

「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

## 本事業のこれまでのスケジュールと、本事後評価の対象期間の位置づけ

- 本事業(カーボンリサイクル・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、2017年度から2022年9月まで事業を実施。
- 今回は、前回、2019年に実施した中間評価以降の期間を対象とし、事後評価を実施いただく。

事後評価対象
 ◇ 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
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 A-USC実証														
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														

※1 2015年度までは、経済産業省にて実施。2016年度以降、NEDOが実施。

## I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

## II. 研究開発マネジメント

- (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

## III. 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
- (2)成果の普及

## IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

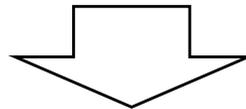
- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

## ◆ 事業実施の背景と事業の目的

### 【開始当時】

#### 社会的背景

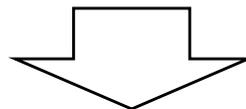
温暖化対策は世界的課題



高効率発電技術開発によるCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>排出量の抑制



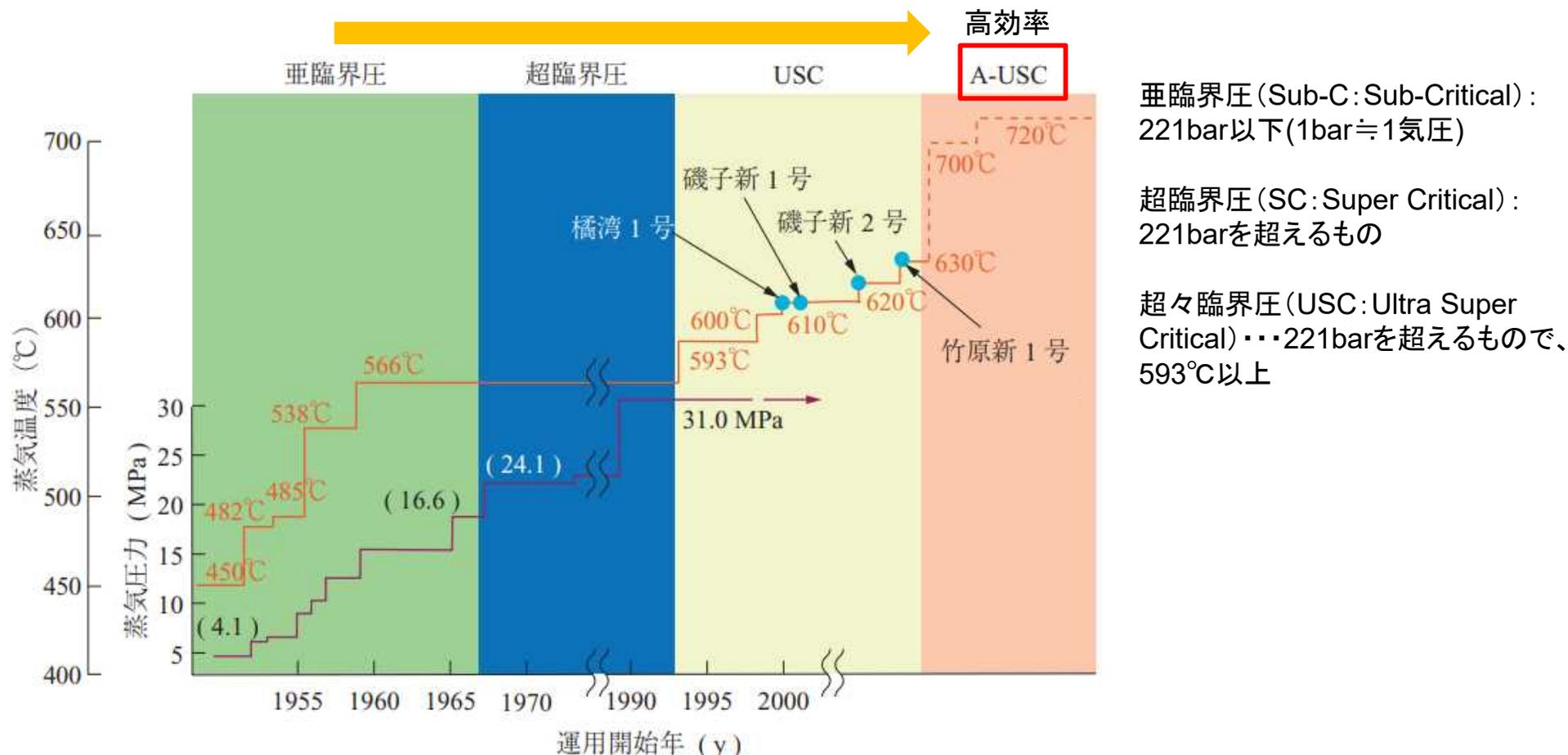
2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、700°C以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン材料の信頼性向上及び保守技術開発を行った。

【参考】石炭火力の変遷

【開始当時】

石炭火力の高効率化は、蒸気温度・圧力の向上によって達成されてきた。

⇒最新鋭であるUSCから、さらにA-USC (Advanced Ultra Super Critical) と呼ばれる技術開発を開始した。



亜臨界圧 (Sub-C: Sub-Critical) : 221bar以下(1bar≒1気圧)

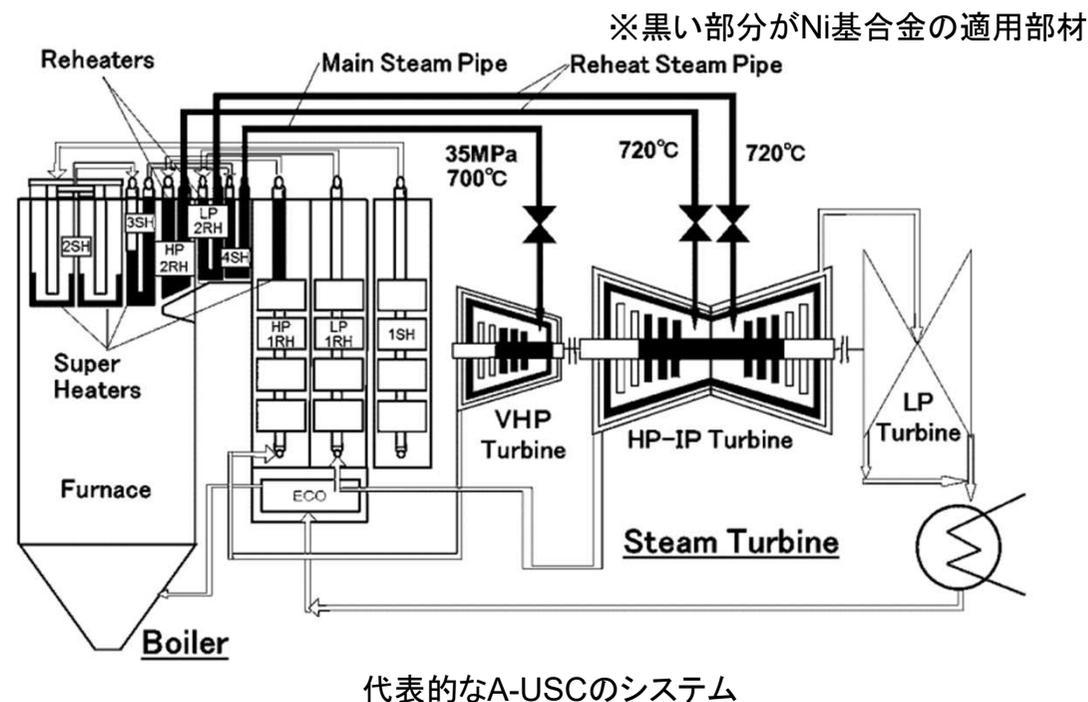
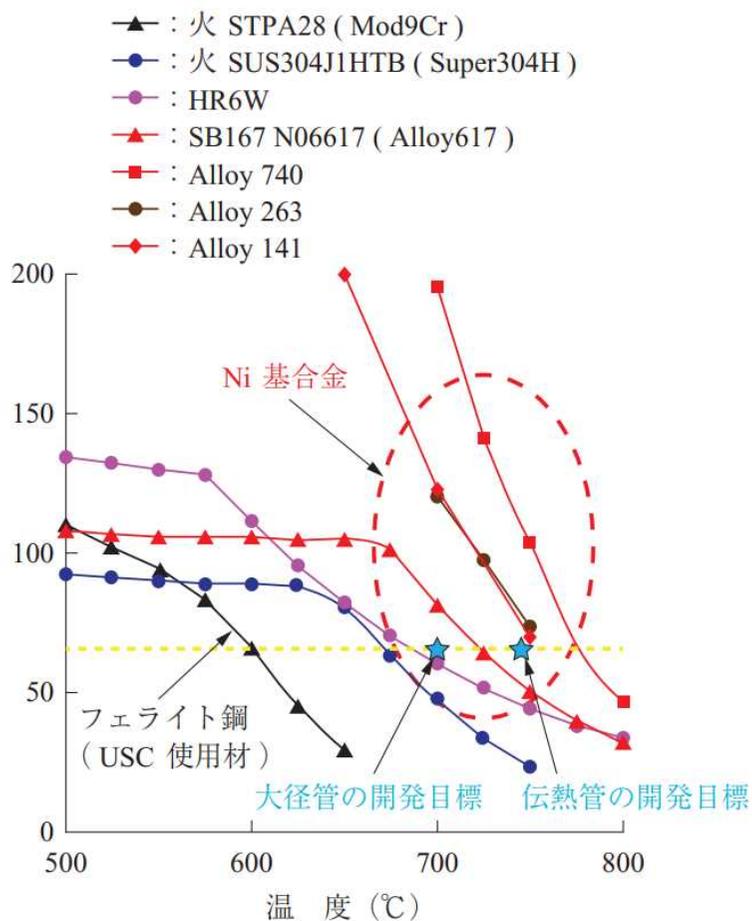
超臨界圧 (SC: Super Critical) : 221barを超えるもの

超々臨界圧 (USC: Ultra Super Critical) ……221barを超えるもので、593°C以上

# 【参考】石炭火力の変遷

## 【開始当時】

現行の最新USCで使用される高クロム鋼は、A-USCの高い温度条件で使用できないため、よりクリープ強度に優れたNi基材料の適用に向け、信頼性向上、および保守技術開発を進めてきた。



出典: IHI Ni 基合金が拓く高効率な発電ボイラへの道  
[https://www.ihl.co.jp/var/ezwebin\\_site/storage/original/application/eb13a1fccb295195eda9ebb91730fb5d.pdf](https://www.ihl.co.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/eb13a1fccb295195eda9ebb91730fb5d.pdf)

出典: 福田雅文 先進超々臨界圧火力発電(A-USC)技術開発を基にNEDO作成  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jspmee/3/2/3\\_78/\\_pdf-char/ja#:~:text=2000%20%E5%B9%B4%E3%81%AB%E3%81%AA%E3%82%8B%20%E3%81%A8,%E3%81%A8%E7%A7%B0%E3%81%95%E3%82%8C%E3%81%A6%E3%81%84%E3%82%8B%E3%80%82](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jspmee/3/2/3_78/_pdf-char/ja#:~:text=2000%20%E5%B9%B4%E3%81%AB%E3%81%AA%E3%82%8B%20%E3%81%A8,%E3%81%A8%E7%A7%B0%E3%81%95%E3%82%8C%E3%81%A6%E3%81%84%E3%82%8B%E3%80%82)

## ◆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、CO<sub>2</sub>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イ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との技術(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。**

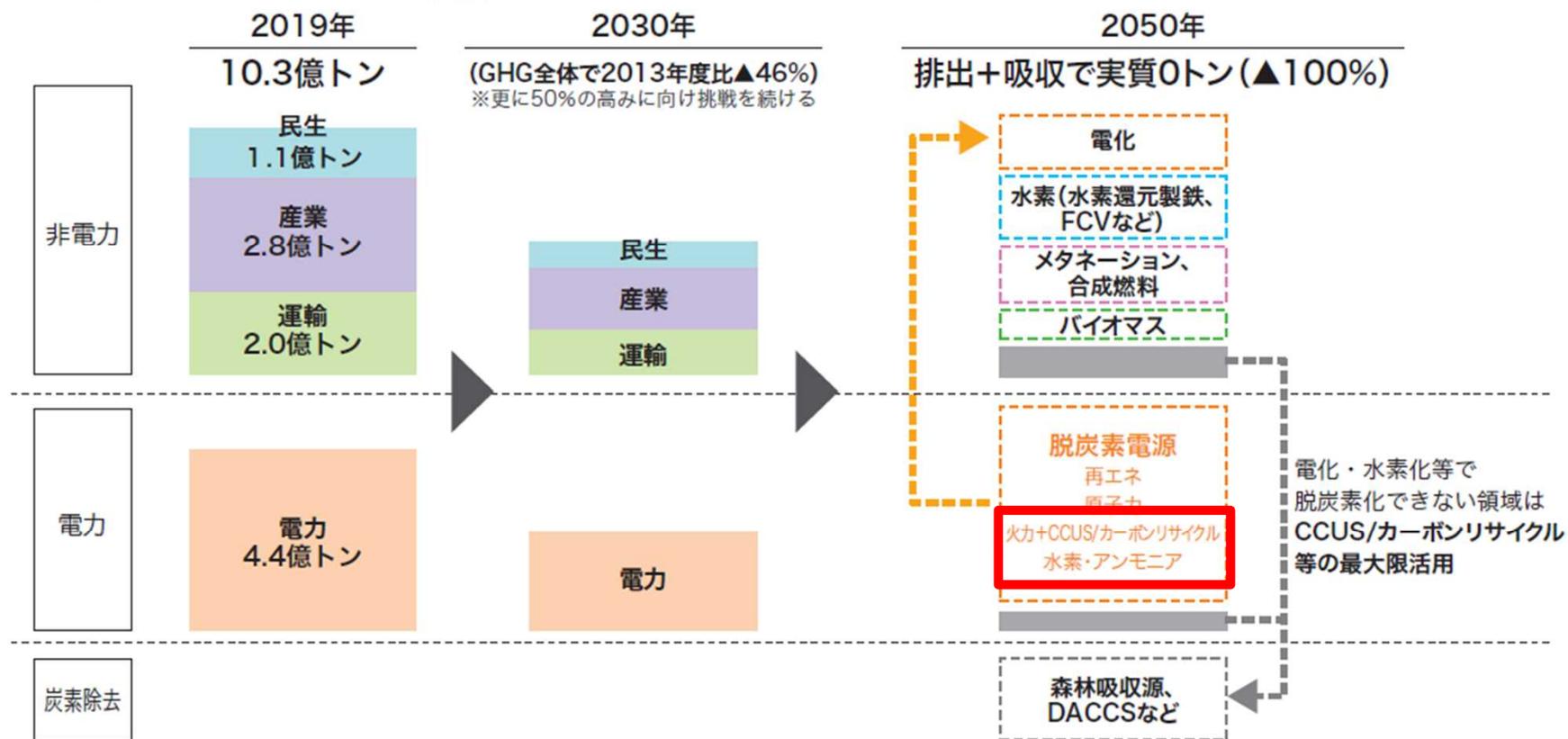
・調達リスク、発電量当たりのCO<sub>2</sub>排出量、備蓄性・保管の容易性といったレジリエンス向上への寄与度等の観点から、LNG、石炭、石油における**適切な火力のポートフォリオを維持**。(脱炭素火力に向けた転換を進めるに当たっては、化石火力の各燃料種が持つ一長一短の特徴を踏まえて、**適切なポートフォリオを確保することが重要**)

・**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CO<sub>2</sub>排出を削減する措置の促進**に取り組む。

【参考】カーボンニュートラルへの転換

2050年のカーボンニュートラルに向けて、電化の進展により電力需要の増加が見込まれる中、火力発電所はアンモニア・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脱炭素化に取り組む必要がある。

カーボンニュートラルへの転換イメージ



5

※数値はエネルギー起源CO<sub>2</sub>

DACCS (direct air capture with carbon storage): 大気中にすでに存在するCO<sub>2</sub>を直接回収して貯留する技術

## 【参考】脱炭素化火力に向けた本事業の期待

本事業の成果によって既設石炭火力における将来のアンモニア混焼や、CCUS/カーボンリサイクルを見据えたCO<sub>2</sub>分離回収装置が想定されるが、本事業の成果によって、燃料費低減や更なるCO<sub>2</sub>排出削減効果が期待できる。

### ○燃料費の低減

**年間 4,967万ドル**

(算定の考え方)

出力70万kW、利用率70%におけるUSCとA-USCの年間燃料費の差を低減額とした。

- ・アンモニア価格、発熱量:452(\$/t)、22.5(MJ/kg)※
- ・石炭価格、発熱量:108.58(\$/t)、26.08(MJ/kg)※
- ・送電端効率:USC 41%、A-USC 46%
- ・混焼率(エネルギーベース):50%

USCの年間発電電力量は42.92億(kWh/年)

アンモニア混焼に必要な燃料量は以下

石炭:42.92億(kWh/年)×0.5×3.6(MJ/kWh)/0.41/26.08(MJ/kg)=7.225億(kg/年)

アンモニア:42.92億(kWh/年)×0.5×3.6(MJ/kWh)/0.41/22.5(MJ/kg)=8.375億(kg/年)

アンモニア混焼に必要な燃料費は4.5698億(\$/年)

石炭:7.225億(kg/年)/1000(kg/t)×108.58(\$/t)=0.7845億(\$/年)

アンモニア:8.375億(kg/年)/1000(kg/t)×452(\$/t)=3.7853億(\$/年)

A-USCとした場合の燃料費の差

4.5698億(\$/年)-4.5698億(\$/年)×0.41/0.46=0.4967億(\$/年)

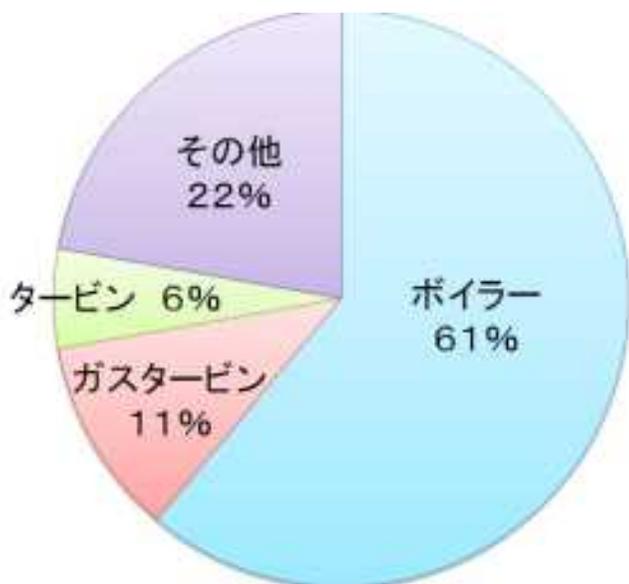
### ○CO<sub>2</sub>回収効率向上についてはp18参照

※出典: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](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/#cost_wg)

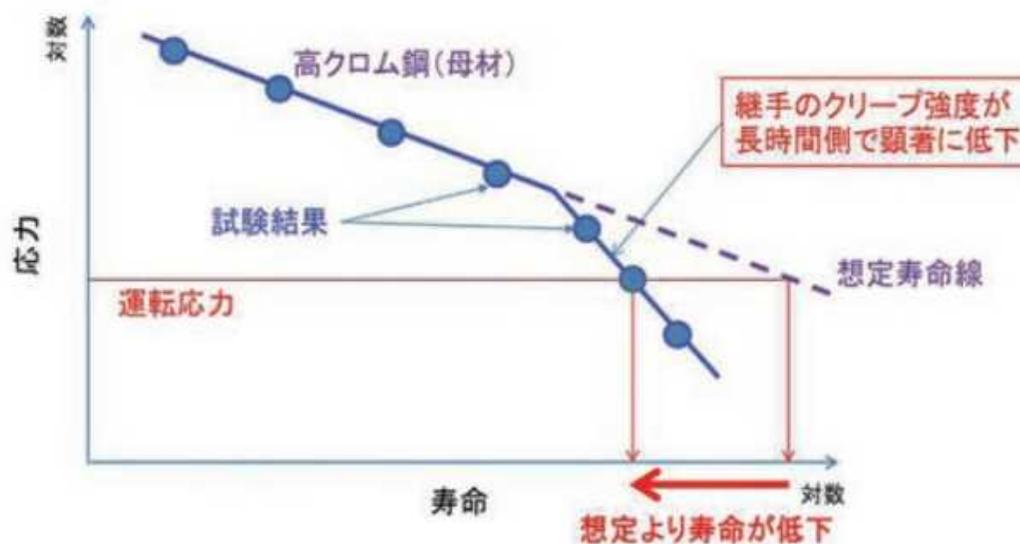
【参考】既設USC等の高温部への適用

脱炭素化された既設火力は、調整電源として引き続き、安定した運転が求められる。火力発電所の計画外停止は、設備別ではボイラーが多く、特にUSCに適用されている高クロム鋼は長期の信頼性向上が求められる。経年劣化の進む既設USCに、本事業の研究対象であるNi基材を適用することで、電力の安定供給、経済性向上に寄与できる。



設備別の計画外停止

出典: METI (報告) 今冬の火力発電所の計画外停止(故障トラブル)について H25年3月  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan\\_shohi/denryoku\\_anzen/pdf/002\\_11\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/pdf/002_11_00.pdf)



高温・長時間領域における母材の寿命

出典: 電力中央研究所 火力発電プラントにおける高温/高圧蒸気配管(高クロム鋼配管)の余寿命診断技術  
<https://criepi.denken.or.jp/koho/topics/201410vol17.pdf>

## 【参考】昨今のエネルギー情勢と火力発電の役割について

- 近年、石炭火力の廃止をはじめとする電力分野の脱炭素化の流れが世界的に加速していたが、本年2月のロシアのウクライナ侵攻によりエネルギーを巡る情勢は一変し、火力発電についても、その役割が見直されている。
- 国際的なエネルギー価格の高騰や、ロシア産エネルギー比率の低減等を背景に、欧州の一部の国々においては、電力の安定供給確保の観点から、一時的に石炭火力の使用を増やす動きも出ている。
- 一方で、6月のG7首脳会合においては、電力分野の脱炭素化や、排出削減措置が講じられていない石炭火力のフェーズアウトの加速など、引き続き電力分野の脱炭素化を進めていくことが確認された。
- こうした中で、日本においては、電力需給の厳しい状況が続いており、安定供給を支える火力発電の重要性が増している。

ドイツ



- 政府がガスの安定供給に対する脅威を認めた場合に稼働させるため、安定供給のため待機中の石炭火力等を期間限定で電力市場に復帰させることのできる法改正が成立。(6月8日)

イギリス



- 22/23年冬季の電力安定供給に向けて、2022年中に廃止予定だった石炭火力2カ所(計330万kW)を年内に廃止せず運転を延長する方針を発表。(5月27日)

オランダ



- 石炭火力発電所に課していた発電量制限(設備容量の35%の上限)の撤廃し石炭火力発電の利用を増やす方針を発表。(6月20日)

オーストリア



- 政府と電力大手Verbundは、Mellach火力発電所(ガス燃焼、24万6,000kW、熱電併給)を石炭燃焼に改造し、ロシアからのガス供給制限等の緊急時に再稼働することで合意。(6月19日)

フランス



- 2022年3月31日に運転が停止され、同年中に廃止される予定であった石炭火力発電所(設備容量61万8,000kW)について22/23年冬季の再稼働にむけて準備を開始する方針を固めた。(6月26日)

## ◆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**

## ◆国内外の研究開発の動向と比較

### ○アメリカ

アメリカエネルギー省(DOE)や産業界の支援を受け、A-USC実証建設のためのチューブ、パネル等の製造・評価の要素開発を実施。

### ○中国

Huaneng Nanjing power plant 2号機で水壁、過熱器、ヘッダー、高温配管、安全弁やバイパスなどを対象に、実缶試験を実施。

### ○インド

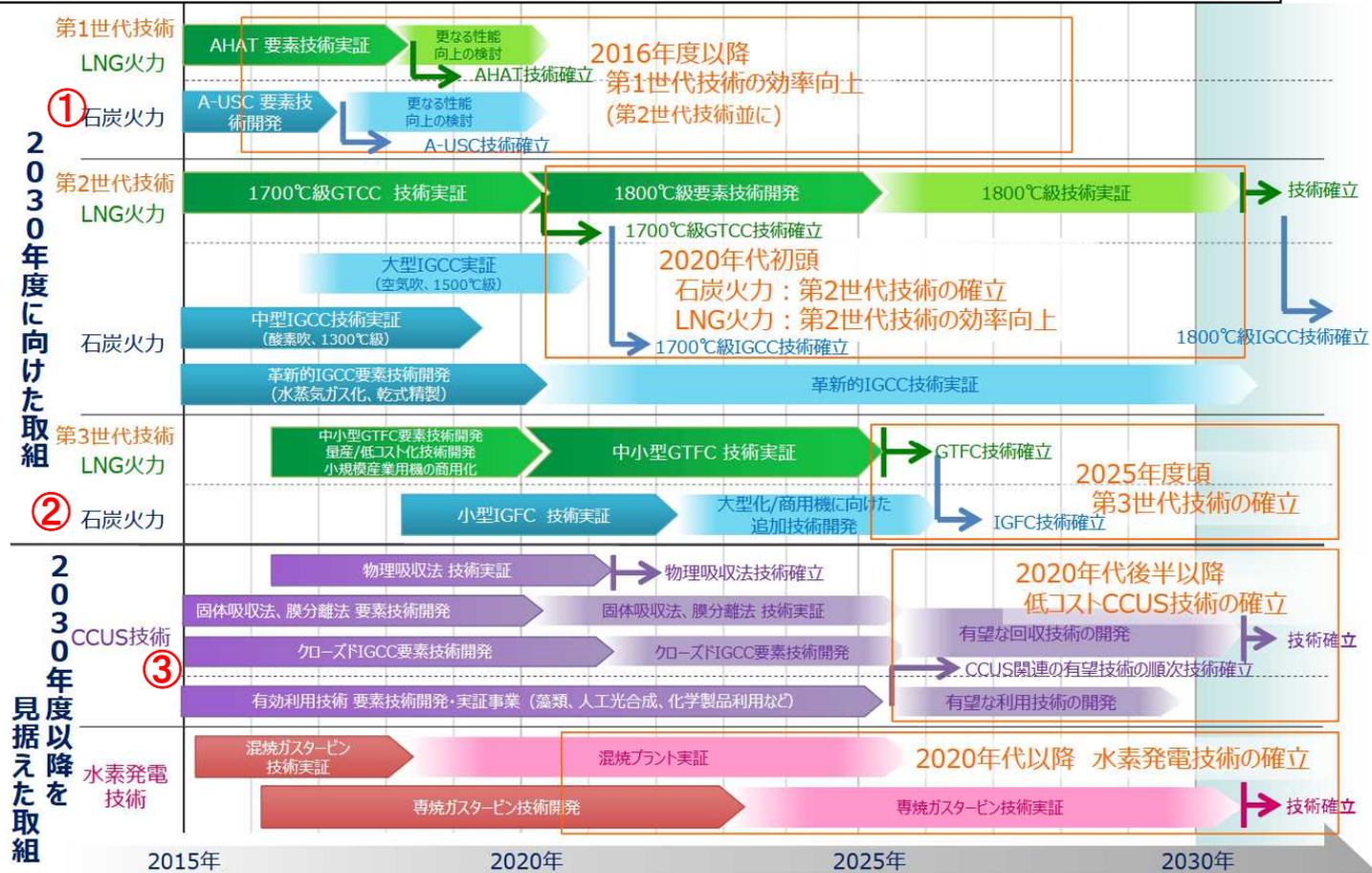
材料や製品の製造技術開発を実施し、A-USC実証場所として、Chhattisgarh州にあるSipat発電所が選定。

出典: IEA-CCC INCREASING EFFICIENCY OF PULVERISED COAL-FIRED POWER PLANTS, CCC/310 2021年4月  
<https://www.sustainable-carbon.org/report/increasing-efficiency-of-pulverised-coal-fired-power-plants-ccc-310/>



**日本の国際競争力強化のため、次世代技術の早期実用化が必要**

◆ 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCC技術開発	CO <sub>2</sub> 分離回収に最適化した発電方式

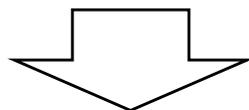
出典: METI 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 2016年6月 を基にNEDO作成

[https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/jisedai\\_karyoku/006\\_haifu.html](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CO<sub>2</sub>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、 $1000(\text{GWh/年})/365(\text{日/年})/24(\text{h/日})/0.7=0.163(\text{GW}/(\text{TWh/年}))$
- ・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  
 $5\text{億円} \sim 50\text{億円/基} \times 15\text{基} = 75\text{億円} \sim 750\text{億円}$

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」

◆実施の効果 (費用対効果) 2/3

(参考)各国、地域の石炭火力発電電力量

Table A.21: Coal generation (TWh)

	Historical			Stated Policies		Announced Pledges		Sustainable Development	
	2010	2019	2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050
<b>World</b>	<b>8 671</b>	<b>9 912</b>	<b>9 468</b>	<b>8 744</b>	<b>6 293</b>	<b>7 969</b>	<b>4 160</b>	<b>5 843</b>	<b>1 088</b>
North America	2 106	1 144	912	462	58	156	53	146	51
United States	1 994	1 070	858	450	55	144	50	144	50
Central and South America	43	66	66	34	21	13	13	6	-
Brazil	11	21	17	12	9	0	-	0	-
Europe	1 068	726	593	254	173	179	177	75	22
European Union	755	491	386	110	15	35	20	35	20
Africa	259	260	241	251	175	204	74	166	31
Middle East	0	1	3	17	29	17	29	7	7
Eurasia	236	267	247	235	242	235	242	86	-
Russia	166	188	168	144	127	144	127	46	-
Asia Pacific	4 958	7 448	7 406	7 491	5 594	7 165	3 572	5 357	977
China	3 264	4 899	4 958	4 704	3 349	4 579	1 410	3 867	738
India	658	1 181	1 127	1 389	947	1 389	947	777	110
<b>Japan</b>	<b>317</b>	<b>329</b>	<b>316</b>	<b>202</b>	<b>65</b>	<b>192</b>	<b>50</b>	<b>192</b>	<b>50</b>
Southeast Asia	185	483	479	667	830	667	830	358	29

## ◆実施の効果 (費用対効果) 3/3

### 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)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CO<sub>2</sub>分離回収装置付きUSCから同A-USCとなった場合のCO<sub>2</sub>排出削減効果

**76万t-CO<sub>2</sub>/年**

※USCとA-USCのCO<sub>2</sub>排出量をCO<sub>2</sub>分離回収装置あり/なしで比較すると、CO<sub>2</sub>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 ③CO<sub>2</sub>分離回収装置付きUSC ④CO<sub>2</sub>分離回収装置付きA-USC

・送電端効率 (CO<sub>2</sub>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%

・CO<sub>2</sub>分離回収装置による回収率:90%

・CO<sub>2</sub>排出係数

①:0.806(kg/kWh)※

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

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)



CO<sub>2</sub>分離回収装置なしの場合

A-USCにするとCO<sub>2</sub>排出量**11%**低減

CO<sub>2</sub>分離回収装置ありの場合

A-USCにするとCO<sub>2</sub>排出量**13%**低減

・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CO<sub>2</sub>削減量(③、④比較)

1,000万kW × 8,764h × (0.097-0.085)(kg/kWh) = 76万t-CO<sub>2</sub>/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](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/018/pdf/018_011.pdf)

# 発表内容

## I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

## II. 研究開発マネジメント

- (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

## III. 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
- (2)成果の普及

## IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (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

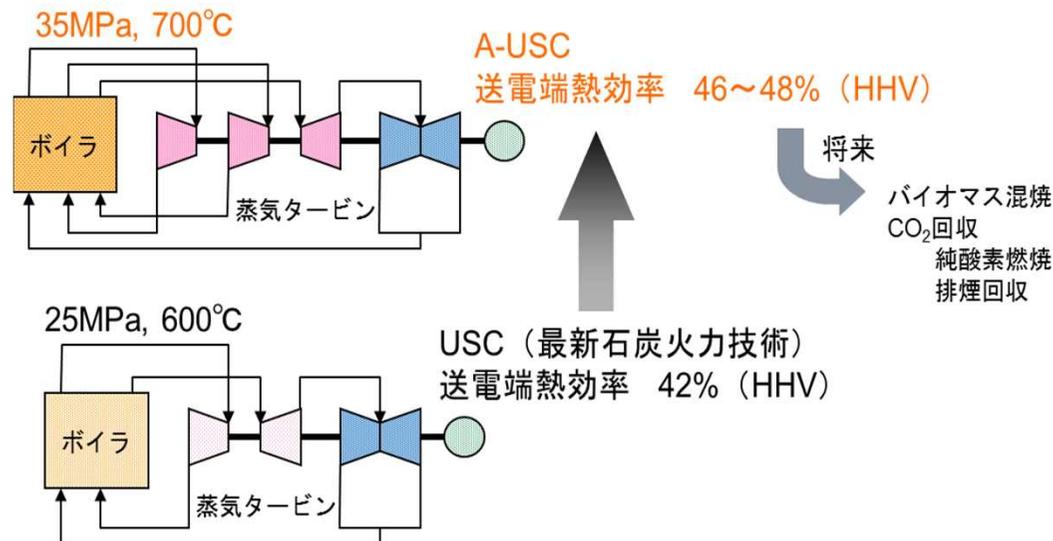
### 最終目標(2022年度)

- ・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を確立する。

### [目標設定の根拠]

- ・700°C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°C超級の次世代超々臨界圧プラント (Advanced-Ultra Super Critical)



## 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	研究開発目標	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	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	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	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	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	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、高温環境下であり、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	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	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。	フェーズトアレイ 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	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

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					1回目	2回目
(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				

## 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

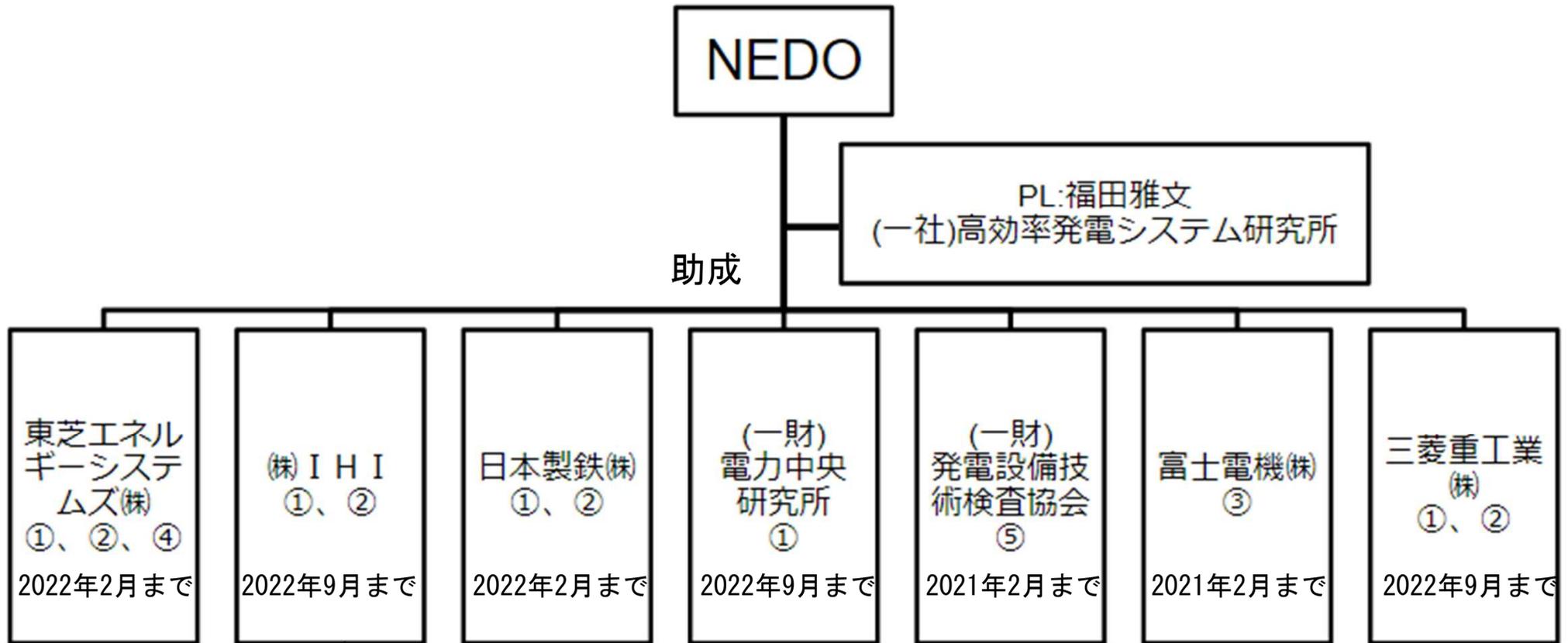
・総事業費：15億円(助成率1/2、補助額7.5億円)

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

◆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

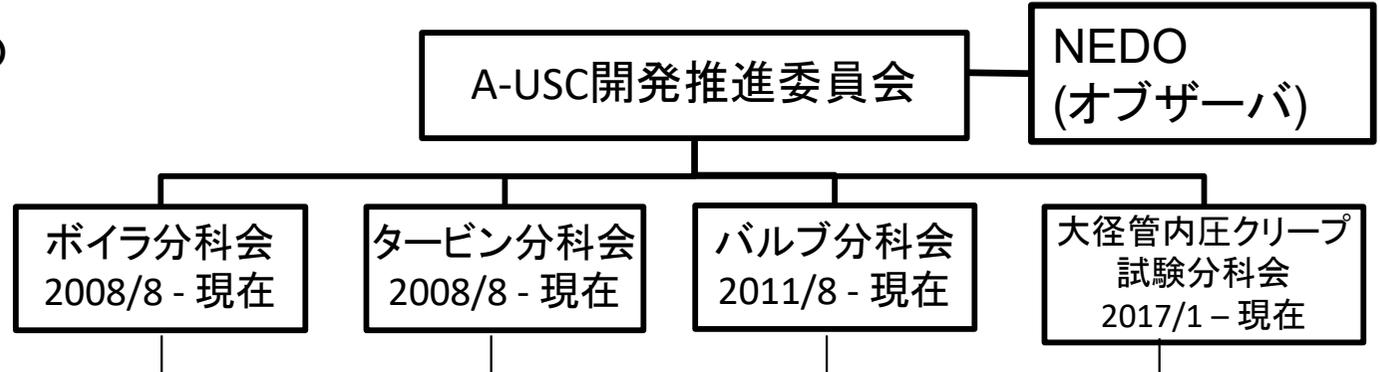
◆ 研究開発の実施体制 2/2

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



IHI	○		○	○
三菱重工業	○	○	○	○
東芝エネルギーシステムズ		○	○	○
富士電機		○	○	○
ABB日本ベレー	○		○	
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	○			○
発電設備技術検査協会				○
物質・材料研究機構	○		○	
高効率発電システム研究所	○	○	○	○

## ◆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した。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た。
- ・外部有識者で構成する技術検討委員会を開催し、事業の進捗や計画、目標達成の見通しなどにつき指導、助言を受け、事業計画に反映することで、より効果的な事業推進に努めた。(2018年9月、2021年2月開催)

### PLによる進捗管理

- ・各事業者の役割を踏まえた実施計画書の作成方針をPMとともに検討し、またその目的・目標を事業者に浸透させ、研究開発現場で常時フォローや指導指示を行った。
- ・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、問題をチェックした。
- ・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、問題をチェックした。必要に応じ、関係者会議を開催した。
- ・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、問題をチェックした。

## ◆ 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直接支援を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通し	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 <b>事業化を見据えた経済性評価を行った</b> 。電力事業者への開発技術導入の提案においては、 <b>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</b> 。
2	成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し	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、 <b>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</b> 。
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、 <b>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</b> 。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。

## ◆知的財産権等に関する戦略

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得られるので、多くのノウハウ蓄積に重点を置いた。

そのため特許出願はないものの、主に以下のノウハウを取得した。

### －信頼性向上技術開発

- ・素材製作(組成最適化、熱処理最適化等)
- ・要素製作(溶接方法最適化、表面処理最適化等)

### －保守技術の開発・高度化

- ・寿命予測(計算解析手法、余寿命推定手法等)
- ・非破壊検査(超音波検査手法等)
- ・補修技術(溶接方法最適化、熱処理方法最適化等)

## ◆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。

# 発表内容

## I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

## II. 研究開発マネジメント

- (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

## III. 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
- (2)成果の普及

※研究開発成果の詳細については、非公開セッションにて報告

## IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (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

## ◆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

## ◆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

## ◆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の拡大をする。	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の拡大をした。	○
(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

## ◆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った。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最終目標を達成できた。

### 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、既設火力の信頼性も高め、火力発電に求められる電力の安定供給、経済性に寄与できる。さらには波及効果として他のエネルギー、化学プラントへの展開も期待される。

## ◆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

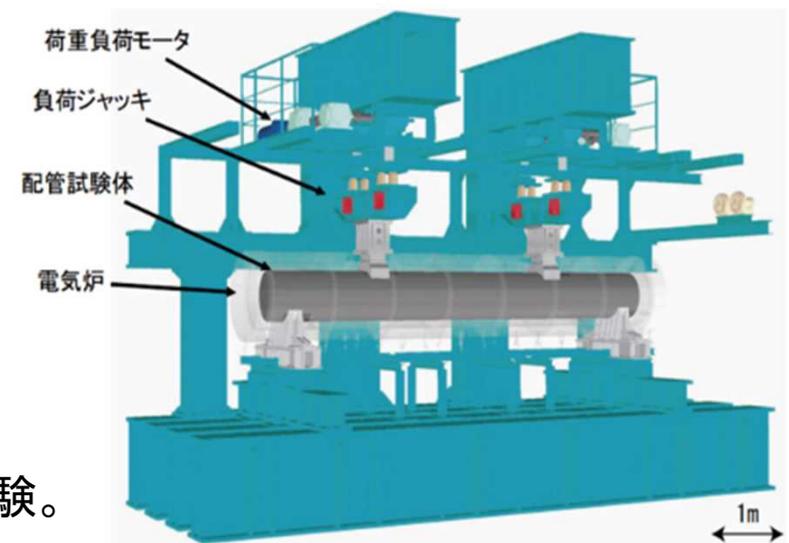
##### 試験内容

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°C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。

##### 成果

第一回目試験(試験温度750°C, 内圧8.77MPa, 累積11,700h)、第二回目試験(試験温度750°C, 内圧14.7MPa, 累積2200h)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。



大径管内圧クリープ試験装置  
(BIPress)

## ◆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では確認できない「き裂発生」「進展」「破断」の損傷過程ごとの状況を把握し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、短冊試験体での試験を行った。

#### 成果

700°C一体、750°C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。



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まとめ

材質	試験温度 (°C)	試験応力 (一軸引張MPa)	破断目標時間 (hr)	試験時間
HR6W	700	100	20,000	23,850h 試験中断、切断調査実施
HR6W	750	91	20,000	19,810h 破断
HR6W	750	85	30,000	24,000h 試験中断、切断調査実施

試験中断理由:それまでの試験結果から特性を十分確認できたため

◆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。

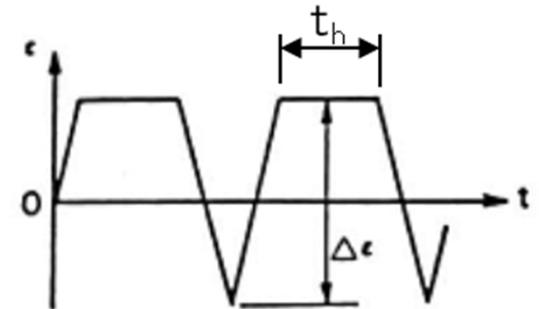
- ・試験の条件を実機運転状況に近づけるために保持時間 $t_h$ が従来より長い試験を行っている。
- ・実機におけるクリープ損傷と疲労損傷の関係を見出すための基礎的データを取得。

成果

下表に示すような保持時間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。

幅広いデータを得た。

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。



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)	Δε (%)	保持時間; $t_h$									
		0	1min	10min	30min	1hour	3hour	6hour	10hour	24hour	72hour
700	1.5	●				●			●		
	1.2	●	●	●	●	●	●*	●*	●		
	0.7	●	●	●		●	●*	●*	●		
	0.5	●				●			●		
750	1.5	●				●			●		
	1.2	●	●	●	●	●		●	●	●	×
	0.7	●	●	●		●		●	●		
	0.5	●				●			●		

■ : MHI実施

■ : IHI実施

● : 試験済

× : 未実施

10,24hでの試験結果から72hは不要であると判断した

\* : 当初計画していたものから追加実施

## ◆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。

#### 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。



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"> <li>・7万時間程度の長時間クリープ破断データを取得</li> <li>・TOS1X-2クリープ破断強度 100MPa以上(@700°C、10万Hr)</li> <li>・長時間側でのクリープ強度低下の有無を確認する</li> </ul>
②クリープ中断試験、時効試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul>
③水蒸気雰囲気中での機械試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水蒸気雰囲気中での機械試験を実施する</li> <li>・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</li> </ul>
④低サイクル疲労試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul>
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"> <li>・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</li> <li>・寿命評価データを構築する</li> </ul>

## ◆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

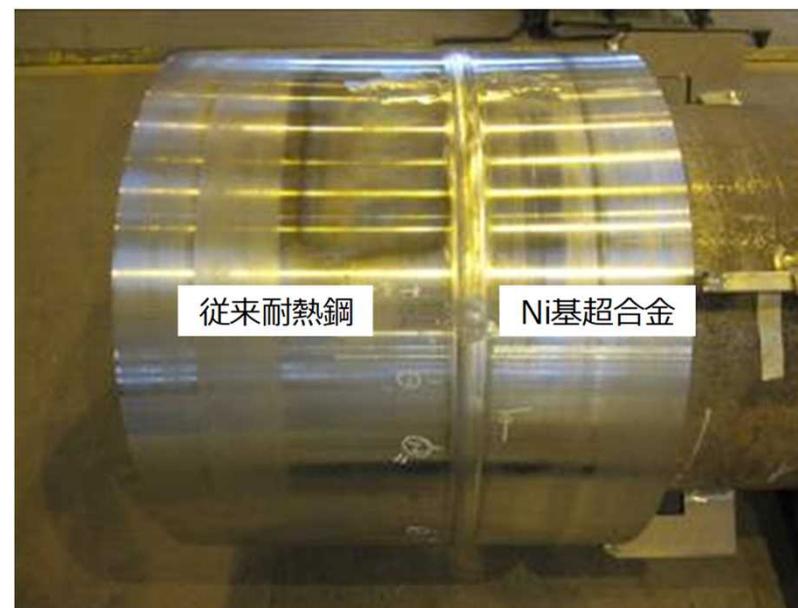
タービン用Ni基超合金／従来耐熱鋼の異材接合部(下図)の長時間使用中の材料健全性の確認を行う。

- ・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。

#### 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。

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



ロータ異材溶接部(例)

## ◆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,Alloy617B,Alloy263,USC141,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

#### 成果

規格化に関して、以下のような状況である。

- ・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、Alloy263、USC141、Alloy617BをJSME規格化へ提案、規格化に向け審議中。さらに HR35も規格化に向けて提案準備中。
- ・SAVE12AD、HR6W: 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

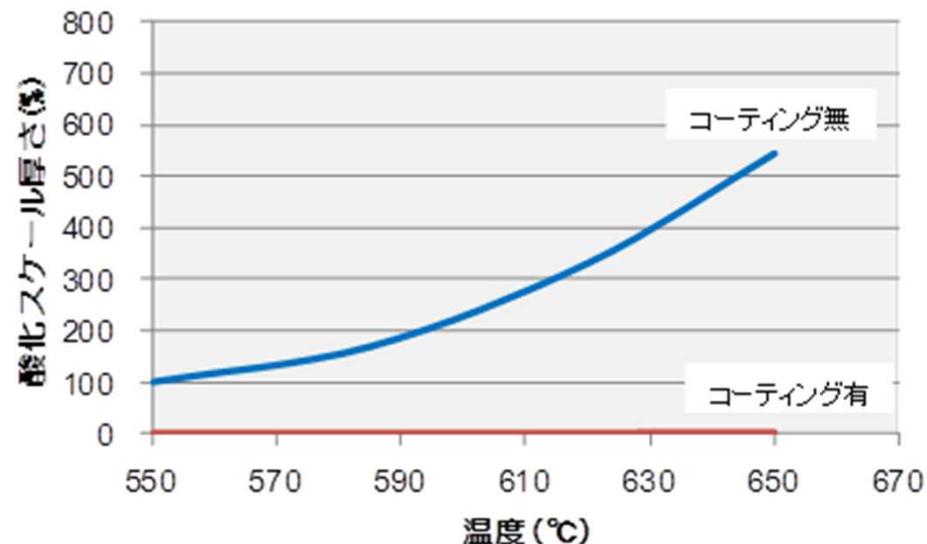
耐水蒸気酸化コーティングに代表される表面改質技術の実機適用性を検証する。

- ・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

#### 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。



高Cr鋼の酸化スケール生成厚さ(既存データの引用)

## ◆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。

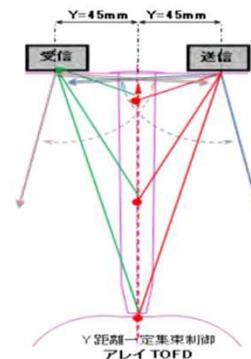
- ・製造する実機のロータ径(φ400～1200mm)に合わせて、曲率の異なる校正TPを作成し、あらかじめデータを取得、データベース化することで、校正TPおよび校正作業を削減する。
- ・ロータ溶接部に適用されている非破壊検査手法をロータ溶接部以外のNi基合金へ用い、適用範囲(厚肉素材、配管素材、溶接部等)を拡大する。

##### 成果

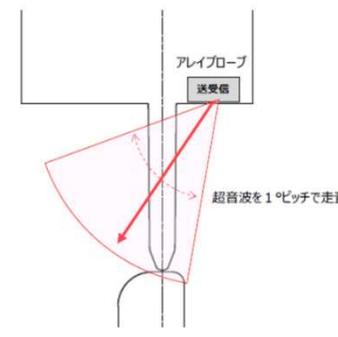
校正曲線作成の簡便化、TOFD法センサ位置の評価、プローブ種類の検討等を実施し、非破壊検査(フェーズドアレイTOFD法、セクタスキャン法)精度向上及び適用箇所の拡大をした。

2個のアレイプローブを検査部位を挟んで設置し、超音波を送受信することで、欠陥を精度良く検出する方法。

TOFD :Time of Flight Diffraction



フェーズドアレイTOFD法



セクタスキャン法

アレイプローブの各素子への電圧印加タイミングを制御することで、探傷角度を走査する。

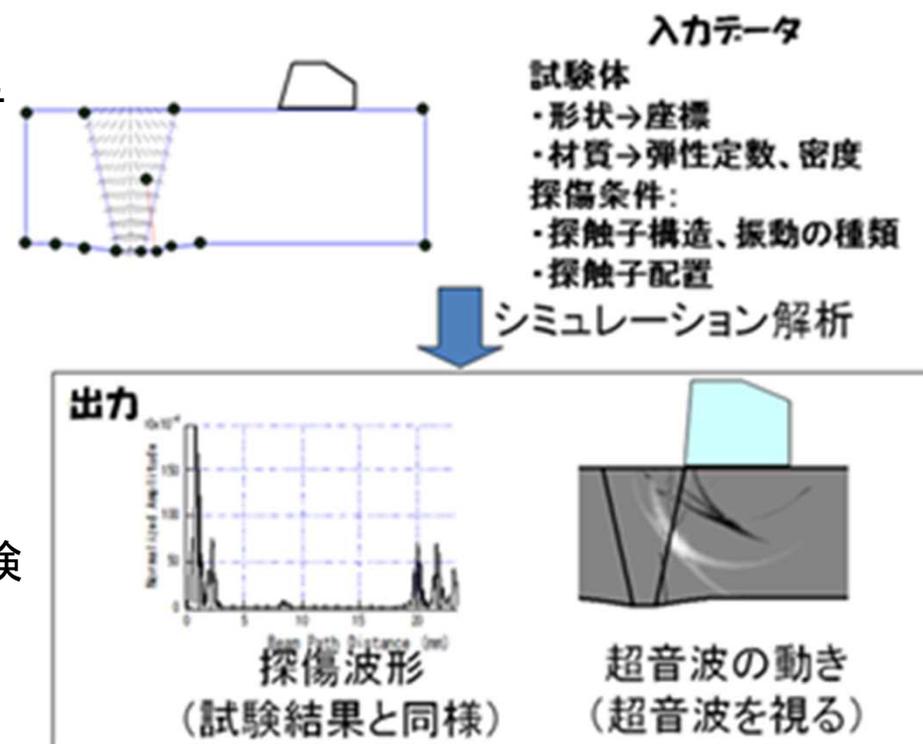
## ◆各個別テーマの成果と意義 9/9

### 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。



#### 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。

◆ 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

## I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

## II. 研究開発マネジメント

- (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

## III. 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
- (2)成果の普及

## IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (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

◆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」を、ボイラ・タービン・材料メーカーおよびユーザーで将来活用する期待があること』をいう。

## ◆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

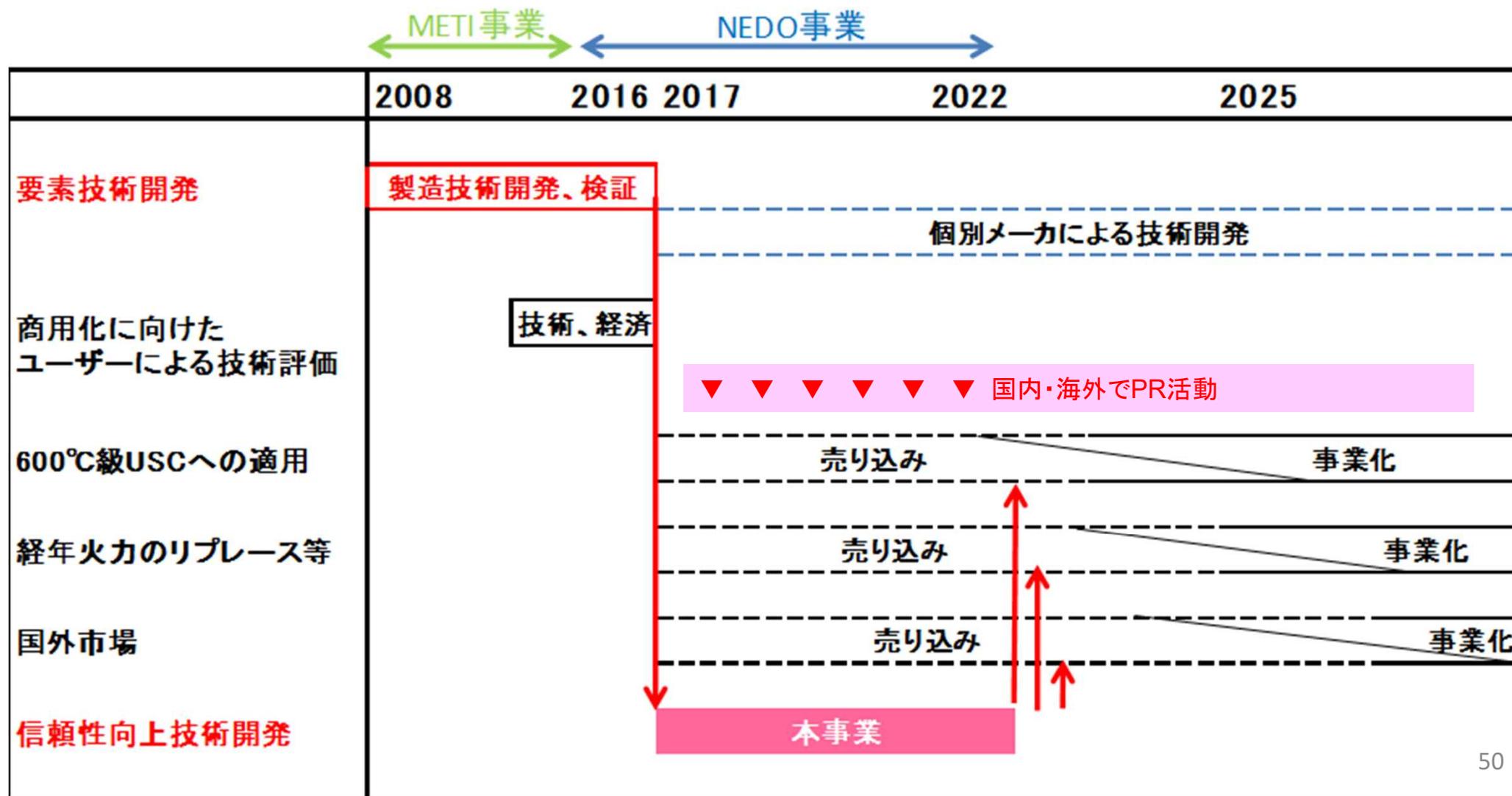
A-USCは主蒸気温度、圧力、再熱蒸気温度の設定に自由度があるので、USCと同様に、導入実績を重ねつつ、より蒸気条件が高いシステムの実現を目指す。

### ■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、腐食低減の可能性もある。

#### ➤ 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。)