

しゃへい体等の取出し（案）

令和●年●月●日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1.はじめに

1.1 廃止措置全体像からみたしゃへい体等取出し作業の位置づけ

しゃへい体等取出し作業は、第3段階で実施する原子炉容器解体の準備として、第2段階における完了条件の一つであり、燃料取扱及び貯蔵設備により線量率の高いしゃへい体等の炉心構成要素を取り出すこととしている。

一方、本作業は放射性ナトリウムの搬出において律速工程になっていることも踏まえ、安全、確実、かつ速やかに完了することが必要となる。

1.2 しゃへい体等取出し作業開始前のプラント状態

第1段階の終了時点で、原子炉容器及び炉外燃料貯蔵槽の燃料体はすべて燃料池に貯蔵されている。原子炉容器には中性子源集合体、サーベイランス集合体、中性子しゃへい体、制御棒集合体、模擬燃料体及び固定吸収体が残ることになるが、これらを総称し、しゃへい体等と呼ぶこととする。

しゃへい体等は運転履歴から放射化量によって近接不可能なグループと近接可能なグループに分けられる。

<近接不可能>

- ・中性子源集合体、サーベイランス集合体、中性子しゃへい体

<近接可能>

- ・制御棒集合体、模擬燃料体、固定吸収体

近接不可能なものであっても燃料体のように大量の核分裂生成物(U、Pu)を含まず、発熱(すべて1W/体未満)もないことから、第1段階と比較して、取扱いに伴うリスクはほとんどない。このため保安管理上も「燃料体の移送(燃料管理)」から「放射性廃棄物の運搬(廃棄物管理)」として管理を行うこととする。

1.3 しゃへい体等取出し作業の終了条件

原子炉容器内にあるしゃへい体等を燃料池にすべて貯蔵することを条件

とし、近接不可能なグループから優先して取り出す。(第 1.3-1 図)。

2.実施方針、実施方法

2.1 実施方針

- ・ 燃料取扱及び貯蔵設備による燃料体取出し作業の経験、実績を反映して、安全、確実な作業を計画する。
- ・ 本作業が放射性ナトリウム搬出の律速工程となることから、安全、確実かつ速やかな作業実施ができるよう、他の廃止措置作業と整合のとれた最適化を図る。

2.2 実施方法

- ・ 第 1 段階の燃料体取出し作業で経験、実績のある燃料取扱及び貯蔵設備を用いて安全、確実に実施する。
- ・ 放射性物質を内包している又は、放射化により近接作業で取り出すことができないものを優先して取出すこととし、具体的には以下の順序とする。
 - ① 中性子源集合体
 - ② サーベイランス集合体
 - ③ 中性子しゃへい体
 - ④ 制御棒集合体、模擬燃料体及び固定吸収体
- ・ 1 次主冷却系のナトリウムをドレンし、原子炉容器液位を SsL で運用することにより、設備点検・検査を軽減し、作業の迅速化を図る。
- ・ 一部の模擬燃料体は構造上、残留するナトリウムが多くなる可能性があることから、残留量の把握と、残留量が多い場合の洗浄方法を検討する。その際、Na 搬出工程に影響がある場合は、解体時に取出す計画とする。

3.実施体制

第3-1図に第1段階の燃料体取出し作業体制としゃへい体等取出し作業体制の比較を示す。

(1) 操作体制

第1段階の燃料体取出し作業においては、数多くの操作員が実操作の経験を積み重ねることにより、設備に対する知識の向上を図ってきたところ。その結果、トラブル発生時におけるプラント状態の把握や手順書に基づく対応を適切に行うとともに、プラント側運転員との連携についても習熟を図ってきたところ。よって、しゃへい体等取出し作業の体制としては、燃料取出し時の実施責任者の役割を当直長が担う体制に移行することとする。

(2) 補修体制

第1段階の燃料体取出し作業当初に発生した既設の燃料交換装置、燃料出入設備、燃料洗浄設備等の稼働実績が少なかったことによる不具合等も改善され、機器故障によるトラブルはほとんど発生していないことから、他の設備と同様に保守担当課による通常補修体制に戻すこととする。ただし、しゃへい体等取出し作業時においても、機器動作時のパラメータの監視、継続監視による異常の兆候判断等は、しゃへい体等取出し作業の継続上重要であることから、設備設計メーカーによるデータ採取・評価は継続して実施することとする。

4.実施工程

第1段階の燃料体取出し作業完了後、第2段階に着手する解体準備の諸作業を実施するための組織体制の整備が完了し次第、速やかにしゃへい体等取出し作業を開始する。第1段階の燃料体取出し作業と同様、しゃへい体等の取出し、しゃへい体等の処理、設備点検・検査の作業を繰り返し実施する。第4-1図に工程イメージを示す。

5. リスクマネジメント

第2段階のしゃへい体等取出し作業は、ナトリウムの搬出開始までに達成すべき重要な作業と捉え、第1段階の燃料体取出し作業と同様の考え方でリスクマネジメントを実施する。第1段階の目的は、原子炉等からの燃料体の取出しを完了することであるため、機器の故障・誤動作等によってその達成を阻害する事象(安全上重要な事象・長期的な停止に至る可能性のある事象)をリスクとして抽出した。また、抽出したリスクに対し、リスク回避対策が講じられていること、リスクが顕在化した場合の対応策が用意されていることをレビューし、不足があればリスク回避策、リスク顕在化後の対応策を検討・追加した上で燃料体取出し作業に着手した。

第2段階のしゃへい体等取出し作業において使用する設備は、第1段階と同様であり、第1段階で実施したリスク評価を基に第2段階を評価する。

5.1 燃料体取出し作業との差異

しゃへい体等取出し作業は、第1段階で実施する燃料体の取出し及び燃料体の処理時と同様の設備を使用した運転となるため、リスク評価の内容に大きな差異は無い。ただし、

炉心からのしゃへい体等の取出し時

- ① 燃料体を取扱わないこと
- ② 原子炉容器ナトリウム液位が SsL の状態で取出し作業を実施すること
- ③ 炉心からの取出しのみに替わること

に差異がある。

炉外燃料貯蔵槽から取出した後の燃料池へ移送するしゃへい体等の処理時

- ④ 燃料体を取扱わないこと
- ⑤ 炉外燃料貯蔵槽からの取出しのみに替わること(炉外燃料貯蔵槽

からの取出しのみであり、新たに模擬燃料体が炉外燃料貯蔵槽に装荷されず、その体積分のナトリウム液位が低下する)に差異がある。上記の差異を念頭に、第 1 段階で実施した目的達成の阻害事象を現時点で概略評価した結果を以降に示す。

5.2 現時点における評価結果

現時点における炉心からのしゃへい体等の取出し及びしゃへい体等の処理時の評価結果を以降に示す。本評価結果は検討段階であり、第 4 キャンペーンでの燃料体取出し作業結果を反映したうえで、再度の確認・検討を行うものとする。

(a) 炉心からのしゃへい体等の取出し

燃料体の取出しとの差異をベースに、リスク評価対象事象の洗い出しを実施した (第 5.2-1 図、第 5.2-2 図)。

差異① 燃料体を取扱わないことにより、燃料体の取出し時に「安全上重要な事象」として抽出していた「燃料体の損傷」は、燃料体を取扱わないことから、そのリスクはない。ただし、しゃへい体等が落下等した場合、長期的な対応が必要となることから「長期的な停止に至る可能性のある事象」として整理するとともに、リスク評価対象事象として抽出した。また、その対応方法は燃料体の取出しと同じ方法が適用可能であることを確認した。

差異② 原子炉容器ナトリウム液位を SsL に変更することに対し、「環境の変化等により新たに顕在化する可能性がある」と評価した事象」を抽出し、炉内環境の悪化により長期停止に至る可能性のある事象として、燃料交換装置及び燃料出入機本体 A に対するリスク評価対象事象を新たに抽出した。(なお、影響評価結果は「資料 3 しゃへい体等の取出し時の原子炉容器液位」にて詳細を説明) 何れも設計対応の検討が必要なものは無く、策定した対応フロー (リカバリープラン) に基づき対応が可

能であることを確認した。長期停止に至る可能性のある事象例を第 5.2-1 表、対応フローの例を第 5.2-3 図～第 5.2-6 図に示す。その他のリスク事象に対する対策方法等については、燃料体の取出しと差異が無いことを確認した。

差異③ 炉心からの取出しのみで替わることに對し、しゃへい体等取出しでは、第 1 段階で実施する部分装荷と同じ手法を採用する。計算機上で仮想的な模擬体を移送するものであり、実移送を行うものではないが、機器動作・制御は通常と同じである。よって、想定する事象に違いは無い。また、模擬燃料体の炉心への実移送は行わないが、燃料移送ポットを介して炉外燃料貯蔵槽から原子炉容器へ持ち込むナトリウム量と原子炉容器から炉外燃料貯蔵槽へ持ち込むしゃへい体等とナトリウムの合計は同じである。よって、両容器のナトリウム液位に影響を及ぼすことは無い。

(b) しゃへい体等の処理

燃料体の処理との違いをベースに、リスク評価対象事象の洗い出しを実施した。(第 5.2-7 図、第 5.2-8 図)

差異④ 燃料体を取扱わないことにより、「(a) 炉心からのしゃへい体等の取出し」と同様に、燃料体の処理時に「安全上重要な事象」として抽出していた「燃料体の損傷」については、燃料体を取扱わないことから、そのリスクはない。ただし、しゃへい体等取出し時では、しゃへい体等が落下等した場合、長期的な対応が必要となることから「長期的な停止に至る可能性のある事象」として整理し、リスク評価対象事象として抽出した。何れも設計対応の検討が必要なものは無く、策定した対応フロー(リカバリープラン)に基づく対応が可能であることを確認した。

差異⑤ 炉外燃料貯蔵槽からの取出しのみで替わること(炉外燃料貯蔵槽からの取出しのみ)であり、新たに模擬燃料体が炉外燃料貯蔵槽に装

荷されず、その体積分のナトリウム液位が低下する) ことに対する評価は、現在実施中であり 2021 年度中に完了予定である。

6.原子炉容器ナトリウム液位 SsL 時の作動試験

「2.2 実施方法」で述べた通り、1 次系のナトリウムをすべてドレンし、原子炉容器液位を SsL で運用することにより、設備点検・検査を軽減し、作業の迅速化を図ることとしており、その影響については、「資料 3 シャヘイ体等の取出し時の原子炉容器液位」にて詳細を説明する。評価の結果、原子炉容器液位を SsL で運用する場合、燃料交換装置の吊り不吊り判定、パンタグラフの開閉及び炉心位置決めに影響する可能性があることから、対策として 2022 年の燃料体の取出し完了後に動作試験を行い、現状の設定値における動作性を確認し、設定値変更が必要な場合は、設定値を変更する。

7.模擬燃料体の洗浄性

「1.2 シャヘイ体等取出し作業開始前のプラント状態」で述べた通り、模擬燃料体の一部（炉心領域用）は構造上、残留するナトリウムが多くなる可能性がある。

燃料体はワイヤスペーサをらせん状に巻きつけることによりピン間の距離を保つとともに、2 つのワイヤ間の広い間隙をナトリウムが流れ出る構造になっている。第 1 段階前に追加製造した模擬燃料体は、ワイヤスペーサがなくピンを束ね、ナトリウムが流れる流路が狭く、ピン上端から下端まで一直線状に束ねた構造になっている。(第 7-1 図) ナトリウムの濡れ性は悪いことから、模擬燃料体に残留するナトリウム量は多くないと考えられるが、この様な隙間が狭いピンバンドル構造でのナトリウムの滴下は、表面張力の影響が強い場合、燃料体よりも多くのナトリウムが残留する可能性がある。

この場合、既設備である燃料洗浄設備でのナトリウム洗浄運転に支障を来す可能性があることから、残留ナトリウム量を定量的に把握するため、単体

要素試験及び集合体試験を 2021 年度中に実施することとした。(第 7-1 表)

まず、ピンのナトリウムの残留箇所、残留量を概括的に把握するため、2021 年 6 月に実施した単体要素試験では、ピンの下部の隙間部にナトリウムが残留することが分かった。(第 7-2 図) 現在、集合体試験としてピンの長さの違いによるピンの下部の隙間部に残留するナトリウム量やピン本数を実機と同数とし、より正確な残留ナトリウム量を把握すべく試験体を製作中である。今後、試験結果等を踏まえ、2022 年 6 月から予定している燃料体の処理時に、現在保有している模擬燃料体を使用した燃料洗浄設備でのナトリウム洗浄試験を実施し、洗浄性を確認する。

また、並行して、残留ナトリウムが多い場合を想定した燃料洗浄設備の運転方法(洗浄時間延長、運転工程の見直し等)等を 2021 年度中に検討する。

8.その他準備事項

これまで、しゃへい体等取出し作業の実施方針、実施方法、体制、工程について述べた。以降は、その他のしゃへい体等の取出し開始にあたり、事前の準備検討が必要な事項に関する検討状況、検討結果を示す。

8.1 しゃへい体等の取出しを放射性廃棄物の運搬として取扱う場合の廃止措置計画、保安規定の取扱い

「1.2 しゃへい体等取出し作業開始前のプラント状態」で述べた通り、保安管理上も「燃料体の移送(燃料管理)」から「放射性廃棄物の運搬(廃棄物管理)」として管理されるものといえる。この場合における廃止措置計画、原子炉施設保安規定(以下「保安規定」という。)の取扱いを整理する。

8.1.1 しゃへい体等の位置づけ

廃止措置計画、保安規定の取扱いを整理する上で、しゃへい体等の位置づけを法令上の観点から確認する。

① 「燃料体」の定義

「燃料体」とは、「研究開発段階発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第2条（定義）にて以下の通り規定されており、しゃへい体等は含まれていない。

- ・ 「三 「燃料体」とは、発電用原子炉に燃料として使用できる形状又は組成の核燃料物質をいう。」

② 原子炉設置許可申請書上の分類

原子炉設置許可申請書（以下「設置許可」という。）本文「五、原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備」「ハ．原子炉本体の構造及び設備(イ) 炉心」に、先ず「炉心は炉心燃料集合体，ブランケット燃料集合体，制御棒集合体，中性子しゃへい体等からなる。これらの炉心構成要素を炉心支持板の上に配列し、」とし、炉心に装荷される燃料体及びそれ以外のものを含めて「炉心構成要素」と定義している。

ただし、設置許可本文では、次の通り設備を分類している。

- ・ 「ハ．原子炉本体の構造及び設備(ロ) 燃料体」で、燃料体として炉心燃料集合体及びブランケット燃料集合体（試験用集合体を含む）
- ・ 「ハ．原子炉本体の構造及び設備(ハ) 減速材及び反射材の種類」で、反射材として中性子しゃへい体
- ・ 「ヘ．計測制御系統施設の構造及び設備(ハ) 制御設備、(ニ) 非常用制御設備」で制御棒集合体

また、添付書類八の安全設計に関する説明「3. 原子炉及び炉心」においても同様に、以下の通り設備を分類している。

- ・ 「燃料」として炉心燃料集合体、ブランケット燃料集合体（試験用集合体含む）
- ・ 「反応度制御設備」として制御棒集合体
- ・ 「その他の設備」として中性子源集合体、中性子しゃへい、サー

ベイランス集合体及び固定吸収体

③ シャヘイ体等の位置づけ・取出し作業の管理

上記①及び②から、定義上、シャヘイ体等は「燃料体」に該当しない。また、「研究開発段階発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第2条（定義）にて、「二 「放射性廃棄物」とは、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物で廃棄しようとするものをいう。」と規定されており、「燃料体」によって汚染された制御棒集合体、中性子源集合体、中性子シャヘイ、サーベイランス集合体及び固定吸収体は「放射性廃棄物」と位置づけるとともに、シャヘイ体等取出し作業は「放射性固体廃棄物」の移送作業として管理することが妥当と考える。これらは、模擬燃料体も同様の位置づけである。

8.1.2 廃止措置計画上の取扱い

「放射性固体廃棄物」の移送作業として管理するため、廃止措置計画上の取扱いを以下の考え方で変更する。

「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 高速増殖原型炉もんじゅの廃止措置計画の認可の審査に関する考え方」の「第5 申請書に記載する廃止措置計画に定めるべき事項に対する審査（研開炉規則第111条第1項及び第3項）」「10 核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄（研開炉規則第111条第1項第10号）」に、「① 発電用原子炉施設内に保管廃棄する放射性廃棄物及び廃止措置に伴って発生する放射性廃棄物の廃棄について、取扱い並びに処理及び処分の方法が定められていること。」とされている。これを満足するよう本文十の記載に次の内容を追加する。

- ・ 「3.1 放射性固体廃棄物の処理(2) 第2段階以降」に、第2段階で炉心からシャヘイ体等取出し作業を実施するため、放射性固体廃棄物の移送方法（燃料体と同様の移送方法）、管理方法（燃料池に貯蔵）等につ

いて規定する。

- ・ 「第 2 段階において発生する放射性固体廃棄物の推定発生量」にしゃへい体等を追加する。

8.1.3 保安規定上の取扱い

「8.1.1 しゃへい体等の位置づけ」にて確認した結果を基に「放射性固体廃棄物」の移送作業として管理するため、保安規定上の取扱いを以下の考え方に基づいて変更する。

① 第 6 章「放射性廃棄物管理」

「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 高速増殖原型炉もんじゅの廃止措置段階における 保安規定の認可の審査に関する考え方」（以下「もんじゅ保安規定審査基準」という。）の「14 放射性廃棄物の廃棄（研開炉規則第 87 条第 3 項第 15 号）」にて、「⑤ 放射性固体廃棄物の貯蔵及び保管に係る具体的な管理措置並びに運搬に関し、放射線安全確保のための措置が定められていること。」とされている。これを満足するよう現行の保安規定第 75 条（放射性固体廃棄物の管理）に追記し管理する。具体的には、

第 75 条第 1 項第 2 号に「原子炉内で照射された機器等のうち使用済制御棒等は、燃料環境課長が別図 75-1 に定める燃料池の燃料の貯蔵エリア以外の場所に保管する」旨を規定するとともに、別図 75-1 に燃料池の放射性固体廃棄物の貯蔵位置図を追加する。

また、QMS 上「放射性固体廃棄物」の定義として「制御棒集合体、固定吸収体、中性子しゃへい体」（総称し使用済制御棒等と定義）に加え、「中性子源集合体、サーベイランス集合体、模擬燃料体」を追加する。

④ 第 5 章「燃料管理」

もんじゅ保安規定審査基準の「13 核燃料物質の受払い、運搬、貯蔵

その他の取扱い(研開炉規則第 87 条第 3 項第 13 号)」において、「① もんじゅ構内における新燃料の運搬及び貯蔵並びに使用済燃料の運搬及び貯蔵に際して、臨界に達しないようにする措置その他保安のために講ずべき措置を講ずること及び貯蔵施設における貯蔵の条件等が定められていること。」とされている。

第 1 段階で炉心からの燃料体取出し作業は完了し、全て燃料池で貯蔵していることから、燃料管理の対象は、新燃料貯蔵室及び燃料池に貯蔵している燃料体を対象とする。これにより実施しない条項は削除し、今後実施する内容に合わせて以下の通り整理し、審査基準を満たすものとする。

(a) 第 68 条 (新燃料の運搬)

燃料池に新燃料が貯蔵されていることから、運搬に使用する機器に燃料移送機を追加する。

(b) 第 70 条 (新燃料の貯蔵)

新燃料の貯蔵場所から炉外燃料貯蔵槽を削除する。

(c) 第 71 条 (炉心構成要素等取替作業)

炉心からの燃料体の取出しが完了し、第 2 段階以降作業が無いことから、条文を削除する。

(d) 第 71 条の 2 (燃料処理・貯蔵作業)

燃料体の処理が完了し、第 2 段階以降作業が無いことから、条文を削除する。

(e) 第 72 条 (照射済燃料等の貯蔵)

燃料池における燃料体配置図を第 71 条の 2 から本条に移行する。使用済燃料の貯蔵場所から炉外燃料貯蔵槽を削除する。燃料池での燃料の移動等は燃料移送機を使用することについて、第 71 条の 2 から本条に移行する。

(f) 第 73 条 (破損のおそれのある燃料の検査)

炉心及び炉外燃料貯蔵槽に装荷、貯蔵されていた燃料体が全て燃料池に貯蔵されたことから、条文を削除する。

(g) 第 73 条の 2 (炉心構成要素の性能維持確認)

第 2 段階以降炉心構成要素を新燃料貯蔵室に搬入することが無いこと及び炉心または炉外燃料貯蔵槽に装荷、貯蔵されていた燃料体が全て燃料池に貯蔵されたことから、条文を削除する。

(h) 第 74 条 (使用済燃料の運搬)

全ての使用済燃料が燃料池に貯蔵されていることから、運搬に使用する機器から燃料出入機設備を削除する。

また、上記の改訂に伴い、第 67 条の 6 (定義) に記載の「照射済燃料」、「炉心構成要素」、「炉心構成要素等」、「炉心構成要素等取替作業」及び「燃料処理・貯蔵作業」の定義は不要となることから、削除する。

8.2 恒久的措置

もんじゅ保安規定審査基準の「7 発電用原子炉の運転停止に関する恒久的な措置 (研開炉規則第 87 条第 3 項第 7 号)」にて、「○ もんじゅを恒久的に運転停止するために講ずべき措置について定められていること。具体的には I 炉心に核燃料物質を装荷しないこと。」とされている。

第 2 段階におけるしゃへい体等取出し作業時は、第 1 段階での燃料体取出し作業と同様の設備を使用し、同様のルートで炉心から燃料池に移送することから、物理的な燃料取扱設備の撤去、移送ルートの閉鎖等の措置は難しい。

したがって、しゃへい体等の取出し時以外はこの移送ルートを閉鎖し、「炉心に核燃料物質を装荷しないこと」を管理できるようにする。

具体的には、次の通りとする。

- ① 新燃料貯蔵ラックに貯蔵されている燃料体の移送経路では、必ず地下台車を経由することから、地下台車の新燃料移送機側案内管に蓋等によって移送経路を遮断する (第 8.3-1 図)。但し、保障措置において新燃料

移送機側案内管を使用する場合は一時的に解除する。

- ② 燃料池貯蔵ラックに貯蔵されている燃料体の移送経路では、自動化運転では、燃料池貯蔵ラックから燃料体を取り出し炉心側に移送することはできないこと、また、手動運転においても物理的及びインターロック上、燃料池貯蔵ラックから燃料体を取り出し炉心側に移送することはできないが、燃料体の移送経路上は必ず「燃料出入孔」を通過することから、燃料出入孔ドアバルブが開閉できない処置を行い、移送ルート上に燃料出入孔プラグが装荷された状態を保持することで移送経路を遮断する。(第 8.3-1 図) 但し、しゃへい体等の取出しは一時的にこれを解除する。

しゃへい体等取出し作業時の運用方法(閉鎖の管理、解除の方法等)については、保安規定第 14 条(原子炉の運転停止に関する恒久的な措置)に規定する。

8.3 中性子源集合体

中性子源集合体は、「8.1.1 しゃへい体等の位置づけ」の「② 原子炉設置許可申請書上の分類」に記載した通り、炉心に装荷される「炉心構成要素」として定義されている。「炉心構成要素」の取扱いについては、設置許可添付書類八の安全設計に関する説明「8.6 燃料取扱及び貯蔵設備」では、「燃料取扱及び貯蔵設備は、炉心燃料集合体のほか、ブランケット燃料集合体、制御棒集合体、中性子しゃへい体等の炉心構成要素を取扱う。」とされており、また「炉外燃料貯蔵槽から取り出された炉心構成要素は、燃料洗浄設備でナトリウムを洗浄し、裸または缶詰にして燃料池内の貯蔵ラックに貯蔵する。」とされている。したがって、従来から設置許可においては、炉心から取出された中性子源集合体は燃料池に貯蔵できるものとし、認可を得ている。

もんじゅの中性子源は Cf-252(半減期 2.645 年)型であり、「放射性同位元素等の規制に関する法律」に基づく使用許可を得ている。許可数量は 72GBq

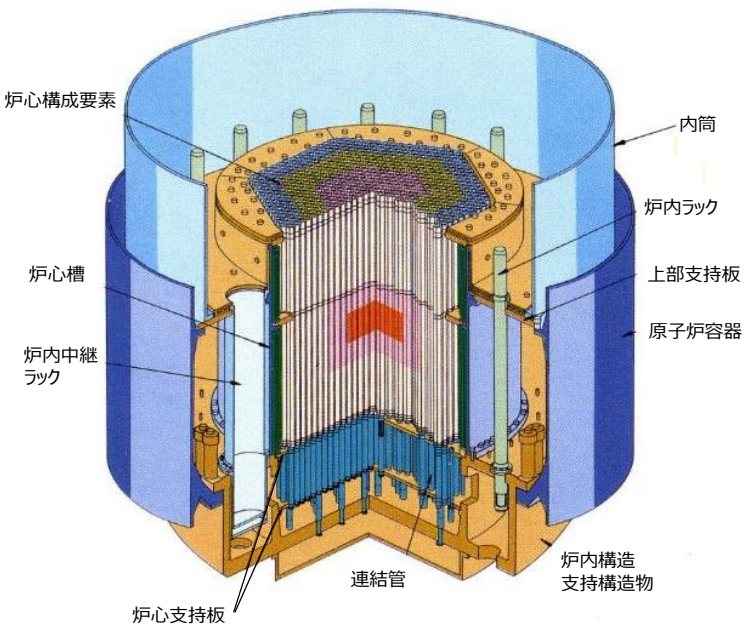
が 2 本で計 144GBq であり、使用及び貯蔵場所は原子炉容器室及び炉外燃料貯蔵室としている。しゃへい体等取出し作業で中性子源集合体は燃料池に貯蔵することから、中性子線源要素は受入後約 28 年が経過し、0.1GBq 程度に減衰していることを踏まえ、貯蔵場所に「燃料池」を追加、「使用」に関する記載の削除及び許可数量の変更について 2021 年度中に変更申請を行い、しゃへい体等取出し開始前までに許可を得る計画である。

9.まとめ

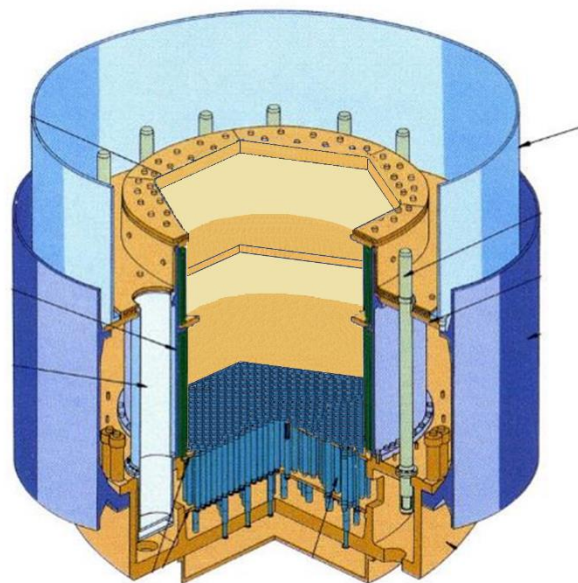
しゃへい体等取出し作業は、廃止措置全体像からみて第 3 段階で実施するナトリウム設備解体着手準備完了条件の一つとなる。第 1 段階の燃料体取出し作業で使用した設備を用いることで燃料池に搬出可能であり、原子炉容器解体に先立ち、放射化ナトリウムの搬出前までに実施する。特に、1 次系のナトリウムをすべてドレンし、原子炉容器液位を SsL にて運用することにより、設備点検・検査を軽減し、作業の迅速化を図る。そのために必要な確認試験については 2022 年の燃料体の取出し終了後に事前確認試験 1 として SsL 運用に伴う燃料交換装置の設定値変更を、同年の燃料体の処理完了後に事前確認試験 2 として原子炉容器液位 SsL の状態で実際にしゃへい体等を取り出して確認することを計画する（参考資料 1 参照）。模擬燃料体に残留するナトリウムの洗浄性については、集合体試験を行い、2022 年の燃料体の処理期間中に実機による洗浄試験で洗浄性を確認する。

また、しゃへい体等取出し作業開始前までに、必要なリスクマネジメントを実施するとともに、中性子源集合体の RI 使用許可変更及び保安規定の変更を行う等、作業開始に必要な準備を完了させる。

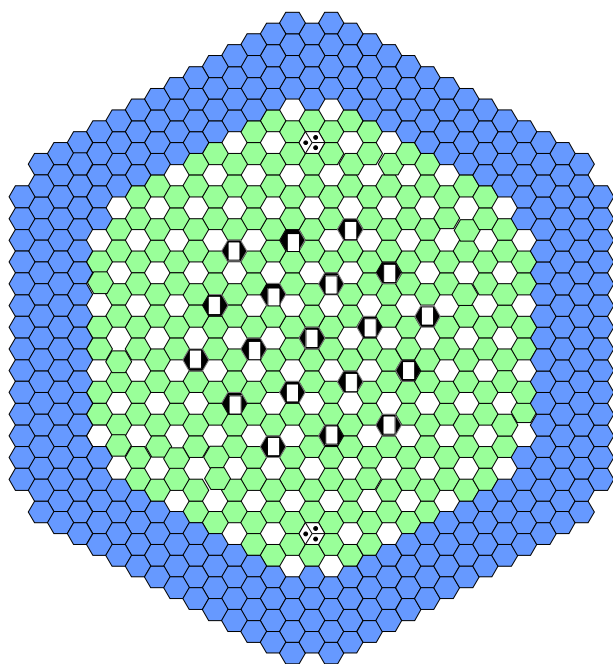
以上



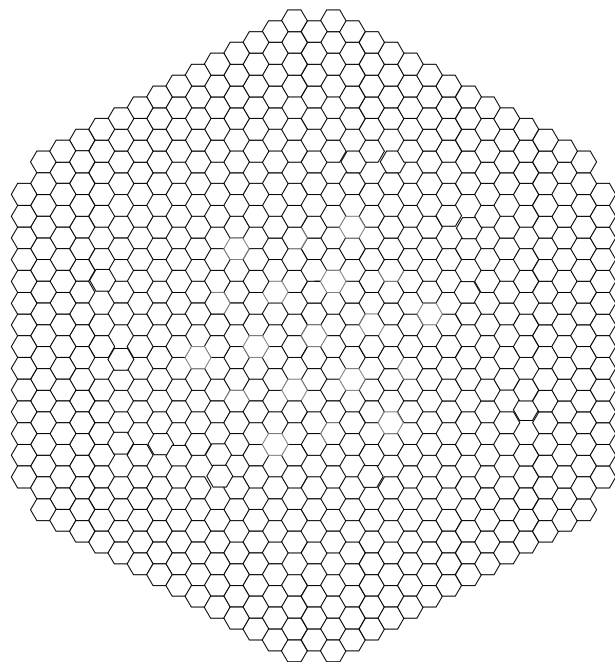
廃止措置開始時
(2017.4)



しゃへい体等取出し作業完了後

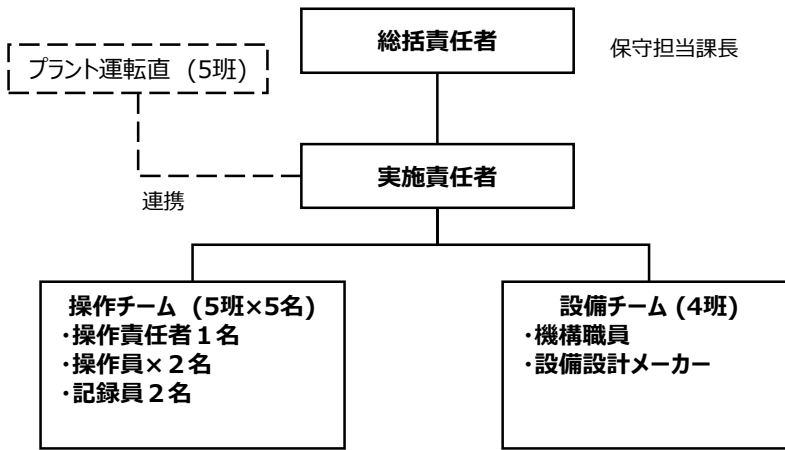


第1段階終了時の炉心

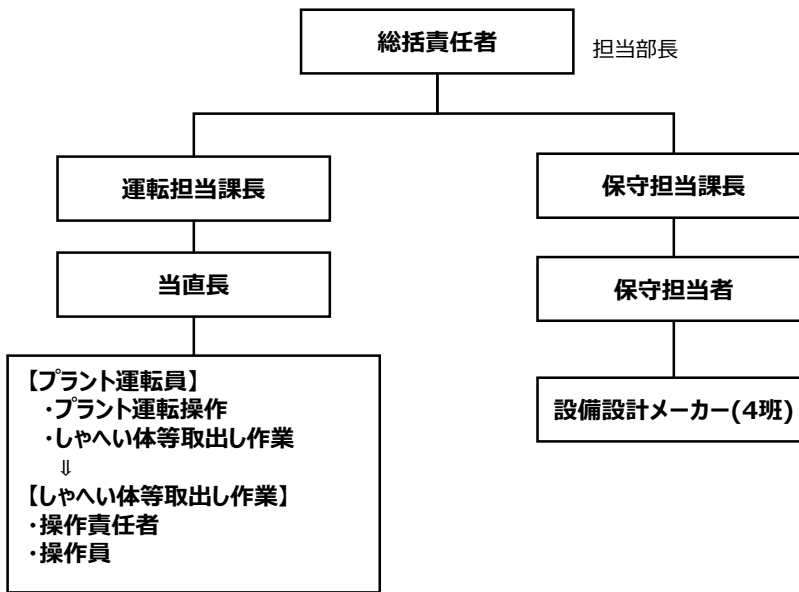


しゃへい体等取出し作業完了後

- : 制御棒集合体 (19体)
- ◇ : 中性子源集合体 (2体)
- : 模擬燃料体、固定吸収体 (246体)
- : 中性子しゃへい体 (316体)、
サーベイランス集合体 (8体)
(注：炉内ラックにサーベイランス集合体 (4体) あり)
- : 空き箇所

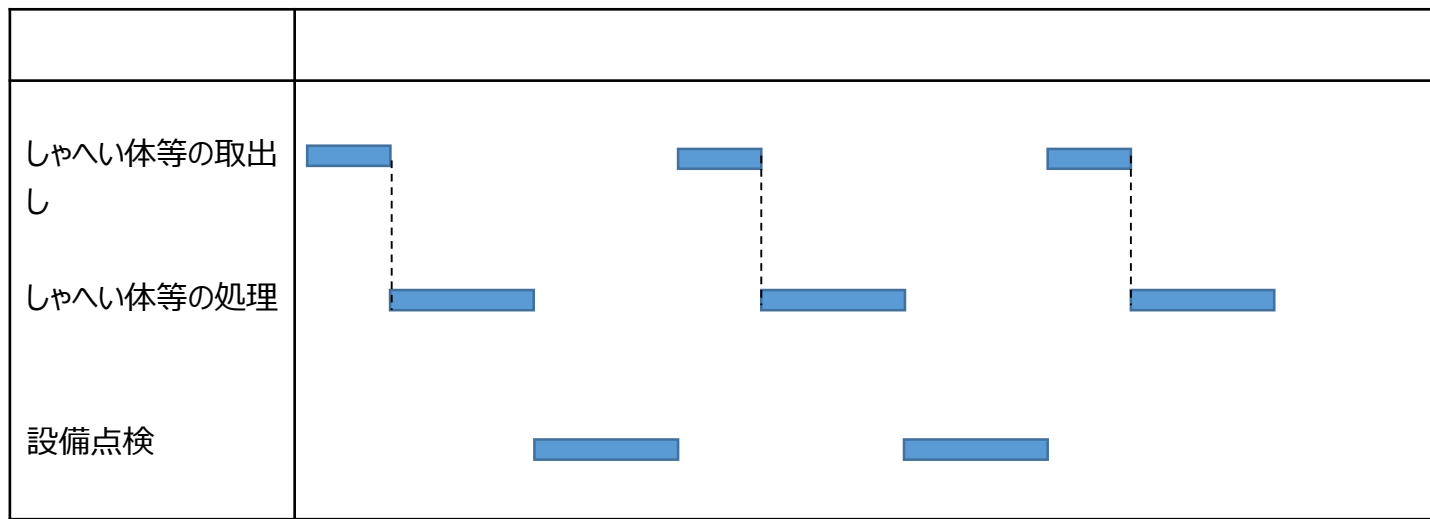


燃料体取出し作業体制（現状）



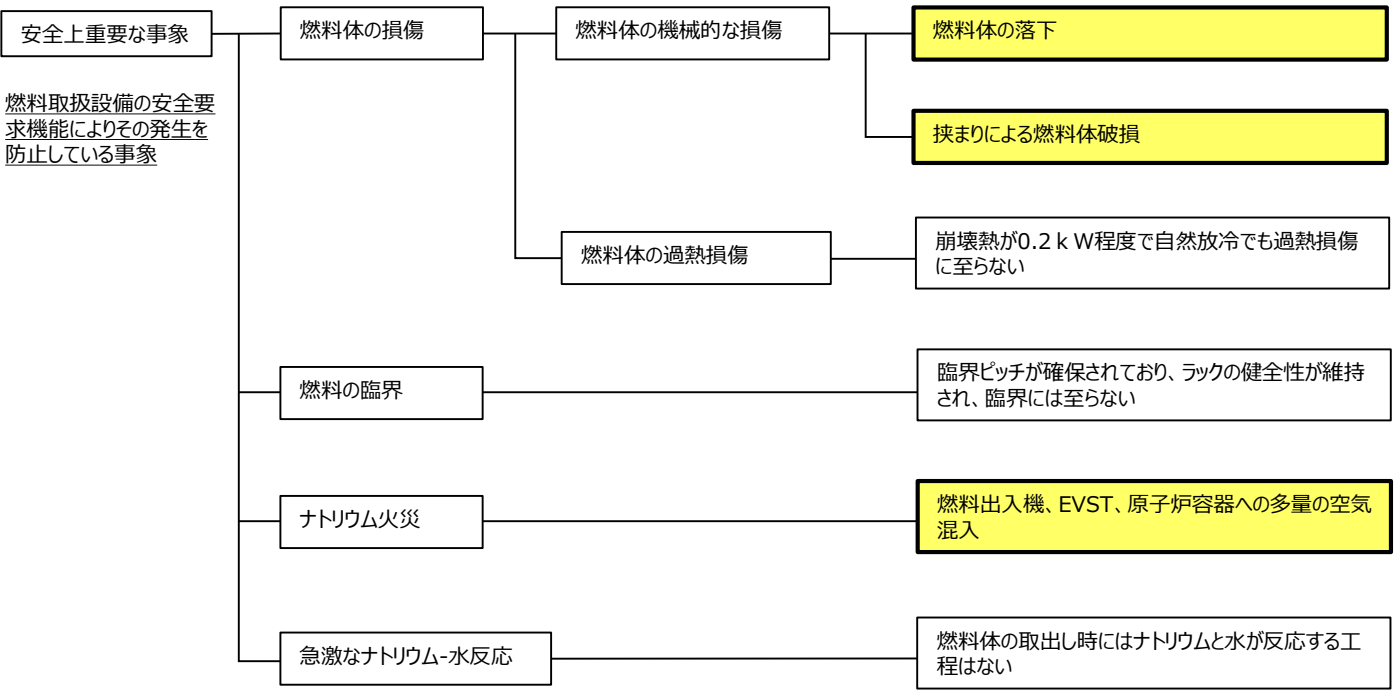
しゃへい体等取出し作業体制

第3-1図 しゃへい体等取出し作業体制（案）



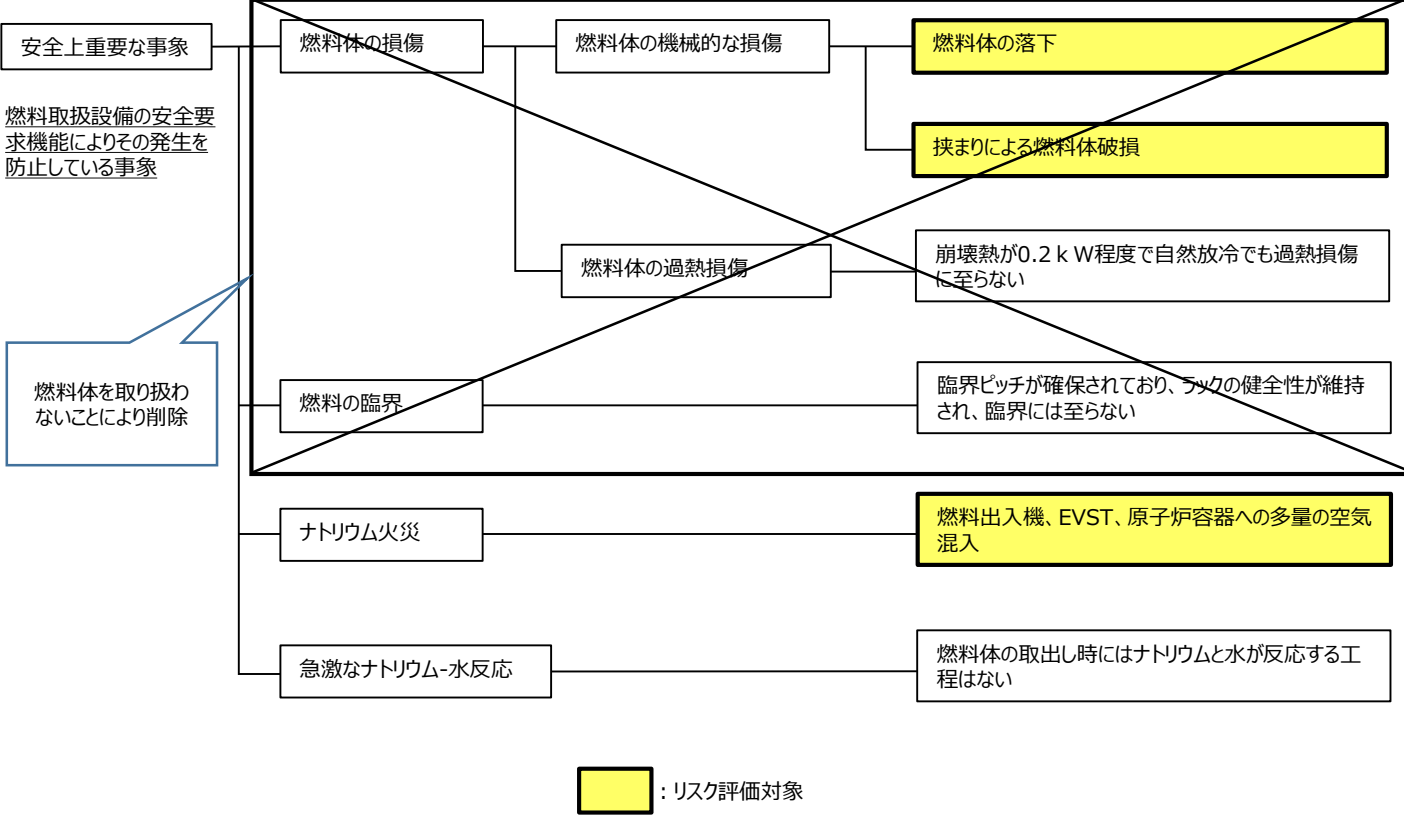
第4-1図 しゃへい体等取出し作業工程（イメージ）

燃料体取出し



■ : リスク評価対象、リカバリープランの作成対象

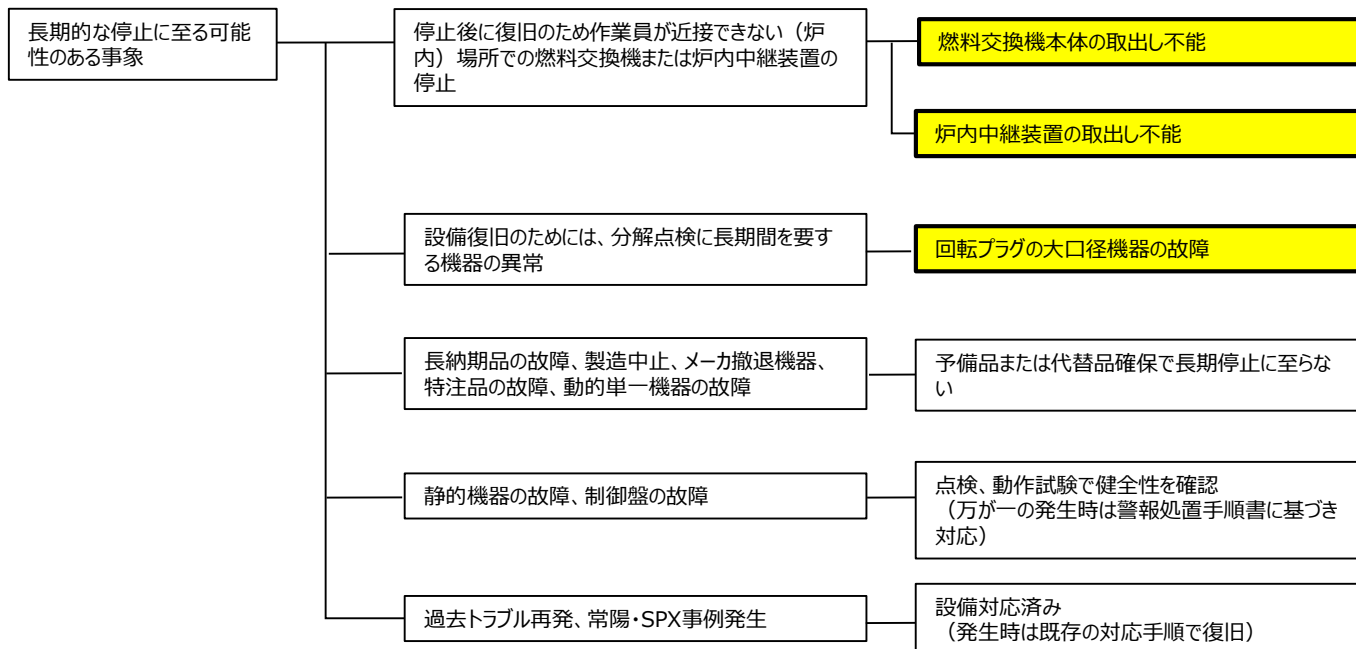
しゃへい体等取出し



■ : リスク評価対象

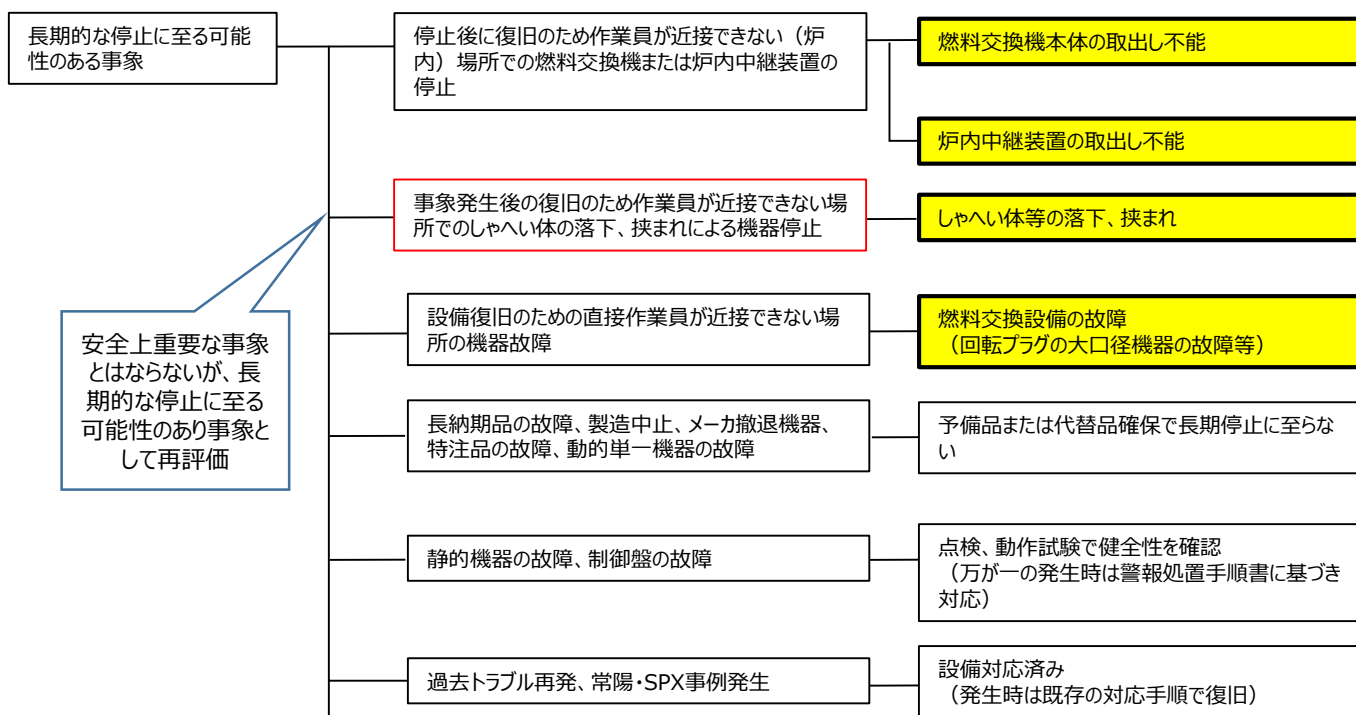
第5.2-1図 しゃへい体等取出し作業（しゃへい体等の取出し）で評価すべき事象
① 安全上重要な事象（事故）の選定

燃料体の取出し



: リスク評価対象、リカバリープランの作成対象

しゃへい体等の取出し

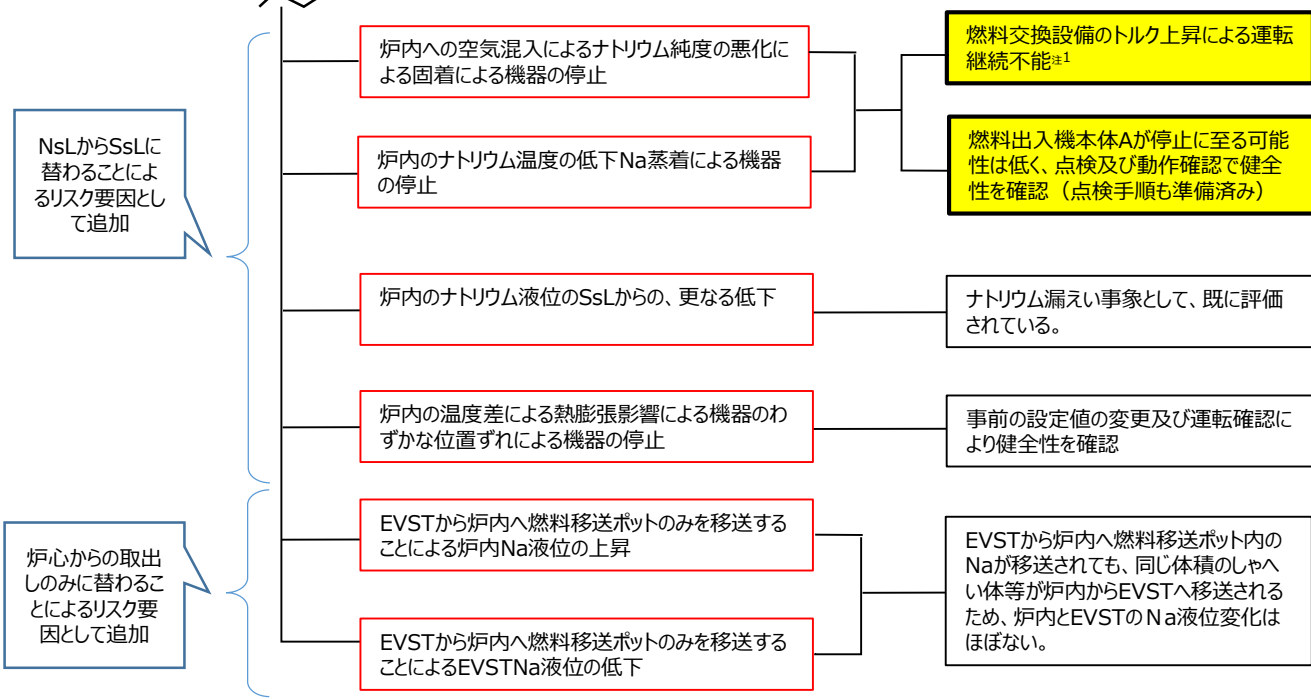


安全上重要な事象とはならないが、長期的な停止に至る可能性のある事象として再評価

次ページへ

第5.2-2図 しゃへい体等取出し作業（しゃへい体等の取出し）で評価すべき事象
② 長期的な停止に至る可能性のある事象の選定（1/2）

前ページから

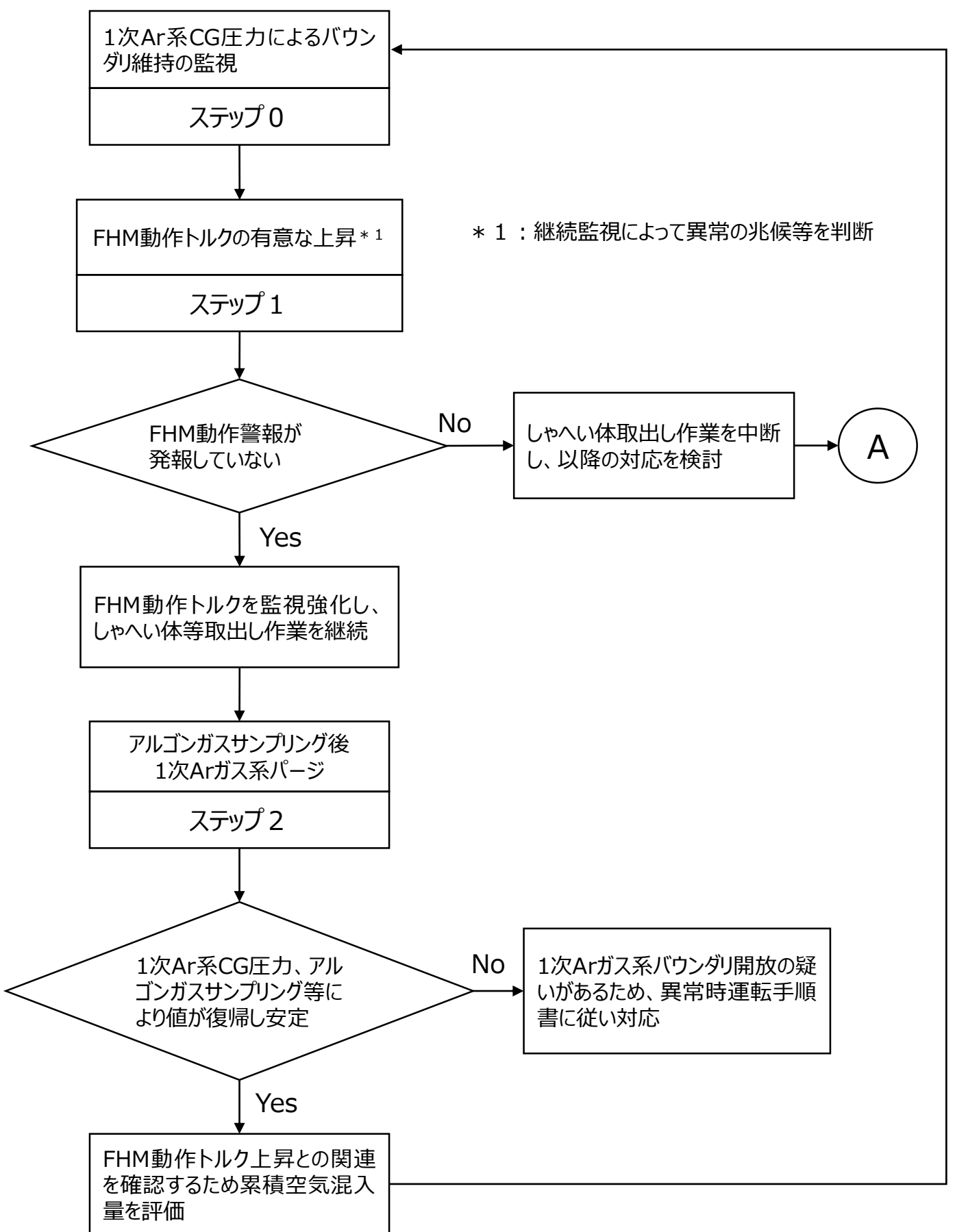


: 環境の変化等により新たに顕在化する可能性があるとして評価した事象

: リスク評価対象

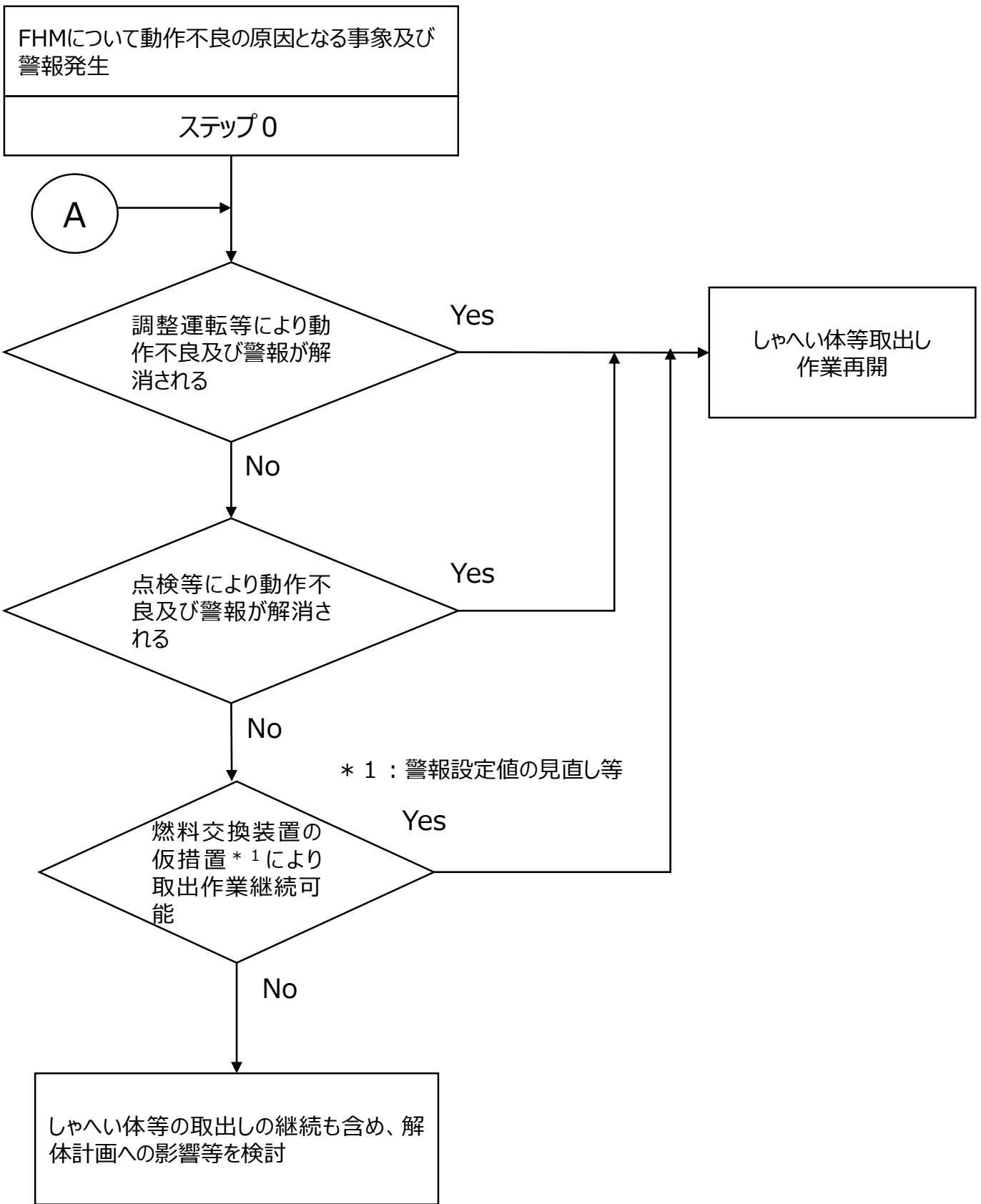
注1： 燃料交換設備の故障の場合は、長期的な停止に至る可能性のある事象として整理済み。

第5.2-2図 しゃへい体等取出し作業（しゃへい体等の取出し）で評価すべき事象
② 長期的な停止に至る可能性のある事象の選定（2/2）

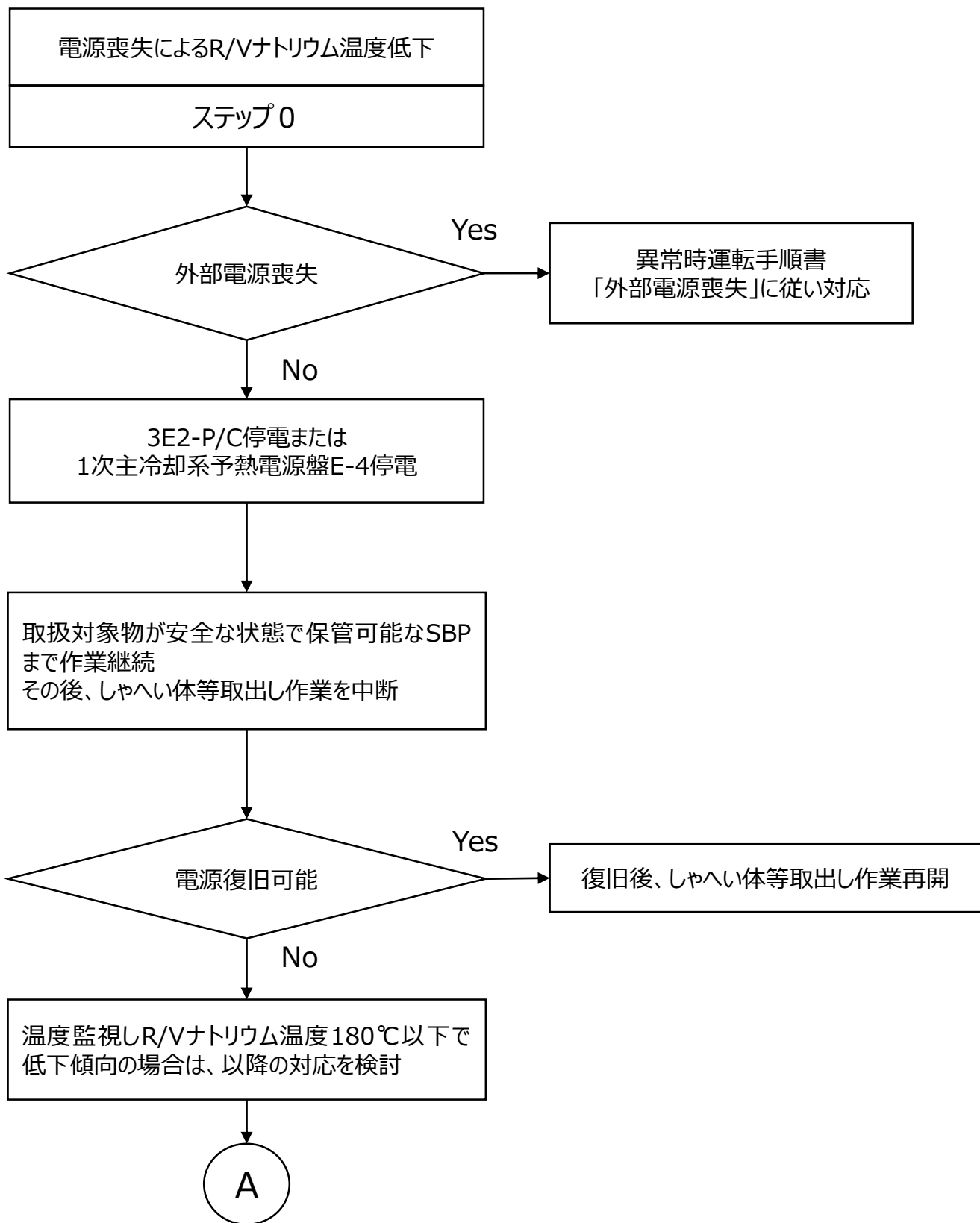


注：しゃへい体等の取出し中断以降の対応は「燃料交換装置の動作不良時の対応フロー」に従う

第5.2-3図 原子炉容器ナトリウム純度悪化時の対応フロー（例）

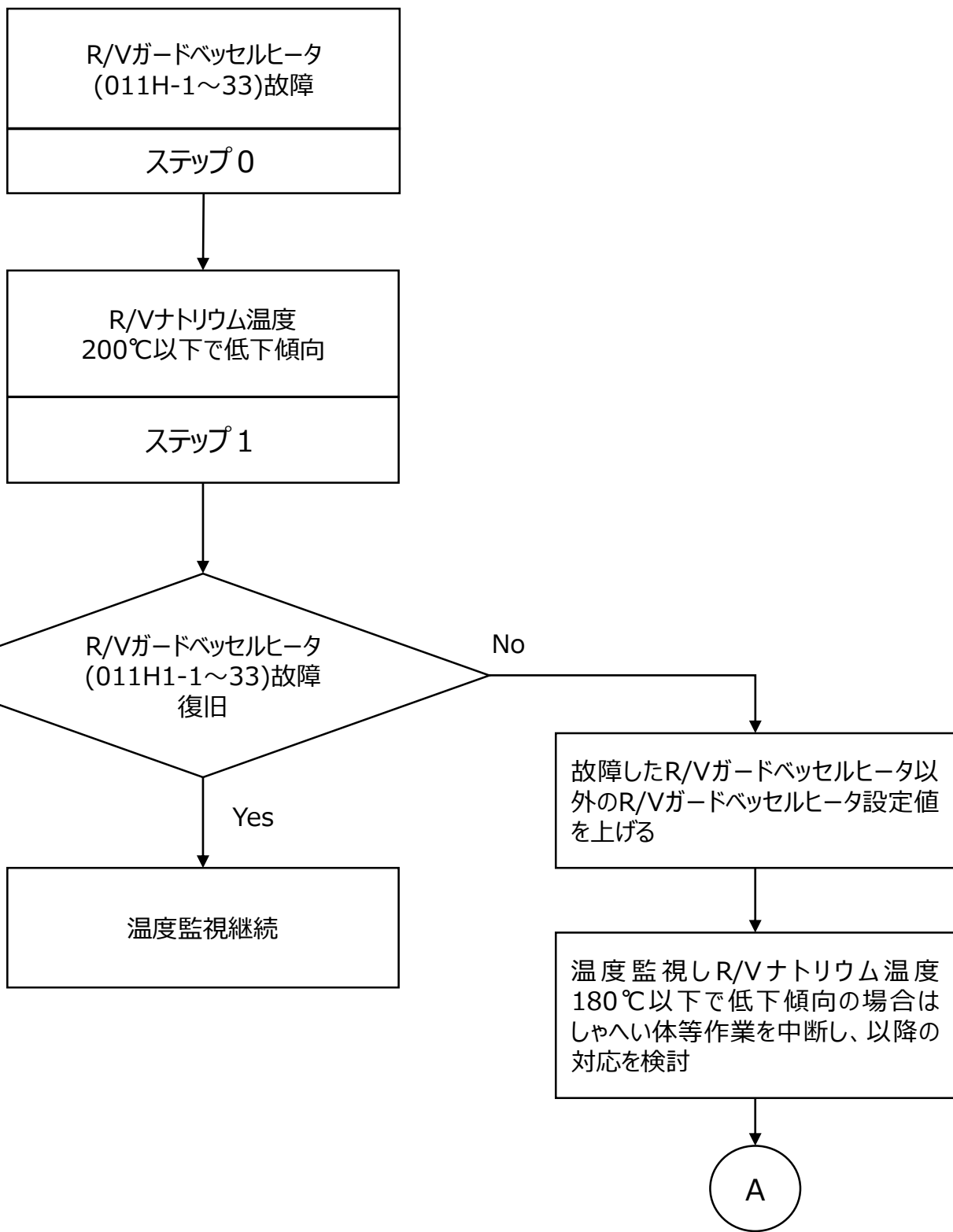


第5.2-4図 燃料交換装置の動作不良時の対応フロー（例）



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

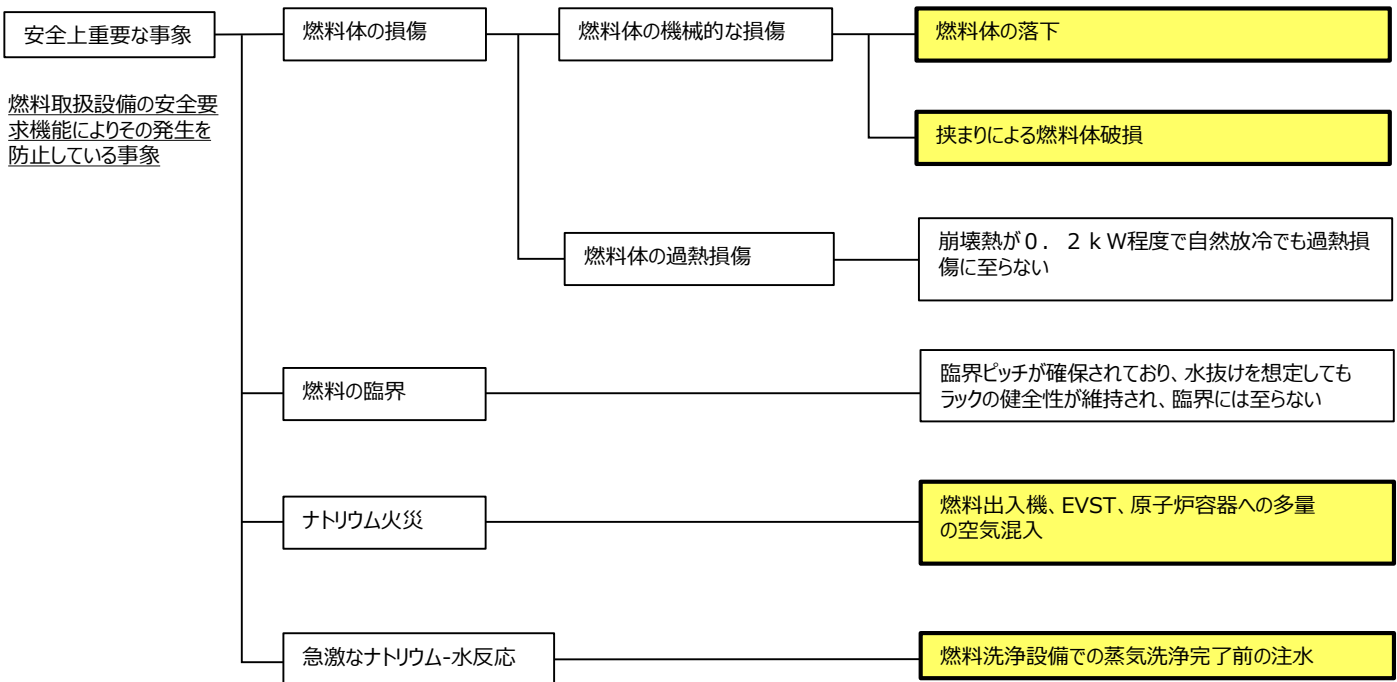
第5.2-5図 原子炉容器ナトリウム温度低下時の対応フロー（例）
（電源喪失によるR/Vナトリウム温度低下）



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

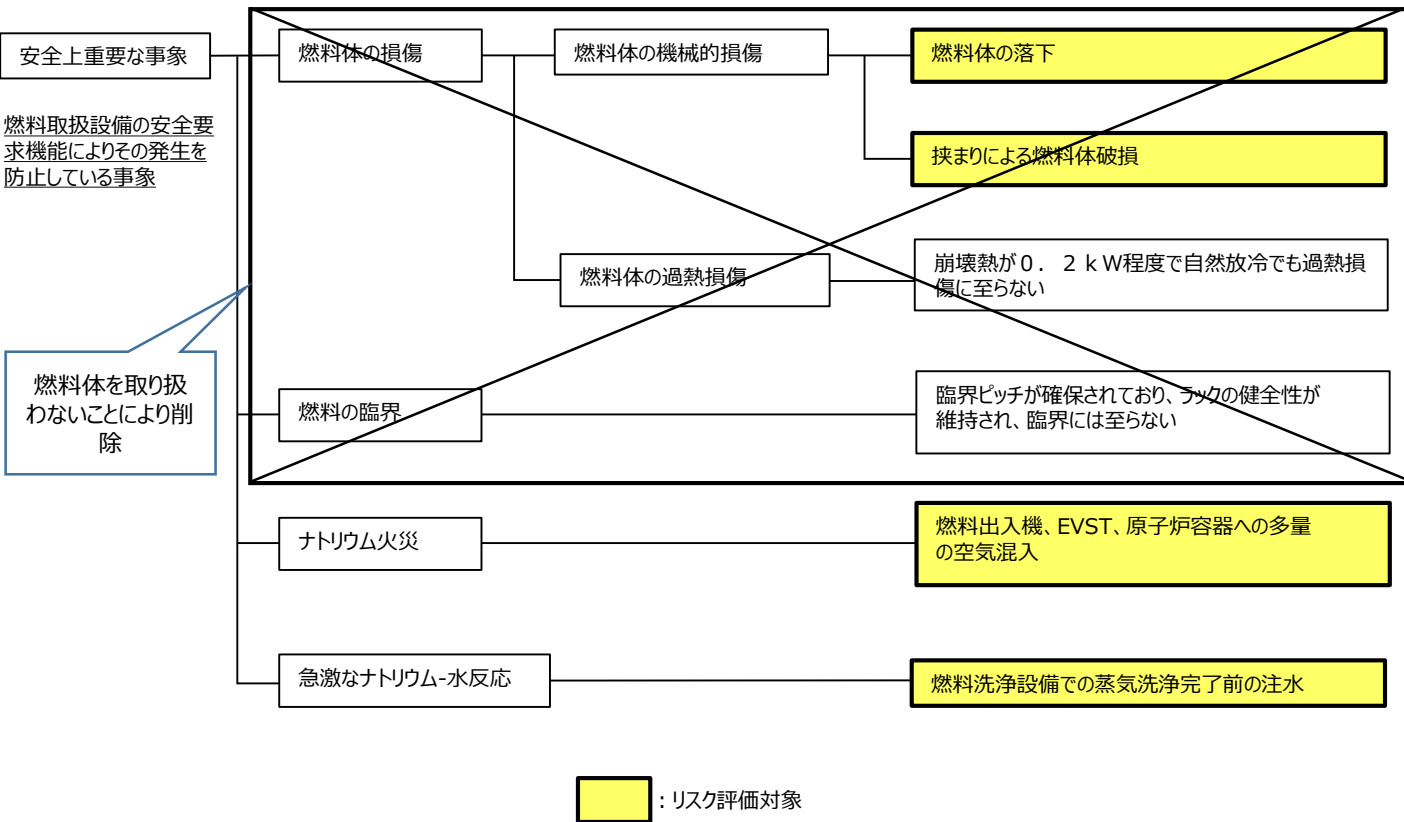
第5.2-6図 原子炉容器ナトリウム温度低下時の対応フロー（例）
（予熱ヒータ故障によるR/Vナトリウム温度低下）

燃料体の処理



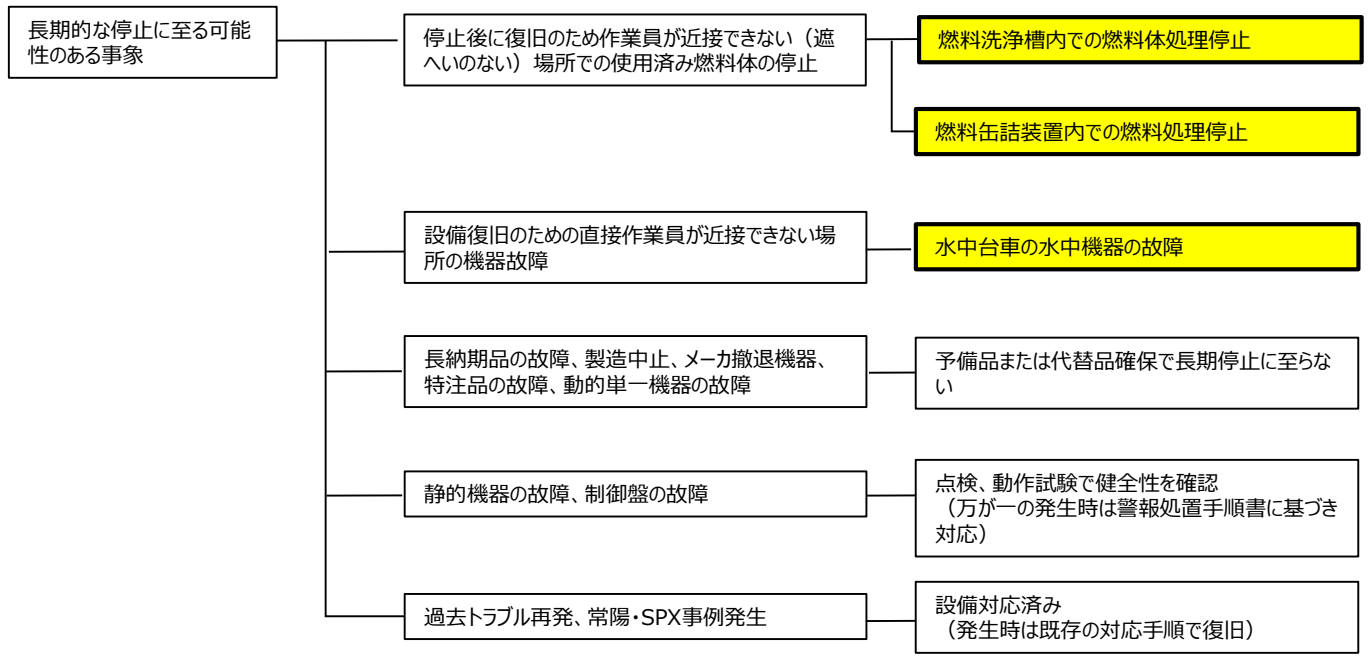
■ : リスク評価対象、リカバープランの作成対象

しゃへい体等の処理



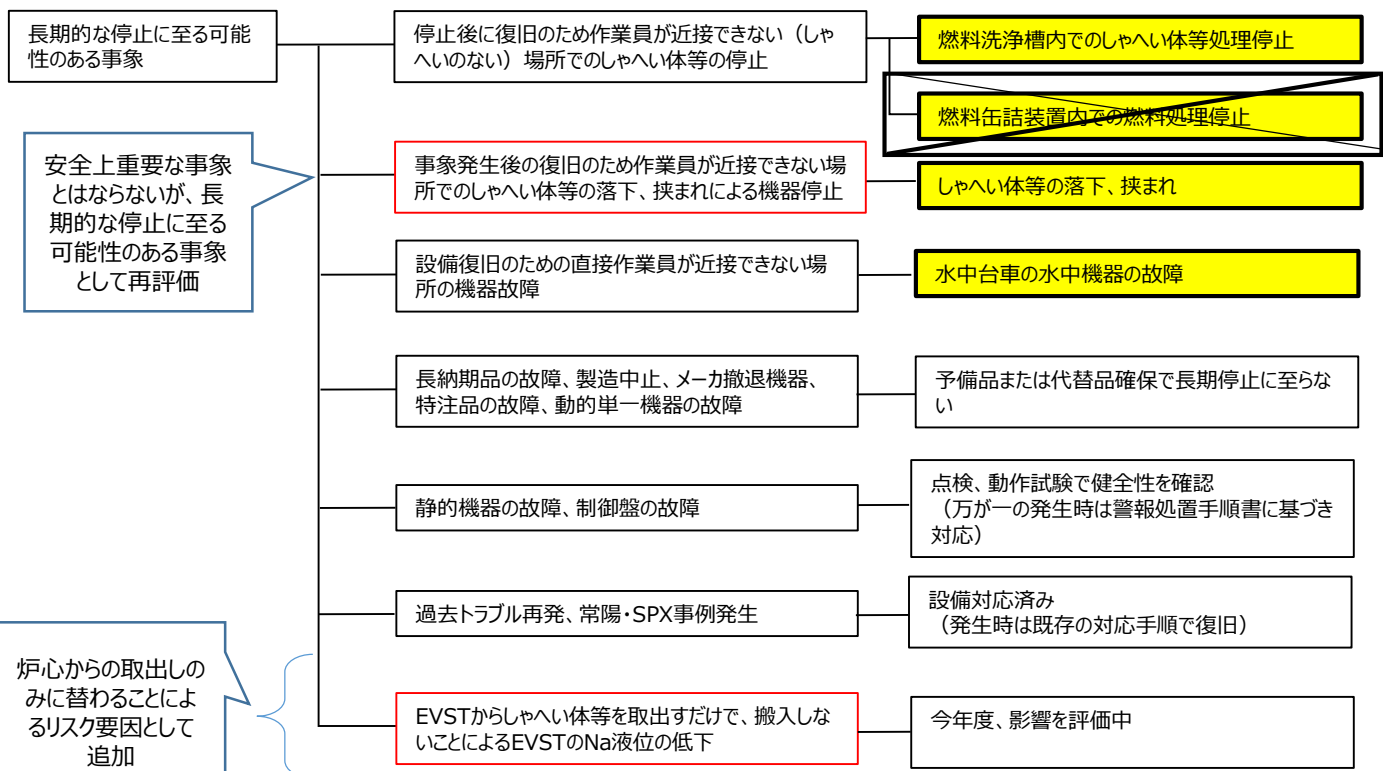
第5.2-7図 しゃへい体等取出し作業（しゃへい体等の処理）で評価すべき事象
① 安全上重要な事象（事故）の選定

燃料体の処理



: リスク評価対象、リカバリープランの作成対象

しゃへい体等の処理

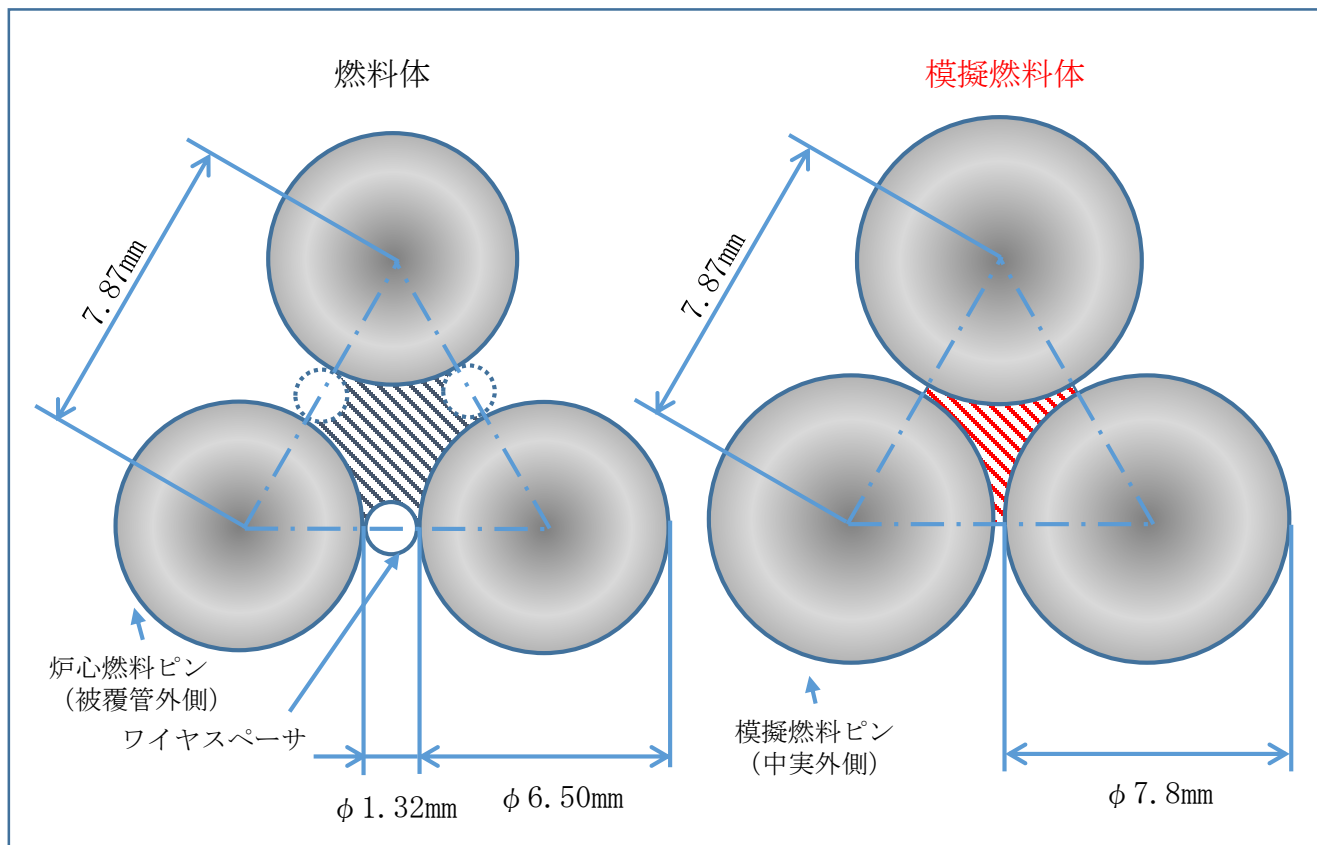
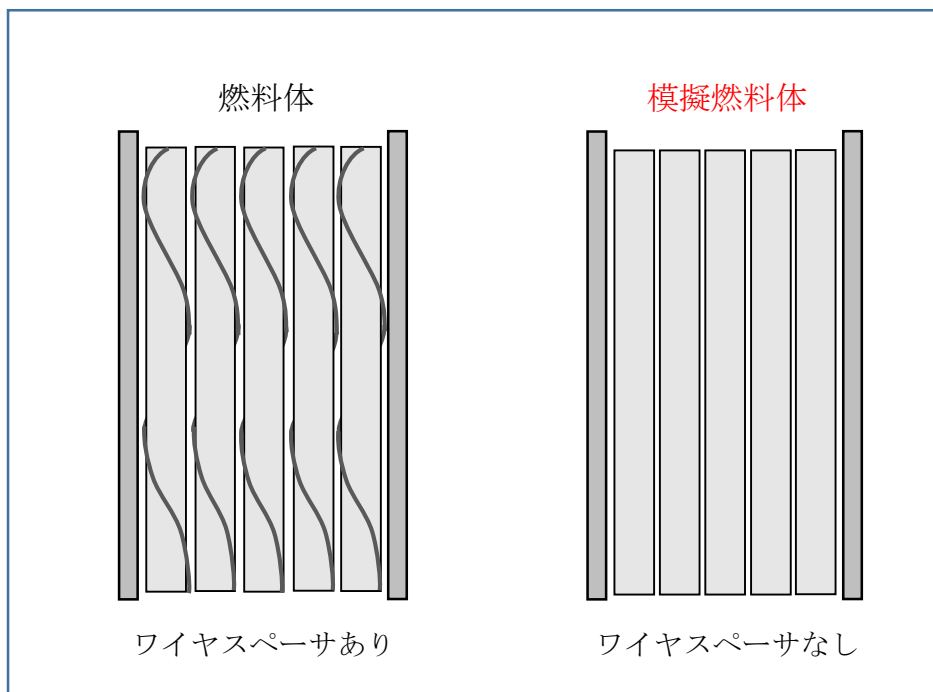


: 環境の変化等により新たに顕在化する可能性があると評価した事象

: リスク評価対象

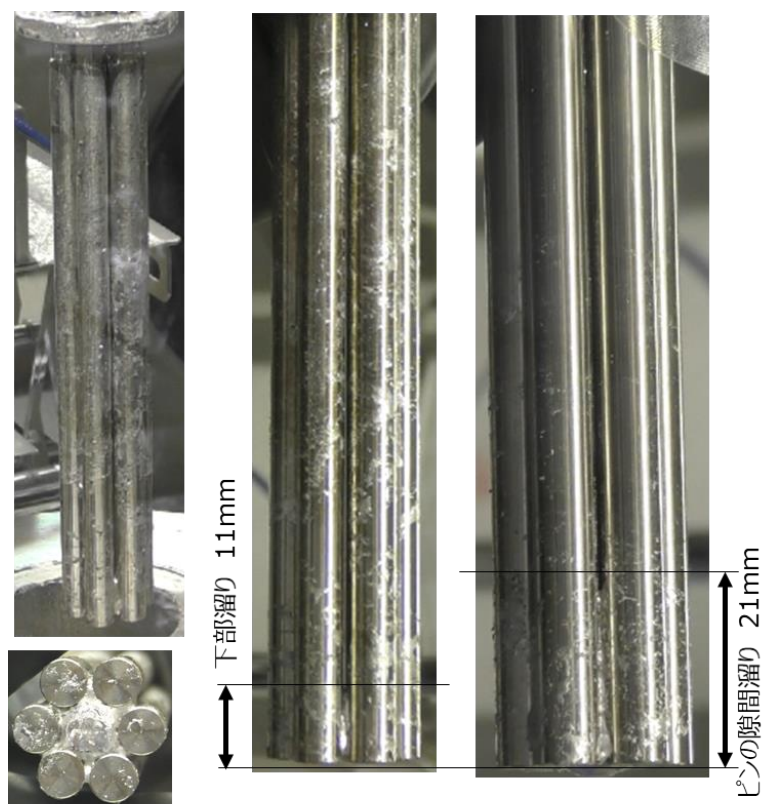
第5.2-8図 しゃへい体等取出し作業 (しゃへい体等の処理) で評価すべき事象
②長期的な停止に至る可能性のある事象の選定

＜ワイヤスペーサの有無によるNa流路部分のイメージ＞

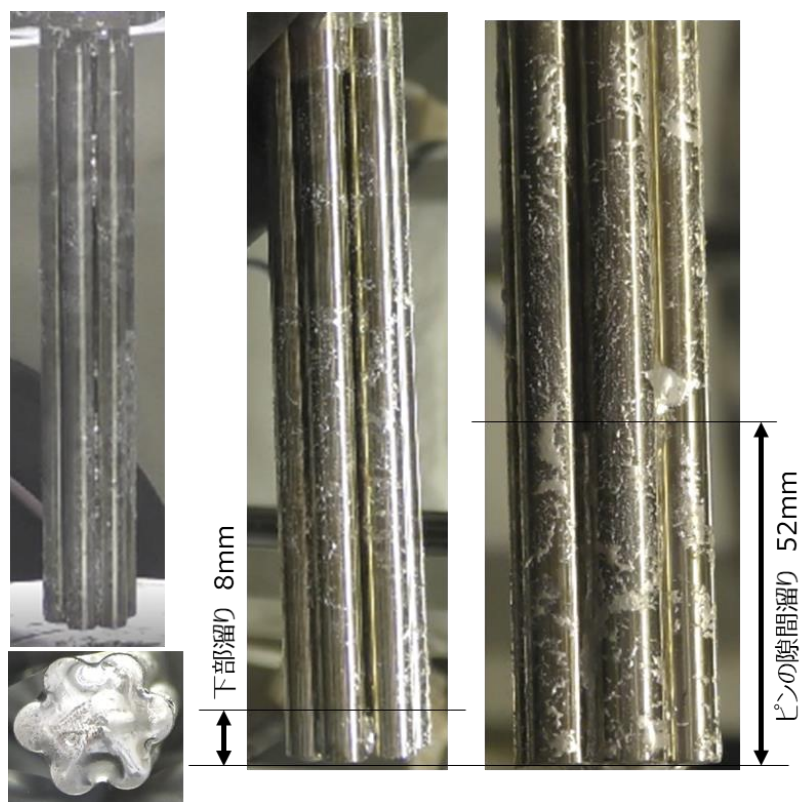


第7-1図 燃料体及び模擬燃料体の断面の比較

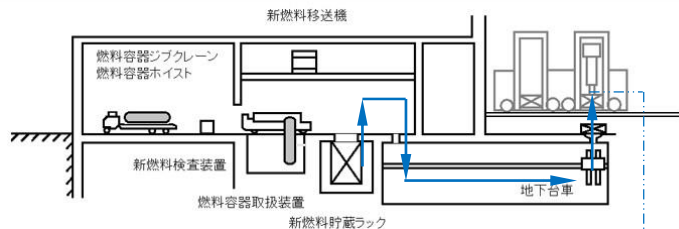
ピン間ギャップ0.5mm、引上速度約2mm/s



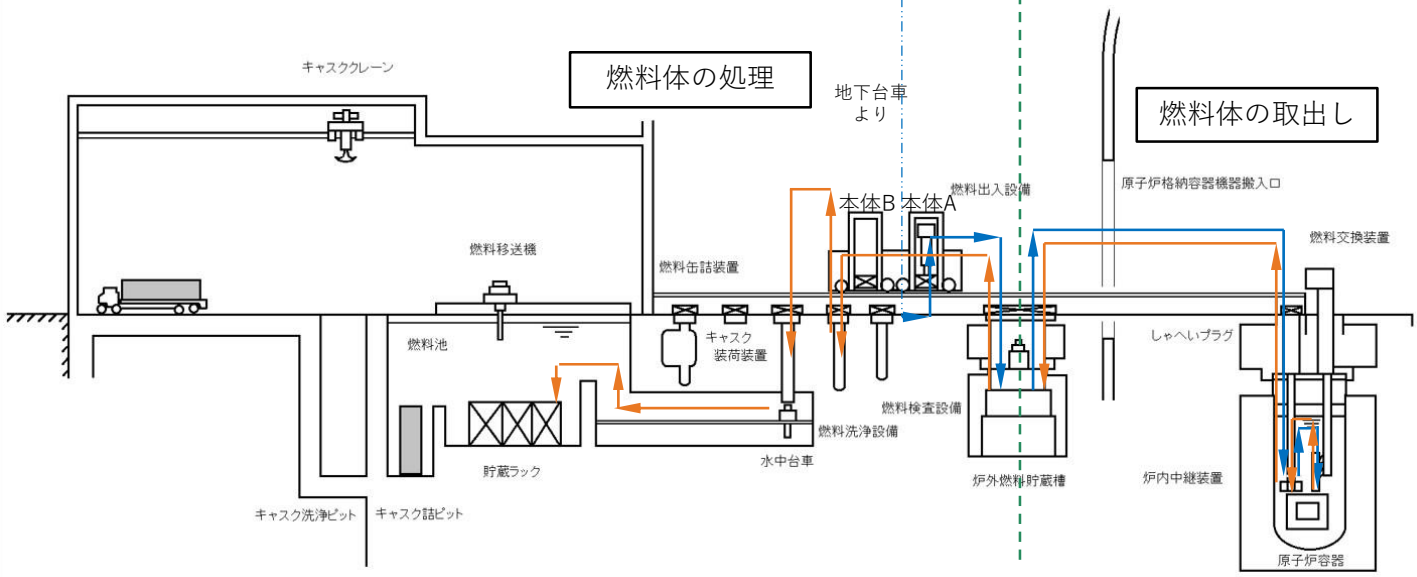
ピン間ギャップ0.5mm、引上速度約100mm/s



第7-2図 単体要素試験結果 (200°Cナトリウム浸漬後の例)



新燃料の移送経路



・上図は、新燃料の新燃料貯蔵ラックから炉心までの移送経路及び使用済燃料の炉心から燃料池貯蔵ラックまでの移送経路を示す。

【新燃料の移送】

- ①新燃料移送機で新燃料貯蔵ラックから地下台車へ移送
- ②地下台車で燃料出入設備本体Aへ移送し、燃料出入設備本体Aで炉外燃料貯蔵槽へ移送
- ③燃料出入設備本体Aで炉外燃料貯蔵槽から炉内中継装置へ移送
- ④燃料交換装置で炉内中継装置から炉心へ移送

【使用済燃料の移送】

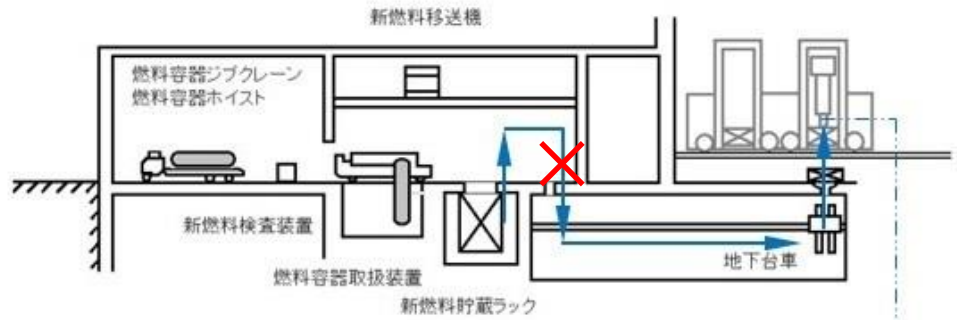
- ①燃料交換装置で炉心から炉内中継装置へ移送
- ②燃料出入設備本体Aで炉内中継装置から炉外燃料貯蔵槽へ移送
- ③燃料出入設備本体Aで炉外燃料貯蔵槽から燃料洗浄設備（ナトリウム洗浄）へ移送
- ④燃料出入設備本体Bで燃料洗浄設備から水中台車へ移送
- ⑤水中台車で燃料池へ移送
- ⑥燃料移送機で水中台車から燃料池貯蔵ラックへ移送

	新燃料 貯蔵ラック	炉心	燃料池 貯蔵ラック
新燃料（体）	6	15	52
使用済燃料（体）	0	109	356
トータル（体）	6	124	408

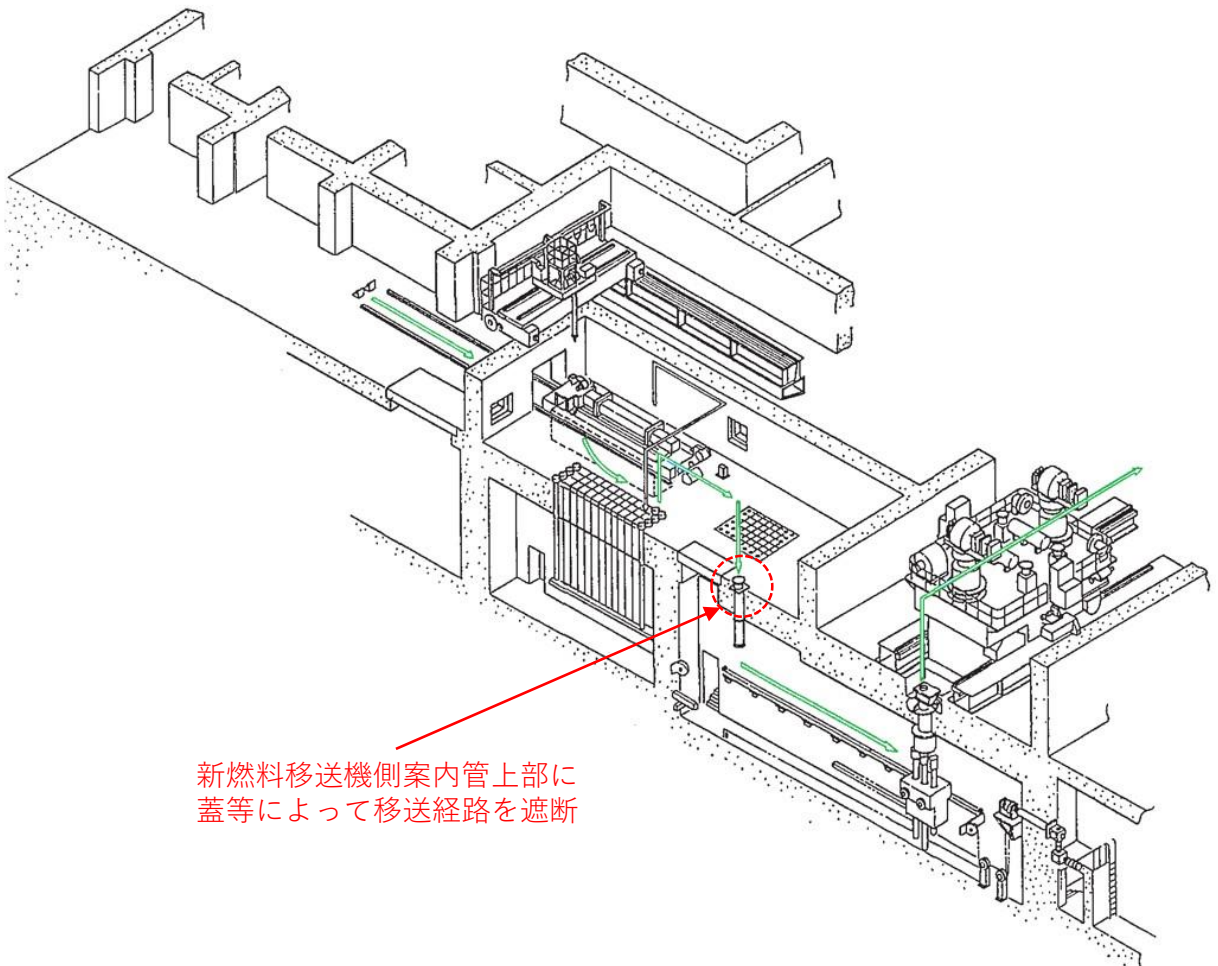
2021年10月末
現在の貯蔵体数

・現在、新燃料貯蔵ラック及び燃料池貯蔵ラックに燃料体が貯蔵されていることから、この2か所からの移送経路上「炉心に核燃料物質を装荷しないこと」の措置を実施する。

新燃料貯蔵ラックからの燃料体移送経路

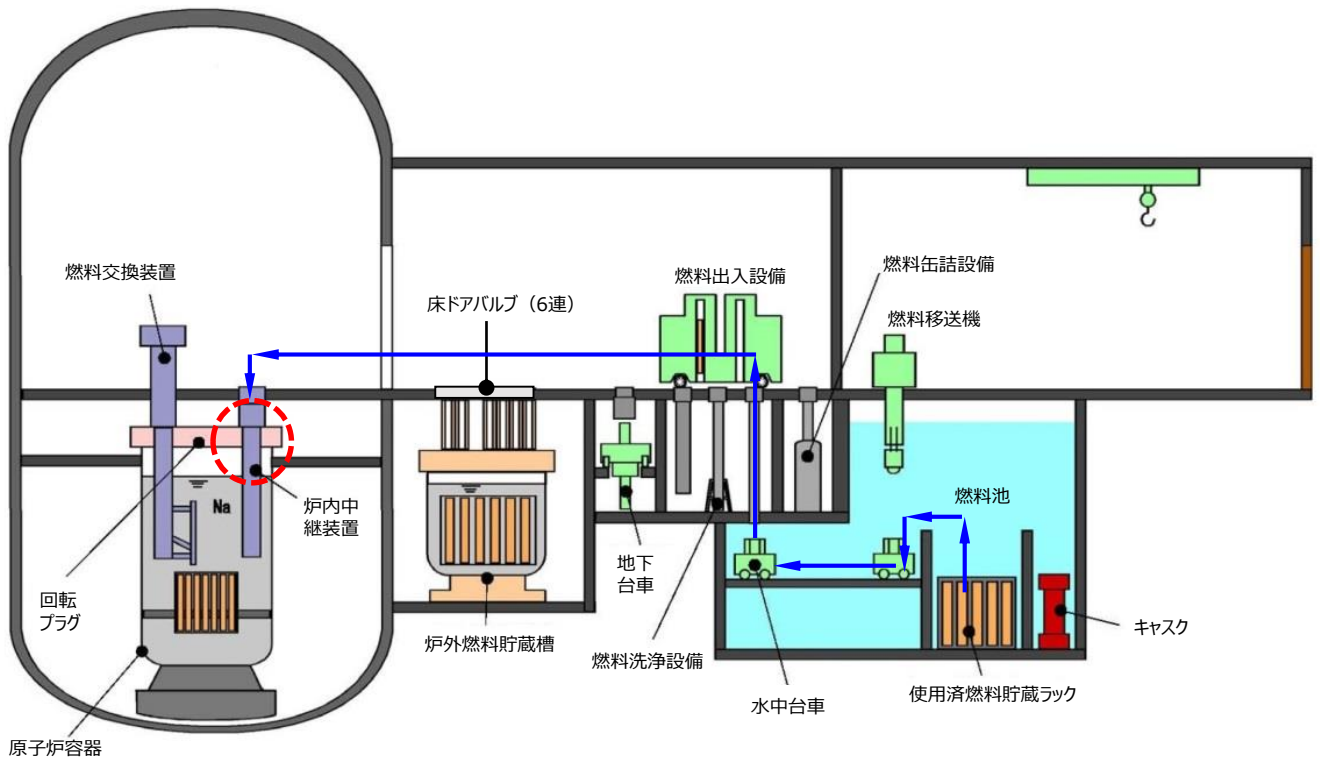


- ・新燃料移送機は、貯蔵している燃料体の保障措置上（IAEA査察等）使用するため、停止措置は実施できない
- ・地下台車は、しゃへい体等取出し等で使用するため、停止措置は実施できない
- ・新燃料貯蔵ラック上での恒久的措置は、保障措置（IAEA封印あり）上実施できない
- ・したがって、地下台車の新燃料移送機側案内管に蓋等によって移送経路を遮断することによって「炉心に核燃料物質を装荷しないこと」を担保する
- ・ただし、保障措置上（IAEA査察等）新燃料移送機側案内管を使用するため（放射線計測）取外し可能なものとし、管理方法は保安規定第14条に定めるものとする



新燃料移送機側案内管上部に蓋等によって移送経路を遮断

燃料池貯蔵ラックからの燃料体移送経路
(取出しの逆経路で炉心へ移送)



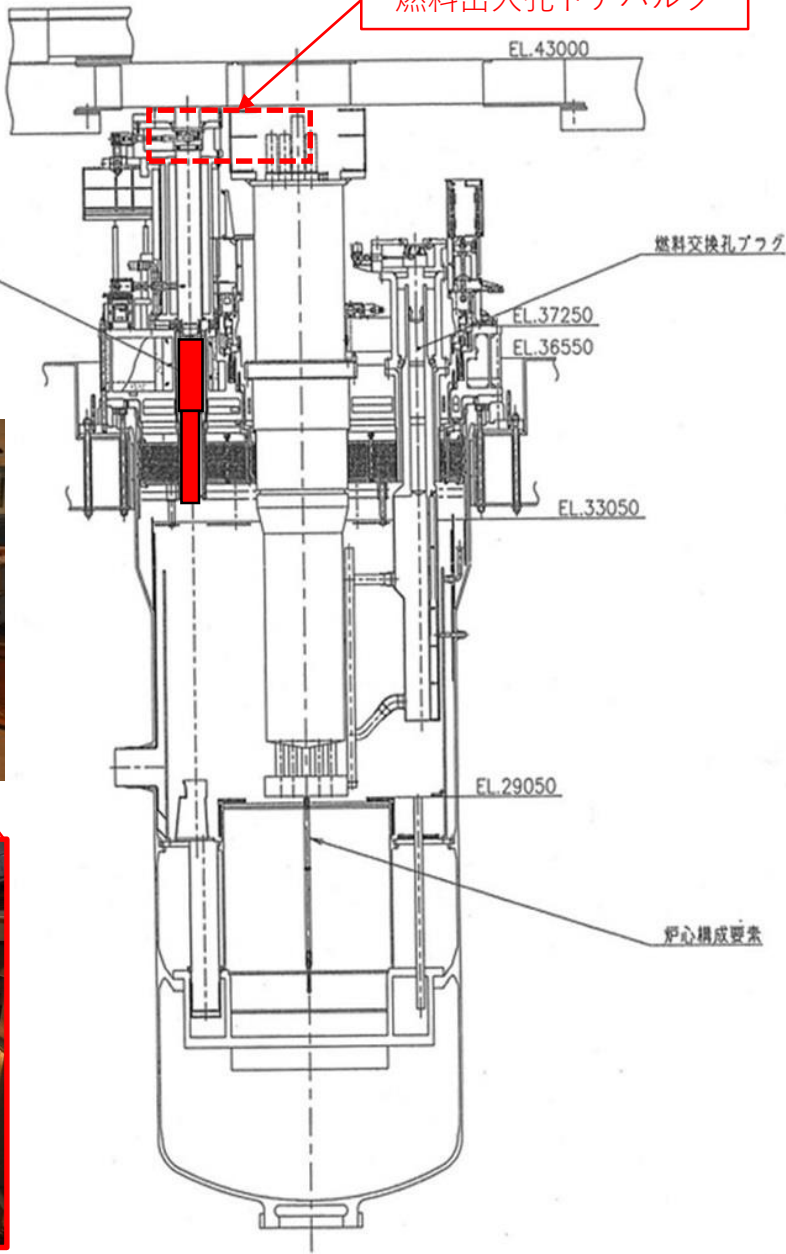
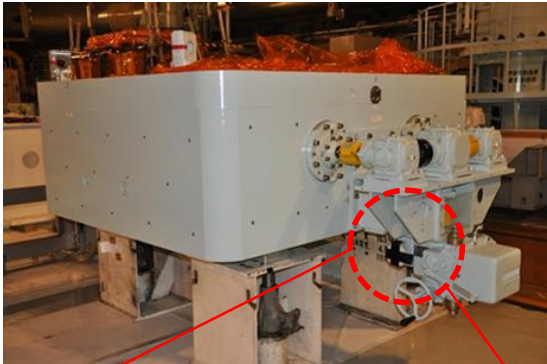
- ・燃料交換装置、回転プラグ、炉内中継装置、燃料出入設備、水中台車及び燃料移送機は、しゃへい体等取出し作業で使用するため、停止措置は実施できない
- ・自動化運転では、燃料池貯蔵ラックから燃料体を取り出し炉心側に移送することはできない
- ・手動運転においても、物理的及びインターロック上燃料池貯蔵ラックから燃料体を取り出し炉心側に移送することはできない（参考資料参照）
- ・したがって、燃料体の移送経路上、必ず「燃料出入孔」を通過することから、しゃへい体等取出し時（しゃへい体等の炉心からの取出し時）以外は「燃料出入孔ドアバルブ」が「開」できない措置を行い、「燃料出入孔プラグ」が取出せない状態を保持することで「炉心に核燃料物質を装荷しないこと」を担保する。
- ・ただし、しゃへい体等取出し時（しゃへい体等の炉心からの取出し時）は、燃料出入孔ドアバルブを開とし燃料出入孔プラグを引き抜く必要があることから、上記措置を解除することで対応することとし、管理方法は保安規定第14条に定めるものとする。

燃料出入孔ドアバルブ

燃料出入孔プラグ

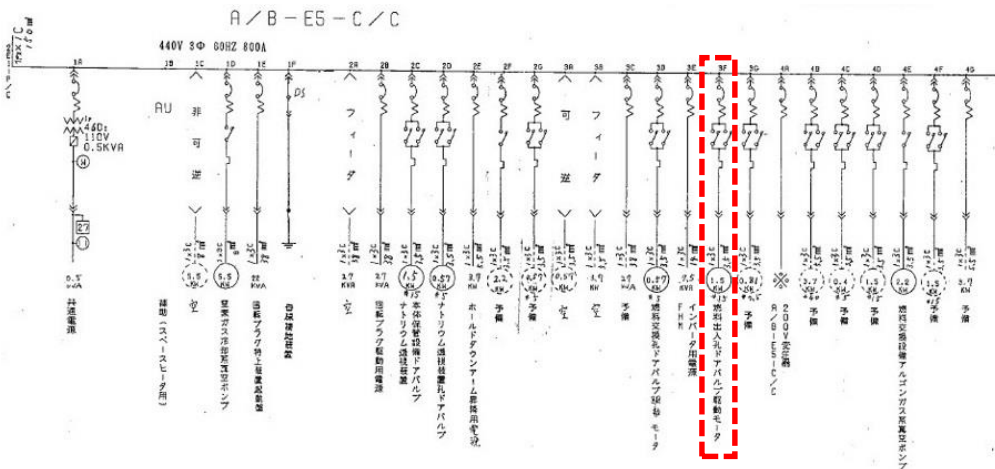
燃料交換孔プラグ

①手動ハンドルチェーンロック
(施錠管理)



炉心構成要素

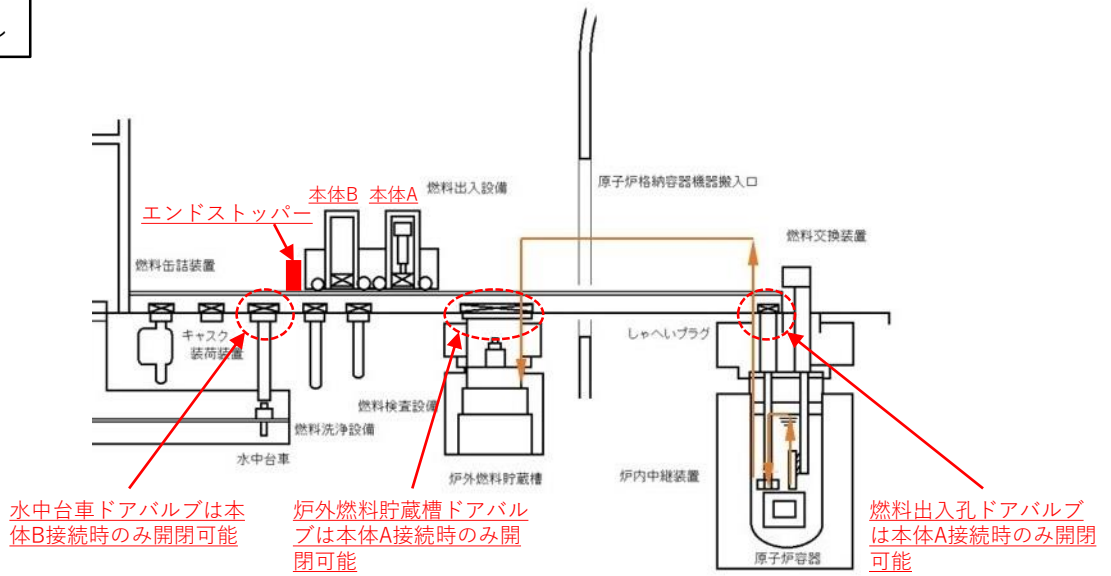
現場での据付状態



②駆動モータ電源「切り」(施錠管理)

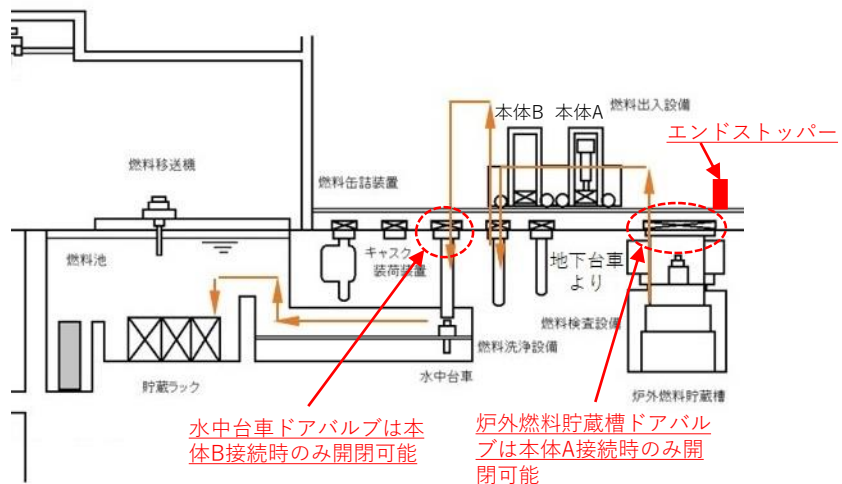
第8.3 - 1図 保安規定第 1 4 条 (原子炉の運転停止に関する恒久的な措置) の対する措置 (案) 4/5

燃料体の取出し



- ・ 燃料体の取出し時、エンドストッパーによって燃料出入設備は水中台車にアクセス不可であり、エンドストッパーを取外した場合燃料出入設備は走行不可
- ・ 燃料出入孔ドアバルブは本体A接続時のみ開閉可能であるため、燃料池貯蔵ラックから燃料体を炉心へ逆移送しようとした場合は水中台車に本体Aでアクセスする必要があるが、水中台車ドアバルブは本体B接続時のみ開閉可能

燃料体の処理



- ・ 燃料体の処理時、エンドストッパーによって燃料出入設備は炉内中継装置にアクセス不可であり、エンドストッパーを取外した場合燃料出入設備は走行不可
- ・ 燃料出入孔ドアバルブは本体A接続時のみ開閉可能であるため、燃料池貯蔵ラックから燃料体を炉心へ逆移送しようとした場合は水中台車に本体Aでアクセスする必要があるが、水中台車ドアバルブは本体B接続時のみ開閉可能

第5.2-1表 長期停止に至る可能性のある事象（例）（炉内環境の悪化）

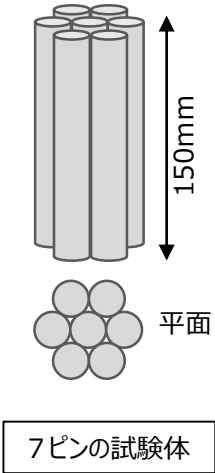
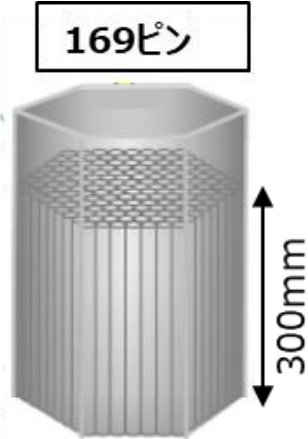
長期停止に至るリスク事象	リスク事象に至る直接事象	直接事象に至る代表要因	左記要因の発生可能性		影響度評価*1	対策重要度評価*2	対策方法	リカバリープラン概要	備考	
			評価*1	(上段は自動・連動運転時、下段は単独運転時)						
燃料交換設備の運転継続不可	炉内ナトリウムの純度が悪化することにより、機器摺動部の摩擦等の上昇により機器が停止する。	爪開閉ロッドと感知ロッド（2重管部）の間隙にNa不純物の固着	小	バウンダリーの破損等がない限り、大量の空気混入の可能性はなく、純度悪化の可能性は低い。	大	B	機器動作中のトルク監視を行う。固着による動作不良時は、治具による復旧を試みる。発生時の対応フローを準備するとともに、リカバリープランを作成する。	動作トルクが警報値を超える恐れがあり、トルク値が上昇傾向の場合は、しゃへい体取出し作業を中断し、燃料交換機の取外し、点検、洗浄等を行ったうえで、継続の可否を判断する。		
			小	バウンダリーの破損等がない限り、大量の空気混入の可能性はなく、純度悪化の可能性は低い。	大	B	機器動作中のトルク監視を行う。固着による動作不良時は、治具による復旧を試みる。発生時の対応フローを準備するとともに、リカバリープランを作成する。			
		中	グリッパ爪駆動部の開閉動作は、200℃のNa内での動作となるため、発生の可能性は低い。	中	B	グリッパは定期的な点検洗浄及び性能試験を実施する。固着による動作不良時は治具による復旧を試みる。発生時の対応フローを準備するとともにリカバリープランを作成する。				
		中	グリッパ爪駆動部の開閉動作は、200℃のNa内での動作となるため、発生の可能性は低い。	中	B	グリッパは定期的な点検洗浄及び性能試験を実施する。固着による動作不良時は治具による復旧を試みる。発生時の対応フローを準備するとともにリカバリープランを作成する。				
燃料交換設備の運転継続不可	炉内のナトリウム温度が下がり、燃料交換設備へのNaミストが固着し、機器摺動部の摩擦等の上昇により機器が停止する。	ヒータ電源の喪失	極小	電源盤の故障を考慮する。	小	受容リスク			外部電源喪失の場合の復旧要領は、準備されている。	
			極小	電源盤の故障を考慮する。	小	受容リスク				
		ヒータの故障による炉内のナトリウムの温度維持不能	極小	ヒータは複数あり、温度維持ができなくなるほどの同時故障がおきる可能性は低い。	大	C	ヒータは定期的な点検（電気試験）・性能試験を実施する。			
			極小	ヒータは複数あり、温度維持ができなくなるほどの同時故障がおきる可能性は低い。	大	C	ヒータは定期的な点検（電気試験）・性能試験を実施する。			
燃料出入機の運転継続不可	炉内ナトリウムの純度が悪化することにより、機器摺動部の摩擦等の上昇により、機器が停止する。	Na不純物のグリッパ爪駆動部へのNa不純物の付着	小	グリッパ爪駆動部の開閉動作は、200℃のNa内での動作となるため、発生の可能性は低い。	中	C	グリッパ爪駆動部は、点検（外観点検、機能・性能試験）にて健全性を確認する。			
			小	グリッパ爪駆動部の開閉動作は、200℃のNa内での動作となるため、発生の可能性は低い。	中	C	グリッパ爪駆動部は、点検（外観点検、機能・性能試験）にて健全性を確認する。			
	炉内のナトリウム温度が下がり、燃料出入機へNaミストが固着し、機器摺動部の摩擦等の上昇により、機器が停止する。	ヒータ電源の喪失	極小	電源盤の故障を考慮する。	小	受容リスク			外部電源喪失の場合の復旧要領は、準備されている。	
			ヒータの故障による炉内のナトリウムの温度維持不能	極小	ヒータは複数あり、温度維持ができなくなるほどの同時故障がおきる可能性は低い。	大	C			ヒータは定期的な点検（電気試験）・性能試験を実施する。
				極小	ヒータは複数あり、温度維持ができなくなるほどの同時故障がおきる可能性は低い。	大	C			ヒータは定期的な点検（電気試験）・性能試験を実施する。

*1：大、中、小、極小、不要の5段階

*2：A、B、C、受容の4段階

対策重要度評価による対応は以下の通り

A：設計対応を検討、B：標準補修要領の整備またはリカバリープランの立案、C：点検等での対応

試験名	目的	試験内容	試験結果										
1.要素試験	現象の把握 (側面に付着するナトリウム量、流路間に残留するナトリウム量等)	<p>模擬燃料体の要素を短尺にした試験体（1ピンと7ピン）を液体Naに浸漬後に引上げ、Naの付着状況の確認、予備的に残留量を算出</p> 	<p>・ナトリウム付着状況</p> <table border="1" data-bbox="843 223 1229 561"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>Na残留結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上部</td> <td>隙間から排出</td> </tr> <tr> <td>側面</td> <td>表面に付着</td> </tr> <tr> <td>下部</td> <td>隙間に残留</td> </tr> <tr> <td>底部</td> <td>付着</td> </tr> </tbody> </table> <p>・Na残留量 試験結果を基にピンの長さ、本数を等倍し外挿した結果、500g以上。 →2.集合体試験を実施し、残留量を正確に把握する。</p>	部位	Na残留結果	上部	隙間から排出	側面	表面に付着	下部	隙間に残留	底部	付着
部位	Na残留結果												
上部	隙間から排出												
側面	表面に付着												
下部	隙間に残留												
底部	付着												
2.集合体試験	残留ナトリウムを定量的に評価するためのデータ取得（ピンの長さによる狭隘部Na残留量の違い、径方向を実機相当に模擬し残留Na量の精度向上、ピンバンドル上部の残量Naの確認）	<p>ラップ管を模擬した部材に短尺にした模擬燃料体1体分の要素169ピンを挿入した試験体を液体Naに浸漬後に引上げ、Na残留量を評価</p>	 <p>試験体を製作中。 2022年2月末までに試験完了予定</p>										
3.模擬燃料体洗浄試験	実機の模擬燃料体を使用し残留ナトリウムの洗浄性を確認	<p>模擬燃料体をE V S T内でNaに浸漬後に引き上げ、既設燃料洗浄設備でNa洗浄を実施し、洗浄性を確認</p>	<p>2022年度燃料体の処理時に実施予定</p>										

