

案

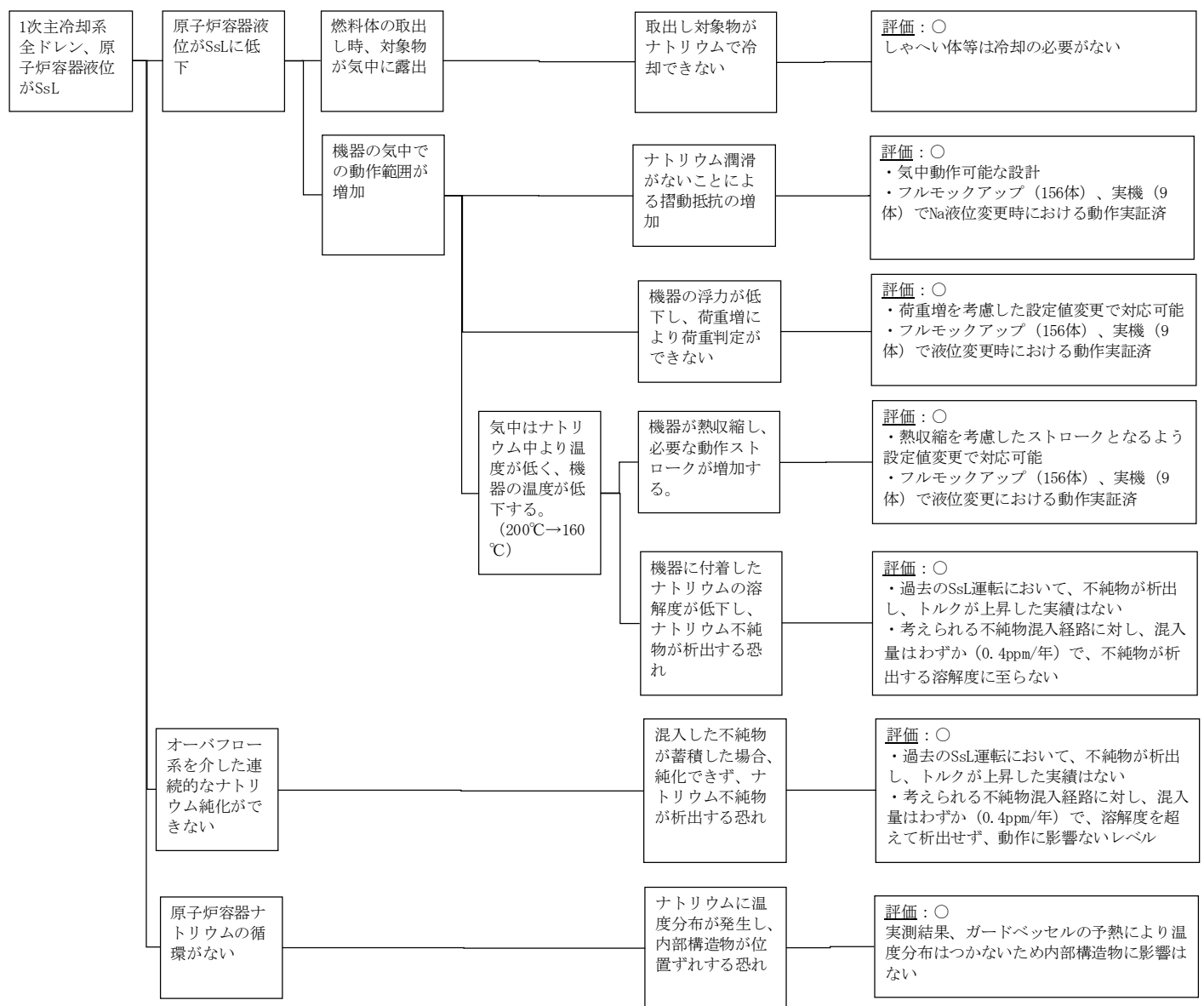
# SsL運用に伴う影響評価とリカバリプランの検討状況

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



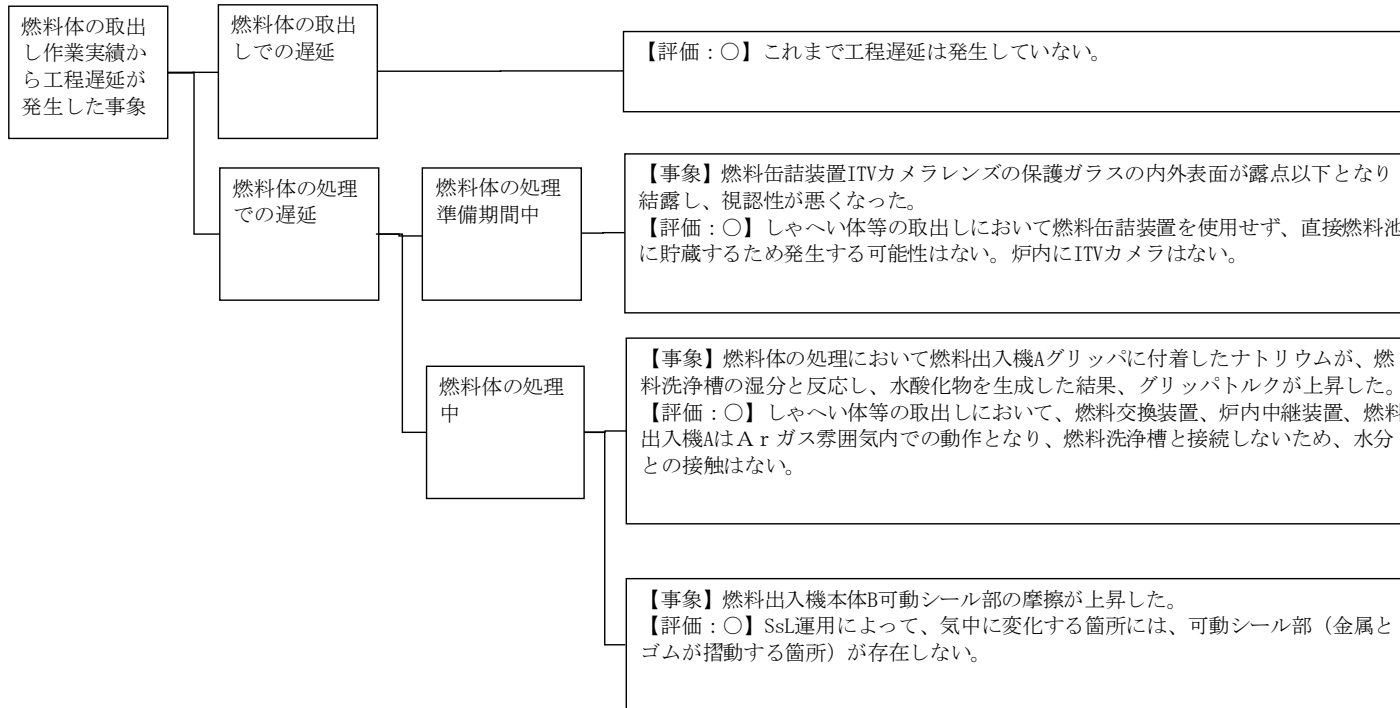
- ・ 熱収縮・浮力低下は設定値調整で対応可能。
- ・ フルモックアップの試験\*1にて低液位における156体の実績\*2あり、実機で9体 (SsL) の実績がある。
- ・ 純度悪化は0.4ppm/年程度であり、不純物は溶解度を超えて析出せず。

⇒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。

\*1 参考1参照。  
\*2 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。

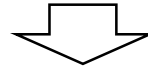
### <SsL運用に伴う影響に対する現状認識>

- 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。)~~

### 3. 対応方針に基づくしゃへい体等の取出しの進め方

#### しゃへい体等取出し作業の基本方針

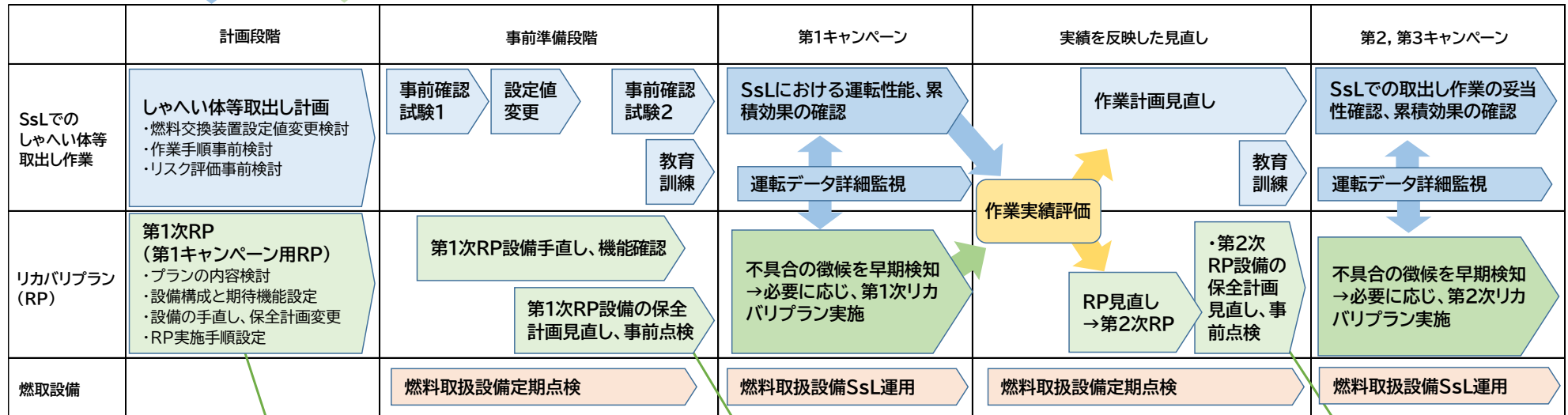
- ・ナトリウムの搬出完了を安全、確実かつ、可能な限り早期に完了するため、SsLでしゃへい体等の取出し作業を行う。
- ・長期作業停止に至ることのないよう、工程管理上のリスク対応策として、リカバリプラン(RP)を準備する。

#### SsL運用の事前評価、試験・運用実績

- ・SsL運用でも一部設定値を変更することにより、設計で想定した通りに動作し、問題とならないと評価。
- ・SsLに類似した低液位でのフルモックアップ試験で156体、実機でのSsL運用で9体の実績がある。

#### リカバリプラン(RP)対応方針

- ・実績実績が9体に限られることから、第1キャンペーンでは、NsLでの取出し作業までをカバーするRPを準備する。
- ・第1キャンペーン後、SsLでの作業実績を評価し、RPの見直しを行い、作業の最適化を図る。



#### 第1次リカバリプラン(RP)概要(案)

- ・**純化機能付加**: メンテナンス冷却系を用いてナトリウムの純化機能を付加することにより、不純物増加による燃料交換装置動作トルク上昇を防止。
- ・**NsL液位復帰**: 1次系にナトリウムを充填し、NsL運転で、ナトリウム液位低下に伴う何らかの障害が発生した場合に対応。

#### 第1次RP設備の運用、保全方針(案)

- ・特別な保全計画で管理。
- ・機器停止状態での劣化モードを鑑みて保管対策、起動前点検等を実施。
- ・供用に当たって必要な点検のうち、長期間を要する点検は、第1キャンペーン前に実施し、それ以外は、第1キャンペーン中の状況に応じて着手。

#### 第2次RP設備について(現時点での目論見)

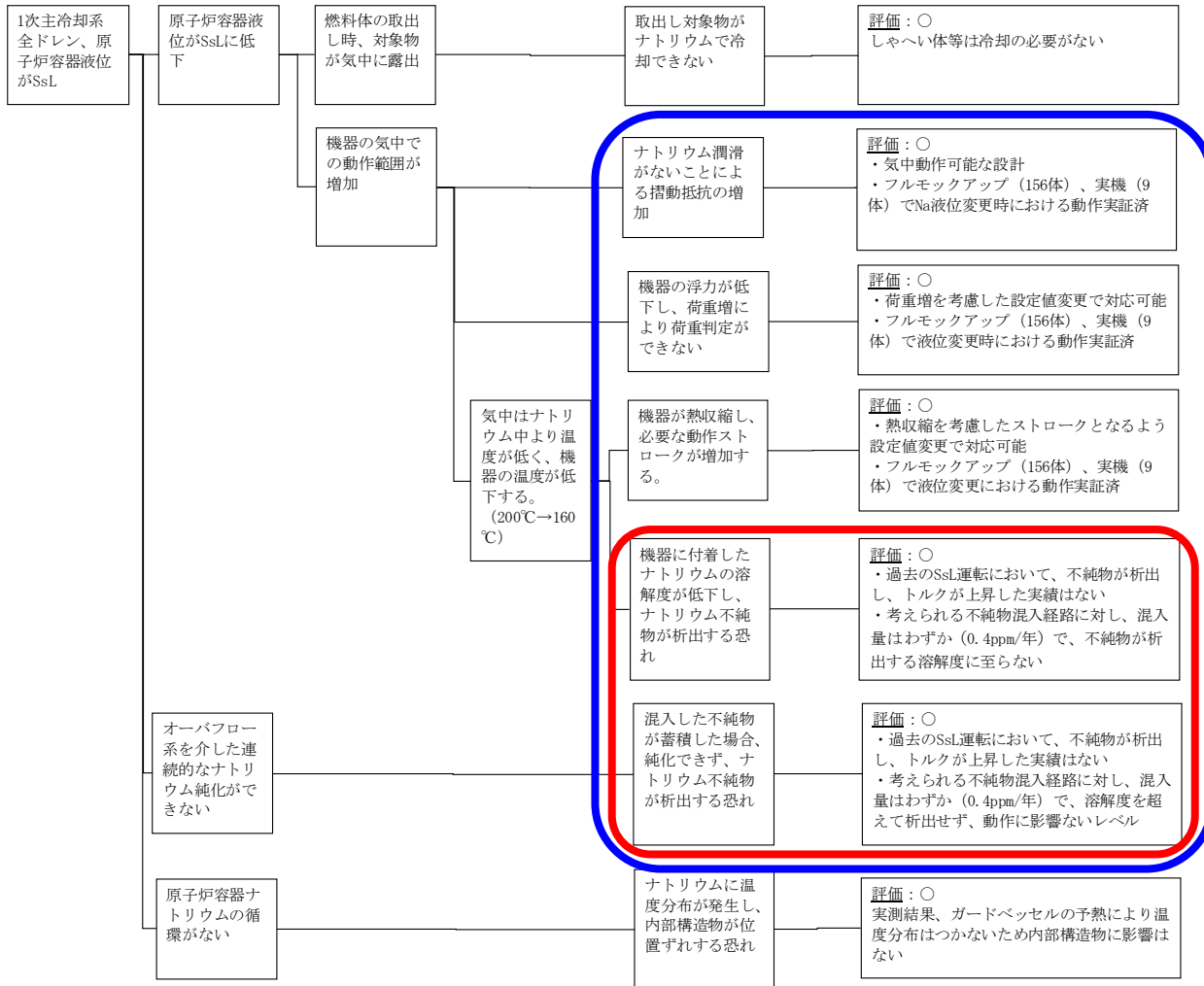
- ・第1キャンペーンの作業実績を踏まえて、リカバリプランの内容を見直し。

## 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に対応可能。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。
- フルモックアップの試験\*<sup>1</sup>にて低液位における156体の実績\*<sup>2</sup>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。

\*1 参考1参照。

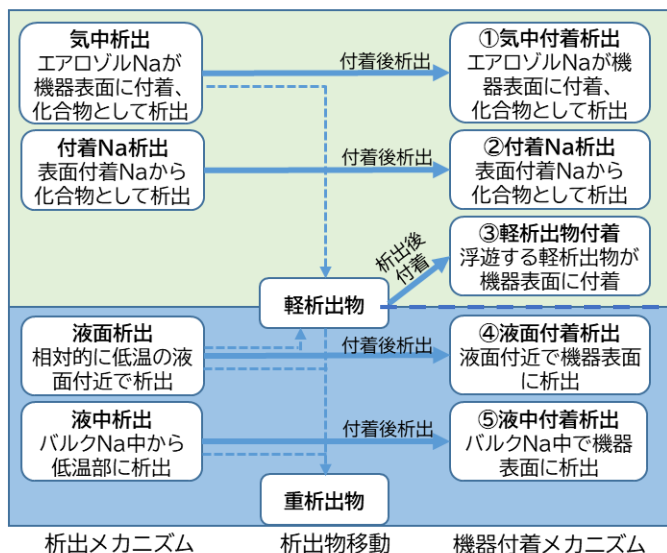
\*2 参考2参照。

## 2. 燃料交換装置の動作トルクのモニタリング範囲

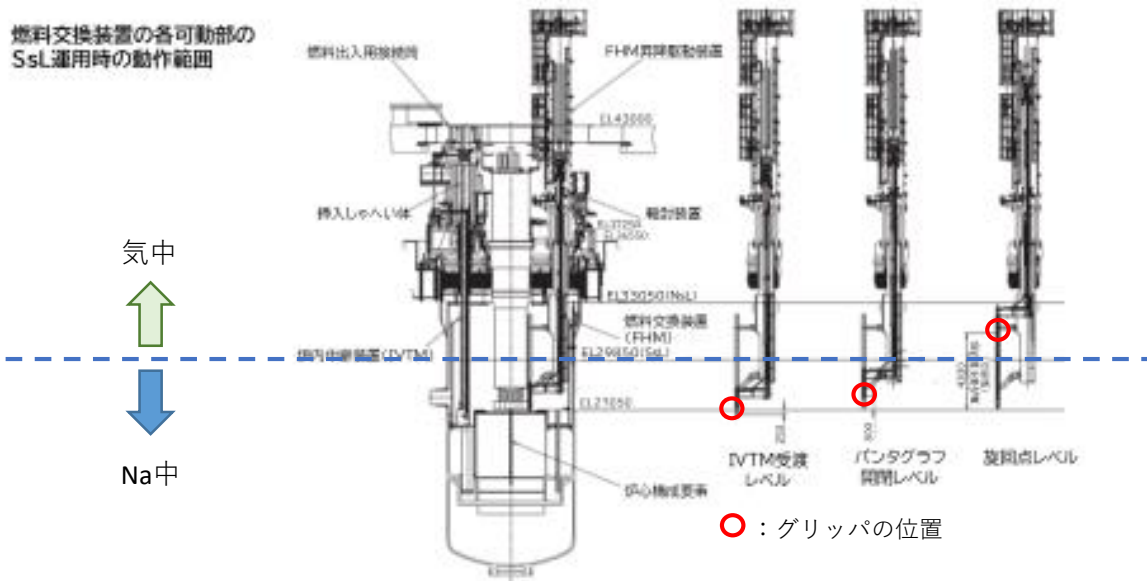
<不純物発生・付着メカニズムと機器動作への影響>

- 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 |

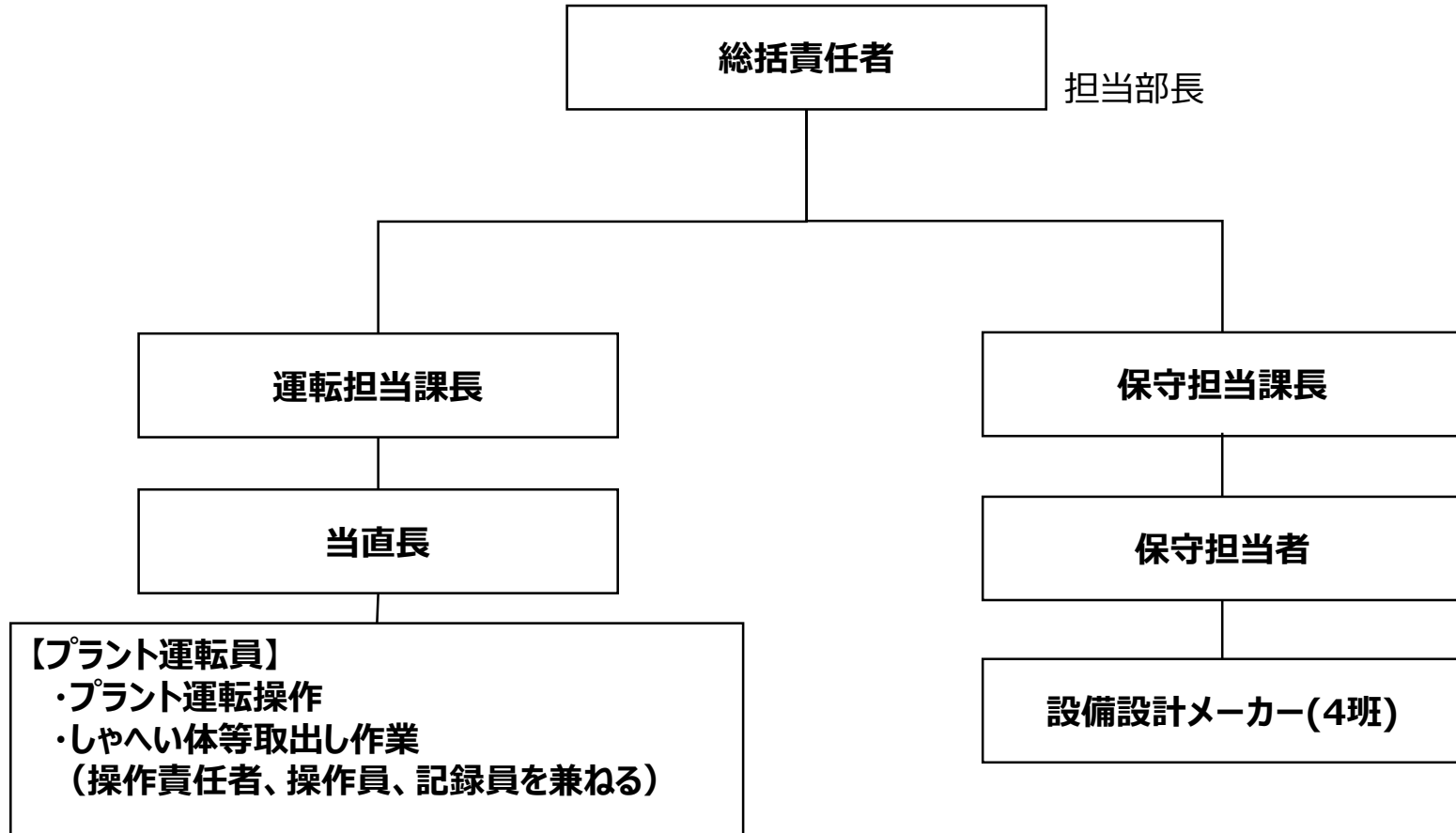
図7 燃料交換装置の各可動部とナトリウム液位の関係



### 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

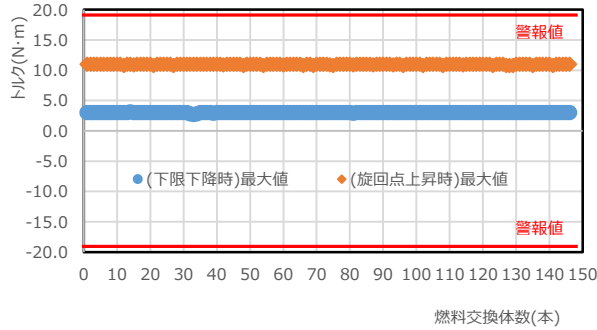


モニタリング方法はシート8参照

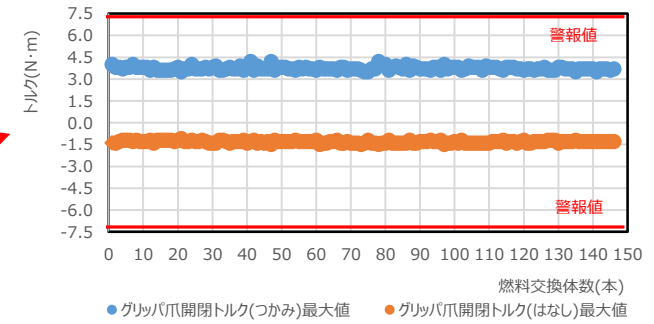
モニタリング方法はシート9参照

# 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)

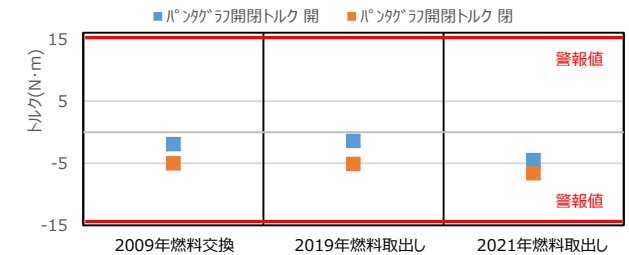
(第3キャンペーン時のサンプル)  
ホールドダウンアーム昇降トルク



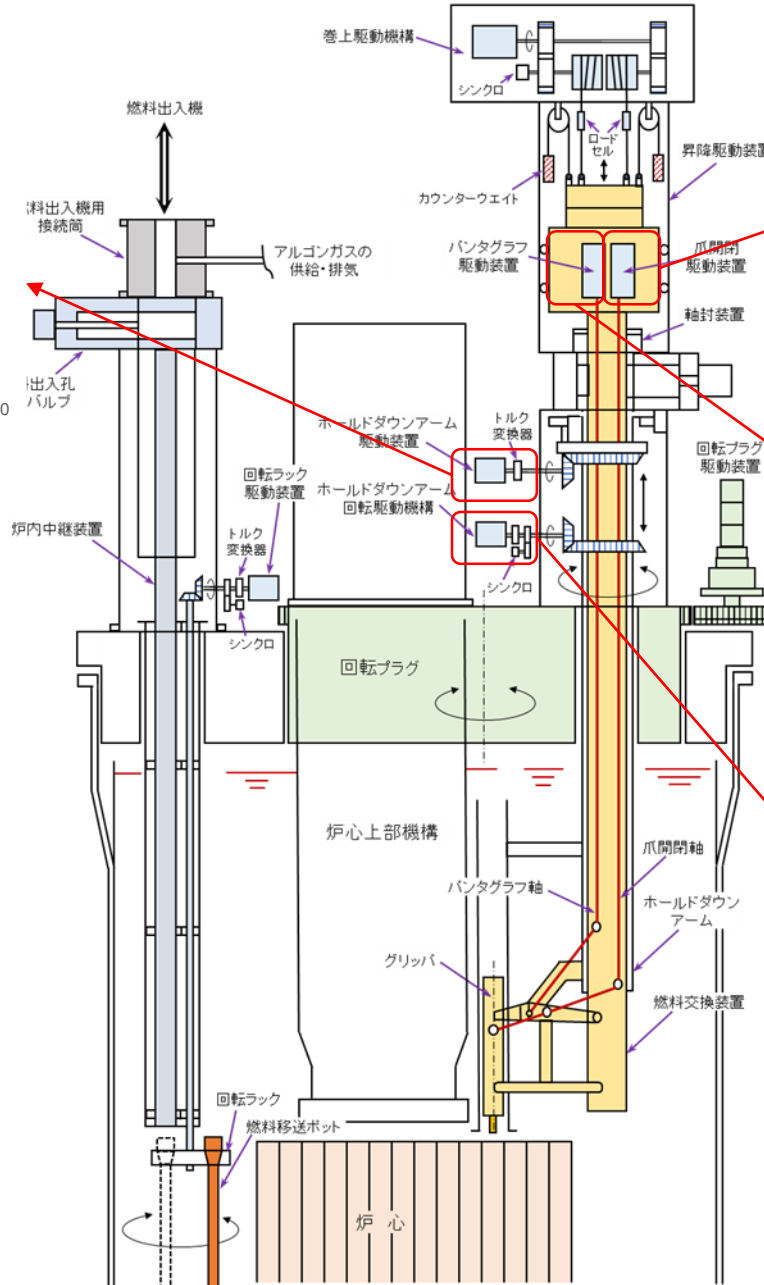
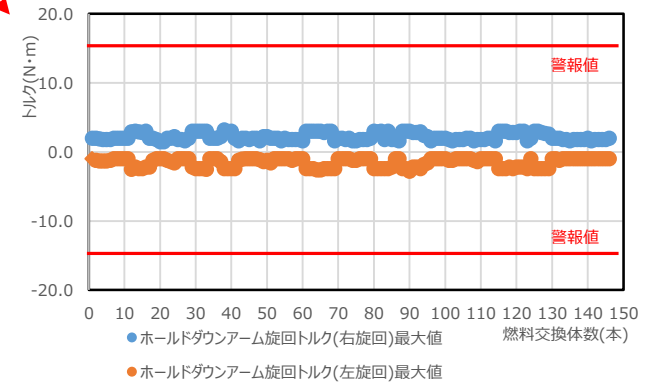
(第3キャンペーン時のサンプル)  
グリッパ爪開閉トルク



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



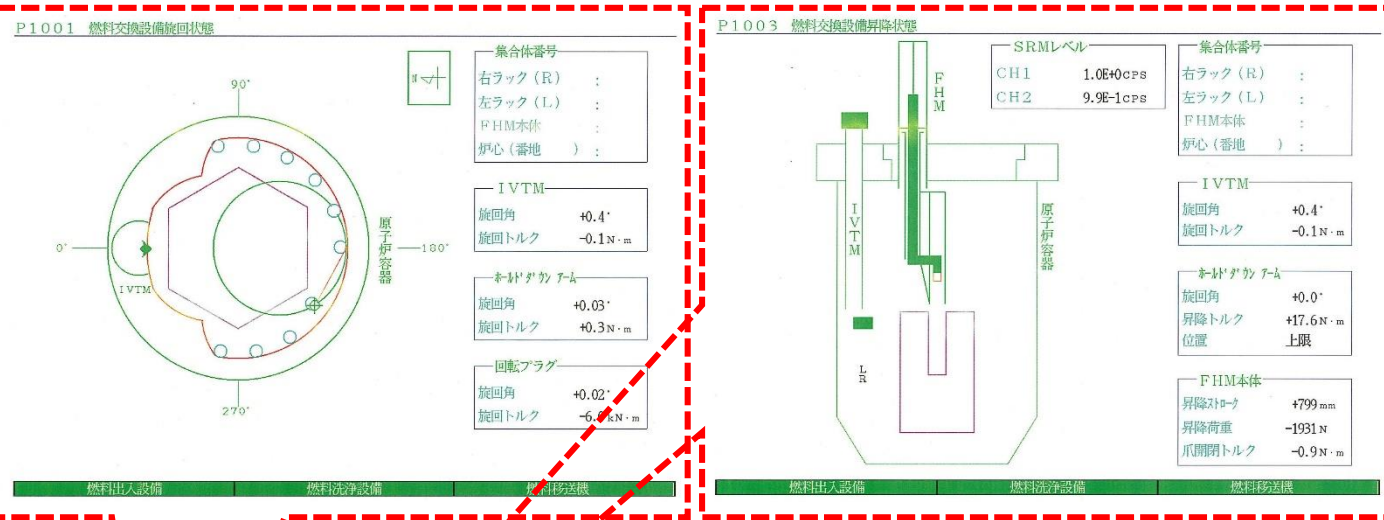
燃料体の取出し時と同様に、しゃへい体等取出し時においても、各機器の運転状態に異常が無いことを監視・評価し、作業を継続する。

- 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）

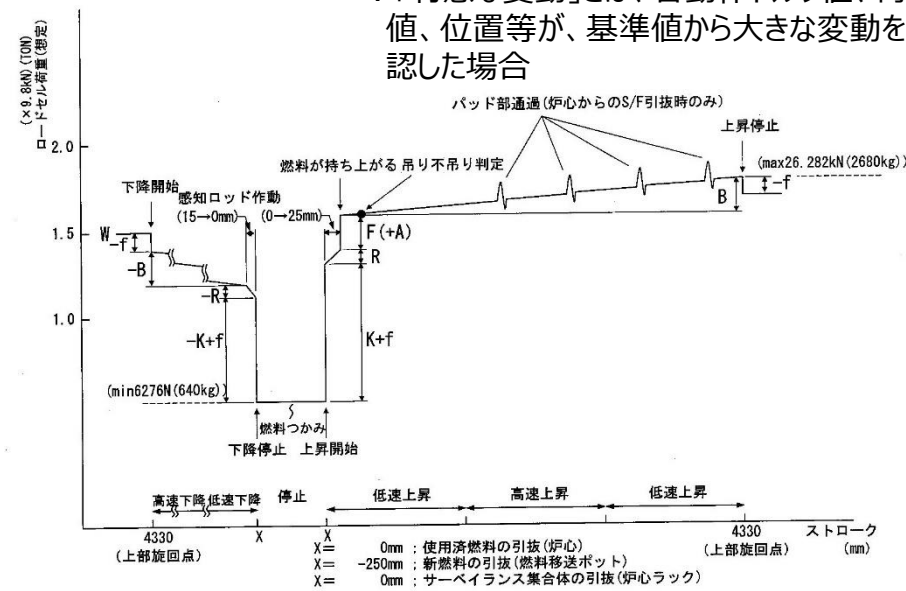
CRT監視画面の例



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。


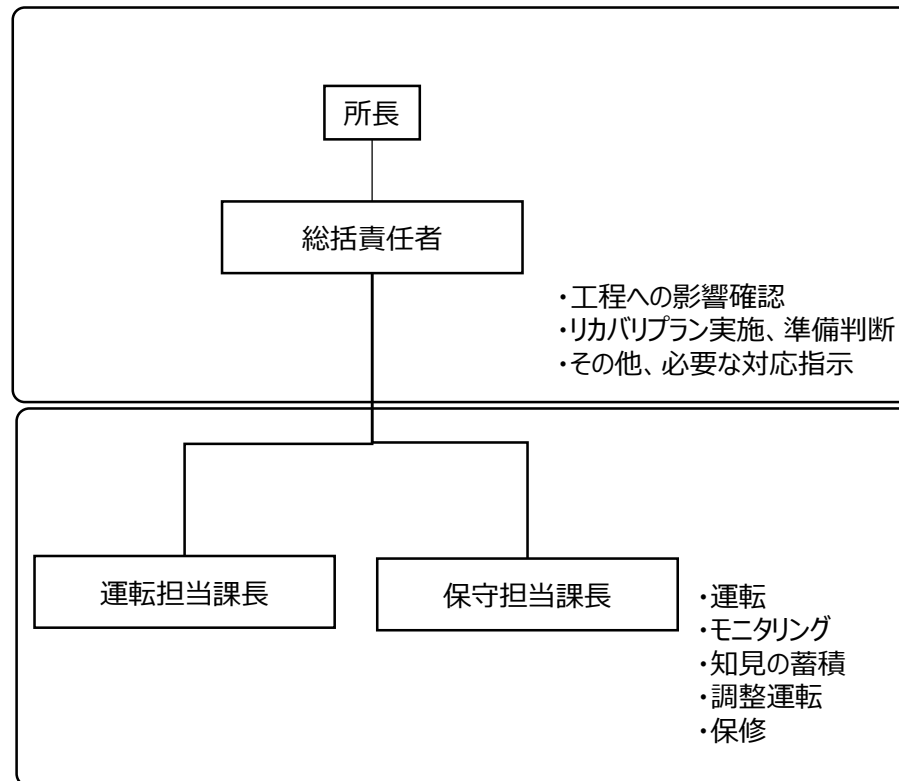
不具合発生時の対応、リカバリプラン導入の考え方、工程管理との関係

# 1. 各不具合に対する対応体制

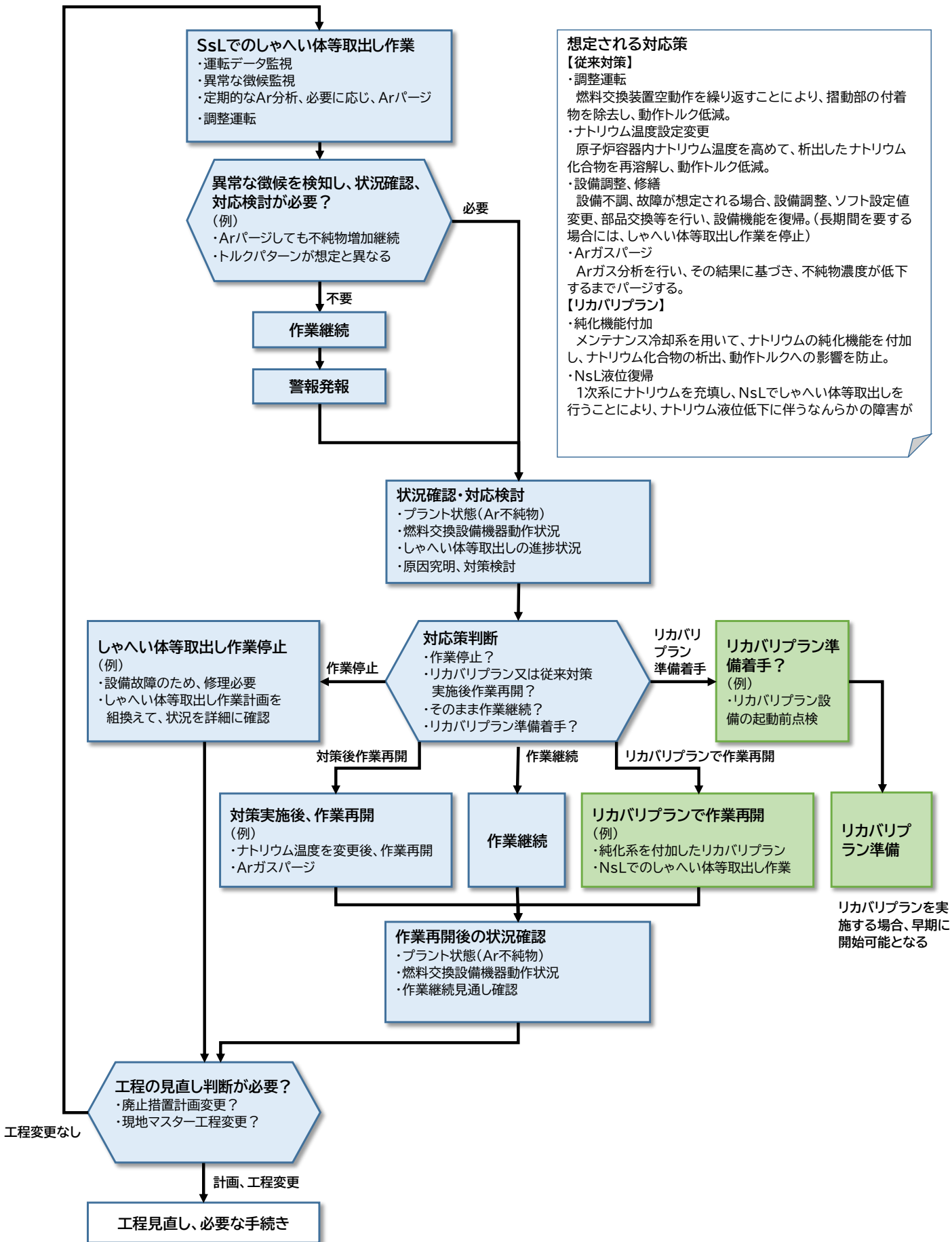
- しゃへい体取出し時の体制は不具合時も含め以下の体制、役割で実施する。
- 体制、役割分担の考え方は第1段階と同様。リカバリプランの実施は総括責任者が判断する。
- リカバリプランの実施等によって、定められた期間内にしゃへい体等の取出しが達成できない場合、第1段階と同様に部門長が廃止措置計画の変更を判断し、変更認可を受ける。

## しゃへい体等の取出し体制、役割

運転状況  
(取出し体数等)  
異常兆候  
不具合、保修状況

## 2. 不具合に対する対応フロー



**想定される対応策**

**【従来対策】**

- 調整運転
  - 燃料交換装置空動作を繰り返すことにより、摺動部の附着物を除去し、動作トルク低減。
- ナトリウム温度設定変更
  - 原子炉容器内ナトリウム温度を高めて、析出したナトリウム化合物を再溶解し、動作トルク低減。
- 設備調整、修繕
  - 設備不調、故障が想定される場合、設備調整、ソフト設定値変更、部品交換等を行い、設備機能を復帰。(長期間を要する場合には、しゃへい体等取出し作業を停止)
- Arガスパーージ
  - Arガス分析を行い、その結果に基づき、不純物濃度が低下するまでパーージする。

**【リカバリプラン】**

- 純化機能付加
  - メンテナンス冷却系を用いて、ナトリウムの純化機能を付加し、ナトリウム化合物の析出、動作トルクへの影響を防止。
- NsL液位復帰
  - 1次系にナトリウムを充填し、NsLでしゃへい体等取出しを行うことにより、ナトリウム液位低下に伴うなんらかの障害が

## 参考資料

- ・ (フルモックアップ試験実績が、もんじゅ実機のSsL運用の評価に適用できるとした理由を説明するため) フルモックアップ試験について、目的、概要を説明する。

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

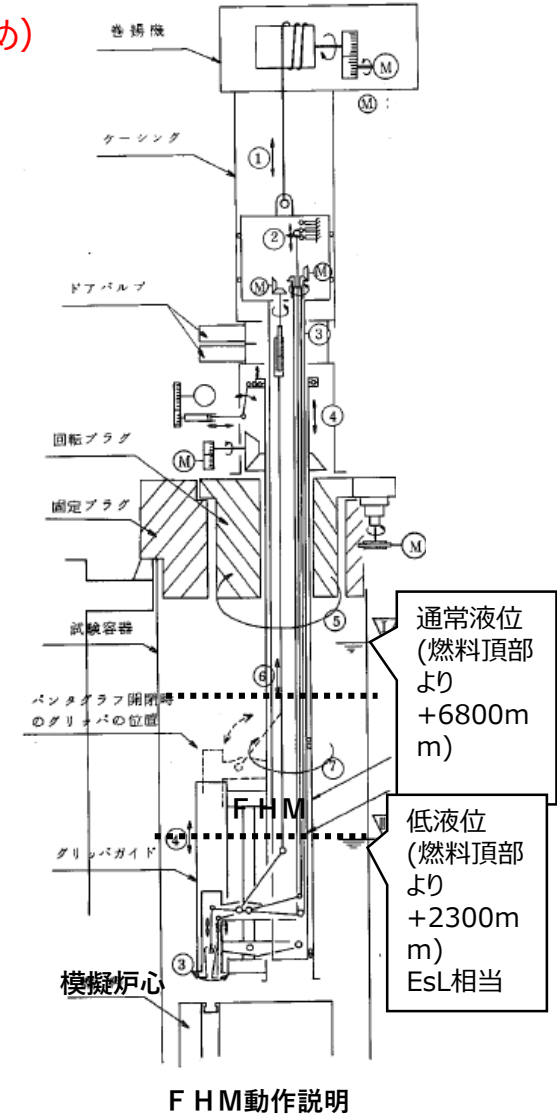
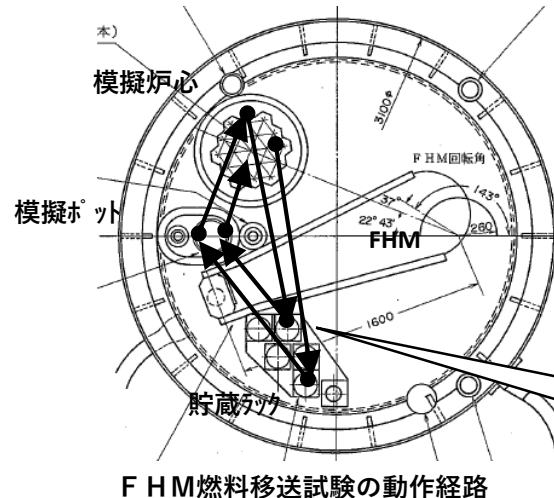
ナトリウム試験装置概要

- 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

主な出典：動力炉技報No.33\_1980.3

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
- パンタグラフ旋回速度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



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                                      | 49     |   | 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 | 12 |  |      |
| FHM  | 機能試験<br>(位置決め、セルフオリエンテーション<br>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                                    |        |   |               |   |    |   |              |   |    |   |                   |   |    |   |                     |   |    |   | 低液位動作試験 |   |    |  |      |
|      | 省洗浄試験                                   |        |   |               |   |    |   |              |   |    |   |                   |   |    |   |                     |   |    |   |         |   |    |  |      |
|      | 切離し試験                                   |        |   |               |   |    |   |              |   |    |   |                   |   |    |   |                     |   |    |   |         |   |    |  |      |
|      | シール機構開発試験                               |        |   |               |   |    |   |              |   |    |   | (空洞型)             |   |    |   | (改良型)               |   |    |   | (V型)    |   |    |  | (J型) |
| RM   | 機能試験                                    | [大気中]  |   |               |   |    |   |              |   |    |   |                   |   |    |   |                     |   |    |   |         |   |    |  |      |
|      | 耐久試験                                    |        |   |               |   |    |   |              |   |    |   |                   |   |    |   |                     |   |    |   |         |   |    |  |      |
| 洗浄試験 |   |        |   | [FHM]<br>[RM] |   |    |   |              |   |    |   | (5%含水)<br>(10%含水) |   |    |   | マークIIグリッパ<br>単独洗浄試験 |   |    |   |         |   |    |  |      |
| 分解点検 |   |        |   |               |   |    |   |              |   |    |   |                   |   |    |   | (グリッパ交換)            |   |    |   | (総合分解)  |   |    |  |      |

注記) 1. 記号説明  
2. 洗浄方法  
3. 実施場所

[大気中] 大気中試験  
[ナトリウム中] 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

(FHM: 燃料交換機)  
(RM: 燃料回転装置)

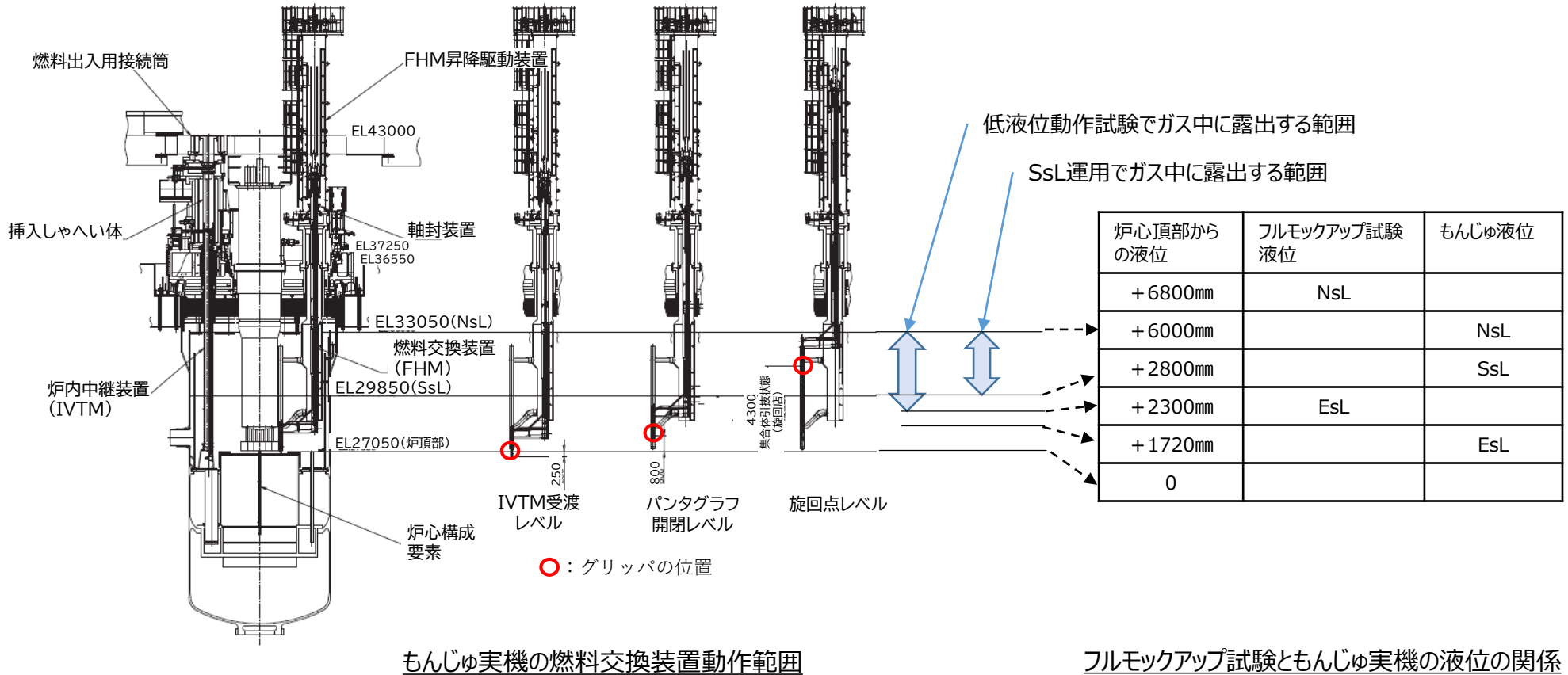
## 参考1 燃料交換装置フルモックアップ試験の概要 (3/3)

|            |      |  |
|------------|------|--|
| 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、押し込み・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<br>★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<br>★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。<br>★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<br>★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<br>★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                | 動作良好<br>★156体正常に動作した。但し、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することが分かった。             |

\* 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。

- フルモックアップ試験では、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に下げた動作試験を実施（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。



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