

「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」
事後評価報告書

2023年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2023年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果
について報告します。

「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」
事後評価報告書

2023年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	7
研究評価委員会コメント	8
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-4
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 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	
3. 評点結果	1-13
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の事後評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「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」(事後評価)分科会において評価報告書案を策定し、第 73 回研究評価委員会(2023 年 3 月 14 日)に諮り、確定されたものである。

2023 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2022年11月16日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 現地調査会（2022年11月11日）

一般財団法人電力中央研究所 横須賀地区（神奈川県横須賀市）

● 第73回研究評価委員会（2023年3月14日）

「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」

事後評価分科会委員名簿

(2022年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	のなか いさむ 野中 勇	元東北大学 教授
分科 会長 代理	いとう たかもと 伊藤 隆基	立命館大学 理工学部 機械工学科 教授
委員	いのうえ としひこ 井上 敏彦	中国電力株式会社 執行役員 東京支社 支社長
	くたに いちろう 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 担任補佐 国際情勢分析第1グループ マネージャー 研究理事
	やまぐち とみこ 山口 富子	九州工業大学 大学院工学研究院 物質工学研究系 准教授
	やまざき やすひろ 山崎 泰広	千葉大学 大学院工学研究院 機械工学コース 准教授

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

欧州で先行した A-USC をキャッチアップする形でスタートした本事業であるが、要素技術開発から実機製造・補修・保守技術開発まで一貫して行われた事業は、日本以外にはなく、現時点で、我が国が世界をリードしていると言える。

また、本事業で得られた成果は、既存の USC や他のエネルギー機器等への展開が可能で、それぞれの信頼性向上・保守管理技術の高度化による経済波及効果は高いものと評価できる。

一方、プロジェクトの進め方としては、大径管内圧クリープ試験と単軸クリープ試験との整合性や大径管内圧クリープ試験と非破壊検査研究の連携など、各研究課題間の更なる連携を図るべきであったと考えられる。

今後に向けては、火力発電に対する逆風はあるものの、電力安定化のための電力供給方法の多様化は必須であることから、実施者において、継続して研究課題間の連携を強化するとともに、本事業の開発技術の高度化を図り、得られた新しい知見や、高度化された技術の内容などについて、社会に分かりやすく明確に発信し、本事業の成果が火力一般や化学工業など幅広い分野へ適用されることを期待したい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

昨今の世界情勢を鑑みるに、CO₂ 排出量削減及び経済コストを抑制した電力供給源の確保ならびに発電方法の多様化の観点から、脱炭素を目指す中でも石炭火力発電の熱効率向上は、我が国のエネルギー基本計画および次世代火力発電に係る技術ロードマップに合致した重要な事業であると言える。また、石炭火力の熱効率の向上を目指す取組は、発電技術の高度化に大きく寄与するものであり、開発した信頼性技術は、A-USC のみならず、既存の USC や他のエネルギー機器等への展開も可能なことから、経済波及効果は極めて高いものと期待できる。さらに、USC から A-USC への展開は、研究開発の難度およびコストも高く、民間企業のみで推進することは困難であり、加えて、市場で競合する場合もある企業が、USC に関する技術を結集し協力し合う体制は、NEDO のイニシアチブがなければ実現し得なかったと考えられる。

一方、脱炭素化に向けて火力発電が否定的に捉えられる傾向があるため、CO₂ 排出量削減を図りながらも、エネルギー安全保障の観点も考慮した費用対効果や発電量の調整役の要としての位置づけといった、電源構成ベストミックスにおける高効率火力発電の重要性を国民に対して正確かつ明瞭に伝える必要がある。

2. 2 研究開発マネジメントについて

開発された A-USC 発電の要素技術を早期に実用化・事業化するために、ボイラ・タービン材料の信頼性向上および保守技術開発をターゲットにした本事業の研究開発は妥当と考

えられる。また、実機を模擬した大径管内圧クリープ試験により、極めて有益な知見を取得できていることから、期間延長の判断を含め適切な計画と管理がされたものと評価できる。

実施体制においては、個別企業に散在する技術やノウハウを集約することが可能な体制となっており、各事業者の得意技術を駆使して貴重な成果をあげられていることから妥当であったといえる。

知的財産権に関する戦略においては、すべて特許化するのではなく、戦略的な知見の共有／秘匿は適切な判断であったと考える。

一方、大径管内圧クリープ試験は、種々の要素技術を実証する位置付けとして、他の研究課題との更なる連携を図るべきであったように思われる。今後、関係実施者において、テーマ間の研究の連携を強めることにより、更なる知見が得られることが期待される。また、大径管内圧クリープ試験結果と実験室レベルの実験結果との比較により、要素技術の実証法に関する指針が提示されることが望まれる。さらに、大学等を含め外部の有識者の範囲を広げた体制において、個社が有する技術やノウハウを結集し、日本の技術水準の維持、向上に貢献することを期待したい。

2. 3 研究開発成果について

ボイラ材の大径管および管台部の内圧クリープ試験結果ならびにタービン材の長時間クリープ試験およびロータ溶接部の長時間健全性評価試験の結果等から、プラントの信頼性向上のための技術が開発できたことが確認された。一方、タービンロータ溶接部の欠陥検出および運転中のクリープ損傷検出には超音波法が適用され、実用化のための保守技術に関する課題も明確にされたことから、本事業の最終目標は達成できたものと考えられる。また、得られた成果は先進的なものであり、その成果に基づく技術は世界的にも優位性があると判断できる。さらに、本技術は、ユーザーの観点から余寿命評価や規格化が進められており、火力発電一般のみならず、化学工業分野など幅広い分野において成果の普及につながると考えられる。

今後に向けて、成果として得られた技術等は大変貴重であり、その技術の伝承・展開および人材育成は重要であることから、プロジェクトの終了以降も継続してさらなる検討を行い、得られた成果を素早く実機に展開していくことを期待したい。

2. 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

本技術は当初、A-USC へのリプレース等をターゲットに開発されたが、昨今のエネルギー事情の変化に対応するため、広く火力発電および関連分野に利用されることを目指したものである。この転換は、成果の早期実用化の観点において妥当であり、既に 600°C 級の USC への適用例があるのは大きな成果であったと評価できる。また、開発技術は、材料等の高温強度化に直結するものであることから、技術的な活用以外に先進エネルギー機器研究開発に対する人材育成面への波及効果も期待される。さらに、電気事業者を対象とした技術の紹介も行われており、成果の早期実装が期待される。

今後に向けては、火力発電利用が縮小される方向にあることから、開発技術を既存の発電

設備や関連分野に利用するために、開発技術の認知度向上を図り、適切なチャンネルを通じて技術の展開を期待したい。得られた高い技術の成果を有効活用することで、高温材料分野全般の技術向上に貢献することを望みたい。

研究評価委員会委員名簿

(2023年3月現在)

	氏名	所属、役職
委員長	きの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	東海国立大学機構 岐阜大学 特任教授 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー
	あたか たつあき 安宅 龍明	元先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	技術ジャーナリスト
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学 大学院工学系研究科 教授
	しみず ただあき 清水 忠明	新潟大学 工学部工学科 化学システム工学プログラム 教授
	ところ ちはる 所 千晴	早稲田大学 理工学術院 教授 東京大学 大学院工学系研究科 教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学 先端科学技術研究センター ライフサイクル工学分野 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャ
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第 73 回研究評価委員会（2023 年 3 月 14 日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。
研究評価委員会からのコメントは特になし。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

欧州で先行した A-USC をキャッチアップする形でスタートした本事業であるが、要素技術開発から実機製造・補修・保守技術開発まで一貫して行われた事業は、日本以外にはなく、現時点で、我が国が世界をリードしていると言える。

また、本事業で得られた成果は、既存の USC や他のエネルギー機器等への展開が可能で、それぞれの信頼性向上・保守管理技術の高度化による経済波及効果は高いものと評価できる。

一方、プロジェクトの進め方としては、大径管内圧クリープ試験と単軸クリープ試験との整合性や大径管内圧クリープ試験と非破壊検査研究の連携など、各研究課題間の更なる連携を図るべきであったと考えられる。

今後に向けては、火力発電に対する逆風はあるものの、電力安定化のための電力供給方法の多様化は必須であることから、実施者において、継続して研究課題間の連携を強化するとともに、本事業の開発技術の高度化を図り、得られた新しい知見や、高度化された技術の内容などについて、社会に分かりやすく明確に発信し、本事業の成果が火力一般や化学工業など幅広い分野へ適用されることを期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 欧州で先行した A-USC をキャッチアップする形でスタートした本プロジェクトであるが、要素技術開発から実機製造・補修・保守技術開発まで一貫して行われたものはなく、現時点で、我が国が世界をリードしたと言える。これを可能にしたのは、言うまでもなく、世界をリードする USC 発電技術を有するメーカー・技術者が結集したことである。
- ・ A-USC プラントの強度設計ならびに維持管理の行う上で必要不可欠な技術であり、本事業で得られた成果は実用的にも有益である。また、その成果は、高温機器等の幅広い分野へも展開が期待できる。
- ・ 当初計画した目標を十分に達成しており高く評価できる。競合するプラントメーカー、素材メーカーに加え、研究機関も含めたオールジャパンの体制で実施された、有意義なプロジェクトであった。石炭火力のゴールが「高効率化」から「カーボンニュートラル」へ変化する中でも、「既存 USC の適用」により早期の市場導入が図られており、適切なマネジメントであった。併せて、余寿命評価手法、規格化も並行して確立され、ユーザーメリットが大きいと考えられる。現在、ウクライナ侵攻等によりエネルギー安全保障の重要性が高まっており、欧州においても石炭火力の延命化が計画されるなど、日本に限らず海外においても本研究成果の活用が期待される所。
- ・ 目標の達成とそこに至る道程の両面で、本事業は適切に遂行されたと評価する。
- ・ 全体的に当初の目的は達成していると思われる。世界最高水準、汎用性の顕著な成果であり、近年の世界情勢により、想定される市場の規模、産業技術としての適用可能性が広範囲になり、世界に貢献できる技術と思われる。
- ・ 将来のゼロエミッションを目指しながらも、当面は石炭火力発電の熱効率向上は社会

的必要性も大きく、国のエネルギー基本計画および技術ロードマップにも合致した重要な事業と評価する。また、本プロジェクトで実施した研究開発の難度およびコストは高く、民間企業のみでは困難であり NEDO として推進すべき事業である。昨今の世界情勢を鑑みると、エネルギーの安定供給と CO₂ 排出量削減の観点から本研究開発の費用対効果は十分なものと期待できる。さらに、開発した信頼性技術は現行の USC や他のエネルギー機器等への水平展開も可能で、それぞれの信頼性向上・保守管理技術の高度化による経済波及効果は極めて高いものと評価できる。

注) A-USC(Advanced Ultra Super Critical)、USC(Ultra Super Critical)

<改善すべき点>

- それぞれの研究課題の成果は高度なものであるが、研究課題間の連携は若干弱かったようである。今後は、連携を強化するとともに、産学官連携も考慮に入れた後続事業の展開を期待する。
- 材料だけでなく溶接技術や非破壊技術などの周辺技術についても、開発に注力いただけることを希望します。
- 大径管に対する有益な知見が得られているが、得られた構造体としての情報と実験室レベルで取得した単軸の試験結果や解析結果との関連性、これまでの知見に対して、“どのような”新しい知見が得られたか、あるいは、“どの程度”高度化が可能となったのか、今後は“どのように”発展させていくのか、などについて、社会にわかりやすく明確に発信できると良いと考える。

<今後に対する提言>

- メーカーは開発された A-USC 技術を火力および関連分野に展開すると思われるが、原子力発電分野のようにプラント建設がないと技術伝承が難しいという現状を鑑みると、5年・10年先を見て、NEDO がこの技術をフォローアップすることが望ましい。
- 火力発電に対する逆風はあるものの、電力安定化のための電力供給方法の多様化は必須である。その一つの有効手段として A-USC も有力候補であり今後必要となる可能性は排除できないことから、本事業の開発技術の高度化を図っていただきたい。A-USC が実用化されない場合でも、成果技術は関連分野への展開の有益性は高い。
- 2050年のカーボンニュートラルを鑑みれば、火力発電技術のロードマップの見直しが行われ、適切に A-USC がビルトインされることを期待する。
- 本技術の適用を当初想定した石炭火力の将来性には不透明感があるものの、幸いにも本事業の成果は火力一般や原子力、化学工業など幅広い分野への適用可能性があり、今後の実装に期待したい。実装を促すに際しては認知の向上が不可欠であり、参加企業各社による努力を含め、適切なチャンネルを通じた技術の展開を期待したい。本事業の特徴は民間企業に散在する技術やノウハウを集約、発展させたことにもあると認識。このような仕組み・取組みは日本の技術力向上に不可欠と考えられ、今後も NEDO が企業の協力を得ながらイニシアチブを取っていくことを期待したい。

- 国内外に向けての実用化をより積極的に進めていただき、また、技術としての適用可能性が広範囲になることから、広範囲に業種と連携して、事業としての可能性についても検討いただけることを期待します。
- 分析技術や非破壊検査技術は日進月歩の進捗をみせていることから、プロジェクトの終了以降も新たなアプローチを模索しながら検討を継続することを期待している。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

昨今の世界情勢を鑑みるに、CO₂排出量削減及び経済コストを抑制した電力供給源の確保ならびに発電方法の多様化の観点から、脱炭素を目指す中でも石炭火力発電の熱効率向上は、我が国のエネルギー基本計画および次世代火力発電に係る技術ロードマップに合致した重要な事業であると言える。また、石炭火力の熱効率の向上を目指す取組は、発電技術の高度化に大きく寄与するものであり、開発した信頼性技術は、A-USC のみならず、既存の USC や他のエネルギー機器等への展開も可能なことから、経済波及効果は極めて高いものと期待できる。さらに、USC から A-USC への展開は、研究開発の難度およびコストも高く、民間企業のみで推進することは困難であり、加えて、市場で競合する場合もある企業が、USC に関する技術を結集し協力し合う体制は、NEDO のイニシアチブがなければ実現し得なかったと考えられる。

一方、脱炭素化に向けて火力発電が否定的に捉えられる傾向があるため、CO₂排出量削減を図りながらも、エネルギー安全保障の観点も考慮した費用対効果や発電量の調整役の要としての位置づけといった、電源構成ベストミックスにおける高効率火力発電の重要性を国民に対して正確かつ明瞭に伝える必要がある。

<肯定的意見>

- ・ 我が国は戦後、海外から火力発電技術を導入し、欧米の技術をキャッチアップした結果、最先端の USC 発電では世界をリードするに至った。欧米が A-USC プロジェクトを立上げて巻返しを図ったのに対し、我国が次世代技術の早期実用化を目指したのは当然の成り行きであり、評価できる。
- ・ エネルギー安全保障の観点から、石炭火力発電技術の保持は必要だと考えられ、再生可能エネルギーへの移行期間として、石炭火力の熱効率の向上を目指す取組は評価できる。
- ・ USC 発電から A-USC 発電への展開は、メーカー単独ではハードルが高く、我国の USC 発電技術を結集する必要がある、METI のプロジェクトで開発した要素技術を事業化・実用化する段階で、NEDO のプロジェクトとして展開したのは妥当だと考えられる。
- ・ 原材料の価格高騰による発電費用の上昇およびエネルギー供給の安定化のためには、発電方法の多様化は避けられない。本事業の目的は、高効率な発電技術の高度化に大きく寄与するものであり、発電方法の多様化および排出炭素量軽減にも資するものである。
- ・ 国際的な石炭火力への逆風の中、まずは「600℃級 USC への適用」を図り、早期に社会実装を達成しており、高く評価できる。競合する複数のプラントメーカー、素材メーカーを束ねて研究開発しており、NEDO の関与が必要であったと考える。
- ・ 引き続き脱石炭の流れがあるものの、近年は異なる動きもみられる。第一に再エネだけによる脱炭素が困難であるとの認識の広がっていること（水素発電やアンモニア発電、CCS の必要性）、第二にウクライナ戦争を受けたエネルギー価格高騰から途上国の

みならず短期的には先進国でも石炭を活用しようとする動きのあること、である。

- これらの変化は、脱炭素を目指すなかでもボイラの高効率化技術、維持管理技術が重要であり続ける可能性を示している。この意味から、外部環境の変化を受けながらも、本事業は妥当性が残されていると評価する。そのため技術開発と成果普及の両面で、NEDO が本事業を行うことは妥当であると評価する。
- 技術開発に要する費用に加え、火力設備に対するニーズの不確実性が本技術開発のリスクである。これらのリスクは民間企業一社が負担できるものでないことを踏まえれば、NEDO がリスクの一部を分担する本事業は妥当であったと評価できる。
- 市場では競合する場合もある企業が協力しあう体制は NEDO のイニシアチブがなければ実現し得なかったと考えられる。また多くの民間企業が参加する体制は、成果の共有・展開という点でも有効である。
- 近年の国際情勢において、国際貢献への可能性が高い事業であると考えられる。
- CO₂ 排出量削減と経済コストを抑制した電力供給源の確保の観点から、石炭火力発電の熱効率向上は社会的必要性も大きく、国のエネルギー基本計画および技術ロードマップにも合致した重要な事業と評価する。また、A-USC のみならず、既存の火力発電設備においては信頼性向上およびその確保が不可欠であるが、研究開発の難度およびコストも高く民間企業のみでは困難であり NEDO として推進すべき事業である。昨今の世界情勢を鑑みると、エネルギーの安定供給と CO₂ 排出量削減の観点から本プロジェクトの費用対効果は期待できる。さらに、開発した信頼性技術は現行の USC や他のエネルギー機器等への水平展開も可能で、それぞれの信頼性向上・保守管理技術の高度化による経済波及効果は極めて高いものが期待できる。

<改善すべき点>

- 電力供給の安定化において発電量の調整役の要となる高効率火力発電の技術の持続および高度化は、資源が少ない日本国にとって重要である。しかし、脱炭素化に向けて火力発電が否定的に捉えられる傾向があり、高効率火力発電の重要性を国民に対して正確かつ明瞭に伝える必要がある。
- 実機へ適用し、継続的情報収集と並行して、さらに材料だけでなく溶接技術や非破壊技術の開発へも力を注いでいただきたい。
- 昨今の世界情勢から、エネルギーの安定供給のための電源構成ベストミックスの重要性が増している。CO₂ 排出量削減を図りながらも、安全保障の観点も考慮した費用対効果の算定が必要と考える。

2. 2 研究開発マネジメントについて

開発された A-USC 発電の要素技術を早期に実用化・事業化するために、ボイラ・タービン材料の信頼性向上および保守技術開発をターゲットにした本事業の研究開発は妥当と考えられる。また、実機を模擬した大径管内圧クリープ試験により、極めて有益な知見を取得できていることから、期間延長の判断を含め適切な計画と管理がされたものと評価できる。

実施体制においては、個別企業に散在する技術やノウハウを集約することが可能な体制となっており、各事業者の得意技術を駆使して貴重な成果をあげられていることから妥当であったといえる。

知的財産権に関する戦略においては、すべて特許化するのではなく、戦略的な知見の共有／秘匿は適切な判断であったと考える。

一方、大径管内圧クリープ試験は、種々の要素技術を実証する位置付けとして、他の研究課題との更なる連携を図るべきであったように思われる。今後、関係実施者において、テーマ間の研究の連携を強めることにより、更なる知見が得られることが期待される。また、大径管内圧クリープ試験結果と実験室レベルの実験結果との比較により、要素技術の実証法に関する指針が提示されることが望まれる。さらに、大学等を含め外部の有識者の範囲を広げた体制において、個社が有する技術やノウハウを結集し、日本の技術水準の維持、向上に貢献することを期待したい。

<肯定的意見>

- ・ 開発された A-USC 発電の要素技術を早期に事業化・実用化するために、ボイラ・タービン材料の信頼性向上および保守技術開発をターゲットにしたことは妥当だと考えられる。
- ・ 信頼性向上および保守技術を実証するために、実機を模擬した大径管の内圧クリープ試験をプロジェクトの主眼としたことは評価できる。
- ・ HR6W などの材料技術は特許化し、プラント製造に関わる技術は特許化せずに、メーカーのノウハウとして知的財産の帰属を明確にする戦略は妥当だと思われる。

注) A-USC(Advanced Ultra Super Critical)

- ・ 発電技術に携わる第一線の複数の事業者が各垣根を越えて、火力発電技術の高度化に向けて各事業者の得意技術を駆使して貴重な成果をあげられた共同開発事業である。
- ・ 開発推進委員会での指摘を踏まえ、試験期間を 1 年間延長するなど、的確なマネジメントが行われた。
- ・ 大径管内圧クリープ試験は 2 回の期間延長を行ったが、これは成果を得るために不可欠なものであり、期間延長の判断を含め適切な計画と管理がされたと評価する。
- ・ 個別企業に散在する技術やノウハウを集約することが可能な体制となっており、かつこの体制の下で当初設定した目標を全て達成していることから、実施体制は妥当であったと評価する。
- ・ 闇雲に特許化するのではなく、日本の競争力向上を意図した戦略的な知見の共有／秘

匿は適切な判断であると考える。

- ・ 情勢に合わせていずれも適切に対応されていた。必要に応じて、実施体制も見直され、実施者間の連携も有効であった。知的財産や研究開発データに関する整備も進められていた。
- ・ 研究開発目標及び計画は妥当であり、開発計画および実施体制も実用化・事業化につながる計画・体制を構築していると評価する。また、進捗管理等の研究マネジメントの点からも良好と評価できる。大径管の実験スケジュールおよび内容の変更についても、極めて有益な知見を取得できていることから適切な判断と評価される。信頼性向上・保守技術開発を目指す本プロジェクトの成果においては、特許出願による秘匿すべき技術情報の漏洩が懸念されることから、ノウハウ蓄積に重点を置く知財戦略も問題ないと考える。

<改善すべき点>

- ・ ボイラ大径管の内圧クリープ試験は、種々の要素技術を実証する位置付けだと思われるが、多軸応力場の形成法、短冊一軸クリープ試験との整合性および、超音波による損傷評価研究との整合性など、他の研究課題との関係が十分ではなかったように思われる。
- ・ テーマ間の研究の連携をもっと積極的に行うことにより、新展開が期待されたと感じる。また、大径管内圧クリープ試験に対して研究費用が片寄っているが、試験結果の有効活用を展開していただいて有効活用を進めていただきたい。
- ・ 各種状況に合わせた取り組みを、広範囲に連携して、事業としての可能性について追求していただけることを期待します。
- ・ 大径管に対する有益な知見が得られているが、その知見と実験室レベルで取得した単軸の試験結果などとの関連性や今後のビジョンについて明確にできると良い。

<今後に対する提言>

- ・ 開発推進会議や技術検討委員会で外部の有識者の意見を求めているのは評価できるが、さらに、その範囲を広げ、より深い検討が望ましかったように思われる。
- ・ 成果として得られた技術等はたいへん貴重であり、高温強度をはじめとする多岐にわたる技術にも応用できるものであり、積極的な展開を期待する。
- ・ 今後、国等において、カーボンニュートラルを目指した火力発電技術のロードマップをリバイスの上、A-USC の位置づけが望まれる。
- ・ 研究開発という事業の性格から試行錯誤は避けられないことを理解する。一方、事業の経済合理性を高める視点からは期間延長を回避する方が望ましいとも考えられ、今回の経験を今後の事業計画に活かしていくことを期待する。
- ・ 個社が有する技術やノウハウを集めるという点で NEDO の事業は貴重な場になったと理解。今後もこのような事業を通じて日本の技術水準の維持、向上に貢献することを期待。

- 国内産業界が一丸となって、新たな産業を開拓すべく進めて欲しい。
- 実機構造物模擬試験結果と実験室レベルの実験結果と共通点や相違を整理し、今後のプロジェクトの検討方法の指針を提示していただけるとありがたい。

2. 3 研究開発成果について

ボイラ材の大径管および管台部の内圧クリープ試験結果ならびにタービン材の長時間クリープ試験およびロータ溶接部の長時間健全性評価試験の結果等から、プラントの信頼性向上のための技術が開発できたことが確認された。一方、タービンロータ溶接部の欠陥検出および運転中のクリープ損傷検出には超音波法が適用され、実用化のための保守技術に関する課題も明確にされたことから、本事業の最終目標は達成できたものと考えられる。また、得られた成果は先進的なものであり、その成果に基づく技術は世界的にも優位性があると判断できる。さらに、本技術は、ユーザーの観点から余寿命評価や規格化が進められており、火力発電一般のみならず、化学工業分野など幅広い分野において成果の普及につながると考えられる。

今後に向けて、成果として得られた技術等は大変貴重であり、その技術の伝承・展開および人材育成は重要であることから、プロジェクトの終了以降も継続してさらなる検討を行い、得られた成果を素早く実機に展開していくことを期待したい。

<肯定的意見>

- ・ ボイラ大径管の内圧クリープ試験結果から、実機における損傷形態の予測および寿命予測が可能になり、プラントの信頼性向上につながると思われる。
- ・ ボイラ管台部の内圧クリープ試験結果から、管台部独自の強度評価の必要性が明らかになり、その強度評価法も提案された。また、管台の製造・設計に関するノウハウも蓄積された点は、プラントの信頼性向上につながると思われる。
- ・ ボイラ大径管材 HR6W のクリープ疲労試験では、寿命評価法が提案され、調整電源への適応性が確認された点は評価できる。
- ・ タービン材の長時間クリープ試験およびロータ溶接部の長時間健全性評価試験の結果から、実機運転条件での強度が確認され、プラントの信頼性向上につながると思われる。
- ・ ボイラ材料の JSME 規格化が提案され、寿命評価のための材料データベースが構築されたことは、今後の機器の設計・製造に貢献することが期待される。
- ・ 溶射による高 Cr 鋼の表面改質技術開発は、高価な Ni 基材の代替材として、蒸気タービンのコストダウンにつながることが期待される。
- ・ タービンロータ溶接部の欠陥検出および運転中のクリープ損傷検出には超音波法が適用されるが、Ni 基材への適用は難しく実績も少ないが、適用の可能性を評価するための基礎データが取得でき、実用化のための課題が明確になった点は評価できる。
- ・ 本事業の目標は達成している。
- ・ 当初目標を十分に達成し、社会実装が進められており高く評価できる。ユーザーの観点から、余寿命評価や規格化が進められており、成果の普及につながる。
- ・ 全ての目標を達成しており、適切に事業が完遂されたと評価する。
- ・ 本技術の適用を当初想定した石炭火力の将来性には不確実性があるものの、本技術は火力発電一般のみならず原子力や化学工業分野など幅広い分野への適用可能性のある

もので、こうした技術の開発を実現したことを評価する。

- ・ 世界最高水準、汎用性の顕著な成果があり、評価する。市場の創造につながることを期待される。
- ・ 大径管の実験も含めて十分な成果が得られていると評価でき、最終目標を達成しているものと判断できる。また、得られた成果は世界的に見ても先進的なものであり、その成果に基づく技術は世界的にも優位性があると判断できる。大径管の実験については、適切な試験計画の変更も行っており、その点も評価できる。

<改善すべき点>

- ・ 火力発電の必要性の理解を得る努力と並行して、実用化に向けた事業展開を期待する。
- ・ 今年度は対外的な発表はなく、一般に向けて、情報の発信を希望します。
- ・ 前述の通り、大径管に対する有益な知見が得られているが、得られた構造体としての情報と実験室レベルで取得した単軸の試験結果や解析結果との関連性、これまでの知見に対して、“どのような”新しい知見が得られたか、あるいは、“どの程度”高度化が可能となったのか、今後は“どのように”発展させていくのか、などについてわかりやすく、明確に発信できると良いと考える。

<今後に対する提言>

- ・ ボイラ大径管の内圧クリープ試験のように、大掛かりで長期に及ぶ試験については、スケールダウンした小径管の短期内圧クリープ試験のデータを蓄積して、その結果を試験計画に反映することが望ましい。
- ・ ボイラ材 HR6W の補修溶接部のクリープ強度確認試験については、低応力・長時間の実機運転条件下の安全性を確認するために、ひずみ保持制御のクリープ負荷が望ましい。
- ・ ボイラ材 HR6W のクリープ疲労試験については、クリープ同様に、溶接継手も対象にすることが望ましい。
- ・ 成果として得られた技術等はたいへん貴重であり、その技術の伝承・展開および人材育成は重要であることから、それらに対する積極的な行動と持続を期待する。
- ・ 脱炭素の流れは不可逆と考えられ様々なクリーン技術が覇権を争っている状況にあると認識。そのため、開発した技術が今後活用されていくか否かは引き続き不透明であり、この意味から、得られた成果を今後素早く実機に展開していくことを期待したい。
- ・ 実用化・事業化のために、成果を普及させる取組をより一層進められることを期待します。
- ・ 大径管の試験体は貴重なものであり、プロジェクトの終了以降も継続してさらなる検討を継続していただきたい。特に、組織分析技術、非破壊検査技術は日進月歩の進捗をみせていることから、今後も新たなアプローチを模索しながら検討を継続することを期待している。

2. 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

本技術は当初、A-USC へのリプレース等をターゲットに開発されたが、昨今のエネルギー事情の変化に対応するため、広く火力発電および関連分野に利用されることを目指したものである。この転換は、成果の早期実用化の観点において妥当であり、既に 600℃級の USC への適用例があるのは大きな成果であったと評価できる。また、開発技術は、材料等の高温強度化に直結するものであることから、技術的な活用以外に先進エネルギー機器研究開発に対する人材育成面への波及効果も期待される。さらに、電気事業者を対象とした技術の紹介も行われており、成果の早期実装が期待される。

今後に向けては、火力発電利用が縮小される方向にあることから、開発技術を既存の発電設備や関連分野に利用するために、開発技術の認知度向上を図り、適切なチャンネルを通じて技術の展開を期待したい。得られた高い技術の成果を有効活用することで、高温材料分野全般の技術向上に貢献することを望みたい。

<肯定的意見>

- ・ 当初は、USC プラントの A-USC プラントへのリプレース等をターゲットにしていたが、昨今のエネルギー事情の変化に対応するために、本プロジェクトで開発された技術が火力および関連分野に利用されることを目指したのは現実的であり、評価できる。
- ・ 開発技術は、高温強度に直結するものであり、当該の広い分野で応用ならびに活用できる。
- ・ 先ずは、600℃級の USC への適用と、実用化へ着実に進んでおり妥当である。
- ・ 既に実機への適用例があるのは大きな成果と評価する。
- ・ 成果の実装には電気事業者の認知、理解が不可欠であり、電気事業者を対象とした技術の紹介を企画していることを評価する。
- ・ 近年の世界情勢により、産業技術としての適用可能性が広範囲になり、顕著な波及効果が期待できる。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は概ね妥当と考えられ、経済効果等も期待できると考えられる。導入実績を重ねて、発電設備全般の高効率化・高信頼性化を目指す点も現実的な計画と評価される。再生可能エネルギー対応、既存 USC への活用など技術的な波及効果に加え、先進エネルギー機器研究開発に対する人材育成の面からの顕著な波及効果が期待でき、高く評価できる。

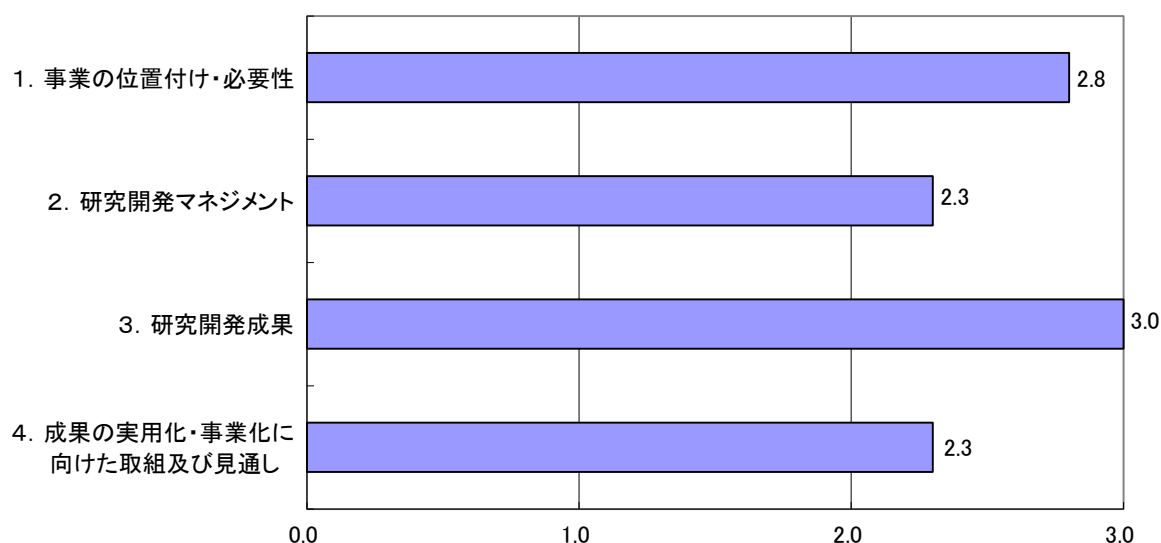
<改善すべき点>

- ・ 火力発電利用が縮小される方向にあるため、成果開発技術を既存の発電設備や関連分野に利用するための活動を工夫していただきたい。
- ・ 国内外に向けて、さらに積極的に実用化を進めていただき、情報収集に努めていただきたい。

<今後に対する提言>

- プロジェクト終了後は、メーカーが主体となり、開発技術を火力および関連分野に売込むことが期待されるが、本プロジェクトの成果はオールジャパンのものであり、国内での電力等への宣伝および海外への売込みに関しては、NEDO が取りまとめて、リードしていただきたい。
- 成果である高い技術の有効活用によって、高温分野全般の技術向上につながることを期待する。
- 本技術の水平展開を促すためには認知の向上が必要であり、適切なチャンネルを通じた技術の展開を期待したい。
- 想定される実用化・事業化が広範囲になり、それに向けて新技術の開発を期待します。
- エネルギーの安定供給のみならず経済安全保障の観点からの実用化・事業化のビジョンも提示していただきたい。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	A	A	A	A	B
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.3	A	A	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A
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	2.3	A	B	A	B	B	B

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	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
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当 →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------------

—目次—

概要

プロジェクト用語集

1. 事業の位置付け・必要性について	1-1
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
2. 研究開発マネジメントについて	2-1
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
3. 研究開発成果について	3-1
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
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	4-1
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 先進超々臨界圧実用化要素火力 発電技術開発 (2/3助成)									◆							
	※1 A-USC実証															
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向け た信頼性向上技術開発(1/2助 成)												◇	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／ 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/ 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） 青戸 冬樹（2019年4月～2021年3月） 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 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 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 (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 (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) : 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 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 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 株式会社 IHI 日本製鉄株式会社 一般社団法人電力中央研究所 一般社団法人発電設備技術検査協会 富士電機株式会社 三菱重工業株式会社						
情勢変化への 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)</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 年末までに終了するとしている。</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 事業化を見据えた経済性評価を行った 。電力事業者への開発技術導入の提案においては、 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 。
	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、 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 。
	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、 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 。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"> ・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。 ・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。 		

[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（フェーズドアレイ 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（フェーズドアレイ 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 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="387 1720 611 1783">作成時期</td> <td data-bbox="619 1720 1439 1783">2017年2月 作成</td> </tr> <tr> <td data-bbox="387 1783 611 1998">変更履歴</td> <td data-bbox="619 1783 1439 1998"> 2018年2月 改訂（PL の追記） 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） 2019年7月 改訂（PM の変更） 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） 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） 2019年7月 改訂（PM の変更） 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） 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） 2019年7月 改訂（PM の変更） 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 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 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。 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 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 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 Ultra Super Critical pressure	USC	蒸気温度 593℃以上の超臨界圧汽力発電
日本機械学会 The Japan Society of 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 CO₂ 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 CO₂ 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、CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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

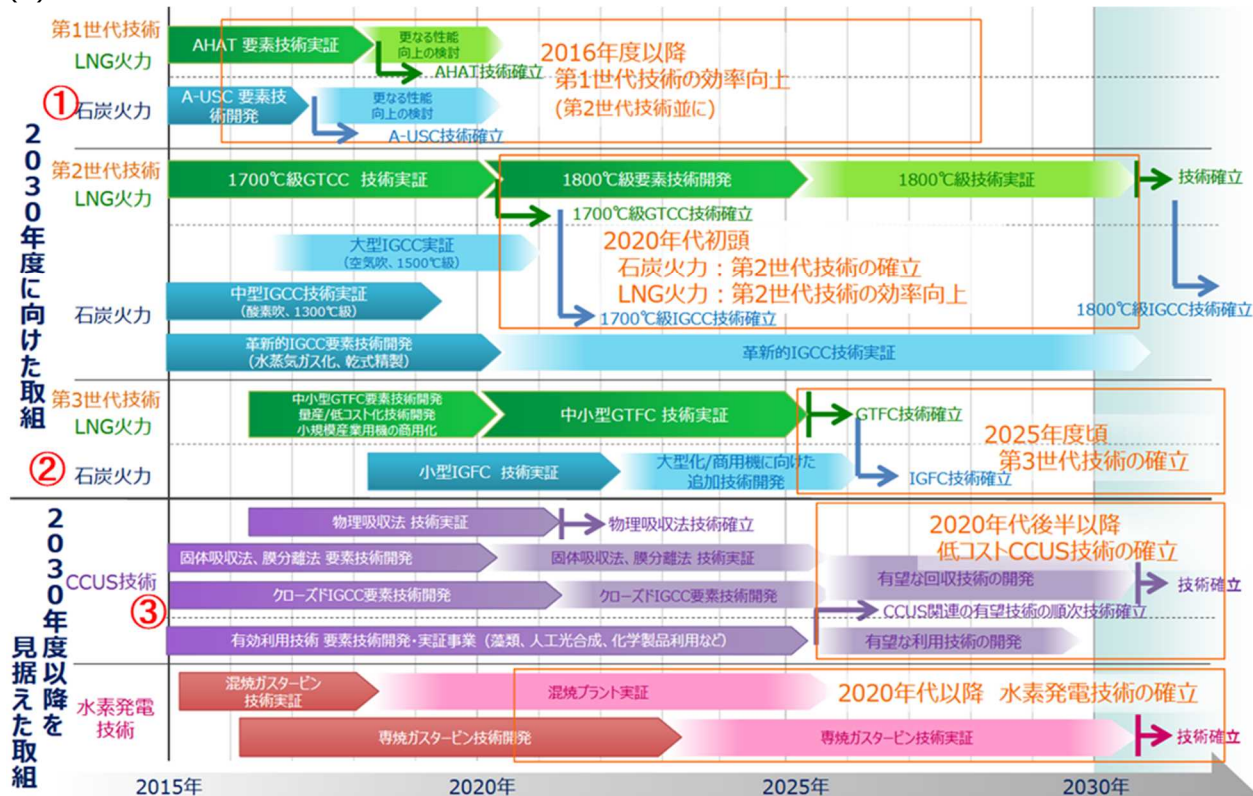
材料や製品の製造技術開発を実施し、A-USC 実証場所として、Chhattisgarh 州にある Sipat 発電所が選定。

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 ₂ 削減	① A-USCの信頼性向上技術開発 【本PJ】	A-USC適用材料の評価、保守技術の開発
高効率化によるCO ₂ 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 ₂ 回収型クローズドIGCC技術開発	CO ₂ 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 CO₂ 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、投資規模も大きいとため、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

(3)二酸化炭素 (CO₂) 排出量削減効果

76 万 t-CO₂/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 CO₂ 分離回収装置付き USC から同 A-USC となった場合の CO₂ 排出削減効果を以下の通り算出。

①USC ②A-USC ③CO₂ 分離回収装置付き USC ④CO₂ 分離回収装置付き A-USC

・送電端効率 (CO₂ 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%

・CO₂ 分離回収装置による回収率 : 90%

・CO₂ 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 CO₂ 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

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 TP 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 (百万円)	目的	成果
大径管第二回目 試験体の検査、調 査等	2021、 2022 年度	14 IHI、MHI	第二回目試験体の検査、 調査等を行い、材料劣 化、損傷状況を把握す る。	試験温度 750℃、内圧 14.7MPa の条 件で、第二回目試験を累積 610h、 2,200h 遂行後、試験体の検査、調査等 を行い、材料劣化、損傷状況を把握した。
大径管第二回目 試験のセンサ、運 転、検査、調査等	2021、 2022 年度	18 電中研	大径管第二回目試験の センサ購入、運転、検査、 調査等を行い、試験を遂 行する。また、試験後の試 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、 調査等を行った。 試験温度 750℃、内圧 14.7MPa の条 件で、第二回目試験を累積 610h、 2,200h 遂行し、多軸応力場での試験体 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 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	合計
高温長期材 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 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

プラントメーカー、材料メーカー、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。

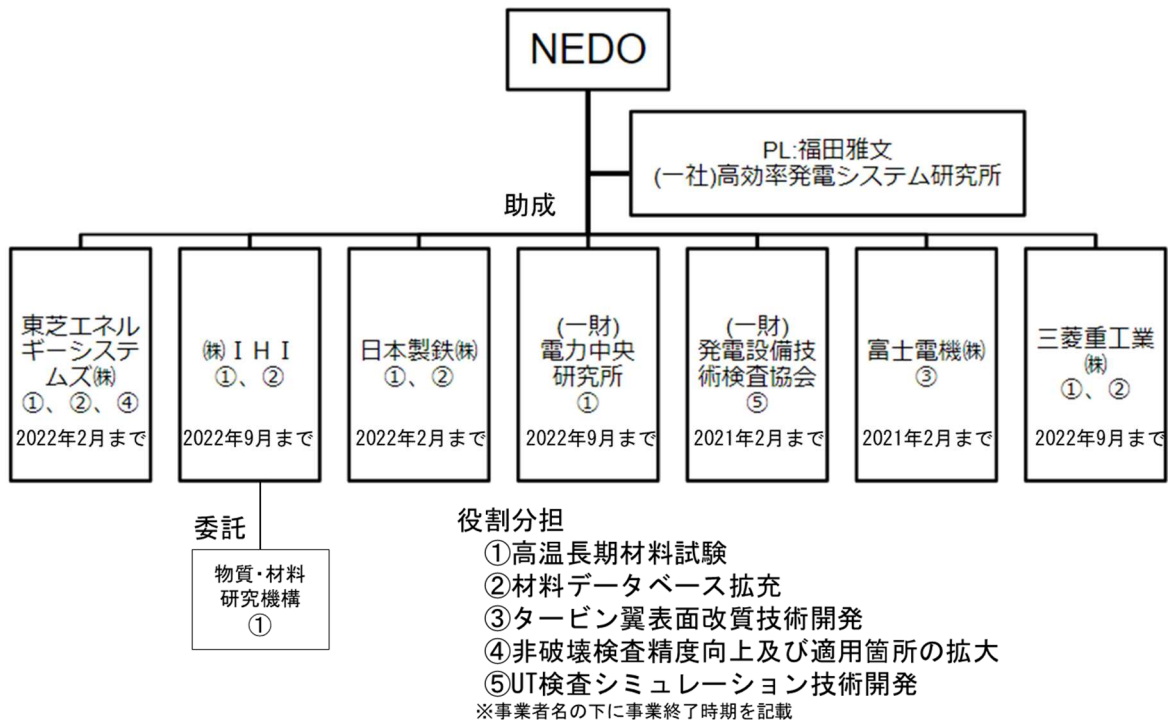


図 2.2 1 研究開発の実施体制図

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直接支援を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 事業化を見据えた経済性評価を行った。 電力事業者への開発技術導入の提案においては、 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。
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、 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。
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、 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。 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。 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 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 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 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 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。	○
(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。	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。	○
(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。	○
(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。	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 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 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 大径管内圧クリープ試験

・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。

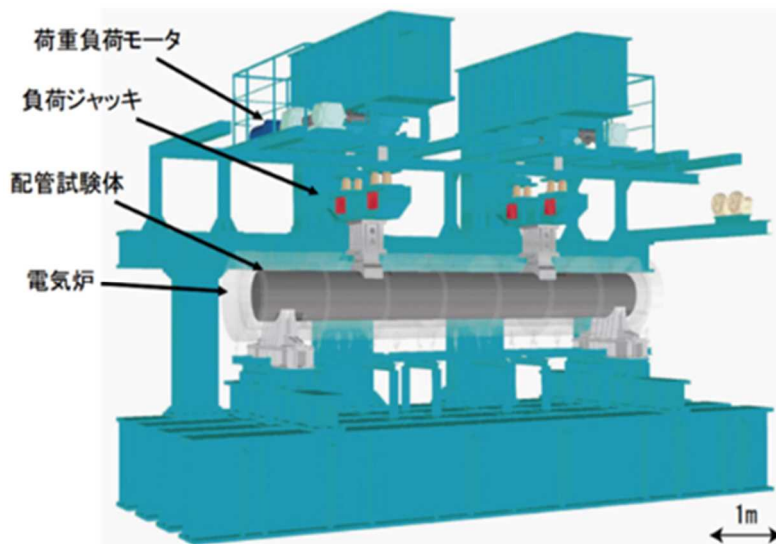


図 3.2- 1 大径管内圧クリープ試験装置の概要図

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得る。

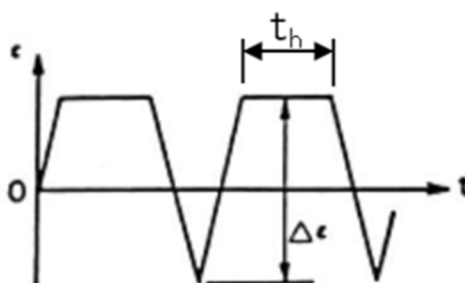


図 3.2- 3 クリーブ疲労試験の概念

・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 ・TOSIX-2クリープ破断強度 100MPa以上(@700°C、10万Hr) ・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 ・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 ・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 ・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

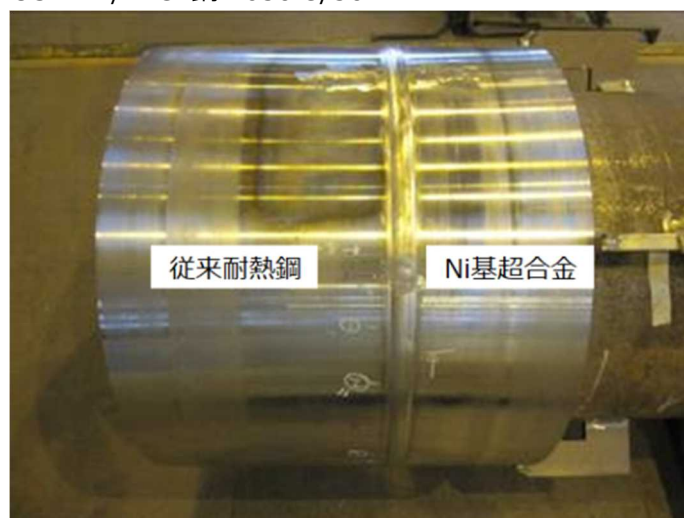


図 3.2- 5 ロータ異材溶接部 (例)

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。

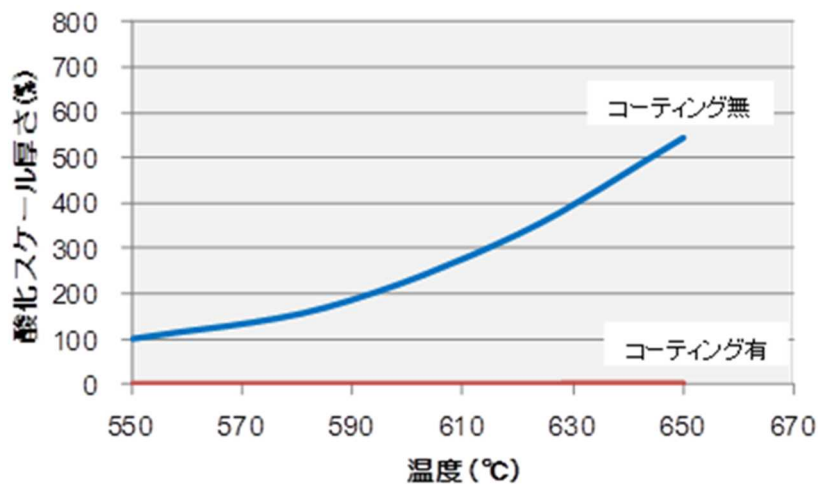


図 3.2- 6 高 Cr 鋼の参加スケール生成厚さ (既存データの引用)

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

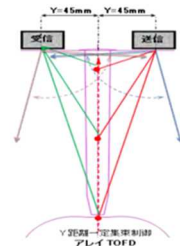
非破壊検査について高度化を行う。

- 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。

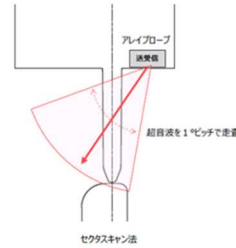
・成果

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。

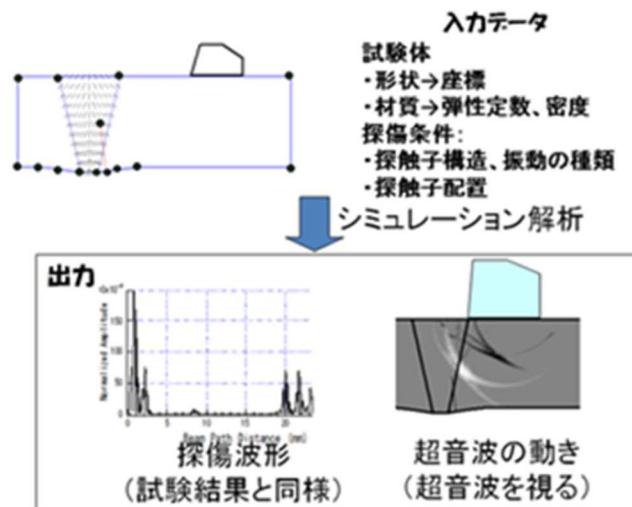


図 3.2- 8 シミュレーション解析イメージ

(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 平成 29 年	2018 平成 30 年	2019 令和 1 年	2020 令和 2 年	2021 令和 3 年	2022 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。

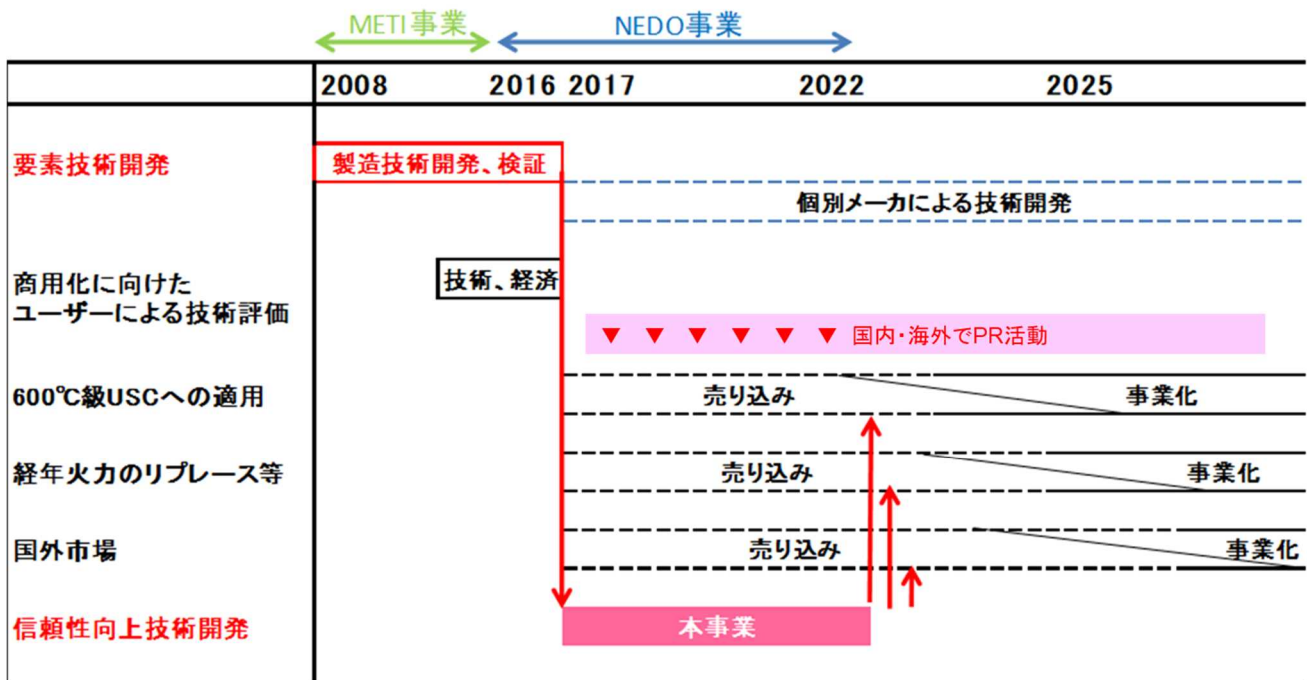


図 4- 1 実用化事業化に向けた取り組みイメージ

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、CO₂削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。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CO₂の排出を大幅に削減していくためには、あらゆる技術的な選択肢を追求していく必要があることから、CO₂を炭素資源（カーボン）と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルを推進することとしており、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、CO₂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CO₂、SO_x、NO_x、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CO₂削減を実現しうるCO₂の回収・貯留・利用（CCUS）やCO₂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、CO₂を炭素資源と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルを推進する取組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CO₂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CO₂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CO₂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CO₂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、CO₂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CO₂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CO₂排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、CO₂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CO₂を効率的に分離・回収・有効利用するための技術開発等を実施する。これまでの火力発電に係る技術開発は、個別の技術ごとに進められていたが、石炭火力、LNG火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するためには、個別技術開発を統合し、包括的かつ一体的に推進することが有効である。そこで、次世代火力発電技術に係る事業を本事業において統合し、関連

事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。また、LCA的な観点も含めたCO₂の利用に係るカーボンリサイクル技術開発を一元的に進めることで、火力発電プロセスの更なる効率化を図るとともに、CO₂排出削減に向けた取り組みの効率化を図る。

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

(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、CO₂分離・回収後においても高効率を維持する技術、CO₂フリー燃料の利用技術、低コストなCO₂分離・回収技術及びCO₂有効利用技術(カーボンリサイクル等)により、CO₂排出の削減に寄与する革新的な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、CO₂分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂という大幅な低減を達成する。また、CO₂有効利用の一例として、CO₂由来のメタンで天然ガスパイプラインの許容圧力変動幅の1割を活用して負荷変動対応に供する場合として、1,300億円相当の天然ガス代替を獲得する。また、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CO₂フリー燃料の利用、CO₂分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証、石炭灰や溶融スラグの有効利用及び削減に関する調査及び技術開発並びに排煙処理技術等の環境対策に関する調査等を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（NEDO負担1/3、2/3、1/2）により実施するとともに、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) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証 (1/3, 2/3助成)
- 3) CO₂分離・回収型IGFC実証 (1/2助成)
- 4) 信頼性向上、低コスト化 (1/3助成)
- 5) CO₂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) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発
- 7) CO₂有効利用技術開発
- 8) CO₂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 CO₂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 CO₂有効利用拠点における技術開発 [委託・助成事業]

- 1) CO₂有効利用拠点化推進事業 [委託・助成事業]
- 2) 研究拠点におけるCO₂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 CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発 [委託・助成事業]

- 1) 化学品へのCO₂利用技術開発 [委託・助成事業]
- 2) 液体燃料へのCO₂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CO₂利用技術開発 [委託・助成事業]
- 4) 気体燃料へのCO₂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 CO₂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) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

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

6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

PM: NEDO 野原正寛、PL: 契約毎に設置

7) CO₂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) CO₂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 CO₂回収型次世代IGCC技術開発

PM: NEDO 青戸冬樹、PL: 一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発

PM: NEDO 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 CO₂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 CO₂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 CO₂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⑧CO₂有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発、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⑫CO₂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⑧CO₂有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発、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⑫CO₂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

O₂有効利用技術開発及び研究開発項目⑦次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発の内容を追加した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

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

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

(5) 2017年5月

3. 研究開発の実施体制(1)研究開発実施体制 研究開発項目②の1)と2)及び④の6)のPMの変更。

(6) 2017年6月

研究開発項目④の1) 3. 達成目標に中間目標を設定し、2017年度に中間評価を実施する。

(7) 2018年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(3)研究開発の内容のうち、研究開発項目①の2)、3)の助成率を変更した。また、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発、9)機動性に優れる広付加帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究の内容を追加した。また、研究開発項目④次世代火力基盤技術開発1)次世代ガス化システム技術開発を、研究開発項目⑤に統合し、研究開発項目⑤の名称を変更した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

5. 評価に関する事項の④1)、6)、8)、9)の評価時期を追記・修正した。

6. その他の重要事項の(1)委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に注釈を追記した。

(8) 2018年7月

3. 研究開発の実施方式(1)研究開発実施体制 研究開発項目④2)、8)のPMの変更、及び、研究開発項目④5)のPLの変更、研究開発項目④6)のPLの記載変更。別紙 研究開発項目⑥ 1. 研究開発の必要性、2. 具体的研究内容にかかる記載を一部変更した(バイオマスに係る記載の追記)。

(9) 2018年9月

3. 研究開発の実施方式において、研究開発項目①及び研究開発項目④7)、9)のPLの変更、4. 研究開発の実施期間の変更、5. 評価に関する事項の研究開発項目①の中間評価時期及び事後評価時期の変更、研究開発項目④2)の評価時期変更、研究開発項目④5)の事後評価を削除。6. その他の重要事項のデータマネジメントに係る運用に研究開発項目①3)を追記。また、別紙 研究開発項目①について、期間の延長および、2)CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目④9)について、目標値を補足。研究開発スケジュール表の修正。

(10) 2019年1月

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

(11) 2019年7月

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

(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CO₂排出量が多く、地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO₂排出量の抑制が求められている。

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

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

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

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

2. 具体的研究内容

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

1) 酸素吹IGCC実証（1/3助成）

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

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証（1/3, 2/3助成）

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

合わせたCO₂液化プロセスを構築する。加えて、IGCCの負荷変動に対応したCO₂分離・回収装置とIGCC設備の運用性について実証を行う。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証(1/2助成)

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

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) CO₂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)

CO₂分離・回収型IGCCシステム及びIGFCシステムのCO₂分離・回収設備の負荷変動に対応すべく、CO₂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) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証：2016年度～2022年度
- 3) CO₂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) CO₂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_x<8ppm」、「NO_x<5ppm」、「ばいじん<3mg/Nm³」を達成する(O₂=16%)。

我が国における最新の微粉炭火力は世界的に見ても最高水準の環境諸元を達成しており、酸素吹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) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO₂分離・回収設備の詳細設計を完了する。

[中間目標(2020年度)]

1) 酸素吹 I G C C 実証

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

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

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

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

- (c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

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

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

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

2) CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 実証

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

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

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

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

- (c) プラント運用性・信頼性：CO₂分離・回収型 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、CO₂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 CO₂分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。また、生成ガスの全量を CO₂分離した場合の 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 CO₂分離・回収の費用原単位を評価する。

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

(e) IGCCプラント運用性：

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

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

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

[最終目標（2022年度）]

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

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

CO₂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CO₂分離・回収設備の追従性を確認し、運用性を検証する。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

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

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) CO₂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) CO₂分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

CO₂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）

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

1. 研究開発の必要性

2008年3月に閣議決定された「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」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、CO₂排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。

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

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

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

2. 具体的研究内容

1) 1700℃級ガスタービン

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

2) AHAT

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

3. 達成目標

1) 1700℃級ガスタービン

[中間目標（2018年度）]

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

[最終目標（2020年度）]

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

2) AHAT

[最終目標（2017年度）]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

- ・ミドル運用（年間50回以上の起動・停止）の2倍である年間100回以上の起動・停止での実証試験を実施し、等価運転時間 10,000時間以上を確保する。
（等価運転時間とは、起動・停止等の機械装置の寿命を考慮し、同等の連続運転時間とみなせる運転時間）

研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

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

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 研究開発の具体的内容

（1）システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

（2）ボイラ要素技術

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

（3）タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

（4）高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

（5）実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

3. 達成目標

[最終目標（2016年度）]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

1) 次世代ガス化システム技術開発

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

1. 研究開発の必要性

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

2. 具体的研究内容

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

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

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

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

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) IGCCシステム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

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

[最終目標（2018年度）]

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

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究

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

1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は石炭をガス化させ、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせ、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、CO₂排出原単位:280g-CO₂/kWh程度を達成し、2025年頃に技術を確立することが示されている。また、量産後は従来機並の発電単価を実現することとされている。

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

2. 具体的研究内容

小型GTFC(1,000kW級)の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC(10万kW)の要素技術を開発し、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、CO₂分離・回収を行わないIGFCとCO₂分離・回収型IGFCについて、ケーススタディを行い、送電端効率とコストの試算を行う。IGFCの実用化に向けた課題、商用化システムの検討結果及び(2)の成果を踏まえて、IGFC実証システムについて検討を行い、実証機の容量を決定のうえ、試設計を行う。

(2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガス燃料の適用性試験に供する高温型燃料電池モジュールについては、天然ガス燃料で既に実用化されている燃料電池モジュールとする。本試験に係る設計、製作、据付け等を行い、まず、天然ガスを燃料とした試運転を行う。次いで、天然ガスをH₂リッチガスに改質した燃料を用い、燃料電池モジュールの運用性、性能等を把握するとともに、天然ガス燃料の場合との比較から課題を抽出する。さらに、石炭ガス化の実ガスを燃料として、燃料電池の被毒成分をガス精製によりクリーン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)]

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

[最終目標 (2021年度)]

石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの運用性と性能を把握し、課題を抽出する。また、石炭ガス適用時の燃料電池出力変化率を天然ガスと同等の1%/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) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

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

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 具体的研究内容

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

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

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

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

(1) 酸素キャリアの評価と選定

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

(2) プラント試設計及び経済性検討

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

(3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

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

3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標（2020年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるCO₂分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

[実施期間] 2017年度～2022年度

1. 研究開発の必要性

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

また、2019年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」において、石炭は「現状において安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として評価されているが、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、適切に出力調整を行う必要性が高まると見込まれる」とされている。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) CO₂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CO₂排出量が比較的多く、将来的にCO₂分離・回収有効利用: Carbon Capture and Utilization (CCU) が検討されている。現時点ではCO₂の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造等により利益を創出する可能性がある。

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[最終目標 (2021年度)]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

8) CO₂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CO₂排出抑制技術としては、CO₂の分離・回収技術があるが、エネルギー損失が大きいことから、発電システムとしてCO₂を分離・回収できる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CO₂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、CO₂分離・回収コストの低減を目指したCO₂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

CO₂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、CO₂、水蒸気、ばいじんとなる。煤塵を集塵機で捕集し、ガス温度を下げることで水蒸気を凝縮するとCO₂ガスのみが分離・回収できる。

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

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

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

2. 具体的研究内容

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

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

表 先行研究で設定されたGTCCとしての目標性能

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

3. 達成目標

[最終目標（2021年度）]

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

研究開発項目⑤ 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」

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

1. 研究開発の必要性

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

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

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

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

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

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) I G C C システム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

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

3. 達成目標

[中間目標 (2017年度)]

CO₂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)]

CO₂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CO₂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CO₂を一層削減するには、次世代技術の普及による更なる高効率化や再生可能エネルギーの利用拡大、並びにカーボンリサイクルの推進が重要である。これらの推進を実現するには中長期的な研究開発も重要であるため、革新的技術の先導研究や調査が必要となる。

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（CO₂還元、炭酸塩化等）を進める。

3. 達成目標

[最終目標（2024年度）]

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

研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」

[実施期間] 2017年度～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「CO₂有効利用拠点における技術開発」 [委託・助成事業]

[実施期間] 2020年度～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CO₂排出量が比較的多い課題がある。このような石炭火力を中心とした産業部門から生成するCO₂を削減するため、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、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示された。

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

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

2. 具体的研究内容

1) CO₂有効利用拠点化推進事業

CO₂が得られる広島県大崎上島を研究拠点に、複数の企業や大学等が要素技術開発および実証試験等を行うための拠点化に向けた検討および整備を行い、拠点の運営業務、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CO₂有効利用技術開発・実証事業

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

3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

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

[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、CO₂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CO₂有効利用技術の経済性、CO₂削減効果等を評価する。

[最終目標（2026年度）]

CO₂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CO₂有効利用技術の経済性、CO₂削減効果等を評価する。

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

1) 化学品へのCO₂利用技術開発

[実施期間] 2020年度～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（CO₂）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CO₂利用技術については、既存の化石燃料由来化学品に代替可能でありCO₂削減・CO₂固定化に繋がること、高付加価値品製造に利用可能であること、新規技術導入による効率向上やコスト低減の可能性があること等から、カーボンリサイクル技術として実現への期待は大きい。一方で、現状では基礎研究レベルに留まる研究も多く、今後重点的に技術開発に取り組むべき分野である。

2. 具体的研究内容

CO₂を原料とした化学品の合成において、CO₂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、CO₂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、CO₂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）]

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

[中間目標（2025年度）]

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

[最終目標（2026年度）]

CO₂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CO₂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（CO₂）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。

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

2. 具体的研究内容

CO₂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、CO₂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）]

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

[中間目標（2025年度）]

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

[最終目標（2026年度）]

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[中間目標(2022年)]

コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物などへの各CO₂利用技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[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CO₂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CO₂削減効果および経済性評価を実施する。

[最終目標(2026年度)]

CO₂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CO₂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(CO₂)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CO₂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CO₂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CO₂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

CO₂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)]

CO₂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)]

CO₂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CO₂、SO_x、NO_x、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CO₂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、CO₂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。

CO₂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CO₂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CO₂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 CO₂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、CO₂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、CO₂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CO₂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】

CO₂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CO₂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-CO₂/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CO₂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、CO₂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CO₂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CO₂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、CO₂分離・回収プロセスとCO₂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

CO₂分離・回収エネルギーを1.5GJ/t-CO₂を達成する固体吸収材・システムを開発する。

(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

[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、CO₂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CO₂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CO₂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CO₂分離・回収エネルギー1.5GJ/t-CO₂の目途を得る。

(3) 二酸化炭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CO₂分離・回収エネルギーについて、実用化段階(数百万t-CO₂/年規模を想定)で回収エネルギー0.5GJ/t-CO₂以下を達成する分離膜技術を開発する。

(4) 二酸化炭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CO₂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CO₂の分離・回収において、CO₂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CO₂の分離・回収においては実用化段階でCO₂分離・回収エネルギーが0.5GJ/t-CO₂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	
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2助成) 4) 信頼性向上、低コスト化(1/3助成) 5) CO ₂ 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															
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700°C級ガスタービン(1/2助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1															
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1															
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																				
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)																				
2) 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 ₂ 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 ₂ 有効利用技術開発(委託)																				
8) CO ₂ 分離・回収型ポリジェネレーションシステム技術開発(委託)																				
9) 機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究(委託)																				
研究開発項目⑤ CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発(委託)																				
研究開発項目⑥ カーボンサイクル・次世代火力推進事業(委託)																				
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)																				

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 CO ₂ 有効利用拠点における技術開発(委託・助成)											◇			◇	
	CO ₂ 有効利用拠点化推進事業														
	研究拠点におけるCO ₂ 有効利用技術開発・実証事業														
研究開発項目⑨ CO ₂ 排出削減・有効利用実用化技術開発(委託・助成)															
1) 化学品へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇			◇	
	化学品へのCO ₂ 利用技術開発														
2) 液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇			◇	
	液体燃料へのCO ₂ 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 ₂ 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 ₂ 利用技術開発														
4) 気体燃料へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)												◇			◇
	気体燃料へのCO ₂ 利用技術開発														
研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業(委託・助成)								◇			◇			◇	
1) 石炭利用環境対策推進事業(委託)				※2											
	石炭発熱性調査・先導研究、スラグの規格化、石炭灰発生量及び有効利用実態調査、石炭灰利用・削減技術開発等														
2) 石炭利用技術開発(2/3補助)				※1											
	セメント不使用フライアッシュ製造技術開発														
	石炭ガス化溶融スラグのコンクリート実規模性能試験														
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・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 CO ₂ 分離回収技術の研究開発(※3)									◇		◇				◇
1) 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発				※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															
	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				※1											
	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															
	二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発														

※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 火力発電負荷変動対応技術開発・実証事業													◇		◆
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											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				
2) 石炭火力の負荷変動対応 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、 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 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 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 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 論文集特集号 「動力・エネルギーシステム 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 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 検査技術			
8	大熊喜朋	IHI	石炭焚きボイラの概要 と最新動向	ガスタービン 学会誌	無	2018年3 月
9	須賀威夫	東芝 ESS	700℃級 A-USC 蒸気タ ービンロータの回転試 験を完了	東芝レビュー 2017年度成果 号	無	2018年3 月
10	西井俊明他	電源開 発	「10. A-USC 開発」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 月
11	福田雅文	高効率 発電シ ステム 研究所	「2. A-USC 開発の概 要」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 月
12	福田雅文	高効率 発電シ ステム 研究所	「11. 実機メンテナ ンス技術の深耕」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 月
13	高橋武雄	東芝 ESS	「3. システム設計」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 月
14	橋本憩太他	MHI	「5. 過熱器, 再熱器お よび蒸気配管の製造技 術開発検証」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 月
15	大熊喜朋他	IHI	「8. 実缶試験の目的、 概要、設備設計製作、運 転の概要と成果等」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 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 ESS	「6. タービン材料と 要素技術開発」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 月
18	中野隆他	MHPS	「9. 回転試験」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 月
19	寺田芳弘他	東京工 業大学	鍛造 Fe-Ni 合金 HR6W の時効析出挙動	日本金属学会 誌	有	2019年1 月
20	仙波潤之	新日鐵 住金	「4. ボイラ材料技術開 発」	火力原子力発 電技術協会誌	無	2018年10 月
21	大熊喜朋他	IHI	700℃級 A-USC ボイラ 実証のための実缶試験 結果	IHI 技報	有	2018年9 月
22	齋藤伸彦他	MHI	Evaluation of stress relaxation cracking susceptibility in Alloy 617 for advanced USC boilers	Internatinal Journal of Pressure Vessels and Piping	有	2018年10 月
23	生沼駿他	東芝 ESS	析出強化型鍛造 Ni 基 超合金のクリープ劣化 損傷機構および硬さ法 によるクリープ余寿命 評価	日本材料学会 誌「材料」	有	2018年12 月
24	齋藤伸彦他	MHI	Effect of Creep Degradation on Hardness Changes of Ni-based Alloys for A-USC Power Boiler	ISIJ International	有	2019年9 月掲載予 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 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 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 「材料」	有	2019年12月
29	生沼駿他	東芝 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 「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 「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 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 博士後期課程 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」 (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 「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 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 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 喜朋 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 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
11	大熊 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 佳紀 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 ポスターセッション	2017年11月
13	野村 恭兵 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 ポスターセッション	2017年11月
14	環野 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 ポスターセッション	
15	山崎 直樹	IHI	Creep Rupture Strength and Microstructure for Weld Joint of 23Cr-45Ni-7W Alloy	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 ポスターセッション	2017 年 11 月
16	北村 雅樹 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 高温強度・破壊力学合同シンポジウム	2017 年 12 月
17	生沼 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 耐熱金属材料第 123 委員会 60 周年シンポジウム ポスターセッション	2017 年 11 月
18	齊藤 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 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 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 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 駿他	東芝 ESS	γ' -Ni ₃ (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 佳紀 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 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 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 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 林剛 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 隆一 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 英治	MHPS	Clean Energy with steam turbine technology	ASME TURBO EXPO 2019	2019 年 6 月
36	福田 雅文 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 BASED ALLOY HR6W USING FULL THICKNESS SPECIMEN	CONFERENCE ON ADVANCES IN HIGH TEMPERATURE MATERIALS	
38	生沼 駿他	東芝 ESS	Creep Life Assessment of g' Precipitation Strengthened Ni-based Superalloys for High Efficient Turbine Components	JOINT EPRI -123HiMAT CONFERENCE ON ADVANCES IN HIGH TEMPERATURE MATERIALS	2019 月 10 月
39	齋藤 伸彦 他	MHI	Evaluation of Weld Cracking Susceptibility of Candidate Ni-based Alloys for Advanced USC Boilers	JOINT EPRI -123HiMAT CONFERENCE ON ADVANCES IN HIGH TEMPERATURE MATERIALS	2019 月 10 月
40	須賀 威夫 他	東芝 ESS	Development of Steam Turbine for A-USC Power Plant	JOINT EPRI -123HiMAT CONFERENCE ON ADVANCES IN HIGH TEMPERATURE	2019 月 10 月

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

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

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

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「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」(事後評価)

(2017年度～2022年度 6年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO
環境部

2022年 11月16日

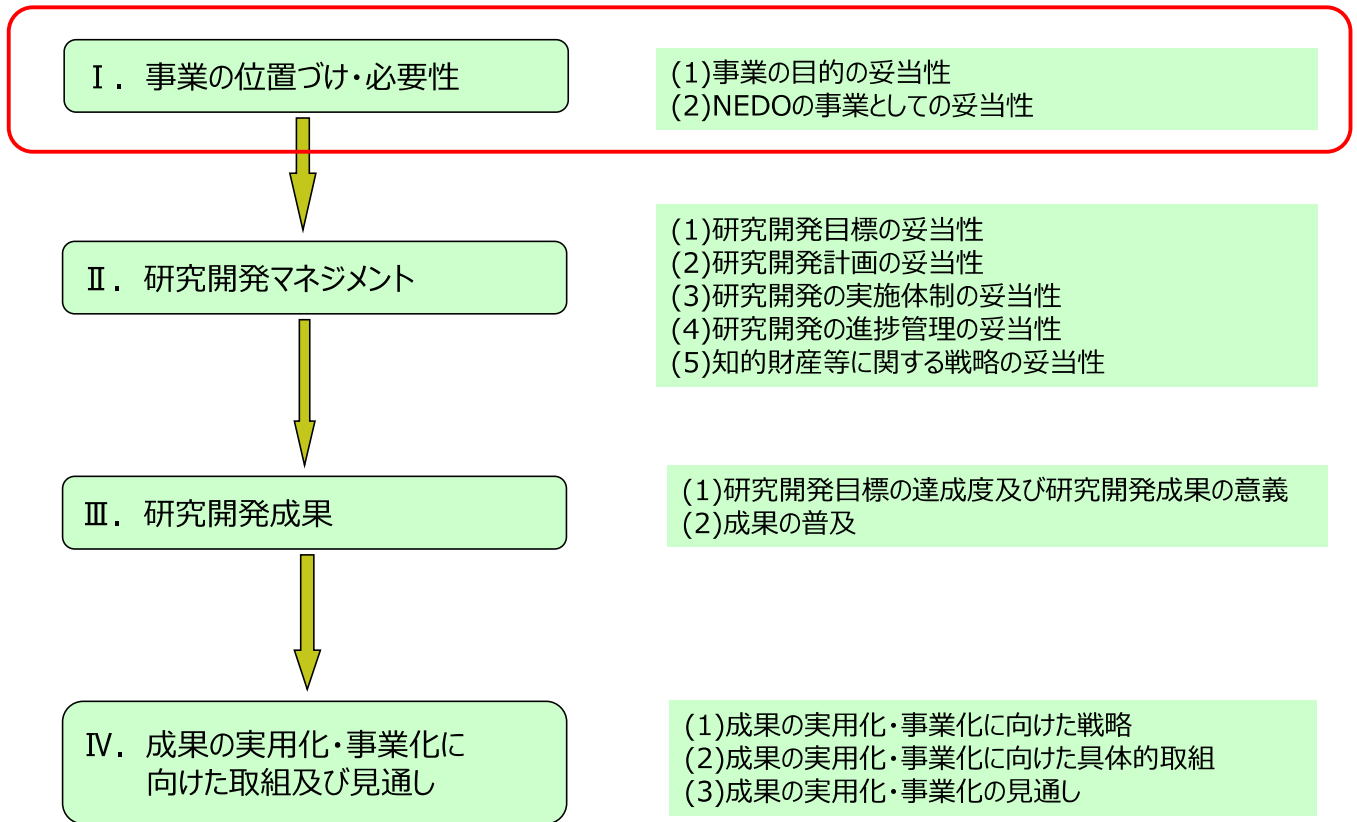
本事業のこれまでのスケジュールと、本事後評価の対象期間の位置づけ

- 本事業(カーボンリサイクル・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、2017年度から2022年9月まで事業を実施。
- 今回は、前回、2019年に実施した中間評価以降の期間を対象とし、事後評価を実施いただく。

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



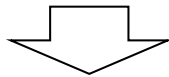
1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

【開始当時】

社会的背景

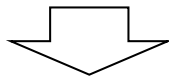
温暖化対策は世界的課題



高効率発電技術開発によるCO₂排出量削減の必要性

事業の目的

火力発電の熱効率向上によるCO₂排出量の抑制



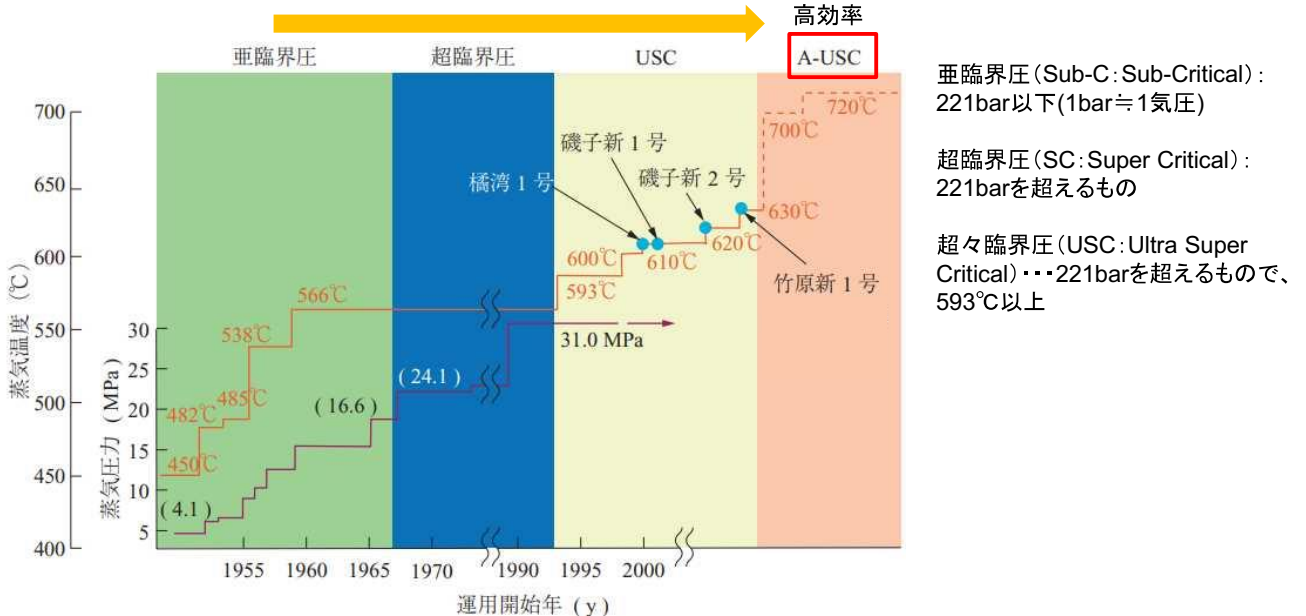
2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレイス及び熱効率向上需要に対応するため、700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン材料の信頼性向上及び保守技術開発を行った。

【参考】石炭火力の変遷

【開始当時】

石炭火力の高効率化は、蒸気温度・圧力の向上によって達成されてきた。

⇒最新鋭であるUSCから、さらにA-USC (Advanced Ultra Super Critical) と呼ばれる技術開発を開始した。

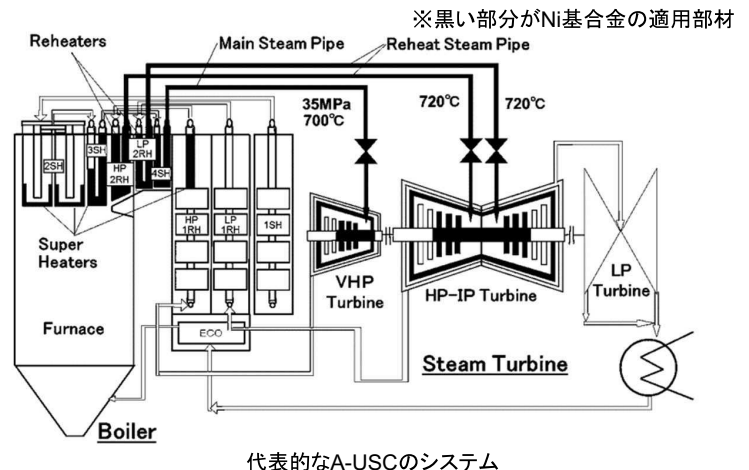
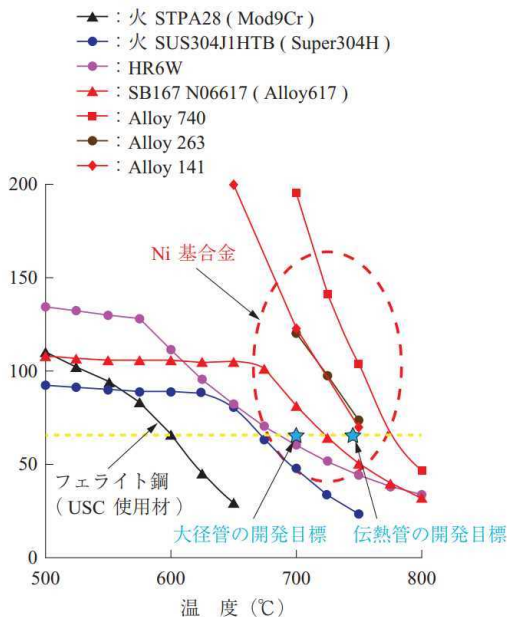


出典: IHI Ni 基合金が拓く高効率な発電ボイラへの道 を基にNEDO作成
https://www.ihico.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/eb13a1fccb295195eda9ebb91730fb5d.pdf

【参考】石炭火力の変遷

【開始当時】

現行の最新USCで使用される高クロム鋼は、A-USCの高い温度条件で使用できないため、よりクリープ強度に優れたNi基材料の適用に向け、信頼性向上、および保守技術開発を進めてきた。



出典: 福田雅文 先進超々臨界圧火力発電(A-USC)技術開発を基にNEDO作成
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jspmee/3/2/3_78/_pdf-char/ja#:~:text=2000%20%E5%B9%B4%E3%81%AB%E3%81%AA%E3%82%8B%20%E3%81%A8,%E3%81%A8%E7%A7%B0%E3%81%95%E3%82%8C%E3%81%A6%E3%81%84%E3%82%8B%E3%80%82

◆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)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
⇒既設火力への展開も可能

【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、CO₂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られるための技術(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)

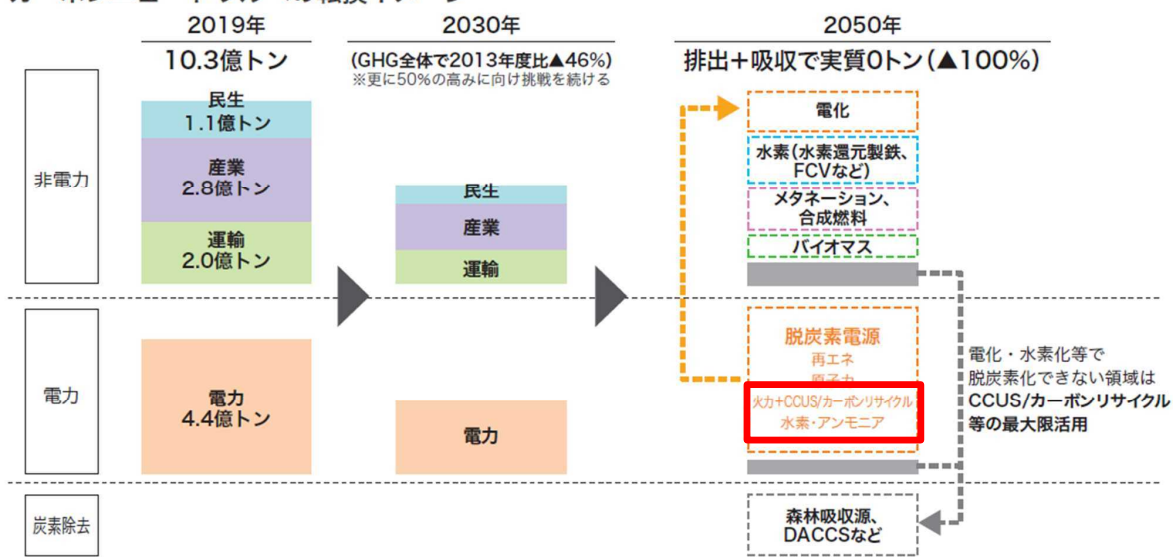
火力発電については、**安定供給を大前提に**、再エネの瞬時的・継続的な発電電力量の低下にも対応可能な供給力を持つ形で**設備容量を確保しつつ**、以下を踏まえ、**できる限り電源構成に占める火力発電比率を引き下げる。**

- ・調達リスク、発電量当たりのCO₂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/カーボンリサイクル等のCO₂排出を削減する措置の促進**に取り組む。

【参考】カーボンニュートラルへの転換

2050年のカーボンニュートラルに向けて、電化の進展により電力需要の増加が見込まれる中、**火力発電所はアンモニア・水素等の脱炭素燃料の混焼やCCUS/カーボンリサイクル等の脱炭素化に取り組む必要がある。**

カーボンニュートラルへの転換イメージ



※数値はエネルギー起源CO₂
 DACCS (direct air capture with carbon storage): 大気中にすでに存在するCO₂を直接回収して貯留する技術

【参考】脱炭素化火力に向けた本事業の期待

本事業の成果によって既設石炭火力における将来のアンモニア混焼や、CCUS/カーボンリサイクルを見据えたCO₂分離回収装置が想定されるが、本事業の成果によって、燃料費低減や更なるCO₂排出削減効果が期待できる。

○燃料費の低減

年間 4,967万ドル

(算定の考え方)

出力70万kW、利用率70%におけるUSCとA-USCの年間燃料費の差を低減額とした。

- ・アンモニア価格、発熱量: 452(\$/t)、22.5(MJ/kg)※
- ・石炭価格、発熱量: 108.58(\$/t)、26.08(MJ/kg)※
- ・送電端効率: USC 41%、A-USC 46%
- ・混焼率(エネルギーベース): 50%

USCの年間発電電力量は42.92億(kWh/年)

アンモニア混焼に必要な燃料量は以下

- 石炭: 42.92億(kWh/年) × 0.5 × 3.6(MJ/kWh) / 0.41 / 26.08(MJ/kg) = 7.225億(kg/年)
- アンモニア: 42.92億(kWh/年) × 0.5 × 3.6(MJ/kWh) / 0.41 / 22.5(MJ/kg) = 8.375億(kg/年)

アンモニア混焼に必要な燃料費は4.5698億(\$/年)

- 石炭: 7.225億(kg/年) / 1000(kg/t) × 108.58(\$/t) = 0.7845億(\$/年)
- アンモニア: 8.375億(kg/年) / 1000(kg/t) × 452(\$/t) = 3.7853億(\$/年)

A-USCとした場合の燃料費の差

4.5698億(\$/年) - 4.5698億(\$/年) × 0.41 / 0.46 = 0.4967億(\$/年)

○CO₂回収効率向上についてはp18参照

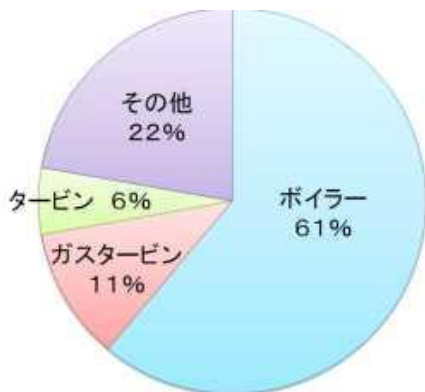
※出典: METI資源エネルギー庁 発電コスト検証ワーキンググループ「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告」

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/#cost_wg

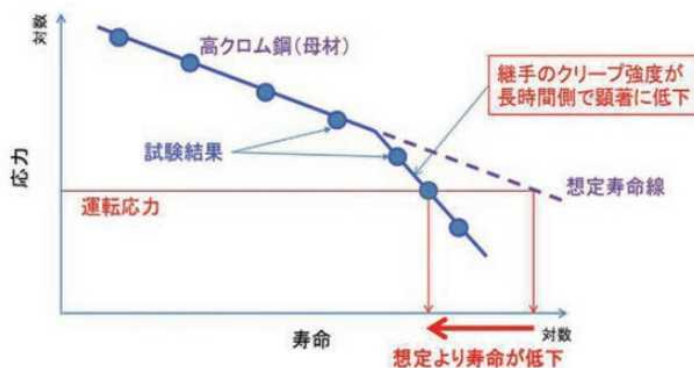
【参考】既設USC等の高温部への適用

脱炭素化された既設火力は、調整電源として引き続き、安定した運転が求められる。火力発電所の計画外停止は、設備別ではボイラーが多く、**特にUSCに適用されている高クロム鋼は長期の信頼性向上が求められる。**

経年劣化の進む既設USCに、本事業の研究対象である**Ni基材を適用することで、電力の安定供給、経済性向上に寄与できる。**



設備別の計画外停止








高温・長時間領域における母材の寿命

出典: METI (報告) 今冬の火力発電所の計画外停止(故障トラブル)について H25年3月
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/pdf/002_11_00.pdf

出典: 電力中央研究所 火力発電プラントにおける高温/高圧蒸気配管(高クロム鋼配管)の余寿命診断技術
<https://criepi.denken.or.jp/koho/topics/201410vol17.pdf>

【参考】昨今のエネルギー情勢と火力発電の役割について

- 近年、石炭火力の廃止をはじめとする電力分野の脱炭素化の流れが世界的に加速していたが、本年2月のロシアのウクライナ侵攻によりエネルギーを巡る情勢は一変し、火力発電についても、その役割が見直されている。
- 国際的なエネルギー価格の高騰や、ロシア産エネルギー比率の低減等を背景に、欧州の一部の国々においては、電力の安定供給確保の観点から、一時的に石炭火力の使用を増やす動きも出ている。
- 一方で、6月のG7首脳会合においては、電力分野の脱炭素化や、排出削減措置が講じられていない石炭火力のフェーズアウトの加速など、引き続き電力分野の脱炭素化を進めていくことが確認された。
- こうした中で、日本においては、電力需給の厳しい状況が続いており、安定供給を支える火力発電の重要性が増している。

ドイツ		<ul style="list-style-type: none"> ● 政府がガスの安定供給に対する脅威を認めた場合に稼働させるため、安定供給のため待機中の石炭火力等を期間限定で電力市場に復帰させることのできる法改正が成立。(6月8日)
イギリス		<ul style="list-style-type: none"> ● 22/23年冬季の電力安定供給に向けて、2022年中に廃止予定だった石炭火力2カ所(計330万kW)を年内に廃止せず運転を延長する方針を発表。(5月27日)
オランダ		<ul style="list-style-type: none"> ● 石炭火力発電所に課していた発電量制限(設備容量の35%の上限)の撤廃し石炭火力発電の利用を増やす方針を発表。(6月20日)
オーストリア		<ul style="list-style-type: none"> ● 政府と電力大手Verbundは、Mellach火力発電所(ガス燃焼、24万6,000kW、熱電併給)を石炭燃焼に改造し、ロシアからのガス供給制限等の緊急時に再稼働することで合意。(6月19日)
フランス		<ul style="list-style-type: none"> ● 2022年3月31日に運転が停止され、同年中に廃止される予定であった石炭火力発電所(設備容量61万8,000kW)について22/23年冬季の再稼働にむけて準備を開始する方針を固めた。(6月26日)

出典: METI 第52回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 2022年7月を基にNEDO作成
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/052_05_01.pdf

◆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

後継

＜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

◆国内外の研究開発の動向と比較

○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

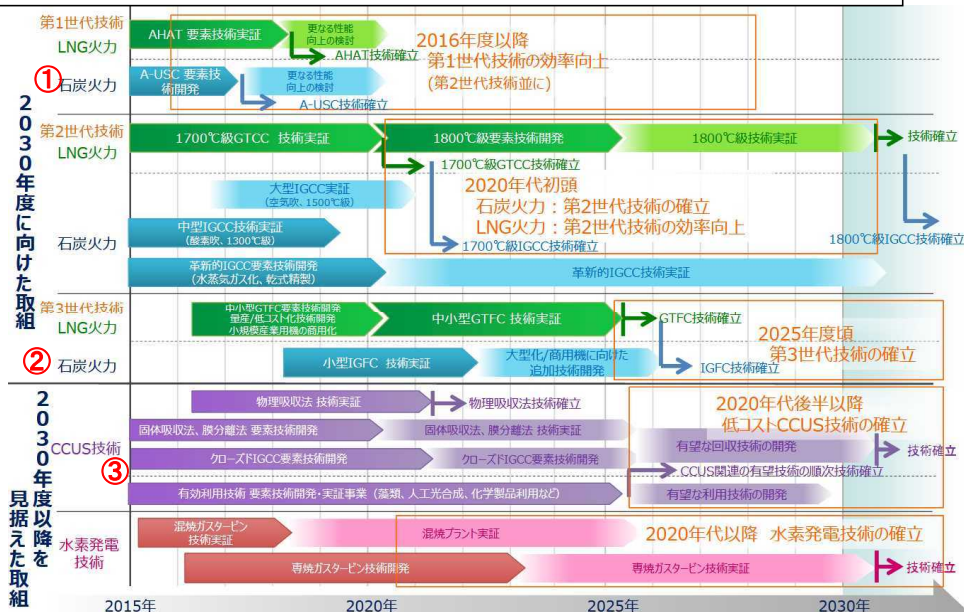
材料や製品の製造技術開発を実施し、A-USC実証場所として、Chhattisgarh州にあるSipat発電所が選定。

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/>



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

◆他事業との関係

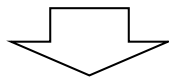


狙い	関連するNEDOプロジェクト	開発内容
高効率化によるCO ₂ 削減	① A-USCの信頼性向上技術開発【本PJ】	A-USC適用材料の評価、保守技術の開発
高効率化によるCO ₂ 削減	② 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業(IGFC)	IGCCに燃料電池を組み込んだIGFCの実証
CCUS	③ CO ₂ 回収型クローズドIGCC技術開発	CO ₂ 分離回収に最適化した発電方式

◆NEDOが関与する意義

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CO₂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。



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

◆実施の効果 (費用対効果) 1/3

○プロジェクト費用の総額 15億円(補助額7.5億円)

○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(TWh/年)=1000(GWh/年)の発電に必要な発電容量は、 $1000(\text{GWh}/\text{年})/365(\text{日}/\text{年})/24(\text{h}/\text{日})/0.7=0.163(\text{GW}/(\text{TWh}/\text{年}))$
 - ・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
 $5\text{億円}\sim 50\text{億円}/\text{基} \times 15\text{基} = 75\text{億円}\sim 750\text{億円}$
- 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

◆実施の効果 (費用対効果) 2/3

(参考)各国、地域の石炭火力発電電力量

Table A.21: Coal generation (TWh)

	Historical			Stated Policies		Announced Pledges		Sustainable Development	
	2010	2019	2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050
World	8 671	9 912	9 468	8 744	6 293	7 969	4 160	5 843	1 088
North America	2 106	1 144	912	462	58	156	53	146	51
United States	1 994	1 070	858	450	55	144	50	144	50
Central and South America	43	66	66	34	21	13	13	6	-
Brazil	11	21	17	12	9	0	-	0	-
Europe	1 068	726	593	254	173	179	177	75	22
European Union	755	491	386	110	15	35	20	35	20
Africa	259	260	241	251	175	204	74	166	31
Middle East	0	1	3	17	29	17	29	7	7
Eurasia	236	267	247	235	242	235	242	86	-
Russia	166	188	168	144	127	144	127	46	-
Asia Pacific	4 958	7 448	7 406	7 491	5 594	7 165	3 572	5 357	977
China	3 264	4 899	4 958	4 704	3 349	4 579	1 410	3 867	738
India	658	1 181	1 127	1 389	947	1 389	947	777	110
Japan	317	329	316	202	65	192	50	192	50
Southeast Asia	185	483	479	667	830	667	830	358	29

出典: IEA World Energy Outlook 2021年10月
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>

◆実施の効果 (費用対効果) 3/3

二酸化炭素(CO₂)排出量削減効果

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CO₂分離回収装置付きUSCから同A-USCとなった場合のCO₂排出削減効果

76万t-CO₂/年

※USCとA-USCのCO₂排出量をCO₂分離回収装置あり/なしで比較すると、CO₂排出量は装置ありの方が2ポイント改善する

(算定の考え方)

①USC ②A-USC ③CO₂分離回収装置付きUSC ④CO₂分離回収装置付きA-USC

・送電端効率 (CO₂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%

・CO₂分離回収装置による回収率:90%

・CO₂排出係数

①:0.806(kg/kWh)※

②:0.806(kg/kWh) × (41/46) = 0.718 (kg/kWh)

③:0.806(kg/kWh) × (41/34) × (1-0.9) = 0.097(kg/kWh)

④:0.806(kg/kWh) × (41/39) × (1-0.9) = 0.085(kg/kWh)

CO₂分離回収装置なしの場合

A-USCにするとCO₂排出量**11%**低減

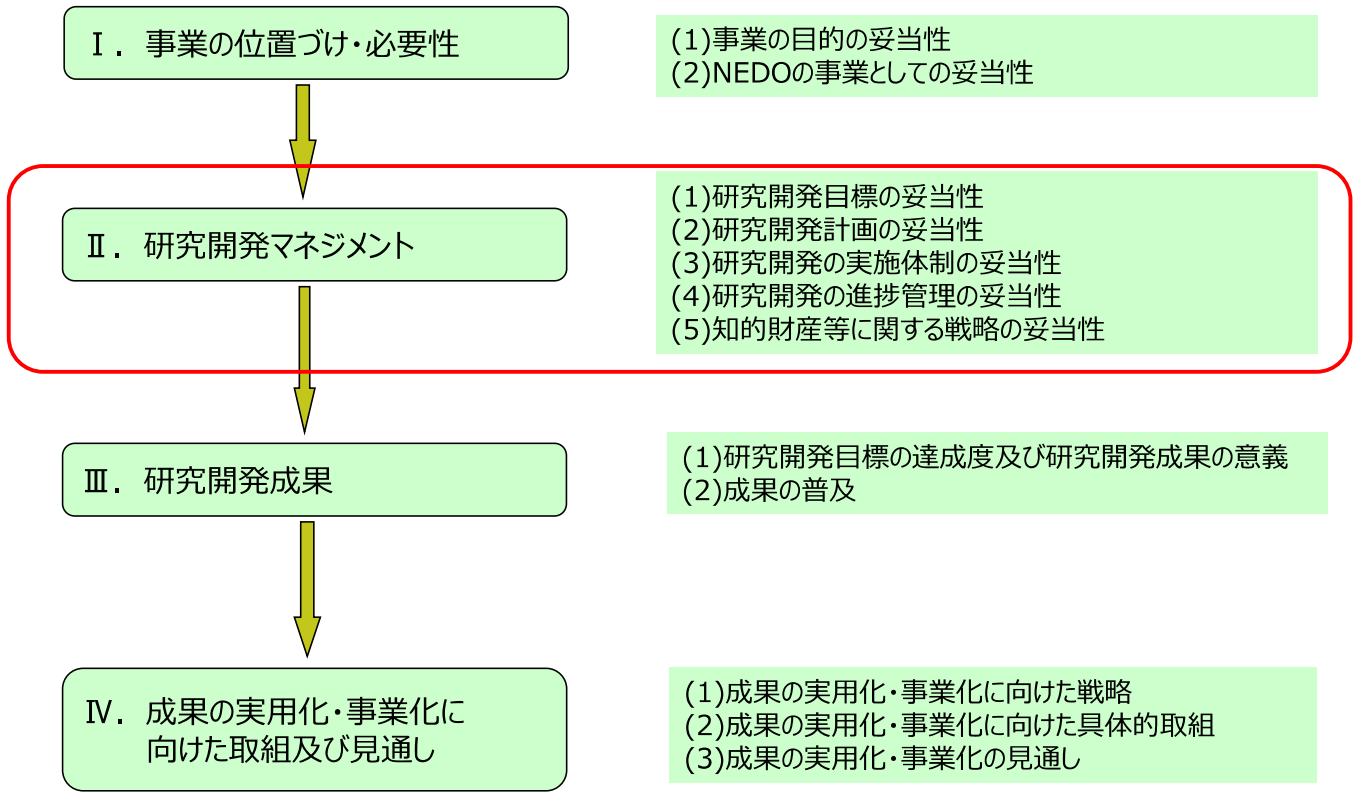
CO₂分離回収装置ありの場合

A-USCにするとCO₂排出量**13%**低減

・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CO₂削減量(③、④比較)

1,000万kW × 8,764h × (0.097-0.085)(kg/kWh) = 76万t-CO₂/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



2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆事業の目標

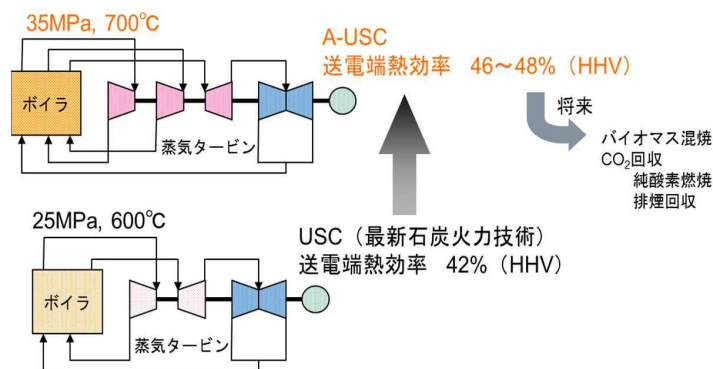
最終目標(2022年度)

・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。

**A-USC : 700℃超級の次世代超々臨界圧プラント
(Advanced-Ultra Super Critical)**



2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 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。それを補完するため、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完するために、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適用時の校正 TP および校正作業を削減するとともに適用範囲を拡大し、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。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。

21

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 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)

	◇ 中間評価						事後評価 ◆
	平成29年度 2017	平成30年度 2018	令和1年度 2019	令和2年度 2020	令和3年度 2021	令和4年度 2022	
1) 高温材料信頼性向上技術開発							
(a) 高温長期材料試験 大径管内圧クリープ試験					1回目	2回目	
	1体目設計、製作、試験、まとめ						
			2回目設計、製作、試験、まとめ				
短冊一軸クリープ試験	試験条件	試験体製作、試験および中途止め検査					
長時間クリープ疲労試験	試験条件	試験片製作、試験					
(b) 材料データベース拡充	タービン用Ni基材料の材料劣化挙動、損傷評価技術開発						
	タービンロータ溶接部長時間健全性評価						
	ボイラ配管・伝熱管等の規格化・寿命評価データ構築						
(c) 表面改質技術開発	高Cr鋼の表面改質技術開発						
2) 保守技術開発							
(a) 非破壊検査法の精度向上 及び適用箇所の拡大		フェーズドレイTOFD法、セクタスキャン法の精度化					
(b) UTシミュレーション	ボイラ部材UTシミュレーション技術開発						

22

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆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)

下表は各研究開発項目における年度ごとの補助額を示す。

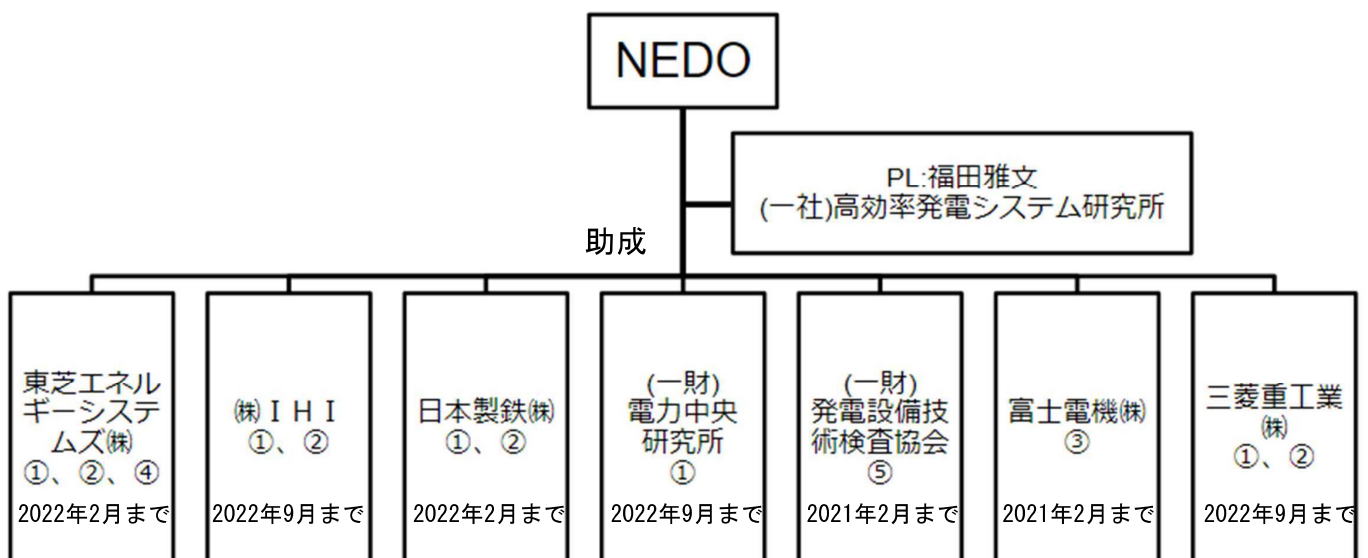
(単位：百万円)

研究開発項目		2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	合計
高温長期材料試験	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

23

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制 1/2



委託

物質・材料研究機構
①

役割分担

- ①高温長期材料試験
- ②材料データベース拡充
- ③タービン翼表面改質技術開発
- ④非破壊検査精度向上及び適用箇所の拡大
- ⑤UT検査シミュレーション技術開発

※事業者名の下に事業終了時期を記載

24

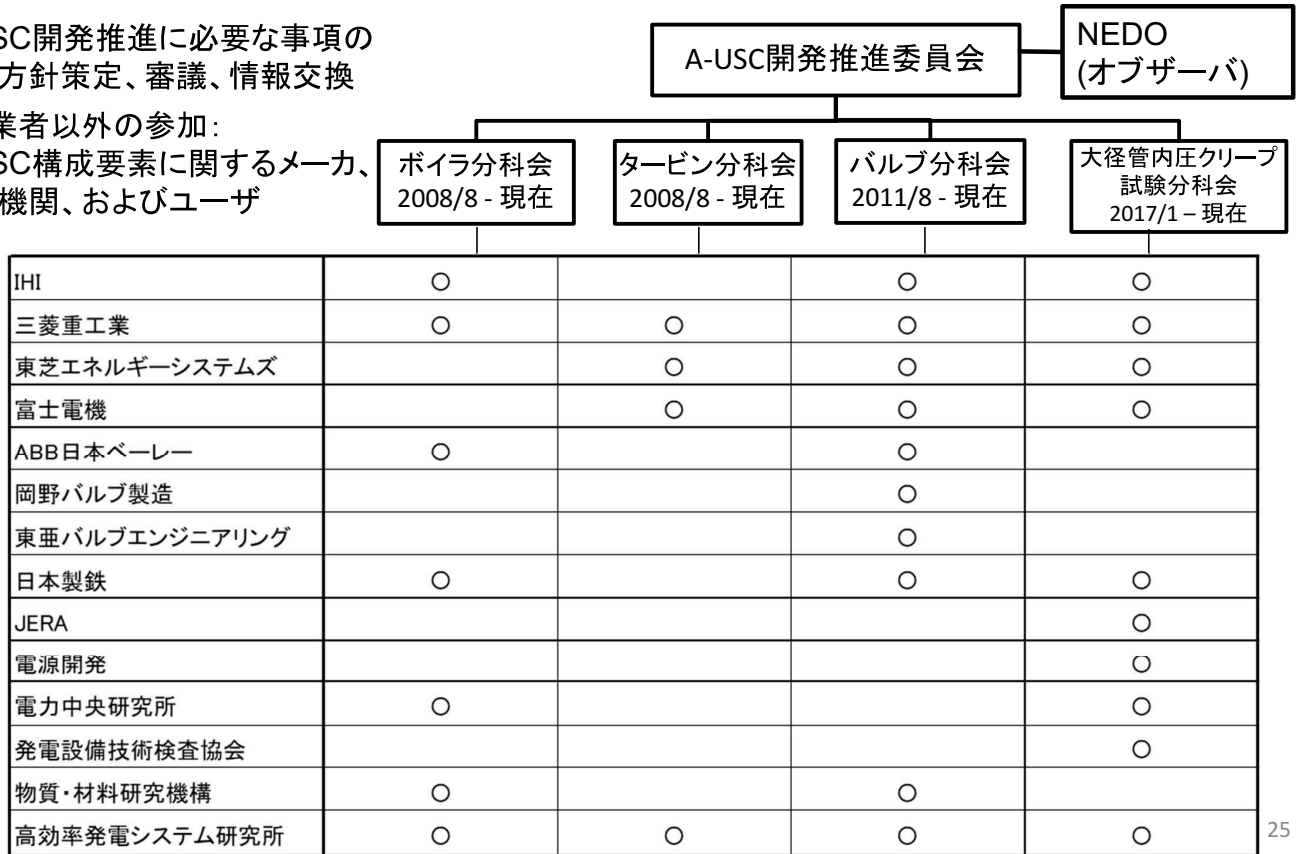
◆研究開発の実施体制 2/2

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

助成事業者以外の参加:

A-USC構成要素に関するメーカー、
研究機関、およびユーザ



◆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した。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た。
- ・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、問題をチェックした。
- ・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、問題をチェックした。必要に応じ、関係者会議を開催した。
- ・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、問題をチェックした。

◆ 動向・情勢の把握と対応

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直接支援を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。

27

◆ 開発促進財源投入実績

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

◆ 中間評価結果への対応 1/2

下記は、主な指摘事項に対する対応。

	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 事業化を見据えた経済性評価を行った 。電力事業者への開発技術導入の提案においては、 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 。
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、 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 。
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、 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 。今後事業展開を図る。

29

◆ 中間評価結果への対応 2/2

下記は、主な指摘事項に対する対応。

	評価項目	指摘	対応
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と良い。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。 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。

30

◆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得られるので、多くのノウハウ蓄積に重点を置いた。

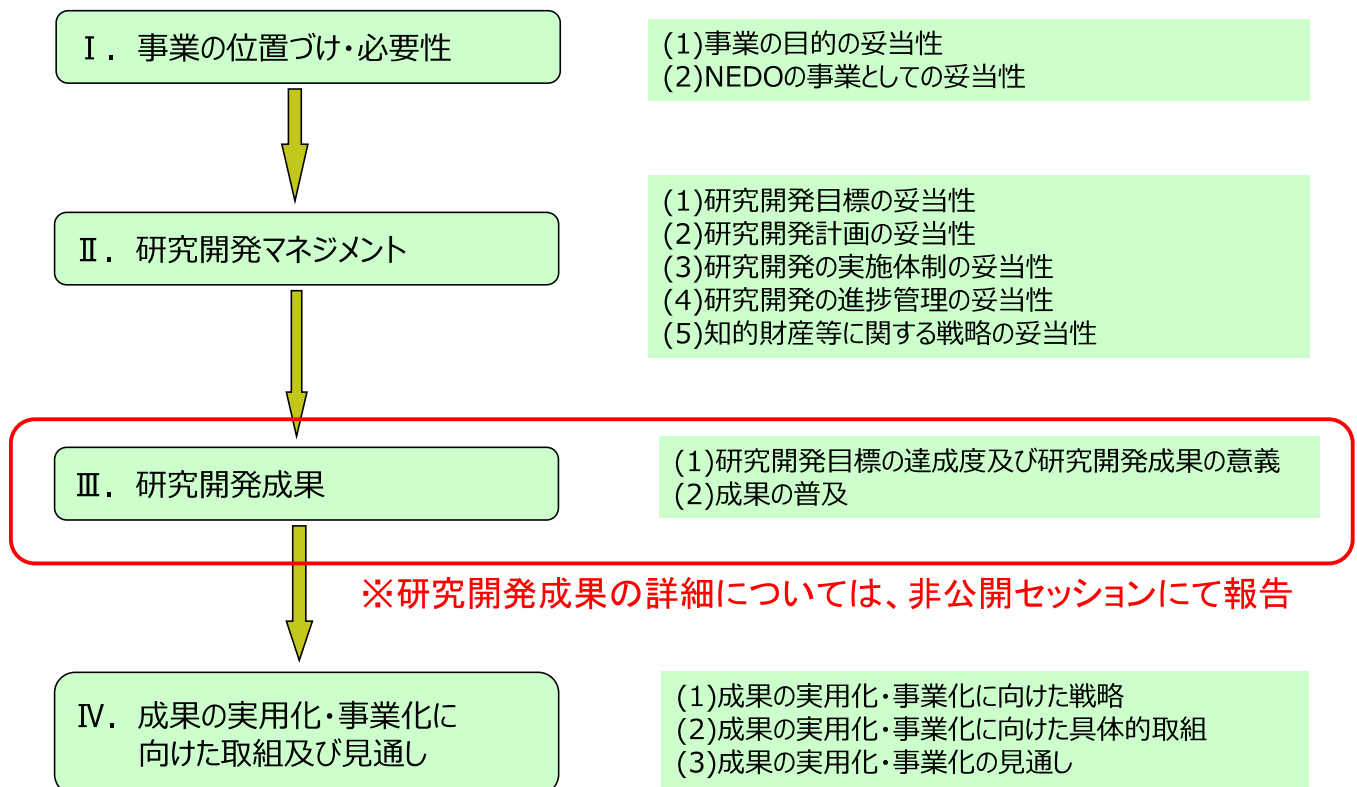
そのため特許出願はないものの、主に以下のノウハウを取得した。

- －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)

◆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。

発表内容



◆研究開発項目毎の目標と達成状況 1/3

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 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°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 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°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。	○
(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。	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。	○

達成度: ◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 2/3

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			
(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。	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。	○
(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。	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。	○
(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。	○
(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。	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。	○

達成度: ◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 3/3

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
2) 保守技術			
(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(フェーズドアレイTOFD法、セクタスキャン法)精度向上及び適用箇所拡大をする。	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拡大をした。	○
(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。	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。	○

達成度: ◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

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。

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。

◆ 各個別テーマの成果と意義 1/9

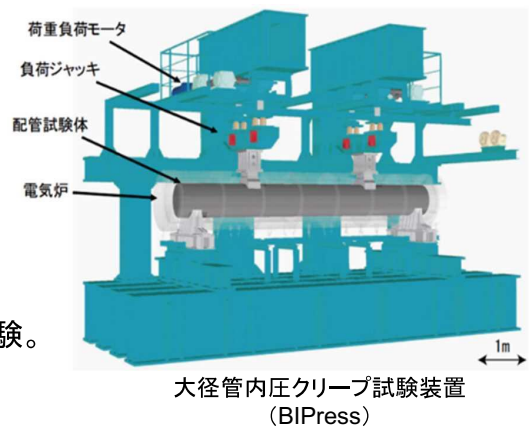
1) 高温材料信頼性向上技術開発

1)-(a)-1 大径管内圧クリープ試験

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。



大径管内圧クリープ試験装置 (BIPress)

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。

◆ 各個別テーマの成果と意義 2/9

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℃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。



損傷した短冊一軸クリープ試験体

短冊一軸クリープ試験まとめ

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

試験中断理由: それまでの試験結果から特性を十分確認できたため

◆各個別テーマの成果と意義 3/9

1)-(a)-3 長時間クリープ疲労試験

試験内容

クリープ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。

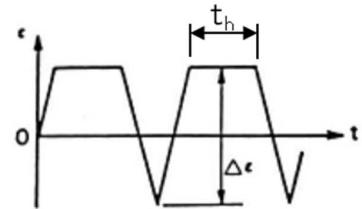
- ・試験の条件を実機運転状況に近づけるために保持時間 t_h が従来より長い試験を行っている。
- ・実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。

成果

下表に示すような保持時間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。

幅広いデータを得た。

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。



クリープ疲労試験の概念

長時間クリープ疲労試験条件

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

◆各個別テーマの成果と意義 4/9

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。

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。



水蒸気環境中クリープ試験機、水蒸気環境中疲労試験機

タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価実施項目、目標

実施項目	目標
①クリープ破断試験	<ul style="list-style-type: none"> ・7万時間程度の長時間クリープ破断データを取得 ・TOS1X-2クリープ破断強度 100MPa以上(@700°C、10万Hr) ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気雰囲気中での機械試験を実施する ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・寿命評価データを構築する

◆各個別テーマの成果と意義 5/9

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

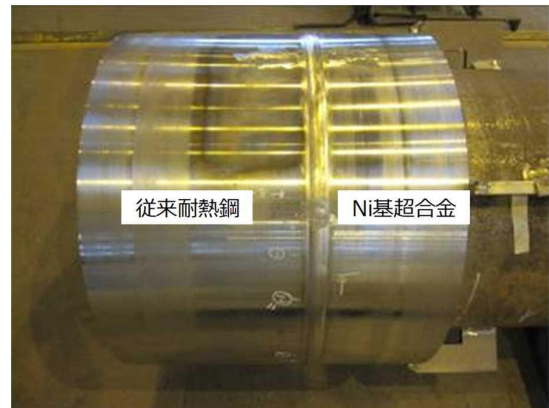
タービン用Ni基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部(下図)の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。

- ・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°C/10khr
- ・異材 TOS1X-2/12Cr鋼 :630°C/30khr



ロータ異材溶接部(例)

41

◆各個別テーマの成果と意義 6/9

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

42

◆各個別テーマの成果と意義 7/9

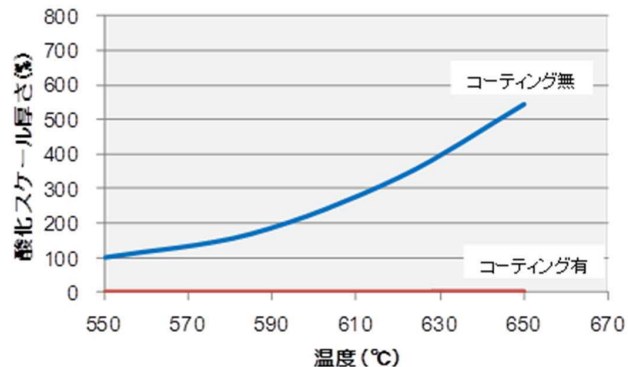
1)-(c)-1 タービン翼表面改質技術

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

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。



◆各個別テーマの成果と意義 8/9

2) 保守技術開発

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

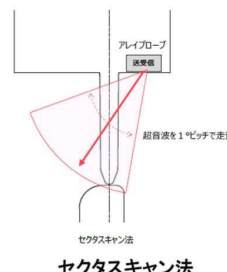
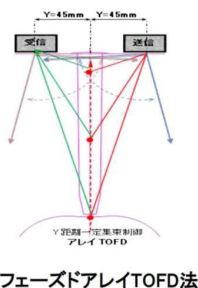
非破壊検査について高度化を行う。

- ・製造する実機のロータ径 (φ 400~1200mm) 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。

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



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。

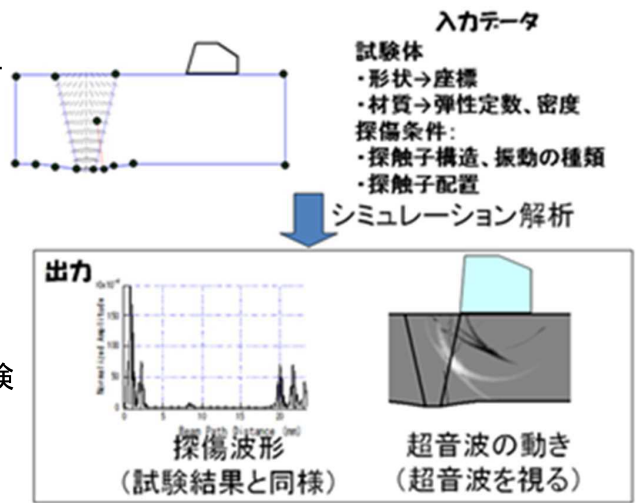
◆各個別テーマの成果と意義 9/9

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。



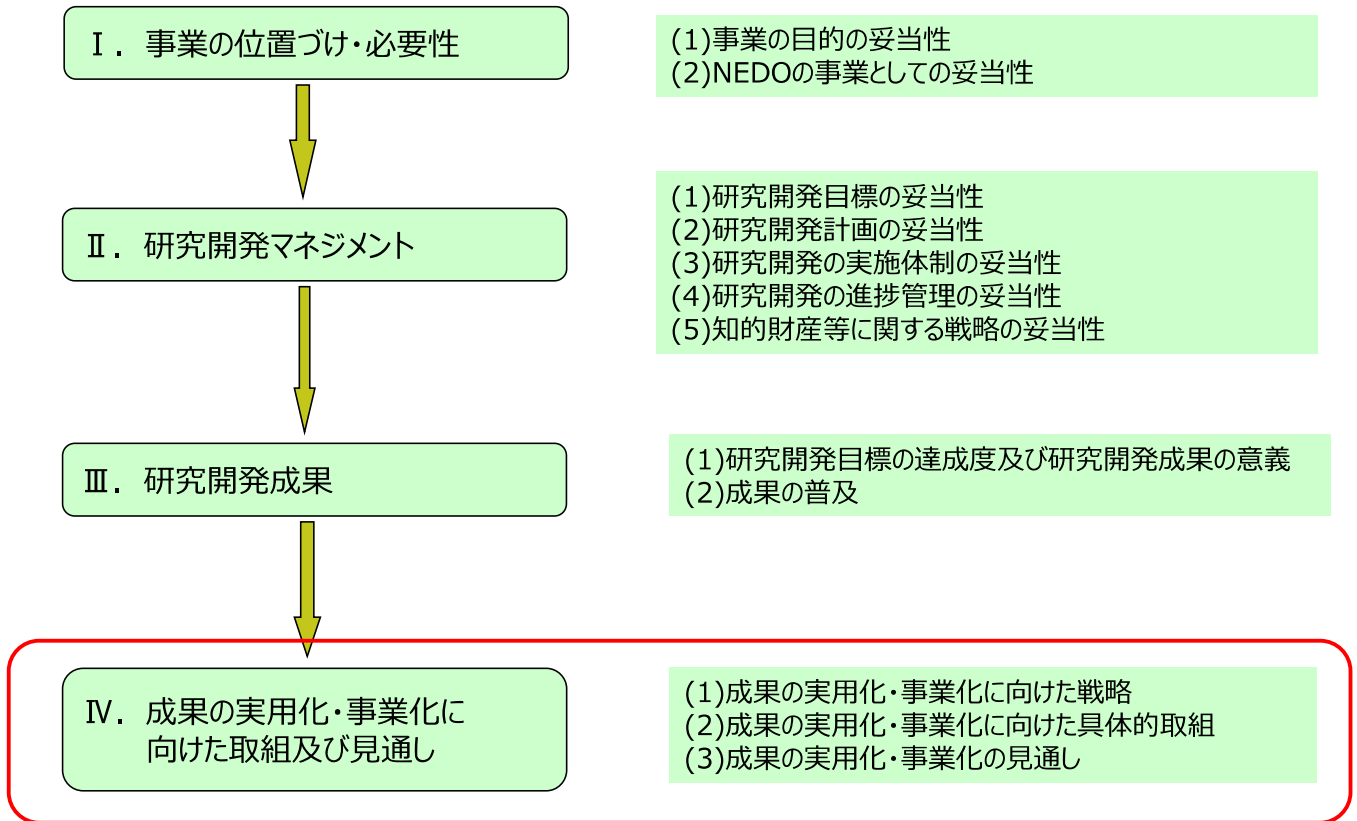
成果

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。

◆成果の普及

日本機械学会、火力原子力発電技術協会誌への寄稿や、海外での講演などを通じて成果の普及に努めた。

	2017 平成29年	2018 平成30年	2019 令和1年	2020 令和2年	2021 令和3年	2022 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

◆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。

◆ 実用化・事業化に向けた戦略 技術の段階的導入

■ 技術の段階的導入

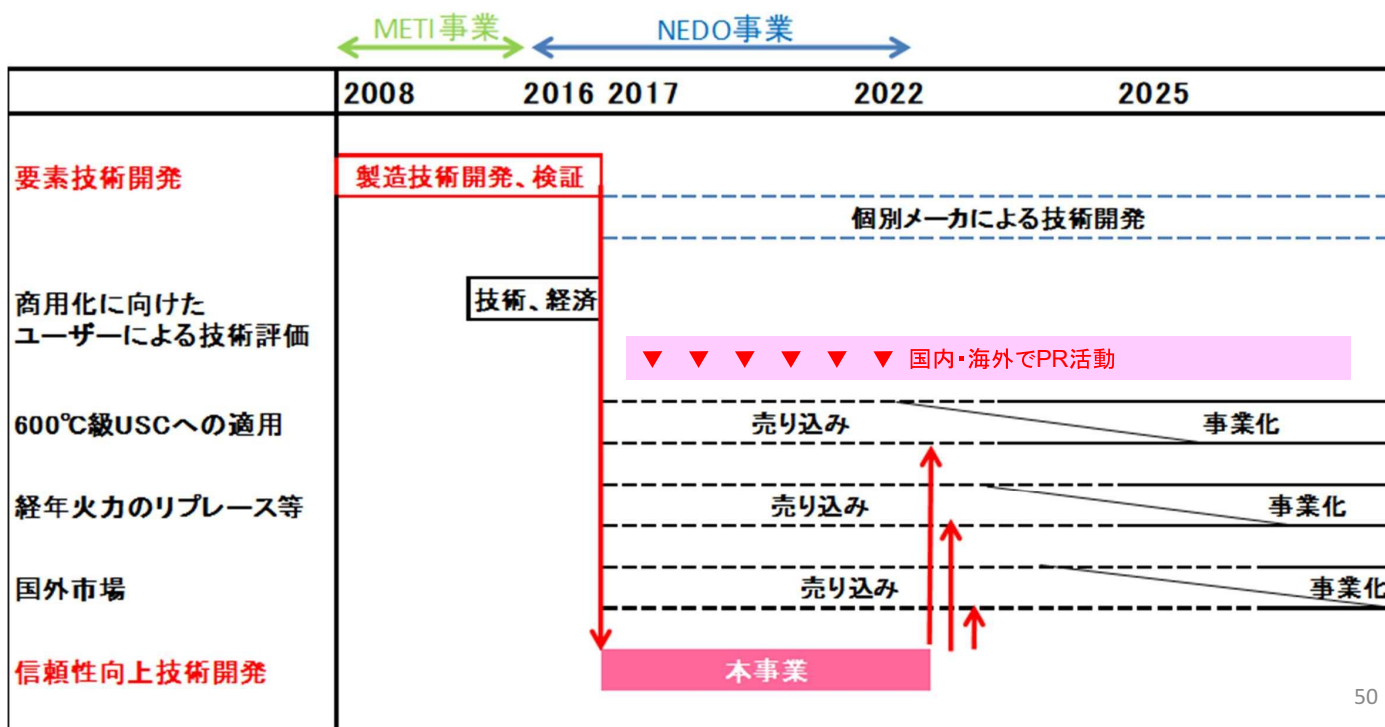
A-USCは主蒸気温度、圧力、再熱蒸気温度の設定に自由度があるので、USCと同様に、導入実績を重ねつつ、より蒸気条件が高いシステムの実現を目指す。

■ 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。

◆ 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。



◆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°C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、これまでの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°C(最大連続負荷時)

□使用圧力 4.97MPa(最大連続負荷時)

51

◆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を育成し、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名輩出した。)

52

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
「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」(事後評価) 分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2022年11月16日(水) 11:00~17:00

場 所 : NEDO川崎本部 2301~2303 会議室 (オンラインあり)

出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	野中 勇	元東北大学 教授
分科会長代理	伊藤 隆基	立命館大学 理工学部 機械工学科 教授
委員	井上 敏彦	中国電力株式会社 執行役員 東京支社 支社長
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 担任補佐 国際情勢分析 第1グループ マネージャー 研究理事
委員	山口 富子	九州工業大学 大学院 工学研究院 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 機械工学コース 准教授

<推進部署>

上原 英司	NEDO 環境部 部長
在間 信之	NEDO 環境部 統括調査員
阿部 正道	NEDO 環境部 主任研究員
西里 友志(PM)	NEDO 環境部 主任
内田 康史	NEDO 環境部 主査

<実施者>

福田 雅文(PL)	一般社団法人 高効率発電システム研究所 代表理事
西ノ入 聡	一般財団法人 電力中央研究所 エネルギートランスフォーメーション研究本部 材料科学研究部門 研究推進マネージャー 上席研究員
野村 恭兵	株式会社 IHI 技術開発本部 技術基盤センター 材料・構造グループ 主査
川田 康貴	東芝エネルギーシステムズ株式会社 エネルギーシステム技術開発センター 材料技術開発部 構造材料・強度評価技術グループ
富永 公彦	三菱重工業株式会社 エナジードメイン SPMI 事業部 ボイラ技術部 主席技師
西牧 航志郎	富士電機株式会社 発電プラント事業本部 川崎工場 機械設計部 計画設計課 課長
古川 敬	一般財団法人 発電設備技術検査協会 溶接・非破壊検査技術センター 所長
浜口 友彰	日本製鉄株式会社 技術開発本部 関西技術研究部 材料研究室 材料開発課 主幹研究員

<オブザーバー>

笹山 雅史	経済産業省 資源エネルギー庁 長官官房カーボンリサイクル室 /資源・燃料部石炭課 課長補佐
桑原 崇浩	経済産業省 資源エネルギー庁 長官官房カーボンリサイクル室 /資源・燃料部石炭課 技術一係長

<評価事務局>

森嶋 誠治	NEDO 評価部 部長
佐倉 浩平	NEDO 評価部 専門調査員
松田 和幸	NEDO 評価部 専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - b) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
- 5.2 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 高温長期材料試験
 - 6.2 材料データベース拡充
 - 6.3 高Cr鋼の表面改質技術開発
 - 6.4 非破壊検査法の精度向上及び適用箇所の拡大
 - 6.5 UT検査のシミュレーション技術開発
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より行われた事前説明及び質問票のとおりとし、議事録に関する公開・非公開部分について説明を行った。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より行われた事前説明のとおりとした。
5. プロジェクトの概要説明

5.1 a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

b) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

実施者より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.2 質疑応答

【野中分科会長】 ご説明いただきありがとうございました。これから質疑応答に入りますが、技術の詳細につきましては次の議題6での取扱いとなるため、ここでは、主に事業の位置づけ、必要性、マネジメントに関する議論を行います。それでは、事前にやり取りをした質問票の内容も踏まえまして、何かご意見、ご質問等はございますか。

井上様、お願いします。

【井上委員】 中国電力の井上です。もともと設定された目標に対し、十分な成果を出されているものと感じました。事前の質問でも少し伺いましたが、最初の事業の位置づけ、必要性のところでは、多分情勢が石炭に対して随分と変わってきているものと私も認識を持っております。これをセットした頃、あるいは3年ぐらい前に火力発電のロードマップみたいなものをつくった際にはA-USC というものが明確に位置づけられて、その方向にいけば炭素 CO₂の量を減らしていけるとのことでした。ですが、今の時点で申し上げますとA-USC というのを一体どのような形で今後活かされていくのかというのが、非常に私どもとしても宙ぶらりんな状況にあるのではないかと思います。そういう観点で、本来であればこれはNEDO様の仕事ではなく、国などそういう方針をつくることの業務なのかもしれませんが、A-USCのところを、例えばCO₂ゼロに向かった中でも、こういう位置づけがあって、これの中でこの研究が生きてくるといったような形によりしていただけると分かりやすいと感じます。今は、取りあえず既存のUSCの9Cr等より寿命が長い材料として十分に市場はあるとのこと、これはこれで十分よい整理だと思うのですが、当初の目標のところを少し補完できるようなシナリオなどをつくるというか、何か想定をしていけるとよりよいのではないかと思います。以上になります。

【野中分科会長】 ありがとうございます。ほかに何かございますか。久谷様お願いします。

【久谷委員】 日本エネルギー経済研究所の久谷です。今の井上様からのご発言にも関連しますが、今現在、過去5年ぐらいと比べますと、新しくアンモニアや水素あるいはCCSという技術に対する期待が非常に世界中で高まるという変化が一つ起こったものと考えます。また、従来は再エネ一辺倒であった気候変動対策ですが、実際にはこの火力技術も必要であろうという認識が結構高まってきているところでしょうか。加えて、もう一つ大きな変化として、エネルギー価格の高騰を受け、先ほどの説明にもあったように先進国でさえ石炭火力をもう少し使う。途上国においては、新設さえも少しあり得るという状況に変わりつつあるように思います。ですので、この現下の変化というのは、今回NEDO様、事業者様が開発された技術をより一層活用していけるようなサポート的な変化であるものとして見ているところです。

一方、技術というのは技術間の競争でもあります。この火力技術が先に行くのか、あるいはバッテリー等のほかの技術が先に行くのか、まだまだ見通せない部分は多々あるものと思います。ですので、今回のこの成果をより早く活用していき、投資したお金をきちんと回収していくといったことができればよいのではないかと思います。さらにもう一つ、今回の体制の中では様々な企業様が関わっておられ、一般の市場においては、ともすれば競合する関係にある企業様もいらっしゃる中、こういった様々な知見をお持ちでおられる事業者様が一体となって今回の事業で協力していったということは、NEDOの事業であったことのメリットの大きな一つと言えるでしょう。それらを含め

まして、日本中で成果を共有し活用していくような土台ができたというのが大きな成果であるという認識です。以上になります。

【野中分科会長】 ありがとうございます。ほかに何かございますか。

それでは、私のほうから少し伺います。今のお二方からのお話しとも関連いたしますが、実用化の定義を福田PLから説明を受けた中では、ここで開発した技術を、将来、ここに関わったメーカーの方が使うことの可能性を実用化と呼ぶのだといった視点がございました。資料50ページ目において、具体的にそのことが書かれていると思うのですが、このあたりについてもう少し具体的に伺えないでしょうか。

【高効率発電システム研究所_福田PL】 概要にはなりますが、私のほうからさせていただきます。今までこういう要素技術開発や今回の保守技術開発を行ってきた中で、一応技術としてはできたものと考えております。それを今度は事業化していくという段階の話になりますが、先ほどからいろいろとお話しがありますように、シンプルにリプレースや新設というのは多分なかなかないだろうと思うところです。そのため、一番ターゲットとなるところは既設火力の寿命の延長、更新といったところにこういう材料を使い、より信頼性の高いプラントを造るところが大きな狙いになると思います。また、これからはやはりネットゼロを目指しているわけですから、そういうネットゼロを見ていくと、バイオマスであるとかアンモニア焚き、こういったものをいかにものにしていくかというのがまず一つあるかと思えます。さらに、このCCUSとありますが、別途開発されている二酸化炭素の回収装置と組み合わせることで、いかに炭素、二酸化炭素の排出を減らしていくかというところで展開を図っていくかと思いますが、やはりこういう技術になると、まさにこのプロジェクトに参画している非常に有力なメーカー様が持っている技術ですから、今後それらの組合せをきちんとやっていただき、実用化に持って行っていただきたいと思っている次第です。

【野中分科会長】 分かりました。これからの技術の展開ですが、今このプロジェクトが終了した時点で、ここに参加したメンバーがまとめて行動するというような、何か技術の展開や方向性を検討するというような場はあるのか。それとも、以降はそれぞれのメーカーが独自に展開をされていくという形になるのでしょうか。

【高効率発電システム研究所_福田PL】 このプロジェクトが終わると、メーカーが一緒になって開発をするというプロジェクトはなく、将来また何かそういった機会が生じる可能性はあるとしても、A-USCについても今のところはないという状況です。ですので、現段階で言えば、個別のメーカーが基本的な技術をもう既に確立をされたということで、その技術を個別のメーカーのほかの技術とどのように組み合わせさせて実用化をして売り込んでいくかということになるかと思えます。

【野中分科会長】 分かりました。

【NEDO 環境部_上原部長】 私のほうから、少し補足をさせていただいてもよろしいでしょうか。

【野中分科会長】 よろしく願いいたします。

【NEDO 環境部_上原部長】 環境部の上原です。環境部で取り組んでいる技術開発のプロジェクトですが、比較的メーカー様と協力体制を組ませていただいて技術開発をさせていただくケースが多くございます。やはりこういったものを実際に使っていただく利用者側、ユーザー様側に対し、技術開発の段階がこれくらいまで来ているということをしっかり説明していかないといけないという問題意識を持っている次第です。それはこの事業に関わらずですが、環境部で取り扱っている火力周りの技術開発について、昨年度から電力事業者様向けに説明会といったものを開催させていただいております。これは今年度も年度内に開催しようという計画を立てているところです。例えばこういったものであるとか、ほかにもアンモニアやCCS等いろいろございますが、そういったものも含めて将来の展開に対し期待を込めてご紹介をさせていただくことで、使っていただける可能性を増やしていく。そういったこと

も環境部として取り組んでまいり所存です。

【野中分科会長】 承知いたしました。このプロジェクトの成果というのが非常に大事だと思いますから、ぜひNEDO様のほうで積極的に進めていただけたらと思います。ありがとうございました。

それでは、ほかに何かございますか。どうぞ、お願いいたします。

【NEDO 環境部_西里 PM】 先ほど井上委員と久谷委員からご意見をいただきましたが、実は3年前に中間評価を実施しており、そちらについてはNEDOのホームページで公開されているところですが、その頃は、東南アジアや中国やインドといったところに対して引き続き打って出ていけないのではないかと考えておりました。ですが、やはりここ数年でその状況も大きく変わって、ASEANの主要国の中でもカーボンニュートラルを2050年、2060年に向けて行っていくというところがあり、またインドも昨年のCOPの中で2070年にカーボンニュートラルを目指していくといったことで、非常に状況が様変わりしているところではあります。

一方で、それに対して、では、すぐに火力発電がなくなるのかといったことは実は不透明な部分があるものとして捉えている次第です。例えばインドも、2070年にカーボンニュートラルを目指していくといった中でも、来年度に向けて火力発電所が複数機稼働することが予定されておりますし、また、さらに将来的にも建設する可能性といったものが調査レポートでも上げられてございます。こういった不透明な状況の中でも、日本というのはご存じのとおり資源があまりございませんので、そういった中で世界と競争する必要があるといったときには、技術開発の引き出しを持つ必要があると考えております。そして、そういった先行きの見通せないリスクの高い技術開発というのはまさにNEDOでやる意義であると考え、この事業を引き続き継続してきた、ということをご補足させていただきます。

【野中分科会長】 ありがとうございました。それでは、時間がまいりましたので、以上で議題5を終了いたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【野中分科会長】 ここから議題8に移ります。これから講評を行います。その発言順序につきましては、最初に山崎委員から始まりまして、最後に私、野中ということで進めてまいります。

それでは、山崎様よろしく申し上げます。

【山崎委員】 千葉大学の山崎です。本日は長い時間において、非常に細かな点までご説明いただきましてありがとうございました。本プロジェクトは、中間評価時にもお話ししたとおり、非常に重要なプロジェクトとして捉えております。また、その中間報告の際には、レトロフィットというのが結構キーワードであり、本日も出てきていましたが、現状のUSCをさらに改善していくということにも適用できる部分が重要なファクターであったかと思っております。ですが、昨今の情勢としては、単純にそういうわけではなく、エネルギーの安定供給であるとか、どちらかと言うと安全保障的な観点から考えても、本プロジェクトで実施されている内容というものは非常に重要なことと考えており、実施された皆様のご功

績に対して感謝を申し上げます。

また、個々にやられていた知見も非常に重要な知見が得られており、特に大径管の構造物試験、あるいは膨大なデータのデータベースを取得している等の知見を得られている点がよかったところとして上げられます。そして、それをいろいろな企業が力を合わせてやられているところも重要だと感じてございます。加えて、途中のお話しにもあったように、やはり例えば大径管と実験室レベル、あるいはシミュレーションレベルの結果、もしくは大径管の実験結果というものは、多分今後さらに分析装置等が改善されることでまた新たな知見が得られる可能性も高いと思うところですので、ぜひ今後ともプロジェクトが終了しても継続的に検討をしていただけたらと思います。以上です。

【野中分科会長】 ありがとうございます。それでは、山口様よろしく申し上げます。

【山口委員】 九工大の山口です。近年やはり火力発電が見直されてきているという話を聞きますので、今回説明いただいた新材料開発や施工保守に関する成果は大変重要であると理解しました。また、基盤産業などはなかなか目立ちにくいところもあるのですが、今回開発された材料を含め、その成果によっては、社会貢献になり得るものですので、非常に誇りに思います。しかしながら、ここで止まってもいけない、ますます進歩をしていただかなければならないとも思いますので、今後ますますのご活躍に期待しております。本日はありがとうございました。以上です。

【野中分科会長】 ありがとうございます。それでは久谷様よろしく申し上げます。

【久谷委員】 日本エネルギー経済研究所の久谷です。本日は、非常に具体的なところをいろいろとご説明いただきまして、立派な成果を出されたこととしてよく理解をいたしました。本事業の目標をきちんと達成され、かつその道筋も非常によく管理されていたという認識です。また、この技術というのは、当初は石炭火力に適用することを想定されていたものでしたが、その実施においては様々な情勢変化があったこととして捉えております。しかしながら、本技術というのは石炭火力のみならず、火力一般、あるいはほかの分野にも応用可能であるということで、非常にすばらしい限りです。今後はこれを適切に展開していくことが重要になるかと思っておりますので、様々なチャンネルを通じて認知を広げていただく。そして、それをもって日本の技術の底上げや発展に貢献をしていくということが非常に大切になると考えます。

また、もう一つこの事業のすばらしい点として上げられるのが、民間企業様が持っておられる様々な技術、あるいはノウハウを集約された、共同の成果としたということが非常にすばらしい点だと思います。これは、恐らく NEDO 様という存在がなければ達成できなかった部分ではないでしょうか。今後もこういった成果を出し続けていただけたら幸いです。以上になります。

【野中分科会長】 ありがとうございます。それでは、井上様よろしく申し上げます。

【井上委員】 中国電力の井上です。今日は、長きにわたりまして、いろいろとご説明をいただき大変ありがとうございました。私どもの知らないことも多々ありまして、非常に勉強になった次第です。また、皆様方がおっしゃったこととも重なりますが、この研究開発がスタートした当初の目標について、プラントメーカー様、材料メーカー様、あるいは研究機関様というオールジャパンで研究開発を進めていただいて、その結果として十分な成果が得られたこととして非常に高く評価ができるものと理解しております。石炭火力のターゲットというのは、高効率からゼロカーボンというように少し変わってきていますが、それにおいても既に既設の USC の中でこの技術が十分適用されて収益が上げられるというようなところは、非常にタイムリーに目標を広げられて対応をされているものと思っている次第です。あわせて、評価の手法、規格化といった部分も行われていますから、我々ユーザーとしては非常にありがたいと感じます。現在、ウクライナ侵攻がありまして、エネルギーの安全保障の重要性が非常に高まっており、あのドイツでさえも石炭火力を延命するというような中で、この技術というのは日本のみならずいろいろなところへ波及していくのではないかとという意味でも、非常に有益であるものと

して受け止めております。

最後に、2050年のカーボンニュートラルを鑑みると、石炭火力のロードマップに、ぜひ政府、あるいはNEDOのお力によりA-USCみたいなものを少し位置づけていただきまして、より上手にこの研究が皆様のところで継続されていけたらよいのではないかと願っております。また、私どもこの11月に三隅発電所2号機という100万kWの石炭火力を動かしたばかりですので、この保守にも十分適用できるのではないかと期待をしているところです。本日はどうもありがとうございました。以上です。

【野中分科会長】 ありがとうございました。それでは、伊藤様よろしく申し上げます。

【伊藤分科会長代理】 立命館大学の伊藤です。今日の報告を受けまして、この事業における当初の目的、成果はかなり達成をされて非常に高い成果を得られたものとして理解しております。ただ、先ほど来皆様方からお話があるように、火力というものが今、カーボンニュートラルでどのように日本国としてどういった方向に進むかというところでは、まだちょっと不安定なところがあるでしょうか。特にウクライナ侵攻であるとか、エネルギーソースの供給という意味では不安定さがございます。今後どのように展開するかは分からないものの、いずれにしても、この研究で得られた成果、結果というのはいろいろなところに応用ができるものですから、ぜひとも積極的にこういった技術を他分野も含めて広げていっていただきたいと思います。

また、教育・研究者としての立場からは、ぜひともこういった技術を若い世代にきちんと引き継いでいただけたらという思いがございます。そして、これはもしかするとNEDOの事業とは合わないかもしれませんが、できれば大学のほうともそういったことを共に、産官学という3つの力を組み合わせていただいて、ぜひとも技術をよいものにしていくような仕組みをつくっていただけることにも期待しております。以上です。

【野中分科会長】 ありがとうございました。それでは最後に、本日の分科会長を務めました野中より講評をいたします。私は、本プロジェクトの必要性に関して、「移行期間」という言葉をキーワードに入れてほしいというお願いをいたしました。その移行期間というのは、再生可能エネルギー計画の後退ではなく、やはり実現をするためには、いつからいつまで、何を使うかということをはっきり示す必要があるということです。本命としてはLNG火力と原子力であると思うところですが、そこにA-USCがどのように入ってくるかというのが実用化のポイントになるものと考えます。この点ではまだハードルが高いとも思いますが、2008年から始められて開発された技術に関しては、まず要素技術開発、そしてそれを大型構造物で実証した試験、それから長時間信頼性評価技術、保守技術開発というほぼ一連の技術を完了して良い成果を得られたものとして理解しておる次第です。

このA-USCプロジェクトというのは、最初に欧州から始まり、アメリカ、日本というところで、日本はどちらかというキャッチアップの形ではありましたが、今は完全に世界をリードしたと言えます。その理由としては、USC技術で日本が世界をリードしてきたわけで、その技術者がここに一堂に集まり共通の場で議論をされたということが非常に大きい要素であったと考えられます。ここで開発された技術が、プロジェクトを解消し、そのまま散り散りばらばらになるというのはよくありません。今、原子力の分野などで技術伝承が問題になってますが、ここで開発をされた技術をいろいろな他分野にも応用をしながら、メーカーの方を中心に伝承をして伝えていただけたらと思っております。実用化は、A-USCそのものの建設ということではなく、ここで開発された技術を広く産業界に応用するということだと定義されていまして、そういう意味では非常にこれから期待ができるのではないのでしょうか。メーカーの方がこれからは中心となり、各社の自社技術を売り込むというのが中心になるかとも思いますが、やはりその辺は、先ほど来のお話しにあるようにNEDOの方も中心となられて、せっかくこのように集まって開発をした技術ですから、広くその辺を取りまとめながらフォローをしていただくことをお願いいたしたく存じます。

最後に、これまで本プロジェクトの評価に関わらせていただいたことを非常に光栄に思っております。本プロジェクトは、2008年にMETIの国プロになったわけですが、その前にメーカーの方々が集まって、国プロを立ち上げる勉強会のような集まりが5年くらいあったかと思います。あれで皆様一生懸命に努力をされて、METIのプロジェクトに提案をし、通していただいたという背景もございます。今日無事にプロジェクトを成功裏に終えたことに対し、非常に感慨深いものがあります。どうもありがとうございました。

【松田専門調査員】 委員の皆様、ご講評を賜りまして誠にありがとうございました。ただいまの講評を受けまして、まず実施者を代表しまして福田PLより一言賜りたく存じます。よろしくお願ひいたします。

【高効率発電システム研究所_福田PL】 今日は、長い時間どうもありがとうございました。今、まさに野中分科会長が言われたように、国プロが始まる前の5年間、一生懸命に国プロを立ち上げるために頑張ってきてまいりまして、2008年に経産省のプロジェクトとして始まったこととなります。ですので、今回のプロジェクトも含めると15年間になるのでしょうか。その当初は、何しろ石炭火力が、USCがどんどん建設されて、あのときは確か35GWぐらいだったかと思います。これをA-USCにして10%のCO₂削減をするということで、「こんなにすごい量の削減効果があります」というようなことで一生懸命あちらこちらに説明をしていたことを思い返します。そんな当初を経て、今日の15年間に至るまでには本当にいろいろなことがありました。一つ一つ上げると切りがありませんが、大きなところとしては、まず始めて少し経った頃に東日本大震災が起きました。細かい話をすると、これによってあちらのほうにある会社のクリーブ試験装置からクリーブ試験片が外れてしまったなどいろいろなことがありまして、ここでもすごい苦労がありました。ですが、その結果、一瞬ではありましたが火力発電がどれだけ日本の電力に寄与しているかというのを世間一般に知らしめたこともあったかと思います。そして、石炭火力もこの後、何機か新設がありました。そうこうしているうちに、2015年にはパリ協定が合意され、それにより今度は突然風向きが変わりまして、先ほど来皆様方の言われているように、2050年のカーボンニュートラルに向けた再生可能エネルギーを中心とした新しい枠組みができたということです。さらに2022年、ウクライナで戦争が起きました。それにより、今度はエネルギーセキュリティに関して従来ほとんど関心のなかったような方まで、こういうエネルギーをどう組み合わせるのかに関して理解を深めていただけたように思います。その中で、皆様、石炭もそれなりにやはり使っていく必要があるというご認識を持たれたように感じます。そういうことで15年間、このA-USCの技術の位置づけはどんどん変化をしてまいりました。現在は、二酸化炭素の排出削減、それは単純な二酸化炭素排出の削減だけでなく、グリーン燃料やCCSの積極的な利用に向けた重要な選択肢の一つであると思っています。

また一方で、これも何度も言われていることですが、ここで開発、検証された材料や技術は、他分野でも、高温部材であるとか耐腐食部材として使えるものであるかと思っています。この面からも、二酸化炭素の排出削減や環境対策に役立つと考える次第です。そういうわけで、A-USCの技術開発は、天災やら人災やらに翻弄されてきたわけですが、将来、我が国の発展に大きく貢献するものと信じております。本日は、委員の皆様におかれましては、貴重な時間をいただき、かつ貴重なご意見を賜りましたことに心から感謝を申し上げます。どうもありがとうございました。簡単ではございますが、以上です。

【松田専門調査員】 ありがとうございます。続きまして、推進部署である環境部の上原部長からも一言賜りたく存じます。よろしくお願ひいたします。

【NEDO環境部_上原部長】 環境部の上原でございます。本日は、ご審議いただきまして誠にありがとうございました。A-USCを念頭に、信頼性を高めるための高温材料の開発、評価、さらに技術の高度化といったことを目的に本事業を取り組んでまいりました。環境変化ということもございまして、当初の計画どおりの導入というのは難しいとも思われますが、これまで得られた知見をリアリティのある形で実

用化、事業化を進めていくことが今後のアクションであると捉えております。既設ボイラの改修、他分野への応用、事業者の皆様には活用を広く追及していただきたいと考えている次第です。また、NEDO としてもユーザー様への認知を高めていただくような活動であるとか、そういったことに取り組んでまいりたいと考えています。加えまして、本日頂戴したコメントの中には、本プロジェクトでということではなく、弊部での日頃のプロジェクトマネジメントに通ずるようなご意見もあったものと理解しておりますので、そういった点にも留意しながらこれから活動を続けてまいりたいと思います。改めまして、本日は、長時間にわたるご審議をいただきましたことに御礼を申し上げます。ありがとうございました。

【野中分科会長】 ありがとうございました。それでは、以上で議題8を終了といたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

- 資料1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料4-1 NEDOにおける研究評価について
- 資料4-2 評価項目・評価基準
- 資料4-3 評点法の実施について
- 資料4-4 評価コメント及び評点票
- 資料4-5 評価報告書の構成について
- 資料5 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料6 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
- 資料7 事業原簿（公開）
- 資料8 評価スケジュール

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「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」
(事後評価)分科会

質問・回答票 (公開)

資料番号・ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員名
		公開可	説明	
資料5・p7	政策的位置付けで、「調整電源としての役割」も必要だと思いますが、「再生可能エネルギーへの移行期間」の必要性が指摘されおり、このキーワードを使うべきだと思いますが、いかがでしょうか？	公開	ご指摘の通り、第6次エネルギー基本計画 p76 ((7) 火力発電の今後の在り方) にも「安定供給を確保しつつ、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である。」とありますので移行期間に関するキーワードを追記致します。	野中分科会長
資料5・p10	既設 USC の高温部への適用で、Ni 基材は高 Cr 鋼に比べて熱応力が高く、負荷変動（調整電源）による熱疲労が想定されますので、調整電源と言うキーワードとは相性が良いとは言えないことに注意して下さい。	公開	Ni 基合金は高温でのクリープ強度が高く、高 Cr 鋼に比べて薄肉設計が可能になるなど、一概に熱応力が高くなるとは限りません。 ただし、実機適用においては十分考慮した設計に留意するよう事業者とも共有します。	野中分科会長
資料5・p13	国内外の研究開発動向で、先行した欧州のプロジェクトの頓挫など、先進国のプロジェクトは縮小しているように思います。それらの経緯は本プロジェクトに反映されているのでしょうか？	公開	欧州各国は石炭火力を全廃する方針を掲げていますが、日本は再生可能エネルギーを最大限導入しながらも、火力発電は調整電源としての役割が期待されることから、研究計画にも反映し	野中分科会長

			ました。具体的には頻繁な負荷変動への対応に向けたクリープ疲労に関する試験を盛り込みました。また、欧州プロジェクトでは実缶試験で試験装置のトラブルにより溶接部に割れが生じ、試験再開ができませんでした。その状況を鑑み、本プロジェクトでは溶接部に適切な後熱処理を施しました。	
資料5・p25	A-USC 開発推進委員会には外部有識者は入っているのでしょうか？	公開	設立当初からオブザーバーとして大学の有識者に参加して頂き、必要に応じ、ご意見を伺いました。またユーザーである電力会社も委員会のメンバーとして参加しております。	野中分科会長
資料5・p26	「外部有識者で構成する技術検討委員会」とありますが、その目的や検討内容を教えてください。	公開	第三者である大学や関連する団体、研究機関などの有識者を招き、これまでに得られた成果の結果や、その後の研究計画（各種試験方法・条件、開発の方向性等）に対しご意見、ご助言を頂き、適切に反映することで、目標が着実に達成できるよう委員会を設けました。	野中分科会長
資料5・p31	知的財産権の戦略として、特許出願ではなく、ノウハウを共同実施業務覚書で管理するとありますが、海外展開などを考えると特許出願の方が良いようにも思います。この戦略に至った経緯を説明願います。	公開	特許出願については開発技術に関する権利を明確にするために、またノウハウは外部への流出を防ぐべく覚書を交わしました。 また将来、海外で高温部材の保守技術、例えばUT検査技術や寿命管理技術の展開を想定した際にノウハウを特許により公開してしまうと、検証できない形	野中分科会長

			<p>で海外メーカーが使用してしまう可能性があります。</p> <p>なお、本事業の開始前までに、Ni 基材として開発した HR6W や HR35 など、困うべき技術は特許化を進めております。</p>	
資料 5・p50	<p>実用化・事業化に向けた取組で、適用できる商材の調査や関連分野への部分適用の検討とありますが、NEDO および企業の具体的な取り組みを教えてください。</p>	公開	<p>NEDO は、事業のプレス発表、業界誌への寄稿や事業報告会などを行い、事業者は学会発表や業界誌への寄稿、定期検査等を利用したユーザーへの提案・営業活動を検討しております。具体的には、既設ユーザーへ運転履歴や過去の補修実績に基づく Ni 基材適用の提案の検討、また社内への横断的な展開や企画部門との事業戦略検討などを通じて、実用化・事業化に向けた取り組みを進めており、また今後も継続して活動を続けて参ります。</p>	野中分科会長
資料 5・p37-45	<p>(テーマ 1/9～9/9 共通)</p> <p>成果として得られた技術等はいへん貴重なものですが、その技術伝承・展開をどのようにお考えでしょうか。すなわち、同技術の伝承・展開に関して人材育成をどのように取り組んでおられるか、また取り組まれようとされているのかをお示しください。とくに若い研究者・技術者や大学等の研究機関に対してのビジョンがあればそれもお示しください。</p>	公開	<p>実施事業者は、ベテラン研究者に加え、若い研究者も担当や実務に当てる等、貴重な場として技術伝承にも取り組んでいます。また、対外的な技術発表を若手に経験させるなど、人材育成に取り組んでいます。</p>	伊藤分科会長代理
資料 5・p37-45	<p>(テーマ 1/9～9/9 共通)</p> <p>信頼性技術向上における本事業の</p>	公開	<p>信頼性向上技術の開発に関して十分な成果が得られたと考えて</p>	伊藤分科会長

	未解決問題で、今後の主要課題について、またその解決に向けての今後の対応についてお示しください。		おりますが、より長時間のクリープ試験等を継続することによって、材料データの信頼性をさらに高めます。実製品においては、寸法、形状の違いや使用環境が異なる部分も存在することになるため、今回得られた知見を応用し、必要があれば追加の技術的な検証（本事業によって得られた応力解析手法によって、寿命評価を行う等）を実施します。	代理
資料5・p37	(テーマ 1/9) 大口径内圧クリープ試験体は、本事業の成果やそれに関連する損傷評価技術の高度化に向けて評価・解析を継続すべき貴重な情報が多数潜在しているものと思われます。同試験体の今後の有効活用についてお考えをお示しください。	公開	当初目的とした調査はすべて終了し、非常に貴重なデータが得られ材料調査、解析結果との整合性についても確認ができたと考えています。助成事業は終了しましたが、試験後の組織詳細情報等、今後の研究要素を含め有効と思われるデータについては引き続き調査していきます。	伊藤分科会長代理
資料5・p16	単純な更新費用で市場を計算するのではなく、従来の寿命が短い場合の修繕費と比較をする方が望ましいのでは？ 例えば、2050年までにUSC対応の材料だとメンテナンス回数は3回だが、A-USC材料だと1回となり、2回分のメンテナンス費が減少する。この2回分の修繕費を削減効果として評価しては。	公開	当該ページは、本事業で投入した金額を実施事業者が回収可能かどうかを試算したものです。一方で、ユーザー側の費用対効果としては、ご指摘の通りメンテナンス費や、また計画外停止による停止損失の低減なども考えられます。	井上委員
資料5・p18	脱炭素オークションの対象電源として、カーボンゼロが求められる条件下で、USCとA-USCのCO ₂ 削減量試算を行うことに、ど	公開	ご指摘の通り、A-USCはUSCに比べCO ₂ 排出量は低減できますが、それ単体ではカーボンゼロは達成できません。そのた	井上委員

	<p>のような意味があるのか？</p> <p>同制度のゴールはCO₂排出量ゼロと考えるため。</p>		<p>め、将来的にCCUやCCSなどを活用してネットゼロとする必要がありますが、A-USCとUSCの差は、その負担を増すことになるため、高効率化によるCO₂排出量低減は重要であると考えます。</p>	
資料5・p50	<p>非効率石炭火力のフェードアウトが政府方針として示される中、単純にA-USCでのリプレースを市場として見込むのは、論理に飛躍があるのでは？</p> <p>A-USCをリプレースに導入するシナリオを、より具体的に説明して頂きたい。</p>	公開	<p>ご指摘の通り、リプレース需要は大きく期待しているものではありません。A-USCのリプレースに対応できる体制は残しつつも、本事業の成果を早期に導入できる適用先として、石炭火力の既存補修材料に代替することによる長寿命化を想定しております。</p>	井上委員
資料5・p41	<p>成果として異材：630°C/30khrとありますが、目標は700°Cではないのでしょうか</p>	公開	<p>700°C級蒸気タービンロータはNi基材料の製造上の大きさ制限とコスト低減のため、ロータの一部に鉄鋼材料（12Cr鋼など）を溶接したロータを想定しています。鉄鋼材料の適用範囲は使用温度限界の630°C以下の部分であり、当該試験の設定温度を630°Cとしました。（700°Cの蒸気にさらされる部分は異材溶接部にならないようにロータを設計します）</p>	山口委員
資料5・p43	<p>酸化スケール生成厚さ（例）として示されている図のデータが、650°Cまでですが、可能ならば目標の700°C以上のデータを追加はできないでしょうか。</p>	公開	<p>資料5・43の図”高Cr鋼酸化スケール生成厚さ(例)”は、公開版資料のため、一例として本プロジェクト着手以前に取得した記録を提示したものです。本プロジェクトにおける検証試験は700°C以上でも実施し、酸</p>	山口委員

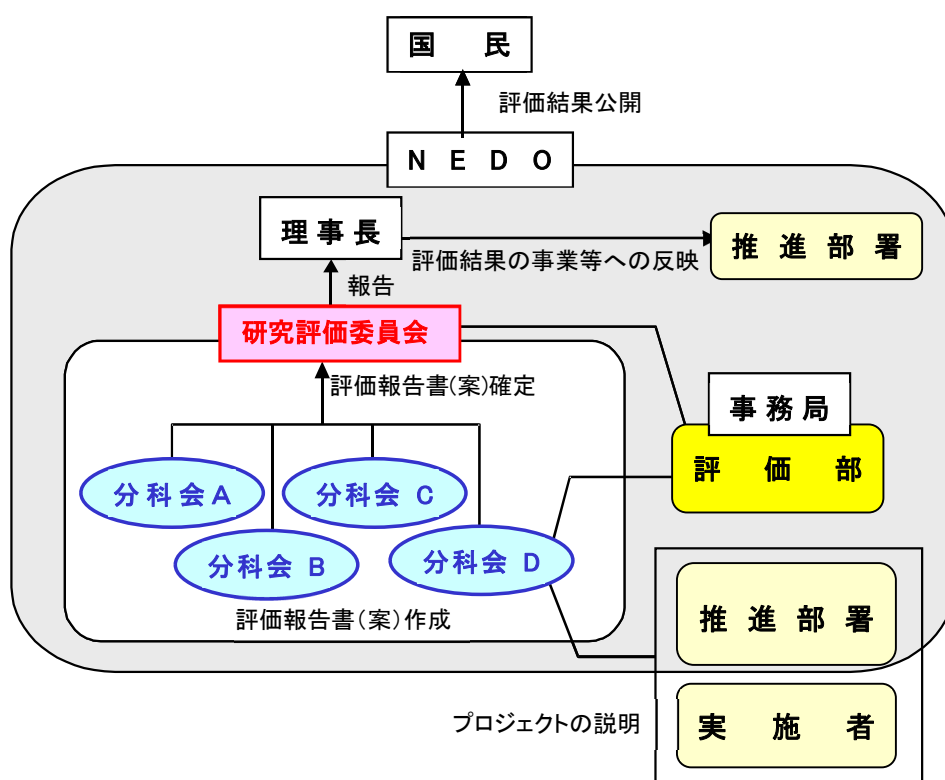
			化スケール生成の温度依存性及び表面改質の効果について確認し、非公開版資料にまとめています。	
資料5・p29	オーステナイト鋼へ適用可能な具体的な開発技術を挙げてください。	公開	UT 検査技術、UT シミュレーション技術、寿命推定解析技術などです。	山崎委員
資料5・p43	実機で生じる力学的負荷・熱的負荷によるコーティングの耐剥離性、耐割れ性は問題ないでしょうか。	公開	<p>本プロジェクトで実施した検証試験で、以下について問題ないことを確認済みです。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・熱的負荷による耐剥離性及び耐割れ性 ・力学的負荷による耐割れ性 <p>また、力学的負荷による耐剥離性についても、本プロジェクトで実施した検証試験で高い密着性を有していることを確認していますが、念のため実機適用に先立ち、本プロジェクトとは別に、表面改質を施工したタービン翼を車軸に組み込み、実機回転数で回転させる試験を実施し問題ないことを確認します。</p>	山崎委員

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外する。これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「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」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「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」
に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされた事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール（実績）及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗に応じ、技術を評価し取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図ったか。
- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、

必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用したか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行ったか。

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

本事業における「実用化・事業化」の考え方（定義）

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。

- (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略
 - ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
 - ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

- (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
 - ・ 実用化・事業化に取り組む者が明確か。
 - ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

- (3) 成果の実用化・事業化の見通し
 - ・ 産業技術として適用可能性は明確か。
 - ・ 実用化に向けての課題とその解決方法は明確か。
 - ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
 - ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
 - ・ 量産化技術を確立する見通しはあるか。
 - ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の事後評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール(実績)及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）を整備し、かつ適切に運用したか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行ったか。

- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、国際標準化に向けた見通しはあるか。
【該当しない場合、この条項を削除】

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

【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術として適用可能性は明確か。
- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 整備した知的基盤・標準の維持管理・活用推進等の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 知的基盤・標準を供給・維持するための体制を整備しているか、又は、整備の見通しはあるか。
- ・ 実用化に向けて、引き続き研究開発が必要な場合、誰がどのように取り組むのか明確にしているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 整備した知的基盤について、利用されているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 森嶋 誠治

担当 松田 和幸

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162