

「次世代火力発電等技術開発／次世代技術の早期実用化
に向けた信頼性向上技術開発」
中間評価報告書

2019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

2019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 石塚 博昭 殿

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

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。

「次世代火力発電等技術開発／次世代技術の早期実用化
に向けた信頼性向上技術開発」
中間評価報告書

2019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
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	7
研究評価委員会コメント	8
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-5
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-18
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	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、「次世代火力発電等技術開発／次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」の中間評価報告書であり、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「次世代火力発電等技術開発／次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第60回研究評価委員会（2019年12月20日）に諮り、確定されたものである。

2019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（2019年9月17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、その他、閉会

● 現地調査会（2019年9月6日）

電力中央研究所 横須賀地区 本館1階11会議室

● 第60回研究評価委員会（2019年12月20日）

「次世代火力発電等技術開発／次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上
技術開発」

中間評価分科会委員名簿

(2019年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	のなか いさむ 野中 勇	東北大学大学院 工学研究科 附属先端材料強度科 学研究センター 客員教授
分科会長 代理	おかざき まさかず 岡崎 正和	長岡技術科学大学大学院 機械創造工学専攻 教授
委員	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
	くたに いちろう 久谷 一朗	一般財団法人日本エネルギー経済研究所 戦略研究 ユニット 国際情勢分析第1グループマネージャー 研究理事
	さとう けいこ 佐藤 景子	株式会社三菱総合研究所 環境・エネルギー事業本 部 海外環境ビジネスグループリーダー 主任研究 員
	やまぐち とみこ 山口 富子	九州工業大学大学院 工学研究院 物質工学研究系 准教授
	やまざき やすひろ 山崎 泰広	千葉大学大学院 工学研究院 基幹工学専攻 機械工学コース 准教授

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

CO₂排出量削減と経済コストを抑制した電力供給源確保の観点から、石炭火力発電の熱効率向上は社会的必要性も大きく、国のエネルギー基本計画および技術ロードマップにも合致している。また、研究開発の難度およびコストも高く、民間企業のみでは困難であり、NEDOとして推進すべき事業である。本事業の目的は、前事業で開発された要素技術を A-USC プラント実用化のために発展させることであるが、そのために不可欠な研究課題として、長時間試験や実機模擬実証試験、メンテナンスのための余寿命診断技術や補修技術開発などが設定されている。これらは、USC プラント開発の経験を反映したものであり、評価できる。長時間にわたる材料データを取得する意義や本事業の出口として、規格化・基準化を探る方向性も高く評価したい。さらに、開発した信頼性技術は現行の USC や他のエネルギー機器等への水平展開も可能で、それぞれの信頼性向上・保守管理技術の高度化による経済波及効果は極めて高いものが期待できる。

一方、A-USC プラントの実用化を効率よく進めるためには、個々の研究課題の情報交換や連携が必要であるが、この点が不十分だと思われる。また、A-USC の導入側にとっては、既存の石炭火力と比較してどの程度の定量的・経済的效果が見込まれるのかに関心があるはずであり、各研究項目の開発目標にそのような視点があるとわかりやすい。

今後、個々の研究課題については、最終目標を達成することが求められるが、同時に、研究成果をどの様に、A-USC プラントの実用化に反映するかという観点が重要であると思われる。石炭火力に対する逆風は国内外で高まる傾向にある。これは、現時点で事業の重要性や有用性を損なうものではないが、A-USC を含む石炭火力全体の市況が今後急速に悪化するリスクを内包しており、一刻も早い開発技術の実用化と実機への展開が望まれる。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

温暖化対策は世界的課題であり、CO₂排出量削減と経済コストを抑制した電力供給源の確保の観点から、石炭火力発電の熱効率向上は、社会的必要性も大きく、国のエネルギー基本計画、および、技術ロードマップにも合致した重要な事業と評価する。A-USC の実用化には、従来の USC 技術のレベルアップが不可欠であるが、研究開発の難度およびコストも高く、民間企業のみでは困難であり NEDO として推進すべき事業である。我国は USC で世界をリードしてきた実績があり、蓄積した技術や経験を生かすことにより、A-USC を実用化できる可能性が高いと考えられる。A-USC プラントのマーケットは国内のみならず、海外にもあり、政府の産業インフラの海外輸出振興策にも合致し、その開発による費用対効果は十分なものが期待できる。

一方、最近の石炭火力への逆風を考えると、実用化の時期が遅れるほど A-USC 市場が小さくなるリスクがあるため、開発技術の実用化、実機への展開では、この点を十分に考慮す

べきである。また、構造物、材料に関する要素的な開発技術が、A-USC 以外の事業にどこまで展開できるのかを明確にし、それらを他にも適用できる一般化された形に示した上で、今後の事業を推進されることを切望する。

2. 2 研究開発マネジメントについて

本事業では、前事業で開発された要素技術を A-USC プラントの実用化のために発展させることが問われるが、そのための課題の設定は妥当だと考えられる。実機運用を想定したクリープ疲労試験などの材料データベースの拡充、実機模擬試験による要素技術の検証、および保守技術確立のための検査・補修技術開発など、USC 開発の経験が活かされており、必要な要素技術が網羅されている。また、本事業の出口として、規格化・基準化を探る方向性も評価したい。さらに、本事業には、火力技術における主要メーカ、ユーザおよび研究機関が参加しており、各機関の専門性を集積できる体制となっている。PM・PLにより定期的な進捗管理が行われており、必要に応じて、試験時間の延長等の対策が取ることができていると考える。特許出願による秘匿すべき技術情報の漏洩が懸念されることから、ノウハウ蓄積に重点を置く知財戦略も問題ないとする。

一方で、開発推進委員会の下に、ボイラ、タービンなどの分科会が設けられ、それぞれに研究の進捗が管理されているが、テーマごとの研究成果の連携が不十分に感じられる。

今後、A-USC に拘わらず、他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開できる成果も得られており、アピールを期待する。

2. 3 研究開発成果について

全ての研究開発項目について、概ね、中間目標を達成しており、このまま進行すれば最終目標を達成できると予想される。また、A-USC プラント実用化に向けた、ボイラ材料の規格化等も順調に行われている。「タービン翼表面改質技術」は低コスト材料の適用範囲を広げることで、「寿命評価データ構築」では効率的なメンテナンスを通じて A-USC のコスト低下につながる可能性がある。A-USC の普及ではコストも重要な要素であり、これに貢献する意義がある。また、戦略上、特許出願には重点が置かれていないが、論文や学会発表は活発に行われている。

一方、各個別テーマの繋がりと、それによって生まれるアウトプットを外部の第三者から見ても分かり易くアピールできるようにしていただくと良い。特に、大径管の試験と短冊クリープ試験との関連性、クリープ疲労試験の立ち位置については、第三者に分かり易く説明できるよう改善を望む。また、材料試験を伴う開発研究には、試験時間を相当に要することから、時間的制限は避けられない。そのため、要素試験で得られた材料データに基づいた数値シミュレーション等で補完することが望ましい。

A-USC プラントにおいては、問題となりそうな部材の損傷形態が未だ明確にされていないように思われる。プロジェクトの後半では、これまでの要素試験や実機模擬試験の成果を総括して、実用化に向けた課題に対応することが望まれる。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

A-USC プラントの実用化として、既設プラントのリプレースを対象に、再熱系のみ 700℃ から主蒸気・再熱系ともに 700℃まで、より発電効率の高いシステムへの段階的な導入を提案する戦略が明確である。また、再生可能エネルギー対応、既存 USC への活用など技術的な波及効果に加え、先進エネルギー機器研究開発に対する人材育成の面からの波及効果が期待できる。さらに、本事業の出口として、規格化・基準化を探る方向性も高く評価したい。

一方、リプレースの可能性のある設備数、新規施工される設備数など実用化に向けた具体的な企業化調査および計画が必要であると思われる。

今後、実用化・事業化の段階では、ユーザー側のメリットが明確であることが重要であり、導入した場合の定量的なメリット、例えばライフサイクルコスト等、事業化を見据えた開発指標があると良い。また、国内外で石炭火力の新設・リプレースが想定どおりとならないリスクがある。時間の経過とともにこのリスクは高まると考えられ、市場規模も想定よりも小さくなる可能性の方が高い。そのため、一刻も早い実用化が望ましい。さらに、実用化が可能な技術に対しては A-USC に拘わらず、他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開し、実績を確実に蓄積して A-USC 早期普及の足掛かりとしてほしい。

研究評価委員会委員名簿

(2019年12月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長・教授 ／研究院 副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション 創発センター 研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授
	ごないかわひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さく まいちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 特任教授
	ひらお まきひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 ／国立研究開発法人産業技術総合研究所名誉リサーチャ
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第60回研究評価委員会（2019年12月20日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

第1章 評価

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

1. 総合評価

CO₂ 排出量削減と経済コストを抑制した電力供給源確保の観点から、石炭火力発電の熱効率向上は社会的必要性も大きく、国のエネルギー基本計画および技術ロードマップにも合致している。また、研究開発の難度およびコストも高く、民間企業のみでは困難であり、NEDO として推進すべき事業である。本事業の目的は、前事業で開発された要素技術を A-USC プラント実用化のために発展させることであるが、そのために不可欠な研究課題として、長時間試験や実機模擬実証試験、メンテナンスのための余寿命診断技術や補修技術開発などが設定されている。これらは、USC プラント開発の経験を反映したものであり、評価できる。長時間にわたる材料データを取得する意義や本事業の出口として、規格化・基準化を探る方向性も高く評価したい。さらに、開発した信頼性技術は現行の USC や他のエネルギー機器等への水平展開も可能で、それぞれの信頼性向上・保守管理技術の高度化による経済波及効果は極めて高いものが期待できる。

一方、A-USC プラントの実用化を効率よく進めるためには、個々の研究課題の情報交換や連携が必要であるが、この点が不十分だと思われる。また、A-USC の導入側にとっては、既存の石炭火力と比較してどの程度の定量的・経済的效果が見込まれるのかに関心があるはずであり、各研究項目の開発目標にそのような視点があるとわかりやすい。

今後、個々の研究課題については、最終目標を達成することが求められるが、同時に、研究成果をどの様に、A-USC プラントの実用化に反映するかという観点が重要であると思われる。石炭火力に対する逆風は国内外で高まる傾向にある。これは、現時点で事業の重要性や有用性を損なうものではないが、A-USC を含む石炭火力全体の市況が今後急速に悪化するリスクを内包しており、一刻も早い開発技術の実用化と実機への展開が望まれる。

〈肯定的意見〉

- ・ 本プロジェクトの目的は、前プロジェクトで開発された要素技術を A-USC (Advanced Ultra-Supercritical:先進超々臨界圧火力発電) プラントの実用化のために発展させることであるが、そのために不可欠な研究課題として、実機運転を想定した長時間試験や実機模擬実証試験、メンテナンスのための余寿命診断技術や補修技術開発などが設定されている。これらは、USC プラント開発の経験を反映したものであり、評価できる。また、それぞれの研究課題についても、中間目標をクリアしている。
- ・ 構造物、材料の信頼性と言う目に見えない観点からの事業は、日本の独自性を発揮できる意味に於いても、また、その分野の重要性を他分野にアピールする意味に於いても不可欠で、推進内容を評価したい。
- ・ 長時間にわたる材料データを取得する意義を高く評価したい。また、評価されている項目も、クリープ、クリープ疲労、溶接部、非破壊検査など多岐にわたっており、その視点も評価する。また、本事業の出口として、規格化・基準化に向けた方向を探る方向性も高く評価したい。
- ・ 先進超々臨界圧火力発電 (A-USC) は、発電の新たな手法一つとして、環境負荷低減

とも関わって重要であり、日本発の高度技術の発展が期待できる。

- 対象技術が多岐に渡りまた多くの組織に係るにも係らず、大部分の項目で中間目標を達成しており、研究の管理が適切になされていることを評価したい。
- 世界最先端の技術開発が着実に行われており、本事業の意義を高く評価する。再エネへの投資が活発に行われている現状においても、火力技術のニーズは当面確実に存在し、温暖化問題の解決に向けて次世代技術の開発は欠かせないものである。
- マネジメントにより、各プロジェクトの中間目標は順調に達成されていた。
- 世界最高水準の顕著な成果であり、材料の規格化も順調に進められていた。
- CO₂ 排出量削減と経済コストを抑制した電力供給源の確保の観点から、石炭火力発電の熱効率向上は社会的必要性も大きく、国のエネルギー基本計画および技術ロードマップにも合致しており、また、研究開発の難度およびコストも高く民間企業のみでは困難であり NEDO として推進すべき事業である。さらに、開発した信頼性技術は現行の USC や他のエネルギー機器等への水平展開も可能で、それぞれの信頼性向上・保守管理技術の高度化による経済波及効果は極めて高いものが期待できる。

〈改善すべき点〉

- A-USC プラントの実用化を効率よく進めるためには、個々の研究課題の情報交換や連携が必要であるが、この点が不十分だと思われる。特に、プロジェクトの後半では、この点に留意して進めていただきたい。一例を言えば、健全性評価のための超音波探傷技術開発においては、Ni 基合金のクリープ試験における損傷発展プロセスの解明研究との連携が不可欠である。
- 構造物、材料に関する要素的な信頼性事業の位置づけが、A-USC 以外の事業にどこまで展開できるのかを明確にしないと、この分野のみの事業になる事を多いに懸念する。個々の内容・知見が他にも適用できる一般化された形になっていない部分が多いからである。例えば、エネルギー開発全体に対する材料の貢献がどの程度であるか、CO₂ 削減に対する寄与がどのくらいあるのか、低品質の石炭を利用できる方向性への検討等について、一例でも良いから貢献度を半定量的に示した上で、今後の事業を推進されることを強く切望する。その際、ガスタービン事業など、材料費用が高い例との対比で、その特徴を明確に示す事が必要であろう。
- 計画されている個々の課題は必要且つ重要であるが、それらの相互関係の再確認、また多軸応力負荷における実験ならびに評価のアプローチの強化を勧める。
- 石炭火力への逆風が強いという社会情勢の変化への対応を明確にすることが本事業の意義をさらに高めることにつながる。再エネ大量導入時における市場ニーズを的確に分析し、A-USC 以外への応用範囲を検討し、可能な限り各研究項目や開発目標に反映すべきである。
- これまでの成果を踏まえ、今後実用化に向けた具体的な調査、試算を進められることを期待します。
- 各個別研究開発テーマの繋がりをもう少し明確にアピールできるようにすべきと考え

る。

〈今後に対する提言〉

- 個々の研究課題については、今後、最終目標を達成することが求められるが、同時に、研究成果をどの様に、A-USC プラントの実用化に反映するかという観点が重要であると思われる。一例として、Ni 基合金のクリープ疲労試験を挙げる。この試験は、起動・停止の多い実機運用と Ni 基合金の特性（熱膨張係数が大きく、熱応力が高くなる）を考慮したものであるが、試験結果に基づいて、USC プラントでは採用されていないクリープ疲労設計の必要性を判断し、必要に応じて、設計法を策定しなければならない。その場合は、学会等での審議が必要かもしれない。
- 余寿命推定技術の新規取り入れを提案したい。既存石炭火力をリプレースする戦略は理解できるが、ある意味、選定済みとなって設定されている推進項目や評価条件・目標（12 時間保持、24 時間保持、5000 時間、TOFD 法、HR6W 等の材料選定）等の選定の合理的説明が求められる。これらを明確にした上で、他の事業にも水平展開できる出口としてほしい。
- 本事業で得られた成果は高温強度分野においてたいへん貴重なものであり、学会の関連委員会や大学との協働への展開ならびに若手研究者・技術者の養成・確保に是非繋げていただきたい。
- 石炭火力に対する逆風は国内外で高まる傾向にある。現時点で事業の重要性や有用性を損なうものではないが、A-USC を含む石炭火力全体の市況が今後急速に悪化するリスクを内包している。これを前提にすれば、一刻も早い開発技術の実用化と実機への展開が望まれる。
- 事業の重要性や効果をより明確に示すという意味で、開発した技術によるコスト削減効果を定量的に示すことと、開発した技術の他分野への応用可能性を示すことが出来ると良い。これらの視点は事業の意義を維持し、さらに高めるためにも必要と考える。
- 各研究項目の事業化の視点が、材料の専門家以外にもよりわかりやすく説明されると良い。導入側にとっては既存の石炭火力と比較してどの程度の定量的・経済的效果が見込まれるのかに関心があるはずであり、開発目標にそのような視点があるとわかりやすいのではないか。
- 提案材料を適用した設備の運用が始まると、NDI（Non Destructive Inspection:非破壊検査）で保守管理となるため、AE と UT などによる監視と検査、自動化などの非破壊検査技術の開拓、開発などに力を入れても良いのではないのでしょうか、他の産業界にも有用だと思います。
- 欧州の再生可能エネルギーの導入や発展途上国の石炭火力発電設備導入の鈍化も考えられ、A-USC 技術の実用化は時間的余裕もあまりない情勢であることから、実用化可能な技術に対しては、A-USC に拘わらず他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開し、実績を確実に蓄積して A-USC 早期普及の足掛かりとしてほしい。
- 一方で、大径管の実験や長期クリープ試験については重要な知見であり、時間的制約

を受けずに成果を上げていただきたい。従って、早期に成果を展開すべき事項と時間がかかっても丁寧に進めるべき事項をしっかりと見極め／区別して計画を進めていただきたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

温暖化対策は世界的課題であり、CO₂排出量削減と経済コストを抑制した電力供給源の確保の観点から、石炭火力発電の熱効率向上は、社会的必要性も大きく、国のエネルギー基本計画、および、技術ロードマップにも合致した重要な事業と評価する。A-USC の実用化には、従来の USC 技術のレベルアップが不可欠であるが、研究開発の難度およびコストも高く、民間企業のみでは困難であり NEDO として推進すべき事業である。我国は USC で世界をリードしてきた実績があり、蓄積した技術や経験を生かすことにより、A-USC を実用化できる可能性が高いと考えられる。A-USC プラントのマーケットは国内のみならず、海外にもあり、政府の産業インフラの海外輸出振興策にも合致し、その開発による費用対効果は十分なものが期待できる。

一方、最近の石炭火力への逆風を考えると、実用化の時期が遅れるほど A-USC 市場が小さくなるリスクがあるため、開発技術の実用化、実機への展開では、この点を十分に考慮すべきである。また、構造物、材料に関する要素的な開発技術が、A-USC 以外の事業にどこまで展開できるのかを明確にし、それらを他にも適用できる一般化された形に示した上で、今後の事業を推進されることを切望する。

〈肯定的意見〉

- ・ 環境問題の逆風にさらされている石炭火力が生き残る唯一の方法が、発電効率の向上であることは世界的に認識されており、世界中で A-USC プラントの開発プロジェクトが展開されているのはその証である。ただし、先行した欧州のプロジェクトが頓挫していることから、A-USC プラントの実用化は容易ではないことがうかがえる。しかし、我国は USC ボイラで世界をリードしてきた実績があり、ここで蓄積した技術や経験を活かすことにより、A-USC ボイラを実用化できる可能性があると考えられる。そのためには、鉄鋼・ボイラ・タービンメーカーなどの力を結集する必要があると思われる。また、A-USC プラントのマーケットは国内のみならず、海外にもあり、政府の産業インフラの海外輸出振興策にも合致することから、本事業を経産省（NEDO）のプロジェクトとして推進することは妥当だと考えられる。
- ・ 構造物、材料の信頼性と言う目に見えない観点からの事業は、日本の独自性を発揮できる意味に於いても、また、その分野の重要性を他分野にアピールする意味に於いても不可欠で、推進内容を評価したい。
- ・ 電力の安定供給ならびに発電の環境負荷低減は我が国のみならず国際的にも重要且つ必須であり、異なる発電方法を適切に組み合わせることは非常時等の際のリスク回避につながる。石炭火力発電も重要な手法の一つであり、その高度化に資する本事業は社会的ニーズが高く公共性が極めて高いと言える。
- ・ 事業内容はエネルギー基本計画や次世代火力発電に関わる技術ロードマップに沿っており、妥当である。
- ・ 途上国では引き続き、安価な電力が大量に必要という背景から石炭火力に対するニ-

ズがあり、本事業で開発した技術の展開が見込める。

- ・ **A-USC** 関連技術の開発では日本が先行しており、オンリーワン技術となる可能性が期待できる。
- ・ 要素技術の開発は必要性が高いものの、事業規模から民間企業単独で行うにはリスクが高く、**NEDO** が支援を行う意義がある。
- ・ 火力発電における先進技術の開発は温暖化問題の解決に不可欠であり、政策的にも技術戦略上も事業の目的は妥当なものである。
- ・ 「次世代火力発電に係るロードマップ」に記載された、高効率化の技術開発に必要とされる経済性、信頼性、運用性のうち特に信頼性向上に寄与するものである。
- ・ **CO₂** 排出削減は社会的要請があり、投資額・技術の難易度に鑑みて、民間が 1 社で実現できる研究ではないため、**NEDO** の事業として妥当である。
- ・ 事業目的の妥当性：技術は日本に優位性がある。世界的に求められる **CO₂** 排出量削減の観点から国際貢献の可能性は高い。発電において、石炭火力、その他の燃料による火力、原発、再生エネルギーのいずれかを取捨選択するのは、各国事情や世界動向にも依ると思われるが、資源のない我が国においてはいずれの技術開発も進めておくことが重要と考えます。
- ・ **NEDO** の事業としての妥当性：社会基盤産業であるので、企業個々で研究・開発するよりも企業集団をマネジメントして、加速的に開発を進めるためには、**NEDO** の関与は必要であると考えます。費用対効果は重要ですが、現在稼働している設備に関する技術開発は継続して欲しい。
- ・ 温暖化対策は世界的課題であり、**CO₂** 排出量削減と経済コストを抑制した電力供給源の確保の観点から、石炭火力発電の熱効率向上は社会的必要性も大きく、国のエネルギー基本計画および技術ロードマップにも合致した重要な事業と評価する。また、**A-USC** の実用化には信頼性向上およびその確保が不可欠であるが、研究開発の難度およびコストも高く民間企業のみでは困難であり **NEDO** として推進すべき事業である。
- ・ 昨今の情勢を鑑みると見積済みの費用対効果には若干の下方修正も必要かと考えるが、それでも **A-USC** の開発による費用対効果は十分なものが期待できる。さらに、開発した信頼性技術は現行の **USC** や他のエネルギー機器等への水平展開も可能で、それぞれの信頼性向上・保守管理技術の高度化による経済波及効果は極めて高いものが期待できる。

〈改善すべき点〉

- ・ 構造物、材料に関する要素的な信頼性事業の位置づけが、**A-USC** 以外の事業にどこまで展開できるのかを明確にしないと、この分野のみの事業になる事を多いに懸念する。個々の内容・知見が他にも適用できる一般化された形になっていない部分が多いからである。例えば、エネルギー開発全体に対する材料の貢献がどの程度であるか、**CO₂** 削減に対する寄与がどのくらいあるのか、低品質の石炭を利用できる方向性への検討等について、一例でも良いから貢献度を半定量的に示した上で、今後の事業を推進され

ることを強く切望する。その際、ガスタービン事業など、材料費用が高い例との対比で、その特徴を明確に示す必要があるであろう。

- 石炭火力発電の国内外での需要見込の規模を検証しておく必要がある。
- 効率の高低に関わらず石炭火力に対する逆風は日々高まっており、実用化の時期が遅れるほど A-USC 市場が小さくなるリスクがある。開発技術の実用化、実機への展開では十分に考慮すべきである。
- (国内) (1)原発の再稼働遅延や廃炉の増加傾向がみられ、2030 年の CO₂ 削減目標達成する必要から石炭火力の新設・リプレースが想定しているよりも進まない可能性がある。(2)A-USC はより高効率で低炭素な IGCC (Integrated coal Gasification Combined Cycle:石炭ガス化複合発電) や IGFC (Integrated coal Gasification Fuel cell Combined Cycle:石炭ガス化燃料電池複合発電) への中継ぎ技術であるとするれば、国内での市場性はそもそも限られている。
- (海外) (1)途上国においても、公害対策から石炭火力を回避する政策の強化、国民の反対運動による石炭火力開発計画の遅延・中止、足元ではガス価格の低下による天然ガス CCGT (Combined Cycle Gas Turbine:コンバインドサイクル発電) の競争力向上、再生可能エネルギーのコスト低下、などが進展。(2)石炭火力に対するファイナンスを絞る動きが拡大しており、例え途上国が欲したとしても資金供給の不足によって石炭火力の新設、リプレースが進まないリスクが高まりつつある。
- 実施の効果の算定にあたっては、国内外で石炭火力の新設がこの数年で急速に困難となっていること、一方で既設においては再エネ電源の大量導入に連動して新たなニーズが生じている現実を踏まえて市場を評価すべき。
- 排出削減効果は全体として A-USC 並みの効率となると仮定するのではなく、実際の販売見込みと整合を取った算定とすべき。
- 欧州の再生可能エネルギーの導入や、発展途上国の石炭火力発電設備導入の鈍化も考えられ、それを考慮した費用対効果および CO₂ 排出削減効果の算定を検討する必要があると考える。

2. 2 研究開発マネジメントについて

本事業では、前事業で開発された要素技術を A-USC プラントの実用化のために発展させることが問われるが、そのための課題の設定は妥当だと考えられる。実機運用を想定したクリープ疲労試験などの材料データベースの拡充、実機模擬試験による要素技術の検証、および保守技術確立のための検査・補修技術開発など、USC 開発の経験が活かされており、必要な要素技術が網羅されている。また、本事業の出口として、規格化・基準化を探る方向性も評価したい。さらに、本事業には、火力技術における主要メーカ、ユーザおよび研究機関が参加しており、各機関の専門性を集積できる体制となっている。PM・PLにより定期的な進捗管理が行われており、必要に応じて、試験時間の延長等の対策が取ることができていると考える。特許出願による秘匿すべき技術情報の漏洩が懸念されることから、ノウハウ蓄積に重点を置く知財戦略も問題ないと考える。

一方で、開発推進委員会の下に、ボイラ、タービンなどの分科会が設けられ、それぞれに研究の進捗が管理されているが、テーマごとの研究成果の連携が不十分に感じられる。

今後、A-USC に拘わらず、他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開できる成果も得られており、アピールを期待する。

〈肯定的意見〉

- ・ 本プロジェクトでは、前プロジェクトで開発された要素技術を A-USC プラントの実用化のために発展させることが問われるが、そのための課題の設定は妥当だと考えられる。具体的には、実機運用を想定した長時間クリープ疲労試験などの材料データベースの拡充、実機模擬試験による要素技術の検証、および運転後の保守技術確立のための損傷計測技術や補修溶接技術の開発など、USC プラント開発の経験が活かされている。
- ・ 研究開発の実施体制も、関連企業の他に、電力中央研究所、物質・材料研究機構および発電設備技術検査協会など、各分野を代表する機関が参加しており、オールジャパンの体制がとられている。
- ・ 長時間にわたる材料データを取得する意義を高く評価したい。また、評価されている項目も、クリープ、クリープ疲労、溶接部、非破壊検査など多岐にわたっており、その視点も評価する。また、本事業の出口として、規格化・基準化に向けた方向を探る方向性も評価したい。
- ・ 先進超々臨界圧火力発電（A-USC）の強度信頼性保障の高度化に向けた要素技術開発のニーズに適合した事業である。
- ・ 2021年という比較的近い年次を目標としているのは、石炭火力の市場が時間とともに縮小するリスクを踏まえれば適切である。
- ・ 出力の変動する再生可能エネルギーの増加に応じた石炭火力運転パターンの変化の可能性を考慮した試験を実施していることは適切である。
- ・ 多くの企業が事業に参加しているが、大部分で中間目標を達成しており、進捗管理が適切に行われていると評価できる。

- ・ 分野ごとに強みを有する企業が分担してあたる体制となっており、効率的である。また、関係企業間でノウハウの共有が行われ、日本企業全体の技術力向上にも貢献すると考えられ、適切である。
- ・ 国内における火力技術における主要メーカーおよびユーザーが参加しており、各社の専門性を集積できる体制となっている。
- ・ PM・PLにより定期的な進捗管理が行われており、この管理体制により必要に応じて試験時間の延長等の対策が取ることができていると考える。
- ・ 研究開発マネジメント（研究開発、研究計画、研究開発の実施体制、研究開発の進捗管理、知的財産等に関する戦略）はいずれも妥当である。関係する企業を取りまとめ、各技術について役割分担されている。また、目標は明確に設定されており、必要な要素技術の開発が網羅されていた。研究開発の進捗状況は常に把握されており、進捗の遅れに対しても適切に対応がなされていた。
- ・ 研究開発目標及び計画は妥当であり、開発計画および実施体制も実用化・事業化につながる計画・体制を構築していると評価する。また、進捗管理等の研究マネジメントの点からも良好と評価できる。大径管の実験スケジュールおよび内容の変更についても、適切な判断と評価される。
- ・ 信頼性向上・保守技術開発を目指す本プロジェクトの成果においては、特許出願による秘匿すべき技術情報の漏洩が懸念されることから、ノウハウ蓄積に重点を置く知財戦略も問題ないと考える。

〈改善すべき点〉

- ・ 開発推進委員会の下に、ボイラ、タービンなどの分科会が設けられて、研究の進捗が管理されているが、テーマごとの研究成果の横通し（連携）が不十分なように感じられた。例えば、実機模擬実証試験における破損形態や破損時間予測へのクリープ要素試験結果の反映や、健全性評価のための超音波探傷技術開発へのクリープ要素試験結果（損傷発展プロセス）の反映などである。A-USCプラントの実用化を効率よく進めるためには、個々の研究課題の情報交換や連携が不可欠だと考えられる。
- ・ 既存石炭火力をリプレースする戦略は理解できるが、ある意味、選定済みとなって設定されている推進項目や評価条件・目標（12時間保持、24時間保持、5000時間、TOFD（Time of Flight Diffraction:飛行回折時間）法、HR6W等の材料選定）等の選定の合理的説明が求められる。
- ・ 基本的な材料試験に基づく課題と実機を模擬した材料試験に基づく課題に分かれ、それぞれの実施者も異なることから各課題の関連や連携を明確にしておいた方が良い。
- ・ 社会的な情勢変化を踏まえた対応策が一部記載されているが、研究開発目標に反映されたのかどうか、あるいはどのように反映されたのかは不明である。
- ・ 電力各社の意見聴取は必要ないでしょうか。リプレースの可能性について具体的に調査してはいかがでしょうか。
- ・ 各個別研究開発テーマの繋がりをもう少し明確にアピールできるようにすべきと考え

る。また、A-USC に拘わらず他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開できる成果も得られていると思われ、水平展開を意識したアピールを期待している。

〈今後に対する提言〉

- ・ 本プロジェクトで得られる特許や技術的ノウハウなどの知的財産権は、プロジェクト事業者間で共有して、将来、一企業が A-USC プラントを受注した際にも、自由に使えるようにすることが望ましい。
- ・ 余寿命推定技術の新規取り入れを提案したい。
- ・ 既存石炭火力をリプレースする戦略は理解できるが、ある意味、選定済みとなって設定されている推進項目や評価条件・目標（12 時間保持、24 時間保持、5000 時間、TOFD 法、HR6W 等の材料選定）等の選定の合理的説明が求められる。
- ・ 本事業による研究課題の達成目標をもう少し明確に示す必要があることに加えて、本事業で創出された成果に基づいてその後展開される継続課題とそれによって期待される成果も提示した方が良い。
- ・ 大径管内圧クリープ試験は想定よりも試験時間が延びている。有益なデータの取集という視点では試験時間のさらなる延長も選択肢となるが、急速に変化しつつある石炭火力市況を踏まえれば商業化を少しでも急ぐ方が良く、今後の事業継続要否の判断においてはこれも考慮する方が良い。
- ・ 社会的な情勢変化を踏まえ、研究開発項目ごとに、当初想定した A-USC 新設に適応可能な技術とは分けて、既設石炭火力への応用可能な技術をわかりやすく示したほうが良い。
- ・ 施工後の安全、余寿命を担保するには非破壊試験に頼るしかなく、AE（Acoustic Emission:アコースティック・エミッション）や UT（Ultrasonic Testing:超音波探傷試験）など組み合わせた監視を伴う非破壊技術の開発が重要だと思われる。
- ・ A-USC に拘わらず他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開できる成果も得られていると思われ、水平展開を意識したアピールを期待している。

2. 3 研究開発成果について

全ての研究開発項目について、概ね、中間目標を達成しており、このまま進行すれば最終目標を達成できると予想される。また、A-USC プラント実用化に向けた、ボイラ材料の規格化等も順調に行われている。「タービン翼表面改質技術」は低コスト材料の適用範囲を広げることで、「寿命評価データ構築」では効率的なメンテナンスを通じて A-USC のコスト低下につながる可能性がある。A-USC の普及ではコストも重要な要素であり、これに貢献する意義がある。また、戦略上、特許出願には重点が置かれていないが、論文や学会発表は活発に行われている。

一方、各個別テーマの繋がりや、それによって生まれるアウトプットを外部の第三者から見ても分かりやすくアピールできるようにしていただくと良い。特に、大径管の試験と短冊クリープ試験との関連性、クリープ疲労試験の立ち位置については、第三者に分かりやすく説明できるよう改善を望む。また、材料試験を伴う開発研究には、試験時間を相当に要することから、時間的制限は避けられない。そのため、要素試験で得られた材料データに基づいた数値シミュレーション等で補完することが望ましい。

A-USC プラントにおいては、問題となりそうな部材の損傷形態が未だ明確にされていないように思われる。プロジェクトの後半では、これまでの要素試験や実機模擬試験の成果を総括して、実用化に向けた課題に対応することが望まれる。

〈肯定的意見〉

- 全ての研究開発項目について、概ね、中間目標を達成しており、このまま進行すれば最終目標を達成できると予想される。また、A-USC プラント実用化に向けた、ボイラ材料の規格化（JSME）等も順調に行われている。
- 長時間にわたる材料データを取得する意義を高く評価したい。また、評価されている項目も、クリープ、クリープ疲労、溶接部、非破壊検査など多岐にわたっており、その視点も評価する。また、本事業の出口として、規格化・基準化に向けた方向を探る方向性も高く評価したい。
- 事業計画に沿って本事業は順調に進行している。なお、一部課題では遅れが見られるが、実験研究では付き物であり想定範囲内である。
- 全ての開発項目で中間目標を達成し、また最終目標を達成見込みであることを評価できる。
- 諸外国に先んじて関連技術の開発を進めることで日本の技術、企業の競争力強化に貢献すると考えられ、開発成果の意義は高い。
- 「タービン翼表面改質技術」は低コスト材料の適用範囲を広げることで、「寿命評価データ構築」では効率的なメンテナンスを通じて A-USC のコスト低下につながる可能性がある。A-USC の普及ではコストも重要な要素であり、これに貢献する意義がある。
- 開発した技術は天然ガス CCGT の排熱回収ボイラなど他の高温プロセス分野にも展開できる可能性があり、開発の意義は高い。
- 世界的に最先端と言える高度な火力技術が着実に開発され、貴重なデータが蓄積され

ている。

- ・ 中間目標がほとんどの項目で達成されている。未達成の項目も事業終了までには達成見込みである。
- ・ 戦略上、特許出願には重点が置かれていない中でも、1件の特許が出願されている。論文や学会発表も活発に行われている。
- ・ 世界最高水準の顕著な成果であり、最終目標は達成すると考えられる。論文等の発表は十分になされていた。また、特許件数は1件であったが、材料の規格化は順調に進められていた。
- ・ 大径管の実験を除いて、中間目標に対して十分な成果が得られていると評価でき、最終目標を達成する見通しも明るいと判断できる。また、得られた成果は世界的に見ても先進的なものであり、その成果に基づく技術は世界的にも優位性があると判断できる。
- ・ 大径管の実験においても、破断時間の長時間化に伴う計画の延長であり問題ないものとする。併せて、第一回目の試験結果に合わせて第二回目の試験計画を適切に変更しており、その点も評価できる。

〈改善すべき点〉

- ・ 大径管内圧曲げクリープ試験については、内圧と配管系応力による多軸応力場での損傷形態を把握することが一つの目的であるが、試験温度を750°Cに加速したため、曲げ応力が緩和し、内圧のみの試験に近い状態である。実機運転条件の700°Cでは、配管系応力が無視できないと予想されるため、小径管内圧曲げクリープ試験や解析シミュレーションを実施して、多軸応力の影響を補完評価しておく必要があると考えられる。
- ・ 各論で言えば、下記の点が不透明で、再検討頂くとともに、数年後の出口に反映してほしい。これらがないと、単なる材料データベースの集合体になり、一般化した規格化・基準化は難しく、この事業を越えたテリトリーの脱却が難しいように思える。(1) 既存石炭火力をリプレースする戦略は理解できるが、ある意味、選定済みとなって設定されている推進項目や評価条件・目標(12時間保持、24時間保持、5000時間、TOFD法、HR6W等の材料選定)等の選定の合理的説明が求められる。(2) 足踏み状態となっている欧州の方向性との差別化 (3) 多くの計算の際に用いている材料基礎物性のデータ(構成式を含む)の妥当性/信憑性や、異方性、ポアソン比の扱いに加え、施工条件の相違に依るばらつきへの配慮 (4) クリープ疲労損傷を評価する際の他の破損規準との比較、負荷履歴依存性、延性の扱いの明確化 (5) 密着強度の部材の寸法依存性、非破壊検査の際の検出の対象の明確化、及び、シミュレーション技術の位置づけの明確化、余寿命推定技術の新規取り入れ (6) 長時間信頼性の実験を行っているにも関わらず、ひずみと変形の区別、弾性追従の影響(配管拘束系)への配慮、温度勾配の影響などへの配慮が欲しい。
- ・ 材料試験を伴う開発研究には、試験時間を相当に要することから時間的制限は避けられない。設計・開発ならびに維持・管理の基礎的な材料強度データを系統的に取得す

るため、材料試験が実施できる大学等の研究機関を活用する選択肢もある。

- ・ 中間目標達成時の成果の意義には A-USC 商用機の普及促進に寄与とのみ言及されており、社会情勢を踏まえた対応への言及がない。
- ・ 一般に向けた情報発信がなされれば、良いと思います。
- ・ 各個別テーマの繋がりと、それによって生まれるアウトプットを外部の第三者から見ても分かり易くアピールできるようにしていただくと良い。特に、大径管の試験と短冊クリープ試験との関連性、クリープ疲労試験の立ち位置については、第三者に分かり易く説明できるよう改善を望みます。

〈今後に対する提言〉

- ・ USC プラントにおいては、高 Cr 鋼の長時間クリープ強度低下および溶接部の TypeIV 損傷が実機配管の損傷としてクローズアップされたが、A-USC プラントにおいては、問題となりそうな損傷形態が未だ明確にされていないように思われる。プロジェクトの後半では、これまでの要素試験や実機模擬試験の成果を総括して、実用化に対応することが望まれる。
- ・ 各論で言えば、下記の点が不透明で、再検討頂くとともに、数年後の出口に反映してほしい。これらがないと、単なる材料データベースの集合体になり、一般化した規格化・基準化は難しく、この事業を越えたテリトリーの脱却が難しいように思える。(1) 既存石炭火力をリプレースする戦略は理解できるが、ある意味、選定済みとなって設定されている推進項目や評価条件・目標 (12 時間保持、24 時間保持、5000 時間、TOFD 法、HR6W 等の材料選定) 等の選定の合理的説明が求められる。(2) 足踏み状態となっている欧州の方向性との差別化 (3) 多くの計算の際に用いている材料基礎物性のデータ (構成式を含む) の妥当性/信憑性や、異方性、ポアソン比の扱いに加え、施工条件の相違に依るばらつきへの配慮 (4) クリープ疲労損傷を評価する際の他の破損規準との比較、負荷履歴依存性、延性の扱いの明確化 (5) 密着強度の部材の寸法依存性、非破壊検査の際の検出の対象の明確化、及び、シミュレーション技術の位置づけの明確化、余寿命推定技術の新規取り入れ (6) 長時間信頼性の実験を行っているにも関わらず、ひずみと変形の区別、弾性追従の影響 (配管拘束系) への配慮、温度勾配の影響などへの配慮が欲しい。
- ・ 本事業の研究成果で創出される材料試験・強度評価技術は、A-USC に留まるものではなく各種高温機器に対する技術向上にも大きく資するものである。またそれらの技術を次世代に繋ぐことが重要であり、若手技術者・研究者の育成も重ねて期待する。
- ・ 最終目標における成果の意義には、既設火力あるいは他の技術への応用に関する成果についても言及が欲しい。
- ・ 大径管の実験や長期クリープ試験・クリープ疲労試験については重要な知見であり、時間的制約を受けずに成果を上げていただきたい。
- ・ 特に、再生エネルギー導入に伴う出力変動対応を念頭に置いたクリープ疲労試験は重要な知見と考えられる。一方で、実機における負荷形態で圧縮保持条件の可能性が考

えられるようであれば、条件の追加を検討いただきたい。ガスタービン用 Ni 基超合金では、圧縮ひずみ保持時の応力緩和に伴う平均応力の上昇によって引張ひずみ保持条件よりも圧縮ひずみ保持条件で寿命が低下する現象が報告されている。特に寿命低下が実機負荷に近い低負荷長寿命条件で顕著となることも報告されていることから、A-USC 用 Ni 基合金でも実稼働温度（700℃）・低負荷長寿命条件での圧縮保持試験の必要性を検証していただきたい。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

A-USC プラントの実用化として、既設プラントのリプレースを対象に、再熱系のみ 700℃から主蒸気・再熱系ともに 700℃まで、より発電効率の高いシステムへの段階的な導入を提案する戦略が明確である。また、再生可能エネルギー対応、既存 USC への活用など技術的な波及効果に加え、先進エネルギー機器研究開発に対する人材育成の面からの波及効果が期待できる。さらに、本事業の出口として、規格化・基準化を探る方向性も高く評価したい。

一方、リプレースの可能性がある設備数、新規施工される設備数など実用化に向けた具体的な企業化調査および計画が必要であると思われる。

今後、実用化・事業化の段階では、ユーザー側のメリットが明確であることが重要であり、導入した場合の定量的なメリット、例えばライフサイクルコスト等、事業化を見据えた開発指標があると良い。また、国内外で石炭火力の新設・リプレースが想定どおりとならないリスクがある。時間の経過とともにこのリスクは高まると考えられ、市場規模も想定よりも小さくなる可能性の方が高い。そのため、一刻も早い実用化が望ましい。さらに、実用化が可能な技術に対しては A-USC に拘わらず、他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開し、実績を確実に蓄積して A-USC 早期普及の足掛かりとしてほしい。

〈肯定的意見〉

- ・ A-USC プラントの実用化として、既設プラントのリプレースを対象に、再熱系のみ 700℃から主蒸気・再熱系ともに 700℃まで、より発電効率の高いシステムへの段階的な導入を提案する戦略が明確である。
- ・ 長時間にわたる材料データを取得する意義を高く評価したい。また、評価されている項目も、クリープ、クリープ疲労、溶接部、非破壊検査など多岐にわたっており、その視点も評価する。また、本事業の出口として、規格化・基準化に向けた方向を探る方向性も高く評価したい。
- ・ A-USC の実用化の要を握る研究事業で、その成果も着実に挙げられており、事業化への見通しは十分ある。
- ・ 開発技術は A-USC への適用を前提にしたものとなっており、実用化・事業化が見込めるものとなっている。
- ・ 事業化に向けた戦略や波及効果は、より社会情勢を踏まえた記載となっている。
- ・ 現在稼働している機器へのリプレースは、CO₂ 排出量削減と長寿命化のために、現実的であると思われる（各電力会社の意見はどうでしょうか）。各国、世界動向により、石炭火力、その他の燃料による火力、原発、再生エネルギーのいずれかを取捨選択されていると思われるが、資源のない我が国においてはいずれの技術開発も進めるべきである。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は概ね妥当と考えられ、経済効果等も期待できると考えられる。導入実績を重ねて、より蒸気条件の高いシステムの実現を目指す点も現実的な計画と評価される。再生可能エネルギー対応、既存 USC への活用など技術的な波及

効果に加え、先進エネルギー機器研究開発に対する人材育成の面からの顕著な波及効果が期待でき、高く評価できる。

〈改善すべき点〉

- ・ 研究成果のアピールや国内外の電力会社への売り込みを、もっと、積極的に展開すべきだと思われる。
- ・ 各論で言えば、下記の点が不透明で、再検討頂くとともに、数年後の出口に反映してほしい。これらがないと、単なる材料データベースの集合体になり、一般化した規格化・基準化は難しく、この事業を越えたテリトリーの脱却が難しいように思える。(1) 既存石炭火力をリプレースする戦略は理解できるが、ある意味、選定済みと
- ・ なって設定されている推進項目や評価条件・目標（12 時間保持、24 時間保持、5000 時間、TOFD 法、HR6W 等の材料選定）等の選定の合理的説明が求められる。(2) 足踏み状態となっている欧州の方向性との差別化 (3) 多くの計算の際に用いている材料基礎物性のデータ（構成式を含む）の妥当性/信憑性や、異方性、ポアソン比の扱いに加え、施工条件の相違に依るばらつきへの配慮 (4) クリープ疲労損傷を評価する際の他の破損規準との比較、負荷履歴依存性、延性の扱いの明確化 (5) 密着強度の部材の寸法依存性、非破壊検査の際の検出の対象の明確化、及び、シミュレーション技術の位置づけの明確化、余寿命推定技術の新規取り入れ (6) 長時間信頼性の実験を行っているにも関わらず、ひずみと変形の区別、弾性追従の影響（配管拘束系）への配慮、温度勾配の影響などへの配慮が欲しい。
- ・ これらがないと、単なる材料データベースの集合体になり、一般化した規格化・基準化は難しく、この事業を越えたテリトリーの脱却が難しいように思える。
- ・ 実機負荷、とくに多軸負荷に対応する検討もされているが、基礎的な材料試験を伴う実験検証が若干不十分。
- ・ 国内外で石炭火力の新設・リプレースが想定どおりとならないリスクがある。時間の経過とともにこのリスクは高まると考えられ、また市場規模も想定よりも小さくなる可能性の方が高い。そのため、可能であれば一刻も早い実用化が望ましい。
- ・ 個別テーマのうちどの部分がどのタイミングで事業化されるのか、具体的な言及が不足している。
- ・ リプレースの可能性がある現在稼働している設備数、新規施工される設備数など実用化に向けた具体的な調査が必要であると思います。
- ・ 実用化に向けては、既存 USC 等へ部分的にでも導入して実績を蓄積する必要があると考えられる。その場合、“いつ”、“どこに”、“なにを” 既存火力設備に導入して、“どのような” 実績を蓄積して A-USC 実用化につなげるのか、より具体的で明確な計画の検討も必要と考える。

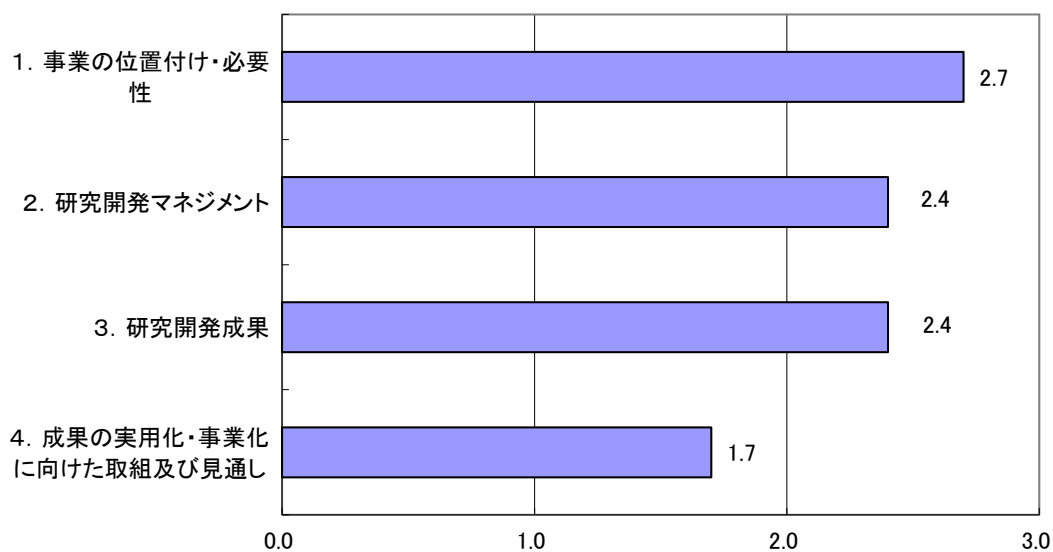
〈今後に対する提言〉

- ・ 本プロジェクトの実用化に関する評価は、A-USC プラントの実用化を第一義とするが、

ここで開発された、材料信頼性向上技術および保守技術は汎用的な側面も有するため、化学プラントなど他の分野への適用も視野に入れたい。

- 各論で言えば、下記の点が不透明で、再検討頂くとともに、数年後の出口に反映してほしい。これらがないと、単なる材料データベースの集合体になり、一般化した規格化・基準化は難しく、この事業を越えたテリトリーの脱却が難しいように思える。(1) 既存石炭火力をリプレースする戦略は理解できるが、ある意味、選定済みとなって設定されている推進項目や評価条件・目標 (12 時間保持、24 時間保持、5000 時間、TOFD 法、HR6W 等の材料選定) 等の選定の合理的説明が求められる。(2) 足踏み状態となっている欧州の方向性との差別化 (3) 多くの計算の際に用いている材料基礎物性のデータ (構成式を含む) の妥当性/信憑性や、異方性、ポアソン比の扱いに加え、施工条件の相違に依るばらつきへの配慮 (4) クリープ疲労損傷を評価する際の他の破損規準との比較、負荷履歴依存性、延性の扱いの明確化 (5) 密着強度の部材の寸法依存性、非破壊検査の際の検出の対象の明確化、及び、シミュレーション技術の位置づけの明確化、余寿命推定技術の新規取り入れ (6) 長時間信頼性の実験を行っているにも関わらず、ひずみと変形の区別、弾性追従の影響 (配管拘束系) への配慮、温度勾配の影響などへの配慮が欲しい。
- これらがないと、単なる材料データベースの集合体になり、一般化した規格化・基準化は難しく、この事業を越えたテリトリーの脱却が難しいように思える。
- A-USC の実用化・事業化では、本研究事業の成果のみでは完結しない。さらなる技術の高度化に向けた継続的な研究・開発を期待する。
- A-USC の事業化に際してはコスト削減が極めて重要であり、開発した技術によるコスト低減効果を定量的に示すことが出来ると、なお良い。
- 開発した技術の A-USC 以外の分野への応用、水平展開の可能性を示すことで、事業の波及効果を示すことが出来れば、なお良い。
- 実用化・事業化の段階では、ユーザー側のメリットが明確であることが重要であり、導入した場合の定量的なメリット、例えばライフサイクルコスト等、事業化を見据えた開発指標があると良い。
- 高 Cr 鋼よりも高価と思われる Ni 基材料を使用するにあたり、どの程度の CO₂ 排出量削減と長寿命化が達成できれば、電力の価格に反映することなく、適用が可能となるのか、ボーダラインを示して欲しい。より具体的な経済効果も含め、見積もりは必要と思いますが、いかがでしょうか。
- 欧州の再生可能エネルギーの導入や発展途上国の石炭火力発電設備導入の鈍化も考えられ、A-USC 技術の実用化は時間的余裕もあまりない情勢であることから、実用化可能な技術に対しては A-USC に拘わらず他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開し、実績を確実に蓄積して A-USC 早期普及の足掛かりとしてほしい。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	B	B	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	A	A	A	A	B	B	
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	A	A	B	B	B	A	B	
3. 研究開発成果について	2.4	A	A	A	B	B	B	B	
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	1.7	B	C	B	A	C	C	B	

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

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「次世代火力発電等技術開発
／次世代技術の早期実用化に向けた
信頼性向上技術開発」

事業原簿

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

—目次—

「次世代火力発電等技術開発」 事業一覧.....	1
概 要.....	2
プロジェクト用語集.....	7
1. 事業の位置付け・必要性について.....	9
1. 事業の背景・目的・位置づけ.....	9
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	11
2.1 NEDO が関与することの意義.....	11
2.2 実施の効果（費用対効果）.....	11
2. 研究開発マネジメントについて.....	12
1. 事業の目標.....	12
2. 事業の計画内容.....	13
2.1 研究開発の内容.....	13
2.2 研究開発の実施体制.....	15
2.3 研究開発の運営管理.....	16
2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けた マネジメントの妥当性.....	18
3. 情勢変化への対応.....	18
4. 評価に関する事項.....	19
3. 研究開発成果について.....	19
1. 事業全体の成果.....	19
2. 研究開発項目毎の成果.....	23
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて.....	30
1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて.....	30
(添付資料)	
・プロジェクト基本計画.....	添付 1
・特許論文等リスト.....	添付 2

「次世代火力発電等技術開発」事業一覧

◇中間評価、◆事後評価

年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)																
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(1/2助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)																
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)																
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)																
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究(委託)																
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)																
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)																
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)																
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)																
7) CO ₂ 有効利用技術開発(委託)																
8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発(委託)																
9) 機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究(委託)																
研究開発項目⑤ CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発(委託)																
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)																
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)																

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトで2016年度からNEDOへ移管
 ※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

概 要

		最終更新日	2019年9月5日				
プロジェクト名	次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発	プロジェクト番号	P16002				
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM: 青戸 冬樹 (2019年9月現在) 足立 啓 (2017年5月~2019年3月)						
0. 事業の概要	<p>2008~2016年度に実施した経済産業省とNEDOからの補助金(助成金)による「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発プロジェクト」において、700℃級先進超々臨界圧火力発電プラント(A-USC)製作に向けた要素技術が開発された。それに続き、本プロジェクトにおいては、A-USC商用機の普及促進を目的として、高温材料信頼性向上技術開発と保守技術開発を行う。</p> <p>(1) 高温材料信頼性向上技術開発 大径管内圧クリープ試験、長時間クリープ疲労試験、溶接部長時間健全性評価、材料データベースの拡充、表面改質技術開発等を実施する。</p> <p>(2) 保守技術開発 タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大、Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術開発を実施する。</p>						
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>経済産業省は、次世代火力発電技術を早期に技術確立、実用化するための方策に関するこれまでの議論を踏まえ「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」を2016年6月にとりまとめた。</p> <p>その中で、「火力発電の高効率化の技術開発は、経済性、信頼性、運用性を確保しつつ進めることが重要」とされ、「A-USCは要素技術開発を2016年度までに行い技術確立し、その後は材料評価を継続し、保守技術の開発を進め技術の信頼性を向上しつつ、段階的に発電効率の向上を図る。」と位置付けられている。</p>						
2. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>[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。</p> <p>[最終目標(2021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。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	
	大径管内圧クリープ試験	→					
	短冊一軸クリープ試験	→					
	長時間クリープ疲労試験	→					
	材料データベース拡充	→					
	表面改質技術開発	→					
	非破壊検査精度向上・適用箇所拡大	→					
	UTシミュレーション技術開発	→					

事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額 (評価実施年度については予算額) を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	総額												
	一般会計	—	—	—	—	—	—												
	特別会計 (電源・需給の別)	153	151	161	149	106	720												
	開発成果促進財源	—	—	—	—	—	—												
	総 NEDO 負担額	153	151	161	149	106	720												
	(助成) : 助成率 1/2	153	151	161	149	106	720												
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁資源・燃料部 石炭課																	
	プロジェクトリーダー	一般社団法人高効率発電システム研究所 福田 雅文																	
	プロジェクトマネージャー	環境部 青戸 冬樹																	
	助成先	東芝エネルギーシステムズ株式会社 株式会社 IHI 日本製鉄株式会社 (旧: 新日鐵住金株式会社) 一般社団法人電力中央研究所 一般社団法人発電設備技術検査協会 富士電機株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社																	
情勢変化への対応	研究開発上、社会的な情勢変化に対し、以下の対応を行った。																		
	表 1 研究開発上の情勢変化																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>情勢</th> <th>対応</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大径管内圧クリープ試験において、製作した試験体の温度応力解析を行い試験条件を検討した結果、目標試験時間として最低5,000時間が必要ながことが判明</td> <td>・目標試験時間を5,000時間確保するため、事業期間を「2017年度～2020年度」から「2017年度～2021年度」に1年間延長</td> </tr> </tbody> </table>							情勢	対応	大径管内圧クリープ試験において、製作した試験体の温度応力解析を行い試験条件を検討した結果、目標試験時間として最低5,000時間が必要ながことが判明	・目標試験時間を5,000時間確保するため、事業期間を「2017年度～2020年度」から「2017年度～2021年度」に1年間延長								
情勢	対応																		
大径管内圧クリープ試験において、製作した試験体の温度応力解析を行い試験条件を検討した結果、目標試験時間として最低5,000時間が必要ながことが判明	・目標試験時間を5,000時間確保するため、事業期間を「2017年度～2020年度」から「2017年度～2021年度」に1年間延長																		
情勢変化への対応	表 2 社会的な情勢変化																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>情勢</th> <th>対応</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>国内の新設石炭火力建設案件低調</td> <td rowspan="2">・A-USC技術によるリプレース、既設改造による二酸化炭素削減の提案</td> </tr> <tr> <td>国内の二酸化炭素削減への志向</td> </tr> <tr> <td>国内の電力需要の伸びの鈍化</td> <td rowspan="2">・A-USC材料のクリープ疲労特性把握試験を実施 ・USCへのA-USC材料適用による運用柔軟性向上の提案</td> </tr> <tr> <td>国内の再生可能エネルギー対応の運用柔軟性へのニーズ</td> </tr> <tr> <td>西欧諸国の二酸化炭素削減への志向</td> <td rowspan="3">・熱効率が低い経年石炭火力へA-USC技術を適用することによる性能向上、運用柔軟性向上の提案</td> </tr> <tr> <td>西欧諸国の電力需要の伸びの鈍化</td> </tr> <tr> <td>アメリカにおけるシェールガス産出 石炭からガスへの転換</td> </tr> </tbody> </table>							情勢	対応	国内の新設石炭火力建設案件低調	・A-USC技術によるリプレース、既設改造による二酸化炭素削減の提案	国内の二酸化炭素削減への志向	国内の電力需要の伸びの鈍化	・A-USC材料のクリープ疲労特性把握試験を実施 ・USCへのA-USC材料適用による運用柔軟性向上の提案	国内の再生可能エネルギー対応の運用柔軟性へのニーズ	西欧諸国の二酸化炭素削減への志向	・熱効率が低い経年石炭火力へA-USC技術を適用することによる性能向上、運用柔軟性向上の提案	西欧諸国の電力需要の伸びの鈍化	アメリカにおけるシェールガス産出 石炭からガスへの転換
	情勢	対応																	
国内の新設石炭火力建設案件低調	・A-USC技術によるリプレース、既設改造による二酸化炭素削減の提案																		
国内の二酸化炭素削減への志向																			
国内の電力需要の伸びの鈍化	・A-USC材料のクリープ疲労特性把握試験を実施 ・USCへのA-USC材料適用による運用柔軟性向上の提案																		
国内の再生可能エネルギー対応の運用柔軟性へのニーズ																			
西欧諸国の二酸化炭素削減への志向	・熱効率が低い経年石炭火力へA-USC技術を適用することによる性能向上、運用柔軟性向上の提案																		
西欧諸国の電力需要の伸びの鈍化																			
アメリカにおけるシェールガス産出 石炭からガスへの転換																			
中間評価結果への対応	—																		
評価に関する事項	事前評価	—																	
	中間評価	2019年度 中間評価																	
	事後評価	2022年度 事後評価																	

3. 研究開発成果について	<p>[事業全体]</p> <p>中間目標：・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。</p> <p>成 果：・大径管内圧クリープ試験等の高温長期材料試験及び材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2021年度末までの試験計画を策定できた。 ・表面処理技術開発及び保守技術開発については、得られた基礎データ等から技術確立の見通しを得られており、全ての研究開発項目について中間目標を達成できた。</p> <p>[研究開発項目毎]</p> <p>1)-(a)-1 大径管内圧クリープ試験 中間目標：・第一回目試験を開始し、中間止め検査を実施する。 成 果：・第一回目試験を開始し、現在4,500時間経過。中間止め検査を2回行い、試験体の損傷状況等のデータを取得した。</p> <p>1)-(a)-2 短冊一軸クリープ試験 中間目標：・3つの試験体でクリープ試験を開始し、1回目の中間止め検査を完了する。 成 果：・すべての試験体で1回目の中間止め検査を行い、クリープ試験及び中間止め検査によるデータを取得した。</p> <p>1)-(a)-3 長時間クリープ疲労試験 中間目標：・保持時間10時間までのクリープ疲労試験データを拡充する。 成 果：・保持時間10時間までのクリープ疲労試験データを拡充した。</p> <p>1)-(b)-1 タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価 中間目標：・蒸気タービン用Ni基材料のクリープ破断試験を実施する。 ・水蒸気雰囲気中での機械試験等を行い、材料データベースの拡充を図る。 成 果：・TOS1X-2ロータ材のクリープ破断データ（最長56,000時間）を取得した。 ・水蒸気雰囲気中のクリープ試験を完了し、材料データベースを拡充した。</p> <p>1)-(b)-2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価 中間目標：・蒸気タービンロータ溶接部材料のクリープ破断データを取得し、材料データベースの拡充を図る。 成 果：・TOS1X-2ロータ材共材及び異材溶接部のクリープ破断データを取得済し、材料データベースを拡充した。</p> <p>1)-(b)-3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築 中間目標：・ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME規格化への提案を行う。 成 果：・ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME規格化への提案を行った。</p> <p>1)-(c)-1 タービン翼表面改質技術 中間目標：・短時間、比較的長時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験を完了する。 成 果：・800時間、2,000時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験を完了した。</p> <p>2)-(a)-1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所の大径 中間目標：・超音波の材料中での減衰特性等の基礎データを取得する。 ・探傷角度による影響評価のため、試験体を製作し探傷基礎試験を実施する。 成 果：・超音波減衰特性の基礎データを取得した。 ・試験体を製作し、探傷基礎試験を実施した。</p> <p>2)-(b)-1 ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術開発 中間目標：・組織情報と音速等のデータを取得する。 ・金属モデル、シミュレーションモデルを構築し、同モデルの検証を開始する。 成 果：・組織情報と音速等のデータを取得した。 ・金属モデル、シミュレーションモデルを構築し、同モデルの検証を開始した。</p>

投稿論文	「査読付き」10件、「その他」52件
特許	「出願済」1件
その他の外部発表 (プレス発表等)	なし

図1に示すように、本プロジェクトによる信頼性向上技術開発と並行して、既設石炭火力(600°C級 USC)への適用、経年火力のリプレース等、国外市場への売り込みを行いつつ事業化を目指す。

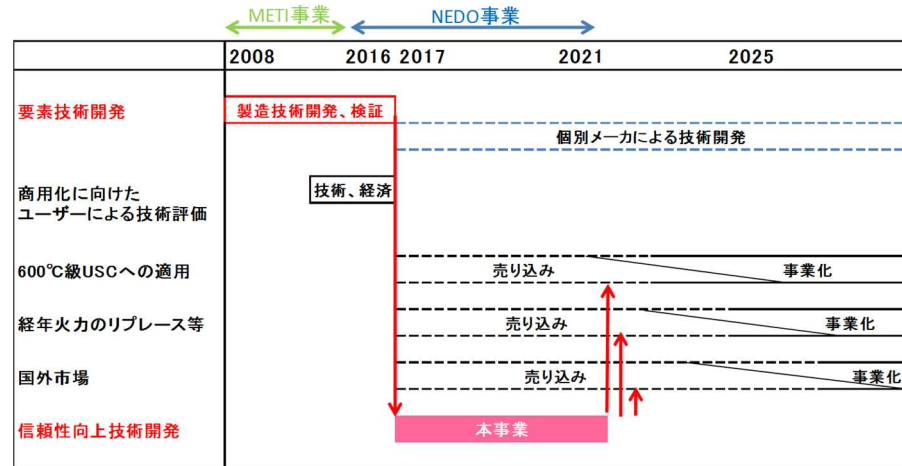


図1 事業化想定スケジュール

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1) 事業化の見通し

国内では2025~2030年ごろを目途とし、経年火力のリプレース等による既存資源(人材、立地、設備)を有効活用した事業化を図る。

また、大径管等の信頼性向上、肉厚減少による運用柔軟性向上を目的とした600°C級 USC 高温部への適用による早期実用化を図る。

国外ではメーカーの国外営業、製造拠点を活用し、東南アジア、インド、オセアニア、欧州、北米での事業化を図る。

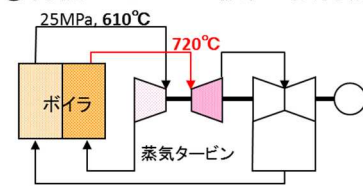
2) 導入対象

既設石炭火力(600°C級 USC)、リプレース、新設石炭火力等

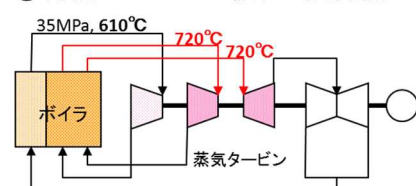
3) 技術の段階的導入

A-USCは主蒸気温度、圧力、再熱蒸気温度の設定に自由度があるので、USCと同様に、導入実績を重ねつつ、より蒸気条件が高いシステムの実現を目指す(図2)

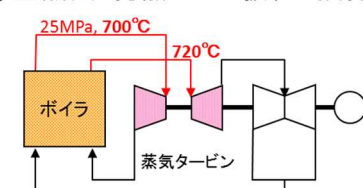
①再熱のみ700°C級、一段再熱



③再熱のみ700°C級、二段再熱



②主蒸気・再熱700°C級、一段再熱



④主蒸気・再熱700°C級、二段再熱

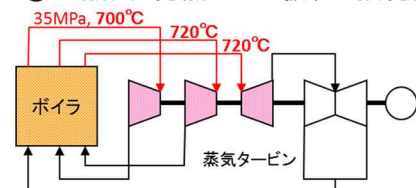


図2 技術の段階的導入

5. 基本計画に関する事項	作成時期	2017年2月 作成
	変更履歴	2018年2月 改訂 (PLの追記) 2019年1月 改訂 (実施期間の変更、中間目標の策定、最終目標年度の変更、研究開発スケジュール表の修正) 2019年7月 改訂 (PMの変更)

プロジェクト用語集

名 称	略 号	意 味
アコースティックエミッション Acoustic Emission	AE	材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波として放出する現象であり、AE 波は主に超音波領域の高い周波数成分を持つ。この AE 波を材料表面に設置した AE センサによって電気信号に変換して検出し、破壊や変形の様子を非破壊的に評価する手法を AE 法と呼ぶ。
エロージョン		固体、液体および気体が材料との相対的動きや衝撃的な繰り返し作用によって生ずる機械的力によって材料表面を変形・劣化させ、少しずつ材料を脱離させその場所に減肉を生じさせる現象。
クリープ		物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともに歪みが増大する現象。
高位発熱量		高位発熱量もしくは総発熱量は、燃焼後の生成物を燃焼前の温度に戻し、生成した水蒸気がすべて凝縮した場合の発熱量である。燃焼で生成された水が液体で存在するような一般的な温度で燃焼反応のエンタルピー変化を想定しているため、総発熱量は燃焼熱に等しい値となる。熱量計で測定される熱量は高位発熱量である。
再熱蒸気		超高圧または高圧タービンで仕事をした後、再度ボイラで過熱された蒸気であり、再度タービンで仕事をする。
酸化スケール		金属を空气中または他の酸化雰囲気中で加熱したとき表面に生じる酸化物の被膜
主蒸気		ボイラで発生する最高圧力、最高温度の蒸気
石炭		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間高い地圧と地熱などによる加圧、乾留などの作用を受けて変質した可燃性固体。 火力発電などに用いられる石炭は、製鉄業でコークス用に用いられる原料炭と区別して一般炭と呼ばれる。 一般に、発熱量 4,000kcal/kg 以下、湿分と水分の合計が 30%以上、灰分 40%以上の、揮発分 10%以下のものは低品位炭と呼ばれる（火力原子力発電技術協会 纂：火力発電用語辞典より）。
先進超々臨界圧汽力発電 Advanced-USC	A-USC	蒸気温度 700℃以上の超臨界圧汽力発電
送電端出力		発電機出力—所内動力
タービン		蒸気の流れによってロータと羽根とが組み合わされたものが回転し、連続的にパワーを生み出す機械のこと。

超音波探傷試験 Ultrasonic Testing	UT	超音波のパルス信号として機械的な振動を金属材料等の表面や内部に伝播させることにより、音響的に不連続な部分からの反射信号や反射強度、伝播時間などにより、材料内部のきずや長さ、形状などを非破壊で評価し、その良否判定を検査規格などにより良否判定する技術。
超々臨界圧汽力発電 Ultra Super Critical pressure	USC	蒸気温度 593℃以上の超臨界圧汽力発電
熱効率		電気出力／投入熱量
バルブ		管などのように閉じた流路を流れる流体に対し、流路の一部の断面積を可変とし、圧力、流量、流路などを制御する装置。弁。
ボイラ		ボイラは、燃料を燃焼させて得た熱を水に伝え、水蒸気や温水（＝湯）に換える熱交換装置を持った熱源機器。
日本機械学会 The Japan Society of Mechanical Engineers	JSME	機械工学とその関連分野の学会
液化天然ガス Liquefied Natural Gas	LNG	メタンを主成分とした天然ガスを冷却し液化したもの

1. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

①政策的位置付け、技術戦略上の位置付け

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するとされており、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おり、A-USC技術の確立及び更なる性能向上の検討は本ロードマップにおける中核技術の一つである。

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が、材料技術等の進歩により700℃以上も可能になった。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ブ試験を実施する等、更なる信頼性の検証を行う。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が必要であり、本事業ではその需要に対応するため、高温材料信頼性向上技術開発及び保守技術開発を行う。



図 1-1 次世代火力発電に係る技術ロードマップ

②プロジェクトの経緯

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

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

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

＜次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 2017年度～2021年度＞

- ・A-USC商用機の普及促進を目的として、以下の技術開発を行う。
 - －高温長期材料試験による信頼性向上技術開発
 - －保守技術の開発・高度化

③国内外の研究開発の動向と比較

ヨーロッパにおいては2004年からはe.on社のScholven発電所F号機に700℃の蒸気発生器を設置し、20,000時間の実缶試験を開始したが、主蒸気配管に損傷が生じたのをきっかけに12,000時間で試験は中止された。その後、マンハイムにあるGKMにおいて小型実缶試験を行ったが、現在は中断の様様。アメリカではエネルギー省の資金によりEPRIを中心にボイラ、タービンメーカーが参画し2001年から技術開発（ComTest）が進められている。インドは国際協力での実証を狙っている様様。中国は650℃以下／二段再熱を当面の目標としている。

表 1-1 国内外の研究開発の動向と比較

		日本	ヨーロッパ	アメリカ	中国	インド
目標 蒸気条件	温度	700～750℃	700～720℃	732～760℃	700～720℃ (当面630/650℃)	710～720℃
	圧力	35MPa	35MPa	35MPa	35MPa	31MPa
開発項目	ボイラ	○	○	○	○	○
	タービン	○	△	○	?	○
	弁	○	○	?	?	○
開発状況	ボイラ	実缶試験完了	小型実缶試験実施 HTW II	ComTestで実缶・回転試験を計画したが、実機サイズの大型部材の製造技術開発、検証に軸足を移した。	実缶試験計画 状況不明	材料基礎検討中
	タービン	回転試験完了	ロータ材料製作		?	材料基礎検討中
	弁	実缶試験完了	小型実缶試験実施 HTW II		?	?

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDO が関与することの意義

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる必要がある、次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発は、火力発電設備の高効率化による CO2 排出量削減が可能であり社会的必要性が大きい。しかし、本技術は研究開発の難易度が高く、投資規模も大きいため、民間企業だけではリスクが高いことから NEDO の関与が必要不可欠である。

2.2 実施の効果（費用対効果）

①プロジェクト費用の総額 14.5 億円（補助額 7.2 億円）

②マーケットの現状及び将来の規模

表 1-2 に示すように World Energy Outlook2017 によれば、2026-2040 年の石炭火力の市場規模は年平均 25GW であり、この時点では高効率石炭火力の必要性が非常に高まると考えられ、石炭火力市場の半数弱の年間 10GW 程度の A-USC 市場が見込める。

一方、日本国内では 1980 年から 2000 年までの間に 30GW 程度の石炭火力容量が増加している。年平均では 1.5GW 程度になる。今後これらがリプレースされるとともに、若干量の新設が加わると考え、将来的には国内で年間 2GW 程度の A-USC の市場が見込める。

故に、国内外では将来的には年間 12GW 程度の A-USC 市場が見込める。

表 1-2 OECD 以外のアジアにおける将来新設石炭火力容量

2017-2025 年

中国	141GW	年平均 16GW
インド	120GW	年平均 13GW
東南アジア	41GW	年平均 5GW
合計	302GW	年平均 34GW

2026-2040 年

中国	72GW	年平均 5GW
インド	251GW	年平均 17GW
東南アジア	58GW	年平均 4GW
合計	381GW	年平均 25GW

③海外市場における年間販売額

市場規模は 10GW/年程度であり、現状 A-USC を実現できるのは日本メーカーのみであるが、将来的には競合国も現れると考えられるため日本企業のシェアを 50%と設定し、コスト等検証委員会で提示された 2030 年の建設単価 28.8 万円/kW を適用すると

日本企業の年間販売額 = 10GW/年 × 28.8 万円/kW × 50% = 1 兆 4,400 億円/年

④国内市場における年間販売額

市場規模は 2GW/年程度であるため、他技術の状況と A-USC 向き炭種の割合を勘案して A-USC のシェアとして 60%程度を狙い、コスト等検証委員会で提示された 2030 年の建設単価 28.8 万円/kW を適用すると

日本企業の年間販売額 = 2GW/年 × 28.8 万円/kW × 60% = 3,500 億円/年

⑤二酸化炭素排出量削減効果

総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会（第5回会合）資料3「火力発電における論点」5ページ目（図1-2）によると、現状の設備が全体としてUSC並みの効率になると約1,550万tCO₂/年の削減が図られるとしている。

<p>【試算の考え方】 (石炭火力) 現状の設備が、全体としてUSC並みの効率になると仮定。 [CO₂排出係数の想定] 石炭平均:0.864kg/kWh → USC:0.810kg/kWh 設備容量4080万kW、稼働率80%と仮定し、 →約1550万tCO₂/年の削減</p>
--

図1-2 「火力発電における論点」における USC の二酸化炭素の削減試算

現状の設備が全体としてA-USC並みの効率になると次のような二酸化炭素排出削減効果がある。

[CO₂ 排出係数の想定]

石炭平均 : 0.864kg/kWh → A-USC : 0.710kg/kWh

設備容量 4080 万 kW、稼働率 80%と仮定し、

年間の二酸化炭素削減量 : $4,080 \text{ 万 kW} \times 8,760 \text{ 時間} \times 0.8 \times (0.864 - 0.710)$
= 4,400 万 tCO₂/年 (約 18%削減)

2. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

[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 (2021 年度)]

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

[目標設定の根拠]

700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン適用材料開発については、長期高温環境下での使用を想定したクリープ試験を実施する等、更なる信頼性の向上及び保守技術開発が必要である。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

2008～2016年度に実施した経済産業省とNEDOからの補助金（助成金）による「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発プロジェクト」において、先進超々臨界圧火力発電プラント（A-USC）製作に向けた要素技術が開発された。それに続き、本プロジェクトにおいては、A-USC商用機の普及促進を目的として、高温材料信頼性向上技術開発と保守技術開発を行う。項目ごとに以下の目標を定める。

表 2-1 研究開発項目の目標と設定根拠

研究開発項目	中間目標 (2019年度)	最終目標 (2021年度)	設定根拠
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(a) - 1 大径管内圧クリープ試験	第一回目試験を開始し、中間止め検査を実施する。	大径管厚肉部材等について「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。	ボイラ保守の要となる部材であり、実機運転中の経年劣化を理解するためには、高圧、高温条件下での実形状部材損傷試験による、損傷形態把握と計測検証が不可欠である。
(a) - 2 短冊一軸クリープ試験	3つの試験体でクリープ試験を開始し、1回目の中間止め検査を完了する。	大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。	(a)-1の試験は大型試験体を用いるため試験体数、試験時間に大きな制約がある。それを補完するため、単軸応力場ではあるが、大型試験片で(a)-1に準じた試験を行う。
(a) - 3 長時間クリープ疲労試験	保持時間10時間までのクリープ疲労試験データを拡充する。	試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。	再生可能エネルギーを補完するために、将来的には石炭火力にも頻繁な負荷変化が要求される可能性がある。その場合、部材に生じるクリープ疲労損傷を評価するための基礎データが必要である。
(b) - 1 タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価	蒸気タービン用Ni基材料のクリープ破断試験を実施する。水蒸気雰囲気中での機械試験等を行い、材料データベースの拡充を図る。	タービン用Ni基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。	タービン用Ni基材料についてはこれまでクリープ破断試験を主体に信頼性検証を行ってきたが、より実機に近い条件での信頼性を確認するために行う。
(b) - 2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価	蒸気タービンロータ溶接部材料のクリープ破断データを取得し、材料データベースの拡充を図る。	タービン用Ni基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。	タービンロータ溶接部は運転中常に高応力、高温環境下において、長時間の信頼性を検証する必要がある。
(b) - 3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築	ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME規格化への提案を行う。	ボイラ用Ni基材料の経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータ拡充、クリープ亀裂進展データ拡充等を行う。	ボイラは規格により設計、製作されるので、新材料の規格化が必要である。また、実機運用においては溶接補修が行われ、その信頼性検証が必要である。
(c) - 1 タービン翼表面改質技術	短時間、比較的長時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験を完了する。	高Cr鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。	A-USCでは従来の高Cr鋼もできる限り高温で使用するが、表面酸化が問題になる場合がある。そこで、表面改質によりより高温での使用を可能とする。
2) 保守技術開発			
(a) - 1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大	超音波の材料中での減衰特性等の基礎データを取得する。探傷角度による影響評価のため、試験体を製作し探傷基礎試験を実施する。	蒸気タービンロータ溶接部(Ni基/耐熱鋼)非破壊検査(フェースドレイTOFD法、セクタスキャン法)精度向上及び適用箇所の拡大をする。	フェースドレイ TOFD 法、セクタスキャン法の実機適用時の校正 TP および校正作業を削減するとともに適用範囲を拡大し、実機ロータの運用信頼性を向上する。
(b) - 1 ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術開発	組織情報と音速等のデータを取得する。金属モデル、シミュレーションモデルを構築し、同モデルの検証を開始する。	ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術を開発する。	Ni基合金やオーステナイト鋼は比較的結晶粒が大きく、UT検査では粒界でのノイズが大きい。UTシミュレーションにより、ノイズと欠の判別を的確に行えるようになる。

研究開発のスケジュールを図 2-1 に示す。

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

図 2-1 研究開発のスケジュール

プロジェクトの費用を表 2-2 に示す。

・総事業費：7.2 億円（2017～2019 年度（評価対象年度）については 4.7 億円）

※補助率（助成率）は 1/2

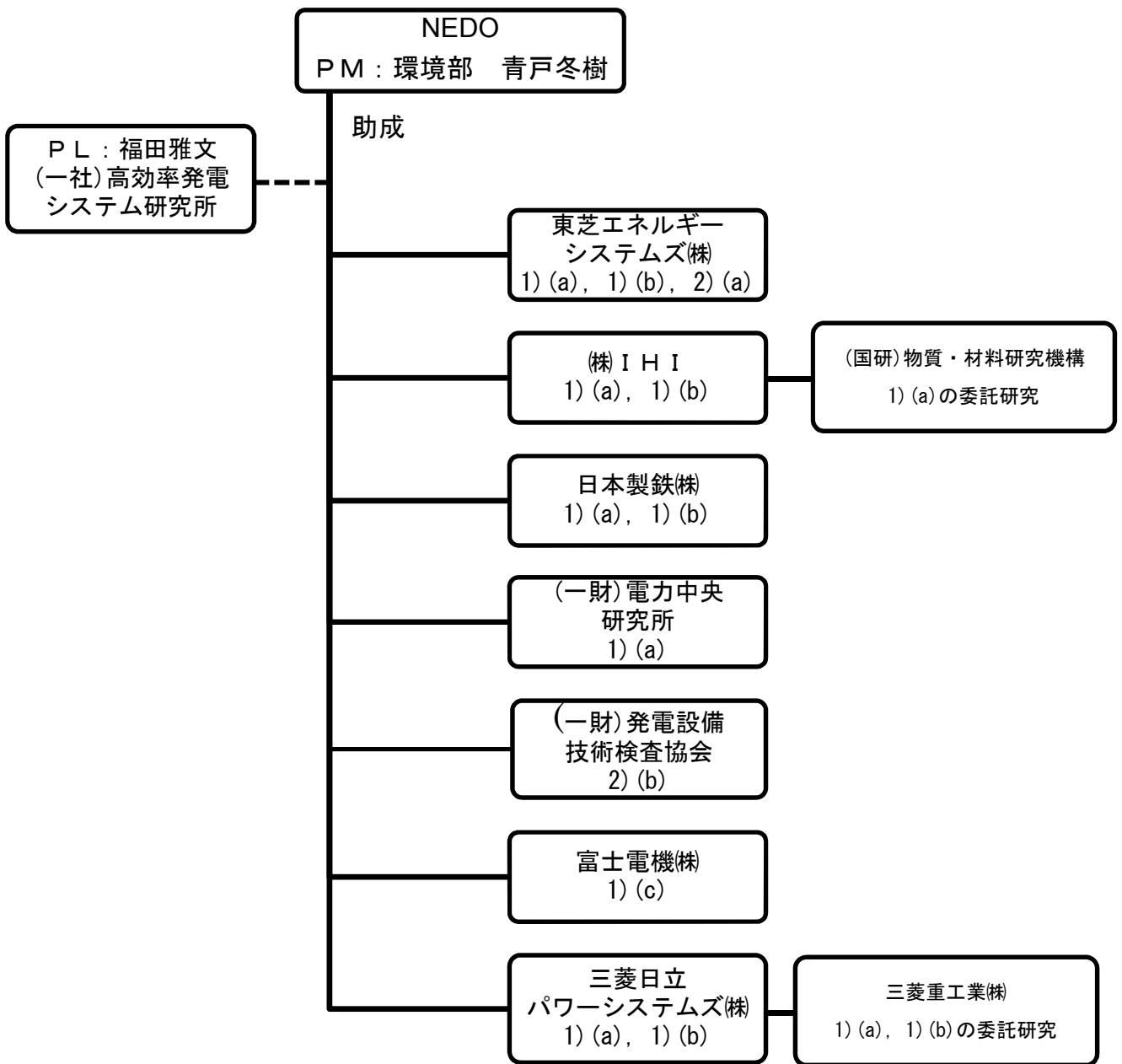
表 2-2 プロジェクトの費用

（単位：百万円）

研究開発項目	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	合計
大径管内圧クリープ試験	78	86	71	65	58	358
短冊一軸クリープ試験	8	7	10	7	5	36
長時間クリープ疲労試験	9	7	4	5	4	29
タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価	6	6	13	12	8	45
タービンロータ溶接部長時間健全性評価	6	6	5	7	5	29
ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築	31	19	29	25	27	130
高Cr鋼の表面改質技術開発	8	9	16	15	0	50
非破壊検査精度向上及び適用箇所の拡大	0	3	5	4	0	11
UT検査のシミュレーション技術開発	9	9	9	9	0	35
合計	153	151	161	149	106	720

2.2 研究開発の実施体制

研究開発の実施体制、役割分担を図 2-2 に示す。



役割分担

1) 高温材料信頼性向上技術開発

- (a) 大径管内圧クリープ試験、短冊一軸クリープ試験、長時間クリープ疲労試験などの Ni 基材料を対象とした高温長期材料試験
- (b) タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価、タービンロータ溶接部長時間健全性評価、ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築を目的とした材料データベース拡充
- (c) タービン翼へ適用する Ni 材料へ安価な高 Cr 鋼を適用するための表面改質技術開発

2) 保守技術開発

- (a) 蒸気タービンロータ溶接部 (Ni 基/耐熱鋼) 非破壊検査用として開発した非破壊検査 (フェーズドアレイ TOFD 法)、精度向上及び適用箇所の拡大
- (b) ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術開発

図 2-2 研究開発体制

以下、主な主任研究者を示す。

東芝エネルギーシステムズ株式会社

氏名 高橋 武雄
技術分野 火力発電システム、構造設計

株式会社 IHI

氏名 稲井 英太郎
技術分野 材料技術

日本製鉄株式会社

氏名 仙波 潤之
技術分野 耐熱鋼・耐熱合金の研究開発

一般社団法人電力中央研究所

氏名 西ノ入 聡
技術分野 大径管の内圧曲げクリープ試験、ひずみ法・AE 法等による
変形・破壊プロセス評価

一般社団法人発電設備技術検査協会

氏名 古川 敬
技術分野 非破壊検査工学、超音波探傷試験、シミュレーション工学

富士電機株式会社

氏名 西牧 航志郎
技術分野 熱流体設計、蒸気タービン翼設計

三菱日立パワーシステムズ株式会社

氏名 東海林 剛
技術分野 耐熱材料、溶接技術

2.3 研究開発の運営管理

2.3.1 A-USC 開発推進委員会

図 2-3 に開発の運営を取り仕切る A-USC 開発推進委員会の体制を示す。A-USC 開発推進委員会、大径管内圧クリープ試験分科会は 3 か月に 1 回程度の頻度で開催し、ボイラ分科会、タービン分科会、バルブ分科会は適宜開催した。

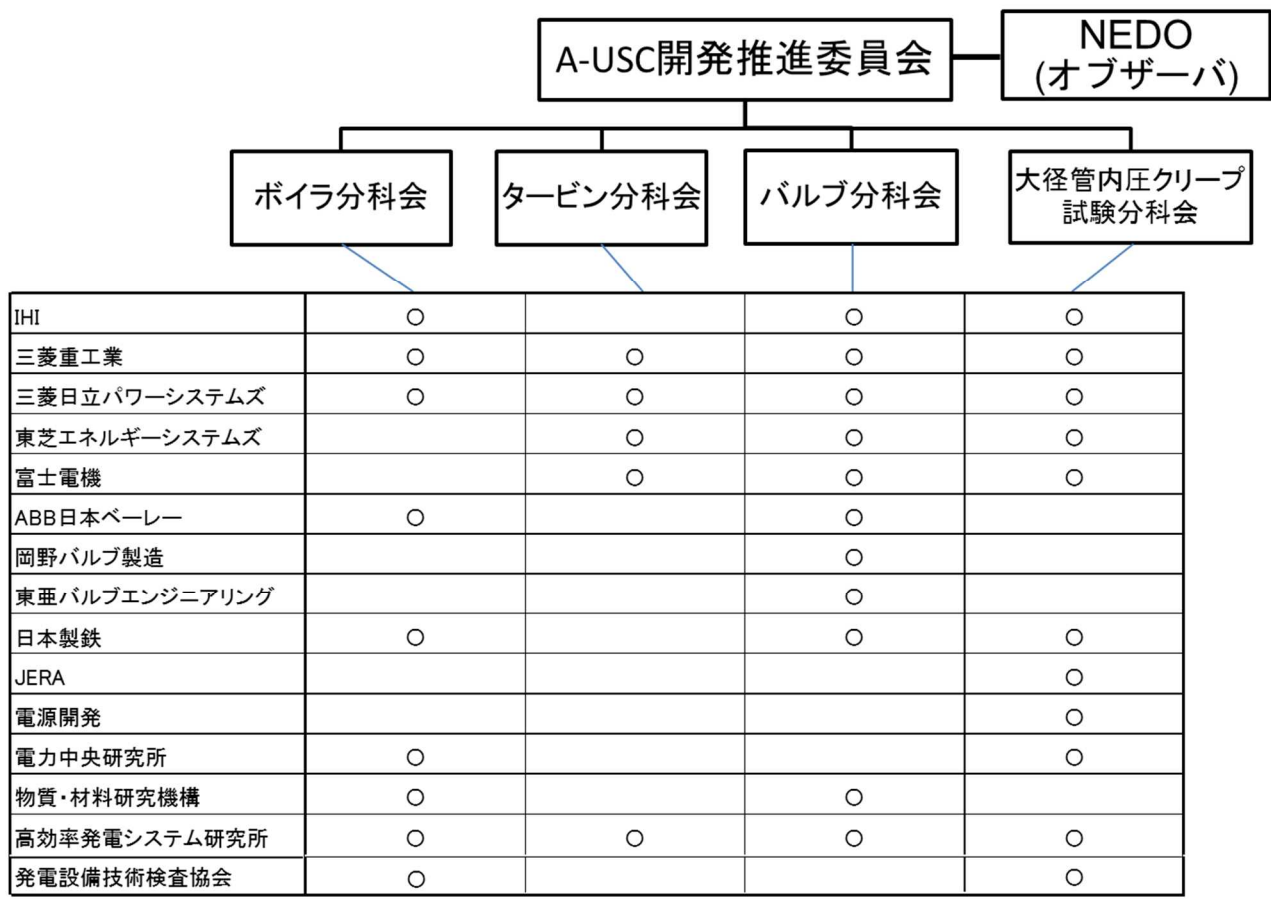


図 2-3 A-USC 開発推進委員会の体制

A-USC 開発推進委員会の機能

- ・ A-USC 開発推進に必要な事項の基本方針策定、審議、情報交換
- ・ NEDO 対応（予算・スケジュール調整、書類の統括等）
- ・ 各社間の懸案事項調整
- ・ 各社開発状況等に関する情報交換
- ・ 外部への発表、講演等の調整
- ・ 各社の特許出願状況把握
- ・ その他

2.3.2 研究開発の進捗管理

①PM による進捗管理

- ・ PM は、PL や研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、毎月、従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリング等により実施状況を確認し、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

②PL による進捗管理

- ・ A-USC 開発推進委員会を3か月に1回程度開催し、各分科会の実施状況、問題をチェックする。
- ・ 大径管内圧クリープ試験分科会を3か月に1回程度開催し、分科会内作業の実施状況、問題をチェックする。

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

2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術の開発にあたっては、高温長期材料試験、タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価、表面改質技術、非破壊検査、UT シミュレーションなど多様な技術分野にわたる開発が必要となることから、それぞれの技術分野について高度な知見・技術を有する各事業者が共同で研究開発を遂行する方針とし、高効率発電システム研究所の福田雅文 代表理事が PL として責任をもって研究開発を推進するとともに、NEDO 環境部 PM が適時 PL と協議して、必要に応じて指示・サポートする体制とした。

知的財産権等に関する戦略については、2008～2016 年度に実施された、前プロジェクト（要素技術開発）においては A-USC プラントを建設するための新材料等の特許を早期に取得し、それらの材料を活用するための製造、構造技術特許を積極的に出願した。材料の信頼性向上、保守技術開発を実施する今回のプロジェクトにおいては、事業者が秘匿すべき技術が多く得られるので、特許出願よりもノウハウ蓄積に重点を置く。

3. 情勢変化への対応

研究開発上、社会的な情勢変化に対し、表 2-3、2-4 のとおり対応を行った。

表 2-3 研究開発上の情勢変化

情勢	対応
大径管内圧クリープ試験において、製作した試験体の温度応力解析を行い試験条件を検討した結果、目標試験時間として最低5,000時間が必要ことが判明	・目標試験時間を5,000時間確保するため、事業期間を「2017年度～2020年度」から「2017年度～2021年度」に1年間延長

表 2-4 社会的な情勢変化

情勢	対応
国内の新設石炭火力建設案件低調	・A-USC技術によるリプレース、既設改造による二酸化炭素削減の提案
国内の二酸化炭素削減への志向	
国内の電力需要の伸びの鈍化	
国内の再生可能エネルギー対応の運用柔軟性へのニーズ	・A-USC材料のクリープ疲労特性把握試験を実施 ・USCへのA-USC材料適用による運用柔軟性向上の提案
西欧諸国の二酸化炭素削減への志向	・熱効率が低い経年石炭火力へA-USC技術を適用することによる性能向上、運用柔軟性向上の提案
西欧諸国の電力需要の伸びの鈍化	
アメリカにおけるシェールガス産出 石炭からガスへの転換	

4. 評価に関する事項

本事業は、経済産業省（METI）が2008年度～2015年度まで直接実施し、その後NEDOが継承して2016年度で実施した「先進超々臨界圧火力発電技術開発」の後継プロジェクトとして開始した事業である。METI事業では、2007年度に事業開始前の事前評価、2010年度に第1回中間評価、2013年度に第2回中間評価を行い、NEDOに継承後は2016年度に前倒し事後評価を実施した。

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

- ・開発目標はほぼ達成し、本プロジェクトにより我が国がA-USC分野で欧米をリードできた。
- ・送電端熱効率46%達成の見通しを得ており、2025年頃に大型機の商用実証を目指す態勢が整いつつある。
- ・新材料の開発、Ni基の材料を部分的に使用等、有意義な成果が得られている。
- ・今後は、実機の運用を想定した課題の抽出、実機模擬試験等による寿命評価手法やメンテナンスのための健全性評価手法の確立が必要。また、更なる長時間の試験を行うことが必要。

3. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

本事業は2020年以降に増大すると考えられ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し、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高温材料信頼性向上技術開発及び保守技術開発を実施することを目的としており、それに対し、概ね計画通りの達成状況である。

[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。

[達成状況]

大径管内圧クリープ試験等の高温長期材料試験及び材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2021年度末までの試験計画を策定できた。また、表面処理技術開発及び保守技術開発については、得られた基礎データ等から技術確立の見通しを得られており、全ての研究開発項目について中間目標を達成できた。

[成果の意義]

本プロジェクトによる技術開発を確実に実施することにより、A-USCの信頼性を高めることができおり、A-USC商用機の普及促進に繋がっている。

表 3-1 に研究開発項目毎の中間目標と達成状況を示す。

表 3-1 研究開発項目毎の中間目標と達成状況

研究開発項目	中間目標 (2019 年度)	主な達成状況	中間目標 の達成度
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(a) - 1 大径管内圧クリープ試験	・第一回目試験を開始し、中間止め検査を実施する。	・第一回目試験を開始し、現在 4,500 時間経過。中間止め検査を 2 回行い、試験体の損傷状況等のデータを取得した。	○
(a) - 2 短冊一軸クリープ試験	・3つの試験体でクリープ試験を開始し、1 回目の中間止め検査を完了する。	・すべての試験体で 1 回目の中間止め検査を行い、クリープ試験及び中間止め検査によるデータを取得した。	○
(a) - 3 長時間クリープ疲労試験	・保持時間 10 時間までのクリープ疲労試験データを拡充する。	・保持時間 10 時間までのクリープ疲労試験データを拡充した。	○
(b) - 1 タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価	・蒸気タービン用 Ni 基材料のクリープ破断試験を実施する。 ・水蒸気雰囲気中での機械試験等を行い、材料データベースの拡充を図る。	・TOS1X-2 ロータ材のクリープ破断データ(最長 56,000 時間)を取得した。 ・水蒸気雰囲気中のクリープ試験を完了し、材料データベースを拡充した。	○
(b) - 2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価	・蒸気タービンロータ溶接部材料のクリープ破断データを取得し、材料データベースの拡充を図る。	・TOS1X-2 ロータ材共材及び異材溶接部のクリープ破断データを取得済し、材料データベースを拡充した。	○
(b) - 3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築	・ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME 規格化への提案を行う。	・ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME 規格化への提案を行った。	○
(c) - 1 タービン翼表面改質技術	・短時間、比較的長時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験を完了する。	・800 時間、2,000 時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験を完了した。	○

2) 保守技術			
(a) - 1 蒸気タービンロータ溶接部 非破壊検査精度向上 及び適用箇所拡大	・超音波の材料中での減衰特性等の基礎データを取得する。 ・探傷角度による影響評価のため、試験体を製作し探傷基礎試験を実施する。	・超音波減衰特性の基礎データを取得した。 ・試験体を製作し、探傷基礎試験を実施した。	○
(b) - 1 ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション 技術開発	・組織情報と音速等のデータを取得する。 ・金属モデル、シミュレーションモデルを構築し、同モデルの検証を開始する。	・組織情報と音速等のデータを取得した。 ・金属モデル、シミュレーションモデルを構築し、同モデルの検証を開始した。	○

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

表 3-2 に研究開発項目毎の最終目標と達成可能性を示す。

表 3-2 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (2021 年度)	達成見通し
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(a) - 1 大径管内圧クリープ試験	・第一回目試験を開始し、現在 4,500 時間経過。中間止め検査を 2 回行い、試験体の損傷状況等のデータを取得した。	大径管厚肉部材等について、「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE 試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。	「多軸応力場での損傷形態把握」について、損傷発生までに当初計画よりも時間がかかる傾向が認められ、 試験期間(プロジェクト期間)の 1 年程度の延長が必要な状況
(a) - 2 短冊一軸クリープ試験	・すべての試験体で 1 回目の中間止め検査を行い、クリープ試験及び中間止め検査によるデータを取得した。	大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT 試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。	「単軸応力場での損傷形態把握」について、損傷発生までに当初計画よりも時間がかかる傾向が認められ、 試験期間(プロジェクト期間)の 1 年程度の延長が必要な状況
(a) - 3 長時間クリープ疲労試験	・保持時間 10 時間までのクリープ疲労試験データを拡充した。	試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。	・保持時間 24 時間以上のクリープ疲労試験を行うことにより 達成可能 。

(b) - 1 タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価	<ul style="list-style-type: none"> ・TOS1X-2 ロータ材のクリープ破断データ (最長 56,000 時間) を取得した。 ・水蒸気雰囲気中のクリープ試験を完了し、材料データベースを拡充した。 	タービン用 Ni 基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・タービン用 Ni 基材料のクリープ破断試験等を引き続き実施し、材料データベースの拡充及び材料劣化挙動の評価を行うことにより達成可能。
(b) - 2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価	<ul style="list-style-type: none"> ・TOS1X-2 ロータ材共材及び異材溶接部のクリープ破断データを取得済し、材料データベースを拡充した。 	タービン用 Ni 基超合金/従来耐熱鋼の異材接合部の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・ロータ溶接部のクリープ破断試験を継続し、材料データベースの拡充及び長時間健全性の評価を行うことにより達成可能。
(b) - 3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME 規格化への提案を行った。 	ボイラ用 Ni 基材料の経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータ拡充、クリープ亀裂進展データ拡充等を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータの拡充、申請を引き続き行うことにより達成可能。
(c) - 1 タービン翼表面改質技術	<ul style="list-style-type: none"> ・800 時間、2,000 時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験を完了した。 	高 Cr 鋼表面に生成されている酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。	<ul style="list-style-type: none"> ・スクリーニング試験結果を踏まえ、有効性が認められた改質技術について更に 8,000 時間時間の水蒸気酸化試験を行うことにより、2020 年度末までに達成見込み。
2) 保守技術			
(a) - 1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波減衰特性の基礎データを取得した。 ・試験体を製作し、探傷基礎試験を実施した。 	蒸気タービンロータ溶接部 (Ni 基/耐熱鋼) 非破壊検査 (フェーズドアレイ TOFD 法、セクタスキャン法) 精度向上及び適用箇所の拡大をする。	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波伝播特性及び探傷角度による欠陥検出性の評価を行い、探傷精度の高度化手法の検討を行うことにより、2020 年度末までに達成見込み。
(b) - 1 ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・組織情報と音速等のデータを取得した。 ・金属モデル、シミュレーションモデルを構築し、同モデルの検証を開始した。 	ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術を開発する。	<ul style="list-style-type: none"> ・構築したシミュレーションモデルの検証を引き続き行うことにより、2020 年度末までに達成見込み。

2. 研究開発項目毎の成果

2-1) 高温材料信頼性向上技術開発

2-1)-(a)-1 大径管内圧クリープ試験

ボイラで発生した 700℃級の高温蒸気は直径 0.5~1m 程度、長さ 200m 程度、肉厚 30~100mm 程度のサイズを有する大型配管を通してタービンまで導かれる。本項目ではその一部を取り出した大径管厚肉部材（配管試験体）を図 3-1 に示す試験装置（BIPress）により試験を行っている。配管試験体を 750℃まで加熱し、内圧、曲げを与えることにより、配管試験体に高温状態で多軸応力場を発生させる。その状態で 5,000 時間程度保持し、配管に損傷を与える。実際には試験途上でいったん除荷、減温し UT（超音波検査）、PT（浸透探傷検査）等により損傷の進行度合いを計測する。また、試験中は AE（アコースティックエミッション）により亀裂進展の検知を行う。

この試験結果と応力解析結果等を照らし合わせて、応力解析の精度検証、寿命予測手法の検討を行う。

第一回目の試験について試験体製作、据付を完了し、2018 年 9 月 25 日に試験を開始した。その後、4,500hr 時間経過したところである。その間、中間止めを 2 回行い、配管試験体の損傷状況を確認した。

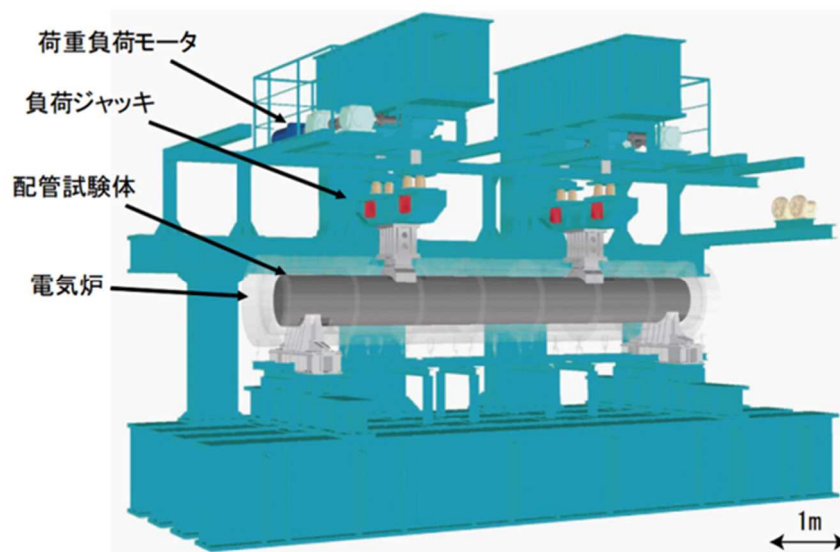


図 3-1 大径管内圧クリープ試験装置（BIPress）

2-1)-(a)-2 短冊一軸クリープ試験

短冊一軸クリープ試験は上記大径管内圧クリープ試験を補完するための試験である。図 3-2 に実機大の大径管溶接部から切り出した短冊試験体を一軸クリープ損傷させた例を示すが、一軸であるにもかかわらず非常に複雑な損傷形態を呈しており、実機の経年損傷を予測することの困難さが窺える。部材の寿命予測を正確に行うためには様々な条件での多数の試験が必要であるが、大径管内圧クリープ試験は比較的大掛かりで費用がかかるため試験体の数に制限がある。そこでなるべく実機サイズに近い短冊試験体で多数の試験を行っている。

現在、三つの短冊試験体を表 3-3 の条件で試験している。

表 3-3 短冊一軸クリープ試験状況

材質	試験温度 (°C)	試験応力 (一軸引張 MPa)	破断目標時間 (hr)	経過時間
HR6W	700	100	20,000	6,000
HR6W	750	91	20,000	8,500
HR6W	750	85	30,000	10,000

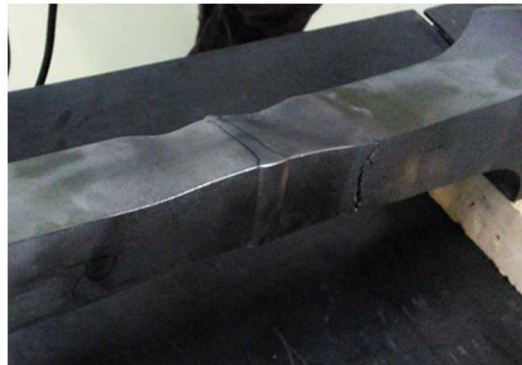


図 3-2 損傷した短冊一軸クリープ試験体

2-1)-(a)-3 長時間クリープ疲労試験

石炭火力は現状ではベース電源として用いられているので、損傷形態はクリープが主体である。将来、再生可能エネルギーが大量に導入されると起動停止等の負荷変動が増加し、クリープ疲労損傷を被る可能性がある。クリープ疲労の試験は試験体に図 3-3 のようなひずみを繰り返しかけて損傷に至る回数を評価する。クリープ疲労試験の条件を実機運転状況に近づけるために以下の t_h の保持時間を長くした試験を行っている。従来は試験時間の関係でこの t_h の時間を十分長く取った試験は行われていなかった。この試験により実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。

現在、表 3-4 にしたがって試験を実施中である。なお、 $t_h=10$ 時間以下の試験を 2019 年度までに完了させ、2020 年度より $t_h=24$ 時間試験を実施する予定である。（設備の都合上、ひずみ範囲 $\Delta\varepsilon=1.2\%$ 試験のみ $t_h=24$ 時間、72 時間保持試験を実施予定）

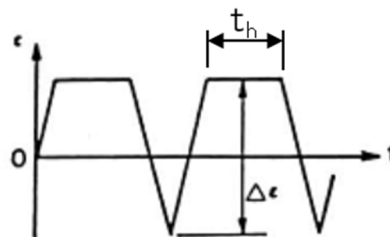


図 3-3 クリープ疲労試験の概念

表 3-4 長時間クリープ疲労試験条件

温度(°C)	$\Delta \varepsilon$ (%)	保持時間; th								
		0	1min	10min	30min	1hour	6hour	10hour	24hour	72hour
700	1.5	●○				○		○		
	1.2	●○	○	○	○	○		○		
	0.7	●○	●○	●○		○		○		
	0.5	●○				○		○*		
750	1.5	●○				○		○		
	1.2	●○	○	○	○	○	○	○	○*	○*
	0.7	●○	●○	●○		○	○	○	○*	○*
	0.5	●○				○		○		

○: 今回国プロ(NEDO)実施条件
 ●: 前回国プロ(METI)で取得済
 ■: MHPS実施計画
 ■: IHI実施計画
 *: 試験進捗をみて実施可否を判断

2-1)-(b)-1 タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価

タービン用 Ni 基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。対象材料はロータ材、羽根材である。実施項目と目標を表 3-5 に示す。

現在、表 3-5 について①～④のデータ取得を進めている。具体的に①、②は 750°C で 56,000 時間のクリープ破断試験や時効試験を終了した。



図 3-4 水蒸気環境中クリープ試験機および水蒸気環境中疲労試験機

表 3-5 タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価実施項目、目標

実施項目	目標
①クリープ破断試験	<ul style="list-style-type: none"> ・7 万時間程度の長時間クリープ破断データを取得 ・TOS1X-2 クリープ破断強度 100MPa 以上(@700°C、10 万 Hr) ・長時間側でのクリープ強度低下の有無を確認する
②クリープ中断試験、時効試験	<ul style="list-style-type: none"> ・試験材料の組織観察等を行い、材料の経時的な劣化挙動を評価する

③水蒸気雰囲気中での機械試験	<ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気雰囲気中での機械試験を実施する ・大気中での試験結果と比較し、水蒸気による材料への影響を評価する
④低サイクル疲労試験	<ul style="list-style-type: none"> ・実機運用を考慮して、低サイクルのクリープ疲労試験を行う ・クリープと疲労が重畳された場合の材料特性を評価する
⑤材料データベースの拡充と寿命評価データの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・①～④の試験データをまとめて、材料データベースの拡充を図る ・寿命評価データを構築する

2-1)-(b)-2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価

タービン用 Ni 基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部（図 3-5）の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。対象材料はロータ、配管異材溶接部である。時効劣化した素材を用いた各種材料評価を目標とし、以下の材料の組み合わせで、異材（共材）溶接の長時間時効試験を実施している。

- ・ 共材 TOS1X-2
- ・ 異材 TOS1X-2/12Cr 鋼、TOS1X-2/CrMoV 鋼：

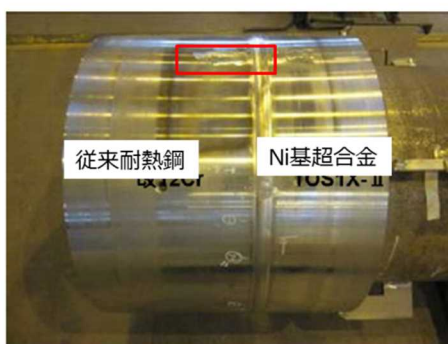


図 3-5 ロータ異材溶接部（例）

2-1)-(b)-3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築

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

- ・ ボイラ伝熱管・配管材料（HR6W, HR35, Alloy617, Alloy263, Alloy141, SAVE12AD）について、国内規格化を行うためのサンプル数が不足しているクリープ、時効試験を実施（試験材として前記鋼種の伝熱管・配管材料を製作する）
- ・ ボイラ鍛造材（HR6W, Alloy617）についてクリープ、時効試験を実施（試験材として前記鋼種の鍛造材を製作する）
- ・ ボイラ配管材料（HR6W, Alloy617）の厚肉材溶接継手部の経年劣化におよぼす組織、元素の影響評価を実施
- ・ HR6W 製大径管（実缶試験試験材）について、補修を模擬した溶接を実施、継手部のクリープ試験を実施
- ・ ボイラ配管材料（HR6W, HR35, Alloy617 等）について、クリープ亀裂進展試験等を実施し、各材料のクリープ亀裂進展データを拡充

なお、規格化に関して、以下のように進行中である。

- ・ Alloy263：JSME で規格化審議中

- ・ Alloy141 : 同上
- ・ Alloy617 : 2019/12 JSME 規格化申請予定
- ・ HR35 : 2020 年度 JSME 規格化申請に向けデータベース拡充中
- ・ SAVE12AD : 次回規格改定時に ASME 規格から準用予定

2-1)-(c)-1 タービン翼表面改質技術

高温蒸気環境下で高 Cr 鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握する。耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。図 3-6 にコーティングの有無による高 Cr 鋼の酸化スケール生成厚さ(例)を示す。実施内容は以下である。

・高 Cr 鋼の酸化スケール生成の温度依存性、時間依存性を明らかにするとともに、各種の表面改質を施した試験片を用いて酸化スケール生成抑止効果、被膜の長期安定性、熱衝撃耐性、耐エロージョン性等を評価し、部材別に最適な表面改質手法を確立する。候補として考えられる表面改質法 HVOF, プラズマ溶射, PVD, CVD, 耐熱ペイント焼付等である。現在までに、選定した候補被膜について以下のように進行中である。

- ・ 800hr, 2,000hr 水蒸気酸化等スクリーニング試験完了
- ・ スクリーニング試験結果分析中
- ・ 8,000hr 水蒸気酸化試験準備中

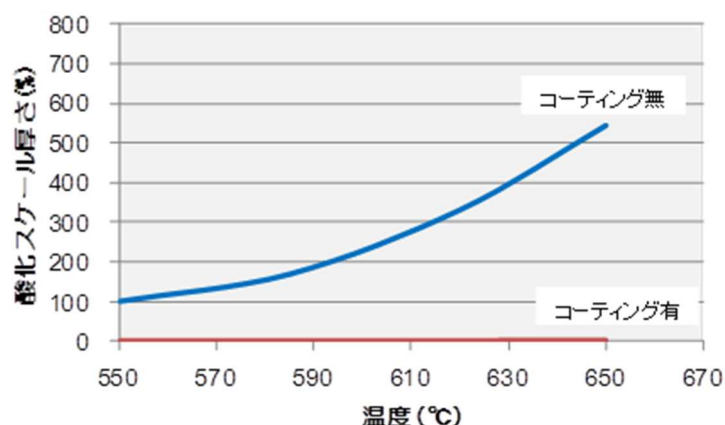


図 3-6 高 Cr 鋼の酸化スケール生成厚さ (例)

2-2) 保守技術開発

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

非破壊検査(フェーズトアレイ TOFD 法(図 3-7)、セクタスキャン法(図 3-8))について高度化を行う。実施内容は以下である。

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

現在、以下のような状況である。

- ・溶接ロータ疑似欠陥の感度比較評価試験中

- ・ 超音波伝播特性の評価実施中
- ・ 探傷角度による欠陥検出性の評価実施中
- ・ 探傷精度の高度化手法の検討中

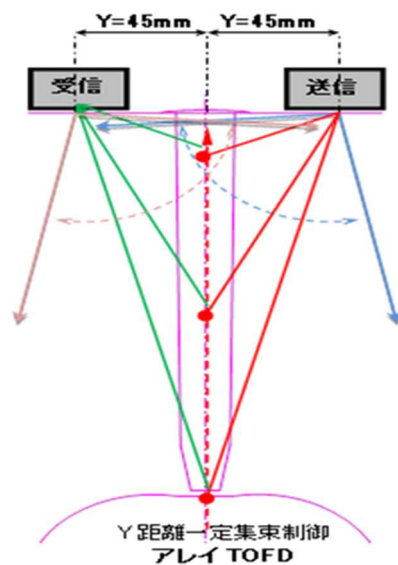


図 3-7 フェーズアレイ TOFD 法の原理

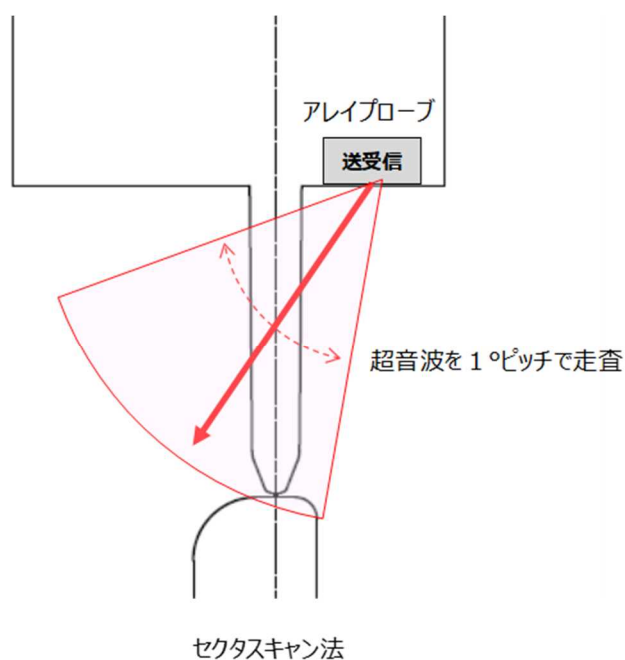


図 3-8 セクタスキャン法の原理

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

ボイラ用 Ni 基大径管などの損傷の進行度合いや亀裂等の検出性能の把握や実構造物へ適用する際の最適条件の検討、UT 要領の検討等に活用できる UT シミュレーション技術（図 3-9）を開発する。実施内容は以下である。

- ・ Ni 基合金製部材のシミュレーションに必要な音速、減衰係数等のデータについて、溶接金属、溶接熱影響部、母材部に対して初期データや熱履歴後による変化などを詳細に取

得する。また、溶接金属、溶接熱影響部、母材部の金属組織データ（結晶粒の配向、寸法など）を取得し、Ni 基合金製部材金属組織モデルを構築する。

・大口径内圧又は短冊一軸クリープ試験等で得られる損傷（クリープボイドや亀裂等）を計算機内で再現するためのモデル化方法を開発し、探傷試験結果と比較しながらモデルの妥当性やシミュレーションの適用性を検証する。

・Ni 基合金製部材に対する UT の条件、損傷の度合いや位置等を変えたシミュレーションを行い、対象部位の形状や寸法、材料等毎に適した UT 条件の検討や UT の適用性評価に資する知見を整理する。

現在、以下のような状況である。

- ・組織の情報と音速等のデータを取得
- ・金属モデル、シミュレーションモデル構築
- ・無損傷部でモデルの検証を実施

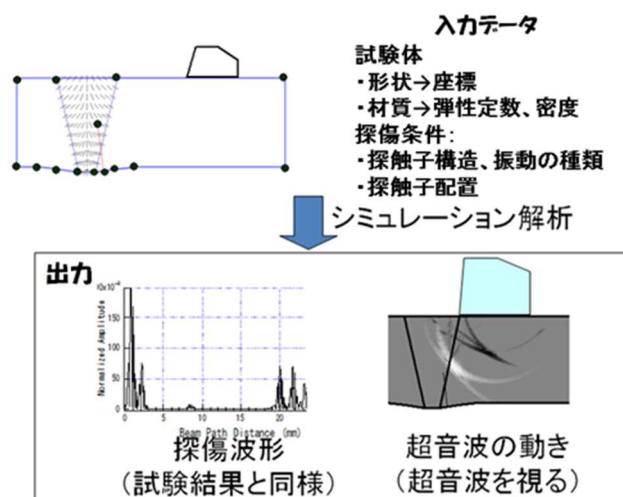


図 3-8 UT シミュレーション技術の概要

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

①事業化に向けた具体的取組

図 4-1 に示すように、本プロジェクトによる信頼性向上技術開発と並行して、既設石炭火力（600℃級 USC）への適用、経年火力のリプレース等、国外市場への売り込みを行いつつ事業化を目指す。

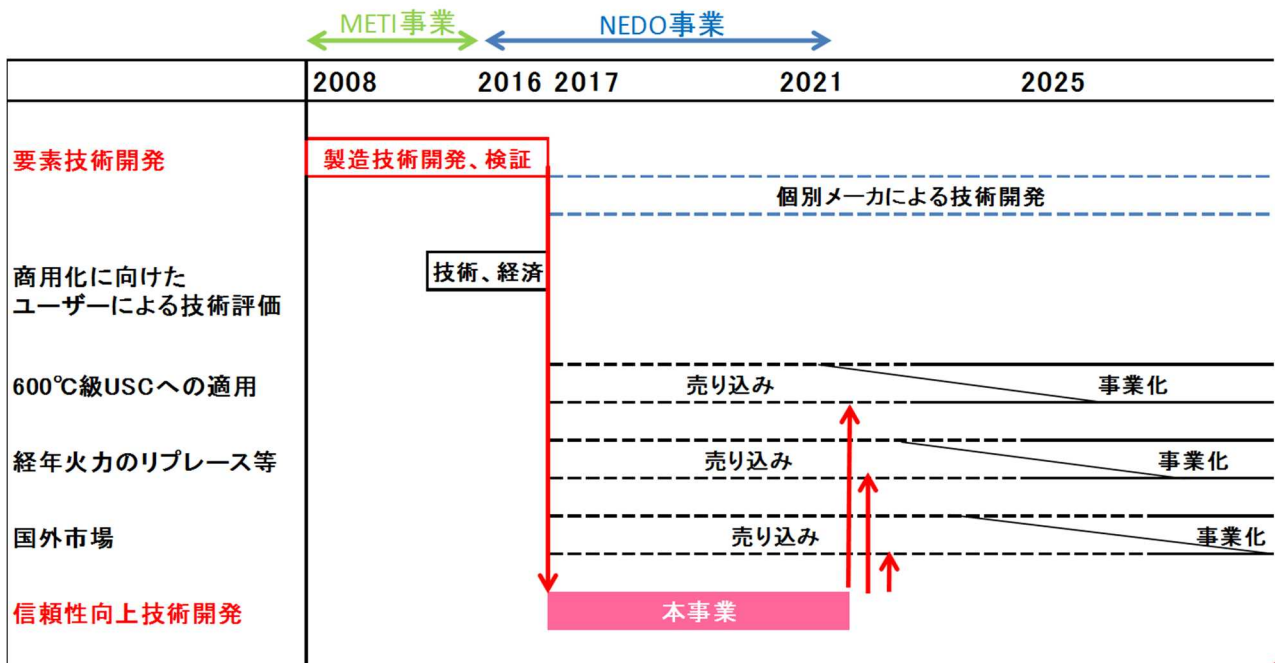


図 4-1 事業化想定スケジュール

②事業化の見通し

1) 事業化の見通し

国内では 2025～2030 年ごろを目途とし、経年火力のリプレース等による既存資源（人材、立地、設備）を有効活用した事業化を図る。

また、大径管等の信頼性向上、肉厚減少による運用柔軟性向上を目的とした 600℃級 USC 高温部への適用による早期事業化を図る。

国外ではメーカーの国外営業、製造拠点を活用し、東南アジア、インド、オセアニア、欧州、北米での事業化を図る。

2) 導入対象

既設石炭火力（600℃級 USC）、リプレース、新設石炭火力 等

3) 技術の段階的導入

A-USC は主蒸気温度、圧力、再熱蒸気温度の設定に自由度があるので、USC と同様に、導入実績を重ねつつ、より蒸気条件が高いシステムの実現を目指す（図 4-2）

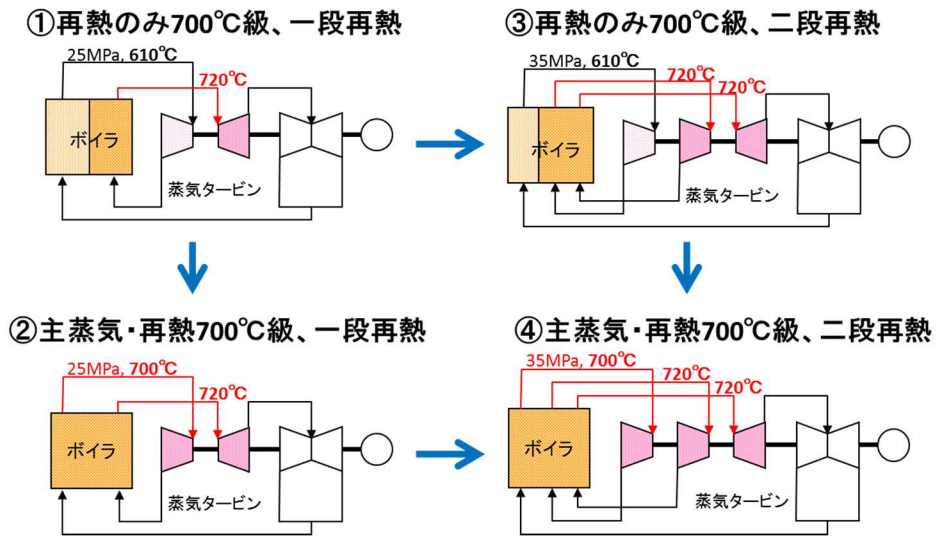


図 4-2 技術の段階的導入

③波及効果

以下に、今後期待される波及効果を示す。

1) 再生可能エネルギー対応

既設石炭火力厚肉部材の薄肉化、高強度化による運用柔軟性向上

例：ボイラヘッド、タービンロータ

2) 既設 USC タービン翼への表面改質技術の適用

HPT 高圧タービン、IPT 中圧タービンの上流の数段に適用することによる、水蒸気酸化スケール付着抑制による翼寿命延長、表面粗度低下防止

「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。

②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率は世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電（IGCC）が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅なCO₂削減を実現しうるCO₂の回収・貯留・利用（CCUS）の技術の開発・推進も重要なテーマであり、国内でのCCS（二酸化炭素の回収・貯留）大規模実証事業や貯留ポテンシャル調査等が進められている。

③世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、CO₂排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで巨額の研究開発費を投じ、基礎研究から技術開発、実証研究等の様々な取組が行われており、日本と同様にIGCCや先進的超々臨界圧火力発電（A-USC）、高効率ガスタービン等の開発が進められている。また、大幅なCO₂削減を達成するため、CO₂分離・回収を行ったIGCCやCCS-EOR（石油増進回収）の実証といったプロジェクトも進められている。

④本事業のねらい

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業をはじめ、石炭火力、LNG火力の双方につき、新たな火力発電技術の開発等を実施する。また、火力発電から発生するCO₂排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、火力発電所から発生する大量の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。

（2）研究開発の目標

①アウトプット目標

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

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）商用機として送電端効率63%（高位発熱量基準）を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%（高位発熱量基準）を達成する。また、CCUSの実現に向け、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、天然ガスパイプラインの許容圧力変動による、負荷変動対応能力は、6,000万kWと推定される。そのうち、1割をCO₂由来のメタンで代替すると、1,300億円を獲得する。

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

③アウトカム目標達成に向けての取組

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

（3）研究開発の内容

火力発電の効率化及びCO₂分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（NEDO負担1／

3、2/3、1/2)により実施する。

なお、個別研究開発項目の研究開発内容の詳細については、別紙にて記載する。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [助成事業]

- 1) 酸素吹IGCC実証 (1/3助成)
- 2) 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)

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) 高温分空気利用ガスタービン (AHAT) (2/3助成)

研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発 [助成事業 (2/3助成)]

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]

- 1) 次世代ガス化システム技術開発
- 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
- 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
- 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
- 5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 6) 石炭火力の競争力強化技術開発
- 7) CO₂有効利用技術開発
- 8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発 (新規)
- 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 (新規)

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 次世代火力発電技術推進事業 [委託事業]

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

3. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

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

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

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

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM：NEDO 高橋洋一、PL：大崎クールジェン株式会社 木田一哉

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業

1) 1700℃級ガスタービン

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱重工業株式会社 石坂浩一

2) 高温分空気利用ガスタービン (AHAT)

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発

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

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発

1) 次世代ガス化システム技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ要素研究

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 高橋洋一、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 北川雄一郎

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM：NEDO 高橋洋一、PL：電源開発株式会社 早川宏

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) 石炭火力の競争力強化技術開発

PM：NEDO 中元崇、PL：契約毎に設置

7) CO₂有効利用技術開発

PM：NEDO 西海直彦、PL：日本大学工学部客員教授 坂西欣也

8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

PM：NEDO 名久井博之、PL：NEDOにおいて選定

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 青戸冬樹、PL：一般社団法人高効率発電システム研究所 福田雅文

(2) 研究開発の運営管理

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

①進捗把握・管理

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

②技術分野における動向の把握・分析

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

4. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、2016年度から2022年度までの7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。

5. 評価に関する事項

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

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を2017年度及び2020年度に、事後評価を2023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④6)は、事後評価を2020年度に実施し、5)は中間評価を2017年度に実施し、7)は前倒し事後評価を2019年度に実施し、8)、9)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、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度に実施する。

6. その他の重要事項

(1) 委託事業成果の取扱い

①成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

②標準化等との連携

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

③知的財産権の帰属

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

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

④知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発及び研究開発項目⑥次世代火力発電技術推進事業は、「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3)及び研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)、研究開発項目⑥次世代火力発電技術推進事業は、「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) その他

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

7. 基本計画の改訂履歴

(1) 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。

研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

1. 研究開発の必要性

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

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発電量当たりのCO₂排出量が多く、地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO₂排出量の抑制が求められている。

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

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

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

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石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）とCO₂分離・回収を組み合わせた実証試験を行い、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。

1) 酸素吹IGCC実証（1/3助成）

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

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証（1/3，2/3助成）

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

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。

2. 達成目標

[実施期間]

酸素吹 I G C C 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）

CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 実証：2016～2020年度

CO₂分離・回収型 I G F C 実証：2018年度～2022年度

[中間目標（2017年度）]

1) 酸素吹 I G C C 実証

(a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

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

(b) 環境性能：「SO_x < 8 ppm」、 「NO_x < 5 ppm」、 「ばいじん < 3 mg/Nm³」を達成する（O₂ = 16%）。

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

2) CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 実証

CO₂分離・回収設備の詳細設計を完了する。

[中間目標（2020年度）]

3) CO₂分離・回収型 I G F C 実証

CO₂分離・回収型 I G F C 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（2018年度）]

1) 酸素吹 I G C C 実証

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

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

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率70%以上の見通しを得る。

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

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

酸素吹 I G C C 商用機には、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から、微粉炭

火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭までの適用炭種の広さが求められる。商用化に向け、実用化時期や日本への供給可能性も考慮に入れつつ、性能と経済性を評価する。

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

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

[最終目標（2020年度）]

2) CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 実証

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

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

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

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

(c) プラント運用性・信頼性：CO₂分離・回収型 I G C C システムの運用手法を確立し、信頼性を検証する。

商用機において、CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C システムを構築するには、プラントの起動停止や、発電所特有の負荷変動等に対し、I G C C 本体に追従したCO₂分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。また、生成ガスの全量をCO₂分離した場合の I G C C 運転との相互影響やガスタービン性能についても検証する。

(d) 経済性：商用機におけるCO₂分離・回収の費用原単位を評価する。

CO₂分離・回収型酸素吹 I G C C 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) I G C C プラント運用性：

CO₂分離・回収装置を追設した場合の I G C C 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）]

3) CO₂分離・回収型 I G F C 実証

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

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IGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効率石炭ガス

化発電システムの見通しを得る。

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーン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术開発ロードマップにおいても2025年頃の高効率石炭火力発電技術として55%の送電端効率を目指すIGFCが位置づけられている。

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

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[最終目標（2017年度）]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間] 2016年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

2015年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電(GTFC)については、小型GTFC(1,000kW級)の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC(10万kW級)の実証事業を経て、発電効率63%程度、CO₂排出原単位:280g-CO₂/kWh程度を達成し、2025年頃に技術を確立することが示されている。また、量産後は従来機並の発電単価を実現することとされている。

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

2. 具体的研究内容

小型GTFC(1,000kW級)の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC(10万kW)の要素技術を開発し、2022年度から開始する中小型GTFCの技術実証に活用する。

3. 達成目標

[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。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

[実施期間] 2016年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

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

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

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

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

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

2. 具体的研究内容

(1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、CO₂分離・回収を行わないIGFCとCO₂分離・回収型IGFCについて、ケーススタディを行い、送電端効率とコストの試算を行う。IGFCの実用化に向けた課題、商用化システムの検討結果及び(2)の成果を踏まえて、IGFC実証システムについて検討を行い、実証機の容量を決定のうえ、試設計を行う。

(2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

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

[最終目標 (2019年度)]

IGFC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。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

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

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 具体的研究内容

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

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

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

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

(1) 酸素キャリアの評価と選定

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

(2) プラント試設計及び経済性検討

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

(3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

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

3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標（2020年度）]

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

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

6) 石炭火力の競争力強化技術開発

[実施期間] 2017年度～2019年度

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 具体的研究内容

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

3. 達成目標

[最終目標(2019年度)]

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

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

7) CO₂有効利用技術開発

[実施期間] 2017年度～2019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 (2019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) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

[実施期間] 2019年度～2021年度

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。

石炭火力からのCO₂排出抑制技術としては、CO₂の分離・回収技術があるが、エネルギー損失が大きいことから、発電システムとしてCO₂を分離・回収できる流動床ガス化燃焼を適用した技術が有望視されている。

本技術の適用先としては、枯渇油田の増加に伴いCO₂-EOR市場が拡大傾向にあることから、その市場への導入を目指し、実機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

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。

本技術は流動床を用いていることから多様な燃料(低品位炭、バイオマス等)に活用でき、中小規模(100MW級)の発電に適用できる。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の分離・回収が可能となる。

これまでの試験で、有望な流動材(酸素キャリア)の選定に見通しが得られていることから、実機設計技術の確立を目指し、以下の課題を実施する。

(1) 煤発生抑制技術開発

ガス化炭化水素からの煤発生に対して、ガス化触媒(CaO)による生成抑制を検証する。

(2) プラント設計に向けた検討

実機運転を想定した起動、停止、負荷変化時の運転・制御性の検討、排ガスや廃棄流動材(酸素キャリア)の環境影響評価、並びに長時間運転時の課題検討を実施する。

3. 達成目標

[最終目標(2020年度)]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せる火力発電設備の設計技術確立

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

9) 機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究

[実施期間] 2018年度～2021年度

1. 研究開発の必要性

我が国では、2050年に温室効果ガス80%削減の目標が掲げられており、その達成に向けた手段の一つとして、再生可能エネルギー電源（以下、再エネ電源）の増加が見込まれている。2015年7月に公表された、長期エネルギー需給見通しにおいて示された2030年度の電源構成比では、太陽光発電が7%の発電電力量を占めることになる。太陽光発電の利用率を平均の13%とすると、約6400万kWの設備容量を必要とし、これは国内事業用の全発電設備容量の1/4程度に相当する。一方で、普及の拡大が予測される太陽光発電や風力発電の出力は天候に大きく影響を受けるため、電力の安定供給を考えた場合、系統安定化が必要不可欠である。

火力機は、大量に導入される再エネ電源に対応して、需給調整や周波数調整など重要な役割を果たしている。例えば、太陽光発電の日中に生じる急激な天候変動等による大幅な出力変動に対応するには、ガスタービン複合発電（以下、GTCC）を用いることが有望な手段の一つであるが、現状の性能では起動時間が長い、出力変化速度が遅い、最低出力が高い等の課題がある。

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

2. 具体的研究内容

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

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

表 先行研究で設定されたGTCCとしての目標性能

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

3. 達成目標

[最終目標(2021年度)]

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

研究開発項目⑤ 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」

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

1. 研究開発の必要性

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

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

2. 具体的研究内容

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

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

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

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

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

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

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) I G C C システム検討

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

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

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

3. 達成目標

[中間目標 (2017年度)]

CO₂回収型クローズド I G C C については、送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術確立の目途を得る。

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

[最終目標 (2020年度)]

CO₂回収型クローズド I G C C については、2019年度までに送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術を確立する。

次世代ガス化システムについては、2018年度までに既存の I G C C (1500℃級GTで送電端効率46~48%) を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

両技術の相乗効果として、2020年度までにCO₂回収型クローズド I G C C の目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。

研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

[実施期間] 2016年度～2021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、そして、CO₂の回収、貯留・利用の推進が重要である。また、日本の優れた火力発電技術を海外に展開していくことにより、地球規模での温暖化問題の解決を推進していく必要がある。

2. 具体的研究内容

最新の技術動向や社会情勢、社会ニーズに合わせ、国内外の火力発電技術分野における最新技術の普及可能性及び技術開発動向等の調査や新規技術開発シーズ発掘のための、CCT関連やCCS関連の調査を実施する。また、IEA/CCC (Clean Coal Centre)、IEA/FBC (Fulldized Bed Combustion)、GCCSI (Global CCS Institute) 等に参画し、技術情報交換・各種技術情報収集を行うとともに、国内関係者への情報提供を行う。また、今後の国際市場における日本の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。

3. 達成目標

[最終目標（2021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。

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～2021年度

1. 研究開発の必要性

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

2. 研究開発の具体的内容

(1) 高温材料信頼性向上試験

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

(2) 保守技術開発

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

3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2021年度末までの試験計画を策定する。

表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術については、技術確立の見通しを得る。

[最終目標（2021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。

研究開発スケジュール

◇中間評価、◆事後評価

年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)					※1					酸素吹IGCC実証			◇			◆
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(1/2助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1											◆
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)		※1														
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)									※2	基盤技術開発						
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究(委託)									※2	基盤技術						
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)																◆
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)																◆
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)									※2	基盤技術開発						
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)																◆
7) CO ₂ 有効利用技術開発(委託)																◆
8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発(委託)																◆
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(委託)																◆
研究開発項目⑤ CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発(委託)									※2	CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発						◆
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)																◆
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)																◆

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトで2016年度からNEDOへ移管
 ※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	東芝 ESS	特願 2018-123827	国内	2018/6/29	審査 前	寿命予測方法、寿命予測装置および寿命予測装置用プログラム	生沼駿他

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	査読	発表年月
1	室木克之	IHI	The Way to High Efficiency Boilers for Power Plant Led by Ni-Based Alloy	IHI Engineering Review	無	2017年5月
2	高橋武雄	東芝 ESS	低炭素社会に向けた火力発電プラント総合検証への取り組み	日本ガスタービン学会誌 2017年7月号	有	2017年7月
3	齊藤英治 他	MHPS	700℃級 A-USC 蒸気タービン技術開発	三菱重工技報	無	2017年7月
4	生沼駿他	東芝 ESS	700℃級 A-USC 蒸気タービン用 Ni 基超合金の粒界酸化に及ぼす応力と雰囲気の影響	日本機械学会論文集特集号「動力・エネルギーシステムの最前線 2018	有	2018年3月

5	大熊喜朋	IHI	700℃級 A-USC ボイラ 実用化への取り組み	エネルギーと動 力	無	2017年11月
6	Yoshiki Shioda 他	IHI	The effect of cold working on creep rupture strength and microstructure of Ni-23Cr-7W alloy	World Journal of Mechanics	有	2017年11月
7	張聖徳	電力中 央研究 所	火力発電における Ni 基 合金製溶接配管のクリ ープ損傷および非破壊 検査技術	検査技術	無	2017年12月
8	大熊喜朋	IHI	石炭焚きボイラの概要 と最新動向	ガスタービン学 会誌	無	2018年3月
9	須賀威夫	東芝 ESS	700℃級 A-USC 蒸気タ ービンロータの回転試 験を完了	東芝レビュー 2017年度成果号	無	2018年3月
10	西井俊明 他	電源開 発	「10. A-USC 開発」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
11	福田雅文	高効率 発電シ ステム 研究所	「2. A-USC 開発の概 要」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
12	福田雅文	高効率 発電シ ステム 研究所	「11. 実機メンテナン ス技術の深耕」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月

13	高橋武雄	東芝 ESS	「3. システム設計」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
14	橋本憩太 他	MHI	「5. 過熱器, 再熱器お よび蒸気配管の製造技 術開発検証」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
15	大熊喜朋 他	IHI	「8. 実缶試験の目的、 概要、設備設計製作、運 転の概要と成果等」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
16	高野哲	富士電 機	「7. 高温弁要素技術開 発」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
17	須賀威夫	東芝 ESS	「6. タービン材料と 要素技術開発」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
18	中野隆他	MHPS	「9. 回転試験」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
19	寺田芳弘 他	東京工 業大学	鍛造 Fe-Ni 合金 HR6W の時効析出挙動	日本金属学会誌	有	2019年1月
20	仙波潤之	新日鐵 住金	「4. ボイラ材料技術開 発」	火力原子力発電 技術協会誌	無	2018年10月
21	大熊喜朋 他	IHI	700℃級 A-USC ボイラ 実証のための実缶試験 結果	IHI 技報	有	2018年9月
22	齋藤伸彦 他	MHI	Evaluation of stress relaxation cracking susceptibility in Alloy 617 for advanced USC boilers	Internatinal Journal of Pressure Vessels and Piping	有	2018年10月

23	生沼駿他	東芝 ESS	析出強化型鍛造 Ni 基超合金のクリープ劣化損傷機構および硬さ法によるクリープ余寿命評価	日本材料学会誌 「材料」	有	2018年12月
24	齋藤伸彦 他	MHI	Effect of Creep Degradation on Hardness Changes of Ni-based Alloys for A-USC Power Boiler	ISIJ International	有	2019年9月 掲載予定
25	齋藤伸彦	MHI	火力発電ボイラ用 Ni 基合金の溶接・加工と高温性質に関する研究	博士後期課程学 位論文	有	2019年2月
26	塩田佳紀 他	IHI	A-USC ボイラ向け Ni 基合金のクリープ破断強度に及ぼす冷間加工の影響	IHI 技報	有	2019年3月
27	阿部大輔 他	IHI	A-USC ボイラの溶接技術	溶接学会誌	無	2019年6月

【学会発表、講演】

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表 年月
1	生沼駿	東芝 ESS	A-USC 用 Ni 基合金の水蒸気雰囲気および応力下における酸化特性	日本機械学会 第 22 回動力・エネルギー シンポジウム	2017年6月

2	齊藤英治 他	MHPS	700°C class A-USC Steam Turbine Development	Powergen Europe 2017	2017年6月
3	張聖徳	電力中 央研究 所	Creep Rupture and Damage Behaviors for Welded Pipe of Ni-based Alloy Using Full Thickness Specimen	4th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures	2017年6月
4	大谷宏之	IHI	State-of-the-Art Technologies for Reliable/ Sustainable Coal Fired Power Plants	J-Coal クリーン・コ ール・デー国際会議	2017年9月
5	張聖徳	電力中 央研究 所	先進超々臨界圧発電ボ イラ材の保守技術開発	平成 29 年度火力原 子力発電大会（仙台 大会）	2017年10月
6	塩田佳紀	IHI	冷間加工を施した Alloy617 のクリープ破 断強度に及ぼす応力の 影響	鉄鋼協会 第 174 回 秋季講演大会	2017年9月
7	久布白圭 司	IHI	Current States of the Ni-Based Alloys Development for A-USC Boilers	IUMRS-ICA 2017	2017年11月
8	東海林他	MHPS	Development of Boiler Material Technology and the Verification of	43rd MPA セミナ ー	2017年10月

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

14	環野直也 他	IHI	Effect of Cold Work on Creep Deformation Behavior of Alloy263	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会60周年シンポジウム ポスターセッション	2017年11月
15	山崎直樹	IHI	Creep Rupture Strength and Microstructure for Weld Joint of 23Cr-45Ni-7W Alloy	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会60周年シンポジウム ポスターセッション	2017年11月
16	北村雅樹 他	MHPS	700℃級 USC プラント用 HR6W のクリープ疲労寿命評価法の検討	日本材料学会 高温強度・破壊力学合同シンポジウム	2017年12月
17	生沼駿他	東芝 ESS	Long Term Creep Property and Microstructure Evolution of Large Scale Ni-Based Superalloy for A-USC Steam Turbine Rotor	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会60周年シンポジウム ポスターセッション	2017年11月
18	齊藤英治	MHPS	700℃ class A-USC Steam Turbine Development	XIII Research & Development in Power Engineering Conference 2017	2017年11月
19	北村雅樹 他	MHPS	Creep damage behaviour of 23Cr-45Ni-6W alloy thick welding	IEA CLEAN COAL CENTER 3RD WORKSHOP AUSC3	2017年12月

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

27	竹井康裕	MHPS	高効率発電システムと ICT 活用について	2018 年度 日本機械 学会年次大会 市民 フォーラム	2018 年 9 月
28	山本健次 郎	MHPS	Ultra Super Critical (USC) Coal Fired Boiler Technology	IV International S&T Conference on use of solid fuels for efficient and environmentally friendly production of heat and electricity	2018 年 10 月
29	野村恭兵 他	IHI	Ni 基合金 HR6W の長時 間クリープ疲労特性評 価	日本材料学会 第 56 回高温強度シン ポジウム	2018 年 12 月
30	片渕紘希	MHI	非弾性解析による実機 評価に向けた HR6W ク リープ疲労寿命評価法 の検討	日本材料学会 高温 強度シンポジウム	2018 年 12 月
31	久布白圭 司他	IHI	Alloy263 溶接部の SR 条 件の検討	日本材料学会 第 56 回高温強度シン ポジウム	2018 年 12 月
32	生沼駿他	東芝 ESS	先進蒸気タービン向け 耐熱 Ni-Fe 基合金および Ni-Fe 異材溶接構造の開 発	日本鉄鋼協会第 177 回春季講演大会	2019 年 3 月
33	東海林剛 他	MHPS	Development of Boiler Material Technology , Verification of its	VGB Workshop "Materials and Quality Assurance"	2019 年 5 月

			Practical Applicability and Field Components Test in Japanese National A-USC Project		
34	山本隆一 他	MHI	発電プラント用耐熱材 料の開発と課題	日本鉄鋼協会第 237・238回西山記念 技術講座	2019年5月
35	齊藤英治	MHPS	Clean Energy with steam turbine technology	ASME TURBO EXPO 2019	2019年6月

2. 分科会公開資料

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

「次世代火力発電等技術開発／ 次世代技術の早期実用化に向けた 信頼性向上技術開発」(中間評価)

(2017年度～2021年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO
環境部

2019年 9月17日

0

次世代火力発電等技術開発 評価テーマ

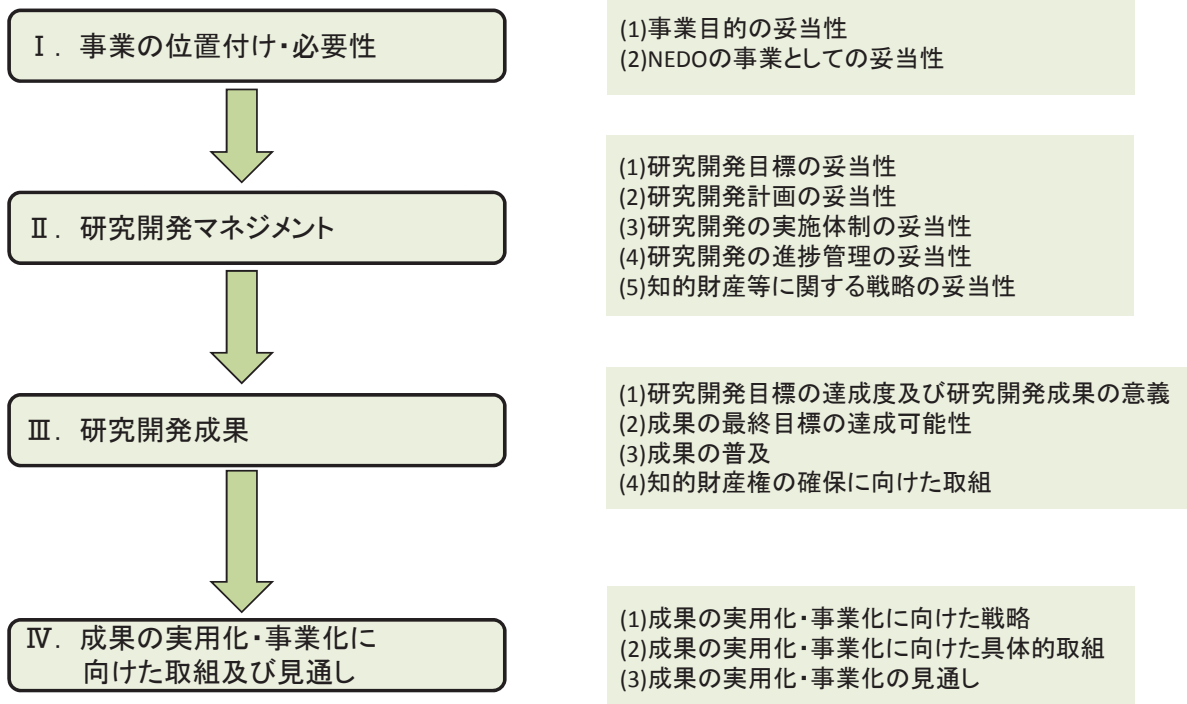
年度(西暦)	15	16	17	18	19	20	21	22	23
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2)			○	■	■	■	■	■	■
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(2/3助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)			○	■	■	■	■	■	■
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)			○	■	■	■	■	■	■
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発			○	■	■	■	■	■	■
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)			○	■	■	■	■	■	■
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究(委託)			○	■	■	■	■	■	■
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)			○	■	■	■	■	■	■
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)			○	■	■	■	■	■	■

年度(西暦)	15	16	17	18	19	20	21	22	23
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発			○	■	■	■	■	■	■
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)			○	■	■	■	■	■	■
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)			○	■	■	■	■	■	■
7) CO ₂ 有効利用技術開発(委託)			○	■	■	■	■	■	■
8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発			○	■	■	■	■	■	■
9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究(委託)			○	■	■	■	■	■	■
研究開発項目⑤ CO ₂ 回収型次世代IGCC技術開発(委託)			○	■	■	■	■	■	■
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)			○	■	■	■	■	■	■
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)			○	■	■	■	■	■	■

次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発
2017年度～2021年度 5年間

◇中間評価、◆事後評価

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトで2016年度からNEDOへ移管
※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

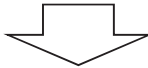


1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

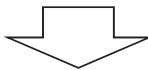
温暖化対策は世界的課題



高効率発電技術開発によるCO2排出量削減の必要性

事業の目的

火力発電の熱効率向上によるCO2排出量の抑制



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

◆政策的位置付け

○第5次エネルギー基本計画(2018年7月 閣議決定)

- ・高効率石炭火力発電の有効活用の促進
- ・「環境負荷の低減という課題と両立した形で利用していくため、温室効果ガスの排出を抑制する利用可能な**最新鋭の技術を活用する**」ことが示されている。
- ・「省エネ法に基づいて発電効率の向上を求めており、**石炭火力発電の新設は最新鋭のUSC相当の発電効率を求める**」ことが示されている。

○次世代火力発電に係る技術ロードマップ(2016年6月 官民協議会)

- ・火力発電の高効率化、CO2削減を実現するため、**A-USCを含む、次世代の火力発電技術を早期に確立・実用化するためのロードマップ**を提示。

4

◆技術戦略上の位置付け

[次世代火力発電に係る技術ロードマップ](#) 抜粋

経済産業省
次世代火力発電の早期実現に
向けた協議会 2016年6月

5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針④

- 次世代技術開発を進めるに当たっての留意点
- 火力発電の高効率化の技術開発は、**経済性、信頼性、運用性を確保しつつ進めることが重要**

8. 個別技術の開発方針 -2030年度に向けた取組の中心となる技術-

②石炭火力発電技術

- **A-USC** 2016年度技術確立、発電効率46%、従来機並の発電単価を実現
要素技術開発を2016年度まで行い技術確立。／今後、材料評価を継続し、保守技術の開発を進め技術の信頼性を向上しつつ、段階的に発電効率の向上を図る。

5

◆技術戦略上の位置付け

次世代火力発電に係る技術ロードマップ 抜粋

経済産業省
次世代火力発電の早期実現に
向けた協議会 2016年6月



◆プロジェクトの経緯

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

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

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



＜次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 2017年度～2021年度＞

- ・A-USC商用機の普及促進を目的として、以下の技術開発を行う。
 - －高温長期材料試験による信頼性向上技術開発
 - －保守技術の開発・高度化

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較

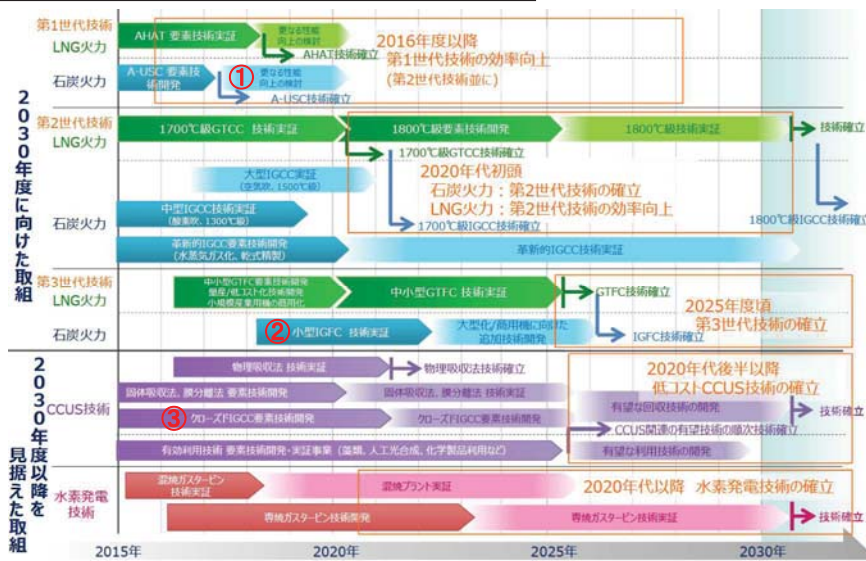
		日本	ヨーロッパ	アメリカ	中国	インド
目標蒸気条件	温度	700~750℃	700~720℃	732~760℃	700~720℃ (当面630/650℃)	710~720℃
	圧力	35MPa	35MPa	35MPa	35MPa	31MPa
開発項目	ボイラ	○	○	○	○	○
	タービン	○	△	○	?	○
	弁	○	○	?	?	○
開発状況	ボイラ	実缶試験完了	小型実缶試験実施 HTW II	ComTestで実缶・回転試験を計画したが、実機サイズの大型部材の製造技術開発、検証に軸足を移した。	実缶試験計画状況不明	材料基礎検討中
	タービン	回転試験完了	ロータ材料製作		?	材料基礎検討中
	弁	実缶試験完了	小型実缶試験実施 HTW II		?	?

1. ヨーロッパにおいては2004年からはe.on社のScholven発電所F号機に700℃の蒸気発生器を設置し、20,000 時間の実缶試験を開始したが、主蒸気配管に損傷が生じたのをきっかけに12,000 時間で試験は中止された。その後、マンハイムにあるGKMにおいて小型実缶試験を行ったが、現在は中断の様様。
2. アメリカではエネルギー省の資金によりEPRIを中心にボイラ、タービンメーカーが参画し2001年から技術開発(ComTest)が進められている。
3. インドは国際協力での実証を狙っている模様。中国は650℃以下／二段再熱を当面の目標。

8

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆他事業との関係



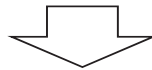
狙い	NEDOプロジェクト	開発内容
高効率化によるCO2削減	① A-USCの信頼性向上技術開発【本PJ】	A-USC適用材料の評価、保守技術の開発
高効率化によるCO2削減	② 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 (IGFC)	IGCCに燃料電池を組み込んだIGFCの実証
CCUS	③ CO2回収型クローズドIGCC技術開発	CO2分離回収に最適化した発電方式

9

◆NEDOが関与する意義

次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発は、

- ・火力発電設備の高効率化によるCO2排出量削減が可能であり社会的必要性が大きい。
- ・研究開発の難易度が高く、投資規模も大きいため、民間企業だけではリスクが高い。



NEDOがもつ、これまでの知見・実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果(費用対効果)(1/3)

プロジェクト費用の総額 14.5億円(補助額7.2億円)

マーケットの現状及び将来の規模

OECD以外のアジアにおける将来新設石炭火力容量
(World Energy Outlook2017)

2017-2025年

中国	141GW	年平均16GW
インド	120GW	年平均13GW
東南アジア	41GW	年平均5GW
合計	302GW	年平均34GW

2026-2040年

中国	72GW	年平均5GW
インド	251GW	年平均17GW
東南アジア	58GW	年平均4GW
合計	381GW	年平均25GW

◆実施の効果(費用対効果)(2/3)

海外市場における年間販売額

$$\begin{aligned} \text{日本企業の年間販売額} &= 10\text{GW/年} \times 28.8\text{万円/kW} \times 50\% \\ &= \underline{1兆4,400億円/年} \end{aligned}$$

- ・A-USCの市場規模:10GW/年(2026-2040年の石炭火力の市場規模は年平均25GWである。この時点では高効率石炭火力の必要性が非常に高まると考えられ、石炭火力市場の半数弱がA-USCになると考えた。)
- ・コスト等検証委員会で提示された2030年の建設単価:28.8万円/kW
- ・日本メーカーのシェア:50%程度(現状A-USCを実現できるのは日本メーカーのみであるが、将来的には競合国も現れると考えられるので、日本企業のシェアは50%と設定した。)

国内市場における年間販売額

$$\begin{aligned} \text{日本企業の年間販売額} &= 2\text{GW/年} \times 28.8\text{万円/kW} \times 60\% \\ &= \underline{3,500億円/年} \end{aligned}$$

- ・市場規模:2GW/年(日本国内では1980年から2000年までの間に年平均で1.5GW程度の石炭火力容量増加があった。今後これらがリプレースされるとともに、若干量の新設が加わると考えた。)
- ・コスト等検証委員会で提示された2030年の建設単価:28.8万円/kW
- ・A-USCの石炭火力発電設備市場におけるシェア:60%程度(A-USC向き炭種割合)

12

◆実施の効果(費用対効果)(3/3)

二酸化炭素(CO2)排出量削減効果

総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会(第5回会合)資料3「火力発電における論点」における【試算の考え方】を適用。

【試算の考え方】

(石炭火力)
現状の設備が、全体としてUSC並みの効率になると仮定。
[CO2排出係数の想定]
石炭平均:0.864kg/kWh → USC:0.810kg/kWh
設備容量4080万kW、稼働率80%と仮定し、
→約1550万tCO2/年の削減

現状の設備が全体としてA-USC並みの効率になると次のような二酸化炭素排出削減効果がある。

[CO2排出係数の想定]

石炭平均:0.864kg/kWh → A-USC:0.710kg/kWh

設備容量4,080万kW、稼働率80%と仮定し、

$$\begin{aligned} \text{年間の二酸化炭素削減量} &: 4,080\text{万kW} \times 8,760\text{時間} \times 0.8 \times (0.864 - 0.710) \\ &= \underline{4,400\text{万tCO}_2/\text{年}} \text{ (約18\%削減)} \end{aligned}$$

13

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 事業の目標

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(2021年度)

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

[目標設定の根拠]

- ・700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン適用材料開発については、長期高温環境下での使用を想定したクリープ試験を実施する等、更なる信頼性の向上及び保守技術開発が必要である。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標 (2019年度)	最終目標 (2021年度)	設定根拠
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(a)-1 大径管内圧クリープ試験	第一回目試験を開始し、中間止め検査を実施する。	大径管厚肉部材等について「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。	ボイラ保守の要となる部材であり、実機運転中の経年劣化を理解するためには、高圧、高温条件下での実形状部材損傷試験による、損傷形態把握と計測、検証が不可欠である。
(a)-2 短冊一軸クリープ試験	3つの試験体でクリープ試験を開始し、1回目の中間止め検査を完了する。	大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。	(a)-1の試験は大型試験体を用いるため試験体数、試験時間に大きな制約がある。それを補完するため、単軸応力場ではあるが、大型試験片で(a)-1に準じた試験を行う。
(a)-3 長時間クリープ疲労試験	保持時間10時間までのクリープ疲労試験データを拡充する。	試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。	再生可能エネルギーを補完するために、将来的には石炭火力にも頻繁な負荷変化が要求される可能性がある。その場合、部材に生じるクリープ疲労損傷を評価するための基礎データが必要である。
(b)-1 タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価	蒸気タービン用Ni基材料のクリープ破断試験を実施する。水蒸気雰囲気中での機械試験等を行い、材料データベースの拡充を図る。	タービン用Ni基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。	タービン用Ni基材料についてはこれまでクリープ破断試験を主体に信頼性検証を行ってきたが、より実機に近い条件下での信頼性を確認するために行う。
(b)-2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価	蒸気タービンロータ溶接部材料のクリープ破断データを取得し、材料データベースの拡充を図る。	タービン用Ni基超合金/従来耐熱鋼の異材接合部の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。	タービンロータ溶接部は運転中常に高応力、高温環境下にあり、長時間の信頼性を検証する必要がある。
(b)-3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築	ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JIS規格化への提案を行う。	ボイラ用Ni基材料の経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータ拡充、クリープ亀裂進展データ拡充等を行う。	ボイラは規格により設計、製作されるので、新材料の規格化が必要である。また、実機運用においては溶接補修が行われ、その信頼性検証が必要である。
(c)-1 タービン翼表面改質技術	短時間、比較的長時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験を完了する。	高Cr鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。	A-USCでは従来の高Cr鋼もできる限り高温で使用できるが、表面酸化が問題になる場合がある。そこで、表面改質によりより高温での使用を可能とする。
2) 保守技術開発			
(a)-1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所の拡大	超音波の材料中での減衰特性等の基礎データを取得する。探傷角度による影響評価のため、試験体を製作し探傷基礎試験を実施する。	蒸気タービンロータ溶接部(Ni基/耐熱鋼)非破壊検査(フェーズドレイTOFD法、セクタスキャン法)精度向上及び適用箇所の拡大をする。	フェーズドレイ TOFD 法、セクタスキャン法の実機適用時の校正 TP および校正作業を削減するとともに適用範囲を拡大し、実機ロータの運用信頼性を向上する。
(b)-1 ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術開発	組織情報と音速等のデータを取得する。金属モデル、シミュレーションモデルを構築し、同モデルの検証を開始する。	ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術を開発する。	Ni基合金やオーステナイト鋼は比較的結晶粒が大きく、UT検査では粒界でのノイズが大きいため、シミュレーションにより、ノイズと疵の判別を的確に行えるようになる。

2. 研究開発マネジメント (2)研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール

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

16

2. 研究開発マネジメント (2)研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

・総事業費:7.2億円(2017~2019年度(評価対象年度)については4.7億円)

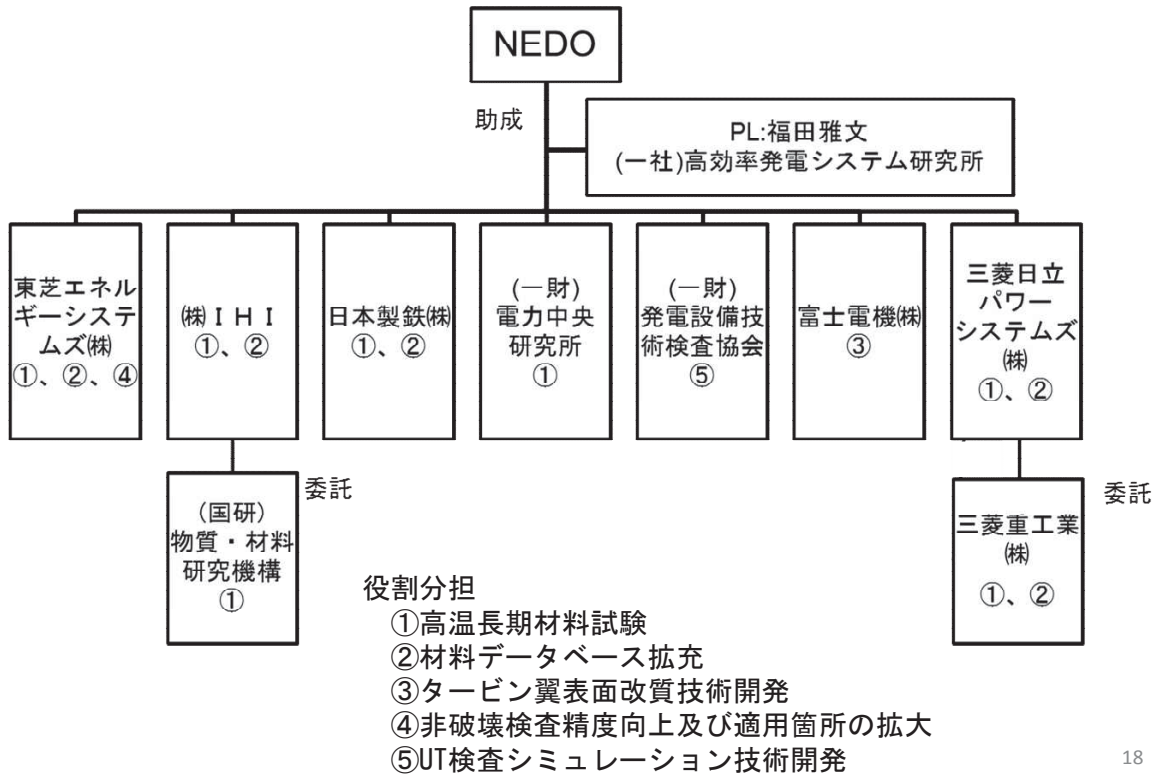
※補助率(助成率)は1/2

(単位:百万円)

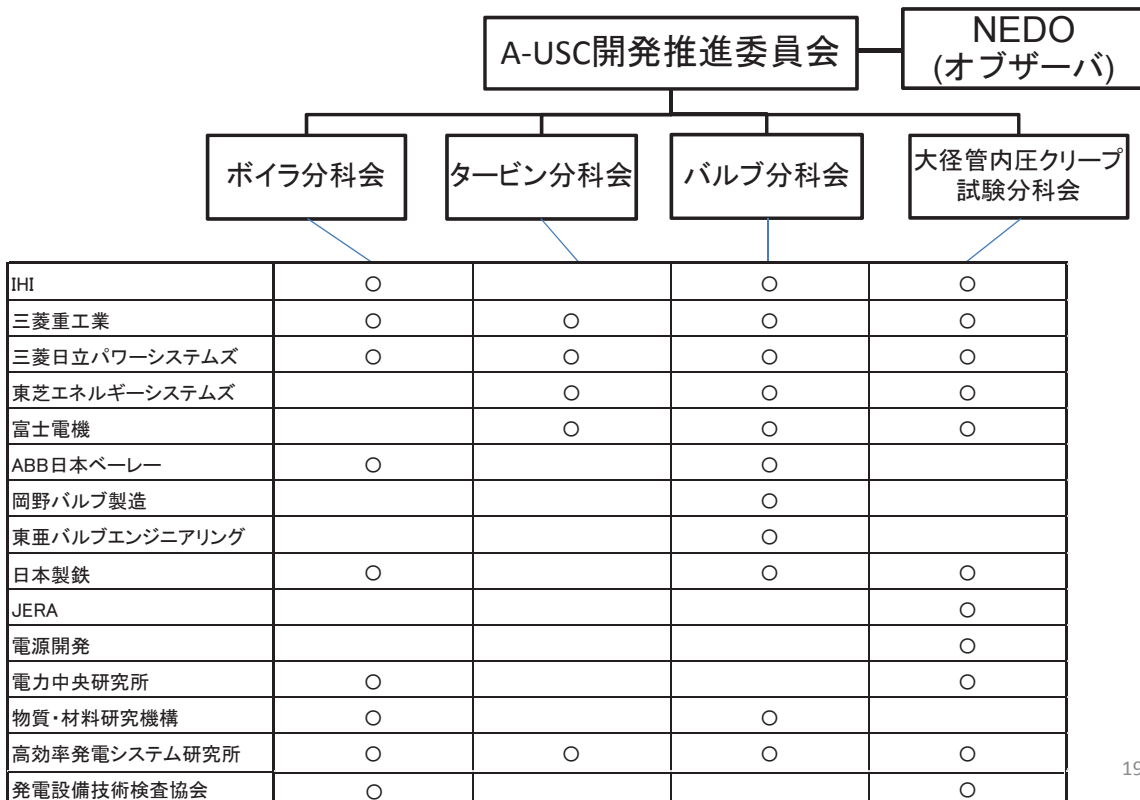
研究開発項目	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	合計
大径管内圧クリープ試験	78	86	71	65	58	358
短冊一軸クリープ試験	8	7	10	7	5	36
長時間クリープ疲労試験	9	7	4	5	4	29
タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価	6	6	13	12	8	45
タービンロータ溶接部長時間健全性評価	6	6	5	7	5	29
ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び 規格化・寿命評価データ構築	31	19	29	25	27	130
高Cr鋼の表面改質技術開発	8	9	16	15	0	50
非破壊検査精度向上及び適用箇所の拡大	0	3	5	4	0	11
UT検査のシミュレーション技術開発	9	9	9	9	0	35
合計	153	151	161	149	106	720

17

◆ 研究開発の実施体制(1/2)



◆ 研究開発の実施体制(2/2)



◆ 研究開発の進捗管理

PMによる進捗管理

- ・PMは、PLや研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、毎月、従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリング等により実施状況を確認し、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

PLによる進捗管理

- ・A-USC開発推進委員会を3か月に1回程度開催し、各分科会の実施状況、問題をチェックする。
- ・大径管内圧クリープ試験分科会を3か月に1回程度開催し、分科会内作業の実施状況、問題をチェックする。
- ・ボイラ分科会、タービン分科会、バルブ分科会を適宜開催し、分科会内作業の実施状況、問題をチェックする。

◆ 動向・情勢の把握と対応

研究開発上の情勢変化

情勢	対応
大径管内圧クリープ試験において、製作した試験体の温度応力解析を行い試験条件を検討した結果、目標試験時間として最低5,000時間が必要なことが判明	・目標試験時間を5,000時間確保するため、事業期間を「2017年度～2020年度」から「2017年度～2021年度」に1年間延長

社会的な情勢変化

情勢	対応
国内の新設石炭火力建設案件低調	・A-USC技術によるリプレース、既設改造による二酸化炭素削減の提案
国内の二酸化炭素削減への志向	
国内の電力需要の伸びの鈍化	
国内の再生可能エネルギー対応の運用柔軟性へのニーズ	・A-USC材料のクリープ疲労特性把握試験を実施 ・USCへのA-USC材料適用による運用柔軟性向上の提案
西欧諸国の二酸化炭素削減への志向	・熱効率が低い経年石炭火力へA-USC技術を適用することによる性能向上、運用柔軟性向上の提案
西欧諸国の電力需要の伸びの鈍化	
アメリカにおけるシェールガス産出 石炭からガスへの転換	

◆ 知的財産権等に関する戦略

- ・2008～2016年度に実施された、前プロジェクト(要素技術開発)においてはA-USCプラントを建設するための新材料等の特許を早期に取得し、それらの材料を活用するための製造、構造技術特許を積極的に出願した。
- ・材料の信頼性向上、保守技術開発を実施する今回のプロジェクトにおいては、事業者が秘匿すべき技術が多く得られるので、特許出願よりもノウハウ蓄積に重点を置く。

◆ 知的財産管理

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

22

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況(1/3)

研究開発項目	中間目標 (2019年度)	主な達成状況	中間目標 の達成度
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(a)－1 大径管内圧クリープ試験	・第一回目試験を開始し、中間止め検査を実施する。	・第一回目試験を開始し、現在4,500時間経過。中間止め検査を2回行い、試験体の損傷状況等のデータを取得した。	○
(a)－2 短冊一軸クリープ試験	・3つの試験体でクリープ試験を開始し、1回目の中間止め検査を完了する	・すべての試験体で1回目の中間止め検査を行い、クリープ試験及び中間止め検査によるデータを取得した。	○
(a)－3 長時間クリープ疲労試験	・保持時間10時間までのクリープ疲労試験データを拡充する。	・保持時間10時間までのクリープ疲労試験データを拡充した。	○

達成度：◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況(2/3)

研究開発項目	中間目標 (2019年度)	主な達成状況	中間目標 の達成度
1)高温材料信頼性向上技術開発			
(b)－1 タービン用Ni基材料の 劣化挙動・損傷評価	・蒸気タービン用Ni基材料のクリープ 破断試験を実施する。 ・水蒸気雰囲気中での機械試験等を行 い、材料データベースの拡充を図る。	・TOS1X-2ロータ材のクリープ破断デー タ(最長56,000時間)を取得した。 ・水蒸気雰囲気中のクリープ試験を完 了し、材料データベースを拡充した。	○
(b)－2 タービンロータ溶接部 長時間健全性評価	・蒸気タービンロータ溶接部材料のク リープ破断データを取得し、材料デー タベースの拡充を図る。	・TOS1X-2ロータ材共材及び異材溶接 部のクリープ破断データを取得済し、材 料データベースを拡充した。	○
(b)－3 ボイラ配管・伝熱管材の 補修寿命評価及び規格化・ 寿命評価データ構築	・ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験 によるデータ拡充を行い、JSME規格 化への提案を行う。	・ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験 によるデータ拡充を行い、JSME規格化 への提案を行った。	○
(c)－1 タービン翼表面改質技術	・短時間、比較的長時間の水蒸気酸 化等スクリーニング試験を完了する。	・800時間、2,000時間の水蒸気酸化等 スクリーニング試験を完了した。	○

達成度:◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

24

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況(3/3)

研究開発項目	中間目標 (2019年度)	主な達成状況	中間目標 の達成度
2)保守技術			
(a)－1 蒸気タービンロータ溶接部 非破壊検査精度向上 及び適用箇所の拡大	・超音波の材料中での減衰特性等の 基礎データを取得する。 ・探傷角度による影響評価のため、試 験体を製作し探傷基礎試験を実施す る。	・超音波減衰特性の基礎データを取得 した。 ・試験体を製作し、探傷基礎試験を実 施した。	○
(b)－1 ボイラ用Ni基大径管などの UT検査のシミュレーション 技術開発	・組織情報と音速等のデータを取得す る。 ・金属モデル、シミュレーションモデル を構築し、同モデルの検証を開始する。	・組織情報と音速等のデータを取得し た。 ・金属モデル、シミュレーションモデル を構築し、同モデルの検証を開始した。	○

達成度:◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

25

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 成果の最終目標の達成可能性 (1/3)

研究開発項目	現状	最終目標 (2021年度)	達成見通し
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(a) - 1 大径管内圧クリープ試験	・第一回目試験を開始し、現在4,500時間経過。中間止め検査を2回行い、試験体の損傷状況等のデータを取得した。	大径管厚肉部材等について、「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。	「多軸応力場での損傷形態把握」について、損傷発生までに当初計画よりも時間がかかる傾向が認められ、 試験期間(プロジェクト期間)の1年程度の延長が必要な状況
(a) - 2 短冊一軸クリープ試験	・すべての試験体で1回目の中間止め検査を行い、クリープ試験及び中間止め検査によるデータを取得した。	大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。	「単軸応力場での損傷形態把握」について、損傷発生までに当初計画よりも時間がかかる傾向が認められ、 試験期間(プロジェクト期間)の1年程度の延長が必要な状況
(a) - 3 長時間クリープ疲労試験	・保持時間10時間までのクリープ疲労試験データを拡充した。	試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを取得する。	・保持時間24時間以上のクリープ疲労試験を行うことにより 達成可能 。

26

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 成果の最終目標の達成可能性 (2/3)

研究開発項目	現状	最終目標 (2021年度)	達成見通し
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(b) - 1 タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価	・TOS1X-2ロータ材のクリープ破断データ(最長56,000時間)を取得した。 ・水蒸気雰囲気中のクリープ試験を完了し、材料データベースを拡充した。	タービン用Ni基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。	・タービン用Ni基材料のクリープ破断試験等を引き続き実施し、材料データベースの拡充及び材料劣化挙動の評価を行うことにより 達成可能 。
(b) - 2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価	・TOS1X-2ロータ材共材及び異材溶接部のクリープ破断データを取得済み、材料データベースを拡充した。	タービン用Ni基超合金/従来耐熱鋼の異材接合部の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。	・ロータ溶接部のクリープ破断試験を継続し、材料データベースの拡充及び長時間健全性の評価を行うことにより 達成可能 。
(b) - 3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築	・ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME規格化への提案を行った。	ボイラ用Ni基材料の経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータ拡充、クリープ亀裂進展データ拡充等を行う。	・経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータの拡充、申請を引き続き行うことにより 達成可能 。
(c) - 1 タービン翼表面改質技術	・800時間、2,000時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験を完了した。	高Cr鋼表面に生成されている酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。	・スクリーニング試験結果を踏まえ、有効性が認められた改質技術について更に8,000時間時間の水蒸気酸化試験を行うことにより、 2020年度末までに達成見込み 。

27

◆ 成果の最終目標の達成可能性(3/3)

研究開発項目	現状	最終目標 (2021年度)	達成見通し
2) 保守技術			
(a) - 1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大	・超音波減衰特性の基礎データを取得した。 ・試験体を製作し、探傷基礎試験を実施した。	蒸気タービンロータ溶接部(Ni基/耐熱鋼)非破壊検査(フェーズドアレイTOFD法、セクタスキャン法)精度向上及び適用箇所の拡大をする。	・超音波伝播特性及び探傷角度による欠陥検出性の評価を行い、探傷精度の高度化手法の検討を行うことにより、 2020年度末までに達成見込み。
(b) - 1 ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術開発	・組織情報と音速等のデータを取得した。 ・金属モデル、シミュレーションモデルを構築し、同モデルの検証を開始した。	ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術を開発する。	・構築したシミュレーションモデルの検証を引き続き行うことにより、 2020年度末までに達成見込み。

◆ プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

達成状況

大径管内圧クリープ試験等の高温長期材料試験及び材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2021年度末までの試験計画を策定できた。また、表面処理技術開発及び保守技術開発については、得られた基礎データ等から技術確立の見通しを得られており、全ての研究開発項目について中間目標を達成できた。

成果の意義

本プロジェクトによる技術開発を確実に実施することにより、A-USCの信頼性を高めることができ、A-USC商用機の普及促進に繋がっている。

◆各個別テーマの成果と意義(1/9)

1) 高温材料信頼性向上技術開発

1)-(a)-1 大径管内圧クリープ試験

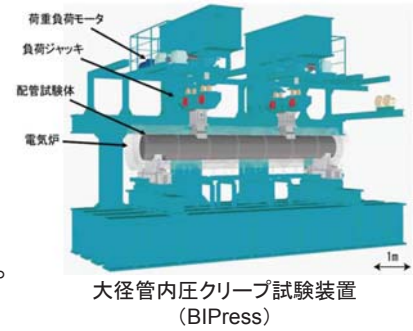
試験内容

大径管厚肉部材(配管試験体)の試験装置(BIPress)による試験。

- ・配管試験体を750℃まで加熱し、内圧、曲げを与える。
- ・試験は5,000時間程度、配管に損傷を与える。
- ・中間止めでUT(超音波検査)、PT(浸透探傷検査)等により損傷の進行度合いを計測する。
- ・試験中はAE(アコースティックエミッション)により亀裂進展の検知を行う。
- ・試験結果と応力解析結果等を照らし合わせて、応力解析の精度検証、寿命予測手法の検討を行う。

進捗状況

- ・第一回目の試験について試験体製作、据付を完了、2018年9月25日に試験を開始した。
- ・現在4,500hr時間経過した。
- ・中間止めに2回行い、配管試験体の損傷状況を確認した。



◆各個別テーマの成果と意義(2/9)

1)-(a)-2 短冊一軸クリープ試験

試験内容

- ・短冊一軸クリープ試験は大径管内圧クリープ試験を補完するための試験である。
- ・大径管内圧クリープ試験は高額なため試験数に制限があるので、短冊試験体で多数の試験を行っている。

進捗状況

- ・現在、三つの短冊試験体を下表の条件で試験している。



損傷した短冊一軸クリープ試験体

短冊一軸クリープ試験状況

材質	試験温度 (℃)	試験応力 (一軸引張 MPa)	破断目標時 間 (hr)	経過時間
HR6W	700	100	20,000	6,000
HR6W	750	91	20,000	8,500
HR6W	750	85	30,000	10,000

◆各個別テーマの成果と意義(3/9)

1)-(a)-3 長時間クリープ疲労試験

試験内容

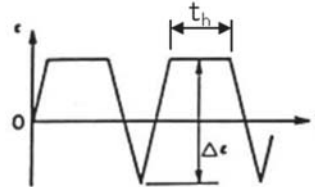
クリープ疲労の試験は試験体に下図のようなひずみを繰り返しかけて損傷に至る回数を評価する。

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

進捗状況

下表にしたがって試験を実施中である。

- ・ $t_h=10$ 時間以下の試験を2019年度までに完了させる。
- ・2020年度より $t_h=24$ 時間試験を実施する予定である。



クリープ疲労試験の概念

長時間クリープ疲労試験条件

温度(°C)	$\Delta \epsilon$ (%)	保持時間: t_h								
		0	1min	10min	30min	1hour	6hour	10hour	24hour	72hour
700	1.5	●○				○		○		
	1.2	●○	○	○	○	○		○		
	0.7	●○	●○	●○		○		○		
	0.5	●○				○		○*		
750	1.5	●○				○		○		
	1.2	●○	○	○	○	○	○	○	○*	○*
	0.7	●○	●○	●○		○	○	○	○*	○*
	0.5	●○				○		○		

- : 今回国プロ(NEDO)実施条件
- : 前回国プロ(METI)で取得済
- : MHPS実施計画
- : IHI実施計画
- *: 試験進捗をみて実施可否を判断

◆各個別テーマの成果と意義(4/9)

1)-(b)-1 タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価

試験内容

タービン用Ni基超合金の長時間特性を取得。

- ・実施項目と目標を下表に示す。

進捗状況

- ・①、②は750°Cで56,000時間のクリープ破断試験、時効試験を終了した。



水蒸気環境中クリープ試験機、水蒸気環境中疲労試験機

タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価実施項目、目標

実施項目	目標
①クリープ破断試験	・7万時間程度の長時間クリープ破断データを取得 ・TOS1X-2クリープ破断強度 100MPa以上(@700°C、10万Hr) ・長時間側でのクリープ強度低下の有無を確認する
②クリープ中断試験、時効試験	・試験材料の組織観察等を行い、材料の経時的な劣化挙動を評価する
③水蒸気雰囲気中での機械試験	・水蒸気雰囲気中での機械試験を実施する ・大気中での試験結果と比較し、水蒸気による材料への影響を評価する
④低サイクル疲労試験	・実機運用を考慮して、低サイクルのクリープ疲労試験を行う ・クリープと疲労が重畳された場合の材料特性を評価する
⑤材料データベースの拡充と寿命評価データの構築	・①～④の試験データをまとめて、材料データベースの拡充を図る ・寿命評価データを構築する

◆各個別テーマの成果と意義(5/9)

1)-(b)-2タービンロータ溶接部長時間健全性評価

試験内容

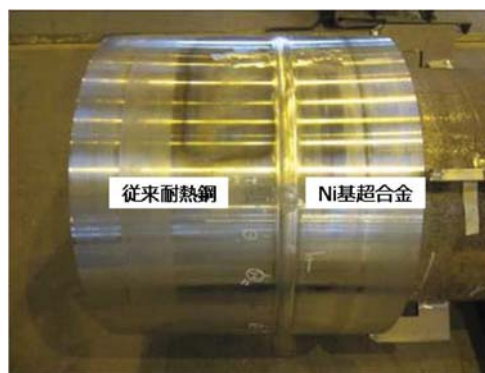
タービン用Ni基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部(下図)の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。

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

進捗状況

溶接部クリープ破断試験

- ・共材 TOS1X-2 :700°C/10khr : 現在6khr
- ・異材 TOS1X-2/12Cr鋼 :630°C/30khr : 現在27khr



ロータ異材溶接部(例)

34

◆各個別テーマの成果と意義(6/9)

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

試験内容

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

- ・ボイラ伝熱管・配管材料(HR6W,HR35,Alloy617,Alloy263,Alloy141,SAVE12AD)について、国内規格化を行うためのサンプル数が不足しているクリープ、時効試験を実施(試験材として前記鋼種の伝熱管・配管材料を製作する)
- ・ボイラ鍛造材(HR6W, Alloy617)についてクリープ、時効試験を実施(試験材として前記鋼種の鍛造材を製作する)
- ・ボイラ配管材料(HR6W,Alloy617)の厚肉材溶接継手部の経年劣化におよぼす組織、元素の影響評価を実施
- ・HR6W製大径管(実缶試験試験材)について、補修を模擬した溶接を実施、継手部のクリープ試験を実施
- ・ボイラ配管材料(HR6W,HR35,Alloy617等)について、クリープ亀裂進展試験等を実施し、各材料のクリープ亀裂進展データを拡充

進捗状況

規格化に関して、以下のように進行中である。

- ・Alloy263 : JSMEで規格化審議中
- ・Alloy141 : 同上
- ・Alloy617 : 2019/12 JSME規格化申請予定
- ・HR35 : 2020年度JSME規格化申請に向けデータベース拡充中
- ・SAVE12AD : 次回規格改定時にASME規格から準用予定

35

◆各個別テーマの成果と意義(7/9)

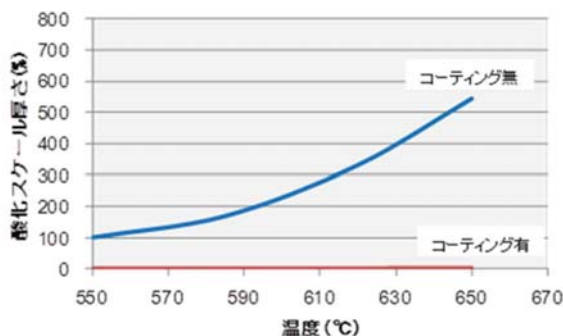
1)-(c)-1 タービン翼表面改質技術

試験内容

- 耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。
- ・高温蒸気環境下で高Cr鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握する。
 - ・候補表面改質法
HVOF, プラズマ溶射PVD, CVD, 耐熱ペイント焼付等

進捗状況

- ・800hr, 2,000hr 水蒸気酸化等スクリーニング試験完了
- ・スクリーニング試験結果分析中
- ・8,000hr水蒸気酸化試験準備中



高Cr鋼の酸化スケール生成厚さ(例)

◆各個別テーマの成果と意義(8/9)

2) 保守技術開発

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

試験内容

- 非破壊検査について高度化を行う。
- ・製造する実機のロータ径(φ400~1200mm)に合わせて、曲率の異なる校正TPを作成し、あらかじめデータを取得、データベース化することで、校正TPおよび校正作業を削減する。
 - ・現状ではロータ溶接部に適用されているが、ロータ溶接部以外のNi基合金へ適用範囲(厚肉素材、配管素材、溶接部等)を拡大する。

進捗状況

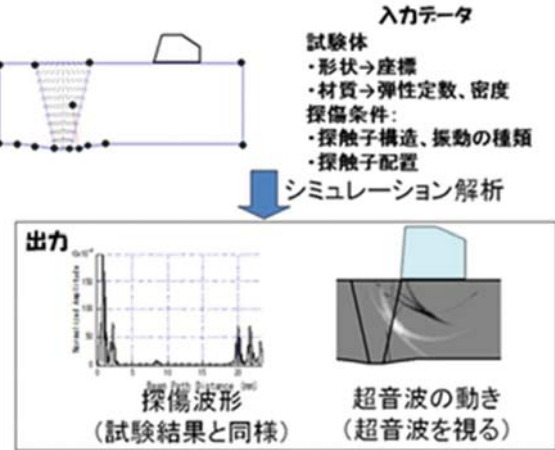
- ・溶接ロータ疑似欠陥の感度比較評価試験中
- ・超音波伝播特性の評価実施中
- ・探傷角度による欠陥検出性の評価実施中
- ・探傷精度の高度化手法の検討中

◆各個別テーマの成果と意義(9/9)

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

試験内容

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



進捗状況

- ・組織の情報と音速等のデータを取得
- ・金属モデル、シミュレーションモデル構築
- ・無損傷部でモデルの検証を実施

38

◆成果の普及(特許・論文等)

	2017	2018	2019	合計
	平成29年	平成30年	平成31年	
特許	0	1	0	1
論文	9	17	1	27
学会発表、講演	22	10	3	35
合計	31	28	4	63

※2019年8月現在

◆知的財産権の確保に向けた取組(出願特許)

出願者	出願番号	国内／外国	出願日	状態	名称
東芝エネルギーシステムズ	2018-123827	国内	2018.6.29	審査前	寿命予測方法、寿命予測装置および寿命予測装置用プログラム

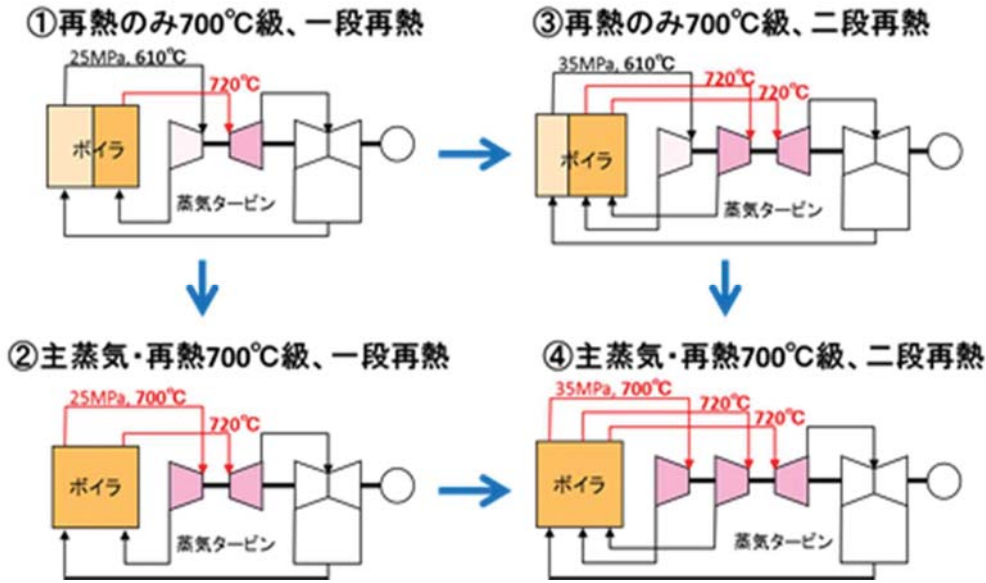
40

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

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

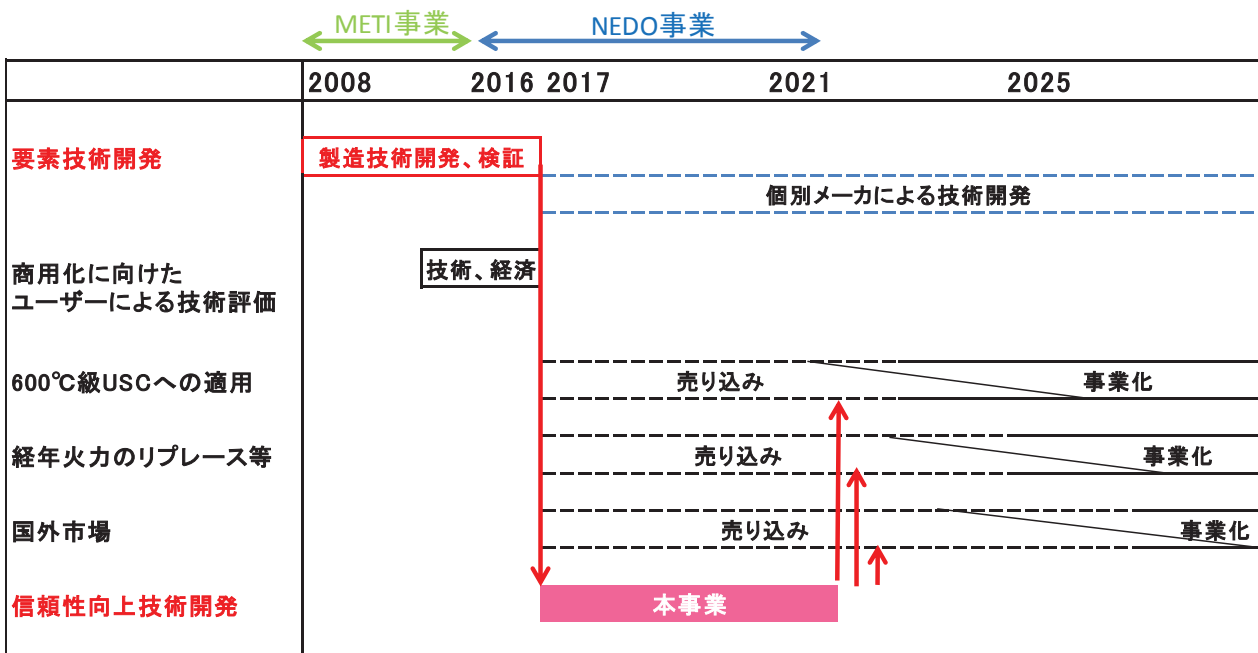
41

◆ 事業化に向けた戦略(技術の段階的導入)



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

◆ 事業化に向けた具体的取組



◆ 成果の事業化の見通し

■ 事業化の見通し

- ・国内では2025～2030年ごろを目途とし、経年火力のリプレース等による既存資源（人材、立地、設備）を有効活用した事業化を図る。
- ・大径管等の信頼性向上、肉厚減少による運用柔軟性向上を目的とした600℃級USC高温部への適用による早期事業化を図る。
- ・国外ではメーカーの国外営業、製造拠点を活用し、東南アジア、インド、オセアニア、欧州、北米での事業化を図る。

■ 導入対象

- ・既設石炭火力(600℃級USC)
- ・リプレース
- ・新設石炭火力 等

■ 技術の段階的導入

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

44

◆ 波及効果

以下に、今後期待される波及効果を示す。

- ・再生可能エネルギー対応
既設石炭火力厚肉部材の薄肉化、高強度化による運用柔軟性向上
例：ボイラヘッド、タービンロータ
- ・既設USCタービン翼への表面改質技術の適用
高圧タービン、中圧タービンの上流の数段に適用することによる、水蒸気酸化スケール付着抑制による翼寿命延長、表面粗度低下防止

45

参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会

「次世代火力発電等技術開発/次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」(中間評価) 分科会 議事録

日 時 : 2019年9月17日(火) 10:00~16:40

場 所 : WTC コンファレンスセンターRoom B

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

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

分科会長代理 岡崎 正和 長岡技術科学大学 大学院機械創造工学専攻 教授

委員 伊藤 隆基 立命館大学 理工学部 機械工学科 教授

委員 久谷 一朗 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 戦略研究ユニット
国際情勢分析第1グループマネージャー 研究理事

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

委員 山口 富子 九州工業大学 大学院工学研究院 物質工学研究系 准教授

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

<推進部署>

田中 秀明 NEDO 環境部 部長

在間 信之 NEDO 環境部 統括調査員

布川 信 NEDO 環境部 主任研究員

今村 宏暁 NEDO 環境部 主任

青戸 冬樹(PM) NEDO 環境部 主任

<実施者>

福田 雅文(PL) 一般社団法人高効率発電システム研究所 代表理事

生沼 駿 東芝エネルギーシステムズ株式会社 材料技術開発部 主務

千星 淳 東芝エネルギーシステムズ株式会社 材料技術開発部 主査

須賀 威夫 東芝エネルギーシステムズ株式会社 火力コンバインドサイクル技術部 主務

野村 恭兵 株式会社IHI 技術開発本部 技術基盤センター 金属・材料評価Gr 課長代理

大熊 喜朋 株式会社IHI 資源・エネルギー・環境事業領域 ボイラSBU 技術センター
基本設計部基本計画Gr 主幹

仙波 潤之 日本製鉄株式会社 技術開発本部 鉄鋼研究所 材料信頼性研究部 上席主幹研究員

福富 広幸 一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所 構造材料領域 上席研究員

西ノ入 聡 一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所 構造材料領域 上席研究員

古川 敬 一般財団法人発電設備技術検査協会 溶接・非破壊検査技術センター 所長

西牧 航志郎 富士電機株式会社 発電プラント事業本部 川崎工場 火力タービン部
計画設計課 主査

東海林 剛 三菱日立パワーシステムズ株式会社 エンジニアリング本部 ボイラ技術総括部
ボイラ戦略部 開発グループ 主席技師

北村 雅樹 三菱日立パワーシステムズ株式会社 エンジニアリング本部 ボイラ技術総括部
ボイラ戦略部 開発・デジタル推進課 主席技師

<評価事務局>

梅田 到 NEDO 評価部 部長
塩入 さやか NEDO 評価部 主査
鈴木 貴也 NEDO 評価部 主査

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 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

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

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

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

評価事務局より資料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
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われた。

5.2 研究開発成果、実用化・事業化の取組及び見通し

実施者より資料5に基づき説明が行われた。

5.3 質疑応答

推進部署からの5.1および5.2の説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

5.3 質疑応答

【野中分科会長】 ありがとうございます。

技術の詳細につきましては議題6.で扱いますので、ここでは主に、前半に説明のあった事業の位置づけ、必要性、マネジメントについて議論します。それに対して、ご意見、ご質問等がありましたらお願いします。

【久谷委員】 非公開セッションは、恐らく、私は出番がないので、ここでお話をさせていただきます。

まず、目標自体がエネルギー基本計画に沿ったものであり、非常に適切に運営されていると感じました。これは非常によろしいかと思えます。

あと、途上国でエネルギーが必要、安いエネルギーが必要ということを考えると、やはり石炭火力の重要性は否定できませんので、この意味からも、こういった高効率技術の開発の意義は非常に高いと感じました。

さらに言えば、諸外国、先進国で、このA-USC技術の開発があまり進んでいないと聞きまして、日本にとって、世界でオンリーワンの技術になり得るということで非常に心強いと感じました。

一方、石炭火力そのものの市場性については、ますます不透明性が高まっていると考えておりまして、この意味からは、極力早くこの技術をものにして商業化につなげるということをしなればいけないと感じました。

例えば国内ですと、特に原子力発電所の再稼働が遅れ、かつ、廃炉がどんどん進んでいるということで、エネルギー基本計画が考える二酸化炭素削減が予定どおりいかないとなった場合、石炭火力から石炭火力へのリプレースではなくて、ガス火力へのリプレースということが当然視野に入ってくると思います。そうすると、石炭火力の市場が減ってくる。

海外においても、恐らく、中国は国産化がどんどん進んでいく。あるいは、最近ではガスが安くなっているので、ガス火力の競争力も高まっている。再エネのコストも下がっているということで、なるべく早くこのA-USCの技術をものにして売っていかないと、市場がどんどん減っていくことになりかねませんので、そこは若干リスクかなと感じました。

最後に1点だけ質問です。少し的外れかもしれませんが、いろいろな技術がA-USCのコスト低下につながるような波及効果は何か考えることができますか。技術開発というのは、A-USCの信頼性向上という点でいろいろな効果があるというご説明がありましたが、コスト低下という観点で、この事業が何か貢献し得ることはあるのかという質問です。

【青戸PM】 ご質問いただき、ありがとうございます。

本事業の技術開発がコストの観点でどう影響してくるかというご質問と理解しました。(資料5スライドNo.36参照) 例えば、その中の一つとしては、現在実施しているタービン翼表面の改質技術の開発ということがあります。こちらは、従来からある高価なNi基材料ではなくて、高Cr鋼をなるべく高い蒸気温度で使えるように、その際に問題となる酸化被膜の抑制を行うものでありまして、こうしたものができれ

ば、高価な Ni 基材料の代わりに従来の高 Cr 鋼を適用することが部分的にできますので、そうした面でもコスト削減につながるのではないかと考えています。現在、材料のクリープ疲労試験、大径管のクリープ試験なども行っていますが、こういった技術は、寿命や破断するタイミングがある程度正確にわかるようになれば、設備の稼働率の向上につながると考えています。

例えば、定期点検などに合わせて、寿命が近づいているものを取り替えるなどの効率的なメンテナンスをすることによって、設備の緊急停止などを防ぐことができるということで、そうした意味でもコストの削減に寄与すると考えております。

【在間統括調査員】 石炭火力の場合、燃料費が発電原価の約 5 割から 6 割ということで、そもそも A-USC にして高効率にするということは、CO₂削減と同時に燃料費の削減になっています。基本的には、この A-USC を導入することによって、電力会社としては経済性も出てくるのではないかと考えております。

【野中分科会長】 ほかにございますか。

【佐藤委員】 私も同じような観点ではありますが、例えばスライドの 11 頁、「実施の効果（費用対効果）(1/3)」に「マーケットの現状及び将来の規模」とありまして、中国、インド、東南アジアなどは新設を想定と記載されていますが、こうした国々を回っていると、現実的には、例えばインドに関しては、この 2～3 年で新設は二千数十年まではしないと決めたなど、各国の政策を踏まえると、新設に関してはこの数字よりもかなり小さいのが現実ではないかと感じています。

他方で、国内市場でも、リプレースという話や柔軟性の運転への対応といったところがありますが、そこに関しては、各国を回りましても、対応する技術が欲しいという国はたくさんありますが、対応できている先進国はないという現状があります。高効率のものを売りたいというシーズ側と、既に途上国も新設よりも再エネのほうにシフトしているという現実がありましたので、少し低効率でもいいけれども再エネなどに対応してほしいという途上国も含めた、そうした点のニーズのギャップを非常に感じています。

例えば年間販売額もそうしたところに合わせて、ニーズを出すところに苦労するのですが、新設の販売額ではなくて、既存への対応ということでの販売額を出されてはいかかかと思いました。

二酸化炭素の削減量の効果も、全てに A-USC の効率が適用されたらとなっていますが、販売と合わせて効果の算定をされたほうが、整合性がとれるのではないかと思いました。

あと、私も質問したいと思ったのですが、細かい技術のところ、例えば柔軟性の運転にしても、余寿命診断にしてもそうだと思いますが、既存のものよりも、この程度寿命を延ばすことができるとか柔軟性が向上するといった定量的な指標を出すことができれば、導入してもらうときのインセンティブとして大きいのではないかと思います。今までよりも良いですと言われても、明確な指標というか、効果があることがわからないと、途上国にはなかなか導入してもらえないというようなところがあるので、そういった指標のところも何か提示されるといいのかなと思いました。

以上です。

【青戸 PM】 ありがとうございます。定量的に効果を示していくところですが、例えば、大径管の内圧クリープ試験、いろいろな材料の試験を行っていますが、そうしたところについては、これまでの実験データから、最低でも何十万時間、10 万時間、20 万時間は信頼性が確保できていますので、新材料に関しては、そういう使用年数を示すことができるのは一つ大きいのではないかと思います。

保守技術に関しては、従来のメンテナンスと比べてどのくらい削減できるかといったところは、数字として示すことは難しい部分もあるかと思いますが、そうしたところは事業者さんのほうでも工夫されて、いろいろな提示の仕方をこれからも検討されていくところかなと思っています。

【福田 PL】 再生エネルギー対応でどのくらいの効果があるのかなど、そうした類の話がありまして、先ほど、技術的なところでクリープ疲労試験という項目を示しましたが、実は、これがまさにそういう検討をするための基礎データを得るための試験です。ですから、この試験を行うことによって、いわれたいろいろな定量的な評価ができるようになるだろうと考えています。

【野中分科会長】 ほかにどうぞ。

【岡崎分科会長代理】 さきほど来のご質問に対することと、ある意味では同じになるかもしれませんが、例えば、クリープ疲労試験を今まで 12 時間くらい実施しており、これを 24 時間まで延長する計画があるとのこと。これは世界に先駆けて大変評価すべきことなので、ぜひ進めていただきたいと思います。そういうものと並行して、さきほどのコメントにありましたように、例えば単にリプレースするのではなく、どの辺を特にターゲットにしてリプレースする、あるいはこの辺が、一番ニーズが高い背景があるからこそ、例えば 24 時間の保持時間で、かつ全体で 5 万時間、といった数値目標とするなど、その辺の関連性をもう一度明確にされたほうがいいのではないかという気がします。

【青戸 PM】 ありがとうございます。ご指摘いただいた点も踏まえて、引き続き研究を進めてまいりたいと思います。ありがとうございます。

【野中分科会長】 ほかにございますか。

【山崎委員】 成果として非常に素晴らしい成果が出ていて、我が国の技術が良い方向に進んでいることを喜んでます。特に、大径管の実験は非常に有効な結果が得られるものと考えています。その実験が逆に長持ちしていることは良いことだと思っています。それによって計画をまた 1 年延ばすことも、マネジメントとして、また、成果を得る意味で、非常に良い方向に進められていると評価しております。

これはタラレバの話で大変恐縮です。まだ破断して実験は終了していないかと思いますが、さらに予想よりも長くなったというような場合に、こちらはお願いというか、どうお考えなのかも含めてなのですが、壊れない、あるいは、実験が終了できない場合には、加速せずに、データ取得にまず重きを置いて、それによって計画がさらに延びることも私は是だと思いますが、その辺の今後のお考えをお聞かせいただければと思います。

【青戸 PM】 ご質問いただき、ありがとうございます。

現時点としては、先ほど少し説明させていただきましたが、5,000 時間よりももう少し時間がかかるのではないかという状況です。そういった状況も踏まえまして、今、3 回目の中間止め検査も実施しております。こちらの結果等も出てくると、もう少し正確な目標がわかってくる部分もあります。それがどこまで延びるかということで、今後、延びても、今の我々の認識としては、加速の条件は変えることなく、試験は進めてまいりたいと思っています。

それと、試験の期間としてはそれに合わせて延びてくるということもありますが、それに対して、NE DO のプロジェクトとしてどこまで補助していくか、こちらはその進捗に合わせて関係者で検討してまいりたいと思っています。

【野中分科会長】 今のお話は、議題 6 で技術の詳細についてのところでもディスカッションしたいと思います。ここでは、どちらかというと、事業の位置づけ・必要性・マネジメントについて議論したいと思います。

私から一つ確認します。今、スライドの中で、先行していたヨーロッパのプロジェクトが途中で頓挫しているというご報告がありました。我が国のこのプロジェクトを実用化に向けていくためには、この情報は非常に重要なので、当然、皆様把握されていて、具体的に言うと、ヨーロッパでは問題になったけれど

も、このプロジェクトでは問題ないなど、そういったことはいろいろ議論されていると思います。理由としては、純粋に材料を含めた技術的な問題と、もう一つは、ヨーロッパの環境や政治的な問題と、二面性があると思います。その辺をこのプロジェクトの実施者としてどう捉えていて、このプロジェクトの今後の進め方に対して、問題があるのかどうか、どのように考えておられるのか、簡単にご説明願います。

【福田 PL】 ヨーロッパのプロジェクトは中断していますが、理由としては、まさにおっしゃられたとおり、2つの理由があります。一つは、技術的にかかなり大きなトラブルがありました。もう一つは、ヨーロッパの二酸化炭素対応の仕方です。特にドイツでは再生可能エネルギーに大きく舵をきりました。ヨーロッパのプロジェクトはドイツが引っ張っていたプロジェクトなので、そういう意味での政策上の問題があつて中断したと理解しています。

私たちが一番問題としているのは、前のほうの技術的なトラブルです。実は、ヨーロッパのそういうトラブルを見て、我々のプロジェクトとしては、その辺を慎重に進めて取り組んできました。前のプロジェクトでは、その結果を見て実証試験を成功することができたと考えています。

ですから、私たちのプロジェクトとしては、それを勉強させていただいて、これからさらに補修技術のほうまで進めていこうというスタンスです。

【野中分科会長】 わかりました。配管材料の選択から、補修の面から、既にプロジェクトに取り入れて進められていると理解しました。ありがとうございました。

ほかにご質問等がありますか。

よろしいですか。

では、ありがとうございました。ほかにご質問がないということですので、予定の時間よりも早いのですが、本議題は終了したいと思います。

ここで入れ替えを行います。事務局からご説明ください。

【鈴木主査】 議題6、議題7は知的財産権の保護等の観点から非公開ですので、一般傍聴の方々のご退室ください。なお、議題8より再度公開いたします。

(一般傍聴者退室)

(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

【鈴木主査】 一般傍聴者の方はいませんので、ここから公開ということで再開させていただきます。

分科会長、進行をお願いします。

【野中分科会長】 それでは、議題8.「まとめ・講評」です。評価委員の皆様、山崎委員から始めていただいて、最後に私という順番で講評させていただきたいと思います。

では、山崎委員からお願いします。

【山崎委員】 すみません、若輩者がまとめ・講評をさせていただきます。

事業の位置づけ・必要性、また、NEDO 事業としての必要性という観点から、世界的に CO₂削減、環境対策は非常に重要で、エネルギーも今後は増大していくことをかんがみると、非常に重要な事業であり、かつ、いわゆるナショプロでなければうまく進められないような事業であるので、必要不可欠な事業であると高く評価させていただいているつもりです。

あわせて、マネジメント等もしっかりされていることがよくわかりましたし、体制としても重厚な体制をとられていて、様々な観点からいろいろな検討をされていて、特に保守技術、信頼性向上という非常に重要な事例に対して、世界にも先駆けた検討をされていると考えています。また、データも順調に蓄積されているようで、このまま進めば最終的な事業として、最終目標にかなり近づいているのではないかと考えております。

ただ、1点、こちらからの要望というか、お願いとしては、先ほど久谷委員からありましたように、開発に関する時間軸のほうが結構重要なのではないかと思いますし、かといって、じっくりデータを取得しなければいけない部分は決して加速せず、丁寧にとらなければいけないかと思っておりますので、加速させるべき部分と加速させないほうが良い部分、その辺をきちんと分けていただいて、できればそれもぜひ評価のほうにも、最終評価の際にはわかるような形で成果をまとめていただければと考えております。

以上です。

【山口委員】 生活の基盤産業ですから、とても重要な領域だと思います。マネジメントに関しても順調に各プロジェクトが、大径管のほうは寿命が予想よりも長いということで1年ずれこむという話でしたが、全体的に順調に進められているのではないかと思います。

溶接の疲労部分で破壊が起こることはこの場所でも言われていることなので、ぜひ非破壊の関係者の方々にがんばっていただいて、溶接部の安全を担保していただけるように、よろしく願いいたします。

以上、コメントとさせていただきます。

【佐藤委員】 本日は、石炭火力に厳しい風が吹く中でも最先端の技術を着々と進められているとお聞きして、日本勢としてうれしいと思いました。

他方で、次世代技術が CO₂の問題を解決する一番重要なものとして捉えられていますので、ぜひ実用化していただきたいと思っています。そうした意味では、高効率化ということが一丁目一番地の技術だと思いますが、状況が変化していることも視野に入れつつ、実はいろいろなところに応用できる技術が含まれているように感じましたので、高効率化と複雑化する火力の問題への応用、そうしたところも両にらみでぜひ開発を進めていただければと思います。

以上です。

【久谷委員】 非常に大がかり、かつ、多くの方がかかわるプロジェクトですが、円滑に進んでいるということで大変すばらしいマネジメントがされていると感じました。

一方、先ほど来お話もありましたとおり、石炭に対する逆風がどんどん高まっていると感じています。その意味から、少しでも早く市場化・商業化を目指さないと危ないと感じています。

あと、この事業のアピールという観点から、コスト削減効果、このくらいコスト削減できるということをもっと定量的に示されてはどうかという気がしました。

あとは、技術の横展開ということで、もっと幅広く使える技術であることをアピールされると、この事業の重要性をもっと強くアピールできるのではないかと感じました。

以上です。

【伊藤委員】 火力発電技術は、電力供給の安定化という一つの方法として大変大切な事業だと思います。特

にこの A-USC は温度が高いところに大きな技術的ハードルがあるのではないかと思います。こうした技術は、恐らく、いろいろな高温機器に応用できることから、A-USC だけに限らず、この成果がいろいろなところに応用できるという点で、日本の技術を発展させる上で大変重要だと思います。本事業も順調に進んでいるようですので、ぜひこのまま最終まで持って行っていただきたいと思っております。

ただ、試験内容については結構具体的にお話ししていただいたと思いますが、実際にこれを、ゴールとしてどのようにこの成果を持っていかれるのかという具体的な方向性を、もう少しアピールし、もう少し明確にされたほうがいいのではないかと思います。というのは、研究をされているご本人は頭の中でシミュレーションされていると思いますが、一般的な第三者から見ると、そうした点が見えにくいような気がしています。そうした点をきちんとご説明いただければ、この成果の重要性がもう少しアピールできるのではないかと思います。

以上です。

【岡崎分科会長代理】 皆さんが同じようなことをおっしゃっているので、今さら言うまでもないかと思いますが、再度コメントいたします。まず一つは、日本の独自性を発揮する際には、欧州であまりうまくいかなかったことを日本が達成したという点は本当にアピールポイントになるので、進めていただきたいと思っております。

私の横に並んでおられる評価者の方々に関するコメントは、学界にいる我々みたいな立場の人間にも同じような意味で問われていることから、我々自身の意義に対する回答にもなるのではないかと思います。それ故、高温強度を研究している私自身の立場からも皆さんの成果を注視してまいりたいと思っておりますので、いろいろご指導をお願いしたいと思っております。

以上です。

【野中分科会長】 最後になりましたが、私から、3つほど挙げさせていただきます。

最初は、自己紹介の際に話しましたように、前期のプロジェクトから参加させていただきまして、そこから見ると、前期は基礎要素試験を確実にされていましたが、全般的には実用化に近づいているという印象を受けました。それは、具体的には、小型試験片から出たデータに基づいて大型配管をつくって実証するという話、あるいは、メンテナンス技術として、試験しながら超音波の検査技術を開発する、あるいは、素材の劣化評価を考えると、余寿命診断まで入ってしまっていて、さらには、その先に、トラブルがあった場合の補修技術まで踏み込まれている。また、その中で、ヨーロッパの配管のトラブルをフィードバックして、熱処理のことも考慮されているという話を伺いますと、全体的にはかなり実用化に近づいているのではないかと思います。そういう意味では、実用化に必要な項目がテーマとして挙げられていて、中間評価としては着実にそれをこなしているという印象があります。

2つ目は、この後の話として、例えば、私が先ほど IHI の野村さんに質問しましたが、クリープ疲労のデータをきちんと取得されて、良い評価線図ができていますけれども、A-USC を国内でリプレースとして事業者売り込むときに、実験データそのままではだめだと思います。具体的には、クリープ疲労の新たな設計項目を設ける必要があるのかどうか、そういうところまで踏み込まないとリプレースの商売は出てこないと思います。それには、このプロジェクトだけではなくて、専門家を交えた議論も必要になるのではないかと感じています。一つの例です。要は、個々のテーマに対して、これから実用化に向けた深掘りをする必要があるのではないかとこのことを言いたいわけです。

3つ目は、先ほど超音波のシミュレーションのときに古川さんに質問しましたが、実験されている結果と連携していますかというお話をしたら、その辺はきちんとデータが取り込まれているという話でし

たが、後半の段階になったときに、実用化を考えると、個々の研究テーマがもう少し有機的に結びつく必要があるのではないかと感じました。

以上3点が講評です。

【鈴木主査】 ありがとうございます。

それでは、推進部長及びPLから一言ございますか。

【田中部長】 推進部(推進部署)の環境部を代表しまして、私からコメントさせていただきます。

本日は、お忙しいところ、委員の先生方におかれましては、この中間評価にご出席していただき、誠にありがとうございました。長時間にわたっているいろいろな点から専門的なご質問も含めて、様々なコメントをいただいたと感じました。

特に、今回の位置づけは中間評価ですので、このプロジェクトの途中の点検というか、どのくらい進展しているのかということを確認していただくことが一つのポイントでしたが、この点については最後に委員の先生方からもコメントいただきましたように、かなり着実に進んでいるのではないかと、そういうご評価をいただいたのではないかと感じております。そうした意味では、我々としては引き続きしっかり進めていきたいと思っております。

一方、もう一つこの会の趣旨としては、そういう意味ではまだ中間なので、最後に野中分科会長からもありましたが、今後どうするかということですね。これに向けて我々も取り組んでいかなければいけないところです。そこにつきましても、今日、いろいろな点から有益なコメントをいただけたと感じております。この点についても、しっかり今後に生かしていきたいと思っております。

特に私のほうで感じたという意味では、実用化については、この後、最終障害に向かっていくという意味では、実用化に向けてより進めていかなければいけない。これは補助事業ですが、そういう意味では、実用化に近いですが、実用化により近づけていかなければいけない。

ですので、この技術がいろいろなところでもっと使えるのではないかとコメントもいただきましたし、また、プロジェクト間の連携などのコメントもいただいております。また、石炭火力についてのいろんな動きの変化も踏まえるべきだ、これは全くそのとおりでありまして、単純に新しい石炭火力をドンドン建てていく、それが世界的にできるかということ、なかなか難しい状況があります。一方で、今回出た多くのデータがいろいろな場面で活用できるかもしれないとか、再生可能エネルギーが拡大していく中において、負荷変動の部分で生かせるのではないかなど、我々としても、今後の市場という意味では狙えるところがあるのではないかと感じております。

ですので、きょういただいたコメントを十分に今後のこのプロジェクトの進展に生かしていきたいと思っておりますし、引き続き、このプロジェクトを見守っていただき、いろいろな点からご指導いただければと思っております。今日は、どうもありがとうございます。

以上です。

【福田 PL】 本日は、長い時間じっくり聞いていただいてどうもありがとうございました。また、いろいろ質問をしていただいて、逆に勉強させていただいたところがたくさんあります。

本日お伺いした点は幾つかありますが、何しろ一番大きいのは、石炭が逆風でありまして、少しでも早く実用化していかなければいけないということは、我々がまさにそうしたいと思っております。その中で、野中先生はなかなか難しいとおっしゃいますが、600℃に適用したいとか、いろいろなことをしていきまして、これから本当に売り込み段階に入っていくわけですが、できることは何でも行おうと考えています。

あと幾つかご指摘いただいて、きょうの発表の仕方の問題でもあるのかもしれませんが、実施している試験のゴールがよく見えないというのは、私も聞いていて、確かにそうだなと思いました。手がけている本人としてはわかっているつもりでも、確かにご指摘のとおりですので、考えてみます。

もう一つは、野中先生にいわれたように、いろいろな実験が、この話を聞いていても、やはりバラバラだなという印象を持ちますので、そこも、話し方の問題だけではなくて、実質的な意味で議論してみようと思いました。

そういうわけで、きょうは、大変すばらしいご講評、QAで、本当に感銘した一日でした。どうもありがとうございました。

【野中分科会長】 ありがとうございます。以上で議題8.「まとめ・講評」を終了します。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

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

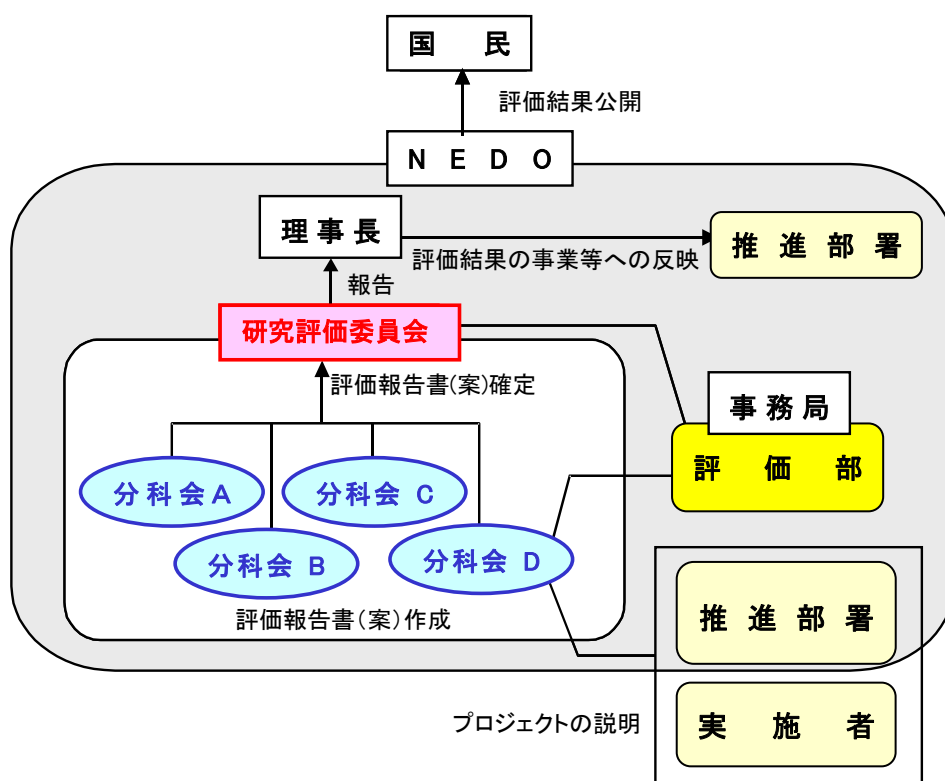
以 上

参考資料 2 評価の実施方法

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

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

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



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

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

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

2. 評価者

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

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

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

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

3. 評価対象

「次世代火力発電等技術開発／次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」を評価対象とした。

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

4. 評価方法

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

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

5. 評価項目・評価基準

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

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

「次世代火力発電等技術開発／
次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」に係る
評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

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

(2) NEDOの事業としての妥当性

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

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

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

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

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

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

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

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

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

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

「実用化・事業化」の考え方

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

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

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

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

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

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

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

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

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

「実用化」の考え方

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

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

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

(2) NEDO の事業としての妥当性

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

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っている

か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

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

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

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

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

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

- ・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

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

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

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

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

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

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

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

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

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

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「次世代火力発電等技術開発／次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」（中間評価）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
<p>①最近の石炭火力への逆風を考えると、実用化の時期が遅れるほどA-USC市場が小さくなるリスクがあるため、開発技術の実用化、実機への展開では、この点を十分に考慮すべきである。</p> <p>②構造物、材料に関する要素的な開発技術が、A-USC以外の事業にどこまで展開できるのかを明確にし、それらを他にも適用できる一般化された形に示した上で、今後の事業を推進されることを切望する。</p> <p>③開発推進委員会の下に、ボイラ、タービンなどの分科会が設けられ、それぞれに研究の進捗が管理されているが、テーマごとの研究成果の連携が不十分に感じられる。</p> <p>④A-USCに拘わらず、他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開できる成果も得られており、アピールを期待する。</p>	<p>①本事業で開発した技術は、既存火力設備に適用することも視野に入れ、適用可能な技術から導入することで実績を蓄積しA-USCの早期普及を図ることとしているが、今後はA-USC市場が経時的に小さくなるリスクも考慮して実機への展開を図るよう、NEDOとしてのマネジメントに取り組む。</p> <p>②事業者としては、まずは発電設備への導入により実績の蓄積を図るため、電力事業者に対して既設火力設備の問題点の把握と開発技術の導入による改善等を提案している。今後は開発技術の更なる早期実用化を図るため、A-USC以外の事業への展開についても事業者が検討を行うよう、NEDOとしてのマネジメントに取り組む。</p> <p>③各分科会の上位に開発推進委員会が設置されており、同委員会において研究成果の連携を図っているが、更に事業者間の連携を強化するようNEDOとしてのマネジメントに取り組む。</p> <p>④事業者としては、まずは発電設備への導入により実績の蓄積を図るため、電力事業者に対して既設火力設備の問題点の把握と開発技術の導入による改善等を提案している。今後は開発技術の更なる早期実用化を図るため、A-USC以外の事業への展開について</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>⑤各個別テーマの繋がり、それによって生まれるアウトプットを外部の第三者から見ても分かり易くアピールできるようにしていただくが良い。特に、大径管の試験と短冊クリープ試験との関連性、クリープ疲労試験の立ち位置については、第三者に分かり易く説明できるよう改善を望む。</p> <p>⑥材料試験を伴う開発研究には、試験時間を相当に要することから、時間的制限は避けられない。そのため、要素試験で得られた材料度データに基づいた数値シミュレーション等で補完することが望ましい。</p> <p>⑦A-USC プラントにおいては、問題となりそうな部材の損傷形態が未だ明確にされていないように思われる。プロジェクトの後半では、これまでの要素試験や実機模擬試験の成果を総括して、実用化に向けた課題に対応することが望まれる。</p> <p>⑧リプレースの可能性のある設備数、新規施工される設備数など実用化に向けた具体的な企業化調査および計画が必要であると思われる。</p>	<p>も事業者が検討を行うよう、NEDO としてのマネジメントに取り組む。</p> <p>⑤各個別テーマの繋がりや試験の関連性、立ち位置等が第三者にも分かり易いよう、アピール、説明方法の改善に取り組む。</p> <p>⑥大径管内圧クリープ試験において多軸応力場を考慮した構造解析を行っており、試験データとの比較や解析条件へのフィードバックにより、信頼性向上に寄与している。</p> <p>⑦プロジェクト後半では、これまで得られたデータ、知見ならびに今後の試験結果を総括して実用化に向けた課題への対応を行う。新たな課題が生じた場合には、必要に応じて実施計画書の見直しを検討する。</p> <p>⑧電力事業者に対しては、設備の定期点検に合わせて設備更新等を提案しているが、その中でリプレースや新規施工の可能性のある設備数などの実用化に向けた調査等を行い、より具体的な企業化計画を行うよう、事業者へのフォローを行う。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>⑨実用化・事業化の段階では、ユーザー側のメリットが明確であることが重要であり、導入した場合の定量的なメリット、例えばライフサイクルコスト等、事業化を見据えた開発指標があると良い。</p> <p>⑩国内外で石炭火力の新設・リプレースが想定どおりとならないリスクがある。時間の経過とともにこのリスクは高まると考えられ、市場規模も想定よりも小さくなる可能性の方が高い。そのため、一刻も早い実用化が望ましい。</p> <p>⑪実用化が可能な技術に対してはA-USCに拘わらず、他の発電設備はもとよりその他の分野にも水平展開し、実績を確実に蓄積してA-USC早期普及の足掛かりとしてほしい。</p>	<p>⑨前プロジェクトの「次世代火力発電等技術開発／先進超々臨界圧火力発電技術開発」においてA-USCの事業化を見据えた経済性評価を行っている。電力事業者への開発技術導入の提案においては、個々の適用先に応じて明確なコストメリットを提示するよう事業者に指導する。</p> <p>⑩本事業で開発した技術は、既存火力設備に適用することも視野に入れ、適用可能な技術から導入することで実績を蓄積しA-USCの早期普及を図ることとしているが、今後はA-USC市場が経時的に小さくなるリスクも考慮して実機への展開を図るよう、NEDOとしてのマネジメントに取り組む。</p> <p>⑪事業者としては、まずは発電設備への導入により実績の蓄積を図るため、電力事業者に対して既設火力設備の問題点の把握と開発技術の導入による改善等を提案している。今後は開発技術の更なる早期実用化を図るため、A-USC以外の事業への展開についても事業者が検討を行うよう、NEDOとしてのマネジメントに取り組む。</p>

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 梅田 到

担当 鈴木 貴也

* 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