究開発を実施した。

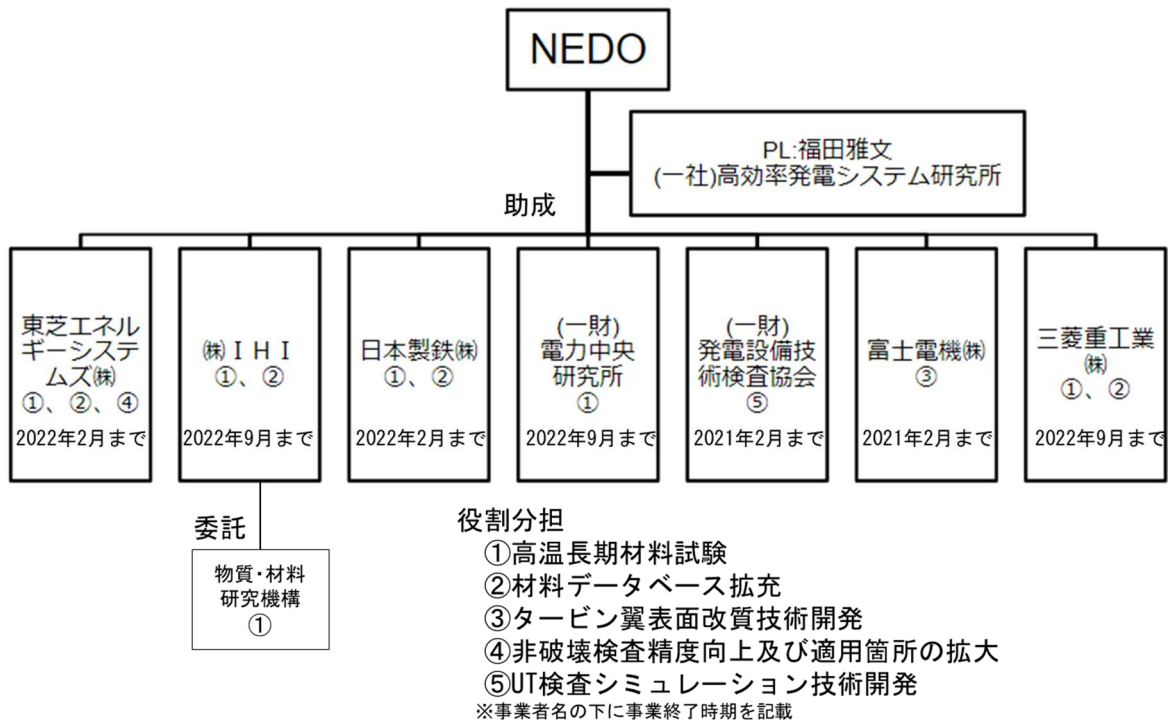


図 2.2 1 研究開発の実施体制図

## 2.2.3 研究開発の運営管理

### (1) A-USC 開発推進委員会の設置

運営管理のために A-USC 開発推進委員会を設置した。

### (2) 目的

A-USC 開発推進に必要な事項の基本方針策定、審議、情報交換を行うため。

### (3) 参加者

- ・助成事業者
- ・前身事業で要素技術開発などを行った事業者や研究機関
- ・ユーザー（電力会社）



図 2.2 2 A-USC 開発推進委員会と分科会の構成

## 2.2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

### (1) 研究開発の進捗管理

#### – PM による進捗管理

- ・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、毎月、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る。

- ・外部有識者で構成する技術検討委員会を開催し、事業の進捗や計画、目標達成の見通しなどにつき指導、助言を受け、事業計画に反映することで、より効果的な事業推進に努めた。（2018 年 9 月、2021 年 2 月開催）

#### – PL による進捗管理

- ・各事業者の役割を踏まえた実施計画書の作成方針を PM とともに検討し、またその目的・目標を事業者に浸透させ、研究開発現場で常時フォローや指導指示を行った。

- ・A-USC 開発推進委員会を 3 か月に 1 回程度開催し、各分科会の実施状況、問題をチェックする。

- ・大径管内圧クリープ試験分科会を 3 か月に 1 回程度開催し、分科会内作業の実施状況、問題をチェックする。必要に応じ、関係者会議を開催する。

- ・ボイラ分科会、タービン分科会、バルブ分科会を適宜開催し、分科会内作業の実施状況、問題をチェックする。

## (2)知的財産権等に関する戦略

材料の信頼性向上、保守技術開発を実施する今回のプロジェクトにおいては、事業者が秘匿すべき技術が多く得られるので、特許出願よりもノウハウ蓄積に重点を置いた。ノウハウには以下のような項目が含まれる。

- －信頼性向上技術開発
  - ・素材製作（組成最適化、熱処理最適化等）
  - ・要素製作（溶接方法最適化、表面処理最適化等）
- －保守技術の開発・高度化
  - ・寿命予測（計算解析手法、余寿命推定手法等）
  - ・非破壊検査（超音波検査手法等）
  - ・補修技術（溶接方法最適化、熱処理方法最適化等）

## (3)知的財産管理

A-USC 開発推進員委員会メンバーが共同実施業務覚書を取り交わし、知的財産の帰属を明確化した。

## 2.3 情勢変化への対応

### －情勢変化

- ・菅総理大臣は、2030年に向けた温室効果ガスの削減目標について、2013年度に比べて46%削減することを目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けていくことを表明した。（2021年4月）
- ・「インフラシステム海外展開戦略 2025」（2022年6月追補）では、2022年5月のG7気候・エネルギー・環境大臣会合コミュニケに基づき、排出削減対策が講じられていない国際的な化石燃料エネルギー部門への新規の公的 direct 支援を2022年末までに終了としている。
- ・電力業界では、「電気事業における低炭素社会実行計画（カーボンニュートラル行動計画）」で掲げた目標の達成に向けた取組みを着実に推進するため、電気事業低炭素社会協議会を設立。同行動計画では電力需給両面における環境保全に資する技術開発に継続して取組むとして、環境負荷を低減する火力技術にA-USC、IGCC、CCS、水素・アンモニア発電等を挙げている。

### －対応方針

- ・本事業における材料・製造、保守技術に関する研究開発は、既設火力の材料に代えることによって更に信頼性を向上でき、また他のエネルギープラントをより厳しい条件で運転できる可能性があるなど、その活用先は多岐にわたる。開発当初から脱炭素に向けた動きが加速するなど情勢変化はあるものの、本事業の重要性は変わらず高く、継続して研究開発を推進した。

## 2.4 中間評価結果への対応

表 2.4- 1 中間評価時の指摘とその対応

|   | 評価項目                    | 指摘   | 対応   |
|---|-------------------------|--|--|
| 1 | 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し | 実用化・事業化の段階では、ユーザー側のメリットが明確であることが重要であり、導入した場合の定量的なメリット、例えばライフサイクルコスト等、事業化を見据えた開発指標があると良い。   | 前プロジェクトの「次世代火力発電等技術開発／先進超々臨界圧火力発電技術開発」において <b>事業化を見据えた経済性評価を行った。</b> 電力事業者への開発技術導入の提案においては、 <b>個々の適用先に応じて明確なコストメリットを提示する。</b>            |
| 2 | 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し | 国内外で石炭火力の新設・リプレースが想定どおりとならないリスクがある。時間の経過とともにこのリスクは高まると考えられ、市場規模も想定よりも小さくなる可能性の方が高い。そのため、一刻も早い実用化が望ましい。                             | 前プロジェクトでは要素技術（製造技術と検証）を開発し、今回のプロジェクトでは検査、寿命予測等の保守技術を開発した。これにより実用化に向けた準備が整った。さらに、 <b>開発した材料は実機に適用されており、今後も実績を確実に蓄積していく。</b>               |
| 3 | 事業の位置付け・必要性             | 構造物、材料に関する要素的な開発技術が、A-USC 以外の事業にどこまで展開できるのかを明確にし、それらを他にも適用できる一般化された形に示した上で、今後の事業を推進されることを切望する。                                     | Ni 基合金は原子力分野や化学工業分野で利用されており、開発した材料、検査技術はこれらに転用可能である。また、 <b>開発技術の多くはオーステナイト鋼への適用が可能で、その展開範囲は広い。</b> 今後事業展開を図る。                            |
| 4 | 研究開発成果                  | 各個別テーマの繋がりと、それによって生まれるアウトプットを外部の第三者から見ても分かり易くアピールできるようにしていただくが良い。特に、大径管の試験と短冊クリープ試験との関連性、クリープ疲労試験の立ち位置については、第三者に分かり易く説明できるよう改善を望む。 | 短冊クリープ試験は大径管の試験に先行させ、解析・検査技術の事前把握を可能とした。また、より長時間試験を実施することができた。<br>将来火力の運用を考えた場合、頻繁な負荷変動に対応するため 12 時間・24 時間保持条件でのクリープ疲労試験による材料特性確認は必須である。 |
| 5 | 研究開発成果                  | 材料試験を伴う開発研究には、試験時間を相当に要することから、時間的制限は避けられない。そのため、要素試験で得られた材料データに基づいた数値シミュレーション等で補完することが望ましい。  | 大径管内圧クリープ試験において多軸応力場を考慮した構造解析を行っており、試験データとの比較や解析条件へのフィードバックにより、信頼性向上に寄与している。   |

## 2.5 評価に関する事項

①2019 年度 中間評価

②評価手法：第三者評価

③評価事務局：評価部

④評価項目・基準：標準的評価項目

⑤評価委員

分科会長：野中 勇 東北大学大学院 工学研究科 附属先端材料強度科学研究センター 客員教授

分科会長代理：岡崎 正和 長岡技術科学大学大学院 機械創造工学専攻 教授

委員：伊藤 隆基 立命館大学 理工学部 機械工学軽科 教授

委員：久谷 一郎 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 戦略研究ユニット 国際情勢分析 第1グループ マネージャー 研究理事

委員：佐藤 景子 株式会社三菱総合研究所 環境・エネルギー事業本部 海外環境ビジネスグループリーダー 主任研究員

委員：山口 富子 九州工業大学大学院 物質工学研究系 准教授

委員：山崎 泰広 千葉大学大学院 工学研究院 基幹工学専攻 機械工学コース 准教授

### 3. 研究開発成果について

#### 3.1 事業全体の成果

(1)達成状況

大径管内圧クリープ試験等の高温長期材料試験及び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った。また、表面処理技術開発及び保守技術開発については、得られた基礎データ等から技術確立の見通しを得られており、全ての研究開発項目について最終目標を達成できた。

(2)成果の意義

本プロジェクトによる技術開発を確実に実施することにより、既設火力の信頼性も高め、火力発電に求められる電力の安定供給、経済性に寄与できる。さらには波及効果として他のエネルギー、化学プラントへの展開も期待される。

#### 3.2 研究開発項目毎の成果

(1)研究開発項目毎の目標と達成状況の一覧

各研究開発の目標については下表のとおりすべて達成。

表 3.2- 1 各研究開発項目の最終目標と成果

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

| 研究開発項目                 | 最終目標  | 成果  | 達成度 |
|------------------------|---|---|-----|
| 1) 高温材料信頼性向上技術開発       |   |   |     |
| (a) - 1<br>大径管内圧クリープ試験 | 大径管厚肉部材等について「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE 試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。   | 第一回目試験（試験温度 750℃、内圧 8.77MPa、累積 11,700h）、第二回目試験（試験温度 750℃、内圧 14.7MPa、累積 2,200h）により、「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE 試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を実施した。 | ○   |
| (a) - 2<br>短冊一軸クリープ試験  | 大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT 試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。 | 700℃一体、750℃二体、合計三体の試験により「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT 試験検証」、「寿命予測手法検証」を実施した。  | ○   |
| (a) - 3<br>長時間クリープ疲労試験 | 試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。             | 保持時間 1 分～24 時間のクリープ疲労試験を実施し、保持時間の増加と共に破断サイクルは低下するものの一定値に収束する傾向が確認された。クリープ損傷と疲労損傷が重畳した場合の使用限界図を得た。   | ○   |

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| (b) - 1<br>タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価             | タービン用 Ni 基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。       | ローター、羽根、ケーシング材等の長時間クリーブ破断データ等を取得し、長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法を開発した。     | ○ |
| (b) - 2<br>タービンロータ溶接部長時間健全性評価                 | タービン用 Ni 基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。                              | TOS1X-2 ロータ材共材及び異材溶接部のクリーブ破断データを取得し、長時間使用中の材料健全性を確認した。                                      | ○ |
| (b) - 3<br>ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築   | ボイラ用 Ni 基材料の経年後補修材料のクリーブ強度評価、規格化に向けたクリーブデータ拡充、クリーブ亀裂進展データ拡充等を行う。           | ボイラ配管・伝熱管材のクリーブ試験によるデータ拡充を行い、JSME 規格化への提案を行った。規格化に向け審議中。                                    | ○ |
| (c) - 1<br>タービン翼表面改質技術                        | 高 Cr 鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。    | 800 時間、2,000 時間、8,000 時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験等を実施し、耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証した。          | ○ |
| 2) 保守技術                                       |  |   |   |
| (a) - 1<br>蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大      | 蒸気タービンロータ溶接部 (Ni 基/耐熱鋼) 非破壊検査 (フェーズドアレイ TOFD 法、セクタスキャン法) 精度向上及び適用箇所の拡大をする。 | 校正曲線作成の簡便化、TOFD 法センサ位置の評価、プローブ種類の検討等を実施し、非破壊検査 (フェーズドアレイ TOFD 法、セクタスキャン法) 精度向上及び適用箇所の拡大をした。 | ○ |
| (b) - 1<br>ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術開発 | ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術を開発する。                                     | 組織情報と音速等のデータを取得、金属モデル、シミュレーションモデルの検証を行い、ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術を開発した。              | ○ |

(2)各研究開発項目の試験内容とその成果

1)高温材料信頼性向上技術開発

1)-(a)高温長期材料試験

1)-(a)-1 大径管内圧クリーブ試験

・試験内容

大径管厚肉部材 (配管試験体) の試験装置 (BIPress) による試験。

- 配管試験体を 750℃まで加熱し、内圧、曲げを与える。
- 試験は 5,000 時間程度、配管に損傷を与える。
- 中間止めで UT (超音波検査)、PT (浸透探傷検査) 等により損傷の進行度合いを計測する。



- 試験中は AE（アコースティックエミッション）により亀裂進展の検知を行う。
- 試験結果と応力解析結果等を照らし合わせて、応力解析の精度検証、寿命予測手法の検討を行う。

・成果

第一回目試験（試験温度 750 °C，内圧 8.77MPa，累積 11,700h）、第二回目試験（試験温度 750 °C，内圧 14.7MPa，累積 2200h）により、「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE 試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を実施した。

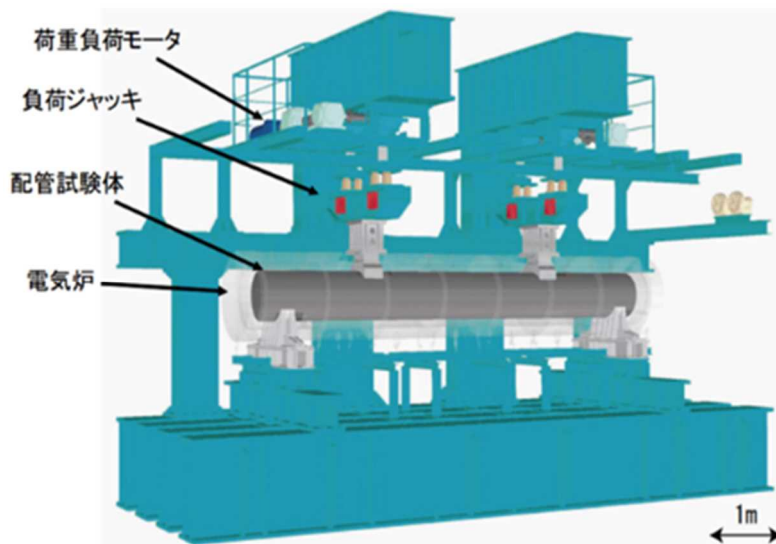


図 3.2- 1 大径管内圧クリープ試験装置の概要図

1)-(a)-2 短冊一軸クリープ試験

・試験内容

- 短冊一軸クリープ試験は大径管内圧クリープ試験では確認できない「き裂発生」「進展」「破断」の損傷過程ごとの状況を把握し補完するための試験である。
- 大径管内圧クリープ試験は高額なため試験数に制限があるので、短冊試験体での試験を行った。

・成果

700°C 一体、750°C 二体、合計三体の試験により「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT 試験検証」、「寿命予測手法検証」を実施した。

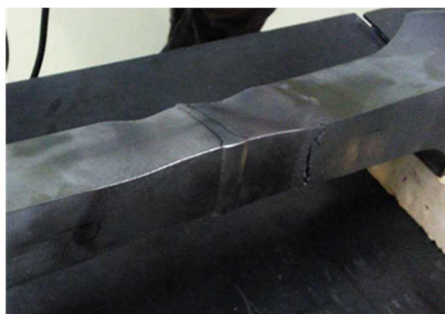


図 3.2- 2 損傷した短冊一軸クリープ試験体

表 3.2- 2 短冊一軸クリーブ試験まとめ

| 材質   | 試験温度 (°C) | 試験応力 (一軸引張MPa) | 破断目標時間 (hr) | 試験時間                |
|------|-----------|----------------|-------------|---------------------|
| HR6W | 700       | 100            | 20,000      | 23,850h 試験中断、切断調査実施 |
| HR6W | 750       | 91             | 20,000      | 19,810h 破断          |
| HR6W | 750       | 85             | 30,000      | 24,000h 試験中断、切断調査実施 |

1)-(a)-3 長時間クリーブ疲労試験

・試験内容

クリーブ疲労の試験は試験体に下図のようなひずみを繰り返しかけて損傷に至る回数を評価する。

- 試験の条件を実機運転状況に近づけるために保持時間  $t_h$  が従来より長い試験を行っている。
- 実機におけるクリーブ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを取得する。

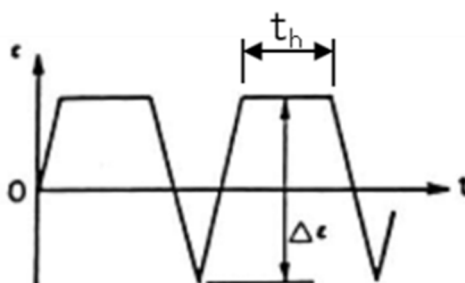


図 3.2- 3 クリーブ疲労試験の概念

・成果

- 下表に示すような保持時間 1 分～24 時間のクリーブ疲労試験を実施し、保持時間の増加と共に破断サイクルは低下するものの一定値に収束する傾向が確認された。
- 幅広いデータを得た。
- クリーブ損傷と疲労損傷が重畳した場合の使用限界図を得た。

表 3.2- 3 長時間クリーブ疲労試験条件

| 温度 (°C) | Δε (%) | 保持時間 ; $t_h$ |      |       |       |       |       |       |        |        |        |
|---------|--------|--------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|         |        | 0            | 1min | 10min | 30min | 1hour | 3hour | 6hour | 10hour | 24hour | 72hour |
| 700     | 1.5    | ●            |      |       |       | ●     |       |       | ●      |        |        |
|         | 1.2    | ●            | ●    | ●     | ●     | ●     | ●*    | ●*    | ●      |        |        |
|         | 0.7    | ●            | ●    | ●     |       | ●     | ●*    | ●*    | ●      |        |        |
|         | 0.5    | ●            |      |       |       | ●     |       |       | ●      |        |        |
| 750     | 1.5    | ●            |      |       |       | ●     |       |       | ●      |        |        |
|         | 1.2    | ●            | ●    | ●     | ●     | ●     |       | ●     | ●      | ●      | ×      |
|         | 0.7    | ●            | ●    | ●     |       | ●     |       | ●     | ●      |        |        |
|         | 0.5    | ●            |      |       |       | ●     |       |       | ●      |        |        |

- : MHI実施
- : IHI実施
- : 試験済
- × : 未実施  
10,24hでの試験結果から72hは不要であると判断した
- \* : 当初計画していたものから追加実施

### 1)-(b)材料データベース拡充

#### 1)-(b)-1 タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価

##### ・試験内容

タービン用 Ni 基超合金の長時間特性を取得。実施項目と目標を下表に示す。

表 3.2- 4 タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価実施項目および目標

| 実施項目                    | 目標  |
|-------------------------|---|
| ①クリープ破断試験               | ・7万時間程度の長時間クリープ破断データを取得<br>・TOSIX-2クリープ破断強度 100MPa以上(@700°C、10万Hr)<br>・長時間側でのクリープ強度低下の有無を確認する |
| ②クリープ中断試験、時効試験          | ・試験材料の組織観察等を行い、材料の経時的な劣化挙動を評価する   |
| ③水蒸気雰囲気中での機械試験          | ・水蒸気雰囲気中での機械試験を実施する<br>・大気中での試験結果と比較し、水蒸気による材料への影響を評価する                                       |
| ④低サイクル疲労試験              | ・実機運用を考慮して、低サイクルのクリープ疲労試験を行う<br>・クリープと疲労が重畳された場合の材料特性を評価する                                    |
| ⑤材料データベースの拡充と寿命評価データの構築 | ・①～④の試験データをまとめて、材料データベースの拡充を図る<br>・寿命評価データを構築する   |



水蒸気環境中クリープ試験機、水蒸気環境中疲労試験機

図 3.2- 4 水蒸気環境中クリープ試験機、水蒸気環境中疲労試験機

##### ・成果

ロータ、羽根、ケーシング材等の長時間クリープ破断データ等を取得し、長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法を開発した。

#### 1)-(b)-2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価

##### ・試験内容

タービン用 Ni 基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部（下図）の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。

- 対象材料はロータ、配管異材溶接部である。
- 時効劣化した素材を用いた各種材料評価を目標とする。

・成果

TOS1X-2 ロータ材共材及び異材溶接部のクリープ破断データを取得し、長時間使用中の材料健全性を確認した。

- 共材 TOS1X-2 :700℃/10khr
- 異材 TOS1X-2/12Cr 鋼 :630℃/30khr

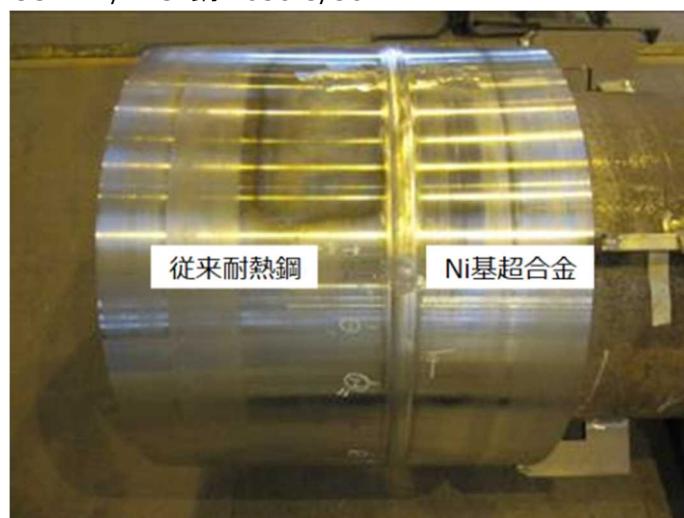


図 3.2- 5 ロータ異材溶接部 (例)

1)-(b)-3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築

・試験内容

ボイラ用 Ni 基材の規格化に向けたクリープデータ拡充、経年後補修材料のクリープ強度評価、クリープ亀裂進展データ拡充を行う。

- ボイラ伝熱管・配管材料 (HR6W,HR35,Alloy617B,Alloy263,USC141,SAVE12AD) について、国内規格化を行うためのサンプル数が不足しているクリープ、時効試験を実施 (試験材として前記鋼種の伝熱管・配管材料を製作する)
- ボイラ鍛造材 (HR6W, Alloy617) についてクリープ、時効試験を実施 (試験材として前記鋼種の鍛造材を製作する)
- ボイラ配管材料 (HR6W,Alloy617) の厚肉材溶接継手部の経年劣化におよぼす組織、元素の影響評価を実施
- HR6W 製大径管 (実缶試験試験材) について、補修を模擬した溶接を実施、継手部のクリープ試験を実施
- ボイラ配管材料 (HR6W,HR35,Alloy617 等) について、クリープ亀裂進展試験等を実施し、各材料のクリープ亀裂進展データを拡充

・成果

規格化に関して、以下のような状況である。

- ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、Alloy263、USC141、Alloy617B を JSME 規格化へ提案、規格化に向け審議中。さらに HR35 も規格化に向けて提案準備中。
- SAVE12AD、HR6W：ASME 規格から準用予定

### 1)-(c)タービン翼表面改質技術開発

#### 1)-(c)-1 タービン翼表面改質技術開発

##### ・試験内容

耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。

- 高温蒸気環境下で高 Cr 鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握する。
- 候補表面改質法 HVOF, プラズマ溶射 PVD, CVD, 耐熱ペイント焼付等
- ボイラ配管材料 (HR6W, Alloy617) の厚肉材溶接継手部の経年劣化におよぼす組織、元素の影響評価を実施

##### ・成果

800 時間、2,000 時間、8,000 時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験等を実施し、耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証した。

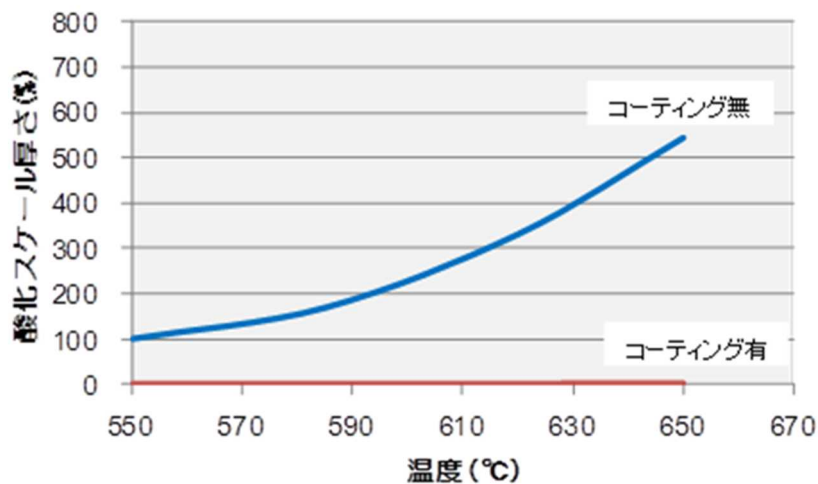


図 3.2- 6 高 Cr 鋼の参加スケール生成厚さ (既存データの引用)

### 2) 保守技術開発

#### 2)-(a)非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大

##### 2)-(a)-1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所の拡大

##### ・試験内容

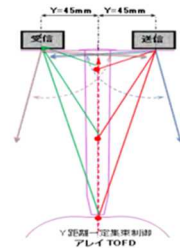
非破壊検査について高度化を行う。

- 製造する実機のロータ径 (φ400~1200mm)に合わせて、曲率の異なる校正 TP を作成し、あらかじめデータを取得、データベース化することで、校正 TP および校正作業を削減する。
- ロータ溶接部に適用されている非破壊検査手法をロータ溶接部以外の Ni 基合金へ用い、適用範囲 (厚肉素材、配管素材、溶接部等)を拡大する。

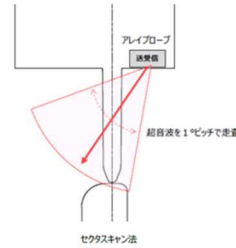
・成果

校正曲線作成の簡便化、TOFD 法センサ位置の評価、プローブ種類の検討等を実施し、非破壊検査（フェーズドレイ TOFD 法、セクタスキャン法）精度向上及び適用箇所の拡大をした。

2個のアレイプローブを検査部位を挟んで設置し、超音波を送受信することで、欠陥を精度良く検出する方法。  
TOFD :Time of Flight Diffraction



フェーズドレイTOFD法



セクタスキャン法

アレイプローブの各素子への電圧印加タイミングを制御することで、探傷角度を走査する。

図 3.2- 7 各種非破壊検査法の特徴

2)-(b) UT 検査シミュレーション技術開発

2)-(b)-1 ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術開発

・試験内容

ボイラ用 Ni 基大径管などの UT シミュレーション技術を開発する。

- Ni 基合金（溶接金属、溶接熱影響部、母材部）の音速、減衰係数等のデータを取得する。
- 同上の金属組織データ（結晶粒の配向、寸法など）を取得する。
- Ni 基合金製部材金属組織モデルを構築する。
- 探傷試験結果と比較しながらモデルの妥当性やシミュレーションの適用性を検証する。
- 部位の形状や寸法、材料等毎に適した UT 条件の検討や UT の適用性評価に資する知見を整理する。

・成果

組織情報と音速等のデータを取得、金属モデル、シミュレーションモデルの検証を行い、ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術を開発した。

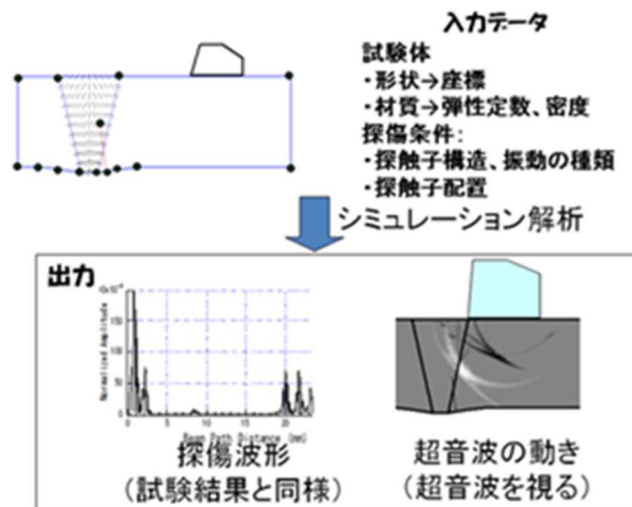


図 3.2- 8 シミュレーション解析イメージ

(3)成果の普及

以下の表に成果の普及を示す。詳細には別添 2（特許論文等リスト）を参照。

**表 3.2- 5** 成果の普及に向けた実績

|         | 2017<br>平成 29 年 | 2018<br>平成 30 年 | 2019<br>令和 1 年 | 2020<br>令和 2 年 | 2021<br>令和 3 年 | 2022<br>令和 4 年 | 合計 |
|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|
| 論文      | 9               | 17              | 2              | 5              | 2              | 0              | 35 |
| 学会発表、講演 | 22              | 10              | 11             | 4              | 3              | 0              | 50 |
| 合計      | 31              | 27              | 13             | 9              | 5              | 0              | 85 |

## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

### (1)本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

本プロジェクトにおける事業化とは、『先進超々臨界圧火力発電（A-USC）商用機の普及促進を目的として本事業で開発された「高温材料信頼性向上技術及び保守技術」を、ボイラ・タービン・材料メーカーおよびユーザーで将来活用する期待があること』をいう。

### (2)実用化・事業化に向けた戦略

#### －技術の段階的導入

A-USC は主蒸気温度、圧力、再熱蒸気温度の設定に自由度があるので、USCと同様に、導入実績を重ねつつ、より蒸気条件が高いシステムの実現を目指す。

#### －材料の規格化

事業化を行う上で「適用材料の規格化」は必須ではないが、規格が無いとプラント毎に管轄地域の「産業保安監督部」に材料の届出が必要になると考えられ、届出には時間がかかると予想される。それを避けるために規格化しておくことが重要。現在規格化に向けて審議を進めている。

### (3)実用化・事業化に向けた具体的取組

本事業で得られた成果を広く社会に実装するため、適用できる商材の調査や、得られた技術の関連分野への部分適用の検討も実施。

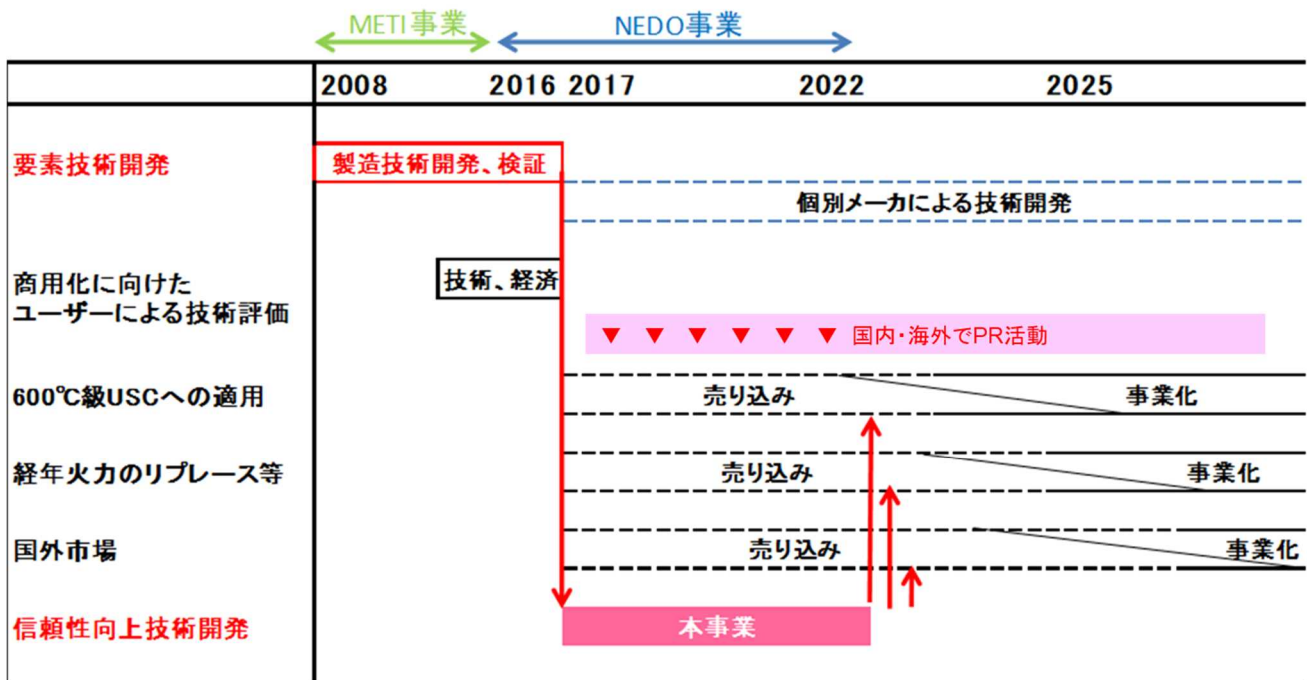


図 4- 1 実用化事業化に向けた取り組みイメージ



## 4.1 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

### (1) 成果の実用化・事業化の見通し

**これまでの取組みによって、実機への適用を実現**

電源開発竹原新1号機（2020年6月運開）のボイラで使用

630℃の再熱器管寄せ（オーステナイト鋼）と再熱蒸気管（高クロム鋼）の接合部に両者の線膨張係数差を緩和するために、HR6W 製短管を適用。

未だ規格化されていないものの、A-USC 技術開発の成果によって材料の信頼性が認められ、適用を実現することができた。

- ・使用材料 HR6W
- ・使用温度 632℃（最大連続負荷時）
- ・使用圧力 4.97MPa（最大連続負荷時）

### (2) 波及効果

以下に、今後期待される波及効果を示す。

#### －石炭火力の脱炭素化

##### ・カーボンニュートラル燃料

石炭焚きに限らずカーボンニュートラルに向けたバイオマス混焼焚き、アンモニア焚きユニットに対しても適用可能である。さらには課題となる燃料費の低減、腐食低減の可能性がある。

##### ・CCUS

燃焼後ガスからの二酸化炭素回収装置と併用適用することで、より効率的な二酸化炭素削減を可能とする。

#### －原子力や化学プラントへの材料、検査技術の適用

Ni 基合金は原子力分野や化学工業分野で利用されており、開発した材料、検査技術はこれらに転用可能である。また、開発技術の多くはオーステナイト鋼への適用が可能で、その展開範囲は広い。

#### －人材育成効果

多数の研究要素を含む本事業の開発では、広範囲の技術・ノウハウの継続的な蓄積・メンテナンスが不可欠であり、開発を通して次世代を担う若手技術者の育成し、開発能力を維持することができる。

（なお、A-USC 技術をテーマとした博士号取得者を 6 名輩出）

## 「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。また、2021年10月に策定された「第6次エネルギー基本計画」においては、火力発電は再生可能エネルギーの変動性を補う調整力・供給力として柔軟な運転（幅広い負荷変動への対応）が求められることから、負荷変動対応や機動性に優れた火力技術開発等の取組を推進することとしている。

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、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、カーボンニュートラル社会を実現するための重要分野の1つにカーボンリサイクル技術が位置づけられた。また、「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月策定、2021年7月改訂）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。

2020年3月に策定された「新国際資源戦略」では、CO<sub>2</sub>排出削減に向け、液体アンモニアの混焼を含めて着実に技術開発等を進めることが必要とされている。

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持している。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 I G C C 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）やCO<sub>2</sub>フリー燃料の利用技術の開発・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や石炭火力発電におけるアンモニア混焼試験が進められている。

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

気候変動対策のため、2021年11月時点では世界の150ヶ国以上で年限付きのカーボンニュートラル目標が掲げられており、各国でCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減するための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いる。

火力発電のCO<sub>2</sub>排出の削減に向けた高効率化、ゼロエミッション火力発電、再エネ導入時の負荷変動対応に向けた開発等が海外でも進められている。また、火力発電とCCUSの組み合わせによるカーボンニュートラルにも注力する方向であり、火力発電や各種産業等の排ガスからのCO<sub>2</sub>を分離・回収する技術として、高性能の材料等を用いて省エネルギー・低コストを目指す化学吸収法や物理吸着法、膜分離法等の研究開発と実証等が世界各地で進められている。さらに、回収したCO<sub>2</sub>を様々な物質に変換させて有効利用する技術についても、先進的な取組が行われており、CO<sub>2</sub>と水素から基礎化学品や機能性化学品、液体燃料や気体燃料を合成する技術、コンクリート等にCO<sub>2</sub>を効率的に固定化させる技術の開発や実証等が進められている。

### 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、CO<sub>2</sub>フリー燃料の利用及び火力発電所等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。

## (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技術、調整力確保に寄与する負荷変動対応発電技術、CO<sub>2</sub>分離・回収後においても高効率を維持する技術、CO<sub>2</sub>フリー燃料の利用技術、低コストなCO<sub>2</sub>分離・回収技術及び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カーボンリサイクル技術及び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。また、2040年頃に燃料としての年間アンモニア利用量1,000万トンを実現し、アンモニア35,000円/tを想定した場合において、3,500億円相当の燃料アンモニア市場を創出する。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、負荷変動対応技術を確立することで、電力市場整備の一つとして進められてきた調整力公募市場(短期間での電力需給調整能力(ΔkW 価値)を取引する市場公募)での電力供給機会の更なる創出に寄与し、電力市場の活発化に貢献する。

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、2040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>フリー燃料の利用、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）により実施するとともに、必要に応じてステージゲート審査を用いる。

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)
- 4) 信頼性向上、低コスト化 (1/3助成)
- 5) CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発 (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 カーボンリサイクル・次世代火力推進事業 [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 [委託・助成事業]
- 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 [委託・助成事業]

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 [委託・助成事業]
- 2) 液体燃料へのCO<sub>2</sub>利用技術開発 [委託・助成事業]
- 3) コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO<sub>2</sub>利用技術開発 [委託・助成事業]
- 4) 気体燃料へのCO<sub>2</sub>利用技術開発 [委託・助成事業]

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業 [委託・助成事業]

- 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)]

研究開発項目⑪ アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業 [委託・助成事業]

- 1) 要素研究 [委託事業]
- 2) 実証研究 [助成事業 (1/2助成)]

※1)の実施者を公募した後の、1)から2)への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査(ステージゲート審査)を経て決定する。

研究開発項目⑫ CO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発 [委託事業]

(2021年度までは「CCUS研究開発・実証関連事業」において実施)

- 1) 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発
- 2) 先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究
- 3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発
- 4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

研究開発項目⑬ 火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業 [委託・助成事業]

- 1) 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技術開発・実証研究 [委託・助成事業]
- 2) 石炭火力の負荷変動対応技術開発・実証研究 [委託・助成事業]

## 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スマートコミュニティ・エネルギーシステム部を加える。

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 戸島正剛、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 福原敦、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 福原敦、PL: 電源開発株式会社 大畑博資

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 野原正寛、PL: 契約毎に設置

7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

PM: NEDO 天野五輪磨、PL: 国立研究開発法人産業技術総合研究所 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 森匠磨

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 西里友志、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⑧ CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発

PM: NEDO 戸島正剛

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: NEDO 荒川純

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

PM: NEDO 菅本比呂志

研究開発項目⑪ アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業

PM: NEDO 園山希

研究開発項目⑫ CO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発

PM: 選定中

研究開発項目⑬ 火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業

PM: 選定中

## (2) 研究開発の運営管理

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

### ①進捗把握・管理

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

### ②技術分野における動向の把握・分析

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

## 3. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、2016年度から2026年度までの11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。研究開発項目⑫は2018年度から2021年度まで「CCUS研究開発・実証関連事業」により実施したが、2022年度より本事業で実施する。

## 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、⑪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、2020年度及び2023年度に、前倒し事後評価を2025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2021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、調査事業については内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦～⑪の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施し、共通基盤技術開発については研究開発項目⑨の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施、先導研究については内容に応じて研究開発項目⑨、⑪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⑨1)、2)、3)は、中間評価を2022年度及び2025年度、事後評価を2027年度に実施する。研究開発項目⑨4)は中間評価を2023年度、前倒し事後評価を2026年度



に実施する。研究開発項目⑩は、中間評価を2019年度、2022年度、前倒し事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目⑪は、事後評価を2025年度に実施する。研究開発項目⑫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⑬は、中間評価を2024年度、前倒し事後評価を2026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カーボンリサイクル・次世代火力推進事業、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、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業及び研究開発項目⑪アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業、研究開発項目⑫CO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発、研究開発項目⑬火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業は、「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④次世代火力発電基盤技術開発(8)、研究開発項目⑥カーボンリサイクル・次世代火力推進事業、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、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業及び研究開発項目⑪アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業、研究開発項目⑫CO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発、研究開発項目⑬火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業のうち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）C

O<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。

(15) 2020年9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①、④6)、⑧のPMを変更、④4)のPLを変更、⑧と⑨のPLに関する記載を削除。

(16) 2020年10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①、⑧のPMを変更。

(17) 2021年1月

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項目の追加、3. 研究開発の実施期間において期間変更、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①2)の内容拡充、研究開発項目①4)5)、⑨4)の追加。研究開発項目⑩の追加。

(18) 2021年5月、2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発実施体制 研究開発項目④3)、4)、6)、7)及び8)、研究開発項目⑦、研究開発項目⑩のPMの変更。

(19) 2021年6月

1. 研究開発の目的・目標・内容(3) 研究開発項目⑨3)における項目名の変更。別紙 研究開発項目⑨3)の項目名の変更および内容の拡充。

(20) 2021年7月

5. その他の重要事項(1) 委託事業成果の取扱い④知財マネジメントに係る運用及び⑤データマネジメントに係る運用における対象研究開発項目の変更。

(21) 2022年3月

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記載の追加、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。別紙において、研究開発項目⑦、研究開発項目⑧、研究開発項目⑨、研究開発項目⑩において期間変更及び研究開発項目⑫、研究開発項目⑬の追加。

(22) 2022年8月

2. 研究開発の実施方式(1) 研究開発の実施体制における部署名の変更。別紙研究開発項目⑥2. の組織名の修正。

## 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。

2021年10月「第6次エネルギー基本計画」において、石炭火力は、再生可能エネルギーを最大限導入する中で、調整電源としての役割が期待されるが、電源構成における比率は、安定供給の確保を大前提に低減させる一方で、脱炭素化を見据えつつ、次世代の高効率石炭火力発電技術であるIGCCや石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）などの技術開発等を推進することが盛り込まれている。

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。加えて、IGCCの負荷変動に対応したCO<sub>2</sub>分離・回収装置とIGCC設備の運用性について実証を行う。

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。

4) 信頼性向上、低コスト化(1/3助成)

酸素吹IGCCシステムの早期商用化を実現すべく、設備信頼性の向上及び経済性の改善に係る実証を行う。

5) CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発(1/2助成)

CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCCシステム及びIGFCシステムのCO<sub>2</sub>分離・回収設備の負荷変動に対応すべく、CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービンの環境性能、安定性、信頼性に係る要素技術開発を実施する。

### 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年度～2022年度
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証：2018年度～2022年度
- 4) 信頼性向上、低コスト化：2021年度～2022年度
- 5) CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発：2021年度～2025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2,000～3,000t/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 I G C C 実証

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

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

- (b) 設備信頼性：商用機において年間利用率 70% 以上の見通しを得る。

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

- (c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

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

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

国内外において酸素吹 I G C C 商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。また、海外普及を目的としたマイルストーンを検討する。

## 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹 I G C C 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「0.90 GJ/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 I G C C 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 I G C C 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、I G C C 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 I G C C 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。

CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応IGCC運用性向上：IGCCの負荷変動に伴うCO<sub>2</sub>分離・回収設備の追従性を確認し、運用性を検証する。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

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。

4) 信頼性向上、低コスト化

信頼性向上により5,000時間以上の長期運転の達成、また経済性向上により早期商用化の見通しを得る。

[中間目標（2023年度）]

5) CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

水素濃度の変動に対応した燃焼試験を開始する。

[最終目標（2025年度）]

5) CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

CO<sub>2</sub>分離・回収の負荷変動に伴う、経時的な水素濃度変化に対応したガスタービン燃焼技術を確立する。

## 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—エネルギー革新技術計画」において、天然ガスタービンの高効率化が環境負荷低減の実現のための重要な技術開発であると位置づけられている。また、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アップ技術要素研究

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

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は石炭をガス化させ、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせ、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、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

(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。さらに、2021年10月に閣議決定された「第6次エネルギー基本計画」において、今後、石炭火力は、電源構成における比率は、安定供給の確保を大前提に低減とされている一方で、「再生可能エネルギーを最大限導入する中で、調整電源としての役割が期待される」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～2021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 (2021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エネルギー源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、脱炭素化を見据えた高効率化が望まれている。

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<sub>2</sub>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<br>(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<br>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)<br>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、の可能性があることが分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) I G C C システム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

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

### 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 「カーボンリサイクル・次世代火力推進事業」

[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。

### 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、技術開発動向、産業間連携等の調査や、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/ICSC (International Centre for Sustainable Carbon)、IEA/FBC (Fluidized 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～2022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（2022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～2026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、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」（2019年6月策定、2021年7月改訂）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。

[中間目標（2025年）]

当該拠点化に向けた追加整備を必要に応じて行う。また、CO<sub>2</sub>有効利用に係る要素技術開発や実証試験を行い、実施済の要素技術開発等について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。

[最終目標（2026年度）]

CO<sub>2</sub>有効利用に係る要素技術開発や実証試験を行い、2026年度まで実施した要素技術開発等について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～2026年度

#### 1. 研究開発の必要性

火力発電や各種工場で排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一つとして重要なものと考えられている。経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2019年6月策定、2021年7月改訂)では、化学品や燃料(液体や気体燃料)、鉱物(コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物など)などの分野を中心に、カーボンリサイクル技術を活用した製品の、コスト低減や用途拡大に向けた技術開発を進める方向性が示された。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においてカーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられた。

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、CO<sub>2</sub>と水素あるいは合成ガスから一段で直接オレフィン合成する技術や、CO<sub>2</sub>と水素あるいは合成ガスからBTX(ベンゼン・トルエン・キシレン)等を製造する技術の開発、CO<sub>2</sub>分離・回収技術とメタノール合成技術とを一体化させたシステムの技術の開発等が必要である。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い、適用条件の明確化や事業性の検討を行う。

#### 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。

[中間目標(2025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研究を実施し、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。

[最終目標(2026年度)]

CO<sub>2</sub>の排出源や製品の用途等に応じた適用技術の成果の整理を行い、化学品に関するカーボンリサイクル技術の実用化の見通しを得る。



## 2) 液体燃料へのCO<sub>2</sub>利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2026年度

### 1. 研究開発の必要性

火力発電や各種工場で排出される二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一つとして重要なものと考えられている。経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2019年6月策定、2021年7月改訂）では、化学品や燃料（液体や気体燃料）、鉱物（コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物など）などの分野を中心に、カーボンリサイクル技術を活用した製品の、コスト低減や用途拡大に向けた技術開発を進める方向性が示された。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においてカーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられた。

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

CO<sub>2</sub>を原料とした既存の液体化石燃料（ガソリン、軽油等）の代替品となり得る液体燃料（微細藻類由来のバイオ燃料を除く）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などを通じ、CO<sub>2</sub>を有効利用しつつ、その排出削減を目指す技術開発を行う。

### 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。

[中間目標（2025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研究を実施し、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。

[最終目標（2026年度）]

CO<sub>2</sub>の排出源や製品の用途等に応じた適用技術の成果の整理を行い、液体燃料に関するカーボンリサイクル技術の実用化の見通しを得る。

### 3) コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO<sub>2</sub>利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2026年度

#### 1. 研究開発の必要性

火力発電や各種工場で排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一つとして重要なものと考えられている。経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2019年6月策定、2021年7月改訂)では、化学品や燃料(液体や気体燃料)、鉱物(コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物など)などの分野を中心に、カーボンリサイクル技術を活用した製品の、コスト低減や用途拡大に向けた技術開発を進める方向性が示された。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においてカーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられた。

コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへの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および炭素・炭化物の生成技術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)]

コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへの各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。

[中間目標(2025年度)]

コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへの各CO<sub>2</sub>利用技術について技術開発もしくは実証研究を実施し、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。

[最終目標(2026年度)]

CO<sub>2</sub>の排出源や製品の用途等に応じた適用技術の成果の整理を行い、コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などに関するカーボンリサイクル技術の実用化の見通しを得る。

#### 4) 気体燃料へのCO<sub>2</sub>利用技術開発

[実施期間] 2021年度～2026年度

##### 1. 研究開発の必要性

火力発電や各種工場で排出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を資源として捉え、回収し、有効利用するカーボンリサイクル技術の開発は、気候変動対策の一つとして重要なものと考えられている。経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2019年6月策定、2021年7月改訂)では、化学品や燃料(液体や気体燃料)、鉱物(コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物など)などの分野を中心に、カーボンリサイクル技術を活用した製品の、コスト低減や用途拡大に向けた技術開発を進める方向性が示された。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においてカーボンリサイクル技術は、カーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーに位置づけられた。

気体燃料へのCO<sub>2</sub>利用技術については、既存の化石燃料を代替可能であり既存燃料市場へ適応した場合、大規模なCO<sub>2</sub>削減を実現する可能性を持つことや、既存のインフラを活用可能な点から技術確立後のCO<sub>2</sub>削減効果の波及のしやすさが大きく期待される等、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>を原料とした気体燃料製造技術においては、触媒長寿命化や活性マネージメント、熱マネージメント、スケールアップ検討、電解技術等を活用した基盤技術等の開発が必要である。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、またそれらを通じた低コスト化検討等を行う。

##### 3. 達成目標

[中間目標(2023年)]

CO<sub>2</sub>を原料とした気体燃料製造の各技術について、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(2026年度)]

CO<sub>2</sub>の排出源や製品の用途等に応じた適用技術の成果の整理を行い、気体燃料に関するカーボンリサイクル技術の実用化の見通しを得る。

## 研究開発項目⑩ 「石炭利用環境対策事業」

[実施期間] 2016年度～2025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、「第6次エネルギー基本計画」においては、再生可能エネルギーを最大限導入する中で、調整電源としての役割が期待されている。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、石炭灰やスラグの有効利用方策を確立することが喫緊の課題である。

### 2. 具体的研究内容

石炭利用に伴い発生する環境影響の低減等に貢献する技術の開発を行う。

#### 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等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、石炭等の燃焼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、石炭等の燃焼灰有効利用の用途を広げる。

#### 2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼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等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。

石炭等の燃焼灰の有効利用、及び削減に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

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

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

#### 2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼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。

[中間目標（2022年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭等の発熱性を把握すると共に、石炭管理の指針に資する知見を得る。石炭等の燃焼灰の有効利用、削減及び用途拡大に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないコンクリート製造技術を確立、製品性能の見通しを得る。また、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・施工指針を作成するための知見を得る。

[最終目標（2025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等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。

石炭等の燃焼灰の有効利用、及び削減及び用途拡大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

石炭等の燃焼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、設計・施行指針を作成する見通しを得る。

研究開発項目⑪「アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業」〔委託・助成事業〕

[実施期間] 2021年度～2024年度

### 1. 研究開発の必要性

2018年7月「第5次エネルギー基本計画」では、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、重要なベースロード電源と位置付けられている。また、既存のインフラを有効利用した脱炭素化のための技術開発として、アンモニアを燃料として直接利用する技術開発が挙げられている。また、2021年10月「第6次エネルギー基本計画」では、アンモニアを燃料とした発電は燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出せず、カーボンニュートラル実現に向けた電源の脱炭素化を進める上で有力な選択肢の一つと位置付けられている。

2020年3月に策定された「新国際資源戦略」では、CO<sub>2</sub>排出削減に向け、液体アンモニアの混焼を含めて着実に技術開発等を進めることが必要とされている。

CO<sub>2</sub>フリーアンモニアは、水素を輸送・貯蔵できるエネルギーキャリアとして、火力発電の燃料として直接利用が可能であり、燃焼時にはCO<sub>2</sub>を排出しない燃料として、温室効果ガスの排出量削減に大きな利点がある。

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用は、2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を一層削減し、アンモニアをはじめとする水素エネルギーの社会実装に繋がる技術開発である。

### 2. 具体的研究内容

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術を実証すべく、設備費、運転費並びにアンモニアの製造・輸送コストを考慮した経済性検討、実証試験に必要な技術検討などを実施する。

1) 要素研究〔委託事業〕

2) 実証研究〔助成事業（1／2助成）〕

※1)の実施者を公募した後の、1)から2)への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査（ステージゲート審査）を経て決定する。

### 3. 達成目標

[中間目標（2023年）]

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術の見通しを得る。

[最終目標（2024年度）]

火力発電等におけるアンモニアの燃料としての利用技術を確立する。

研究開発項目⑫ CO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発 [委託事業]

[実施期間] 2018年度～2024年度

(2021年度までは「CCUS研究開発・実証関連事業」において実施)

### 1. 研究開発の必要性

2020年1月に策定された「革新的環境イノベーション戦略」においては、CO<sub>2</sub>分離・回収コストの低減が技術課題として記載されており、新たな研究開発・実証として、固体吸収材や分離膜を用いた分離回収技術が挙げられている。

また、2021年7月に経済産業省が改定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」では、CO<sub>2</sub>の分離・回収は共通技術として重要な位置づけとされている。

本事業では、石炭火力発電所等で発生するガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収するのに有効な技術として、固体吸収法および膜分離法について研究開発を行う。

### 2. 具体的研究内容

#### (1) 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発【2019年度終了】

CO<sub>2</sub>の分離・回収技術の一つである化学吸収法のうち、高効率な回収が可能な「アミンを固体に担持した固体吸収材」について、燃焼排ガスを対象としたプラン1ト試験設備を用いた実用化研究を行う。

#### (2) 先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究

石炭火力発電所の燃焼排ガスに最適化された、固体吸収材移動層システムの研究開発を行う。

固体吸収材移動層システムのCO<sub>2</sub>分離・回収試験を実施するために、移動層パイロットスケール試験設備(40t-CO<sub>2</sub>/d規模)について、設計・建設・運転等を行う。また、固体吸収材の性能向上を図るとともに、固体吸収材の大量製造技術、移動層システムにおけるCO<sub>2</sub>分離・回収等の各工程にかかるプロセスシミュレーション技術等、CO<sub>2</sub>固体吸収法に関わる基盤技術開発を行い、石炭火力発電所からの実燃焼排ガスを用いて、固体吸収法による石炭燃焼排ガスへの適用性を研究する。

#### (3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

石炭ガス化複合発電等で発生する比較的高い圧力を有するガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収するのに有効な分離膜技術について、実ガスを用いた実用化研究を行う。

#### (4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発

火力発電所等で発生するガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収するのに有効な膜分離技術について、実ガスに適用可能な分離膜モジュールおよび分離膜システムの実用化研究を行う。

また、CO<sub>2</sub>分離・回収プロセスとCO<sub>2</sub>利用プロセスの統合を考慮した膜分離技術の研究開発を行う。

### 3. 達成目標

#### (1) 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発

[最終目標] 2019年度

CO<sub>2</sub>分離・回収エネルギーを1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成する固体吸収材・システムを開発する。

(2) 先進的二氧化碳素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究

[中間目標] 2022年度

移動層パイロットスケール試験設備すべての機器の据付、受電を完了し、石炭火力発電所煙道から移動層パイロットスケール試験設備へ実燃焼排ガスを導入し、CO<sub>2</sub>を分離し回収出来ることを確認する。

固体吸収材のスケールアップ製造技術開発を行い、パイロット試験開始に必要な固体吸収材の供給を完了する。また、移動層シミュレーションによる実ガス試験での最適運転条件を提示する。

[最終目標] 2024年度

火力発電所などの燃焼排ガスなどからCO<sub>2</sub>を分離・回収する固体吸収法について、実燃焼排ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収連続運転を実施し、パイロットスケール設備においてCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギー1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>の目途を得る。

(3) 二氧化碳素分離膜モジュール実用化研究開発【2021年度終了】

[最終目標] 2021年度

石炭ガス化複合発電等で発生する比較的高い圧力を有するガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギーについて、実用化段階(数百万t-CO<sub>2</sub>/年規模を想定)で回収エネルギー0.5GJ/t-CO<sub>2</sub>以下を達成する分離膜技術を開発する。

(4) 二氧化碳素分離膜システム実用化研究開発

[中間目標] 2022年度

実用化段階で想定される条件下でCO<sub>2</sub>分離・回収に用いることができる分離膜材料の設計方針の見通しを得て、評価設備による性能検証を開始する。

[最終目標] 2023年度

火力発電等で発生するガスからのCO<sub>2</sub>の分離・回収において、CO<sub>2</sub>の利用プロセスに適する分離膜材料を適用した分離膜システムを開発し、比較的高い圧力を有するガスからのCO<sub>2</sub>の分離・回収においては実用化段階でCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギーが0.5GJ/t-CO<sub>2</sub>以下を達成できる技術を開発する。



研究開発項目⑬「火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業」〔委託・助成事業〕

1) 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技術開発・実証研究〔委託・助成事業〕

[実施期間] 2022年度～2026年度

### 1. 研究開発の必要性

2021年10月に策定された「第6次エネルギー基本計画」では、再生可能エネルギーを大量導入するには、調整力の確保等の電力システムの柔軟性の向上が必要であるとされており、火力発電の今後の在り方についても、安定供給を大前提に設備容量の確保が挙げられている。

火力発電の運用性向上を目指すため、調整力電源の安定性維持に貢献する機動性に優れたガスタービン複合発電（GTCC）に適用する技術について、既存設備への適用を対象とした社会実装に取り組むことが重要である。

### 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、発電事業者が抱える現状ガスタービンの課題に対し、本事業の要素研究にて確立した燃焼技術、制御技術、数値解析技術等を中心とした要素研究の成果を、発電事業者の設備投資コストをできるだけ抑えた形で実用化する検討を実施し、最低負荷の引き下げや出力変化速度改善の検証等を行う。

1) 要素研究〔委託事業〕

2) 実証研究〔助成事業（1/2助成）〕

※1)の実施者を公募した後の、1)から2)への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査（ステージゲート審査）を経て決定する。

### 3. 達成目標

[中間目標（2024年度）]

機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電について、電力事業者の方針や対象機器の要求仕様等に応じた設備仕様等をまとめる。

[最終目標（2026年度）]

機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電について、実証設備での目標性能達成の目途を得る。

研究開発項目⑬「火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業」〔委託・助成事業〕

2) 石炭火力の負荷変動対応技術開発・実証研究〔委託・助成事業〕

[実施期間] 2023年度～2026年度

### 1. 研究開発の必要性

2021年10月に策定された「第6次エネルギー基本計画」において、火力発電は、再生可能エネルギーの瞬時的・継続的な発電電力量の低下にも対応可能な供給力を持つ形で設備容量を確保することを求められており、とりわけ自然変動電源（太陽光・風力等）の導入が今後拡大する中で、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、火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性の向上が必要となる。

### 2. 具体的研究内容

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に、機動性に優れた広負荷帯高効率発電用ボイラに関する技術開発・実証研究を実施する。

1) 要素研究〔委託事業〕

2) 実証研究〔助成事業（1／2助成）〕

※1)の実施者を公募した後の、1)から2)への移行の可否は、外部有識者で構成される委員会の審査（ステージゲート審査）を経て決定する。

### 3. 達成目標

[最終目標（2026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社会実装に向けた見通しを得る。

# 研究開発スケジュール

| 年度(西暦)  | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |  |  |
|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
| <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) CO <sub>2</sub> 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成)<br>3) CO <sub>2</sub> 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)<br>4) 信頼性向上、低コスト化(1/3助成)<br>5) CO <sub>2</sub> 分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発(1/2助成) |   |   |    |    | ※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°C級ガスタービン(1/2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) CO <sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)  |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
| 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)  |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
| <b>研究開発項目⑤</b><br>CO <sub>2</sub> 回収型次世代IGCC技術開発(委託)  |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |
| <b>研究開発項目⑥</b><br>カーボンサイクル・次世代火力推進事業(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)   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |

| 年度(西暦)   | 1982 | ~ | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022   | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|--|------|---|----|----|----|----|----|------|------|------|--|------|------|------|------|
| 研究開発項目⑧<br>CO <sub>2</sub> 有効利用拠点における技術開発(委託・助成)           |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | ◇  |      |      | ◇    |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | CO <sub>2</sub> 有効利用拠点化推進事業                          |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 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<br>CO <sub>2</sub> 排出削減・有効利用実用化技術開発(委託・助成)         |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
| 1) 化学品へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発(委託・助成)                      |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | ◇  |      |      | ◇    |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 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(委託・助成)                     |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | ◇  |      |      | ◇    |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 液体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発                         |      |      |      |      |
| 3) コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO <sub>2</sub> 利用技術開発(委託・助成) |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | ◇  |      |      | ◇    |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへのCO <sub>2</sub> 利用技術開発     |      |      |      |      |
| 4) 気体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発(委託・助成)                     |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  | ◇    |      |      | ◇    |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 気体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発                         |      |      |      |      |
| 研究開発項目⑩<br>石炭利用環境対策事業(委託・助成)                               |      |   |    |    |    |    |    | ◇    |      |      | ◇  |      |      | ◇    |      |
| 1) 石炭利用環境対策推進事業(委託)  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 石炭発熱性調査・先導研究、スラッグの規格化、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(2/3補助)   |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | セメント不使用フライアッシュ製造技術開発                                 |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 石炭ガス化溶融スラッグのコンクリート実規模性能試験                            |      |      |      |      |
| 研究開発項目⑪<br>アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業(委託・補助)                   |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | アンモニア混焼火力発電技術研究開発・実証事業                               |      |      |      |      |
| 研究開発項目⑫<br>CO <sub>2</sub> 分離回収技術の研究開発(※3)                 |      |   |    |    |    |    |    |      | ◇    |      | ◇  |      |      | ◇    |      |
| 1) 先進的CO <sub>2</sub> 分離回収技術実用化研究開発                        |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 先進的CO <sub>2</sub> 分離回収技術実用化研究開発                     |      |      |      |      |
| 2) 先進的CO <sub>2</sub> 分離回収技術実用化研究開発                        |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 先進的CO <sub>2</sub> 分離回収技術実用化研究開発                     |      |      |      |      |
| 3) CO <sub>2</sub> 分離回収技術実用化研究開発                           |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | CO <sub>2</sub> 分離回収技術実用化研究開発                        |      |      |      |      |
| 4) CO <sub>2</sub> 分離回収技術実用化研究開発                           |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      |      |      |      |
|  |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | CO <sub>2</sub> 分離回収技術実用化研究開発                        |      |      |      |      |

- ※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
- ※3 2021年度までは「CCUS 研究開発・実証関連事業」において実施

| 年度(西暦)  | 1982 | ~ | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022                                   | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|---|------|---|----|----|----|----|----|------|------|------|--|------|------|------|------|
| 研究開発項目⑬<br>火力発電負荷変動対応技術開発・<br>実証事業            |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      |  |      | ◇    |      | ◆    |
| 1) 機動性に優れる広負荷帯<br>高効率ガスタービン複合発電<br>の技術開発・実証研究 |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 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<br>技術開発・実証研究 |      |      |      |      |
| 2) 石炭火力の負荷変動対応<br>技術開発・実証研究                   |      |   |    |    |    |    |    |      |      |      | 石炭火力の負荷変動対応技術開発・実証研究                   |      |      |      |      |

## 【論文】

| 番号 | 発表者                 | 所属        | タイトル  | 発表誌名、<br>ページ番号                                 | 査読 | 発表年月     |
|----|---------------------|-----------|---|--|----|----------|
| 1  | 室木克之                | IHI       | The Way to High Efficiency Boilers for Power Plant Led by Ni-Based Alloy                    | IHI Engineering Review                         | 無  | 2017年5月  |
| 2  | 高橋武雄                | 東芝<br>ESS | 低炭素社会に向けた火力発電プラント総合検証への取り組み   | 日本ガスタービン学会誌<br>2017年7月号                        | 有  | 2017年7月  |
| 3  | 齊藤英治他               | MHPS      | 700℃級 A-USC 蒸気タービン技術開発  | 三菱重工技報   | 無  | 2017年7月  |
| 4  | 生沼駿他                | 東芝<br>ESS | 700℃級 A-USC 蒸気タービン用 Ni 基超合金の粒界酸化に及ぼす応力と雰囲気の影響   | 日本機械学会<br>論文集特集号<br>「動力・エネルギーシステム<br>の最前線 2018 | 有  | 2018年3月  |
| 5  | 大熊喜朋                | IHI       | 700℃級 A-USC ボイラ実用化への取り組み  | エネルギーと動力                                       | 無  | 2017年11月 |
| 6  | Yoshiki Shioda<br>他 | IHI       | The effect of cold working on creep rupture strength and microstructure of Ni-23Cr-7W alloy | World Journal of Mechanics                     | 有  | 2017年11月 |
| 7  | 張聖徳                 | 電力中央研究    | 火力発電における Ni 基合金製溶接配管のクリ   | 検査技術   | 無  | 2017年12月 |

|    |       |                          |  |                         |   |              |
|----|-------|--------------------------|--|-------------------------|---|--------------|
|    |       | 所                        | ープ損傷および非破壊<br>検査技術                       |                         |   |              |
| 8  | 大熊喜朋  | IHI                      | 石炭焚きボイラの概要<br>と最新動向                      | ガスタービン<br>学会誌           | 無 | 2018年3<br>月  |
| 9  | 須賀威夫  | 東芝<br>ESS                | 700℃級 A-USC 蒸気タ<br>ービンロータの回転試<br>験を完了    | 東芝レビュー<br>2017年度成果<br>号 | 無 | 2018年3<br>月  |
| 10 | 西井俊明他 | 電源開<br>発                 | 「10. A-USC 開発」                           | 火力原子力発<br>電技術協会誌        | 無 | 2018年10<br>月 |
| 11 | 福田雅文  | 高効率<br>発電シ<br>ステム<br>研究所 | 「2. A-USC 開発の概<br>要」                     | 火力原子力発<br>電技術協会誌        | 無 | 2018年10<br>月 |
| 12 | 福田雅文  | 高効率<br>発電シ<br>ステム<br>研究所 | 「11. 実機メンテナ<br>ンス技術の深耕」                  | 火力原子力発<br>電技術協会誌        | 無 | 2018年10<br>月 |
| 13 | 高橋武雄  | 東芝<br>ESS                | 「3. システム設計」                              | 火力原子力発<br>電技術協会誌        | 無 | 2018年10<br>月 |
| 14 | 橋本憩太他 | MHI                      | 「5. 過熱器, 再熱器お<br>よび蒸気配管の製造技<br>術開発検証」    | 火力原子力発<br>電技術協会誌        | 無 | 2018年10<br>月 |
| 15 | 大熊喜朋他 | IHI                      | 「8. 実缶試験の目的、<br>概要、設備設計製作、運<br>転の概要と成果等」 | 火力原子力発<br>電技術協会誌        | 無 | 2018年10<br>月 |
| 16 | 高野哲   | 富士電                      | 「7. 高温弁要素技術                              | 火力原子力発                  | 無 | 2018年10      |

|    |       |            |   |   |   |                     |
|----|-------|------------|---|---|---|---------------------|
|    |       | 機          | 開発」   | 電技術協会誌  |   | 月                   |
| 17 | 須賀威夫  | 東芝<br>ESS  | 「6. タービン材料と<br>要素技術開発」  | 火力原子力発<br>電技術協会誌  | 無 | 2018年10<br>月        |
| 18 | 中野隆他  | MHPS       | 「9. 回転試験」   | 火力原子力発<br>電技術協会誌  | 無 | 2018年10<br>月        |
| 19 | 寺田芳弘他 | 東京工<br>業大学 | 鍛造 Fe-Ni 合金<br>HR6W の時効析出挙動   | 日本金属学会<br>誌   | 有 | 2019年1<br>月         |
| 20 | 仙波潤之  | 新日鐵<br>住金  | 「4. ボイラ材料技術開<br>発」  | 火力原子力発<br>電技術協会誌  | 無 | 2018年10<br>月        |
| 21 | 大熊喜朋他 | IHI        | 700℃級 A-USC ボイラ<br>実証のための実缶試験<br>結果   | IHI 技報  | 有 | 2018年9<br>月         |
| 22 | 齋藤伸彦他 | MHI        | Evaluation of stress<br>relaxation cracking<br>susceptibility in Alloy<br>617 for advanced USC<br>boilers | Internatinal<br>Journal of<br>Pressure<br>Vessels and<br>Piping | 有 | 2018年10<br>月        |
| 23 | 生沼駿他  | 東芝<br>ESS  | 析出強化型鍛造 Ni 基<br>超合金のクリープ劣化<br>損傷機構および硬さ法<br>によるクリープ余寿命<br>評価  | 日本材料学会<br>誌「材料」   | 有 | 2018年12<br>月        |
| 24 | 齋藤伸彦他 | MHI        | Effect of Creep<br>Degradation on<br>Hardness Changes of<br>Ni-based Alloys for<br>A-USC Power Boiler     | ISIJ<br>International   | 有 | 2019年9<br>月掲載予<br>定 |



|    |       |           |  |                |   |          |
|----|-------|-----------|--|----------------|---|----------|
| 25 | 齋藤伸彦  | MHI       | 火力発電ボイラ用 Ni 基合金の溶接・加工と高温性質に関する研究             | 博士後期課程<br>学位論文 | 有 | 2019年2月  |
| 26 | 塩田佳紀他 | IHI       | A-USC ボイラ向け Ni 基合金のクリープ破断強度に及ぼす冷間加工の影響       | IHI 技報         | 有 | 2019年3月  |
| 27 | 阿部大輔他 | IHI       | A-USC ボイラの溶接技術                               | 溶接学会誌          | 無 | 2019年6月  |
| 28 | 生沼駿他  | 東芝<br>ESS | 析出強化型鍛造 Ni 基合金の硬さに及ぼすクリープ損傷後の組織およびひずみ分布の影響   | 日本材料学会<br>「材料」 | 有 | 2019年12月 |
| 29 | 生沼駿他  | 東芝<br>ESS | 析出強化型鍛造 Ni 基合金の硬さに及ぼすクリープ損傷後の組織およびひずみ分布の影響   | 日本材料学会<br>「材料」 | 有 | 2020年4月  |
| 30 | 張聖徳他  | 電力中央研究所   | 全肉厚試験片による Ni 基合金製溶接配管のクリープ破壊挙動および非破壊損傷検査法の適用 | 日本材料学会<br>「材料」 | 有 | 2021年2月  |
| 31 | 齊藤英治  | MHPS      | 火力原子力発電 最近の10年の歩み (蒸気タービン)                   | 火力原子力発電技術協会誌   | 無 | 2020年11月 |
| 32 | 草間滋   | IHI       | 火力原子力発電 最近10年の歩み (ボイラ)                       | 火力原子力発電技術協会誌   | 無 | 2020年11月 |

|    |       |           |   |                                |   |         |
|----|-------|-----------|---|--------------------------------|---|---------|
| 33 | 生沼駿   | 東芝<br>ESS | 高温蒸気タービン用析出強化型 Ni 基超合金の硬さ法によるクリープ損傷評価   | 東京工業大学<br>博士後期課程<br>学位論文       | 有 | 2021年2月 |
| 34 | 西ノ入聡  | 電力中央研究所   | 「(一財)電力中央研究所 高度評価・分析技術」<br>(5) 実機配管の内圧クリープ試験による寿命評価   | 日本保全学会<br>「保全学」                | 無 | 2021年7月 |
| 35 | 東海林剛他 | MHI       | Verification of Long-term Creep Rupture Properties and Microstructure Stability of Ni based Alloy<br>45Ni-24Fe-23Cr-7W-Ti Parent Metal and Weldment | Materials at High Temperatures | 有 | 2021年9月 |

### 【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  | 生沼駿  | 東芝 ESS | A-USC 用 Ni 基合金の水蒸気雰囲気および応力下における酸化特性 | 日本機械学会<br>第22回動力・エネルギーシンポジウム | 2017年6月 |
| 2  | 齊藤英治 | MHPS   | 700°C class A-USC Steam Turbine     | Powergen                     | 2017年6月 |

|   | 他     |         | Development  | Europe 2017  |          |
|---|-------|---------|--|--|----------|
| 3 | 張聖徳   | 電力中央研究所 | Creep Rupture and Damage Behaviors for Welded Pipe of Ni-based Alloy Using Full Thickness Specimen                 | 4th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures | 2017年6月  |
| 4 | 大谷宏之  | IHI     | State-of-the-Art Technologies for Reliable/ Sustainable Coal Fired Power Plants                                    | J-Coal クリーン・コール・デー国際会議   | 2017年9月  |
| 5 | 張聖徳   | 電力中央研究所 | 先進超々臨界圧発電ボイラ材の保守技術開発   | 平成29年度火力原子力発電大会 (仙台大会)   | 2017年10月 |
| 6 | 塩田佳紀  | IHI     | 冷間加工を施した Alloy617 のクリープ破断強度に及ぼす応力の影響   | 鉄鋼協会 第174回秋季講演大会   | 2017年9月  |
| 7 | 久布白圭司 | IHI     | Current States of the Ni-Based Alloys Development for A-USC Boilers  | IUMRS-ICA 2017   | 2017年11月 |
| 8 | 東海林他  | MHPS    | Development of Boiler Material Technology and the Verification of its Practical Applicability in Japanese National | 43rd MPA セミナー  | 2017年10月 |

|    |               |             |   |   |          |
|----|---------------|-------------|---|---|----------|
|    |               |             | A-USC Project   |   |          |
| 9  | 大熊<br>喜朋<br>他 | IHI         | Overview and result of components test on commercial coal fired boiler in Japanese National A-USC Project | 43rd MPA Seminar                            | 2017年10月 |
| 10 | 張聖<br>徳       | 電力中央<br>研究所 | 先進超々臨界圧発電ボイラ材の保守技術開発  | 平成29年度火力原子力発電大会<br>(仙台大会)                   | 2017年10月 |
| 11 | 大熊<br>喜朋      | IHI         | 石炭火力発電の国内外最新動向と IHI の取組み  | 技術情報センターセミナー「石炭火力発電の技術開発動向と水処理技術」           | 2017年10月 |
| 12 | 塩田<br>佳紀<br>他 | IHI         | Effect of cold working on creep rupture strength and microstructure of HR6W                               | 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会60周年シンポジウム<br>ポスターセッション | 2017年11月 |
| 13 | 野村<br>恭兵<br>他 | IHI         | Effect of Cold Working on Creep Rupture Strength of Alloy617  | 日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会60周年シンポジウム<br>ポスターセッション | 2017年11月 |
| 14 | 環野<br>直也      | IHI         | Effect of Cold Work on Creep Deformation  | 日本学術振興会耐熱金属材料第                              | 2017年11月 |

|    |               |        |  |  |             |
|----|---------------|--------|--|--|-------------|
|    | 他             |        | Behavior of Alloy263   | 123 委員会 60 周年シンポジウム<br>ポスターセッション                                 |             |
| 15 | 山崎<br>直樹      | IHI    | Creep Rupture Strength and Microstructure for Weld Joint of 23Cr-45Ni-7W Alloy   | 日本学術振興会<br>耐熱金属材料第<br>123 委員会 60 周年シンポジウム<br>ポスターセッション           | 2017 年 11 月 |
| 16 | 北村<br>雅樹<br>他 | MHPS   | 700℃級 USC プラント用 HR6W のクリープ疲労寿命評価法の検討   | 日本材料学会<br>高温強度・破壊力学合同シンポジウム                                      | 2017 年 12 月 |
| 17 | 生沼<br>駿他      | 東芝 ESS | Long Term Creep Property and Microstructure Evolution of Large Scale Ni-Based Superalloy for A-USC Steam Turbine Rotor | 日本学術振興会<br>耐熱金属材料第<br>123 委員会 60 周年シンポジウム<br>ポスターセッション           | 2017 年 11 月 |
| 18 | 齊藤<br>英治      | MHPS   | 700℃ class A-USC Steam Turbine Development   | XIII Research & Development in Power Engineering Conference 2017 | 2017 年 11 月 |
| 19 | 北村<br>雅樹      | MHPS   | Creep damage behaviour of 23Cr-45Ni-6W alloy   | IEA CLEAN COAL   | 2017 年 12 月 |

|    |               |        |   |                                 |         |
|----|---------------|--------|---|---------------------------------|---------|
|    | 他             |        | thick welding component   | CENTER 3RD WORKSHOP AUSC3       |         |
| 20 | 中村<br>他       | IHI    | 火力発電における環境規制対応のための最新動向について ―クリーンコール技術―                            | 次世代火力 EXPO                      | 2018年3月 |
| 21 | 中澤            | IHI    | USC ボイラ技術および総合排煙処理技術について  | 日台技術交流会                         | 2018年3月 |
| 22 | 岩村            | IHI    | 高効率化による CO2 排出原単位の低減技術 (USC ボイラの紹介)                               | 調整電源としての火力発電他に係る講演会 (環境省向け)     | 2018年3月 |
| 23 | 齊藤<br>英治      | MHPS   | 700℃級 A-USC 蒸気タービン開発  | 日本機械学会 動力エネルギー技術シンポジウム          | 2018年6月 |
| 24 | 生沼<br>駿他      | 東芝 ESS | $\gamma'$ -Ni <sub>3</sub> (Al,Ti) 強化型 Ni 基超合金の硬さに及ぼす単純および応力時効の影響 | 日本学術振興会 耐熱金属材料第 123 委員会 7 月期研究会 | 2018年7月 |
| 25 | 塩田<br>佳紀<br>他 | IHI    | 冷間加工を施した 47Ni-23Cr-23Fe-7W 合金のクリープ中のマイクロ組織変化                      | 鉄鋼協会 第 176 回秋季講演大会              | 2018年9月 |
| 26 | 仙波<br>潤之      | 日本製鉄   | A-USC プロジェクトにおける材料・技術開発動向   | 鉄鋼協会 高温材料の高強度化研究会 「高温           | 2018年9月 |

|    |           |      |   |   |          |
|----|-----------|------|---|---|----------|
|    |           |      |   | 材料の高強度化」シンポジウム  |          |
| 27 | 竹井康裕      | MHPS | 高効率発電システムとICT活用について                                     | 2018年度 日本機械学会年次大会 市民フォーラム   | 2018年9月  |
| 28 | 山本健次郎     | MHPS | Ultra Super Critical (USC) Coal Fired Boiler Technology | IV International S&T Conference on use of solid fuels for efficient and environmentally friendly production of heat and electricity | 2018年10月 |
| 29 | 野村恭兵<br>他 | IHI  | Ni 基合金 HR6W の長時間クリープ疲労特性評価                              | 日本材料学会 第56回高温強度シンポジウム   | 2018年12月 |
| 30 | 片渕紘希      | MHI  | 非弾性解析による実機評価に向けた HR6W クリープ疲労寿命評価法の検討                    | 日本材料学会 高温強度シンポジウム   | 2018年12月 |
| 31 | 久布白圭      | IHI  | Alloy263 溶接部の SR 条件の検討                                  | 日本材料学会 第56回高温強度   | 2018年12月 |

|    |               |              |   |   |             |
|----|---------------|--------------|---|---|-------------|
|    | 司他            |              |   | シンポジウム  |             |
| 32 | 生沼<br>駿他      | 東芝 ESS       | 先進蒸気タービン向け耐熱 Ni-Fe 基合金および Ni-Fe 異材溶接構造の開発   | 日本鉄鋼協会第 177 回春季講演大会   | 2019 年 3 月  |
| 33 | 東海<br>林剛<br>他 | MHPS         | Development of Boiler Material Technology, Verification of its Practical Applicability and Field Components Test in Japanese National A-USC Project | VGB Workshop "Materials and Quality Assurance"                            | 2019 年 5 月  |
| 34 | 山本<br>隆一<br>他 | MHI          | 発電プラント用耐熱材料の開発と課題   | 日本鉄鋼協会第 237・238 回西山記念技術講座   | 2019 年 5 月  |
| 35 | 齊藤<br>英治      | MHPS         | Clean Energy with steam turbine technology  | ASME TURBO EXPO 2019  | 2019 年 6 月  |
| 36 | 福田<br>雅文<br>他 | 高効率発電システム研究所 | 700°C A-USC TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN JAPAN   | JOINT EPRI -123HiMAT CONFERENCE ON ADVANCES IN HIGH TEMPERATURE MATERIALS | 2019 年 10 月 |
| 37 | 張聖            | 電力中央         | CREEP DAMAGE EVALUATION FOR   | JOINT EPRI -123HiMAT  | 2019 年 10 月 |



|    |               |        |  |  |             |
|----|---------------|--------|--|--|-------------|
|    | 徳他            | 研究所    | WELDED PIPE OF NI<br>BASED ALLOY HR6W<br>USING FULL<br>THICKNESS<br>SPECIMEN   | CONFERENCE<br>ON<br>ADVANCES IN<br>HIGH<br>TEMPERATURE<br>MATERIALS                            |             |
| 38 | 生沼<br>駿他      | 東芝 ESS | Creep Life Assessment<br>of g' Precipitation<br>Strengthened Ni-based<br>Superalloys for High<br>Efficient Turbine<br>Components | JOINT EPRI<br>-123HiMAT<br>CONFERENCE<br>ON<br>ADVANCES IN<br>HIGH<br>TEMPERATURE<br>MATERIALS | 2019 月 10 月 |
| 39 | 齋藤<br>伸彦<br>他 | MHI    | Evaluation of Weld<br>Cracking Susceptibility<br>of Candidate Ni-based<br>Alloys for Advanced<br>USC Boilers                     | JOINT EPRI<br>-123HiMAT<br>CONFERENCE<br>ON<br>ADVANCES IN<br>HIGH<br>TEMPERATURE<br>MATERIALS | 2019 月 10 月 |
| 40 | 須賀<br>威夫<br>他 | 東芝 ESS | Development of Steam<br>Turbine for A-USC<br>Power Plant   | JOINT EPRI<br>-123HiMAT<br>CONFERENCE<br>ON<br>ADVANCES IN<br>HIGH<br>TEMPERATURE              | 2019 月 10 月 |

|    |               |             |  |   |             |
|----|---------------|-------------|--|---|-------------|
|    |               |             |  | MATERIALS   |             |
| 41 | 仙波<br>潤之<br>他 | 日本製鉄        | Creep Strength and<br>Microstructure of<br>Ni-based Alloys for<br>Advanced USC Boiler<br>Tubes and Pipes           | JOINT EPRI<br>-123HiMAT<br>CONFERENCE ON<br>ADVANCES IN<br>HIGH<br>TEMPERATURE<br>MATERIALS         | 2019 月 10 月 |
| 42 | 生沼<br>駿他      | 東芝 ESS      | Creep Life Assessment<br>of g' Precipitation<br>Strengthened Ni-based<br>Superalloys for High<br>Efficient Turbine | JOINT EPRI<br>-123HiMAT<br>CONFERENCE ON<br>ADVANCES IN<br>HIGH<br>TEMPERATURE<br>MATERIALS         | 2019 月 10 月 |
| 43 | 張聖<br>徳他      | 電力中央<br>研究所 | Creep Deformation and<br>Rupture Behaviors of<br>Ni-based HR6W Welded<br>Joint Using Full<br>Thickness Specimen    | 10th<br>Japan-China<br>Bilateral<br>Symposium on<br>High<br>Temperature<br>Strength of<br>Materials | 2019 月 10 月 |
| 44 | 東林<br>剛他      | MHI         | A-USC ボイラ用 Ni 基合<br>金の溶接施工技術および<br>その健全性評価   | 日本材料学会<br>第 6 8 期 第 5<br>回 高温強度部  | 2020 年 5 月  |

|    |               |                      |   |   |          |
|----|---------------|----------------------|---|---|----------|
|    |               |                      |   | 門委員会  |          |
| 45 | 生沼<br>駿他      | 東芝 ESS               | Applicability of<br>Hardness Methodology<br>for Estimating Creep<br>Deformation and<br>Residual Life of Wrought<br>Ni-based Superalloys | MIMA<br>Conference<br><br>(主催：ETD<br>Consulting)  | 2020年10月 |
| 46 | 松岡<br>孝昭      | IHI                  | A-USC の溶接技術   | 溶接学会 2020<br>年度 溶接工学<br>企画講座  | 2020年11月 |
| 47 | 福田<br>雅文      | 高効率発<br>電システ<br>ム研究所 | 先進超々臨界圧火力発電<br>の最新動向  | 東京大学 先端<br>電力エネルギー・環境技術教<br>育研究アライア<br>ンス(APET) 第<br>32回イブニング<br>セミナー 『石炭<br>火力発電の最新<br>動向』 | 2020年12月 |
| 48 | 野村<br>恭兵      | IHI                  | A-USC 向け Ni 基合金<br>溶接継手のクリープ強度<br>特性評価  | 鉄鋼協会 高温<br>材料の高強度化<br>研究会 第6回<br>研究会  | 2021年4月  |
| 49 | 東海<br>林剛<br>他 | MHI                  | Verification of<br>Long-term Creep<br>Rupture Properties and<br>Microstructure Stability<br>of Ni based Alloy                           | 5th<br>International<br>ECCC Creep &<br>Fracture<br>Conference                              | 2021年9月  |

|    |               |     |  |                     |          |
|----|---------------|-----|--|---------------------|----------|
|    |               |     | 45Ni-24Fe-23Cr-7W-Ti<br>Parent Metal and<br>Weldment                             |                     |          |
| 50 | 片渕<br>紘希<br>他 | MHI | Creep-fatigue life<br>evaluation of HR6W<br>(23Cr-45Ni-6W alloy)<br>welded joint | MPA-Seminar<br>2021 | 2021年10月 |