

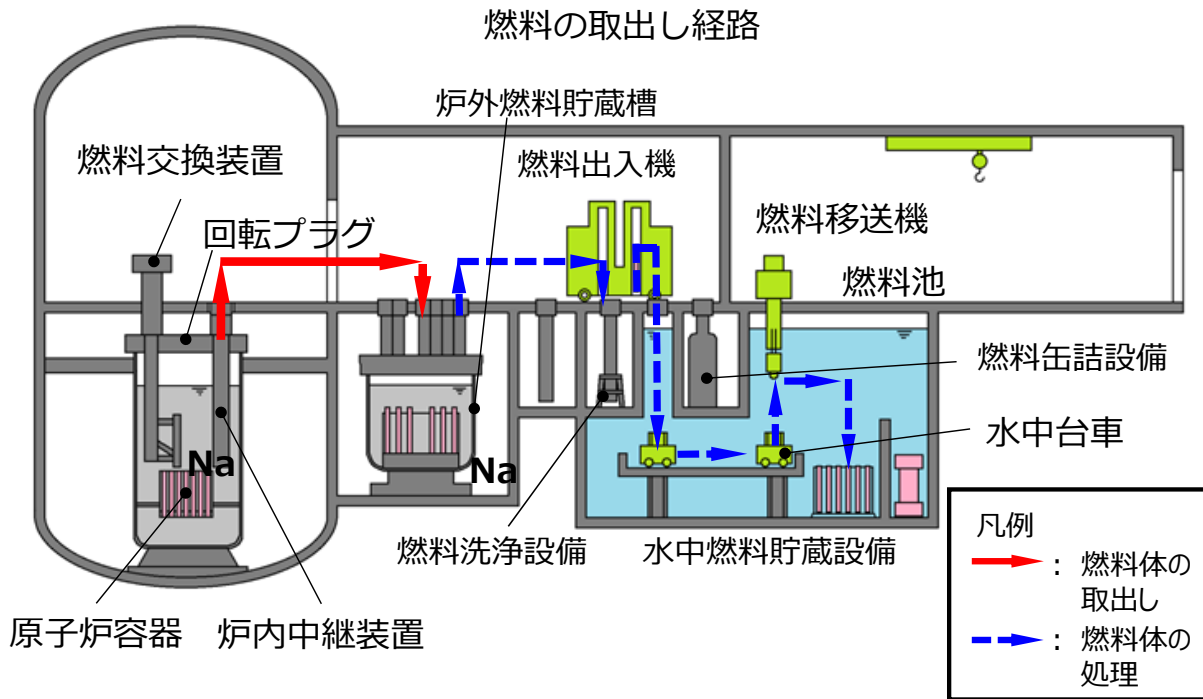
もんじゅ廃止措置の実施状況について

2019年11月27日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

1. 「もんじゅ」の廃止措置（第1段階） 実施状況
2. 「もんじゅ」の廃止措置（第1段階） 今後の対応
3. 2018年度の燃料体の処理時の不具合対策等の実施状況
4. 次回の燃料体の処理に向けた準備（燃料の缶詰処理）
5. 廃止措置計画の変更認可申請 模擬燃料体の部分装荷
6. まとめ

1. 「もんじゅ」の廃止措置（第1段階）実施状況（1/2）



- 原子炉容器から炉外燃料貯蔵槽への燃料体の取出しについて、10月の開始に向けて点検作業等を進めた結果、予備日を使うことなく順調に進んだため、9月17日から開始した。
- 5班による直体制等により取出し作業を実施した結果、10月11日、計画していた100体の取出しを完了した。

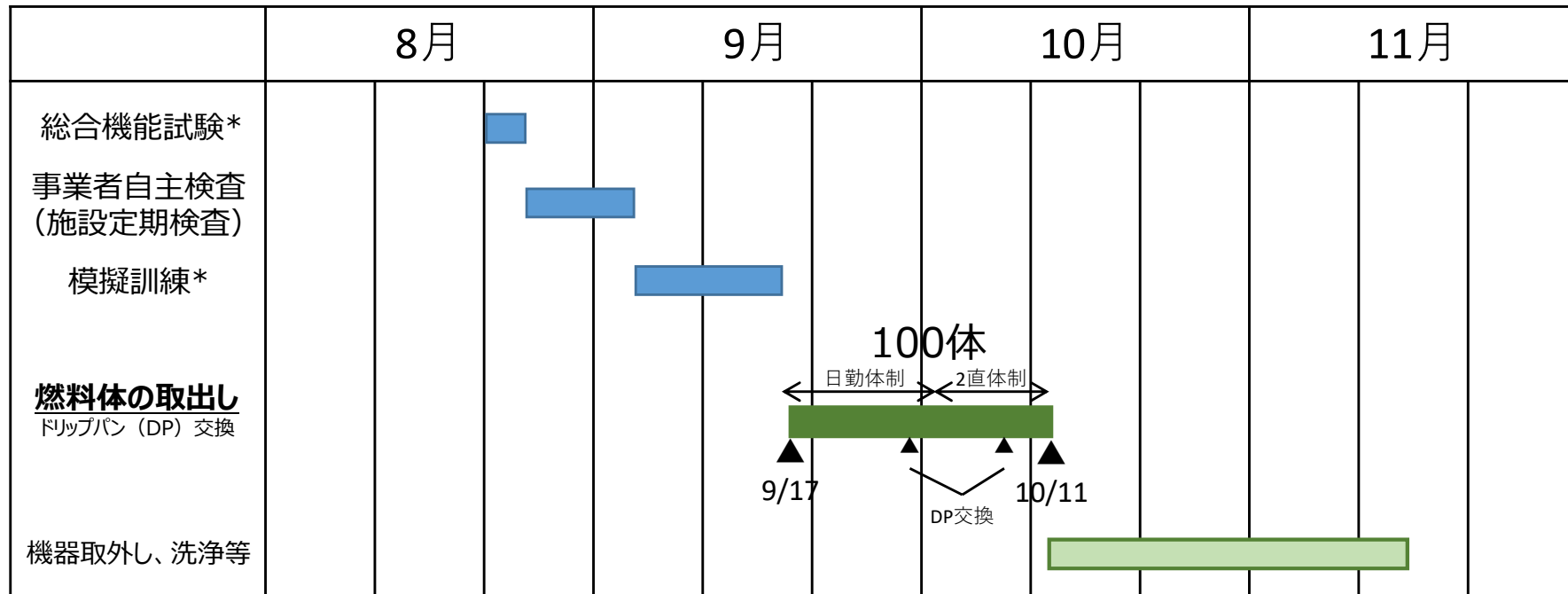
廃止措置開始以降の燃料体の装荷及び貯蔵状況

	廃止措置 開始時	2018年8月30日 ～2019年1月28日	2019年9月17日 ～10月11日	2022年度 取出し完了
炉心	370	370	270	0
炉外燃料貯蔵槽	160	74	174	0
燃料池	0	86	86	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。

1. 「もんじゅ」の廃止措置（第1段階）実施状況（2/2）

今年度の燃料体の取出し実績



*総合機能試験

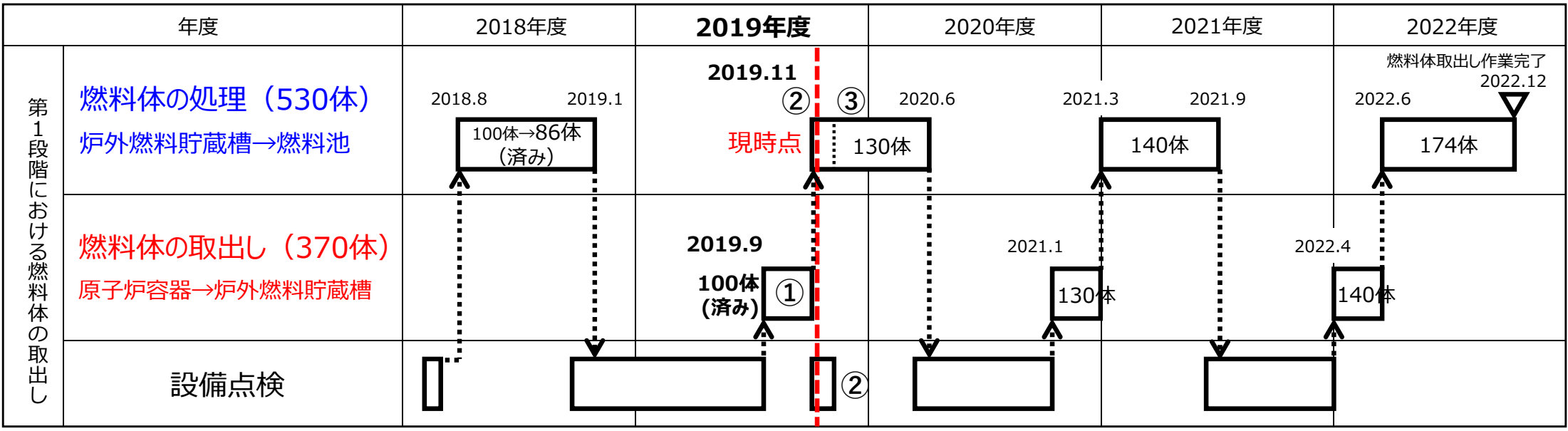
*模擬訓練

- 総合機能試験として、中性子しゃへい体を用いた一連の燃料体の取出しの自動化運転を行い、正常に動作することを確認。
- 模擬訓練として通常の自動化運転操作に加え、トラブル対応訓練として「新燃料挿入異常」事象の対応訓練を実施

作業体制

- 操作チーム5名×5班、設備チーム4名×4班（メーカ含む※）体制を構築
※設備チームメーカ：各班に燃料交換設備担当 2名、燃料処理設備担当 1名
- 取り出し開始後、日勤体制で操作習熟を図った後、5班/2交替体制で実施

2. 「もんじゅ」の廃止措置（第1段階） 今後の対応



今後の作業工程

①「燃料体の取出し」作業として、原子炉上部に据え付けた燃料交換装置等の機器の片付け作業（取り外しや洗浄等）を10月15日に開始し、11月14日に終了



②11月15日から、「燃料体の処理」作業として、まず、燃料出入機の分解・手入れや昨年度の不具合をふまえた機器の改良、事業者自主検査（施設定期検査）等を実施中



③これらの作業終了後、炉外燃料貯蔵槽から燃料池への移送作業を実施する予定

3. 2018年度の燃料体の処理時の不具合対策等の実施状況

- 2018年度の燃料体の処理で発生した不具合への対策等については、予定どおり進捗

主な不具合	対策	完了時期	備考
燃料出入機本体AグリッパのNa化合物によるトルク上昇	【対策A】 1)燃料洗浄槽の除湿対策 2)自動化運転プログラムの修正 (テープ調整場所及び ガス置換回数の変更)	1月	摺動部品交換済(6月) 現地試験で確認予定(12月)
燃料出入機本体Bグリッパの昇降トルク上昇	【対策B】 可動シール等トルク増大対策	1月	摺動部品交換済(6月) シール耐久性調査を予定
自動化運転における対象物入力不可 (燃取系計算機プログラムの不具合)	自動化運転プログラムの修正	完了	総合機能試験で実機確認 済(8月)
自動化運転リセット後のCRT表示不具合 (過去状態の残存)		完了	
燃料出入機本体Aグリッパのクラッチ動作遅延		完了	
燃料出入機本体Aドアバルブのナトリウム付着 (Na滴下防止対策)		1月	現地試験で確認予定 (12月)
燃料洗浄設備の脱塩水洗浄時の電気伝導度低下未了 (燃料洗浄追加手動操作の自動化)		1月	
燃料処理設備の制御盤間の伝送異常等の 起動条件不成立(伝送ノイズ対策)	燃料処理設備の制御盤間の伝送 ノイズ対策	1月	
ガス置換排気時間超過による連動運転渋滞	自動化運転の円滑な運用に資する ための対策	完了	実動作試験で確認済 (7月)
燃料洗浄設備配管予熱温度異常		1月	【対策A】燃料洗浄槽の除湿対策 と合わせて現地試験で確認予定 (12月)

3. 2018年度の燃料体の処理時の不具合対策等の実施状況

【対策A】 燃料出入機本体Aグリッパの対策（1/3）

【発生状況】 本体Aグリッパのトルク上昇は以下の2つの状況において発生

①燃料体の処理開始前に炉外燃料貯蔵槽において本体Aグリッパとアダプタを接続し、爪開閉を行った際、「本体Aグリッパつかみ・はなし異常」警報が発報（2018年7月4日）

➡ 上爪使用時の不具合

②燃料体の処理作業中、本体Aグリッパが地下台車の模擬燃料をつかむ際、「本体Aグリッパつかみ・はなし異常」警報が発報（2018年9月19日他）

➡ 下爪使用時の不具合

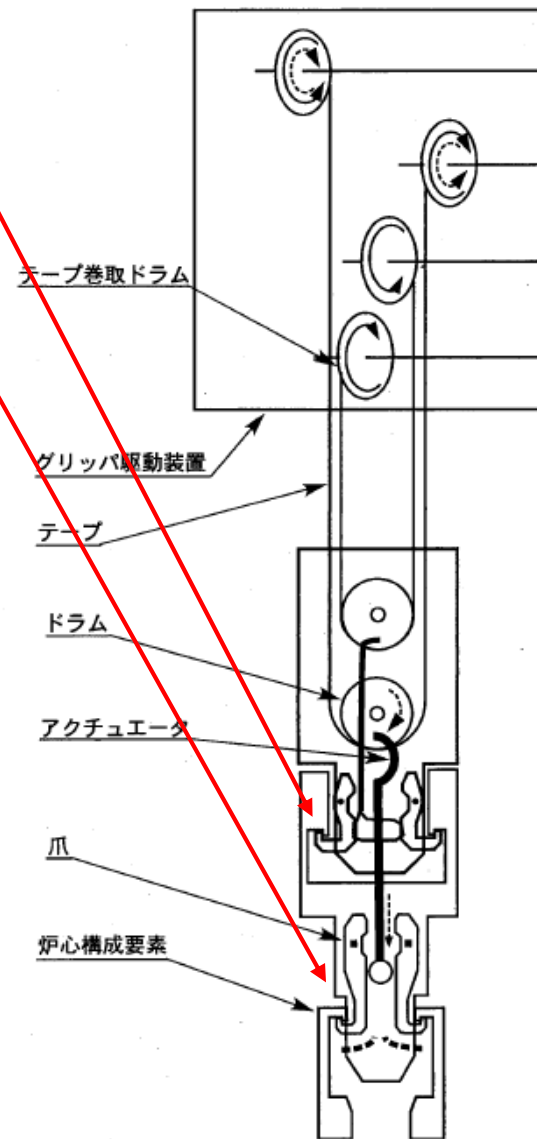
- 当初、爪を閉じる操作は可能であったことから、ナトリウムによる固着の可能性が高いと判断し、炉外燃料貯蔵槽（約200℃）へ浸漬したが、トルクは低下せず

【外観確認と洗浄の結果から推定した要因】

- グリッパ洗浄を実施した結果、トルクが低下
- 洗浄前後で、燃料検査槽において本体Aグリッパの表面状態を観察した結果、グリッパの付着物が除去されており、ナトリウム化合物が生成していたものと推定



想定される化合物の物性
 水酸化ナトリウム： 融点318℃
 酸化ナトリウム： 融点1132℃
 （いずれも水溶性）



1) 本体Aグリッパの上爪のトルク上昇要因と対策

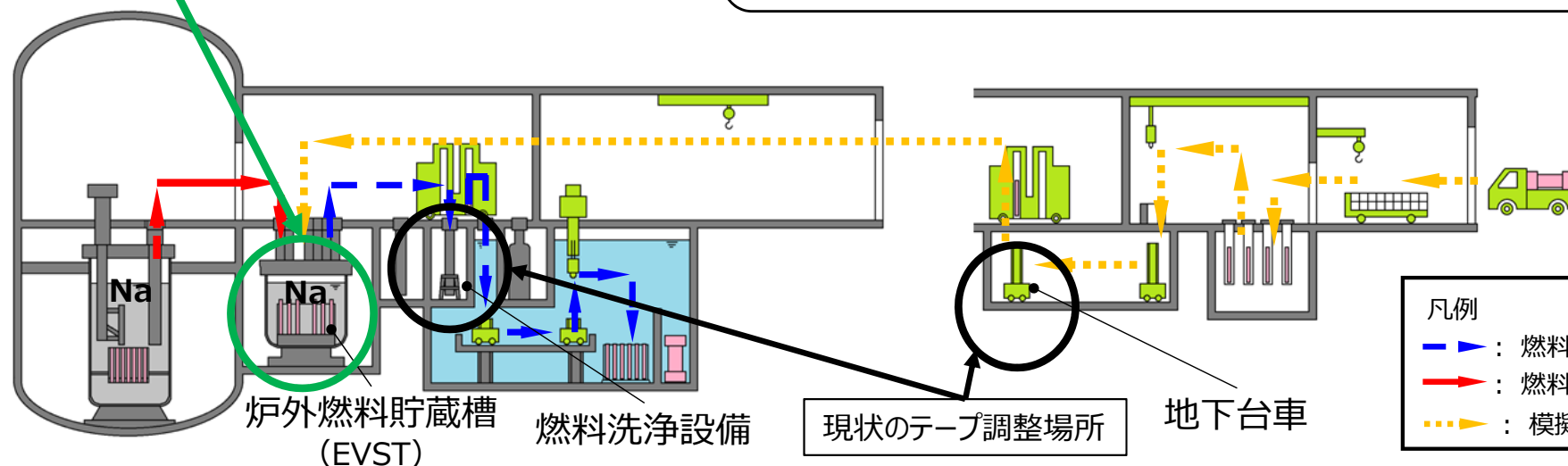
トルク上昇の要因 (推定)	実施済対策と効果 (前回委員会にて報告済み)	次回の燃料体処理開始までの 追加対策
- Na付着状態での長期保持時に機器表面で微量の酸素が化合物のブリッジ*を生成 - 保持時間の長期化（1週間以上）に伴い化合物表面のブリッジが強固になる	- 長期保持の前にはグリッパ洗浄を実施 - 燃料出入機本体A内の環境改善のため、グリッパ洗浄後のガス置換の回数を増加 1→2セット ☆効果：酸素濃度は約16ppm ⇒ 約6ppmに低減 - 毎日の燃料処理終了後に炉外燃料貯蔵槽（EVST）で上爪の開閉動作（テープ調整）を手動操作で追加で実施 ☆効果：上爪のブリッジ切断によるトルク低減（20Nm前後と低位安定で維持）	既実施のEVSTでのテープ調整（手動）に効果が認められることから、上爪の開閉動作（テープ調整）の実施場所を、グリッパの温度が低下する燃料洗浄槽及び地下台車から、高温Na環境のEVSTに変更するように自動化運転プログラムを修正

*ブリッジ：可動部を固着させるNa化合物の塊

要因分析を補完する追加データ取得

- 低酸素雰囲気でも長期間金属ナトリウムを保持することによる化合物生成量の変化データ
⇒ 例）0.1mg/mm²の重量増加に相当するNa化合物の生成には、酸素濃度600ppmでは1週間、0.5ppmでは3ヶ月間以上

変更後のテープ調整場所



2) 本体Aグリッパの下爪のトルク上昇要因と対策

トルク上昇の要因 (推定)	実施済対策と効果 (前回委員会にて報告済み)	次回の燃料体処理開始までの 追加対策
- EVSTで付着したNaが、露点の高い燃料洗浄槽で水酸化物に変化 - 次にグリッパをEVSTに浸漬した際に吸湿した水酸化物表面に、さらにNaが付着 - グリッパの爪側面に付着したNa化合物がアクチュエータの昇降に伴い爪の隙間の小さい部分に堆積、または脱落して噛みこみ、トルク上昇(回数を繰り返す毎に上昇)	燃料洗浄槽内の残留湿分低下(露点低下)に向けた環境改善のために、燃料体受入前のガス置換(真空引き+Arガス充填)の回数を増加 1回(初期) →2回(昨年11/3より実施) 3回(昨年11/21より実施) ☆効果 燃料洗浄槽内の露点温度* : ガス置換1回で約-9℃ ⇒ 3回で約-48℃まで低下 本体Aグリッパトルク : 昨年12月初めの燃料洗浄槽での長時間保持に伴うトルク上昇時以外は比較的安定したトルク値を維持。	1) 燃料洗浄槽の除湿対策 ヒータ等の設置による残留湿分の低減を実施 ⇒ <u>燃料洗浄槽及び配管の温度分布測定に基づきヒータ追加設置</u> 2) 自動化運転プログラムの修正 燃料洗浄槽への燃料受入前にガス置換を3回実施するように自動化運転プログラムを変更



要因分析を補完する追加データ取得

- グリッパ洗浄に伴う金属表面状態変化と金属ナトリウム付着量への影響データ
⇒ 表面粗さの変化がナトリウム付着量に影響ないことを確認済
- 雰囲気湿度とNa化合物付着量の関係データ
⇒ 露点を-50℃程度まで低下すればNa化合物の付着を防止可能であることを確認

* 露点温度 : 水蒸気を含む空気を冷却したとき、凝結が始まる温度。
露点温度の低下は、湿分の低下を表す。

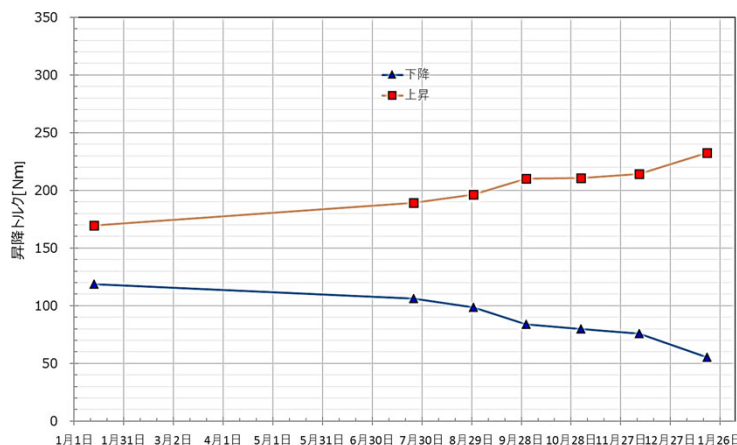
3. 2018年度の燃料体の処理時の不具合対策等の実施状況 【対策B】 燃料出入機本体Bグリッパの対策（1/2）

【発生状況】

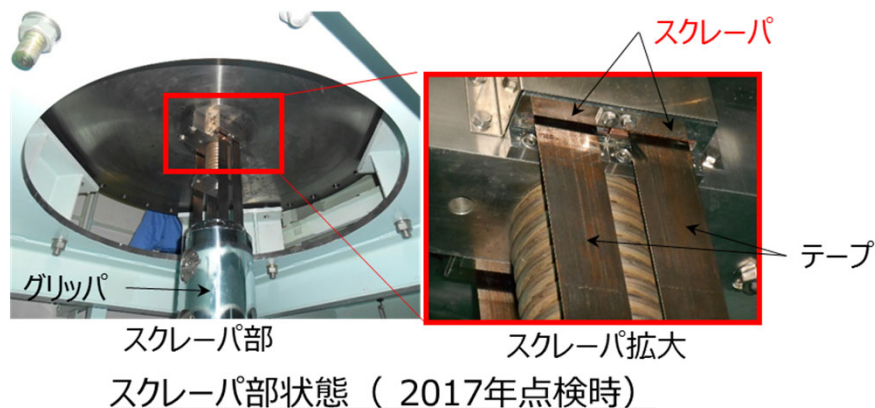
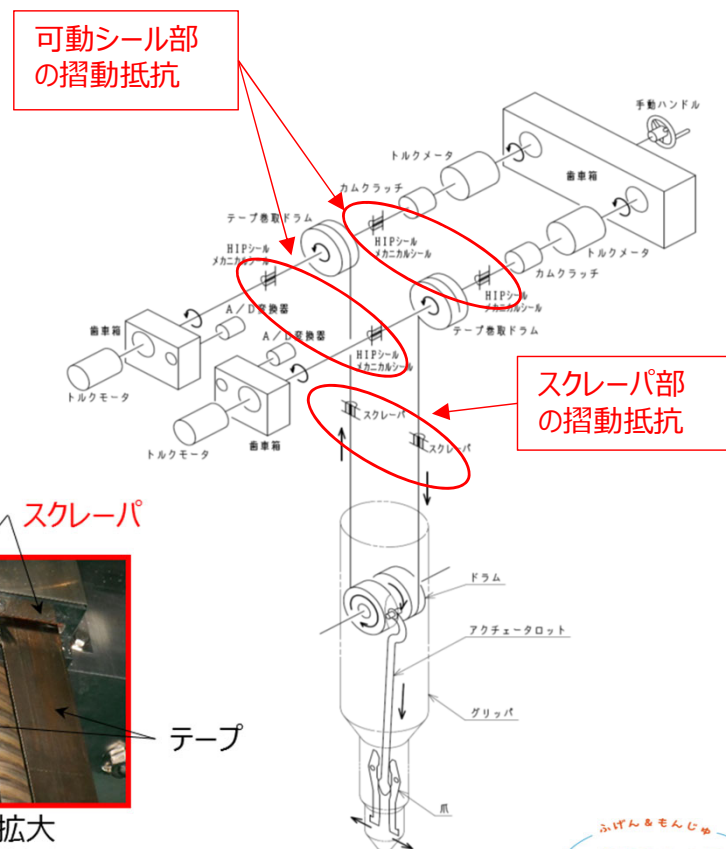
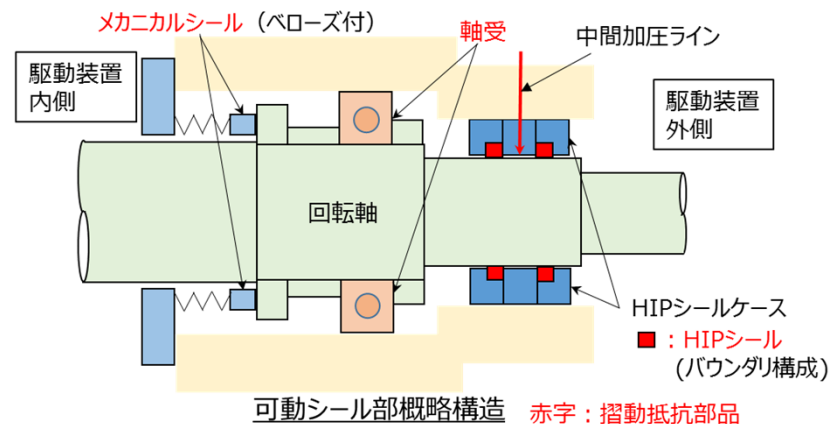
- 2018年12月4日、燃料出入機本体Bにより空の缶詰缶を缶詰設備に移送し、缶詰缶をはなした際、「本体Bグリッパつかみ・はなし異常」警報が発報した。

【外観と昇降トルク確認の結果から推定した要因】

- グリッパ本体とグリッパ駆動装置の外観点検および動作確認を行った結果、設備に異常はなかった。
- グリッパの昇降トルクの推移を確認した結果、上昇トルクは増加、下降トルクは減少しており、同日の昇降時のトルク変動は同様の傾向を示すことを確認した。
- 上記の結果から、駆動装置内の軸受のシール部やスクレーパ部で生じる摩擦抵抗（摺動抵抗）の増大によるものと推定した。
- 今後、分解点検を行い摺動部を確認した上で、対応を検討する。



本体Bグリッパ 昇降トルクの推移



3. 2018年度の燃料体の処理時の不具合対策等の実施状況 【対策B】 燃料出入機本体Bグリッパの対策（2/2）

本体Bグリッパのトルク上昇要因と対策

トルク上昇の要因 (推定)	実施済対策と効果
・ 摺動抵抗トルク（可動シール部またはスクレーパ部）が増大して、爪開閉トルクが上昇	【原因調査】 ・ 本体Aの可動シール部についても調査を実施した結果、常温単体ではトルクの上昇を確認したため、メカニカルシールの使用に伴うトルク上昇が発生していると推定 ・ <u>メカニカルシールの接触面を洗浄することで摩擦係数は低下することを確認</u> ・ <u>使用温度を変化させて動作試験を行った結果、温度が低い状態では、トルクが上昇する傾向があることを確認</u> 【対策】 ・ <u>これまで交換実績がないことから、今後は定期的な手入れ、交換を行うこととし、メカニカルシール等の交換を実施</u> ☆ 摺動部品交換後の作動試験によりトルク値が正常に復旧したことを確認 ・ 本体Aについては、使用温度が高いため、トルク上昇は発生しにくいと推定されるが、燃料体取出し前に交換を実施 ⇒ 次回の燃料体の処理では、トルクを監視しつつ、処理期間途中（約80～90体の処理後）に、状況に応じて中間的な手入れを実施する予定。また、可動シール部の交換部品を確保済み。 【摺動部のデータ拡充】 本体Bについては、過去の作動実績から、今回の燃料体の処理中に想定される作動回数ではトルク上昇しないと考えられるが、新品シールのトルク上昇特性を確認する動作試験を実施予定

<本体A,Bの温度条件及び昇降作動回数>

部位	温度条件	通算昇降回数	2018年度昇降回数	2019年度昇降回数見通し
本体B	室温	1000回以上	約600回	約300回
本体A	約180℃	2800回以上	約400回	約1000回

・メカニカルシール耐久性調査条件

- 回転速度：実機相当（約 5 rpm）
- 動作：上昇、下降を模擬して間欠回転
- 作動回数：300回以上
- 温度条件：温度15℃程度に制御
- 測定項目：作動時トルク、温度

4. 次回の燃料体の処理に向けた準備（燃料の缶詰処理）

燃料体の処理：昨年度と今年度の違い → 今年度からは燃料を缶詰缶に収納せず、洗浄後は直接、燃料池に移送し、保管する。

【缶詰缶採用の経緯】

現設計：水封入缶詰方式

⇒ 設計当時は、長期水中貯蔵期間中の被覆管健全性維持に係るデータが不足していたため、缶詰缶を用いた貯蔵を行うこととした。

「常陽」の長期水中貯蔵したMK-I及びMK-II燃料集合体の照射後試験の結果から、燃料破損や腐食の進展が生じていないことを確認

【常陽の長期水中貯蔵燃料の照射後試験】

○照射後試験に用いた燃料仕様

燃料仕様	MK- I	MK- II
被覆管材質	SUS316CW	SUS316相当鋼（もんじゅと同材）
被覆管最高温度	約546℃	約600℃
燃焼度	約20GWd/t	約60GWd/t
水中貯蔵期間	約14年	約17年

○試験概要

缶内水分析、燃料ピン重量及び外形寸法測定、パンクチャ試験、金相試験等

○試験結果

缶内水の分析結果、燃料ピン重量測定や燃料ピン寸法測定、パンクチャ試験の結果から、燃料ピンは長期保管時も健全であることが明らかになった。

金相試験の結果から、被覆管内外面において、顕著な腐食が見られなかった。



燃料の健全性に問題がないことを確認

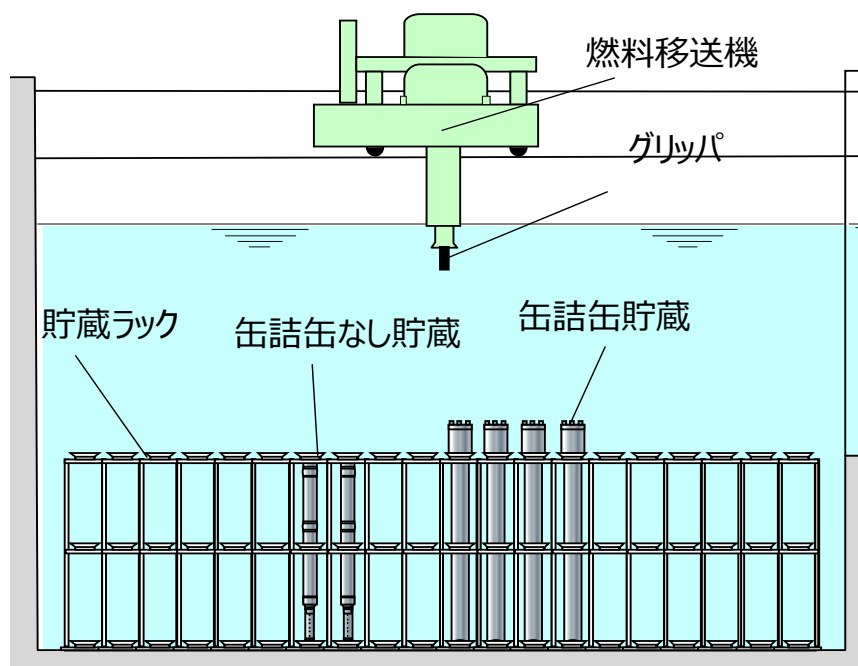
4. 次回の燃料体の処理に向けた準備（燃料の缶詰処理） 廃止措置計画の審査において確認された事項

燃料取扱設備への影響

○ 燃料池での燃料体の取扱い

（貯蔵ラックへの挿入／取出し）

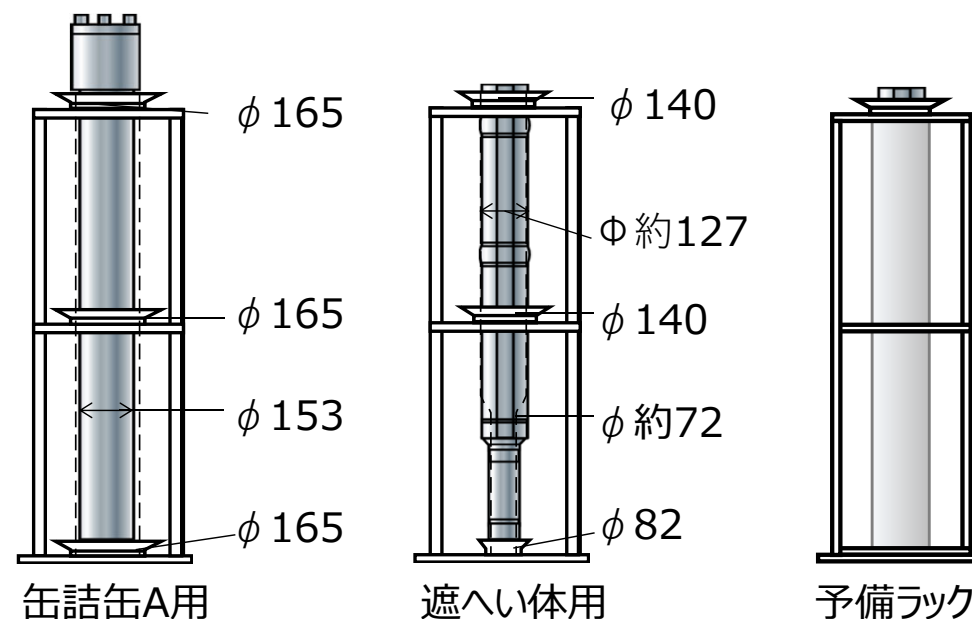
- ✓ 遮へい体用の貯蔵ラックは、缶詰缶なしで貯蔵する設計
- ✓ 燃料体及び遮へい体のハンドリングヘッド、ラッパ管、エントランスノズル下端の外径がほぼ同じであるため、遮へい体用ラックへの貯蔵が可能



燃料池の貯蔵イメージ

燃料池貯蔵ラックの貯蔵容量

貯蔵ラックエリア	貯蔵対象	貯蔵可能容量 （設置許可）
缶詰缶A用ラック	燃料体	1,412体
遮へい体用ラック	遮へい体 （缶詰缶なし）	432体
予備ラック	遮へい体 （缶詰缶なし）	24体



各貯蔵ラックの形状

単位：mm

4. 次回の燃料体の処理に向けた準備（燃料の缶詰処理） 廃止措置計画の審査において確認された事項

安全性評価への影響

新規規制基準で新たに要求された項目（重大事故対応）も含めて評価を行い、廃止措置計画では以下の事が確認されている。

✓ 燃料取扱事故

⇒ 缶詰缶を使用しない条件で、燃料池における燃料破損を仮定しても、敷地境界での実効線量は目安となる5mSvを十分下回り※1、周辺公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えないことを確認

※1：評価例）希ガスのガンマ線による実効線量 約 1.2×10^{-6} mSv

✓ 燃料池水が喪失した場合の燃料健全性

⇒ もんじゅで保有する燃料体全数を遮へい体用ラックに装荷した場合でも、被覆管制限温度（675℃）以下であることを確認（評価値：約186℃）

✓ 燃料池水が喪失した場合の未臨界性の評価

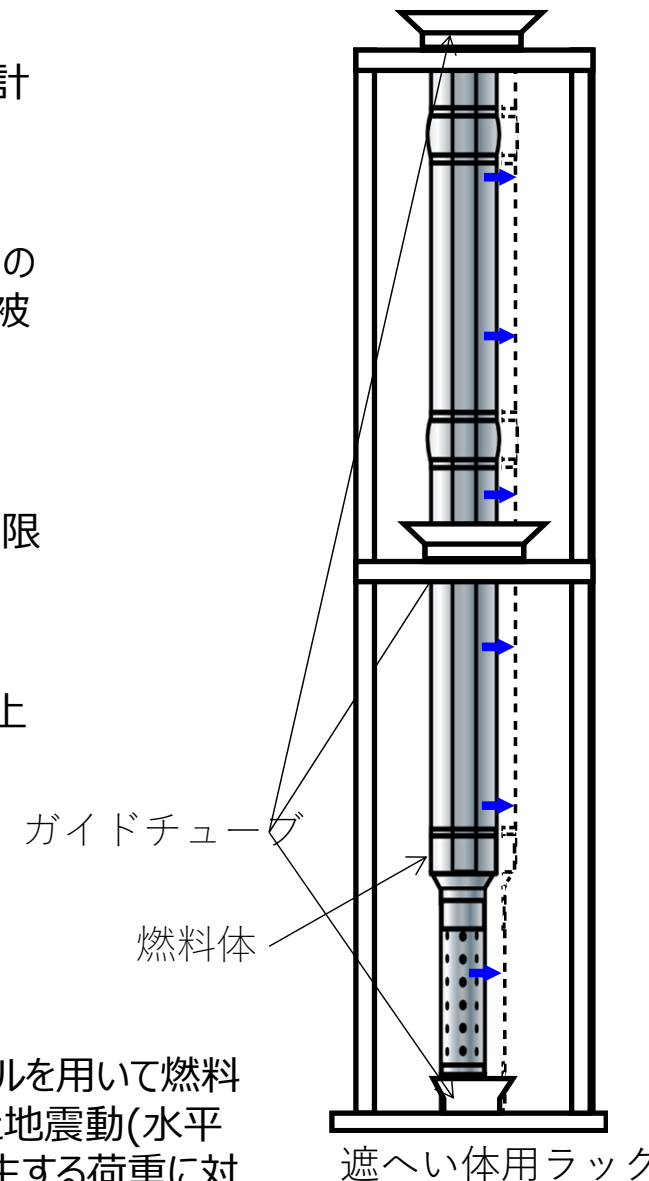
⇒ Pu量が最も多い燃料体を遮へい体用のすべてのラックに貯蔵した場合でも、設計上の制限値($k < 0.95$)を満足することを確認（評価値：0.93）

地震時の影響

✓ 地震時の構造健全性の評価

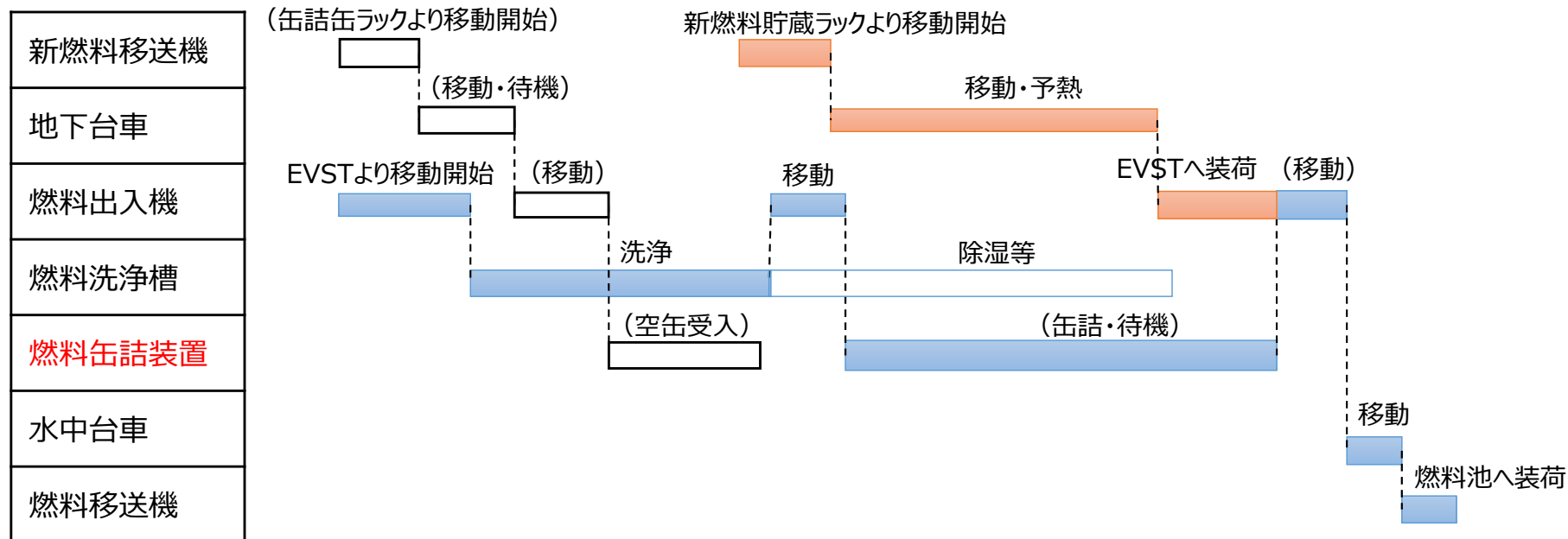
⇒ 缶詰処理をしない燃料体を貯蔵ラックに装荷した状態において、振動挙動解析モデルを用いて燃料体に作用する衝突荷重を評価し、近隣の軽水炉の基準地震動を参考に策定した地震動（水平最大995gal）においても、発生応力は評価基準値を下回っており、地震により発生する荷重に対して十分な強度を有している※2ことを確認

※2：評価例）ラッパ管 裕度（評価基準値 / 発生応力）= 2.0～4.3

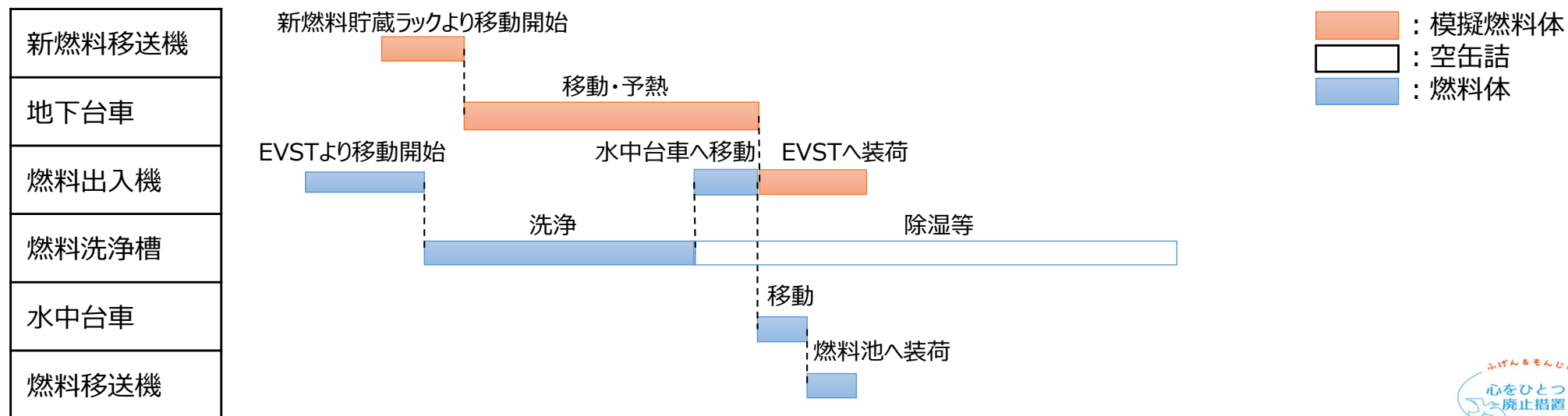


4. 次回の燃料体の処理に向けた準備（燃料の缶詰処理） 燃料体の処理の流れ 缶詰処理の有無の比較

【缶詰処理 あり】



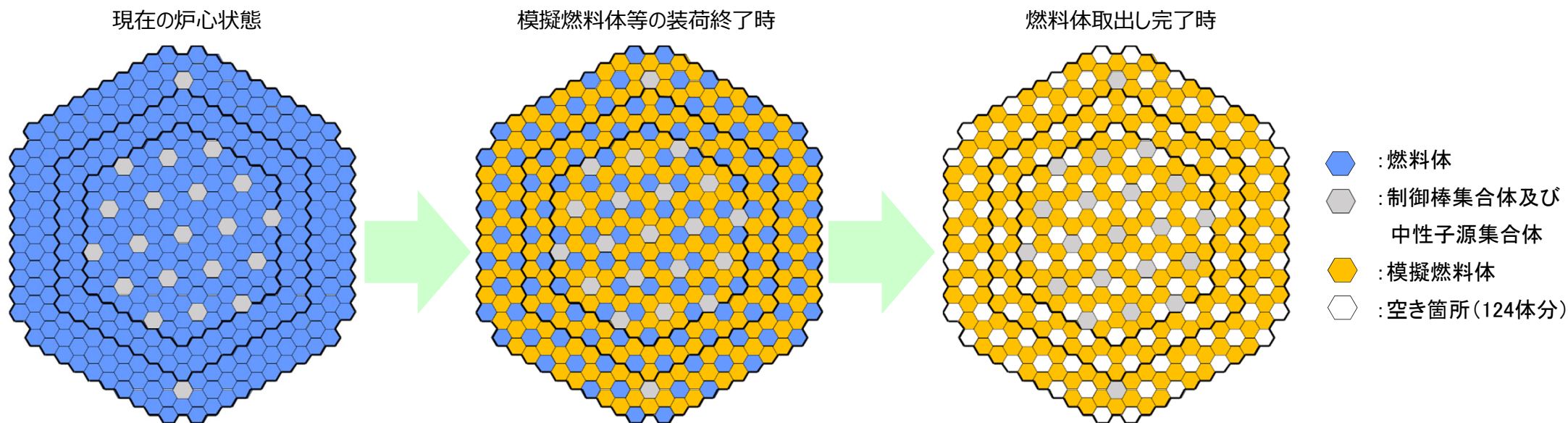
【缶詰処理 なし】 燃料出入機の動作等を、缶詰処理を行わないプログラムに変更



【目的】 炉心から燃料体を取り出した後に装荷する模擬燃料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
- 模擬燃料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

模擬燃料体の装荷位置（中性子しゃへい体の記載は省略）

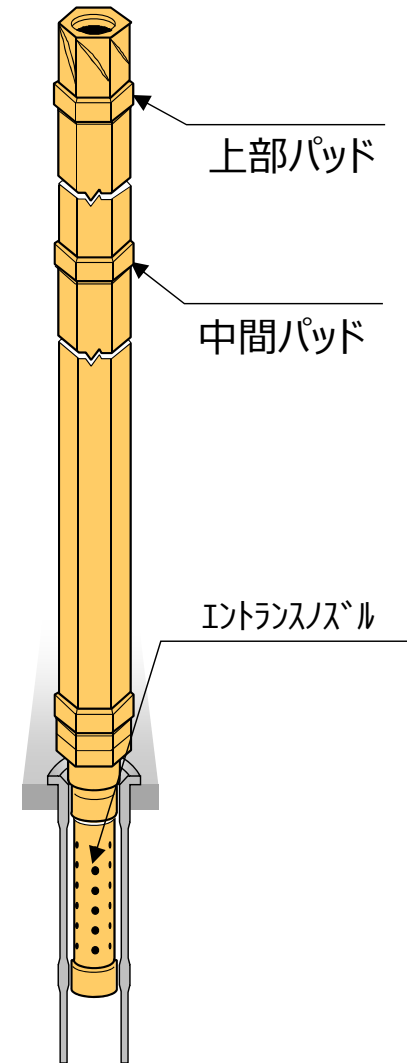
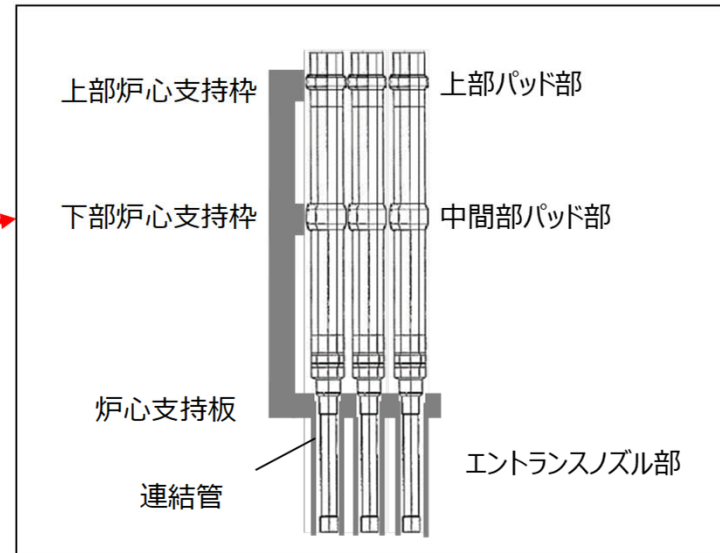
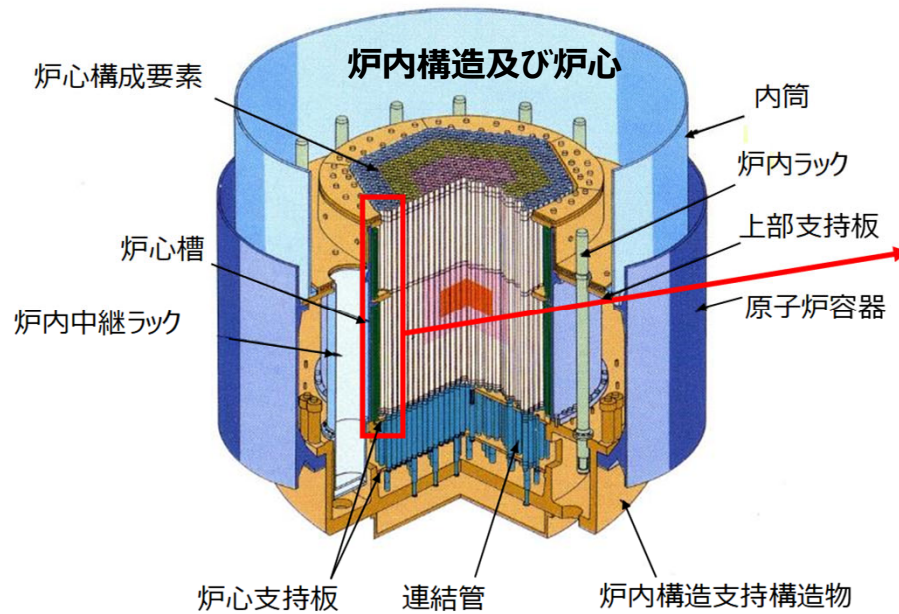


燃料体取出し工程

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	2021.1 130	2021.3	2022.4 140 2022.6

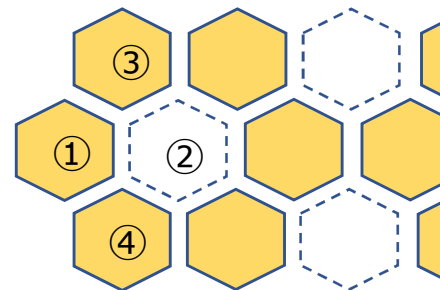
部分装荷実施時期
模擬燃料体等の装荷終了（246体）以降は、燃料体の取出しのみを実施し、模擬燃料体等を装荷しない

もんじゅの炉心構造の特徴と部分装荷時の課題

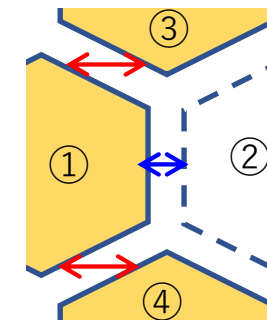


- 燃料体は、炉心支持板連結管に差し込まれており自立する。
- 地震時は、燃料体同士がパッド部で接触（最外周は炉心支持棒と接触）し、お互いを支え合う構造となっている。

- 模擬燃料体を部分的に装荷しない場合、燃料体が傾いた時の水平方向の移動可能範囲が増えるため影響評価を実施した。



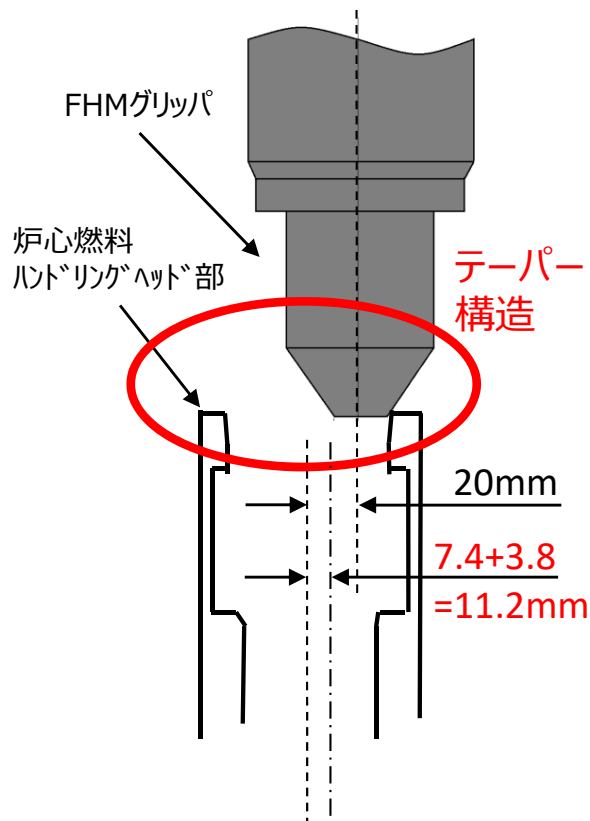
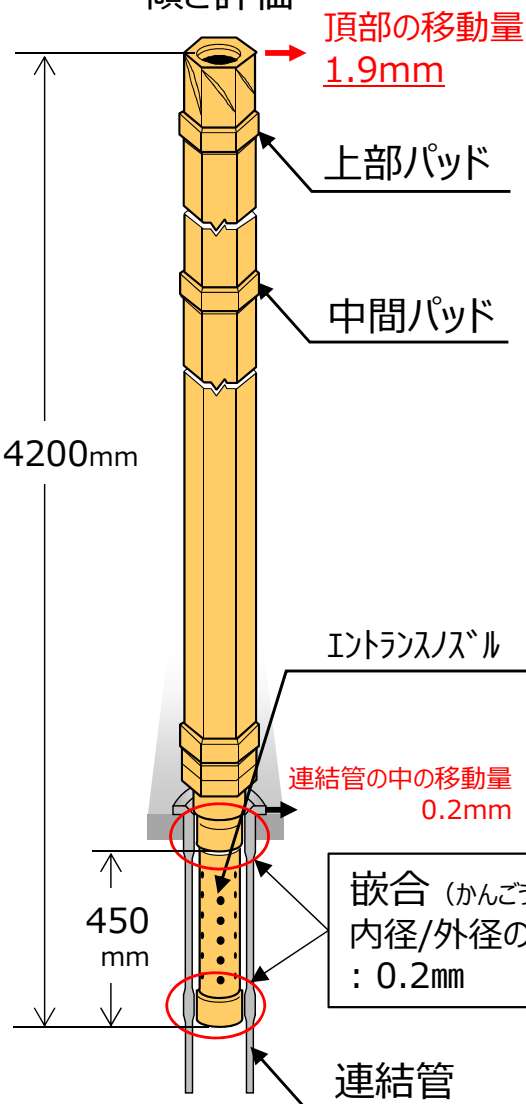
接触部拡大



部分装荷時に発生する空間の影響

1. 燃料取出し機能への影響評価

燃料体の最大
傾き評価



(構造上の傾き)

- 連結管に差し込まれるエントランスノズル嵌合部の外径と連結管の内径との隙間は0.2mmであり、燃料体がどちらかに傾くと、頂部は自立中心位置から1.9mm移動

(燃料交換装置の仕様)

- 炉心燃料体の取扱いに支障が出ないための判定基準として、FHMグリッパ中心と炉心燃料頂部中心とのずれ許容値 (炉心燃料が掴める偏心量) はテーパ構造等の偏心追従機構により20mm以内

(過去の総合機能試験の結果)

- 過去の総合機能試験で計測されたグリッパの炉心アドレスからの最大のずれ (7.4mm)

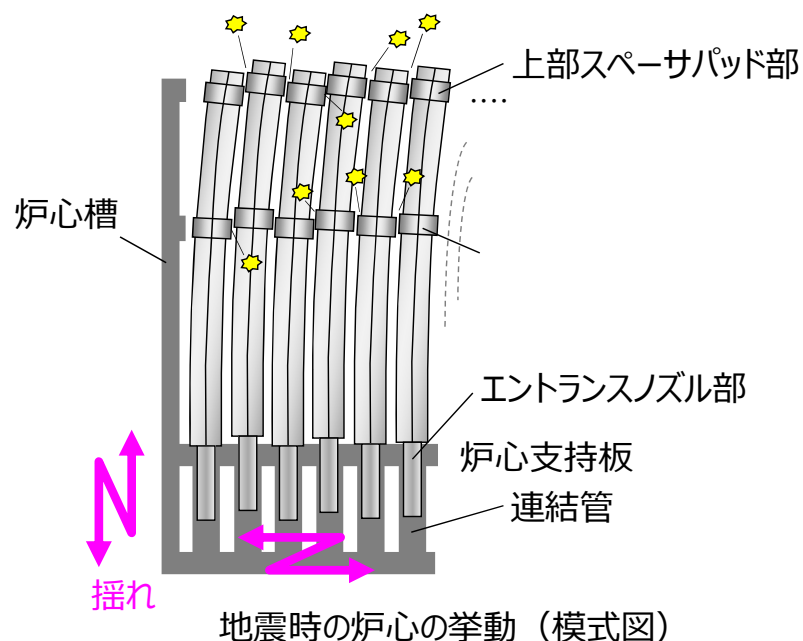
保守的に、総合機能試験時の7.4mmは燃料集合体がグリッパ側に1.9mm傾いていた状態であったとして、燃料集合体がグリッパから離れる方向に倒れた場合、部分装荷によるズレは $7.4\text{ mm} + (1.9\text{ mm} \times 2) = 11.2\text{ mm}$ となる。

	炉心アドレスからの最大のずれ	傾きによる最大のずれ	想定するずれ合計の最大
部分装荷なし	7.4 mm	1.4 mm程度	8.8 mm
部分装荷		3.8 mm	11.2 mm < 20mm

許容値

部分装荷によって空いた空間に燃料体が倒れこみ、炉心からの燃料体の取出しができないといった事態には至らない

地震時の炉心体系維持機能への影響評価



1. 地震時の炉心燃料体の挙動

- 燃料体は水平方向に揺れるだけでなく、上下方向の力により、連結管に差し込まれた燃料体が跳び上がる場合も発生。
- 炉心に装荷された燃料体を含む炉心構成要素は、揺れや衝突により燃料体群としての挙動を示す。

2. 評価方法

- 基準地震動Ss-D（760Gal）を用い、建物の地震応答解析を実施し、原子炉建物基礎の床応答を計算
- 原子炉容器の耐震解析モデルに床応答を入力し、炉心支持板の水平方向及び上下方向の応答を求め、解析コードREVIAN-3D※を用いて地震時の燃料体の振動挙動（水平方向、上下方向の挙動）を評価

※REVIAN-3D：今後の高速炉を見据えて近年開発された、燃料体の3次元の群振動挙動を評価する解析コード

- この結果から、燃料体パッド部に作用する荷重、エントランスノズル部の曲げ応力を算定。

3. 評価結果

部位	発生値	評価基準値※
上部パッド衝突荷重[kN]	112.8	564
中間パッド衝突荷重[kN]	5.3	28
エントランスノズル 付け根部曲げ応力[MPa]	141.1	440

地震時に燃料体が大きく変形し、炉心からの燃料体の取出しができないといった事態には至らない

※評価基準値は原設計（供用状態Dにおいて、延性破壊/塑性崩壊に至る変形が生じない）における応力評価を基に設定。

3次元炉心群振動解析コード REVIAN-3Dの概要

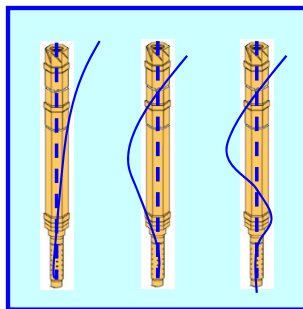
地震時における高速炉の炉心、炉心構成要素、炉心支持構造物等の炉心群振動挙動の把握を目的とし、群体系における衝突・摩擦、及び流体-構造連成を考慮した耐震解析コード

考慮する荷重

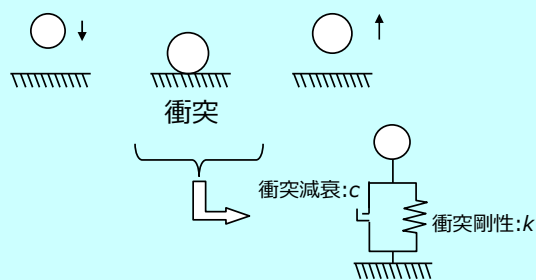
- ①自重、②炉心支持板の振動、③パッド間における衝突荷重及び摩擦力、④エントランスノズル-連結管における衝突荷重及び摩擦力、⑤球面座-連結管における衝突荷重

a. 炉心構成要素のモデル化

1次～3次の弾性変形を考慮
XYZ3方向変位
及び重心点回りの
回転2方向(XY)
を考慮

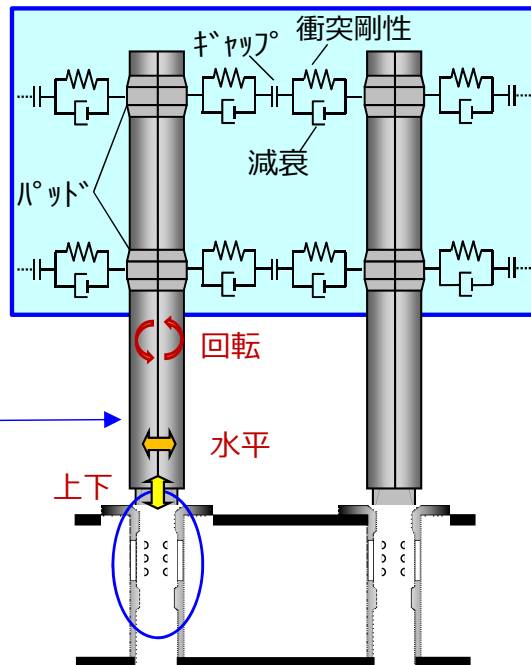


衝突部

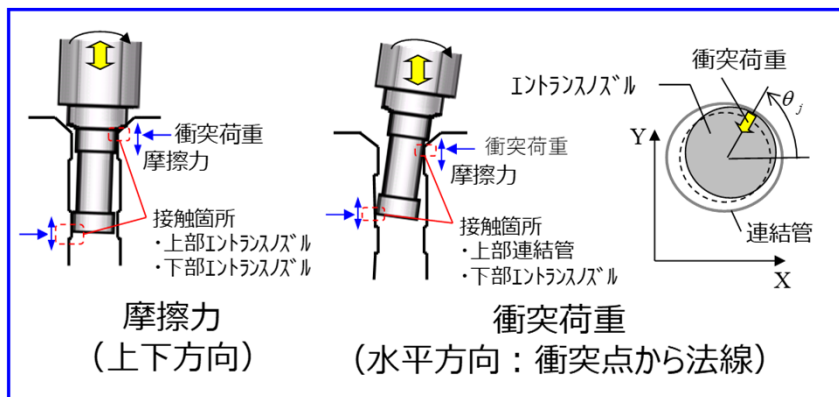


反発係数に合わせて衝突剛性・衝突減衰を設定

b. パッド部のモデル化



c. エントランスノズル部のモデル化

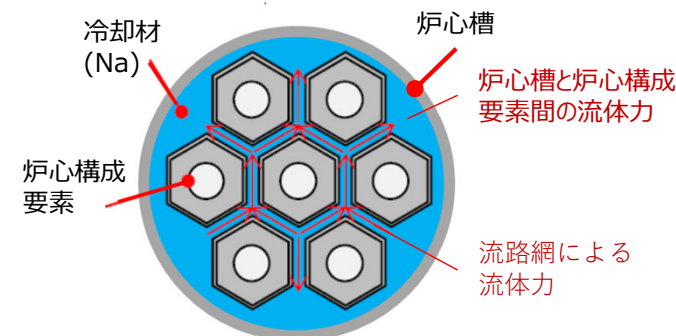


考慮する流体力

- ⑥浮力、⑦流体と構造物の相互作用による流体力、⑧流体排除質量による流体慣性力

d. 流体力のモデル化

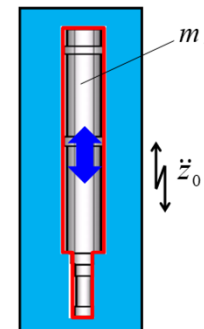
流体と構造物との相互作用による流体力



排除質量による流体慣性力

$$F = m_w \cdot \ddot{z}_0$$

m_w : 炉心構成要素が排除した水の質量
 $\ddot{z}_0$: 上下加振加速度



排除した冷却材質量の慣性力が発生する。

- 原子炉からの燃料体の取出しについては、10月の開始に向けて点検作業等を進めた結果、予備日を使うことなく順調に進んだため、9月17日から開始した。その後も作業は順調に進み、10月11日、計画していた100体の取出しを完了した。
- このため、現在実施している炉外燃料貯蔵槽から燃料池への燃料体移送に向けた燃料出入機の分解・手入れや昨年度の不具合を踏まえた機器の改良等に、計画よりも早めに着手できている。
- 今後も引き続き、安全最優先で準備を進め、事業者自主検査（施設定期検査）等を実施し、炉外燃料貯蔵槽から燃料池への燃料体移送に万全を期す。

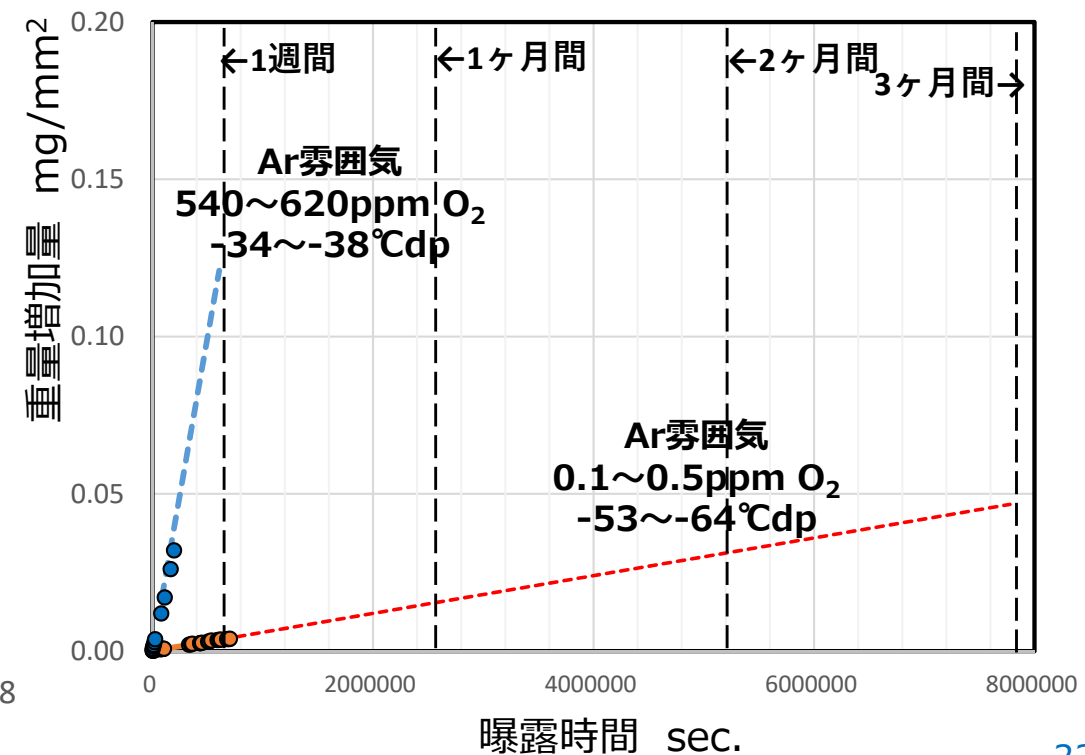
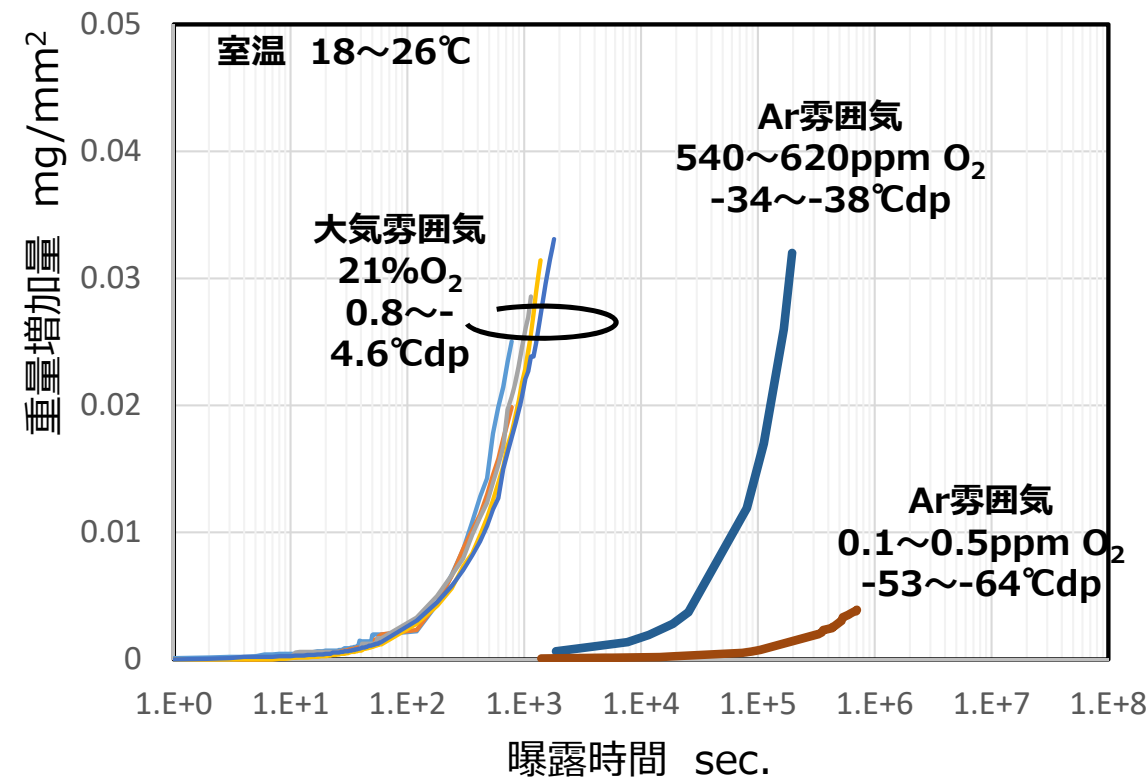
参考

【対策A】 燃料出入機本体Aグリッパの対策

燃料出入機本体Aグリッパ上爪 <要因分析結果を補完する実験データ取得 1/2>

✓低酸素雰囲気中で長期間金属ナトリウムを保持することによる化合物の生成

- ◆ 実験目的: 低酸素雰囲気中に長期間ナトリウムが曝されることにより形成される化合物量（厚み）を調査
- ◆ 実験手法: ナトリウムに浸漬した金属試験片を試験雰囲気に曝露した後、電子天秤にて秤量し、重量変化量を計測
- ◆ 実験結果: 同一の重量増加までの時間は、大気雰囲気と比べ、酸素濃度600ppmで2桁、0.5ppmで3桁長くなり、0.1mg/mm²程度の重量増加まで酸素濃度600ppmでは1週間、0.5ppmでは3ヶ月間以上

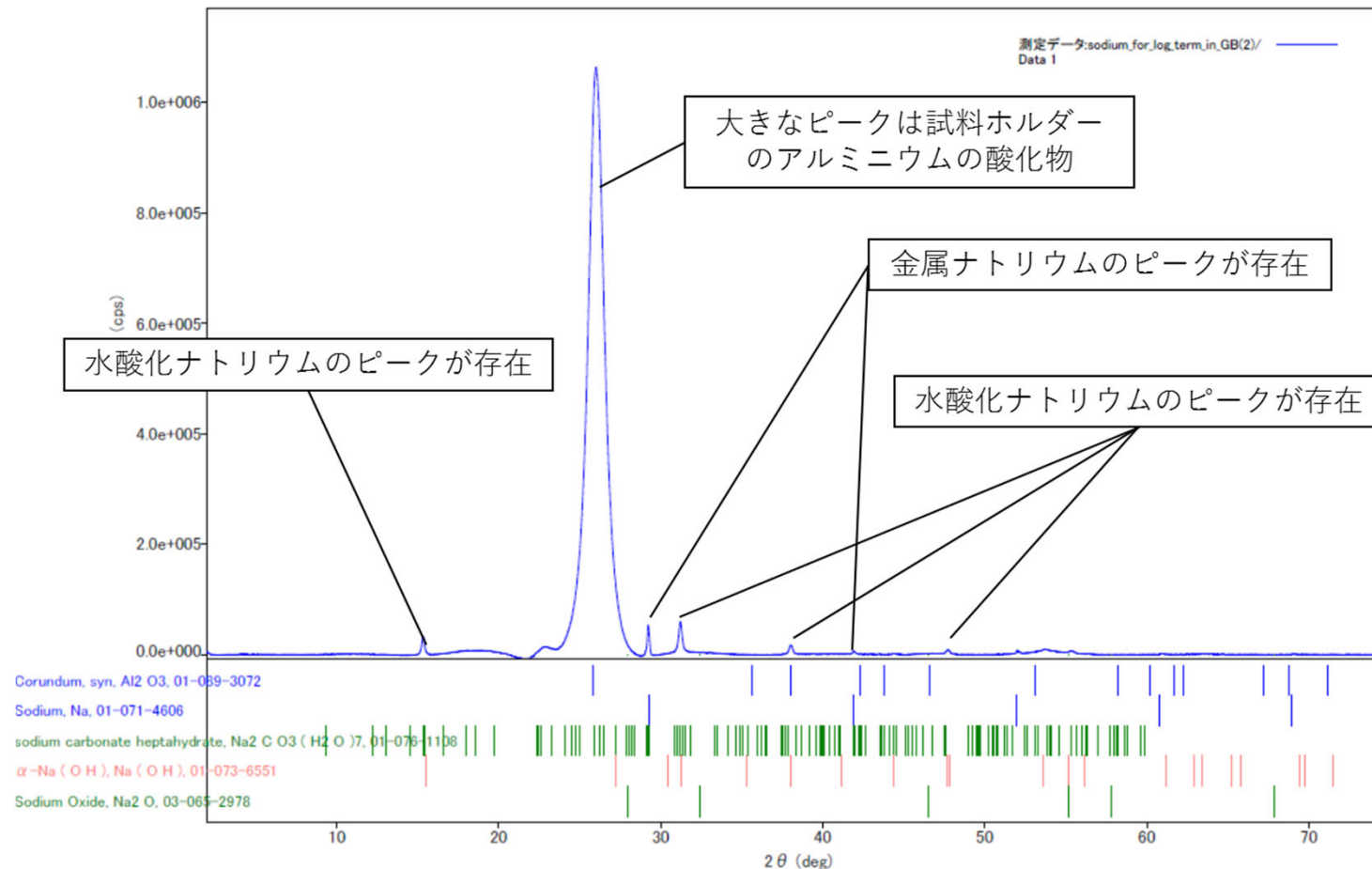


【対策A】 燃料出入機本体Aグリッパの対策

燃料出入機本体Aグリッパ上爪 <要因分析結果を補完する実験データ取得 2/2>

✓低酸素雰囲気でも長期間金属ナトリウムを保持することによる化合物の生成

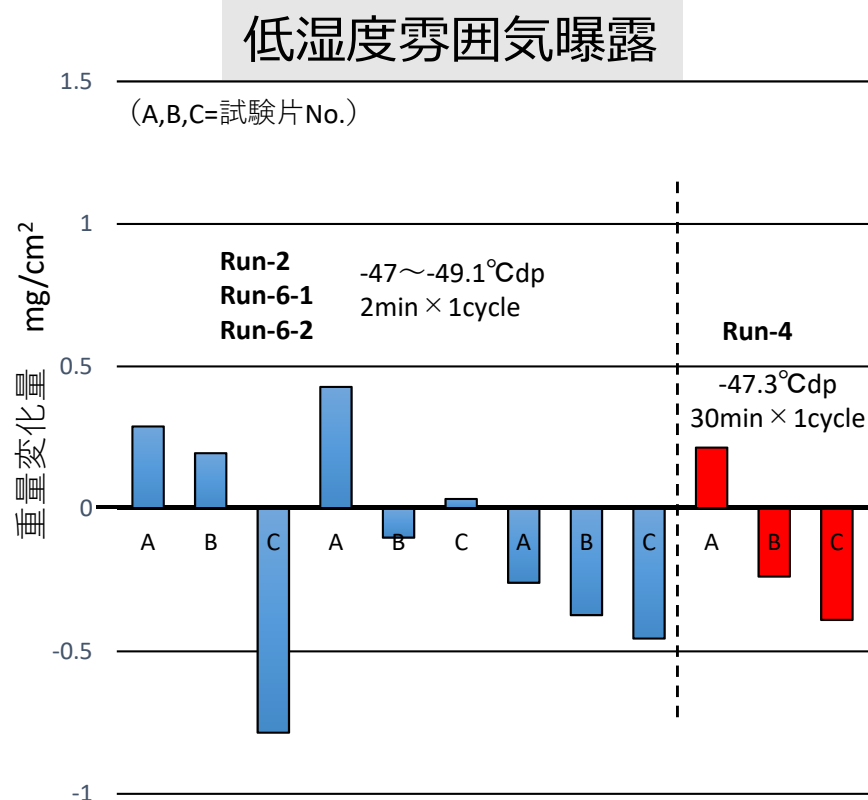
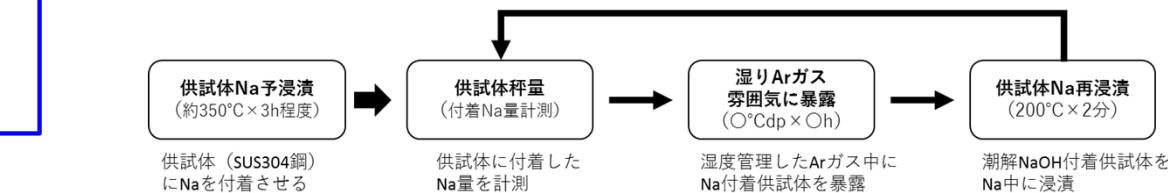
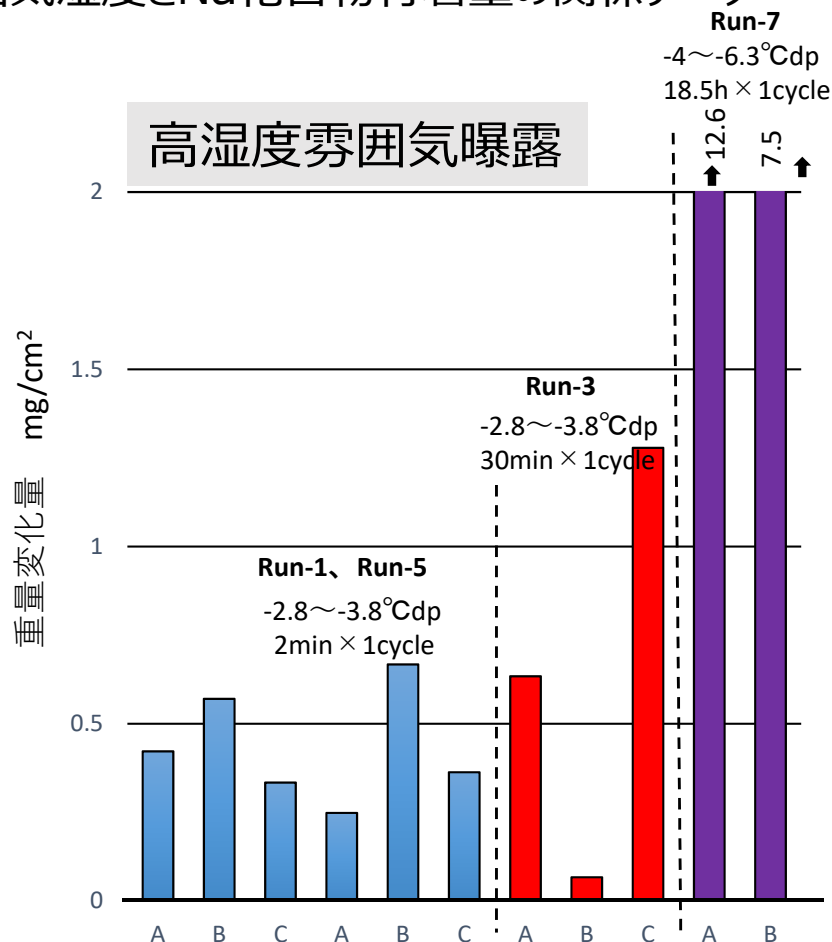
- ◆ 表面に生成したナトリウム化合物のX線回析法分析による結晶格子の同定
検出されたピークは、水酸化ナトリウムであり、酸化ナトリウムが雰囲気中の微量水分と反応して水酸化ナトリウムとなっていることが示された



燃料出入機本体Aグリッパ下爪

<要因分析を補完する実験データ取得 1/2>

✓ 雰囲気湿度とNa化合物付着量の関係データ

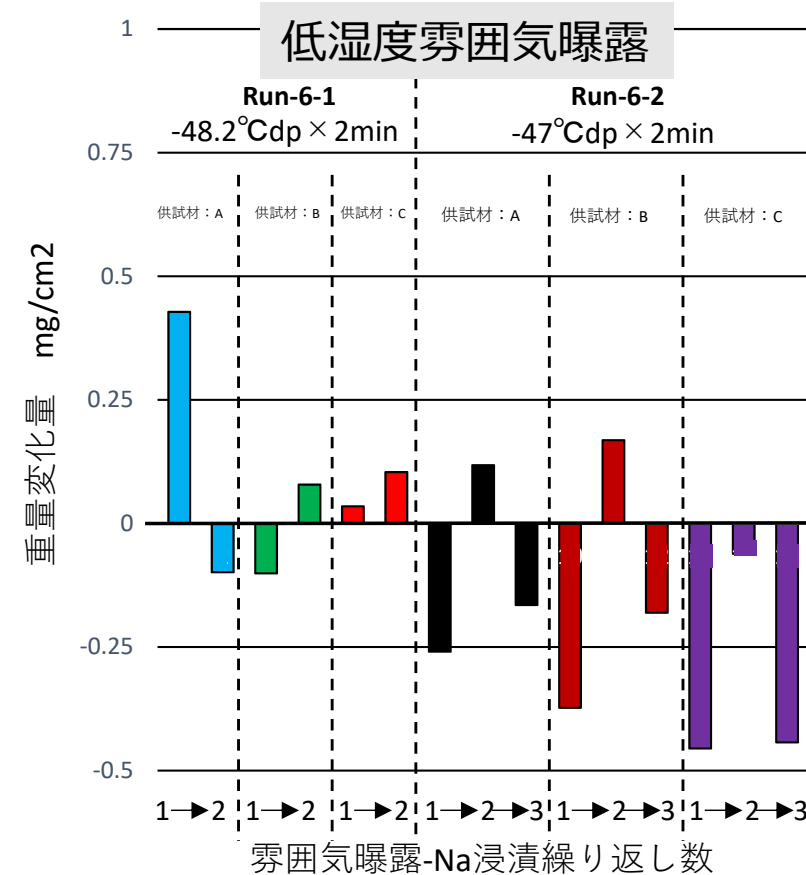
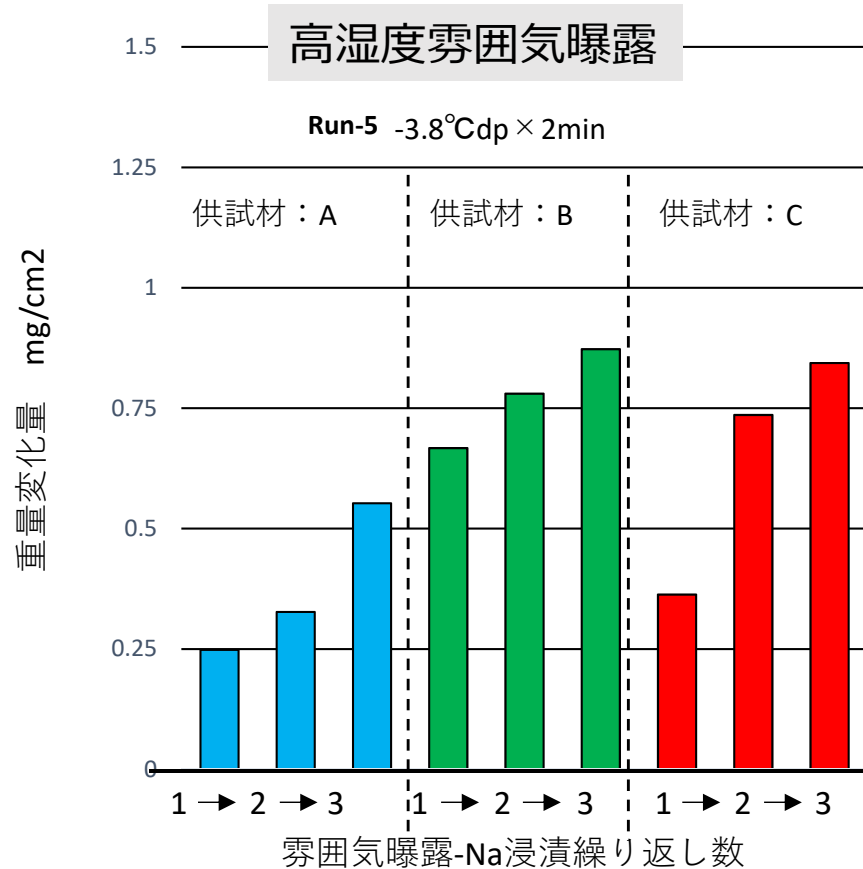


- ・再付着ナトリウム量：高湿度雰囲気暴露＞低湿度環境暴露
 - ・暴露時間：高湿度雰囲気→暴露時間に比例し再付着ナトリウム量が増大する傾向
低湿度雰囲気→暴露時間の影響はみられない
- ※低湿度環境に暴露した供試材表層のナトリウム化合物は、ナトリウム再浸漬の際に剥離する挙動を観察

【対策A】 燃料出入機本体Aグリッパの対策

燃料出入機本体Aグリッパ下爪 <要因分析を補完する実験データ取得 2/2>

✓ 雰囲気湿度とNa化合物付着量の関係データ（ナトリウム浸漬+湿度環境曝露の繰り返しの影響）



ナトリウム再付着量

- ・ 高湿度曝露環境：ナトリウム浸漬繰り返し数に比例し増大
- ・ 低湿度曝露環境：ナトリウム浸漬繰り返し数の影響は見られない

⇒ 低湿度雰囲気（露点 -50°C 程度）であればナトリウム化合物の蓄積が発生しないことから
除湿対策で燃料洗浄槽の露点を -50°C 程度に低下することが目標

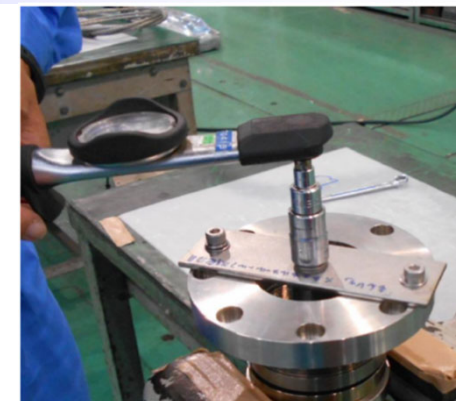
【対策B】 燃料出入機本体Bグリッパの対策

● メカニカルシール単体の分析

- ① 外観、寸法検査
取り外したメカニカルシールの外観、寸法を確認
- ② トルクの簡易測定
メカニカルシール単体を治具に設置し、常温でトルクレンチを用いて簡易トルク測定を実施、トルク値は摩擦係数に換算して評価

● 分析結果

- ① 外観、寸法検査
偏摩耗等はなく外観、寸法とも異常なし
- ② トルク簡易測定
 - ◆ 本体B取り外しシール（各1軸分）
 - ・可動シール部B側：摩擦係数0.25とメーカーデータより低く問題なし
 - ・可動シール部A側：摩擦係数0.91と正常範囲の約2倍
 - ・同上（表面洗浄後）：摩擦係数0.26と正常範囲に戻った
 - ・未使用品：摩擦係数0.22～0.43と正常範囲内
⇒ シール表面洗浄または新品交換によりトルクは正常に戻った
メカニカルシールはこれまで交換しておらず、本体Bで通算1000回以上の昇降動作後にトルク上昇、2019年度の昇降回数が約300回の見通しであることから、新品交換によりトルク上昇に至る可能性は低い
 - ◆ 本体A取り外しシール（各1軸分）
 - ・可動シール部B側：摩擦係数0.46と正常範囲内
 - ・可動シール部A側：摩擦係数0.91と正常範囲の約2倍となっている
 - ・運転中は全くトルク上昇が見られなかったが、常温単体では本体Bのメカニカルシールと同様にトルク上昇
 - ・本体Aは、運転中、ナトリウム固着防止のために180℃に予熱されていたことによって、トルクが上昇しなかった可能性を確認



治具を用いたトルクレンチによる簡易トルク測定状況

＜簡易トルク測定結果＞

部位	対象シール	摩擦係数*
本体B	可動シール部B側	0.25
	可動シール部A側	0.91
	同上(表面洗浄後)	0.26
	未使用品	0.22～0.43
本体A	可動シール部B側	0.46
	可動シール部A側	0.91

*：メーカー技術データに基づく摩擦係数0.3～0.5

＜本体A,Bの昇降作動回数＞

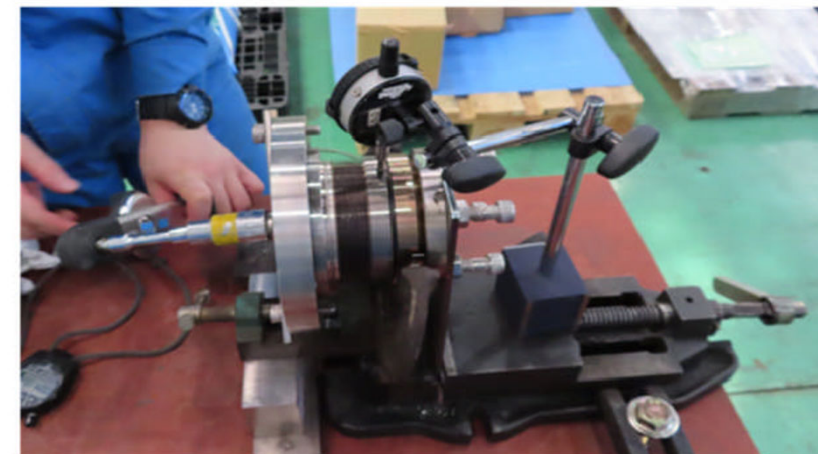
部位	通算昇降回数	2018年昇降回数	2019年度昇降回数見通し
本体B	1000回以上	約500回	約300回
本体A	2800回以上	約400回	約1000回

● メカニカルシールの温度－トルク特性計測方法

- 治具を横置きに変更して実機と同一の横置き体系で計測
- メカニカルシール温度は放射温度計により計測

● メカニカルシールの温度－トルク特性計測結果

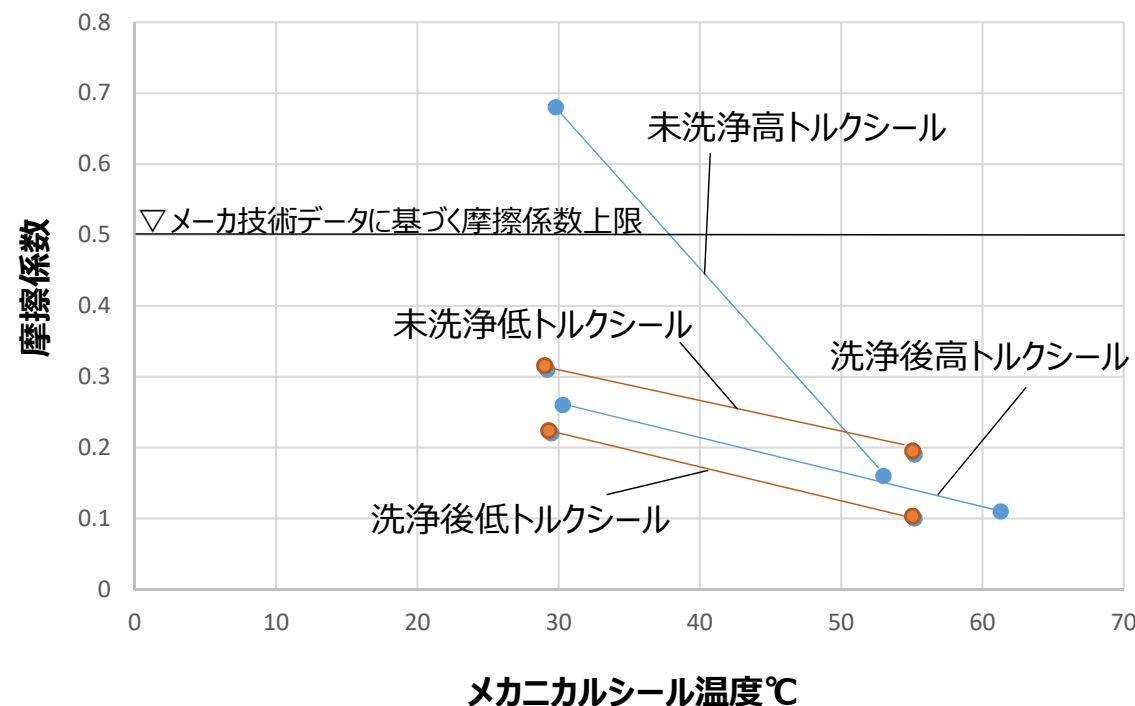
- トルクの状態に係わらず、メカニカルシール温度が高くなると摩擦係数は低下
 - 表面温度が50℃以上の摩擦係数は全て0.2未満に低下
 - 表面を洗浄することで摩擦係数は低下
 - 加熱後温度低下するとトルクは再度上昇
- ⇒ 本体Aのトルク上昇は発生しない見通し



治具を横置きとしたトルクレンチによる簡易トルク測定状況

<トルクと温度の関係測定結果>

部位	対象シール	温度℃	摩擦係数
本体B 表面未洗浄	低トルクシール	29.2	0.31
		55.2	0.19
	高トルクシール	29.8	0.68
		53	0.16
本体B 表面洗浄	低トルクシール	29.5	0.22
		55.2	0.10
	高トルクシール	30.2	0.26
		61.3	0.11



- 点検（メカニカルシール交換）後の本体B、本体Aの作動試験データ
 - ・本体B：爪開閉トルクは、34Nmから約12Nm低下して22Nmとなり、2018年の処理開始前よりも小さい
昇降トルク差も、109Nmから約50Nm低下して59Nmとなり、2018年の処理開始前よりも小さくなり、
正常に復旧
 - ・本体A：爪開閉トルクは、20Nm程度と点検前及び2018年の処理開始前よりも小さい
昇降トルク差も、2018年の処理開始前と同等で正常

（参考）

部位	対象トルク	トルク値（Nm）		
		点検後	点検前	2018年の処理開始前*
本体B	①高速上昇トルク最大	169	200	189
	②高速下降トルク最小	110	91	108
	昇降トルク差(①－②)	59	109	81
	爪開閉トルクはなし動作時最大	22	34	33
本体A (参考)	①高速上昇トルク最大	264	262	264
	②高速下降トルク最小	211	224	215
	昇降トルク差(①－②)	53	38	49
	爪開閉トルクはなし動作時最大	20	28	25

*：2018年7月から8月上旬の値

燃料体水平方向の移動可能範囲が増えることによる影響

1. 燃料取出し機能への影響

燃料体頂部の移動可能距離が増えることから、燃料体の倒れ込み量が増える。この影響を評価し、炉心からの燃料体取出しができない事態に至らないことを確認する。

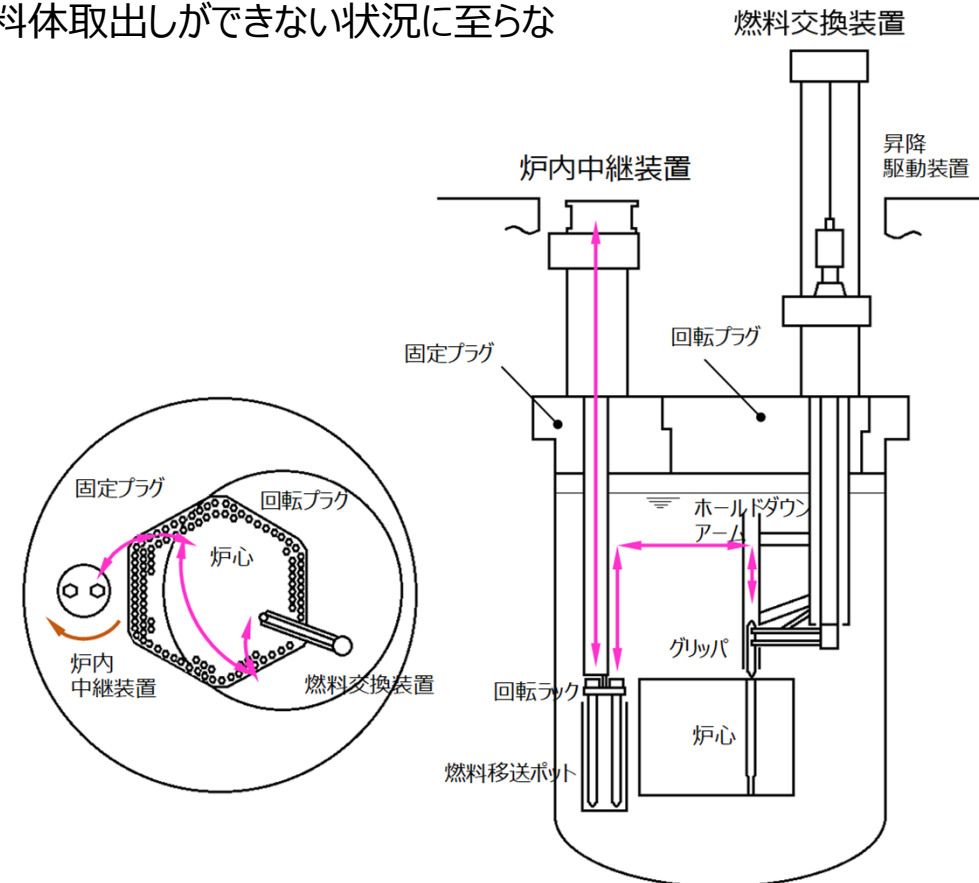
2. 地震時の炉心体系維持機能への影響

燃料体同士の移動可能範囲が増えることから地震時の炉心燃料体の震動状況が変わる。この影響を評価し、燃料体が大きく変形(過大な変形)せず、炉心から燃料体取出しができない状況に至らないことを確認する。

燃料取出設備の動作概要

- ① 回転プラグの回転及び燃料交換装置ホルト`ダウンアームの旋回によりグリッパを目標位置へ移動
- ② グリッパを下降、燃料体頂部と接続し、燃料体を炉心から引き抜き
- ③ 回転プラグの回転及びFHMホルト`ダウンアームの旋回により、燃料体を炉内中継装置燃料移送ポット上部へ移動
- ④ 燃料体を下降し燃料移送ポット内へ収納、グリッパを切離し
- ⑤ 炉内中継装置回転ラックを回転
- ⑥ 燃料出入機のグリッパを下降、燃料体頂部と接続し燃料体を取り出し

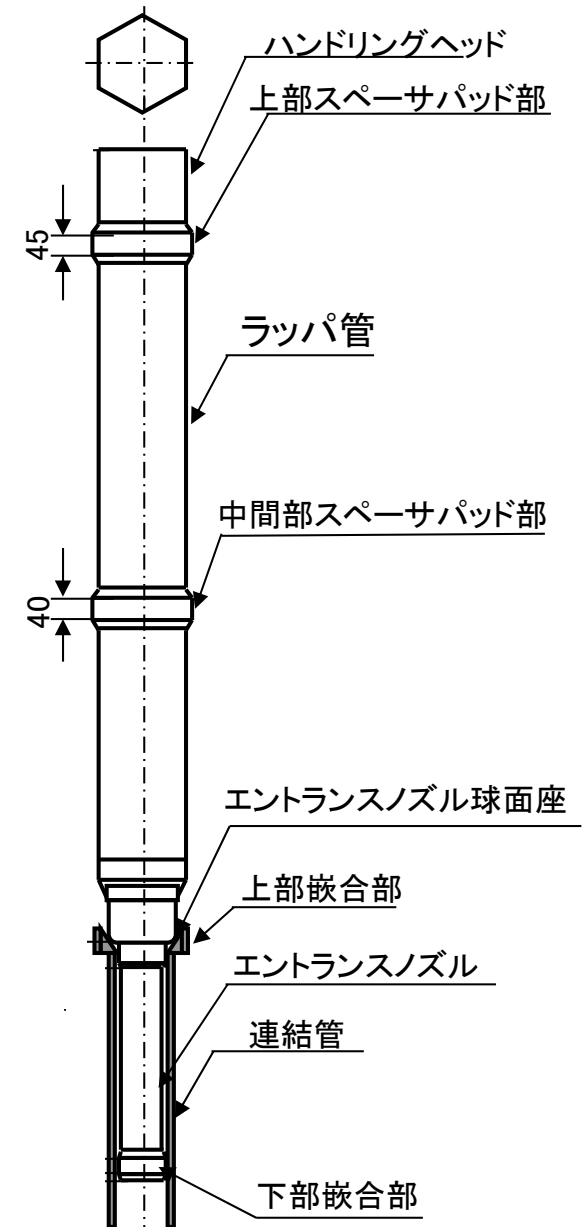
設計想定を超える燃料体頂部の位置ずれや、燃料体の過大な変形は、炉心からの燃料体取出しに影響を与える。



原子炉容器廻りの燃料取扱設備

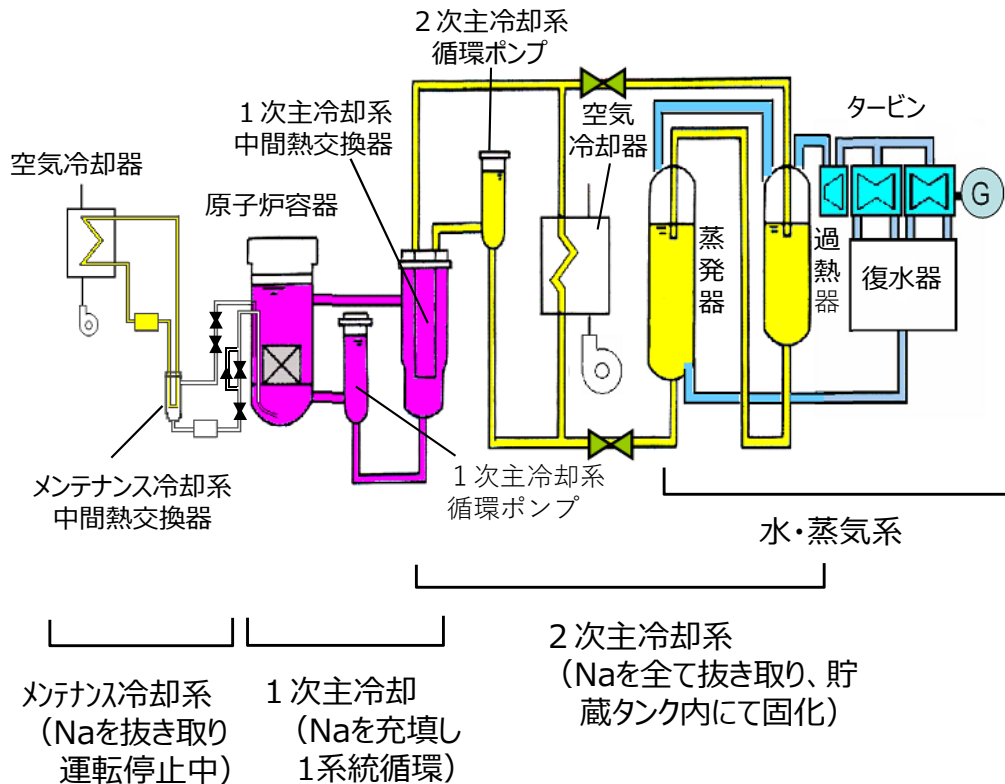
【参考】部分装荷時の跳び上がり量

- 運転時には、炉心の地震時健全性及び地震時の炉停止機能確保の観点から、地震時の制御棒挿入性評価が必要
- 耐震バックチェック時の跳び上がり評価は判定基準45mm * に対し、38mm
 - * 炉心構成要素の跳び上がりが生じて炉心構成要素の水平方向支持が維持されること
(上部スペーサパッド部の幅45mmを超える跳び上がりが発生し、水平方向支持はずれが生じないこと)
- 一方、廃止措置段階のもんじゅにおいては、既に制御棒は全数挿入され、制御棒挿入性評価は不要
⇒燃料体の跳び上がり評価は不要
- なお、部分装荷における最大跳び上がり量は、中性子しゃへい体領域までを含む全炉心において20mmを超えない程度

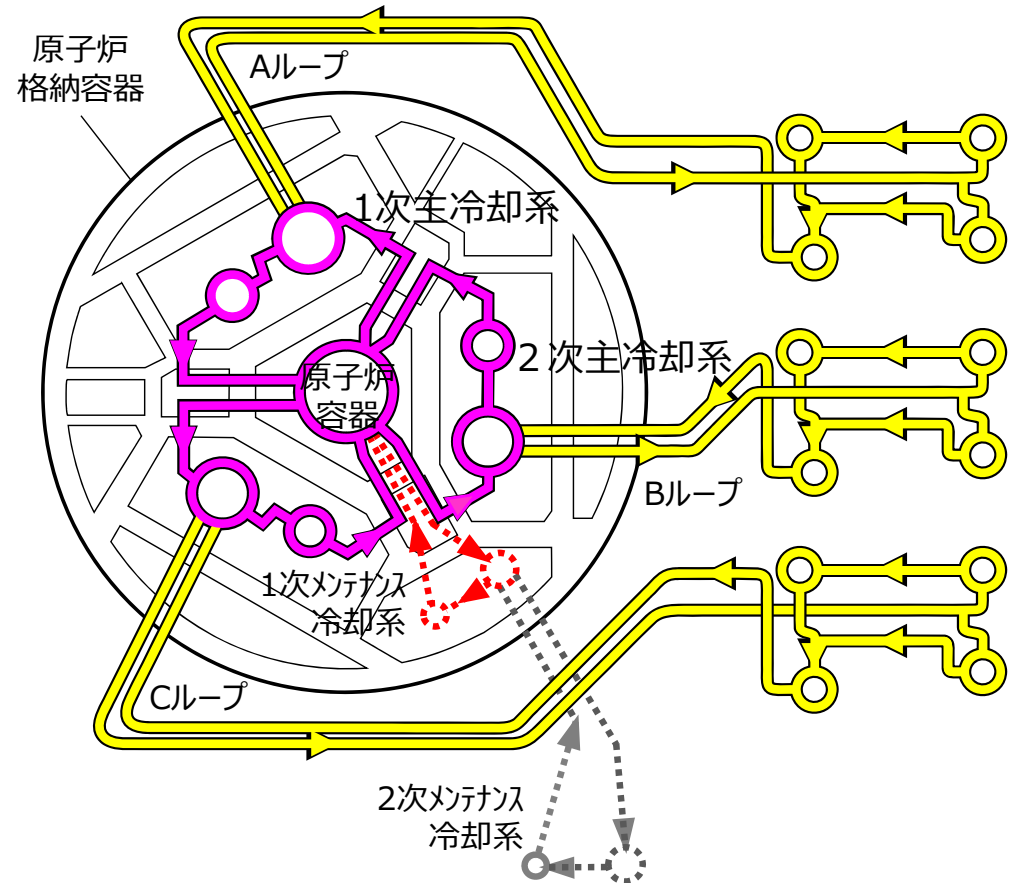


燃料体及び連結管の概要図

冷却系 系統図



平面図



もんじゅの冷却系統は、主冷却系 3 系統 + メンテナンス冷却系 1 系統の計 4 系統から構成され、炉心冷却機能に冗長性を有した設計。

ナトリウム系統は予熱設備を有しており、1次主冷却系、1次メンテナンス冷却系を循環することで原子炉容器への入熱が可能。4 系統の入熱源があり、原子炉容器内のナトリウムの凍結防止に対しても冗長性を有す。更に、原子炉容器も予熱ヒータを有している。

以上のとおり、原子炉容器内のナトリウムは容易に凍結しない。