

もんじゅの性能試験(炉心確認試験)の 実施状況について

平成22年6月29日

(独)日本原子力研究開発機構

敦賀本部

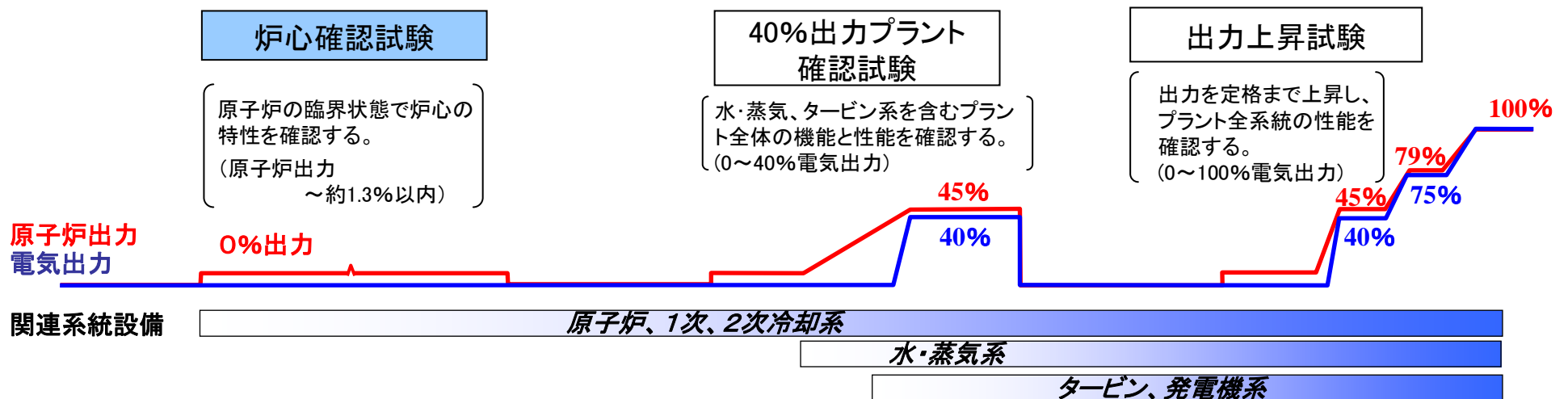
高速増殖炉研究開発センター

目 次

1. 炉心確認試験の実施
2. 炉心確認試験の実績
3. 炉心確認試験で得られて成果(速報)
4. 炉心確認試験開始と臨界操作
5. 原子炉起動・停止毎の試験の評価(試験結果)
6. 炉心確認試験工程のレビュー
7. ま と め

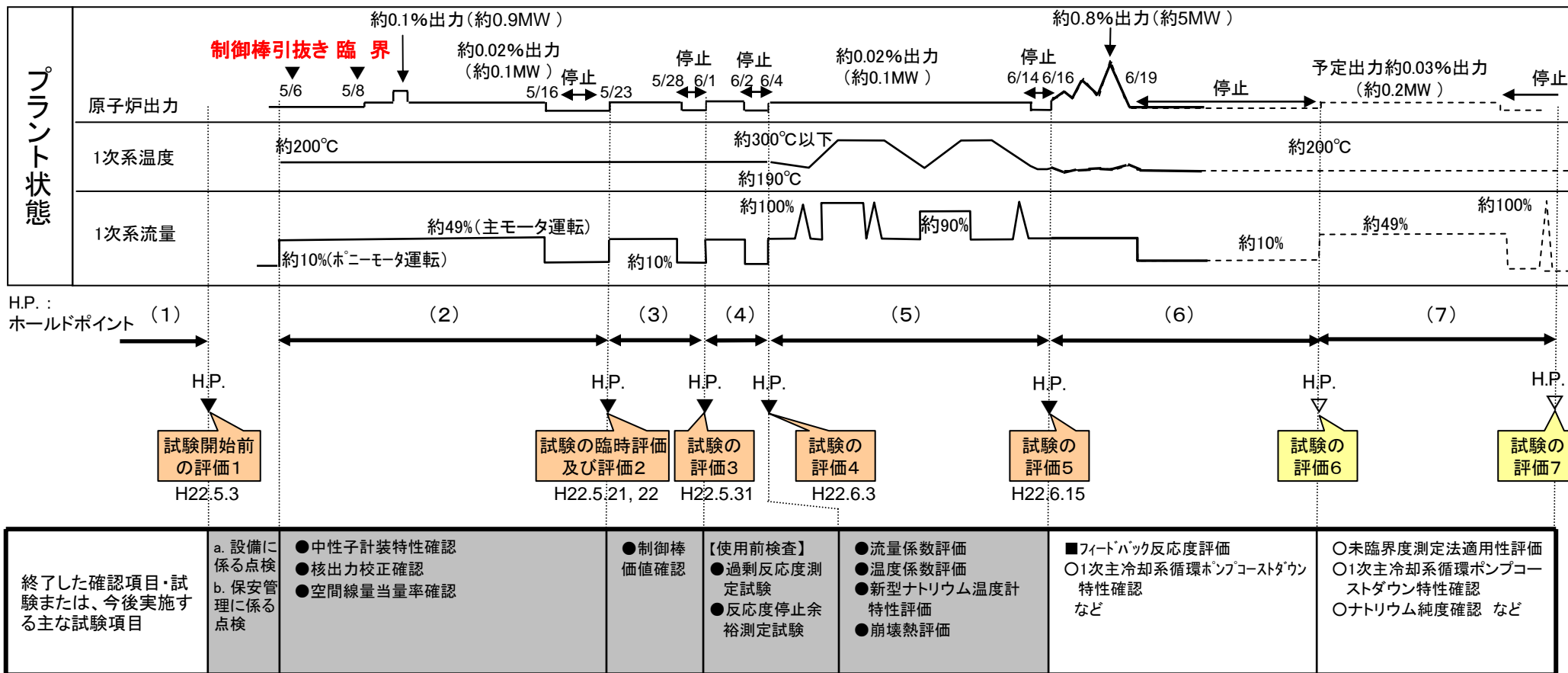
炉心確認試験とは

- (1) 性能試験は、プラントが長期停止していたことを踏まえ、より慎重な手順を踏んで三段階に分けて行う。炉心確認試験は、三段階に分けて行う性能試験の第一段階である。
- (2) 原子炉を臨界状態にして、炉心の安全特性を確認するため、炉物理データの取得等を行う。具体的には、安全上の核的制限値である過剰反応度及び反応度停止余裕を確認するための測定を行うとともに、使用前検査を受検する。(6/2受検済み)
- (3) その後、研究開発目的のための炉物理特性の把握やプラント系統設備の機能及び性能の確認を目的とした試験を行う。



- 炉心確認試験は、試験の段階(原子炉の停止)ごとにホールドポイント(評価)を設け、安全確認及び評価を実施して、問題ないことを確認した上で次の段階(原子炉の起動)に進める。
- 炉心確認試験で課題等が発生した場合は、適宜、体制等の見直しを実施(試験工程のレビュー等)

5月6日試運転(炉心確認試験)再開。炉心確認試験 20項目中 11項目を終了。



●■: 終了した試験を示す。

炉心の臨界性データの取得

- 臨界を達成し、炉心の臨界時データを取得した。
 - ⇒ 長期停止後の再起動にあたって、十分な精度で、臨界予測ができることを実証。
 - ⇒ もんじゅの炉心管理コードの精度の検証に貢献できる試験データを取得。
- アメリシウム(Am)が平均で約1.5%程度含まれる炉心のデータは、高速炉の炉物理研究にとって世界的に貴重である。
 - ⇒ FBR原型炉として、実用炉に向けた炉心設計コードの検証に有用。

原子炉、1次系、2次系の詳細な運転データの取得

- 原子炉運転時におけるプラントや機器の細かな応答についての実データ等を取得した。

原子炉の運転操作の習熟

- 起動前点検、原子炉起動、臨界までの一連の操作を繰り返し実施することにより、運転操作の習熟が得られた。

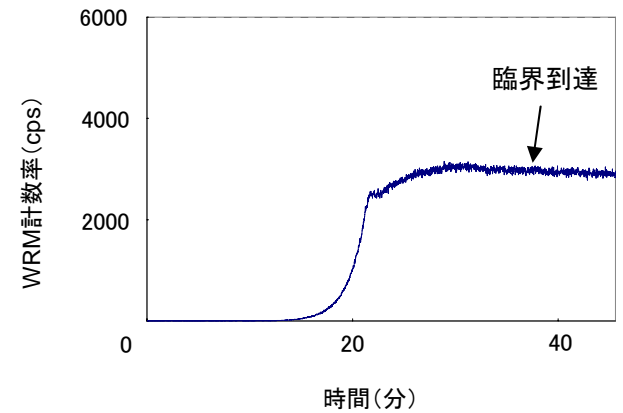
関連する手順書類の改善

- 試験に係る運転操作手順の改善(効率化等)は、試験手順書のみならず通常運転時の手順書類の見直し、改訂に反映した。

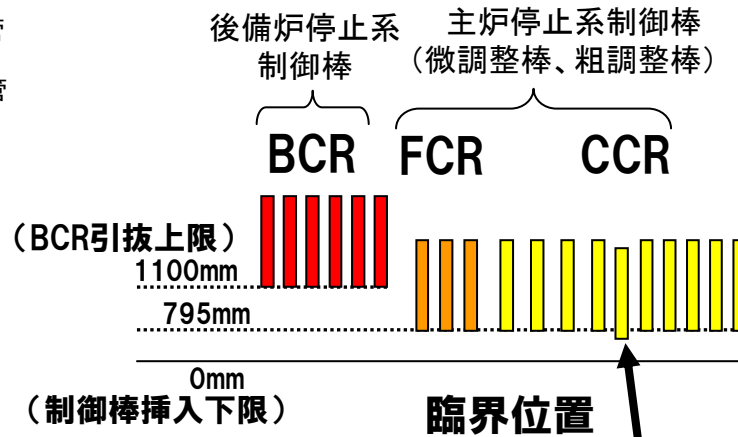
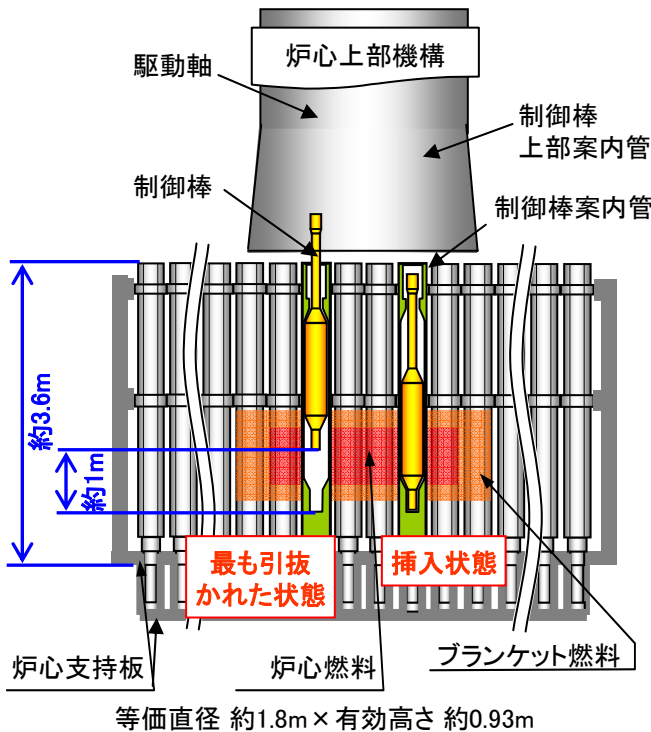
- ①後備炉停止棒 (BCR-1) の引拔を開始し、性能試験を再開
(平成22年5月6日10時36分)
- ②後備炉停止棒 (BCRを6本全数) を上限 (1100mm)、微調整棒 (FCR-1~3) 及び粗調整棒 (CCR-2~10) を795mm、粗調整棒 (CCR-1) が790mm*で臨界到達を確認
(平成22年5月8日10時36分) (*: その後、計数率調整で793mmとした。)

平成22年5月9日の臨界操作の例

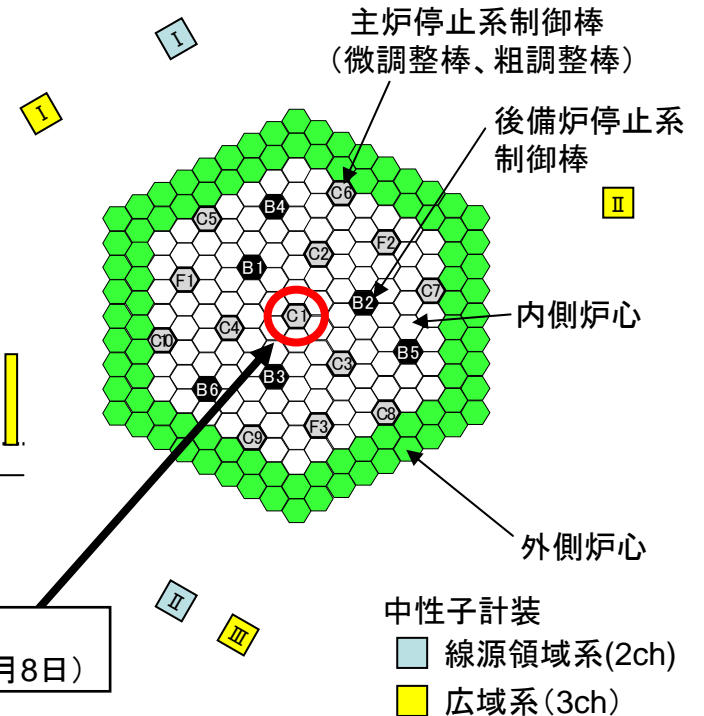
- ・後備炉停止棒 (BCRを6本全数) を上限 (1100mm)、微調整棒 (FCR-1~3) 及び粗調整棒 (CCR-2~10) を795mmまで引抜き
- ・粗調整棒 (CCR-1) を763mmから、84mm引抜いて、847mm引抜位置で超臨界とした後、計数率を安定させるため、47mm挿入して800mm、7mm挿入して793mm引抜位置で臨界到達を確認。



例)臨界到達時のトレンド (H22年5月9日 12:48)



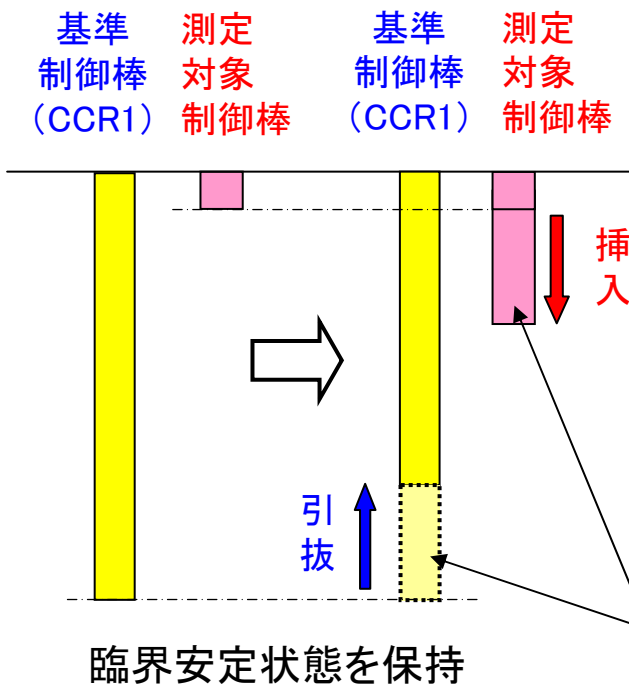
中心の制御棒 (CCR1) を790mm引き抜いて臨界に到達。(5月8日)



中性子計装
■ 線源領域系 (2ch)
■ 広域系 (3ch)

制御棒価値確認

置換法による制御棒価値の測定

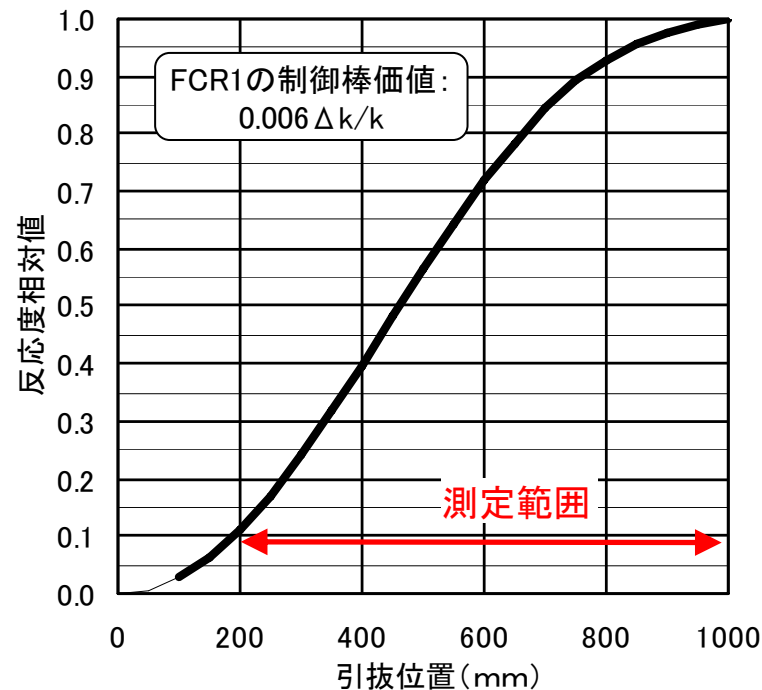
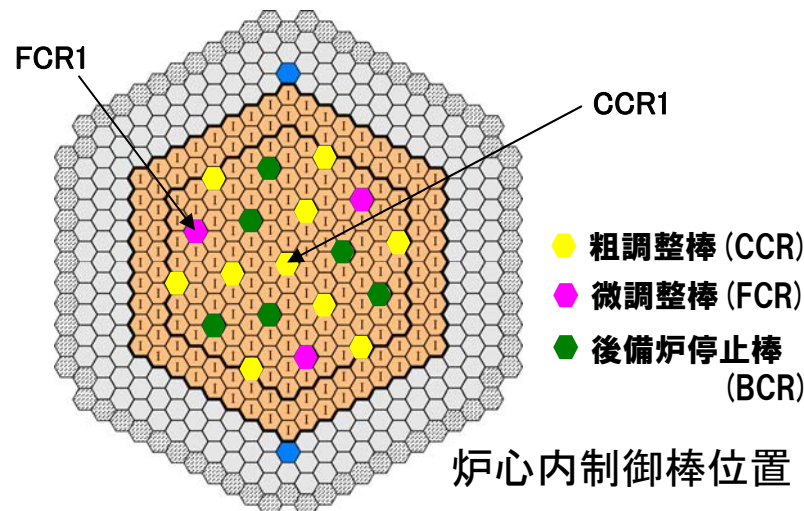


操作方法

- ① 原子炉は臨界状態で安定とする。
- ② 測定対象制御棒を所定量挿入する。
- ③ 反応度が既知の基準制御棒(CCR1*)を引抜き、臨界状態で安定させる。

* : 炉心中心に装荷されている制御棒CCR1の制御棒価値はペリオド法で測定済み。

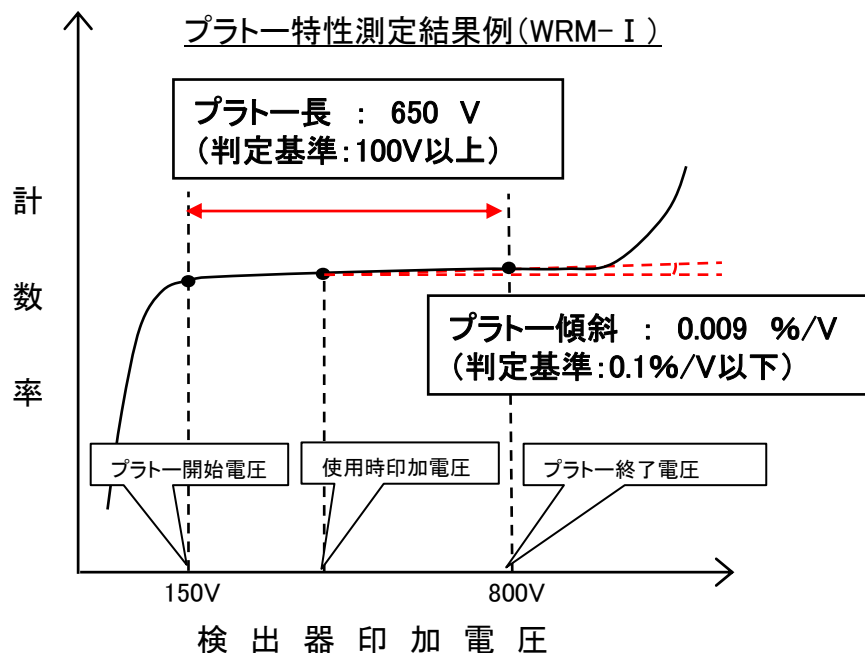
この部分の反応度価値が等価であることを用いて測定。



FCR1測定結果

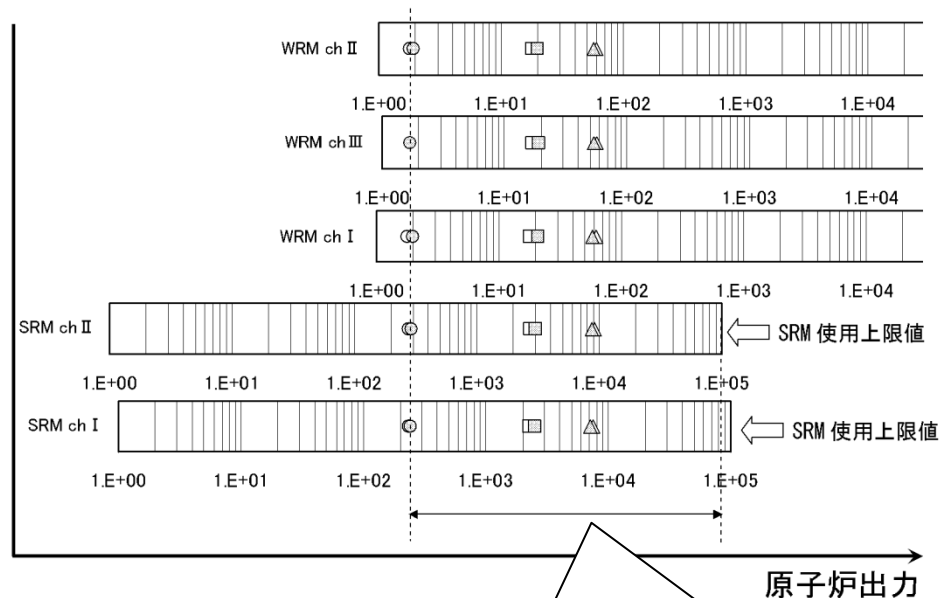
中性子計装特性試験

運転時に原子炉の出力を測定している広域中性子検出器(WRM)の電圧調整の上、検出器特性が所定の値を満足し、正常であることを確認した。



核出力校正確認

原子炉起動時に使用している線源領域中性子束検出器(SRM)と原子炉運転中に使用する広域中性子束検出器(WRM)で炉心出力を連続的に監視できることを確認した。

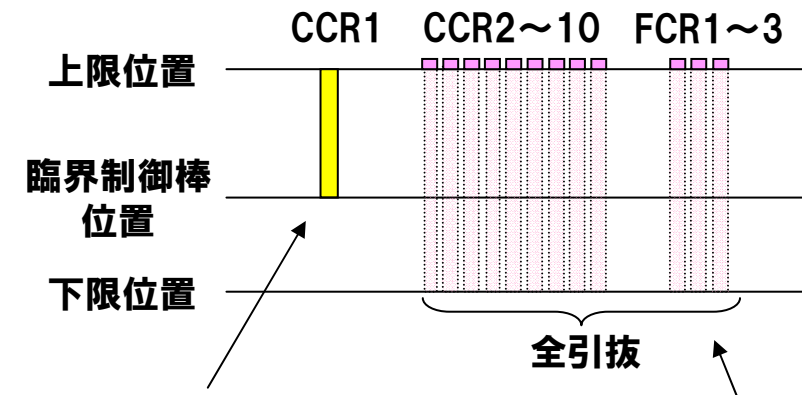


SRM-WRMオーバーラップ範囲 : 1桁以上の原子炉出力(計数率)でオーバーラップしている。
(判定基準 : 測定範囲に相互に重なりがあり、測定が不連続でないこと。)

過剰反応度測定検査、反応度停止余裕測定検査(自主検査)

臨界制御棒位置と制御棒校正曲線から過剰反応度、反応度停止余裕を算出した。また、反応度添加率を測定した。それぞれ判定基準を満足することを確認した。

CCR1のみを挿入して臨界達成



CCR1挿入部分の
値を校正曲線を用いて評価

CCR2~10、FCR1~3
下限までの値を校正
曲線を用いて評価

過剰反応度を差し引く

過剰反応度

反応度停止余裕

〔過剰反応度〕

臨界を達成する以上に炉心が有する反応度

⇒ 臨界時に挿入されている制御棒の値

測定結果: $0.006 \Delta k/k$ * (主炉停止系)

[判定基準] $0.057 \Delta k/k$ 以下 (主炉停止系)

〔反応度停止余裕〕

原子炉を未臨界として停止するために利用可能な制御棒の反応度値(最大値の制御棒を除く)

⇒ 臨界から挿入できる制御棒の値

測定結果: $0.067 \Delta k/k$ * (主炉停止系)

[判定基準] $0.01 \Delta k/k$ 以上 (主炉停止系)

〔反応度添加率〕

制御棒校正曲線の傾きの最も大きな位置での単位時間当たりの投入反応度

測定結果: 最大値 $5.2 \times 10^{-5} \Delta k/k/s$ (FCR1)

[判定基準] $8 \times 10^{-5} \Delta k/k/s$ 以下

* : 発生する中性子と吸収される中性子の比率を実効増倍率(k_{eff})と呼び、実効増倍率の1.0(臨界状態)との差を実効増倍率で割った比率を反応度(ρ)と呼ぶ。 $\Delta k/k$ は反応度の単位。

$$\rho = (k_{eff} - 1) / k_{eff}$$

温度係数評価

- ・1次主冷却系循環ポンプのポンプ入熱による1次ナトリウム温度の上昇又は補助冷却設備等の除熱による1次系ナトリウム温度の低下操作を実施
- ・温度変化を与えたときに生じる原子炉の反応度変化を制御棒操作により臨界状態を維持し、温度係数を求めた。

流量係数評価

- ・1次主冷却系循環ポンプの流量を10%ステップ毎に増加又は減少操作を実施
- ・流量変化を与えたときに、燃料を下部で支える炉心支持板の僅かな反りによって生じる原子炉の反応度変化を制御棒操作により臨界状態を維持し、流量係数を求めた。

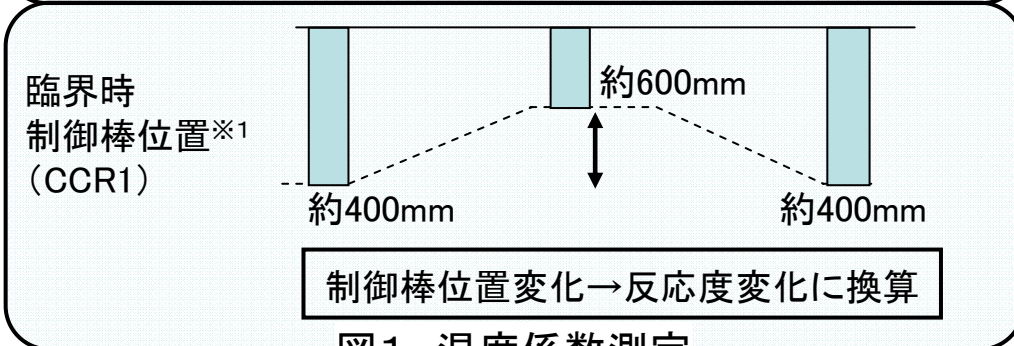
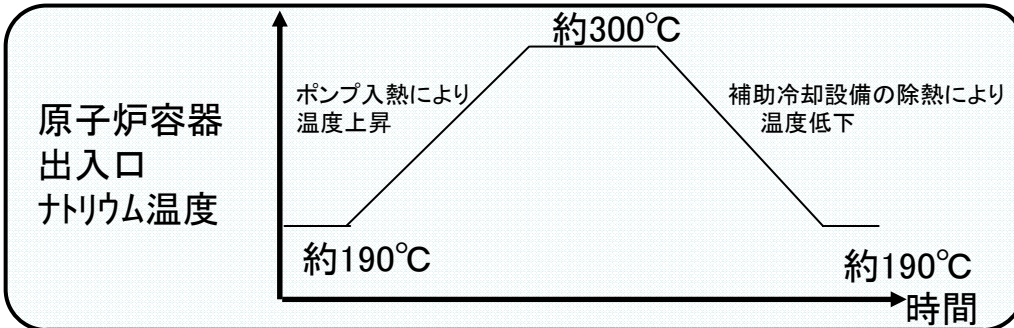


図1 温度係数測定

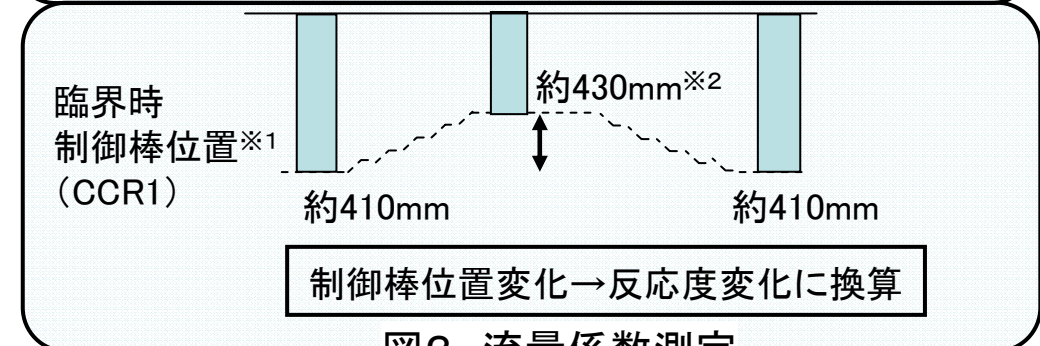
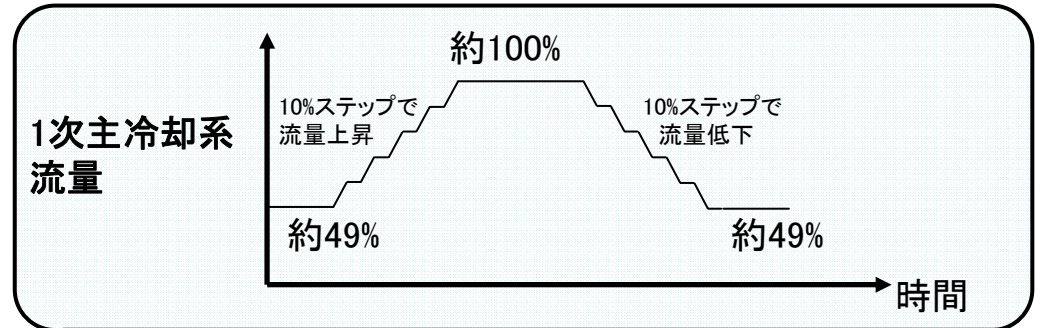


図2 流量係数測定

$$\begin{aligned} \text{温度係数測定結果} &= \frac{\text{反応度変化}}{\text{温度変化}} \\ &= \text{約} -3 \times 10^{-5} \Delta k/k/^\circ\text{C} \end{aligned}$$

※1 CCR1以外の制御棒については全数全引抜位置

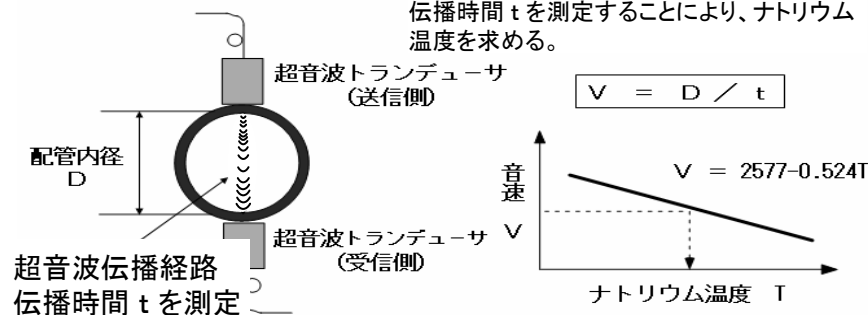
※2 主ポンプによる系統温度上昇の反応度補正も含む

$$\begin{aligned} \text{流量係数測定結果} &= \frac{\text{反応度変化}}{\text{流量変化}} \\ &= \text{約} -6 \times 10^{-6} \Delta k/k/\% \text{flow} \end{aligned}$$

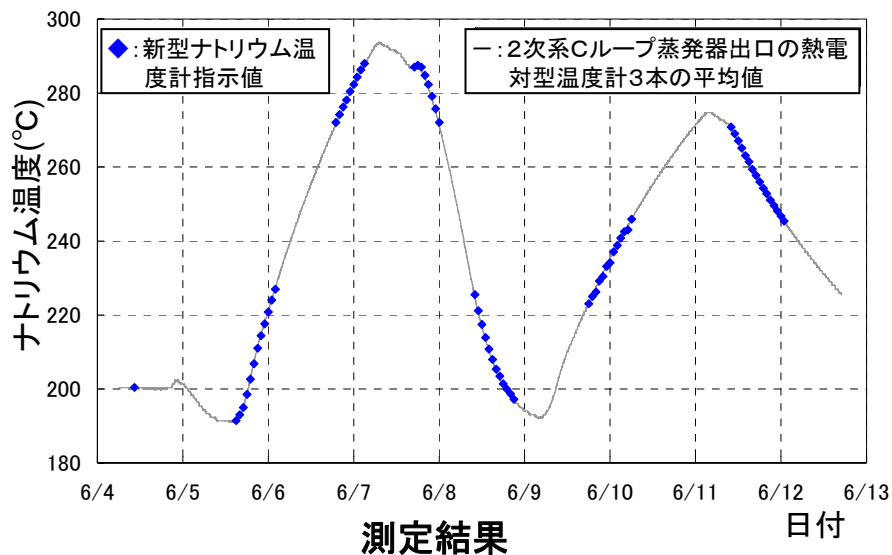
新型ナトリウム温度計特性評価

2次系Cループ蒸発器出口配管に設置した新型ナトリウム温度計(配管非貫通型の超音波温度計)について、ナトリウム温度変化時に従来の熱電対型温度計の指示値と比較し、ほぼ同等の指示値を示すことを確認。40%出力試験以降においても引き続き、温度・流量等の条件を変えてデータを蓄積。

ナトリウム中の音速の温度依存性に着目し、伝播時間 t を測定することにより、ナトリウム温度を求める。



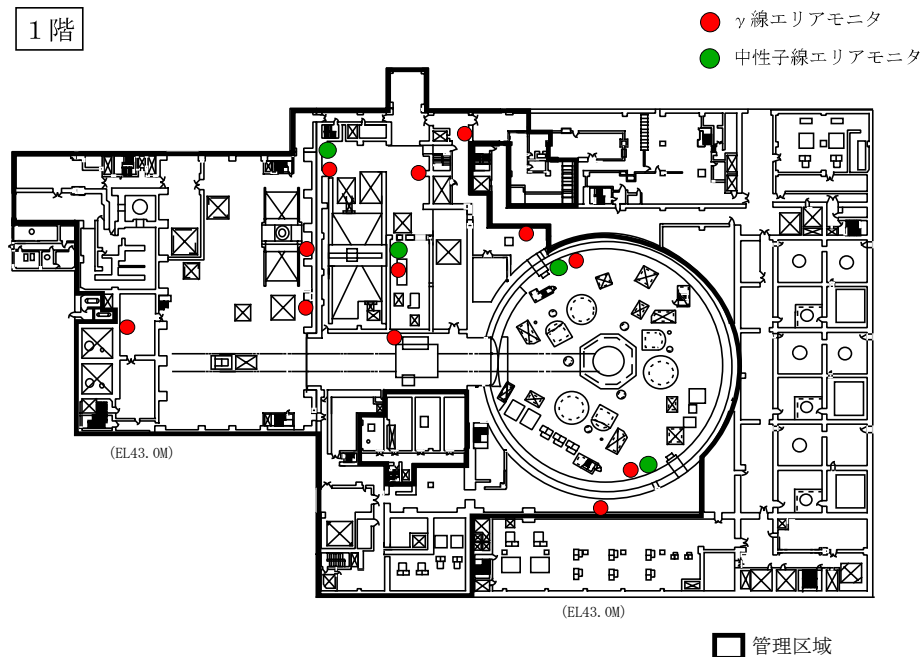
超音波温度計の原理



空間線量当量率確認

管理区域、保全区域及び周辺監視区域の放射線状況確認(合計446箇所)した結果、測定値が遮へい設計基準値又は法令基準値*未満であることを確認。

*: 管理区域内では、しゃへい区分に応じてA区域: 0.00625mSv/h以下、B区域: 0.01mSv/h以下、管理区域境界では0.0026mSv/h以下など。



管理区域内(エリアモニタ)の測定箇所(例)

評価会議で試験内容と工程のレビューを行い、必要な改善を行いながら試験を進めている。

レビューの結果

- 炉心確認試験、そのものは順調に実施されている。
- 試験工程は、当初計画とは異なって、深夜あるいは早朝まで試験が行われている状況であった。

評価会議での確認事項

○ 試験実施方法、実施体制の見直しが実施されていることを確認。

評価会議2

- ・ 試験の内容、実績、計画の分析、採取データの蓄積を踏まえ、試験実施方法、試験体制を見直した。
- ・ 臨界に至る操作ステップ数、操作量など試験実施方法を見直すとともに、試験員を2班2交代から3班3交替の勤務体制とし、試験員を13名から5名増員し18名にした。

○ 見直し後の試験方法等について、安全かつ円滑な試験遂行が可能であることを確認。

評価会議3

- ・ 所要の日程に必要な測定を効率的に行なうことができるなど、試験実施方法の見直しは、適切であった。
- ・ 3班3交替への変更により、引継ぎが確実に行なわれ、余裕をもった安全な試験が遂行できた。

○ 試験に関する情報共有が出来ていることを確認。

評価会議5

- ・ 試験工程に係る所内の情報共有が、確実に行われていることを確認した。

1. 「もんじゅ」は、長期停止後の試運転再開を計画通りに達成し、安全最優先のもと、透明性の確保に努め、性能試験(炉心確認試験)を順調に実施している。
これまでに、炉心の臨界性データの取得などの着実な成果が得られている。
2. 一方で、試験運転中に発生した試験時間の延長等に対しては、機構内の第三者による試験工程等のレビューを実施し、試験実施方法及び実施体制の見直し、組織的な業務改善に努めている。
3. これら取り組みを継続・展開することによって、運転中プラントにおける品質保証活動の継続的な取り組みと是正措置など、着実なPDCA活動を図っていく。
4. 引き続き、安全最優先で透明性を確保しながら、試験のホールド・ポイント毎に、安全確認及び評価を実施して、透明性を確保しながら、炉心確認試験を慎重に実施していく。

參考資料

炉心確認試験一覧

(1) プラント運転操作を伴う試験

(a) 炉心の安全性確認に係る試験(核的制限値の確認)

- ① 制御棒価値確認
- ② 中性子計装特性確認
- ③ 核出力校正確認
- ④ 過剰反応度測定試験 (使用前検査に対応)
- ⑤ 反応度停止余裕測定試験 (使用前検査に対応)

(b) 研究開発目的で炉心及びプラントのデータを取得する試験

- ⑥ 流量係数評価
- ⑦ 温度係数評価
- ⑧ フィードバック反応度評価
- ⑨ 1次主冷却系循環ポンプコーストダウン特性確認
- ⑩ 未臨界度測定法適用性評価

(2) プラント運転操作を伴わない試験

- ⑪ 空間線量当量率確認
- ⑫ ナトリウム純度確認
- ⑬ ナトリウム放射化量評価
- ⑭ アルゴンガス純度確認
- ⑮ 放出放射性物質挙動評価
- ⑯ 新型ナトリウム温度計特性評価
- ⑰ 圧力損失変化評価
- ⑱ 燃焼係数評価
- ⑲ 炉内中性子源効果評価
- ⑳ 崩壊熱評価

下線は、終了した試験を示す。