資料1－2
第1回FaCT評価委員会
平成22年11月24日

高速増殖炉システムの革新技術の採否判断

2010年11月24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

目次

革新技術採否判断の概要

■FaCTフェーズⅠの流れ
■チェックアンドレビューと採否判断の流れ
■FaCT 炉システムの主要な設計要求
■革新技術導入
■R&Dの達成度評価結果
■革新技術の「技術評価」対象項目
■「技術評価」での評価の視点
■「技術評価」結果 概要
■「プロジェクト判断」での評価の視点
■プロジェクト判断の結果

採用されたプラント概念とシステム評価結果

■JSFRレファレンスプラント概念
■実用炉ツインプラント概念
■プラント設計評価
■プラント建設費評価

もんじゅ成果のFaCTへの反映

■「もんじゅ」成果の実証炉への反映
■「もんじゅ」成果のFaCTへの反映

革新技術採否判断の概要

FaCTフェーズⅠの流れ

1. FaCT開発目標を具体的な設計要求に展開
2. 設計要求を達成可能な革新技術を含むプラント概念を構築
3. プラント概念に含まれる革新技術を検討し、以下を抽出
   - 研究開発計画
   - 2010年のR&D達成目標
4. 革新技術に関するR&Dと、プラント設計検討を実施
5. 革新技術採否判断
   - ① R&D達成度評価：R&Dが必要レベルに到達したかを評価
   - ② 技術評価：革新技術を適用したプラントの性能が設計要求を満足するかを評価
   - ③ プロジェクト判断：技術評価を踏まえ、総合的に採否判断

チェック&レビューと採否判断の流れ

FaCT開始

機構外部評価（研究開発・評価委員会）による評価

MEXT、METI、JST、等による研究開発の評価。

機構内委員会レビュー

各専門分野毎に専門委員会を組織し、R&Dについて、関連専門分野の大学教授、機構内外の専門家による技術的検討・議論を実施

2010年4月

R&D達成度評価（機構、MHI/MFBR ）

13の革新技術について、実機設計に適用可能な技術レベルに到達しているかを評価

【評価の観点】

- R&Dクライテリア

2009年4月～2010年9月

技術評価（機構、MHI/MFBR ＋電力）

実用炉のプラントを構成可能か、及びその性能は設計要求に達しているか、を推定し、採用の可否を評価。

【評価の観点】

- 設計成立性
- 製作性
- 運転・保守性
- 経済性

2010年1月～2010年9月

プロジェクト判断（機構、MHI/MFBR 、電力）

- 技術評価結果を優先し、採用すべき技術を選定
- プロジェクトとして実現性・性能低下度合い等を勘案し総合的に判断

【評価の観点】

- 実用炉での建設費を含む性能実現程度
- 実証炉段階での工業的実現性(施設整備に関わる時間や費用)

実用炉への採用技術として革新技術の採否を判断

FaCTフェーズⅡ：
2015年（技術基盤整備）、
2018年（実証炉安全審査開始）

FaCT 炉システムの主要な設計要求（1/2）

■ FaCTの開発目標を踏まえ、炉システム設計要求を設定した

FaCTの開発目標の概要			炉システム設計要求の概要	
安全性及び信頼性		•軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の安全性の確保 –設計基準事象の範囲内で周辺公衆に著しい放射線被ばくリスクを与えない –大量の放射性物質又は放射線の放出事象の発生可能性を十分に抑制 –炉心損傷等の発生確率の目標設定 •軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の信頼性の確保 –施設の運転・保守・補修性の向上 –放射線作業従事者の被ばく低減	安全性	● 安全設計の基本原則の遵守 ● 異常な過渡変化時及び想定事故時の判断基準を超えないこと ● ATWS事象に対して、受動的炉停止機構による炉心損傷回避及び炉心損傷に至っても原子炉容器内でその影響を終息できること ● 中越沖地震を考慮した地震条件に対応した耐震性を有すること
			信頼性	● 設計の特徴を考慮した保守・補修方針を作成し、これに適合した検査が可能な設計 ● 放射線作業従事者1人当たりの年間被ばく線量を次世代軽水炉と同等とする
経済性		•ライフサイクルによる不確定性を考慮し、発電原価が軽水炉等に匹敵 •軽水炉サイクルと比較し、大きな投資リスクがない •軽水炉サイクルと比較し、大きな外部コストがない	経済性	● 次世代軽水炉と同等の建設コストとする ● 高燃焼度（炉心平均150GWd/t）と長期運転サイクル可能な炉心とする ● 投資リスクを減少させること
持続可能性	環境保全性	•放射性気体及び液体廃棄物の環境への実効線量が軽水炉サイクルのそれを下回る •ライフサイクルを通し環境移行物質の影響を抑制	環境保全性	● 通常運転時の環境放出放射能を次世代軽水炉未満とすること ● 地球温暖化ガスおよび化学物質の環境への放出を次世代軽水炉未満とすること

FaCT 炉システムの主要な設計要求（2/2）

FaCTの開発目標・設計要求の概要			炉システム設計要求の概要	
持続可能性（続き）	廃棄物管理性	•軽水炉サイクルと比較し、ライフサイクルを通した放射性廃棄物の発生量の低減及び質の向上、並びに潜在的有害度の低減（マイナーアクチニドのリサイクル）	廃棄物管理性	● MA含有率：1～5%程度とした燃料で、MA燃焼が可能なこと
	資源有効利用性	•低増殖から高増殖まで柔軟に対応可能とする（増殖比1.03～1.2） –FBR導入開始後は、新規に軽水炉を建設することなく、FBRへ移行できる程度の燃料生産を可能にする –エネルギー需要や資源の不確かさ、海外展開も視野に入れる	資源有効利用性	● 増殖比1.03～1.2とし、ほぼ同じ原子炉構造のもとで、制御棒配置や炉心上部機構などの一部の設計変更で対応可能なこと
核不拡散性		•核拡散抵抗性を高めた技術の採用 –他の原子力システムと同等以上の核拡散抵抗性を有し、国際的に容認されるものとする –Puを単離せず、常にウランもしくはマイナーアクチニド等と混合された状態 –効果的・効率的な保障措置システムの適用 •核物質等の盗取と施設の妨害破壊行為を抑制できる核物質防護システムを持つ	核不拡散性	● 核物質防護に関する法令を満たし、IAEAのガイドライン等を十分踏まえたシステムとすること

革新技術導入:(1) 安全性:設計基準事象

設計要求:　・異常な過渡変化時及び想定事故時の判断基準を超えないこと
　　・中越沖地震を考慮した地震条件に対応した耐震性を有すること

設計方針:

設計基準事象に対して:
・独立2系統の原子炉停止系と、自然循環による崩壊熱除去系により、炉心燃料、冷却材バウンダリの健全性を確実に確保
・地震時の炉心集合体の群振動挙動を把握し、炉心が十分な耐震性を有することを評価

R&D課題の抽出:

受動的な安全システムによる信頼性向上

受動的な崩壊熱除去機構:
⑪自然循環による炉心冷却

・崩壊熱除去系設計
・炉停止系設計

R&Dクライテリア:

・自然循環伝熱流動評価手法の開発

炉心耐震性の裕度向上

炉心の耐震性確保:
⑬大型炉の炉心耐震技術

・3次元群振動解析評価方針案を策定

革新技術導入:(2) 安全性:設計基準外事象

設計要求: ATWS事象に対して、受動的炉停止機構による炉心損傷回避及び炉心損傷に至っても原子炉容器内でその影響を終息できること

設計方針:

設計基準外事象に対して:
- 受動的な原子炉停止機構によりATWSに対しても炉心損傷に至らない
- ATWSから炉心損傷への移行を仮定しても、再臨界を回避し原子炉容器内で事象終息する

R&D課題の抽出:

受動的な機構による炉停止信頼性向上

受動的な炉停止機構:
⑪SASS

R&Dクライテリア:

・SASS感知合金の開発、実用炉へのSASSの適用性確認

事故緩和策による過酷事故の防止

CDA緩和対策:
⑫炉心損傷時の再臨界回避技術

・CDA評価手法の開発、事象推移を裏付ける試験データの充足

革新技術導入:(3) 経済性

設計要求:　・将来軽水炉と同等の建設コスト
　　・高燃焼度・長期運転サイクル炉心

設計方針:

- 配管短縮　(配管引き回しスペース削減による建設コスト削減)
- 機器数削減　(機器数削減によるシステム簡素化、機器近接配置による建設コスト)
- 物量低減　(機器製作コスト削減)
- 建設工程短縮　(工期短縮による建設コスト削減)
- 長期運転サイクル及びサイクルコスト低減　(燃料費、運転費削減)

R&D課題の抽出:

配管短縮:	機器数削減:	物量低減:	建設工期短縮:	運転コスト低減:
①配管短縮のための高クロム鋼の開発	②冷却系2ループ化 ③ポンプ組込型IHX	④RVコンパクト化 ⑤簡素化燃料取扱系開発	⑥格納容器のSC造化	⑦高燃焼度・長期運転サイクル炉心・燃料の開発

R&Dクライテリア:

・改良9Cr鋼の材料強度基準・高温設計指針の確立	冷却系2ループ化: ・流力振動評価手法開発 ・超音波流量計開発 ポンプ組込型IHX: ・ポンプ軸回転安定確保手法開発 ・伝熱管振動・摩耗防止手法開発	・耐熱性向上対策の開発 ・流動安定対策の開発・評価手法開発 ・免震システム開発 ・新型燃料交換機の開発 ・簡素化燃料移送、洗浄、貯蔵系開発	・SCCV設計基準の整備	・高燃焼度に適合するODS鋼被覆管の開発

革新技術導入:(4) 信頼性

設計要求:　・設計の特徴を考慮した保守・補修方針を作成し、これに適合した検査が可能な設計
・投資リスクを減少させること

設計方針:

蒸気発生器での水リーク事象に対して:
　・Na-水反応による伝熱管破損伝播を防止する(資産保護性の確保)
ナトリウム漏えい事象に対して:
　・不活性ガス雰囲気の2重バウンダリによりNa燃焼を抑制するとともに、早期検出する
保守・補修性:
　・不透明かつNaの化学活性により大気開放できない機器の検査・保守性を確保する。

R&D課題の抽出:

SGでのNa-水反応による破損伝播防止

蒸気発生器水リーク:
⑨2重管SGの開発

R&Dクライテリア:

・2重伝熱管の開発
・代替伝熱管の開発
・流動評価技術開発・検証
・高クロム鋼部材開発

機器・配管からのNa漏洩による火災防止

Na漏えい:
⑧2重配管システムの開発

・微少漏えい検出システム開発

Na機器の保守性確保

保守・補修性:
⑩Na中保守技術の開発

・ナトリウム中可視化・検査装置開発
・伝熱管検査装置開発

R&Dの達成度評価結果（1/4）

①配管短縮のための高クロム鋼の開発

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・設計評価に適用可能な材料特性が提示されること. ・極厚鍛鋼品，薄肉小径管および2重管，SG主要構造の試作により，製作性見通しが得ること. ・溶接継手クリープ疲労強度評価法が提案されること．改良9Cr鋼-ステンレス鋼異材溶接施工法が提案されること. [高温構造設計指針の整備] ・実証炉で採用予定の改良9Cr鋼容器・管および特殊構造の設計評価法が提示されること. ・改良9Cr鋼製配管のLBB評価に適用可能な評価手法が提示されること.	・達成 ・達成 ・達成 ・達成 ・達成	

②システム簡素化のための冷却系2ループ化

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・流力振動特性の評価を可能とする解析的評価手法を確立し、冷却系2ループシステムの成立性を判断することが可能なデータを得る。 ・検出器設置環境に係わる条件及び機能要求を満足する1次主冷却系流量計測システムの仕様が明らかになること、システムの有効性が試験及び評価により示されること。 ・安全保護系に適用できることを実証するための開発課題が明確にされ、解決の見通しが示されること。	・達成 ・達成 ・達成	

③1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・振動発生及び振動伝達を評価し、固有値を±10%以内で評価可能な解析モデルを構築・検証すること ・振動伝達解析モデル、及び伝熱管摩耗特性試験の結果と併せて、炉寿命中の伝熱管摩耗量を評価可能とすること。 ・試験で得られた振動減衰データを用いて、軸の振動安定性が確保できるポンプの設計が可能となること。	・達成 ・達成 ・達成	
・下部軸受けが損傷した場合、損傷が拡大する前にポンプ停止が可能な軸振動モニタリング手法を開発すること。 ・ポンプ入口でガス巻き込みが発生しないことを確認すること。ポンプ内自由液面からのガス巻き込み防止性能及びガス放出量が予測可能なこと。リークフロー戻りラインの機能が確保される見通しを得ること	・達成 ・達成	

④原子炉容器のコンパクト化

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・ガス巻き込み抑制構造、水中渦抑制構造を提示し、プラント運転、構造物健全性に支障を来さないことを示すこと。 ・実証炉のホットベッセル概念の成立性を見通すための高温構造設計評価技術を提示すること。	・達成 ・達成	

R&Dの達成度評価結果（2/4）

⑤システム簡素化のための燃料取扱系の開発

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・新型燃料交換機について基本仕様が気中モックアップ試験などにより確認されること。 ・2集合体Na移送ポットについて、複数体移送中の事故時の間接冷却性能など、主要な除熱性能が確保できること。 ・乾式燃料洗浄において、アルゴンガス乾式洗浄による残存Na除去能力が試験により確認されること。 ・新燃料輸送キャスクについて、キャスクの伝熱流動の成立性が解析により確認できること。	・達成 ・未達成 ・達成 ・達成	・試験の結果、間接冷却では必要な除熱性能が得られなかったが設計変更により設計は成立。

⑥物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・SCCVの鋼板挙動及びSC構造挙動の解析手法を構築し、SCCVの成立の見通しについて評価する。 ・SCCV規格の概要部分及び規格化の整備方法を提示する。	・達成 ・達成	

⑦高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・ピーク燃焼度150GWd/tにおける被覆管の内面腐食深さが従来のオーステナイト鋼被覆管と同等であること。 ・照射初期Am再分布挙動の見込み、40GWd/tまでのAm含有燃料ピン健全性データを取得すること。 ・改良内部ダクト付集合体ラッパ管構造の試作を完了すること。	・達成 ・一部未達 ・達成	・「常陽」の停止により、40GWd/tまでの照射データの取得ができなかった。

R&Dの達成度評価結果（3/4）

⑧配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・要素成立性に必要な検出系感度、信号信頼性を確認できていること。	・達成	

⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
[伝熱流動評価] ・水側流動安定性について、実機が安定して運転可能なことを確認できること。 ・Na側の温度・流速分布が、均一となり、伝熱管の座屈が無い見通しを得られていること。 ・内部熱過渡に対する管束部構造健全性の見通しを得られていること。 [SG漏えい検出系の開発] ・新型検出計センサの開発が完了していること。 [水リーク挙動試験・評価技術開発] ・Na/水反応現象や伝熱管への影響が把握可能な機構論的解析評価システムを開発し、SG水リーク時の2次破損の有無を評価できること。	・達成 ・達成 ・達成 ・達成 ・達成 ・達成	

⑩保守・補修性を考慮したプラント設計と技術開発

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・Na中可視化装置についての目標とする精度で可視化できる見通しを得ること。 ・Na中搬送装置について水中にて所定の精度で位置検出・移動できること。また、ナトリウム中でも同等の位置検出性、制御性を確保できることを確認する。 ・UT検査速度の向上、ガイドウェーブ法センサの ２重伝熱管検査への適用性を確認する。 ・RF-ECTセンサで伝熱管支持板部外管の所定の減肉を検出できることを確認する。UTセンサ及びRTセンサの性能試験により管-管板溶接部の検査に適用できることを確認する。	・達成 ・達成（一部今年度後半実施） ・達成 ・達成	・Na試験は今年度後半に実施する

R&Dの達成度評価結果（4/4）

⑪受動的炉停止と自然循環による炉心冷却

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・炉心条件、安全条件、炉心・原子炉構造取合条件等に適合したSASSの仕様が設定されていること。 ・設計仕様の根拠となる感知合金データ、及び磁界解析によりSASSの保持力が要求条件を満足することを示すこと。 ・自然循環評価手法を整備し、水流動試験および部分Na試験による検証結果を提示すること。 ・開発した手法により実機での自然循環除熱が確実に機能することを示すこと。	・達成 ・達成 ・達成 ・達成	

⑫炉心損傷時の再臨界回避技術

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・内部ダクト付き燃料集合体(改良型FAIDUS)の溶融燃料の流出促進機能を確認できる試験データを取得すること。また、検証された解析コードにより実機設計の有効性を示すこと。 ・流出した溶融燃料が原子炉容器内で安定に保持されることを、基礎試験によって検証された評価手法により提示すること。	・達成 ・達成	

⑬大型炉の炉心耐震技術

2010年達成目標（クライテリア）	達成状況	備考
・水平応答（変位、衝突荷重）、上下応答（飛上り量）の解析評価手法を開発・整備し、3次元群振動解析評価方針案を策定。	・達成	

革新技術の「技術評価」対象項目

- 技術評価は、革新技術を採用したプラント設計としてその性能を評価する。そのため、設備区分毎にその機器・システム設計を評価対象として整理し直し、採否評価する

評価対象技術	反映した研究開発課題
1. 高燃焼度炉心・燃料 （ODS鋼被覆管、内部ダクト付燃料集合体、高性能遮蔽体）	⑦高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発
2. 安全性向上技術 （SASS、再臨界回避技術）	⑪受動的炉停止と自然循環による炉心冷却 ⑫炉心損傷時の再臨界回避技術
3. コンパクト化原子炉構造	④原子炉容器のコンパクト化 ⑩保守・補修性を考慮したプラント設計と技術開発 ⑬大型炉の炉心耐震
4. 9Cr鋼製大口径配管を用いた2ループシステム	①配管短縮のための高Cr鋼の開発 ②システム簡素化のための冷却系2ループ化 ⑧配管2重化によるナトリウム漏えい対策と技術開発
5. ポンプ組込型中間熱交換器	③1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発
6. 直管2重伝熱管蒸気発生器	①配管短縮のための高Cr鋼の開発 ⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 ⑩保守・補修性を考慮したプラント設計と技術開発
7. 自然循環除熱式崩壊熱除去システム	⑩受動的炉停止と自然循環による炉心冷却
8. 簡素化燃料取扱いシステム （新型燃料交換機、2集合体移送ポット、乾式洗浄システム）	⑤システム簡素化のための燃料取扱い系の開発
9. SC造格納容器	⑥物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化
10. 高速炉用免震システム	―

「技術評価」での評価の視点

「採用可能」技術とは？

実用炉に採用できる見通しがあり、かつ、2011年度から実証炉の概念設計を行うことができる開発レベル、データ充足性をもつ技術

- ✓ 2015年度末までに実証炉の設計仕様に採用できるかを、2011年以降の技術開発・実証、概念設計成果を踏まえて最終的に決定

技術評価の視点

◆設計成立性

革新技術を組込んだ設備毎に、プラントシステム全体との関連を考慮して、①熱過渡、流力振動、地震力等に対する構造健全性、②想定される運転条件での機器性能を満足できることの確認、③想定される異常に対するシステム安全性等を評価し、所定の判断基準を満たすことを確認する。

◆製作性

新材料の採用可能性、大型鍛造品等の構造部材の製作可能性、構造物としての製作性等を評価する。

◆運転・保守性

想定される規制要求検査、自主検査及び補修への対応可能性、並びにトラブル等に起因する予想外の点検・評価・補修及び保守・補修要求の拡大対応としてのアクセス性の程度について評価する。また、運転インターバルや定期点検期間及び起動日数等、プラントの運転性に係る評価を行う。

◆経済性

個々の技術毎に従来の技術又はそれを代替する技術に対する経済性向上効果を評価する。

「技術評価」結果 概要

- 10の評価対象技術の技術評価結果は全ての技術が採用可能となった。
  - 内1つの技術については、評価が未了となり2013年に判断を行う。
  - 内1つの技術に関しては技術的な課題に対応した代替案*を設定した。

評価対象設備	「技術評価」結果概要
(1) 高燃焼度燃料	ODS鋼被覆管について採用の見通しはあるものの、成立性を最終的に確認できなかった。代替案を含めた検討を実施し、2013年に判断する
(2) 安全性向上技術	採用可能
(3) コンパクト化原子炉構造	採用可能
(4) 2ループシステム	採用可能
(5) ポンプ組込型IHX	採用可能
(6) 直管型2重管SG	採用可能。長尺の密着2重伝熱管の製作性への懸念に対応し、伝熱管に代替案を検討。代替伝熱管として防護管付伝熱管を採用可能とした。
(7) 自然循環崩壊熱除去系	採用可能
(8) 簡素化燃料取扱システム	採用可能
(9) SC造格納容器	採用可能
(10)高速炉用免震システム	採用可能

＊代替案：主として開発する技術に対する代替案との意味で、その技術レベル（既存技術/開発要素が高い技術、等）を示すものではない。

「プロジェクト判断」での評価の視点

- 代替案の設定された技術項目を対象に、実証炉の仕様として選定すべき技術を評価。
- 2011年からの実証炉概念設計に向け、実証炉の開発リスクの低減と実用炉の性能維持を総合的に判断
- 評価の視点

◆工業的実現性（施設整備に関わる時間や費用）

実証炉に向けて、新材料や、新型伝熱管、大型鍛造品等の構造部材を工業的に生産する際の開発リスクを評価

◆代替案を採用した場合の経済性への影響

プラント建設費に対する影響を評価

プロジェクト判断の結果

- 代替案の設定された技術項目を対象に、実証炉の仕様として選定すべき技術を以下のとおり判断。

	選定すべき概念	技術的成立性	工業的実現性	経済性への影響
直管型2重伝熱管蒸気発生器	・伝熱管を「防護管付伝熱管」とする ・従来概念である「密着2重伝熱管」を代替案とする	・伝熱管からの水リーク時でも、破損伝播を防止可能で、資産保護性の目標を満たす。	・伝熱管を国内現存設備で工業生産可能	・従来案である密着2重伝熱管に比較して建設費を2%程度低減。

「技術評価」とは異なる選定

採用されたプラント概念とシステム評価結果

JSFRレファレンスプラント概念

- 将来の基幹電源となり得る「安全性、信頼性、経済性」を実現し、ウラン資源の持続的利用を達成できるナトリウム冷却高速増殖炉のプラント概念

プラント概念の特徴

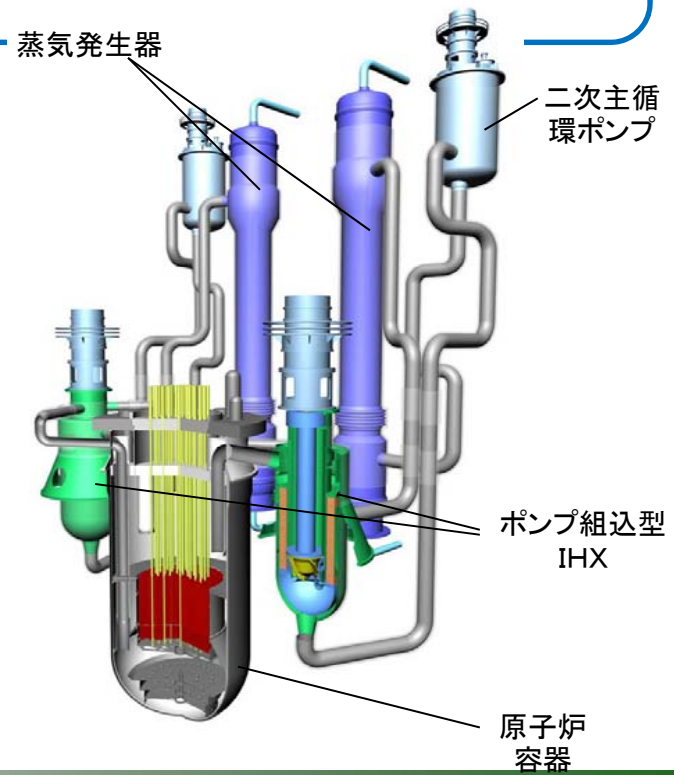
◆ **安全性向上**
- 受動的な炉停止機構（制御棒の自重落下）
- 自然循環による炉心冷却

◆ **信頼性向上**
- ナトリウム配管・容器の2重化
- 蒸気発生器水リーク時の伝熱管破損伝播防止
- ナトリウム中機器・構造の保守性向上

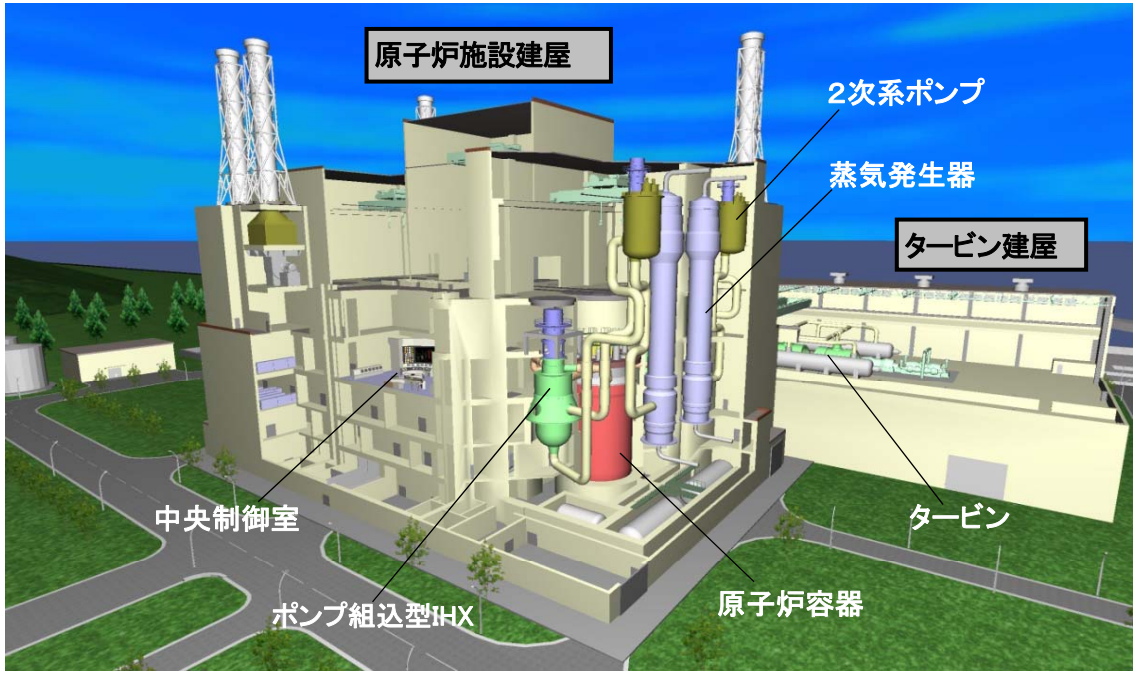
◆ **経済性向上**
- 燃料の高燃焼度化（15万MWd/t）と18～26ヶ月の長期運転サイクル
- 2ループ構成で高出力化（150万kWe級）
- 高クロム鋼による配管短縮
- ポンプ組込型中間熱交換器

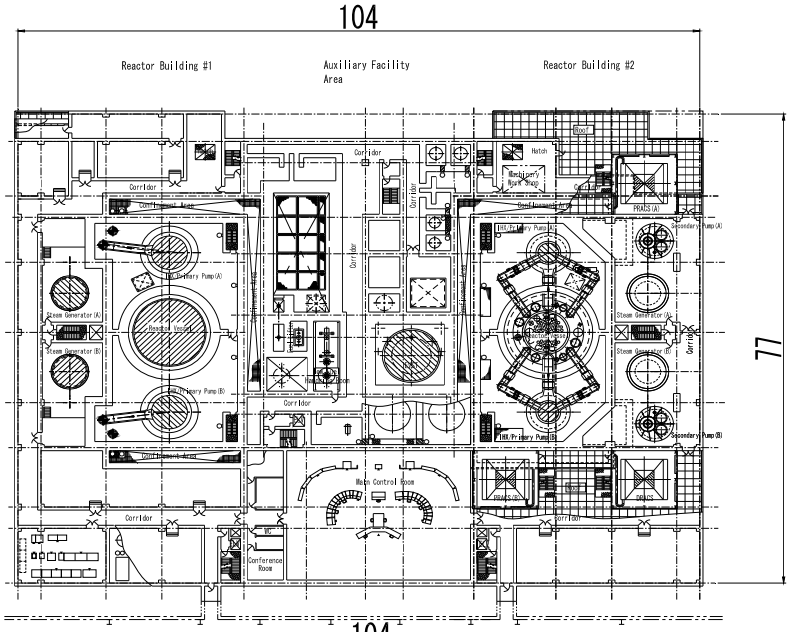
主要仕様及び性能

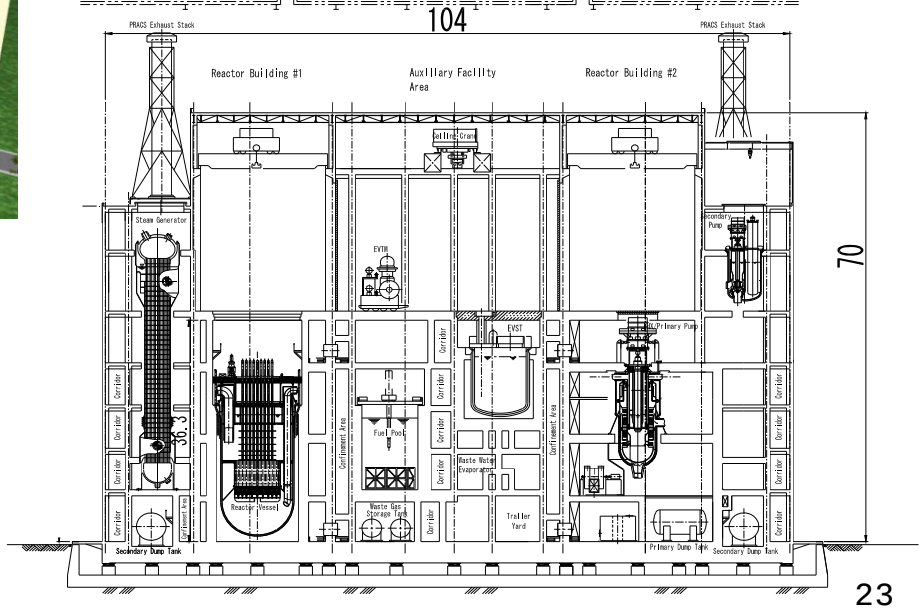
項目	性能
炉形式	Na 冷却アドバンストループ型
炉心・燃料形式	均質2領域炉心（ MOX 燃料高内部転換型）
燃料集合体形式	改良内部ダクト型集合体
ヒートバランス	1次系： 550/395℃ 、2次系： 520/335℃
ループ数	2ループ
崩壊熱除去系	直接炉心冷却系 × 1、 1次系共用型炉心冷却系 × 2系統
主循環ポンプ及び中間熱交換器	1次系ポンプ組込型 IHX
蒸気発生器形式	一体貫流型縦置有液面直管型 防護管付き伝熱管
構造材料	原子炉容器：316FR 鋼 冷却系機器：改良9Cr-1Mo鋼
免震方式	高速炉用免震装置による建屋免震
プラント熱効率	約 42 %
増殖比	1.03,～1.2
稼働率	90% 以上



実用炉ツインプラント概念（1500MWe×2）







プラント設計評価 (1) 耐震性

耐震性評価の考え方:

中越沖地震の影響も考慮し入力地震動を設定、各機器評価用の床応答曲線を算定後、各機器の耐震評価を行う。
評価項目は、概念成立性に影響を及ぼす項目を選定。

制御棒挿入性を確保

地震によるスクラム時にも制御棒が拘束されることなく挿入されるように、制御棒駆動軸案内管等の形状を設定。

＜評価結果＞

◆地震時の相対変位量＜11.6mm（許容相対変位量）
相対変位量は、制御棒駆動機構案内管下端と制御棒集合体頂部の水平方向相対変位

容器の耐座屈成立性を確保

地震時に原子炉容器が座屈しないように容器肉厚を設定。

＜評価結果＞

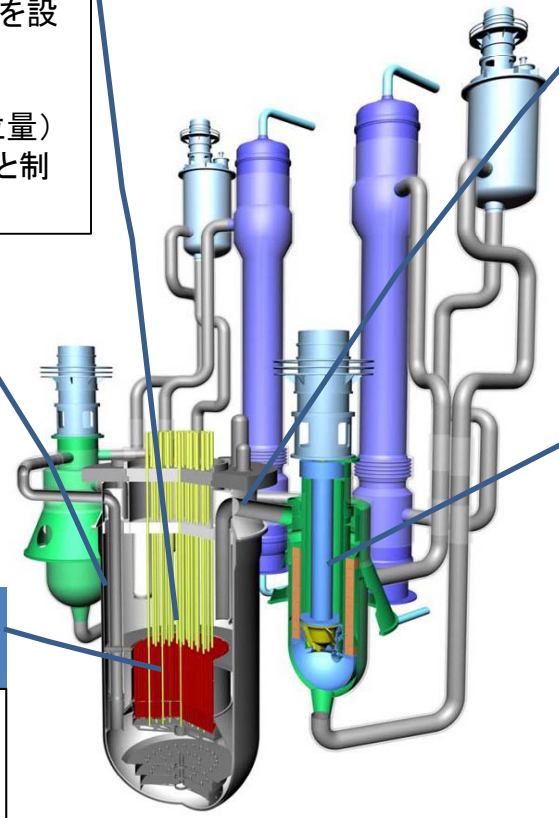
◆確保できた座屈裕度:
2.5＞1.5 (必要座屈裕度)

炉心の集合体飛上がり量、反応度投入量を制限

地震時の集合体飛上がり量と反応度投入量を制限。

＜評価結果＞

◆地震時反応度投入量:63 ¢ ＜100 ¢
（設計許容投入反応度）



入力地震動＝共通

配管での発生応力を制限

配管での地震時発生応力を許容応力以下に制限。

＜評価結果＞

◆1次系ホットレグエルボ部での発生応力:
18MPa＜232MPa（許容値）

◆外管エルボ部での発生応力:
17MPa＜294MPa（許容値）
許容値:設計引張強さの2/3

ポンプ下部軸受と主軸の接触による破損防止

地震時のポンプ下部軸受と主軸の接触応力を評価。

＜評価結果＞

◆軸受部の接触応力は許容引張応力の約6%程度

地震時にも、耐震性が確保できるように、形状の工夫を行い、必要な耐震性を確保している。

プラント設計評価　(2) 構造健全性

構造健全性評価の考え方:

構造各部に発生する温度・応力、熱過渡、機械的振動条件を考慮し、構造健全性を評価する。評価項目は、概念成立性に影響を及ぼす項目を選定。

配管熱応力

○容器及び配管の熱膨張により応力が発生
○熱応力を炉寿命に対する許容応力で健全性評価

＜評価結果＞

◆溶接部応力:137MPa＜150MPa(60年間の寿命を考慮した初期許容応力)

配管流力振動

○大口径配管・高速流により配管エルボで流力振動が発生し、配管に振動が発生
○水流動試験により配管各部での圧力パワースペクトル密度データを取得し、実機条件での発生応力を推定

＜評価結果＞

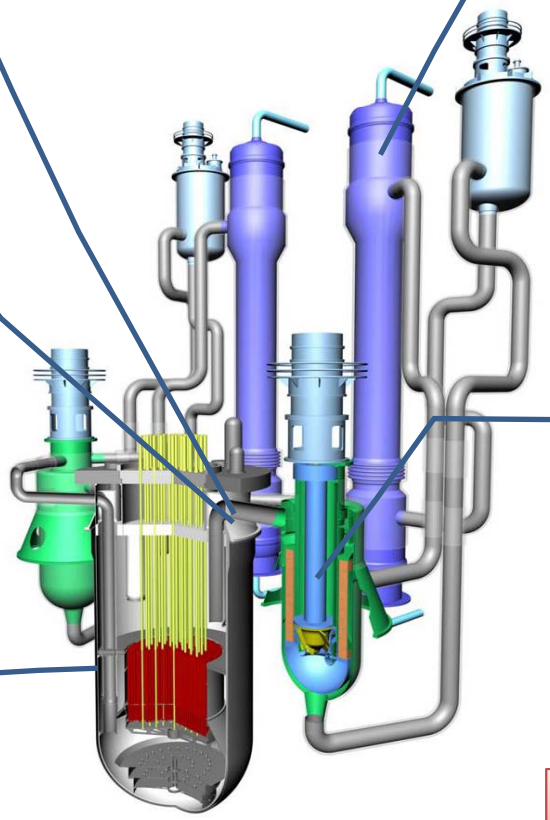
◆流力震度運より発生する最大応力:28MPa＜49MPa(疲労限応力)

原子炉容器耐熱性

○起動・停止に伴うNa液位変化・温度分布により熱応力が発生
○構造健全性を確保可能な起動時間(日数)を評価
○起動時間が運転性で問題ないかを判断

＜評価結果＞

◆起動時間は1.5日となり、運転性に問題は無い



蒸気発生器管板部での熱過渡

○厚肉構造と温度変化の大きい伝熱管束により、過渡時に大きな熱応力が発生
○熱過渡によるクリープ疲労損傷を評価し、炉寿命中の想定回数と比較し構造健全性を評価

＜評価結果＞

◆入口蒸気放出弁誤開事象の許容繰り返し回数:170回＞40回(想定回数)

IHX伝熱管のフレッティング摩耗

○ポンプ振動がIHXに伝播し、伝熱管とバッフル板の間でフレッティング摩耗が発生
○炉寿命中の摩耗深さを評価し、伝熱管の肉厚余裕内であることを確認

◆摩耗深さ0.16mm＜0.42mm(伝熱管肉厚余裕)

構造健全性を確保可能と評価

プラント設計評価 (3) 安全性

安全性評価の考え方:

設計基準事象及び設計基準外事象について、概念成立性を決める事象を摘出し、安全解析を実施した。事象に対する成立性判断基準に照らして成立性を判断。

設計基準事象の評価:

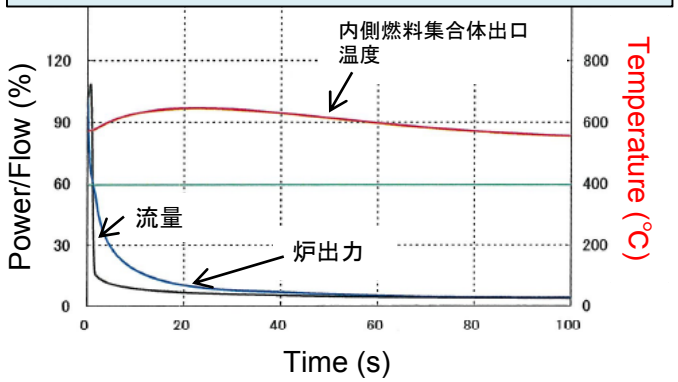
- LOF型事象(外部電源喪失、ポンプ軸固着、等)
- TOP型事象(制御棒誤引抜、等)

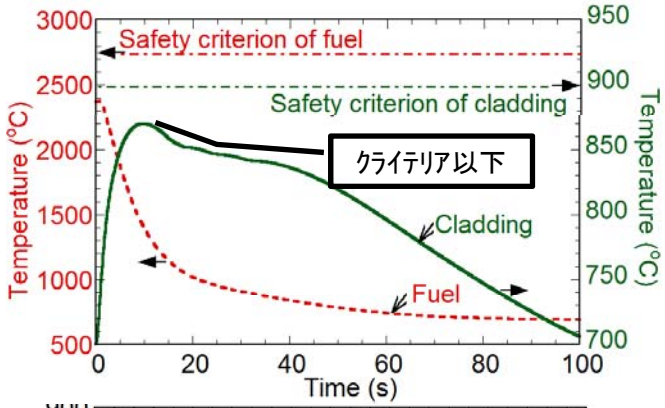
設計基準外事象の評価:

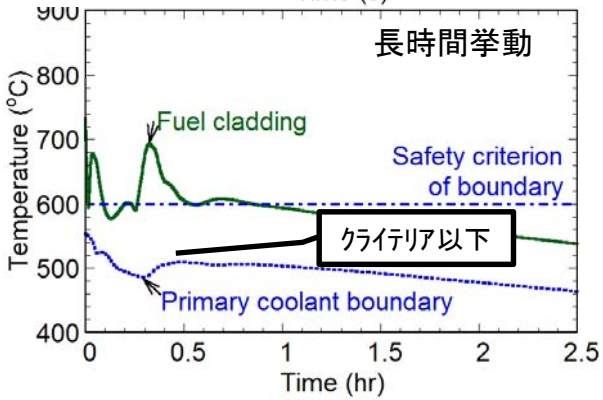
- 異常な過渡変化＋スクラム失敗事象(ATWS事象)

LOF型事象の解析結果例

・冷却材流量喪失＋外部電源喪失事象
・1次ポンプ回転数低で主炉停止系作動
・DRACS1系統とPRACS2系統による自然循環除熱







プラント建設費評価 -1

●設計物量に基づく建設費評価

- プラント概念検討の設計物量データを基に積み上げ方式で評価

●電力実証炉の検討におけるエンジニアリングメーカーによる建設費評価コードの開発

- 90年代の電力実証炉の検討では、米国の軽水炉の経済性データベース（EEDB）や、米国のロックウェル社、ベクテル社、及び、日本の川崎重工等のエンジニアリングメーカーのノウハウを考慮した、設計物量ベースの建設費評価コードを開発

●FaCTでも電力実証炉の検討と同様の手法で建設費を評価

- 電力実証炉の検討と同様に、EEDBおよび設計物量ベースの積み上げ手法による評価コードを開発
- 評価結果の導出根拠を明らかにするため、コードの全ての情報をEEDB等の公開文献を基にした
- FaCTの評価コードは、電力実証炉の評価コードと概ね同等の結果を与える

プラント建設費評価 -2

軽水炉評価用DB（EEDB）

勘定科目の作成

直接費	21構築物及び土地改良工事
	22 原子炉設備
	23 ﾀｰﾋﾞﾝ発電機設備
	24 付属電気設備
	25 発電用雑設備
	26 特殊材料

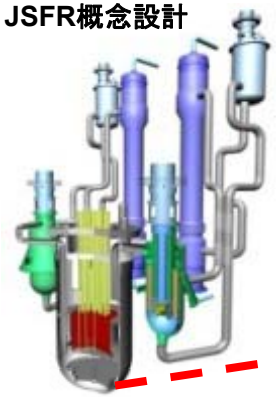
22				原子炉設備
	221			原子炉機器
		221.1		原子炉容器及び付属品
			221.11	炉容器、熱遮蔽板及び支持台
			221.12	原子炉構造物
			221.13	固定遮蔽体及び可動遮蔽体
			221.14	炉上部構造
		221.2		制御棒駆動機構
		221.3		炉容器内配管
		221.5		炉容器ｶﾞｰﾄﾞﾍﾞｯｾﾙ及び保温材
	222			主冷却設備
		222.1		1次主冷却設備
			222.11	1次主循環ﾎﾟﾝﾌﾟ、駆動装置及びｶﾞｰﾄﾞﾍﾞｯｾﾙ
			222.12	コールドレグ逆止弁
			222.13	中間熱交換器及びｶﾞｰﾄﾞﾍﾞｯｾﾙ

単価の設定 （円/物量）

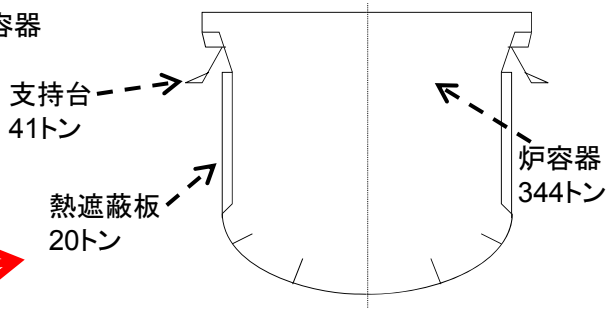
- ■各種公開文献の物量とコストを基に設定
- ■JSFR固有の機器の特徴を考慮
- ■米国内エスカレーション反映
- ■為替レート反映
- ■日米部価格差反映

設計物量の算定

JSFR概念設計



例）炉容器



建設費＝
- 直接費＝Σ（物量×単価）
- 間接費＝直接費×定率

プラント建設費評価 -3

■ 評価結果

◆実用炉の初号機の建設中利子込の建設単価は、約25万円/kWeとなる。これは、初号機だけに発生する初期コストである、初期設計費、許認可等のエンジニアリング費用(FOAKコスト※1という)を含む。

◆複数機建設した場合、FOAKコストが削減され、かつ、機器製作の習熟によるコスト削減効果が期待できる※2。

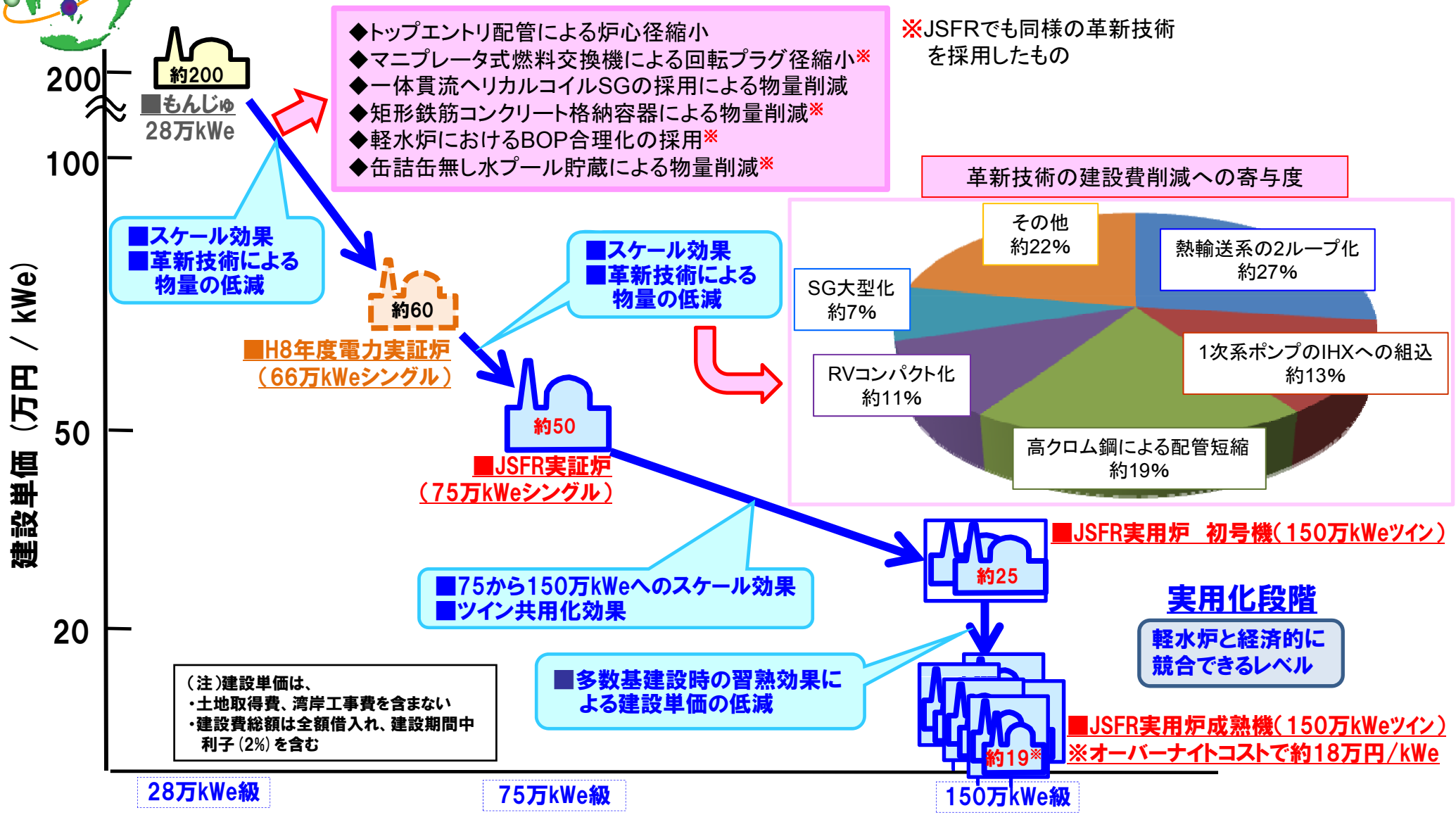
◆実用炉の習熟後の建設中利子を含まない建設単価は、約18万円/kWeとなった。

◆<u>習熟機の建設単価は、最新の国内軽水炉の建設単価25～29万円/kWeより3～4割程度低く、将来における基幹電源として競合できる経済性を有するものと判断する。</u>

実用炉(150万kWeツイン)※3
初号機(建設中利子含む) :約25万円/kWe 習熟後(建設中利子含まず):約18万円/kWe (設計要求:習熟後の建設中利子を含まない建設単価で12万円/kWe)

※1:FOAKコストは、"The Economic future of Nuclear Power (シカゴ大)"に基づいた評価手法により評価される
※2:習熟効果は、GIF/EMWG報告に基づき、機器費、現地労働費及び間接費の別に習熟効果によるコスト低減比率を設定して評価される
※3:2010年9月に評価を実施した値。2005年経済価値相当の建設コストを試算したもの。

プラント建設費評価 -4



◆トップエントリ配管による炉心径縮小
◆マニプレータ式燃料交換機による回転プラグ径縮小※
◆一体貫流ヘリカルコイルSGの採用による物量削減
◆矩形鉄筋コンクリート格納容器による物量削減※
◆軽水炉におけるBOP合理化の採用※
◆缶詰缶無し水プール貯蔵による物量削減※

※JSFRでも同様の革新技術を採用したもの

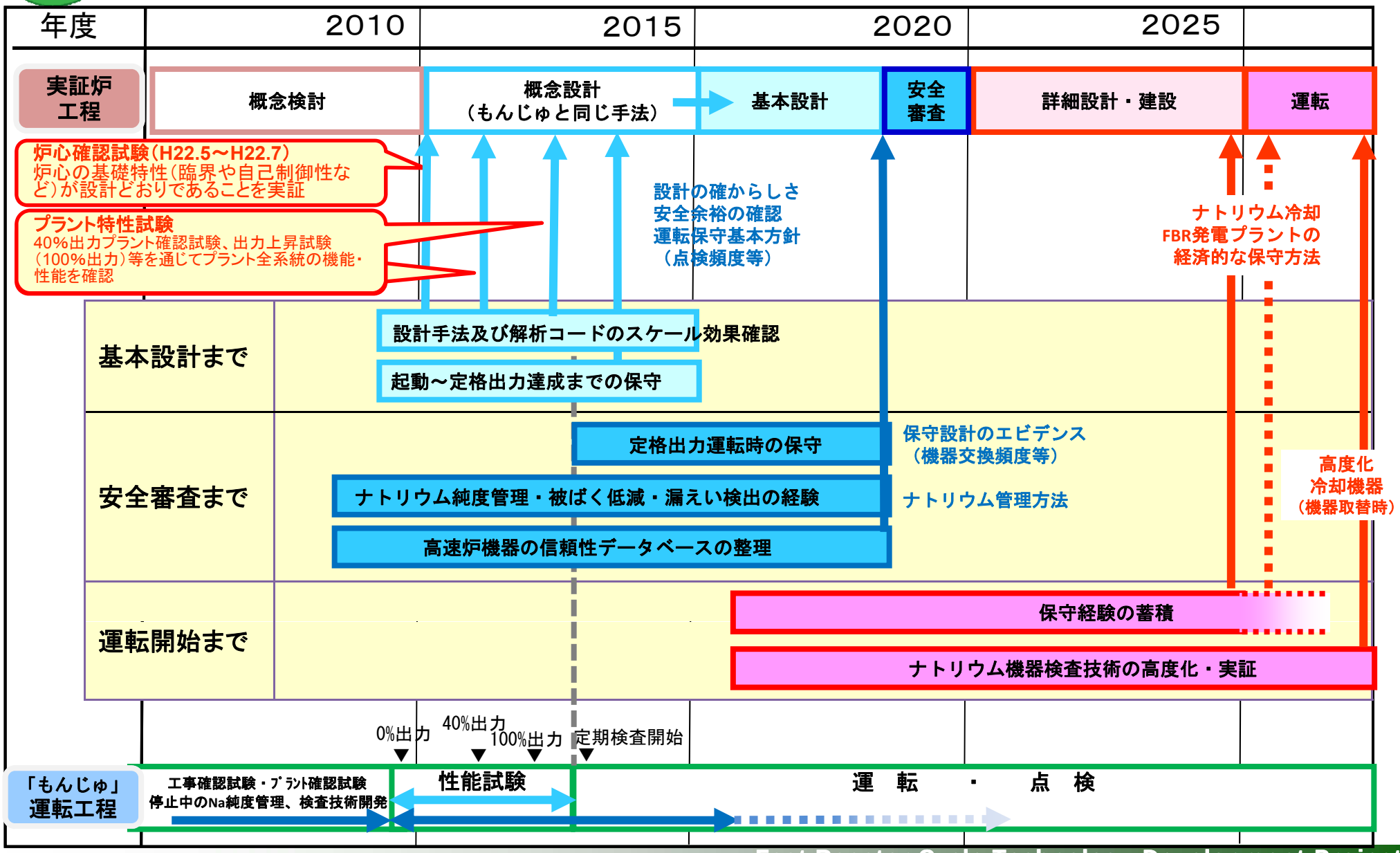
実用化段階

軽水炉と経済的に競合できるレベル

➢ 革新技術による設計物量の削減、出力アップによるスケール効果、ツインプラントでの施設共用化、複数機建設による習熟効果等により、実用炉（150万kWeツイン）の習熟機で18万円/kWeが達成可能

もんじゅ成果のFaCTへの反映

「もんじゅ」成果の実証炉への反映



「もんじゅ」成果のFaCTへの反映

「もんじゅ」成果

①性能試験

②運転、保守経験

③トラブル対応

反映対象

実証炉・実用炉の設計に反映　（以下、例示）

・解析コード
　・高速炉核特性解析手法
　・動特性評価コード（Super-COPD）　など

・設計手法
　・炉心、燃料設計
　・プラント設計（自然循環崩壊熱除去系　他）

・設備設計
　・計装設備（中性子計装、水漏えい検出　他）
　・ナトリウム純化系　　など

実証炉の運転に反映　（以下、例示）

・運用基準
　・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　　など

・運転、検査要領
　・運転手順
　・系統、機器検査要領　　など

・保守、補修方針（手法）
　・定検工程、検査方法、検査間隔、他
　・検査装置　　など