

# バルクナトリウムの搬出に係る検討状況

2023年 12月 8日

日本原子力研究開発機構 (JAEA)

1. ナトリウム搬出のための設備の配置設計
  - (1)物流基本計画に基づく配置設計の検討条件
  - (2)配置設計検討の進め方
  - (3)放射性ナトリウム抽出しエリアの共通化検討
  - (4)サイト内におけるISOタンク運搬計画、一時保管エリア
  
2. ナトリウム搬出のための安全確保の考え方
  - (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
  - (2)新設設備設計の考え方
  - (3)ナトリウム抽出しエリアにおける安全確保の考え方

# 1. ナトリウム搬出のための設備の配置設計

## (1) 物流基本計画に基づく配置設計の検討条件

### 1. 物流基本計画

- バルクナトリウムと第2段階で回収可能なナトリウムを、ISOタンクを用いて英国に搬出（ナトリウムは固化状態）
- ISOタンク（フレーム長さ約6.1m×幅2.4m×高さ約2.6m）へのナトリウム充填量は1基当たり約18トン程度を想定
- 前期搬出分（危険物輸送）と後期搬出分（放射性の危険物輸送）に分割

（下表内容は現時点の想定）

| 区分   | 拔出・搬出時期           | 搬出対象   | 搬出想定量         | ISOタンク数 | 搬出手順                        |
|------|-------------------|--|---------------|---------|-----------------------------|
| 前期搬出 | 2028年度            | ・非放射性バルクナトリウム                                  | 約 728トン       | 42基     | サイトから港に陸上輸送し、コンテナ船に積載して海上輸送 |
| 後期搬出 | 2030年度～<br>2031年度 | ・放射性バルクナトリウム<br>・第2段階で回収可能なナトリウム<br>(非放射性、放射性) | 約 854トン<br>+a | 48基+数基  | サイトから港に陸上輸送し、専用船に積載して海上輸送   |

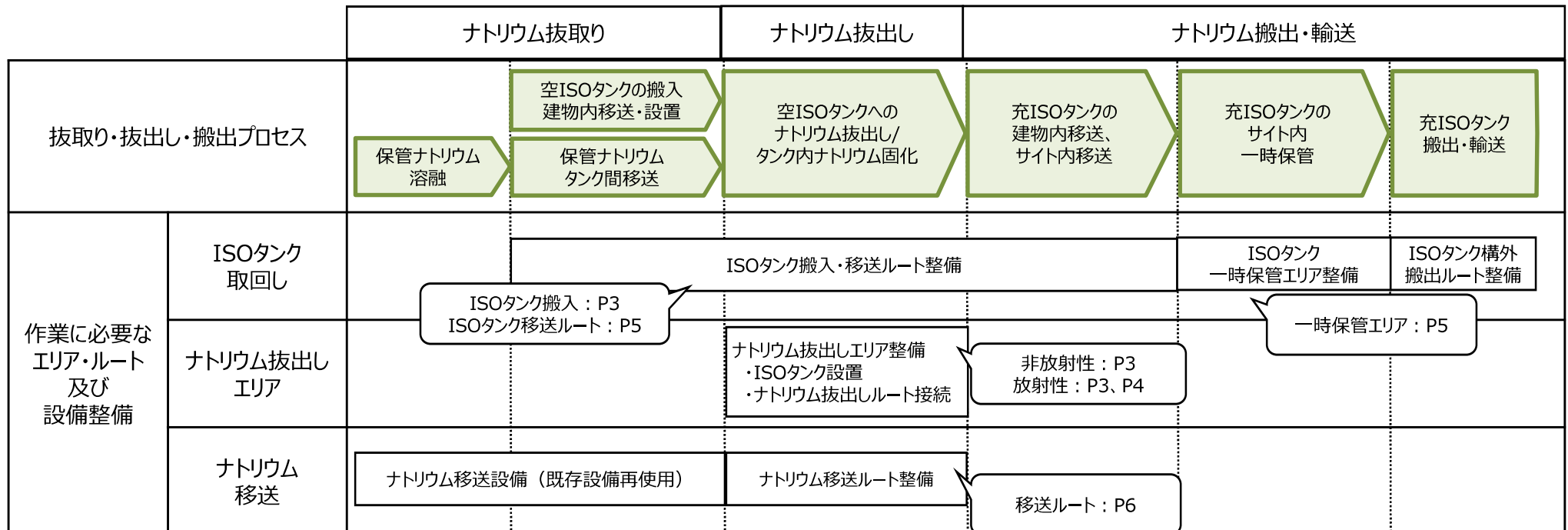
### 2. 配置設計の検討条件

- ISOタンクへのバルクナトリウム拔出し能力
  - 非放射性ナトリウムの拔出し・搬出を2028年度の1年間で行うため、4基/月程度のペースでバルクナトリウムの拔出しができること（**拔出しエリアには複数基のISOタンクを設置できること**）
- サイト内のISOタンク一時保管施設の保管能力、要件
  - 前期搬出（非放射性ナトリウムの輸送物）はサイト外への搬出頻度は1回/月程度となる予定。ISOタンク10基程度の保管能力を有し、消防法の要件を満足すること
  - 後期搬出（放射性ナトリウムの輸送物）はサイト外への搬出回数は少ない（暫定として3回程度）を想定。ISOタンク20基程度の保管能力を有し、炉規法、消防法の要件を満足すること
- ISOタンクの建物への搬出入ルートに関する方針
  - 建物へのISOタンクの搬出入は、**従来から大型機器の搬出入口として設計されている大型扉を利用して実施**

# 1. ナトリウム搬出のための設備の配置設計

## (2) 配置設計検討の進め方

- 配置設計においては、ISOタンク取回し、ナトリウム抽出しエリア、ナトリウム移送を考える必要がある。ISOタンクを設置するナトリウム抽出しエリアは広いエリアが必要であり、ISOタンク取回しやナトリウム移送ルートとも密接に関連する。**ナトリウム抽出しエリアを優先して選定し、その後、具体的な配置を設備設計と合わせて進めることが効率的**
- 建物へのISOタンクの搬出入は、廃止措置第1段階で実施した2次系ナトリウム一時保管用タンクと同じルートを活用すると建物の改造を最小限にでき、また非放射性ナトリウムを保管している既設タンクの近傍。ナトリウム抽出し配管整備の点からも合理的であるため、**本エリアを非放射性ナトリウムの抽出しエリアとし（参考資料1参照）、設計検討を進める**
- 搬出対象の放射性ナトリウムの放射能レベルは低く、ナトリウム移送ルート、抽出しエリア、ISOタンク移送ルート等を非放射性ナトリウムと共通化できる可能性がある。ナトリウム抽出しエリアの共通化により、追加スペースが削減されるだけでなく、追加工事規模も減り、発生廃棄物量の削減にもつながる
- このため、放射性ナトリウムの抽出しエリアは非放射性ナトリウム抽出しエリアと共通化する方向で検討を進める

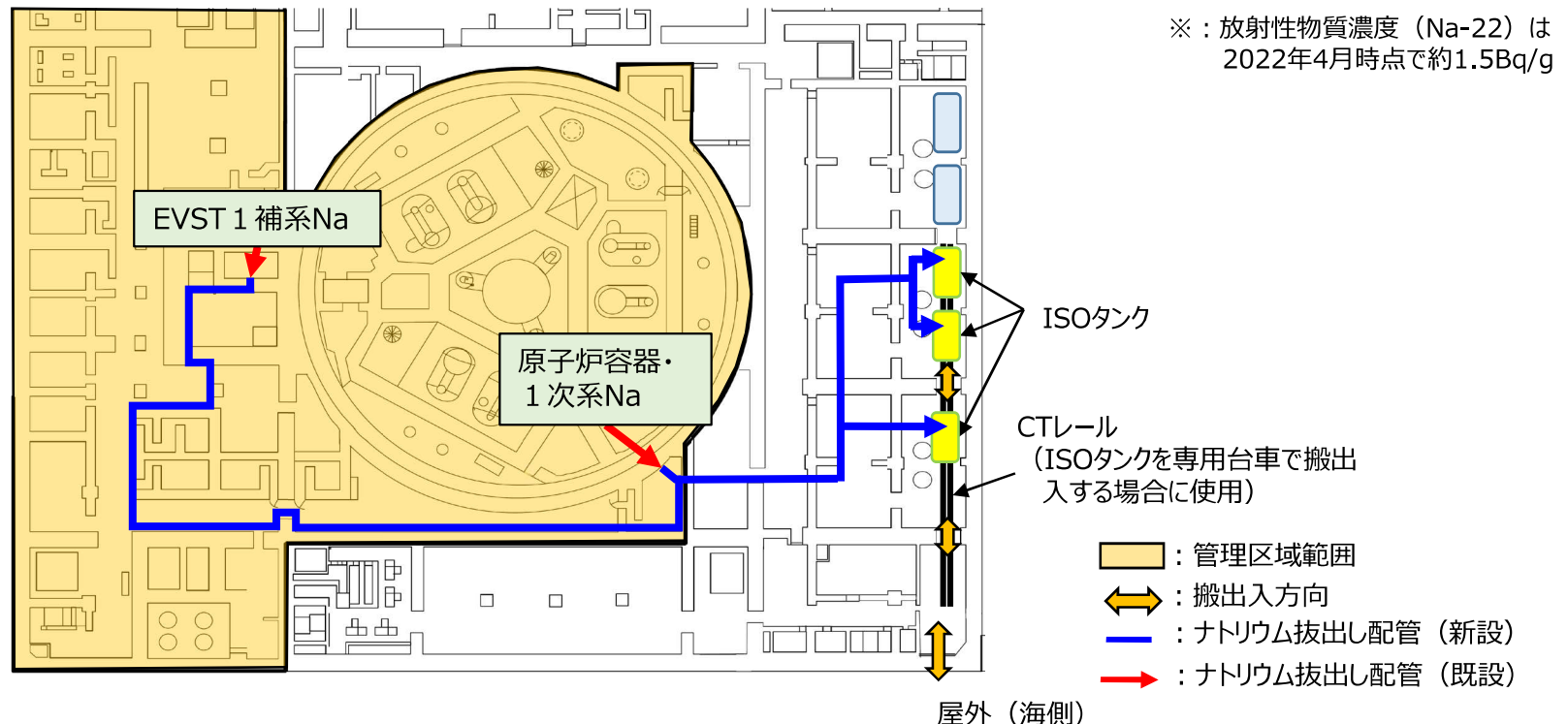


バルクナトリウムの抽出・搬出に必要なエリア・ルートの確保と設備整備

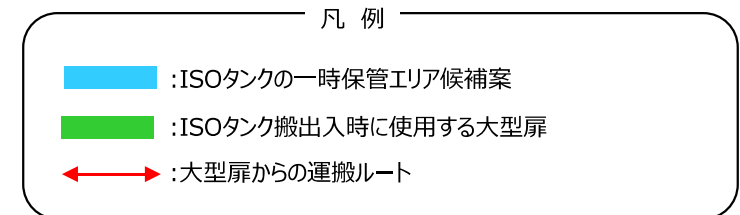
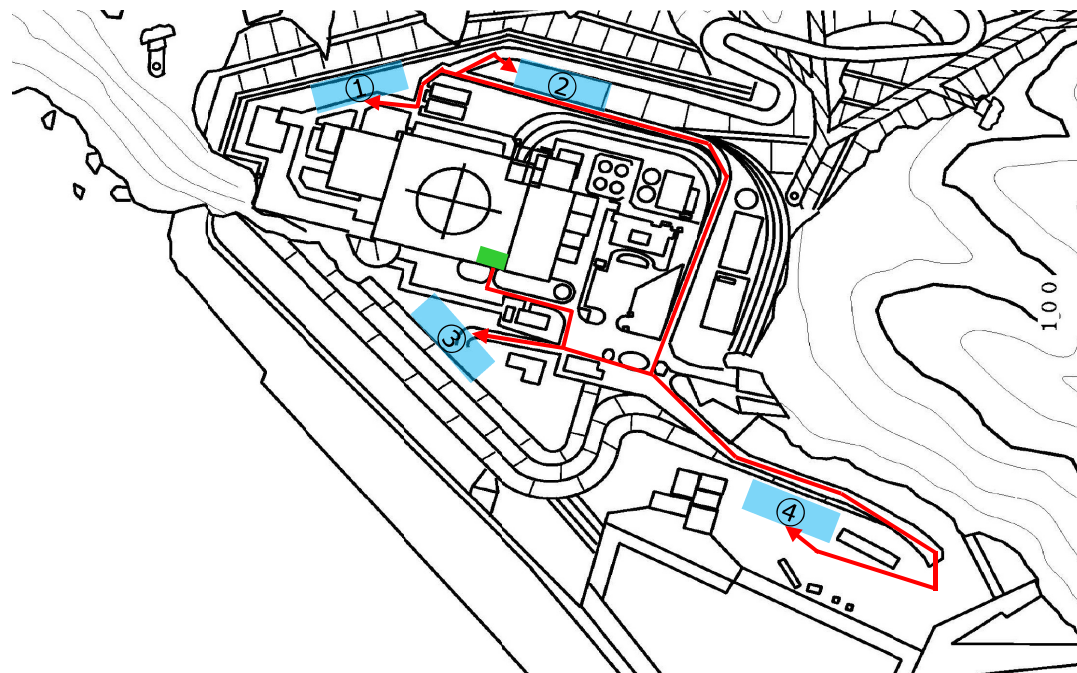
# 1. ナトリウム搬出のための設備の配置設計

## (3)放射性ナトリウム抽出しエリアの共通化検討

- 放射性ナトリウムは、原子炉建物に設置されている原子炉容器、1次系既設タンク及び原子炉補助建物（管理区域）に設置されている炉外燃料貯蔵槽（EVST）、EVST 1 補系既設タンク内で保管中
- 放射性ナトリウムを取扱うことから、既存の管理区域内のエリアを前提とした検討をこれまでに実施。限られた期間内で搬出を達成するために、抽出しエリアに複数基のISOタンクを設置することを前提としており、既存の管理区域内で最もスペースが確保できる原子炉格納容器オペレーションフロアを候補として検討を進めてきた（参考資料2参照）
- 一方で、廃止措置第1段階において燃料を破損させることなく燃料体取出し作業を完了したこと、1次系ナトリウム中の放射性物質濃度は低く※、抽出し作業時のISOタンク廻りの放射線レベルも低いと想定されることを踏まえると、放射性ナトリウム抽出しエリアは、**一時管理区域を設定する必要はあるものの追加工事規模を最小化でき、ナトリウムの早期搬出が見込める非放射性ナトリウムと同一場所とすることを前提に検討を進める**（一時管理区域の設定は2027年3月頃の認可を目標）



- **非放射性ナトリウムを充填したISOタンクの一時保管エリア：**
  - P2のとおり、前期搬出と後期搬出において一時保管に係る保管能力や要件が異なるため、まずは前期搬出に係る一時保管エリアを先行して検討し、現時点において下図に示す4つの候補を選定
  - 絞込みにおいては、**将来発生する他の工事との干渉、ISOタンクを運搬するトレーラーの取回しの容易性（労働災害の防止）、必要基数をまとめて保管できるスペースの確保**（空ISOタンクも合わせて保管可能なエリアであれば、充填したISOタンクと空ISOタンクを速やかに交換してナトリウム抽出しエリアに運ぶことが可能となり合理的）などの観点が重要
  - **上記観点からは④港湾エリアが最適**
  - 前期搬出（非放射性ナトリウム）の一時保管エリアは変更認可申請までに決定し、当該エリアに設置する一時保管施設の具体化を、消防法に沿って進める。また、後期搬出（放射性ナトリウム）の一時保管エリアの検討を進める（後期搬出分は2027年3月頃の認可を目標）

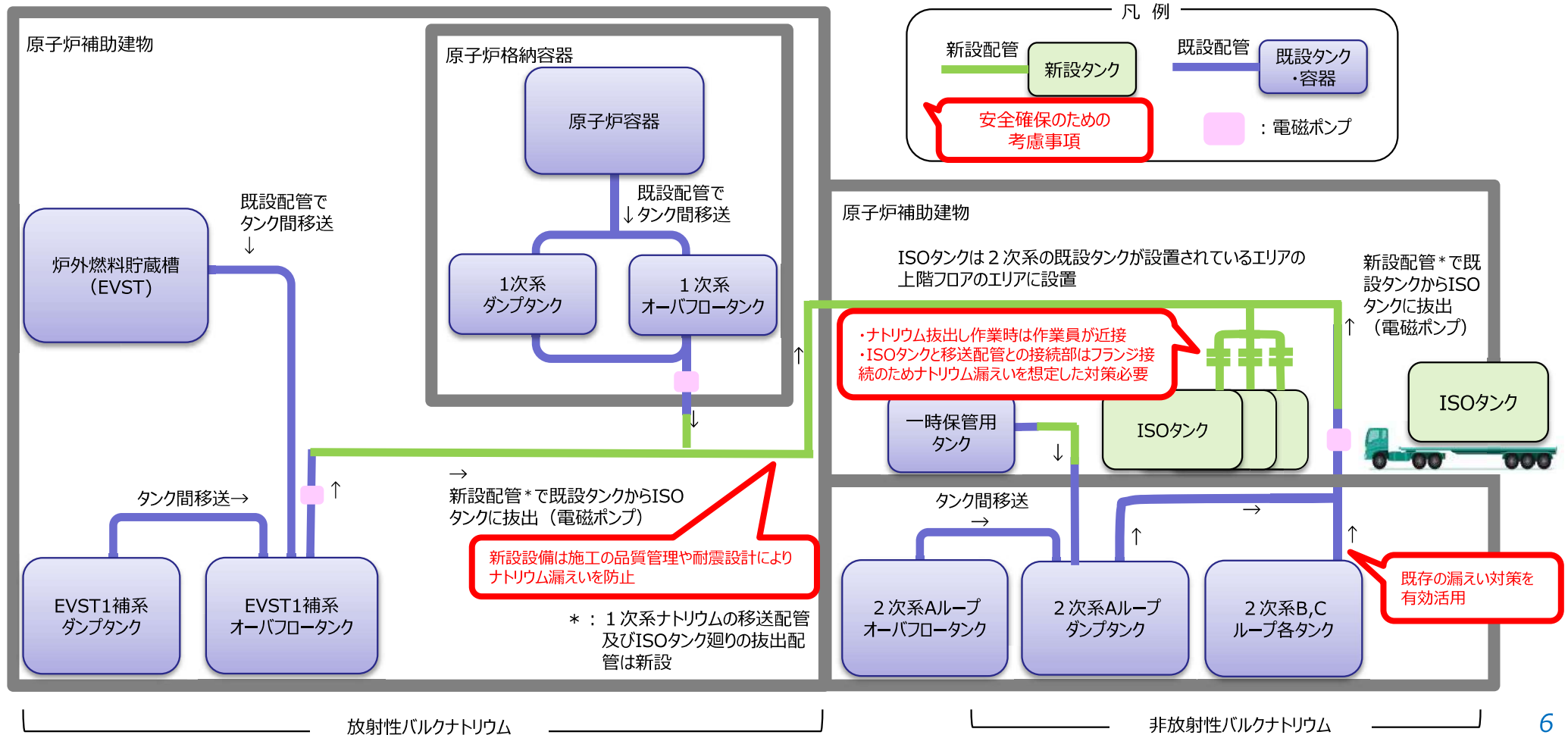




## 2. ナトリウム搬出のための安全確保の考え方

### (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

- 選定したナトリウム抽出エリアを基にした、液体ナトリウムを取扱う作業となる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（ナトリウムは既設のタンクとISOタンク間を配管にて繋ぎ、既設の電磁ポンプを利用してISOタンクへ移送。過去の監視チーム会合における説明内容からの進捗は参考資料3を参照）
- 安全確保の基本的考え方としては、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、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**



### 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**

#### **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、**ナトリウム抜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）

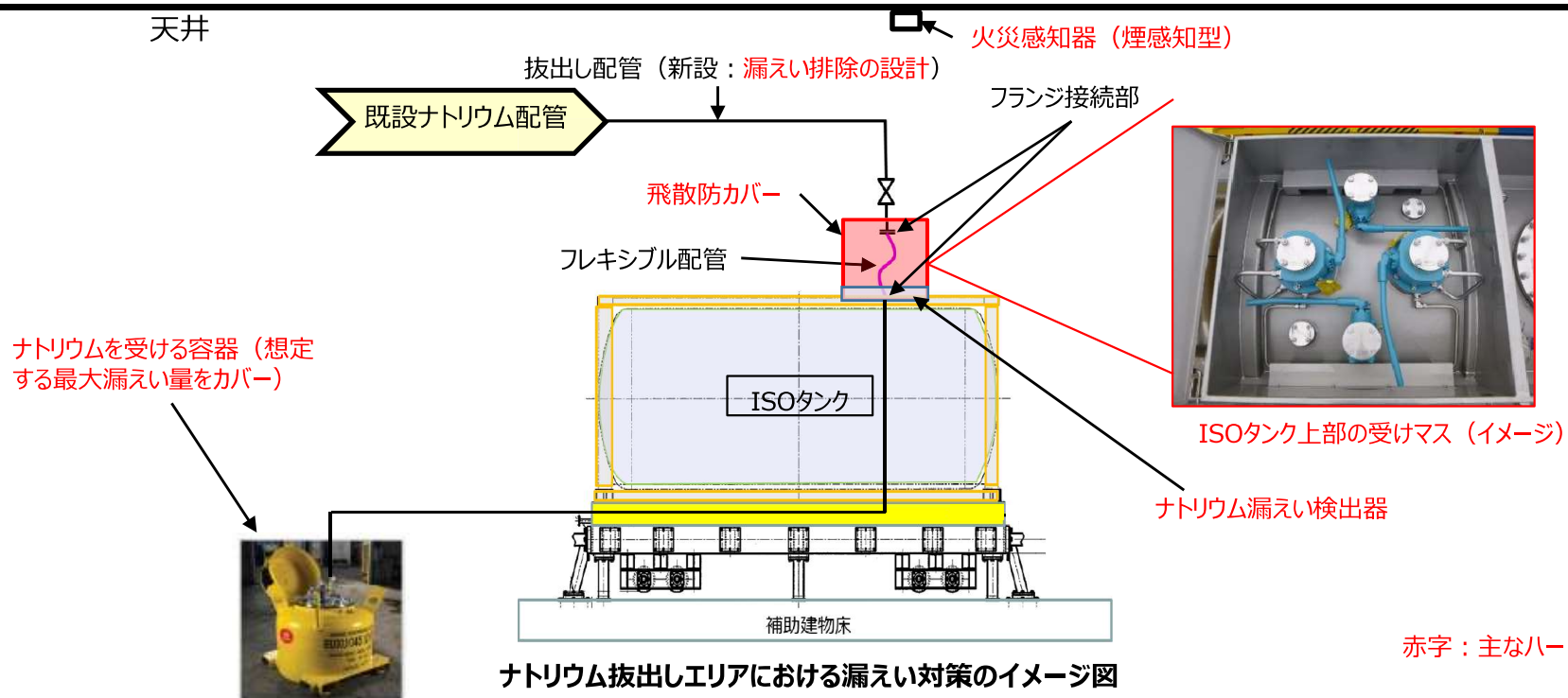
##### ③ 漏えいの影響緩和

- 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. ナトリウム搬出のための安全確保の考え方 (3)ナトリウム抽出しエリアにおける安全確保の考え方 (2/2)

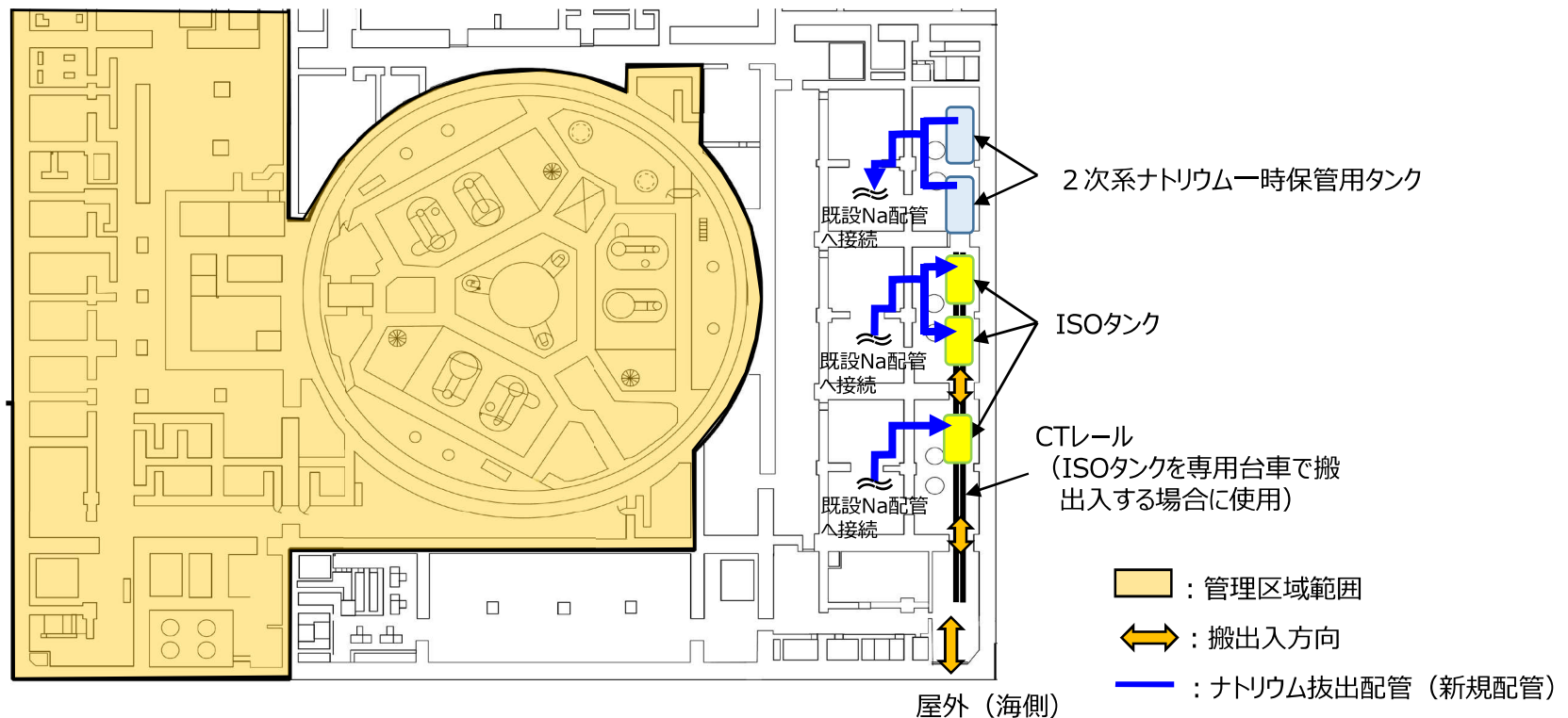
### 2. ナトリウム抽出しエリアにおける漏えい対策の方針 (続き)

- 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)



● **非放射性ナトリウムの抜き出しエリア**

- 非放射性ナトリウムは、原子炉補助建物（非管理区域）に設置されている2次系既設タンク内で保管中
- ISOタンクをこれらの2次系既設タンク近傍に設置することが最も合理的な配置
- ISOタンクの運搬ルートは、過去に廃止措置第1段階で実施した2次系ナトリウム一時保管用タンク搬入ルートを活用することが合理的
- 上記のルートを活用した場合、設備設置スペース及び抜出作業スペースを考慮し、下図に示すエリアが最も適切



● 過去の検討の経緯

【第39回監視チーム会合における説明内容】

第39回監視チーム会合  
資料3-1 参考資料 -1  
P7より抜粋

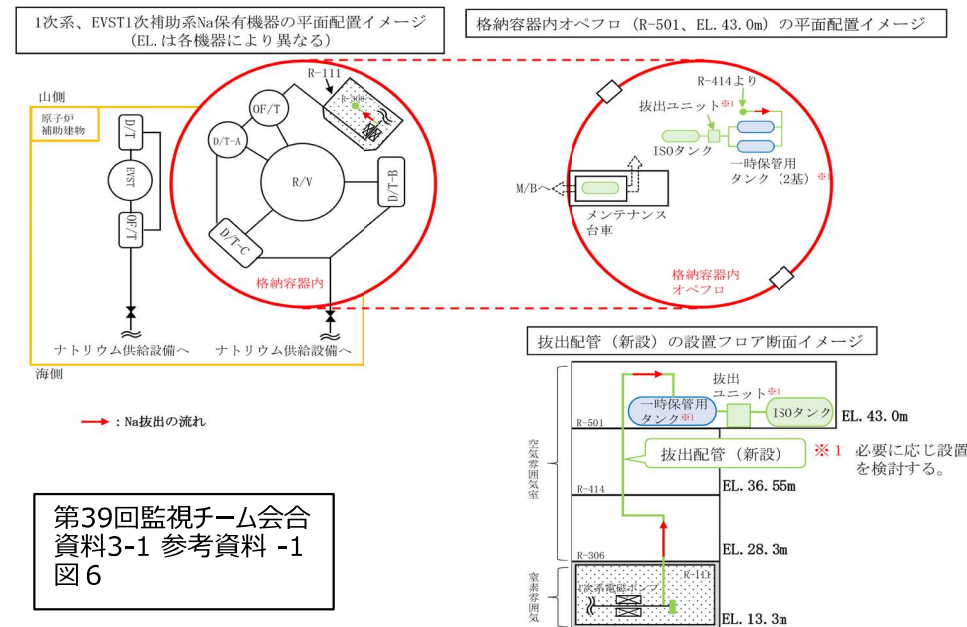
放射性ナトリウムの抽出し検討については、昨年度は ISO タンクを格納容器オペレーションフロアへの設置を想定し、1次冷却系ナトリウム抽出し方法の検討を実施した。今年度は炉外燃料貯蔵槽ナトリウムの抽出し方法を含め、原子炉補助建物への ISO タンク設置による抽出し方法を検討し、比較評価を行っている。図6に格納容器オペレーションフロアへの設置による抽出し方法イメージを示す。

● その後の検討状況

- 抽出しエリア共通化により、ISOタンクを固定するための設備、取回しのための楊重設備等を共通にでき、設計検討や工事物量を低減できる見込み。
- また、管理区域内の工事物量を低減することで、将来の放射性廃棄物の発生量の最小化にも寄与。

(参考) 原子炉格納容器オペレーションフロア上の課題

- 床応答スペクトルの加速度は高所であるほど大きくなるため ISOタンク固定を剛構造とするための設備規模は、低所に比べ大きくなる
- 加速度を押さえるために免振構造とした場合は、加振試験の実証を含め、長期に渡る検討が必要となり、搬出工程に影響が及ぶおそれ
- Na抽出・搬出作業にてオペレーションフロアを占有することになり、他の廃止措置作業（設備点検など）へのエリア干渉が生じる



第39回監視チーム会合  
資料3-1 参考資料 -1  
図6

図6 格納容器オペレーションフロアへの設置を想定した抽出し方法

| No | 項目    | 第39回監視チーム会合における説明内容  | 現在の検討状況   | 進捗内容   |
|----|-------|--|---|--|
| 1  | 抽出し方法 | ガス圧を利用して抽出する方法が優位とされている。   | 電磁ポンプによる抽出とする。                                      | <p>当時は設備復旧範囲を可能な限り最小化する観点で進めており、この観点においてガス圧の方がわずかでも優位と考えていた。</p> <p>その後、抽出し作業の具体化を進める中で、ISOタンクへの抽出し作業においてはISOタンクに過充填することのないよう流量調整が重要な要素の一つであることが分かった。</p> <p>ガス圧の際の流量調整はガスの圧力や弁操作にて行うが、細かな調整にはあまり向かない。一方で電磁ポンプの際の流量調整はポンプ電圧で制御が可能であり、ガス圧に比べて容易である。また、設備復旧範囲においてもNo.2に示すとおりガス圧との優劣差はほぼ無くなるため、電磁ポンプでのナトリウム移送を採用する。</p> |
| 2  | 抽出し方法 | <p>以下の3案（図1及び図2参照）から検討するとしていた。</p> <p>案1) 既設タンク内ナトリウムを一時保管用タンク内に電磁ポンプ移送し一時保管タンクからISOタンクへ移送</p> <p>案2) 各ループの電磁ポンプ出口側配管に新設配管を接続しガス圧でISOタンクへ移送。<br/>一時保管用タンクは直接ISOタンクと接続しガス圧で移送。</p> <p>案3) 各ループ一時保管タンクへの移送時の配管敷設と同じルートとし電磁ポンプでISOタンクへ移送。<br/>一時保管用タンクは直接ISOタンクと接続し抽出ユニットで移送。</p> | B、Cループの電磁ポンプ出口側配管に新設配管を接続し、既設タンクからISOタンクへは電磁ポンプで移送。 | <p>電磁ポンプでの移送を前提として復旧範囲を最小化する観点で改めて検討を進めた結果、電磁ポンプ出口側配管に新設配管を接続することで復旧範囲が最小化できることから、接続位置は当初の案2として移送方法は電磁ポンプでの移送とした。</p>  |



第39回監視チーム会合  
資料3-1 参考資料 -1  
図1

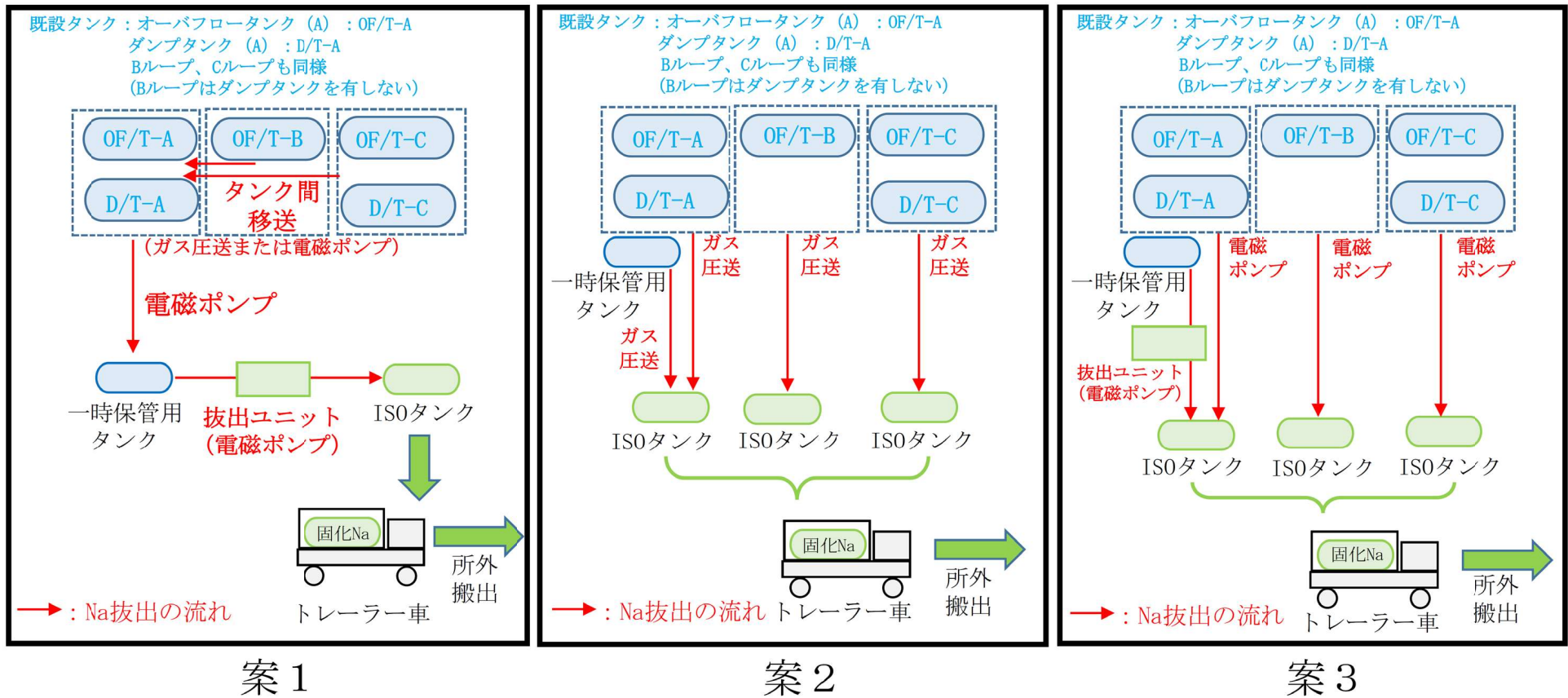


図1 2次系ナトリウム各抜き出し案

第39回監視チーム会合  
資料3-1 参考資料 -1  
図2

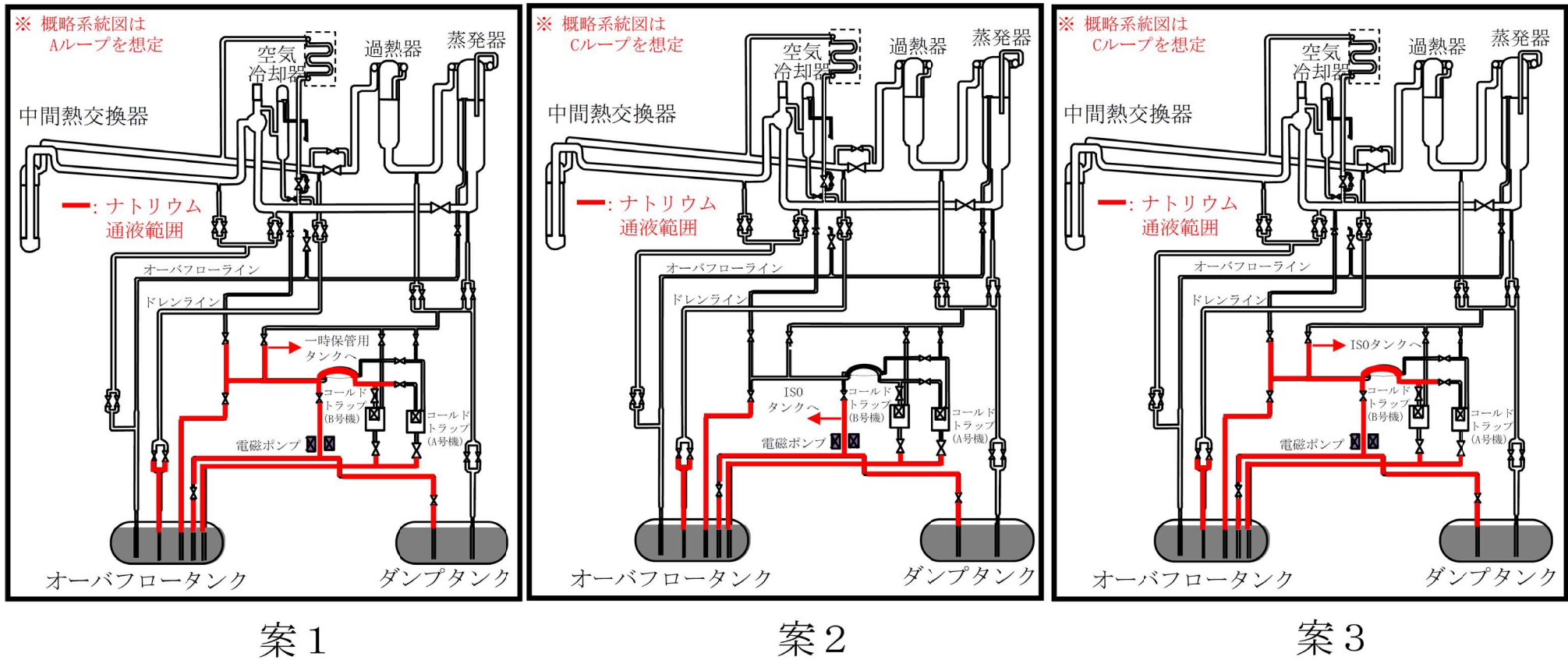
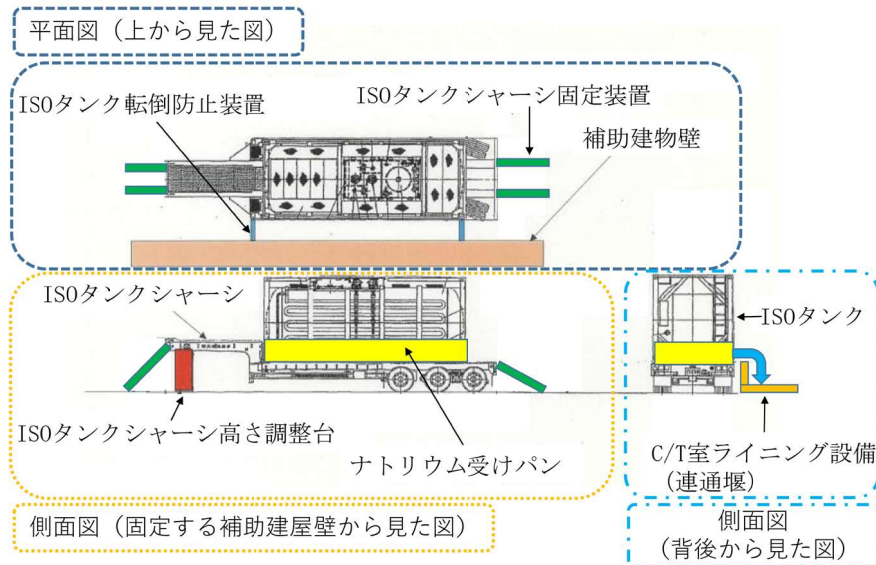


図2 抜き出し案毎の2次系ナトリウム通液範囲

| No | 項目             | 第39回監視チーム会合における説明内容                                      | 現在の検討状況  | 進捗内容  |
|----|----------------|--|--|---|
| 3  | ISOタンクの搬入/搬出方法 | ISOタンクの搬出入用設備についてCTレールを活用した台車、シャーシ等の仕様検討を進めている（図3、図5参照）。 | ISOタンクをトレーラーから専用台車に載替え、CTレールを活用してバルクナトリウム抽出位置まで専用台車にて運搬する。 | 現在検討しているバルクナトリウム抽出位置の搬出入経路は、各グループ間に扉があり、幅が狭くISOタンクを搭載したシャーシの取り回しが非常に困難であることから、CTレールを活用した専用台車での運搬で検討を進めることとした。 |
| 4  | ISOタンク冷却方式     | ISOタンク冷却方式（油冷却、空気冷却）に関し検討を進めている。                         | 油冷却（油媒システム）での冷却装置について検討を進める。                               | ISOタンク内の溶融したナトリウムを固化させるまでの期間が空気冷却より油冷却の方が短くできるため、油冷却方式を採用。  |



第39回監視チーム会合  
資料3-1 参考資料 -1  
図3

図3 2次系ナトリウム用のISOタンク設置時の固定例

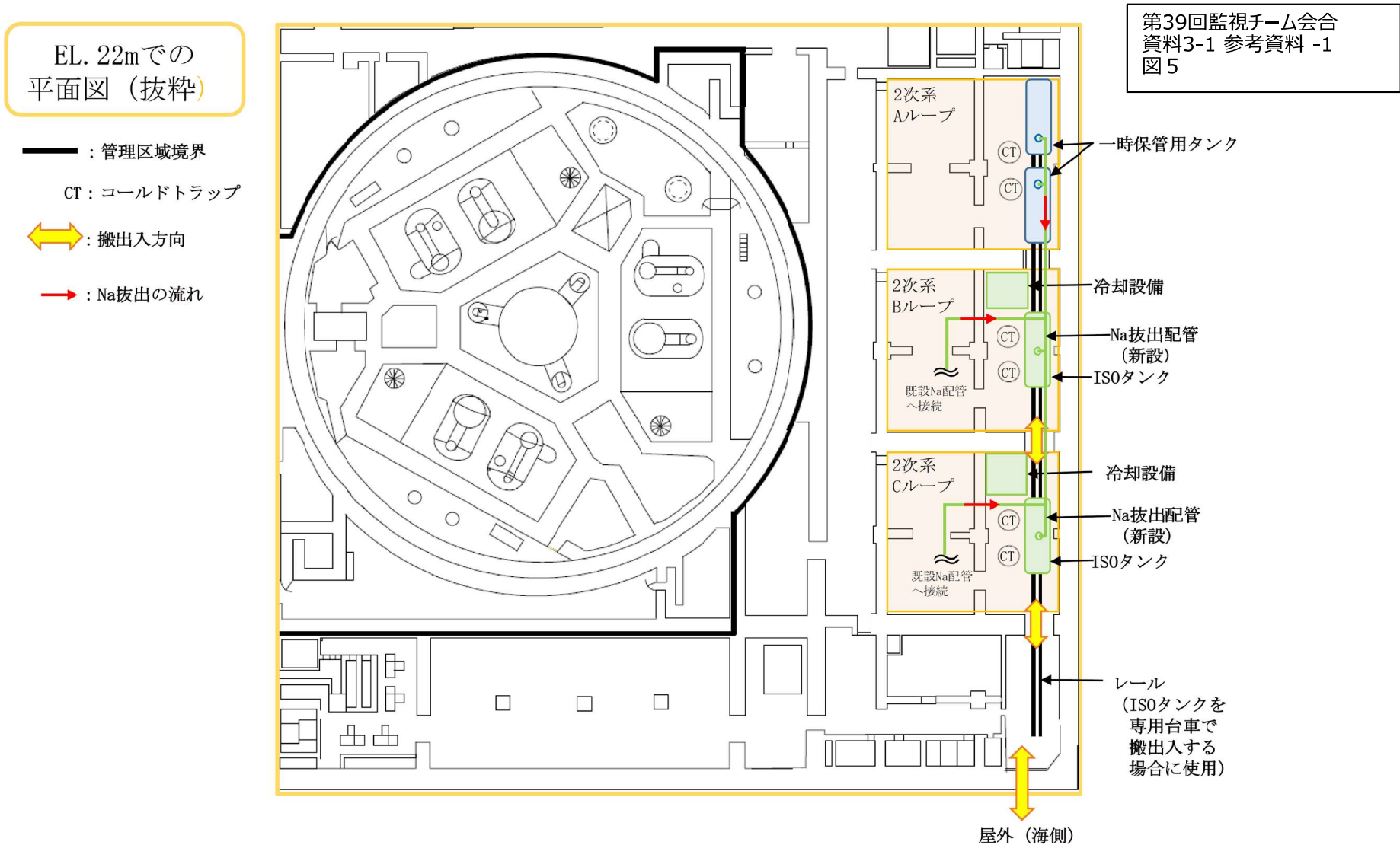


図5 2次系ナトリウム用のISOタンク搬出入ルート  
 （案2想定、AループナトリウムはB,Cループにタンク間移送）