

もんじゅの廃止措置の現況

令和2年8月26日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
敦賀廃止措置実証本部 廃止措置推進室

1. もんじゅ廃止措置の概要
2. プラント状態と燃料体取出し作業及び燃料取扱設備の概要
3. 2018年度の燃料体処理時の不具合
4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理
5. まとめ

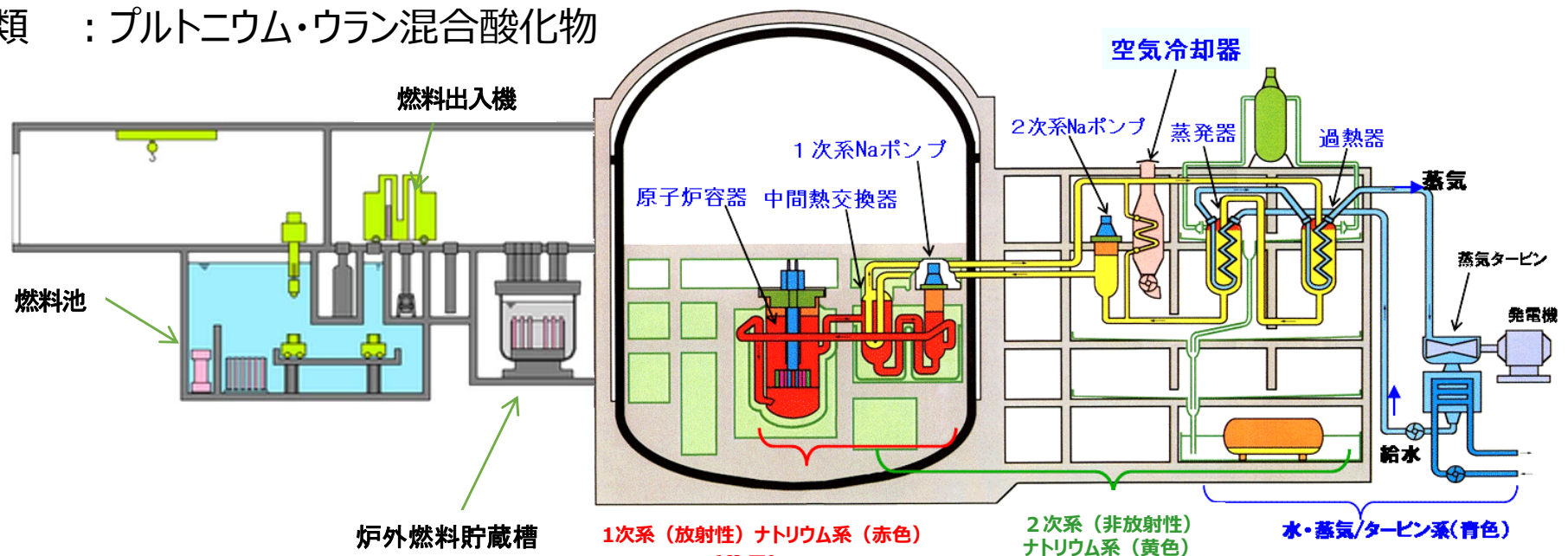
1. もんじゅ廃止措置の概要 (1/4)

○高速増殖原型炉もんじゅの廃止措置の特徴

- 冷却材としてNaを使用している炉としての国内初の廃止措置
(海外では英仏等で実施中、解体前のNa回収・安定化などが課題)
- 原子炉内及び炉外燃料貯蔵槽内のNa中から燃料体を取り出されていない状態での廃止措置への移行
⇒ 早期のリスク低減のため、燃料取出しを最優先とする

○もんじゅの概要

- 炉型 : ナトリウム冷却型高速中性子炉
- 定格熱出力 : 71.4 万kW
- 定格電気出力 : 28 万kW
- 運転実績 : 約40EFPD
- 燃料の種類 : プルトニウム・ウラン混合酸化物



1. もんじゅ廃止措置の概要（2/4）

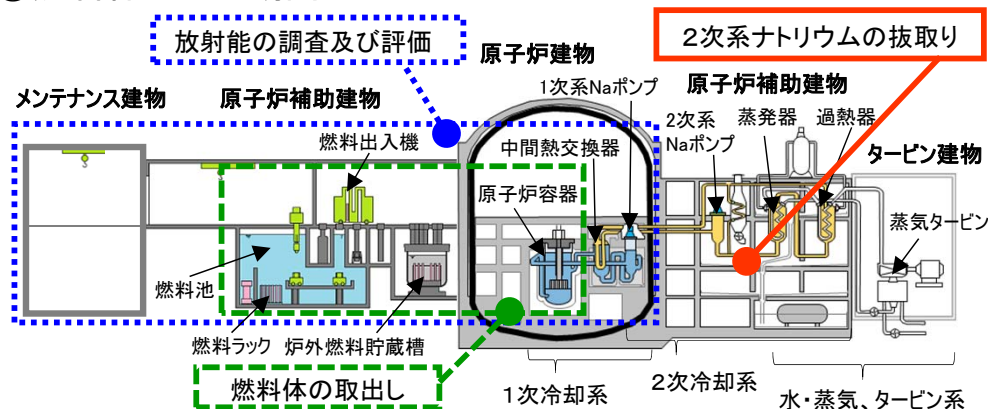
2016年12月に政府方針において「運転再開せず、今後、廃止措置に移行」とされた。1年後、2017年12月に第1段階に重点をおいた廃止措置計画を認可申請（⇒2018年3月に認可）

- 廃止措置の全体工程（30年間）を4段階に区分し、段階的に進める。
- 廃止措置における早期のリスク低減を図るため、燃料体の取出しを最優先に実施する。
- 燃料体の取出しは第1段階（～2022年度）中に完了する。

	第1段階 燃料体取出し期間	第2段階 解体準備期間	第3段階 廃止措置期間Ⅰ	第4段階 廃止措置期間Ⅱ
年度	2018 ～ 2022	2023	～	2047
主要な実施事項	燃料体取出し作業			
		ナトリウム機器の 解体準備		
			ナトリウム機器の 解体撤去	
	汚染の分布に関する評価			
		水・蒸気系等発電設備の解体撤去		
				建物等解体撤去
		放射性固体廃棄物の処理・処分		

1. もんじゅ廃止措置の概要 (3/4)

①燃料体取出し期間



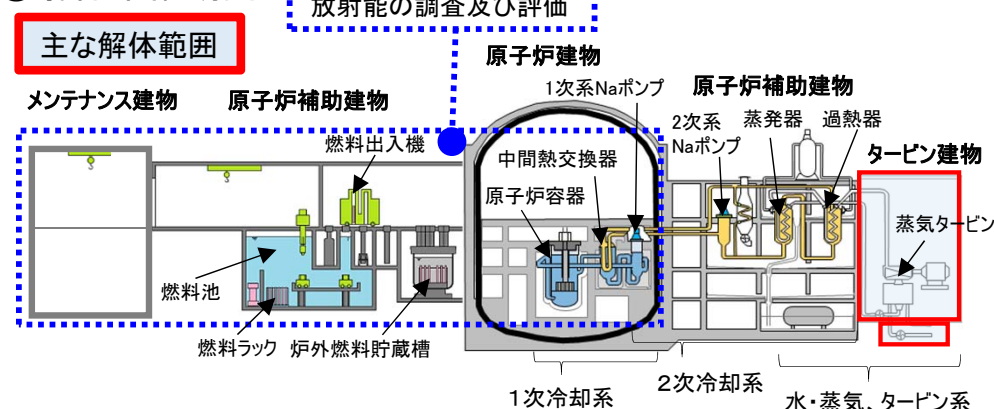
工事内容

- ・燃料体の取出し(→燃料池)
- ・2次系ナトリウムの抜き取り(一時保管タンクの設置を含む)
- ・放射能の調査及び評価

安全対策

- ・ナトリウムの火災防止
- ・燃料取出し作業者の教育・訓練
- ・防保護具着用による被ばく低減策等

②解体準備期間



工事内容

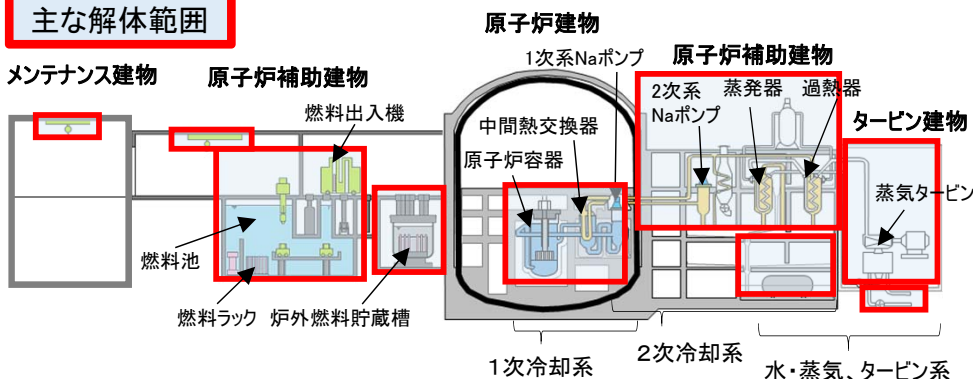
- ・ナトリウム機器の解体準備
- ・水・蒸気系等発電設備の解体撤去
- ・放射能の調査及び評価(継続)

安全対策

- ・ナトリウムの火災防止
- ・汚染防止囲い等の活用による粉じんの飛散防止
- ・防保護具着用による被ばく低減策等

③廃止措置期間 I

主な解体範囲



工事内容

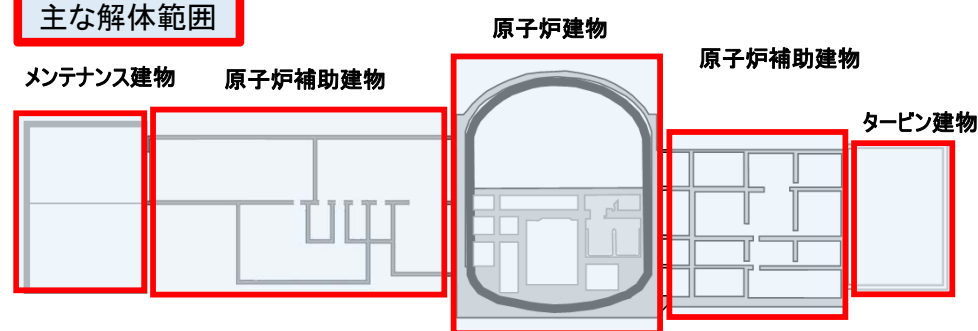
- ・ナトリウム機器の解体
- ・水・蒸気系等発電設備の解体撤去(継続)

安全対策

- ・ナトリウムの火災防止
- ・遮蔽の設置、遠隔操作、防保護具着用等による被ばく低減策等

④廃止措置期間 II

主な解体範囲



工事内容

- ・管理区域の解除
- ・建物等解体撤去

安全対策

- ・汚染防止囲い等の活用による粉じんの飛散防止 等

1. もんじゅ廃止措置の概要 (4/4)

年度		2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
第1段階における主な作業等		▽廃止措置に関する基本的な計画の策定					燃料体の取出し完了▽
	燃料体の処理（530体） （炉外燃料貯蔵槽→燃料池）		86体	174体		146体	124体
	燃料体の取出し（370体） （原子炉容器→炉外燃料貯蔵槽）			100体	146体		124体
	模擬燃料体の準備 （搬入→炉外燃料貯蔵槽）		103体	146体			
	燃料取扱設備の点検	燃料処理設備点検及び作動確認		回転プラグ点検及び作動確認			
	定期設備点検 （事業者自主検査）		燃料交換設備、燃料処理設備、ディーゼル発電機、原子炉補機冷却海水設備 他				
	2次系ナトリウムの抜き取り		一時保管用タンクの現地据付				
				▽抜き取り完了			

□：本報告で主に内容を紹介する作業

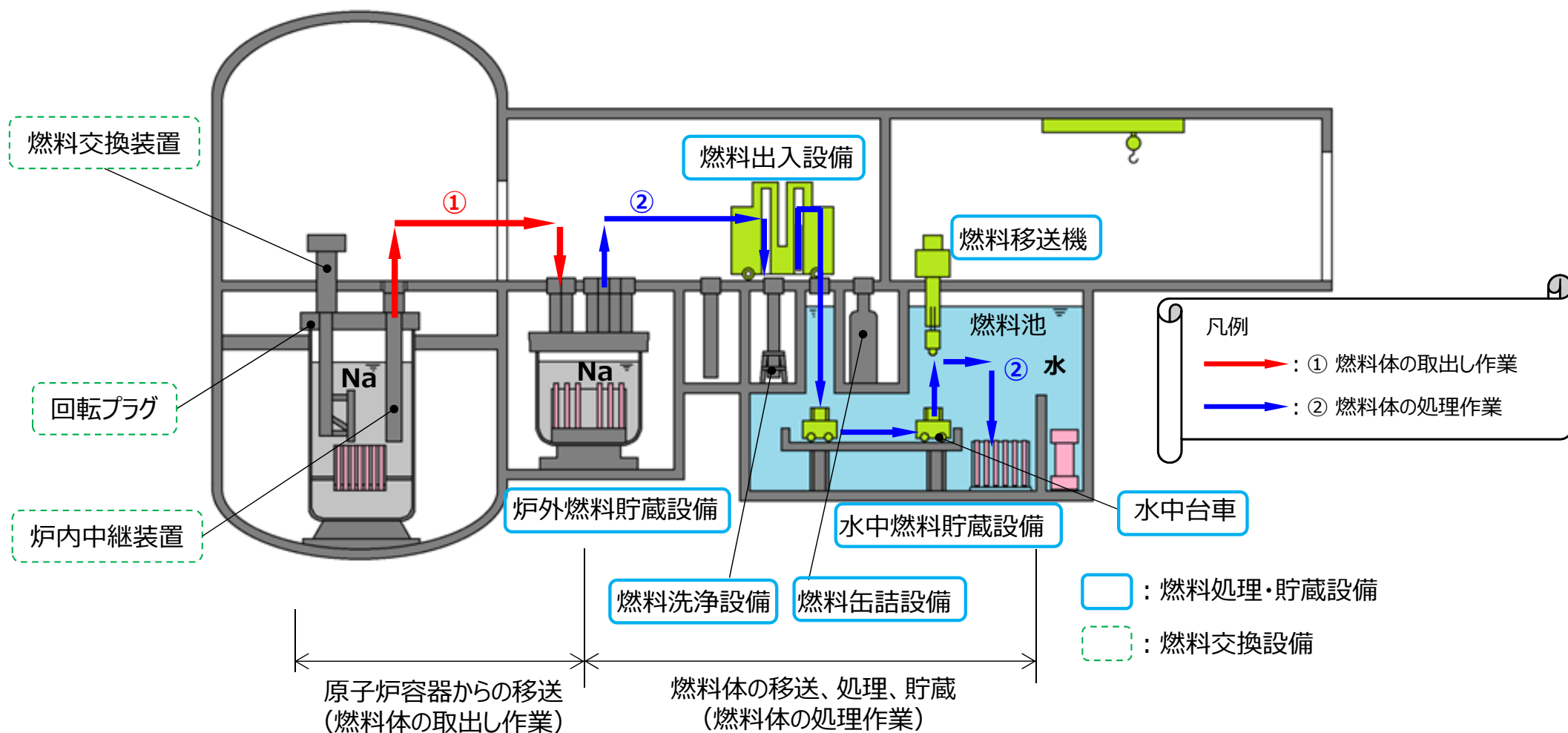
1. もんじゅ廃止措置の概要
2. プラント状態と燃料体取出し作業及び燃料取扱設備の概要
3. 2018年度の燃料体処理時の不具合
4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理
5. まとめ

○現在のプラント状態と安全上の特徴

- 原子炉は、未臨界状態に継続的に維持されており、予期せぬ臨界が生じる恐れはない。
- 40%出力運転試験を含み約40EFPDの運転実績から燃焼度が低く、また、運転を停止して長期間を経たことから原子炉内の発熱が非常に小さいため、1次系、2次系及び補助冷却設備による崩壊熱除去機能は、実質的に必要ない。
⇒ 燃料体取出し時も自然放冷が可能で、燃料体の強制冷却は必要ない。
- 万が一1次系または2次系でナトリウムが漏えいしたとしても、既存の対応策によってナトリウム燃焼は適切に抑制される
- 2次系のナトリウムを抜き取って固化することにより、ナトリウムの漏えい・燃焼を未然に防止することができる。
⇒ 一時保管用タンクを設置して2018年12月に抜取りを完了した
- 放射能も減衰しており、現実的には生じ得ないような厳しい事態（下記）を評価した場合であっても、周辺公衆に対する著しい放射線被ばくのリスクは小さいことを確認。
 - ☆燃料池中の全燃料体が破損して希ガス及びよう素が瞬時全量放出
 - ☆放射化した1次冷却材が瞬時全量放出

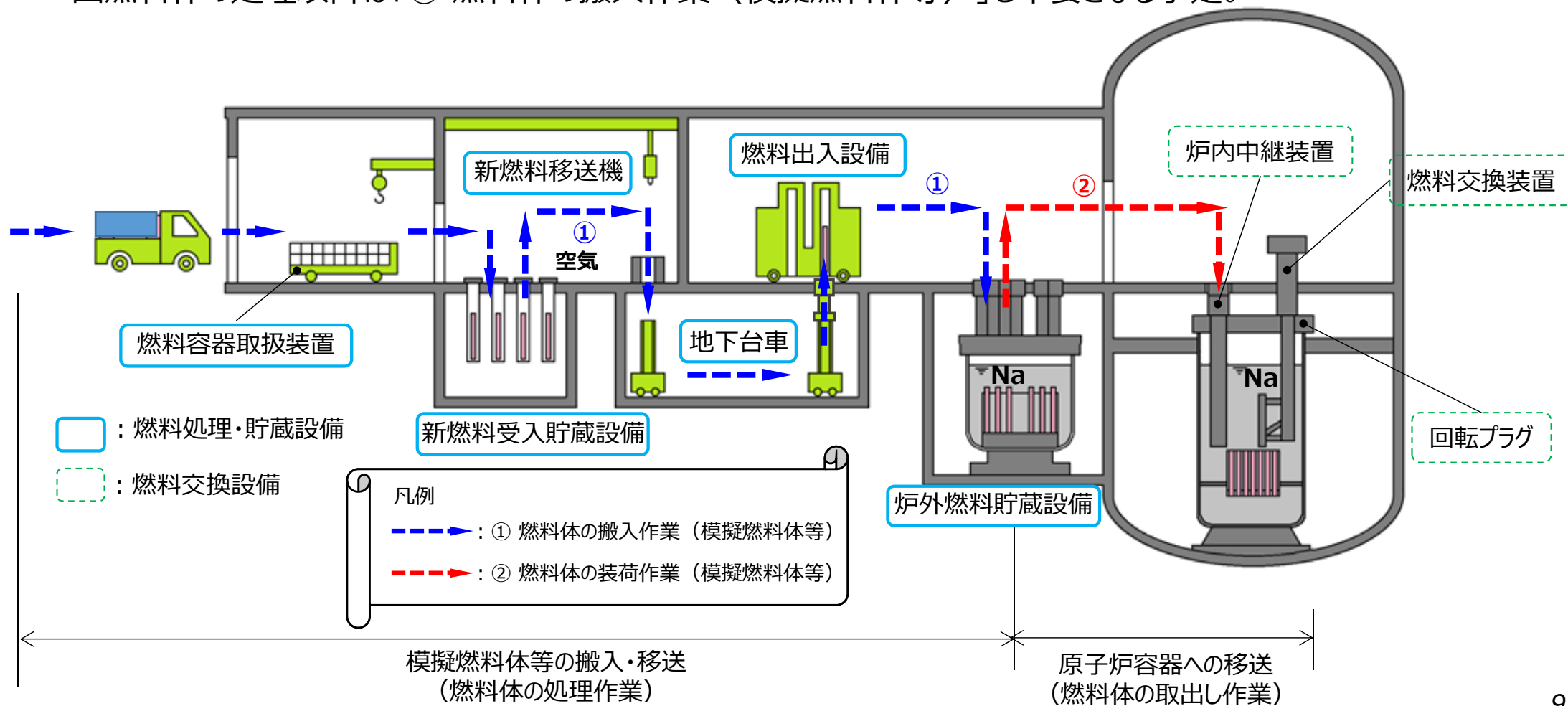
○燃料体の取出し作業、燃料体の処理作業の概要 (1/2)

- 燃料体は、燃料取扱及び貯蔵設備にて取扱われ、運転操作は、燃取系操作室より全て遠隔自動で行われる。
- 冷却材のNaは化学的に活性なため、炉外燃料貯蔵槽から使用済燃料を移送する際に機器に付着残留したNaが燃料洗浄槽の残留水分と反応しNa化合物となること、炉外燃料貯蔵槽から地下台車へ持ち込んだNaが新燃料（模擬燃料体）移送時に化合物を形成することが課題



○燃料体の取出し作業、燃料体の処理作業の概要 (2/2)

- 現状は原子炉炉心では燃料体を1体取出すごとに模擬燃料体（形状重量を燃料体に合わせた治具）を1体装荷し、炉心構成を変更することなく燃料体取出しを実施。
- 一方、別途実施している模擬燃料体の部分装荷の検討（添付資料1）から、2022年に計画している第3回目の炉心からの燃料体の取出し（添付資料2）では「②燃料体の装荷作業（模擬燃料体等）」は不要とすることを原子力規制庁から認可された。今後の必要体数は炉外燃料貯蔵槽に搬入済みのため、次回2021年の第3回燃料体の処理以降は「① 燃料体の搬入作業（模擬燃料体等）」も不要となる予定。

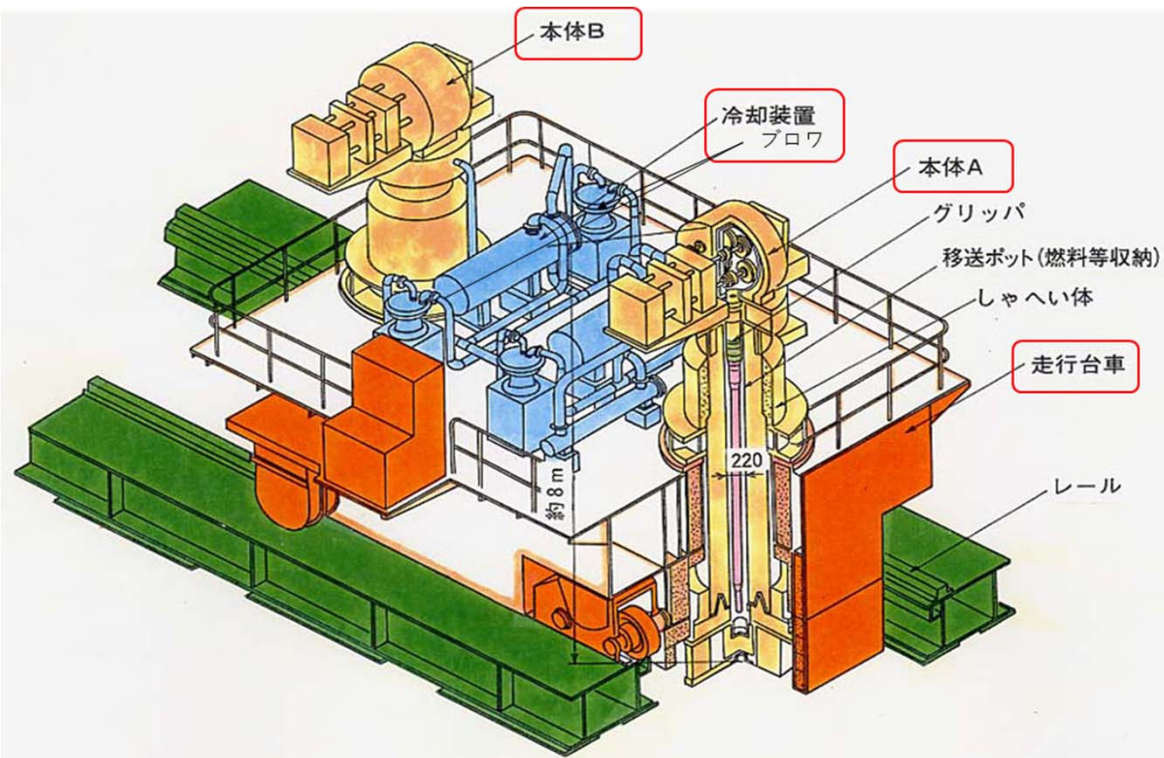


○燃料取扱及び貯蔵設備の主要設備 (1/6)

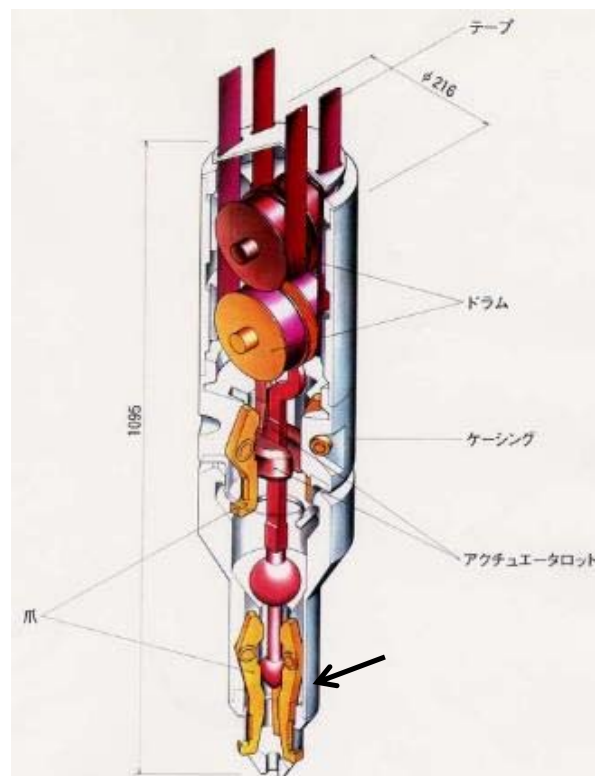
燃料出入設備

- 燃料出入設備（燃料出入機）は燃料体の床設備間の移送を行う設備である。
- 本体AではNa及びArガス雰囲気での燃料体を取扱い、本体Bでは水及び空気雰囲気での燃料体を取扱う。
- 燃料体をつかみはなしするグリップは4本のテープで吊り下げられており、昇降時には4本ともに同じ方向に動かし、爪開閉時には2本のみを送り出し・巻き上げて逆方向に動かすことで爪を動作させる。

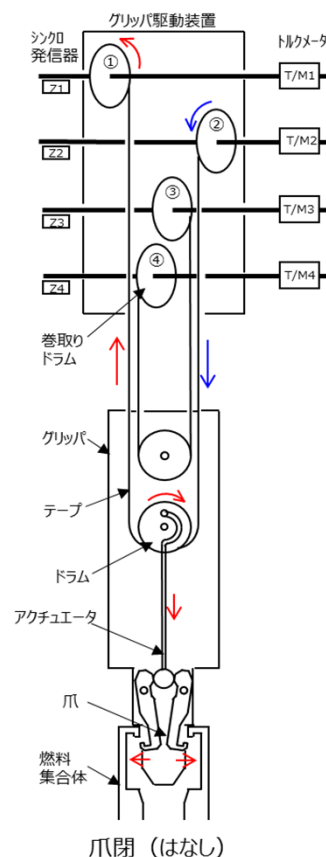
⇒ 本設備のグリップ爪開閉トルクの上昇が課題となった（後述）



燃料出入機全体図



グリップ拡大図 (本体A)

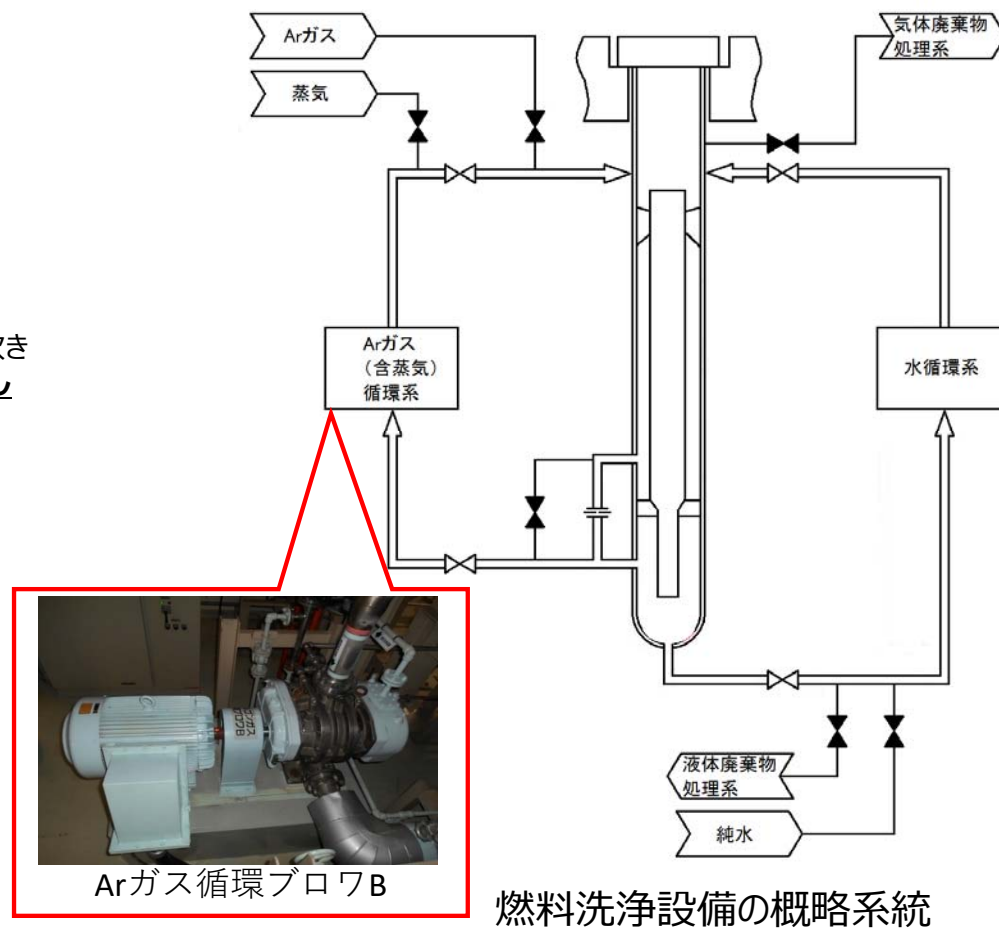
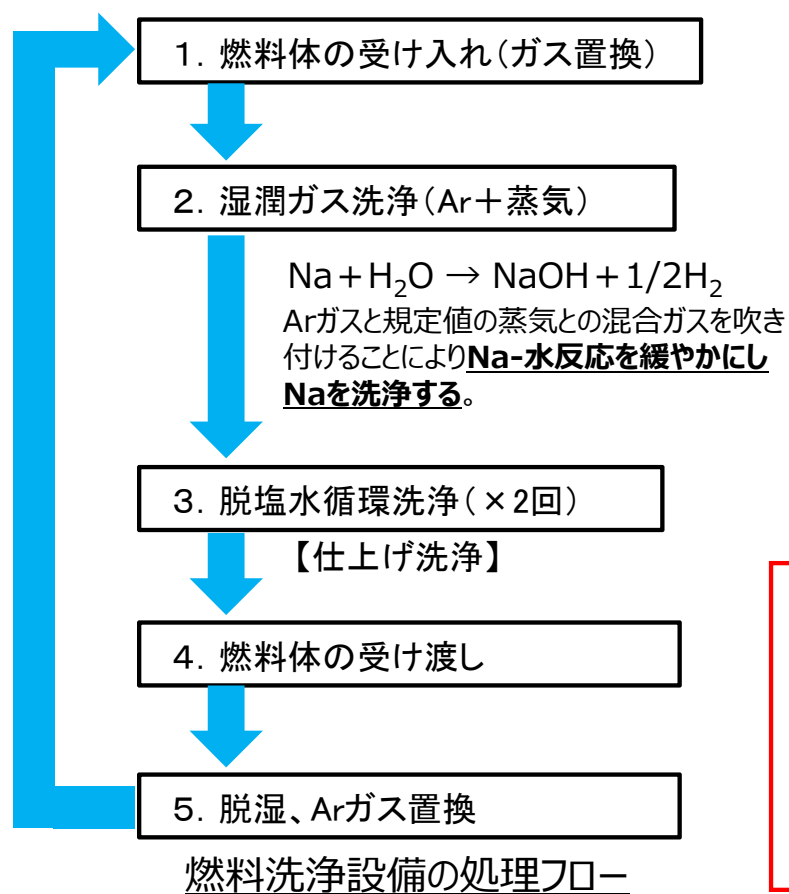


グリップ爪開閉駆動原理図 (本体B)

○燃料取扱及び貯蔵設備の主要設備 (2/6)

燃料洗浄設備

- 水中貯蔵設備で貯蔵するため使用済燃料体の付着Naを除去する設備である。
- 使用済燃料体の付着Naに蒸気を含む湿潤Arガスを吹き付け、Na-水反応を緩やかにして不活性化した上で、脱塩水を循環して洗い流す。
- 本設備には燃料出入設備の本体Aと本体Bの両方のグリッパがアクセスする。このためNaが付着した本体Aのグリッパがアクセスする前に脱湿運転を実施して、Naの化合物の生成を防止する。(本脱湿運転が不十分⇒後述)

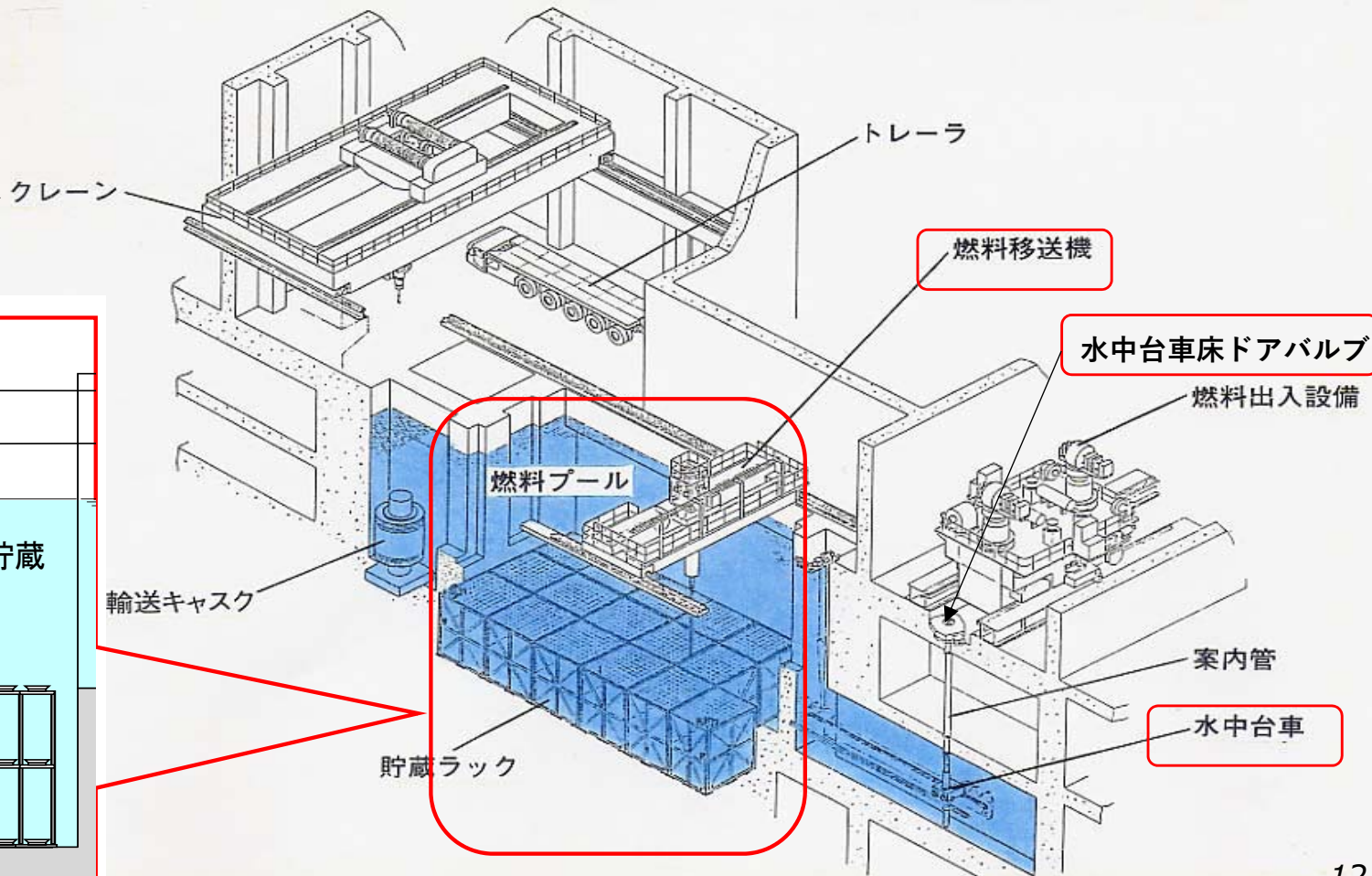
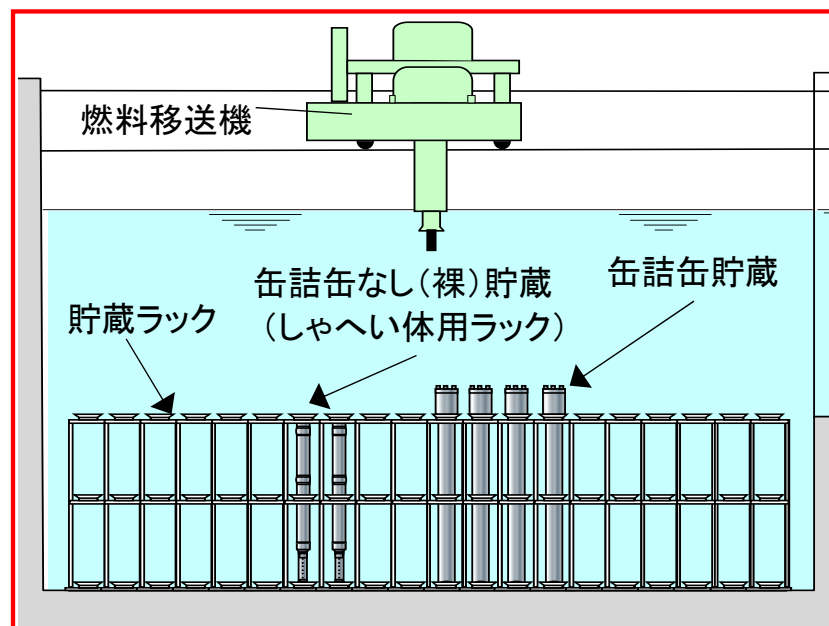


○燃料取扱及び貯蔵設備の主要設備（3/6）

水中燃料貯蔵設備

- 洗浄及び缶詰後の使用済燃料体を水中移送して、燃料池の貯蔵ラック中に貯蔵する設備である。
- 常陽実績から長期水中貯蔵の被覆管健全性を確認したことから、洗浄後の燃料は缶詰貯蔵をやめ、裸貯蔵する方針に変更した。
- ただし、2018年度取出しの100体分（当初計画）の燃料は設計どおり缶詰缶に収納して貯蔵する。

貯蔵ラック	貯蔵対象	貯蔵可能容量
缶詰缶A用	缶詰缶燃料体	1412体
缶詰缶B用	缶詰缶制御棒、缶詰缶固定吸収体	747体
しゃへい体用	中性子しゃへい体裸貯蔵燃料体	456体



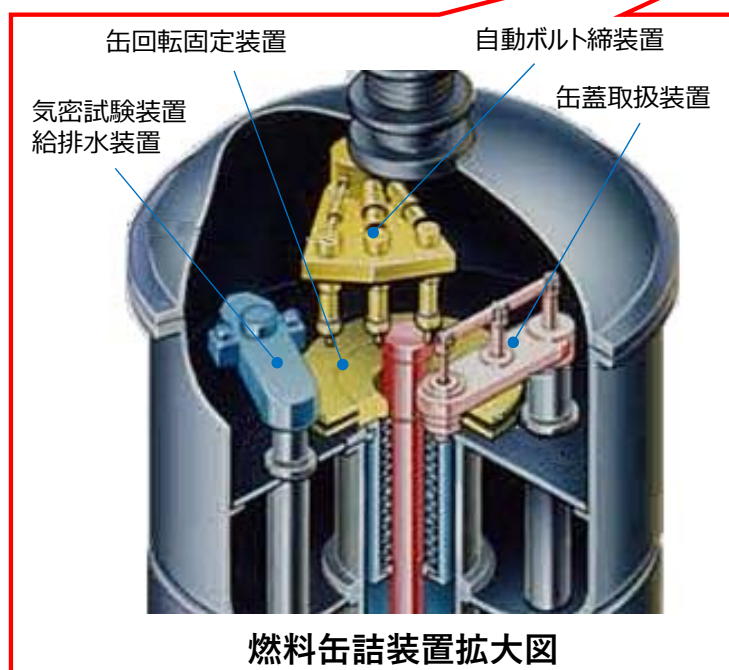
○燃料取扱及び貯蔵設備の主要設備 (4/6)

燃料缶詰装置

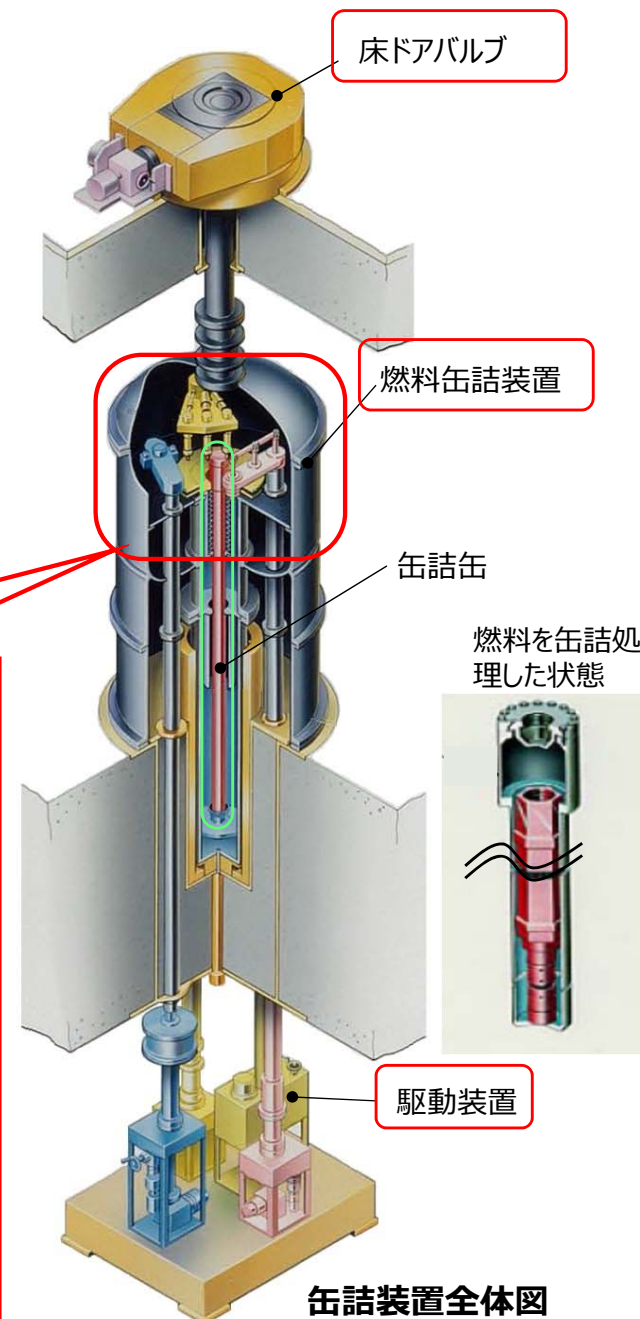
- 使用済燃料体を水中貯蔵の前に缶詰缶に封入する設備である。
- 2018年度に取扱う最初の100体（当初計画）は性能確認のため設計どおり缶詰缶に封入し、残りの430体は缶詰缶なしの裸燃料のまま水中貯蔵設備に保管する。
- このため、2020年の第2回燃料体の処理以降は本設備は使用しない



缶詰装置容器開放作業状況



燃料缶詰装置拡大図



缶詰装置全体図

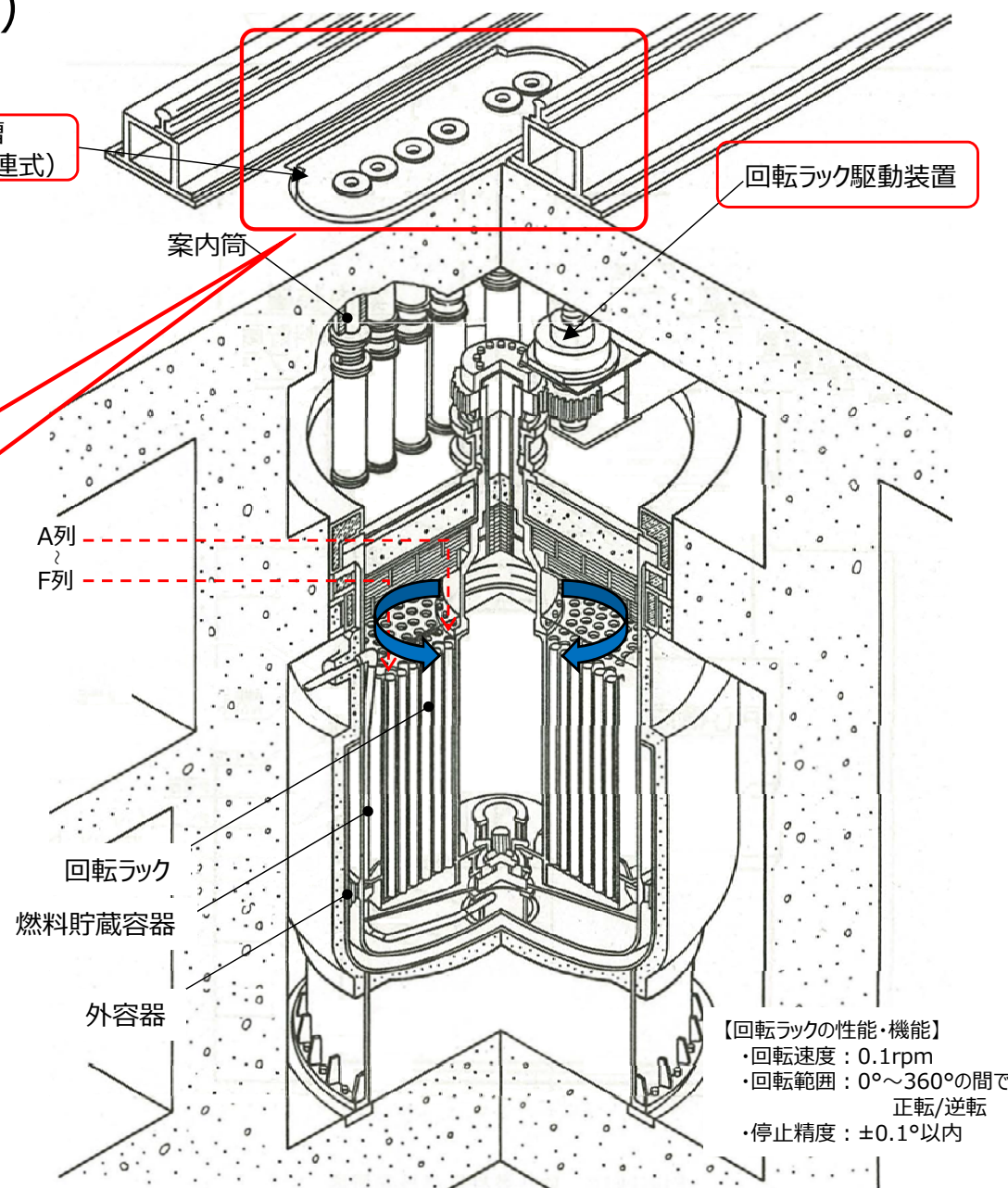
○燃料取扱及び貯蔵設備の主要設備 (5/6)

炉外燃料貯蔵設備

- 使用済燃料の崩壊熱の減衰待ちと新燃料（模擬燃料体）の一時貯蔵を行うNa中貯蔵設備である。
- 燃料出入機の床ドアバルブへの接続位置と炉外燃料貯蔵槽の回転ラックの回転により貯蔵位置へ燃料体を位置決めする。
- 貯蔵容量：約250体



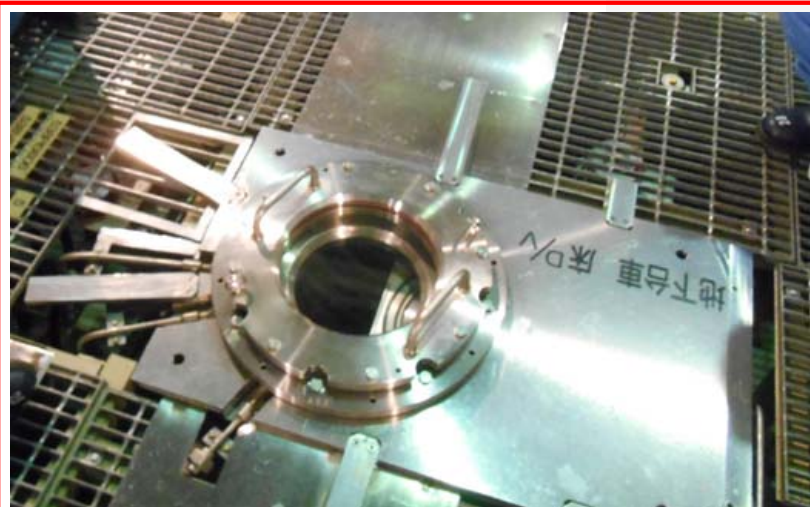
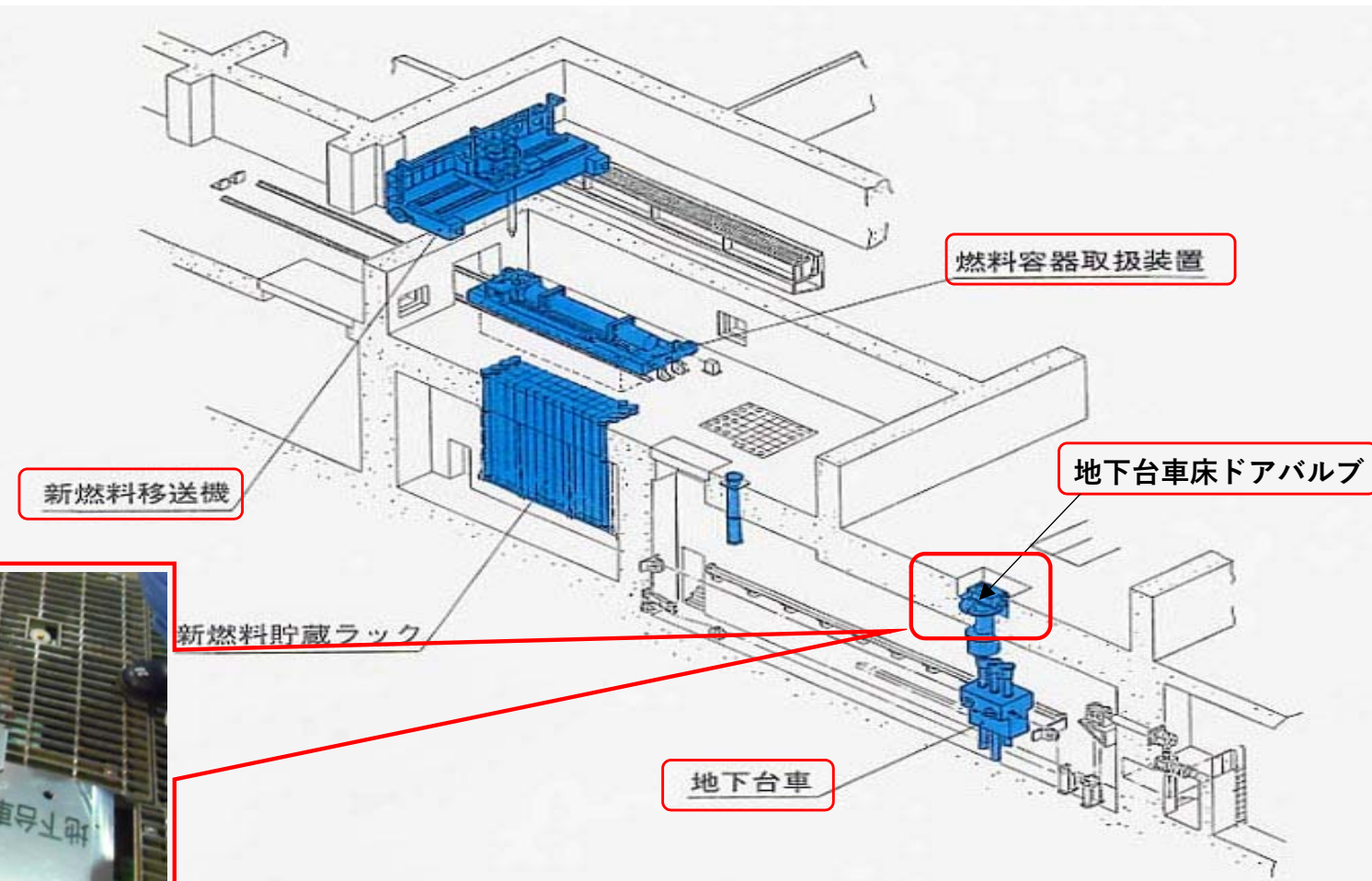
床ドアバルブ（6連式）取外し作業状況



○燃料取扱及び貯蔵設備の主要設備 (6/6)

新燃料受入貯蔵設備

- 新燃料体（模擬燃料体）を新燃料移送機を使って空気雰囲気中で受入れ、新燃料貯蔵ラックに貯蔵する。
- 新燃料体（模擬燃料体）は地下台車でArガス雰囲気中に置換・予熱後に燃料出入設備に受け渡す。
- 2020年の燃料体の処理で模擬燃料体の搬入を完了したため、2021年以降の燃料体の処理では本設備は使用しない。

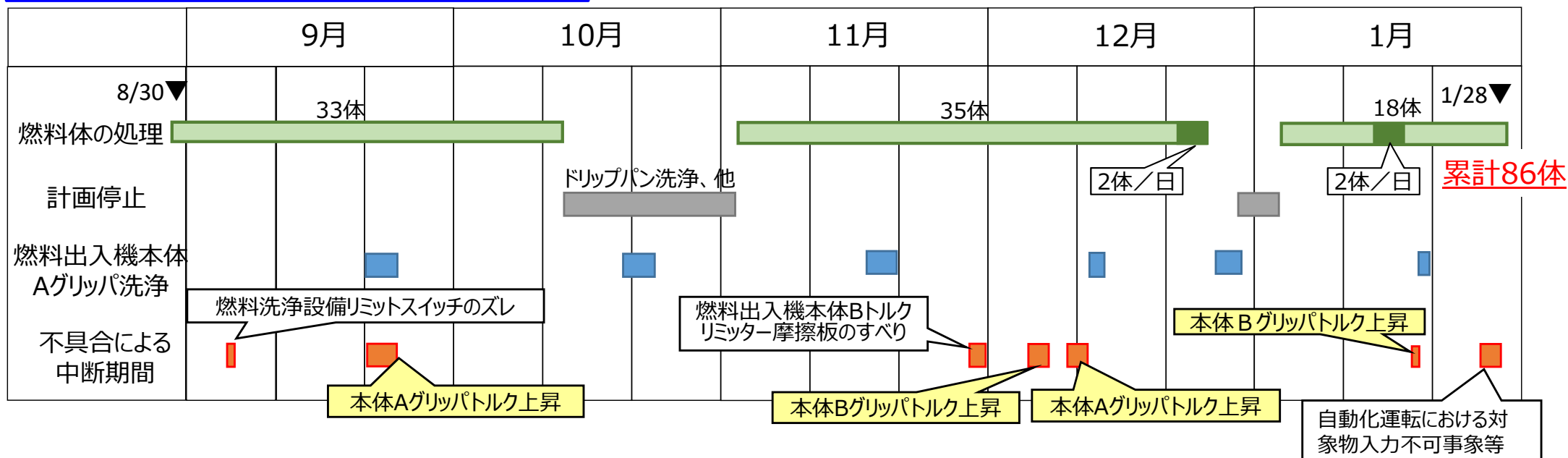


地下台車床ドアバルブ点検前作動確認の状況

1. もんじゅ廃止措置の概要
2. プラント状態と燃料体取出し作業及び燃料取扱設備の概要
3. 2018年度の燃料体処理時の不具合
4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理
5. まとめ

3. 2018年度の燃料体処理時の不具合（1/7）

2018年度の燃料体の処理実績



- 2018年度の燃料体の処理開始前まで、2体の燃料体の処理実績しかなく、大量の燃料体を自動化運転で処理した実績がなかった。
- 燃料体の処理状況を確認する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グリップへのナトリウム付着、燃料出入機本体Bグリップのトルク上昇、トルクリミッターの異常等の発生による処理作業工程の遅延。
- 合計86件（のべ232件）の不具合等が発生（2.7 件/体）に伴う、運転員の作業負荷の増大。
- 2018年度の当初処理計画100体（2018/7-2018/12）に対し、上記不具合等により86体の処理で終了（2018/8-2019/1）。

3. 2018年度の燃料体処理時の不具合（2/7）

➤ 2018年度の燃料体処理で経験した不具合等のまとめ

- ・発生した警報等86件（のべ232件）のうち、設備対応31件、運用対応7件、対策完了31件*、今後不使用等17件*

*：下表では代表的な警報のみ記載

要因分類	主な対策を要する警報等	対策分類*1
機械異常	・燃料出入機本体Aグリッパのつかみはなし異常(Na等付着) :8件 ・燃料出入機本体Aグリッパのクラッチ動作遅延 :1件 ・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) :3件 ・燃料出入機本体Bトルクリミッタ摩擦板の滑り :2件 ・真空ポンプシール異常 :2件 ・燃料出入機本体Aドアバルブのナトリウム付着 :2件 ・グリッパ交換装置現場盤動作不可 :1件	設備対応 設備対応 設備対応 設備対応 設備対応 設備対応 設備対応
系統異常	・EVSTブローダウン流量異常 :1件 ・プレコートフィルタ通水不可 :1件	対策完了（運用対応） 対策完了（運用対応）
信号異常	・燃料洗浄設備のリミットスイッチのズレ :1件 ・ガス置換排気時間超過による連動運転渋滞 :6件 ・燃料洗浄槽配管予熱温度異常 :2件 ・自動化運転における対象物入力不可 :1件 ・自動化運転リセット後のCRT表示不具合 :1件 ・燃料処理設備制御盤間の伝送異常等の起動条件不成立 :3件 ・燃料移送機の連動運転渋滞 :1件 ・警報発生時に自動化除外せず :1件 ・クラッチ動作遅延ソフトの誤修正 :1件	設備対応 運用対応 設備対応 設備対応 設備対応 設備対応 設備対応 設備対応 設備対応
環境異常	・燃料缶詰装置監視用ITV保護ガラスの結露 :2件	今後不使用
その他	・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 :1件 ・貯蔵ラックターゲットプレート上の影 :1件 ・燃料洗浄設備の脱塩水洗浄時の電気伝導度低下未了 :1件	今後不使用 設備対応 運用対応

*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

3. 2018年度の燃料体処理時の不具合（3/7）

➤ 対応分類結果（主な項目）

＜設備改善、運用改善に分類した項目について対策検討を行う＞

大分類	小分類	主な項目	方向性
設備 対応	設備改善	・燃料出入機本体Aグリッパのつかみはなし異常（Na等付着） ・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） ・燃料出入機本体Aグリッパのクラッチ動作遅延、ソフト誤修正 ・自動化運転リセット後のCRT表示不具合 ・自動化運転における対象物入力不可 ・燃料処理設備制御盤間の伝送異常等の起動条件不成立 ・燃料洗浄槽配管予熱温度異常 ・燃料出入機本体Aドアバルブへのナトリウム付着 ・燃料移送機の連動運転渋滞 ・警報発生時に自動化除外せず	・頻度大で工程影響大⇒対策Aとして重点検討 ・燃料処理後半に頻度大、操作員負荷大 ⇒対策Bとして重点検討 主に自動化運転プログラムの修正等の対策が必要な各種不具合 ⇒対策Cとして種類別に検討
	補修・調整、 予備品確保 ※	・燃料洗浄設備のリミットスイッチのズレ ・燃料出入機本体Bトルクリミッタ摩擦板の滑り ・真空ポンプシール異常 ・グリッパ交換装置現場盤動作不可 ・貯蔵ラックターゲットプレート上の影	・調整で復旧済み、予備品確保 ・補修で復旧済み、長納期のため予備品確保 ・分解点検とシール交換 ・補修予定 ・観察継続、除去方法検討
運用 対応	運用改善	・ガス置換排気時間超過による連動運転渋滞 ・燃料洗浄設備の脱塩水洗浄時の電気伝導度低下未了	主に自動化運転プログラムの修正等の対策が必要な各種不具合 ⇒対策Cとして種類別に検討
	手順書反映	・EVSTブローダウン流量異常 ・プレコートフィルタ通水不可	対策完了 対策完了
対応不要		・燃料缶詰装置監視用ITV保護ガラスの結露 ・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	・缶詰処理は今後行わない ・同上

※補修・調整・予備品確保が必要な項目

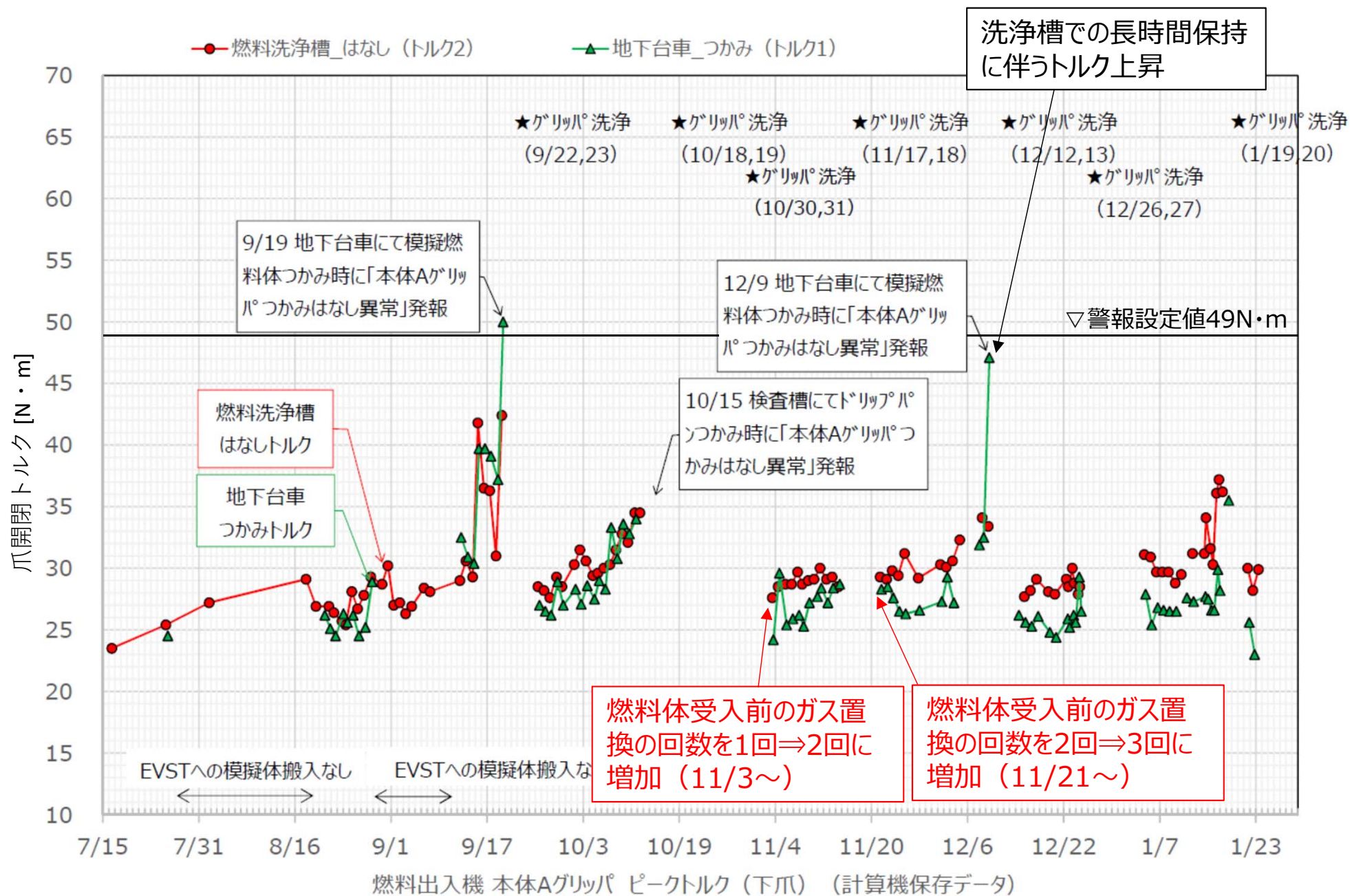
・設備点検の中で補修、調整。更なる追加点検や燃料交換設備への水平展開の要否についても検討し、次回の燃料体取出し作業までに必要な点検を実施
 ・必要な予備品については適宜確保に努めてきているが、更なる拡充について、リスクアセスメントの結果等を踏まえ対応

ex.過去に経験がなく初めて顕在化した事象：トルクリミッタ、ブレーキ、クラッチなど摩擦板を使用した機器の予備品確保や点検追加など

3. 2018年度の燃料体処理時の不具合（4/7）

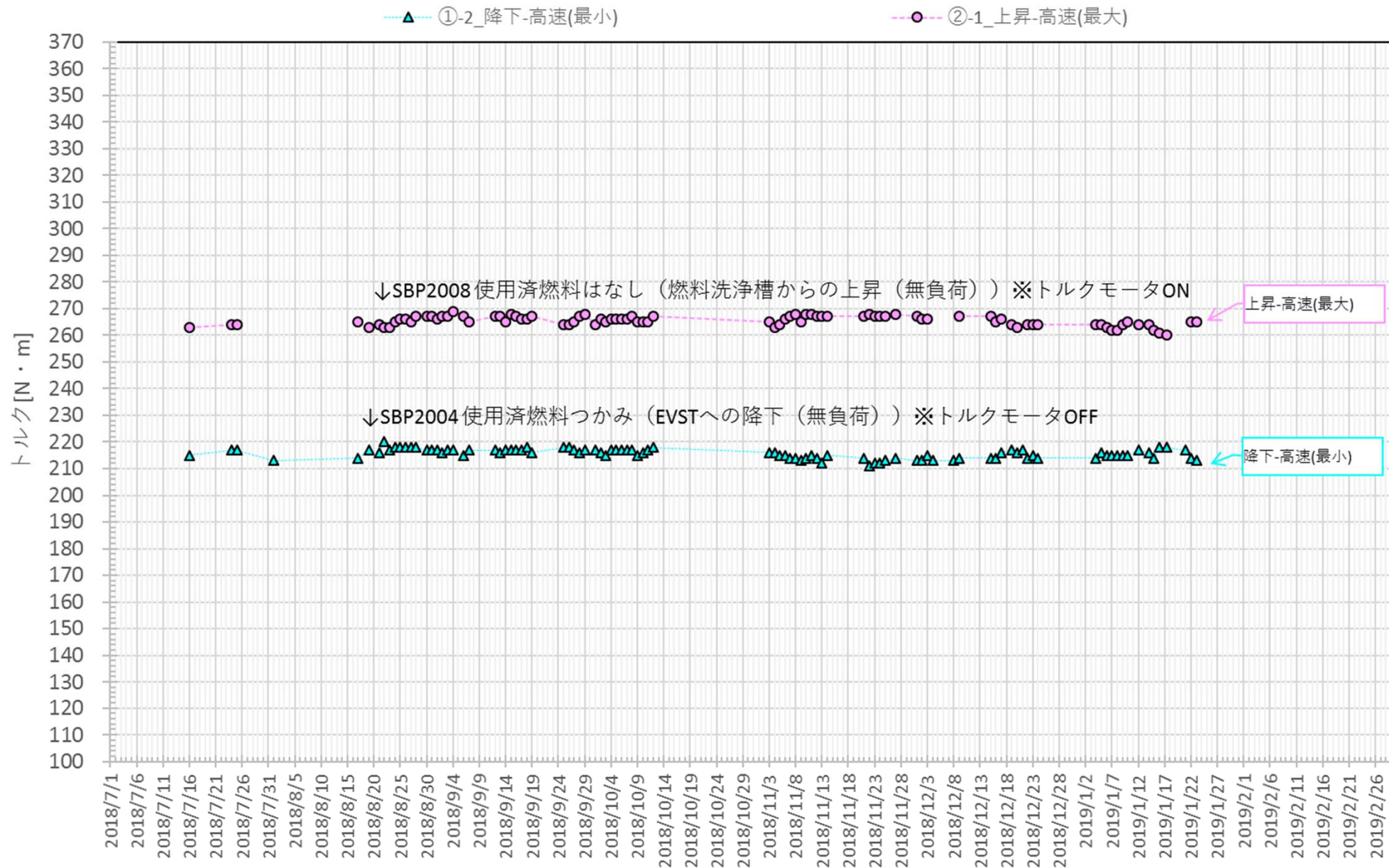
燃料出入機本体Aグリップ下爪の爪開閉トルク変動履歴

- 連続使用中に徐々に爪開閉トルクが上昇し、警報発報に至る場合あり。ガス置換回数増加後は比較的安定



3. 2018年度の燃料体処理時の不具合（5/7） 燃料出入機本体Aグリッパ昇降トルク変動履歴

- 爪開閉トルクと異なり、昇降トルクは大きな変動なし

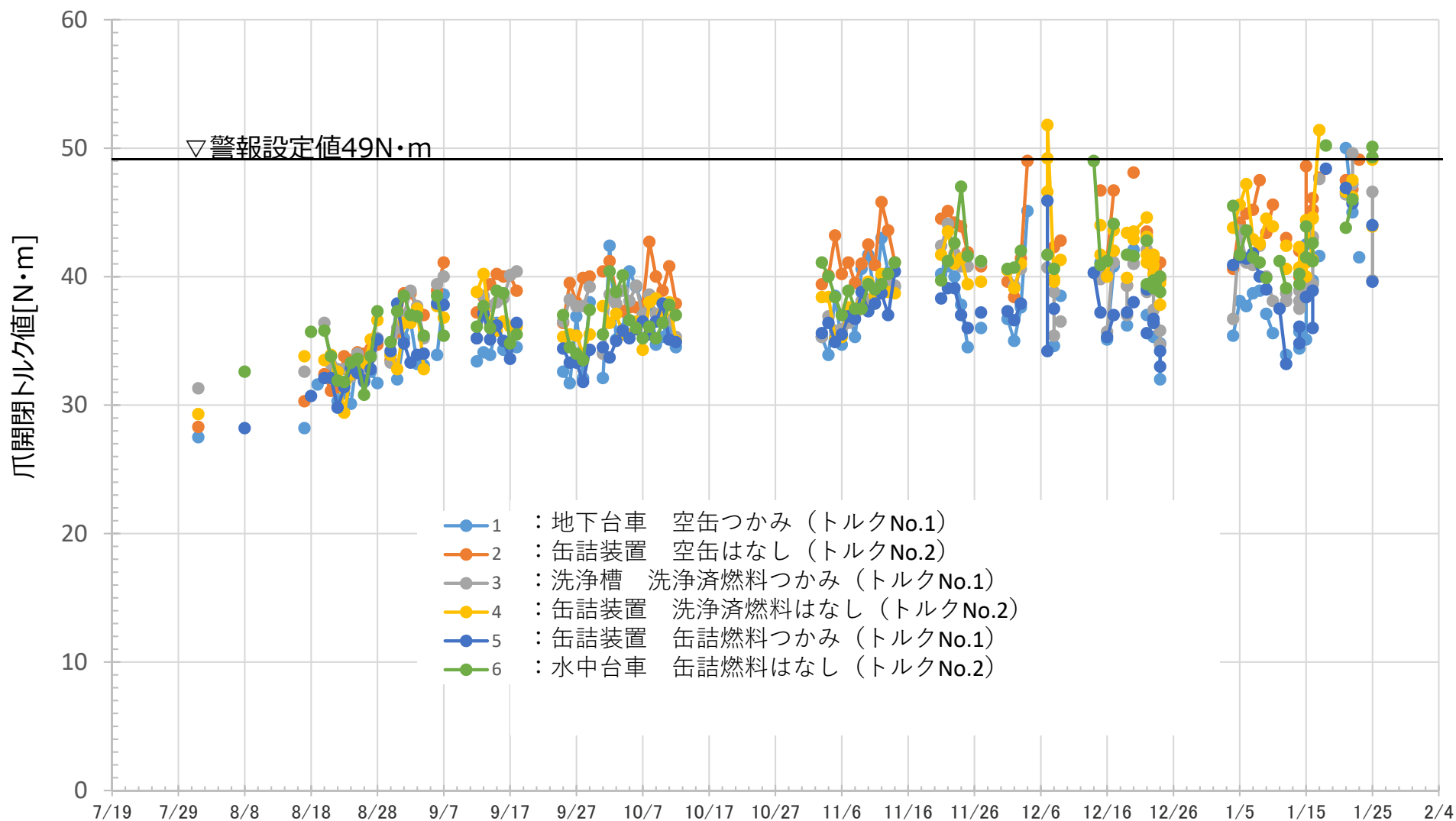


本体A 昇降トルク推移（無負荷、全体） ※降下：to EVST、上昇：from 燃料洗浄槽

3. 2018年度の燃料体処理時の不具合（6/7）

燃料出入機本体 B グリッパ下爪の爪開閉トルク変動履歴

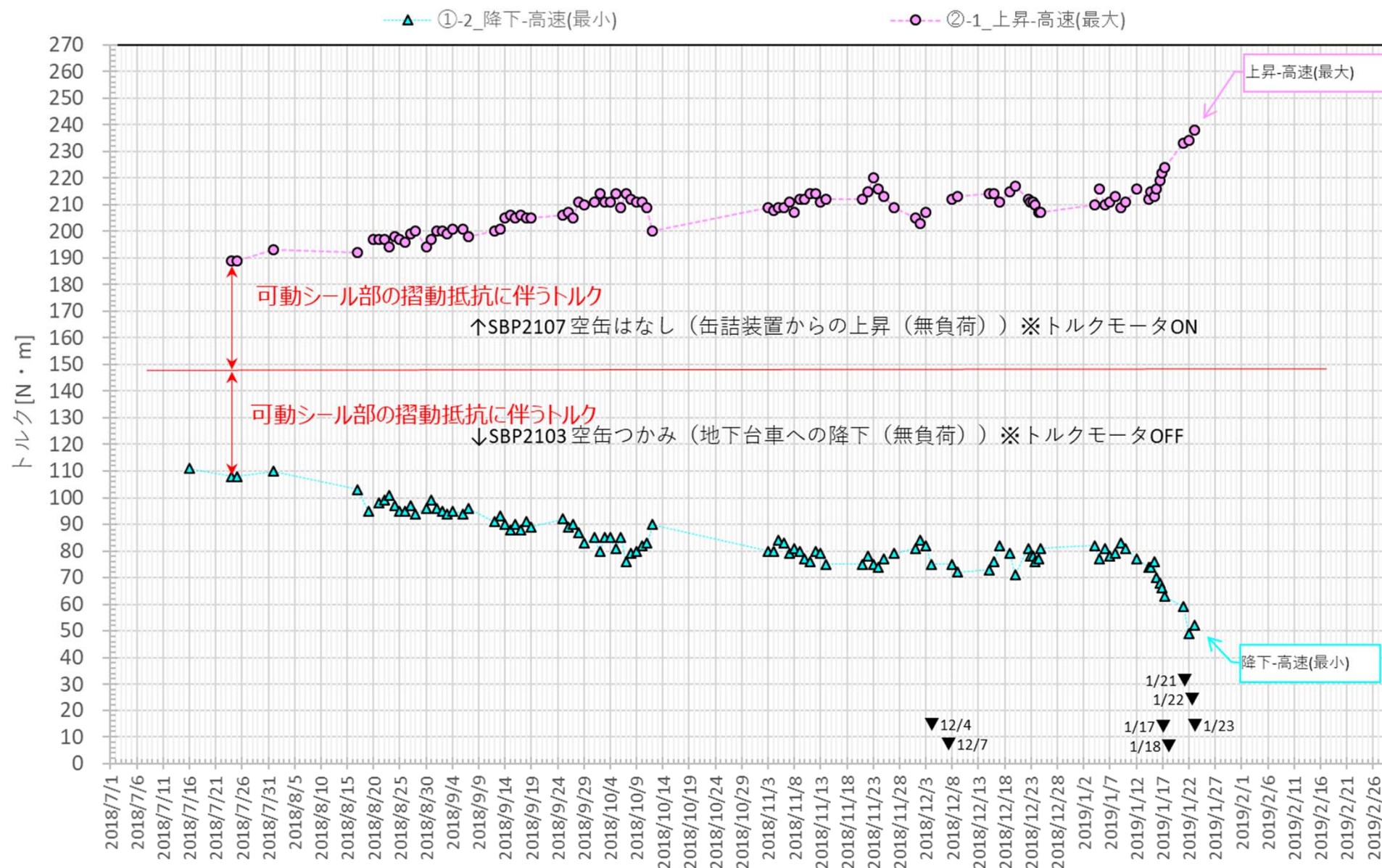
- 爪開閉トルクは上昇傾向にあり、12月以降はばらつきも大きくなっていき、12/4,7,1/17,18,23,24と当初の警報設定値49N・mを超えて複数回停止した。特に1月後半は平均値も大きく増加した。



3. 2018年度の燃料体処理時の不具合（7/7）

燃料出入機本体B昇降トルク推移

- 本体Bでは昇降トルクも可動シール部の摺動抵抗が徐々に増加し、下降はトルク上昇、上昇時はトルク低下が発生、1月後半には大きな抵抗増加がみられた



本体B 昇降トルク推移 (無負荷、全体) ※降下：to 地下台車、上昇：from 缶詰装置

1. もんじゅ廃止措置の概要
2. プラント状態と燃料体取出し作業及び燃料取扱設備の概要
3. 2018年度の燃料体処理時の不具合
4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理
5. まとめ

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

● 2018年度の燃料体の処理で発生した不具合への対策とその効果のまとめ

2018年度燃料体の処理時の不具合		不具合対策の概要	効果（2020年燃料体の処理状況）
【対策A】燃料出入機本体Aグリッパトルク上昇対策 （本体Aグリッパへのナトリウム化合物付着に伴うグリッパのつかみはなしトルク上昇）		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 （ガス置換回数の変更等）	・トルク上昇警報（1件）により、グリッパ洗浄を実施、その後はトルク監視によるグリッパ洗浄時期の計画運用により、警報の発報なし
【対策B】燃料出入機本体Bグリッパトルク上昇対策 （可動シール等のトルク増大に伴うグリッパのつかみはなしトルク上昇）		1)摺動部品の新品交換 2)要素試験によるトルク特性の確認とそれに基づくシール部予熱対策	・加温によりトルク上昇のないことを確認 ・警報の発報なし
【対策C】その他ソフトウェア不具合等の対策 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）	・燃取系計算機のプログラムバグ改修	・発生なし
	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）	・燃取系計算機のプログラムバグ改修	・発生なし
	③ 燃料出入機本体Aグリッパのクラッチ動作遅延	・部品交換、制御プログラム改修	・発生なし
	④ 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 （燃料体からのナトリウム滴下及び地下台車からの化合物吹き上がり）	1) 冷却系の停止による滴下量の削減 2) 追加対策：地下台車の清掃	・一時的なナトリウム化合物の付着による漏れの発生（3件）あり ・地下台車の清掃以降は発生なし
	⑤ 洗浄水の電気伝導度高による自動化運転停止	・燃料洗浄追加手動操作の自動化	・発生なし
	⑥ 制御信号伝送異常等による自動化運転停止（伝送ノイズ）	・信号伝送システムの更新	・伝送ノイズ対策が十分でないと思われる伝送異常の発生有り
	⑦ ガス置換時間超過による自動化運転停止（地下台車等）	・ガス置換方法の改良	・気圧の変動等により4件発生有るも発生頻度は大幅低減
	⑧ 燃料洗浄槽配管予熱温度異常による自動化運転停止	・配管予熱設備の改良（ヒータ追加）	・発生なし

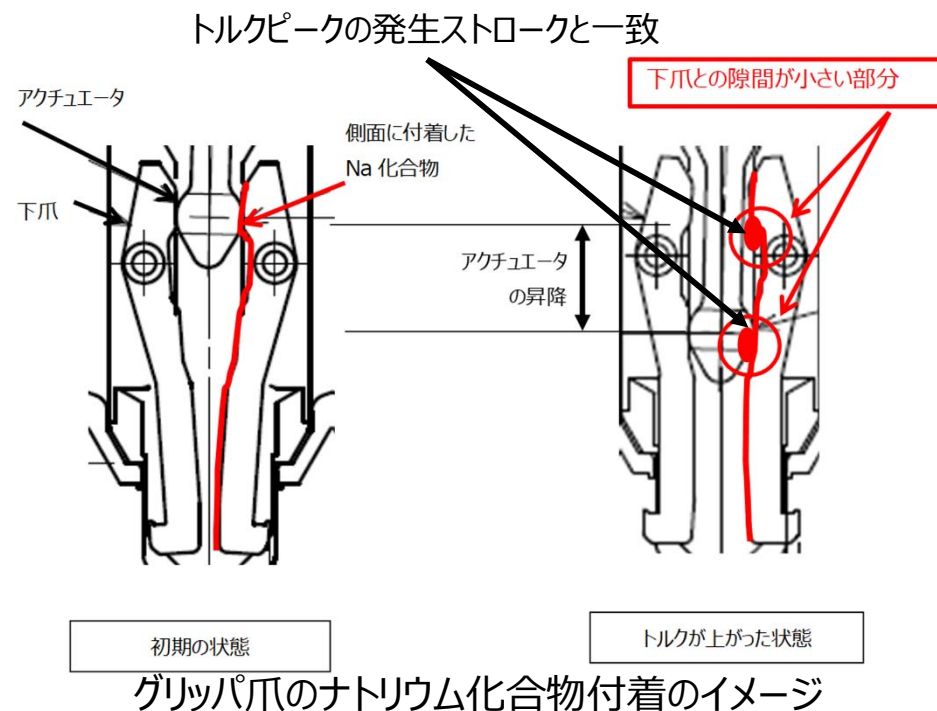
 : 2020年の燃料体の処理実施前に再発可能性ありと想定した事象

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策A】燃料出入機本体Aグリッパのトルク上昇対策（1/7）

1) 本体Aグリッパのトルク上昇要因

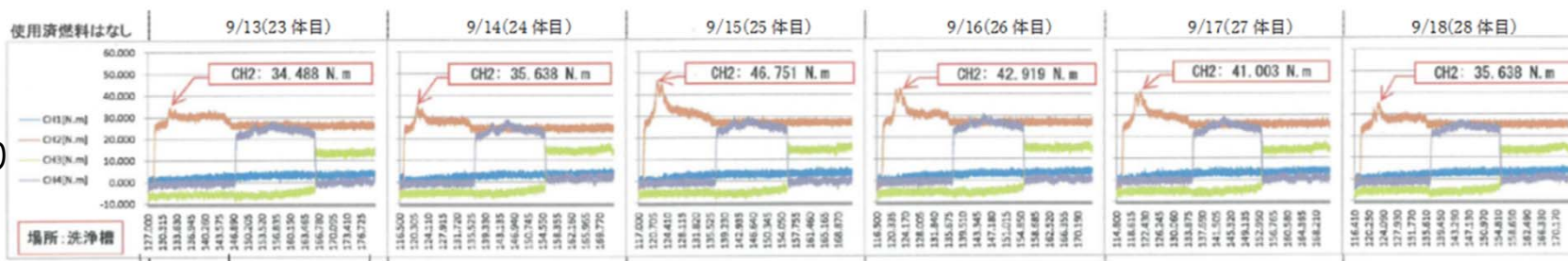
トルク上昇事象	トルク上昇の要因分析（推定）
- 燃料体処理を繰り返す毎に特定のストロークでトルクが徐々に上昇 - トルク上昇したストロークの位置はグリッパ爪とアクチュエータの隙間が小さい部分と一致	- 炉外燃料貯蔵槽(EVST)でNaが付着し、露点の高い燃料洗浄槽でNaが化合物化 - 潮解したNa化合物の表面にEVST浸漬でさらにNaが付着 - グリッパの爪側面に付着したNa化合物がアクチュエータの昇降に伴い爪の隙間の小さい部分に堆積、または脱落して噛みこみ、トルク上昇（回数を繰り返す毎に上昇）



1体ごとのトルク変動（グリッパ洗浄前）

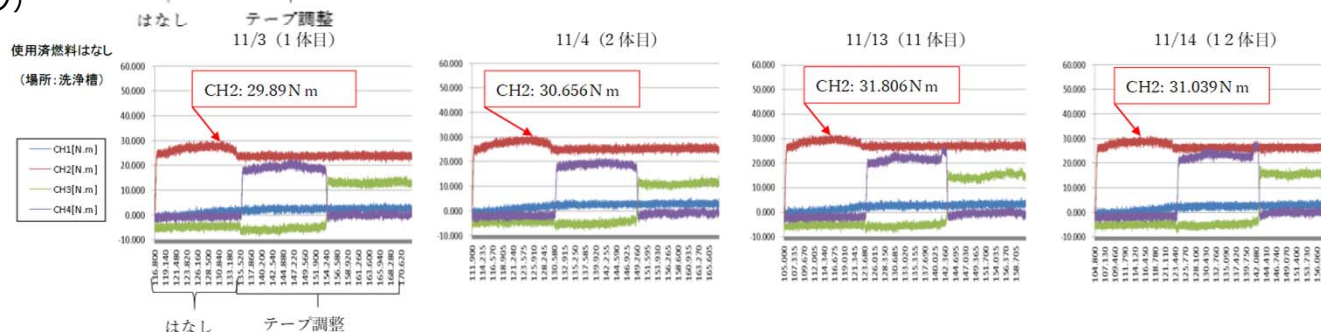
- 同じ位置（ストローク）にトルクピークあり

縦軸：トルクN・m
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



4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策A】燃料出入機本体Aグリッパのトルク上昇対策（2/7）

2) 本体Aグリッパのトルク上昇対策（1/4）

○ ガス置換回数の増加（2018年度実施対策）

- 燃料洗浄槽の湿分を低減するため燃料体受入前のガス置換（真空引きとArガス供給の繰り返し）回数を1回⇒2回（11/3）に変更後（11/21にさらに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。
- 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

⇒ 手動で実施していたガス置換を自動化運転で実施できるように2018年度燃料体処理終了後にプログラム修正。

燃料受入前のガス置換回数と露点温度の例

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（従来）	約-9℃
ガス置換 2 回目（追加）	約-30℃
ガス置換 3 回目（追加）	約-48℃

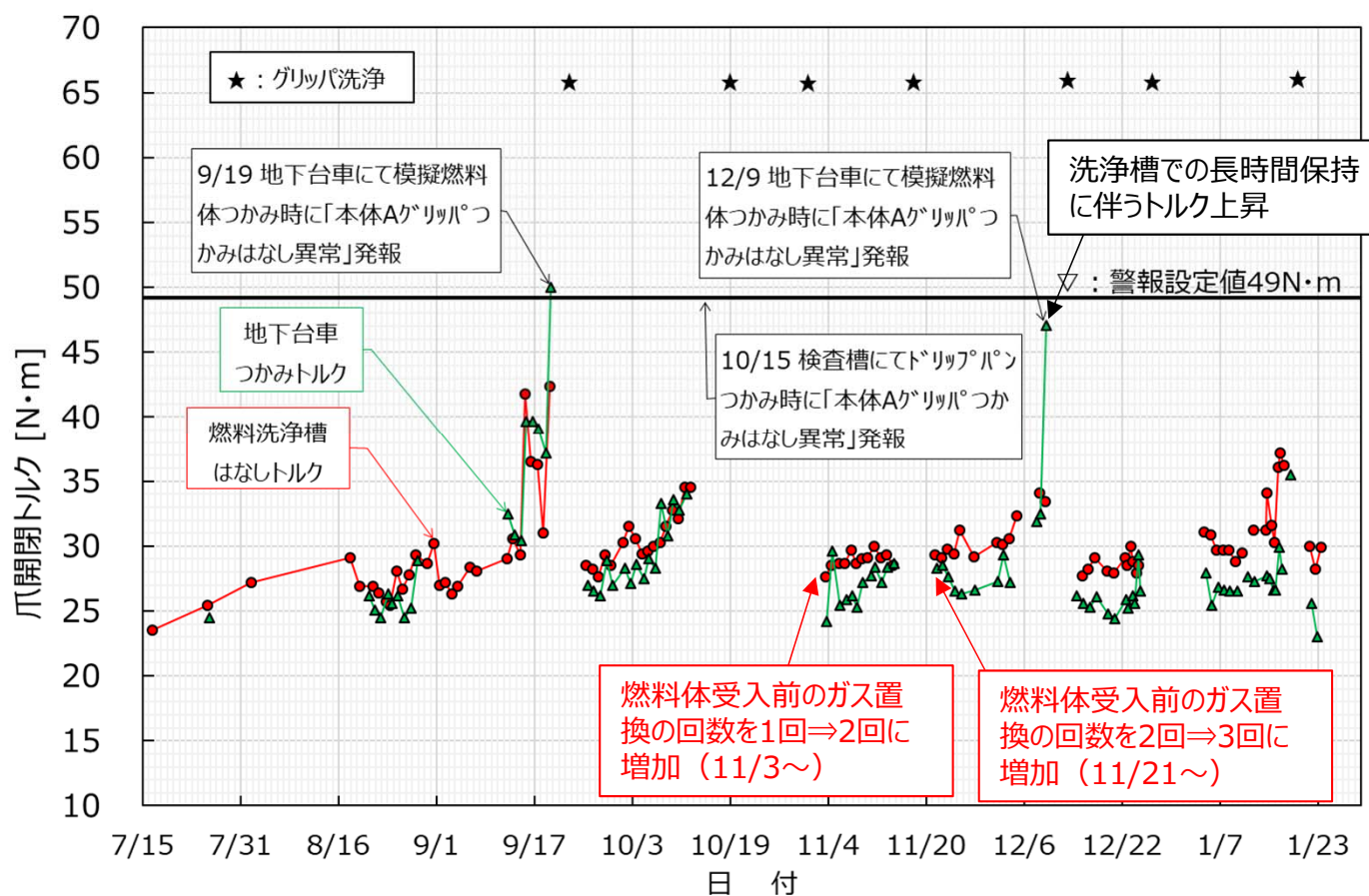
※1：露点温度は受入準備後に燃料を受け入れるまでの時間に相当するガス置換後約30分の上部露点計の値。



9/19警報発報後

1/19計画洗浄前

グリッパ観察状況



4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

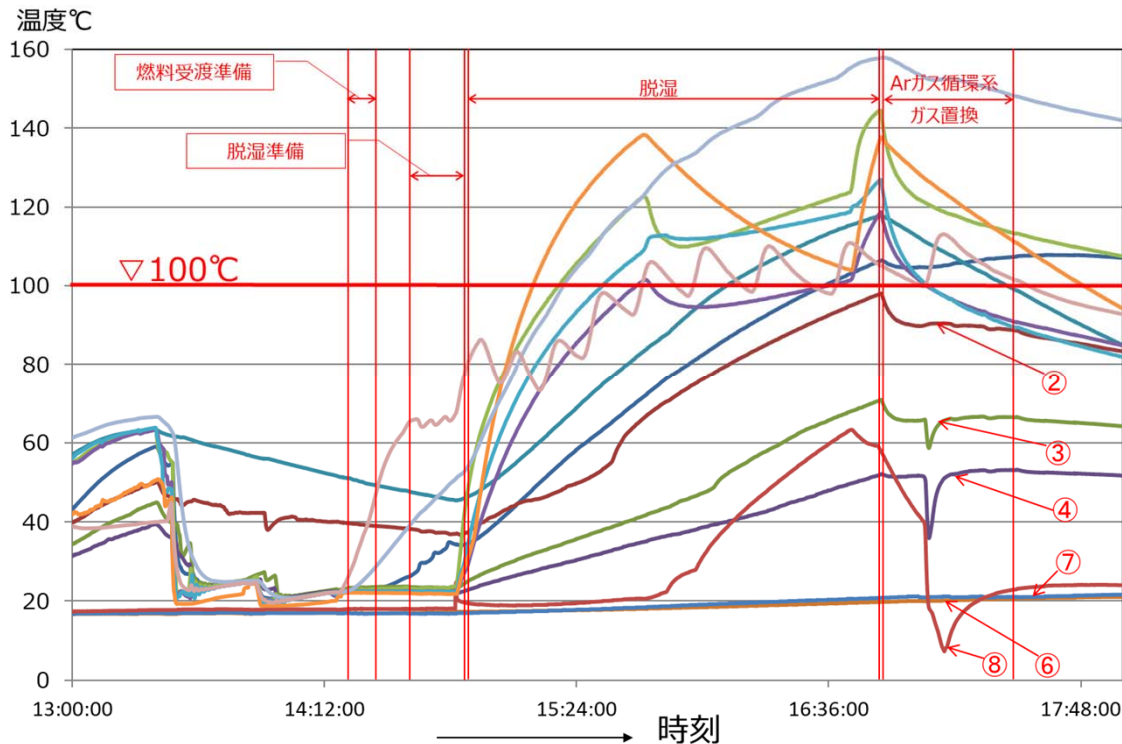
【対策A】燃料出入機本体Aグリッパのトルク上昇対策（3/7）

3) 本体Aグリッパのトルク上昇対策（2/4）

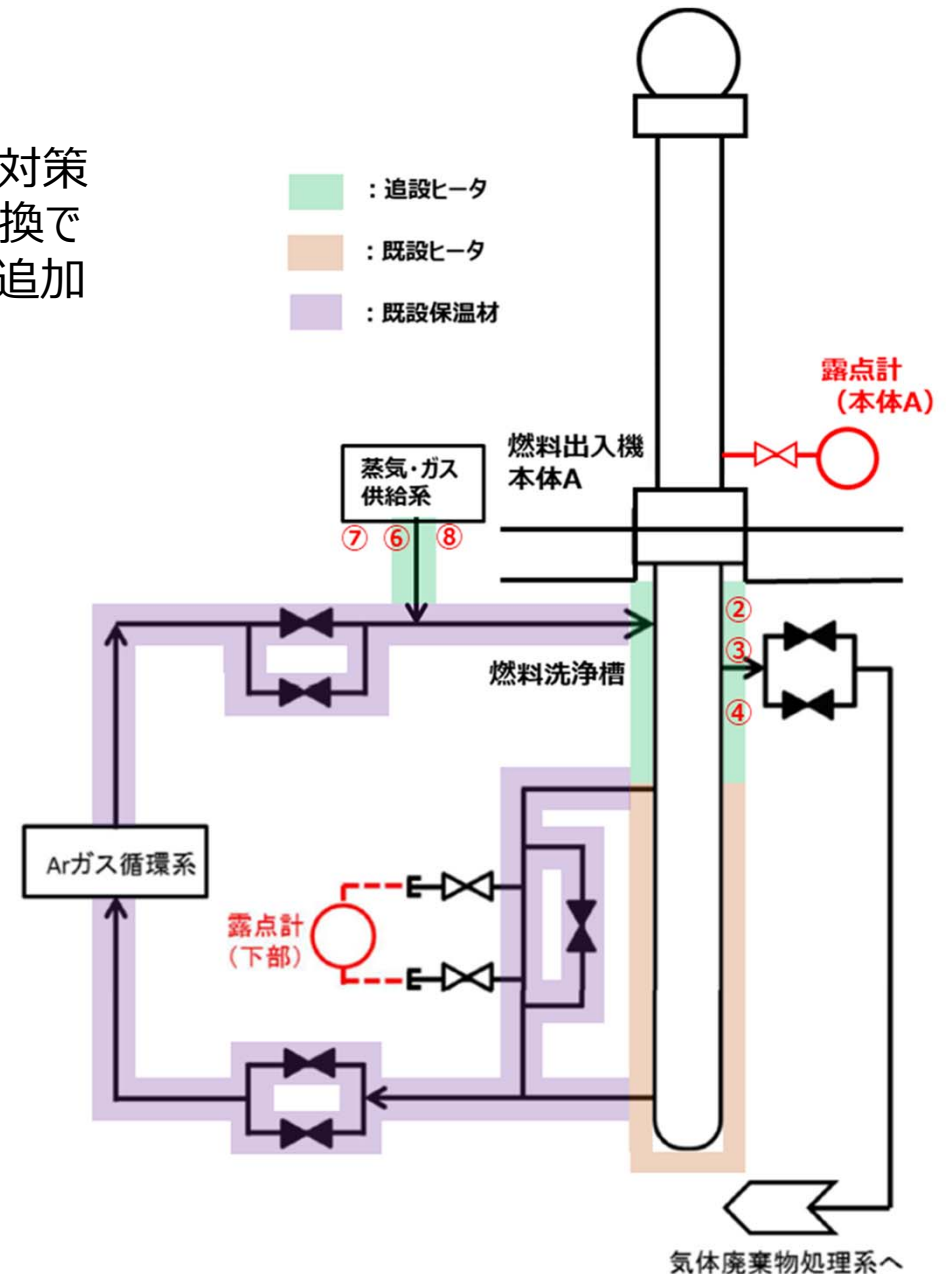
○燃料洗浄槽のヒータ追加設置による除湿

ガス置換回数増加に加えて、燃料洗浄槽自体の湿分の低減対策として、燃料洗浄後の配管温度が100℃を超えない（ガス置換で湿分が除去できない）下記部分についてヒータ及び保温材を追加設置

- 燃料洗浄槽上部、中部胴（②③④）
- ガス供給配管（止め弁まで⑥⑦⑧）



燃料洗浄槽の各部配管温度履歴



燃料洗浄設備の配管概念図

3）本体Aグリッパのトルク上昇対策（3/4）

○燃料洗浄槽のヒータ追加設置による除湿対策の効果確認試験

①燃料洗浄槽内部の露点温度は、除湿運転して一晩保持後も-30℃以下で安定しており、この条件では「N a 浸漬→湿度環境暴露」を繰り返してもN a 化合物が蓄積・増加しない見通し ⇒次頁参照

（2018年度の燃料体の処理作業における燃料洗浄槽の露点温度は、+7℃～-20℃程度であり、除湿運転して一晩保持後には+16℃程度まで上昇）

②一方、燃料洗浄槽ガス置換後に本体Aを接続すると、本体Aの露点温度が接続時間7分間で-24℃程度に一時的に上昇し、グリッパ昇降によって4℃程度上昇することを考慮すると-20℃以下の条件では「N a 浸漬→湿度環境暴露」を繰り返すとN a 化合物が蓄積・増加するが、その速度（量）は、2018年度の半分程度に改善の見通し ⇒次頁参照

模擬燃料体を用いた洗浄試験における露点温度（単位：℃）

月日	測定場所	受入準備 直前*1	燃料体受入後の経過時間		
			0 分間	5 分間	7 分間
12月26日	本体 A	-64	-35	-39	-39
	洗浄槽下部	-36	-28	-29	—
12月27日	本体 A	-62	-61	-40	-33
	洗浄槽下部	-33	① -38	-44	—
12月28日	本体 A	-63	-60	-28	-24 ②
	洗浄槽下部	-33	-41	-48	—

*1：洗浄槽については除湿運転後保持、本体Aについてはドアバルブ閉止後保持後に受入準備直前にガス置換を実施し、その前の処理による湿分の影響を排除

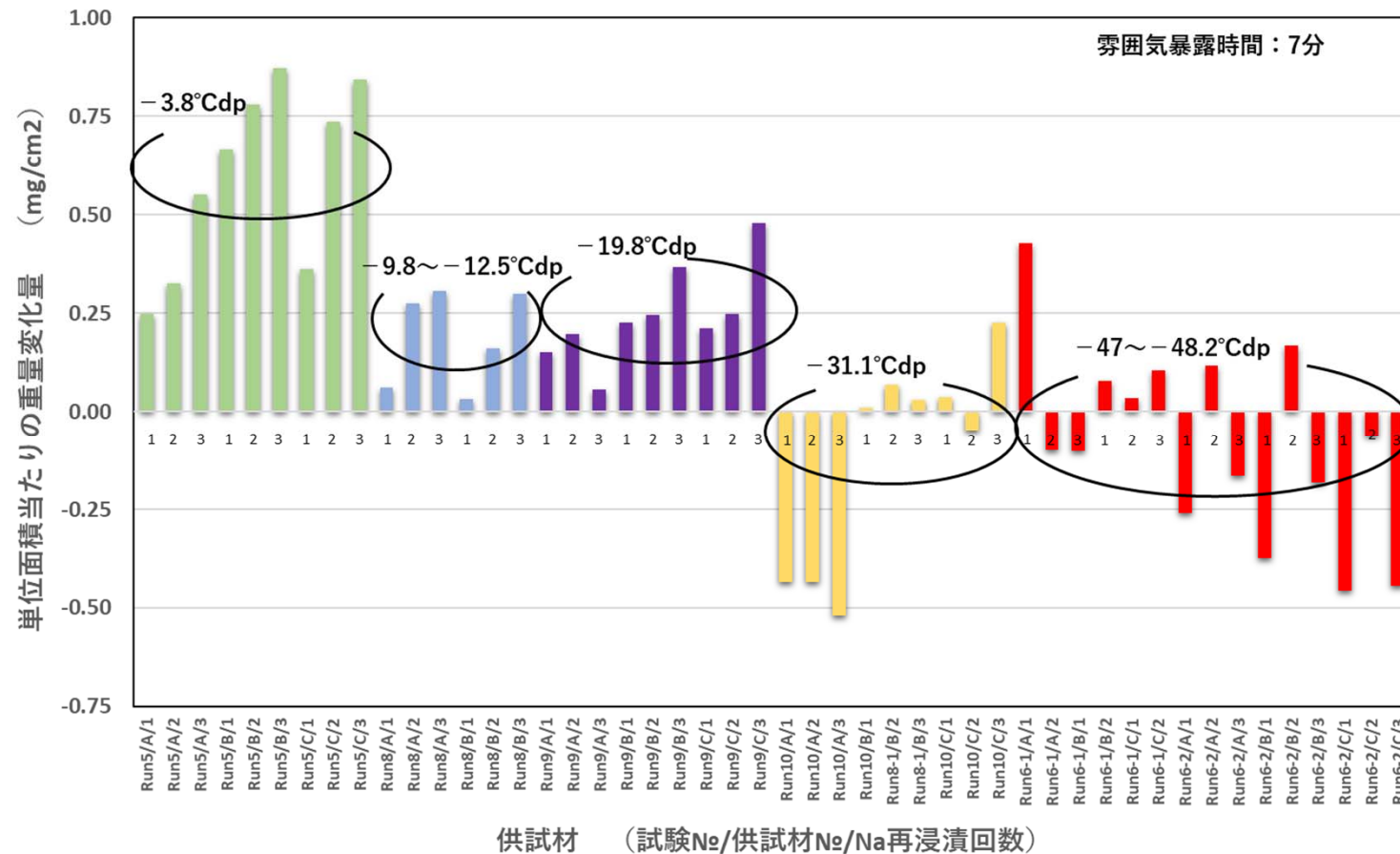
4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策A】燃料出入機本体Aグリッパのトルク上昇対策 (5/7)

3) 本体Aグリッパのトルク上昇対策 (4/4)

○「Na浸漬→湿度環境暴露」を繰り返した場合の試験片の重量変化に関する試験結果

- ①露点温度0℃近傍 : 繰り返し回数に比例して増大
- ②露点温度-10℃～-20℃ : 繰り返し回数に比例して増大、ただし、増加速度（量）が上記①の半分程度
- ③露点温度-30℃～-50℃ : 繰り返し回数に依らず増加しない



ナトリウム再付着試験の付着ナトリウム重量変化

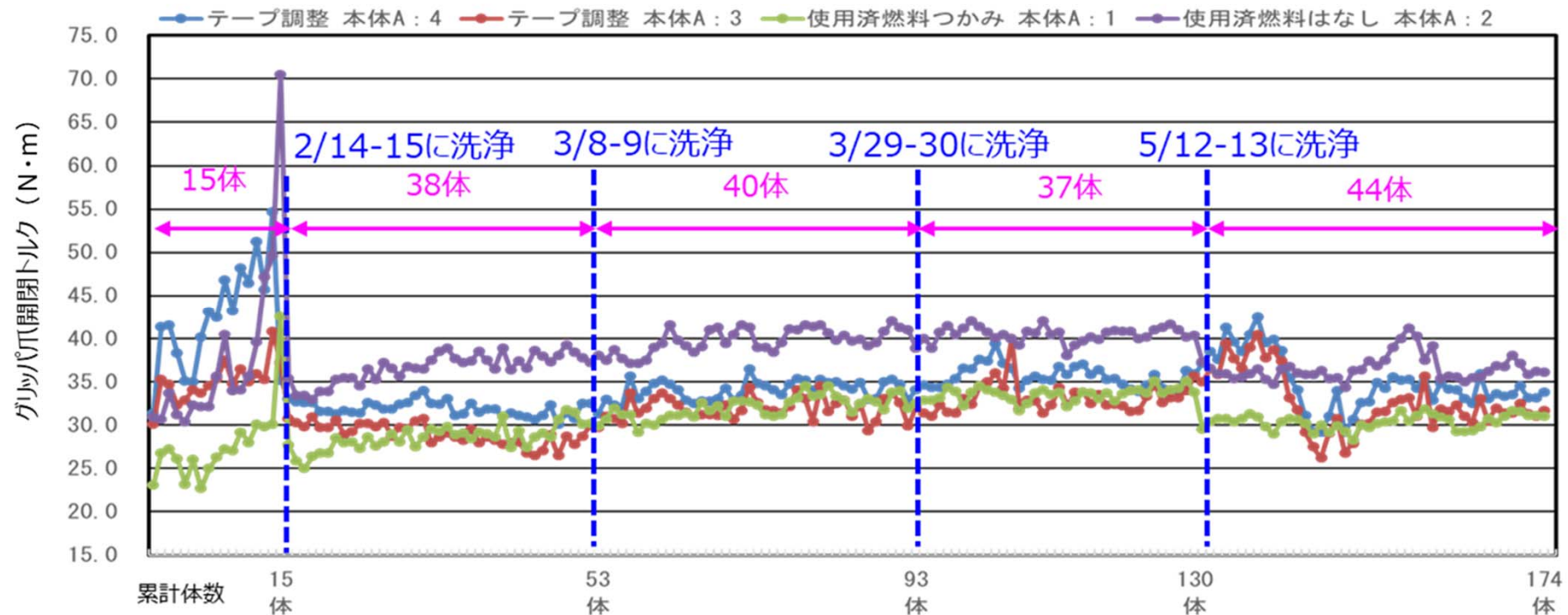
4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策A】燃料出入機本体Aグリッパのトルク上昇対策（6/7）

4）本体Aグリッパのトルク上昇対策の効果（2020年の燃料体処理）

- ◆2月12日のトルク上昇：処理作業開始前にドリップパンのみの洗浄のために燃料出入機本体Aを燃料取扱機器洗浄槽に接続したことにより、グリッパ表面に付着していたナトリウムが洗浄槽の湿分と反応して化合物になったことが原因と推定
- ◆2/14-15のグリッパ洗浄後、16体目～174体目の158体の処理を行った間、爪開閉トルクが25.0～42.5 N mの範囲で安定しており、グリッパの洗浄が必要となるトルク上昇はなかった。また、燃料洗浄槽の露点も -30°C 以下に維持（次頁参照）された。

⇒ 燃料洗浄槽の除湿対策の効果があったものと評価



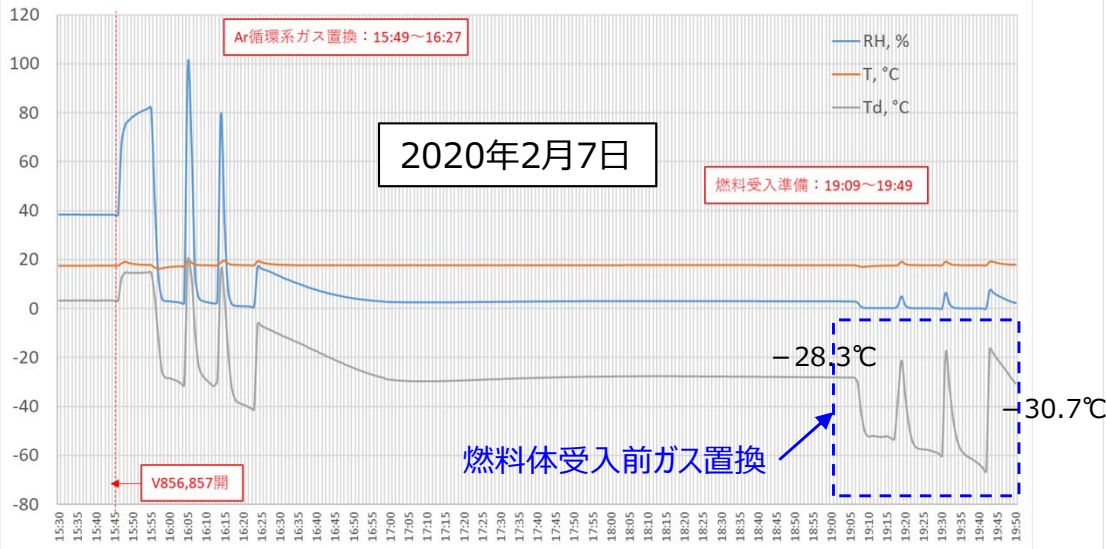
燃料出入機本体Aの爪開閉トルクの推移

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

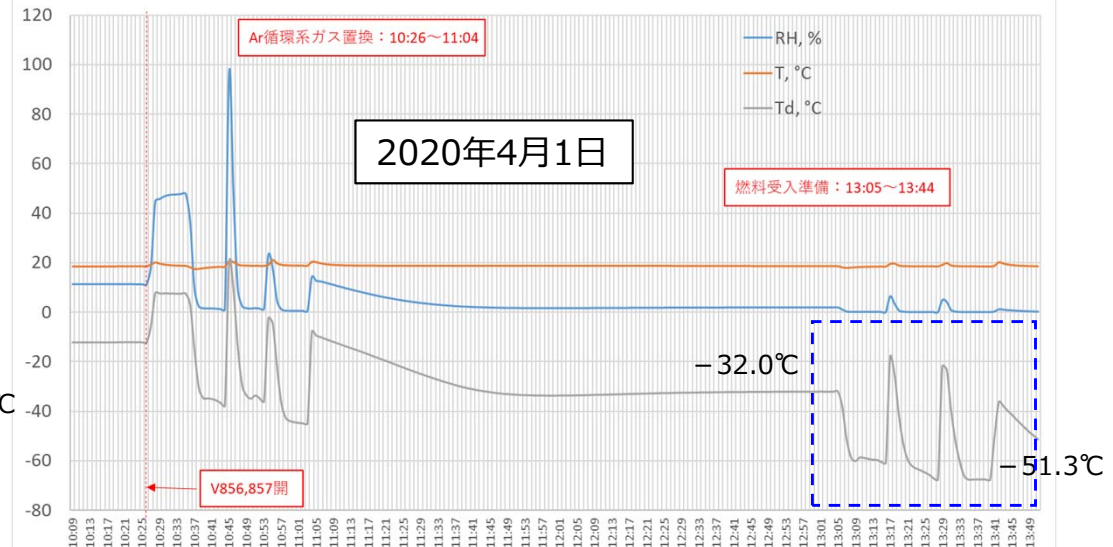
【対策A】燃料出入機本体Aグリッパのトルク上昇対策 (7/7)

- 洗浄槽除湿対策の確認**：燃料体受入前（ガス置換後）の燃料洗浄槽の露点は2月当初は -30°C 程度であったが、3月以降は -50°C 以下と非常に低い露点温度で安定した。また、燃料体受入前（ガス置換後）の露点温度はいずれも目安となる -30°C 以下であった。

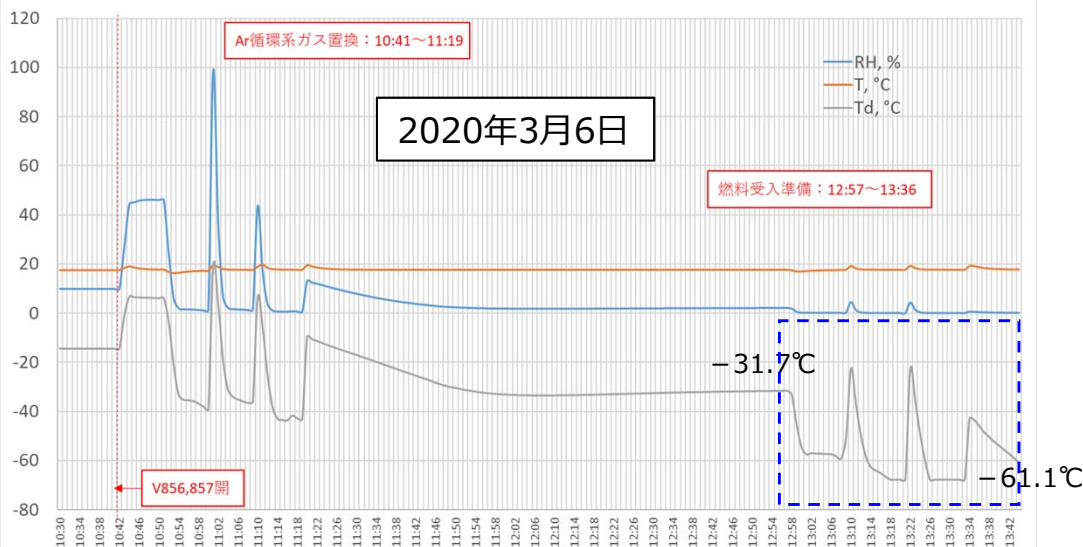
燃料洗浄槽 燃料処理作業2体/1day 1体目(5体目)-2体目(6体目)間
仮設露点計(下部) 2020年2月7日



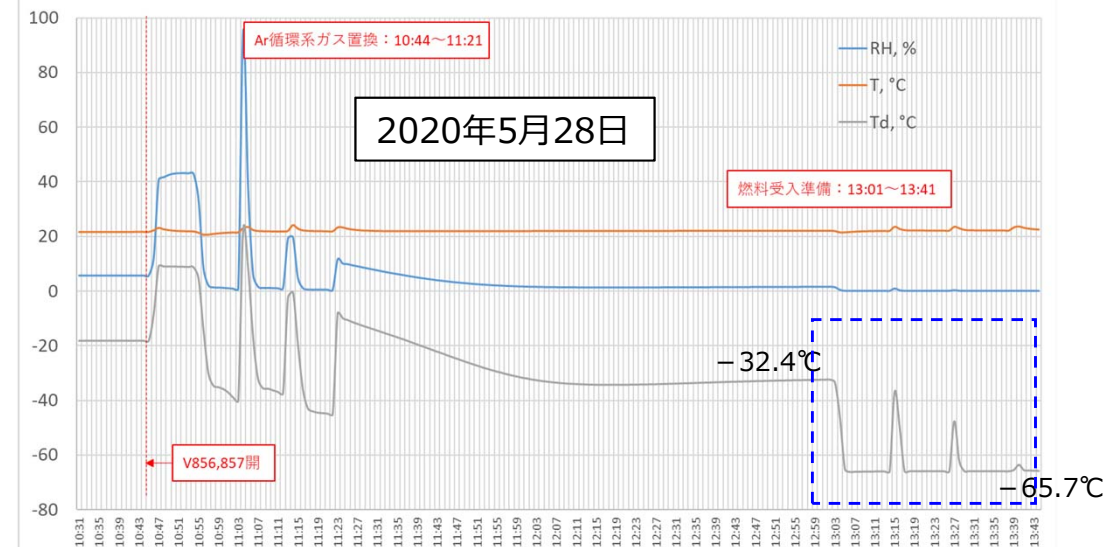
燃料洗浄槽 燃料処理作業5体/2days 3体目(96体目)-4体目(97体目)間
仮設露点計(下部) 2020年4月1日



燃料洗浄槽 燃料処理作業5体/2days 3体目(51体目)-4体目(52体目)間
仮設露点計(下部) 2020年3月6日



燃料洗浄槽 燃料処理作業5体/2days 3体目(163体目)-4体目(164体目)間
仮設露点計(下部) 2020年5月28日



4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

● 2018年度の燃料体の処理で発生した不具合への対策とその効果のまとめ

2018年度燃料体の処理時の不具合		不具合対策の概要	効果（2020年燃料体の処理状況）
【対策A】燃料出入機本体Aグリッパトルク上昇対策 （本体Aグリッパへのナトリウム化合物付着に伴うグリッパのつかみはなしトルク上昇）		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 （ガス置換回数の変更等）	・トルク上昇警報（1件）により、グリッパ洗浄を実施、その後はトルク監視によるグリッパ洗浄時期の計画運用により、警報の発報なし
【対策B】燃料出入機本体Bグリッパトルク上昇対策 （可動シール等のトルク増大に伴うグリッパのつかみはなしトルク上昇）		1)摺動部品の新品交換 2)要素試験によるトルク特性の確認とそれに基づくシール部予熱対策	・加温によりトルク上昇のないことを確認 ・警報の発報なし
【対策C】その他ソフトウェア不具合等の対策 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）	・燃取系計算機のプログラムバグ改修	・発生なし
	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）	・燃取系計算機のプログラムバグ改修	・発生なし
	③ 燃料出入機本体Aグリッパのクラッチ動作遅延	・部品交換、制御プログラム改修	・発生なし
	④ 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 （燃料体からのナトリウム滴下及び地下台車からの化合物吹き上がり）	1) 冷却系の停止による滴下量の削減 2) 追加対策：地下台車の清掃	・一時的なナトリウム化合物の付着による漏れの発生（3件）あり ・地下台車の清掃以降は発生なし
	⑤ 洗浄水の電気伝導度高による自動化運転停止	・燃料洗浄追加手動操作の自動化	・発生なし
	⑥ 制御信号伝送異常等による自動化運転停止（伝送ノイズ）	・信号伝送システムの更新	・伝送ノイズ対策が十分でないと思われる伝送異常の発生有り
	⑦ ガス置換時間超過による自動化運転停止（地下台車等）	・ガス置換方法の改良	・気圧の変動等により4件発生有るも発生頻度は大幅低減
	⑧ 燃料洗浄槽配管予熱温度異常による自動化運転停止	・配管予熱設備の改良（ヒータ追加）	・発生なし

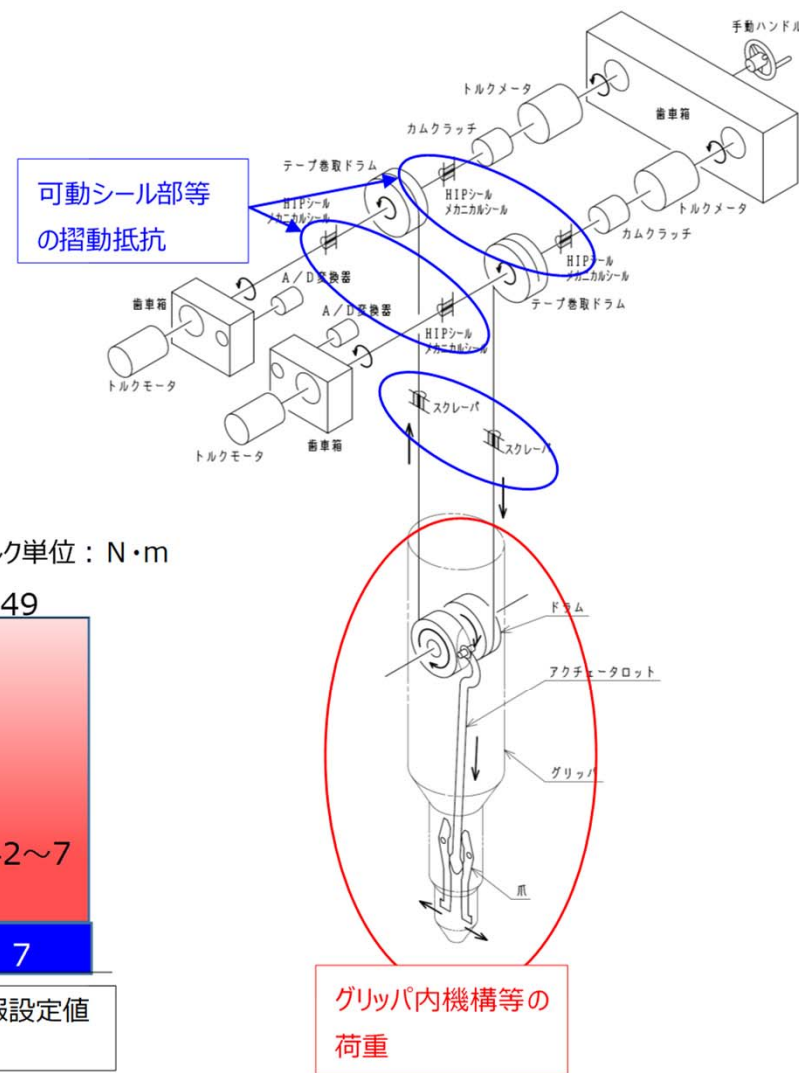
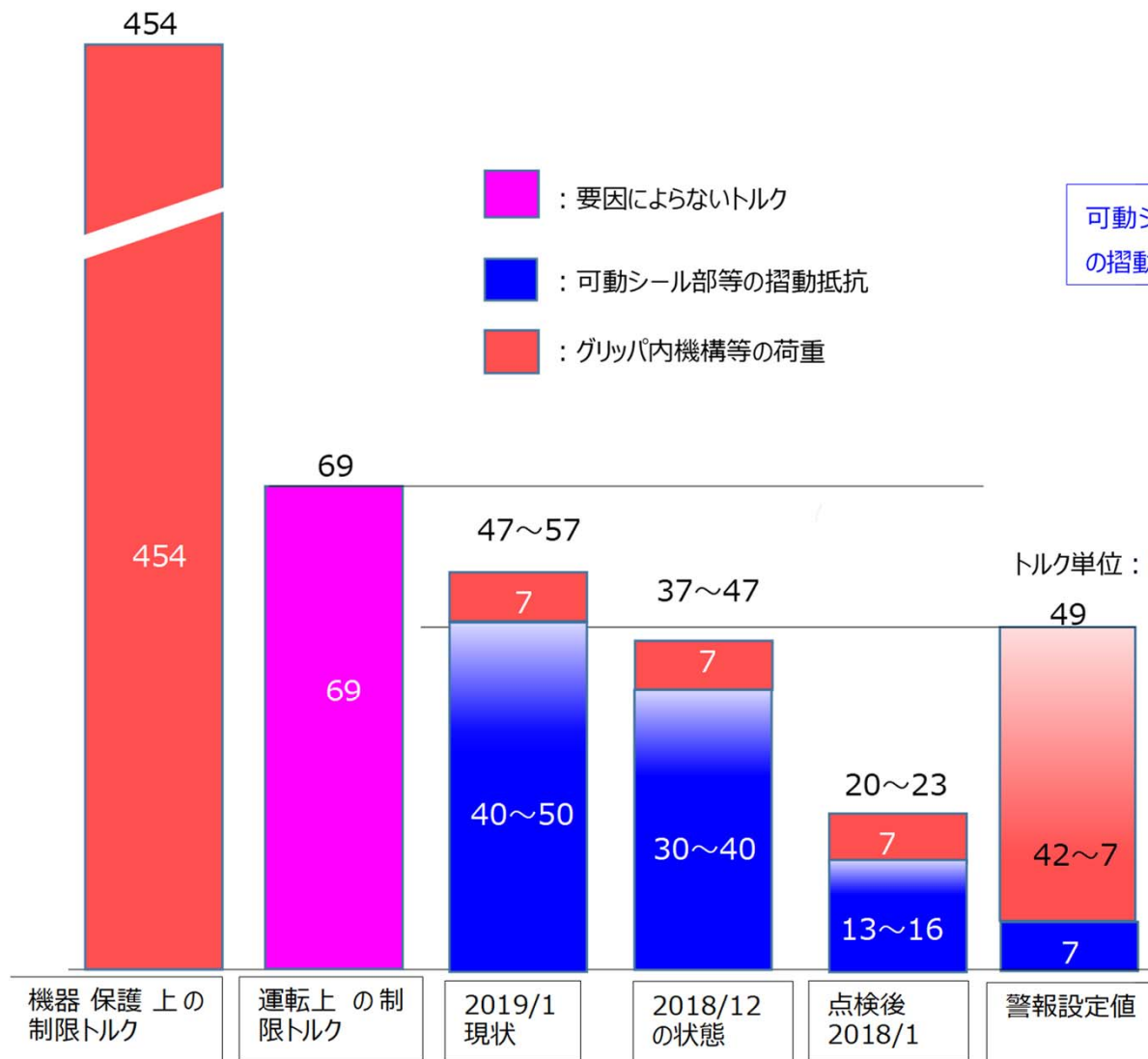
 : 2020年の燃料体の処理実施前に再発可能性ありと想定した事象

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策B】燃料出入機本体Bグリップの対策（1/9）

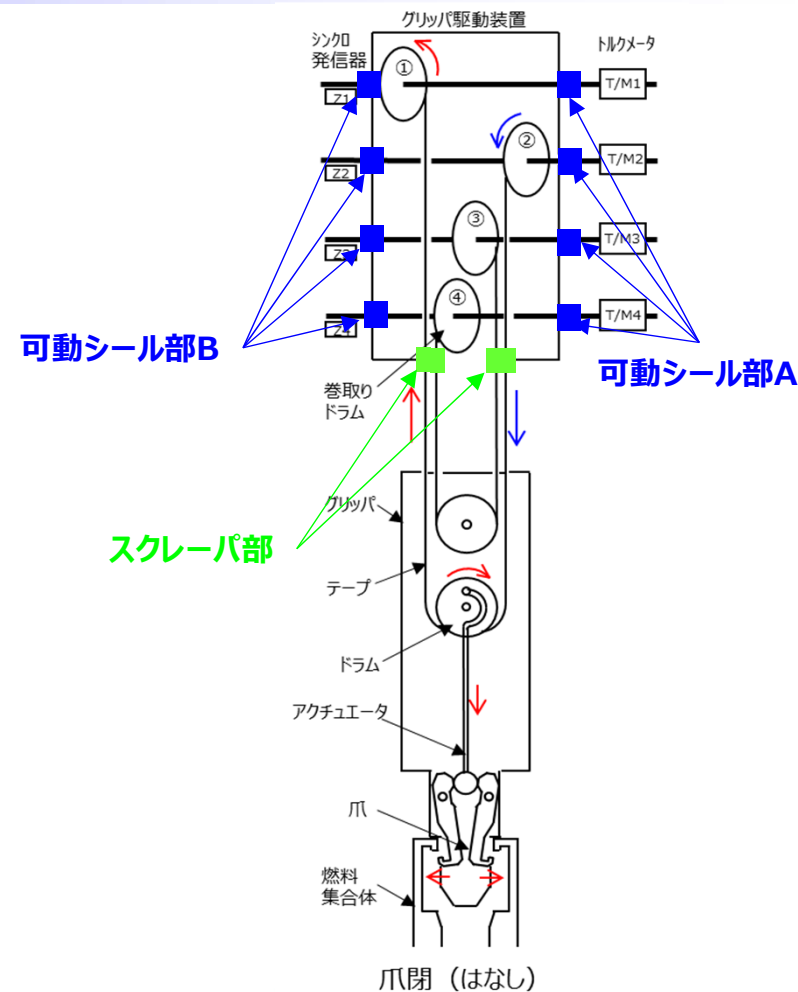
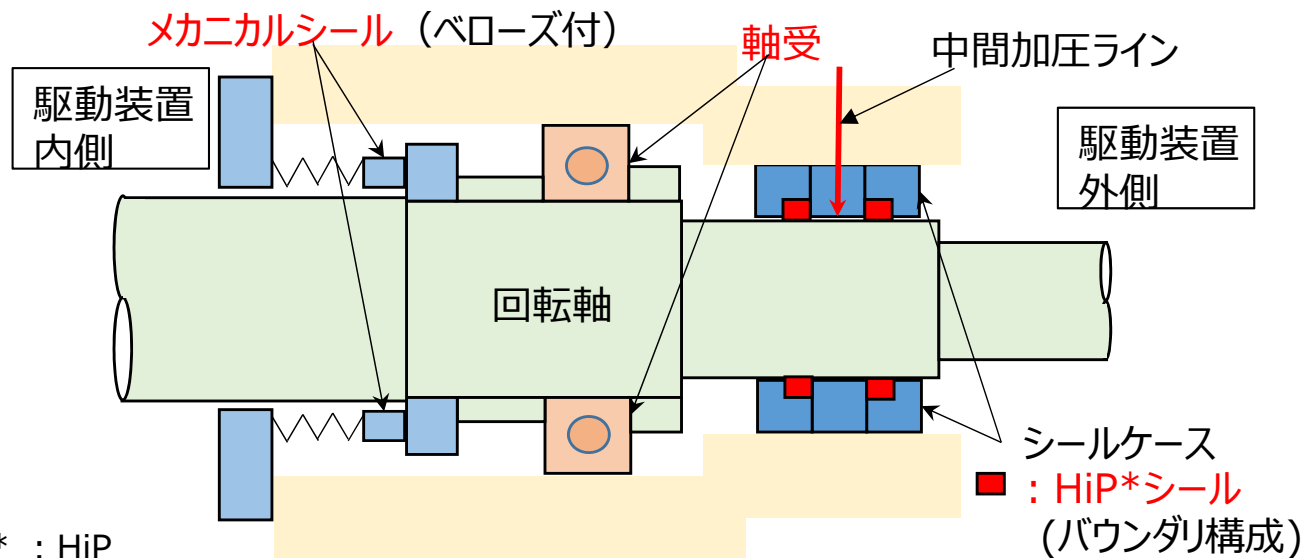
○ グリップトルクの警報設定値の見直し

- ・警報設定値はグリップ内機構のトルク異常を早期に検知するため49 N・mに設定されているが、可動シール部等の摺動抵抗の増加により本来監視すべきグリップ内機構のトルク上昇を直接は確認できない状態
 - ・「運転上の制限トルク」は69 N・mであり、それを超えた場合爪開閉時にグリップが浮上っていないことをストロークで確認必要
 - ・「機器保護上の制限トルク」は454 N・mであり、それ以下であれば爪開閉動作機構の強度の最弱部の健全性は維持される
- ⇒ 2018年度の燃料体の処理終了後に警報設定値を49 N・mから69 N・mに変更



4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理 【対策B】燃料出入機本体Bグリッパの対策 (2/9)

トルク上昇の要因 (推定)	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	- 可動シール部とスクレーパ部について、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 - 可動シール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 ⇒ 温度が低くなるとトルク上昇する傾向。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 - 連続作動試験でのトルク変動調査 ⇒ 20℃での連続作動ではトルク上昇しない。一方、それ以下の温度で温度低下時にトルクが急上昇する事例があり、メカニカルシール周りを加温することでトルク低減



注* : HiP
= High Performance

可動シール部概略構造 赤字：摺動抵抗部品

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策B】燃料出入機本体Bグリッパの対策 (3/9)

トルク上昇要因分析 (推定)

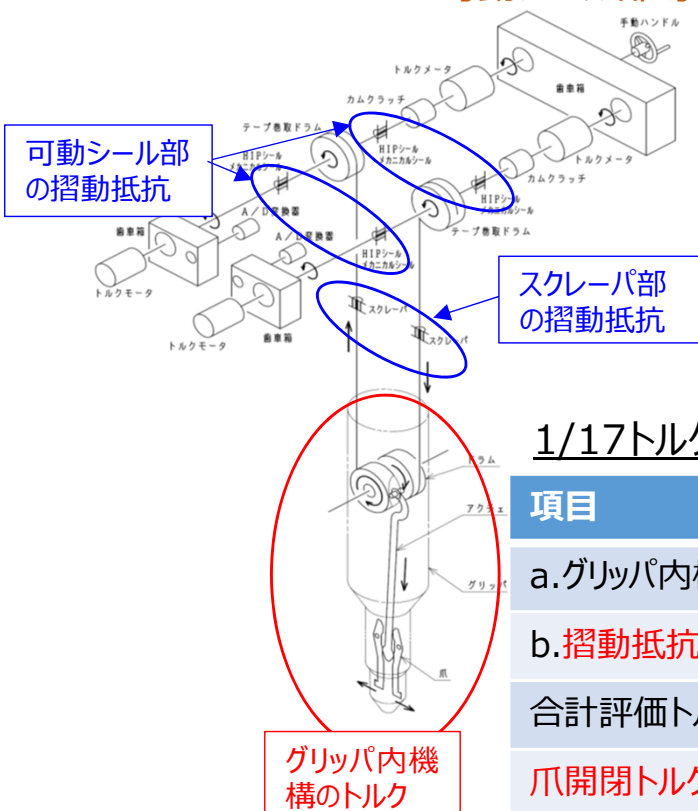
- ・摺動抵抗トルク (可動シール部またはスクレーパー部：以下可動シール部等と記載) が増大して、爪開閉トルクが上昇 (昇降トルクから評価した値と爪開閉トルク値が一致)
- ・本来確認すべきグリッパ内の爪開閉機構のトルクは上昇していないことを作動試験で直接確認済み

グリッパ爪開閉トルク = グリッパ内機構のトルク

+ 可動シール部等の2軸分の摺動抵抗トルク

グリッパ昇降トルク = グリッパ、燃料体等の自重によるトルク

± 可動シール部等の4軸分の摺動抵抗トルク

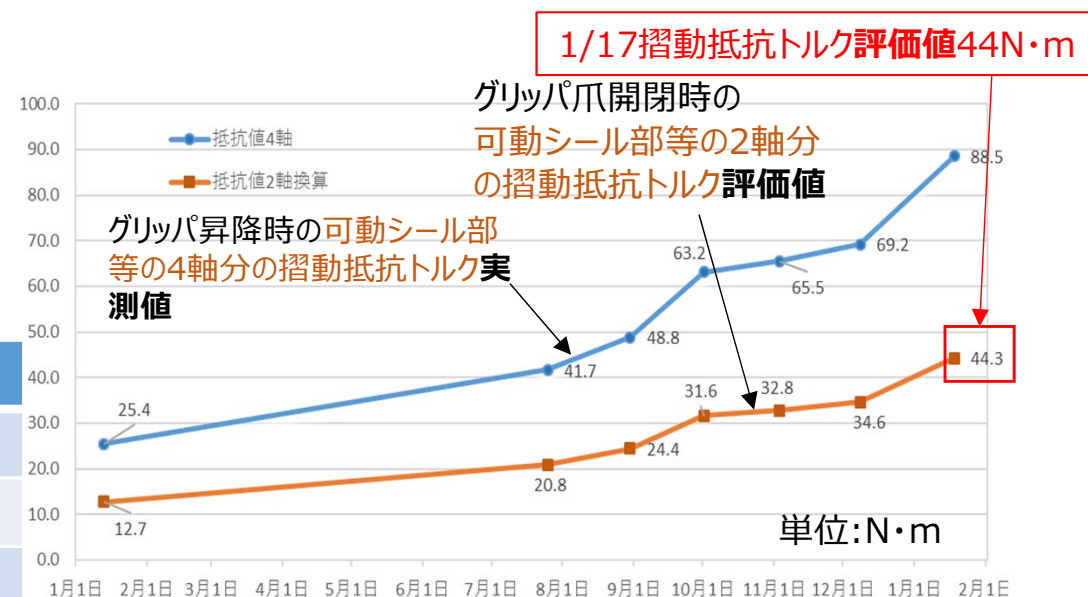


1/17トルク評価値と実測値の比較

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



グリッパ爪開閉駆動トルクの変動



昇降トルク実測値から算定した摺動抵抗トルク評価値の変動

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策B】燃料出入機本体Bグリッパの対策（4/9）

➤ 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化

- ・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（含むテープ表面）

➤ 調査結果

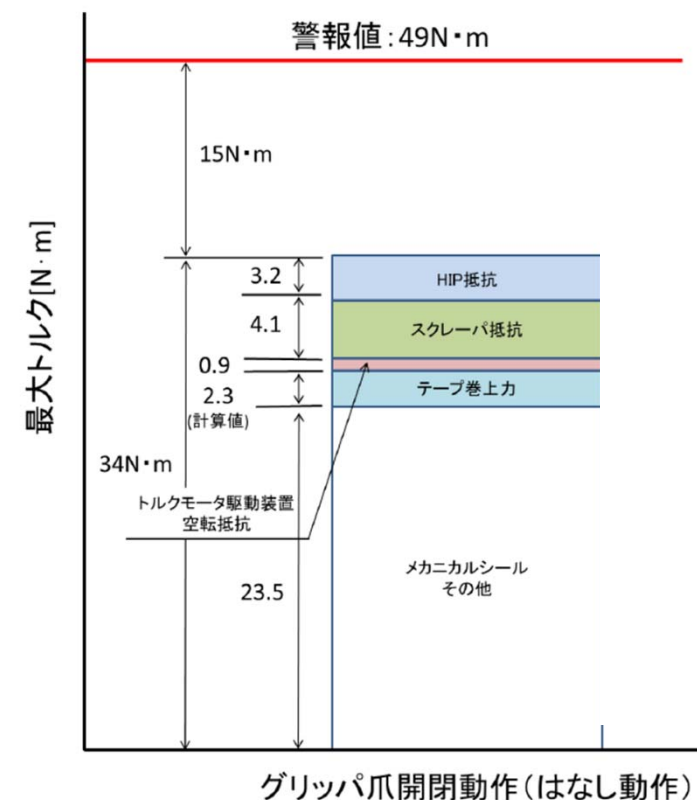
◆ 状態観察結果（いずれも新品に交換）

- ・HiPシール：シール面に荒れが観察されたが異常な摩耗ではない
- ・スクレーパ：表面にサビを含む荒れあり
- ・軸受：外観上は異常なし、作動状況も良好
- ・メカニカルシール：外観上は異常なし、手動動作では可動シール部A側が抵抗が大きい

◆ トルク測定結果（グリッパ爪はなし動作時）

- ・全体トルクが1月末の50N・m程度から3月時点では34N・mに低下
- ・各部のトルク（動作抵抗）の評価値は以下のとおりであり、全体の約2/3占める
メカニカルシールトルク23.5N・mが支配的（メカ設計想定値を超える）
- ・スクレーパは表面荒れに伴い摺動抵抗増加したが割合は小さい

トルク要因	トルク評価値	設計値	備考
HiPシール	3.2N・m	7.2N・m	設計値は摩擦係数0.1相当
スクレーパ	4.1N・m	0.8N・m	設計値は摩擦係数0.2相当
軸受	0.0N・m	0.0N・m	
メカニカルシール	23.5N・m	10.9N・m	設計値は摩擦係数0.3相当
トルクモータ抵抗	0.9N・m	0N・m	テープゆるみ防止用の巻上げ
テープ巻上げ力	2.3N・m	2.3N・m	グリッパ内の爪開閉機構のトルク
合計	34.0N・m	21.2N・m	



4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策B】燃料出入機本体Bグリッパの対策（5/9）

- 点検（メカニカルシール等の部品交換）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、34N・mから約12N・m低下して22N・mとなり、2018年の処理開始前よりも小さい
昇降トルク差も、109N・mから約50N・m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、20N・m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（N・m）		
		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

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策B】燃料出入機本体Bグリッパの対策 (6/9)

● 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

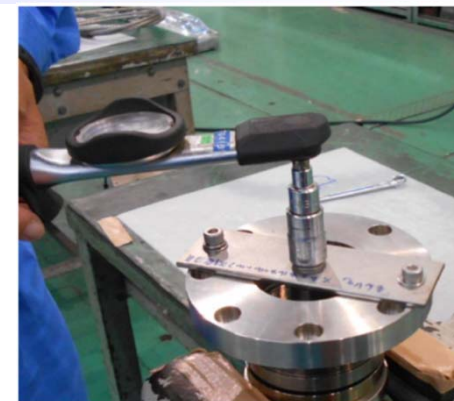
⇒ シール表面洗浄または新品交換によりトルクは正常に戻った
メカニカルシールはこれまで交換しておらず、本体Bで通算1000回以上の昇降動作後にトルク上昇、2019年度の昇降回数が約300回の見通しであることから、新品交換によりトルク上昇に至る可能性は低い

⇒ 連続作動試験で確認

◆ 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、温度依存性を調査 (⇒次頁)



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

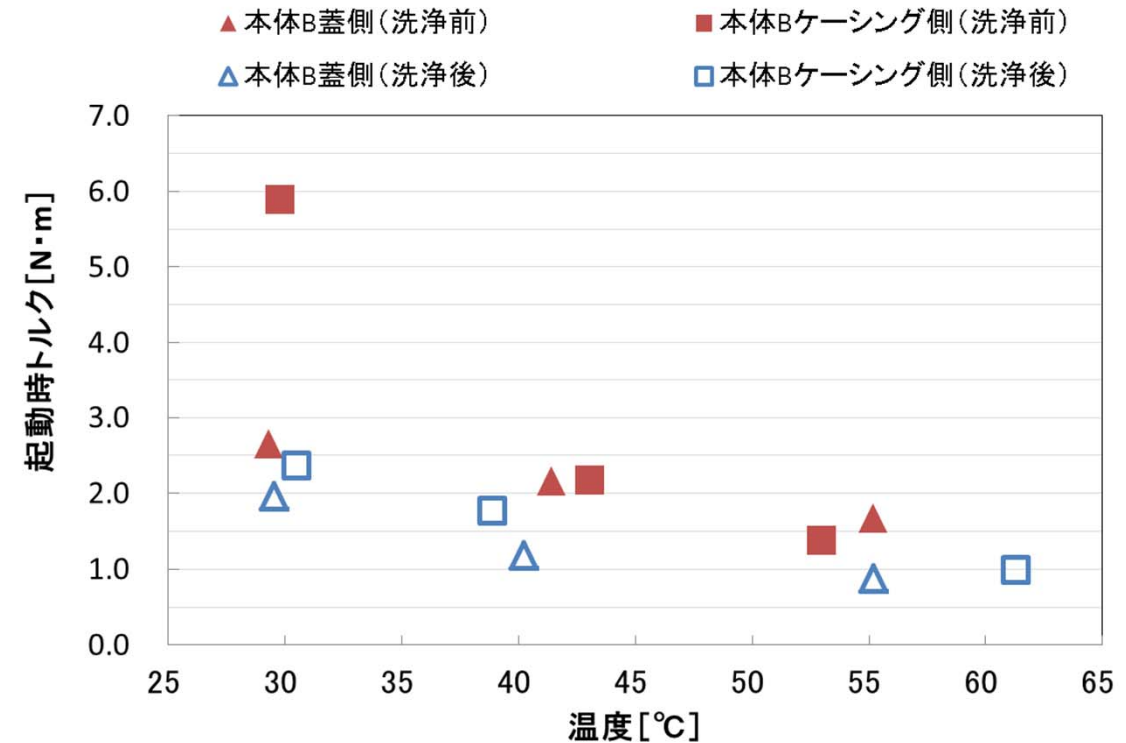
*：メーカー技術データに基づく摩擦係数0.3～0.5

<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トルク簡易測定での温度依存性評価

- トルクレンチと治具による簡易測定で温度をパラメータにデータ取得。
 - その結果、温度が低下するとトルクが上昇する傾向を確認。
 - 表面洗浄前は温度低下時のトルク上昇が大きく、表面洗浄後は温度低下に伴うトルク上昇が抑えられる傾向が確認された。
- ⇒ シール表面の摩耗粉の影響が考えられ、摩耗粉のある環境では温度低下による影響が大きくなる可能性がある。



メカニカルシールのトルク簡易測定での温度依存性

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策B】燃料出入機本体Bグリッパの対策 (8/9)

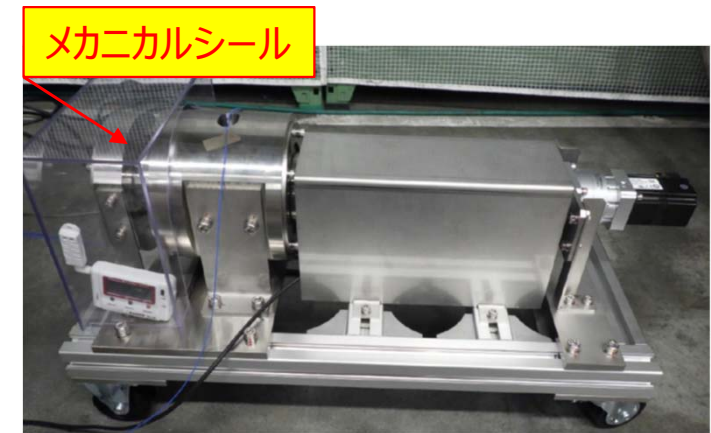
○メカニカルシール単体での作動試験

◆連続作動試験

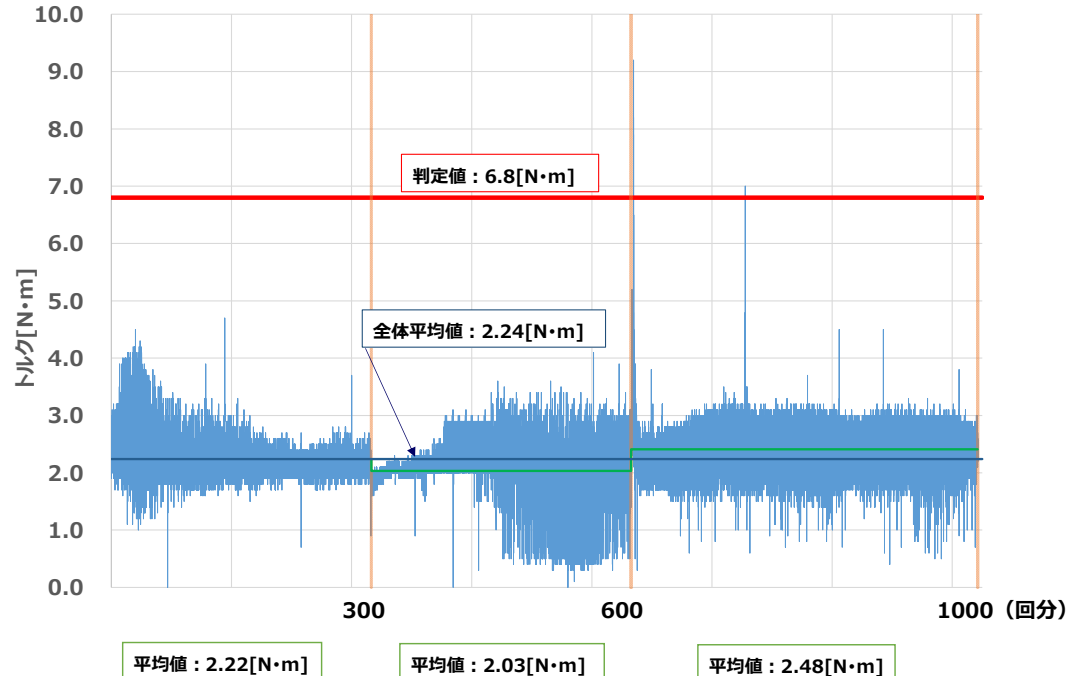
連続作動試験装置を用いて、約20℃の雰囲気中で1000回のグリッパ昇降(500体の取扱いに相当)を模擬した連続動作を実施し、約2.5 N・mと判定値6.8N・mに対して十分に低く安定していることを確認

◆温度依存性の確認試験

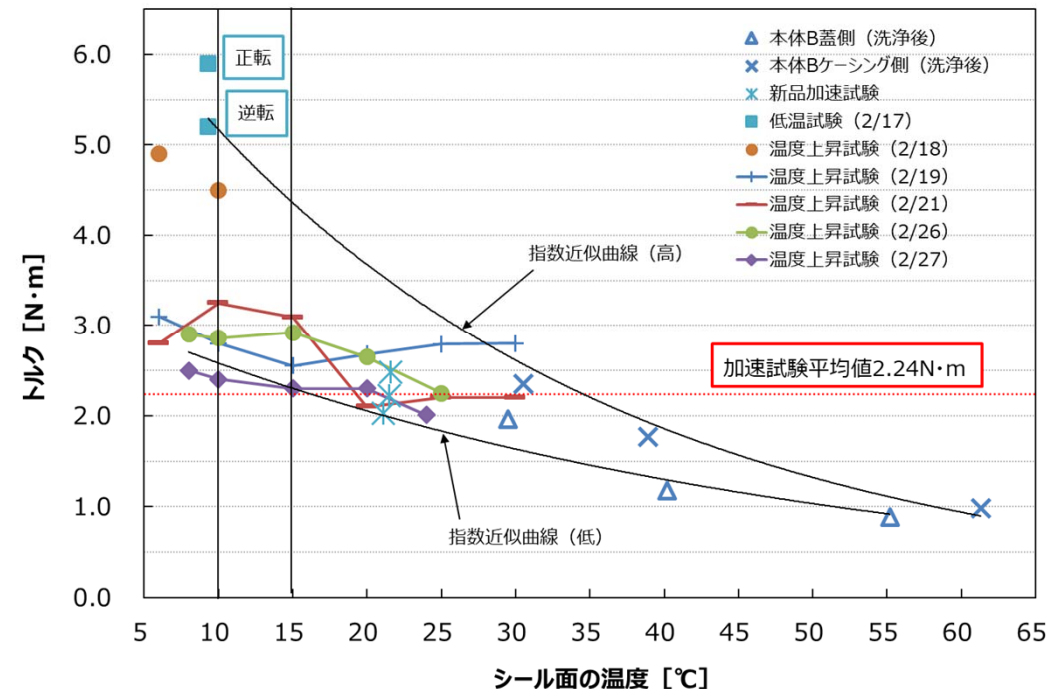
製造メーカーでは温度依存性について知見がないとの回答であったことから、トルクの温度依存性を測定し、燃料出入機での低速(5rpm)、間欠動作の使用条件において25℃以下におけるトルク上昇傾向と低温側でのばらつきの増加を確認。



連続作動試験装置



メカニカルシールのトルク長期安定性



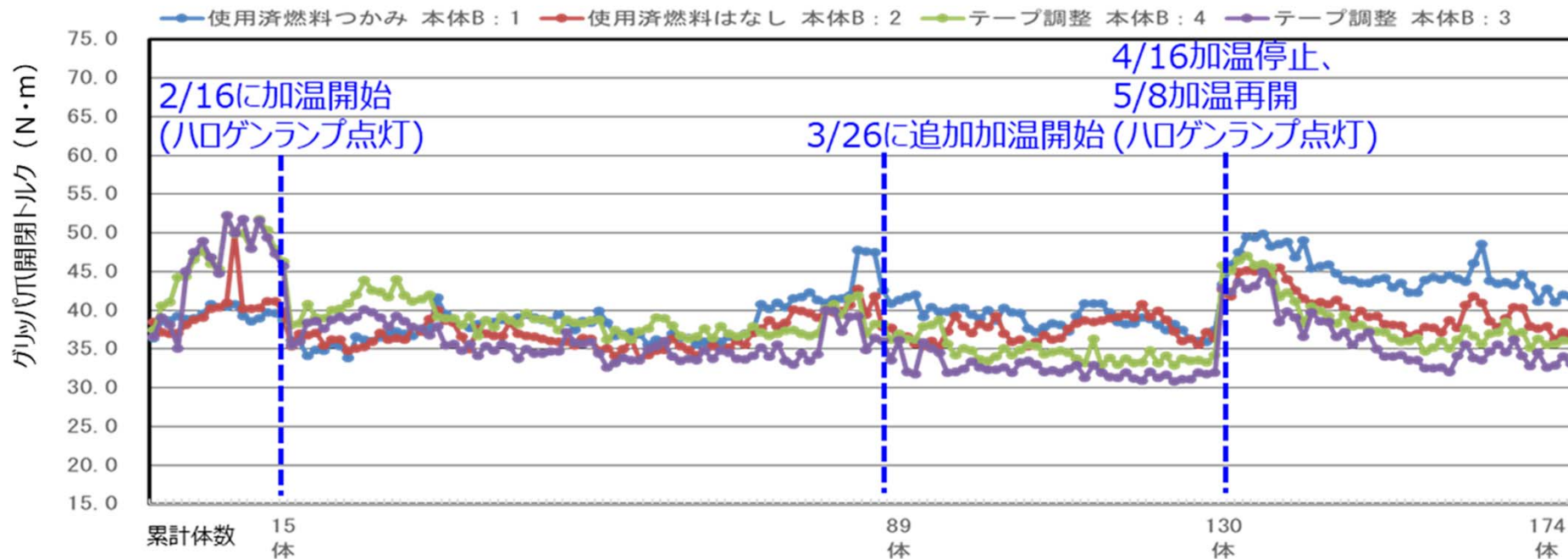
メカニカルシールのトルクの温度依存性

○追加加温対策と対策の効果 (2020年の燃料体処理)

- ◆2020年2月の燃料体の処理再開直後に周辺温度15℃程度で、トルクが高めであったことから、2/16にメカニカルシール付近を照明により20℃以上に加温したところ、トルクが安定。3月後半にさらにトルク上昇がみられたため、25℃以上に追加加温した。
- ◆その結果、16体目～174体目の158体の処理を行った間、爪開閉トルクが約30.8～約49.9 N mの範囲で推移し低下・安定した。
- ◆なお、5/15からの一時的なトルク上昇は中間点検での加温停止中の温度低下により、状態変化と摩耗粉の影響が考えられる。



本体Bの照明による加温状況



2020年の燃料体の処理における本体B グリッパの爪開閉トルクの推移

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

● 2018年度の燃料体の処理で発生した不具合への対策とその効果のまとめ

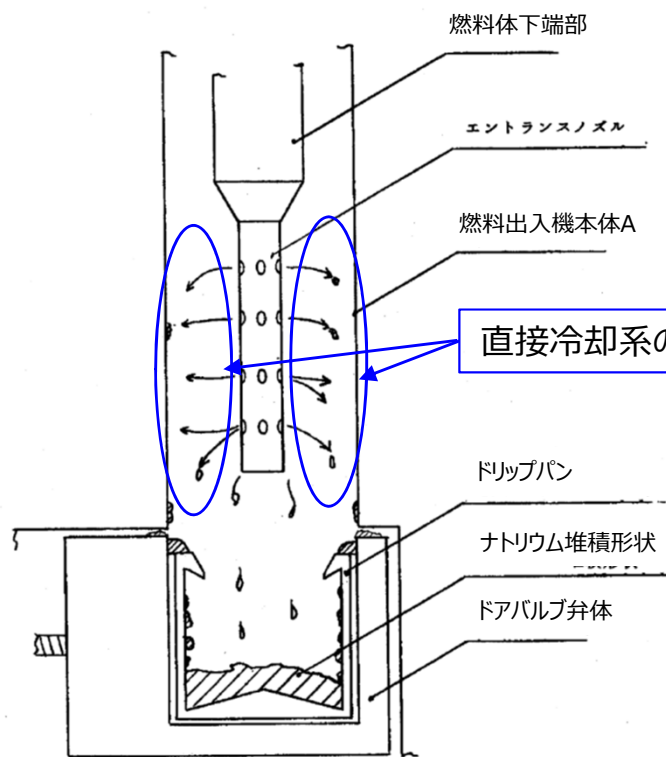
2018年度燃料体の処理時の不具合		不具合対策の概要	効果（2020年燃料体の処理状況）
【対策A】燃料出入機本体Aグリッパトルク上昇対策 （本体Aグリッパへのナトリウム化合物付着に伴うグリッパのつかみはなしトルク上昇）		1)燃料洗浄槽の除湿対策 2)自動化運転プログラムの修正 （ガス置換回数の変更等）	・トルク上昇警報（1件）により、グリッパ洗浄を実施、その後はトルク監視によるグリッパ洗浄時期の計画運用により、警報の発報なし
【対策B】燃料出入機本体Bグリッパトルク上昇対策 （可動シール等のトルク増大に伴うグリッパのつかみはなしトルク上昇）		1)摺動部品の新品交換 2)要素試験によるトルク特性の確認とそれに基づくシール部予熱対策	・加温によりトルク上昇のないことを確認 ・警報の発報なし
【対策C】その他ソフトウェア不具合等の対策 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）	・燃取系計算機のプログラムバグ改修	・発生なし
	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）	・燃取系計算機のプログラムバグ改修	・発生なし
	③ 燃料出入機本体Aグリッパのクラッチ動作遅延	・部品交換、制御プログラム改修	・発生なし
	④ 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 （燃料体からのナトリウム滴下及び地下台車からの化合物吹き上がり）	1) 冷却系の停止による滴下量の削減 2) 追加対策：地下台車の清掃	・一時的なナトリウム化合物の付着による漏れの発生（3件）あり ・地下台車の清掃以降は発生なし
	⑤ 洗浄水の電気伝導度高による自動化運転停止	・燃料洗浄追加手動操作の自動化	・発生なし
	⑥ 制御信号伝送異常等による自動化運転停止（伝送ノイズ）	・信号伝送システムの更新	・伝送ノイズ対策が十分でないと思われる伝送異常の発生有り
	⑦ ガス置換時間超過による自動化運転停止（地下台車等）	・ガス置換方法の改良	・気圧の変動等により4件発生有るも発生頻度は大幅低減
	⑧ 燃料洗浄槽配管予熱温度異常による自動化運転停止	・配管予熱設備の改良（ヒータ追加）	・発生なし

:2020年の燃料体の処理実施前に再発可能性ありと想定した事象

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

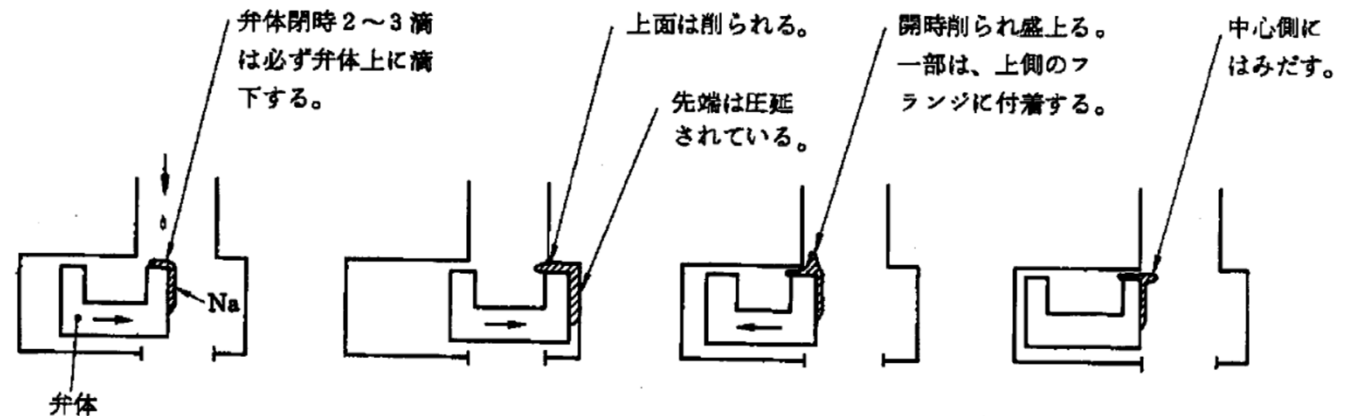
【対策C④】燃料出入機本体Aドアバルブのナトリウム付着によるシール漏れ（1/2）

発生事象	対策状況	対策の効果
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（Na滴下防止対策）	- 燃料洗浄槽の除湿対策によりNaの潮解を防止する - 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ソフト変更を実施。	対策後も3件（2/16,3/10,3/20）のシール漏れが発生（次頁）。調査の結果、さらなる付着要因があることを確認。以下の追加対策を実施した結果、それ以降の発生を防止できた。 - 地下台車の清掃 - グリッパ洗浄直後の模擬燃料体装荷なし



ドアバルブへのナトリウム滴下状態
（直接冷却系動作時）

- 直接冷却系の動作により、燃料体下部のエントランスノズルから側方にNaが飛散
 - 飛散したNaがドアバルブの弁体上面及び側面に付着
 - 不純物と反応してNa化合物となり弁体の全開動作を妨げる、とともに潮解して弁体下部のシール面に付着してシール漏れを引き起こす
- ⇒直接冷却系を停止して側方へのNaが飛散を無くし弁体へのNa付着を低減する
同時に、対策Aで燃料洗浄槽の除湿対策を実施することでNa化合物の生成を防止する



ドアバルブ弁体上面及び側面へのナトリウム付着現象

○事象の発生状況

- ◆ 燃料体の処理作業において、本体Aのドアバルブの中間加圧シールが漏れいして漏れいガスが本体A内部に漏れることにより「シール漏れ」警報が3件発報（①2月16日、②3月10日、③3月20日）
- ◆ ①～③はいずれも地下台車の接続後、炉外燃料貯蔵槽に移動中、接続時またはその後に発生。
- ◆ ①、②は本体Aグリッパの洗浄直後に発生、③は2日間、燃料体の処理作業を停止した直後に発生

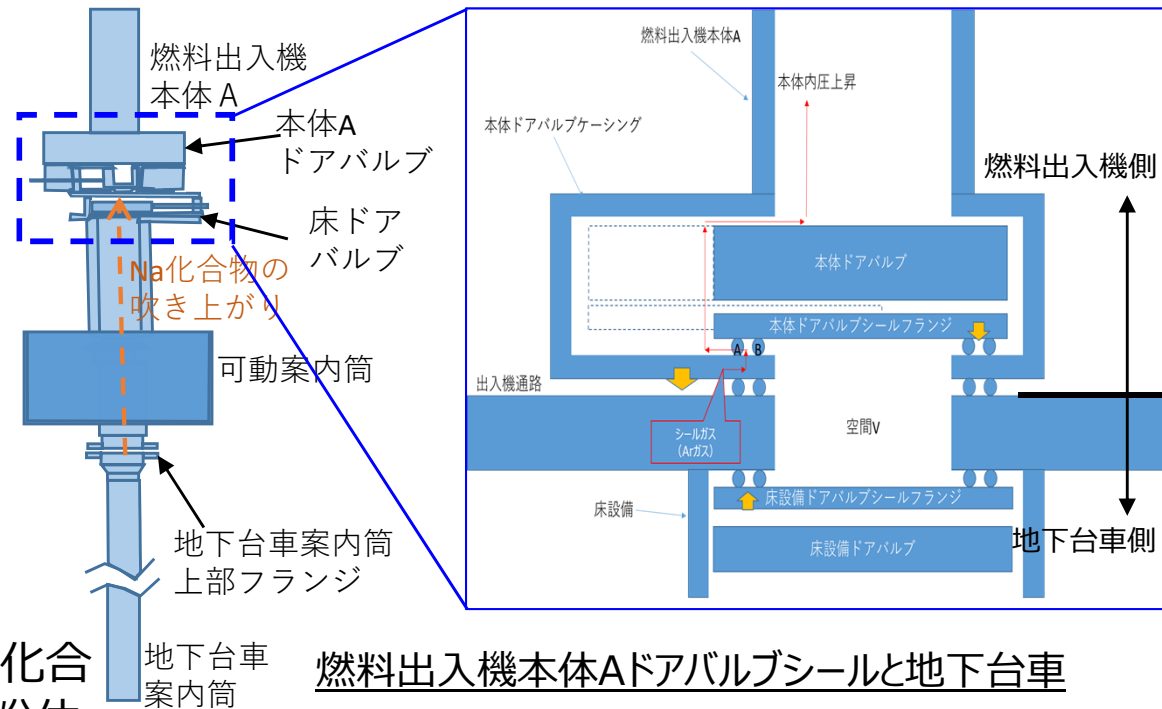
○原因の推定

- ◆ 地下台車の案内筒に本体Aグリッパから滴下したNa化合物が付着していることを過去点検で確認済。今回も粉体状のNa化合物が付着していることを確認（右写真）。
- ◆ 地下台車と本体Aの接続時に地下台車側の圧力が高く、本体A側にArガスの吹き上がりがあることを確認。
- ◆ 上記から、地下台車に存在する粉体状のNa化合物が圧力差で本体Aに吹き上がる際に、グリッパ洗浄等で残留した水分により潮解し、シールに付着したと推定。

○追加対策（中間点検時（4/15-5/14））と効果

- ◆ 地下台車の案内筒上部及び内部の清掃。
- ◆ グリッパ洗浄直後の模擬燃料体搬入を行わず、地下台車接続をしない

⇒ 上記対策以降はシール漏れ警報は発報しなかった。また、今後は模擬燃料体搬入なく地下台車を使用しない。 45



燃料出入機本体Aドアバルブシールと地下台車

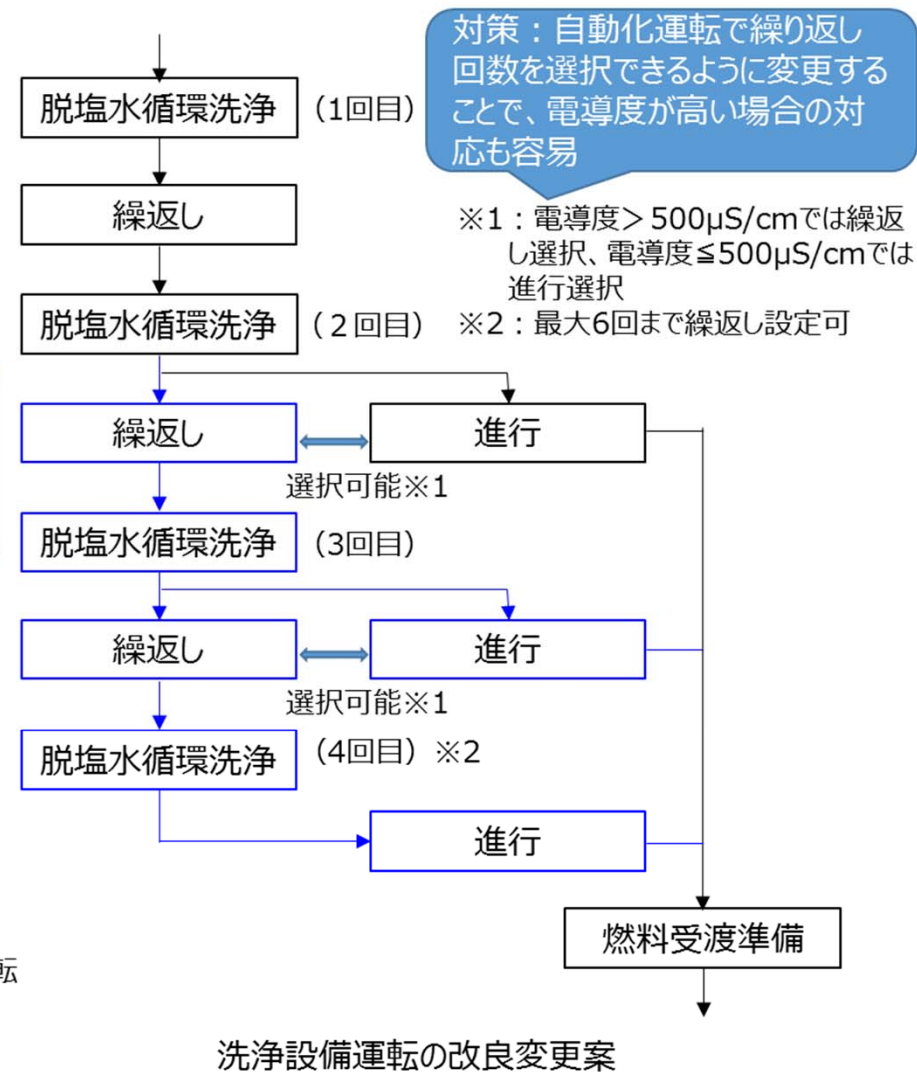
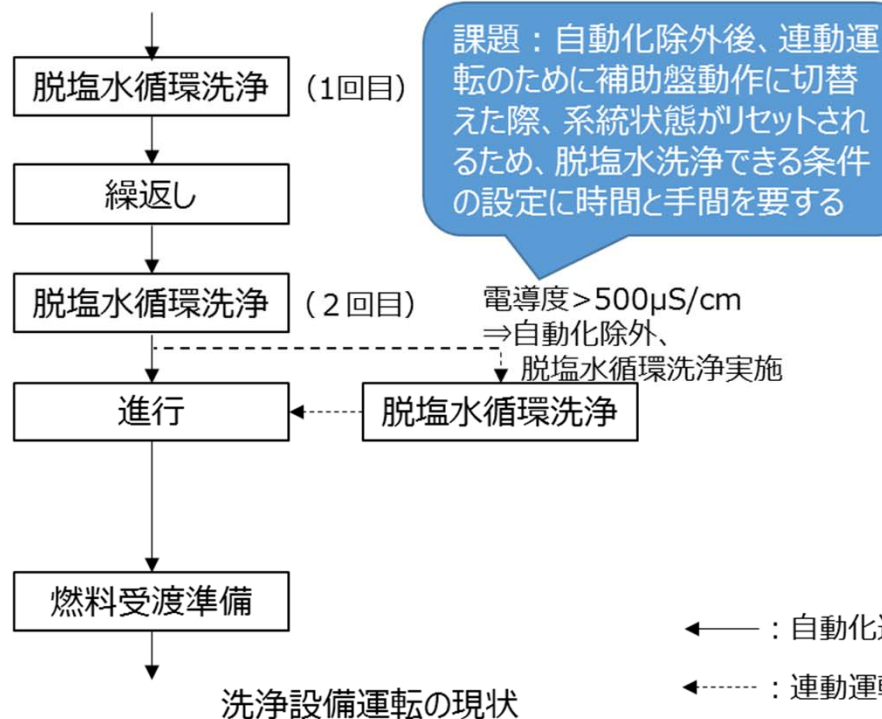


地下台車案内筒上部フランジのNa化合物付着状況

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策C⑤】洗浄水の電気伝導度高による自動化運転停止

発生事象	対策状況	対策の効果
洗浄水の電気伝導度高による自動化運転停止（燃料洗浄追加手動操作の自動化）	手動で実施していた追加洗浄運転を自動化するプログラムに変更。	対策C④に伴い残留Naが増加し、繰り返し洗浄の実施回数は多くなったが、自動化停止は防止でき、運転員の負荷の大きな増加なく対応できた。

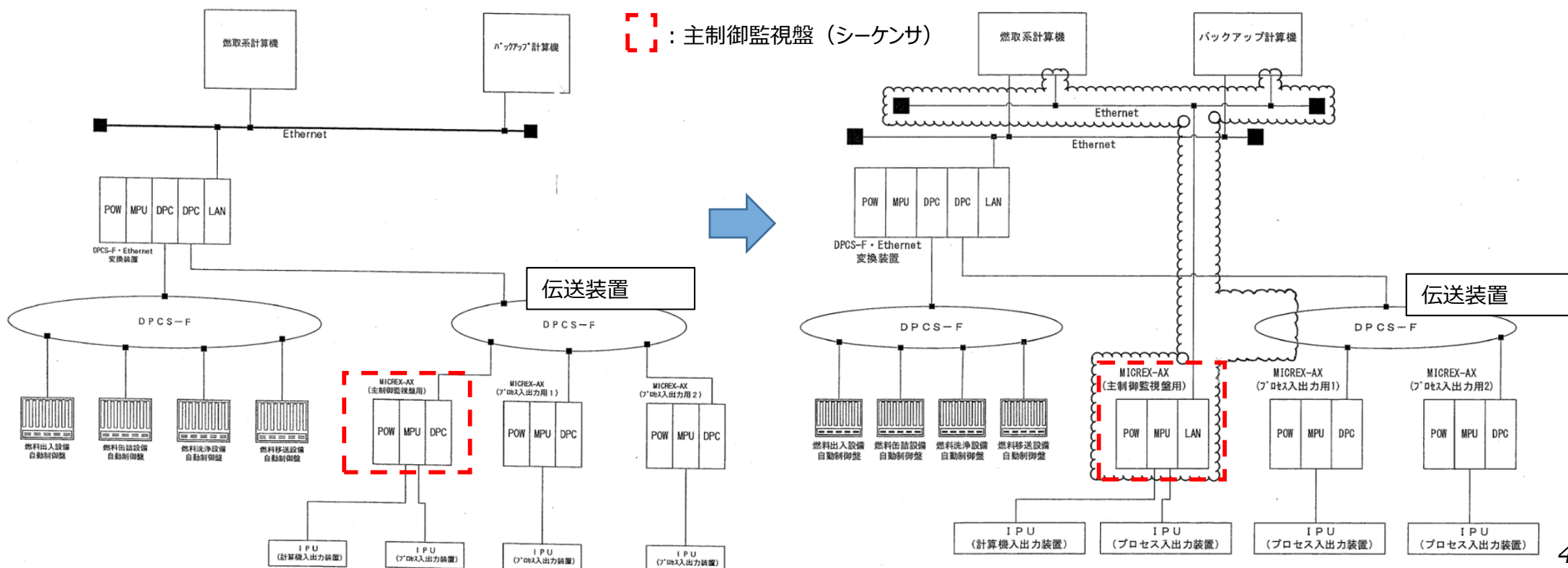


4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策C⑥】制御信号伝送異常等による自動化運転停止

発生事象	対策状況	対策の効果
制御信号伝送異常等による自動化運転停止	- 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、燃料処理設備の主制御監視盤の伝送システムの一部を設備更新した。 (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)	伝送異常等の信号異常が原因の自動化運転停止は下記のとおり約1/10となった 対策前:1.07件/体 (92件/86体) 対策後:0.11件/体 (19件/174体)

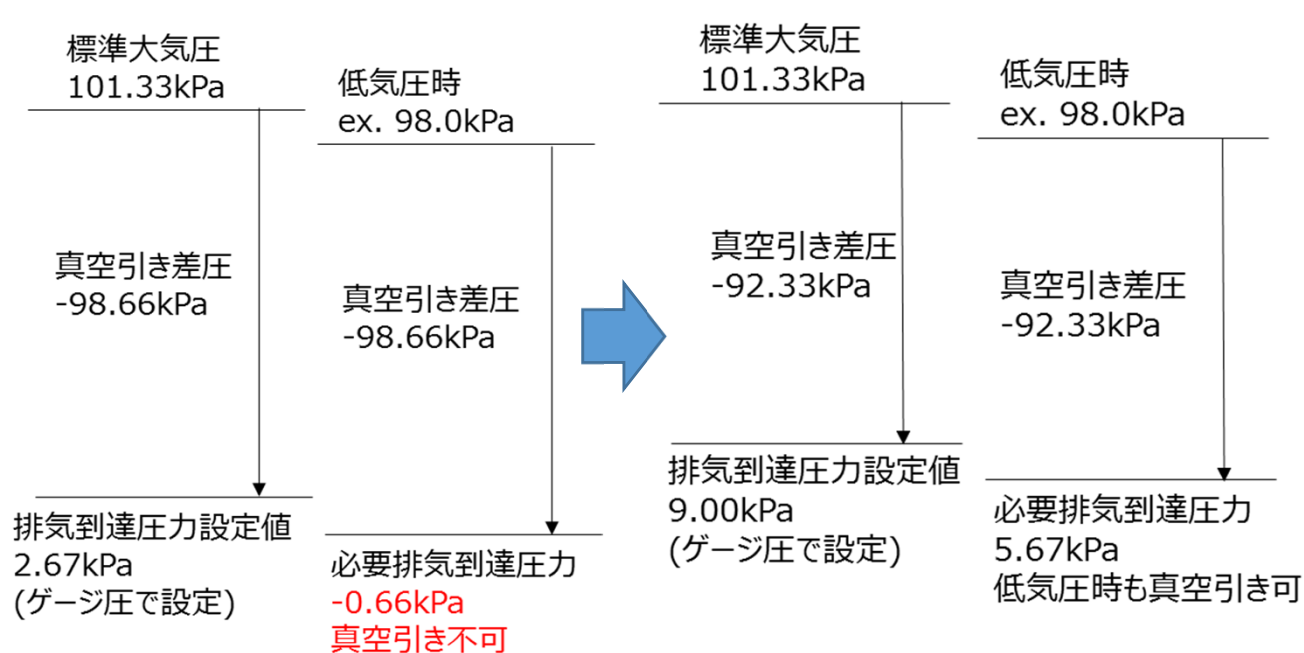
・伝送装置の老朽化に伴う伝送エラーが要因分析から推定されている
 ⇒燃料処理設備の主制御監視盤の伝送装置等をバイパスし、直接LAN接続することで伝送エラーを低減する



4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

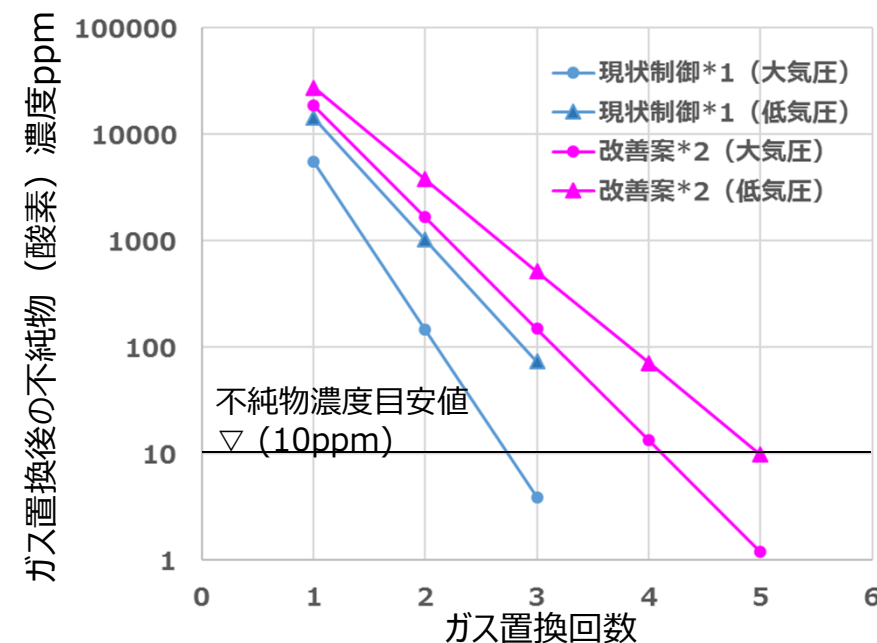
【対策C⑦】ガス置換時間超過による自動化運転停止

発生事象	対策状況	対策の効果
ガス置換時間超過による自動化運転停止（地下台車等）	- ガス置換時の低気圧や差圧計のばらつき等に伴う真空引き時間超過→連動運転渋滞警報 - 対策内容：ガス置換時の真空引きの設定圧力を上げて、警報発生を抑制し、排気回数を3回→5回に増加することで目安の不純物濃度以下とする - 燃料体取出し前にプログラム修正対応実施し、発生頻度は大幅低下（6件／86体⇒1件/100体）したが、燃料体取出し時の台風による気圧低下時に変動ばらつきに伴い1件のみ発生	燃料体の処理時においても低気圧の通過に伴う気圧の変動により4件発生したが発生頻度は大幅低減した（6件／86体⇒4件/174体）



従来ガス置換条件
(ガス置換3回実施)

改善ガス置換条件
(ガス置換5回実施)



ガス置換回数と不純物濃度の関係

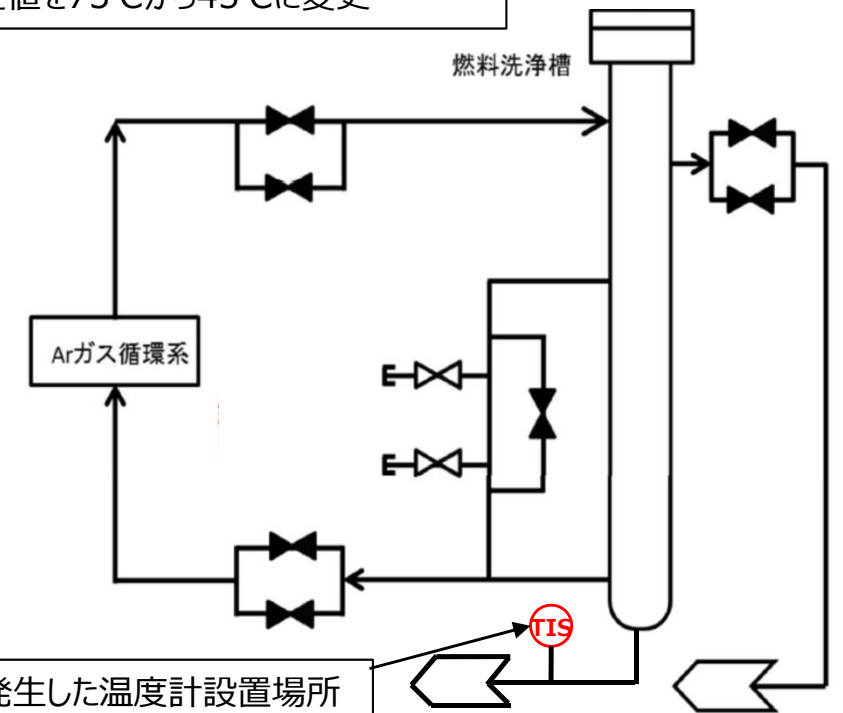
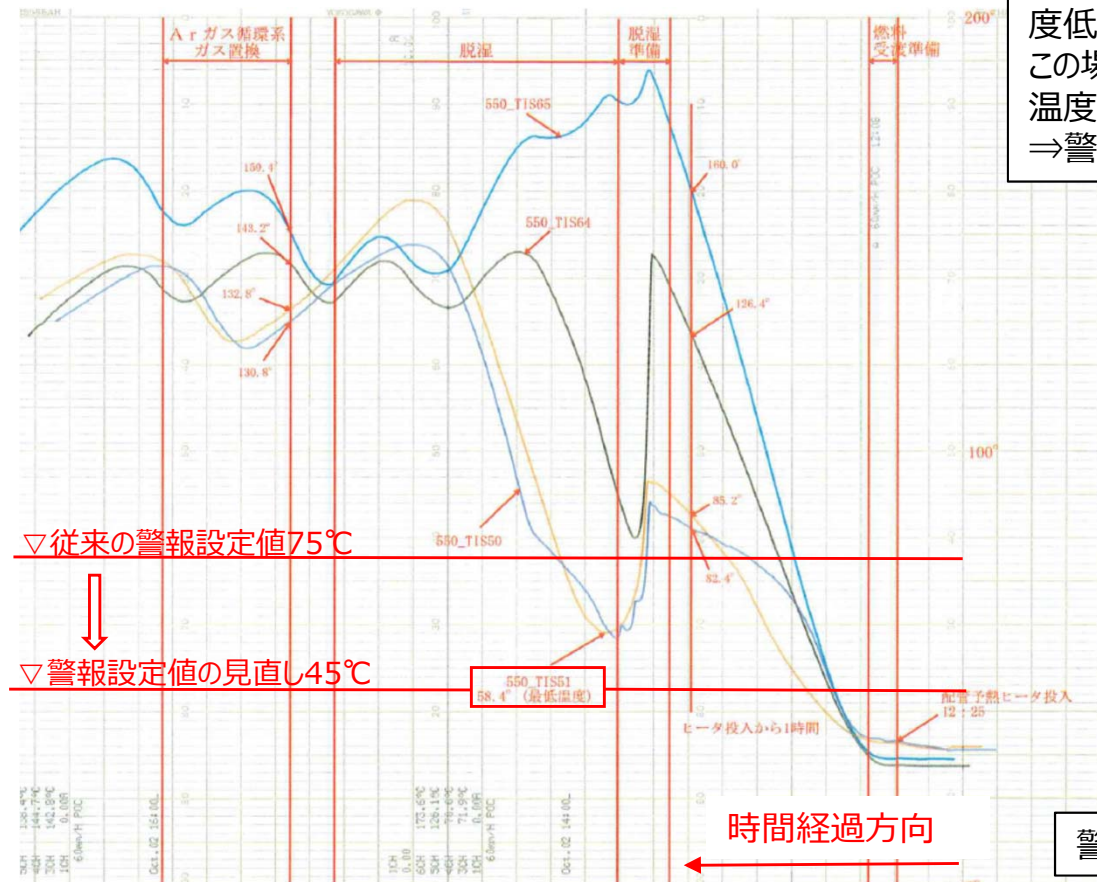
*1：ガス置換3回、排気到達圧力設定値2.67kPa
*2：ガス置換5回、排気到達圧力設定値9.00kPa

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

【対策C⑧】燃料洗浄槽配管予熱温度異常による自動化運転停止

発生事象	対策状況	対策の効果
燃料洗浄槽配管予熱温度異常による自動化運転停止	- 予熱温度設定値と運転時の温度変動（一時的な温度低下等）の不整合 - 予熱ヒータの警報設定値の最適化し、対策Aと合わせて改造実施	今回の燃料体の処理時には発生しなかった。

除湿運転前のガス置換時の真空引きの際にヒータ投入後の時間が長くなると排水出口配管内に残留した水分が蒸発した際の潜熱による温度低下の影響が大きくなり、75℃以下となった。この場合でも除湿中のヒータ各部温度は目標温度130℃を超えた
⇒警報設定値を75℃から45℃に変更



4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

2020年の燃料体の処理における不具合等 (1/2)

- 警報の発報：21件 及び 起動条件不具合による自動化除外(警報なし)：6件の合計27件
- 発生した警報等は事前に想定した「燃料体の処理作業で想定される事象」7種類に該当、復旧済
- 第1キャンペーンの2.7件／体から0.16 件／体と大幅に低減

No.	発生日	警報等	想定事象の番号 (添付資料3)	不具合対策後の 状況 (SH25)
1	2/6	「Arガス循環系ガス置換」開始時における起動条件不具合による自動化運転除外	想定事象 6	対策C ⑥
2	2/7	「燃取計算機伝送異常」警報発報	想定事象 6	対策C ⑥
3		「脱塩水循環洗浄」時における「燃料洗浄槽液位 高／低」ANN発報による自動化運転除外	想定事象 6	対策C ⑥
4	2/11	「燃取計算機伝送異常」警報発報	想定事象 6	対策C ⑥
5	2/12	「使用済燃料はなし」時「本体Aグリッパつかみ・はなし異常」警報発報による自動化運転除外	想定事象 2	対策A
6	2/16	「本体Aシール漏れ」警報発報による自動化運転除外	想定事象 3	対策C ④
7	2/19	「燃料出入設備自動制御盤故障」警報発報による自動化運転除外	想定事象 6	対策C ⑥
8	2/21	「洗浄済燃料つかみ」開始時における起動条件不具合による自動化運転除外	想定事象 6	対策C ⑥
9	2/23	「新燃料移送機連動運転渋滞」警報発報による新燃料移送機連動運転停止	想定事象 6	対策C ⑥
10	2/25	「脱塩水循環洗浄」開始時における起動条件不具合による自動化運転除外	想定事象 6	対策C ⑥
11		「脱湿準備」運転時における「燃料洗浄槽圧力 高／低」警報発報による自動化運転除外	想定事象 7	対策C ⑦
12	2/26	「新燃料移送機走行トルク高」警報発報	想定事象 6	対策C ⑥
13	2/27	「新燃料移送機連動運転渋滞」警報発報による新燃料移送機連動運転停止	想定事象 6	対策C ⑥
14		「新燃料ラックへ移動」運転時「新燃料移送機走行トルク高」警報発報に伴う自動化運転除外	想定事象 6	対策C ⑥
15	3/4	「新燃料移送機連動運転渋滞」警報発報による新燃料移送機連動運転停止	想定事象 6	対策C ⑥

4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理

2020年の燃料体の処理における不具合等 (2/2)

No.	発生日	警報等	想定事象の番号 (添付資料3)	不具合対策後の 状況(SH25)
16	3/10	「DV接続ガス置換」時における「出入設備連動運転渋滞」警報発報による自動化運転除外	想定事象 7	対策C ⑦
17		「ガス置換DV切離」時における「出入設備連動運転渋滞」警報発報による自動化運転除外	想定事象 7	対策C ⑦
18		「本体Aシール漏れ」警報発報による自動化運転除外	想定事象 3	対策C ④
19	3/17	「燃料番号録画」時における「新燃料移送機連動運転渋滞」警報発報による自動化運転除外	想定事象 6	対策C ⑥
20	3/20	「本体Aシール漏れ」警報発報	想定事象 3	対策C ④
21	4/7	「脱塩水循環洗浄」(2回目)終了後の自動化運転工程進行不調	想定事象 6	対策C ⑥
22	4/13	「接続ガス置換」時 「地下台車／新燃予熱系連動運転渋滞」	想定事象 7	対策C ⑦
23	4/14	「脱塩水循環洗浄」(2回目) 終了後の自動運転工程進行不調	想定事象 6	対策C ⑥
24	4/16	模擬燃料体搬入時の「新燃料移送機走行トルク高」警報発生	想定事象 6	対策C ⑥
25	5/15	「使用済燃料つかみ」開始時の自動化運転「除外」	想定事象 6	対策C ⑥
26	5/21	「脱塩水循環洗浄」(2回目) 終了後の自動運転工程進行不調	想定事象 6	対策C ⑥
27	5/24	「脱塩水循環洗浄」時における「燃料洗浄槽圧力 高／低」ANN発報による自動化運転除外	想定事象 6	対策C ⑥

1. もんじゅ廃止措置の概要
2. プラント状態と燃料体取出し作業及び燃料取扱設備の概要
3. 2018年度の燃料体処理時の不具合
4. 不具合対策の効果と2020年の燃料体処理
5. まとめ

5. まとめ

- 高速増殖原型炉もんじゅは、燃料が原子炉容器にある状態で廃止措置に移行することから2022年度までの第1段階において燃料体取出しを最優先に実施し、完了させることとした。
- もんじゅにおける燃料体取出しのうち燃料体の処理作業は、2018年度の処理開始までに2体の作業実績しかなく、大量に連続処理した実績がなかった。
- その結果、2018年度の燃料体の処理作業においては、86件（のべ232件）の不具合等（2.7 件／体）が発生したために操作員等の負担が大きく、100体の処理を計画していたが86体に留まった。
- 【対策A】燃料出入機本体Aグリップトルク上昇対策（ナトリウム化合物付着対策）、【対策B】燃料出入機本体Bグリップトルク上昇対策（可動シールトルク異常対策）、【対策C】その他ソフトウェア不具合等の対策などを実施し、発生した不具合の再発防止と発生頻度の低減を図った。
- これらの対策等により、2020年の燃料体の処理作業においては、不具合等の発生件数が27件（0.16 件／体）と大幅に低減し、6月末までに130体処理との当初計画を上回り、6月1日までに174体の処理を完了した。
- その結果、廃止措置計画において公開した2022年度までに530体の燃料体の処理を完了させるとの目標の達成に対し、実績に基づく確かな見通しを得た。
- また、これまで国内において十分な運転実績がなかった、大型高速炉の燃料体を自動化運転によって大量に連続して処理する設備・機器の運転等に関する知見を習得し、大型高速炉における円滑な燃料体の処理を実現した。
- 今後、第2段階以降のナトリウムドレン、機器解体の計画についても具体化検討を実施していく。

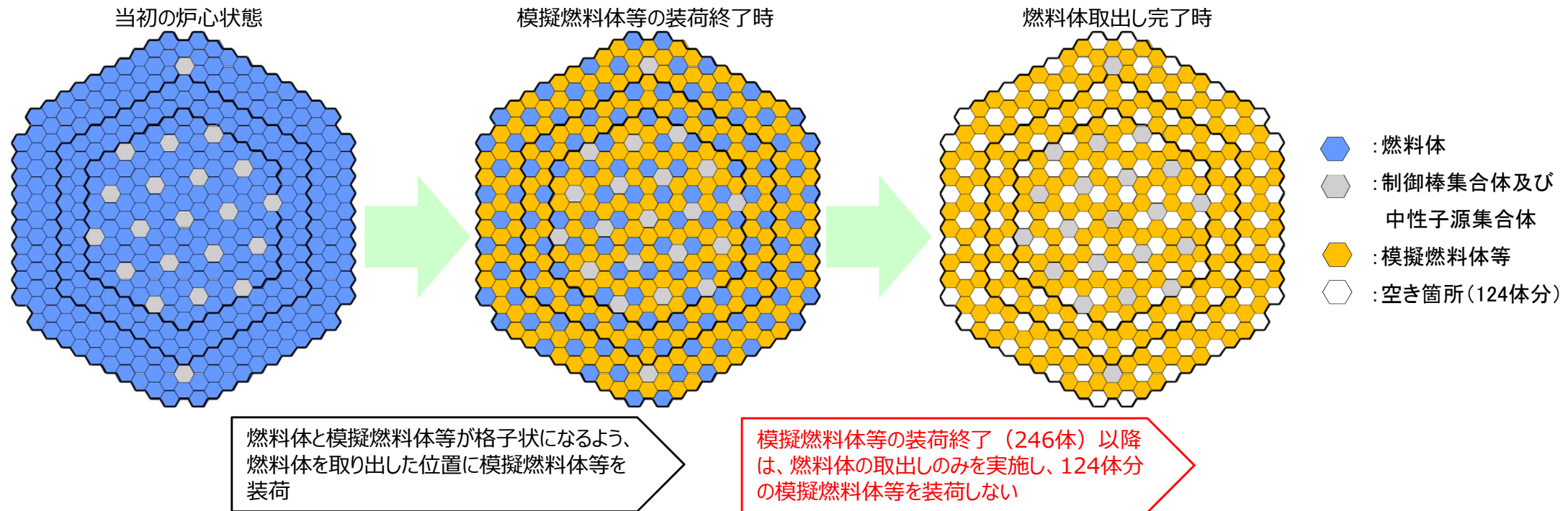
模擬燃料体の部分装荷

○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（燃料体の取出しのみ）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。

○評価：以下の評価結果を説明し、規制庁から認可された（2020年6月）。

- ①燃料体の地震時構造健全性
- ②燃料体頂部位置のずれによる燃料交換装置つかみ機能への影響
- ③その他、原子炉施設の安全性を確保する機能や燃料体の取出しへの影響について、網羅的な確認

模擬燃料体の装荷位置（中性子しゃへい体の記載は省略）



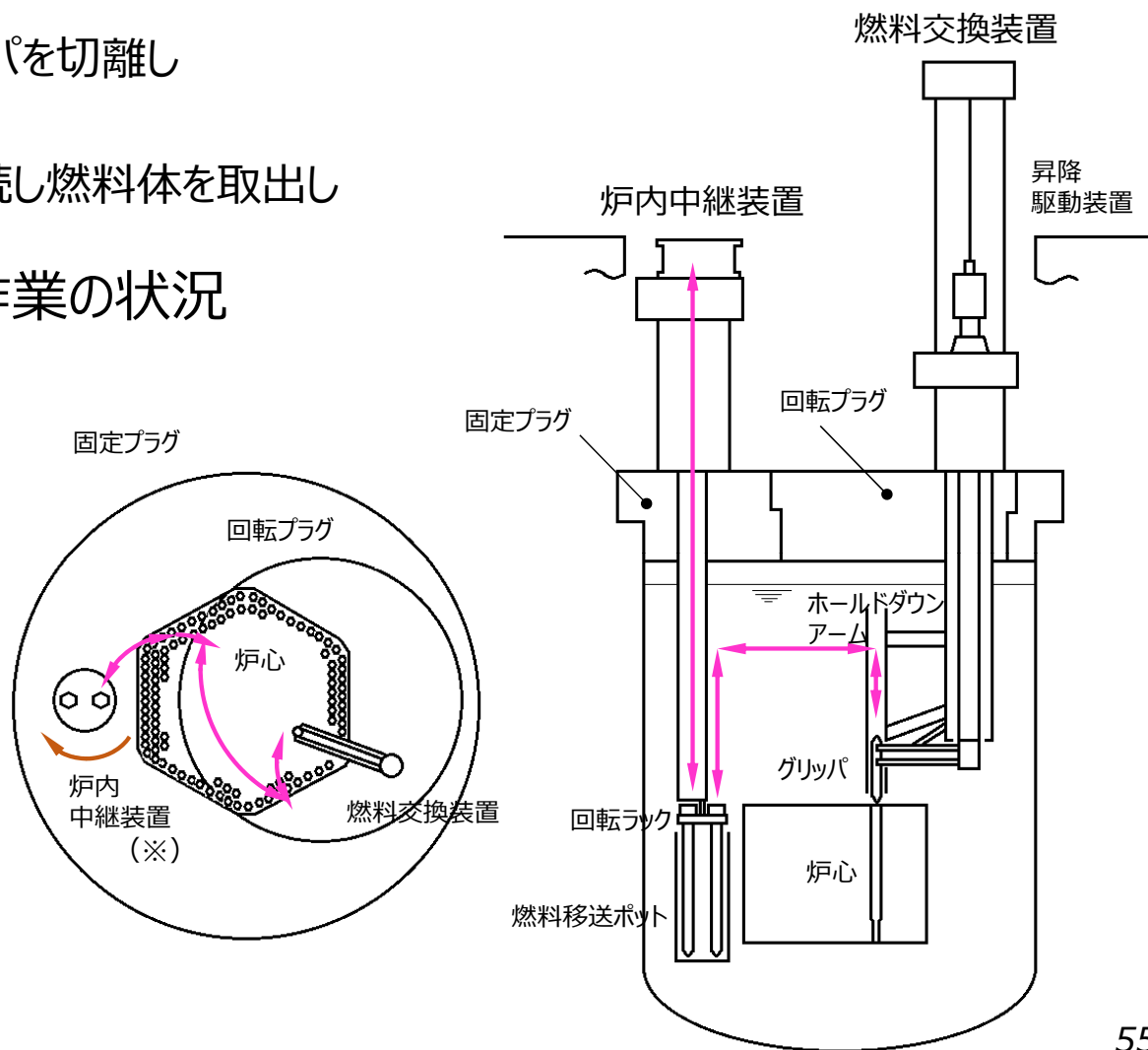
年度	2019年	2020年	2021年	2022年
炉心からの燃料体の取出し	2019.10 100 2019.12	2021.1 146	2021.3 2022.4 124	2022.6

○炉内の燃料交換設備と炉心からの燃料体の取出し作業概要

- ①回転プラグの回転及びFHMホルトダウ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抜き
- ③回転プラグの回転及びFHMホルトダウ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

○2019年の炉心からの燃料体の取出し作業の状況

- 2019年9月から実施した炉心から炉外燃料貯蔵槽への燃料体の取出し作業は工程遅れを生じる不具合等はなく、予定どおり2か月間で100体の燃料体取出しを完了した。これについては以下の点が燃料体の処理との相違点である。
 - 過去に約140体の炉心からの燃料体の取出し作業を自動化運転で実施した経験がある。
 - その際の不具合対応を完了している
 - その際の経験に基づき不具合対応について十分な訓練を行った。



添付資料3 燃料体の処理作業で想定される事象 (2020年の燃料体の処理作業で想定される不具合の代表例7種類)

2. 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)

- ・事象：グリッパ駆動部メカニカルシールの摺動抵抗増加
- ・対策：メカニカルシール交換済み
- ・復旧：本体B駆動部を分解しシール交換 (約1ヶ月要、予備品確保済み)

B

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

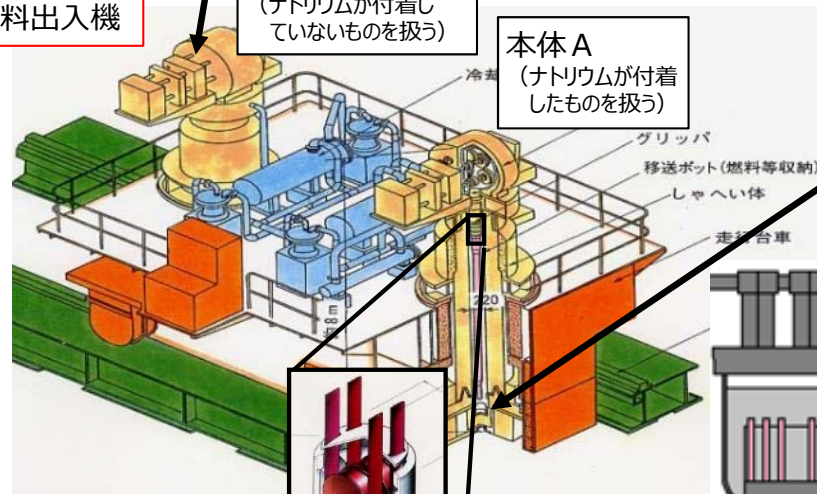
- ・事象：ドアバルブ付着NaがNa化合物となりドアシールからArガス漏えい
- ・対策：本体A直接冷却系停止等対策中 (1月完了予定)
- ・復旧：本体A分解しドアバルブ付着Na等の手入れ (約1ヶ月要)

A

燃料出入機

本体B
(ナトリウムが付着していないものを扱う)

本体A
(ナトリウムが付着したものを扱う)



燃料出入機本体A

燃料出入機本体B

水中台車

燃料移送機

燃料洗浄設備

燃料出入機

炉外燃料
貯蔵設備
(EVST)

地下台車

新燃料移送機

新燃料
貯蔵ラック

空気・水雰囲気

本体AグリッパとNa化合物付着

1. 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)

- ・事象：付着Naが湿分等でNa化合物となりグリッパ爪開閉動作が渋くなる
- ・対策：燃料洗浄槽の除湿対策中 (1月完了予定)
- ・復旧：本体Aグリッパ洗浄 (約3～5日要)

A

4. 燃料洗浄槽配管予熱温度異常による自動化運転停止

- ・事象：配管予熱温度の部分的低下
- ・対策：予熱ヒータの警報設定値の最適化等対策中 (1月完了予定)
- ・復旧：現場予熱温度を確認し自動化運転再開 (約1時間)

C

5. 洗浄水の電気伝導度高による自動化運転停止 (電導度>500μs/cm)

- ・事象：残留Naが多い場合にプログラム回数で電導度が規定値に達しない
- ・対策：追加洗浄運転を自動化対策中 (1月完了予定)
- ・復旧：追加洗浄 (1回当たり約30分)

C

6. 制御信号伝送異常等による自動化運転停止

- ・事象：制御信号伝送異常
- ・対策：伝送回路の変更対策中 (1月完了予定)
- ・復旧：再現性確認のうえ自動化運転再開 (約2時間)

C

7. ガス置換時間超過による自動化運転停止 (地下台車等)

- ・事象：ガス置換時の低気圧等に伴う真空引き時間超過
- ・対策：ガス置換方法変更等対策済み
- ・復旧：現場確認のうえ自動化運転再開 (約1時間)

C