資料４－２
科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
原子力科学技術委員会もんじゅ研究計画作業部会（第１回）
Ｈ２４．１０．２９

高速増殖炉サイクルの研究開発の従来の計画及びこれまでの成果について

（高速増殖原型炉「もんじゅ」の研究開発）

平成24年10月29日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

目次

Ⅰ．従来計画の概要……3
（研究開発・評価委員会で、事前評価を受けた研究計画）
Ⅱ．従来計画中の「廃棄物減容、有害度低減」に向けた研究開発……23
Ⅲ．従来計画の実施状況……28
（原型炉として得るべきとしていた知見（従来の研究開発計画）の達成度及び実績）
Ⅳ．過去のマイルストーンでの計画達成度及び変更に係る評価……50
Ⅴ．これまでに「もんじゅ」で発生した主な事故・トラブル時に取られた対策・得られた成果、プロジェクト遂行に関して取られた対応・得られた成果……53
Ⅵ．海外高速炉との比較（もんじゅの特徴）……66
Ⅶ．海外高速炉における代表的なトラブル事例と「もんじゅ」への反映……71
参考資料……78

高速増殖原型炉もんじゅ

「もんじゅ」の概要

「もんじゅ」は、高速中性子によって燃料を増殖する原子炉で、冷却材としてナトリウムを使用している。
実験炉と実証炉をつなぐ中間段階のもの（原型炉）であり、発電プラントとしての機能や大型化への技術的可能性を確認するために開発された。
そのため発電を行うとともに、種々のデータを取得し、高速増殖炉の開発に利用する。

これまでの主な経緯

1983年 5月　原子炉設置許可
1985年10月　建設工事開始
1991年 5月　機器据付完了、試運転開始
1994年 4月　初臨界
1995年 8月　初送電
　　10月　４０％出力到達
　　12月　ナトリウム漏えい事故
2005年 3月　改造工事（準備工事）着手
2007年 8月　改造工事（工事確認試験）完了
2010年 5月　性能試験再開（7月炉心確認試験終了）
2010年 8月　炉内中継装置の落下トラブル発生
2012年 8月　炉内中継装置の復旧完了
　　（正常状態に復帰）

主要な仕様

- ●原子炉の形式　：ナトリウム冷却高速中性子型増殖炉（ループ型）
- ●熱　出　力　：71万4千kW
- ●電　気　出　力　：28万kW
- ●燃 料 の 種 類　：プルトニウム・ウラン混合酸化物
- ●原子炉容器Na温度　：約397℃/約529℃（入口/出口）

Ⅰ．従来計画の概要

（研究開発・評価委員会で、事前評価を受けた研究開発計画）

従来の「もんじゅ」に係る研究開発計画について

原子力政策大綱に基づき「もんじゅ」における研究開発においては、「もんじゅ」を最大限に活用し、

1.「発電プラントとしての信頼性の実証」

2.「運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立」

3.「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、性能試験開始に先立ち、「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などして、研究開発計画案をとりまとめた。

「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10年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た。

この計画について 「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：森山裕丈 京都大学原子炉実験所所長）での評価を受け、計画をまとめた。さらに、平成21年12月15日原子力委員会定例会にて森山委員長より評価結果を報告した。

従来の「もんじゅ」に係る研究開発計画　～評価～

（評価経緯）

- 理事長より「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（研究開発・評価委員会）」に対して、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」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諮問した（平成20年11月7日 ）。
- 研究開発・評価委員会は、2015年以降を含む長期にわたる計画を念頭に置いた上で、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）、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）を実施した（平成21年11月5日答申）。

（評価結果の概要）

- マネジメントについては、2015年までの原子力機構における研究開発体制等の枠組み及び運用方法は準備されていると評価。
- プロジェクトについては、2015年までの研究開発計画の内容として必要な重要技術事項が包含され、さらに、長期にわたる研究開発を5年程度で区切りその都度チェックをしていく進め方を採用し、技術的に十分検討された研究開発計画であると評価。
- ただし、いずれについても、いくつかの留意点を指摘し、研究開発が一層効果的に実施され、より良い研究開発成果が生み出されることを期待。

委員会開催
第1回目：H20年12月3日
第2回目：H21年9月3日
第3回目：H21年10月30日

作業会開催※
第1回目：H21年1月29日
第2回目：H21年7月30日
第3回目：H21年10月8日

※プロジェクトレビューについては、専門家からなる作業会を設けて技術的な観点からの評価を実施した。

従来の「もんじゅ」に係る研究開発計画

（原子力政策大綱より（平成17年10月））

研究開発の場の中核と位置付けられる「もんじゅ」の運転を早期に再開し、10年程度以内を目途に「発電プラントとしての信頼性の実証」と「運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立」という所期の目的を達成することに優先して取り組むべきである。
その後、「もんじゅ」はその発生する高速中性子を研究開発に提供できることを踏まえ、燃料製造及び再処理技術開発活動と連携して、高速増殖炉の実用化に向けた研究開発等の場として活用・利用することが期待される。

2010　　2015

性能試験 （性能試験データ）	本　格　運　転 （運転・保守経験）　（もんじゅ高度化）

△性能試験再開 →
（10年程度以内（目途））

所期目的達成

１．発電プラントとしての信頼性実証
（①安全・安定運転の達成、②性能試験、③原型炉技術評価）

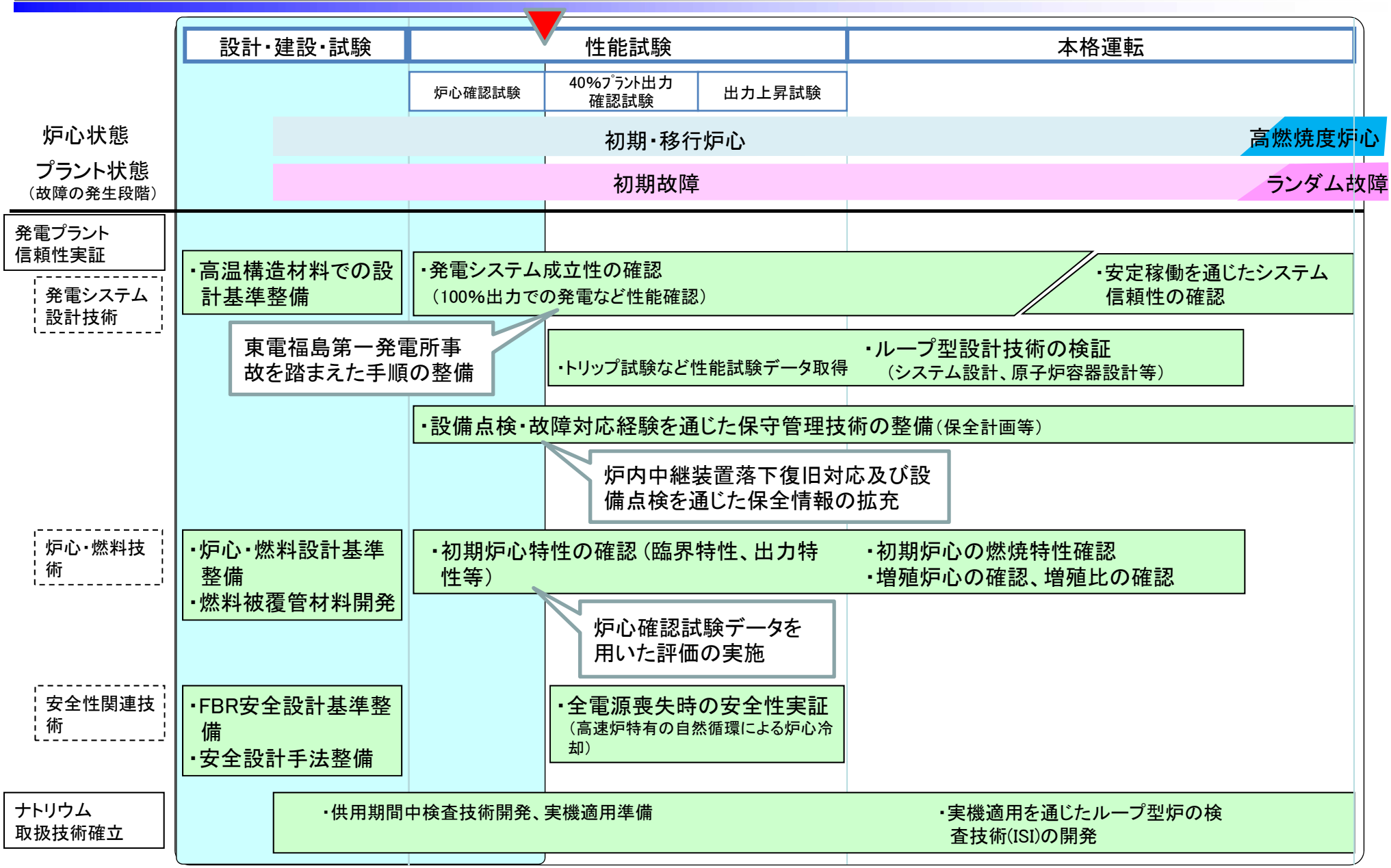
２．運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立
（①ナトリウム管理技術確立、②プラント保全技術確立、③ナトリウム機器の技術蓄積）

→

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
（①もんじゅ高度化）

← 評価範囲 →

「もんじゅ」の研究開発の進捗概況



従来の「もんじゅ」に係る研究開発計画

1. 発電プラントとしての信頼性実証

- 1）安全・安定運転の達成
- 2）性能試験
- 3）原型炉技術評価

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

- 1）ナトリウム管理技術の確立
- 2）プラント保全技術の確立
- 3）ナトリウム機器の技術蓄積

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. FBR実用化に向けた研究開発の場として活用・利用

- 1）もんじゅ高度化

「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。

1．発電プラントとしての信頼性実証
1）安定・安全運転の達成(1/2)

- 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。その間、原子炉の起動・停止、定格運転、定期点検、保守、トラブル対応等の運転経験の蓄積と安全・安定運転のための技術の確立を図る。
- 運転経験を通じて、FBR発電プラントの運転管理、燃料管理について、規則（保安規定、運転手順書）、基準、燃料交換計画等の体系化を図る。
- 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。
- ナトリウム漏えい、蒸気発生器での水漏えい等の異常時に対して、異常検出方法の改善、異常時対応手順書の整備等を行うことにより、ナトリウム炉での異常時対応を整備する。
- 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

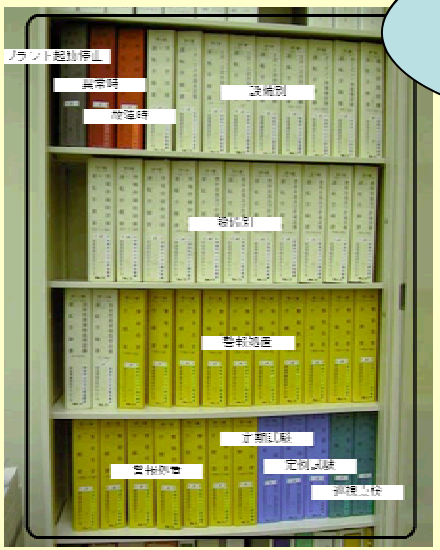
運転経験を反映して改正していく。

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

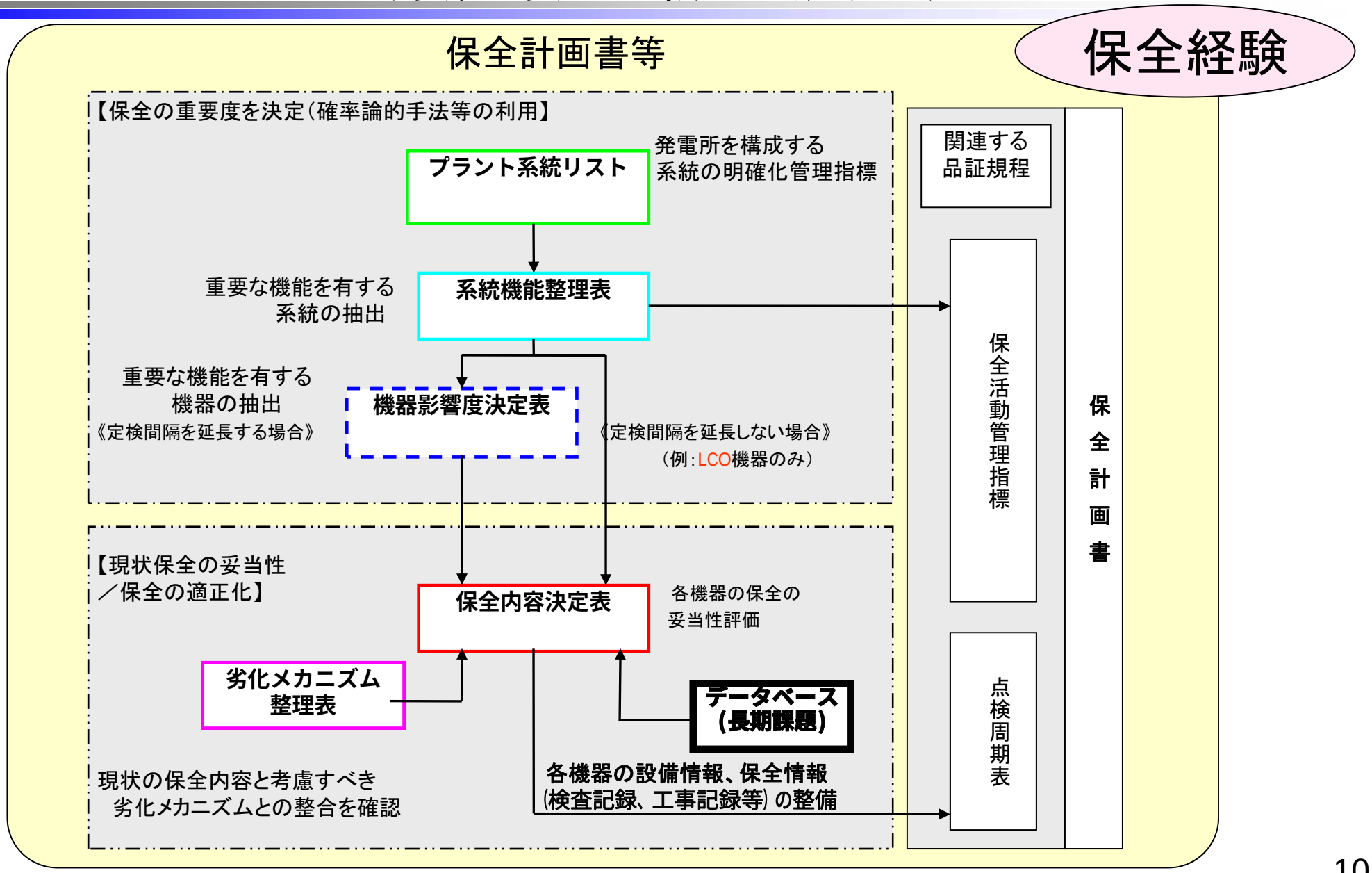
運転経験を反映して改善・拡充していく。

運転手順書全体写真



運転経験

1. 発電プラントとしての信頼性実証
1）安定・安全運転の達成（2/2）



1．発電プラントとしての信頼性実証
2）性能試験（1/2）

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。

試　験　項　目

（1）　炉心・しゃへい特性試験

（a）　炉心特性評価

・反応度価値　・反応度係数　・出力分布　・炉雑音　・未臨界度測定法適用性評価　・原子炉容器上部プレナム温度　等

（b）　しゃへい特性評価

・原子炉まわり　・1次冷却系　・空間線量

（2）　プラント特性試験

（a）　系統運転特性

・原子炉構造設備　・1次冷却系設備　・2次冷却系設備　・水・蒸気系設備　・タービン設備　・電気設備　・プラント全体　等

（b）　計測制御特性

（c）　異常模擬運転特性

（d）　化学分析評価

（e）　その他　（配管熱変位、配管振動　等）

1. 発電プラントとしての信頼性実証
2）性能試験（2/2）

性能試験工程

	18年度（2006）	19年度（2007）	20年度（2008）	21年度（2009）	22年度（2010）	
工程	工事確認試験	プラント確認試験			性能試験	

炉心確認試験	点検	40%出力プラント確認試験	点検・評価・確認	出力上昇試験

燃料取替

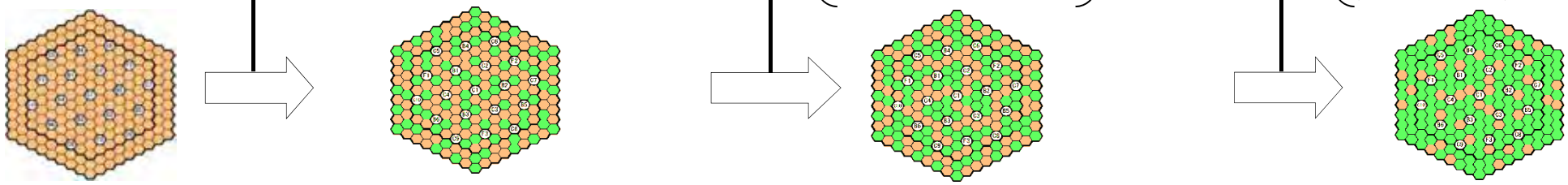
（Amを比較的多く含有する炉心の特性を確認する。（0%出力））

燃料取替

（水・蒸気、タービン系を含むプラントの全系統の機能と性能を確認する。（0～40%出力））

燃料取替

（出力を定格まで上昇し、プラント全系統の性能を確認する。（0～100%出力））



：炉内装荷状態の保管燃料（初装荷燃料Ⅰ型）　：製造済の保管している取替燃料（初装荷燃料Ⅱ型）、新たに製造する燃料（初装荷燃料Ⅲ型）

注）燃料交換体数及び燃料配置は例示である。

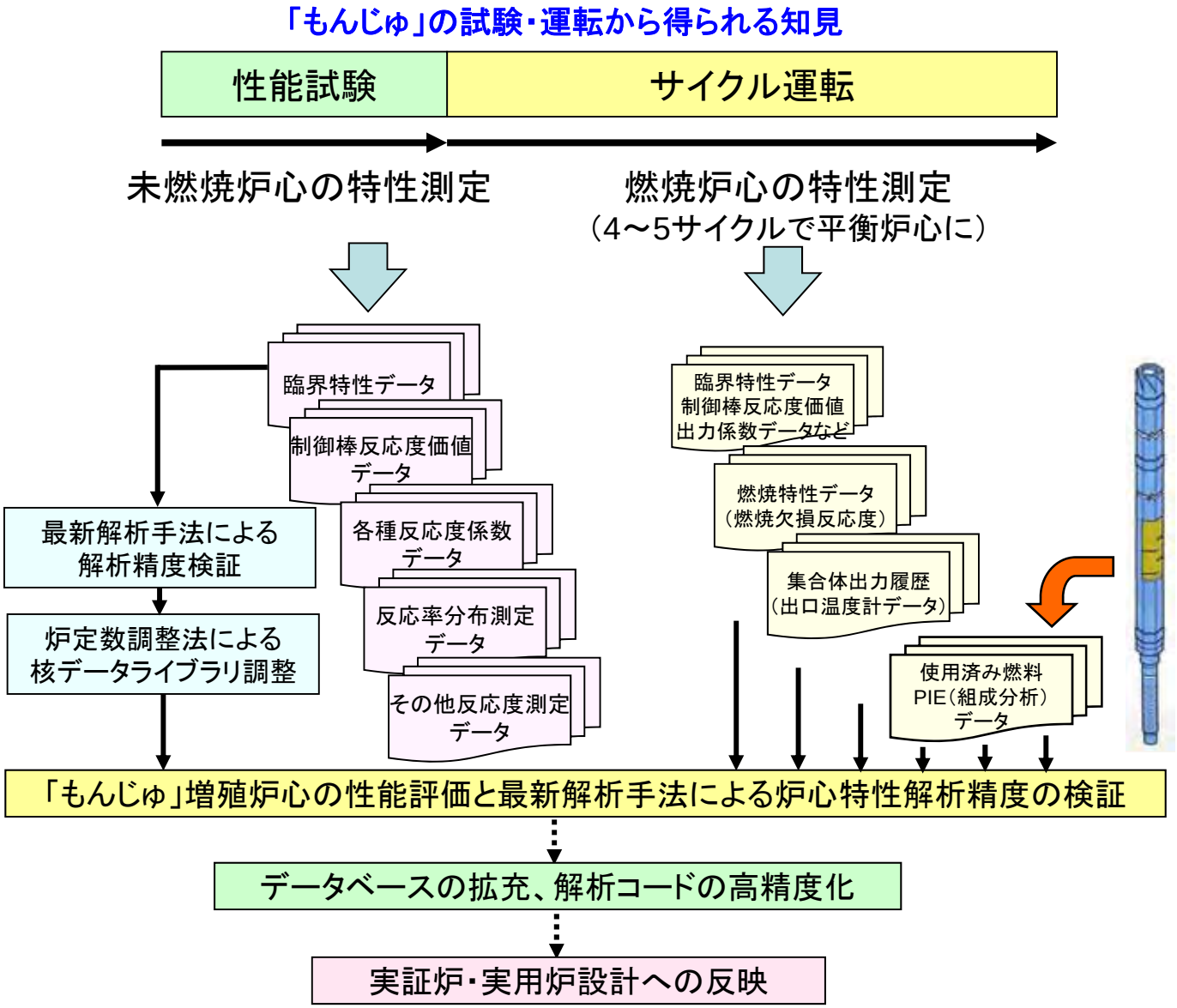
1. 発電プラントとしての信頼性実証
3)原型炉技術評価(炉心・しゃへい特性)(1/2)

高速原型炉の性能試験、サイクル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。

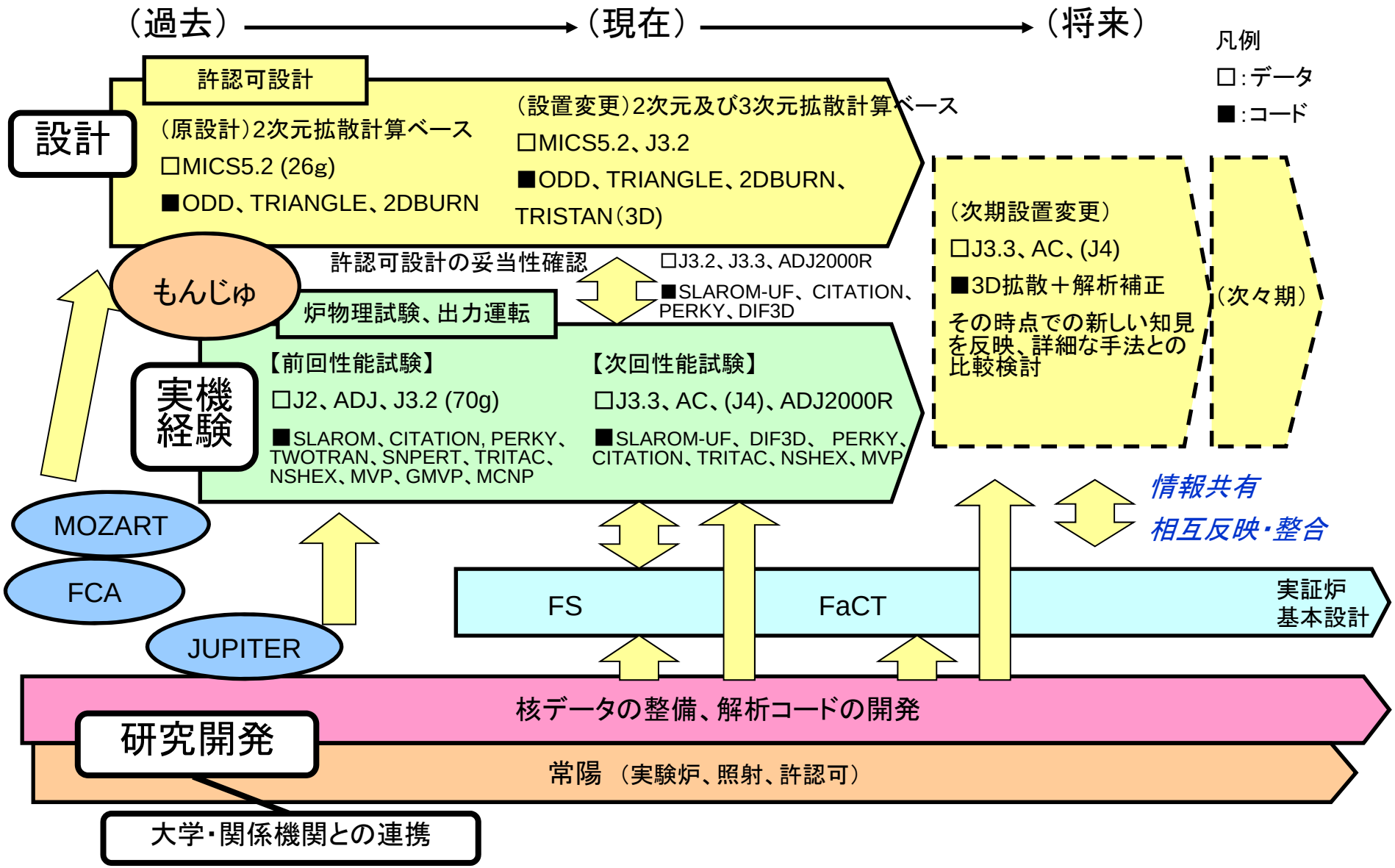
・「前回の性能試験」
・Amの蓄積量が多い「次回の性能試験」
・「それぞれの炉心のサイクル運転時」

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。



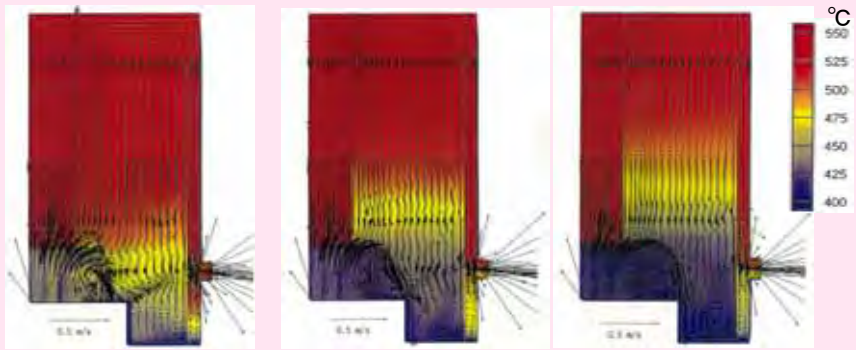
1．発電プラントとしての信頼性実証
3）原型炉技術評価（炉心・しゃへい特性）（2/2）



1. 発電プラントとしての信頼性実証
3)原型炉技術評価(プラント関係)(1/2)

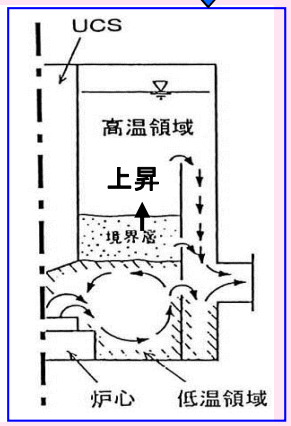
★詳細熱流動解析手法を用いた最適動特性解析モデルの構築

<< 上部プレナム熱流動解析結果 >>



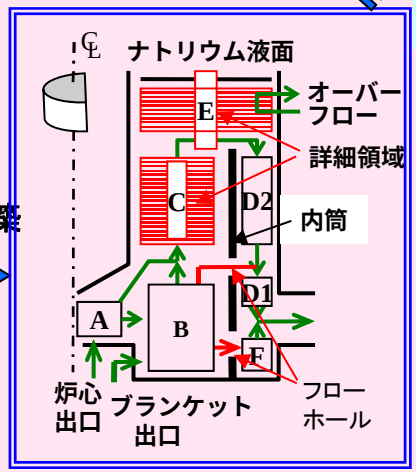
60秒後　180秒後　300秒後

流速分布・温度分布把握



FNM構築

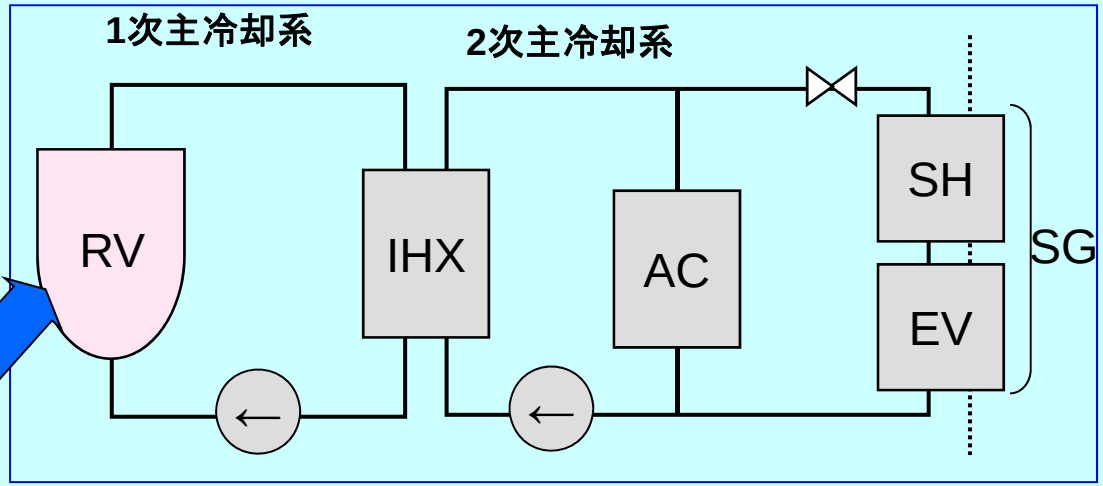
プラント全系動特性解析モデルに組込み



(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

(1) 原子炉容器(RV)上部プレナム詳細熱流動解析

<< 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)

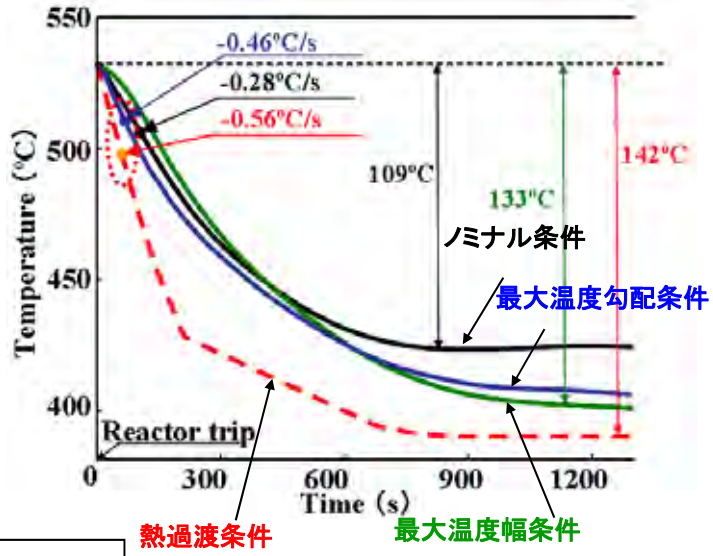
●原型炉と異なる仕様の将来炉に対して、精度の高いプラント動特性評価が可能となる。

1. 発電プラントとしての信頼性実証
3)原型炉技術評価(プラント関係)(2/2)

★設計余裕・安全余裕の最適化

(1) 最大温度変化条件(温度変化幅、温度変化率)の評価精度向上

・最適化FNM解析結果により精度の高い評価が可能となる。



(2) 熱過渡条件の評価

((例:手動トリップ事象))

影響パラメータ
① 崩壊熱
② 炉容器内筒フローホール流量
③ 1次流量コーストダウン特性
④ ポニーモータ流量
⑤ 2次流量コーストダウン特性
・
・

→ **「もんじゅ」設計**
影響パラメータの最大値及び最小値の組合せで、最大温度変化幅、最大温度変化率を設定

必要性の担保
・折れ線化, etc → **妥当性確認**

→ **将来炉への反映**
最大値−最小値の中間領域の値も取込んだパラメータの組合せで、最大温度変化幅、最大温度変化率を設定

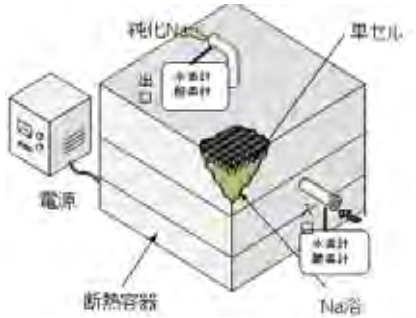
→ ・「もんじゅ」設計手法の妥当性確認
・「折れ線化」, etc の合理化

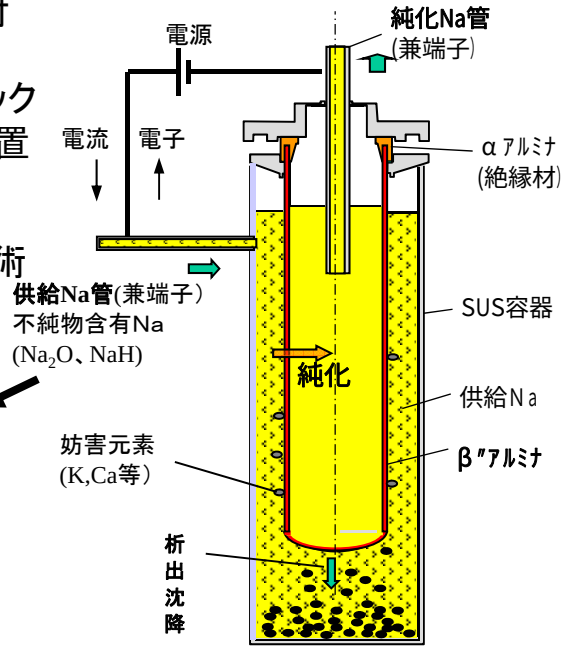
2. 運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立
1)ナトリウム管理技術の確立(1/2)

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
- ナトリウム純化精製装置(コールドトラップ)の不純物純化効率(η)評価
- ナトリウム純度管理基準値評価のためのプラギング計温度及びサンプリング・分析による純度測定方法の検証

- 従来型CTの再生方法検討
- CTに代わる高機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





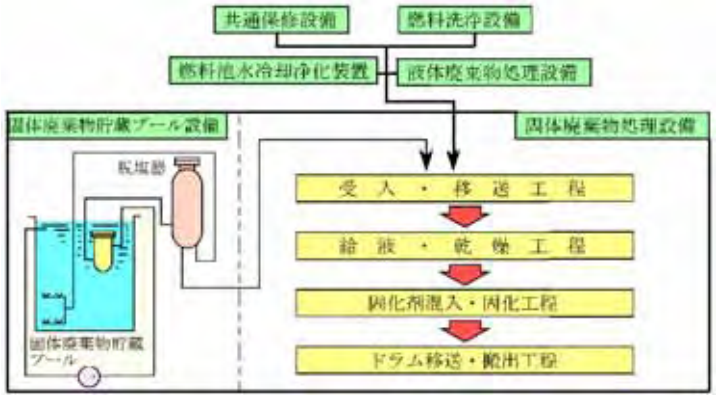
高機能セラミックスNa純化精製装置

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



「もんじゅ」廃棄物処理系統

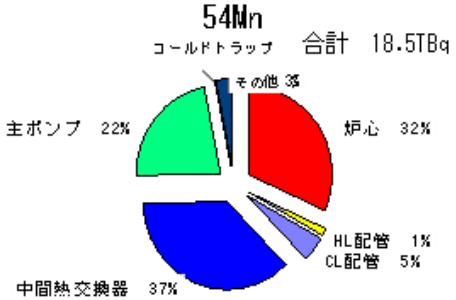
2. 運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立
1)ナトリウム管理技術の確立(2/2)

放射性物質の冷却系内移行挙動評価

・高速炉の冷却系内での放射性物質の生成、移行挙動評価

・プラント内線源分布評価

→冷却系内の放射性物質移行沈着挙動評価手法の検証・改良



冷却系内の^{54}Mnの蓄積の分布

これらの研究をもとに

・実証炉以降に適用できる評価手法の確立

・冷却系内での放射性物質移行沈着による線量率上昇に伴う保守・補修時被ばく線量の低減化

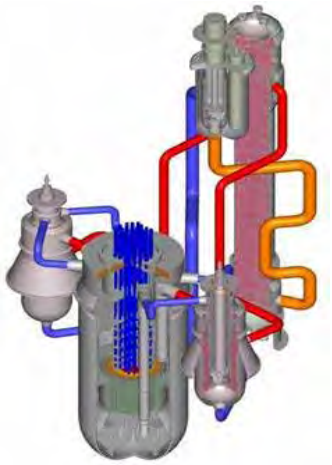
高速炉保修線量評価システム(DORE)による線量率予測

実証炉以降への反映

冷却材中の腐食生成物挙動評価手法を用いた評価結果を、実証炉の遮へい設計などへ活用する。

Ｎａ機器の洗浄経験等を、燃料取扱装置や保守用設備の設計に反映する。

実証炉・実用炉の運転管理技術へ反映する。

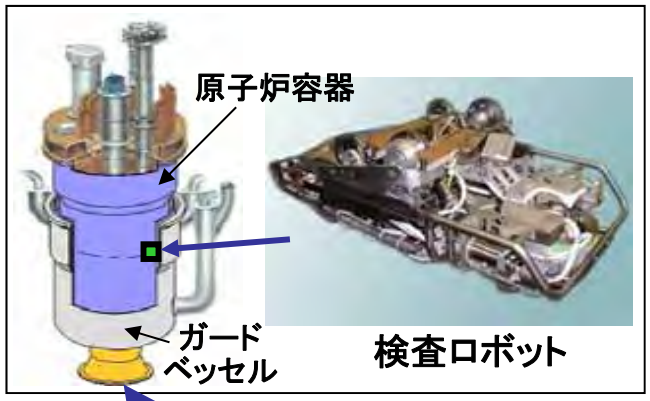


ナトリウム関連の要素技術開発は、保全に係る要素技術開発とともに、敦賀・白木に建設予定の「プラント実環境研究施設(仮称)」にて実施する計画である。

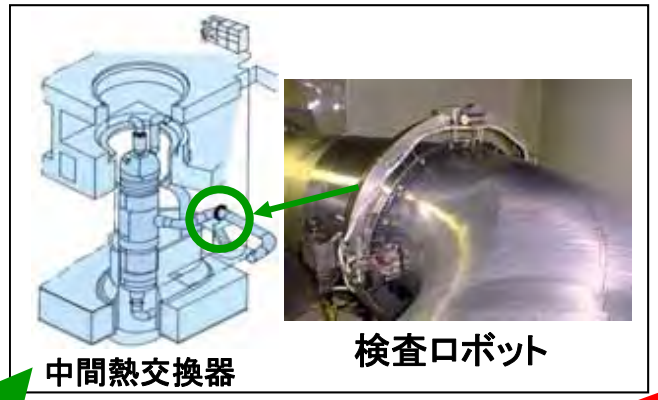
2. 運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立
2)プラント保全技術の確立

「もんじゅ」の原子炉容器、1次主冷却系配管及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。

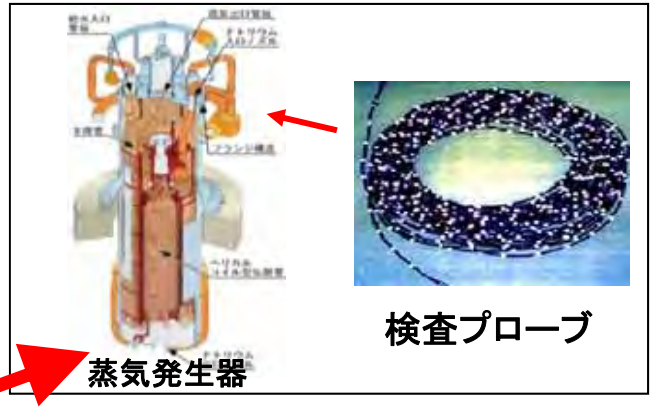
原子炉容器廻り検査装置

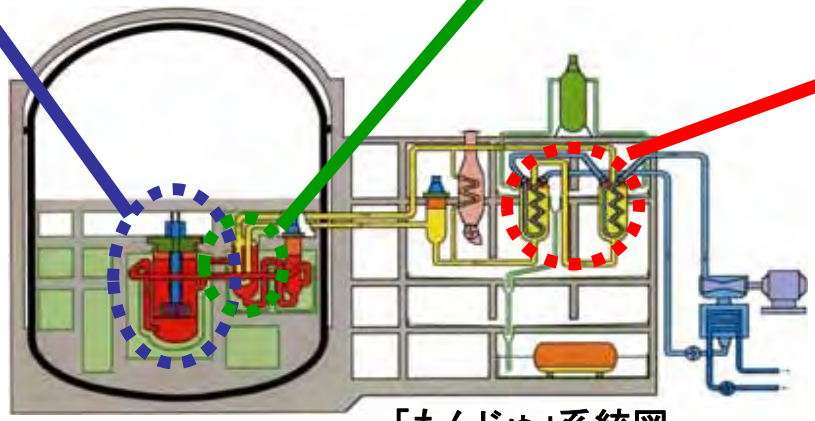


1次主冷却系配管検査装置



蒸気発生器伝熱管検査装置





「もんじゅ」系統図

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. 運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立
3）ナトリウム機器の技術評価

後続FBRプラントへの技術継承にデータベースが貢献すべき主要な項目

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

対象毎の劣化のメカニズムや速度に応じた保全を、規制当局への申請、承認を伴うPDCAサイクルを通して最適化を進めていくプロセスを支援

○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サイクルを通した改善（合理化）の履歴

研究開発項目：

①対象ハードウェア群全てのカタログ化が基礎：緊急かつ膨大なマンパワーを要する

②劣化現象の仕様、条件への依存性：後継プラントへの外挿に不可欠

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

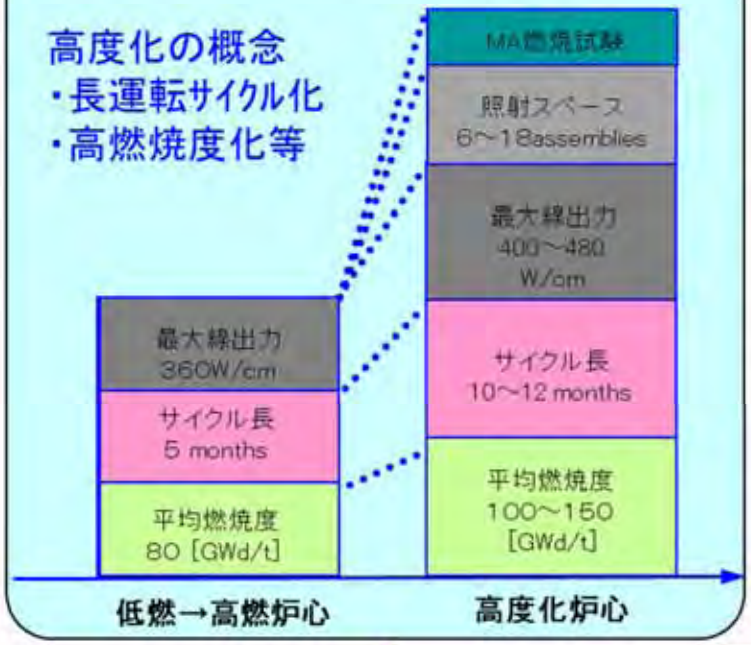
○解析例データベース（入力データ、解析結果、検証結果）

○：新規開発
●：既存DBに基づく駆動部開発

3. FBR実用化に向けた研究開発の場として活用・利用
1） もんじゅ高度化（1/2）

○炉心性能の向上

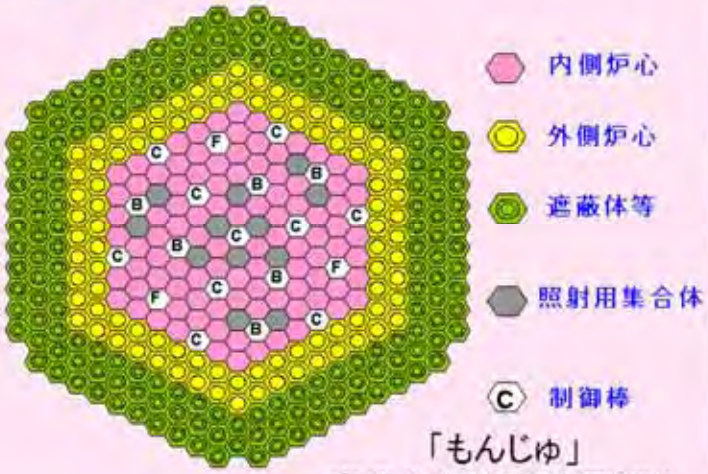
・燃料・炉心性能高度化実証
・実証炉・実用炉で採用する燃料を「もんじゅ」を用いて工学規模で照射
・段階的な炉心高度化について燃料供給計画も含めて検討する予定。



○高速中性子場としての活用（照射能力を活かす研究開発）

MA含有燃料などの開発に資する

【「もんじゅ」MA燃焼実証プロジェクト（GACID）の目的】
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



「もんじゅ」
高度化炉心配置図（例）

・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

○新型燃料研究開発施設（仮称）
・「もんじゅ」で照射した試験燃料の健全性確認

3. FBR実用化に向けた研究開発の場として活用・利用
1） もんじゅ高度化 (2/2)

世界に開かれた研究開発拠点として、国際協力を利用した研究開発に活用し、海外からの期待に応えるとともに、海外の技術者が集い、最先端技術を広く発信していくため、国際協力を一層充実させ、国際共同プロジェクトを推進していくことを目的とする。

「もんじゅ」をFBRの実用化研究開発に活用

日米等の12カ国+1国際機関共同の第4世代原子力システムに関する国際フォーラム（Gen-IV）において、「もんじゅ」の開発を進める日本がナトリウム冷却高速炉（SFR）の開発に主導的役割を担い、「もんじゅ」を活用する検討等を進めている。

「もんじゅ」MA燃焼実証プロジェクト（GACID）

「もんじゅ」を用いて、マイナーアクチニド（MA）含有燃料を燃焼（長半減期核種を減少）させる実証試験の計画を、日仏米3国共同で実施している。Gen-IV/SFR の枠組みの下、にプロジェクト取り決めを締結。

なお、仏国の高速原型炉フェニックスは2009年に運転を終了し、「もんじゅ」は工学規模での高速中性子照射の場として国際的に期待が寄せられている。

「もんじゅ」

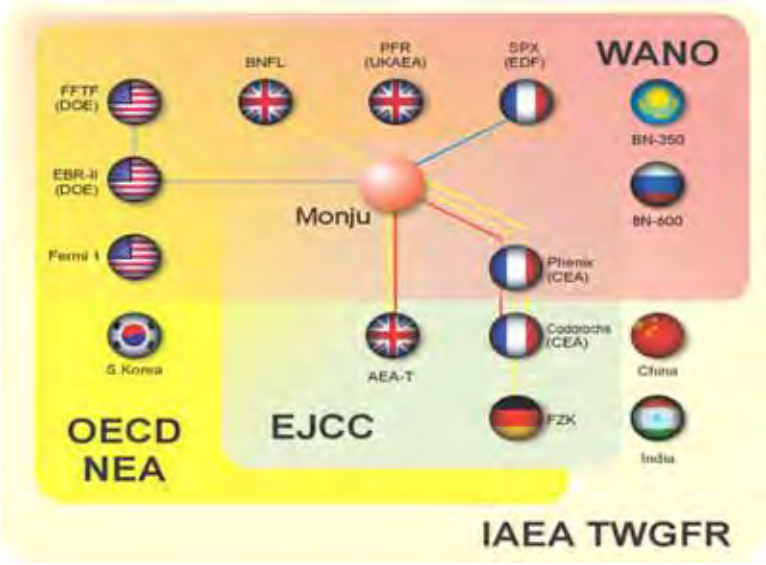
「フェニックス」（仏）

国際機関を通じた協力と「もんじゅ」活用

国際機関を通じた協力の枠組みでの技術情報交換を実施しており、IAEA等の国際機関の場で「もんじゅ」を活用。

また、WANOのピアレビューにも参加してプラント運転・保守の安全・信頼性向上にも取り組んでいる。

【国際協力の枠組み】



- EJCC : Europe-Japan Coordinating Committee
- GIF : Generation IV international Forum
- NEA : Nuclear Energy Agency
- TWGFR : Technical Working Group on Fast Reactors
- WANO : World Association of Nuclear Operators

高速炉開発協力
高速炉運転協力
先進技術協力
原子力技術協力

Ⅱ．従来計画中の
「廃棄物減容、有害度低減」に向けた研究開発

従来の「もんじゅ」における研究開発計画

△ 「廃棄物減容、有害度低減」に向けた研究開発を含む領域

1. 発電プラントとしての信頼性実証

- 1）安全・安定運転の達成
- 2）性能試験 △
- 3）原型炉技術評価 △

2. 運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立

- 1）ナトリウム管理技術の確立
- 2）プラント保全技術の確立
- 3）ナトリウム機器の技術蓄積

3. FBR実用化に向けた研究開発の場として活用・利用

- 1）もんじゅ高度化 △