

「もんじゅ」の燃料体取出し作業の進捗状況について

2021年9月28日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

次回の燃料体の取出しに向けた取り組み

- ◆ 今年度の作業については、5月19日に燃料体の処理（炉外燃料貯蔵槽 ⇒ 燃料池）を開始し、計画通り5体/2日のペースで進め、7月25日に146体の処理を完了した。
- ◆ 次回の燃料体の取出し（2022年4月開始予定）に向け、設備点検、第2回定期事業者検査を行っている（第2回定期事業者検査：9月14日開始）。
- ◆ 次回の燃料体の取出し（部分装荷）に向け、以下の準備を実施する。

部分装荷の方法： 燃料体を取り出した炉心位置に、計算機上で仮想の模擬体を装荷する（実模擬体の移送・装荷は行わない）。

準備作業： 機器の変更は無い。プログラムの追加及び操作手順の変更を行う（次頁参照）。

その他、部分装荷認可申請時に整理した影響評価を確認するとともに、実際の運用における固有の操作や機器故障リスクの洗い出し、前回作業までの振り返りに基づく新たなリスクの整理を行う。また、操作手順の変更に伴い、模擬訓練により手順の習熟を図る。

● 通常の燃料体の取出しと部分装荷の燃料体の取出しの比較（参考3の図参照）：

| | 通常 | 部分装荷 |
|-----------------------|---|---|
| 炉心から炉外燃料貯蔵槽（EVST）への移送 | ① 炉心の燃料体を炉内中継装置（IVTM）のポットへ移送 ② IVTMの燃料体入ポットをEVSTへ移送 | ① 同左 ② 同左 |
| EVSTから炉心への移送 | ① EVSTの <u>模擬体入ポット</u> をIVTMへ移送 ② IVTMポット内の <u>模擬体</u> を炉心へ <u>実際に移送</u> | ① EVSTの <u>仮想模擬体入ポット</u> をIVTMへ移送（ポット内は空） ② IVTMポット内の <u>仮想模擬体</u> を炉心へ <u>計算機上で移送</u> |

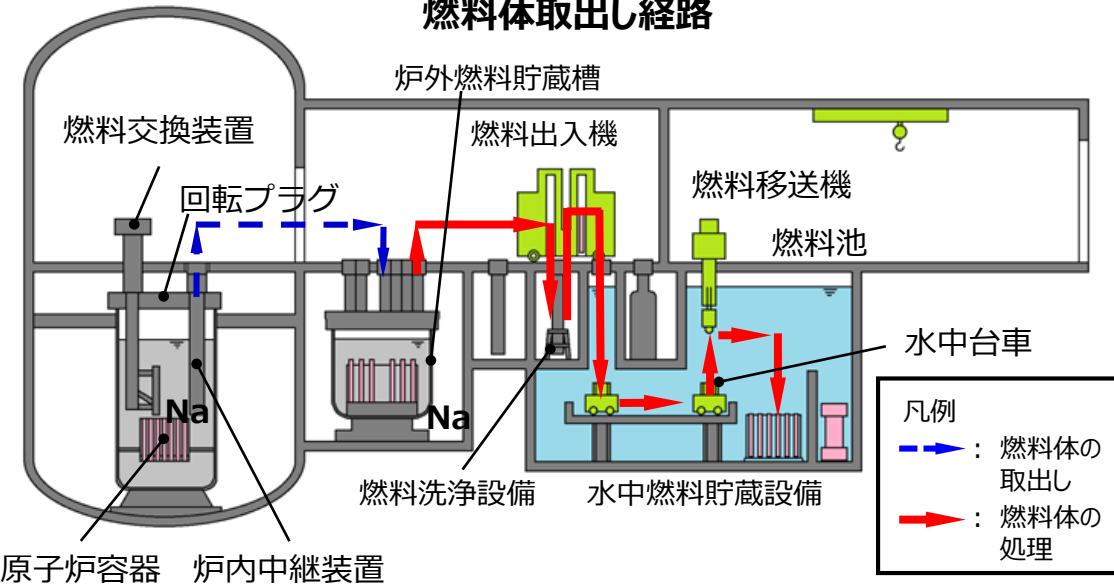
● 部分装荷に向けた準備（参考3の注記参照）：

- 機器の変更：無し（設計に立ち戻り、下記によって影響が無い事を今後再確認）
- プログラムの追加：従来のプログラム（計算機）上で仮想の模擬体をEVSTから炉心に移送させるため、EVSTへ仮想模擬体を設定するプログラムを追加する。制御に係るプログラムの変更は行わない。
- 操作手順の変更：IVTMポット内为空であるため燃料交換機が実動作を行えない。このため、計算機上で仮想模擬体をIVTMから炉心内に移送させるよう、操作手順を変更する。
- 検証方法：プログラムの追加について、工場作業時と現地作業時に仮想模擬体の取扱いが可能であること、制御へ影響しないこと等を確認。
- また、模擬訓練等で操作手順の変更を含む一連の作業を最終確認。

| 項目 | スケジュール | 2021年度 | | | | | | | | | 2022年度 | |
|---|--------|----------------------|----|---------------|------------|------|-------|----|----|---------------------|--------|---------|
| | | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | |
| 燃料体の処理 | | | | 現時点 (9/28) | | | | | | | | |
| 燃料体の取出し | | (7/25) 146体の処理を完了 | | | | | | | | | | 燃料体の取出し |
| 部分装荷に向けた準備 | | | | | | | | | | | | |
| プログラムの追加 | | | | | 工場作業 | 現地作業 | | | | 実機確認 (訓練と合わせて実施) | | |
| 操作手順書の変更 | | | | | 手順書変更作業 | | | | | | | |
| リスク評価 | | | | | | | リスク評価 | | | | | |
| 教育訓練 | | | | | | | | | | 模擬訓練 | | |
| 定期事業者検査 (9/14開始) | | | | | | | | | | | | |
| 検査① (燃料体の取出しに必要となる機能の検査) 燃料交換装置、燃料出入機、ナトリウム系等 | | | | | [Blue Bar] | | | | | | | |
| 検査② (燃料体の処理に必要となる機能の検査) 燃料出入機、燃料洗浄設備等 | | | | | [Blue Bar] | | | | | | | |
| 検査③ (その他の性能維持施設に係る検査) 水消火設備等 | | | | | [Blue Bar] | | | | | | | |

以下、参考

燃料体取出し経路

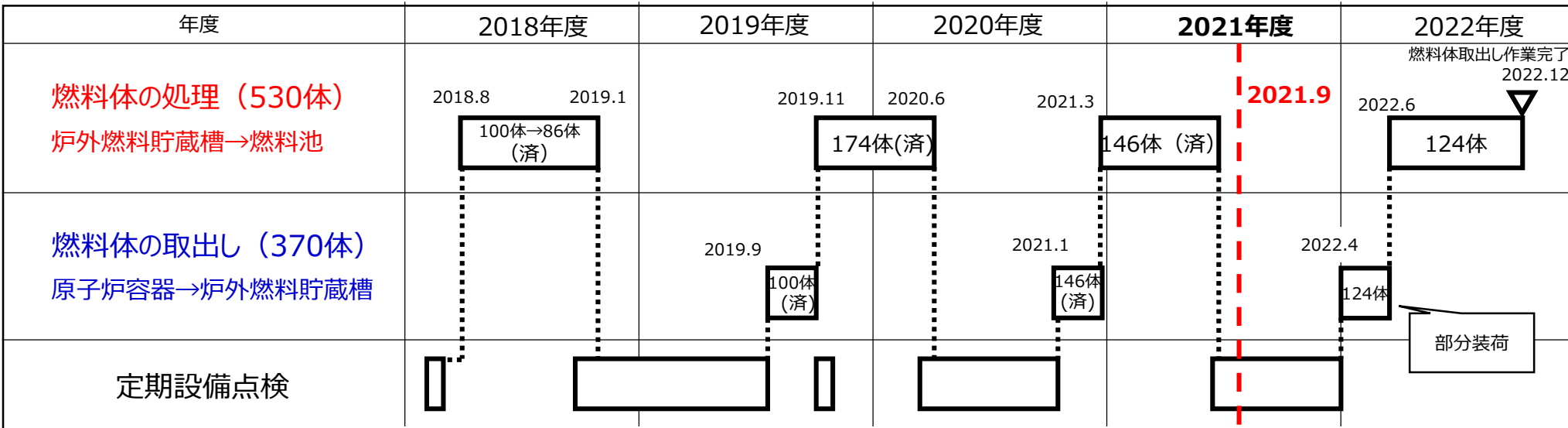


廃止措置開始以降の燃料体の装荷及び貯蔵状況

| | 廃止措置開始時 | 現時点 | 2022年度の燃料体の取出し終了時点(計画) | 2022年度の燃料体の処理終了時点(計画) |
|---------|---------|-----|------------------------|-----------------------|
| 原子炉容器 | 370 | 124 | 0 | 0 |
| 炉外燃料貯蔵槽 | 160 | 0 | 124 | 0 |
| 燃料池 | 0 | 406 | 406 | 530 |

燃料池には上記表のほか、過去に取出した2体を貯蔵している

第1段階における燃料体取出し作業工程

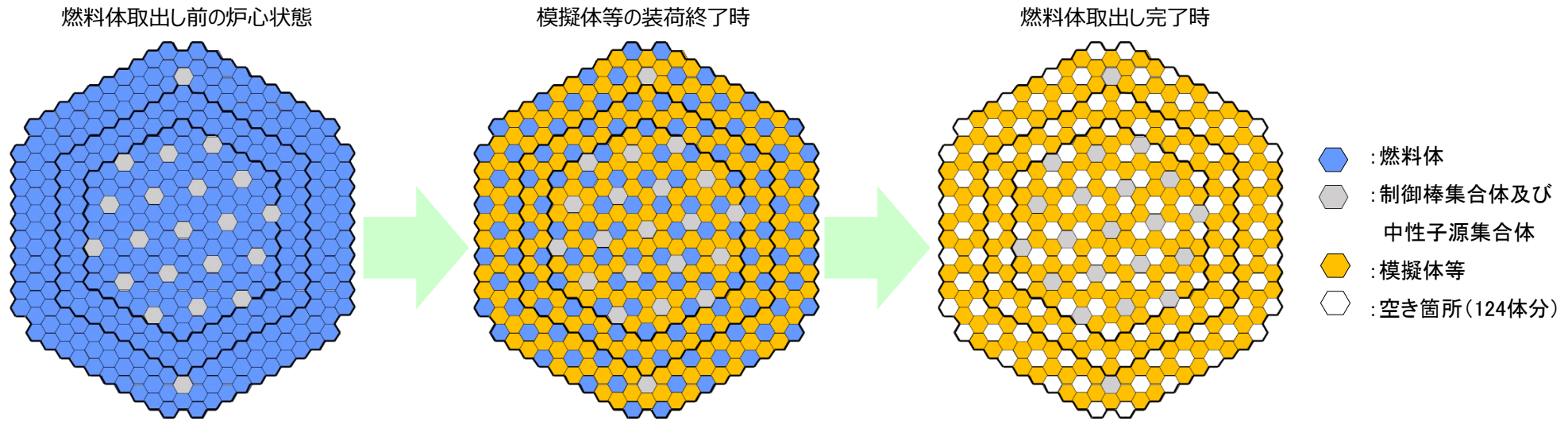


注記：点線は、燃料体取出し作業の流れを示す

なお、燃料体取出し作業に影響を与えない設備の点検については並行して実施

炉心から燃料体を取り出した後に装荷する模擬体については全数装荷せず、部分的な装荷とし、廃棄物発生量の低減、模擬体の装荷プロセスの簡素化によって不具合等が発生する可能性を低減することにより、より安全かつ確実に燃料体取出し作業を進める

模擬体の装荷位置（中性子しゃへい体の記載は省略）

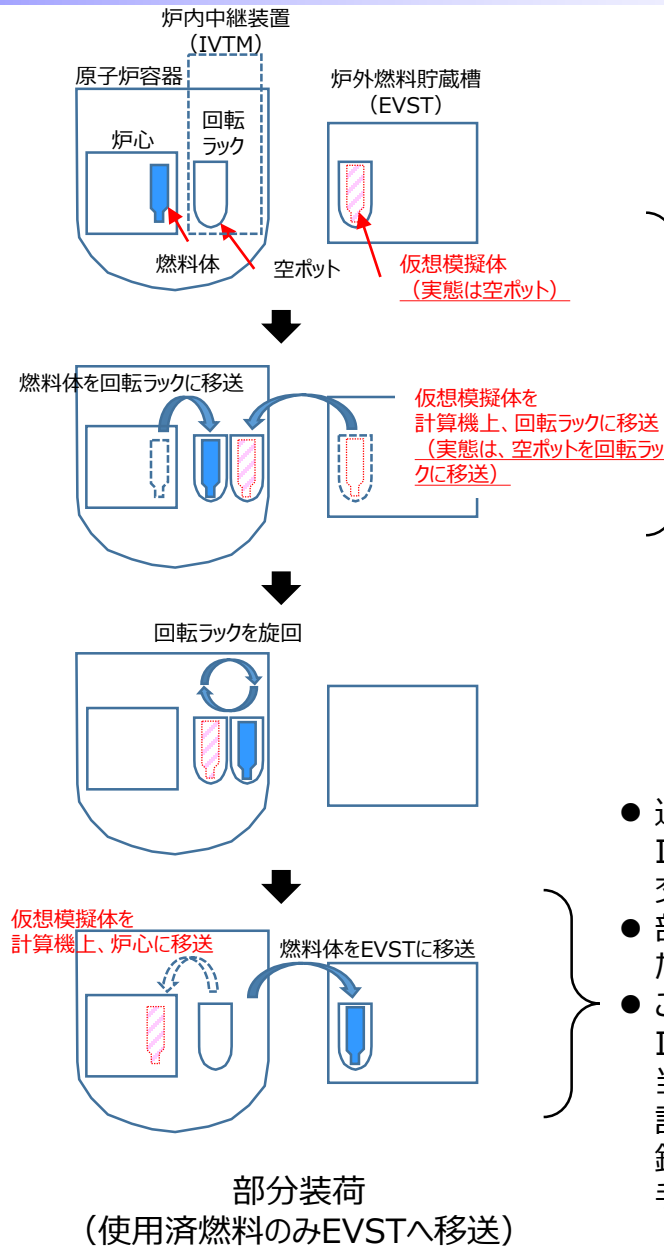
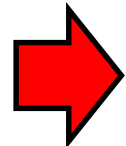
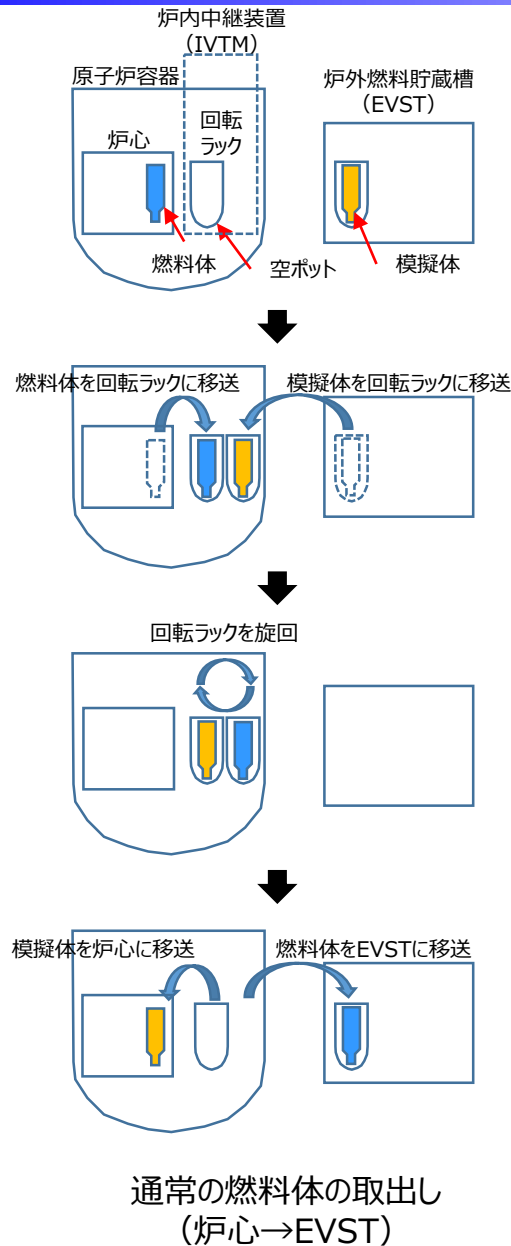


燃料体のみ

燃料体と模擬体等が格子状になるよう、燃料体を取り出した位置に模擬体等を装荷

模擬体等（246体）の装荷終了以降は、燃料体の取出しのみを実施し、模擬体等を装荷しない

| 年度 | 2019年 | 2020年 | 2021年 | 2022年 |
|--------------|--------------------------|---------------|--------|-------------------------|
| 炉心からの燃料体の取出し | 2019.9 100 2019.11 | 2021.1 146 | 2021.3 | 2022.4 124 2022.6 |



注記：

- 機器の実動作は、通常の燃料体の取出し作業と変わらない。
- 従前のプログラムで仮想模擬体の識別は可能。
- EVSTへ仮想模擬体を設定し、計算機上で仮想模擬体を燃料移送ポットに入れてIVTM内の回転ラックに移送（実態は空のポットを移送）。

- 通常の燃料体の取出し作業では、IVTMポットに模擬体が存在し燃料交換機が模擬体を炉心へ移送する。
- 部分装荷ではIVTMポットが空であるため燃料交換機が実動作を行えない。
- このため、計算機上で仮想模擬体をIVTMから炉心内に移送させるよう、当該自動運転の操作を一旦中断し、計算機にて仮想模擬体を炉心に登録したのち操作に復帰するよう操作手順を変更する。

模擬燃料体の部分装荷に関する安全性の確認について(概要)

第27回(2020年2月17日開催)
もんじゅ廃止措置安全監視チーム会合資料2より抜粋

部分装荷による影響を網羅的に抽出し評価すべき事項を整理

- 止める：影響なし(制御棒は挿入済/燃料体数少なく臨界に至らず)
- 冷やす：影響なし(燃料体の発熱熱は小：最大200W/体、全体で9.7kW
冷却機能を喪失しても燃料被覆管は破損しない)
- 閉じ込める：地震時の炉心体系維持、燃料体の健全性の確認が必要
- 燃料体取出し機能：地震時の燃料体の跳び上がり、燃料体が減ることによる炉心流量の変化、隣接燃料体が減ることによる燃料体頂部の変位等の影響に関し確認が必要 等

確認事項の評価結果

- 閉じ込め機能への影響**
- 耐震性の評価：部分的に燃料体が装荷されない状態の地震時の燃料体の挙動を解析コードにて評価
燃料体の構造健全性は確保され、炉心体系を維持。被覆管の座屈による破損も無く、燃料体は閉じ込め機能を維持
- 燃料体取出し機能への影響**
- 地震時の影響：地震時の燃料体の跳び上がり量は20mm程度。燃料体のパッド部外れも、燃料交換装置との干渉もなく、影響なし
炉心流量増加：流量増加量は燃料交換装置や循環ポンプの運転に影響ない程度
燃料体頂部の変位：燃料体の最大傾きはエントランスノズル部の嵌合部の隙間によって制限。隣接燃料体がなくなっても嵌合部の制約は変わらず、燃料交換装置による取扱いは可能

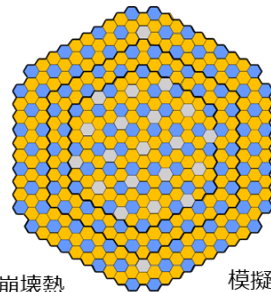
解析コードの適用性

- 解析コード：REVIAN-3D(高速炉の地震時の炉心群振動挙動を3次元で解析評価する目的で開発)を用いて評価を実施
- 開発経緯：次期高速炉を想定し、実寸単体、37体群体系(1/1.5縮尺)、32体列体系(1/1.5縮尺)、313体群体系(1/2.5縮尺)と段階的に規模を拡大して試験を実施。試験と解析とを比較しコードの妥当性を確認
- 適用性：水平加振による跳び上がり量低減、流体力による衝突荷重低減、内部流水による跳び上がり量増加等の挙動を概ね再現。衝突現象を含みバラツキが大きい現象であるが、跳び上がり最大量の評価精度は30%程度であり、精度を考慮しても評価基準値を満足。もんじゅの実寸単体試験(運転中)の最大跳び上がり値4.1mm。停止時は燃料体に作用する上向き流体力が低下し、最大跳び上がり値は20mm程度に半減すると推定され、解析結果は妥当と判断
- 開発課題：評価目的に応じて適切な保守性を見込める条件設定を決めるため、影響因子をパラメータとした感度解析等の検討が必要

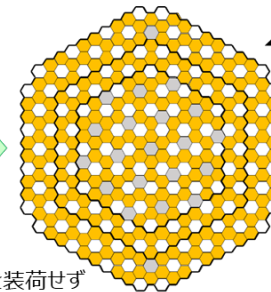
燃料体取出しができない事態への対応

- 燃料体の取出しができない事態の発生も想定し、その対応策を検討。燃料交換装置動作不能時の復旧方法、過去のNa中からの機器回収知見等を活用すれば燃料体の回収見通しがあることを確認

模擬燃料体の装荷終了時



燃料体取出し完了時



当初設計で想定していない炉心体系

- ：燃料体
- ：制御棒集合体及び中性子源集合体
- ：模擬燃料体(246体)
- ：空き箇所(124体)

崩壊熱
9.7 kW

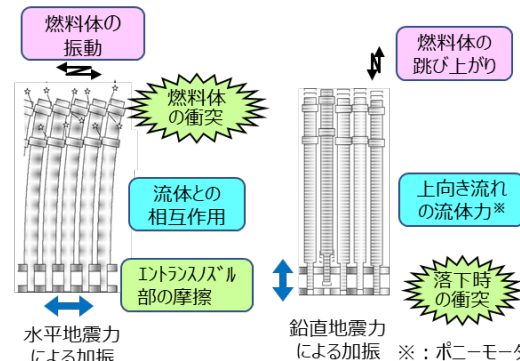
模擬燃料体を装荷せず燃料体を取り出し。燃料体同士の相互支持面が減少(6面→3面)

(中性子しゃへい体の記載は省略)

地震時の燃料体挙動の解析結果

| 評価項目 | 発生値※1 | 評価基準値 |
|--------------------------|----------------|-------|
| 上部パッド衝突荷重 [kN] | 112.8 114.6 | 564 |
| 中間パッド衝突荷重 [kN] | 5.3 5.5 | 28 |
| エントランスノズル付け根部 曲げ応力 [MPa] | 141.1 173.2 | 440 |
| 跳び上がり量 [mm] | <20 <2 | 40※2 |

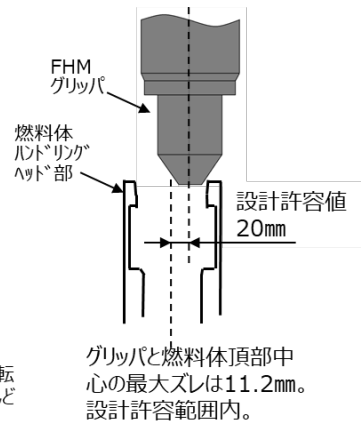
- ※1：2種類の地震動で評価(上段：耐震BCで用いた基準地震動、下段：近隣の軽水炉の基準地震動を参考に策定した地震動)
- ※2：燃料体頂部から燃料交換装置(FHM)のグリッパ案内筒下端面までの距離(干渉回避)。更に45mmでパッド部外れ発生



地震時の燃料体の挙動

※：ポニーモータ運転状態ではほとんど無視できる

燃料体頂部の変位

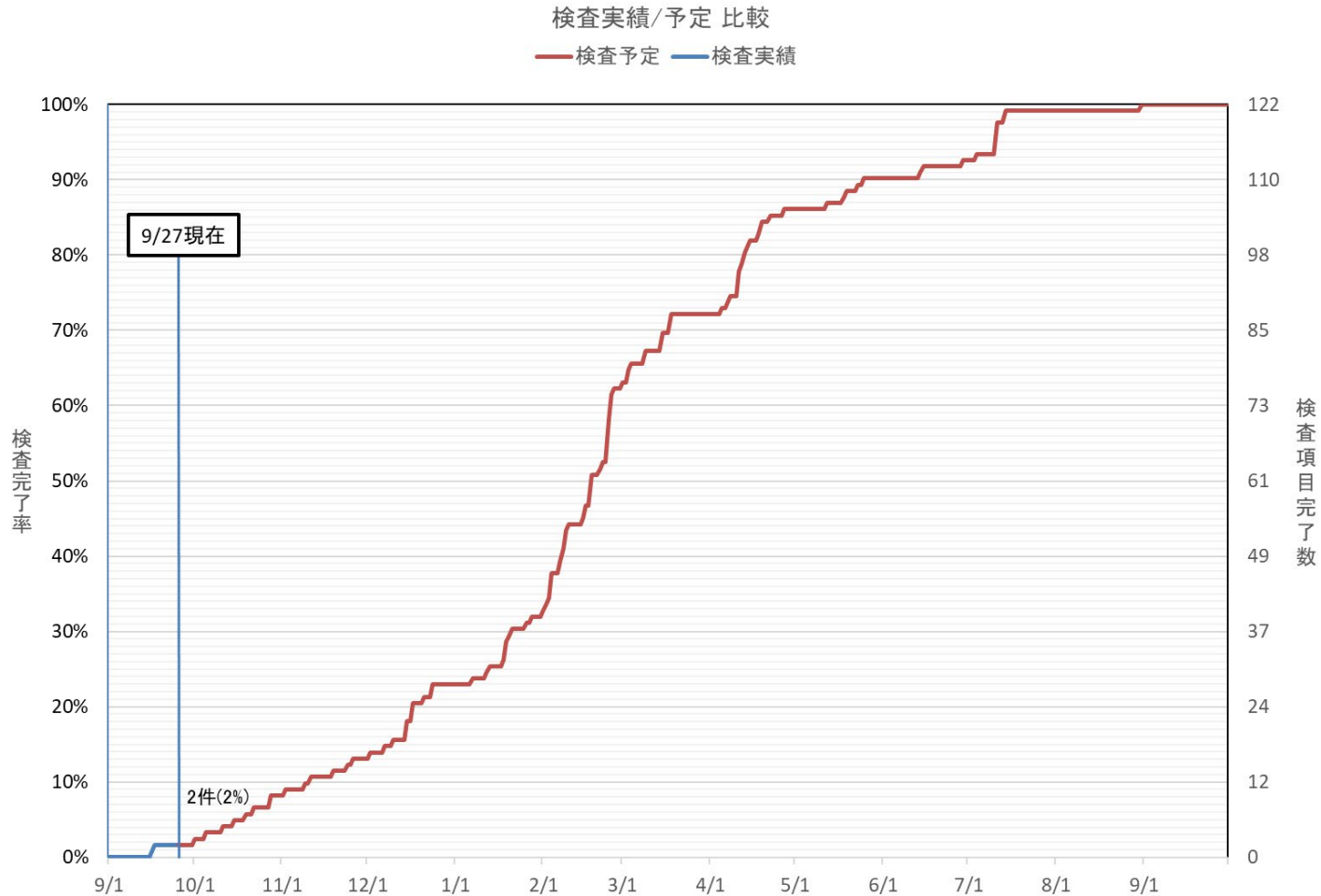


総合評価

部分装荷となる期間は2か月と短い。部分装荷は原子炉施設の安全性に影響を与えることなく、模擬燃料体取扱い中の不具合発生の可能性を低減。燃料とナトリウムが共存するリスクの早期低減に寄与するものと評価

次回の燃料体の取出しに向けた取り組み〔定期事業者検査の実施状況（1/2）〕

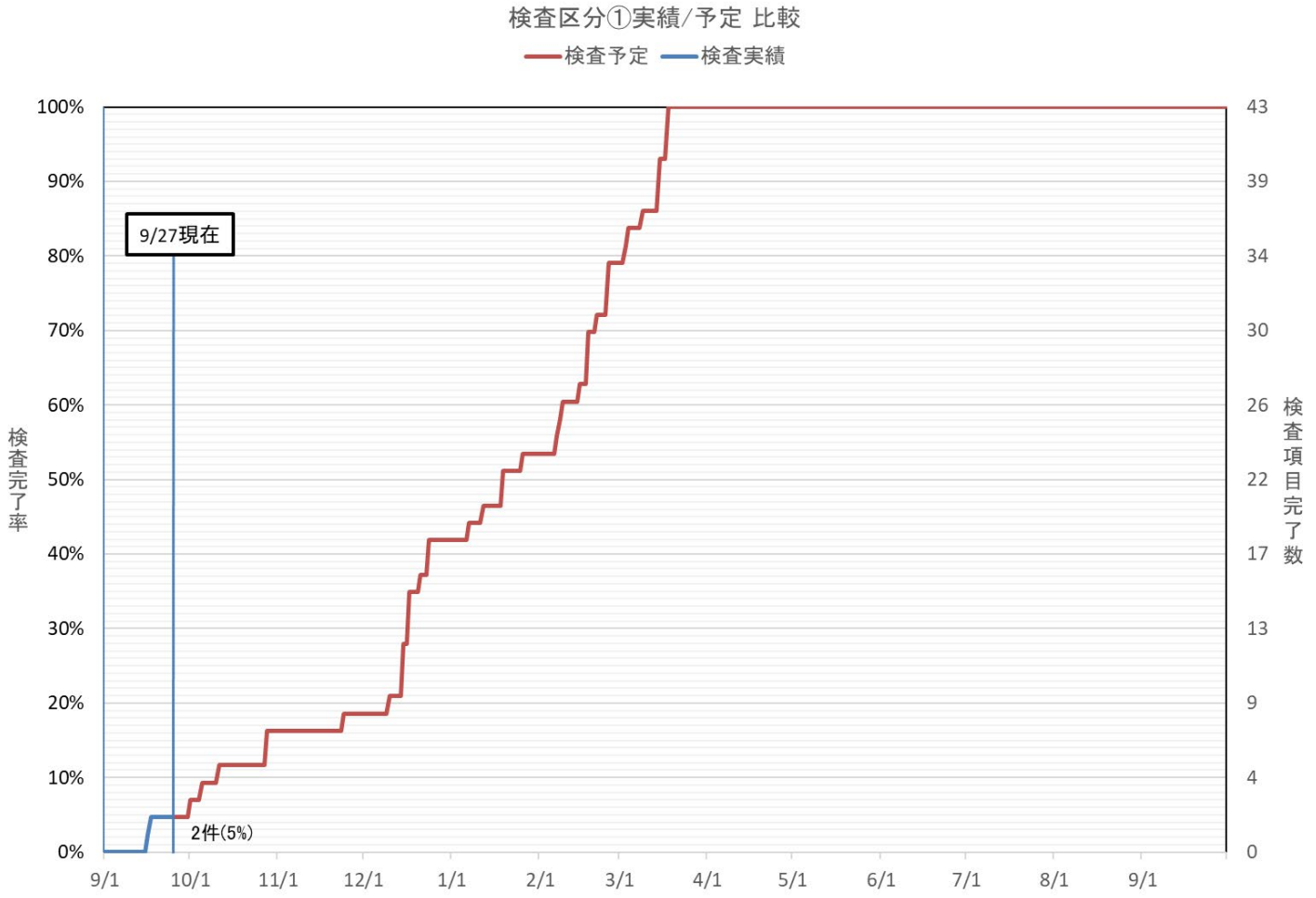
検査全体 実績/予定



- ◆ 第2回定期事業者検査を、2021年9月14日～2022年8月下旬の予定で実施している。
- ◆ 検査項目数は122件（前は124件。検査頻度が2サイクル以上の2件は次回以降に受検を予定しており、今回検査の対象外）

次回の燃料体の取出しに向けた取り組み〔定期事業者検査の実施状況（2/2）〕

検査区分①：「燃料体の取出し」までに必要な検査 実績/予定



◆ 検査①を最優先に対応し、2022年3月までに完了する予定である。

【事象】

2021年5月22日、燃料体の処理作業中に「本体B直接冷却系異常」警報が発報し、確認したところ燃料出入機本体B直接冷却系ブロワAが停止していた。

なお、待機号機であるブロワBが自動起動したことにより警報はクリアした。

【設備概要】

燃料出入機本体B は空気により直接燃料体をブロワによる空気循環によって冷却する。ブロワはA,B号機2台を有している。

なお、燃料体の崩壊熱は低く、ブロワが停止しても燃料体の健全性に影響がない（冷却機能を喪失した場合でも燃料被覆管最高温度が基準を大きく下回る）ため冷却機能自体は不要。しかし、設備改造に伴う不具合発生の可能性を考慮し、現在は改造せず運転を継続している。

【直接冷却系停止時の対応】

ブロワが2台とも停止した場合の安全性、処置手順を確認したことから、定められた手順に従い燃料体の処理作業を継続する。

【ブロワAへの対応】

9/13より燃料出入機の分解点検準備を開始した。その中で、ブロワの分解調査を実施している。

