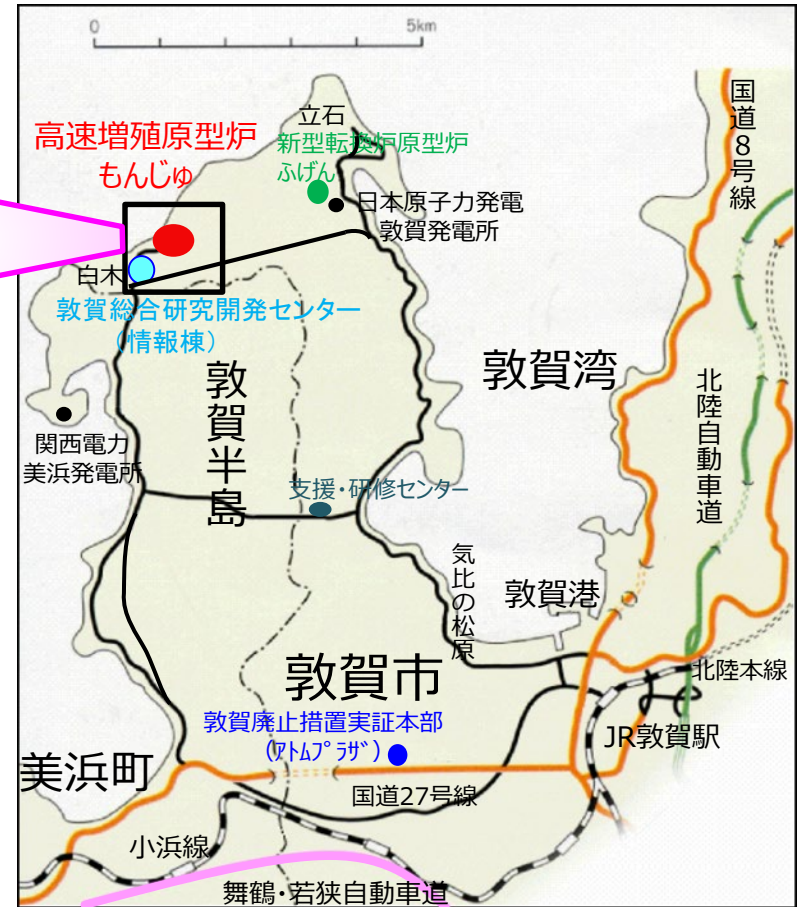


# 高速増殖原型炉もんじゅの概要

令和4年4月15日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
敦賀廃止措置実証部門 高速増殖原型炉もんじゅ





昭和58年2月



昭和60年10月



昭和61年10月



平成3年 4月



平成6年4月初臨界

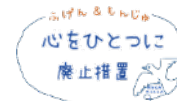


平成22年5月  
性能試験を再開

1983年5月27日	原子炉設置許可
1994年4月5日	初臨界達成
1995年8月29日	初併入（初送電）
1995年10月13日	電気出力 40%到達
1995年12月8日	ナトリウム漏えい事故発生
2005年3月3日	改造工事の準備工事を開始
2007年8月30日	改造工事の工事確認試験を完了
2010年5月6日	性能試験を再開
2010年8月26日	燃料交換片付け作業中に炉内中継装置落下
2011年 3月11日	（東日本大震災）
2012年11月27日	保守管理不備を公表
2013年5月29日	原子力規制委員会による保安措置命令*1

2015年 11月13日	原子力規制委員会から文部科学大臣への勧告（機構に代わって出力運転を安全に行う者の特定、又は、安全上のリスクを明確に減少させるよう施設の在り方を抜本的に見直すことを勧告）
2016年 12月21日	原子力関係閣僚会議 「高速炉開発の方針」、「『もんじゅ』の取扱いに関する政府方針」を決定
2017年 12月6日	原子力規制委員会に「もんじゅ」廃止措置計画提出
2018年 2月9日	原子炉施設保安規定の変更認可を申請
2018年 3月28日	原子力規制委員会「もんじゅ」廃止措置計画、原子炉施設保安規定認可
2018年 8月30日	燃料体処理作業開始（炉外燃料貯蔵槽⇒燃料池）
2019年 9月17日	燃料体取出し作業開始（原子炉容器⇒炉外燃料貯蔵槽）

\*1) 2017年 1月18日に原子力規制委員会が効力を失ったものと判断





## ○ 高速炉発電システムの成立性を確認

「もんじゅ」は、発電機能を有する実規模の高速増殖原型炉として、純国産技術で設計・製作・建設し、ループ型高速炉発電システムの成立性を初めて確認し、40%出力までの機能・性能を確認。



**【運転実績】**

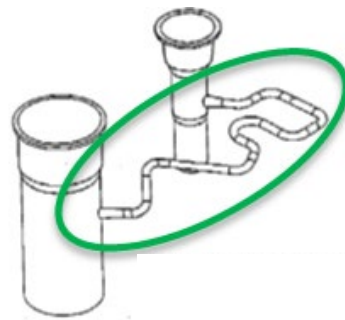
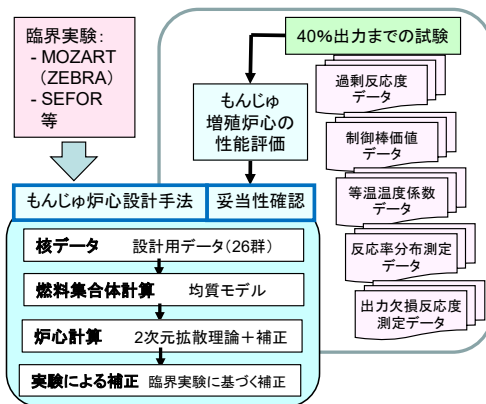
原子炉運転時間: 5300h

発電時間: 883h

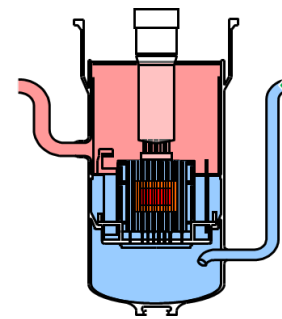
総発電量: 1億kWh

## ○ 設計・取扱技術、製造技術の開発

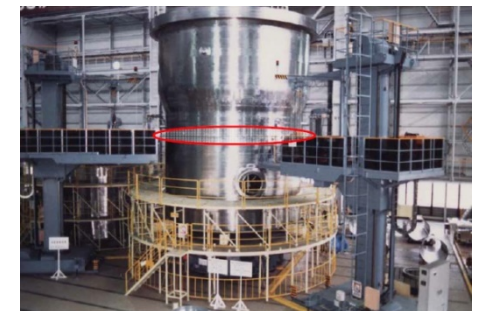
建設により、炉心・燃料、機器・システム、ナトリウム取扱等の設計・取扱技術に加え、アメリカシウム（Am）を含む高速炉炉心核特性の把握や次期炉・軽水炉他へ活用できる大型機器製造技術等の多くの技術を開発。



配管の高所引き回しを実現



冷却材の温度差による熱応力の緩和技術開発



大型部材の高品質溶接

# 「もんじゅ」の成果（その2）

## ○国の指針類の整備に寄与

技術開発成果に基づき「高速増殖炉安全設計審査指針」、「高温構造設計指針」等の国の指針類の整備に寄与。

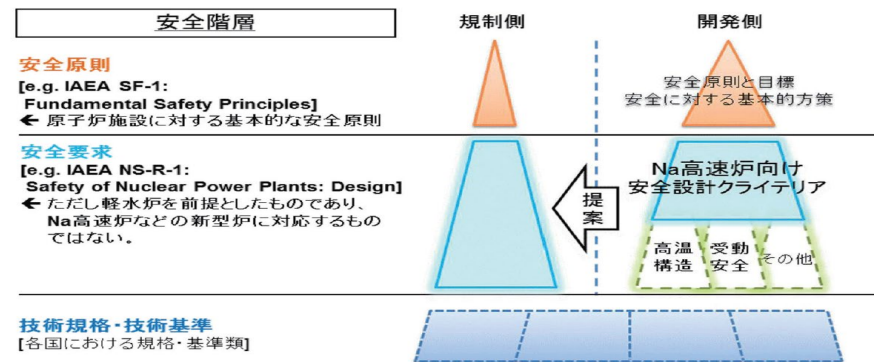


図 5.2 GIFにおけるナトリウム冷却高速炉用安全設計クライテリアの位置づけ

## ○ 知的財産の蓄積、人材の育成に貢献

ナトリウム漏えい事故や炉内中継装置落下等の大きな事故・トラブルを克服すると共に、運転に伴う中小のトラブル対応を経験し、知的財産の蓄積やナトリウム取扱人材の育成等に貢献。



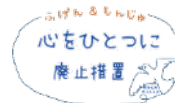
プラバックを用いた温度計部切断作業



炉内中継装置引抜き時のカバーガスバウンダリ確保のための仮設治具設置作業



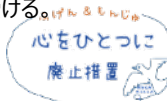
ナトリウム消火訓練



- ナトリウム冷却高速炉であることから、ナトリウムリスクへの対応を図りつつ、段階毎に確実に進める。
- 30年で廃止措置を完了させるため、ナトリウムに関係する諸作業の実施方法、手順、組合せを最適化する。
- 第1段階では、炉心等から燃料体を取り出す作業（燃料体取出し作業）を最優先とする計画。
- 第2段階では、バルクナトリウムの所外搬出を実施し、ナトリウム保有リスクを低減する。
- 上記に加え、速やかに第3段階（ナトリウム機器の解体撤去）に着手できるよう、準備を進める計画。

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 (平成30) ~ 2022 (令和4)	2023 (令和5)	~	2047年 (令和29)	
主な 実施 事項	燃料体取出し作業				
		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				

注) 使用済燃料の譲渡し及びナトリウムの処理・処分に係る計画については、第1段階において検討することとし、第2段階に着手するまでに廃止措置計画に反映して変更認可を受ける。



# 「もんじゅ」廃止措置の全体工程

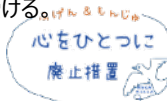
- ナトリウム冷却高速炉であることから、ナトリウムリスクへの対応を図りつつ、段階毎に確実に進める。
- 30年で廃止措置を完了させるため、ナトリウムに関係する諸作業の実施方法、手順、組合せを最適化する。
- 第1段階では、炉心等から燃料体を取り出す作業（燃料体取出し作業）を最優先とする計画。
- 第2段階では、バルクナトリウムの所外搬出を実施し、ナトリウム保有リスクを低減する。
- 上記に加え、速やかに第3段階（ナトリウム機器の解体撤去）に着手できるよう、準備を進める計画。

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1段階実施事項の完了確認	
年度	2018 (平成30) ~ 2022 (令和4)	2023 (令和5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 全ての燃料体が燃料池で貯蔵され、炉心に再装荷されないよう処置されていること、およびしゃへい体等取出し作業の着手条件を満たしていること</li> <li>➤ 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が整備されていること</li> <li>➤ 必要な処置を行った上で、速やかに1次系のナトリウムドレンが実施されていること</li> <li>➤ 第1段階で行った汚染分布評価が第2段階の計画に反映されていること</li> </ul>	
主な実施事項	燃料体取出し作業			
		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		
				建物等解体撤去
		放射性固体廃棄物の処理・処分		

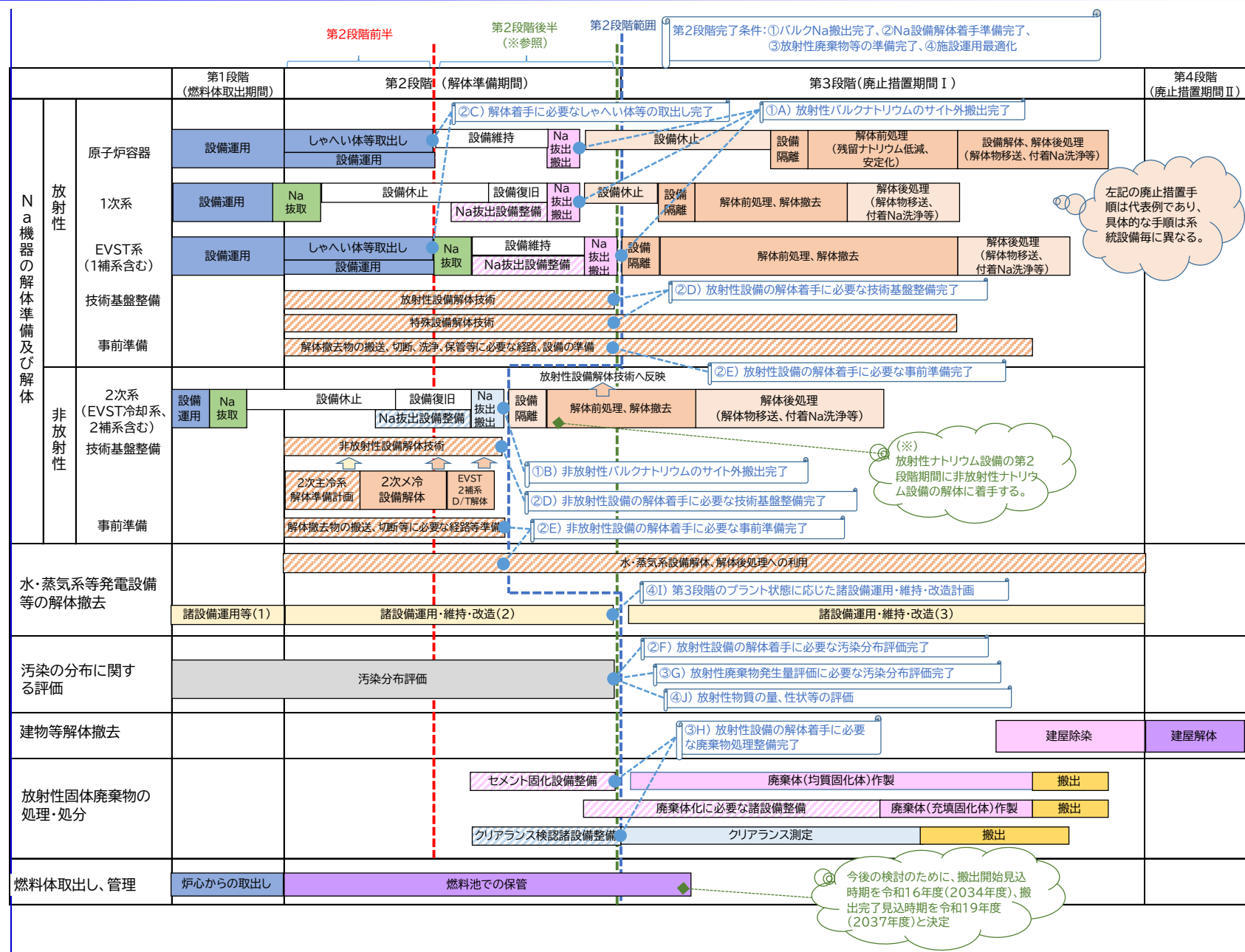
**第2段階の完了条件**

- バルクナトリウムの搬出
- ナトリウム設備の解体着手準備完了
- 解体着手前に実施すべき放射性廃棄物等に関する準備完了
- 解体に向けた施設運用の最適化

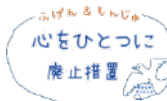
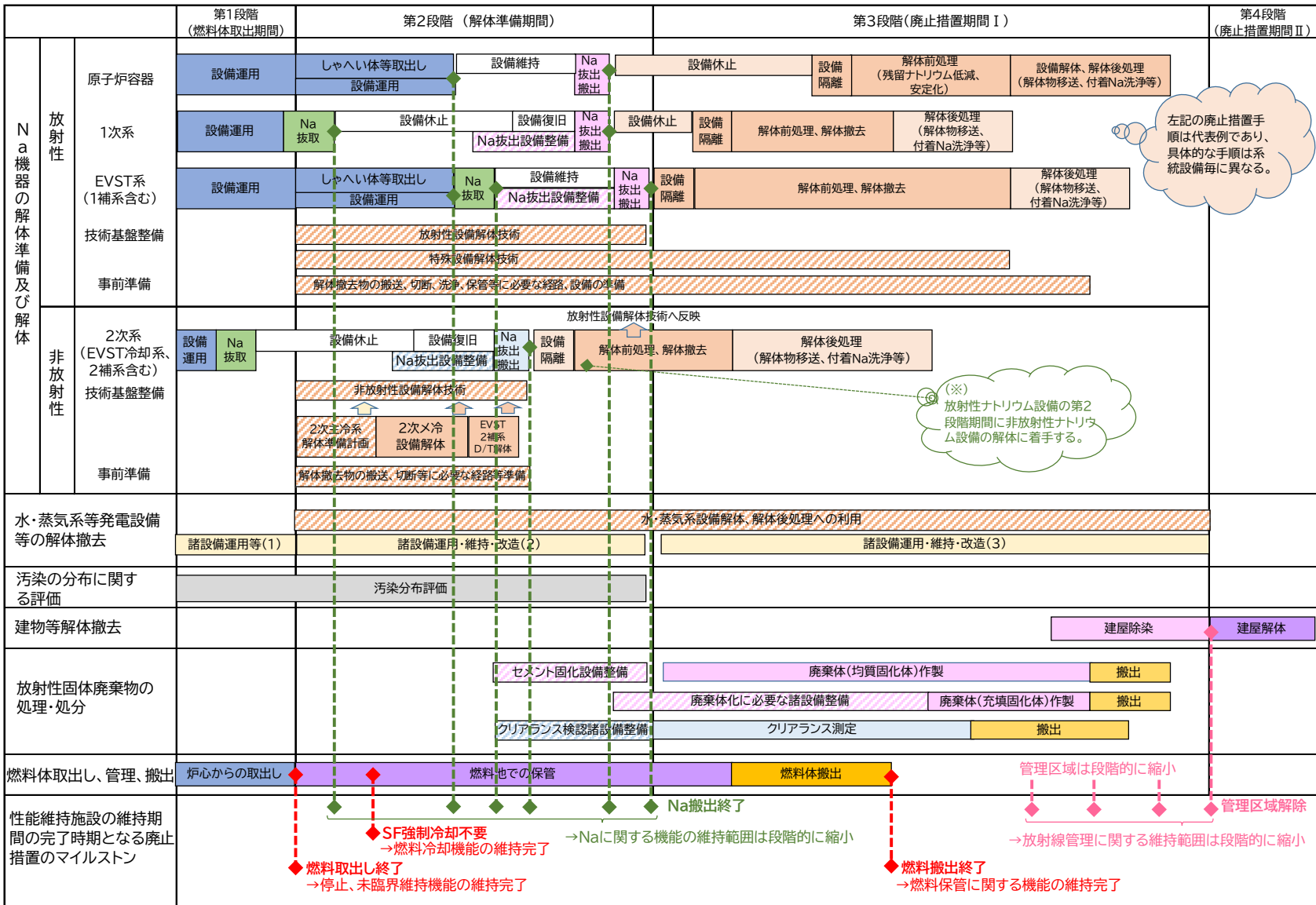
注) 使用済燃料の譲渡し及びナトリウムの処理・処分に係る計画については、第1段階において検討することとし、第2段階に着手するまでに廃止措置計画に反映して変更認可を受ける。











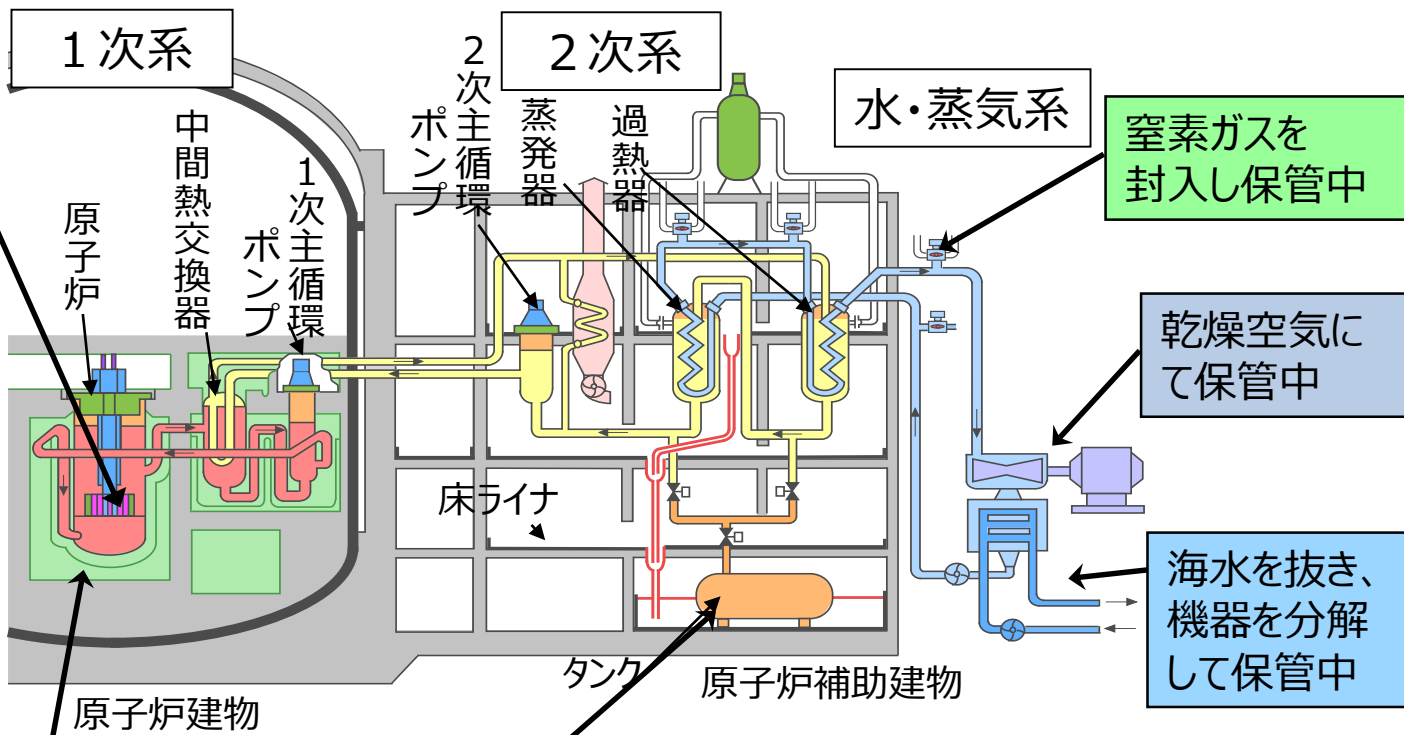
制御棒を挿入し炉は停止中

- 運転停止に関する恒久的な措置
- 原子炉モードスイッチを「運転」「起動」に切替できない措置
- 制御棒駆動装置への電源供給ケーブルの切断及び除去等



1次系の系統温度を約200℃に維持。燃料体取出し後は1次系ナトリウムをタンクへ抜取り・固化することで1次系全ドレン状態とし、漏えいリスク低減を図る。

窒素雰囲気を維持(窒素雰囲気なので、1次Naが漏えいしてもナトリウムは**燃焼しない**。)



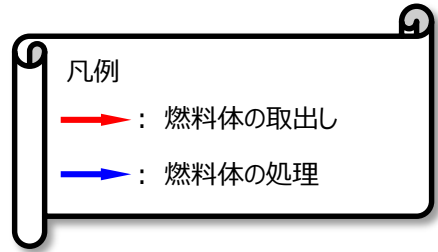
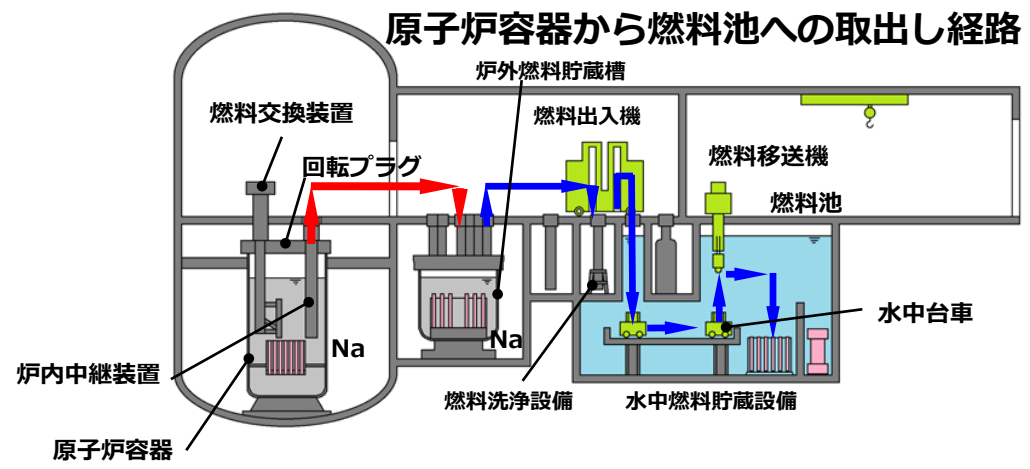
窒素ガスを封入し保管中

乾燥空気にて保管中

海水を抜き、機器を分解して保管中

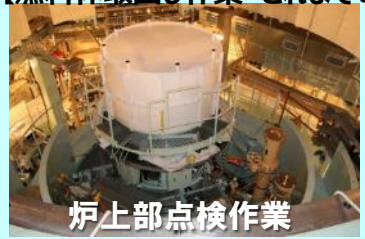
2018年12月5日に、2次系全てのナトリウムの抜取りを完了し、現在タンク内で固体の状態で保管中

廃止措置第2段階では、1次系、2次系、炉外燃料貯蔵槽（EVST）系ナトリウムの搬出先について、2021年12月に、その搬出先を英国、搬出開始時期を令和10年度（2028年度）、搬出完了時期を令和13年度（2031年度）と決定した。

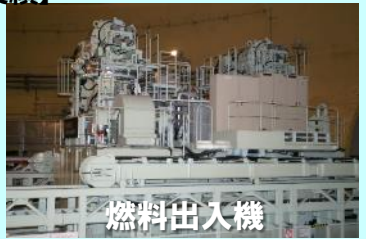


年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
第1段階における燃料体取出し作業	<b>燃料体の処理 (530体)</b> 炉外燃料貯蔵槽→燃料池 2018.8~2019.1 86体	2019.11~2020.6 174体	2021.3~2021.7 146体	2022.6~2022.12 124体	燃料体取出し作業完了 2022.6~2022.12
	<b>燃料体の取出し (370体)</b> 原子炉容器→炉外燃料貯蔵槽	2019.9~2019.11 100体	2021.1~2021.3 146体	2022.3~2022.6 124体	
	<b>設備点検及び改良・対策等</b>	2018.12~2020.2	2020.5~2021.1	2021.8~2022.3	

【燃料体取出し作業 これまでの実績】



炉上部点検作業



燃料出入機



燃料取出し作業の様子

- ◎平成30年8月～平成31年1月 燃料処理 86体完了
- ◎令和元年9月～11月 燃料取出 100体完了
- ◎令和元年11月～令和2年6月 燃料処理 174体完了
- ◎令和3年1月～令和3年3月 燃料取出 146体完了
- ◎令和3年3月～令和3年7月 燃料処理 146体完了
  
- 令和4年3月～6月 燃料取出 124体 作業中

本体Aグリッパの爪開閉トルク上昇への対応



洗浄前



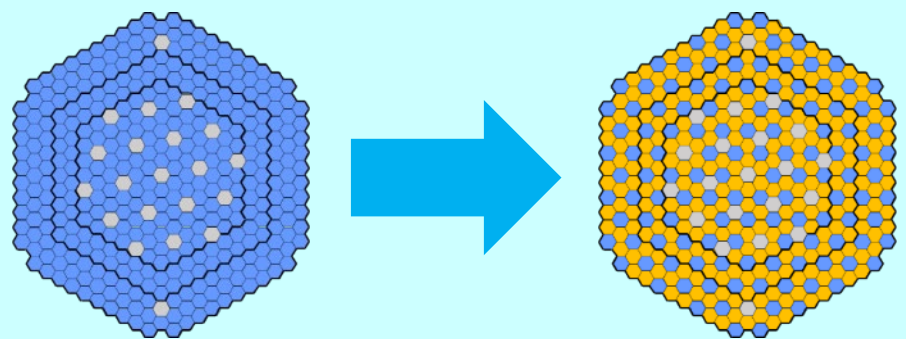
洗浄後

- ◆事象の概要  
燃料体処理を繰り返す毎に燃料出入機本体Aグリッパの爪開閉トルクが徐々に上昇
- ◆原因の推定  
グリッパに付着したNaが温度の高い燃料洗浄設備において水酸化物に変化、その後EVSTに浸漬した際、水酸化物表面にNaがさらに付着、グリッパの爪に噛み込み。
- ◆対策  
燃料洗浄槽の配管に予熱ヒータ・保温材を追加し、湿度を低下

【燃料体取出し作業 これまでの実績】

【これまでに得られた実績(一部)】

- ・ 設備の運転状態は、想定内であること。
- ・ 操作員の基本動作は問題がなく、チームコミュニケーションが充分であったこと。
- ・ コロナ感染症対策による勤務体制にて、作業を滞りなく実施できたこと。



燃料体取出し前の炉心状態 (青色は燃料体)

現在の炉心状態 (橙色は模擬体)

【現在の燃料体取出し作業】

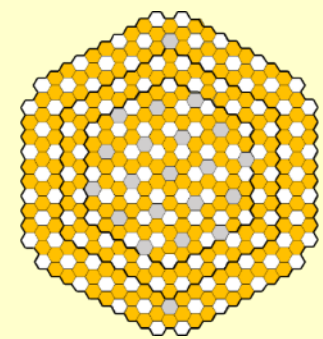
【得られた実績の反映】

- ・ 実績を振り返り、次年度に向けた準備事項に整理。
- ・ 設計・運用で対処が必要な事項は、次回取出しまでに対処するとともに、リスク評価に反映。



【部分装荷対応】

- ・ プログラム追加に向け、メーカー工場にて検証作業を実施
- ・ 実機動作確認後に燃料体取出し作業を実施



燃料体取出し完了時



## 【非放射性ナトリウムの抜き取り、固化保管の実績】

ナトリウム漏えいリスクを低減するため、非放射性ナトリウムである2次主冷却系まわりのナトリウム（約755トン）を既設タンク及び一時保管用タンクに抜き取り（2018年12月完了）。（現在は固化状態で保管中）



一時保管用タンク納入



一時保管用タンク据付



抜き取り用配管・弁設置

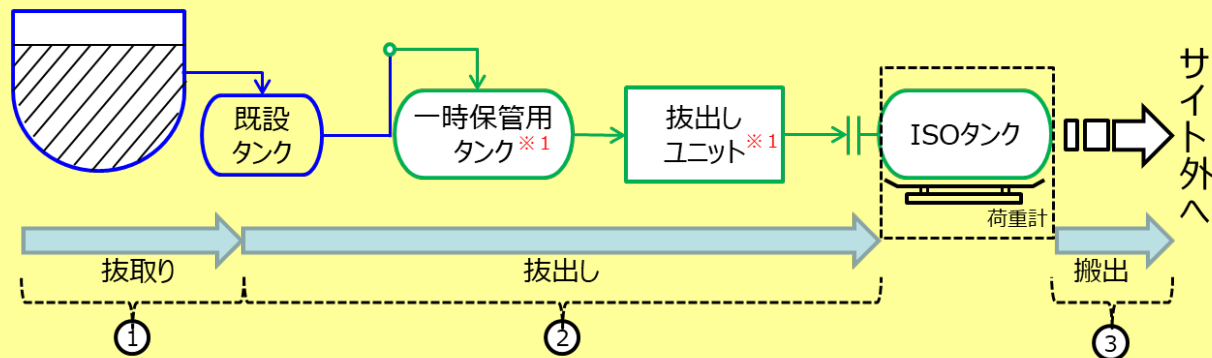


ナトリウム抜き取り作業

## 【これからの非放射性/放射性ナトリウムの抜き出し・搬出予定】

ナトリウム搬出プロセスイメージ

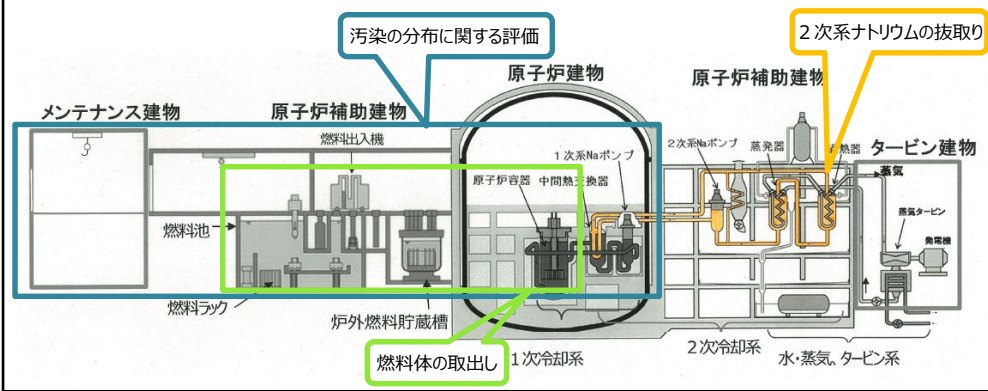
— (青) : 既設 — (緑) : 新設



- 第2段階（解体準備期間）においては、バルクナトリウムの所外搬出を実施し、ナトリウム保有に伴うリスクを低減する。
- ナトリウムは、新設する抜き出し設備等を用いて、輸送用タンク（ISOタンク）に移送（抜き出し）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 必要に応じ設備を検討する。

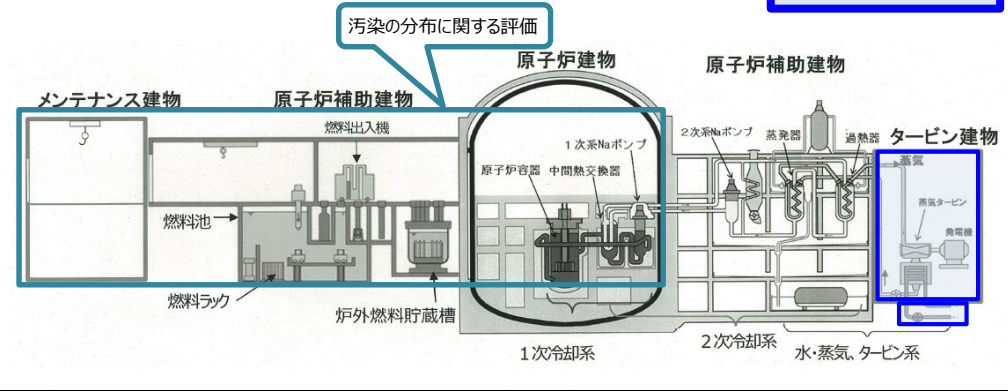
## 第1段階（燃料取出し期間）



工事内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料体の取出し（→燃料池）</li> <li>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）</li> <li>汚染の分布に関する評価</li> </ul>	安全対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナトリウムの飛散防止</li> <li>燃料取出し作業者の教育・訓練</li> <li>防保護具着用による被ばく低減策等</li> </ul>

## 第2段階（解体準備期間）

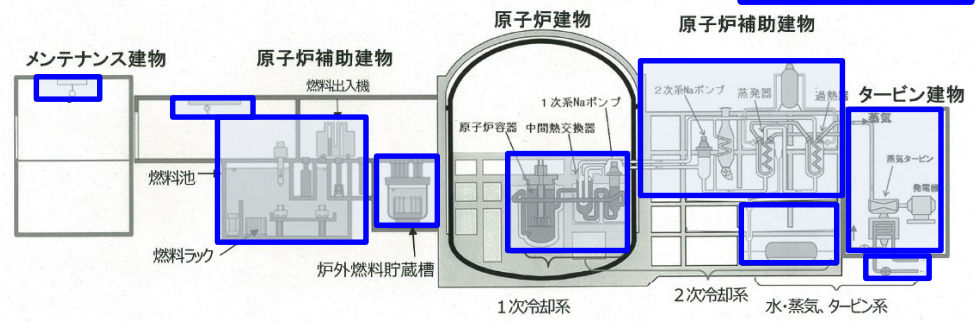
主な解体範囲



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

## 第3段階（廃止措置期間Ⅰ）

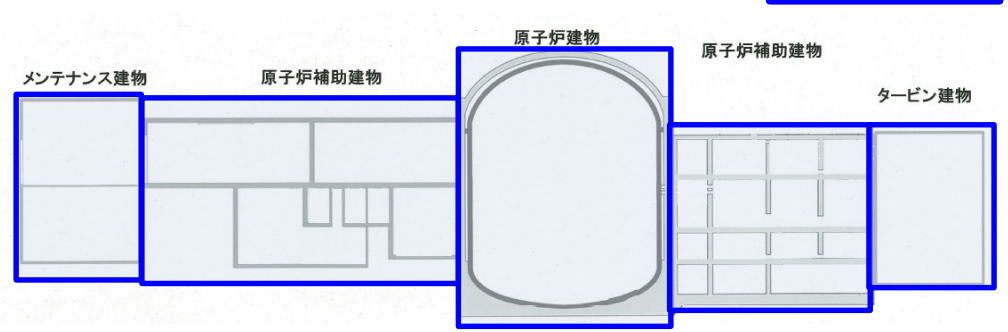
主な解体範囲



工事内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナトリウム機器の解体</li> <li>水・蒸気系等発電設備の解体撤去（継続）</li> </ul>	安全対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナトリウムの飛散防止</li> <li>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</li> </ul>

## 第4段階（廃止措置期間Ⅱ）

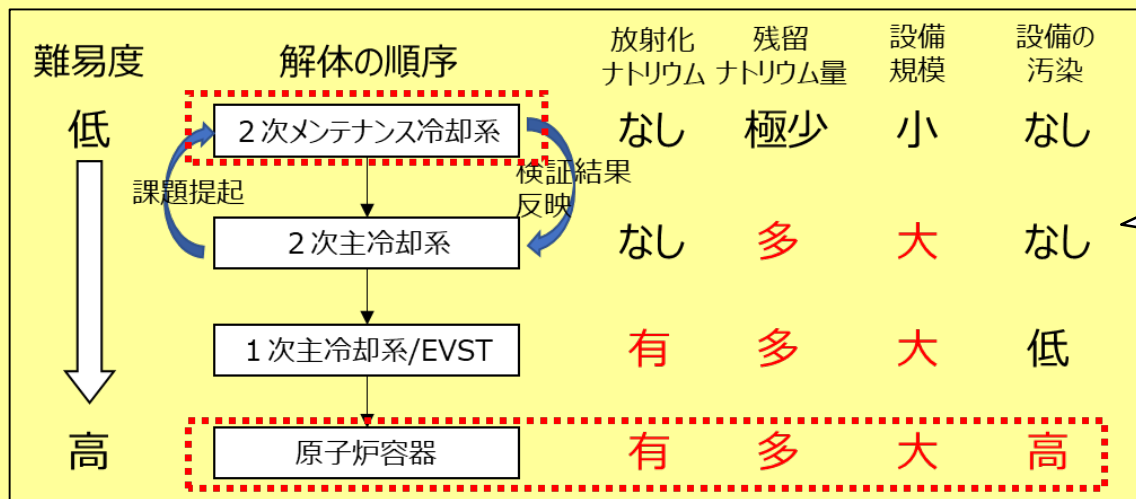
主な解体範囲



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

【これから予定する解体技術基盤整備計画】

- 国内初のナトリウム冷却高速炉の解体には、残留ナトリウムの安定化、機器・配管の切断等の解体に必要な技術等の選定、解体工事のガイドライン作成、その妥当性確認・実証が必要。
- 確認・実証は、小規模の非放射性ナトリウム設備から技術実証、確認をしながら、第2段階～第3段階を通じて段階的に進める。
- 第2段階期間中に非放射性ナトリウム設備解体着手に必要な基盤整備と、放射性ナトリウム設備の基盤整備計画を策定する。



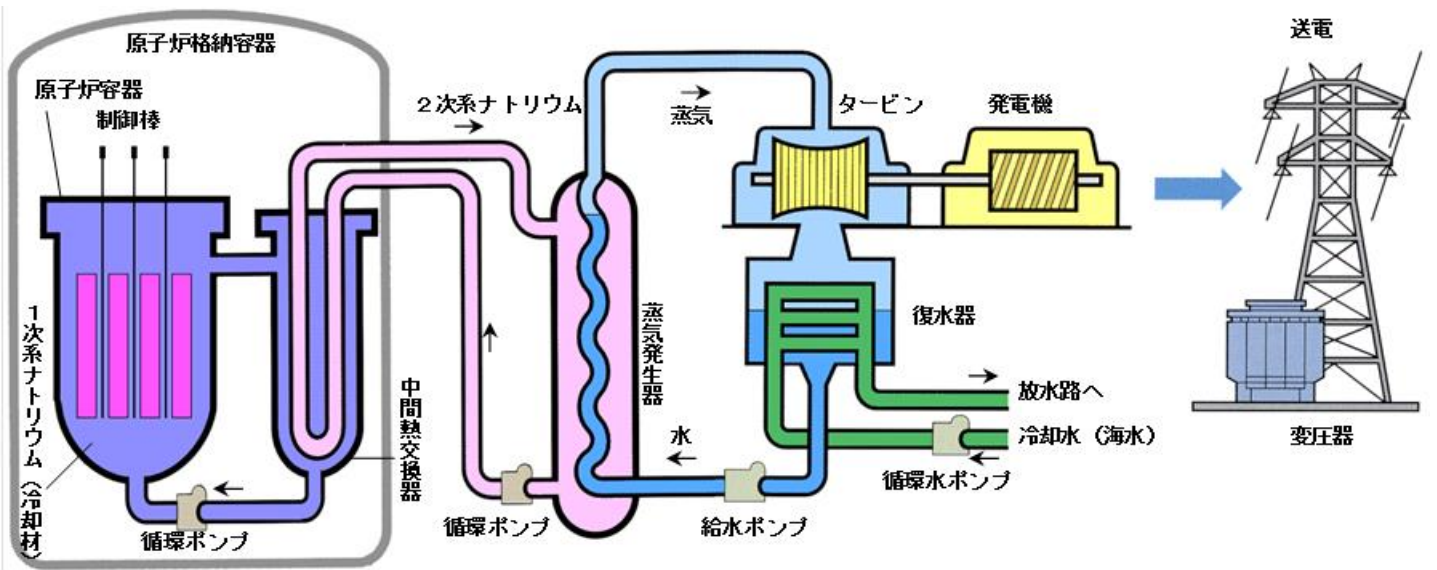
実証、確認については、2次メンテナンス冷却系等の小規模系統から、2次主冷却系設備、1次主冷却系設備の順に行い、難易度の高い原子炉容器の解体に技術を適用していく。

段階的な確認・実証のイメージ

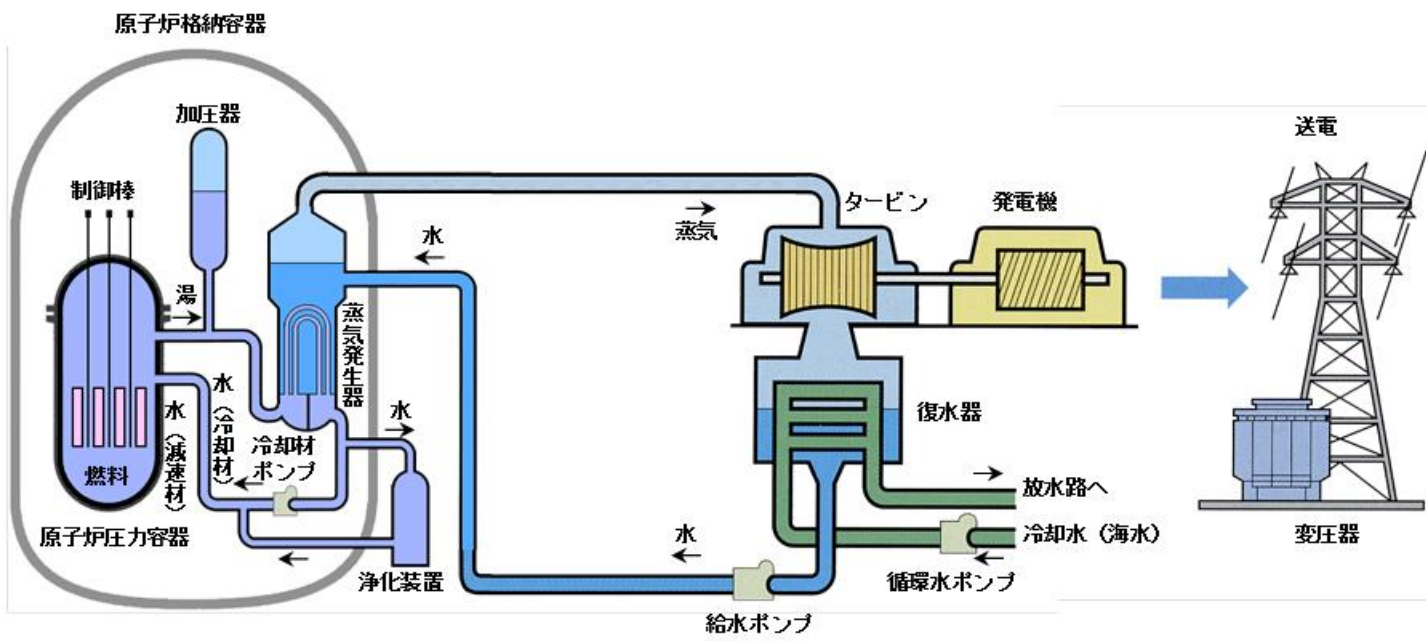
# 参考資料 ～全体概要～



高速増殖炉

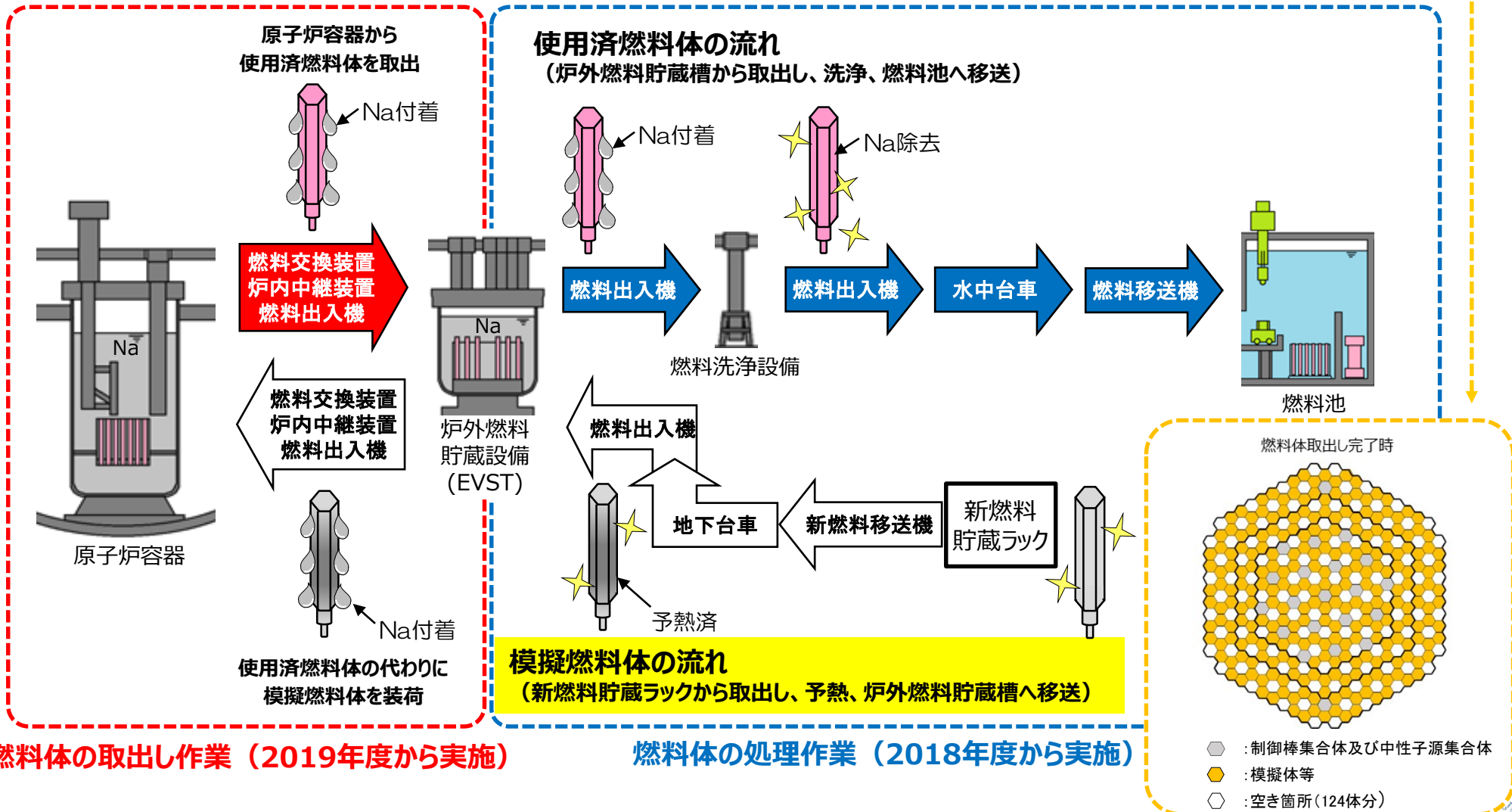


軽水炉 (PWR)



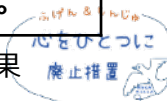
- 炉外燃料貯蔵槽（EVST）にある使用済燃料体 1 体をナトリウム洗浄後、燃料池に移送・貯蔵
- 新燃料貯蔵ラックにある模擬燃料体 1 体をEVSTに移送
- 原子炉容器からEVSTに使用済燃料体 1 体を取り出す際、代わりに模擬燃料体 1 体をEVSTから装荷※

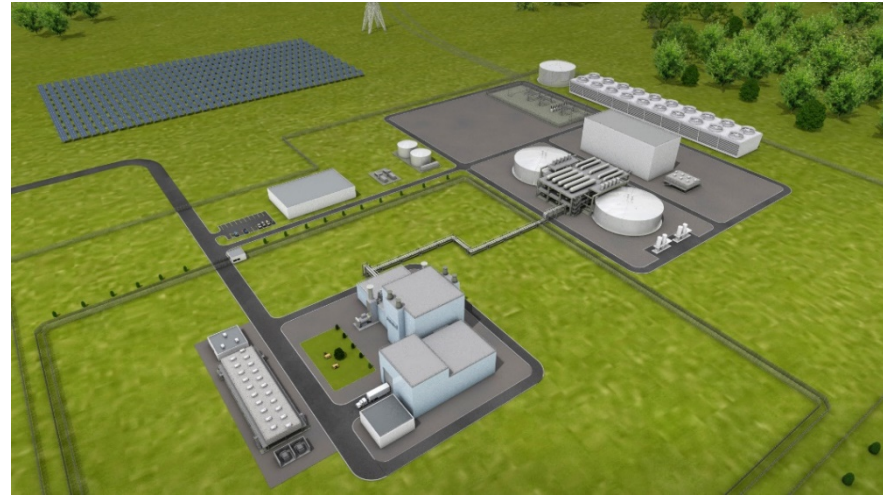
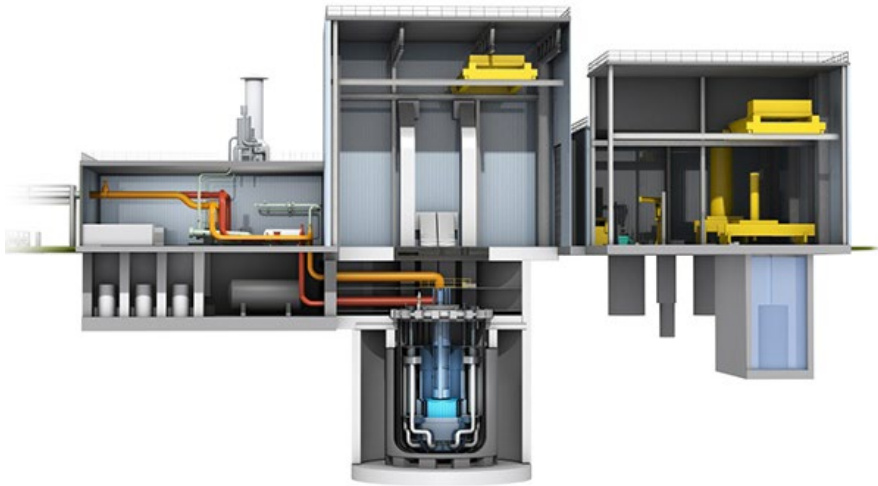
※2022年度の燃料体の取出し作業では装荷せず



- 海外では実験炉を含めると10基以上の廃止措置経験あり、高速炉特有の廃止措置技術が蓄積されている。(燃料取出しに5年以上、廃止完了までは30年程度)

国	施設名	タイプ	冷却材	出力	運転期間	廃止措置の状況※
フランス	Rapsodie	実験炉	Na	4万kWt	1967-1983	1983-1994年：燃料取出し、Na処理及び1・2次系機器を解体。2030年までに解体完了予定。
	Phenix	原型炉	Na	25万kWe	1974-2010	2016年許可取得。2025年燃料取出し完了予定。2039年1次系Na処理完了予定。2045年放射性廃棄物処分終了予定。
	Superphenix	実証炉	Na	124万kWe	1986-1998	1998年法的停止命令。2003年燃料取出し完。2017年Na処理完了。2025年~2030年解体完了予定。
イギリス	DFR	実験炉	NaK	1.5万kWe	1962-1977	2012年一部を除きNaK抜取り完。2021年燃料サイト外搬出中。2025年解体完了予定。
	PFR	原型炉	Na	25万kWe	1975-1994	1996年燃料取出し完。2008年Na処理完。2015年燃料サイト外搬出開始。2027年解体完了予定。
アメリカ	EBR- I	実験炉	NaK	0.2万kWe	1951-1963	1975年廃止措置完了。
	EBR- II	実験炉	Na	2万kWe	1965-1994	1996年燃料取出し。2001年Na抜取り完。2002年から安全貯蔵。2015年グラウト注入による封鎖完。
	Fermi	実験炉	Na	6.5万kWe	1963-1972	1973燃料サイト外搬出完。1984年1次系Naサイト外搬出完。安全貯蔵。
	FFTF	実験炉	Na	40万kWt	1980-1992	2007年Na抜取り完。2009年燃料取出し等を含む放射能低減措置完。最終的措置まで監視保管。
ドイツ	KNK- II	実験炉	Na	2万kWe	1977-1991	1993年から廃止措置に着手。2001年原子炉容器廻りの解体開始。2021年廃止措置作業中。
カザフスタン	BN-350	原型炉	NaK	15万kWe+ 淡水化	1973-1999	2001年燃料取出し完。2012年燃料サイト外搬出完。50年安全貯蔵後解体、2075年頃廃止措置完了予定。





(図) テラパワー社ホームページ <https://www.terrapower.com/our-work/natriumpower/>  
[https://www.terrapower.com/wp-content/uploads/2020/10/9799218-2\\_r1.Plant-Perspective-High-Angle-Towards-Switchyard.jpg](https://www.terrapower.com/wp-content/uploads/2020/10/9799218-2_r1.Plant-Perspective-High-Angle-Towards-Switchyard.jpg)

## Natriumの特徴

- 小型ナトリウム冷却型高速炉（炉電気出力：345MWe）に溶融塩を利用した蓄熱システムを接続
- 電力需要が少ないときは原子炉で発生する熱を発電と蓄熱システムに振り分け、電力需要が多いときは原子炉からの熱に加えて貯めた熱を利用した発電量の増大が可能であり、電力需要に応じてフレキシブルな発電が可能。

## ナトリウム冷却高速炉技術に関する覚書き（令和4年1月26日）

- 原子力機構、三菱重工業株式会社、三菱FBRシステムズ株式会社、テラパワー社の四者が覚書を締結した。相互の技術の情報交換を行った上で、燃料交換機や破損燃料検出系を含むナトリウム冷却炉に特有な技術など高速炉の開発協力について協議を進めることに合意。