

もんじゅ廃止措置第2段階後半に向けた検討状況

2024年3月7日

日本原子力研究開発機構 (JAEA)

➤ 第2段階後半に向けた検討の概要（P3～P11）

第2段階後半の主要作業の概要と、もんじゅの廃止措置の特徴を踏まえた今後の廃止措置計画検討の基本方針を説明

➤ バルクナトリウム搬出に向けた検討状況（P12～P16）

現在は、第2段階の後半の主要作業の一つであるバルクナトリウムの搬出に係る検討に特に注力。今回、搬出に用いる設備設計や安全確保の基本的考え方を説明

➤ 性能維持施設の見直しに向けた検討状況（P17～P19）

第2段階の後半のプラント状態と廃止措置作業の変化に伴う性能維持施設の見直しの検討のポイントを説明。特に、今後のナトリウム関連設備の取扱いについて、もんじゅが整理した考え方を説明

1. 第2段階後半に向けた検討の概要
2. バルクナトリウムの搬出に向けた検討状況
3. 性能維持施設の見直しに向けた検討状況

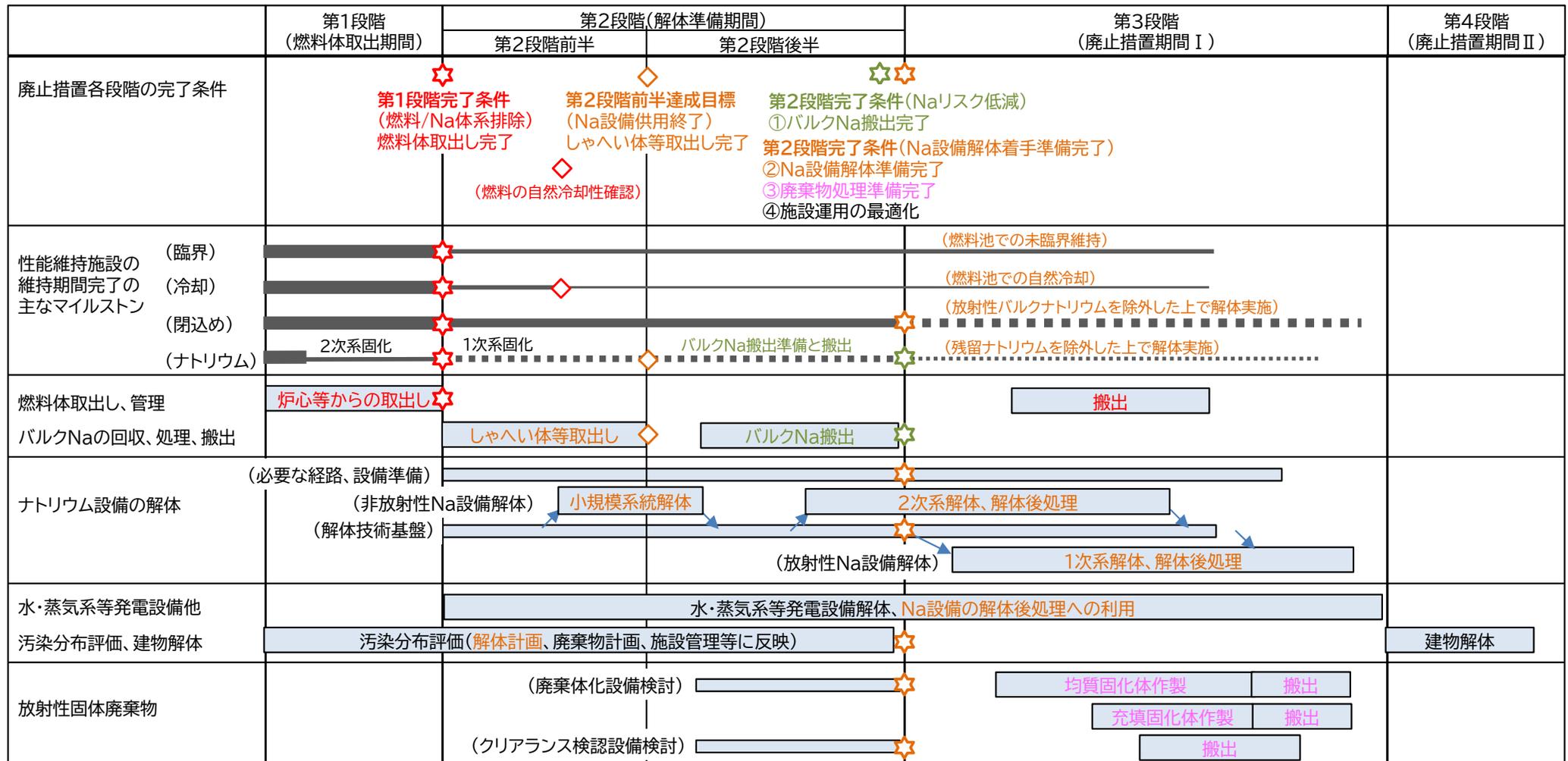
1. 第2段階後半に向けた検討の概要

(1)もんじゅ廃止措置計画全体像における各段階の位置付け

- もんじゅの廃止措置を安全、確実、かつ速やかに実施するため、以下の4段階から構成する
 - 第1段階：燃料体取出しを完了し、燃料/ナトリウム体系を排除
 - 第2段階：**バルクナトリウム搬出**を完了するとともに、**ナトリウム設備本格解体着手の準備**を完了
 - 第3段階：燃料体搬出、ナトリウム設備解体、廃棄物搬出を完了
 - 第4段階：建物解体を完了し、廃止措置を完了

廃止措置計画全体像（各段階の完了条件、施設の性能維持要求の変遷及び主な廃止措置作業）

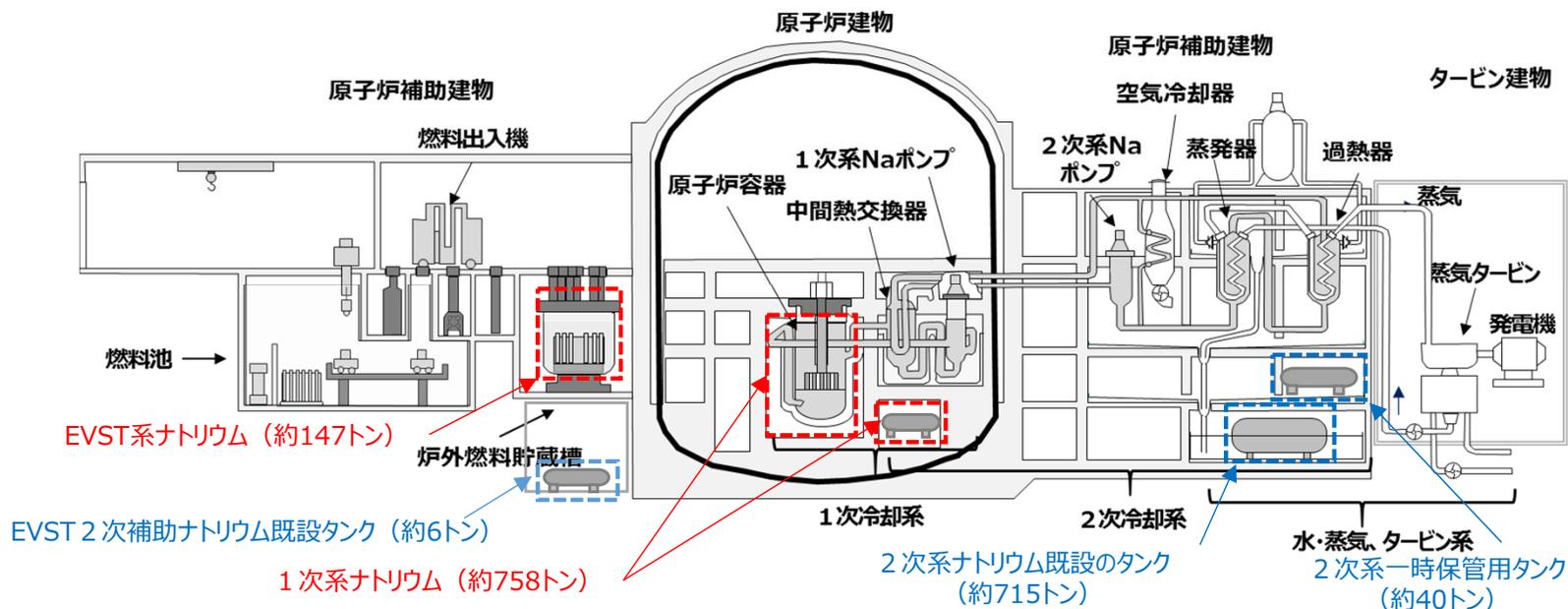
注）第3段階以降については現時点の想定



1. 第2段階後半に向けた検討の概要

(2)バルクナトリウムの搬出 ～第2段階の搬出対象ナトリウム～

- 2028年度に非放射性バルクナトリウムの所外搬出を開始し、2031年度に全てのバルクナトリウムの所外搬出作業を完了させ、ナトリウム保有に伴うリスクを低減する（廃止措置計画認可申請書記載事項）



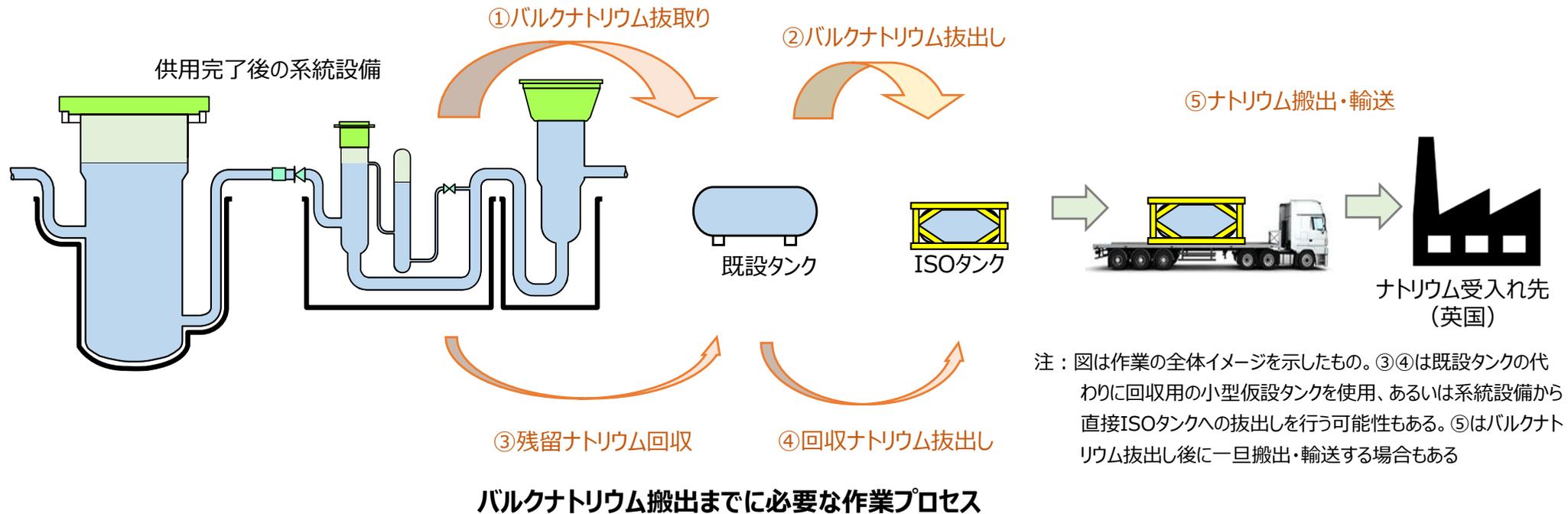
「もんじゅ」におけるナトリウム (現時点における試算値)		第1段階終了時の保有量(トン)			第2段階の搬出対象ナトリウム
		バルクナトリウム※2	バルクナトリウム 以外のナトリウム	合計	
非放射性 ナトリウム	2次系	728	27	755	・バルクナトリウム ・第2段階回収可能ナトリウム※3(主にタンク底部を目標)
	EVST2補系	6	0	6	設備解体技術基盤整備に利用するため搬出対象外
放射性 ナトリウム	原子炉容器、1次系	727	31	758	・バルクナトリウム ・第2段階回収可能ナトリウム※3(主にタンク底部、燃料移送ポット内を目標)
	EVST1補系	127	19	147	
ナトリウム総計		1,588	77	1,665※1	—

※1 四捨五入しているため、内訳の合計と一致しない ※2 既設設備を用いて通常操作で輸送用タンクへ抜き出すナトリウム

※3 バルクナトリウム以外のナトリウムの内、第2段階で回収可能なナトリウム

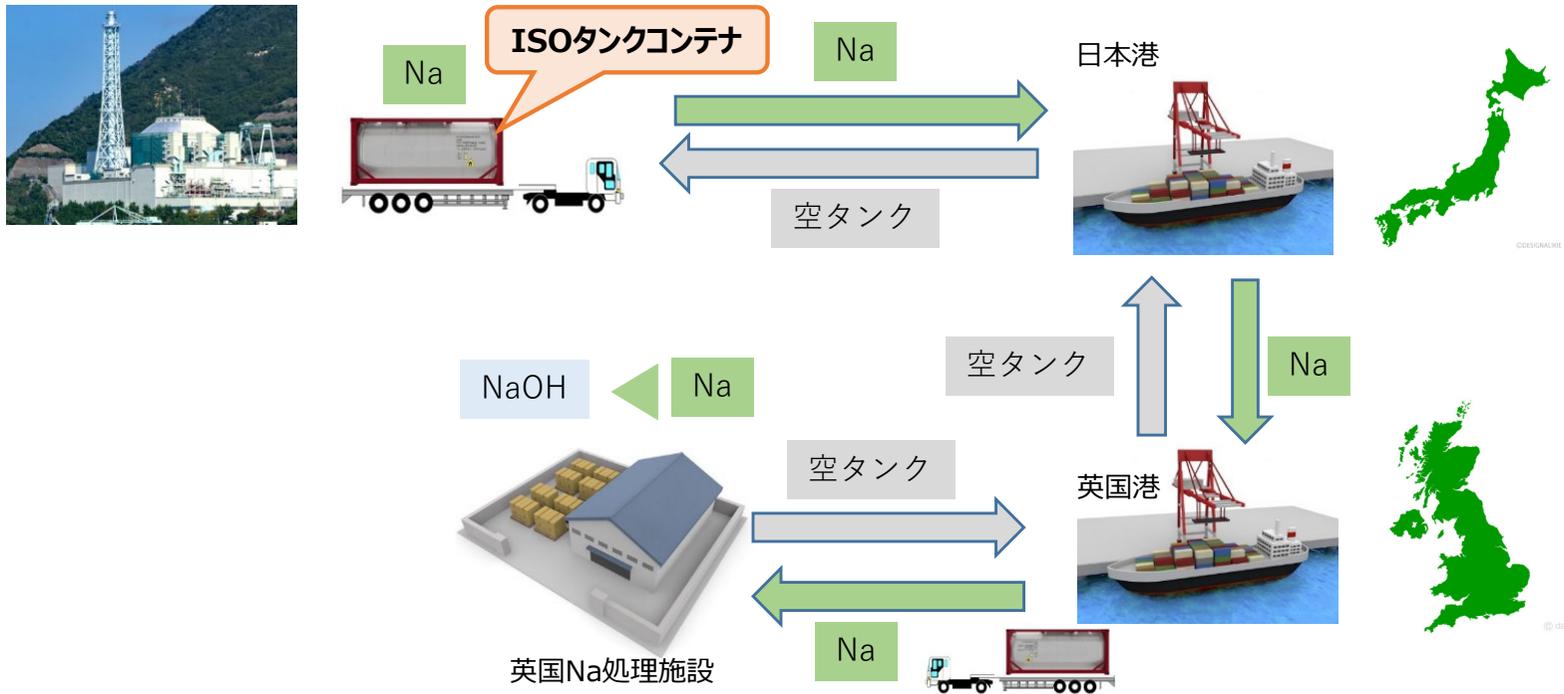
- バルクナトリウム搬出完了に必要な作業プロセスは、以下のとおり
 - ① 系統設備から既設タンクへの「バルクナトリウム抜取り」
 - ② 既設タンクから輸送用のISOタンクへの「バルクナトリウム拔出し」
 - ③ 「バルクナトリウム抜取り」後の系統設備に残留した「残留ナトリウム※回収」
 - ④ 回収したナトリウムの輸送用のISOタンクへの「回収ナトリウム拔出し」
 - ⑤ ISOタンクをナトリウム受入れ先である英国へ搬出する「ナトリウム搬出・輸送」
- バルクナトリウム搬出に向けて多くの机上検討を実施。現場工事等を含めた事前準備を確実に進め、バルクナトリウムの搬出作業を安全・確実・速やかに実施する
- バルクナトリウムの搬出に係る基本スケジュールと、搬出に向けた検討手順を次頁以降に示す

※ 前頁の※3（バルクナトリウム以外のナトリウムの内、第2段階で回収可能なナトリウム）に該当するもの



もんじゅナトリウムの英国搬出及び処理の流れ

- ① もんじゅから非放射性Naを充填したISOタンクコンテナを港まで陸送（2次系Na）
- ② 海上輸送し、英国処理施設にて化学処理（Na → NaOH）
- ③ 空のISOタンクコンテナを日本に返却
- ④ もんじゅから放射性Naを充填したISOタンクコンテナを港まで陸送（1次系Na）
- ⑤ 海上輸送し、英国処理施設にて化学処理（Na → NaOH）



もんじゅナトリウムの英国搬出及び処理の流れ

1. 第2段階後半に向けた検討の概要

(2)バルクナトリウムの搬出 ～基本スケジュール～

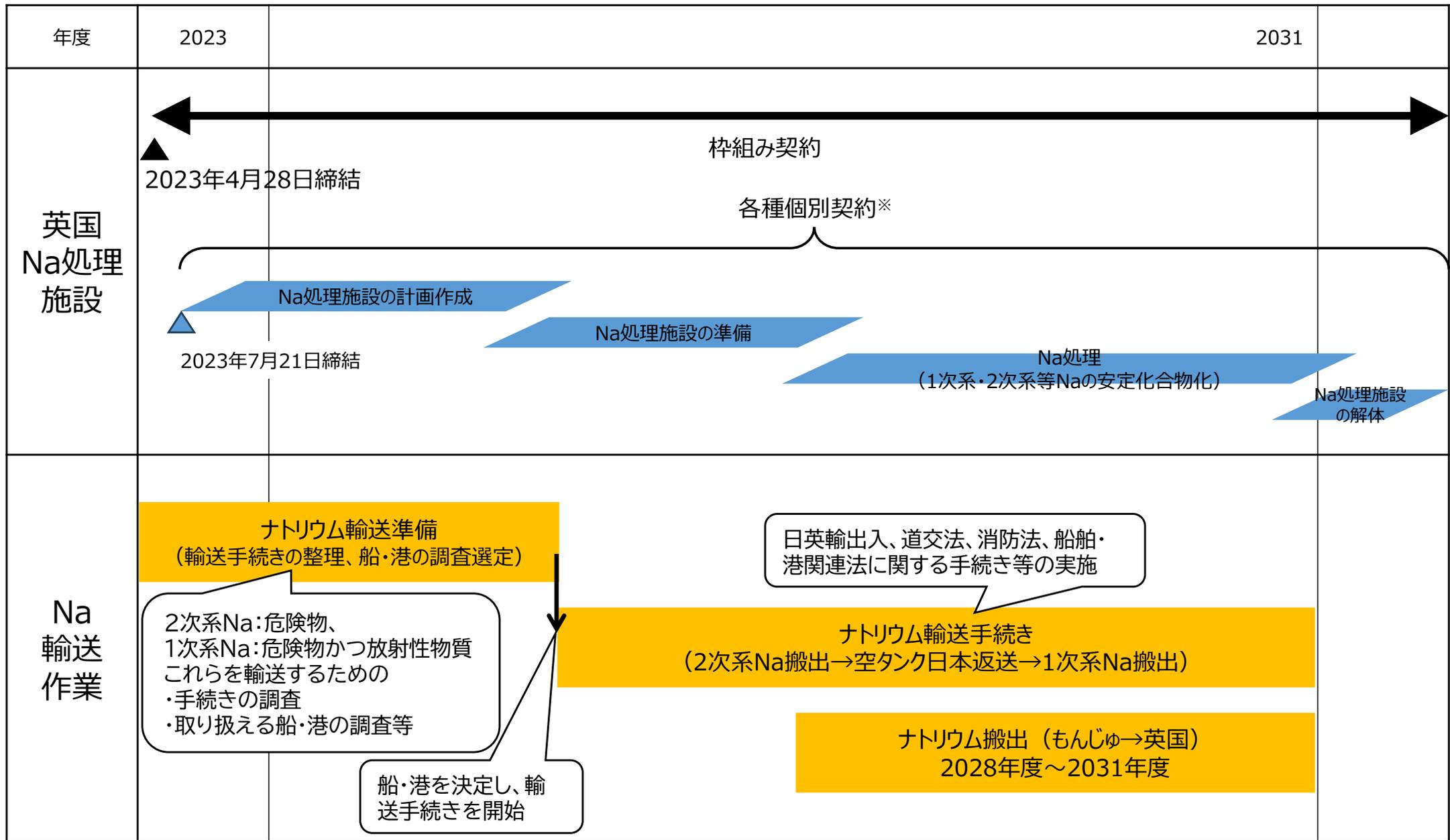
- 主要クリティカル工程を安全、確実に9年間で実施し、バルクナトリウム搬出を2031年度に完了する
 - ・ しゃへい体等取出し作業：約600体のしゃへい体等取出し作業を4年間で実施
 - ・ 非放射性ナトリウムの抜出・搬出作業：抜出設備の整備準備から抜出・搬出までを4年間で実施
 - ・ 放射性ナトリウムの抜出・搬出作業：抜出設備の整備準備から抜出・搬出までを5年間で実施
 - ・ 抜出・搬出に向けた体制整備や事前訓練等は改造工事期間を利用して実施

バルクナトリウム搬出に関する主要作業の基本スケジュール（現時点の想定）

バルクナトリウムの抜出・搬出主要工程	第2段階（前半）				第2段階（後半）					
	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度	2031年度	
抜出・搬出に係る 基本事項検討	・概略工程 ・抜出エリア、ルート ・設備管理方針		・詳細工程		・手順書整備 (非放射性)		・手順書整備 (放射性)			
非放射性 バルクナトリウム	認可事項 ・Na抜出・搬出方法、Na搬出工程 ・非放射性Na抜出設備、安全管理		許認可	抜出設備の整備準備／改造工事		抜出・搬出				
放射性 バルクナトリウム	しゃへい体等取出し				認可事項 ・放射性Na抜出設備、安全管理		体制整備等			
	認可事項 ・残留Na回収計画(放射性、非放射性含む)		許認可	認可事項 ・残留Na回収設備、安全管理 (EVST燃料移送ポット)		許認可		抜出設備の整備準備／改造工事		抜出・搬出
バルクナトリウム抜出後の 残留ナトリウムの第2段階中の回収	回収に向けた検討（燃料移送ポット、大型タンク）				許認可					
	許認可				認可事項 ・残留Na回収設備、安全管理 (タンク)					
	回収に向けた検討（燃料移送ポット、大型タンク）				残留ナトリウムの回収対応					
	(搬出するNaは英国にて再利用するため、切子等の不純物の混入を避け、汲み上げ又はオーバフローによる回収を基本とする)									

1. 第2段階後半に向けた検討の概要

(2)バルクナトリウムの搬出 ～英国搬出及び処理 工程イメージ～

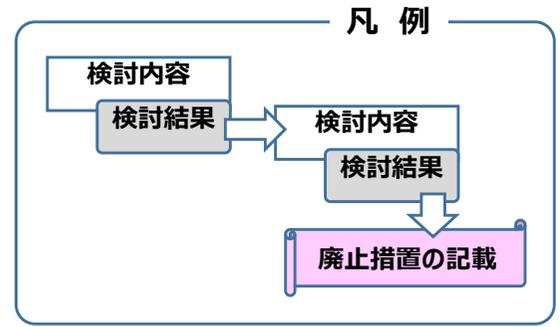
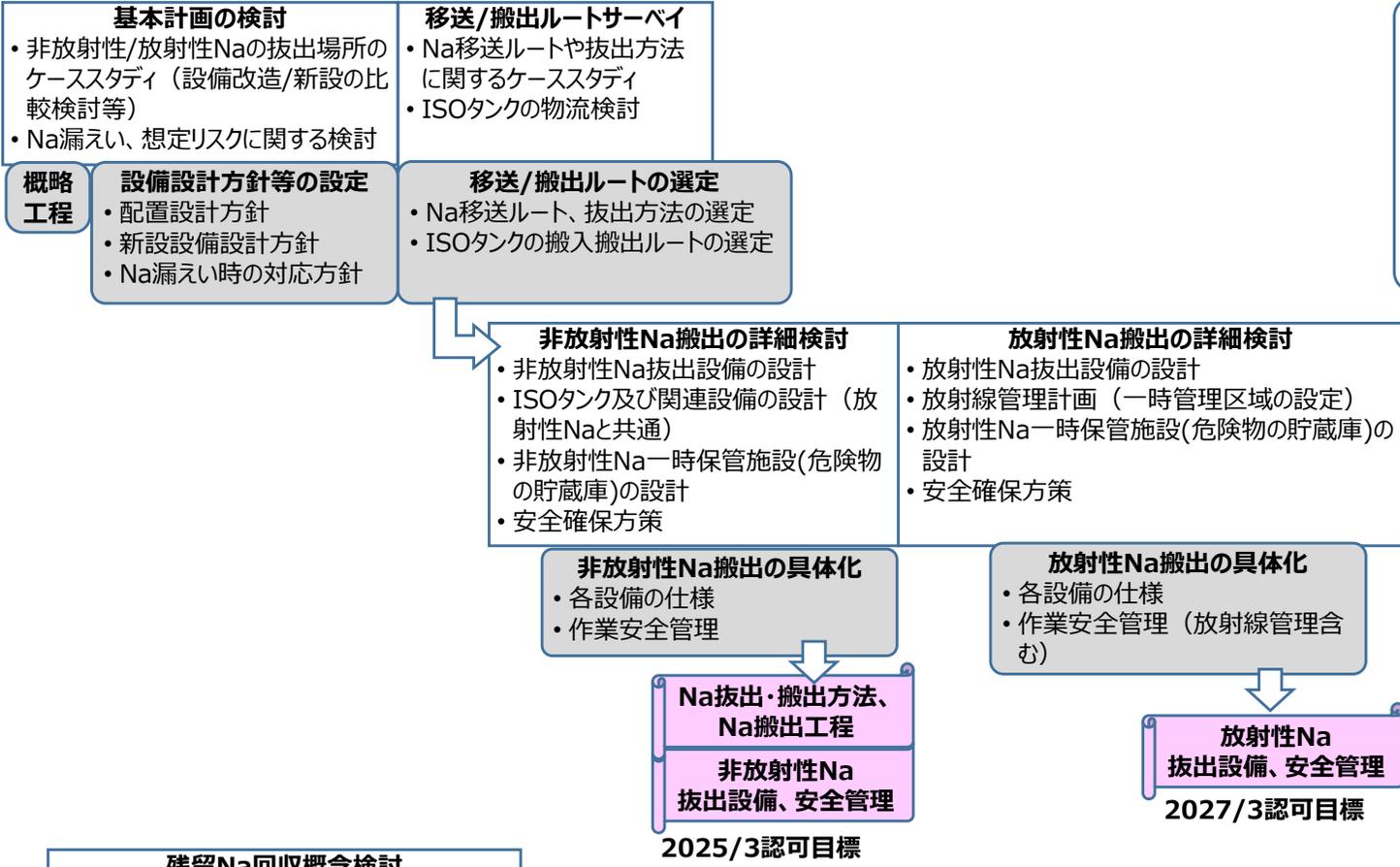


※工程の詳細は守秘義務によりご提示できません。

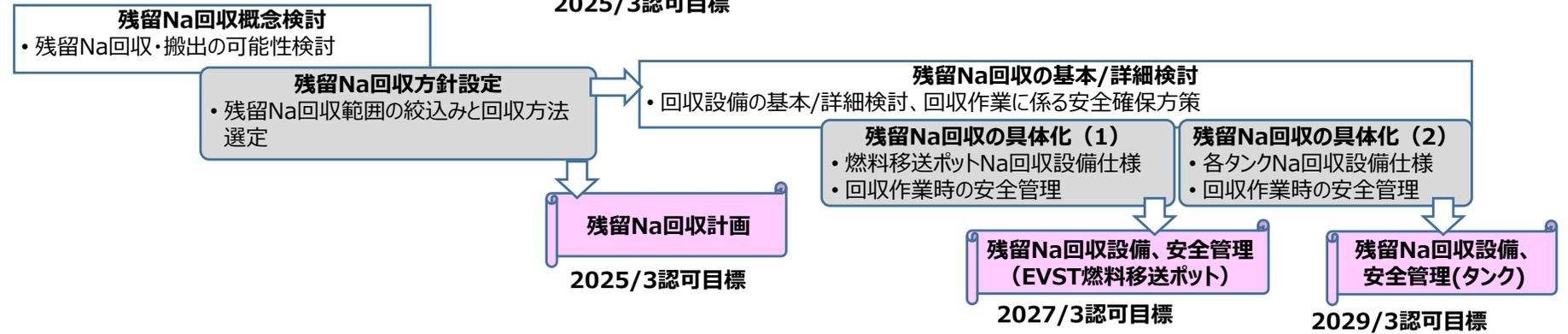
1. 第2段階後半に向けた検討の概要

(2)バルクナトリウムの搬出 ～搬出に向けた検討手順～

バルクNaの搬出



バルクNaとともに搬出する残留Naの回収



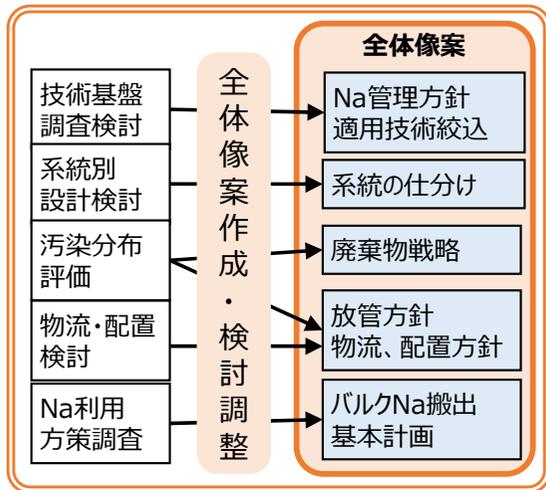
現在概念検討中のため申請時期が変わる可能性もある

1. 第2段階後半に向けた検討の概要

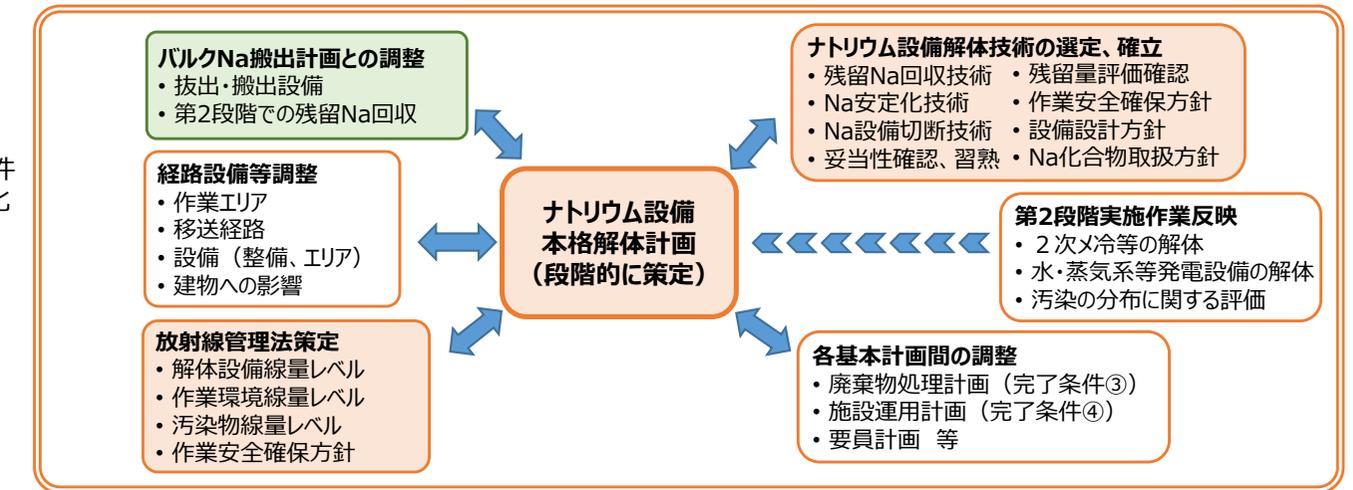
(3)ナトリウム設備の本格解体着手準備等 ～本格解体に向けた検討手順～

- 第2段階の準備作業の内容は、第3段階に行うNa設備の本格解体の計画に基づき設定する
- 第3段階の本格解体の計画の策定に当たっては、以下の特徴に留意する
 - ・ 我が国初の原子炉施設のNa設備解体であり、解体技術基盤の整備、適用に当たっての検証、作業習熟が必要（ナトリウム設備の解体には多段の作業ステップが必要であり、作業量が多い）
 - ・ タンク、配管、ポンプ等の共通的な機器の他、原子炉容器、コールドトラップ等の特殊機器があり、共通的な機器は2次メンテナンス冷却系(2次メ冷)等の小規模系統、2次系、1次系と段階的に解体技術の検証、習熟が可能である一方、特殊機器については個々の技術開発、検証、習熟が必要
 - ・ 解体作業のためには、作業エリア、移送ルート確保、設備整備が必要があり、これらは、解体により発生する解体廃棄物の管理、放射線管理、施設運用計画、要員計画等との整合が必要
- 上記を踏まえ、系統設備の解体順序に応じ、段階的に本格解体の計画を具体化していく

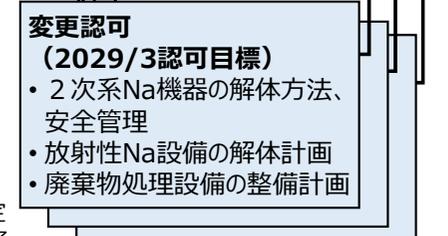
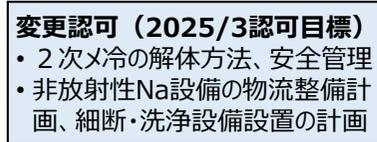
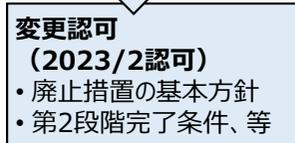
これまでの検討



ナトリウム設備本格解体に向けた各種検討・調整事項イメージ



検討結果を段階的に
廃止措置計画へ反映

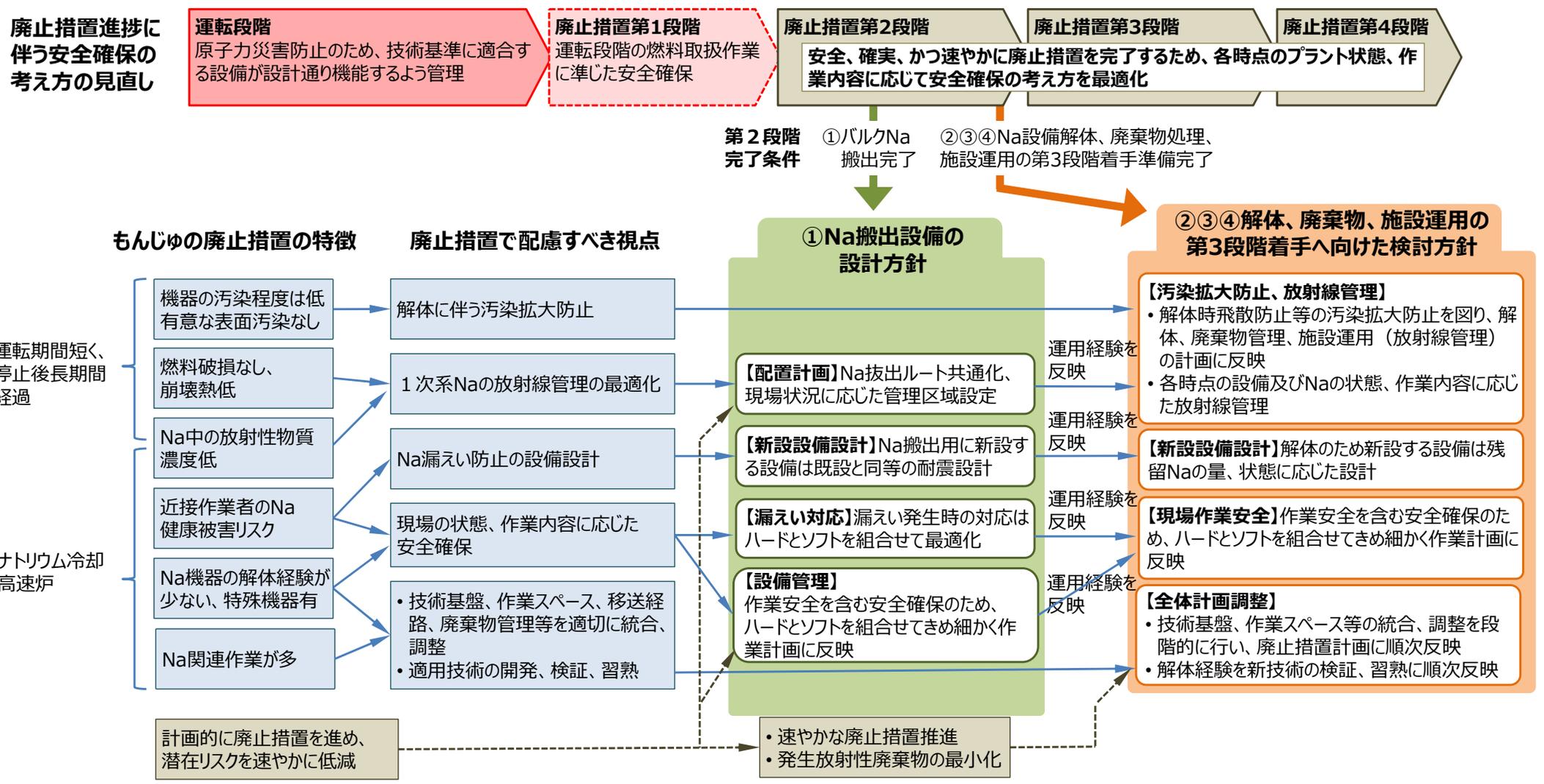


概ね2年毎に廃止措置計画に反映し、認可を得る予定
現在概念検討中のため申請時期が変わる可能性もある

1. 第2段階後半に向けた検討の概要

(4)もんじゅの廃止措置の特徴を踏まえた今後の廃止措置計画検討の基本方針

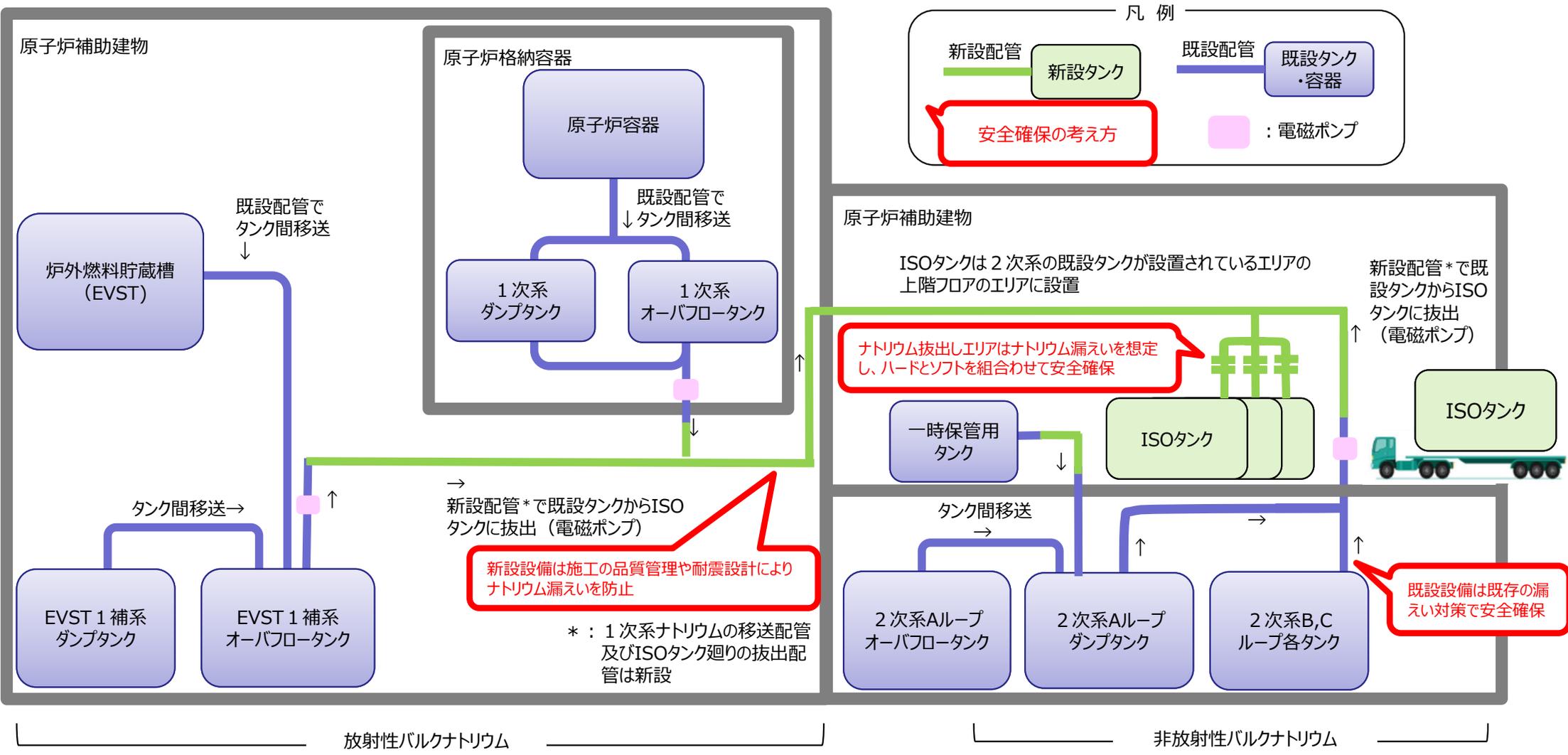
- 安全確保の考え方は、もんじゅの廃止措置の特徴と廃止措置各段階のプラント状態、作業内容の変化を考慮して見直し。廃止措置計画の検討方針へ反映する等して、廃止措置各段階の安全確保方策を具体化



2. バルクナトリウムの搬出に向けた検討状況

(1) ナトリウムの移送ルート等の概要と安全確保の基本的考え方

- ナトリウムの抜取り、抽出しに係るナトリウムの移送ルート及び抽出し方法の概要を下図に示す
- ナトリウム漏えいを最大の安全阻害要因と捉え、**新設設備においては漏えいを防止する設計 (P13~P14)**、**既設設備においては既存の漏えい対策を有効に活用して安全を確保**
- 作業員が近接して特有の作業を行う**抽出しエリアにおいては、ナトリウム漏えいを想定してハードとソフトを組合わせて安全を確保 (P15~P16)**



1. 基本的考え方

- 新設するISOタンクやナトリウム移送用の配管は、もんじゅ内の設備からナトリウムを排出するために一時的に使用する工事用の設備
- 一方、ナトリウムは化学的に活性であり、ナトリウム漏えいはナトリウム移送作業に従事する作業者の安全に影響を与えるだけでなく、廃止措置工程を大きく遅延させるおそれ
- 従って、工事用の設備とはいえ、ナトリウム移送に用いる設備は、**ナトリウム漏えい防止を第一に考えて設計**する

2. 設備設計方針

① 施工の品質管理

技術基準は、施設供用に向けた設置、運転等の基準であるが、ナトリウム移送時の作業員の安全確保及びナトリウム漏えい時の工程遅延リスクに鑑み、新設するナトリウム移送配管は、**高速原型炉第4種機器*1相当として、以下の技術基準に適合するよう設計**

- ナトリウム冷却型高速炉に関する構造等の技術基準*2
- ナトリウム冷却型高速炉の溶接の技術基準*2
- ナトリウム冷却型高速炉の溶接の方法等*2

*1：「高速原型炉第4種機器（容器及び管）」とは、高速原型炉第1種機器、高速原型炉第2種容器、高速原型炉第3種機器及び高速原型炉第5種機器（管）以外の容器又は管（内包する流体の放射性物質の濃度が37ミリベクレル毎立方センチメートル（流体が液体の場合にあつては、37キロベクレル毎立方センチメートル）以上の管又は最高使用圧力が零メガパスカル（ゲージ圧）を超える管に限る。）をいう。JSME 発電用原子力設備規格 設計・建設規格ではクラス3機器(管)に該当

*2：「研究開発段階発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に添付されている別紙1、2、3参照。これら基準に記載されたJISの引用年次が古い、あるいは記述が古い場合は、直近のJIS、又はJSME 発電用原子力設備規格の設計・建設規格、材料規格、溶接規格を適用する

2. 設備設計方針 (続き)

② 耐震設計

➤ 配管

- 今回新設する配管の耐震要求は、設置許可申請書添付書類八、耐震設計のクラス別施設：第1.3-1表の「Aクラスに属さない施設に該当し、大量の液体ナトリウムを内蔵する設備はBクラスとして設計」に相当すると考えられるため、耐震クラスはB
- しかし、ナトリウムの移送配管は空気雰囲気中のエリアに設置されることから、地震起因による配管の損傷を排除*することを目的に、**Sクラス地震にも耐える設計となる耐震クラスB(S)とする**

*：「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」において、耐震クラスがB、Cクラス機器であっても、基準地震動による地震力に対して耐震性が確保されるものについては、漏水を考慮しないことができる旨の記載がある

新設配管の漏えい対策方針について

ナトリウム移送配管は、供用時間も短く、構造材料の劣化に伴う配管の損傷は考えられない。このため、前述の施工の品質管理や耐震設計を確実に行うことで、ナトリウム漏えいを排除できる。従って、新設配管の漏えい対策方針としては、ナトリウム漏えいの監視は可能な状態とするが、**ナトリウム漏えいを想定した樋や床ライナまでは敷設しない**

➤ ISOタンク

- 国際規格に適合したISOタンクは輸送時に加わる荷重を考慮した設計となっているものの、Sクラス地震動想定の評価は実施されていない
- 従って、**ナトリウム拔出エリアに固定したISOタンクにナトリウムを充填した状態での各部位（ISOタンク本体及びフレーム、ISOタンク専用台車等）の構造評価を実施し、ナトリウム漏えいが生じないことを確認**

1. 基本的考え方

- ISOタンクと移送配管との接続部は、フランジ接続。ISOタンクの接続/切り離しを繰り返し（非放射性ナトリウム抽出しで40回以上）行うことから、作業性や工程成立性などを総合的に考えるとフレキシブル配管を用いた接続となる
- 一方、フランジ接続は、溶接構造とは異なり、シール材を用いた密封構造となり、シール部からのナトリウム漏えいの可能性を完全には排除できない
- ナトリウム抽出しエリアには近接して作業を行う作業員も存在することから、作業員の安全確保のため、**次頁に示すようなフランジ部からの微少漏えいを想定した漏えい対策を行う**
- **また、ナトリウム漏えい対策は、作業区画毎に漏えいの検出・停止・周辺設備等への影響緩和をハードとソフトを適切に組み合わせる**

2. ナトリウム抽出しエリアにおける漏えい対策の方針

① 漏えいの検出（監視）

- 既設の火災感知器に加え、漏えい想定箇所であるフランジ部から漏えいしたナトリウムを検出できるよう、ISOタンクの上部にナトリウム漏えい検出器を設置（ハード）
- 近接して作業を行う作業員等が現場で直接監視するとともに、異変を感じた場合は速やかに中央制御室へ連絡。ナトリウム漏えいを中央制御室にて早期に判断（ソフト）

② 漏えいの早期かつ確実な停止

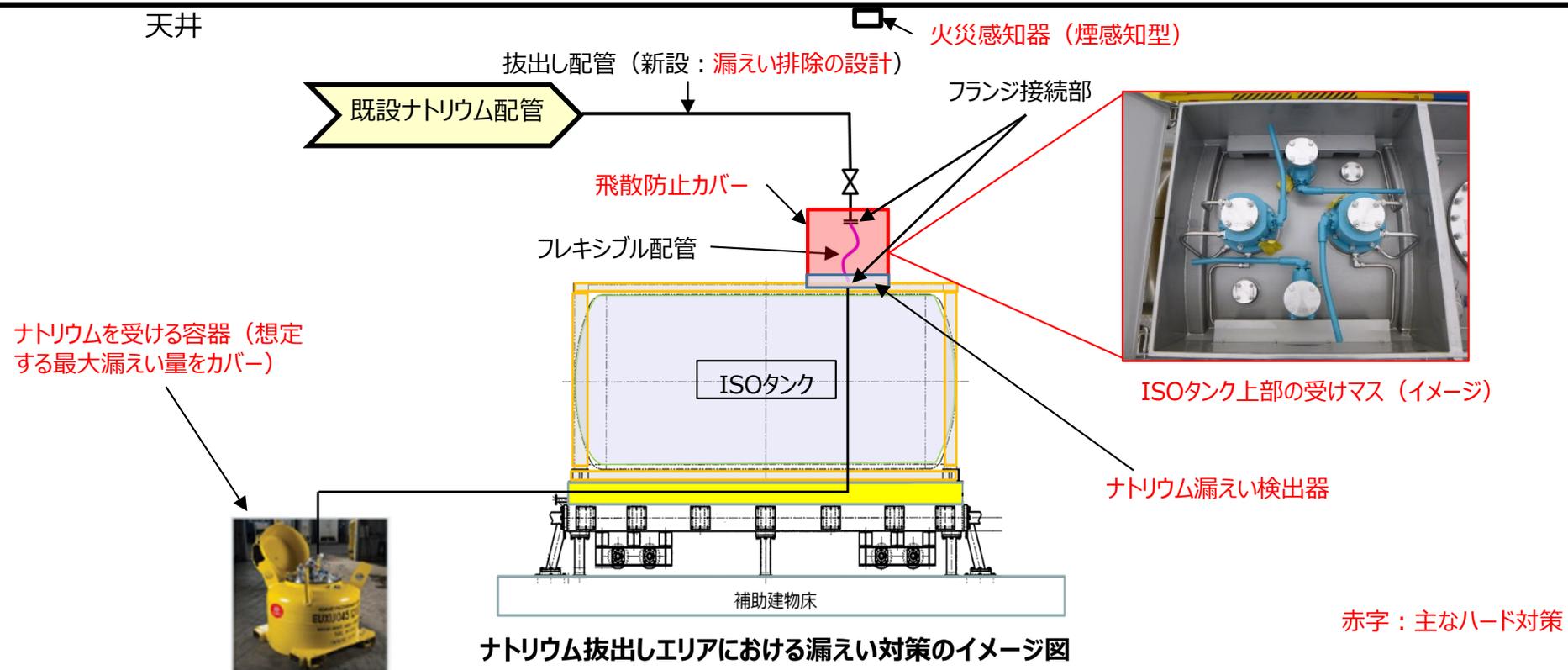
- 電磁ポンプの停止又は弁の閉止等の操作を速やかに実施できる体制を整備。漏えいの停止の対応はナトリウム抽出しエリア（漏えいの発生エリア）以外でも可能な状態にしておく（ソフト）

③ 漏えいの影響緩和

- 換気系の運転停止し、空気供給を遮断するとともにナトリウムエアロゾルの拡散を抑制（ソフト）

2. ナトリウム抽出しエリアにおける漏えい対策の方針 (続き)

- 漏えいを想定するフランジ部にはナトリウム漏えい時のナトリウムの飛散を防止するカバー等を設置 (ハード)
- ISOタンク設置位置の直下には既設の床ライナはないため、フランジ部から漏えいしたナトリウムを受ける容器等をISOタンク周囲に設置し、ナトリウム-コンクリート反応を防止。漏えいしたナトリウムを当該容器等に導くよう、ISOタンクの上部には受けマスを設置 (ハード)
- 容器等の容量は想定する最大漏えい量をカバーできるものとする (ハード)
- ナトリウム抽出しエリアにはナトレックス消火剤を配備し、漏えいを確認次第作業員等が速やかに初期消火 (ソフト)



(1) 廃止措置の進捗に応じた性能維持施設の抽出と検討のポイント

以下のもんじゅ固有の事項を踏まえ、その時々に対応の方向性を模索しながら、性能維持施設の維持を含めた廃止措置を実施中

1. 炉心に燃料体がある状態から廃止措置へ移行
2. 冷却材として化学的に活性なナトリウムを使用する原子炉施設

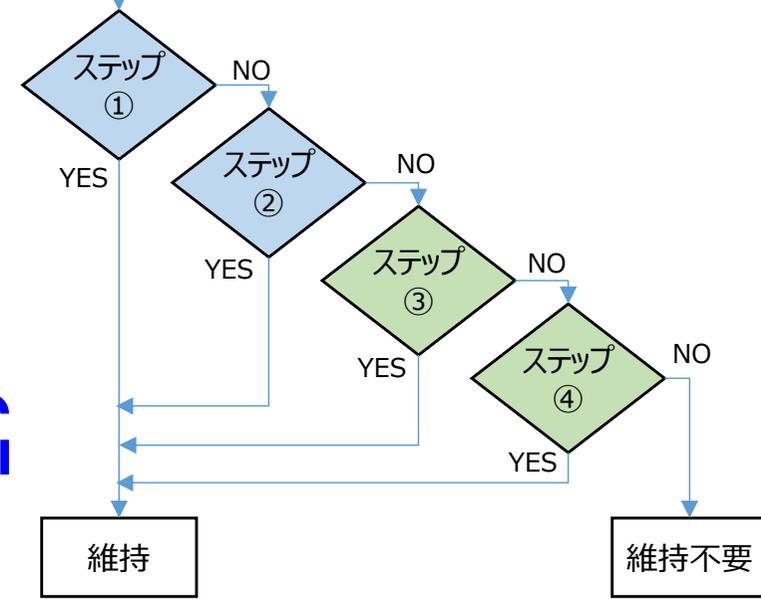
第2段階（後半）の性能維持施設の抽出における基本的考え方

- 現在のもんじゅは燃料体取出し作業を完了しており、軽水炉の廃止措置開始状態と基本的に同じ状況
- 従って、性能維持施設を抽出する観点とは、軽水炉と共通（**公衆及び放射線業務従事者の受ける線量の抑制又は低減**）
- 加えて、廃止措置全体を通じた公衆及び放射線業務従事者の受ける**線量の計画的な低減を損ねるリスク（大幅な工程遅延リスク）を早期低減する観点**が必要

第2段階（後半）の検討のポイントは以下のとおり

- **ステップ①：重要な安全機能か？（止める、冷やす、閉じ込める）**
 - 使用済燃料の強制冷却が必要ないことを確認し、燃料池水冷却に関する安全機能を除外
- **ステップ②：大規模損壊対応に必要な機能か？**
 - サイト内に燃料及びバルクナトリウムが存在することから、大規模損壊等への対応については引き続き機能を維持
- **ステップ③：もんじゅの特殊性を考慮して維持すべき機能か？**
 - しゃへい体等取出し作業終了後は、リカバリープランを除外
 - **バルクナトリウムの抜出・搬出作業に用いる設備については、設備の使用方法、作業安全確保の在り方等を検討の上、管理方法を決定し、維持/除外を判断**
- **ステップ④：廃止措置の安全確保上、必要な機能か？**
 - 上記①～③の結果を踏まえ判断
- また、安全機能の見直し結果、プラント状態の変更を踏まえ、より効果的な設備運用を図るため、予備機、維持台数を見直すとともに、設備運用の最適化を図る

第2段階前半において必要とした全ての安全機能及び追加、使用する設備の安全機能

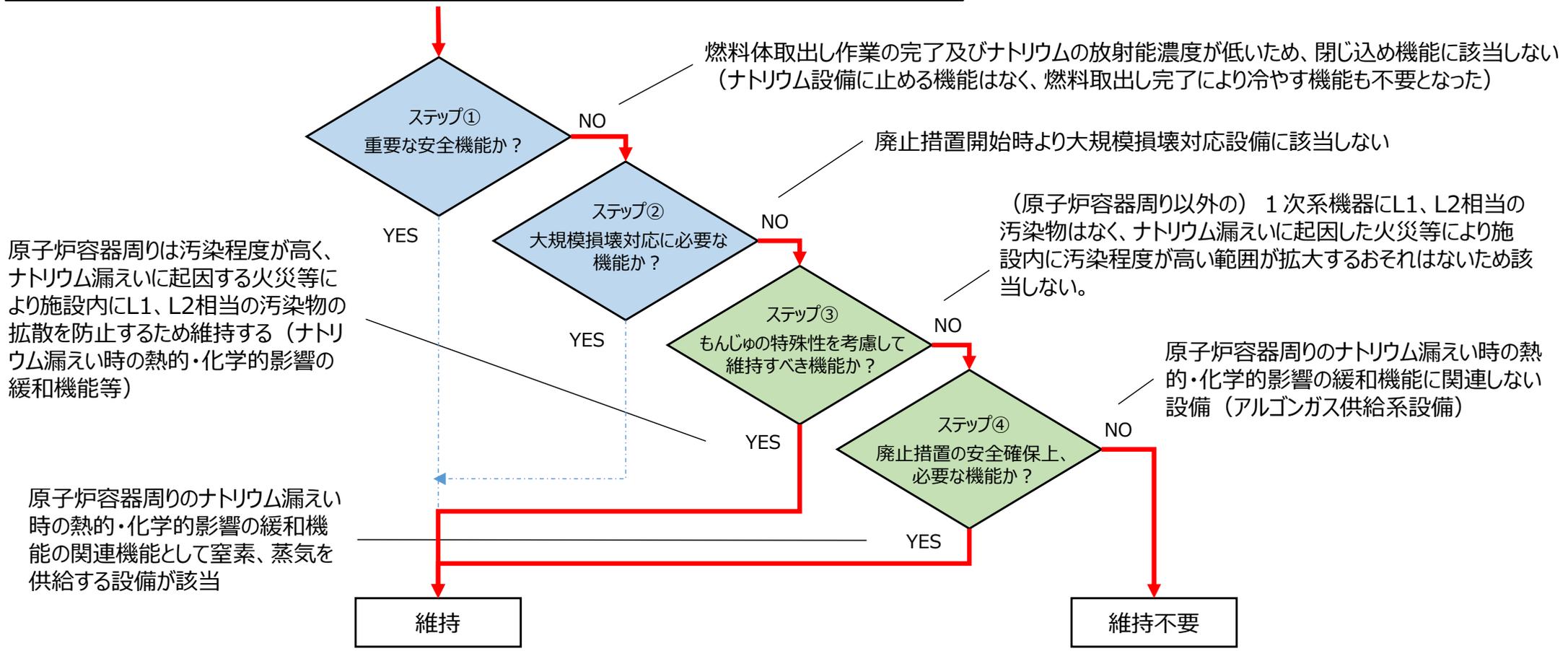


安全機能の抽出フロー

3. 性能維持施設の見直しに向けた検討状況 (2)ナトリウム関連設備の性能維持の考え方

- 第2段階（後半）の性能維持施設の抽出における基本的考え方内、線量の計画的な低減を損ねるリスク（大幅な工程遅延リスク）を早期低減するためには、汚染程度が低い原子炉施設の状態を確実に維持し、解体計画が延長するリスクを排除することが必要
- したがって、ステップ③にて放射化汚染レベルが高い原子炉容器廻りの機能を維持し、ステップ④ではステップ①～③の関連機能を維持することで汚染程度が低い原子炉施設の状態を維持させる
- この考え方をもとに、性能維持施設の抽出判断例を以下に示す

第2段階前半において必要としたナトリウム関連設備の安全機能及び追加、使用する設備の安全機能



設備管理の考え方

- 性能維持施設から除外したナトリウム関連設備は、工事用仮設設備として保安規定に基づき、作業に供する設備の管理方法を設定し安全確保

設備の管理方法

保安規定に基づき、具体的な設備管理の方法を設定し管理

- 設備使用前は、点検、自主的な検査、消防法に基づく検査により健全性を確認
 - 既設設備（再使用設備を含む）・・・従前の点検内容を踏襲した点検、自主的な検査
 - 新設設備・・・消防法に基づく検査（耐圧検査等）、自主的な検査（溶接検査等）
- 作業中は、設備状態の監視により健全性が確保されていることを確認

メリット

- 定期事業者検査は不要
 - ナトリウムを取り扱う期間が短縮
 - 検査独立性のために必要であった人員が削減
- 作業管理の中で運転状態をきめ細かく監視し、異常の早期発見、対処



- ナトリウムを保有するリスクの早期低減に寄与
- 余剰リソースを他の廃止措置作業の検討に分配



より安全確実速やかにバルクナトリウム拔出、搬出が可能