

**「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」**

**(前倒し事後評価)**

**(平成28年度 1年間)**

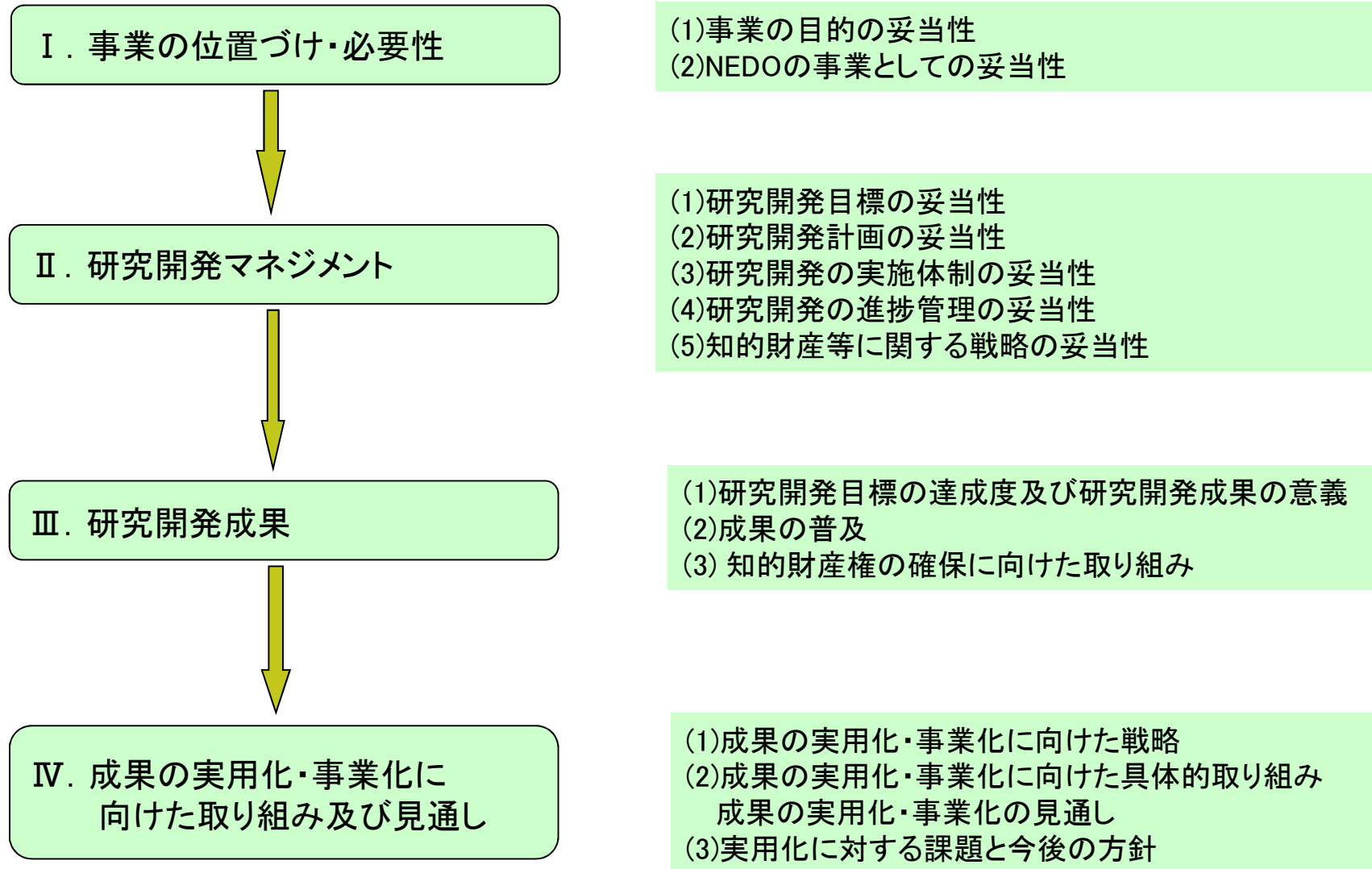
**プロジェクトの概要 (公開)**

**NEDO**

**環境部**

**平成28年10月25日**

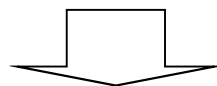
# 発表内容



◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

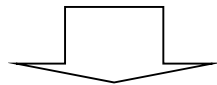
温暖化対策は世界的課題



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。

## 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	韓国
目標 蒸気条件	温度	700～750℃	700～720℃	732～760℃	700～720℃	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	実缶試験中	小型実缶試験中 HTW II	来年から総合試験(ComTest1400) を具体化予定	実缶試験予定	材料基礎検討中	?
	タービン	回転試験予定	ロータ材料製作		?	材料基礎検討中	来年から開始
	弁	実缶試験中	小型実缶試験中 HTW II		?	?	?

1. ヨーロッパにおいては域内の主要電力会社とボイラ、タービンメーカーが参加し1998年から開発プロジェクトが開始された。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。
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年から技術開発が進められている。現在、実缶・回転試験(ComTest1400)を計画中である。
3. 近年、中国、インド、韓国でも官民学による開発プロジェクトが動き出し、国際的な技術開発競争が始まっている。

## ◆技術戦略上の位置付け

### 次世代火力発電に係るロードマップ 抜粋

#### 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

- 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-

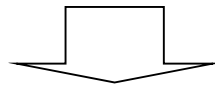
##### ②石炭火力発電技術

- **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。

◆NEDOが関与する意義

先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発技術は、

- 火力発電設備の高効率によるCO2排出量削減が可能であり社会的必要性が大きい。
- 火力発電設備メーカーの海外競争力強化に貢献
- 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識、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 130億円(補助額87億円)

マーケットの現状及び将来の規模

将来新設石炭火力の数字でOECD以外のアジアにおける新設石炭火力発電所

( World Energy Outlook2014)

2014-2025年

中国	257GW	年平均23GW
インド	135GW	年平均14GW
東南アジア	58GW	年平均5GW
合計	471GW	年平均43GW

2026-2040年

中国	202GW	年平均13GW
インド	250GW	年平均17GW
東南アジア	112GW	年平均7GW
合計	597GW	年平均40GW

◆実施の効果（費用対効果） 2/3

海外ターゲット市場: 東南アジア等

市場規模: 10GW/年程度⇒2兆8800億円/年\*

\*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

日本メーカーのシェア: 36%程度⇒販売価格: 1兆円/年

国内ターゲット市場: リプレース等

市場規模: 2GW/年程度⇒5760億円/年\*

\*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

日本メーカーのシェア: 100%⇒販売価格: 5760億円/年



◆実施の効果（費用対効果） 3/3

CO<sub>2</sub>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。

[CO<sub>2</sub>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tCO<sub>2</sub>/年の削減

A-USCは最新のUSCに対して10%以上の熱効率向上なので、

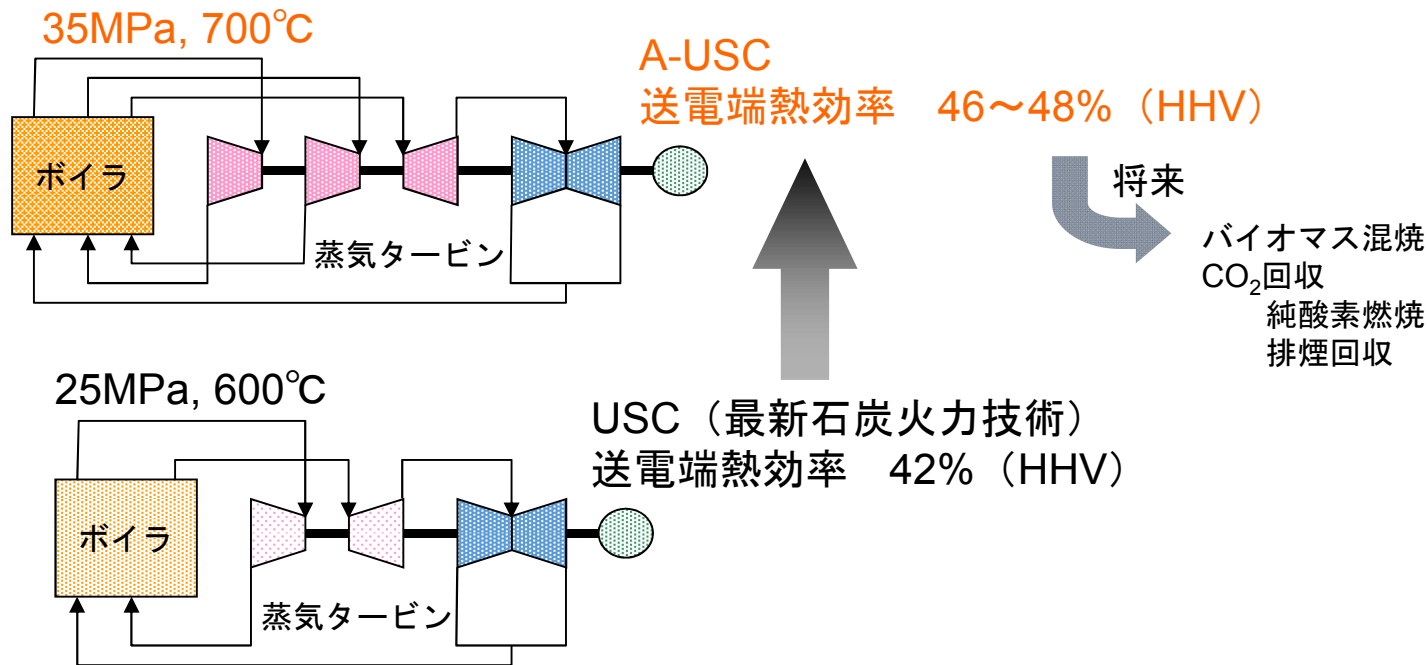
二酸化炭素排出原単位は $0.810 \times 0.9 = 0.729$  (kg/kWh)以下

年間の二酸化炭素削減量は $1550 \times (0.864 - 0.729) / (0.864 - 0.810)$

= 3875(万tCO<sub>2</sub>/年)以上のCO<sub>2</sub>削減効果

◆事業の目標

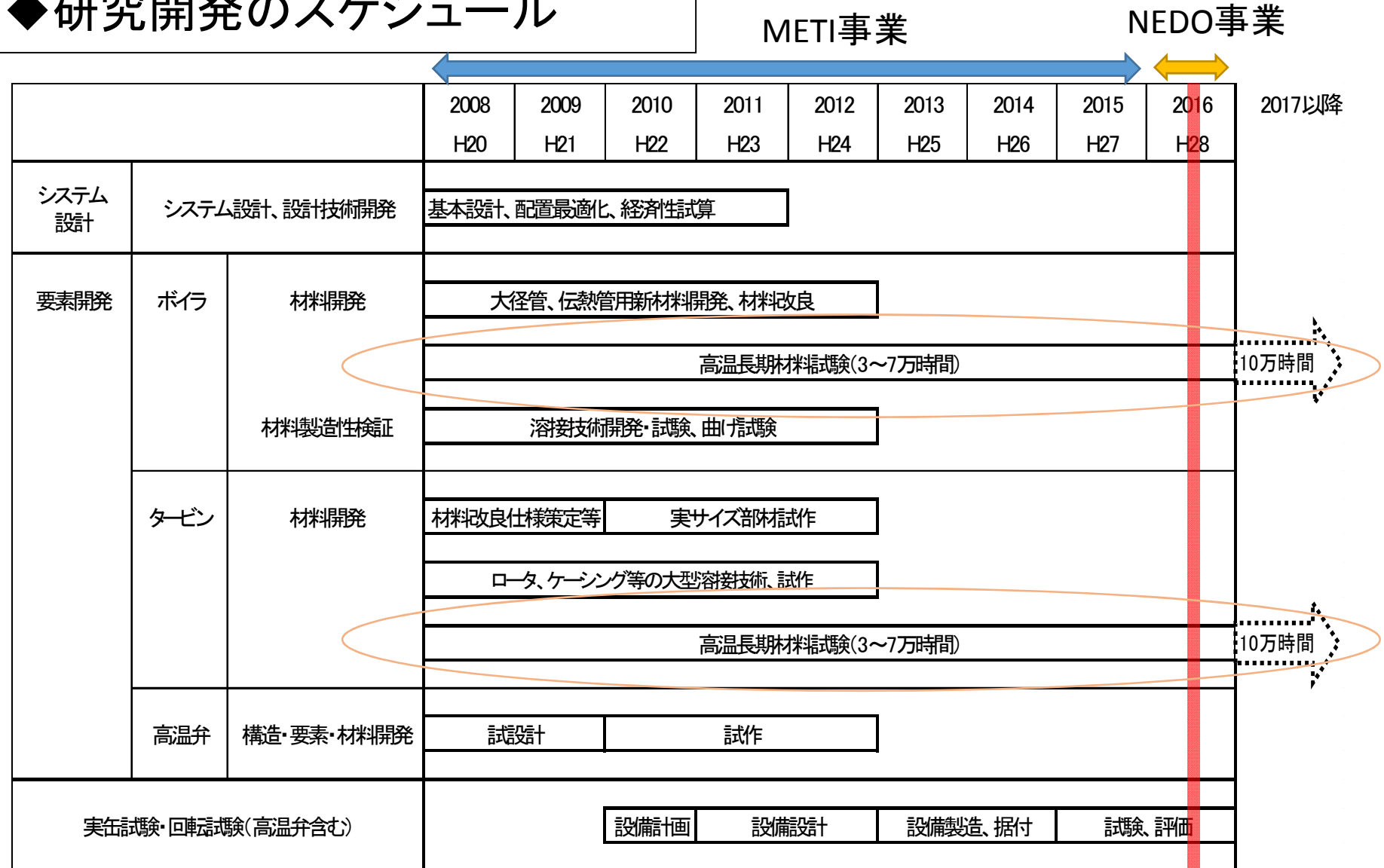
A-USC : 700°C超級の次世代超々臨界圧プラント  
(Advanced-Ultra Super Critical)



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 (2)研究開発計画の妥当性

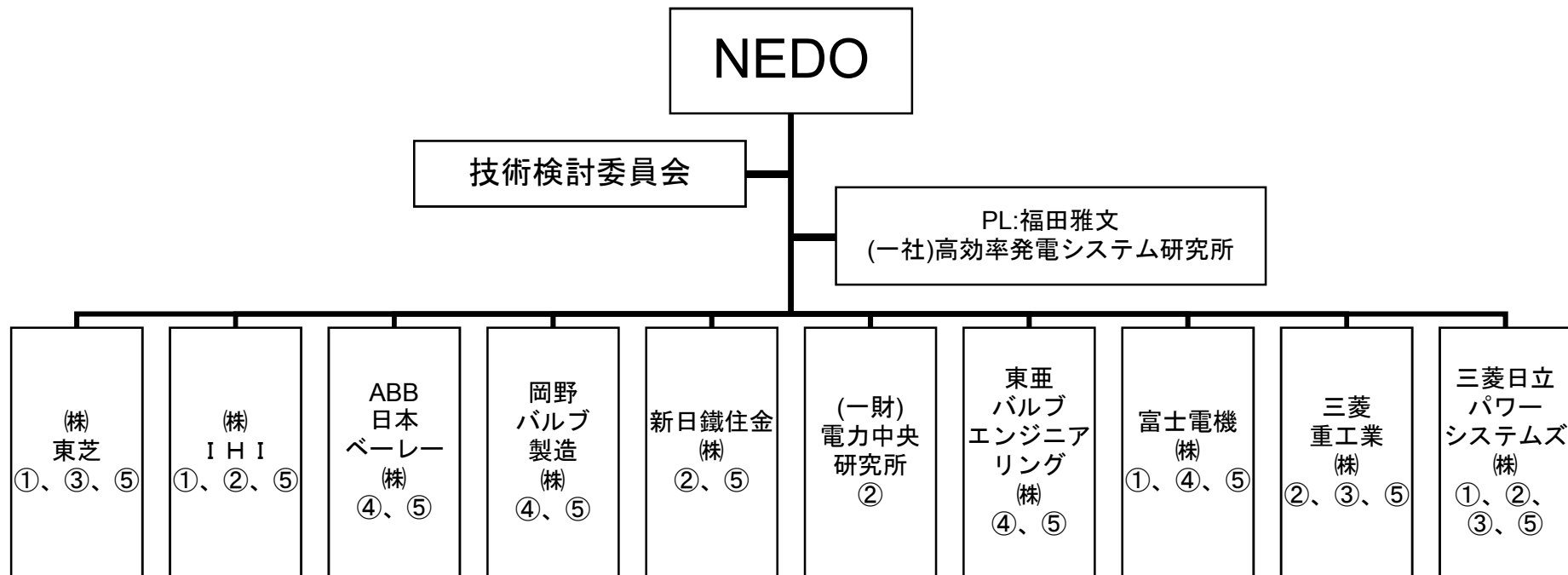
### ◆プロジェクト費用

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 申請ベース	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

◆ 研究開発の実施体制 1/2

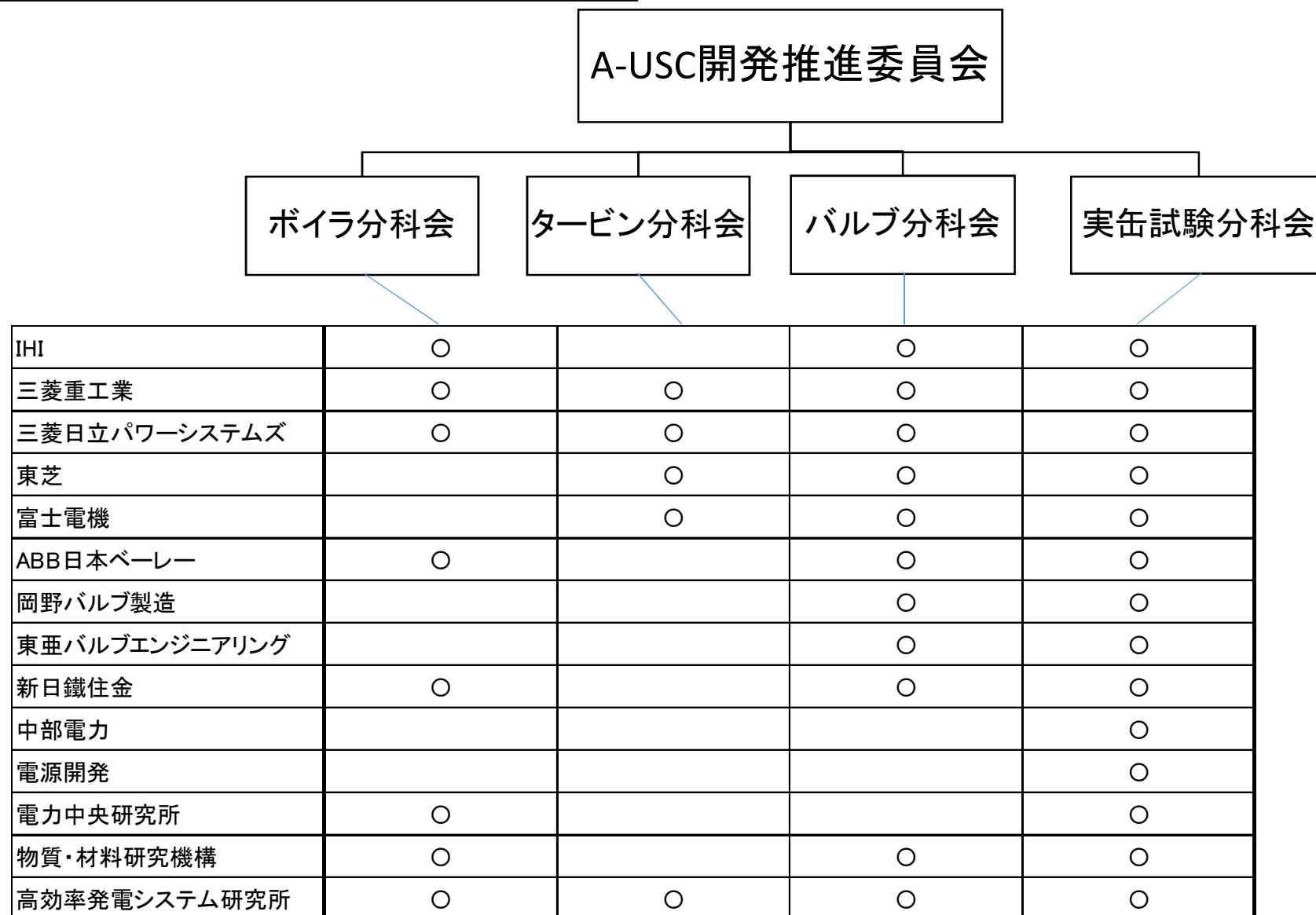


役割分担

- 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



## ◆ 研究開発の進捗管理

### PM、PLによる進捗管理

- ・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により実施状況をチェックする。

### PLによる進捗管理

- ・A-USC開発推進委員会を2か月に1回程度の開催し、分科会の実施状況、問題をチェックする。
- ・実缶試験分科会を2か月に1回程度の開催し、分科会の実施状況、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

### ◆ 中間評価結果への対応

指摘		対応
1	(事業化、波及効果についての妥当性) ・新しい材料を使用することでインシヤ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、インシヤ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。	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ンシヤ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ンシヤ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。
2	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もらいたい。	本プロジェクトで3万～7万時間におよぶNi基材材料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。
3	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。	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ー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。
4	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。	鍛造材料、鋳造材料ともに、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。



### ◆ 知的財産権等に関する戦略

1. 早期に材料基本特許を出願し、それを実現するための技術開発、検証を本プロジェクトで実施する。
2. 1. 項の材料によりシステムを構築するために必要な構造、製造技術特許を取得する。
3. 海外への技術流出に配慮し、ノウハウと判断される技術については特許も含め公開しない。

### ◆ 知的財産管理

A-USC開発推進委員会メンバーが共同実務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			
研究開発項目	目標	成果	達成度
ボイラ要素 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。	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。	○
タービン要素 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。	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。	○
実缶試験・回転試験 (高温弁を含む)	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。	実缶試験で当初目論見の1万時間を達成し、さらに試験を継続中。	実缶試験 ○
			回転試験 △

○達成、△達成見込み(中間)／一部達成(事後)、×未達

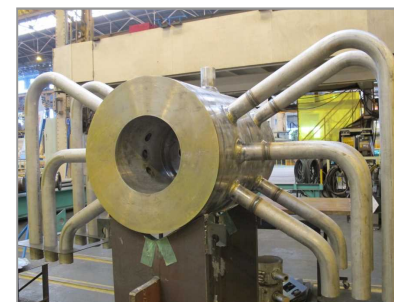
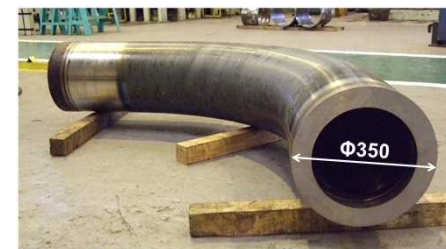
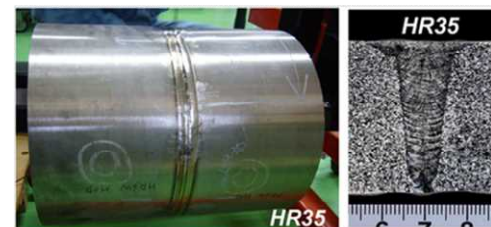
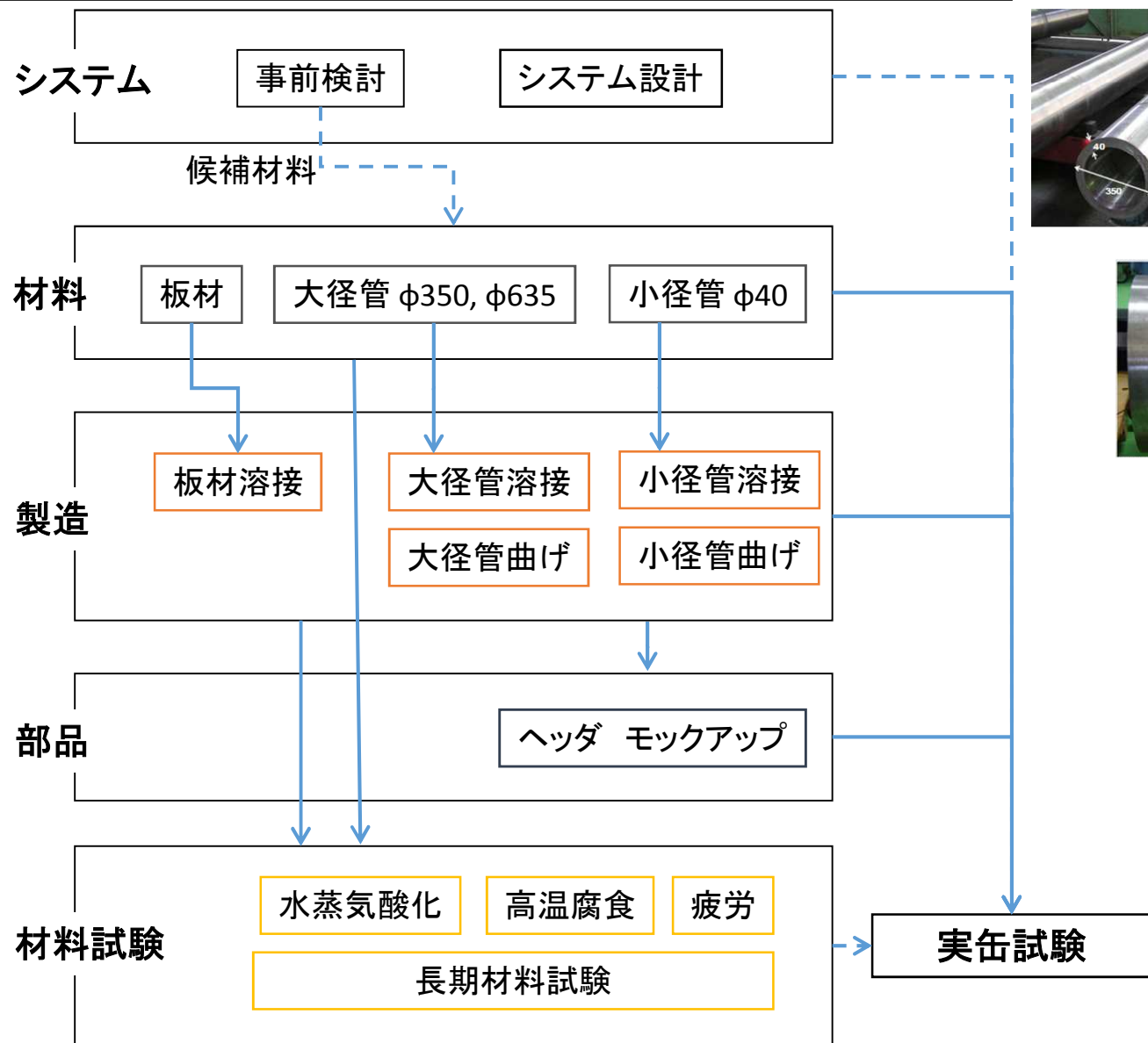
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクト全体としての目標である「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。」ことは回転試験を完了した時点で達成の可否を評価できる。

回転試験は1体目のロータを試験中であり、これまでのところ問題なく、運転中である。

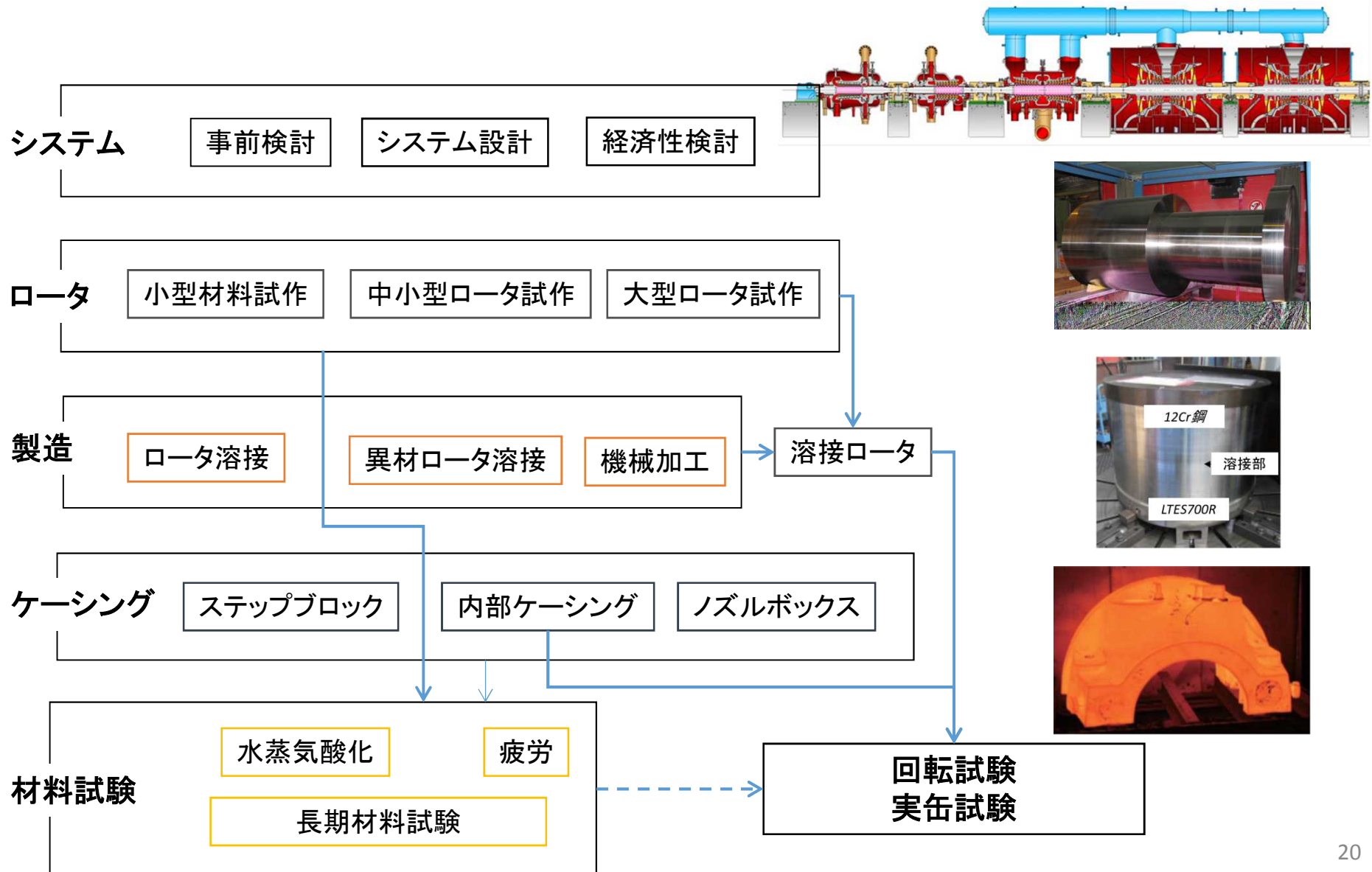
なお、その他の研究開発項目毎の目標はすべて達成した。

◆各個別テーマの成果と意義 1/3 ボイラ



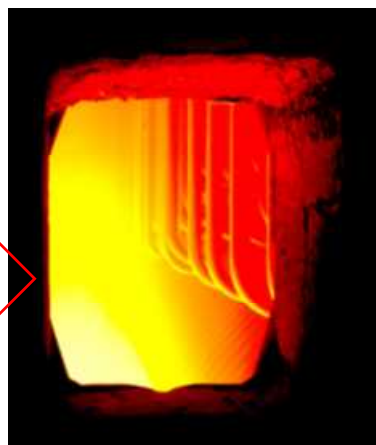
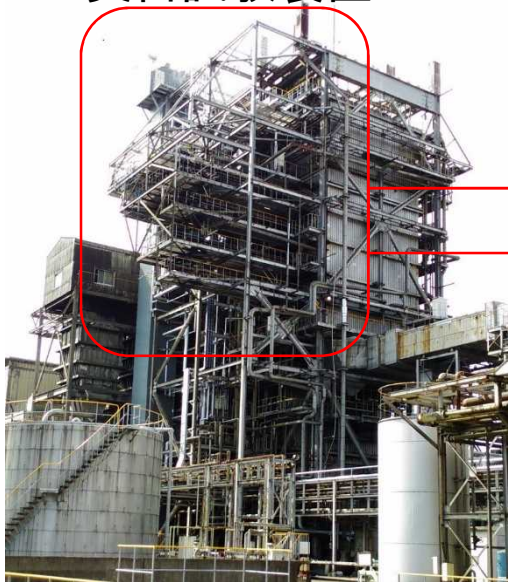
### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### ◆各個別テーマの成果と意義 2/3 タービン



◆各個別テーマの成果と意義 3/3 実缶試験、回転試験 まとめ

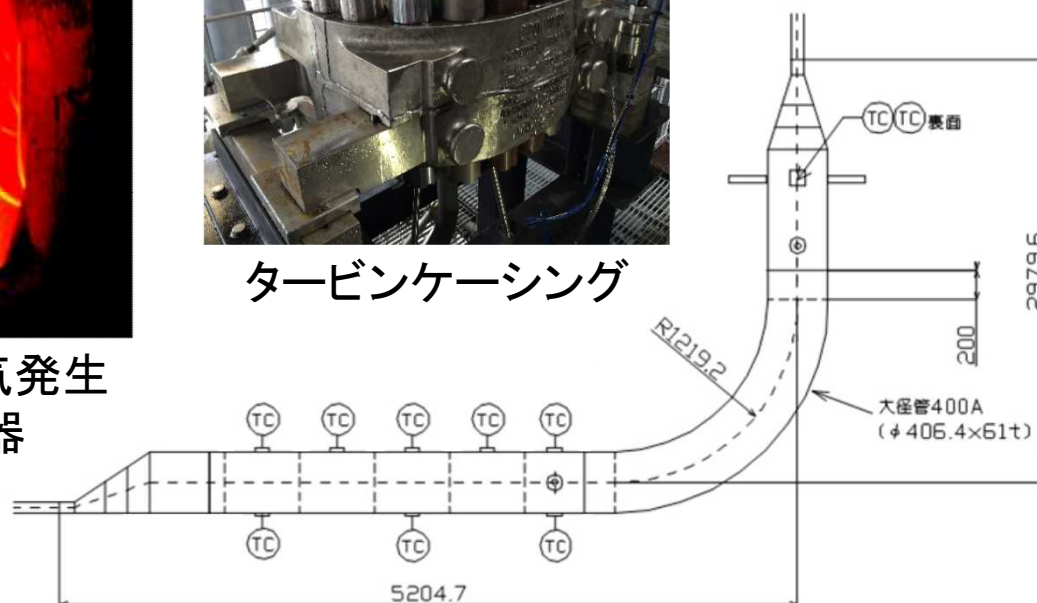
実缶試験装置



710°C蒸気発生  
過熱器



タービンケーシング



ボイラ大径管

タービン回転試験装置



個別テーマの成果まとめ

- ・システム設計、要素開発を計画通り完了
- ・要素技術の確認試験  
ボイラは10,000時間超の信頼性を確認。  
タービンは10月から回転試験を開始。

### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

#### ◆ 成果の普及 1/2 特許・論文等

	2008 平成20年	2009 平成21年	2010 平成22年	2011 平成23年	2012 平成24年	2013 平成25年	2014 平成26年	2015 平成27年	2016 平成28年	合計
特許	7	11	5	3	11	5	3	0	0	45
論文	0	0	0	0	1	0	1	2	1	5
学会発表、講演	6	14	22	17	20	17	24	24	13	157
新聞・雑誌等	4	2	3	4	3	4	4	6	4	34
合計	17	27	30	24	35	26	32	32	18	241

※平成28年10月15日現在

◆ 成果の普及 2/2 主な報告会、講演会、見学会

平成20年度先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発報告会

講演日時:平成21年11月5日(木) 10:00~17:00

講演会場:発明会館ホール(東京都港区虎ノ門)

先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会

— A-USC要素技術開発(大型部材試作評価を中心として) —

講演日:平成22年10月29日(金) 10:00~17:00

講演会場:発明会館ホール(東京都港区虎ノ門)

先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会

— A-USC要素技術開発(開発材料の特性評価を中心として) —

講演日時:平成23年10月31日(月) 10:00~17:00

講演会場:発明会館ホール(東京都港区虎ノ門)

先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会

— A-USC要素技術開発(実証機の早期実現を目指して) —

講演日時:平成24年10月30日(火)9:30~17:00

講演会場:発明会館ホール(港区虎ノ門)

A-USC火力発電の実缶試験施設見学会

開催日時:平成27年11月19日(木)9:30~15:30

見学先:A-USC実缶試験設備((株)シグマパワー有明 三川発電所内)



### 3. 研究開発成果 (3) 知的財産権等の確保に向けた取り組み

#### ◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み 出願特許

##### 代表的な特許

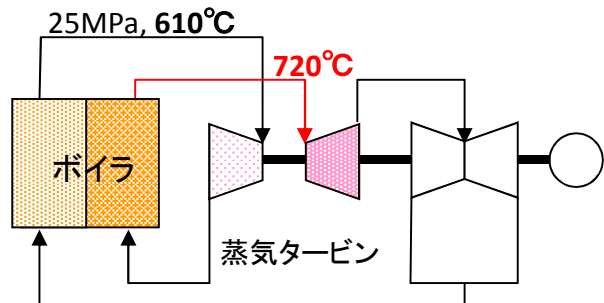
出願者	出願番号	国内外国PCT	出願日	状態	名称
MHI	特願2008-195580	国内	2008/7/30	登録	Ni基合金用溶接材料
MHPS	特願2010-502362	国内/外国	2008/8/11	登録	蒸気タービン設備
東芝	P2009-066517	国内	2009/3/18	登録	蒸気タービンのタービンロータ用Ni基合金およびそれを用いた蒸気タービンのタービンロータ
MHPS	特願2012-139585	国内	2012/6/21	登録	Ni基合金の使用温度推定方法及び寿命評価方法
MHPS	特願2013-238842	国内/外国	2013/11/19	公開	厚肉大径管の溶接継手構造とその溶接施工方法

## ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

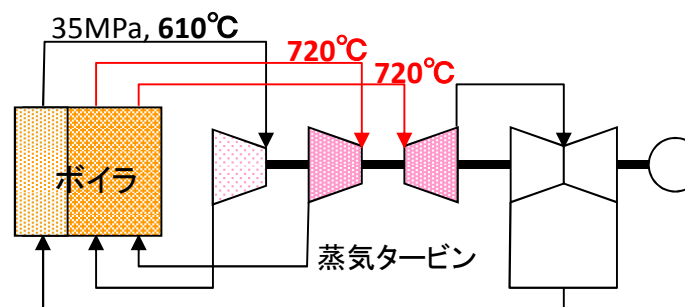
- 実用化の見通し
  - 2016年度に技術開発完了  
早ければ2025年頃に大型機の商用実証を目指す
- 導入見通し
  - 国内では経年火力のリプレース等を主体とし、既存資源(人材、立地、設備)を有効活用した導入
  - 国外ではアジア・オセアニア、欧州、北米への売り込みを目指す。
- 導入対象
  - リプレース
  - 新設 等
- 技術の段階的導入
  - 再熱のみ700°C級、一段再熱
  - 主蒸気・再熱700°C級、一段再熱
  - 再熱のみ700°C級、二段再熱
  - 主蒸気・再熱700°C級、二段再熱

◆ 実用化・事業化に向けた戦略 技術の段階的導入

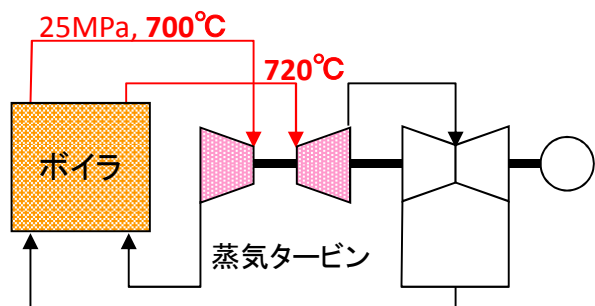
① 再熱のみ700°C級、一段再熱



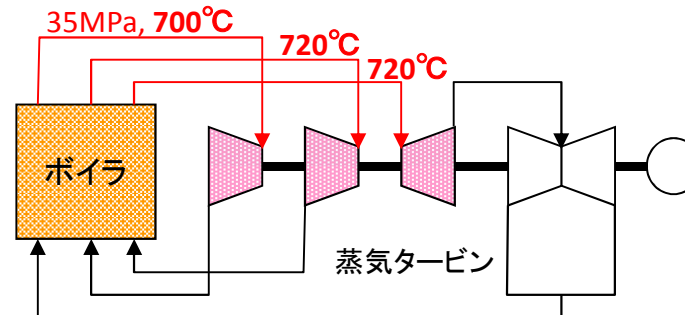
③ 再熱のみ700°C級、二段再熱



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



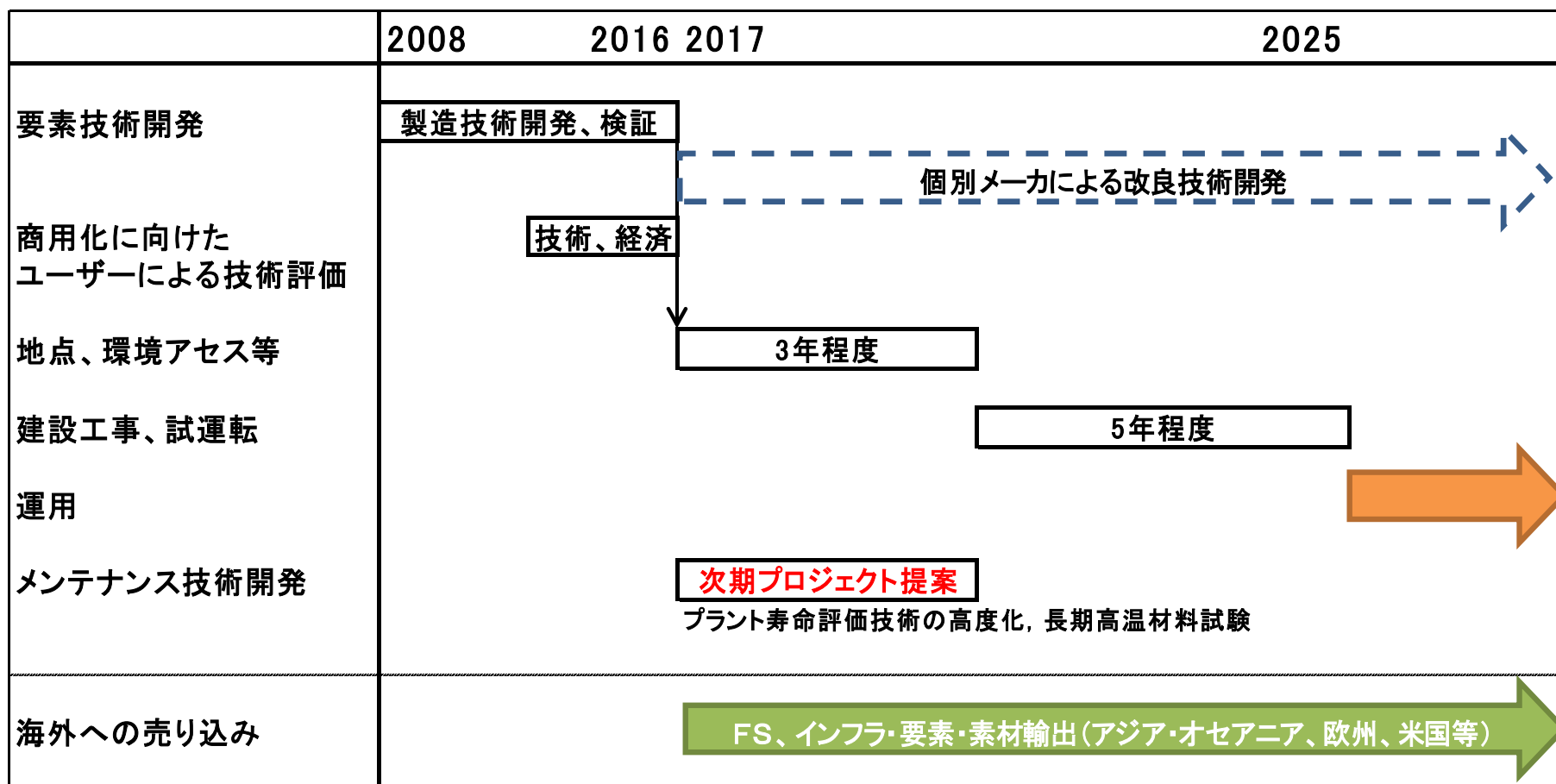
■ A-USCは主蒸気温度、圧力、再熱蒸気温度の設定に自由度がある

— 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り組み及び見通し (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み  
 成果の実用化・事業化の見通し

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

◆ 成果の実用化・事業化の見通し



## ◆ 実用化に対する課題と今後の方針

- プラント寿命評価技術の高度化(次期プロジェクト提案)
  - 現行プロジェクトの完了によりA-USCの導入判断が可能となるが、プラント寿命評価技術の高度化により、将来の実機運開後のメンテナンスコスト削減を図る。発電単価を低減するとともに、海外展開の促進に寄与する。
    - 代表的な部品、例えば大径管など、について実機大の試験体により長期破壊試験を行い、経年的な劣化状態を早期に把握する。
- 海外市場への売り込み
  - 日本企業が海外市場(アジア・オセアニア、欧州、北米)へA-USC発電プラント、素材を技術流出を防ぎつつ輸出する。
    - 輸入国へのファイナンス支援(ODA、JBIC等の活用)