

「もんじゅ」の燃料体取出し作業の進捗状況

2019年10月17日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

◆ 前回（9月12日）の監視チーム会合においてご指摘を受けた以下の事項について説明

9月12日のご指摘	本日の資料（目次）
燃料体取出し作業の進捗	1. 燃料体取出し作業工程 2. 燃料体の処理の準備状況
1次ナトリウム純化系コールドトラップ循環ブロー停止時における対応 機構職員の問題意識、技術能力の向上、マネジメントについて説明すること	3-1. 1次ナトリウム純化系コールドトラップ循環ブロー停止時の措置 3-2. 現場力向上に向けた取り組み
規則の多さ、所内の課の連携について対応すること	4. その他の取り組み

- ◆ 炉心からの燃料体の取出しについて、9月17日に開始、10月11日に100体の取出しを完了(工程に影響する不具合は発生せず)
- ◆ 燃料体の処理に向け、10月15日から機器片付け等を実施中
- ◆ 燃料体取出し作業工程について、廃止措置計画変更を届出予定

1. 燃料体取出し作業工程

	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
原上措置計画 燃料体の取出し (100体)				燃料体の取出し			
原上措置計画 燃料体の処理 (130体)						燃料体の処理	
項目 スケジュール							
1. 燃料体取出し作業 ① 燃料体の取出し	<p>予備 (7日間)</p> <p>総合機能試験 予備 (4日間)</p> <p>事業自主検査① (燃料取扱設備) 模擬訓練</p> <p>10/17</p>	<p>★ ホールポイント1 総合機能試験着手判断</p> <p>★ ホールポイント2 燃料体の取出し 作業 着手判断</p> <p>新燃料貯蔵ラックへの 模擬体搬入</p> <p>燃料体の取出し</p>	<p>・機器片付け ・機器洗浄 ・ドリップ洗浄 ・グリッド交換等</p>				
② 燃料体の処理						燃料出入機手入れ	<p>☆ ホールポイント3 燃料体の処理作業 着手判断</p> <p>燃料体の処理作業 (6月まで)</p>
2. 事業自主検査 検査① (燃料体取出しまでに実施すべき検査) ・燃料取扱設備 ・ナトリウム系 ・一般ユーティリティ等 の関連設備	<p>予備 (10日間)</p> <p>燃料取扱設備</p> <p>2019/9/4 検査終了</p>						
検査② (燃料処理開始までに実施すべき検査) ・燃料取扱設備	<p>ナトリウム系 (1次主冷却系設備、炉外燃料貯蔵槽冷却設備等)</p>						
検査③ (その性能維持施設に係る検査) ナトリウム系 (2次冷却系設備、2次冷却材ナトリウム一時保管用タンク(不活性ガス圧力確認)等) ・ナトリウム系 ・一般ユーティリティ等 の関連設備	<p>一般ユーティリティ等 (換気設備、固体廃棄物処理設備等)</p>						

2. 燃料体の処理の準備状況

燃料体の取出しの機器片付け等を完了した後、燃料体の処理の作業として以下を実施する予定

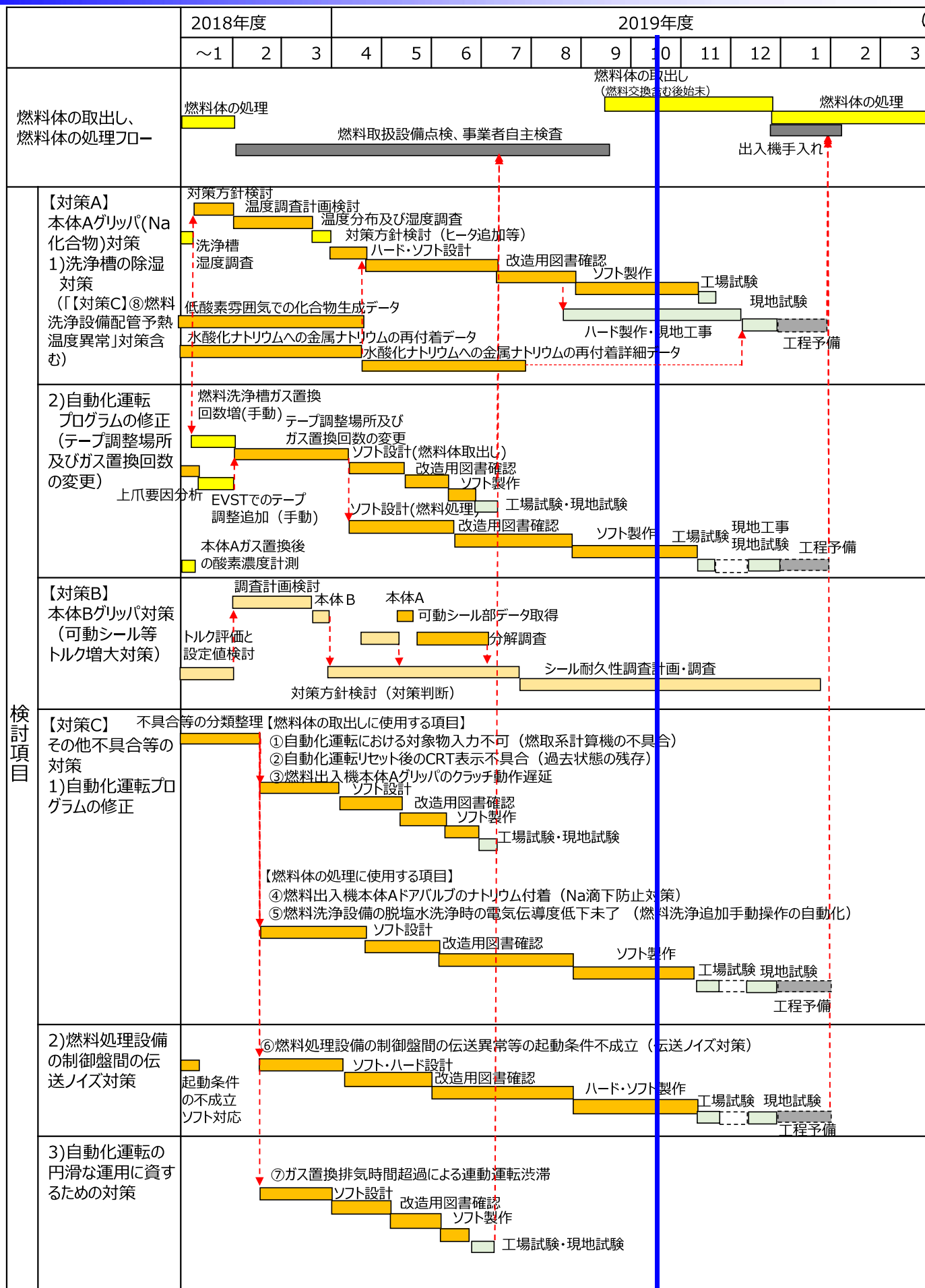
- 燃料出入機（本体A）手入れ
ドアバルブ、グリッパ、スクレーパー等のナトリウム浸漬もしくは付着部位を分解して手入れ
- 昨年度の燃料体の処理において発生した不具合への対策（次頁）
以下の対策が順調に進捗しており、今年度の燃料体の処理作業開始までに完了予定
 - ・【対策A】燃料出入機本体A グリッパ（ナトリウム化合物）対策
 - ・【対策B】燃料出入機本体B グリッパ対策
 - ・【対策C】その他不具合等の対策（自動化運転プログラムの修正等）
- 燃料体の処理体制の構築
昨年度の燃料体の処理作業において試行した2直体制と同様の体制を構築
（操作チーム5班体制、設備チーム4班体制）
- 事業者自主検査/施設定期検査
検査②（燃料体の処理作業までに実施すべき検査）を優先的に実施予定
- 実施計画書の策定

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

解決すべき課題と不具合対策		完了時期	備考
【対策A】燃料出入機本体Aグリッパ (Na化合物) 対策 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)
	【対策B】燃料出入機本体Bグリッパ対策 ・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
【対策C】その他不具合等の対策 1)自動化運転プログラムの修正 2)燃料処理設備の制御盤間の伝送ノイズ対策 3)自動化運転の円滑な運用に資するための対策	① 自動化運転における対象物入力不可 (燃取系計算機の不具合)	完了	
	② 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	総合機能試験で実機確認済 (8月中旬)
	③ 燃料出入機本体Aグリッパのクラッチ動作遅延	完了	総合機能試験で実機確認済 (8月中旬)
	④ 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	
	⑤ 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	現地試験で確認予定 (12月)
	⑥ 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)	1月	
	⑦ ガス置換排気時間超過による連動運転渋滞	完了	実動作試験で実機確認済 (7月中旬)
	⑧ 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)

燃料体の処理時の不具合対策等の実施状況詳細工程



工程表内の①～⑧は資料1, P 4の①～⑧に同じ。

3-1. 1次ナトリウム純化系コントロールラップ循環ブロウ停止時の措置

➤ 経緯

- ・1次ナトリウム純化系コントロールラップ循環ブロウ（以下、「循環ブロウ」）A号機を起動
- ・7月17日に停止（故障）したため、B号機にてナトリウム純化運転を継続中

➤ 循環ブロウ停止時の対応

循環ブロウが2台とも停止した場合、1次ナトリウム純化系を停止するため、プラグ計による1次ナトリウム純度（酸素濃度）確認不可
⇒保安規定に基づき、カバーガス純度監視装置によりアルゴンガス純度をもって1次ナトリウム純度を確認

➤ 燃料体の取出しにおける酸素濃度（不純物）の増加要因と純度管理

- ・燃料出入機ドアバルブ、燃料出入孔ドアバルブの開閉に伴って持ち込まれる不純物
→ カバーガス純度監視装置の指示値により1次ナトリウム純度（酸素濃度）確認可能
- ・炉心構成要素等（燃料体の取出し時は模擬燃料体）に付着して持ち込まれる不純物
→ 1次ナトリウム純化系が使用できない場合、100体程度受入後の酸素濃度は、2.2ppm程度※と想定（保安規定の管理目標値（酸素）の10ppm以下）

➤ したがって、循環ブロウが2台とも停止しても、純度の観点から燃料体の取出しを継続可能であるが

- ①循環ブロウが2台とも停止した場合には、燃料体の取出しを一旦中断し、状況を確認
- ②故障している循環ブロウA号機を速やかに復旧

※：2.2ppm程度の根拠

○現在の酸素濃度：1.5ppm（プラグ温度130℃を酸素濃度換算）

○燃料体の取出時に1次冷却系内に持ち込まれる酸素量を、1994年の燃料装荷時のプラグ温度データをもとに計算モデルにより算定：

燃料1体当たりの酸素の持ち込み量*（は約5.3g ⇒ 100体で約530gであり、760トンの1次ナトリウムに対し、0.7ppm程度増加

○この「約5.3g」は、もんじゅのコントロールラップ設計資料に基づき、

50MW SG試験施設における単位面積当たりの酸素の吸着量の実績値を用いて

【酸素の持ち込み量】＝【単位面積当たりの酸素吸着量】×【もんじゅ燃料のナトリウム接液面積】

として算出した「4.2g程度」と比較してもほぼ同等の値であり妥当

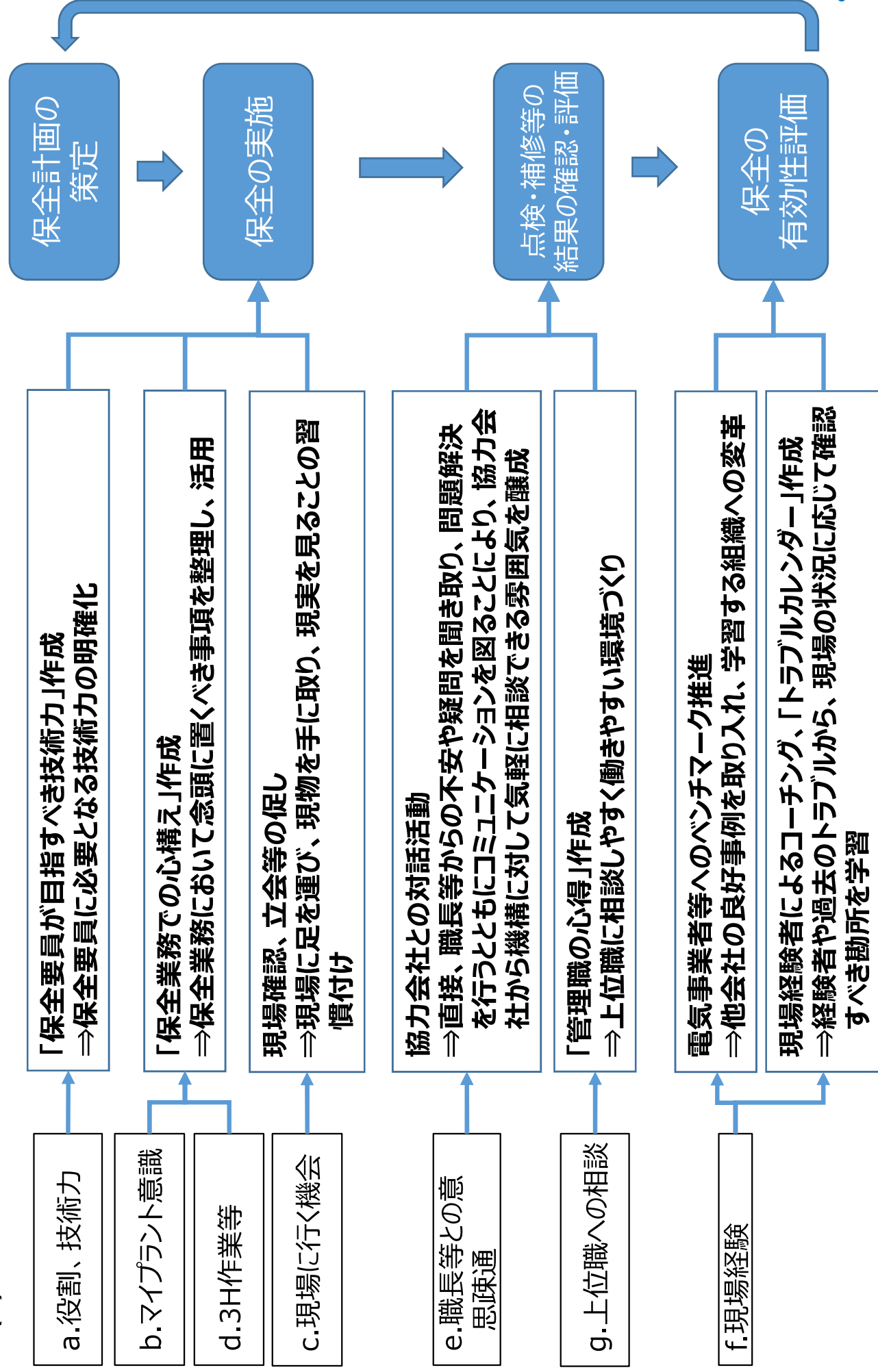
3-2. 現場力向上に向けた取組み(1)

(1)循環ブローが故障に至った要因から、背後要因を考察

事象	要因	背後要因
<p>電動機のベアリングを逆向きに取り付け</p>	<p>担当者は特殊なベアリングであることを認識せず</p>	<p>a. 保全要員の目指すべき役割、技術力に対する認識が低い b. もんじゅでの勤務が短い保全要員が多く、マイプラント意識の浸透が不十分</p>
	<p>ホールポイント(立会項目)となっていないため、ベアリングの取付け確認せず</p>	<p>c. 現場に確認に行く機会が減少 d. 3H作業等の、トラブルが起こりやすい状況を認識した対応が不十分</p>
<p>通常とは異なる電動機駆動音の上昇が異常の兆候として報告されず</p>	<p>判断基準内、かつ、違和感程度であったため、異常の兆候であると勇断できず</p>	<p>c. 現場に確認に行く機会が減少 e. 現場を熟知している協力会社の作業グループの職長等との意思疎通が不十分 (気になる程度の機器情報が担当者に伝わりにくい) f. 保全経験の少ない保全要員が多い →現場に行っても、定められた確認項目以外の確認ポイントが理解が不十分 →異常の兆候の判断に不安感</p>
	<p>駆動音の上昇に気づいた際に上位職と相談せず</p>	<p>g. 職場に繁忙感があり、現場で気づき事項や疑問点が発生しても、上位職への相談を切り出しにくい雰囲気</p>

3-2. 現場力向上に向けた取り組み(2)

(2)抽出した背後要因に基づき、現場力の更なる改善のため、以下の対策に取り組む



4. その他の取り組み

規則の整理

【問題点】

- ・過去、保守管理不備への対応として、多数の再発防止対策を実施
→個人の力量不足を補うために数多くのチェックプロセスを設けた結果、審議資料作成、審議体開催等にかかるルールが増え、手続さも煩雑化

【対策】

- ・保守管理関係の規則56文書を5文書に整理・統合、保守管理業務支援システムの充実により、毎月の実績管理の効率化等を実施予定。
- ・燃料管理関係の規則 4 文書を 1 文書に整理・統合、「炉心構成要素取替等移動計画」等の計画作成手続さを効率化。
- ・工程管理、文書管理等に関する規則も同様に整理予定

課間の連携強化

【問題点】

- ・施設定期検査において指摘されたコメントが、他課に反映されていない
→機械保全課・電気保全課・燃料環境課の 3 課に跨って検査対応を実施しているため、検査に関する指摘事項や周知事項等の情報が速やかに共有化できていない

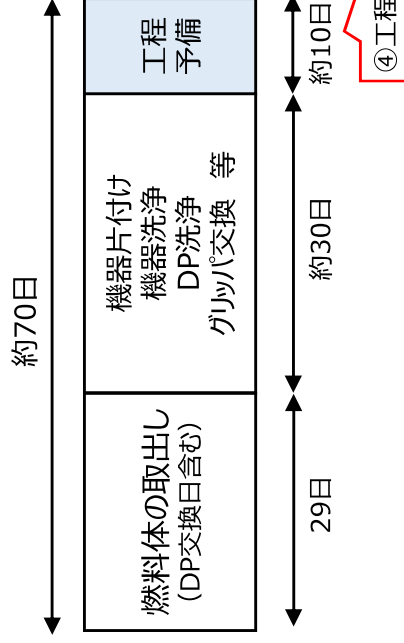
【対策】

- ・指摘等を所内で共有するため、検査経験者を事務局に取り込むことによって検査事務局体制を強化
- ・上記 3 課の座席配置を集約、主要メンバーについて兼務となるよう体制を見直し
- ・課間の連携が図れるように情報の共有化を行っている部会で、課間の懸案事項やインターフェイスにかかる事案等について議論を追加し、対応状況まで事務局がフォローするよう部会運営を強化

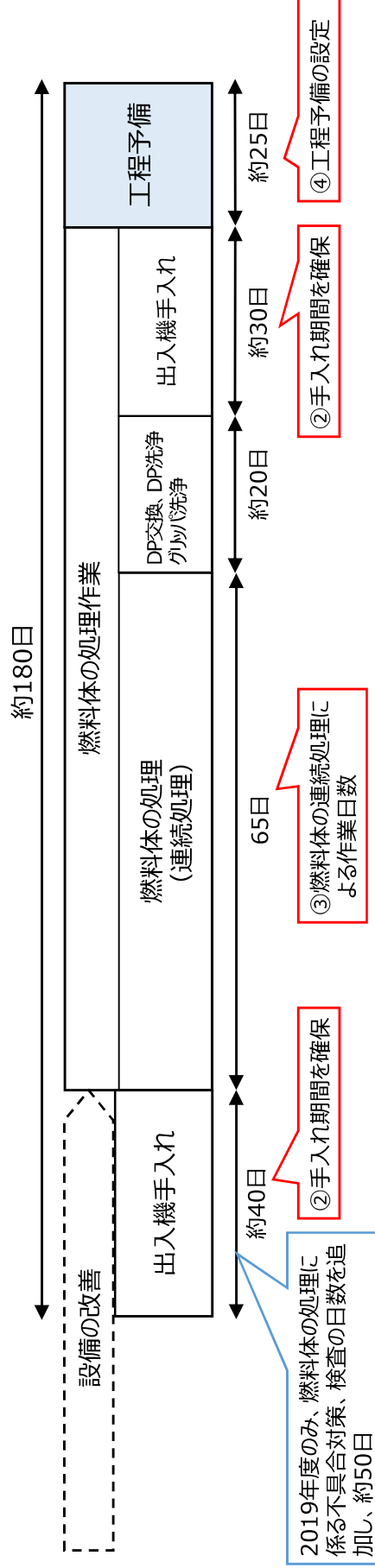
以下、参考資料

燃料体取出し作業工程の考え方

- 燃料体の取出し（100体取り出す場合の日数根拠）



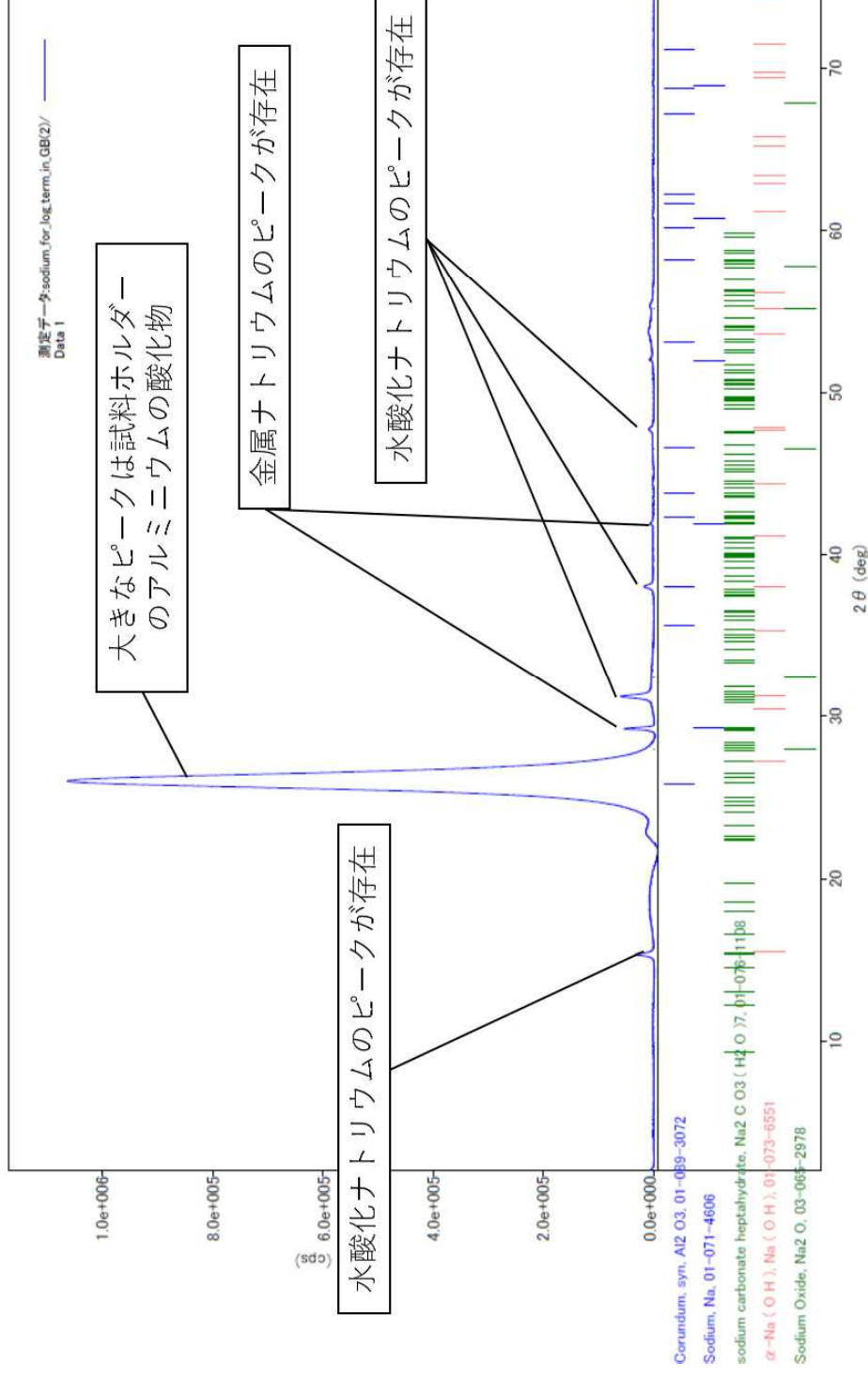
- 燃料体の処理（130体処理する場合の日数根拠）



【対策A-1】燃料出入機本体Aグリッパ上爪の対策(3/3)

<要因分析結果を補完する実験データ取得>

- ✓ 低酸素雰囲気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
- ◆ 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



【対策A-2】燃料出入機本体Aグリッパ下爪の対策(1/3)

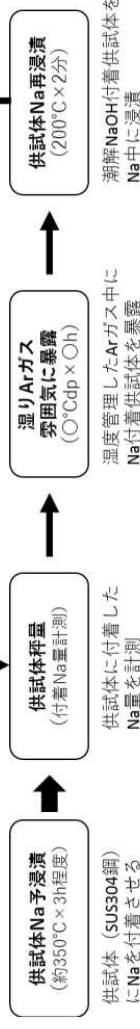
2) 本体Aグリッパの下爪のトルク上昇要因と対策

トルク上昇の要因 (推定)	実施済対策と効果	要因分析を補完する 実験データ取得	今後の追加対策
<ul style="list-style-type: none"> 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） 	<ul style="list-style-type: none"> 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） <p>☆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。 ⇒ 更なる燃料洗浄槽の湿分低下対策を実施</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>今後の追加対策</p> <ol style="list-style-type: none"> 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、さらに乾燥ガスのブローダウンによるグリッパ廻りの湿分低減についても検討中 ⇒ 燃料体の処理作業までに対策 燃料洗浄槽及び配管の温度分布測定に基づきヒータの追加設置 部位を具体化 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 ⇒ 燃料体の処理作業までを実施 炉心からの燃料体の取出し後の本体A点検 燃料体取出し時に本体Aのグリッパテープ及びスクレーパーに多量のナトリウム付着が予想される ⇒ 燃料体の処理作業まで点検を実施

【対策A-2】燃料出入機本体Aグリッパ下爪の対策(2/3)

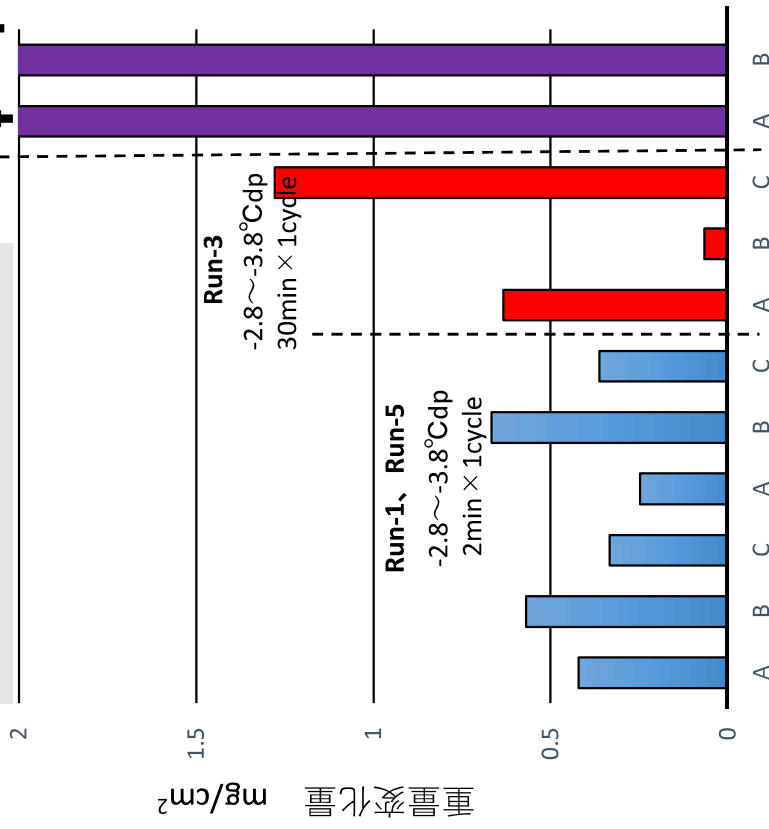
<要因分析を補完する実験データ取得>

✓ 雰囲気湿度とNa化合物付着量の関係データ

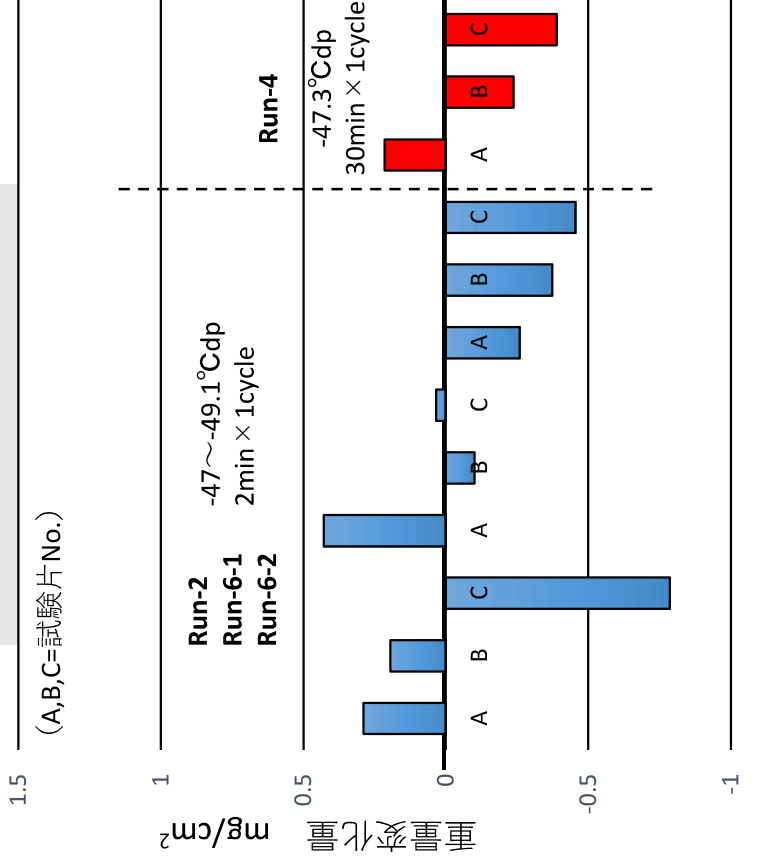


実験手順

高湿度雰囲気暴露



低湿度雰囲気暴露

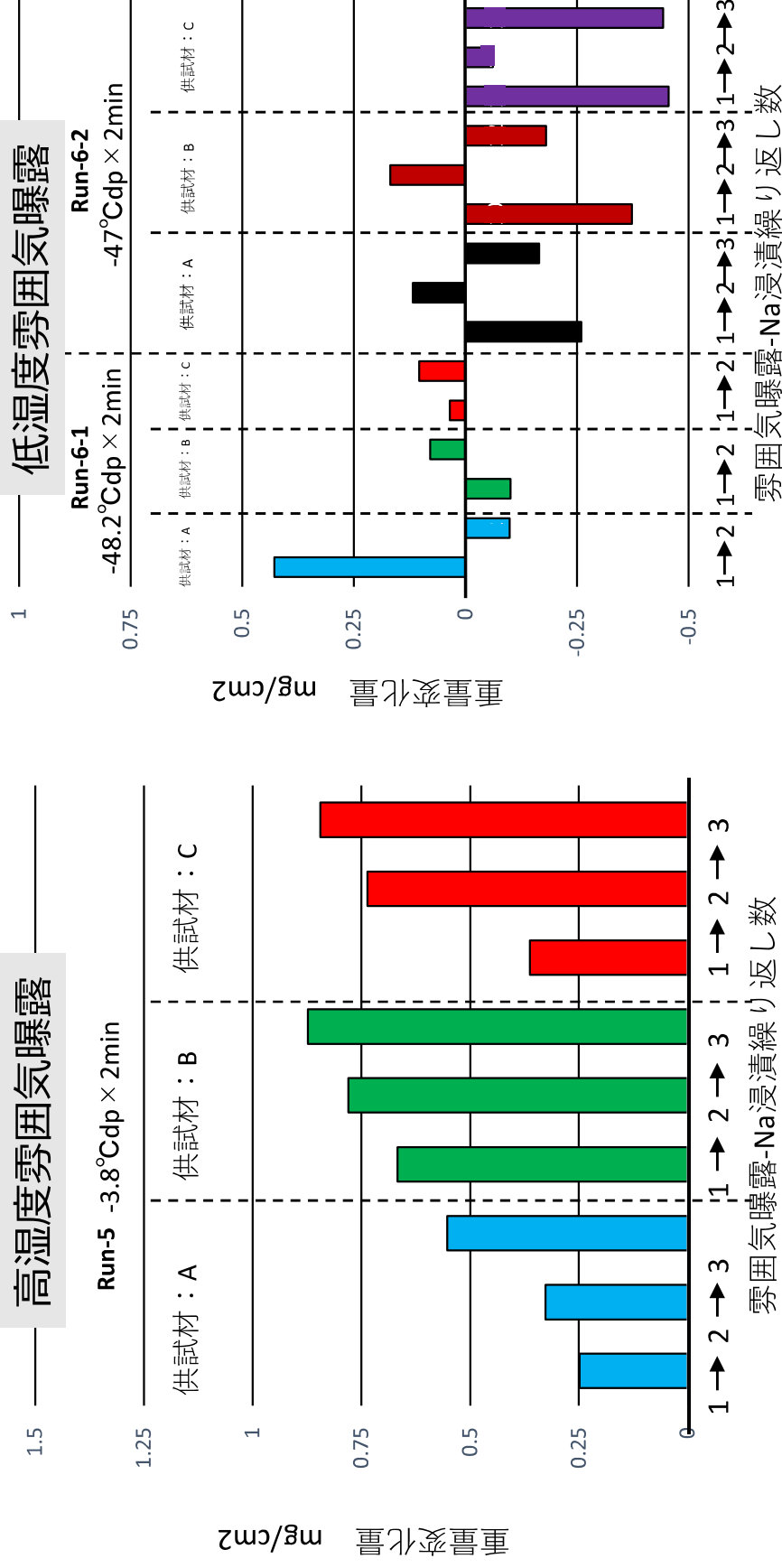


- 再附着ナトリウム量：高湿度雰囲気暴露 > 低湿度環境暴露
 - 暴露時間：高湿度雰囲気 → 暴露時間に比例し再附着ナトリウム量が増大する傾向
低湿度雰囲気 → 暴露時間の影響はみられない
- ※低湿度環境に暴露した供試材表面のナトリウム化合物は、ナトリウム再浸漬の際に剥離する挙動を観察

【対策A-2】燃料出入機本体Aグリッパ下爪の対策(3/3)

＜要因分析を補完する実験データ取得＞

✓ 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)

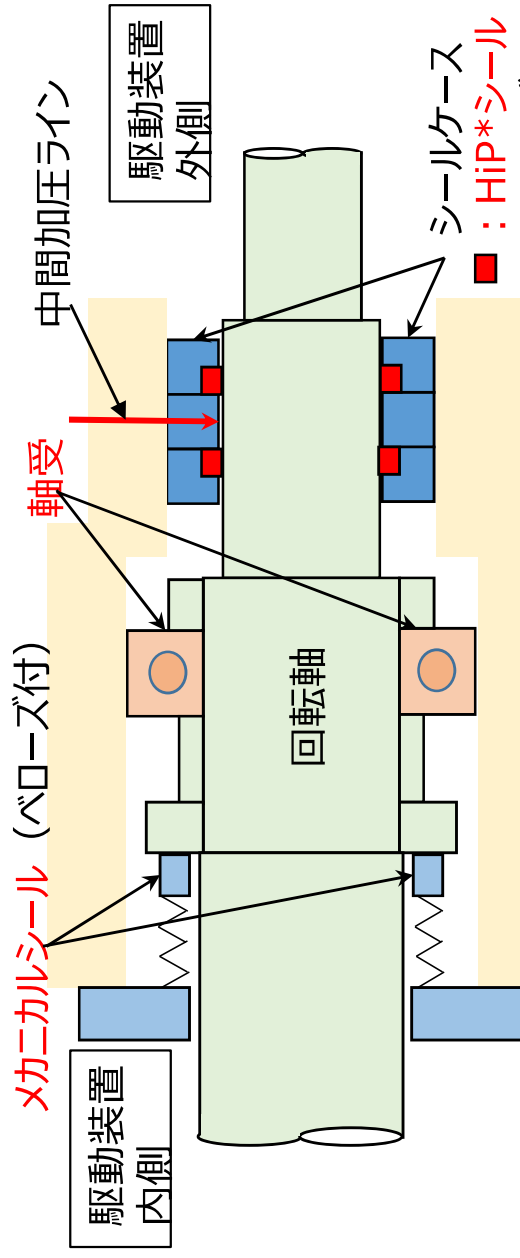


ナトリウム再付着量

- ・ 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

今後の対策

トルク上昇の要因 (推定)	今後の対策
<ul style="list-style-type: none"> 摺動抵抗トルク (可動シール部またはスクレーパー部) が増大して、爪開閉トルクが上昇 	<ul style="list-style-type: none"> 可動シール部とスクレーパー部について、手入れと摺動抵抗部品の交換を行い、分解点検後に復旧する ⇒ 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 ⇒SH21 可動シール部等のトルク上昇原因調査 (分解調査) 可動シール部のメカニカルシールのトルク上昇が支配的新品交換でトルク低下し、予想作動回数ではトルク上昇しない見通し。温度が低くなるとトルク上昇する傾向を確認し、本体Aではトルク上昇のない見通し。 ⇒SH19,SH20 2019年度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で可動シール部を交換可能な準備する。メカニカルシール耐久性調査でトルク上昇特性データを取得する。 ⇒SH22



注* : HiP
= High Performance
可動シール部概略構造 赤字: 摺動抵抗部品 (バウンダリ構成)

● 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

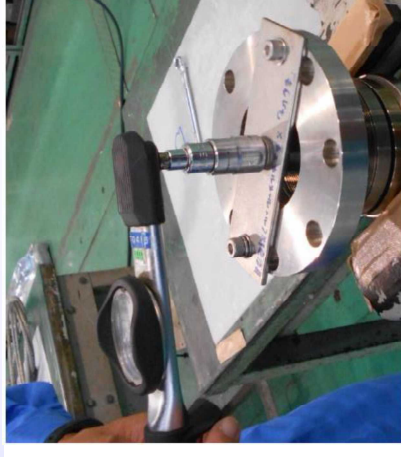
② トルク簡易測定

◆ 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 ⇒SH21
- 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よって、トルクが上昇しなかった可能性を確認 ⇒SH20



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
本体A	未使用品	0.22～0.43
	可動シール部B側	0.46
	可動シール部A側	0.91

*：メーカ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＞

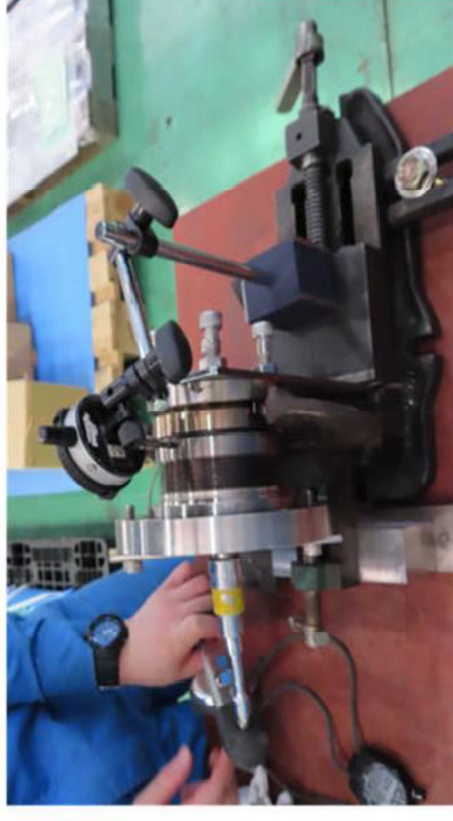
部位	通算昇降回数	2018年昇降回数	2019年度昇降回数見通し
本体B	1000回以上	約500回	約300回
本体A	2800回以上	約400回	約1000回

●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
- メカニカルシールの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

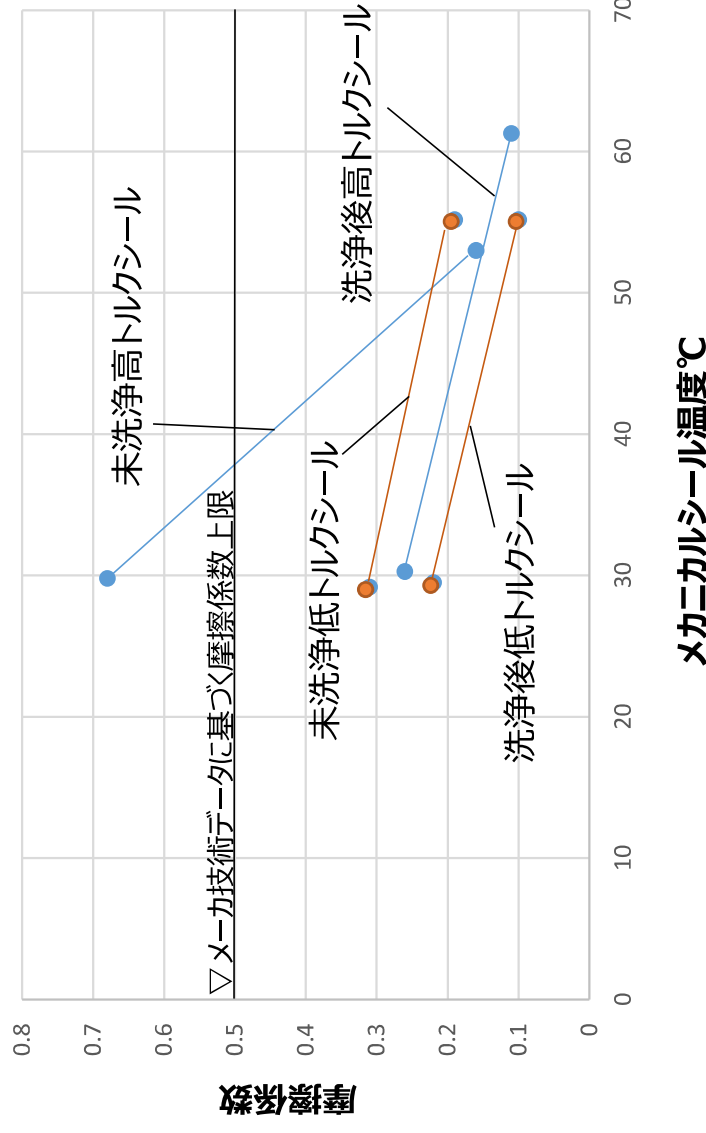
- トルクの状態に係わらず、メカニカルシール温度が高くなると摩擦係数は低下
 - 表面温度が50℃以上の摩擦係数は全て0.2未満に低下
 - 表面を洗浄することで摩擦係数は低下
 - 加熱後温度低下するとトルクは再度上昇
- ⇒ 本体Aのトルク上昇は発生しない見通し



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
本体B 表面洗浄	低トルクシール	53	0.16
		29.5	0.22
	高トルクシール	55.2	0.10
		30.2	0.26
		61.3	0.11



メカニカルシール温度℃

- 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

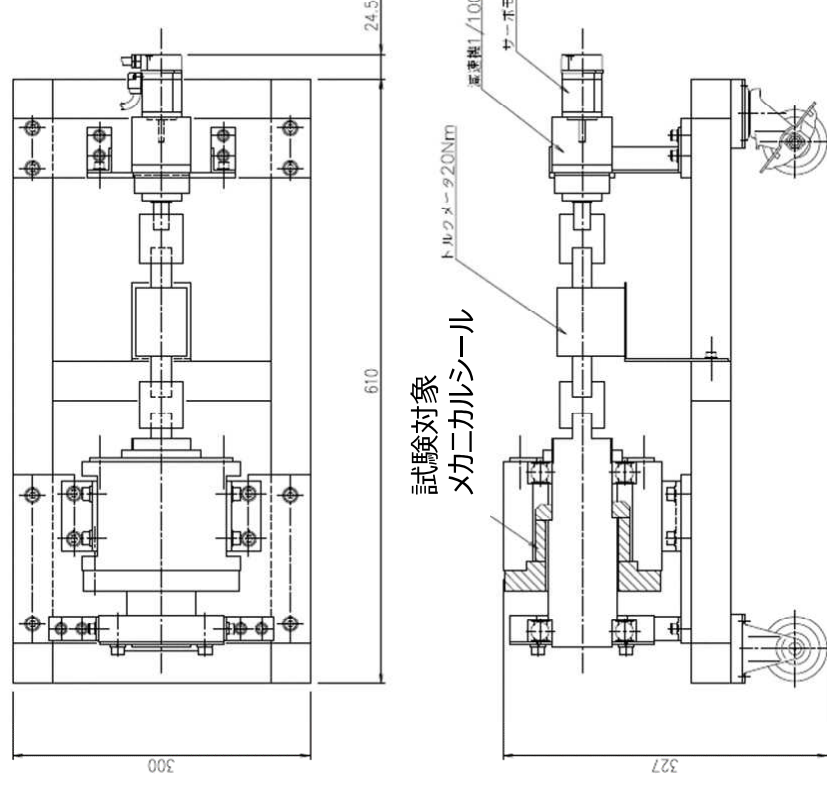
*：2018年7月から8月上旬の値

● メカニカルシール耐久性調査 (計画中)

- ・目的：本体Bのグリップ昇降回数相当の回数動作させることで新品シールのトルクの上昇特性を確認

・調査条件

- 回転速度：実機相当 (約 5 rpm)
- 動作：上昇、下降を模擬して回転方向を変えて間欠回転
- 作動回数：300回以上
- 雰囲気条件：温度15°C程度に制御
- 測定項目：作動時トルク、温度



1) 自動化運転プログラム等の見直し

解決すべき課題	現在検討中の対策	対策時期
<p>④ 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） 【設備改善】</p>	<p>現在検討中の対策</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去に直接冷却系の動作によりドアバルブにNaが滴下することを確認しており、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、燃料出入機本体A直接冷却系の運転を停止する方針を決定。ソフト詳細設計、変更図書整備完了、ソフト製作中。 	<p>燃料体の処理作業（EVST→燃料池）までに対策実施</p>
<p>⑤ 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） 【運用改善】</p>	<ul style="list-style-type: none"> 手動で実施していた追加洗浄運転を自動化するロジックを具体化し、ソフト詳細設計、変更図書整備完了、ソフト製作中。 	

2)伝送ノイズ対策

解決すべき課題	現在検討中の対策	対策時期
⑥ 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【設備改善】	<p>現在検討中の対策</p> <ul style="list-style-type: none"> 伝送異常等が複数発生しており、要因分析から伝送装置に起因すると評価していることから、燃料処理設備の主盤の伝送装置を更新する方針とし、設備更新に伴うソフト・ハード詳細設計、変更図書整備完了。ソフト製作中。 (他の盤の更新については、主盤の更新による効果を確認した上で検討) 	燃料体の処理作業 (EVST→燃料池) までに対策実施

3)その他、自動化運転の円滑な運用に資するための対策

解決すべき課題	現在検討中の対策	対策時期
⑧ 燃料洗浄設備配管予熱温度異常【設備改善】	<p>現在検討中の対策</p> <ul style="list-style-type: none"> 予熱温度設定値と運転時の温度変動 (一時的な温度低下) の不整合 予熱ヒータの警報設定値の最適化等を具体化し、詳細設計、変更図書整備完了。ソフト製作中。 	燃料体の処理作業 (EVST→燃料池) までに対策実施