

「もんじゅ」廃止措置第2段階に向けた検討状況

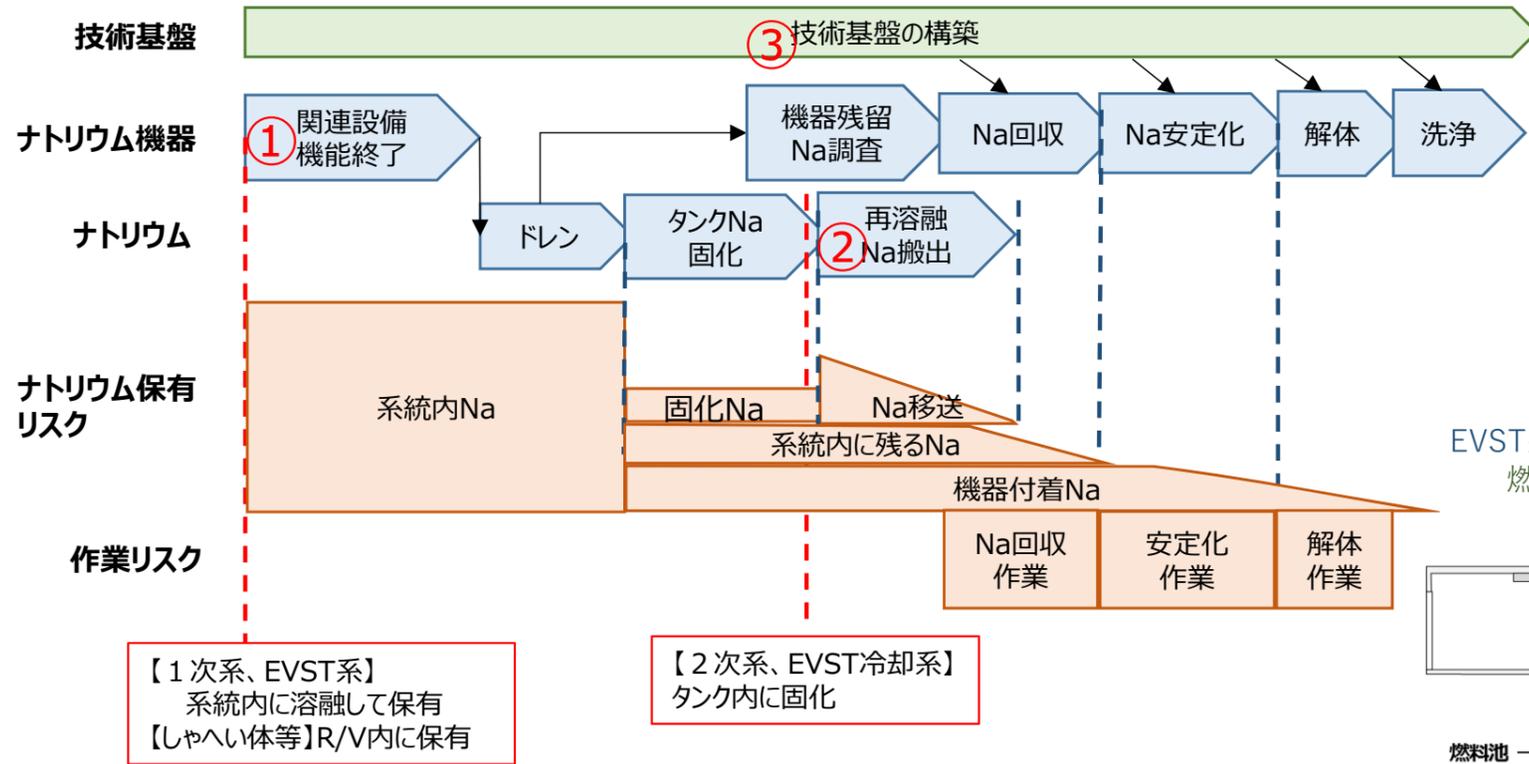
2021年6月8日

日本原子力研究開発機構 (JAEA)

ナトリウムリスク低減に向けた考え方

方針：ナトリウムを保有するリスクを適切に管理し、早期に低減

- ナトリウムを保有するリスクを低減するために、ナトリウム搬出からナトリウム機器解体までを以下のプロセスで行う
- ナトリウム漏えいリスクを段階的に低減するため、ナトリウムをドレンし容器に貯蔵するとともに、可能な限り速やかに搬出する。また、解体作業リスクを低減するためもんじゅの解体に必要な技術基盤を構築する



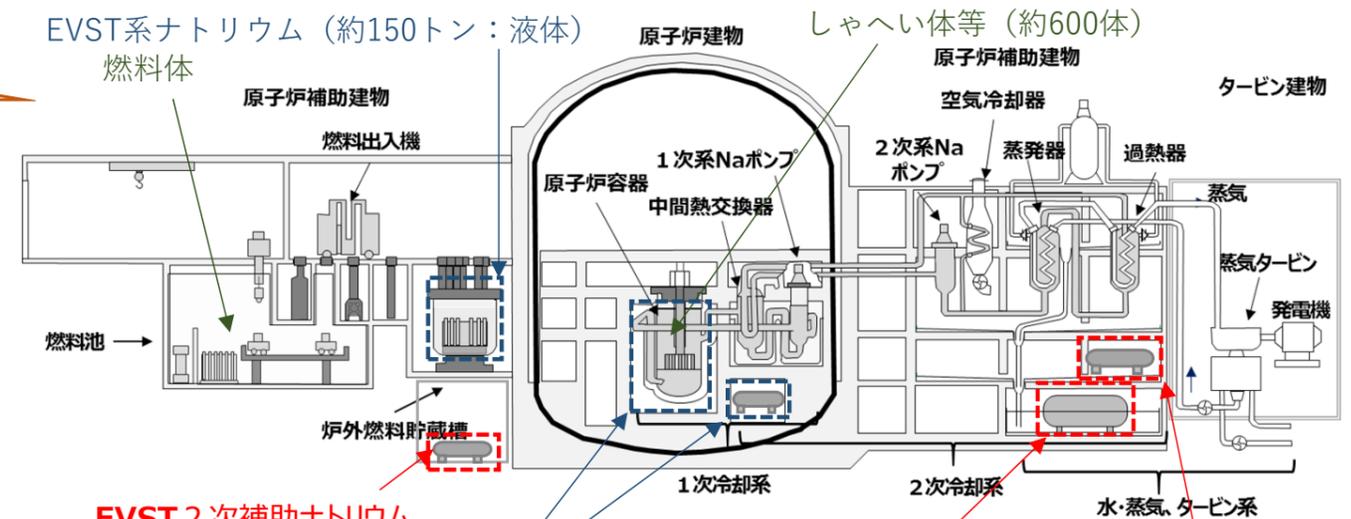
【1次系、EVST系】
系統内に溶融して保有
【しゃへい体等】R/V内に保有

【2次系、EVST冷却系】
タンク内に固化

注) ①、②、③はリスク低減に向けた課題

リスク低減に向けた課題の検討

- 1次系・EVST系ナトリウムドレン前にR/V内にあるしゃへい体等*を取り出すことから、しゃへい体等取出し作業期間中のナトリウム漏えいリスクの低減策として以下を検討する
 - R/V内のナトリウム量を削減するため低液位とする
 - EVSTをバイパスすることで、EVST系ナトリウムをドレン可能とする
- ナトリウムの搬出容器（ISOタンク）までのナトリウム移送方法、必要な設備の復旧・改造範囲、移送時のナトリウム漏えい対策を検討する
- 構造上、機器内部に残留するナトリウムについて、解体作業リスクを低減するため、解体前処理（構造上抜き取りが困難な箇所に残留するナトリウムの抜き取り、安定化等）や解体後処理（付着ナトリウムの洗浄等）の方法と程度を定める



EVST 2次補助ナトリウム
既設のタンク（6トン未満：固化）
1次系ナトリウム（約760トン：液体）
2次系ナトリウム既設のタンク（約710トン：固化）
2次系一時保管用タンク（約40トン：固化）

第1段階終了時点の
プラント状態

【R/V内】しゃへい体等及びNaを保有
【1次系・EVST系】系統内にNaを保有
【2次系、EVST冷却系】タンクにNa固化

上記課題については以下の資料にて検討状況を説明する

- 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し）
- ナトリウム搬出に向けた設備の復旧・改造計画の策定（2次系）
- ナトリウム機器解体に向けたもんじゅ技術基盤構築のための計画策定
ただし、1次系のナトリウム搬出に向けた設備の復旧・改造計画の策定は次回説明する

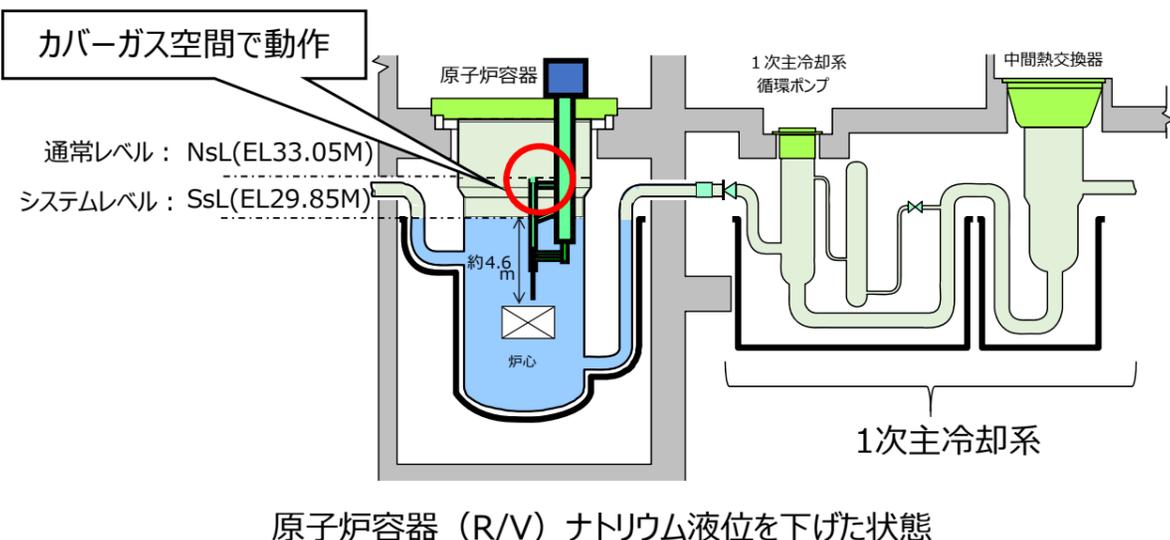
* 中性子しゃへい体、サーベランス集合体、模擬燃料体、固定吸収体、中性子源集合体、制御棒集合体がある

① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し） （しゃへい体等の取出し期間中のナトリウム漏えいリスクの低減策）

ナトリウム漏えいリスクの低減策

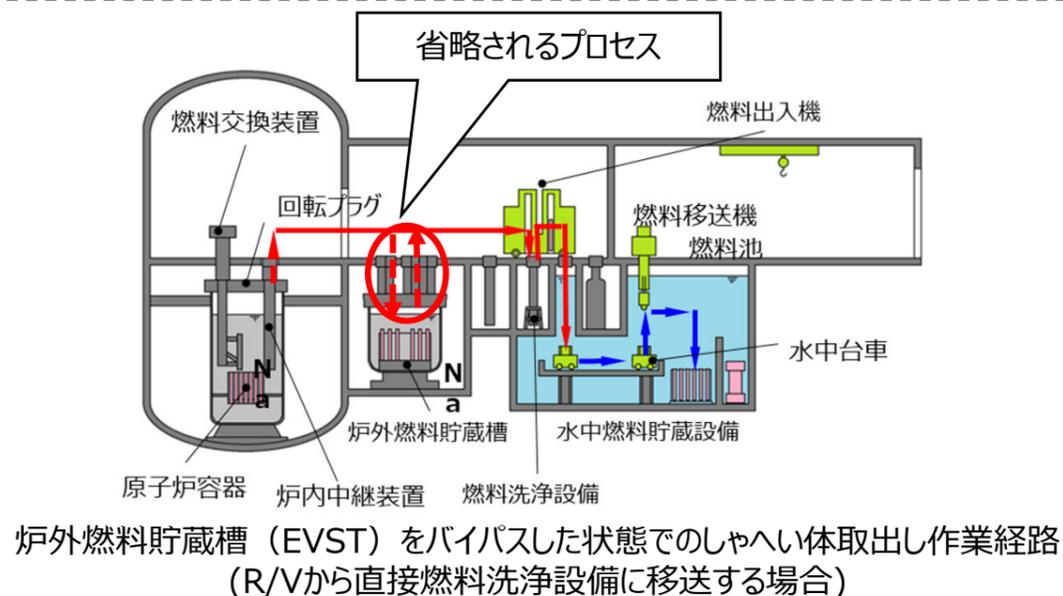
【1次系：R/V低液位（SsL）運用】

燃料交換設備はナトリウム（Na）中で動作する設計。1次主冷却系をタンクにドレン・固化することでNa漏えい発生リスクが低減。1次主冷却系の点検としゃへい体等の取出しを並行実施することでしゃへい体等取出し作業完了時期が早まる。ただし、R/V液位が下がった状態でしゃへい体等を取り出すこととなる



【EVST系：EVSTバイパス運用】

EVSTは、燃料体の崩壊熱を減衰するまで貯蔵する設備。しゃへい体等取出し時にEVSTをバイパスすることで、早期にEVST内のナトリウムEVSTをドレンし、Na漏えい発生リスクが低減できる可能性あり。更にしゃへい体等の取出し期間の短縮も可能



検討状況

「影響」

- ①燃料交換設備の一部がカバーガス空間に露出。露出部のNa凍結の可能性、熱収縮及び露出した部分の浮力が低下する
- ②R/V液位が低く純化系にNaが移送できないため、純化できない

「評価結果(実現の見通しあり)」(参考資料1参照)

- ①-1 Na凍結⇒予熱によりカバーガス空間は凡そ160℃、凍結しない
- ①-2 熱収縮、浮力低下⇒燃料交換設備の設定変更にて対応可能
- ②純化できない⇒新たな模擬燃料体の搬入がなく、Na純度は悪化しない
カバーガス純度を監視し、第1段階と同様に純度を維持

「今後の実施内容」

- ・R/V低液位でのしゃへい体等取出し時の運転監視項目の見直し等、操作上の影響を洗い出し中（課題1参照）
- ・しゃへい体等の取出しができない事態への対応として、燃料交換装置の故障に加え、上記の対策が有効でない場合（純度悪化、温度低下）の対応を検討（課題2参照）
- ・検討内容の妥当性を確認するため、第1段階の燃料体の取出し後に試験的にしゃへい体等を取り出すことを計画中

「影響」

燃料洗浄槽の湿分がR/Vに持ち込まれ、燃料出入機Aグリッパテープ部にNa化合物ができる恐れあり

「評価結果（実施しない）」

ナトリウム化合物による機器動作不良が発生して工程が遅延するリスクが大きい。EVSTバイパスによる工程短縮効果はEVSTバイパスのための設備改造期間にほぼ相殺され、工程短縮メリットもわずか。よって実施しない

模擬燃料体に残留するNaの課題と検討状況

燃料体とピン形状が異なり、残留Naが増加する可能性。燃料洗浄設備の運転条件を満足するか確認中（課題3参照）
⇒残留Naの形態・量の評価、Na量が多い場合の対策を検討中

今後の予定

課題1～3について次回に進捗を報告予定。課題解決の見通しを得た上で、しゃへい体等の取出し、処理、点検を含む全体の工程を策定

②ナトリウム搬出に向けた設備の復旧・改造計画の策定（2次系）

復旧・改造計画の策定

- 2次系ナトリウムは、タンクに移送後、固化された状態で保管されており、保管中の安全機能に関係しない2次系設備の大部分は休止状態としている
- タンク内の2次系ナトリウムを安全かつ早期に搬出してリスクを低減するため、搬出に必要な設備の復旧・改造計画を策定する

ナトリウム搬出設備方式（参考資料2参照）

- 設備方式の選定に当たっては、ナトリウムの移送方法（電磁ポンプ、圧送）及び搬出ライン構成（1ライン、2ライン）の方法を選択する

設備方式	電磁ポンプ 1ライン	圧送 2ライン	電磁ポンプ 2ライン
設備復旧概要	2次系配管（電磁ポンプ用、圧送用）を復旧	2次系配管（圧送用）を復旧	2次系配管（電磁ポンプ用、圧送用）を復旧
設備改造概要	一時保管タンクに移送配管1ライン及び電磁ポンプを追設	2次系配管（圧送用）に移送配管2ラインを追設	2次系配管（電磁ポンプ用）に移送配管2ラインを追設
輸送タンクへのナトリウム移送方法	追設した電磁ポンプで一時保管タンクから1ラインで輸送タンクにナトリウムを移送	既設設備による圧送で既設タンクから2ラインで輸送タンクにナトリウムを移送	既設電磁ポンプで既設タンクから2ラインで輸送タンクにナトリウムを移送
ナトリウム搬出完了までの期間	休止設備の復旧範囲が広く、搬出開始までの準備期間が長く、1ラインのため輸送タンクへの移送時間も長い	休止設備の復旧範囲が狭く、搬出開始までの準備期間が短く、2ラインのため輸送タンクへの移送時間も短い	休止設備の復旧範囲が広く、搬出開始までの準備期間が長く、2ラインのため輸送タンクへの移送時間は短い
供用終了後の解体性	移送時のナトリウム充填範囲が広く、残留ナトリウムが相対的に多い	移送時のナトリウム充填範囲が狭く、残留ナトリウムが相対的に少ない	移送時のナトリウム充填範囲が広く、残留ナトリウムが相対的に多い

2次系ナトリウム移送中の安全確保の考え方

- 既設設備と同様の考え方で、ナトリウム漏えいに対する設備対応を行い、以下の安全確保策を行う
- ナトリウム漏えい防止
 - ナトリウム漏えい影響緩和（早期発見、燃焼などによる施設への影響抑制、燃焼によるエアロゾルの拡散を低減）
 - 漏えい防止と影響緩和を適切に組み合わせて、ナトリウム漏えいが起きても影響を2次系区画内に収める

漏えい防止策と影響緩和

- ①漏えい防止
 - ・改造する移送配管等の耐震性など
- ②漏えいの早期発見
 - ・漏えい検出器、セルモニタなどの既設設備を活用
- ③漏えいの影響緩和
 - ・換気空調の区画化、初期消火、ライナなどの既設設備を活用

今後の予定

- 設備方式の選定のため、各方式のナトリウム漏えい想定量を設備設計とナトリウム移送時の設備運用方法との組合せで評価し、今年度末までに設備方式及び基本設計を決定する

<その他>

- 炉外燃料貯蔵槽2次補助系ナトリウムについて、2次系ナトリウムとの同時搬出と1次系ナトリウムとの同時搬出を比較評価中（復旧点検、改造の範囲等、搬出先の受入れ条件も勘案）

③ナトリウム機器解体に向けたもんじゅ技術基盤構築のための計画策定

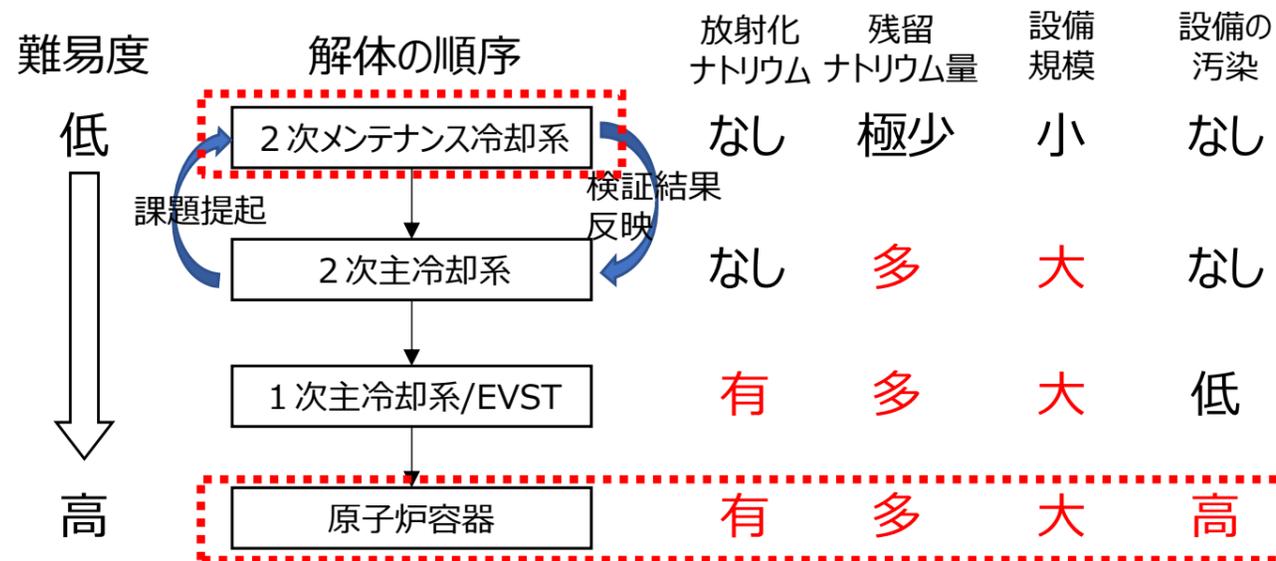
方針：大型ナトリウム機器を解体する技術基盤を構築

- もんじゅの廃止措置は国内初のナトリウム冷却高速炉の解体であり、大型ナトリウム機器解体であることから、潜在するリスクを顕在化させないよう、解体に必要な技術基盤を構築しながら進める

技術基盤構築の進め方

【課題】もんじゅはナトリウム機器解体の知見・経験が少ない

【進め方】大洗研究施設の解体（規模小、非放射性）や海外高速炉の解体知見を反映し、難易度の低いものから高いものへ段階的に課題抽出と課題解決、経験蓄積を図る（技術開発）



第2段階に向けた準備状況

＜① 2次メンテナンス冷却系設備の試験解体＞

- 大洗の知見を基に、もんじゅナトリウム機器の解体フロー（案）を策定（参考資料3参照）
- 次段階に向けて当該試験解体で検証すべき内容（解体前処理（構造上抜き取りが困難な箇所に残留するナトリウムの抜き取り、安定化等）や解体後処理（付着ナトリウムの洗浄方法等）等）を整理予定

＜② 長期的な開発課題への対応＞

- もんじゅ特有の課題の所在箇所を把握する必要がある

（課題の所在箇所の例）

ナトリウムドレン後も、機器の構造上、多量のナトリウムが残留すると想定される箇所

- 大型タンク底部
- 燃料移送ポット（EVST内に約250基）
- 原子炉容器内（受け皿など）

＜客観的な事実＞

- 知見は国内外に多数存在
- 大洗の知見で解体可能（2次系まで）

⇔
ギャップあり

＜現実の課題＞

- 必要な情報の見極め
- 設備の熟知（もんじゅ建設当時の技術者がほとんど残っていない）

＜対応方法：参考資料4参照＞

- ナトリウム機器解体特有プロセスに特に着目し、これに特化した技術開発の要素に抜け落ちがないよう確認
- もんじゅの解体対象システムと機器を、構造や設置状況等から網羅的に整理

今後の予定

- 検証内容を考慮した2次メンテナンス冷却系設備の解体計画の策定
- 技術開発（例：原子炉容器内残留ナトリウムの処理）も踏まえた解体計画の策定

第2段階における実施事項

- ① 2次メンテナンス冷却系設備の試験解体
 - ナトリウム機器解体の経験蓄積（作業管理方法の確立、習熟）
 - 課題解決の確認
- ② 長期的な開発課題への対応
 - 原子炉容器等解体に向けた課題抽出・解決策・技術開発

「その他」

- ・水・蒸気系設備解体
- ・性能維持施設の見直し

水・蒸気系設備解体

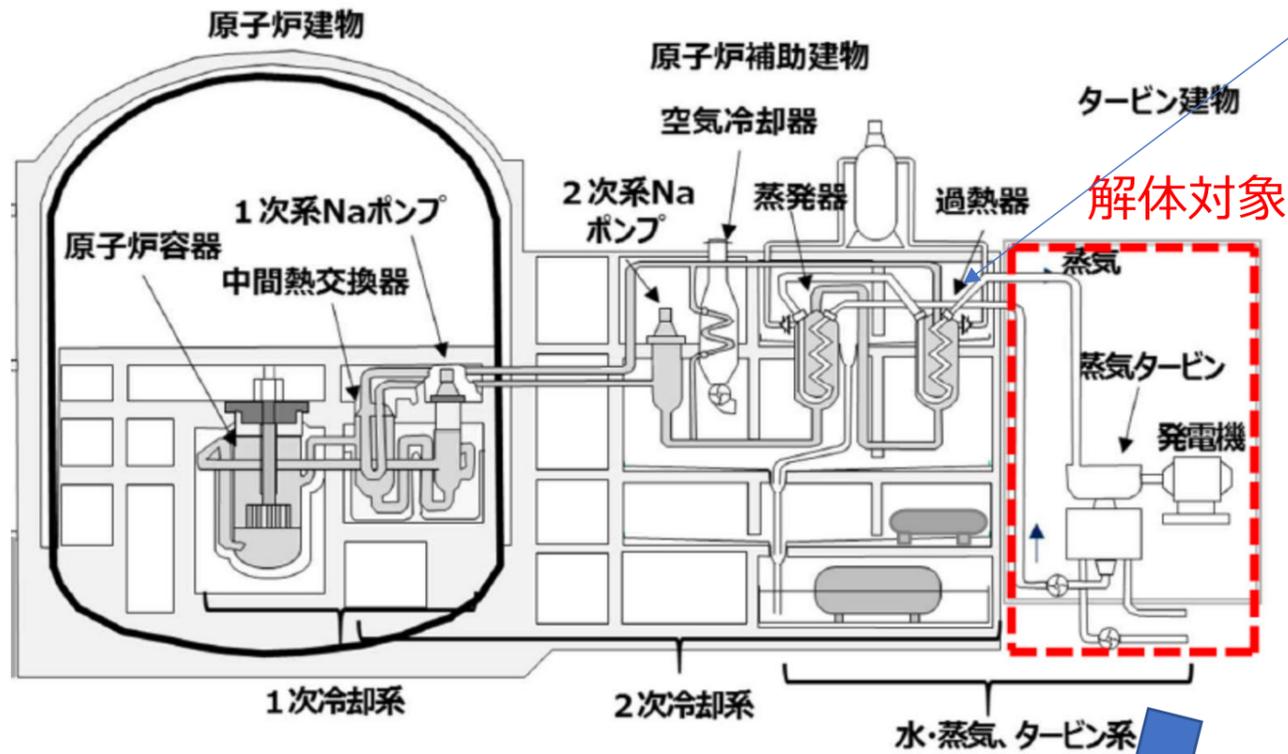
目的

- 2次メンテナンス冷却系設備解体前に水・蒸気系設備の解体作業で解体の経験、労働安全、運用管理の方法の習熟に用いる
- 水・蒸気系設備を解体することでタービン建物に解体物の仮置きエリアや解体作業エリアを確保する

水・蒸気系設備解体の方針

- ① 性能維持施設に影響を及ぼさない
- ② 安全に大型機器・設備を解体する
- ③ ナトリウム搬出準備に影響を及ぼさない

水・蒸気系設備の解体の対象



①性能維持施設に影響を及ぼさない

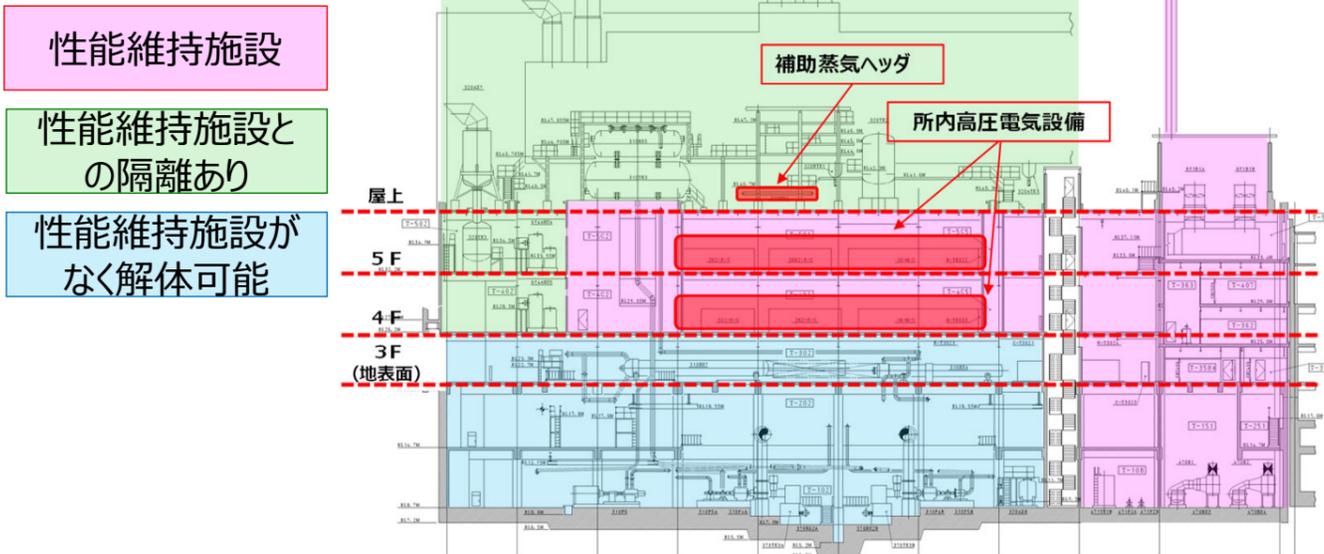
- 性能維持施設と隔離する（識別、工事エリア管理、養生など）
- 例) 過熱器等との隔離（課題4参照）
- 過熱器、蒸発器（2次系ナトリウム機器）はナトリウムが抜き取られてはいるものの主蒸気配管で主蒸気設備と接続されており、主蒸気側は伝熱管保管のため窒素を封入しており、それらとの隔離方法の確立が課題

- 例) 補助蒸気ヘッドとの隔離
- 補助蒸気ヘッドは所内への蒸気供給のため性能を維持しているため、弁や閉止キャップ等で隔離する

②安全に大型機器・設備を解体する

- 火災等の災害防止のため潤滑油等の危険物や薬品の事前回収、適切な工具・治具選定、養生等を徹底する
- 設備解体の運用管理方法等（エリア管理の仕方、性能維持施設の識別方法など）を確立し、その後の2次系ナトリウム機器の解体の運用管理方法に資する
- 先行する廃止措置工事（例えばふげん）のトラブル経験を踏まえ安全対策を行う

当該建物内の性能維持施設



③ナトリウム搬出準備に影響を及ぼさない

- 上記①の方針のとおり隔離し影響を及ぼさないようにする
- ナトリウム搬出準備を優先し、第2、第3段階の中で裕度をもった工程を設定する

今後の予定

- 当面の解体工事範囲及びその工事の安全確保策を提示（実工事は品質マネジメントシステムのもとで実施）

性能維持施設の見直し

目的

- 廃止措置の進捗に伴い、性能維持施設に要求される維持機能や性能は変化する。この変化する要求を満たしながら性能維持施設を見直し、設備を停止、縮小、集約又は追加し、故障の発生頻度を低減する
- もんじゅの設備の中には高経年化のために更新が必要な設備もあり、上記を踏まえた設備更新とすることで設備の故障リスクを低減する
- これらの取り組みを通して、限られた資源を最大限活用しつつ、廃止措置を円滑に進める

(区分)

停止：要求がなくなる設備を性能維持施設から除外、あるいは再度必要となる時期まで一時休止

縮小：運転を前提とした設備容量のものを、今後の廃止措置に必要な容量に変更

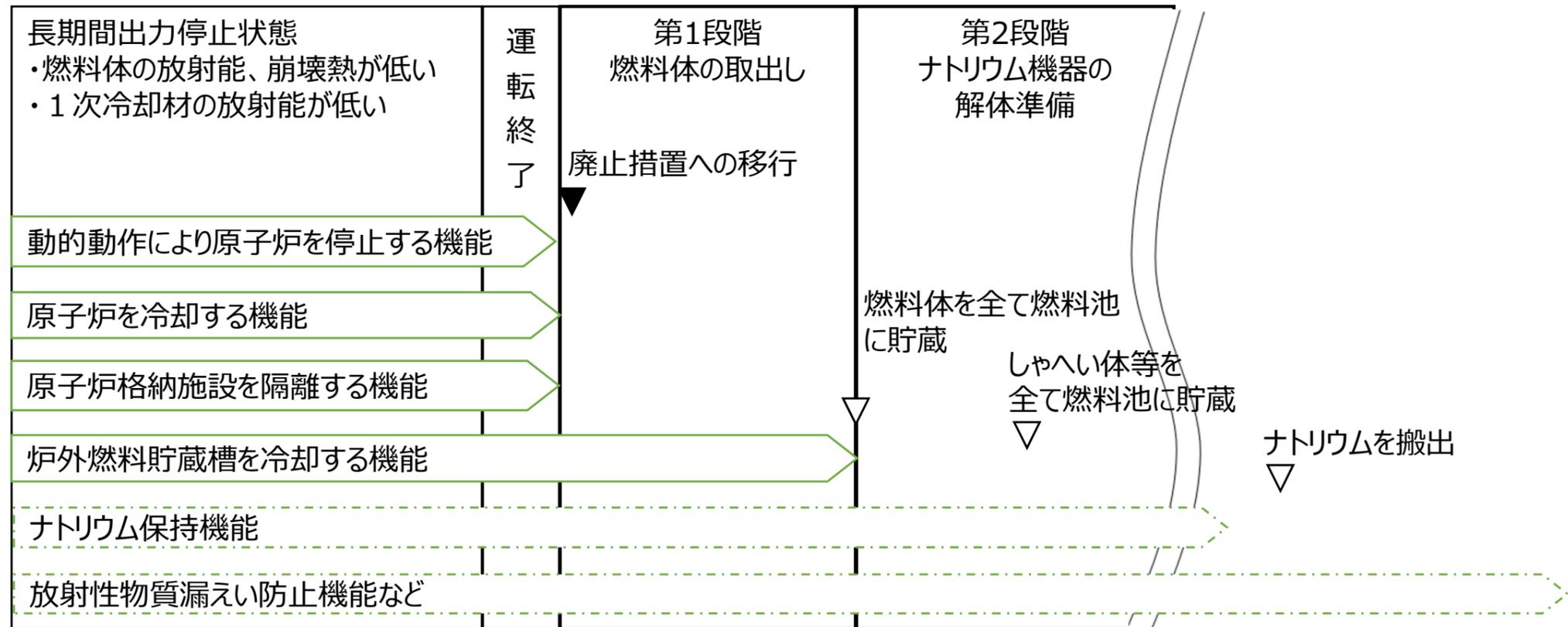
集約：監視盤のように、一つの設備の中に要求のあるもの/ないものが混在しているものから、必要なものを集約して更新

追加：今後廃止措置を進めるために必要となる設備を追加

検討にあたっての考え方

【検討対象】廃止措置の進捗に応じて要求がなくなる機能に関連する設備

【考慮すべき事項】系統構成や設備容量の検討にあたっては、現状のプラント状態だけでなく、将来のプラント状態との整合性を考慮（なお、性能維持施設は高経年化も考慮の上、設備更新も含めて適切な維持を行う（例：電源設備））



今後の取り組み

- 第2段階以降における必要な性能維持施設を明確にした上で第6-1表を見直す

參考資料

R/Vのナトリウム液位を下げた状態でのしゃへい体取出し作業の影響と評価（1/2）

①燃料交換設備の一部がカバーガス空間に露出。露出部の**Na凍結の可能性**、熱収縮及び露出した部分の浮力が低下する

Na凍結の可能性はない（右図参照）

- SsL運用時、原子炉容器内のNaはヒータ加熱により約200℃を維持。軸方向の温度分はほとんどなく、パンタグラフ下側のアームも同様の環境
- アルゴンガスは加熱・循環。原子炉容器内では液面近傍、熱しゃへい板近傍で軸方向に分布はあるものの、高温環境。パンタグラフ上側のアーム（摺動部）付近は約160℃であり、Naミストが付着しても凍結の恐れはない

①燃料交換設備の一部がカバーガス空間に露出。露出部のNa凍結の可能性、**熱収縮**及び露出した部分の浮力が低下する

（熱収縮をうける範囲は次ページ「原子炉容器液位と各設備の位置」を参照）

「燃料交換装置（FHM）」

•位置決め精度

熱収縮でFHM本体回転中心軸からグリッパ本体中心軸までの距離が約1mm短くなるが、許容偏心量20mmに対し十分な裕度あり

•パンタグラフ開閉動作

熱収縮でパンタグラフ開閉ロッドが約1mm短くなる⇒設定値を変更する

「昇降駆動装置」

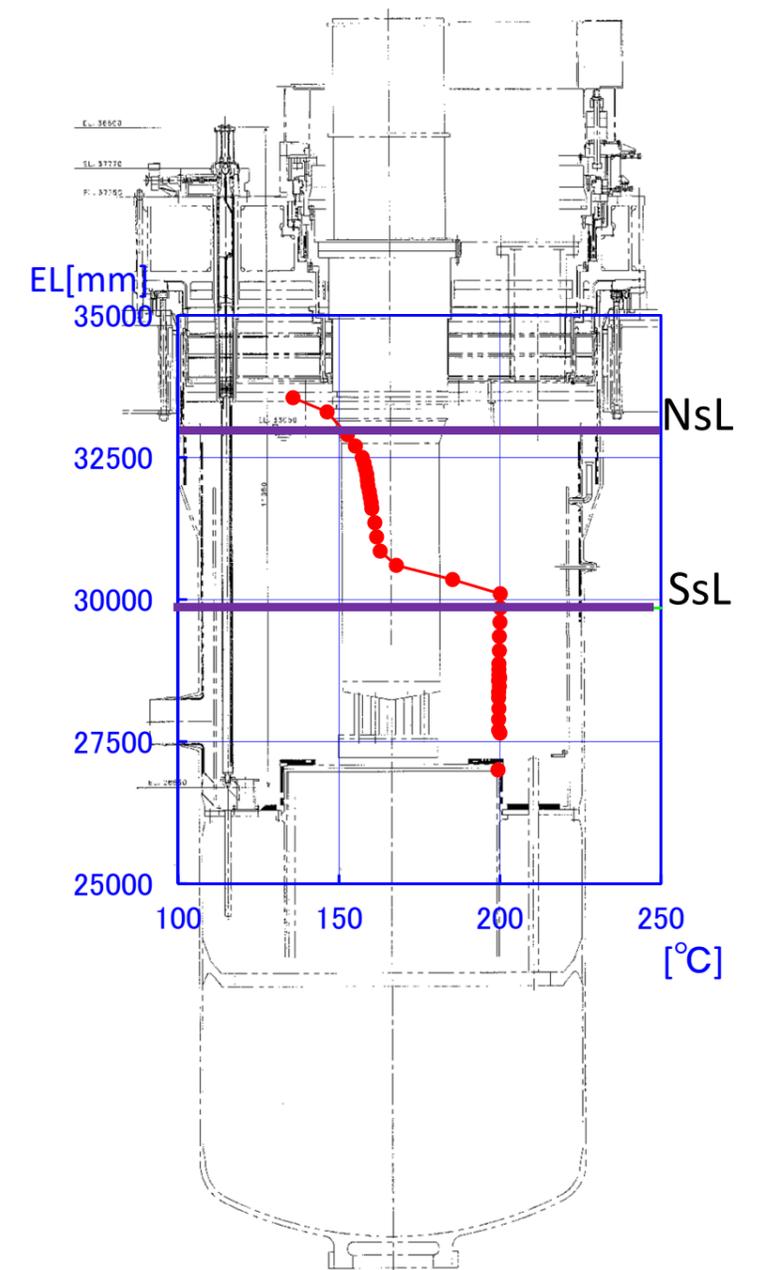
熱収縮でFHM本体胴が約3mm短くなるが、グリッパ炉心頂部停止位置はその状態で基準値を0mmとして再設定するため影響なし

「ホールドダウンアーム」

熱収縮でホールドダウンアーム胴が約3mm短くなるが、しゃへい体等のつかみ動作は荷重判定であり影響なし

「炉内中継装置」

熱収縮で駆動軸が3mm短くなるが、ユニバーサルジョイント部で変位を吸収



原子炉容器液位SsLでの原子炉容器内温度分布

R/Vのナトリウム液位を下げた状態でのしゃへい体取出し作業の影響と評価（2/2）

①燃料交換設備の一部がカバーガス空間に露出。露出部のNa凍結の可能性、熱収縮及び露出した部分の浮力が低下する

「昇降駆動装置」

浮力低下により、見た目に約60kg増加する⇒しゃへい体等の吊り不吊り判定の設定値を変更する

「ホールドダウンアーム持ち上げ」

浮力低下により、持ち上げ荷重は約3.5%増加するが、設計裕度の範囲内

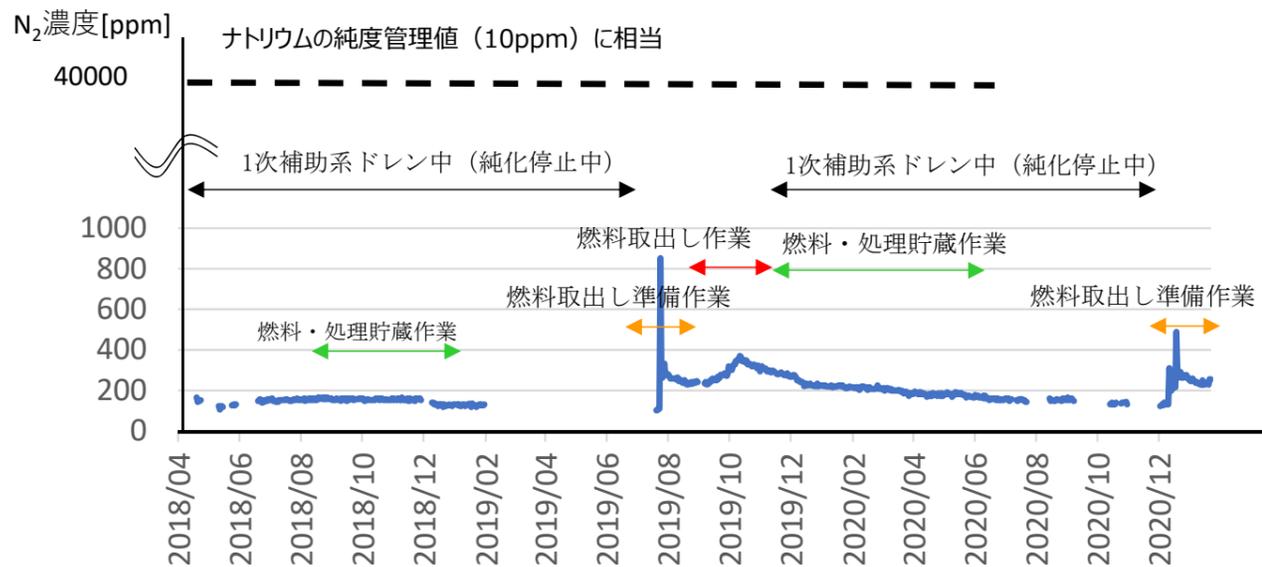
「回転プラグジャッキアップ」

浮力低下により、ジャッキアップ荷重は約0.7%増加するが、設計裕度の範囲内

②R/V液位が低く純化系にNaが移送できないため、**純化できない**

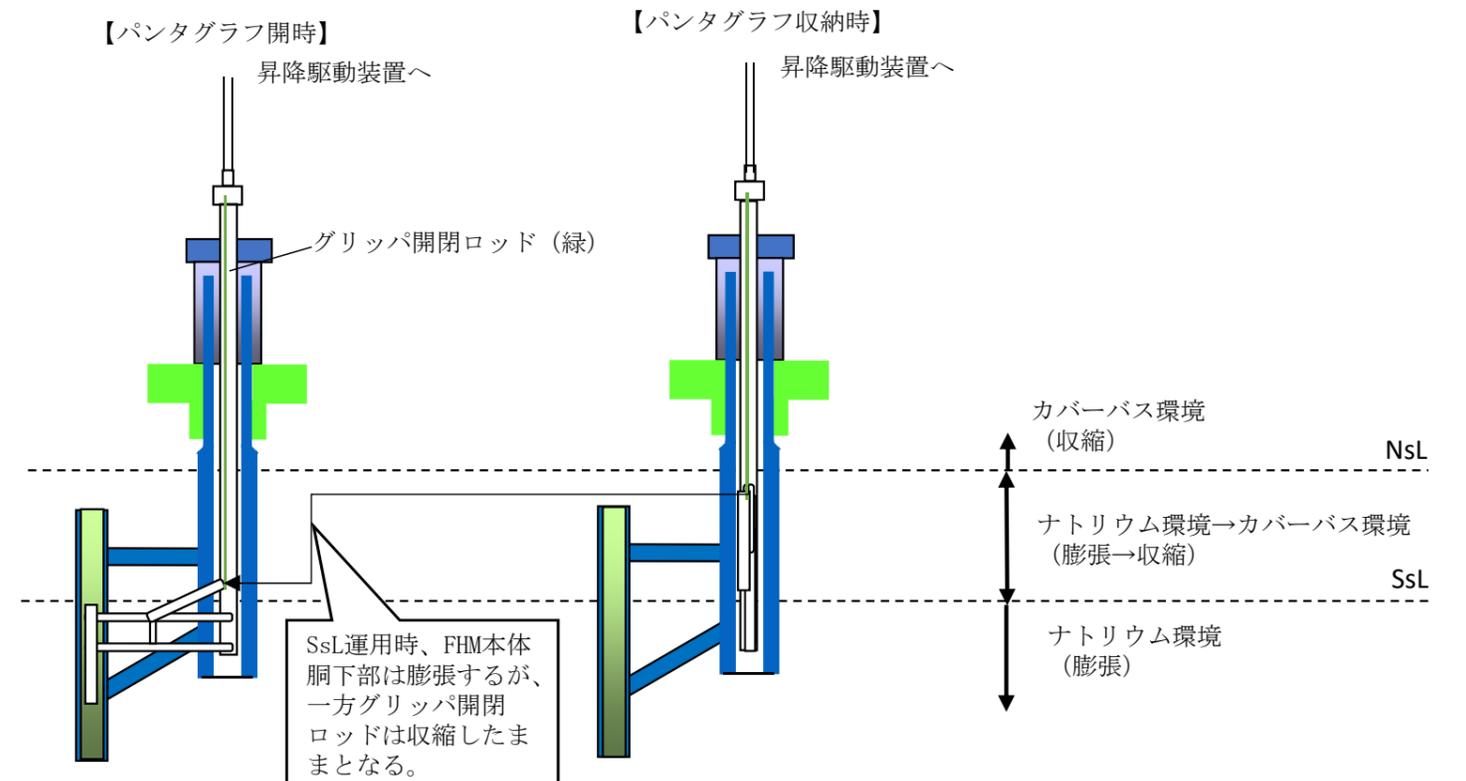
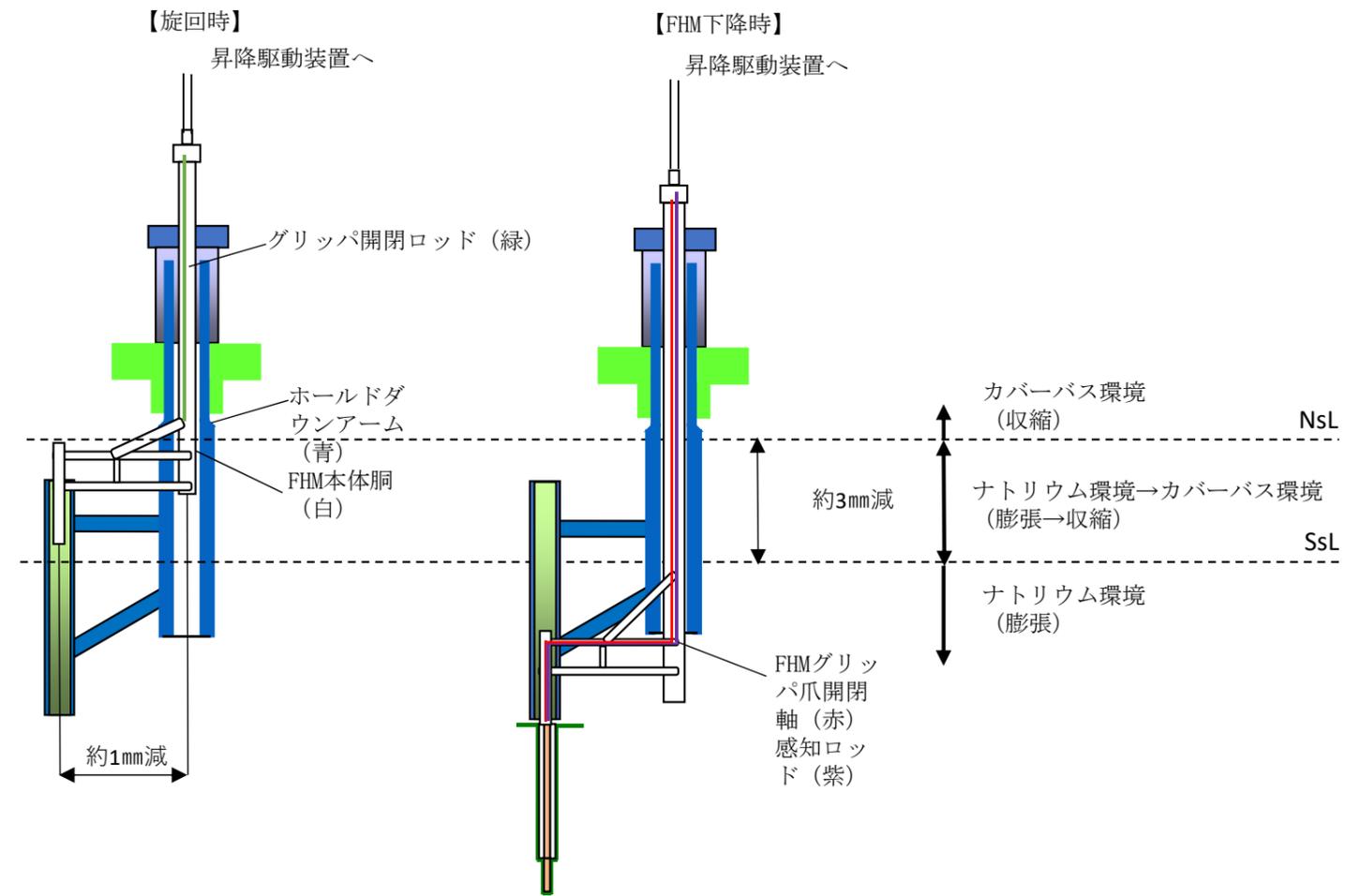
⇒新たな炉心構成要素の持ち込みはない。燃料交換設備据付時、ドアバルブ接続時の空気混入もわずかであり、純化運転しなくともナトリウムの純度は維持される(下図参照)

⇒カバーガス純度を監視することで、ナトリウム純度を管理



廃止措置第1段階のカバーガス純度の推移

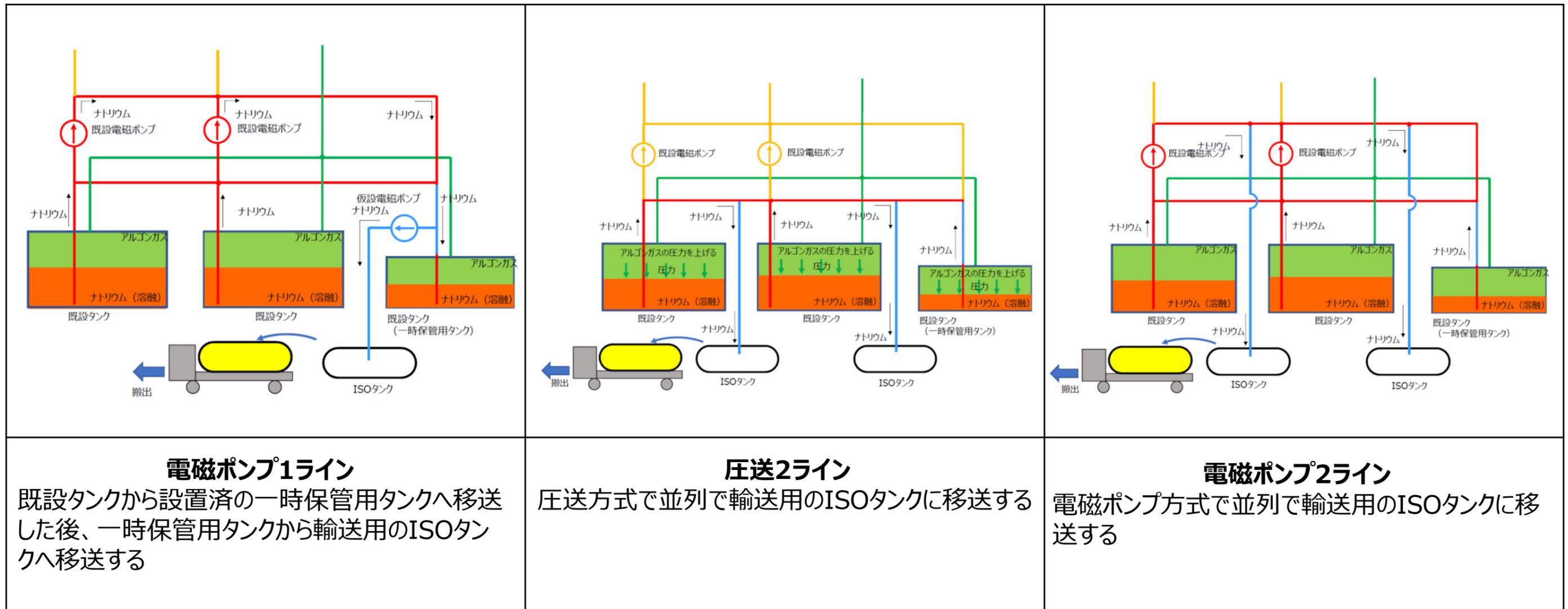
注：燃料体の取出し作業では、準備作業及び、本作業のドアバルブ接続時に空気の混入により窒素濃度が上昇した。これは、作業に伴う既知の上昇であり、それでも管理値より十分低く（純化系のプラグ温度測定からの評価でNa不純物は1.5ppm程度）ガスパーシにより回復。第3キャンペーンではガス置換の操作手順書を改善し、空気混入の低減効果を確認済み



原子炉容器液位と各設備の位置

②ナトリウム搬出に向けた設備の復旧・改造計画の策定（2次系）

描画	系統
	アルゴンガス（供用中）
	ナトリウム設備のナトリウム通液範囲（復旧範囲）
	ナトリウム設備の休止範囲
	ナトリウム設備の改造範囲



電磁ポンプ1ライン

既設タンクから設置済の一時保管用タンクへ移送した後、一時保管用タンクから輸送用のISOタンクへ移送する

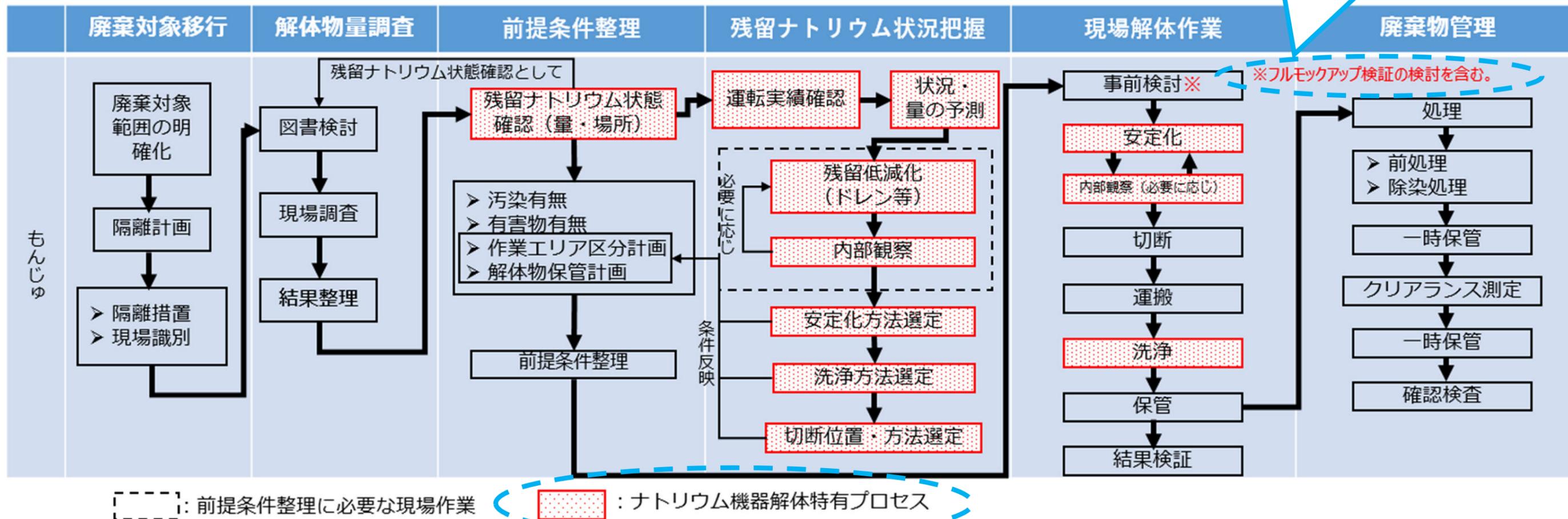
圧送2ライン

圧送方式で並列で輸送用のISOタンクに移送する

電磁ポンプ2ライン

電磁ポンプ方式で並列で輸送用のISOタンクに移送する

もんじゅナトリウム機器の解体フロー（案）



大洗の知見を基に作成
⇒もんじゅで作業管理方法を確立していく上で特に重要なポイント

ナトリウム機器解体特有プロセスの技術要素整理表（整理中）

残留ナトリウムの形態例



出典：JAEA-Technology2012-033, ナトリウム洗浄処理技術に関する経験・知見の整理

もんじゅナトリウム機器への解体技術適用性確認表（整理中）

機器種別	2次メ冷	EV S T2補	2次系	EV S T	1次系	炉容器	管理区域/ 非管理区域	線量 高/低	スケール 大~小	構造 複雑/単純	残Na 大/小
炉容器						○	管理区域	高	大	複雑	特大
炉内構造物						○	管理区域	高	大	複雑	大
プラグ				○		○	管理区域	高	大	複雑	大
EVST				○			管理区域	低	大	複雑	特大
熱交換器					○		管理区域	低	大	複雑	中
SG			○				非管理区域		大	複雑	中
ポンプ					○		管理区域	低	大	単純	中
ポンプ			○				非管理区域		大	単純	中
加熱器				○			管理区域	低	中	単純	小
加熱器		○					非管理区域		中	単純	小
タンク				○	○		管理区域	低	大	—	大
タンク	○	○	○				非管理区域		大~中	—	大
AC	○		○				非管理区域		大	—	小
配管				○	○		管理区域	低	大~小	—	小
配管	○	○	○				非管理区域		大~小	—	小
Na井				○	○		管理区域	低	大~小	複雑/単純	小
Na井	○	○	○				非管理区域		大~小	複雑/単純	小

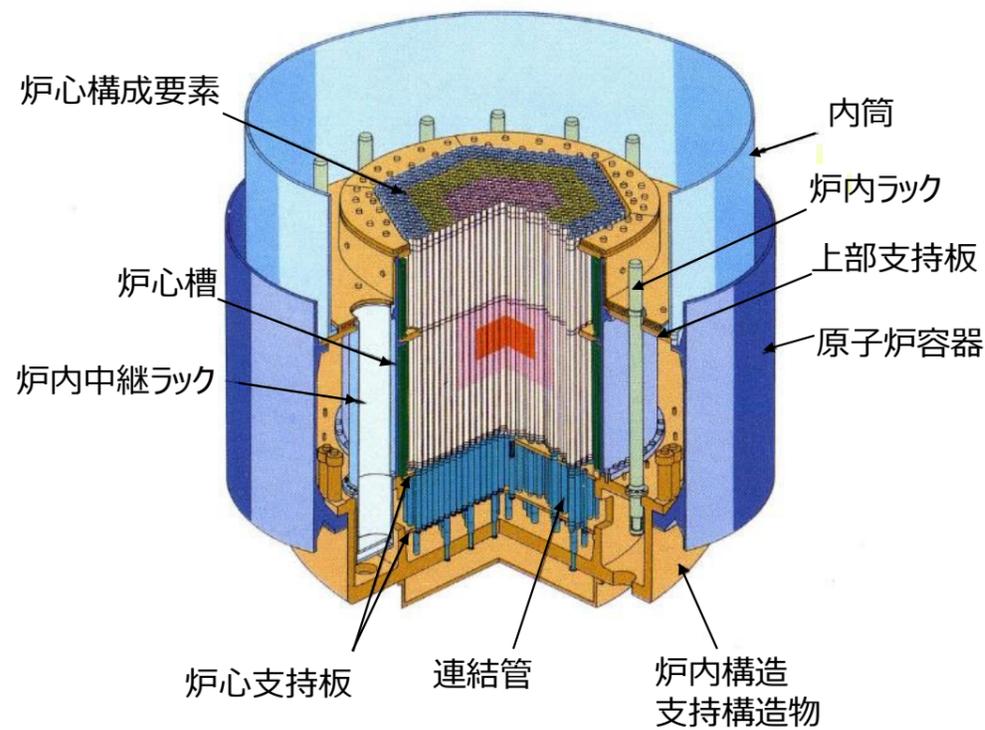
解体プロセス	プロセスの概要	実施有無の選定・実施方法の選定の視点	実施方法	実施方法の概要
残留Na位置・量推定	概要 残留Naの位置、量、性状(滞留、粒状、薄膜)を推定する。		実施 計算 付着面積×単位面積付着量 構造上滞留 サイフォンブレイク	運転履歴、Naの状態、系統・機器の形状(図面)から位置、量、性状を確認する
	目的 以降の解体プロセス(残留Na低減化~洗浄)を決めるため ・解体時の解体条件設定の参考に使用 ・残留Na量 Naの廃棄物量を想定する。 ・残留Na量から、洗浄処理や廃棄物処理設備(洗浄廃液のセメント固化の規模・仕様)を確定する。		運転履歴 初期充填量-搬出量差分	搬入出量から量を確認する
内部確認	概要 残留Naの位置、量、性状(滞留、粒状、薄膜)を確認する。 配管の残留Naの位置(閉塞ルートの有無)を確認する。 内部の構造を確認し、実機の構造、状態を確認する。		実施 直接(バリスコープ) 赤外線カメラ、CCDカメラ	目視により位置、状態を確認する カメラにより位置、状態を確認する
	目的 ・残留Naの閉塞が安定化処理を行う際のガス供給ルートに影響するため ・残留Na量の大小が切断位置、解体方法に影響するため ・実機内部の構造、状態(構造図で読み取れないサポート等)が切断順番に影響するため ・以降の解体プロセス(残留Na低減化~解体)を決めるため ・残留Naの位置・量手順(残留Na低減化~洗浄)を決めるため		・系統・機器の形状・対象位置、Na量(厚さ)、観察雰囲気、見やすさ X、γ線透過(イメージ検出器:X線フィルム、I.P.、I.I.、フラットパネル) 中性子線透過	X、γ線透過により位置、量を確認する 中性子線透過により位置、量、状態を確認する
			AE, UT	機器外部からの打振により位置を確認する
			運転履歴 ガス導通	導通の有無により閉塞ルートを確認する

ナトリウム機器解体特有のプロセスで要求される技術要素(解体工法等)に抜け落ちがないことを確認

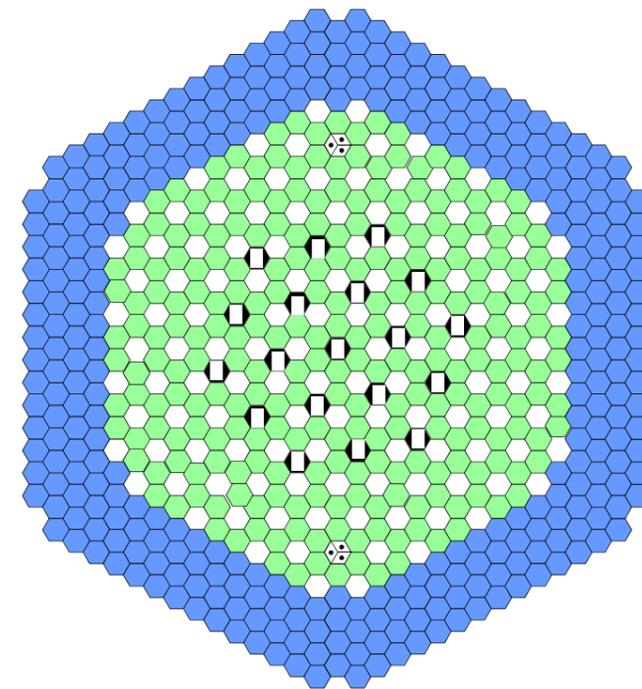
もんじゅの解体対象系統と機器を、構造や設置状況等から網羅的に整理
⇒対象機器の大きさ、残留ナトリウムの量、内部構造の特徴などの観点から、機器の種類に応じた解体工法の検討を深める予定

しゃへい体等の取出しとは

第1段階にて燃料体を炉心から取り出すものの、炉心には中性子しゃへい体、制御棒集合体等の炉心構成要素が残存する。これらは燃料体の取出し作業で用いた燃料交換設備を用いることで、炉心から取り出すことが可能
 作業の流れは、燃料体の取出し作業と同じであり、取出し、処理、点検を繰り返す



炉心まわりの構造



第1段階終了時の炉心

- ▣ : 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 (124箇所)

參考資料 課題

① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し）

課題

- 課題1 R/V低液位（SsL）運用における運転操作面からの影響確認
R/Vナトリウム液位を下げることによる影響を評価した結果、技術的成立性を確認した。その上で、運転操作面からの影響確認を検討する必要有り

しゃへい体等の取出しは、計算機を利用した自動化運転にて、しゃへい体等を取り出し、模擬燃料体を装荷しない。この運転は、2022年度に実施する第一段階の燃料体の取出しにおける部分装荷と基本的に同じ操作手順である。異なる点は燃料体以外の炉心構成要素を取り出すことだが、それらは当初設計で考慮済み
よって機器動作毎にR/Vナトリウム液位を下げることによる機器動作環境の違いに対する影響（①ナトリウム化合物の析出、②ミストとなったナトリウムの機器への付着・凍結、③温度差（熱膨張差）による機器の動作範囲、④ナトリウム浸漬範囲の減少による機器の浮力減少）を踏まえ、運転監視項目の見直しや操作面における問題点、エラー発生要因がないかなど操作上の影響を確認中

検討例

SBP	機器動作		R/Vナトリウム液位を下げるに伴う影響			運転上の懸念事項、エラー発生要因	対策
			純度	温度差	浮力減少		
3201 旋回 (1)	ホールドダウンアーム 旋回	旋回角		炉心位置の ずれ		・新たなエラー発生要因なし ・炉心位置のずれは炉心のアドレス再設定 することで対応できる	運転監視項目（旋回角）の見直し
		旋回トルク			荷重増による トルク増加	・新たなエラー発生要因なし ・設計トルクに裕度があり問題ない	運転監視項目（旋回トルク）の見直し
	回転プラグ 旋回	旋回角				・新たなエラー発生要因なし	(運転監視項目（旋回角）の見直し)
		旋回トルク			荷重増による トルク増加	・新たなエラー発生要因なし ・設計トルクに裕度があり問題ない	運転監視項目（旋回トルク）の見直し

今後の
進め方

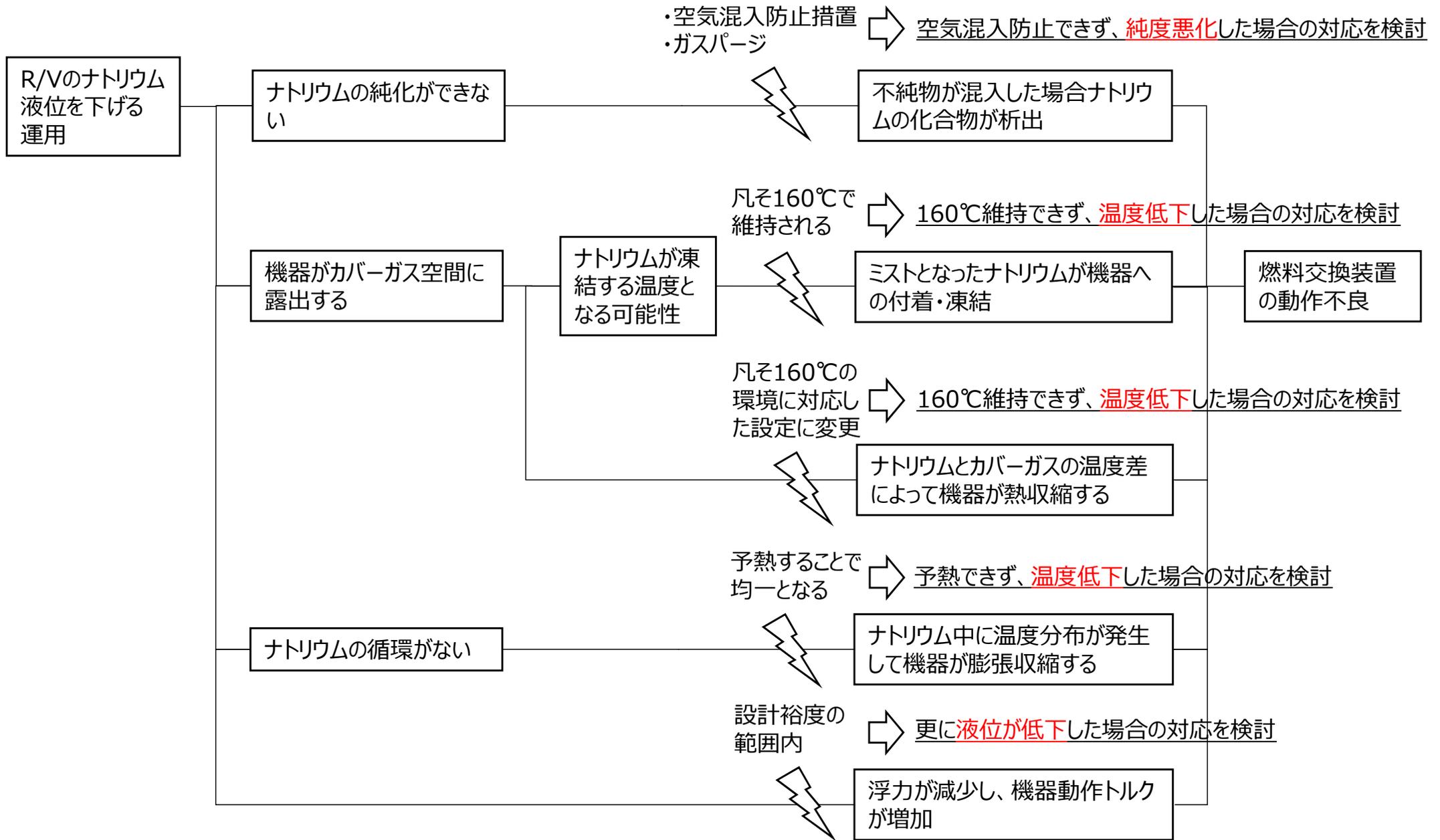
上記検討を進め、新たな課題点を見出した場合はその対策を検討する（9月まで）

① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し）

課題	<p>● 課題2 R/V低液位（SsL）運用におけるしゃへい体等の取出しができない事態への対応 燃料交換装置の故障についての対応は整理済み。但し、故障に至る前段階への対応を検討する必要あり</p>
課題の 検討状況	<p>R/Vのナトリウム液位を下げた状態における燃料交換装置が動作不良となる要因は、R/Vのナトリウム液位を下げたことによる影響に対する対策が有効でない場合に発生する。よって各影響に対し、対策が有効でないことを想定した。</p> <p>影響 1) ナトリウムが純化できず、不純物が混入した場合ナトリウムの化合物が析出する可能性 空気混入防止措置や仮に混入してもナトリウムに取り込まれる前にパーズすることで純度管理できる見通しはあるが、トラブルによって大量の空気が混入した場合、<u>①トラブルによって純化が悪化し、ナトリウム化合物が析出して燃料交換装置の動作不良に至る可能性あり</u></p> <p>影響 2) カバーガス空間に機器が露出することでミストとなったナトリウムが機器への付着・凍結する可能性 カバーガス空間は凡そ160℃に維持されているが、<u>②トラブルによってヒータによる予熱ができず、ナトリウムの凍結、ナトリウム化合物の析出により燃料交換装置の動作不良に至る可能性あり</u></p> <p>影響 3) カバーガス空間に機器が露出することで機器が熱収縮 熱収縮を考慮した設定値にすることで対応可能だが、<u>②トラブルによってヒータによる予熱ができず、更なる熱収縮で設定範囲を逸脱し燃料交換装置の動作不良に至る可能性あり</u></p> <p>影響 4) ナトリウム中に温度分布が発生して機器が膨張収縮 予熱することで、ナトリウム中に温度分布は発生しないが、<u>②トラブルによってヒータによる予熱ができず、ナトリウム中に温度差が発生し、熱収縮で燃料交換装置の動作不良に至る可能性あり</u></p> <p>影響 5) 液位低下による浮力が減少 浮力減を考慮した設定値にすることで対応可能だが、<u>③トラブルによって液位が更に低下した場合、設定範囲を逸脱し燃料交換装置の動作不良に至る可能性あり</u></p> <p>よって、①R/V内のナトリウム純度悪化、②R/V内のナトリウム温度低下、③R/V内のナトリウム液位低下に対する対応を検討中。なお、③R/V内のナトリウム液位低下に対する対応はナトリウム漏えいであり、第1段階の燃料体の取出し作業時と同様の対応となる</p>
今後の 進め方	<p>上記検討を継続（9月まで）</p>

① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し）

R/V低液位（SsL）運用に伴う影響



① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し）

課題

- 課題3 模擬燃料体に残留するナトリウムのドレン性
 模擬燃料体(119体)にはワイヤースペースがなく、流路面積が小さい。よってナトリウムが抜けきらず、後段の洗浄過程で想定している残留ナトリウム量（550g）を超える*可能性がある。よって、模擬燃料体に残留するナトリウム量を把握し、多い場合は燃料体と同様に処理できるよう対策する
 * 550 gを超える場合、洗浄槽内の水素濃度が4%を超えるため、一旦停止して手動で水素を排出する必要あり

課題の
検討状況

- (1)単体要素試験と集合体試験を組み合わせ、残留ナトリウム量を定量的に把握する
 「方針」
 模擬燃料体に残留するナトリウムのうち、ピン隙間部に残留するナトリウムの挙動は、毛細管現象と推察。定性的には表面張力、濡れ性の関係から説明されるが、計算による定量的な評価は難しい。よって、試験にて残留ナトリウム量を推定
 「手順」
 まず、ピンのナトリウムの残留箇所、残留量をだまかに把握するため「ピンの隙間の違い」、「濡れ性の違い（温度）」をパラメータとして、実物のピンの形状、隙間を模擬した試験体とピンの隙間を広げた試験体を用意してナトリウムを用いて試験を行う（単体要素試験）
 次に、正確なナトリウム量を把握するため、集合体試験を計画する。計画策定にあたり、単体要素試験の結果を踏まえて、どの部分（ピンの本数、長さ等）を実機に近づけた試験体とすべきか考慮
 「進捗」
 単体要素試験を実施中（6月中完了予定）
- (2) 残留ナトリウムが多い場合を想定した対策
 「方針」
 上記(1)の対応に時間がかかることから、並行して残留ナトリウムの低減対策を検討する。（燃料出入機本体A直接冷却系によるブローダウン、燃料出入機しゃへい体引上げ速度の変更等）
 また、低減できない場合は洗浄方法を検討
 「進捗」
 残留ナトリウムの低減対策検討中

今後の
進め方

- (1)単体要素試験と集合体試験を組み合わせ、残留ナトリウムを定量的に把握する
 単体要素試験結果を踏まえ、残留ナトリウムを精度よく定量的に評価するための集合体試験計画を策定し、試験を行う
 (2)残留ナトリウムが多い場合を想定した対策
 12月までに検討予定

① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し）

模擬燃料体の構造とその課題

【課題】

構造が特徴的な模擬燃料体のナトリウムドレン性を確認する必要がある

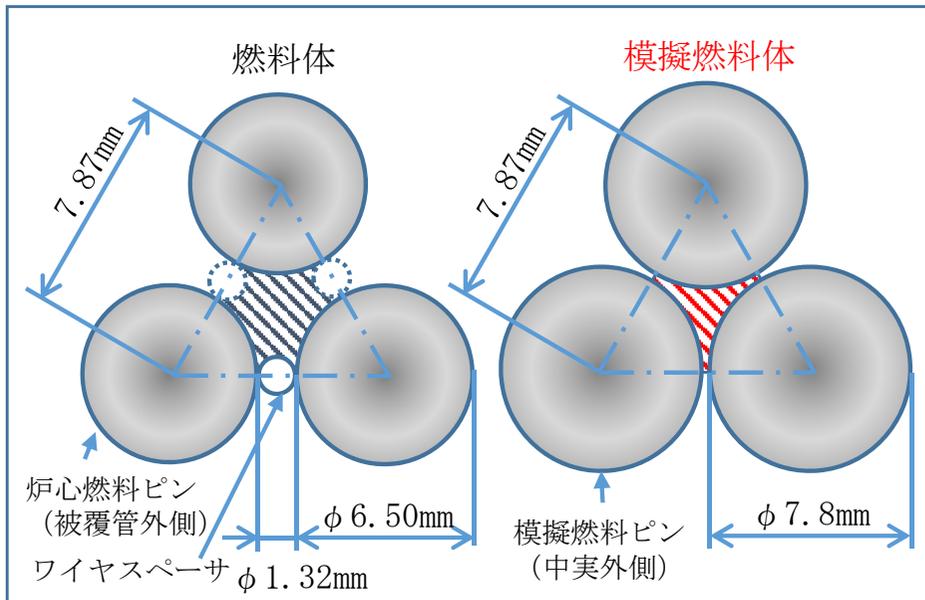
<構造の特徴>

模擬燃料集合体(119体)にはワイヤスペーサがなく、流路の直線ピン径が太く、流路面積が小さい
また、ピン間のギャップも狭い

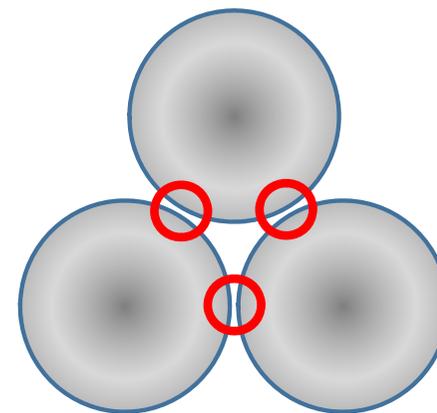
<課題の内容>

ナトリウムの流路面積が小さく、ギャップが狭いことの影響により重力だけでは抜けきらない可能性あり

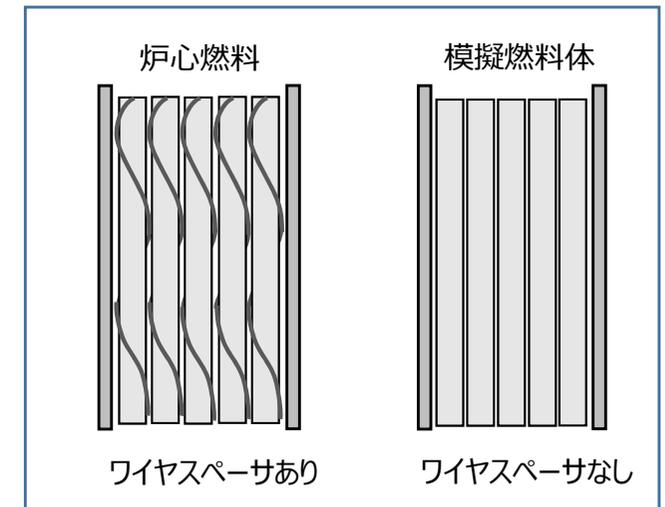
<模擬燃料集合体・燃料体の断面図比較>



<ワイヤスペーサの有無によるNa流路部分のイメージ>



残留が推定される箇所
(隙間が狭い箇所。
どれくらい残留するかがポイント)



① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し）

毛細管現象、濡れ性

毛細管現象

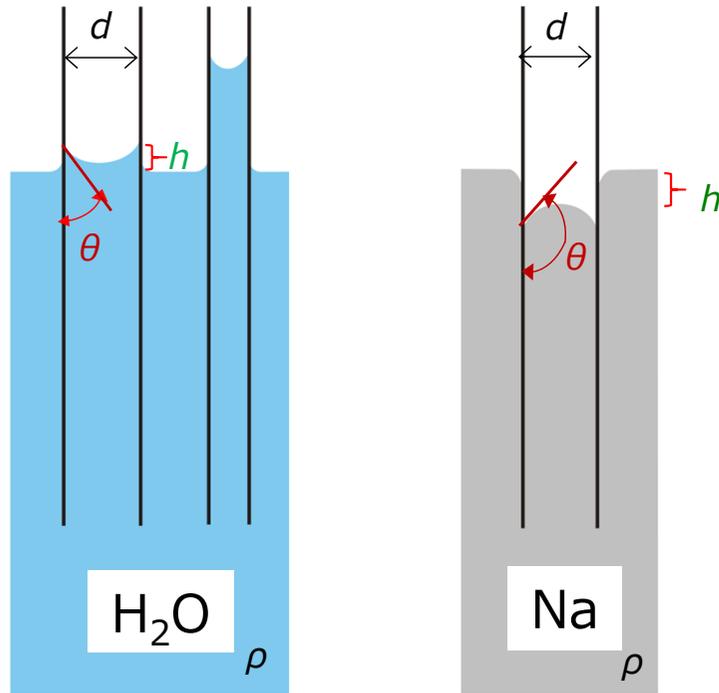
毛細管現象とは、液面に細い管を立てた時に、管内の液面が液体の種類によって外部の液面に比べ、高くなったり低くなったりする現象。管の直径を d 、液面の変化を h 、液体の密度を ρ 、重力加速度を g 、管液面との接触角を θ 、液体の表面張力を σ 、とすれば、その関係は以下のように表される。

$$\frac{1}{4} \pi d^2 h \rho g = \pi d \sigma \cos \theta$$

即ち、

$$h = \frac{4\sigma}{d\rho g} \cos \theta$$

となる。液面の変化 h は、管径 d が小さいほど大きい。

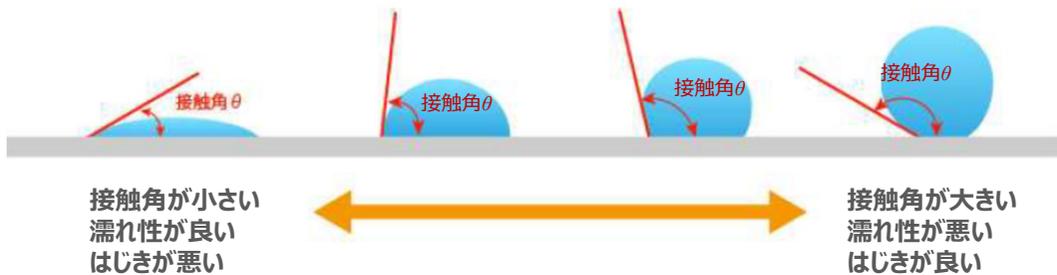


濡れ性

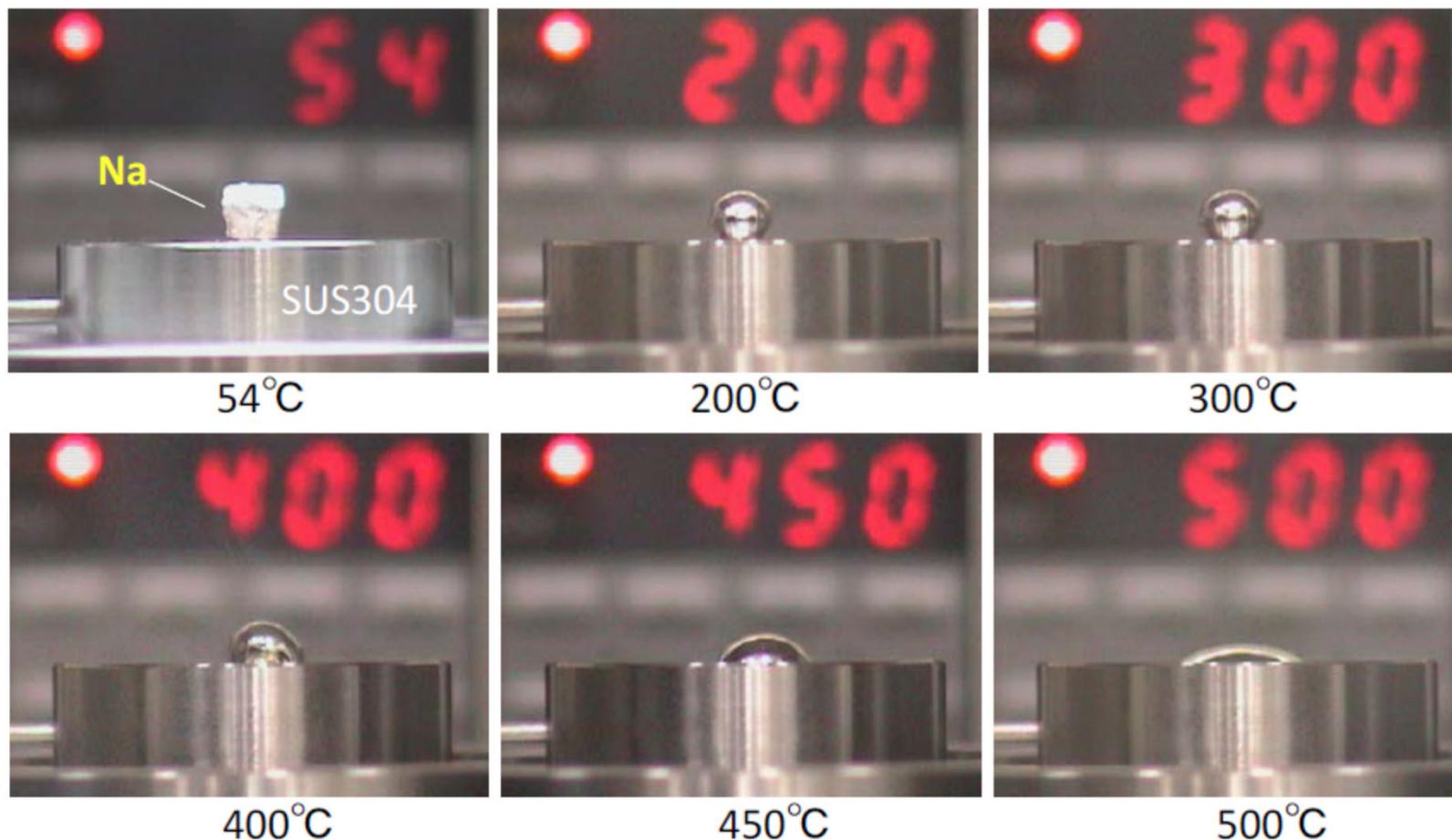
固体表面に対し、液滴が広がっていれば濡れ性が良く、丸まっていれば濡れ性が悪い。客観的な指標として、接触角 θ を定義。接触角 θ が 0° に近いほど濡れ性が良く、 180° に近いほど濡れ性が悪いとなる。

ナトリウムの濡れ性を観察した例を次頁に示す。濡れ性の悪い 200°C のナトリウムであれば、隙間部のナトリウムは排出される方向であると推察される。

しかし、この濡れ性は液体の種類だけでは決まらず、濡れる側の表面状態にも左右される。例えば、ガラス板は水に濡れやすいが、撥水加工を行ったガラス板は、水をはじく。実験による確認が必要。



① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定 (しゃへい体等の取出し)
液体ナトリウムの濡れ性の観察例



初期に固体のナトリウムは、約98°Cで融け出し、表面張力の影響で、徐々に丸みを帯び、約200°Cでほぼ球状を示す。更に温度を上げて行くと、約380°C～400°C前後で球状の形が崩れ始め、濡れが広がっていく。500°C程度になると平板(SUS304)の上に薄く広がった様相を呈す。

雰囲気; 0.01ppmO₂、0.019ppm H₂O
ナトリウム量; 約0.3g
昇温速度; 約10°C/min

出典: JAEA-Review 2013-026, 材料分野におけるナトリウム技術報告 - 高温ナトリウム環境中の材料腐食・強度特性等について -

① 1次系等ナトリウムのドレンまでの計画策定（しゃへい体等の取出し） 課題に対する検討方針

【検討方針】

- 単体要素試験と集合体試験を組み合わせ、残留ナトリウムを定量的に把握する
- 残留ナトリウムが多い場合を想定した低減対策（燃料出入機本体A直接冷却系によるブローダウン、燃料出入機しゃへい体持ち上げ時の保持時間の変更、洗浄時間延長等）も並行して検討する

単体要素試験
（目的：現象の把握
側面に付着ナトリウム量、流路間に残留するナトリウム量等）

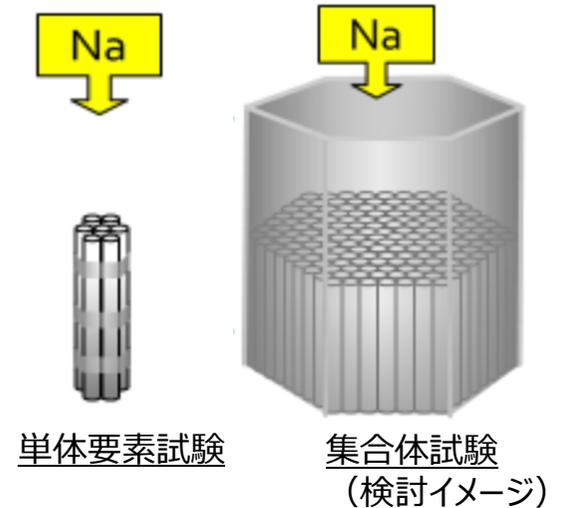
残留ナトリウム低減対策の検討

集合体試験
（目的：残留ナトリウムを定量的に評価するためのデータ取得）

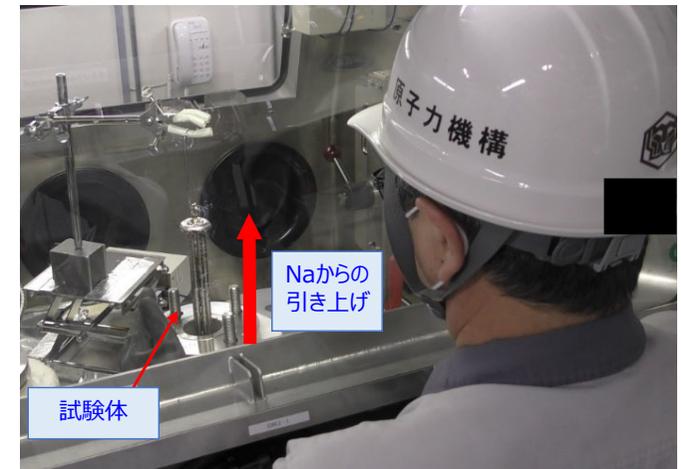
残留ナトリウムの定量把握

残留ナトリウムの除去方法

構造が特徴的な模擬燃料体のナトリウムの除去



単体要素試験（グローブボックス内：Ar雰囲気）



2次系ナトリウム機器との隔離時の課題

- 2次系ナトリウムはドレン済ではあるが、系統内には残留ナトリウムがあり、酸化防止のためアルゴンガスを封入している
- 一方、ナトリウムと主蒸気のバウンダリである伝熱管の内部（主蒸気側）に窒素を封入し、万が一伝熱管が破損してもナトリウム側に湿分等がリークすることを防止している
- そのため、主蒸気配管切断にあたって、主蒸気管切断面からの窒素噴出や万が一の伝熱管破損による残留ナトリウム（固形）の流出が考えられる。



課題解決のアプローチ

想定している手順

- ① 配管切断箇所からの窒素噴出防止のため事前に伝熱管内の窒素圧力を大気圧程度まで減圧し、それに合わせてアルゴンガス圧力を大気圧程度まで減圧する※
 - ② 配管を切断し、速やかに閉止板等を取り付ける
 - ③ 窒素、アルゴンガスの圧力を復旧する。
- ※1次系から2次系への放射性物質漏えい防止のため、2次系の圧力を1次系より高圧にしており、1次系の圧力も監視

これらのノウハウを蓄積し、今後の解体作業に活かす

