

もんじゅ廃止措置の実施状況について

2019年3月28日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

- 2018年4月、敦賀廃止措置実証本部を新たに組織し、廃止措置作業（燃料取出し作業）を安全かつ着実に進められるよう、本部ともんじゅが一体となって取り組んできた。
- 今年度の燃料体の処理については、2018年8月30日から2019年1月28日までの86体で終了し、2019年1月29日以降、燃料取扱設備を含めた性能維持施設の定期設備点検（事業者自主検査／施設定期検査）に本格的に移行した。
- 今後の燃料体取出し作業を着実に進め、2022年度に燃料体取出し作業を完遂するために、今年度の処理実績を踏まえ、今後の対策等について検討を進めている。

1.廃止措置の実施状況

2.燃料体の処理実績

3.燃料体処理の経験を踏まえたリスクマネジメント

- 1) 燃料体処理（第1キャンペーン）での経験
- 2) 燃料体処理（第1キャンペーン）での経験を踏まえたリスクのプレアセスメント

4.燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

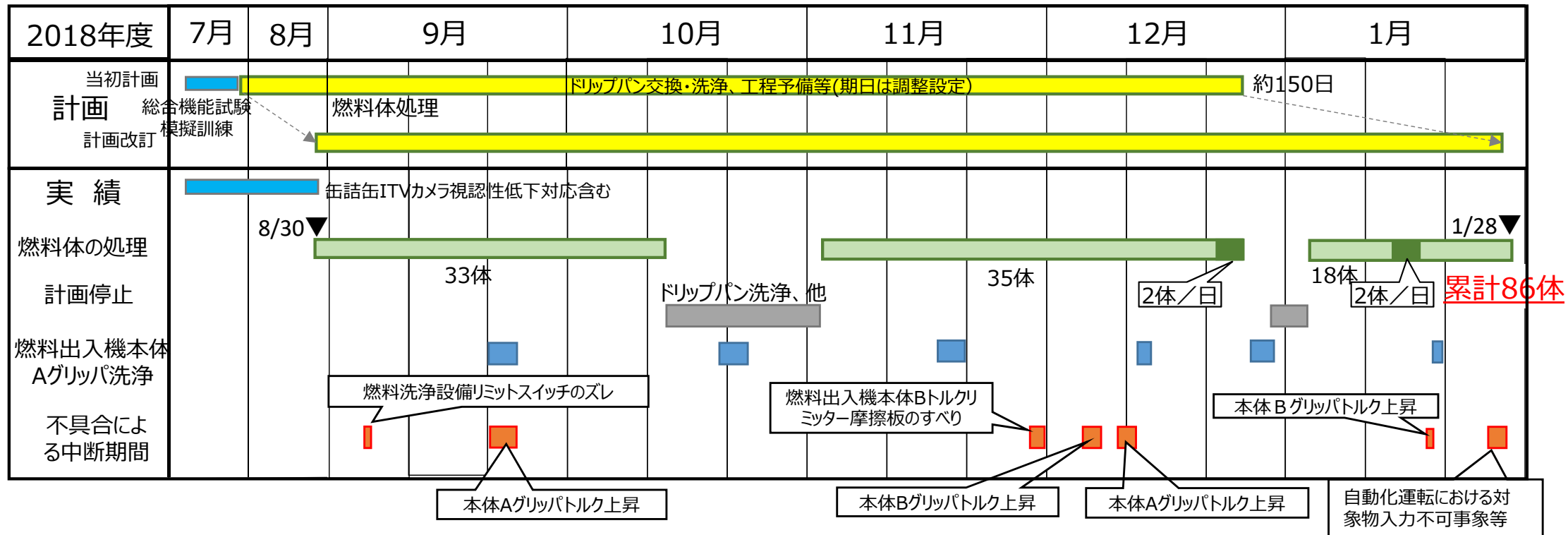
- 1) 設備の改善が必要な事項への対応
 - ・ 燃料出入機本体 A 及び B グリッパのトルク上昇対策
 - ・ その他の不具合等への対策の検討状況
- 2) リソースの確保
 - ・ 燃料体取出し体制の強化
 - ・ 予備品等の確保
- 3) 燃料体取出し作業に想定される事象に対するリスクアセスメントの強化
- 4) 機構内のコミュニケーション活動

1.廃止措置の実施状況

	2月			3月			4月			備考
燃料体の処理 (炉外燃料貯蔵槽(EVST) →燃料池)	点検中									-
燃料体の取出し (原子炉容器→EVST)	点検中									-
模擬燃料体等の準備 (搬入→EVST)	(Puセンター) 模擬燃料体の製作 (炉心燃料領域用)									・模擬燃料体のEVSTへの装荷 現状のEVST装荷体数：103体
	(メーカー) 模擬燃料体の製作 (ブランケット燃料領域用)									・模擬燃料体の製作 「炉心燃料領域用」 製作中。次年度に順次搬入予定 「ブランケット領域用」 製作中。次年度に順次搬入予定
燃料取扱設備点検	回転プラグ分解点検									・点検時において1本の熱電対の絶縁抵抗が低下が認められた(2018年10月)。当該熱電対及び低下の恐れのある熱電対(計3本)を伝送装置の不具合対応後に交換予定。 ・点検において回転プラグ旋回駆動モータ電磁ブレーキの交換が必要となったため、4月以降も点検を継続
	定期設備点検 (事業者自主検査)									
定期設備点検 (事業者自主検査)	主冷却系等点検 (B)			主冷却系等点検 (A)						12月15日から定期設備点検 (事業者自主検査) を開始 以下の検査を規制庁殿の立会のもとで実施、完了。 ・6.原子炉冷却系統施設等の系統運転性能検査のうち、2次冷却材ナトリウム一時保管用タンクの維持機能 (予熱・保温機能) 終了確認検査 ・21.建物及び構築物の外観検査のうち、原子炉建物のライナ外観検査 (Bループ) ・3月以降はB系の設備点検の終了等に併い多くの検査を予定しているため、規制庁殿との調整を図りつつ検査を進める予定 ・今後予定している検査の要領書については、再度精査を行い、検査対象範囲や検査で確認すべき性能を要領書の中で明示する
	RCW・RCWS、D/G等点検 (B)			RCW・RCWS、D/G等点検 (A)						
	<p>(ディーゼル発電機、原子炉補機冷却海水設備等)</p> <p>6.原子炉冷却系統施設等の系統運転性能検査</p> <p>7.ナトリウムを内包する機器・配管の外観検査</p> <p>21.建物及び構築物の外観検査</p> <p>19.D/G, 20.無停電電源装置、23.RCW/RCWSの検査</p> <p>18.換気設備の性能検査</p> <p>33.消火設備の機能確認検査</p> <p>ドレン・充填操作</p> <p>Naタンク降温</p>									
2次系ナトリウムの抜き取り後の 仮設配管の撤去等	仮設配管撤去準備			仮設配管撤去作業			アルゴンガス配管の敷設			12月5日 2次系ナトリウム抜き取り完了 一時保管用タンク内の正圧保持のため、主供給であるアルゴンガスポンプに加え、既設の2次アルゴンガス系統からアルゴンガス配管を敷設し、供給系を多重化
										消防完成検査

2.燃料体の処理実績

燃料体の処理実績



- 缶詰缶ITVカメラの視認性低下等により、燃料体の処理作業開始が1ヶ月程度遅れ（7月→8月）
- 燃料体の処理開始後、燃料出入機本体Aグリッパへのナトリウム付着、燃料出入機本体Bグリッパのトルク上昇、トルクリミッターの摩擦板のすべり等の発生による処理作業の遅延
⇒都度、原因究明・評価の上、標準要領（操作手順書、警報処置手順書等）の見直しやグリッパ環境改善対策（手動ガス置換の追加やガス置換回数増加など）を追加実施し、燃料体の処理を継続
- 今年度の処理計画100体に対し、86体の処理で終了

2.燃料体の処理実績

作業実施体制

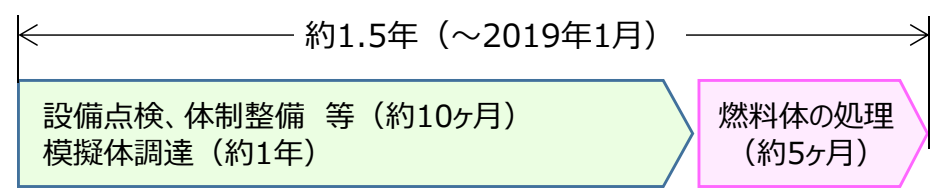
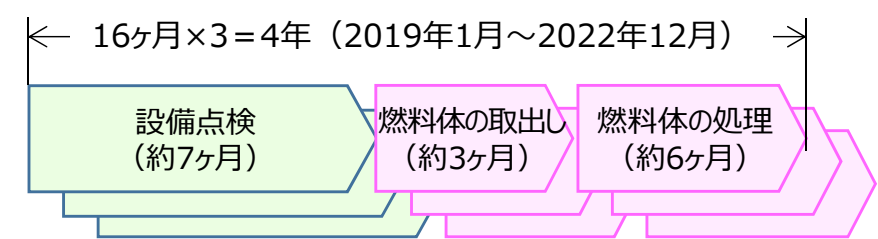
今年度の燃料体の処理作業については、次年度以降の本格的な燃料体取出し作業に向け、

- 3班体制での作業による1日当たり1体の処理を基本に実施し、習熟度の向上を図った
- 5班体制による勤務運営上及び設備上の課題の抽出を目的とし、5班（交替勤務）による燃料体連続処理（2体連続処理）を試行（H30.12.22～12.24（1回目）、H31.1.14～16（2回目））
- 燃料体連続処理の試行実績による評価

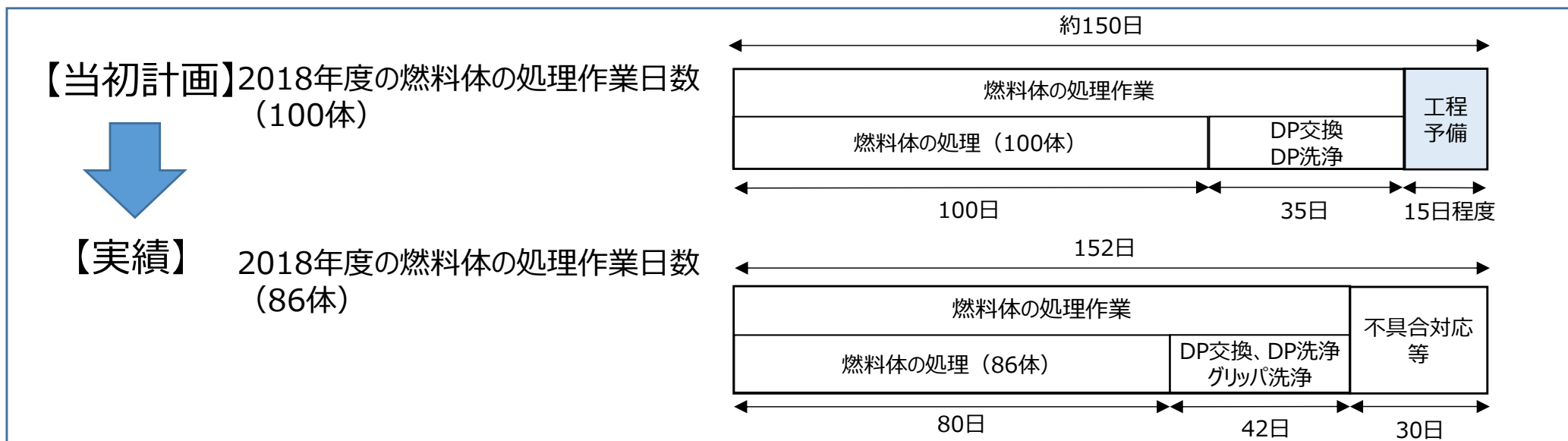
勤務運営上及び設備上において有意な問題は無く、今後、燃料体連続処理は可能と評価

勤務運営上の評価：処理作業時間は18時間程度（不具合対応を除く）であり、交替勤務に影響は無かった
燃料体連続処理では休憩時間を設定しづらく工夫が必要

設備上の評価：燃料体連続処理作業は基本的に1体処理時の動作と同じであるため、連続処理に起因する不具合は特に無く、1体処理時に発生した不具合の対応方針で対応可能

	第1フェーズ：初回の燃料体の処理完了まで	第2フェーズ：本格的な燃料体取出し作業
フェーズ	 <p>← 約1.5年（～2019年1月） →</p> <p>設備点検、体制整備 等（約10ヶ月） 模擬体調達（約1年）</p> <p>燃料体の処理（約5ヶ月）</p>	 <p>← 16ヶ月×3＝4年（2019年1月～2022年12月） →</p> <p>設備点検（約7ヶ月）</p> <p>燃料体の取出し（約3ヶ月）</p> <p>燃料体の処理（約6ヶ月）</p>
燃料体取出し作業	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料体の処理：86体 ● 実績が少ないことを踏まえ、慎重に確認を重ねながら、1日1体の処理を基本（3班体制）に作業を実施 ● 燃料取扱の経験を積むとともに、燃料体処理作業の課題等を抽出し、必要な改善を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料体の取出し：370体、燃料体の処理：444体 ● 操作員の習熟度等の実績を踏まえ、処理計画等適宜見直し（当面の計画）（5班体制） ✓ 燃料体の取出し：当初は5体/日を基本に実施 →実績を踏まえ5体以上(最大10体/日程度)を目指す ✓ 燃料体の処理：交代勤務による連続処理

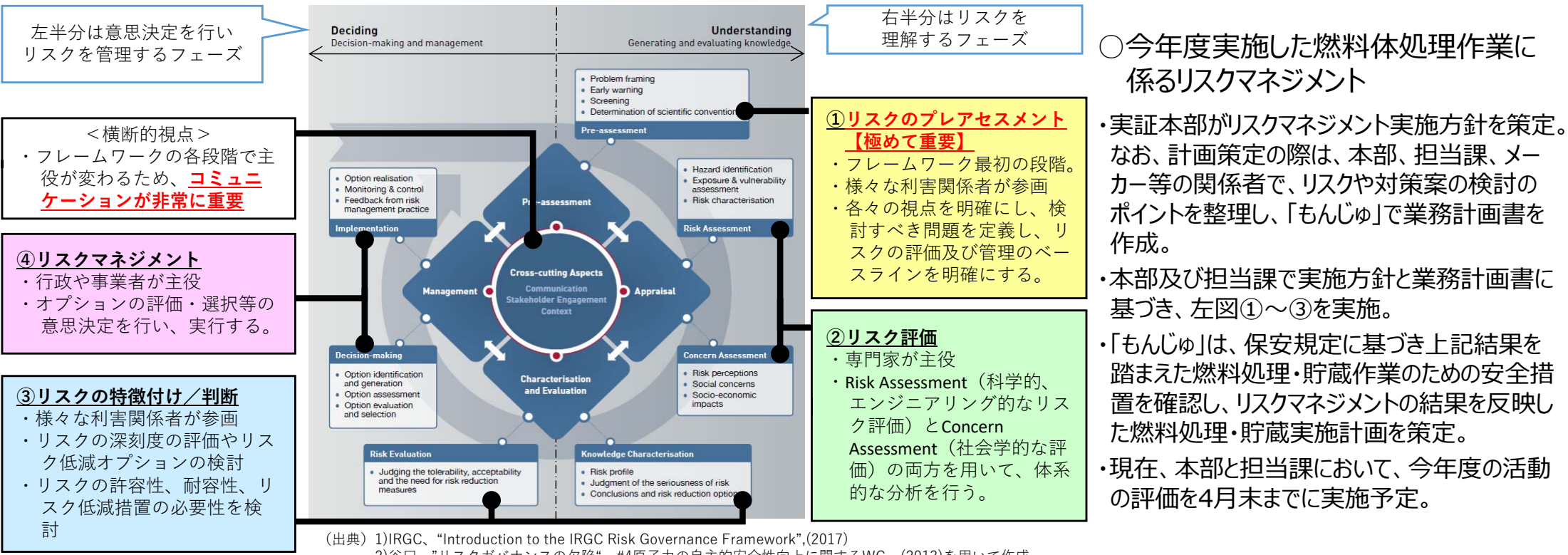
燃料体処理の当初計画と実績



- 燃料体の処理開始が1ヶ月程度遅れたが、処理期間を1ヶ月延長したことで、全体の処理日数としては当初計画から変わっていない
- 当初計画ではドリップパン(DP)の交換と洗浄を行う工程として35日間を予定していたが、グリッパにナトリウム化合物が付着したことでグリッパ爪の動きが悪くなり、回復のために洗浄を必要とする事象が複数回発生したことから、42日に増加した。
- 当初計画では1体/日の処理で100体を計画し、15日程度の工程予備も設けていたが、これまであまり経験がない不具合等が多発し、標準要領で作業できない事象であったことから不適合管理及び是正措置で対応してきたものの、原因の究明、復旧計画の策定及び実施を含めた不適合処理、是正処置などの対応、グリッパ環境改善対策（手動ガス置換の追加やガス置換回数増加など）の追加実施により時間を要した。
- これらの結果、86体の処理で完了

3.燃料体処理の経験を踏まえたリスクマネジメント

- 燃料体処理第1キャンペーン終了を踏まえて、「④リスクマネジメント」から「①プレアセスメント」に戻りP D C Aサイクルを廻していく。
- 第1キャンペーンでは、重要事象（安全上重要な事象/長期的な停止に至る可能性がある事象）は、発生しなかった。
- 一方で、第1キャンペーンで、重要事象以外の不具合が多発したことによる工程遅延の蓄積のために、86体を処理するに留まった。この不具合に対する原因への対策を行い、第2キャンペーンに向けた準備を進めている。
- 特に、燃料体処理第1キャンペーンでの経験（発生した不具合事象、操作チーム員等からの聞き取り）を整理・評価し、対応を図っている。
- これら現在進めている取組みについては、燃料取出し、燃料体処理に係る設備の改造や手順の見直し等は次年度のそれぞれの模擬訓練開始前までに、リスクマネジメントについても、それぞれの模擬訓練開始前の教育訓練開始前までに完了させる。



燃料体処理（第1キャンペーン）での経験（1/2）

今回の燃料処理貯蔵で発生した警報等86件の分類

（65件：暫定完了・完了・監視、21件：今後対策）

要因分類	主な警報等	対策分類*1
機械異常（27件）	<ul style="list-style-type: none"> 燃料出入機本体Aグリッパのつかみはなし異常（グリッパ上爪、下爪のナトリウム固着） 燃料出入機本体Bグリッパのつかみはなし異常 燃料出入機本体Bトルクリミッター摩擦板の滑り 	設備対応 設備対応 設備対応
系統異常（7件）	<ul style="list-style-type: none"> EVSTブローダウン流量異常など 	運用対応
信号異常（38件）	<ul style="list-style-type: none"> 自動化運転における対象物入力不可 伝送異常等の起動条件不成立 低気圧の影響（排気時間超過）による連動運転渋滞 真空ポンプによる排気時間超過による連動運転渋滞 燃料洗浄槽配管予熱温度低 燃料洗浄設備のリミットスイッチのズレ 	設備対応 設備対応 運用対応 運用対応 設備対応 設備対応
環境異常（2件）	<ul style="list-style-type: none"> 燃料缶詰装置監視用ITV保護ガラスの結露 	対応不要*2
その他（12件）	<ul style="list-style-type: none"> 監視用ITVモニタ画像での確認困難による缶詰缶回転操作 	対応不要*2

*1：設備対応：設備対応（設備改善、補修・調整や予備品確保）の検討が必要な項目

運用対応：運用対応（運用改善、手順書反映）の検討が必要な項目

*2：対応不要：今後は缶詰処理を無くす予定であり、本不具合は今後発生しない。なお、燃料池における燃料体確認については、万一ITVカメラに不具合が生じたとしても目視により対処が可能である。

燃料体処理（第1キャンペーン）での経験（2/2）

- 「燃料体取出し検討会」において操作チーム員及び設備チーム員からの聞き取りに基づき、議論された結果として摘出された意見29件のうち、設備対応・運用対応に分類した項目についても対策検討を実施。

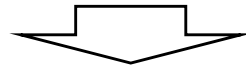
分類	主な意見
設備対応	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料出入機本体AドアバルブへのNa滴下対応 <ul style="list-style-type: none"> ・グリッパへのNa化合物付着及び燃料出入機内へのNa滴下を抑制するために、Arガスの循環による燃料出入機本体A内の冷却を停止し、ガス循環に伴うNaの滴下と温度低下の防止を図る ・本体Aのドアバルブに掴んだ燃料やグリッパからNaが滴下し、不具合が生じることから、Na付着状況の確認や簡易的にNaを除去できる治具を準備できないか 等
運用対応	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料受入前の手動ガス置換の自動化 <ul style="list-style-type: none"> ・グリッパ使用環境改善のために燃料洗浄槽への燃料受入前に手動で追加しているガス置換処理を、作業効率化及び操作員の負担軽減のため、自動化運転プログラムに反映 ○燃料洗浄追加手動操作の自動化 <ul style="list-style-type: none"> ・燃料体の洗浄において、洗浄水の電気伝導度が規定値以下に低下しない場合に、手動操作で追加洗浄を実施するが、作業効率化及び操作員の負担軽減のため、これを自動化運転プログラムへ反映する 等

※その他の意見

- ・グリッパトルク上昇により計画外のグリッパ洗浄を行う必要が生じても、工程変更にならないように工程余裕を見込むべき
- ・使用頻度が高い機器（燃料洗浄設備の接点付圧力計など）の機能が使用中に低下したことから、燃処理期間の途中で中間点検として点検や校正を行うことも考慮すべき
- ・1日2体処理であっても、交替勤務であれば操作員の負荷は大きくない。日勤で長時間残業のほうが操作員の負荷が大きい、等

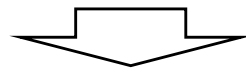
●第1キャンペーン開始前に、実施したリスクアセスメント

- 重要事象（安全上重要な事象/長期的な停止に至る可能性がある事象）についての評価を行い、標準要領の改定及び復旧計画の事前準備を行った。
 - ✓ 燃料冷却への要求は、崩壊熱低減に対応して削除（例えば、燃料移動中に燃料出入機が停止した場合、手動で冷却可能設備に移動する等のリスクを増加させる恐れがある手順を削除）
 - ✓ 不具合等発生時は原因調査を実施した上で対応する手順に見直し
- 保全計画に基づき点検計画が策定されており、計画通りに点検が実施されたことを点検記録により確認した。



●第1キャンペーンに対する評価

- 重要事象（燃料落下事故等の安全上重要な事象/ドアバルブ分解点検等の長期的な停止に至る可能性がある事象）は、発生しなかった。
- しかし、標準要領にて対応できなかった重要事象以外の不具合が多発したことによる工程遅延が蓄積した。
- なお、標準要領にて対応できなかった重要事象以外の不具合については、技術評価の上、対応手順を作成し、対応してきた。
- 第1キャンペーンにおける燃料体処理は86体。



●原因

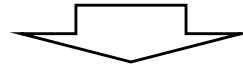
- ① これまであまり経験がない不具合などが多発し、標準要領で作業できない事象であったことから不適合管理及び是正措置で対応してきたものの、原因の究明、復旧計画の策定及び実施を含めた不適合処理、是正処置などの対応、グリッパ環境改善対策（手動ガス置換の追加やガス置換回数増加など）の追加実施により時間を要した。

以下に例示を示す。

- ・ 過去に経験がなく今回初めて顕在化した事象
（本体Bグリッパトルクの上昇、トルクリミットの誤作動に伴うトルク変動など）
- ・ 過去に発生した事象への対策の効果が十分確認できておらず再発した事象
（本体Aグリッパへのナトリウム化合物付着、本体Aドアバルブナトリウム化合物付着など）

- ② 原子炉施設管理体制と常時両立した燃料取出し体制の整備ができず、燃料処理、定期設備点検（施設定期検査）準備を並行実施するための体制構築が不十分であった。





- 今後の取組み
 - 今年度経験した不具合等への対策を実施

不具合等への対策について、既に対応が完了しているものを除き、以下の3項目に整理し、対応。

- ◆ 設備の改善（設計反映検討 / 補修・調整）が必要な項目
⇒次ページ
- ◆ 運用の改善（主に、手順書への反映）が必要な項目
⇒次回の燃料体の処理に向け、反映
- ◆ リソースの確保（予備品等の確保）が必要な項目
⇒必要な予備品については適宜確保に努めてきているが、更なる拡充について、リスクアセスメントの結果等を踏まえ対応

- 燃料処理、定期設備点検（施設定期検査）準備が並行して確実に対応できるよう体制を整備（リソース確保）
- 標準要領で作業できない事象が多発したことを踏まえ、リスクアセスメントの対象事象・考慮すべき視点を追加したうえで、来年度以降の燃料体処理作業や設備・装置類を含めたリスクアセスメントを行い、評価及び必要に応じて標準要領制定などの対策を実施
- 来年度から開始する原子炉容器からの燃料取出しについても、過去の対策実施済事象の効果確認を実施する等の視点を追加したリスクアセスメント（評価と対策実施）を燃料取出し開始前に実施する。

1) 設備の改善が必要な事項への対応

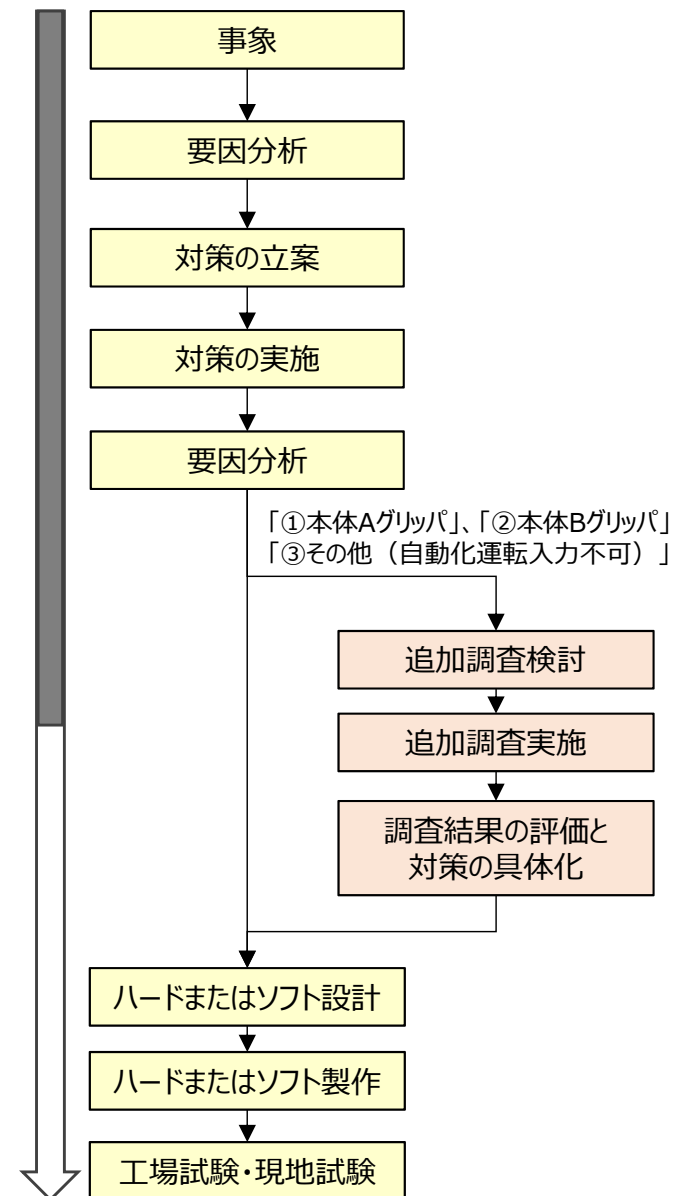
設備改善及び運用改善の検討が必要な項目について、ナトリウム化合物によりトルク異常が頻発した燃料出入機本体A及び、トルク異常の原因が特定できていない燃料出入機本体Bを優先して対策するため、以下の3つに分類して対策を実施

- ① 燃料出入機本体Aグリッパ（ナトリウム化合物）
- ② 燃料出入機本体Bグリッパ
- ③ その他の不具合等（自動化運転ソフトウェアの修正等）

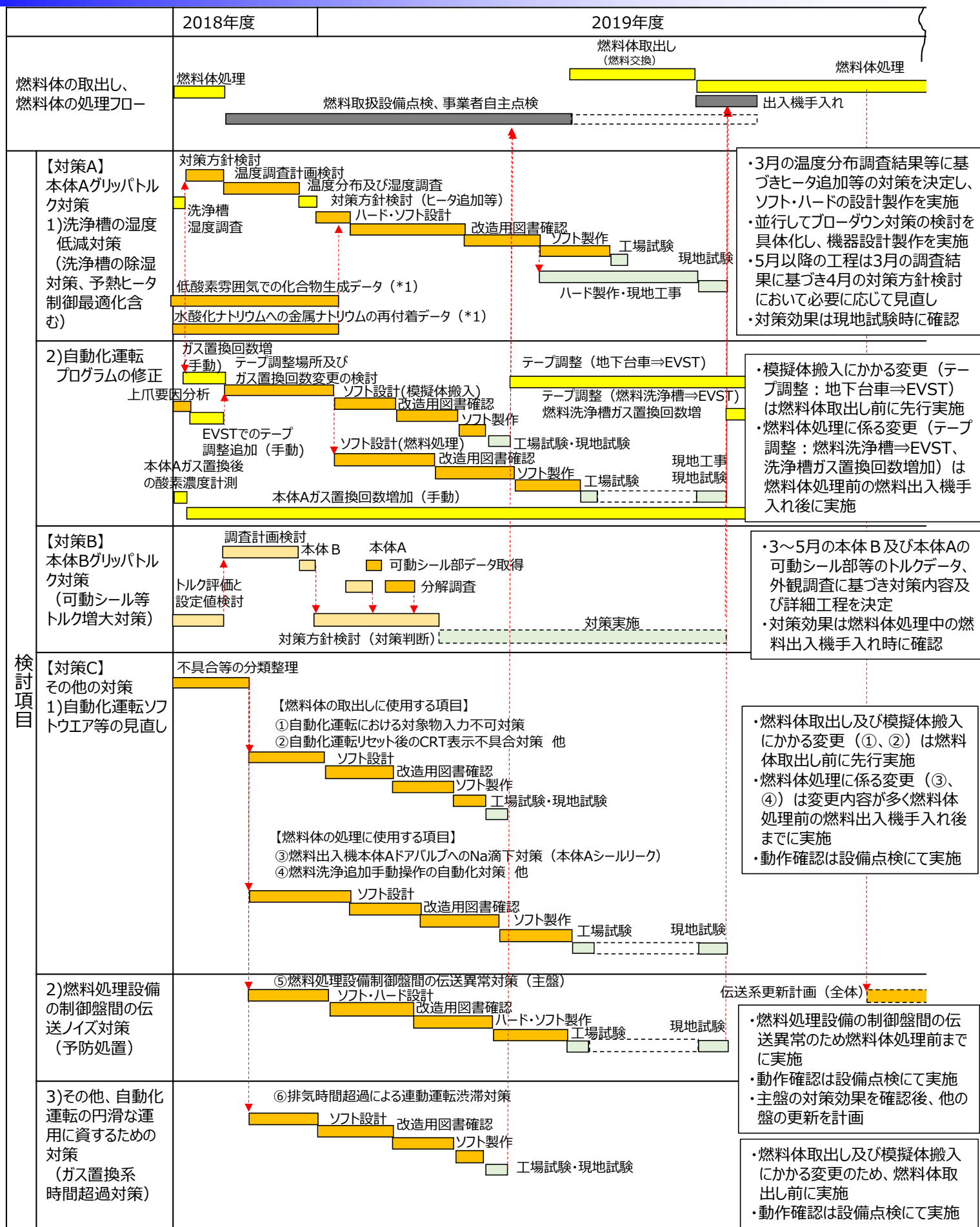
現在の進捗状況

- 「①燃料出入機本体Aグリッパ（ナトリウム化合物）」については燃料体処理中に対策を段階的に実施してきており、一定の効果が確認されている。最適な効果を得るため対策具体化を図ることを目的に、3月より追加調査を実施した上で、2019年度の燃料体の処理に向けて対応
- 「②燃料出入機本体Bグリッパ」については、調査計画を策定したことから、3月中旬より調査を実施した上で、2019年度の燃料体の処理に向けて対応
- 「③その他の不具合等（自動化運転ソフトウェアの修正等）」への対策については、ソフトウェアの設計、製作時期等、具体的なアクションプランについて検討中である。

再発防止対策の基本フロー



設備改善及び運用改善の検討が必要な項目についての対策



*1: 本体A環境模擬データ取得、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は取得済み

4. 燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

燃料出入機本体 A 及び B グリッパの構造

▶ 本体A: ナトリウムが付着した燃料体等を取り扱う

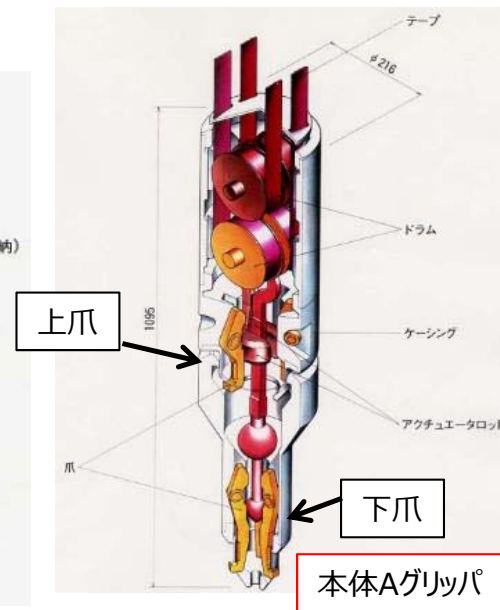
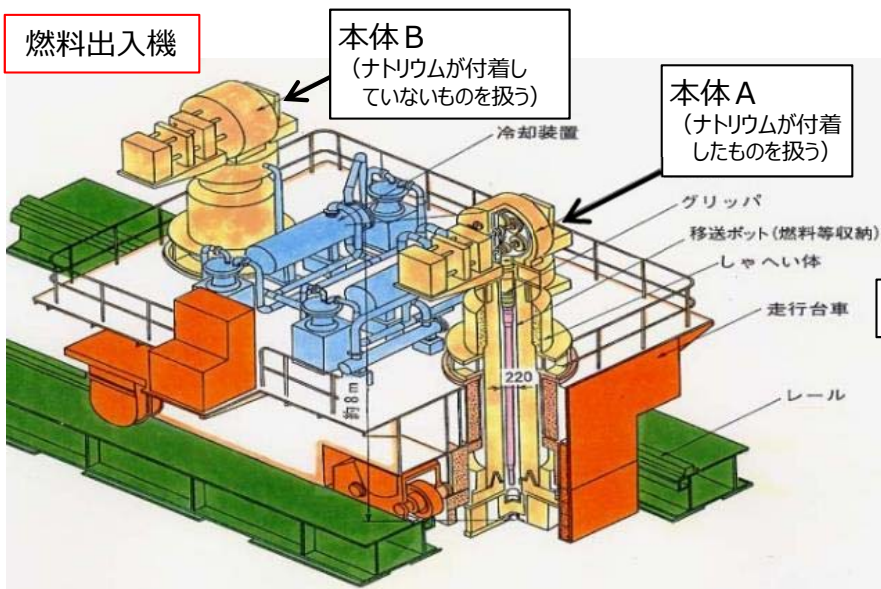
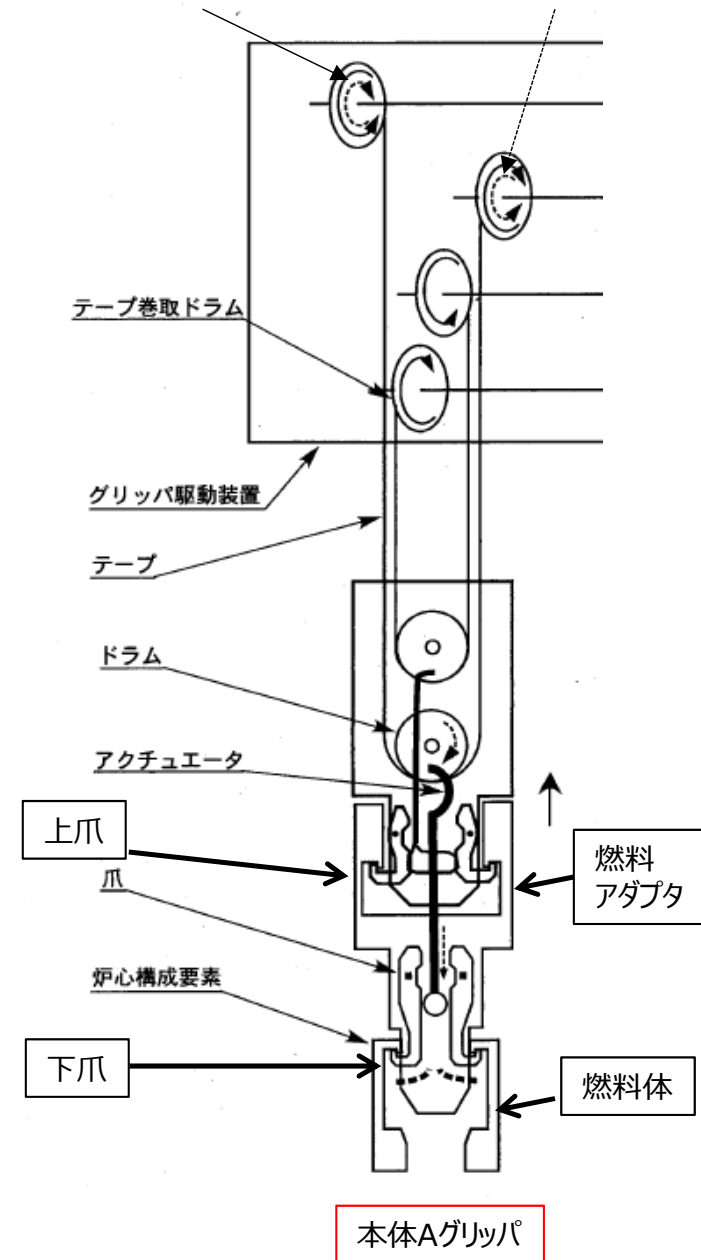
本体Aグリッパは燃料アダプタを把持するグリッパと、燃料体を把持する燃料アダプタで構成されている。燃料アダプタは上爪により把持され、燃料体は下爪により把持される。

グリッパは4軸のドラムに巻きつけられたテープによりグリッパの昇降と爪の開閉を行う。

▶ 本体 B : 洗浄後のナトリウムが付着していない燃料体等を取り扱う

本体 B グリッパは一体構造となっており、本体 A グリッパの下爪に相当する爪のみを有する。それ以外の構造は本体 A と同等。

グリッパ上昇(実線) 下爪つかみ(破線)

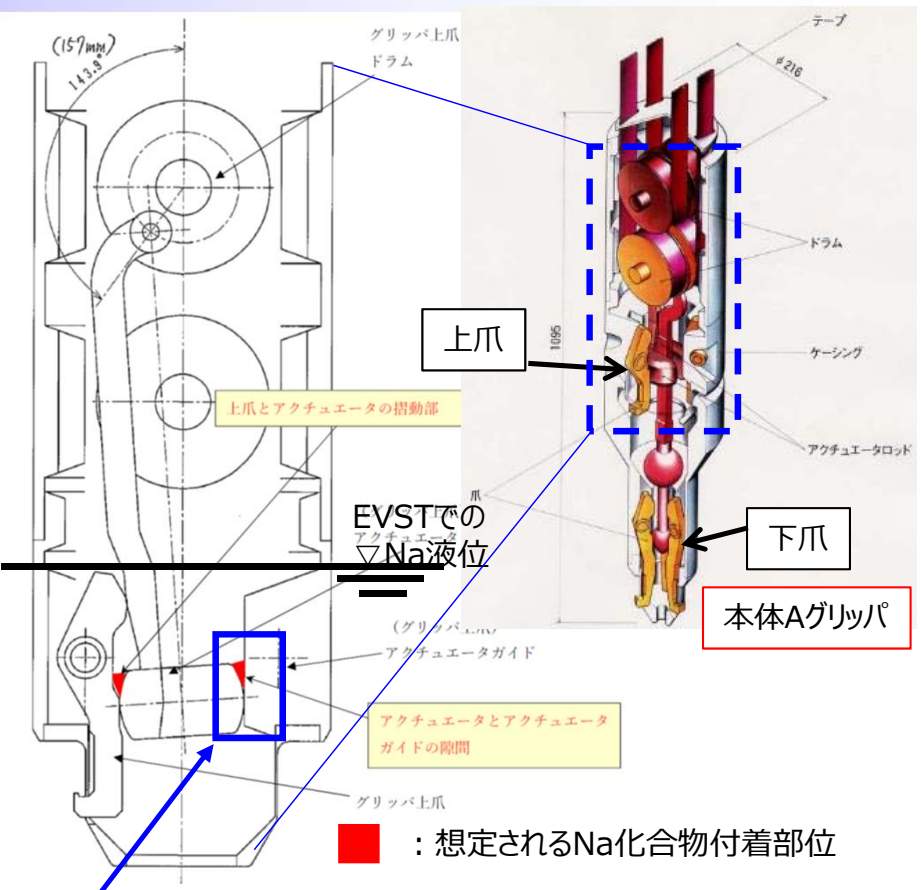


4.燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

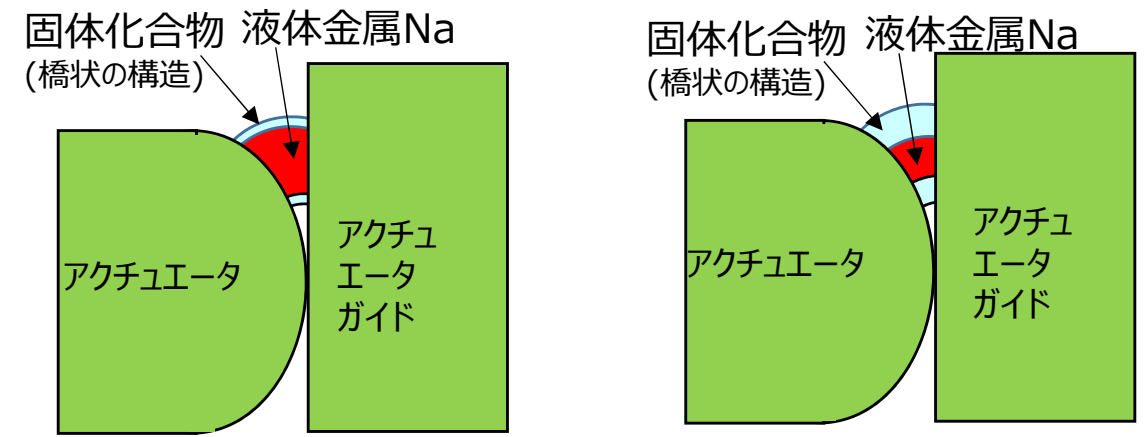
燃料出入機本体Aグリッパの対策(1/8)

①本体Aグリッパの上爪のトルク上昇要因と対策 (1/3)

トルク上昇事象	トルク上昇の要因分析 (推定)
<ul style="list-style-type: none"> 2018年7月4日、本体Aグリッパ点検後、洗浄せずナトリウム付着状態で3ヶ月保持していたため ⇒ 作動不能、グリッパ洗浄 2018年8月1日、ITVの不具合対応のため、本体内にてグリッパを洗浄せずにナトリウム付着状態で1週間保持 ⇒ 検査槽で予熱により動作可能 	<ul style="list-style-type: none"> Na付着状態での長期保持時に機器表面で微量の酸素により形成するナトリウム化合物が橋状の構造を生成 保持時間の長期化 (1週間以上) に伴い化合物表面の橋状の構造が強固になる。



上爪のナトリウム化合物の付着想定位置



保持時間短：化合物薄くアクチュエータ動作で切断可能
1週間保持⇒検査槽で予熱して作動 (8/1)

保持時間長：化合物厚くアクチュエータ動作で切断不可
3ヶ月保持⇒作動不能グリッパ洗浄 (7/4)

ナトリウム化合物の状態変化のイメージ

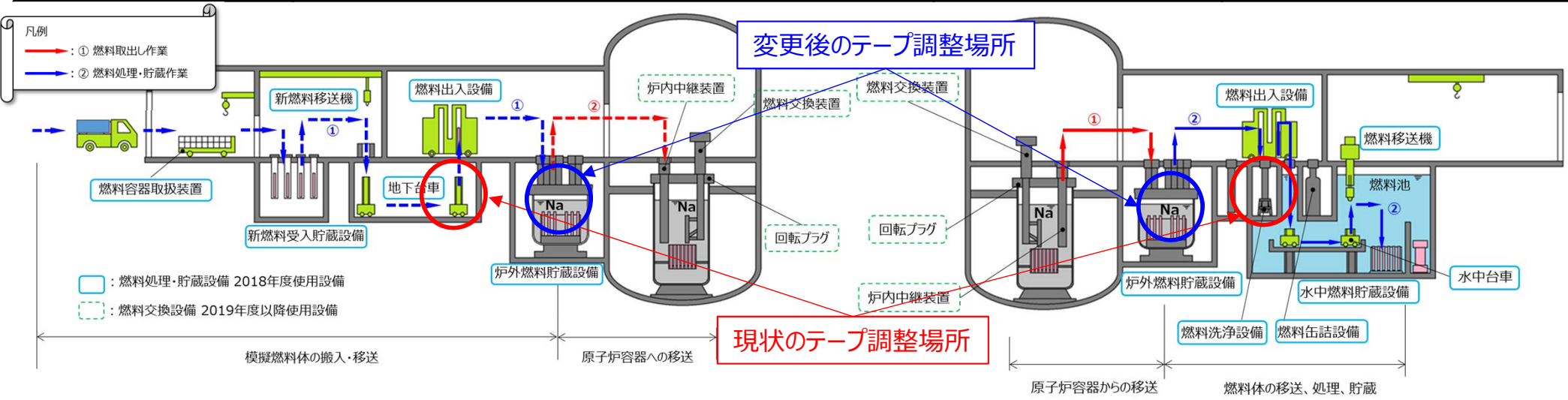
4. 燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

燃料出入機本体Aグリッパの対策(2/8)

*:テープ調整：上爪が燃料アダプタの掴み離しをしないままグリッパ動作すると4本のテープの張りに差が生じるために、燃料アダプタの掴み離しを行って4本のテープの張りを一致させる操作

① 本体Aグリッパの上爪のトルク上昇要因と対策 (2/3)

トルク上昇の要因分析 (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"> Na付着状態での長期保持時に機器表面で微量の酸素により形成するナトリウム化合物が橋状の構造を生成 保持時間の長期化(1週間以上)に伴い化合物表面の橋状の構造が強固になる。 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料出入機本体内の酸素濃度を低減させる環境改善のために、グリッパ洗浄後の本体Aグリッパ内のガス置換の回数を増加 1→2セット (11/1より実施) ☆効果：酸素濃度は約16ppm ⇒約6ppmに低減 (次頁) 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(12/15より実施) ☆効果：上爪部の橋状の構造の切断によるトルク低減 (次頁) (20Nm前後に低く安定して維持) 	<ul style="list-style-type: none"> 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(3月末までにデータ取得予定) 	<ul style="list-style-type: none"> 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、EVST(高温Na中)に変更するように自動化運転プログラムを修正 <p>⇒ 燃料体の処理までに対策(模擬体搬入に影響する地下台車の変更は燃料体取出し時に対策)</p>



4.燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

燃料出入機本体Aグリッパの対策(3/8)

①本体Aグリッパの上爪のトルク上昇要因と対策 (3/3)

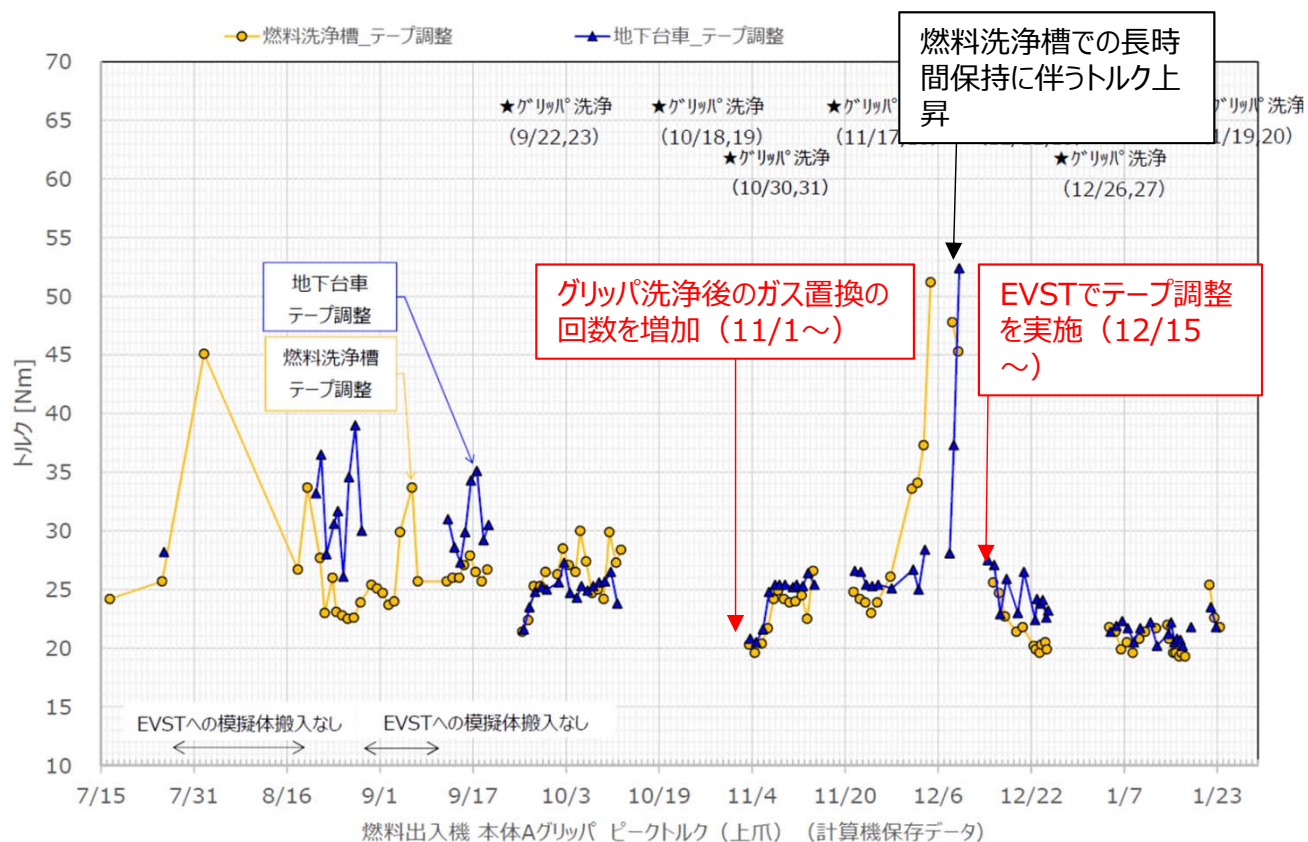
- 2018年11月1日にグリッパ洗浄後のガス置換回数を1回⇒2回に変更後は、12月初めの燃料洗浄槽での長時間保持に伴うトルク上昇時以外安定したトルク値を維持
 - 特に、2018年12月15日より、1日の燃料処理終了後にEVSTで上爪の開閉動作（テープ調整）の実施開始以降は、20Nm前後に低く安定して維持された
- ⇒ テープ調整場所をEVSTに変更する自動化運転プログラムの改善を実施予定

グリッパ洗浄後の本体A雰囲気の実測データ

燃料出入機本体Aの状態※1	酸素濃度
ガス置換1セット目（現状）	約16ppm
ガス置換2セット目（追加）	約6ppm

※1：1セットあたり3回のガス置換を実施

参考：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に関する実験データを添付資料1に示す。

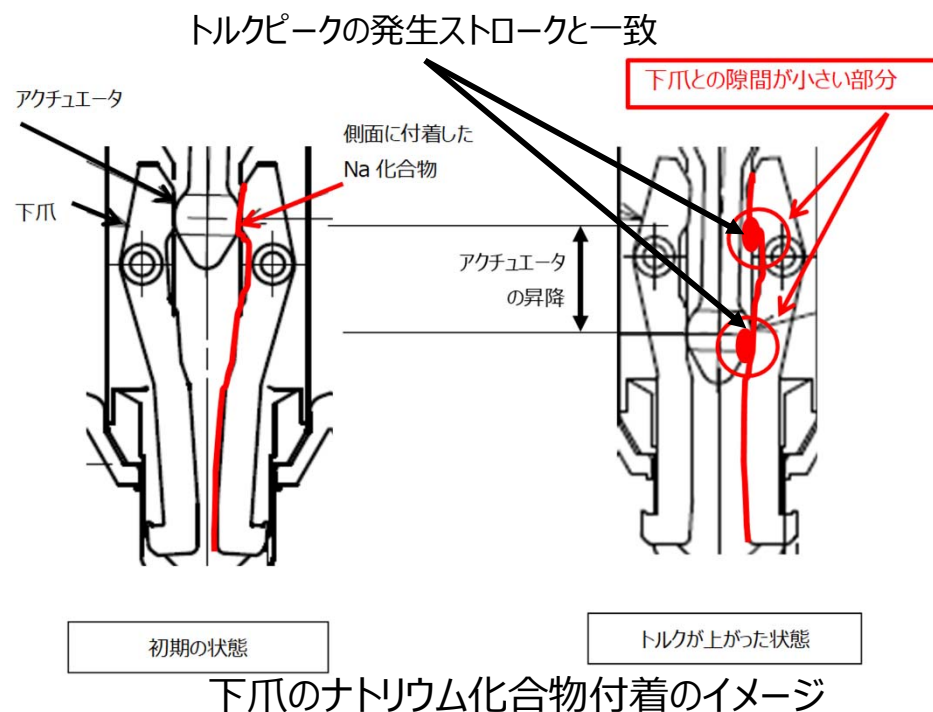


4.燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

燃料出入機本体Aグリッパの対策(4/8)

②本体Aグリッパの下爪のトルク上昇要因と対策 (1/5)

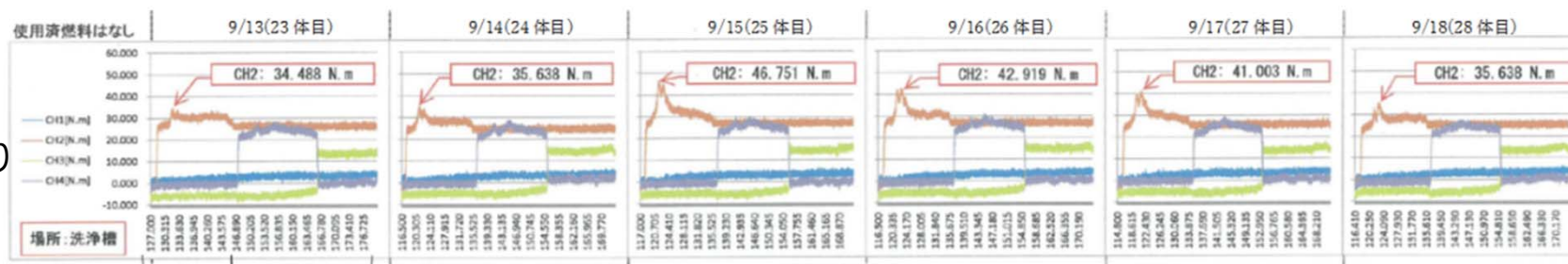
トルク上昇事象	トルク上昇の要因分析 (推定)
<ul style="list-style-type: none"> 燃料体処理作業開始当初より、燃料体処理を繰り返す毎に特定のストロークでトルクが徐々に上昇 トルク上昇したストロークの位置はグリッパの下爪とアクチュエータの間が小さい部分と一致 	<ul style="list-style-type: none"> EVSTでNaが付着し、露点の高い燃料洗浄槽でNaが水酸化物に変化 次にグリッパがEVSTに浸漬する際に吸湿した水酸化物表面に、さらにNaが付着 グリッパの爪側面に付着したNa化合物がアクチュエータの昇降に伴い爪の隙間の小さい部分に堆積、または脱落して噛みこみ、爪開閉のトルクが上昇 (回数を繰り返す毎に上昇)



1体ごとのトルク変動 (グリッパ洗浄前)

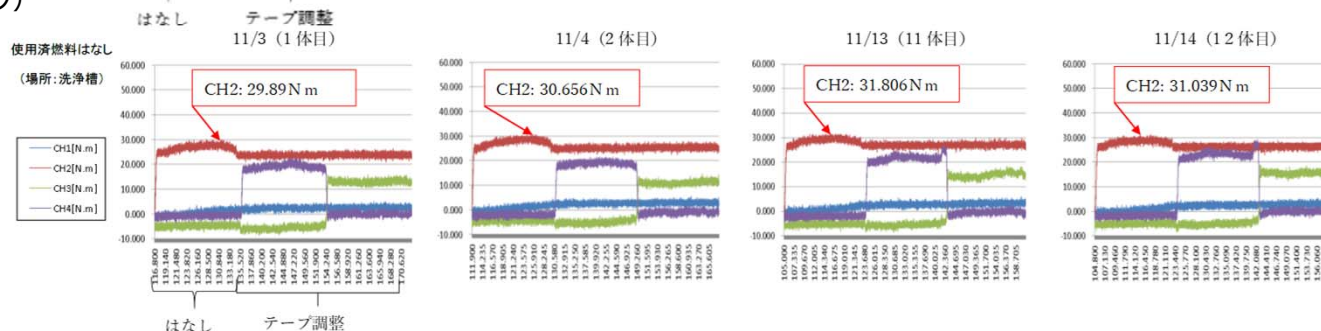
- 同じ位置 (ストローク) にトルクピークあり

縦軸：トルクNm
横軸：時間sec (ストローク)



1体ごとのトルク変動 (グリッパ洗浄後)

- トルクピークなし



(*) 露点：水蒸気を含む空気を冷却したとき、凝結が始まる温度

4. 燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

燃料出入機本体Aグリッパの対策(5/8)

② 本体Aグリッパの下爪のトルク上昇要因と対策 (2/5)

トルク上昇の要因分析 (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Naが付着し、露点の高い燃料洗浄槽でNaが水酸化物に変化 次にグリッパがEVSTに浸漬する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、爪開閉のトルクが上昇（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（11/3より実施） 3回（11/21より実施） ☆効果：燃料洗浄槽内の露点温度はガス置換1回で約-9℃ ⇒ 3回で約-48℃まで低減。残留湿分の低下が確認できた。 トルクは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Aグリッパのトルク値を維持。 ⇒ 更なる燃料洗浄槽の湿分低減対策を実施（SH21） 	<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 （洗浄に伴うグリッパ表面粗さの変化などがナトリウム付着量に影響しないことの確認：データ取得済み） 潮解した水酸化ナトリウムへの金属ナトリウムの再付着データ（3月末を目処にデータ取得予定） 	<ul style="list-style-type: none"> ①自動化運転プログラムの修正 手動にて燃料洗浄槽への燃料受入前にガス置換を2回(回数可変)実施していたが、自動で実施していた1回のガス置換を3回行うように自動化運転プログラムを変更 ⇒ 燃料体の処理にまでに対策 ②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対策を実施、もしくは乾燥ガスのブローダウン（吹き降ろし）によるグリッパ廻りの湿分低減対策についても検討 ⇒ 燃料体の処理にまでに対策 上記対策を効果的に実施するために、まず燃料洗浄槽及び配管の温度分布測定を3月中に実施予定

4.燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

燃料出入機本体Aグリッパの対策(6/8)

②本体Aグリッパの下爪のトルク上昇要因と対策 (3/5)

- 2018年11月3日に燃料体受入前のガス置換回数を1回⇒2回に変更後（2018年11月21日に3回に変更）は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安定したトルク値を維持。
 - 洗浄前のグリッパの観察の結果、上記対策前の警報発報後の洗浄前は本体Aグリッパへのナトリウム付着量が多いが、対策後は警報が出なくなり、計画洗浄前のナトリウム付着量が少ない。
- ⇒ 燃料受入前のガス置換回数3回を自動化運転プログラムに反映、更なる燃料洗浄槽の湿分低減対策を実施

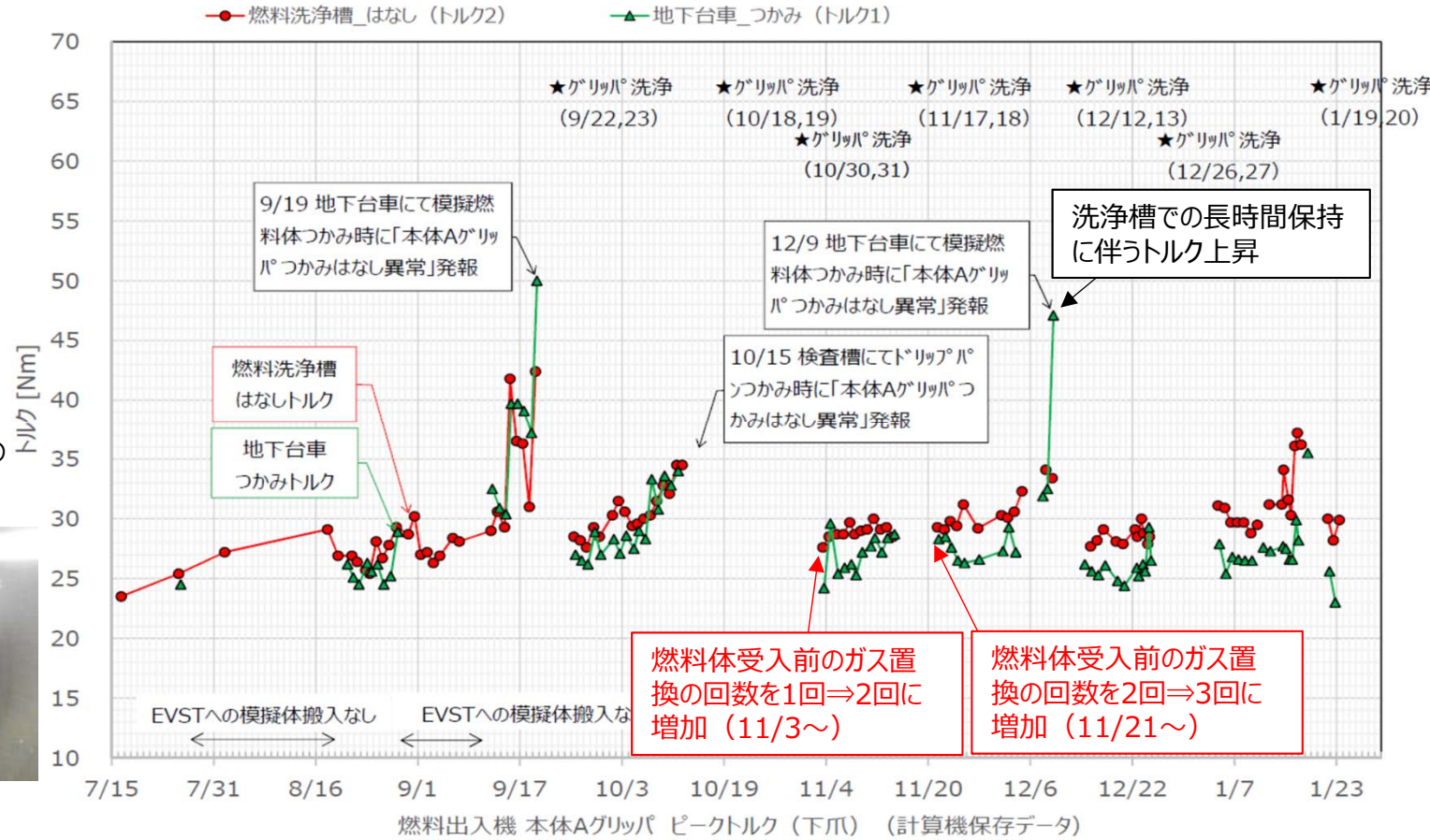
燃料受入前のガス置換回数と露点温度

燃料洗浄槽の状態	露点温度※1
初期状態	約-3℃
ガス置換1回目（現状）	約-9℃
ガス置換2回目（追加）	約-30℃
ガス置換3回目（追加）	約-48℃

※1：露点温度は受入準備後に燃料を受け入れるまでの時間に相当するガス置換後約30分の上部露点計の値。



9/19警報発報後
1/19計画洗浄前
グリッパ観察状況



燃料出入機本体Aグリッパの対策(7/8)

②本体Aグリッパの下爪のトルク上昇要因と対策 (4/5)

＜燃料洗浄槽湿分の更なる低減に向けて＞

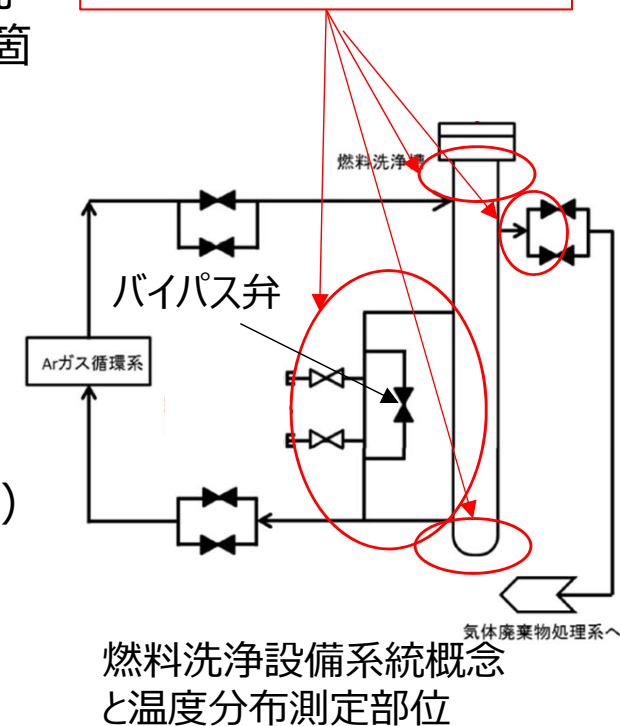
○露点温度計測で、時間経過とともに燃料洗浄槽の露点が上昇することから、洗浄槽及び配管の一部に湿分が液体として残留しており、高い露点の燃料洗浄槽内でNaが水酸化物に変化したと推定。100℃以上に加熱されていない箇所を特定。

○追加調査

- 燃料洗浄槽の空洗浄運転を行い高温循環Arガスが届きにくい部位の温度分布データを取得し、追加対策案の選定と最適化に資する
- 計測点：合計約50点の温度計測と2点の露点計測を行う
 - 系統内温度計測点：既設6箇所
 - 温度ヒータ制御・計測点：既設32箇所（記録計追加）
 - 追加設置：露点計2点、温度計約12箇所（熱電対、記録計追加）
- 運転条件（3ケースのデータを取得）
 - 現状条件（バイパス弁開、除湿運転時間80分）
 - 除湿温度改善条件（バイパス弁開、除湿運転時間120分）
 - バイパス閉止条件（バイパス弁後半40分閉、除湿運転時間80分）
- 評価のポイント
 - 除湿運転時に洗浄槽、配管各部が100℃を超えているか
⇒水分残存部位はヒータ加熱時にも気化熱で100℃近傍で温度上昇が頭打ちになる
 - 除湿運転後のガス置換時に温度低下が発生していないか
⇒水分残存部位はガス置換時の真空引きにおいて水分の気化熱により温度低下が発生する

高温循環Arガスが届きにくい部位の温度分布データを取得

- 洗浄槽の枝配管
- 洗浄槽下部
- 洗浄槽上部 など



燃料出入機本体Aグリッパの対策(8/8)

②本体Aグリッパの下爪のトルク上昇要因と対策 (5/5)

○追加対策 (案)

追加調査の結果を踏まえ、燃料洗浄槽の露点低減（除湿）のために「ヒータ等の設置による残留湿分の低減対策」を実施、もしくは「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対策」についても検討

参考：燃料洗浄槽湿分の更なる低減に向けての追加対策（案）の補足を添付資料2に示す。

<要因分析結果の補強>

- 並行して、ナトリウム工学研究棟の試験装置にて3月中を目処に以下のデータを計測
 - ✓ 潮解した水酸化ナトリウムへの金属ナトリウムの再付着データ（表面に湿分が吸着した水酸化ナトリウムへのナトリウムの付着しやすさの確認）
 - ✓ 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（洗浄に伴うグリッパ表面粗さの変化などがナトリウム付着量に影響のないことの確認）

参考：潮解した水酸化ナトリウムへの金属ナトリウムの再付着実験データを添付資料3
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に関する実験データを添付資料4
に示す。

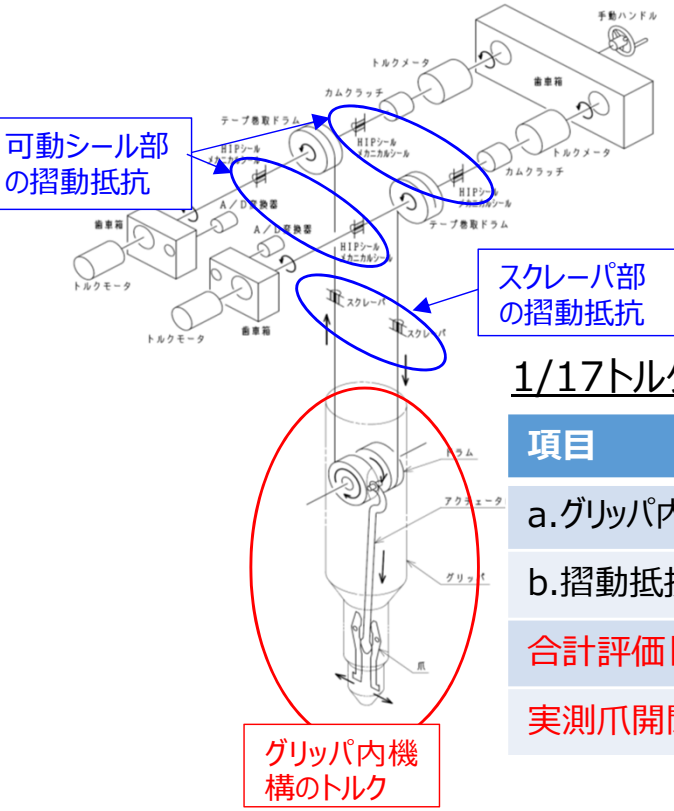
4.燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

燃料出入機本体 B グリッパの対策(1/2)

トルク上昇事象	トルク上昇の要因分析 (推定)
<ul style="list-style-type: none"> 爪開閉トルク値及び摺動抵抗トルクの評価値が順次増加 爪開閉機構の作動確認より爪の動作トルクは上昇していないことを確認 実測爪開閉トルクは摺動抵抗評価値とグリッパ内機構トルク設計値の合計値と一致 	<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部) が增大して、爪開閉トルクが上昇

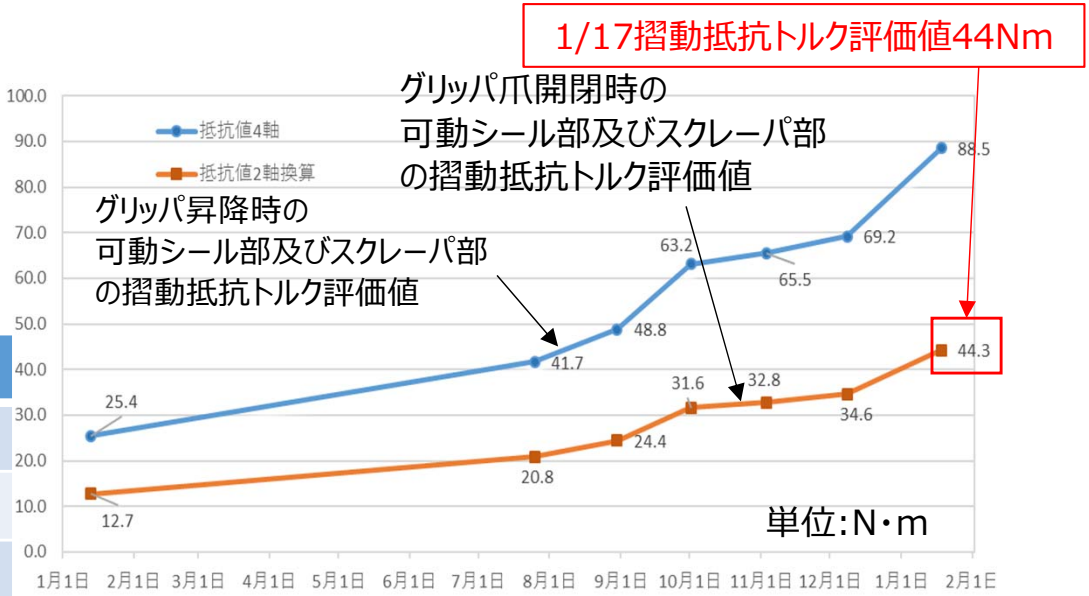


グリッパ爪開閉駆動トルクの変動



1/17トルク評価値と実測値の比較

項目	トルク
a.グリッパ内機構トルク設計値	7Nm
b.摺動抵抗トルク評価値	44Nm
合計評価トルク(=a+b)	51Nm
実測爪開閉トルク	51Nm



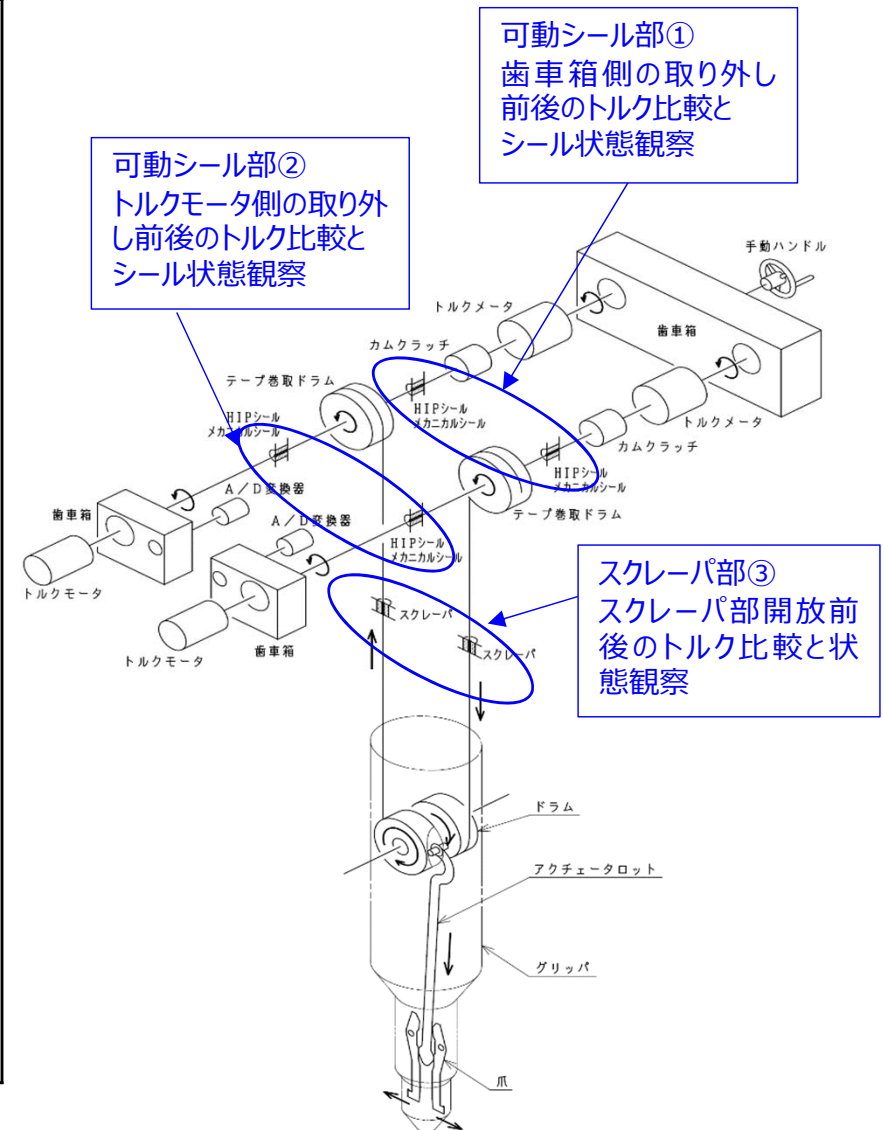
昇降トルクから算定した摺動抵抗トルク評価値の変動

4.燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

燃料出入機本体 B グリッパの対策(2/2)

今後の対策

- 可動シールの交換とスクレーパ部の手入れによる復旧
 - ✓ 可動シール部①は3月中に先行取り外し、4月以降の点検時に交換
 - ✓ 可動シール部②交換及びスクレーパ部③手入れは4月以降の点検時に実施
- 可動シール等のトルク上昇原因調査
 - ✓ 可動シール、スクレーパ部の状態調査
 - 可動シール部①は3月中にトルク評価・取り外し状態観察
 - 可動シール部②は3月中にトルク評価、4月以降の分解点検時に取り外し状態観察、
 - スクレーパ部③は4月以降の分解点検時にトルク評価、状態観察
 - 比較対象の本体Aのトルク評価・状態観察は5月以降の分解点検時に取得
 - ✓ シールメーカーとの調査結果に基づき、必要に応じて環境条件や処理体の影響を評価する試験データの取得を検討
- 上記の原因調査に基づき、トルク上昇発生部位ごとに必要に応じ対策を実施
- 燃料体の処理期間中（約80~90体の燃料体の処理後）に、中間的な点検を30日程度確保
 - ⇒ 本体B可動シール部のトルク上昇防止対策としての設備の手入れを実施



参考：燃料出入機本体 B グリッパのトルク上昇要因調査について添付資料5に示す。

4. 燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

その他不具合等に係る主な対策 (1/2)

1. 自動化運転ソフトウェア等の見直し

解決すべき課題	現在検討中の対策 (案)	備考
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) 【設備改善】	<ul style="list-style-type: none"> • メーカー工場やもんじゅ現場での数10ケースの再現試験等の調査結果から、「CRT装置の再起動により、バックアップ計算機への書込み条件を満足しない状態になること」がデータ一部欠損の原因と特定 → CRT装置のプログラム改良を検討中 	燃料体の取出し (R/V→EVST) までに対策する
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) 【設備改善】	<ul style="list-style-type: none"> • 修正プログラムの追加方法を検討中 	
③ 燃料出入機本体AドアバルブへのNa滴下 (本体Aシールガス漏えいを含む) 【設備改善】	<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ことを検討中 (是正処置は燃料吊り上げ時にEVST上で5分間のNa滴下待ち時間確保により対応済) • ドアバルブの内部ナトリウム観察治具、付着ナトリウム除去治具の概念を検討中(ハード対策) 	燃料体の処理 (EVST→燃料池) までに対策する
④ 脱塩水洗浄後の手動追加洗浄 (電導度が規定値を超過していた場合に実施) 【運用改善】	<ul style="list-style-type: none"> • 追加洗浄運転を自動化するロジックの検討中 	

参考：④脱塩水洗浄後の手動追加洗浄の自動化対策の概要について添付資料6に示す。

その他不具合等に係る主な対策 (2/2)

2. 伝送ノイズ対策

解決すべき課題	現在検討中の対策 (案)	備考
⑤ 燃料処理設備の制御盤間の伝送異常 【設備改善】	<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、伝送装置を更新することを検討中 (設備更新に伴うソフトウェアの変更も必要) 	燃料体の処理 (EVST→燃料池) までに対策する

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 (案)	備考
⑥ 低気圧通過時の影響 (排気時間超過) による自動化運転除外	<ul style="list-style-type: none"> 「運用改善対策 (排気回数の増加)」により、影響を抑制する方向で検討中 → ハード対策として、より低レンジまで計測可能な圧力計に更新する等も検討する 	燃料体の取出し (R/V→EVST) までに対策する
⑦ 真空ポンプによる地下台車及び燃料洗浄槽の排気時間超過による連動運転渋滞		
⑧ 燃料受入時の燃料洗浄設備配管予熱温度低による自動化運転除外 【設備改善】	<ul style="list-style-type: none"> 予熱ヒータの温度制御方法や制御性能の適切化を検討中 (「ナトリウム化合物対策 (本体Aグリッパ)」と合わせて実施する予定) 	燃料体の処理 (EVST→燃料池) までに対策する

2) リソースの確保

◆ 燃料取出しの体制強化

- 第1キャンペーンでは、実施責任者：4名、操作チーム員：25+7名の実施体制を確立し、習熟度の更なる向上を図るため3班体制で1日当たり1体の処理を基本に実施した。
加えて、5班（交替勤務）による燃料体連続処理を6日間試行し、勤務運営上及び設備上において有意な問題は無く、燃料体連続処理は可能であることを確認した。
- 第2キャンペーンからの5班体制移行にあたり、定期設備点検準備等を含めた原子炉施設管理と燃料体取出し作業を並行して確実に対応できるよう、燃料体取出し体制（操作チーム及び機器不具合時の対応要員等）を整備する。
具体的には、燃料取出し作業着手前の模擬訓練開始前までに、燃料取出し実施体制に、「もんじゅ」内配置見直しや新入職員の優先配置等を行うことにより、施設管理体制と常時両立した体制を整備し、その後も体制を維持継続していく。
- 燃料取出し（原子炉容器→炉外燃料貯蔵槽）の実施に向けて、設備設計メーカーによるバックアップ体制を新たに整備している。

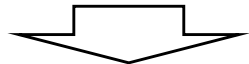
◆ 予備品等の確保

- 予備品は従来、①燃料取出しを実施するための重要機器、②これまでに故障及び交換実績があるもの、③長納期品（含む廃型品）について優先度を考慮して確保してきた。
- 第2キャンペーンに向け、上記に加えて、第1キャンペーンの実績及び炉上部機器の点検等の実績から、これまで故障及び交換実績がなく復旧に時間を要した機器（ex.「摩擦板」を有する機器（トルクリミッタ、ブレーキ、クラッチ等））や、補機系の長納期品についても、予備品を確保する方針とし、順次手配を行う。その際、必要に応じて保全計画についても適切に反映していく。
- 電装品などの同型品が多数ある機器については、複数機器の共通予備品として優先的に確保しておく。

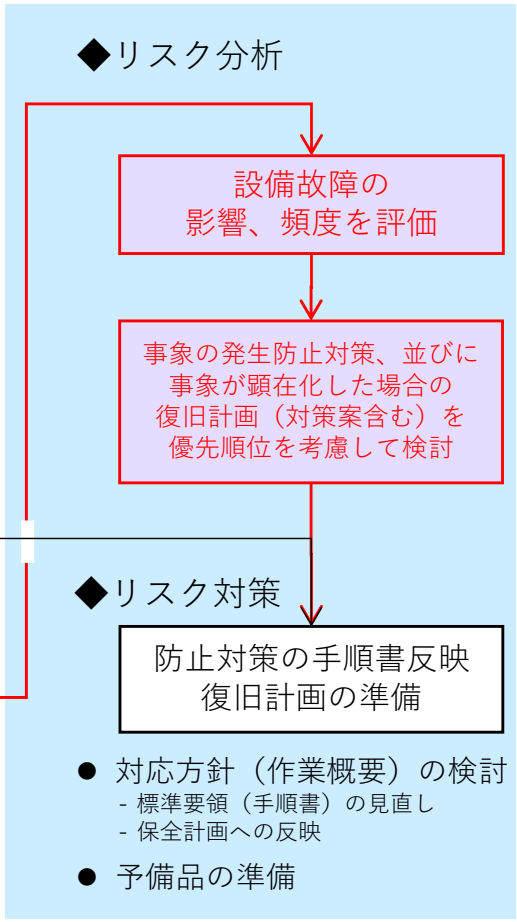
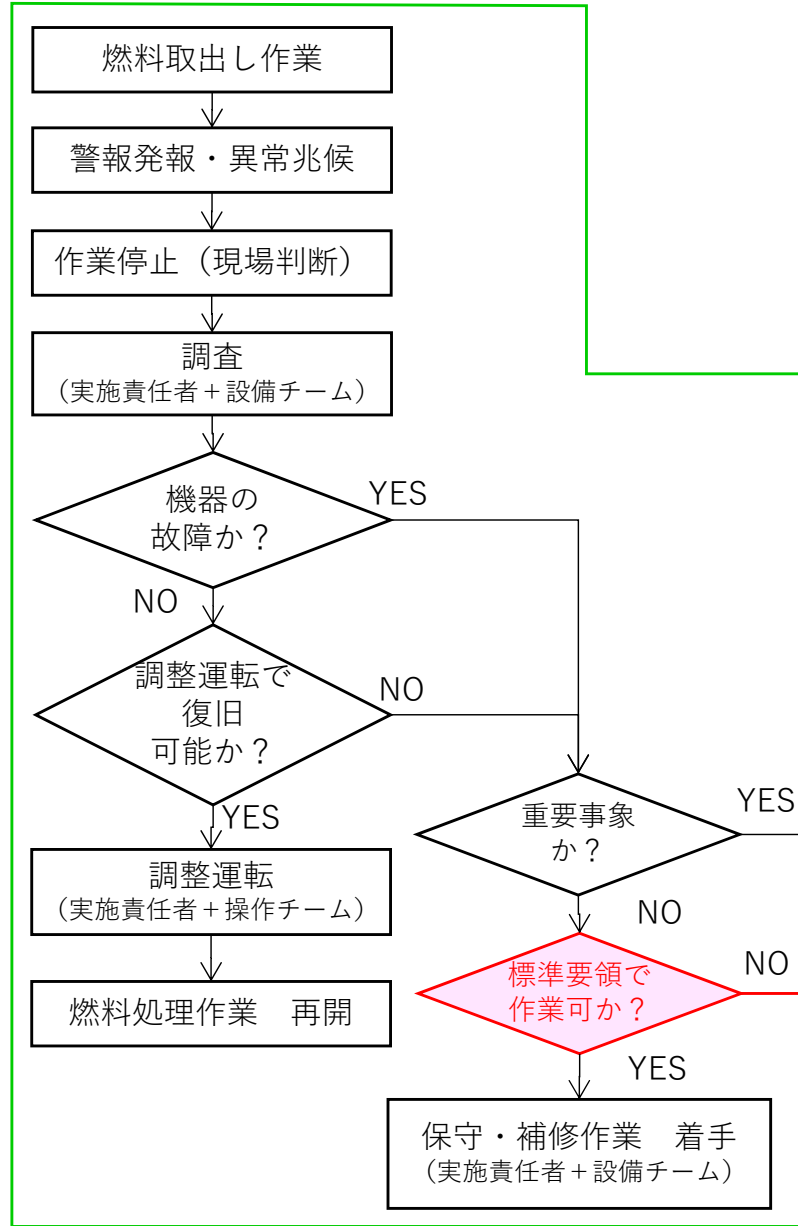
4. 燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

3) 燃料体取出し作業に想定される事象に対するリスクアセスメントの強化

- ① これまであまり経験がない不具合などが多発し、標準要領で作業できない事象であったことから不適合管理及び是正措置で対応してきたものの、原因の究明、復旧計画の策定及び実施を含めた不適合処理、是正処置などの対応、グリップ環境改善対策（手動ガス置換の追加やガス置換回数増加など）の追加実施により時間を要した。以下に例示を示す。
- ・ 過去に経験がなく今回初めて顕在化した事象
（本体Bグリップトルクの上昇、トルクリミットの誤作動に伴うトルク変動など）
 - ・ 過去に発生した事象への対策の効果が十分確認できておらず再発した事象
（本体Aグリップへのナトリウム化合物付着、本体Aドアバルブナトリウム化合物付着など）



- 標準要領で作業できない事象が多発したことを踏まえ、来年度以降の燃料体処理作業について、リスクアセスメントの対象事象を追加※して評価を行い、標準要領制定などの対策を必要に応じて実施
※：本体Bグリップの可動シール部等のトルク上昇事象、トルクリミットのすべり事象 等
- 来年度から開始する原子炉容器からの燃料取出しについても、過去の対策実施済事象の効果確認を実施する等の視点を追加したリスクアセスメント（評価と対策実施）を燃料取出し開始前に実施する。

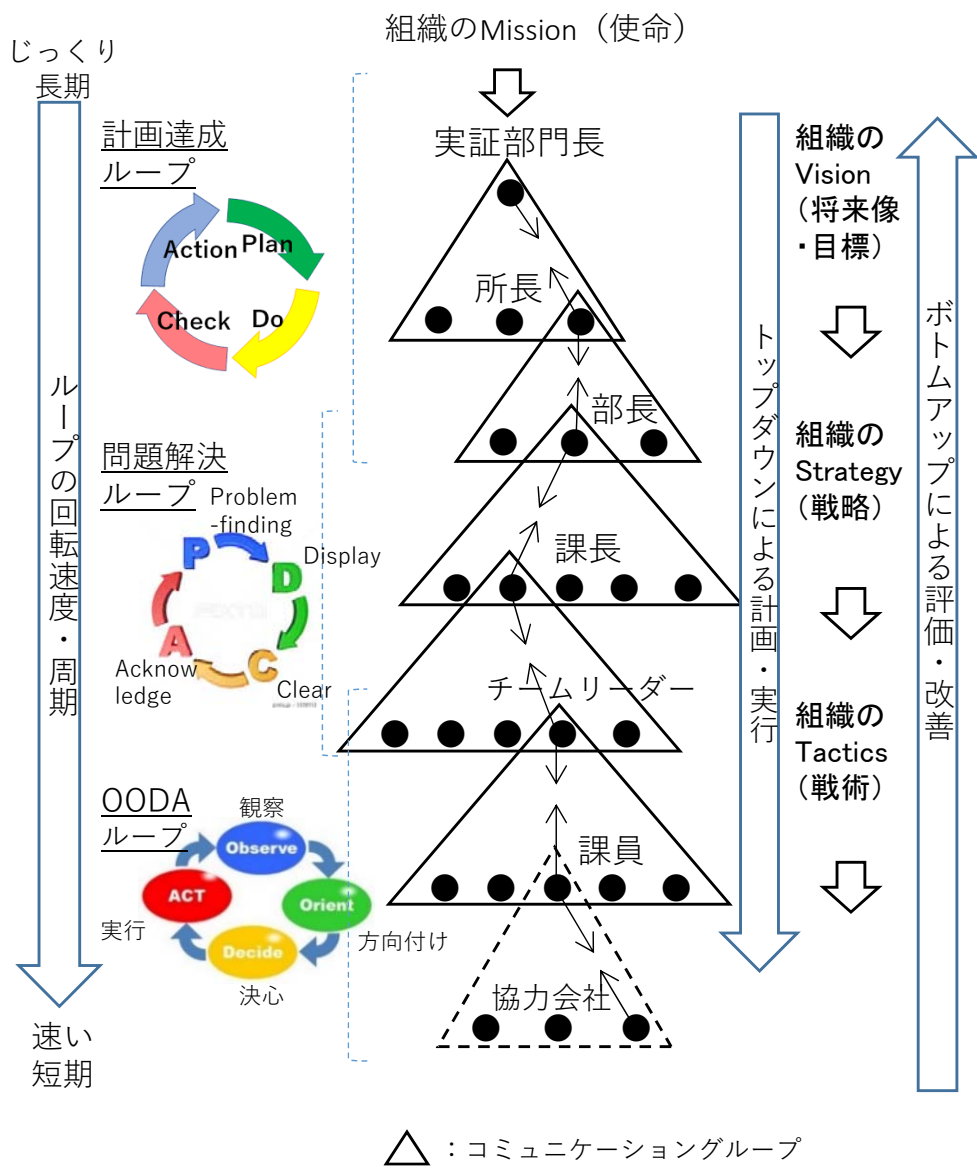


4.燃料体取出し作業に係るリスクへの対応

4) 機構内のコミュニケーション活動

- リスクマネジメントにおいて、各段階で主役が変わるため、コミュニケーション、特に[横断的視点]が非常に重要
 - 重要施策として取り組んでいるMVSTコミュニケーションは、縦方向取組みが中心。
組織横断コミュニケーション活動を展開
- 燃料処理作業期間中を通じて、警報発報時などには、速やかに本部、もんじゅ間で情報共有会議を開催
 - 燃料体取出し作業に特化した本部、もんじゅ、メーカーによる検討会、WG体制にて、次年度作業に向けた対応を実施中
 - 本部、サイト(ふげん・もんじゅ)、東京、福井がTV会議でWMを週2回開催
 - 全職員に対して所長説明会実施(燃料体処理の進捗等)、幹部と職員の意見交換会(小Gr毎)を行い、意識共有化を図る

MVSTコミュニケーション



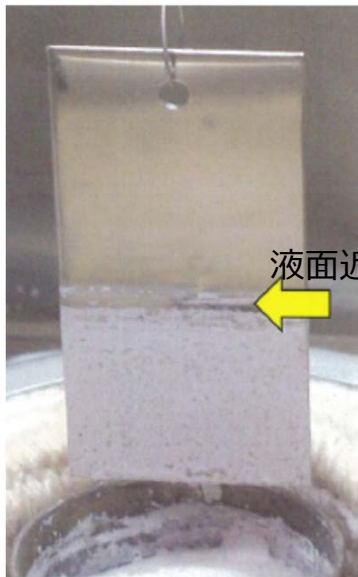
<要因分析結果を補完する実験データ取得>

- ✓ 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



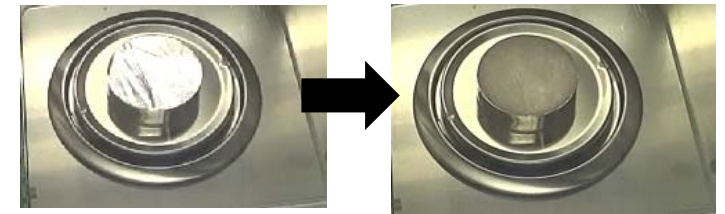
- 左下図：ナトリウム中への浸漬とArガス中（不純物数ppm）の雰囲気中に保持を繰り返す（約50時間）とナトリウム化合物が生成し、本体Aグリッパの液面近傍を再現
- 右図：空気雰囲気とArガス雰囲気ではナトリウム化合物の生成速度は3桁以上差がある

NaからArガス中に上げた直後の状況



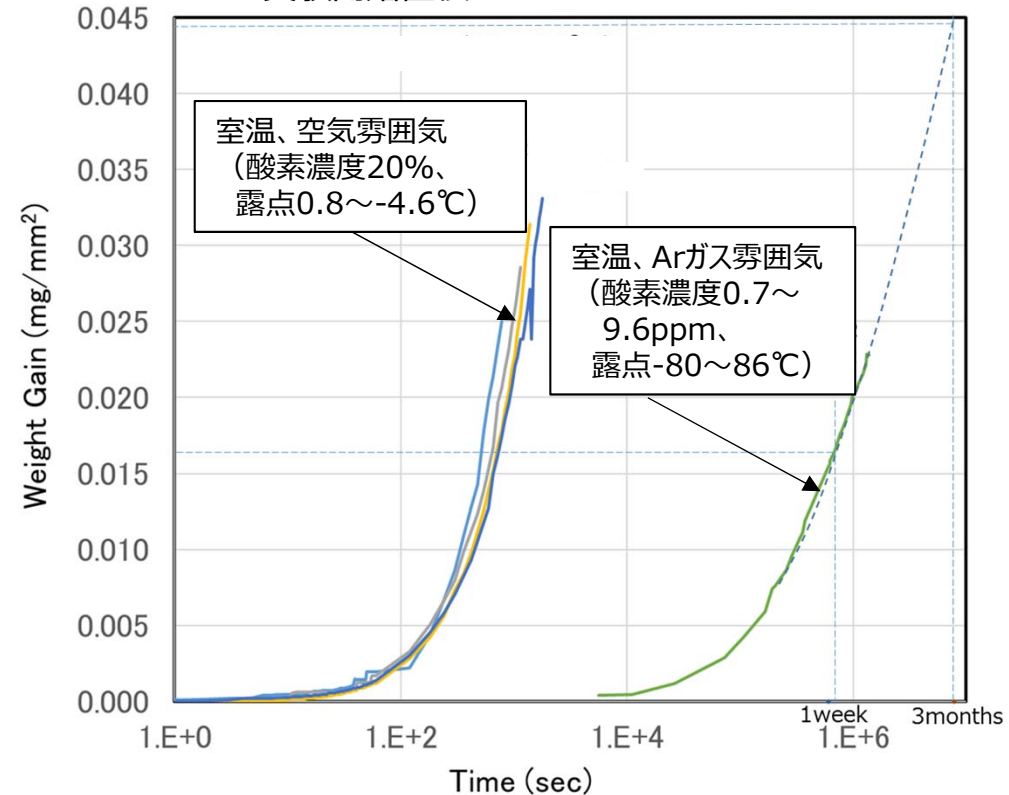
本体Aグリッパの液面近傍のNa化合物付着状況

Arガス中に保持後の状況



実験開始直後

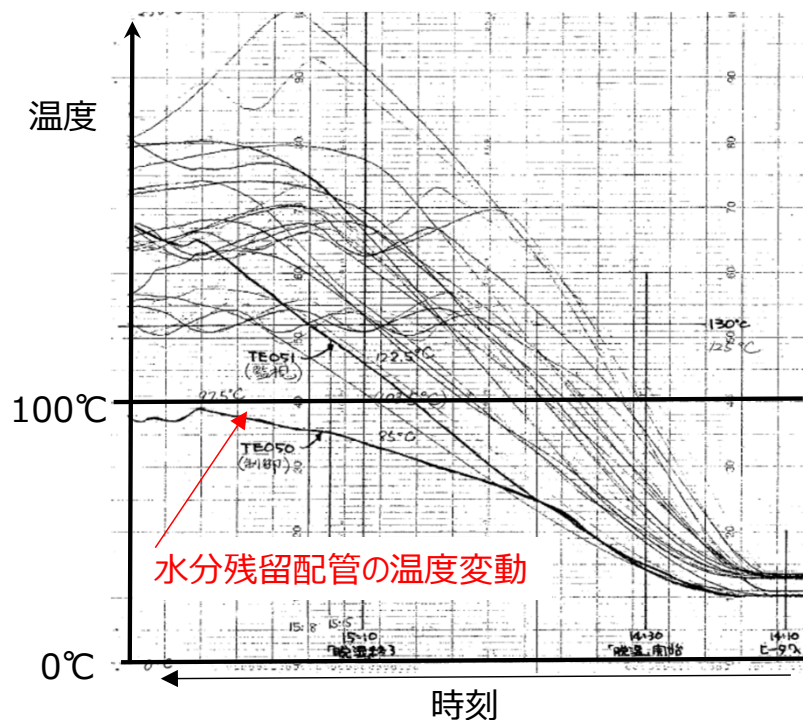
約2h経過後



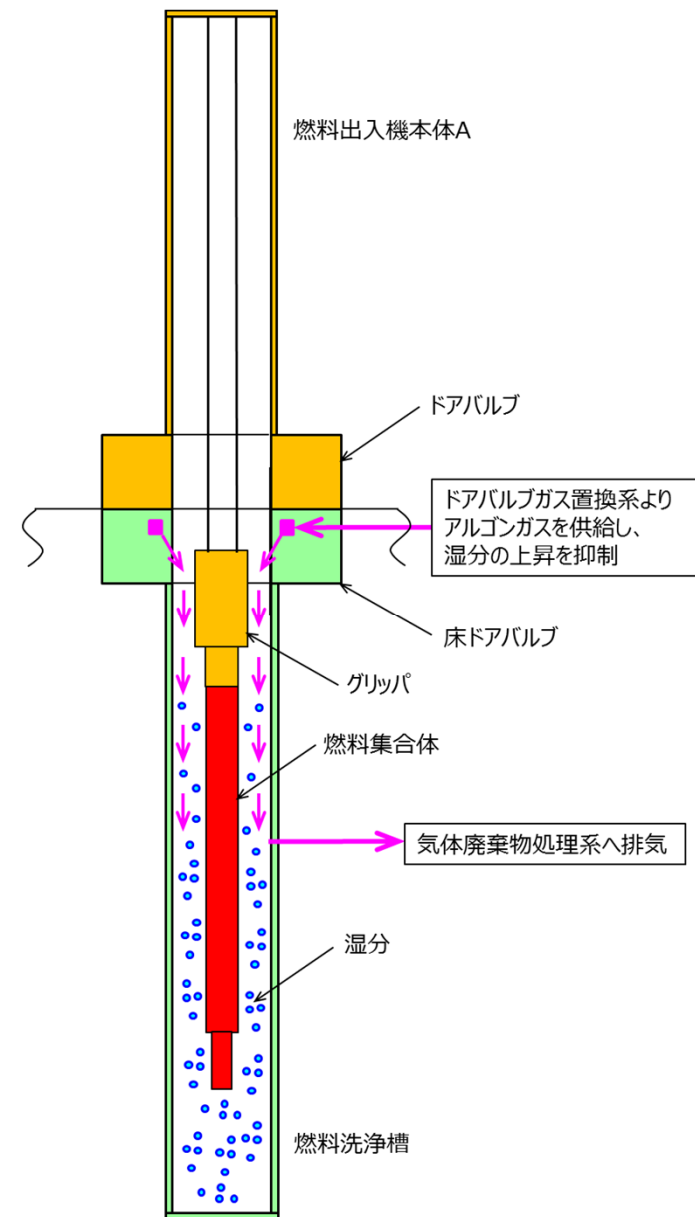
＜燃料洗浄槽湿分の更なる低減に向けて＞

○追加対策（案）

- ・「ヒータ等の設置による残留湿分の低減対策（調査結果により水分残留が確認された部位）」を実施、
- ・「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対策（グリッパ廻りの湿分低減）」についても検討



水分残留部位の除湿運転時の配管の温度挙動例



燃料洗浄設備ブローダウン概念

<要因分析を補完する実験データ取得>

- ✓ 潮解した水酸化ナトリウムへの金属ナトリウムの付着
 - グリッパへのナトリウム付着量増加は水酸化ナトリウム吸湿の影響が大きいと推定される。
 - 水酸化ナトリウムは水分子 H_2O を含む状態の方がNaと反応しやすい。
 - 吸湿していない水酸化ナトリウムの表面にはNaがほとんど付着していない。

①表面に湿分が吸着していない場合



Na浸漬前



浸漬 2 分後



浸漬 10 分後

②表面に湿分が吸着している場合



表面に湿分が吸着
(表面に光沢)



Na浸漬前



浸漬 2 分後



浸漬 4 分後

白い円柱状のものが
水酸化ナトリウム

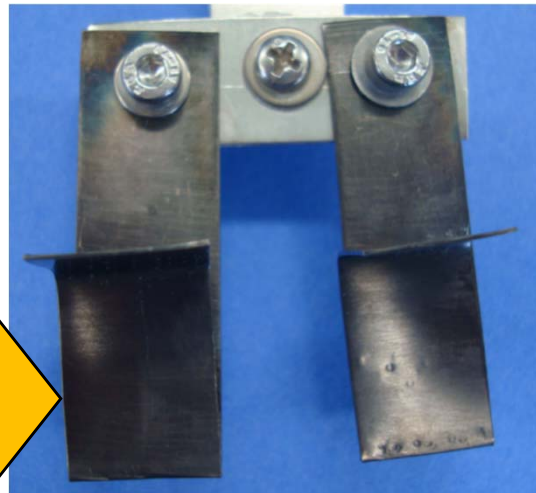
<要因分析を補完する実験データ取得>

- ✓ 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
グリッパ洗浄に伴うグリッパ表面粗さの変化などがナトリウム付着量に影響は少ないことを確認



水酸化ナトリウム浸漬前

NaOH
浸漬



水酸化ナトリウムに浸漬後、
アルコールで超音波洗浄

Na
浸漬



200℃ナトリウムに浸漬後常
温Arガス中保持4回繰り返し
(2分×3回、3分×1回)

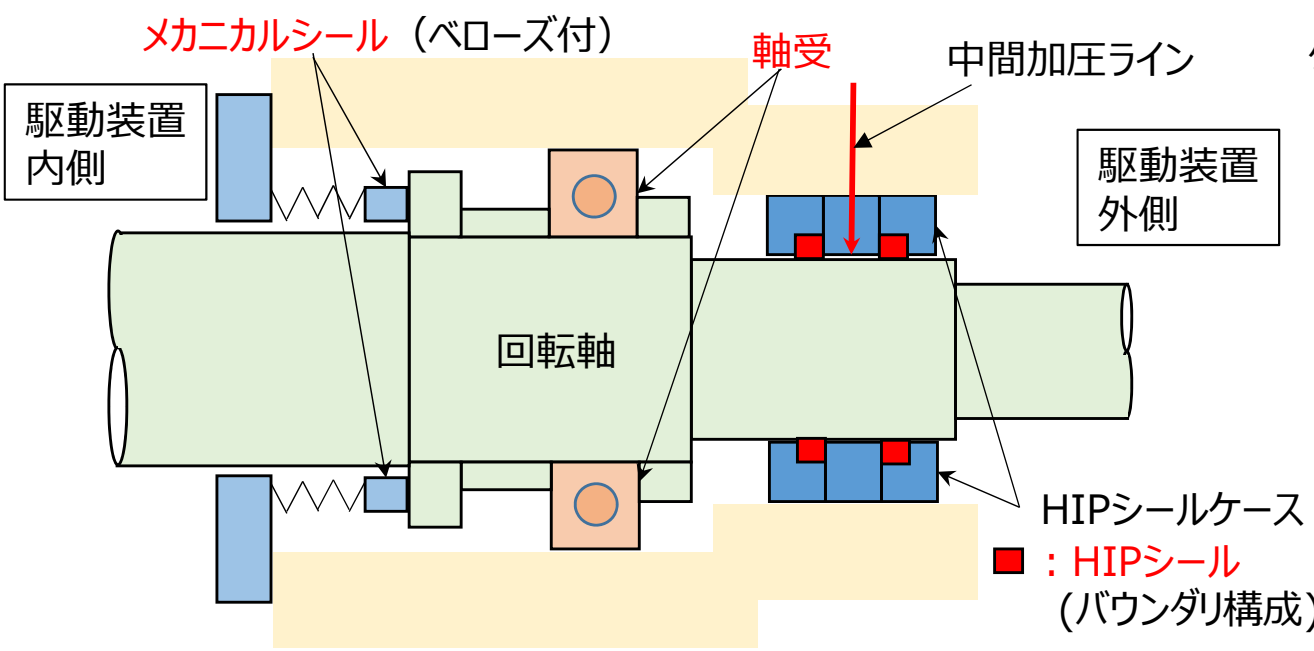


平行部分などNaが残留している部分もあるが、試験体にナトリウムはほとんど付着していない。



- ・ステンレス鋼試験片表面が変色（変質）している様子を観察
- ・水酸化ナトリウム水溶液中（温度140℃、3時間）に浸漬
（文献腐食データから140℃、3時間で0.26μm腐食と推定）

【添付資料5】 燃料出入機本体 B グリッパの対策



可動シール部概略構造 赤字：摺動抵抗部品

- トルク上昇要因調査のポイント
摺動抵抗を生じている可能性のある部品それぞれについて取り外し前後のトルク測定と状態観察によりトルク上昇要因を明確にする
 - 可動シール部：HIPシール
メカニカルシール
軸受
 - スクレーパ部：スクレーパ

<HIPシール分解速報>

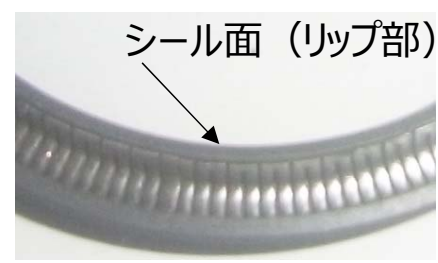
一部のHIPシールのシール面（リップ部）に荒れが確認された。今後分析、評価を行ってゆく



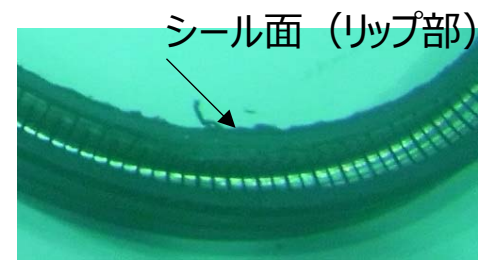
HIPシール（新品）



HIPシール（取外品）



HIPシール（新品拡大）



HIPシール（取外品拡大）



スクレーパ部

スクレーパ拡大

スクレーパ部状態（2017年点検時）

1. 自動化運転ソフトウェア等の見直し

④ 脱塩水洗浄後の手動追加洗浄の自動化対策

- 現状の自動化運転では分岐、繰り返しの仕組みがなかったため、新たに分岐できる制御を追加
- ドアバルブへのナトリウム滴下対策に伴う付着ナトリウム量増加に伴う電導度増加にも対応

課題：自動化除外後、連動運転のために補助盤動作に切替えた際、システム状態がリセットされるため、脱塩水洗浄できる条件の設定に時間と手間を要する

