

案

「もんじゅ」の燃料体取出し作業の進捗状況について

2022年●月●●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

1. 第3キャンペーンの振り返り（参考1～3参照）

- ◆ 燃料体取出し作業を振り返り、次年度の作業開始に向けた準備事項を整理済み。設計・運用の観点で対処が必要な事項については、次回キャンペーンまでに対処するとともに、リスク評価に反映予定。

2. 部分装荷による燃料体取出しの準備作業（次頁、参考4参照）

- ◆ プログラムの追加については、工場で作成終了。工場所有の模擬計算機を用いて、仮想模擬体設定プログラムが正常に動作すること、同プログラムの追加が計算機の既存機能に影響しないことを確認した。また模擬計算機により部分装荷での自動化運転が正常に動作することを確認した（2021年11月19日）
- ◆ 現地計算機にプログラムを追加し、仮想模擬体設定プログラムが正常に動作すること、同プログラムが現地計算機の既存機能に影響しないことを確認した（2021年12月10日）。
- ◆ 操作手順変更については、実動作を伴わない操作の導入が自動化運転フローを阻害しないよう、メーカーと議論しつつ慎重に作業中。（2022年1月改定完了予定）。
- ◆ 操作手順変更の検証のため、炉上部への機器設置後に変更した操作手順により、部分装荷での自動化運転を実機により確認（実機確認）する。（2022年3月予定）。
- ◆ 実機確認後、模擬訓練により部分装荷での自動化運転の一連の操作を実施・習熟する（2022年3月予定）。

3. 定期事業者検査の実施状況（参考5参照）

- ◆ 2021年9月14日に開始し、2022年8月31日に終了する予定。
- ◆ 検査は①燃料体の取出しに必要な検査、②燃料体の処理に必要な検査、③それ以外の検査に分類し、検査①は来年3月に終了する予定。

部分装荷による燃料体取出しの準備作業

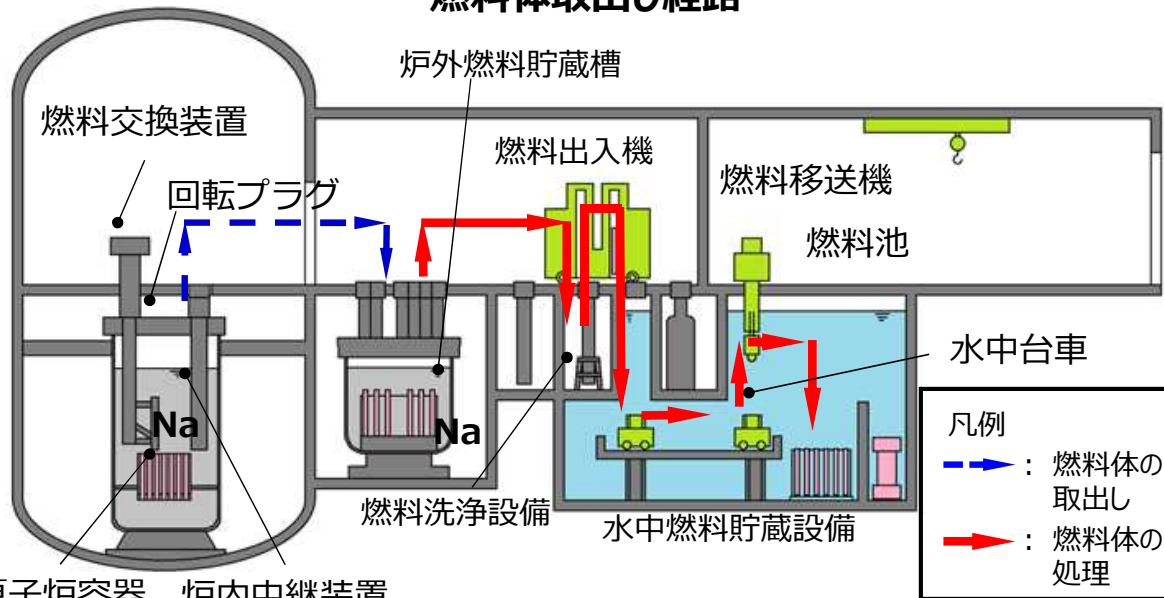
- 部分装荷による運転操作の変更が新たなリスクとならぬよう下記検証を実施
 - ・追加プログラムが計算機の動作（制御や記録）に影響しないことを工場（模擬）で確認、また現地計算機インストール後には実機確認時に設備が正常に動作することを確認
 - ・手順書改訂について変更する操作手順（除外・スキップ操作・復旧）が、確実に反映していることを確認
 - ・実機確認・模擬訓練において、変更した手順書にて操作が実施でき、自動化運転動作が実施できることを確認

	実施項目	確認内容	確認結果
仮想模擬体設定プログラム追加の動作確認（工場）	<ul style="list-style-type: none"> ・仮想模擬体番号登録 ・自動化運転（模擬） 	<ul style="list-style-type: none"> ・製作したソフトで仮想模擬体番号を登録できること ・計算機の既存機能に影響しないこと ・登録した仮想模擬体番号により自動化運転が正常に終了すること 	<p>良 (2021年11月19日確認)</p>
仮想模擬体設定プログラム追加の動作確認（現地）	<ul style="list-style-type: none"> ・仮想模擬体番号登録 	<ul style="list-style-type: none"> ・現地計算機にソフトをインストールし仮想模擬体番号を登録できること ・計算機の既存機能に影響しないこと 	<p>良 (2021年12月10日確認)</p>
操作手順書の見直し	<ul style="list-style-type: none"> ・部分装荷による自動化運転フローとなるように操作手順書を改訂 	<p>下記手順が反映されていること</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動化除外ポイント ・手順スキップ箇所 ・スキップ箇所の手動操作 ・自動化復帰箇所 	<p>実施中 操作手順書案策定完了 (2022年1月改訂予定)</p>
実機確認 (炉上部への機器設置後、部分装荷での自動化運転を実機により確認)	<ul style="list-style-type: none"> ・自動化運転（実機） 	<ul style="list-style-type: none"> ・登録した仮想模擬体番号により自動化運転が正常に終了すること ・改訂した操作手順書により一連の自動化運転動作が実施できること 	<p>模擬訓練前 (2022年3月予定)</p>
模擬訓練 (燃料体以外の炉心構成要素を用いて部分装荷での自動化運転を実機で実施)	<ul style="list-style-type: none"> ・自動化運転（実機） 	<ul style="list-style-type: none"> ・操作体制4班すべてが模擬訓練を実施すること 	<p>燃料体取出し前 (2022年3月予定)</p>

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												
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	
操作手順書の変更												
リスク評価						手順書変更作業		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												
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												
検査③ (その他の性能維持施設に係る検査) 水消火設備等												

以下、参考

燃料体取出し経路

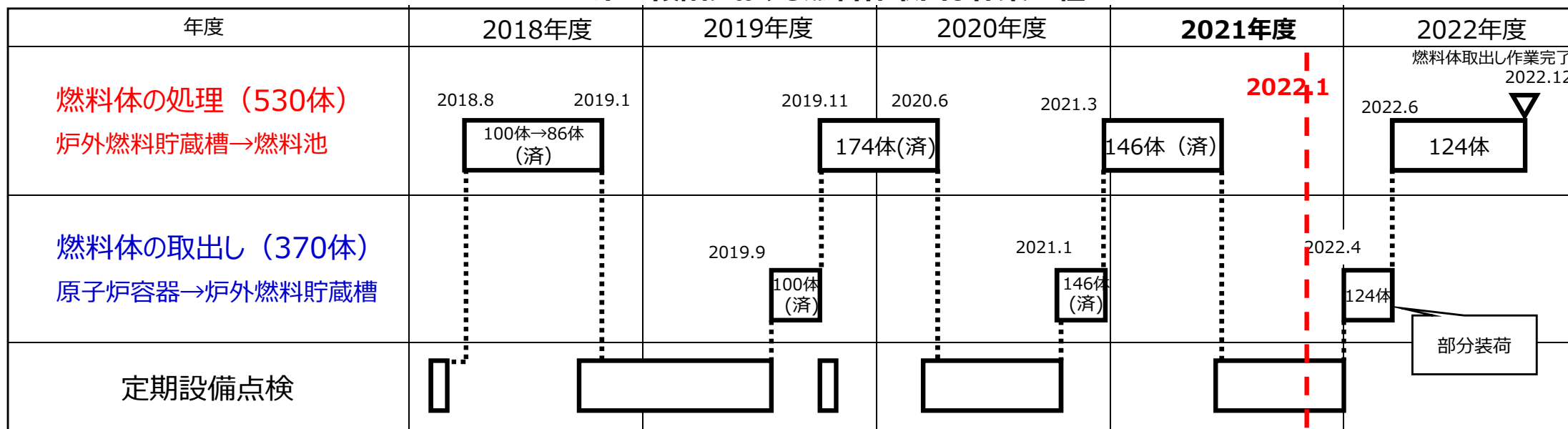


廃止措置開始以降の燃料体の装荷及び貯蔵状況

	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

【運転状態について】（参考2-2～4参照）

- ◆ 第3キャンペーンの燃料体の処理作業の実施にあたっては、146体の燃料体の処理作業を計画通り完了することができた。
- ◆ 処理作業を通じて、設備全体として見れば運転状態に異常はなく、燃料出入機本体の各部駆動トルク等のパラメータも想定内の経時的変化やバラつきの範囲であり、対策の効果によるものと評価。次回以降も継続して対応する。
 - ・燃料出入機本体B直接冷却系ブロワA、Bについては停止とし、操作員の負荷低減、ヒューマンエラー防止の観点から自動化運転を可能とするソフト改造にて対応
 - ・ドアバルブガス置換系真空ポンプは復旧のうえ、2台運用を維持

【操作員のコミュニケーションについて】

- ◆ 引継ぎ・情報共有・操作員の基本動作は問題なし。操作責任者を中心にチーム内（設備班含む）のコミュニケーションは十分だった。

【操作員のコロナ対策について】

- ◆ 操作員専用の通勤バスは安心感を得られており今後も継続すべき。

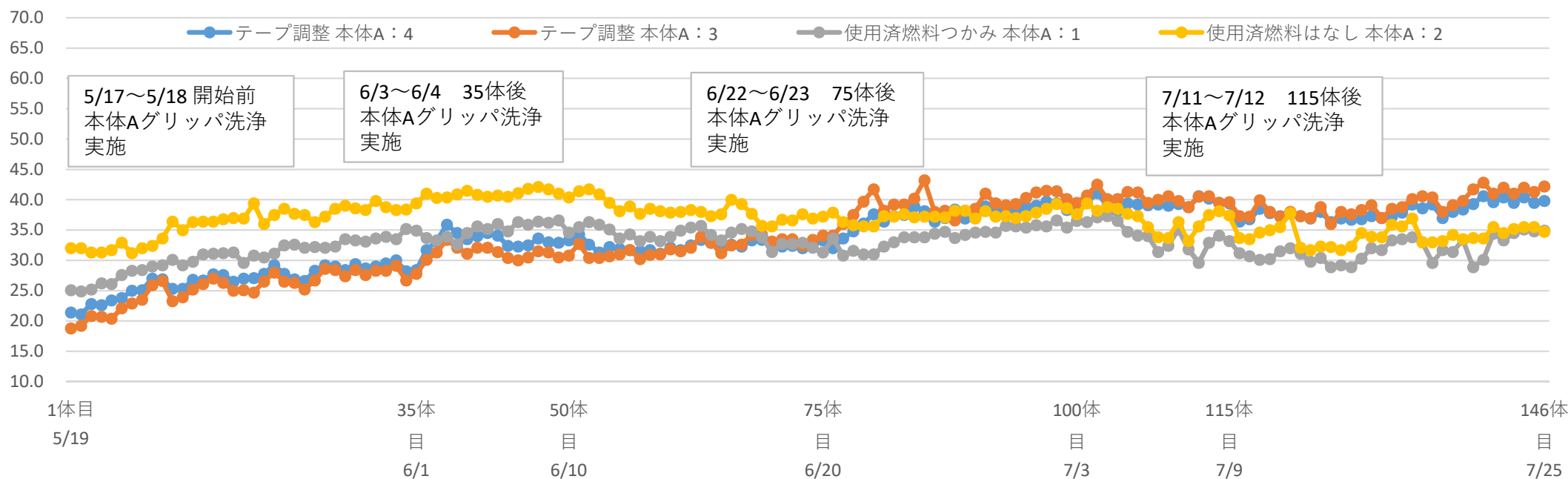
【改善提案】

- ◆ 操作手順書（チェックシートの運用）については、より使いやすいものとするための継続的な改善が必要。

燃料体処理作業時の監視

本体Aグリッパの爪開閉トルク上昇への対応

- ◆ 対策（グリッパトルクの継続的監視及び洗浄計画運用）のに基づく、工程にて燃料体の処理を5月19日に開始した。
 - ◆ トルクを監視し急増することなく一定程度のバラツキの範囲で安定。前回実績を反映したグリッパ洗浄頻度に基づき計画的にグリッパ洗浄を行い、期中にナトリウム化合物形成によるつかみ・はなし異常は発生せず。
- ⇒ グリッパトルクの継続的監視及び洗浄計画運用の効果があったものと評価、次回以降対策を継続する。

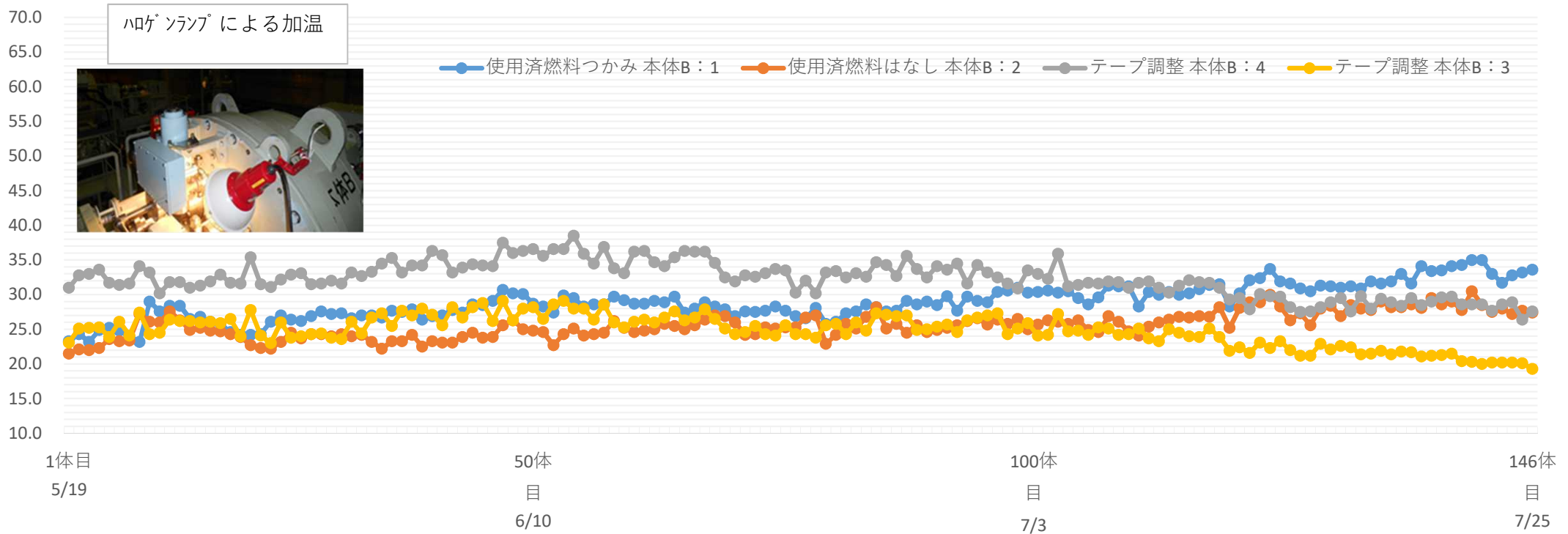


燃料出入機本体Aの爪開閉トルクの推移（単位：N・m）

燃料体処理作業時の監視

本体Bグリッパの爪開閉トルク上昇への対応

- ◆ 対策（ハロゲンランプによる加温）を実施した上で、燃料体の処理を5月19日に開始した。
 - ◆ トルクを監視し第1キャンペーン時のような増加傾向はみられず、一定程度のバラツキの範囲で安定。
- ⇒ ハロゲンランプによる加温対策の効果があったものと評価、次回以降対策を継続する。



燃料出入機本体Bの爪開閉トルクの推移（単位：N・m）

【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。

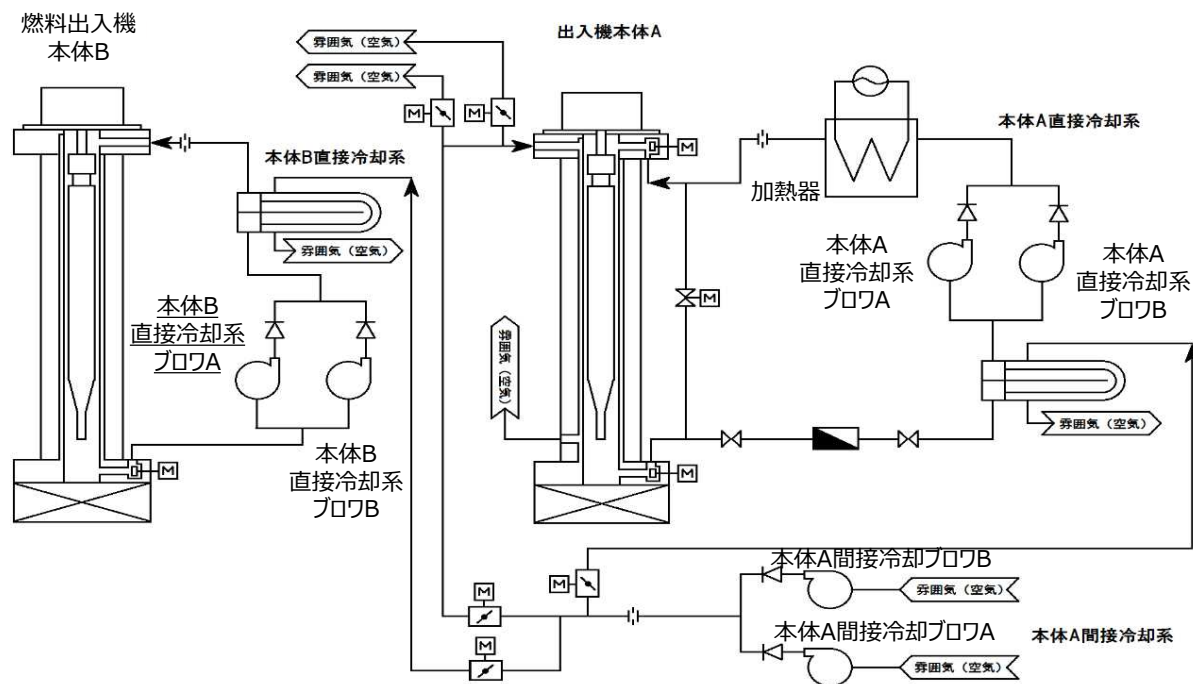
なお、燃料体の崩壊熱は低く、ブロワが停止しても燃料体の健全性に影響がない（冷却機能を喪失した場合でも燃料被覆管最高温度が基準を大きく下回る）ため冷却機能自体は不要。

【ブロワAの分解調査の結果】

ブロワの分解の結果、上部軸受の破損により、停止したものと判明。軸受け破損に至った原因は、廃止措置段階における燃料体は、設計上の崩壊熱約2kWに対し、約200Wと低いため、燃料体に付着した水分の蒸発がほとんどなく、当該ブロワの起動により設計で想定した以上の水分が本体B内に吸い込まれた結果、駆動部に溜まった水分の影響で当該ブロワの軸受が腐食・破損に至ったものと判断した。

【第4キャンペーンでの対応】

機能上不要な機器（本体BブロワA及びB号機）は停止する。操作手順の改訂による操作変更(手動操作)と、従来の自動化運転操作を可能とする運転ソフト改造による運用を比較した。結果、第4キャンペーンだけでなく廃止措置第2段階を含めて約700体を処理することふまえて、操作員の負担低減、ヒューマンエラーの防止の観点からもソフト改造による運用がリスク低減上、優れており、ソフト改造にて対応するものとする。ソフト改造にあたっては、改造に対するリスク回避のため、工場でのソフト改造後の検証、現地改造後における実動作による動作検証を行う。



- ◆ 前キャンペーンまでの実績に基づくリスク
 - ・ 次回キャンペーンでの発生の可能性を見直し、可能性が上がったものについて、教育や模擬訓練カリキュラムに反映
 - ・ 作業中断リスクの低減のため、信号異常（適切に対処できる既知の事象）について、発生頻度の更なる低減のため、実施可能な対策を検討中
- ◆ 部分装荷に伴う新たなリスク
 - ・ 機器・制御の改造を行わない為、機器動作に係る新たなリスクはない。
 - ・ 燃取系計算機へのプログラム追加について、工場及び現地にて制御に影響しないことを確認し新たなリスクはない。
 - ・ 操作手順の変更による、操作ミス（除外失敗、計算機入力失敗）を新たなリスクと捉え、教育と模擬訓練を予定。
 - ・ 設計想定外のSBPスキップが燃交自動化盤の制御機能（燃取系計算機と信号取り合い等）に影響しないことを確認。
 - ・ 燃料交換装置の一部のSBP（模擬燃料体のつかみ、旋回・はなし）スキップにより、裸の模擬体の移送に伴う機器動作上のリスクはなくなる。
 - ・ 設計に立ち戻り、部分装荷による系統設備への影響を再確認。

第4キャンペーンの燃料体と取出しにて想定される事象とその対応

- 第4キャンペーンに向け、訓練・教育カリキュラムの見直しを行い、より有効な訓練への見直しを計画

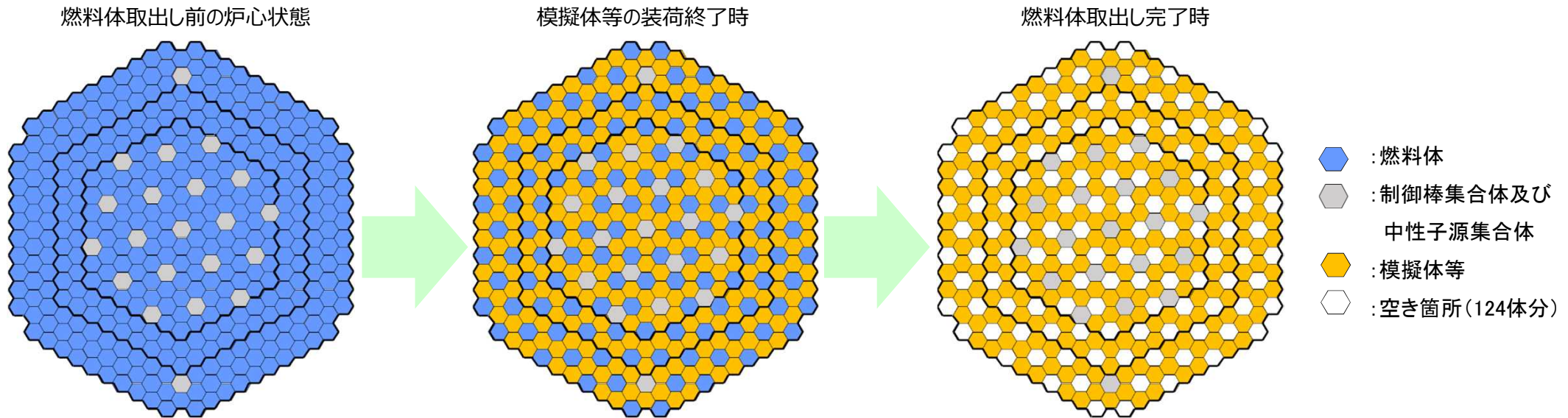
設備名	主な警報内容	件数	対応			備考
			手順書反映	図上訓練	模擬訓練	
燃料交換機 本体設備及 び制御設備	・ 新燃料挿入異常(セルフオリエンテーション異常)	10+2	○		⊖	部分装荷では模擬体挿入がないため、この作業のSBPはスキップされる
	・燃料交換装置下降時の燃料交換装置本体駆動装置内部圧力低	1	○	○		
	・燃料交換装置本体継ぎ目の軸封通過時の軸封アルゴンガス流量高	1	○	○		
	・一時的な電源異常に伴う自動化除外	1	○	○		
	・伝送信号異常等による自動化除外 (条件不成立での自動化除外、フリッカ未点灯による自動化除外、 旋回位置変換データ不一致等)	20+25	○	○		
・FHM爪開閉基準位置LS操作機構の一時的ずれによる爪開停止	10	-	⊖		部分装荷では炉内中継装置での模擬体掴みがないため、この作業のSBPはスキップされる 教育対応※1	
・真空ポンプ出口弁閉によるポンプ過負荷トリップ	1	○				
燃料交換孔 ドアバルブ	・弁座シール電磁弁の誤閉	1	○			教育対応※1
回転プラグ	・回転プラグジャッキアップ時間のタイムオーバー	1	○			教育対応※1
	・アルゴンガス圧力制御間違いによるシリコンオイルのオーバーフロー	1	○			教育対応※1
	・回転プラグジャッキアップ時の油圧圧力高 (逆止弁開放固着)	1	○			教育対応※1
	・ 余剰電荷(静電気) によりフリーズシール部温度 1 が上昇と誤検知	+4	-			教育対応※1
炉内中継装置 (IVTM)	・流量計ダンパオイル不足による流量指示値ハンチング	1	○			教育対応※1
	・IVTMブローダウン異常	2	○	○		教育対応※1
燃料出入機 他	・燃料出入孔ガス置換弁信号受信不具合	4	-	○		教育対応※1
	・DPアダプタ吊り上げ時の本体Aつかみはなし異常	2	-	○		
	・ ガス置換排気時間超過による連動運転渋滞 (低気圧影響)	1+4	○			
	・ アルゴンガスシール部加圧系シール漏れ	+1	○			

赤字：第3キャンペーンで発生した不具合事象
 ※1：机上教育における事例周知、注意喚起

・模擬訓練：今後も発生の可能性が残り、かつ対処方法が複雑で実機での訓練が必要と判断した事象
 ・図上訓練：今後も発生の可能性が残るが、操作が複雑ではなく机上での想定訓練で対応可能と判断した事象
 ・教育対応※1：机上教育における事例周知、注意喚起 (反復して事例を周知するものを含む)

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

● 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4-3の図参照) :

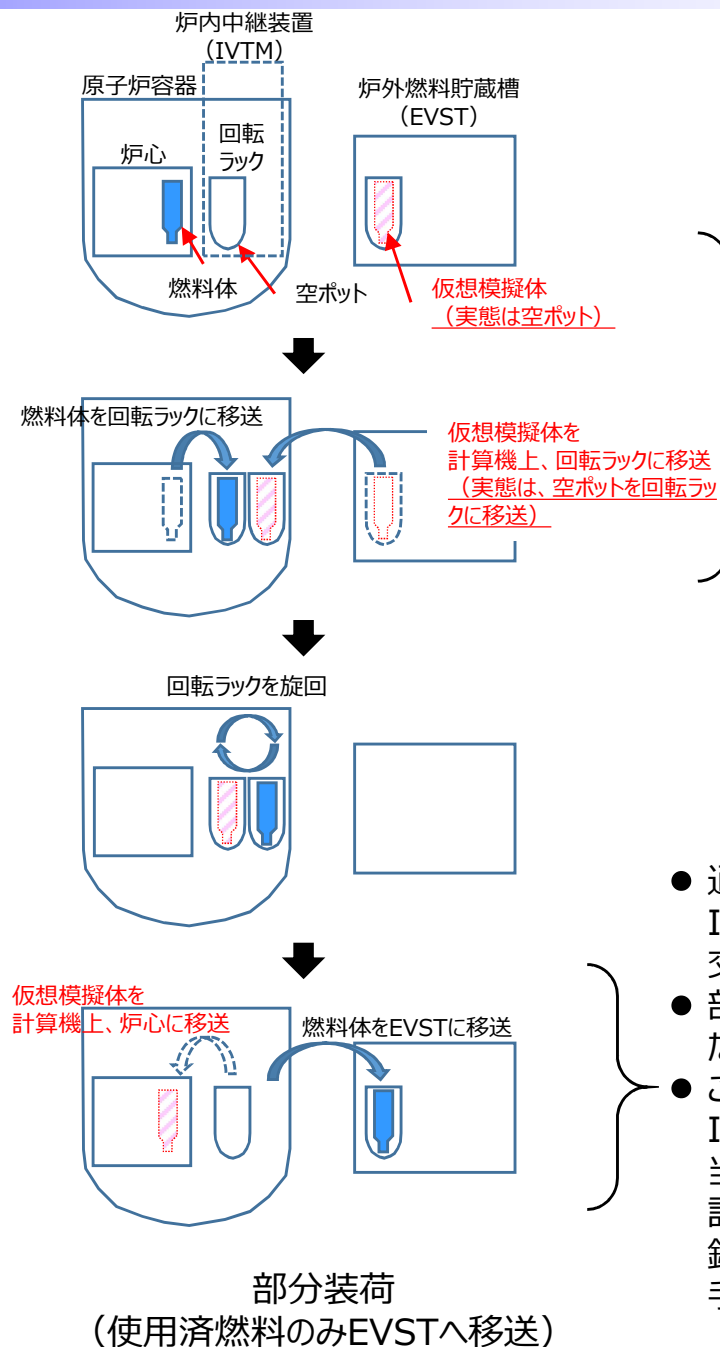
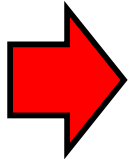
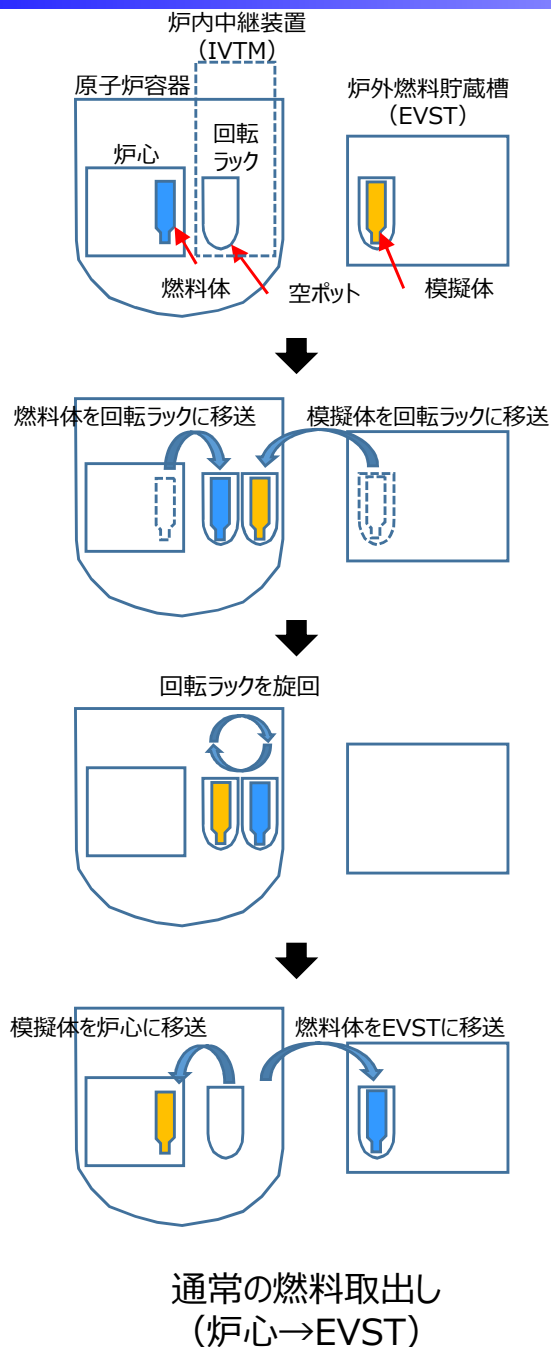
	通常	部分装荷
炉心から炉外燃料貯蔵槽 (EVST) への移送	① 炉心の燃料体を炉内中継装置 (IVTM) のポットへ移送 ② IVTMの燃料体入ポットをEVSTへ移送	① 同左 ② 同左
EVSTから炉心への移送	① EVSTの <u>模擬体入ポット</u> をIVTMへ移送 ② IVTMポット内の <u>模擬体</u> を炉心へ <u>実際に移送</u>	① EVSTの <u>仮想模擬体入ポット</u> をIVTMへ移送 (ポット内は空) ② IVTMポット内の <u>仮想模擬体</u> を炉心へ <u>計算機上で移送</u>

● 部分装荷に向けた準備 (参考4-3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。

第38回(2021年9月28日開催)
もんじゅ廃止措置安全監視チーム会合資料1より抜粋



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

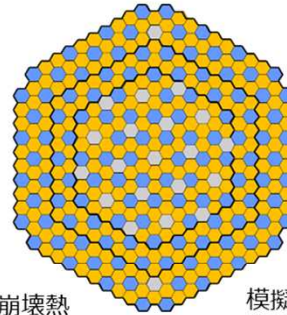
解析コードの適用性

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。衝突現象を含みパ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41mm。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

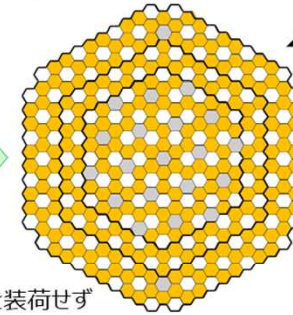
燃料体の取出しができない事態の発生も想定し、その対応策を検討。燃料交換装置動作不能時の復旧方法、過去のNa中からの機器回収知見等を活用すれば燃料体の回収見通しがあることを確認

模擬燃料体の装荷終了時



崩壊熱
9.7 kW

燃料体取出し完了時



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)

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)

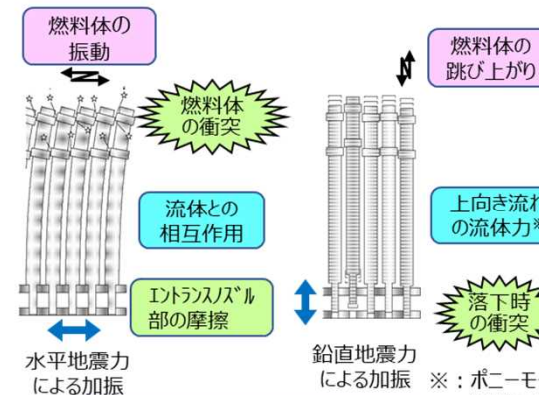
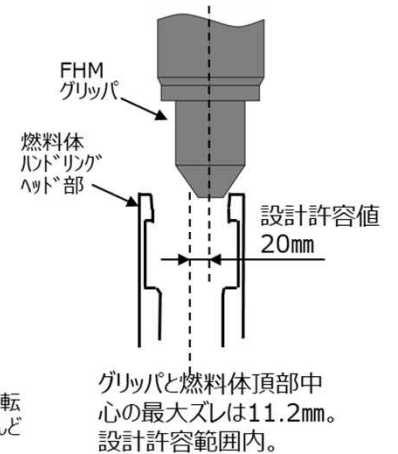
(中性子しゃへい体の記載は省略)

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

燃料体頂部の変位



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

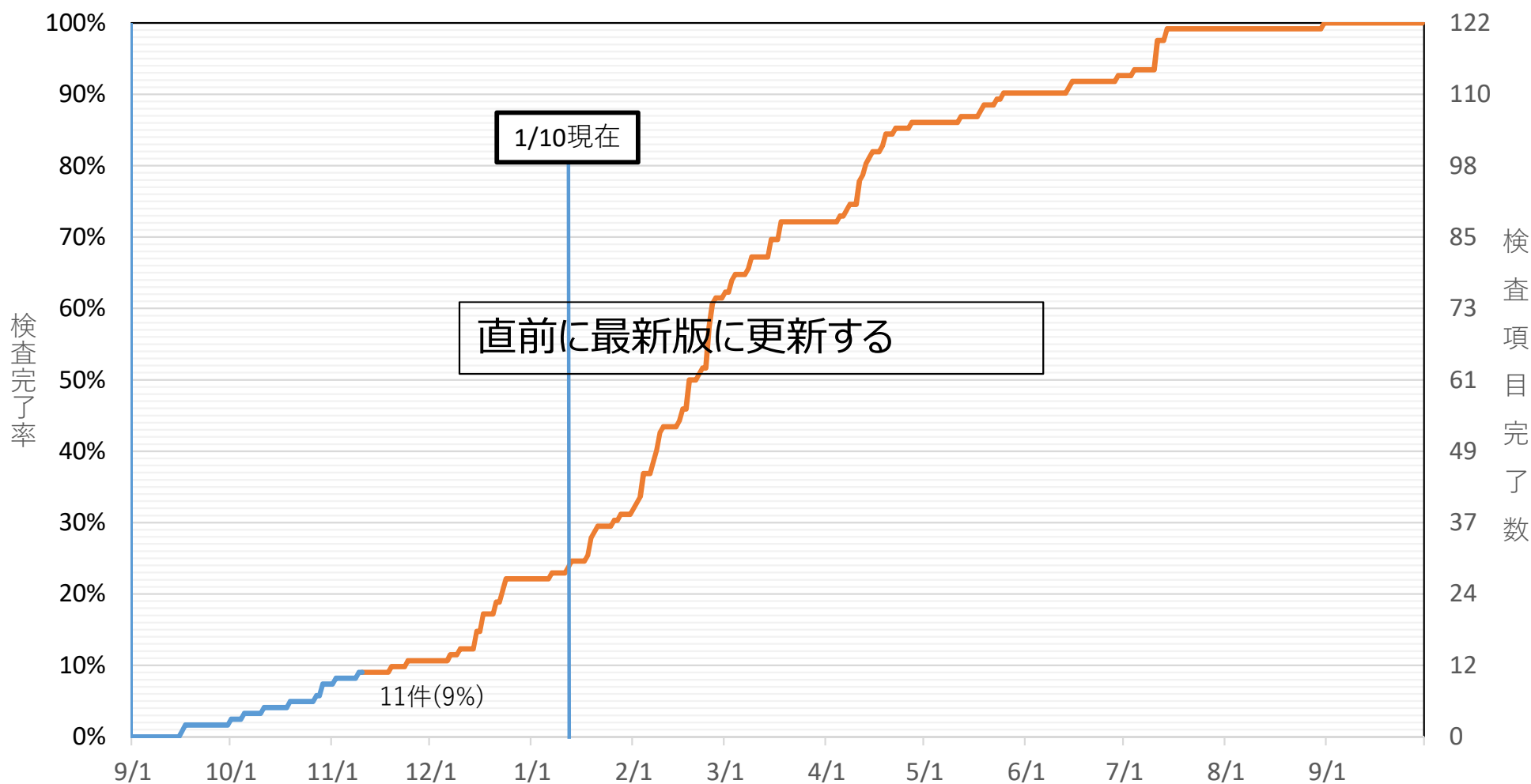
総合評価

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

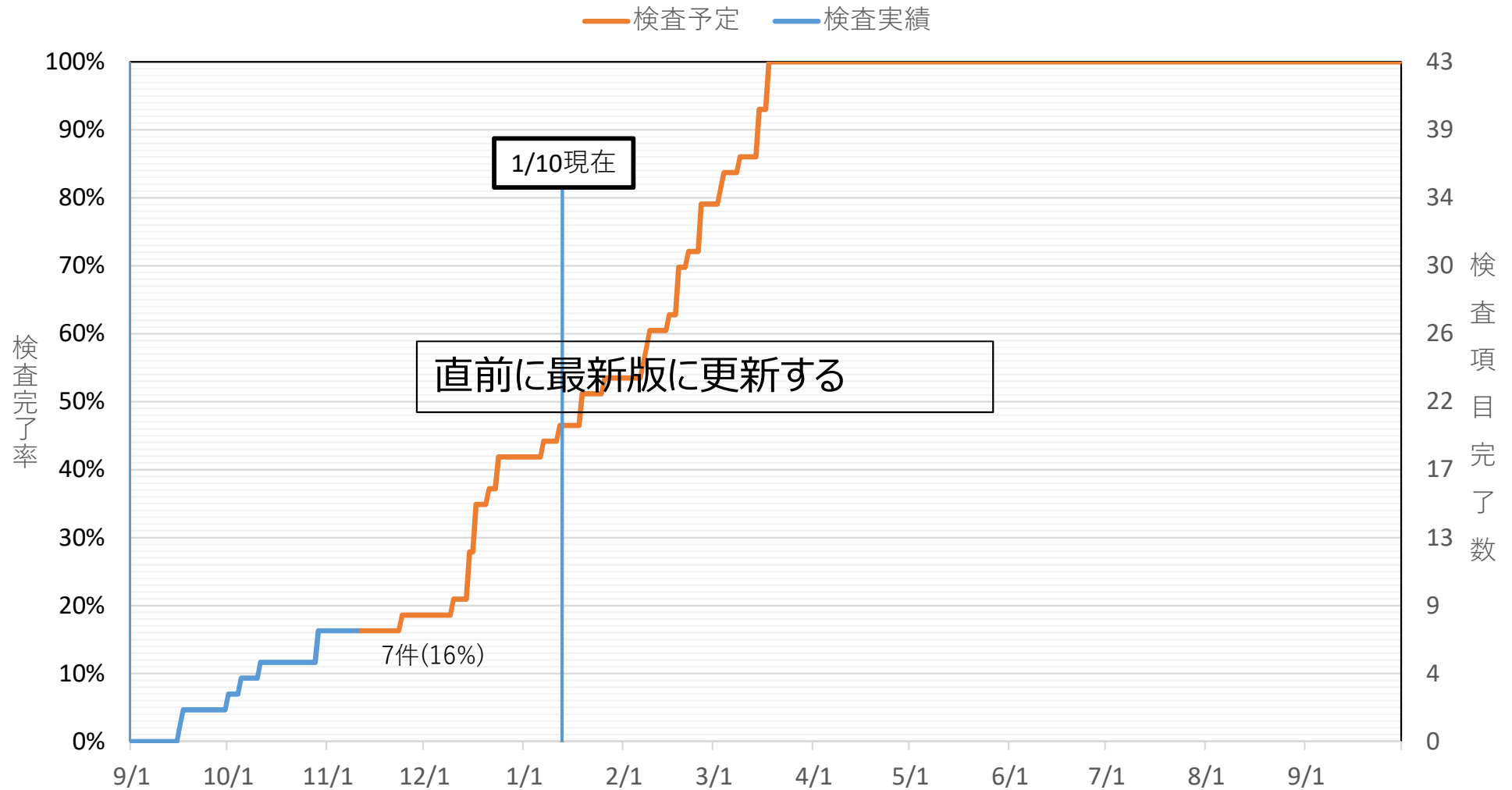
— 検査予定 — 検査実績



- ◆ 第2回定期事業者検査は、2021年9月14日～2022年8月下旬の予定で実施している。
- ◆ 11月10日時点で全122件中11件（9%）を終了、計画通りに進捗している。

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。
- ◆ 11月10日時点で43件中7件（16%）を終了、計画通りに進捗している。