

# 「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」

## 事後評価報告書（案）概要

### 目 次

分科会委員名簿 .....	1
評価概要（案） .....	2
評点結果 .....	4

## はじめに

本書は、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／先進超々臨界圧火力発電技術開発」（事後評価）の研究評価委員会分科会（平成28年10月25日）及び現地調査会（平成28年10月7日 於 大牟田市労働福祉会館及び株式会社シグマパワー有明 三川発電所）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第50回研究評価委員会（平成29年3月13日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成29年3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「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」分科会  
（事後評価）

分科会長 森永 正彦

「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」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成28年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	もりなが まさひこ 森永 正彦	公益財団法人 豊田理化学研究所 フェロー
分科 会長 代理	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
委員	うめだ けんじ 梅田 健司	電気事業連合会 技術開発部長
	おかざき まさかず 岡崎 正和	長岡技術科学大学 工学部機械創造工学専攻 教授
	こんどう よしひろ 近藤 義宏	防衛大学校 システム工学群 機械システム工学科 教授
	たかき せつお 高木 節雄	九州大学 工学研究院 材料工学部門 主幹教授
	なかざわ はるひさ 中澤 治久	一般社団法人 火力原子力発電技術協会 専務理事

敬称略、五十音順

# 「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」(事後評価)

## 評価概要 (案)

### 1. 総合評価

先進超々臨界圧火力発電技術 (A-USC) は、熱効率を大幅に向上させるとともに、発電時に発生する二酸化炭素の排出量削減を目指した新しい技術であり、我が国の次世代火力発電に係る技術ロードマップに実用化が明記されている。

開発目標・課題設定および開発スケジュールには、我が国の超々超臨界圧火力発電技術 (USC) プラント開発の経験が生かされており、妥当だと判断できる。また、開発目標はほぼ達成されており、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ことは高い評価に値する。具体的には、既設設備の一部更新を行い、蒸気タービン入口温度を 700°C に高めることにより、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。本プロジェクトの実用化の方向は、経年劣化した石炭火力発電プラントを A-USC に置き換えるという構想であり、これに対する工業的ニーズを踏まえ、主要機器ごとに新材料の開発を含めた活動をシステムティックに実施されたこと、回転体に対し Ni 基の材料を部分的に使用したことなどから、有意義な成果が得られていると判断できる。

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を行う必要があると思われる。電力会社および大学を交えて広く日本の英知を集め、早期の実機へのステップアップが期待される。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

我が国は USC で世界をリードしてきたが、欧米をはじめ各国において、A-USC に関する研究開発プロジェクトが進められている。石炭火力の発電効率向上に関しては、石炭ガス化複合発電技術 (IGCC) が先行しており、これとどう差別化するかが問題であった。これに対して本プロジェクトは、経年劣化した石炭火力発電プラントの機器を使用しつつ、A-USC に置き換えるという構想をサポートするものであり、既存設備の有効利用という観点から差別化が図れ、魅力的である。本プロジェクトは国際競争力の強化に資するものであり、国際貢献の面からも重要であることから、公共性が高く NEDO 事業とする意義は大きい。国内における既存設備のリプレイスはもとより、他の先進国や新興国のインフラ整備に向けてもビジネスチャンスの広がりが期待でき、費用対効果は十分高いといえる。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトは、システム設計・設計技術開発、ボイラ・タービン・高温弁の要素技術の開発ならびに実缶試験・回転試験を総合的に行うものであり、開発テーマ、スケジュールおよび研究開発費は妥当である。その背景には、USC プラント開発の経験が十分に生かされていると推察され、A-USC 実現のために必要な技術開発を効率良く進めることができた。

実施体制は、主要メーカーおよび研究機関で構成されており、PL のリーダーシップのもと実施者間の連携が図られ、研究は系統的かつ効率的に遂行された。

電力事業を取巻く状況が大きく変化していることもあり、次ステップに進むにあたり本研究の実施者に加え国および発電事業者間で共通認識を持つ必要がある。また、海外市場への売り込みにあたっては、適切な特許戦略を設定のうえ、進めることが望まれる。

## 2. 3 研究開発成果について

研究開発項目の中で、回転試験以外については設定した目標は達成しており、十分な研究開発成果が得られていると考えられる。日本は欧米に先行されていたが、本プロジェクトの成果はいずれも世界の競合技術と比較して優位性があり、将来の A-USC プラントの実現に資する基本技術として高く評価できる。各パーツの高温下でのデータは、世界最高効率の A-USC の実現のみならず、既存の火力発電の性能向上にも適用できる貴重なデータである。

回転試験については、当初の計画より進捗が若干遅れているが、異種材料の溶接ロータの試作をされたのは多いに評価でき、慎重な対応が望まれる。年度内に回転試験を行う予定であるが、異種材料の溶接は難しい技術なので、その有効性を高温での長時間耐久性試験から確認するとともに、破壊モードについても調べて欲しい。

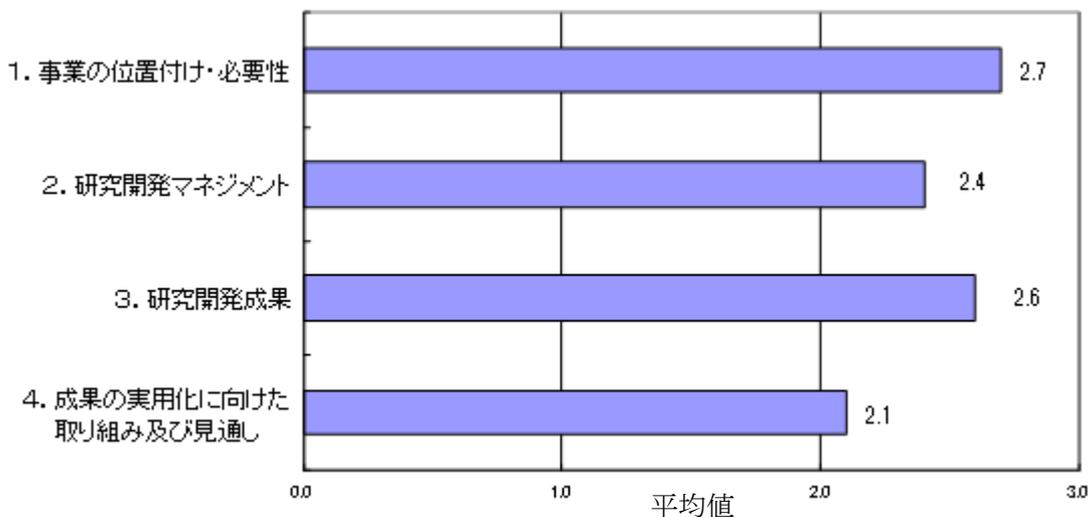
普及活動に関しては、学会活動をはじめ、対外的な論文および新聞発表を積極的に行い、一般に向けての情報発信に努めている。本技術の実用化のためには、知的財産は確保しつつも、研究の成果について積極的に事業者および社会に向けて発信する必要がある。

## 2. 4 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

本プロジェクトにおける、システム設計→要素開発→性能確認（ボイラ実缶試験・タービンロータ回転試験）の流れおよび目標設定は、実用化に向けて合理的であり評価できる。各パーツの要素技術が出揃ったので、次のステップである実証機への適用に進むべきである。また、本プロジェクトで得られた技術の段階的な導入を図って発電プラントでの実績を重ねつつ、より蒸気条件が高い 700℃級の A-USC プラントを実現しようとする戦略は妥当である。国内の既設発電プラントの更新のみならず、日本企業が海外市場へ A-USC 発電プラントおよび素材を輸出することも可能である。そのためにも、次期プロジェクトに期待する。

一方、A-USC の実用化にはユーザーである電力会社の視点（ニーズ）が欠かせない。今後は、ユーザーの信頼を獲得できるような試運転実施内容の策定に期待したい。また、さらなる長時間の試験を行うことが必要と思われる。

## 評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	B	A	A	B	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	B	A	A	B	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	B	B	A	B	B	A	A	
3. 研究開発成果について	2.6	A	B	A	B	B	A	A	
4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて	2.1	C	C	B	A	B	A	A	

(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. 成果の実用化に向けた取り組み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                 |

研究評価委員会

「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」(事後評価) 分科会

日 時 : 平成28年10月25日 (火) 10:00～17:25

場 所 : WTCコンファレンスセンター Room A  
(世界貿易センタービル 3階)

議事次第

【公開セッション】

- |                                                                |                   |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1. 開会、資料の確認                                                    | 10:00～10:05 (5分)  |
| 2. 分科会の設置について                                                  | 10:05～10:10 (5分)  |
| 3. 分科会の公開について                                                  | 10:10～10:15 (5分)  |
| 4. 評価の実施方法について                                                 | 10:15～10:30 (15分) |
| 5. プロジェクトの概要説明                                                 | 10:30～11:00 (30分) |
| 5.1 「事業の位置付け・必要性」「研究開発マネジメント」<br>「研究開発成果」「成果の実用化に向けた取り組み及び見通し」 |                   |
| 5.2 質疑                                                         | 11:00～11:20 (20分) |

【非公開セッション】

- |                 |                      |
|-----------------|----------------------|
| 6. プロジェクトの詳細説明  |                      |
| 6.1 研究項目①システム設計 | 11:20～12:00(40分)     |
| 発表会社名 MHPS      | (説明23分、質疑応答15分、入替2分) |

昼食・休憩 (50分)

- |                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| 6.2 研究項目②ボイラ要素技術開発        | 12:50～13:40(50分)     |
| 発表会社名(IHI / MHPS) & 新日鐵住金 | (説明33分、質疑応答15分、入替2分) |
| 6.3 研究項目③タービン要素技術開発       | 13:40～14:20 (40分)    |
| 発表会社名 東芝 / MHPS           | (説明23分、質疑応答15分、入替2分) |
| 6.4 研究項目④高温弁要素技術開発        | 14:20～15:00 (40分)    |
| 発表会社名 富士電機                | (説明23分、質疑応答15分、入替2分) |

休憩 (15 分)

6.5 研究項目⑤実缶試験 15:15～15:55 (40 分)  
発表会社名 MHPS / IHI (説明 23 分、質疑応答 15 分、入替 2 分)

6.6 研究項目⑥回転試験 15:55～16:35 (40 分)  
発表会社名 MHPS / 東芝 (説明 23 分、質疑応答 15 分、入替 2 分)

7. 全体を通しての質疑 16:35～16:50 (15 分)  
(質疑 15 分)

休憩 (10 分)

**【公開セッション】**

8. まとめ・講評 17:00～17:20 (20 分)

9. 今後の予定、その他 17:20～17:25 (5 分)

10. 閉会

以上

概 要

		最終更新日	2016年9月21日									
プログラム (又は施策)名												
プロジェクト名	先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発	プロジェクト番号	P16002									
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 足立 啓 阿部 一雄 (2016年9月現在)											
0. 事業の概要	<p>従来型石炭火力発電の熱効率を飛躍的に向上させることが期待できる先進超々臨界圧火力発電(A-USC)を実用化することを目的とし、蒸気温度700℃以上、蒸気圧力24.1MPa以上の蒸気条件に耐えられる電力産業用大容量ボイラー・タービンシステムの開発に必要な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ことを目標とする。</p> <p>技術開発項目としては(1)システム設計、設計技術開発、(2)ボイラ要素技術開発、(3)タービン要素技術開発、(4)高温弁要素技術開発、(5)実缶試験・回転試験(高温弁を含む)からなる。平成28年度は第(2)～(5)項の開発を行う。</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」を平成28年6月30日にとりまとめた。</p> <p>その中で、「2030年度に向け、石炭火力、LNG火力それぞれで設備の新陳代謝による高効率化が必要」とされ、「A-USCは石炭火力の高効率化に向け2016年度に技術確立し、その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。」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	蒸気温度700℃以上、蒸気圧力24.1MPa以上の蒸気条件に耐えられる電力産業用大容量ボイラー・タービンシステムの開発に必要な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ことを目標とする。											
事業の計画 内容			2008 H20	2009 H21	2010 H22	2011 H23	2012 H24	2013 H25	2014 H26	2015 H27	2016 H28	
	システム 設計	システム設計、設計技術開発	基本設計、配置最適化、経済性試算									
	要素開発	ボイラ	材料開発	大径管、伝熱管用新材料開発、材料改良								
			材料製造性検証	高温長期材料試験(3～7万時間) 溶接技術開発・試験、曲げ試験								
		タービン	材料開発	材料改良仕様策定等 実サイズ部材試作 ロータ、ケーシング等の大型溶接技術、試作 高温長期材料試験(3～7万時間)								
		高温弁	構造・要素・材料開発	試設計 試作								
	実缶試験・回転試験(高温弁含む)			設備計画 設備設計 設備製造、据付 試験、評価								
	開発予算 (会計・勘定別 に事業費の実績 額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H20～25fy	H26fy	H27fy	H28fy	総額					
		一般会計										
		特別会計	7488	2751	2010	1275	13524					

	(電源・需給の別)					
	開発成果促進財源					
	総予算額	7488	2751	2010	1275	13524
	(委託)					
	(助成) : 助成率 2/3				1275	1275 (NEDO 助成 事業のみ)
	(共同研究) : 負担率△/□					
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁電力基盤整備課 (～H27 年度)、石炭課 (H28 年度)				
	プロジェクト リーダー	福田雅文 (一社)高効率発電システム研究所				
	助成先	(株)東芝、(株)I H I、ABB 日本ベレー(株)、岡野バルブ製造(株)、新日鐵住金(株)、(一財)電力中央研究所、東亜バルブエンジニアリング(株)、富士電機(株)、三菱重工業(株)、三菱日立パワーシステムズ(株)				
情勢変化への 対応	_____					
中間評価結果 への対応	<u>指摘事項 1</u> 新しい材料を使用することでイニシャルコストが高くなる。石炭火力発電所の新設・増設需要が見込まれる新興国に導入するには、イニシャルコストの上昇により競争力が低下することがないよう、相当の工夫、戦略が必要であり、十分に検討して進めることが必要。 <u>対応</u> ①新材料をフルに活用し熱効率を向上することにより石炭使用量を減らしイニシャルコストも含めた全体の発電コストを下げるのが A-USC の考え方であるが、新材料を一部に適用しイニシャルコストに配慮した設計も可能である。実際の案件ごとに新材料適用割合、熱効率の向上(燃料コスト)、資金等のバランスを最適化した提案を行う。それにより市場への導入加速を狙う。技術の段階的導入。 ②日本が得意とする脱硫、脱硝、脱塵等の環境設備とともにパッケージ型インフラとして A-USC を提案する。					
	<u>指摘事項 2</u> 現在の USC 火力で用いられている高クロム鋼の溶接部で発生している損傷事例も踏まえ、Ni 基材の経年化に伴うクリープ強度評価や、寿命診断技術などにも取り組んでほしい。 <u>対応</u> 本プロジェクトで 3 万～7 万時間におよぶ Ni 基材の長期クリープ強度試験を実施し、さらにプロジェクト後に継続して 10 万時間の試験を行う。寿命診断技術については母材の劣化機構の研究を実施している。また溶接部については大型試験片による劣化機構の研究を実施している。					
	<u>指摘事項 3</u> 蒸気温度の上昇に伴う高温対策と評価を、ボイラ、タービン、高温弁を中心に行っているが、実証に向けて他の部材への影響評価を十分に行って頂くとともに、材料評価にとどまらず、例えばタービンの性能や効率、信頼性や運用性に関する評価や検証を期待したい。 <u>対応</u> タービンの性能、効率、運用性向上は受注可否に直結する項目であり、個別のタービンメーカで常に研究が推進されている。タービンの信頼性はロータについては現在実施中の回転試験で、ケーシングについては実缶試験で評価、検証を行っている。					
	<u>指摘事項 4</u> さらに、経済性に優れるとともに長期信頼性を有した材料の開発が必要となる。検証を確実に実施しながら材料開発をお願いしたい。 <u>対応</u>					

	<p>鍛造材料、鑄造材料ともに、より高温強度に優れた材料開発を個別メーカーで実施している。高強度材料により、長期信頼性を向上したり、部材の肉厚を薄くし経済性に優れた設計が可能となる。</p>	
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>H19 年度実施 経済産業省資源エネルギー庁電力基盤整備課</p>
	<p>中間評価</p>	<p>H22 年度 中間評価実施 経済産業省資源エネルギー庁電力基盤整備課 H25 年度 中間評価実施 経済産業省資源エネルギー庁電力基盤整備課</p>
	<p>事後評価</p>	<p>H28 年度 事後評価実施 環境部</p>
<p>3. 研究開発成果について</p>	<p>①事業全体          目標：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。          成果：システム基本設計、ボイラ要素技術開発、タービン要素技術開発、高温弁要素技術開発、実缶試験、回転試験を通して目標を達成予定。ただし、前倒し事後評価時点（2016 年 10 月）では回転試験は実施中であり、完了した時点で達成の可否を評価する。</p> <p>②ボイラ要素技術開発          目標：材料開発、製造技術開発、3 万～7 万時間の長期材料評価試験等を行い、時間外挿により A-USC ボイラ材料の 10 万時間の信頼性を確認する。          成果：候補材料で 3 万～7 万時間の長期材料評価試験を実施し、時間外挿により 10 万時間の信頼性を確認した。</p> <p>③タービン要素技術開発          目標：材料開発、製造技術開発、3 万～7 万時間の長期材料評価試験等を行い、時間外挿により A-USC タービン材料の 10 万時間の信頼性を確認する。          成果：候補材料で 3 万～7 万時間の長期材料評価試験を実施し、時間外挿により 10 万時間の信頼性を確認した。</p> <p>④実缶試験・回転試験（高温弁を含む）          目標：実缶試験および回転試験を完了し、A-USC ボイラ、タービン、高温弁要素の信頼性を確認する。          成果：実缶試験で当初目標の 1 万時間を達成し、さらに試験を継続中。回転試験を開始した。          課題：回転試験を完遂し、タービンロータの信頼性を確認する</p>	

	投稿論文	「査読付き」 5 件、「その他」 1 5 7 件
	特 許	「出願済」 4 5 件、「登録」 2 4 件、「実施」 0 件（うち国際出願 4 件）
	その他の外部発表 （プレス発表等）	「新聞・雑誌等」 3 4 件
4. 実用化の見通しについて	<p>①実用化の見通し 2016 年度に技術開発を完了する。 早ければ 2025 年頃に大型機の商用実証を目指す。</p> <p>②事業化の見通し 国内では経年火力のリプレース等を主体とし、既存資源（人材、立地、設備）を有効活用した事業化を進める。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。 国外ではアジア・オセアニア、欧州、北米への売り込みを目指す。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2016 年 1 月 作成
	変更履歴	2016 年 4 月 研究開発の実施方式、PM、研究開発スケジュール等の変更 2016 年 9 月 研究開発スケジュールを当初計画通りに戻した

◆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

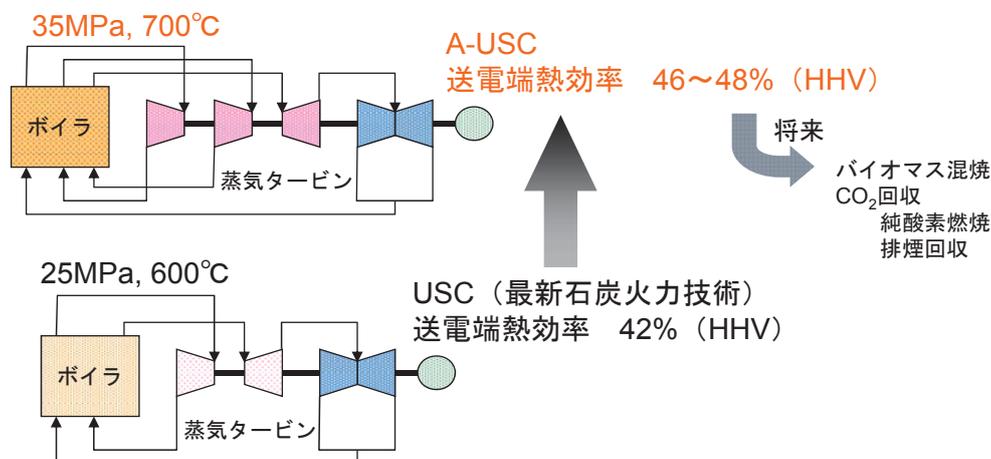
火力発電の熱効率向上によるCO2排出量の抑制



蒸気タービン入口温度を700℃へ高めるため、  
高温下で使用できるボイラー、タービン、付属弁類の材料開発  
および材料加工技術の要素技術開発を目的とする。

◆事業の目標

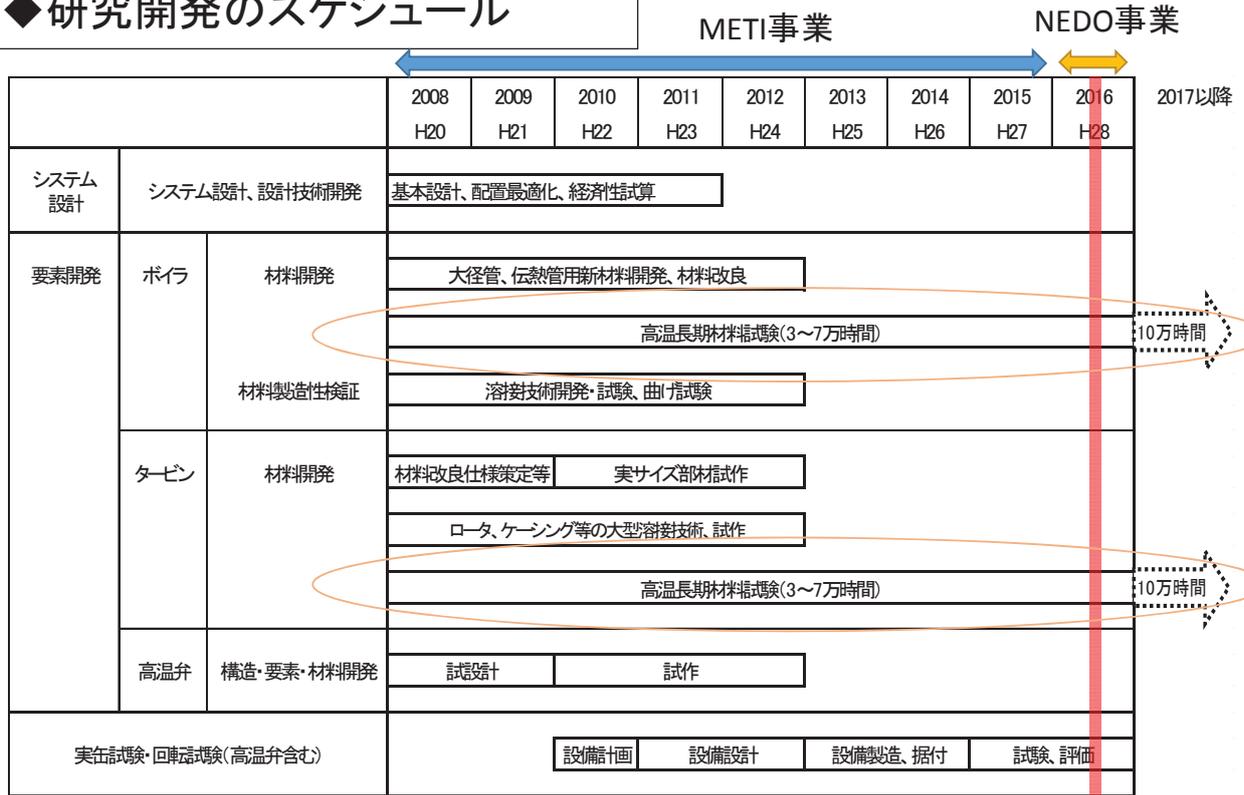
A-USC : 700℃超級の次世代超々臨界圧プラント  
(Advanced-Ultra Super Critical)



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。

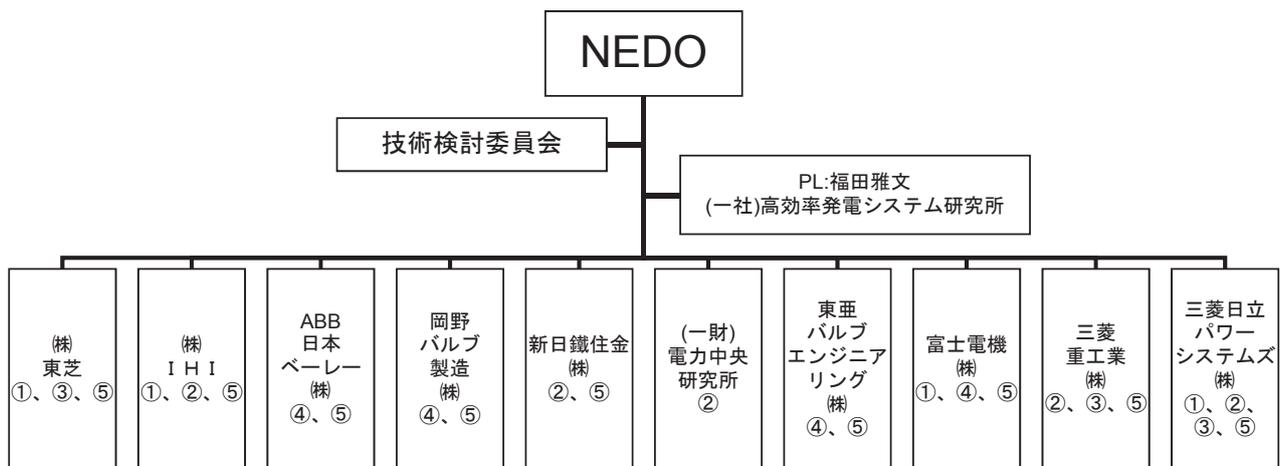
2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール



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

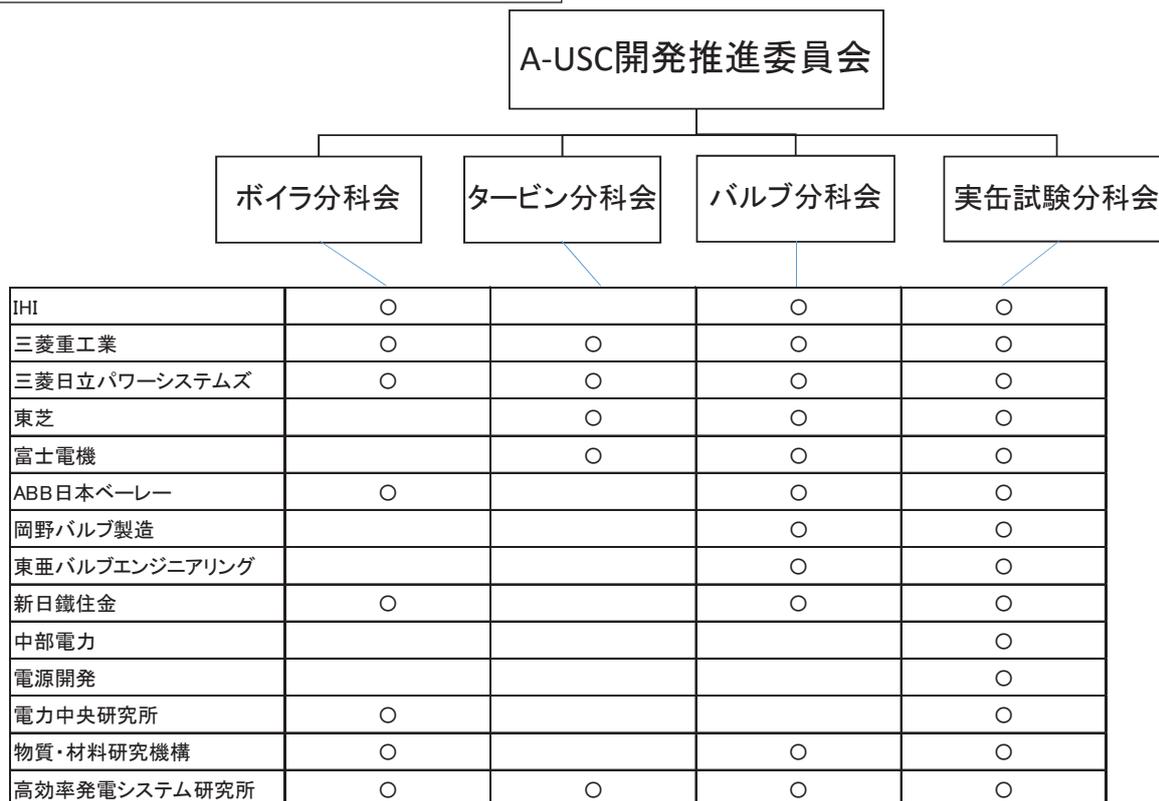


役割分担

- ① システム設計、設計技術開発
- ② ボイラ要素技術開発
- ③ タービン要素技術開発
- ④ 高温弁要素技術開発
- ⑤ 実缶試験・回転試験 (高温弁を含む)

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



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

単位: 百万円

年度	ボイラ (実缶試験含む)	タービン (回転試験、実缶試験含む)	弁 (実缶試験含む)	合計
2008 平成20	179	91	30	300
2009 平成21	447	571	46	1,064
2010 平成22	409	633	50	1,092
2011 平成23	552	881	92	1,524
2012 平成24	542	835	172	1,548
2013 平成25	870	948	141	1,959
2014 平成26	1,345	1,160	246	2,751
2015 平成27	801	1,135	74	2,010
2016 平成28 申請ベース	603	641	32	1,275
合計	5,748	6,894	882	13,524

注: 平成20~27年度は補助対象経費の実績額(METI直轄事業)  
 平成28年度は助成事業に要する費用予算額(NEDO事業)  
 補助率(助成率)は2/3