

「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

次世代火力発電等技術開発 評価テーマ

年度(西暦)	15	16	17	2018	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)		◇				◇			◆
※1		酸素吹IGCC実証							
			CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証						
				CO ₂ 分離・回収型IGFC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(2/3助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)		◇					◆		
※1		実証機の設計・製作・試運転							
※1		実証							
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)		◆							
※		2016年度で終了し、研究開発項目⑦にて後継PJを開始。							
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	2018年度以降は研究開発項目⑤へ統合						
2) 燃料電池向け石炭ガスクリンナップ技術要素研究(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)				◇					◆
				基盤技術開発					
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)				◇					◆
				基盤技術開発					

年度(西暦)	15	16	17	2018	2019	2020	2021	2022	2023
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)		◇							
※2		基盤技術開発							
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)					◇				
					基盤技術開発				
7) CO ₂ 有効利用技術開発(委託)					◇				
					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						◇			
						基盤技術開発			
9) 機動性に優れた広負帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究(委託)							◇		
							基盤技術開発		
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)					◇				◆
					信頼性向上技術開発				

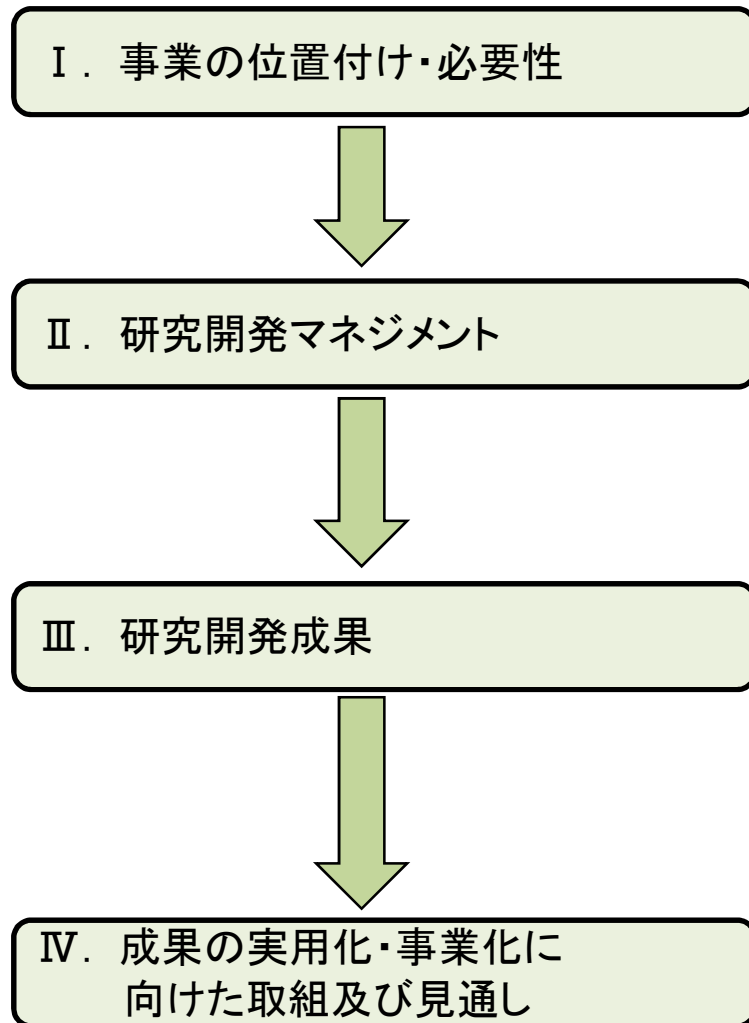
次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 2017年度～2021年度 5年間

◇ 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

発表内容



- (1)事業目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

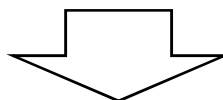
- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

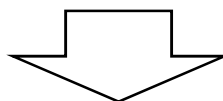
温暖化対策は世界的課題



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°C以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン材料の信頼性向上及び保守技術開発を行う。

◆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。

◆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。

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆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
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**

後継

＜次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 2017年度～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

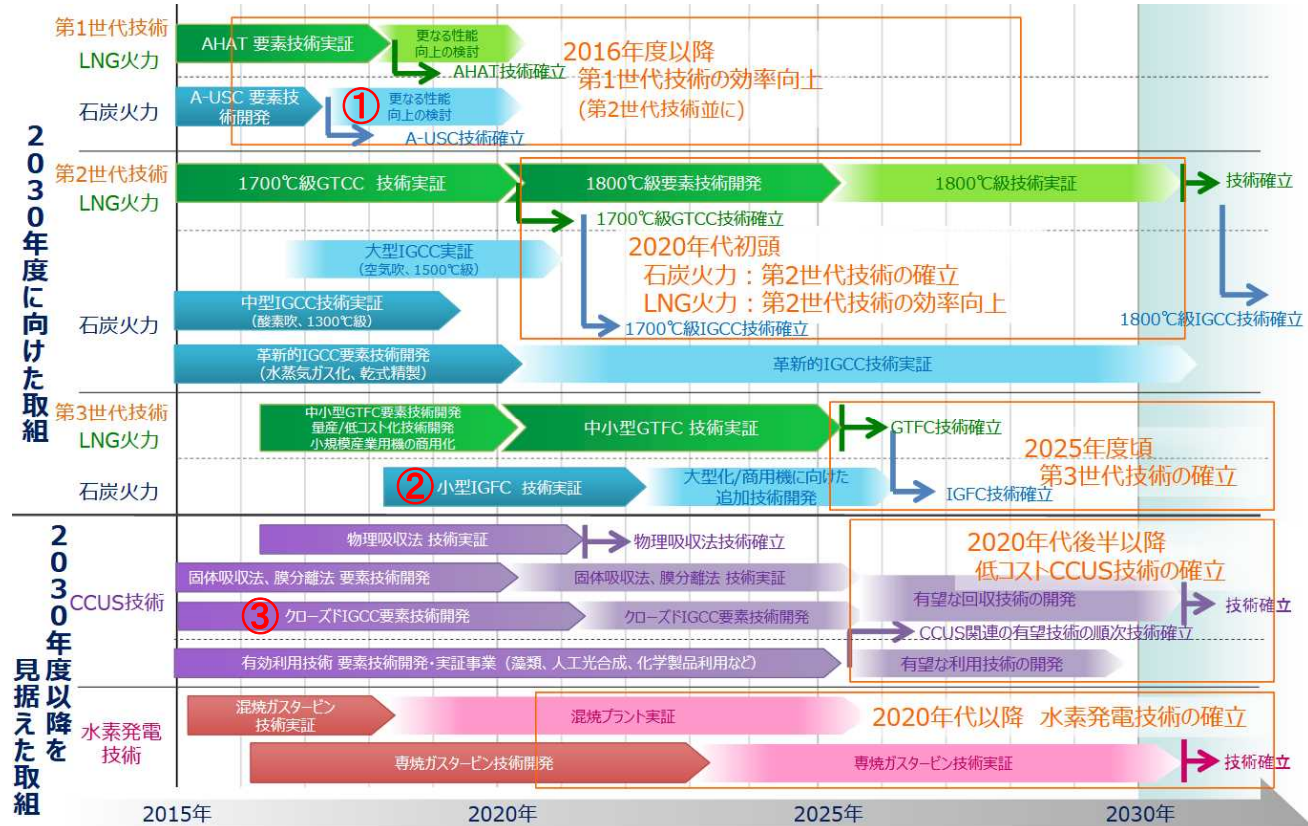
◆国内外の研究開発の動向と比較

		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GKMI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様様。中国は650℃以下／二段再熱を当面の目標。

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

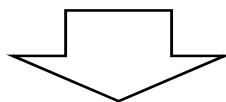


狙い	NEDOプロジェクト	開発内容
高効率化によるCO2削減	① A-USCの信頼性向上技術開発 【本PJ】	A-USC適用材料の評価、保守技術の開発
高効率化によるCO2削減	② 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 (IGFC)	IGCCに燃料電池を組み込んだIGFCの実証
CCUS	③ CO2回収型クローズドIGCC技術開発	CO2分離回収に最適化した発電方式

◆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)

◆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、

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)

◆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、AC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、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。	フェーズドアレイ 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合金やオーステナイト鋼は比較的結晶粒が大きく、UT検査では粒界でのノイズが大きい。UTシミュレーションにより、ノイズと疵の判別を的確に行えるようになる。

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 及び適用箇所の拡大		フェーズトアレイ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				

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)

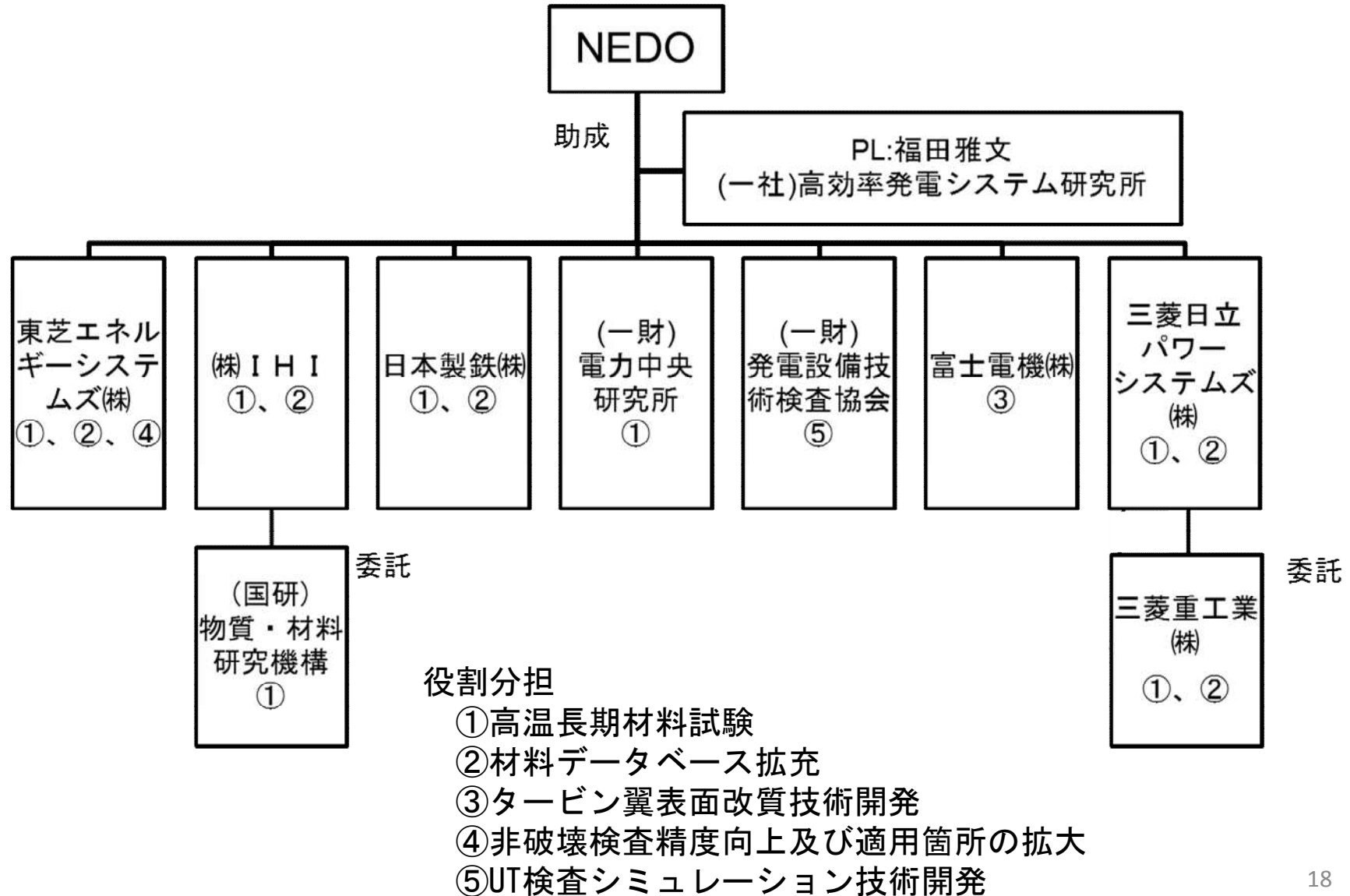
※補助率(助成率)は1/2

(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

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制(1/2)



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制(2/2)



IHI	○		○	○
三菱重工業	○	○	○	○
三菱日立パワーシステムズ	○	○	○	○
東芝エネルギーシステムズ		○	○	○
富士電機		○	○	○
ABB日本ベーレー	○		○	
岡野バルブ製造			○	
東亜バルブエンジニアリング			○	
日本製鉄	○		○	○
JERA				○
電源開発				○
電力中央研究所	○			○
物質・材料研究機構	○		○	
高効率発電システム研究所	○	○	○	○
発電設備技術検査協会	○			○

◆ 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。

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 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。

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(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

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 及び適用箇所拡大	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<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。 	○
(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。 	<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。 	○

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 (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 。

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。	・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 。

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 (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	<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。	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。	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ている、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

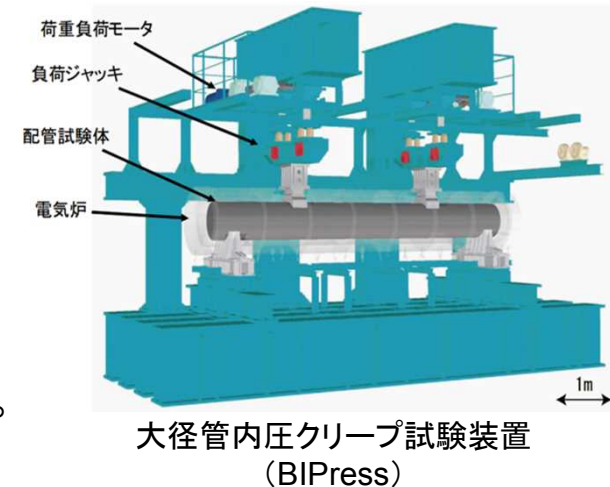
試験内容

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)

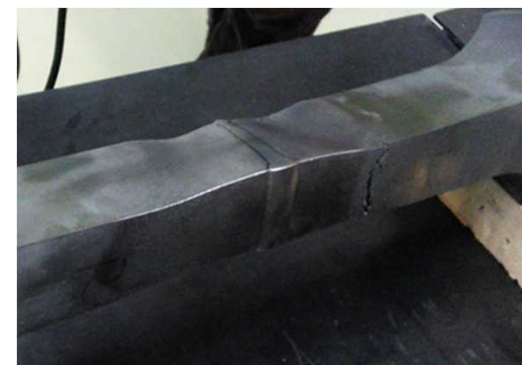
1)-(a)-2 短冊一軸クリープ試験

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 (°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

◆各個別テーマの成果と意義(3/9)

1)-(a)-3 長時間クリープ疲労試験

試験内容

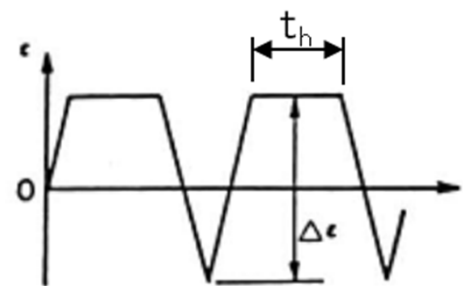
クリープ疲労の試験は試験体に下図のようなひずみを繰り返しかけて損傷に至る回数を評価する。

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

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	<ul style="list-style-type: none"> ・7万時間程度の長時間クリープ破断データを取得 ・TOS1X-2クリープ破断強度 100MPa以上(@700°C、10万Hr) ・長時間側でのクリープ強度低下の有無を確認する
②クリープ中断試験、時効試験	<ul style="list-style-type: none"> ・試験材料の組織観察等を行い、材料の経時的な劣化挙動を評価する
③水蒸気雰囲気中での機械試験	<ul style="list-style-type: none"> ・水蒸気雰囲気中での機械試験を実施する ・大気中での試験結果と比較し、水蒸気による材料への影響を評価する
④低サイクル疲労試験	<ul style="list-style-type: none"> ・実機運用を考慮して、低サイクルのクリープ疲労試験を行う ・クリープと疲労が重畳された場合の材料特性を評価する
⑤材料データベースの拡充と寿命評価データの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・①～④の試験データをまとめて、材料データベースの拡充を図る ・寿命評価データを構築する

◆各個別テーマの成果と意義(5/9)

1)-(b)-2タービンロータ溶接部長時間健全性評価

試験内容

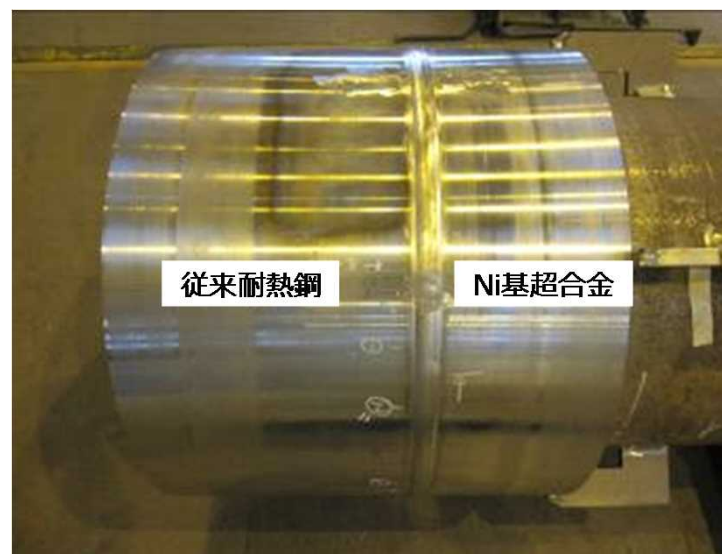
タービン用Ni基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部(下図)の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。

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

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)

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

◆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

◆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

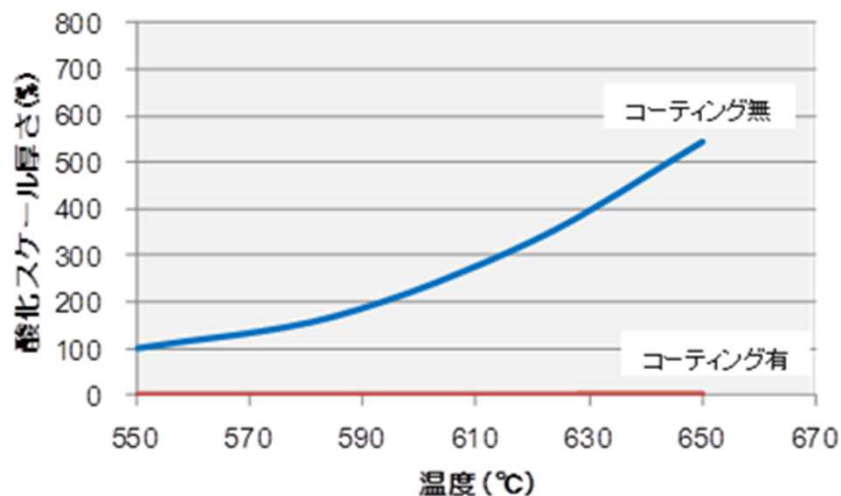
試験内容

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

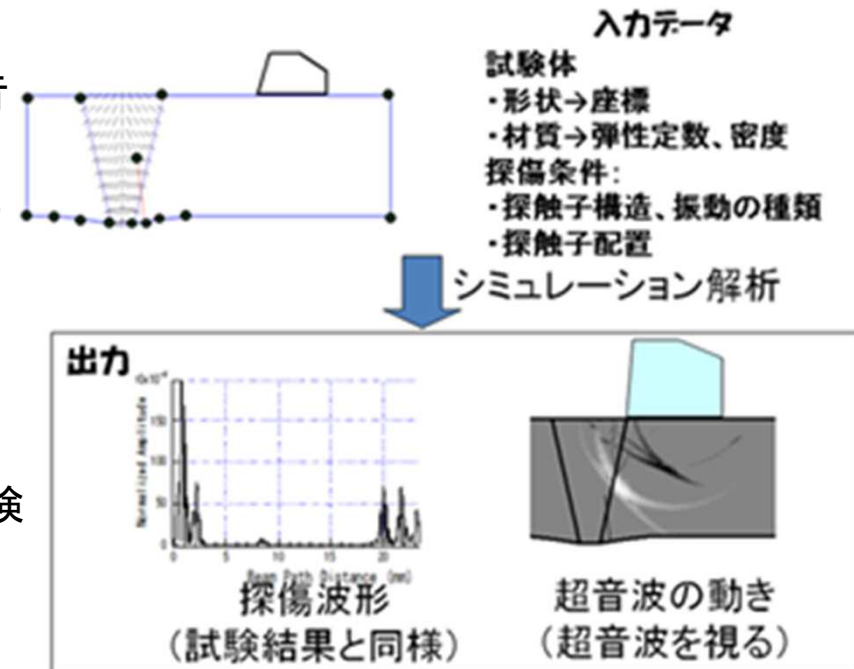
試験内容

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



3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆ 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

3. 研究開発成果 (4) 知的財産権等の確保に向けた取組

◆ 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

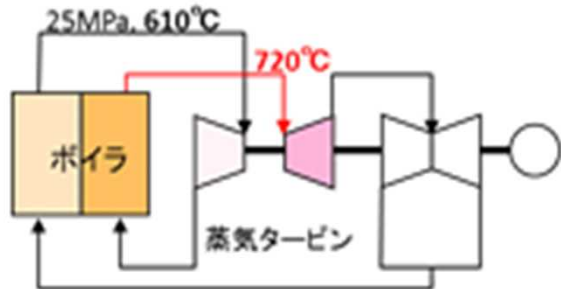
◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- 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。

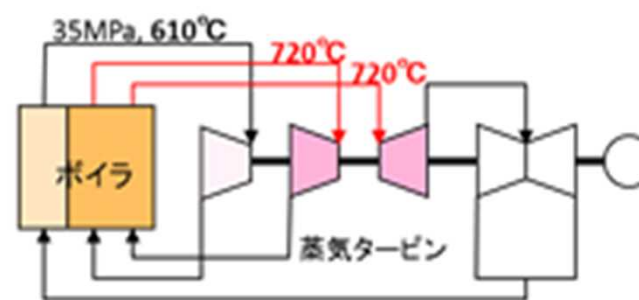
4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

◆ 事業化に向けた戦略(技術の段階的導入)

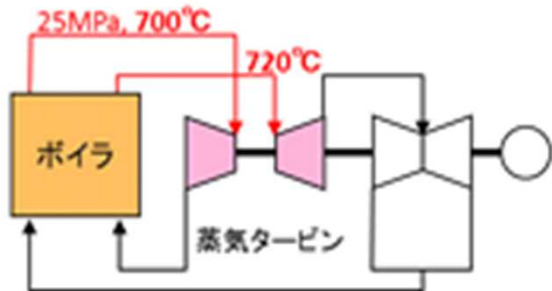
① 再熱のみ700°C級、一段再熱



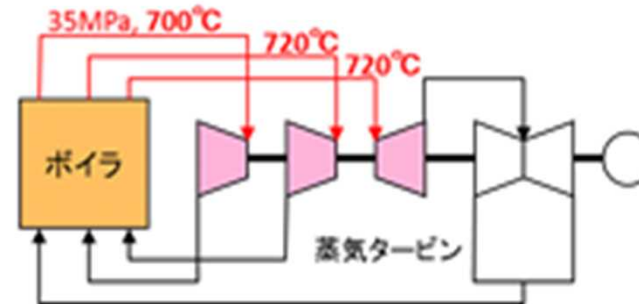
③ 再熱のみ700°C級、二段再熱



② 主蒸気・再熱700°C級、一段再熱



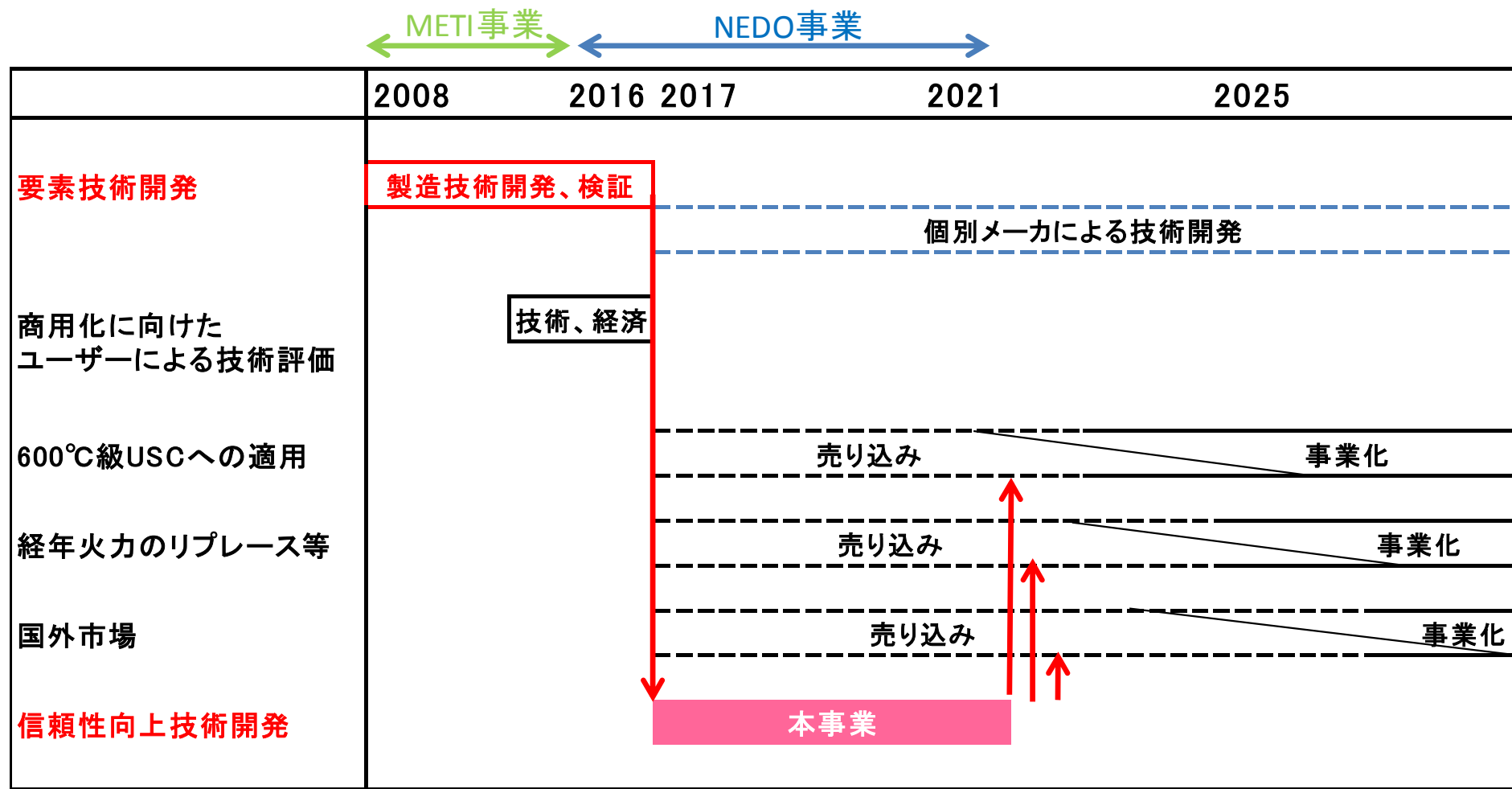
④ 主蒸気・再熱700°C級、二段再熱



- ・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

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

◆ 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°C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°C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。

◆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