

「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

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

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
理事長 古川 一夫 殿

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 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「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

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

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
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	
3. 評点結果	1-15
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料 1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料 2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料 3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の事後評価報告書であり、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）分科会において評価報告書案を策定し、第50回研究評価委員会（平成29年3月13日）に諮り、確定されたものである。

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

審議経過

● 分科会（平成28年10月25日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他
10. 閉会

● 現地調査会（平成28年10月7日）

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

● 第50回研究評価委員会（平成29年3月13日）

「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 いきむ 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

評価概要

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℃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ースはもとより、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。

研究評価委員会委員名簿

(平成29年3月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長／教授 研究院／副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 兼 社会経済研究所 副研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (Hi-Mat) 専務理事
	いなば ようじ 稲葉 陽二	日本大学 法学部／大学院 法学研究科 教授
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授／シニア教授
	ごないかわひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくまいちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 附属医療福祉工学開発評価研究センター センター長／教授
	さとう りょうへい 佐藤 了平	大阪大学 産学連携本部 名誉教授／特任教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 教授
	ひらお まさひろ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第50回研究評価委員会（平成29年3月13日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

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℃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。

〈肯定的意見〉

- ・ 実用化プラントの建設に向けて要素研究、実缶試験が着実に進捗しており、METI の策定した次世代火力技術ロードマップに沿ったスケジュールで要素技術確立が見込まれること、回転試験を除く全ての研究開発項目について目標を達成していることから、大いに評価できる。
- ・ なお、プラントスタイルの技術開発の評価において、現地見学会の実施は、有効かつ有意義と言える。
- ・ 火力発電の高効率化は、エネルギーの 3E（Energy Security、Economic Efficiency、Environment）を同時達成する上で最も有効な技術である。
- ・ 2030 年のエネルギーミックスが策定され、それを実現するための次世代火力ロードマップに A-USC の実用化が明記されているが、それは本事業の着実な進捗によるところが大きい。
- ・ 先進超々臨界圧火力発電技術（A-USC）は、タービン入口における蒸気温度を従来よりも 100℃程度高い 700℃まで高め、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る。この A-USC は、我が国の長期のエネルギーセキュリティの確保と環境保全の問題を解決する重要な技術課題の一つであり、積極的に推進すべき事業である。

本 A-USC 発電実用化要素技術開発プロジェクトは、蒸気タービン入り口温度を 700℃まで高めるために、高温下で使用できるボイラ、タービン、付属弁類の材料開発及び要素技術開発を目的としている。2008 年～2016 年の 9 年間の研究内容は、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（高温弁も含む）からなり、現在までにこれらの技術開発を概ね完了している。回転試験が若干遅れているものの、プロジェクト全体の目標である「2020年以降において商用プラントでの送電端熱効率46%を達成する技術的見通しを得る」ことに、ほぼ成功している。

このように、今後早ければ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。そのためにも、次期プロジェクトを早急に立ち上げ、プラント寿命評価技術の高度化、長期高温材料試験などを行い、将来の実機運用開始後のメンテナンスコストの削減、発電単価の低減を図り、A-USCプラントの経済性を一層高める努力が望まれる。

- ・ A-USCプラント実用化の見通しを得るための開発目標・課題設定および開発スケジュールは、我国の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、本プロジェクトの成果により、欧米をリードできたことは評価に値する。
- ・ 一部の試験について進捗の遅れはあるものの、総合的に判断して当初の計画にそって試験が行われ、有意義な成果が得られていると判断できる。
- ・ 幅広い分野の構成で、しかも、場合に依っては競合関係にもなる実施機関構成で、A-USCに向けた事業を展開されたことは大いに評価したい。本事業の方向は「既存の火力機器を使用しつつ、A-USCに置き換える構想をサポートすること」にあると判断したが、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も評価したい。回転体に対し、Ni基の材料を部分的に使うとする構想は一つの社会的方向性を目指すものとして評価したい。今後、検査のやり易さ、保守管理、余寿命予測する展開が不可欠と思われる。
- ・ 既設設備の一部更新を行い、蒸気タービン入口温度を700℃に高め、熱効率を46%達成して、CO2排出量削減に対する試みは非常に良い企画だと思います。

〈改善すべき点〉

- ・ タービンロータの実缶回転試験に遅れが生じている。溶接ロータという画期的なアイデアが採用されているが、実績がないので回転試験による性能確認は重要なアイテムである。遅れの原因は判明していると云うことなので、早急を実施して、要素技術を検証されたい。
- ・ 本事業の出口を見据えた時、今後は信頼性保証をどう進めるかがキーポイントになってくると考えるが、その方向性に対して、全機関が一丸となってこの方向性を目指して活動していることを示す事前検討結果と具体的成果の公表が2016年度にあれば良かった。

〈今後に対する提言〉

- ・ 早い段階で A-USC に対するユーザーの信頼が得られるよう、引き続き次フェーズ以降の技術開発計画を進めていただきたい。特に、次期プロジェクトに予定されている保守技術開発はユーザーとしても期待するものと言える。
- ・ 分科会(10/25)時に説明のあった、本事業にて要素技術を開発した 700℃蒸気の GTCC のボトムへの適用については、本事業とは別の技術開発として、取り組む価値がある可能性があると思われる。
- ・ 蒸気タービン入口温度が今後、さらに上昇することも考えられ、このような技術開発をさらに進めていただきたいし、これらに伴う基礎研究も行っていたいただきたいと思う。
- ・ タービンケーシングの蒸気漏れの原因について、温度変動の許容値などについて詳細な調査が望まれる。
- ・ 研究のための研究に終わらないためには、今後の研究開発が重要だと思われる。取得したデータの分析・評価、それに基づく材料強度基準の策定、設計手法の改良はもとより、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。そのためには、学界およびユーザーとしての電力会社を交えて、広く日本の英知を集める必要があると思われる。
- ・ 最終的出口である二酸化炭素排出低減とコスト削減という矛盾する課題に対し、4 つのシステム選択の自由度として検討された事は評価する。その際の、「設定の自由度」の背景、今後想定される維持費や信頼度などとの関連性で総合的に明示されておれば、さらに良かった。信頼性保証と寿命管理の際、機器ごとに種々の破壊モードがあると予想され、それらモードにより検査手法や手法等が異なると思われるので、それらを予め交通整理された上で事業展開される事を望みたい。特に、内部破損を伴う破壊事象に対しては明確な指針設定が必要と思われる。
- ・ 研究開発当初に比べ FIT の導入による自然変動電源の大量導入等、電力を取巻く状況は大きく変化している。今後、火力発電に期待される電力系統の調整力としての運用についても考慮し、早期の実証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。

〈肯定的意見〉

- ・ 欧米をはじめ各国において、材料開発を含め先進超々臨界圧火力発電技術の開発が盛んに行われてきており、発電効率の改善を行い、CO₂ 排出量削減を求めることは非常に重要と考える。また、既設の設備を利用しつつ、蒸気温度の高温化は有意義なことと思う。
- ・ 一民間企業のみでは達成できないでしょうし、公共性は非常に高いと考えます。
- ・ 発電効率の向上は、単に経済的効果だけでなく地球環境にも関わる重要課題であり、積極的に推進すべき事業として位置づけられる。また、単独の企業や産業界だけで実施するには困難な課題でもあり、NEDO の事業として展開すべき事業である。
- ・ CO₂ 排出量削減は国を挙げて取り組むべき課題と考えられ、本事業は従来より高い発電効率により、CO₂ 削減に貢献できるとともに、事業化により国内外での需要が見込まれれば、投じた研究開発費よりも大きな効果が期待できる。
- ・ 国際的な高効率化競争が始まっている中、多額の費用が必要かつ長期にわたる研究開発である。また、国際競争力の強化および国際貢献度の高い研究であり公共性が高いことから、NEDO の関与が必要であると考えられる。
- ・ ヨーロッパやアメリカでは、すでに 2020 年頃を目途とした A-USC に関する研究開発プロジェクトを推進している。インドや中国でも研究を始めている。これまで世界をリードしてきた我が国の USC 技術 (蒸気温度 600°C) に替わる A-USC 技術を速やかに開発して、火力発電分野の国際競争力を維持・拡大する努力が必要である。
- ・ 現在稼働中の初期の石炭火力発電プラントは、すでに 30 年以上の運転を経ており、2020 年頃から更新が本格的になると考えられている。A-USC 技術をこのようなプラントの更新に用いれば、熱効率を向上でき、二酸化炭素排出量を削減できる。基本システム構成が既設のプラントと同じであるため、既設設備の大幅な流用が可能となり、経済的な更新が期待できる。
- ・ さらに、我が国のみならず、今後、エネルギー需要の伸びが大きな東南アジアなどの途上国でも、従来技術の延長線上にある A-USC 技術は歓迎され、地域の二酸化炭素

排出量の削減に寄与すると考えられる。その意味で、これは国際協力・国際貢献の面からも有用な技術であるといえる。このように、次世代の火力発電として有望な A-USC プラントの開発を目指す本事業の目的は、極めて妥当である。

- ・ 本開発は A-USC の実用化に向け、基盤技術開発、要素技術開発から検証試験までを網羅するものであり、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ため、NEDO の関与が不可欠である。A-USC プラント開発が進めば、火力発電設備メーカーの海外競争力の強化にも貢献する。
- ・ 費用対効果については、これまでのプロジェクト費用総額 130 億円（補助額 87 億円）に対して、マーケットの規模が、海外市場 1 兆円/年、国内市場 5760 億円/年と見積もられている。今後の後継プロジェクトの推進のために、費用の増額が見込まれるものの、費用対効果は十分高いといえる。
- ・ さらに、二酸化炭素排出量削減効果も、3875（万 t CO₂/年）以上であると見積もられている。このように、これはエネルギーの安定供給と環境保全に資する社会性・公共性の高い開発プロジェクトであり、NEDO の事業として妥当である。
- ・ 世界的に環境問題が叫ばれ、CO₂ 削減が優先課題である今日、本プロジェクトの重要性は容易に理解できる。ただ、石炭火力の発電効率向上に関しては、石炭ガス化（IGCC）が先行しており、世間の認知度も高いため、如何に、これと差別化するかが問題であった。これに対して、“経年火力の更新をターゲットとする”と云うアイデアは、既存設備の有効利用という観点から魅力的であり、評価できる。
USC プラントで世界をリードする日本が、いち早く A-USC プラントの技術を確立できる可能性は高く、国内における既存設備のリプレースはもとより、他の先進国や新興国のインフラ整備に向けてのビジネスチャンスは広がることを期待できるため、国（NEDO）のプロジェクトとして妥当である。
- ・ 「既存の火力機器を使用しつつ、A-USC に置き換える構想をサポートすること」は工業的ニーズは高く、技術的にも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を高く評価したい。
幅広い分野の構成で、しかも、場合に依っては競合同士にもなる実施機関構成で、A-USC に向けた事業を展開されたことも評価したい。
- ・ 火力の高効率化⇨蒸気条件の高温・高圧化技術は、ボイラ、タービン、配管、弁等の多くのメーカーおよび素材メーカーの協力が不可欠である。
個社としての実施が困難であることから、NEDO 事業とする意義は大きい。

〈改善すべき点〉

- ・ 長時間に渡るデータ等を取得された事は大いに評価できる一方で、それらデータを処理する際のばらつき（ある意味においては信頼性そのもの）に対する配慮が欲しい。
- ・ 地球温暖化対策に資する技術ではあるが、その動向によって事業性に大きな影響がある。

- ・ 国内外の政策動向との整合については、NEDO および国がリーダーシップを発揮してもらいたい。

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。

(1) 研究開発目標の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ USC の効率水準を上回る発電ユニットの実現に必要な各材料の長期信頼性評価を目標として設定しており、適切な目標であると考ええる。
- ・ 欧米はもとより、中国、インド、韓国などでも、火力発電の熱効率向上と CO₂ 排出量削減を目指して、A-USC プラントの開発研究を実施している。また、東南アジア等の海外市場のみならず、国内市場においても、経年劣化した既設のプラントのリプレースの必要性から次世代火力発電への期待が大きい。この意味でも、2020 年以降において商用プラントでの送電端熱効率 46%達成の技術的見通しを得ようとする本研究開発の目標は妥当である。
- ・ 欧米をはじめ各国で蒸気タービン入り口温度が 700℃級の火力発電についての研究がされており、研究開発目標は妥当と思われる。

(2) 研究開発計画の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 本プロジェクトは、2008-2016 年の 9 年間で、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おうとする計画である。開発スケジュールおよび研究開発費は妥当であり、優れた研究開発計画である。
- ・ 9 年で A-USC プラントの実用化の見通しを得るというターゲットに対して、開発テーマ（設計技術、材料開発、材料加工・製造技術、実缶試験等）およびスケジュールは妥当であり、評価できる。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る。

〈改善すべき点〉

- ・ 三十万時間程度、利用するには実証時間が一万数千時間では短いように思う。

〈今後に対する提言〉

- ・ 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、本研究の主体に加えて国および発電事業者間で共通の認識を持つ必要がある。(火力発電の比率、運用パターン、経済性、CCSの活用やカーボンプライシングのあり方等)
- ・ 本事業の出口を見据えた時、今後は信頼性保証をどう進めるかがキーポイントになってくると考えるが、その方向性に対して、全機関が一丸となってこの方向性を目指して活動していることを示す事前検討結果と具体的成果の公表があれば良かった。
- ・ それぞれの破損モードに対して、長時間に渡るデータ等を取得された事は大いに評価できる一方で、それらデータを処理する際のばらつき(ある意味においては信頼性そのもの)に対する配慮を切望する。
- ・ できれば、長時間側の実験あるいは実証データが必要ではないか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 現状の技術力、研究を踏まえ、最善を尽くしたものと思われる。
- ・ ボイラ、タービン、配管、弁等とパート毎に研究開発を進めることにより、限られた期間で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。
- ・ より成果が上がるような役割分担が、主要メーカーおよび研究機関が連携することで実現できていることから、技術力及び事業化能力を発揮できていると考える。
- ・ 本研究開発は、オール日本の実施体制で行われ、各実施者・実施企業はこれまで培ってきた技術力を発揮している。PLのリーダーシップのもと、研究が順調に進捗している。実施者間の連携も、ボイラ分科会、タービン分科会、バルブ分科会、実缶試験分科会を通して行われており、実施体制は良好である。

〈改善すべき点〉

- ・ 研究開発体制はボイラ・タービンメーカーが主体であり、ユーザーである電力および大学が参加しておらず、産学官の協力体制が整っていない。広く、日本の英知を集めるべきである。

〈今後に対する提言〉

- ・ A-USC 実用化のために、ユーザーである電力会社のニーズを取込むことが不可欠である。
- ・ 本プロジェクトで取得した材料データの分析・評価に関しては大学の参加が望まれる。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ ロータ回転試験の若干の遅れはあるものの、他の研究開発項目は概ね順調に進捗している。中間評価への対応も比較的良好であり、妥当な進捗管理が行われている。

- ・ PLを中心として、研究は系統的かつ効率的に遂行されており、マネジメントについて全く問題は無い。
- ・ 最終的出口である二酸化炭素排出低減とコスト削減という矛盾する課題に対し、4つのシステム選択の自由度として検討された事を評価する。機器ごとに、新素材の開発を含めて、総合的に実行された事も評価したい。

〈改善すべき点〉

- ・ 4つのシステム選択の自由度として検討された際、「設定の自由度」の背景、今後想定される維持費や信頼度などとの関連性で総合的に明示されておれば、さらに良かった。
- ・ 圧力、流量など実機とは異なる点について、より詳細な評価説明が必要。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 知的財産等に関する戦略は妥当である。また、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ことも評価する。

〈今後に対する提言〉

- ・ 海外市場への売り込みに当たり、技術流出を防ぎつつ販路を拡大するために、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。

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

〈肯定的意見〉

- ・ 総合的に判断して、研究は計画通りに実施されており、当初予定していた通りの成果が得られていると判断できる。
- ・ 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（効率、経済性、信頼性）にも適用できる貴重なデータである。
- ・ 回転試験を除き、概ね研究開発成果と認めることができると思う。
- ・ 研究開発項目の中で、システム設計、設計技術開発、ボイラ要素技術開発およびタービン要素技術開発、高温弁要素技術開発、実缶試験について、目標をほぼ達成している。例えば、各種のボイラ用候補材料、タービン用候補材料の 700℃、10 万時間の信頼性をクリープ試験から確認している。実缶試験も当初予定の 1 万時間を達成している。この外、大径管・小径管の溶接、曲げ加工などの製造・加工技術を開発している。水蒸気酸化、高温腐食、疲労などの材料の諸特性についても調べ、有用な知見を得ている。これらは、各実施者・実施企業の独自の技術に基づいて開発された優れた成果である。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する。
- ・ 材料開発から機器の製造技術まで、研究開発目標は、ほぼ達成され、A-USC プラントの実用化に関して大きな不安要因がないという見通しを得たことは評価できる。
- ・ 日本は欧米に先行されたが、本プロジェクトの成果によって、同等もしくは一歩リードしたと思われる。特に、A-USC プラント実用化の成否を左右すると思われる大径管の製造技術等でリードしたと思われる。
- ・ 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。

- ・ 候補材料について、長期材料評価試験および実缶試験により信頼性を確認できており、材料開発に必要な技術について目標を達成している。
- ・ 長時間に渡るデータ等を取得された事は大いに評価できる。溶接ロータの試作をされたのは多いに評価したい。

〈改善すべき点〉

- ・ まだ、十分な結果が得られていない回転試験の検討が必要かと考えます。
- ・ 取得されたデータを解析する際のばらつき（ある意味においては信頼性そのもの）に対する配慮が欲しい。
- ・ 基礎的なデータが十分に取得できたことは評価できるが、9年間のプロジェクトとしては、より実機運用を想定した課題（例えば、材料の長時間時効や熱疲労評価）にも取り組めたのではないと思われる。
- ・ 長時間強度外挿法など材料データの分析・評価が十分でないように思われる。

〈今後に対する提言〉

- ・ 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、異種材料の接合など新たに取り組むべき課題もあるため慎重な対応が望まれる。計画通りの研究の進捗も重要であるが、回転試験はタービンの安全性という観点から最も重要な試験であるため、接合部の組織の経年変化などを対象とした基礎的な研究も期待したい。
- ・ ロータ回転試験は現在実施中であり、計画より少し遅れているが、慌てずに信頼性のあるデータを採取して欲しい。
- ・ 実用化のために、実機運用を想定した課題を抽出し、取り組んで欲しい。
- ・ 開発ロータには、高クロム耐熱鋼（MTR10A）とニッケル基合金(LTES700R)の異材溶接が実施されている（研究項目のタービン要素技術開発および回転試験を参照）。異材溶接はヨーロッパや米国のロータでも採用されているが、この異材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ほしい。また、既に十分に検討されたこととは思うが、高クロム耐熱鋼との異材溶接に最も適したニッケル基合金を選択すること、あるいは高クロム耐熱鋼の組成（例：ホウ素(B)）を少し変えて、鋼の溶接熱影響部近傍に現れるいわゆるタイプ IV 的な破壊を抑制することが考えられるかもしれない。しかし、これはあくまで一つの参考意見であり、現開発ロータの良否についての判断は、現在実施中のロータ回転試験の結果を待ちたい。
- ・ 現在のところ不明であるが、将来、石炭ガス化複合発電（IGCC）が、ベース供給電源として使われ、日々の負荷変動に対応するのは専ら A-USC 発電になるのかもしれない。そのような場合には、毎日のシステムの温度の繰り返し上下変動に伴う材料の熱疲労が問題になるので、熱疲労特性についても今後詳しく調べる必要があるのかもしれない。
- ・ 今後、より長時間実施して、多くのデータ取得を望む。

(2) 成果の普及

〈肯定的意見〉

- ・ 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、一般に情報発信したと思う。
- ・ 論文（6件）、学会発表・講演（157件）、新聞・雑誌発表（34件）が適切に行われている。この外、報告会、講演会、見学会なども実施し、一般に向けての情報発信に努めている。

〈改善すべき点〉

- ・ 実機との違い、それに対応する評価について丁寧な説明が必要。

〈今後に対する提言〉

- ・ 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。
- ・ 「既存の火力機器を使用しつつ、A-USCに置き換える構想」をサポートすることにあるので、今後、検査のやり易さ、保守管理、余寿命する展開が不可欠と思われる。これまでに公表された成果などにおいて、どのような課題が想定され、それを意識した時にどの方向を目ざすのかなどについて、具体的情報発信があれば良い。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取り組み

〈肯定的意見〉

- ・ 国内外へ知的財産権の登録・公開（45件）を適切に行っている。
- ・ 国内外の特許出願し、知的財産権等の確保に向けた取り組みを行ったものと思う。

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。

〈肯定的意見〉

- ・ 実用化に向けたロードマップが建設工事・試運転および運転開始後に必要となる寿命評価技術の開発を含めて明確に作成されている。現時点での成果のアウトプットからすれば、実用化に対し十分期待できると考える。
- ・ 実用化に向けた取組として、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明確かつ合理的で評価できる。
- ・ A-USCプラント実用化の見通しを得ると云う目標は達成できたと思われる。
- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当と考えます。
- ・ 本プロジェクトでは、2016年度に技術開発を完了し、早ければ2025年頃に大型機の商用実証を目指している。技術の段階的な導入を図ってA-USC発電プラントの実績を重ねつつ、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。
- ・ 成果の実用化に向けた具体的取り組みは十分と思います。
- ・ 具体的な次期プロジェクト(案)が考えられていて、プラント寿命評価技術の高度化、長期高温材料試験が計画されている。例えば、代表的な部品（例：大径管）について実機大の試験体を用いて長期破壊試験を行い、経年的な劣化状態を把握することが計画されている。そして部品を改良することによって、将来の実機プラントのメンテナンスコストの削減を図り、発電単価を低減させることを目指している。本研究成果に基づく次期プロジェクト(案)の研究展開は、商用のA-USCプラント実現への鍵を握っている。
- ・ 将来、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、素材を輸出することも可能である。そのためにも、次期プロジェクトを早急に立ち上げていただきたい。
- ・ 長時間に渡るデータ等を取得された事は大いに評価できる。溶接ロータの試作をされたことも多いに評価したい。
- ・ 成果の実用化の見通しはあると考えます。

- ・ 実用化に向けた実機試験の第一段階として十分な成果が得られていると判断できる。
- ・ 各パーツの要素技術が出揃い、次のステップの実証機へ進むべき。

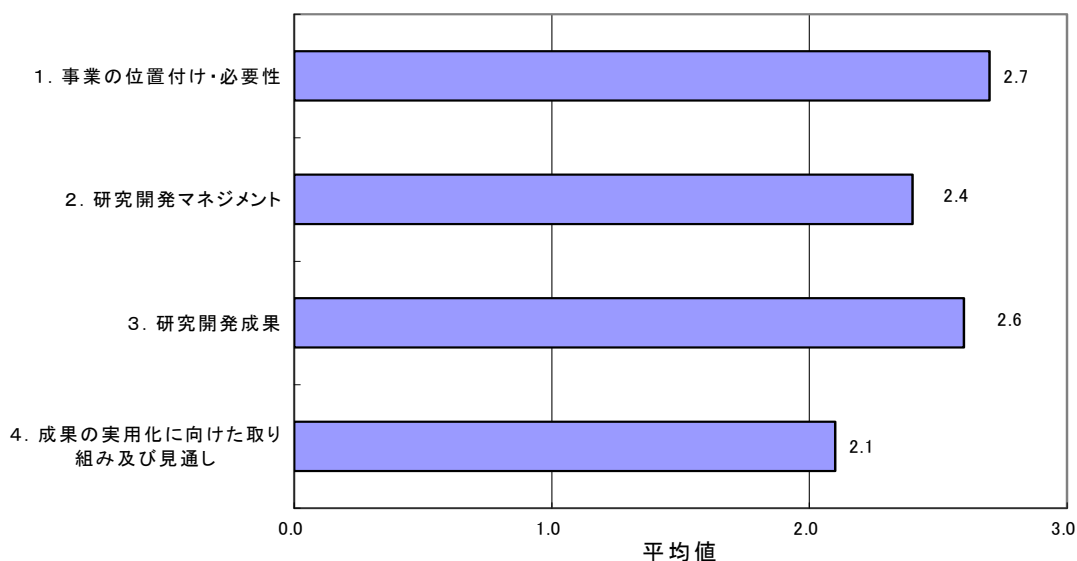
〈改善すべき点〉

- ・ まだ試作品の段階なので、これを提供して社会的利用を促すためには、今後の研究開発が重要であるが、提案された次期プロジェクトの目標および内容が明確ではない。
- ・ 2015～2016年の成果公表の推移が気になった。特に、「既存の火力機器を使用しつつ、A-USCに置き換える構想をサポートすること」にあるのであれば、その方向を目指したときの事前検討がどのようなものであるかなどについての具体的成果公表があれば良かった。
- ・ USCの実用化にはユーザーである電力会社の視点（ニーズ）が欠かせないが、これまでの取組では不十分だと思われる。
- ・ 回転試験は成果が明確ではなく、今後に期待したい。
- ・ メーカー主体の体制では、事業性の評価について十分とは言えない。

〈今後に対する提言〉

- ・ 各技術開発についてより長時間の試験を行うことが必要と思います。また、長時間側の金属組織の変化について検討をしていただきたいと考えます。
- ・ 早期の実用化のためには、部分適用の考え方も排除せずに開発を継続することが重要。
- ・ これまでのUSCプラントの運用経験等を生かし、実機運用で想定される課題を抽出し、次期プロジェクトで検討することが望ましい。そのためには、産学からの経験や知識を吸収する必要があると思われる。
- ・ 既存の経年火力のリプレースに関連して、技術の段階的導入についても具体的な取り組みのロードマップを作成しつつ、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。
- ・ 信頼性保証と寿命管理の際、機器ごとに種々の破壊モードがあると予想され、それらモードにより検査手法等が異なると思われるので、それらを交通整理される事を望みたい。特に、破壊モードに内部破損を伴う事象に対しては明確な指針が必要と思われる。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
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 |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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」

事業原簿

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------------

—目次—

概要.....	1
プロジェクト用語集.....	5
1. 事業の位置付け・必要性について.....	6
1. 事業の背景・目的・位置づけ.....	6
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	7
2.1 NEDO が関与することの意義.....	7
2.2 実施の効果（費用対効果）.....	8
2. 研究開発マネジメントについて.....	10
1. 事業の目標.....	10
2. 事業の計画内容.....	10
2.1 研究開発の内容.....	10
2.2 研究開発の実施体制.....	13
2.3 研究開発の運営管理.....	14
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性.....	15
3. 情勢変化への対応.....	16
4. 中間評価結果への対応.....	17
5. 評価に関する事項.....	17
3. 研究開発成果について.....	22
1. 事業全体の成果.....	22
2. 研究開発項目毎の成果.....	23
4. 実用化・事業化に向けての見通し 及び取り組みについて.....	50
1. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	50

(添付資料)

- ・プロジェクト基本計画..... 添付 1
- ・特許論文等リスト..... 添付 2
- ・事前評価関連資料（技術評価報告書）..... 添付 3

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	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
			H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28		
事業の計画 内容	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									
				高温長期材料試験(3～7万時間)									
		材料製造性検証	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	<p>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</p> <p>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</p>

プロジェクト用語集

名 称	略 号	意 味
高位発熱量		高位発熱量もしくは総発熱量は、燃焼後の生成物を燃焼前の温度に戻し、生成した水蒸気がすべて凝縮した場合の発熱量である。燃焼で生成された水が液体で存在するような一般的な温度で燃焼反応のエンタルピー変化を想定しているため、総発熱量は燃焼熱に等しい値となる。熱量計で測定される熱量は高位発熱量である。
再熱蒸気		超高圧または高圧タービンで仕事をした後、再度ボイラで過熱された蒸気であり、再度タービンで仕事をする。
主蒸気		ボイラで発生する最高圧力、最高温度の蒸気
石炭		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間高い地圧と地熱などによる加圧、乾留などの作用を受けて変質した可燃性固体。 火力発電などに用いられる石炭は、製鉄業でコークス用に用いられる原料炭と区別して一般炭と呼ばれる。 一般に、発熱量 4,000kcal/kg 以下、湿分と水分の合計が 30%以上、灰分 40%以上の、揮発分 10%以下のものは低品位炭と呼ばれる（火力原子力発電技術協会 纂：火力発電用語辞典より）。
先進超々臨界圧汽力発電	A-USC	蒸気温度 700℃以上の超臨界圧汽力発電
送電端出力		発電機出力—所内動力
タービン		蒸気の流れによってロータと羽根とが組み合わされたものが回転し、連続的にパワーを生み出す機械のこと。
超々臨界圧汽力発電	USC	蒸気温度 593℃以上の超臨界圧汽力発電
熱効率		電気出力／投入熱量
弁		管などのように閉じた流路を流れる流体に対し、流路の一部の断面積を可変とし、圧力、流量、流路などを制御する装置。バルブ。
ボイラ		ボイラは、燃料を燃焼させて得た熱を水に伝え、水蒸気や温水（＝湯）に換える熱交換装置を持った熱源機器である。

1. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

日本国内においては1973年の石油危機以後、一次エネルギーのベストミックスを指向するなかで石炭火力発電所の建設が進み、設備容量は現在35GW程度、発電電力量で25%程度まで拡大してきた。一方、東日本大震災により原子力発電への懸念が生じ、発電用一次エネルギーにおける天然ガス、石炭等の化石燃料の位置づけが高まった。2012年には火力発電は国内の全発電電力量の約90%を供給した。特に、天然ガス、石油火力の伸びは著しく、燃料価格の上昇と相まって、日本の貿易収支が赤字になるほどのインパクトを与えている。そのような状況下比較的価格が低く、かつ供給が安定している石炭火力に注目が集まっている。しかしながら、石炭火力発電は他の発電方法に比べて単位電力量あたりの二酸化炭素排出量が多く、地球温暖化問題への対応が強く迫られている。

上記のような状況下、2014年4月に東日本大震災の経験を踏まえた新しい「エネルギー基本計画」が閣議決定された。ここでエネルギー政策の基本的視点（3E+S）が示され、「安全性（Safety）を前提とした上で、エネルギーの安定供給（Energy Security）を第一とし、経済効率性の向上（Economic Efficiency）による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合（Environment）を図るため、最大限の取組を行うことである。」としている。これを受け、2015年7月には「長期エネルギー需給見通し」が決定され、2030年における電源構成の見込みが図1のように示されている²⁾。太陽光、風力、バイオマスといった再生可能エネルギーが増え、原子力が2割程度を占めている。火力を見ると、石油が減少しているが、LNG、石炭ともに震災前と同程度の割合になっている。この前提としては、LNG火力、石炭火力の熱効率向上による二酸化炭素の排出量の削減がある。

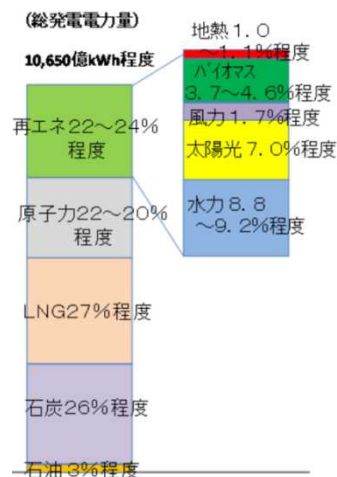


図1 2030年における電源構成の見込み

A-USC（先進超々臨界圧火力発電技術）は石炭火力の熱効率を向上させて二酸化炭素排出の削減を目指した技術である。現在の石炭火力発電所はほとんど全てがボイラと蒸気タービンを組み合わせた汽力発電技術を採用しており、A-USCもその一種である。A-USCは熱効率を大幅に向上するために蒸気タービン入口における蒸気温度を従来よりも100℃程度高い700℃まで高めようとしている（図2）。そのためには高温で使用できる材料の開発、さらに材料に適した溶接や加工等の製造技術開発が必要である。

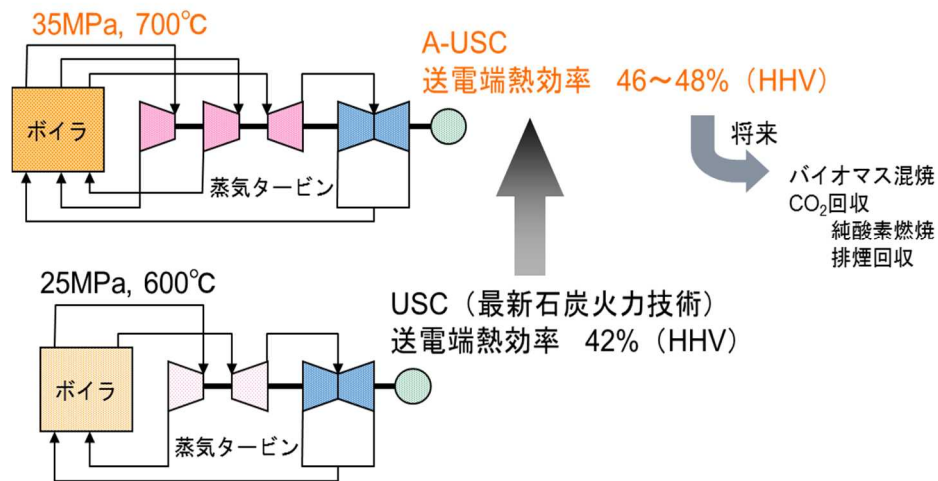


図2 A-USCの目標

2002年4月から2004年3月にかけて日本機械学会「P-SCD338 石炭利用発電の高効率化技術に関する調査研究分科会」において、A-USCについて基礎的な検討がなされた。その中では、A-USCの発電コストを従来並にするための目標コストやタービン、ボイラの開発課題の概要等が得られた。そして、従来の汽力発電、USC技術の延長上の技術であり、高い信頼性が期待できるA-USCは石炭利用技術の中で重要な位置付けであり、今後A-USCの技術開発を推進すべきであると提言がなされた。それを受けて2005年度にエネルギー総合工学研究所で自主研究「次世代超々臨界圧プラント（A-USC）技術開発 経年石炭火力発電所の高効率化とそれに伴う二酸化炭素排出削減研究」が実施され、経年石炭火力発電所の更新、改修にA-USC技術を適用すると経済性、環境性の面から効果的であることが示された。

本開発はA-USCの実用化に向け、基礎技術開発、要素技術開発から検証試験までを網羅するものであり、基礎的、要素的、実証的検討を行うとともに、商用化に必要な材料の規格化に資する検証を行い、その位置づけは明確と考えられる。

2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDOが関与することの意義

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる必要があり、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。しかし、本技術は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ことからNEDOの関与が必要不可欠である。

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により700℃以上の蒸気温度を達成できる先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発（A-USC）の実現可能性が見えてきた。

本事業では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、高い発電効率を実現できるA-USCの開発を行う。

2.2 実施の効果（費用対効果）

①プロジェクト費用の総額 130 億円（補助額 87 億円）

②マーケットの現状及び将来の規模

表 1 に示すように World Energy Outlook2014 によれば、国内メーカーが主戦場とする東南アジアで年間 5～7GW の新設案件がある。東南アジア以外にも若干入るとして、将来的には海外で年間 10GW 程度の A-USC の市場が見込める。

一方、日本国内では 1980 年から 2000 年までの間に 30GW 程度の石炭火力容量が増加している。年平均では 1.5GW 程度になる。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、将来的には国内で年間 2GW 程度の A-USC の市場が見込める。

故に、国内外では将来的にはで年間 12GW 程度の市場が見込める。

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

表 1 OECD 以外のアジアにおける将来新設石炭火力容量

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	

③海外市場における年間販売額

市場規模は 10GW/年程度なので、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 を適用し、現状の日本メーカーシェアである 36%程度を維持すると仮定すると

$$\text{日本企業の年間販売額} = 10\text{GW/年} \times 28.8 \text{ 万円/kW} \times 36\% = 1 \text{ 兆円/年}$$

④国内市場における年間販売額

市場規模は 2GW/年程度なので、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 を適用し、現状の日本メーカーシェアである 100%程度を維持すると仮定すると

$$\text{日本企業の年間販売額} = 2\text{GW/年} \times 28.8 \text{ 万円/kW} \times 100\% = 5760 \text{ 億円/年}$$

⑤二酸化炭素排出量削減効果

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】を踏襲する。

【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

A-USC は最新の USC に対して 10%以上の熱効率向上なので

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

$$\begin{aligned} \text{年間の二酸化炭素削減量} &= 1550 \times (0.864 - 0.729) / (0.864 - 0.810) \\ &= 3875 \text{ (万 tCO}_2\text{/年) 以上} \end{aligned}$$

2. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1.1 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。

1.2 中間目標

事業の前半5年間で材料、製造技術等の要素技術開発を完了する。

1.3 目標を選んだ根拠

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」における次世代火力発電技術の早期確立、実用化を図るため。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

9年間の事業期間中、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27年度は第(2)～(5)項の開発を行う。マスタースケジュールを図1に示す。

		2008 H20	2009 H21	2010 H22	2011 H23	2012 H24	2013 H25	2014 H26	2015 H27	2016 H28	2017以降	
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									
			高温長期材料試験(3~7万時間)									
		材料製造性検証	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				

図3 全体工程

予算の推移を表 2 に示す。

表 2 予算の推移

単位: 百万円

年度	ボイラ (実価試験含む)	タービン (回転試験、実価試験含む)	弁 (実価試験含む)	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
平成28年度は助成事業に要する費用予算額

以下、項目ごとの実施内容と詳細目標を示す。

(1) システム設計、設計技術開発

ボイラ本体構造について従来の USC ボイラ技術をもとに信頼性に配慮した設計手法の再構築を図るとともに、経済性向上に向けた新構造等のブレークスルーを検討する。また、タービンについても耐熱性が高いが高価な Ni 基合金の使用量を抑制するような構造について検討を行う。さらに、ボイラおよびタービンシステムの試設計（ヒートバランス、配置計画等）を行い、A-USC の経済性を検討する。

目標： 経済性を含めたシステム成立の見通しを得る。

高位発熱量基準送電端熱効率が 46%以上であることを確認

(2) ボイラ要素技術開発

700℃超級先進超々臨界圧火力発電用ボイラの実用化のためには、要素技術として①ボイラ材料、②ボイラ構造、③ボイラ製造技術の 3 分野での開発が必要となる。①ボイラ材料では、650℃以上の部位に Fe-Ni 基合金や Ni 基合金が有望と考えられる。また 650℃以下の部位への適用を目的とした改良フェライト鋼の検討は、高価な Ni 基材料を代替することで、経済性向上に寄与するものである。これらをボイラの各種管材へ適用するにあたっては、各種材料特性把握及び製造性評価、更に長時間信頼性の検証等が重要な課題となる。②ボイラ構造では、必要伝熱面積の増加に伴い、経済性を考慮した伝熱面配置の最適化を検討する。また 700℃超条

件化で作動する弁についても検討が必要である。③ボイラ製造技術では、厚肉大径管の曲げ加工技術の確立とともに、溶接技術については、各社製造法による溶接継手の長時間信頼性を含めた継手特性の検討を実施する。さらに750℃級システム向けの各種管材料について評価する。

目標：10万時間、750℃で90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

10万時間、750℃で60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

10万時間、700℃で90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

10万時間、650℃で80MPa以上のクリープ強度と継ぎ手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発

実缶試験による700℃条件化での配管・弁等ボイラ構成機器の信頼性の確認

(3) タービン要素技術開発

材料面ではNi基大型ロータ材料の開発を進める。小型溶解材での確認試験の段階から大型材料での製造性検証の段階に入りつつあり、今後実機大ロータを試作し、長期材料強度試験を実施する。大型車室、主要弁のケーシング鑄造材料についても基礎的な研究が進められており、ロータ同様実機大の部材の試作を行い、長期材料強度試験を実施する。さらに、ロータ等の冷却、シール技術についても検討する。

目標：10万時間、700℃で100MPa以上のクリープ強度を持つ鍛造大型ロータ材料開発

10万時間、700℃で80MPa以上のクリープ強度を持つ鑄造大型ケーシング材料開発

回転試験による冷却、シール構造の検証

(4) 高温弁要素技術開発

弁棒とスリーブの摺動を模擬した摺動試験や摺動部の表面処理等を行い、従来と同様の信頼性を持った弁摺動機構を開発する。実機大の大型弁を試作し、耐圧試験を行う。実缶試験・回転試験装置に組み込み信頼性を確認する。

目標：実缶試験による弁信頼性の確認

(5) 実缶試験・回転試験（高温弁を含む）

第(1)～(4)項で開発されるボイラおよびタービン要素技術を検証するために、実機ボイラに開発要素を組み込んだ実缶試験を行う。また、700℃級タービン技術を検証する回転試験を実施する。

目標：1万時間程度のボイラ実缶試験を実施し、700℃級ボイラ要素の信頼性を確認

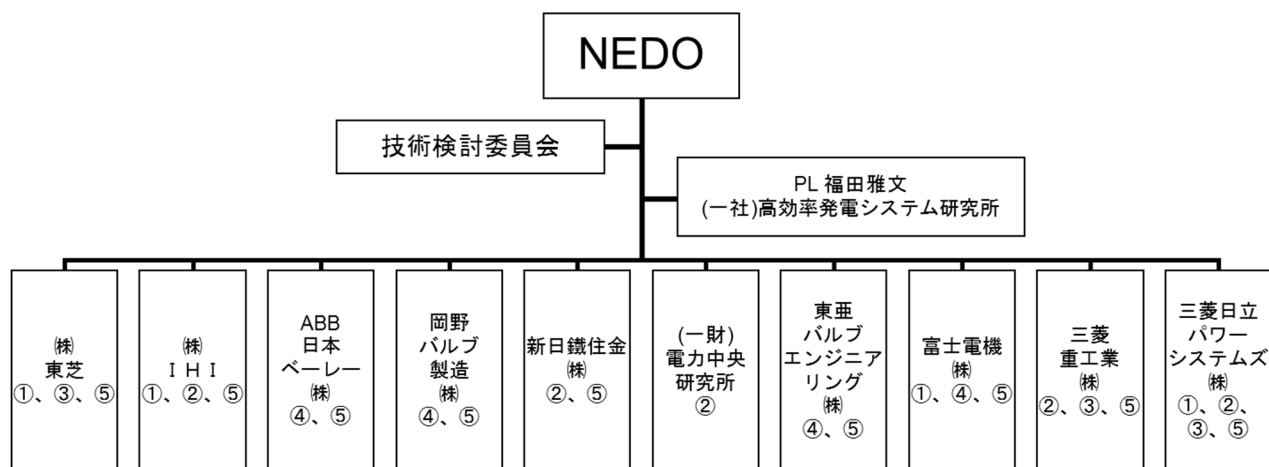
1000時間程度のタービン回転試験を実施し、700℃級タービン要素の信頼性を確認

実缶試験装置に高温弁を組み込みその信頼性を確認

2.2 研究開発の実施体制

2.2.1 実施体制、役割分担

図4に研究開発の実施体制、役割分担を示す。



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）

図4 研究開発の実施体制、役割分担

以下、主な主任研究者を示す。

株式会社 東芝

氏名 高橋 武雄
技術分野 火力発電システム、構造設計

株式会社 I H I

氏名 中川 博勝
技術分野 材料技術

ABB 日本ベレー株式会社

氏名 八木 泰
技術分野 材料力学、機構設計

岡野バルブ製造株式会社

氏名 松原 陽一
技術分野 機械設計

新日鐵住金株式会社

氏名 仙波潤之
技術分野 耐熱鋼・耐熱合金の研究開発

一般財団法人電力中央研究所

氏名 福富広幸
技術分野 非破壊検査

東亜バルブエンジニアリング株式会社

氏名 高橋 晃一
技術分野 機械(バルブ)設計、金属材料

富士電機株式会社

氏名 和泉 栄
技術分野 構造設計、振動解析、鉄鋼材料

三菱重工業株式会社

氏名 駒井 伸好
技術分野 ボイラ用耐熱鋼開発

三菱日立パワーシステムズ株式会社

氏名 竹ノ内 哲也
技術分野 超臨界圧火力発電プラントの計画

2.2.2 知的財産取扱いの考え方と運用

—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。

2.3 研究開発の運営管理

以下、図5に開発の運営を取り仕切る A-USC 開発推進委員会の体制を示す。A-USC 開発推進委員会、各分科会は2か月に1回程度の頻度で開催し、必要に応じ随時開催した。

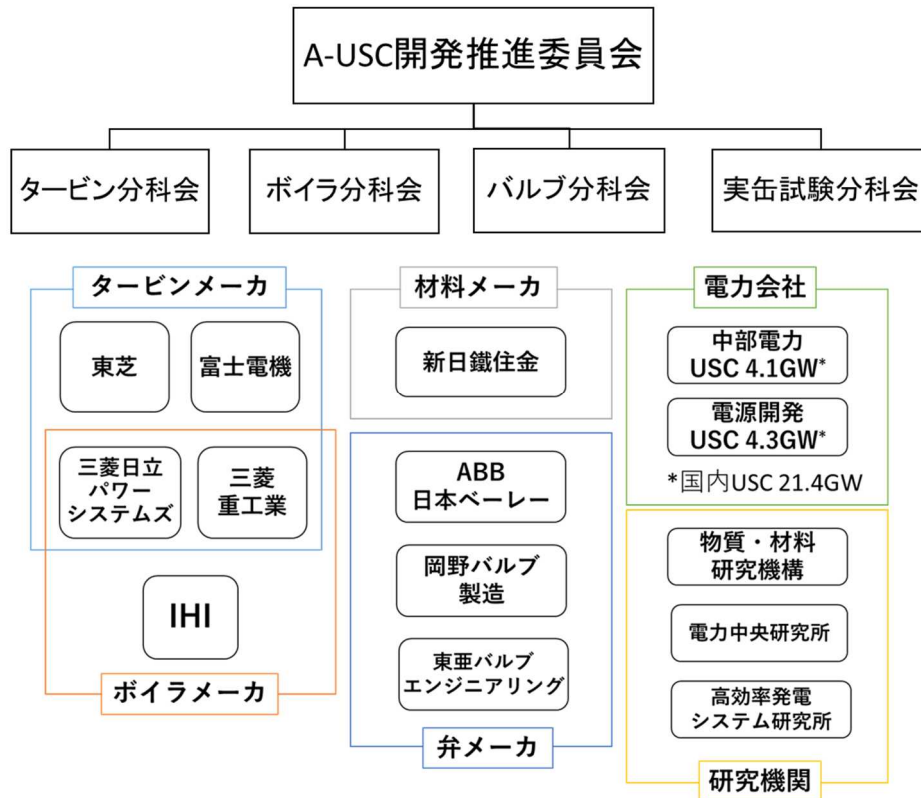


図5 A-USC 開発推進委員会の体制

A-USC 開発推進委員会の機能

- 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
- 経済産業省、NEDO 対応（予算・スケジュール調整、書類の統括等）
- 各社間の懸案事項調整
- 各社開発状況等に関する情報交換
- 外部への発表、講演等の調整
- 各社の特許出願状況把握
- その他

2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

2.4.1 本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

1) 実用化の見通し

- 2016 年度に技術開発完了する。
- 早ければ 2025 年頃に大型機の商用実証を目指す。

2) 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を図る。
- 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。

3) 導入対象

リプレイス、新設石炭火力 等

4) 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（図 6）

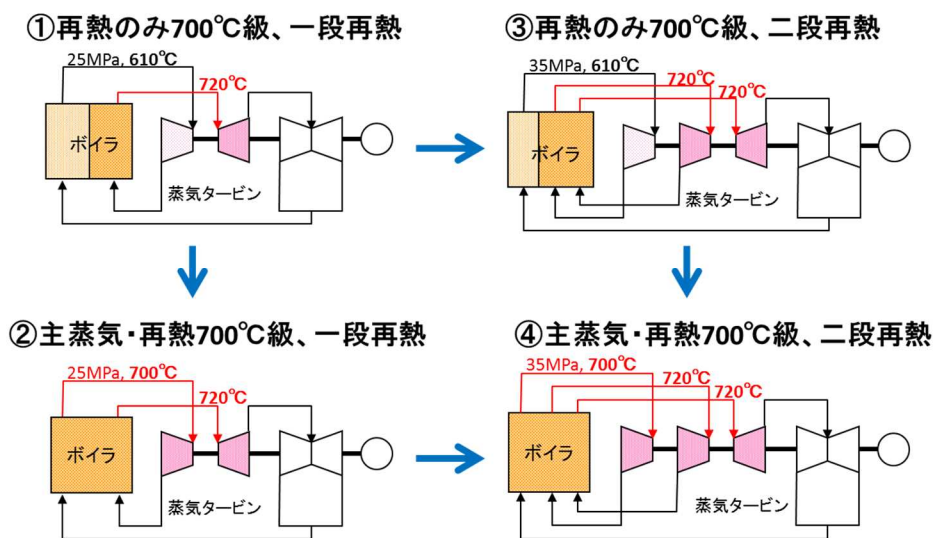


図 6 技術の段階的導入

3. 情勢変化への対応

平成 20 年度に事業を開始し、2011 年度に東日本大震災が起こった。その結果、国内では火力発電への依存度が高まった。本プロジェクトの試験装置の一部も震災の被害を受けたが、早期に復旧し、当初予定通り開発業務を遂行した。

4. 中間評価結果への対応

表3に中間評価での指摘とそれへの対応を示す。

表3 中間評価での指摘と対応

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、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。

5. 評価に関する事項

5.1 事前評価

- ①実施時期 平成19年5月
- ②評価手法 第三者評価
- ③評価事務局 「A-USCの実用化を考える会」
- ④評価基準(項目)
 - 「開発の意義、目的」
 - 「国のプロジェクトで行うことの妥当性」
 - 「目標」
 - 「計画内容」
 - 「研究開発体制」
 - 「実用化との関係」

⑤委員名簿

委員長 帝京平成大学

吉識晴夫教授

委員 高知工科大学

筒井康賢副学長

首都大学
独立行政法人 物質・材料研究機構
関西電力株式会社
九州電力株式会社

四国電力株式会社
中国電力株式会社
中部電力株式会社
電源開発株式会社
東京電力株式会社
東北電力株式会社
北陸電力株式会社
北海道電力株式会社
財団法人 電力中央研究所

太田正廣教授
阿部富士雄ディレクター
神木常喜課長
中西章夫副部長
兼事業推進グループ長
山内浩二グループリーダー
中川賢剛マネージャー
安井肇一課長
大塚哲夫グループリーダー
松田茂弘副長
樋口康二郎課長
白崎裕之統括課長
高橋勝グループリーダー
佐藤幹夫研究参事

オブザーバ

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構	酒井清主任研究員
同上	坂詰修主査
元横浜国立大学	秋葉雅史博士
摂南大学	角家義樹教授
東北大学	大地昭生教授
中国電力	半田卓己技師
財団法人 エネルギー総合工学研究所	曾根英文主任研究員
同上	鳥飼航洋主任研究員
同上	大西徹主任研究員
財団法人 電力中央研究所	渡辺和徳主任研究員
同上	屋口正次主任研究員
株式会社 四国総合研究所	田村隆之研究員

5.2 第1回中間評価

- ①実施時期 平成22年12月第1回次世代電力供給システム分野に係る技術評価検討会
評価事務局 経済産業省資源エネルギー庁電力基盤整備課
平成23年3月産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
評価事務局 経済産業省産業技術環境局技術評価室
- ②評価手法 外部評価
- ③評価基準 (項目)

「事業の目的・政策的位置付け」

「研究開発等の目標」

「成果、目標の達成度」

「事業化、波及効果について」

「研究開発体制」

「研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等」

⑤委員名簿

「次世代電力供給システム」に係る技術評価検討会

委員名簿

座長	徳田 君代	九州工業大学大学院 情報工学研究院(機械情報系) 教授
委員	太田 有	早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空学科 教授
委員	佐藤 幹夫	電力研究国際協力機構 (IERE) 中央事務局 事務局長
委員	杉田 雄二	中部電力株式会社 参与(常務待遇) 技術開発本部 本部長代理
委員	高見 佳宏	電気事業連合会 技術開発部長
委員	船崎 健一	岩手大学工学部 副学部長・機械システム工学科 教授

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

委員名簿

委員長	平澤 洽	東京大学 名誉教授
	池村 淑道	長浜バイオ大学バイオサイエンス学部 教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環 教授 東京大学生産技術研究所 教授
	太田 健一郎	横浜国立大学大学院工学研究院 教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター 教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学 教授
	富田 房男	北海道大学名誉 教授
	中小路 久美代	株式会社S R A先端技術研究所リサーチディレクター
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科 教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部 主任研究員

5.3 第2回中間評価

①実施時期 平成25年12月

次世代電力供給システム分野に係る技術に関する施策・事業評価検討会
評価事務局 経済産業省資源エネルギー庁電力基盤整備課
平成26年2月産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ
評価事務局 経済産業省産業技術環境局技術評価室

②評価手法 外部評価

③評価基準（項目）

「事業の目的・政策的位置付け」

「研究開発等の目標」

「成果、目標の達成度」

「事業化、波及効果について」

「研究開発体制」

「研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等」

⑤委員名簿

次世代電力供給システム分野に係る技術に関する施策・事業評価検討会
委員名簿

安芸 裕久	(独) 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 エネルギーネットワークグループリーダー
伊藤 敏憲	株式会社伊藤リサーチ・アンド・アドバイザー代表取締役
太田 有	早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空学科 教授
大山 力	横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授
佐藤 幹夫	電力中央研究所 研究アドバイザー
嶋田 隆一	東京工業大学 名誉教授
藤井 俊英	電気事業連合会 技術開発部長

産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会 評価ワーキンググループ
委員名簿

平成26年2月27日現在

座長	渡部 俊也	東京大学政策ビジョン研究センター教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素研究センター長 ・特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	森 俊介	東京理科大学理工学研究科長 東京理科大学理工学部経営工学科教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部主席研究員

3. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

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。（表4）

表4 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	今後の課題と解決方針
システム設計、設計技術開発	経済性を含めたシステム成立の見通しを得る。 高位発熱量基準送電端熱効率が46%以上であることを確認する。	経済性は発電単価が現状のUSC程度であることを確認した。熱効率は2段再熱システムで高位発熱量基準送電端熱効率が46%以上であることを確認した。	○	---
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。	○	保守（寿命評価）技術の高度化 ⇒次期プロジェクト提案
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。	○	保守（寿命評価）技術の高度化 ⇒次期プロジェクト提案
高温弁要素技術開発	実缶試験による弁信頼性の確認	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 (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 実施中

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 システム設計、設計技術開発

概念設計として、1980年代初頭に建設された初期の超臨界圧石炭火力を A-USC 技術で更新することを検討した。適用する A-USC 技術に 3 ケースの蒸気条件を設定した。表 5 にそれらの要目を示す。以下に概念設計の結果を述べるが、研究に参加したメーカーがケースごとに分担して検討したものである。

表 5 検討ケース

ケース		A	B	C
プラント出力	MW	500		
燃料		石炭（瀝青炭）		
蒸気条件		35MPag 700°C/720°C/720°C	25MPag 700°C/720°C	24.1MPag 610°C/720°C
送電端効率	%	46.0	44.3	43.4

ケース A は最も熱効率が高いと考えられる 2 段再熱のケースであり、基本システム構成を図 15 に示す。超高压タービン (VHP) 入口の主蒸気条件は圧力 35MPa、温度 700°C である。再熱蒸気温度は第一段、第二段ともに 720°C とした。この温度条件はヨーロッパの AD700 プロジェクトで検討されたものと同じである。本構成による熱効率率は 46% (送電端、HHV) と予測された。

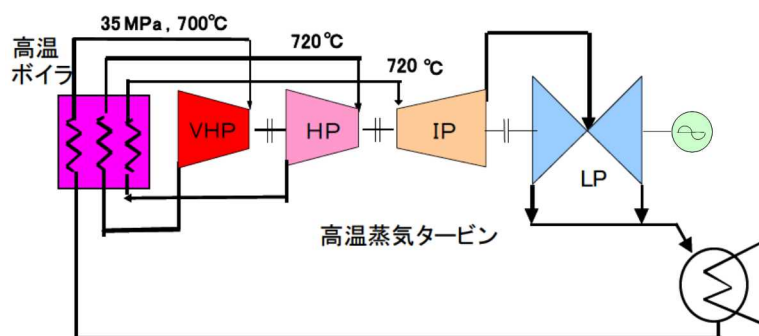


図 7 システム構成 (ケース A)

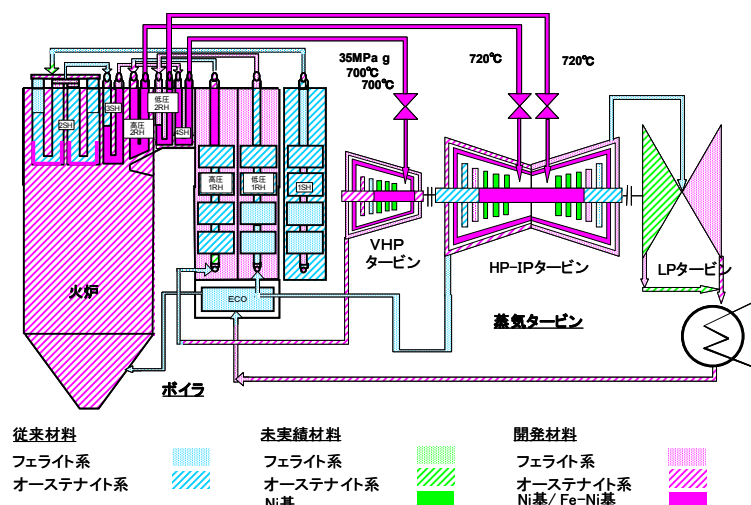


図 8 適用材料 (ケース A)

このような構成とした場合、適用材料は図 8 のようになる。この図中、空色で示した部分は従来から汽力発電で使われている材料、緑色は汽力発電で使ったことは無いがガスタービン等他の分野で使われてきた材料、ピンクは A-USC 用の開発材料である。まずボイラを見ると、過熱器や再熱器の一部で開発 Ni 基合金が使われ、その他の部分は従来材料でまかなえることがわかる。そして、ボイラからタービンへの蒸気管、弁も開発 Ni 基合金で構成する。タービンは内部ケーシングとロータの一部に開発 Ni 基合金を適用する。この検討ではロータに溶接構造を適用することを想定しており、空色の部分の従来材料（12Cr 鋼）とピンクの部分の開発 Ni 基合金は溶接される。タービン翼は高温になる部分だけ従来ガスタービンで使われてきた Ni 基合金を適用する。

図 9 には既存プラントをケース A の条件で更新する場合の換装機器を示す。図中、ピンクの部分が換装される機器である。この場合、既存プラントが一段再熱だったので、二段再熱に変更するにはボイラ全体を換装する必要がある。また、タービンは超高压タービンを追加別置きとし、高压、中圧、低压タービンは既存の基礎台上で換装する。その他、ボイラからタービンへの配管等を換装する。ケース A の場合二段再熱であり換装部分が多目になったが、それでも環境設備、揚運貯炭やその他設備で多くの機器を再利用できることがわかる。

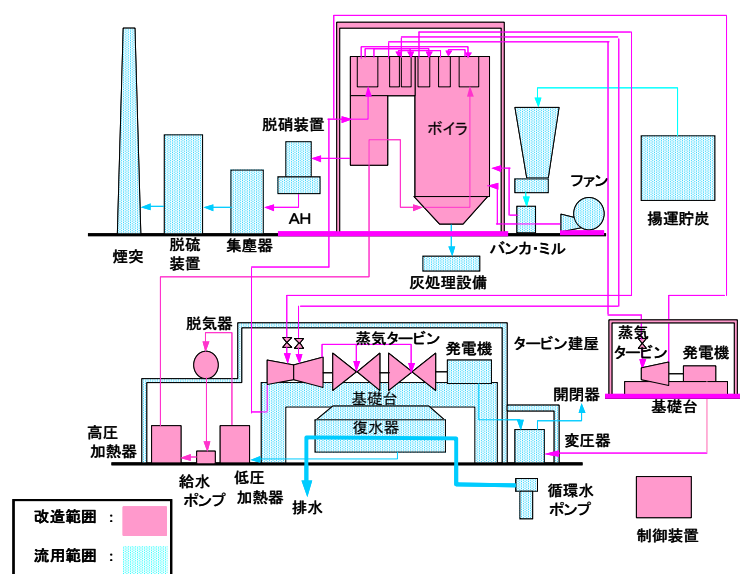


図 9 換装機器 (ケース A)

ケース B は一段再熱の例である。このケースでは 700℃の超高压部分にトップタービン形式を、720℃の再熱タービンに冷却方式を採用している。図 10 に示すようにトップタービン形式とはもともと一つの高压タービンを敢えて超高温の VHT タービンと比較的低温の HP タービンに分割したものである。VHT タービンの入口蒸気温度は 700℃で HP タービンの入口蒸気温度は 610℃である。その結果、図 11 に示すように、Ni 基合金の適用を比較的小型の VHT タービンに集中でき、Ni 基合金部品を小型化できる。例えば、VHT タービンのロータは 10 トン程度の大きさとなる。また、HP タービンは 610℃であるので従来材料で構成可能である。一方、中圧タービンは冷却を適用することによりタービン入口部と動翼以外は従来材料で構成している。このような設計

により Ni 基合金部品の小型化と製作コストの低減を図ることができる。ボイラは過熱器、再熱器に Ni 基合金を適用する。

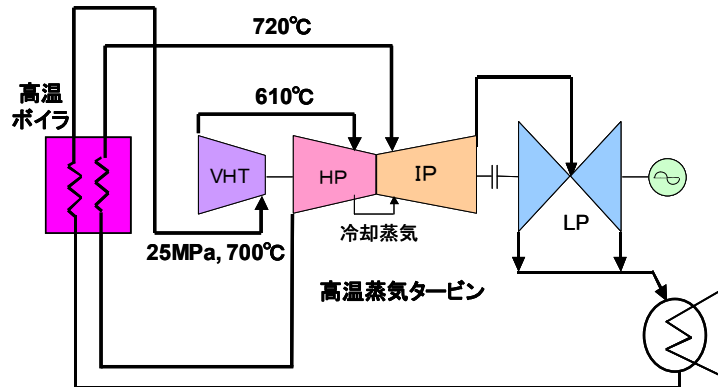


図 10 システム構成 (ケース B)

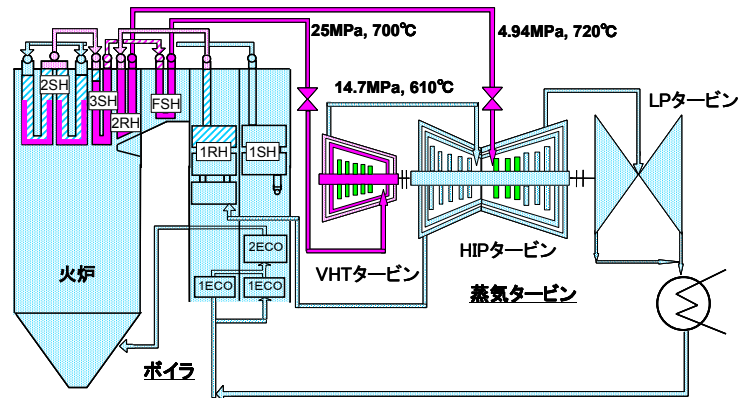


図 11 適用材料 (ケース B)

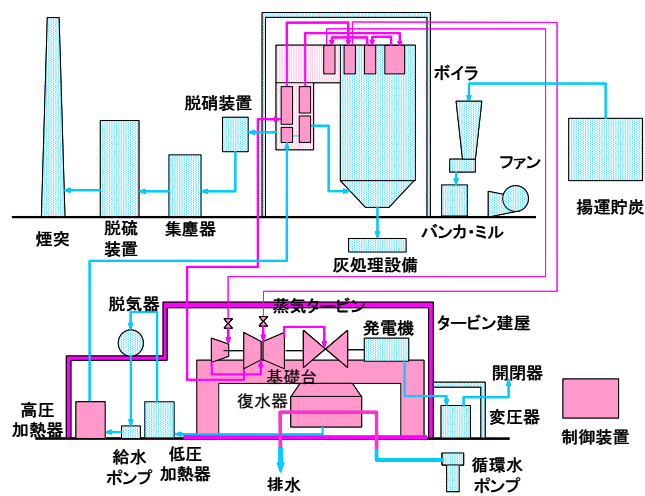


図 12 換装機器 (ケース B)

図 12 には既存プラントをケース B の条件で更新する場合の換装機器を示す。ケース B は一段再熱であるのでケース A とは異なりボイラは一部換装で済ませることが出来る可能性が高い。換装部分は過熱器、再熱器であり、火炉や架構は再利用可能である。タービンについてはトップタービン形式を採用したこと等により、基礎台、建屋ごと交換となる。ただし、溶接タービン形式を採用すれば、基礎台、建屋、復水器も再利用可能と考えられる。その他、ボイラからタービンへの配管等を換装する。結局、ケース B の場合ボイラ、環境設備、揚運貯炭やその他設備で多くの機器を再利用できることがわかる。また、設計の方法によりタービン基礎台、建屋、復水器も再利用可能と考えられる。

ケース C は図 13 に示すように一段再熱でかつ再熱のみを高温化し 720°C にした例である。このケースでは超高压部の蒸気温度は 610°C に抑えている。本構成では 700°C 級としての熱効率向上メリットは半分になるが、超高压部を従来材料で構成可能となるので、図 14 に示すように Ni 基合金の適用量が大幅に低減するとともに、開発課題も低減できる。720°C の再熱 IP タービンには冷却方式を採用することによりタービン入口部と動翼以外は従来材料で構成している。また、ボイラでも再熱器のみに Ni 基合金が適用される。このような設計により Ni 基合金部品を減らし製作コストを低減することができる。

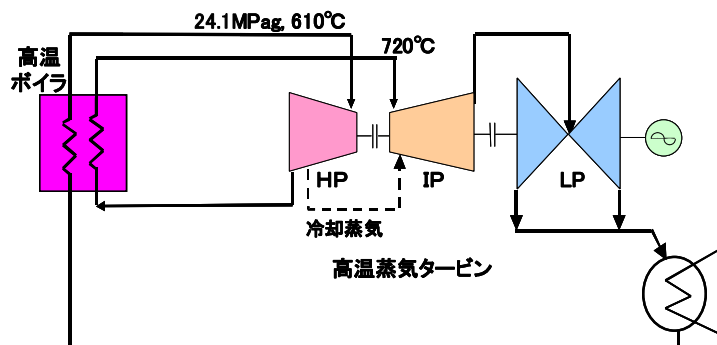


図 13 システム構成 (ケース C)

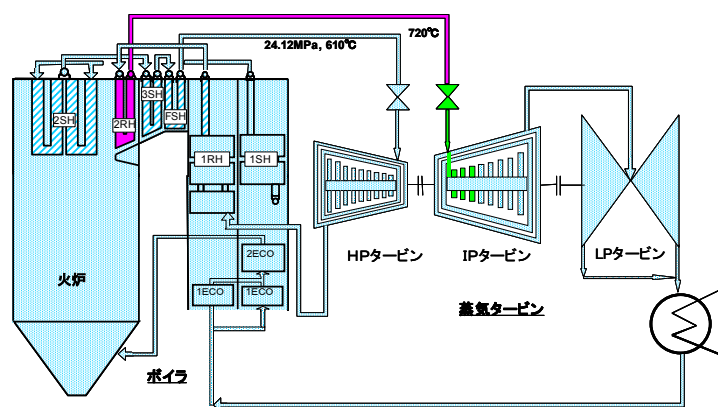


図 14 適用材料 (ケース C)

図 15 には既存プラントをケース C の条件で更新する場合の換装機器を示す。ケース C は再熱のみ 720°C 化したのが、主蒸気も 538°C から 610°C まで高温化したので換装部分は過熱器、再熱器と

なる。火炉や架構は再利用可能である。タービンについては高中圧タービン、低圧タービンが交換となるが、基礎台、建屋、復水器が再利用可能となる。その他、ボイラからタービンへの配管等を換装する。結局、ケースCの場合ボイラ、タービン基礎台、タービン建屋、復水器、環境設備、揚運貯炭やその他設備で多くの機器を再利用できることがわかる。

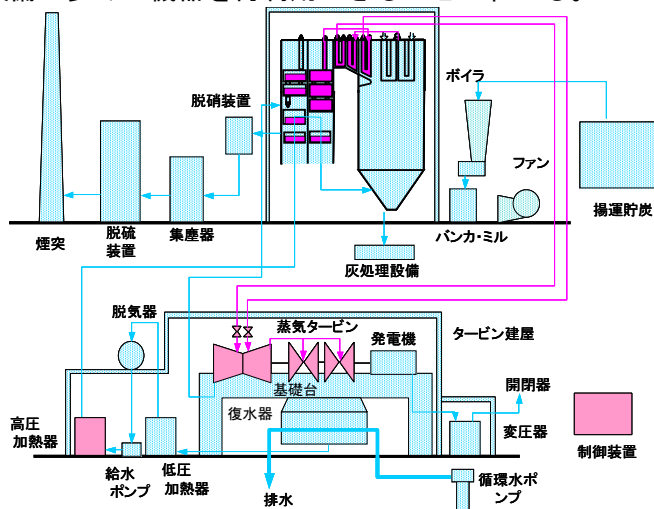


図 15 換装機器 (ケース C)

経済性評価

熱効率向上による燃料費削減分を建設費に転嫁できると仮定し、目標更新コストを策定した。建設費の償却期間 15 年、石炭価格 1.0 円/1000kcal とすると、目標更新コストは年間償却費で 0.5 円～0.7 円/kWh となる。これら目標年間償却費建設費は'平成 11 年 12 月総合エネルギー調査会第 70 回原子力部会試算例「石炭火力」4)' の減価償却費に対する割合で換算すると 30～40%程度になる(図 16)。よって、既設石炭火力を A-USC で更新することは、新設時に比べて約 30～40%の年間減価償却費で、15～20%以上の CO2 効果をもたらすため、経済性及び環境性に優れたプラント改善の選択肢のひとつと考えられる。

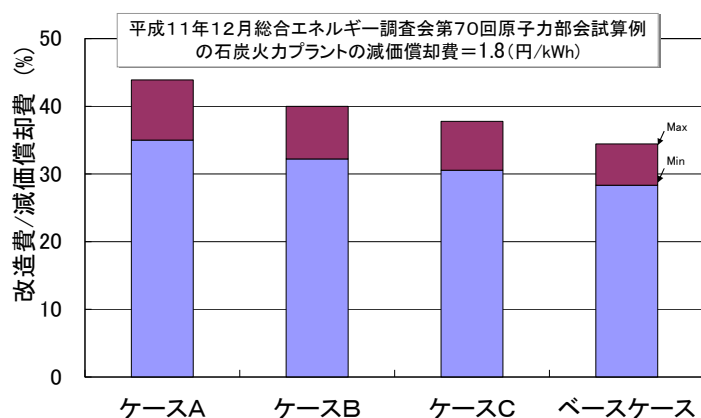


図 16 改造と新設の減価償却費の割合

また、表 6 に新設を想定し、代表的なケース A とケース C の送電端熱効率、二酸化炭素排出量、機械装置費を現行 USC と対比して示す。

表 6 新設を想定した熱効率、二酸化炭素排出量、機械装置費

		ケース A	ケース C
送電端熱効率		46%	43.4%
	対 USC 比	9.5% 向上	3.3% 向上
CO2 排出量	対 USC 比	9.5% 減少	3.3% 減少
機械装置費	対 USC 比	25%程度 増加	6%程度 増加

これらから計算した A-USC の発電単価は機械装置費の上昇と燃料費削減がバランスし現行の USC と同等であることがわかった。

2.2 ボイラ要素技術開発

700℃級 A-USC ボイラ開発では、従来の 600℃級 USC 開発技術を基盤として、図 17 に示すような各種要素技術開発について多面的な検討を必要とした。

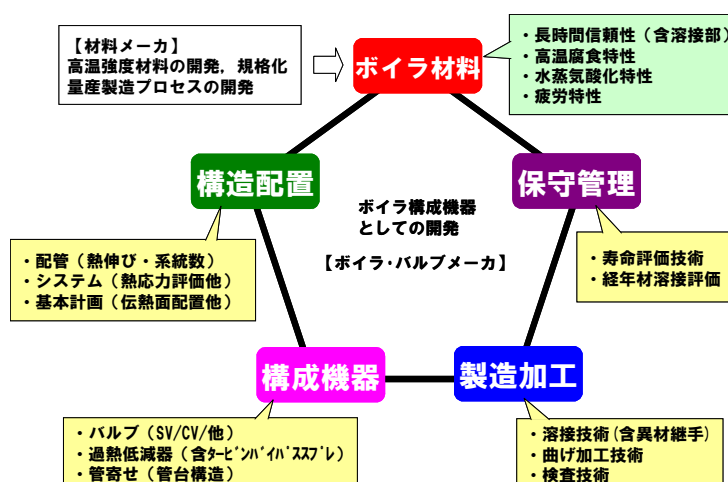


図 7 A-USC ボイラ技術開発課題

「ボイラ材料」では、700℃以上の部位に適用する Ni 基系合金の実用化に向けた材料特性の把握、製造性評価、更に長時間信頼性の検証を実施した。「構造配置」については、Ni 基系合金が従来フェライト鋼と比較して熱伸び量が大きくなる点、高蒸気条件採用によって伝熱面積が増加する点等に対して最適設計を図った。「構成機器」では、高温高圧下に設置し、厚肉化に伴う熱応力の増大等に配慮した管寄せ構造等を検討した。「製造加工」では、長時間信頼性に配慮した溶接継手特性の検討及び厚肉大径管の曲げ加工技術を確立した。「保守管理」については、開発材料に対する寿命評価技術及び経年材溶接評価等を検討することで、安定運用に向けた信頼性の確保を図った。

図 8 にボイラ技術検証フローを示す。プロジェクトの前半 5 年間に於いて、システム、材料、製造、部品等に関する基本技術開発を行った。システムでは事前検討、システム評価を、材料開発では表 1 に掲げた材料による小径管、大径管等の試作、製造技術開発では管等の溶接技術、管の曲げ技術検証、部品技術では開発材を用いた過熱器、再熱器ヘッダの試作、材料試験としては水蒸気酸化試験、高温腐食試験、疲労試験、長期材料試験を行った。長期材料試験はプロジェクトの全期間に亘り実施し、プロジェクト終了後も参加各社において 10 万時間まで継続される。

プロジェクト後半の4年間ではそれまでに開発された基本技術を駆使し、実機ボイラの一部に700°Cの蒸気を発生する過熱器を組み込み、実缶試験を行った。

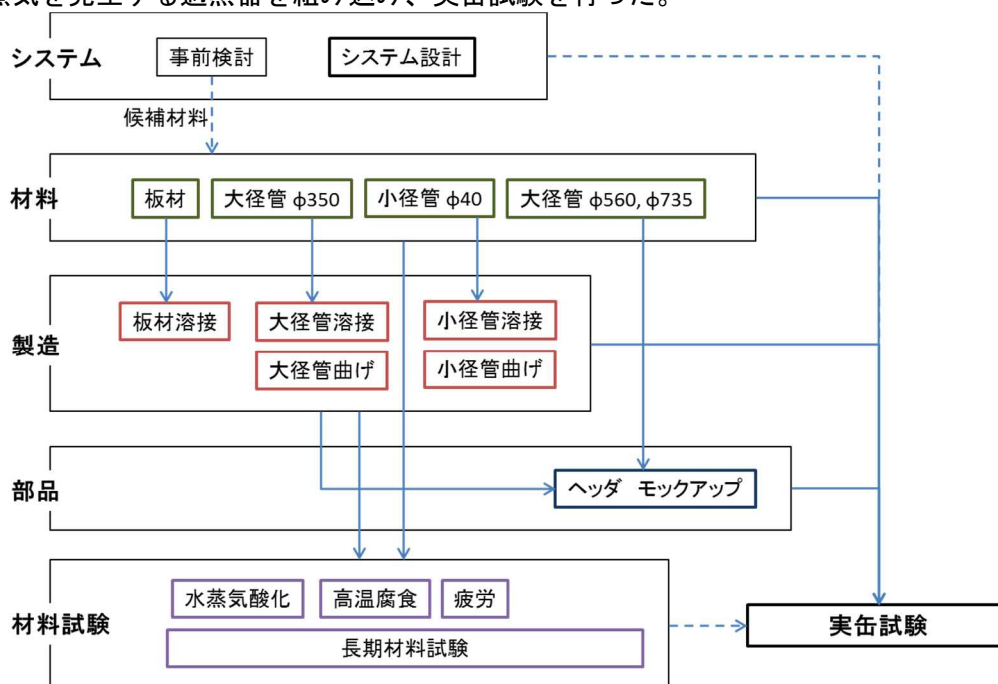


図8 ボイラ技術検証フロー

表1 ボイラ候補材料、表2 にその開発経緯と特徴を示す。欧米のプロジェクトでは、汎用板材やガスタービン用として開発された γ' 析出強化型Ni基合金 Alloy617 (Ni-22Cr-12Co-9Mo-1.2Al-Ti)、Alloy263 (Ni-20Cr-20Co-6Mo-2Ti-Al)、Alloy740 (Ni-25Cr-20Co-2Nb-2Ti)のボイラ材としての適用が検討された。

A-USC ボイラ開発においては上記Ni基合金に加え、日本で開発された独自材として USC141 (Ni-20Cr-10Mo-1Al-2Ti)、 γ' 相を強化相としないFe-Ni基合金 HR6W (23Cr-45Ni-7W)、HR6Wのクリープ強度向上を指向したHR35の3合金、さらに650°C迄の部位への適用を想定して、溶接継手強度を飛躍的に向上させた先進9Cr系高強度耐熱鋼(3鋼種)も候補材に加えている。

Ni基材料はクリープ強度に優れる反面、組織安定性、クリープ脆化、靱性、溶接割れ感受性に懸念がある。そこで、クリープ破断強度、曲げ加工性等の母材の特性評価および溶接特性評価を行った。さらに、母材の水蒸気酸化特性、高温腐食特性、高温疲労特性についても評価を行った。これらの特性評価に用いるために製作した試験用板材料を図9に示す。

図10にはHR6Wの溶接断面と側曲げ試験の結果を示す。Ni基材料の溶接については良好な結果を得たが、一部に高い割れ感受性を示す材料があったのでその材料については微量成分の調整を行い良好な溶接特性を得ることができた。

図11には試作した大径管を示す。これらの大径管は曲げ加工試験(図14)、溶接試験(図15)等に供された。さらに母材部、溶接部は細断されてクリープ破断試験等に供された。

図12には再熱器ヘッド(図15)試作のために製作された外径635mmの大径管を示す。

図13には過熱器用に試作された小径管(Alloy617、HR6W)を示す。

表1 ボイラ候補材料

材料呼称		組成	厚肉大径管	小径管
HR6W	Ni基	45Ni-23Cr-7W	高温部管寄せ 高温部連絡管 主蒸気管 高温再熱蒸気管	高温部伝熱管
HR35	Ni基	50Ni-30Cr-4W-Ti		
617相当合金	Ni基	Ni-22Cr-12Co-9Mo-Ti-Al		
263相当合金	Ni基	Ni-20Cr-20Co-6Mo-Ti-Al		
740相当合金	Ni基	Ni-25Cr-20Co-2Nb-Ti-Al		
141相当合金	Ni基	Ni-20Cr-10Mo-Ti-Al		
高B-9Cr鋼	フェライト鋼	9Cr-3W-3Co-Nb-V-B	管寄せ及び連絡管 (約650℃まで)	伝熱管 (従来高Cr鋼と同 程度の温度領域)
低C-9Cr鋼	フェライト鋼	0.035C-9Cr-2.4W-1.8Co-Nb-V		
SAVE12AD	フェライト鋼	9Cr-3W-2.6Co-Nb-V-B		

表2 A-USC ボイラ候補材料の開発経緯と特徴

材料呼称	開発元	材料開発の経緯	特徴
HR6W	新日鐵住金	650℃級USC小径伝熱管として開発	Fe-Ni基。他のNi基より安価で延性・熱間加工性に優れる（大径管にも適用可能）。
HR35	新日鐵住金	Fe-Ni基で617相当の強度を目標として開発	Fe-Ni基。強度と延性・熱間加工性のバランスに優れる。
617相当合金	Special Metals	板材、小径薄肉管（油井管等）として開発	ASME SEC IIに登録済み。欧州候補材のベース材料。
263相当合金	Rolls Royce	ガスタービン材料として開発	617よりも高強度。欧州では大径管用としても開発中。
740相当合金	Special Metals	ガスタービン材料として開発	263の耐食性向上のために開発。時効処理をして強度を向上。
141相当合金	日立金属	700℃級蒸気タービン用材料として開発	263より高強度、低熱膨張レアメタルであるCo含まない。
高B-9Cr鋼	NIMS	従来高Cr鋼よりも高温強度を向上する目的として開発（使用温度は～650℃）	高B添加で強度を向上。高B-低NでHAZの強度低下を防止。
低C-9Cr鋼	MHPS		C, AlとNiを低減させることで強度改善
SAVE12AD	新日鐵住金		低N、Nd添加でクリープ強度・延性を改善



図9 ボイラ試験用板材料

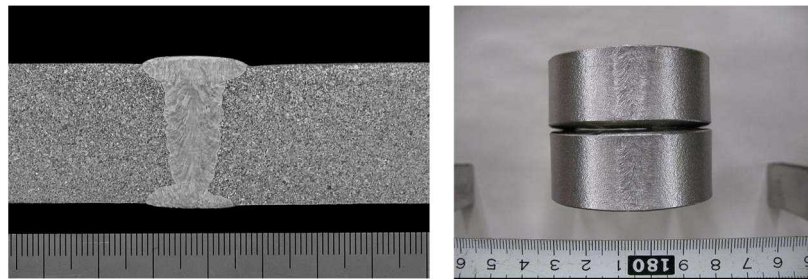


図10 HR6W 溶接試験



図11 試作大径管（外径 350mm）

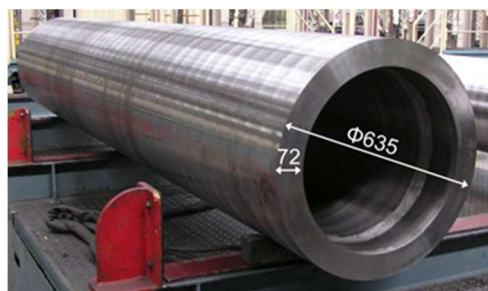


図12 再熱器ヘッド試作用大径管（外径 635mm）



図 13 試作小径管（過熱器用）

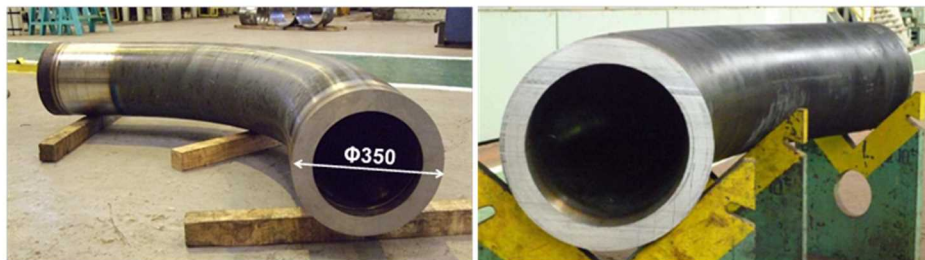


図 14 大径管曲げ試験（Alloy617、HR6W）

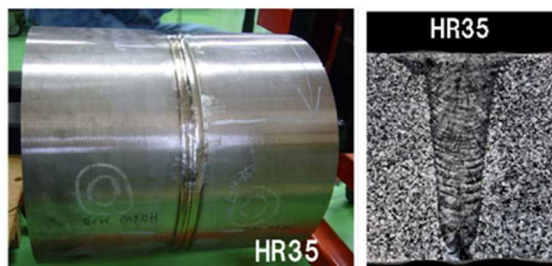


図 15 大径管溶接試験

各候補材について溶接継手の組織調査、機械的性質の試験が完了した。いずれの溶接部も良好な衝撃、引張強度特性、クリープ強度特性が得られている。一例として図 16 に HR6W の母材および溶接継手のクリープ破断試験結果を示す。大径管および小径管溶接継手の長時間クリープ破断試験は 10 万時間まで継続実施している。

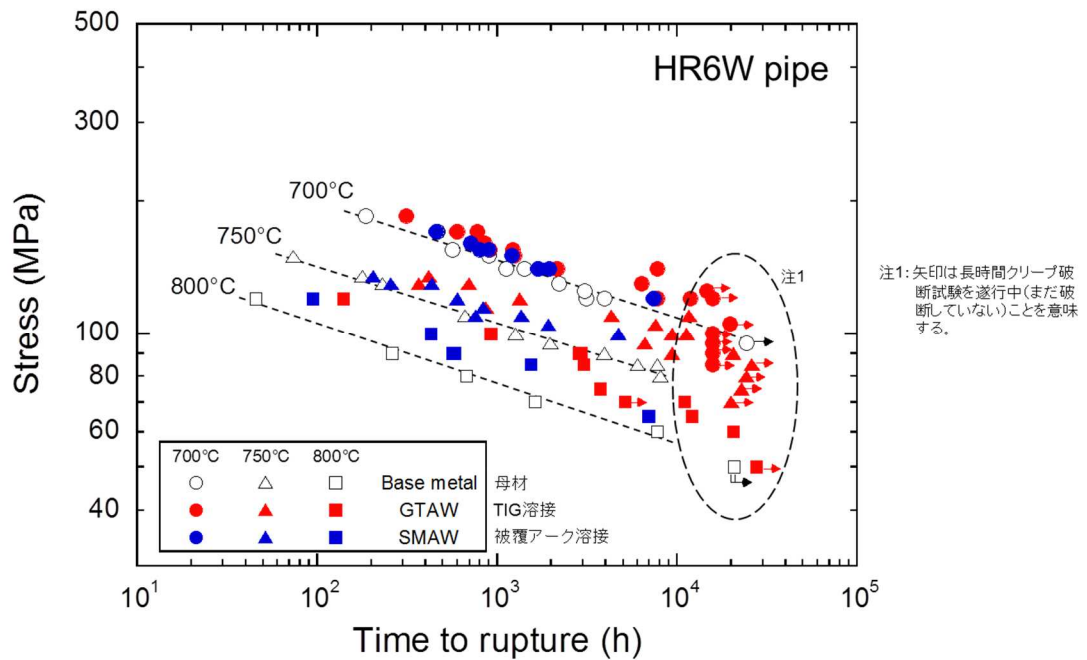


図 16 HR6W の母材および溶接継手のクリープ破断試験結果

水蒸気酸化特性は、ボイラ火炉内に設置される伝熱管にとって重要な材料特性の一つである。A-USC ボイラの伝熱管では、最終高温部で管の温度は 750°C 前後であり従来よりも 100°C 程度高くなる。これらの部位では主に高強度で耐食性の良い Ni 基系合金の適用について、材料選定および長期運転の信頼性確保のための水蒸気酸化スケール成長挙動の把握が必要となる。試験結果として Ni 基系合金 6 鋼種の 750°C 条件下で 3000 時間経過後のスケール厚さを図 17 に示す。各候補材とも従来耐熱鋼に比べスケール厚さは小さく高耐食性をもつことが確認されている。これら試験による成果を用いて、A-USC ボイラでの長時間スケール成長挙動を予測し、使用時間に応じた材料選定、またプラント保守計画を行うことが可能となる。

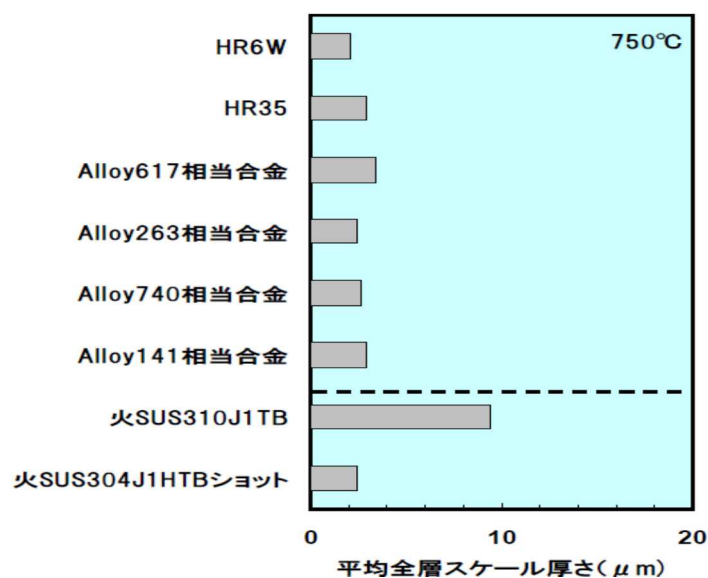


図 17 750°C 条件下で 3000 時間経過後のスケール厚さ

A-USC ボイラの伝熱管使用環境を十分考慮した候補材料選定のため、ボイラ伝熱管用として従来使用実績のない Ni 基系合金の高温腐食特性について、既存鋼との比較データを把握することが重要である。試験結果の一例として図 18 に Ni 基系合金 6 鋼種の 750°C/50°C条件化での腐食減肉量を示す。各候補材とも従来耐熱鋼と同等程度の高温腐食耐食性をもつことを確認した。これら試験による成果を用いて、従来の耐熱鋼と候補材である Ni 基系合金の腐食速度を対比させることで、高温腐食の観点から、A-USC ボイラ伝熱管としての使用可否判断や選定を行うことが可能となる。

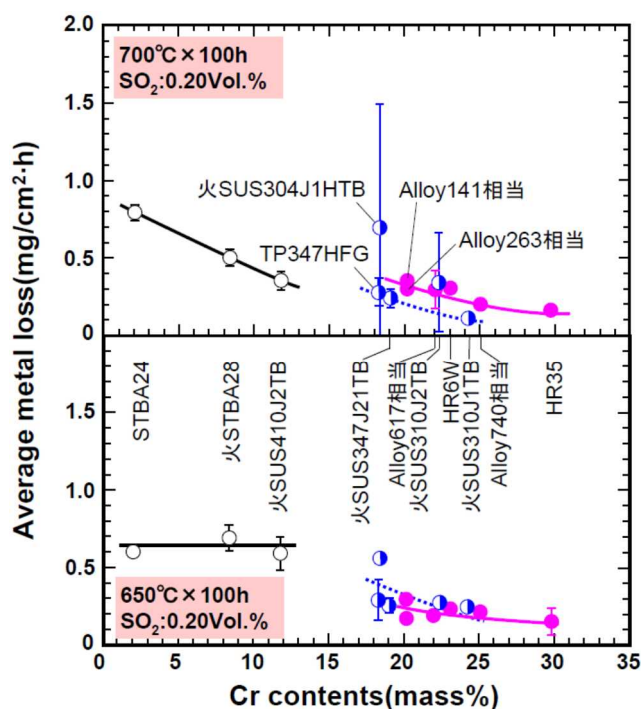


図 18 模擬石炭灰による高温腐食試験結果

A-USC ボイラ開発材料としては、使用温度 650°Cを目指したフェライト系耐熱鋼、700°C以上で使用可能な Ni 基系合金が挙げられる。これら候補材では、想定使用温度域での材料特性が充分ではないため、基礎データ取得の一環として高温疲労及びクリープ疲労データの取得を図る必要がある。試験結果として図 19 に Ni 基系合金 4 鋼種の高温疲労強度試験結果を示す。各候補材とも従来耐熱鋼と同等程度の高温疲労強度をもつことが確認された。

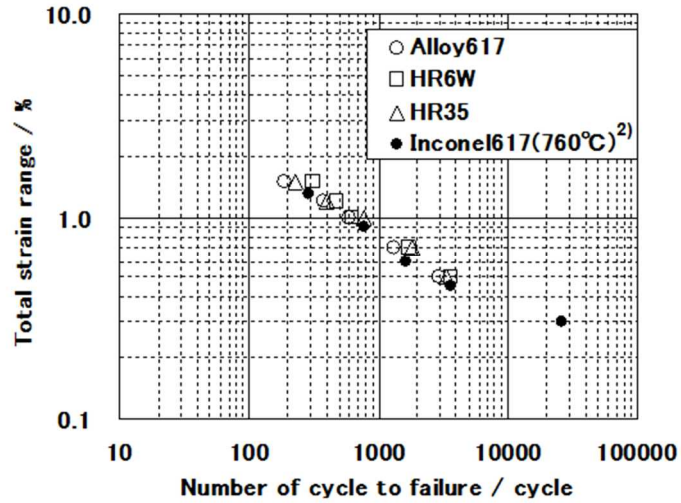
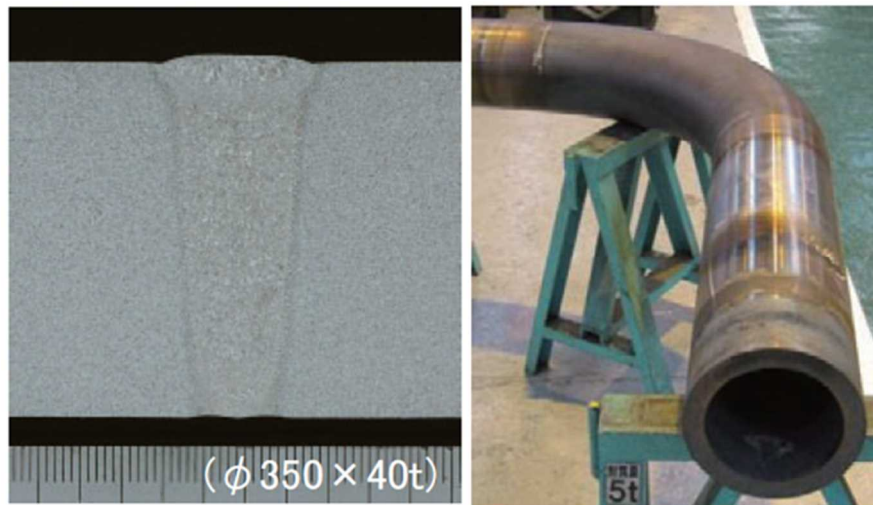


図 19 Ni 基系合金の高温疲労試験結果

先進 9Cr 系高強度耐熱鋼については SAVE12AD で大径管を試作し、溶接試験、曲げ試験等を実施した。良好な加工性が得られるとともに、従来材でクリープ強度の低下の一因となっていた結晶粒の微細化が抑制される結果が得られた。(図 20)



溶接部マクロ組織

高周波加熱曲げ試験

図 20 先進 9Cr 鋼 (SAVE12AD) 大径管試験

大径管・小径管製造技術、管曲げ技術、溶接技術といったボイラ部材製造技術の総括的な検証を目的として再熱器および過熱器のヘッダーモックアップを試作し、問題なく製作できることを確認した。(図 21)



図 21 再熱器、過熱器ヘッダーモックアップ

2.3 タービン要素技術開発

主たる目標は鍛造大型ロータ材料開発、鋳造大型ケーシング材料開発であるが、これらの材料を実用化するにはボイラと同様に図 22 に示すような開発課題があり、タービン材料、システム、構造、製造そして保守管理それぞれに関する各種要素技術開発が必要である。特に、700°Cの条件下で使う Ni 基大型部材製造と溶接技術が重要である。

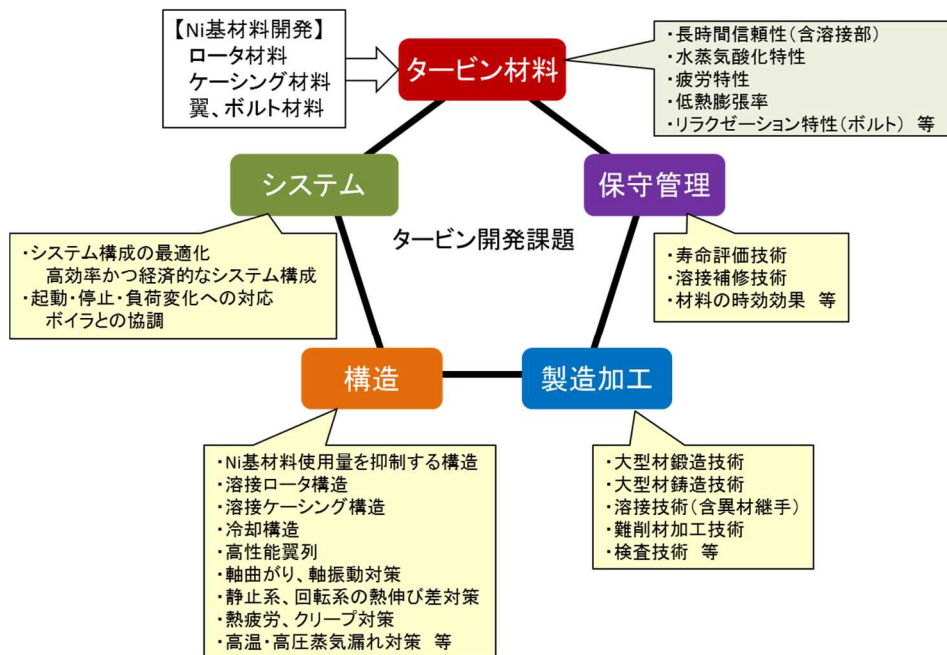


図 22 タービン技術開発課題

図 23 にタービン技術検証フローを示す。タービンについてもプロジェクトの前半 5 年間ににおいて、システム、ロータ材料、製造、ケーシング材料等に関する基本技術開発を行った。システムでは事前検討、システム評価を、ロータ材料開発では表 3 に掲げた材料による大型ロータの試作、製造技術開発ではロータ溶接技術、機械加工技術開発を、材料試験としては水蒸気酸化試験、疲労試験、長期材料試験を行った。長期材料試験はボイラと同様にプロジェクトの全期間に亘り実施し、プロジェクト終了後も参加各社において 10 万時間まで継続される。プロジェクト後半の 4 年間では実機と同じ外径を持ったロータを試作し、実機と同じ回転数、700°C以上の温度条件化でロータ回転試験を実施している。

図 24 に試設計された 1000MW A-USC タービンの断面図を示す。

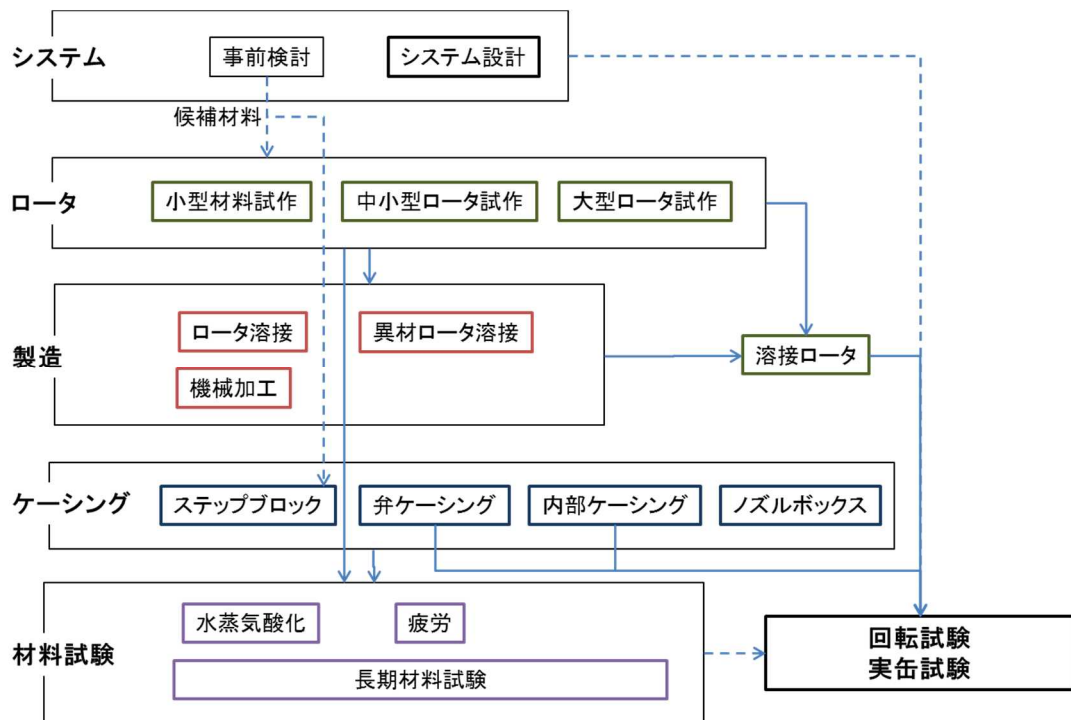


図 23 タービン技術検証フロー

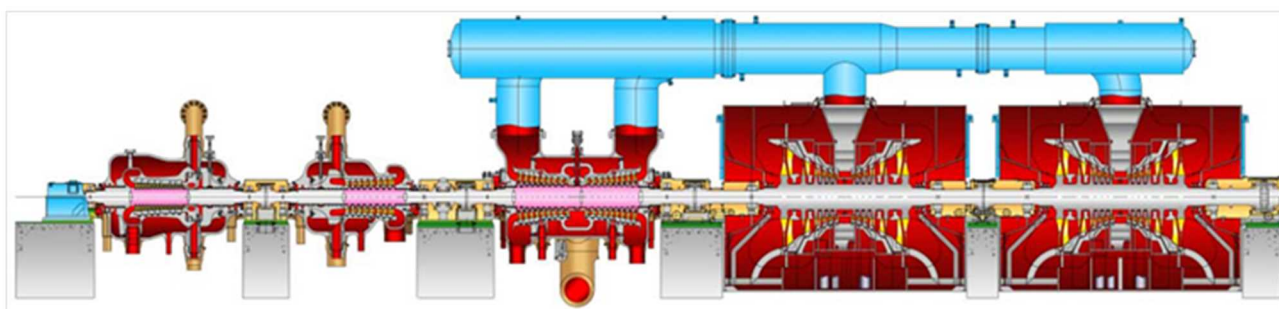


図 24 1000MW A-USC タービン試設計

表 3 タービンロータ候補材料

候補材料*1	開発分担	開発のポイント		
		重量	耐用温度	特徴
FENIX-700	三菱日立パワーシステムズ	10ton超	700°C	10ton超クラス大型鍛造品 IN706からの改良 鉄-Ni基合金
LTES	三菱日立パワーシステムズ	30~40ton 超合金部分 10ton	700°C 以上	10tonクラス大型鍛造品 低線膨張係数 溶接継ぎ手強度・信頼性確保が重要
TOS1X	東芝		720°C 以上	10tonクラス大型鍛造品 IN617からの改良 720°Cクラスの温度 溶接継ぎ手強度・信頼性確保が重要

*1:アルファベット順

Ni 基材料は長時間クリープ強度が従来の鉄鋼材料に比べて高められる利点があるが、大型化が難しく、一般に線膨張係数が鉄鋼材料よりも大きいといった特性があり、開発にはリスクをとまなう。そこで、本プロジェクトではそれぞれ特徴を有する複数のロータ材料を開発しリスク低減を図ることとした。線膨張係数を従来の高 Cr 鋼並みに抑えた LTES700R、高温クリープ強度特性に優れた TOS1X、比較的安価で大型鋼塊製造性に優れた FENIX700 のロータ材の 3 種類である。

LTES700R はもともと小型のボルト用材料として開発された LTES700 を大型ロータ材料向けに改良した材料である。LTES700R の線膨張係数は LTES700 より高くなっているものの従来の Ni 基合金や 2.25Cr 鋼より低いレベルになっている (図 25 右)。また、LTES700R のクリープ破断強度は目標値 (700°C×10 万時間クリープ強度 100MPa) を十分満足する (図 25 左)。

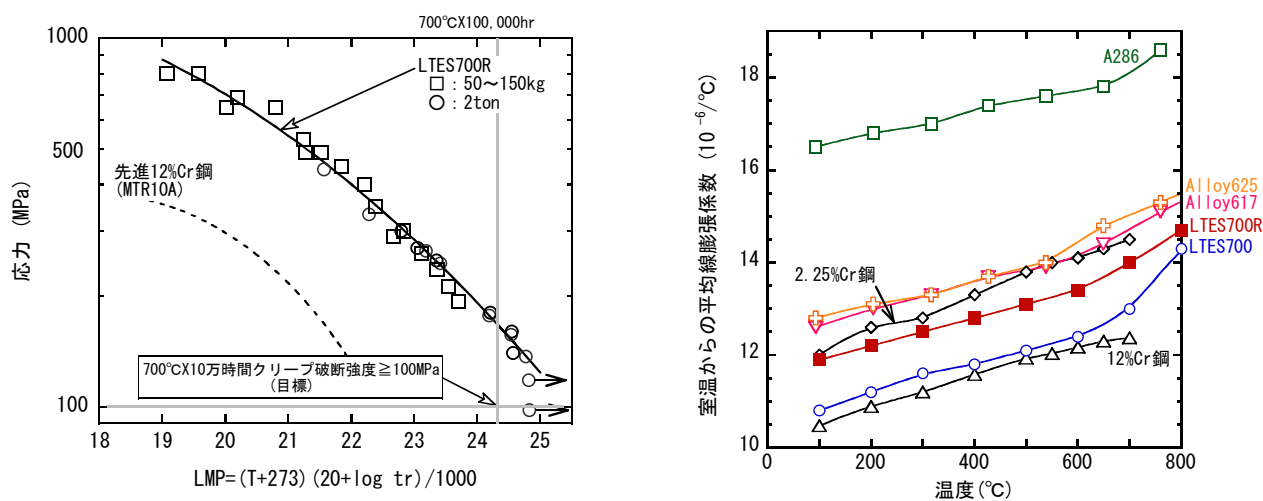


図 25 LTES700R の特性

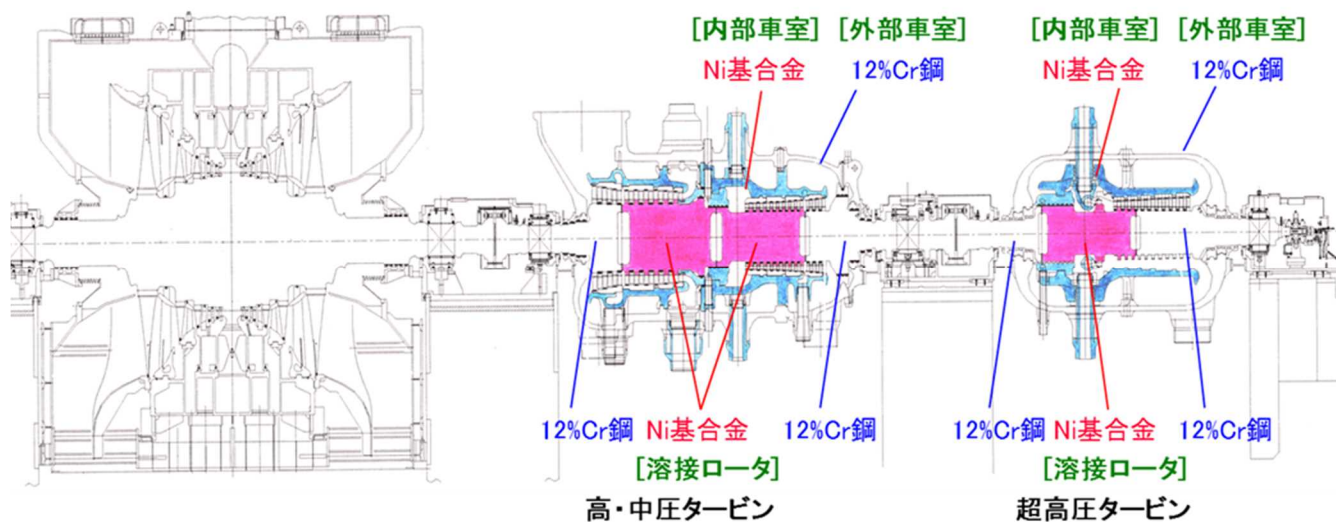


図 26 大型ロータと溶接技術

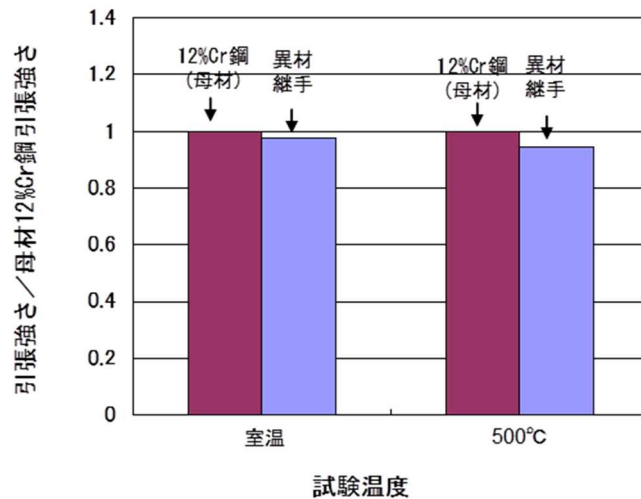


図 27 LTES700R と先進 12Cr 鋼の異材溶接継手強度

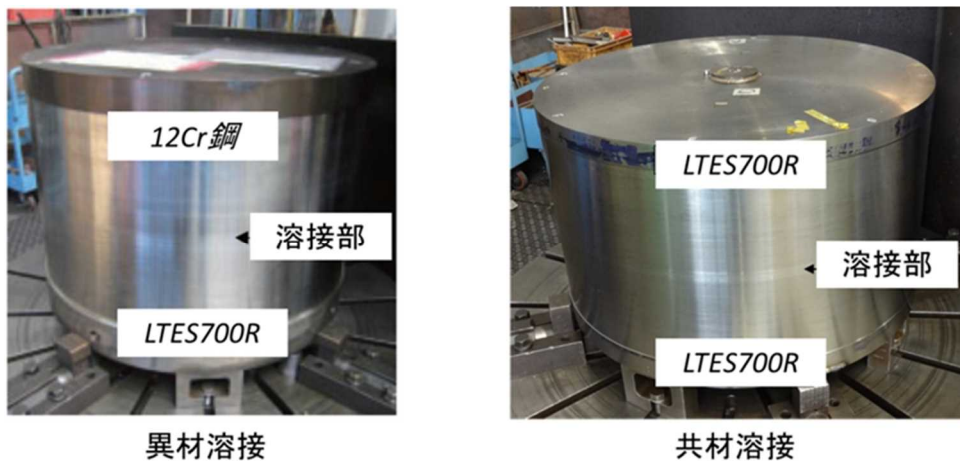


図 28 LTES700R と 12Cr 鋼の異材溶接

Ni 基合金は、溶解、鍛造に必要な製造能力の制約から、製造サイズに制限が生じることから、部材を軸方向に溶接で連結した溶接ロータ（図 26）の採用が必要となる。Ni 基合金の溶接技術については、既にフェライト系耐熱鋼において技術確立されており、実機向け溶接ロータ製作実績も十分にある TIG 溶接を採用した。LTES700R 向けの溶接材料開発を行い、継手性能は母材同等となることを確認した(図 27)。続いて、前記の LTES700R 試作材と先進 12Cr 鋼との異材溶接施工を行った。モックアップロータ材の外径は約φ800mm であり、良好な施工結果であった(図 28)。このモックアップロータ材については、引続き、継手性能(組織、機械特性等)を確認した。

TOS1X は、Ni 基合金 Alloy 617 をベースに Al 量と Ti 量を調整し、鍛造性や溶接性を維持しつつ高温強度を向上させた合金である。TOS1X の開発においては、小規模試作材(5kg)の製造を経て、7 トンのモデルロータを試作し、製造性を検証するとともに、700°C、10 万時間クリープ破断強度約 160MPa を達成した。

続いて、TOS1Xのモデルロータ（7トン）の製造で得られた知見をベースに組成の最適化を行うことで、より高温強度を高めたロータ材料 TOS1X-II の開発を行った（図 29）。表 4 に TOS1X-II の化学成分を、TOS1X とともに示す。TOS1X-II は、TOS1X の Cr 量を減らし、Ti 量を高めた化学成分を有する。Ti 量の増量により高温強度をさらに高めるとともに、組織安定性の観点から Cr 量を低減した。その結果、10 万時間クリープ破断応力として 200MPa 以上の達成の見込みを得た。（図 30）

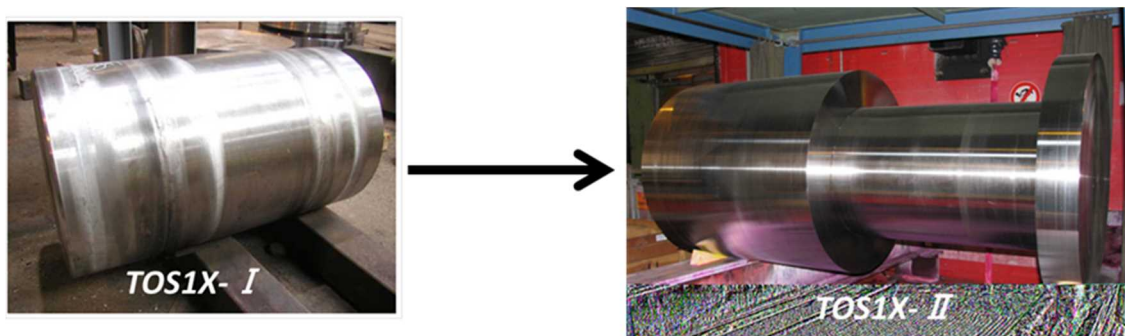


図 29 TOS1X の開発

表 4 TOS1X-II の化学成分

	Ni	C	Cr	Al	Ti	Mo	Co	Ta	Nb
Alloy617	Bal	0.1	23	1.15	0.3	9	12.5	-	-
TOS1X	Bal	0.05	23	1.6	0.3	9	12.5	0.1	0.3
TOS1X-II	Bal	0.07	18	1.25	1.35	9	12.5	0.1	0.3

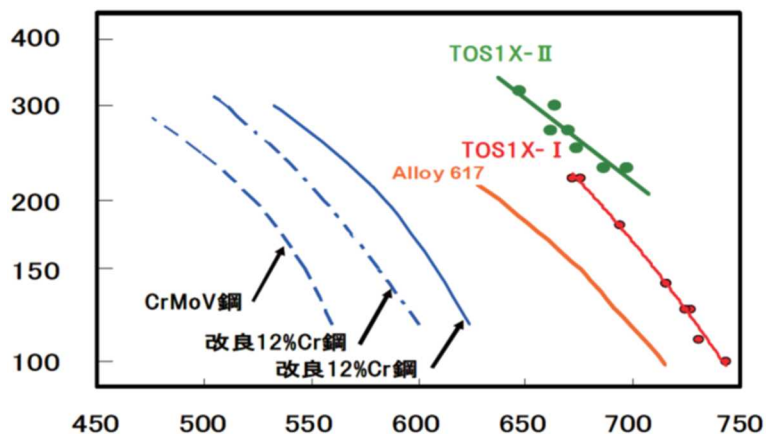


図 30 TOS1X のクリープ破断強度

FENIX700 は、ベースの鉄-Ni 基合金 Alloy706 の材料組成から Nb を取り除き Al を添加する等の組成改良を施したロータ向け材料である。Alloy706 は、鉄分を多く含み、Mo、W、Co などの高価な元素を含まない。そのため、一般的な高強度 Ni 基合金の中で素材価格が安い利点を持つ。また、Alloy706 に含まれる Nb は、析出強化相である γ'' 相 (Ni_3Nb) を生成するため非常に重要であるが、偏析しやすい元素でもある。そのため、Nb は大型インゴット製造には好ましくない。表 5 に FENIX700 と Alloy706 の組成を比較して示す。図 31 に電子顕微鏡写真を示す。FENIX700

の析出強化相は Alloy706 で観察される γ'' (Ni3Nb) に代わり、700°C の高温化でも安定した析出強化相である γ' (Ni3Al) のみ表れることが確認された。図 32 に FENIX700 の長時間クリープ破断強度の計測例を示す。開発目標である 700°C で 10 万時間のクリープ破断強度が 100MPa を超える見込みである。

表 5 FENIX700 と Alloy706 の組成比較

Alloy	Fe	Ni	Cr	Nb	Ti	Al
Alloy 706	Bal.	41	16	3	1.7	0.3
FENIX700	Bal.	41	16	2	1.7	1.3

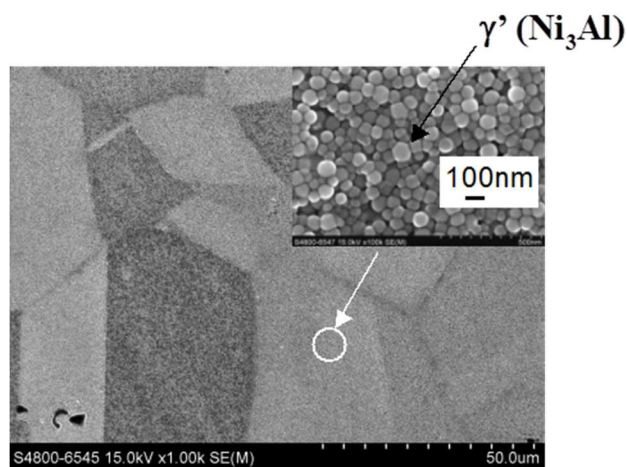
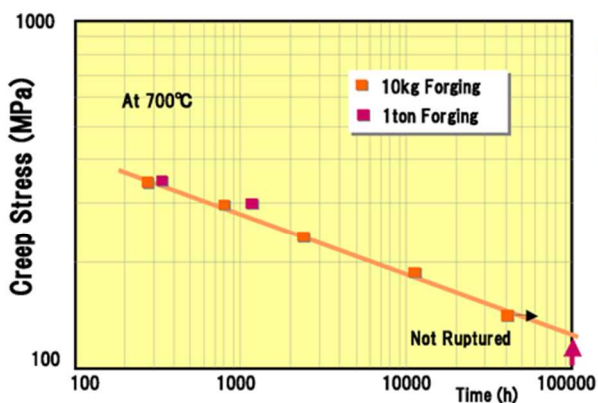


図 31 FENIX700 のマイクロ組織



クリープ寿命



ESR鋼塊 (18tons)

図 32 FENIX700 の特性

一方、ケーシング材料については、新たな開発は行わず、既存材料の中で蒸気タービンのケーシング材に最も適した材料の選定を行うこととした。候補としては Alloy617、Alloy625、Alloy740 があり、参加各社で分担し 1~2 トン程度の鋳造ステップブロック材を試作した(図 33)。さらに、大型の内部ケーシング(図 34)、ノズルボックス(図 35)を成功裏に試作した。これらの材料から切り出した試験片により材料特性評価を行なった。

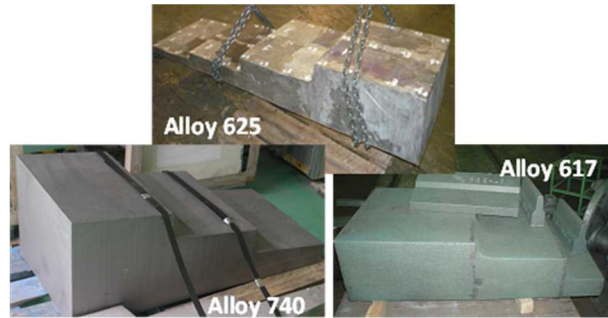


図 33 鑄造ステップブロック材



図 34 鑄造内部ケーシング



図 35 鑄造ノズルボックス

2.4 高温弁要素技術開発

A-USC をシステムとして完成するには 700°C の蒸気環境下で作動する高温弁が欠かせない。種類としてはタービン蒸気弁、ボイラ起動弁（タービンバイパス弁）、ボイラ安全弁等があり、図 36 に示す。これらはタービンの蒸気流量の制御、ボイラ起動時の蒸気流量制御、緊急時に蒸気を逃がす等の機能を有し、システムを安全に運用する上で非常に重要な機器である。

図 37 に高温弁の開発課題を示す。高温弁は蒸気の流量制御の観点から摺動する弁棒及び相手側摺動部材料に高い摺動特性が求められる。そこで、800°C まで検証可能な高温摩擦試験機（図 38）を製作し、従来機での特性と同等以上の摺動特性が出る候補材を絞り込むための試験を実施した。従来機では摺動材料の表面に窒化処理、溶射処理、肉盛溶接処理を施した材料を適用して

きたが、Ni 基合金についてもそれら表面処理技術を適用し、この装置を用いNi 基材料、ステライト材、表面効果処理材等を試験し、弁棒と相手側の摺動部材料に最適な組み合わせを見いだした。

また、摺動部に高温蒸気による酸化が急激に発生すると摺動部における固着が弁棒動作不良の原因と成りかねない為、その特性を把握する必要がある。よって高温蒸気により表面に付着するスケール厚さ、重量増加測定を目的とした水蒸気酸化試験を実施し、慎重に材料選定を行った。

また、高温弁は蒸気室と大気室を遮断するシール材の採用が必要不可欠である、しかしながら従来機に採用されてきたシール材は 700°C級蒸気雰囲気での使用実績がほとんど無いため、長時間におけるシール材の耐久性の確認が必要である。酸化減量が少ない材料が求められる。また、シール材は設置部位により求められる性能が大きく異なる。シール材の検証には高シール性、酸化減量が少ないことは基より、締付方法、メンテナンス手法の確立も必要不可欠である。一方、高温弁内部の大口径ねじ部においては高温酸化雰囲気における焼きつき、齧りといった可能性があり、その対策が求められる。具体的にはNi 基合金の母材のねじ部位にコーティングを実施する事で対策を実施し、高温酸化雰囲気に長時間さらした後に、対策の効果を確認した。

蒸気タービンの蒸気入口に設置される入口弁は、蒸気タービンの蒸気流量制御動作や、保護装置が作動した際の危急遮断動作など蒸気タービンを安全に運用・停止するために重要な役割を担っており、常に高い信頼性を有するものでなくてはならない。一方入口弁は、蒸気タービンの中で最も高温・高圧部にさらされる要素であり、過酷な条件下で弁動作を確実にものとする必要がある。このため、入口弁に適用される材料には材料強度のほか使用される部位によって、異なる材料特性が要求されることになる。代表的な部位として弁棒摺動部には、耐酸化スケーリング性、耐磨耗性、耐かじり性及び摺動性に優れた材料特性が必要となり、弁シート部には耐酸化スケーリング性、耐エロージョン性及び耐衝撃性に優れた材料特性が必要となる。一般的に、これらの材料特性を得るため母材にコーティング、肉盛溶接又はその他の表面硬化処理を行い実現している。蒸気温度が 700°Cを超える A-USC プラントの入口弁に適用される主要材は、これらの観点から既存のNi 基合金などから必要な特性を有したものを選定した。

一方、タービン用の大型高温弁のケーシングにはNi 基合金の大型鋳造材を適用する方針であり、実機大の鋳造材を試作し製造技術を確立した。(図 39)

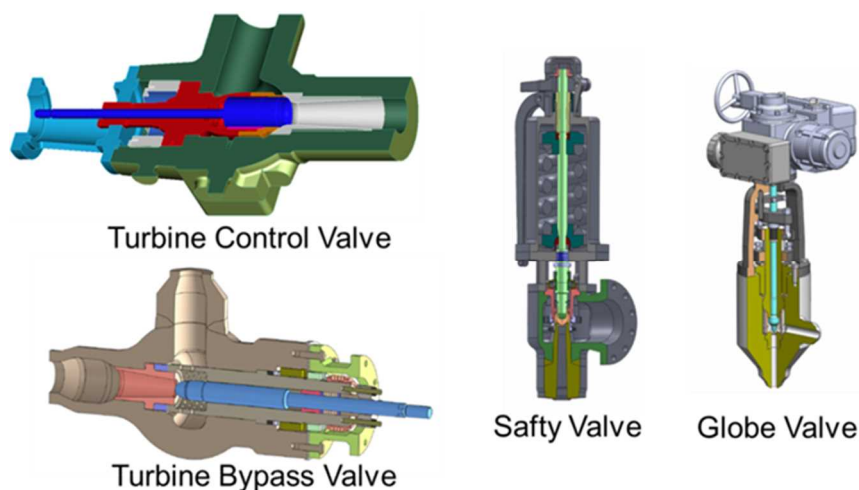


図 36 高温弁

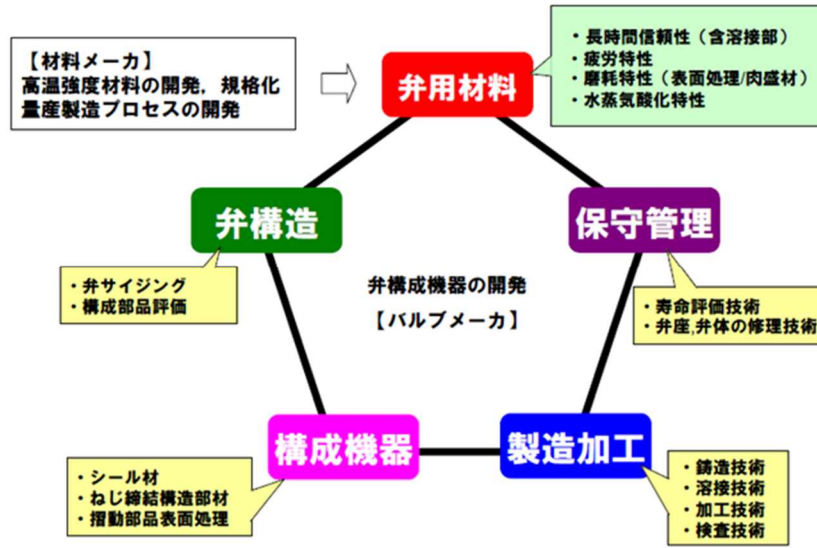


図 37 A-USC 高温弁開発課題

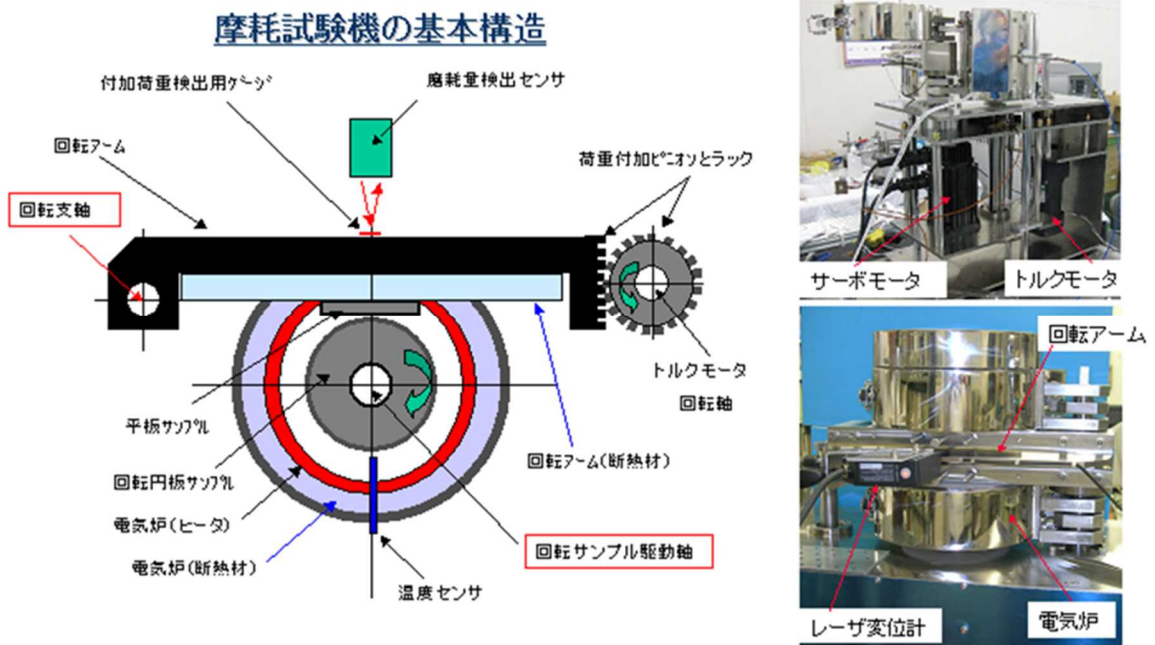


図 38 弁材料の高温摺動試験装置



図 39 弁ケーシング (Alloy625, 約 9ton)

2.5 実缶試験・回転試験（高温弁検証を含む）

プロジェクト後半の 4 年間ではそれまでに開発された基本技術を駆使し、実機ボイラの一部に 700°C の蒸気を発生する過熱器を組み込み、実缶試験を行った。7 月に当初目標の 10,000 時間の運転を達成し、10 月に試験を完了した。実缶試験は図 40 に示すように実ボイラに開発材で製作された伝熱管等を組み込み、700°C の蒸気を発生させた。発生した蒸気で、高温弁、大径管、タービンケーシング等の検証試験が行われた。図 41 に大牟田市にあるシグマパワー三川発電所で実施された実缶試験装置の外観を示す。ボイラ内部組み込まれた 700°C の蒸気を発生するために過熱器の構成を図 42 に示す。既設過熱器から 3 パネルを外し、試験用第 1 過熱器、試験用第 2 過熱器、試験用第 3 過熱器を取り付け、過熱器を直列に 3 回通すことにより蒸気を 700°C まで過熱した。図 43 には試験用第 3 過熱器をボイラに組込んだときの様子を示す。

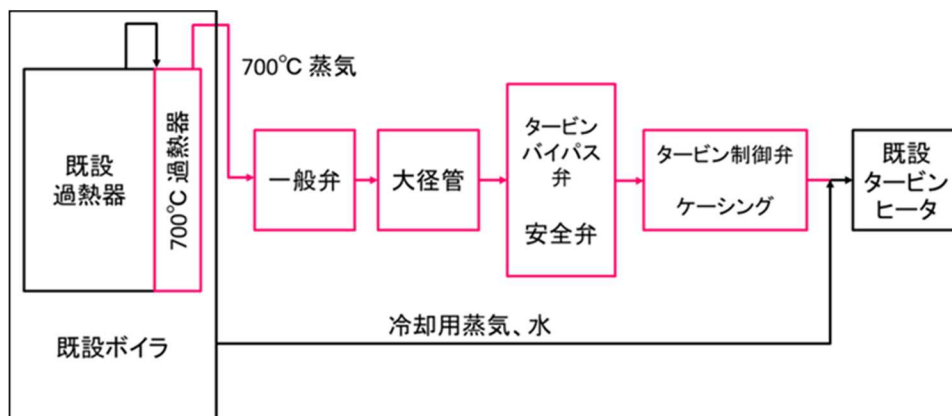


図 40 実缶試験フロー図

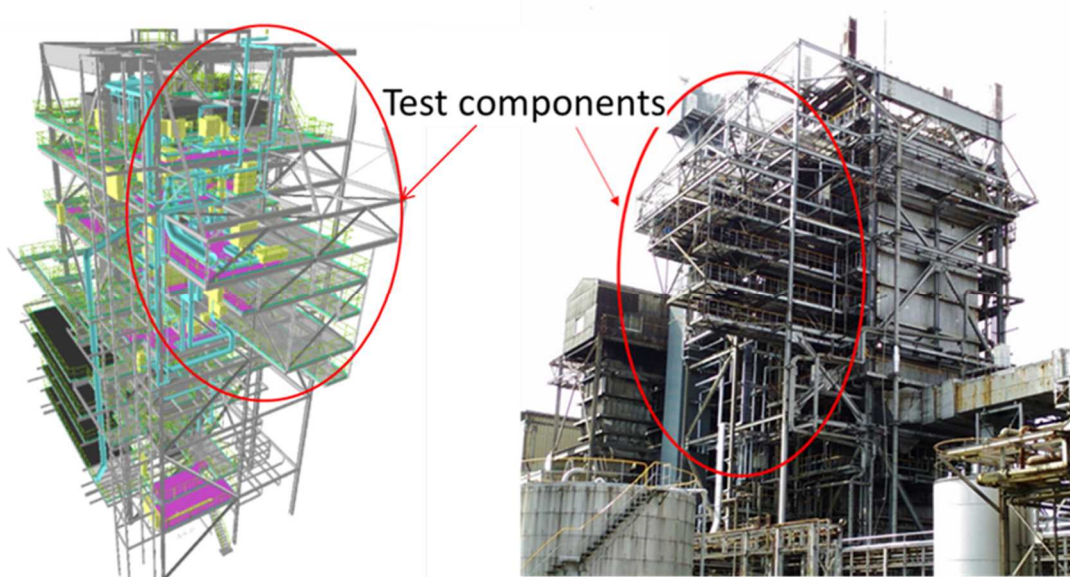


図 41 実缶試験装置外観

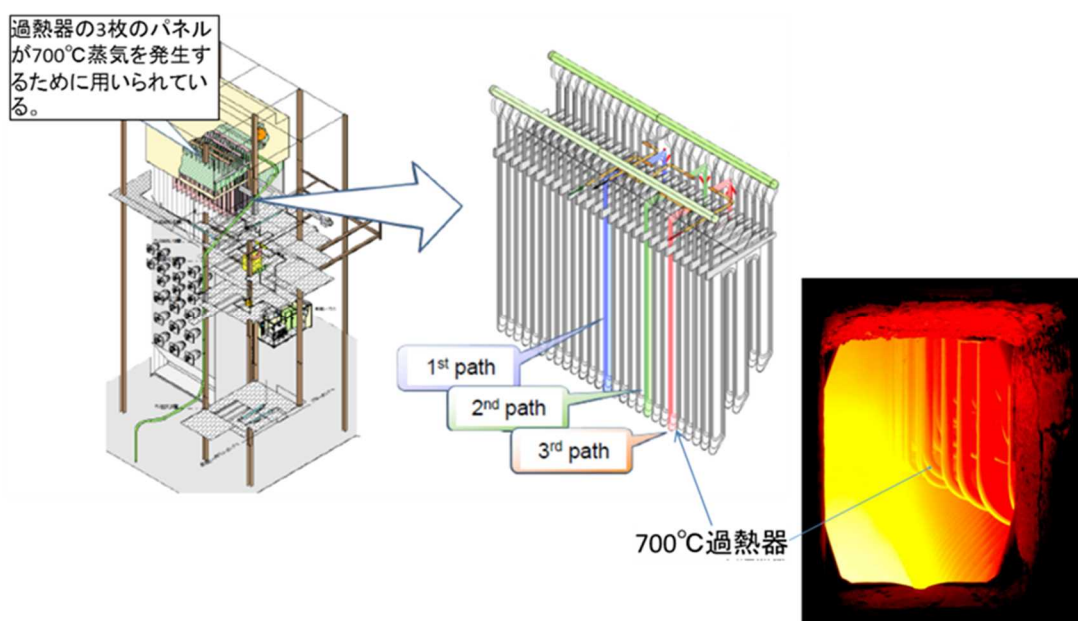


図 42 700°C過熱器の構成



図 43 700°C級過熱器 (ボイラへの組込み)

図 44 に試験用第 3 過熱器出口蒸気温度の 1 日の変化を示す。710°C になるように制御をかけている。午前中のスタートブロー時と夜の負荷下げ時に若干温度が低めになるが、そのような状況でも 700°C 程度をキープしている。

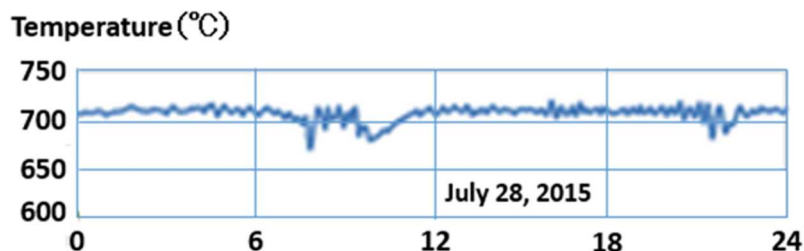


図 44 700°C 級過熱器出口蒸気温度の例

図 45 は保温を巻かれた試験用大径管である。700°C の蒸気は右上から入り、左下から出ていく。



図 45 保温を巻かれた大径管

図 46 は大径管のメタル温度分布の例で、700°C 程度に保持されており、このような条件下で問題が生じないことを確認した。

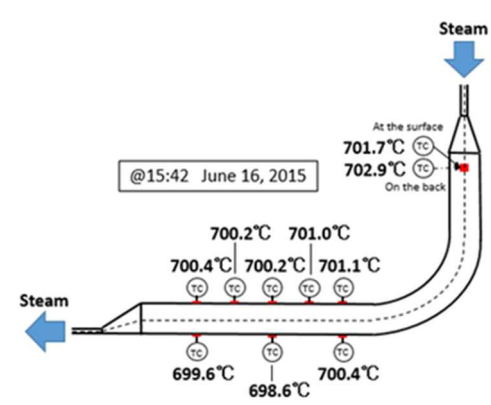


図 46 大径管メタル温度分布の例

図 47 は試験用の一般弁（玉型弁）であり、図 48 は試験用の安全弁である。これらは特に問題は無く試験を完了した。



図 47 一般弁（玉型弁）



図 48 安全弁

図 49 は試験用タービンバイパス弁（ボイラ起動弁）である。この弁は普段は閉の状態に保持されるが、定期的に開状態にして高温蒸気を通し、弁が正常に作動することを確認した。



図 49 タービンバイパス弁（ボイラ起動弁）

図 50 に試験用タービン制御弁を示す。タービン制御弁は実缶試験装置を流れる蒸気流量に影響を与えない程度に微小な開閉動作を常に繰り返すことにより、弁棒と相手側の摺動部材料の耐久性を検証し、問題が無いことを確認した。



図 50 タービン制御弁

図 51 はタービン内部ケーシングモデルである。内部に酸化試験用材料試験片を多数配置しており、700℃環境下での様々な材料の耐酸化特性の比較を行うことができる。今後、内部ケーシングから試験片を取り出し、それらの酸化状態を比較する。

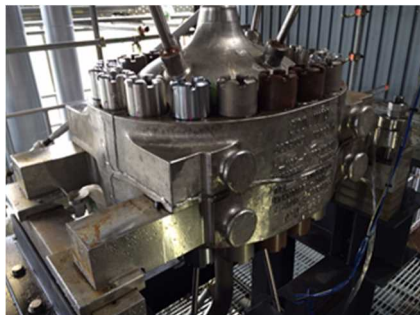


図 51 タービン内部ケーシングモデル

プロジェクト後半の4年間では実機と同じ外径を持ったロータを試作し、700℃以上の温度条件下で、実機と同じ回転数でロータ回転試験を実施する。現在、試験装置の試運転を行っている。2015年度から2016年度末まで試験を実施する。ロータは電気ヒータで加熱される。回転試験装置を図 52 に示す。

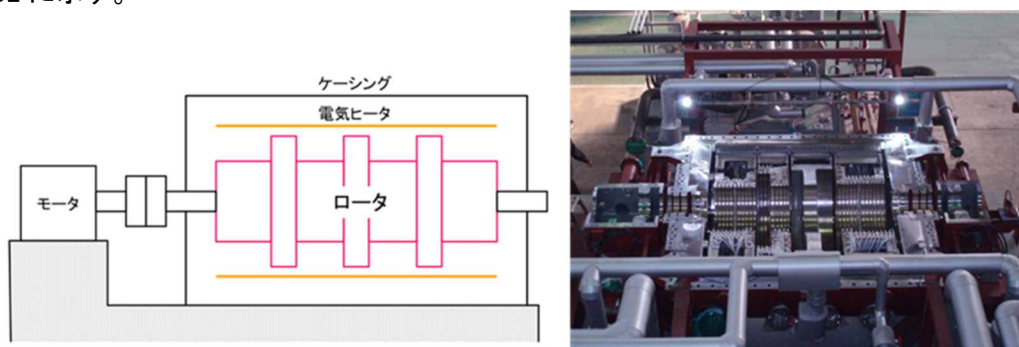


図 52 回転試験装置

4. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

1. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

①実用化の見通し

図 53 に示すように 2016 年度に要素技術開発を完了し、それに並行してユーザによる技術評価を行う。その後、地点選定、環境アセス等を行い、建設工事、試運転を経て、早ければ 2025 年頃に大型機の商用実証を目指す。

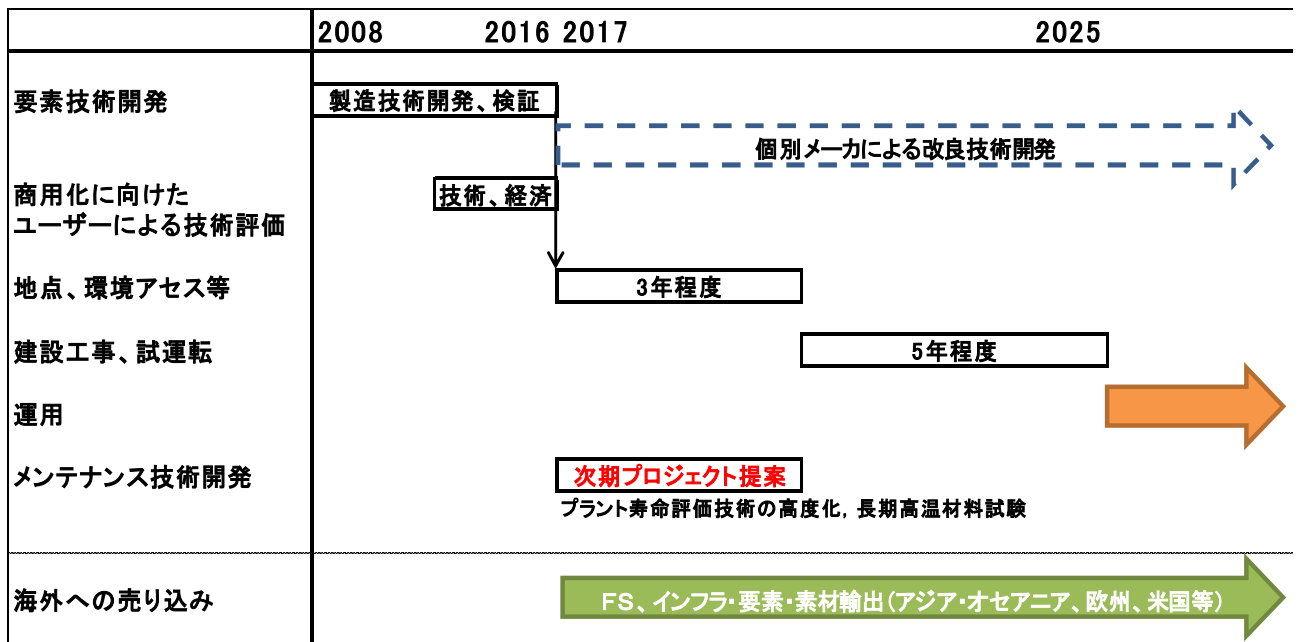


図 53 実用化想定スケジュール

②導入促進に向けた課題

プラント寿命評価技術の高度化

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を行うこと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

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、素材に関する技術流出を防ぎつつ輸出する仕組みづくり。輸入国へのファイナンス支援（ODA、JBIC 等）を活用する。

「次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

平成27年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、平成27年7月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、CO₂削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。

②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率の世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電（IGCC）が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅なCO₂削減を実現しうるCO₂の回収・貯留・利用（CCUS）の技術の開発・推進も重要なテーマであり、国内でのCCS（二酸化炭素の回収・貯留）大規模実証事業や貯留ポテンシャル調査等が進められている。

③世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、CO₂排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで巨額の研究開発費を投じ、基礎研究から技術開発、実証研究等の様々な取組が行われており、日本と同様にIGCCや先進的超々臨界圧火力発電（A-USC）、高効率ガスタービン等の開発が進められている。また、大幅なCO₂削減を達成するため、CO₂分離・回収を行ったIGCCやCCS-EOR（石油増進回収）の実証といったプロジェクトも進められている。

④本事業のねらい

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業をはじめ、石炭火力、LNG火力の双方につき、新たな火力発電技術の開発等を実施する。また、火力発電から発生するCO₂排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、火力発電所から発生する大量のCO₂を効率的に分離・回収・有効利用するための技術開発等を実施する。これまでの火力発電に係る技術開発は、個別の技術ごとに進められていたが、石炭火力、LNG火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するためには、個別技術開発を統合し、包括的かつ一体的に推進することが有効である。そこで、次世代火力発電技術に係る事業を本事業において統合し、関連事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅向上やCO₂分離・回収後においても高効率を維持する等、CO₂排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の確立を目指す。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）商用機として送電端効率63%（高位発熱量基準）を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%（高位発熱量基準）を達成する。また、CCSの実現に向け、CO₂分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂という大幅な低減を達成する。

世界の火力発電市場は、今後、2040年にかけて石炭火力では約520兆円、LNG火力では約270兆円で、累計790兆円の規模が見込まれる。年平均では約30兆円であり、このうちのシェア1割、約3兆円の次世代火力技術の市場を獲得する。

③アウトカム目標達成に向けての取組

市場ニーズを見極めつつ、各技術開発プロセスの進捗管理を行い、開発優先度の調整、開発スケジュールの最適化、技術開発の相互連携を図り、中長期の火力発電技術開発の全体プロセスの最適化・効率化を図る。そして、技術開発のプロセスにおけるコスト低減の取組と信頼性の確保により、商用機導入を早期に拡大する。

(3) 研究開発の内容

火力発電の効率化及びCO₂分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（NEDO負担1/3、2/3）により実施する。

なお、個別研究開発項目の研究開発内容の詳細については、別紙にて記載する。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [助成事業]

- 1) 酸素吹 I G C C 実証 (1 / 3 助成)
- 2) C O₂ 分離・回収型酸素吹 I G C C 実証 (2 / 3 助成)
- 3) C O₂ 分離・回収型 I G F C 実証
- 研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]
 - 1) 1700℃級ガスタービン (2 / 3 助成)
 - 2) 高湿分空気利用ガスタービン (AHAT) (2 / 3 助成)
- 研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発 [助成事業 (2 / 3 助成)]
- 研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]
 - 1) 次世代ガス化システム技術開発
 - 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
 - 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
 - 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
 - 5) C O₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 研究開発項目⑤ C O₂ 回収型クローズド I G C C 技術開発 [委託事業]
- 研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業 [委託事業]

3. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本事業は、NEDOが単独又は複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）から、原則公募によって実施者を選定し実施する。ただし、移管事業に関してはこの限りではない。

NEDOは、プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー（以下PMという）を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー、以下PLという）を指名する。

なお、研究開発項目ごとのPM、PLは以下のとおり。また、研究開発項目④2）、3）、4）は、推進にあたって、燃料電池に関する情報共有と開発戦略の整合性を図るため、プロジェクトチーム（PT）にNEDO新エネルギー部を加える。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM：NEDO 山本誠一、PL：NEDOにて選定

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

PM：NEDO 佐藤順、PL：NEDOにて選定

2) 高湿分空気利用ガスタービン (AHAT)

PM：NEDO 佐藤順、PL：NEDOにて選定

研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：NEDOにて選定

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

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ要素研究

PM：NEDO 西田映二、PL：電源開発株式会社 榊山直人

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

PM：NEDO 山本誠一、PL：NEDOにて選定

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM：NEDO 山本誠一、PL：NEDOにて選定

5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人石炭エネルギーセンター 原田

道昭

研究開発項目⑤ CO₂回収型クローズドIGCC技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

(2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

①進捗把握・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、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

②技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

4. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、平成28年度から平成33年度までの6年間とする。なお、研究開発項目①及び②は平成24年度から平成27年度、研究開発項目③は平成20年度から平成27年度まで経済産業省により実施したが、平成28年度よりNEDOが実施する。

5. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、事業の意義及び目標達成度や成果に係る技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。研究開発項目①～⑤については、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を行う。また、研究開発項目⑥については、事業評価実施規程に基づき、事業評価を行う。

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を平成29年度、事後評価を平成34年度に実施する。研究開発項目②は、平成30年度に中間評価、平成33年度に事後評価を実施する。研究開発項目③は、事後評価を平成28年度に実施する。研究開発項目④1)及び2)は事後評価を平成30年度に実施し、3)及び4)は、事後評価を平成32年度に実施し、5)は中間評価を平成29年度、事後評価を平成32年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評価を平成29年度、事後評価を平成31年度に実施する。研究開発項目⑥は、事後評価を平成34年度に実施する。なお、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

6. その他の重要事項

(1) 委託事業成果の取扱い

①成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

②標準化等との連携

得られた事業成果については、標準化等との連携を図り、我が国の優れた次世代火力発電等技術を普及させるために、必要に応じて、標準化への提案等を積極的に行う。

③知的財産権の帰属

事業成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

なお、海外動向や国際展開を見据えた知財管理を行うとともに、海外における知財の確保を積極的に推進する。

(2) 基本計画の変更

PMは、当該事業の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ハ、第三号及び第六号イに基づき実施する。

(4) その他

最新の技術動向や政策上の必要性に鑑み、必要に応じた研究開発項目の追加や見直しを行うことがある。

7. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成28年1月、基本計画制定。

(2) 平成28年4月、3. 研究開発の実施方式（1）研究開発実施体制 研究開発項目③、④ 1）と2）、⑤のPMの変更。5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5）中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒し。

別紙 研究開発項目④ 5）の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒し。

研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒し。

(3) 平成28年9月、5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5）中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。別紙 研究開発項目④ 5）の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

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. 研究開発の必要性

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が約110年と長く、かつ世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発電量当たりのCO₂排出量が多く、地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO₂排出量の抑制が求められている。

したがって、石炭火力発電の高効率化及びCO₂排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留（CCS）の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、平成26年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。

以上のとおり、石炭火力発電におけるCO₂排出量の課題を克服していくことが一層重要となっており、石炭火力発電の高効率化及びCO₂排出量削減を目指す本事業の必要性は大きい。

2. 具体的研究内容

本事業では、石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、究極の高効率石炭火力発電技術である石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）とCO₂分離・回収を組合せた実証試験を行い、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。

1) 酸素吹IGCC実証

IGFCの基幹技術である酸素吹IGCCの実証試験設備により、性能（発電効率、環境性能）、運用性（起動停止時間、負荷変化率等）、経済性及び信頼性に係る実証を行う。

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

酸素吹IGCC実証試験設備とCO₂分離・回収設備を組み合わせ、CO₂分離・回収型石炭火力システムとしての性能、運用性、信頼性及び経済性に係る実証を行う。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

CO₂分離・回収型酸素吹IGCCシステムと燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性を確認し、最適なCO₂分離・回収型IGFCシステムの実証を行う。

3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

1) 酸素吹IGCC実証

(a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

商用機の1/2～1/3倍の規模で、1300℃級ガスタービンを採用する実証試験設備により送電端効率（高位発熱量基準）40.5%を達成すれば、1500℃級ガスタービンを採用する商用機（石炭処理量2,000～3,000 t/d）で送電端効率約46%を達成する見通しが得られる。

(b) 環境性能：「SO_x<8 ppm」、「NO_x<5 ppm」、「ばいじん<3 mg/Nm³」を達成する（O₂=16%）。

我が国における最新の微粉炭火力は世界的に見ても最高水準の環境諸元を達成しており、酸素吹IGCCを導入する場合には同等の環境諸元を達成することが求められる。

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO₂分離・回収設備の詳細設計を完了する。

[最終目標（平成33年度）]

1) 酸素吹IGCC実証

(a) プラント制御性運用性：事業用火力発電設備として必要な運転特性及び制御性を確認する。

我が国における微粉炭火力はベースからミドル電源として運用されており、酸素吹IGCC商用機を導入する場合にも同等の制御性、運用性を確保する。

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率70%以上の見通しを得る。

我が国における微粉炭火力は年間利用率70%以上で運用されており、酸素吹IGCC商用機を導入する場合にも同等の設備信頼性を確保する。

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

酸素吹IGCC商用機には、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から、微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭までの適用炭種の広さが求められる。

(d) 経済性：商用機において発電原価が微粉炭火力と同等以下となる見通しを得る。

国内外において酸素吹IGCC商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。

2) CO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証

(a) 基本性能（発電効率）：新設商用機において、CO₂を90%回収しつつ、発電効率40%（送電端効率、高位発熱量基準）程度の見通しを得る。

CO₂回収時のエネルギーロスによる発電効率の低下という課題に対し、CO₂を90%回収（全量ガス処理）しながらも、現状の微粉炭火力と同等レベルの発電効率40%程度の見通しを得る。

(b) 基本性能（回収効率・純度）：CO₂分離・回収装置における「CO₂回収効率＞90%」、「回収CO₂純度＞99%」を達成する。

革新的低炭素型石炭火力の実現のためにCO₂分離・回収装置単体における回収効率は90%以上を目標とする。CO₂地中貯留から求められる可能性があるCO₂純度について、湿式物理吸収法を使って定常運転時、体積百分率99%以上を目標とする。

(c) プラント運用性・信頼性：CO₂分離・回収型IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性を検証する。

商用機において、CO₂分離・回収型酸素吹IGCCシステムを構築するには、プラントの起動停止や、発電所特有の負荷変動等に対し、IGCC本体に追従したCO₂分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。

(d) 経済性：商用機におけるCO₂分離・回収の費用原単位を評価する。

CO₂分離・回収型酸素吹IGCCを普及させるに当たっては、費用原単位評価が必要であり、CO₂分離・回収装置建設時期や発電所敷地等の制約に応じた評価を実施する。

3) CO₂分離・回収型IGFC実証

500MW級の商業機に適用した場合に、CO₂回収率90%の条件で、47%程度の発電効率（送電端効率、高位発熱量基準）達成の見通しを得る。

研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

1. 研究開発の必要性

平成20年3月に閣議決定された「Cool Earth —エネルギー革新技术計画」において、天然ガスタービンの高効率化が環境負荷低減の実現のための重要な技術開発であると位置づけられている。また、平成23年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO₂排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。

また、高温分空気利用ガスタービン（AHAT）は、ガスタービンサイクルを改良したシステムであり、比較的早期に実用化が期待できる高効率発電システムで、電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機（10万kW程度）の高効率化（45%（高位発熱量基準）→51%（高位発熱量基準）以上）を目的とした日本オリジナルの技術であり、世界初となるAHATの実用化は急務である。

これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。

さらに、石炭ガス化複合発電（IGCC）や石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）における更なる効率向上には、将来的に1700℃級ガスタービンやAHATシステムの導入が不可欠である。

2. 具体的研究内容

1) 1700℃級ガスタービン

1700℃級ガスタービンにおける性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発を実施する。例として、製造技術・検査技術の開発、超高温高負荷タービンの信頼性向上、過酷環境下でのデータ取得のための特殊計測技術開発等を実施する。また、1700℃級での実証運転時における特殊計測の実施、試運転データの評価・分析を行い、商用化の検討を実施する。

2) 高温分空気利用ガスタービン（AHAT）

AHATシステムについては、ユーザーニーズとしてミドル運用以上（年間50回以上の起動・停止）における長期信頼性が求められていることから、既存40MW級総合試験装置の改造による実証機製作、実証試験による長期信頼性評価を実施する。また、実証機試験結果を用いて商用機化の検討を実施する。

3. 達成目標

1) 1700℃級ガスタービン

【中間目標（平成30年度）】

1700℃級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発により、商用機に適用できる見通しを得た上で、設計・製作の仕様を決定する。

【最終目標（平成32年度）】

1700℃級ガスタービンの実証試験データの取得、および評価を実施し、送電端効率57%達成（高位発熱量基準）の見通しを得る。

2) AHAT

【最終目標（平成29年度）】

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

- ・ミドル運用（年間50回以上の起動・停止）の2倍である年間100回以上の起動・停止での実証試験を実施し、等価運転時間 10,000時間以上を確保する。

（等価運転時間とは、起動・停止等の機械装置の寿命を考慮し、同等の連続運転時間とみなせる運転時間）

研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により700℃以上の蒸気温度を達成できる先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発（A-USC）の実現可能性が見えてきた。

本事業では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、高い発電効率を実現できるA-USCの開発を行う。

2. 研究開発の具体的内容

(1) システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

(2) ボイラ要素技術

700℃級候補材料について、耐久試験により、10万時間の長期信頼性を確保する

(3) タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

(4) 高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

(5) 実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

3. 達成目標

【最終目標（平成28年度）】

蒸気温度を700℃へ高めるための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。

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

1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。

2. 具体的研究内容

次世代高効率石炭ガス化発電システムについて、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発を実施する。

酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっている。

そこで、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。

これまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型IGCCガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだIGCCシステムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があると分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) IGCCシステム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだIGCCの最適化システム試設計及び経済性検討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

3. 達成目標

[最終目標（平成30年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究

1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は石炭をガス化させ、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせてトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率発電技術として、実現が望まれている。

クールアースエネルギー革新技術開発ロードマップにおいても2025年頃の高効率石炭火力発電技術として55%の送電端効率を目指すIGFCが位置づけられている。

IGFCにおいては、燃料である石炭ガス化ガスに多種類の微量成分が含まれており、この微量成分の一部が燃料電池の劣化を招き、長期信頼性を損なう可能性があることが懸念されている。

そのため、IGFCの実現に向けては、石炭ガス化ガス中の微量成分の燃料電池への影響を把握するとともに、燃料電池の被毒成分に対するガス精製技術を確立することが必要である。

2. 具体的研究内容

燃料電池用ガス精製技術と燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を確認する。また、特定された被毒成分に対して、成分を許容レベルまで除去するガス精製技術を検討し、模擬ガスによる性能評価を行う。

3. 達成目標

[最終目標（平成29年度）]

- ・模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を評価する。
- ・模擬ガス試験により燃料電池用ガス精製技術性能を評価し、ガス精製技術を確立する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

1. 研究開発の必要性

平成27年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）については、小型GTFC（1,000kW級）の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC（10万kW級）の実証事業を経て、発電効率63%程度、CO₂排出原単位：280g-CO₂/kWh程度を達成し、2025年頃に技術を確立することが示されている。また、量産後は従来機並の発電単価を実現することとされている。

さらには、同ロードマップにおいて、IGFCの技術を確立するためには、GTFCの開発成果を活用していくことが示されており、次世代火力発電技術の早期確立に向けて、本事業の必要性は高い。

2. 具体的研究内容

小型GTFC（1,000kW級）の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発し、2020年度から開始する中小型GTFCの技術実証に活用する。

3. 達成目標

【最終目標（平成31年度）】

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

- ・高圧SOFCモジュールを開発する。
- ・ガスタービンとの関係技術を確立する（燃料器、燃料／空気差圧制御系、排燃料・排空気・空気抽気）。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は、石炭をガス化し、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種類の発電形態を組み合わせてトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率石炭火力発電技術として、その実現が望まれている。

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、IGFCの開発方針として、2025年度頃技術確立、発電効率55%及び量産後従来機並の発電単価の実現を目指すことが示された。

IGFCを構成する高温型燃料電池については、現在、天然ガスを燃料とした燃料電池の開発が進んでいるが、石炭ガスを燃料とした場合の適用性についての検証及びシステムの検討を行う必要がある。

燃料を石炭ガスとした場合に、燃料電池の劣化を引き起こすガス中被毒成分濃度の確認と被毒成分の除去技術についての研究は、すでに着手されている。

IGFCを構成する燃料電池モジュールについて、石炭ガスを燃料とした場合の運用性や性能を把握する必要があることから、実燃料電池モジュールを用いた石炭ガス燃料の適用性試験を行い、その結果を踏まえて、IGFCの技術確立に必要な実証機に係るシステム検討を行う必要がある。

2. 具体的研究内容

(1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、CO₂分離・回収を行わないIGFCとCO₂分離・回収型IGFCについて、ケーススタディを行い、送電端効率とコストの試算を行う。IGFCの実用化に向けた課題、商用化システムの検討結果及び(2)の成果を踏まえて、IGFC実証システムについて検討を行い、実証機の容量を決定のうえ、試設計を行う。

(2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガス燃料の適用性試験に供する高温型燃料電池モジュールについては、天然ガス燃料で既に実用化されている燃料電池モジュールとする。本試験に係る設計、製作、据付け等を行い、まず、天然ガスを燃料とした試運転を行う。次いで、天然ガスをH₂リッチガスに改質した燃料を用い、燃料電池モジュールの運用性、性能等を把握するとともに、天然ガス燃料の場合との比較から課題を抽出する。さらに、石炭ガス化の実ガスを燃料として、燃料電池の被毒成分をガス精製によりクリーンナップしたうえで燃料電池モジュールに供給し、その運用性、性能等を把握するとともに、石炭ガス適用時の課題を抽出する。さらに、これまで実績のない石炭ガスによる運転を行うことから、燃料電池セル及びモジュール内部構造への影響を把握するため、装置の解体調査を行い、石炭ガス適用時の課題を抽出する。

3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

(1) IGFCシステムの検討

IGFC実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

(2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの運用性と性能を把握し、課題を抽出する。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

5) CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとされている。

現在、石炭の燃焼排ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO₂の分離・回収技術の開発が進められているが、CO₂分離・回収工程において多くのエネルギー損失が発生することが課題となっている。これを解決するため、エネルギー損失のない高効率でありながら、CO₂の分離・回収が可能な化学燃焼石炭利用技術について、実用化に向けた開発を実施する。

2. 具体的研究内容

従来、石炭の燃焼時の排気ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO₂分離・回収に当たっては、この過程における多くのエネルギー損失が課題となっているが、CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術においては、酸素キャリアとなる金属を媒体とする石炭の燃焼反応と金属の酸化反応を二つの反応器で別個に発生させることにより、CO₂の分離・回収装置及び空気分離装置が不要となり、エネルギー損失のないCO₂の分離・回収が可能である。

さらに、CO₂分離型化学燃焼石炭火力発電は、流動床燃焼技術を用いることから多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）が活用でき、IGCCやA-USCが大規模プラントであるのに対して、中小規模プラント（10～50万kW）におけるCO₂の分離・回収に適しているといった特長がある。

しかしながら、実用化に向けては、酸素キャリアのコスト抑制及び反応塔の小型化に向けた酸素キャリアの反応性の向上という課題がある。

そこで、有望な酸素キャリアの評価と選定並びにプラント構築を目的として、以下の項目を実施する。

(1) 酸素キャリアの評価と選定

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等について要素試験にて評価を行い、コストを踏まえて選定する。

(2) プラント試設計及び経済性検討

酸素キャリアの反応性からプロセス解析を行うとともに酸素キャリアの流動や循環を検討し、プラント試設計を行う。この結果をもとに経済性検討を行う。

(3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等並びに流動や循環を含むプラントの成立性を検証するため、ベンチ試験装置を製作し、試験・評価を行う。

3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標（平成32年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO₂を見通せるCO₂分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

研究開発項目⑤ 「CO₂回収型クローズドIGCC技術開発」

1. 研究開発の必要性

石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後CO₂排出量抑制のためには、石炭火力発電の高効率化に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。

しかしながら、CCSは多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロス可能な限り低減する必要がある。

2. 具体的研究内容

本システムは、排ガスCO₂を一部系統内にリサイクルすることにより、CO₂回収型石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上することのできる、世界でも例のない次世代IGCCシステムである。本システムは高効率に加え、CO₂の100%回収が可能であるため、CO₂を排出しないゼロエミッション石炭火力の実現が期待できる。

本システムの実現に向けては、平成20年度から平成26年度まで実施した「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量3 t/dの小型ガス化炉を活用し、送電端効率42%（高位発熱量基準）以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。

本事業では、この基盤技術開発の成果を活用し、実機により近い大型のサイズのガス化炉において検証を行い、システム実現に向け、基盤技術をより確実な技術として発展させるとともに、他のCO₂分離・回収技術と比較した本システムの経済的優位性を確認することを狙いとする。

具体的には、石炭投入量50 t/d規模のガス化炉を用いた、O₂/CO₂ガス化技術の実証や乾式ガス精製システムの実証といった高効率発電を可能とする各要素技術を開発する。また、セミクローズドGTについては、燃焼試験とCFD解析を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。

3. 達成目標

【中間目標（平成29年度）】

送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術確立の目途を得る。

【最終目標（平成31年度）】

送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術確立する。

研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

1. 研究開発の必要性

長期エネルギー需給見通しにおける基本方針は、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現することである。2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO₂を一層削減するには、次世代技術の普及による更なる高効率化、そして、CO₂の回収、貯留・利用の推進が重要である。また、日本の優れた火力発電技術を海外に展開していくことにより、地球規模での温暖化問題の解決を推進していく必要がある。

2. 具体的研究内容

最新の技術動向や社会情勢、社会ニーズに合わせ、国内外の石炭利用技術分野における最新技術の普及可能性及び技術開発動向等の調査や新規技術開発シーズ発掘のための、CCT関連やCCS関連の調査を実施する。また、IEA/CCC (Clean Coal Centre)、IEA/FBC (Fluidized Bed Combustion)、GCCSI (Global CCS Institute) 等に参画し、技術情報交換・各種技術情報収集を行うとともに、国内関係者への情報提供を行う。また、今後の国際市場における日本の石炭火力発電所受注に向けて、高い競争力を発揮できる戦略及びビジネスモデルを構築する。さらに、低コスト高効率石炭火力発電システム実現に向けた検討を進める。

3. 達成目標

[最終目標（平成33年度）]

石炭利用技術分野において、CO₂排出量低減、環境負荷低減及び国際競争力の強化を図るために必要となる基礎的情報や、最新情報の収集・解析及び将来における次世代火力の技術開発や導入可能性について、関連技術の適応性、課題等の調査を行う。また、海外との協力を通して、我が国の優れたCCTの導入に向けた取組を行う。

研究開発スケジュール

◇中間評価、 事後評価

年度(平成)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
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					◇						◇
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事 業					※1											
						※1										
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									◇							
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																
2) 燃料電池向け石炭ガス スクリーンナップ技術要素研 究																
3) ガスタービン燃料電池 複合発電技術開発																
4) 燃料電池石炭ガス適用 性研究																
5) CO2分離型化学燃焼 石炭利用技術開発																
研究開発項目⑤ CO2回収型クローズド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																

※1 経済産業省にて実施

※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

特 許

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状 態	名 称	発 明 者
1	MHI	特 願 2008- 195580	国内	2008/7 /30	登 録	N i 基合金用溶接材料	川崎 憲治
2	MHPS	特 願 2010- 502367	国内	2008/8 /11	登 録	低圧タービン用ロータ	西本 慎
3	MHPS	特 願 2010- 502383	国内/ 外国	2008/8 /11	登 録	蒸気タービン設備	西本 慎
4	MHPS	特 願 2010- 502362	国内/ 外国	2008/8 /11	登 録	蒸気タービン設備	西本 慎
5	MHPS	特 願 2008- 230399	国内	2008/9 /9	登 録	タービン用の溶接型ロータお よびその製造方法	今野 晋也
6	MHPS	特 願 2008- 252124	国内	2008/9 /30	公 開	蒸気タービン, タービンロー タ及びその製造方法	鴨志田 宏紀
7	MHPS	特 願 2008- 252127	国内	2008/9 /30	公 開	N i 基合金及び、N i 基合金 を用いた上記タービン用高温 部材	佐藤 順
8	MHPS	特 願 2008- 286033	国内	2008/1 1/7	公 開	タービンロータ	齊藤 英治
9	MHPS	特 願 2011- 547410	国内	2009/2 /25	登 録	単流型タービンにおける冷却 方法及び装置	西本 慎
10	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	宮下重 和、他
11	MHPS	特 願 2009- 83988	国内	2009/3 /31	登 録	溶接材料および溶接ロータ	佐藤 順
12	MHPS	特 願 2009- 83990	国内	2009/3 /31	登 録	N i 基合金およびその製造方 法	今野 晋也
13	MHPS	特 願 2009- 184309	国内	2009/8 /7	公 開	蒸気タービン	齊藤 英治

14	MHPS	特 願 2009- 204246	国内	2009/9 /4	登 録	N i 基 鑄 造 合 金 お よ び タ ー ビ ン 車 室	佐藤 順
15	MHPS	特 願 2012- 98422	国内	2009/9 /4	登 録	タービンロータ	佐藤 順
16	MHPS	特 願 2009- 221814	国内	2009/9 /28	公 開	蒸気タービンロータ、それを用いた蒸気タービン	今野 晋也
17	富士電機	特 許 第 5830445 号	国内	2009/1 0/5	登 録	蒸気弁	日本ピ ラー 富士電 機
18	MHPS	特 願 2011- 501456	国内	2009/1 2/21	登 録	蒸気タービン発電設備の冷却方法及び装置	西本 慎
19	MHPS	特 願 2010- 23693	国内	2010/2 /5	登 録	N i 基 鍛 造 合 金 と 、 そ れ を 用 いた 蒸 気 タ ー ビ ン プ ラ ン ト 用 部 品	今野 晋也
20	東芝	P2010- 95940	国内	2010/4 /19	登 録	鍛造又は圧延用N i 基合金およびそれを材料とする蒸気タービン用部品	山田政 之、他
21	MHPS	特 願 2010- 188982	国内	2010/8 /26	登 録	蒸気タービン用鍛造合金、それを用いた蒸気タービンロータ	鴨志田 宏紀
22	MHPS	特 願 2010- 205741	国内	2010/9 /14	公 開	高強度N i 基鍛造超合金及びその製造方法	鴨志田 宏紀
23	MHPS	特願 2010- 279999	国内	2010/1 2/16	登 録	溶接構造物	西岡 映二
24	MHPS	特願 2014- 219739	国内	2011/3 /30	登 録	蒸気タービンのロータ	西本 慎
25	MHPS	特願 2011- 115134	国内	2011/5 /23	登 録	タービンロータ等の大型溶接構造物の異材溶接部及びその製造方法	西岡 映二
26	MHPS	特願 2011- 214285	国内	2011/9 /29	登 録	タービンロータ及びその製造方法並びに蒸気タービン	西岡 映二
27	MH I	特願 2012- 025453	国内	2012/2 /8	公 開	超合金部材の曲げ加工方法	齋藤 伸彦
28	MHPS	特願 2012-	国内	2012/3 /30	登 録	N i 基 合 金 溶 接 材 料 並 び に こ れ を 用 いた 溶 接 ワ イ ヤ 、 溶 接	今野 晋也

		79102				棒及び溶接用粉末	
29	MHPS	特願 2012- 89056	国内	2012/4 /10	公開	高温配管物およびその製造方法	今野 晋也
30	MHPS	特願 2012- 139585	国内	2012/6 /21	登録	N i 基合金の使用温度推定方法及び寿命評価方法	清水 大
31	MHPS	特願 2012- 140472	国内	2012/6 /22	公開	タービンロータ及びその製造方法及び当該タービンロータを用いた蒸気タービン	西岡 映二
32	MHPS	特願 2012- 148725	国内/ 外国	2012/7 /2	公開	蒸気タービン設備	西本 慎
33	東芝	P2012- 160390	国内	2012/7 /19	登録	N i 基溶接材および異材溶接タービンロータ	生沼 駿、他
34	東芝	P2012- 212725	国内	2012/9 /26	登録	N i 基合金、その製造方法およびタービン用部品	宮下 重和、他
35	MHPS	特願 2012- 220365	国内	2012/1 0/2	公開	ニッケル基合金からなる大型鑄造部材およびその製造方法	鴨志田 宏紀
36	MHPS	特願 2012- 245469	国内	2012/1 1/7	公開	N i 基鑄造合金及びそれを用いた蒸気タービン鑄造部材	鴨志田 宏紀
37	MHPS	特願 2012- 279053	国内	2012/1 2/21	公開	鍛造部材並びにこれを用いた蒸気タービンロータ、蒸気タービン動翼、ボイラ配管、ボイラチューブ及び蒸気タービンボルト	今野 晋也
38	MHI	特願 2013- 044344	国内	2013/3 /6	公開	蒸気タービン用ロータ、その製造方法、及び蒸気タービン	山本 隆一
39	MHI	特願 2013- 055193	国内	2013/3 /18	公開	蒸気タービン用部材の製造方法	平川 裕一
40	MHPS	特願 2013- 108164	国内	2013/5 /22	公開	伝熱管の使用温度推定方法および伝熱管の保守方法	東海林 剛
41	MHPS	特願 2013- 122286	国内	2013/6 /11	公開	タービンロータ及びこれを用いた蒸気タービン並びに当該タービンロータの製造方法	西岡 映二
42	MHPS	特願 2013- 238842	国内/ 外国	2013/1 1/19	公開	厚肉大径管の溶接継手構造とその溶接施工方法	東海林 剛

43	MHPS	特願 2014- 145890	国内	2014/7 /16	公開	N i 基系合金の管の製造方法、N i 基系合金の高周波加熱曲げ管、N i 基系合金の接合管およびボイラ	東海林剛
44	MHPS	特願 2014- 170226	国内	2014/8 /25	公開	部材の使用温度の推定方法および部材の使用温度の推定装置	東海林剛
45	MHPS	特願 2014- 239924	国内	2014/1 1/27	公開	再熱割れ感受性評価方法及び再熱割れ抑制方法	橋本 憩太

論文

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	査読	発表年月
1	東海林、他	バブ コック 日立	Investigation on Long-term Creep Rupture Properties and Microstructure Stability of Fe-Ni based Alloy Ni-23Cr-7W at 700°C	Materials Science and Engineering: A	有	2012年 12月
2	田淵正明、他	NIMS	Creep Strength of Dissimilar Welded Joints Using High B-9Cr Steel for Advanced USC Boiler	Metallurgical and Materials Transactions A	有	2014年 10月
3	Y. Liu、他	NIMS	Precipitation Behavior in the Heat-Affected Zone of Boron-Added 9Cr-3W-3Co Steel During Post-Weld Heat Treatment and Creep Deformation	Metallurgical and Materials Transactions A	有	2015年5 月
4	野村恭兵、他	IHI、 他	23Cr-45Ni-7W 合金溶接継手のクリープ破断強度	日本金属学会誌 第79巻第7号 (2015)348-355	有	2015年7 月
5	Fujio Abe、他	NIMS	Influence of data scattering on estimation of 100,000 h-creep rupture strength of Alloy 617 at 700 oC by Larson-Miller	Journal of Pressure Vessel Technology	有	2017年2 月

			method			
6	Keiji Kubushiro、他	IHI	Effect of Pre-strain on the Creep Strength of Ni-Based Alloys for A-USC Boilers	Transactions of the Indian Institute of Metals	有	2016年6月

学会発表、講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	福田雅文	NIMS	A-USC Technology Development in Japan	Cleaner Coal Workshop 2009	2008年8月
2	福田雅文	NIMS	A-USC 技術開発、地球温暖化への挑戦	日本鉄鋼協会秋季講演大会	2008年9月
3	包剛	バブコック日立	700℃級ボイラ用厚肉材の狭開先 TIG 溶接法に関する冶金的検討	鉄鋼協会 第156回秋季講演大会	2008年9月
4	包剛	バブコック日立	Narrow Gap HST Welding Process and Its Application to Candidate Pipe Material for 700C USC Boiler Component	34rd MPA Seminar (Stuttgart University)	2008年10月
5	Kiyoshi Arai	IHI	Ultra-Supercritical Coal Power Generation	7th COALTECH 2008	2008年11月
6	高橋武雄	東芝	700℃級超々臨界圧 (A-USC) 発電技術について	第二回電力エネルギー技術シンポジウム	2008年11月
7	福田雅文	NIMS	A-USC 開発概要と蒸気タービン用材料の開発 - A-USC 開発概要	日本材料学会 高温強度部門委員会	2009年2月
8	佐藤恭	バブコック日立	A-USC ボイラの実現を支える材料と加工技術	鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化 基盤研究開発 第1回シンポジウム	2009年4月
9	福田雅文	NIMS	Advanced USC Technology Development in Japan	3rd Symposium on Heat Resistant Steels and Alloys for High Efficiency USC Power Plants	2009年6月

				2009	
10	---	IHI	IHI' s activities for CO2 reduction in Boilers	10th International Conference on Energy for Clean Environment	2009年7月
11	風尾幸彦	東芝	A-USC 技術の開発及び CCS 技術への取組み	Clean Coal Technology ワークショップ 2009	2009年8月
12	宮下重和、他	東芝	Ni-23Cr-13Co-9Mo-1.6Al-0.1Ta-0.3Nb 合金の機械的性質に及ぼす熱処理条件の影響	日本鉄鋼協会秋季講演大会	2009年9月
13	嶋志田宏紀、他	日立製作所	低熱膨張 Ni 基合金(Ni-20Cr-10Mo-1.2Al-1.6Ti)のクリープ特性に及ぼす結晶粒度の影響	日本鉄鋼協会第158回秋季講演大会	2009年9月
14	福田雅文	NIMS	ADVANCED USC TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN JAPAN	International Symposium on Low Carbon Technology	2009年9月
15	駒井伸好、他	三菱重工業	A-USC ボイラ伝熱管用材料の石炭灰高温腐食特性評価	日本金属学会 2009年度秋期(第145回)大会	2009年9月
16	須賀威夫	東芝	700℃級超々臨界圧 (A-USC) プラントの開発動向について	火原協中部支部講演会	2009年10月
17	佐藤恭	バブコック日立	水蒸気酸化試験, 溶接および特性確認試験	火力原子力発電技術協会	2009年11月
18	Masa fumi Fukuda、他	NIMS、他	The Status of Advanced USC Technology Development in Japan	International Conference on Power Engineering (ICOPE-09)	2009年11月
19	嶋志田宏紀、他	日立製作所	低熱膨張 Ni 基合金 (USC141)のクリープ特性に及ぼす結晶粒度・粒界組織の影響	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会超合金11月期討論会	2009年11月
20	福田雅文	NIMS	次世代超々臨界圧発電技術 (A-USC) の開発状況	日本機械学会講習会 No.09-135	2009年12月

21	須賀 威夫	東芝	A-USC の開発状況	第 6 回 CEE シ ンポジウム	2010 年 1 月
22	今野 晋 也、 他	日立製作 所	A-USC 蒸気タービン用材 料の開発	平成 21 年度火 力原子力発電大 会	2010 年 2 月
23	荒井 清志	IHI	A-USC の状況および豪州 酸素燃焼プロジェクトの 紹介	国際革新的ゼロ エミッション石 炭火力 CCS METI 欧州調査	2010 年 2 月
24	須賀 威夫	東芝	低炭素化社会に向けた高 効率蒸気タービンの開発 動向について	火原協関西支部 講演会	2010 年 3 月
25	包剛	バブコッ ク日立	Current Status of Boiler Material Test in BHK	第 4 回 VGB- TENPES 技術 交流会(A-USC 技術発表会)	2010 年 3 月
26	Nobu yoshi Kom ai	三菱重工 業	Fabrication Trial of Candidate Materials for A-USC Power Plants	8th Int. NIMS- MPA-IfW- Workshop on Advancces in High Temperature Material for High Efficiency Power Plants	2010 年 3 月
27	Masa fumi Fuku da	NIMS	The USC Technology in Japan, Today and Tomorrow	The 35th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems	2010 年 6 月
28	包剛	バブコッ ク日立	700℃級ボイラ用厚肉材 の狭開先 TIG 溶接法に関 する冶金的検討	日本溶接協会 特殊材料溶接研 究委員会	2010 年 6 月
29	Yasu hiro Tana ka	三菱重工 業	Coal ash corrosion properties of Ni-base alloy for Advanced-USC boiler	Sixth International Conference on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2010 年 8 月
30	Masa fumi Fuku	NIMS、 他	Advanced USC Technology Development in Japan	Sixth International Conference on	2010 年 8 月

	da、 他			Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	
31	東海 林剛	バブコッ ク日立	LONG-TERM CREEP RUPTURE STRENGTH OF WELDMENT OF CANDIDATE NI AND FE-NI BASED MATERIALS FOR TUBE AND PIPE OF A- USC BOILERS	EPRI 6th Int. conf. on advances in materials technology for fossile power plants	2010年9月
32	嶋志 田宏 紀、 他	日立製作 所	Development of Low Thermal Expansion Ni- base Superalloy(USC141) for 700°C Class Steam Turbine	EPRI 6th Int. conf. on advances in materials technology for fossile power plants	2010年9月
33	東海 林剛	バブコッ ク日立	Long-Term Creep Rupture Strength of Weldment of Fe-Ni based Alloy as Candidate Tube and Pipe for Advanced USC boilers	9th Liege Conference on Materials for Advanced Power Engineering	2010年9月
34	風尾 幸彦	東芝	エネルギーの安定供給と 地球温暖化防止の両立を 実現する東芝の火力発電 の高効率化とCO ₂ 分離回 収技術開発への取組み	日本計画研究所 からの依頼講演	2010年9月
35	東海 林剛	バブコッ ク日立	水蒸気酸化試験、溶接お よび特性確認試験	先進超々臨界圧 火力発電技術開 発講演会	2010年10月
36	田中 康之	三菱重工 業	高温腐食試験、溶接およ び特性確認試験	先進超々臨界圧 火力発電技術開 発 講演会	2010年10月
37	山本 隆一	三菱重工 業	ロータ材(LTES700R), ケーシング材(Alloy617) 等の材料開発・評価につ いて	先進超々臨界圧 火力発電技術開 発 講演会	2010年10月
38	清水 大	バブコッ ク日立	700°C級 A-USC ボイラ用 Ni 基系合金の高温水蒸気 酸化特性	第 57 回材料と 環境討論会	2010年10月

39	福田 祐治	バブコック 日立	Development of Advanced Ultra Supercritical Plants in Japan	ISHOC-10(Int. Sympo. on High Temperature Oxidation and Corrosion 2010)	2010年11月
40	福田 祐治	バブコック 日立	Development of Advanced Ultra Supercritical Plants in Japan	学振耐熱123委 「耐熱金属材料 の高温腐食と防 食 国際シンポ ジウム」	2010年11月
41	矢矧 浩二	IHI	Satisfaction of Low Carbon Society	日本機械学会 第11回秋季技 術交流フォーラ ム	2010年11月
42	東海 林剛	バブコック 日立	A-USC ボイラ材料の強 度・耐食性と溶接技術	火力原子力発電 技術協会 中部 支部講演会	2010年12月
43	生沼 駿	東芝	Ni-19Cr-12Co-6Mo-2Al- 3Ti-1W-0.05C-0.005B 合 金の組織に及ぼす熱処理 の影響	日本鉄鋼協会春 季講演大会	2011年3月
44	仙波 潤之	住友金属 工業	A-USC ボイラ用非 γ '強 化型 Fe-30Cr-50Ni-W 合 金の開発	日本鉄鋼協会春 季講演大会	2011年3月
45	清水 大	バブコック 日立	700℃級ボイラ用 Ni 基系 合金候補材の高温水蒸気 酸化特性	2011年材料と 環境研究発表会	2011年3月
46	東海 林剛	バブコック 日立	Narrow gap HST welding process and its application to candidate Fe-Ni based alloy for 700℃ A-USC boiler components	The 4th Symposium on Heat Resistant Steels and Alloys Used for High Efficiency USC Power Plants 2011	2011年4月
47	福田 雅文	NIMS	A-USC technology development project in Japa	The 4th Symposium on Heat Resistant Steels and Alloys Used for High Efficiency USC Power Plants 2011	2011年4月
48	沖田 信雄	東芝	Development and Strategy for A-USC Steam Turbine Cycle	ASME Turbo Expo 2011	2011年6月

49	久保貴博	東芝	700℃級蒸気タービン用材料の開発と機械的特性	日本機械学会動力エネルギーシンポジウム	2011年6月
50	根本邦義	東芝	Ni-0.04C-26Cr-21Co-1Al-1.9Ti-1.8Nb 合金の機械特性に及ぼす Nb、Ti の影響	日本鉄鋼協会第162回秋季講演大会	2011年9月
51	宮下重和	東芝	Ni-0.05C-18Cr-13Co-9Mo-0.1Ta-0.3Nb-Al-Ti 合金の機械的性質および溶接性に及ぼす Al、Ti 添加量の影響	日本鉄鋼協会第162回秋季講演大会	2011年9月
52	生沼駿	東芝	γ' 析出強化型 Ni 基超合金における σ 相の析出とクリープ強度への影響	日本鉄鋼協会第162回秋季講演大会	2011年9月
53	齋藤伸彦	三菱重工業	高温腐食試験、溶接および特性確認試験	先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会	2011年10月
54	北村雅樹	バブコック日立	水蒸気酸化試験、溶接および特性評価試験	先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会	2011年10月
55	山本隆一	三菱重工業	ロータ材(LTES700R), ケーシング材(Alloy617)等の材料開発・評価について	先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会	2011年10月
56	福田雅文	NIMS	先進超々臨界圧火力発電の研究動向	日本機械学会関西支部第12回秋季技術交流フォーラム	2011年10月
57	今野晋也、他	日立製作所	Material Design and Trial Manufacturing of Ni-base Superalloy for A-USC Steam Turbine Large Components	IGTC	2011年11月
58	宮下重和	東芝	A-USC ロータ用 Ni 基超合金 TOS1X-II の開発	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会回秋季講演大会	2011年11月
59	Andreas Diwo、他	Saarschmiede、他	LARGEST STEAM TURBINE ROTOR EVER MANUFACTURED FROM A NICKEL BASE ALLOY	International Forgemasters Meeting in autumn 2011	2011年12月

60	福田 雅文	NIMS	A-USC プロジェクトの概 要と今後の展開	NEDO 鉄鋼材料 の革新的高強 度・高機能化基 盤研究開発プロ ジェクト第2回 シンポジウム	2012年1月
61	佐藤 恭	バブコッ ク日立	A-USC ボイラ用材料と製 作技術の開発	NEDO 鉄鋼材料 の革新的高強 度・高機能化基 盤研究開発プロ ジェクト第2回 シンポジウム	2012年1月
62	清水 大	バブコッ ク日立	Steam oxidation properties of candidate materials for 700°C A- USC boilers	2nd EPRI-NPL Workshop on Scale Exfoliation From Steam- Touched Surfaces	2012年1月
63	佐藤 恭	バブコッ ク日立	A-USC ボイラ候補材料と ボイラ製作技術の開発	九州経済産業局 第8回 九州低 炭素システム研 究会	2012年1月
64	齊藤 英治	日立製作 所	石炭火力発電の高効率技 術開発	石炭・炭素資源 利用技術第148 委員会 第132 回研究会	2012年2月
65	宮下 重和	東芝	タービンロータ用 Ni 基 超合金の機械的性質に及 ぼす熱処理条件の影響	日本鉄鋼協会 第163回春期講 演大会	2012年3月
66	生沼 駿	東芝	Ni 基超合金の機械的性質 に及ぼす σ 金属間化合物 の影響	日本鉄鋼協会 第163回春期講 演大会	2012年3月
67	久布 白圭 司、 他	IHI	グリーンイノベーション に向けた次世代 A-USC ボイラの開発への取り組 み	化学工学会第77 年会	2012年3月
68	宮下 重和	東芝	Development of a Ni- based Superalloy for the Rotor Material of A-USC Turbine Power Generation System	12th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures	2012年5月

69	今道 哲朗、 他	三菱重工 業	700℃級ボイラ伝熱管向 け Ni 基合金の高温腐食 特性評価	日本金属学会九 州支部 合同学 術講演会	2012 年 6 月
70	根本 邦義、 他	東芝	Ni-0.04C-26Cr-21Co- 1Al-1.9Ti-1.8Nb 鑄造合 金のクリープ強度に及ぼ す偏析の影響	日本鉄鋼協会第 164回秋季講 演大会	2012 年 9 月
71	宮下 重和、 他	東芝	A-USC 用 Ni 基超合金大 型鍛造素材の機械的性質	日本鉄鋼協会第 164回秋季講 演大会	2012 年 9 月
72	生沼 駿、 他	東芝	Fe/Ni 異材溶接界面の組 織変化に及ぼす熱時効の 影響	日本鉄鋼協会第 164回秋季講 演大会	2012 年 9 月
73	福田 雅文	NIMS	Advanced USC Technology Development in Japan	IEA Clean Coal Center Workshop 'Advanced ultrasupercriti cal coal-fired power plants'	2012 年 10 月
74	福田 雅文	NIMS	A-USC ボイラ材料の異材 溶接部のクリープ強度	第 56 回日本学 術会議材料工学 連合講演会	2012 年 10 月
75	東海 林剛	バブコッ ク日立	溶接, 曲げ加工および特 性確認試験	先進超々臨界圧 火力発電技術開 発 講演会	2012 年 10 月
76	齋藤 伸彦	三菱重工 業	高温腐食試験、溶接およ び特性確認試験	先進超々臨界圧 火力発電技術開 発 講演会	2012 年 10 月
77	山本 隆一	三菱重工 業	ロータ材(LTES700R), ケーシング材(Alloy617) 等の試作・評価について	先進超々臨界圧 火力発電技術開 発 講演会	2012 年 10 月
78	佐藤 恭	バブコッ ク日立	A-USC ボイラ用耐熱材料 とボイラ製作における課 題	学振 123 委員会	2012 年 11 月
79	東海 林剛	バブコッ ク日立	ボイラ技術開発 -溶接, 曲げ加工および特 性確認試験-	平成 24 年度 第 3 回火力高効 率発電 技術検討委員会	2012 年 12 月
80	生沼 駿、 他	東芝	Fe/Ni 異材溶接界面にお ける C 拡散に及ぼす溶 質元素の影響	日本鉄鋼協会第 165回春季講 演大会	2013 年 3 月

81	福田 雅文	NIMS	700℃級 A-USC プロ ジェクトの現状と課題	日本金属学会 2013 年春季大 会	2013 年 3 月
82	嶋志 田宏 紀、 他	日立製作 所	Alloy625 大型鋳造材の析 出挙動	日本鉄鋼協会 2013 年秋季大 会	2013 年 9 月
83	福田 雅文	高効率発 電システ ム研究所	The on-going and planned activities of the A-USC project in Japan	39th MPA- Seminar	2013 年 10 月
84	T.To kairi n	バブコッ ク日立	Verification of Long- Term Creep Rupture Strength and Component, Fabricability of Candidate Ni based materials for A-USC Boilers	EPRI / 7th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Powe Plants	2013 年 10 月
85	Nobu yoshi Kom ai	三菱重工 業	Evaluation of creep rupture strength in Ni- based alloy weldments for an advanced USC Boiler	EPRI / 7th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Powe Plants	2013 年 10 月
86	Yasu hiro Tana ka	三菱重工 業	Hot corrosion properties of Ni-based alloys used in an advanced-USC boiler	EPRI / 7th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Powe Plants	2013 年 10 月
87	Nobu hiko Saito	三菱重工 業	Fabrication trials of Ni- based alloys for advanced USC boiler application	EPRI / 7th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Powe Plants	2013 年 10 月
88	Yuic hi Hira kawa	三菱重工 業	TRIAL PRODUCTION OF ALLOY 625 AND ALLOY 617 CASTING COMPONENT FOR ADVANCED 700° C CLASS STEAM TURBINES	EPRI / 7th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Powe Plants	2013 年 10 月

89	Ryuichi Yamamoto	三菱重工業	DEVELOPMENT AND TRIAL MANUFACTURING OF NI-BASED SUPERALLOY "LTES700R" FOR ADVANCED 700C CLASS STEAM TURBINES	EPRI / 7th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2013年10月
90	Masafumi Fukuda, 他	高効率発電システム研究所	ADVANCED USC TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN JAPAN	EPRI / 7th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2013年10月
91	Keiji Kubushiro	IHI	DEVELOPMENT OF WELDING AND FABRICATION TECHNOLOGIES IN ADVANCED - USC BOILER	EPRI / 7th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2013年10月
92	Keiji Kubushiro	IHI	Effect of Stress-Relief Treatments on Microstructure and Mechanical Properties in weld joints of Ni-base alloys	NIMS-MPAS-IfWD Workshop Modeling & Simulation of heat resistant steels and Nickel Alloys	2013年10月
93	東海林剛	バブコック日立	水蒸気酸化試験、溶接および特性確認試験 (A-USC ボイラ 要素技術開発の5年間の成果)	先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会	2013年12月
94	齋藤伸彦	三菱重工業	高温腐食試験、溶接および特性確認試験	先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会	2013年12月
95	川崎憲治	三菱重工業	ロータ材(LTES700R), ケーシング材(Alloy617)の材料開発・評価について	先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会	2013年12月
96	西岡映二	日立製作所	ロータ材(FENIX-700), ケーシング材 (Alloy 625) 等の試作・評価について	先進超々臨界圧火力発電技術開発 講演会	2013年12月

97	福田雅文	高効率発電システム研究所	世界の電力状況と先進超々臨圧石炭火力発電技術開発	平成25年度チタンフォーラム第4回研究発表会	2014年1月
98	矢矧浩二	IHI	火力発電ボイラ高効率化への取組み最新状況「～USC～A-USC」	第12209回 JPI 特別セミナー	2014年1月
99	Shinji Masaki	IHI	The State-of-the-Art Technology of IHI's USC Boiler and Next Target	IERE TIS-Asia Meeting 2014	2014年1月
100	福田雅文	高効率発電システム研究所	先進超々臨界圧火力発電(A-USC)技術開発	火力原子力発電技術協会北陸支部、中部支部	2014年2月
101	浜口、他	新日鐵住金	高強度9Cr-3W-3Co-Nd-B耐熱鋼管の開発	日本鉄鋼協会春季講演大会	2014年3月
102	東海林剛	バブコック日立	Verification of Practical Applicability of 45Ni-23Cr-7W Alloy to Thick-Walled Component for A-USC Boilers	ECCC2014 国際会議	2014年5月
103	宮下重和	東芝	モックアップロータの製造検証を含めたNi合金開発材冶金的検討	材料学会 高温強度部門委員会	2014年5月
104	福田雅文	高効率発電システム研究所	先進超々臨界圧石炭火力発電技術開発	材料学会 高温強度部門委員会	2014年5月
105	野村恭兵	IHI	23Cr-45Ni-7W合金溶接継手のクリープ破断強度と組織変化	材料学会 高温強度部門委員会	2014年5月
106	東海林剛	バブコック日立	A-USCボイラ用Ni合金の溶接技術	材料学会 高温強度部門委員会	2014年5月
107	清水大	バブコック日立	Effects of Cr and Mo on Coal Ash Corrosion Resistance of Ni-based Alloy for 700 oC class A-USC boilers	ISHOC2014	2014年6月
108	東海林剛	バブコック日立	A-USCボイラ用45Ni-23Cr-7W合金厚肉大径管の実用性検証	日本溶接協会 化学機械溶接研究委員会	2014年6月
109	宮下重和	東芝	Current Status of Japan Advanced Ultra-Supercritical (A-USC) Technology	International Symposium on High-Temperature	2014年6月

			Development	Oxidation and Corrosion 2014 (ISHOC-2014)	
110	宮下重和、他	東芝、他	Manufacture of a Large Steam Turbine Rotor Forging in a Ni-Base Alloy for Use in Advanced USC Power Plants	19th International Forgemasters Meeting	2014年9月
111	福田雅文	高効率発電システム研究所	A-USC 蒸気タービンの開発状況	ターボ機械協会 第115回セミナー	2014年9月
112	田淵、他	NIMS	Creep Strength of Dissimilar Welded Joints Using High B-9Cr Steel for A-USC Boiler	10th Liege Conference on Materials for Advanced Power Engineering	2014年9月
113	福田雅文、他	高効率発電システム研究所、他	The current and the future USC technology	40th MPA-Seminar	2014年10月
114	久布白圭司	IHI	The Progress of Development for A-USC boiler	IEA Clean Coal Center Workshop 2nd A-USC power plant workshop	2014年10月
115	福田雅文	高効率発電システム研究所	A-USC 蒸気タービンの開発状況	日本機械学会 低炭素社会をめざすエネルギーシステムデザイン研究会	2014年10月
116	福田雅文	高効率発電システム研究所	A-USC 蒸気タービンの開発状況	日本機械学会 関西支部 第15回秋季技術交流フォーラム	2014年11月
117	村上晃一	IHI	Material Application Technologies in the Industries	The 3rd International Symposium on Functionalization and Application of Soft/Hard Materials	2014年11月

				Soft/Hard 2014	
118	小野敏秀、他	新日鐵住金	The Latest R&D Activities of Tubes and Pipes for A-USC Boilers	3rd International VDI Conference 2014, Alloys in Power Plants	2014年11月
119	今井健一	東芝	蒸気タービンの進展と将来展望	第三回 電力エネルギー未来技術シンポジウム	2014年11月
120	福田祐治	三菱日立パワーシステムズ	日本における A-USC 開発への取組み	日本学術振興会 石炭・炭素資源利用技術第 148 委員会	2014年12月
121	菊原誠治	三菱日立パワーシステムズ	火力発電用ボイラの基本的構造と材料	火原協大学講座	2015年3月
122	筑田英樹	電源開発	石炭火力発電とその今後の展開について	2014年度 第3回 秋田県電力安定確保対策検討会議	2015年3月
123	早川正夫、他	NIMS	A-USC 用耐熱合金と異材継手のクリープ疲労特性	日本材料学会、第 64 期学術講演会	2015年5月
124	石山和樹	九州工業大学	Ni 基合金の時効およびクリープ中硬さ変化	金属学会・鉄鋼協会九州支部 平成 27 年度合同講演会	2015年6月
125	東海林剛	三菱日立パワーシステムズ	Metallurgical Investigation of Orbital Narrow Gap HST Weldment of Ni based Alloy Pipe	Creep2015	2015年6月
126	渋川直紀	東芝	The challenges of designing steam turbines for high temperature cycles	ASME ガスタービン国際会議	2015年6月
127	須賀威夫	東芝	先進超々臨界圧火力発電 (A-USC) の技術と開発動向	火力発電要素技術セミナー	2015年6月
128	齋藤伸彦	三菱重工業	EVALUATION OF REHEAT CRACKING SENSITIVITY IN Ni-	123HiMAT2015	2015年6月

			BASED ALLOY FOR AN ADVANCED USC BOILER		
129	吉田敏明	高効率発電システム研究所	先進超々臨界圧 (A-USC) 石炭火力発電の技術開発	JCOAL CCT ワークショップ 2015	2015年7月
130	石山和樹	九州工業大学	Ni 基合金の硬さによるクリープ劣化・損傷の評価	金属学会・鉄鋼協会九州支部 秋季講演会	2015年7月
131	阿部富士雄、他	NIMS	TTP 法による Alloy 617 の 700 °C, 10 万時間クリープ破断強度評価	鉄鋼協会 H27 年秋季講演大会	2015年9月
132	福田雅文	高効率発電システム研究所	The Japanese program on developments for new high efficiency power plants and progress in 700°C A-USC technology development	41st MPA-Seminar	2015年10月
133	伊勢田敦朗	新日鐵住金	次世代ボイラー用 9Cr 鋼管 SAVE12AD の開発	火原協大会	2015年10月
134	福田雅文	高効率発電システム研究所	先進超々臨界圧火力発電 (A-USC) の開発	低炭素エネルギー社会における石炭利用法ー石炭火力の歴史と高度変換技術の最前線ー	2015年10月
135	石上秀之	中部電力	火力発電を取り巻く事業環境と当社の火力発電事業の現状と将来について	名古屋大学大学院環境学研究科 洋上風力発電事業と地域の共発展寄附講座	2015年10月
136	鈴木健介	東芝	Toshiba' s Activity in Advanced USC and Carbon Capture Technology Development	GETS2015 (GLOBAL ENERGY TECHNOLOGY SUMMIT 2015)	2015年11月
137	福田雅文	高効率発電システム研究所	日本の A-USC 技術開発	日本学術振興会 耐熱金属材料第 123 委員会超合金 11 月期討論会	2015年11月

138	福田雅文	高効率発電システム研究所	The current and the future USC technology	Korea Elelctric Power Research Institute A-USC meeting	2015年11月
139	東海林剛	三菱日立パワーシステムズ	A-USC ボイラ用 Ni 基合金の溶接性, 継手の長時間強度と組織安定性	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会超合金11月期討論会	2015年11月
140	齋藤伸彦	三菱重工業	EVALUATION OF REHEAT CRACKING SENSITIVITY IN Ni-BASED ALLOY FOR AN ADVANCED USC BOILER	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会超合金11月期討論会	2015年11月
141	野村恭兵	IHI	A-USC ボイラ配管用 HR6W 溶接継手のクリープ破断強度	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会超合金11月期討論会	2015年11月
142	田中勇太	IHI	EBSD 法および ECCI 法を用いた Alloy617 のクリープ変形挙動の評価	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会超合金11月期討論会	2015年11月
143	宮下重和	東芝	A-USC タービン用 Ni 基超合金のクリープ特性および組織変化に及ぼす添加元素の影響	日本学術振興会耐熱金属材料第123委員会超合金11月期討論会	2015年11月
144	阿部富士雄	NIMS	Larson Miller 法による Alloy 617 の 700°C, 10万時間クリープ破断強度評価	日本材料学会、高温強度シンポジウム	2015年12月
145	福田雅文	高効率発電システム研究所	先進超々臨界圧 (A-USC) 石炭火力発電の技術開発	CCT ワークショップ 2016	2016年7月
146	高橋陽一	富士電機	先進超々臨界圧火力発電 (A-USC)技術開発 富士電機の推進状況について	ターボ機械協会蒸気機械委員会/蒸気タービン技術向上分科会	2016年7月
147	福田雅文	高効率発電システム研究所	Advanced USC Technology Development in Japan	EPRI Asia Coal Power Technology	2016年9月

				Seminar	
148	増山 不二 光、 他	九州工業 大学	Creep Degradation Assessment of Ni-based Alloys by Hardness Method	EPRI / 8th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2016年10月
149	増山 不二 光、 他	九州工業 大学	Life Assessment and Diagnose by Hardness Response to Creep Degradation of Alloy617 and HR6W	MPA-Seminar 2016	2016年10月
150	Fujio Abe 、他	NIMS	Influence of Data Scattering on Estimation of 100,000 Hours Creep Rupture Strength of Alloy 617 and Alloy 740 by Larson-Miller Method	EPRI / 8th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2016年10月
151	増山 不二 光、 他	九州工業 大学	Creep Degradation Assessment of Ni-based Alloys by Hardness Method	EPRI / 8th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2016年10月
152	久布 白圭 司	IHI	PERFORMANCE AND CAUSES OF FAILURE FOR CIRCUMFERENTIAL WELDS AND WELDED BRANCH CONNECTIONS FOR 23CR-45NI-7W ALLOY	EPRI / 8th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2016年10月
153	東海 林 剛、 他	三菱日立 パワーシ ステムズ	INVESTIGATION OF LONG TERM CREEP DAMAGE BEHAVIOR AND LIFE ASSESSMENT OF NI BASED WELDMENT	EPRI / 8th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants	2016年10月
154	齋藤 伸 彦、 他	三菱重工 業、他	Long-term Creep Rupture Properties and Microstructures in HR6W(44Ni-23Cr-7W) for A-USC Boilers	EPRI / 8th Int.Conf. on Advances in Materials Technology for	2016年10月

				Fossil Power Plants	
155	増山不二光、他	九州工業大学	Life Assessment and Diagnose by Hardness Response to Creep Degradation of Alloy617 and HR6W	MPA-Seminar 2016	2016年10月
156	福富広幸、他	電力中央研究所	ニッケル基合金製配管におけるクリープ損傷の検出への超音波フェーズドアレイ法に関する検討	平成28年度日本非破壊検査協会 秋季講演大会	2016年10月
157	伊勢田敦朗、他	新日鐵住金	次世代 A-USC ボイラ用高強度 Ni 基合金管の試作実用化	火力原子力発電大会	2016年10月

新聞・雑誌等

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	東芝	700℃級先進超高温蒸気タービン	東芝レビュー	2008年9月
2	東芝	次世代超々臨界圧蒸気タービンシステム	日本機械学会会誌	2008年10月
3	IHI、住友金属工業	クリーンコールテクノロジーの現状と将来	石炭利用の最新技術と展望	2008年12月
4	NIMS	次世代超々臨界圧発電技術	機械の研究	2008年
5	日立製作所、他	700℃級超々臨界圧蒸気プラント(A-USC) 技術開発状況	エネルギーと動力	2009年春季号
6	IHI	700℃級 先進超々臨界圧(A-USC) ボイラ技術の開発	IHI 技報	2009年12月
7	東芝	先進超々臨界圧発電(A-USC)の開発	エネルギー・資源学会誌	2010年3月
8	富士電機	700℃級高温弁の要素技術開発	富士時報	2010年5月
9	東芝	火力発電用蒸気タービンの高効率化技術	東芝レビュー	2010年8月
10	NIMS	A-USC 先進超々臨界圧火力発電	日本機械学会誌	2011年4月
11	三菱重工業	A-USC(700℃級先進超々臨界圧発電)の技術開発と展望	三菱重工技報 Vol.48 No.3 (2011)	2011年7月

12	日立製作所	大容量石炭焚き火力発電設備の高効率化に向けた技術開発	日立評論 2011年8月号	2011年9月
13	NIMS	A-USC 先進超々臨界圧火力発電技術	特殊鋼	2011年11月
14	NIMS	先進超々臨界圧発電技術の開発	機械の研究	2012年
15	バブコック 日立	Fe-Ni 基,Ni 基合金大径管の溶接技術と溶接継手強度	鉄鋼協会(鉄鋼便覧)	2012年5月
16	東芝	微粉炭焚き A-USC、および CCS	火力原子力発電技術協会協会誌	2012年10月
17	NIMS	A-USC プロジェクトの全体構想	ターボ機械協会協会誌	2013年1月
18	NIMS	次世代超々臨界圧火力発電(A-USC)材料、溶接技術開発	溶接学会誌第82巻6号 溶接接合教室	2013年9月
19	高効率発電システム研究所	次世代超々臨界圧火力発電用金属材料の動向	日本トライボロジー学会誌	2014年3月
20	日立製作所	A-USC 石炭火力高効率化技術	日本エネルギー学会誌(92巻11号)	2013年11月
21	高効率発電システム研究所	先進超々臨界圧火力発電(A-USC)技術開発	スマートプロセス学会誌	2014年3月
22	高効率発電システム研究所	先進超々臨海圧火力発電(Advanced-USC)要素技術開発プロジェクト	日本ガスタービン学会誌42巻4号	2014年7月
23	高効率発電システム研究所	A-USC	火力原子力発電技術協会協会誌	2014年10月
24	三菱日立パワーシステムズ	A-USC 石炭火力高効率化技術	季報エネルギー総合工学、エネルギー総合工学研究所	2014年10月
25	三菱重工業	最新鋭蒸気タービンの技術開発と展望	三菱重工技報	2015年4月
26	高効率発電システム研究所	Chapter 22 Advanced USC technology development in Japan	Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants	2016年
27	電力中央研究所	先進高効率発電技術	電中研レビュー	2015年11月

28	三菱重工業	A-USC（700℃級先進超々臨界圧発電）ボイラ向け材料開発の取り組み	三菱重工技報	2015年10月
29	IHI	IHI High Plant Efficiency Technology	Power-Gen International 出展	2015年12月
30	IHI	700℃級先進超々臨界圧(A-USC)プラント実現へ向けたボイラ技術開発	IHI 技報 55 巻 4 号 資源・エネルギー特集号	2015年12月
31	高効率発電システム研究所	先進超々臨界圧発電(A-USC)の開発	電気評論	2016年6月
32	三菱日立パワーシステムズ、他	先進超々臨界圧ボイラ(A-USC)の配管設計	配管技術	2016年8月
33	高効率発電システム研究所	第Ⅱ章 シンプルサイクル発電技術 次世代超々臨界圧発電(A-USC)	次世代火力発電	2016年
34	IHI	XRDおよびEBSDを用いた23Cr-45Ni-7W合金溶接継手のひずみ評価	材料	2016年8月

「先進超々臨界圧プラント(A-USC)技術開発」
に関する技術評価報告書

2007年5月

先進超々臨界圧プラント技術開発に関する技術評価委員会

目次

委員名簿	1
検討経緯	2
総括評価	3
1. 開発の意義、目的	5
2. 国のプロジェクトで行なうことの妥当性	11
3. 目標	11
4. 計画内容	12
5. 研究開発体制	16
6. 実用化との関係	16
添付資料1 木質系バイオマスの適用	18
添付資料2 1700℃級コンバインドサイクルへの適用例	19
添付資料3 想定される損傷リスク・保修対応の評価	20
添付資料4 現行または提案中のプロジェクトとの協調	22

委員名簿

委員長	帝京平成大学	吉識晴夫教授
委員	高知工科大学 首都大学 独立行政法人 物質・材料研究機構 関西電力株式会社 九州電力株式会社 四国電力株式会社 中国電力株式会社 中部電力株式会社 電源開発株式会社 東京電力株式会社 東北電力株式会社 北陸電力株式会社 北海道電力株式会社 財団法人 電力中央研究所	筒井康賢副学長 太田正廣教授 阿部富士雄ディレクター 神木常喜課長 中西章夫副部長 兼事業推進グループ長 山内浩二グループリーダー 中川賢剛マネージャー 安井肇一課長 大塚哲夫グループリーダー 松田茂弘副長 樋口康二郎課長 白崎裕之統括課長 高橋勝グループリーダー 佐藤幹夫研究参事
オブザーバ	独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 同上 元横浜国立大学 摂南大学 東北大学 中国電力 財団法人 エネルギー総合工学研究所 同上 同上 財団法人 電力中央研究所 同上 株式会社 四国総合研究所	酒井清主任研究員 坂詰修主査 秋葉雅史博士 角家義樹教授 大地昭生教授 半田卓己技師 曾根英文主任研究員 鳥飼航洋主任研究員 大西徹主任研究員 渡辺和徳主任研究員 屋口正次主任研究員 田村隆之研究員

検討経緯

第一回検討会

開催日 2006年11月9日(木)

- 議題
- (1) 委員会開催の趣旨説明
 - (2) エネルギー総合工学研究所自主研究の概要説明
 - (3) 「A-USC 技術開発」に関する説明
 - a. 主要論点の整理
 - b. 討議

第二回検討会

開催 2007年1月19日(金)

- 議題
- (1) 報告書案の説明（前回の宿題に対する回答を含む）
 - (2) 討議

第三回検討会

開催 2007年2月23日(金)

- 議題
- (1) 報告書案の説明（前回の宿題に対する回答を含む）
 - (2) 討議

第四回検討会

開催 2007年4月4日(水)

- 議題
- (1) 報告書最終案の説明（前回の宿題に対する回答を含む）
 - (2) 討議

総括評価

先進超々臨界圧汽力発電システム（A-USC）は、IGCC と熱効率面では優劣がつけがたい高効率発電が可能な、将来の我が国エネルギーセキュリティーを確保する上で欠くことのできない技術であり、石炭火力発電所からの二酸化炭素削減要求に対して確実に対応できる技術である。また、従来の石炭火力発電と同じシステム構成であるため、経年石炭火力発電所の更新に適用することにより経済的に二酸化炭素排出削減を成し遂げることができる。我が国には現在 35GW の石炭火力発電所があり、すでに更新時期に達しているプラントもあると考えられる。これら多くのプラントを早期に高効率化し、二酸化炭素の排出量を低減するには更新に要するコストを抑制できる A-USC 技術の早期実現が必要である。それゆえ、一刻も早く A-USC 技術の本格的開発に着手する必要がある。

また、海外でもほぼ全ての石炭火力発電に汽力発電システムが使われており、低い蒸気条件を採用し低い熱効率で運用されているプラントが数多くある。これらのプラントに A-USC 技術を展開し高効率化することにより、世界的な二酸化炭素排出削減に貢献することができる。A-USC であればシステム構成が従来と同じであるので技術展開も容易であり、国内同様更新需要への経済的な対応も可能である。

さらに、近年の不安定な一次エネルギー情勢に対応するため一次エネルギー源の徹底的な分散化が今後の課題であると考えられる。そのような中で、天然ガス、石炭だけではなく、C 重油等の石油系の燃料をも効率的かつ容易に利用する技術が必要である。また、A-USC はバイオマス燃料を効率的に利用できる技術である。A-USC はこのような多種燃料要求にも柔軟に答えることができ、たいへん汎用性の高い技術であるといえる。

将来の石炭有効利用発電技術としては A-USC だけではなく IGCC（石炭ガス化コンバインドサイクル）にも期待がかけられている。これらの技術はそれぞれ特徴を有しており、それぞれに適した使い方をしていくべきである。A-USC は既存 USC と同じシステム構成、運用性を有しており、これまでの物的、人的資産を有効に活用できるとともに、今後さらに石炭火力に期待されると考えられる負荷変動にも対応がしやすい。一方、将来の二酸化炭素回収、貯留（CCS）について考えると、A-USC では排煙からの二酸化炭素回収が可能であるが、ガスタービンでの燃焼前に燃料中から二酸化炭素を回収できる IGCC の方が有利であると言われている。また、その特性から IGCC はベース電力供給に使われると予想される。利用できる石炭種の面から見ると、A-USC は高灰融点炭、IGCC は低灰融点炭に向いており、両者の適切な組合せは我が国のエネルギーセキュリティー確保に貢献すると考えられる。両者の技術が開発されれば、石炭火力発電技術の選択肢が増し、単独技術だけの場合より二酸化炭素削減の加速が期待できる。

また、A-USC 技術は石炭焼き火力への適用だけではなく、コンバインドサイクルのボトムリング効率向上にも寄与できる技術である。

このように A-USC 技術は客観的に見て数々の優位性を持つ技術であるが、それにもかかわらず我が国では本格的な開発が滞っており、ヨーロッパ等の諸外国から技術面で差をつけられつつある。諸外国では国際的、国家的な枠組みの元で大々的に開発が進められ、

かつその情報は非公開である。これに対し、我が国では一部のメーカーが基礎的検討を進めているに過ぎない。近年の競争的な社会ではメーカーの経営は国際的、国家的必要性よりも短期的な経済原理が優先される傾向がある。それゆえ、A-USC 技術の本格的な開発を推進するにはわが国国際産業力の維持、強化という観点からも、国家プロジェクトとしての枠組みを構築し、確固たる意思を持って取り組む必要がある。

A-USC の技術開発には、現在の 600°C から 700°C、750°C、そしてさらに高温へと継続的に、着実に技術をステップアップしていく必要がある。しかも、A-USC の技術開発は高位発熱量(HHV)基準送電端で 46~48%を実現するための要素技術検証までも 8 年間、実証機検証まで含めると 13 年間に要する長期的なものである。2020 年ごろから本格化すると予想される既設機の更新に間に合わせるためにも、一刻も早い国家プロジェクト立ち上げが必要である。

A-USC はまず喫緊の二酸化炭素排出削減要求に対応するため 46~48%の技術実現に向けた開発を進めるべきである。さらに諸外国に比べ経済性に優れた技術の開発を推進すべきである。過去に国の支援を得て 600°C・42%の USC 技術を開発した時はたいへん大きな成果を得た。今後その成果を踏まえて継続的な高効率化、経済性の追求を進められるような開発構想を練るべきである。

1. 開発の意義、目的

(1) 意義の明確性

我が国のエネルギーセキュリティ確保のためには、長期的な視点に立った化石燃料資源の有効利用が重要課題の一つである。特に近年アジア地域で急速に経済発展が進み、その影響によりエネルギー源の多様化は必須の状況である。その埋蔵量や他の資源への価格牽制等を勘案すれば、石炭はエネルギー源のベストミックスを追求する上で、重要な位置付けにあると考えられる。国内の電源構成では図 1-1 に示すように原子力及びLNGのシェアが増大する一方、石炭は現状と同程度のシェアを有すると予想され、発電量自体は増大する傾向にある。しかしながら、石炭は二酸化炭素 排出等環境負荷が大きいいため、その利用に当たっては、石炭を可能な限り効率良く、クリーンに利用できる技術の開発が必要である。

従来超々臨界圧汽力発電(USC)はその最高温度は 630°C程度が限界で、高位発熱量基準の送電端熱効率も 42~43%が原理的限界と言われてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700°C以上の温度を達成できる可能性が見えるようになってきた。図 1-2 に示すように 700°C級で 46%、750°C級で 47.5%、800°C級では 49%の高い熱効率の達成が可能である。そのような技術では石炭燃焼による二酸化炭素排出原単位はそれぞれ 743g/kWh、721g/kWh、698 g/kWh であり、既設の火力発電所 (35GW) を全て置き換えると図 1-3 に示すように年間 17 百万トン~27 百万トン程度の二酸化炭素排出量の削減が図れる。なお、亜臨界の従来火力では排出原単位は 927 g/kWh であり、A-USC では 20~25%低い値

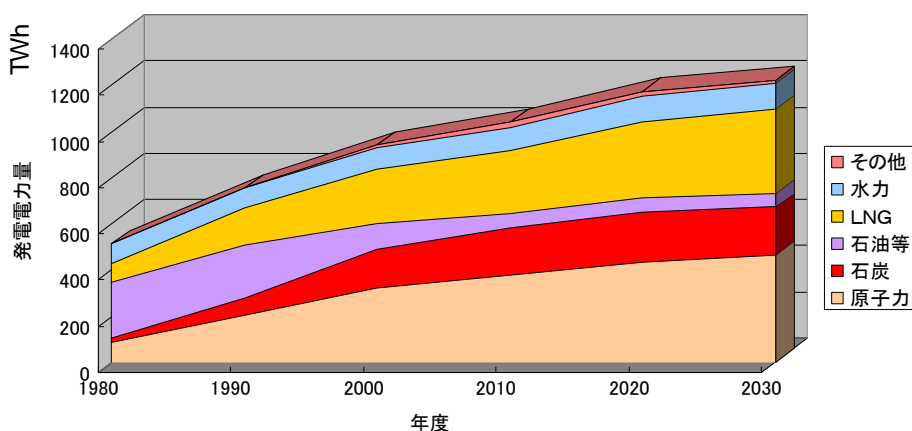


図 1-1 国内の発電電力量推移と燃料

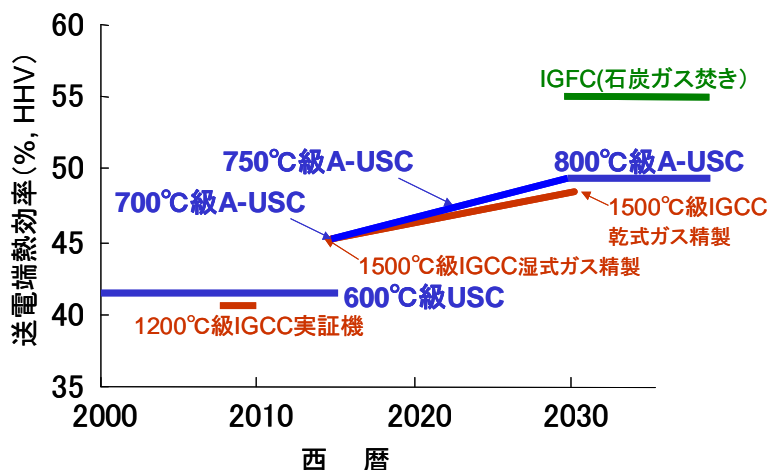


図 1-2 石炭利用発電技術と熱効率

になる。同様に石炭燃焼の結果生成する石炭灰も減少し、亜臨界の従来火力に対し A-USC では 20～25% 減量する。

さらなる熱効率向上を図るためには、現在の 600℃級技術から、700℃、750℃、800℃と着実に技術をステップアップしていく必要が有る。そのための第一歩として、本開発は 750℃級の A-USC を 2020 年までに商用プラントで実現することを目指した要素技術開発から最終段階として実証試験を行うものである。まず、750℃級 A-USC 技術の基礎技術開発、要素技術開発を行い、750℃級 A-USC 実用化の見通しを得る。さらに、蒸気サイクルの改善を行い、更なる高効率化を狙う。

また、図 1-4 に示すように A-USC 発電はわが国に輸入可能な石炭の 60%を占める高融点炭の利用に適しており、この観点からもエネルギーセキュリティ上の意義があり、さらに燃料価格牽制力を維持する上で有効である。

わが国の石炭火力発電所は図 1-5 に示すように 1960 年代以降その容量を増し、1973 年の第一次オイルショック以降計画的に増設され、現在 35GW まで拡大している。初期のプラントはすでに 30 年以上の運転を経ており、更新の時期に入ってくるものもあると考えられる。特に 2020 年ごろから更新は本

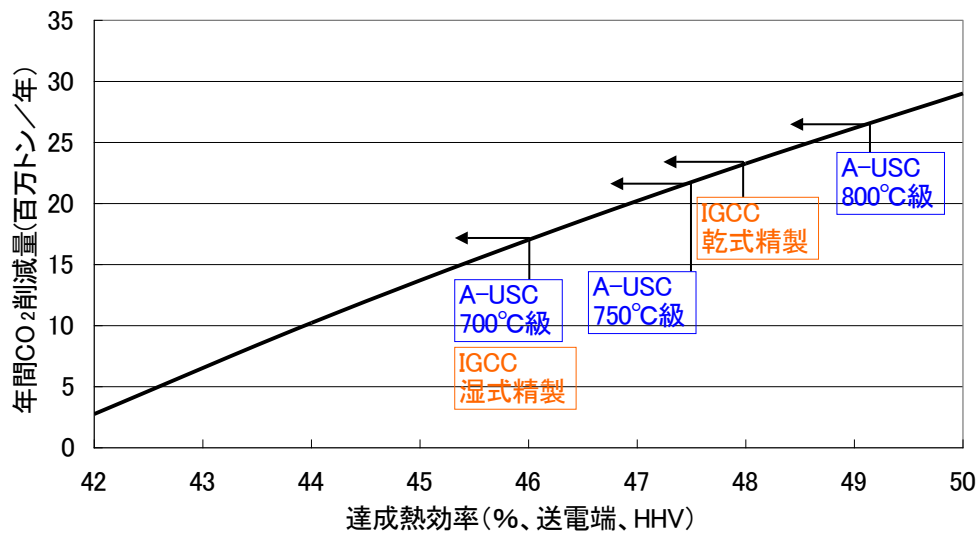


図 1-3 熱効率向上による CO₂削減量（現状の国内既設石炭火力を全て置き換えた場合）

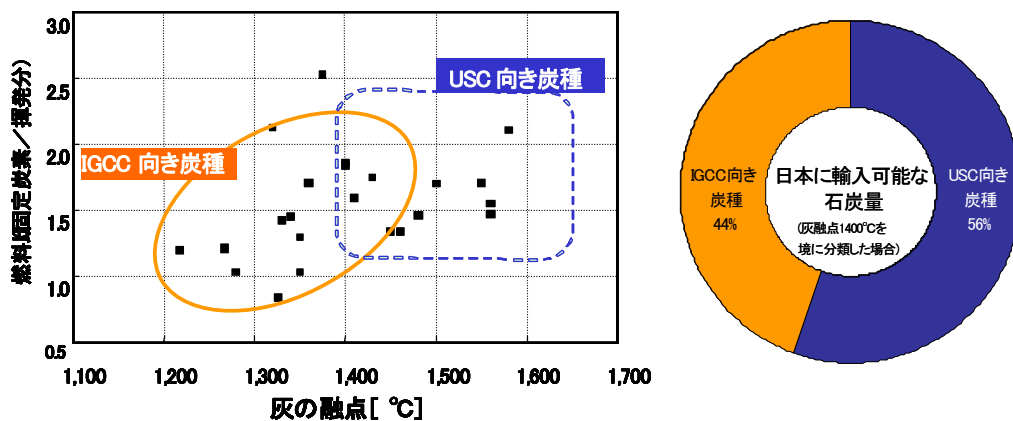


図 1-4 炭種適合性と輸入可能石炭種

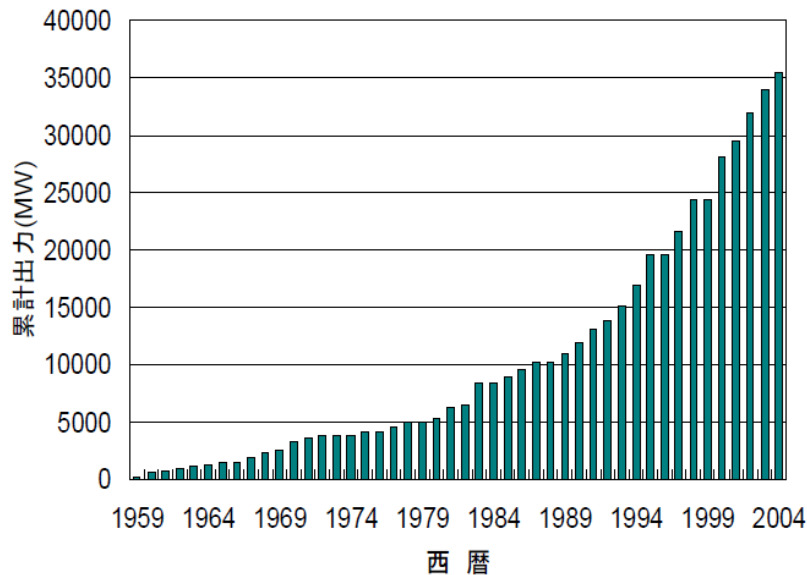


図 1-5 国内の石炭火力発電所容量推移

格的になると考えられる。A-USC 技術をこのようなプラントの更新に用いると、熱効率を一挙に向上でき二酸化炭素排出量を削減できるだけでなく、基本システム構成が既設と同じであるため図 1-6 に示すように既設設備の大幅な流用が可能となり経済的な更新が可能となる。

そして、従来と同じシステム構成ゆえに、ユーザとしてはこれまでの運転、保守経験を生かすことができ、人材や資材等の資源を有効に活用できる。

一方、目を海外に転じると図 1-7 に示すように発電用エネルギー源の石炭への依存はさらに明確であ

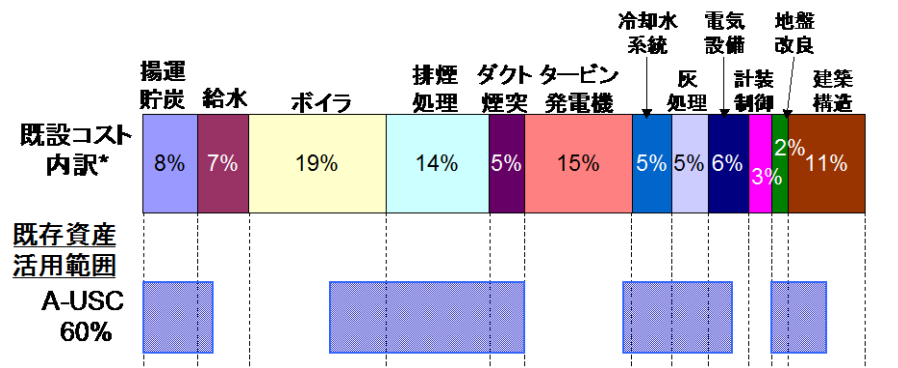


図 1-6 経年火力更新における既存資産の有効活用

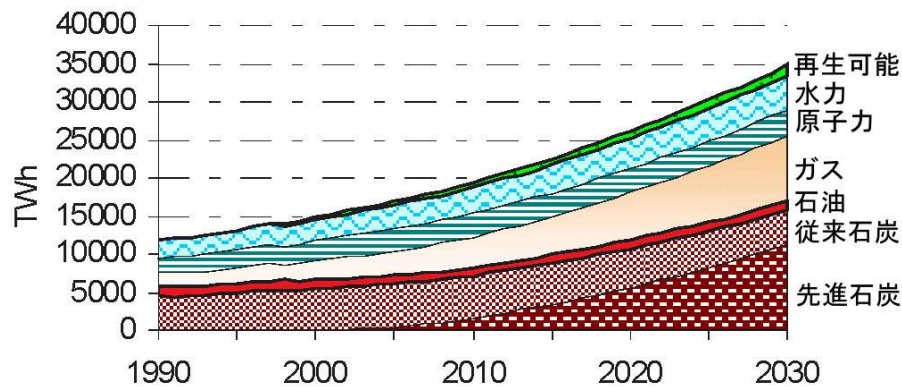
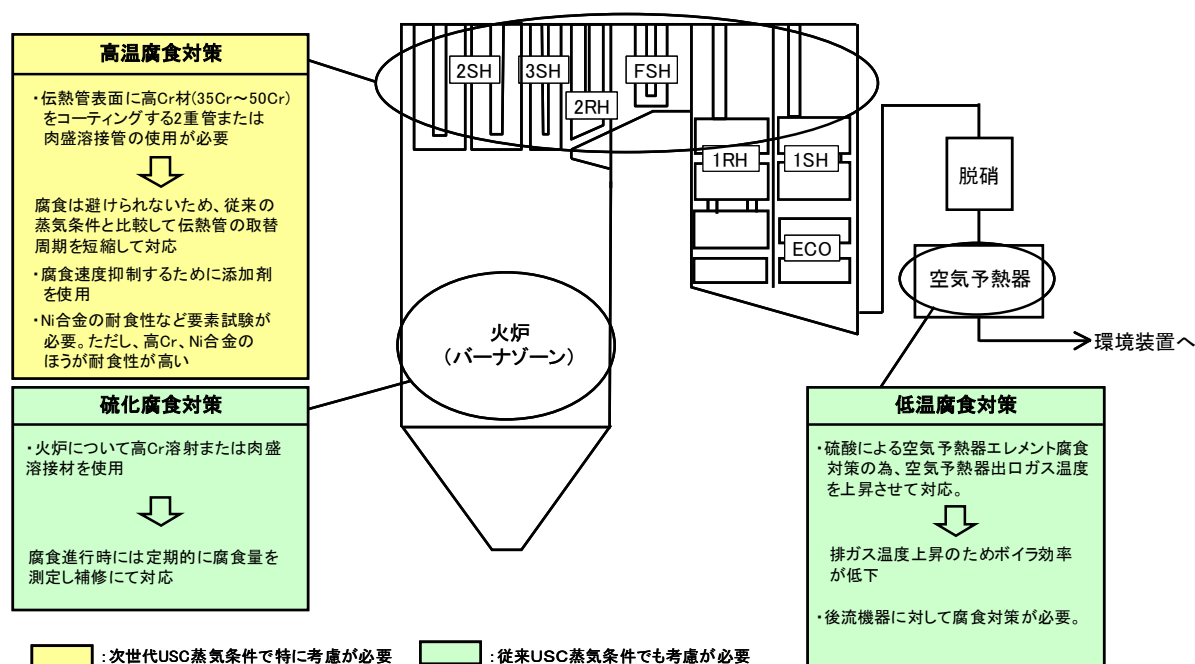


図 1-7 全世界の発電電力量推移

る。特に今後のエネルギー需要の伸びが大きな東南アジア等の途上国を中心に海外では従来の技術の延長線上にある A-USC 技術は歓迎されると考えられ、わが国としてこのような地域での二酸化炭素削減に貢献できる技術を有することは国際協力の面から重要である。A-USC 技術はわが国のエネルギー企業が海外に進出する上での有効な手段となると考えられる。

さらに、近年二酸化炭素排出量削減の観点からバイオマス燃料が脚光を浴びている。A-USC 技術による石炭とバイオマス燃料の混焼は、バイオマス燃料を効率良く利用できる方法であり効果的な二酸化炭素削減に寄与すること大である。(添付資料1 参照)

また、近年一次エネルギー確保のために調達手段の拡大の観点から重油燃料が見直されている。A-USC 技術はこのようなニーズに対しても、図 1-8 に示すように追加的な対策を講じることにより応えることができる。



その上、A-USC 技術は天然ガス焼きコンバインドサイクルのボトミング条件の向上にも対応できる技術である。経済性の検討は今後必要であるが、例えば 1700℃級ガスタービン 2 台と二段再熱 A-USC1 台を組み合わせた構成で高位発熱量基準熱効率 57%以上を目指すことができる。(添付資料2 参照)

(2) 位置づけの明確性

2002 年 4 月から 2004 年 3 月にかけて日本機械学会「P-SCD338 石炭利用発電の高効率化技術に関する調査研究分科会」において、A-USC について基礎的な検討がなされた。その中では、A-USC の発電コストを従来並にするための目標コストやタービン、ボイラの開発課題の概要等が得られた。そして、従来の汽力発電、USC 技術の延長上の技術であり、高い信頼性が期待できる A-USC は石炭利用技術の中で重要な位置付けであり、今後 A-USC の技術開発を推進すべきであると提言がなされた。それを受けて 2005 年度にエネルギー総合工学研究所で自主研究「次世代超々臨界圧プラント (A-USC) 技術開発 経年石炭火力発電所の高効率化とそれに伴う二酸化炭素排出削減研究」が実施され、経年石炭火力発電所の更新、改修に A-USC 技術を適用すると経済性、環境性の面から効果的であることが示さ

れた。このように、本技術は様々な評価、検討を受け、今回の報告に至ったものである。

本開発は A-USC の実用化に向け、基礎技術開発、要素技術開発から最終段階の実証試験までを網羅するものであり、我が国の商用プラントに求められる諸要件、すなわち信頼性、環境性、炭種適合性、運用性、経済性、安全性等の諸項目について基礎的、要素的、実証的検討を行うとともに、商用化に必要な材料の規格化に資する検証を行い、その位置づけは明確と考えられる。

(3) 関連技術動向との関係

石炭火力発電技術としては我が国で開発中の石炭ガス化複合発電 (IGCC) がまず挙げられる。この技術との関係については、熱効率 (送電端効率) の点ではほぼ同等であると言える。しかしながら、今後増加する経年火力発電所の更新について比較すると、A-USC では既設設備を大幅に流用し経済的な更新が可能であるのに対して、IGCC では流用可能設備は揚運貯炭設備に限られその割合は小さく、経年火力発電所の更新には制約がある。一方、将来の二酸化炭素回収、貯留 (CCS) について考えると、A-USC でも排煙からの二酸化炭素回収が可能であるが、ガスタービンでの燃焼前に燃料中から二酸化炭素を回

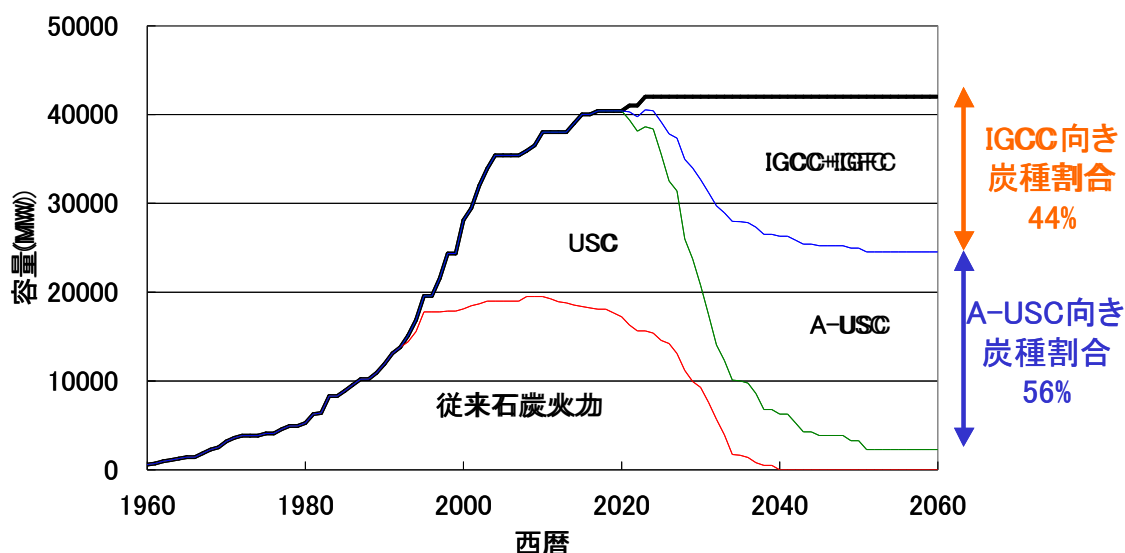


図 1-9 石炭火力発電技術普及予想

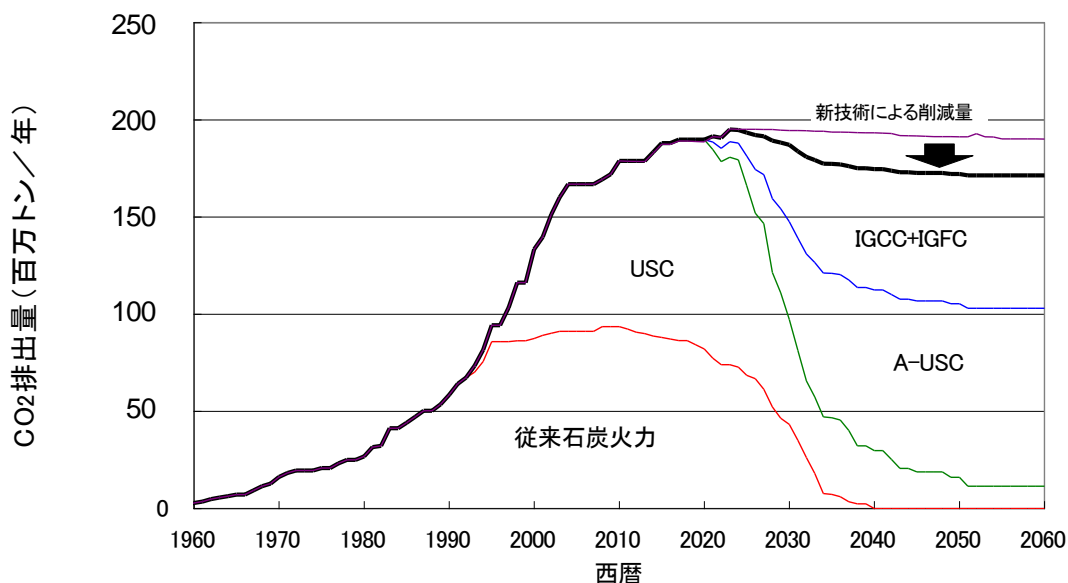


図 1-10 新技術の導入による既設石炭火力から排出される CO₂ の削減

収できる IGCC の方が有利であると言われている。故に、経年火力発電所の更新には A-USC、将来の CCS 対応には IGCC が適していると言えよう。また、A-USC は高灰融点炭に向いているのに対して、石炭ガス化プロセスを有する IGCC は低灰融点炭に向いているという特性もある。さらに将来には石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) という高効率なシステムがあるが、これも IGCC と同様に石炭ガス化プロセスを有するので低灰融点炭に向いている。このように考えると A-USC 技術が開発された時点で急速に経年火力の高効率化更新が進行し、将来的には図 1-9 に示すように国内で利用可能な炭種に向けた高効率システムが導入されていくものと考えられる。この図では 2011 年から従来型石炭火力の USC への更新が始まり、A-USC 技術実用化が予想される 2021 年から USC の A-USC または IGCC への更新が始まると共に、従来型石炭火力の更新は 2 倍のペースで進むものとしてある。このような高効率システムの導入により、図 1-10 に示すように二酸化炭素の削減が期待できる。

また、図 1-11 には電気事業連合会のウェブサイトを示されている「現状の電力需要に合わせた電源の組み合わせ」を示すが、現状の石炭火力は原子力に比べると電力需要の変動にも対応しやすいことから、

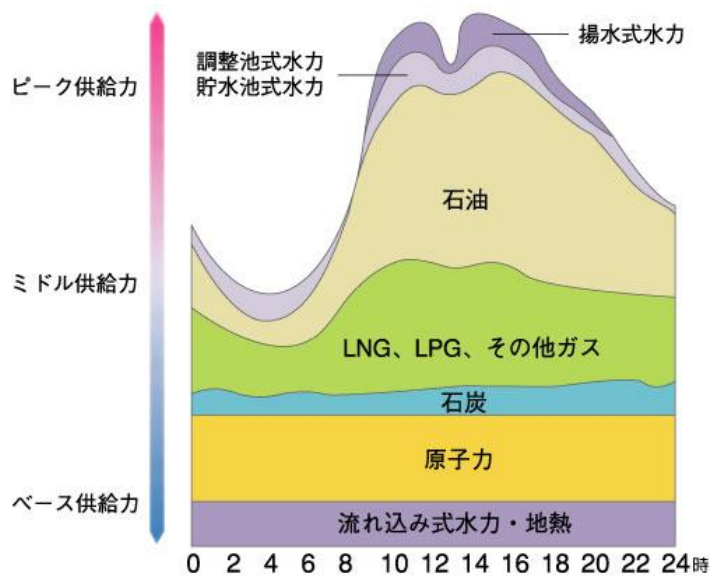


図 1-11 電力需要に合わせた電源の組み合わせ

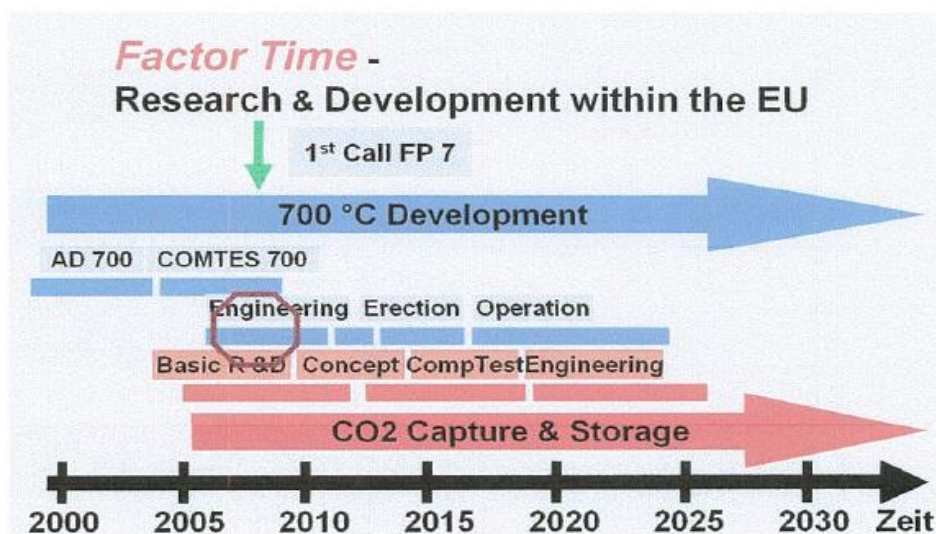


図 1-12 ヨーロッパの USC 技術開発状況

表 2-1 欧米の技術開発状況

	目標蒸気条件	期間	予算	参加団体	実施内容
EU	主蒸気 35MPa/700°C 再熱蒸気 12MPa/720°C 3MPa/720°C 送電端効率 約46% (HHV)	AD700 1998～2004 COMTES700 2004～2010 実証機 2010～ 2015頃運開	AD700 21Mユーロ (約31億円) COMTES700 15.2Mユーロ (約23億円) 電力:56% EU政府:40% メーカ:4%	AD700 欧州12カ国 全39社 COMTES700 電力9社 メーカ4社	AD700 概念設計、 経済性試算、 材料の要素技術 開発 COMTES700 材料の実缶試験 実証機 400MWデモプラント
アメリカ 合衆国	主蒸気 35MPa/760°C 再熱蒸気 7.8MPa/760°C 送電端効率 約46% (HHV)	2001年6月1日 ～2006年12月 31日	\$20M (約24億円) DOE:\$15M OCDO:\$2M メンバー:\$2.7M	米国DOE/ OCDOが主体 で、EPRI、ボ イラメーカ5社、 研究機関・大 学等が参加	概念設計、 経済性試算、 材料の要素技術開

ベース供給力とミドル供給力の中間供給力として活用されている。このような観点から見ると IGCC はその特性からベース供給力として使われ、負荷変動に対応するのは A-USC になるものと考えられる。

図 1-12 に示すように海外ではヨーロッパですでに 1990 年代からヨーロッパ国際連合で A-USC に関する開発が進行しており、700°C 級システムでは要素開発の段階に入っている。我が国ではまだメーカが基礎研究を進めている段階であり、早急に追いつき、追い越す必要がある。

2. 国のプロジェクトで行うことの妥当性

この開発は、我が国の長期のエネルギーセキュリティー確保と環境保全問題という命題を解決する技術開発であり、その成果は国民全体に裨益する。特に現有石炭火力の二酸化炭素排出削減に効果的である本技術は、国民生活への寄与が高い。

一方、効率的な事業経営によるコスト低減という社会的要請のなか、開発リードタイムと技術開発負荷を鑑みると、民間のみの開発では継続的な投資は困難である。国の後押しとしての資金負担がなければ実施され得ないと考えられる。このため、一定程度の国庫補助は不可欠といえる。

表 2-1 に示すように欧米においては EU や国家の支援の下、既に国際、国家レベルでのプロジェクトによる開発が進行中であるが、それにより得られたデータは非公開であり、A-USC 技術は欧米に独占されることになり、世界をリードして来た我が国の USC 技術が陵駕されるのも時間の問題である。我が国の産業競争力の維持、強化、ものづくり力の強化の観点からも最先端の A-USC 技術の発展を図ることが重要である。また、A-USC 技術が確立されればアジアを始めとする石炭依存度の高い地域への展開等我が国のエネルギー戦略上有効な国際協力活動の手段としての位置づけも可能と考えられることから、国として一定の支援を行うことが適当と考えられる。

3. 目標

本開発では、従来の 600°C 級 USC 技術の更なる高温・高圧化を図ることにより、2020 年以降において商用プラントでの高位発熱量基準送電端効率 46～48% 達成の見通しを得ることを目標とする (バイオマスの混焼等により送電端効率 48～50% 相当の二酸化炭素削減を目標)。また、海外プロジェクトより高

い経済性、信頼性を達成し、国際社会における国産技術の優位性を確保し、世界の二酸化炭素削減に貢献する。

開発に向けては、要素技術開発・材料開発・試験を主体とした中間目標と実証を主体とした最終目標を設定し、将来的な商用プラント実現の可能性について見通しを得るものとする。なお、熱効率、二酸化炭素削減以外の環境性、運用性については、現在の USC プラントと同等以上、経済性は現在の USC プラントよりも良好にすることを目標とする。

(1) 中間目標

46～48%の熱効率実現に必要な基礎技術開発、要素技術開発を行う。タービンでは冷却技術、性能向上技術といった基礎技術開発を行うと共に、要素部品の検証試験を行う。ボイラでは高温大径管の短縮を目的とした基本構造検討や実缶による構造検証試験を行う。また、材料面ではタービン、ボイラ共にシステムを経済的に実現するために必要な候補材料（海外開発材料も含む）のサーベイを行い、材料特性調査、製造性・工作性評価を行う。また、海外材料より経済性、製造性等に優れた大型、高強度な 700～750℃の Ni 基合金の評価、開発に着手し実用化の見通しを得る。また、Ni 基合金の使用を抑制し経済性を追求するためのキーとなるフェライト系およびオーステナイト系材料の高強度化、大型化を図り、適用温度領域の引き上げを行う。それらの施策により、実証機へ適用するための基礎技術を確立する。

目標達成のために、要素技術開発を主体とした Phase I（5 年間）と、実缶、回転試験による検証試験を主体とした Phase II（3 年間）を行う。

(2) 最終目標

Phase I、Phase II の結果を踏まえた実証機試験（Phase III）を行い、送電端効率 46～48%の商用機実現の確証を得る。

4. 計画内容

A-USC に関する初期的研究はすでにボイラ、タービンメーカーで進められている。

図 4-1 に示すようにボイラの構造的な面では基本構想から概念設計が行われている。本体構造では、従来 USC ボイラの考慮点をもとに信頼性に配慮した設計手法の再構築を図るとともに、経済性向上に向けた新構造等のブレークスルーを検討する必要がある。系統及び配置検討は、構成機器の要求仕様および運用方法等に大きく依存するため、材料開発及び本体、構成機器の構造設計と協調した評価が重要となる。起動弁等の開発では材料開発の後ろ盾が必要であり、これらの進捗とともに信頼性確保と経済性向上の両面から、弁の構造設計及び製造技術確立を図る必要がある。材料開発面では材料により進捗状況は異なるが小型溶解材での確認試験から製造性検証の段階にある。欧米で評価検討されている Ni 基合金は、他の材料に比べて高温強度に優るが、特に鋼管材料として重要となる延性等の材料特性及び製造性の向上を図る必要があり、経済性の検討も重要である。Fe-Ni 基合金は国内で開発され、開発当初より欧米材料に比べ信頼性及び製造性の面を重視しておりデータの蓄積が進んでいる一方で、高温強度の更なる向上と大型化の検証が望まれる。経済性の向上には、700℃以下に適用するフェライト鋼の高強度化、オーステナイト鋼の大径管の開発も重要である。

タービンでは図 4-2 に示すように構造的な検討は基本構想から概念設計が行われ、一部要素技術開発の段階まで入っているものもある。本体構造では、従来 USC をもとに信頼性に配慮した設計手法の再構築を図るとともに、高温材料の製造性を考慮した検討が必要である。また材料開発の進捗状況を反映し、信頼性を確保しつつ、経済性も向上させる構造の検討が必要である。個々の開発要素については、これまでの技術をベースに、新しい思想、手法にて開発する必要がある、要素試験と実機検証にて技術

の確立を図る必要がある。材料面ではロータ材料の開発が進められており、小型溶解材での確認試験の段階から大型材料での製造性検証の段階に入りつつある。車室、主要弁の材料についても基礎的な研究が進められている。また、翼の材料には従来のガスタービン材料が適用できる。

開発段階	1. 基本構想	2. 概念設計	3. 要素技術	4. 詳細設計	5. 実機検証
------	---------	---------	---------	---------	---------

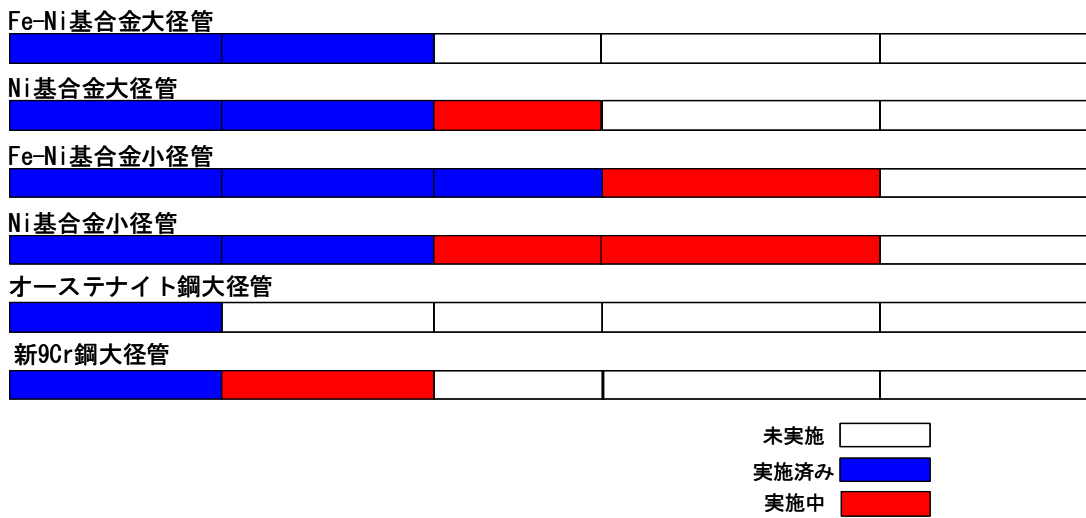
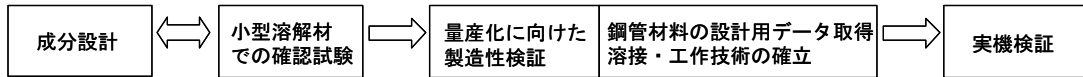
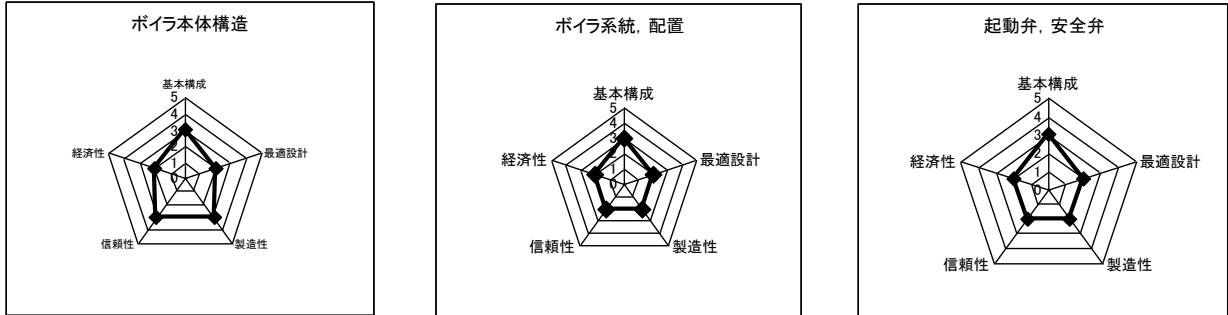


図 4-1 A-USC ボイラ技術開発状況

開発段階	1. 基本構想	2. 概念設計	3. 要素技術	4. 詳細設計	5. 実機検証
------	---------	---------	---------	---------	---------

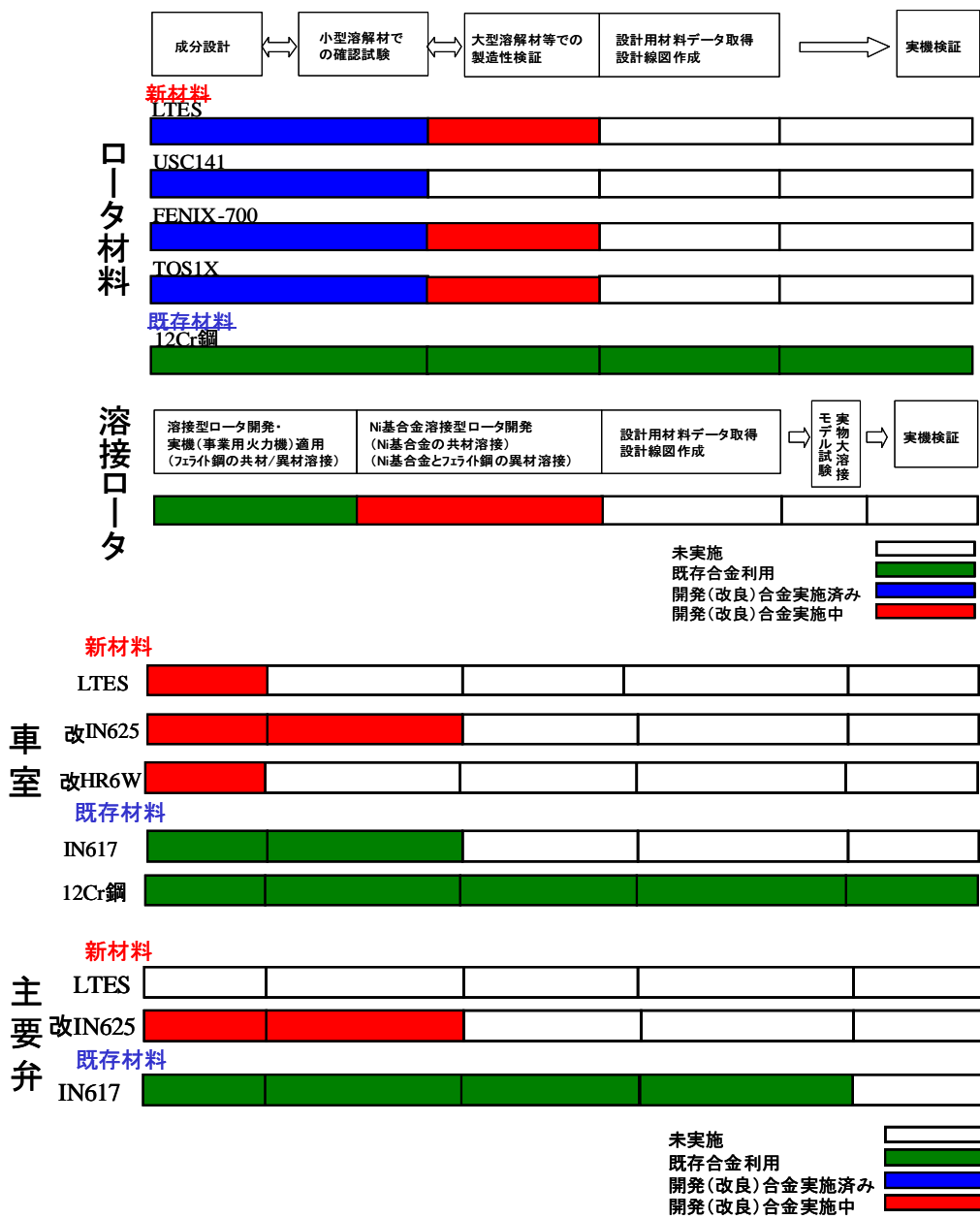
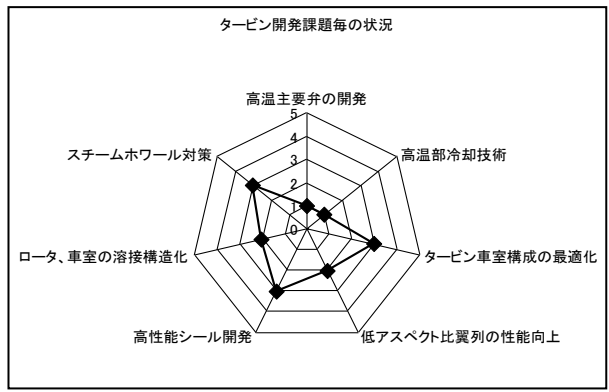
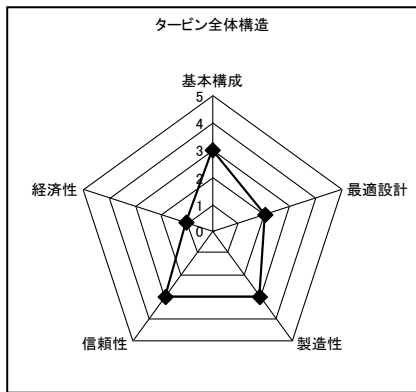


図 4-2 A-USC タービン技術開発状況

開発計画は上述のような状況を鑑みて構築され、以下の3Phaseから構成されている。全体で13年間という長期計画であるが、3万5千時間におよぶ長期材料耐久試験や大型の実証試験等やむを得ない理由がある。

Phase I	要素開発研究	5年間
Phase II	要素検証試験	3年間
Phase III	実証試験	5年間

Phase 毎の詳細を以下に述べる。

(1) Phase I

要素開発研究を主体とした Phase I は以下のような内容であり、Phase II の要素検証試験に向けた開発、研究を実施する。

①基本システム設計

全体システム、検証システムの概念設計

②要素開発

ボイラ：基本・構造設計、材料開発、製造技術。材料開発では新材料等の高温長期材料試験に着手。

タービン：基本設計、構造・要素技術、材料開発。構造・要素技術では冷却、性能向上*等の技術開発。材料開発としてはロータ、ケーシング等の高温材料開発と高温長期材料試験を行う。高温長期材料試験ではボイラと同様に材料の耐久性試験に着手。

バルブ：試設計、試作評価、大型弁要素試験を実施し、摺動部等の検証を行う。

		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9~13年目		
		Phase I 要素開発・試験					Phase II 検証試験			Phase III 実証試験		
基礎検討 準備期間												
基本システム 設計	概念設計	全体システム 検証システム										
要素開発	ボイラ											
	基本設計	試設計1 経済性1				試設計2 経済性2						
	材料開発	新材料開発評価 高温長期材料試験(3万時間以上)										
	材料製造性検証	大径管、伝熱管曲げ、溶接試験										
	高温タービン											
	基本設計	試設計1 経済性1				試設計2 経済性2						
	構造・要素技術	構造・要素技術開発										
	材料開発	成分検討			最終成分決定			大型材料試作、評価(ロータ、ケーシング等)				
	高温弁	試設計 試作評価				大型弁要素試験						
	溶接技術	成分検討			要領検討			高温長期溶接継ぎ手試験(3万時間以上)				
実証試験 回転試験		試験設備計画 試験ループ設計、製作						試験、評価				
実証試験											実証機建設、運転	

図 4-3 A-USC 開発マスタースケジュール

溶接技術：成分検討、要領検討、高温長期溶接継ぎ手試験を実施し、施工方法開発や継ぎ手部の長期耐久性検証を行う。

実証試験・回転試験：試験設備計画、試験ループ設計・製作を行い、検証試験に備える。

注*：システム検討、最終段損失低減、機械損失低減、蒸気漏れ損失低減等

(2) Phase II

要素実証試験、長期材料試験を主体とした Phase II は以下のような内容であり、実証試験に向け要素技術確立、材料の耐久性確認をすることが目標である。

ボイラ：Phase I の結果を反映した基本設計を実施すると共に、高温長期材料試験を完遂し材料の耐久性を確認。

タービン：Phase I の結果を反映した基本設計を実施すると共に、高温長期材料試験を完遂し材料の耐久性を確認。また、大型材料の試作・評価ではロータ、ケーシング等の実機サイズの試作を行い、製造性、強度等の確認。

バルブ：Phase I の結果を反映した基本設計を実施すると共に、高温長期試験を完遂し評価を行う。

実証試験・試験ループ設計・製作を行い、検証試験を実施する。

(3) Phase III

実証機の建設及び運転により、システム全体の信頼性、運用性、性能、材料の健全性、環境性等を総合的に評価、検証する。特に、ボイラ、タービンを接続する大径管や大型高温弁の挙動、健全性、またタービン冷却システムや環境性といったシステム上の問題や耐久性の確認が主たる検証項目である。

5. 研究開発体制

本開発は国民生活へ多大な貢献をすることはすでに述べたが、その実現にあたっては国の指導、支援のもと関係各社、機関、大学が協力して開発する共同開発が望ましい。具体的な形式としては技術研究組合方式、新会社方式、幹事会社や既存会社方式等が考えられるが、必要な時期に、必要なメンバーを迅速に参加させられるような体制が望ましく、今後具体化に向けて協議する必要がある。

6. 実用化との関係

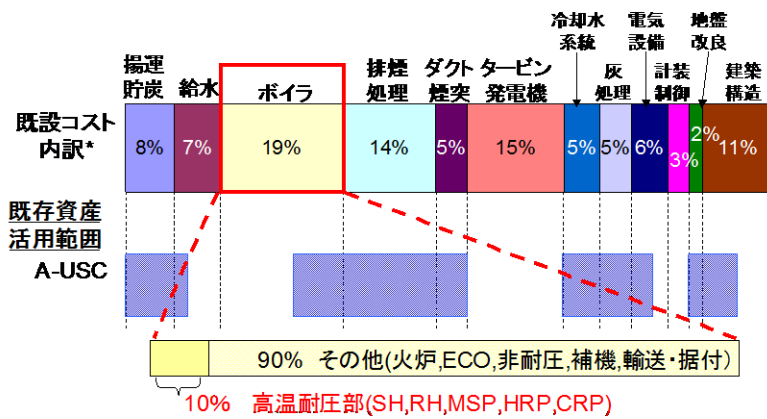
本開発は、現時点で欧米の後塵を拝するわが国 A-USC 技術開発の本格化への第一歩で有り、各種開発課題を克服し、信頼性^(注)、運用性、経済性等を検証することで、実用化へのスピードを加速することが可能となる。

このとき、開発した高価な新材料の採用によるコストの増加はタービンおよびボイラの一部に抑えられるので、実用化された暁には十分な経済性を有すると考えられる（図 6-1、図 6-2）。

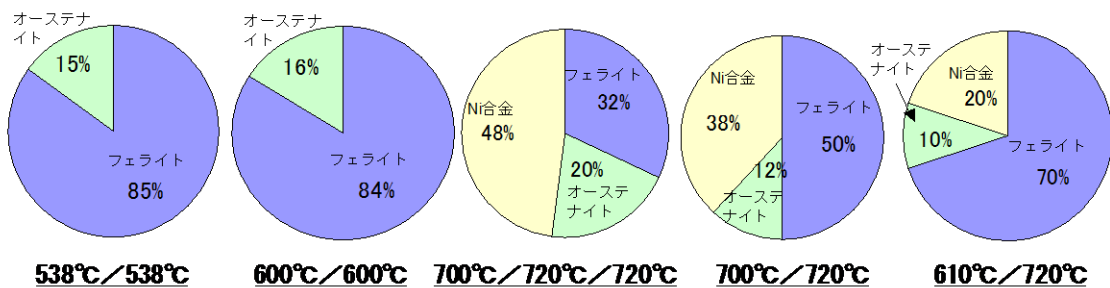
また、経年化していく既設の石炭火力発電所の更新には A-USC 技術は欠かせないものになると考えられ、二酸化炭素削減圧力が強まる中、今後本技術実用化への期待はさらに高まると推測される。そのような状況に配慮し、実用化へさらに短時間で至る道筋を探すことも必要である。

以上からも、A-USC 技術は世界的な環境問題に対し積極的に解を提示するものであり、実用化のニーズは地球規模で見ても高い。

(注) 信頼性に関しては想定される損傷リスク・保守対応の評価を行ったので添付資料 3 に示す。

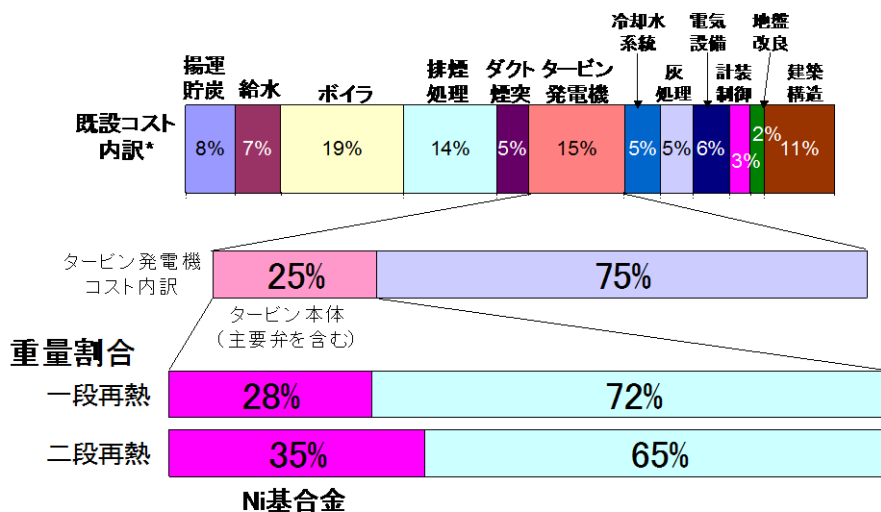


高温耐圧部の重量比率(Fe-Ni基合金での試算)



■ Ni合金の価格レベルは従来のオーステナイト鋼(火 SUS304J1HTB)に比べ5~10倍程度

図 6-1 プラント全体に占めるボイラ新材料の割合



■タービン本体のうち新材料の占める割合は1段再熱で約28%、2段再熱で約35%

■新材料の材料コストは従来材(改良12Cr鋼)の3~5倍程度

図 6-2 プラント全体に占めるタービン新材料の割合

添付資料1 木質系バイオマスの適用

図 添 1-1 には A-USC での利用に適した木質系バイオマスの利用可能な量を示す。この際、バイオマスの 5%混焼を仮定している。

【日本国内の木質系バイオマス※1】 ※1出典:バイオマスニッポン推進会議資料より

林地残材:370 万 ton

製材所残材:500万ton(未利用分10%)

建設発生木材:460万ton(未利用分40%)

利用可能合計:604万ton(1.25百万ton(原油換算)に相当)



500MWの発電所40基にて5%混焼する量※2に相当
(バイオマス発熱量:2500kcal/kg HHVと仮定)

※2:CO₂:27万ton/年/基の削減効果に相当

【全世界の木質系バイオマス※1】 ※1出典:World Energy Outlook 2006より

賦存量:700~3600 百万ton(原油換算)



600~3150GWの発電量に相当
500MWの発電所24000~126000基にて5%混焼する量※2
に相当 ※2:CO₂:27万ton/年/基の削減効果に相当

図 添 1-1 利用可能な木質系バイオマス量 (年間量)

添付資料2 1700°C級コンバインドサイクルへの適用例

図 添2-1に 1700°C級ガスタービンと A-USC を組み合わせた例を示す。経済性等の詳細検討は今後必要であるが、1700°C級ガスタービン 2 台と二段再熱 A-USC1 台を組み合わせた構成で高位発熱量基準熱効率 57%以上を目指すことができる。

ボトムリングサイクルに A-USC を適用するためにガスタービンの排気温度は 750°Cまで高めてある。従来のガスタービン設計では製造上の理由から大型最終段翼を無冷却にすべく排気温度は 600~650°Cとなるようにタービンの膨張比(≒圧縮機の圧力比)を設定している。1700°C級ガスタービンの場合、従来設計思想を踏襲すると圧力比は 30~40 程度となり重要な開発課題の一つとなる。しかしながら A-USC 用ガスタービンの場合、排気温度を 750°Cにするにはガスタービンの大型最終段翼を冷却するという開発課題が生じるが、圧縮機の圧力比は 17 程度で済むという利点がある。

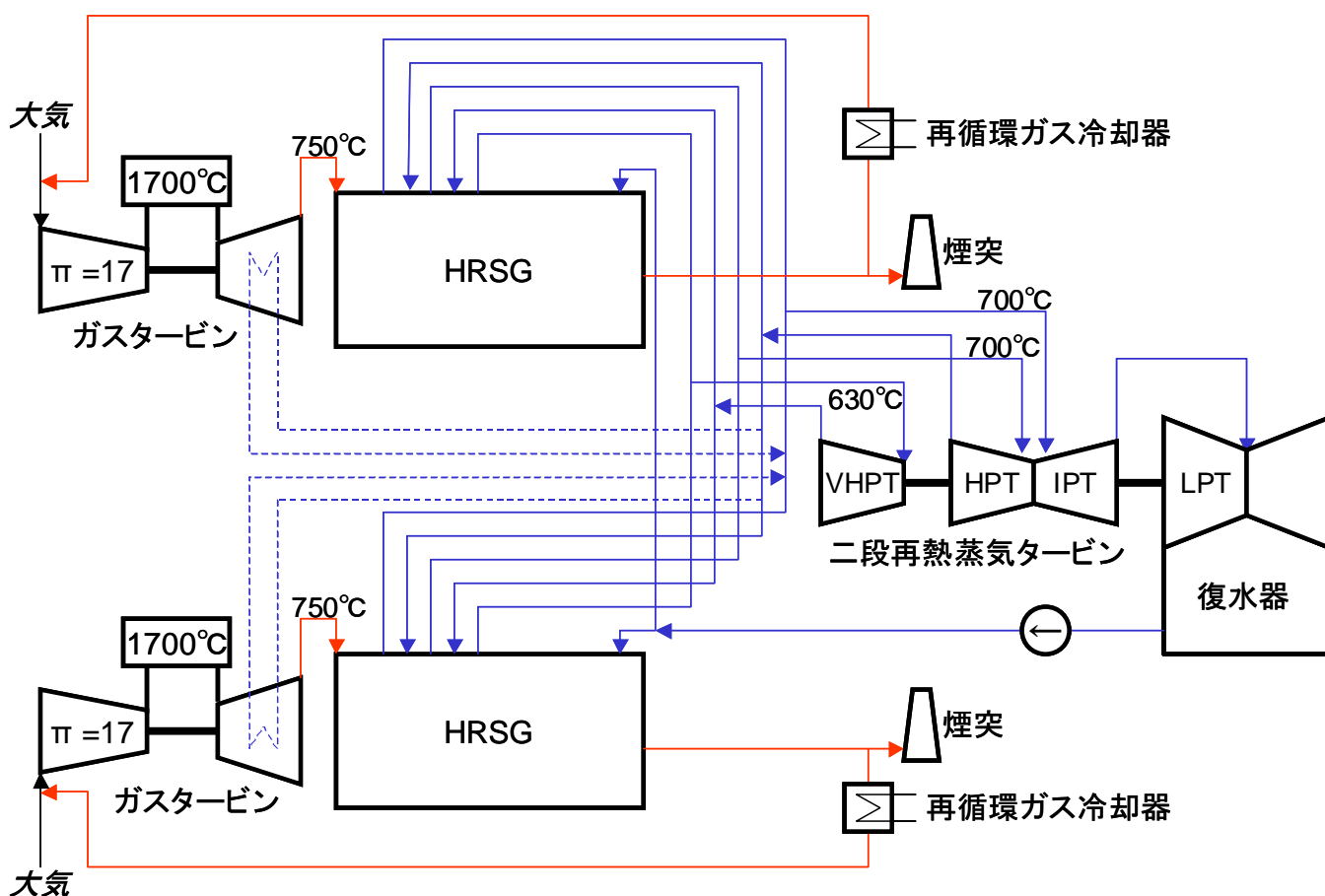


図 添2-1 1700°C級コンバインドサイクルへの適用例

添付資料3 想定される損傷リスク・保守対応の評価

1. ボイラで想定される損傷リスク・保守対応の評価

ボイラの運用では一般的に以下の損傷モードが想定される。

- ・短期破壊モード： ①脆性破壊、②延性破壊、③短期間過熱
- ・長期破壊モード： ①クリープ損傷、②エロージョン、③材料の脆化、④腐食
(高温腐食、高温酸化、水蒸気酸化等)
- ・繰返し破壊モード： ①疲労(高サイクル、低サイクル)、②腐食疲労、③熱疲労、④溶接欠陥

上記の損傷モードのうち、A-USC ボイラにおいて特に懸念される損傷モードは配管、管寄せスタブ、伝熱管等の『クリープ・高温腐食・疲労・高温酸化』と考えられます。どの損傷モードでも損傷が発生すると、材料入手から復旧までは時間がかかる。主蒸気配管の損傷の場合は人的被害可能性があることから、その部位の損傷(クリープ)は影響が大と考えられる。

A-USC の実用化にあたっては、下記検証を行い、材料物性を考慮した構造の採用等が必要となります。これらの設計的な配慮および従来と同等の保守を実施することで損傷リスクを従来プラント並に低減することが可能と考える。

- 1) 新材料クリープ特性 : 継手を含め長時間クリープ特性の確認と取得データの設計への適用
- 2) 伝熱管高温腐食 : 腐食速度の把握、表面処理の検討
- 3) 疲労 : ラボ・実缶での時効特性把握、クリープ疲労特性把握
- 4) 高温酸化 : 水蒸気酸化速度・スケール剥離特性の把握

表 添3-1 ボイラのリスク・損傷モード評価

損傷モード	リスク	損傷部位					対 策	検証段階 (Phase)		
		配管	伝熱管	管寄せ	弁	D e S H		I	II	III
高温腐食	短時間での減肉		○				ラボ・実缶での腐食速度の把握、要すれば表面処理の検討	○	○	○
水蒸気酸化スケール剥離	スケール堆積閉塞		○				ラボ・実缶での水蒸気酸化速度、スケール剥離特性の把握、要すればショットブラスト等の表面処理を検討	○	○	○
	伝熱阻害		○					○	○	○
クリープ	弁・ブレード磨耗				○			○	○	○
	長時間強度低下	○	○	○	○	○	3.5万時間以上のクリープ試験で許容応力設定、10万時間のクリープ試験での検証	○	○	○
	継手強度低下	○	○	○	○	○	継手も母材同様長時間試験でクリープ特性を把握	○	○	○
	過熱に対する余裕低下	○	○	○	○	○	クリープ特性に応じた設計係数の検討	○	○	
疲労	配管熱応力緩和の低下	○					熱応力評価手法の検討、配管設計への反映	○	○	
	時効による強度低下	○	○	○	○	○	ラボ・実缶での時効特性の把握	○	○	○
	クリープ重畳寿命低下	○	○	○	○	○	ラボでのクリープ疲労特性の把握	○	○	
脆性破壊	熱疲労き裂	○	○	○	○	○	熱応力評価に基づく構造の検討、ラボ・実缶での検証	○	○	
	時効による衝撃値低下	○	○	○	○	○	ラボ・実缶での時効特性の把握	○	○	○
エロージョン、磨耗	弁体、摺動部の減肉、				○		弁体の肉盛溶接技術の検討、ラボ・実缶での検証	○	○	○
振動	ノズル、保護筒の振動					○	材料の高温特性に基づく構造の検討、ラボ・実缶での検証	○	○	
溶接施工に起因	溶接欠陥	○	○	○	○	○	溶接材料、溶接技術の確立	○	○	
	熱処理不良	○	○	○	○	○	同上	○	○	
	溶接技量要求の高度化	○	○	○	○	○	現地溶接を含め機械化の検討	○	○	
	溶接士不足	○	○	○	○	○	同上	○	○	
	UT 検査精度の低下	○	○	○	○	○	検査技術の検証	○	○	
加工に起因	曲げによる扁平	○	○				加工技術の確立	○	○	
	加工部の強度低下	○	○	○			加工部の強度特性の把握	○	○	
	熱処理不良	○	○	○	○	○	加工技術の確立	○	○	
素材に起因	長い納期	○	○	○	○	○	従来材並みの製造性をもつ材料の開発、余寿命診断技術の確立	○	○	○
	パッキン劣化				○		パッキン冷却構造の検討、ラボ・実缶での検証	○	○	○

2. タービンで想定される損傷リスク・保守対応の評価

タービンでは一般的に以下の損傷モードが想定される。

- ・短期破壊モード： ①脆性破壊、②延性破壊
- ・長期破壊モード： ①クリープ損傷、②エロージョン、③材料の脆化、④SCC（応力腐食割れ）
- ・繰返し破壊モード： ①疲労（高サイクル、低サイクル）、②腐食疲労、③熱疲労、④溶接欠陥
- ・振動、接触、磨耗：①軸振動、②回転部静止部接触、③摺動部固着

上記の損傷モードのうち、A-USC タービンにおいて特に懸念される損傷モードは『クリープ・熱疲労・摺動部固着』と考えられる。

A-USC の実用化にあたっては下記検証を行い構造設計に反映する。これらの設計的な配慮および従来と同等の保守を実施することで、損傷リスクを従来プラント並に低減することが可能と考える。

- 1) 新材料クリープ特性：継手を含め長時間クリープ特性の確認
- 2) 熱疲労：高温疲労特性把握
- 3) 摺動部固着：材料組合せ検証の実施（最適化）、実機検証

表 添3-2 タービンのリスク・損傷モード評価

部品	新設計開発要素	損傷モード	原因	影響	対策	検証段階		
						I	II	III
主要弁 (MSV,RSV)	高温材料の適用、冷却構造の適用	熱疲労、クリープ損傷	熱応力の増大、材料強度不足	プラント停止、開放点検	材料特性に基づく構造設計、材料特性に基づく運転条件の設定、長時間クリープ試験の実施	○	○	
		蒸気漏れ	フランジ面圧の低下、シール不良、組立不良	プラント停止、開放点検	材料特性に基づく構造設計、材料特性に基づく運転条件の設定、組立時の管理検討	○	○	○
主要弁 (CV,ICV)	高温材料の適用、冷却構造の適用	摺動部固着	スケール付着、材料選定不良	プラント停止、開放点検	摺動部磨耗試験に基づく最適材料組合せ、最適間隙の設定、弁テストの実施	○	○	
主蒸気入口配管	高温材料の適用	クリープ破断	材料強度不足	プラント停止、寿命低下	3.5万時間以上のクリープ試験による許容応力設定、10万時間のクリープ試験による検証	○	○	
調速段	高温材料の適用、冷却構造の適用	エロージョン	ボイラスケール、異物混入	定検時の点検、部品取り替え	耐エロージョンコーティング等の適用、補修技術検討		○	○
		スチームホワールの発生	高圧蒸気、シール設計不良、軸受減衰不足	プラント停止、開放点検	高ダンピング軸受採用、軸剛性確保等による設計最適化検討及び検証		○	○
		クリープ、疲労	材料強度不足	プラント停止、開放点検	蒸気環境中での材料検証試験	○		
動静翼	GT実績のある新材料の適用	クリープ、疲労	材料強度不足	プラント停止、開放点検	蒸気環境中での材料検証試験	○		
		翼倒れ	材料強度不足	プラント停止、開放点検	材料特性に基づく間隙の設定、蒸気環境中での材料検証試験、経年監視		○	○
	低アスペクト比高性能翼の適用	性能不足	間隙の増大、経年劣化	経済性低下	伸び差、半径方向間隙、翼サイズ、翼負荷等の最適化設計、及び要素検証試験の実施		○	○
ロータ	高温材料の適用、冷却構造の適用、溶接構造の適用	軸曲がり	接触、材料強度不足、冷却不良	プラント停止、開放点検	長時間クリープ試験の実施、材料特性に基づく冷却構造の適用、シール構造を含めたシールフィン間隙の最適化	○	○	
		軸振動	冷却による熱アンバランス、接触	監視、プラント停止、開放点検	冷却技術の検証、シール構造を含めたシールフィン間隙の最適化		○	○
		伸び、伸び差増大	起動条件、冷却不良	プラント停止、開放点検	起動条件、冷却条件の最適化、運用、材料特性に基づく間隙の設定		○	○
内部車室	高温材料の適用、冷却構造の適用	蒸気漏れ	組立不良、材料強度不足、冷却不良	経済性低下	長時間クリープ試験の実施、冷却構造の採用、最適ボルト締結構造の検討	○	○	○
		クリープ変形	材料強度不足、冷却不良	接触、プラント停止、開放点検	長時間クリープ試験の実施、冷却構造の採用	○	○	
溶接部	Ni合金の溶接	溶接部疲労、クリープ損傷	施工不良、継ぎ手部強度不足	プラント停止、開放点検	溶接施工技術の検証、溶接検査技術の確立、補修技術の確立	○	○	

添付資料4 現行または提案中のプロジェクトとの協調

図 添 4-1 に現行または提案中の他のプロジェクトとの関係を示す。現行のプロジェクトとしては NEDO 「700°C超級超々臨界圧発電用蒸気タービン新材料の研究開発」、RITE 「700°C級超々臨界圧火力発電プラント主蒸気配管用高強度オーステナイト鋼の開発」があり、それぞれ、今回の提案のタービンロータ開発、ボイラ材料開発の基盤となる研究開発を実施している。また、提案中のプロジェクトとしては「NEDO 提案 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発技術開発」があり、今回の提案と並行して、700°C級ボイラ用材料(α 、 γ 、Ni 基)の損傷機構解明による高強度化指針の提示と強度予測技術の確立を行う所存である。

また、A-USC の実用化にそなえ、経済産業省の委託を受け平成 18 年度から発電設備技術検査協会に「火力設備効率化技術調査委員会(RSA 委員会)」が発足し、A-USC 材料の材料特性評価、溶接・検査技術調査、技術基準への反映についての検討が始まった。行政側での検討態勢は整っており、材料開発が加速され物性データが取得され始めれば、規格化の検討が可能な状況になっている。

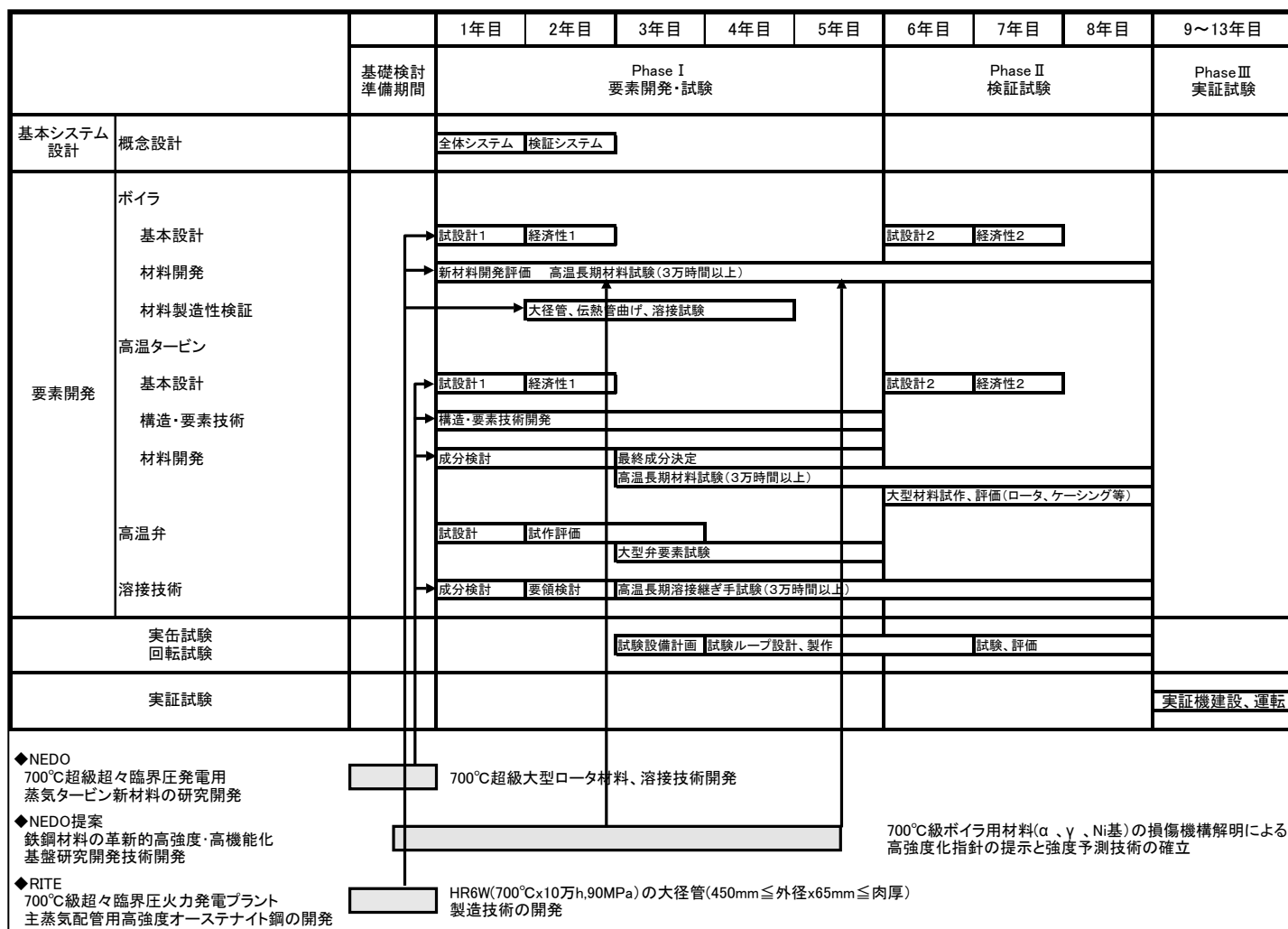


図 添 4-1 他のプロジェクトとの関係

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「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)

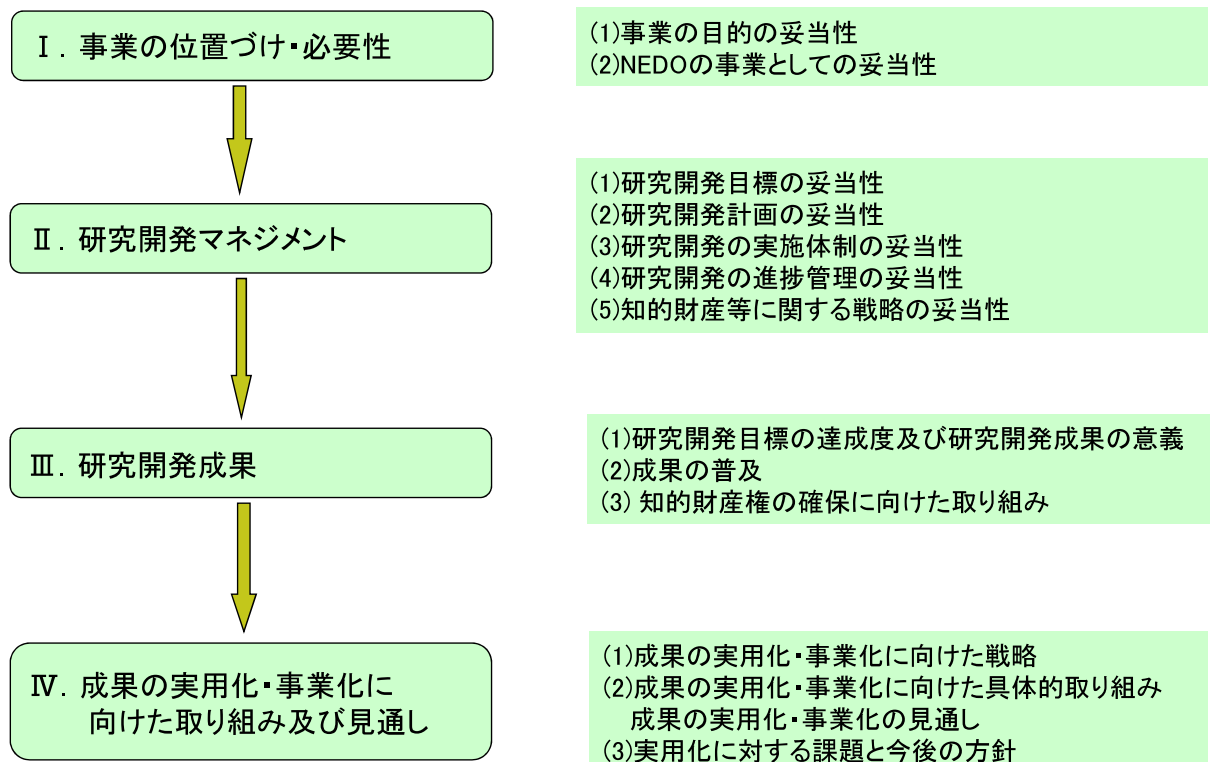
NEDO

環境部

平成28年10月25日

0

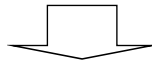
発表内容



◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

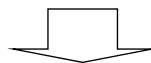
温暖化対策は世界的課題



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。

◆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	ボイラー	○	○	○	○	○	?
	タービン	○	△	○	?	○	○
	弁	○	○	?	?	○	?
開発状況	ボイラー	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ー、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を中心にボイラー、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-

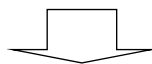
②石炭火力発電技術

- 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年度までに行い技術確立。／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。

4

◆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

5

◆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

CO₂削減効果

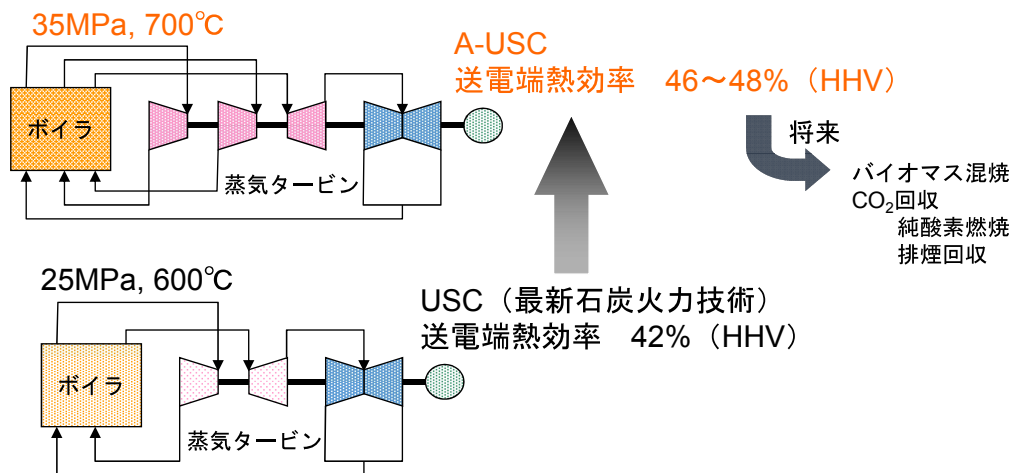
総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会(第5回会合)資料3「火力発電における論点」における【試算の考え方】を適用

【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

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tCO₂/年)以上のCO₂削減効果

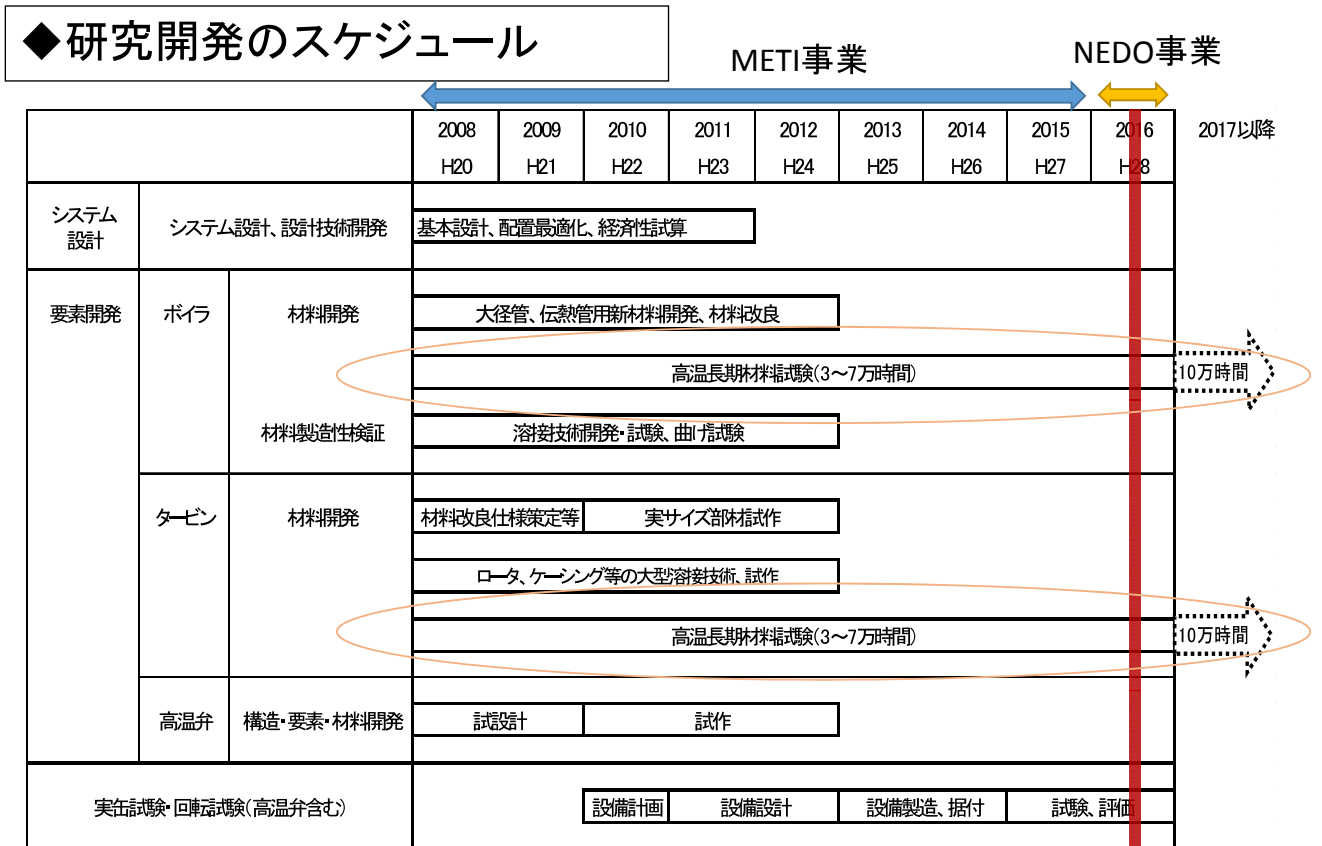
◆事業の目標

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



2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

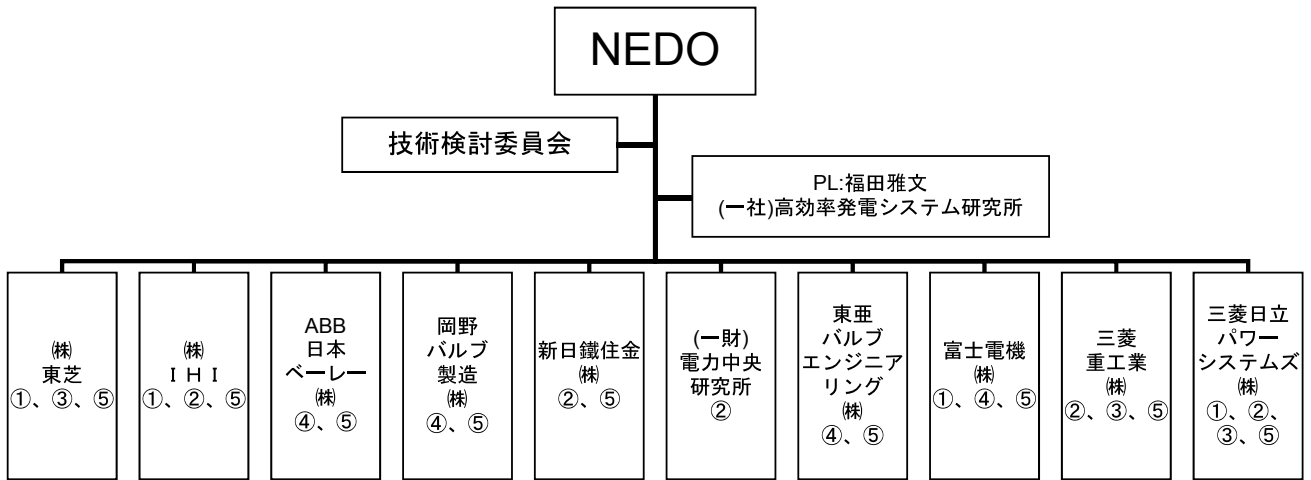
◆ プロジェクト費用

単位: 百万円

年度	ボイラ (実在試験含む)	タービン (回転試験、実在試験含む)	弁 (実在試験含む)	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

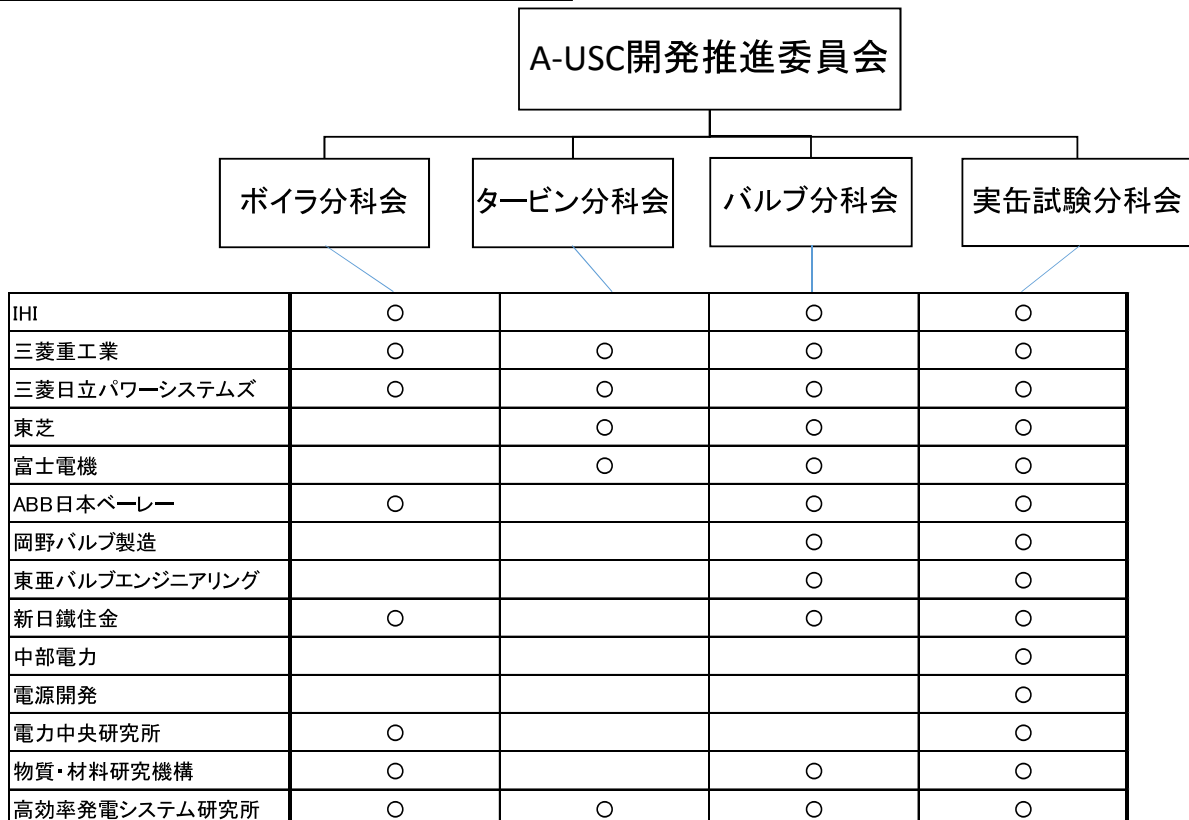
◆研究開発の実施体制 1/2



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）

◆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。

◆ 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。	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。
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。

◆ 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

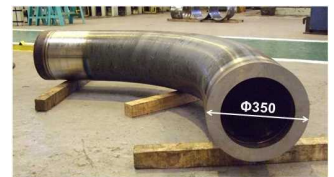
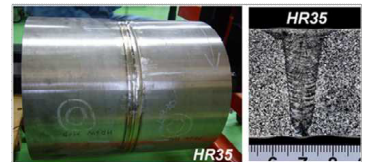
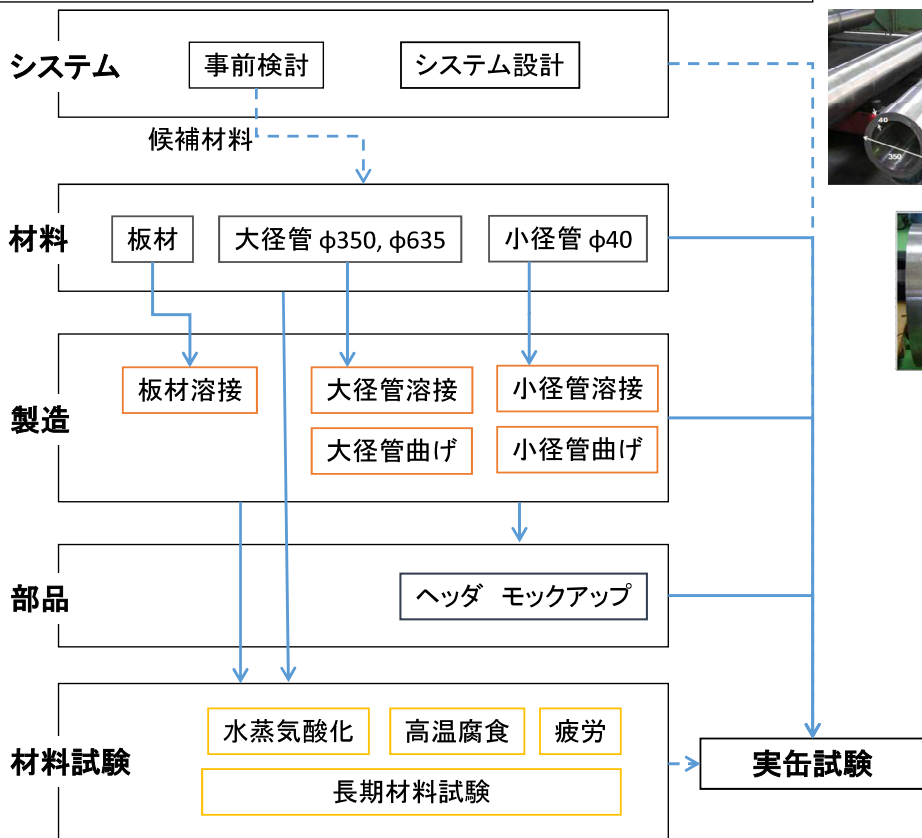
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

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。

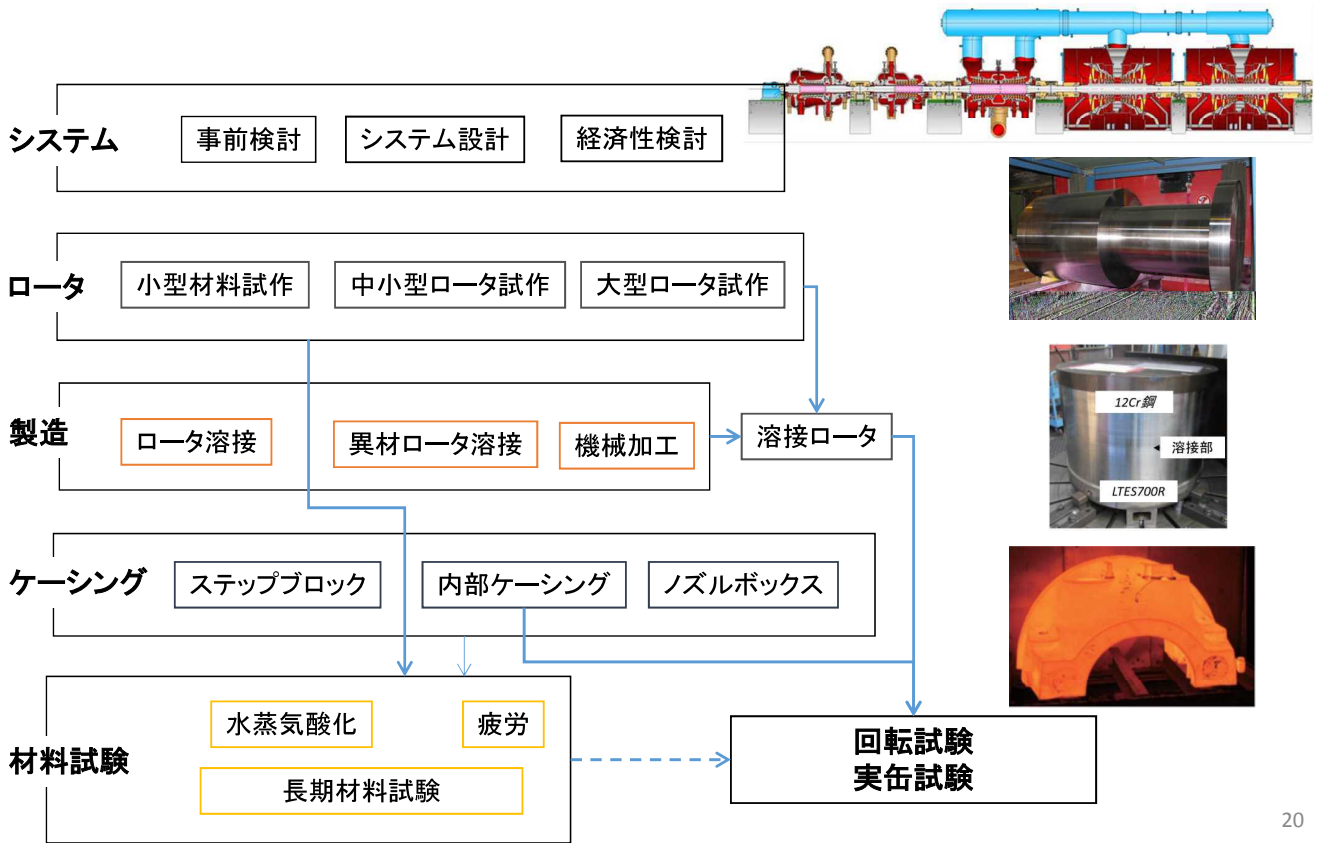
回転試験は1体目のロータを試験中であり、これまでのところ問題なく、運転中である。

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



◆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

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。

◆ 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)

◆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

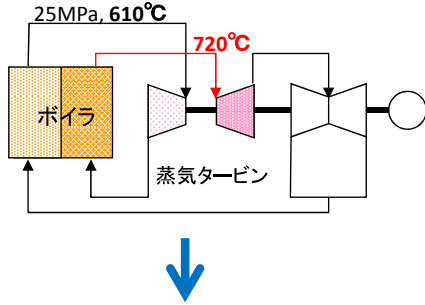
出願者	出願番号	国内外PCT	出願日	状態	名称
MHI	特願2008-195580	国内	2008/7/30	登録	Ni基合金用溶接材料
MHPS	特願2010-502362	国内/外国	2008/8/11	登録	蒸気タービン設備
東芝	P2009-066517	国内	2009/3/18	登録	蒸気タービンのタービンロータ用Ni基合金およびそれを用いた蒸気タービンのタービンロータ
MHPS	特願2012-139585	国内	2012/6/21	登録	Ni基合金の使用温度推定方法及び寿命評価方法
MHPS	特願2013-238842	国内/外国	2013/11/19	公開	厚肉大径管の溶接継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

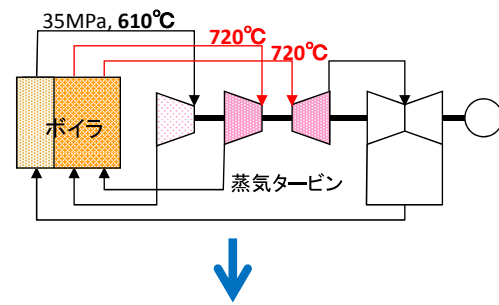
- 実用化の見通し
 - 2016年度に技術開発完了
早ければ2025年頃に大型機の商用実証を目指す
- 導入見通し
 - 国内では経年火力のリプレイス等を主体とし、既存資源(人材、立地、設備)を有効活用した導入
 - 国外ではアジア・オセアニア、欧州、北米への売り込みを目指す。
- 導入対象
 - リプレイス
 - 新設 等
- 技術の段階的導入
 - 再熱のみ700°C級、一段再熱
 - 主蒸気・再熱700°C級、一段再熱
 - 再熱のみ700°C級、二段再熱
 - 主蒸気・再熱700°C級、二段再熱

◆ 実用化・事業化に向けた戦略 技術の段階的導入

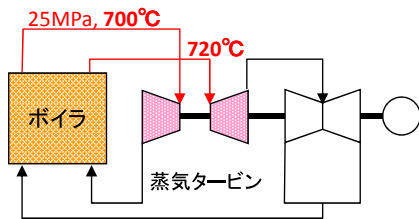
① 再熱のみ700℃級、一段再熱



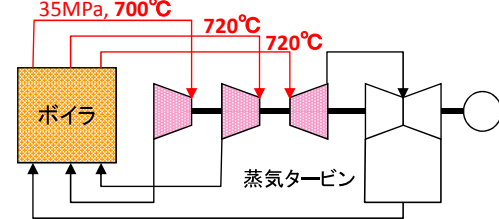
③ 再熱のみ700℃級、二段再熱



② 主蒸気・再熱700℃級、一段再熱

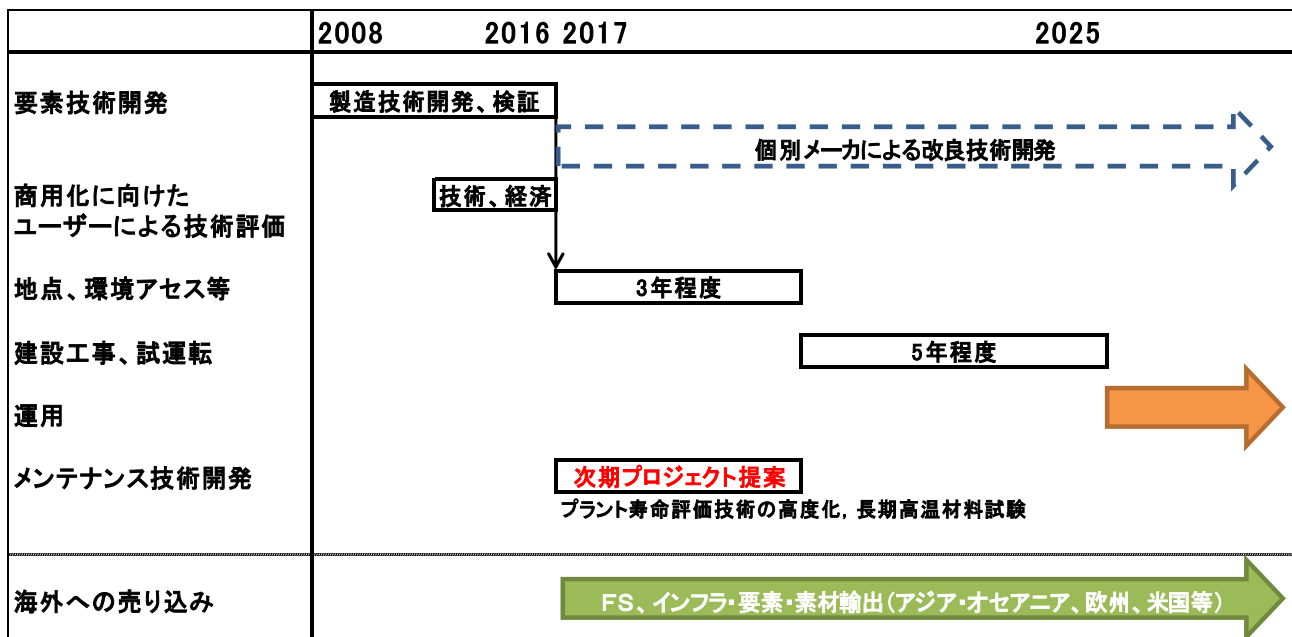


④ 主蒸気・再熱700℃級、二段再熱



■ 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

◆ 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み
 ◆ 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)

6.1 研究項目① システム設計

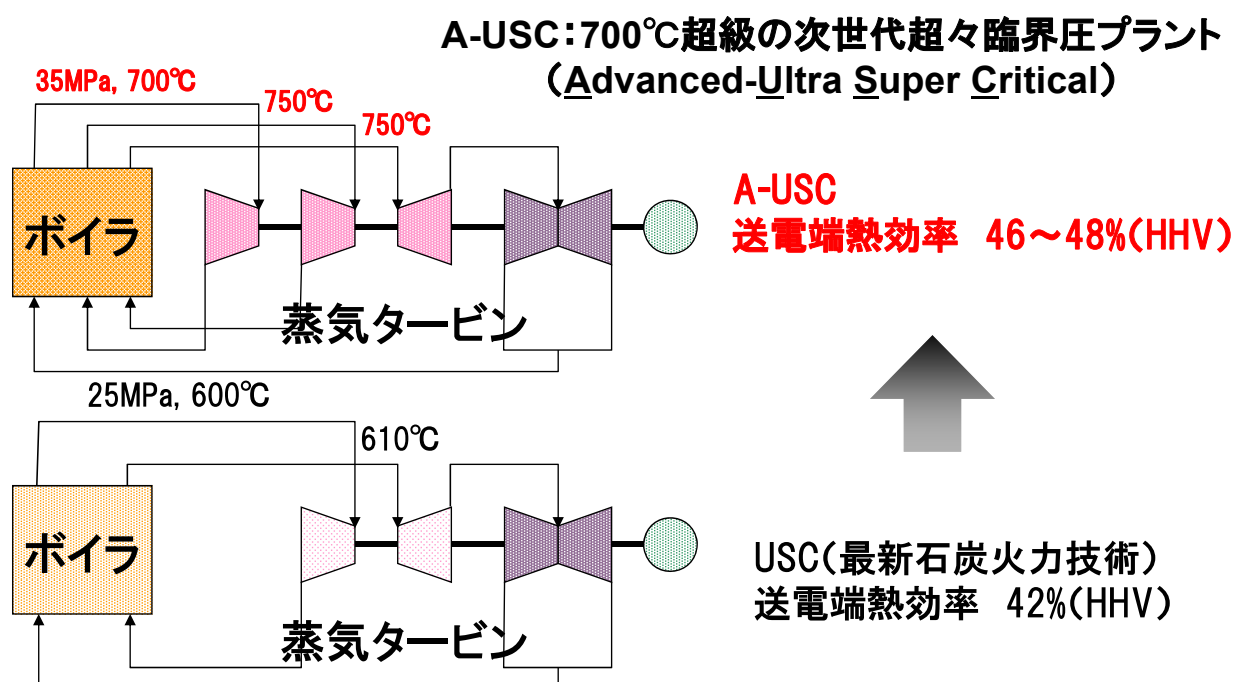
三菱日立パワーシステムズ株式会社
株式会社東芝
富士電機株式会社
株式会社 IHI
三菱重工業株式会社

目次

- 6.1 研究項目①システム設計
 - 6.1.1 設計意義と目標
 - 6.1.2 基本的な考え方
 - 6.1.3 候補材料とプラント適用材料
 - 6.1.4 各種設計比較
 - 6.1.5 経済性評価例及びCO2排出量
 - 6.1.6 まとめ

6.1.1 設計意義と目標

経産省「先進超々臨界圧発電実用化要素技術開発補助金」事業が2008年～2016年
にかけ採択。石炭火力発電の送電端効率46-48%以上の達成を目指す

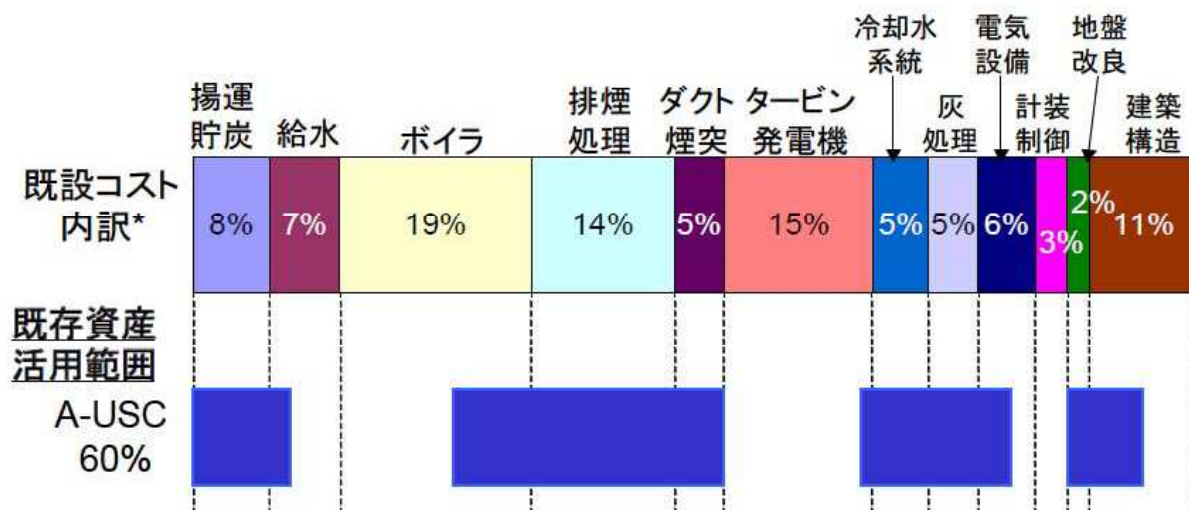


6.1.2 基本的な考え方

- 運開後30年以上経過した石炭火力プラントをモデルベースとする。
新設 or リプレイスによる高効率化をターゲット
 - 蒸気条件が類似のプラントが多い方が良い。(市場性高)
- 完全なスクラップ&ビルドよりも部分改修したほうが有利なプラントをモデルのベースとする。
 - ボイラ、タービン以外の設備が継続して使用可能であることを確認する。
 - ボイラ、タービンを完全に入れ替えるか、その一部をするかいくつかケースを設定する。
- 出力は500MW以上。

6.1.2 基本的な考え方

経年火力更新における既存資産の有効活用を勘案
改造範囲: A-USCでは約60%既存資産活用可能



6.1.2 基本的な考え方

リプレースモデル案 2008年国プロ着手時まとめ

		改造前		
		亜臨界	超臨界	
出力範囲 (MW)		150~350	500~700	
主蒸気温度 (°C)		566	538~566	
主蒸気圧力 (MPa)		16.6~18.6	24.1	
1987年以前運開の台数		25台	8台	
改造後★	700°C (超臨界)	700°C 2段再熱	△(出力が若干小さい)★★	○
		700°C 1段再熱	△(出力が若干小さい)★★	○
		再熱700°C	△(排気湿度検討要)	○
	現状技術	既設と同じ蒸気条件で建替え		
		600°C 1段再熱		

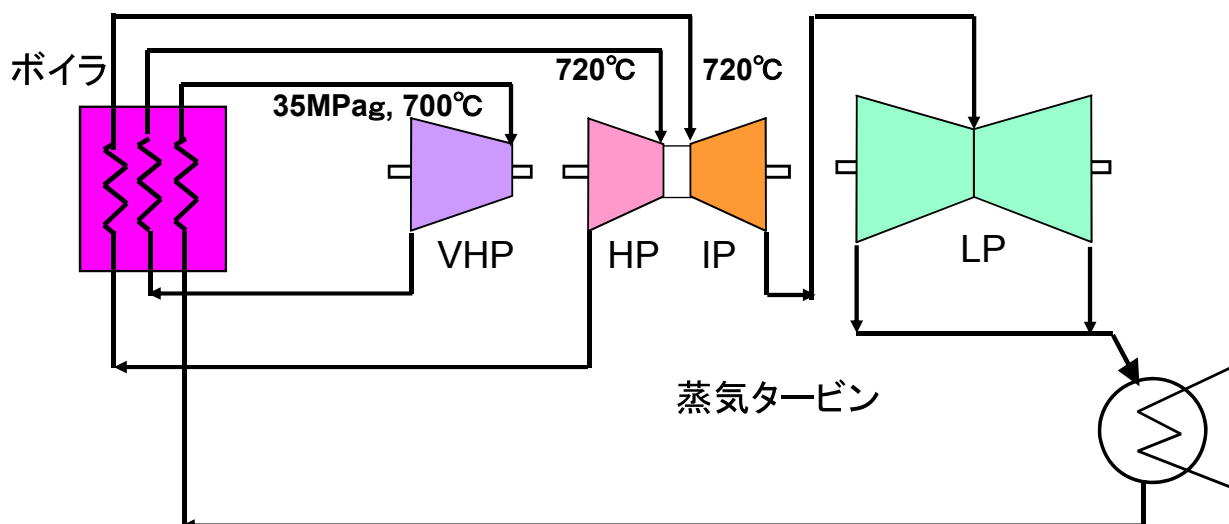
備考: ★更新時期に来た高温部(ボイラ、タービン)を更新または改造すると想定

★★ 改造後の出力としては500MW以上程度が望ましい。
2台を同時に更新し500MW以上に改造するケースもありうる。

700°C級プラントを3ケース、600°C級プラントを1ケースを選定

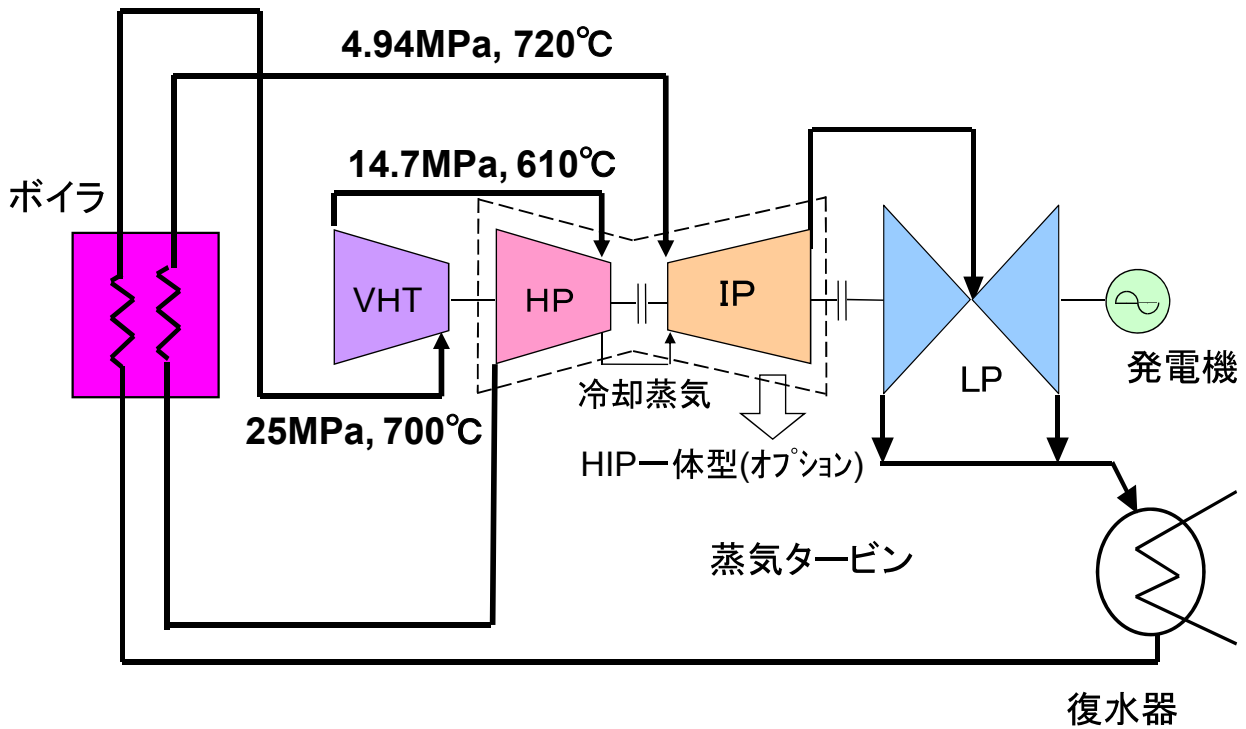
6.1.2 基本的な考え方

プラント基本構成図 ケースA 二段再熱



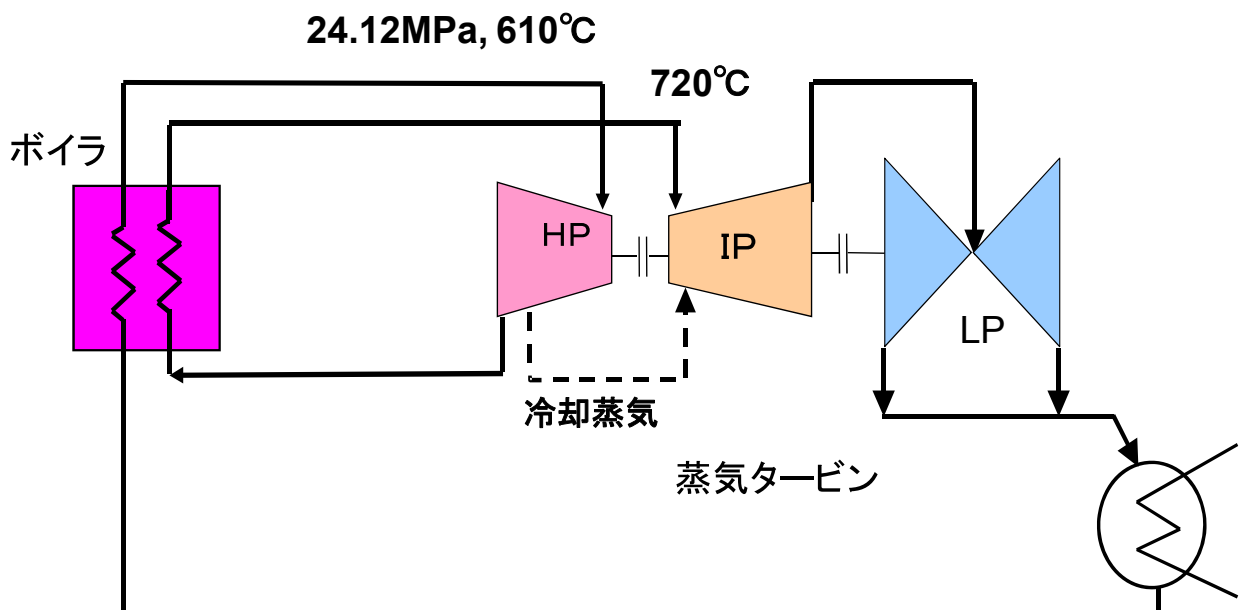
6.1.2 基本的な考え方

プラント基本構成図 ケースB 一段再熱



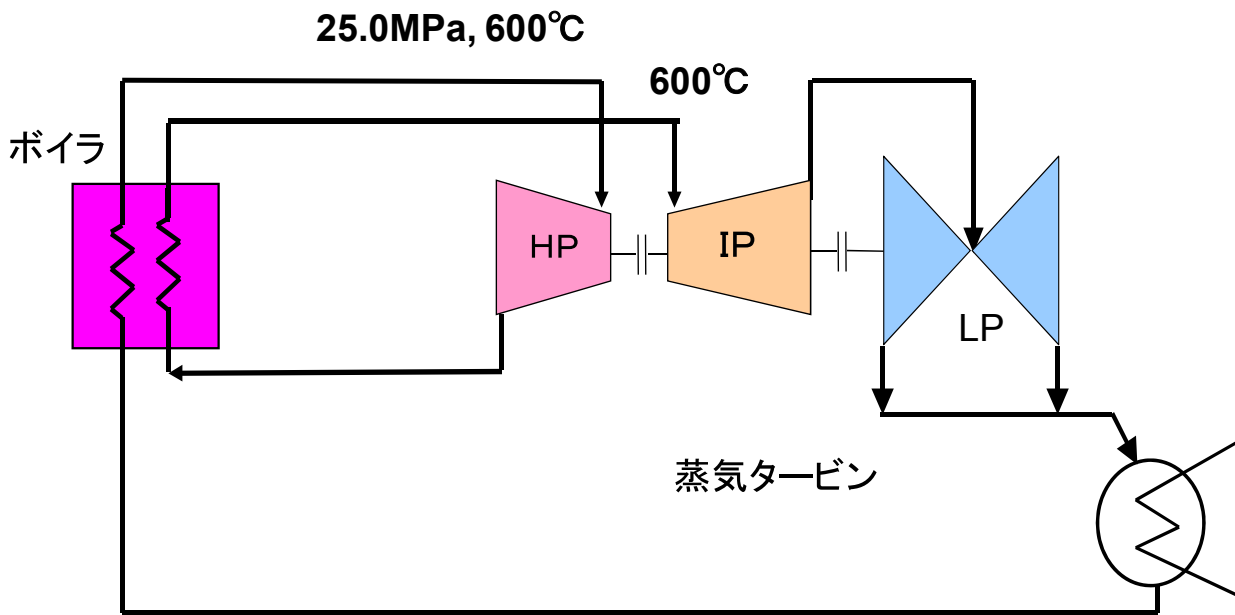
6.1.2 基本的な考え方

プラント基本構成図 ケースC 再熱700°C



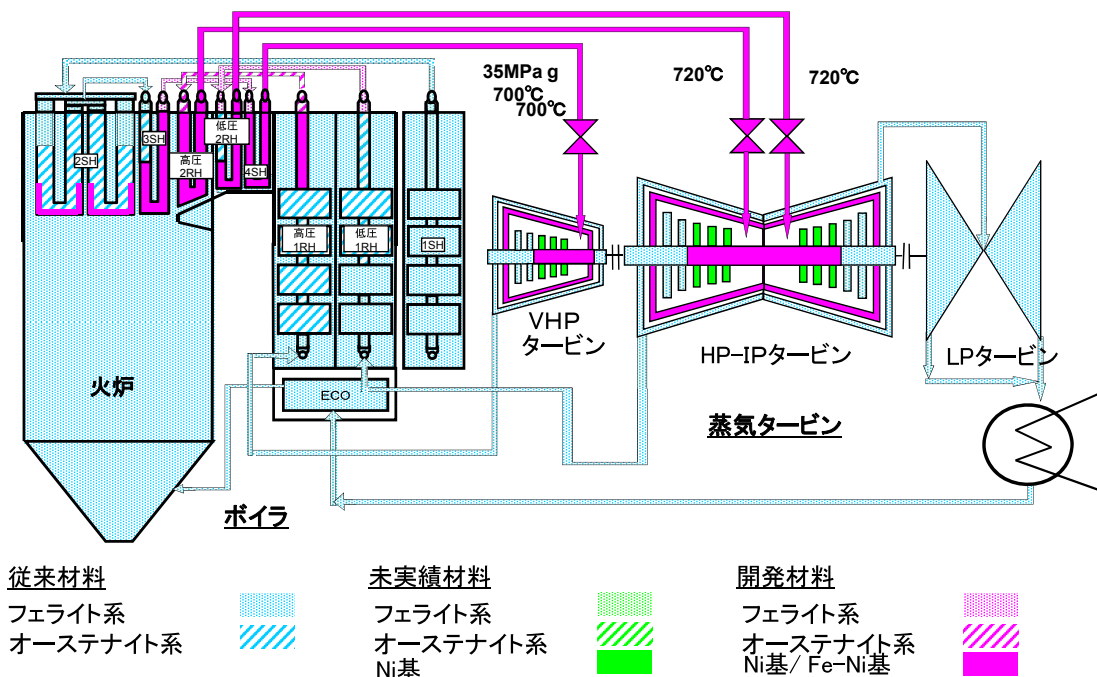
6.1.2 基本的な考え方

プラント基本構成図 ケースD 600°C級USC



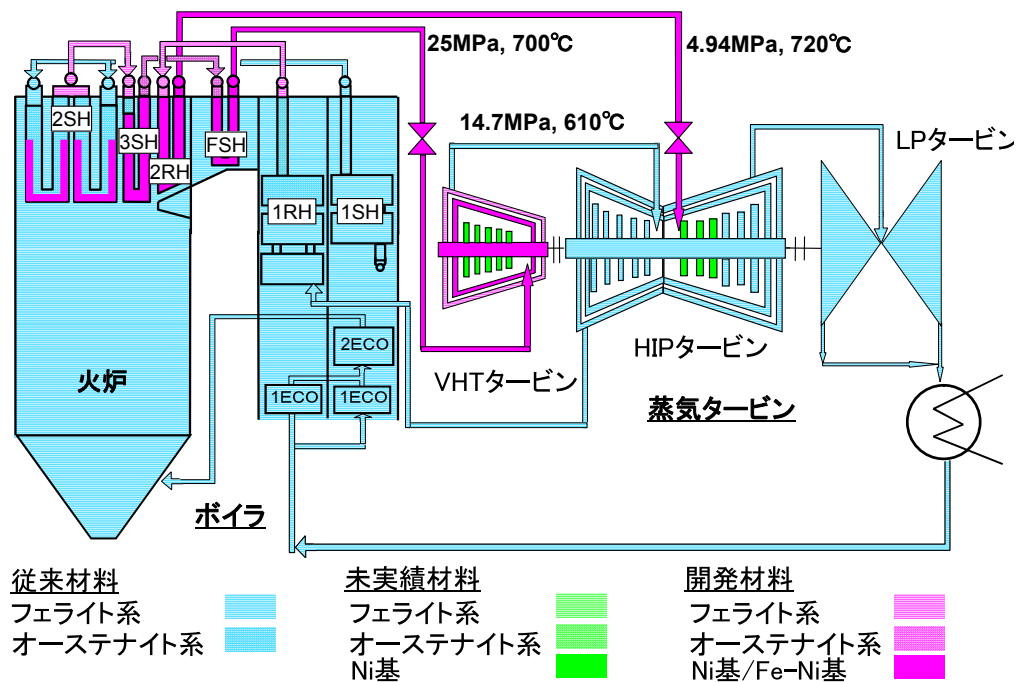
6.1.3 候補材料とプラント適用材料

ケースA: 二段再熱 適用材料マップ



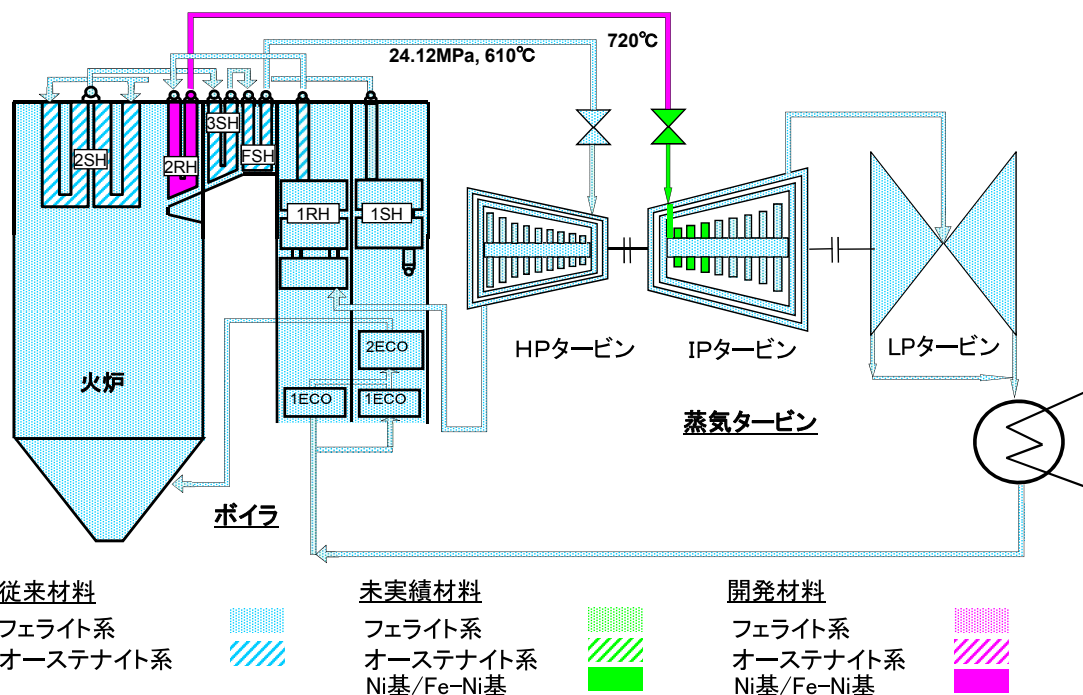
6.1.3 候補材料とプラント適用材料

ケースB: 一段再熱 適用材料マップ



6.1.3 候補材料とプラント適用材料

ケースC: 再熱700°C 適用材料マップ



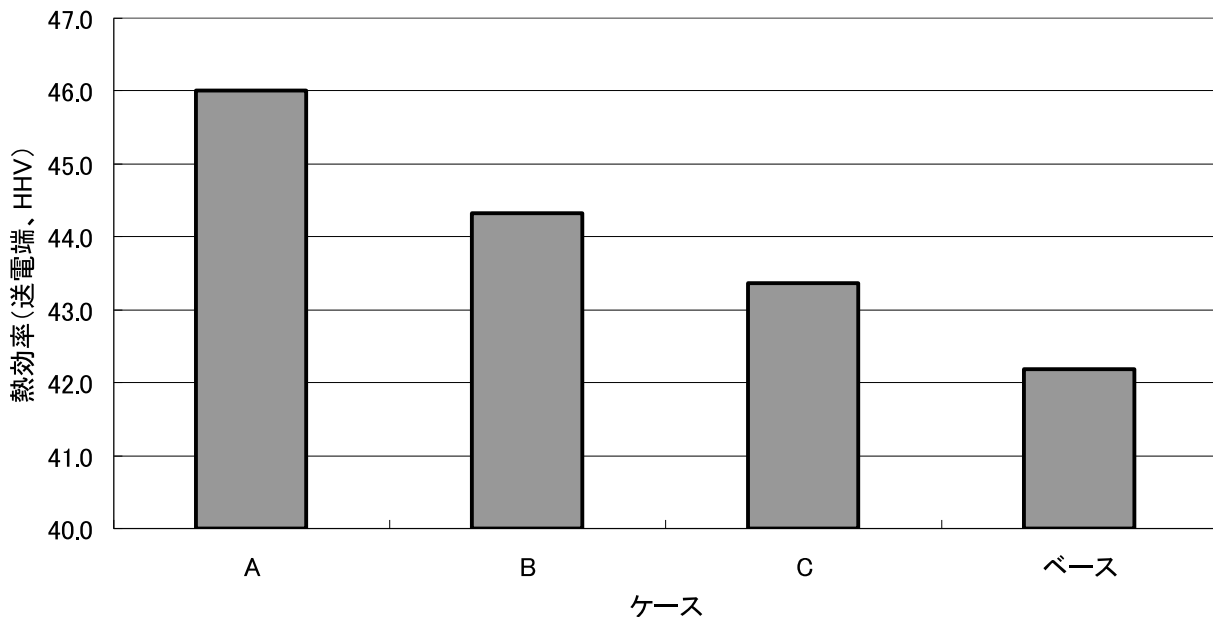
6.1.4 各種設計比較

ケース毎の要項

ケース		A	B	C	ベース
プラント出力	MW	500	500	500	500
蒸気条件		35MPag 700°C/720°C/720°C	25MPag 700°C/720°C	24.1MPag 610°C/720°C	25 MPag 600°C/600°C
燃料		石炭（瀝青炭）	石炭（瀝青炭）	石炭（瀝青炭）	石炭（瀝青炭）
ボイラ形式		超臨界圧変圧貫流型二段再熱式	超臨界圧変圧貫流型再熱式	超臨界圧変圧貫流型再熱式	超臨界圧変圧貫流型再熱式
タービン形式		TC2F-45	TCDF-46	TCDF-45	TC2F-46
回転数	rpm	3600	3600	3600	3600
真空度	mmHg	722	722	722	722
タービン効率	%	53.0	51.1	50.1	48.8
送電端効率	%	46.0	44.3	43.4	42.2
ボイラ					
最大連続蒸発量	t/h	1,185	1,275	1,340	1,440
総伝熱面積	m ²	73,800	50700 (節炭器フィンなし)	58,300	52,000
タービン					
車室数		3 (VHP、HIP、LP)	4 (VHTP、HP、IP、LP) 3 (VHTP、HP-IP、LP)	3 (HP、IP、LP)	3 (HP、IP、LP)

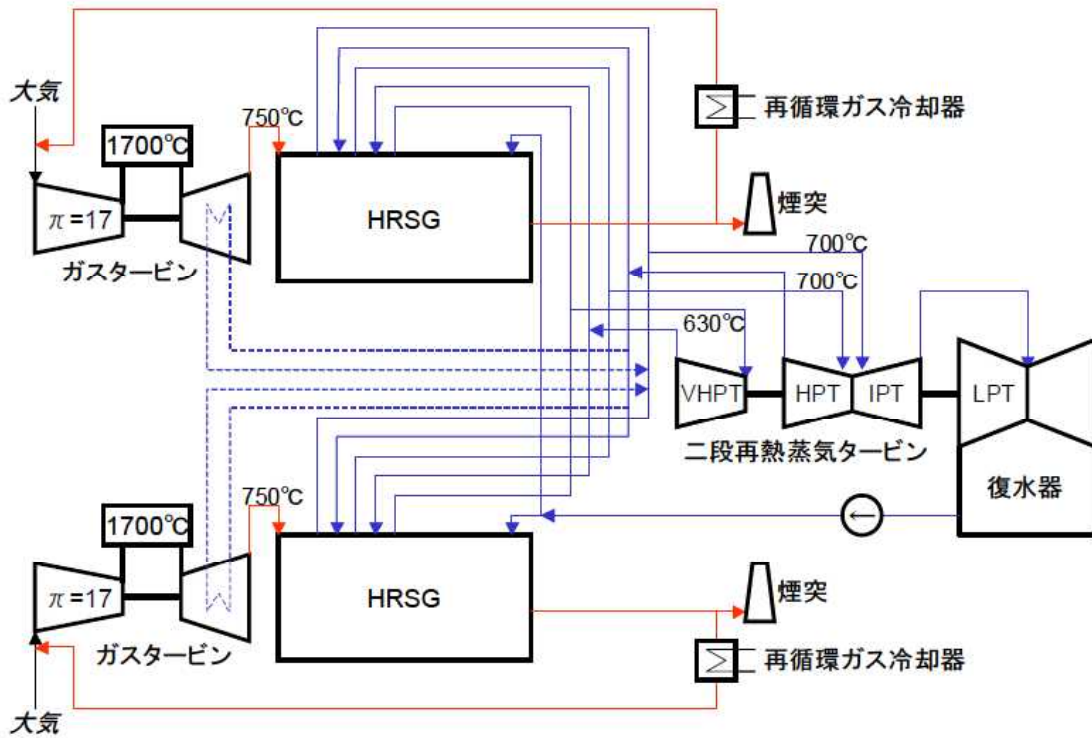
6.1.4 各種設計比較

各ケースの効率比較



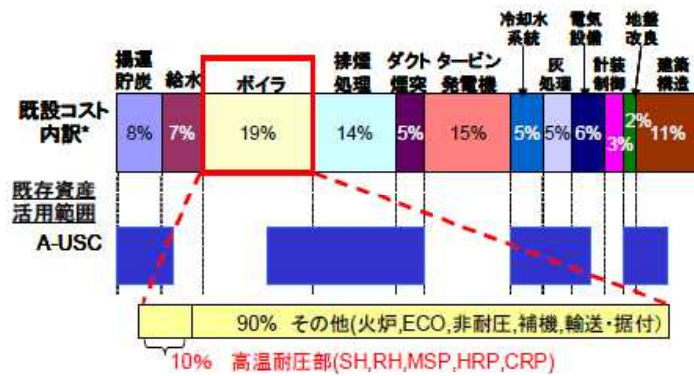
6.1.4 各種設計比較

GTCCボトムへの適用検討例: A-USC技術はGTCC効率向上にも寄与

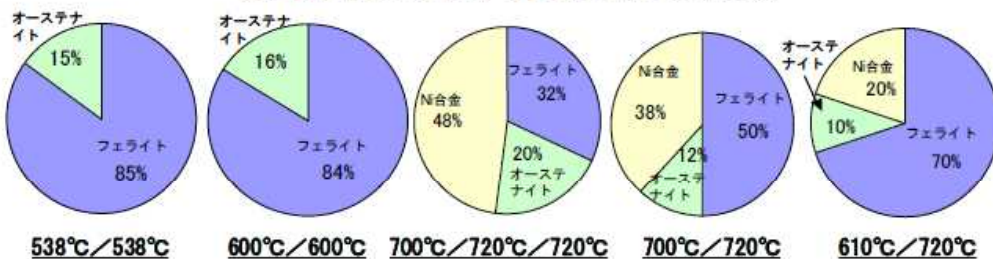


6.1.5 経済性評価例及びCO2排出量

ボイラ材に占める新材料の割合



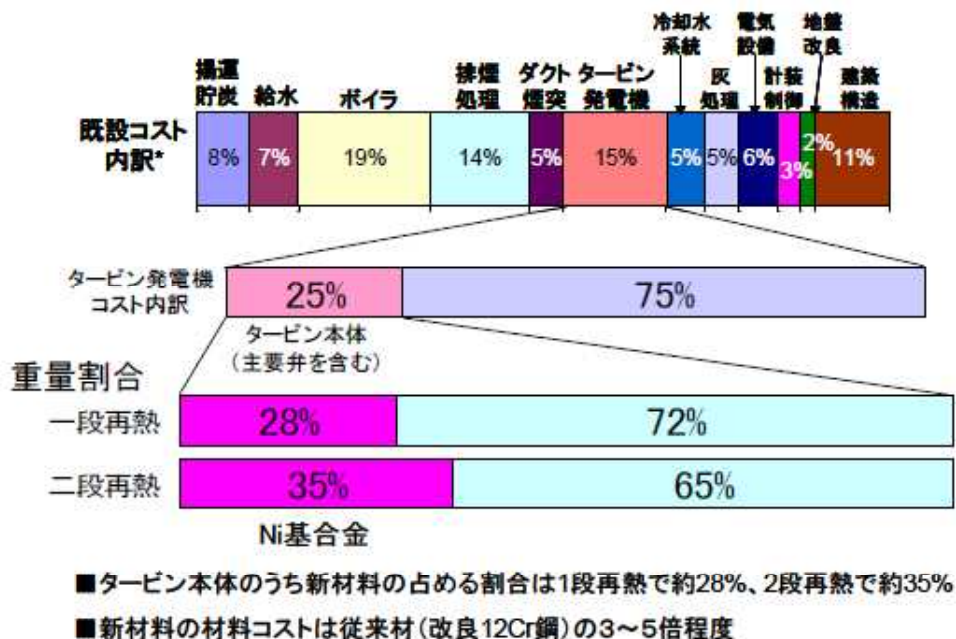
高温耐圧部の重量比率 (Fe-Ni基合金での試算)



■ Ni合金の価格レベルは従来のオーステナイト鋼(火 SUS304J1HTB)に比べ5~10倍程度

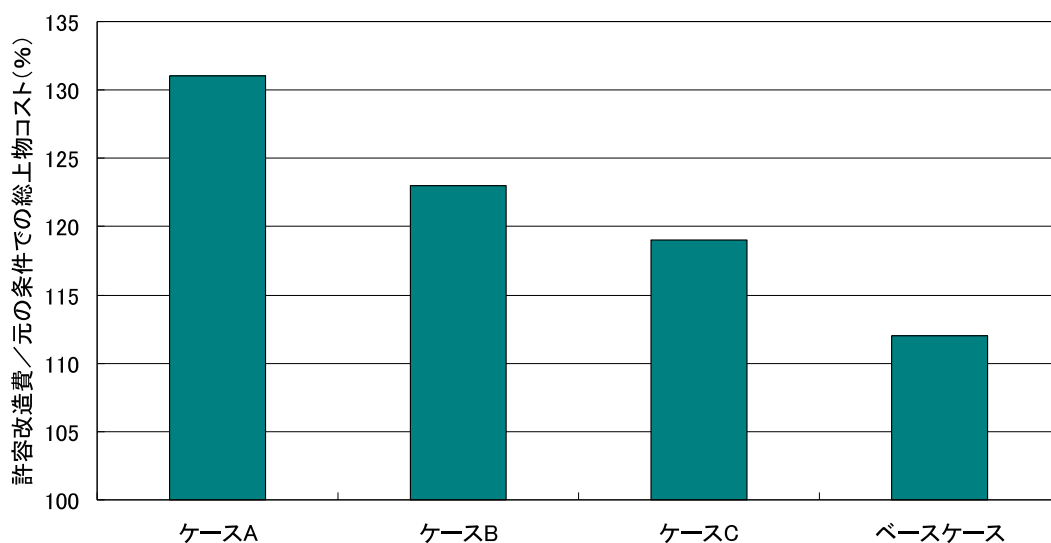
6.1.5 経済性評価例及びCO2排出量

タービン材に占める新材料の割合



6.1.5 経済性評価例及びCO2排出量

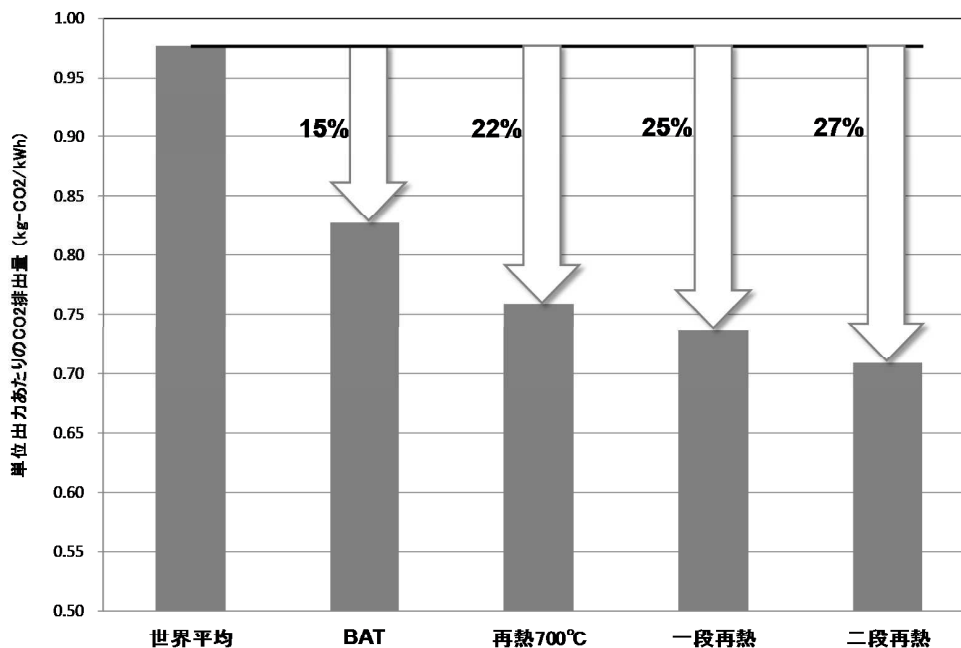
各ケースプラント効率から逆算した許容コスト上昇比率



ボイラ、タービンなどの高温部に占めるコスト上昇は上物(機械装置費)の許容コスト上昇率内に抑えられる見込みにある

6.1.5 経済性評価例及びCO2排出量

平成25年度BAT及び世界のCO2排出量と各ケースの比較



6.3.5 まとめ

700°C級A-USCシステム検討を行い下記を達成した。

- ✓ 二段再熱プラントにより、国プロ目標である送電端効率46%を達成する見通しをえた。
- ✓ システム検討は、経年劣化したプラントリプレース及びボイラタービンの新設を想定した。ユーザ選択肢を配慮し、二段再熱、一段再熱、再熱700°Cと3ケースの700°C級適用システムを検討した。
- ✓ 経済性についてボイラタービンで適用する材料比率を試算し、経済性の成立性見通しを得た。
- ✓ プラント効率からCO2排出量を試算し、石炭火力の継続的運用において、本技術の早期実用化が望まれることを示した。

6.2 研究項目②ボイラ要素技術開発

新日鐵住金株式会社
三菱日立パワーシステムズ株式会社
三菱重工業株式会社
株式会社IHI

1

目次

- 6.2 研究項目②ボイラ要素技術開発
 - 6.2.1 開発課題と目標
 - 6.2.2 研究開発成果
 - 6.2.2.1 過熱器管材料開発成果
 - 6.2.2.2 再熱器管材料開発成果
 - 6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果
 - 6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果
 - 6.2.3 まとめ
 - 6.2.4 今後の課題と取り組み

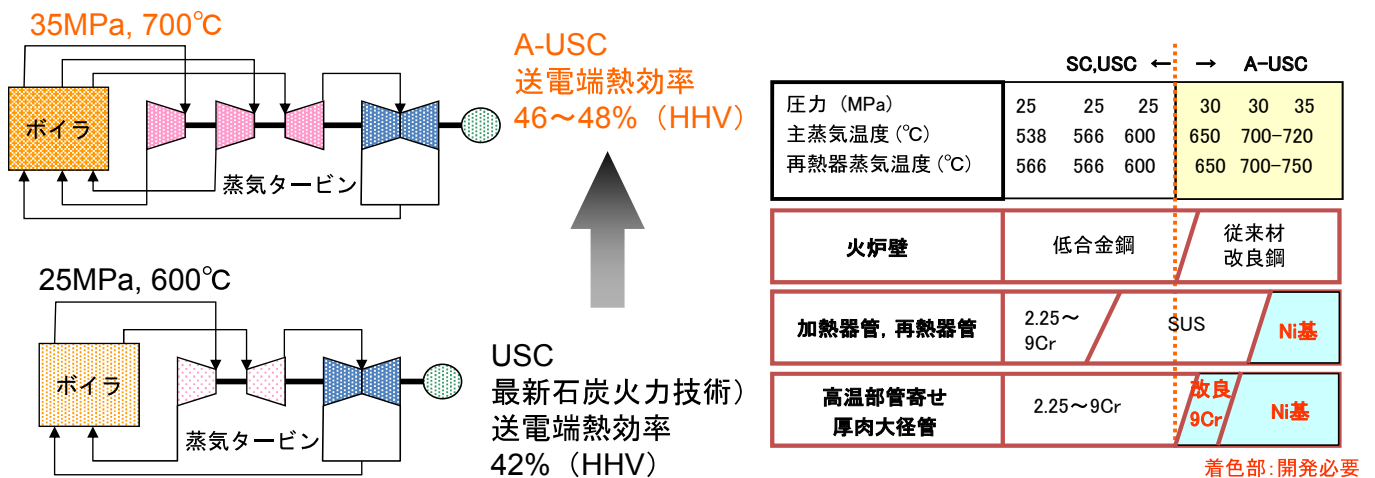
2

6.2.1 開発課題と目標

3

6.2.1 開発課題と目標

開発課題:ボイラ蒸気温度の向上に伴い, A-USCボイラでは
新たな材料開発および適用が課題となる.



過熱器管, 再熱器管: Ni基合金の開発が必要

厚肉大径管: 高強度フェライト鋼, Ni基合金の開発が必要

4

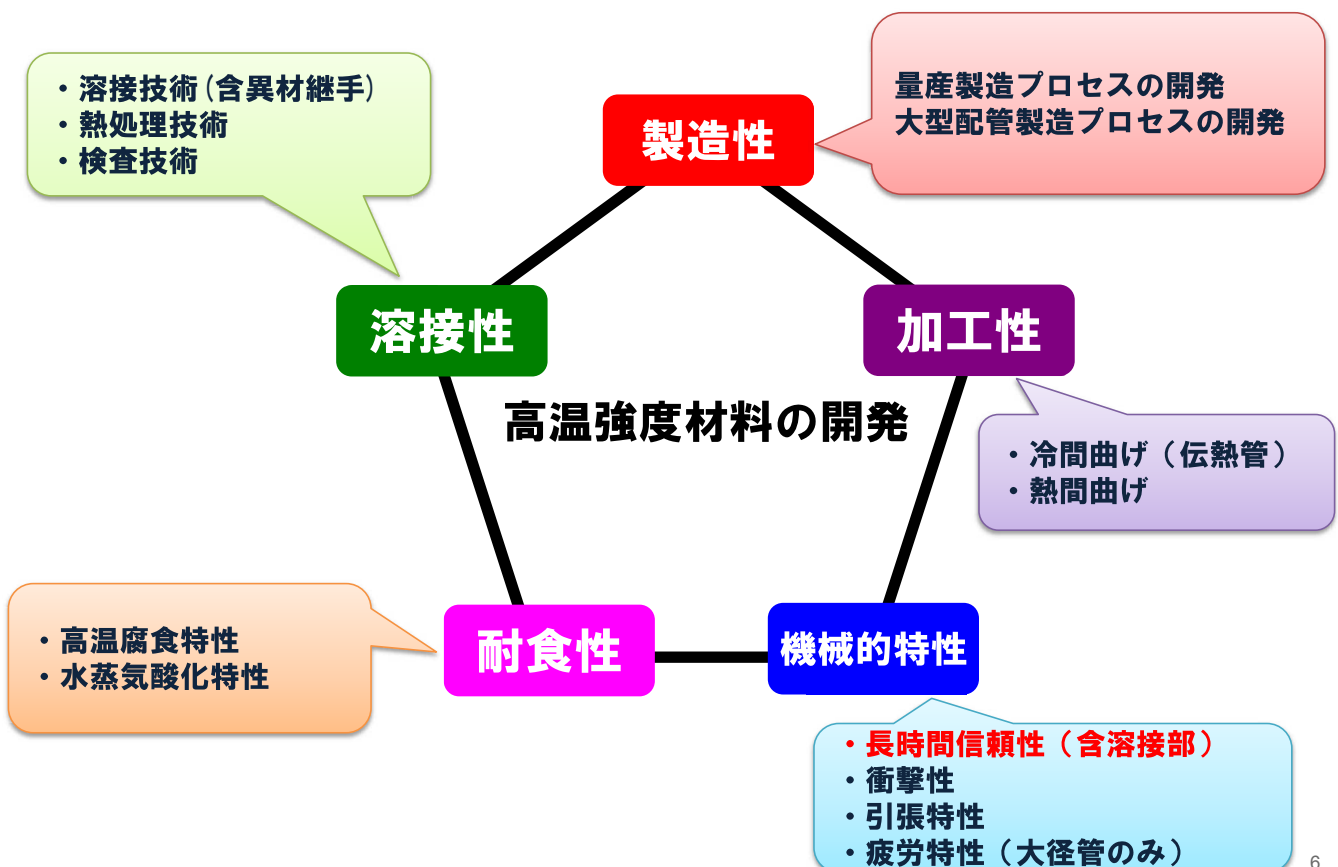
6.2.1 開発課題と目標

開発目標

- ① 10万時間、750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発
- ② 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発
- ③ 10万時間、700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発
- ④ 10万時間、650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継ぎ手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発

5

6.2.1 開発課題と目標



6

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

7

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

8

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

開発目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発
過熱器管候補材料として, 以下の3合金を選定した.

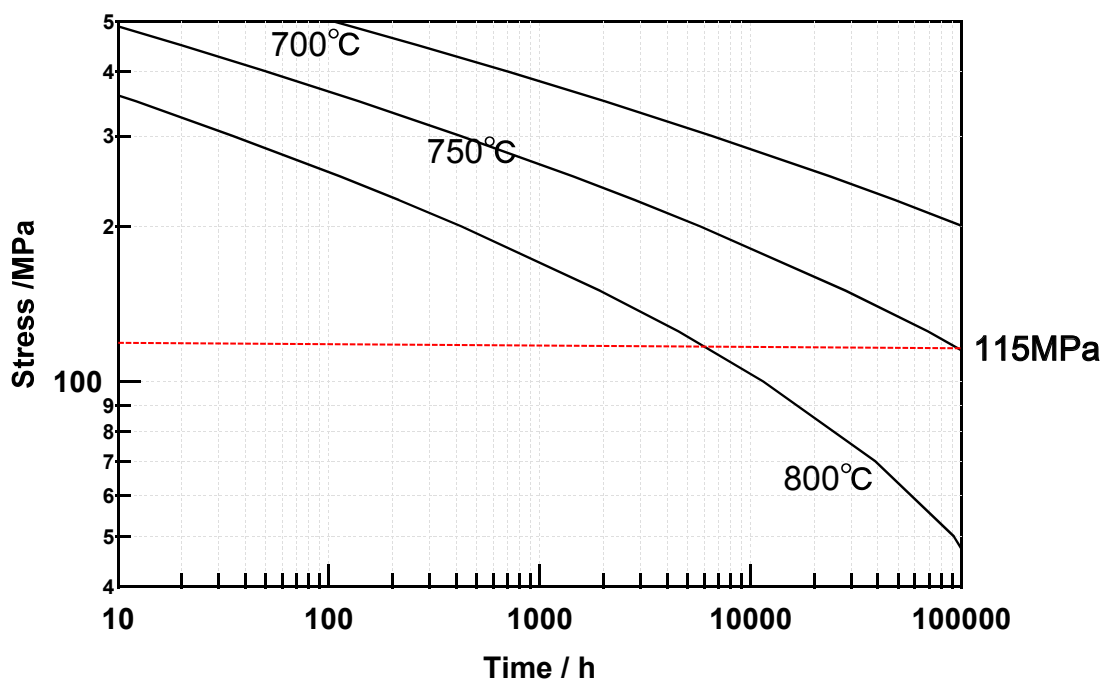
材料名	代表組成	開発元	特徴
Alloy263	Ni-20Cr-20Co-6Mo-2Ti-Al	Special metal	<ul style="list-style-type: none"> ・ガスタービン材料として, 実績多. ・欧州でA-USC候補材料として注目 ・γ'相による析出強化
Alloy740H	Ni-25Cr-20Co-2Nb-1.35Ti-1.35Al	Special metal	<ul style="list-style-type: none"> ・Cr量を増加させ, 酸化特性を向上 ・Ti添加を下げ, η相生成を抑制 ・米国でA-USC候補材料として注目 ・γ'による析出強化
Alloy141	Ni-20Cr-10Mo-1.6Ti-1.2Al	日立金属	<ul style="list-style-type: none"> ・熱膨張係数が小さい ・マクロ偏析が生じにくい ・γ'による析出強化

9

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

Alloy263 : 750 °C, 10万時間破断強度 115MPa

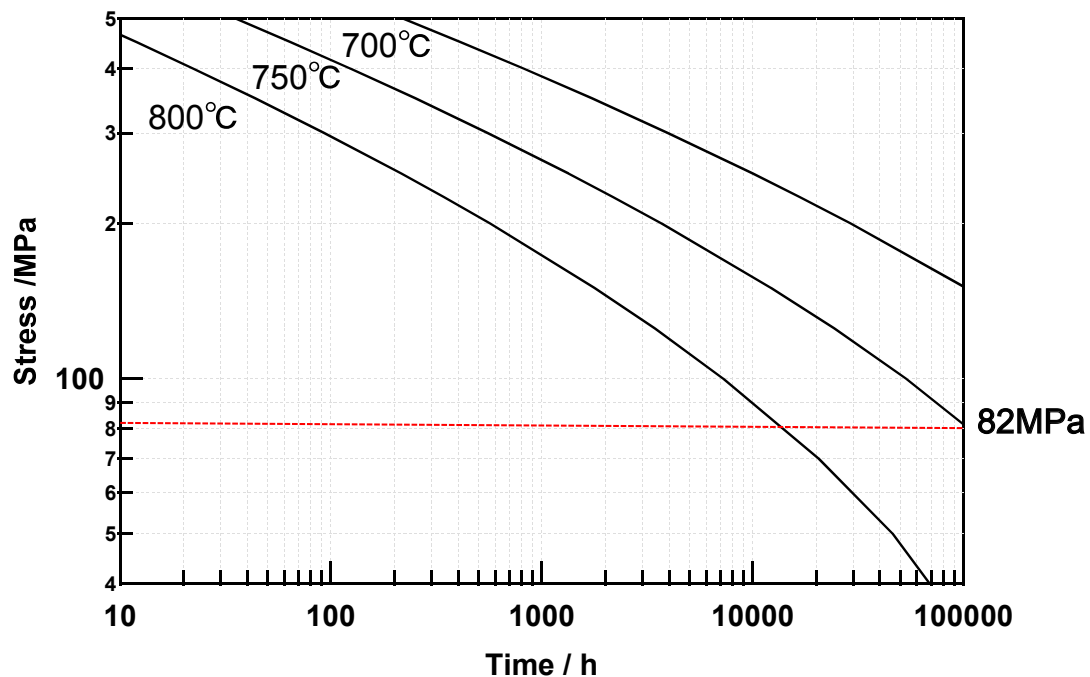


10

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

Alloy740H : 750 °C, 10万時間破断強度 82MPa

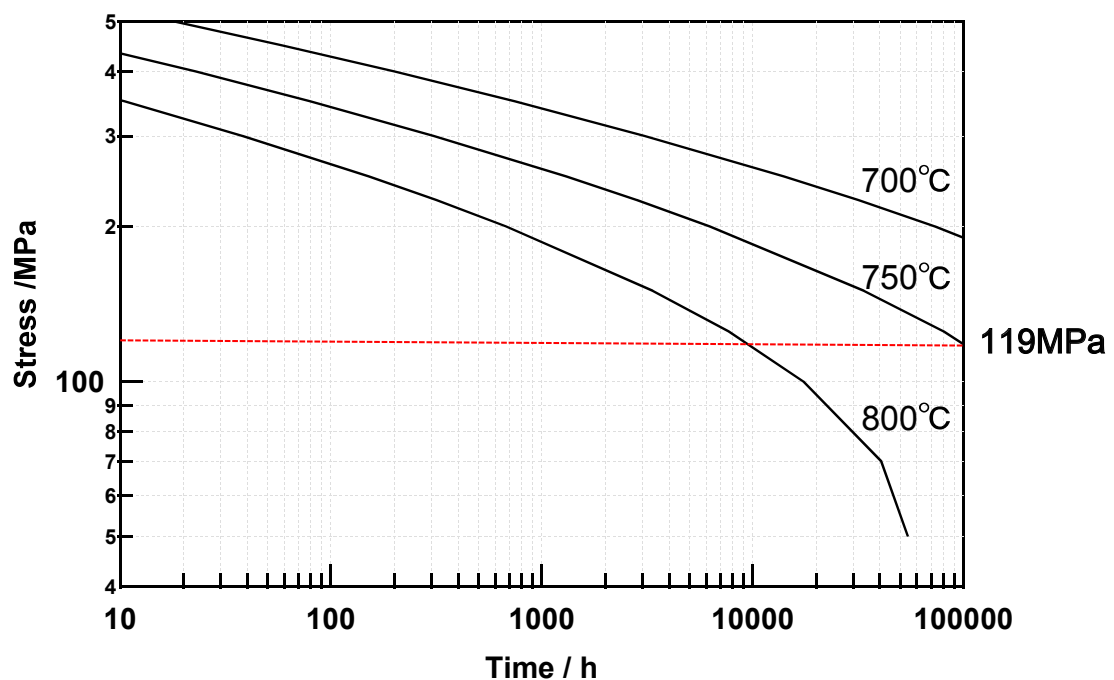


11

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

目標: 10万時間, 750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

Alloy141 : 750 °C, 10万時間破断強度 119MPa



※データ提供: 日立金属殿

12

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

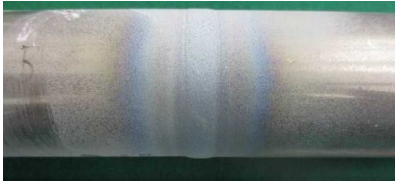
溶接性評価

溶接評価項目

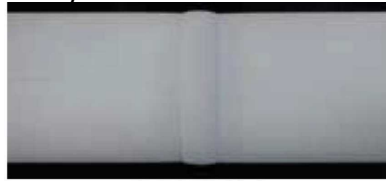
- 溶接材料選定
Alloy263, Alloy740H
- 溶接手法の確立
- 溶接部の特性評価
- 溶接部クリープ強度評価



Alloy263



Alloy740H



Alloy141

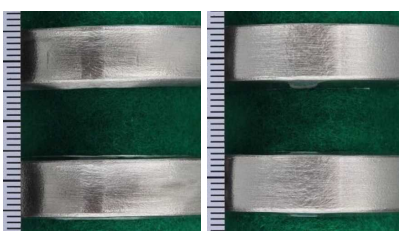


13

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

溶接性評価結果

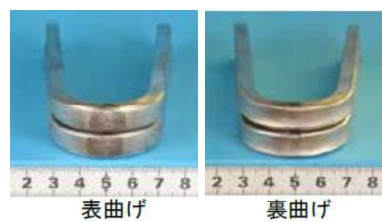
Alloy263



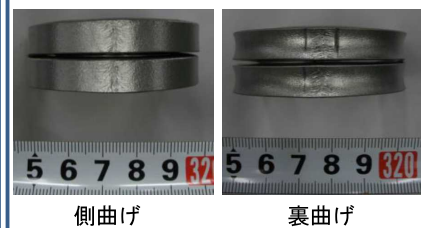
断面マクロ



Alloy740H



Alloy141



断面マクロ



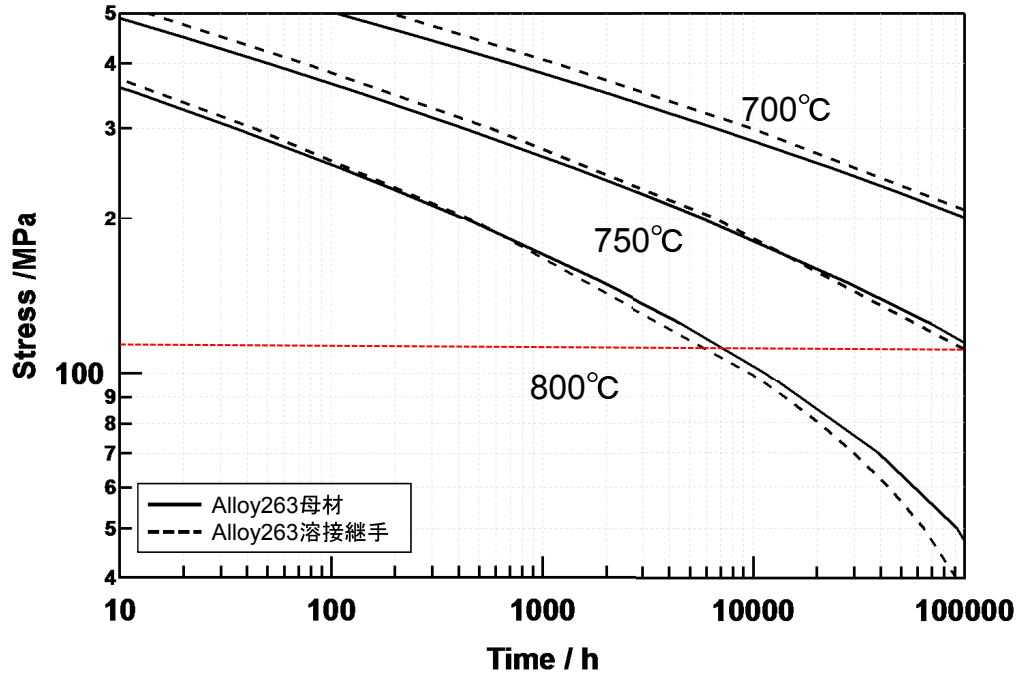
14

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

目標：10万時間、750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発

溶接継手のクリープ破断強度は，母材とほぼ同等であることを確認した．

代表例：Alloy263



15

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

加工性評価



Alloy263

熱間曲げ：1.7DR



冷間曲げ：2.8DR



Alloy740H

熱間曲げ：1.5DR



冷間曲げ：2.5DR



Alloy141

熱間曲げ：1.0DR



冷間曲げ：1.9DR



16

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

開発目標: 10万時間、750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管材料開発を行った。結果を以下にまとめる。

✓ 母材のクリープ強度評価結果

目標	Alloy263	Alloy740H	Alloy141
10万時間、750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管	○ (115MPa)	△ (82MPa)	○ (119MPa)

✓ 溶接部の長時間クリープ強度評価

溶接継手のクリープ破断強度は、母材とほぼ同等である。

- ✓ 配管製造技術の確立
- ✓ 溶接技術の確立
- ✓ 配管加工技術の確立

17

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

18

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

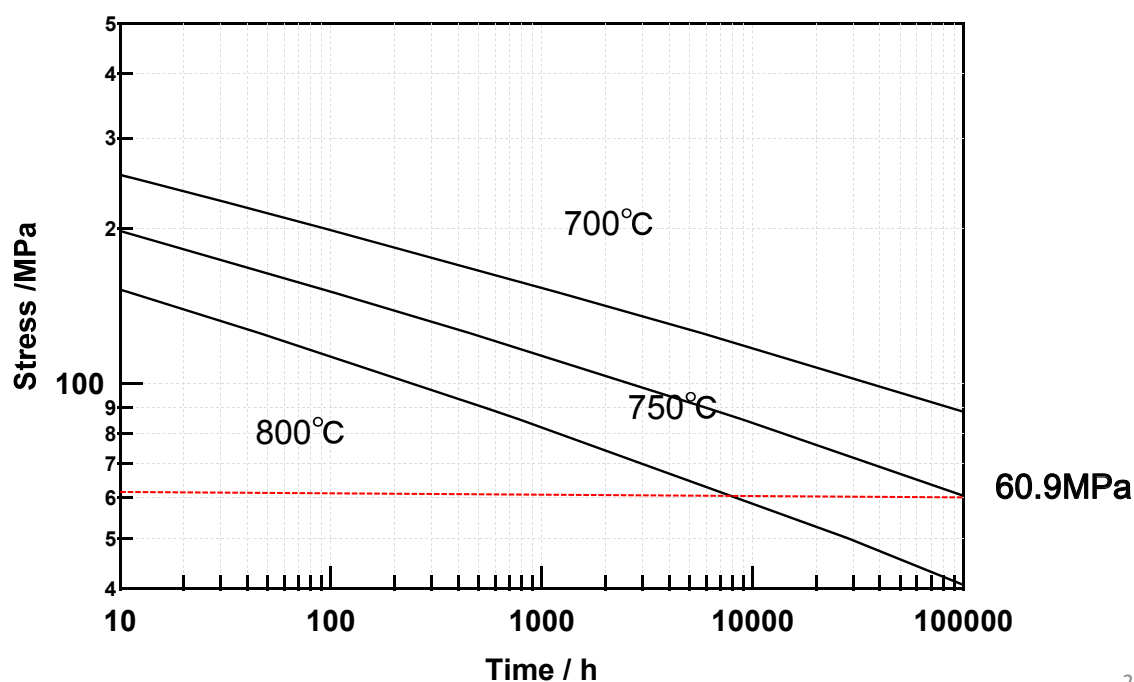
材料名	代表組成	開発元	特徴
HR6W	45Ni-23Cr-7W	新日鐵住金	<ul style="list-style-type: none"> Feを含む. Laves相による析出強化
HR35	50Ni-30Cr-4W-Ti	新日鐵住金	<ul style="list-style-type: none"> Feを含む. α-Cr 相, Laves 相, 炭化物, Ni_3Ti 相による析出強化 HR6Wより高強度合金として開発
Alloy617	Ni-22Cr-12Co-9Mo-Ti-Al	Special metal	<ul style="list-style-type: none"> 配管など多数の実績あり. 固溶強化とγ'相による析出強化
Alloy263	Ni-20Cr-20Co-6Mo-2Ti-Al	Special metal	
Alloy740H	Ni-25Cr-20Co-2Nb-1.35Ti-1.35Al	Special metal	
Alloy141	Ni-20Cr-10Mo-1.6Ti-1.2Al	日立金属	

19

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

HR6W: 750 °C, 10万時間破断強度 60.9MPa

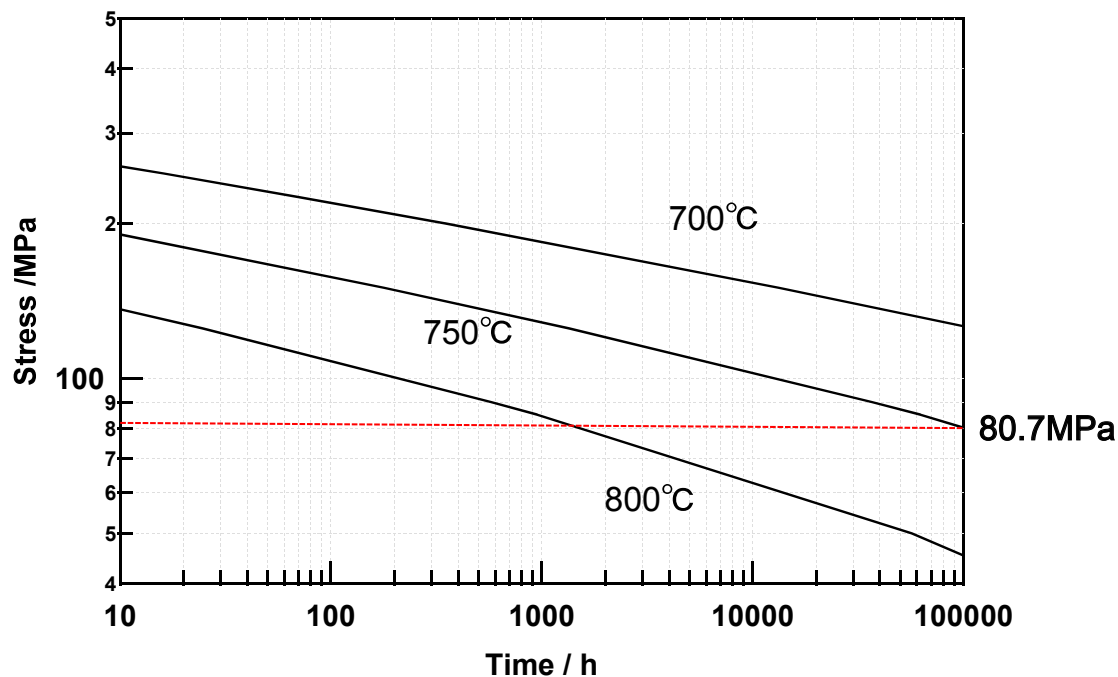


20

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

HR35 : 750 °C, 10万時間破断強度 80.7MPa

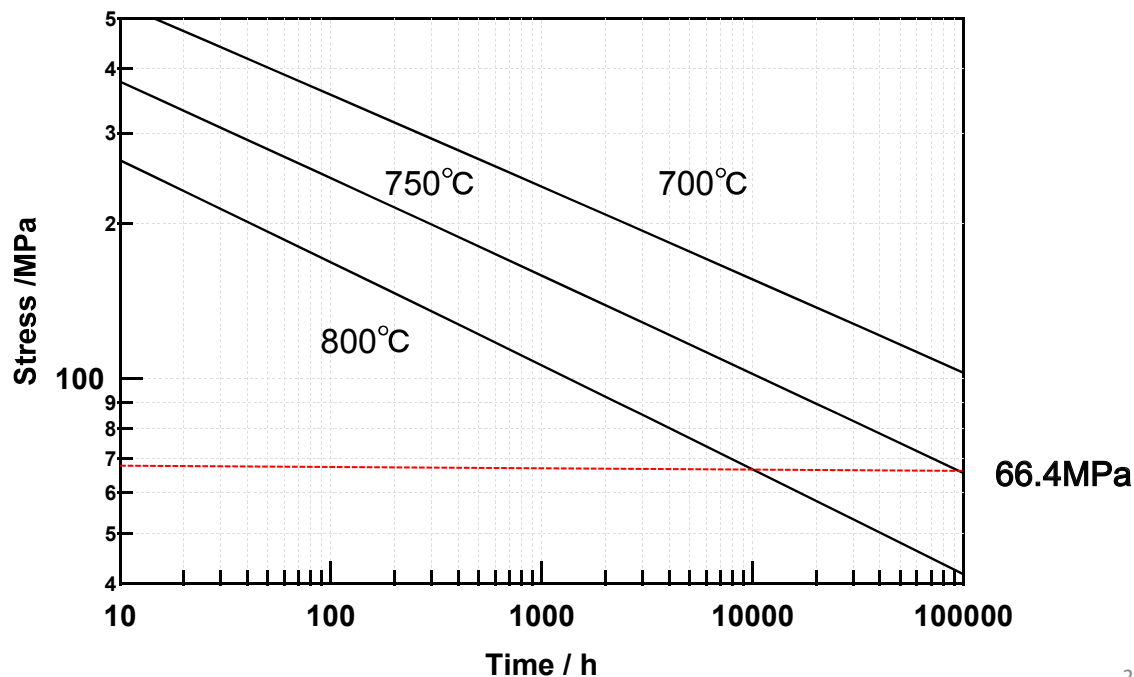


21

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

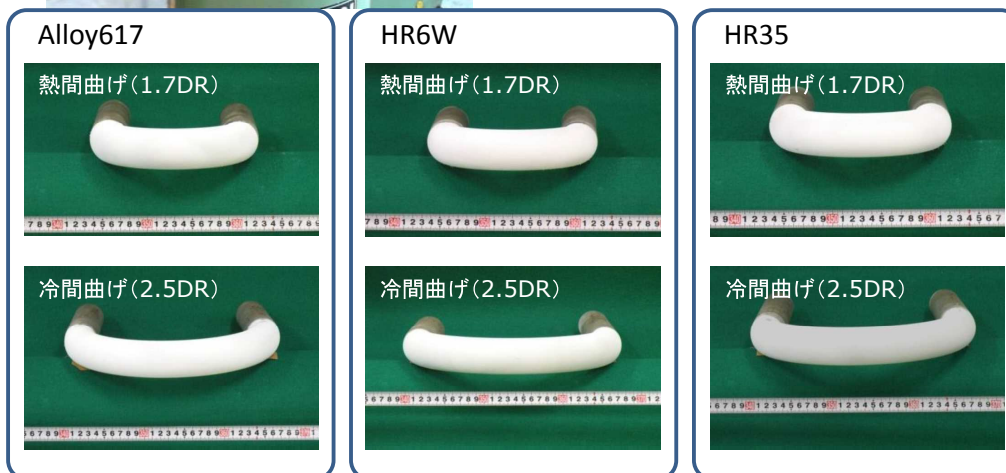
Alloy617 : 750 °C, 10万時間破断強度 66.4MPa



22

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

加工性評価



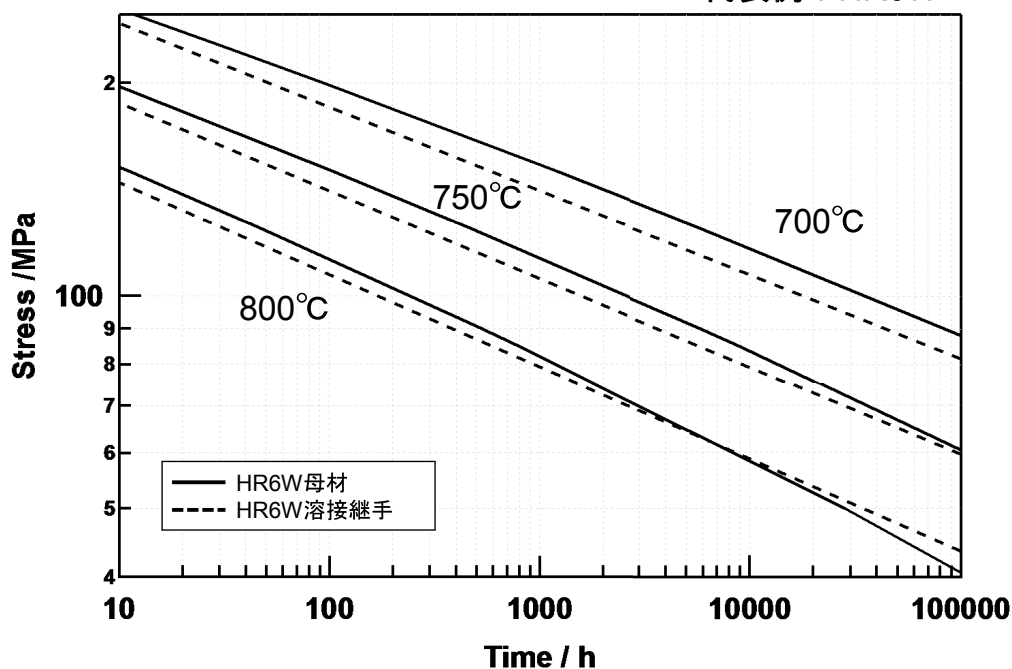
23

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管材料開発

溶接継手のクリープ破断強度は、母材とほぼ同等であることを確認した。

代表例: HR6W



24

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

開発目標: 10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ再熱器管材料開発を行った。結果を以下にまとめる。

✓ 母材のクリープ強度評価結果

目標	HR6W	HR35	Alloy617	Alloy263	Alloy740H	Alloy141
10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れた再熱器管	○ (60.9MPa)	○ (80.7MPa)	○ (66.4MPa)	○ (115MPa)	○ (82MPa)	○ (119MPa)

- ✓ 配管製造技術の確立
- ✓ 溶接技術の確立
- ✓ 配管加工技術の確立
- ✓ 溶接部の長時間クリープ強度評価
溶接継手のクリープ破断強度は、母材とほぼ同等である。

25

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

26

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

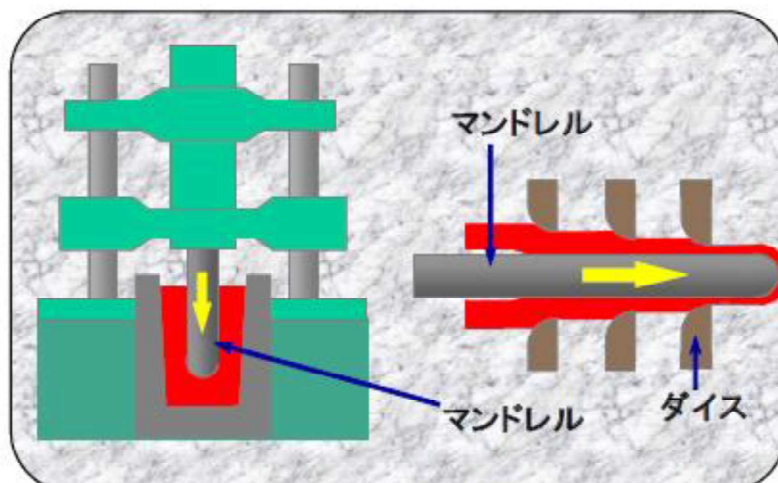
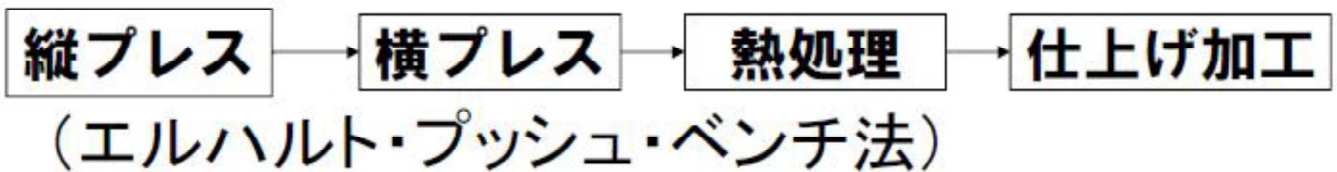
目標:10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

材料名	代表組成	開発元	特徴
HR6W	45Ni-23Cr-7W	新日鐵住金	・Feを含む. ・Laves相による析出強化
HR35	50Ni-30Cr-4W-Ti	新日鐵住金	・Feを含む. ・ α -Cr 相, Laves 相, 炭化物, Ni_3Ti 相による析出強化 ・HR6Wより高強度合金として開発
Alloy617	Ni-22Cr-12Co-9Mo-Ti-Al	Special metal	・配管など多数の実績あり. ・固溶強化と γ' 相による析出強化

27

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

大型製造プロセスの開発



28

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

大型製造プロセスの開発

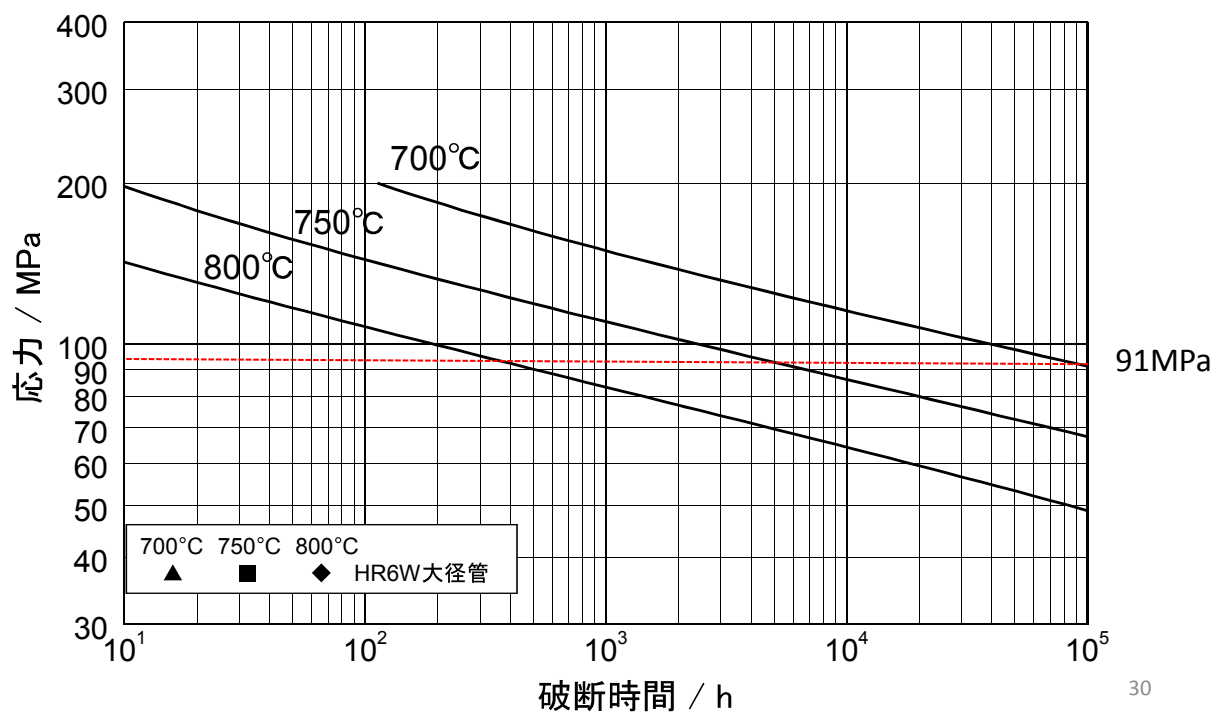


29

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

HR6W: 700 °C, 10万時間破断強度 91MPa

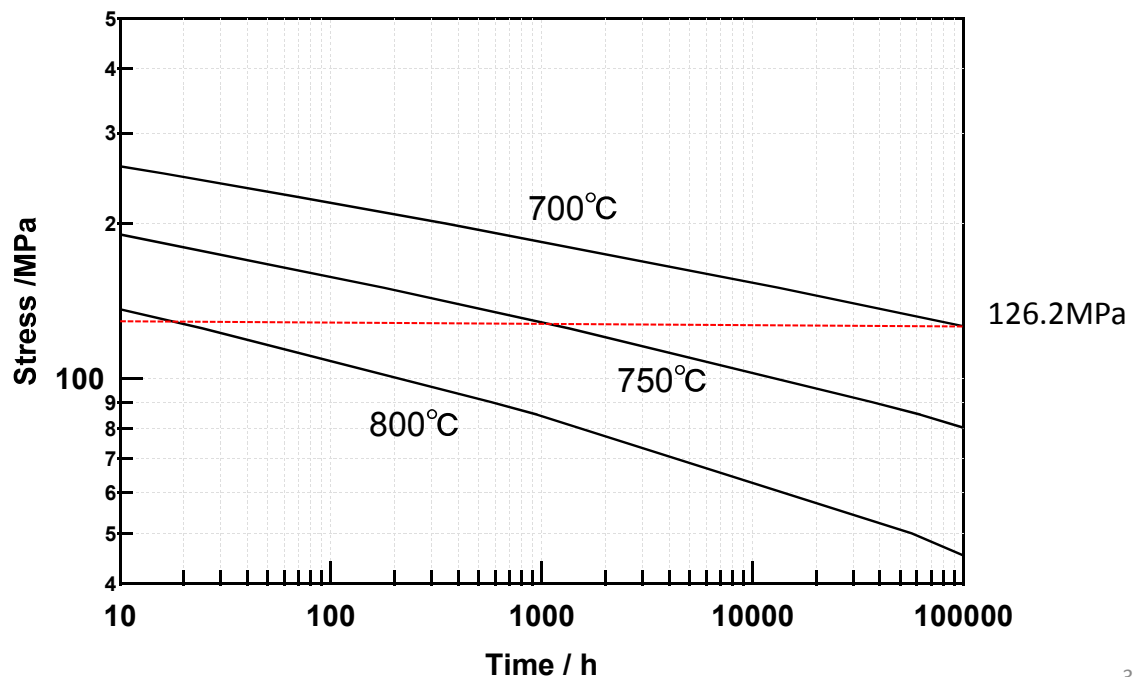


30

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

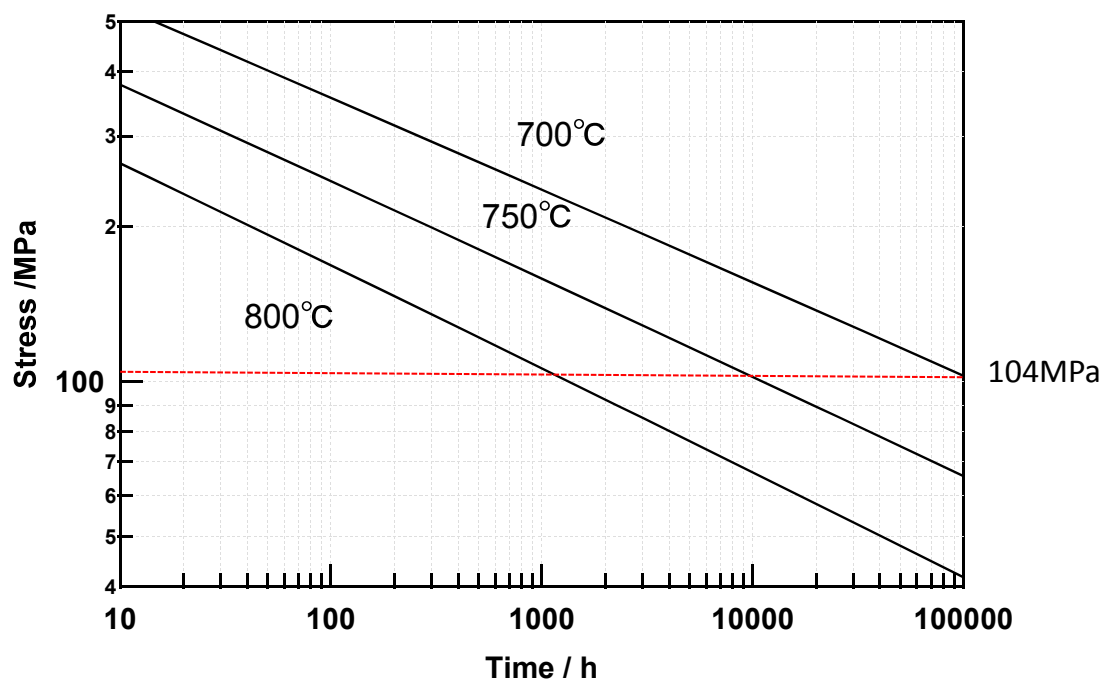
HR35: 700 °C, 10万時間破断強度 126.2MPa



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

Alloy617 : 700 °C, 10万時間破断強度 104MPa



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

溶接性評価

試験材料: HR6W, HR35, Alloy617

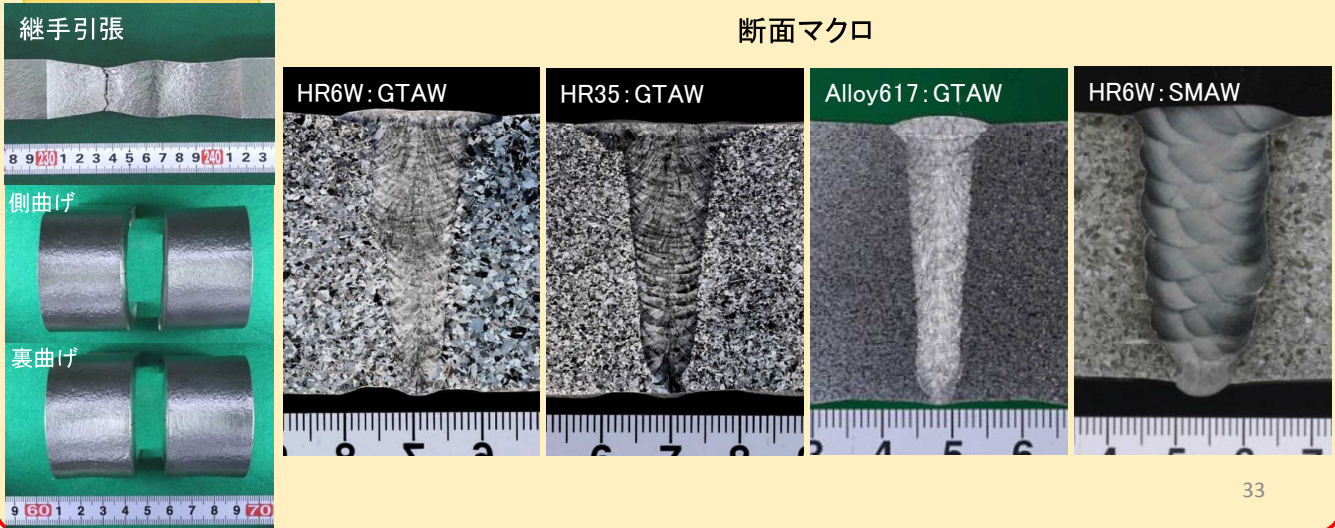
溶接方法: GTAW, SMAW

溶接材料: WEL Auto TIG 617(GTAW)
: WEL 117(SMAW)

厚肉大径管溶接施工



溶接後の評価

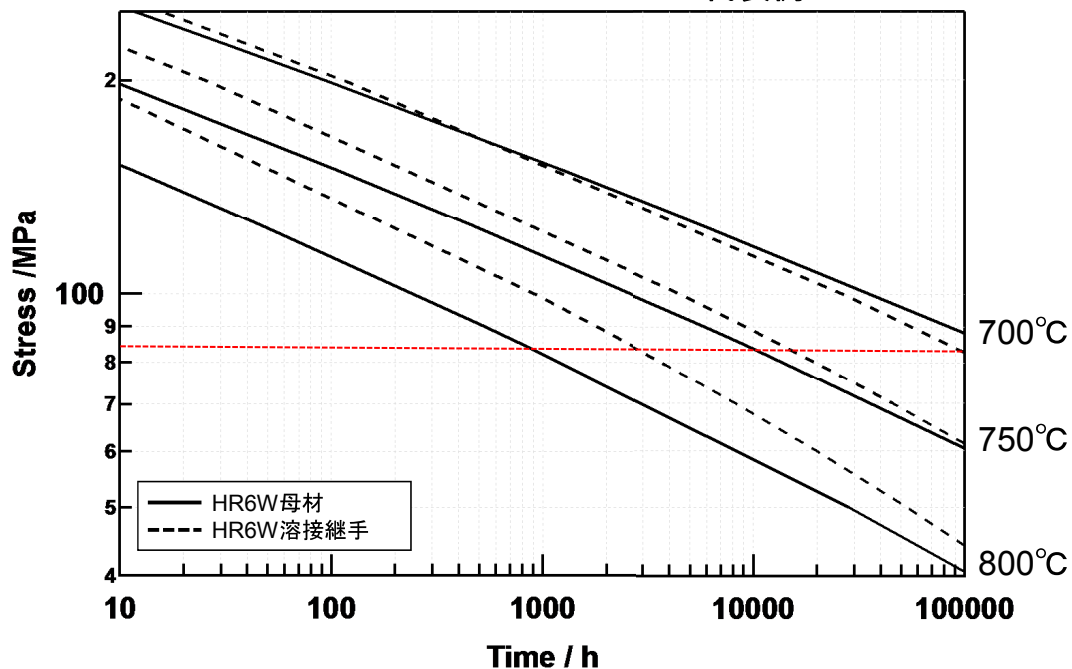


6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発

溶接継手のクリープ破断強度は, 母材とほぼ同等であることを確認した.

代表例: HR6W



6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

加工性評価

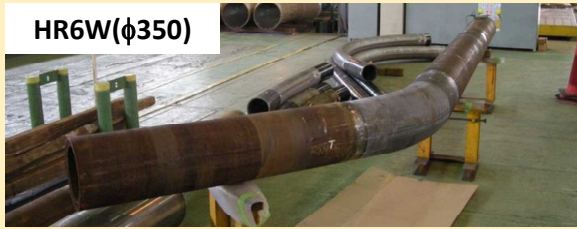
加熱方法: 高周波 試験材料: HR6W, HR35, Alloy617 形状: $\Phi 350 \times t40$

厚肉大径管曲げ試験の様子



曲げ後の外観

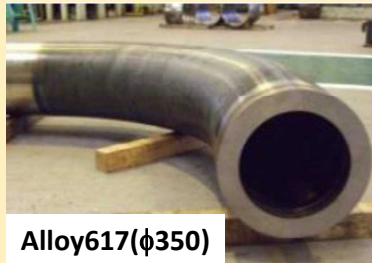
HR6W($\Phi 350$)



HR35($\Phi 350$)



Alloy617($\Phi 350$)



35

6.2.2.3 厚肉大径管材料開発成果

開発目標: 10万時間、700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発を行った。結果を以下にまとめる。

✓ 母材のクリープ強度評価結果

目標	HR6W	HR35	Alloy617
10万時間、700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発	○ (91MPa)	○ (126.2MPa)	○ (104.0MPa)

- ✓ 配管製造技術の確立
- ✓ 溶接技術の確立
- ✓ 配管加工技術の確立
- ✓ 溶接部の長時間クリープ強度評価
溶接継手のクリープ破断強度は、母材とほぼ同等である。

36

6.2.2 研究開発成果

6.2.2.1 過熱器管材料開発成果

6.2.2.2 再熱器管材料開発成果

6.2.3.3 厚肉大径管材料開発成果

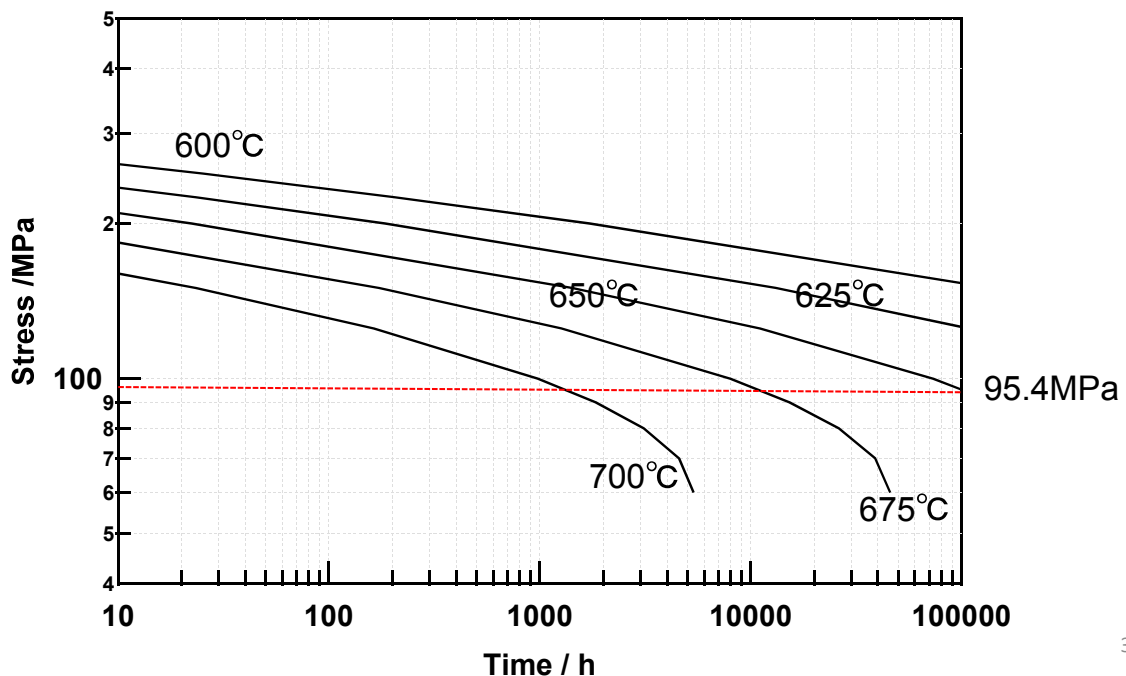
6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

37

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

目標: 10万時間, 650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発

SAVE12AD: 650 °C, 10万時間破断強度 95.4MPa

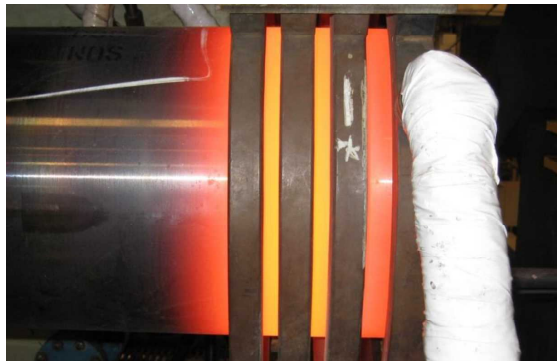


38

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

■ SAVE12AD大径管高周波加熱曲げ加工状況

- 現有設備で所定の寸法が得られることを確認



曲げ試験状況



曲げ後の外観

SAVE12AD大径管($\phi 350 \times 40t$), 曲げ半径1000mm, 曲げ角度約 80°

39

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

溶接性評価

溶接条件:GTAW

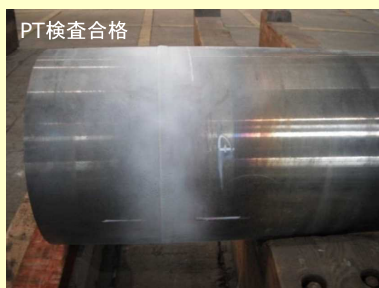
溶接材料:WEL AUTO TIG82

溶接後熱処理:745°C

厚肉大径管溶接施工



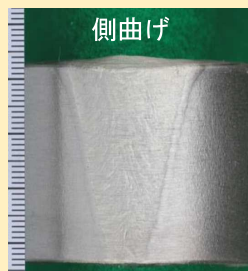
PT検査合格



MT試験合格



側曲げ

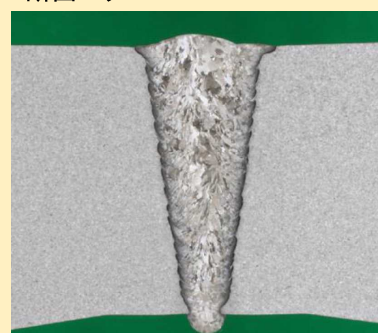


裏曲げ



溶接後の評価

断面マクロ

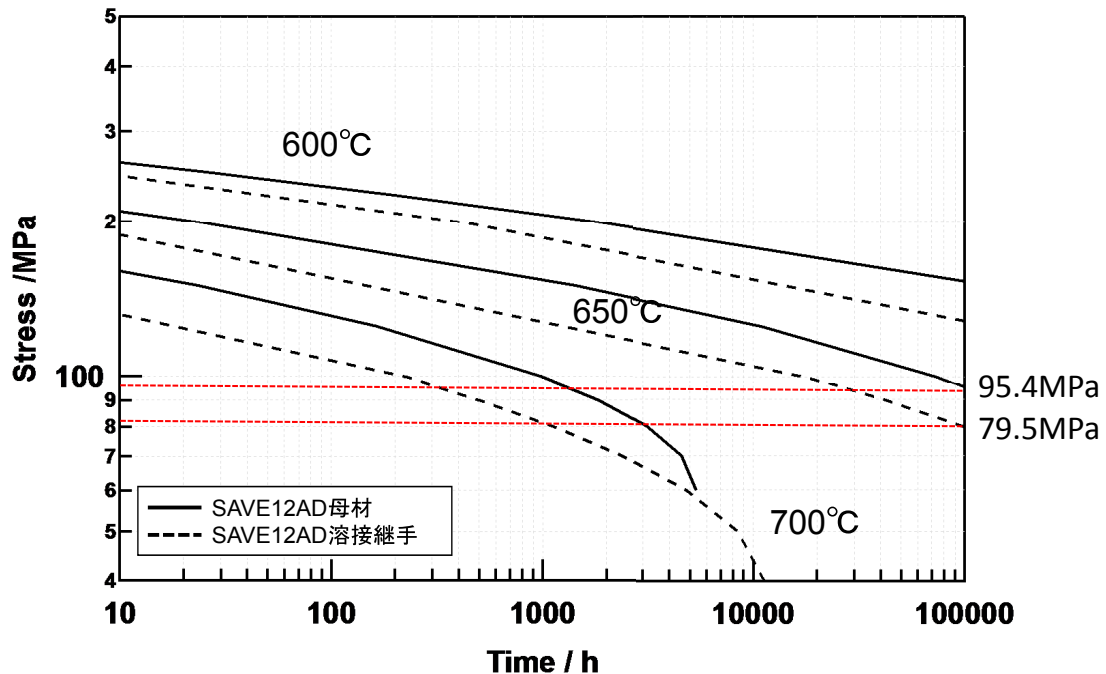


4 5 6 7 8 9 40

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

目標:10万時間、650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発

継手強度低減係数 : 650 °C, 79.5MPa / 95.4MPa = 0.8



41

6.2.2.4 フェライト系厚肉大径管材料開発成果

開発目標:10万時間、650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発を行った.結果を以下にまとめる.

✓ 母材および溶接部のクリープ強度評価結果

母材 : 650°C, 10万時間破断強度 95.4MPa
溶接継手 : 650°C, 10万時間破断強度 79.5MPa
継手低減係数: 650°C, 継手強度低減係数 0.8

- ✓ 配管製造技術の確立
- ✓ 溶接技術の確立
- ✓ 配管加工技術の確立

42

6.2.3 まとめ

6.2.3 まとめ

開発目標に対し候補材料を選定および開発し、製造性、加工性の評価を実施した。またそれぞれの候補材料について、母材および溶接部の長時間クリープ破断試験を実施した。得られた成果を以下にまとめる。

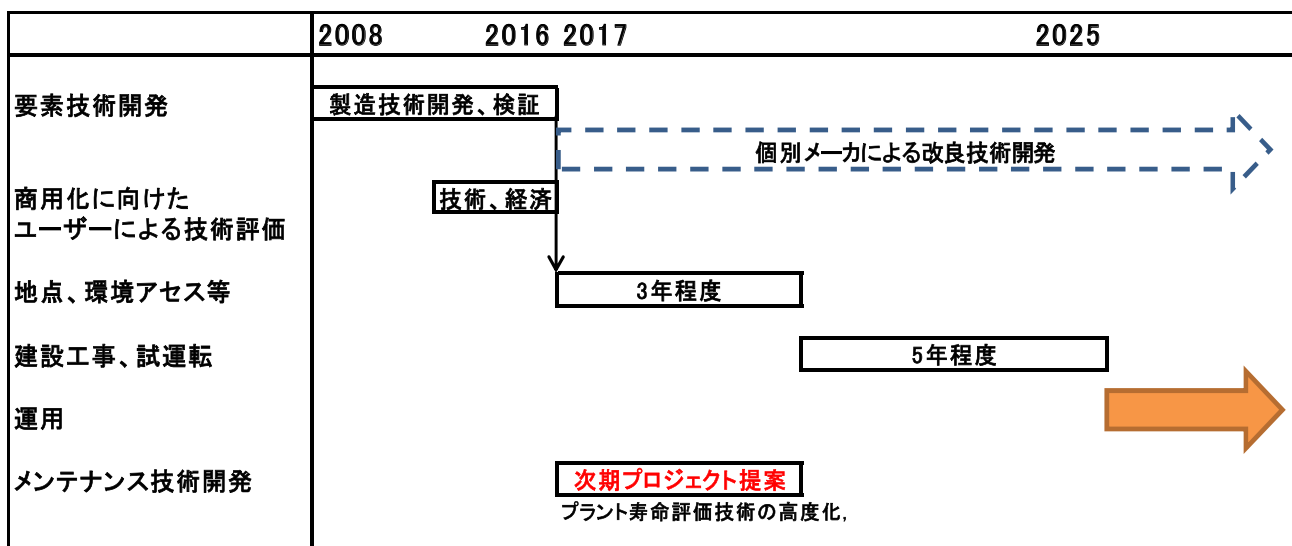
目標	HR6W	HR35	Alloy617	Alloy263	Alloy740H	Alloy141	SAVE12AD
10万時間、750°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ過熱器管				○ (115MPa)	△ (82MPa)	○ (119MPa)	
10万時間、750°Cで60MPa以上のクリープ強度を持つ加工性・経済性に優れる再熱器管	○ (60.9MPa)	○ (80.7MPa)	○ (66.4MPa)	○ (115MPa)	○ (82MPa)	○ (119MPa)	
10万時間、700°Cで90MPa以上のクリープ強度を持つ厚肉大径管材料開発	○ (91MPa)	○ (126.2MPa)	○ (104.0MPa)				
10万時間、650°Cで80MPa以上のクリープ強度と継ぎ手強度低減係数0.7以上を持つ経済性に優れたフェライト系厚肉大径管材料開発							○ (95.4MPa) 溶接低減係数 0.8

6.2.4 今後の課題と取り組み

45

6.2.4 今後の課題と取り組み

- ・ 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。



46

6.3 研究項目③タービン 要素技術開発

株式会社 東芝

目 次

- 6.3 研究項目③タービン要素技術開発
 - 6.3.1 目的と開発項目
 - 6.3.2 適用箇所と候補材料
 - 6.3.3 開発フロー
 - 6.3.4 材料特性試験
 - 6.3.5 実缶回転試験
 - 6.3.6 まとめ

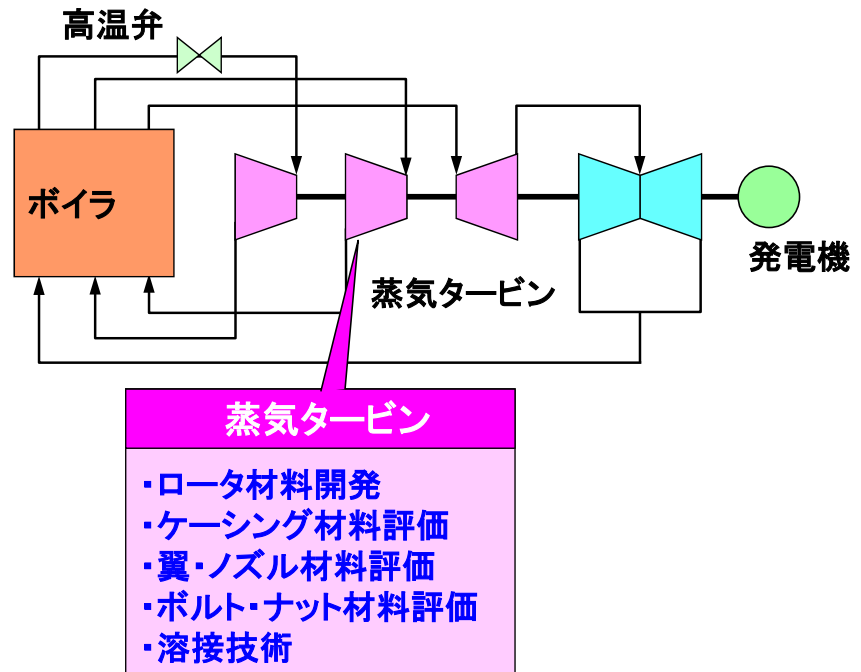
6.3.1 目的と開発項目

目的:タービン材料開発*1および材料加工技術*2の要素技術開発

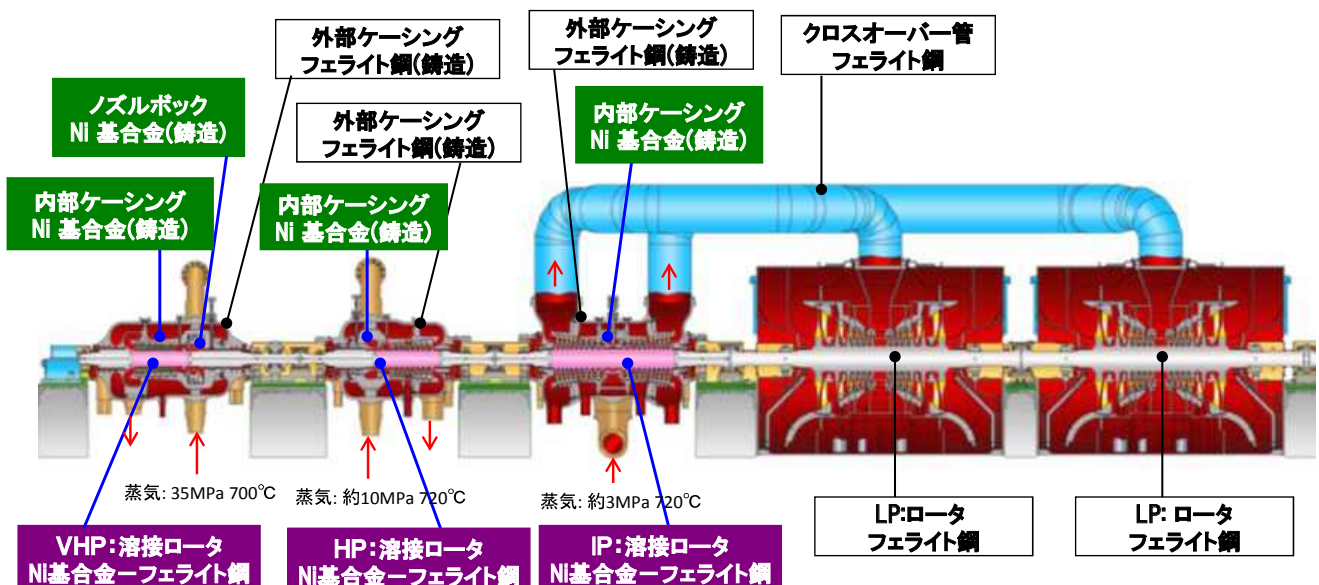
注*1) 既存材料の蒸気タービン材料への適用評価、材料の大型試作評価等を含む

*2) 機械加工、溶接技術等

開発項目



6.3.2 適用箇所と候補材料 1/4



注) VHP: 超高压タービン、HP: 高压タービン、IP: 中压タービン

1000MW 35MPa 700/720/720°C級蒸気タービン概念図

6.3.2 適用箇所と候補材料 2/4

		候補材料
ノズルボックス		Ni基鋳造合金(Alloy625、Alloy617など)
内部ケーシング		Ni基鋳造合金(Alloy625、Alloy617など)
外部ケーシング		フェライト鋳鋼
ロータ	高温部	Ni基鍛造合金(TOS1X-II*注1) [開発材]
	低温部	フェライト鍛鋼
ノズル	高温部	Ni基合金(U520など)
	低温部	フェライト鋼
羽根	高温部	Ni基合金(U520など)
	低温部	フェライト鋼
ボルト、ナット	高温部	Ni基合金(U520など)
	低温部	フェライト鋼

注1)特許登録済み (特許第5127749号)

6.3.2 適用箇所と候補材料 3/4

開発目標

- ・ 10万時間、700℃で100MPa以上のクリープ強度を持つ鍛造大型ロータ材料開発
- ・ 10万時間、700℃で80MPa以上のクリープ強度を持つ鋳造大型ケーシング材料開発

候補材料*1	用途	開発のポイント		
		重量	耐用温度	特徴
TOS1X-II (開発材)	ロータ材	30~40ton 超合金部分 10ton級	720℃ 以上	10tonクラス大型鍛造品 Alloy617からの改良 720℃クラスの温度 溶接継ぎ手強度・信頼性確保が重要
Alloy740 Alloy625 (既存材)	ケーシング材	5~10ton	700℃ 以上	ヨーロッパのプロジェクト(AD700)で 小径管試作実績有り 高強度だが、大型実績無し

6.3.2 適用箇所と候補材料 4/4

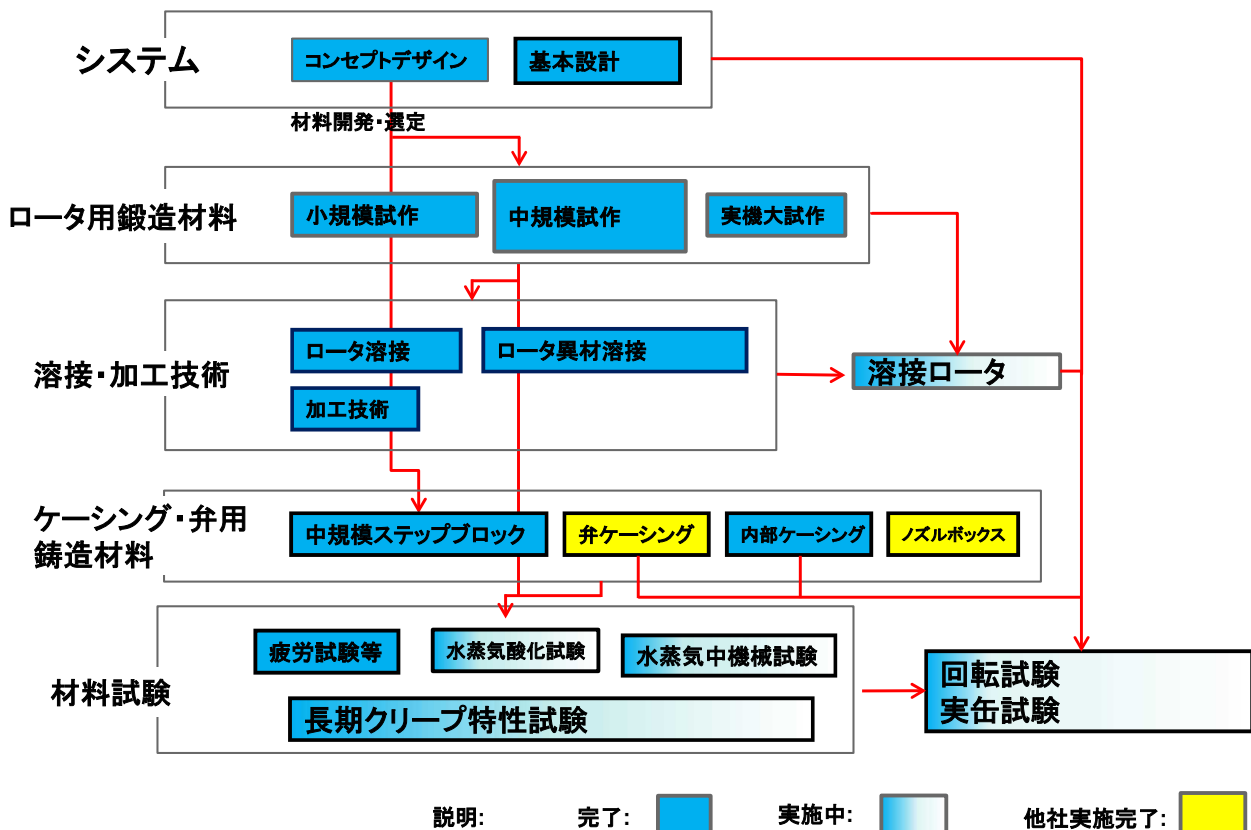
翼・ボルト材の検証

- ・ 特性検証(ロータ材料に準ずる)
- ・ 長時間使用時のリラクゼーション特性(ボルト材料)

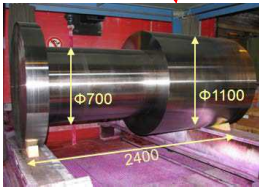
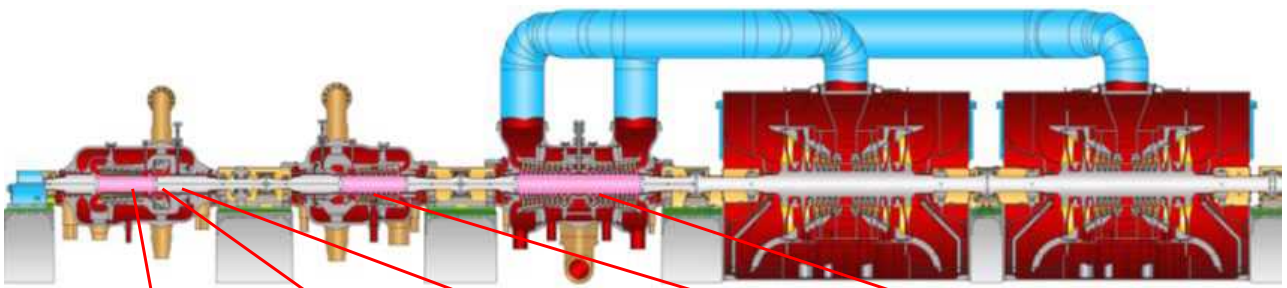
候補材料	用途	開発のポイント	
		耐用温度	特徴
IN738LC	翼、ボルト材等	700°C以上	高温機器部品として実績豊富な鋳造合金
U520		700°C以上	リラクゼーション特性が現状システムと同等で設計裕度高い
M252		700°C以上	Ni基合金としては熱膨張率低く、運用性に優れる
X750		700°C以上	高温機器部品としての実績豊富

組成 質量%	Ni	Cr	Co	Mo	W	Nb	Al	Ti	Fe	Mn	Si	C	B	Zr
IN738LC	Bal.	15.7 -16.3	8-9	1.5 -2.0	2.4 -2.8	0.6 -1.1	3.2 -3.7	3.2 -3.7	0.5 max	2.0 max	0.3 max	0.09 -0.13	0.007 -0.012	0.03 -0.08
U520	Bal.	18-20	11-14	5.5 -7	0.8 -1.2	-	1.8 -2.3	2.9 -3.25	5 max	0.5 max	0.5 max	0.02 -0.06	0.004 -0.01	-
M252	Bal.	18-20	9-11	9 -10.5	-	-	0.75 -1.25	2.25 -2.75	5	0.5	0.5	0.1 -0.2	0.001 -0.01	0.02 -0.15
X750	70min	14-17	1max	9 -10.5	-	0.7 -1.2	0.4-1	2.25 -2.75	5-9	1max	0.5max	0.08max	-	-

6.3.3 開発フローと主要成果 1/7



6.3.3 開発フローと主要成果 2/7



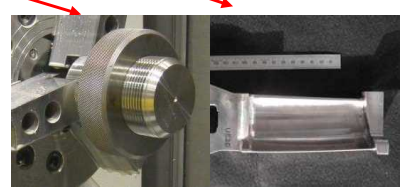
TOS1X-II ロータ試作
重量 14ton



ロータ溶接
モックアップ試験



Alloy625
内部車室試作
重量 9ton



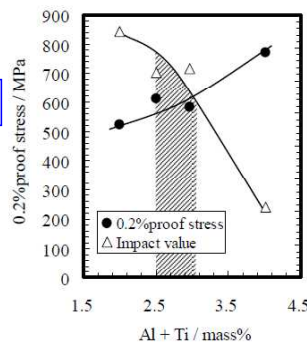
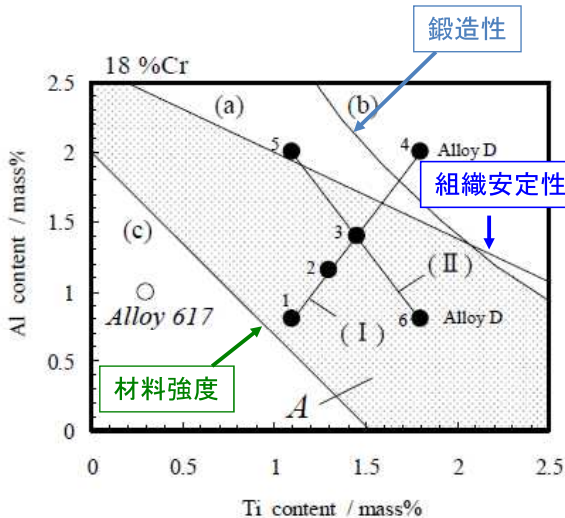
ボルト(U520)
加工試験

Ni基材料(U520)
羽根加工試験

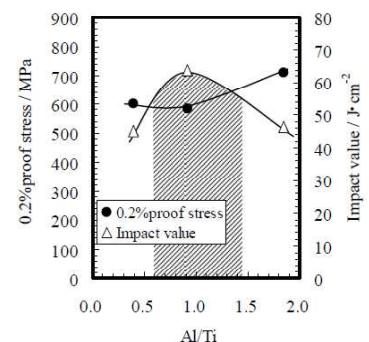
6.3.3 開発フローと主要成果 3/7

○ ロータ材TOS1X-II の材料設計

- ・Alloy617をベースに材料強度、大型製造性、組織安定性について熱力学平衡計算の結果と小規模試作材料試験の結果を基に、最適なAlとTiの添加量を決定した。
- ・組織安定化のためCrを18%に低減した。



0.2%耐力および衝撃値とAl+Ti量の関係



0.2%耐力および衝撃値とAl/Tiの関係

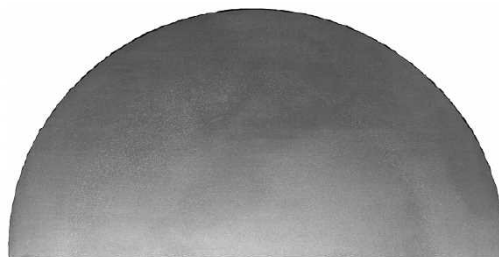
	Ni	C	Cr	Mo	Co	Al	Ti	Ta	Nb
Alloy 617	Bal.	0.1	22	9	12.5	1.1	0.3	-	-
TOS1X-2	Bal.	0.05	18	9	12.5	1.25	1.35	0.1	0.3

6.3.3 開発フローと主要成果 4/7

- $\Phi 1300$ 重量31トンのインゴットを欠陥なく製造。
- 実機ロータの径、重量を模擬したモデルロータを試作し、非破壊検査にて無欠陥を確認。(鍛造素材重量23トン、製品重量14トン)



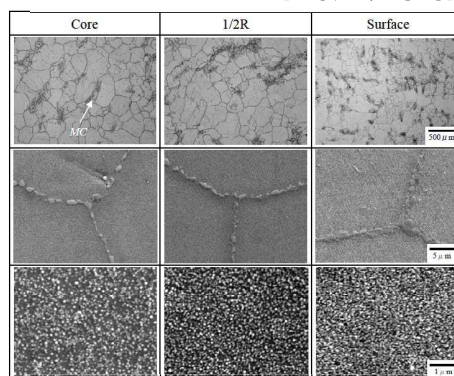
TOS1X-II インゴット



ロータのマクロ組織観察結果



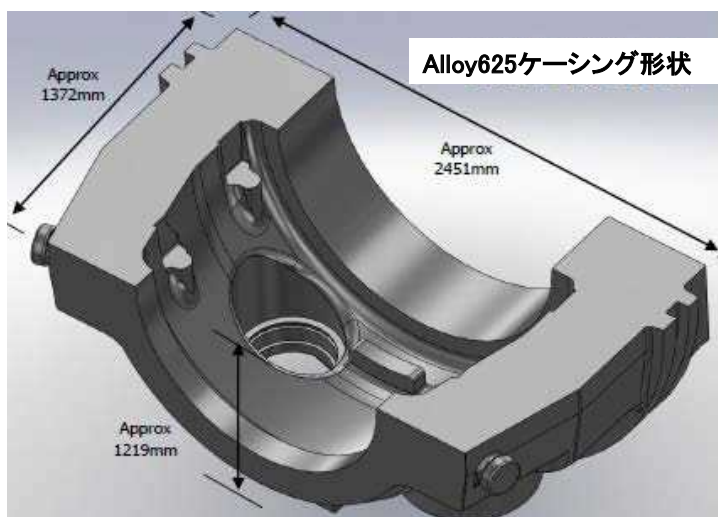
TOS1X-II モデルロータ



ロータのミクロ組織観察結果

6.3.3 開発フローと主要成果 5/7

- 実サイズ(9.3t)のAlloy625製ケーシング試作



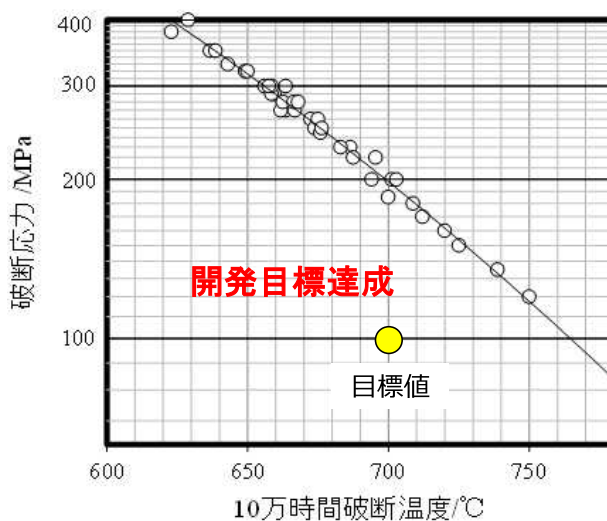
鋳込み後、押し湯部切断

6.3.4 材料特性試験 2/3



大型ロータの試作(重量:14ton)
東芝開発材 Ni基合金TOS1X-II *注1)

TOS1X-II 鍛造材のクリープ試験結果



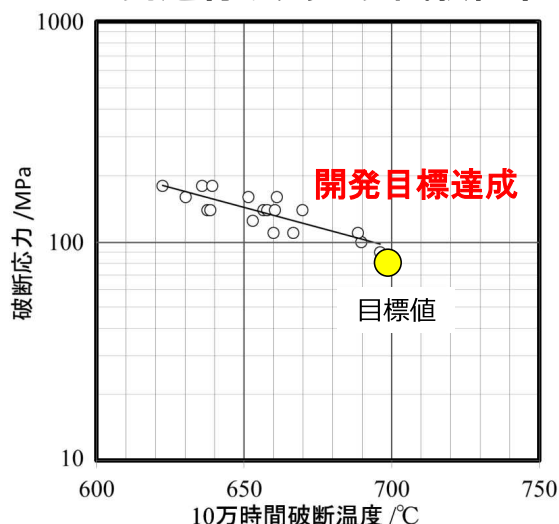
- ・小規模材で4万時間級データ、大型ロータ材で2万5千時間級データ採取、10万時間のクリープデータ採取に向けた長時間試験継続中
- ・700°C、10万時間クリープ強度は200MPa程度、開発目標達成
- ・長時間側でのクリープ強度低下は認められず

6.3.4 材料特性試験 3/3



大型ケーシングの試作(重量:9ton)
Ni基合金IN625

IN625 鋳造材のクリープ試験結果



- ・大型試作材でクリープデータ採取、引き続き、長時間クリープデータを採取する
- ・700°C、10万時間クリープ強度は80MPa以上の見込み、開発目標達成

6.3.5 実缶回転試験 2/5

三川発電所における実缶試験(タービンケーシング装置)



ケーシング装置外観



内部のタービン材料試験片

- ・約700°Cの高温蒸気を流すことで、ケーシング装置の健全性を確認中
- ・内部にタービン材料の試験片を設置、実缶試験終了(2016年10月末)後に水蒸気酸化試験片の評価を実施

6.3.6 まとめ

1. 鍛造大型ロータ材開発において、10万時間、700°Cで100MPa以上のクリープ破断強度の目標を達成できた。
2. 鋳造大型ケーシング材料開発において、10万時間、700°Cで80MPa以上のクリープ破断強度の目標を達成できた。
3. ロータ、ケーシング、翼・ボルト等の試作を行い、加工、溶接等を含め、問題なく製造できることを検証した。
4. 実缶試験用ケーシング装置を製作し、実缶試験に適用した。(実缶試験は継続中)
5. 回転試験用ロータの溶接を完了した。(回転試験は今後実施予定)

2017年度以降、次期プロジェクトで材料の長期材料試験を継続し、保守技術開発を実施予定。

6.3 研究項目③タービン 要素技術開発

三菱日立パワーシステムズ（株）

目次

- 6.3 研究項目③タービン要素技術開発
 - 6.3.1 目的と開発項目
 - 6.3.2 候補材料及び適用部位
 - 6.3.3 材料開発
 - 6.3.4 製造技術開発
 - 6.3.5 まとめ

6.3.1 目的と開発項目

高Cr鋼では600°C級USCが限界

700°C級A-USCを実現するにはNi基合金の技術開発が重要

Ni基合金の開発課題 ~高Cr鋼と比較して

- 素材コストが高い
- 大型鋼塊製造で偏析を生じやすい
- 高温強度が高いため、鍛造し難い
- 耐力が高い材料ほど製造性が悪い
- 線膨張係数が高い



課題克服に向け
2000年よりNi基合金
自社開発を実施

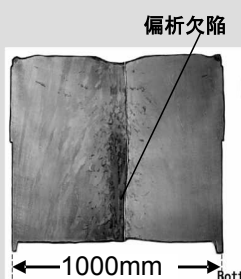


図 Ni基合金大型鍛造時の不具合例

国プロ開発目標:

- ・10万時間、700°Cで100MPa以上のクリープ強度を持つ鍛造大型ロータ材料開発
- ・10万時間、700°Cで80MPa以上のクリープ強度を持つ鍛造大型ケーシング材料開発

6.3.2 候補材料と適用部位

700°C級蒸気タービン実用化のため、下記候補材を開発

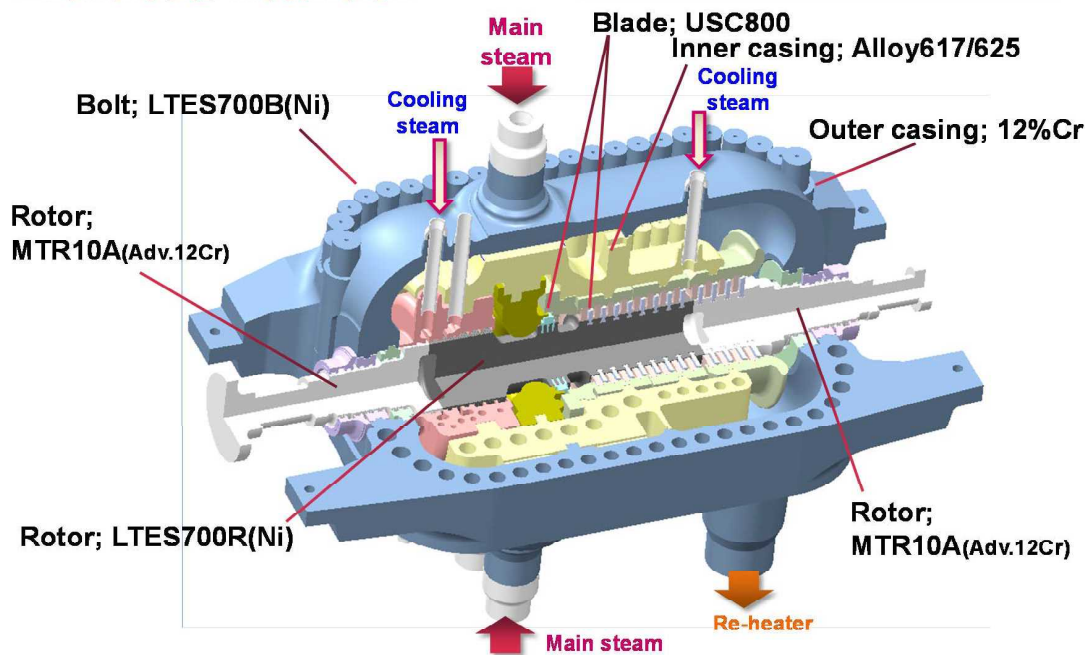
材料名	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Co	W	Nb	Al	Ti	B	Fe
FENIX700	0.01	-	-	42	16	-	-	-	2	1.3	1.7	-	Bal.
	鉄-Ni基合金であり、素材価格が一般的Ni基合金の2/3程度。 大型鍛造の製造性に優れている。ロータ候補材												
LTES700R	0.03	0.05	0.15	Bal.	12	6.2	-	7	-	1.65	0.65	0.003	-
	Ni基合金であるが、線膨張係数は高Cr鋼と同程度に抑えている。 溶接施工性に優れる。ロータ候補材。												
USC141	0.03	0.02	-	Bal.	20	10	-	-	-	1.2	1.6	0.005	-
	700°C、10万時間で180MPa程度の高温クリープ強度を持つ。 タービン翼材、ボルト材、ボイラ伝熱管候補材。												
USC800	0.04	-	-	Bal.	17	6	23	2	-	4	-	0.003	-
	Ni基合金の高強度化と熱間鍛造性を両立した材料。 700°C、10万時間で270MPa程度の高温クリープ強度を持つ。 タービン翼材、ボルト材、ボイラ伝熱管、大径管候補材。												

6.3.2 候補材料と適用部位

700°C級超高压タービンへの候補材料の適用部位を示す

< Candidate Materials >

VHP Turbine Cross Section



6.3.3 材料開発 ロータ材 LTES700R

実機大製造試作を経て、回転試験ロータ素材製造実施

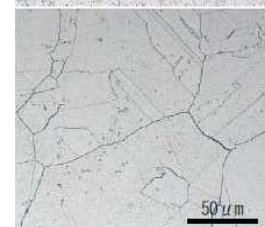
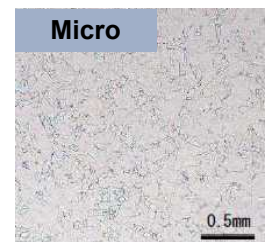
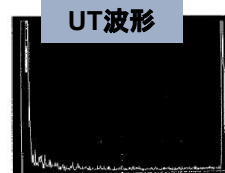
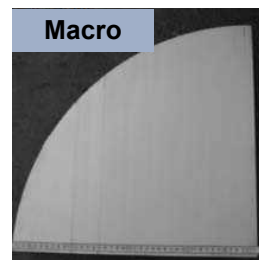
- 1次溶解 VIM電極複数本製造
- 1st ESR 複数電極を再溶解し1本化
- 電極鍛造
- 2nd ESR 鋼塊鍛造
- 鍛造 (据込、鍛伸)
- 溶体化処理



図 鍛造製造(据込)

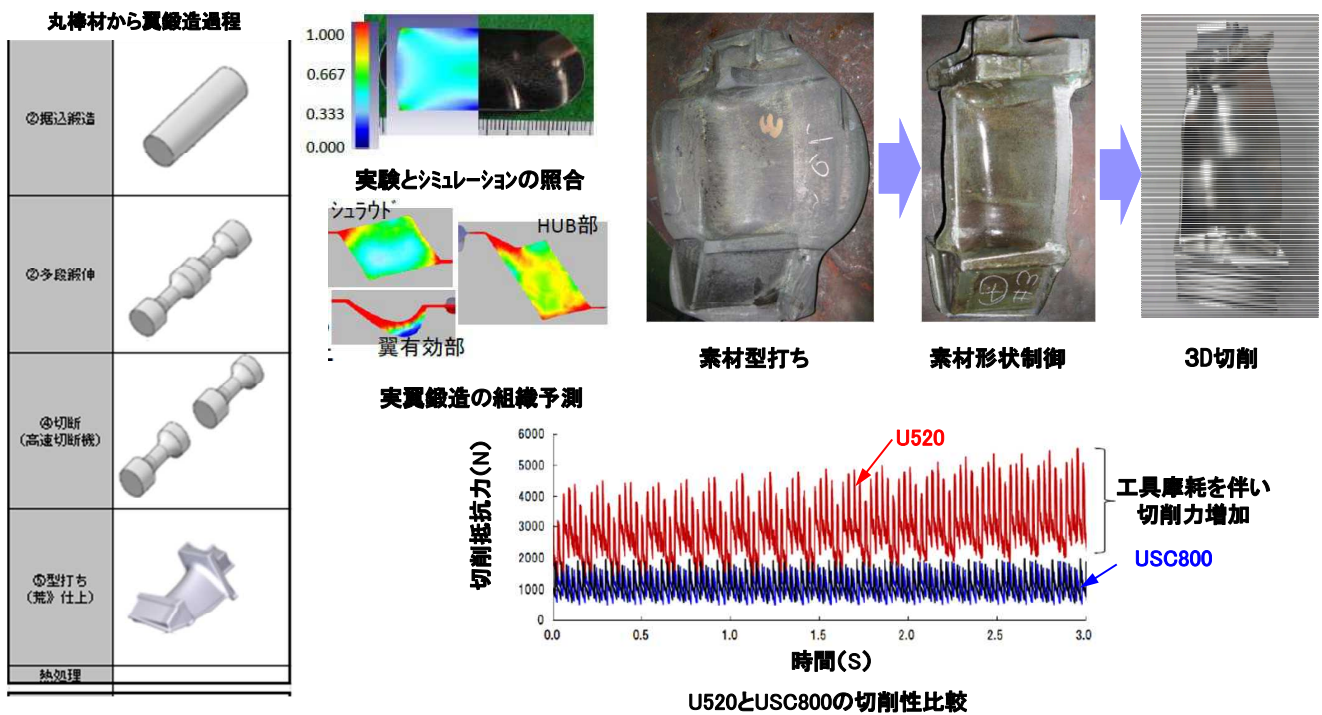


図 鍛造製造(鍛伸)



6.3.3 材料開発 翼材

USC141及びUSC800の丸棒素材から鍛造・切削製造により、製造コスト低減計る
GT素材U520よりも熱間加工性が良く、製造歩留まり良好



6.3.3 材料開発 鋳造材

富士電機殿設計高温バルブ実機大ケーシング試作@voestalpine
実機大ノズルボックス試作@voestalpine, Goodwin



Casing Material – Alloy617, Alloy625 –

6.3.4 製造技術開発 溶接技術

φ800の溶接モックアップ実施、長時間クリープ試験継続中

共材継手
モックアップロータ

試験項目	共材継手
金属組織	●
側曲げ	●
引張/衝撃	●
高サイクル疲労	●
疲労き裂進展	●
破壊靱性	●
クリープ破断	○(継続中)
長時間加熱	○(継続中)

異材継手
モックアップロータ

試験項目	異材継手
金属組織	●
側曲げ	●
引張/衝撃	●
高サイクル疲労	●
疲労き裂進展	●
破壊靱性	●
クリープ破断	○(継続中)
長時間加熱	○(継続中)

6.3.5 まとめ

700°C級タービン要素試験及び開発を行い下記を達成した。

- ✓ タービンロータ候補材:LTES700Rを開発し、700°Cで10万 時間、100MPa以上のクリープ強度達成見込みを得た。
- ✓ LTES700Rと既開発MTR10A(高Cr鋼)の異材溶接技術を開発し、実用化に耐えるクリープ強度を有することを確認した。
- ✓ タービン動翼鍛造材として、USC141及びUSC800を開発し、実用化に耐える機械特性及び製造性を確認した。
- ✓ タービン鑄造材として、IN617及びIN625の大型モックアップ製造及びクリープ強度計測結果から700°Cで10万時間、80MPa以上のクリープ強度達成見込みを得た。

6.5 研究項目⑤実缶試験

株式会社 IHI
三菱日立パワーシステムズ 株式会社
三菱重工業 株式会社

1

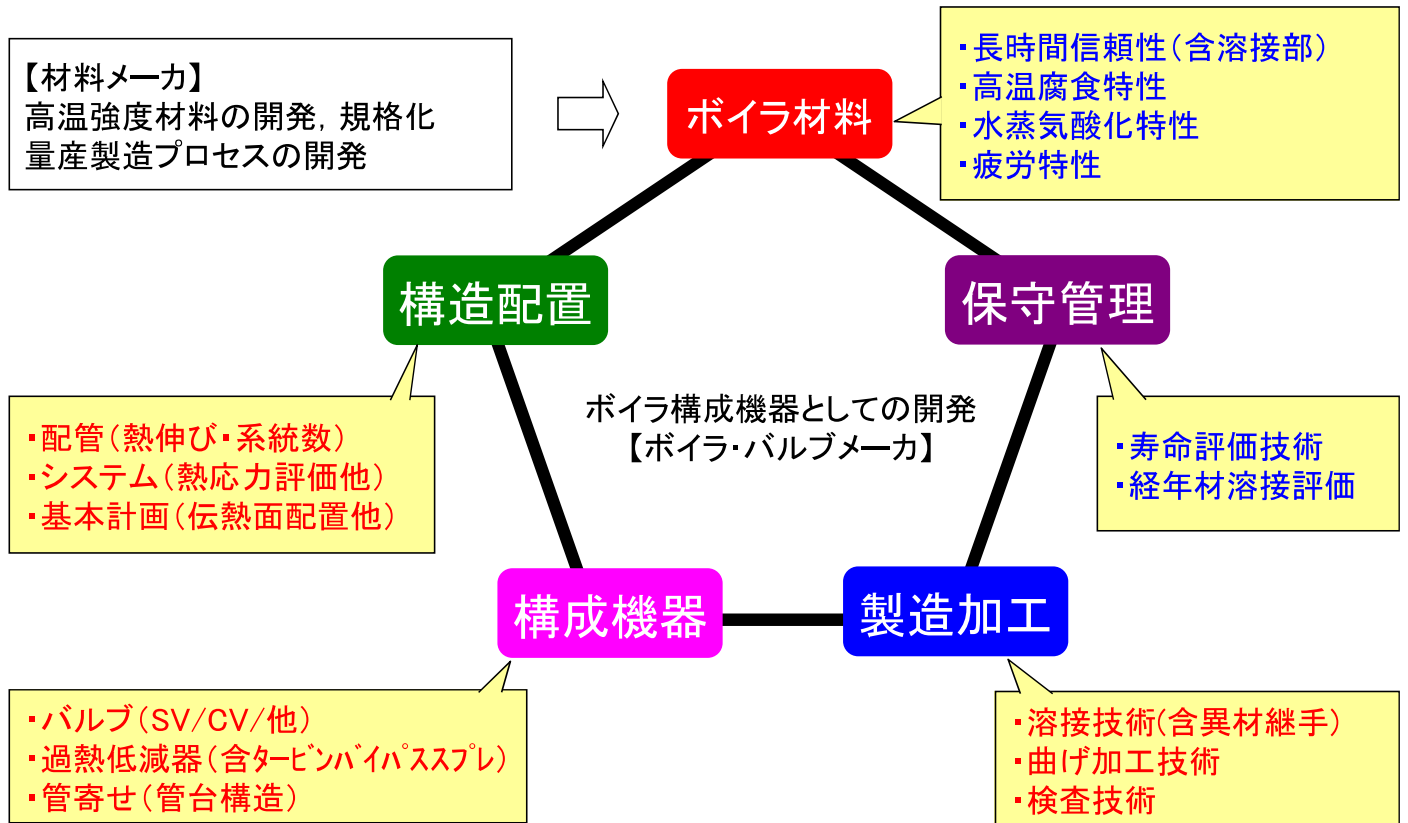
目 次

- 6.5 研究項目⑤実缶試験
 - 6.5.1 試験の目的
 - 6.5.2 実缶試験の概要
 - 6.5.3 実缶試験設備の設計・製作
 - 6.5.4 官庁申請
 - 6.5.5 実缶試験設備の据付状況
 - 6.5.6 運転状況
 - 6.5.7 研究開発成果

6.5.1 試験の目的

開発目標：1万時間程度のボイラ実缶試験を実施し700℃級ボイラ要素の信頼性を確認する。

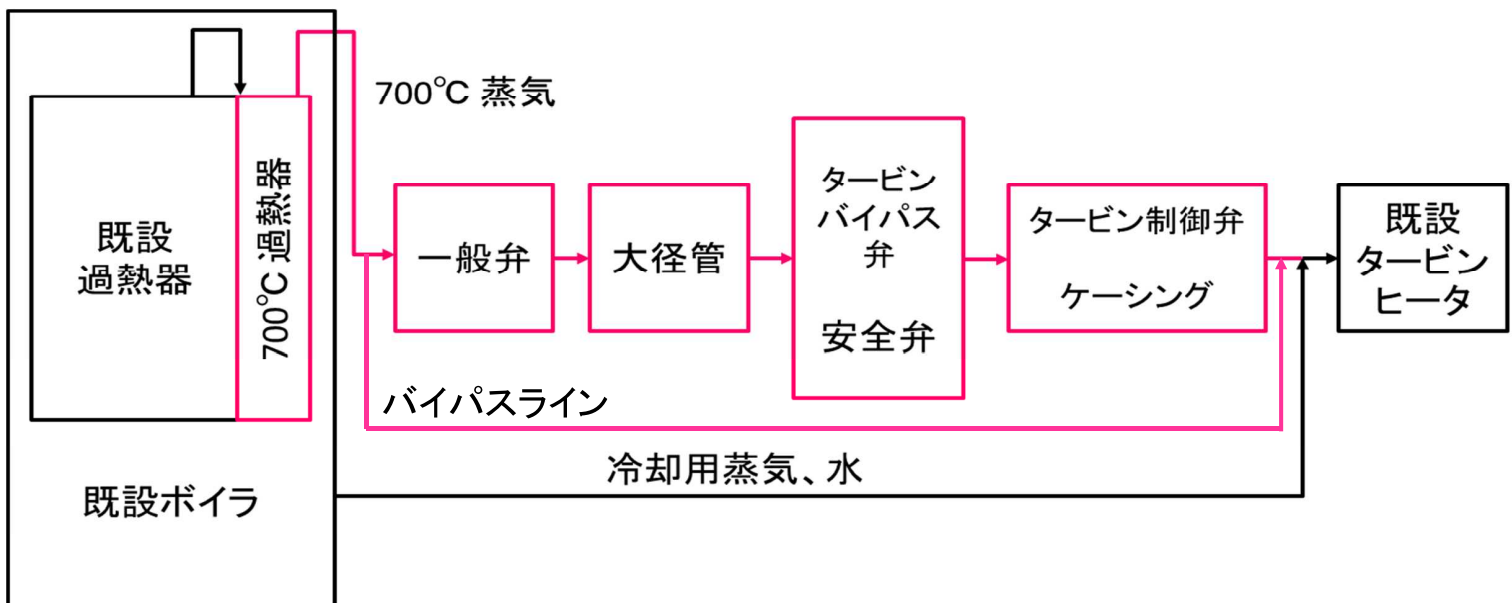
赤字は実缶試験で検証する項目、青字は試験終了後検証する項目を示す



3

6.5.2 実缶試験の概要(概略系統)

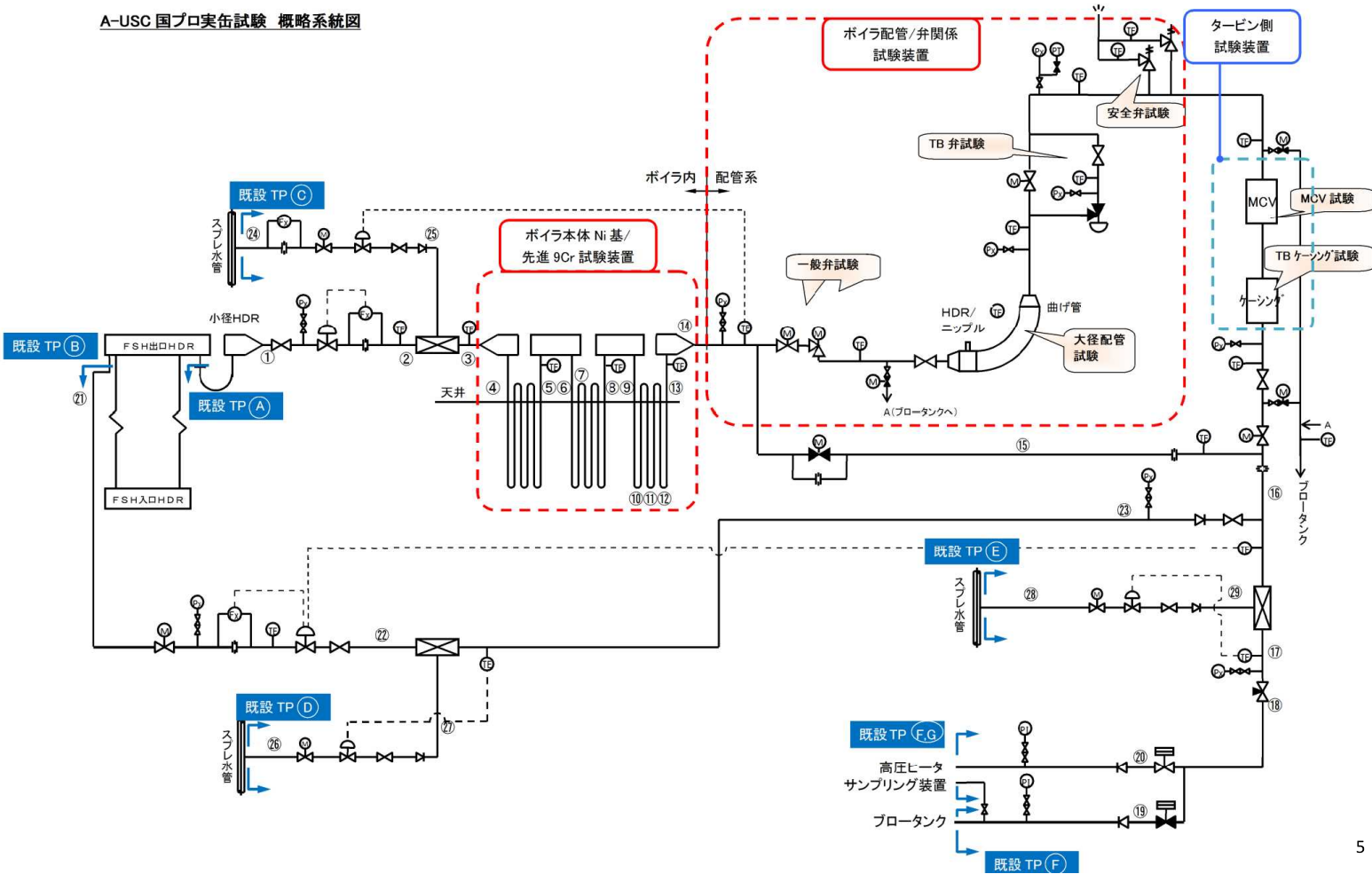
既設ボイラに過熱器を挿入し700℃蒸気を発生させ、700℃蒸気を炉外に取出し各構成機器の試験を実施する。



4

6.5.2 実缶試験の概要(実缶試験フロー図)

A-USC 国プロ実缶試験 概略系統図



5

6.5.2 実缶試験の概要(実缶試験 設計・製造・フロー)

2012年度-2013年度

運用計画

システム設計

運用方法 系統構成 配置検討など

2013年度-2014年度

官庁申請

工事計画書

許容応力決定

溶接安全管理審査

溶接施工法取得

溶接事業者検査

2013年度

詳細設計

材料・機器発注

伝熱管・連絡管・管寄せ設計

伝熱管 $\phi 38.1 \times 6.3t$

大径管設計

大径管 $\phi 406.4 \times 61t$

主配管設計

主蒸気管 $\phi 76.3 \times 9.5t$
小径配管 $\phi 34.0 \times 4.5t$

2013年度-2014年度

機器製造
据付

伝熱管・連絡管・管寄せ製作

大径管製作
(高周波曲げ、溶接、検査)

エルボ・Tピース製作

保温材・ハンガー製作

2015年度-2016年度

実缶試験

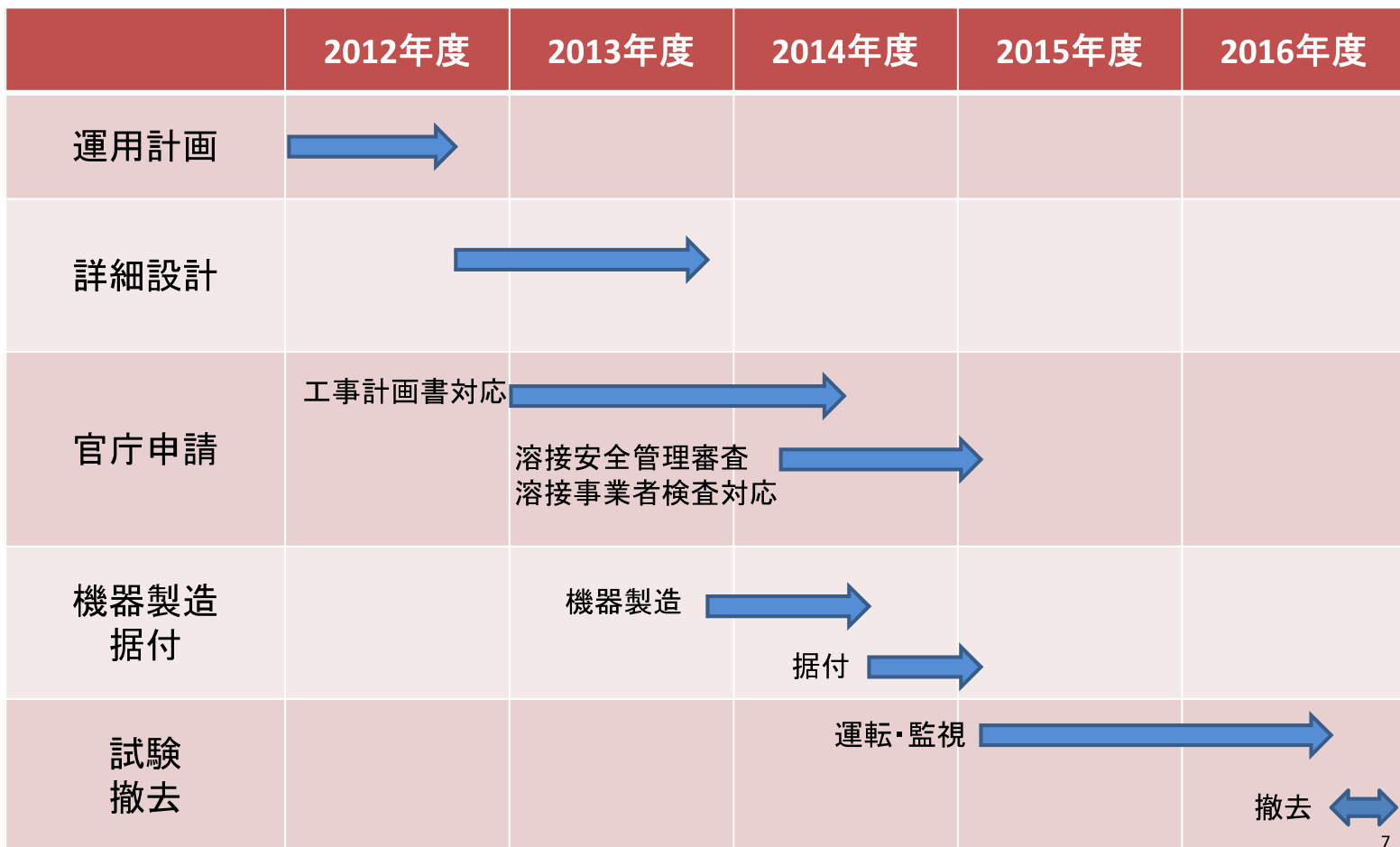
試運転

運転・監視

撤去

6

6.5.2 実缶試験の概要(スケジュール)



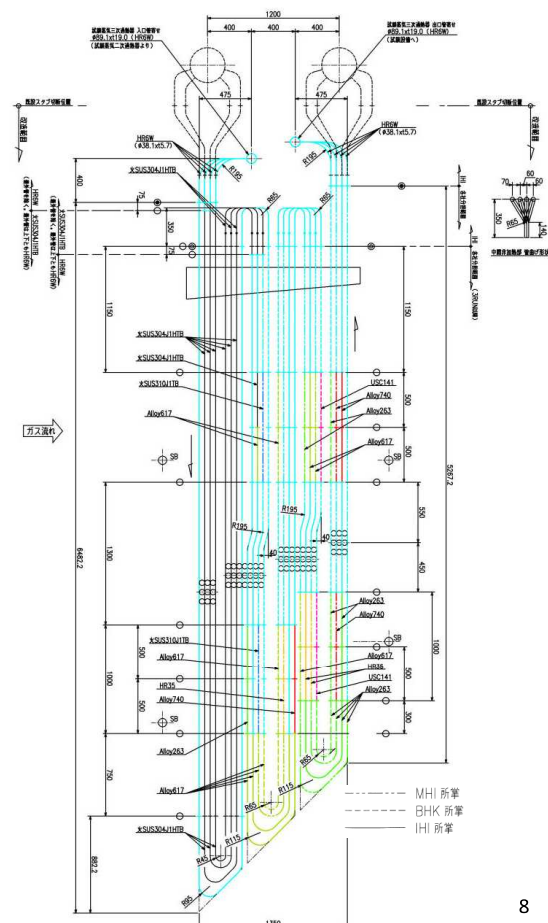
7

6.5.3 実缶試験設備の設計・製作(伝熱管・連絡管・管寄せ)

- ・規格、設計、製作での課題洗い出しとその対応方法を確立する。
(溶接施工法取得、PWHT施工方法、鍛造品製作など)
- ・実機相当の構造／環境での700°Cx1万時間暴露試験による健全性を確認する。
- ・試験終了後、暴露材としての評価を実施すると共に、経年材として各種試験を実施する。
(高温腐食、水蒸気酸化、高温クリープなど)

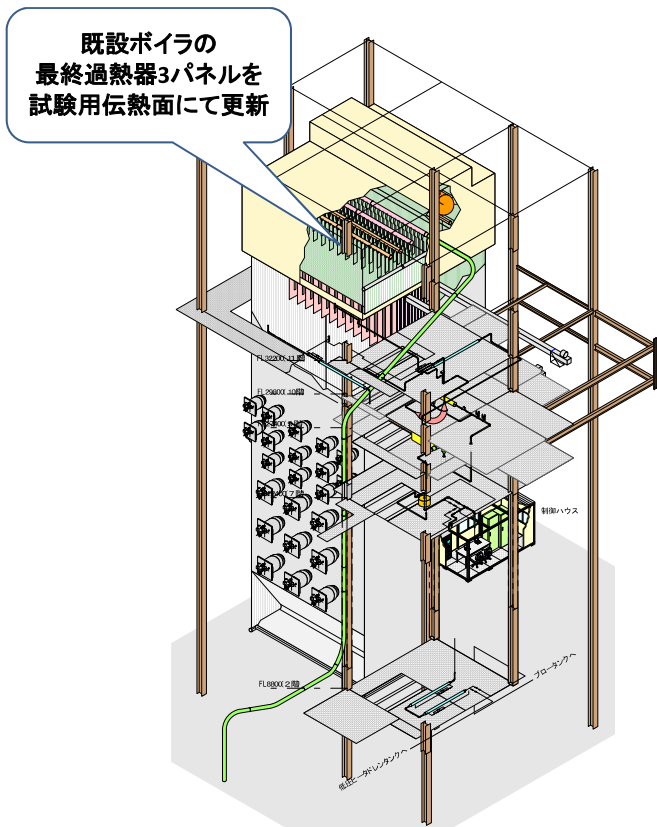
挿入材料

- ・ 伝熱管 : HR6W, Alloy617, USC141, HR35, Alloy263, Alloy740
SAVE12AD
- ・ 管寄／連絡管 : HR6W

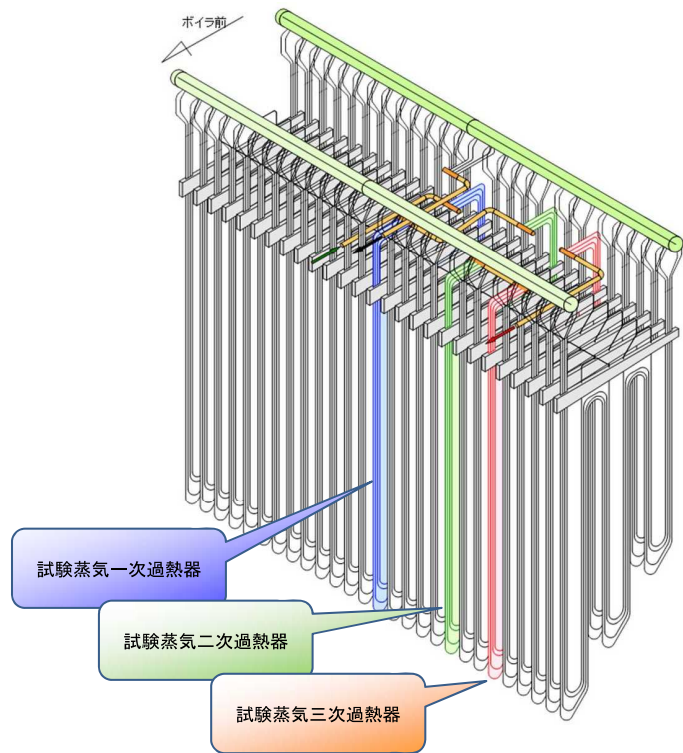


8

6.5.3 実缶試験設備の設計・製作(伝熱管・連絡管・管寄せ)



既設ボイラおよび実缶試験設備鳥瞰図



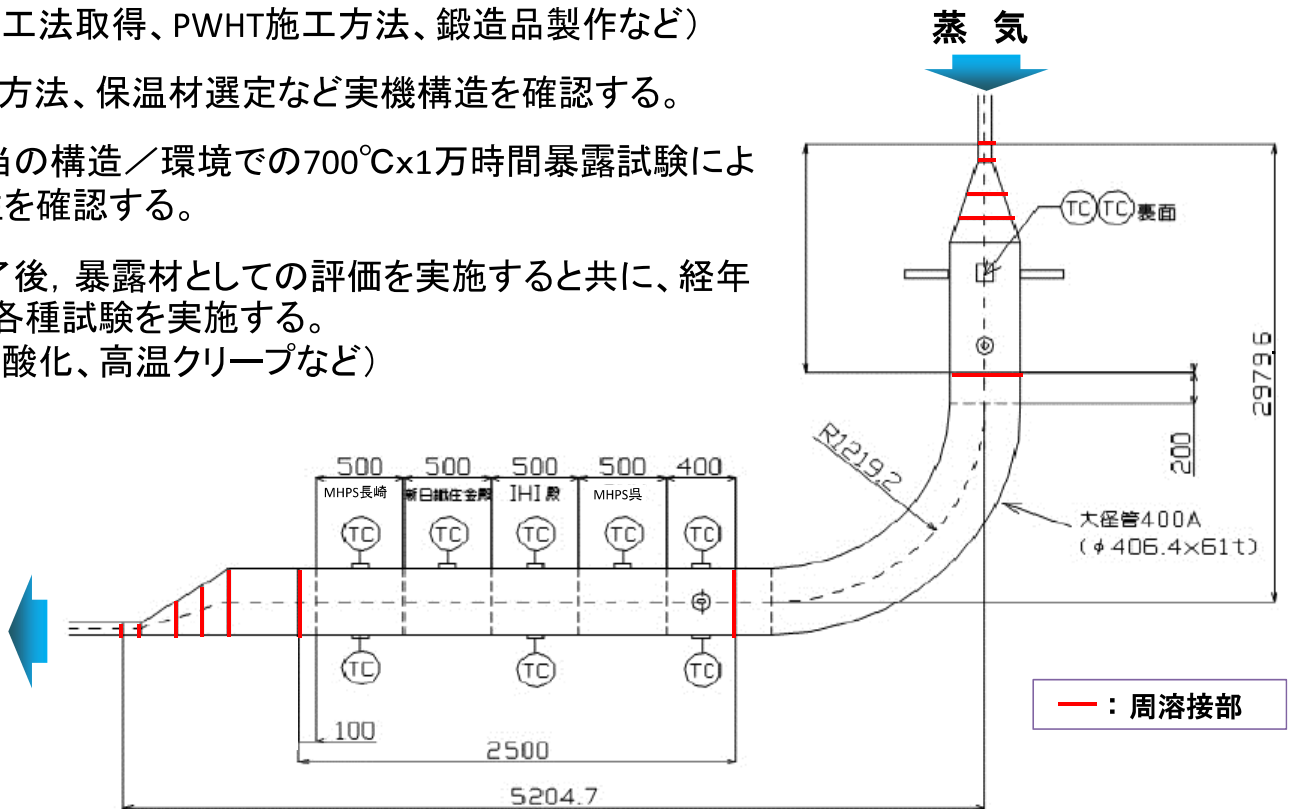
実缶試験用伝熱面構成

6.5.3 実缶試験設備の設計・製作(伝熱管・連絡管・管寄せ)



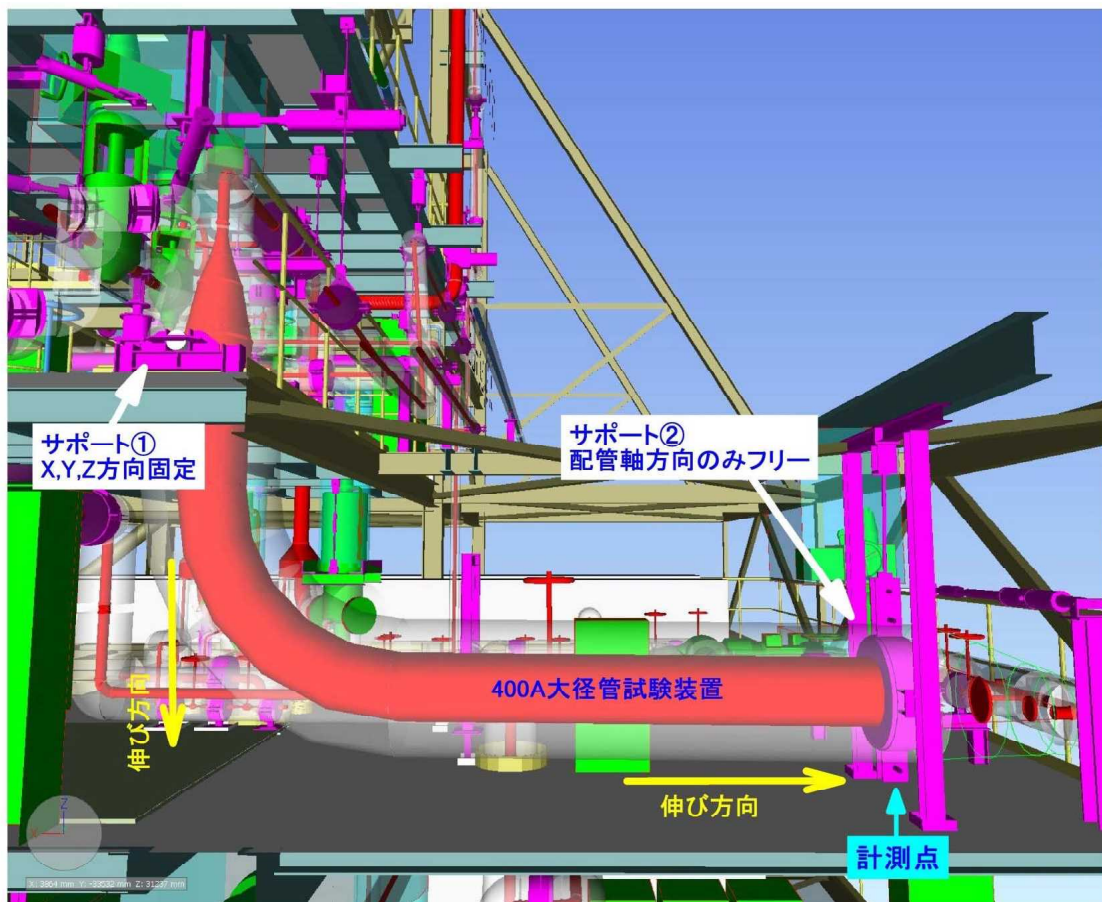
6.5.3 実缶試験設備の設計・製作(大径管)

- ・規格、設計、製作での課題洗い出しとその対応方法を確立する。
(溶接施工法取得、PWHT施工方法、鍛造品製作など)
- ・サポート方法、保温材選定など実機構造を確認する。
- ・実機相当の構造／環境での700°C×1万時間暴露試験による健全性を確認する。
- ・試験終了後、暴露材としての評価を実施すると共に、経年材として各種試験を実施する。
(水蒸気酸化、高温クリープなど)



11

6.5.3 実缶試験設備の設計・製作(大径管)



12

6.5.3 実缶試験設備の設計・製作(大径管)



13

6.5.4 官庁申請(工事計画届書)

工事計画届出書

平成26年10月2日

九州産業保安監督部長 殿

住 所 〒836-0061
福岡県大牟田市

氏 名



電気事業法第48条第1項の規定により、別紙工事計画書のとおり工事の計画を届け出ます。



備考 1 用紙の大きさは、日本工業規格A4とすること。
2 氏名を記載し、押印することに代えて、署名することができる。この場合において、署名は必ず本人が署名するものとする。

第19号図 新技術の内容を十分に説明した書類

目次	ページ数
1. 対象部位	15
2. 安全性を確保できる理由	18
3. 使用材料の安全性の確保についての資料	
(a) HR6W	19
I 材料の仕様	
II HR6Wの諸性質	
III HR6Wの許容引張応力	
(b) Alloy 617	34
I 材料の仕様	
II Alloy 617の諸性質	
III Alloy 617の許容引張応力	
(c) Alloy 141	49
I 材料の仕様	
II Alloy 141の諸性質	
III Alloy 141の許容引張応力	
(d) HR35	62
I 材料の仕様	
II HR35の諸性質	
III HR35の許容引張応力	
(e) Alloy 263	76
I 材料の仕様	
II Alloy 263の諸性質	
III Alloy 263の許容引張応力	
(f) Alloy 740	89
I 材料の仕様	
II Alloy 740の諸性質	
III Alloy 740の許容引張応力	
(g) SAVE12AD	102
I 材料の仕様	
II SAVE12ADの諸性質	
III SAVE12ADの許容引張応力	
4. 強度計算書	115
(a) 試験蒸気二次過熱器出口管寄せ	
(b) 試験蒸気三次過熱器出口管寄せ	
(c) 試験蒸気二次過熱器管	
(d) 試験蒸気三次過熱器管	

14

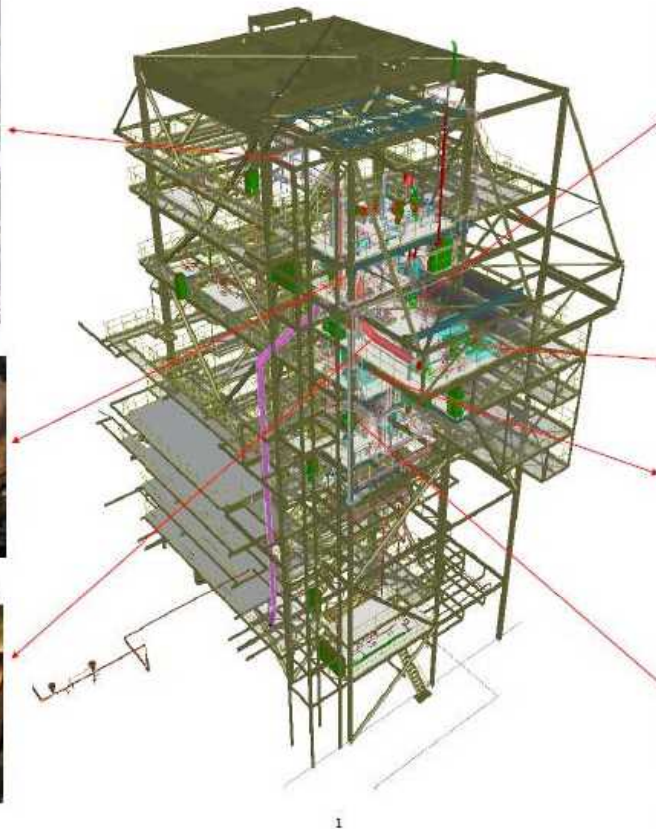
6.5.4 官庁申請(溶接安全管理審査)



工場内耐圧試験状況

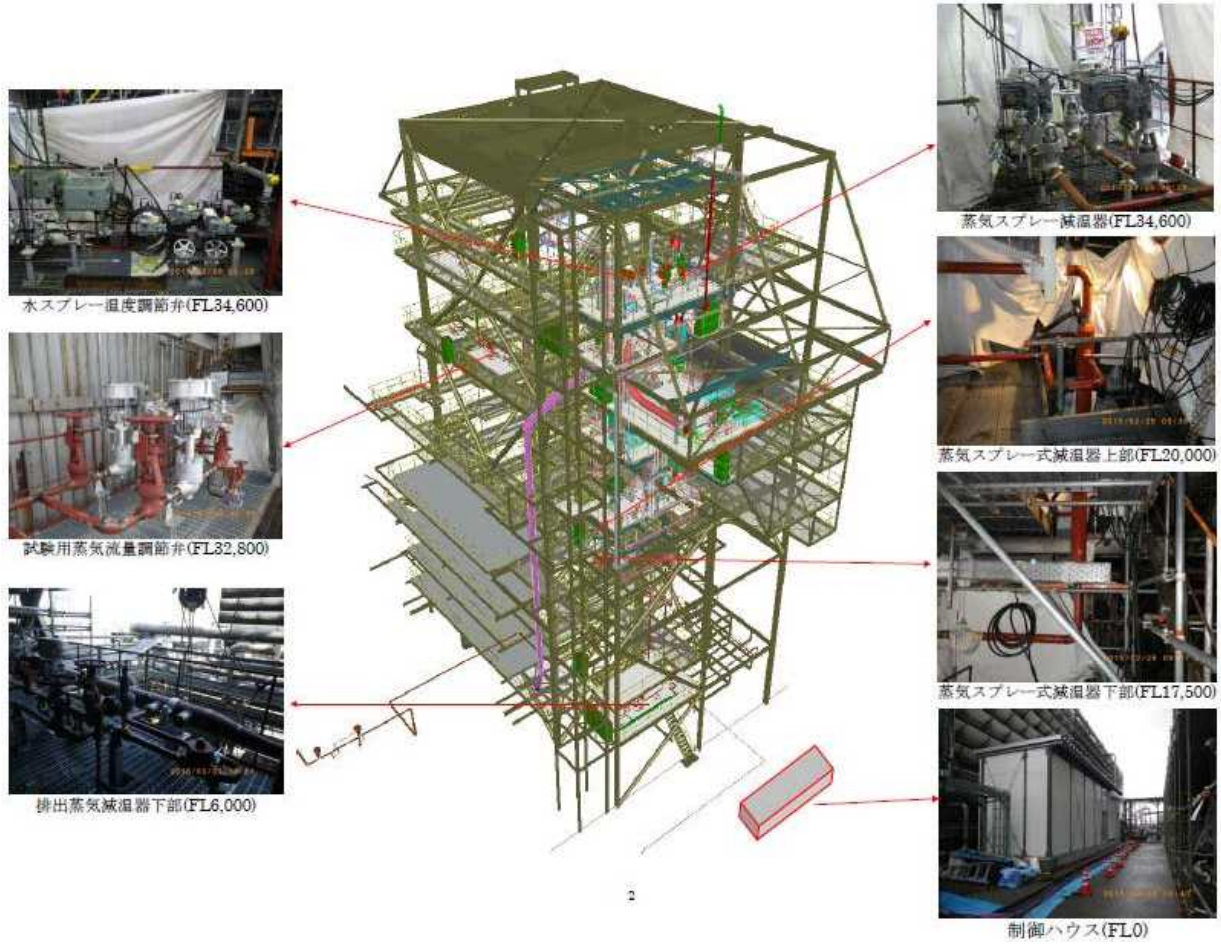
15

6.5.5 実缶試験設備の据付状況



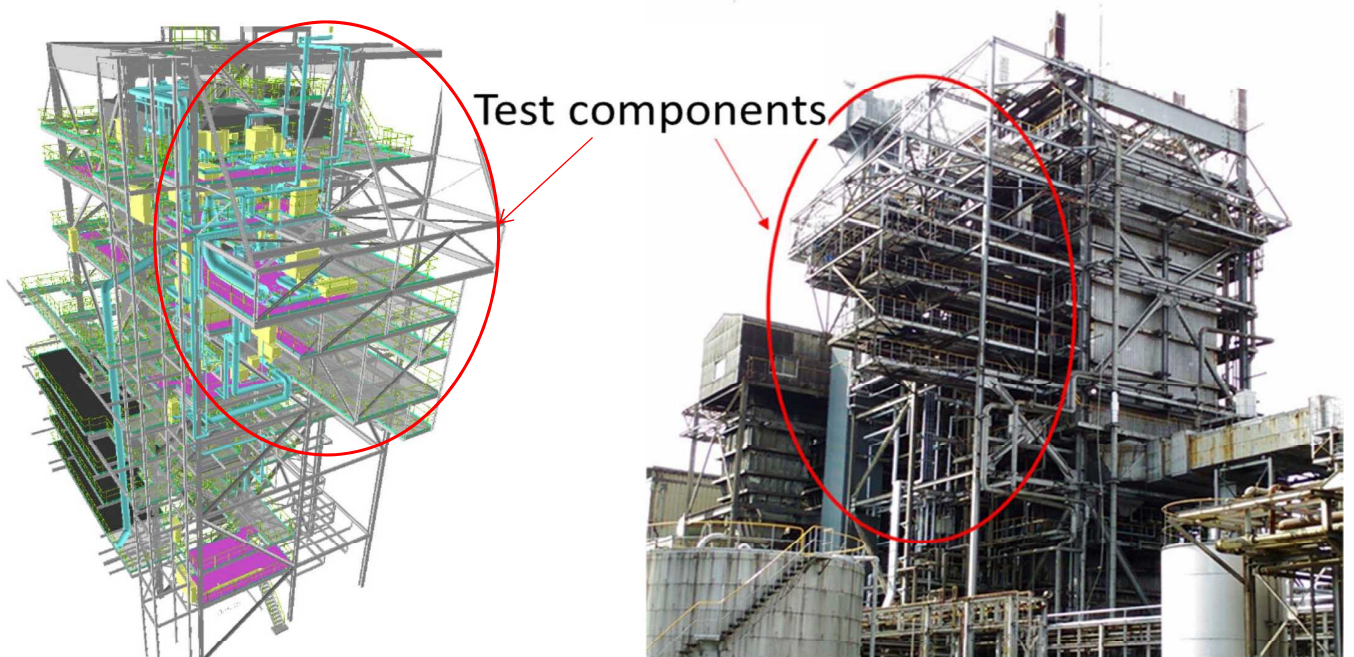
16

6.5.5 実缶試験設備の据付状況



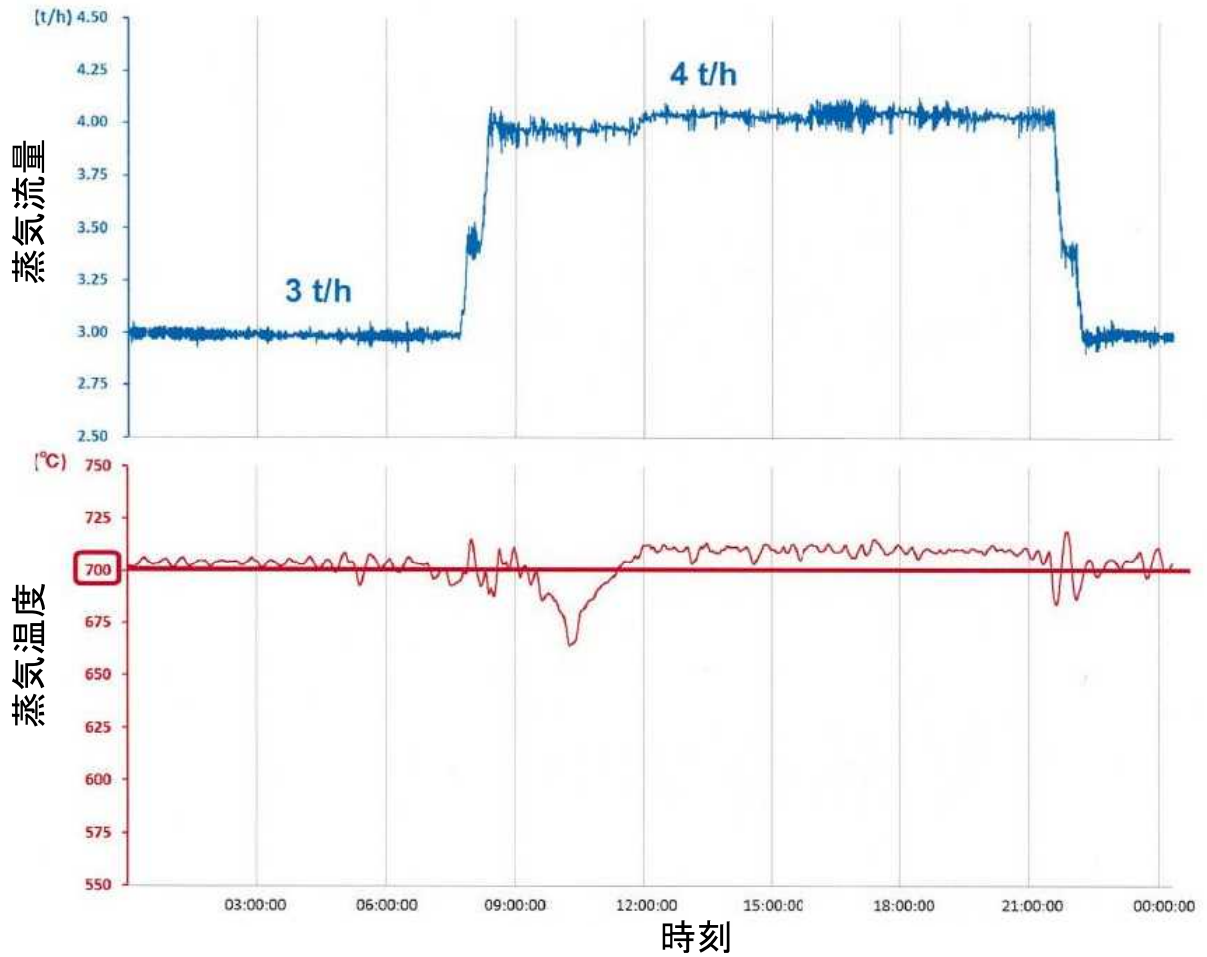
17

6.5.5 実缶試験設備の据付状況(外観)



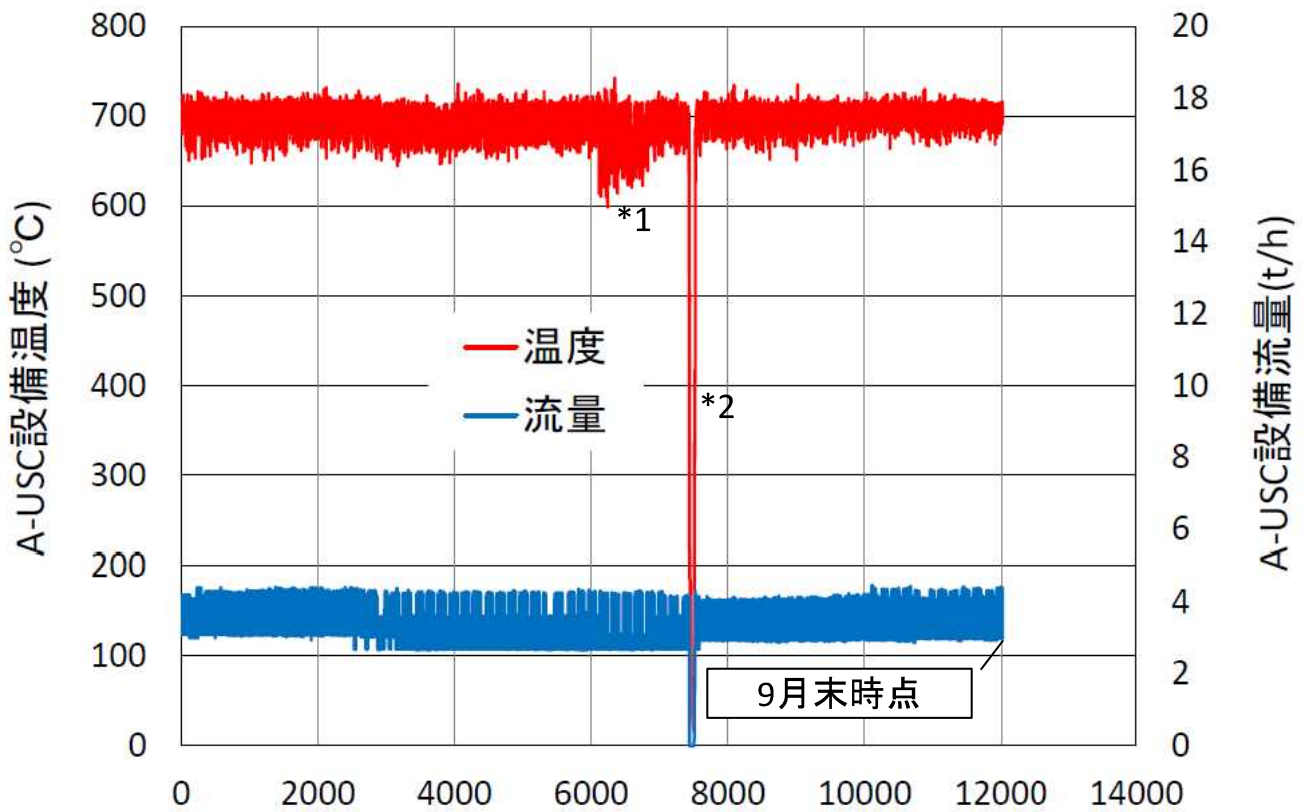
18

6.5.6 運転状況(蒸気量・蒸気温度)



20

6.5.6 運転状況(試験時間)

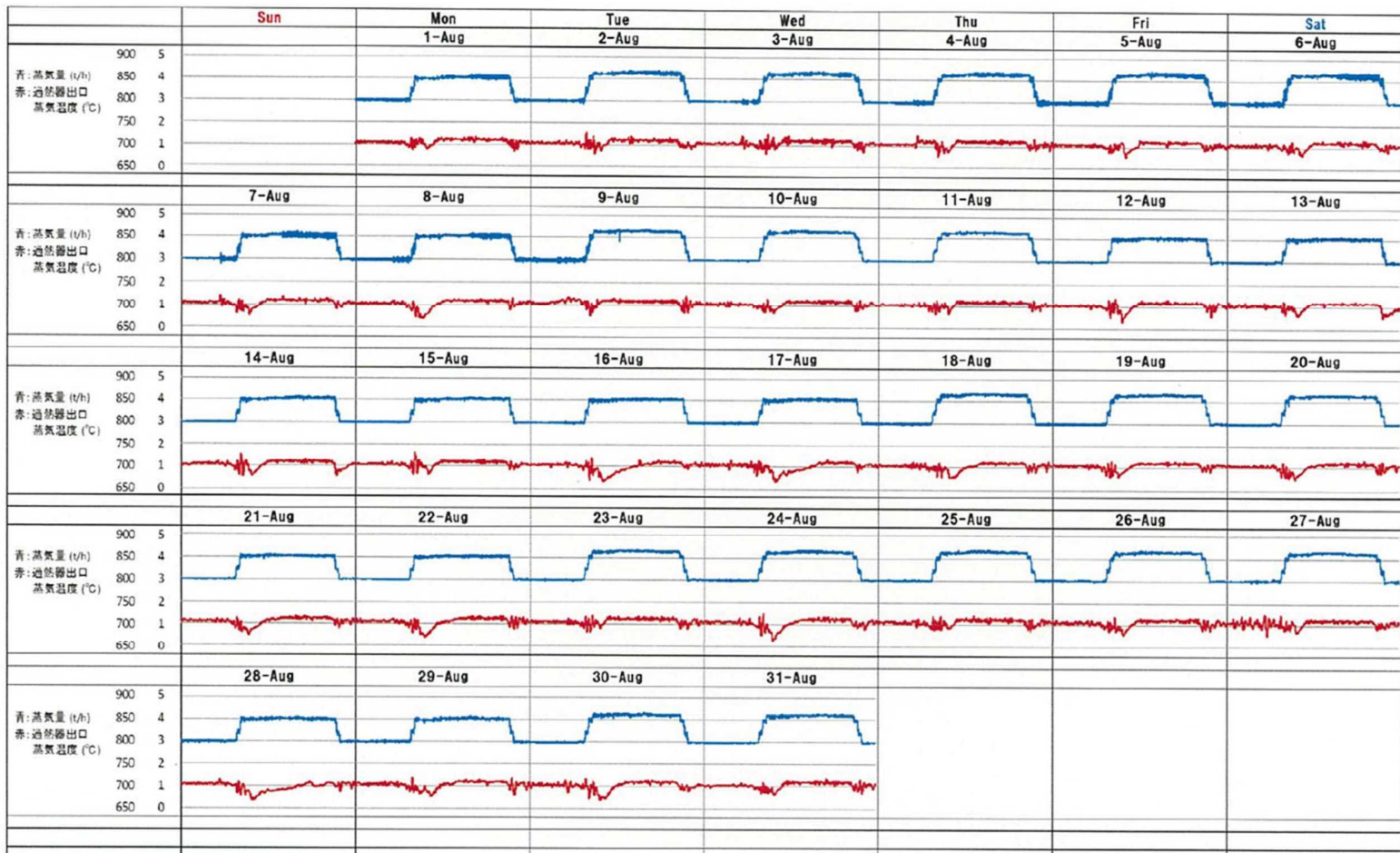


累積運転時間 (hrs)

*1: 低負荷運用時間帯増加による試験蒸気温度低下時間帯増加
*2: 停缶工事に伴う、ユニット停止一起動

21

6.5.6 運転状況(2016年8月の運転実績)



22

6.5.7 研究開発成果

- 試験時間は下記を達成した。
 - ✓ 運転時間 約13,000時間を達成
- 700°C級ボイラ要素について下記の信頼性を確認した。
 - ✓ 700°C蒸気を発生させる伝熱管・管寄・連絡管の設計・製造
 - ✓ 700°C蒸気を送気する大径管の設計・製造
 - ✓ 700°C蒸気温度下での各構成機器の機能

23

6.4 研究項目④高温弁要素技術開発

ABB日本ベレー株式会社
岡野バルブ製造株式会社
東亜バルブエンジニアリング株式会社
富士電機株式会社

1

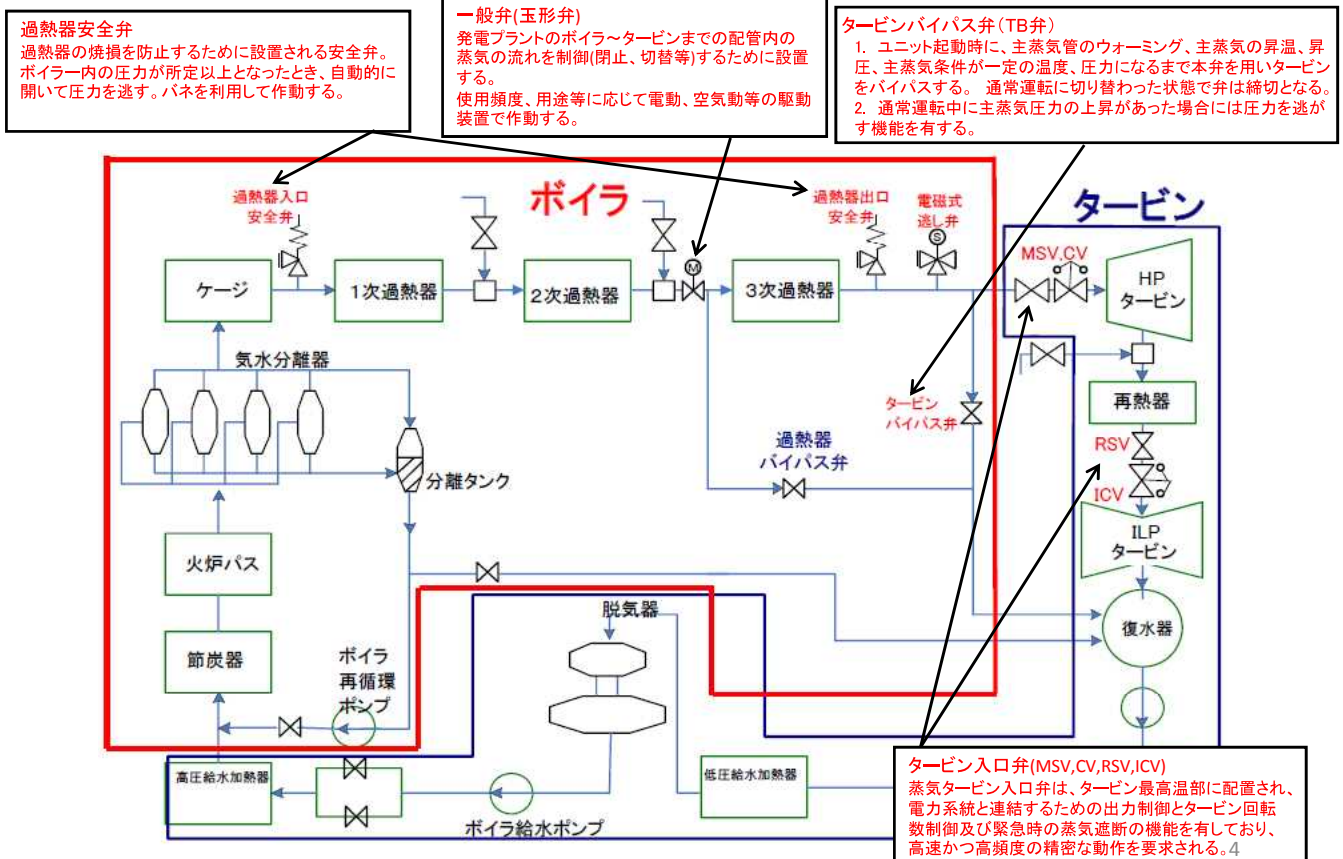
目 次

- 6.4 研究項目④高温弁要素技術開発
 - 6.4.1 高温弁の配置と役割
 - 6.4.2 高温弁の開発課題と目標
 - 6.4.3 要素技術開発
 - 6.4.4 研究開発成果（実缶試験）

2

6.4.1 高温弁の配置と役割

6.4.1 高温弁の配置と役割

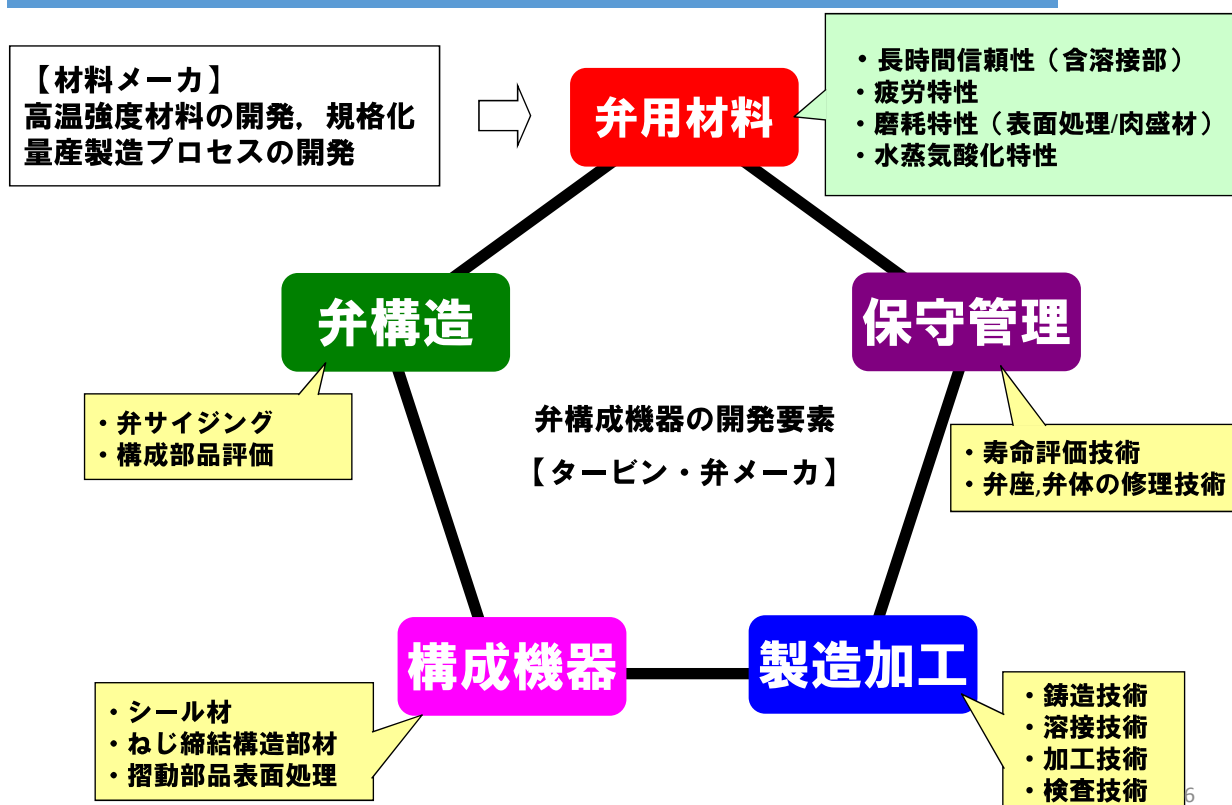


6.4.2 高温弁の開発課題と目標

5

6.4.2 高温弁の開発課題と目標

開発目標：実缶試験(700℃)による弁信頼性の確認



6

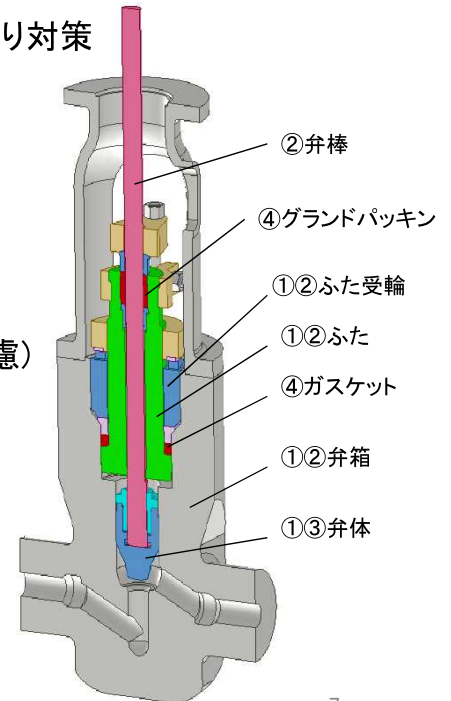
6.4.2 高温弁の開発課題 一般弁(玉型弁)

【要素試験】

- ① Ni基材料の加工性確認(機械加工、溶接施工等)
- ② 摺動部、ねじ締結部の材料の組合せによる高温かじり対策
- ③ 弁座、弁体の肉盛硬化施工(Co基合金)確認
- ④ グランドパッキン、ガスケットの高温酸化減量対策、シール性能確保

【構造設計】

1. 主要部材料・構造検討(高温対策、溶接時熱応力考慮)
2. 鍛造素材による弁本体構造設計検討
3. 温度分布予測(シール部温度)、熱応力解析
4. 要素試験結果を反映しての再検討



7

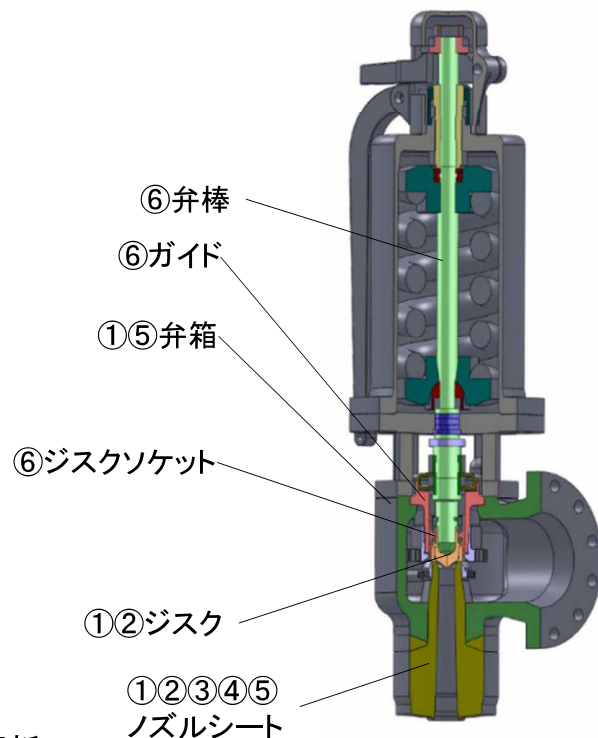
6.4.2 高温弁の開発課題 安全弁

【要素試験】

- ①溶接施工法の確立
- ②融着性確認
- ③熱変形性確認
- ④Ni基材料の加工性の検証
- ⑤高温時効特性の検証
- ⑥高温摺動性確認

【構造設計】

1. 弁構造の検討
2. 各部材質の選定
3. 耐圧部における必要肉厚の検討
4. 各部の強度解析
5. 有限要素法による弁の温度分布解析



8

6.4.2 高温弁の開発課題 タービンバイパス弁

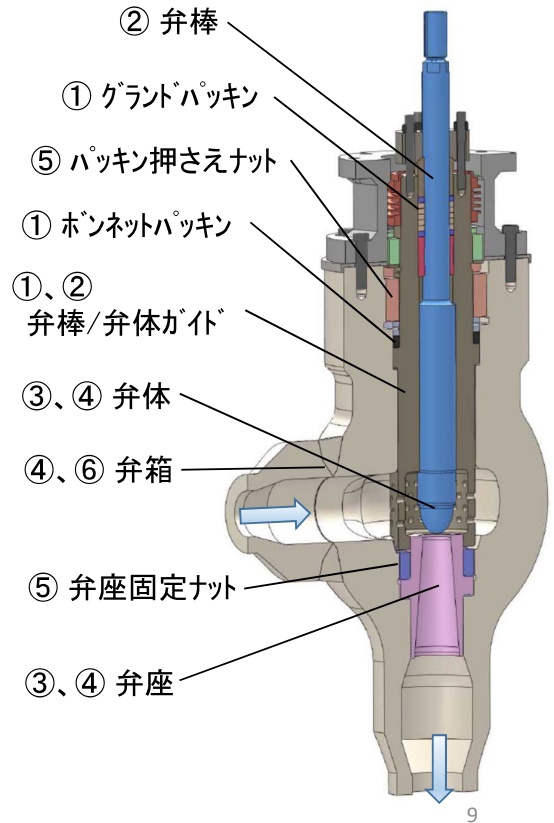
【要素試験】

- ① シール材の高温対策/シール性能
- ② 弁棒摺動部のかじり対策
- ③ 弁座/弁体 (Ni基合金) の肉盛(Co基合金) 施工確認。
肉盛硬化材の熱衝撃特性評価
- ④ 高圧水の衝突による耐摩耗性能の比較
- ⑤ ねじ締結部 ねじ部の焼付き防止対策
- ⑥ 候補材Ni基合金の弁箱への適用検討
溶接施工確認、機械加工性確認

【構造設計】

高温対策構造検討 要素試験結果反映

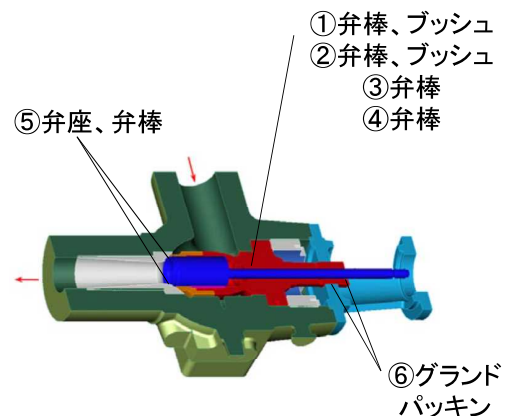
1. 弁構造、弁座/弁体の形状検討
2. 鍛造材による弁箱設計/造詣検討
3. 温度分布、熱応力解析 熱対策



6.4.2 高温弁の開発課題 タービン主要弁

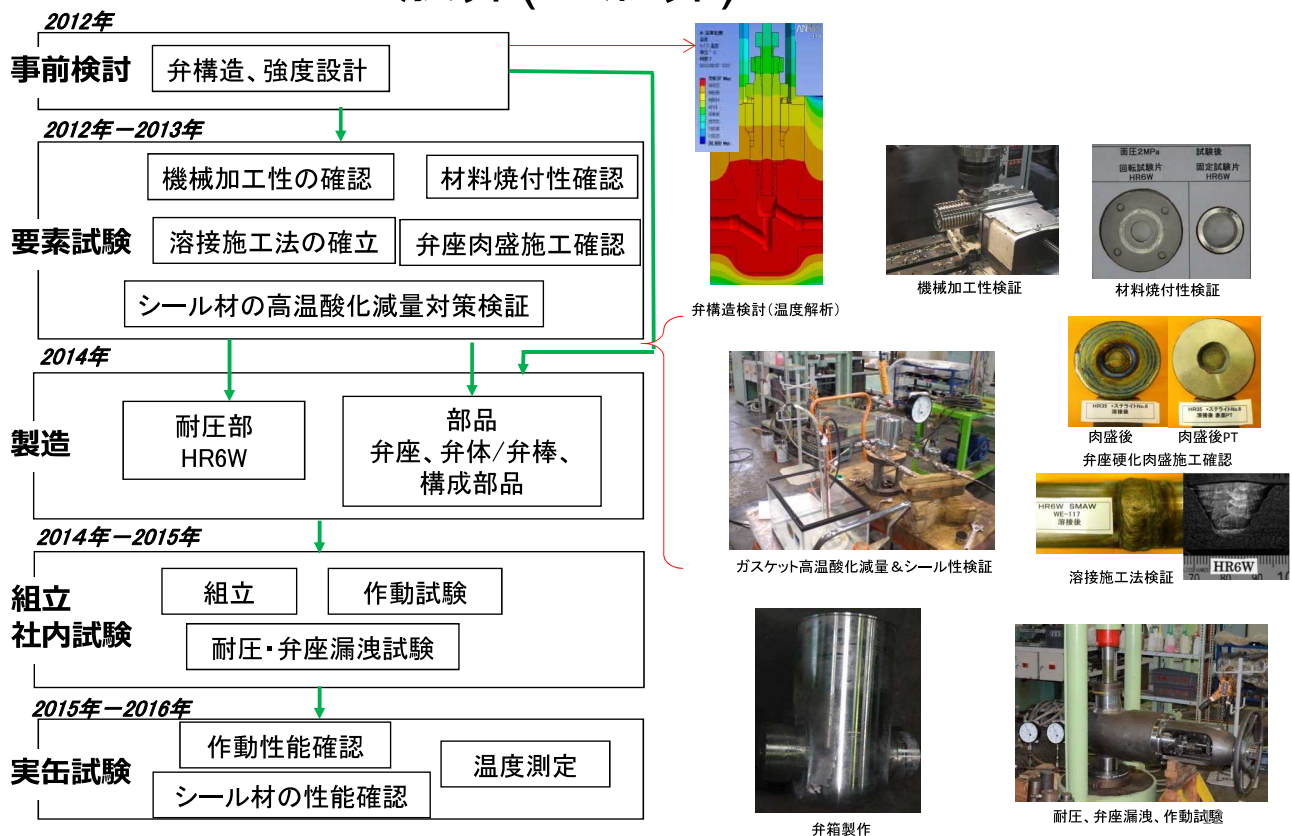
項目	課題	開発・検証方針
・ 材料強度	⇒ 変形・破損	⇒ 高温強度を考慮した材料選定
・ 摺動特性	⇒ 磨耗、カジリ	⇒ 摩擦磨耗試験で特性を検証
・ 酸化スケール	⇒ 摺動スキマ減少・ ネジ締結部のカジリ	⇒ 水蒸気酸化試験による特性を検証 焼付き防止剤の検証

項目	対象部位	目的
① 高温摩擦摩耗試験	摺動部	摺動部への適用材質(表面処理含む)の選定及び摩擦摩耗特性の把握
② 水蒸気酸化試験	摺動部	摺動部における経年的な酸化スケールの成長状況を把握
③ 熱衝撃試験	溶射部 (摺動部)	摺動部の表面硬化処理に溶射を適用する場合の溶射被膜の耐熱衝撃性を把握
④ 被膜密着力試験	溶射部 (摺動部)	摺動部の表面硬化処理に溶射を適用する場合の溶射被膜の密着性を確認
⑤ 肉盛溶接施工性試験	弁座 シート部	肉盛溶接の溶接条件の確立
⑥ グランドパッキン材のシール性検証	弁棒 グランド部	グランドパッキン材質の選定及びシール性の確認



6.4.3 要素技術開発、実缶試験の取組み

6.4.3 要素技術開発、実缶試験の取組み 一般弁(玉形弁) 1/2



6.4.3 要素技術開発、実缶試験の取組み 一般弁(玉形弁) 2/2

【実缶試験】

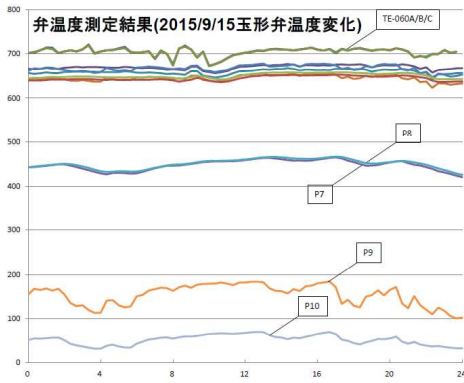
700℃環境下で、以下の検証試験を実施

- ① 弁各部位の温度測定
- ② グランドパッキン、ガスケットのシール性能の確認検証
- ③ 弁開閉時の弁座のシール性能の確認検証
- ④ 作動性能の確認検証
- ⑤ 実缶試験後の調査

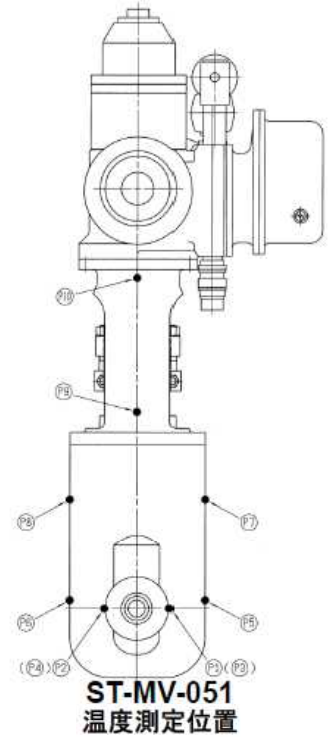


一般弁(玉形弁)

熱電対貼付及び配線状況

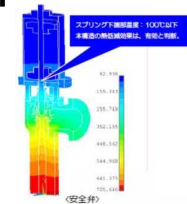
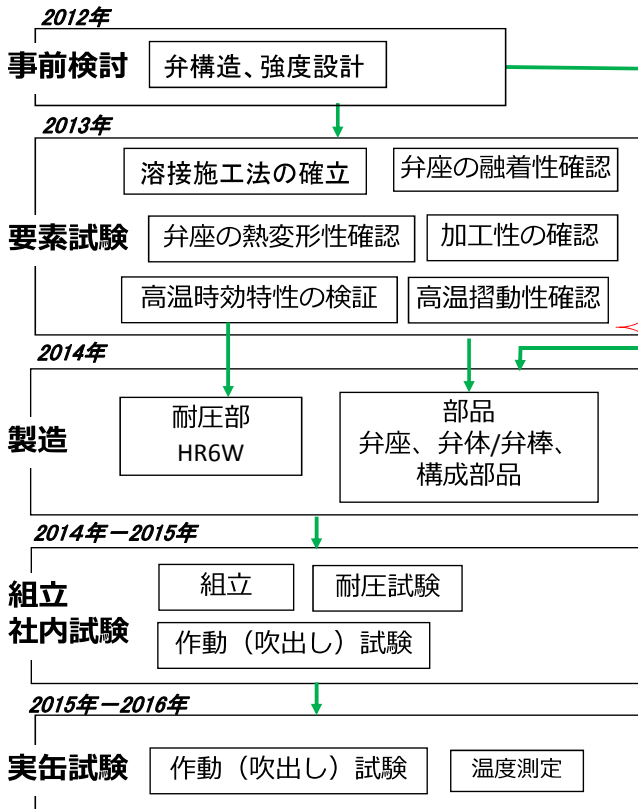


温度測定



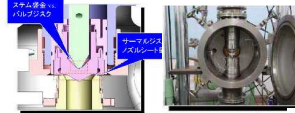
ST-MV-051
温度測定位置

6.4.3 要素技術開発、実缶試験の取組み 安全弁 1/2

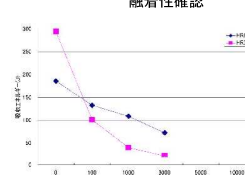


弁構造検討(温度解析)

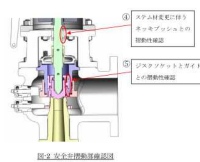
融着の確認を必要とする部位



<安全弁> 融着性確認



熱時効特性 (HR6W, HR35)



高温摺動性確認

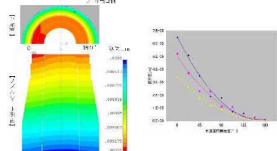


<ボデー>ノズルシート

<ノズルシート>



溶接施工法の検証



熱変形性確認



弁箱製作



動作(吹出し)試験

6.4.3 要素技術開発、実缶試験の取組み 安全弁 2/2

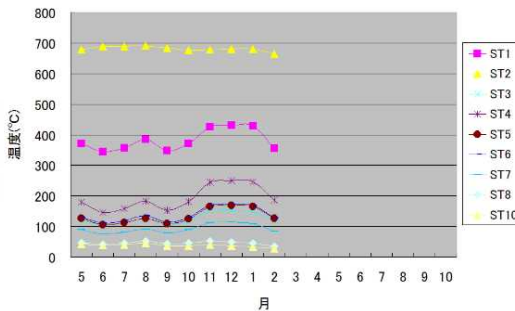
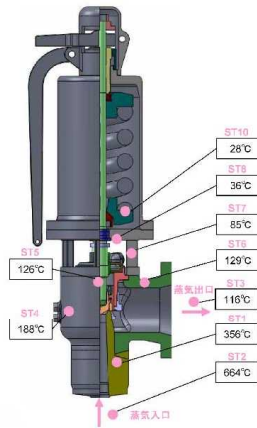
【実缶試験】

700℃環境下で、以下の検証試験を実施

- ①作動性能試験 (実缶試験試運転中、停止前に実施)
- ②弁各部位の温度測定(実缶試験中は連続収集)
- ③実缶試験後の調査 (各部の点検、検証を実施)



実缶試験 弁据付
熱電対取付け



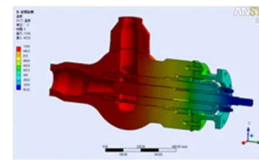
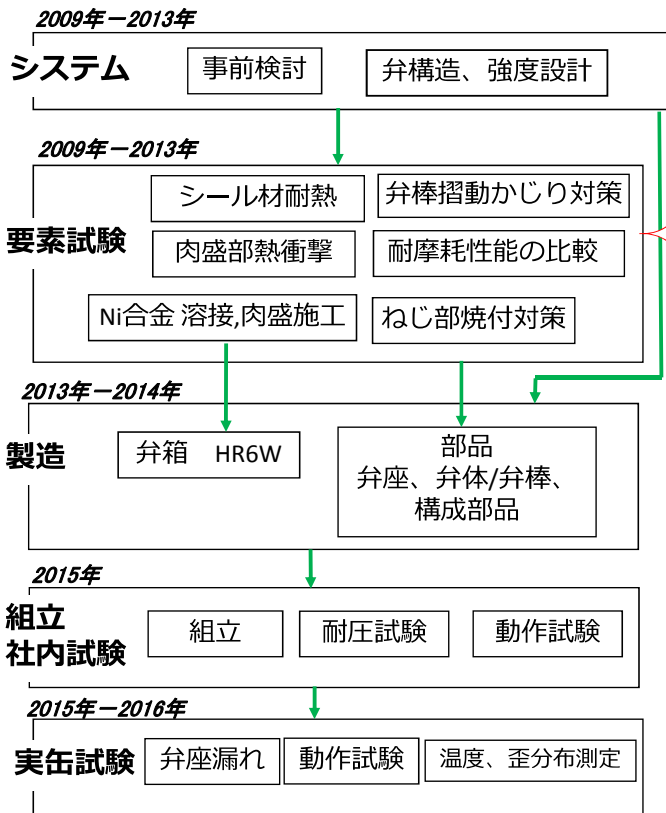
実缶試験 温度測定

各部位の温度

No.	計測部位	平均温度 ^{※1}	最高/最低温度 ^{※1}
ST1 ^{※2}	ノズルシート	385°C	430 / 345°C
ST2	蒸気入口配管	680°C	691 / 664°C
ST3 ^{※2}	蒸気出口配管	130°C	166 / 105°C
ST4 ^{※2}	ボデー中央部	197°C	249 / 145°C
ST5 ^{※2}	ボデー上部	136°C	169 / 105°C
ST6 ^{※2}	ボデー蒸気出口側	141°C	173 / 110°C
ST7 ^{※2}	クーリングスプール側	94°C	114 / 76°C
ST8	ネッキブッシュ回り	47°C	57 / 36°C
ST10	スプリング下端	39°C	47 / 28°C

※1 10ヶ月分(15/5/1~16/2/29)のデータをもとに算出しています
 ※2 '15年11月~'16年1月にかけて温度上昇が確認された部位

6.4.3 要素技術開発、実缶試験の取組み タービンバイパス弁 1/2



構造設計 解析



グラウンドパッキン耐熱評価試験
720°C1200hr加熱 減重量



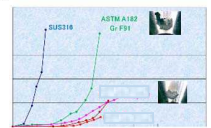
ホンネットパッキン耐熱試験後の水圧試験



Ni合金 肉盛施工確認



摺動部 高温かじり試験



経過時間 (hr) 高圧水衝突による磨耗試験



ねじ焼付き試験
720°C 加熱サイクル負荷後 分解



弁箱製作



弁箱 耐圧試験
歪測定



6.4.3 要素技術開発、実缶試験の取組み タービン主要弁 2/2

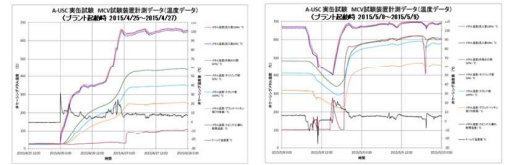
実缶試験では、700℃環境下で
以下の検証試験を実施

- ①要素試験で得られた結果の妥当性の確認
- ②実用化に向けた運用データの採取
- ③実缶試験後の調査（分解性等）

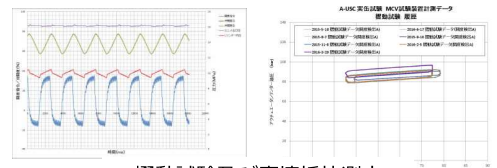


<検証内容>

	項目	概要
1	弁ケーシングの伝熱特性の確認	弁ケーシング候補材Alloy625鋳物の伝熱特性の確認
2	弁棒、プッシュ摺動部の摩擦抵抗変化及び摺動性の確認	弁棒摺動部候補材の長期及び蒸気中における動特性変化及び摩耗状況を確認
3	グランドパッキンのシール性確認	700℃機向けに適用可能なグランドパッキンの長期間及び連続摺動状態でのシール性を確認
4	ボンネット気密リングのシール性確認	700℃運転中の気密リングのシール状況の確認と経年変化の確認
5	弁座衝撃力耐久性の確認	700℃温度下において弁座盛金部にトリップ動作による衝撃力が作用した場合の耐久性を確認



弁ケーシング温度測定、気密リングシール性確認



摺動試験及び摩擦抵抗測定



グランドパッキンシール状況確認⁹

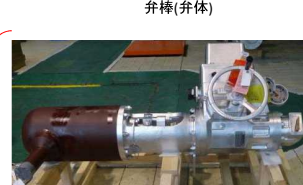
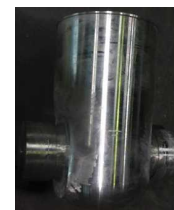
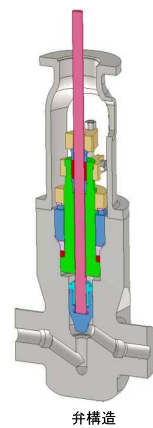
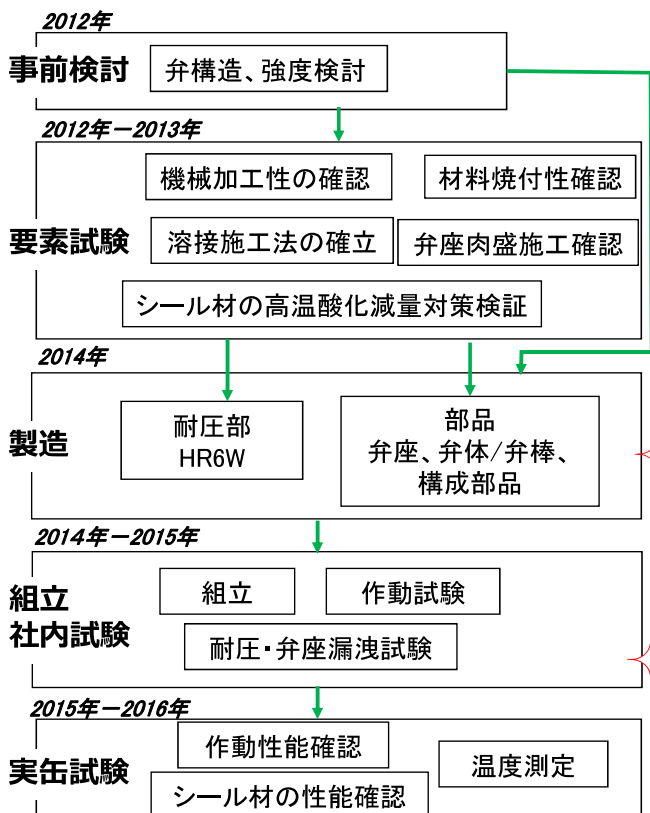
6.4.3 要素技術開発、実缶試験の取組み 各弁における開発・試験状況

	一般弁	安全弁	TB弁	タービン弁
シール材耐熱性	○	—	○	○
弁摺動性	○	○	○	○
弁座肉盛	○	○	○	○
ねじ部焼付対策	○	—	○	○
弁箱溶接性	○	○	○	○
製造性（加工、溶接）	○	○	○	○
実機大製造性	△	○	○	○
規格化	△	—	—	—

6.4.4 研究開発成果

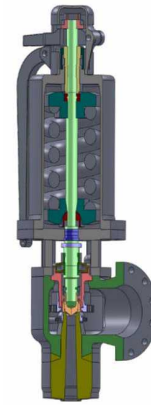
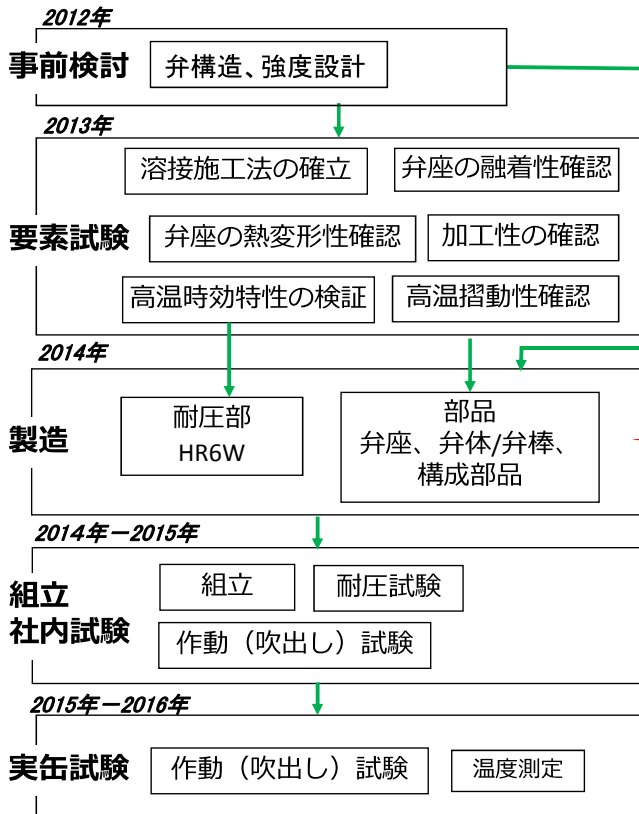
21

6.4.4 研究開発成果 一般弁（玉形弁）



22

6.4.4 研究開発成果 安全弁



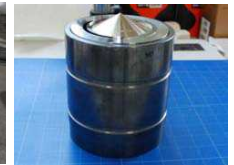
構造図



弁箱



ノズルシート



ジスク



ジスクソケット

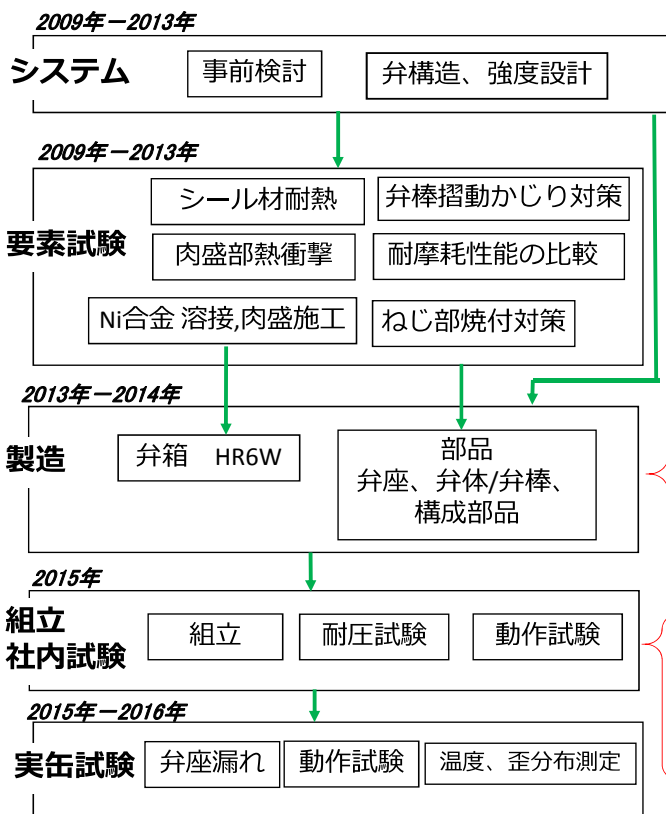


作動試験

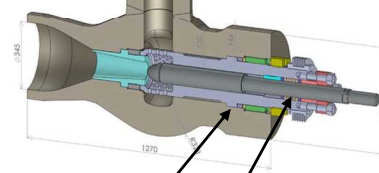


弁組立

6.4.4 研究開発成果 タービンバイパス弁



構造図 弁箱 HR6W鍛造材



ホンネットパッキン グランドパッキン、耐酸化機能強化シール材



弁座固定用ナット Alloy617+ステライト#6



弁箱 HR6W レジャー付き



弁座 Alloy617+ステライト#6



弁体&弁棒 Alloy617+ステライト#6 弁棒Crカーバド処理



弁棒、主要 構成部品

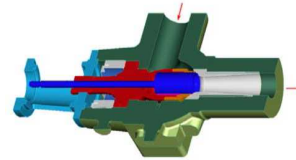
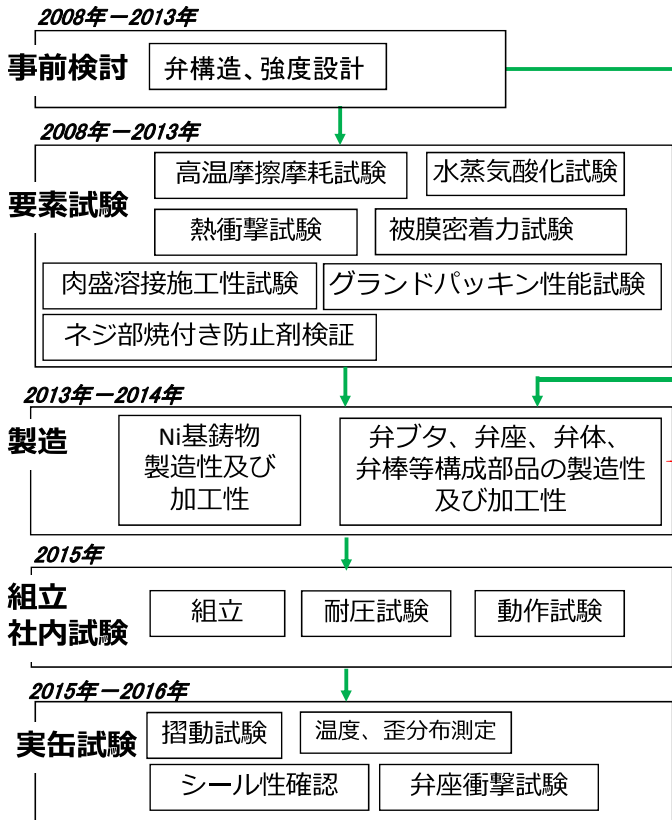


弁組込耐圧試験



弁組立

6.4.4 研究開発成果 タービン主要弁



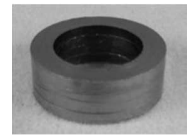
実機向け弁試設計



弁棒 (組み込み後)



ネジリング (焼付き防止剤処理後)



グランドパッキン



弁ケーシング (素材/加工後)



弁ブタ/ネジリング



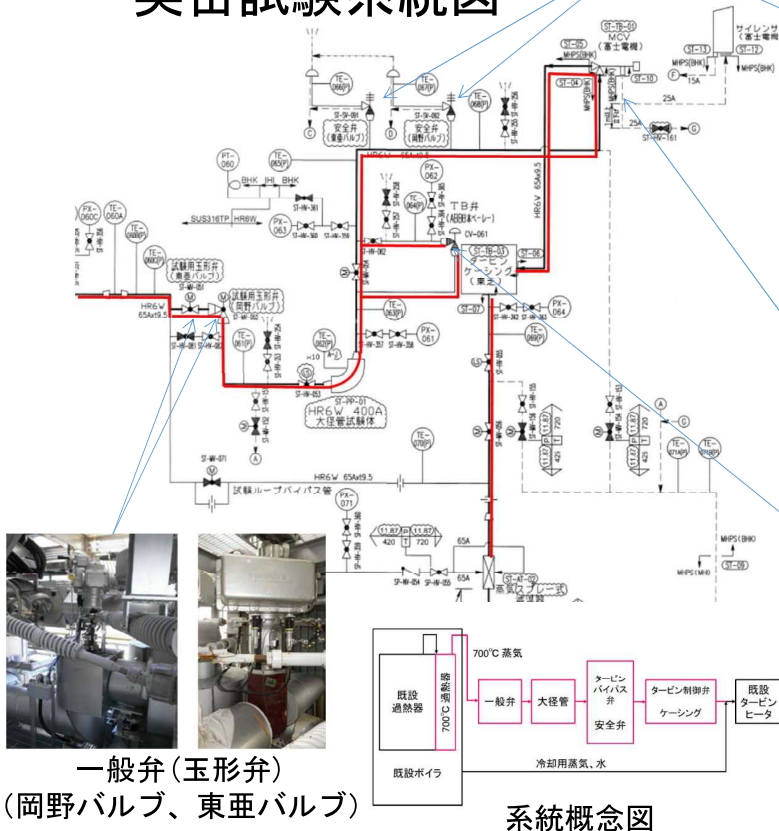
弁組立完了



弁動作試験 25

6.4.4 研究開発成果 実缶試験

実缶試験系統図



安全弁 (岡野バルブ、東亜バルブ)



MCV (富士電機)



タービンバイパス弁 (ABB日本ベレー)



一般弁 (玉形弁) (岡野バルブ、東亜バルブ)

6.4.4 研究開発成果 まとめ

- 1.要素試験において、700℃蒸気環境下での従来と同等の摺動特性をもった弁棒、ブッシュの候補材を開発・検証し、実缶試験に適用した。
- 2.実機大の弁ケーシング casting 材を製作し、Ni基 casting 材の製造性を検証した。(@タービン要素技術開発)
- 3.要素試験で選定した候補材は700℃蒸気実缶試験に適用し、要素試験で検証した材料の信頼性評価を実施し、問題無いことを確認した。

27

ご清聴

ありがとうございました。

28

6.6 研究項目⑥回転試験

三菱日立パワーシステムズ（株）

目次

- 6.6 研究項目⑥回転試験
 - 6.6.1 試験意義と目標
 - 6.6.2 試験設備概要
 - 6.6.3 ロータ設計・製造開発
 - 6.6.4 試験方法及び計測方法
 - 6.6.5 まとめ

6.6.1 目的と回転試験意義

A-USC開発の流れ

設計コンセプトは、現状設計の延長開発のキーは素材、製造、検査技術

材料要素開発

鍛造・鋳造素材大型化

溶接施工技術開発

難削材製造性技術開発

非破壊検査技術開発

実機大製造検証

実機大長時間ｸﾘｰﾌ
信頼性検証試験

回転試験目的

600℃級開発同様、現状設計の延長で700℃タービン設計を可能にするため、

①新材料を利用した実機大タービン構造の製造性の確認

(溶接ロータ製造性含む。なお、製造時の加工公差の確保十分か等の確認)

②非破壊検査の精度確認

(試験後の解体による確認含む)

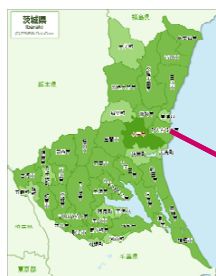
③高温加速試験後の余寿命評価による長期信頼性検証

が必要。そのため、実機大試験ロータを製造し、700℃以上の高温場でクリープ加速試験を行う。

新素材は実機大のモノを製造し、組立て、高温場で回してみはじめて実用性評価できる
(実際は蒸気雰囲気での回転試験実施したが、700℃の蒸気供給できる設備無く。高温場加速試験に至った)

6.6.2 試験設備概要

USCタービン回転試験設備の製造実績を持つ(株)日立パワーソリューションズ殿に東芝殿と共にA-USC用設備製造を依頼、試験場所も借用



(株)日立パワーソリューションズ 勝田事業所

〒312-0034 ひたちなか市堀口832番地の2

TEL.(029)276-5730



入門 マセコイヤ並木風景



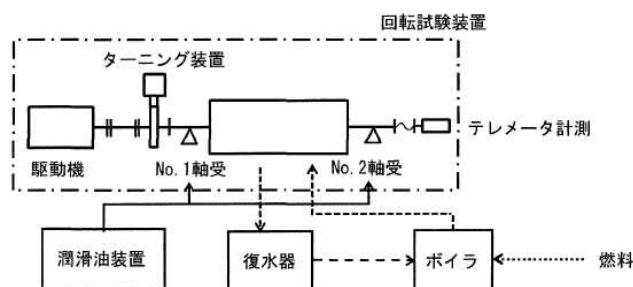
JR勝田駅



タービン回転試験設備外観

6.6.2 試験場所概要

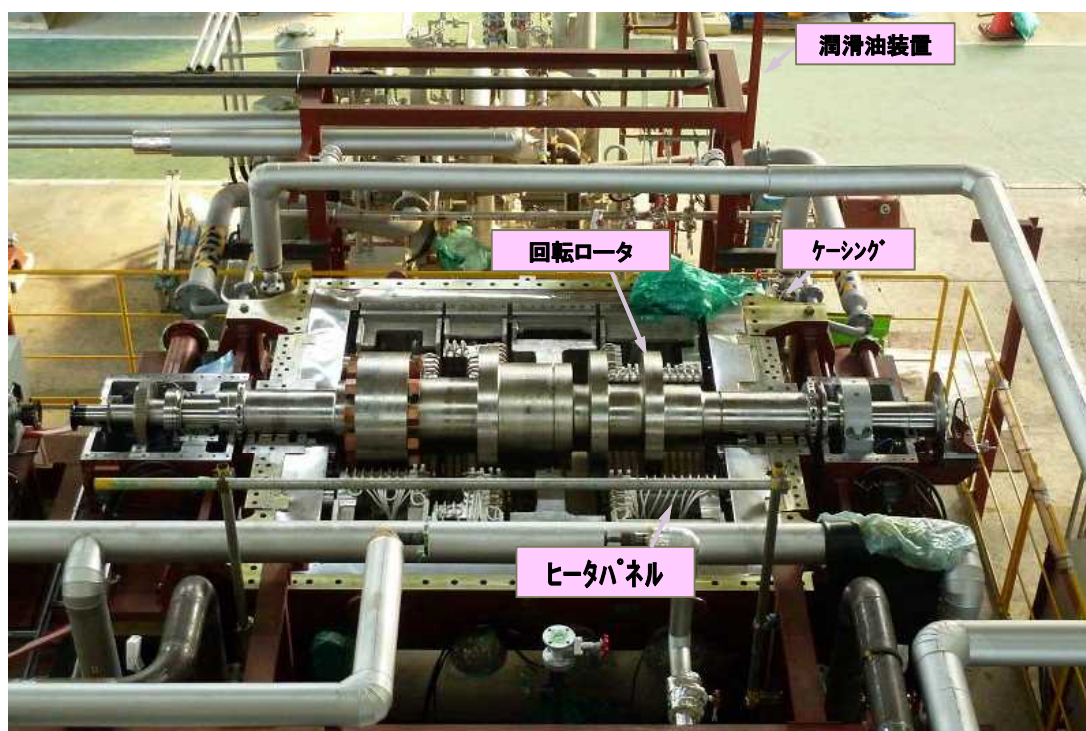
- 回転試験ロータ 3段 (各社型式)
- ロータ駆動電動機 (インバータ式)
- ロータ加熱装置 (シースヒータ式)
- ケーシング (内部断熱構造)
- 軸受、油切一式
- ダイヤフラムカップリング(ローター駆動機間)
- ターニング装置 (6rpm程度)
- 潤滑油装置(油タンク、油ポンプ類、油冷却器、ほか (潤滑油:1600L/3000hr))
- 蒸気設備(ボイラ、復水器、グラントシール及び空気抽出用エゼクタほか)
- 燃料タンク(ボイラ用)または燃料供給用ガス配管(LPGガス;70kg/h)
- 付属補機類(軟水装置、冷却塔ほか)
- 本体付属計装品類 (運転監視用)



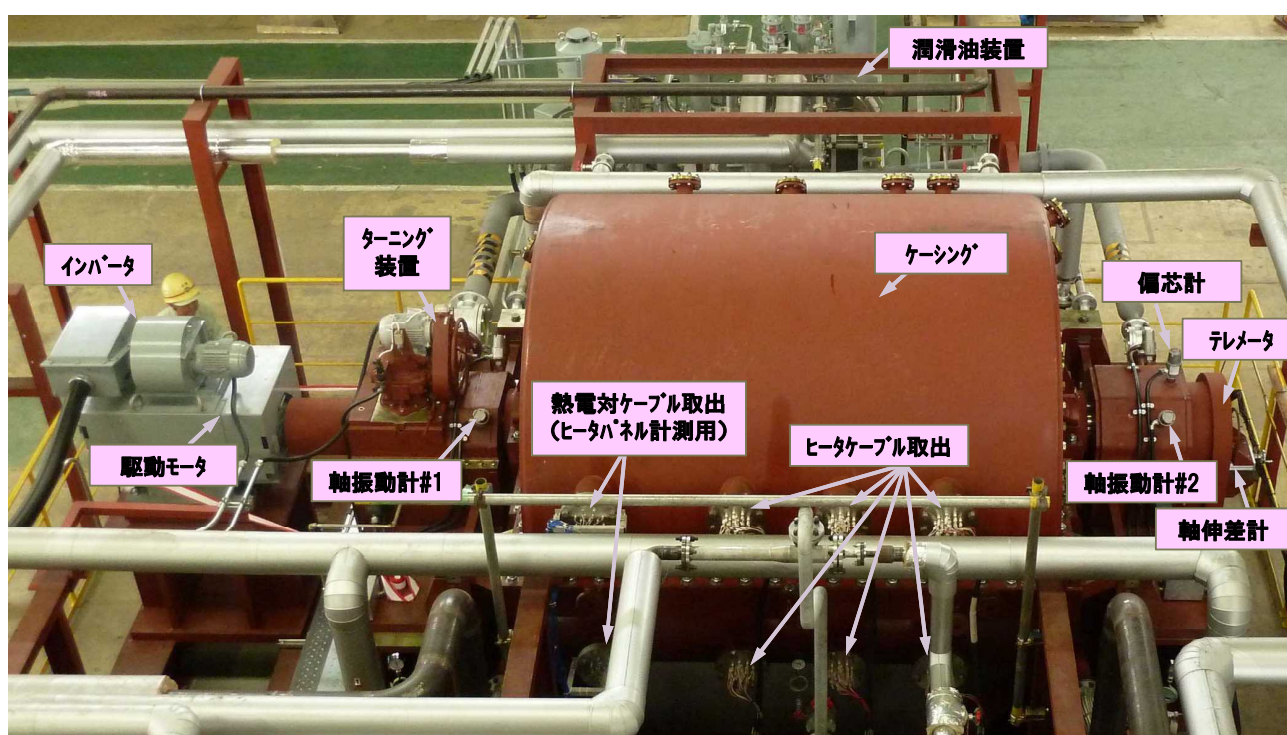
6.6.2 回転試験設備概要

No.	項目	仕様値
1	ヒータ部許容温度	800 °C
2	真空度	680 mmHg
3	モータ出力	200 kW
4	定格回転速度	3600 rpm
5	車室構造	円筒形 Φ2500
6	車室材/板厚	JIS SB410 / 28t
7	断熱材	セラミックファイバー 200t
8	ヒータ型式	シースヒータ/SUS304 Φ15
9	ヒータ回路容量	220 kW
10	グラントパッキン歯数	(14+14+7)×2セット
11	グラントパッキン出入口温度	100 ~ 148°C
12	軸受	スラスト軸受 Φ200×140L×2

6.6.2 試験設備概要

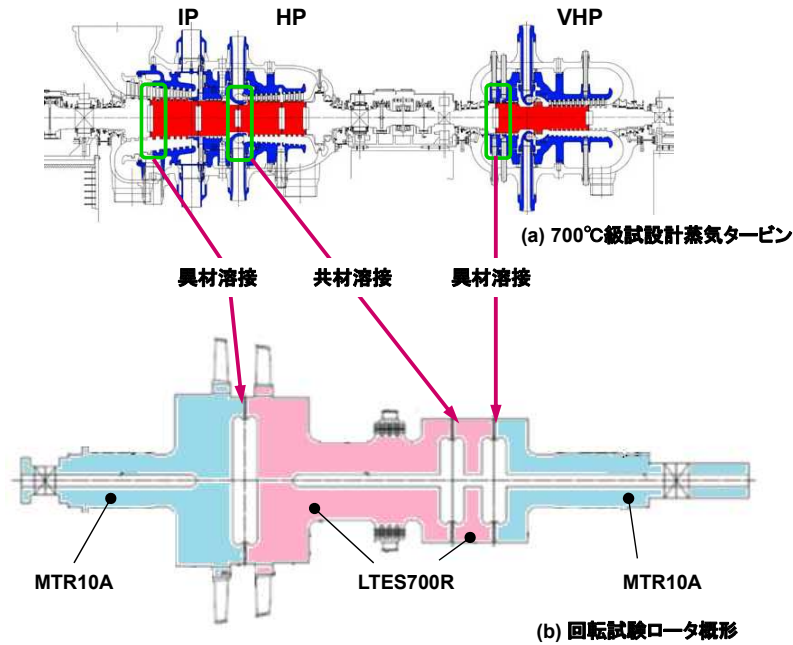


6.6.2 試験設備概要

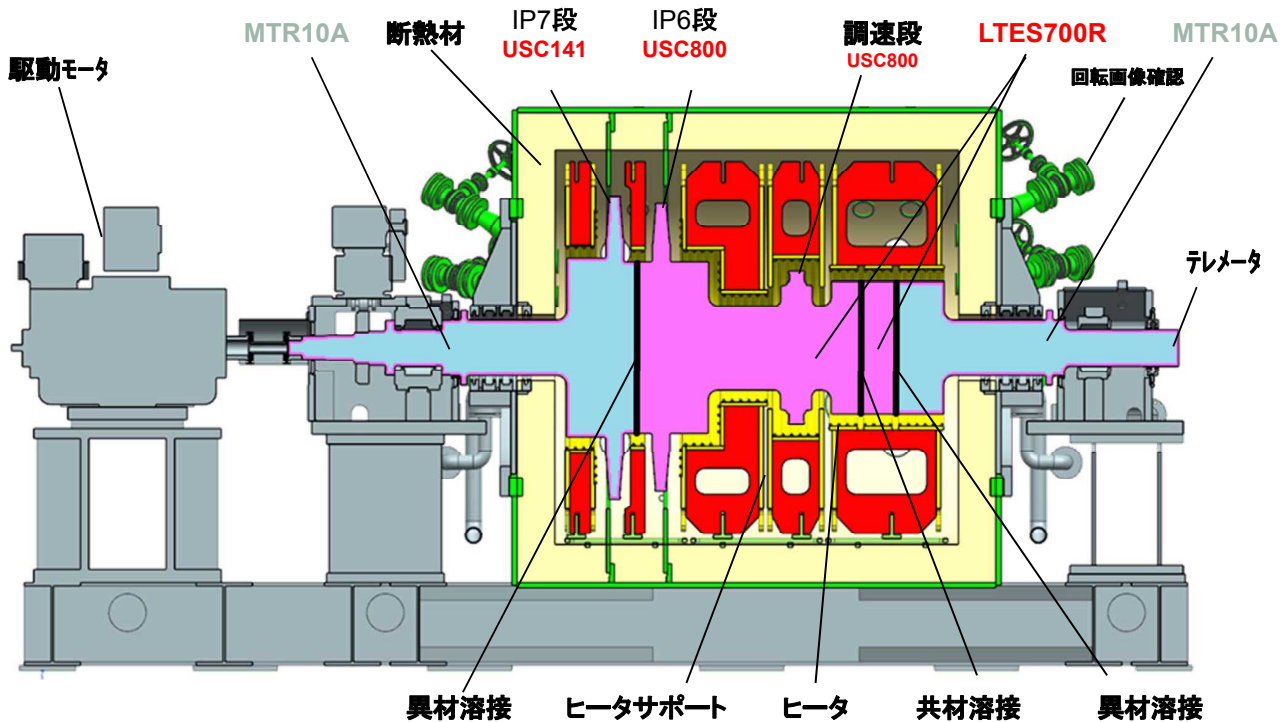


6.6.3 ロータ設計・製造開発

設計コンセプト:2段再熱設計タービン構造をベースに
VHP調速段とIP異材溶接部間の2段落を選定

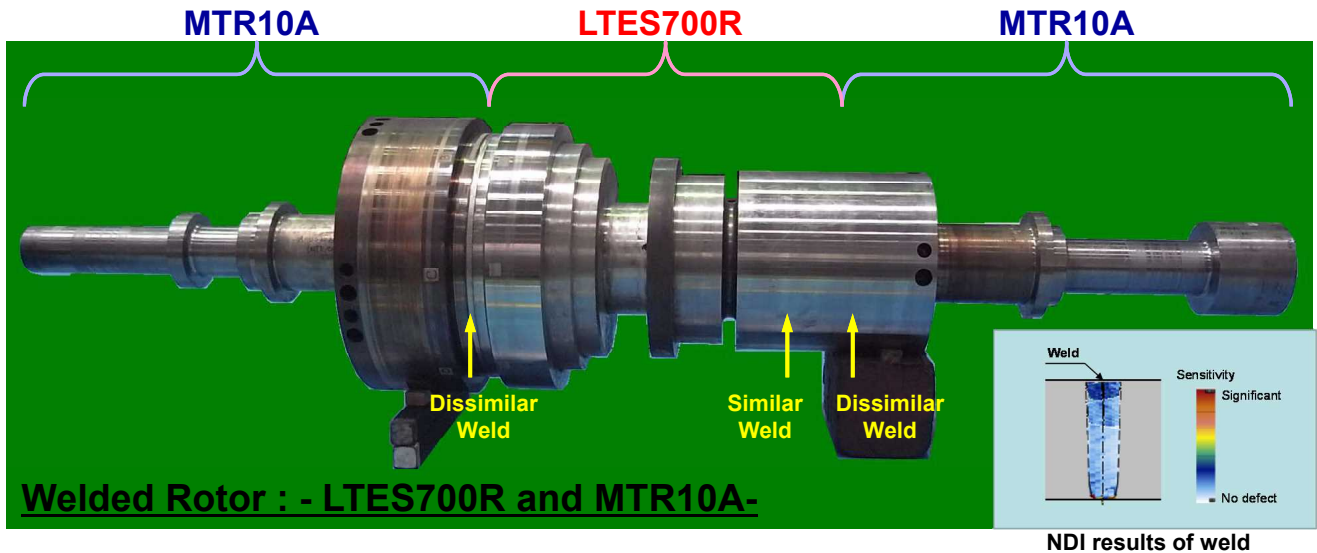


6.6.3 ロータ設計・製造開発



6.6.4 ロータ設計・製造開発

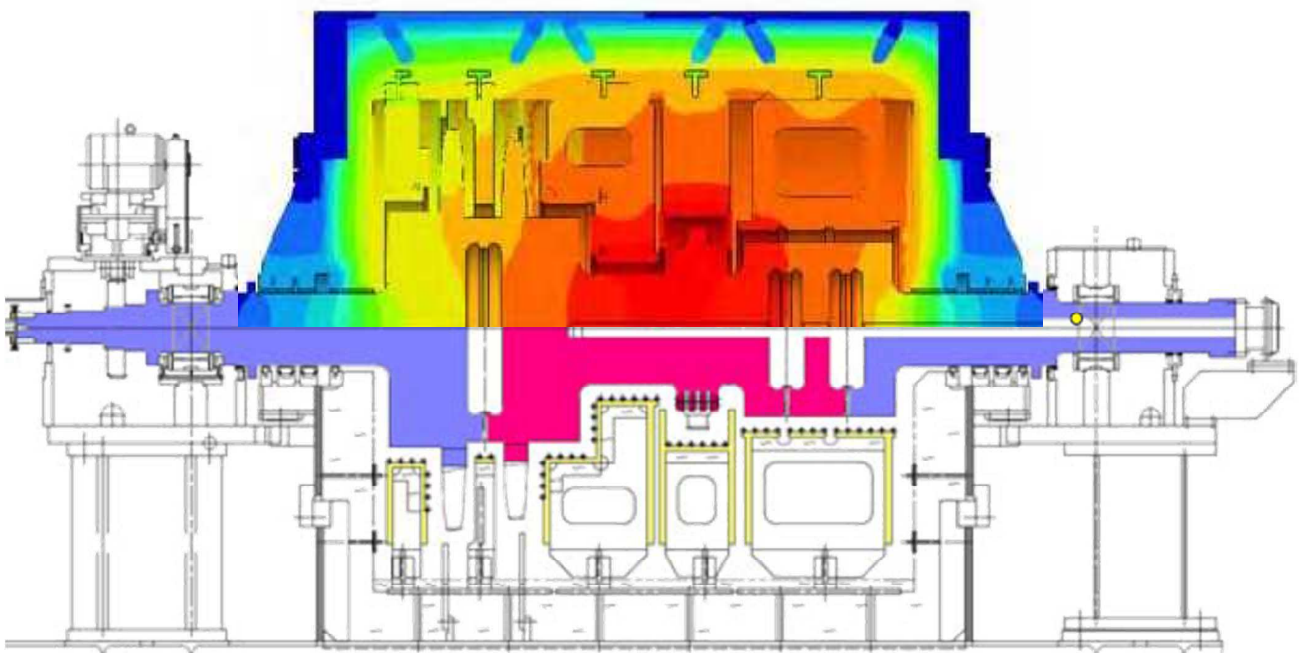
LTES700共材溶接及びLTES700R+MTR10Aの異材溶接を完了し、軸受部オーバーレイ溶接/PWHTを実施



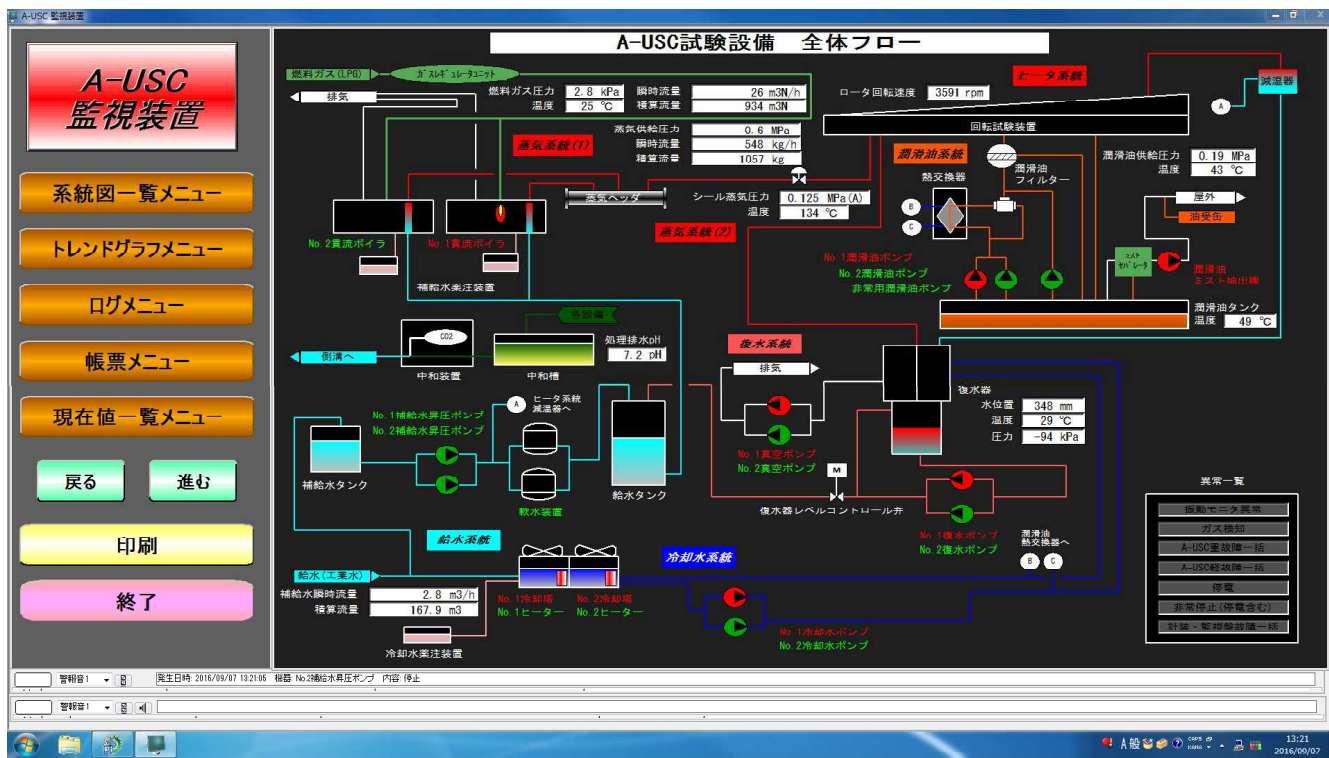
Verification Test Rotor in High Temp. Conditions

6.6.5 試験方法及び計測方法

調速段翼根部高温化により、10万時間クリープ寿命消費相当の試験を実施



6.6.5 試験方法及び計測方法



6.3.5 まとめ

700°C級タービン回転試験を行い下記を達成した。

- ✓ 回転試験用に、蒸気タービン実機大溶接ロータ(LTES700Rと既開発MTR10A(高Cr鋼))を製造し、非破壊検査を経て、信頼性高い品質であることを確認した。
- ✓ 実機大タービン動翼の製造開発及び組立を完了し、新材料(USC141、USC800)の製造確認及び既存製品同様の加工公差、組立性を確認した。
- ✓ 高速バランス及び振動特性試験を行い、良好な動特性を確認した。
- ✓ 実設計強度のクリープ寿命10万時間経過を1000時間程度で模擬する高温加速試験に着手。本試験により信頼性確保される見通しである。

参考資料 1 分科会議事録

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 議事録

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

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	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	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	梅田 健司	電気事業連合会 技術開発部 技術開発部長
委員	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
委員	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
委員	高木 節雄	九州大学 大学院工学研究院 材料工学部門 主幹教授
委員	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

<推進部署>

坂内 俊洋	NEDO 環境部 部長
在間 信之	NEDO 環境部 統括研究員
阿部 一雄	NEDO 環境部 主査
足立 啓(PM)	NEDO 環境部 主査

<実施者>

福田 雅文 (PL)	一般社団法人高効率発電システム研究所 代表理事
高橋 武雄	株式会社東芝 参事
久布白 圭司	株式会社 IHI 基盤技術研究所 材料研究部 課長代理
仙波 潤之	新日鐵住金株式会社 技術開発本部 鉄鋼研究所 鋼管研究部 上席主幹研究員
高野 哲	富士電機株式会社 川崎工場 火力タービン部 主任
齊藤 英治	三菱日立パワーシステムズ株式会社 蒸気タービン技術本部 タービン開発戦略部 主管

<評価事務局等>

加藤 知彦	NEDO 技術戦略研究センター 研究員
徳岡 麻比古	NEDO 評価部 部長
保坂 尚子	NEDO 評価部 統括主幹
原 浩昭	NEDO 評価部 主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 「事業の位置付け・必要性」「研究開発マネジメント」
「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

(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
 - 6.2 研究項目②ボイラ要素技術開発
 - 6.3 研究項目③タービン要素技術開発
 - 6.4 研究項目④高温弁要素技術開発
 - 6.5 研究項目⑤実缶試験
 - 6.6 研究項目⑥回転試験
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、分資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について
 - 評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明」、議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。
4. 評価の実施方法について
 - 評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

(1) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料6-1に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

(2) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

実施者より資料6-1に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【森永分科会長】 ありがとうございます。技術の詳細は議題6で議論します。ここでは主に事業の位置付け、必要性、マネジメントについての議論をお願いします。

【高木委員】 全体的におおむね良好にマネジメントしており、うまくいっていると思います。気になったのは回転試験が当初の計画より遅れていることです。その理由を説明して下さい。

【福田 PL】 細かな説明は議題6で行います。

【高木委員】 差し障りのない範囲で説明をお願いします。

【福田 PL】 試験体そのものではなく、試験装置の問題です。ロータを700℃に温めて回すのですが、微妙な温度分布をつけたかったのです。その温度分布がうまくつかず、苦労しています。

【岡崎委員】 CO₂の削減効果の説明が簡単でした。後でまた説明がありますか。

【福田 PL】 細かい中味は議題6の中の「研究項目①システム設計」で説明します。

【野中分科会長代理】 次期プロジェクトについて質問します。表にメンテナンス技術開発と書いてあります。最後のスライドにはプラント寿命評価技術の高度化として、例えば実機大の試験体による長期破壊試験と書いてあります。次のプロジェクトの目玉は何か、具体的に何を行うのか説明して下さい。

【福田 PL】 簡単にいうと、USC（超々臨界）でいろいろあった大径管に関して検証することが目玉です。その詳細は議題6の中の「研究項目②ボイラ要素技術開発」で説明します。その時に討論して下さい。

【野中分科会長代理】 実機実証試験の高度化というイメージになりますね。検証試験の高度化といえますか。

【福田 PL】 物なので必ず壊れます。その壊れる過程を把握することで寿命管理、それに伴うコスト低減を図るということです。

【野中分科会長代理】 わかりました。

もう一つ、NEDOに質問です。プロジェクトを経済産業省の事業として9年間行ってからNEDOの事業に変わりました。こういうスタイルをとるのは何か事情があるのですか。

【足立主査(PM)】 このA-USC（先進超々臨界圧火力発電）に限らず、これまで経済産業省直轄であった1700℃級のガスタービンや、酸素吹きIGCC（石炭ガス化複合発電）の開発などの発電技術に関する研究開発の進捗管理をNEDOに一元化して効率的に進めていきたいという思いもあって、本件に限らず、NEDOで今年度から再スタートを切って進めているという背景があります。

【近藤委員】 野中分科会長代理と同じ質問になるかもしれませんが、「実機大の試験体により長期破壊試験を行い」と書いてある試験はどのようなものですか。もう一つ、これは個人的な興味ですが、「技術流出を防ぎつつ輸出する」というのは可能ですか。

【福田 PL】 まず実機大の試験体について、この実機の大径管は長さが200mほどです。これをそのまま試験に使用できないので、径は同じにして長さを5~6mにした管を使った試験を行います。内圧をかけたり、曲げをかけたり、実機で起こる応力状況をつくり出して試験を行います。実機は30万時間動くのですが、試験を30万時間行うわけにはいきませんので、若干加速して試験を行います。

「技術の流出を防ぎつつ」というのは難しいところがあります。要はなるべく日本の企業がみずからの手で開発し、事業化していくことだと考えています。技術を売らないということです。

【森永分科会長】 ほかにいかがですか。

それでは、技術の詳細については議題 6 で説明されると思いますので、そのときに質問をお願いします。ほかにもご意見、ご質問等があるかと思いますが、次に進みます。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【森永分科会長】 議題 8「まとめ・講評」です。中澤委員から始めて、最後に私という順序で行います。それでは中澤委員、お願いします。

【中澤委員】 私は火力原子力発電技術協会にいますので、このプロジェクトの状況について時々話を聞いていました。思った以上にしっかりとデータを取得し、研究が進み、成果があがりつつあることが今日の説明でよくわかりました。

今後を考えると、どういうところにこの成果を適用し、実用化していくかが大きな課題、次のテーマになります。きょうはうまくいったと報告することが主眼でしたが、使う人の立場からすれば、どこが心配であったのか、どこがまだできていないのかもオープンにしないと不安が出ます。ぜひその辺りを意識してほしいと思います。この技術は A-USC をつくるためのものですが、得られた知見を既設の実機に部分的に適用することも考えられます。ぜひいろいろな意味で多方面に成果を発揮して下さい。

【高木委員】 皆さん頑張っています。私の想定していた以上のデータが本日提示され、十分進捗していると判断しました。

私は材料屋であることから、一番興味を持ったのは異材接合です。鉄鋼材料のオーステナイト鋼とフェライトを接合するだけでもいろいろな問題があります。Ni 基の材料と鉄の接合はまだ余り例がありません。しかも、温度を上げた状態で使うと、組織が刻々と変化する可能性があるため、接合部が経年変化でどのように変化するのか、あるいはどういう相が界面で出てくるのか、私の知る限り、まだほとんどわかっていません。また、応力を加えた状態でどのような組織変化が起き、どのような破壊形態があらわれるのか、わかっていないと思います。十分注意して、新たな成果を期待します。

進捗が遅れているという回転試験も原因はわかっています。これは後ろ向きに捉えるのではなく、「ああいうことがわかった」ととらえて、次の計画に積極的に盛り込んで下さい。計画どおり進捗することは大事ですが、先を急いで失敗するよりも、不具合を解析して、データを積み重ねていくことが大事だと思いました。

【近藤委員】 私が博士論文を書いていたころ、30 数年前は 538°C だったと思います。それが 30 年たって 200°C 近く上がったことは驚くだけです。

高木委員が言われたように、異材溶接が気になります。かなりの量のデータを取得して検討した結果、実証実験を行っているのだと思いますが、いろいろな組織を見て、どのようになっているか、調べてもらおうと興味深いと思います。

もう一つ、Laves 相が強化相にきくという話が今日ありました。私たちが学生の時は、Laves 相は有害相だと言われていたため、まだクエスチョンマークなところが私にはあります。多分強化相にきいているのだと思いますが、そういうデータも機会があれば見せてほしいと思います。

【岡崎委員】 大学にいとどうしてもアカデミックなテーマに興味注がれ、世間の動向を知る機会が少ないのですが、きょう説明された貴重なデータを見ると、私は井の中の蛙でした。そう思ったのは、例えば新しい材料の10年近くの単位のデータを取得しているだけでなく、溶接継手も入っている。しかもそれらを使って実証を行うという取り組みは、大学にいる人間にとっては大変斬新であり、一番欠けているところ。半分は反省、半分はあこがれを持って聞いていました。

世界に誇ることでできるデータであるため、1つはメンテナンスというか、保守のしやすさ、あるいは余寿命管理できるか、そういう視点があるとよいところまでいく、国として世界に誇ることでできる技術になると思いつながら、期待して聞いていました。

【梅田委員】 今回の技術開発で、経済産業省が定める次世代火力のロードマップに沿ったスケジュールでA-USCの要素技術をここまで確立したことに敬意を表します。

電気事業者としては、新電力等も交えて低炭素社会協議会を設立しました。CO₂の抑制と高効率発電に向けて取り組む中で、BAT (Best Available Technology) に入るべき要素として、この発電方式をメニューとして確立することは有意義なことであると思いつながら聞いていました。

ユーザー目線からの意見としては、きょうの発表は技術的な話が多かったのですが、経済面の評価も聞きたい。これも今後の目標、評価の中に入れる必要があると思いつました。

次ステップのプロジェクトとして保安技術開発というフェーズがあります。我々としては保守技術の開発も期待しており、ぜひとも進めてほしいと思いつます。

少しだけ話がありましたが、この要素技術を使って別のもの、たとえばGTCC (ガスタービン複合発電) のボトムへの適用という話がありました。この事業のスコープ外になると思いつますが、こういった別のプロジェクトへの発展も期待できると思いつ聞いていました。

最後に、これは事務局への意見かもしれませんが、今回プラントの実証事業について現地調査会が開催されました。これは、我々評価する立場としてはよかつたと思いつています。現地を見た上で評価を行うことはよいことですので、これからもよろしくお願ひします。

【野中分科会長代理】 私はこのプロジェクトを立ち上げる際、国のプロジェクトとして採用されていなかった時、企業の方々努力されていた時のメンバーでした。その後、プロジェクトに採用されて私は東北大に移りました。きょうはその後どういふ成果が出たかがわかりやすく説明され、勉強になりました。

全体を通じて2008年の目標をほぼ達成しているという印象です。ただ、研究のための研究ではなく、実用化することを考えた場合、まだいくつか課題があります。そういう意味で次期プロジェクトが大変重要になると私自身は考えています。

個々の評価については、例えば事業の位置付けや必要性は環境問題があるので、このプロジェクトが重要であることは言うに及びません。IGCCとの差別化に苦勞していますが、経済性を含めて経年プラントのリプレースをベースに考えているのはよい観点です。より現実的な、説得性のある必要性の説明になると思いつました。

ボイラの要素技術は、Ni基の材料は750°C辺りではそれ程問題は起きないと思いつます。株式会社IHIの久布白課長代理の説明でも特に問題ないということでした。しかし、何が隠れているかわかりません。通常、Ni基は、もっと高い温度で使う場合は時効して使います。加工性の話があり、時効せずに使い、実機の運転中に時効されていくということでしたので、ある意味だんだん材料が強くなると考えてもよいのですが、それがマイナスになる可能性もあります。脆化や、長時間たつて強過ぎる面がマイナスになる可能性もあると思いつますので、検討してほしいと思いつます。

タービンは、溶接、ロータに説明が集中しました。基本的には回転試験が成功すれば問題ないと思いつます。そういう意味では回転試験が重要。運転試験が遅れた原因を究明し、これから運転するとい

うことなので、結果を待ちたいと思います。説明時間が短かったために、ボイラに比べて回転試験にいく前の基礎データの説明が少なかったと思います。多分基礎データはたくさん取得していると思うので、説明してもらおうとよかったと思います。

ボイラの実缶テストは実機の温度で行っています。1万時間では、ほとんど材料は損傷しないと思います。検査しても、損傷がなかったことの確認で終わると思います。実際に選んだ材料をメーカーがつくって形にし、それを1万時間問題なく運転できたことに価値があるので、実缶試験で何も起こらずに済んだことは大変よかったと思います。

次のプロジェクトの計画がまだ決定していないという話でしたが、やはり重要です。例えば、実機の配管のモックアップ試験を行う。主に損傷の検査手法、メンテナンス手法を得る、その辺りは従来の高Cr鋼などの材料でも同じアプローチをしてきたことから、それでよいと思います。ただ、Ni基を実機に使用した経験はありません。基礎的な検討、基礎データベースをつくった。これからの運用をどうするか質問したときに、起動停止の回数がふえる運用も目指したいとのことでした。繰り返しによる負荷変動、金属材料は素材的に言うと金属疲労という話が出てきます。久布白課長代理は、クリープ疲労試験も行うといわれました。クリープと疲労が重畳した場合、従来のボイラでは問題にならなかったことが起こる可能性があります。どうやってそれを調べるかが問題であり、調べることができるようにすることが課題です。

実缶試験で、タービンの弁に漏れが発生するトラブルがありました。ちょっとした温度の振れということもありますし、Ni基の場合は熱伸びと同時に厚肉部の熱応力が弁を含めていろいろ問題を起こします。その辺りも起動停止の回数がふえれば問題になると思いますので、そういう変動負荷を想定するならば、次期プロジェクトで基礎的なことを調べる必要があります。

もう一つ、クリープ疲労の研究者に聞くと、従来のボイラはクリープをベースにした許容応力だけで設計しているが、熱伸びが大きいし、熱応力も大きいので、金属疲労を考慮した設計が必要です。話が複雑に聞こえますが、許容応力をベースにして、疲労も取り入れた、より簡単な評価法をつくる必要が出てくる可能性もあります。設計も何か考慮する必要があると思います。基礎データも取得したので、強度評価というか、設計法も次期プロジェクトに入れると、実際のプラントをつくる上でより現実的な話になると思います。

その辺りに気がつきましたので、次期プロジェクトの重要性を含めて参考にしてほしいと思います。

【森永分科会長】 私は、このプロジェクト自体は大変うまくいっており、よかったと思います。いろいろな企業の方々プロジェクトを組んで仕事することはすばらしいと思います。

このプロジェクトはA-USCのプラントをつくるにはどうあるべきかという態度で取り組まれた。大変わかりやすいし、おもしろい研究で、こういうシステムづくりの研究はこのように行うということがよくわかりました。大牟田での実缶試験も、こういうものを組み入れること自体難しいとは思っていたのですが、試験装置として実地に組み入れたことはすばらしいと思いました。日本のこの研究分野には底力があるというのが私の受けた印象です。

細かな問題はこれから解決していけばよいので、この新システムを形にしてほしい、それが私の希望です。このグループができなければ日本ではできないと思います。皆さん、ぜひ頑張っ形にしてほしい。10年後にはこれが形になっている、そのような働きをお願いします。それが私の希望です。

それでは、推進部長及びプロジェクトリーダーから一言お願いします。

【坂内部長】 本日は、長時間、示唆に富むご審議をいただき、ありがとうございます。森永分科会長以下皆様に、この事業で得た成果をどう先につなげていくか、実践的なご意見をいただきました。材料の問題や保守技術の問題、これは実用のみならず、その先の普及に向けて重要な要素です。NEDOがいかに役割を分担できるか見極めながら、関係者と戦略を練っていきたいと考えています。

この事業は、福田 PL のご尽力もあり、回転試験が一部まだ途中段階ですが、おおむね成功裏に終わるであろうという状況です。きょう提示されたさまざまな技術的な意見も踏まえながら、有終の美と
いいですか、事業の成功に、最後の仕上げに努めていきたいと考えています。

【福田 PL】 このプロジェクトを始めたときに「9 年間です」と言われて驚いたのですが、取り組んでみるとあっという間に 9 年間に過ぎ、今ここにいます。その間、いろいろな問題が起こり、解決してきました。きょうも話がありましたが、回転試験でもいろいろな問題が起きました。そういう一つ一つをプロジェクトのメンバーが協力して解決し、何とかここまで来たというのが実態です。

きょうご説明したように、当初の我々の目標はほぼ達成しつつあると実感しています。このシステムで、現実の世界で使うことのできるものを早く世に出したい。それに向かって次期プロジェクトをぜひ進めさせてほしいと今思っています。

【森永分科会長】 以上で議題 8 を終了いたします。

9. 今後の予定、その他

10. 閉会

配布資料

資料1	研究評価委員会分科会の設置について
資料2	研究評価委員会分科会の公開について
資料3	研究評価委員会分科会における秘密情報と守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料4-1	NEDOにおける研究評価について
資料4-2	評価項目・評価基準
資料4-3	評点法の実施について
資料4-4	評価コメント及び評点票
資料4-5	評価報告書の構成について
資料5	事業原簿（公開）
資料6-1	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料6-2-1	プロジェクトの詳細説明資料（研究項目①システム設計：MHPS）（公開）
資料6-2-2	プロジェクトの詳細説明資料（研究項目②ボイラ要素技術開発：（IHI / MHPS） & 新日鐵住金）（公開）
資料6-2-3	プロジェクトの詳細説明資料（研究項目③タービン要素技術開発：東芝 / MHPS）（公開）
資料6-2-4	プロジェクトの詳細説明資料（研究項目④高温弁要素技術開発：富士電機）（公開）
資料6-2-5	プロジェクトの詳細説明資料（研究項目⑤実缶試験：MHPS / IHI）（公開）
資料6-2-6	プロジェクトの詳細説明資料（研究項目⑥回転試験：MHPS / 東芝）（公開）
資料7	今後の予定
参考資料1	NEDO 技術委員・技術委員会等規程
参考資料2	技術評価実施規程

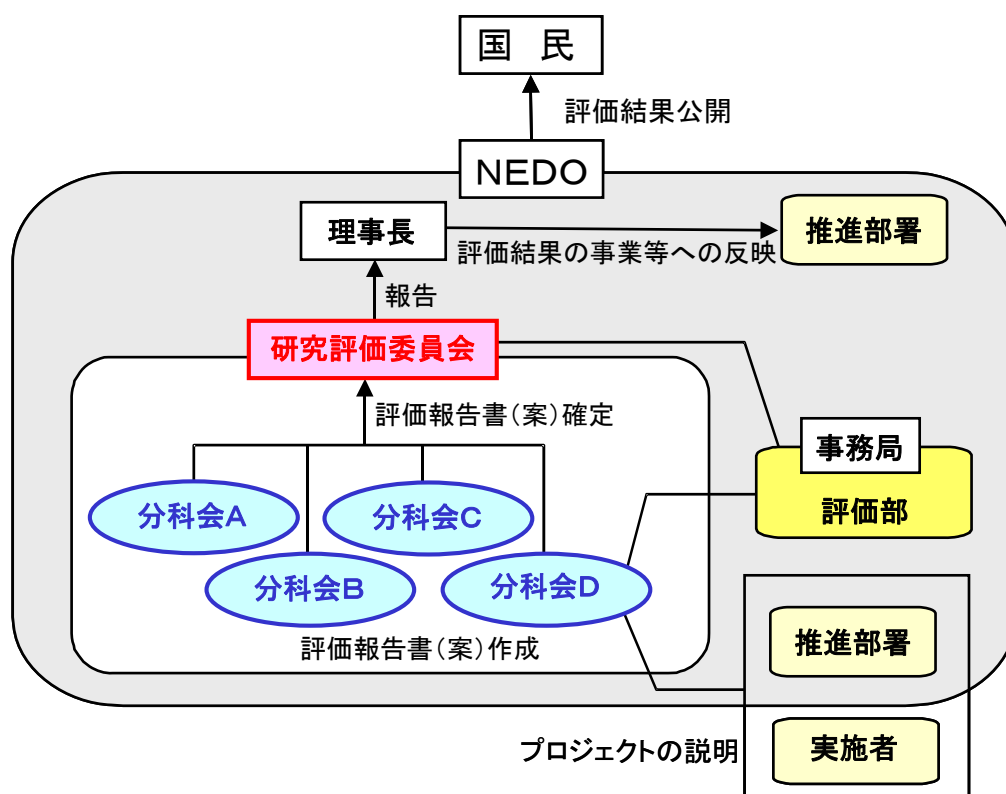
以上

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「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」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取り組みや見通し等を評価した。

「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)に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされた事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 開発スケジュール（実績）及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）は妥当であったか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱い（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）を整備し、かつ適切に運用したか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及する取り組みを実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取り組み

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行ったか。

4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用（顧客への提供等）が開始されることをいう。

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取り組み

- ・ 実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けての見通し及び取り組みについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・特定の施策・制度の下で実施する「プロジェクト」の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)か。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、企業の取り組みに貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・研究管理法人がある場合、研究管理法人の役割は必要・明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及する取り組みを実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取り組み

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- ・実用化・事業化に取り組む者の検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しはあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取り組み

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取り組み

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準についての利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料3 評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<ul style="list-style-type: none"> ・次ステップに進むにあたり本研究の実施者に加え国及び発電事業者間で共通認識を持つ必要がある（開発の方向性、運用パターン、経済性等）。 ・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。 ・回転試験については、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。 ・各パーツの要素技術が出揃ったので、次のステップではさらなる信頼性向上のため長時間の試験を行うことが必要と思われる。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・次ステップにおいて、技術検討委員会等の発電事業者等のユーザー及び外部有識者等の意見を適切に反映し、開発を進める。また、平成28年6月に官民で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」で国と開発の方向性等に関して整合を取っており、基本計画へ記載済。 ・海外の研究開発動向を注視しながら、得られた知見については適宜知財化を行うよう助成先へ指導する。 ・長時間耐久性試験及び破壊モードについては、次期プロジェクトの中でタービンロータ溶接部長時間健全性評価を実施する。 ・高温かつ長時間の運転に耐えうる材料開発のため、材料の信頼性向上技術開発を行う。とりわけ、次期プロジェクトの技術開発では長時間高温環境下でのクリープ疲労試験を実施する。 ・次期プロジェクトの実施プロセスについて、発電事業者等のユーザー及び外部有識者等の意見を適切に反映し、開発を進める。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部
部長 徳岡 麻比古
統括主幹 保坂 尚子
担当 原 浩昭

*研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地
ミューザ川崎セントラルタワー20F
TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162