

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／
⑦次世代技術の早期実用化に向けた
信頼性向上技術開発」(事後評価)

(2017年度～2022年度 6年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO
環境部

2022年 11月16日

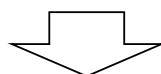
1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

【開始当時】

社会的背景

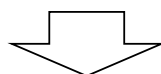
温暖化対策は世界的課題



高効率発電技術開発によるCO₂排出量削減の必要性

事業の目的

火力発電の熱効率向上によるCO₂排出量の抑制



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

◆政策的位置付け

開始当時から政策は脱炭素へ大きく転換(今後、石炭火力の電源構成比は低減)一方、脱炭素火力に向けた移行期間における適切なポートフォリオの確保や、再生可能エネルギーを最大限導入する中で調整電源としての役割が期待⇒既設火力への展開も可能

【開始当時】

○次世代火力発電に係る技術ロードマップ(2016年6月 官民協議会)

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

○第4次エネルギー基本計画(2014年4月 閣議決定)

老朽火力発電所のリプレースや新增設による利用可能な最新技術の導入を促進することに加え、発電効率を大きく向上させることで発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に下げるための技術(IGCCなど)等の開発をさらに進める。こうした高効率化技術等を国内のみならず海外でも導入を推進していくことにより、地球全体で環境負荷の低減と両立した形で利用していく必要がある。

【現在】

○第6次エネルギー基本計画(2021年10月 閣議決定)

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

・調達リスク、発電量当たりのCO₂排出量、備蓄性・保管の容易性といったレジリエンス向上への寄与度等の観点から、LNG、石炭、石油における**適切な火力のポートフォリオを維持**。(脱炭素火力に向けた転換を進めるに当たっては、化石火力の各燃料種が持つ一長一短の特徴を踏まえて、**適切なポートフォリオを確保することが重要**)

・**次世代化・高効率化を推進しつつ**、非効率な火力のフェードアウトに着実に取り組むとともに、脱炭素型の火力発電への置き換えに向け、**アンモニア・水素等の脱炭素燃料の混焼やCCUS/カーボンリサイクル等のCO₂排出を削減する措置の促進**に取り組む。

◆プロジェクトの経緯

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

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

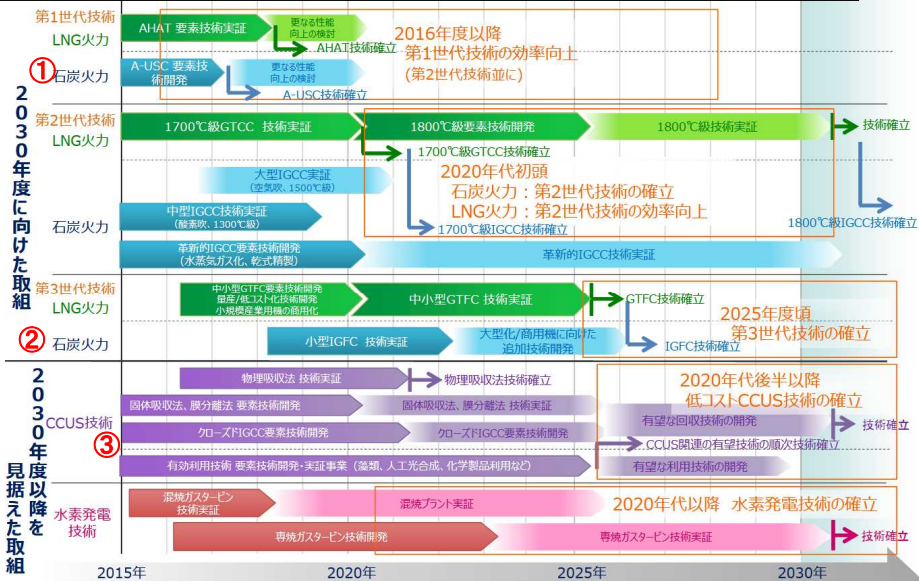
- ・開発目標はほぼ達成し欧米をリードできた。
- ・2025年頃に大型機の商用実証を目指す態勢が整いつつある。
- ・新材料の開発、Ni基の材料を部分的に使用等、有意義な成果が得られている。
- ・**今後は、以下が必要。**
 - －**実機の運用を想定した課題の抽出**
 - －**寿命評価手法やメンテナンスのための健全性評価手法の確立**
 - －**更なる長時間の試験**

後継

＜**次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発** 2017年度～2022年度＞

- ・A-USC商用機の普及促進を目的として、以下の研究開発項目を設定した。
 - －**高温長期材料試験による信頼性向上技術開発**
 - －**保守技術の開発・高度化**

◆他事業との関係



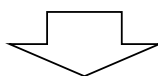
狙い	関連するNEDOプロジェクト	開発内容
高効率化によるCO ₂ 削減	① A-USCの信頼性向上技術開発【本PJ】	A-USC適用材料の評価、保守技術の開発
高効率化によるCO ₂ 削減	② 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業(IGFC)	IGCCに燃料電池を組み込んだIGFCの実証
CCUS	③ CO ₂ 回収型クローズドIGCC技術開発	CO ₂ 分離回収に最適化した発電方式

出典: METI 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 2016年6月 を基にNEDO作成
https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/jisedai_karyoku/006_haifu.html

◆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であった

◆実施の効果 (費用対効果) 1/3

○プロジェクト費用の総額 15億円(補助額7.5億円)

○国内市場における販売額見込み

2050年までに75億円～750億円

(算定の考え方)

本事業で開発した材料を、定期検査等でボイラ修理時に適用する場合を想定し、以下の通り算出。
なおタービンや、非破壊検査技術への適用等があれば、さらなる経済効果を見込める。

- ・World Energy Outlook, STEPS※1では2030、2050年における国内の発電電力量はそれぞれ202、65(TWh/年)
- ・石炭火力の利用率を70%※2とすると、1(TWh/年)=1000(GWh/年)の発電に必要な発電容量は、 $1000(\text{GWh}/\text{年})/365(\text{日}/\text{年})/24(\text{h}/\text{日})/0.7=0.163(\text{GW}/(\text{TWh}/\text{年}))$
- ・よって2030、2050年に必要な発電容量はそれぞれ32.926(GW), 10.595(GW)
- ・プラント1基あたりの設備容量を70万kW※2とすると、2030、2050年にはそれぞれ47、15基
- ・2050年まで生き残るプラントでA-USC技術による更新をするならば、今後の市場規模は
5億円～50億円/基 × 15基 = 75億円～750億円
なお、過熱器や再熱器等の高温部取り換え費用はプラント一基当たり5億円～50億円と想定した。

※1: STEPS(Stated Policies Scenario) 各国が表明済みの具体的政策を反映したシナリオ

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

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

◆実施の効果 (費用対効果) 3/3

二酸化炭素(CO₂)排出量削減効果

2050年における石炭火力発電設備10GW(World Energy Outlook, STEPSシナリオから推定)がCO₂分離回収装置付きUSCから同A-USCとなった場合のCO₂排出削減効果

76万t-CO₂/年

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

(算定の考え方)

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

・送電端効率 (CO₂分離回収装置付きの場合、7ポイントロスとした)

①: 41% ②: 46% ③: 34% ④: 39%

・CO₂分離回収装置による回収率: 90%

CO₂分離回収装置なしの場合

A-USCにするとCO₂排出量**11%**低減

・CO₂排出係数

①: 0.806 (kg/kWh)※

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



CO₂分離回収装置ありの場合

A-USCにするとCO₂排出量**13%**低減

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

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



・石炭火力発電設備容量10GW=1,000万kW、利用率70%とした場合のCO₂削減量(③、④比較)

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

※: METI資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 第18回会合 資料2-5「火力発電の高効率化」平成27年11月

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/018/pdf/018_011.pdf

◆事業の目標

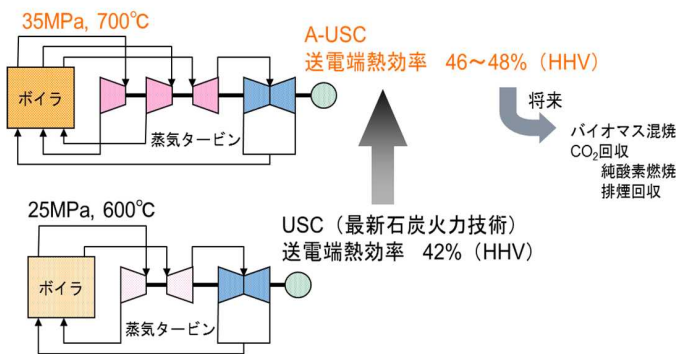
最終目標(2022年度)

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

[目標設定の根拠]

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

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



◆研究開発のスケジュール

当初計画では、2017-2020年度の事業計画であったが、以下の通り期間延長を行った。

- 外部有識者を含む開発推進委員会での指摘を踏まえた大径管内圧クリープ試験の計画見直し(配管形状と試験条件の最適化)を行うため、1年間期間を延長。(2019年2月交付決定)
- 同試験において、2021年度に試験を開始した第2回目試験では、3試験体を同時に試験するための試験体形状と起動方法の検討を行うため、さらに半年間期間を延長(2022年2月交付決定)

 延長期間
 事後評価対象
 ◇ 中間評価
 事後評価◆

	平成29年度 2017	平成30年度 2018	令和1年度 2019	令和2年度 2020	令和3年度 2021	令和4年度 2022
1) 高温材料信頼性向上技術開発 (a) 高温長期材料試験 大径管内圧クリープ試験					1回目	2回目
	1体目設計、製作、試験、まとめ					
	2回目設計、製作、試験、まとめ					
	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 及び適用箇所の拡大		フェーストアレイTOPD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：15億円(助成率1/2、補助額7.5億円)

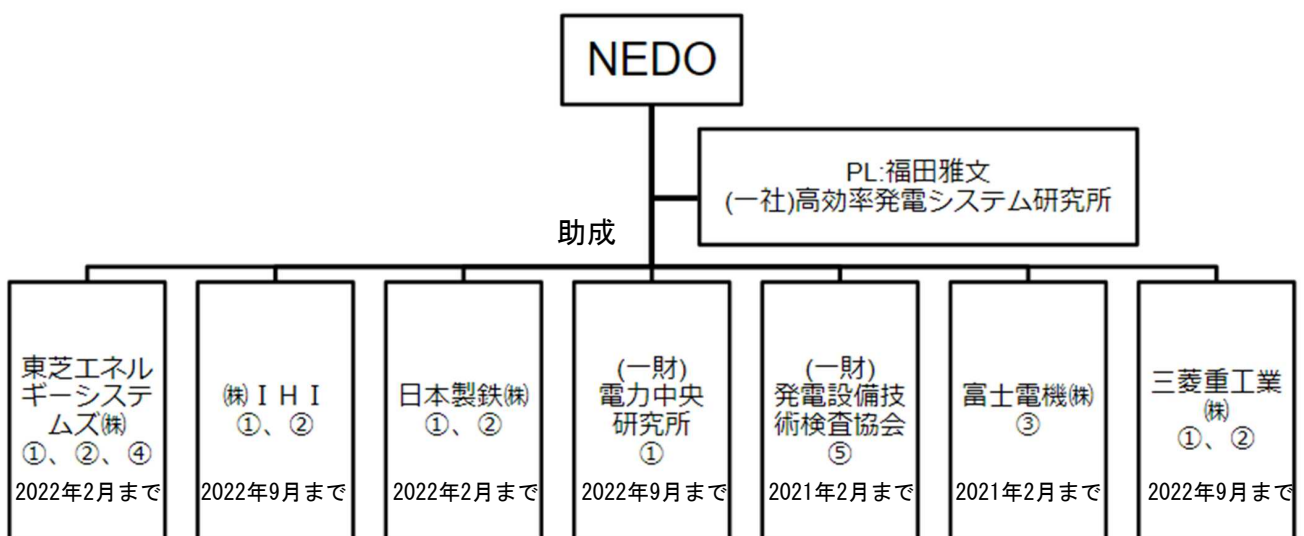
下表は各研究開発項目における年度ごとの補助額を示す。

(単位：百万円)

研究開発項目		2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	合計
高温長期材料試験	大径管内圧クリープ試験	78	86	71	65	63	27	390
	短冊一軸クリープ試験	8	7	10	7	5		36
	長時間クリープ疲労試験	9	7	4	5	4		29
材料データベース拡充	タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価	6	6	13	12	8		45
	タービンロータ溶接部長時間健全性評価	6	6	5	7	5		29
	ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築	31	19	29	25	27		130
タービン翼表面改質技術開発		8	9	16	15	0		50
非破壊検査精度向上及び適用箇所の拡大		0	3	5	4	0		11
UT検査シミュレーション技術開発		9	9	9	9	0		35
合計		153	151	161	149	111	27	752

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制 1/2



委託

物質・材料
研究機構
①

役割分担

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

※事業者名の下に事業終了時期を記載

◆研究開発の実施体制 2/2

目的:

A-USC開発推進に必要な事項の
基本方針策定、審議、情報交換

助成事業者以外の参加:

A-USC構成要素に関するメーカ、
研究機関、およびユーザ



◆動向・情勢の把握と対応

情勢変化

- 菅総理大臣は、2030年に向けた温室効果ガスの削減目標について、2013年度に比べて46%削減することを目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けていくことを表明した。(2021年4月)
- 「インフラシステム海外展開戦略 2025」(2022年6月追補)では、2022年5月のG7気候・エネルギー・環境大臣会合コミュニケに基づき、排出削減対策が講じられていない国際的な化石燃料エネルギー部門への新規の公的 direct 支援を2022年末までに終了するとしている。
- 電力業界では、「電気事業における低炭素社会実行計画(カーボンニュートラル行動計画)」で掲げた目標の達成に向けた取組みを着実に推進するため、電気事業低炭素社会協議会を設立。同行動計画では電力需給両面における環境保全に資する技術開発に継続して取り組むとして、環境負荷を低減する火力技術にA-USC、IGCC、CCS、水素・アンモニア発電等を挙げている。

対応方針

本事業における材料・製造、保守技術に関する研究開発は、既設火力の材料に代えることによって更に信頼性を向上でき、また他のエネルギープラントをより厳しい条件で運転できる可能性があるなど、その活用先は多岐にわたる。

開発当初から脱炭素に向けた動きが加速するなど情勢変化はあるものの、本事業の重要性は変わらず高く、継続して研究開発を推進した。

◆ 開発促進財源投入実績

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

◆ 中間評価結果への対応 1/2

下記は、主な指摘事項に対する対応。

	評価項目	指摘	対応
1	成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見直し	実用化・事業化の段階では、ユーザー側のメリットが明確であることが重要であり、導入した場合の定量的なメリット、例えばライフサイクルコスト等、事業化を見据えた開発指標があると良い。	前プロジェクトの「次世代火力発電等技術開発／先進超々臨界圧火力発電技術開発」において 事業化を見据えた経済性評価を行った 。電力事業者への開発技術導入の提案においては、 個々の適用先に応じて明確なコストメリットを提示する 。
2	成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見直し	国内外で石炭火力の新設・リプレースが想定どおりとならないリスクがある。時間の経過とともにこのリスクは高まると考えられ、市場規模も想定よりも小さくなる可能性の方が高い。そのため、一刻も早い実用化が望ましい。	前プロジェクトでは要素技術（製造技術と検証）を開発し、今回のプロジェクトでは検査、寿命予測等の保守技術を開発した。これにより実用化に向けた準備が整った。さらに、 開発した材料は実機に適用されており、今後も実績を確実に蓄積していく 。
3	事業の位置付け・必要性	構造物、材料に関する要素的な開発技術が、A-USC 以外の事業にどこまで展開できるのかを明確にし、それらを他にも適用できる一般化された形に示した上で、今後の事業を推進されることを切望する。	Ni基合金は原子力分野や化学工業分野で利用されており、開発した材料、検査技術はこれらに転用可能である。また、 開発技術の多くはオーステナイト鋼への適用が可能で、その展開範囲は広い 。今後事業展開を図る。

◆中間評価結果への対応 2/2

下記は、主な指摘事項に対する対応。

評価項目	指摘	対応
4 研究開発成果	各個別テーマの繋がりと、それによって生まれるアウトプットを外部の第三者から見ても分かり易くアピールできるようにしていただくと良い。特に、大径管の試験と短冊クリープ試験との関連性、クリープ疲労試験の立ち位置については、第三者に分かり易く説明できるよう改善を望む。	短冊クリープ試験は大径管の試験に先行させ、解析・検査技術の事前把握を可能とした。また、より長時間試験を実施することができた。 将来火力の運用を考えた場合、頻繁な負荷変動に対応するため12時間・24時間保持条件でのクリープ疲労試験による材料特性確認は必須である。
5 研究開発成果	材料試験を伴う開発研究には、試験時間を相当に要することから、時間的制限は避けられない。そのため、要素試験で得られた材料データに基づいた数値シミュレーション等で補完することが望ましい。	大径管内圧クリープ試験において多軸応力場を考慮した構造解析を行っており、試験データとの比較や解析条件へのフィードバックにより、信頼性向上に寄与している。

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	最終目標	成果	達成度
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(a)-1 大径管内圧クリープ試験	大径管厚肉部材等について「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。	第一回目試験(試験温度750℃, 内圧8.77MPa, 累積11,700h)、第二回目試験(試験温度750℃, 内圧14.7MPa, 累積2,200h)により、「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を実施した。	○
(a)-2 短冊一軸クリープ試験	大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。	700℃一体、750℃二体、合計三体の試験により「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT試験検証」、「寿命予測手法検証」を実施した。	○
(a)-3 長時間クリープ疲労試験	試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。	保持時間1分～24時間のクリープ疲労試験を実施し、保持時間の増加と共に破断サイクルは低下するものの一定値に収束する傾向が確認された。クリープ損傷と疲労損傷が重畳した場合の使用限界図を得た。	○

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	最終目標	成果	達成度
1) 高温材料信頼性向上技術開発			
(b) - 1 タービン用Ni基材料の劣化挙動・損傷評価	タービン用Ni基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。	ローター、羽根、ケーシング材等の長時間クリープ破断データ等を取得し、長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法を開発した。	○
(b) - 2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価	タービン用Ni基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。	TOS1X-2ロータ材共材及び異材溶接部のクリープ破断データを取得し、長時間使用中の材料健全性を確認した。	○
(b) - 3 ボイラ配管・伝熱管材の補修寿命評価及び規格化・寿命評価データ構築	ボイラ用Ni基材料の経年後補修材料のクリープ強度評価、規格化に向けたクリープデータ拡充、クリープ亀裂進展データ拡充等を行う。	ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME規格化への提案を行った。 規格化に向け審議中。	○
(c) - 1 タービン翼表面改質技術	高Cr鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。	800時間、2,000時間、8,000時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験等を実施し、耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証した。	○

達成度: ◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

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	最終目標	成果	達成度
2) 保守技術			
(a) - 1 蒸気タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大	蒸気タービンロータ溶接部(Ni基/耐熱鋼)非破壊検査(フェーズドアレイTOFD法、セクタスキャン法)精度向上及び適用箇所拡大をする。	校正曲線作成の簡便化、TOFD法センサ位置の評価、プローブ種類の検討等を実施し、非破壊検査(フェーズドアレイTOFD法、セクタスキャン法)精度向上及び適用箇所拡大をした。	○
(b) - 1 ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術開発	ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術を開発する。	組織情報と音速等のデータを取得、金属モデル、シミュレーションモデルモデルの検証を行い、ボイラ用Ni基大径管などのUT検査のシミュレーション技術を開発した。	○

達成度: ◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

◆成果の普及

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

	2017 平成29年	2018 平成30年	2019 令和1年	2020 令和2年	2021 令和3年	2022 令和4年	合計
論文	9	17	2	5	2	0	35
学会発表、講演	22	10	11	4	3	0	50
合計	31	27	13	9	5	0	85

◆実用化・事業化に向けた戦略 技術の段階的導入

■技術の段階的導入

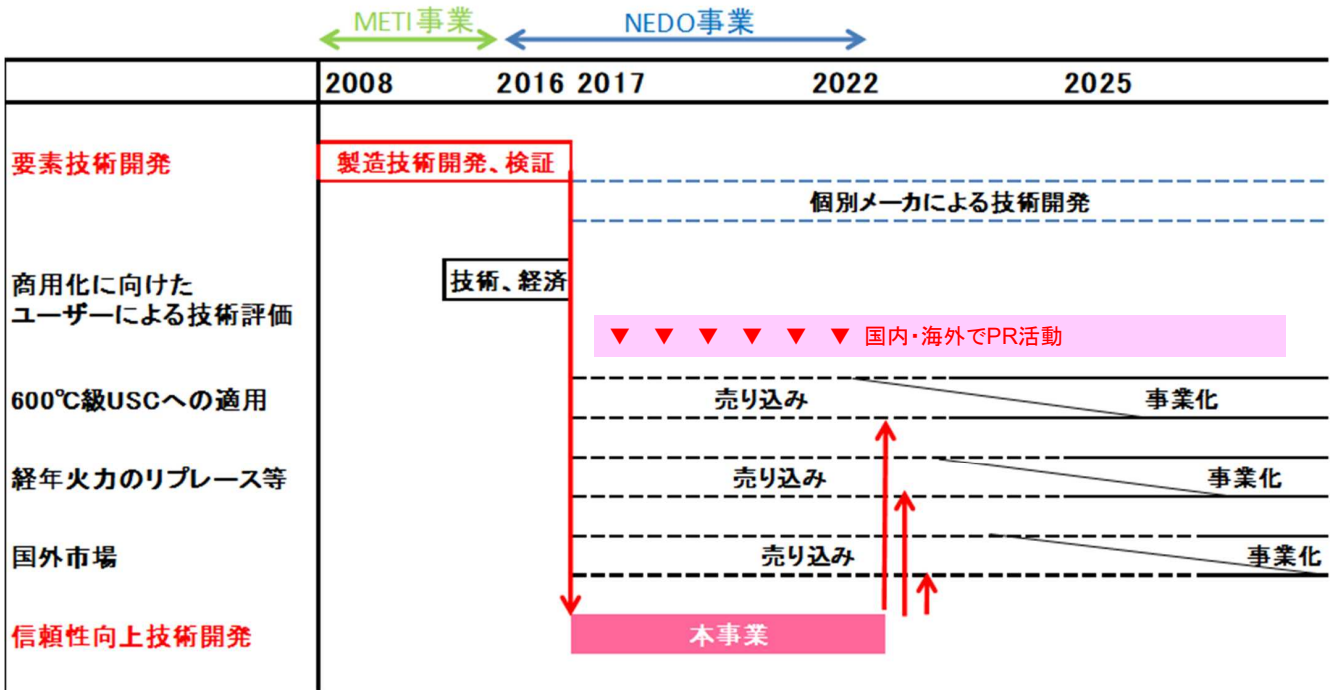
A-USCは主蒸気温度、圧力、再熱蒸気温度の設定に自由度があるので、USCと同様に、導入実績を重ねつつ、より蒸気条件が高いシステムの実現を目指す。

■材料の規格化

事業化を行う上で「適用材料の規格化」は必須ではないが、規格が無いとプラント毎に管轄地域の「産業保安監督部」に材料の届出が必要になると考えられ、届出には時間がかかると予想される。それを避けるために規格化しておくことが重要。現在規格化に向けて審議を進めている。

◆実用化・事業化に向けた具体的取組

本事業で得られた成果を広く社会に実装するため、適用できる商材の調査や、得られた技術の関連分野への部分適用の検討も実施。



◆成果の実用化・事業化の見通し

これまでの取組みによって、実機への適用を実現

電源開発竹原新1号機(2020年6月運開)のボイラで使用

630°Cの再熱器管寄せ(オーステナイト鋼)と再熱蒸気管(高クロム鋼)の接合部に両者の線膨張係数差を緩和するために、HR6W製短管を適用。

未だ規格化されていないものの、これまでの技術開発の成果によって材料の信頼性が認められ、適用を実現することができた。

- 使用材料 HR6W
- 使用温度 632°C(最大連続負荷時)
- 使用圧力 4.97MPa(最大連続負荷時)

◆波及効果

以下に、今後期待される波及効果を示す。

○石炭火力の脱炭素化

➤ カーボンニュートラル燃料

石炭焚きに限らずカーボンニュートラルに向けたバイオマス混焼焚き、アンモニア焚きユニットに対しても適用可能である。さらには課題となる燃料費の低減、腐食低減の可能性がある。

➤ CCUS

燃焼後ガスからの二酸化炭素回収装置と併用することで、より効率的な二酸化炭素削減を可能とする。

○原子力や化学プラントへの材料、検査技術の適用

Ni基合金は原子力分野や化学工業分野で利用されており、開発した材料、検査技術はこれらに転用可能である。また、開発技術の多くはオーステナイト鋼への適用が可能で、その展開範囲は広い。

○人材育成効果

多数の研究要素を含む本事業の開発では、広範囲の技術・ノウハウの継続的な蓄積・メンテナンスが不可欠であり、開発を通して次世代を担う若手技術者を育成し、開発能力を維持することができる。

(なお、A-USC技術をテーマとした博士号取得者を6名輩出した。)

概要

		最終更新日	2022年11月8日						
プロジェクト名	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／ ⑦次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発	プロジェクト番号	P16002						
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM：西里 友志（2021年4月～2022年10月現在） 青戸 冬樹（2019年4月～2021年3月） 足立 啓（2017年5月～2019年3月）								
0. 事業の概要	<p>2008～2016年度に実施した経済産業省とNEDOからの補助金（助成金）による「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発プロジェクト」において、700℃級先進超々臨界圧火力発電プラント（A-USC）製作に向けた要素技術が開発された。それに続き、本プロジェクトにおいては、A-USC 商用機の普及促進を目的として、高温材料信頼性向上技術開発と保守技術開発を行う。</p> <p>（1）高温材料信頼性向上技術開発 大径管内圧クリープ試験、長時間クリープ疲労試験、溶接部長時間健全性評価、材料データベースの拡充、表面改質技術開発等を実施する。</p> <p>（2）保守技術開発 タービンロータ溶接部非破壊検査精度向上及び適用箇所拡大、Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術開発を実施する。</p>								
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>開始当時から政策は脱炭素へ大きく転換（今後、石炭火力の電源構成比は低減）した。一方、脱炭素火力に向けた移行期間における適切なポートフォリオの確保や、再生可能エネルギーを最大限導入する中で調整電源としての役割が期待されている。</p> <p>⇒本事業は、既設火力への展開も可能</p>								
2. 研究開発マネジメントについて									
事業の目標	事業終了時において送電端熱効率 46%（高位発熱量基準）達成可能な商用プラントへ適用する長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT 検査）精度向上等の保守技術を確立する。								
事業の計画内容	主な実施事項	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度		
	大径管内圧クリープ試験								
	短冊一軸クリープ試験								
	長時間クリープ疲労試験								
	材料データベース拡充								
	表面改質技術開発								
	非破壊検査精度向上・適用箇所拡大								
	UT シミュレーション技術開発								
事業費推移 (単位:百万円)	会計・勘定	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総額	

	一般会計	---	---	---	---	---	---	---
	特別会計 (電源・需給の別)	153	151	161	149	106	---	720
	開発成果促進財源	---	---	---	---	5	27	32
	総 NEDO 負担額	153	151	161	149	111	27	752
	(助成) : 助成率 1/2	153	151	161	149	111	27	752
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁資源・燃料部 石炭課						
	プロジェクト リーダー	一般社団法人高効率発電システム研究所 福田 雅文						
	プロジェクト マネージャー	環境部 西里 友志						
	助成先	東芝エネルギーシステムズ株式会社 株式会社 IHI 日本製鉄株式会社 一般社団法人電力中央研究所 一般社団法人発電設備技術検査協会 富士電機株式会社 三菱重工業株式会社						
情勢変化への 対応	<p>情勢変化</p> <p>○菅総理大臣は、2030 年に向けた温室効果ガスの削減目標について、2013 年度に比べて 46%削減することを目指し、さらに 50%の高みに向けて挑戦を続けていくことを表明した。(2021 年 4 月)</p> <p>○「インフラシステム海外展開戦略 2025」(2022 年 6 月追補)では、2022 年 5 月の G7 気候・エネルギー・環境大臣会合コミュニケに基づき、排出削減対策が講じられていない国際的な化石燃料エネルギー部門への新規の公的 direct 支援を 2022 年末までに終了としている。</p> <p>○電力業界では、「電気事業における低炭素社会実行計画(カーボンニュートラル行動計画)」で掲げた目標の達成に向けた取組みを着実に推進するため、電気事業低炭素社会協議会を設立。同行動計画では電力需給両面における環境保全に資する技術開発に継続して取組むとして、環境負荷を低減する火力技術に A-USC、IGCC、CCS、水素・アンモニア発電等を挙げている。</p> <p>対応</p> <p>本事業における材料・製造、保守技術に関する研究開発は、既設火力の材料に代えることによって更に信頼性を向上でき、また他のエネルギープラントをより厳しい条件で運転できる可能性があるなど、その活用先は多岐にわたる。開発当初から脱炭素に向けた動きが加速するなど情勢変化はあるものの、本事業の重要性は変わらず高く、継続して研究開発を推進した。</p>							

	評価項目	指摘	対応
中間評価結果への対応	1 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見直し	実用化・事業化の段階では、ユーザー側のメリットが明確であることが重要であり、導入した場合の定量的なメリット、例えばライフサイクルコスト等、事業化を見据えた開発指標があると良い。	前プロジェクトの「次世代火力発電等技術開発／先進超々臨界圧火力発電技術開発」において 事業化を見据えた経済性評価を行った 。電力事業者への開発技術導入の提案においては、 個々の適用先に応じて明確なコストメリットを提示する 。
	2 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見直し	国内外で石炭火力の新設・リプレースが想定どおりとならないリスクがある。時間の経過とともにこのリスクは高まると考えられ、市場規模も想定よりも小さくなる可能性の方が高い。そのため、一刻も早い実用化が望ましい。	前プロジェクトでは要素技術（製造技術と検証）を開発し、今回のプロジェクトでは検査、寿命予測等の保守技術を開発した。これにより実用化に向けた準備が整った。さらに、 開発した材料は実機に適用されており、今後も実績を確実に蓄積していく 。
	3 事業の位置付け・必要性	構造物、材料に関する要素的な開発技術が、A-USC 以外の事業にどこまで展開できるかを明確にし、それらを他にも適用できる一般化された形に示した上で、今後の事業を推進されることを切望する。	Ni基合金は原子力分野や化学工業分野で利用されており、開発した材料、検査技術はこれらに転用可能である。また、 開発技術の多くはオーステナイト鋼への適用が可能で、その展開範囲は広い 。今後事業展開を図る。
	4 研究開発成果	各個別テーマの繋がりと、それによって生まれるアウトプットを外部の第三者から見ても分かり易くアピールできるようにしていただくが良い。特に、大径管の試験と短冊クリープ試験との関連性、クリープ疲労試験の立ち位置については、第三者に分かり易く説明できるよう改善を望む。	短冊クリープ試験は大径管の試験に先行させ、解析・検査技術の事前把握を可能とした。また、より長時間試験を実施することができた。 将来火力の運用を考えた場合、頻繁な負荷変動に対応するため12時間・24時間保持条件でのクリープ疲労試験による材料特性確認は必須である。
	5 研究開発成果	材料試験を伴う開発研究には、試験時間を相当に要することから、時間的制限は避けられない。そのため、要素試験で得られた材料データに基づいた数値シミュレーション等で補完することが望ましい。	大径管内圧クリープ試験において多軸応力場を考慮した構造解析を行っており、試験データとの比較や解析条件へのフィードバックにより、信頼性向上に寄与している。
評価に関する事項	2019 年度 中間評価		
	2022 年度 事後評価		
3. 研究開発成果について	<p>中間目標及び最終目標を以下の通り設定。</p> <p>[中間目標（2019年度）]</p> <p>長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2021年度末までの試験計画を策定する。</p> <p>表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術については、技術確立の見直しを得る。</p> <p>[最終目標（2022年度）]</p> <p>事業終了時において送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成可能な商用プラントへ適用する長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術を確立する。</p> <p>成果：以下の通り全ての研究開発項目について最終目標を達成できた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大径管内圧クリープ試験、短冊一軸クリープ試験、長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2022年度9月までに全ての試験を完了し、結果の評価を行った。 ・表面処理技術開発、非破壊検査精度向上・適用箇所拡大、UTシミュレーション技術開発については、得られた基礎データ等から保守技術を確立した。 		

[研究開発項目毎]

1)-(a)-1 大径管内圧クリープ試験

最終目標：大径管厚肉部材等について「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE 試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を達成する。

成果：・第一回目試験（試験温度 750℃、内圧 8.77MPa、累積 11,700h）、第二回目試験（試験温度 750℃、内圧 14.7MPa、累積 2,200h）により、「多軸応力場での損傷形態把握」、「UT、AE 試験検証」、「寿命予測手法検証」、「応力解析の精度検証」を実施した。

1)-(a)-2 短冊一軸クリープ試験

最終目標：大径管内圧クリープ試験と相まって、大径管厚肉部材等について「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT 試験検証」、「寿命予測手法検証」を達成する。

成果：700℃一体、750℃二体、合計三体の試験により「単軸応力場での損傷形態把握」、「UT 試験検証」、「寿命予測手法検証」を実施した。

1)-(a)-3 長時間クリープ疲労試験

最終目標：試験条件を実機運転状況に近づけることにより、実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを得る。

成果：保持時間 1 分～24 時間のクリープ疲労試験を実施し、保持時間の増加と共に破断サイクルは低下するものの一定値に収束する傾向が確認された。クリープ損傷と疲労損傷が重畳した場合の使用限界図を得た。

1)-(b)-1 タービン用 Ni 基材料の劣化挙動・損傷評価

最終目標：タービン用 Ni 基超合金の長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法の開発を行う。

成果：ローター、羽根、ケーシング材等の長時間クリープ破断データ等を取得し、長時間使用中の材料劣化挙動の把握と評価手法の確立および使用環境での材料の損傷形態把握、評価手法を開発した。

1)-(b)-2 タービンロータ溶接部長時間健全性評価

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

成果：TOS1X-2 ロータ材共材及び異材溶接部のクリープ破断データを取得し、長時間使用中の材料健全性を確認した。

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

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

成果：ボイラ配管・伝熱管材のクリープ試験によるデータ拡充を行い、JSME 規格化への提案を行った。規格化に向け審議中。

1)-(c)-1 タービン翼表面改質技術

最終目標：高 Cr 鋼表面に生成される酸化スケールの生成速度を把握することにより耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。

成果：800 時間、2,000 時間、8,000 時間の水蒸気酸化等スクリーニング試験等を実施し、耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証した。

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

	<p>最終目標：蒸気タービンロータ溶接部（Ni 基/耐熱鋼）非破壊検査（フェーズドアレイ TOFD 法、セクタスキャン法）精度向上及び適用箇所を拡大する。</p> <p>・校正曲線作成の簡便化、TOFD 法センサ位置の評価、プローブ種類の検討等を実施し、非破壊検査（フェーズドアレイ TOFD 法、セクタスキャン法）精度向上及び適用箇所を拡大した。</p> <p>成果：</p> <p>・超音波減衰特性の基礎データを取得した。</p> <p>・試験体を製作し、探傷基礎試験を実施した。</p> <p>2)-(b)-1 ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術開発</p> <p>最終目標：ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術を開発する。</p> <p>成果：組織情報と音速等のデータを取得、金属モデル、シミュレーションモデルモデルの検証を行い、ボイラ用 Ni 基大径管などの UT 検査のシミュレーション技術を開発した。</p>				
投稿論文	「査読付き」15 件、「その他」20 件				
特許	なし				
その他の外部発表（プレス発表等）	「学会発表、講演」50 件				
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<p>本事業で得られた成果を広く社会に実装するため、適用できる商材の調査や、得られた技術の関連分野への部分適用の検討も実施した。</p> <p>・電源開発竹原新1号機（2020年6月運開）のボイラで使用 630℃の再熱器管寄せ（オーステナイト鋼）と再熱蒸気管（高クロム鋼）の接合部に HR6W 製短管を適用した。</p>				
5. 基本計画に関する事項	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="384 1718 612 1774">作成時期</td> <td data-bbox="617 1718 1441 1774">2017年2月 作成</td> </tr> <tr> <td data-bbox="384 1780 612 1998">変更履歴</td> <td data-bbox="617 1780 1441 1998"> 2018年2月 改訂（PL の追記） 2019年1月 改訂（実施期間の変更、中間目標の策定、最終目標年度の変更、研究開発スケジュール表の修正） 2019年7月 改訂（PM の変更） 2022年11月 改訂（事後評価に向けた全面改訂） </td> </tr> </table>	作成時期	2017年2月 作成	変更履歴	2018年2月 改訂（PL の追記） 2019年1月 改訂（実施期間の変更、中間目標の策定、最終目標年度の変更、研究開発スケジュール表の修正） 2019年7月 改訂（PM の変更） 2022年11月 改訂（事後評価に向けた全面改訂）
作成時期	2017年2月 作成				
変更履歴	2018年2月 改訂（PL の追記） 2019年1月 改訂（実施期間の変更、中間目標の策定、最終目標年度の変更、研究開発スケジュール表の修正） 2019年7月 改訂（PM の変更） 2022年11月 改訂（事後評価に向けた全面改訂）				