

FoE Japan 連続オンライントーク 第11回

原発事故の後始末～「燃料デブリ取り出し」 ありきではない、もう一つの選択肢



1

2024年9月27日

報告者：川井康郎

原子力市民委員会 原子力技術・規制部会

CONTENTS

1. デブリ取出しにみる廃炉ロードマップの破綻
2. 汚染水問題にみる廃炉ロードマップの破綻
3. 「長期遮蔽管理」という選択肢

1. デブリ取出しにみる 廃炉ロードマップの破綻

廃炉ロードマップとは

■ 正式名称:

「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所1~4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」

■ 5つの取り組み

- ① 汚染水対策
- ② 使用済み燃料プールからの取り出し
- ③ 燃料デブリ取り出し
- ④ 廃棄物対策
- ⑤ 構内環境の改善

■ 策定経過

初版: 2011.12.21
改訂1: 2012.07.30
改訂2: 2013.06.27

改訂3: 2015.06.12
改訂4: 2017.09.26
改訂5: 2019.12.27

■ 枠組み~仕事と資金の流れ



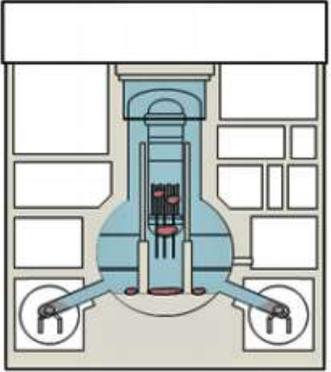
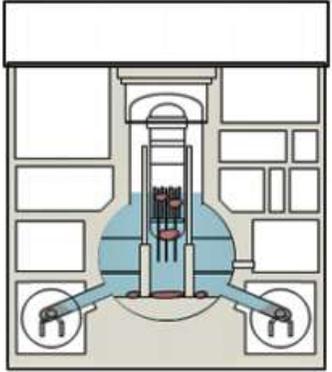
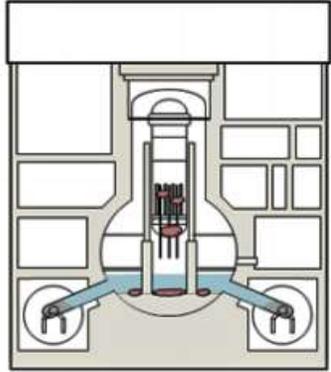
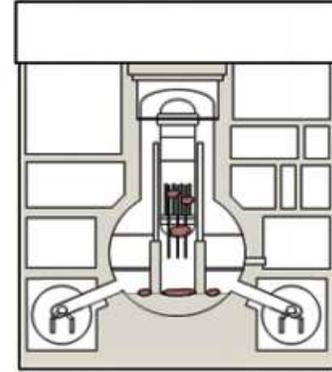
図2 廃炉等積立金制度を踏まえた戦略プランの位置付け

NDF: 原子力損害賠償・廃炉等支援機構

ロードマップによる～デブリの取出し方針と工法

■ 基本方針 (2017.9.26第4回改訂版)

- ① ステップ・バイ・ステップのアプローチ
- ② 気中工法に重点を置いた取組み～格納容器底部に横からアクセス
- ③ 取り出したデブリは容器に収納し、1F内で乾式保管
- ④ 2021年内取り出し開始を目標。初号機は2号機とする ⇒2年以上の遅れ

工法	完全冠水	冠水	気中	完全気中
原子炉内の水位	原子炉格納容器 頂部 	炉心燃料領域より上 (燃料デブリは冠水) 	炉心燃料領域より下 (燃料デブリの一部が気中) 	水なし (燃料デブリの全てが気中) 

その後も検討を繰り返すも工法の確定に至らず。

現在、俎上に挙がっている工法の概念(3号機)

NDF燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書(2024.3,7)より

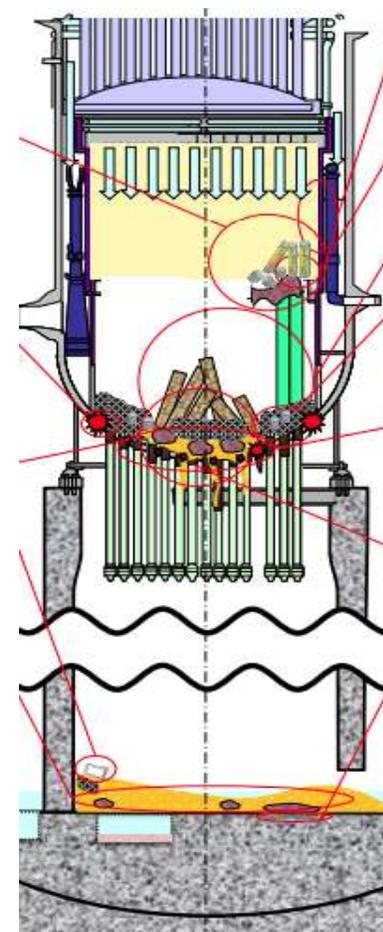


いずれも机上概念の域を出ず、計画は迷走中。

実態～デブリ取り出しの諸困難

- コンクリートや鋼製構造材と融合しているものが多く、物理的に剥離・破砕・搬出が困難
- 格納容器内は高線量で人がアクセスすることは不可能。
- 気中、横アクセスの場合の遮蔽が困難
- 取り出し資機材(ロボット等)、方法は開発中
- 取り出し後の保管、処分方法は未定

凡例	
	残留燃料棒及びその残骸
	酸化物デブリ(多孔質)
	粒子状デブリ
	燃料デブリ(金属を多く含む)
	コンクリート混合デブリ
	CRGT
	破損したCRGT



■ 困難の一例～880トンのデブリに対して約3gの採取

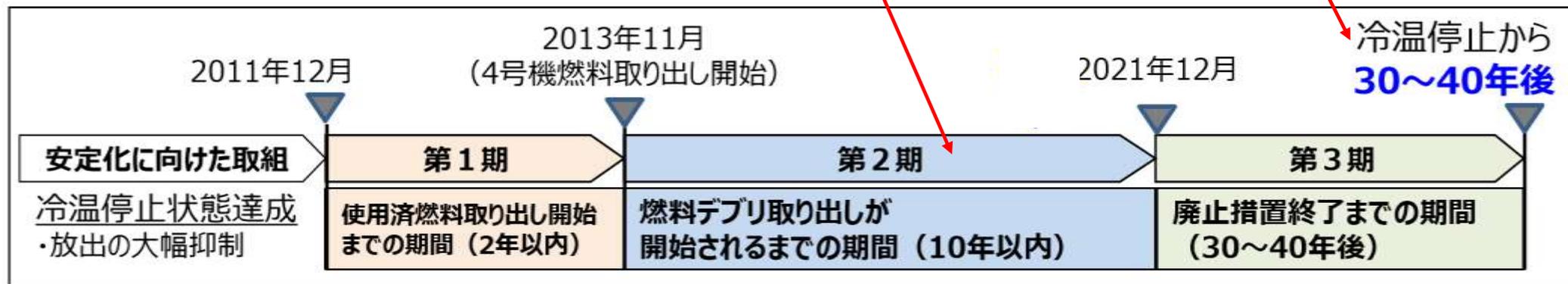


2号機試験採取にて、採取物のγ線最大線量は24mSv/h@20cmと設定。超えるものはPCV内へ戻す。作業員の被ばく管理目標は12mSv/年

(国際廃炉研究開発機構(IRID)2018年資料より)

タイムスケジュールの破綻

■ タイムスケジュールの虚構



すでに破綻して
いる!

本当に
2041~2051年末
に廃炉完了!?

- 初版(2011.12)から改訂版(2019.12)まで見直しがされていない~第2期(デブリ取り出しが開始される予定)はすでに期限が切れている。
- 不正確な縮尺と詐欺的な進捗評価基準~「開始」を達成評価点としている。

■ 曖昧な「廃止措置終了」の定義

- 「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第115条要約:廃止措置は施設の解体、汚染の除去、汚染物の廃棄、放射線記録の管理機関への引き渡しとする。
⇒ただし、福島第一に適用されている「特定原子力施設」については曖昧なまま。
- 経産省担当者発言:「廃止措置完了の状態については燃料デブリ取出しや廃棄物の処理・処分の検討結果を踏まえつつ決めていく」(2020.1.23)と先送り。

■ 実際の廃炉に必要な期間は？

通常の廃止措置(国内の例)

- 東海:2001年開始～2030年完了予定
- 浜岡1号:2001年開始～2035年完了予定

事故炉

- TMI:事故(1979)後40年の2019年に「今後60年かけて廃炉予定」
- チェルノブイリ(1986):石棺に加えて耐用年数100年のシェルターを建設



スリーマイル島原発



■ なぜロードマップを見直さないのか？

- 見通しの欠如と怠慢
- フクシマ事故の処理が可能と思わせることで、
⇒ 帰還事業の推進と復興のアピール
⇒ 更なる再稼動、原発政策の推進
- 廃炉措置の一環として汚染水海洋放出を理由づけ

⇒ 現実を踏まえたロードマップの見直し・改訂を行なうべき！

2. 汚染水問題にみる 廃炉ロードマップの破綻

汚染水貯留と放出の現状

「東電処理水ポータルサイト」より

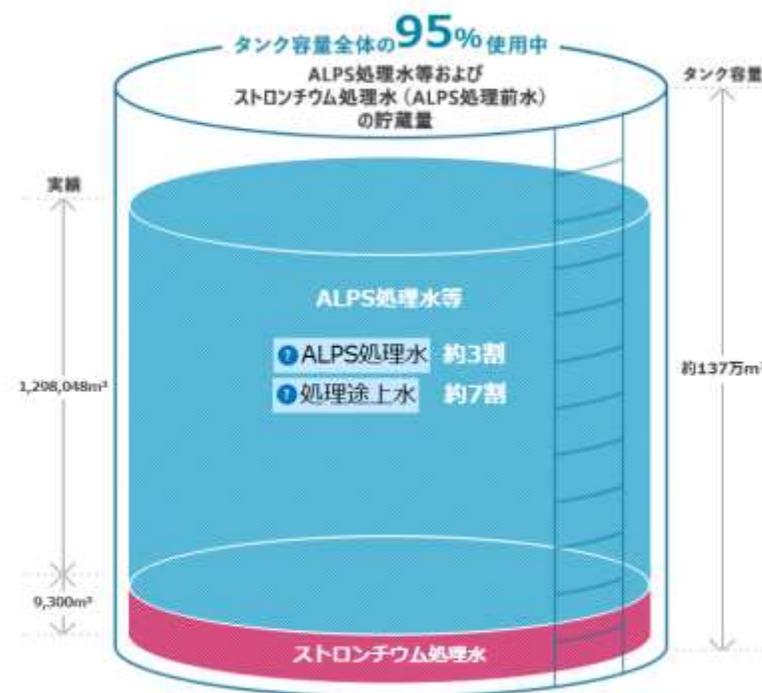
- 総貯水量：1,345,072m³ (@2023年8月24日)
⇒ 1,307,348m³ (@2024年9月5日、▲37,724 m³)
- トリチウム量：約780兆Bq (@2021年5月時点での評価)
濃度は約13万～216万Bq/L、平均62万Bq/L

■ 放出実績 (@2024.8.26)

- 累計放出量：62,631 m³ (8回)
- トリチウム累計放出量：10.2兆Bq (平均 16万 Bq/L-滞留汚染水)

検証：2023.8.24～2024.8.26 汚染水発生量

- ・累計放出量：62,631 m³
- ・貯水減少量：37,724 m³
- ・経過日数：367日
- ・汚染水平均発生量：
(62,631 - 37,724) / 367 = 67.8 m³/d

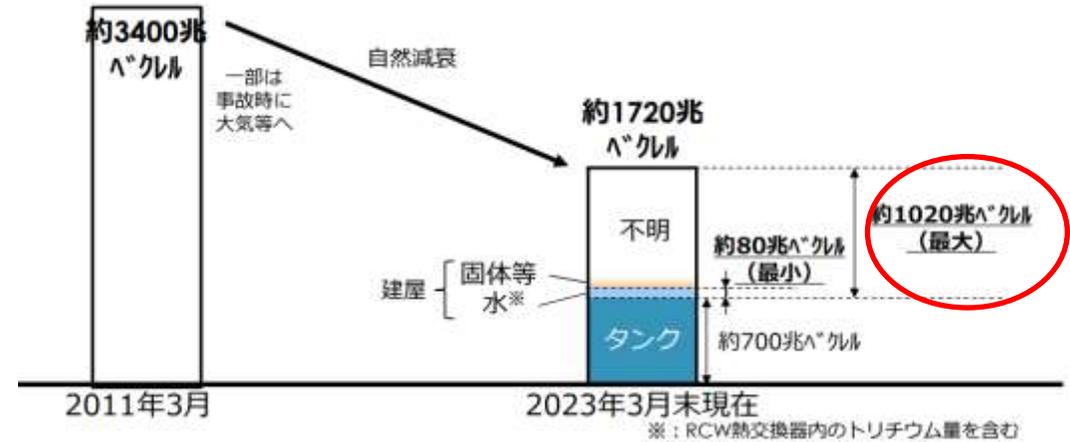


貯留汚染水の実態

■炉内残存トリチウム量推算

(東電2023年10月4日資料より)

- 事故までに、原子炉内で発生したトリチウムの総量は3,400兆Bqと推算 ⇒その後1,720兆Bqに減衰(2023.3末時点)。
- タンクに貯留されている約700兆Bqを引くと**最大1,020兆Bq**が炉内に残存していることになる。



■トリチウム以外の核種の残留

- Cs-134、Cs-137、Co-60、Ru-106、Sr-90、I-129、C14等々62核種を超える放射性物質が除去しきれず処理水中に残留している。
- タンク貯留量の約65%が「告示濃度比総和」1.0を超えている ⇒右図、東電2024.6.30
- 東電は告示濃度比総和が1.0を超えるタンク水は再浄化することで1.0未満に収めるとしている。



「告示濃度比総和」とは各物質の濃度(分析値)をそれぞれの排出基準値で割った数値の累計

海洋放出の開始 @2023年8月24日

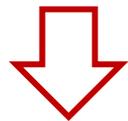
■ 放出計画

- トリチウム年間排出量: 22兆Bq以下
= 事故以前の1F排出管理目標値。但し、実際の排出量実績は1.3-2.6兆Bq/年
- トリチウム濃度: 1,500 Bq/L以下 (基準値60,000Bq/Lの約40分の1に希釈)
= 地下水バイパスならびにサブドレン水放出の運用基準値
- 希釈前処理: トリチウム以外の62核種および炭素14は告示濃度比総和が1.0未満となるよう二次処理を実施
- 沖合約1kmの海底より放出
= 放出水が希釈用海水として再取水されることを防ぐ
- 現在の貯蔵量进行处理する期間: 廃炉完了予定の30~40年以内を目安
= 今後の発生量、放出総量も特定されておらず全体計画は曖昧！！

汚染水の発生と処理スキーム

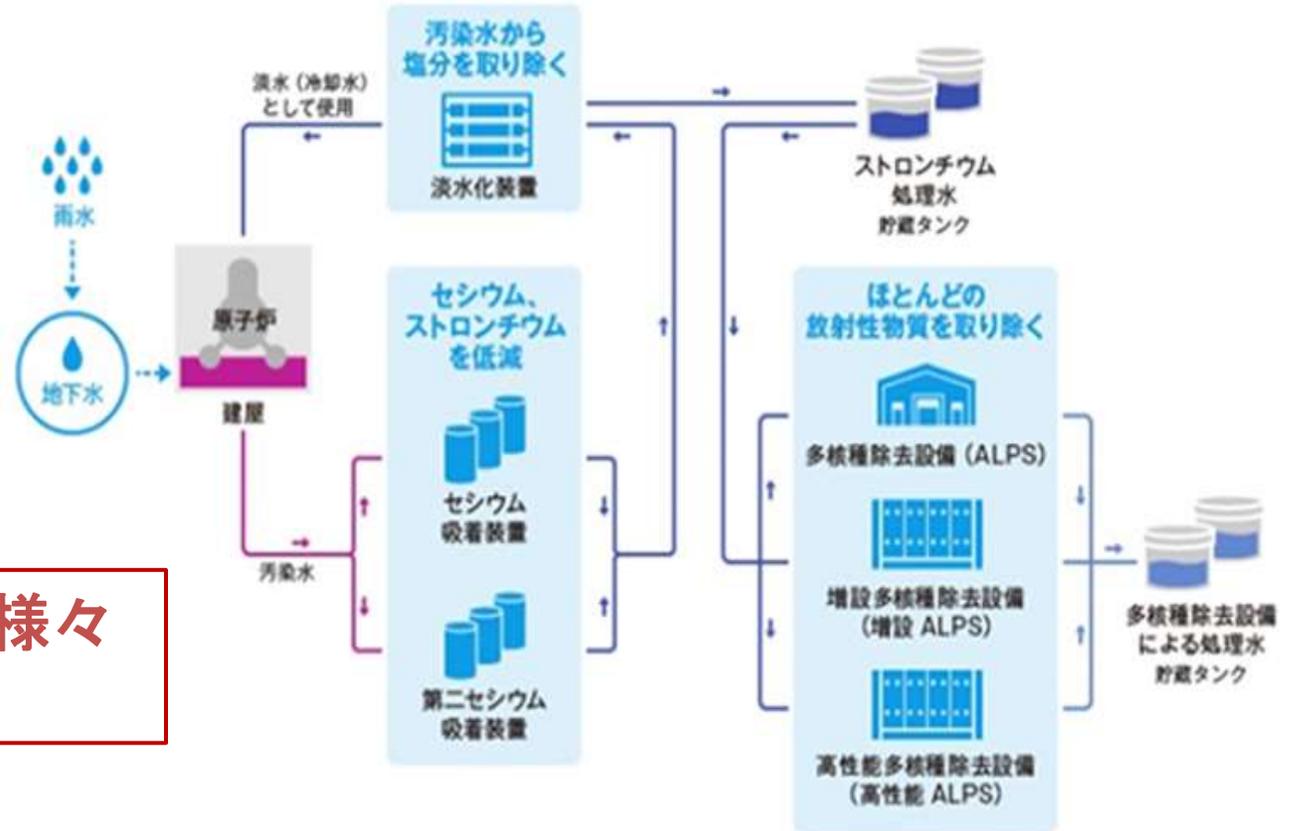
- ① 地震により原子炉建屋地下ピットに亀裂発生⇒流入地下水とデブリ冷却注水が混ざりあって高濃度の放射能汚染水が発生。
- ② Cs、Sr、塩分が除去された後、一部はデブリ冷却水として循環。
- ③ 地下水流入量に見合う量がALPS汚染水(処理水)として貯留される。

汚染水の処理が海洋汚染に加え、様々な困難を1Fにもたらしている。



汚染水の発生を完全に止めるためには「流入地下水の遮断」+「デブリ水冷の停止」が必要

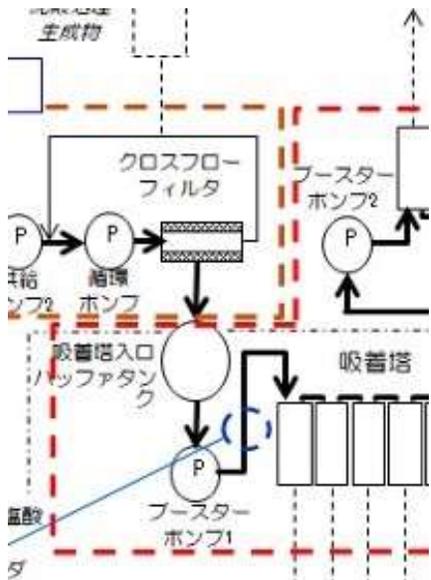
(東電資料より)



ALPS稼働に係る二つの事故例

(1) ALPS洗浄作業中の汚染事故

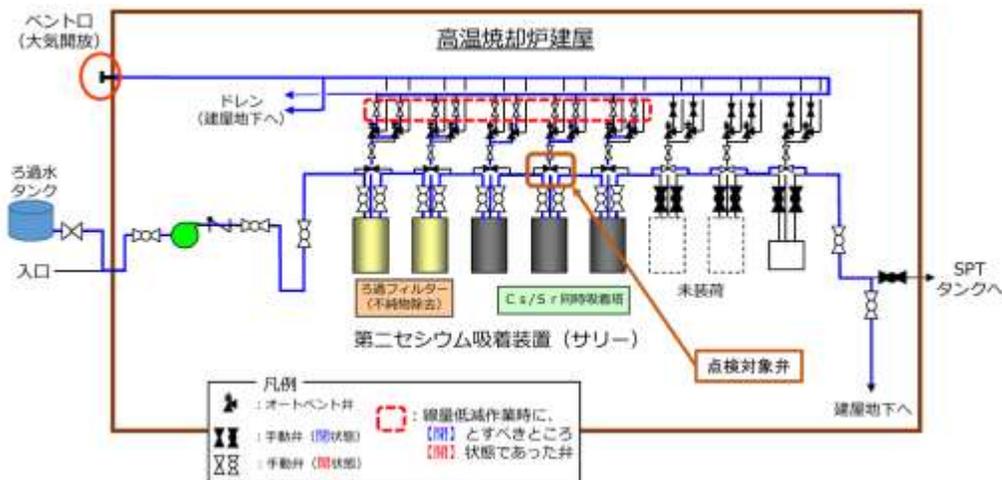
- 2023年10月25日発生
- 吸着塔入口の配管洗浄を実施中にホースが外れ、作業員5名が放射能を含んだ硝酸廃液を浴びた。
- 原因は仮設ホースを紐で固縛するなどあまりにも杜撰な設備



(2) セシウム吸着装置 (SARRY)

放射能水漏えい

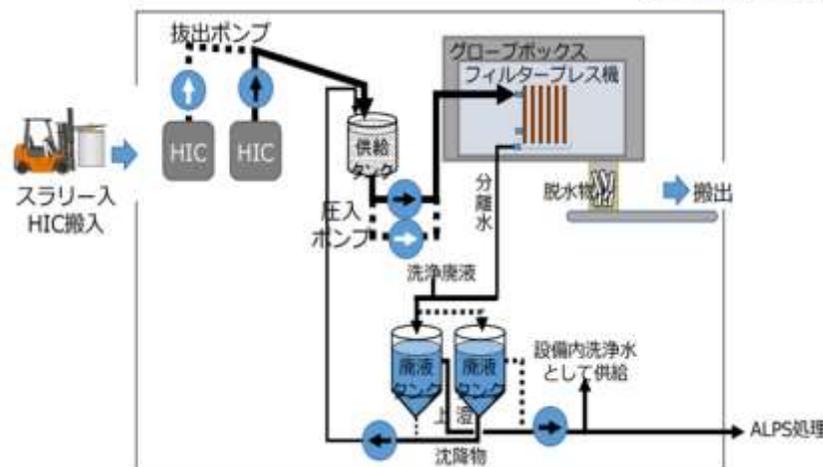
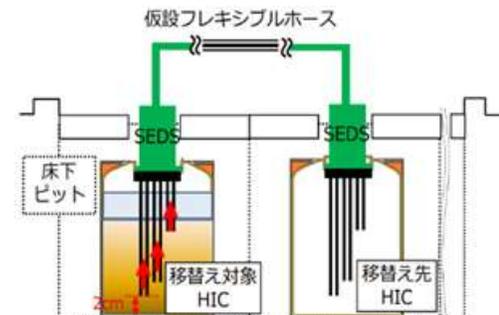
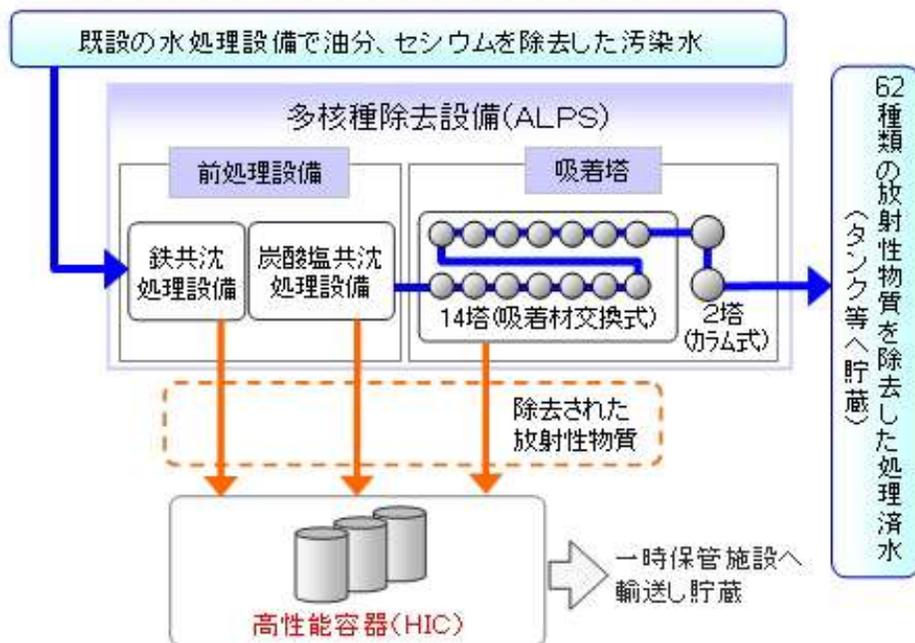
- 2024年2月7日発生
- メンテナンス中に洗浄水がベント口より大気に漏えい
- 原因はミスによるドレンバルブ開放



ALPS稼働に係る困難～放射性汚泥(スラリー)

現状

- 高濃度放射性汚泥(スラリー)を保管する容器(HIC)が4300基を超えている。
- スラリーの放射線が強く、容器が劣化するので移し替えが必要。
- 廃棄物の固形化(安定化)と減容化を目的とした脱水装置を計画中



ALPSの運転を継続する限り固体と汚泥廃棄物が溜まり続け、現場の諸困難は増加する。

経産省/東電による汚染水処理と海洋放出強行の背景

(1) 表向きは廃炉と復興の推進

タンク群を撤去し、廃炉作業スペースを確保 ⇒実際には長期にわたってデブリの取り出しは困難であり、「**廃炉ロードマップは破綻**」している。

(2) 福島原発事故の痕跡を失くし原発回帰路線の加速を実現

(3) 六ヶ所再処理工場からのトリチウム排出の露払い

福島第一汚染水との比較

	福島第一原発	六ヶ所再処理
通常運転時排出基準(Bq/年)	管理目標値: 2.2×10^{13} (22兆) 過去実績: $2 \sim 2.5 \times 10^{12}$ (2~2.5兆)	管理目標値(*): 9.7×10^{15} (9,700兆) (2018.5.9 日本原燃資料より)
福島事故炉汚染水放出計画	総貯蔵量(@2021.6):780兆Bq 年間放出量:22兆Bq/年	

3. 「長期遮蔽管理」という選択肢

汚染水発生ゼロに向けて～基本的な考え方

(現状)

- 今後も長期にわたる廃炉・管理期間中、新たな汚染水が発生し続ける。
- ALPS等汚染水処理設備の運転に伴い、固形やスラリー廃棄物が副生し、事故発生のリスクも続く。



(対策)

- 汚染水の新たな発生を止める。
- すでに貯留している汚染水はモルタル固化処理により海洋汚染リスクを完全に遮断する。



- 汚染水の発生を完全に止めるためには「**流入地下水の遮断 + デブリ注水の停止(=空冷化)**」が必要
(スライド15を参照)
- デブリ取り出しは断念し、原子炉の「**長期遮蔽管理**」に移行する。

長期遮蔽管理へ移行するまでの基本手順(案)

基本ステップ

①地下水止水

燃料デブリの水冷一時停止



ピット内部止水工事



循環注水システム閉ループ化工事



循環注水冷却継続(=汚染水発生最小化 *2)

②燃料デブリ空冷化



空冷ラインの構築

空冷開始・継続(=汚染水発生停止)



③外構シールド設置

タービン建屋解体・外構シールド構築



長期遮蔽管理へ



*1) 期間の縮尺は考慮されていない。

*2) 循環水中の放射性物質濃度抑制のため一部抜き出し⇒少量の汚染水発生

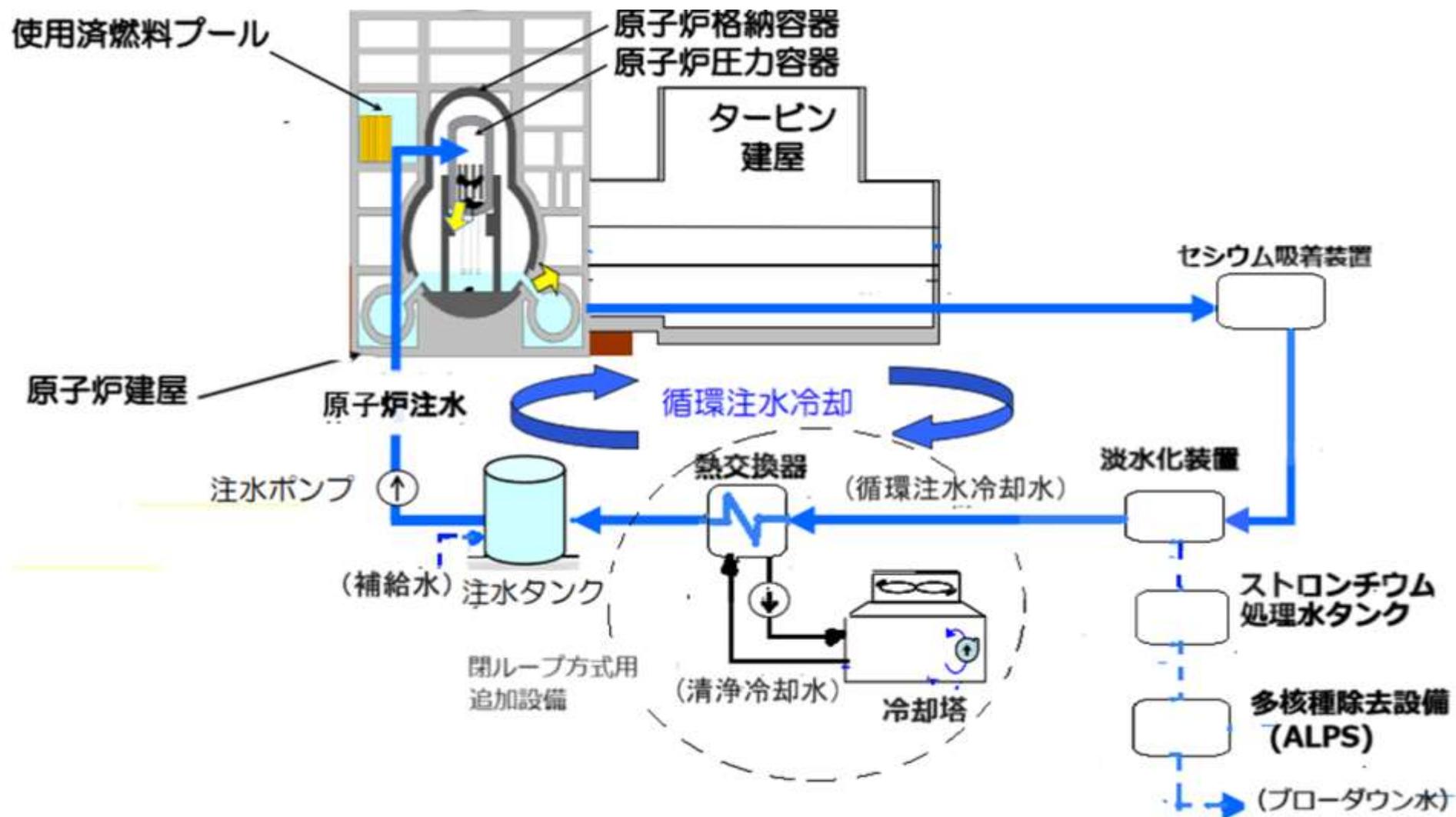
*3) 詳細は図面、実物、放射線量等々を勘案しながら検討要。

地下水の流入を止める諸案

分類	方法	備考
地下障壁	凍土壁	<ul style="list-style-type: none"> ・劣化している凍土壁の代替設備建設は急務 ・地下水流入量の「抑制」にはなるが「遮断」は困難
	粘土壁・コンクリート壁・鉄板壁等	
	ドライアイランド化	
ピット内部止水	ピット内モルタル充填あるいは内壁防水塗装等による止水 ⇒ デブリ冷却注水停止期間中に実施 ⇒滞留汚染水は汲み上げ。サブドレンはフル稼働	<ul style="list-style-type: none"> ・ピット内工事の際の放射線防護を確認（生体遮蔽壁の効果、3号機トラス室へのポンプ追加実績あり）
ピット外部止水	ピット外壁に沿い止水工事を実施（長期隔離保管設備～外構シールド建設時）	<ul style="list-style-type: none"> ・ピット外部の地下状況不明。工事の困難さが予想される。 ・工事完了まで長期間を要する。
流入放置	空冷後、ピット侵入地下水汲み上げ継続。時間とともに希釈	<ul style="list-style-type: none"> ・外部放流許容濃度までの期間不明



循環注水冷却(閉ループ方式)の系統概念図

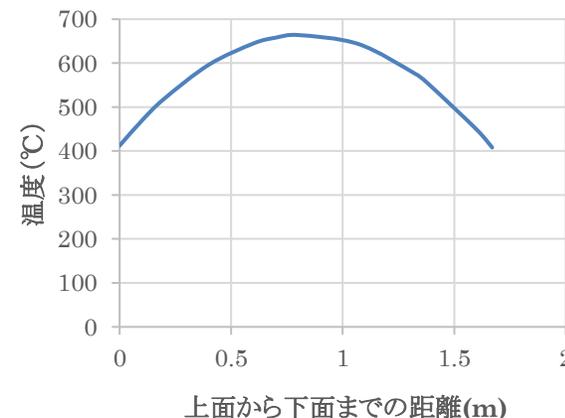


空冷化の可能性～デブリの現状

- デブリ発熱量は自然対流にて除去可能なレベルまで低下している。
(自然減衰に加え、放射性物質の冷却水側への溶出が影響)
- 受動型空冷システムにより、圧力容器内とペDESTAL内側のデブリ最高温度は660°C以下にとどまり(市民委員会試算)、固化安定状態は維持される。

号機	2013.10.24東電予測			市民委試算
	2013.11	2016.11	2019.10	2020.1
1	150	80	70	40
2	210	100	80	45
3	200	100	80	45

デブリの推定発熱量(kW)

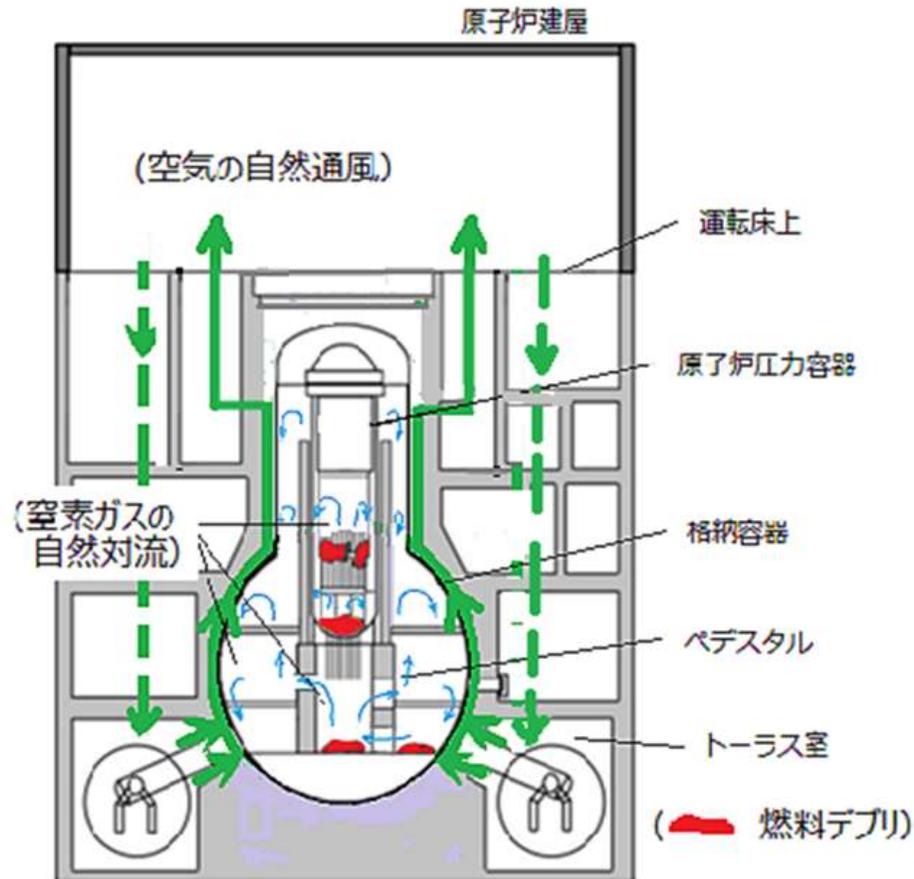


2号機RPV内デブリ最高温度
(推定、事故後10年)

(参考) 東電による冷却水停止試験～いずれも顕著な温度上昇は認められず

- 1号機: 2019年10月(49時間)、2020年12月(5日間)
- 2号機: 2019年5月(8時間)、2020年8月(3日間)
- 3号機: 2020年2月(48時間)、2021年4月(7日間)、2022年6月(6日間)

受動型空冷システムの基本概念



空冷概念図

(原子力市民委員会作成)

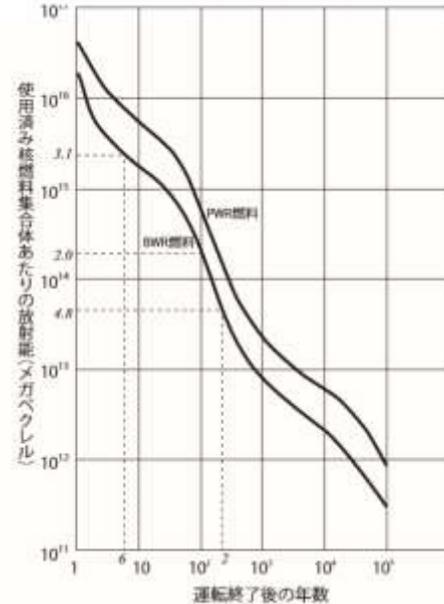
- 原子炉圧力容器と格納容器内のデブリは窒素ガスの自然対流により除熱される。
- 熱は格納容器と生体遮蔽壁（コンクリート製）との約50mmの空隙を通じた煙突効果により運転床上に放出される。
- 原子炉建屋上部の空間で自然冷却された空気は原子炉建屋内とトラス室を經由して自然循環する。
- ダストの環境への漏出を防ぐために、原子炉建屋内は微負圧に維持し、排気はHEPAフィルタを經由する。
- 駆動機器がなく安全性と信頼性が高い。

原子炉/格納容器は長期遮蔽管理へ

■ 放射線レベルの低下

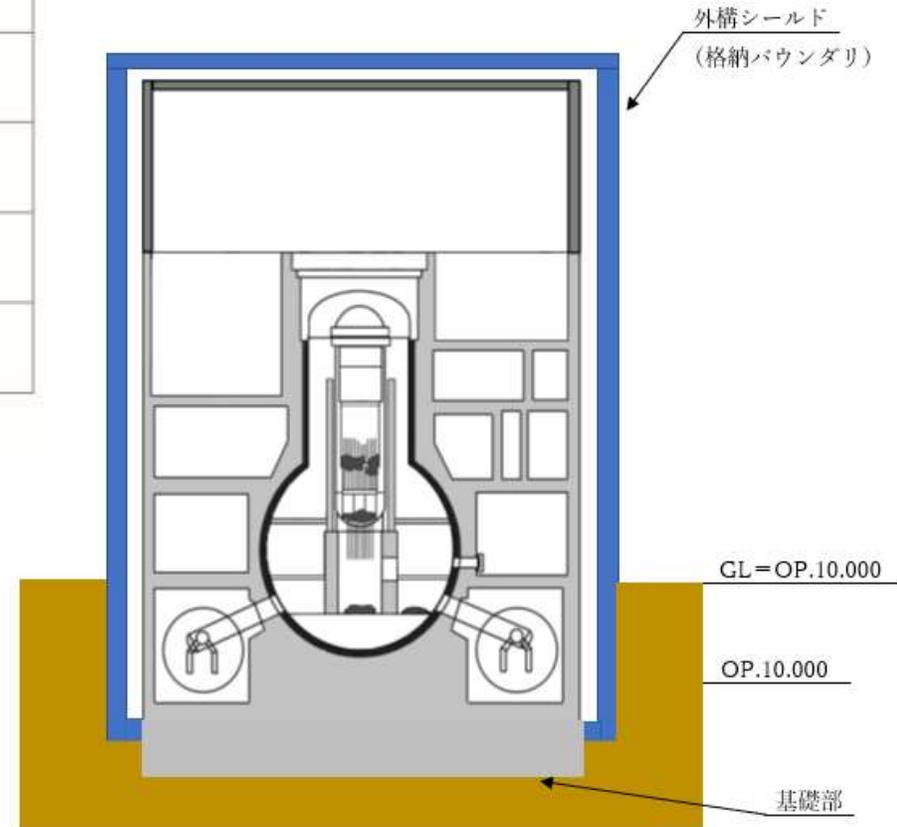
- 作業環境の放射線レベルは、100年後は約1/16、200年後は約1/65と試算される(右図参照)

炉内放射能減衰曲線
(出展: National Research Academy Press, 1983)



■ 長期遮蔽管理の基本概念

- 放射能バウンダリとして原子炉建屋に外構シールドを設置(他建屋は解体)
- デブリは受動空冷システムにより冷却を維持
- 外構シールド内は微負圧とし、排気はHEPAフィルタにて浄化処理を行なう。



外構シールド概念図

長期遮蔽管理案の利点

詳細はCCNE特別レポート「100年以上 隔離保管後の『後始末』」(2017改訂版)参照

■長期遮蔽管理の利点

- 高放射能環境下での被ばく労働量の最小化
- 事故・トラブル時のダスト発生と環境への拡散を回避
- デブリ取り出し作業の泥沼化と巨額費用の投入を回避
⇒そもそもデブリの全量取り出しは不可能！
- デブリ空冷化により、汚染水の新たな発生を回避
- 長期管理中の放射能減衰
⇒解決は後送りせざるを得ない

■廃棄物処理の視点

- 例えデブリが取り出されたとしても、その保管、運搬、処分計画未定
- 核セキュリティ上の配慮が必要

東電は破綻処理を行ない、事故処理は「処理公社(仮称)」に

■ 東電体制の基本的欠陥と限界

- 廃炉事業(廃炉カンパニー)と収益部門の分離が不完全 ⇒ 「事故対応」と「収益向上」の二律背反
- 「中長期ロードマップ」はすでに破綻 ⇒ 今後、長期にわたる廃炉事業を民間企業が担うことは不可能

東京電力グループ組織図



■ 改革イメージ

東電破綻処理

収益部門(発電・送配電・小売)は独立再編

1F事故処理公社(仮称)

損害賠償・復興機関

「東電の存続」が招くモラルハザード⇒早急な破綻処理を！

提言まとめ

- 『廃炉のための中長期ロードマップ』を根本的に見直す。デブリの無理な取り出しは止め、原子炉建屋の長期遮蔽管理に移行する。
- デブリ空冷化と地下水流入遮断により汚染水の新たな発生を停止する。すでに貯留している汚染水はモルタル固化により海洋汚染リスクを完全に取り除く。
- 廃炉プログラムの遂行にあたっては、安全・品質管理・目標設定の視点からマネジメント体制を全面的に見直す。

END



2023.10.21 福島訪問

