

「もんじゅ」廃止措置第1段階の燃料体取出し完了について

2022年11月11日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

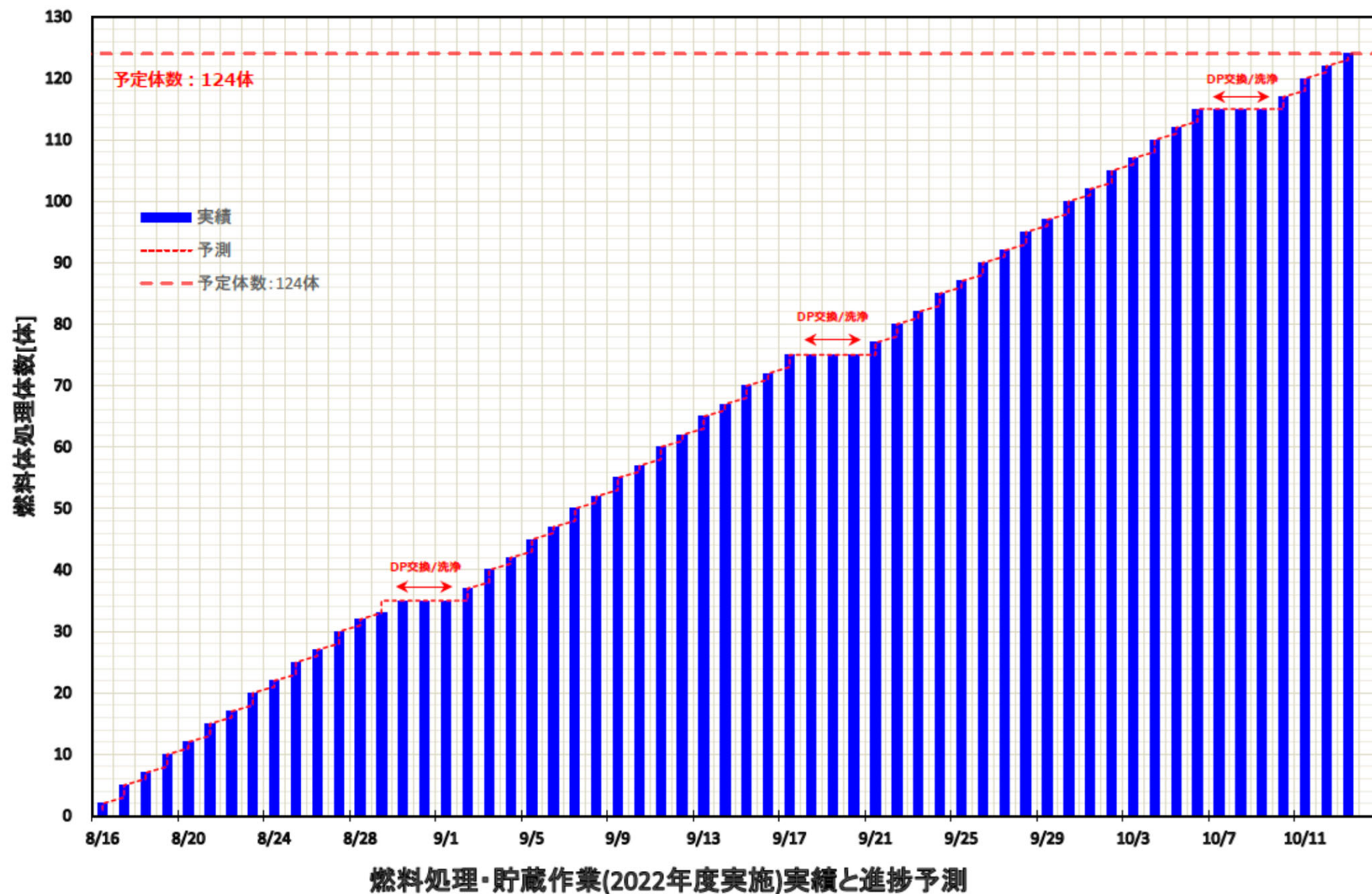
1. 燃料体取出し完了	・ ・ ・ ・ ・	1
2. 燃料体取出しの主な知見	・ ・ ・ ・ ・	3
3. 第1段階における主な作業のまとめ	・ ・ ・ ・ ・	6

参考資料

1. 燃料体取出しにおける主な不具合と対策
2. 前回会合における御意見に対する回答

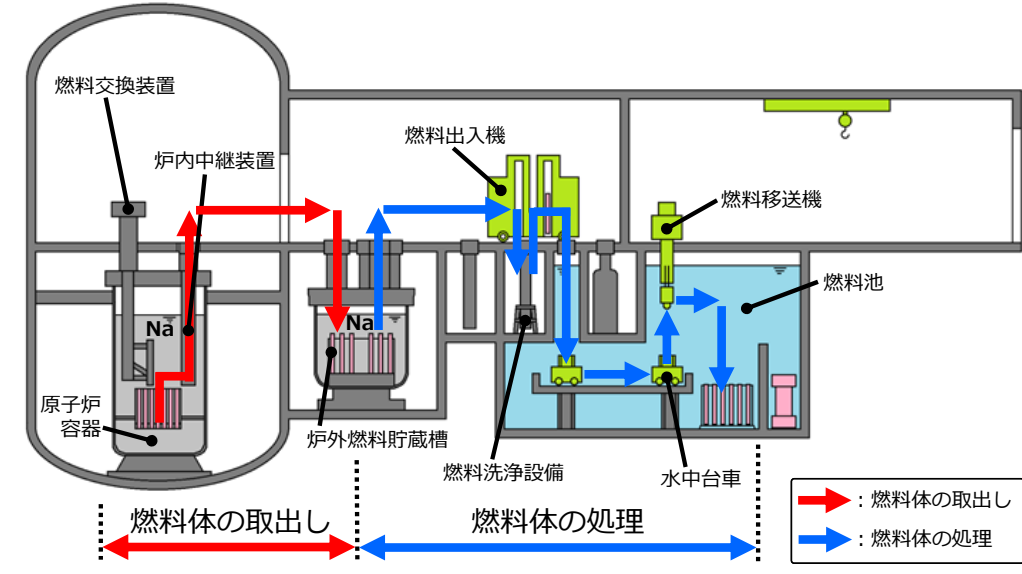
1. 燃料体取出し完了

炉外燃料貯蔵槽から燃料池へ燃料体を移送する最後の燃料体の処理について、2022年8月16日から移送作業を開始、10月13日、計画していた124体の移送を完了。



1. 燃料体取出し完了

- 今般の作業をもって、2018年8月より実施してきた廃止措置計画の第1段階における燃料体取出し作業は全て完了。
- 今後、機器の点検作業等を行うとともに、燃料体取出し作業の知見のとりまとめを行う。



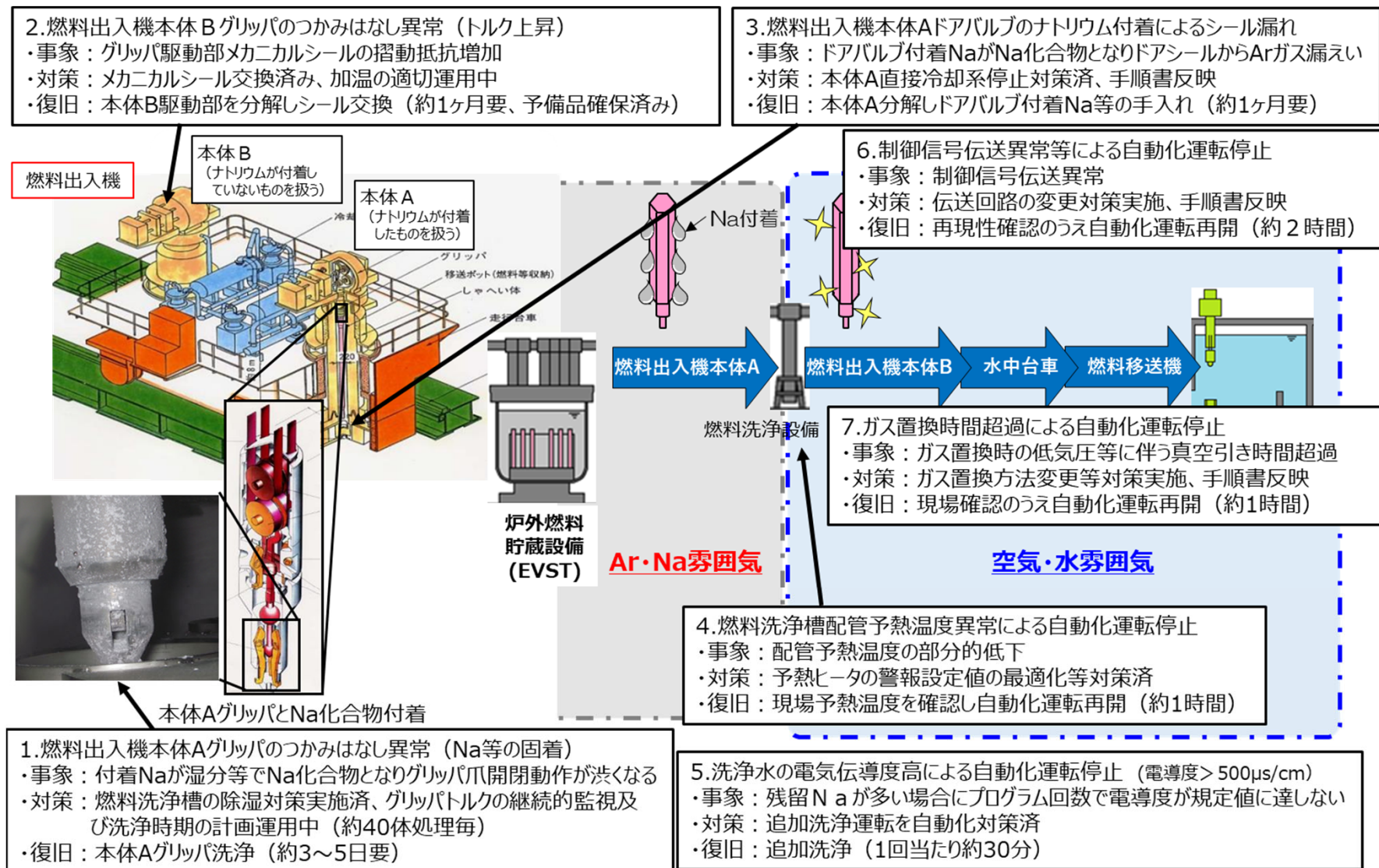
第1段階における燃料体取出し作業の工程（実績）

年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
燃料体の処理 (530体) 炉外燃料貯蔵槽→燃料池	第1キャンペーン 2018.8 → 2019.1 86体	第2キャンペーン 2019.11 → 2020.6 174体	第3キャンペーン 2021.3 → 2021.7 146体	第4キャンペーン 2022.6 → 2022.10 124体	
燃料体の取出し (370体) 原子炉容器→炉外燃料貯蔵槽		2019.9 100体	2021.1 146体	2022.3 124体	
設備点検					

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。

2. 燃料体取出しの主な知見（不具合と対策）

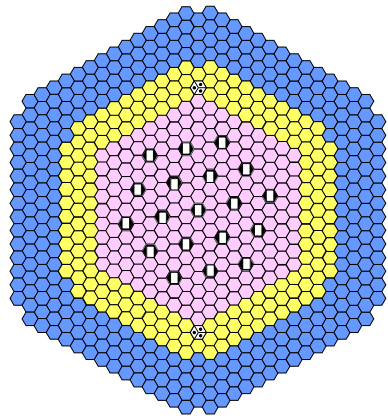
- 初期の燃料体取出しでは、燃料出入機グリッパトルク上昇等が発生し、作業の進捗が遅延。その後、除湿対策等以下の不具合対策を講ずることにより、長期の停止に至ることなく進捗、計画通り完遂。燃料取扱システムの性能確認と実証、燃料取扱作業の信頼性向上、作業期間短縮のための運転ノウハウ及び設計改良に資する知見を集積。燃料体取出しの不具合と対策の詳細は、参考1を参照。



2. 燃料体取出しの主な知見（模擬燃料体の部分装荷）

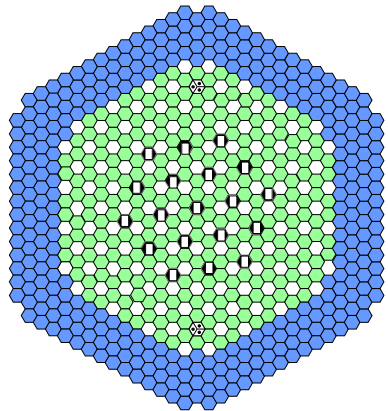
- 燃料体取出し後の炉心に装荷していた模擬燃料体について、廃棄物発生量の低減及び装荷プロセスの簡素化の観点から、一部の炉心には模擬燃料体を装荷しない（部分装荷）運用を計画、実施。
- 部分装荷で燃料体が傾斜した際、燃料体頂部の移動量は増加するが、事前評価において許容範囲(20mm)内であることを確認。
- 実際の燃料体取出し（2022年3月～4月）において、燃料交換装置による燃料体取出しを確実に実施可能であることを確認、部分装荷による運用を実証。

炉心配置図

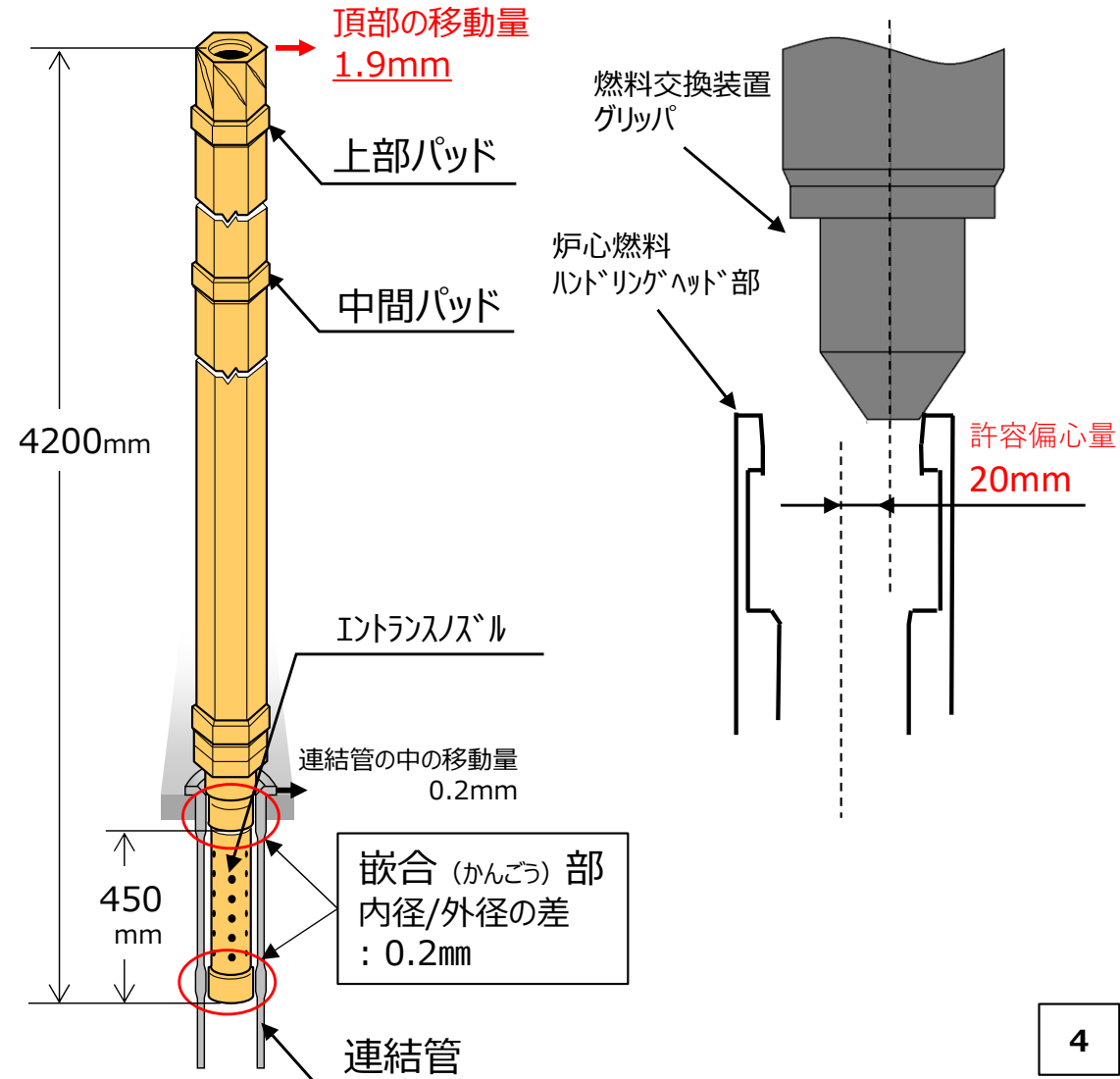


- 燃料体（炉心燃料集合体）
- 燃料体（ブランケット燃料集合体）
- 中性子しゃへい体等
- 制御棒集合体
- 中性子源集合体
- 模擬燃料体
- 空き

廃止措置開始時



模擬燃料体の部分装荷状態

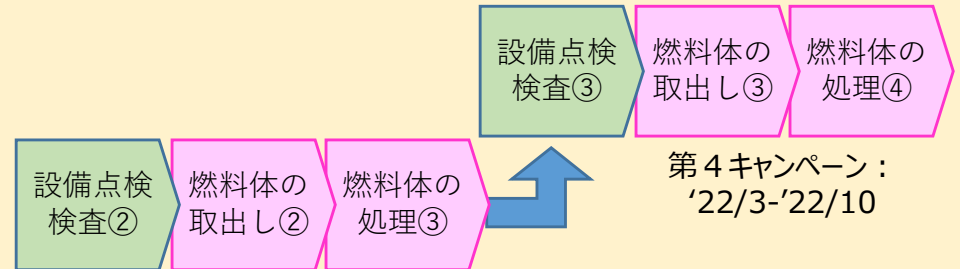


2. 燃料体取出しの主な知見（リスク管理）

- 作業開始当初、実績が少ないことを踏まえ、種々のリスクを精査、サクセパスの阻害事象を検討
- 作業期間中の実績評価、作業後の振り返り、設備・作業の課題抽出・改善、手順書等への反映を行うとともに、次期キャンペーン開始前にリスク評価を改めて実施
- これらの取組による継続的な改善プロセスの構築により、体系的なリスク管理としての知見を集積、活用

燃料体取出し作業 第3,4キャンペーン

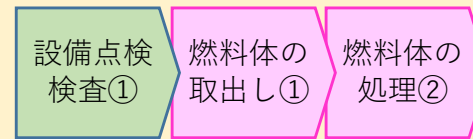
- ✓ 操作員の習熟度等の実績を踏まえ、計画を適宜見直し
- ✓ 燃料体の取出し及び燃料体処理ともに交代勤務による連続処理



第3キャンペーン：'21/1-'21/9

燃料体取出し作業 第2キャンペーン

- ✓ 操作員の習熟度等の実績を踏まえ、計画を適宜見直し
- ✓ 燃料体の取出しは、当初3～4体/日を基本に実施し、実績を踏まえ加速を目指す
- ✓ 燃料体処理は交代勤務による連続処理



第2キャンペーン：'19/10-'20/6

次回以降のリスクマネジメント

しゃへい体の取出し及びしゃへい体の処理

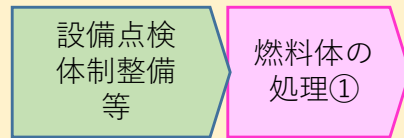
- ① 運転経験、操作員の習熟実績等を踏まえ、順次見直し

第3キャンペーン前に実施したリスクマネジメント 燃料体の取出し及び燃料体の処理

- ① 燃料取扱経験の蓄積、燃料体の取出し及び燃料体の処理作業の対策結果を手順書等へ反映、(初期不良の対応はほぼ完了)燃料体の処理作業前に燃料処理設備の制御システムの最適化を追加実施
- ② 燃料体の取出し及び燃料体の処理作業の発生事象を新規認定操作員等の教育訓練へ反映

燃料体取出し作業第1キャンペーン

- ✓ 実績が少ないことから1日1体の処理を基本に作業を実施
- ✓ 燃料取扱の経験蓄積と燃料体処理作業の課題抽出、改善実施



第1キャンペーン：'18/8～'19/1

第2キャンペーン前に実施したリスクマネジメント

燃料体の取出し及び燃料体の処理

- ① 燃料体の取出し作業に関する事象を対象に追加
- ② 燃料取扱経験蓄積、燃料体処理作業の課題抽出・対策の結果を反映
- ③ 実施工程通り計画的に作業を進めるため、「重要事象以外の事象」についての対策追加
- ④ 設備対応のみならず、ソフト面の対応策を強化（手順書、要領類に加え、工程、体制、訓練等）

第1キャンペーン前に実施したリスクマネジメント

燃料体の処理

- ① 燃料体の処理作業のサクセパスを阻害する事象を特定し、「重要事象」と「それ以外の事象」に分けて整理
- ② 「重要事象」に関しては発生防止策の検討を行い、手順書等へ反映。及び発生時のリカバープランを策定
- ③ 「重要事象以外の事象」に対しては、リスク顕在化後の基本対応フローを整理、警報-原因対照表の整理、手順書の見直しを実施

設計、製作、 検査、運転実績

- ✓ 設備設計
- ✓ 製作、検査
- ✓ 燃料体取出し経験
- ✓ 廃止措置計画
- ✓ 燃料体取出し計画
- ✓ 燃取設備整備

燃料体取出し計画策定から得られた主な知見

- 当初設計で想定した、約130体毎／キャンペーンの燃料体取出しを継続して実施可能であることを実証
- 工程策定に関して以下のノウハウを蓄積
 - ◆ 操作の習熟度に応じた一日当たりの燃料体取出し体数
 - ◆ 燃料出入機Aグリッパに付着するナトリウム化合物除去のためのグリッパ洗浄頻度
 - ◆ 燃料体から滴下するナトリウム量を考慮した燃料出入機本体Aのドリップパン交換頻度
 - ◆ 燃料出入機の点検頻度、点検期間
 - ◆ 不確かさを考慮した工程予備期間の設定

燃料体取出し体制から得られた主な知見

- 操作チーム（5名4チーム）及び設備チームについては、適切な人員配置、事前の模擬訓練を含む教育の実施により、持続可能な体制を構築
- 新型コロナウイルス感染症等、社会のリスクに所員各自が適切に認識し、対応を備えることにより、燃料体取出しへの影響を回避
- 工程管理総括責任者の下、燃料体取出し作業、設備点検（定期検査）の各工程について進捗を管理する体制を構築。状況に応じて工程を見直しつつ、目標通り2022年中に燃料体取出しを完遂

- 以上の技術的な検討過程や結果、マネジメント上の対応に関する知見については、第2段階におけるしゃへい体等取出しに反映。
- 今後の「もんじゅ」の廃止措置を進める上で必要となる技術開発の実績、廃止措置実証を通じて得られる様々な知見も含めて整理、蓄積していく。

3. 第1段階における主な作業のまとめ

年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> : 計画 (2017.4時点) : 実績 </div>					
燃料体の処理 (530体) 〔炉外燃料貯蔵槽→燃料池〕		100体 <small>2018.9</small> 86体 <small>2019.1</small>	130体 <small>2019.11</small> 174体 <small>2020.6</small>	130体 <small>2021.3</small> 146体 <small>2021.7</small>		170体 <small>2022.6</small> 124体
燃料体の取出し (370体) 〔原子炉容器→炉外燃料貯蔵槽〕			110体 <small>2019.9</small> 100体 <small>2019.11</small>	130体 <small>2021.1</small> 146体 <small>2021.3</small>	130体 <small>2022.3</small> 146体 <small>2022.6</small>	
模擬燃料体等の準備 (搬入→炉外燃料貯蔵槽)		110体 <small>2018.5</small> 103体 <small>2019.1</small>	130体 <small>2019.11</small> 143体 <small>2020.6</small>	130体 <small>2021.3</small> 146体 <small>2021.7</small>	注1: 部分装荷としたため、124体分の準備は不要となった。	
燃料取扱設備点検	燃料処理設備点検 及び作動確認 <small>2017.7</small> 2017.7	回転プラグ点検 及び作動確認 <small>2018.5</small> 2018.5	2019.6			
定期設備点検 (事業者自主検査)			2018.12 2018.12 <small>2020.2</small>			
施設定期検査		施設定期検査の申請 <small>2018.9</small> 2018.9 <small>2018.12</small> 2018.12 <small>2020.2</small>				
2次系ナトリウムの抜取り		一時保管用タンクの現地据付 <small>2018.7</small> 2018.7 <small>2018.11</small>	抜取り完了 (2018.12)			
汚染の分布に関する評価		<small>2018.6</small> 2018.6				

第1段階における主な作業等

- 2018年度の燃料体の処理は燃料洗浄槽に残留した湿分によるナトリウム化合物が生成し、燃料出入機グリッパトルク上昇が発生したため、進捗に遅延。
- その後、除湿対策を含む各種不具合に対する設備面、運用面の改善、24時間交代勤務への移行に伴う1日の処理体数の増加による遅延解消により、2022年10月、燃料体取出し作業を完遂。
- その他、施設定期検査、2次系ナトリウムの抜取り、汚染の分布に関する評価を計画的に実施。

参 考 资 料

— 炉心から炉外燃料貯蔵槽回転ラックへの取扱い
— 炉外燃料貯蔵槽回転ラックから炉心への取扱い

3. 燃料出入機本体Aドアバルブのナトリウム付着によるシール漏れ

- ・事象：ドアバルブ付着NaがNa化合物となりドアシールからArガス漏れ
- ・対策：原因の追加、発生時の復旧手順を明確化
- ・備考：本事象は燃料処理の事象を反映し、発生時の対策を取出し作業にも反映

A

1. 制御信号伝送異常等による自動化除外

- ・事象：制御信号伝送異常 (燃料交換装置旋回位置変換データ不一致、条件不具合による自動化運転除外など)
- ・対策：発生時の復旧手順を明確化 (図上訓練、教育対応)
- ・復旧：再現性確認のうえ自動化運転再開 (約5分~1時間)

C

4. セルフオリエンテーション機能

- ・事象：セルフオリエンテーション機能不足による新燃料挿入異常
- ・対策：対応手順を明確化 (模擬訓練による習熟)
- ・復旧：対応手順による再挿入作業を実施 (定められた手順の中で挿入を完了) (最大数時間)

その他

2. ガス置換時間超過による自動化運転停止 (燃料出入孔ドアバルブ接続時)

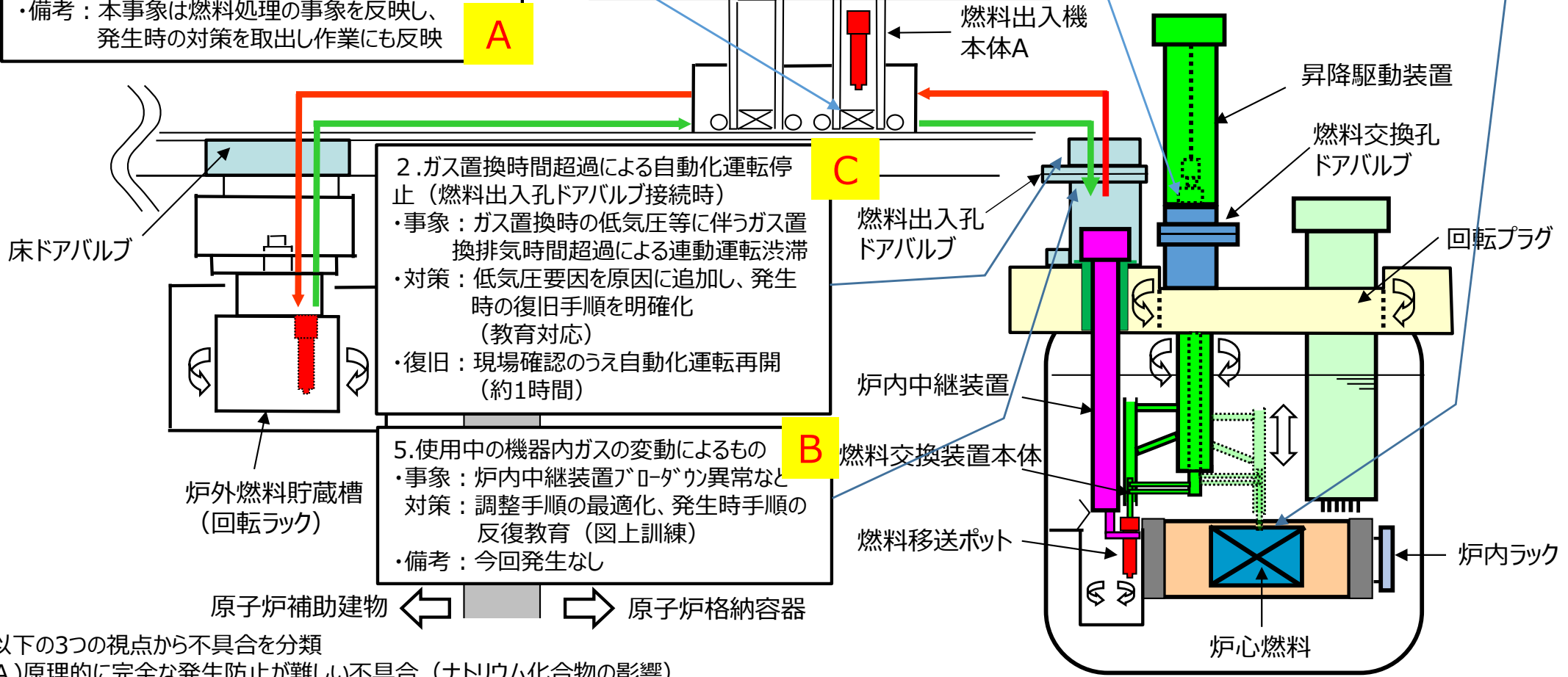
- ・事象：ガス置換時の低気圧等に伴うガス置換排気時間超過による連動運転渋滞
- ・対策：低気圧要因を原因に追加し、発生時の復旧手順を明確化 (教育対応)
- ・復旧：現場確認のうえ自動化運転再開 (約1時間)

C

5. 使用中の機器内ガスの変動によるもの

- ・事象：炉内中継装置ブローダウン異常など
- ・対策：調整手順の最適化、発生時手順の反復教育 (図上訓練)
- ・備考：今回発生なし

B



以下の3つの視点から不具合を分類
 A) 原理的に完全な発生防止が難しい不具合 (ナトリウム化合物の影響)
 B) もんじゅ特有の機内ガス等の管理に起因する不具合
 C) 燃料取扱設備制御システムの最適化が十分でないことに起因する不具合

燃料体の取出しにおける主な不具合と対策

主な不具合	対策
<p>○燃料出入機本体Aグリッパのつかみはなし異常 (Na等の固着) 燃料体処理を繰り返す毎に特定のストロークで燃料出入機本体Aグリッパの爪開閉トルクが徐々に上昇した。 原因は、グリッパに付着したナトリウムが湿度の高い燃料洗浄設備において水酸化物に変化し、その後、炉外燃料貯蔵槽に浸漬した際に吸湿した水酸化物表面にナトリウムがさらに付着し、グリッパの爪の狭い隙間に噛み込んだと推定。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・除湿プロセスにおいて100℃以下であった配管に予熱ヒータ・保温材を追加。 ・燃料出入機本体A内の環境改善のため、グリッパ洗浄後のガス置換の回数を増加。
<p>○燃料出入機本体 B グリッパのつかみはなし異常 (トルク上昇) 摺動抵抗トルク (可動シール部またはスクレーパ部) が増大し、燃料出入機本体 B グリッパの爪開閉トルクが上昇。 原因はメカニカルシールの摺動抵抗の増加によるトルクの上昇と推定。特に低温環境において摺動抵抗が増加することが判明。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・メカニカルシールの交換及びメカニカルシール周りの温度を高く保持するよう変更。
<p>○燃料取扱系計算機 (主・バックアップ) 状態監視プログラムの齟齬 入出力装置フリーズによる動作停止の対処として燃取系計算機を初期化したのち、再開しようとしたところ、自動化運転できなくなった。 原因は、主計算機・バックアップ計算機の状態監視プログラムに齟齬があり、初期化の際、プラント状態が一部古い情報に書き換えられてしまい、動作が停止したものと判明。</p>	<p>燃料取扱系計算機のプログラムバグを修正。</p>
<p>○燃料出入機本体Aグリッパのクラッチ動作遅延 グリッパが燃料体をつかむ際に爪開閉トルクが上昇し自動化異常が発生した。 原因は、グリッパ駆動装置のクラッチの切替動作が遅いためと推定。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・経年劣化の疑いがあるクラッチを交換。 ・クラッチの切替完了待ちのタイマーを制御プログラムに追加。
<p>○燃料出入機本体Aドアバルブのナトリウム付着によるシール漏れ ドアバルブを閉中にシール部をガス加圧しているが、シール漏れ警報が発生した。 原因は、本体A内で燃料体をガスで直接冷却することにより付着したナトリウムがドアバルブのシール部に滴下したため。</p>	<p>現在の燃料崩壊熱から直接冷却を停止しても燃料損傷のリスクはないことから、直接冷却系の運転を停止する制御プログラムに変更。</p>

主な不具合	対策
<p>○燃料洗浄槽配管予熱温度異常による自動化運転停止 燃料体を自動で2回脱塩水洗浄するが、洗浄の完了条件である電気伝導度が規定値まで低下しなかった。 原因は、一部の燃料体に付着したナトリウムが多いためと推定。</p>	<p>自動化運転のまま運転員の判断で脱塩水洗浄を繰返し運転できる制御プログラムに変更。</p>
<p>○制御盤間の伝送異常等の起動条件不成立 自動化運転で燃料出入機台車が移動中に起動条件不具合本体A直接冷却系準備弁構成が発生し自動化除外となった。 原因は、制御盤から燃取系計算機へ送信する運転開始の応答信号が伝送異常により喪失し、燃取系計算機が制御盤へ再起動指令を発信したが、燃料出入機の弁構成が既に変化したためと推定。</p>	<p>燃取系計算機が応答信号を受信漏れしにくいように制御プログラムを変更。</p>
<p>○ガス置換排気時間超過による自動化運転停止 ドアバルブの接合間ガス置換で排気が規定時間を超過した。 原因は、低気圧により接合間の圧力計が設定圧力まで低下しないため。</p>	<p>排気の設定圧力を上げ、排気回数を増やす制御プログラムに変更。</p>
<p>○燃料洗浄設備配管予熱温度異常による自動化運転停止 除湿運転前に一部の配管ヒータの予熱温度が設定時間までに設定温度まで上昇せず温度低警報が発生した。 原因は、配管内に残留した水分の潜熱により温度上昇に時間がかかったため。</p>	<p>設定時間と設定温度を現地試験にて確認し見直し。</p>

◆ 前回（2022年5月26日）の廃止措置評価専門家会合における御意見を踏まえた回答は以下のとおり
【燃料体取出しに係るご意見】

前回会合でのご意見	回答
<p>○ 燃料体取出し作業が順調に進捗し、完了することができた背景には、第1キャンペーンにおける不具合事象に対して、様々な検討、対処を用意周到に実施した結果にある。今後の廃止措置に役立てるために、計画の評価、分析に際して作業中に行った工夫や懸念事項を含めた詳細な記録を残していただきたい。</p> <p>○ 燃料体取出しは、初期のキャンペーンにおける不具合事象に対して、技術的に検討、解決しながら対応してきたことにより、その後のキャンペーンが順調に進んでいるものと理解している。これらの技術的な検討の過程や結果はもとより、そのためのマネジメント上の対応に関しても記録としてしっかりとまとめてほしい。</p> <p>○ 燃料体取出し計画の評価に際しては、計画策定に対する評価と実行面の評価は必ずしも一体ではないことから、明確に区分けをした上で評価を行う必要がある。計画に対して、適切な観点から体系的な評価を行い、修正を加えていく技術は、長期に渡る事業を成す上で重要である。不具合事象への対処を想定していたものの、実際には発生しなかったことから検証ができなかった項目もあったはずである。そういうことも踏まえて、本来計画に入れておくべきだったものを体系的に捉える技術を確立していただきたい。</p>	<p>○ 廃止措置の第1段階における技術的経験については、燃料体取出し作業における不具合への対応も含め、レポートとして取りまとめ、発信して参りたい。なお、現時点において、以下の技術レポートを発刊。</p> <p>①もんじゅ燃料体取出し作業報告書 - 2018年度及び2019年度の「燃料体の処理」作業 - JAEA-Technology 2022-001</p> <p>②もんじゅ燃料体取出し作業報告書 - 2019年度の「燃料体の取出し」作業 - JAEA-Technology 2022-002</p> <p>③もんじゅ燃料体取出し作業報告書 - 2020年度の「燃料体の取出し」作業 - JAEA-Technology 2022-019</p> <p>今後、第1段階について総括する技術レポートを作成するとともに、来年春の原子力学会で口頭発表を行う予定。</p> <p>○ 燃料体取出し計画に関しては、計画策定時と実施結果を踏まえた評価を行いつつ、適時、見直しを行ってきたところ。今後、対策が効果を発揮したか、工程遅延発生の有無の観点から体系的に計画の評価を行い、第2段階のしゃへい体等の取出しに活かして参りたい。</p>

◆ 前回（2022年5月26日）の廃止措置評価専門家会合における御意見を踏まえた回答は以下のとおり
【燃料体取出しに係るご意見】

前回会合でのご意見	回答
<p>○ 今回の燃料体取出しは、もんじゅの運転が短期間であったことから、燃焼度、発熱量も低い状況の中での作業であったが、本来、運転が継続されていた場合の燃料体取出しに関して、今回のデータを用いた検証を行うなど、今後の高速炉開発に際して伝えるべき内容についてもまとめる必要があるのではないか。</p>	<p>○ 「もんじゅ」の燃料取扱設備は、定常的な運転を行う中で使用することを想定した設計としていたところ。今般の第1段階の燃料取出しは、運転停止後長期間を経た燃料体の発熱が僅少な状態で実施したことから、今後の知見の取りまとめに際しては、運転中又は運転停止中の条件を考慮、明確化しながら、評価を行って参りたい。</p>
<p>○ 第2段階におけるしゃへい体等の取出しは、燃料体取出し時と同様、既存の燃料交換装置を用いることとしている。そのため、今回の経験を活かし、しゃへい体等の炉内の炉心構成要素を長期間に渡って安全に取り出すための検討をしっかりと行っていただきたい。</p>	<p>○ 今般の燃料体取出しから得られた設備運用や手順の改善方策については、廃止措置第2段階における炉内に残る炉心構成要素（しゃへい体等）の取出しにおいても反映、適用し、期間中の作業を安全に進めることができるよう、検討して参りたい。</p> <p>また、原子炉内のナトリウム液位が異なる点については、令和4年4月に実施した低液位での燃料交換装置の作動試験に基づき、荷重の監視値を適切に設定した上で、令和5年度のしゃへい体等取出し開始時にその妥当性を確認することとしている。</p>