

# 「もんじゅ」の燃料体取出し作業の進捗状況について

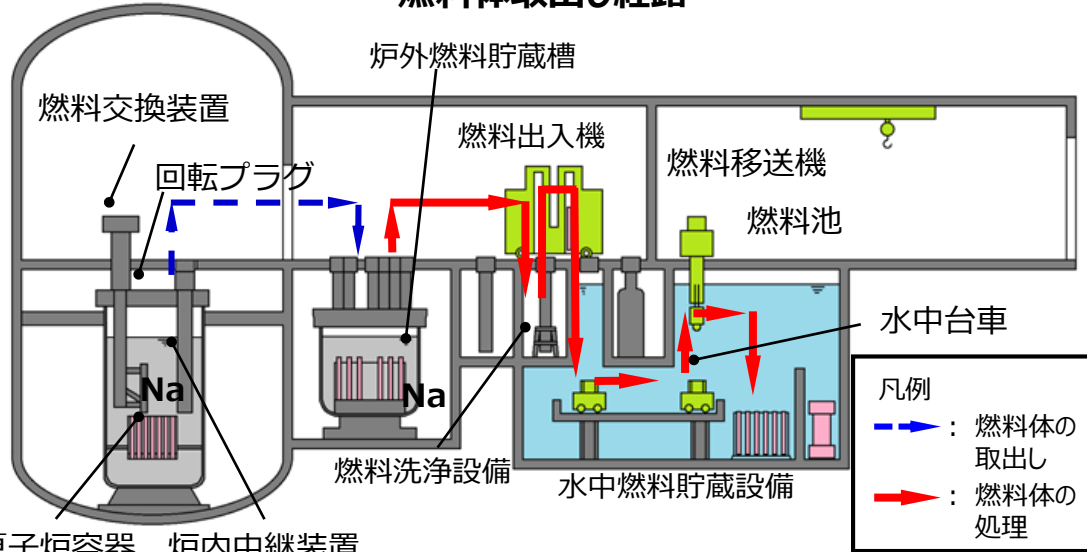
2022年3月8日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

- ◆ 現在炉心に残る124体の燃料体を取り出し、炉外燃料貯蔵槽へ移送⇒2頁参照
- ◆ 2022年4月より開始し、工程予備等を含め、6月中に完了予定。⇒3頁参照
- ◆ 今回の燃料体の取出し作業では、燃料取出し後に模擬体を装荷しない（部分装荷）ため、プログラムの追加、操作手順書の変更を行う。このため、以下の検証作業を計画的に実施中⇒4頁参照
  - ◆ 【済】既存の計算機へのプログラム追加により、仮想模擬体を取扱うことが計算機制御に影響しないことを工場及び現地で各々確認
  - ◆ 【済】燃取計算機上で仮想模擬体をIVTMから炉心内に移送させる動作に関し、操作手順書を改正し、教育訓練を実施
  - ◆ 【2022年3月予定】燃料体以外の炉心構成要素を用いて、計算機制御と実機動作を組合せた状態による「実機確認」を実施し、自動化運転が開始から終了まで正常に動作することを確認予定
  - ◆ 【2022年3月予定】燃料体以外の炉心構成要素を用いた部分装荷による自動化運転の「模擬訓練」を実施し、一連の運転操作の実施・習熟予定
  - ◆ 【済】前回キャンペーンまでの実績に基づくリスクへの対処状況の確認、部分装荷に伴う新たなリスクの抽出・評価を実施⇒5,6頁参照
- ◆ 部分装荷に向けた準備を含め、各準備作業が完了していることをホールドポイントにて確認後、燃料体の取出しを開始⇒7頁参照
- ◆ 燃料体を全て取出した後、ナトリウム漏えいリスクを低減するため、1次主冷却系全ループのナトリウムを既設タンクにドレンし、事前確認試験終了後に固化する。この場合、低温停止状態にある原子炉容器内のナトリウム温度の監視は、定期事業者検査にて健全性を確認した炉内の予熱温度計を用いる。⇒8頁参照
- ◆ 第2段階は原子炉容器内ナトリウム低液位（SsL）にてしゃへい体等取出し作業を行う。その事前準備として工程予備を活用し、1次主冷却系ナトリウムの全ドレン後、燃料交換装置を取外す前に事前確認試験を実施し、燃料交換装置に対する液位変更による熱収縮、浮力低下の影響を確認する予定⇒8頁参照

# 燃料体取出し作業の進捗状況

## 燃料体取出し経路

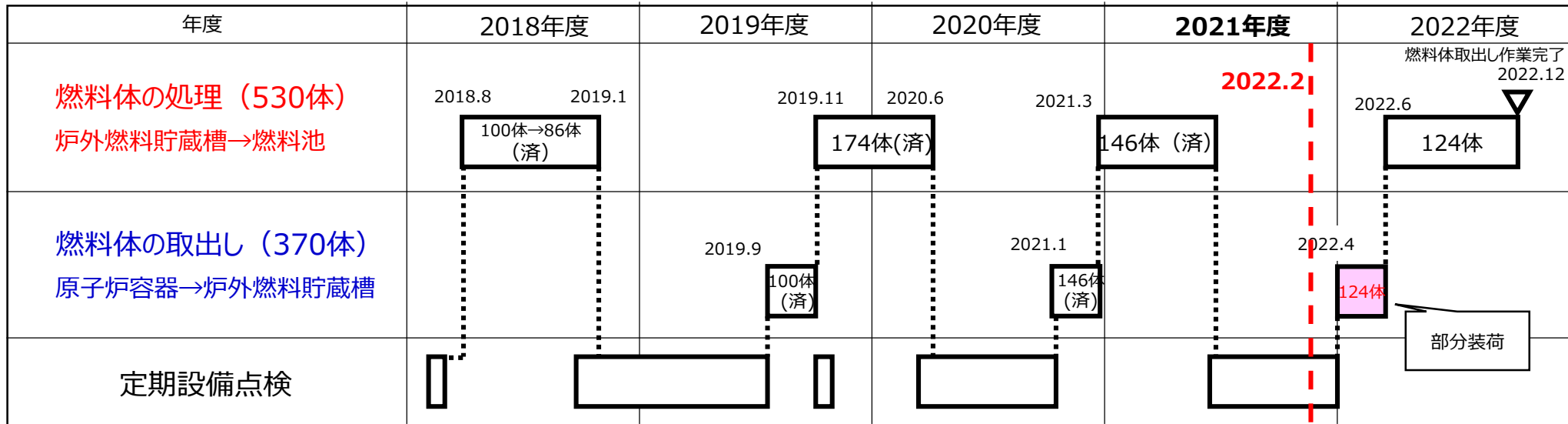


## 廃止措置開始以降の燃料体の装荷及び貯蔵状況

	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

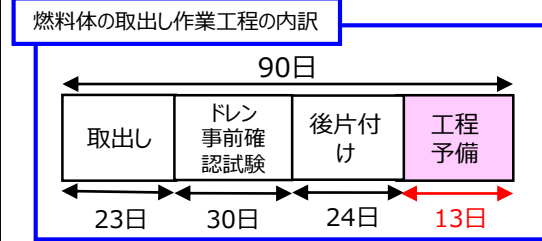


注記：点線は、燃料体取出し作業の流れを示す

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

# 燃料体の取出し作業工程

- 燃料体の取出し（部分装荷）に向け、リスク評価、プログラムの追加、教育訓練を実施。
- 燃料体の取出し終了後はナトリウム漏えいリスクを低減するため、1次系全ループのナトリウムを既設タンクにドレンし、事前確認試験終了後に固化する。
- 工程予備を活用し、点検等の実施に伴う工程遅延吸収、第2段階で実施予定のしゃへい体等の取出しに向けた事前確認試験を行い、6月中旬に燃料体の取出しを完了する。
- 燃料体の取出し作業の基本工程は以下のとおり。



項目	スケジュール	2021年度						2022年度			
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
部分装荷に向けた準備				工場作業	現地作業						
プログラムの追加											
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				
燃料体の取出し							実機確認	燃料体の取出し (124体)			
1次系全ループドレン・事前確認試験 (SsL)								1次系全ループドレン・事前確認試験 (SsL)			
燃料体の取出し機器の後片づけ作業 (機器洗浄等)								後片付け			
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①									
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②									
検査③ (その他の性能維持施設に係る検査) 水消火設備等		検査③									

★ ホールドポイントでの所長確認事項は7頁参照

部分装荷に必要なプログラム追加、実機確認試験、手順書改正、教育訓練（模擬訓練）を以下のとおり実施する。

	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"> <li>仮想模擬体番号登録</li> <li>自動化運転（模擬）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製作したソフトで仮想模擬体番号を登録できること</li> <li>計算機の既存機能に影響しないこと</li> <li>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</li> </ul>	<p>良</p> <p>（2021年11月19日）</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"> <li>仮想模擬体番号登録</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>計算機の既存機能に影響しないこと</li> </ul>	<p>良</p> <p>（2021年12月10日）</p>
操作手順書の見直し	<ul style="list-style-type: none"> <li>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正</li> </ul>	<p>下記手順が反映されていること</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自動化除外ポイント</li> <li>手順スキップ箇所</li> <li>スキップ箇所の手動操作</li> <li>自動化復帰箇所</li> </ul>	<p>良</p> <p>（2022年2月）</p>
実機確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動化運転（実機）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計算機制御と実機動作を組合せた状態で、自動化運転が開始から終了まで正常に行われること</li> <li>改正した操作手順書が計算機制御と実機動作と矛盾しないこと</li> </ul>	<p>（2022年3月予定）</p>
模擬訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動化運転（実機）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>改正した操作手順書により一連の自動化操作を実施できること</li> <li>操作体制4班すべてが上記を経験し習熟が図られること</li> </ul>	<p>（2022年3月予定）</p>

## ◆ 前回キャンペーンまでの実績に基づくリスク評価

- ・前回の炉心構成要素等の取替作業にて発生した36件の不具合に対し、影響はほぼ想定の範囲内で対処方法が確立されていることを確認した。

- ・新燃料挿入異常、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は、部分装荷の場合、模擬燃料体を炉心に装荷する動作そのものがなく、発生しないリスクであり評価の対象から除外した。

## ◆ 部分装荷に伴うリスクの検討

- ・機器・制御の改造を行わないことから、機器動作に係る新たなリスクは発生しない。

- ・燃取系計算機へのプログラム追加による不具合のリスクに対しては、工場及び現地にて制御に影響しないことを確認した。

- ・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）のリスクに対しては、教育・模擬訓練により、リスクの顕在化を防止する。

- ・SBP※の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）に影響するリスクに対しては、事前に実計算機等の信号授受に影響がないことを確認した。

- ・模擬体の取扱いがないことから、模擬体のつかみ・旋回・はなしに関する機器動作上のリスクはない。

- ・部分装荷では、①未装荷部分の流量が増加することによる燃料交換装置への影響や、②炉心圧損が低下し、1次主冷却系の流量が増加によるポニーモータ循環運転への影響がある。既に、廃止措置計画において評価済みであるが、今回改めて確認した上で、燃料交換装置への影響はないこと、ポニーモータ循環運転も継続可能（流量は約14%と想定され、同程度の流量での運転実績あり）であると評価。

※SBP（サブブレイクポイント）：燃料交換装置の動作の一単位。各SBPをつなげて機器動作全体を制御する。

# 「燃料体の取出し」のリスク評価(2/2)

## 第4キャンペーンの燃料体の取出しにて想定される事象とその対応

- 第3キャンペーンにおいて発生した事象も踏まえ、より有効となる教育・訓練カリキュラムの見直しを実施

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	○		⊖	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、 <b>旋回位置変換データ不一致等</b> )	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	-	⊖		
・真空ポンプ出口弁閉によるポンプ過負荷トリップ	1	○			教育対応	
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
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
	・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
	・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
	・ <b>余剰電荷(静電気) によりフリーズシール部温度が上昇と誤検知</b>	+4	-			教育対応
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
	・IVTMブローダウン異常	2	○	○		教育対応
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 教育対応
	・DPアダプタ吊り上げ時の本体Aつかみはなし異常	2	-	○		
	・ <b>ガス置換排気時間超過による連動運転渋滞 (低気圧影響)</b>	1+4	○			
	・ <b>アルゴンガスシール部加圧系シール漏れ</b>	+1	○			

赤字：第3キャンペーンで発生した不具合事象

- ・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：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)

## ホールドポイント

- ホールドポイント（燃料体の取出し作業開始判断）：所長承認
  - ◆燃料体の取出し準備作業が完了していること
  - ◆リスク評価の結果を反映した訓練が実施されていること
  - ◆計算機制御と実機動作を組合せた状態による「実機確認」を実施し、自動化運転が開始から終了まで正常に動作することの確認が完了していること
  - ◆燃料体の取出しに必要となる機能の定期事業者検査（検査①）を完了していること
  - ◆燃料体の取出し作業に係る体制が整備されていること
    - 前回キャンペーンと同様に、作業で発生した不具合等に対し、対応方針の策定、発生事象に対する調査、運転の復旧等の対応を迅速に進めるため、運転と保守とを一体化した体制を構築
    - 前回キャンペーンと同様に、実施責任者の下、燃料取扱設備の操作を担当する「操作チーム」（5名/班）と運転操作を設備面から支援する「設備チーム」（4名/班）とで構成
    - 2交替で6～7体/日程度とし、工程予備を確保



# 1次主冷却系全ドレン及び事前確認試験、保安規定との関係

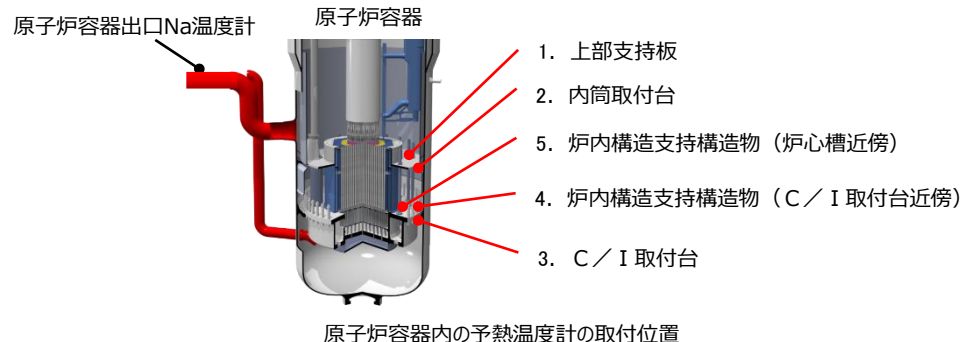
- 燃料体の取出し終了後、燃料交換装置を取外す前に1次主冷却系ナトリウムの全ドレン及び原子炉容器液位をNsLに変更し、液位変更で想定される熱収縮、浮力低下に対する影響を確認することを目的とした事前確認試験を実施する。具体的には、燃料交換装置を動作させ、パンタグラフ開閉及びグリッパによるしゃへい体等のつかみはなし等を行い、荷重、動作トルク等への影響を確認する。
- 試験開始にあたっては、液位低下による原子炉容器内の温度分布（低下）が一定となった後に開始すること、燃料交換装置の熱収縮（機器温度の不均一）の影響も過去のR&D結果から1日程度経過すると解消されることがわかっており、機器温度の不均一を解消した後に実施することで、試験によって機器が損傷する恐れはないと評価済み。また、炉心に燃料体がなく、燃料体を損傷することはない。既設設備を用いており、放射性物質のバウンダリも確保されている。
- 保安規定上、燃料体の取出しは、原子炉の状態「燃料交換」において第71条（炉心構成要素等取替作業）に基づき実施する。原子炉の状態「燃料交換」では、第38条（原子炉容器のナトリウム液位及び温度）に基づき、液位「通常液位（NsL）-100mm以上」、温度「180℃以上250℃以下」が要求されている。事前確認試験は、炉心構成要素等取替作業に該当せず、原子炉の状態は「低温停止」となる。「低温停止」では、第38条に基づき、原子炉容器に燃料が貯蔵されている期間において、液位「エマーゼンシレベル（EsL）以上（NsL-4280mm）」、温度「180℃以上250℃以下」が要求されているものの、原子炉容器から燃料がすべて取り出されており、適用されない。
- 保安規定第13条（構成及び定義）に原子炉の状態「低温停止」は「1次冷却材温度が180℃以上250℃以下」と定められており、温度の測定は必要。
- 原子炉容器のナトリウム温度「180℃以上250℃以下」を確認するため、これまでは原子炉容器出口温度計で測定・監視してきたが、1次主冷却系ナトリウムの全ドレンに伴い使用できないため、原子炉容器内の予熱温度計を使用して測定・監視を行う。よって当該予熱温度計はプロセス計装に区分し、プラント状態の測定・監視機能を定期事業者検査にて確認する。

## <事前確認試験の試験項目>

「燃料交換装置本体昇降荷重確認」（←参考3の①） 燃料交換装置でしゃへい体等を引き抜き、吊り不吊り判定荷重、警報設定値を検討する。
「燃料交換装置パンタグラフ開閉動作確認」（←参考3の②） 燃料交換装置パンタグラフ開閉位置まで移動させ、開閉動作を実施。ストローク、リミットスイッチ動作、トルク値を測定し、動作性を確認する。
「燃料交換装置本体昇降ストローク確認」（←参考3の③） 燃料交換装置を「下限位置」、「旋回点」、「パンタグラフ開閉点」、「上限位置」の各位置に移動させ、その位置を測定。NsLの各位置と比較し、熱収縮量を確認する。
「アドレス確認」（←参考3の④） NsLの基準アドレスを用いて、燃料交換装置グリッパをしゃへい体等ハンドリングヘッドに挿入させ、挿入可能であることを確認する。

## <6-1表 性能維持施設（抜粋）> (原子炉容器のナトリウム温度に関連する維持機能)

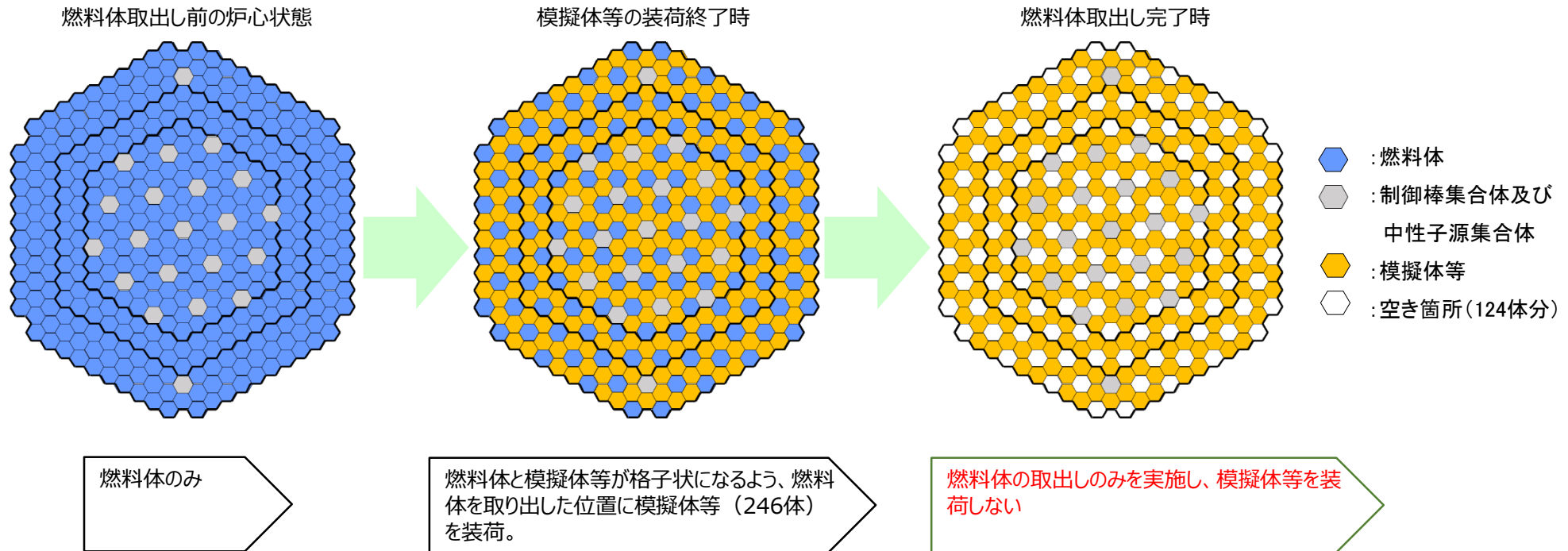
施設区分	設備等の区分	設備（建物）名称	位置、構造及び設備	維持機能	維持機能（詳細）	性能	維持期間
原子炉冷却システム施設	原子炉容器	原子炉容器	既許認可どおり	予熱・保温機能	予熱・保温機能	既許認可どおり	ナトリウムをタンク等に固化するまで
計測制御システム施設	プロセス計装	原子炉容器計装	既許認可どおり	プラント状態の測定・監視機能	ナトリウムの温度等の測定・監視機能	既許認可どおり	ナトリウムをタンク等に固化するまで



以下、参考

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）

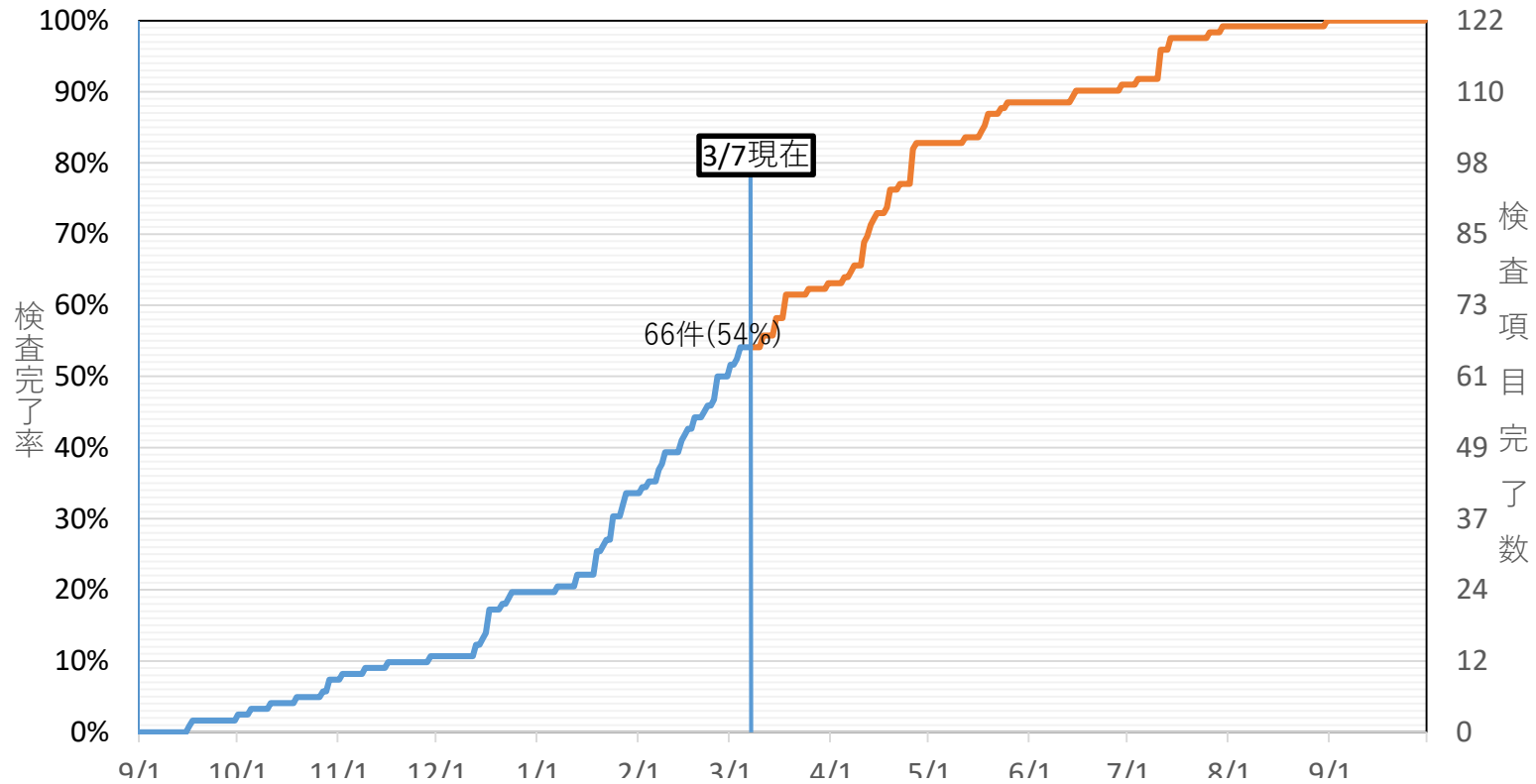


年度	2019年	2020年	2021年	2022年
炉心からの燃料体の取出し	2019.9 100 2019.11	2021.1 146	2021.3	2022.4 124 2022.6

## 定期事業者検査の実施状況（1/2）

参考2-1

検査全体 実績/予定

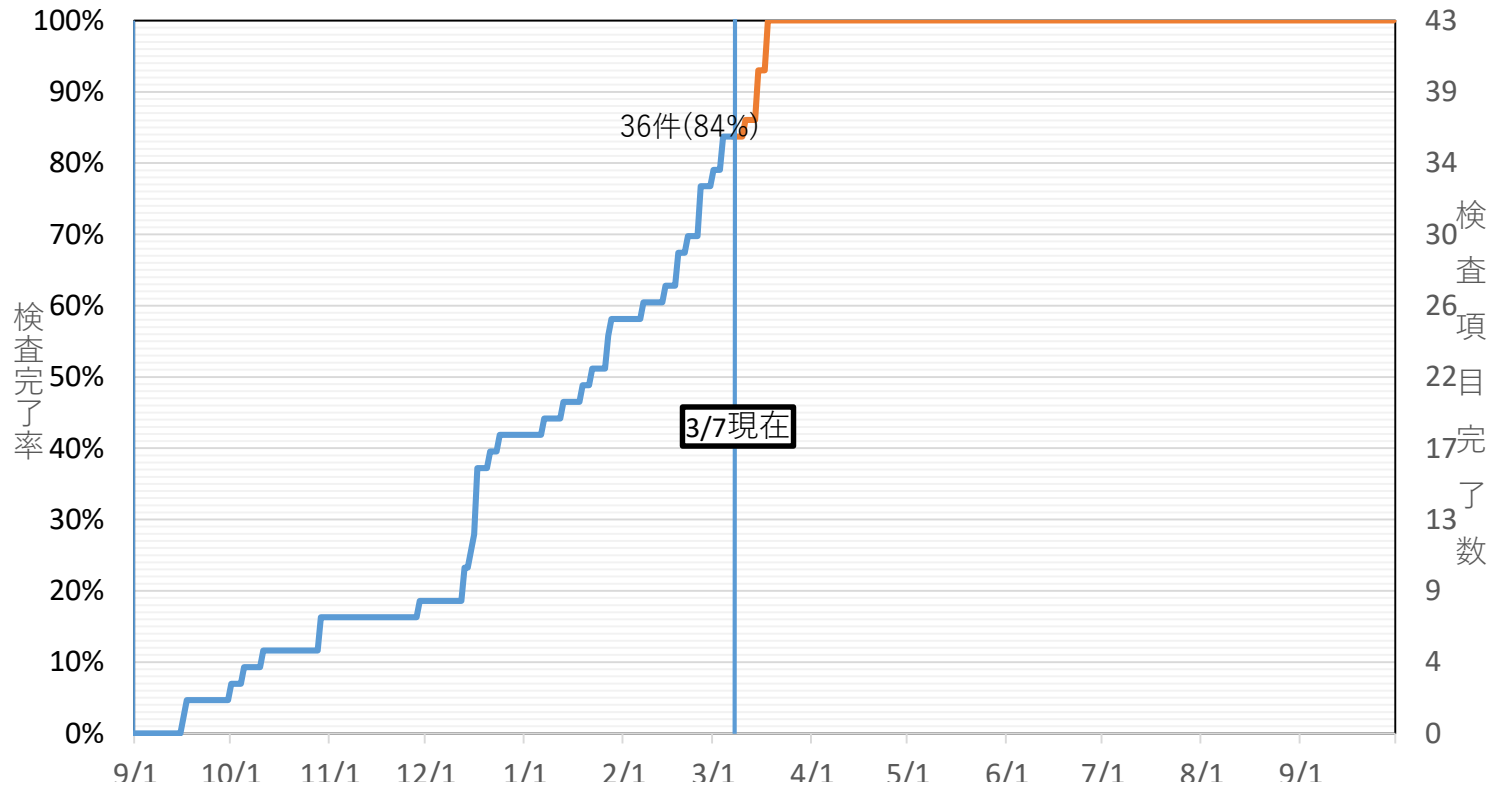


- ◆ 第2回定期事業者検査は、2021年9月14日～2022年8月下旬の予定で実施中。
- ◆ 2月25日時点で全122件中66件（54%）を終了、計画通りに進捗中。

## 定期事業者検査の実施状況 (2/2)

参考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。
- ◆ 2月25日時点で43件中36件（84％）を終了、計画通りに進捗している。

2022年1月11日監視チーム  
会合資料-3-2より抜粋)

### 燃料交換装置等のSsL運用に伴う影響と過去の試験結果の比較

設備	動作	影響に関する事前評価	過去の動作検証結果 SKS_Na中燃料移送試験(SsL) (1992.4.2-4.15)	過去の動作検証結果 FMモックアップ_Na低液位動作試験 (1979.10-11)
燃料交換装置	① 昇降機構	有 燃料交換装置の浮力が減少し、重量は見た目60kg(計算値)増加する。浮力減を考慮したしゃへい体等の吊り不吊り判定値を変更し、動作試験で検証する計画。	SsLでの浮力影響を考慮し計画値から見直しで正常動作。 NsL時：不吊り1450kg/吊り1650kg →判定値1520kg SsL時：不吊り1530kg/吊り1700kg →判定値1580kg	モックアップ NsLと大差なく正常動作。 吊り不吊り判定に関する試験は未実施。
	ホールドダウンアーム上下	影響は無視できる ホールドダウンアームの持ち上げ荷重増加量は3.5%程度。NsL時のホールドダウンアーム持ち上げ荷重は約12.5Nmに対し、持ち上げ用電動機の定格トルクは20.7Nmであり、十分な裕度がある。	SKS_NsLと大差なく正常動作。動作トルクは増加。 NsL時：上昇1.4kgm、下降0.4kgm SsL時：上昇1.5kgm、下降0.85kgm	モックアップ NsLと大差なく正常動作。動作トルクは増加。 NsL時：上昇-2.1ton、下降-1.85ton EsL時：上昇-2.35ton、下降-1.85ton (荷重を測定、実機FHMと構造が異なりペーリソング-ソング機構となっている。)
回転ブラグ	持上げ	影響は無視できる NsL時では約506tの荷重がかかっている。SsLの場合は回転ブラグの持ち上げ荷重は0.7%増加し、約510tとなる。750tの荷重を持ち上げることができる設計であり、十分な裕度がある。	SKS_NsLと大差なく正常動作。	モックアップ NsLと大差なく正常動作。
燃料出入機本体A	グリッパ昇降、爪開閉	影響は無視できる SsLの場合、昇降テープ部の浮力が減少により昇降トルクが数Nm増加するが、吊り不吊り判定値392Nmに対して、十分な裕度がある。	未実施	未実施

設備	動作	影響に関する事前評価	過去の動作検証結果 SKS_Na中燃料移送試験(SsL) (1992.4.2-4.15)	過去の動作検証結果 FMモックアップ_Na低液位動作試験 (1979.10-11)
燃料交換装置	② バンタグラフ開閉	有 バンタグラフが約1mm短くなり、バンタグラフが開ききらない可能性あり。「開」の設定値を変更し、動作試験で検証する計画。	SKS_NsLと大差なく正常動作。 NsLと差は開側で+3mm(許容差は開-0/+10)、閉側は0mm。	モックアップ NsLと大差なく正常動作。 (バンタグラフ開閉位置のずれ量に関するデータなし)
	グリッパ爪開閉	影響は無視できる 爪開閉ロッド伝達部、FHM本体胴共に同程度短くなり、互いに干渉しない。	SKS_NsLと大差なく正常動作。	試験初期に爪開中に過負荷発生。ロッドの昇温に時間遅れがあるため、予熱23時間経過後にはモックアップ NsLと大差なく正常動作。
	感知ロッド動作	影響は無視できる 感知ロッドの伝達部とFHM本体胴が同程度短くなり、互いに干渉しない。	SKS_NsLと大差なく正常動作。	試験初期につかみはなし準備点ラックが不動作。ロッドの昇温に時間遅れがあるため、予熱23時間経過後にはモックアップ NsLと大差なく正常動作。
	③ 注 昇降機構	影響は無視できる 本体胴が収縮し、グリッパの炉心頂部着床位置が約3mm上方にずれ、第1段階と同様に据付時に着床位置を再設定することで対応可能。	SKS_NsLと大差なく正常動作。 NsLと昇降位置の差は上限で比較すると3mm。	モックアップ NsLと大差なく正常動作。 NsLと昇降位置の差は1~2mm。
	ホールドダウンアーム上下	影響は無視できる 下限位置が約3mm上方となり、しゃへい体等が約3mm浮き上がる可能性あり。但し、グリッパは負荷荷重を指標に下降してしゃへい体等をつかむため、浮き上がったしゃへい体等は押し込まれつかむことができる。	SKS_NsLと大差なく正常動作。	モックアップ NsLと大差なく正常動作。
	ホールドダウンアーム旋回	影響は無視できる 旋回前に50mm上昇するため、約3mm浮き上がったしゃへい体等と干渉することはない。しゃへい体等旋回時、炉心頂部から130mm離れており、干渉しない。	SKS_NsLと大差なく正常動作。	モックアップ NsLと大差なく正常動作。
炉内中継装置	回転ラック旋回	影響は無視できる 収縮分(約3mm)はユニバーサルジョイント部で吸収される	SKS_NsLと大差なく正常動作。	モックアップ NsLと大差なく正常動作。
燃料交換装置+回転ブラグ	④ 位置決め	有 約1mm減少。許容偏心量20mm範囲内。動作試験で検証する計画。	SKS_NsLと大差なく正常動作。 NsL時：偏心は最大7.4mm SsL時：偏心は15mm以内に収まっていることを確認。	モックアップ NsLと大差なく正常動作 液位変更に伴う偏心量の変化はゼロではなく充分に小さかった。
燃料出入機本体A	グリッパ昇降、爪開閉	影響は無視できる SsLの場合、昇降テープ部が11mm縮小するが、下限設定値に40mmの許容範囲があるので、十分な裕度がある。	未実施	未実施

設備	動作	影響に関する評価 (SsLによってNa中動作からガス中動作となり摺動抵抗が増加しないか)	過去の動作検証結果 SKS_Na中燃料移送試験(SsL) (1992.4.2-4.15)	過去の動作検証結果 FMモックアップ_Na低液位動作試験 (1979.10-11)
燃料交換装置	バンタグラフ開閉	影響は無視できる 軸部、リンク部がグリッパ上昇後にNa中からガス中に露出となるが、ガス中の温度が160℃あるのでNa固着はない。また、点検時には大気中で動作を確認。	SKS_NsLと大差なく正常動作。	モックアップ NsLと大差なく正常動作。
	グリッパ爪開閉	影響は無視できる 軸部、リンク部、グリッパ内機構がグリッパ上昇後にNa中からガス中に露出となるが、ガス中の温度が160℃あるのでNa固着はない。また、点検時には大気中で動作を確認。	SKS_NsLと大差なく正常動作。 NsL時：開0.58kgm、閉-0.07kgm SsL時：開0.57kgm、閉-0.05kgm	モックアップ NsLと大差なく正常動作。 NsL時：開0.75kgm、閉-0.65kgm EsL時：開+0.9kgm、閉-0.6kgm
	感知ロッド動作	影響は無視できる 軸部、リンク部がグリッパ上昇後にNa中からガス中に露出となるが、ガス中の温度が160℃あるのでNa固着はない。また、点検時には大気中で動作を確認。	SKS_NsLと大差なく正常動作。	モックアップ NsLと大差なく正常動作。

注：昇降機能は影響に関する事前評価で影響ないと評価しているものの、①、④を確認するための試験のなかで、昇降動作があり、データを取得できる機会があるため、影響を評価する。