

高速増殖原型炉「もんじゅ」における 廃止措置計画及び廃止措置工事の概要

2022年7月8日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

「もんじゅ」における廃止措置計画 について

➤ これまでの経緯

2017年12月 6日 原子力規制委員会へ廃止措置計画の認可申請

2018年 3月28日 廃止措置計画認可

(主な内容)

- ・ 廃止措置の段階を4段階に分け、2018年開始、2047年完了
- ・ 第1段階は「燃料体取出し期間」とし、2018年～2022年に実施
- ・ 原子炉から炉外燃料貯蔵槽への燃料体の取出し
- ・ 炉外燃料貯蔵槽から燃料池に移送する際の燃料体の洗浄処理等

2018年 8月30日 燃料体取出し作業開始

2022年 4月22日 原子炉内の全ての燃料体を炉外燃料貯蔵槽へ取出し完了

(12月までに炉外燃料貯蔵槽の燃料体を燃料池へ移送し、燃料体取出し作業をすべて完了予定)

2022年 6月28日 廃止措置計画変更認可申請

➤ 「もんじゅの現状」

- ・ 2022年4月22日に原子炉からの燃料取り出しが終了。
- ・ 2022年12月までに、炉外燃料貯蔵槽にある使用済み燃料124体を洗浄し、燃料池（水プール）に移送。
- ・ 2023年度から着手する第2段階「解体準備期間」の具体的な作業内容を記載した廃止措置計画変更認可申請を行い、原子力規制委員会にて審査中。

廃止措置の全体工程（現在認可を受けている廃止措置計画）

区分	第1段階 燃料体取出し期間	第2段階 解体準備期間	第3段階 廃止措置期間 I	第4段階 廃止措置期間 II
年度	2018 ~ 2022	~		2047
主な実施事項	燃料体取出し			
	現時点	ナトリウム機器の解体準備		
			ナトリウム機器の解体撤去	
		汚染の分布に関する評価		
			水・蒸気系等発電設備の解体撤去	
				建物等解体撤去
放射性固体廃棄物の処理・処分				

今回の廃止措置計画変更認可申請の主な内容

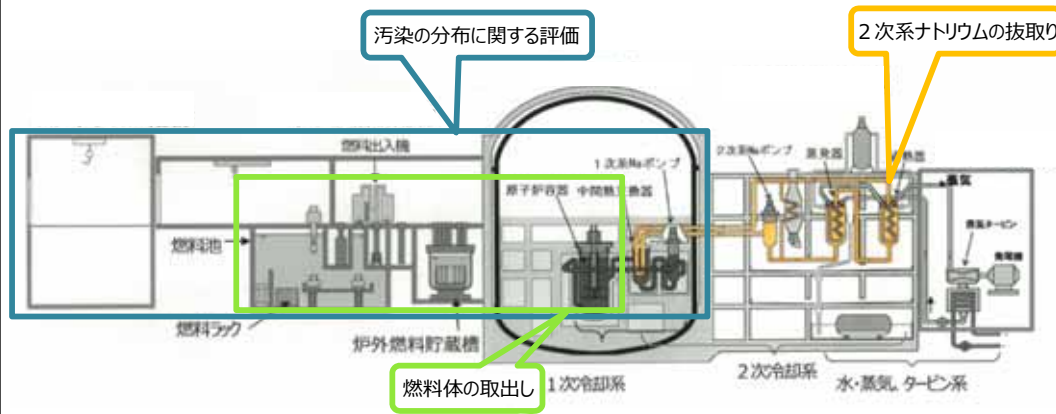
- ・ナトリウムの搬出を2028年度から2031年度に行うこととし、2031年度を第2段階（解体準備期間）の完了時期に設定
- ・ナトリウム機器の解体準備として「しゃへい体等取出し作業」を実施することとし、作業内容や期間を追加
- ・水・蒸気系等発電設備の解体撤去作業について、2023年度から2026年度の間解体する設備を具体化
 なお、ナトリウム搬出の具体的な作業内容や水・蒸気系等発電設備の2027年度からの解体設備については、引き続き検討し、着手までに改めて認可申請を行う予定

年 度			第2段階 解体準備期間										
			2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031		
第2段階 における 主な作業等	ナトリウム 機器の解体 準備	①しゃへい体等 取出し作業	■										
		②ナトリウムの 搬出						▨					
	③水・蒸気系等発電設備の解体 撤去		■				▨						
	④汚染の分布に関する評価		■										

作業内容の検討を
引き続き行い、次
回以降の廃止措置
計画変更認可申請
で具体化予定

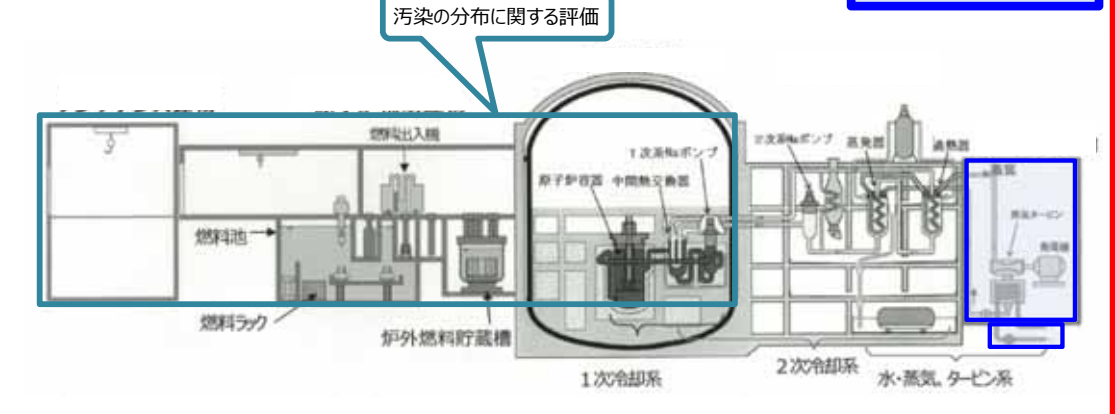
「もんじゅ」廃止措置における第2段階の位置づけ

第1段階（燃料取出し期間）



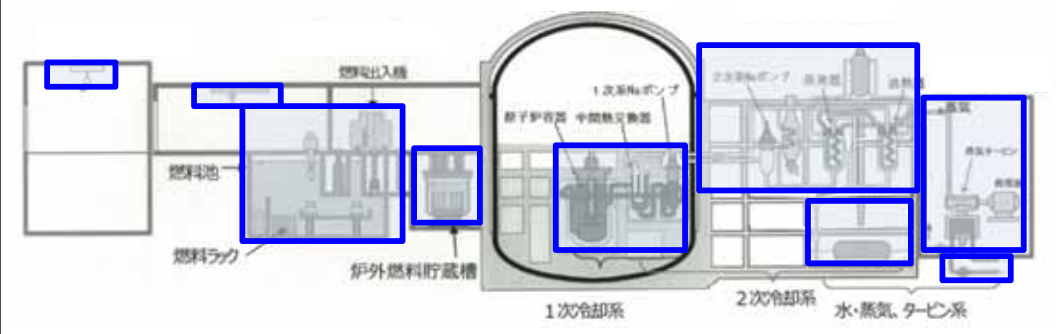
工事内容 <ul style="list-style-type: none"> 燃料体の取出し（→燃料池） 2次系ナトリウムの抜取り（一時保管用タンクの設置を含む） 汚染の分布に関する評価 		安全対策 <ul style="list-style-type: none"> ナトリウムの飛散防止 燃料取出し作業者の教育・訓練 防保護具着用による被ばく低減策等
--	--	--

第2段階（解体準備期間）



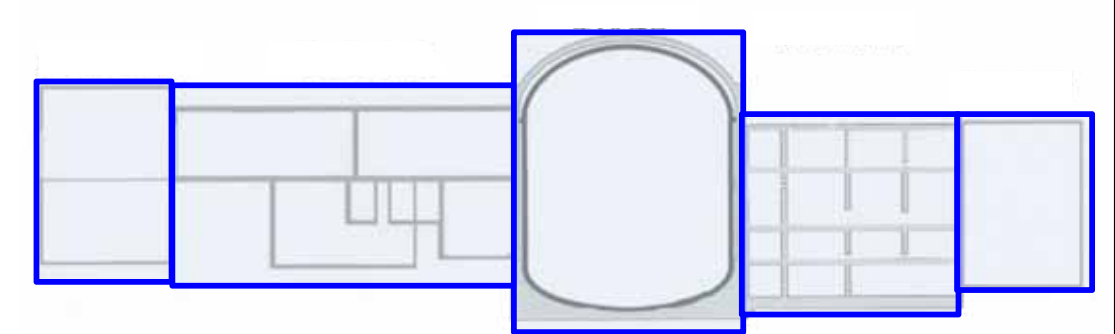
工事内容 <ul style="list-style-type: none"> ナトリウム搬出 ナトリウム機器の解体準備 水・蒸気系等発電設備の解体撤去 汚染の分布に関する評価（継続） 		安全対策 <ul style="list-style-type: none"> ナトリウムの飛散防止 汚染防止囲い等の活用による粉じんの飛散防止 防保護具着用による被ばく低減策等
---	--	---

第3段階（廃止措置期間Ⅰ）



工事内容 <ul style="list-style-type: none"> ナトリウム機器の解体 水・蒸気系等発電設備の解体撤去（継続） 		安全対策 <ul style="list-style-type: none"> ナトリウムの飛散防止 遮蔽の設置、遠隔操作、防保護具着用等による被ばく低減策等
---	--	--

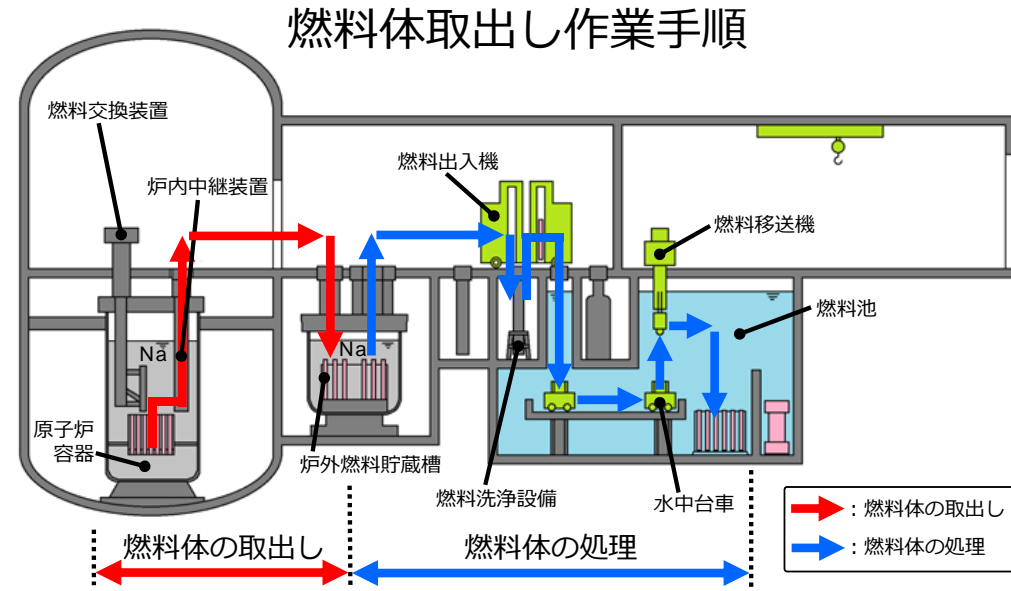
第4段階（廃止措置期間Ⅱ）



工事内容 <ul style="list-style-type: none"> 管理区域の解除 建物等解体撤去 		安全対策 <ul style="list-style-type: none"> 汚染防止囲い等の活用による粉じんの飛散防止等
--	--	--

燃料体取出し作業（第4キャンペーン）の状況

- 原子炉容器内の124体の「燃料体の取出し」を2022年3月30日～4月22日に実施し、原子炉容器内全ての燃料体の移送を完了
- 6月24日から燃料出入機の点検を開始
- 点検が完了する8月頃から、残り124体の「燃料体の処理」を開始
- この処理により、2018年度から実施してきた530体の燃料体取出し作業が全て完了する予定



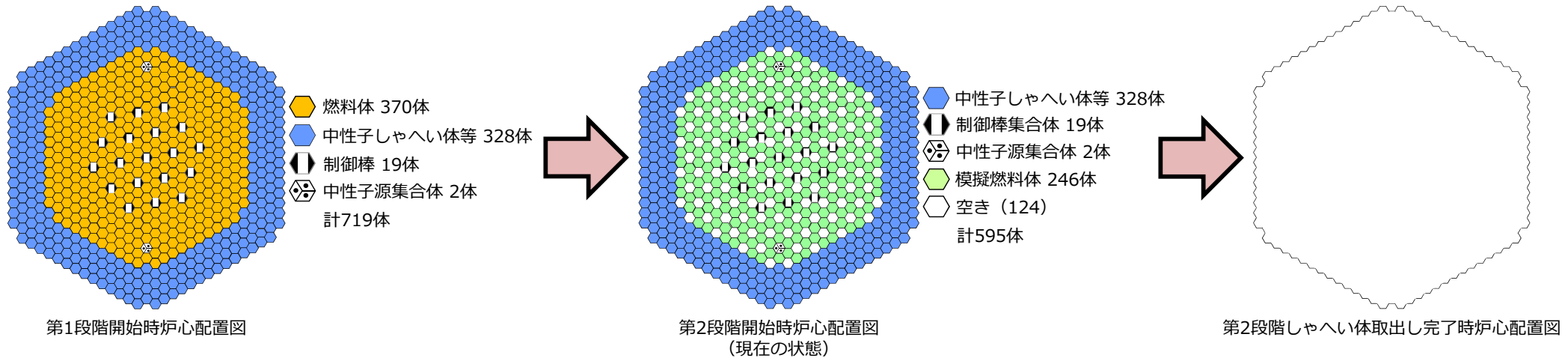
燃料体取出し作業工程

年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
燃料体の処理 (530体) 炉外燃料貯蔵槽→燃料池	第1キャンペーン 2018.8 - 2019.1 100体→86体 (済)	第2キャンペーン 2019.11 - 2020.6 174体 (済)	第3キャンペーン 2021.3 - 2021.7 146体 (済)	第4キャンペーン 2022.6 124体	燃料体取出し作業完了 2022.12
燃料体の取出し (370体) 原子炉容器→炉外燃料貯蔵槽		2019.9 100体 (済)	2021.1 146体 (済)	2022.3 124体 (済)	
設備点検					

ナトリウム機器の解体準備

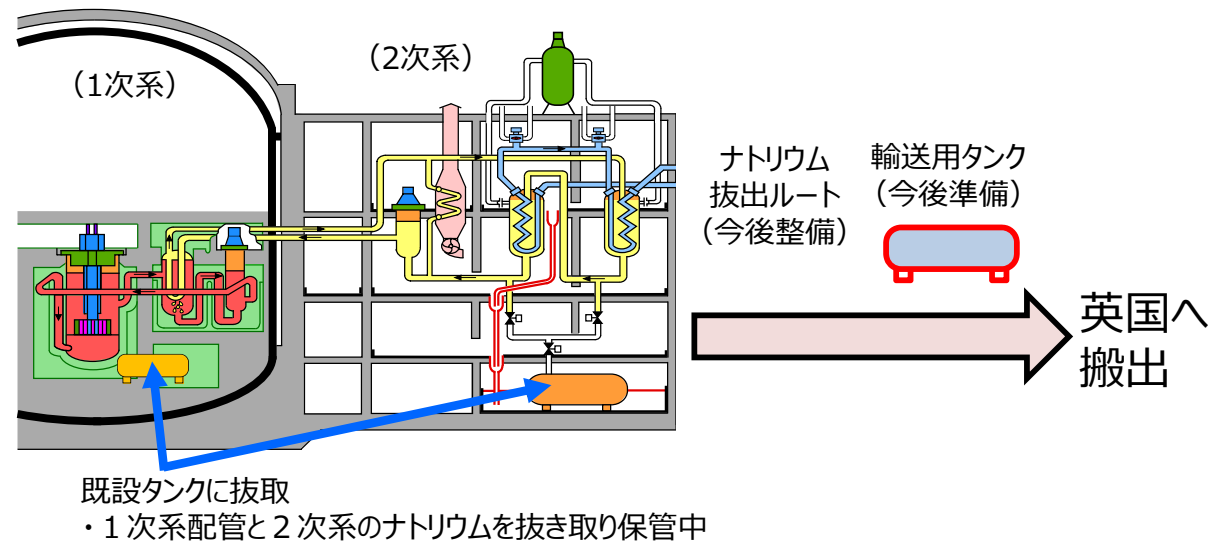
しゃへい体等取出し作業

- 原子炉の中に残るしゃへい体等（計595体）について、燃料体の取出し作業で実績のある燃料交換設備等を使い、燃料池へ移送



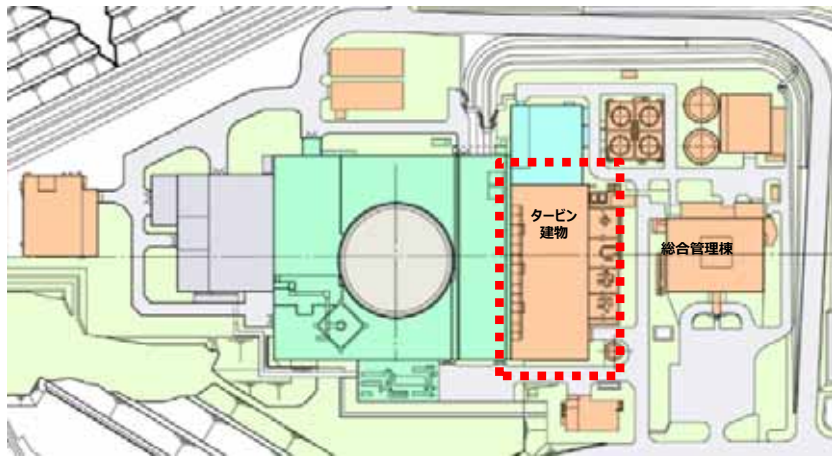
ナトリウムの搬出

- しゃへい体等取出し作業後の2028年度から2031年度にナトリウムを英国に搬出する。
- 施設内の既設タンクから今後整備する輸送用タンクにナトリウムを移し替えるルートや設備、作業手順等については、引き続き検討を進め、着手までに改めて廃止措置計画の変更認可申請を行う。



水・蒸気系等発電設備の解体撤去

- 2023年度から2026年度にかけてタービン建物3階以下に設置されているタービン発電機、復水器、給水加熱器等を解体撤去



もんじゅ建物配置



タービン発電機（タービン建物3階）

汚染の分布に関する評価

- 第1段階において、主に1次主冷却系の機器・配管等について、放射能測定を実施
（結果）放射線量が十分に低いことを確認
- 第2段階においては、主に炉内構造物を含む原子炉周辺の汚染の分布評価を実施



測定器

放射能測定作業の様子

「もんじゅ」における廃止措置計画 第2段階におけるバルクナトリウムの搬出に ついて

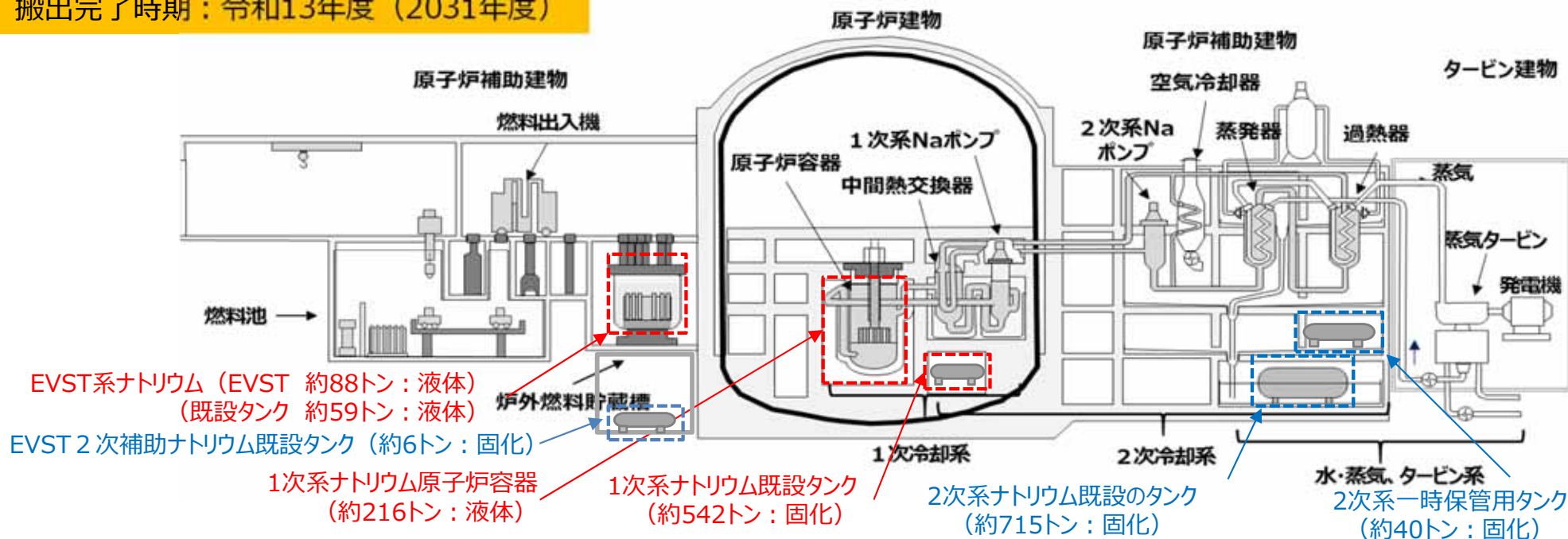
- ・2021年12月21日 英国事業者(キャベンディッシュ社、ジェイコブス社)と原子力機構間でナトリウム搬出に関する覚書を締結
- ・ナトリウム搬出時期 2028年から2031年にかけて搬出予定

ナトリウムの搬出作業イメージ（その1）

- 第2段階（解体準備期間）において、バルクナトリウム※1の所外搬出を実施し、ナトリウム保有リスクを低減する。
- ナトリウムは、新設する抜出設備等を用いて、輸送用タンク（ISOタンク）に移送（抜出）し、搬出する。

搬出開始時期：令和10年度（2028年度）
 搬出完了時期：令和13年度（2031年度）

1 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



「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	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
	EVST 2 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
	EVST 1 補系	127	19	147	
ナトリウム総計		1,588	77	1,665※2	—

2 四捨五入しているため、内訳の合計と一致しない

ナトリウムの搬出作業イメージ (その2)

ナトリウムの取扱いに関する留意点

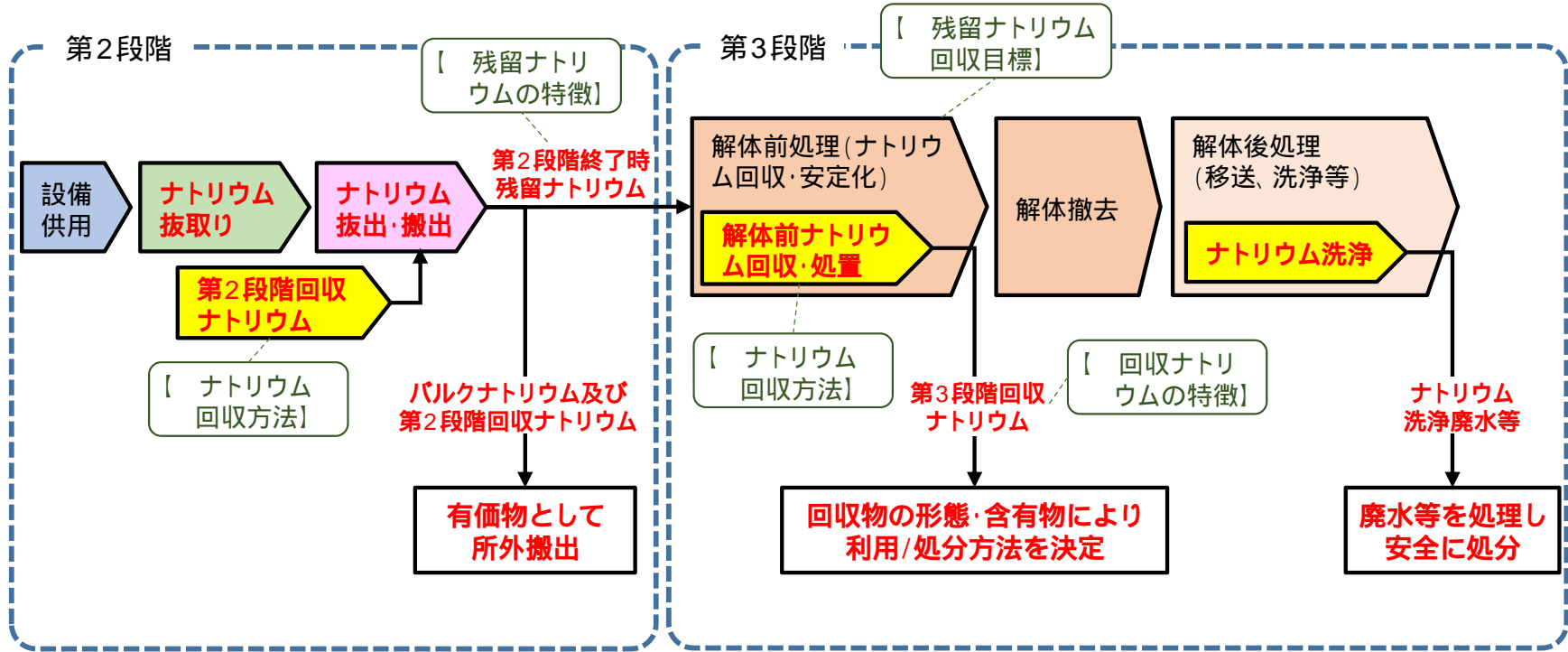
【 ナトリウム回収方法】
系統設備の環境・構造、残留ナトリウムの量・形態・含有物により、適する回収方法異なる

【 残留ナトリウムの特徴】
系統設備により、残留ナトリウムの所在場所、量、形態異なる

【 残留ナトリウム回収目標】
安定化処理の方法により処可能な残留ナトリウムの量、厚さ、形態等の条件が異なる

【 回収ナトリウムの特徴】
残留ナトリウムの形態・含有物及び工法により、回収されるナトリウムの形態・含有物は異なる

ナトリウム系統設備の解体完了までの作業



ナトリウムの取扱い

第2段階の実施方針

- ナトリウムリスクの大幅低減を速やかに実現するため、バルクナトリウムの早期搬出を優先実施(第2段階完了条件)
- バルクナトリウムと同時に有価物として搬出可能なナトリウムを早期回収
- 残留ナトリウムの解体前処理に向けて、ナトリウム設備解体着手準備(第2段階完了条件)

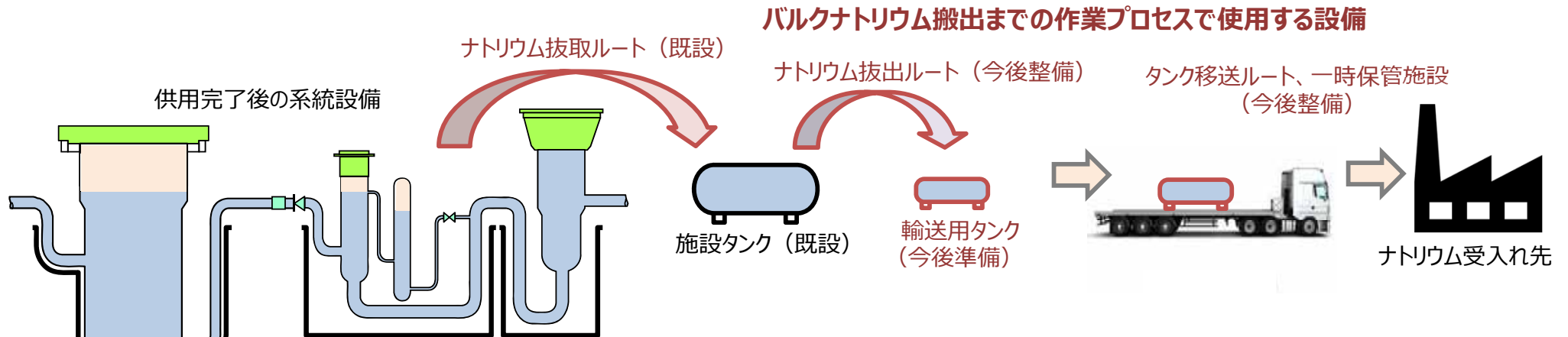
反映

第3段階の実施計画

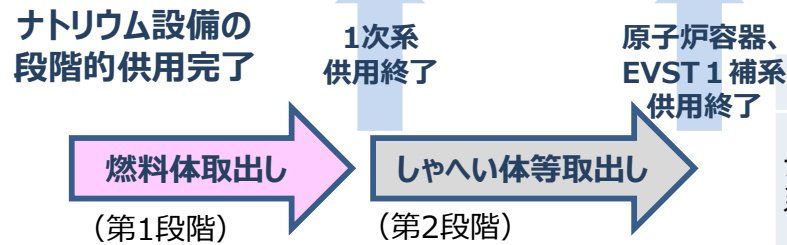
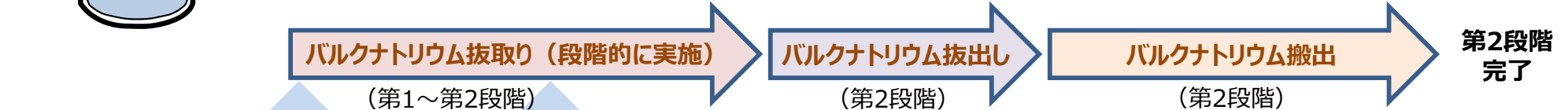
- 設備の解体に関する以下の計画を策定した上で実施
- 解体前処理(残留ナトリウムの解体前回収、安定化)
 - 設備解体
 - 解体後処理(解体物移送、洗浄等)
 - 後工程計画(洗浄廃液処理、廃棄体化)
 - 上記に必要な事前準備(技術基盤整備、設備設計・整備、作業計画、体制整備等)

廃止措置計画の第2段階実施方針

バルクナトリウムの搬出に係る作業プロセス



バルクナトリウム搬出までに必要な作業プロセス



バルクナトリウムの搬出までに必要な作業プロセスの現状と今後の実施計画

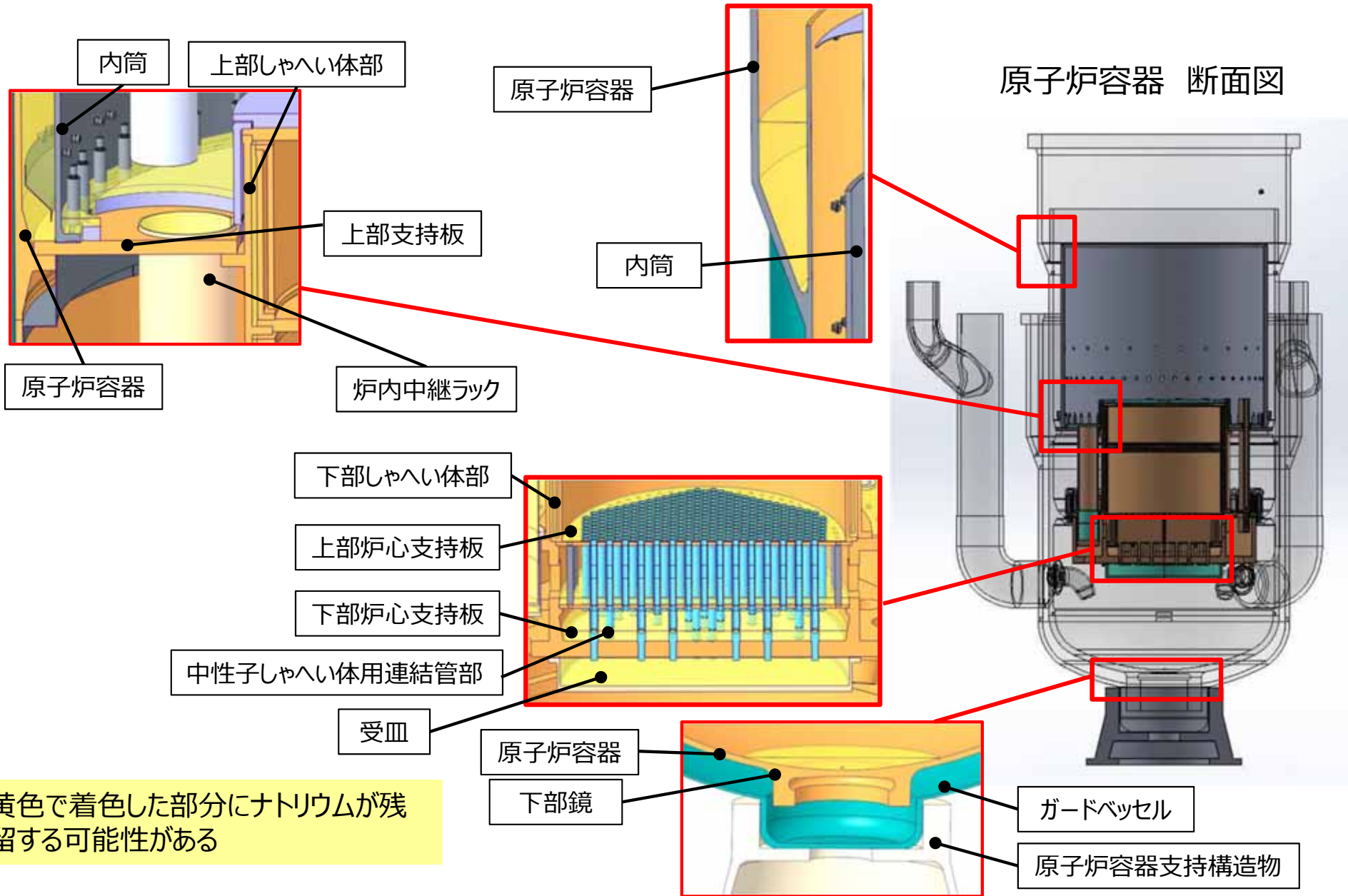
ナトリウム系統設備	バルクナトリウムの搬出までの作業プロセス			特記事項
	バルクナトリウム採取	バルクナトリウム抽出	バルクナトリウム搬出	
非放射性	2次系	施設タンクに採取済、固化保管中	抽出ルートを整備した上で抽出	タンク内残留Naの回収・搬出を図る
	EVST 2補系	施設タンクに採取済、固化保管中	—	技術基盤整備用に施設内保管、利用
放射性	原子炉容器、1次系	しゃへい体等取出し完了後、採取	抽出ルートを整備した上で抽出	—
	EVST 1補系	しゃへい体等取出し完了後、採取	抽出ルートを整備した上で抽出	燃料ポッド内Naの回収・搬出を図る

取出しルート	取出し対象物の数		標準的な作業速度 (体/日)
	燃料体 (体)	しゃへい体等 (体)	
原子炉容器 炉外燃料貯蔵槽	370	595	約6
炉外燃料貯蔵槽 燃料池	530	599 (予定)	約2.5

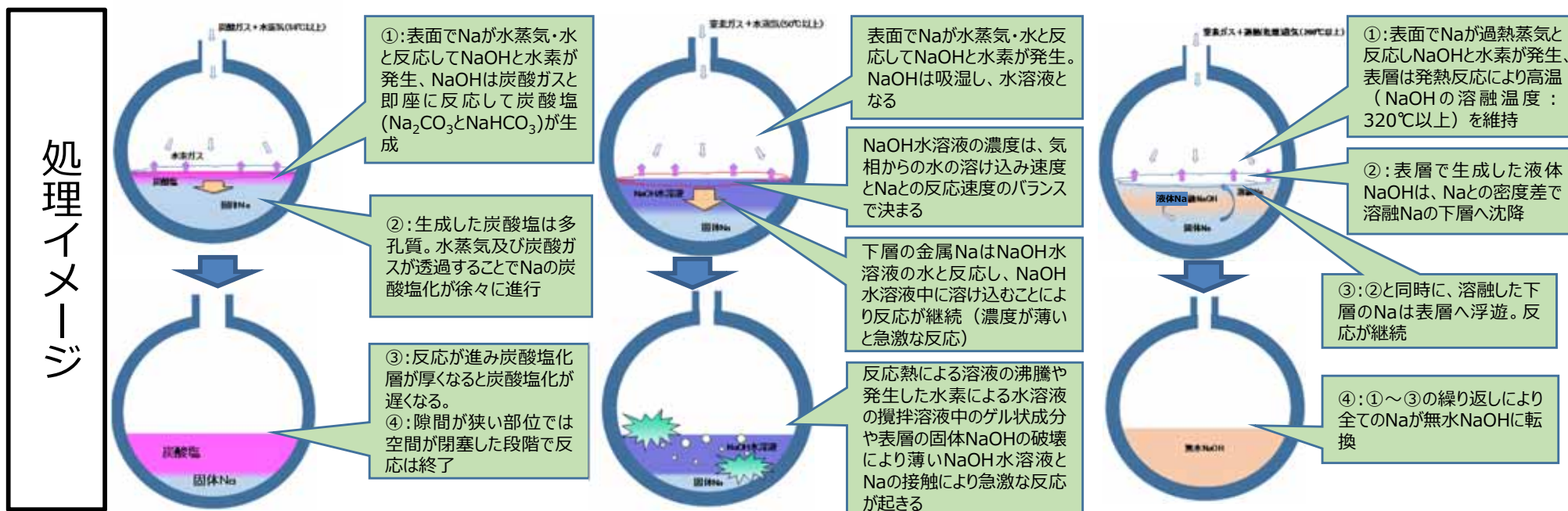
もんじゅ廃止措置段階	第1段階	第2段階(前半)	第2段階(後半)	第3段階
非放射性ナトリウム(2次系) 2次系ナトリウム所外搬出 2次系抽出設備整備 輸送タンク取扱い準備		非放射性ナトリウム抽出・搬出のための体制整備、訓練等 基本設計 製作設計 製作 工事	クリティカル 体制整備 抽出・搬出 検査	
系統内ナトリウム の量・状態の推移 ナトリウム量 (755 t)		タンク内で固化保管	溶融・抽出・搬出 残留分	
放射性ナトリウム(原子炉容器、1次系) 燃料体、しゃへい体等取出し～ 原子炉容器(R/V)・1次系ナトリウム所外搬出 原子炉容器、1次系抽出設備整備 輸送タンク取扱い準備	クリティカル 燃料体取出し 準備	クリティカル しゃへい体等取出し、一部抜取り SsLに変更後、事前確認試験、実施体制変更 基本設計 製作設計 許認可 製作	クリティカル -1 放射性ナトリウム抽出・搬出のための体制見直し、訓練等 体制整備 抽出・搬出 現地工事、復旧点検 検査	
系統内ナトリウム の量・状態の推移 ナトリウム量 (758 t)	燃料体取出し終了後、SsLに変更(タンクに移送・固化) R/Vに溶融充填 1次系に溶融充填	しゃへい体等取出し終了後、タンクに移送・固化 R/Vに溶融充填 タンク内で固化保管	R/Vに溶融充填 タンク内で固化保管 溶融・抽出・搬出 残留分	
放射性ナトリウム(EVST系) EVST系ナトリウム所外搬出 EVST系抽出設備整備		基本設計 製作設計 許認可 製作	クリティカル -2 現地工事、復旧点検 検査 抽出・搬出	
系統内ナトリウム の量・状態の推移 ナトリウム量 (147 t)		しゃへい体等取出し終了後、タンクに移送・固化 EVSTに溶融充填 タンク内で固化保管	EVSTに溶融充填 タンク内で固化保管 溶融・抽出・搬出 残留分	

(注) 上記以外の非放射性ナトリウムのEVST2補系ナトリウム(約6t)は、技術基準整備用に施設内に保管し、利用する。

原子炉容器は複雑な構造であるため、くぼみや隙間などナトリウムの残留箇所が多い。
 これら残留するナトリウムについて、可能な限り残留ナトリウムを抜取り、低減化を図ることを検討中。

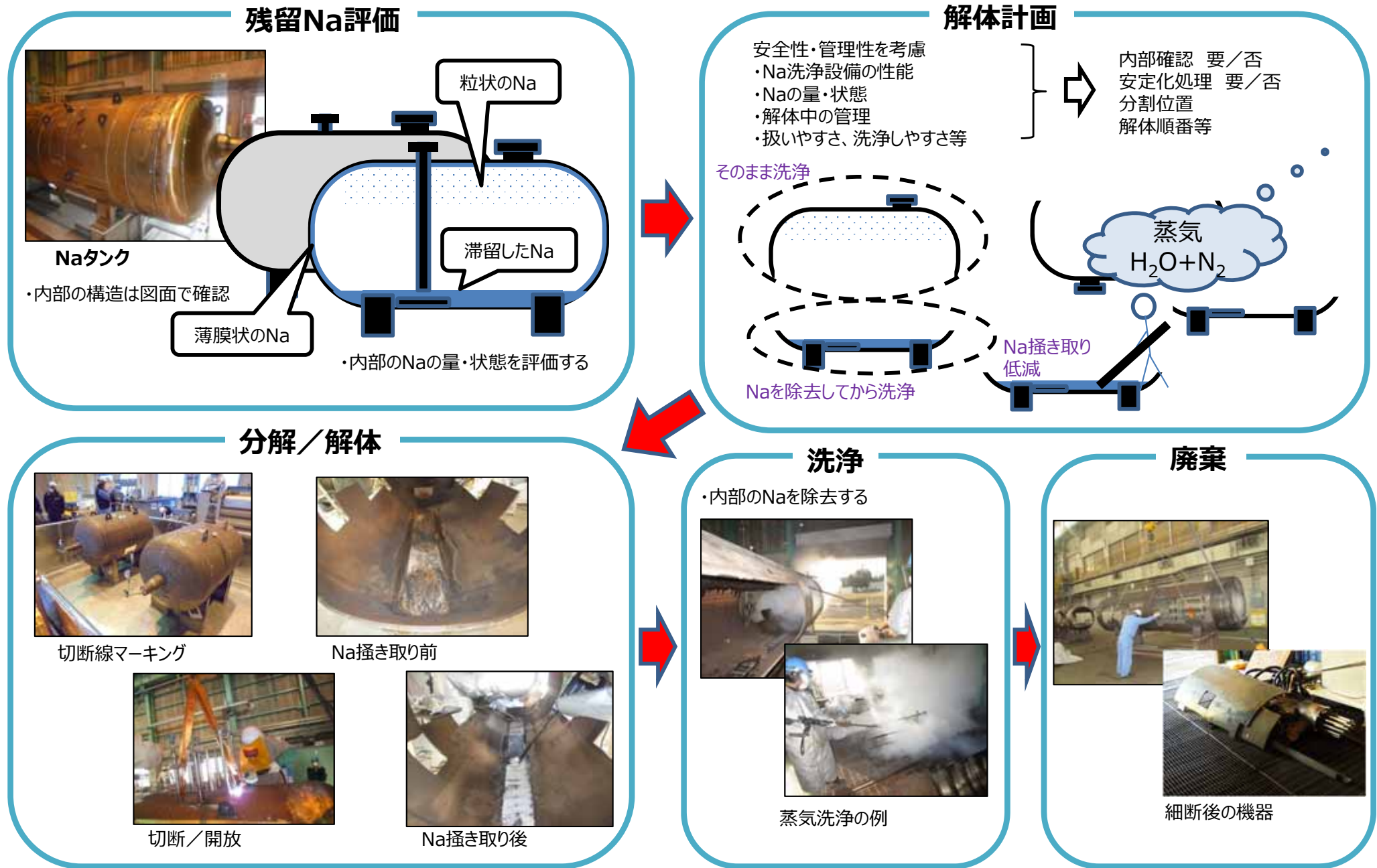


安定化処理法	炭酸塩化法	WVN法 (Water Vapor Nitrogen)	SHS法 (Super-Heated Steam)
原理	少量の水蒸気を含む炭酸ガス（または炭酸ガスと不活性ガスとの混合ガス）を注入することで、ナトリウムを炭酸塩化する。	少量の水蒸気を含む窒素ガスを注入することで、ナトリウムを水酸化ナトリウム化する。	過熱蒸気を含む窒素ガスを注入することで、ナトリウムを水酸化ナトリウム化する。
長所	穏やかに反応が進み、急激な反応は起こりにくい 基本的に強塩基性のNaOHが残らない。 室温でも処理が可能 Na表層の安定化が目的であれば、優れた処理法	厚い残留Naが残る部位の処理に対して炭酸化よりも効率的にNa処理が可能 炭酸ガス法では処理が難しい、弁や短い小口径配管のNa処理も可能	反応速度が早く、効率的な処理が可能 複雑な形状、狭隘部でも処理が可能 異常発生時は、蒸気供給を停止することで反応を停止することが可能 NaOHは320℃を超える熔融状態では水分を含まない
短所	Na層の上に固体の炭酸塩化層が生成されるため、生成物の厚さ増加に伴い反応速度が低下 厚い残留Naが残る部位の処理に対しては全量のNa処理は困難	NaOH水溶液とNaの急激な反応が起こることがある。 このため複雑な配管系にNaが残留する場合の処理には不向き Na処理後に残るNaOH洗浄が必要 アルカリ腐食割れ領域を避ける条件設定が必要	温度が低下するとNaOHが固形化、固溶する水分と急激に反応するリスクがある 機器の昇温加熱設備規模が相対的に大きくなる Na処理後に残るNaOH洗浄が必要
適用例	EBR-II（米国）、BN-350（カザフスタン） SPX（仏国）、Phenix（仏国）	PFR（英国）、DFR（英国）	Fermi-1（米国）、FFTF（米国）、SPX（仏国）



「もんじゅ」における廃止措置計画 第3段階のNa機器解体に向けた各種技術開発 について

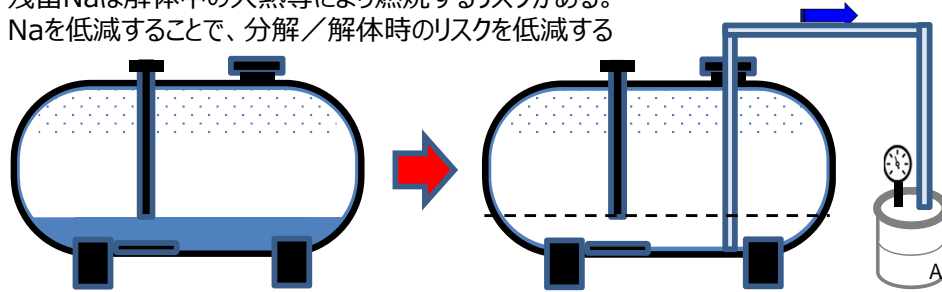
Na機器の解体の流れ (非放射性ナトリウム機器)



解体戦略に係る主要技術

残留ナトリウム低減

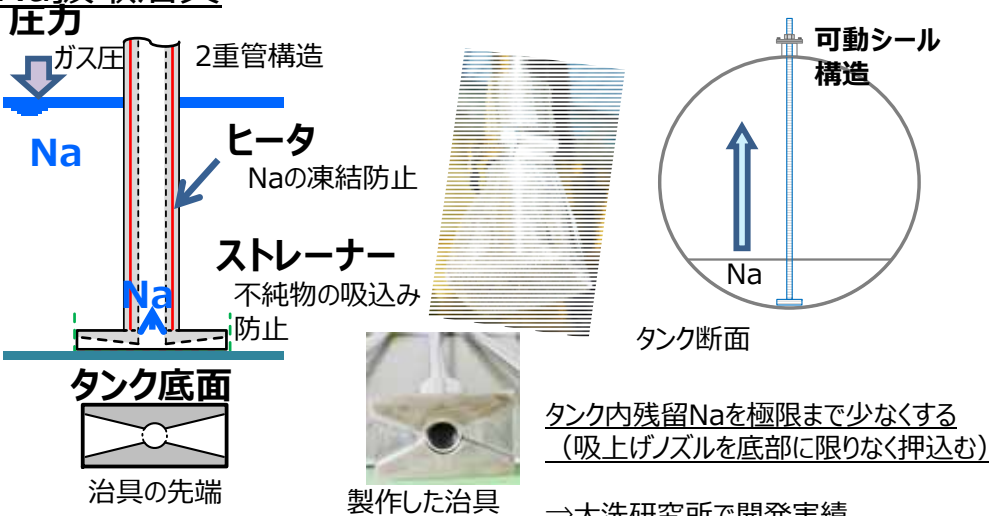
- 残留Naは解体中の入熱等により燃焼するリスクがある。Naを低減することで、分解／解体時のリスクを低減する



通常のNa抜取り前

追加のNa抜取り後

Na抜取治具

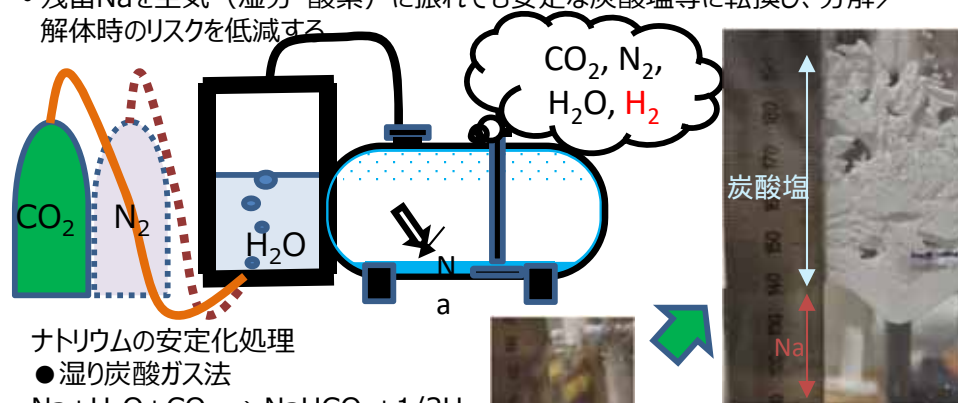


⇒大洗研究所で開発実績

・もんじゅ2次系タンク: 残留Na 5,000kg / 基 × 5基 約25t
残留量が多いためNa低減を検討中

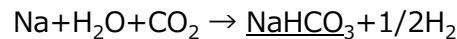
残留ナトリウム安定化

- 残留Naを空気（湿分・酸素）に振れても安定な炭酸塩等に転換し、分解／解体時のリスクを低減する

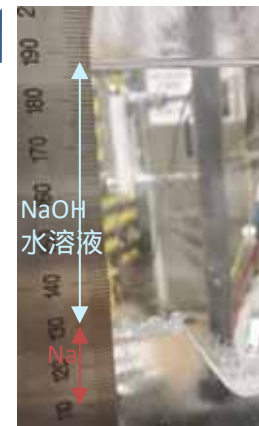
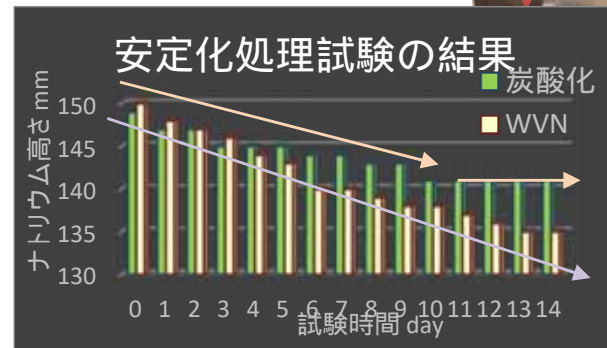
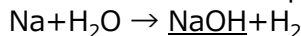


ナトリウムの安定化処理

- 湿り炭酸ガス法



- WVN法 (Water Vapor Nitrogen)



	処理速度	生成物
湿り炭酸ガス法	: 段々と遅くなる	: 炭酸塩 (弱アルカリ、無害)
WVN法	: 一定速度で進行	: NaOH水溶液 (強アルカリ、有害)

各安定化処理方法のメリット／デメリットを整理し、適した箇所への適用を検討する

内部確認技術

機器内部の構造や残留Na（状態、量等）を確認する

●目視観察（CCD）

粒状のNa

ノズル・計装ウェル

タンク上部
粒状のNa付着が見える

ノズル等からCCDカメラを挿入し、
機器内部の状態を確認

タンク内部全体
接液部とカバーガス部で色の違いが見える

CCDカメラ

カバーガス部 接液部

●放射線透過撮影

放射線の透過し易さの差で残留Naの位置を確認

線源

Na

撮影

配管端部

暗 透過しやすい
⇒空間・Naが無い

明 透過しにくい
⇒配管・Naがある

弁入口に滞留するNa

残留ナトリウム

主に配管について、非破壊で内部のナトリウムの残留量を確認する

→ 残留Na状態を確認し、その後の解体検討に反映

ナトリウム機器の解体技術

機器の構造や特徴、残留ナトリウム等により適した解体を選択・実施できるようにする

●国内外のNa機器解体情報の収集

天井クレーン

移動式クレーン

横割治具

国内試験施設でのNa機器解体技術
大洗研究所のNa機器解体
（中間熱交換器のブラバグ引抜き）

JAEA-Technology-2012-033 ナトリウム洗浄
処理技術に関する経験・知見の整理 より引用



海外炉でのNa機器解体技術
海外炉(BN-350)のNa機器解体
（2次系配管内のNa安定化处理）

IAEA-TECDOC-1769, Treatment of Residual Sodium and Sodium Potassium from Fast Reactors, August 2015 より引用

→不足技術があれば 実証試験等を実施して マニュアル等を整備



機械的切断

熱的切断

収集した解体工法を整理

理	機械的切断	熱的切断
	バンドソー	プラズマ溶断
切断速度	遅い	速い
入熱	小	大

→工法の特徴や類似機器への適用実績から安全かつ効率的な解体工法を選択



例：残留Naの少ないタンク

・プラズマ溶断を採用

- ・不活性ガス管理
Arガス等で窒息させる
- ・入熱管理
1回の切断時間を短くする
（冷却時間を設ける）
切断位置を分散させる

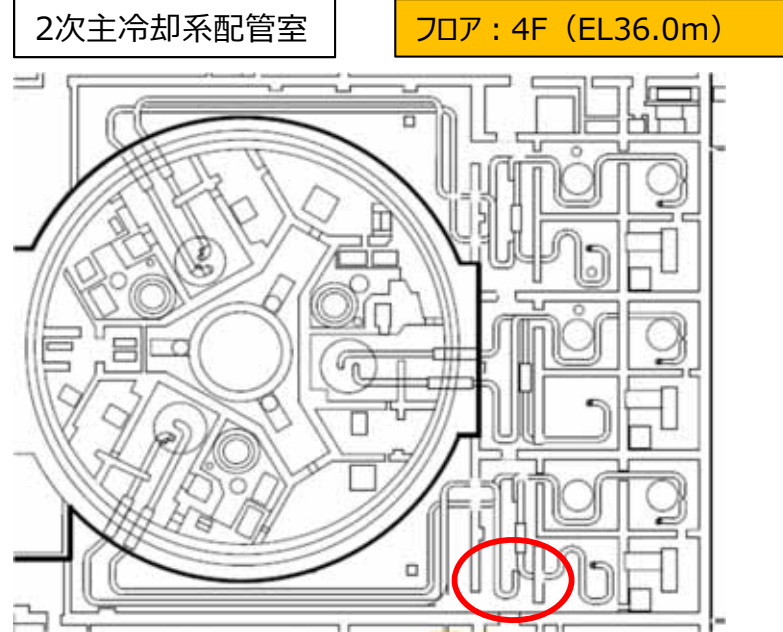
- 解体工事
- 廃棄物管理

安全かつ合理的に実施

廃止措置エンジニアリングシステム構築
を目指す

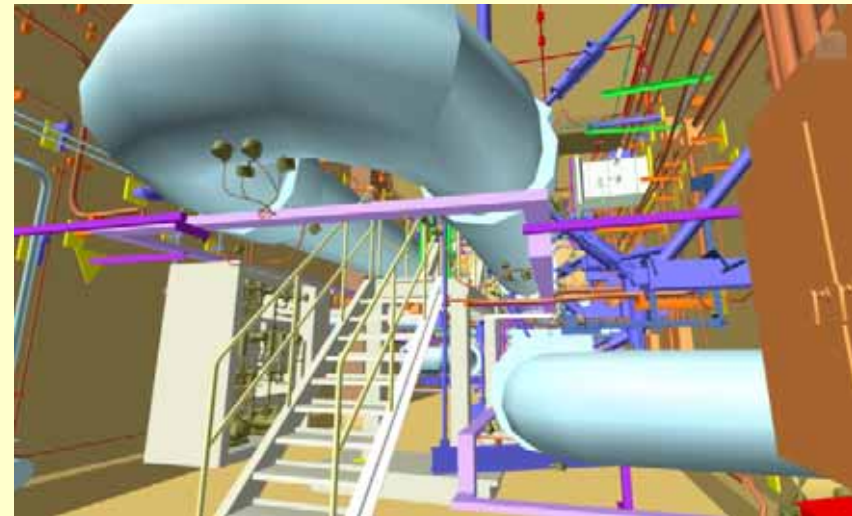
基盤の一つとして

3Dデータ整備



3Dデータの参考例

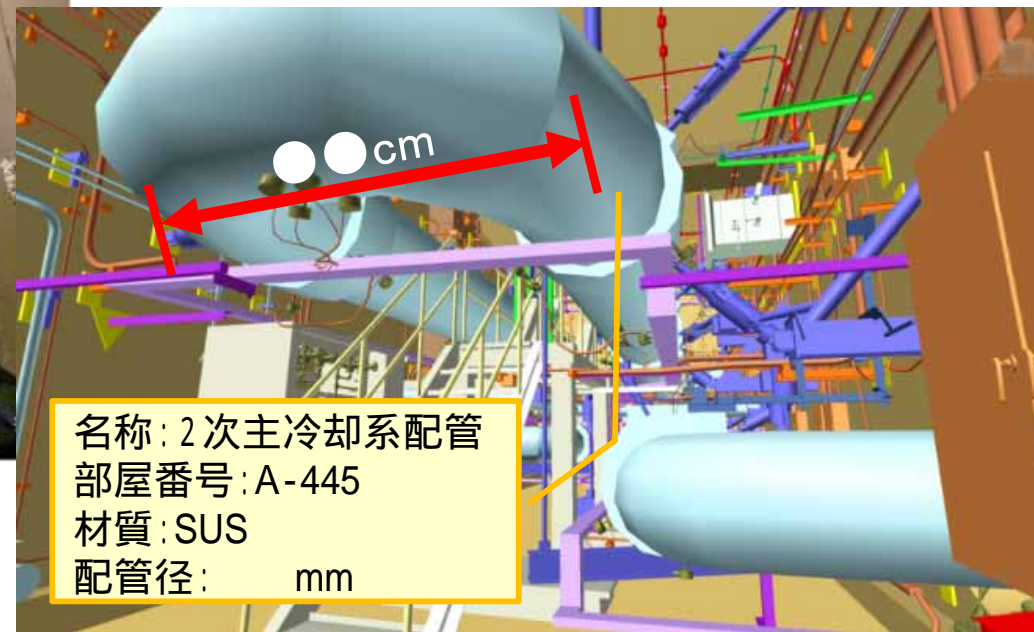
拡大図



参考: 現場調査・把握、距離/寸法計測のイメージ図(レベル1)



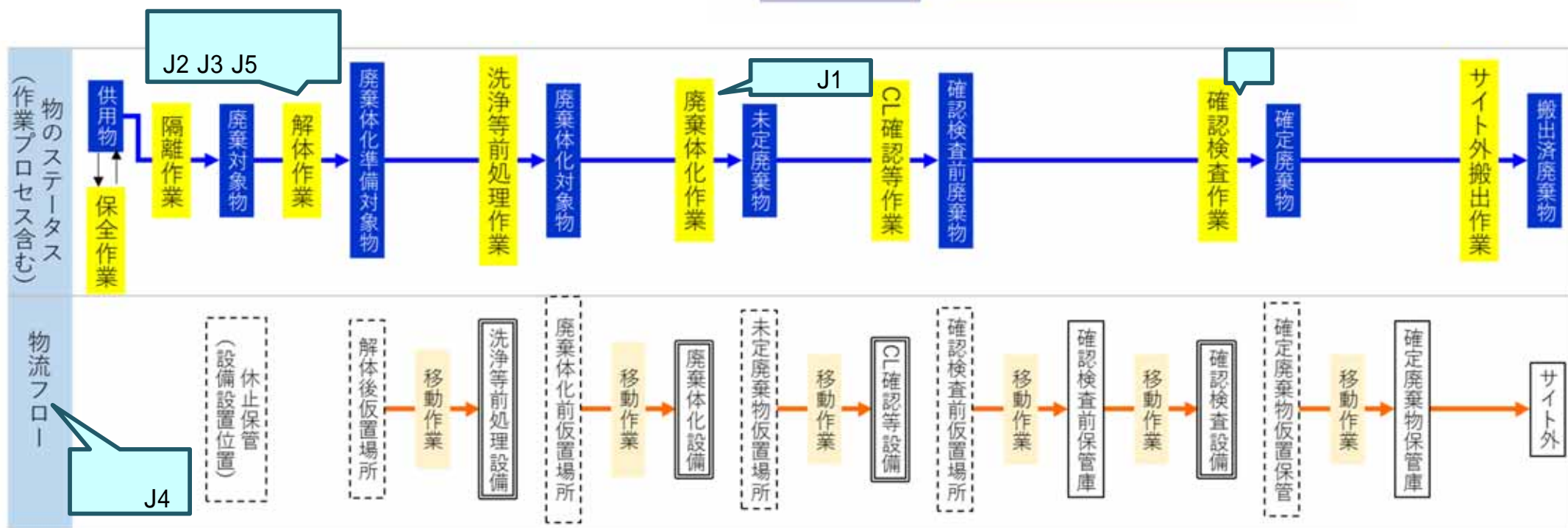
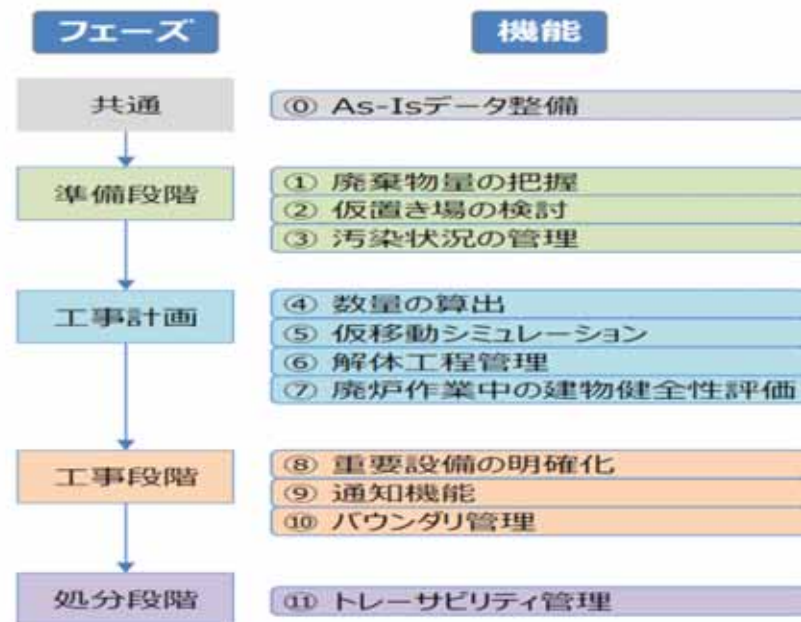
- 各ツールの用途
 - SkechUp(3Dモデリングツール)
 - NavisWorks(3Dモデル取扱いツール)
 - Revit(BIM (Building information modeling) ツール)



- レベル1: 現場調査・把握
距離/寸法計測 etc...
- レベル2: 干渉チェック etc...
- レベル3: 物量評価
⋮
搬出ルート検討 etc...

～ 廃止措置エンジニアリングシステム(廃止措置支援システム)の検討～

- 機構として洗い出したニーズに基づく機能開発の検討継続と必要に応じてPoCを実施する。
 - J1: 収納容器シミュレーション機能
 - J2: 除却カード管理機能
 - J3: 放射化汚染の3D-MAP化
 - J4: 入出庫管理
 - J5: 液溜まり箇所検討機能
- 右の支援機能は、もんじゅでの必要性を確認した。今後、適用可能性検証として実証作業を実施していく。



- ・「もんじゅ」は、国内で初めてのナトリウム冷却型高速炉の廃止措置となることから、廃止措置そのものが研究開発対象となる。
- ・このため、廃止措置が先行する海外炉の知見等を参考にしながら必要な技術開発を行い、合理的に「もんじゅ」の廃止措置を進めていく。
- ・今後、「もんじゅ」の廃止措置を進める上で必要となる技術開発やその適用実績、並びに廃炉実証を通じて得られる様々な知見は、今後の高速炉技術開発に資することができる有益なものであることから、それらを適切に整理・蓄積していく。