

汚染水の海洋放出は避けられる！ ～現実的な選択肢



CCNE公開フォーラム

”いま改めて、汚染水の海洋放出問題を考える”

2023年7月23日

報告者：川井康郎

CCNE原子力技術・規制部会

CONTENTS

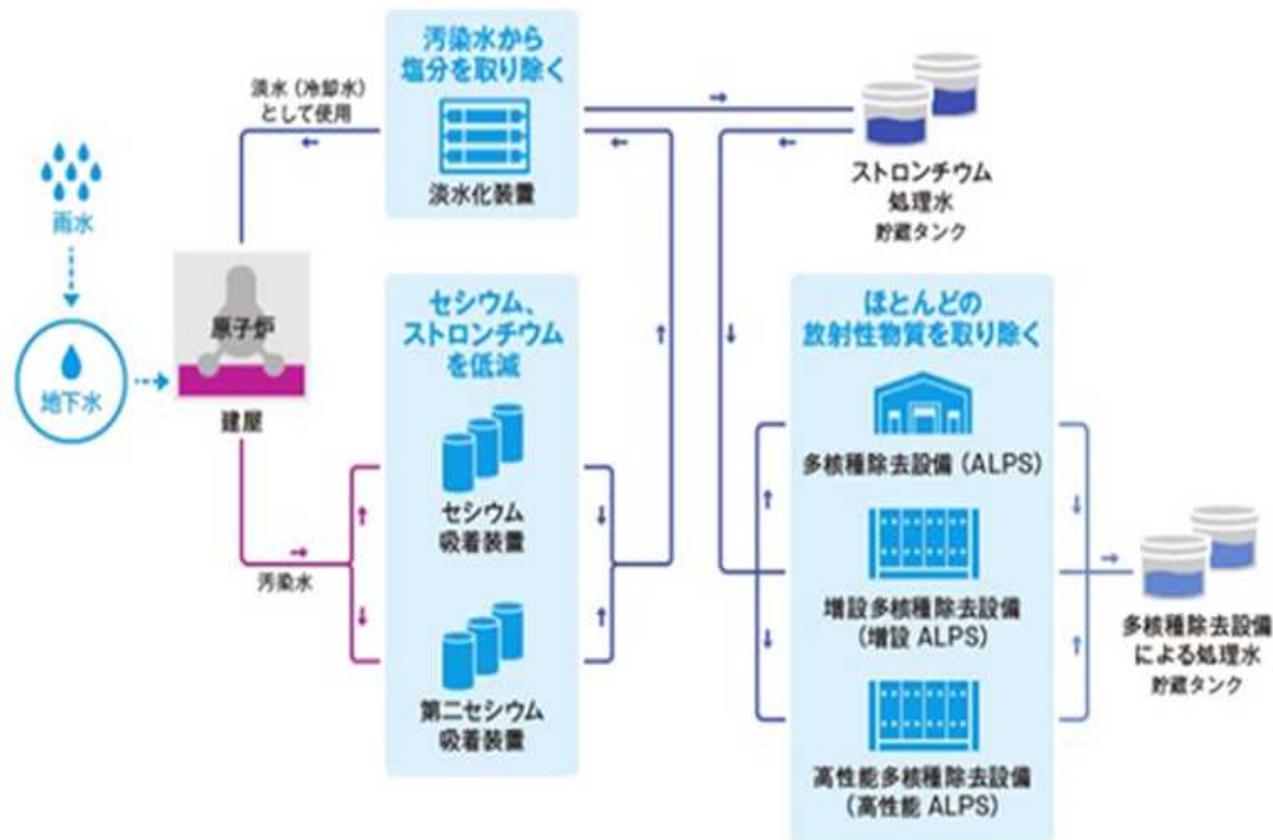
1. 汚染水の現状と海洋放出計画
2. 海洋放出は避けられる～現実的な選択肢
3. 汚染水発生 の完全停止へ

1. 汚染水の現状と海洋放出計画

汚染水の発生

発生メカニズム

- 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。

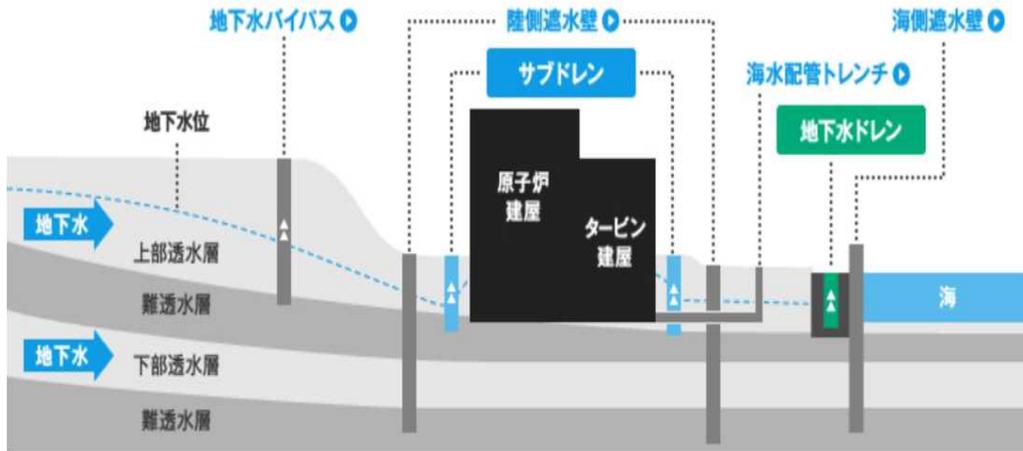


(東電資料より)

発生汚染水の特徴

直接核燃料に触れており、トリチウムに加えて、多くの核分裂物質が含まれている。

地下水流入量の抑制



サブドレン

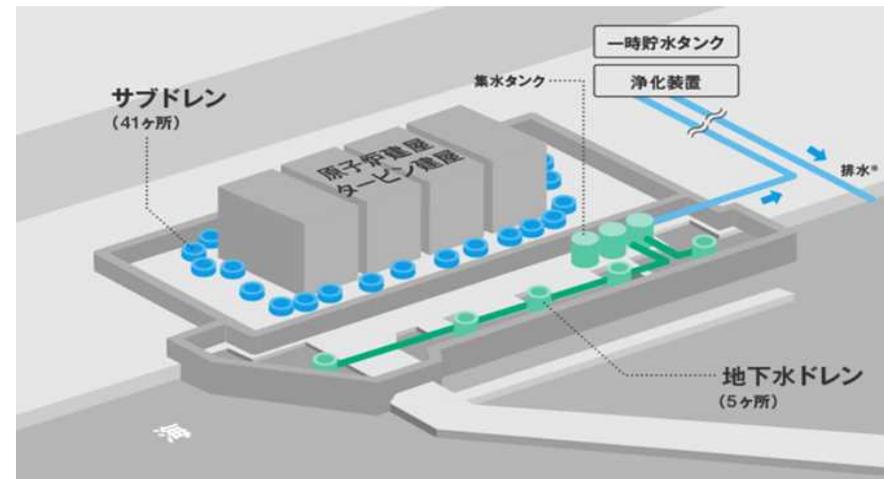
- 原子炉/タービン建屋の周囲に張り巡らせた地下水汲み上げ井戸。浮力による建屋の浮き上りを防止が本来の目的であった。
- 現在は、地下水位調整に使用(高濃度汚染水が流出しないよう、ピット内水位を常に地下水位より低く保つ必要がある)。

地下水バイパス

- 山側から流れ込む地下水を敷地の上流で汲み上げ、直接海洋に放出。

陸側遮水壁(凍土壁)

- 敷地内への地下水流入抑制のために建造された凍結壁。2016年3月より供用開始。近年は凍土の溶解、地下水漏えいトラブルが多発。

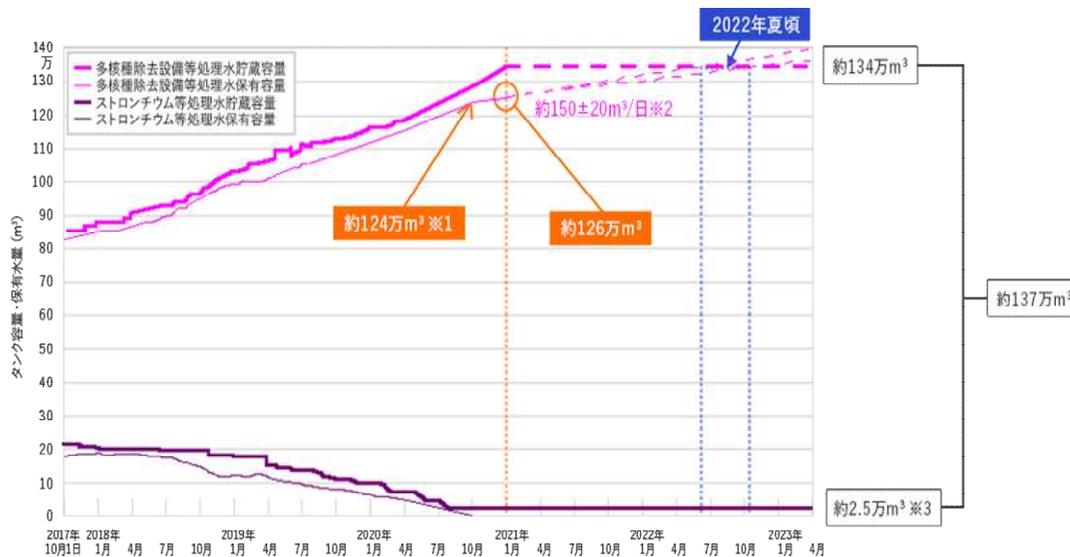


(東電資料より)

貯留汚染水の現状

「東電処理水ポータルサイト」より

- 総貯水量: **1,340,484m³** (@2023年7月13日時点)
- トリチウム量: **約780兆Bq** (@2021年5月時点での評価)
濃度は約15万~216万Bq/L、平均62万Bq/L
- 汚染水発生量: **140~150 m³/日** (過去2年間)
- 設置タンク容量: 137万m³ (東電は2023年夏~秋頃に満杯見込みと)

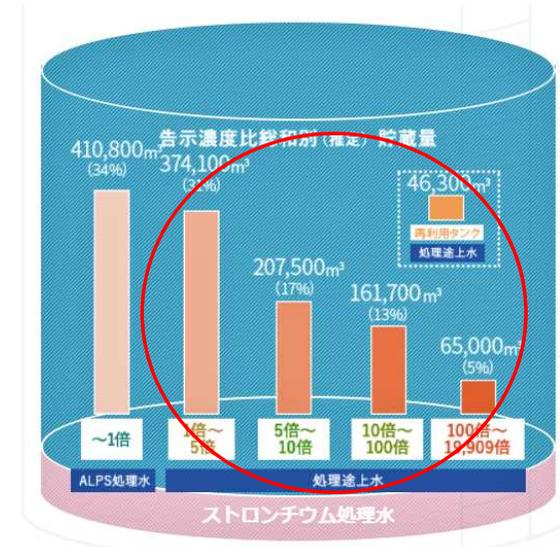


- (参考) **炉内残存トリチウム量**
事故までに、原子炉内で発生したトリチウムの総量は3,400兆Bqと推算 ⇒ その後の減衰で2,069兆Bqと評価(2020.1.1時点)。当時タンクに貯留されているとされた860兆Bqを引くと**最大約1,200兆Bqが建屋内に残存していたことになる。**(東電2020年4月8日見解)

トリチウム以外の核種も残留

(2022.5.5時点、東電処理水ポータルサイトより)

- 貯留量の66%がその他核種で「告示濃度比総和」1.0を超えている ⇒ 右図
- 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以内に収めるとしている。
⇒ 根拠は示されておらず疑わしい



(参考)タンクグループ毎の告示濃度比総和値の例

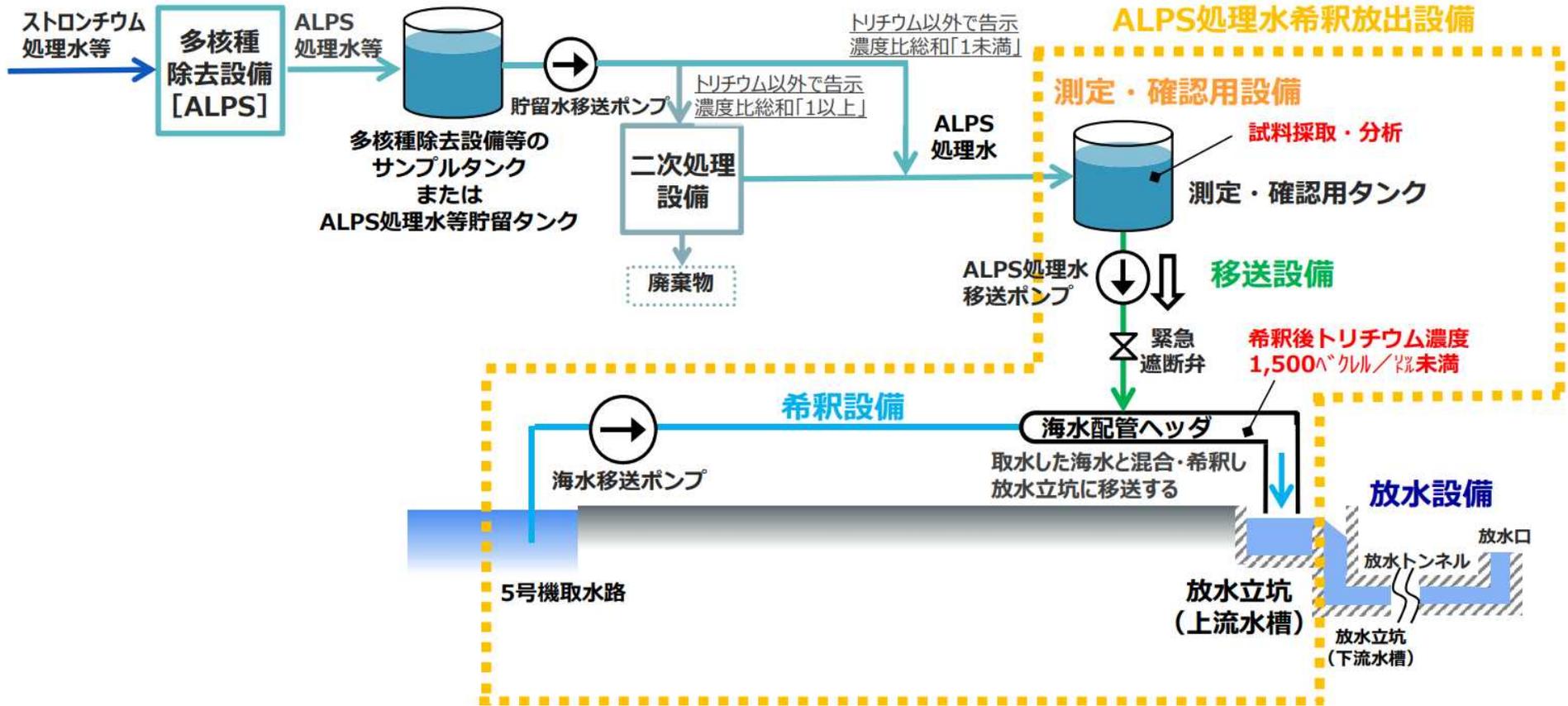
グループ	核種毎の放射能濃度												告示濃度比総和 (主要7核種*) [-]	告示濃度比総和 (主要7核種* + C-14 + Tc-99) [-]
	セシウム (Cs)-137 告示濃度限度 9.00E+01 [Bq/L]	セシウム (Cs)-134 告示濃度限度 6.00E+01 [Bq/L]	コバルト (Co)-60 告示濃度限度 2.00E+02 [Bq/L]	アンチモン (Sb)-125 告示濃度限度 8.00E+02 [Bq/L]	ルテチウム (Ru)-106 告示濃度限度 1.00E+02 [Bq/L]	ストロンチウム (Sr)-90 告示濃度限度 3.00E+01 [Bq/L]	ヨウ素 (I)-129 告示濃度限度 9.00E+00 [Bq/L]	トリチウム (H)-3 告示濃度限度 6.00E+04 [Bq/L]	カーボン (C)-14 告示濃度限度 2.00E+03 [Bq/L]	テクネチウム (Tc)-99 告示濃度限度 1.00E+03 [Bq/L]	全 α - β [Bq/L]	全 γ [Bq/L]		
A1	1.26E+00	<4.28E-01	6.86E-01	2.71E+00	<2.99E+00	9.23E+03	5.21E+01	1.25E+06	1.55E+01	5.77E+00	2.03E+04	<7.77E-02	313.51	313.52
A5	4.82E-01	<2.97E-01	6.56E-01	1.99E+00	<1.53E+00	2.49E+03	5.39E+01	1.27E+06	1.45E+01	5.92E+00	5.91E+03	<6.00E-02	89.16	89.17
B1	<1.25E-01	<1.37E-01	4.26E-01	<4.48E-01	<1.20E+00	1.15E+00	<2.32E-01	6.42E+05	2.36E+01	<1.68E+00	1.09E+01	<5.69E-02	0.08	0.10
B5	<1.16E-01	<1.56E-01	3.65E-01	<3.14E-01	<1.11E+00	4.06E+00	<2.32E-01	6.72E+05	3.18E+01	<1.68E+00	1.79E+01	<5.69E-02	0.18	0.20
C1	1.61E+00	<3.35E-01	5.17E-01	1.88E+00	<1.49E+00	1.74E+03	4.49E+01	1.02E+06	1.02E+01	4.57E+00	3.85E+03	<9.32E-02	63.10	63.11

東電による海洋放出計画

■ 計画の概要

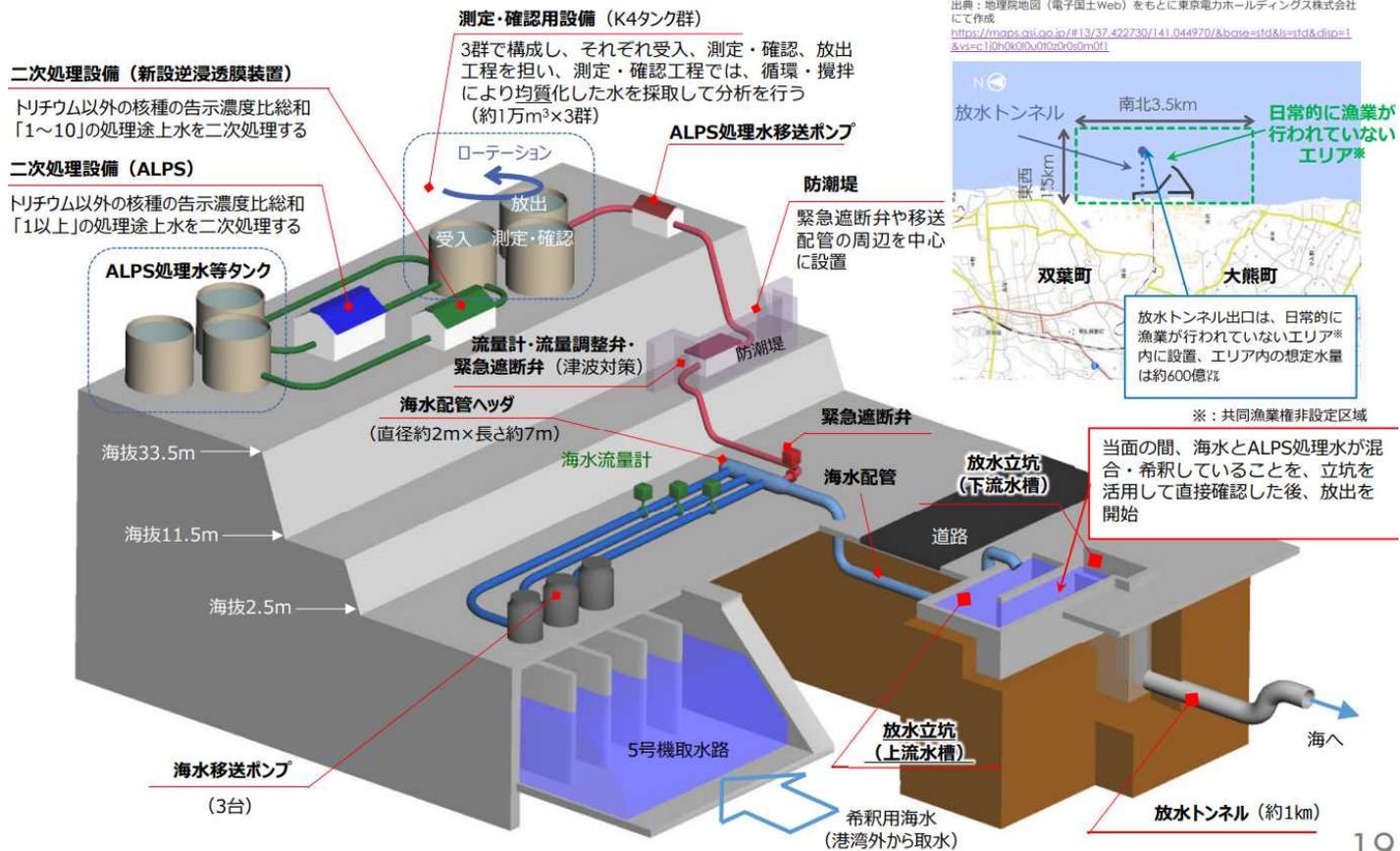
- トリチウム年間排出量: 22兆Bq/年以下
= 事故以前の1F排出管理目標値。但し、実際の排出量は1.3-2.6兆Bq/年
 - トリチウム濃度: 1,500 Bq/L以下 (基準値の約400分の1に希釈)
= 地下水バイパスならびにサブドレン水放出の運用基準値
 - 希釈前処理: トリチウム以外の62核種および炭素14は告示濃度比総和が1.0未満となるよう二次処理を実施
 - 沖合約1kmの海底より放出
= 放出水が希釈用海水として再取水されることを防ぐ
 - 現在の貯蔵量を処理する期間: 廃炉完了予定の30~40年以内を目安
= 今後の発生量、放出総量も特定されておらず全体計画は曖昧！！
- 2022年5月18日、原子力規制委員会は本計画を了承。
 - 2023年7月4日、IAEAグロッシ事務局長、レビュー包括報告書を公表

放出計画図



(2022.4.28東電実施計画補正書より)

放流設備概要



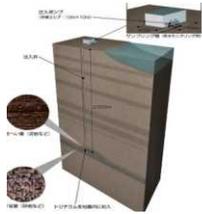
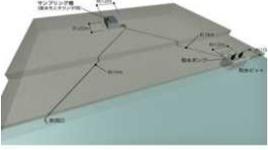
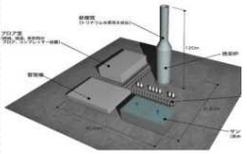
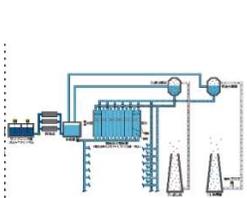
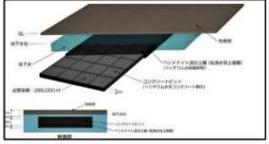
19

(2022.4.28東電実施計画補正書より)

2. 海洋放出は避けられる ～現実的な選択肢

経産省タスクフォースならびにALPS小委員会による検討諸案

(2020年2月ALPS小委報告書より)

処分方法	①地層注入	②海洋放出	③水蒸気放出	④水素放出	⑤地下埋設
イメージ図					
規則成立性	新たな策定要	あり	あり	あり	新たな策定要
技術成立性	<ul style="list-style-type: none"> 適切な地層あるか？ モニタリング手法未確立 	事例あり	事例あり	スケールアップに技術開発要	実績あり
コスト@80万m ³	180億円+α	34億円	349億円	1000億円	2431億円
期間 @80万m ³	104M+α	91M	120M	106M	98M

海洋放出計画⇒今となっては大きな嘘だらけ！

- 設備費: +437億円(東電@2021-24)
- 需要(風評)対策基金: +300億円(補正予算@2021)
- 期間: 780兆Bq/22兆 = 約35年間

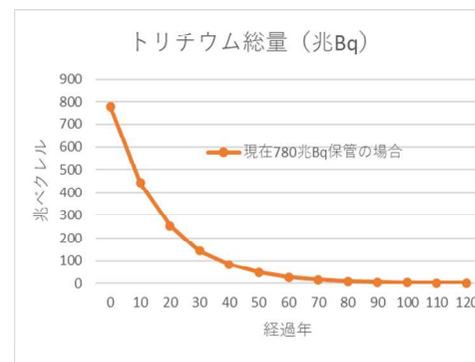
選択肢(1)大型タンクによる長期保管

■ 利点

- 保存期間中のトリチウム減衰
(半減期 = 12.3年)
- 石油備蓄に多くの実績を有する堅牢さ
- 面積当たりの貯水量向上

■ 課題

- 水の状態で保管することのリスク
- 保管期間への合意が必要
- 耐用年数



減衰の例

50年後⇒ 1/17
123年後⇒ 1/1024



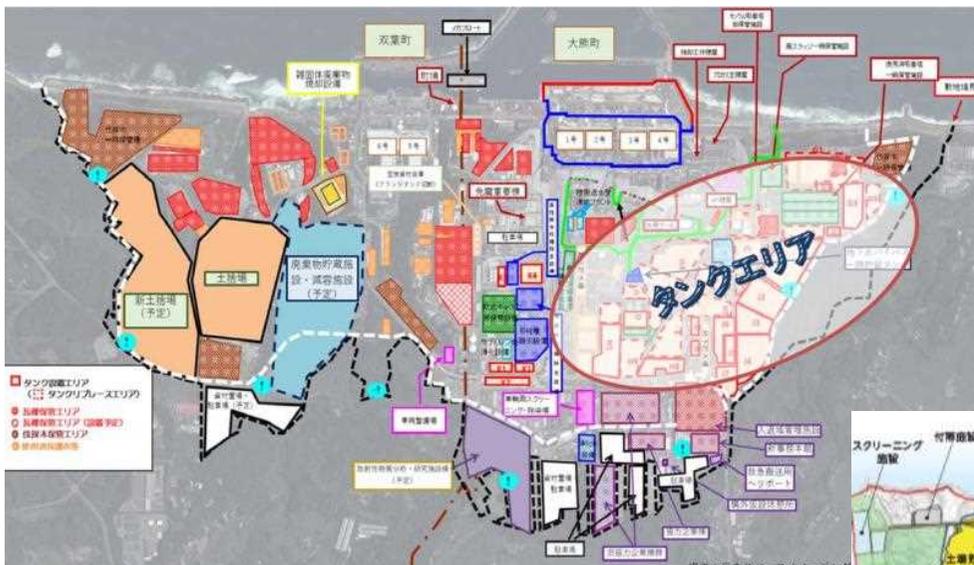
10万m³原油タンク
(82mΦ x 22.5mH)



■ 現状タンクの脆弱さ～対策は急務

- 密集～アクセス・メンテナンスの困難、パトロール時の被ばく
- タンク呼吸時の放射性物質拡散
- 耐用年数に懸念(泥縄式の増設)
- 耐震設計の誤り～アンカーボルト非設置による余震時の横滑り

敷地候補～土捨場と除染廃棄物中間貯蔵施設



(東電資料より)

東電1F敷地内

北側の土捨場、廃棄物貯蔵施設計画地、
 廃炉関連施設計画地

⇒「絵に描いた餅」の廃炉計画を見直し

(環境省資料より)

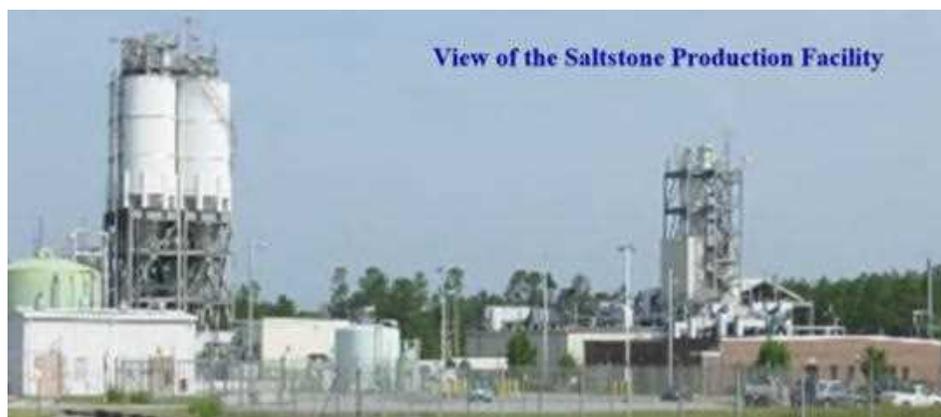
除染廃棄物中間貯蔵施設敷地

総面積1,600 haの広大な敷地(環境省
 所管)



選択肢(2)モルタル固化による永久処分

米国サバンナリバー核施設(SC州、廃止措置中)にて実施中の低レベル廃液モルタル固化施設
(写真はDOE向けSavanna River Site廃液処理プロジェクト報告No.21、2019.1.31より)



低レベル汚染水をセメント、砂と共にコンクリートタンクの中に流し込み固化する。

2018年10月に完成した大型コンクリートタンク
“Salt Disposal Unit (SDU) 6”
容量: 124,000m³



固化案をめぐる評価

■ 利点

- 半永久的に放射性物質の海洋流出リスクを遮断
- 保存期間中のトリチウム減衰
- 汎用土木技術で可能
- 原発の低レベル通常廃棄物処理にすでに適用

■ 課題

1m³のモルタルを作るのに必要な重量kg(例)

- 低い容積効率～約1/4

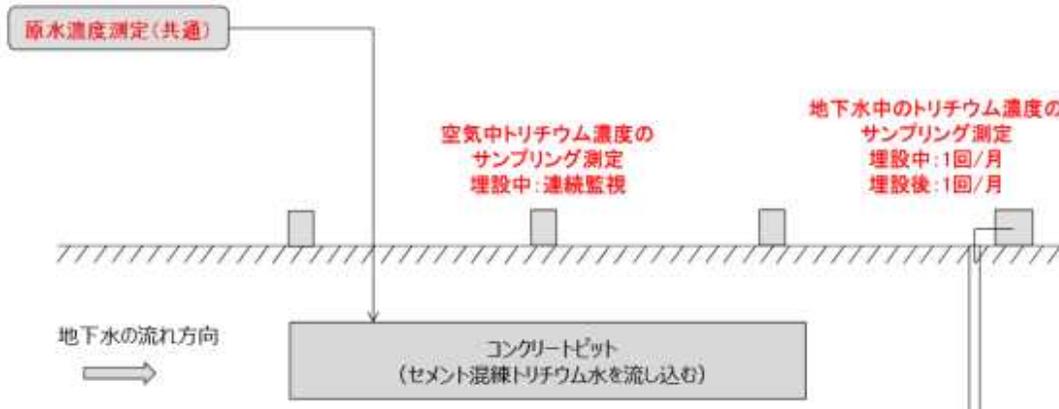
	水	セメント	砂	砂利	合計
モルタル	270	530	1,600	-	2,400
コンクリート	175	320	720	1,035	2,250

- 固化時の発熱によるトリチウムを含む水分の蒸発(東電指摘)
⇒分割固化、水和熱抑制剤投入、仮設凝縮器の設置などで容易に対処可能

東電、経産省は海洋放出という「結論ありき」のもと、真剣な検討を行っていない！

タスクフォースによる「固化・地下埋設」類似案

(2016年6月経産省トリチウム水タスクフォース報告書より)



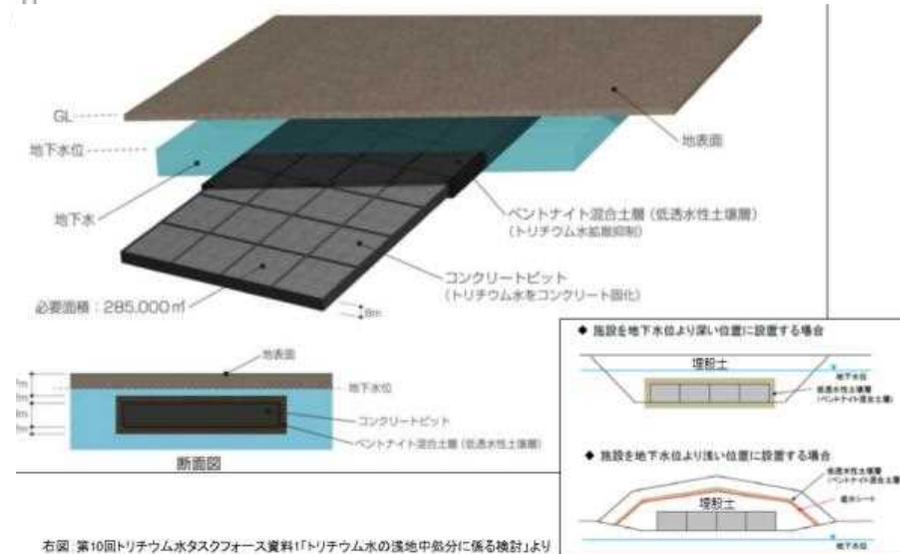
計画:

- 地下水位よりも深く埋設
- コンクリートピットの周囲にベントナイト層

工期: 処分開始までに14M

コスト: 2,431億円@80万m³

⇒例えばサバンナリバーのように半地下型にすることで工期、コスト共に下げること可能。
モニタリングも容易



その他の案

- 洋上備蓄
- 地層処分～CCS(CO₂貯留)技術の応用

トリチウム分離技術

東電はニンシグマ・ホールディング(株)を通じて新たな技術公募を行なっている。この数年間に提案された主要な技術

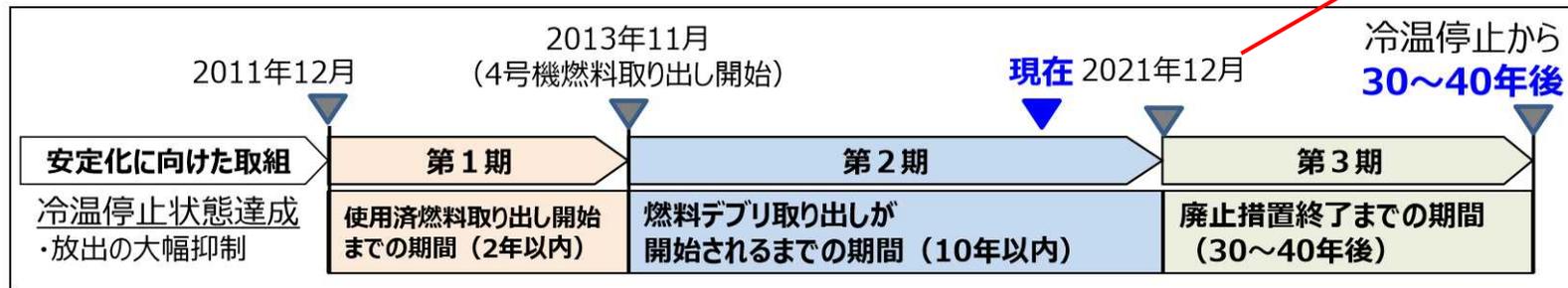
- ロシアRosRAO社: 電解を含んだ水素同位体交換法(CECE)
- 近畿大学: アルミ多孔質体による毛管凝縮分離

但し、あくまでもトリチウム濃縮水(水素)と希釈水の分離であり、後者の取り扱いに課題は残る。

3. 汚染水発生 の 完全停止へ

前提：実現不可能な廃炉ロードマップ

■ **すでに破綻しているタイムスケジュール**が見直しされていない

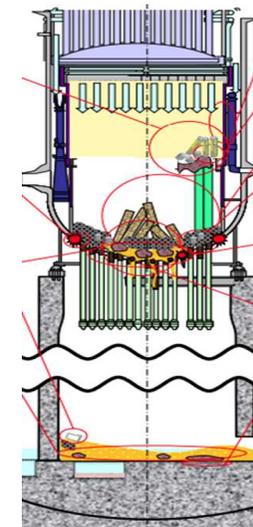


先送りに中

2041~2051年末に廃炉完了!?

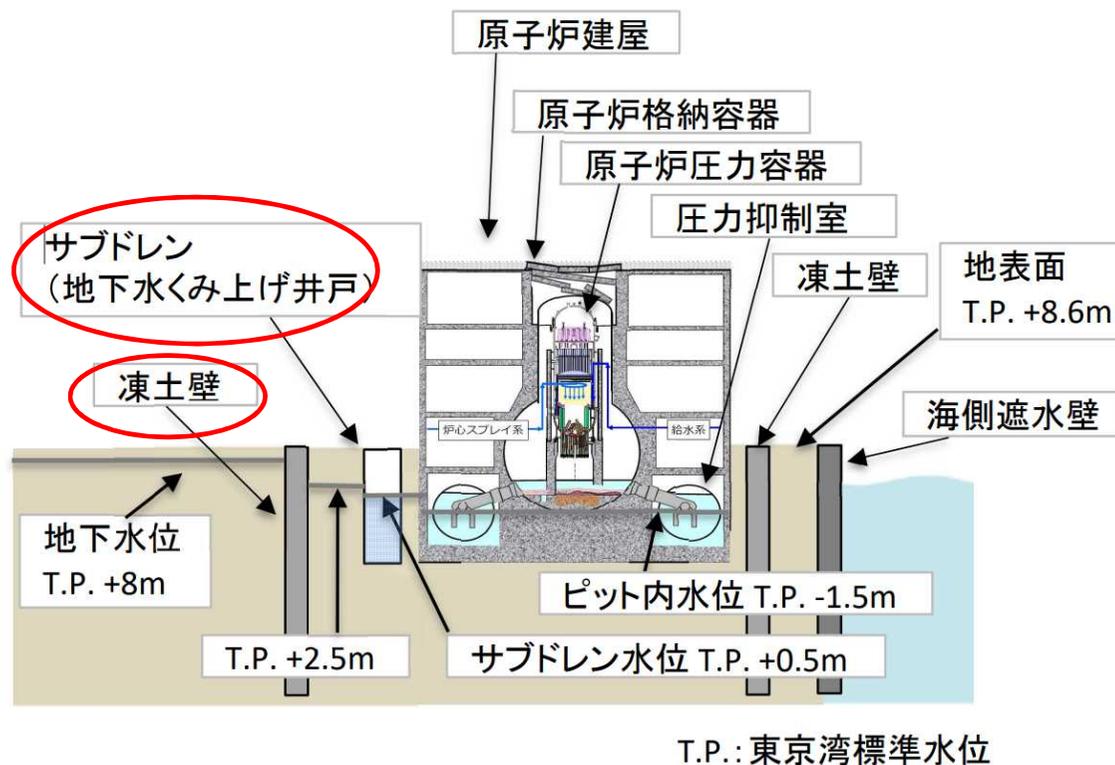
■ 「デブリ取出し」の困難

- 格納容器内は高放射線環境 ⇒ 調査・作業を阻害、デブリの位置・形状等不明、取り出し計画立てられず
- 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・破碎・搬出が困難
- 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、処分方法が未定
- 今も、試験的取り出しに試行錯誤が続いている。



汚染水発生に関わる設備の現状

- デブリ冷却水と侵入地下水が混ざり合って汚染水が発生
- 高濃度に汚染された地下ピット貯留水を外部に漏えいさせないように、サブドレン汲み上げによって地下水位をピット内水位より高く調整
- 凍土壁は敷地内への地下水流入量抑制に一定の効果。しかし、劣化が著しい



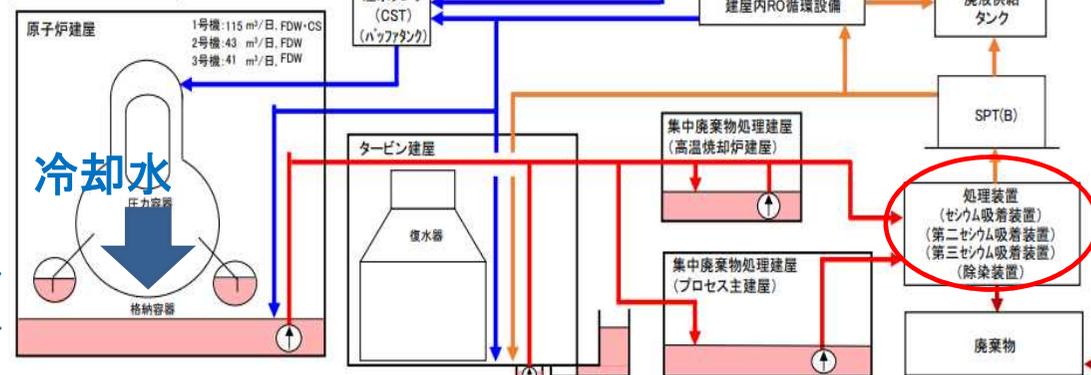
(東電情報をベースに市民委員会が作成)

汚染水処理システム

- 地下ピット貯留水はCs吸着装置、塩分除去装置を経て一部はデブリ冷却水として循環
- 残りが多核種除去設備 (ALPS) に送られ処理水として貯留される。
(現在: 約134万m³)
- すなわち、汚染水の発生量は流入地下水量に匹敵する。
(現在: 約130~150m³/日) **地下水** →

区分	
高レベル水/廃棄物、濃縮廃液	
処理水(濃縮塩水)/配管除去	
Sr処理水等	
RO処理水(淡水)/配管除去	
多核種除去設備等処理済水	
ろ過水	

原子炉注水量[m ³](4/14-4/21)	前週報告比[m ³]
①ろ過水	-
②RO処理水(淡水)	1,448
累積処理水	+207
累積処理水	1,162,711



(東電「たまり水定例報告」2022.4より)

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

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」には至らない。
	粘土壁・コンクリート壁・鉄板壁等	
	ドライアイランド化	
ピット内部からの止水	ピット内モルタル充填あるいは内壁塗装防水による止水 ⇒ 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号機トールラス室へのポンプ追加実績）
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	<u>空冷後</u> 、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

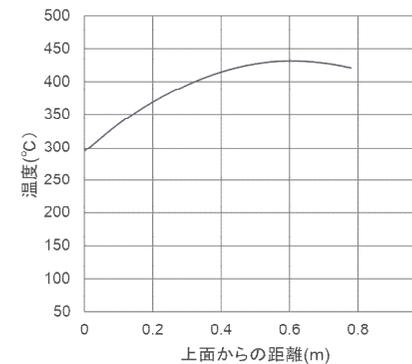


空冷化の可能性～デブリの現状

- 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
 - ・市民委推算値は東電による冷却水停止試験結果に基づく。
- 圧力容器内ならびにペDESTAL内側のデブリ最高温度は450°C以下にとどまり(市民委員会試算)、安全は保たれる。

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)

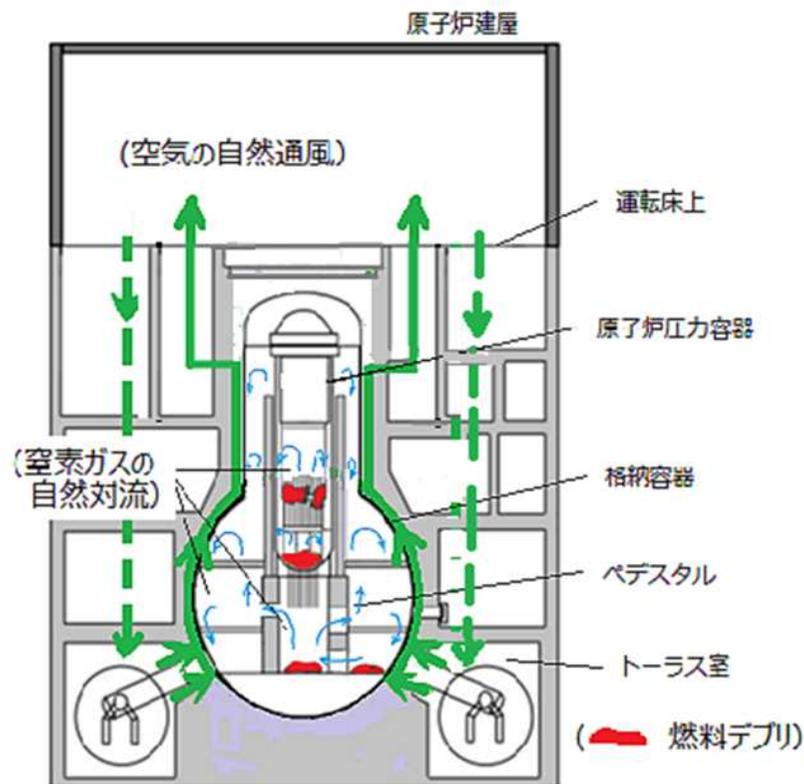


2号機RPV内デブリ最高温度(推定)

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)

デブリ空冷化の実現～基本概念



空冷概念図

(原子力市民委員会作成)

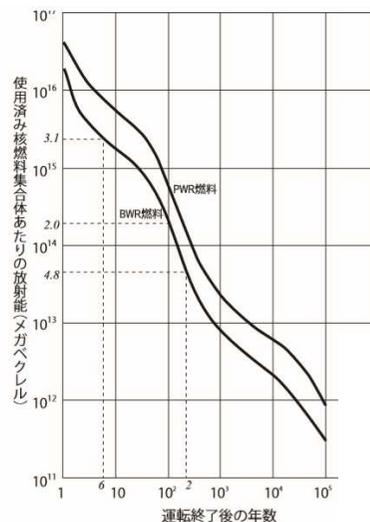
- 原子炉圧力容器ならびに格納容器内のデブリは窒素ガスの自然対流により除熱される。
- 熱は格納容器と生体遮蔽壁(コンクリート製)との約50mmの空隙を通じた煙突効果により運転床上に放出される。
- 原子炉建屋上部の空間で自然冷却された空気は再度、原子炉建屋内とトールラス室を經由して自然循環する。
- ダストの環境への漏出を防ぐために、原子炉建屋内は微負圧に維持し、排気はHEPAフィルタを經由する。

その後、原子炉/格納容器は長期遮蔽管理へ

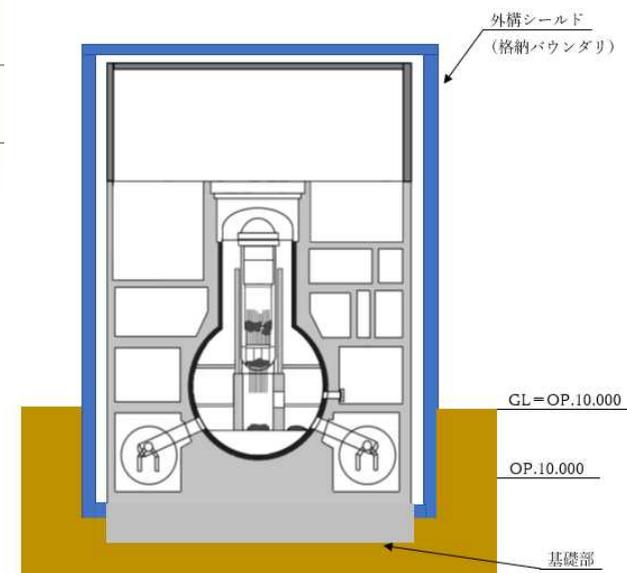
■ 放射線レベルの低下

- 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)
- 作業員の被ばく総量と費用合計は現ロードマップ案より小さくなると試算。

⇒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



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



外構シールド概念図

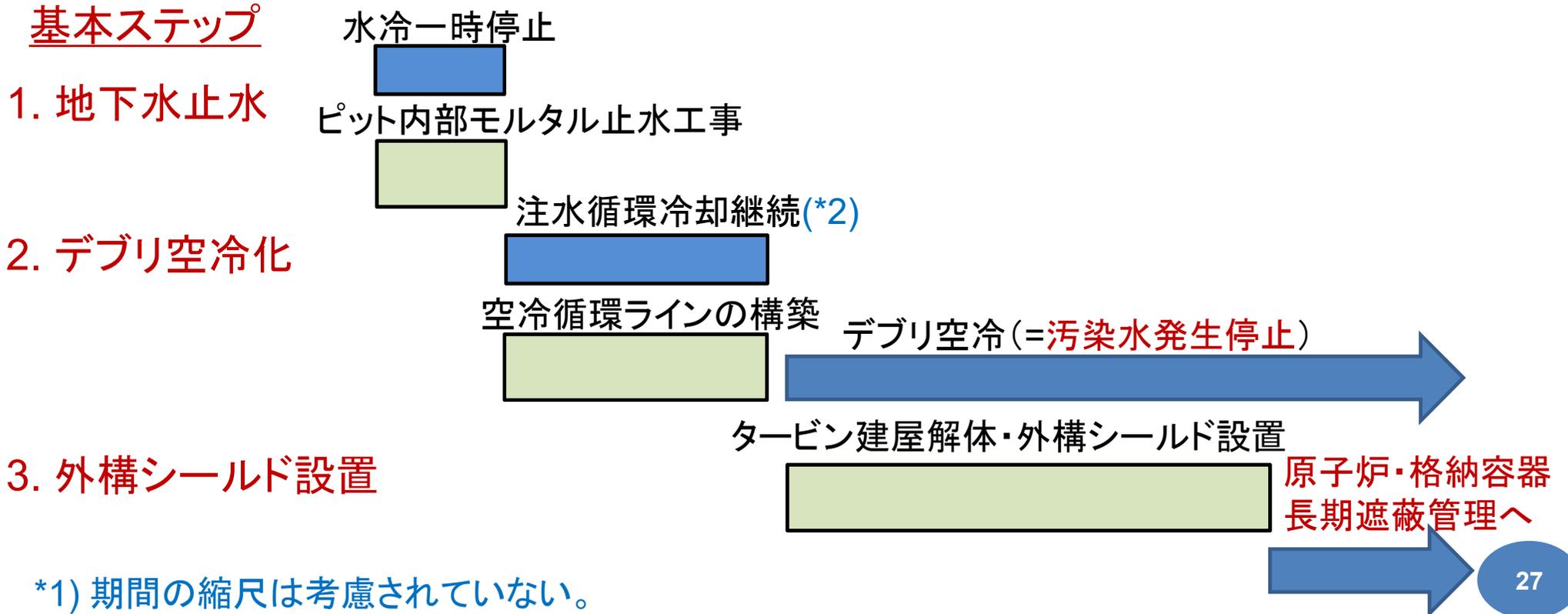
■ 外構シールド構築による長期遮蔽管理

- 原子炉建屋に外構シールドを設置(他建屋は解体)
- デブリは空冷化により、汚染水の発生は止まっている。
- 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。

手順(案)

以下は止水～空冷化(汚染水発生停止)～原子炉・格納容器の長期遮蔽管理に至る基本手順。
詳細は図面、実物、放射線量の実態等々を勘案しながら検討要。

基本ステップ



*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

まとめ

- (1) ALPS汚染水の海洋への放出計画はただちに中止し、『大型堅牢タンクによる保管継続』あるいは『モルタル固化による永久処分』を実施する。
- (2) 『地下水止水』と『デブリ空冷化』を実現し、汚染水の発生を完全に止める。
- (3) 『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。
⇒必然的に海洋投棄を急ぐ理由はなくなる。

END



原子力市民委員会 事務局
〒160-0003 東京都新宿区四谷本塩町4-15 新井ビル3階
高木仁三郎市民科学基金 内
URL <http://www.ccnejapan.com>
E-mail email@ccnejapan.com
Tel/Fax 03-3358-7064