

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」

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」

終了時評価報告書

2023年12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 12 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 斎藤 保 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」

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」

終了時評価報告書

2023年12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
研究評価委員会委員名簿	4
第1章 評価	
1. 評価コメント	1-1
1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	
1. 2 目標及び達成状況	
1. 3 マネジメント	
（参考）分科会委員の評価コメント	1-3
2. 評点結果	1-9
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
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

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／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」の終了時評価報告書であり、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／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」（終了時評価）分科会において評価報告書案を策定し、第 75 回研究評価委員会（2023 年 12 月 11 日）に諮り、確定されたものである。

2023 年 12 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（2023 年 7 月 31 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（2023 年 7 月 20 日）

三菱重工業株式会社 長崎工場、総合研究所（長崎県長崎市）

● 第 75 回研究評価委員会（2023 年 12 月 11 日）

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」

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」(終了時評価)

分科会委員名簿

(2023 年 7 月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	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
分科会長 代理	いはら いくお 井原 郁夫	長岡技術科学大学 副学長 大学院工学研究科 工学専攻(機械工学分野) 教授
委員	さわだ こうた 澤田 浩太	国立研究開発法人 物質・材料研究機構 構造材料研究センター 材料評価分野 クリープ特性グループ グループリーダー
	ふじわら なおき 藤原 尚樹	出光興産株式会社 石炭・環境事業部 企画課 シニアリサーチャー
	ますかわ ひろゆき 増川 浩章	一般社団法人火力原子力発電技術協会 専務理事
	むらおか もとし 村岡 元司	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 執行役員
	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

研究評価委員会委員名簿

(2023 年 12 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	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
	いなば みのる 稲葉 稔	同志社大学 理工学部 教授
	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
	すずき じゅん 鈴木 潤	政策研究大学院大学 政策研究科 教授
	はらだ ふみよ 原田 文代	株式会社日本政策投資銀行 常務執行役員
	まつい としひろ 松井 俊浩	東京情報デザイン専門職大学 情報デザイン学部 学部長・教授
	まつもと ま ゆ み 松本 真由美	東京大学 教育学部附属教養教育高度化機構 環境エネルギー科学特別部門 客員准教授
	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

第 1 章 評価

1. 評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

「第6次エネルギー基本計画」において、石炭火力は、電力の安定供給を大前提に電源構成におけるその比率は低減させるとする基本方針の下、調整電源の役割が期待されている。そのため本プロジェクトにより開発された負荷変動対応技術は安定供給を前提とする石炭火力発電の安全・安心を担保する上で、大きく寄与するところにあり NEDO が実施する意義がある。また、本プロジェクトにより開発された技術は石炭火力のみならず、他の高温機器やプラントなどへの応用性も高い。

アウトカム達成に向けた道筋としては、当該プロジェクトで実施された4つのテーマ（①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発、②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発、③タービン発電設備次世代保守技術開発、④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発）において、ユーザーとなる電力会社などと十分な情報交換を行うなど、具体的な将来像や事業化について検討されているといえる。

知財戦略に関しては、オープン・クローズ戦略が適切に検討されており、技術の標準化に向けた戦略が検討されている点も評価できる。

今後、実用化・事業化に向けた時間も限られていることから、本プロジェクト終了後の社会実装に向けたより具体的な方策を検討いただきたい。また、事業化可能な成果から早期に社会実装するために、今後も積極的に NEDO が関与するとともに、ユーザーとなる民間企業も巻き込んだ体制づくり、関連学協会との連携、幅広いステークホルダーへの情報発信の取り組みなどの推進を期待する。

1. 2 目標及び達成状況

アウトカムの目標設定と見直しは、ベースロード電源を含むエネルギー供給問題を客観的に捉えた上で適切になされており、また、ユーザーと連携をとったことによって、目標達成の見込みが立てられているといえる。また、早期に事業化できる成果の現行プラントへの実装を見据え、社会的情勢の変化にも対応しながら速やかな社会実装を目指している点は高く評価できる。

アウトプット目標に対しては、目標をほぼ達成しており、一部、電力需給ひっ迫の影響で未達成だったテーマも実機実験を2023年度に繰り延べる対応により、今年中の達成が十分期待できると判断する。また、テーマ④の「ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発」において、プラント部材の信頼性に関わる新しい知見（内圧曲げねじりクリープ疲労関連）が得られており、技術的優位性が高まったと考える。

知財に関しては、オープン・クローズ戦略に基づき、論文発表・講演等が実施されており、事業に必要な知財管理、成果の公表といった面で見ても、おおむね適切に実施されているものと評価できる。一方、論文発表や特許出願が特定の事業者集中しており、一部のテーマにおいて、知財の取扱いに関する認識が、実施者間で必ずしも統一・共有されていないように見受けられたため、今後に向けて調整して頂きたい。

また、余寿命診断技術の導入は、経済効果よりも設備信頼性向上、安全の確保という点で大きな社会的メリットがあると考えられることから、発電所等、各種インフラや機械・設備の安全性・信頼性を格段に向上させるという観点の波及効果を明示することで、より成果の発信に繋げることを期待する。

1. 3 マネジメント

実施体制においては、電力会社等の民間企業、大学、および研究機関などから構築される体制で、4 テーマそれぞれに対して指揮命令系統は明確である。また、各実施者が技術力を発揮し、これまでに蓄積してきた知見・経験を活用しながら優れた成果をあげ、その成果の共有が行われたことは高く評価できる。さらに、採択プロセスでの条件を受け複数電力会社を委員とした外部委員会を設置するとともに、電力会社向け報告会を開催することで技術開発に現場のニーズを反映させ、プロジェクトを実施したことも高く評価できる。

研究開発計画においては、アウトプット目標達成に必要な要素技術開発を網羅して実施され、スケジュールとしても大きな問題はなく、進捗管理は適切なものと判断する。電力需給ひっ迫の影響で、実機試験を 2023 年度へ繰り延べし、対応している点も適切であったと評価できる。

一方、テーマ③の「タービン発電設備次世代保守技術開発」は、本プロジェクトで開発した具体的な技術や、技術レベルの状況について、既存技術との違いを明確にする必要があると考えられる。

テーマ④の「ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発」においては、火力発電機器の運用変化によるダメージを予測できるものであるが、こうした成果を是非とも設計にフィードバックしていくことも望まれる。

最後に、本技術が今後、各テーマ間での連携、さらに関連する学協会との積極的な連携も視野に入れて、実用化・事業化が加速されていくことを期待したい。

(参考) 分科会委員の評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

<肯定的意見>

- ・ 環境問題に関連してエネルギー基本計画の変更や脱炭素化の社会ニーズに適用すべく、本技術開発は事業者の相当な努力によって成し遂げられ、創出された技術開発は今後の石炭火力発電の安全・安心を担保する上で大きく寄与するものである。また、得られた技術は、事業対象の石炭火力のみならず、他の高温機器やプラントなどへの応用性も高い。
- ・ 4つの技術開発課題で構成されているが、各課題で知的財産および標準化に対する対応は異なるものの、それぞれがおおむね妥当かつ適切であった。
- ・ 当該プロジェクトでは、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響は適切に考慮されている。
- ・ オープン・クローズ戦略は適切に検討、実施されている。
- ・ 石炭火力発電の位置づけが変化する中においても本課題の意義が適切に説明されている。4つのテーマともに、具体的な将来像や自立化について検討されている。
- ・ オープン・クローズ戦略の具体例が明確に示されている。
- ・ アウトカム達成に向けて、技術を利用する側の電力会社などと、十分な情報交換ができていた。
- ・ 殆どのテーマで、知的財産に関する特許の出願等が実施されていた、または前のPJにおいて基本となる特許の権利化が実施されていた。また技術の標準化に向けた戦略が検討されていた。
- ・ 第6次エネルギー基本計画（2021.10）において、石炭火力は、安定供給の確保を大前提に電源構成におけるその比率は低減させるとしつつも、調整電源の役割が期待されている。こうした期待の高まりを反映し、石炭火力の運用性向上技術という調整機能の発揮（能動的な面）と、運用の変化に伴う設備診断技術（後工程の面）の開発という両面が考慮されている。今回の最低負荷引き下げは再エネ導入拡大に資するもので、負荷変化率向上は再エネの出力低下（PVであれば日が陰る）を補う上で有用である。
- ・ 今後の予定を含め2024.4現在で、37件（うち外国出願16件）特許出願している。
- ・ 精度の高いデータが得られており、本研究開発の成果は石炭火力発電所以外にも高温クリープ環境で内圧・曲げ・ねじりが加わるような、化学プラント構造物等の高温・高応力機器の設計に適用できる可能性がある。このように広がりの可能性のある技術であり、幅広い適用を目指していくことが望まれる。
- ・ オープン・クローズ戦略を検討した上で、研究発表・講演等の成果発表も積極的に実施されている点は評価できる。

- ・ 電力系統安定化に加えエネルギー安全保障の観点から石炭火力は重要なエネルギー源であり、負荷変動向上に向けた重要な研究であることに疑いはない。研究開発の難易度も高く、また、投資額も大きいため、官民が連携して対応すべきプロジェクトである。また、事業化が可能な部分から現行火力プラントへの早期実装も実現性が高く、高く評価できる。
- ・ 実用化・事業化を見据えて研究成果のオープン・クローズ戦略が設定されており、妥当であると判断した。また、ノウハウとしてクローズドにすべき成果については特許出願を控えながら、特許化も進められていると評価できる。

＜問題点・改善点・今後への提言＞

- ・ 当初目標は十分に達成しているが、今後の実現に向けてのタイムスパンは限られており、実用化・事業化に向けた開発期間短縮が必要である。そのためにも、関連学協会との連携も踏まえて戦略的な取組を期待する。
- ・ 4 課題の連携を強化することにより、付加的な技術創出につながる。
- ・ 本事業終了後の自立化、社会実装に向けた具体的な方策は必ずしも十分に練られているわけではないのでその改善が望まれる。また、幅広いステークホルダーへの情報発信の取り組みも不十分であり、その具体的な実施が望まれる。
- ・ 一部のプロジェクトにおいて、知財の取扱いに関する認識が、実施者間で必ずしも統一・共有されていないきらいがあるので、今後に向けて調整して頂きたい。
- ・ 標準化については、今後より具体的な活動内容や計画について検討を進めることを期待する。
- ・ ④のテーマにおいて大学が開発した知財の特許出願に関する取り扱いについて、テーマ内で協議が不十分な点が残されている。早期の対応が望まれる。
- ・ 火力の運用性向上としては、最低負荷帯における LFC 幅および変化率の向上があるので、今後の取り組みに期待する。(既に、火力機は、慣性、ガバナ調整機能を有しており、あらゆる時間軸での電力系統維持に貢献できる。) 火力の運用性向上については、事業者インセンティブが働くよう、ステークホルダーへ情報発信していくことが大事である。
- ・ NEDO の支援というインプットにより、ビフォーアフターがどう変化し知財が生み出されたのか、分かりづらい項目もあった。コロナ禍期間中の影響もあったかと思うが、展示会への出展がゼロ件であった。この手段が効果的かは個々に判断するとしても、費用対効果にある 288 億円以上の経済効果を生み出すため、単なる前提ある試算とせず、成果にもこだわって欲しい。
- ・ 早期に他分野への応用も含めた実用化を図るため、担い手となる民間企業も巻き込んだ体制づくりも並行して進めていくことが望まれる。
- ・ 改善点までではないが、事業化可能な成果から早期に社会実装するよう、後継プロジェクトの実施など、今後も積極的に NEDO が関与していただきたい。
- ・ 標準化の戦略をもう少し明確に示していただければよかった。

1. 2 目標及び達成状況

<肯定的意見>

- ・ 石炭火力発電は電力安定供給の調整火力としての役割が大きくなり、設備はますます過酷な状況下での使用が見込まれるが、本成果はそのような社会ニーズに沿ったものである。なお、石炭火力の縮小化の下で、経済や競争力の点では必ずしもそれらの効果を得るということは難しいが、当該技術を次世代発電技術に積極的に応用することにより、その効果は大いに期待できる。
- ・ 本事業の目標設定に基づいて当初の目標値に達成している。
- ・ 東日本震災以降のベースロード電源を含むエネルギー供給問題を客観的に捉えた上で目標設定がなされており、相応の成果が認められる。
- ・ 各プロジェクトにおいて、それぞれの要素技術の開発に関しては所期の目標は概ね達成されている。
- ・ いずれのテーマも具体的な実用化イメージを踏まえて適切なアウトカム目標を設定するとともに、達成見込みについても具体的に示されている。
- ・ 石炭火力の位置づけが変化する中においても、アウトプット目標は大きな影響は受けなかったものと考えられ、適切であったと考える。一部のテーマでは、プラント部材の信頼性に関わる新しい知見(内圧曲げねじりクリープ疲労関連)が得られており、技術的優位性が高まったと考える。
- ・ アウトカムの目標設定、見直しは適切である。また需要家と連携をとったことによって、目標達成の見込みが立てられている。
- ・ アウトプットの目標は適切に管理されており、また目標も十分に達成された。事業に必要な知財管理や成果の公表も概ね実施された。
- ・ 電力需給ひっ迫の影響で、実機試験を 2023 年度実施へ延長した。試験要領の取りまとめが完了しており、試験も運転計画に織り込み済みである。
- ・ 各事業の研究開発項目で目標を達成している。
- ・ 「定検時期延長（現在 4 年のボイラ定検時期を 6 年に延長）」及び「国内の USC プラント 50%に適用することで、国内市場規模 2.4 億円」の達成がアウトカムの内容である。以下に記載の通り、要素技術のアウトプット目標はほぼ達成済みであり、それらを組合わせて実績を積み上げ、また、定検のタイミングに関するルール変更等も可能となればアウトカム目標達成の可能性はあるものと思料する。
- ・ 「高温曲げねじりクリープ疲労試験データの取得と組織観察、ならびに、溶接部損傷メカニズム」の解明がアウトプット目標であり、高温曲げねじりクリープ疲労試験データを取得し、組織観察を実施し、また、溶接部損傷メカニズムを解明した。また、オープン・クローズ戦略に基づき、論文発表・講演等は実施されている。
- ・ アウトカム目標を達成時期も含めて適切に設定しており、個別テーマすべてにおいて、これまで事業者が蓄積してきた成果を活用しながら十分な成果を得られたものと高く評価する。また、早期に事業化できる成果を現行プラントに早期に実装する

ことを目指しており、社会的情勢の変化にも対応しながら速やかな社会実装を目指している点も高く評価できる。

- ・ 最終目標をほぼ達成しており、一部、昨夏の電力需給ひっ迫の影響で未達成だった項目も適切に見直し、今秋にも達成できることが十分期待できると判断した。論文発表や特許出願の総数も十分と判断できた。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 目標設定において、課題③では既存技術とそれに基づいた本事業での創出技術との違いが不明慮であった。
- ・ 経済効果 288 億円以上とあるが、その見積もりの根拠がやや流動的であると思われる。むしろ、余寿命診断技術の導入は、経済効果よりも設備信頼性向上（安全の確保）という点で大きな社会的メリットがあるので、その効果を強調して良いのではないか。
- ・ 石炭火力発電所のメンテナンス費削減などの経済効果を目指すだけでなく、発電所等、各種インフラや機械・構造物の安全性・信頼性を格段に向上させるという観点の波及効果を明示すれば良いと思われる。
- ・ 目標を数値化することは良いことであるが、その際、その指標の定義（誤差精度なのか、確率なのか、0～100 までの尺度なのか等）を明確にすると良い。測定された数値によって行動に繋がることを期待する。費用対効果は、ある前提条件での試算であるが、前提がある確からしい幅で変化した場合の効果への感度を示すなど、工夫があっても良い。
- ・ 目標を設定し、達成度を測ることは良いことだが、その目標の設定根拠は分かりやすい方が良い（目標達成までのハードルの高さが実感できると良い）。
- ・ 以下の要素技術の開発成果を踏まえると、アウトカム目標達成の見込みがあることを想定することができる。但し、量産化技術の確立が残された課題となっており、その担い手となるサービス提供会社の設立等も望まれる。
- ・ 要素技術としては、「大径管内圧曲げねじりクリープ損傷」に関して 3 つ、「オーステナイト鋼製伝熱管クリープ損傷」に関して 3 つの合計 6 技術の開発が行われ、5 つについては目標が達成されているが、残る 1 技術（ひずみ計の研究開発）については、一部、未達のものが残されており、その解決が望まれる。
- ・ プロジェクトの内容から難しい点も理解できるが、アウトカム目標達成状況の具体的な指標がもう少し明確にできるとよい。
- ・ 論文発表や特許出願が特定の事業者集中しているように見受けられた。できれば、すべての事業者が論文公表・特許出願ができることを期待したい。ただし、今後、特許出願を検討している事業者もあるとのことで、その点は評価できる。事業期間後の論文公表・特許出願も考えられることから、今後の予定を示すほうがよいと考える。

1. 3 マネジメント

<肯定的意見>

- ・ おおむね良好である。
- ・ 各課題において、適切であった。
- ・ 実施者はそれぞれの個々の能力を発揮している。
- ・ アウトプット目標達成に必要な要素技術は適切に開発されており、スケジュールも適切である。
- ・ スケジュール上の大きな問題は確認できなかったことから、進捗管理は適切であったと判断する。
- ・ 実施体制は十分な体制が組まれていた。特にアウトカム達成に向けて利用者側との連携が十分とれる実施体制が組まれていた。
- ・ 殆どのテーマにおいてアウトプット達成に向けた十分な計画がされており、また適切に管理がされていた。
- ・ 実施者は技術力を発揮し、目標を達成した。4 件それぞれに対して、指揮命令系統は明確であった。複数の電力会社を委員とした外部委員会を設置し、技術開発に現場のニーズを反映させたことは良い。電気事業者向けの成果報告会を開催したことは良い。
- ・ 電力需給ひっ迫の影響で、実機試験を 2023 年度実施へ延長し、対応している。
- ・ 電力会社のもと、4 つの大学と 1 つの公的研究機関、さらには 1 つの検査会社から構築される体制であり、スケジュール通り活動を展開していくため、リーダー会社の管理のもと、役割分担が明確化され、成果の共有が行われてきたものと思料する。
- ・ アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発が網羅されて実施され、それらを組み合わせることでアウトカム目標の実現に近づくことが可能となる。
- ・ 採択プロセスでのコメントをくみ取り、電力事業者向け説明会や外部委員会を設置し現場のニーズをくみ取りながら事業を実施したことは高く評価できる。また、各実施者がこれまでに蓄積してきた知見・経験を活用しながら優れた成果をあげており、高く評価できる。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発が十分実施されたと高く評価できる。また、外部委員会の設置など、進捗管理に関しても高く評価できる。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 今後は各課題間での連携、さらに関連する学協会との積極的な連携も視野に入れて、実用化・事業化を加速することが重要である。課題③の既存技術と新創出技術との違いを明確にするべきである。
- ・ 各課題間の連携を強化するとよい。

- ・一部のプロジェクトでは、要素技術開発の成果において、当該 NEDO プロジェクトによる部分と実施者の本務業務による部分との境界が曖昧であり、どこが NEDO プロジェクトによる成果であるのかが不明確であった。当該 NEDO プロジェクトによる成果を明示できるような計画を練り、体制を整えてもらいたい。
- ・実施者間（例えばテーマ①と④）の連携を更に深めることで大きな成果が期待される部分も認められ、今後の発展を期待する。
- ・③のテーマにおいて、開発する具体的な技術の中身や、技術レベルの状況を把握することができなかったため、外部からの計画の管理が難しい面が見られた。
- ・設備診断業務においては、従来からの顧客を超えて広く市場に出ていく際、自ら進出するか、技術を売るか今後策を練ると良い。目の前にある機器の診断技術を深化されるアプローチと、あるプラントの過去のトラブル事象を分析するアプローチがあった。後者で、運用の変化により顕在化したトラブルがあれば、そこを集中的に深化させる方法もあると考えるので、今後に期待する。
- ・ボイラクリープ疲労の診断技術は、火力機の運用変化による機器へのダメージを予測できるものであり、こうした成果を機器設計にフィードバックすることが望ましい。
- ・各個別テーマ実施者間の連携が十分とは言えない部分もあり、高度な連携に向けた NEDO の積極的関与が必要と考える。

2. 評点結果

評価項目・評価結果		各委員の評価							評点
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋									
(1)アウトカム達成までの道筋		A	B	A	A	B	A	A	2.7
(2)知的財産・標準化戦略		A	B	A	B	B	A	B	2.4
2. 目標及び達成状況									
(1)アウトカム目標及び達成見込み		A	B	A	A	B	A	A	2.7
(2)アウトプット目標及び達成状況		B	B	A	A	B	A	B	2.4
3. マネジメント									
(1)実施体制		B	B	A	A	B	A	B	2.4
(2)研究開発計画		A	B	A	B	B	A	A	2.6

《判定基準》
A：評価基準に適合し、非常に優れている。
B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。
C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。
D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。

（注）評点は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算・平均して算出。

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／
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」

事業原簿

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

概 要	1
プロジェクト用語集	1
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	1
1.1. 事業の位置づけ・意義	1
1.1.1. 研究開発の必要性	1
1.1.2. 本プロジェクトの背景・目的・将来像	2
1.1.3. 政策・施策・技術戦略上の位置づけ	3
1.1.4. 国内外の動向	4
1.1.5. 他事業との関係	6
1.2. アウトカム達成までの道筋	7
1.3. 知的財産・標準化戦略	8
2. 目標及び達成状況	1
2.2. アウトカム目標及び達成見込み	1
2.2.1. アウトカム目標の設定及び根拠・「実用化・事業化」の考え方	1
2.2.2. 費用対効果	1
2.2.3. アウトカム目標の達成見込み	2
2.2.4. アウトカムの波及効果	3
2.3. アウトプット目標及び達成状況	3
2.3.1. アウトプット目標の設定・根拠・達成状況	3
2.3.2. アウトプット（研究開発成果）の波及効果・副次的成果	6
2.3.3. 特許出願及び論文発表	6
3. マネジメント	1
3.1. 実施体制	1
3.1.1. NEDO が実施する意義	1
3.1.2. 実施体制	1
3.1.3. 個別事業の採択プロセス	2
3.2. 受益者負担の考え方	2
3.3. 研究開発計画	3
3.3.1. 研究開発計画の概要	3
3.3.2. 目標達成に必要な要素技術	3
3.3.3. 研究開発のスケジュール（概要）	4
3.3.4. 進捗管理	6
3.3.5. 中間評価結果への対応	6

3.3.6.	動向・情勢変化への対応	7
4.	目標及び達成状況の詳細	1
4.1.	火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発	1
4.1.1.	実施者名・実施体制	1
4.1.2.	実施期間・研究開発スケジュール	2
4.1.3.	実用化・事業化への道筋（アウトカム目標及び達成見込み）	3
4.1.4.	研究開発項目の詳細（研究内容、アウトプット目標、達成状況）	4
4.1.5.	成果の意義	5
4.2.	石炭火力発電システムの運用性向上技術開発	6
4.2.1.	実施者名・実施体制	6
4.2.2.	実施期間及び研究開発スケジュール	7
4.2.3.	実用化・事業化への道筋（アウトカム目標及び達成見込み）	7
4.2.4.	研究開発項目の詳細（研究内容、アウトプット目標、達成状況）	10
4.3.	タービン発電設備次世代保守技術開発	19
4.3.1.	実施者名・実施体制	19
4.3.2.	実施期間・研究開発スケジュール	20
4.3.3.	実用化・事業化への道筋（アウトカム目標及び達成見込み）	22
4.3.4.	研究開発項目の詳細（研究内容、アウトプット目標、達成状況）	22
4.3.5.	成果の意義	30
4.4.	ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発	31
4.4.1.	実施者名・実施体制	31
4.4.2.	実施期間・研究開発スケジュール	31
4.4.3.	実用化・事業化への道筋（アウトカム目標及び達成見込み）	31
4.4.4.	研究開発項目の詳細（研究内容、アウトプット目標、達成状況）	32
4.4.5.	成果の意義	37
添付資料		1
●プロジェクト基本計画		1
●特許論文等リスト		1

概 要

		最終更新日	2023 年 6 月 29 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／ 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		プロジェクト番号	P16002
担当推進部/ P Mまたは担当者 及び METI 担当課	<担当推進部/PM> 環境部 野原正寛（2021 年 4 月～現在） 環境部 井原公生（2020 年 7 月～2021 年 3 月） 環境部 中元崇（2017 年 4 月～2020 年 6 月） <METI 担当課> 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課			
0. 事業の概要	負荷変動対応に伴う火力発電設備の故障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、および火力発電設備における最低負荷引き下げ・負荷変化率の拡大によって系統安定に貢献する蓄熱システムなど先進的な技術開発を実施する。			
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋				
1.1 本事業の位置 付け・意義	再生可能エネルギーの大量導入に伴い、再エネの瞬時的・継続的な発電電力量の低下への対応が火力発電に求められており、調整力の確保と設備信頼性の向上に資する技術開発が不可欠である。本 PJ では、既存の石炭火力発電設備への適用を念頭に、負荷変動対応能力の向上及び機械的負荷に耐える設備信頼性確保に関する研究開発に取り組んだ。			
1.2 アウトカム達 成までの道筋	本 PJ では十分な成果が得られたため、事業化に向けた実用化研究を各事業者にて進める。事業化は市場動向や実用化研究の進捗等を見ながら可能な限り前倒しを狙う。なお、NEDO は負荷変動対応技術の実用化に関する公募を実施予定である。			
1.3 知的財産・ 標準化戦略	知的財産権はすべて発明等をなした機関に帰属することとした。 標準化戦略は実用化・事業化を見据えた上でクローズ領域とオープン領域を適切に設定した。			
2. 目標及び達成状況				
2.1 アウトカム目 標及び達成見込 み	【アウトカム目標】 石炭火力発電所に対して、電力系統安定化に資する故障予知・余寿命診断サービス等を提供する。これにより、サービス等の売上および石炭火力発電所のメンテナンス費削減により経済効果：288 億円以上を目指す。 【アウトカム目標達成の見込み】 本 PJ の 4 事業について、アウトプット目標は十分に達成しており、アウトカム達成までの具体的な戦略が練られていることから、アウトカム目標達成の見込みは十分にある。			

2.2 アウトプット目 標及び達成状況	事業名称	アウトプット目標	達成状況 (見込み含む)
	①火力発電設備保全用高解 像度フェーズドアレイシステムの 開発	・既存のどの方法を用いても評価が不 可能だった内部クリープボイド密集の有 無を判別できる評価法の提案	○
	②石炭火力発電システムの運 用性向上技術開発	・極低負荷運転を実現する蓄熱システ ムの詳細設計が完了する。 ・燃料費および CO ₂ 排出量削減への 効果を定量的に明らかにする。	○
	③タービン発電設備次世代保 守技術開発	・低圧タービン最終段羽根のエロージョ ン進展予測技術の開発 ・異常事象要因分析による運転支援 技術の開発	○
	④ボイラクリープ疲労損傷の高 精度余寿命診断技術開発	・高温曲げねじりクリープ疲労試験デー タの取得と組織観察、ならびに溶接部 損傷メカニズムを解明する。	○
3. マネジメント			
3.1 実施体制	経済産業省担当原課	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	国立大学法人東北大学 三原毅 三菱重工業（株） 山下登敏 東芝エネルギーシステムズ（株） 竹内司 中国電力（株） 西田秀高	
	プロジェクトマネージャー	環境部 野原正寛	
	委託先	国立大学法人東北大学、東北発電工業（株） 三菱重工業（株）、（一財）電力中央研究所 東芝エネルギーシステムズ（株） 中国電力（株）、学校法人東京理科大学、国立大学 法人熊本大学、公立大学法人大阪、学校法人近畿大 学、非破壊検査（株）	

3.2 受益者負担 の考え方	本プロジェクトで実施した事業		2020	2021	2022	2023	
	①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発						
	②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発						
	③タービン発電設備次世代保守技術開発						
	④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発						
	会計・勘定		2020	2021	2022	2023	総額
	一般会計		-	-	-	-	-
	特別会計 (電源・需給の別)		956	671	469	5	2,101
	開発成果促進財源		-	-	-	-	-
	総 NEDO 負担額		-	-	-	-	-
	委託		956	671	469	5	2,101
事業費推移 (単位:百万円)							
3.3 研究開発計画							
情勢変化への対応		2022 年夏の電力需給逼迫を踏まえ、石炭火力発電所で実施予定の実機試験の一部を取り止めて 2023 年度に繰り延べる事とし、実施計画の見直しを柔軟・迅速に実施した。					
中間評価結果への対応		2020 年度に実施した中間評価での「実用化・事業化に直結した成果を期待」などの指摘事項に対し、「実機での実証試験」や「電力会社を委員とする外部委員会の設置」などを実施し、現場のニーズを技術開発へ反映させ、早期の実用化・事業化を達成するようマネジメントした。					
評価に関する事項	中間評価	2020 年度 中間評価実施 担当部 環境部					
	終了時評価	2023 年度 終了時評価実施 担当部 環境部					
別添							
投稿論文		7 件					
特 許		40 件					
その他の外部発表 (プレス発表等)		38 件					

	基本計画に関する 事項	作成時期	2016 年 1 月 作成
		変更履歴	2017 年 2 月 改訂（本プロジェクトに関する記載を新規追加） 2018 年 7 月 改訂（P L の記載変更） 2019 年 7 月 改訂（P L の変更） 2020 年 2 月 改訂（プロジェクト名称の変更、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） 2020 年 9 月 改訂（P L の変更） 2021 年 5 月 改訂（P L の変更） 2023 年 1 月 改訂（期間変更）

プロジェクト用語集

①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発

専門用語・略語	定義・解説
TypeⅣクリープボイド	高温クリープ損傷のうち、溶接継手部の熱影響部の結晶粒径が細粒になる表面下やや深めを含む位置に、溶接開先形状の影響などで応力が集中する場所で優先的にクリープボイドが発生し、ボイド密集を経て巨視的き裂に進展して破断する事象。火力発電機器溶接部で顕著に発生することが知られるようになり、表面下 10mm～数十 mm の位置に発生し、精密な非破壊検査法が適用できないことが顕在化したため、現状検査手法がない欠陥と考えられてきた。
USC と A-USC	現在、火力発電は主力石炭火力プラントの超々臨界圧条件（USC）で運用されてきており、さらに温度・圧力条件の高い A-USC 条件を利用することで、発電効率の向上や CO ₂ 排出低減などが模索されている。既存の石炭火力プラントでは、主に 9% Cr 鋼が使われるが、A-USC 条件では高温高压に耐える Ni 基合金が使われる。Ni 基合金は発電利用の実績が無いので、長期運用時にはクリープ損傷の可能性が指摘されているものの、損傷の程度と発生のメカニズムについて、学術的検討が始まっている段階である。
クリープ損傷	高温下で応力を受ける金属材料が、静的に引っ張られることによって塑性変形を生じ、結晶粒界等にダメージが蓄積し、使用時間と共に微視的なクリープボイドなどが発生して部材の強度が低下し、最後には破断に至る損傷形態。
散乱波	通常の超音波計測は、探傷法を含め入射した超音波の界面での音響インピーダンス差に基づく反射エコーや回折エコーを利用して行われる。これらの計測では、計測分解能は用いる超音波の波長で決まると考えられており、波長以下の組織は分離して認識することができず、計測分解能が無いとされる。一方、波長の 1/10 以下程度の組織でも、入射超音波は微視組織で散乱することが知られ、散乱波は例えば結晶粒界界面などで無数の散乱波として受信される。従って散乱波は、無数の散乱波の積算により干渉波として受信されると考えられており、干渉波故に振幅は不安定であると認識されている。
水浸音響映像法	現在工業的に利用されている音響映像法の中で、最も計測分解能が高く信頼性のある方法と考えられている手法。水槽中に試料を置き、基本的に水を介して音響レンズあるいは集束探触子で送信音場を集束しながら、音響レンズなどを XY に試料表面に平行に機械走査（スキャン）する。この時得られる受信波形（音響レンズに反射して戻った超音波波形）の集束深さ位置に対応する受信時間部に電子ゲートを掛け、XY のスキャン位置に対し、焦点付近の振幅をプロットして音響映像を得ることで、分解能の高い音響映像を得ることができる。計測分解能は、用いた音響レンズの集束特性、XY スキャンのピッチ、用いる超音波の周波数（波長が短い高周波数超音波程、高分解能）で決まると考えられる。
超音波伝搬の FEM 解析	超音波伝搬挙動のシミュレーションは、工業的に応用の進む医療超音波と原子力発電施設の探傷用途で強く求められ、特に高い解析精度が求められる原子力発電用途で

	は、解析精度の高信頼性と解析時間の短縮が求められる中、多くの市販ソフトウェアがしのぎを削って発展してきた。工業応用では、長らく短時間で手軽に伝搬音場の解析が可能な、簡易なレイモデル法等が先行し、その対極に精度の高い有限要素解析（FEM）法が学術的に多く報告されて発展する中、これらの中間的な解析時間が短く実用上信頼性があるとされる方法が広く用いられてきた。しかし、近年の計算機の進歩と低コスト化で、FEM を用いたフルスペックの解析手法は、ブラックボックスの部分が無く、かつ最も信頼性のある手法として工業用途でも広範に使われるようになってきた。しかし本研究の様に、大型機器の探傷模擬の問題や 3 次元モデルの解析等では、適用の限界がある。
マトリックスフェーズドアレイ	リニアアレイでは多数の圧電素子を例えば 1mm 程度のピッチで直線状に並べるが、奥行き方向に圧電素子は数mm程度の寸法を持つことで十分な送信波振幅を得ている。しかし奥行き方向に位相整合処理はできないので、奥行き方向の計測分解能は 1 探触子による通常の計測同様、分解能は低いままである。マトリックスフェーズドアレイは、微小な圧電素子を 2 次元に配置し、これらの素子を位相整合することで、例えば送信時には 3 次元的に送信方向や集束特性を制御することが可能である。本プロジェクトのように、3 次元的に分布する微小ボイドを評価する等の場合、威力を発揮すると思われる。しかし、市販されている 64ch マトリックスフェーズドアレイは、3 次元の開口合成処理により 8×8 の画素の音響像を得るが、分解能は悪く工業的に実用できる分野は限られている。多くの素子を励振できる多点マトリックスフェーズドアレイが期待されるが、多点素子を制御励振させるパルサーシステムを考えると、リニア、マトリックスを問わず、1024ch システムが工業的にはほぼ最大であり、1024ch システムも市販はされているものの、アレイを含め極めて高価なシステムになるので研究目的以外、ほとんど使われていない。また 1024ch 励振システムを使っても通常のアルゴリズムで得られる音響像の画素は、32×32ch 程度で必ずしも十分な計測分解能を持つわけでは無い。さらに、汎用の 1024ch フェーズドアレイは市販されていないので、これらを使いたい場合は、ユーザーが送受信のプログラムを作成することになるが、多くのメーカーはフェーズドアレイ装置の情報を開示しないので、マトリックスアレイで特殊な計測を希望する場合、そのハードルは高い。
リニアフェーズドアレイ	数 mm 程度のピッチで規則正しく n 個の圧電素子を線状に並べた音響素子。それぞれの素子の励振を各素子に制御して遅延させることのできるパルサーとセットで、フェーズドアレイシステムを構成する。送信時は、例えば右側素子を先に励振し、順次左側ほど遅延時間を制御して励振すると、各素子から点音源的に伝搬する超音波位相が揃う面の超音波の振幅が大きくなるので、法線方向に対し左側に超音波を送信することができる。遅延時間を制御すれば、任意の方向に入射方向を制御できる。一方、素子両側を励振し、中央部ほど遅延時間を制御して励振すると、集束波を伝搬させることもできる。また、受信時は、任意の計測位置に欠陥があると仮想し、その仮想欠陥から各受信素子（送受信を兼ねる）への伝搬時間を幾何的に計算して全素子の受信波形の位相が揃うように、各素子の受信波を遅延させて積算すると、そこに欠陥があれば全ての反

	射波の位相が揃うので、受信波振幅は大きくなりS N比の大きな振幅が得られる。もしそこに欠陥が無ければ、反射波は存在しないので、それら受信波形をずらして積算しても何の影響もない。フェーズドアレイの計測位置の全てでこれらの処理を行うと、欠陥のある位置でのみS N比が大きくなり鮮明な音響画像を得ることができる。この処理のことを開口合成処理[※]と呼ぶ。 ※医療超音波や原子力発電機器での探傷では、64ch 程度の素子数のアレイを直線状に並べるリニアアレイを用いた計測が標準的に行われる。これらの用途で計測が期待される欠陥や組織のサイズは、いずれも数mm程度なので、30mm 四方程式の計測で500 画素程度の粗い音響像を得るが、素子が荒い音響像取得までの時間は短く、極めて汎用性の高い計測法として広く用いられている。
--	---

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発

専門用語・略語	定義・解説
調整電源	負荷変動への対応や、地震等に起因する電力系統の需給バランスを調整するための電源。
負荷変化率	発電機出力を増減させるスピードのことであり、単位には 1 分間に定格出力の何%にあたる負荷を変化させられるかという意味で「%/min」が用いられる。
最低負荷	発電所の安定連続運転が可能な下限値（最低出力）のこと。
余剰電力	太陽光発電により発電された電気の内、電力系統の需給バランスの結果として、使い切れずに余った電力のこと。
FS	Feasibility study の略。プロジェクトの実現可能性を事前に評価すること。
CFD	Computational fluid dynamics の略。数値流体力学をコンピュータで解くことによって、流体の動きを観察する数値解析・シミュレーションのこと。
Dry-Wet 制御	要求負荷に対応した燃料投入量に対して、給水流量は特定の負荷まで下がると過大となり、Wet 運転域では気水分離器入口流体は湿り蒸気となる。その後、その湿り蒸気は気水分離器で分離され、乾き蒸気は過熱器へ、飽和水は復水器へ回収される。Dry 運転域では気水分離器入口にて乾き蒸気の貫流運転（乾き蒸気は全量が過熱器へ）となる。この Wet 運転域と Dry 運転域を特定の負荷で切り替える制御を Dry-Wet 制御とよぶ。
金属 PCM	Phase change material の略。物質の相変化の潜熱を利用する相変化材料のこと。その中でも金属ベースの相変化材料を金属 PCM とよぶ。
対向燃焼方式	ボイラに設置される燃焼バーナを火炉前後壁又は両側壁に設け、対向して行うことを特徴とする燃焼方式。
旋回燃焼方式	ボイラに設置される燃焼バーナが 4 隅（コーナー）の位置に配置され、火炉中央の仮想円に対して接線方向にバーナを向け燃焼を行うことを特徴とする燃焼方式。
火炉壁フィン	火炉壁には水管とよばれる長尺の小径管が多数設置されており。この水管と水管の間をつなぐ長尺の板材をフィンとよぶ。
並列無送電対応型蓄熱システム	ボイラ・タービンからなる汽力発電プラントにおける余剰蒸気を熱源とするシステムである。一般に汽力発電プラントの最低負荷はボイラ最低負荷が制約となっているが、再エネ由来受入のためにさらなる低負荷運転を目標む場合はボイラ発生蒸気の一部が余剰となるため、これを水蓄熱システムへ貯留しランキンサイクルへ回収する。このシステムを導入することにより、電力系統に並列されたまま最低送電負荷 0MW（無送電）を実現できる。
タービンバイパス弁	主蒸気ラインから蒸気タービンをバイパスさせて復水器へ接続するラインをタービンバイパスとよび、そのライン上に設置される制御弁のこと。
ガバナ弁	蒸気タービン入口に設置され、蒸気タービンへの蒸気量を調整する（タービンの回転数を調整する）ための加減弁のこと。

同期発電機	交流電力を発電する発電機のこと、回転子の持つ慣性力により負荷の急変に対応可能、位相ズレが発生した際には位相ズレを無くそうとする同期化力を持つなど、需給バランスの安定化に向けた性質がある。
オリフィス	面積を減少した管路のことで、流量の調整等に使用される。
ヒート・マスバランス	1つの系に流入してくる物体の質量の合計と熱量の合計は出て行く物体のそれらと釣り合うという考えのもと、その収支の整合をとること。
肉盛材	基板材料の上に異なる金属を盛り上げる技術を肉盛溶接とよび、その時使用される材料を肉盛材とよぶ。
非定常伝熱解析モデル	定常解析が最終的な状態のみを求める計算であるのに対し、非定常解析には時間の概念が有って、変化している過渡状態を求める計算である。固体から液体の潜熱を利用する金属 PCM の伝熱解析において使用している。

③タービン発電設備次世代保守技術開発

専門用語・略語	定義・解説
エロージョン	浸食の意味であり、タービンの羽根が水滴やボイラからの微小な飛来物によって、徐々に摩耗していくこと。
応力腐食割れ (SCC)	腐食環境下かつ静的応力環境下で発生する金属素材の割れを意味する。腐食環境下では、より低い静的応力で金属素材に割れが生じる。ただし、腐食しない素材では発生しない。
クリープ変形	高温高圧下（高温静的応力下）で金属素材が徐々に変形する現象を意味する。
高温部品	蒸気タービンの機器において、熱による金属の脆化やクリープ変形が生じてくる温度域を指す。高圧タービンや中圧タービンが概ねこの環境に該当する。
発電機コレクタリング	発電機回転子（ロータ）を励磁する為に電流を流す摺動部のことを意味する。
腐食疲労(CF)	腐食環境下かつ動的応力（繰り返し応力）環境下で発生する金属素材の割れを意味する。腐食環境下では、金属の疲労限が低下し、より低い動的応力で金属素材に割れが生じる。
レアショート	発電機ロータの絶縁層が破壊され、短絡が生じる現象
PD	パシャルディスチャージの略で発電機固定子の絶縁部が破壊され、部分放電が生じることを意味する。
UI	ユーザーインターフェースの略で、ユーザーとシステム（製品やサービス）をつなぐ部分となる。システムやソフトウェア画面を指す場合もあるが、エッジデバイス（PC やタブレット）を指す場合もある。
UX	ユーザーエクスペリエンスの略で、ある製品やサービスをユーザーが使用するにあたり、その使い易さや印象、体験などの総称を意味する。

④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発

専門用語・略語	定義・解説
HTS-SQUID	高感度で耐磁場特性に優れたセンサー
PZT	チタン酸鉛とジルコン酸鉛を主成分とする圧電素子
ジャイロ스코ープ	方位や角速度の測定や維持に使用される、高速で回転する車輪や循環する光のビームを備えた機器
デジタルツイン技術	現実空間にある情報を IoT など集め、送信されたデータを元にデジタル空間で現実空間を再現する技術
熱時効	熱によって金属の材料特性が時間の経過とともに変化する事
分解能	器械装置などで物理量を測定・識別できる能力
ボイド	物体に含まれる微小な空洞
マスターカーブ	HTS-SQUID の基準電圧に対する出力電圧比と寿命比の関係を示す寿命予測グラフ
理想化陽解法 FEM	動的陽解法 FEM の高速・省メモリを維持しつつ、静的陰解法 FEM と同程度に高精度な解を導出可能な手法

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1.1. 事業の位置づけ・意義

1.1.1. 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、他国製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。

1.1.2. 本プロジェクトの背景・目的・将来像

<背景>

- ・再生可能エネルギー大量導入による、再エネの瞬時的・継続的な発電電力の低下への対応が急務
- ・高い負荷変動対応能力、負荷変動による大きな機械的負荷に耐える、高い設備信頼性を具備する石炭火力発電設備のニーズ大

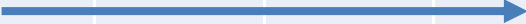
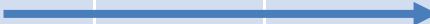
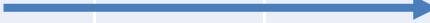
<目的>

- ・設備信頼性向上に資する、先進的な故障予知・余寿命診断要素技術の開発の完了
- ・高い負荷変化率・最低負荷引き下げを実現する運用性向上技術の開発の完了

<将来像>

- ・石炭火力発電所に対して、本 PJ の成果を反映した故障予知・余寿命診断サービス等を提供し系統安定化に資する。

以上を踏まえ、本プロジェクトでは以下の事業を実施した。

事業名称	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度
①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発				
②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発				
③タービン発電設備次世代保守技術開発				
④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発				

1.1.3. 政策・施策・技術戦略上の位置づけ

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」および「第 6 次エネルギー基本計画」において、石炭火力発電の負荷変動対応能力は系統安定化に貢献する重要な技術と位置づけられている。

＜事業開始時＞：2016 年 6 月「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」

【石炭、LNG 火力に関する方針】

負荷追従性を重視した系統安定化対応に貢献する技術の向上も課題であり、今後必要な技術の開発に向けて検討を進めていく。

（出典：経済産業省「次世代火力発電に係る技術ロードマップ（2016 年 6 月）」

https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment.html#jisedai_karyoku

＜事業終了時＞：2021 年 10 月「第 6 次エネルギー基本計画」

【火力発電の今後の在り方】

A I・I o Tを活用した火力発電の運用の最適化・自動化や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促進する。

【エネルギー源の位置付け（石炭）】

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。

（出典：経済産業省 第 6 次エネルギー基本計画（令和 3 年 10 月）https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan）

1.1.4. 国内外の動向

石炭火力に関する各国方針としては、二酸化炭素排出削減対策が講じられていない石炭火力は段階的に削減・廃止される見込みである。一方で、石炭火力の負荷変動対応技術として、アメリカエネルギー省（DOE）の支援により、負荷変動によって生じる脆弱性部位の特定を支援するプラントの状態評価ツールの開発が行われた。出典：<https://netl.doe.gov/flextool>

国名	石炭火力に関する方針
フランス	2022 年までに全廃
ドイツ	石炭火力の段階的廃止完了時期を 2038 年から 2030 年に前倒しする計画
オランダ	2030 年までに全廃
アメリカ	「パリ協定」に復帰。2035 年までの発電部門の CO ₂ 排出ゼロ、及び 2050 年までの GHG 実質ゼロを国家目標に設定。炭素集中型の化石燃料ベースのエネルギープロジェクトに対する国際的な投資及び支援の停止に向け努力する方針（2021 年 4 月）
韓国	石炭火力の電源比率（現在約 3 割）を 2030 年頃までに約 23%に低下させる方針。新規の海外石炭火力発電に対する公的金融支援の停止を宣言（2021 年 4 月）
オーストラリア	エネルギー消費量の約 1/3 が石炭火力。近年では高経年化した石炭火力発電所の閉鎖が進んでいる。他方、石炭の産出と輸出を 2030 年以降も継続する方針
中国	国外での石炭火力新設停止を表明（2021 年 9 月）。国内でも脱石炭を進めていたが、今夏の電力不足を受けて国内石炭を増産
ベトナム	石炭火力より、電力系統と自然エネルギー開発を優先する方向を示す。火力発電の中では、天然ガス火力を石炭火力より優先
インドネシア	20 年以上経過した石炭火力を自然エネに建て替え。石炭火力の新設は 2020 年がピーク、2028 年以降は新設せず。

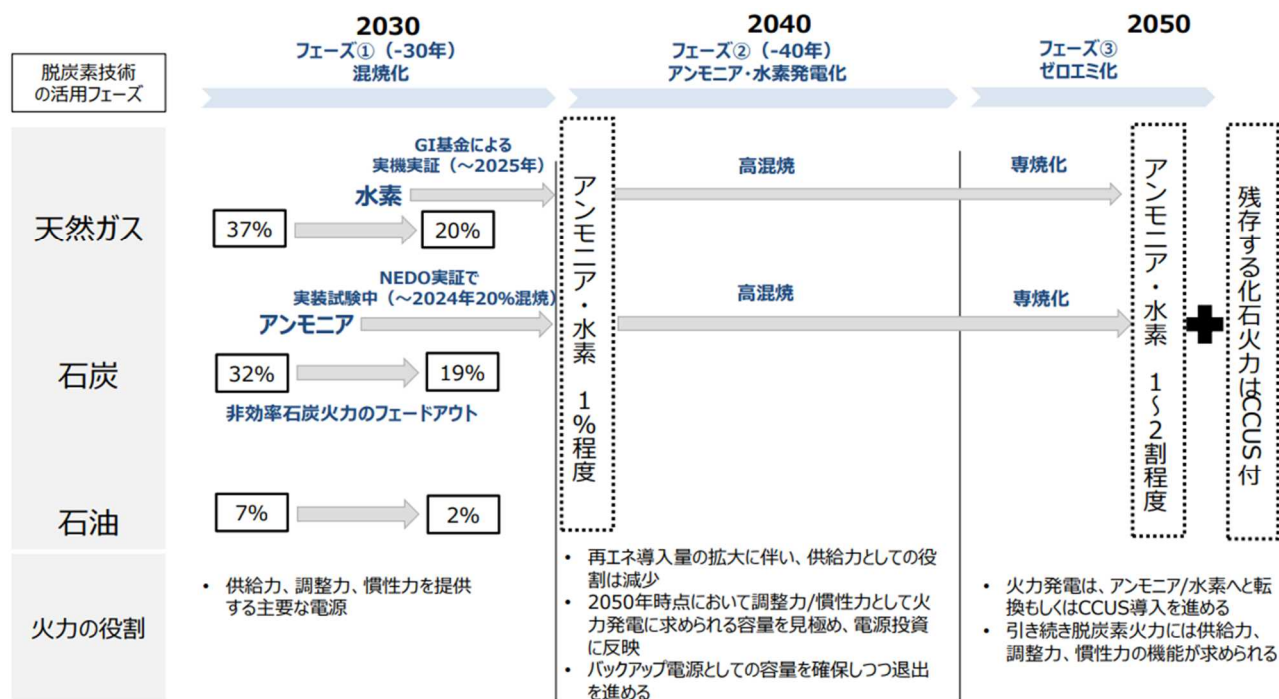
出典：経済産業省 第 59 回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 2023 年 3 月 1 日資料を基に NEDO 作成

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/059.html

出典：環境省 第 2 回石炭火力発電輸出への公的支援に関する有識者ファクト検討会 2020 年 4 月 21 日資料 3-4 を基に NEDO 作成

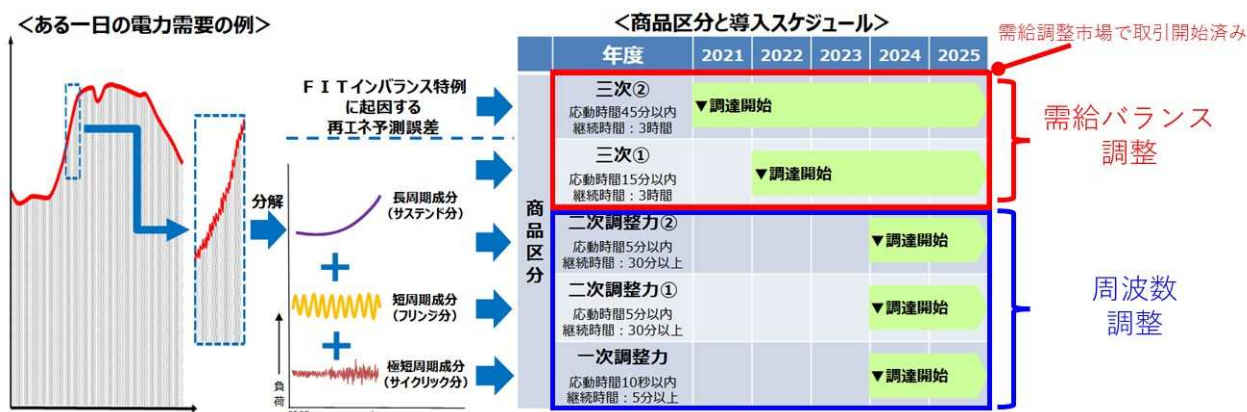
https://www.env.go.jp/earth/post_72.html

以下に、経済産業省 電力・ガス基本政策小委員会にて議論されている、2050 年に向けた火力発電のロードマップ（案）を示す。第 6 次エネルギー基本計画にも示されているとおり、非効率石炭火力のフェードアウト等により、2030 年度時点の電源構成比率は、石炭火力 19%程度まで減少する見込みである。また、2050 年に向けては、再エネ導入量の拡大に伴い、供給力（kWh）としての役割が減少し、調整力/慣性力（ΔkW）電源として、アンモニア・水素・CCUS の活用により火力発電の脱炭素化が進む見込みである。



出典：経済産業省 第 46 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 3 月 25 日資料を基に NEDO 作成。なお、本ロードマップはイメージ案であり、委員会の今後の議論を踏まえ修正されていく見込み
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/046.html

なお、エリアを越えた広域的な調整力の調達・運用と、市場原理による競争活性化・透明化による調整力コスト低減を図るため、2021 年 4 月より需給調整市場が開設され取引を開始されている。再エネの変動性を補う調整力として、火力発電設備の負荷変動対応能力が正当に評価される電力システム改革が進行中である。



出典：経済産業省 第73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 制度検討作業部会 2022年12月21日資料4を基に NEDO 作成

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/seido_kento/073.html

1.1.5. 他事業との関係

火力発電を対象とした設備信頼性向上・運用性向上に関する事業としては以下の表とおり複数存在するものの、本PJとは狙い・対象設備が明確に異なる。

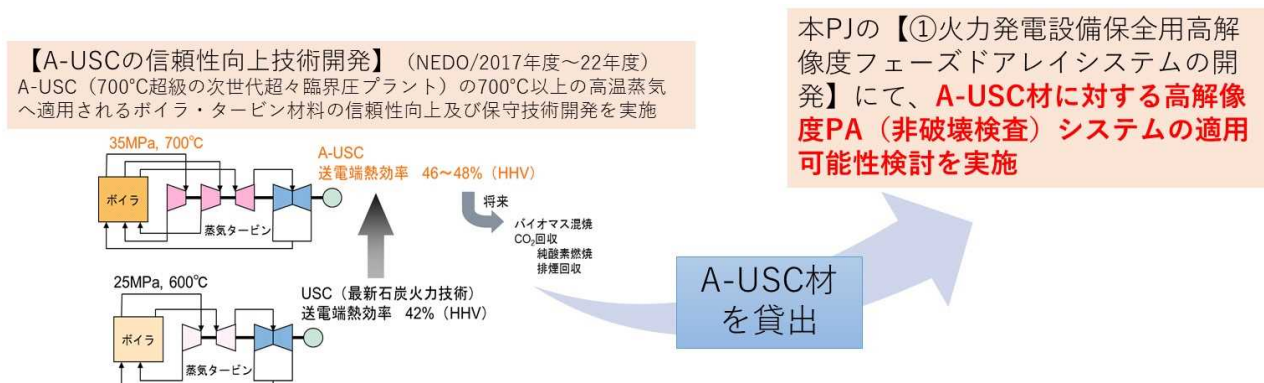
実施機関	プロジェクト名称	狙い	対象設備
NEDO	A-USC（700℃超級の次世代超々臨界圧プラント）の信頼性向上技術開発	A-USC 材適用による熱効率向上に伴う CO₂ 排出量の抑制	火力発電設備の内、高温蒸気（700℃以上）を扱う大径管等の設備
NEDO	機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究	最低出力の引き下げ、出力変化速度向上、起動時間短縮 などに必要な要素技術を開発	GTCC 設備全般
経済産業省	IoT/AI を活用した巡視点検自動化システム実証事業	発電設備の日常巡視作業における 人的リソース省力化	火力発電設備全般
NEDO	石炭火力の負荷変動対応技術開発【本PJ】	故障予知・余寿命診断サービス等を提供による電力系統安定化	石炭火力発電設備全般

出典：経済産業省 電気保安分野 スマート保安アクションプラン 2021年4月30日資料

https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/denryoku_anzen/20210430_action_plan.html

NEDO の別事業で技術開発を行った A-USC 材※について、事業①にて高解像度非破壊検査システムの適用可能性検討と課題抽出を実施する様、マネジメントを実施した。

※ 高温蒸気（700℃以上）用ボイラ・タービン材料

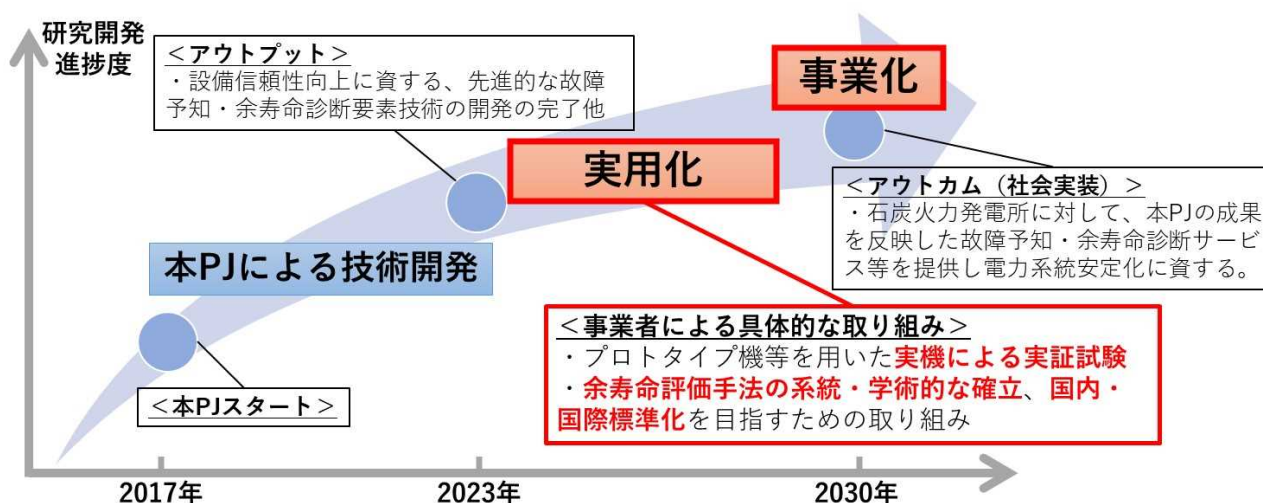


1.2. アウトカム達成までの道筋

本PJでは十分な成果が得られたため、事業化に向けた実用化研究を各事業者にて進める。事業者による取り組み例は以下のとおりである（各事業の詳細については、「4. 目標及び達成状況の詳細」に記載）。

- ・プロトタイプ機等を用いた実機による実証試験
- ・余寿命評価手法の系統的な確立、国内・国際標準化を目指すための取り組み

事業化は市場動向や実用化研究の進捗等を見ながら可能な限り前倒しを狙う。なお、NEDO は事業者による実用化研究をサポートするため、負荷変動対応技術の実用化に関する公募を実施予定である。



1.3. 知的財産・標準化戦略

＜知的財産権の帰属＞

知的財産権はすべて発明等をなした機関に帰属する。

＜標準化戦略＞

実用化・事業化を見据えた上でクローズ領域とオープン領域を適切に設定した。

（一例）②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発

	非競争域	競争域
公開	<u>＜学術的価値があるので広く一般に公開＞</u> 金属 PCM 熱物性値データ	<u>＜積極的に公開し材料メーカーの価格競争により低コスト化を狙う（標準化を推進）＞</u> 金属 P C M の材料組成
非公開	<u>＜制御や解析などは特許を取得しても顕現性が低いためノウハウとして秘匿＞</u> ボイラ CFD 解析	<u>＜基本特許を出願し知財化＞</u> Dry-Wet 制御、蓄熱システム関係の 構成・構造・運用

＜知財マネジメント基本方針（「NEDO 知財方針」）に関する事項＞

NEDO 知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成した。

＜データマネジメントに係る基本方針（NEDO データ方針）に関する事項＞

NEDO データ方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「データの取扱いに関する合意書」を作成した。

2. 目標及び達成状況

2.2. アウトカム目標及び達成見込み

2.2.1. アウトカム目標の設定及び根拠・「実用化・事業化」の考え方

アウトカム目標は以下のとおり設定した。なお、外部環境の変化（2030 年に向けた非効率石炭火力のフェードアウト等）を踏まえ、経済効果の見直しを適時実施している。

＜アウトカム目標＞

石炭火力発電所に対して、電力系統安定化に資する故障予知・余寿命診断サービス等を提供する。これにより、サービス等の売上および石炭火力発電所のメンテナンス費削減により経済効果：288 億円以上を目指す。

「実用化・事業化」の考え方は以下のとおりである。

＜実用化＞

石炭火力発電所に対して、その一部に試験的に故障予知・余寿命診断サービス等の提供が行われること。

＜事業化＞

石炭火力発電所に対して、広く一般に故障予知・余寿命診断サービス等の提供が行われること。

2.2.2. 費用対効果

PJ 総額：21 億円に対し、ベンダー売上、ユーザーのメンテナンス費削減として経済効果：288 億円以上（下表内※印の項目の合計）を見込む。なお、「国内高効率石炭火力のメンテナンス費削減効果」については、現状、使用時間から余寿命が十分に残っていると思われる（安全側で）段階で TBM 等を活用した予防保全を実施しているが、高解像化したシステムを開発・実機適用することで、初期から中期の損傷を探傷する事が可能となり、適切な大径管取替タイミングを予測する事ができる。これにより、従前の予防保全よりも、適切に寿命管理する事で寿命末期まで大径管を使用でき、結果として取り替え回数を削減できる見込みである。

PJ 総額	ベンダーの経済効果	ユーザー（発電事業者側）の経済効果
<PJ 総額：21.0 億円> ①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発 ②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 ③タービン発電設備次世代保守技術開発 ④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発	<売上：8.6 億円[※]> 事業①④について、国内石炭火力発電所の検査・寿命消費率診断業務（数千万円/件）を年間複数受託する想定 <売上：50 億円> 事業②について、700MW 級石炭焚き火力発電所 1 基に負荷変化率向上技術、最低負荷引き下げ技術、水蓄熱システムの適用を想定	<国内高効率石炭火力のメンテナンス費削減効果：280 億円以上[※]> 事業①について、ボイラ寿命（50 年）に対し、大径管取替回数が 2 回/基から 1 回/基に削減^{※1}。10 億円/（回・基）×1 回×28 基（国内高効率石炭火力）^{※2} <火力発電 1 基に技術を導入した時の燃料費削減効果：11 億円/（年）> 事業②について、700MW 級石炭火力に負荷変化率向上技術を導入し、これらがベースロードを外れ負荷調整運用となる日数が年間で 5 か月に達するとして試算。標準（中規模）エリアを対象として計算 <火力発電 1 基に技術導入した時の CO₂ 削減効果：14 万ト/（年）> 事業②について、700MW の超々臨界圧石炭火力の 1 ユニットに送電端出力ゼロ MW の運用技術（水蓄熱等）を導入し、余剰再エネの約 8%を有効に電力系統に取り込んだとして試算した。同じく標準（中規模）エリアを対象として計算 <火力発電 1 基に技術導入した時の省エネルギー効果：4.3 万 KL/（年）> 事業②について、蓄熱技術の導入により最低負荷を送電端出力ゼロ MW まで引き下げられた場合の石炭火力の燃料費削減分を省エネルギー効果（石油換算）として試算した。同じく標準（中規模）エリアを対象として計算

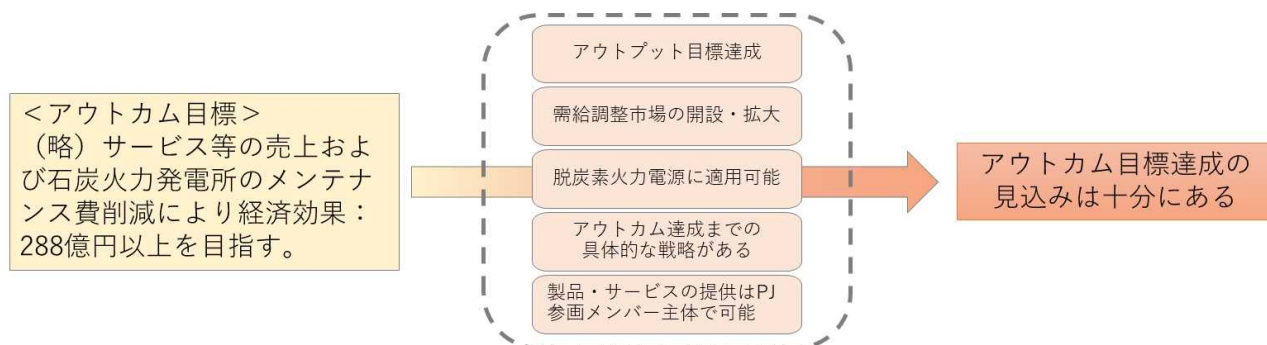
※ 1 現状、使用時間から余寿命が十分に残っていると思われる（安全側で）段階で TBM 等を活用した予防保全を実施。高解像化したシステムを開発・実機適用することで、初期から中期の損傷を探傷する事が可能となり、適切な大径管取替タイミングを予測する事ができる。これにより、従前の予防保全よりも、適切に寿命管理する事で寿命末期まで大径管を使用でき、結果として取り替え回数を削減できる見込みである。

※ 2 外部環境の変化（2030 年に向けた非効率石炭火力のフェードアウト等）を踏まえ、国内高効率石炭火力（USC）の基数（「×28 基」）とした（下記リンク P7 表）。

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/sekitan_karyoku_wg/pdf/20210423_1.pdf

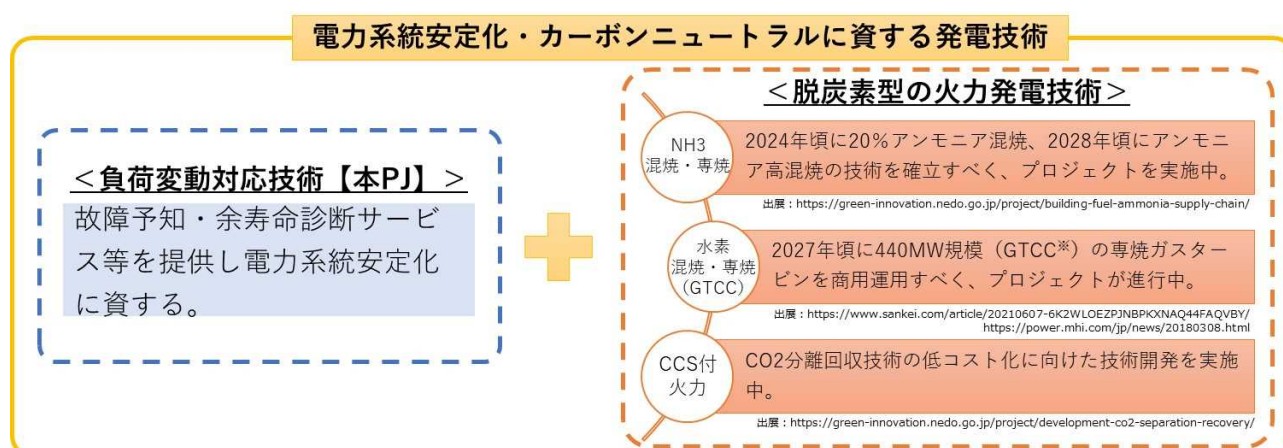
2.2.3. アウトカム目標の達成見込み

本 PJ の 4 事業について、アウトカム目標は十分に達成しており、アウトカム達成までの具体的な戦略が練られていることから、アウトカム目標達成の見込みは十分にある。



2.2.4. アウトカムの波及効果

本PJでは、石炭火力への適用を念頭に開発を進めてきたが、開発技術の大半は、脱炭素型の火力発電（アンモニア混焼・専焼、水素混焼・専焼（GTCC）、CCS付火力等）にも適用可能である。石炭火力発電を取り巻く政策環境がめまぐるしく変わる中、開発技術の適用先について、石炭専焼に限定することなく、脱炭素型の火力発電への適用も視野に入れて柔軟に検討を進めていきたい。

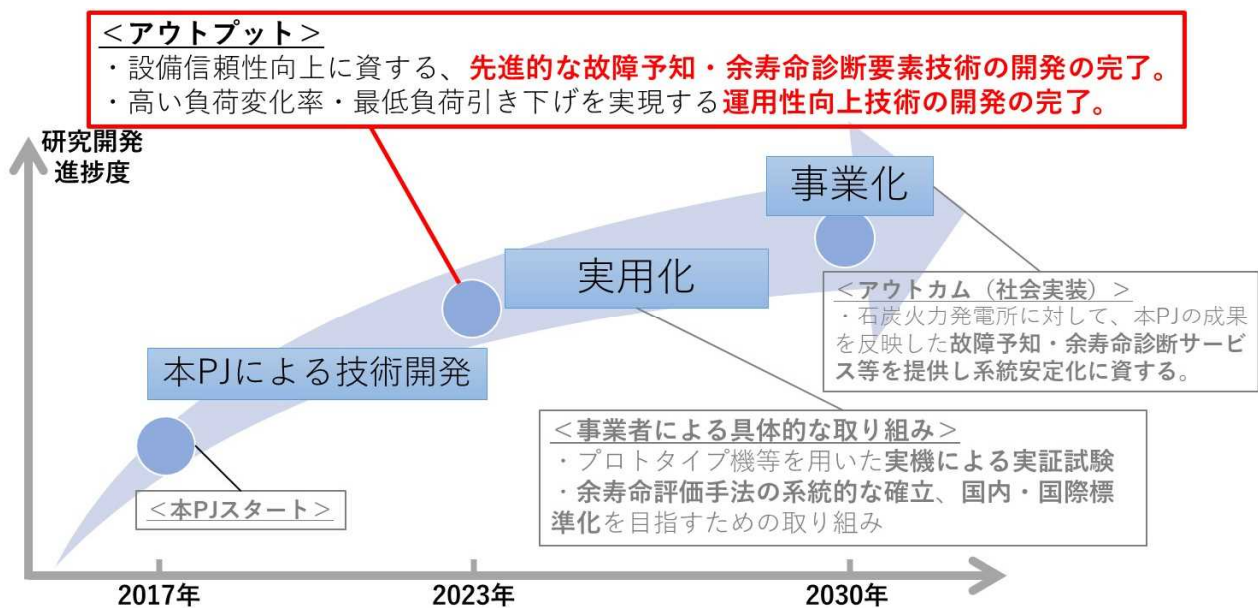


※GTCC：ガスタービンコンバインドサイクル発電。はじめに燃焼によりガスを発生させ、そのガス圧でガスタービンを回して発電すると同時にガスの持つ余熱を利用して水を熱し水蒸気によって蒸気タービンを回して発電する。（出典：weblio）

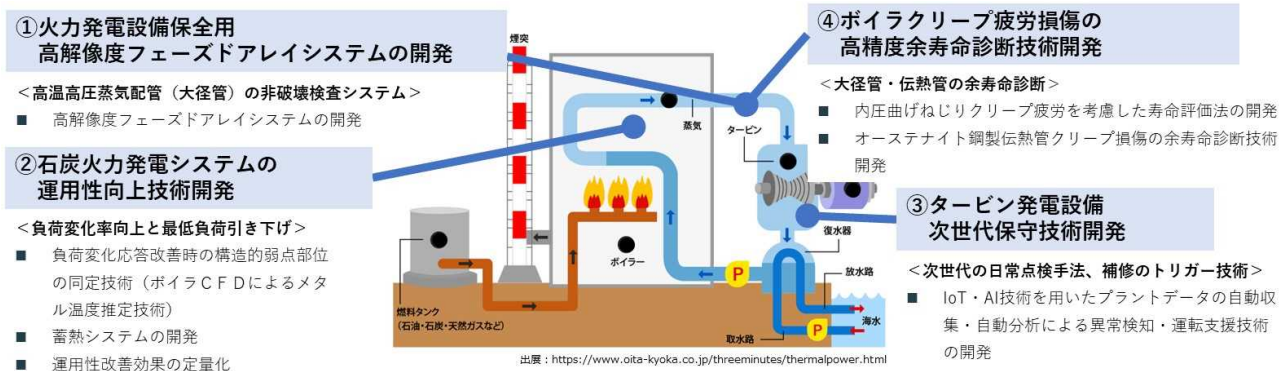
2.3. アウトプット目標及び達成状況

2.3.1. アウトプット目標の設定・根拠・達成状況

石炭火力発電所に対して、本PJの成果を反映した故障予知・余寿命診断サービス等を提供することで、サービス等の売上および石炭火力発電所のメンテナンス費削減により経済効果：288億円以上を目指すというアウトカム目標を踏まえ、アウトプット目標は、「設備信頼性向上に資する、先進的な故障予知・余寿命診断要素技術の開発の完了」および「高い負荷変化率・最低負荷引き下げを実現する運用性向上技術の開発の完了」とした。



上記のアウトプット目標を踏まえ、上述のとおり本PJでは以下の4つの事業を実施した。



これら 4 事業は、計画通りの成果を上げ、全ての事業でアウトプット目標を達成する見込みである。

特に、事業③の大半の成果は社会実装が非常に近いレベルまで到達している。

※各事業の詳細については、「4. 目標及び達成状況の詳細」に記載

事業名称	アウトプット目標 (根拠は「4. 目標及び達成状況の詳細」に記載)	成果（実績） (終了時評価時)	達成度	達成見込みの根拠
①火力発電 設備保全用 高解像度 フェーズドア レイシステムの 開発	・既存のどの方法を用いても 評価が不可能だった内部ク リープボイド密集の有無を判 別できる評価法の提案	・ハイブリット解析法を完成させ た。 ・大型損傷試験体の系統的 作製に成功した。 ・ 高精度フェーズドアレイのプ ロトタイプ機を開発した。	○	—
②石炭火力 発電システム の運用性向 上技術開発	・極低負荷運転を実現する 蓄熱システムの詳細設計が 完了する。 ・燃料費および CO ₂ 排出量 削減への効果を定量的に明 らかにする。	・ 並列無送電対応型蓄熱シ ステム（水蓄熱システム）は 概念設計とコスト試算完了 ・再エネ導入拡大への効果、 CO ₂ 削減への効果、電力系 統運用に必要な火力燃料削 減効果を定量化	○ ※一部項 目は 2023 年 11 月に達 成見込み	実機での Dry 最 低負荷低減試験 （25%負荷にて 各種警報に抵触し ないことを確認）を 実施予定。試験要 領の取り纏めが完 了し、実機運転計 画にも織り込み済 であることから計画 通り達成の見込み
③タービン発 電設備次世 代保守技術 開発	・低圧タービン最終段羽根の エロージョン進展予測技術 ・異常事象要因分析による 運転支援技術	・低圧タービン最終段羽根の エロージョン進展予測技術の 開発完了 ・ 異常事象要因分析による運 転支援技術の開発完了	○	—
④ボイラクリー プ疲労損傷の 高精度余寿 命診断技術 開発	・高温曲げねじりクリープ疲 労試験データの取得と組織 観察、ならびに溶接部損傷 メカニズムの解明する。	・高温曲げねじりクリープ疲労 試験データの取得と組織観 察、ならびに 溶接部損傷メカ ニズムを解明した。	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

2.3.2. アウトプット（研究開発成果）の波及効果・副次的成果

<波及効果>

・高解像度フェーズドアレイ（事業①）・高温曲げねじりクリープ（事業④）に関する研究開発は、様々な分野に適用が可能であり、波及効果が期待できる。

事業名称	本事業の研究開発内容	期待される副次的成果・波及効果
①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発	・高精度フェーズドアレイのプロトタイプ機の開発に成功した。 ・これにより、これまで既存のどの方法を用いても評価が不可能だった内部欠陥密集有無の判別が可能となった。	航空宇宙産業、自動車産業などの 機械産業における微視欠陥の評価、医療用超音波検査機器として微視組織の観察に適用できる 可能性がある。
④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発	・高温曲げねじりクリープ疲労試験データの取得と組織観察ならびに溶接部損傷メカニズムの解明を実施した。	高温クリープ環境で内圧・曲げ・ねじりが加わるような、 化学プラント構造物等の高温・高応力機器の設計に適用できる 可能性がある。

<副次的効果>

- ・事業②で得られた金属 PCM 候補材の物性値については、学術的価値が高いことから、これを広く一般に公開することで、金属 PCM の研究開発加速への足掛かりになる。
- ・大学における学会発表・論文のテーマとしても扱われ、当該分野の人材育成にも貢献した。

2.3.3. 特許出願及び論文発表

オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表・特許出願等を実施している。なお、ボイラ・タービンメーカーが委託事業者に含まれる事業②③は、製品に直結する技術開発が大半を占め、特許出願や対外講演の件数は相対的に多い。

	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				計
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	
特許出願 (うち外国出願)	0	0	1	0	0	6(2)	6(1)	0	0	2(2)	22(11)	0	0	0	0	0	37(16)
論文	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	6
研究発表・講演	0	0	0	1	0	9	5	1	2	12	2	5	2	0	0	0	39
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5
展示会への出展	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

①：火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発
 ②：石炭火力発電システムの運用性向上技術開発
 ③：タービン発電設備次世代保守技術開発
 ④：ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発

※2024年4月現在。今後の予定を含む

3. マネジメント

3.1. 実施体制

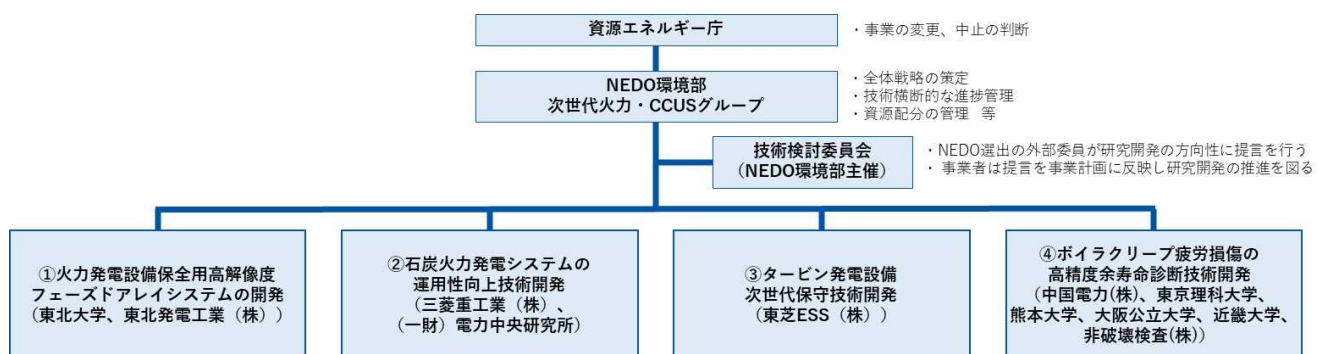
3.1.1. NEDO が実施する意義

以下をふまえ、NEDO が推進すべき事業と判断した。

- ・本 PJ 成果が需給バランスの維持・系統安定化という社会的な利益に繋がる。
- ・研究開発の難易度が高く投資規模も大きいため、民間企業だけではリスクが高い。
- ・NEDO がこれまでに培ってきた知見、成果、およびネットワークを活用し、中長期的な技術開発を行うことが可能である。

3.1.2. 実施体制

本 PJ の実施体制は以下のとおりである。技術検討委員会を設置し、外部有識者から得られた助言・提言を事業計画に速やかに反映して、研究開発の更なる推進を可能とする体制を構築した。



3.1.3. 個別事業の採択プロセス

外部有識者による採択審査委員会での審査結果を踏まえ、4 件すべてに対し条件付き採択とした。また、NEDO によるマネジメントとして、採択条件や中間評価の指摘事項を満足する様に仕様書の作成や実施計画書の作成サポートを実施した。

<公募>

公募予告：2020 年 1 月 28 日

公募開始：2020 年 3 月 25 日

公募〆切：5 月 28 日（64 日間）

<採択>

採択審査委員会：2020 年 6 月 17 日（リモート開催）

採択決定通知の施行日：2020 年 7 月 7 日

<採択審査委員>

区分	氏名	所属（当時）	役職（当時）	専門分野
委員長	成瀬 一郎	名古屋大学	教授	化学工学、エネルギー学
委員	中澤 治久	火力原子力発電技術協会	専務理事	発電技術
委員	藤原 尚樹	出光興産株式会社	総括マネージャー	石炭技術
委員	村岡 元司	NTT データ経営研究所	本部長	社会基盤
委員	山崎 晃	千葉工業大学	教授	社会システム

3.2. 受益者負担の考え方

本 PJ で対象とする技術開発は、事業化のために長期間の研究開発が必要、かつ事業性の予測が困難であることから、委託事業（NEDO 負担率：100%）として実施した。

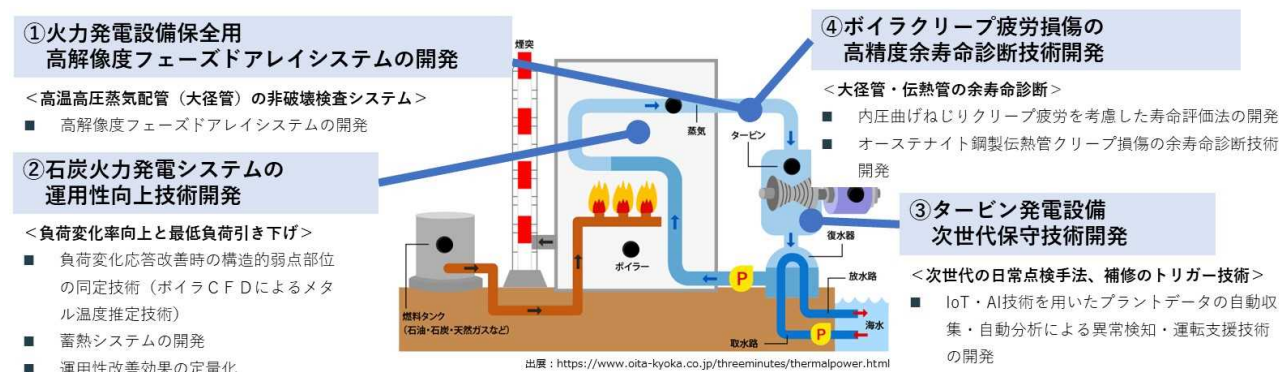
（単位：百万円）

事業名称 （全て委託事業）	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	合計
①火力発電設備保全用高解像度フェーズド アレイシステムの開発					—
②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発					—
③タービン発電設備次世代保守技術開発					—
④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断 技術開発					—
合 計	956	671	469	5	2101

3.3. 研究開発計画

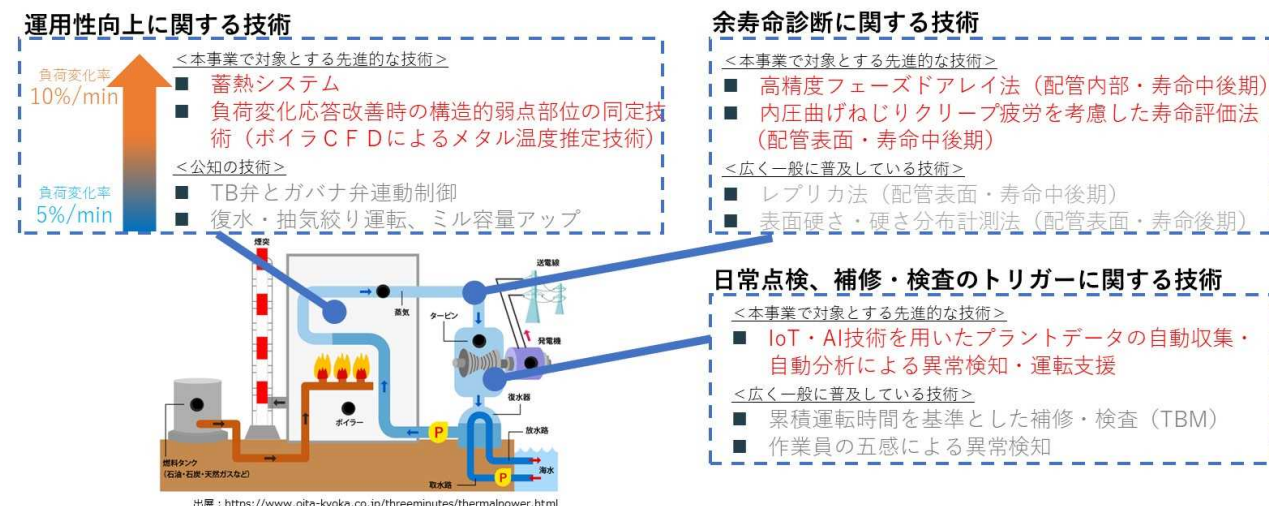
3.3.1. 研究開発計画の概要

本PJでは、既存の石炭火力発電設備への適用を念頭に、以下の図内①から④の4事業を実施し、負荷変動対応能力の向上及び機械的負荷に耐える設備信頼性確保に関する研究開発に取り組んだ。なお、本PJは、4つの事業を以て、発電設備全体を研究開発対象として網羅的にカバーしている。



3.3.2. 目標達成に必要な要素技術

目標達成に必要な要素技術は、以下のとおりである。従前の手法・技術を凌駕する先進的な保守技術および信頼性・運用性向上技術を本PJの研究開発対象とした。



3.3.3. 研究開発のスケジュール（概要）

研究開発のスケジュール（概要）については、以下のとおりである。NEDO のマネジメントの一環として、NEDO 主催の技術検討委員会や電気事業者向け成果報告会を開催し、アウトプット目標達成に必要な技術開発が適切に実施されていることを適時確認した。

併せて、外的要因への対応として、②については、他事業と同様の当初 2022 年 3 月末に完了予定であったが、電力需給逼迫の影響で実機試験の一部を 2023 年度に繰り延べる必要が生じたため、2023 年 11 月まで委託期間を延長した。

事業名称	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発				
②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発				※
③タービン発電設備次世代保守技術開発				
④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発				
備考	▲中間評価	▲技術検討委員会 ▲成果報告会	▲成果報告会	▲終了時評価

※②については、他事業と同様の当初2022年3月末に完了予定であったが、電力需給逼迫の影響で実機試験の一部を2023年度に繰り延べる必要が生じたため、やむを得ず2023年11月まで委託期間を延長した。

電気事業者の開発部門、および特にユーザー的な側面を持つ火力部門、保守部門を対象に、電力事業連合会殿の協力を得て、電気事業者向け成果報告会を開催した。本報告会では実用化・事業化の戦略を明確化し、早期の社会実装を促進するため、ユーザーニーズのヒアリングを行った。本報告会后、電気事業者の希望により、発表事業者と電気事業者で、詳細な意見交換会を個別に実施した（実績：5 案件）。

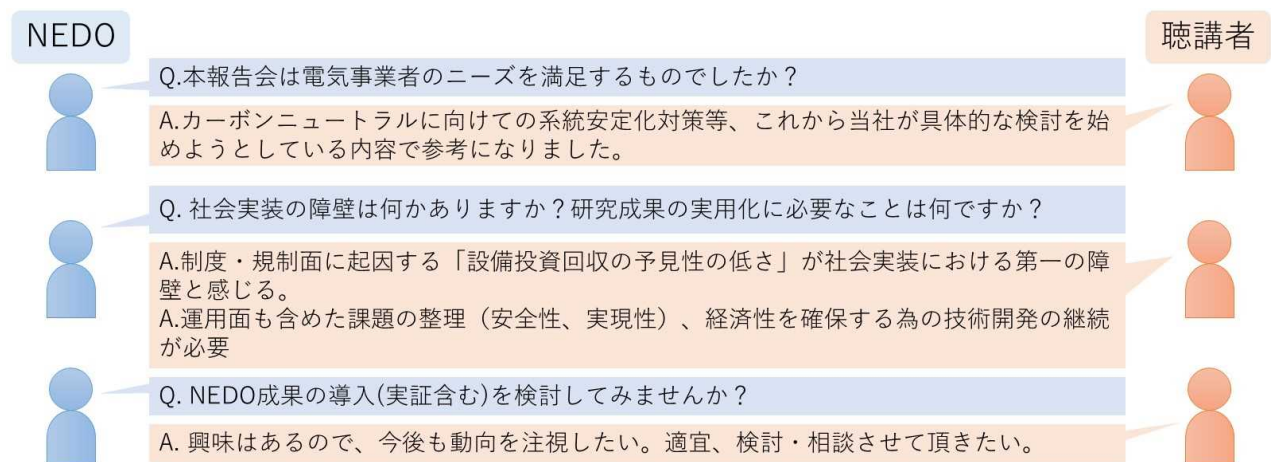


※対面・WEB 併用開催

	2019 年度	2021 年度	2022 年度	備考
発表事業数 (本 PJ 以外も含む)	10 事業	10 事業	15 事業	全 28 事業 (重複カウントなし)
電気事業者等の 聴講団体数 (聴講人数)	11 団体 (50 名)	11 団体 (178 名)	12 団体 (67 名)	延べ 295 名参加

※2020 年度は新型コロナの影響を踏まえ開催見送り

本報告会后に聴講者（電気事業者）に対してアンケートを実施した。報告会をきっかけに実機実証に結びついた案件は現時点で無いものの、前向きな回答を多数受けた。



3.3.4. 進捗管理

進捗管理については、以下表のとおり実施した。進捗状況を常に関係者が把握、遅れが生じた場合、適切に対応しているか確認するため、外部有識者が参加する委員会（事業者主催）や書面により進捗管理を実施した。

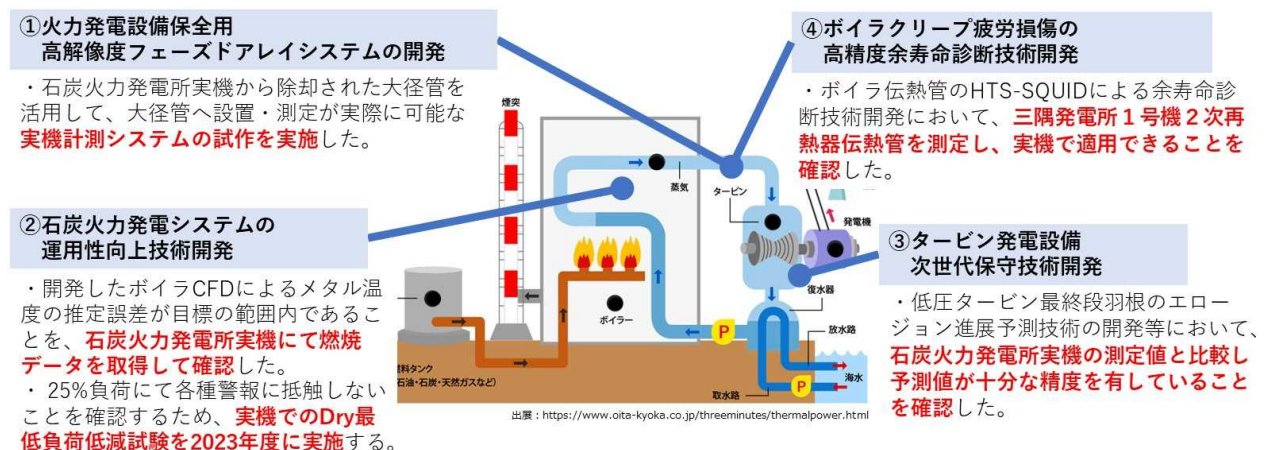
	参加者	目的	頻度
外部評価委員会 （事業者主催）	委託事業者選定の外部有識者、委託事業者、委託事業者、経済産業省原課、NEDO	各事業の進捗状況の確認、及び今後の実施に内容に対する助言	年2回程度
技術検討委員会 （NEDO 主催）	NEDO 選定の外部有識者、委託事業者、METI 原課、NEDO	各事業の進捗状況の確認、及び今後の実施に内容に対する助言	年1回程度
定期進捗状況確認 （中間検査等に同調して実施）	委託事業者、NEDO	研究開発の進捗状況確認、年度限度額の執行状況確認	上期1回・下期2回程度
月次進捗状況確認	委託事業者、NEDO	研究開発の進捗状況確認、年度限度額の執行状況確認	月1回

3.3.5. 中間評価結果への対応

中間評価結果への対応は以下の表のとおりである。2020 年度に実施した中間評価での「実用化・事業化に直結した成果を期待」などの指摘事項に対し、「実機での実証試験」や「電力会社を委員とする外部委員会の設置」などを実施し、現場のニーズを技術開発へ反映させ、早期の実用化・事業化を達成するようマネジメントした。

主な指摘事項 (2020 年度中間評価)	主な対応
・NEDO のマネジメントの工夫をはかり、過去の研究開発プロジェクトとは一線を画するような実用化・事業化に直結した成果を期待したい。	・複数の電力会社を委員とした外部委員会を設置し、技術開発に現場のニーズを反映させるよう採択条件に盛り込み、仕様書や実施計画書に反映した。 ・実用化・事業化を見据えた、実機での実証試験を実施計画書に盛り込んだ。 ・電気事業者向け成果報告会を開催した。
・高精度・高信頼性のクリープ損傷計測システムの完成とそれに基づく高精度な定量的余寿命評価手法の構築を早期に実現し、その実機への適用と検証を実施してほしい。	・汎用的で対象範囲が広く実機適用が容易となる高解像度フェーズドアレイシステムの開発事業を採択した。

参考までに、実機での実証試験・実機を用いた技術開発の事例は以下のとおりである。



3.3.6. 動向・情勢変化への対応

2022 年夏の電力需給逼迫を踏まえ、石炭火力発電所で実施予定の実機試験の一部を取り止めて 2023 年度に繰り延べする事とし、実施計画の見直しを柔軟・迅速に実施した。

<新型コロナによる半導体供給不足等への対応>

- ・発注検討、引合い等を前倒して、納期予定情報を早めに得るように指示した。
- ・長納期品の早期情報収集を行い実施計画書の変更手続きを早めに実施するように指示した。

<電力需給逼迫への対応>

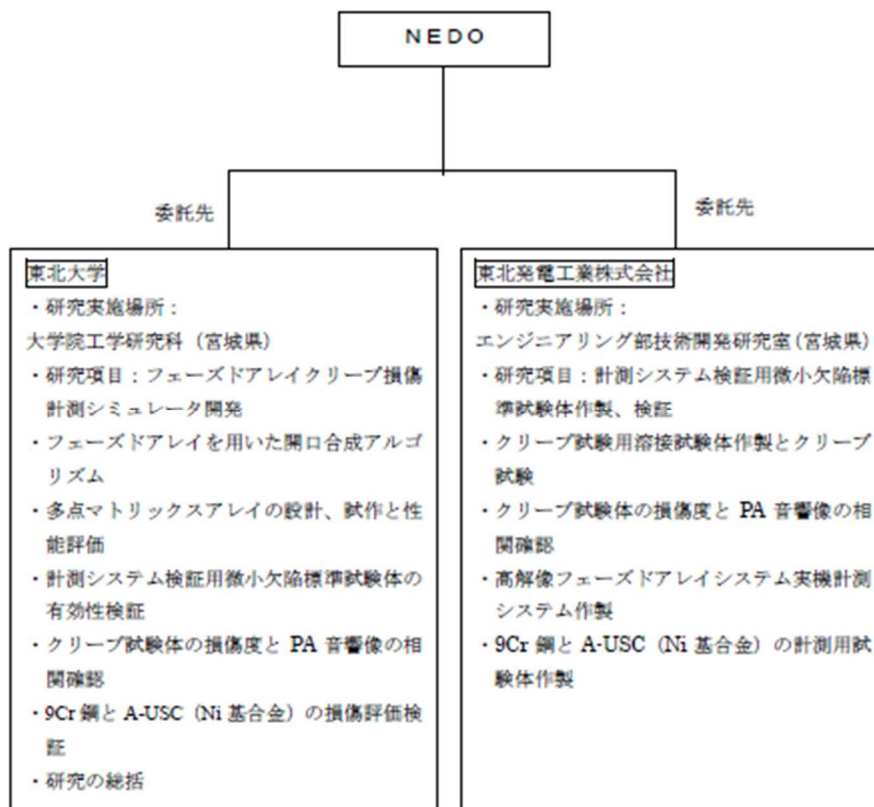
- ・電力需給逼迫の影響により、やむを得ず「②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発」の実機試験の一部（実機での Dry 最低負荷低減試験（25%負荷にて各種警報に抵触しないことを確認する試験））を 2023 年度に繰り延べた（委託期間は 2023 年 3 月から 2023 年 11 月まで延長した）

4. 目標及び達成状況の詳細

4.1. 火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発

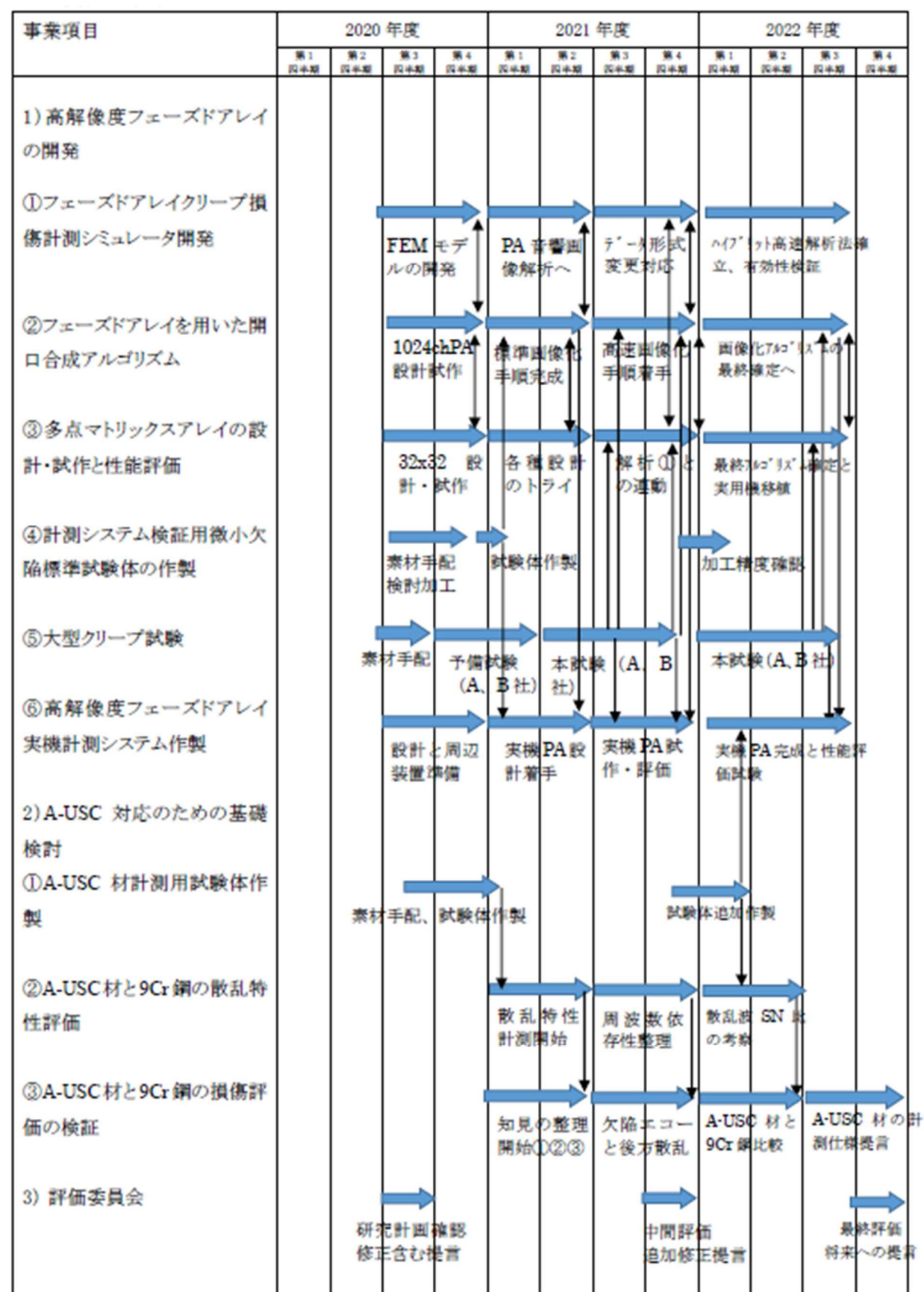
4.1.1. 実施者名・実施体制

実施者名・実施体制は以下のとおりである。



4.1.2. 実施期間・研究開発スケジュール

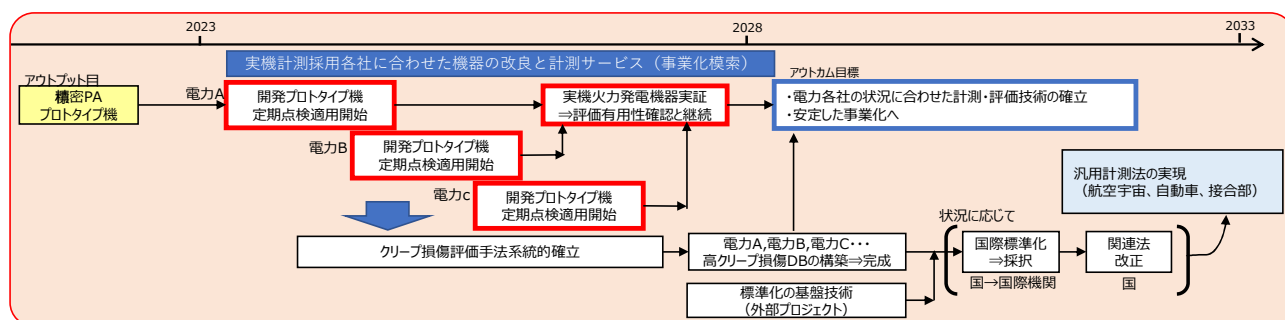
期間：2020年7月7日～2023年3月31日



4.1.3. 実用化・事業化への道筋（アウトカム目標及び達成見込み）

原子力発電が停止して以来、火力発電所の多くでクリープ損傷が顕在化しているが、実機でのクリープ損傷進行の定量評価は、既存の非破壊検査法では困難で、施工からの使用時間で極めて安全側に運用されてきた。今後、自然再生エネルギーが拡大する中、天候による発電量の不安定を補えるのは火力発電しかない現状で、頻繁な稼働停止などでクリープ損傷が加速し、従来の保守体制は限界を迎えている。この状況の中、本プロジェクトで開発した高精度フェーズドアレイシステムを使えば、現在の一律の部材交換の代わりに、非破壊検査法で損傷部材のみを交換し、健全部材はこれまでの限界を超えても使う合理的な運用が可能となるので、電力業界のニーズと事業化を実現できる可能性が高い。

アウトカム目標	根拠
開発プロトタイプ機 定期点検適用開始	プロジェクトで実機模擬大型配管試験体は、電力会社の一定時間使用後の交換部材を使ったため、既に基本的には、実機火力発電施設で定期点検時の利用できるシステムが実現できていると考えている。
電力各社の状況に合わせた計測・評価技術の確立 安定した事業化へ	各社が適用を始める段階は、お試し期間でありかつ各社の現場のニーズに応えることで初めて、計測技術の汎用化が確立できるので、後継の NEDO 事業で、計測技術の汎用化と損傷評価の定量的を確認する段階を支援頂ければ、電力各社がそれぞれの発電サイトで定期点検時の共同計測に参加頂けると期待できる。



本事業における「実用化・事業化」の考え方（赤枠：実用化、青枠：事業化）

4.1.4. 研究開発項目の詳細（研究内容、アウトプット目標、達成状況）

負荷変動に伴う火力発電プラントの事故リスクと保守費を共に低減し、かつ保守技術の信頼性・運用性の向上も期待できる先進的な非破壊計測技術として、工業利用を想定した高解像フェーズドアレイシステムを世界に先駆けて開発し、定期検査においてクリープ損傷の早期発見とモニタリングを可能にする。さらにこの技術の A-USC 材料への適用性についても、基礎的な検証を行う。

以下に研究開発テーマ毎に研究テーマの内容を示す。

4.1.4.1. 研究開発項目① 高解像度フェーズドアレイ(PA)の開発

市販 PA をベースに送受信アルゴリズムを抜本的に改良することで、既存 PA の 10～50 倍の高解像度を有する 1024ch の PA 実験機を開発する。また、実験での最適化検証を補うため、クリープ損傷と PA アルゴリズムを有限要素法でモデル化した PA 音響画像シミュレータを開発する。実験とシミュレータ解析の併用によって音響画像の高解像化の基礎的知見を得る。さらにこの知見をベースに、火力発電設備の φ800mm 程度の大径管周溶接部全周を 20 分程度で計測できる実用 PA システムを試作・開発する。クリープ寿命比 50～90%のクリープ損傷模擬試験体を試作し、作製した模擬試験体の損傷度の差異の検出検証、および費用対効果を検討する。加えて、フェーズドアレイの解像度向上に最適なアレイ設計を検証し実機クリープボイドの計測・評価のための最適システムを提案する。

<目標>

- ・実験とシミュレータ解析併用で高解像化の基礎的知見を得る
- ・実機計測システムの試作
- ・大型クリープ試験体（模擬損傷材）作製

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

- ・高分解能化についての基礎的な知見を得た
- ・分解能に与える影響を解析し、マトリックスアレイ設計絞込みに用いた
- ・実験機、解析結果を反映した実機計測システムを設計、試作した
- ・模擬損傷材を作製した

4.1.4.2. 研究開発項目② A-USC 対応のための基礎検討

A-USC 材料への適用性検証について、SN 比の推定や音響ノイズ評価を取り纏めることで、今後本研究で開発した高解像超音波音響画像計測を同材のクリープ損傷評価に応用できる可能性を検討すると共に、解決すべき課題を抽出する。具体的には、A-USC 材の微小欠陥試験体を作製し、開発する実機計測用フェーズドアレイを用いて、微小欠陥の計測データを取得することで、A-USC 材における、フェーズドアレイシステムの適用性を明らかにする。

<目標>

- ・A-USC 対応のための基礎検討

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

- ・A-USC 材に応用する可能性と課題抽出のための基礎検討を実施した

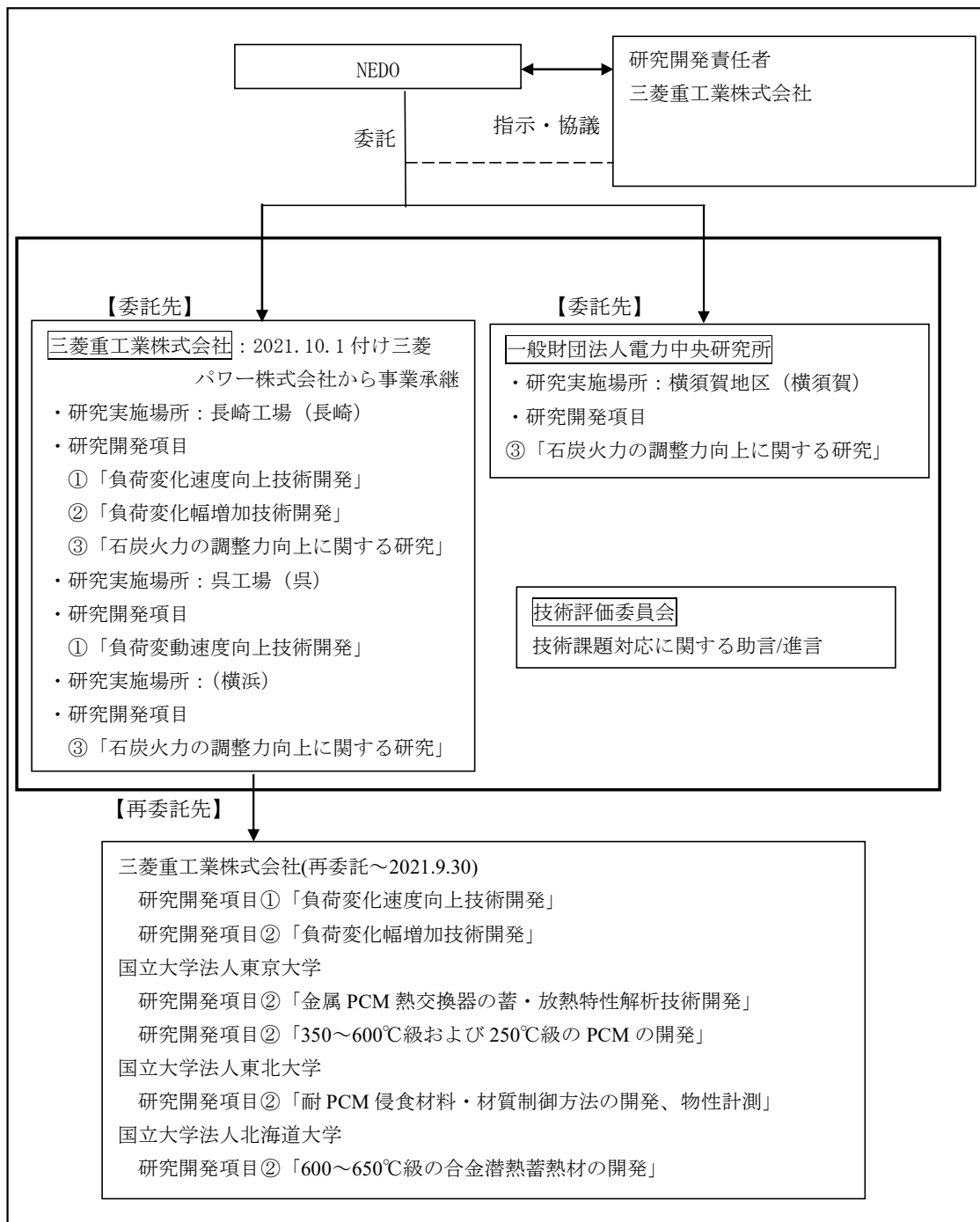
4.1.5. 成果の意義

項目	成果と意義
フェーズドアレイプロトタイプ機開発	フェーズドアレイ音響像の高分解能化についての基礎的な知見を得るために、1024chPA 実験機を開発し開口合成アルゴリズムの検証を実施。その結果、映像化アルゴリズムの要素技術の有効性を検証し、実機計測システム設計に反映した。
実験とシミュレータ解析併用で高解像化の基礎的知見を得る	マトリックスアレイの分解能に与える影響を検証するシミュレータを開発した。解析では、周波数と微視欠陥の計測分解能の関係、音響画素数の増加（開口合成アルゴリズム）と計測分解能の関係等の系統的見通しを解析実験で得た。その結果を実機計測システム設計に反映した。
実機計測システムの試作	フェーズドアレイプロトタイプ機およびシミュレータ解析結果を反映し、マトリックスアレイ ch 数の選定、開口合成アルゴリズムを実機計測システムに移植した設計を行い、実機計測システムを試作した。
大型クリープ試験体（模擬損傷材）作製	フェーズドアレイ計測システムの有効性検証に用いる模擬損傷材を損傷度の異なる複数の試験体を系統的に作製した。その結果を、フェーズドアレイ実験機、開口合成アルゴリズム検証、実機計測システムの有効性検証に用いた。
A-USC 対応のための基礎検討	開発する超音波音響画像計測を A-USC 材に応用する可能性と課題抽出のための基礎検討を実施した。その結果、高クロム鋼と同程度の SN 比を得るための計測周波数の指針および分解能悪化可能性の知見を得た。

4.2. 石炭火力発電システムの運用性向上技術開発

4.2.1. 実施者名・実施体制

本事業における実施体制を纏めたものであり、研究開発責任者の三菱重工業（株）は研究開発項目①～③を、共同実施者の（一財）電力中央研究所は研究開発項目③を、再委託先の東京大学、東北大学、北海道大学は研究開発項目②を実施する。



4.2.2. 実施期間及び研究開発スケジュール

期間：2020 年 7 月 7 日から 2023 年 11 月 30 日

		2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
研究開発項目 1 負荷変化速度向上 技術開発		対向燃焼ボイラ 実価計測/CFD 解析モデルの一部を流用	中間目標	旋回燃焼ボイラ 実価計測/CFD	最終目標
研究開発項目 2 負荷変動幅 増加技術開発		並列無送電対応型蓄熱システム(水蓄熱) 余剰再エネ蓄熱システム(熔融塩) 金属PCM開発/材料腐食試験		概算コスト	
研究開発項目 3 石炭火力の 調整力向上 に関する研究		概略仕様と 運用方法 余剰再エネ利用石炭火力の活用		Dry-Wet 制御法実機適用	評価結果 最終目標
予算 (億円)	項目 1 項目 2 項目 3	4.5 0.9 0.3	0.9 1.1 0.4	0.9 0.0 0.3	0.0 0.0 0.05

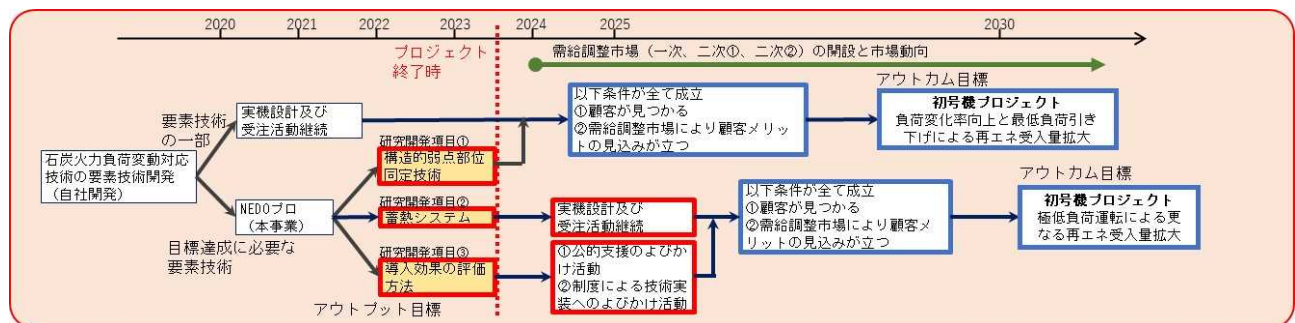
4.2.3. 実用化・事業化への道筋（アウトカム目標及び達成見込み）

アウトカム目標には、負荷変化率向上と最低負荷引き下げ（蓄熱システムは具備せず）による再エネ受入量の拡大と、極低負荷運転（蓄熱システムを具備）による更なる再エネ受入量の拡大の2つを設定しており、いずれの目標も初号機プロジェクトが完遂した時点でアウトカム目標が達成した（システムへの再エネ受入量が拡大できた）と判断できる。

アウトカム目標	根拠
負荷変化率向上と最低負荷引き下げによる再エネ受入量の拡大	最低負荷を引き下げることができた分だけ、再エネ受入量を拡大できたものと判断する。
極低負荷運転による更なる再エネ受入量の拡大	蓄熱システムの導入により、上記よりも、さらに最低負荷を引き下げることができた分だけ、再エネ受入量を拡大できたものと判断する。

以下の図は本事業における「実用化・事業化」の考え方を示したものである。当該PJにおける実用化とは、当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提案等)が開始されることであり、事業化とは、前提とする全ての条件が成立し、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)に貢献することを言う。すなわち、プロジェクト終了時の2023年度中には要素技術開発が全て完了し、顧客への改造提案ができる状態となることから実用化の

フェーズとなり、その後、2025 年以降に初号機プロジェクトが受注できれば事業化のフェーズに以降されたものと判断できる。なお、現時点においては、前述した NEDO 主催の電気事業者向け成果報告会や各種学会発表（日本機械学会動力エネルギー技術シンポジウム等）の実施後に、発電事業者複数社から追加説明のご要望をいただいております、特に再エネ導入量の多い（多くなると予想される）エリアの発電事業者から最低負荷下げニーズが有るとのコメントを入手していることから、需給調整市場の制度設計次第な部分があるが、アウトカム目標達成の見込みはあるものと考えている。



本事業における「実用化・事業化」の考え方（赤枠：実用化、青枠：事業化）

費用対効果については、プロジェクト費用の総額 9.3 億円に対し、2030 年迄に 700MW 級石炭焚き火力発電所 1 基に負荷変化率向上技術、最低負荷引き下げ技術、並列無送電対応型蓄熱システム（水蓄熱システム）の適用改造により累計売上予測 50 億円を見込んでいる。また、初号機プロジェクト以降も本技術が適用可能な国内・海外ユニットへの拡販が期待でき、市場規模や事業の成長性が見込めることから、費用対効果としては効率的且つ効果的と考える。なお、競合技術に原子力機による調整力供給や系統用大規模蓄電池が考えられるが、以下の図に示すとおり火力機はすべての系統セキュリティを有しており、且つ、系統の主要地点（位置）に立地しているというメリットがある。また、再生可能エネルギーが大量に発電する時間帯でも火力機を電力系統に並列し続けることは、電力系統の安定運用に大きな役割を果たす（発電出力の正負、大小とは無関係に慣性、無効電力等の供給が可能であり電力系統の安定運用に大きく貢献する）。

大容量発電機が持つ能力	貢献する 系統セキュリティ	火力 機	原子 力機	蓄 電池
周波数に応じて出力調整が可能	周波数	○	△	○
同じ速度で回ろうとする力 （同期化力）がある	周波数 系統安定度	○	○	×
慣性を持っている （慣性定数が等価的に10秒程度）	周波数 系統安定度	○	○	×
系統事故時の瞬時電圧低下時 （瞬低時）に停止しない	電圧 系統安定度	○	○	△
基幹系統の電圧調整（無効電力の 供給）が可能	電圧 系統安定度	○	○	△

大容量発電機の貢献する系統セキュリティ

（北内義弘,「電力系統安定運用のために 再生可能エネルギー大量導入時の基幹系統への影響」日本原子力学会誌,Vol.61,No.7 p.535-539(2019)より）

その他、研究開発項目③の導入効果の評価において、石炭火力の調整力の向上により、電力系統の需給調整における燃料費が削減できる分を市場創生効果として試算した。標準的な電源構成にて 700MW 級の石炭火力 1 ユニットに負荷変化率向上技術を導入した場合、石炭火力が負荷調整運用となる日数が年間で 5 か月に達すると仮定した場合に、全火力発電の燃料費を 11 億円程度削減できる見通しを得ている。

また、蓄熱技術の導入により最低負荷を送電端出力ゼロ MW まで引き下げられた場合の石炭火力の燃料費削減分を省エネルギー効果として試算した。標準的な電源構成において、700MW 級の超々臨界圧石炭火力 1 ユニットにて送電端出力ゼロ MW の運用を行った場合、4.3 万 kL/年（石油換算、年間 5 か月のうち 2/3 の日に再エネの出力制御が行われることを想定）の燃料費削減による省エネルギー効果が得られる見通しを得ている。また、この場合に、得られる CO₂ 削減効果を試算すると、標準的な電源構成において、余剰再エネの約 8%を有効に電力系統に取り込むことが可能となるため、この結果、約 14 万トン/年（標準的なエリアで年間 5 か月のうち 2/3 の日に再エネの出力制御が行われた場合）の CO₂ 削減効果が得られる見通しを得ている。

その他、研究開発項目③の導入効果の評価において、石炭火力の調整力の向上により、電力系統の需給調整における燃料費が削減できる分を市場創生効果として試算した。標準的な電源構成にて 700MW 級の石炭火力 1 ユニットに負荷変化率向上技術を導入した場合、石炭火力が負荷調整運用となる日数が年間で 5 か月に達すると仮定した場合に、全火力発電の燃料費を 11 億円程度削減できる見通しを得ている。

また、蓄熱技術の導入により最低負荷を送電端出力ゼロ MW まで引き下げられた場合の石炭火力の燃料費削減分を省エネルギー効果として試算した。標準的な電源構成において、700MW 級の超々臨界圧石炭火力 1 ユニットにて送電端出力ゼロ MW の運用を行った場合、4.3 万 kL/年（石油換算、年間 5 か月のうち 2/3 の日に再エネの出力制御が行われることを想定）の燃料費削減による省エネルギー効果が得られる見通しを得ている。また、この場合に、得られる CO₂ 削減効果を試算すると、標準的な電源構成において、余剰再エネの約 8%を有効に電力系統に取り込むことが可能となるため、この結果、約 14 万トン/年（1 ユニットのみの効果、標準的なエリアで年間 5 か月のうち 2/3 の日に再エネの出力制御が行われた場合）の CO₂ 削減効果が得られる見通しを得ている。

4.2.4. 研究開発項目の詳細（研究内容、アウトプット目標、達成状況）

以下に研究開発テーマ毎に研究テーマの内容を示す。

4.2.4.1. 研究開発項目① 負荷変化率向上技術開発(三菱重工業（株）)

4.2.4.1.1. 事業内における位置づけ

実缶の計測結果を基に負荷変化速度を大幅に引き上げる際に障壁となるボイラの熱応力的弱点部位を、メタル温度推定技術によって同定する技術を開発する。

4.2.4.1.2. 目標

2017～2019 年度 NEDO 委託研究で開発したボイラ CFD の解析範囲をボイラ全体に拡張すると共に、実機運転データでチューニングして予測精度を高める。更に、発電プラント動特性の解析と組合せて負荷変化時の熱応力分布を予測し、構造的弱点部位を明確にする。燃焼形式の異なるボイラに対するチューニングしたボイラ CFD の適用については、既設設備より得られる実機運転データを用いた再現解析により、予測精度を確認する。

4.2.4.1.3. 研究内容

ボイラのメタル温度変化率増加によって疲労寿命消費の増加が懸念されるため、伝熱管温度予測向上技術を発展させ、ボイラ CFD を実機ボイラのメタル温度計測結果で検証し、この技術を用いて高負荷変動時の疲労寿命消費を推定する。また、負荷変化率を 10%/min 程度に向上させることは、制御法改善、系統運用方法を変更すれば可能であることを動特性シミュレーションで検討済ではあるが、構造的な課題はボイラ CFD 等によるメタル温度解析ならびに応力解析で抽出する。

ボイラ CFD で伝熱管温度を予測するためには、バーナに投入される空気量、微粉炭流量が必要であり、空気流量は風箱差圧とノズル面積から予測可能であるが、微粉炭流量はバーナ毎に計測する必要がある。そこで、マイクロ波を用いた微粉炭流量計を対向燃焼ボイラの各バーナに設置して微粉炭流量を計測する。

ボイラ CFD では燃焼計算と吊り下げ伝熱管の蒸気流量からメタル温度を計算しているが、今回、炉壁のメタル温度計算も行う。このため計算結果の妥当性検証のため、吊り下げ伝熱管以外に炉壁の温度も計測する。

燃焼計算の検証は、ボイラ各部の収熱量と O_2 、 NO_x 濃度、灰中未燃分を計算と運転実績とで比較する事で行う。 O_2 、 NO_x は連続計測設備が設置されているが、灰中未燃分は連続計測していないので、火炎画像から未燃分を診断する装置を導入する。この装置は火炎の輝度画像を炉内監視カメラの画像から得て、機械学習を用いて灰中未燃分を予測するもので、リアルタイムで未燃分の増減が計測できる。尚、予測精度検証のため、排ガス中のフライアッシュを採取した灰中未燃分の計測も実施する。

ボイラ火炉の熱吸収量や、吊り下げ伝熱管の伝熱量は付着する灰の影響を受ける。灰はスリーブローアやデスラッガーで定期的に除去するが、炉内のどの部分にどの程度の灰が付着しているかを知ることはボイラ CFD の精度向上には重要な情報である。今回、吊り下げ伝熱管と炉壁に付着した灰を中赤外線カメラで観察することで、灰の付着状況を観測してボイラ CFD の計算に反映する。すべての伝熱面の灰付着状況を観測できるわけではないが、観測可能な主要部分について灰脱離の影響をメタル温度計測値とボイラ CFD による温度推定値を比較して評価する。

このようにしてボイラ CFD の精度検証を行った後、ボイラの各負荷の計算を行って、メタル温度を求める。このメタル温度を各負荷の静定条件として用い、別途各伝熱面の熱容量を考慮した動特性モデルを作って、負荷変動率を変化させた場合の、各部の温度分布を評価する。この温度分布から応力を計算することで負荷変動率を増加させた場合の構造的な弱点部位を推定する。具体的には吊り下げ伝熱管では、パネル内の各伝熱管のメタル温度差や、パネル間のメタル温度差で生じる応力を、炉壁では面内温度分布や加熱部と非加熱部の温度差で生じる応力を評価する。これによって負荷変動速度を上げた場合の応力変動幅から疲労寿命上の弱点部位を推定する技術を確立する。

一方、ボイラの代表的な形式には対向燃焼ボイラと旋回燃焼ボイラとがあり、燃焼方式や火炉の水壁管構造が異なる。本事業で扱う両ボイラは、出力は 60 万 kW 以上の事業用の超臨界圧ボイラである。ボイラ各部の温度を推定する技術を対向燃焼ボイラにおける精度検証を通じて確立し、旋回燃焼ボイラへ開発した技術を適用する。既設火炉壁温度計等のデータを基に推定精度を確認し、火炉

壁面における熱負荷分布を推定する。推定したデータを、後述の「石炭火力の調整力向上に関する研究」における火炉蒸発管内の伝熱特性を評価にも活用する。

4.2.4.1.4. 成果の達成状況と根拠

<2020 年度>

対向燃焼方式のボイラ CFD 精度検証のために必要なデータ取得を完了している。

<2021 年度>

実機データを基にした実機試験の再現解析により、ボイラ CFD によるメタル温度の予測精度を検証し、推定誤差が目標の範囲内であることを確認した。また、予測精度が向上したメタル温度推定技術からボイラ全体の熱応力分布を解析するツールを開発し、高速負荷変化率運転時の弱点部位（ケーシング壁と副側壁の取合部等）を明確化している。

<2022 年度>

旋回燃焼方式のボイラ CFD 精度検証のために必要なデータ取得を完了している。また、実機データを基にした実機試験の再現解析により、ボイラ CFD によるメタル温度の予測精度を検証し、推定誤差が目標の範囲内であることを確認している。

なお、オープン/クローズ戦略のとおり、特許出願、論文発表、学会発表等を実施していない。

4.2.4.1.5. 成果の意義

実用化するにあたり、ボイラ CFD によるメタル温度の予測精度については、従来のボイラ定検時に抜管して金属組織観察して得られる従来精度と同等の精度であることが必須条件であり、本研究開発により、対向燃焼方式及び旋回燃焼方式で前記した精度の確認がとれている。

4.2.4.2. 研究開発項目② 負荷変動幅増加技術開発（三菱重工業（株））

4.2.4.2.1. 事業内における位置づけ

最低負荷を大幅に引き下げるため、蓄熱による送電端出力が 0MW 等の極低負荷運転を可能とする技術を開発する。

4.2.4.2.2. 目標

系統への再エネ導入量増大を実現する「最低負荷 0%(外部出力ゼロ)運転が可能な並列無送電対応型蓄熱システム」を試設計しコストを見積もる。さらに、余剰の再エネ電力を熱として熔融塩に貯蔵するシステムの仕様検討と概算コスト見積を実施するとともに、同システムのコンパクト化を実現できる可能性を有する新規蓄熱材（金属 PCM）の開発を目指した基盤研究を実施する。

4.2.4.2.3. 研究内容

再エネ発電量の伸長に対応し、再エネ導入量を増加させることを目標に二種類の蓄熱システムを開発する。

i 最低負荷 15%運用時に所内動力分 5%を差し引いた 10%負荷相当の蒸気・飽和水の熱を蓄熱して送電端出力を 0%とするシステム（並列無送電対応型蓄熱システム(タービンバイパス蒸気蓄熱システム)）

ii 再エネ余剰電力を蓄熱し送電端出力を 0%以下とするシステム（再エネ余剰電力利用型蓄熱システム）

i、ii のシステムに顕熱蓄熱材を適用した場合の設計、コスト評価、経済価値評価を実施し、実現性を確認する。

また、金属 PCM で低コスト・省スペースを目指す基盤研究を実施する。

4.2.4.2.4. 成果の達成状況と根拠

■ 並列無送電対応型蓄熱システム、余剰再エネ蓄熱システム（三菱重工業（株））

<2020 年度>

システム検討として、700MW 級並列無送電対応型蓄熱システム、亜臨界ユニット向 350MW 級余剰再エネ蓄熱システム、超臨界ユニット向け 700MW 級余剰再エネ蓄熱システムの設備概要を纏めている。

<2021 年度>

特性評価として前記 3 システムにおいてそれぞれ蓄熱時・放熱時のヒート・マスバランスを構築し、蓄放熱特性を考慮した系統・運用が成立することを確認している。

各蓄熱システムの詳細設計に取り組み、700MW 級並列無送電対応型蓄熱システムについては、そのサイズを既設石炭火力に併設可能な敷地面積内に収める見込を得ると共に、コスト見積の結果、発電事業者向けに F S を売り込めるレベルまで開発を進めている。

■ 金属 PCM 開発

（三菱重工業（株））

（再委託先：国立大学法人東京大学 生産技術研究所 鹿園研究室）

（再委託先：国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 森田研究室）

（再委託先：国立大学法人東北大 金属材料研究所 千葉研究室）

（再委託先：国立大学法人東北大 多元物質科学研究所 福山研究室）

<2020 年度～2021 年度>

蓄熱体に、高熱伝導（高出力）、高蓄熱密度（大容量）のアルミニウム系金属 PCM の中でも低コストで調達も容易な ADC12（Al-Si 合金）を採用し、東北大の超高温熱物性計測システムを活用して、ADC12 の各種熱物性を高精度に測定し新知見を得ている。（東北大学/福山研究室）

ADC12 を適用した蓄熱式熱交換器の概念設計に取り組み、製作/運搬/メンテナンス性を考慮した二重管モジュール構造を考案し（特許出願中）、熱的成立性検討結果からボイラ敷地内に据付けの可能性の目途をつけている。（三菱重工業（株））

金属 PCM は侵食性が高く、伝熱管/容器/ヒータが侵食され減肉するため、低侵食技術の開発・材料選定に取り組み、Co-Cr-Mo（CCM）合金酸化熱処理材（酸化 Cr 皮膜により PCM 侵食抑制）に Si を添加して改良した材料を開発し（新知見）、安定な鉄系酸化皮膜を形成する低合金鋼の酸化熱処理材を選定し、両材料ともに耐 PCM 侵食性を有することを材料侵食試験で確認している（新知見）。（東北大学/千葉研究室、三菱重工業（株））

耐金属 PCM 材である低合金鋼の酸化熱処理材及び CCM（1wt%Si 添加）の何れも良好な肉盛溶接施工性を有することを確認した。設計自由度確保のため金属 PCM の温度ラインナップの拡充（ADC12 以外の PCM の組成設計）に取り組み、蒸気過熱器・再熱器向けに出力蒸気温度 600℃級に対応する PCM(Al-Si-Fe 系)と、蒸発器向けに 350～500℃PCM(Al-Cu-Mg-Si-Zn 系)を開発している（新知見）。（東京大学/森田研究室、北海道大学/能村研究室、三菱重工業（株））

蓄・放熱特性を把握するために非定常伝熱解析モデルを作成し、蓄放熱時の蓄熱槽内での金属 PCM の大まかな挙動を解析して、前述の概念設計に反映している。（東京大学/鹿園研究室）

なお、オープン/クローズ戦略のとおり、蓄熱関係の特許出願を 3 件、論文 4 件、学会発表・講演等 20 件、新聞・雑誌等への掲載 3 件を実施している。学会発表・講演等の内訳としては、金属 PCM 関係 14 件、並列無送電蓄熱システム関係 6 件である。

4.2.4.2.5. 成果の意義

A I -Si 合金は酸化しやすいため物性値の正確な計測が極めて困難であり公開データが少ない。本基礎データ取得が金属 PCM 研究開発加速への足掛かりになる。また、金属 PCM の侵食防止技術については、その方向性を明らかにすることで今後の蓄熱装置開発に繋がっている。さらに、蓄熱システムの運用条件に適した金属 PCM の成分組成を把握し、システムの効率向上について可能性を得ている。

4.2.4.3. 研究開発項目③ 石炭火力の調整力向上に関する研究（三菱重工業（株）、（一財）電力中央研究所）

4.2.4.3.1. 事業内における位置づけ

石炭火力の運用柔軟性の高度化による、再エネ導入量の拡大や電力システムで必要となる燃料費、及び CO₂ 排出量削減への効果を定量的に明らかにするとともに、石炭火力の最低負荷運転（送電端出力ゼロの極低負荷運転を含む）に、再生エネルギー由来の余剰電力（再エネ余剰電力）を活用する方法を示し、低炭素な負荷調整電源の機能を石炭火力に付加する。

4.2.4.3.2. 目標

制御ロジックの新製と、蒸発管内伝熱特性解析、及び実機適用確認により、発電プラント運用幅の拡大を検討する。併せて、研究開発項目①と②の成果を石炭火力に適用した場合について、需給調整エリアにおける再エネ導入量の拡大や CO₂ 削減、燃料費低減など期待される効果を電源運用の分析により明らかにし、費用対効果を算出する。また、再生可能エネルギー導入の地域偏在を念頭に、電源構成の違いを考慮したときの CO₂ 削減や燃料費低減等の効果を明らかにするとともに、余剰再エネ電力利用の電源運用における課題と効果を示す。

4.2.4.3.3. 研究内容

既存石炭火力の最低負荷の引き下げ、負荷変化速度の改善、エネルギーの貯蔵等、電力需給の調整力向上に向けた各対策技術について、電力需給運用における効果を評価するための条件を検討する。

一般に石炭火力では、負荷変動速度は、(i)ボイラ燃料の投入速度と蒸気温度の追従、(ii)蒸気温度、圧力の変化によって生じるボイラチューブとボイラ火炉壁の温度変化で生じる熱応力による制限、(iii)ミル運転台数変更の待ち時間、(iv)ボイラ起動時の出力応答の遅れ等がある。

これらの内、(i)は蒸気制御方法の改善で対応可能であり、(ii)は本研究の成果で必要な弱点部位の改善を行うことで対応できる。(iii)はミルモータ容量増加でミルの最大負荷を引き上げミル複数運転で広い負荷変化幅で運用することで対応できる。(iv)も本研究で開発する蓄熱システムを設置することで、起動時の出力応答遅れをなくすることができる。

一方、負荷変化幅の改善では、蓄熱システムの導入の他に、Dry 運転負荷の領域拡大がある。これは、30%負荷以上が Dry 運転となっていた既設の運用条件を、例えば、25%負荷以上を Dry 運転とするものである。現状の制御ロジックでは、Dry-Wet 切り替え時の制御モード不安定（Dry-Wet モードの繰り返し）を避けるために、20%負荷から 30%負荷に負荷保持禁止帯が設けられており、この範囲を、例えば、20%負荷から 25%未満負荷とする必要がある。（最低貫流流量 25%ECR）

これらの負荷運用幅の拡大には、上記に関わる制御ロジックの変更だけでなく、火炉蒸発管内の伝熱特性に係る課題があり、火炉最低貫流流量の見直しも必要である。このために、Dry 運転での目標最低負荷で、メタル温度検討を行い、実機で検証を行う必要がある。

本項目で、Dry-Wet 切り替え時の制御ロジックの変更、ロジックのシミュレーションによる検証、メタル温度検討を行って Dry 運転での最低負荷を設計限界まで引き下げる検討を行い、600MW 級旋回燃焼ボイラで確認試験を行う。

石炭火力の運用性能の向上が、再エネ導入量の拡大や電力需給運用で必要となる燃料費の削減等の及ぼす効果を定量的に示す。また、負荷運用性を向上した時の材料寿命への影響要素等を整理する。さらに、石炭火力を送電端出力が 0MW となるような極低負荷で電力系統に並列し、可能な限り化石燃料を使用せず需給調整運用を行うための技術調査を行う。

4.2.4.3.4. 成果の達成状況と根拠

■ Dry-Wet 切替制御技術（三菱重工業（株））

＜2021 年度＞

机上検討にてロジック検証を完了し（入力に対し想定通りの指示値が出力する）、火炉メタル温度値が許容値の範囲内であることを確認している。

＜2022 年度＞

2023 年度実機試験の計画として、試験当日の負荷カーブ作成、試験要領書の作成を実施している。

＜2023 年度＞（見込み）

実機へのロジック適用・試験要領の検討・運転確認として、実機での Dry 最低負荷低減試験の実施し、25%負荷にて各種警報に抵触しないことを確認している。

■ 導入効果の評価（（一財）電力中央研究所）

<2020 年度>

需給調整エリアとエネルギーミックスや再エネ導入量の設定、及び電力需給運用シミュレーションにより現状技術における課題を抽出している。また、過熱器や再熱器等の高温部材のクリープ疲労特性データと寿命評価手法を国内外の文献により調査・整理している。再エネ余剰電力の利用方法として低圧タービンの安定運用や環境設備等の各機器の温度維持における課題を整理している。

<2021 年度>

運用性向上技術の導入効果の評価では、負荷応答性の改善と負荷変化速度の向上、および負荷変化幅の拡大効果を、標準的な需給調整エリアを対象とした電力需給運用シミュレーションにより定量的に評価している。また、石炭火力の運転実績および文献調査により整理した新材のクリープ疲労データに基づき、負荷追従運転におけるボイラ配管材料の寿命を試算している。さらに、再エネ余剰電力を送電端出力 0MW で運用する石炭火力に導入する方式を調査し課題を整理するとともに、送電端出力 0MW の運用に再エネ余剰電力を利用した時の単機における低炭素化の効果を定量化している。

<2022 年度>

再生可能エネルギーの偏在を考慮して複数の需給調整エリアを選定し、石炭火力の負荷運用性向上の効果を定量的に明確化している。また、ボイラ配管材料（改良 9Cr-1Mo 鋼）材のクリープ疲労特性に関する文献を調査・整理し、新材と長期使用材でクリープ疲労寿命の低下率に顕著な差異がないこと、荷重制御型のクリープ疲労損傷における寿命評価の精度向上には、負荷変動の大きさや周期等の影響を考慮する必要性を課題として抽出している。さらに、送電端出力 0MW の運転状態から、石炭を燃料とする通常運転状態への切り替えプロセスにおいて、余剰再エネ電力を動力利用と熱利用に分類して整理するとともに、送電端出力 0MW 運用時の電力系統における再エネ導入量拡大や燃料費削減等の削減効果を明確化している。

<2023 年度>（見込み）

Dry 最低負荷低減試験データを反映して、電力需給運用シミュレーションによる石炭火力の運用性改善効果の評価を更新している。

なお、オープン/クローズ戦略のとおり、制御関係の特許出願を 5 件、論文 1 件、学会発表・講演等 1 件新聞・雑誌等への掲載 2 件を実施している。

4.2.4.3.5. 成果の意義

Dry-Wet 切替制御による最低負荷低減実機試験の完遂により、実機適用実績として他ボイラへの適用を P R できる。また、最低負荷低減後の熱を蓄熱することを想定して開発を進めている並列無送電対応型蓄熱システム（水蓄熱）の FS 受注獲得に貢献できる。

電力の安定供給と低炭素化の視点では、再生可能エネルギー大量導入時に必要となる電力系統の調整力や慣性を、燃料費が安価な石炭火力を利用して提供できるため、将来の安価で安定した電力の供給につながる。また、石炭火力は kWh あたりの CO₂ 排出量が多いが、送電端出力 0MW で運用ではより多くの再エネ電力を電力系統に導入できるとともに、石炭火力で使用する石炭の量を削減できることから、調整力や慣性の維持による電力の安定供給と低炭素化を両立できる。

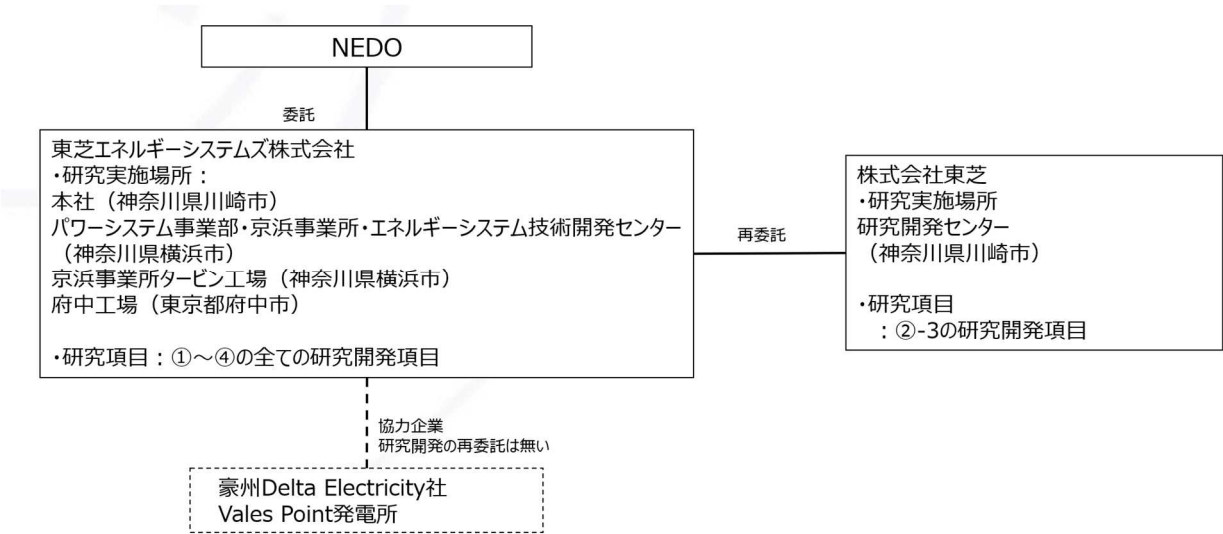
慣性や調整力および供給力維持の視点では、調整力を蓄電池等の技術で供給した場合と比較し、電力系統に必要な慣性を確実に維持できること、安価な調整力を維持できること、再エネが長時間にわたり出力しないときの確実な供給力として石炭火力を活用できることなどの技術的な優位性が見込まれる。

エネルギーセキュリティの視点では、本技術の導入により、脱炭素燃料への移行も念頭にして石炭火力をエネルギー利用の選択肢として持ち続けることにより、将来のエネルギーセキュリティの役割を維持できるため、我が国の安価なエネルギーの確保に副次的に貢献可能である。

4.3. タービン発電設備次世代保守技術開発

4.3.1. 実施者名・実施体制

実施者名・実施体制は以下のとおりである。



4.3.2. 実施期間・研究開発スケジュール

実施期間：2020年7月7日から2023年3月31日

研究開発項目	2020年度				2021年度				2022年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①-1低圧タービン最終段羽根のエロージョン進展予測技術の開発												
①-1-1:運転データを用いた最終段周りの蒸気条件の予測技術												
①-1-2:最終段周りの蒸気条件から最終段羽根の浸食量/管理値を演算する技術												
①-1-3: 浸食計算値/管理値を演算する技術の検証												
①-2中圧タービン初段ノズルクリープの進展予測技術の開発												
①-2-1:ノズル運用環境から変形量予測するモデル構築												
①-2-2:運転データとノズル使用環境の関連付け												
①-3高圧及び中圧タービン初段羽根の減肉量の進展予測技術の開発												
①-3-1:SPB減肉の要因と影響評価、モデル構築												
①-3-2:運転中に得られるタービン監視データと影響因子の関連付け												
①-4低圧タービン羽根植え込み部の応力腐食割れ(SCC)・ 腐食疲労(CF)進展予測技術の開発												
①-4-1:システムに搭載する孔食発生モデルの構築												
①-4-2:システムの実証検証と改善												
①-5高温部品の余寿命予測技術の開発												
①-5-1:材料劣化モデル構築												
①-5-2:運転データと評価部位の関連付け												
②-1非接触型センサーを適用した発電機固定子オンライン絶縁診断システムの開発												
②-1-1:オンライン部分放電計測システムの構築												
②-1-2:オンライン部分計測結果とオフライン絶縁診断の関連付け												
②-1-3:オンライン部分放電計測値と余寿命予測値との関連付け												
②-1-4:実プラントでの運用性評価												

研究開発項目	2020年度				2021年度				2022年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
②-2故障シミュレーションモデルを組み込んだ予兆診断システム(RRCATM(注))の開発												
②-2-1:ロータレアショートRCCAモデルの開発												
②-2-2:ロータアンバランスRCCAモデル												
②-2-3:発電機クーラ性能劣化評価												
②-2-4:実プラントでの運用性評価												
②-3発電機コレクタリング火花監視装置の開発												
②-3-1:火花検出方式(電磁波方式)の開発												
②-3-2:火花検出方式の検出能力検証												
②-3-3:実プラントでの運用性評価												
③-1冷却管減肉予測技術の開発												
③-1-1:復水器冷却管減肉要因パラメータの抽出・データ入手												
③-1-2:予測モデルの構築												
③-1-3:実機での検証												
③-2復水器の性能回復効果評価技術の開発												
③-2-1:実機運転データの取得												
③-2-2:性能回復評価プロセスの構築												
③-2-3:実機での検証												
④プラント機器共通の異常事象要因分析による運転支援技術の開発												
④-1運用にクリティカルな異常項目を調査し、対象異常項目を決定する												
④-2対象異常項目の要因分析ツール構築												
④-3要因分析ツールを対象発電所への実装および要因分析ツール評価												

4.3.3. 実用化・事業化への道筋（アウトカム目標及び達成見込み）

アウトカム目標	根拠
2030 年 SDGs	電力分野では「7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに」が特に関連するが、再生可能エネルギーが普及促進される中、系統安定のための調整力をもった火力発電を高い信頼性で運用出来る様なロードマップとしている。
第 6 次エネルギー基本計画	第 6 次エネルギー基本計画で掲げられている 3E（自給率、環境適合、経済効率性）達成するにあたり、火力発電は安定供給を大前提としており、調整力としての柔軟な運転性も必要とされている。AI・IoT 技術を活用して、保守及び運用の両面において負荷変動対応能力を向上させる取組が促進されている。

- 発電事業者向けには IoT サービスの形で提供し、経済産業省スマート保安とも同じ方向性である。
- 従来のタイムベースメンテナンスからコンディションベースメンテナンスへ移行し、石炭火力発電所が機械的負荷の増える調整用電源としての役割を担った際も、信頼性を向上させ、電力の安定化に寄与。



本事業における「実用化・事業化」の考え方（赤枠：実用化、青枠：事業化）

4.3.4. 研究開発項目の詳細（研究内容、アウトプット目標、達成状況）

4.3.4.1. 研究開発項目①-1 低圧タービン最終段羽根のエロージョン進展予測技術の開発

<目標>

最終段羽根 26 インチ以上 48 インチ未満の範囲で 3 種類の最終段羽根を選定し、運転負荷に対応した最終段羽根のエロージョン（浸食量）予測技術を開発する。

このうち、対象発電所の最終段羽根について、安全側の予測とするため浸食計算値/管理値※が浸食実測値/管理値よりも大きくなることとし、その差が 0%～20%の範囲となる精度を数値目標とする。

※羽根の浸食量（mm）に関する、羽根の交換推奨管理値

＜成果（実績）と達成度＞

【達成度：○（達成）】

- ・3種類の最終段羽根の浸食量予測技術を開発した。
- ・最終段羽根のエロージョン予測モデルを開発し、対象発電所に実装した。
- ・対象発電所の最終段羽根について、浸食計算値/管理値が浸食実測値/管理値よりも大きくなっており、その差は16.6%であった。

＜達成の根拠＞

3種類の最終段羽根の浸食予測技術を開発した。また、対象発電所の最終段羽根について、浸食計算値/管理値が浸食実測値/管理値よりも大きくなっており、その差が0%～20%の範囲となる精度となっていることを確認した。このため、達成と評価した。

4.3.4.2. 研究開発項目①-2 中圧タービン初段ノズルクリープの進展予測技術の開発

＜目標＞

本システムで運転中の変形量および現在の運転を継続した際に生じる将来の変形量を予測することで、変形量が変形管理値※を上回るのを80%の確率にて検出できるようにすることを目標とする。

※ノズル変形量(mm)に関する、ノズルの点検推奨管理値および交換推奨管理値

＜成果（実績）と達成度＞

【達成度：○（達成）】

ノズルクリープ変形量の予測技術を開発し、対象発電所に実装した。変形量の計算値が管理値を上回る判定精度を評価し、96.5%の確率で検出できた。

＜達成の根拠＞

変形量の計算値と実機の計測記録を用いて精度を評価し、96.5%の判定精度を達成したことを確認した。このため、目標を達成と評価した。

4.3.4.3. 研究開発項目①-3 高圧及び中圧タービン初段羽根の減肉量の進展予測技術の開発

<目標>

開発したシステムを発電所に実装し評価モデルの動作確認および予測手法の拡充・改善を行う。

羽根が飛散するまでに許容できる減肉量（管理値）に対し、運転中に減肉量および現在の運転を継続した際に生じる将来の減肉量を予測することで、減肉量が管理値を上回るのを80%の確率で検出できるようにすることを目標とする。

※羽根の減肉量(mm)に関する羽根の点検推奨管理値

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

初段羽根の浸食量の予測技術を開発し、対象発電所に実装した。減肉量の計算値が管理値を上回る判定精度を評価し、87.5%の確率で検出できた。

<達成の根拠>

減肉量の計算値と実機の計測記録を用いて精度を評価し、87.5%の判定精度を達成したことを確認した。このため達成と評価した。

4.3.4.4. 研究開発項目①-4 低圧タービン羽根植え込み部の応力腐食割れ（SCC）・腐食疲労（CF）進展予測技術の開発

<目標>

低圧タービン羽根植え込み部のSCC・CFに至る孔食について、孔食予測技術を開発する。開発したシステムを発電所に実装し、システムの動作確認を行う。

タービンの運転データから羽根植え込み部の孔食サイズを予測する実装システムを開発する。このシステムでは管理値※のサイズの孔食が発生している確率を80%以上で予測することを目標とする。

※孔食深さ(mm)に関する、ロータ側羽根植え込み部の点検推奨管理値

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

羽根植え込み部の孔食発生予測技術を開発し、対象発電所に実装した。孔食サイズの計算値が管理値を上回る判定精度を評価し、86%の確率で検出できた。

<達成の根拠>

孔食サイズの計算値と実機の計測記録を用いて精度を評価し、86%の判定精度を達成したことを確認した。このため達成と評価した。

4.3.4.5. 研究開発項目①-5 高温部品の余寿命予測技術の開発

<目標>

高温部品の余寿命を予測する技術およびシステムを開発する。開発したシステムを発電所に実装し評価システムの動作確認およびモデルのチューニングを行う。構築した材料劣化評価手法および温度・応力推定手法を用いて、寿命消費率予測のケーススタディを実施する。従来手法で評価された寿命消費率と比較し、予め設定した寿命消費率への到達を 70%の確率で検出する。

※所定のき裂長さに達する時間

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

高温部品の余寿命予測技術を開発し、対象発電所に実装した。開発した手法が寿命消費率計算値への到達を 70%の確率で検出できることを確認した。

<達成の根拠>

実運転データを基に仮定した運転パターンを用いて、き裂進展評価のケーススタディを実施した。

所定き裂長さに到達する前に 70%の確率で検出できることを確認した。このため目標達成と評価した。

4.3.4.6. 研究開発項目②-1 非接触型センサーを適用した発電機固定子コイルのオンライン絶縁診断システムの開発

<目標>

当社にて独自開発した非接触式 PD センサー及びデータ処理装置により、オンラインで固定子コイル絶縁の寿命診断を可能とする手法を開発する。

* 余寿命推定年数中央値信頼度±30%

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

当社独自開発の非接触式オンライン絶縁診断装置を用い、余寿命推定年数中央値信頼度±30%の診断技術を開発した。

＜達成の根拠＞

余寿命推定年数中央値信頼±30%となる理論を構築。当該発電所のデータで確認できたため、目標通り達成と評価。

4.3.4.7. 研究開発項目②-2-1 故障シミュレーションモデルを組み込んだ予兆診断システム（RRCATM）の開発-ロータレアショート

＜目標＞

過去の経験より発電機レアショートを模擬するモデルを構築し、現状の運転状態が故障モードにあるかを判定する技術を開発する。

* レアショート検出率 1%

＜成果（実績）と達成度＞

【達成度：○（達成）】

ロータレアショート RRCA モデルを構築、対象発電所で適用し、レアショート検出率が目標の1%となることを確認した。

＜達成の根拠＞

当該発電所の運用中に取得データから、レアショート検出率1%が可能であることを確認した。このため目標通り達成と評価

4.3.4.8. 研究開発項目②-2-2 故障シミュレーションモデルを組み込んだ予兆診断システム（RRCATM）の開発-ロータアンバランス

＜目標＞

過去の経験より発電機ロータアンバランスを模擬するモデルを構築し、現状の運転状態が故障モードにあるかを判定する技術を開発する。

* アンバランス位置検出率 100%

＜成果（実績）と達成度＞

【達成度：○（達成）】

ロータアンバランス RRCA モデルを構築、アンバランス位置検出率が、実用上 100%であることを確認した。

＜達成の根拠＞

当社工場での発電機ロータ実機によるウェイト・レスポンス試を実施し、検出率 100%を確認した。
このため目標通り達成と評価

4.3.4.9. 研究開発項目②-2-3 故障シミュレーションモデルを組み込んだ予兆診断システム（RRCATM）の開発-発電機クーラ性能劣化評価

＜目標＞

過去の経験より発電機クーラ性能劣化を評価するモデルを構築し、現状の運転状態の劣化レベルを判定する技術を開発する。

* 劣化検出レベル 50%

＜成果（実績）と達成度＞

【達成度：○（達成）】

発電機クーラ劣化 RRCA モデルを構築、対象発電所で適用した。劣化検出レベルを定義し、目標値 50%を把握できることを確認した。

＜達成の根拠＞

当該発電所の運用では、劣化検出率が評価できなかったため、流体解析に劣化検出レベルを確認した。このため、目標通り達成と評価。

4.3.4.10. 研究開発項目②-3 発電機コレクタリング火花監視装置の開発

＜目標＞

非接触式の火花検出方式、それを実現するセンサー、検出された信号を分別するフィルタリング方式を開発し、得られた信号に対する適切な閾値を提示する。

* 火花検出率 80%

＜成果（実績）と達成度＞

【達成度：◎（大いに上回って達成）】

電磁波を利用した火花監視装置を開発、当該発電所に適用し、火花が目標の80%以上検出可能であることを確認した。

＜達成の根拠＞

当該発電所での運用での確認結果、及び疑似火花発生装置により、検出率80%以上を確認。また火花等級まで把握できたので、大幅達成と評価。

4.3.4.11. 研究開発項目③-1 冷却管減肉予測技術

＜目標＞

累積運転時間等の因子により減肉特性をモデル化し、冷却管の減肉予測を可能とする技術を開発し、対象プラントに実装する。減肉予測精度を、計測誤差を排除して±10%以内であることとする。

＜成果（実績）と達成度＞

【達成度：○（達成）】

減肉特性を基にした減肉予測システムを対象発電所に実装し、適切に動作していることを確認した。予測精度の検証の結果、±10%内に収まることを確認した。

＜達成の根拠＞

検証用データとして、他プラントにおける冷却管厚さ計測結果を取得し精度の検証を実施し、目標値を期待通りに達成した。

4.3.4.12. 研究開発項目③-2 復水器の性能回復効果評価技術

＜目標＞

冷却管の閉止栓・リチュービング等の保守対策が性能に与える効果を、過去の知見と設計ノウハウから推定するプロセスを構築し、対象プラントに実装する。

真空度の予測値と運転データの精度が±10%以内であることとする。

＜成果（実績）と達成度＞

【達成度：○（達成）】

熱流動解析にて得られた伝熱特性を基に、性能予測システムを対象発電所に実装し、適切に動作していることを確認した。システム予測結果と実測値との間の精度が±10%内に収まることを確認した。

<達成の根拠>

過年度における閉止栓・リチュービングを実施した定検前後の運転データを用い、性能予測値の精度検証を実施し、目標値を期待通りに達成した。

4.3.4.13. 研究開発項目④ プラント機器共通の異常事象要因分析による運転支援技術の開発

<目標>

発電所運用にクリティカルな異常項目*1 に対して、異常検知から処置決定までの推理プロセスを要因分析ツールに体系化し、構築する。

*1 10 年以内に 1 回以上発生したトリップ（計画外停止）と警報の異常項目

構築した要因分析ツールを導入することによるトラブル対応時間*2 の削減効果を調査する。要因を特定するための調査項目および推奨処置内容を 2 日以内に提示できることを目標とする。

*2 異常検知から推奨処置内容（応急処置含む）を提示されるまでの時間

<成果（実績）と達成度>

【達成度：◎（大いに上回って達成）】

過去数十年間のトラブル 事象(約 200 件)に基づき、主要な 19 項目の要因分析ツールを構築した。上記ツール構築に用いた事象とは別の事象を用いて、調査項目および推奨処置内容の特定を 2 日以内に提示できることを確認。

<達成の根拠>

要因分析ツールの評価の結果、調査項目および推奨処置内容の特定にかかる時間が最長 4 時間のため、目標(2 日以内)を大幅に短縮できた。

要因推定までのフロー数約 1.7(平均)

4.3.5. 成果の意義

再生可能エネルギーの拡充に伴い火力発電所の役割は従来のベースロード運用から、電力需給バランス維持及び周波数安定のための調整用電源にシフトし、すなわち、負荷変動や起動停止を頻繁に行うことによって、従来以上の機械的負荷が発電設備に掛かることになる。今次の技術を用いることによって、従来のタイムベースメンテナンスからコンディションベースメンテナンスへの移行が可能となり、事業者にとってより適したタイミングでの定検などを推奨できる。

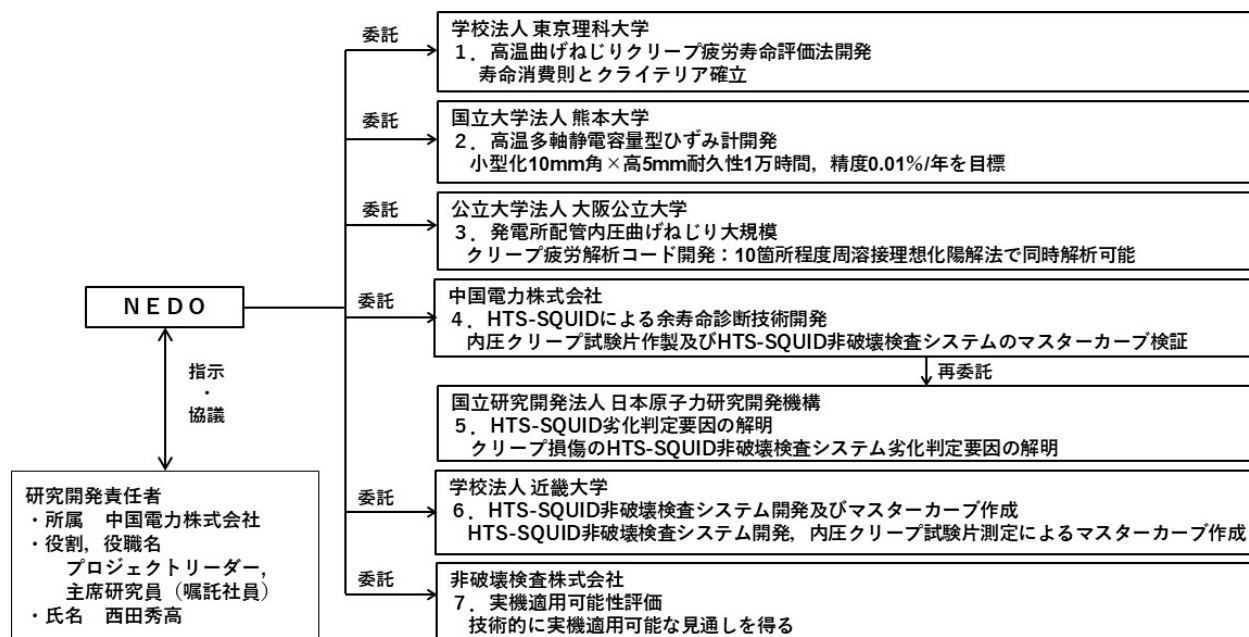
知的財産戦略としては、ソフトウェア画面やその構成、ユーザーエクスペリエンスに進歩性があることから、これらにフォーカスした特許を積極的に出願した。

タービン発電設備の保守技術であるため、燃料種別を問わない蒸気タービン発電設備のスマート保安に寄与する。また、発電機に係る技術については、上記以外にも水力発電や風力発電などの発電機にも適用可能である。

4.4. ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発

4.4.1. 実施者名・実施体制

実施者名・実施体制は以下のとおりである。

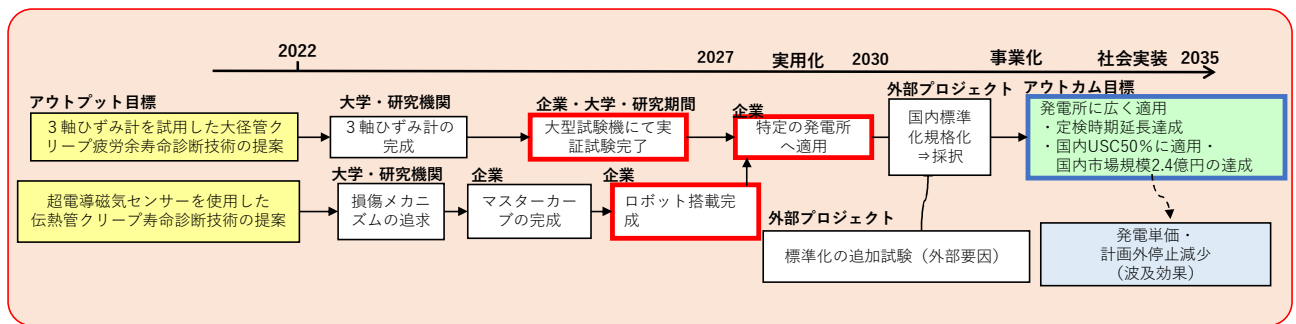


4.4.2. 実施期間・研究開発スケジュール

・期間：2020年7月7日～2023年3月31日

4.4.3. 実用化・事業化への道筋（アウトカム目標及び達成見込み）

アウトカム目標	根拠
定検時期延長達成	現在、ボイラの点検検査時期4年を6年に延長 先端技術であるオンラインモニタリングを用いたデジタルツイン技術を適用
国内 USC50%に適用・ 国内市場規模 2.4 億円の 達成	現在国内に USC ボイラは 2 5 基、その 5 0 %が適用と仮定、1 期当り大径管 1 0 百、伝熱管 1 0 百万 = 2 0 百万円/基（5 年間）



本事業における「実用化・事業化」の考え方（赤枠：実用化、青枠：事業化）

4.4.4. 研究開発項目の詳細（研究内容、アウトプット目標、達成状況）

4.4.4.1. 研究開発項目① 高温曲げねじりクリープ疲労寿命評価法の研究開発

<目標>

- 油圧サーボ式高温曲げねじりクリープ疲労試験装置の開発
- 高温曲げねじりクリープ疲労寿命の取得
- 有限要素解析による応力状態の把握
- クリープ疲労寿命評価法の検討
- 小規模曲げねじりクリープ疲労試験装置にて実証試験

<目標の設定根拠>

油圧サーボ式高温曲げねじりクリープ疲労試験装置を開発し、高温ねじりクリープ疲労寿命を測定する。開発した高温ねじりクリープ疲労試験装置による試験片の形状変化に関して、有限要素法解析により得られた力学的パラメータ（亀裂発生点での相当応力、相当ひずみ、主応力、主ひずみ、最大せん断応力、最大せん断ひずみ）を、高温曲げねじりクリープ疲労寿命と関係づける。

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

- ・高温曲げねじりクリープ疲労試験データの取得と組織観察、ならびに溶接部損傷メカニズムの解明
- ・溶接付き配管試験体の有限要素解析の実施
- ・クリープ疲労寿命評価法の開発
- ・ジャイロスコープによるその場たわみ角・ねじり角のモニタリングとそれによる損傷状態の管理、予測法の開発（大阪公立大との連携のもと実施）

4.4.4.2. 研究開発項目② 高温 3 軸薄膜静電容量型ひずみ計の研究開発

<目標>

- a. 2 軸センサーの開発
- b. 高温誘電膜の研究
- c. 3 軸センサーの開発
- d. 実証試験

<目標の設定根拠>

配管の溶接熱影響部を覆うことができる小型で、多孔性セラミックス材料を誘電体とする高温 3 軸タイプの静電容量型小型ひずみ計を開発する。開発した高温 3 軸薄膜静電容量型ひずみ計を、研究開発項目①で開発した高温曲げねじり疲労試験装置に設置し、3 軸ひずみセンサーとしての適用可能性を評価する。

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

- ・3 軸ひずみセンサー設計、試作ならびに 2 軸ひずみセンサーの評価を室温単軸引張試験装置により実施
- ・1 本のセンサーの大きさは縦 12mm、幅 2mm、厚さ約 50 μ m 達成
- ・ Φ 10mm 程度の配管に取り付けに成功

<達成の根拠>

- ・2 軸試験結果の再現性検証、3 軸ひずみセンサーの評価
- ・高温単軸引張試験の測定の再現性・精度向上

4.4.4.3. 研究開発項目③ 発電所高温内圧曲げねじりクリープ疲労大規模解析法およびそれを用いたデジタルツイン技術の研究開発

<目標>

- a. 曲げねじりクリープ解析技術の開発
- b. 大規模内圧曲げねじりクリープ解析技術の開発
- c. 内圧曲げねじりクリープ疲労解析技術の開発
- d. 内圧曲げねじりクリープ疲労デジタルツイン技術の開発

e. 高温曲げねじりクリープ疲労試験装置にて実証試験

<目標の設定根拠>

曲げねじりクリープ解析技術を、理想化陽解法 FEM に導入し、実機石炭火力発電設備の大径管内圧曲げねじりクリープ疲労解析に適用できる解析技術を開発する。開発した解析技術に、実際に計測された大径管のひずみ・変形・温度分布の時系列データを取り込み、疲労余寿命分布の経時変化を表示するシステムを構築する。

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

- ・実機配管のクリープ解析を実施
- ・配管の変位を基に境界条件を推定可能なシステムを開発
- ・曲げ角ねじり角から荷重条件の推定、疲労寿命の推定を実施

4.4.4.4. 研究開発項目④ オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管の HTS-SQUID による余寿命診断技術開発

<目標>

- a. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管試験片作製
- b. HTS-SQUID 劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定、組織・磁気特性観察
- c. マスターカーブの有効性検証

<目標の設定根拠>

火 SUS304J1HTB ボイラ（オーステナイト鋼製）伝熱管の内圧クリープ（熱時効含む）試験片を破断に至るまで HTS-SQUID による劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定及び組織・磁気特性を観察することで、研究開発項目⑤の解明に活用する。

また、USC プラントボイラ内同伝熱管の HTS-SQUID による劣化判定箇所と無反応箇所についても同様に導電率・透磁率測定及び組織・磁気特性を観察し、研究開発項目⑥で作成したマスターカーブの有効性の検証に活用する。なお、研究開発項目⑥で作製した屋外 HTS-SQUID 非破壊検査システムを使用して、USC プラントボイラ内の同伝熱管を測定することで、実機における適用性についても評価できる。

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

- ・火 SUS304J1HTB ボイラ伝熱管（オーステナイト鋼製）内圧クリープ試験片（破断まで）及び熱時効試験片（破断最長時間）作製完了

- ・上記内圧クリープ試験片及び熱時効試験片の HTS-SQUID 劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定、組織・磁気特性観察を全て完了

- ・三隅発電所 1 号機 2 次再熱器火 SUS304J1HTB ボイラ伝熱管を測定し、実機で適用できることを確認した。また、同機 4 次過熱器拔管材の HTS-SQUID 劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定、組織・磁気特性観察を全て完了

- ・火 SUS304J1HTB ボイラ伝熱管の HTS-SQUID 測定結果と寿命比は相関があり、寿命後期（70～80%）を捉えることを明らかにしたが、マスターカーブの作成・検証までは至らなかった。なお、HTS-SQUID の反応はアルファ相（歪大：透磁率大）とシグマ相（導電率低下）生成、粒界介在物（シグマ相、非金属介在物など：導電率低下）の粒間結合強度低下の複合要因と考察したもの、寿命との明確な関係を明らかにできなかった。

<達成の根拠>

ボイドは寿命末期まで発生しないため、ボイド観察では寿命評価できないことが分かり、HTS-SQUID 反応要因を複数（アルファ相、シグマ相、粒界介在物）考察したもの、各要素と寿命との相関を明らかにするためには追加実験と観察が必要となり、未解明となった。そのため、複数要因に対する劣化メカニズムの解明のため、実験と解析により解明を目指す（アルファ相の硬さ、密度などを明らかにし、それらのデータをもとに応力解析により、ボイド・亀裂の起点となる歪みを計算のうえ、延性消耗則から寿命想定する方向）。

4.4.4.5. 研究開発項目⑤ オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管クリープ損傷の HTS-SQUID 劣化判定要因の解明

<目標>

- a. HTS-SQUID が捉える導電率と透磁率の変化要因を明らかにする。
- b. クリープによる組織の劣化要因と HTS-SQUID による劣化判定要因との対応を明らかにする。

<目標の設定根拠>

HTS-SQUID がどういった劣化要因に反応しているのかを明らかにすることで、HTS-SQUID による劣化診断に対する有効性が判断できる。

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

・HTS-SQUID が捉える導電率と透磁率の変化要因として、常磁性体のオーステナイト相中に強磁性相が生成（アルファ相）すること、ボイドや微視亀裂が発生すること、粒界介在物（シグマ相や非金属製介在物）がその要因となっている。

・HTS-SQUID が捉える導電率と透磁率の変化とクリープによる劣化判定要因は関連付けできるもののその証明には至ることができない。

<達成の根拠>

HTS-SQUID が捉える導電率と透磁率の変化要因及びクリープによる組織の劣化要因と HTS-SQUID による劣化判定要因との対応を明らかにした。

4.4.4.6. 研究開発項目⑥ HTS-SQUID 非破壊検査システム開発及びマスターカーブ作成

<目標>

- a. 屋内 HTS-SQUID 非破壊検査システム開発
- b. 屋外 HTS-SQUID 非破壊検査システム開発
- c. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管内圧クリープ試験片の屋内 HTS-SQUID 非破壊検査システムによる測定及びマスターカーブ作成

<目標の設定根拠>

屋内 HTS-SQUID 非破壊検査システム開発のうえ、研究開発項目④で作成した内圧クリープ試験片（熱時効試験片含む）を測定し、マスターカーブを作成する。作成したマスターカーブにより、火 SUS304J1HTB ボイラ伝熱管の余寿命診断を可能とする。

研究開発項目④で実施するマスターカーブの有効性検証及び実機での適用性評価のため、屋外 HTS-SQUID 非破壊検査システムを開発する。

<成果（実績）と達成度>

【達成度：○（達成）】

- ・屋内 HTS-SQUID 非破壊検査システムを開発した。
- ・屋外 HTS-SQUID 非破壊検査システムを開発した。
- ・火 SUS304J1HTB（オーステナイト鋼製）ボイラ伝熱管内圧クリープ試験片（熱時効試験片含む）全てを屋内 HTS-SQUID 非破壊検査システムにより測定し、HTS-SQUID の劣化判定箇所と無反応箇所を明らかにするとともに HTS-SQUID 測定結果と寿命比との関係性を明らかにした。
- ・三隅発電所 1 号機 4 次過熱器火 SUS304J1HTB ボイラ伝熱管の抜管材を測定し、HTS-SQUID の劣化判定箇所と無反応箇所を明らかにした。

<達成の根拠>

HTS-SQUID 測定結果と寿命比との関係性を明らかにしたものの、研究開発項目④により、HTS-SQUID 反応要因（アルファ相、シグマ相、粒界介在物）と寿命との相関を明らかにできなかったため、マスターカーブを作成できない。

4.4.5. 成果の意義

再生可能エネルギーは、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で重要な低炭素の国産エネルギー源であり、地球環境保全に向けた脱炭素化の必要性から、3E+S の原則の下、再生可能エネルギーの「主力電源化」に向けた環境整備が進められている。

このような中、需給バランス調整のため、調整力不足時の対応方法は法令による優先給電ルールが実施されており、火力発電を第一に出力抑制することが義務付けられている。また、メルिटオーダーの観点からも限界費用の高い火力発電所は調整力として利用せざるを得ない状況となっている。

我が国で総発電電力量の約 35%を占めている石炭火力発電は、これまで主にベースロード運用を担ってきたが、再生可能エネルギーの導入量拡大により、超々臨界圧発電（USC）プラントであっても出力調整は必須であり、近い将来には起動停止も見込む必要がある。

そのため、起動停止時や負荷変動時に生じる温度・ひずみの変化がボイラの損傷劣化に大きく影響することが懸念される。

特に、大径管は、内圧によるクリープに加えて曲げ・ねじり・クリープ疲労に伴う損傷が付加され、大径管材料である 9%Cr 鋼等高強度耐熱材料においては、溶接部において残留応力が大きく、かつ緩和が起こりにくいため、損傷が起動停止や負荷変動時に大きく進むことが示唆されている。また実機の最大損傷部位特定のため応力負荷状況を推測する必要があるため、起動停止時の変位をレーザ測定器により計測し、応力解析した結果、実機において、曲げとねじりの応力が相当量働いていることが明らかになってきた。実際に大径管において、ねじり応力による損傷が表面化してきている。しかし幸いにも、従来程度の起動停止回数では、大きな損傷は顕在せず、問題となることはなかった。今回、我々の研究で、曲げモーメント 1 に対して、ねじりモーメントが 0.4 かかれば、破壊寿命（最大主応力から算出）が曲げモーメント 1 のみに対して、 $1/2$ まで低下する。また、内圧 1 の時の寿命を 1 とすれば、加えて引張 1 かけると寿命が $1/6$ になる結果が明記されており、それにさらにねじりが 0.4 かかれば、寿命は $1/(2 \times 6) = 1/12$ となるという衝撃的な推測が成り立つ。これは、従来の知見から 9%Cr 鋼長手溶接部は、タイプ IV クラックにより、非常に寿命が短いことが明らかになっており、多くの起動停止や負荷変動を繰り返せば、周溶接部もそれと同じ寿命ということになる。

次にボイラ伝熱管であるが、600℃超での起動停止や負荷変動が多くなると、微粉炭燃焼はガス燃焼や液体燃焼に比べて燃焼不安定、燃焼ガス偏流が発生しやすく、異常過熱（ホットスポット）の可能性が大きくなる。そのためクリープ破断や管固定金具付近に熱疲労による亀裂の発生が一定負荷運転に比べ、多くなることが懸念される。さらに超々臨界圧（USC）ボイラ伝熱管の高温部に通常利用されているオーステナイト鋼は、熱膨張が大きく熱伝導性が悪いいため、熱応力が大きくなる。加えて、輻射熱とガスの対流熱双方の影響を受ける過酷な環境で利用されている。

そのため、両部位ともに今後は、慎重な管理が求められ、即急な高精度余寿命評価法の開発が望まれる。

添付資料

●プロジェクト基本計画

P 1 6 0 0 2
P 1 6 0 0 3
P 1 0 0 1 6
P 9 2 0 0 3

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

2015年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力発電分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、2016年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、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っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電（IGCC）が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅な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。2040年頃に燃料としての年間アンモニア利用量1,000万トンを達成し、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〔委託・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）
- 6) CO₂分離・回収型IGCCにおけるバイオマス混合ガス化技術開発（委託、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・助成事業〕

（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〔委託事業〕
- 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〔委託・助成事業（1／2）〕
- 3) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発〔委託事業〕
- 4) 二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発〔委託事業〕

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 吉田准一、PL：大崎クールジェン株式会社 菊池哲夫

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）高湿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 吉田准一

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 森伸浩

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

PM：NEDO 齊藤英治

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 櫻井靖紘

研究開発項目⑫ CO₂分離・回収技術の研究開発

PM：NEDO 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：NEDO 井川純二

(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、前倒し事後評価を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①石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業6)、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①石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業6)、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）CO₂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④4)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⑪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。

（23）2022年11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研究開発項目①、⑧、⑨、⑩、⑪、⑬のPMの変更、研究開発項目①のPLの変更。

（24）2022年●月

1. 研究開発の目的・目標・内容（2）②において内容の見直し、（3）において項目の追加及び助成フェーズの追加、4. 評価に関する事項において評価時期の変更、5（1）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①の追加、研究開発項目④6）及び⑬において期間変更、研究開発項目⑥において文言修正、研究開発項目⑫において助成フェーズの追加。

研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

1. 研究開発の必要性

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が約110年と長く、かつ世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発熱量当たりの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やバイオマス混合ガス化技術の開発を行い、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C

O₂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。

6) CO₂分離・回収型IGCCにおけるバイオマス混合ガス化技術開発(委託、1/2助成)

石炭火力発電の更なる脱炭素化を目指し、CO₂分離・回収型IGCCにおけるバイオマス燃料混合のための基礎的データの収集・分析、要素技術の開発を行うと共に、IGCCシステム全体への影響を検証し、石炭バイオマス混合ガス化発電に必要な技術確立する。

(a) 要素研究(委託)

燃料搬送及びガス化の各工程における石炭バイオマス混合燃料の挙動や特性、微量物質の影響に関する基礎データを収集する。

(b) 実用化研究(1/2助成)

バイオマス混合ガス化試験を行い、バイオマス混合に適応した燃料供給システム、ガス化・チャーリサイクル手法、微量物質処理の各技術を開発するとともに、CO₂分離・回収型IGCC設備全体のシステム検証評価を行う。

3. 達成目標

[実施期間]

- 1) 酸素吹IGCC実証：2012年度～2018年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）
- 2) 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
- 6) CO₂分離・回収型IGCCにおけるバイオマス混合ガス化技術開発：2023年度～2024年度

1) 酸素吹IGCC実証

[中間目標(2017年度)]

(a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

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

(b) 環境性能：「 $\text{SO}_x < 8 \text{ ppm}$ 」、「 $\text{NO}_x < 5 \text{ ppm}$ 」、「ばいじん $< 3 \text{ mg/Nm}^3$ 」を達成する（ $\text{O}_2 = 16\%$ ）。

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

[最終目標（2018年度）]

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

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

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率70%以上の見通しを得る。

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

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

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

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

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

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

[中間目標（2017年度）]

CO₂分離・回収設備の詳細設計を完了する。

[中間目標（2020年度）]

(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IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性を検証する。

商用機において、CO₂分離・回収型酸素吹IGCCシステムを構築するには、プラントの起動停止や、発電所特有の負荷変動等に対し、IGCC本体に追従した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IGCC運転との相互影響やガスタービン性能についても検証する。

(d) 経済性：商用機における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。

[最終目標（2022年度）]

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

[中間目標（2020年度）]

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）]

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

[最終目標（2022年度）]

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。

5) CO₂分離・回収負荷変動対応ガスタービン要素技術開発

[中間目標（2023年度）]

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）]

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。

6) CO₂分離・回収型IGCCにおけるバイオマス混合ガス化技術開発

[中間目標（2023年度）]

(a) 要素研究（委託）

IGCCシステムでの石炭とバイオマスの共ガス化技術の実現に求められる石炭バイオマス混
合燃料の挙動や特性、微量物質の影響に関する基礎データを収集・分析し、石炭バイオマス混合
比50%（熱量比）実現に向けた課題を抽出する。

(b) 実用化研究（1／2助成）

大規模IGCCシステムでの石炭とバイオマスの共ガス化技術の開発に向けた検討を開始する。

[最終目標（2024年度）]

IGCCシステムでのバイオマス混合燃料の粉体供給性能、ガス化性能および微量物質挙動を評価
し、（a）要素研究の結果も踏まえ、石炭バイオマス混合比50%（熱量比）に適用可能な石炭とバ
イオマスの共ガス化技術を開発する。

研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

[実施期間]

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

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

1. 研究開発の必要性

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

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、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、高温分空気利用ガスタービン（AHAT）は、ガスタービンサイクルを改良したシステムであり、比較的早期に実用化が期待できる高効率発電システムで、電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機（10万kW程度）の高効率化（45%（高位発熱量基準）→51%（高位発熱量基準）以上）を目的とした日本オリジナルの技術であり、世界初となるAHATの実用化は急務である。

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

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

2. 具体的研究内容

1) 1700℃級ガスタービン

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

2) AHAT

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

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

3. 達成目標

1) 1700℃級ガスタービン

[中間目標（2018年度）]

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

[最終目標（2020年度）]

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

2) AHAT

[最終目標（2017年度）]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

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

研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

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

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 研究開発の具体的内容

（1）システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

（2）ボイラ要素技術

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

（3）タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

（4）高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

（5）実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

3. 達成目標

[最終目標（2016年度）]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

1) 次世代ガス化システム技術開発

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

1. 研究開発の必要性

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

2. 具体的研究内容

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

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

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

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

（1）水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

（2）エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

（3）IGCCシステム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

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

[最終目標（2018年度）]

既存の I G C C（1 5 0 0℃級 G Tで送電端効率 4 6～4 8％）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

2 0 1 8 年度以降については研究開発項目⑤ C O₂回収型クローズド I G C C 技術開発と統合して、
新名称 研究開発項目⑤ C O₂回収型次世代 I G C C 技術開発とする。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究

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

1. 研究開発の必要性

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

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

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

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[最終目標（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る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／ $t-CO_2$ を見通せる CO_2 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～2023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（2023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ため、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O₂/CO₂/H₂O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CO₂排出量を削減し、化学品を併産することでCO₂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）]

CO₂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）]

CO₂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-CO₂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) 機動性に優れる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ブ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、機動性に優れる広負荷帯高効率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、G T C Cシステムとしての運転制御技術とG T後流（H R S G－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G T C C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3 t/dの小型ガス化炉を活用し、送電端効率42%（高位発熱量基準）以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。

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50 t/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 G T 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 G T 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、ICSC（International Centre for Sustainable Carbon）、IEA/FBC（Fluidized Bed Conversion）、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及び基盤技術開発を進める。

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イ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ジメント、熱マネジメント、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。

[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。

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・助成事業〕

〔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（40 t-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。

1）要素研究〔委託事業〕

2）実証研究〔助成事業（1／2助成）〕

（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1.5 GJ / 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1.5 GJ / 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0.5 GJ / 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0.5 GJ / 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〕
〔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」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る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

〔最終目標（2026年度）〕

機動性に優れる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、機動性に優れる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。

◇中間評価、◆事後評価

添付資料（プロジェクト基本計画）-52

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)											◇			◇	
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)											◇			◇	
2) 液体燃料へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)											◇			◇	
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)											◇			◇	
4) 気体燃料へのCO ₂ 利用技術開発(委託・助成)												◇			◆
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											
2) 石炭利用技術開発(2/3補助)			※1												
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)														◆	
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											
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				※1											
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															◆
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															
2) 石炭火力の負荷変動対応技術開発・実証研究															

●特許論文等リスト

①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発

【特許】

なし

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	発表年月
1	相澤 威一郎	東北発 電工業 (株)	Type IV creep voids detection method for high chromium steel welds using ultrasonic backscattered waves	Bulletin of the JSME Mechanical Engineering Journal Vol.9, No.4, 2022	2022 年 6 月 20 日

【外部発表】

(a) 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	相澤威一郎	東北発 電工業 (株)	Detection method for type IV creep voids in high-chromium steel welds	International Conference on Power Engineering- 2021(ICOPE- 2021)	2021 年 10 月 20 日

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名称
1	三菱パワー (株)	2021-16 9753	J P : 日 本国	2021.10.15	出願継 続中	火力発電プラント及び火力発電プ ラントの制御方法
2	三菱重工業 (株)	1111056 30 (TW)	TW : 台 湾、中華 民国	2022.2.16	出願継 続中	火力発電プラント及び火力発電プ ラントの制御方法
3	国立大学法人 東京大学、三菱 重工業 (株)	2021-18 2900	J P : 日 本国	2021.11.9	出願継 続中	発電システム
4	三菱重工業 (株)	2022-04 2775	J P : 日 本国	2022.3.17	出願継 続中	蓄熱式熱交換器、蓄熱式熱交 換システム、発電システム及び蓄 熱式熱交換 システムの運転方法
5	三菱重工業 (株)	PCT/J P 2 022/005 928	PCT (全指 定)	2022.2.15	出願継 続中	火力発電プラント及び火力発電プ ラントの制御方法
6	三菱パワー (株)	2021-02 2766	J P : 日 本国	2021.2.16	出願継 続中	火力発電プラント及び火力発電プ ラントの制御方法
7	三菱重工業 (株)、三菱パ ワー (株)	PCT/J P 2 023/005 136	PCT (全指 定)	2023.2.15	出願継 続中	蓄熱式熱交換器、蓄熱式熱交 換システム、発電システム及び蓄 熱式熱交換システムの運転方法
8	三菱重工業 (株)	2022170 64704 (I N)	I N : イ ンド	2022.11.11	出願継 続中	火力発電プラント及び火力発電プ ラントの制御方法

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	タイトル	発表誌名、 ページ番号	発表年月
1	国立大学法人 北海道大学	Al-Si-Fe alloy-based phase change material for high-temperature heat storage	HIGH-TEMPERATURE PHASE CHANGE MATERIALS FOR ENERGY STORAGE	2022.12
2	国立大学法人 東北大学	Corrosion behavior of a Co-Cr-Mo-Si alloy in pure Al and Al-Si melt	HIGH-TEMPERATURE PHASE CHANGE MATERIALS FOR ENERGY STORAGE	2022.12
3	国立大学法人 東京大学	潜熱蓄熱材のための多元系共晶合金の組成設計	修士論文	2022.2
4	国立大学法人 東北大学	Corrosion behavior of Co-Cr-Mo alloys in Al melt	修士論文	2022.3

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	タイトル	会議名	発表年月
1	(一財)電力中央研究所	石炭火力の運用性改善とCO ₂ 削減効果	火力原子力発電大会 (広島大会)講演要旨集	2022.10
2	三菱パワー(株)	変化する汽力発電所の期待とそれを支える技術について	日本機械学会 第25回動力・エネルギー技術シンポジウム	2021.7
3	三菱パワー(株)	Advanced Energy Technologies towards "Beyond Zero Society"	2021年度クリーン・コール・デー国際会議	2021.9
4	三菱パワー(株)	変化する汽力発電所の期待とそれを支える技術について	東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会第12回ゼロエミッション活動紹介セミナー	2021.9
5	三菱重工業(株)	変動性再生可能エネルギーの受入量拡大を可能とする汽力発電所向け大規模蓄熱システム	太陽熱研究会	2022.12

6	三菱重工業(株)	変化する汽力発電所の期待とそれを支える技術について	電力エネルギー未来技術シンポジウム	2022.12
7	国立大学法人東京大学	Evaluation of Phase Relations for the Al-Cu-Mg-Si-Zn System around Eutectic Composition	TMS 2022 Annual Meeting & Exhibition	2022.2
8	国立大学法人北海道大学	Development of Al-Si-Fe latent heat storage material for high temperature application over 600℃	化学工学会第87年会	2022.3
9	国立大学法人東北大学	Effect of Si addition on the corrosion behavior of Co-Cr-Mo alloys in molten Al	日本金属学会2022年春期第170回講演大会	2022.3
10	国立大学法人東京大学	潜熱蓄熱材のための多元系共晶合金の組成設計	日本金属学会2022年春期第170回講演大会	2022.3
11	国立大学法人東京大学	金属潜熱蓄熱槽の蓄熱・放熱挙動予測	第59回日本伝熱シンポジウム	2022.5
12	三菱重工業(株)	三菱重工の脱炭素・カーボンネットゼロへの取り組み	日本機械学会 第26回動力・エネルギー技術シンポジウム	2022.7
13	三菱重工業(株)	再生可能エネルギーの余剰電力を活用する汽力発電所向け大規模蓄熱システムの概念設計	日本機械学会 第26回動力・エネルギー技術シンポジウム	2022.7
14	三菱重工業(株)	電力系統における変動性再生可能エネルギー受入量拡大を目的とした蓄熱システム	日本機械学会 第26回動力・エネルギー技術シンポジウム	2022.7
15	国立大学法人東京大学	Compositional and Thermophysical Study of Al-Si- and Zn-Al-1 Mg-Based Eutectic Alloys for Latent Heat Storage	HIGH-TEMPERATURE PHASE CHANGE MATERIALS FOR ENERGY STORAGE	2022.8
16	三菱重工業(株)	Conceptual design of large-scale Latent heat thermal energy storage system Utilizing surplus renewable ener	International Symposium on Thermal Energy Storage	2022.9

		gy for steam power generation	Science and Engineering 2022	
17	三菱重工業(株)	Energy Transition by Decarbonization Technologies for "MISSION NET ZERO"	第31回クリーン・コールドー国際会議	2022.9
18	国立大学法人東京大学	Composition Design and Thermophysical Analysis of Multinary Eutectic Alloys for Latent Heat Storage	THANOS Workshop on Thermal Energy Storage	2023.2
19	国立大学法人北海道大学	Development of Al-Si-Fe series alloy phase change material for high-temperature application	THANOS Workshop on Thermal Energy Storage	2023.2
20	国立大学法人東北大学	Thermophysical Properties of Al-Si Based Alloys in the Molten State for Thermal Storage System Design	THANOS Workshop on Thermal Energy Storage	2023.2
21	国立大学法人東北大学	Density and surface tension measurements of Al-Si based alloys	HIGH-TEMPERATURE PHASE CHANGE MATERIALS FOR ENERGY STORAGE	2023.3

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	(一財)電力中央研究所	石炭火力の最低負荷引き下げの効果と再エネ余剰電力を利用した調整力の維持	日本エネルギー学会機関誌「えねるみくす」解説記事 第5章	2023.1
2	(一財)電力中央研究所	再エネ余剰電力を利用した石炭火力の電力系統安定化運用	2021年度火原協協会誌特集号	2021.10
3	三菱重工業(株)	電力利用を目的とした蓄熱システム	2021年度火原協協会誌特集号	2021.10
4	三菱重工業(株)	再生可能エネルギー時代の大出力、高効率電力レジリエンス蓄熱システム	月刊「省エネルギー」	2021.12

5	三菱重工業（株）	石炭火力の負荷変動対応技術開発	日本エネルギー学会機 関誌えねるみくす	2023.1
---	----------	-----------------	------------------------	--------

(c)受賞実績

番号	所属	タイトル	学会名	発表年月
1	三菱重工業（株）	再生可能エネルギーの余剰電力を活用 する汽力発電所向け大規模蓄熱システ ムの概念設計	第26回動力・エネ ルギー技術シンポジウム	2022.11

③タービン発電設備次世代保守技術開発

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国 PCT	出願日	状態	名称
1	東芝エネルギーシステムズ（株）	2021-016030	J P : 日本国	2021.2.3	出願 継続 中	低圧タービンロータ翼植込部の腐食損傷演算装置、腐食損傷演算システム、及び腐食損傷演算方法
2	東芝エネルギーシステムズ（株）	2021-174758	J P : 日本国	2021.10.26	出願 継続 中	材料劣化評価装置及び材料劣化評価方法
3	KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA	17/682,665 (US)	US : アメリカ合衆国	2022.2.28	出願 継続 中	DETECTION APPARATUS AND DETECTION METHOD
4	東芝エネルギーシステムズ（株）	2021-090846	J P : 日本国	2021.5.31	出願 継続 中	蒸気タービンの損傷評価装置、方法及びプログラム
5	東芝エネルギーシステムズ（株）	2021-111442	J P : 日本国	2021.7.5	出願 継続 中	損傷評価装置、損傷評価方法
6	東芝エネルギーシステムズ（株）	2021-130513	J P : 日本国	2021.8.10	出願 継続 中	ブレード損傷評価装置、方法及びプログラム
7	（株）東芝	2021-144877	J P : 日本国	2021.9.6	出願 継続 中	検知装置及び検知方法
8	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022-112507	J P : 日本国	2022.7.13	出願 継続 中	異常原因診断装置および異常原因診断方法
9	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022204805 (AU)	AU : オーストラリア	2022.7.5	出願 継続 中	DAMAGE EVALUATION DEVICE, DAMAGE EVALUATION METHOD
10	東芝エネルギーシステムズ（株）	17/857418 (US)	US : アメリカ合衆国	2022.7.5	出願 継続 中	DAMAGE EVALUATION DEVICE, DAMAGE EVALUATION METHOD

11	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022-132393	J P : 日本国	2022.8.23	出願 継続 中	孔食発生評価装置、および、孔食発生評価方法
12	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022-129751	J P : 日本国	2022.8.16	出願 継続 中	蒸気タービンのクリープ変形評価装置、方法及びプログラム
13	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022-193546	J P : 日本国	2022.12.2	出願 継続 中	回転機械診断装置および回転機械診断方法
14	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022-166707	J P : 日本国	2022.10.18	出願 継続 中	ブレード損傷評価システム、ブレード損傷評価方法およびブレード損傷評価プログラム
15	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022-170998	J P : 日本国	2022.10.25	出願 継続 中	タービン監視システムおよびタービン監視方法
16	東芝エネルギーシステムズ（株）	J P 2022 / 021639	P C T（全指定）	2022.5.26	出願 継続 中	蒸気タービンの損傷評価装置、方法及びプログラム
17	東芝エネルギーシステムズ（株）	17 / 867793（U S）	U S : アメリカ合衆国	2022.7.19	出願 継続 中	MATERIAL DETE RIORATION EVA LUATION DEVIC E AND MATERIA L DETERIORATI ON EVALUATION METHOD
18	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022206712（A U）	A U : オーストラリア	2022.7.19	出願 継続 中	MATERIAL DETE RIORATION EVA LUATION DEVIC E AND MATERIA L DETERIORATI ON EVALUATION METHOD
19	東芝エネルギーシステムズ（株）	17 / 814331（U S）	U S : アメリカ合衆国	2022.7.22	登録 済み	BLADE DAMAGE EVALUATION AP PARATUS, BLAD E DAMAGE EVAL UATION METHO D, AND BLADE DAMAGE EVALUA TION PROGRAM

20	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022206791（AU）	AU：オーストラリア	2022.7.21	出願 継続 中	Blade damage evaluation apparatus, blade damage evaluation method, and blade damage evaluation program
21	東芝エネルギーシステムズ（株）	2023200244（AU）	AU：オーストラリア	2023.1.18	出願 継続 中	Turbine monitoring system and turbine monitoring method
22	東芝エネルギーシステムズ（株）	18／155992（US）	US：アメリカ合衆国	2023.1.18	出願 継続 中	TURBINE MONITORING SYSTEM AND TURBINE MONITORING METHOD
23	東芝エネルギーシステムズ（株）	18／052018（US）	US：アメリカ合衆国	2022.11.2	出願 継続 中	PIT INITIATION EVALUATION SYSTEM, AND, PIT INITIATION EVALUATION METHOD
24	東芝エネルギーシステムズ（株）	2022265940（AU）	AU：オーストラリア	2022.11.7	出願 継続 中	PIT INITIATION EVALUATION SYSTEM, AND, PIT INITIATION EVALUATION METHOD
25	東芝エネルギーシステムズ（株）	2023-071070	JP：日本国	2023.4.24	出願 継続 中	蒸気タービンの動翼の減肉量管理装置
26	東芝エネルギーシステムズ（株）	2023-070708	JP：日本国	2023.4.24	出願 継続 中	復水器状態予測装置
27	東芝エネルギーシステムズ（株）	2023202063（AU）	AU：オーストラリア	2023.4.4	出願 継続 中	Blade damage evaluation system, blade damage evaluation method, a

						nd blade damage evaluation program
28	(株) 東芝、東芝エネルギーシステムズ (株)	2023-038994	J P : 日本国	2023.3.13	出願 継続 中	火花放電監視システム及び火花放電検知装置
29	東芝エネルギーシステムズ (株)	2023-045718	J P : 日本国	2023.3.22	出願 継続 中	界磁巻線層間短絡監視装置および界磁巻線層間短絡監視方法
30	東芝エネルギーシステムズ (株)	2023-045626	J P : 日本国	2023.3.22	出願 継続 中	発電機クーラ性能監視装置
31	東芝エネルギーシステムズ (株)	2023-045646	J P : 日本国	2023.3.22	出願 継続 中	蒸気タービンの動翼のエロージョン量管理装置
32	東芝エネルギーシステムズ (株)	2023-045671	J P : 日本国	2023.3.22	出願 継続 中	蒸気タービンのノズル変形量管理装置

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【論文】

なし

【外部発表】

(a) 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	新田 能之	東芝エネルギーシステムズ（株） D X 統括部	東芝エネルギーシステムズの D X の取組み ープラント・エンジニアリング・エネルギー分野 におけるデジタルトランスフォーメーション （ D X ） の取り組みと実際	火力原子力発電 技術協会 関西 支部講演	2023.1
2	鈴木悠介	東芝エネルギーシステムズ（株） エネルギーシステム技術 開発センター	蒸気タービン機器の余寿命診断・保守技術 と近年の当社開発動向	日本材料学会 第 7 0 期第 2 回 高温強度部門委員会	2021.10
3	鈴木悠介	東芝エネルギーシステムズ（株） エネルギーシステム技術 開発センター	蒸気タービン機器の余寿命診断・保守技術	日本材料学会 “ 第 4 回 学生および 若手研究者による 材料研究の最前線”	2021.12
4	中谷祐二郎	東芝エネルギーシステムズ（株） エネルギーシステム技術 開発センター	エネルギー機器のオンラインデータによる寿命 診断・デジタル保全技術開発	日本材料学会 関東支部イブニング セミナー	2022.3
5	中谷祐二郎	東芝エネルギーシステムズ（株） エネルギーシステム技術 開発センター	エネルギー機器の先進的非破壊検査・材料 診断技術	應義塾大学 応 用物理特別講義	2022.5
6	竹内司	東芝エネルギーシステムズ（株） ヒートサイクル計画・ 技術部	火力・地熱発電所向け D X / C P S ソ リューション	火力原子力発電 技術協会 令和 5 年 5 月 本部 大学講座	2023.5
7	中谷祐二郎	東芝エネルギーシステムズ（株） エネルギーシステム技術 開発センター	エネルギー・インフラ機器のデジタル保全・寿命 診断技術	日本機械学会 2 0 2 1 年度年 次大会 公開ワー クショップ	2021.9
8	中谷祐二郎	東芝エネルギーシステムズ（株） エネルギーシステム技術 開発センター	火力発電システムのメンテナンスデータ・故障 予兆モデルによる保全・診断	日本機械学会 M & M 2 0 2 1 材料力学カンファ レンス 特別企画 フォーラム	2021.9

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発

【特許】

なし

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	発表年月
1	W. Sun, T. Kasa, Y. Hatsukade, T. Sugiuchi, and H. Nishida	近畿大学、中国電力（株）	Development of an HTS-SQUID Based Non-destructive Evaluation System for Boiler Tubes On-site Inspection in USC Thermal Power Plant	IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.33, No.5	Aug, 2023
2	W. Sun, T. Kasa, Y. Hatsukade, T. Sugiuchi, and H. Nishida	近畿大学、中国電力（株）	Creep Life ssessment Method for Super304H Boiler Tubes Based on HTSSQUID Gradiometer	IEEE Transaction on Applied Superconductivity, Vol.33, No.5	Aug, 2023

【外部発表】

(a) 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	柏木、奥野、荒井、西田	東京理科大学、中国電力	改良 9Cr 鋼溶接部に対するクリープ疲労 寿命とその評価法	日本機械学会 M&M2022 材料力学部門講演会	2022.09
2	奥野、石井、荒井	東京理科大学	デジタルイメージ相関法を援用した高クロム鋼溶接部の応力・ひずみ解析	日本材料学会 第 71 期 学術講演会	2022.05
3	奥野、荒井、伊藤、柏木、石井、西田	東京理科大学、中国電力	曲げモーメントとねじりトルクを同時に 受ける P91 溶接継手配管のクリープ疲労 寿命特性とその寿命評価法	日本材料学会 第 59 回 高温強度シンポジウム	2021.12

(b)新聞・雑誌等への掲載

無し

2. 分科会公開資料

次ページより、推進部署・実施者が、分科会において事業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／
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」(終了時評価)
2017年度～2023年度 7年間

プロジェクトの概要(公開版)

2023年7月31日

本プロジェクトの概要

- ・再生可能エネルギーの大量導入に伴い、**再エネの瞬時的・継続的な発電電力の低下など負荷変動への対応が火力発電に求められた。**
- ・本PJでは、既存の石炭火力発電設備への適用を念頭に、**負荷変動対応能力の向上**及び機械的負荷に耐える**設備信頼性向上に関する研究開発**に取り組んだ。

①火力発電設備保全用 高解像度フェーズドアレイシステムの開発

<高温高圧蒸気配管（大径管）の非破壊検査システム>

- 高解像度フェーズドアレイシステムの開発

②石炭火力発電システムの 運用性向上技術開発

<負荷変化率向上と最低負荷引き下げ>

- 負荷変化応答改善時の構造的弱点部位の同定技術（ボイラCFDによるメタル温度推定技術）
- 蓄熱システムの開発
- 運用性改善効果の定量化

④ボイラクリープ疲労損傷の 高精度余寿命診断技術開発

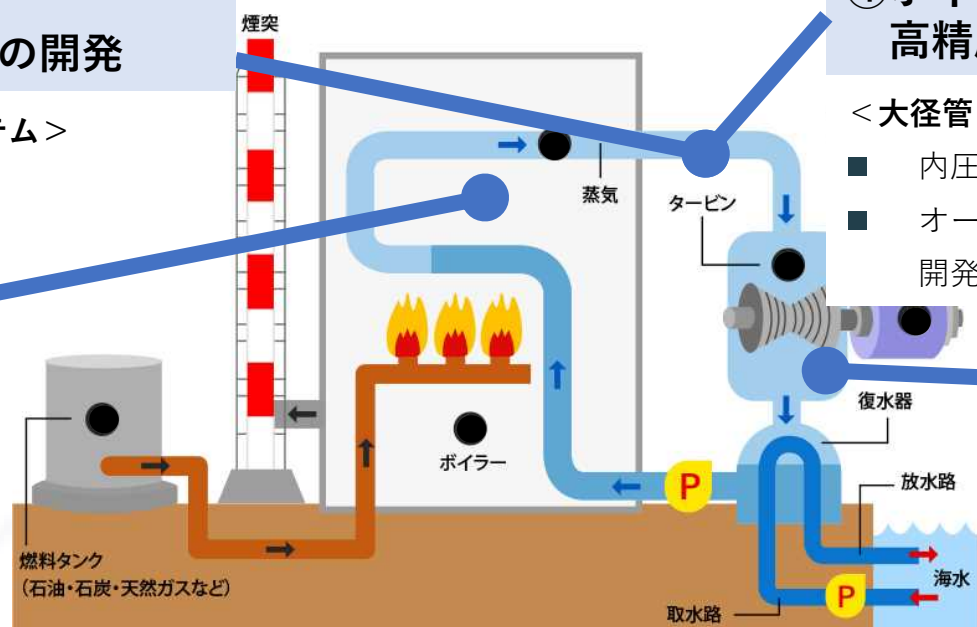
<大径管・伝熱管の余寿命診断>

- 内圧曲げねじりクリープ疲労を考慮した寿命評価法の開発
- オーステナイト鋼製伝熱管クリープ損傷の余寿命診断技術開発

③タービン発電設備 次世代保守技術開発

<次世代の日常点検手法、補修のトリガー技術>

- IoT・AI技術を用いたプラントデータの自動収集・自動分析による異常検知・運転支援技術の開発



出展： <https://www.oita-kyoka.co.jp/threeminutes/thermalpower.html>

終了時評価の対象範囲

本PJの実施期間は、2017年度から2023年度までの7年間であり、2019年度まで実施した前半の2事業については中間評価にて評価を実施済みである。**今回の終了時評価では2020年以降に採択した4事業が対象**となる。

事業名称	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	合計
微粉炭焚きボイラにおける 伝熱管の温度推定技術の向上								—
クリープボイド 初期検出システムの開発								—
①火力発電設備保全用高解像度 フェーズドアレイシステムの開発								—
②石炭火力発電システムの 運用性向上技術開発								—
③タービン発電設備 次世代保守技術開発								—
④ボイラクリープ疲労損傷の 高精度余寿命診断技術開発								—
評価時期				中間				終了時
事業費合計（百万円）	156	291	171	956	671	469	5	2,719

本PJ成果の波及効果

- ・石炭火力への適用を念頭に開発を進めてきたが、**本PJの開発技術の大半は、脱炭素型の火力発電（アンモニア混焼・専焼、水素混焼・専焼（GTCC）、CCS付火力等）にも適用可能**である。
- ・石炭火力発電を取り巻く政策環境がめまぐるしく変わる中、開発技術の適用先について、石炭専焼に限定することなく、**脱炭素型の火力発電への適用も視野に入れて柔軟に検討**を進めていきたい。

電力系統安定化・カーボンニュートラルに資する発電技術

< 負荷変動対応技術【本PJ】 >

故障予知・余寿命診断サービス等を提供し電力系統安定化に資する。



< 脱炭素型の火力発電技術 >

NH3
混焼・専焼

2024年頃に20%アンモニア混焼、2028年頃にアンモニア高混焼の技術を確認すべく、プロジェクトを実施中

出展： <https://green-innovation.nedo.go.jp/project/building-fuel-ammonia-supply-chain/>

水素
混焼・専焼
(GTCC)

2027年頃に440MW規模（GTCC※）の専焼ガスタービンを商用運用すべく、プロジェクトが進行中

出展： <https://www.sankei.com/article/20210607-6K2WLOEZPJNBPKXNAQ44FAQVBY/>
<https://power.mhi.com/jp/news/20180308.html>

CCS付
火力

CO₂分離回収・貯留（CCS）技術の低コスト化に向けた技術開発を実施中

出展： <https://green-innovation.nedo.go.jp/project/development-co2-separation-recovery/>

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(1) アウトカム達成までの道筋
(2) 知的財産・標準化戦略

- 本PJの背景・目的・将来像政策・施策における位置づけ
- 政策・施策・技術戦略上の位置づけ
- 国内外の動向
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋・具体的取り組み
- 知的財産権の帰属・標準化戦略・知的財産管理

2. 目標及び達成状況（概要）

(1) アウトカム目標と達成見込み
(2) アウトプット目標と達成状況

- アウトカム目標の設定及び根拠・「実用化・事業化」の考え方
- 費用対効果
- アウトカム目標の達成見込み
- アウトカムの波及効果
- アウトプット（研究開発成果）のイメージ
- 主な研究開発項目
- アウトプット目標の設定・達成状況
- アウトプットの波及効果・副次的成果
- 特許出願及び論文発表

3. マネジメント

(1) 実施体制
(2) 研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 予算及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール（概要）
- 電気事業者向け成果報告会
- 進捗管理
- 進捗管理：中間評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応

2. 目標及び達成状況（詳細）

(1) アウトカム目標と達成見込み
(2) アウトプット目標と達成状況

具体的な内容は非公開情報と併せて「非公開セッション」にて実施事業者より報告

＜評価項目 1＞ 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- （１）アウトカム達成までの道筋
- （２）知的財産・標準化戦略

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (1) アウトカム達成までの道筋
- (2) 知的財産・標準化戦略

- 本PJの背景・目的・将来像政策・施策における位置づけ
- 政策・施策・技術戦略上の位置づけ
- 国内外の動向
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋・具体的取り組み
- 知的財産権の帰属・標準化戦略・知的財産管理

2. 目標及び達成状況（概要）

- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

3. マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 研究開発計画

2. 目標及び達成状況（詳細）

- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

具体的な内容は非公開情報と併せて「非公開セッション」にて実施事業者より報告

本プロジェクトの背景・目的・将来像

背景

- 再生可能エネルギー大量導入による、再エネの**瞬時的・継続的な発電電力の低下への対応が急務**
- 高い負荷変動対応能力**、負荷変動による大きな機械的負荷に耐える**高い設備信頼性**を具備する石炭火力発電設備のニーズ大

目的

- 設備信頼性向上に資する、**先進的な故障予知・余寿命診断要素技術の開発の完了**
- 高い負荷変化率・最低負荷引き下げを実現する**運用性向上技術の開発の完了**

将来像

- 石炭火力発電所に対して、本PJの成果を反映した**故障予知・余寿命診断サービス等**を提供し**系統安定化に資する。**

政策・施策・技術戦略上の位置づけ

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」および「第6次エネルギー基本計画」において、**石炭火力発電の負荷変動対応能力は系統安定化に貢献する重要な技術**と位置づけられている。

<事業開始時>：2016年6月「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」

【石炭、LNG火力に関する方針】

負荷追従性を重視した系統安定化対応に貢献する技術の向上も課題であり、今後必要な技術の開発に向けて検討を進めていく。

出典：経済産業省 「次世代火力発電に係る技術ロードマップ（2016年6月）」をもとにNEDOが作成
https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment.html#jisedai_karyoku

出典：経済産業省 第6次エネルギー基本計画（令和3年10月）
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/

<事業終了時>：2021年10月「第6次エネルギー基本計画」

【火力発電の今後の在り方】

A I ・ I o Tを活用した**火力発電の運用の最適化・自動化や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促進**する。

【エネルギー源の位置付け（石炭）】

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。

国内外の動向_石炭火力に関する各国方針

- ・各国方針は、**CO₂排出削減対策が講じられていない石炭火力は段階的に廃止**していく見込みである。
- ・一方で、石炭火力の負荷変動対応技術として、アメリカのエネルギー省（DOE）の支援により、負荷変動によって生じる脆弱性部位の特定を支援するプラントの状態評価ツールの開発が行われた。

出典：https://netl.doe.gov/flextool

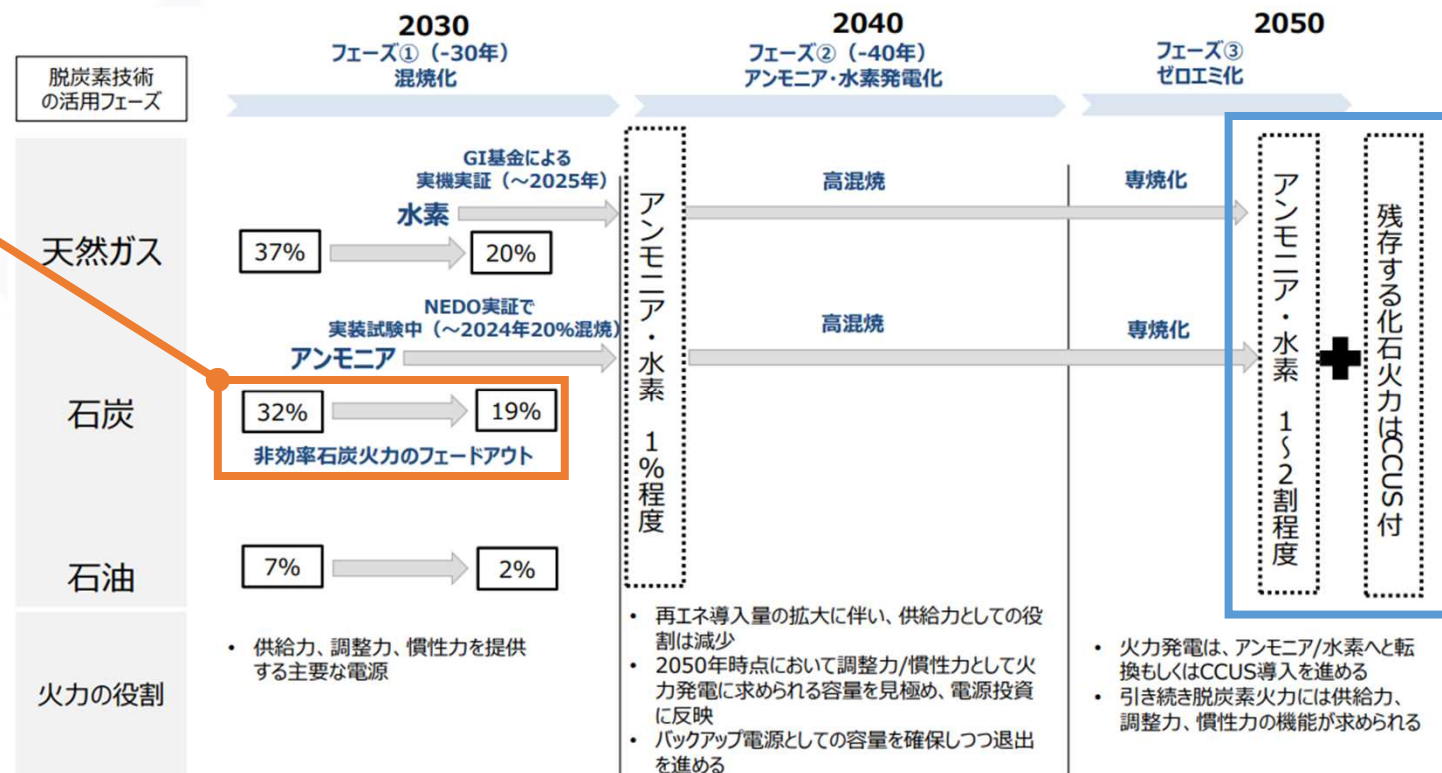
国名	石炭火力に関する方針
フランス	2022年までに全廃
ドイツ	石炭火力の段階的廃止完了時期を2038年から2030年に前倒しする計画
オランダ	2030年までに全廃
アメリカ	「パリ協定」に復帰。2035年までの発電部門のCO ₂ 排出ゼロ、及び2050年までのGHG実質ゼロを国家目標に設定。炭素集中型の化石燃料ベースのエネルギープロジェクトに対する国際的な投資及び支援の停止に向け努力する方針（2021年4月）
韓国	石炭火力の電源比率（現在約3割）を2030年頃までに約23%に低下させる方針。新規の海外石炭火力発電に対する公的金融支援の停止を宣言。（2021年4月）
オーストラリア	エネルギー消費量の約1/3が石炭火力。近年では高経年化した石炭火力発電所の閉鎖が進んでいる。他方、石炭の産出と輸出を2030年以降も継続する方針
中国	国外での石炭火力新設停止を表明（2021年9月）。国内でも脱石炭を進めていたが、今夏の電力不足を受けて国内石炭を増産
ベトナム	石炭火力より、電力系統と自然エネルギー開発を優先する方向を示す。火力発電の中では、天然ガス火力を石炭火力より優先
インドネシア	20年以上経過した石炭火力を自然エネに建て替え。石炭火力の新設は2020年がピーク、2028年以降は新設せず

出典：経産省 第59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 2023年3月1日資料を基にNEDO作成
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/059.html出典：環境省 第2回石炭火力発電輸出への公的支援に関する有識者ファクト検討会 2020年4月21日資料3-4を基にNEDO作成
https://www.env.go.jp/earth/post_72.html

国内外の動向_2050年に向けた火力発電のロードマップ

非効率石炭火力のフェードアウト等により、2030年度時点の電源構成比率は、**石炭火力19%程度まで減少**する見込みである。

再エネ導入量の拡大に伴い、供給力 (kWh) としての役割は減少。調整力/慣性力 (ΔkW) 電源として、**アンモニア・水素・CCUS※**の活用により火力発電の脱炭素化が進む。



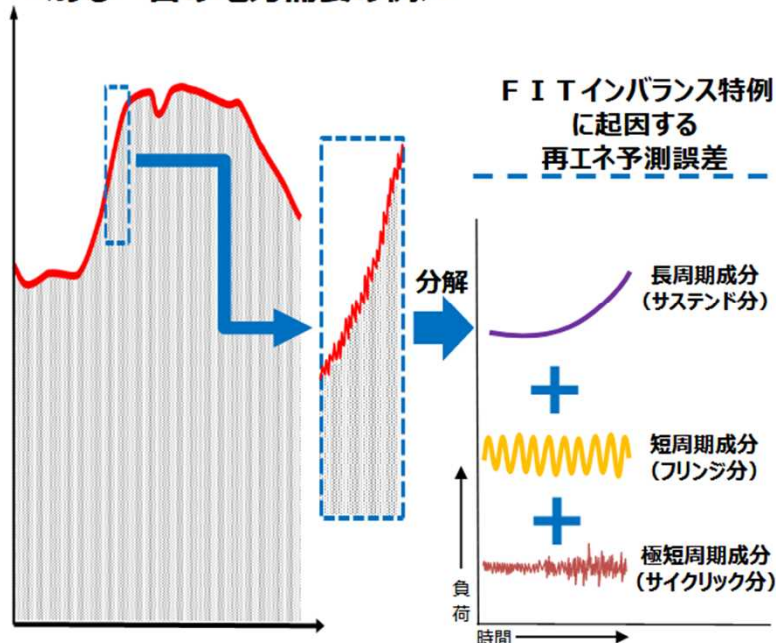
出典：経済産業省 第46回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 2022年3月25日資料を基にNEDO作成。なお、本ロードマップはイメージ案であり、委員会の今後の議論を踏まえ修正されていく見込み。https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/046.html

※CCUS：温室効果ガスの二酸化炭素を分離・回収し、有効利用するCCUと貯留するCCSの総称。二酸化炭素回収・有効利用・貯留。（出典：weblio）

国内外の動向_需給調整市場の開設(国内)

- ・ エリアを越えた広域的な調整力の調達・運用と、市場原理による競争活性化・透明化による調整力コスト低減を図るため、**2021年4月より需給調整市場が開設**され取引を開始。
- ・ 再エネの変動性を補う調整力として、**火力発電設備の負荷変動対応能力が正当に評価される**電力システム改革が進行中。

＜ある一日の電力需要の例＞



＜商品区分と導入スケジュール＞

年度	2021	2022	2023	2024	2025
商品区分	▼調達開始				
	▼調達開始				
	▼調達開始				
	▼調達開始				
	▼調達開始				

需給調整市場で取引開始済み

需給バランス調整

周波数調整

国内外の動向_需給調整市場の開設(国外)

海外においても需給調整市場が整備され、電力需給バランス調整機能の市場導入が進められている。

国	需給バランス調整に対する対応手段	需給バランス調整向けのΔkWの事前確保	価格実績(上:卸市場 下:需給調整) (2016年の平均実績価格)		卸市場価格と需給バランス調整市場のkWh価格の関係
ドイツ	実同時同量制に基づくBG内の自己調整を除く部分について、SCR、TCR市場にて全量調達	全量を事前確保 (SCR:前週、TCR:前日)	前日市場価格 当日市場価格	28.98 (€/MWh) 29.10 (€/MWh)	乖離大 需給調整市場への入札は、自己調整分の取り代を除いた価格で入札しているものと推察される。また、英仏のBM市場に相当する市場がないことも一因。
フランス	実同時同量の自己調整分を除く部分についてBalancing Mechanism (BM) にて全量調達	一部を事前確保 (年1回の入札)	前日市場価格 当日市場価格	36.92 (€/MWh) 36.75 (€/MWh)	乖離小 事前確保は一部のみであり、その他の電源は卸市場価格を参照しつつ入札価格を決定
英国	Balancing Mechanism (BM) にて全量調達 ※不足の場合に備えた予備(STOR)として確保あり	事前確保無	前日市場価格 当日市場価格	N2EX 40.46(£/MWh) / EPEX SPOT UK 40.43(£/MWh) N/A(£/MWh)	乖離小 BM参加者は当日市場への販売を選択可能であるため平均的には裁定が働いているものと推察される
ノルウェー	Regulation Power Market (RPM) にて全量調達	一部を事前確保 (RKOM市場、長期相対)	前日市場価格 当日市場価格	241.07(NOK/MWh) N/A	乖離小 事前確保は一部のみであり、その他の電源は前日卸市場価格を参照しつつ、入札価格を決定
米国(PJM)	リアルタイム市場 ※需給調整のための市場と卸電力市場は分割されていない		前日スポット市場価格 リアルタイム市場価格	29.68(\$/MWh) 29.23(\$/MWh)	ほぼ乖離無 全量プール制の下、リアルタイム市場価格が現物としての卸電力価格であり、前日市場価格は前日段階で価格固定する場との位置づけ

他事業との関係

負荷変動対応能力の向上・設備信頼性の向上に関する事業は存在するものの、本PJとは狙い・対象設備が異なる。

実施機関	プロジェクト名称	狙い	対象設備
NEDO	A-USC（700℃超級の次世代超々臨界圧プラント）の信頼性向上技術開発	A-USC材適用による熱効率向上に伴う CO₂排出量の抑制	火力発電設備の内、高温蒸気（700℃以上）を扱う大径管等の設備
NEDO	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	最低出力の引き下げ、出力変化速度向上、起動時間短縮 などに必要な要素技術を開発	GTCC※1 設備全般
経済産業省	IoT/AIを活用した巡視点検自動化システム実証事業※2	発電設備の日常巡視作業における 人的リソース省力化	火力発電 設備全般
NEDO	石炭火力の負荷変動対応技術開発 【本PJ】	故障予知・余寿命診断サービス等を提供による電力系統安定化	石炭火力発電 設備全般

※1 GTCC：ガスタービンコンバインドサイクル発電。はじめに燃焼によりガスを発生させ、そのガス圧でガスタービンを回して発電すると同時に、ガスの持つ余熱を利用して水を熱し、水蒸気によって蒸気タービンを回して発電する。（出典：weblio）

※2 出典：経済産業省 電気保安分野 スマート保安アクションプラン 2021年4月30日資料を基にNEDO作成
https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/denryoku_anzen/20210430_action_plan.html

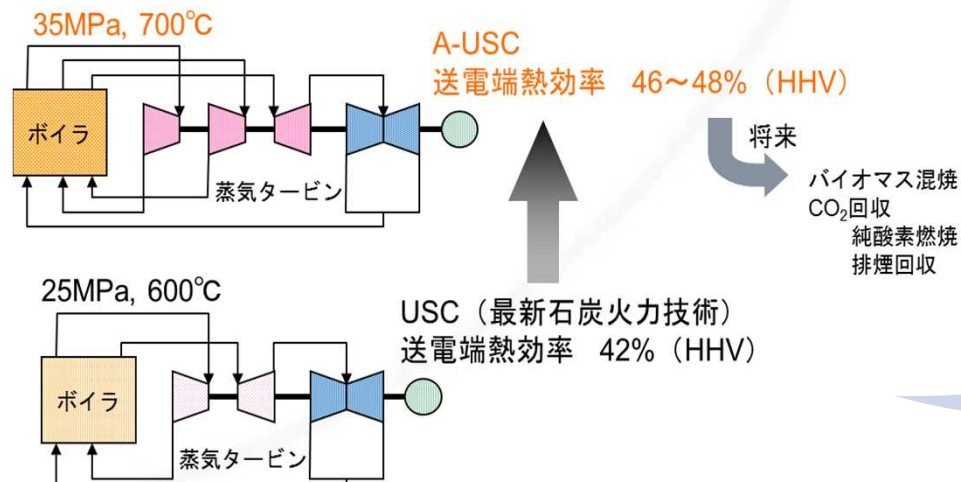
他事業との関係_A-USC材に対する高解像度PAの適用可能性検討

NEDOのマネジメントの一環として、別事業で技術開発を行った**A-USC材※1**について、**事業①にて高解像度フェーズドアレイシステム（非破壊検査）の適用可能性検討と課題抽出を実施**した。

※1 高温蒸気（700℃以上）用ボイラ・タービン材料

【A-USCの信頼性向上技術開発】（NEDO/2017年度～22年度）
A-USC（700℃超級の次世代超々臨界圧プラント）の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した。

【火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発】（本PJの事業①）
A-USC材に対する高解像度PAシステムの適用可能性検討と課題抽出を実施した。

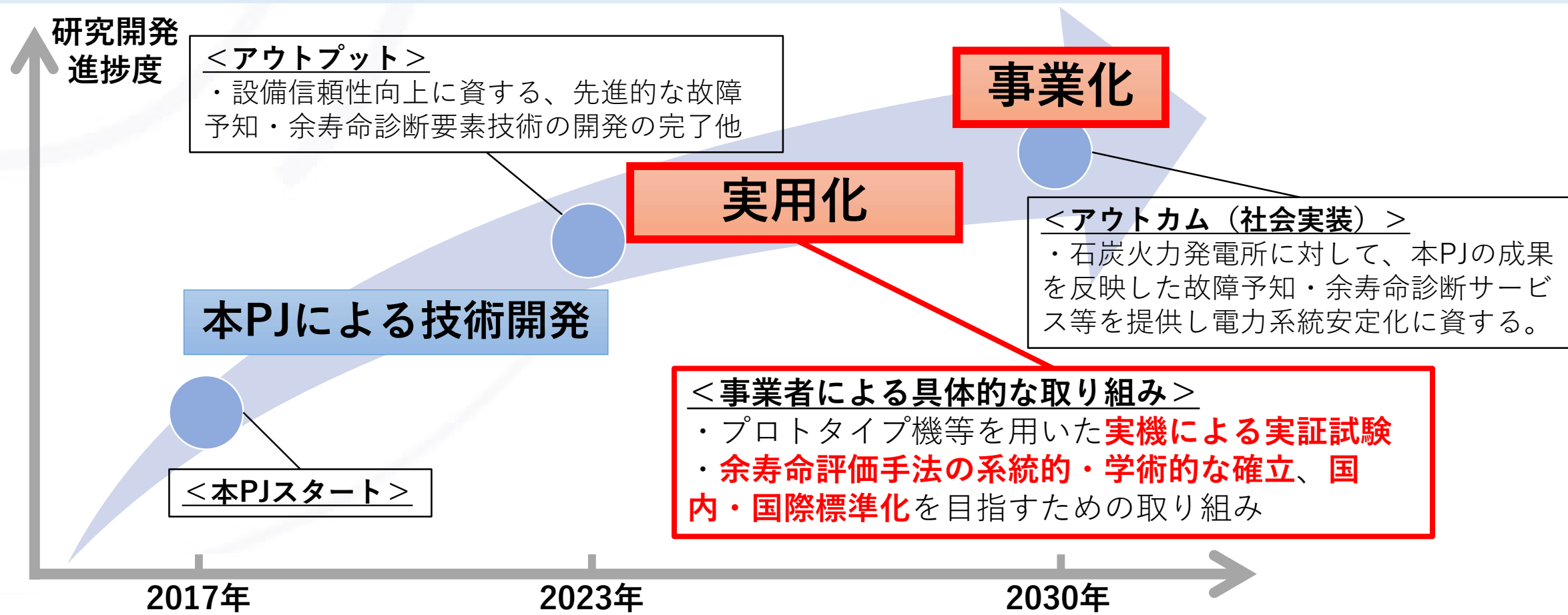


<NEDOのマネジメント>
A-USC材を貸出

アウトカム達成までの道筋・具体的取り組み

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

本PJで十分な成果が得られたため、各事業者にて**事業化に向けた実用化研究を進める**。
市場動向や実用化研究の進捗等を見ながら、**事業化を可能な限り前倒し**する。
なお、NEDOは**負荷変動対応技術の実用化に関する公募**を実施予定である。



知的財産権の帰属・標準化戦略・知的財産管理

●知的財産権の帰属

知的財産権はすべて**発明等をなした機関に帰属**

●標準化戦略

実用化・事業化を見据えた上で**クローズ領域とオープン領域を適切に設定**

(一例) ②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発

	非競争域	競争域
公開	<学術的価値があるので広く一般に公開> 金属PCM※熱物性値データ	<積極的に公開し材料メーカーの価格競争により低コスト化を狙う(標準化を推進)> 金属PCMの材料組成
非公開	<制御や解析などは特許を取得しても顕現性が低いためノウハウとして秘匿> ボイラCFD解析	<基本特許を出願し知財化> Dry-Wet制御、蓄熱システム関係の構成・構造・運用

※金属PCM：Phase Change Material：固液間の融解・凝固の相変化による潜熱を利用することで、高性能な蓄熱材として活用が可能

●知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項

NEDO知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、

「知財の取扱いに関する合意書」を作成

●データマネジメントに係る基本方針（NEDOデータ方針）に関する事項

NEDOデータ方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、

「データの取扱いに関する合意書」を作成

＜評価項目 2＞ 目標及び達成状況

- (1)アウトカム目標及び達成見込み
- (2)アウトプット目標及び達成状況

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (1) アウトカム達成までの道筋
- (2) 知的財産・標準化戦略

2. 目標及び達成状況（概要）

- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

- アウトカム目標の設定及び根拠・「実用化・事業化」の考え方
- 費用対効果
- アウトカム目標の達成見込み
- アウトカムの波及効果
- アウトプット（研究開発成果）のイメージ
- 主な研究開発項目
- アウトプット目標の設定・達成状況
- アウトプットの波及効果・副次的成果
- 特許出願及び論文発表

3. マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 研究開発計画

2. 目標及び達成状況（詳細）

- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

具体的な内容は非公開情報と併せて「非公開セッション」にて実施事業者より報告

アウトカム目標の設定及び根拠・「実用化・事業化」の考え方

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

アウトカム目標

石炭火力発電所に対して、**電力系統安定化に資する故障予知・余寿命診断サービス等を提供する**。これにより、検査サービス等の売上および石炭火力発電所のメンテナンス費削減により経済効果：288億円以上※を目指す。

※経済効果の根拠は費用対効果のスライドに記載。なお、外部環境の変化（2030年に向けた非効率石炭火力のフェードアウト等）を踏まえ、経済効果の見直しを適時実施している。

「実用化・事業化」の考え方

実用化：石炭火力発電所に対して、その一部に試験的に故障予知・余寿命診断サービス等の提供が行われること。

事業化：石炭火力発電所に対して、広く一般に故障予知・余寿命診断サービス等の提供が行われること。



費用対効果

PJ総額：21億円

経済効果：288億円以上

下表の※印の合計
(ベンダー売上・ユーザーのメンテナンス費削減)

<評価対象の4事業に関する費用対効果（対象：石炭火力発電のみ）>

PJ総額	ベンダーの経済効果	ユーザー（発電事業者側）の経済効果
<PJ総額：21.0億円> ①火力発電設備保全用高解像度 フェーズドアレイシステムの開発 ②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 ③タービン発電設備次世代保守技術開発 ④ボイラクリープ疲労損傷の 高精度余寿命診断技術開発	<売上予測：8.6億円※> 事業①④について、国内高効率石炭火力の検査・寿命消費率診断業務（数千万円/件）を年間複数受託する想定 <売上予測：50億円> 事業②について、700MW級国内高効率石炭火力1基に負荷変化率向上技術、最低負荷引き下げ技術、水蓄熱システムの適用を想定	<国内高効率石炭火力のメンテナンス費削減効果：280億円以上※> 事業①について、ボイラ寿命（50年）に対し、大径管取替回数が2回/基から1回/基に削減※1。10億円/（回・基）×1回×28基（国内高効率石炭火力）※2 <火力発電1基に技術導入した時の燃料費削減効果：11億円/年> 事業②について、700MW級国内高効率石炭火力に負荷変化率向上技術の導入を想定し、負荷調整運用となる日数が年間で5か月に達するものとして試算 <火力発電1基に技術導入した時のCO₂削減効果：14万トン/年> 事業②について、700MW級国内高効率石炭火力の1ユニットに送電端出力ゼロMWの運用技術（水蓄熱等）を導入し、余剰再エネの約8%を有効に電力系統に取り込んだとして試算 <火力発電1基に技術導入した時の省エネルギー効果：4.3万KL/年> 事業②について、蓄熱技術の導入により最低負荷を送電端出力ゼロMWまで引き下げられた場合の国内高効率石炭火力の燃料費削減分を省エネルギー効果（石油換算）として試算

※1 現状、使用時間から余寿命が十分に残っていると思われる（安全側で）段階でTBM等を活用した予防保全を実施。高解像化したシステムを開発・実機適用することで、初期から中期の損傷を探傷する事が可能となり、適切な大径管取替タイミングを予測する事ができる。これにより、従前の盲目的な交換による予防保全よりも、適切に寿命管理する事で寿命末期まで大径管を使用でき、結果として取り替え回数を削減できる見込みである。

※2 外部環境の変化（2030年に向けた非効率石炭火力のフェードアウト等）を踏まえ、国内高効率石炭火力（USC）の基数（「×28基」）とした（下記リンクP7表）。

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/sekitan_karyoku_wg/pdf/20210423_1.pdf

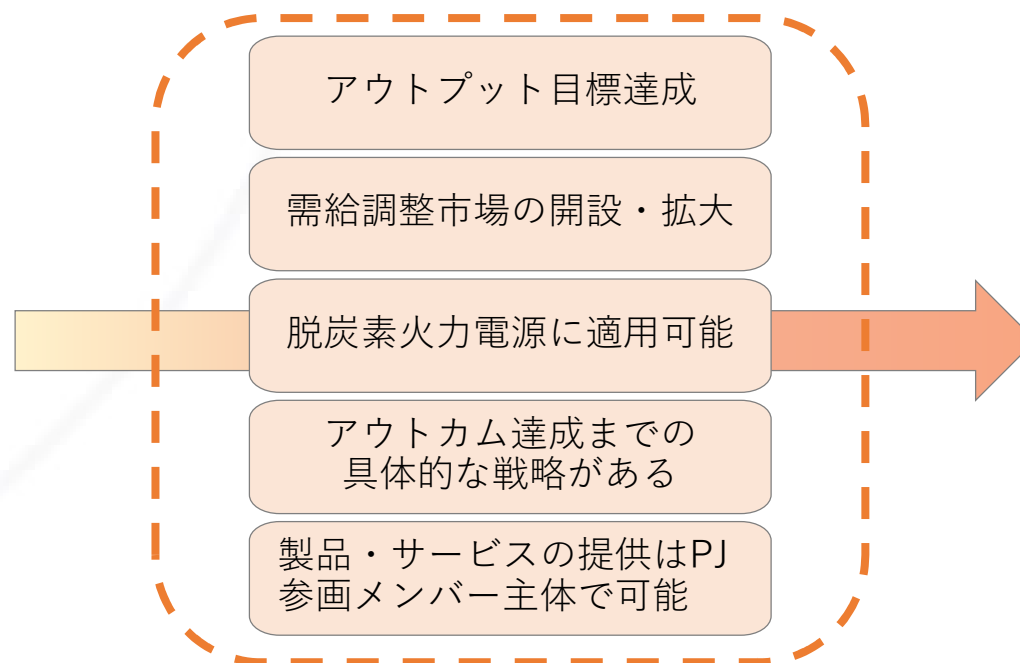
アウトカム目標の達成見込み

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

本PJの4事業について、**アウトプット目標は十分に達成**しており、アウトカム達成までの具体的な戦略が練られていることから、**アウトカム目標達成の見込みは十分**にある。

＜アウトカム目標＞

(略) サービス等の売上および石炭火力発電所のメンテナンス費削減により経済効果：288億円以上を目指す。



アウトカム目標達成の見込みは十分にある。

アウトカムの波及効果

再掲

- ・石炭火力への適用を念頭に開発を進めてきたが、**本PJの開発技術の大半は、脱炭素型の火力発電（アンモニア混焼・専焼、水素混焼・専焼（GTCC）、CCS付火力等）にも適用可能**である。
- ・石炭火力発電を取り巻く政策環境がめまぐるしく変わる中、開発技術の適用先について、石炭専焼に限定することなく、**脱炭素型の火力発電への適用も視野に入れて柔軟に検討**を進めていく。

電力系統安定化・カーボンニュートラルに資する発電技術

< 負荷変動対応技術【本PJ】 >

故障予知・余寿命診断サービス等を提供し電力系統安定化に資する。



< 脱炭素型の火力発電技術 >

NH3
混焼・専焼

2024年頃に20%アンモニア混焼、2028年頃にアンモニア高混焼の技術を確認すべく、プロジェクトを実施中

出展： <https://green-innovation.nedo.go.jp/project/building-fuel-ammonia-supply-chain/>

水素
混焼・専焼
(GTCC)

2027年頃に440MW規模（GTCC※）の専焼ガスタービンを商用運用すべく、プロジェクトが進行中

出展： <https://www.sankei.com/article/20210607-6K2WLOEZPJNBPKXNAQ44FAQVBY/>
<https://power.mhi.com/jp/news/20180308.html>

CCS付
火力

CO₂分離回収・貯留（CCS）技術の低コスト化に向けた技術開発を実施中

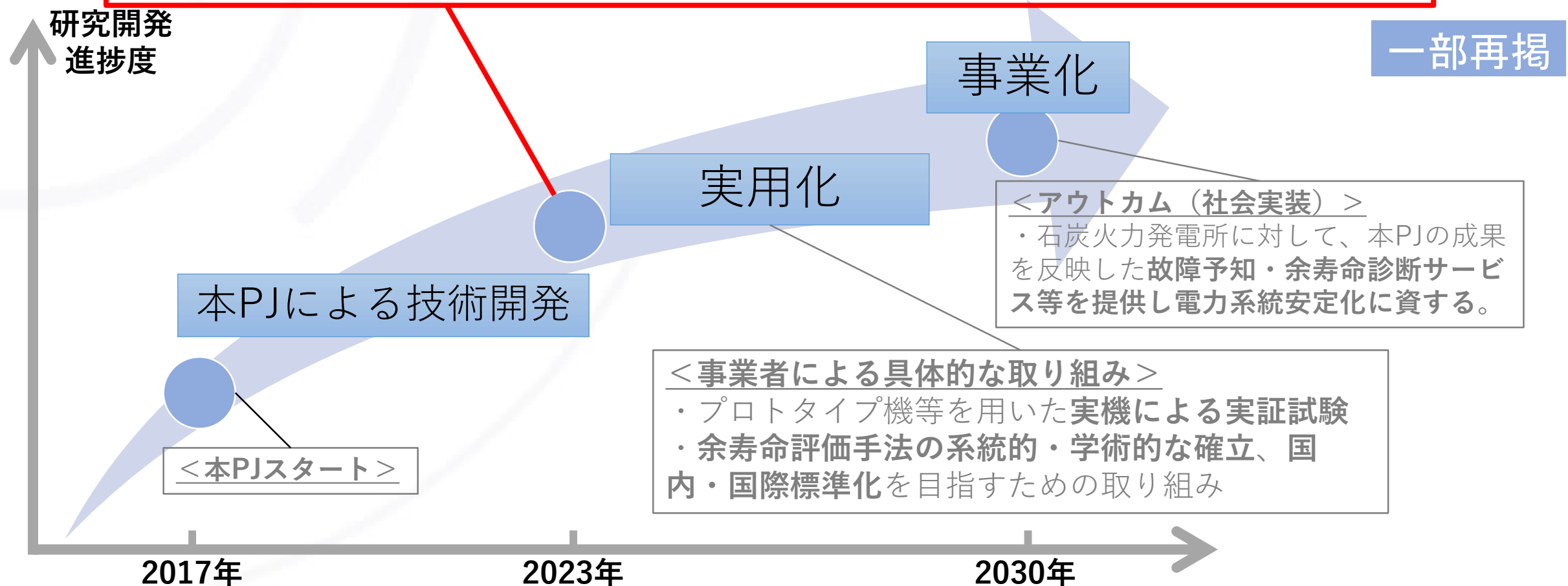
出展： <https://green-innovation.nedo.go.jp/project/development-co2-separation-recovery/>

アウトプット(研究開発成果)のイメージ

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

<アウトプット>

- ・設備信頼性向上に資する、**先進的な故障予知・余寿命診断要素技術の開発の完了**
- ・高い負荷変化率・最低負荷引き下げを実現する**運用性向上技術の開発の完了**



主な研究開発項目

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

再掲

①火力発電設備保全用 高解像度フェーズドアレイシステムの開発

＜高温高圧蒸気配管（大径管）の非破壊検査システム＞

- 高解像度フェーズドアレイシステムの開発

②石炭火力発電システムの 運用性向上技術開発

＜負荷変化率向上と最低負荷引き下げ＞

- 負荷変化応答改善時の構造的弱点部位の同定技術（ボイラCFDによるメタル温度推定技術）
- 蓄熱システムの開発
- 運用性改善効果の定量化

④ボイラクリープ疲労損傷の 高精度余寿命診断技術開発

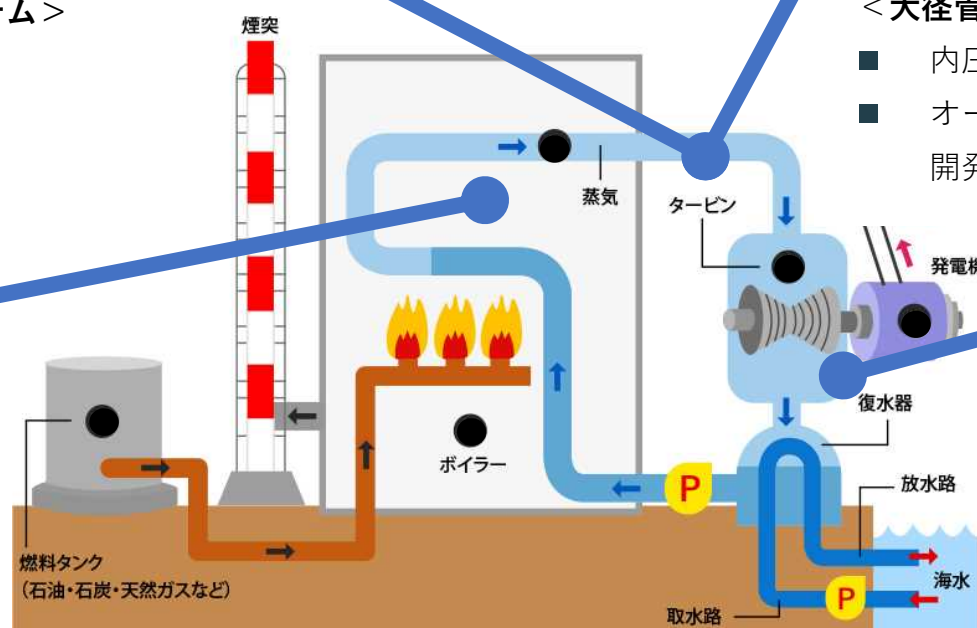
＜大径管・伝熱管の余寿命診断＞

- 内圧曲げねじりクリープ疲労を考慮した寿命評価法の開発
- オーステナイト鋼製伝熱管クリープ損傷の余寿命診断技術開発

③タービン発電設備 次世代保守技術開発

＜次世代の日常点検手法、補修のトリガー技術＞

- IoT・AI技術を用いたプラントデータの自動収集・自動分析による異常検知・運転支援技術の開発



出展：<https://www.oita-kyoka.co.jp/threeminutes/thermalpower.html>

アウトプット目標の設定・達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

計画通りの成果を上げ、**本PJの4事業全てでアウトプット目標を達成する見込み**である。なお事業③の大半の成果は社会実装が非常に近いレベルまで到達している※。

※詳細は非公開セッションで説明

事業名称	アウトプット目標 (根拠は本資料「2. 目標及び達成状況 (詳細)」に記載)	成果 (実績) (終了時評価時)	達成度 (見込み)	達成見込みの根拠
①火力発電設備保全用高解像度 フェーズドアレイシステムの開発	・既存のどの方法を用いても評価が不可能だった内部クリープボイド密集の有無を判別できる評価法の提案	・ハイブリット解析法を完成させた。 ・大型損傷試験体の系統的作製に成功した。 ・ 高精度フェーズドアレイのプロトタイプ機を開発した。	○	—
②石炭火力発電システムの運用性 向上技術開発	・極低負荷運転を実現する蓄熱システムの詳細設計が完了する。 ・燃料費およびCO ₂ 排出量削減への効果を定量的に明らかにする。	・ 並列無送電対応型蓄熱システム (水蓄熱システム) は概念設計とコスト試算完了 ・再エネ導入拡大への効果、CO ₂ 削減への効果、電力系統運用に必要な火力燃料削減効果を定量化	○ ※一部項目は2023年11月に達成見込み	実機でのDry最低負荷低減試験 (25%負荷にて各種警報に抵触しないことを確認) を実施予定。試験要領の取り纏めが完了し、実機運転計画にも織り込み済みであることから計画通り達成の見込み。
③タービン発電設備次世代保守技術開発	・低圧タービン最終段羽根のエロージョン進展予測技術 ・異常事象要因分析による運転支援技術	・低圧タービン最終段羽根のエロージョン進展予測技術の開発完了 ・ 異常事象要因分析による運転支援技術の開発完了	○	—
④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発	・高温曲げねじりクリープ疲労試験データの取得と組織観察、ならびに溶接部損傷メカニズムの解明する。	・高温曲げねじりクリープ疲労試験データの取得と組織観察、ならびに 溶接部損傷メカニズムを解明した。	○	—

アウトプット(研究開発成果)の波及効果・副次的成果

<波及効果>

・高解像度フェーズドアレイ（事業①）・高温曲げねじりクリープ（事業④）に関する研究開発は、**様々な分野に適用が可能であり、波及効果が期待できる。**

<副次的効果>

・石炭火力発電システムの運用性向上技術開発（事業②）で得られた金属PCM候補材の物性値について、学術的価値が高いことから、これを広く一般に公開することで、**金属PCMの研究開発加速への足掛かりになる。**

・大学における学会発表・論文のテーマとしても扱われ、**当該分野の人材育成にも貢献した。**

<波及効果の詳細>

事業名称	本事業の研究開発内容	期待される副次的成果・波及効果
①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発	・高精度フェーズドアレイのプロトタイプ機の開発に成功した。 ・これにより、 これまで既存のどの方法を用いても評価が不可能だった内部欠陥密集有無の判別が可能 となった。	航空宇宙産業、自動車産業などの 機械産業における微視欠陥の評価、医療用超音波検査機器として微視組織の観察に適用できる 可能性がある。
④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発	・高温曲げねじりクリープ疲労試験データの取得と組織観察ならびに 溶接部損傷メカニズムの解明 を実施した。	高温クリープ環境で内圧・曲げ・ねじりが加わるような、 化学プラント構造物等の高温・高応力機器の設計に適用できる 可能性がある。



特許出願及び論文発表

オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表・特許出願等を実施している

	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				計
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	
特許出願 (うち外国出願)	0	0	1	0	0	6(2)	6(1)	0	0	2(2)	22(11)	0	0	0	0	0	37(16)
論文	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	6
研究発表・講演	0	0	0	1	0	9	5	1	2	12	2	5	2	0	0	0	39
受賞実績	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5
展示会への出展	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- ①：火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発
- ②：石炭火力発電システムの運用性向上技術開発
- ③：タービン発電設備次世代保守技術開発
- ④：ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発

※2024年4月現在。今後の予定を含む

<補足>
ボイラ・タービンメーカーが委託事業者に含まれる事業②③は、製品に直結する技術開発が大半を占めるため、特許出願や対外講演の件数は相対的に多い。

＜評価項目 3＞ マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 研究開発計画

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (1) アウトカム達成までの道筋
- (2) 知的財産・標準化戦略



2. 目標及び達成状況（概要）

- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況



3. マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 予算及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール（概要）
- 電気事業者向け成果報告会
- 進捗管理
- 進捗管理：中間評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応

2. 目標及び達成状況（詳細）

- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

具体的な内容は非公開情報と併せて「非公開セッション」にて実施事業者より報告

NEDOが実施する意義

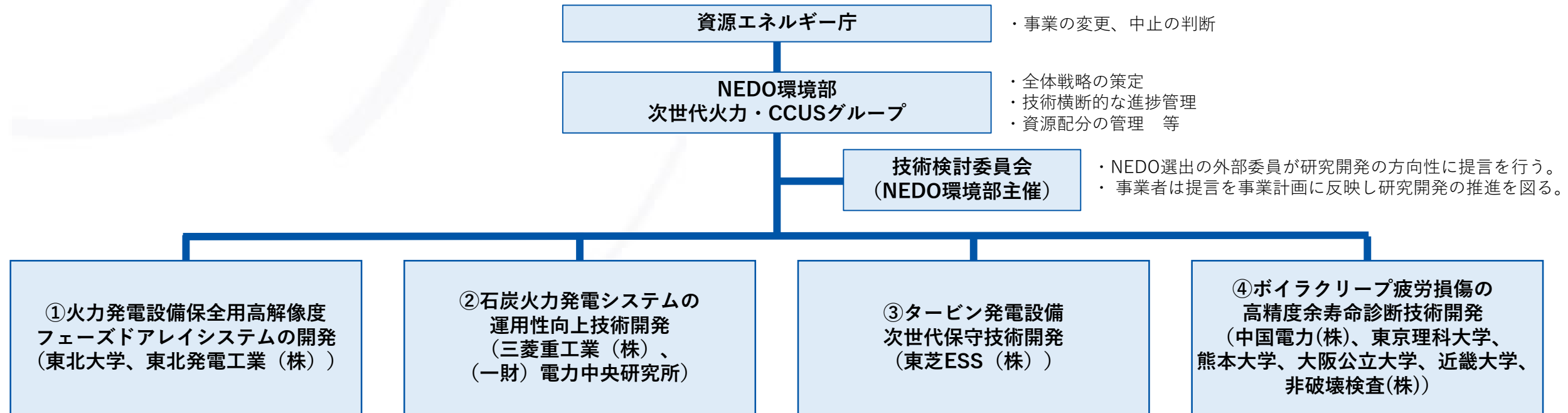
- ・ 本PJ成果が**需給バランスの維持・電力系統安定化という社会的な利益**に繋がる。
- ・ 研究開発の難易度が高く投資規模も大きいため、**民間企業だけではリスクが高い。**
- ・ NEDOがこれまでに培ってきた知見、成果、およびネットワークを活用し、中長期的な技術開発を行うことが可能である。



NEDOが推進すべき事業と判断

実施体制

技術検討委員会を設置し、外部有識者から得られた助言・提言を事業計画に速やかに反映して、**研究開発の更なる推進を可能とする体制を構築**した。



個別事業の採択プロセス

外部有識者による採択審査委員会での審査結果を踏まえ、**4件すべてに対し条件付き採択**とした。また、NEDOによるマネジメントとして、**採択条件や中間評価の指摘事項を満足する様に仕様書の作成や実施計画書の作成サポートを実施**した。

< 公募 >

公募予告：2020年1月28日⇒公募開始：2020年3月25日⇒公募〆切：5月28日（64日間）

< 採択 >

採択審査委員会：2020年6月17日（リモート開催）、採択決定通知の施行日：2020年7月7日

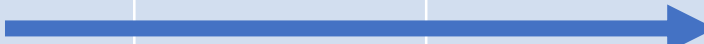
< 採択審査委員 >

区分	氏名	所属（当時）	役職（当時）	専門分野
委員長	成瀬 一郎	名古屋大学	教授	化学工学、エネルギー学
委員	中澤 治久	火力原子力発電技術協会	専務理事	発電技術
委員	藤原 尚樹	出光興産株式会社	総括マネージャー	石炭技術
委員	村岡 元司	NTTデータ経営研究所	本部長	社会基盤
委員	山崎 晃	千葉工業大学	教授	社会システム

予算及び受益者負担

本PJで対象とする技術開発は、**事業化のために長期間の研究開発が必要、かつ事業性の予測が困難であることから、委託事業（NEDO負担率：100%）として実施した。**

（単位：百万円）

事業名称 （全て委託事業）	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	合計
①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発					—
②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発					—
③タービン発電設備次世代保守技術開発					—
④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発					—
合 計	956	671	469	5	2,101

目標達成に必要な要素技術

赤色文字：本事業で対象とする主な技術
灰色文字：本事業で対象としない関連技術

従前の手法・技術を凌駕する先進的な保守技術および信頼性・運用性向上技術を本PJの研究開発対象とした。

運用性向上に関する技術

<本事業で対象とする先進的な技術>

- 蓄熱システム
- 負荷変化応答改善時の構造的弱点部位の同定技術（ボイラCFDによるメタル温度推定技術）

<公知の技術>

- TB弁とガバナ弁連動制御
- 復水・抽気絞り運転、ミル容量アップ

余寿命診断に関する技術

<本事業で対象とする先進的な技術>

- 高精度フェーズドアレイ法（配管内部・寿命中後期）
- 内圧曲げねじりクリープ疲労を考慮した寿命評価法（配管表面・寿命中後期）

<広く一般に普及している技術>

- レプリカ法（配管表面・寿命中後期）
- 表面硬さ・硬さ分布計測法（配管表面・寿命後期）

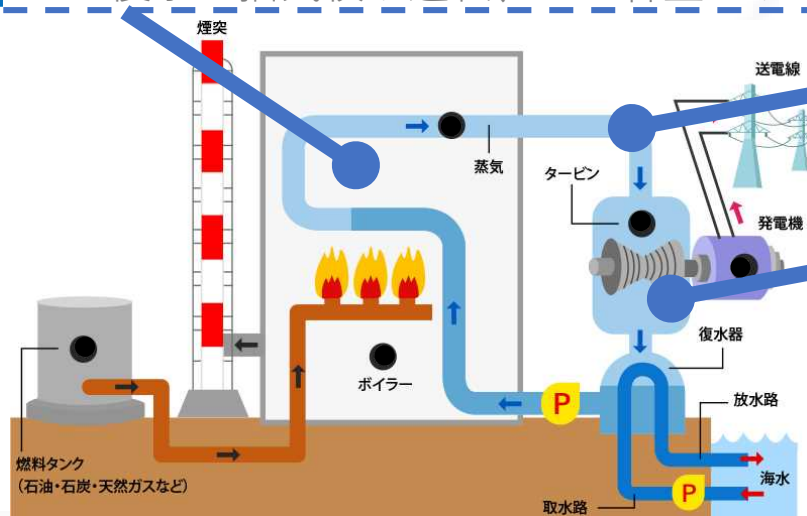
日常点検、補修・検査のトリガーに関する技術

<本事業で対象とする先進的な技術>

- IoT・AI技術を用いたプラントデータの自動収集・自動分析による異常検知・運転支援

<広く一般に普及している技術>

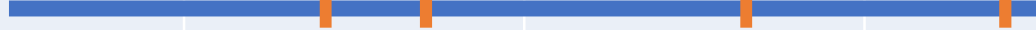
- 累積運転時間を基準とした補修・検査（TBM）
- 作業員の五感による異常検知



研究開発のスケジュール(概要)

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

NEDOのマネジメントの一環として、**NEDO主催の技術検討委員会や電気事業者向け成果報告会を開催**し、アウトプット目標達成に必要な技術開発が適切に実施されていることを適時確認した。

事業名称	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発				
②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発				※
③タービン発電設備次世代保守技術開発				
④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発				
備考	▲中間評価	▲技術検討委員会 ▲成果報告会	▲成果報告会	▲終了時評価

※②については、他事業と同様の当初2022年3月末に完了予定であったが、電力需給逼迫の影響で実機試験の一部を2023年度に繰り延べる必要が生じたため、やむを得ず2023年11月まで委託期間を延長した。

電気事業者向け成果報告会

- ・電気事業者の開発部門、および保守技術のユーザー的な側面を持つ火力部門、保守部門を対象に、電力事業連合会殿の協力を得て、**成果報告会を開催**した。
- ・本報告会では、実用化・事業化の戦略を明確化し早期の社会実装を促進するため、**ユーザーニーズのヒアリングを行った**。



※対面・WEB併用開催

	2019 年度	2021 年度	2022 年度	備考
発表事業数 (本PJ以外も含む)	10事業	10事業	15事業	全28事業 (重複カウントなし)
電気事業者等の 聴講団体数 (聴講人数)	11団体 (50名)	11団体 (178名)	12団体 (67名)	延べ 295名参加

※2020年度は新型コロナの影響を踏まえ開催見送り



成果報告会后、電気事業者の希望により、**発表事業者と電気事業者で、詳細な意見交換会を個別に実施**した（実績：5案件）。

電気事業者向け成果報告会_事後アンケート結果

本報告会後に聴講者に対してアンケートを実施。報告会をきっかけに実機実証に結びついた案件は現時点で無いものの、前向きな回答を多数受けた。

NEDO

聴講者

Q.本報告会は電気事業者のニーズを満足するものでしたか？

A.カーボンニュートラルに向けての系統安定化対策等、これから当社が具体的な検討を始めようとしている内容で参考になりました。

Q. 社会実装の障壁は何かありますか？研究成果の実用化に必要なことは何ですか？

A.制度・規制面に起因する「設備投資回収の予見性の低さ」が社会実装における第一の障壁と感じる。

A.運用面も含めた課題の整理（安全性、実現性）、経済性を確保する為の技術開発の継続が必要

Q. NEDO成果の導入(実証含む)を検討してみませんか？

A. 興味はあるので、今後も動向を注視したい。適宜、検討・相談させて頂きたい。

進捗管理

進捗状況を常に関係者が把握、遅れが生じた場合、適切に対応しているか確認するため、**外部有識者が参加する委員会（事業者主催）や書面により進捗管理を実施した。**

	参加者	目的	頻度
外部評価委員会 (事業者主催)	委託事業者選定の外部有識者、 委託事業者、委託事業者、 経済産業省原課、NEDO	各事業の進捗状況の確認、 及び今後の実施に内容に対する助言	年 2 回程度 (事業者により開催頻度は若干異なる)
技術検討委員会 (NEDO主催)	NEDO選定の外部有識者、 委託事業者、経済産業省原課、NEDO	各事業の進捗状況の確認、 及び今後の実施に内容に対する助言	年 1 回程度
定期進捗状況確認 (中間検査等に同調して実施)	委託事業者、NEDO	研究開発の進捗状況確認、 年度限度額の執行状況確認	上期1回・ 下期 2 回程度
月次進捗状況確認	委託事業者、NEDO	研究開発の進捗状況確認、 年度限度額の執行状況確認	月 1 回

進捗管理：中間評価結果への対応

2020年度に実施した中間評価での「**実用化・事業化に直結した成果を期待**」などの指摘事項に対して、「**実機での実証試験**」や「**電力会社を委員とする外部委員会の設置**」などを実施し、**現場のニーズを技術開発へ反映させ、早期の実用化・事業化を達成するようマネジメント**した。

主な指摘事項（2020年度中間評価）	主な対応
・ NEDOのマネジメントの工夫をはかり、<u>過去の研究開発プロジェクトとは一線を画すような実用化・事業化に直結した成果を期待</u>したい。	・ <u>複数の電力会社を委員とした外部委員会を設置し、技術開発に現場のニーズを反映させる</u>よう採択条件に盛り込み、仕様書や実施計画書に反映した。 ・ 実用化・事業化を見据えた、<u>実機での実証試験</u>を実施計画書に盛り込んだ。 ・ <u>電気事業者向け成果報告会を開催</u>した。
・ 高精度・高信頼性のクリープ損傷計測システムの完成とそれに基づく高精度な定量的余寿命評価手法の構築を早期に実現し、その実機への適用と検証を実施してほしい。	・ 汎用的で対象範囲が広く実機適用が容易となる高解像度フェーズドアレイシステムの開発事業を採択した。

進捗管理：中間評価結果への対応_実機での実証試験他の事例

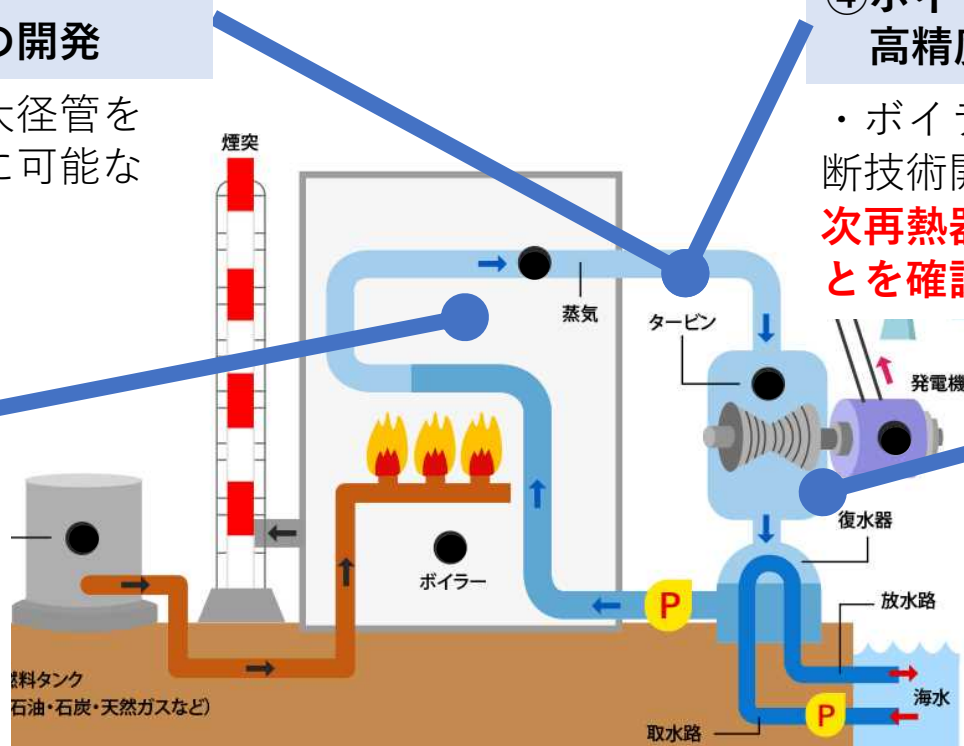
< 実機での実証試験・実機を用いた技術開発の事例 >

①火力発電設備保全用 高解像度フェーズドアレイシステムの開発

・石炭火力発電所実機から除却された大径管を活用して、大径管へ設置・測定が実際に可能な**実機計測システムの試作を実施**した。

②石炭火力発電システムの 運用性向上技術開発

・**石炭火力発電所実機にて燃焼データを取得**して、開発したボイラCFDによるメタル温度の推定誤差が目標の範囲内であることを確認した。
・25%負荷にて各種警報に抵触しないことを確認するため、**実機でのDry最低負荷低減試験を2023年度に実施**する。



出展： <https://www.oita-kyoka.co.jp/threeminutes/thermalpower.html>

④ボイラクリープ疲労損傷の 高精度余寿命診断技術開発

・ボイラ伝熱管のHTS-SQUIDによる余寿命診断技術開発において、**石炭火力発電所実機の2次再熱器伝熱管を測定し、実機で適用できることを確認**した。

③タービン発電設備 次世代保守技術開発

・低圧タービン最終段羽根のエロージョン進展予測技術の開発等において、**石炭火力発電所実機の測定値と比較し、予測値が十分な精度を有していることを確認**した。

進捗管理：動向・情勢変化への対応

2022年夏の電力需給逼迫を踏まえ、石炭火力発電所で実施予定の実機試験の一部を取り止めて2023年度に繰り延べする事とし、**実施計画の見直しを柔軟・迅速に実施**した。

・新型コロナによる半導体供給不足等への対応

- ✓ 発注検討、引合い等を前倒しして、納期予定情報を早めに得るように指示した。
- ✓ 長納期品の早期情報収集を行い実施計画書の変更手続きを早めに実施するように指示した。

・電力需給逼迫への対応

- ✓ 電力需給逼迫の影響により、やむを得ず「②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発」の実機試験の一部（実機でのDry最低負荷低減試験（25%負荷にて各種警報に抵触しないことを確認する試験））を2023年度に繰り延べた（委託期間は2023年3月から2023年11月まで延長した）。

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(1) アウトカム達成までの道筋
(2) 知的財産・標準化戦略



2. 目標及び達成状況（概要）

(1) アウトカム目標と達成見込み
(2) アウトプット目標と達成状況



3. マネジメント

(1) 実施体制
(2) 研究開発計画

2. 目標及び達成状況（詳細）

(1) アウトカム目標と達成見込み
(2) アウトプット目標と達成状況

具体的な内容は非公開情報と併せて「非公開セッション」にて実施事業者より報告

各事業の目標と根拠

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発 (東北大学、東北発電工業（株）)

研究開発テーマ	最終目標	根拠
①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発	・フェーズドアレイ実験機開発 ・実験とシミュレータ解析併用で高解像化の基礎的知見を得る。 ・実機計測システムの試作 ・大型クリーブ試験体（模擬損傷材）作製 ・A-USC対応のための基礎検討	・フェーズドアレイ音響像の高分解能化についての基礎的な知見を得る。 ・分解能に与える影響を解析し、マトリックスアレイ設計絞込みに用いる。 ・実験機およびシミュレータ解析結果を反映した実機計測システムを設計、試作 ・フェーズドアレイ計測システムの有効性検証に用いる模擬損傷材を作製 ・開発する超音波音響画像計測をA-USC材に応用する可能性と課題抽出のための基礎検討を実施

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発
(東北大学、東北発電工業（株）)

研究開発項目	目標 (2023年3月)	成果 (2023年3月)	達成度	達成の根拠
火力発電設備保全用高解像度 フェーズドアレイシステムの 開発	・フェーズドアレイ実験機開発 ・実験とシミュレータ解析併用 で高解像化の基礎的知見を得る ・実機計測システムの試作 ・大型クリープ試験体（模擬損 傷材）作製 ・A-USC対応のための基礎検討	・高分解能化についての 基礎的な知見を得た。 ・分解能に与える影響を 解析し、マトリックスア レイ設計絞込みに用いた ・実験機、解析結果を反 映した実機計測システム を設計、試作した。 ・模擬損傷材を作製した ・A-USC材に応用する 可能性と課題抽出のため の基礎検討を実施した。	○	全項目を目標どおり完 了したのため 達成と評価

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発
(東北大学、東北発電工業（株）)

項 目	成果と意義
フェーズドアレイ実験機開発	フェーズドアレイ音響像の高分解能化についての基礎的な知見を得るために、1024chPA実験機を開発し開口合成アルゴリズムの検証を実施。その結果、映像化アルゴリズムの要素技術の有効性を検証し、実機計測システム設計に反映した。
実験とシミュレータ解析併用で高解像化の基礎的知見を得る	マトリックスアレイの分解能に与える影響を検証するシミュレータを開発した。解析では、周波数と微視欠陥の計測分解能の関係、音響画素数の増加（開口合成アルゴリズム）と計測分解能の関係等の系統的見通しを解析実験で得た。その結果を実機計測システム設計に反映した。
実機計測システムの試作	フェーズドアレイ実験機およびシミュレータ解析結果を反映し、マトリックスアレイch数の選定、開口合成アルゴリズムを実機計測システムに移植した設計を行い、実機計測システムを試作した。
大型クリープ試験体（模擬損傷材）作製	フェーズドアレイ計測システムの有効性検証に用いる模擬損傷材を損傷度の異なる複数の試験体を系統的に作製した。その結果を、フェーズドアレイ実験機、開口合成アルゴリズム検証、実機計測システムの有効性検証に用いた。
A-USC対応のための基礎検討	開発する超音波音響画像計測をA-USC材に応用する可能性と課題抽出のための基礎検討を実施した。その結果、高クロム鋼と同程度のSN比を得るための計測周波数の指針および分解能悪化可能性の知見を得た。

各事業の目標と根拠

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 (三菱重工業（株）、（一財）電力中央研究所)

研究開発項目	研究開発目標	根拠
①負荷変化速度向上技術開発 (1)対向燃焼ボイラ実缶計測/CFD (2)旋回燃焼ボイラ実缶計測/CFD	(1)ボイラCFDで実機の火炉壁管出口のメタル温度を、実測値に対し+0～+40℃の精度で予測する。 (2)ボイラには対向燃焼方式と旋回燃焼方式とがあり、これに伴い炉内の燃焼流動場（火炎の流れ）が異なるため、各方式のボイラから実機データを取得する。	(1)ボイラ定検時に抜管して金属組織観察して得られる従来精度と同等の精度であり妥当 (2)対向燃焼方式に限定せず、旋回燃焼方式も検討しておくことで、本手法が適用可能なボイラの数（市場）を拡大する。
②負荷変動幅増加技術開発 (1)並列無送電対応型蓄熱システム(水蓄熱)、 余剰再エネ蓄熱システム(溶融塩) (2)金属PCM開発/材料腐食試験	(1)並列無送電対応型タービンバイパス蒸気蓄熱システムの基本設計・詳細設計およびコスト見積りを完了する。 (2)今後の実用化が期待される金属PCMの基礎データを取得する。	(1)基本設計・詳細設計およびコスト見積りが分かれば、蓄電池などと比較した商品性の有無の確認と、F S獲得に向けた顧客P Rが実施できる。 (2)Al-Si合金は酸化しやすいため物性値の正確な計測が極めて困難であり公開データが少ない。本基礎データ取得が金属PCM研究開発加速への足掛かりになる。
③石炭火力の調整力向上に関する研究 (1)既存石炭火力の運用性向上(Dry-Wet制御法改善) (2)余剰再エネ利用石炭火力の活用	(1)Dry-Wet切替制御ロジックを実機に適用し、実機でのDry最低負荷低減試験により、25%負荷、20%負荷にて、各種警報に抵触しないことを確認する。 (2)研究開発項目①②で開発した負荷運用性改善の効果について電源運用のシミュレーションにより明らかにし、石炭火力の運用パターンの変化によるボイラ材料の寿命評価における課題を抽出、更に、再エネ余剰電力を利用し、極低負荷で電力系統に並列して需給調整運用を行うための技術を調査する。	(1)Dry-Wet切替制御による最低負荷低減が実機試験で適用できる目途がたてば、実績として他ボイラへP Rできる。また、将来的には、最低負荷低減後の熱を蓄熱することを想定して開発を進めている並列無送電対応型蓄熱システム(②(1))のFS受注獲得に貢献できる。 (2)効果を定量的に明らかにすることで、商品性有無の確認や、売り込み先のエリアを限定することができる。

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発
(三菱重工業（株）、（一財）電力中央研究所)

研究開発項目	目標 (2024年3月)	成果（実績） (2023年11月)	達成度（見込み）	達成の根拠
①負荷変化速度向上技術開発 (1)対向燃焼ボイラ実缶計測/CFD (2)旋回燃焼ボイラ実缶計測/CFD	・ボイラCFD予測精度向上 ・構造的弱点部位の同定 ・対向・旋回燃焼方式で検証	・ボイラCFDの予測精度は従来の金属観察と同等 ・弱点部位を同定 ・両方式で検証完了	○ 2023年3月31日	計画どおりの成果をあげたため達成とした。
②負荷変動幅増加技術開発 (1)並列無送電対応型蓄熱システム(水蓄熱)、 余剰再エネ蓄熱システム(溶融塩) (2)金属PCM開発/材料腐食試験	・蓄熱システムのシステム検討、特性評価、設計、コスト試算 ・金属PCMの基礎データ取得	・並列無送電対応型蓄熱システムはF Sレディ ・余剰再エネ蓄熱システムは概念設計とコスト試算完了 ・金属PCMの基礎データ取得を完了	○ 2022年3月31日	計画どおりの成果をあげたため達成とした。
③石炭火力の調整力向上に関する研究 (1)既存石炭火力の運用性向上(Dry-Wet制御法改善) (2)余剰再エネ利用石炭火力の活用	・Dry-Wet切替制御の実機検証 ・運用性改善効果の定量化	・Dry-Wet切替制御（最低負荷引き下げ）実機試験完遂 ・再エネ導入拡大への効果、CO₂削減への効果、電力系統運用に必要な火力燃料の削減効果を定量化	○ 2023年11月30日に達成見込み	電力需給逼迫の影響で、実機試験は23年度実施へ延長。試験要領の取り纏めを完了し、運転計画にも織り込み済みであり、達成の見込み。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 (三菱重工業(株)、(一財)電力中央研究所)

【①負荷変化速度向上技術開発】

成果

<2020年度>

- ・対向燃焼方式のボイラCFD精度検証のために必要なデータ取得を完了した。

<2021年度>

- ・実機データを基にした実機試験の再現解析により、ボイラCFDによるメタル温度の予測精度を検証し、推定誤差が目標の範囲内であることを確認した。
- ・予測精度が向上したメタル温度推定技術からボイラ全体の熱応力分布を解析するツールを開発し、高速負荷変化率運転時の弱点部位（ケージ壁と副側壁の取合部等）を明確化した。

<2022年度>

- ・旋回燃焼方式のボイラCFD精度検証のために必要なデータ取得を完了した。
- ・実機データを基にした実機試験の再現解析により、ボイラCFDによるメタル温度の予測精度を検証し、推定誤差が目標の範囲内であることを確認した。

意義

- ・実用化するにあたり、ボイラCFDによるメタル温度の予測精度については、従来のボイラ定検時に抜管して金属組織観察して得られる従来精度と同等の精度であることが必須条件であり、本研究開発により、対向燃焼方式及び旋回燃焼方式の前期した精度の確認がとれた。

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 (三菱重工業(株)、(一財)電力中央研究所)

【②負荷変動幅増加技術開発】 (並列無送電対応型蓄熱システム(水蓄熱)、余剰再エネ蓄熱システム(溶融塩))

成果

<2020年度>

・システム検討として、700MW級並列無送電対応型蓄熱システム、亜臨界ユニット向350MW級余剰再エネ蓄熱システム、超臨界ユニット向け700MW級余剰再エネ蓄熱システムの設備概要を纏めた。

<2021年度>

- ・特性評価として前記3システムにおいてそれぞれ蓄熱時・放熱時のヒート・マスバランスを構築し、蓄放熱特性を考慮した系統・運用が成立することを確認した。
- ・各蓄熱システムの詳細設計に取り組み、700MW級並列無送電対応型蓄熱システムについては、そのサイズを既設石炭火力に併設可能な敷地面積内に収める見込を得ると共に、コスト見積の結果、発電事業者向けにF Sを売り込めるレベルまで開発を進めた。

意義

- ・基本設計・詳細設計およびコスト見積が完了したことで、蓄電池などと比較した商品性の有無の確認と、F S獲得に向けた顧客P Rが実施できるようになった。

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 (三菱重工業(株)、(一財)電力中央研究所)

【②負荷変動幅増加技術開発】(金属PCM開発/材料腐食試験(一枚目))

成果

<2020年度～2021年度>

- ・蓄熱体に、高熱伝導(高出力)、高蓄熱密度(大容量)のアルミニウム系金属PCMの中でも低コストで調達も容易なADC12(AI-Si合金)を採用し、東北大の超高温熱物性計測システムを活用して、ADC12の各種熱物性を高精度に測定し新知見を得た。
- ・ADC12を適用した蓄熱式熱交換器の概念設計に取り組み、製作/運搬/メンテナンス性を考慮した二重管モジュール構造を考案し(特許出願中)、熱的成立性検討結果からボイラ敷地内に据付けの可能性の目途をつけた。
- ・金属PCMは侵食性が高く、伝熱管/容器/ヒータが侵食され減肉するため、低侵食技術の開発・材料選定に取り組み、Co-Cr-Mo(CCM)合金酸化熱処理材(酸化Cr皮膜によりPCM侵食抑制)にSiを添加して改良した材料を開発し(新知見)、安定な鉄系酸化皮膜を形成する低合金鋼の酸化熱処理材を選定し、両材料ともに耐PCM侵食性を有することを材料侵食試験で確認した(新知見)。

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 (三菱重工業(株)、(一財)電力中央研究所)

【②負荷変動幅増加技術開発】 (金属PCM開発/材料腐食試験(二枚目))

成果(前頁からの続き)

<2020年度～2021年度>

・耐金属PCM材である低合金鋼の酸化熱処理材およびCCM(1wt%Si添加)の何れも良好な肉盛溶接施工性を有することを確認した。設計自由度確保のため金属PCMの温度ラインナップの拡充(ADC12以外のPCMの組成設計)に取り組み、蒸気過熱器・再熱器向けに出力蒸気温度600℃級に対応するPCM(AI-Si-Fe系)と、蒸発器向けに350～500℃PCM(AI-Cu-Mg-Si-Zn系)を開発した(新知見)。

・蓄・放熱特性を把握するために非定常伝熱解析モデルを作成し、蓄放熱時の蓄熱槽内での金属PCMの大まかな挙動を解析して、前述の概念設計に反映した。

意義

・AI-Si合金は酸化しやすいため物性値の正確な計測が極めて困難であり公開データが少ない。本基礎データ取得が金属PCM研究開発加速への足掛かりになる。また、金属PCMの侵食防止技術については、その方向性を明らかにすることで今後の蓄熱装置開発に繋がった。さらに、蓄熱システムの運用条件に適した金属PCMの成分組成を把握し、システムの効率向上について可能性を得た。

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 (三菱重工業(株)、(一財)電力中央研究所)

【③「石炭火力の調整力向上に関する研究」】 (Dry-Wet切替制御技術)

成果

<2021年度>

・机上検討にてロジック検証を完了し(入力に対し想定通りの指示値が出力する)、火炉メタル温度値が許容値の範囲内であることを確認した。

<2022年度>

・2023年度実機試験の計画として、試験当日の負荷カーブ作成、試験要領書の作成を実施した。

<2023年度> (見込み)

・実機へのロジック適用・試験要領の検討・運転確認として、実機でのDry最低負荷低減試験の実施し、25%負荷にて各種警報に抵触しないことを確認した。

意義

・Dry-Wet切替制御による最低負荷低減実機試験の完遂により、実機適用実績として他ボイラへの適用をPRできる。また、最低負荷低減後の熱を蓄熱することを想定して開発を進めている並列無送電対応型蓄熱システム(水蓄熱)のFS受注獲得に貢献できる。

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発 (三菱重工業(株)、(一財)電力中央研究所)

【③「石炭火力の調整力向上に関する研究」】

○電力の安定供給と低炭素化の視点

本プロジェクトの成果は、再生可能エネルギー大量導入時に必要である電力系統の調整力や慣性を、燃料費が安価な石炭火力を利用して提供できるため、将来の安価で安定した電力の供給につながる。また、石炭火力はkWhあたりのCO₂排出量が多いが、送電端出力ゼロMWでの運用ではより多くの再エネ電力を電力系統に導入できることから、調整力や慣性の維持による電力の安定供給と低炭素化を両立できる。

○供給力維持の視点

調整力を蓄電池等の技術で供給した場合と比較し、電力系統に必要な慣性を確実に維持できること、安価な調整力を維持できること、再エネが長時間にわたり出力しないときの確実な供給力として石炭火力を活用できることなどの技術的な優位性が見込まれる。

○エネルギーセキュリティの視点

本技術の導入により、石炭火力をエネルギー利用の選択肢として持ち続けることにより、将来のエネルギーセキュリティの役割を維持できるため、我が国の安価なエネルギーの確保に副次的に貢献可能である。



各事業の目標と根拠

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

③タービン発電設備次世代保守技術開発 (東芝ESS (株))

研究開発テーマ	最終目標	根拠
タービン発電設備次世代保守技術開発	2022年度の目標として、作成した理論モデルを協力発電所のシステムへ実装する。また、当該発電所または他発電所等のデータ、解析、試験などを行い、目標精度に達していることを評価する。	事業化に向けてはアプリケーションソフトウェアとして発電事業者へ訴求力があり、かつ、実用に耐えうるレベルの精度が必要となる為。

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



③タービン発電設備次世代保守技術開発 (東芝ESS (株))

研究開発項目	目標 (2023年3月)	成果 (2023年3月)	達成度	達成の根拠
①-1 低圧タービン 最終段羽根のエロージョン進展予測技術 の開発	最終段羽根26インチ以上48インチ未満の範囲で3種類の最終段羽根を選定し、運転負荷に対応した最終段羽根のエロージョン（浸食量）予測技術を開発する。 このうち、対象発電所の最終段羽根について、安全側の予測とするため浸食計算値/管理値※が浸食実測値/管理値よりも大きくなることとし、その差が0%～20%の範囲となる精度を数値目標とする。 ※羽根の浸食量（mm）に関する、羽根の交換推奨管理値	3種類の最終段羽根の浸食量予測技術を開発した。 最終段羽根のエロージョン予測モデルを開発し、対象発電所に実装した。 対象発電所の最終段羽根について、浸食計算値/管理値が浸食実測値/管理値よりも大きくなっており、その差は16.6%であった。	○	3種類の最終段羽根の浸食予測技術を開発した。 また、対象発電所の最終段羽根について、浸食計算値/管理値が浸食実測値/管理値よりも大きくなっており、その差が0%～20%の範囲となる精度となっていることを確認した。 このため、達成と評価した。
①-2 中圧タービン 初段ノズルクリープ の進展予測技術の開 発	中圧初段ノズルのクリープ変形予測技術を開発開発する。開発した予測技術を対象発電所にて動作評価を行う。 本システムで運転中の変形量および現在の運転を継続した際に生じる将来の変形量を予測することで、変形量が変形管理値※を上回るのを80%の確率にて検出できるようにすることを目標とする。 ※ノズル変形量(mm)に関する、ノズルの点検推奨管理値および交換推奨管理値	ノズルクリープ変形量の予測技術を開発し、対象発電所に実装した。 変形量の計算値が管理値を上回る判定精度を評価し、96.5%の確率で検出できた。	○	変形量の計算値と実機の計測記録を用いて精度を評価し、96.5%の判定精度を達成したことを確認した。 このため、目標を達成と評価した。

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



③タービン発電設備次世代保守技術開発
(東芝ESS (株))

研究開発項目	目標 (2023年 3 月)	成果 (2023年3月)	達成度	達成の根拠
①-3高圧及び中圧タービン初段羽根の減肉量の進展予測技術の開発	開発したシステムを発電所に実装し評価モデルの動作確認および予測手法の拡充・改善を行う。 羽根が飛散するまでに許容できる減肉量（管理値）に対し、運転中に減肉量および現在の運転を継続した際に生じる将来の減肉量を予測することで、減肉量が管理値を上回るのを80%の確率で検出できるようにすることを目標とする。 ※羽根の減肉量(mm)に関する羽根の点検推奨管理値	初段羽根の浸食量の予測技術を開発し、対象発電所に実装した。 減肉量の計算値が管理値を上回る判定精度を評価し、87.5%の確率で検出できた。	○	減肉量の計算値と実機の計測記録を用いて精度を評価し、87.5%の判定精度を達成したことを確認した。 このため達成と評価した。
①-4低圧タービン羽根植え込み部の応力腐食割れ（SCC）・腐食疲労（CF）進展予測技術の開発	低圧タービン羽根植え込み部のSCC・CFに至る孔食について、孔食予測技術を開発する。開発したシステムを発電所に実装し、システムの動作確認を行う。 タービンの運転データから羽根植え込み部の孔食サイズを予測する実装システムを開発する。このシステムでは管理値※のサイズの孔食が発生している確率を80%以上で予測することを目標とする。 ※孔食深さ(mm)に関する、ロータ側羽根植え込み部の点検推奨管理値	羽根植え込み部の孔食発生予測技術を開発し、対象発電所に実装した。 孔食サイズの計算値が管理値を上回る判定精度を評価し、86%の確率で検出できた。	○	孔食サイズの計算値と実機の計測記録を用いて精度を評価し、86%の判定精度を達成したことを確認した。 このため達成と評価した。
①-5 高温部品の余寿命予測技術の開発	高温部品の余寿命を予測する技術およびシステムを開発する。開発したシステムを発電所に実装し評価システムの動作確認およびモデルのチューニングを行う。 構築した材料劣化評価手法および温度・応力推定手法を用いて、寿命消費率予測のケーススタディーを実施する。従来手法で評価された寿命消費率と比較し、予め設定した寿命消費率への到達を70%の確率で検出する。※所定のき裂長さ到達する時間	高温部品の余寿命予測技術を開発し、対象発電所に実装した。 開発した手法が所定き裂長さへの到達を70%の確率で検出できることを確認した。	○	実運転データを基に仮定した運転パターンを用いて、き裂進展評価のケーススタディーを実施した。 所定き裂長さ到達する前に70%の確率で検出できることを確認した。 このため目標達成と評価した。

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



③タービン発電設備次世代保守技術開発 (東芝ESS (株))

研究開発項目	目標 (2023年3月)	成果 (2023年3月)	達成度	達成の根拠
②-1「非接触型センサーを適用した発電機固定子コイルのオンライン絶縁診断システムの開発」	当社にて独自開発した非接触式PDセンサー及びデータ処理装置により、オンラインで固定子コイル絶縁の寿命診断を可能とする手法を開発する。 * 余寿命推定年数中央値信頼度 ± 30%	当社独自開発の非接触式オンライン絶縁診断装置を用い、余寿命推定年数中央値信頼度 ± 30%の診断技術を開発した。	○	余寿命推定年数中央値信頼度 ± 30%となる理論を構築。当該発電所のデータで確認できたため、目標通り達成と評価。
②-2-1「故障シミュレーションモデルを組み込んだ予兆診断システム (RRCA™) の開発」 - ロータリアシヨート	過去の経験より発電機リアシヨートを模擬するモデルを構築し、現状の運転状態が故障モードにあるかを判定する技術を開発する。 * リアシヨート検出率 1%	ロータリアシヨート RRCAモデルを構築、対象発電所で適用し、リアシヨート検出率が目標の1%となることを確認した。	○	当該発電所の運用中に取得データから、リアシヨート検出率1%が可能であることを確認した。このため目標通り達成と評価
②-2-2「故障シミュレーションモデルを組み込んだ予兆診断システム (RRCA™) の開発」 - ロータアンバランス	過去の経験より発電機ロータアンバランスを模擬するモデルを構築し、現状の運転状態が故障モードにあるかを判定する技術を開発する。 * アンバランス位置検出率 100%	ロータアンバランス RRCA モデルを構築、アンバランス位置検出率が、実用上100%であることを確認した。	○	当社工場での発電機ロータ実機によるウェイト・レスポンス試験を実施し、位置検出率100%を確認した為、目標通り達成と評価

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



③タービン発電設備次世代保守技術開発 (東芝ESS (株))

研究開発項目	目標 (2023年 3 月)	成果 (2023年3月)	達成度	達成の根拠
②-2-3故障シミュレーションモデルを組み込んだ予兆診断システム (RRCA™) の開発」 - 発電機クーラ性能劣化評価	過去の経験より発電機クーラ性能劣化を評価するモデルを構築し、現状の運転状態の劣化レベルを判定する技術を開発する。 * 劣化検出レベル 50%	発電機クーラ劣化RRCAモデルを構築、対象発電所で適用した。劣化検出レベルを定義し、目標値50%を把握できることを確認した。	○	当該発電所の運用では、劣化検出率が評価できなかったため、流体解析に劣化検出レベルを確認した。このため、目標通り達成と評価。
②-3「発電機コレクタリング火花監視装置の開発」	非接触式の火花検出方式、それを実現するセンサー、検出された信号を分別するフィルタリング方式を開発し、得られた信号に対する適切な閾値を提示する。 * 火花検出率 80%	電磁波を利用した火花監視装置を開発、当該発電所に適用し、火花が目標の80%以上検出可能であることを確認した。	◎	当該発電所での運用での確認結果、及び疑似火花発生装置により、検出率80%以上を確認。また火花等級まで把握できたので、大幅達成と評価。

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



③タービン発電設備次世代保守技術開発 (東芝ESS (株))

研究開発項目	目標 (2023年3月)	成果 (2023年3月)	達成度	達成の根拠
③-1 冷却管減肉予測技術	累積運転時間等の因子により減肉特性をモデル化し、冷却管の減肉予測を可能とする技術を開発し、対象プラントに実装する。 減肉予測精度を計測誤差を排除して±10%以内であることとする。	減肉特性を基にした減肉予測システムを対象発電所に実装し、適切に動作していることを確認した。 予測精度の検証の結果、±10%内に収まることを確認した。	○	検証用データとして、他プラントにおける冷却管厚さ計測結果を取得し精度の検証を実施し、目標値を期待通りに達成した。
③-2 復水器の性能回復効果評価技術	冷却管の閉止栓・リチュービング等の保守対策が性能に与える効果を、過去の知見と設計ノウハウから推定するプロセスを構築し、対象プラントに実装する。 真空度の予測値と運転データの精度が±10%以内であることとする。	熱流動解析にて得られた伝熱特性を基に、性能予測システムを対象発電所に実装し、適切に動作していることを確認した。 システム予測結果と実測値との間の精度が±10%内に収まることを確認した。	○	過年度における閉止栓・リチュービングを実施した定検前後の運転データを用い、性能予測値の精度検証を実施し、目標値を期待通りに達成した。

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



③タービン発電設備次世代保守技術開発
(東芝ESS (株))

研究開発項目	目標 (2023年3月)	成果 (2023年3月)	達成度	達成の根拠
④プラント機器 共通の異常事象 要因分析による 運転支援技術の 開発	発電所運用にクリティカルな異常項目^{*1}に対して、異常検知から処置決定までの推理プロセスを要因分析ツールに体系化し、構築する。 ^{*1} 10年以内に1回以上発生したトリップ（計画外停止）と警報の異常項目 構築した要因分析ツールを導入することによるトラブル対応時間^{*2}の削減効果を調査する。要因を特定するための調査項目および推奨処置内容を2日以内に提示できることを目標とする。 ^{*2} 異常検知から推奨処置内容（応急処置含む）を提示されるまでの時間	過去数十年間のトラブル事象(約200件)に基づき、主要な19項目の要因分析ツールを構築した。 上記ツール構築に用いた事象とは別の事象を用いて、調査項目および推奨処置内容の特定を2日以内に提示できることを確認。	◎	要因分析ツールの評価の結果、調査項目および推奨処置内容の特定にかかる時間が最長4時間のため、目標(2日以内)を大幅に短縮できた。 要因推定までのフロー数約1.7(平均) ※詳細は非公開版に記載

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

③タービン発電設備次世代保守技術開発 (東芝ESS (株))

- 各目標の達成状況は前ページまでに記載の通りである。
- 再生可能エネルギーの拡充に伴い火力発電所の役割は従来のベースロード運用から、電力需給バランス維持及び周波数安定のための調整用電源にシフトし、すなわち、負荷変動や起動停止を頻繁に行うことによって、従来以上の機械的負荷が発電設備に掛かることになる。今次の技術を用いることによって、従来のタイムベースドメンテナンスからコンディションベースドメンテナンスへの移行が可能となり、事業者にとってより適したタイミングでの定検などを推奨できる。
- 知的財産戦略としては、ソフトウェア画面やその構成、ユーザーエクスペリエンスに進歩性があることから、これらにフォーカスした特許を積極的に出願をした。
- タービン発電設備の保守技術であるため、燃料種別を問わない蒸気タービン発電設備のスマート保安に寄与する。また、発電機に係る技術については、上記以外にも水力発電や風力発電などの発電機にも適用可能である。



各事業の目標と根拠

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発
(中国電力(株)、東京理科大学、熊本大学、大阪公立大学、近畿大学、非破壊検査(株))

研究テーマ	研究開発項目	目標	根拠	担当
大径管内圧曲げねじりクリープ疲労損傷	1. 高温曲げねじりクリープ疲労寿命評価法の研究開発	a. 油圧サーボ式高温曲げねじりクリープ疲労試験装置の開発 b. 高温曲げねじりクリープ疲労寿命の取得 c. 有限要素解析による応力状態の把握 d. クリープ疲労寿命評価法の検討 e. 小規模曲げねじりクリープ疲労試験装置にて実証試験	油圧サーボ式高温曲げねじりクリープ疲労試験装置を開発し、高温ねじりクリープ疲労寿命を測定する。開発した高温ねじりクリープ疲労試験装置による試験片の形状変化に関して、有限要素法解析により得られた力学的パラメータ（亀裂発生点での相当応力、相当ひずみ、主応力、主ひずみ、最大せん断応力、最大せん断ひずみ）を、高温曲げねじりクリープ疲労寿命と関係づける。	学校法人 東京理科大学
	2. 高温3軸薄膜静電容量型ひずみ計の研究開発	a. 2軸センサーの開発 b. 高温誘電膜の研究 c. 3軸センサーの開発 d. 実証試験	配管の溶接熱影響部を覆うことができる小型で、多孔性セラミックス材料を誘電体とする高温3軸タイプの静電容量型小型ひずみ計を開発する。開発した高温3軸薄膜静電容量型ひずみ計を、研究開発項目①で開発した高温曲げねじり疲労試験装置に設置し、3軸ひずみセンサーとしての適用可能性を評価する。	国立大学法人 熊本大学
	3. 発電所高温内圧曲げねじりクリープ疲労大規模解析法およびそれを用いたデジタルツイン技術の研究開発	a. 曲げねじりクリープ解析技術の開発 b. 大規模内圧曲げねじりクリープ解析技術の開発 c. 内圧曲げねじりクリープ疲労解析技術の開発 d. 内圧曲げねじりクリープ疲労デジタルツイン技術の開発 e. 高温曲げねじりクリープ疲労試験装置にて実証試験	曲げねじりクリープ解析技術を、理想化陽解法FEMに導入し、実機石炭火力発電設備の大径管内圧曲げねじりクリープ疲労解析に適用できる解析技術を開発する。開発した解析技術に、実際に計測された大径管のひずみ・変形・温度分布の時系列データを取り込み、疲労余寿命分布の経時変化を表示するシステムを構築する。	公立大学法人 大阪公立大学

各事業の目標と根拠

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発
(中国電力(株)、東京理科大学、熊本大学、大阪公立大学、近畿大学、非破壊検査(株))

研究テーマ	研究開発項目	目標	根拠	担当
オーステナイト鋼製伝熱管クリープ損傷	4. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管のHTS-SQUIDによる余寿命診断技術開発	a. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管試験片作製 b. HTS-SQUID劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定、組織・磁気特性観察 c. マスターカーブの有効性検証	火SUS304J1HTBボイラ（オーステナイト鋼製）伝熱管の内圧クリープ（熱時効含む）試験片を破断に至るまでHTS-SQUIDによる劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定及び組織・磁気特性を観察することで、研究開発項目⑤の解明に活用する。また、USCプラントボイラ内同伝熱管のHTS-SQUIDによる劣化判定箇所と無反応箇所についても同様に導電率・透磁率測定及び組織・磁気特性を観察し、研究開発項目⑥で作成したマスターカーブの有効性の検証に活用する。なお、研究開発項目⑥で作製した屋外HTS-SQUID非破壊検査システムを使用して、USCプラントボイラ内の同伝熱管を測定することで、実機における適用性についても評価できる。	中国電力株式会社
	5. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管クリープ損傷のHTS-SQUID劣化判定要因の解明	a. HTS-SQUIDが捉える導電率と透磁率の変化要因を明らかにする。 b. クリープによる組織の劣化要因とHTS-SQUIDによる劣化判定要因との対応を明らかにする。	HTS-SQUIDがこういった劣化要因に反応しているのかを明らかにすることで、HTS-SQUIDによる劣化診断に対する有効性が判断できる。	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構（中国電力株式会社からの再委託）
	6. HTS-SQUID非破壊検査システム開発及びマスターカーブ作成	a. 屋内HTS-SQUID非破壊検査システム開発 b. 屋外HTS-SQUID非破壊検査システム開発 c. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管内圧クリープ試験片の屋内HTS-SQUID非破壊検査システムによる測定及びマスターカーブ作成	屋内HTS-SQUID非破壊検査システム開発のうえ、研究開発項目④で作成した内圧クリープ試験片（熱時効試験片含む）を測定し、マスターカーブを作成する。作成したマスターカーブにより、火SUS304J1HTBボイラ伝熱管の余寿命診断を可能とする。研究開発項目④で実施するマスターカーブの有効性検証及び実機での適用性評価のため、屋外HTS-SQUID非破壊検査システムを開発する。	学校法人 近畿大学

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発 (中国電力(株)、東京理科大学、熊本大学、大阪公立大学、近畿大学、非破壊検査(株))

研究テーマ	研究開発項目	目標	成果（実績）	達成度	達成の根拠
大径管内圧曲げねじりクリープ疲労損傷	1. 高温曲げねじりクリープ疲労寿命評価法の研究開発	a. 油圧サーボ式高温曲げねじりクリープ疲労試験装置の開発 b. 高温曲げねじりクリープ疲労寿命の取得 c. 有限要素解析による応力状態の把握 d. クリープ疲労寿命評価法の検討 e. 小規模曲げねじりクリープ疲労試験装置にて実証試験	・高温曲げねじりクリープ疲労試験データの取得と組織観察、ならびに溶接部損傷メカニズムの解明 ・溶接付き配管試験体の有限要素解析の実施 ・クリープ疲労寿命評価法の開発 ・ジャイロ스코ープによるその場たわみ角・ねじり角のモニタリングとそれによる損傷状態の管理、予測法の開発（大阪公立大との連携のもと実施）	○	特になし
	2. 高温3軸薄膜静電容量型ひずみ計の研究開発	a. 2軸センサーの開発 b. 高温誘電膜の研究 c. 3軸センサーの開発 d. 実証試験	・3軸ひずみセンサ設計、試作ならびに2軸ひずみセンサの評価を室温単軸引張試験装置により実施 ・1本のセンサーの大きさは縦12mm、幅2mm、厚さ約50μm達成 ・Φ10mm程度の配管に取り付けに成功	○	・2軸試験結果の再現性検証、3軸ひずみセンサの評価 ・高温単軸引張試験の測定の再現性・精度向上
	3. 発電所高温内圧曲げねじりクリープ疲労大規模解析法およびそれを用いたデジタルツイン技術の研究開発	a. 曲げねじりクリープ解析技術の開発 b. 大規模内圧曲げねじりクリープ解析技術の開発 c. 内圧曲げねじりクリープ疲労解析技術の開発 d. 内圧曲げねじりクリープ疲労デジタルツイン技術の開発 e. 高温曲げねじりクリープ疲労試験装置にて実証試験	・実機配管のクリープ解析を実施 ・配管の変位を基に境界条件を推定可能なシステムを開発 ・曲げ角ねじり角から荷重条件の推定、疲労寿命の推定を実施	○	特になし

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

各事業の目標達成状況

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



研究テーマ	研究開発項目	目標	成果（実績）	達成度	達成の根拠
オーステナイト鋼製伝熱管クリープ損傷	4. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管のHTS-SQUIDによる余寿命診断技術開発	a. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管試験片作製 b. HTS-SQUID劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定、組織・磁気特性観察 c. マスターカーブの有効性検証	・火SUS304J1HTBボイラ伝熱管（オーステナイト鋼製）内圧クリープ試験片（破断まで）及び熱時効試験片（破断最長時間）作製完了 ・上記内圧クリープ試験片及び熱時効試験片のHTS-SQUID劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定、組織・磁気特性観察を全て完了 ・三隅発電所1号機2次再熱器火SUS304J1HTBボイラ伝熱管を測定し、実機で適用できることを確認した。また、同機4次過熱器抜管材のHTS-SQUID劣化判定箇所と無反応箇所の導電率・透磁率測定、組織・磁気特性観察を全て完了 ・火SUS304J1HTBボイラ伝熱管のHTS-SQUID測定結果と寿命比は相関があり、寿命後期（70～80%）を捉えることを明らかにしたが、マスターカーブの作成・検証までは至らなかった。なお、HTS-SQUIDの反応はアルファ相（歪大：透磁率大）とシグマ相（導電率低下）生成、粒界介在物（シグマ相非金属介在物など：導電率低下）の粒間結合強度低下の複合要因と考察したものの、寿命との明確な関係を明らかにできなかった。	○	・ボイドは寿命末期まで発生しないためボイド観察では寿命評価できないことが分かり、HTS-SQUID反応要因を複数（アルファ相、シグマ相、粒界介在物）考察したものの、各要素と寿命との相関を明らかにするためには追加実験と観察が必要となり、未解明となった。そのため、複数要因に対する劣化メカニズムの解明のため、実験と解析により解明を目指す（アルファ相の硬さ、密度などを明らかにし、それらのデータをもとに応力解析により、ボイド・亀裂の起点となる歪みを計算のうえ、延性消耗則から寿命想定する方向）。
	5. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管クリープ損傷のHTS-SQUID劣化判定要因の解明	a. HTS-SQUIDが捉える導電率と透磁率の変化要因を明らかにする。 b. クリープによる組織の劣化要因とHTS-SQUIDによる劣化判定要因との対応を明らかにする。	・HTS-SQUIDが捉える導電率と透磁率の変化要因として、常磁性体のオーステナイト相中に強磁性相が生成（アルファ相）すること、ボイドや微視亀裂が発生すること、粒界介在物（シグマ相や非金属製介在物）がその要因となっている。 ・HTS-SQUIDが捉える導電率と透磁率の変化とクリープによる劣化判定要因は関連付けできるもののその証明には至ることができない。	○	・HTS-SQUIDが捉える導電率と透磁率の変化要因及びクリープによる組織の劣化要因とHTS-SQUIDによる劣化判定要因との対応を明らかにした。
	6 HTS-SQUID非破壊検査システム開発及びマスターカーブ作成	a. 屋内HTS-SQUID非破壊検査システム開発 b. 屋外HTS-SQUID非破壊検査システム開発 c. オーステナイト鋼製ボイラ伝熱管内圧クリープ試験片の屋内HTS-SQUID非破壊検査システムによる測定及びマスターカーブ作成	・屋内HTS-SQUID非破壊検査システムを開発した。 ・屋外HTS-SQUID非破壊検査システムを開発した。 ・火SUS304J1HTB（オーステナイト鋼製）ボイラ伝熱管内圧クリープ試験片（熱時効試験片含む）全てを屋内HTS-SQUID非破壊検査システムにより測定し、HTS-SQUIDの劣化判定箇所と無反応箇所を明らかにするとともにHTS-SQUID測定結果と寿命比との関係性を明らかにした。 ・三隅発電所1号機4次過熱器火SUS304J1HTBボイラ伝熱管の抜管材を測定し、HTS-SQUIDの劣化判定箇所と無反応箇所を明らかにした。	○	・HTS-SQUID測定結果と寿命比との関係性を明らかにしたものの、研究開発項目④により、HTS-SQUID反応要因（アルファ相、シグマ相、粒界介在物）と寿命との相関を明らかにできなかったため、マスターカーブを作成できない。

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明



④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発 (中国電力(株)、東京理科大学、熊本大学、大阪公立大学、近畿大学、非破壊検査(株))

- 各事業の成果は前頁に記載の通り
- 研究開発の意義

再生可能エネルギーは、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で重要な低炭素の国産エネルギー源であり、地球環境保全に向けた脱炭素化の必要性から、3E+Sの原則の下、再生可能エネルギーの「主力電源化」に向けた環境整備が進められている。

このような中、需給バランス調整のため、調整力不足時の対応方法は法令による優先給電ルールが実施されており、火力発電を第一に出力抑制することが義務付けられている。また、メリットオーダーの観点からも限界費用の高い火力発電所は調整力として利用せざるを得ない状況となっている。

我が国で総発電電力量の約35%を占めている石炭火力発電は、これまで主にベースロード運用を担ってきたが、再生可能エネルギーの導入量拡大により、超々臨界圧発電(USC)プラントであっても出力調整は必須であり、近い将来には起動停止も見込む必要がある。

そのため、起動停止時や負荷変動時に生じる温度・ひずみの変化がボイラの損傷劣化に大きく影響することが懸念される。

各事業の成果と意義

※各事業の詳細は非公開セッションで説明

④ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発 (中国電力(株)、東京理科大学、熊本大学、大阪公立大学、近畿大学、非破壊検査(株))

●研究開発の意義（続き）

特に、大径管は、内圧によるクリープに加えて曲げ・ねじり・クリープ疲労に伴う損傷が付加され、大径管材料である9%Cr鋼等高強度耐熱材料においては、溶接部において残留応力が大きく、かつ緩和が起こりにくいため、損傷が起動停止や負荷変動時に大きく進むことが示唆されている。また実機の最大損傷部位特定のため応力負荷状況を推測する必要があるため、起動停止時の変位をレーザ測定器により計測し、応力解析した結果、実機において、曲げとねじりの応力が相当量働いていることが明らかになってきた。実際に大径管において、ねじり応力による損傷が表面化してきている。しかし幸いにも、従来程度の起動停止回数では、大きな損傷は顕在せず、問題となることはなかった。今回、我々の研究で、曲げモーメント1に対して、ねじりモーメントが0.4 かかれば、破壊寿命（最大主応力から算出）が曲げモーメント1のみに対して、1/2まで低下する。また、内圧1の時の寿命を1とすれば、加えて引張1かけると寿命が1/6になる結果が明記されており、それにさらにねじりが0.4 かかれば、寿命は $1/(2 \times 6) = 1/12$ となるという衝撃的な推測が成り立つ。これは、従来の知見から9%Cr鋼長手溶接部は、タイプIVクラックにより、非常に寿命が短いことが明らかになっており、多くの起動停止や負荷変動を繰り返せば、周溶接部もそれと同じ寿命ということになる。

次にボイラ伝熱管であるが、600℃超での起動停止や負荷変動が多くなると、微粉炭燃焼はガス燃焼や液体燃焼に比べて燃焼不安定、燃焼ガス偏流が発生しやすく、異常過熱（ホットスポット）の可能性が大きくなる。そのためクリープ破断や管固定金具付近に熱疲労による亀裂の発生が一定負荷運転に比べ、多くなることが懸念される。さらに超々臨界圧（USC）ボイラ伝熱管の高温部に通常利用されているオーステナイト鋼は、熱膨張が大きく熱伝導性が悪いため、熱応力が大きくなる。加えて、輻射熱とガスの対流熱双方の影響を受ける過酷な環境で利用されている。

そのため、両部位ともに今後は、慎重な管理が求められ、即急な高精度余寿命評価法の開発が望まれる。

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／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」(終了時評価) 分科会 議事録及び書面による質疑応答

日 時：2023 年 7 月 31 日（月）12：30～17：40

場 所：NEDO 川崎本部 23 階 2301/2302/2303 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	伊藤 隆基	立命館大学 理工学部 機械工学科 教授
分科会長代理	井原 郁夫	長岡技術科学大学 副学長 大学院工学研究科 工学専攻(機械工学分野) 教授
委員	澤田 浩太	国立研究開発法人 物質・材料研究機構 構造材料研究センター 材料評価分野 クリープ特性グループ グループリーダー
委員	藤原 尚樹	出光興産株式会社 石炭・環境事業部 企画課 シニアリサーチャー
委員	増川 浩章	一般社団法人 火力原子力発電技術協会 専務理事
委員	村岡 元司	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 執行役員
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＞

福永 茂和	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
野原 正寛(PM)	NEDO 環境部 主任

＜実施者＞

三原 毅	島根大学 材料エネルギー学部 学部長/特任教授
相澤 威一郎	東北発電工業株式会社 エンジニアリング部 主任研究員
山下 登敏	三菱重工業株式会社 エナジードメイン SPMI 事業部 技術部 ボイラ基本設計課 主席技師
篠崎 康平	三菱重工業株式会社 エナジードメイン SPMI 事業部 技術部 ボイラ基本設計課 開発チーム 主任チーム統括
吉葉 史彦	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 上席研究員
竹内 司	東芝エネルギーシステムズ株式会社 パワーシステム事業部 マネジャー
市川 裕之	東芝エネルギーシステムズ株式会社 パワーシステム事業部 フェロー
西田 秀高	中国電力株式会社 エネルギー総合研究所 嘱託（プロジェクトリーダー）
杉内 栄夫	中国電力株式会社 エネルギー総合研究所 機械システムグループ 担当副長

<オブザーバー>

笹山 雅史	経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 課長補佐
萩 厚	経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 係長
渡邊 貴紀	経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 係長

<評価事務局>

三代川 洋一郎	NEDO 評価部 部長
山本 佳子	NEDO 評価部 主幹
佐倉 浩平	NEDO 評価部 専門調査員
森泉 清和	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 意義・社会実装までの道筋
 - 5.2 目標及び達成度
 - 5.3 マネジメント
 - 5.4 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 火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発
 - 6.2 石炭火力発電システムの運用性向上技術開発
 - 6.3 タービン発電設備次世代保守技術開発
 - 6.4 ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発
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（評価委員、評価事務局、推進部署）

【伊藤分科会長】 立命館大学の伊藤です。専門は材料強度であり、特に高温強度、クリープ、疲労に関する研究をしています。また、材料学会の高温強度部門委員会がメインになっており、現委員長は、一番向こうにおられます山崎先生が担当をされていますが、私は前委員長ということで高温強度のほうに長年携わってまいりました。本日はいろいろな技術に対し、あまり囲い込むことなく、幅広くフィードバックをしていただければと考えており、この前の長崎のときにも申し上げたのですが、なるべく技術をいろいろなところに学協会を通じてフィードバックをしていただければと願っております。本日はどうぞよろしくお願いいたします。

【井原分科会長代理】 長岡技術科学大学の井原です。専門は機械工学をベースとした、いわゆる非破壊検査、評価です。どうぞよろしくお願いいたします。

【澤田委員】 物質・材料研究機構の澤田と申します。専門分野は、耐熱材料のクリープの強度特性評価、あるいは材質劣化になりますが、どちらかと言えば、冶金的な観点からの取組を専門としております。どうぞよろしくお願いいたします。

【藤原委員】 出光興産の藤原と申します。出光興産は石油・ガソリンなどの販売をしている会社ですが、私は石炭を海外で生産し、日本の電力、それから一般産業に届けるといった事業を担当する部署におります。専門分野は石炭の燃焼技術と環境対策技術です。よろしくお願いいたします。

【増川委員】 火力原子力発電技術協会で専務理事をしている増川と申します。専門は、電気工学ですが、火力発電所の計画、建設、運転、メンテナンスといった、おおそ撤去工事以外の全てを経験しておりますので、そういった現場を知る立場として委員をさせていただきます。

【村岡委員】 エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所の村岡と申します。私は、環境とエネルギー分野のコンサルタントということで、脱炭素等について長く活動している次第です。よろしくお願いいたします。

【山崎委員】 千葉大学の山崎です。専門は、伊藤先生と同様に材料強度学、特に高温強度、熱疲労、耐熱超合金等の熱疲労を研究しております。よろしくお願いいたします。

3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明」及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。

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資料4-1～4-5に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

(1) 意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、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。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。

全体の説明に対して、何かご意見、ご質問等がございましたら今からお受けさせていただきたいと思
います。それでは、藤原委員をお願いします。

【藤原委員】 出光の藤原です。2点伺います。まず1点目ですが、このプロジェクトをこの後実用化に向け
てNEDO様のほうで公募をしていくという計画のご説明がありましたが、4つのテーマを全て公募さ
れるというご予定でしょうか。

【野原 PM】 実用化、事業化のサポートを念頭に今年度以降公募をさせていただくというお話をいたしま
したが、公募ですので、基本的には真っさらな状態で公募要領をつくり、それを広くNEDOのホーム
ページで公開し、それに合致するような内容であれば応募をいただくというようなものとなってござ
います。もちろん、今まで実施していただいた4つのテーマの皆様方にもぜひ応募いただければ、よ
りよい実用化、事業化が目指せるのではないかと考えている次第です。

【藤原委員】 ありがとうございます。次に2点目ですが、費用対効果のご説明について、この中で、本プ
ロジェクトの中の経済的な効果というのはかなり明確に示されていたと思うのですが、技術的
な面からは、石炭火力の安全性や電力の供給安定性に対する貢献というのがかなり大きいと思いま
した。そういった面での費用対効果というか、費用というわけではないのですが、このプロジェクトの効
果というところではどのようにお考えでしょうか。

【野原 PM】 おっしゃるとおり、費用対効果として今回数字という形で、その一例として288億円という
数字をお見せしたところでございます。ただ、本プロジェクトは信頼性の向上技術や故障予知に関す
るプロジェクトとなっていますので、経済効果というよりは、むしろ安全性や電力の供給安定性の確
保で電気事業者様に社会的インパクトや影響力というのがある程度大きいのではないかと考える次第
です。

【伊藤分科会長】 ほかにいかがでしょうか。澤田委員をお願いします。

【澤田委員】 物質・材料研究機構の澤田です。最初のほうで、アンモニアや水素を混焼した場合のプラント
でもこの技術は適用できるというお話がございましたが、アンモニアあるいは水素が、いろいろな材
料とかそういうものに対する影響というところでの検討も少し進められているところかと思いき
れども、そういったものは特に問題なく、この技術はアンモニア・水素混焼に適用できるというお考
えでしょうか。それとも、部材によって水素とかアンモニアの影響がある部分、ない部分といろいろあ
るかもしれないので、今回の技術の対象部材としてはあまり影響がないということでしょうか。

【野原 PM】 波及効果として、アンモニア・水素の混焼、専焼のあたりにも活用できるだろうというご説明
をさせていただいたところになります。なぜそのように考えているかと言いますと、汽力発電設備、
いわゆるボイラ、タービン、発電機で構成される発電設備については本プロジェクトで対象としてい
る技術についてほぼそのまま活用できるだろうと考えている次第です。また、材料に関しては、やはり
アンモニアを燃料とする場合は、ボイラの中でアンモニアの影響がどうなってくるかということが
重要となります。これは本プロジェクトの研究対象ではないのですが、例えばバーナーの周りの窒化
といったあたりがアンモニアによる影響としては非常に有名なところで、そういった窒化に関する研
究開発は並行して進めつつ、今回のプロジェクトの成果を水平展開として適用できるような状況を狙
っていければと、波及効果として狙っていければよいのではないかと考えております。

【澤田委員】 あともう一点伺います。先ほどの次に公募されるというお話について、実用化の中に「標準
化」といったキーワードが入っているのですが、標準化というと、かなり時間がかかる話だと思うとこ
ろで、それも一応スコープに入れた公募が行われるということでしょうか。

【野原 PM】 標準化もちろん実施していかなくはいけないものであり、アウトカム達成までの道筋に
は当然入ってくるものとなります。その内容については非公開セッションでより詳細にお話をさせて

いただきますが、NEDO の公募として見たときにどうかと言いますと、NEDO の公募として標準化を直接委託するという考えはございませんので、そこは標準化に必要な、例えば研究開発に伴うデータ取得であるとか、何かそういった面でのサポートに限定されてしまうのではないかと考えます。

【澤田委員】 ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 今の内容に関連しまして、立命館の伊藤より質問いたします。混焼、水素・アンモニアについてのいろいろな技術課題があるといったところでしたが、これは次の実用化プロジェクトの中に、そういった水素・アンモニアを積極的に入れていくという理解でよろしいでしょうか。

【野原 PM】 今後の公募内容というのをこの時点で詳細にはお伝えできないのですが、現状としては、例えばアンモニア・水素混焼専焼をメインに据えた公募を行うことはイメージしておりません。

【伊藤分科会長】 そうしますと、今の本プロジェクトの継続みたいな形になると思うのですが、水素・アンモニアなしではない、やはり必ず水素・アンモニアは何かの形で入ってくるという理解でよろしいですか。

【野原 PM】 私の説明が不足しておりまして、すみません。例えば今のプロジェクトで言いますと、「石炭火力の」というプロジェクト名称ですけれども、そういったところで石炭縛りというものとはなくなっていくのではないかと。その縛りがないということは汽力発電全般になるかと思いますので、範囲としてはアンモニアや水素も対象として含まれていてもおかしくはないといった理解になるでしょうか。歯切れが悪くて申し訳ございません。

【伊藤分科会長】 承知しました。ありがとうございます。それでは、井原分科会長代理をお願いします。

【井原分科会長代理】 井原です。今回のテーマのキーワードは「負荷変動対応」ということです。負荷変動といってもいろいろあると思いますが、基本的には温度変化に起因する熱応力の発生により機械的負荷が変動することと、それから、温度履歴に伴う材料の熱損傷や品質の劣化というのが主なものと考えます。そういった中で、今回はいわゆる一定の想定の下で温度変動を仮定していると思われませんが、まずその仮定（想定）の妥当性を簡単に確認させてください。それからもう一つは、その想定した仮定が必ずしも妥当であるかどうか、現実には仮定どおりになるとは限らないというところでの社会実装ということを踏まえ、いわゆる仮定の崩れに対する現時点での本研究成果の適用性や有用性といった観点でのコメントを伺えればと思います。よろしくお願いします。

【野原 PM】 今のお話というのは、特に事業②の三菱重工業様の事業に関することという理解になるでしょうか。

【井原分科会長代理】 そのご理解で結構です。お願いいたします。

【山下主席技師】 三菱重工業の山下よりお答えいたします。今ご質問がありました負荷変化、石炭火力の負荷変化ということで行きますと、やはり実際の仮定した損傷というのがどれくらいになるかというのを今回の研究テーマの一つとして取り上げました。具体的には、そういう実機で確認というのはできませんので、あくまで CFD シミュレーションでの確認になりますが、そもそもそのシミュレーションがきちんとしたものであるかというところで、我々今回取り組ませていただいた研究の中では、まず初めに実機とモデルがしっかり合うかというところで精度向上を図り、それでモデルの中で高速負荷変化という形で、そのハード的なところ、熱応力等がどれくらいかかるのか、その損傷部位はどの部位が弱点部位になっているのかという観点での同定化という、そういうツールを今回の研究で開発させていただきました。それを基に、将来的にそういう高速負荷変化の対応というところで、弱点部位を逆にそういう運用をするのであれば、お客様、ユーザー様のほうにあらかじめ対策強化をしていただくとか、そういう形で今回の研究開発を適用し実用化をしていきたいと考えている次第です。

【井原分科会長代理】 ありがとうございます。そうすると、今回の現時点での成果は、恐らく実機への適用について、今回は想定していないような負荷変動があった場合でも有益にこの成果が適用できるとい

うように理解してもよろしいでしょうか。

【山下主席技師】 そのご理解でよろしいかと思います。

【井原分科会長代理】 ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 それでは、増川委員お願いします。

【増川委員】 火力原子力発電技術協会の増川です。資料 36 ページのスケジュールについて、終了時評価の後にやむを得ず実機の確認試験があるということですが、この評価において後でやるというものをどのように位置づけられているのか教えてください。

【野原 PM】 位置づけというのはプロジェクトの中の位置づけでしょうか、それとも個別事業における位置づけになるでしょうか。

【増川委員】 評価するにあたり、この部分をどう捉えればよいのかということです。ここの答えが出ていない中で、今先んじて評価をするということはどう捉えられているかと。

【野原 PM】 承知いたしました。本来であれば、当然ながら全ての研究開発が終了し、全ての結果が出た後に評価をいただくというのが一番よい形という理解をしてございます。ただ、このプロジェクトにつきましては、後継プロジェクトの公募が控えているということもございまして、このような体制を取らせていただいたところになります。事業②が 2023 年 11 月までというところですが、試験自体は今年度実施できるということと、その試験をもって実施計画書の当初目標としていた内容は達成できるということで我々も判断していますので、このタイミングでのプロジェクト評価に踏み切っている次第になります。また、事業②の技術的なところが実際にどうなのかというところは、非公開のところでは事業者様からより詳細にお話をさせていただく予定となっていますので、そちらでのご回答とさせていただきます。

【増川委員】 ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 それでは、山崎委員お願いします。

【山崎委員】 千葉大学の山崎です。マネジメントに関しまして、採択プロセスで 4 事業全てが条件つき採択となったと記載されていますが、具体的には、例えばその条件と、それに対してどのような対応をしてマネジメントをされたのかというところで、お話しできる範囲で構いませんが教えていただければと思います。

【野原 PM】 4 件中 4 件とも採択条件を今回つけさせていただいたところになりますが、その採択条件の内容については非公開という形になりますのでその詳細をお伝えできないところがございます。ただ、4 事業全てにおいてしっかり対応いただいております、NEDO としても採択条件を十分満足していると判断してございます。採択条件の概要としては、事業費に関するものや、こういうふうに進めたほうがもっとよいのではないかなというような視点での採択審査委員会のコメントとなっております。

【山崎委員】 ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 それでは、村岡委員お願いいたします。

【村岡委員】 村岡です。今回の成果のところでは 30 件程度と結構な数、特許を取られているといえますが、申請をされていますが、先ほどのゼロベースでの公募というところで、多分特許はそれぞれの事業者様に属するものになると考えますが、どのような関係になるのでしょうか。

【野原 PM】 特許自体はもちろん各事業者様にその権利が存在するというものでございます。「ゼロベースでの公募」と私が申し上げたのは、この今の 4 つの事業の皆様が次も提案したいというような意思であれば、公募にぜひご参加いただくという意味で、引き続き後継事業を希望するという場合は、もちろんこの特許をご活用いただけるということで考えておりますし、完全に今回の事業とは別な事業者様から入ってこられたとしても何の問題もない状態といった意味でのゼロベースというお話になります。

【村岡委員】 分かりました。ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 それでは、ありがとうございました。予定の時間となりましたので、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

【山崎委員】 千葉大学の山崎です。まず、推進部署の NEDO の皆様及びプロジェクトを実際にご尽力いただいた皆様のご労務、ご苦勞に対しまして敬意を表するとともに、しっかりとした成果を上げていただいたことに感謝を申し上げます。また、今日の途中にもお話いただきましたが、国連事務局長が「最近では、熱くなっているだけではなく地球が沸騰化している」というような発言をされていることから、今後「脱炭素」というキーワードがより乱暴に使われる可能性もあるという現状の中で、電力安定化という社会的に重要な問題に対し、本プロジェクトは非常に重要な位置づけになっていると考えるところです。今回実施されているプロジェクトの難易度、そして非常にお金もかかるプロジェクトですから、NEDO プロジェクトとして実施すべきものと理解いたします。それから、話を聞いていて思ったのは、やはり他の NEDO のプロジェクトとも関連するなどうまく関連づけながらやられており、全体的なマネジメントとしても非常によく運営されていると感じました。そのほか、非公開セッションの内容に関しても、個別テーマの各テーマにおいて優れた成果が得られていることを確認できましたし、非常によくできたプロジェクトだと判断しております。その上で、本プロジェクトのアウトカムというのは事業化されて社会に役立つことが重要だと思いますので、時間との戦いを感じる中、すばらしい成果が得られているので、是非とも一日でも早い実装となることを願っております。

【伊藤分科会長】 ありがとうございました。それでは、村岡委員よろしく申し上げます。

【村岡委員】 エヌ・ティ・ティ・データ研究所の村岡です。まずは、皆様お疲れさまでございました。先ほど山崎先生がおっしゃっていたように、個別の事業者様の研究開発は十分実施なされており、一定の成果が出されているものと理解しております。その上で、やはり世の中の変化が非常に激しく、脱石炭といった動きも出ている中、今回皆様の開発なされたものがどうやって世の中でうまく実装化されて役立っていくのかが民間企業として非常に関心が高いところです。また、「石炭火力の負荷変動対応技術開発」というところで、負荷変動の対応の技術開発をしたものが、実は運転・維持管理といいますか、保安・メンテナンスのところで随分役に立つといったご示唆が皆様の中で共通としてございました。実用化の部分については、保安・メンテなどの分野での活用ということを視野に入れていただくと大変効果的になるのではないのでしょうか。また、実装の方法として、日本企業の皆様は真面目でありますから、出来上がったもので間違いのないものを世の中に出していくということが従来あるかと思えます。一方で、デジタルの世界というのは、もうベータ版をどんどん出して、それを使いながら直していくことが普通になっているアジャイルの時代だと考えます。これがやはりスピードにも非常に影響するところで、もちろん事故を起こすと大変なものですから、アジャイルというのが許されることではないのかもしれませんが、あまり完成度を高めるところばかりに時間をかけるよりは、使える部分

からは使っていくというようなアプローチというのも大変大事ですし、そうやっていくことで、この石炭向けに開発された技術等がほかのものにも使っていけるといった可能性を広げることにつながるのではないかと感じておりますので、よろしくお願いいたします。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、増川委員よろしく申し上げます。

【増川委員】 火力原子力発電技術協会の増川です。今日は丁寧なご説明をありがとうございました。火力機といえますのは、皆様ご存じのように、やはり再エネが拡大する上で受給調整機能を発揮していく、ある意味非常にペアで使い勝手のいいものだとして理解しております。そうした中、最低負荷を下げるというだけではなくて、日が陰ったら出力を上げなければいけない、そういった上げ余力といえますか、そういう意味での負荷変化率を速くするとか、そういったものが安定供給に非常に資するものと。そういう重要な研究であったと感じます。また、個々の内容を見ますと、診断ものであるとか、運用性を向上するといったものがございましたが、再エネが拡大するに伴っての火力機の役割の変化を非常にうまく捉えた研究成果だったのではないのでしょうか。そして、社会実装をされて、かつ広まっていくためには、そのインセンティブというのもしっかりと説明をしながらやっていくことも重要と感じた次第です。以上になります。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、藤原委員よろしく申し上げます。

【藤原委員】 出光興産の藤原です。私は採択のときにも委員をさせていただきまして、これらの技術が一体本当に実用化できるかどうかというのが少し分からなかったところで、「ぜひ発電事業者様などの意見を聞いて、実用化に向けた取組の方向性をしっかり持って進めてほしい」というお話をいたしました。その上で今日お話を聞いている中では、需要家の皆様などのお話を聞きながら、また委員になっていただいて一緒に進められていることを理解いたしました。アウトカムの方性というのもしっかり出ていて、すぐに実用化できるものもありますし、2030年以降に標準化していくというのも明確に出てくるということで、今回のプロジェクトは非常に全体として将来に向けてよいプロジェクトだったと感じております。内容的な部分は私の専門外であり難しかったのですが、そうであっても、日本人らしい細かい技術を開発してやっていくというところが見えていて、繰り返しになりますが、よいプロジェクトでありました。それから、ほかの方もお話しされていましたが、この負荷変化の対応というのは、ニーズとしては非常に早く求められるものですので、出来たものはどんどん使っていただけるような形で、実用化に向けてもまた引き続き NEDO 様のご支援をいただけるとよいのではないかと考えます。ほかへの展開というのは、アンモニアや水素の混焼というのは我々が進めていくところですが、そこでも十分使えるのではないかと思いますので、そこら辺のところを次のプロジェクトで明確にしていきたいと思います。他方、このプロジェクトの意義のところでは、寿命延長というのがございましたが、それよりも増して負荷変動をしていくというのは、石炭火力の普通の変動といえますか、運用とは違います。リスクが高まっているということから言えば、リスクを減らすといったところのほうが意義は大きいのではないかと思いますので、その辺のところも言葉として入れていくとさらにプロジェクトの重みが増すのではないのでしょうか。以上です。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、澤田委員よろしく申し上げます。

【澤田委員】 物質・材料研究機構の澤田です。私は今回の事後評価というところで、初めてこちら事業内容を知ることになりましたが、基本的に実用化というのを非常に明確に念頭に置いたテーマであり、材料から始まりまして、ボイラ、タービンなどコンポーネントを含めた負荷変動対応技術の開発というところでのいろいろな成果をご説明いただいたと理解しております。特に、私の専門である材料についても新しい知見が得られていて、それに基づく寿命評価技術といった提案もありました。今後は、この実用化に向けての取組は、むしろ今まで以上に重要になってきて大変になっていくのではないかと感じるのですが、そこは期待いたします。また、その新しい知見については、可能な限りいろいろ

な形で公表をしていただければと思います。それから、今回この事業で4つのテーマがあったわけですが、今後の活動の中でこの4つのテーマの相互連携といいますか、せっかく一つの事業で4つの実施者の方が集まっているわけですから、この機会に、この事業が終わった後も何かうまく連携をされて、この研究成果がさらに発展していったほしいと感じた次第です。以上になります。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、井原会長代理よろしくお願いします。

【井原分科会長代理】 長岡技術科学大学の井原です。大体皆様のご指摘のとおりですが、まず各プロジェクトにおいて、従来技術のボトルネック課題といいますか、そういうものに果敢に挑戦され、課題克服のために新たな取組を実践されていました。その結果として、一定の成果を挙げられているという点は私は高く評価したいと思います。また、今後としては、これも皆様からのご指摘のとおりで、やはり実機適用ということで、ここで得られた成果の社会実装を目指して取り組んでいただければと思います。そしてもう一つは、先ほど澤田委員もご指摘されていましたが、4つのプロジェクトはそれぞれすばらしい成果を残されていますから、できればそれぞれのプロジェクト間の相互連携、これを密にしていいただき、願わくはデータ共有ということも含めて、各プロジェクトの事業者が連携することによるシナジー効果を創出していただければと思いますので、よろしくお願いいたします。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、立命館大学の伊藤よりコメントいたします。大体もう皆様のほうからお話が出尽くしたように思いますが、いずれにしても今回ご発表いただいたプロジェクトは高い成果が得られていると判断いたします。この技術を、やはりこれからの実機適用において、かつエネルギー基本計画も定期的にベクトルが変わるといったところからも、いろいろな応用であるとか技術転換というのにも必要になってくると考える次第です。そういった意味では、技術を事業者間、今回のプロジェクトのメンバーの中で共有していただくとともに、うまく学協会を利用して、幅広く応用ができるような環境をつくっていただければと強く思います。やはり国の技術は数名のプロジェクトではできませんので、活用できる所は大いに、そういうデータ共有であるとか、可能な範囲で技術公開をしていただきまして、うまく周りを巻き込みながら発展させていただければということで期待いたしますので、よろしくお願いいたします。

【森泉専門調査員】 どうもありがとうございました。それでは、今の講評に対し、環境部の福永部長から一言お願いいたします。

【福永部長】 NEDO 環境部の福永です。本日は、長時間にわたりまして、例えば事業間の連携であるとか、先ほど分科会長からもございましたように、データ共有などマネジメントに関するご意見、そして非公開セッションでの技術詳細に関するご指摘など様々賜りましたこと誠にありがとうございました。多くご指摘のあった石炭に対する様々なご意見、視線が厳しくなっている一方で、やはり系統の安定化のためには火力発電の調整力の一層の確保と信頼性や運用性の向上というのが求められていると考えます。本事業により、これらの課題解決、さらにはプラントの高寿命化や安全性の向上に貢献をし、早期に事業化できるよう、本日いただいたご意見も踏まえ、しっかりと NEDO としても取組を進めてまいる所存です。改めまして、本日はどうもありがとうございました。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。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 における技術評価について
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
番号なし	質問票（公開）

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／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」(終了時評価) 分科会

ご質問への回答 (公開分)

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5、 P.9、P.21 資料 7、P.2-2	「第 6 次エネルギー基本計画」から石炭火力の位置づけが変わったことにより、経済的効果の項目内容の変更や変化、および当初各項目で予測されていた経済効果の見込金額等の変化はどの程度でしょうか。	伊藤 分科会長	石炭火力に対する系統安定化の役割は増大すると考えます。 厳しい負荷変動運転が予想されるため、1 基あたりの経済効果は増大すると思われませんが、全体的に石炭火力の基数は減少すると予想されます。 なお、資料 5 の P21「国内高効率石炭火力のメンテナンス費削減効果」の算出については石炭火力のフェードアウトを考慮済みです。
資料 5、P.11 資料 7、P.2-3	本プロジェクトでの成果は、脱炭素型の火力発電にも適応するにあたり、どの程度技術の転用が可能なのか、ご説明可能であれば、具体的にお示ください。また、適用するにあたり、課題についてもご説明ください。	伊藤 分科会長	以下に一例を示します。 ＜事業①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発＞高解像度フェーズドアレイシステムは内部に発生・密集するクリープボイド検出技術です。そのため、汽力発電設備の大径管であれば、燃料種に拘らず適用可能で、脱炭素火力電源に起因する技術的課題は有りません。 ＜事業②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発＞脱炭素型の火力発電への技術転用については別途詳細検討が必要ですが、本事業で得られた成果は積極的に活用していきます。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5・P.15	A-USC 材に対しても高解像度フェーズドアレイシステムは適用可能でしょうか？また、A-USC 材に適用する場合、どのような課題があるのでしょうか？	井原 分科会長 代理	USC の場合、高 Cr 鋼であり、A-USC は、Ni 合金がベースであるため、破壊モード、損傷箇所に違いがあると推定されます。本プロジェクトでは、適用課題抽出を目的としており、主な課題は高 Cr 鋼より Ni 基合金の減衰が大きいため、計測に用いる超音波を低周波数化することによる損傷の検出性です。 ※詳細は、非公開セッションで説明いたします。
資料 5・P.16	故障予知・余寿命診断要素技術の 2023 年度中の開発完了の見込みは？また、何を以って開発完了と言えるのか？そのような予知・診断の要素技術は実験室レベルでは数多く研究されているものの、社会実装へのハードルは非常に高いのが実状であると理解している。負荷変動対応能力の向上に照らして、当該開発技術はどのような形で貢献できるのか？また、その実用化・事業化の見通しはいかほどか？	井原 分科会長 代理	資料 5 の P43 以降にて、各事業における”目標”、”成果（実績）”、および”達成度（見込み）”を記載しておりますので、詳細はこちらをご確認ください。また、非公開セッションでは、より詳細な内容を事業者から説明致します。 なお、総じて、内容によって、実験室レベルの事業もある一方で、実機適用可能な事業もあります。ただし、どの程度の経済効果があるかは精査をしていく必要があると考えます。
資料 5・P.21	経済効果 288 億円以上とあるが、その見積もりがやや恣意的と思われる。その試算の妥当性の根拠を示していただきたい。①と④を導入することで従来よりも余寿命が短く推定される可能性も否定できないと思われる。これを踏まえると、大径官取替回数が 2 回から 1 回に減るという想定はやや大胆過ぎないか？余寿命診断技術の導入は、経済	井原 分科会長 代理	信頼性向上は、重要な成果であり、事故予測、余寿命診断の目的でもあります。 そのことを経済効果に換算するためには、一定の想定を用いて試算する必要があります。定期点検回数、点検箇所の精査等は、どの程度、コスト削減に寄与できるか見積もりが困難であるため、代表的な事例として試算しているものです。 また、記載頂いたとおり、寿命診断技術の導入により、適切に設備寿命を評価できることから、予期せぬ設備損傷を減らす事

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
	効果よりもむしろ信頼性向上(安全の確保)という点で社会的インパクトがあるように思えるが、いかがか？		が可能であり、信頼性向上（安全の確保）という点でも社会的インパクトは大きいものと考えます。
資料 5・P.24	高い負荷変化率と最低負荷引き下げを実現する運用性向上技術とは、具体的にどのような技術か？2023 年度中の開発完了の見込みは？	井原 分科会長 代理	本プロジェクトは先進的な故障予知・余寿命診断要素技術が主となりますが、事業 ②では、高い負荷変化率と最低負荷引き下げを実現する運用性向上技術にも取り組んでいます。事業②における取り組みとしては、負荷変化応答改善時の構造的弱点部位の同定技術（ボイラ CFD によるメタル温度推定技術）および水蓄熱システムの開発です。水蓄熱システムは発電量引き下げにより生じるボイラの余剰熱を高温水として蓄え後刻脱気器給水としてランキンサイクルへ戻すもので、本事業を通して開発を完了しています。
資料 5・P.26	溶接部損傷メカニズムを解明したとのことだが、損傷メカニズムとして当該プロジェクトで得られた新しい知見は何か？溶接部損傷については従来研究において数多くの成果が得られているが、それらと比較して当該プロジェクトで得られた知見はどこに一線を画しているのか？	井原 分科会長 代理	大径管においてはねじり応力による損傷が表面化しており、ねじりモーメントが実機大径管において寿命評価上無視できません。今回のプロジェクトでは曲げとねじりとがかかったクリープ状況下における高精度な余寿命評価法を開発することとしており、今回、ねじりモーメントによる剪断応力の重畳がクリープ疲労寿命に影響することが確認できたことなどが、従来研究と一線を画していると考えています。
資料 5・ P.43-68	事業①と④については、一定の研究成果はえられているものの、まだ基礎検討の段階にあるように見受けられる。継続研究を実施する場合、バックキャスト的観点から、克服すべきボトルネ	井原 分科会長 代理	本プロジェクトである「研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発／石炭火力の負荷変動対応技術開発」は、本年度で終了するが、「研究開発項目⑬負荷変動対応技術開発・実証」を本年度から立ち上げ、これは実ボイラでの実証を目指すものです。事業①、④は、実機を改造するものではなく、評価方法なので、検査に適用することは可能です。ただし、その検査を標準

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
	ックは何か？社会実装への可能性は何パーセントくらいか？		とするためには、規格化するための準備が今後必要となると考えております。 NEDO としては、電力事業者への普及を目的として、電気事業連合会の協力を得て、電力会社の火力部、保守部に成果を報告し、さらに、個別説明を実施しています。本年度は、火力・原子力発電技術協会にも協力を要請したいと計画しています。
資料 5・ P.43-68	事業②と③については一定の成果が挙げられており継続研究の成果が期待される。継続研究を実施する場合、バックキャスト的観点から、当面の課題は何か？また、社会実装への可能性は何パーセントくらいか？	井原 分科会長 代理	事業②、③の多くの研究開発項目については、実機での試験を実施済みであり、それらはモニタリング方法、および、その評価方法の改善であるため、遠隔監視の一環として、提案することは可能です。 ただし、事業②の蓄熱システムについては、実機での実証試験が未了であることから、継続研究は必要です。また、運用性の向上により、どの程度の経済性効果が得られるかは継続して評価することが必要となります。その結果により、ユーザーが制度設計を踏まえ事業として経済合理性があると判断すれば社会実装が進むと考えられます。
資料 5・P.16、 資料 7・P.21	アウトカム達成までの道筋として、「余寿命評価手法の系統的な確立、国内・国際標準化を目指すための取り組み」とあるが、それぞれ具体的に説明してください。	井原 分科会長 代理	余寿命評価手法の系統的な確立については、本事業における音響計測結果から、① 定量的にクリープボイド密集度が評価できることの検証、②さらにクリープボイド個数を介してクリープ損傷度が定量的に評価できるかについて、損傷度を変えた複数の試験体で系統的に音響計測実験を行い、学術的にも寿命評価法として認められるための基礎実験を行うことと考えております。次に、国内・国際標準化を目指すための取り組みとしては、各電力会社の定期検査で本事業にて提案した計測法を採用して頂き、使用時間に伴うクリープ損傷の進行をモニターできることを確認しつつ、多くの高温クリープ試験片の計測データ

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
			を用いて、9%Cr鋼のクリープ損傷の超音波評価法としてJIS化を目指すことが想定されます。現状、他国では本プロジェクトの計測手法のクリープ損傷応用の試みは無いので、JIS化が実現すれば我が国発の技術として国際標準として提案することも考えられます。
資料 5、 2P、12P	本事業は再エネ電源導入に対応した火力の負荷変動に対する技術開発ですが、火力の負荷変動について、開発からこれまでに具体的にはどのような負荷変動の変化がありましたか。また今後の見通しはいかがですか。	藤原 委員	負荷変動運転は、各電力会社が保有する発電プラントについて、一律で行うものではなく、効率の高い新鋭火力は極力定格を維持し、効率が相対的に低く減価償却が進んでいる既存火力を大きく変化させる運用をしているものと理解しています。今後、再エネ電源導入拡大に対し、要求される負荷変化率・変化幅が増加する見込みであることから、効率の高い新鋭火力についても、負荷変動運転が必要となり、運転条件がより厳しくなる火力では、本プロジェクトの成果である負荷変動対応技術の必要性が増すと考えます。
資料 5、4P	本技術の波及効果として、脱炭素型の火力発電でも成果が適用できるとありますが、燃料が異なる火力では今回の開発分野に対して、求められる技術が異なると思われますが、如何でしょうか。	藤原 委員	以下に一例を示します。 ＜事業①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発＞高解像度フェーズドアレイシステムは内部に発生・密集するクリープボイド検出技術です。そのため、汽力発電設備の大径管であれば、燃料種に拘らず適用可能で、脱炭素火力電源に起因する技術的課題は有りません。 ＜事業②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発＞脱炭素型の火力発電への技術転用については別途詳細検討が必要ですが、本事業で得られた成果は積極的に活用していきます。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5、10P	国内外の動向にもありますが、今後、石炭火力は減少していくことが予想されます。本技術は石炭火力が減少した場合、どのような役割をもつでしょうか。	藤原 委員	再エネ電源導入に対し、新鋭火力についても、負荷変動運転が必要となり、運転条件がより厳しくなる火力が増えるため、本プロジェクトの成果である負荷変動対応技術の必要性が増すと考えます。
資料 5、26P	蓄熱システムのコスト試算が完了とありますが、結果は社会実装できそうなレベルでしたでしょうか。	藤原 委員	水蓄熱システムにつきましては社会実装可能なレベルと判断しています。
資料 7 頁 1-1	見出しを除いた本文上から 5 行目に「他国性」とあるが「他国製」か。	増川 委員	誤記のため、修正致します。
資料 7 頁 2-1 他複数所	2.2.2 費用対効果の記述で、従来の予防保全を盲目的と情緒的な表現を使っているが、TBM (Time Based Maintenance) のことを指しているのか、配管減肉（肉厚測定）管理をした状態を従来としているのか、どこからの比較を指しているのか。 従来の方法だと、ボイラ寿命（50年）で 2 回/基取り換え工事を実施（あるいは TBM で計画）していたのか。（金額が大きいの確認したい）	増川 委員	配管減肉ではなく、高温クリープ損傷を想定した記載となりますので、ここではTBMなどを指します。盲目的という表現は修正します。 大径管の取り替え工事頻度については、発電事業者の考え方によって異なると考えますが、2 回/基と仮定し費用対効果を試算しています。
資料 7 頁 2-2/頁 4-9	事業②の経済効果が、「ベースロードを外れ負荷調整運用となる日数が年間で 5 か月に達するとして試算」とあるが、その確からしさの根拠は何か。実績か。	増川 委員	軽負荷期で太陽光発電の出力制御が実施される期間を実績データから概ね算定しました。3 月～5 月、9 月中旬～11 月中旬に太陽光発電の出力抑制が行われており、この間は石炭火力がベースロードを外れ負荷調整運用になると設定しました。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 7 頁 2-2/頁 4-9	事業②の経済効果は、焚き減らし効果を積分したとすると、焚き減らす対象電源は何か。	増川 委員	本研究では蓄熱設備の導入により石炭火力の最低負荷を引き下げる技術開発を行っておりますので、ここで評価した焚き減らす対象電源は、700MW 級の USC 石炭火力発電設備として算出しました。
資料 6-2 頁 3 と頁 17	従来の負荷変化速度は、本事業で一貫して平仄（ひょうそく）は合っているか。	増川 委員	立地制約、使用石炭、発電機出力等々の違いから、全く同じ運用をされるプラントというのはほぼ無いものの、本事業で前提としている従来の負荷変化速度は社会通念上相当と考えます。
資料 7 頁 4-24	減肉量が管理値を上回るのを 80%の確率で検出とあるが、ここでいう確率とは何か。（管理値逸脱が 10 箇所あったら 8 箇所発見できるということか。また、判定精度と用語の使い分けは出来ているか。）	増川 委員	羽根の減肉量が著しく進むと羽根の飛散事故を引き起こすリスクがあるため、タービンメーカは減肉量の保守管理値（mm）を設けています。開発した手法で計算した減肉量の予測値と実機の減肉量の計測値を比較した結果、減肉量の予測値が管理値を上回る件数すなわち逸脱する件数が 10 件のうち 8 件以上検出できれば、80%の確率を達成したことを意味します。（80%以上の判定精度を有する式を開発する（した）という主旨で記載しております。）なお、これによりメンテナンスの実施タイミングについて、より適切に検討する事が可能となります。
資料 7 頁 4-26	レアショート検出率の定義を示さないのか。	増川 委員	レアショート検出率は、正常時の界磁抵抗に対する、レアショート発生時に検知できる界磁抵抗減少分の比率です。 具体的には、界磁抵抗を界磁電流の二次関数で表した場合の定数項について、正常時の分布幅となります（この分布幅が、1%を超えないことで確認した）。
資料 7 頁 4-27	劣化検出レベルの定義は何か。劣化レベルを自ら定義したとすると 50%の値が持つ意味は、維持・運用においてどういう状態を指すのか（要清掃とか）。	増川 委員	クーラ汚れ度を下記で定義しています。 $\zeta = P_{cool} / P_{Loss}$ ζ : クーラ汚れ度 P_{cool} : ガスクーラ熱交換量 (W) P_{Loss} : ガスクーラ入熱量 (W)

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
			クーラが清浄であるときには、 $\zeta=1$ となり、クーラの清掃の目安は、 $\zeta=2$ である。この ζ の変化率 $1 \rightarrow 2$ を 100%とした場合、50%の精度でクーラ汚れ度を検出できれば、クーラ汚れ度により冷却性能劣化を監視でき、そのトレンドより清掃時期を予測できるものとして、劣化検出レベル 50%の目標を設定しています。
資料 7 頁 4-27	火花検出率の定義は何か。	増川 委員	火花検出率の定義は検出日/発電機稼働日とした。これは計画段階において、火花は 1 日の内ごく限られた時間のみ発生するということを想定していた為です。火花監視装置を設置した後、微小な火花は常に検出されており、また、火力発電の界磁電流と相関があるという知見が得られました。界磁電流のトレンドから 12/26、12/27、1/9 も火花が発生していると想定されますが、未検出ないしはレベル低であったため、火花検出率 91%（検出 31 日/稼働 34 日）となっています。
資料 7 頁 2-5 他	フェーズドアレイシステムを実機適用する場合、定検工程に与えるインパクトは如何ほどか（何時間の作業工程か）。現状が TBM とすると、設備診断のため、クリティカル工程を伸ばす可能性はないか。	増川 委員	フェーズドアレイシステムの実機適用における作業時間は、約半日/1 リング程度を想定しております。検査対象箇所数は電力事業者が指定するものと考えているため、クリティカル工程に対する影響は、プラントごとに異なると想定しております。
資料 7 頁 2-5 他	フェーズドアレイシステムを実機適用する場合、代表箇所ですりぬけるのか。	増川 委員	ボイラの起動停止や負荷変化による熱応力などから、損傷が特に進んでいると予想される代表箇所を計測する事になります。一般的には大径管の溶接箇所となることが多いと考えます。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 7 頁 4-16	Dry-Wet 切り替えにおいて、Dry 運転での最低負荷を設計限界まで引き下げた場合、運用上想定されるリスクは何か。(石炭の炭種切り替えによる灰分変化やボイラの汚れで警報が出たり、需給貢献上、リミッタ運転になるとか。)	増川 委員	運用上想定されるリスクとしては、火炉のメタル温度への影響、制御ロジックへの影響等があります。
資料 6-1、 P12,P14	調査対象サンプルの損傷付与時の試験条件を教えてください。 また、設定した試験条件の妥当性について教えてください。	澤田 委員	クリープ試験の専門家の知見や同試験の既存研究および経済産業省の高クロム鋼に対する寿命評価式を基に破断時間が 5000 時間となる条件で設定しました。設定時間程度で試験体は破断し、試験後、一部試験体を観察し、密集度は損傷差異に応じた差異が確認でき、試験条件は妥当であると考えております。
資料 6-1、P23	図の縦軸の値を算出した際の対象面積の定義について教えてください。	澤田 委員	複数の既存研究、調査等からクリープボイドが最も発生するエリアは溶接開先形状から判明しているとの報告があります。そのエリアを約 3×3mm 程度観察し、最大となる密集度を算出しております。
資料 6-1、P25	A-USC 材の材料名を教えてください。	澤田 委員	A-USC 材料名は、HR6W です。
資料 6-2、P10	比較に用いている金属組織によるメタル温度の推定精度はどの程度でしょうか？	澤田 委員	メタル温度の推定精度は-10℃~10℃であり、今回の 0℃~20℃と誤差幅のオーダーが同じになります。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 6-3、P17	寿命評価計算モデルの基本的な考え方はどのようなものでしょうか？	澤田 委員	以下のとおりとなります。 ①発電所の運転データからタービン内部の蒸気条件を推定する。②評価対象部品の温度分布と熱応力を算出する。③算出した高温部品の温度履歴に基づき、材料の脆化量を推定する。④脆化量推定値および材料データを基に材質劣化を定量化し、クリープき裂進展速度および疲労き裂進展速度を修正する。⑤前の計算プロセスで求めた②と④から、き裂進展量を計算する。⑥き裂進展量の積算値とき裂の管理値を比較して余寿命を評価する。
資料 6-4、P15	実施した高温曲げねじりクリープ疲労試験の条件の妥当性について教えてください。また、高温曲げねじりクリープ疲労試験での損傷形態の特徴を教えてください。	澤田 委員	実機では、ねじり／曲げのモーメント比率は 0.1～0.6 程度と想定されますが、今回は 1.0～1.3 程度と 2 倍程度であり、試験装置開発と破壊メカニズムの解明の目的としては妥当と考えます。試験結果の実機への適用については今後の検討課題と考えております。 損傷形態は HAZ 部の厚肉内部となります。ねじりモーメントによるせん断応力が周方向に作用することおよび曲げ応力との複合化により、収縮とボイド連結により破断するようになります。この破損形態は実機においては憂慮すべきと考えております。
資料 6-4、 P18-19	HTS-SQUID は対象材の表面の影響はどの程度あるのでしょうか？(実機への適用を想定して)	澤田 委員	火 SUS304J1HTB 伝熱管表面に生成する酸化被膜は非金属であり、渦電流が流れないことから HTS-SQUID の測定結果に影響ありません。一方、同伝熱管の表面に付着する石炭灰は ECT コイル（プローブ）走査時に邪魔にならない程度取り除けば、酸化被膜同様、測定結果に影響はありません。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 6-4、P20	マスターカーブ用の内圧クリープ試験条件の妥当性について教えてください。	澤田 委員	火 SUS304J1HTB 伝熱管の内圧クリープ試験条件（700℃、110MPa）のうち、700℃の温度設定は Cu 析出強化機構が喪失しない範囲の最大値、110MPa の応力設定は当社の事前予備試験（700℃）において、実機でクリープ破断した同伝熱管と同様の破壊機構となる条件としています。
資料 5、 22 ページ	アウトカム目標達成見込みにおいて、想定している情勢変化と、それにもな って生じるハードルは何かあるか？ ある場合は、その対応は検討されているか？	山崎 委員	石炭火力に対する系統安定化の役割は増大すると考えます。新鋭火力についても、負荷変動運転が必要となり、運転条件の厳しい火力では、より信頼性向上が必要となる。NEDO による実証研究の公募等を通して、アウトカム目標の達成をサポートしていきます。
資料 5、 23 ページ	事業④の項目で、「オーステナイト鋼製伝熱管クリープ損傷開発」とは？誤字ではないか？	山崎 委員	誤記のため、修正致します。
資料 5、 26 ページ	事業②のアウトプット目標が「詳細設計完了」に対して、成果が「概念設計とコスト試算完了」で達成度が○は問題ないか？	山崎 委員	概念設計とコスト試算完了をもって、詳細設計完了と考えております。なお、実施計画の通りに成果を挙げており、こちらも問題ありません。
資料 5、 65 ページ	開発項目 1.および 3.で達成の根拠がないが問題ないか？	山崎 委員	達成度○および◎であれば、“成果（実績）”から達成根拠が判断できるため、“根拠”の項目記載し無くても良いとしております。
資料 5、 63、65 ページ	開発項目 2. で「センサーの開発、実証試験」の目標に対して、成果として測定精度や安定性が示されていないことは問題ないか？	山崎 委員	今回開発を目指した薄膜静電容量型ひずみ計は、新たな測定原理として誘電体の膜厚と空孔率の変化からひずみを捉え、高温下で機能する誘電膜の開発に取り組んできました。本開発は非常に高難度の研究開発のため、当初から測定精度や安定性を目標に掲げておりません。

参考資料 2 評価の実施方法

NEDO における技術評価について

1. NEDO における技術評価の位置付けについて

NEDO の研究開発の評価は、事業の実施時期毎に事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価が行われ、研究開発のマネジメントにおける PDCA サイクル（図 1）の一角と位置づけられています。さらに情勢変化の激しい今日においては、OODA ループを構築し、評価結果を計画や資源配分へ適時反映させることが必要です。

評価結果は、被評価事業等の資源配分、事業計画等に適切に反映させることにより、事業の加速化、縮小、中止、見直し等を的確に実施し、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていきます。

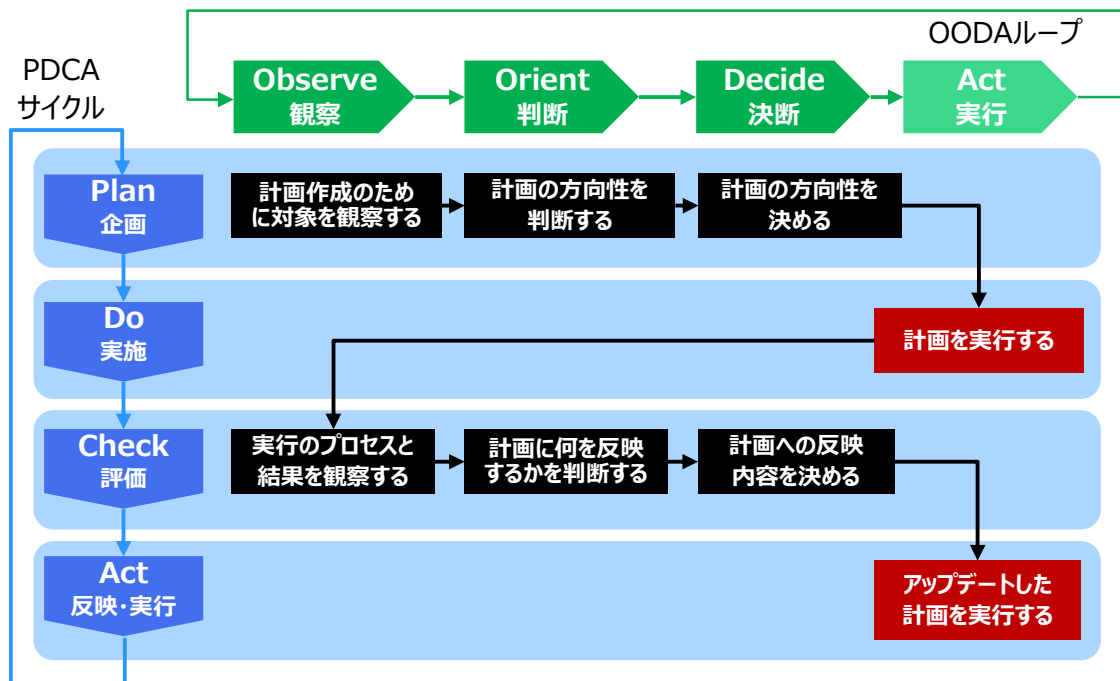


図 1 研究開発マネジメント PDCA サイクルと OODA ループ組み合わせ例

2. 技術評価の目的

NEDO では、次の 3 つの目的のために技術評価を実施しています。

- (1) 業務の高度化等の自己改革を促進する。
- (2) 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。
- (3) 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。

3. 技術評価の共通原則

技術評価の実施に当たっては、次の 5 つの共通原則に従って行います。

- (1) 評価の透明性を確保するため、評価結果のみならず評価方法及び評価結果の反映状況を可能な限り被評価者及び社会に公表する。なお、評価結果については可能な限り計量的な指標で示すものとする。
- (2) 評価の明示性を確保するため、可能な限り被評価者と評価者の討議を奨励する。
- (3) 評価の実効性を確保するため、資源配分及び自己改革に反映しやすい評価方法を採用する。
- (4) 評価の中立性を確保するため、可能な限り外部評価又は第三者評価のいずれかによって行う。
- (5) 評価の効率性を確保するため、研究開発等の必要な書類の整備及び不必要な評価作業の重複の排除等に務める。

4. プロジェクト評価の実施体制

プロジェクト評価については、図 2 に示す実施体制で評価を実施しています。

- (1) 研究開発プロジェクトの技術評価を統括する研究評価委員会を NEDO 内に設置。
- (2) 評価対象プロジェクト毎に当該技術の外部の専門家、有識者等を委員とした分科会を研究評価委員会の下に設置。
- (3) 同分科会にて評価対象プロジェクトの技術評価を行い、評価報告書（案）を取りまとめた上、研究評価委員会に諮る。
- (4) 研究評価委員会の審議を経て評価報告書が確定され、理事長に報告。

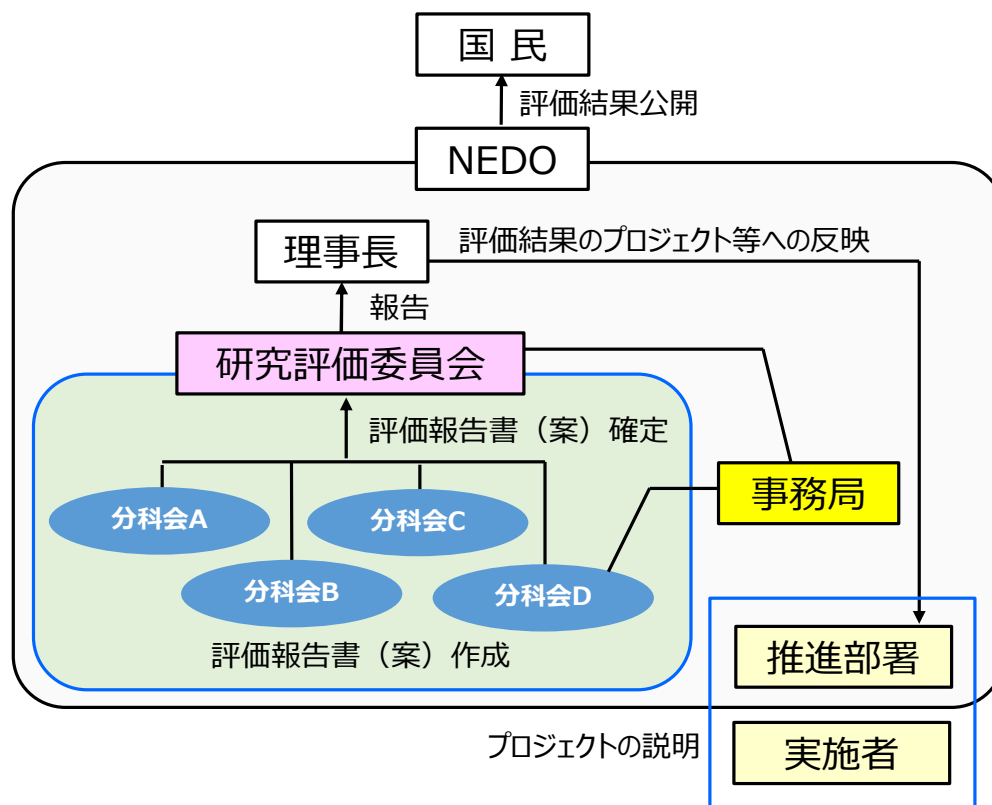


図 2 評価の実施体制

5. 分科会委員

分科会は、研究開発成果の技術的、経済的、社会的意義について評価できる NEDO 外部の専門家、有識者で構成する。

6. 評価手順

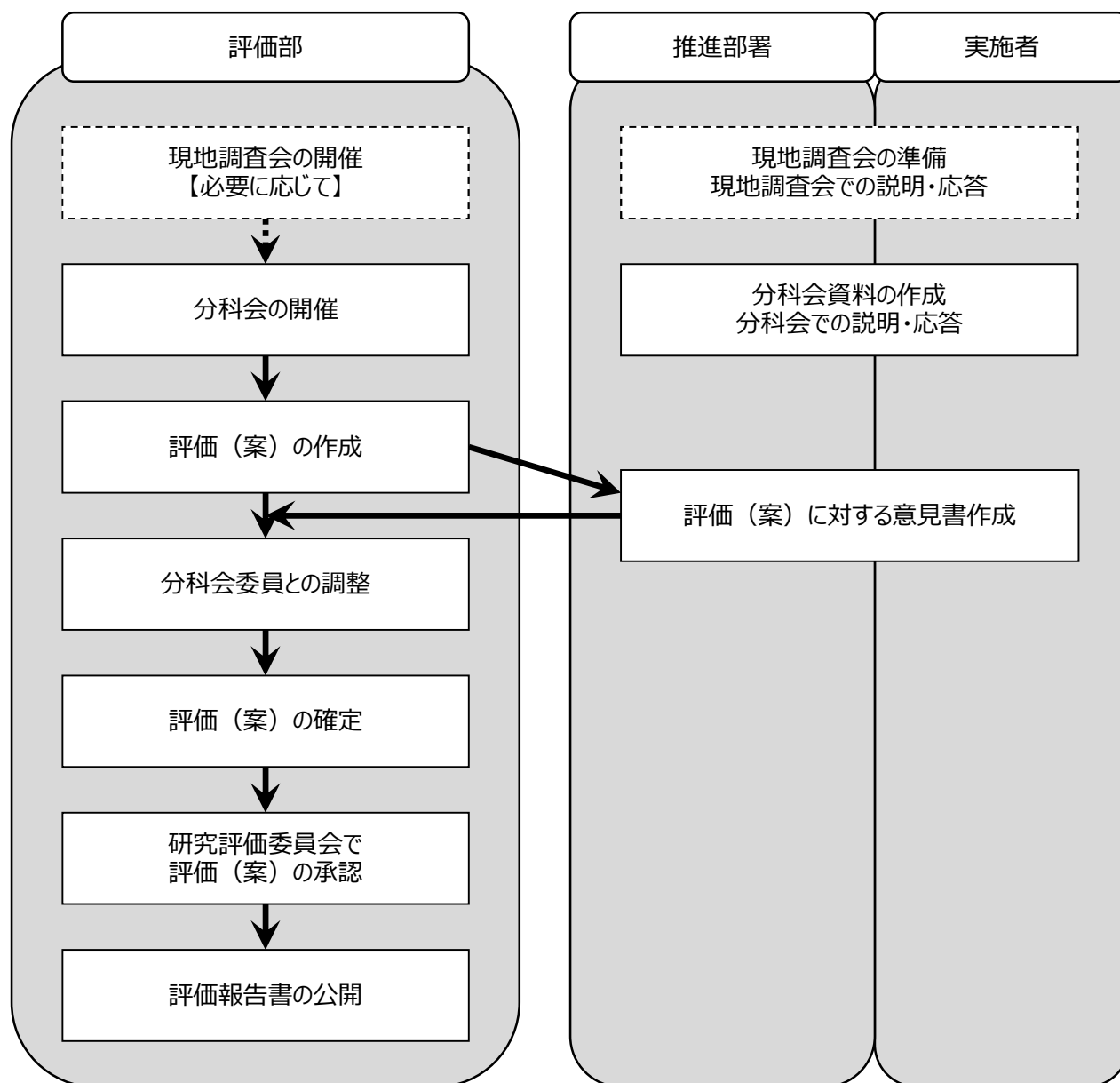


図3 評価作業フロー

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／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」（終了時評価）分科会に係る
評価項目・評価基準

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(1) アウトカム達成までの道筋

- ・「アウトカム達成までの道筋」※の見直しの工程において、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を考慮したか。

※ 「アウトカム達成までの道筋」を示す上で考慮すべき事項

- ・将来像（ビジョン・目標）の実現に向けて、安全性基準の作成、規制緩和、実証、標準化、規制の認証・承認、国際連携、広報など、必要な取組が網羅されていること。
- ・官民の役割分担を含め、誰が何をどのように実施するのか、時間軸も含めて明確であること。
- ・本事業終了後の自立化を見据えていること。
- ・幅広いステークホルダーに情報発信するための具体的な取組が行われていること。

(2) 知的財産・標準化戦略

- ・オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化を見据えた上で、研究データも含めた上で、クローズ領域とオープン領域が適切に設定されており、外部環境の変化等を踏まえてもなお、妥当であったか。
- ・本事業の参加者間での知的財産の取扱い（知的財産の帰属及び実施許諾、体制変更への対応、事業終了後の権利・義務等）や市場展開が見込まれる国での権利化の考え方は、オープン・クローズ戦略及び標準化戦略に整合し、研究開発成果の事業化に資する適切なものであったか。
- ・標準化戦略は、事業化段階や外部環境の変化に応じて、最適な手法・視点（デジュール、フォーラム、デファクト）で取り組んでいたか。

2. 目標及び達成状況

(1) アウトカム目標及び達成見込み

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトカム指標・目標値を適切に※見直していたか。
- ・アウトカム目標の達成の見込みはあったか（見込めない場合は原因と今後の見通しは妥当であったか）。

※ アウトカム目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）と関係のあるアウトカム指標・目標値（市場規模・シェア、エネルギー・CO₂削減量など）及びその達成時期が適切に設定されていること。
- ・アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
- ・アウトカム目標の設定根拠は明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標が設定されていること。

(2) アウトプット目標及び達成状況

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトプット指標・目標値を適切に*見直していたか。
- ・最終目標は達成しているか。未達成の場合の根本原因分析や今後の見通しの説明は適切だったか。
- ・副次的成果や波及効果等の成果で評価できるものがあつたか。
- ・オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表、特許出願等が行われていたか。

※ アウトプット目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・アウトカム達成のために必要なアウトプット指標・目標値及びその達成時期が設定されていること。
- ・技術的優位性、経済的優位性を確保できるアウトプット指標・目標値が設定されていること。
- ・アウトプット指標・目標値の設定根拠が明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標（技術スペックとTRL*の併用）により設定されていること。

※TRL：技術成熟度レベル（Technology Readiness Levels）の略。

3. マネジメント

(1) 実施体制

- ・実施者は技術力及び実用化・事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能していたか。
- ・実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、実用化・事業化を目指した体制となっていたか。
- ・個別事業の採択プロセス（公募の周知方法、交付条件・対象者、採択審査の体制等）は適切であったか。

- ・本事業として、研究開発データの利活用・提供方針等は、オープン・クローズ戦略等に沿った適切なものであったか。また、研究者による適切な情報開示やその所属機関における管理体制整備といった研究の健全性・公平性（研究インテグリティ）の確保に係る取組をしたか。

(2) 研究開発計画

- ・アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発は網羅され、要素技術間で連携が取れており、スケジュールは適切に計画されていたか。
- ・研究開発の進捗を管理する手法は適切であったか（WBS^{※1}等）。進捗状況を常に関係者が把握し、遅れが生じた場合、適切に対応していたか。

※1 WBS：作業分解構造(Work Breakdown Structure)の略。

参考資料 3 評価結果の反映について

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／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」(終了時評価) の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
【1】今後、実用化・事業化に向けた時間も限られていることから、本プロジェクト終了後の社会実装に向けたより具体的な方策を検討いただきたい。 【2】今後も積極的に NEDO が関与するとともに、ユーザーとなる民間企業も巻き込んだ体制づくり、関連学協会との連携、幅広いステークホルダーへの情報発信の取り組みなどの推進を期待する。 【3】論文発表や特許出願が特定の事業者集中しており、一部のテーマにおいて、知財の取扱いに関する認識が、実施者間で必ずしも統一・共有されていないように見受けられたため、今後に向けて調整して頂きたい。	【1】負荷変動対応技術の社会実装を加速化させるため、実用化研究プロジェクトを次期事業として実施する。 次期事業では、実証試験の実施を通じて、ユーザーとなる民間企業の参画を促す。また、関連する学協会・民間企業を対象とする成果報告会や各テーマ同士の情報交換会などの開催により、幅広いステークホルダーを巻き込んだ連携や情報発信を事業者へ促す。 研究開発の対象とする負荷変動対応技術が、発電所などで使用される機械・電気設備における信頼性・運用性の向上に資する様、次期事業のマネジメントを進め、得られた成果を広く発信する。 【2】【1】と同様に対応する。 【3】実施者（次期事業を含む）に対し、各々のオープン・クローズ戦略に基づき、論文発表や特許出願を適切に実施するように指導する。

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
【4】余寿命診断技術の導入は、経済効果よりも設備信頼性向上、安全の確保という点で大きな社会的メリットがあると考えられることから、発電所等、各種インフラや機械・設備の安全性・信頼性を格段に向上させるという観点の波及効果を明示することで、より成果の発信に繋げることを期待する。 【5】テーマ③の「タービン発電設備次世代保守技術開発」は、本プロジェクトで開発した具体的な技術や、技術レベルの状況について、既存技術との違いを明確にする必要があると考えられる。 【6】テーマ④の「ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発」においては、火力発電機器の運用変化によるダメージを予測できるものであるが、こうした成果を是非とも設計にフィードバックしていくことも望まれる。 【7】本技術が今後、各テーマ間での連携、さらに関連する学協会との積極的な連携も視野に入れて、実用化・事業化が加速されていくことを期待したい。	【4】【1】に記載のとおり、研究開発の対象とする負荷変動対応技術が、発電所などで使用される機械・電気設備における信頼性・運用性の向上に資する様、次期事業のマネジメントを進め、得られた成果を広く発信する。 【5】当該実施者に対し、研究開発技術と既存技術との差異を明確化して情報発信する様に指導する。 【6】【1】に記載のとおり、幅広いステークホルダーを巻き込んだ連携や情報発信を事業者へ促す。また、事業者に対して、得られた成果をクリープ疲労損傷評価手法として早期に確立し、広く一般に利用できる技術とする様、指導する。 【7】【1】と同様に対応する。

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 三代川 洋一郎

担当 森泉 清和

* 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

ミューザ川崎セントラルタワー20F

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