

今後の炉システム技術開発の 基本的考え方

平成23年1月18日

日本原子力研究開発機構

次世代原子力システム研究開発部門

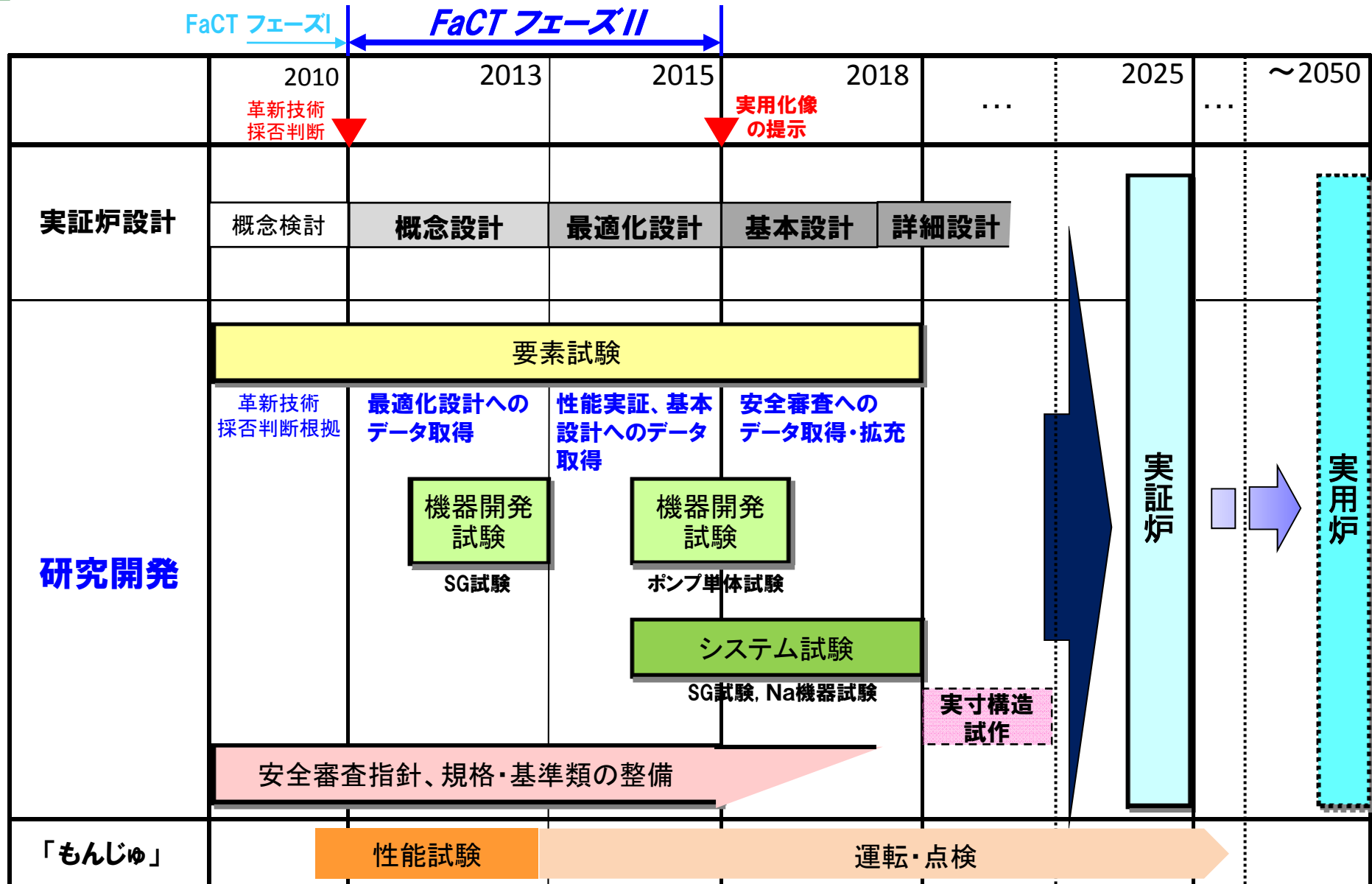


報告内容

1. 概略工程
2. 基本的な考え方
 - 全体方針
 - 実証炉概念設計
 - 要素試験
 - 試作試験
 - 実証試験
3. 研究開発計画の設定
 - 技術分類
 - 課題摘出、解決方法策定
4. 「もんじゅ」成果の実証炉への反映
5. 今後に向けて



1.概略工程





2.基本的な考え方

- 全体方針 -

- 2011～2015年度 (FaCTフェーズⅡ) を対象
- 実証施設 (75万kWe) の開発のための研究開発に重点を置き、その成果をもって実用炉にもつなげる
- もんじゅの成果を実証炉の設計に反映する

- 2013年度まで
 - FaCTフェーズⅠで得たデータを基に概念設計結果をとりまとめる
 - 概念設計結果の妥当性を裏付ける試験データを取得する
- 2015年度まで
 - 概念設計の最適化を行い、実証試験データを取得する
 - 上記の成果により実用化像を提示する
 - 基本設計 (2016年度～) に必要な試験データを取得する
 - 安全審査指針、規格基準類の案を整備する
- 2016年度以降
 - 安全審査 (2018年度開始予定) に必要なデータの取得・拡充が行われる



2.基本的な考え方

- 実証炉概念設計 -

- 2015年に実用化像の提示が可能となるように、プラント全体の設計を実施する。
 - 2013年に一巡のプラント設計を完了させる
 - 2014～15年に研究開発の進捗を踏まえて、設計の最適化を実施する
 - 2013年までに実施する要素試験、機器開発試験の成果も最適化設計に反映する
- 性能評価を実施し、2015年の実用化像の提示に供する。



2.基本的な考え方

- 要素試験 -

- 概念設計の根拠となるデータを取得し、概念設計に反映するとともに、2015年の実用化像提示の根拠データとする。
 - 2014～15年に実施する概念設計最適化にデータを供する
 - 性能評価手法を検証する
 - 2018年までの指針化を目指す安全設計指針案、安全評価指針案、重要度分類指針案等を整備する
 - 2016年の規格化を目指す高温構造設計指針案等を策定する
- 2016年から実施する「基本設計」に必要なデータを取得する。
- 2018年開始予定の「安全審査」に必要なデータを拡充する。



2.基本的な考え方

- 試作試験 -

- 工業的な製作経験が少ない構造について、試作試験を実施する
 - 製作手法の確認
 - 加工方法、余肉代の確保量、熱処理方法、溶接方法、検査方法、等
 - 製作精度の検証
 - 製品性能の確認
 - 強度、製品欠陥の有無、等



2.基本的な考え方

- 実証試験 -

■ 実証試験の考え方

- 先行炉等で製作・運転経験が無い機器・システムについてその性能を実証する
- 要素試験を根拠とする設計を、機器単位、システム単位で集約し、その性能を実証する
→ 2015年までに実施し、実用化像の提示に供する
- 実機と同等な環境でその信頼性を確認する
- 保守・補修性について実機と同等な環境で確認する

■ 試験方法の考え方

- 試験でデータ取得すべき内容にあわせ、適切な模擬範囲、スケール、作動流体を選択する



3. 研究開発計画の設定

- 技術分類 -

必要R&D項目、及び技術実証に必要な試験に係るインフラを網羅的に抽出・整理する観点から、原子炉システムに係る技術を主としてプラントの設備単位で分類し、分類項目毎に個別R&D課題に細分化。

◆ 安全性向上: SASS*1、再臨界回避、PSA*2、放射性物質移行挙動、NCDHR*3

◆ コンパクト化原子炉構造

*1: 自己作動型炉停止機構 *2: 確率論的安全評価 *3: 自然循環除熱式崩壊熱除去

◆ 原子炉容器-配管-IHX結合系流動-振動(大型、水流動試験)

◆ 9Cr鋼2ループ大口径配管

◆ ポンプ組込型中間熱交換器

◆ 防護管付伝熱管蒸気発生器

◆ 簡素化燃料取扱いシステム

◆ SC造格納容器

◆ 高速炉免震システム

◆ 炉心・燃料

◆ 安全要件(安全指針類のベースとなるもの)・安全解析手法等の技術基準

◆ 構造材料規格基準



3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

安全性向上：SASS、再臨界回避、PSA、放射性物質移行挙動、NCDHR

課題

解決方法

■ : 性能実証に関する項目

~2013

~2015

SASS

実証炉仕様SASSの性能確認

気中・Na中試験による材料・デ
ラッチ特性評価

縮尺水試験による定常時・ULOF
時温度拡散挙動評価

再臨界回避

炉心損傷事故シナリオの構築

IGR炉内外試験を含む再配置過程・冷却過程における物質移動挙動に
関する試験データの拡充、許認可に向けた評価手法検証・実機炉心評価

PSA、放射性物質移行挙動

評価手法検証

レベル1,2PSA・地震リスク評価手法の改良と実機評価、放射性物質放
出やNa燃焼等の試験による放射性物質移行挙動・Na燃焼評価手法の
検証

NCDHR

自然循環への系統運用変更に伴
う実証炉体系での自然循環性能
確認、評価手法検証

1/10縮尺システム水試験による1
次系一巡自然循環特性評価、評
価手法検証

1/5縮尺Na試験による炉内熱流
動評価、評価手法検証

崩壊熱除去用熱交換器の伝熱性
能確認、伝熱管検査技術開発

1/4縮尺水試験によるIHX上部プレナム流動評価、3次元熱流動評価、気
中試験によるPHX伝熱管検査装置の適用性評価



3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

コンパクト化原子炉構造 (1/2)

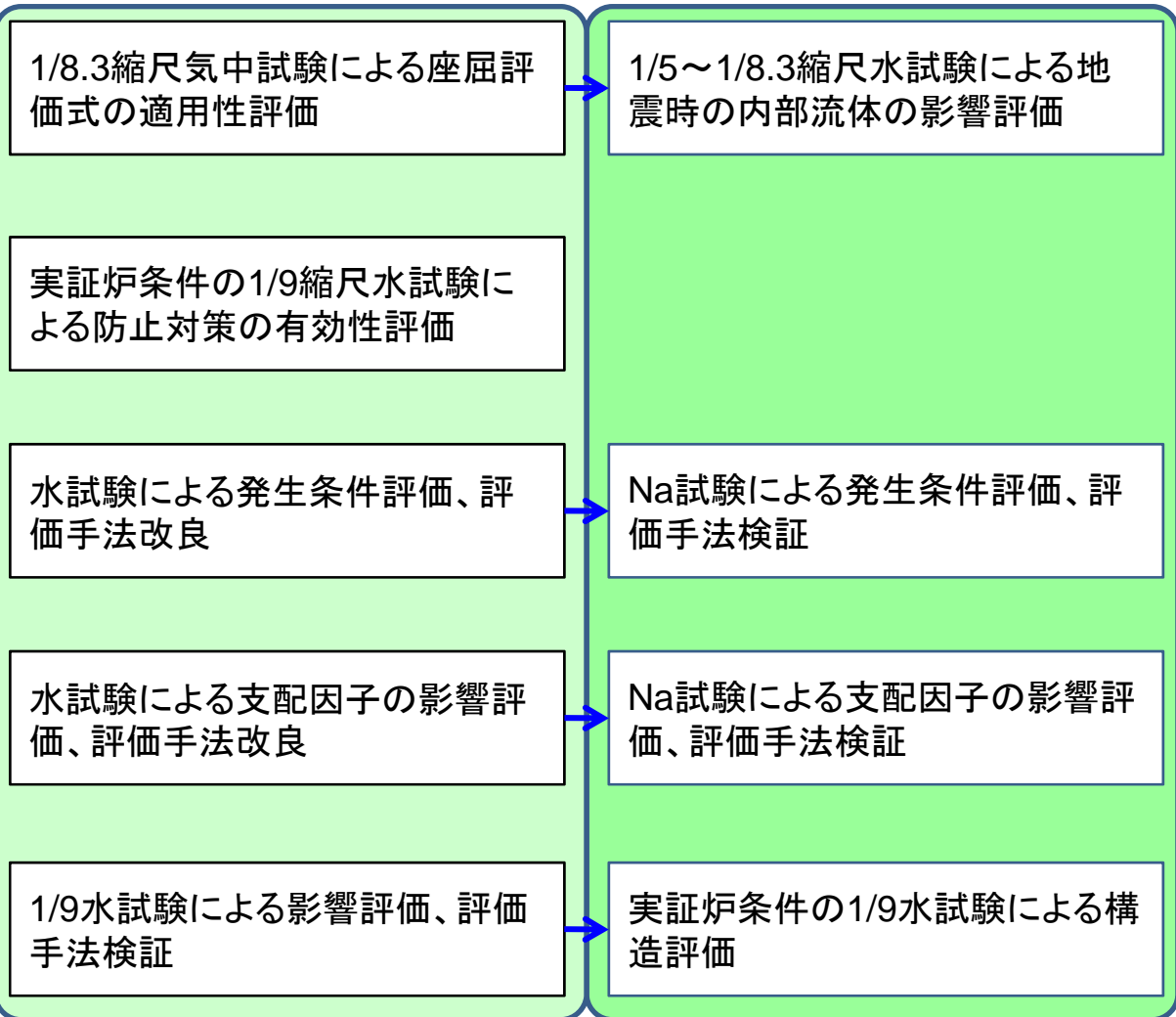
課題

解決方法

~2013

~2015

- 原子炉容器の座屈評価式の妥当性、及び内部流体の影響確認
- ガス巻き込み・液中渦防止対策の最適化
- ガス巻き込み発生条件の確認、評価手法検証
- 液中渦に対するクライテリアの確認、評価手法検証
- 自然循環への系統運用変更に伴う炉容器内温度成層化への影響確認、評価手法検証





3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

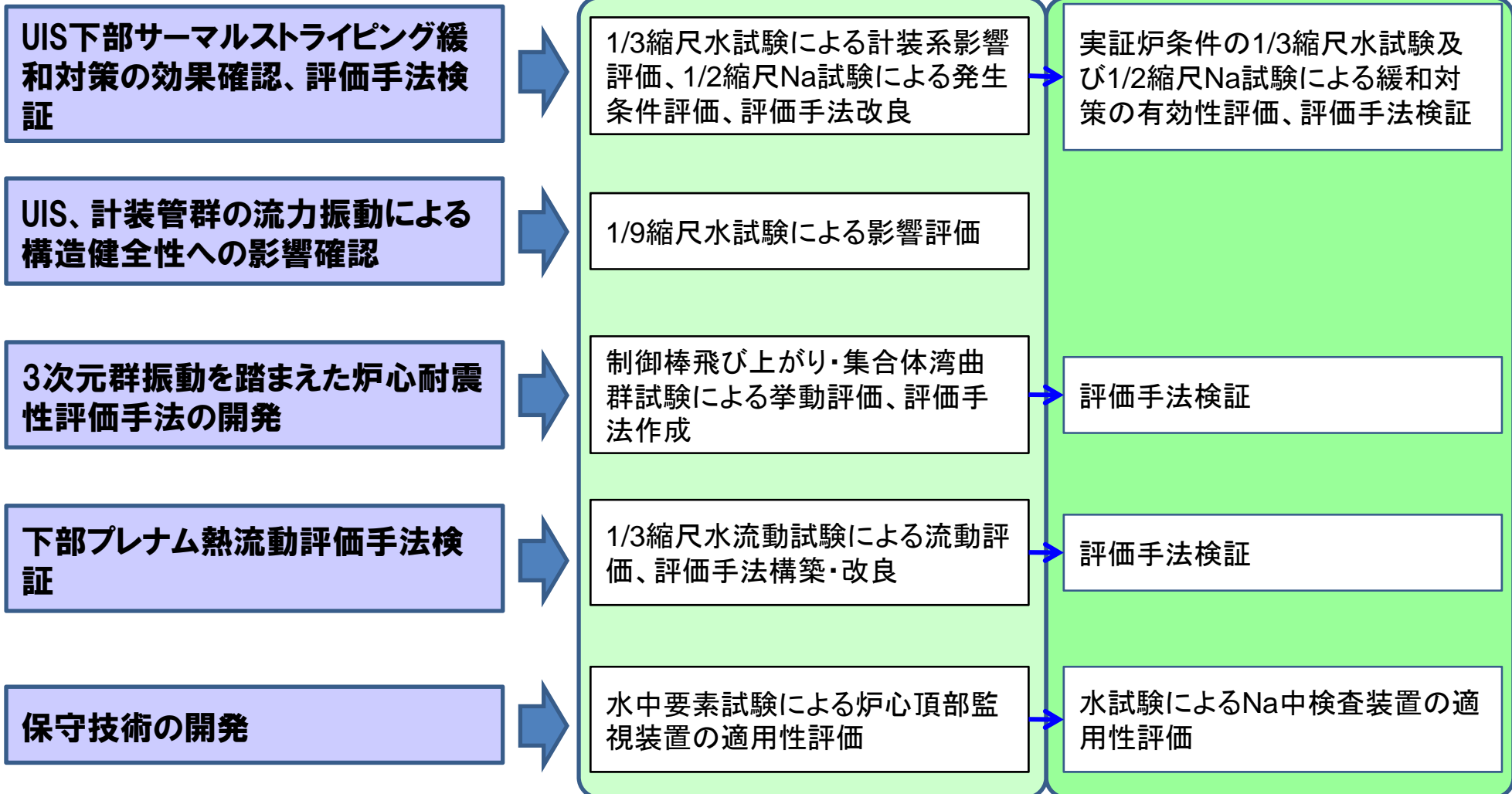
コンパクト化原子炉構造 (2/2)

課題

解決方法

~2013

~2015





3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

原子炉容器-配管-IHX結合系流動-振動(大型水流動試験)

課題

解決方法

□ : 性能実証に関する項目

~2013

~2015

1次系機器の相互干渉を考慮した
熱流動・構造健全性実証



(試験準備)

1/2.5縮尺水試験(原子炉容器、1
次系配管、IHXを結合)による流
動特性(ガス巻き込み、液中渦、
ホットレグ配管入口流動)の実証

(2016~:振動特性(ホットレグ配管、
UIS、ディッププレート、計装類)の実証)



3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

9Cr鋼2ループ大口徑配管

課題

解決方法

~2013

~2015

流力振動評価手法検証

1/3.3縮尺水試験による1次系コールドレグ配管(多段エルボ)の流力振動評価

1/20縮尺水試験による自励振動評価、評価手法構築・検証

ポンプ軸固着時のコールドレグ配管出口ノズル逆流抵抗の確認

1/5~1/6縮尺水試験による適正ノズル形状評価

配管要素Na中エロージョンの影響確認

(試験準備)

Na中基礎試験・要素試験による配管減肉特性・発生限界評価

(要素試験はAtheNaを用いて2016年まで実施予定)

2重配管保守技術の開発

(検査装置概念検討・製作)

検査装置の性能評価

超音波流量計の高温耐久性、Na流動条件計測性能の確認

気中試験によるセンサ単体の温度耐久性評価

気中試験によるセンサ-遠隔交換機構の温度耐久性評価、Na試験によるセンサ-信号処理機構の計測性能評価

レーザーNa漏えい検出器設備の性能確認

Na試験による検出系性能評価

Na試験による検出系-サンプリング系性能評価



3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

ポンプ組込型中間熱交換器

課題

解決方法

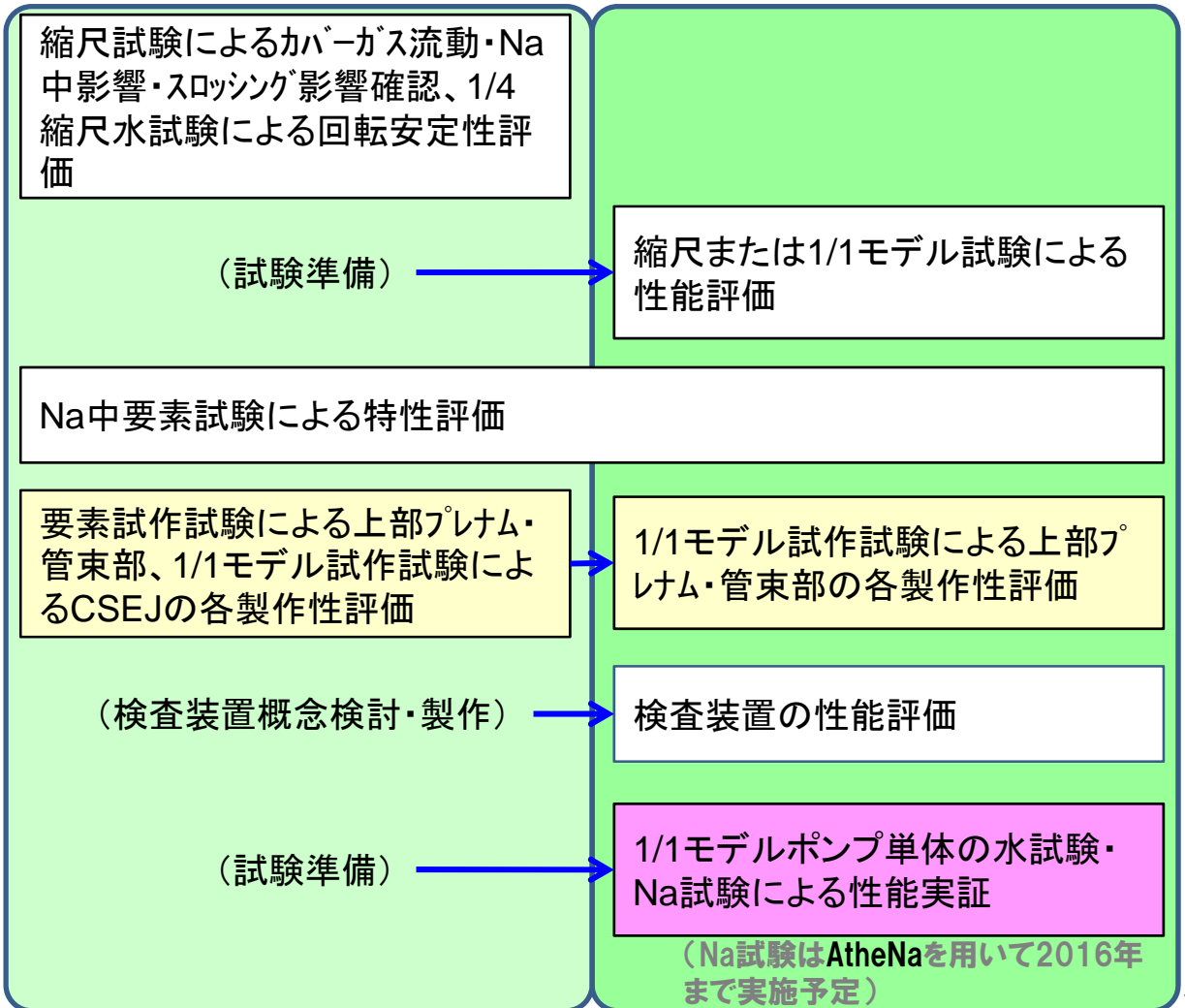
■ : 性能実証に関する項目

■ : 試作試験に関する項目

~2013

~2015

- ポンプ軸: 周困流動最適化、回転安定性確認
- 水力性能・軸受部健全性・共振回避・機内伝熱流動確認
- 伝熱管摩耗特性の確認
- 部材製作性の確認
- 伝熱管・バウンダリベローズ保守技術の開発
- ポンプ性能(機内流動、回転安定性)の実証





3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

防護管付伝熱管蒸気発生器

課題

■ : 性能実証に関する項目

■ : 試作試験に関する項目

解決方法

~2013

~2015

SG伝熱流動評価手法検証



縮尺水試験によるNa入口・SG出口プレナム部流動評価、評価手法改良

SG機器開発試験データを反映した評価手法検証

Na-水反応評価手法検証



Na-水反応試験装置を用いた防護管体系におけるNa-水反応挙動確認

Na-水反応試験に基づく評価手法整備、安全シナリオの構築

部材製作性の確認



防護管製作性確認

部分構造試作によるSG管板部組立性・CSEJ製作性確認

伝熱管構造健全性の確認



防護管体系における伝熱管座屈挙動・振動挙動評価
管束部励振力データ取得

Na中試験による比摩耗量データ取得・伝熱管摩耗量評価

Na中水素計の適応性確認



Na中試験(AtheNa使用を含む)による広レンジ特性・耐久性確認

Na中試験(AtheNa使用)によるメンテナンス性・耐久性確認

一体貫流型SGの運転制御性等の性能実証



機器開発試験による流動安定性評価
(AtheNaを用いて実施)

システム試験による再循環系を含む一体貫流型SGの運転制御性の実証、実機性能評価
(AtheNaを用いて2016年まで実施予定)



3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

簡素化燃料取扱いシステム

課題

解決方法

~2013

~2015

新型燃料交換機のNa中作動確認

Na中試験によるグリッパの作動性評価

Ar/Na中試験による機器要素の耐久性評価

(2016年~:AtheNa大型ポットを用いたシステム試験にて、新型燃料交換機の性能実証を行う予定)

燃料出入機の落下防止・除熱性能確認

気中試験による性能評価

Na中試験による性能評価

※ 2016年~:燃料洗浄設備の性能実証を行う予定



3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

SC造格納容器 課題

■ : 規格基準の策定に関する項目
■ : 試作試験に関する項目

SCCV規格案の整備

開口部・貫通部のバウンダリ確保のためのシール性能確認

現地施工法の確認

~2013

解決方法

~2015

材料・構造特性試験・評価、規格条文案への反映

実規模/縮尺モデル気中試験によるシール性能評価

規格条文案の取りまとめ

コンクリート充填性試験・評価

(2016年~:ユニット結合現場溶接性・溶接部検査性の試験・評価を行う予定)



3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

高速炉免震システム

課題

□ : 規格基準の策定に関する項目

積層ゴム特性確認

実大減衰装置特性確認

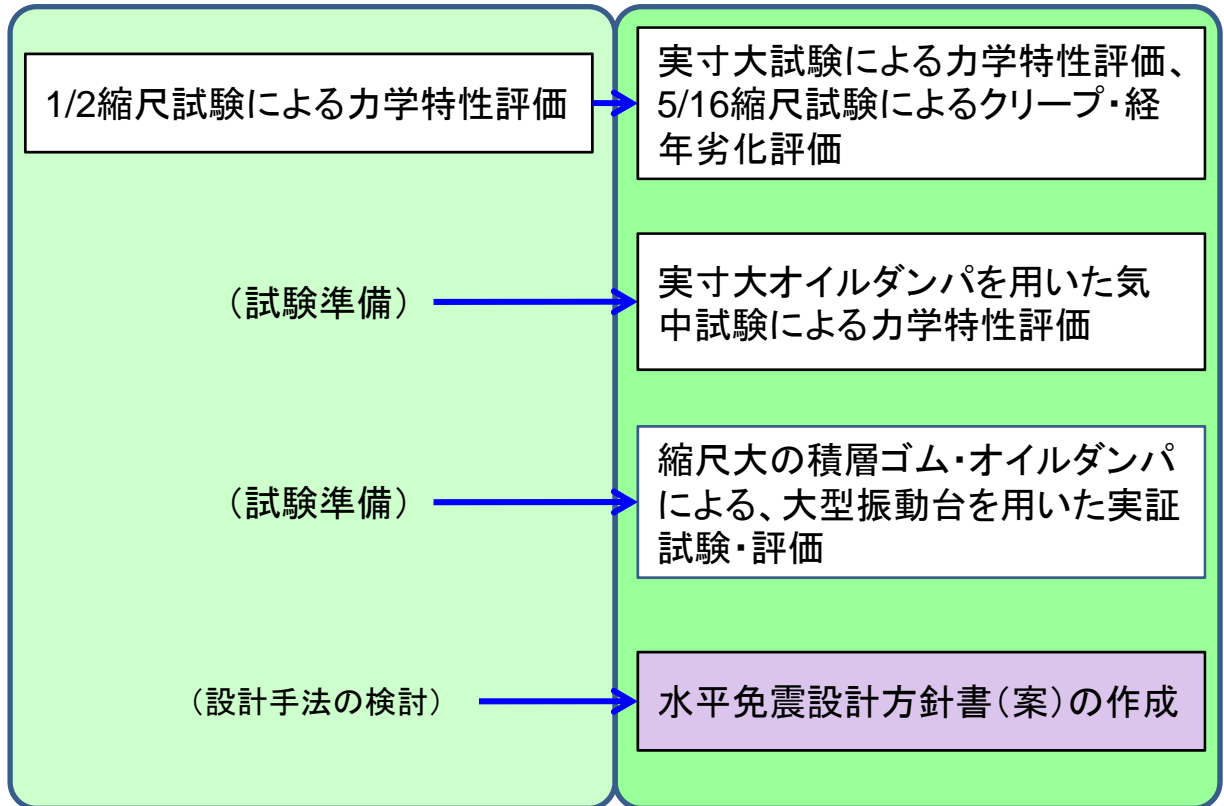
水平免震システム実証

設計手法の整備

~2013

解決方法

~2015





3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

炉心・燃料

課題

□ : 規格基準の策定に関する項目

タイトで内部ダクトを有する集合体に適用する熱設計手法を含む炉心・燃料設計手法の検証

炉心構成要素材料強度基準の整備

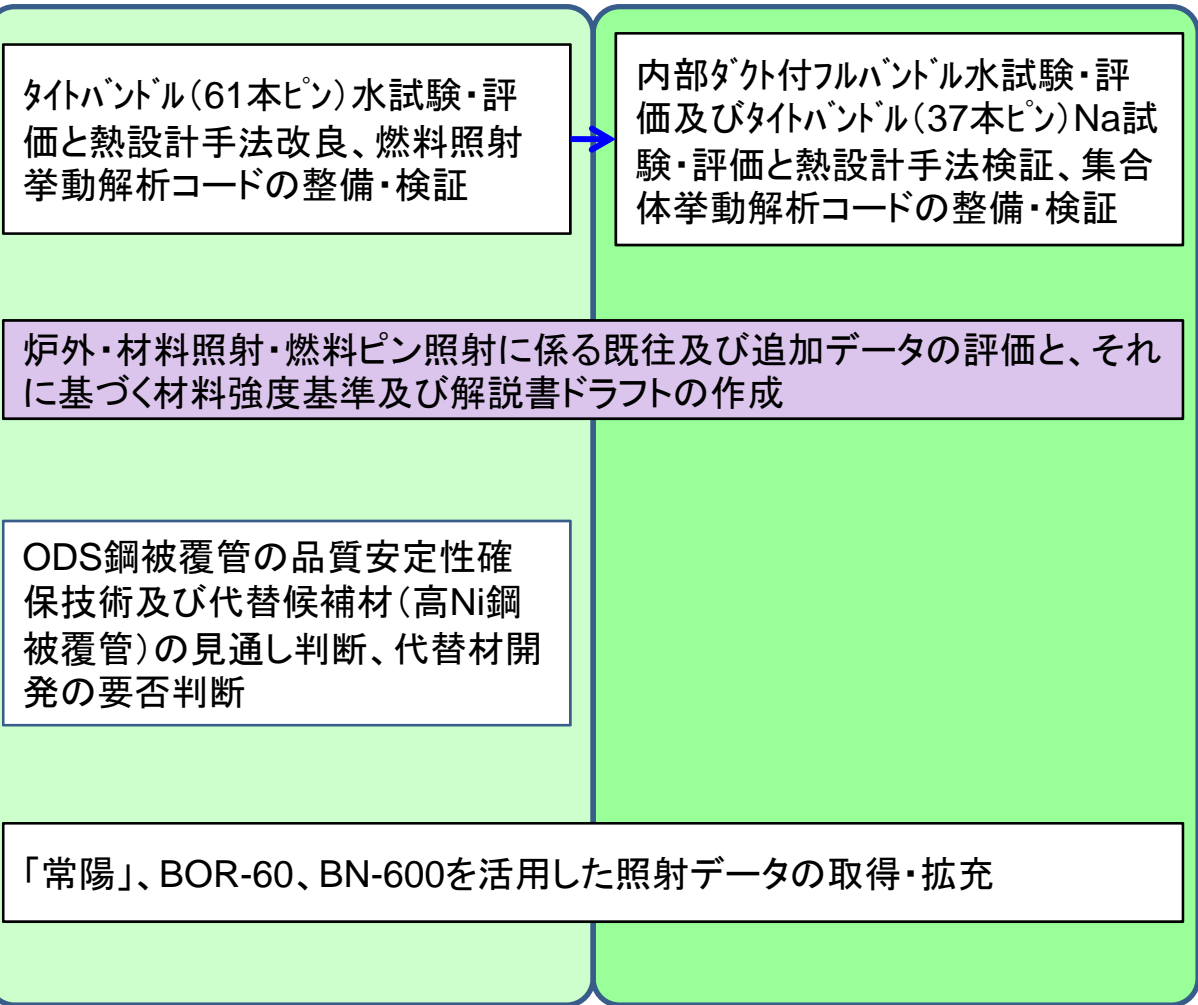
被覆管材料の選定

太径中空燃料・ODS鋼被覆管を含む燃料・材料照射挙動の把握・性能実証

~2013

解決方法

~2015





3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

安全要件(安全指針類のベースとなるもの)・安全解析手法等の技術基準

課題

解決方法

□ : 規格基準の策定に関する項目

~2013

~2015

安全要件(安全設計指針案、安全評価指針案、重要度分類指針案)の整備、安全解析手法等の技術基準化



2012年まで: 原子力学会審議用の安全要件案、安全解析手法等の技術基準案を作成

(2013年~: 必要に応じて規制当局への対応が想定される)



3. 研究開発計画の設定 - 課題抽出、解決方法策定 -

構造材料規格基準

課題

□ : 規格基準の策定に関する項目

~2013

解決方法

~2015

改良9Cr-1Mo鋼・316FR鋼の材料強度基準案の整備

2012年まで:30年設計相当データ(クリープ強度、疲労・クリープ疲労)及び316FR鋼照射データの取得、2012年版材料強度基準案の整備

60年設計相当データ(クリープ強度、疲労・クリープ疲労)及び改良9Cr-1Mo鋼照射データ等の取得 (→ 2016年版材料強度基準案の整備に反映)

高温構造設計指針案の整備

2012年まで:一般部・管の設計法の整備(簡素化法、新材料への適用性検証)、2012年版高温構造設計基準案の整備

一般部・管の設計法の整備(合理的手法、60年設計対応)、3次元設計法・非弾性解析法の整備 (→ 2016年版高温構造設計基準案の整備に反映)

LBB評価規格整備

Na漏えい挙動試験・破壊評価解析による評価法検証、条文案・解説案の作成 (→ 2016年版LBB評価規格の整備に反映)

高速炉溶接基準整備

条文案・解説案の作成 (→ 2016年版高速炉溶接基準の整備に反映)

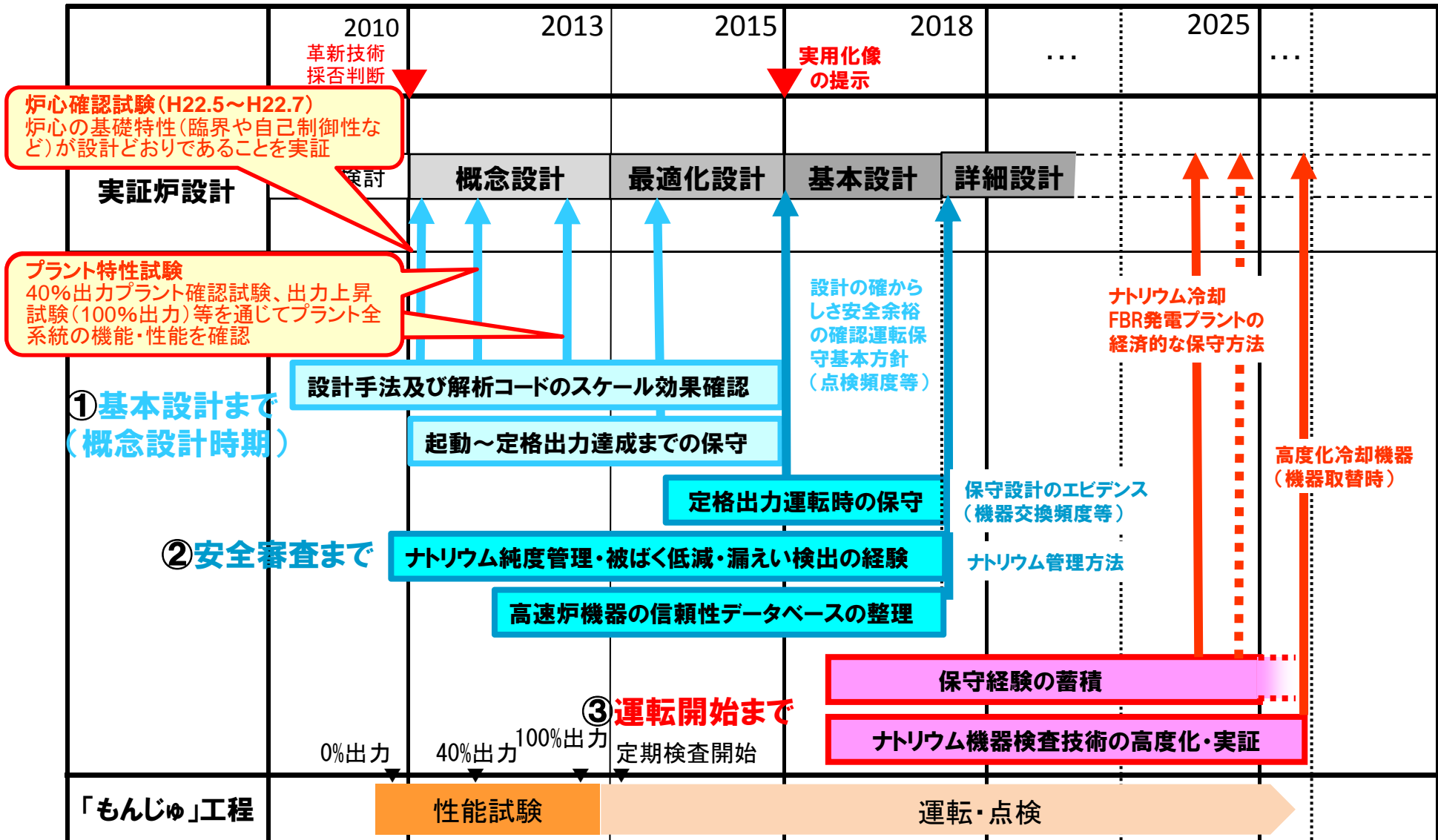
高速炉維持規格整備

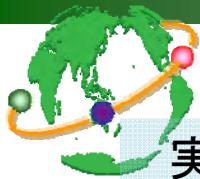
疲労・クリープき裂進展試験等による評価法検証、信頼性評価法整備、条文案・解説案の作成 (→ 2016年版高速炉維持規格の整備に反映)



4.「もんじゅ」成果の実証炉への反映

- 反映の時期と内容 -





4.「もんじゅ」成果の実証炉への反映

- 検討結果 -

実証炉
工程

基本設計
まで

安全審査
まで

運転開始
まで

実証炉
運転開始

◆「もんじゅ」性能試験結果を反映

(実証炉への反映事項)

- ⇒「もんじゅ」データを用いた設計評価手法や解析コードの検証
- ⇒「もんじゅ」定格出力達成までのトラブル経験・運転保守経験

◆「もんじゅ」の運転時のトラブル・運転保守経験を反映

(実証炉への反映事項)

- ⇒保守・補修方針、ISI装置開発などの成果
- ⇒信頼性データベースや放射性廃棄物量などの運転データ等
- ⇒ナトリウム管理技術に関する設備設計・運用基準(警報設定値等)

◆「もんじゅ」で蓄積された運転保守経験、Na検査技術を反映

(実証炉への反映事項)

- ⇒リスク情報や信頼性データベースなどの成果
- ⇒高度化されたナトリウム機器検査技術

- ・性能試験成果は、実証炉の設計評価手法や解析コードの検証へ利用
- ・トラブル、運転保守経験は、実証炉の工程に応じて、設備設計や運用基準、保守補修方針、運転検査要領等へ反映



4.「もんじゅ」成果の実証炉への反映

- 性能試験の反映 -

性能試験実施前に試験項目(全117項目*)について、反映すべき項目を実証炉設計側にて抽出し、反映方法を下記2種類に分類して検討

| | |
|--|------|
| <p>①実証炉設計側が積極的に関与して活用すべき項目</p> <p>実証炉設計側の人員が性能試験にも参加し、「もんじゅ」サイトにて評価を行うなど、積極的に関与し、実証炉設計に活用することを予定</p> <p>⇒実証炉設計側を参加させることにより、試験データのみならず、人材育成・技術伝承など、複合的な反映を狙う</p> <p>⇒炉心確認試験(2010年5月～7月)では、実証炉設計側の炉心チームが「もんじゅ」サイトにて試験データの採取・評価を実施</p> | 10項目 |
| <p>②各試験の成績書や評価書を参考として活用する項目</p> <p>「もんじゅ」側で作成する試験の成績書等を、実証炉設計の参考として活用することを予定</p> <p>⇒(例)「もんじゅ」は、我が国初の水蒸気系を有するため、2次系ナトリウムにおける水素濃度のデータは貴重であり、「水漏えい検出特性確認」等の試験で得られたデータは、実証炉のナトリウム中水素計の設計に反映される。</p> | 47項目 |

*:現時点の計画であり、今後、変更があり得る。



4.「もんじゅ」成果の実証炉への反映 - 性能試験の反映例(炉心確認試験) -

炉心確認試験では、①「**実証炉設計側が積極的に関与して活用すべき項目**」
として3項目が該当(2010年5月～7月実施)

⇒ 過剰反応度測定試験／制御棒価値確認／温度係数評価

これらの試験結果を受け、下記のような反映を実施中。

- ・高速炉核特性解析手法(実証炉設計と基本的に同様な手法)の検証
- ・核データの妥当性検討

実施
済



実証炉設計へフィードバックし、実証炉設計の不確かさを低減を図る

実施
予定



具体例

- ・臨界性予測精度の向上によるPu富化度や余剰反応度の抑制、増殖比の向上
- ・制御棒価値予測精度の向上による制御棒本数の合理的な抑制



4.「もんじゅ」成果の実証炉への反映 - 性能試験の反映例(プラント特性試験) -

プラント特性試験では、①「**実証炉設計側が積極的に関与して活用すべき項目**」として5項目を抽出。

⇒プラント診断法評価／出力変更試験／出力変更特性評価／1次主冷却系循環ポンプトリップ試験／ナトリウム自然循環評価

反映対象

⇒実証炉設計の下記に反映

自然循環崩壊熱除去系／主循環ポンプ／計測制御設備

具体例

- ・動特性解析、安全評価に用いる解析コード(Super-COPD)の検証
- ・プラント制御系設計手法の検証
- ・安全保護系の設定値の設定方法
- ・1次系主循環ポンプの軸振動データの回転安定性監視技術への反映

以上は、反映例。今後性能試験やその評価の進捗に応じて、それらの成果を実証炉設計へ反映する



4.「もんじゅ」成果の実証炉への反映

- トラブル・運転保守経験 -

「もんじゅ」から得られる成果

⇒保守経験

保全プログラム／「もんじゅ」ISI指針／保守点検・定期検査実績 他

⇒運転経験

プラントパラメータ／運用、警報設定値見直し実績／運転上の制限逸脱事象実績 他

⇒信頼性データベース

機器運転時間／機器故障確率／設備変更や運用変更に伴うリスク評価 他

⇒ナトリウム管理技術

ナトリウム純度管理実績／一次主冷却内の放射性腐食生成物の沈着分布データ／水漏えい
検出設備運転経験(ナトリウム中水素濃度データ)／ナトリウム機器洗浄処理実績 他

⇒トラブル経験

反映対象

⇒実証炉の設備設計に反映

計装設備(水漏えい検出など)／ナトリウム純化系／遮へい設計、安全評価のための線源評価手法コードの検証 他

⇒実証炉の運用基準に反映

警報設定値(ナトリウム漏えい、水漏えい検出)／ナトリウム純度管理基準 他

⇒保守・補修方針(手法)に反映

高速炉維持規格／定検工程・検査方法・検査間隔／検査装置 他



5. 今後に向けて

- R&D計画については、本評価委員会にて2011年1月より審議がなされ、同年3月までに結果がまとめられる予定。
- 上記の審議結果を踏まえ、必要に応じて各R&D項目の実施条件や年度展開の合理化などを行いつつ、2015年度までの実用化像の提示を維持できる工程に沿って、研究開発を進めていく。