

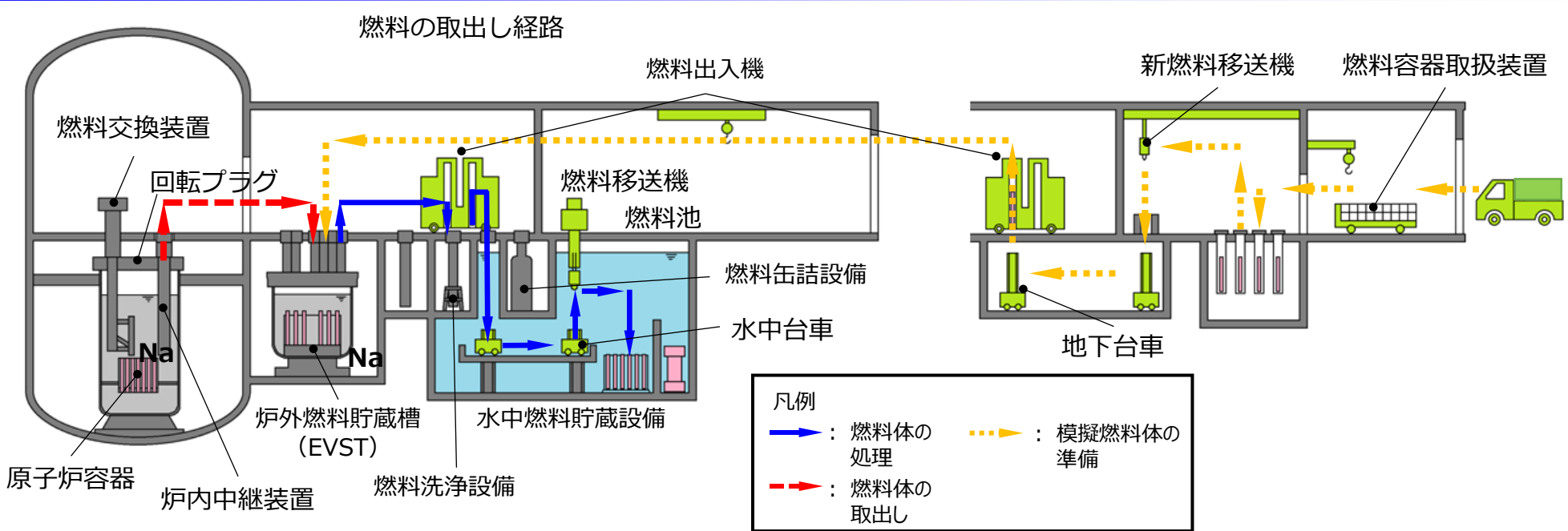
# もんじゅ廃止措置の実施状況について

2019年3月15日

日本原子力研究開発機構（JAEA）

1. 廃止措置の実施状況、燃料体の処理実績
2. 今後の燃料体取出し作業に向けた検討
  - ・燃料出入機 本体Aグリップのトルク上昇
  - ・燃料出入機 本体Bグリップのトルク上昇
  - ・燃料体処理の経験を踏まえたその他の対応
  - ・作業実施体制
3. 2次系ナトリウムの抜取り
4. 定期設備点検（事業者自主検査）
5. まとめ

# 1.廃止措置の実施状況、燃料体の処理実績 (1/2)

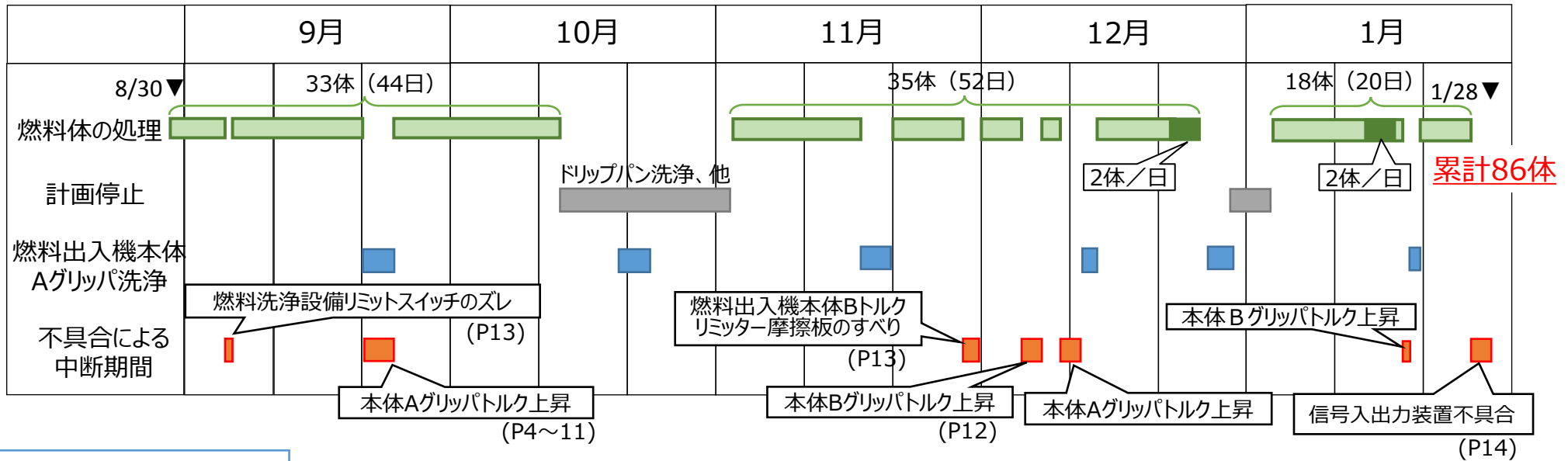


年度		2018年度					2019年度	2020年度	2021年度	2022年度		
第1段階における燃料体の取出し	燃料体の処理 (530体) 炉外燃料貯蔵槽→燃料池 (EVST)	6.19 ~ 6.21 [ ] 模擬訓練①	7.13 ~ 7.26 [ ] 総合機能試験	8.19 ~ 8.28 [ ] 模擬訓練②	8.30 ~ 1.28 [ ] 100体 → 86体		2019.9 [ ] 130体 +14体	2020.4 [ ]	2021.1 [ ]	2021.8 [ ] 130体	2022.5 [ ] 170体	燃料体取出し 作業完了 ▽ 2022.12
	燃料体の取出し (370体) 原子炉容器→炉外燃料貯蔵槽 (EVST)						2019.7 [ ] 110体	2020.11 [ ]		2022.3 [ ] 130体	[ ] 130体	
	設備点検									12.15 [ ] 2019.1.29~本格化	[ ]	[ ]



# 1.廃止措置の実施状況、燃料体の処理実績 (2/2)

## 今年度の燃料体の処理実績



## 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）  
7～8月（模擬訓練、機能確認試験等を実施）燃料出入機本体Aグリッパへのナトリウム付着等が発生
- 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
- 今年度100体という当初目標の達成を目指して、燃料体の処理を2019年1月も継続して実施
- 今年度の処理計画100体に対し、86体の処理で終了 →残り14体は、次回（2019年度開始）に処理することで検討

## 2. 今後の燃料体取出し作業に向けた検討 燃料出入機 本体Aグリッパのトルク上昇

○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燃料取出し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（7月4日）

➡ 上爪使用時の不具合

②燃料取出し作業中、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（9月19日他）

➡ 下爪使用時の不具合



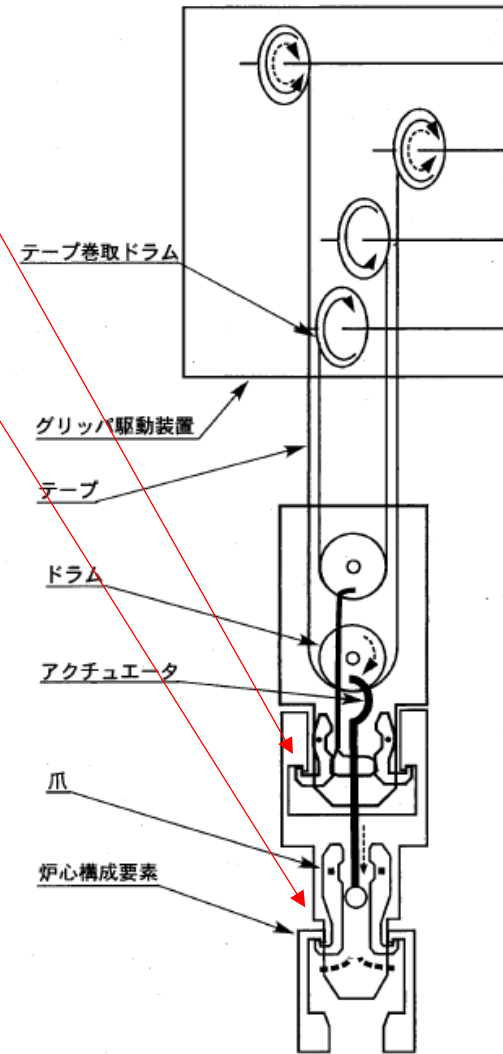
○当初、爪を閉じる操作は可能であったことから、ナトリウムによる固着の可能性が高いと判断し、炉外燃料貯蔵槽（約200℃）へ浸漬したが、トルクが低下せず

○その後、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)



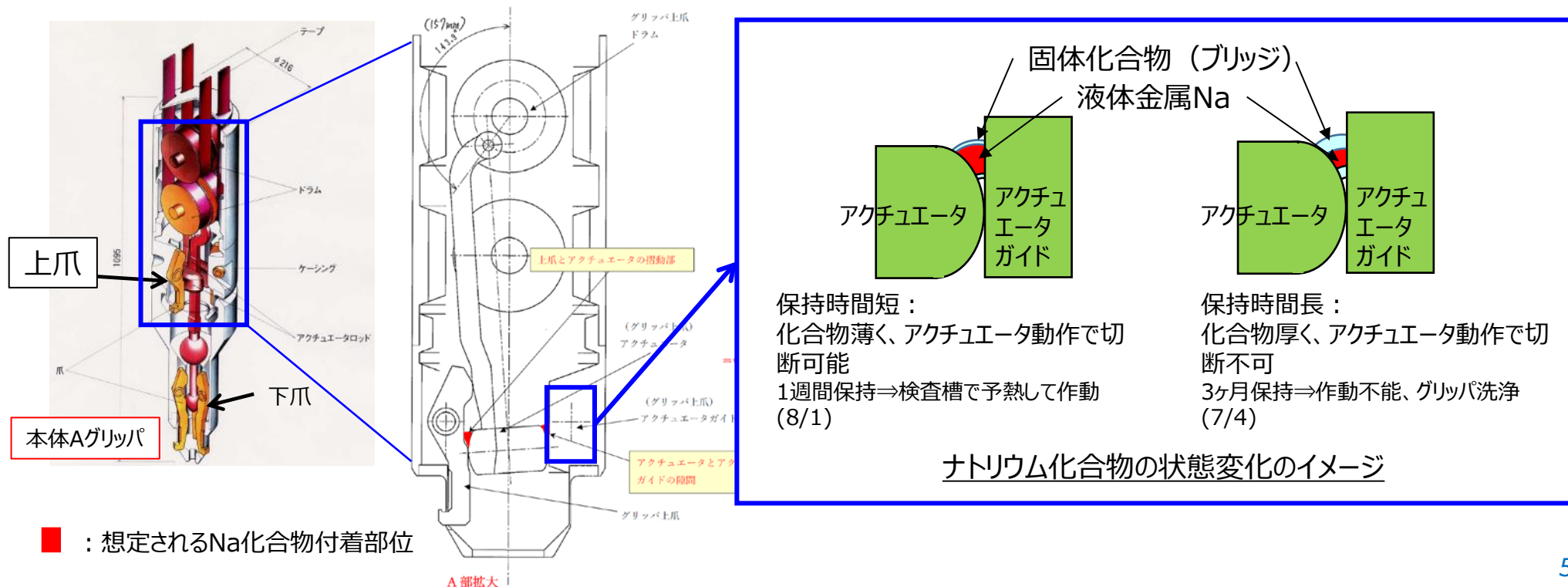
## 2. 今後の燃料体取出し作業に向けた検討 燃料出入機 本体Aグリッパ上爪のトルク上昇 (1/2)

### グリッパ上爪のトルク上昇要因 (推定)

- グリッパにNaが付着した状態での長期保持  
(EVST床ドアバルブの性能確認のため、EVST内に降ろして爪開閉操作を行った後、燃料出入機内で3ヶ月保管)



- 微量の酸素が、付着Naの表面に化合物のブリッジを生成
- 保持時間が長期化すると化合物表面のブリッジが強固になるため、動作トルクで切断不可  
連続動作時は保持時間が短く、ブリッジが薄い状態のため、動作トルクで切断可能



## グリッパ上爪のトルク上昇対策

### ○対策済

- 長期保持の前にはグリッパ洗浄を実施

### (燃料取出し作業中の運用改善)

- 燃料出入機本体内の酸素を減らすため、グリッパ洗浄後のガス置換の回数を増加 (11/1~)

1セット → 2セット

※ 1セット : 3回置換

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

- Na化合物のブリッジの生成を抑制するため、毎日の燃料処理終了後、炉外燃料貯蔵槽 (EVST) のNa中で上爪の開閉動作 (テープ調整) を追加して実施 (12/15~)

上記12/15の対策以降、トルクは低く安定して維持されているので、テープ調整場所 (現状: 洗浄槽 (約100℃以下) 及び地下台車 (約150℃以下) で実施) をEVST (約200℃) に変更する自動化運転プログラムの改善を予定



## 2. 今後の燃料体取出し作業に向けた検討

### 燃料出入機 本体Aグリップ下爪のトルク上昇 (1/4)

- 下爪のトルク上昇は燃料取出し作業中に発生したことから、使用する設備の環境条件からナトリウム化合物が生成する要因を検討

#### 【使用済燃料体の処理の流れ】

- ①炉外燃料貯蔵槽 (EVST) → ②燃料出入機 (本体A) → ③燃料洗浄槽 → ④燃料出入機 (本体B) → ⑤缶詰装置 → (以降、大気雰囲気)  
 ⑥燃料出入機 (本体B) → ⑦水中台車 → ⑧燃料移送機 → ⑨燃料池

#### ②燃料出入機 (本体A)

- ・常時Arガスを循環 (加熱器にて約150℃に制御)
- ・各設備の床ドアバルブと接続した際、ドアバルブ開前にドアバルブ間の空間をArガス置換 (3回)

#### ①炉外燃料貯蔵槽 (EVST)

- ・常時Arガスでカバー
- ・燃料出入機と接続中は、床ドアバルブ位置から槽内に向けてArガスを吹きおろし
- ・Naは配管ヒータや冷却系加熱器により約200℃に制御

#### ③燃料洗浄槽

##### (洗浄前)

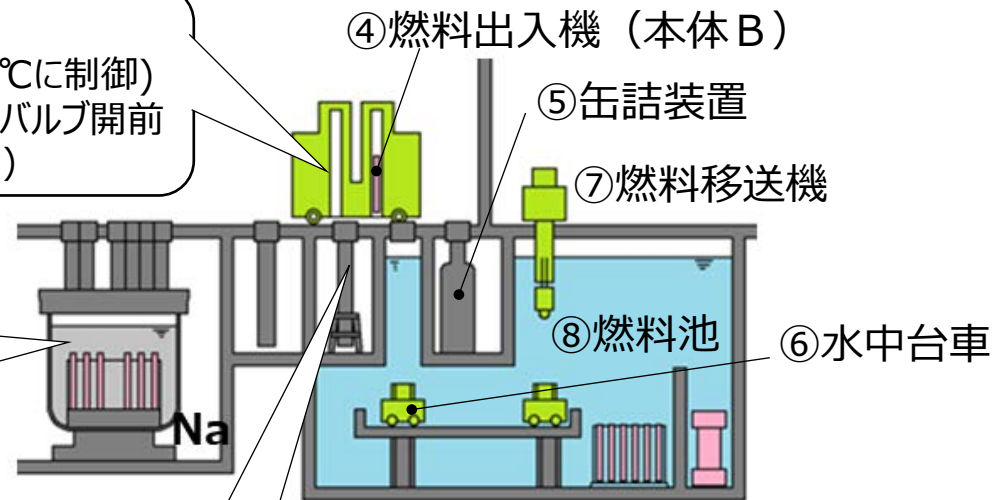
- ・使用済燃料体の受け入れ前に内部をArガス置換 (1回)
- ・使用済燃料体が着底した際に本体Aグリップのテープ調整 (上爪の開閉操作) を実施

##### (洗浄中)

- ・湿潤Arガスと脱塩水を使用

##### (洗浄後)

- ・溜まった廃液を液体廃棄物処理系に排出
- ・槽内の乾燥および脱湿  
 高温Arガスによる脱湿運転80分 (240℃)  
 (脱湿運転終了まで洗浄槽下部のヒータや配管ヒータにより約130℃に制御)  
 Arガス循環系内をArガス置換 (1回)  
 燃料洗浄槽内のArガス置換 (3回)





## 2. 今後の燃料体取出し作業に向けた検討 燃料出入機 本体Aグリッパ下爪のトルク上昇 (2/4)

### 【模擬燃料体の流れ】

- ①新燃料貯蔵ラック → ②地下台車 → ③燃料出入機（本体A） → ④炉外燃料貯蔵槽  
 (大気雰囲気) (アルゴンガス雰囲気)

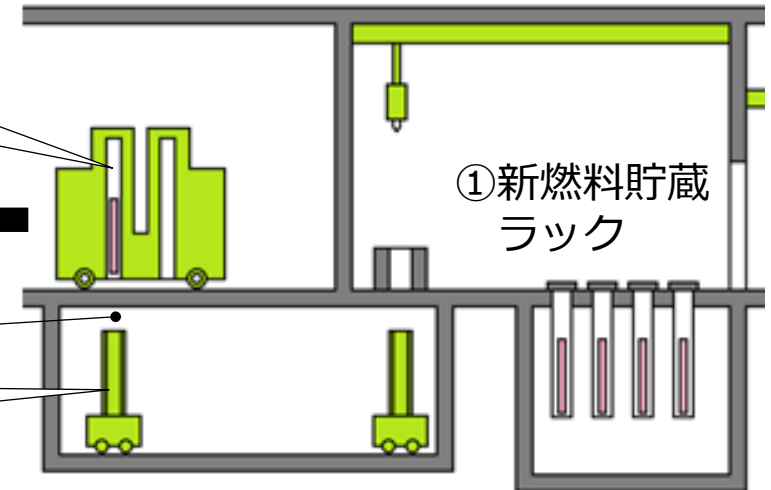
#### ③燃料出入機（本体A）

- 各設備のドアバルブと接続した際、ドアバルブ開前にドアバルブ間の空間をArガス置換

#### ②地下台車

- 可動案内筒と接続後、地下台車内をArガス置換
- ヒーターにより模擬燃料体を予熱
- 本体Aグリッパが模擬燃料体に着底した際に本体Aのテーブル調整（上爪の開閉操作）を実施

- ④炉外燃料貯蔵槽上部へ  
可動案内筒

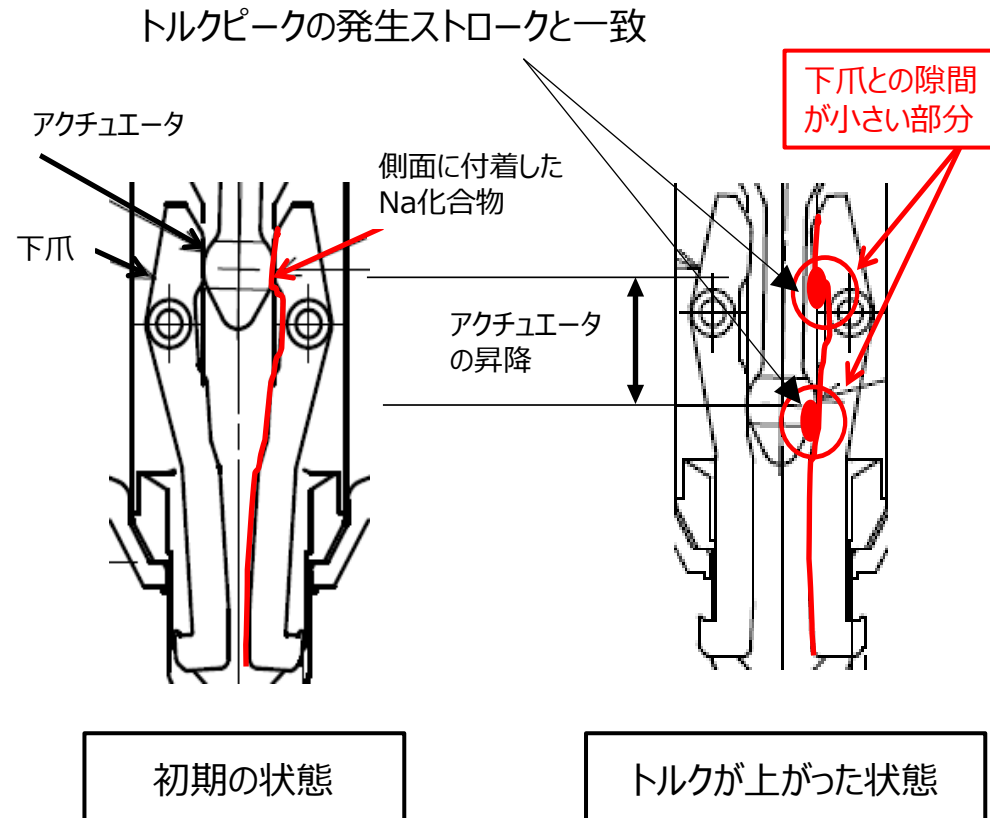


#### グリッパ下爪のトルク上昇要因 (推定)

- 動作を繰り返す毎にトルクが上昇していることを確認
- トルクピークが発生するアクチュエータの位置が、爪との隙間が小さい部分であることを確認
- 燃料洗浄槽の露点温度を計測した結果、時間経過とともに上昇したことから、燃料洗浄槽及び配管の一部が100℃以上に加熱されておらず、湿分が液体として残留している可能性があることを確認



- EVSTでグリッパにNaが付着し、露点の高い燃料洗浄槽でNaがNa化合物を生成
- Na化合物が付着した状態でEVST内に入った際に、さらにNa化合物にNaが付着
- グリッパの爪に付着した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、または噛みこみ、下爪のトルクが上昇したものと推定



下爪のナトリウム化合物付着のイメージ

## グリッパ下爪のトルク上昇対策

### ○対策済

- グリッパ洗浄の目安となる爪開閉トルクを設定し、上昇傾向が認められる段階で洗浄を行う運用に変更
- 燃料洗浄槽の湿度低減のため、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（手動）  
1回 → 2回（11/3～）、3回（11/21～）

※自動化運転プログラムとして実施できるようプログラムの改善予定

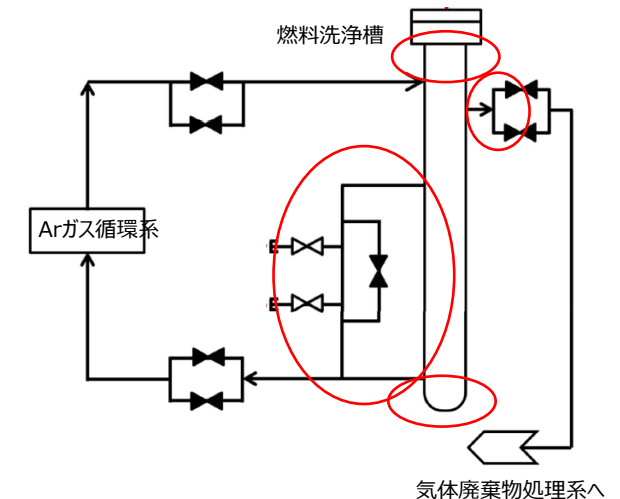
### ○今後の追加対策

- 燃料洗浄槽へのヒータ追加設置等
  - 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する予定（3月中）
  - 燃料洗浄槽の残留湿分を低減するため、枝配管へのヒータ等の追設もしくは、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を検討

### 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。



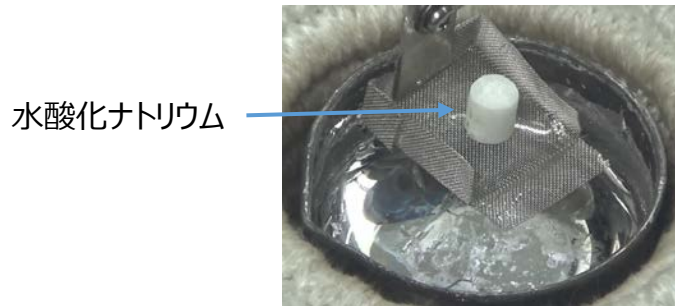
燃料洗浄設備システム概念  
と温度分布測定部位

- 湿分とNa付着の関係を調査するため、ナトリウム工学研究施設において再現試験を実施  
 湿分がある環境では、水酸化物にさらにNaが付着することを確認

水酸化ナトリウムを200℃のNa中に浸漬し一定時間毎に引上げ、Naとの反応状況を観察。

- ・水酸化ナトリウムを大気中に曝露し表面に湿分が吸着した場合、湿分とNaが反応し水酸化ナトリウム表面にNaが付着する。
- ・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

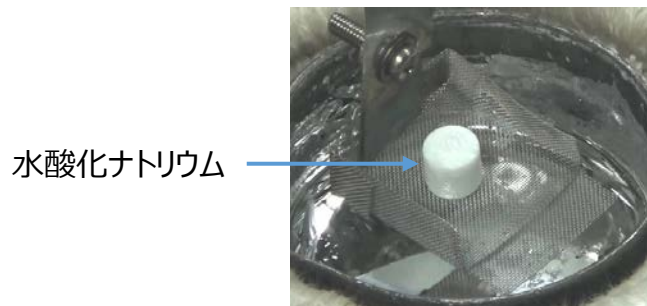


浸漬 2 分後



浸漬 1 0 分後

### ②表面に湿分が吸着している場合



Na浸漬前



浸漬 2 分後



浸漬 4 分後

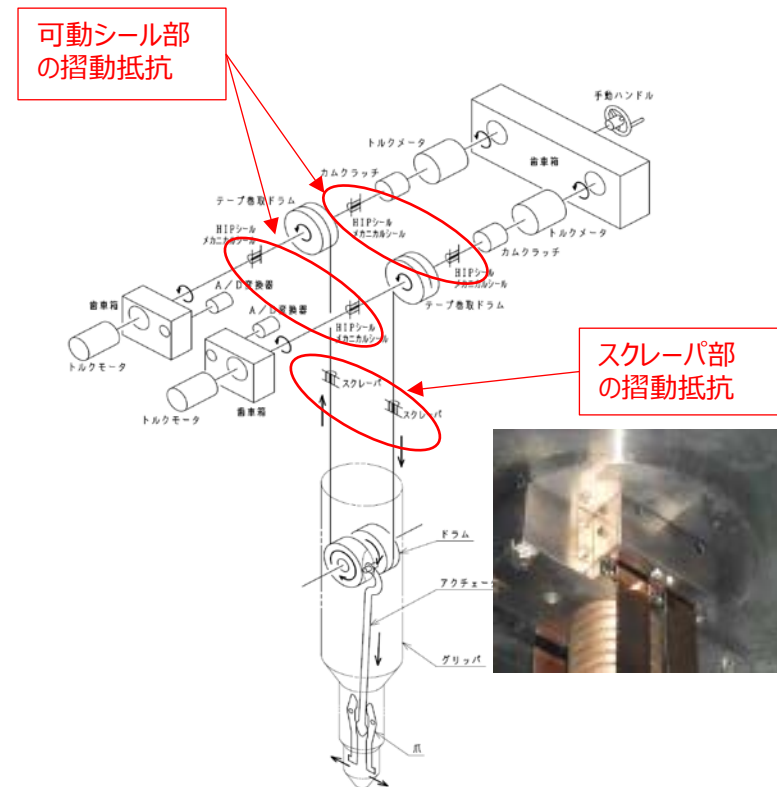
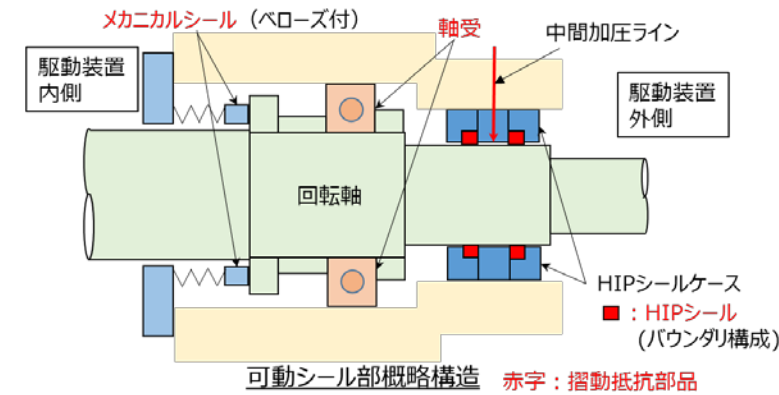
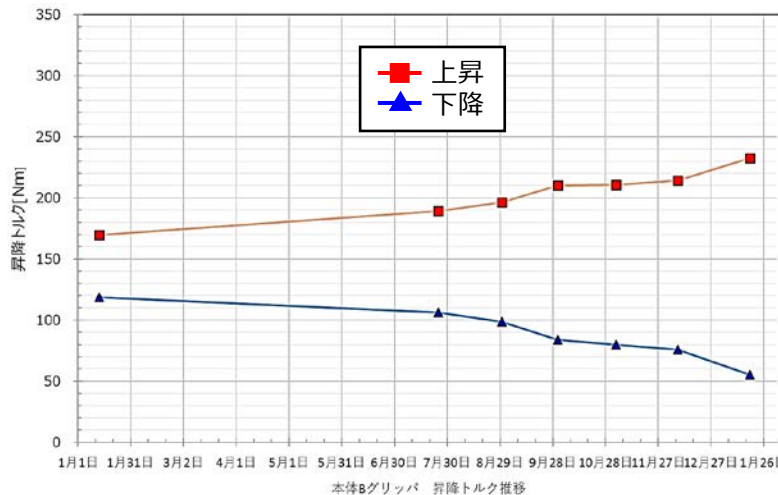
## 2. 今後の燃料体取出し作業に向けた検討 燃料出入機 本体Bグリッパのトルク上昇

- 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。
- 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、同じ日の上昇時と下降時のトルクの変動が同程度であることを確認した。



- 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。

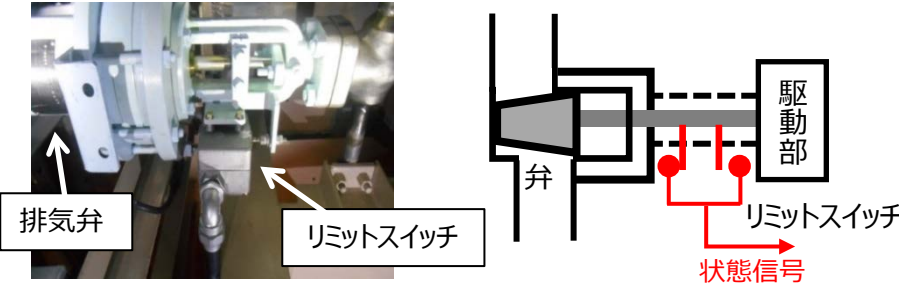
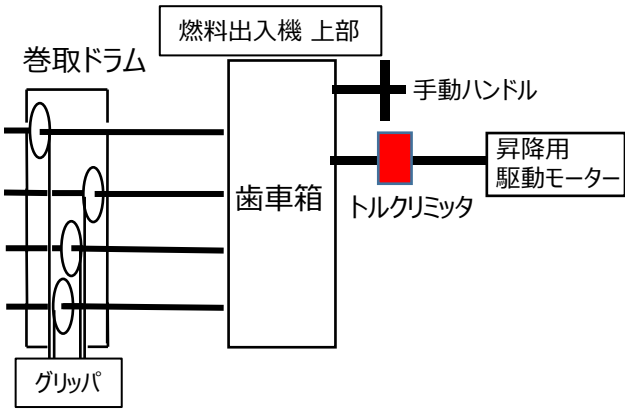
本体Bグリッパ  
昇降トルクの推移





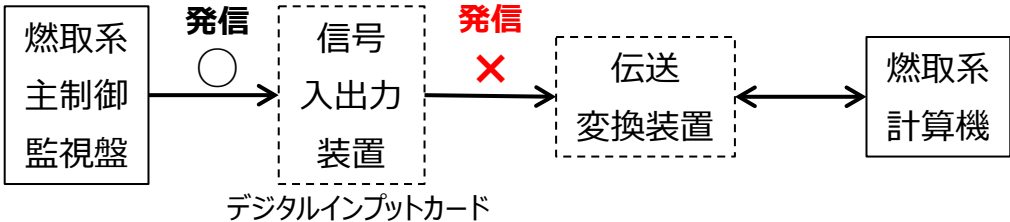
## 2. 今後の燃料体取出し作業に向けた検討 燃料体処理の経験を踏まえたその他の対応 (1/2)

### その他の主な不具合

事象	原因と対策									
<p>燃料を洗浄して移送した後に洗浄設備内を乾燥させる操作を行ったところ、内部のアルゴンガスを排気する排気弁が閉状態とならなかった。(2018年9月4日)</p> 	<p>(原因) 排気弁が閉状態となった際に作動するリミットスイッチがズれて、閉状態であるにもかかわらず、閉状態を知らせる信号が発信されなかったため。</p> <p>(対策) リミットスイッチの調整を実施。</p>									
<p>缶詰缶を燃料出入機本体Bグリップを用いて引き上げ低速から高速に切り替わった後、昇降ストロークの上昇速度が徐々に落ちる兆候を確認した。(2018年11月25日)</p> 	<p>(原因) トルクリミッタの磨擦板が滑っていることを確認した。</p> <p>(対策) トルクリミッタの摩擦板の交換を実施。 使用回数や最大重量の関係から本体Bの負荷が大きいため、点検や部品の交換頻度等の見直しを実施中</p> <table border="1" data-bbox="1073 1120 1916 1378"> <thead> <tr> <th></th> <th>本体A</th> <th>本体B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1体処理する際の使用回数</td> <td>4回</td> <td>6回</td> </tr> <tr> <td>取扱う最大重量 (kg)</td> <td>使用済燃料体 (約190kg)</td> <td>缶詰済み燃料体 (約350 kg)</td> </tr> </tbody> </table>		本体A	本体B	1体処理する際の使用回数	4回	6回	取扱う最大重量 (kg)	使用済燃料体 (約190kg)	缶詰済み燃料体 (約350 kg)
	本体A	本体B								
1体処理する際の使用回数	4回	6回								
取扱う最大重量 (kg)	使用済燃料体 (約190kg)	缶詰済み燃料体 (約350 kg)								

## 2. 今後の燃料体取出し作業に向けた検討 燃料体処理の経験を踏まえたその他の対応 (2/2)

### その他の主な不具合

事象	原因と対策
<p>空缶を地下台車から燃料出入機に移送した後、地下台車内の空気入換え（ガス置換）を行おうとしたところ、ガス置換が開始されない事象が発生した。（2019年1月23日）信号入出力装置から信号が出力されていないことを確認したことから、制御監視盤及び信号入出力装置を再起動したところ、地下台車のガス置換</p> <p style="text-align: center;">制御信号の発信状況</p> 	<p>(原因) 原因は信号入出力装置内のデジタル入力カードに偶発的な不調が発生したものと推定。</p> <p>(対策) 信号入出力装置内のデジタル入力カードの交換を実施。</p>

### その他、燃料処理の円滑な実施に資するための対策

2018年度の経験	対策
<p>使用済燃料体の脱塩水洗浄時、規定の電導度を下回らなかった場合は、手動にて追加洗浄を実施した。</p>	<p>追加洗浄運転を自動化するロジックの追加を次回の燃料体の処理（EVST→燃料池）に向けて対策する。</p>
<p>缶詰装置ITVカメラの視認性改善として、①照明位置の調整、②反射板の設置、③LED化 曇止め対策として、乾燥空気による給排気運転を試行した。</p>	<p>視認性改善として、②③は有意な効果が認められなかったため、①照明位置の調整を採用した。 曇止め対策として、乾燥空気による給排気運転は効果が認められなかったため、燃処理中も実施出来るようにプログラムを改造した。</p>



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））

### ➤実施体制

原子力機構：42名

（実施責任者：4名、操作チーム：25+7名、設備チーム：4名、支援要員：2名）

メーカ：13名

### ➤燃料体連続処理の試行実績による評価

燃料体連続処理作業に起因する不具合は特になかった。

2体連続処理の作業時間は18時間程度であり、交替勤務に影響は無かった。

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

### 3. 2次系ナトリウムの抜取り (1/3)

2次冷却材ナトリウム一時保管用タンクの設置、抜取り

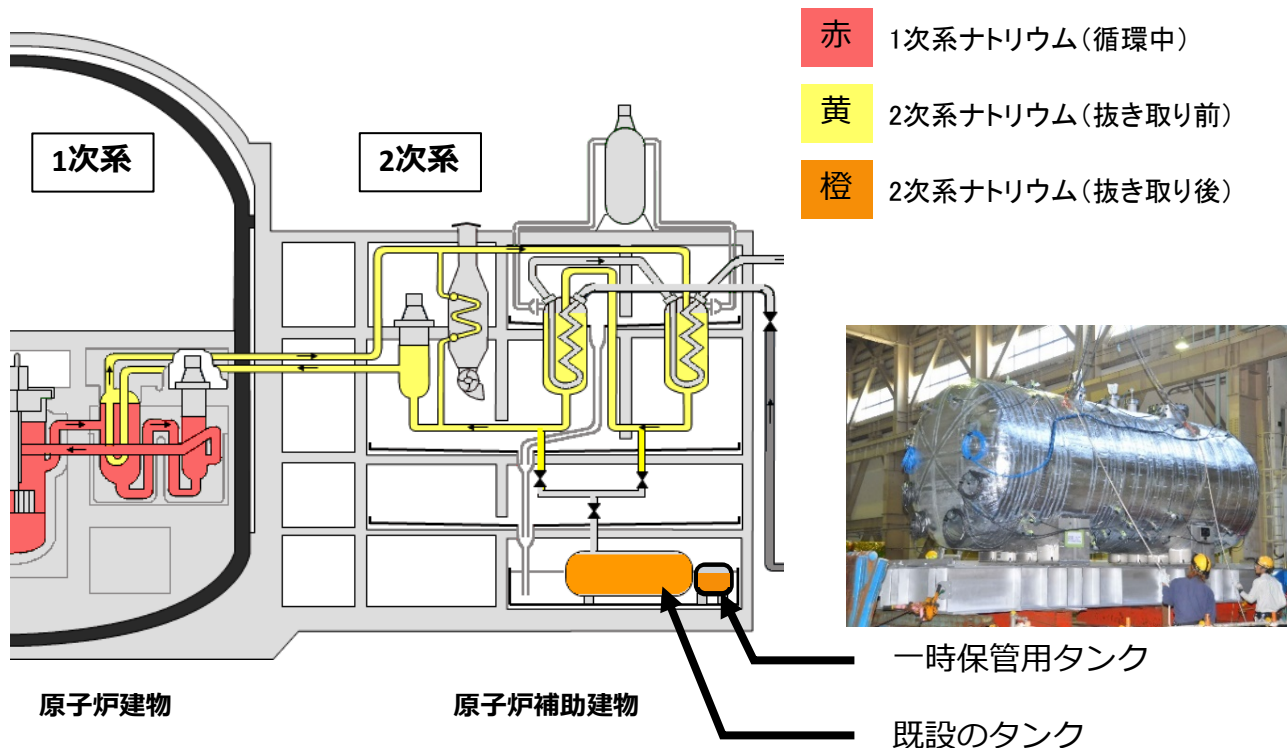
項目	平成30年						平成31年				
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	
試験・検査				第2回耐圧試験 (自主) ▼ 第3回耐圧試験 (消防立会) ▼ 完成検査申請 (消防) ▼	完成検査 (消防) ▼11/15						
2次系ナトリウム抜取り					抜き取り準備	▼11/20 一時保管用タンクへの移送 ▼11/29 一時保管用タンクNa固化 ▼12/5 既設タンクへの全ドレン 既設タンクNa固化					
タンク本体工事	▼7/3 タンク現地(タービン建物)搬入 タンク計装品取付、ヒータ・保温施工			性能試験 (通電試験・ヒータ昇温試験)							
タンク接続配管工事	タンク接続配管敷設			RT不具合部取替作業※	接続配管ヒータ・保温施工				接続配管撤去作業		

※新規製作したナトリウム配管でRT検査をした結果、欠陥が見つかったため、欠陥のあった配管の再敷設を実施

### 3. 2次系ナトリウムの抜取り (2/3)

#### 一時保管用タンクの現地据付、配管敷設

- ▶ 一時保管用タンク設置に当たり、想定を超える地震（水平加速度1.0Gの揺れ）にも耐え、かつタンク設置エリアコンクリート床面内埋設配筋に干渉しないことを考慮して施工
- ▶ 配管切断、溶接工事では、系統内を微正圧保持し、空気混入防止を図った



【2次系ナトリウムの保有量と既設タンクの保管容量】

保有量	約840m <sup>3</sup>
既設タンク保管容量	約800m <sup>3</sup>
差分	約40m <sup>3</sup>
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 差分を一時保管用タンク（約25m<sup>3</sup>×2）に貯留</li> <li>• ナトリウム漏えい対策工事（2005年）で実績あり</li> </ul>

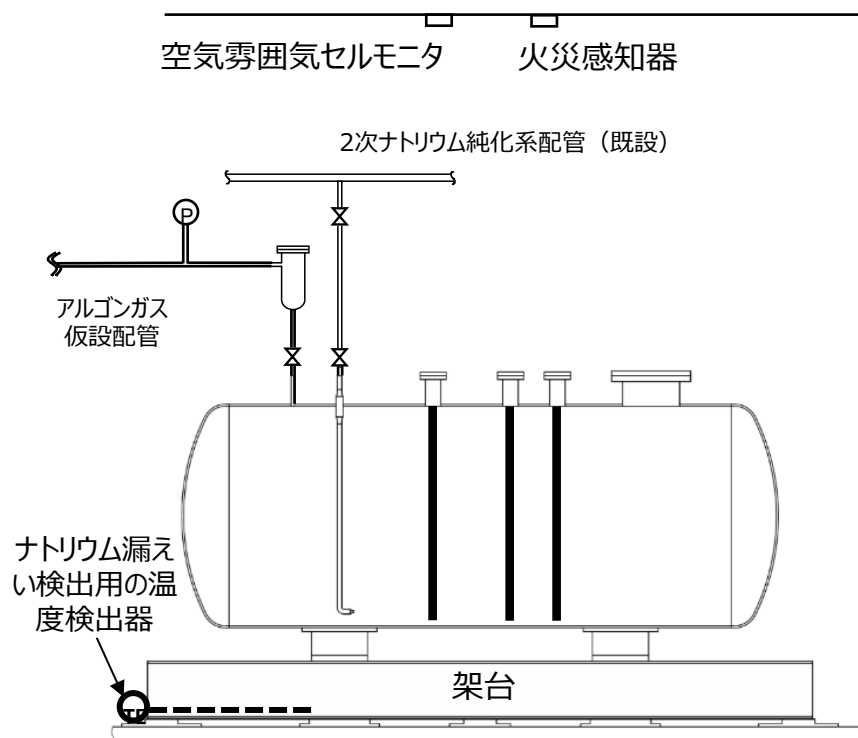
### 3. 2次系ナトリウムの抜取り (3/3)

#### 一時保管用タンクへのナトリウム移送等

- 一時保管用タンクへのナトリウム移送は、ナトリウムの漏えいリスクを低減するため、1回あたりのナトリウム移送量をあらかじめ把握できる段階的移送を実施
- ナトリウム移送時の漏えい対策として、移送配管用キャッチパン、受け皿や架台貯留マスを設置

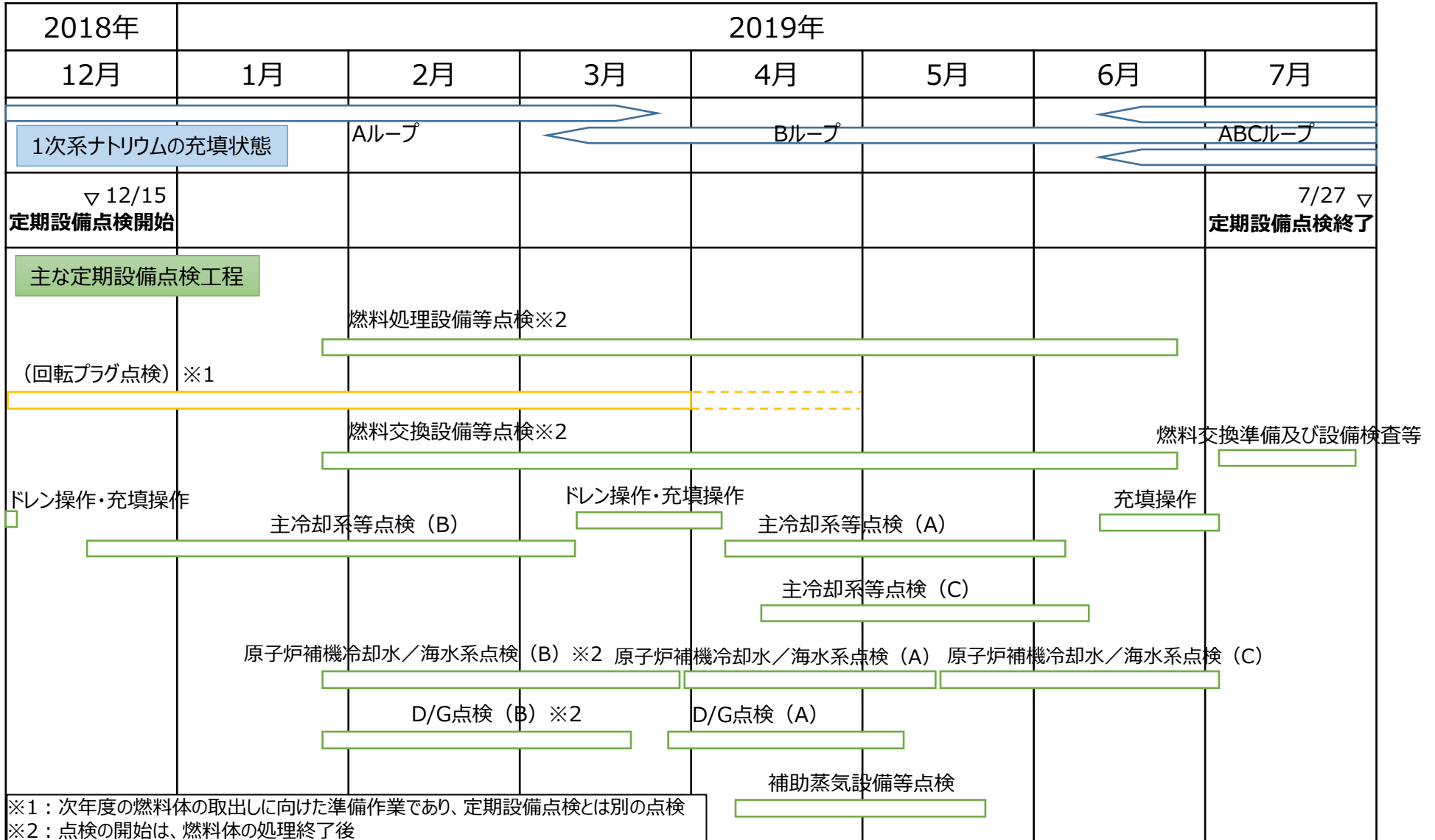
#### 一時保管用タンクにおけるナトリウム固化後の安全対策

- ナトリウム漏えい検出器及び火災報知機による監視、タンク内へのアルゴンガス充てんによる空気の混入防止、ナトリウム専用消火器の配備や室内への窒素ガス注入によるナトリウム火災の進展防止等を実施



# 4. 定期設備点検（事業者自主検査）

2018年12月から2019年7月までの期間、性能維持施設の定期設備点検及び事業者自主検査を実施



※1：次年度の燃料体の取出しに向けた準備作業であり、定期設備点検とは別の点検  
 ※2：点検の開始は、燃料体の処理終了後

2018年3月28日に施行された保全計画に基づき点検を実施  
 上記の定期設備点検に合わせて、事業者自主検査を実施

詳細工程については調整中

- 燃料体取出しについては、燃料取扱設備の点検、総合機能試験及び各種の訓練を行った上で、8月30日より燃料体の処理を実施し、1月28日までに86体の処理を完了した。
- 今年度の燃料体の処理で得られた知見に対する今後の対策等について更なる検討を行い、安全確保を最優先に、2022年度までの燃料体取出し作業を着実に進めていく。

## 参考

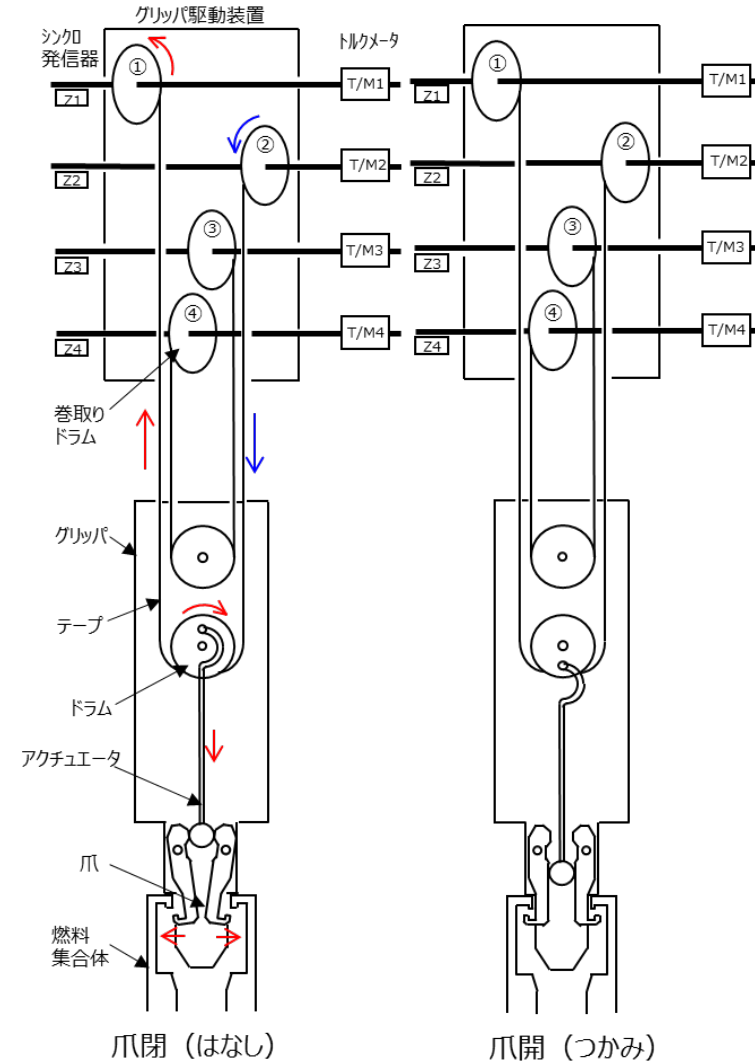
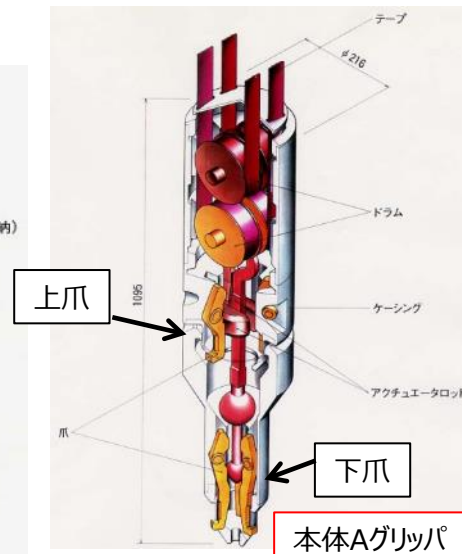
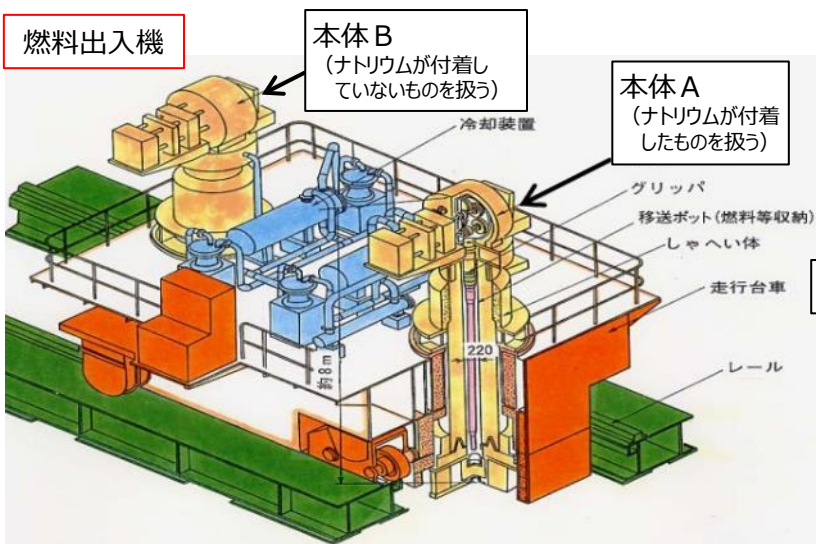


## ▶ 本体A: ナトリウムが付着した燃料体等を取り扱う

本体Aグリッパは上部グリッパと燃料アダプタで構成されており、燃料を取扱う下爪と燃料アダプタを取扱う上爪の2式の爪を有する。グリッパは4軸のドラムに巻きつけられたテープで昇降と爪開閉駆動を実施する。上爪、下爪とも「爪開閉トルク異常」警報を発報。

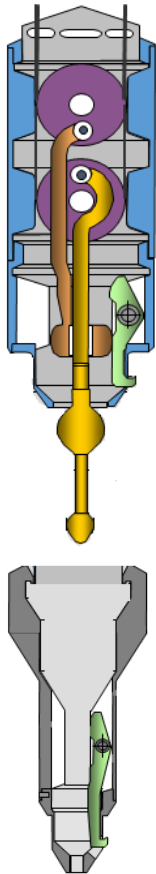
## ▶ 本体B: ナトリウムが付着していない燃料体等を取り扱う

本体Bグリッパは一体構造となっており、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。「爪開閉トルク異常」警報を発報。

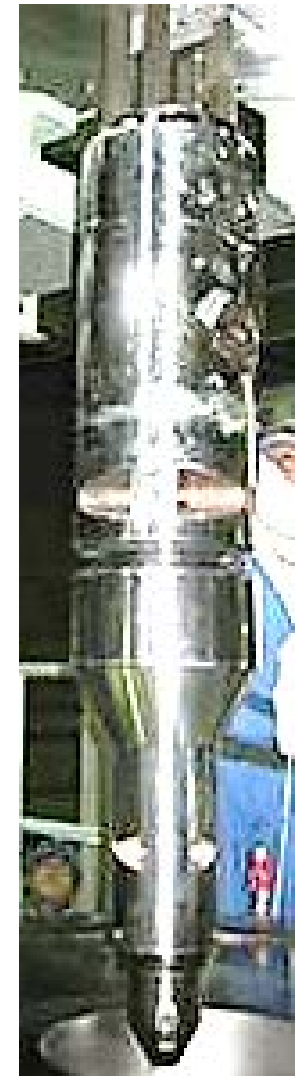
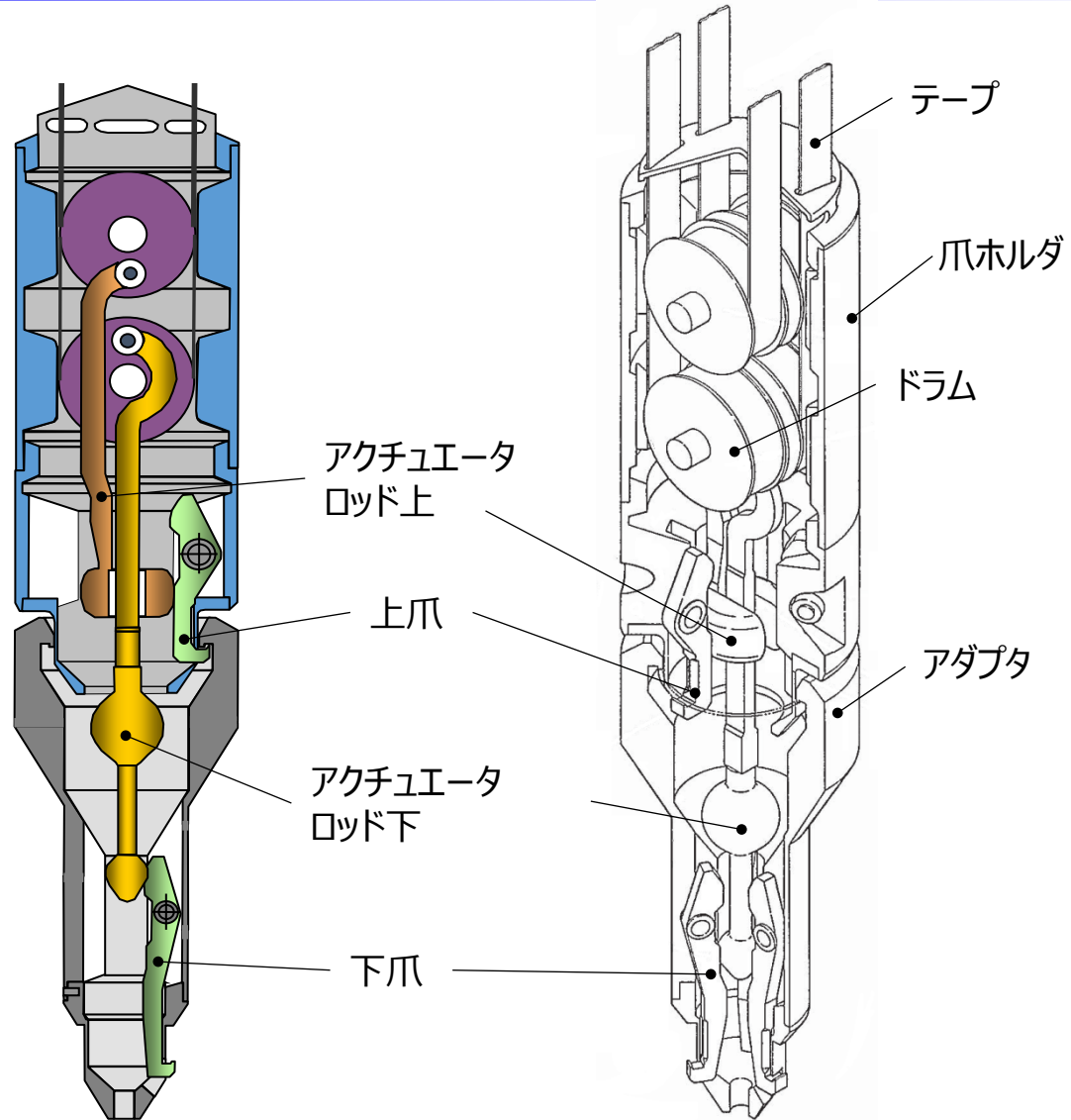


グリッパの爪開閉動作

グリッパ本体



アダプタ



昇降動作：

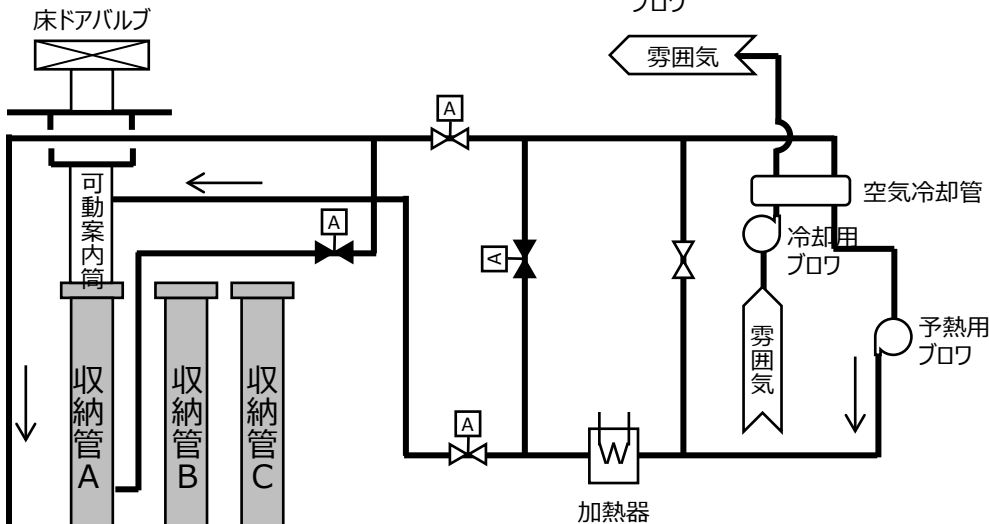
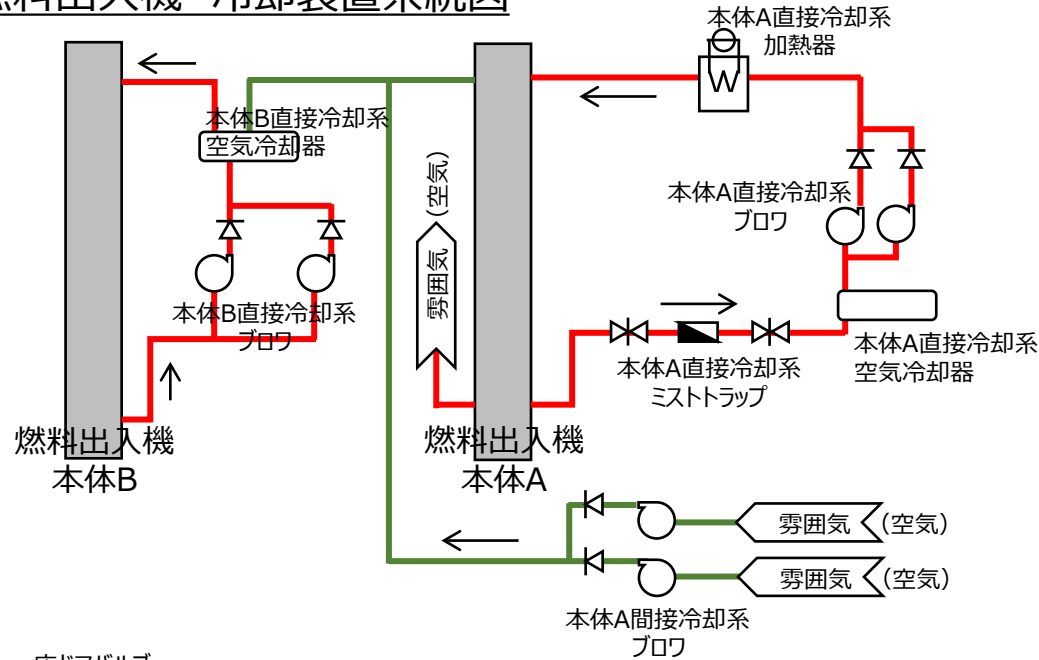
4本のテープと4個のドラムを同時に巻上げ、巻下げることで、グリッパの昇降を実施

爪開閉動作：

2本のテープで上ドラム、下ドラムを別々に回転させ、アクチュエータロッドを上下に動かすことで、爪の開閉を実施

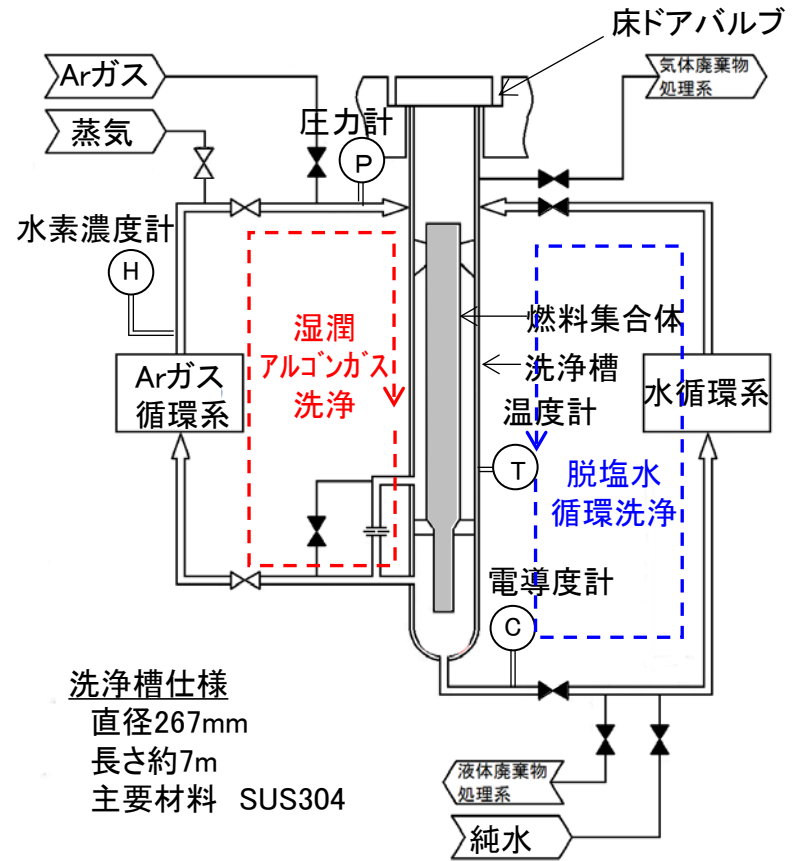
# 燃料処理設備の系統概略図

## 燃料出入機 冷却装置系統図

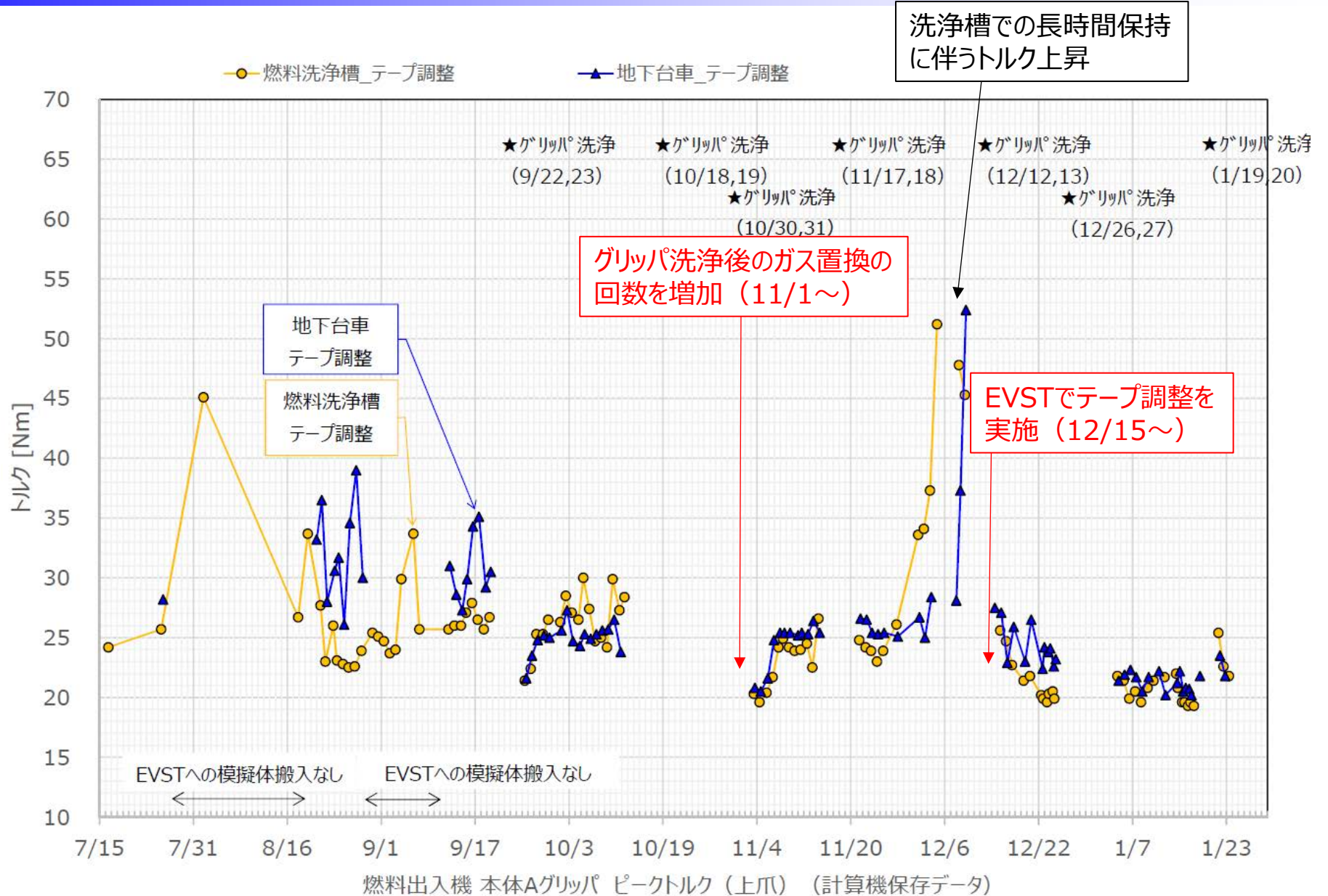


## 模擬燃料体 予熱時の系統図

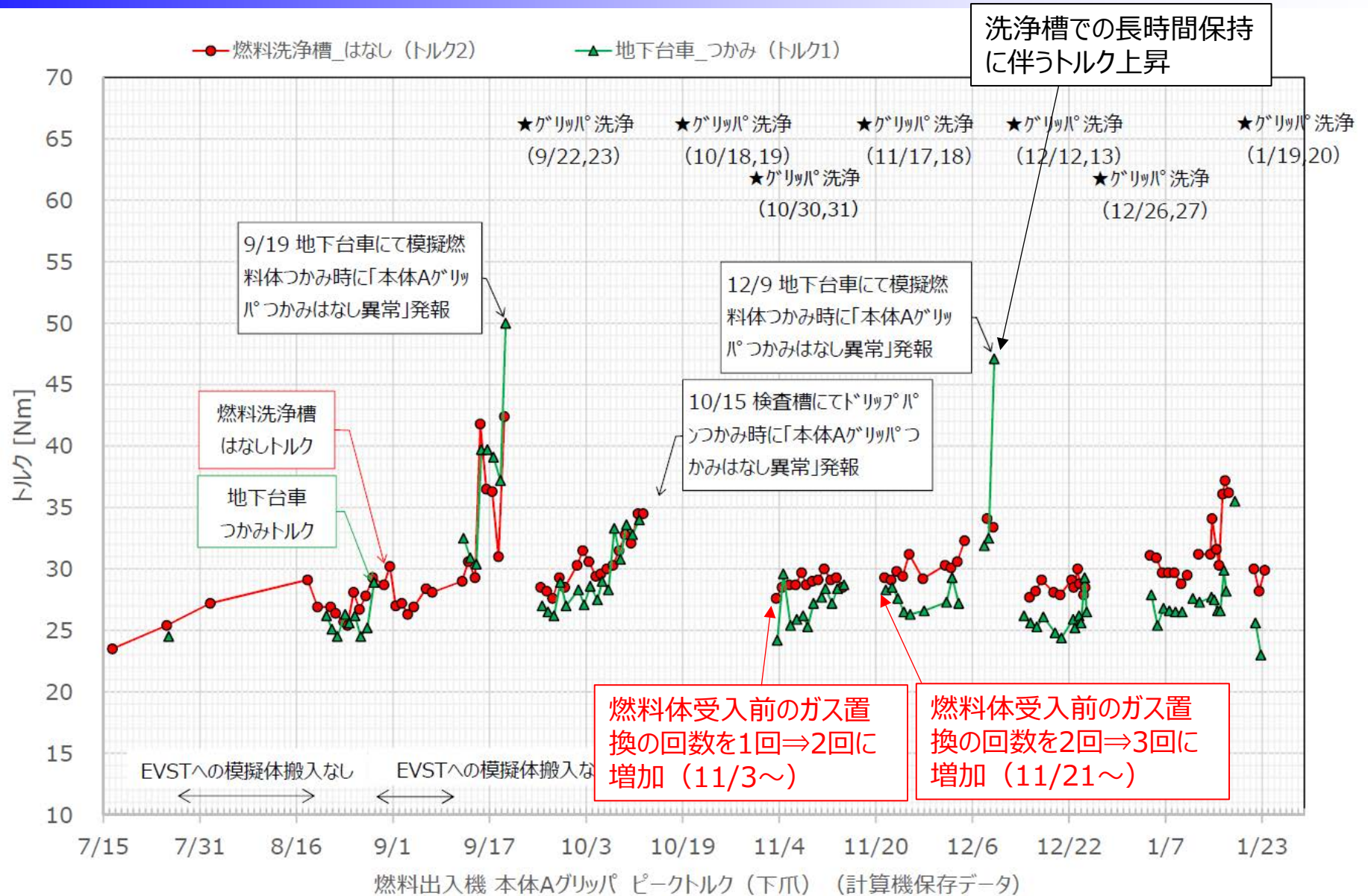
## 燃料洗浄装置の系統図



洗浄槽仕様  
 直径267mm  
 長さ約7m  
 主要材料 SUS304







# 燃料体取出し作業計画 (廃止措置計画 (第11-2図 第1段階の工程) )

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 ▽ 2017.6					燃料体取出し作業完了 ▽ 2022.12	
	燃料体の処理 (530体) 〔炉外燃料貯蔵槽→燃料池〕		2018.8 100体 <sup>※2</sup>	2019.1 濃縮廃液等一時保管用容器の設置 <sup>※1</sup> ▽ 2019.9 130体	2020.4 濃縮廃液等一時保管用容器の設置 <sup>※1</sup> ▽ 2021.1 130体	2021.8 濃縮廃液等一時保管用容器の設置 <sup>※1</sup> ▽ 2022.5 170体	
	燃料体の取出し (370体) 〔原子炉容器→炉外燃料貯蔵槽〕			2019.7 110体 2019.9	2020.11 130体 2021.1	2022.3 130体 2022.5	
	模擬燃料体等の準備 (搬入→炉外燃料貯蔵槽)		110体	130体	130体		
	燃料取扱設備点検	燃料処理設備点検 及び作動確認 <sup>※3</sup>	回転プラグ点検 及び作動確認 <sup>※3</sup>	燃料交換設備 燃料処理設備	燃料交換設備 燃料処理設備	燃料交換設備 燃料処理設備	
	定期設備点検 (事業者自主検査)		2018.12 2019.7 ディーゼル発電機 原子炉補機冷却海水設備等	2020.4 2020.11 ディーゼル発電機 原子炉補機冷却海水設備等	2021.8 2022.3 ディーゼル発電機 原子炉補機冷却海水設備等		
	施設定期検査		施設定期検査の申請 ▽ 2018.9 2018.12 2019.7 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等				
	2次系ナトリウムの抜取り		一時保管用タンクの現地据付 抜取り完了 (2018.12) ▽				
汚染の分布に関する評価							

※1 : 2018年度の燃料体の処理実績から、廃液の推定発生量を評価し、容器の設置数（設置の要否を含む。）を決定する。  
 ※2 : 100体の燃料体については、炉外燃料貯蔵槽から取り出した後、缶詰缶装置により缶詰缶に収納し、燃料池に貯蔵する。  
 ※3 : 2010年以降使用していないことを踏まえ、炉心等から燃料体を取り出す前に、施設の復旧を目的として実施する点検及び作動確認であり、定期設備点検とは異なる。