



原子炉システムの技術評価 項目の抽出・評価結果

独) 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

1. 高燃焼度炉心・燃料：革新技術の概要

革新技術：高燃焼度炉心・燃料

コンセプト：

- ・経済性向上
- ・高燃焼度化によるサイクルコスト低減
- ・長期サイクル化による稼働率向上

新技術：高燃焼度炉心・燃料設計概念

- 高燃焼度炉心核熱設計・燃料健全性評価

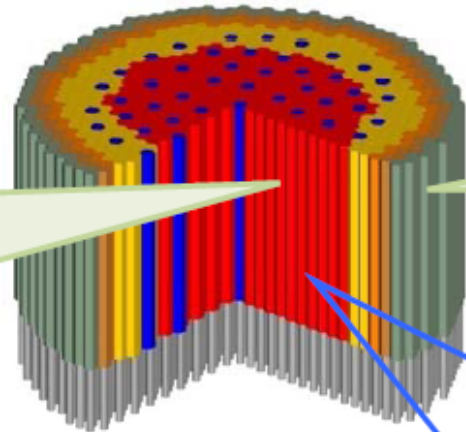
新技術：ODS鋼被覆管

- ODS鋼被覆管照射健全性
- ODS鋼被覆管再処理システム適合性

新技術：内部ダクト付燃料集合体

- 内部ダクト付燃料集合体製作性

炉心燃料領域



- 内側炉心燃料集合体
- 外側炉心燃料集合体
- 径ブランケット燃料集合体
- ステンレス鋼遮へい体
- 水素化ジルコニウム高性能遮へい体
- 制御棒集合体

革新技術：高性能遮へい体

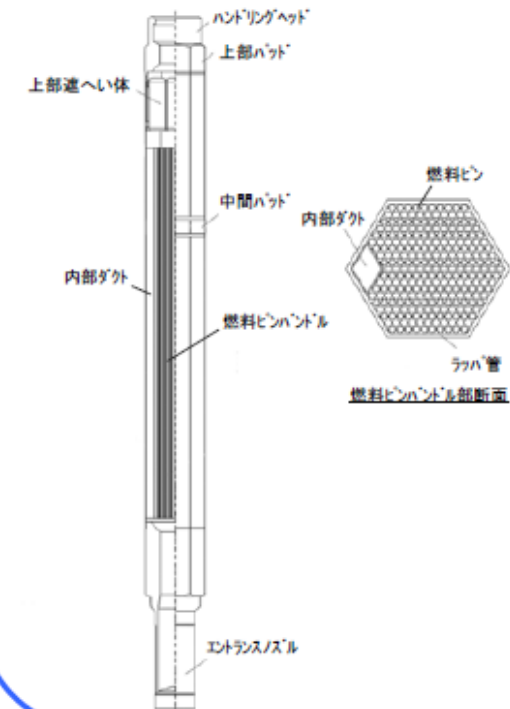
コンセプト：

- ・経済性向上
- 遮へい体厚半減を可能とする水素化ジルコニウムによる圧力容器径低減

新技術：水素化ジルコニウム遮へい体

- 水素化ジルコニウム遮へい体照射健全性

燃料集合体概念図



ODS鋼：耐照射性と高温強度に優れた酸化物分散強化型(Oxide Dispersion Strengthened)鋼

内部ダクト付燃料集合体：再臨界回避用の溶融燃料放出経路として燃料集合体の六角形のコーナー部に菱形のダクトを設けた構造のもの

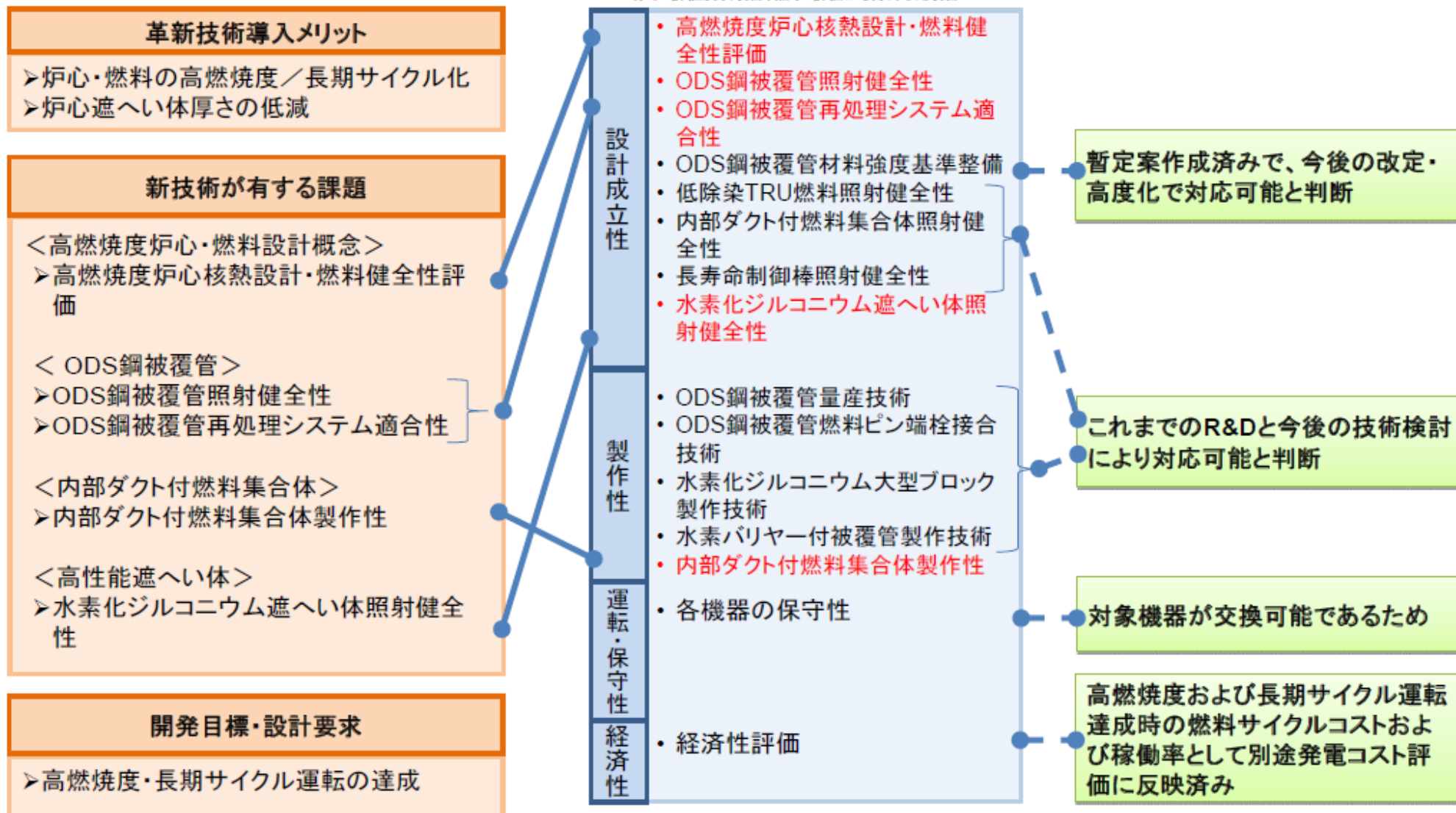
高燃焼度炉心・燃料：技術評価項目の抽出

<評価項目に反映した事項>※

<革新技術採否の評価項目>※

<評価項目から除外した事項>※

赤字：評価反映項目、黒字：評価から除外した項目

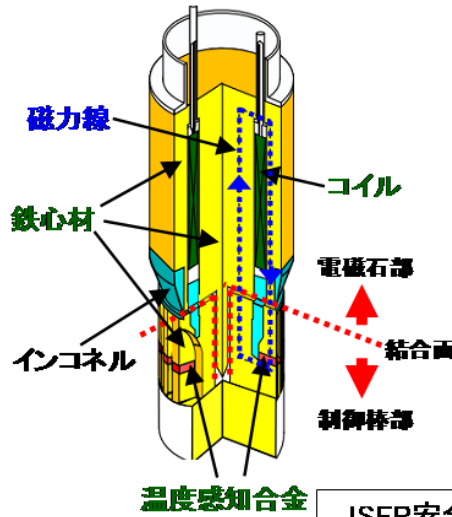


高燃焼度炉心・燃料：技術評価結果

設備区分	評価対象技術	採否判断に係る評価事項				
		評価の視点	評価項目		評価結果	
			分類	評価項目	*1 結果	採否
炉心・燃料	高燃焼度炉心・燃料	設計成立性	炉心設計	高燃焼度炉心核熱設計・燃料健全性評価	○	採用
			機器設計	ODS鋼被覆管照射健全性	△	
				ODS鋼被覆管再処理システム適合性	△	
				水素化ジルコニウム遮へい体照射健全性	○	
		製作性	機器の製作性	内部ダクト付燃料集合体製作性	○	

*1: ○・・・評価結果問題なし、△・・・残された課題あり、×・・・解決困難な問題あり

2. 安全性向上技術：革新技術の概要



革新技術：受動的炉停止系 (自己作動型炉停止機構 (SASS))

コンセプト:

- 炉停止系の作動信号及び回路系の故障を仮定しても、キュリー点電磁石方式SASSにより制御棒を挿入して原子炉停止することで安全性を向上

新技術：SASSの採用

- SASSの制御棒保持力、切離れ温度、応答性
- SASSによる受動的炉停止能力

*:キュリー点電磁石方式SASS:高温になると磁性を失う温度感知合金を用いて、炉内温度が上昇すると自動的に制御棒が切離される機構

革新技術：炉心損傷時の再臨界回避技術

コンセプト:

- 適切な炉心設計(ボイド反応度等)の下で、炉心損傷を仮定しても、内部ダクトを通じた炉心外への燃料流出によって厳しい再臨界を回避するとともに、燃料を安定冷却して事故を終息させ安全性を向上
- 格納容器内への機械的負荷要因がないため、格納容器の簡素化による経済性向上に寄与

新技術：再臨界回避技術の採用

- 設計対策導入による炉心損傷事故シナリオの成立性確認

- ✓ 内部ダクトによる早期燃料流出
- ✓ 燃料再配置促進策による未臨界を維持した燃料再配置
- ✓ 多段受け皿等、炉容器内での燃料の安定冷却保持

JSFR安全設計方針の基本的な枠組み

(1) 異常の発生防止

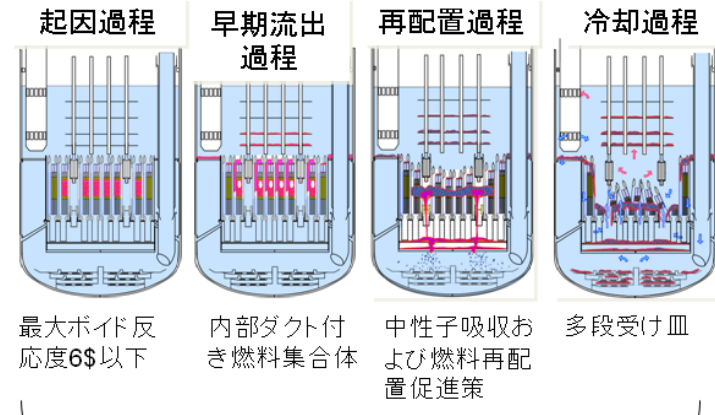
(2) 異常の拡大防止 (3) 事故の制御

(4) シビアアクシデントの管理

設計信頼度の目標	設計基準事象 (DBE)			設計基準外事象 (DBBE)	設計基準外事象 (DBBE)
	$10^{-2}/d$	$10^{-4}/d$	$10^{-6}/d$	$10^{-1} \sim 10^{-2}/d$	$10^{-1} \sim 10^{-2}/d$
止める	主炉停止系			SASS (受動的炉停止機構)	再臨界回避 損傷燃料の安定冷却保持 ↓ 炉容器内事象終息
RSS	後備炉停止系				
冷やす	GVと外管による液位確保 多重性・多様性を有する 自然循環型崩壊熱除去系			アクシデントマネジメント	
DHRS					
閉じ込める	気密耐圧格納容器			放射能影響緩和	

ナトリウムの化学反応対策

- ◆ ナトリウム漏えい → リークタイトなGVと外管
- ◆ ナトリウム水反応 → 二重管SG、早期検知&水・蒸気側の早期減圧



最大ボイド反応度6\$以下

内部ダクト付き燃料集合体

中性子吸収および燃料再配置促進策

多段受け皿

再臨界回避技術(設計対策)

安全性向上技術：技術評価項目の抽出

<評価項目に反映した事項>*

革新技術導入メリット

- 原子炉停止系への受動安全SASS導入による安全性向上
- 再臨界回避方策により炉心損傷時に原子炉容器内で事象を終息させ安全性向上
- 再臨界回避方策により格納容器を簡素化し経済性向上に寄与

新技術が有する課題

<受動的炉停止系(自己作動型炉停止機構(SASS))>

- ・ SASSの制御棒保持力、切離れ温度、応答性
- ・ SASSによる受動的炉停止能力

<炉心損傷時の再臨界回避技術>

- ・ 設計対策導入による炉心損傷事故シナリオ成立性

開発目標・設計要求

- 安全性
- 経済性

<革新技術採否の評価項目>*

赤字：評価反映項目、黒字：評価から除外した項目

設計成立性	<ul style="list-style-type: none"> ・ SASSの制御棒保持力、切離れ温度、応答性 ・ SASSによる受動的炉停止能力 ・ 炉心損傷事故シナリオ成立性(原子炉容器内事故終息達成見通し) ・ SASS及び制御棒駆動機構 ・ 再臨界回避のための内部ダクト型燃料集合体 ・ 再臨界回避のための要件を取り入れた炉心設計
製作性	<ul style="list-style-type: none"> ・ SASSを構成する温度感知合金等 ・ SASS及び制御棒駆動機構 ・ 再臨界回避のための受け皿構造 ・ 再臨界回避のための内部ダクト型燃料集合体
運転・保守性	<ul style="list-style-type: none"> ・ SASSに対する保守・補修内容への対応性 ・ SASSに対する運転性 ・ 再臨界回避技術に対する保守・補修内容への対応性 ・ 再臨界回避技術に対する運転性
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再臨界回避技術に対する経済性評価 ・ SASSに対する経済性評価

<評価項目から除外した事項>*

- 電力実証炉あるいは最近の試験研究により確認済
- 従来の技術で対応可能
- 他の評価対象技術(「高燃焼度燃料」等)において対応可能
- 設計検討済
- 「常陽」炉内試験により確認済
- 設計成立性があれば運転性には影響を与えない
- システム全体のコスト評価で対応可能

※：主要データを中心に説明したもの

安全性向上技術：技術評価結果

設備区分	評価対象技術	採否判断に係る評価事項						
		評価の視点	評価項目				評価結果	
			分類	評価項目			*1結果	採否
炉心・燃料	安全性向上技術	設計成立性	安全設計の成立性	受動的炉停止系(自己作動型炉停止機構(SASS))	SASSの制御棒保持力、切離れ温度、応答性	○	採用	
					SASSによる受動的炉停止能力	○		
			炉心損傷時の再臨界回避技術	炉心損傷事故シナリオ成立性 (原子炉容器内事故終息達成見通し)	○			

*1: ○・・・評価結果問題なし、△・・・残された課題あり、×・・・解決困難な問題あり

3. コンパクト化原子炉構造：革新技術の概要

革新技術：切込みUIS＋伸縮アーム式FHMを用いた燃料交換

コンセプト：

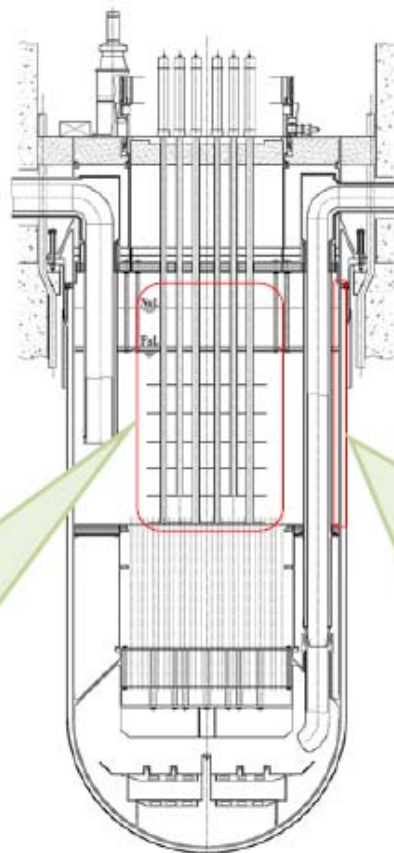
- ・経済性向上
 - ・ UISの切込みにFHMのアームを挿入することで、偏心量が小さく、小径の単回転プラグを実現。
 - ・ これにより、原子炉容器径、物量及び建屋容積を削減

新技術：切込みUIS

- ガス巻き込み対策（炉内流速が大きいいため、液面からのガス巻き込みを抑制する必要あり）
- 液中渦対策（炉内流速が大きいいため、ホットレグ吸込み部のキャビテーションを伴う液中渦を抑制する必要あり）
- 切込み部の検出性（切込み部に計装類を設置できないため、他の方法で燃料破損位置検知を行う必要あり）
- 高流速下での計装配管類の流力振動

新技術：伸縮アーム式FHM（本分野対象外）

- ・他分野（簡素化燃料取扱いシステム）に記載



革新技術：ホットベッセル

コンセプト：

- ・経済性向上
 - ・ 壁冷構造を用いないことで、原子炉容器径、物量及び建屋容積を削減

新技術：316FR鋼のリング鍛鋼品

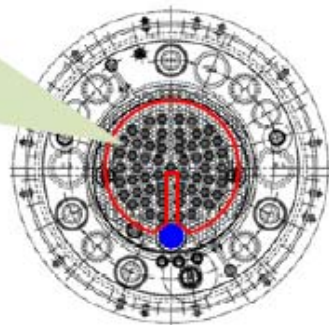
- 材料の製作性（高応力部に溶接を設けないためリング鍛鋼品を採用）
- 溶接部の長期健全性

新技術：高温構造設計評価技術

- 高温構造設計評価技術の整備（もんじゅで適用した高温構造規格より評価法を合理化）

大口径のホットベッセルに伴う技術課題

- 原子炉構造（内部構造含む）の耐熱性
- 原子炉構造（内部構造含む）の耐震性
- 原子炉構造（内部構造含む）の製作性



コンパクト化原子炉構造：技術評価項目の抽出

<評価項目に反映した事項>※

革新技術導入メリット
 ➢物量・建屋容積削減

技術課題

<切込みUIS>
 ➢ガス巻き込み対策
 ➢液中渦対策
 ➢切込み部の検出性
 ➢高流速下での計装配管類の流
 力振動

<316FR鋼のリング鍛鋼品>
 ➢材料の製作性
 ➢溶接部の長期健全性

<高温構造設計評価技術>
 ➢高温構造設計評価技術の整備

<大口径のホットベッセルに伴う
 技術課題>
 ➢原子炉構造(内部構造含む)の
 耐熱性
 ➢原子炉構造(内部構造含む)の
 耐震性
 ➢原子炉構造(内部構造含む)の
 製作性

開発目標・設計要求
 ➢保守・補修性
 ➢経済性

<革新技術採否の評価項目>※

赤字：評価反映項目、黒字：評価から除外した項目

- | | |
|------------|---|
| 設計
成立性 | <ul style="list-style-type: none"> ・ガス巻き込み対策 ・液中渦対策 ・SVスリット部の検出性(FFDL、炉心温度) ・炉内計装設備の流力振動 ・溶接部の長期健全性 ・高温構造設計評価技術の整備 ・原子炉容器：運転時、過渡時の構造健全性 ・サーマルスライピング対策 ・炉心支持構造：運転時、過渡時の構造健全性 ・原子炉容器：必要肉厚、耐震裕度 ・地震時スロッシング評価 ・CRDM等 ・SASS等 ・ガードベッセル等 |
| 製作性 | <ul style="list-style-type: none"> ・大型リング鍛鋼品(材料の製作性) ・ルーフデッキ ・原子炉容器 ・UIS ・ディッププレート ・炉心支持構造 ・炉内計装設備 ・CRDM等 ・SASS等 ・ガードベッセル等 |
| 保守・
運転性 | <ul style="list-style-type: none"> ・起動日数の評価 ・想定規制要求検査への対応性 ・想定自主検査内容への対応性 ・補修内容への対応性 |
| 経済性 | <ul style="list-style-type: none"> ・物量評価 ・経済性評価 |

<評価項目から除外した事項>※

もんじゅにて実績があり、設計成立性ありと判断し評価項目に選定しない。

他分野(安全性向上技術等)に記載

今後の設計検討により対応可能と判断し、評価項目として選定しない。

もんじゅにて実績があり、製作可能と判断し評価項目に選定しない。

他分野(安全性向上技術等)に記載

今後の設計検討により対応可能と判断し、評価項目に選定しない。

コンパクト化原子炉構造：技術評価結果(1/2)

設備区分	評価対象 技術	採否判断に係る評価事項					
		評価の視点	評価項目			評価結果	
			分類	評価項目		*1 結果	採否
原子炉構造	コンパクト化原子炉構造 (ホットベッセル)	設計成立性	機器・システム設計	ルーフデッキ	炉上部配置の成立性	○	採用
				燃料交換機			
				原子炉容器	高温構造設計評価技術の整備	○	
					運転時、過渡時の構造健全性	○	
					必要肉厚、裕度	○	
					溶接部の長期健全性	○	
				UIS	構造健全性	○	
				DHX			
				上部プレナム	サーマルスライピング対策	○	
					ガス巻き込み対策	○	
					液中渦対策	○	
					温度成層化影響への対策	○	
				炉心支持構造	地震時スロッシング評価	○	
					運転時、過渡時の構造健全性	○	
					中性子照射による長期健全性	○	
				炉内計装設備	耐震評価手法の整備	○	
スリット部の検出性(FFDL、炉心温度)	○						
監視用温度計装の必要性	○						
炉内 NIS 検出性能向上対策(直管化対応)	○						
	健全性評価(流力振動、施工性)	△					

*1: ○・・・評価結果問題なし、△・・・残された課題あり、×・・・解決困難な問題あり

コンパクト化原子炉構造：技術評価結果(2/2)

設備区分	評価対象技術	採否判断に係る評価事項						
		評価の視点	評価項目			評価結果		
			分類	評価項目		*1結果	採否	
原子炉構造	コンパクト化原子炉構造 (ホットベッセル)	製作性	材料の製作性	大型リング鍛鋼品	製作性評価(成分制御性、鍛錬性)	△	採用	
				(高温薄肉部)	設計許容値(文献調査、既存知見の整理結果)			△
					素材メーカの製造能力と設備拡張の必要性			△
			大型リング鍛鋼品	炉心支持構造(取付台)、炉容器支持フランジ部の設計許容値と製作性検討結果		△		
			機器の製作性	ルーフデッキ	狭隘部での配置を成立させる炉上部製作性			○
				燃料交換機		○		
				原子炉容器		○		
				UIS	炉内計装設置性			○
		上部プレナム		ディッププレート構造		○		
		炉心支持構造		支持スカート部(炉容器側、炉心側)の製作性		○		
		炉内計装設備		FFDL セレクタバルブ、サンプリング配管施工性		○		
		運転・保守性	運転性	起動日数の評価		○		
			保守・補修性 (机上検討による) 【装置開発は2011年以降】	想定規制要求検査への対応性		○		
				想定自主要求検査への対応性		○		
				想定補修内容への対応性		○		
		経済性	建設コスト等	物量		○		
				経済性評価		—		
設備投資(素材メーカの鍛造設備)				△				

*1: ○・・・評価結果問題なし、△・・・残された課題あり、×・・・解決困難な問題あり