

「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

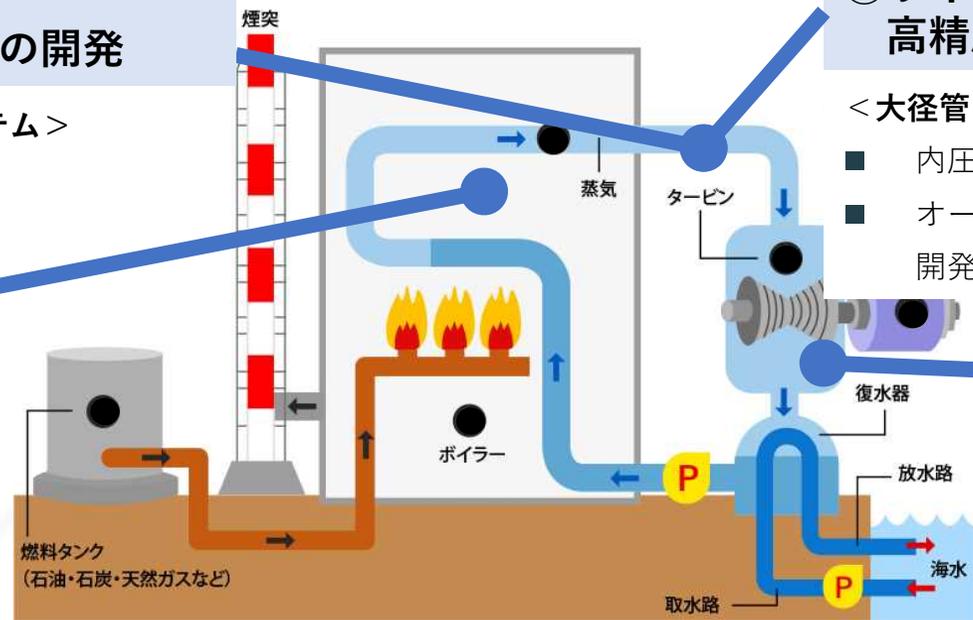
<高温高圧蒸気配管（大径管）の非破壊検査システム>

- 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	→			↓ 赤枠内が終了時評価の対象				—
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

- ・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

<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/

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

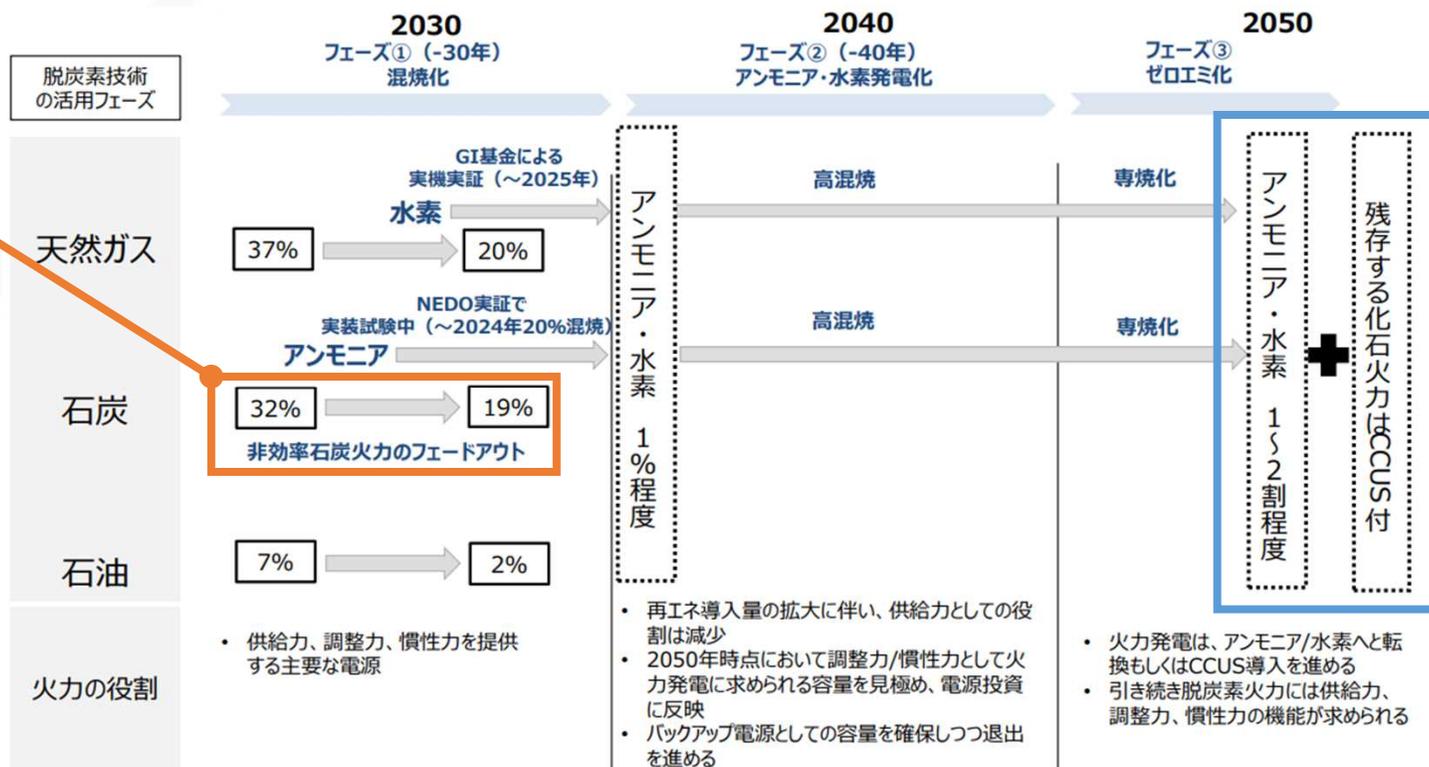
出典：経産省 第59回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 2023年3月1日資料を基にNEDO作成
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/059.html

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。



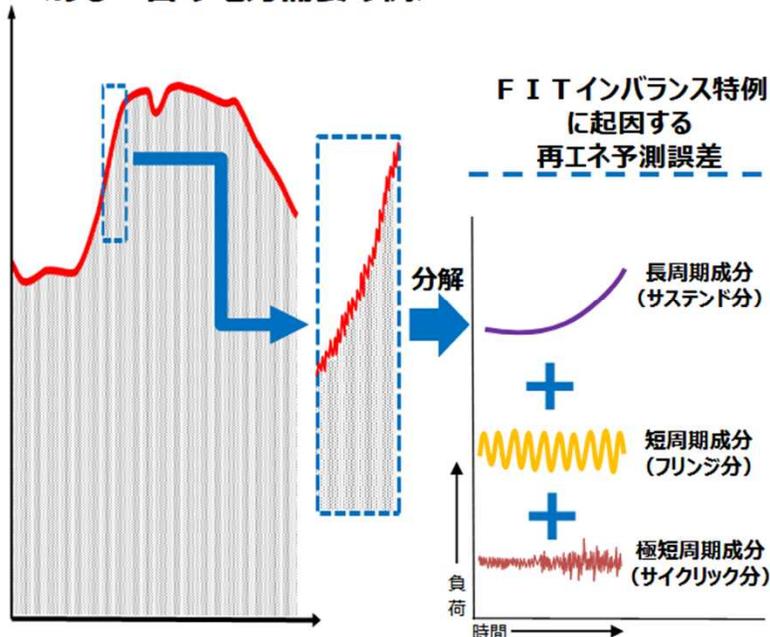
出典：経済産業省 第46回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 2022年3月25日資料を基にNEDO作成。なお、本ロードマップはイメージ案であり、委員会の今後の議論を踏まえ修正されていく見込み。 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/046.html

※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
三次② 応動時間45分以内 継続時間：3時間	▼調達開始				
	▼調達開始				
三次① 応動時間15分以内 継続時間：3時間	▼調達開始				
	▼調達開始				
二次調整力② 応動時間5分以内 継続時間：30分以上	▼調達開始				
	▼調達開始				
二次調整力① 応動時間5分以内 継続時間：30分以上	▼調達開始				
	▼調達開始				
一次調整力 応動時間10秒以内 継続時間：5分以上	▼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°C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°C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

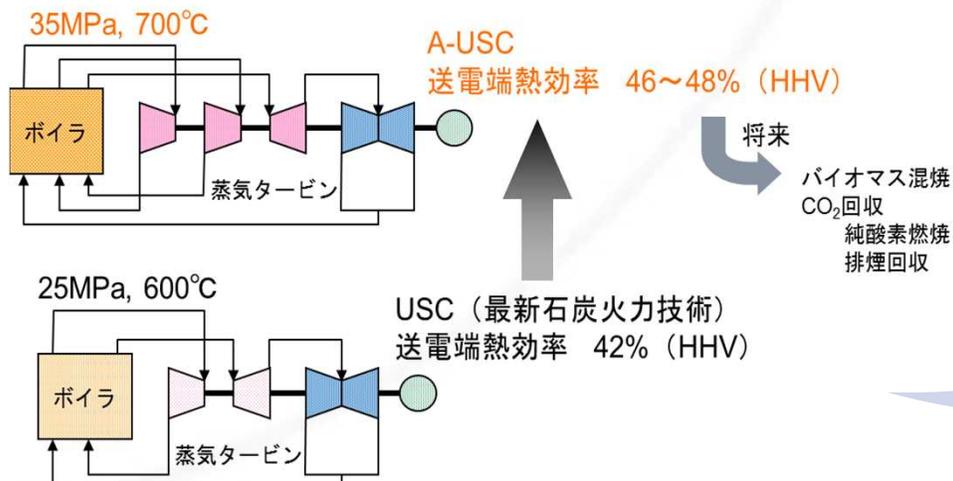
他事業との関係_A-USC材に対する高解像度PAの適用可能性検討

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°C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°C超級の次世代超々臨界圧プラント）の700°C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。

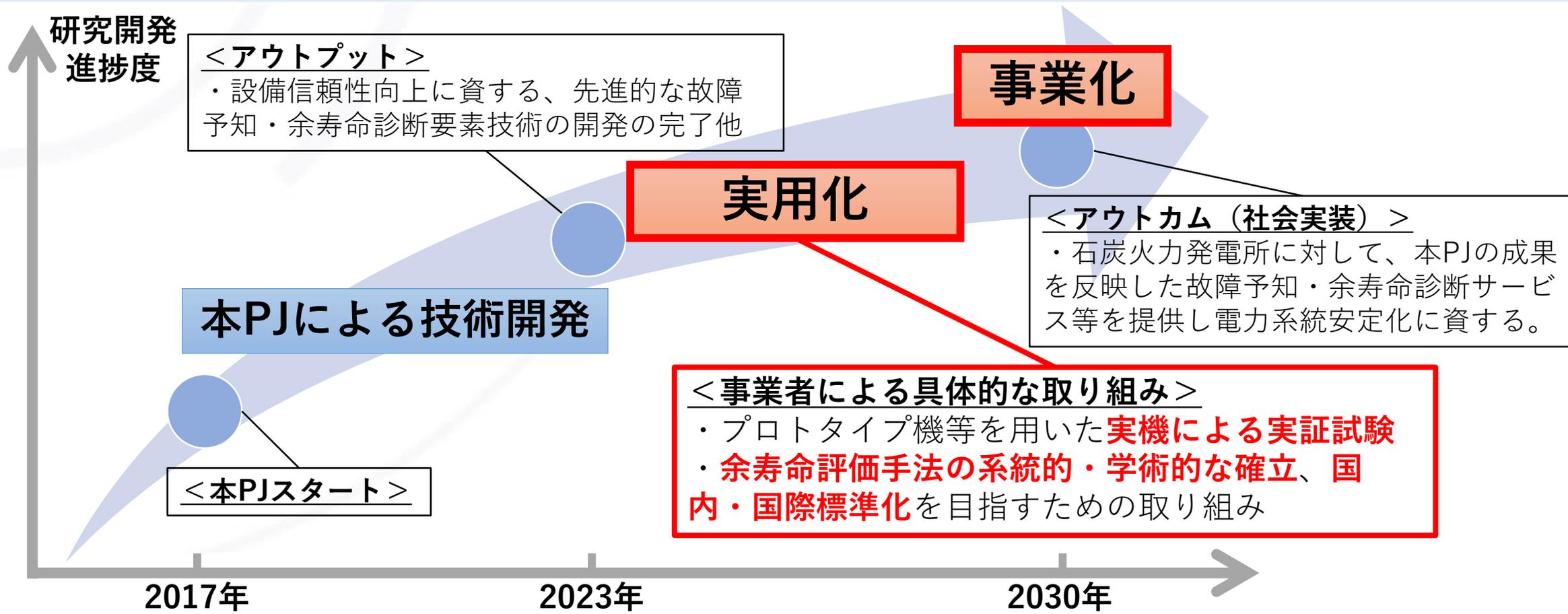


<NEDOのマネジメント>
A-USC材を貸出

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
<p>< PJ総額：21.0億円 ></p> <p>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</p>	<p>< 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</p> <p>< 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</p>	<p>< 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</p> <p>< 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</p> <p>< 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、余剰再生エネの約8%を有効に電力系統に取り込んだとして試算</p> <p>< 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</p>

※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

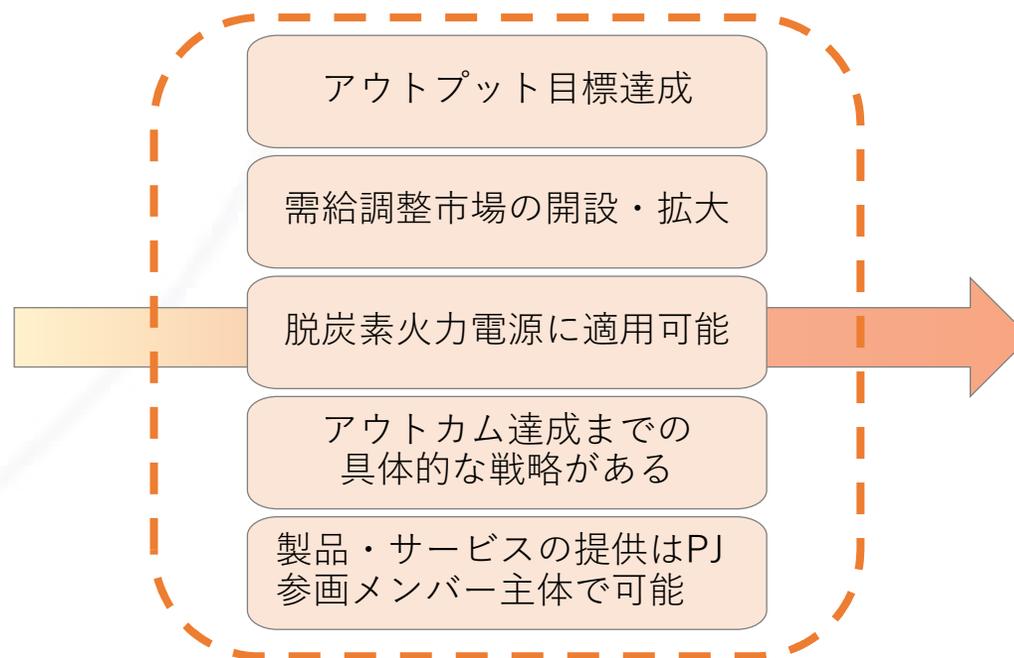
アウトカム目標の達成見込み

※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

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

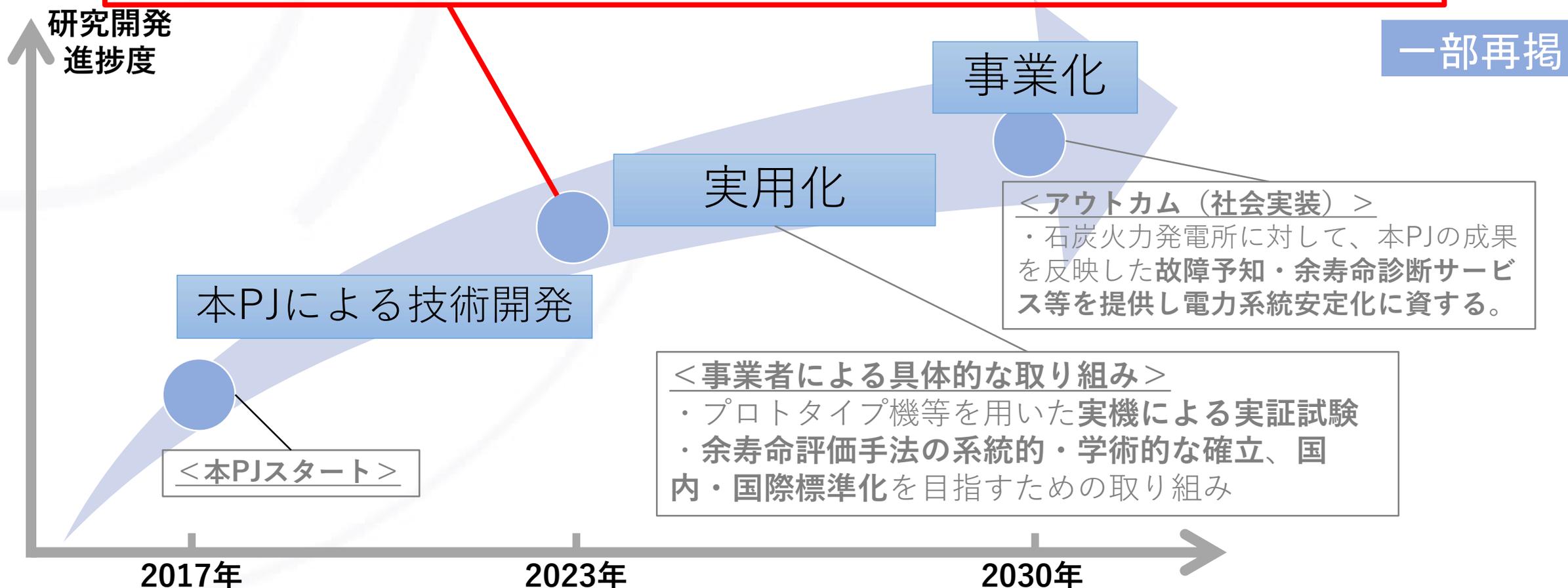
出展： <https://green-innovation.nedo.go.jp/project/development-co2-separation-recovery/>

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**



本PJによる技術開発

<本PJスタート>

実用化

事業化

一部再掲

<アウトカム (社会実装)>

・ 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電力系統安定化に資する。

<事業者による具体的な取り組み>

- ・ 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・学術的な確立**、国内・国際標準化を目指すための取り組み

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

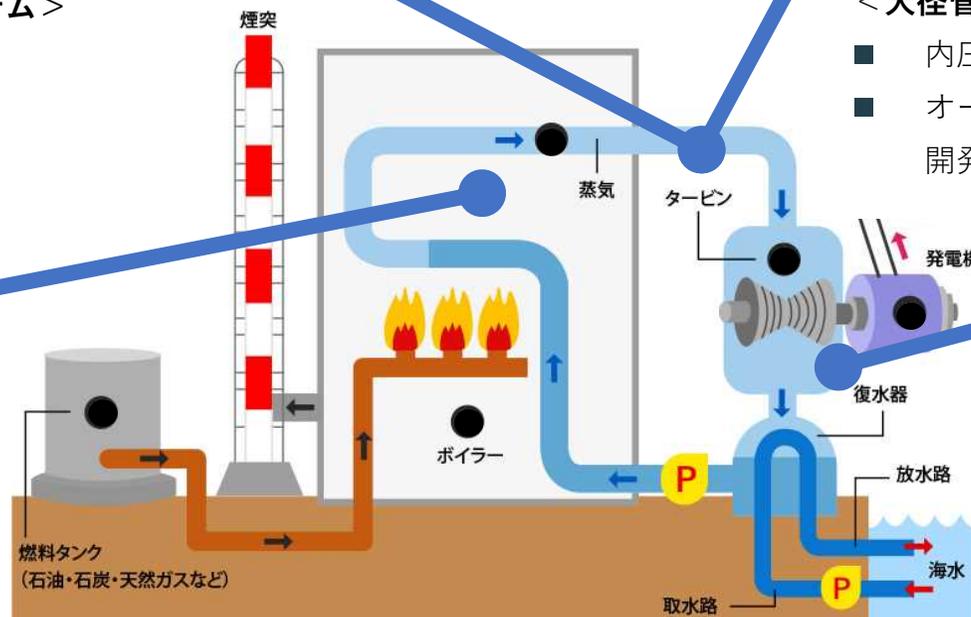
<大径管・伝熱管の余寿命診断>

- 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。	○	—

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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

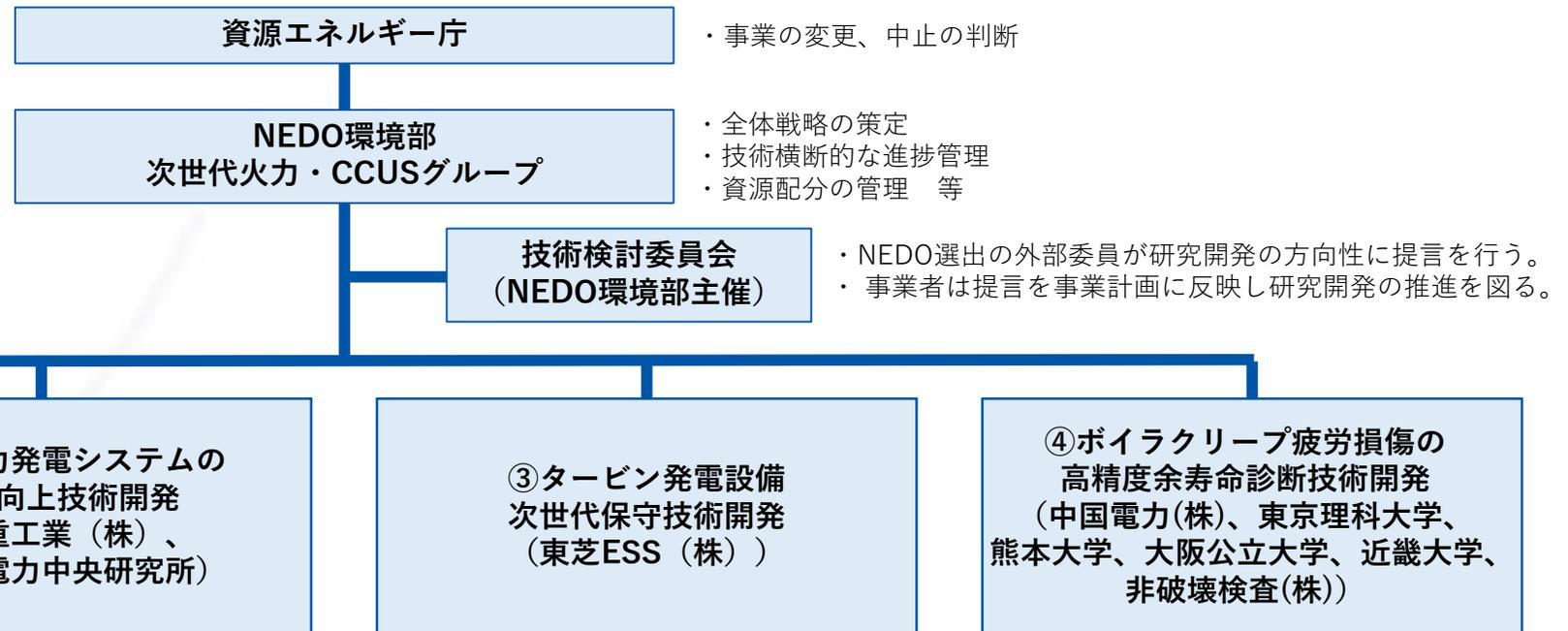
- ・ 本PJ成果が**需給バランスの維持・電力系統安定化**という社会的な利益に繋がる。
- ・ 研究開発の難易度が高く投資規模も大きいため、**民間企業だけではリスクが高い**。
- ・ NEDOがこれまでに培ってきた知見、成果、およびネットワークを活用し、中長期的な技術開発を行うことが可能である。



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)

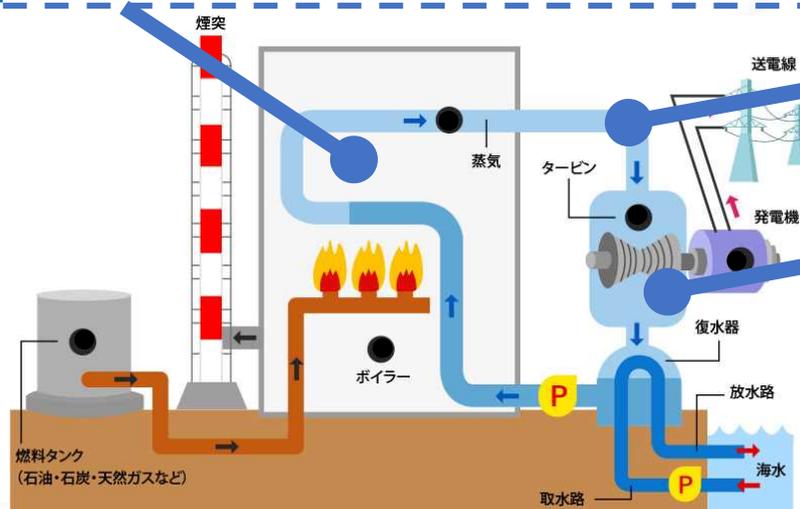
日常点検、補修・検査のトリガーに関する技術

<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

本報告会后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
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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ような実用化・事業化に直結した成果を期待したい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 >

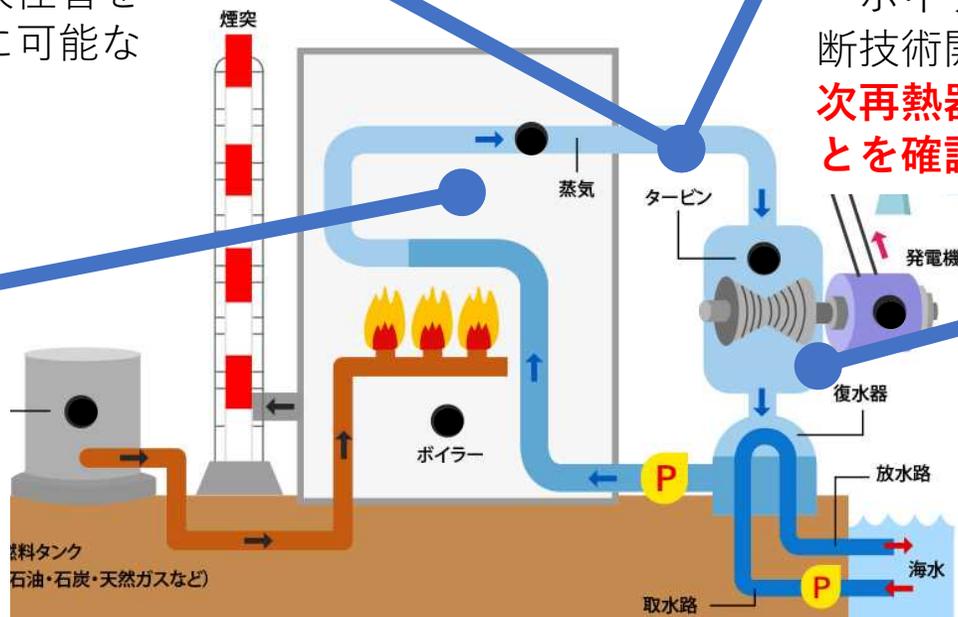
①火力発電設備保全用

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、開発したボイラー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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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°C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、FS獲得に向けた顧客PR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PR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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Dry-Wet切替制御の実機検証 運用性改善効果の定量化 	<ul style="list-style-type: none"> 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°C級に対応するPCM(AI-Si-Fe系)と、蒸発器向けに350~500°CPCM(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システムの調整力や慣性を、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システム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、電力システム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。※所定のき裂長さに達する時間	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。

◎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」 -ロータレアショート	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%	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。	○	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
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	<p>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。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p>予測精度の検証の結果、±10%内に収まることを確認した。</p>	○	<p>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。</p>
③-2 復水器の性能回復効果評価技術	<p>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。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p>	○	<p>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。</p>

◎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	<p>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。</p> <p>*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</p> <p>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。</p> <p>*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</p>	<p>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。</p> <p>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。</p>	◎	<p>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。</p> <p>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</p>

◎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

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)	○	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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ポイドは寿命末期まで発生しないためポ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、ポイド・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。	<ul style="list-style-type: none"> 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、ポ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。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 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°C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。