

案

SsL運用に伴う影響評価とリカバリプランの検討状況

R4年 月 日

日本原子力研究開発機構 (JAEA)

1. SsL運用に伴う影響 (1)

● SsL運用で想定される影響要因をプラント状態の差異から網羅的に抽出し、評価



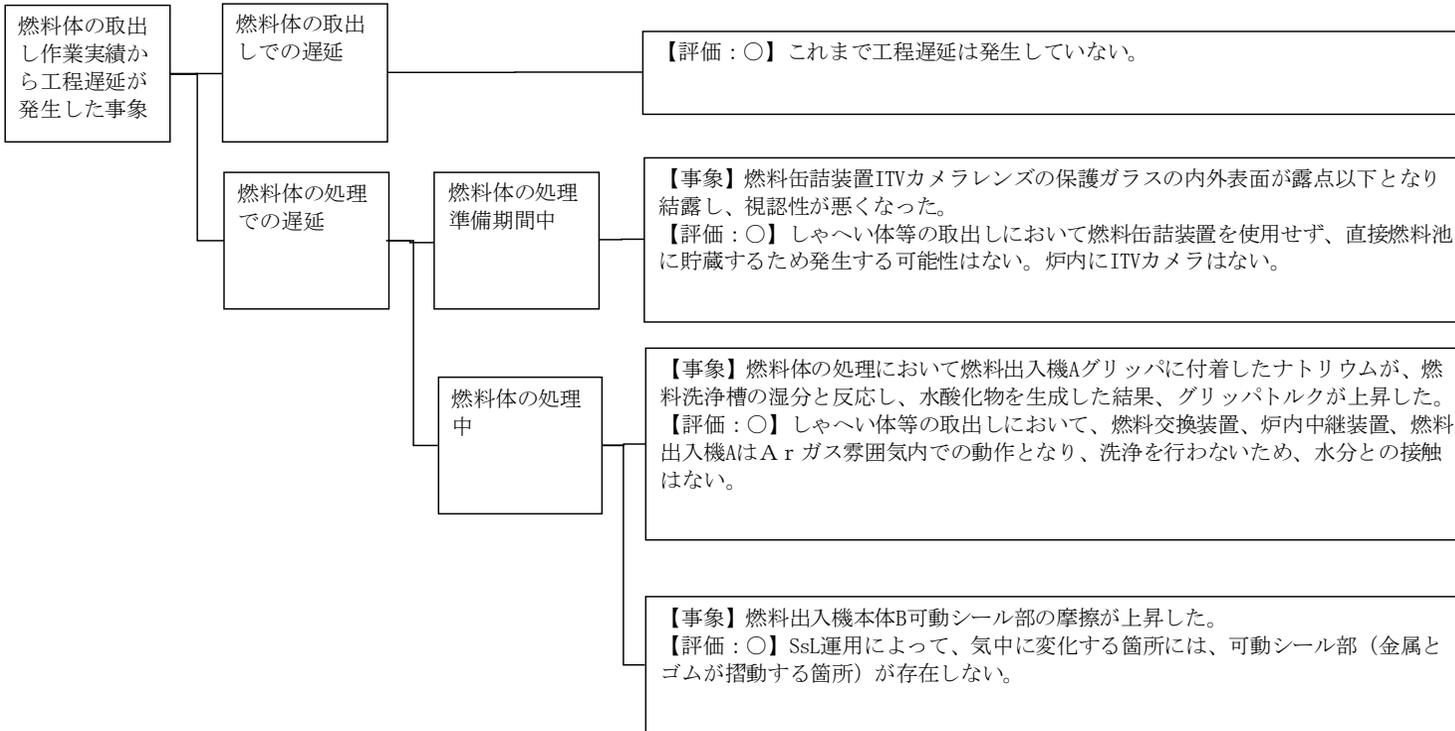
- 熱収縮・浮力低下は設定値調整で対応可能。
- フルモックアップで156体 (低液位 (EsL)) * の実績あり、実機で9体 (SsL) の実績がある。
- 純度悪化は0.4ppm/年程度であり、不純物は溶解度を超えて析出せず。

⇒SsL運用においても設計で想定した通り動作し、問題はないことを確認。

*フルモックアップ試験でのナトリウム液位EsLはもんじゅ実機におけるナトリウム液位EsLと異なる。フルモックアップ試験の液位ともんじゅ実機液位との関係、SsL運用適用に関する考察は参考2参照。

1. SsL運用に伴う影響 (2)

- 別の観点として、工程遅延が発生した第1段階初期の事象と類似した原因により、SsLでのしゃへい体等取出し作業で大幅な工程遅延が発生しないかを評価。



- 左記の通り、燃料体処理中に発生したトラブルの類似事象は炉内で発生しない。
- なお、グリッパは水分が接触した場合は、水酸化物が生成し、グリッパトルクが上昇するが、炉内では燃料洗浄槽のように水分との接触機会そのものがなくグリッパトルクが上昇しない。

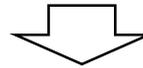
<SsL運用に伴う影響に対する現状認識>

- 熱収縮・浮力低下は設定値調整で対応可能。
- フルモックアップで156体、実機で9体の実績がある。
- 純度悪化は0.4ppm/年程度であり、不純物は溶解度を超えて析出せず。
- 燃料体処理中に発生したトラブルの類似事象は炉内で発生しない。



SsL運用においても設計で想定した通り動作し、問題は無いことを確認。

上記のように、設計の観点で問題なく、フルモックアップでの実績は十分あるものの、実機での実績（9体）は少ない。



<対応方針>

SsL運用は、十分に成立性はあるものの、実機での実績が少ないことを踏まえ、

(A) モニタリング（不具合の早期発見、知見の蓄積）

(B) リカバリプラン（不具合の復旧措置）

を行うことによって、知見を蓄積しつつ、万が一の不具合に対応できるよう備える。

第1回のしゃへい体取出し作業では (A)モニタリングによってNsLでの動作トルク等と比較する。比較した結果を評価したうえで、第2回以降の復旧措置の対応内容を見直す。

(A) モニタリング（不具合の早期発見、知見の蓄積）

- ① 運転時、機器の各種計器を監視し、不具合の早期発見に努める。
- ② 特に純度悪化に対し、Na化合物析出・付着メカニズムを踏まえ、兆候ベースで摺動抵抗を機器トルクにて監視する。
(⇒「モニタリング（機器トルク）概要説明」にて説明。)
- ③ NsLでの動作（動作トルク等）と比較し、実機でのSsL運用の知見を蓄積する。

(B) リカバリプラン（不具合の復旧措置）

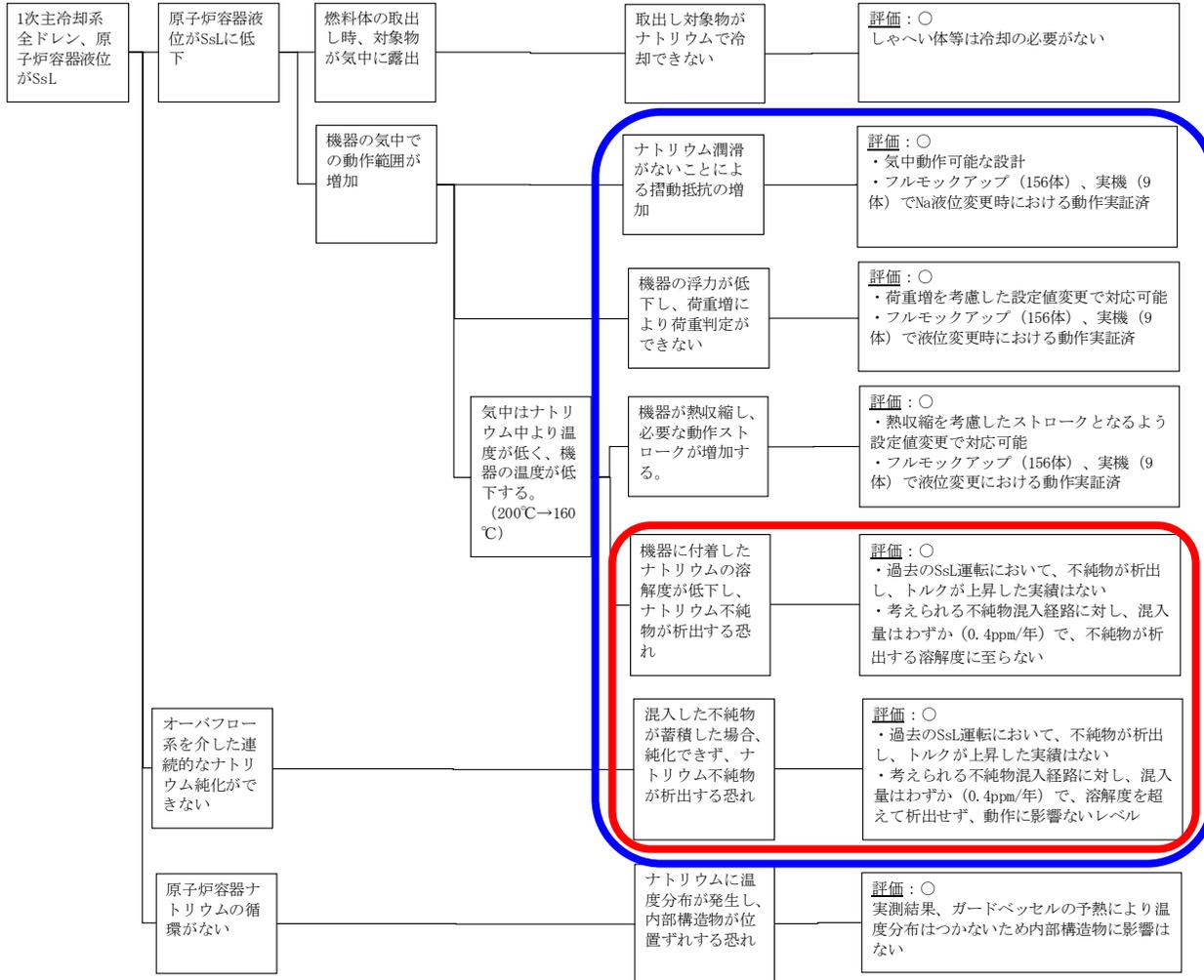
- ① 工程遅延トラブルが発生した場合、早期に復旧し、再開できるようリカバリプランを準備する。
- ② 特にSsL運用に伴い、純化系を運転しないことから、純度悪化に対し、純化運転できるようリカバリプランを準備する。
- ③ また、発生頻度は限りなく低いと考えるが、SsL運用で動作不良が発生した場合に対し、NsL復帰運転できるようリカバリプランを準備する。(⇒「リカバリプランに求められるもの（要求事項）とその対応方策」にて説明。)

モニタリング（機器トルク）概要説明

1. モニタリング目的

<SsL運用に伴う影響評価結果と対応>

- 評価の結果、熱収縮・浮力低下は設定値調整等で対応可能。ただし、実機での経験は少なく、特にSsL運用に伴い、1次系を用いたナトリウム純化運転できないため、不純物の蓄積・析出・付着により機器の摺動抵抗が増加する可能性がある。
- この可能性への対応として早期発見の観点から、炉心からのしゃへい体等の取出し時は機器動作トルク等のモニタリングを継続的に行い、トルク等の変動状況を確認し、設計想定パターン（P9）等と比較・評価する。この知見を蓄積し、その結果をリカバリープラン等へフィードバックする。



- 熱収縮・浮力低下は設定値調整で対応可能。
- フルモックアップで156体（**低液位（EsL）**）
*の実績あり、実機で9体の実績がある。
- 純度悪化は0.4ppm/年程度であり、不純物は溶解度を超えて析出せず。

⇒SsL運用においても設計で想定した通り動作し、問題は無いことを確認。

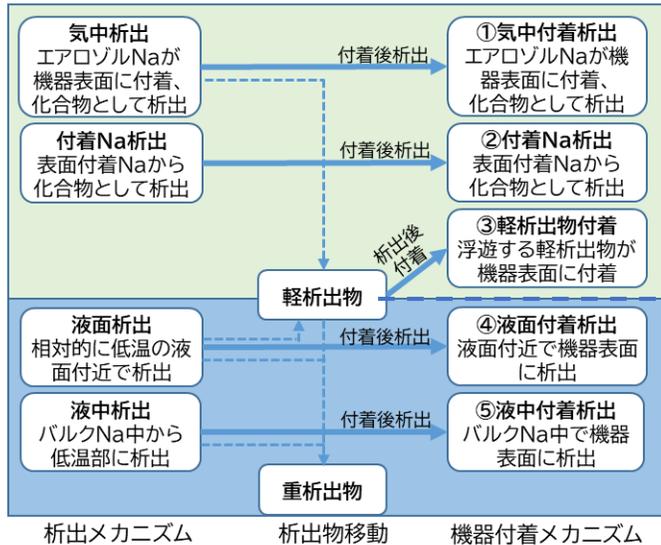
*フルモックアップ試験でのナトリウム液位EsLはもんじゅ実機におけるナトリウム液位EsLと異なる。フルモックアップ試験の液位ともんじゅ実機液位との関係、SsL運用適用に関する考察は参考2参照。

2. 燃料交換装置の動作トルクのモニタリング範囲

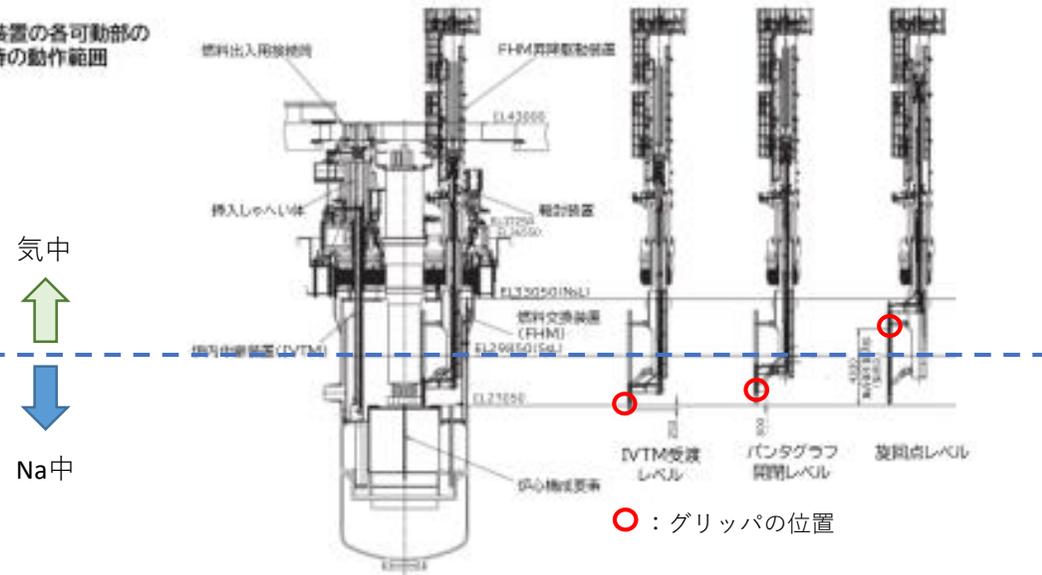
<不純物発生・付着メカニズムと機器動作への影響>

- 不純物が混入し、溶解度を超えた場合、ナトリウム化合物が析出する。
- ナトリウム化合物の析出・付着メカニズムは左下図の①～⑤の5種類に分類される。
- SsL運用時における燃料交換装置の動作範囲から、気中、液中を往来する燃料交換装置パンタグラフ、グリッパはナトリウム化合物の析出・付着メカニズム①～⑤すべてに該当することから、機器動作時における析出物の影響を継続的にモニタリングする。
- また、ホールドダウンアームはナトリウム化合物の析出・付着メカニズム①～②に該当することから、上記に加えて機器動作時における析出物の影響を継続的にモニタリングする。

不純物によるNa化合物の析出・付着メカニズムの分類



燃料交換装置の各可動部のSsL運用時の動作範囲



燃料交換装置の各可動部のSsL運用時の動作範囲別の析出物の付着メカニズム

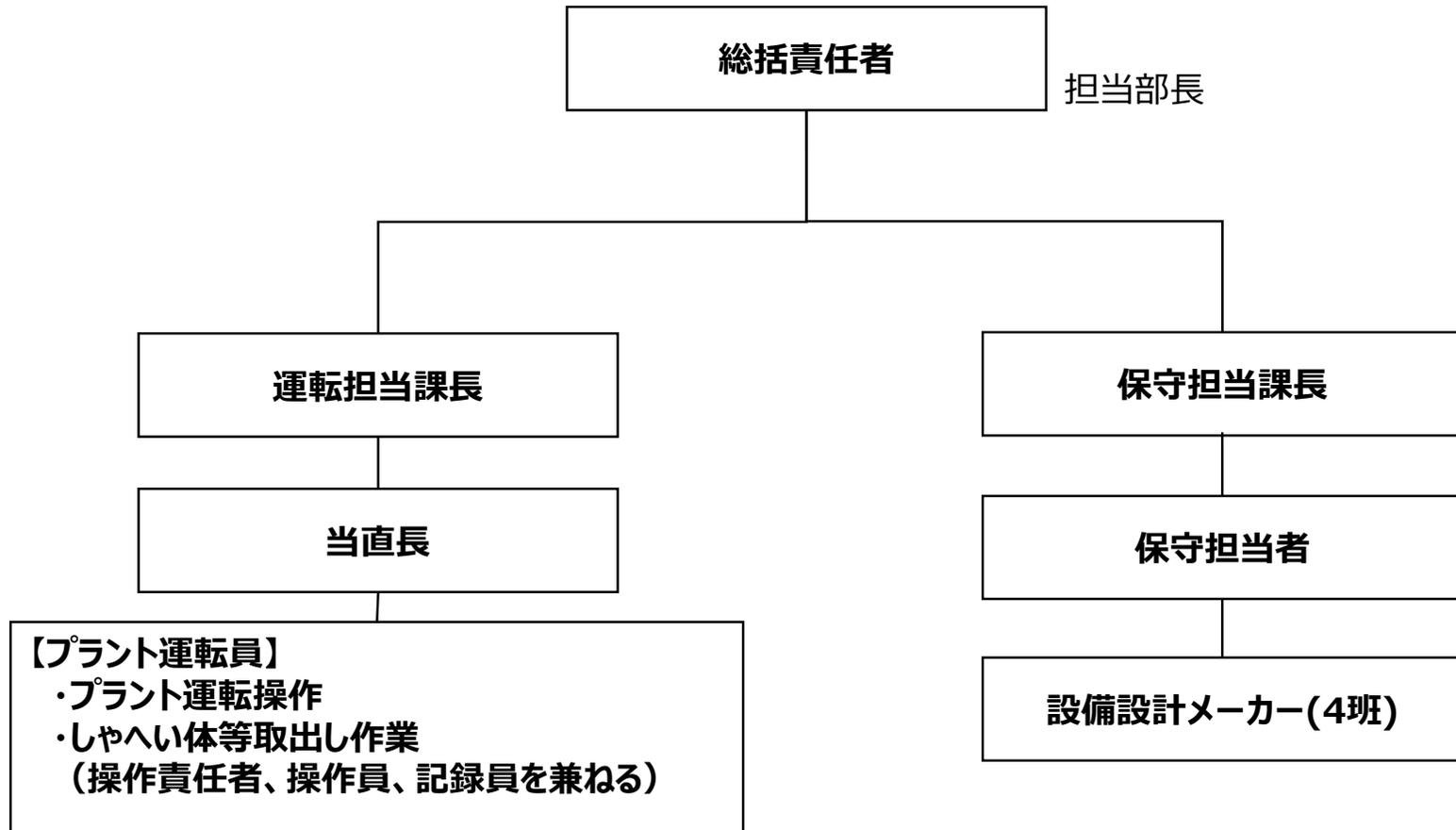
可動部の動作範囲	該当部位	Na析出物の付着に至るメカニズム	付着物の軽減対策
160℃のAr中のみ	パンタグラフ軸上部、可開度軸上部等	①気中付着析出	—
待機時160℃のAr中、ホールドダウン時200℃のNa中	パンタグラフ、グリッパ	最も早く析出物が付着すると考えられる。 ①気中付着析出、②付着Na析出、③軽析出物付着、④液面付着析出、⑤液中付着析出	Na温度上昇により、再溶解
200℃のNa中のみ	IVTM回転ラック等	⑤液中析出付着	Na温度上昇により、再溶解

図7 燃料交換装置の各可動部とナトリウム液位の関係

3. 燃料交換装置の動作トルクのモニタリング体制

- しゃへい体等の取出し時のモニタリングは、第1段階と同じ考え方の体制を構築し実施する。
- 操作責任者及び保守担当者は、常に情報を共有し、早期な異常の兆候の発見に努める。

しゃへい体等取出し作業体制

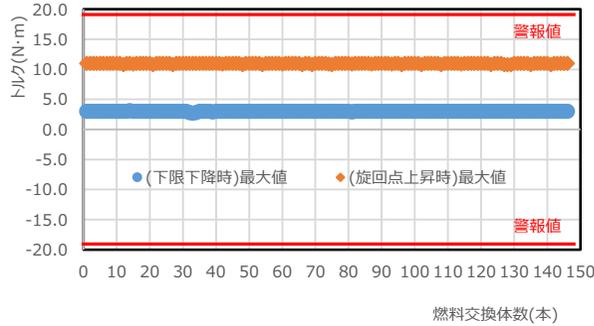


モニタリング方法はシート8参照

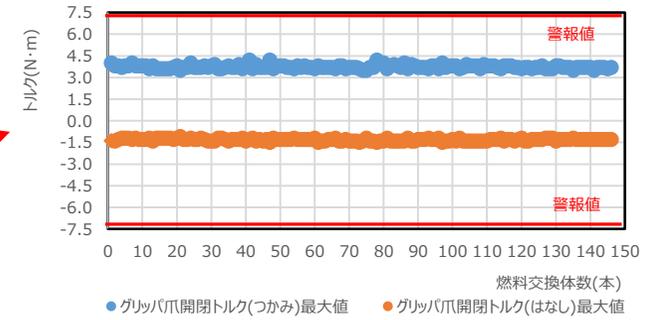
モニタリング方法はシート9参照

4. 燃料交換装置の動作トルクのモニタリング方法 (主に保守担当課長)

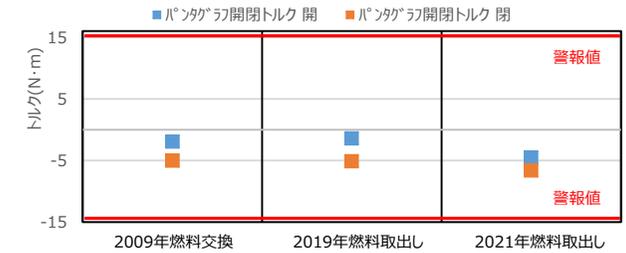
(第3キャンペーン時のサンプル)
ホールドダウンアーム昇降トルク



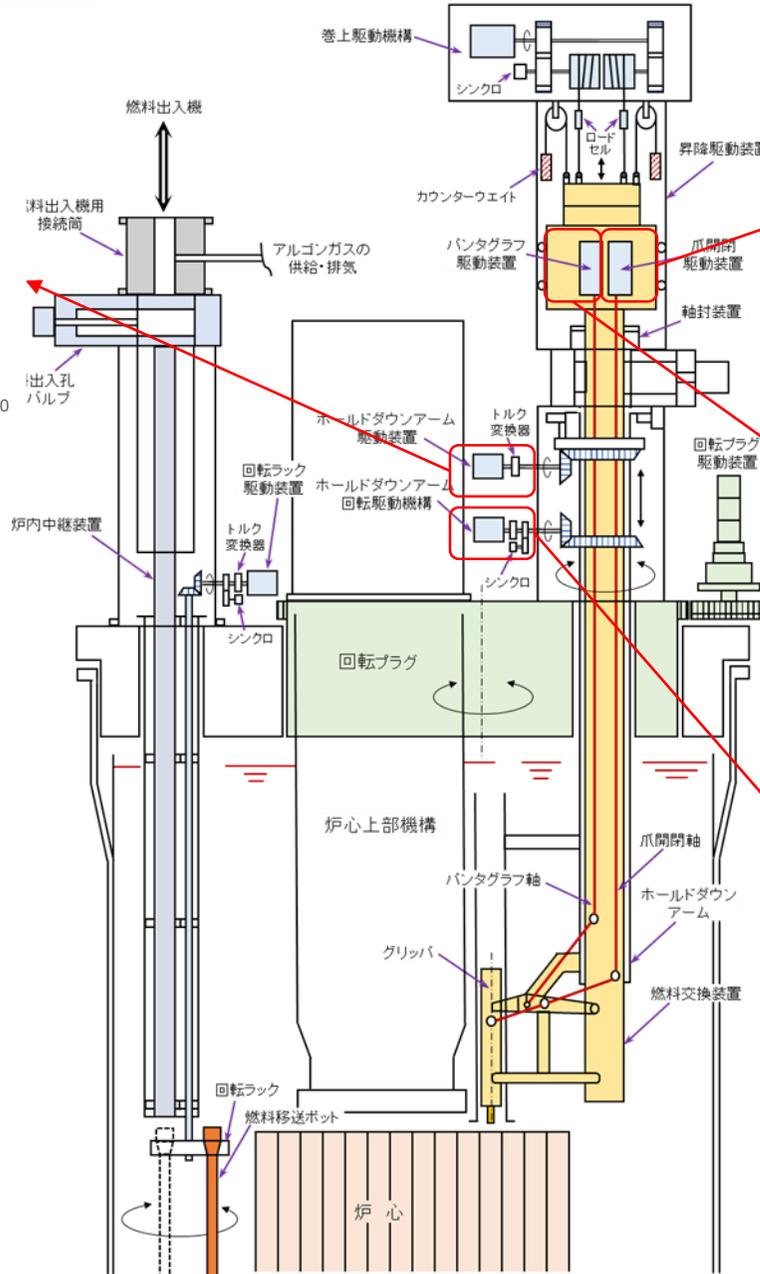
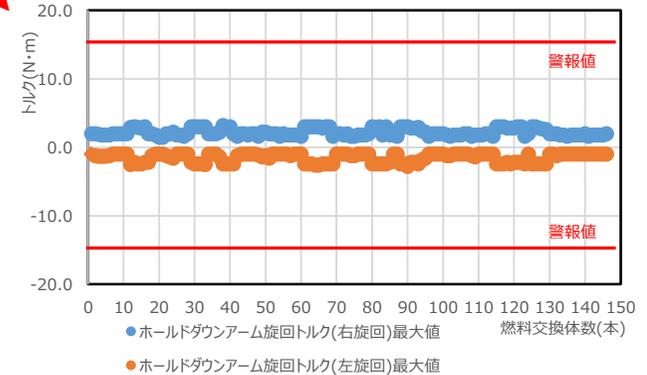
(第3キャンペーン時のサンプル)
グリッパ爪開閉トルク



パンタグラフ開閉トルク(作業キャンペーンで集計)



(第3キャンペーン時のサンプル)
ホールドダウンアーム旋回トルク



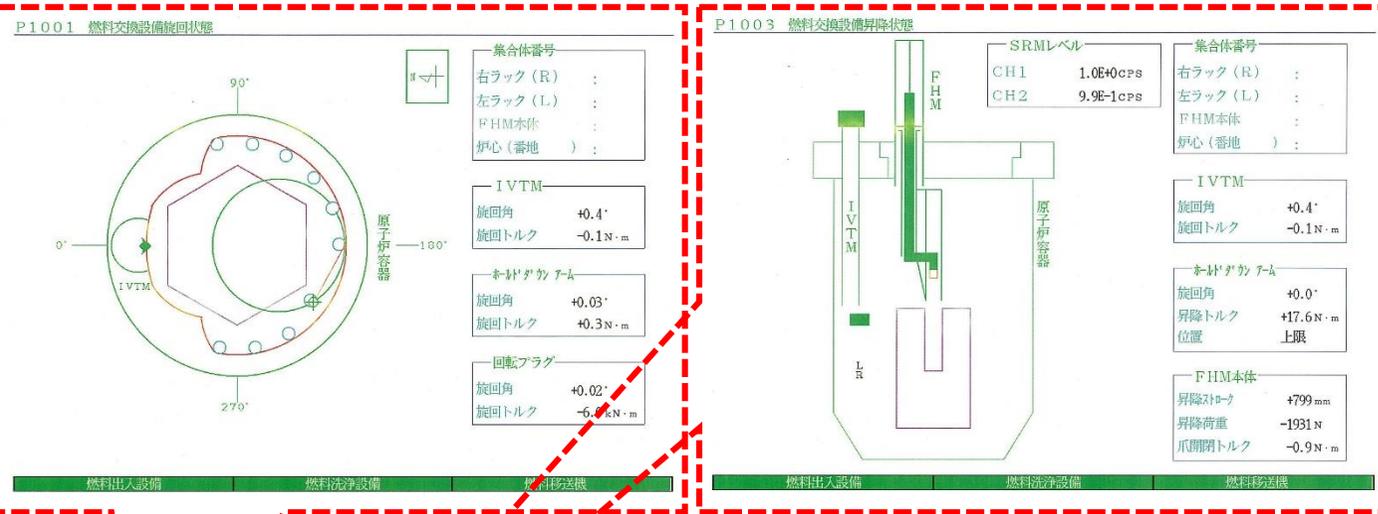
燃料体の取出し時と同様に、しゃへい体等取出し時においても、各機器の運転状態に異常が無いことを監視・評価し、作業を継続する。

- 燃取操作室 (A-301室) に仮設レコーダを設置し、盤面計器と共に各動作トルク値を、作業中継続して測定する。
- 各動作トルク値において、警報発報前に異常の兆候等を示す有意な変動*が無いことを確認・評価する。
- 有意な変動を確認した場合は、要因を評価し、総括責任者及び運転担当課長と協議の上必要に応じて復旧操作を検討すると共に、作業の継続等の判断を行う。

* : 「有意な変動」とは、継続した上昇・下降傾向、ピーク値の多発等を確認した場合

4. 燃料交換装置の動作トルク等のモニタリング方法（主に運転担当課長）

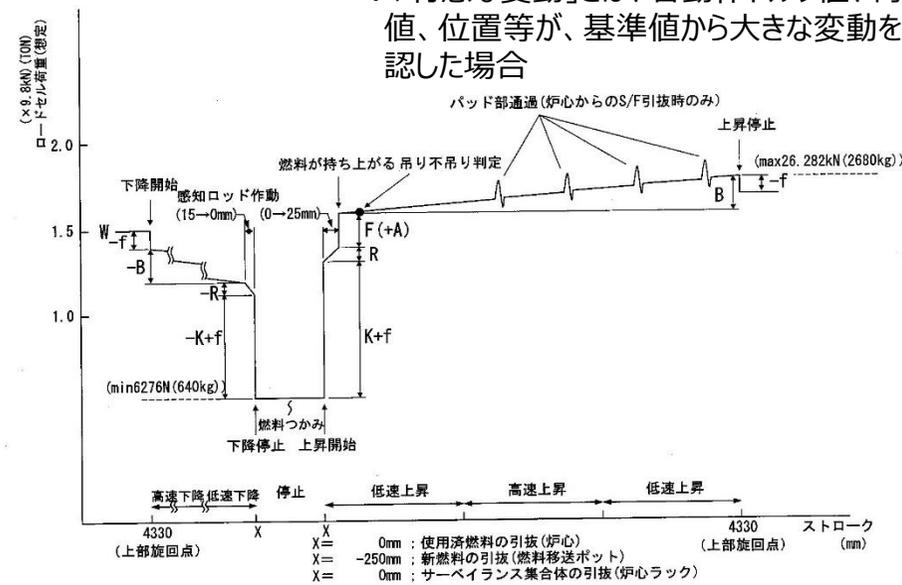
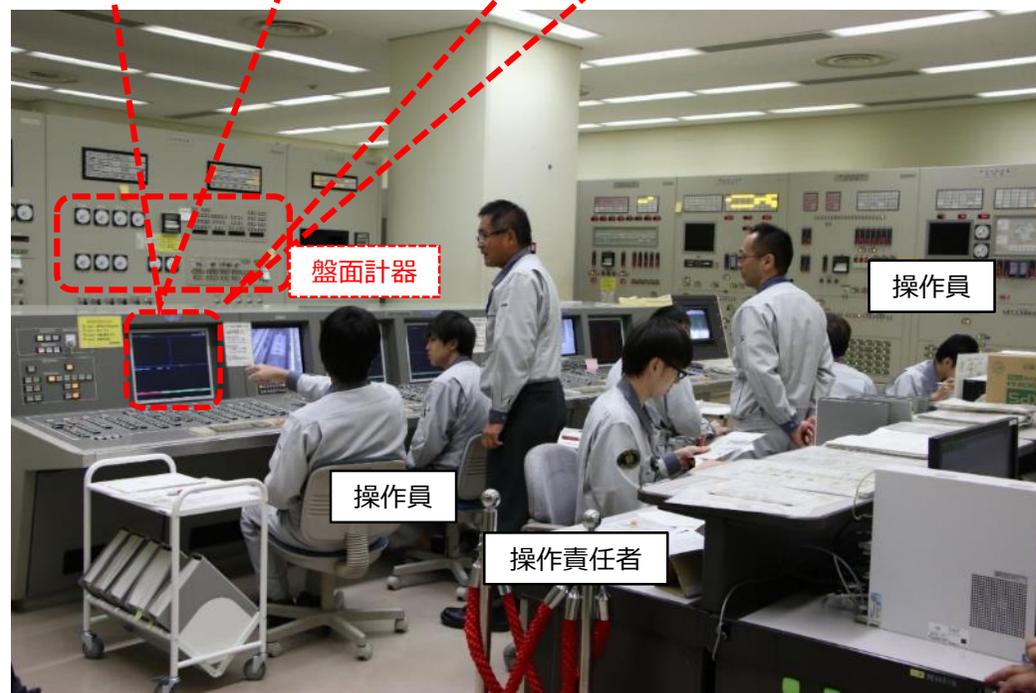
CRT監視画面の例



燃料体の取出し時と同様に、しゃへい体等取出し時においても、各機器の運転状態に異常が無いことを監視・評価し、作業を継続する。

- 操作手順書に基づき、CRT監視画面、盤面計器等で各動作トルク値、荷重値、位置等を、作業中継続して監視する。
- 上記各値において、警報発報前に異常の兆候等を示す有意な変動*が無いことを確認・評価する。
- 有意な変動を確認した場合は、要因を評価し、総括責任者及び運転担当課長と協議の上必要に応じて復旧操作を検討すると共に、作業の継続等の判断を行う。

* : 「有意な変動」とは、各動作トルク値、荷重値、位置等が、基準値から大きな変動を確認した場合



操作責任者は、炉心からの引抜き荷重パターンを熟知しており、監視画面上の荷重パターンの変動から異常の有無を判断する。

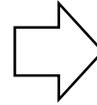
リカバリプランに求められるもの（要求事項）とその対応方策

<要求事項>（（B）不具合の復旧措置（リカバリプラン））

【想定される不具合】

工程遅延に至る不具合は以下の2つを想定する。

- ① SsL運用に伴い、純化系を運転しないことから、ナトリウム純度が悪化し装置の不具合が発生する場合。
- ② SsL運用に伴い、予期しない動作不良が発生する場合。



【リカバリプラン】

左記の2つの工程遅延に至る不具合に対し、それぞれに対応を準備する。

- ① 純化運転できるように設備を復旧する。
- ② NsLに復帰し、燃料体等取出し作業と同じ原子炉容器液位にできるように設備を復旧する。

<早期に復旧するための方策>

- リカバリプランは、①純化運転と②NsL復帰運転の2つ。
- どちらのプランにおいても工程遅延を抑制するため、早期に対応できることを目指し、復旧範囲、復旧のために必要な点検などを検討中。

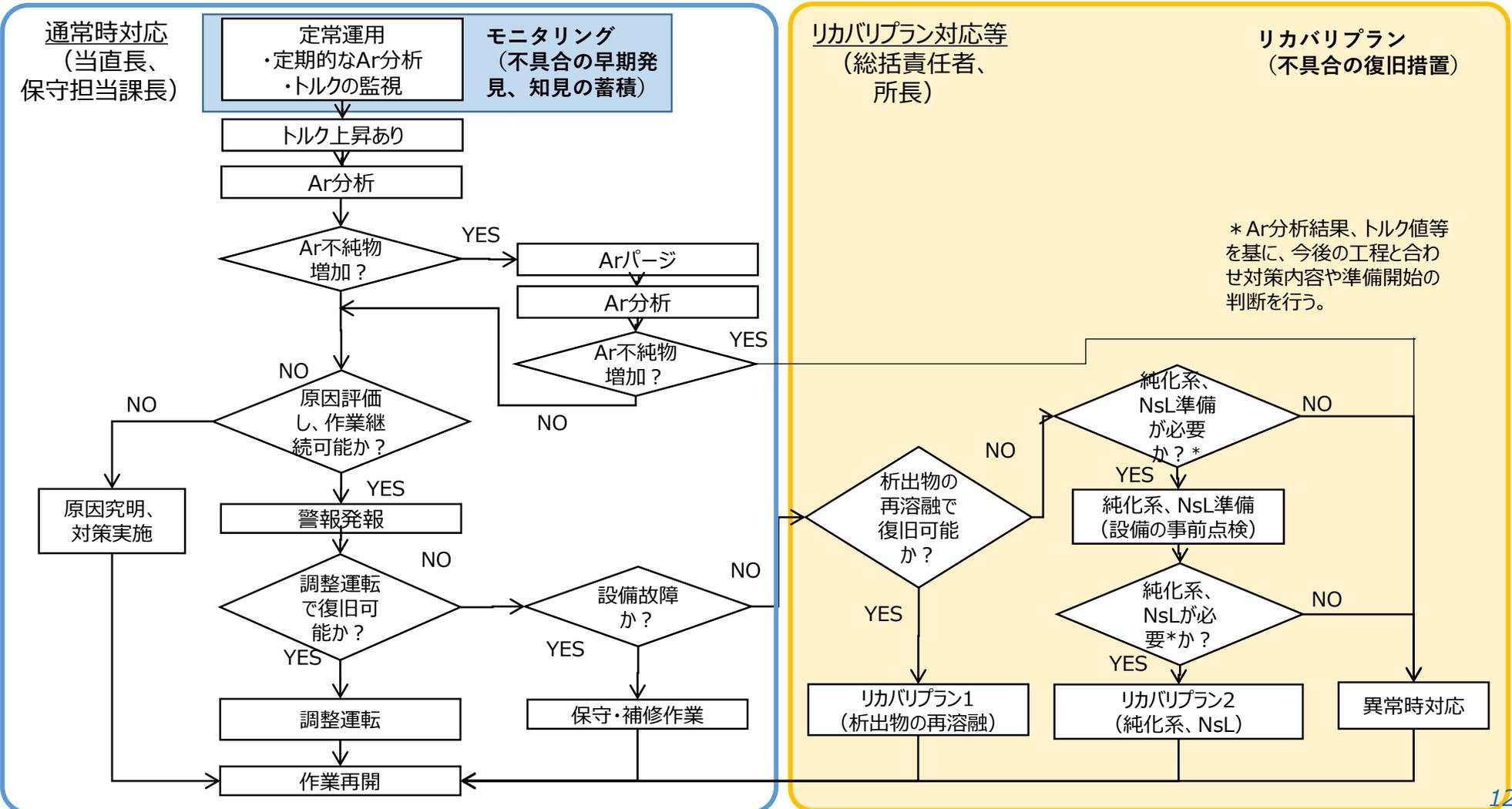
⇒早期に復旧するための方策は、次々回の監視チームにて他の性能維持施設とともに説明予定。

~~以下検討状況を説明する。~~

各不具合に対する対応の考え方

- 第1段階は、不具合に対し、対応フローに基づき実施。また、工程遅延情報を基に廃止措置計画工程への影響を確認し、必要に応じて廃止措置計画の変更を実施している。
- 第2段階のSs Lでのしゃへい体等の取出しにおいても第1段階と同様にモニタリングや不具合に対する対応、工程管理を実施。

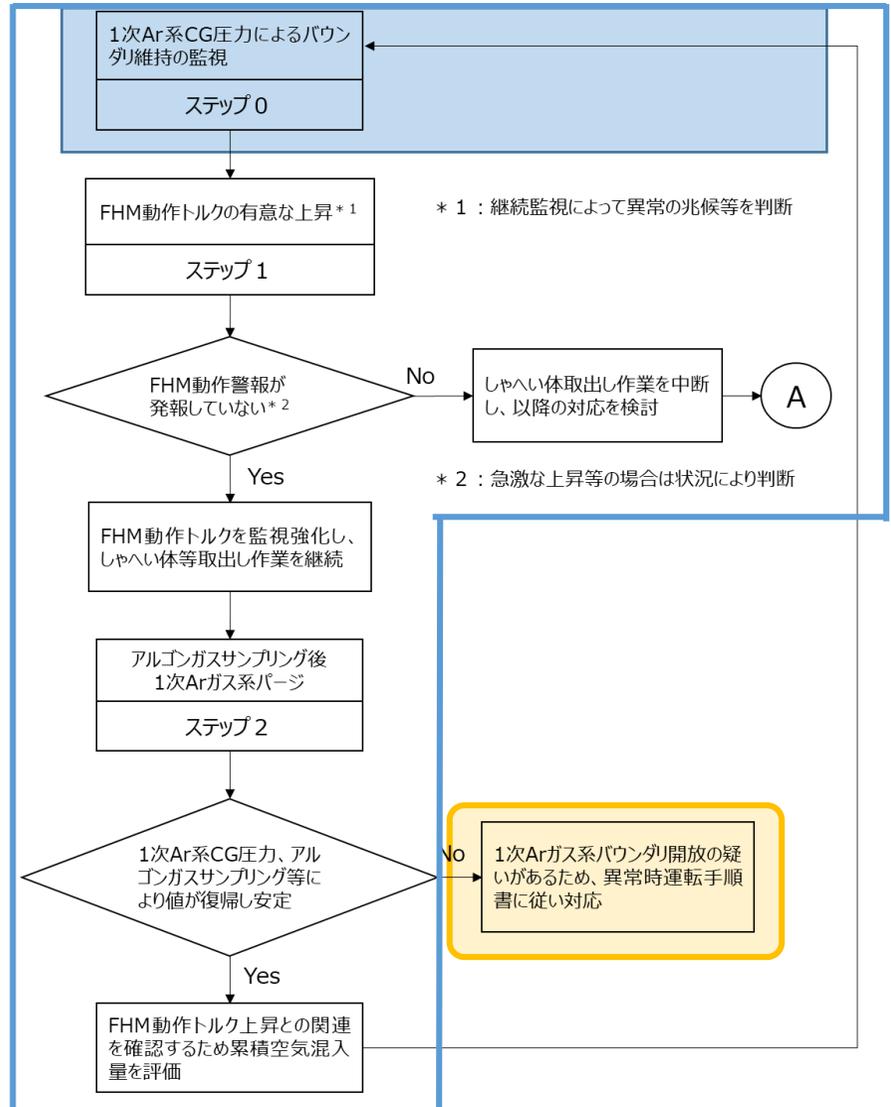
不具合に対する対応フロー



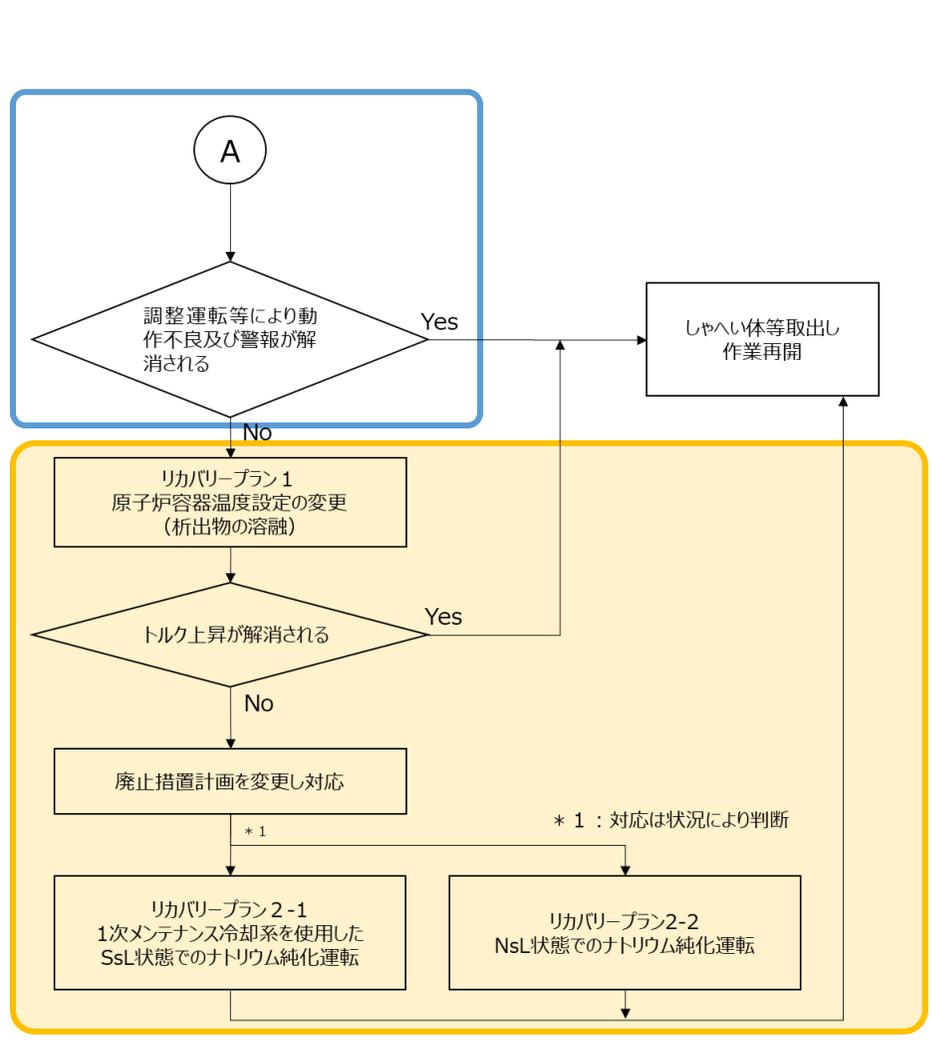
* Ar分析結果、トルク値等を基に、今後の工程と合わせ対策内容や準備開始の判断を行う。

リカバリプラン移行判断の例（純度悪化）

R/Vナトリウム純度悪化時の対応フロー



燃料交換装置の動作不良時の対応フロー



注：しゃへい体等の取出し中断以降の対応は「燃料交換装置の動作不良時の対応フロー」に従う

参考資料

背景：もんじゅの燃料交換装置(FHM)は、実験炉「常陽」と異なり、回転プラグが小型ですむ単回転プラグ固定アーム方式を採用。

課題：FHMは長尺大型でパンタグラフ構造を有し、Na中で燃料体を取り扱うことから、円滑な機能と耐久性が要求される。

1971年に部分モックアップ試作して試験。

➤ 試験概要：1975～1979年に大洗工学センターにてFHMをフルスケールで模擬したフルモックアップ試験機をNa中で試験。

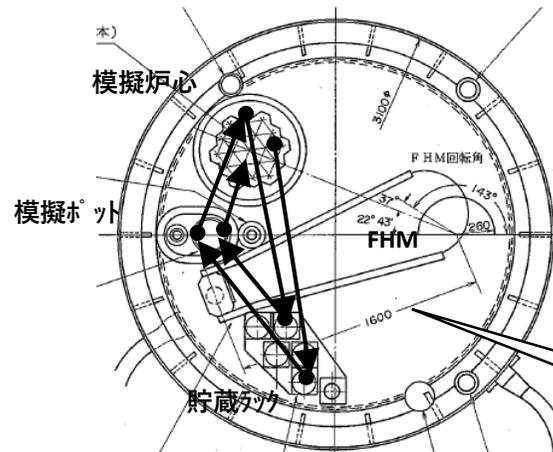
- 試験目的：
- 性能・信頼性の把握
 - 実機製作での問題点の抽出
 - Na機器として問題点の抽出

ナトリウム試験装置概要

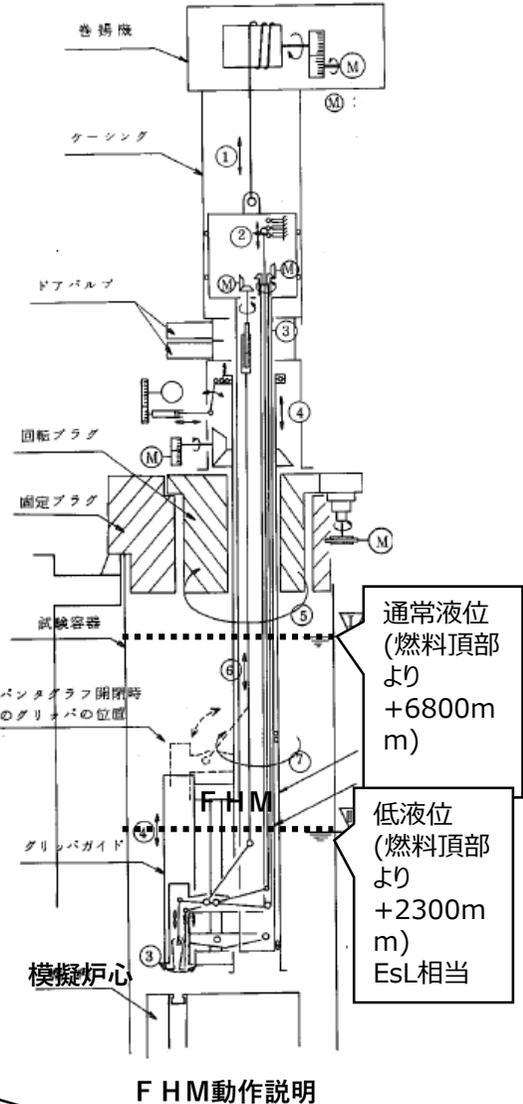
- ガーガス:Arガス
- Na量：71ton、
- Na流量:最大1450 L/min
- Na温度:最高540℃、
- Na純度:10ppm以下
- Na容器寸法：直径3.1m、長さ12.9m

フルモックアップ試験機概要

- パンタグラフ開閉時間3分
- パンタグラフ回転速度1/0.1rpm
- 上下機構ストローク12.7m
- 上下動速度3/0.3m/min
- 押込・引抜き力1ton
- グリッパ開閉ストローク80mm
- 許容偏心量±20mm



FHM燃料移送試験の動作経路



FHM動作説明

移送試験1サイクルで、燃料交換1.5体分に相当。

試験工程

区別	項目	年月	昭和50年				昭和51年				昭和52年				昭和53年				昭和54年				55
			12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	
FHM	機能試験 (位置決め、セルフオリエンテーション、 偏心動作試験、等)		(工場調整)		(大気中)		回転ハウジングトルク異常		FHM暴走														
	耐久試験																						
	省洗浄試験																						
	切離し試験																						
	シール機構開発試験																						
RM	機能試験																						
	耐久試験																						
	洗浄試験																						
	分解点検																						

低液位動作試験

マークIIグリッパ
単体洗浄試験

(FHM: 燃料交換機
R M: 燃料回転装置)

注記) 1. 記号説明
2. 洗浄方法
3. 実施場所

 大気中試験
  ナトリウム中試験
 主として変性エチルアルコールによる循環洗浄
 動燃大洗工学センターナトリウム機器構造試験室

参考1 燃料交換装置フルモックアップ試験の概要 (3/3)

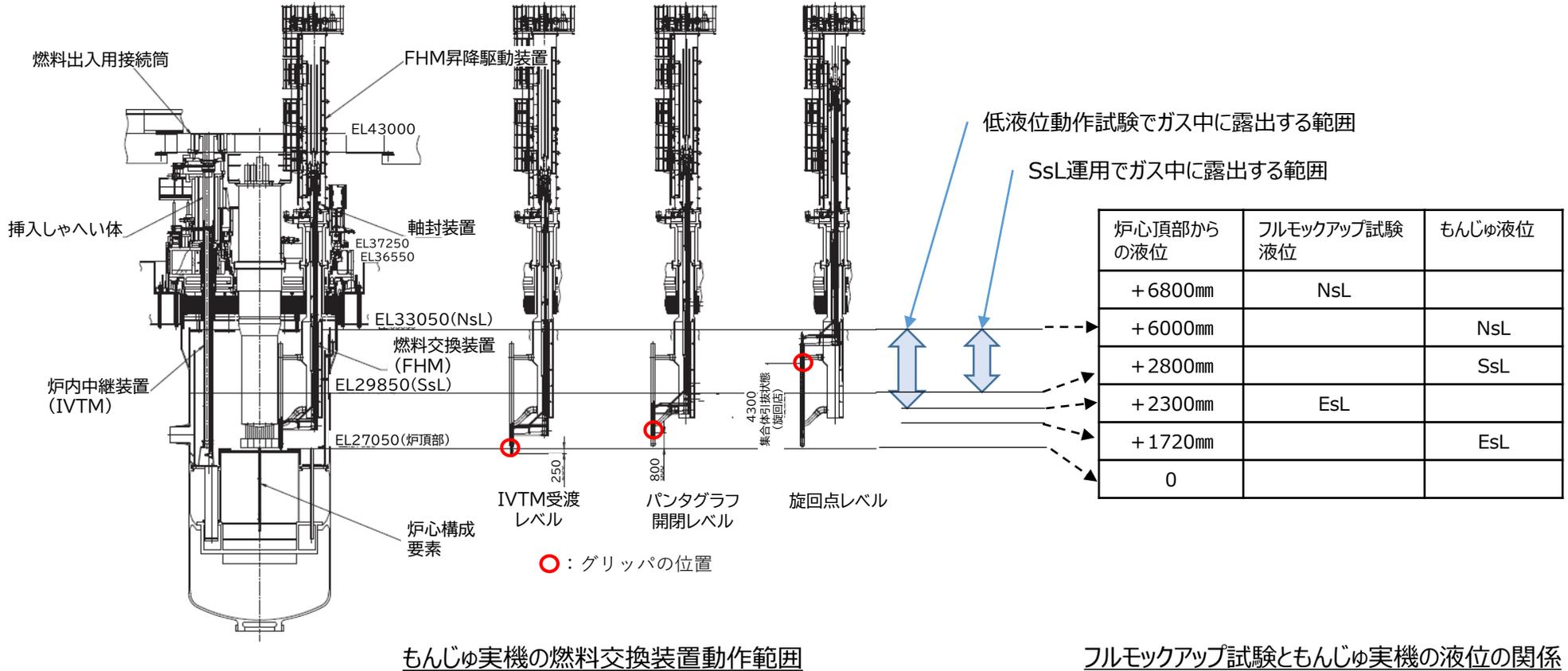
Na中試験の環境条件	Arガス	圧力:100~400mmAq、温度:約200℃ (低液位動作試験は一部低温)
	Na	流量:約1260 L/min (低液位は400)、温度:約200℃(機能試験の一部280)、純度:プラガ温度150℃(酸素3ppm相当)

No.	試験名	目的	期間	液位*	項目	結果 ★不具合→対策
1	大気中試験 (Na充填前)	現地据付調整	'75/1~2	0	単体動作試験、機能試験(Na中で出来ない位置精度測定など)	正常に動作
2	機能試験	設計性能確認	'75/11,'76/4	6800 mm	単体動作試験、位置決め試験、押込み・引抜動作試験、セルフリンテーション試験、偏心動作試験、燃料移送試験、Na流れ影響調査、温度特性試験	基本的性能を満足 ★燃料体挿入時にセルフリンテーションせず乗り上げ→燃料体のハンドリングヘッド形状を改良 ★シール機構部でFHMが引っ掛かり→シール機構開発試験を追加。 ★グリッパ内部のNa洗浄困難→省洗浄試験
3	耐久試験	耐久性確認	'76/11~12, '77/3~5, '78/11~12	6800 mm	燃料移送試験:燃料体約1500体(実機約4年分を目標)	耐久性を確認 ★電気系トラブルにより試験を中断→保守・改善し試験再開
4	省洗浄試験	分解洗浄頻度の低減確認	'76/9,12~'77/1,5,12~'78/2,12~'79/2,4~10	6800 mm, 2300 mm	FHMを未洗浄のまま室温で保管後にNa中で再使用を確認	最長2か月保管し、連続で再使用可能 ★洗浄後にグリッパ内にNa残留→Naトレイン性改良したマークIIグリッパに交換
5	低液位動作試験	仮想事故時対応確認	'79/11(省洗浄試験より続き)	2300 mm	位置決め試験、燃料移送試験:燃料体156体(実機370体の4割。試験時間の制約のため)、加バース温度差試験	おおむね動作良好 ★当初、燃料交換装置十分に温まっておらず、二重管軸の熱膨張差よりグリッパ爪開閉トルク増大→1日の予熱より温度ムラを解消させることで正常動作

* 炉心頂部からの高さ。
もんじゅ実機における炉心頂部からの高さは、NsL:6000mm、SsL:2800mm。

- フルモックアップでは、原子炉容器液位を開発当時のEsL想定である炉心頂部より+2300mm*に下げて動作試験を実施（低液位試験）。結果、動作性に問題はなかった。
- もんじゅで行うSsL運用は低液位試験と比較して、500mm上方。

* 開発段階での想定であり、もんじゅ実機の液位と異なる



フルモックアップはナトリウム液位が炉心頂部 + 2300 ~ + 6800mmの範囲で動作できることを確認しており、今後実施するSsL運用でのナトリウム液位（炉心頂部 + 2800 ~ + 6000mm）でも動作可能と評価