

「もんじゅ」における研究開発計画の評価について

高速増殖原型炉もんじゅ（定格出力 28.0 万 kW）は、平成 21 年度内の性能試験（試運転）再開を目指し、安全第一で性能試験前準備・点検を実施しています。

「もんじゅ」の性能試験や本格運転を通じて実施する研究開発は、高速増殖炉の実用化に向けた研究開発において必須のものです。なお、機構が行う研究開発を実施するにあたって、機構は「国の研究開発評価に関する大綱的指針（平成 17 年 3 月 29 日、内閣総理大臣決定）」などにに基づき評価を行い、その研究開発を効果的・効率的に推進していくこと等が必要とされています。

今般、性能試験の開始に向けて取りまとめた「もんじゅ」における研究開発計画について、開始直前にある研究開発計画を対象とする評価（事前評価）を行い、技術的に十分検討されたものであることなどの評価結果及び評価結果に対する機構の措置がまとまりましたのでお知らせします。

今後は、本研究開発計画に従い、「もんじゅ」の性能試験、本格運転等を通じた運転データを活用し、高速増殖炉実用化に向けた研究開発を進めてまいります。

評価の概要、評価対象とした「もんじゅ」における研究開発計画の概要等について、以下に示します。

評価は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」などにに基づき、原子力機構が設置している外部の有識者からなる評価委員会（次世代原子力システム/核燃料サイクル研究開発・評価委員会（委員長；京都大学原子炉実験所 森山裕丈 所長））において、「もんじゅ」における研究開発計画に係るプロジェクトレビュー（技術的評価）及び研究開発体制等に係るマネジメントレビュー（大局的評価）を行っていただきました。

研究開発計画の評価の結果、「もんじゅ」の使命を達成するために、長期にわたる研究開発の進め方など技術的に十分検討されたものであること、その取り組みのための研究開発体制等の枠組みは準備されているとの答申を受けました。答申と合わせて評価委員会より、今後のプロジェクト遂行にあたって機構のマネジメントが確実に機能するよう留意すべき事項の指摘を受け、それに対する

機構の措置を取りまとめました。

「もんじゅ」における研究開発は、「もんじゅ」を最大限に活用し、「発電プラントとしての信頼性の実証」、「運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立」及び「研究開発の場としての活用・利用」という達成目標を満足するため、性能試験（試運転）や本格運転などの段階に応じて実施することとし、「もんじゅ」性能試験計画（試験項目、試験内容）をまとめ、運転保守経験を活用して行う保全技術開発などを新たに加える等して、以下の研究開発計画をまとめました。

1. 発電プラントとしての信頼性実証

性能試験や本格運転を通じて得られる「もんじゅ」運転データから個々の機器はもとより「もんじゅ」プラント全体の設計技術を検証し、さらに検証された設計技術を実用化に向けて高度化する。

2. 運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立

発電機能を有する「もんじゅ」の運転・保守経験を通じて、ナトリウム管理技術、検査技術等のナトリウム取扱技術を確立し、かつ高速増殖炉実用化への共通的な設計技術を検証する。

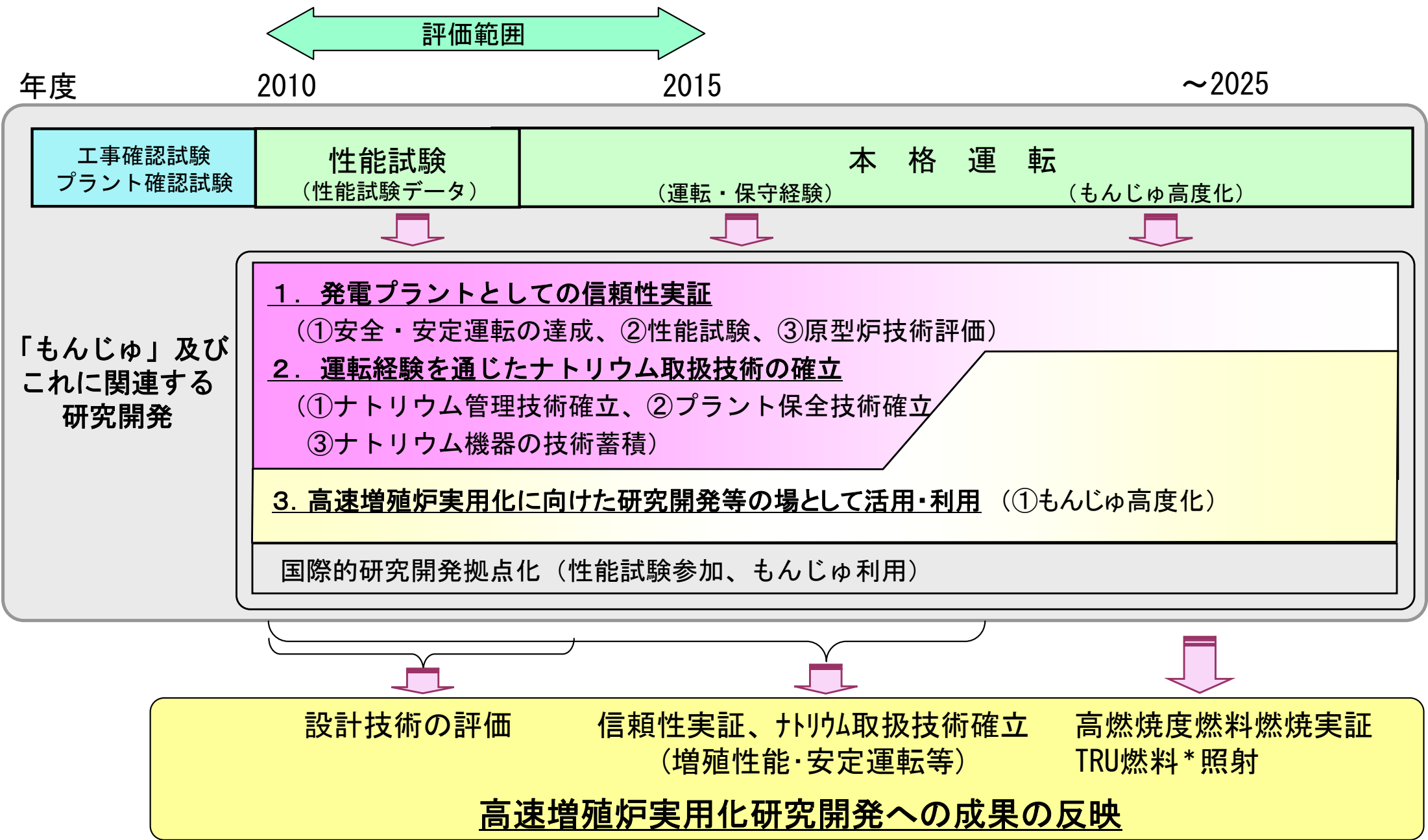
3. 高速増殖炉実用化に向けた研究開発等の場として活用・利用

「もんじゅ」が実用炉で要求される高い照射量や大型燃料集合体の照射が可能である等の特長を活用し、炉心・燃料に係る高度化技術を実証する。

また、「もんじゅ」の研究開発は長期にわたるため、本研究開発計画では所期の目的を達成する約10年間程度を中心に研究開発計画をまとめ、順次成果を発信するとともに、2015年を目途に中間的な成果のとりまとめを行うこととしました。

性能試験期間については、事前評価により性能試験計画の内容（試験項目、試験内容等）及び試験期間中に行う設備点検及び排気ダクト交換工事の内容・工程を考慮し、約3年としました。

以　上



※原子番号がウラン(原子番号92)よりも大きい元素を超ウラン元素(TRU:transuranic elements)と呼ぶ。TRUにはプルトニウム(同94)のほか、ネプツニウム(同93)、アメリシウム(同95)、キュリウム(同96)といったマイナーアクチニド(MA)等が含まれる。そこで、MAを含有した燃料をTRU燃料と呼ぶ。

(参考)高速増殖炉の意義と「もんじゅ」の役割

(1) 高速増殖炉実用化に向けた原型炉としての役割

「もんじゅ」は実証炉・実用炉の設計、運転保守に不可欠

- 発電プラントとしての信頼性実証
- 運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立
- 高速増殖炉実用化に向けた研究開発等の場としての活用・利用(炉心・燃料に係る高度化技術実証)

(2) 高速増殖炉の国際協力における役割

「もんじゅ」を用いた先導的国際プロジェクト

- 例:「もんじゅ」を利用した「包括的アクチニドサイクル国際実証」プロジェクト※

※日仏米共同研究(実施中)

(3) 高速増殖炉研究開発の中核としての役割(立地地域への貢献)

「もんじゅ」及び周辺地域を国際的な研究開発の中核として整備

- 海外・国内研究機関、地域企業等と連携して研究開発を推進

高速増殖炉発電所の
国内技術の確立



「もんじゅ」

運転・保守経験

実証炉

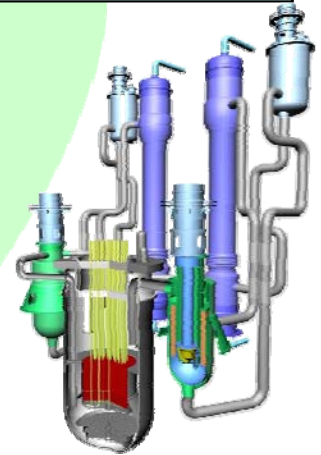
2025年頃の実現

経済性を含む革新的技術の実証
高い稼働率の運転

商業炉(実用炉)

2050年より前の開発

高い経済性
安定運転



研究開発

実用化研究開発
(FaCTプロジェクト)

革新的な技術の研究開発

高速増殖炉の意義:

- ・発電しながら消費した以上の燃料を生産
⇒ エネルギー安定供給に大きく貢献
- ・放射性廃棄物中のマイナーアクチニドを燃料として再利用
⇒ 環境負荷を低減
- ・長期かつ持続的に温室効果ガス排出が十分小さい発電が可能
⇒ 温暖化抑制

高速増殖炉は次世代発電炉の本命

1. ① 安定・安全運転の達成

- 原子炉の起動・停止、定格出力による連続定常運転を行うことにより、プラント運転、発電性能を発揮できることを示す。
- 運転経験を通じて、高速増殖炉発電プラントの運転管理について、規則（保安規定、運転手順書）、基準等の体系化を図る。
- 機器を適切な時期・方法で保守する「保全プログラム」を作成し、故障やトラブル等の保全データベースを充実し、保全活動の改善を進める。
- 実証炉計画を支援するため、「もんじゅ」が安全・安定運転の実績を積むことが重要。

ナトリウム炉の
運転・保守管理
体系化、基準化

実証炉以降の
運転・保守管理
のベース

保安規定（運転管理）

- ・運転計画
- ・運転員の確保
- ・巡視点検
- ・運転手順書の作成
- ・運転条件
- ・反応度測定検査
- ・ナトリウム純度管理
- ・運転上の制限

運転経験を反映して
改正していく。

運転手順書類

- ・通常の運転
- ・故障やプラント異常時
- ・アクシデントマネジメント

運転経験を反映して
改善・拡充していく。

運転手順書全体写真



運転経験

1. ② 性能試験

性能試験計画の基本方針

- (1) 燃料及びプラント設備機器が長期保管状態にあることを踏まえ、段階的に試験を実施して、試験の結果から抽出される課題の対応を可能とする。
- (2) また、段階的試験実施を通じて、運転員及び保守員の技術習熟を図る。
- (3) 法令に沿った性能確認、設計の妥当性評価、実用化研究開発へのデータ反映など、「もんじゅ」の特徴と役割を考慮する。

性能試験実施内容

- (1) 性能試験は炉心・遮へい試験及びプラント特性試験から構成し、炉心確認試験、40%出力プラント確認試験、出力上昇試験の3段階で実施する。
- (2) 炉心・遮へい試験では、臨界から定格出力までの炉心・遮へい特性の確認、すなわち、制御棒価値の測定(過剰反応度、反応度停止余裕等)、反応度係数の測定、中性子及び γ 線量の測定を行い、当該データを取得するとともに、実際の炉心特性が設計の範囲内にあることを確認する。
- (3) プラント特性試験では、1次主冷却系等の系統運転特性、タービントリップ等の異常模擬運転特性、中性子検出器及び水漏えい検出器等の計測制御特性、並びにナトリウム純度及びアルゴンガス純度等の化学分析評価を行い、当該データを取得するとともに、実際のプラント特性が設計の範囲内にあることを確認する。
- (4) また、これら取得したデータを集約してデータベースを構築する。

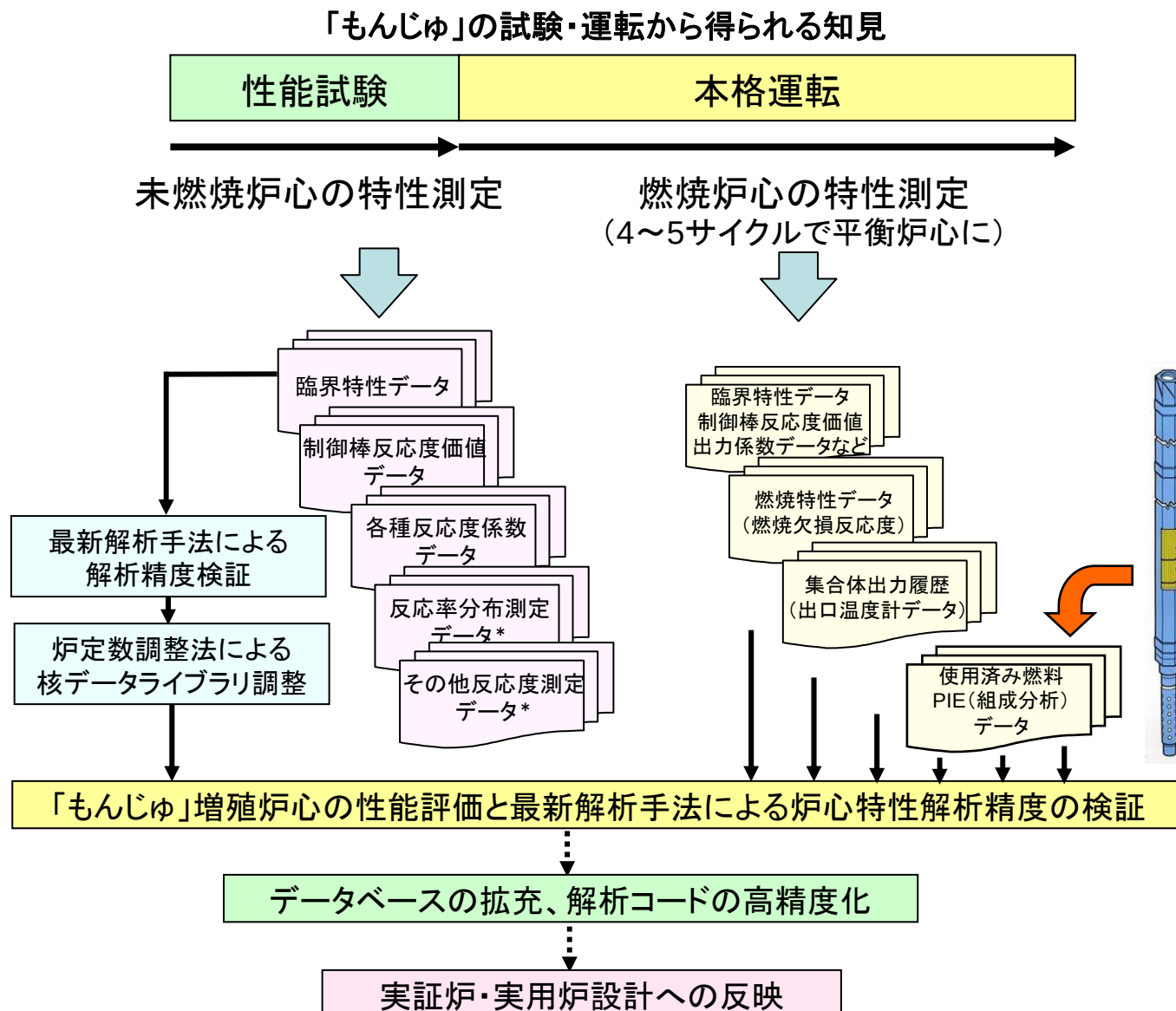
1. ③ 原型炉技術評価(炉心・しゃへい特性)

高速増殖原型炉の性能試験、本格運転で取得したデータに基づき、原型炉を建設した結果の技術評価を行う。

- ・「前回の性能試験」
- ・Amの蓄積量が多い「今回の性能試験」
- ・「本格運転時」

様々な炉心条件で、取得したデータ

設計手法(データ、コード)の精度、妥当性を検証するとともに、設計余裕の合理化を検討し実証炉・実用炉設計に反映する。

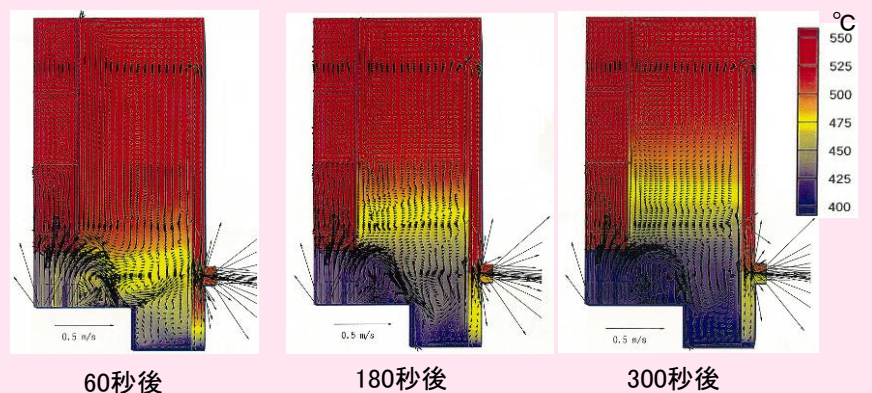


1. ③ 原型炉技術評価(プラント特性)

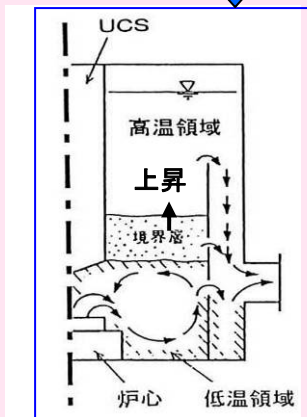
★詳細熱流動解析手法を用いた最適動特性解析モデルの構築

(1) 原子炉容器(RV)上部プレナム詳細熱流動解析

<< 上部プレナム熱流動解析結果 >>

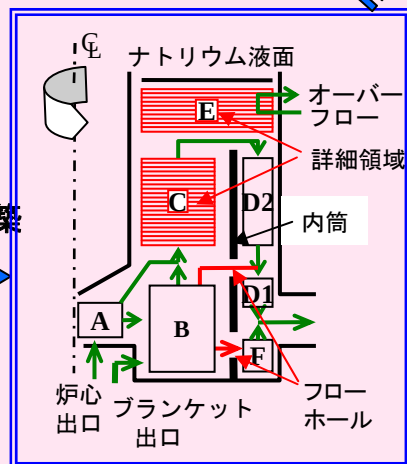


流速分布・
温度分布
把握



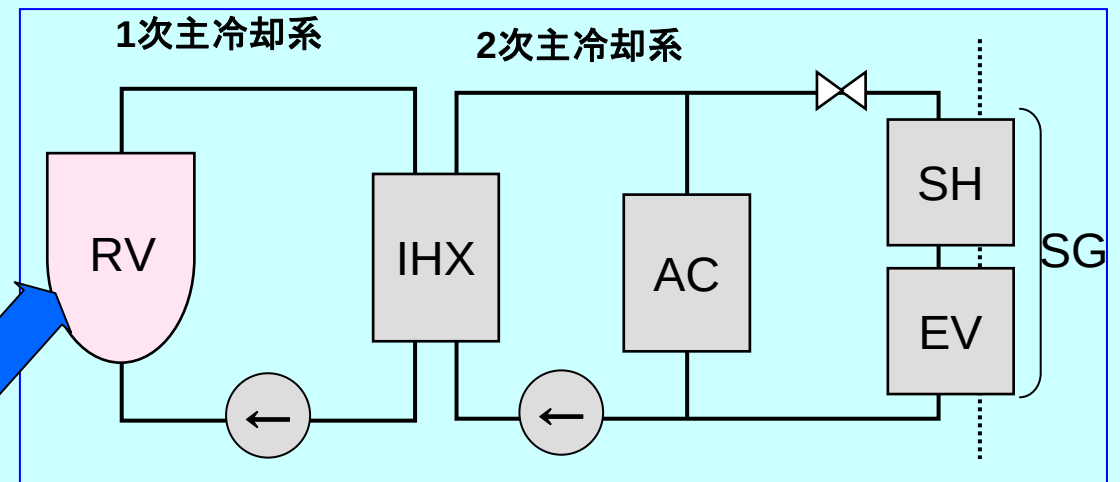
プラント全系動特性
解析モデルに組み込み

FNM構築



(2) 詳細熱流動解析結果からフローネットワークモデル(FNM)の構築

<< プラント全系動特性解析モデル >>



(3) その他主要機器のFNMの構築

・IHX, AC, SG (EV, SH)についても、詳細熱流動解析を実施しFNMを構築

(4) プラント全系動特性解析

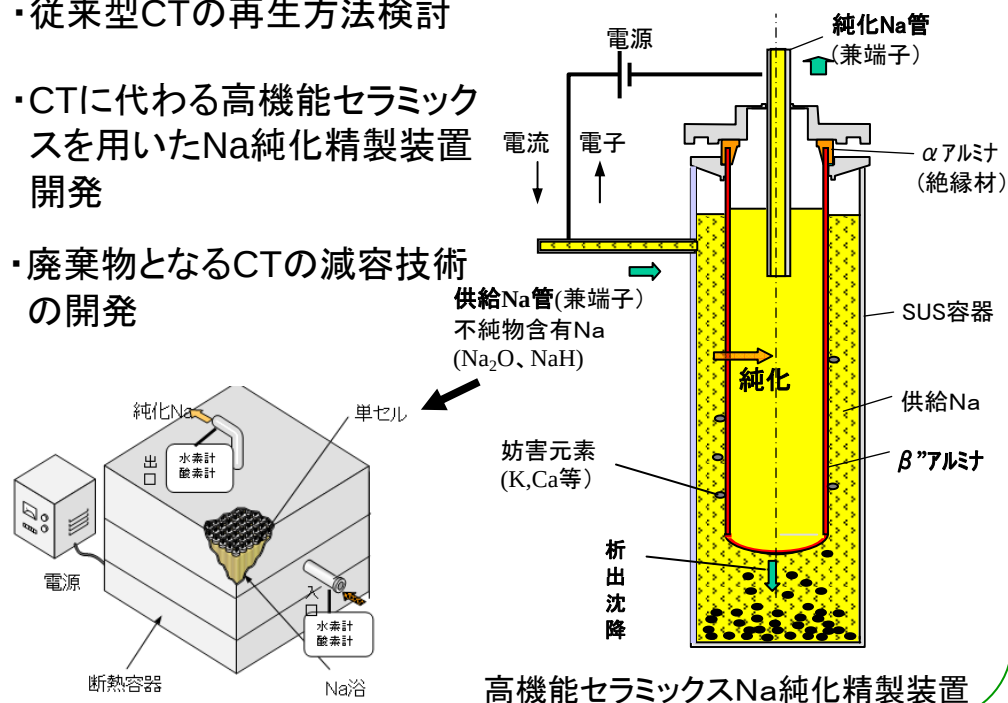
・構築したFNMを用いて、プラント全系の動特性解析を実施。
・「もんじゅ」性能試験により検証(主要機器の出入口温度変化・流量化)。

●原型炉と異なる仕様の将来炉に対して、精度の高いプラント動特性評価が可能となる。

2. ① ナトリウム管理技術の確立

ナトリウム純度管理、腐食生成物挙動のデータ取得

- ・系統昇温や燃料交換に伴う不純物持込量評価
- ・コールドトラップ(CT)による不純物捕獲負荷評価のためのCT純化効率(η)評価
- ・Na純度管理基準値評価のためのプラグング計によるプラグング温度(純度)測定およびサンプリング・不純物分析方法の妥当性評価
- ・従来型CTの再生方法検討
- ・CTに代わる高性能セラミックスを用いたNa純化精製装置開発
- ・廃棄物となるCTの減容技術の開発

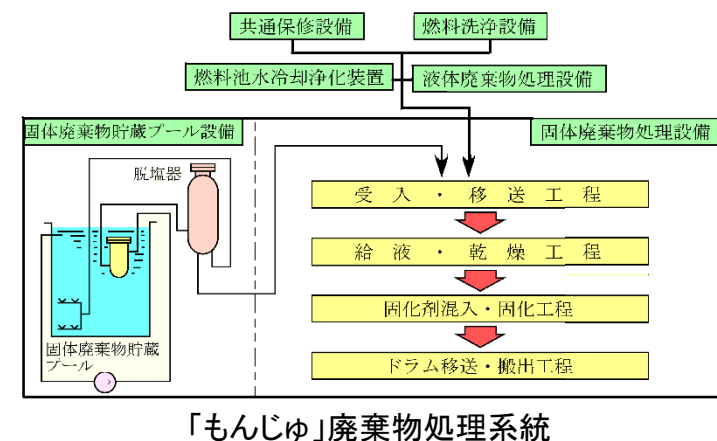


大型機器、燃料集合体等の洗浄データ等の蓄積

- ・CPを含んだ照射済燃料集合体洗浄廃液の減容固化技術評価
- ・大型ナトリウム機器等の洗浄処理技術評価
- ・点検、保守・補修に伴うナトリウム機器の開放・取り出し等の取扱い方法検討
- ・洗浄系の系統除染の必要性検討
- ・定期検査への適用

これらの研究をもとに

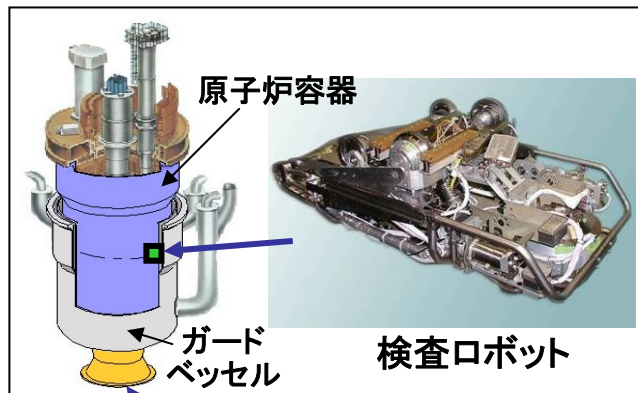
- ・実証炉以降の大型ナトリウム機器等洗浄処理技術の開発



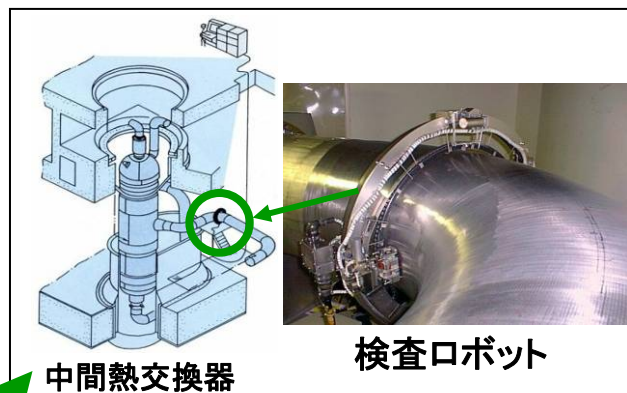
2. ② プラント保全技術の確立

「もんじゅ」の原子炉容器、1次主冷却系配管および蒸気発生器伝熱管のISI(供用期間中検査)技術について、第1回定期検査までにISI装置の整備を終了した上で、保全プログラムに従い「もんじゅ」に適用し、高温・高放射線環境などを特徴とする高速炉機器のISI技術を実証する。

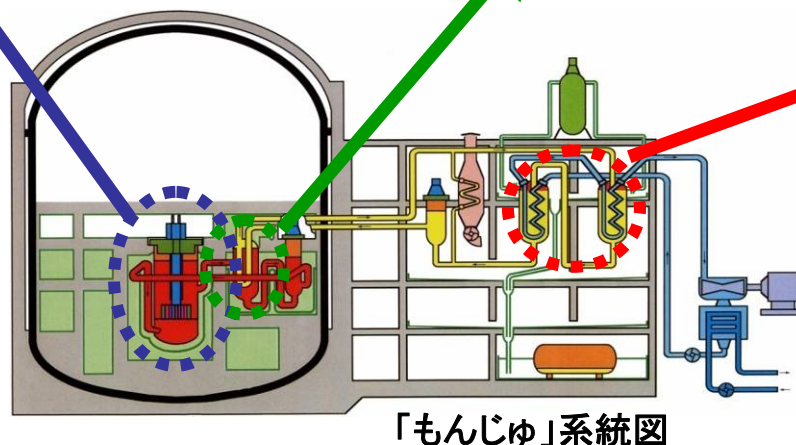
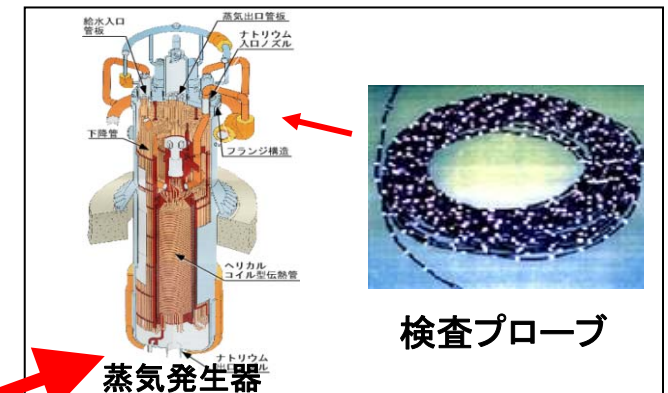
原子炉容器廻り検査装置



1次主冷却系配管検査装置



蒸気発生器伝熱管検査装置



実機適用し検査システムとしての性能を実証

- ・検査性能向上(微小欠陥の検出性、定量評価)
- ・信頼性、取扱性の向上
- ・検査期間短縮、コスト削減

2. ③ ナトリウム機器の技術評価

1. 安全・合理的なナトリウム機器の保全計画の作成、運用技術
 - プラントの機能維持、安全性確保のための重要度情報
 - 機器、系統の劣化現象の定量的データ
 - 保全計画のPDCAサイクルを通じた改善（合理化）の履歴
2. 設計に基づいてプラントの特性を評価する技術（許認可対応の安全性評価を含む）
炉心、プラントや系統の想定条件下での挙動の、設計データと解析コードによる模擬
 - 機器故障率データ
 - 設計情報データ群（設計根拠書、設置許可申請書、各種技術検討書、等）
 - 解析コードライブラリ
 - 解析例データベース（入力データ、解析結果、検証結果）
3. プラント・機器の設計技術
過去の設計情報の新たな設計案への反映
4. 共通データ
 - 「便覧」機能・各種物性値、基準、規格、規定、等
5. プラントの技術情報を総合するデータベース構築技術（1～4を総合）
「もんじゅ」プロジェクトの成果のパッケージ化

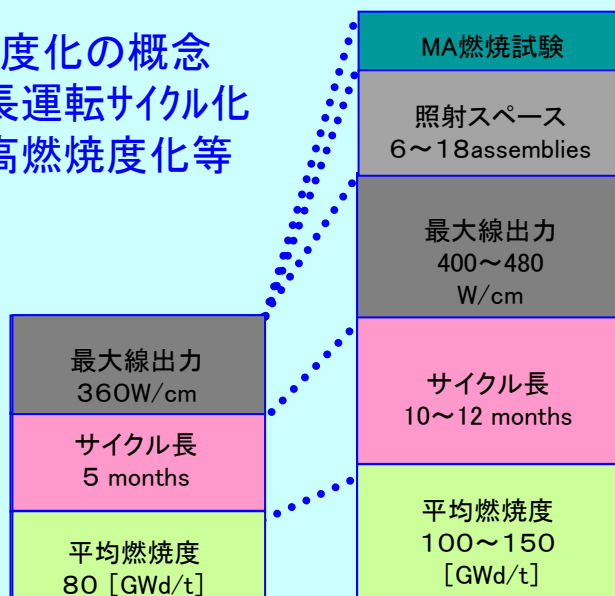
3. ① もんじゅ高度化

○炉心性能の向上

- ・燃料・炉心性能高度化実証
- ・実証炉・実用炉で採用する燃料を「もんじゅ」を用いて工学規模で照射
- ・段階的な炉心高度化について燃料供給計画も含めて検討する予定。

高度化の概念

- ・長運転サイクル化
- ・高燃焼度化等



低燃→高燃炉心

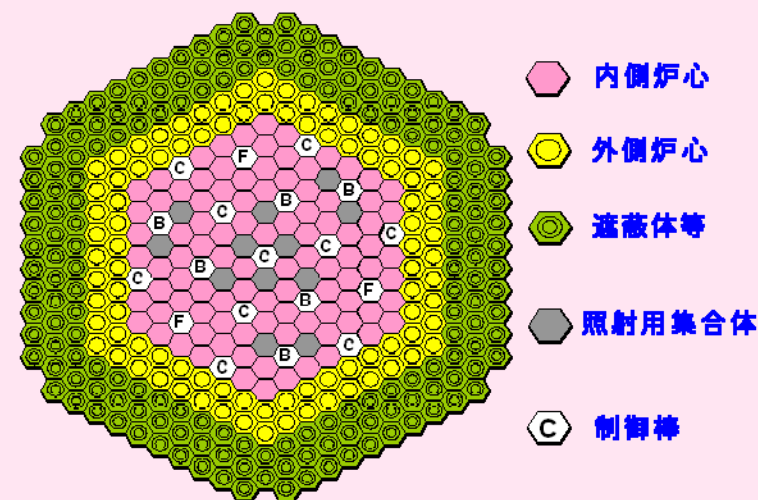
高度化炉心

○高速中性子場としての活用（照射能力を活かす研究開発）

【「もんじゅ」を利用した「包括的アクチニドサイクル国際実証」プロジェクト】

高速増殖炉の実用炉用燃料として有力なマイナーアクチニド（MA）含有燃料（TRU燃料とも言う）を、「もんじゅ」及び「常陽」を利用して照射

- ・高速増殖炉で燃焼させることによりMA全量リサイクルの可能性を示す
- ・3ステップで段階的に実施
- ・第4世代国際原子力システムフォーラム（GIF）／ナトリウム冷却高速炉プロジェクトの一つ

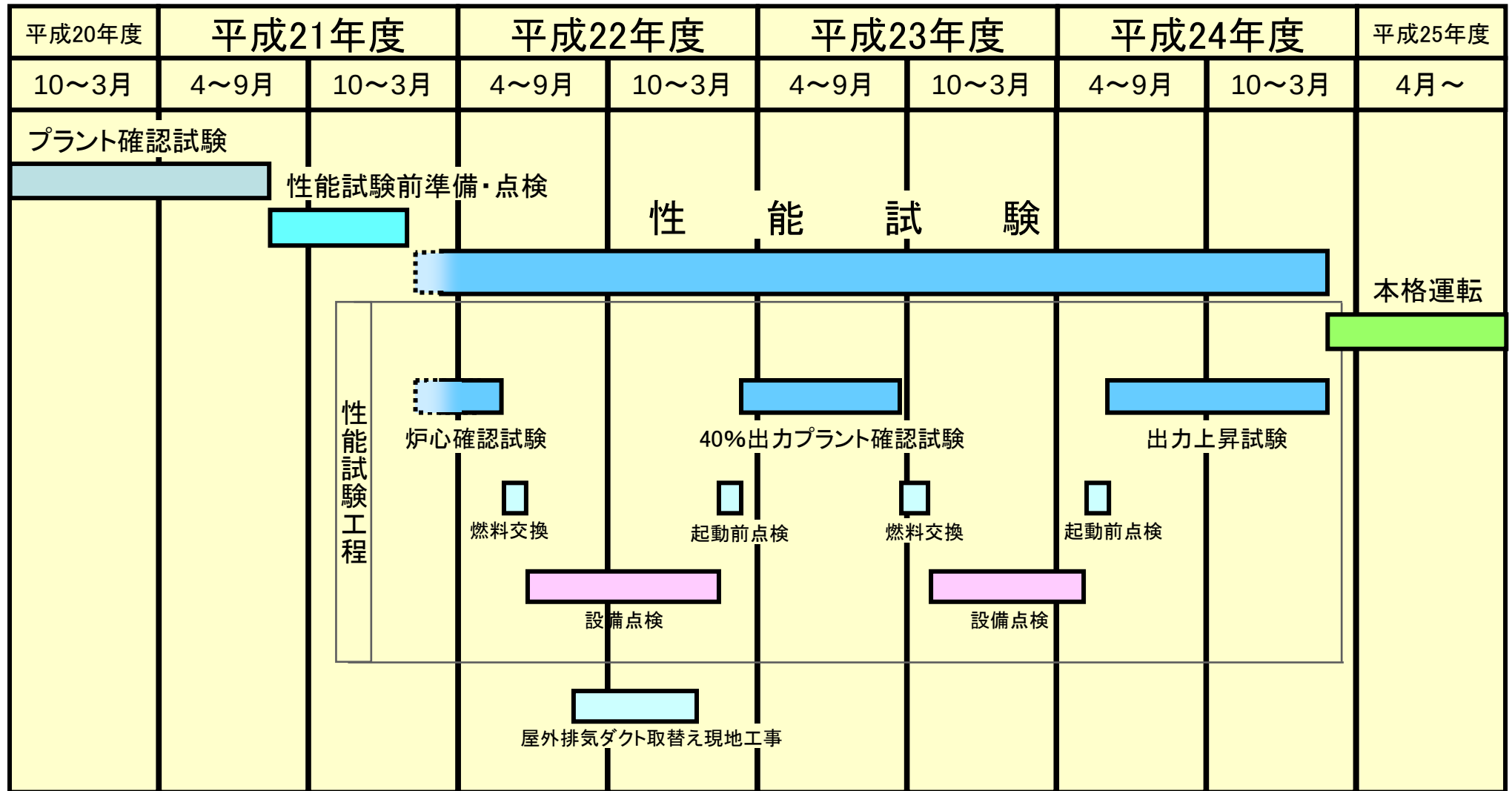


「もんじゅ」高度化炉心配置図（例）

炉心確認試験（試験項目数：約 20*）		
目 的	概 要	実用化技術への成果反映
・長期停止したプラントの炉心状態確認を行う。 ・燃料中のPuが壊変し生成したAmを比較的多く含有する実炉心での物理データを取得し、将来FBRの研究開発に活用する。	・原子炉を臨界状態にして、Amを含有する炉心の制御棒価値、温度係数などの物理データを測定し、炉心の特性を確認する。	・Amを含有する炉心データに基づく設計手法を検証し、実用化プラントの炉心設計への適用を図る。
40%出力プラント確認試験（試験項目数：約 90*）		
目 的	概 要	実用化技術への成果反映
・長期保管状態であり、かつ設備改造後である水・蒸気、タービン系統について、プラント全系統の機能確認・性能確認を、40%出力までの運転状態で実施する。 ・水・蒸気、タービン系を含めた全系統の起動を通じてプラント運転保守の習熟を行う。	・今後製造する新燃料を加えた炉心で、40%出力までの運転状態での試験を実施する。 ・核加熱による水・蒸気タービン系の動作試験を行いながらプラント出力を40%とし、プラント全系統の性能を確認する。 ・水・蒸気タービン系を含めた全系統の起動を通じてプラント運転保守技術の習熟を行う。 ・Amを含有する炉心の燃焼特性などの物理データを測定し、炉心の特性を確認する。 ・確認試験に基づき、引き続いて行う出力上昇試験が実施できることを評価・確認する。	・Amを含有する炉心データに基づく設計手法を検証し、実用化プラントの炉心設計への適用を図る。 ・FBR設計手法を検証し、実用化プラントの設計でのプラント運転制御性や安全評価等における最適化に反映。 ・得られた設計評価上の知見（余裕係数の考え方等）を実用炉設計手法高度化へ反映。
出力上昇試験（試験項目数：約 110*）		
目 的	概 要	実用化技術への成果反映
・本格運転に向けた出力上昇及び100%出力時におけるプラント性能を確認するための試験を行う。 ・水・蒸気、タービン系を含めた全系統の起動を通じてプラント運転保守の習熟を行う。	・100%出力運転のための炉心構成を行い、臨界試験後、40%、75%、100%として炉心特性、プラント特性データを取得する。 ・水・蒸気、タービン系を含めた全系統の起動を通じてプラント運転保守の習熟を行う。	・FBR設計手法を検証し、実用化プラント設計でのプラント運転制御性や安全評価等における最適化に反映。 ・得られた設計評価上の知見（余裕係数の考え方等）を実用炉設計手法高度化へ反映。

*：複数の試験段階で実施する試験項目がある。

(参考) 性能試験 工程



* 1 試運転再開(性能試験再開)は、地元のご理解を得て進めてまいります。

「もんじゅ」における研究開発計画の事前評価 及び評価結果に対する機構の措置の概要

I. 概要

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、「機構」という。)は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成17 年3 月29 日内閣総理大臣決定)及び「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」(平成17 年9 月26 日文部科学大臣決定)、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」(平成17 年10 月1 日制定、平成18 年1 月1 日改訂)等に基づき、「高速増殖原型炉『もんじゅ』における研究開発及びこれに関連する研究開発」に関する事前評価を、次世代原子力システム／核燃料サイクル研究開発・評価委員会(以下、「研究開発・評価委員会」という。)に諮問しました(平成20年11月7日)。

これを受けて、研究開発・評価委員会では、本課題に係る2015年度までの研究開発計画に係るプロジェクトレビュー(技術的評価)、研究開発の体制等に係るマネージメントレビュー(大局的評価)を実施しました。

そして本研究開発・評価委員会は、機構が実施している「もんじゅ」を活用しての研究開発計画の技術的検討や、研究開発を実施するための体制や組織の整備状況を把握した上で、機構に対して今後の研究開発の進め方や、研究開発体制等に関する評価(答申)を行うとともに、あわせて、今後のプロジェクト遂行にあたって機構のマネージメントが確実に機能するよう、いくつかの留意すべき事項を指摘しました。

機構は、研究開発・評価委員会からの指摘事項を受け、今後の研究開発の進め方等へ反映すべく、措置を検討し取りまとめました。

今後、評価結果(答申内容)と指摘事項に対する措置に留意して、「もんじゅ」における研究開発を進めます。

II. 次世代原子力システム／核燃料サイクル研究開発・評価委員会での審議

機構では、機構における研究開発課題の評価を実施するとともに、研究開発に関する事項について討議するため、平成 18 年 1 月に「次世代原子力システム／核燃料サイクル研究開発・評価委員会」を設置しました。

○委員会の審議対象研究開発課題

- ・「高速増殖原型炉『もんじゅ』における研究開発及びこれに関連する研究開発」

○委員会メンバー

森山 裕文 京都大学原子炉実験所所長を委員長とし、関連分野の専門家を中心として、ジャーナリスト、ユーザーなど、幅広い分野の委員で構成しました。(委員名簿;別紙1参照)

○審議経過

委員会による審議を平成 20 年 12 月 3 日より3回、作業会による審議を平成 21 年 1 月 29 日より3回行い、平成 21 年 11 月 5 日に答申。(審議経過:別紙2参照)

Ⅲ. 評価結果(答申内容)と機構の措置

1. 答申内容

「もんじゅ」の使命を達成するための 2015 年までの研究開発計画の内容およびその実施体制について

- ・研究開発計画の内容は、必要となる重要技術事項が包含されており、技術的に十分検討されたものである。
- ・研究開発実施体制等の枠組み及び運用方法は、準備されている。

と評価された。

ただし、「もんじゅ」から得られるデータを十分に活用し、実証炉・実用炉に繋がる成果をあげるためにも、今後のプロジェクト遂行にあたって機構のマネジメントが確実に機能するよう、いくつかの留意すべき事項の指摘を受けました。

2. 答申とそれに対する主な機構の措置

答申で指摘された留意すべき事項についての機構の措置を検討・とりまとめました。以下に主な項目を示します。

(1) プロジェクトレビュー

- ①(答申)「もんじゅ」において取得されたプラントデータに基づき、適用された設計手法及び設計余裕の妥当性を定量的かつ客観的に検証し、設計手法改善方策があればその明確化を図ることにより実証炉・実用炉の合理的な設計作業に活用するため、研究開発部門として性能試験等に注力すること。

(措置)原型炉技術評価にあたっては FBR プラント工学研究センターだけでなく、大洗の関連部署やテーマによっては原子力基礎工学部門の協力を得るなど、合理的な設計作業の実施に向けて、機構として総力を結集して性能試験等に臨む。

- ②(答申)「もんじゅ」において着実に運転実績を蓄積し、実証炉・実用炉の合理的な保全を支える機器・部品の劣化データ等の実データを取得することが重要である。

(措置)運転データ、定検時の検査・測定データの収集・分析などで得られ

る知見を蓄積し、機器保全の見直し・高度化に努める。

(2) マネージメントレビュー

(答申) 研究開発分野における品質保証活動のフロンティアとして認識を持って、対処されたい。また、品質保証の形骸化・空転化防止のために定期的に改善課題の提起を受ける体制を整備することが重要である。

(措置) 「もんじゅ」における研究開発を含む FaCT プロジェクトについては、10 月から品質保証システムを本格運用しており、研究現場での受け止め方に注意しつつその活動を実施していく。

(報告書公開先) <http://www.jaea.go.jp/04/fbr/top.html>

以 上

次世代原子力システム／核燃料サイクル研究開発・評価委員会の構成

本委員会は、平成18 年1 月に設置され、関連分野の専門家を中心として、ジャーナリスト、ユーザーなど、幅広い分野の委員から構成されています。

委員長	森山 裕丈	京都大学原子炉実験所所長
委員長代理	二ノ方 壽	東京工業大学原子炉工学研究所教授
委員	石井 保	原子力システム研究懇話会
(五十音順)	井上 正	電力中央研究所首席研究員
	大熊 和彦	東京工業大学統合研究院 イノベーションシステム研究センター特任教授
	芝 剛史	ウイングパートナーズ(株)代表取締役
	東嶋 和子	科学ジャーナリスト
	戸田 三朗	東北放射線科学センター理事
	中村 裕行	日本原燃(株)再処理事業部再処理計画部長
	藤井 靖彦	東京工業大学名誉教授(平成21年3月まで)
	堀池 寛	大阪大学大学院工学研究科教授
	松井 恒雄	名古屋大学エコトピア科学研究所長・教授
	松本 史朗	独立行政法人原子力安全基盤機構 技術顧問
	八木 秀樹	東京電力(株) 原子力設備管理部 次世代炉開発グループマネージャー

「もんじゅ」における研究開発計画の評価にあたっては、現在の評価委員の中でも特に高速増殖炉技術に専門知識を有する委員により、委員会活動の一環として作業会方式で詳細な審議を行いました。

作業会は、研究開発・評価委員よりその主査を選任するとともに、評価作業を効果的に進める観点から委員以外で高速増殖炉技術の研究開発経験などを有する外部有識者にも参加して頂きました(平成21 年1 月29 日に作業会設置)。

審議経過

次世代原子力システム／核燃料サイクル研究開発・評価委員会に審議いただいた経過は以下の通りです。

1. 委員会

(1) 第1回目：平成20年12月3日

- 諮問項目及び検討課題内容の説明
- 評価の視点及び評価方法の決定
- 「もんじゅ」の状況及び「もんじゅ」を活用した研究開発についての説明

(2) 第2回目：平成21年9月3日

- マネージメントレビュー(大局的評価)の内容説明
- 作業会によるプロジェクトレビューの審議状況報告

(3) 第3回目：平成21年10月30日

- マネージメントレビュー評価意見及び機構の見解の説明
- マネージメントレビュー答申書(案)の審議
- 作業会検討結果報告(プロジェクトレビュー答申書の説明)

2. 作業会

(1) 第1回目：平成21年1月29日

- 諮問項目及び検討課題内容の説明
- 評価の視点及び評価方法の決定
- 「もんじゅ」の状況及び「もんじゅ」を活用した研究開発についての説明

(2) 第2 回目：平成21年7月30日

- 「もんじゅ」を活用した研究開発計画についての詳細説明

(3) 第3 回目：平成21 年10月8日

- プロジェクトレビュー評価意見及び機構の見解の説明
- プロジェクトレビュー答申書(案)の検討

3. 評価結果(答申書)のまとめ

上記の審議結果に基づき、評価結果をまとめ各委員の了承を得て答申書となりました。

4. 答申日：平成21年11月5日