

福島第一原子力発電所における 廃炉・汚染水処理の状況

2016年11月11日

東京電力ホールディングス株式会社

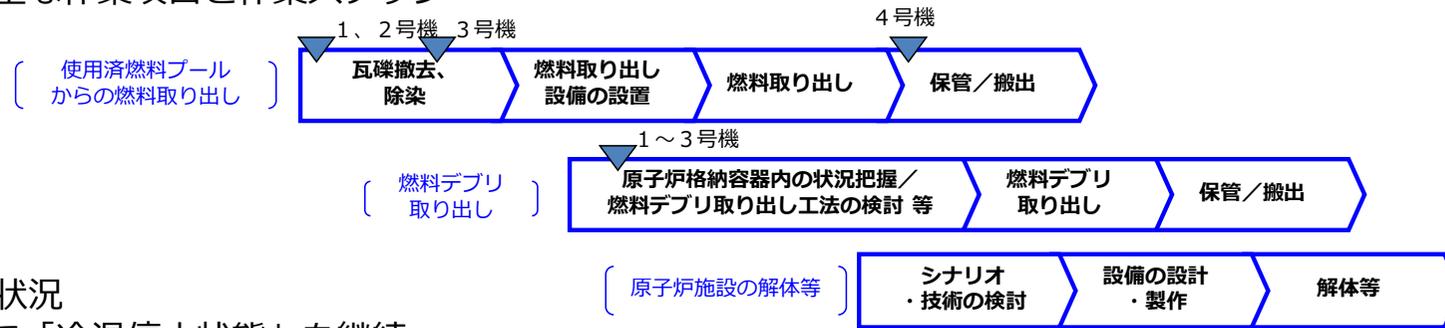
1. 福島第一原子力発電所1~4号機の概況
2. 1~3号機 プール燃料取り出し等に関わる至近の進捗状況
3. 汚染水対策の概要
4. 汚染水対策における現在の状況と今後の計画
5. 参考資料

1. 福島第一原子力発電所1~4号機の概況

1-1. 福島第一原子力発電所1~4号機の概況

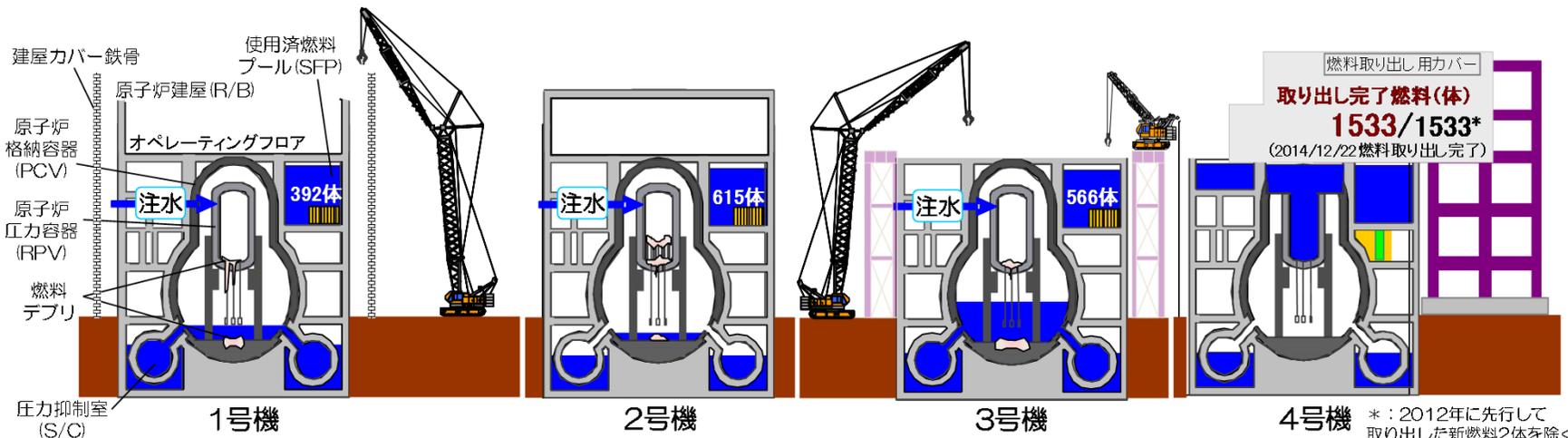
- 福島第一原子力発電所は、中長期ロードマップに基づき、使用済燃料・燃料デブリ※取り出し、汚染水対策等、廃止措置等に向けた取組みを進めている。
 - 使用済燃料プール内の燃料取り出しについては、2014年12月に4号機で完了し、現在1~3号機で準備を進めている。
- ※事故により溶け落ちた燃料
- また、1~3号機の燃料デブリ取り出しについては、原子炉格納容器内の状況把握に向けた調査等を進めている。

■ 「廃炉」の主な作業項目と作業ステップ



■ 1~4号機の状況

各号機ともに「冷温停止状態」を継続。



監視項目	1号機	2号機	3号機	4号機
圧力容器底部温度	約25℃	約29℃	約28℃	燃料が無いため監視不要
燃料プール温度	約21℃	約18℃	約27℃	約25℃

(2016年10月26日時点)

2. 1～3号機 プール燃料取り出し等に関する至近の進捗状況

2-1. 1号機の状況

- 使用済燃料プールからの燃料取り出しに向け、震災直後に設置した建屋カバーの屋根パネル・壁パネルの取り外しを完了。
- 今後、オペレーティングフロアの調査、防風シートの設置等を実施していく。

■ プール燃料取り出しに関わる計画工程

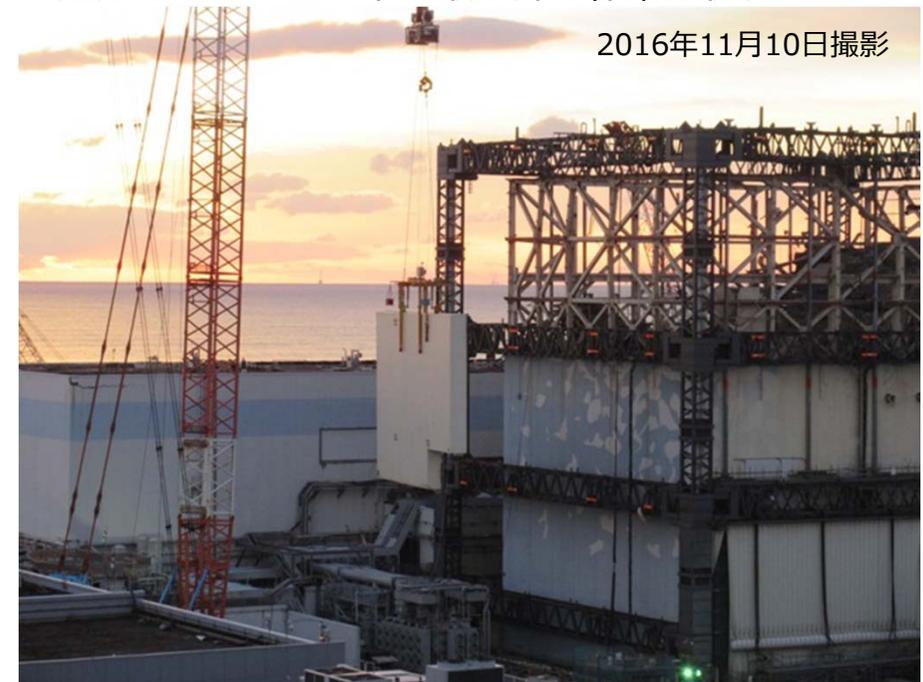
2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
	建屋カバー解体 等				
	現在	ガレキ撤去 等			
				カバー・燃料取り出し装置設置 等	

■ 1号機建屋カバーの解体工事の流れ



現在実施中

■ 建屋カバー 壁パネル取り外し作業の状況



2-2. 2号機の状況

■ 使用済燃料プールからの燃料取り出し

- ・ 2号機原子炉建屋は震災前の形状を保っているが、作業の安全性、敷地外への影響、早期リスク低減の観点から、原子炉建屋上部を全面解体する計画。
- ・ 現在、原子炉建屋西壁に前室を備えた開口を設置するための作業を継続している。

■ 格納容器内部調査等

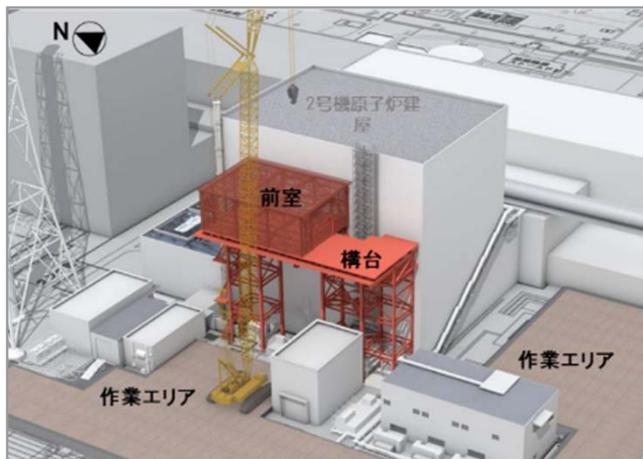
- ・ 2016年3月～7月にかけて、宇宙線ミュオン（素粒子の一種）による原子炉圧力容器内の撮影を行い、原子炉圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度の物質の存在を確認。

■ プール燃料取り出しに関わる計画工程

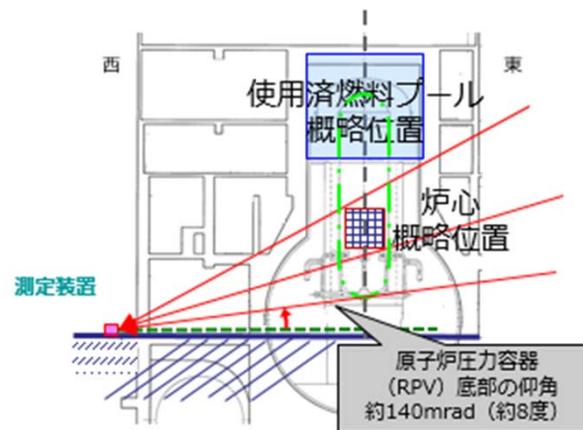
2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
準備工事 等	現在				
	原子炉建屋上部解体・改造 等				
			プラン①	コンテナ設置 等	燃料取り出し
			プラン②	カバー設置 等	燃料取り出し

※プール燃料と燃料デブリの取り出し用コンテナを共用するプラン（プラン①）、個別に設置するプラン（プラン②）

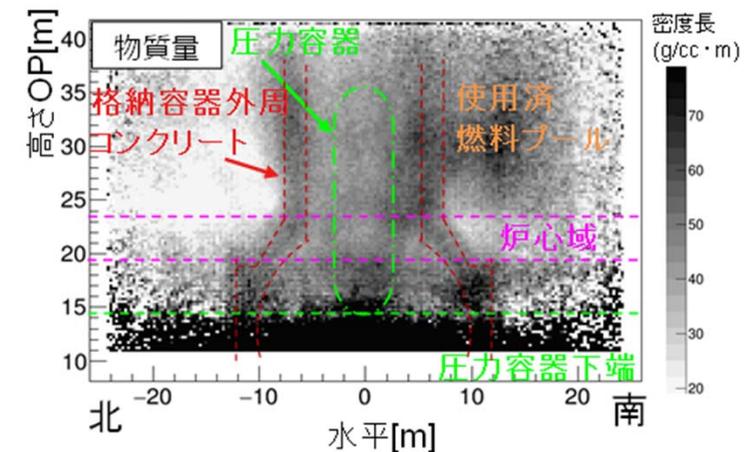
■ 原子炉建屋 作業用開口設置（イメージ）



■ ミュオンの測定イメージ（東西断面図）



■ ミュオン測定結果



2-3. 3号機の状況

■ 3号機

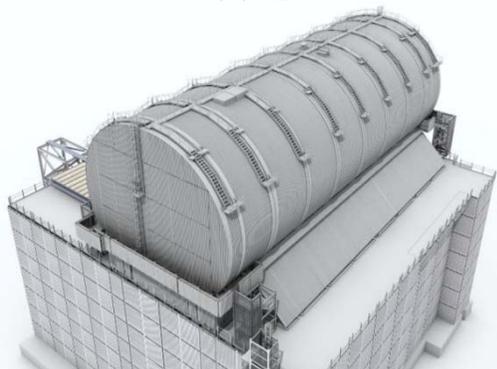
- ・使用済燃料プールからの取り出しに向け、線量低減作業等を実施している。
- ・今後、燃料取り出し用カバー設置作業を進めていく。

■ プール燃料取り出しに関わる計画工程

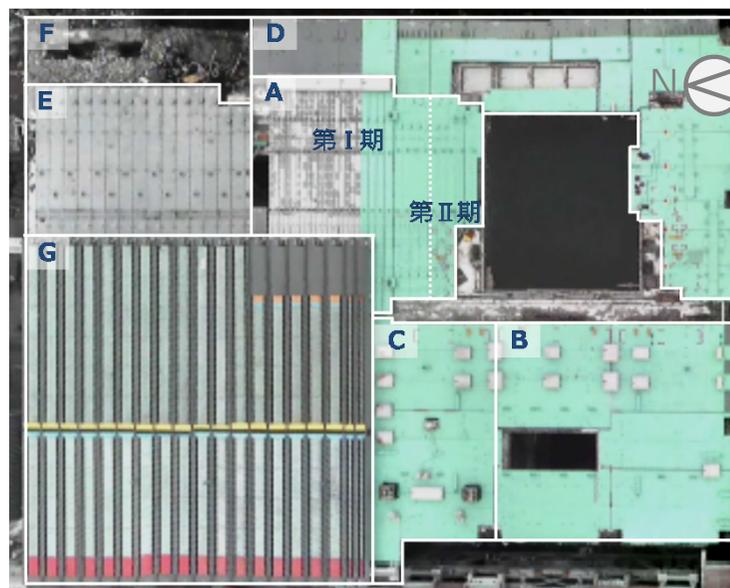
2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
	現在				
ガレキ撤去 等					
	カバー設置 等				
			燃料取り出し		

■ 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバー完成イメージ



■ 原子炉建屋最上階への遮へい体設置状況



(撮影日：2016年9月20日)

(参考) 遮へい体設置前に比べ、建屋最上階の平均線量率が、9月時点で約86%低減。

■ (参考) 遮へい体設置前の状況



(撮影) 2014年2月時点

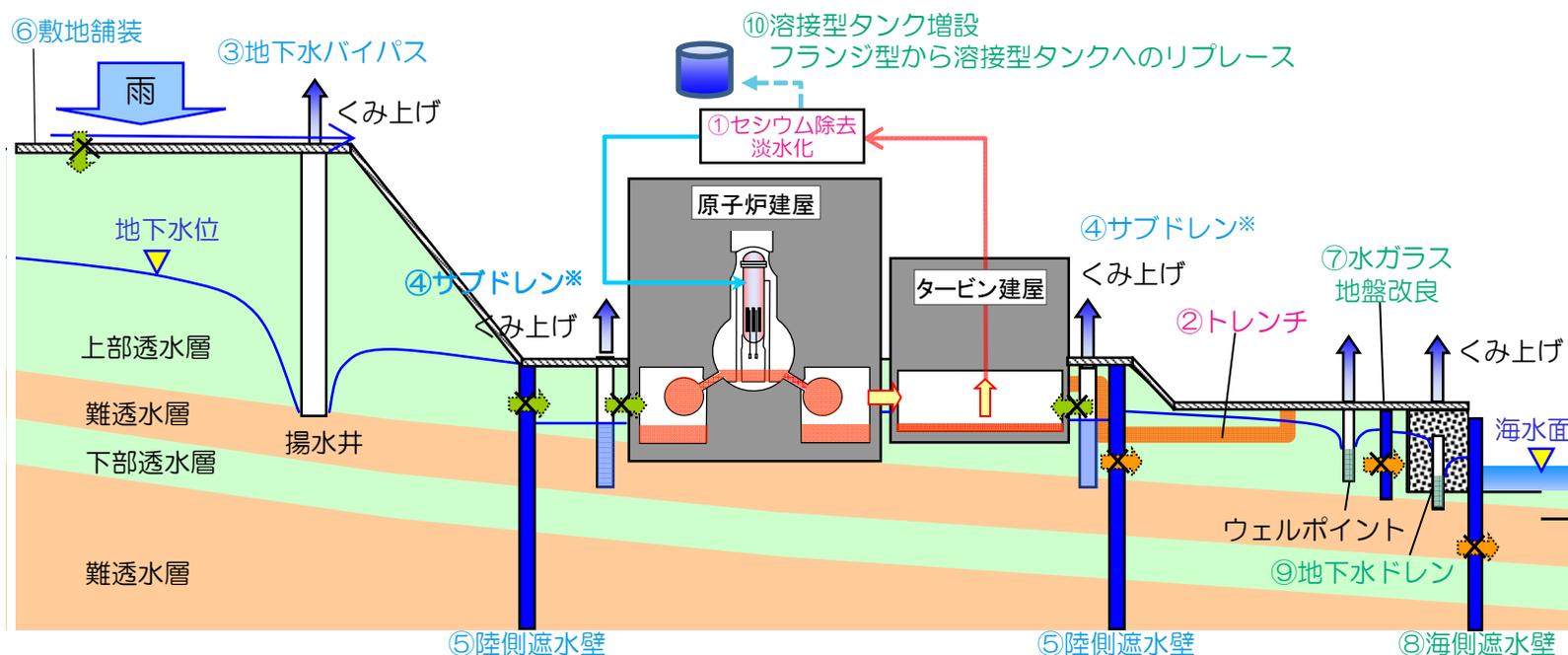
3. 汚染水対策の概要

3-1.汚染水対策の概要

※1：誤記訂正（2016年11月11日）

- 福島第一原子力発電所では、山側から海に流れ出ている地下水が原子炉建屋等に入れ込み、新たな汚染水となっている。
- このため、「汚染源を取り除く」、「**汚染源※1**に水を近づけない」、「汚染水を漏らさない」という3つの基本方針に基づいて、予防的・重層的に対策を実施している。

※：建屋周辺の井戸



汚染水対策の概要図

3つの基本方針

方針1. 汚染源を取り除く

- ①多核種除去設備等による汚染水浄化
- ②トレンチ（※）内の汚染水除去(完了)
（※）配管などが入った地下トンネル

方針2. 汚染源に水を近づけない

- ③地下水バイパスによる地下水くみ上げ
- ④建屋近傍の井戸での地下水くみ上げ
- ⑤凍土方式の陸側遮水壁の設置
- ⑥雨水の土壌浸透をおさえる敷地舗装

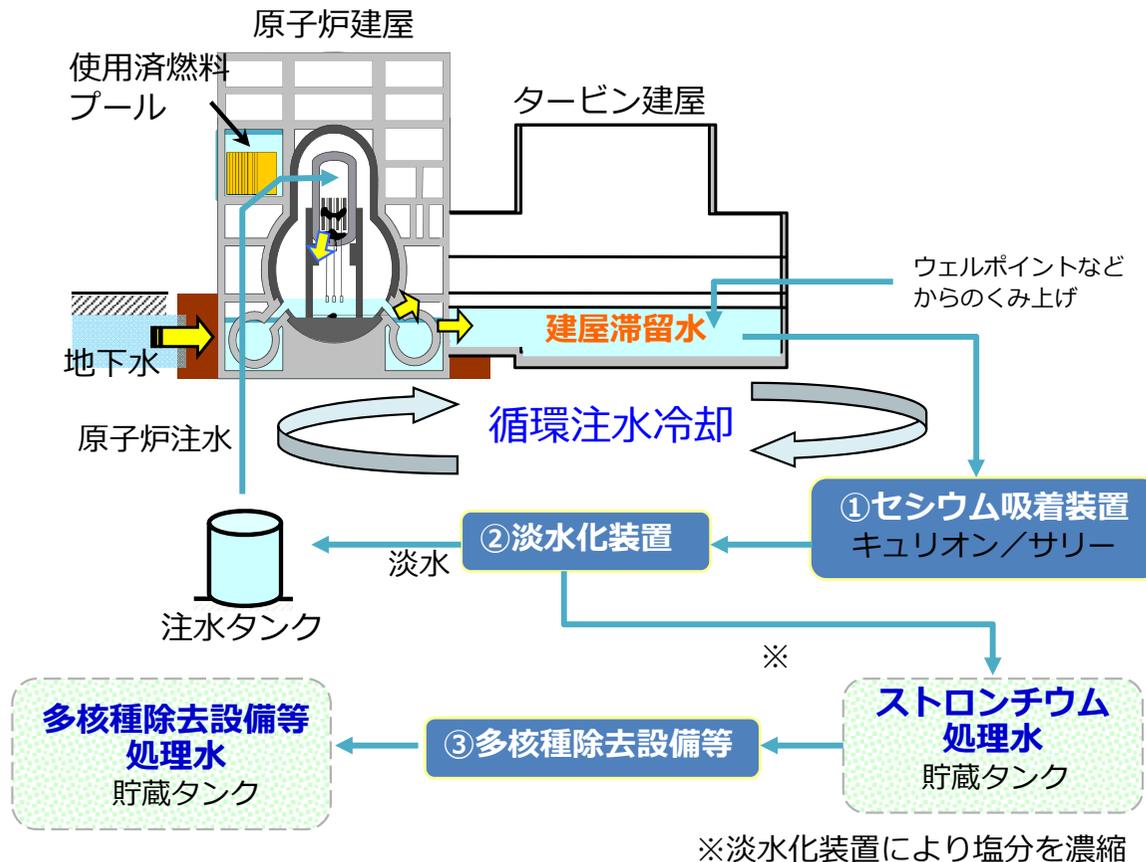
方針3. 汚染水を漏らさない

- ⑦水ガラスによる地盤改良（完了）
- ⑧海側遮水壁の設置（完了）
- ⑨地下水ドレンによる地下水くみ上げ
- ⑩タンクの増設（溶接型へのリプレース等）

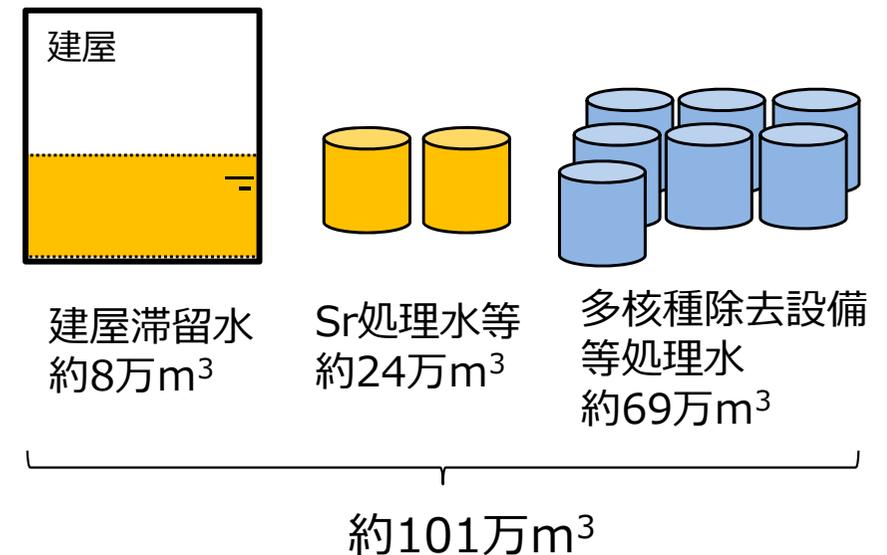
3-2.汚染源を取り除く

- 日々発生する汚染水は、放射性物質の濃度を低減（リスクを低減）し、タンクに貯蔵している。
 - ① 主要な放射線源であるセシウム・ストロンチウム（Sr）を、セシウム吸着装置により低減
 - ② 原子炉冷却水として使用するため、淡水化装置により塩分を除去
 - ③ ストロンチウム処理水に含まれる放射性物質濃度（トリチウムを除く）を、多核種除去設備等により低減
- これにより、万が一、汚染水がタンクから漏れた時などの、汚染水によるリスクを大幅に低減している。
- また、原子炉建屋以外の建屋滞留水については、2020年内に処理完了することを目指している。

■ 汚染水処理の流れ



■ 貯蔵状況（2016年10月時点）



3-3. 汚染源※1に水を近づけない

※1：誤記訂正（2016年11月11日）

- 汚染水の発生を抑制する主な取組みとして、サブドレン他水処理施設の運用、陸側遮水壁の設置を進めている。

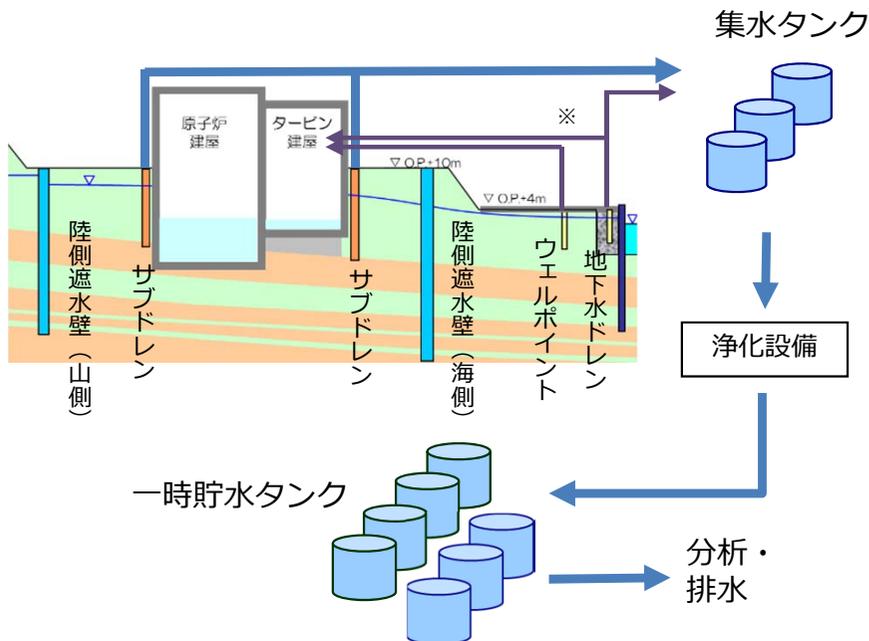
<サブドレン他水処理施設>

- ・サブドレンから地下水をくみ上げ、建屋周囲の地下水位を下げ、建屋内へ流入する地下水を低減。
- ・汲み上げた地下水は放射性物質を含んでいるため、浄化設備により浄化し、港湾内へ排水。

<陸側遮水壁>

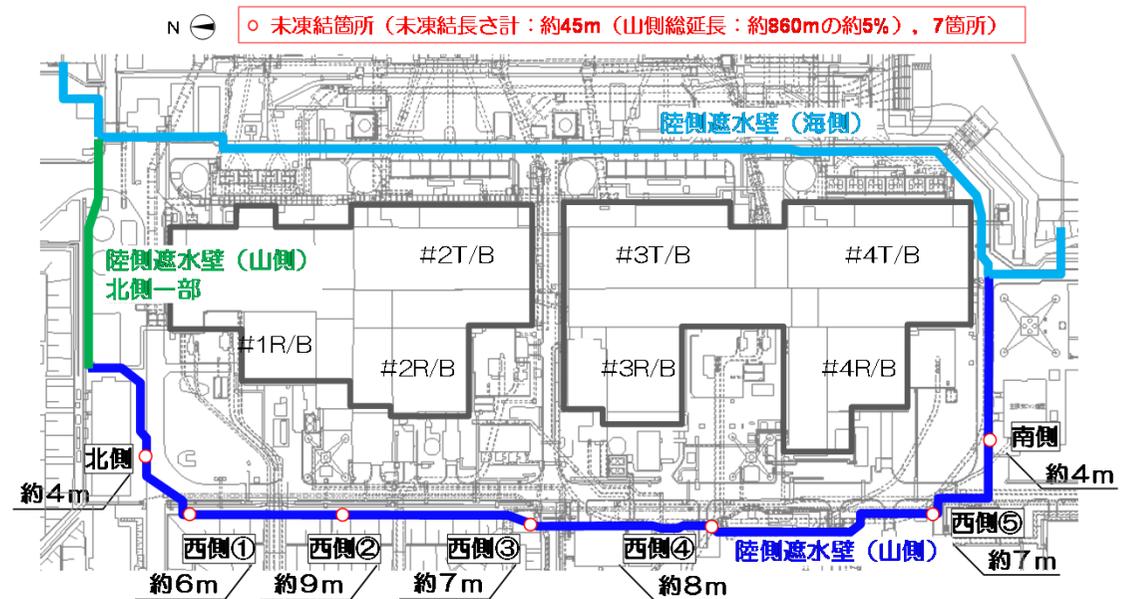
- ・高い遮水性を確保出来る凍結工法を用いて、地下水を遮断。
- ・海側については、凍結必要範囲が全て0℃を下回ったことを確認。
- ・山側については、凍結が遅れている箇所に対し、凍結を促進するための注入材の注入を実施中。また、凍結範囲を拡大（未凍結箇所7箇所のうち2箇所）することを計画中。

■ サブドレン他水処理施設 概要図



※地下水ドレンの一部はタービン建屋移送

■ 陸側遮水壁の凍結範囲

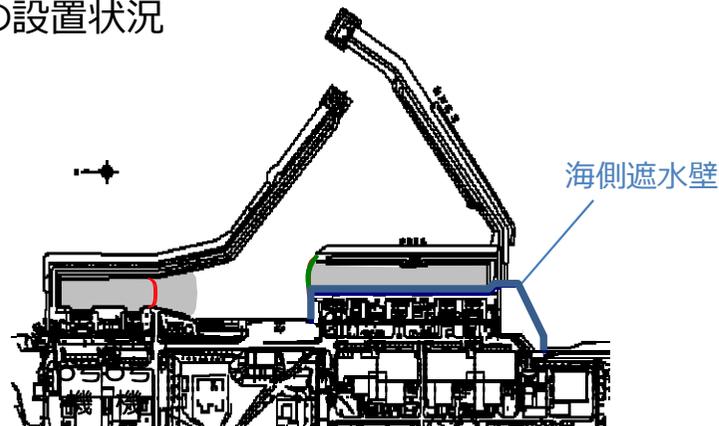


※ 図中の数値は各未凍結箇所の未凍結長さ

3-4.汚染水を漏らさない

- 海側遮水壁の設置や、フランジタンクから信頼性の高い溶接タンクへのリプレースを実施。
- 海側遮水壁により堰き止めた地下水は、護岸に設置した井戸（地下水ドレン）により汲み上げ、浄化設備により浄化し、港湾内へ排水。
- フランジタンクのリプレースにあたっては、タンク大型化や配置見直しにより容量増加。

■ 海側遮水壁の設置状況

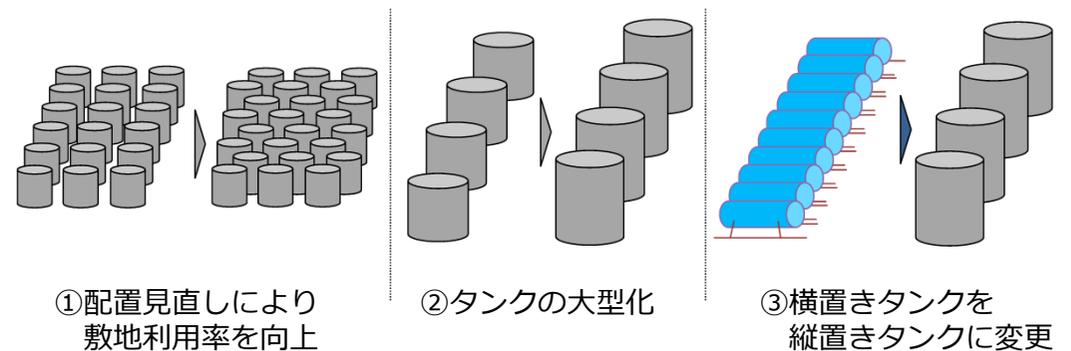


■ フランジタンクリプレース



■ リプレースの効率化

- ① タンク配置見直しにより敷地利用率を向上し、容量増加
- ② タンクの大型化により、容量増加
- ③ 横置きタンクを縦置きタンクに変更し、容量増加



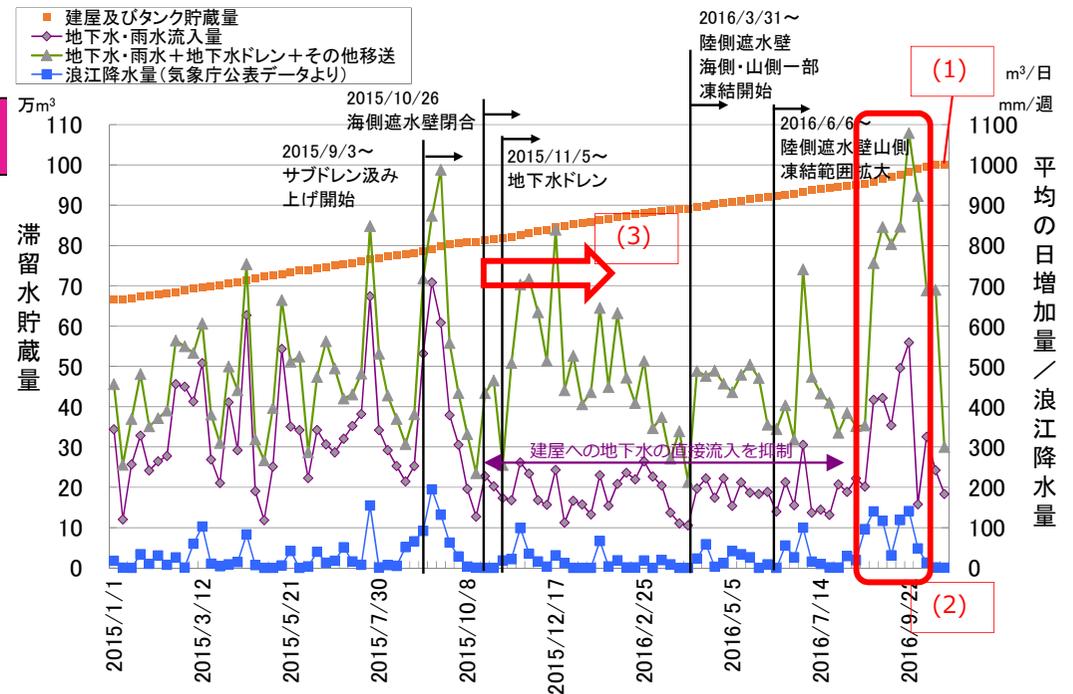
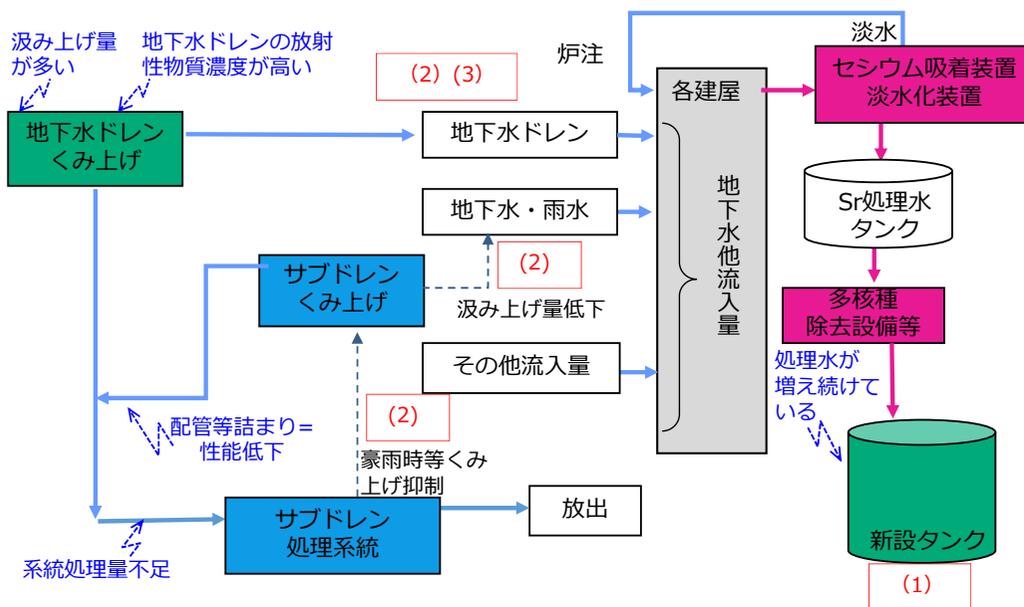
4. 汚染水対策における現在の状況と今後の計画

4-1.汚染水対策における現在の状況

※1：誤記訂正（2016年11月11日）

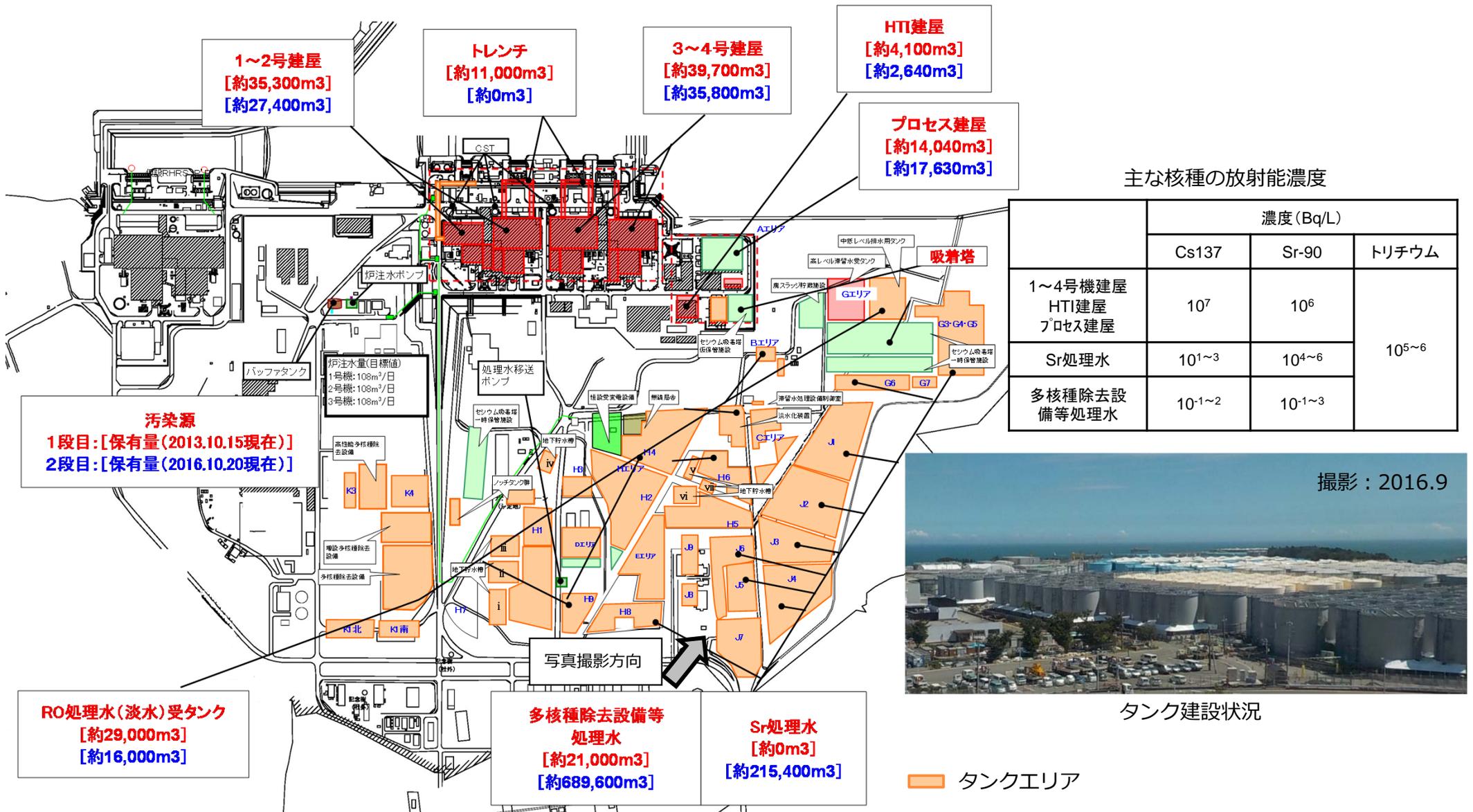
- 予防的・重層的に汚染水対策を進めているが、建屋及びタンクの貯蔵水が増え続けているため、引き続き汚染水発生量の抑制に向けて、作業を進めていく。

方針	主な対策	現在の状況
汚染源を取り除く	多核種除去設備等による汚染水処理	汚染水に含まれる放射性物質濃度を低減しタンクに貯蔵しているが、 多核種除去設備等処理水が増え続けている。 ・・・(1)
汚染源に水を※1近づけない	地下水汲み上げ	地下水位を下げることで地下水の建屋への直接流入を抑制してきたが、 降雨時、サブドレン処理系統の課題（処理容量の制限、配管内等付着物による汲み上げ量の低下）の影響で、汲み上げきれない地下水が増加。 （汚染水の発生量が増加）・・・(2)
	凍土方式の陸側遮水壁の設置	
汚染水を漏らさない	海側遮水壁の設置	汚染された地下水の港湾への流出を抑制しているが、 地下水ドレンに含まれる放射性物質濃度が高いこと、及び地下水ドレン汲み上げ量が想定を上回っている ために、地下水ドレンの一部をタービン建屋へ移送している。・・・(3)



4-2. 滞留水の貯蔵状況

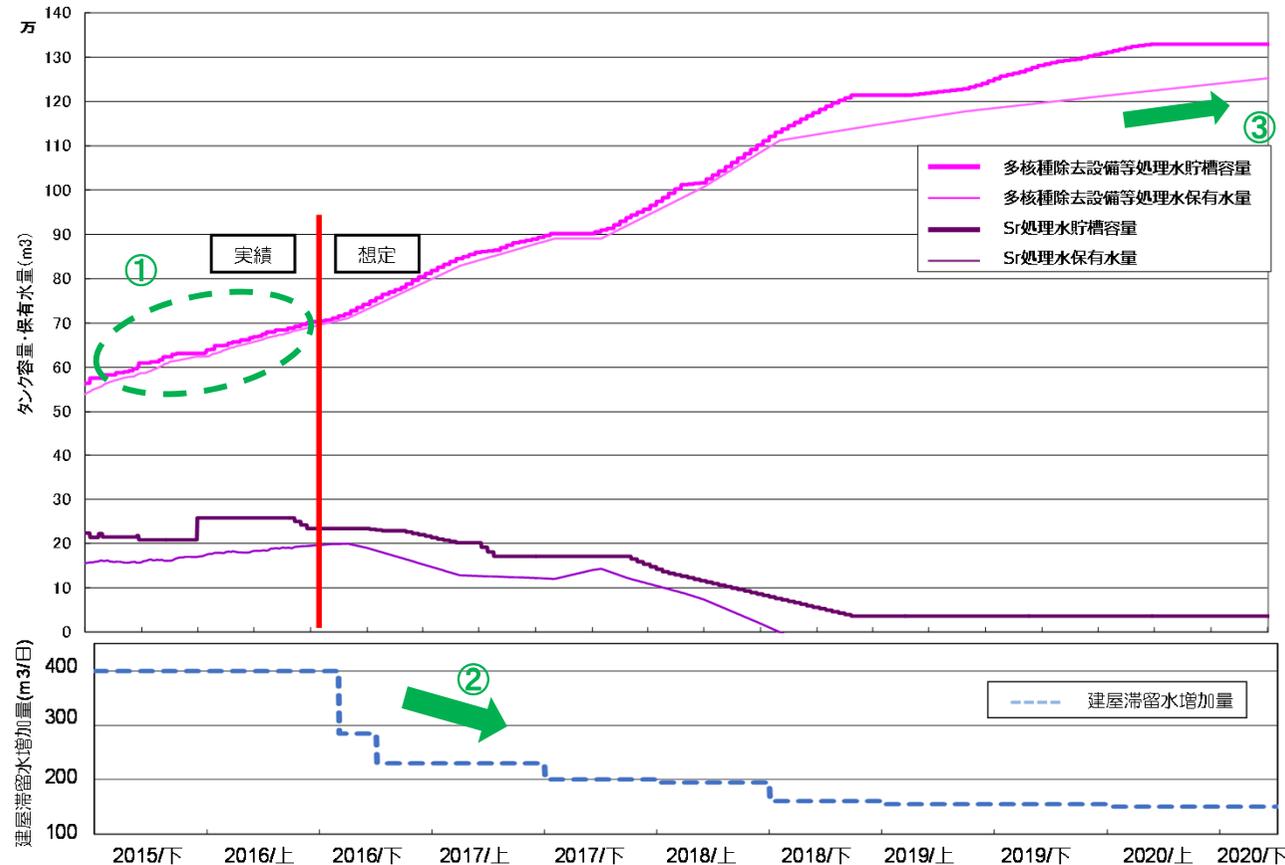
- 建屋貯蔵量：サブドレン水位低下に合わせた建屋水位低下に伴い、水量が徐々に減少。
- タンク貯蔵量：地下水等の流入継続により処理水(多核種除去設備等処理水)が増加。



4-3.今後の計画（タンク貯蔵状況）

- ① これまでは、発生する汚染水に対して必要なタンク容量を確保するためのタンク建設等を実施。
- ② 今後、サブドレン処理システムの課題の改善及び陸側遮水壁の効果発現等により、汚染水の発生量は徐々に低減。
- ③ 汚染水等の貯蔵量は、汚染水の発生量が低減した以降も徐々に増え続けていくが、タンクは一定の空き容量を確保しつつ建設等を継続。

■ タンク貯蔵計画



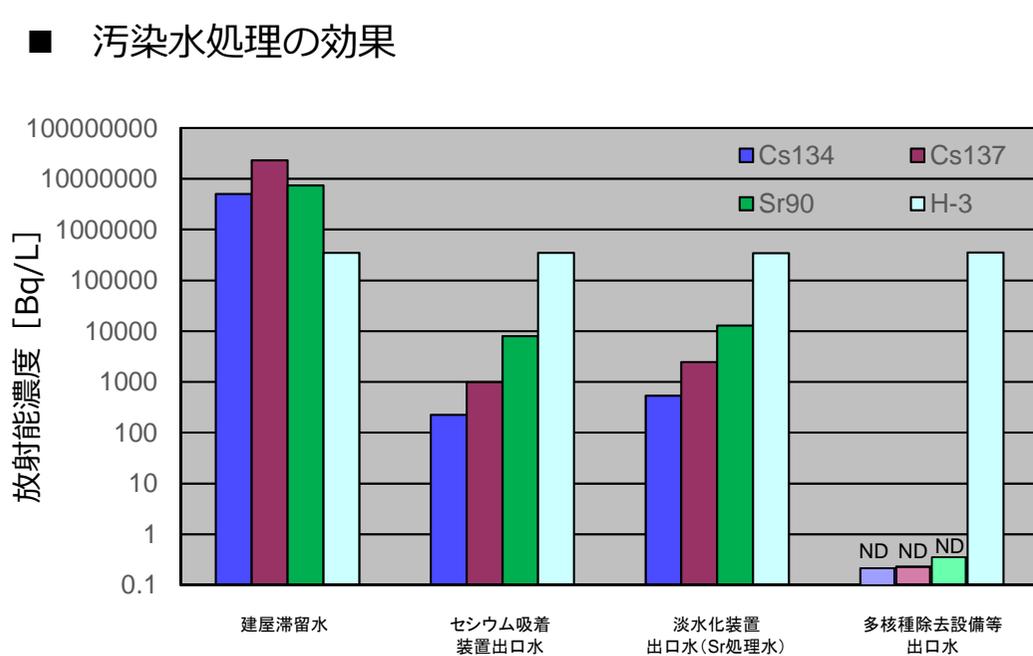
(参考) 2016年10月現在、1~4号機で発生した汚染水等の貯蔵量は約101万m³。2020年には、貯蔵量が120万m³を超える。

4-4. タンクで貯蔵している水の性状

- タンクに貯蔵している水（多核種除去設備等処理水）は、トリチウムを除く放射性物質の大部分を取り除いた状態※1。

※1：多核種除去設備等は、汚染水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下、「告示濃度」という。）より低いレベルまで低減できる能力を有している。

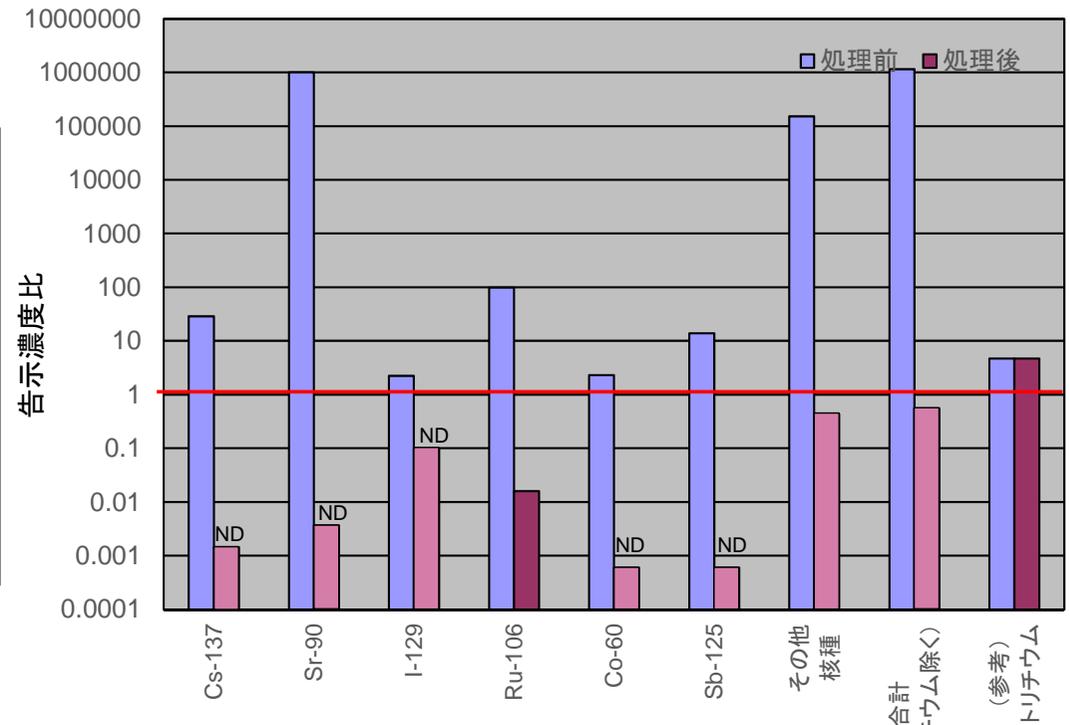
■ 汚染水処理の効果



汚染水処理過程における主な核種の放射能濃度

【補足事項】

- ・建屋滞留水：HTI建屋滞留水濃度。但し、H-3はセシウム吸着装置出口水濃度。
- ・セシウム吸着装置出口水：淡水化装置入口水濃度。
- ・採取日：2016.3.8
(セシウム吸着装置出口水のSr90：2016.3.5)
(多核種除去設備等出口水：2016.3.21)
- ・多核種除去設備等出口水：増設多核種除去設備A系濃度。
- ・検出限界値以下 (ND) の場合は、検出限界値を示す。



- 【補足事項】 ・採取日：2014.9.20～28
(トリチウムは淡水化装置出口水 (2014.10.7) の分析結果を使用。)
・検出限界値以下 (ND) の場合は、検出限界値を使用。

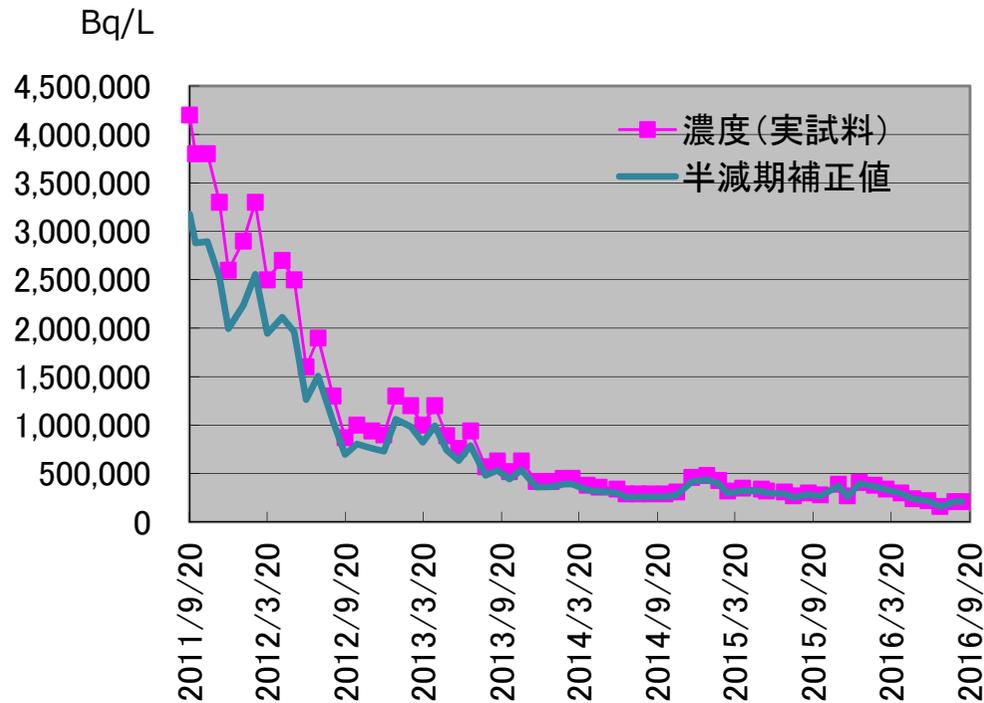
多核種除去設備等で処理した水の性状※2 (増設多核種除去設備A系)

※2：装置運用開始時の性能。運用に伴い処理水の濃度は一定程度の範囲で変動する。

4-5.トリチウムの濃度推移と総量

- 新たに発生する汚染水に含まれるトリチウムは、地下水希釈による影響等により、濃度が低下している。
- 貯蔵タンクに含まれるトリチウムの総量は、約 7.5×10^{14} Bq。

■ 新たに淡水化処理される水に含まれるトリチウム濃度



(参考) 告示濃度：60,000Bq/L

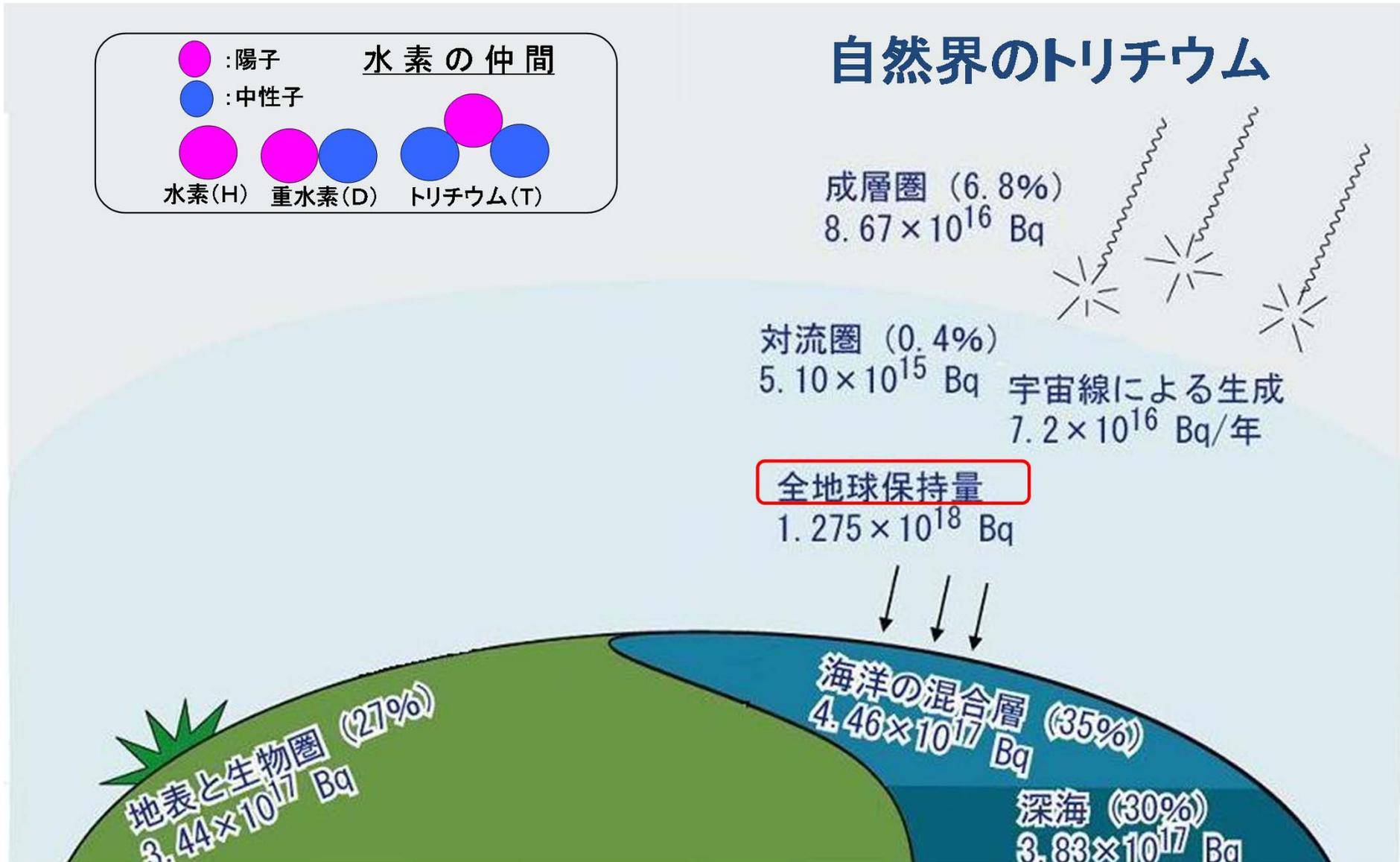
■ トリチウムの量 (推定)

2016.9.22時点 (2016.9.22で半減期補正)

推定箇所		トリチウムの量		備考
		[Bq]	[g]※1	
総量		約 2.5×10^{15}	T:約 7.0	※2
[内訳]	・タンク貯留水	約 7.5×10^{14}	T:約 2.1 (THO:約14.0)	※3
	・建屋滞留水	約 1.5×10^{13}	T:約 0.4 (THO:約2.9)	※4
	・海水配管トレンチ内水	-	-	※5
	・その他	約 1.7×10^{15}	T:約 4.8	※6

- ※1：トリチウム原子の重量 (括弧内は「THO」の形態に相当する量を示す)
- ※2：事故時の炉内トリチウムインベントリーをORIGEN2を使用し評価
- ※3：淡水化装置出口濃度データとタンク貯留水量より推測
- ※4：淡水化装置出口濃度データ (2016.9) と建屋滞留水量 (約82,700m³) より推測
- ※5：2,3,4号機海水配管トレンチ内の水は2015.12までに全量移送完了
- ※6：総量からタンク貯留水・建屋滞留水・トレンチ内水のトリチウム量を差し引いて算出 (事故時に環境に放出されたものを含むが、主に燃料デブリ内などに存在するものと想定される)

4-6.自然界に存在するトリチウム



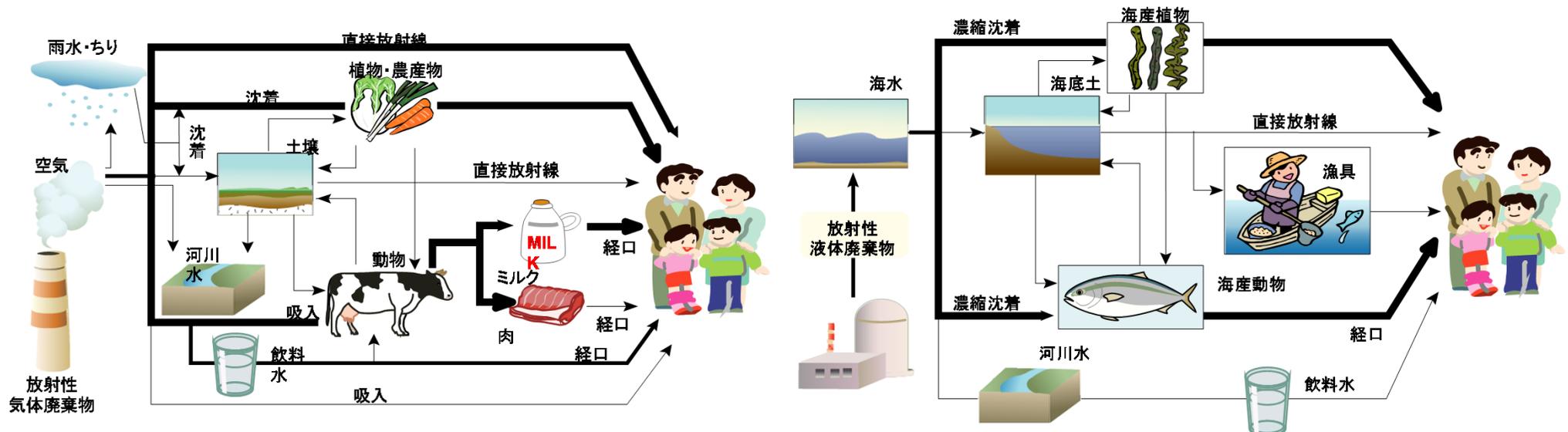
出典: UNSCEAR 2000年報告書、1977年報告書

4-7.トリチウムの性質と影響

- トリチウムは水素の仲間(同位体)で、特性は一般的に以下のとおり。
 - 天然でも存在し、化学上の形態は主に水として存在し、私たちの飲む水道水にも微量含まれる
 - ろ過や脱塩、蒸留を行っても普通の水素と分離することが難しい
 - 半減期は12.3年、出てくる放射線は食品用ラップでも防げる極めて弱いエネルギー(0.0186MeV)のベータ線
(トリチウムによる生体被ばくは体内に取り込まれ、生体細胞のDNAを直接損傷させる内部被ばくのみを考慮すれば良い。)
 - セシウム-134、137に比べ、単位Bqあたりの被ばく線量(mSv)は約1,000分の1
 - 水として存在するので人体にも魚介類にもほとんど留まらず排出

■ トリチウムの人体への移行経路

注) 太線は発電用軽水炉の場合の決定経路を示す。
【出典】「原子力がひらく世紀」日本原子力学会



5. 参考資料

サブドレン他水処理施設の課題と対策

- サブドレン他水処理施設において、2015年9月の運用開始以降、以下の課題を確認。
- 今後、強化対策等を進め、汚染水の発生量を抑制していく。

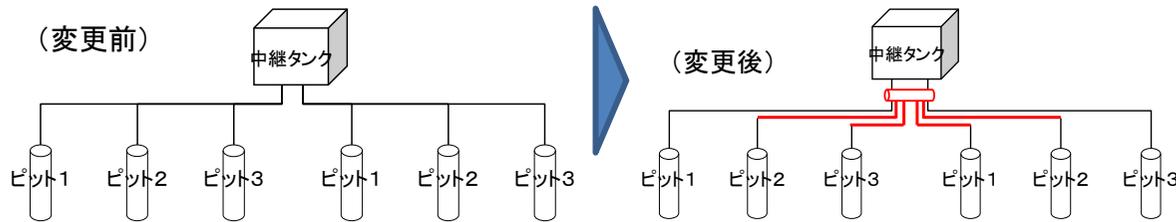
課題	強化策
サブドレン配管内の付着物により汲み上げ性能が低下。	配管清掃による付着物の除去 (①) ピット間共有配管の単独化 (②)
大雨時の集水タンク容量不足等により、サブドレン汲み上げ量が制限。	設備※の増強による処理能力の向上 (③) ※浄化設備・サブドレンピット
地下水ドレンの水質により、浄化設備で処理できない一部の水をタービン建屋へ移送し、建屋滞留水が増加。	地下水ドレン前処理設備の設置 (④)

■ 強化策①



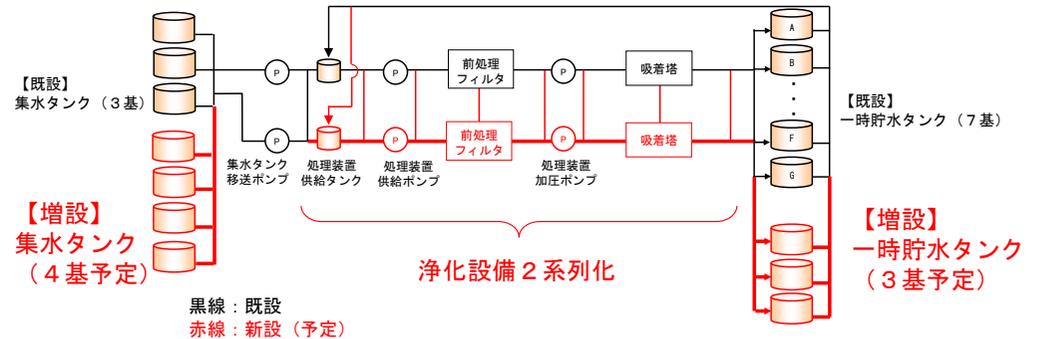
配管清掃状況

■ 強化策②

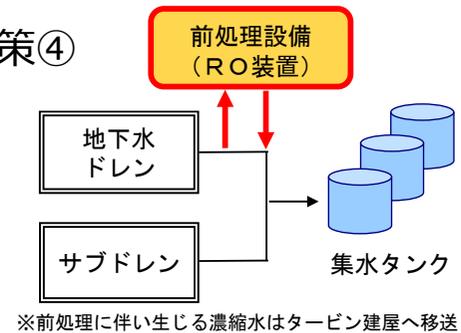


配管単独化 (イメージ)

■ 強化策③



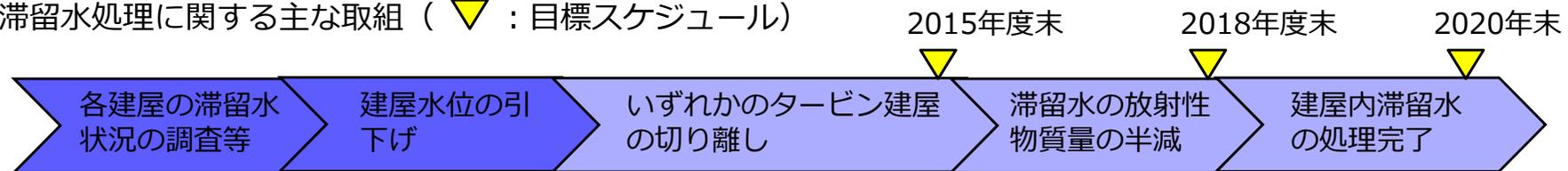
■ 強化策④



建屋滞留水の処理

- 建屋滞留水は、サブドレン等の効果による地下水位低下に合わせて水位を低下し、原子炉建屋以外の建屋の滞留水の除去（建屋滞留水の処理完了）に向けて取り組んでいる。
- この取組みの一環として、1号機タービン建屋について、原子炉建屋から流入する滞留水の流れの切り離しを完了。現在、震災直後の高濃度滞留水を貯留している復水器内貯留水の移送・希釈を実施しており、今後、原子炉建屋を除く建屋の最下階床面露出に必要な移送設備の設置等を実施していく。
- なお、循環注水を行っている原子炉建屋は燃料デブリ取出計画の決定後、処理方針を策定する。

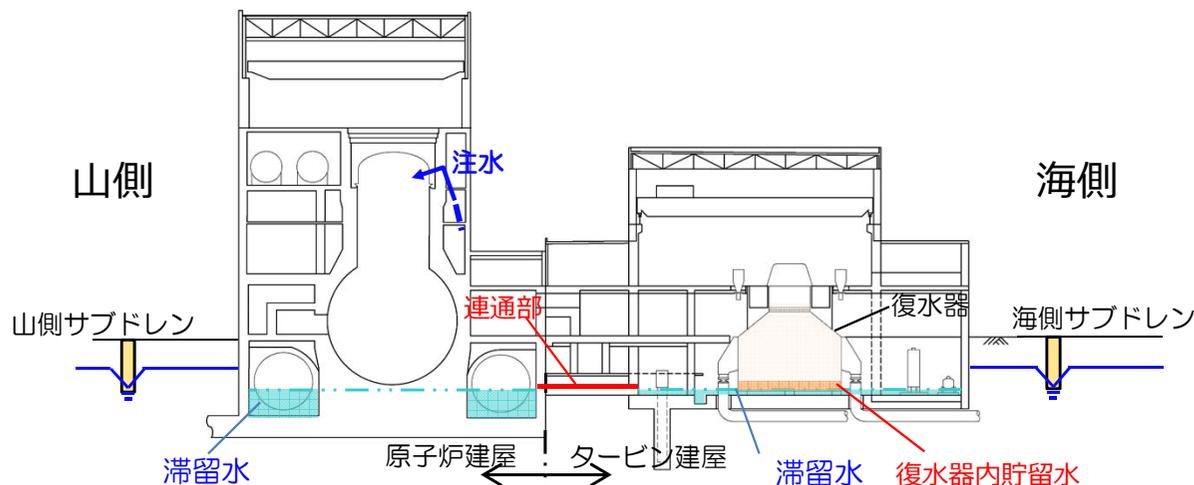
■ 滞留水処理に関する主な取組（▼：目標スケジュール）



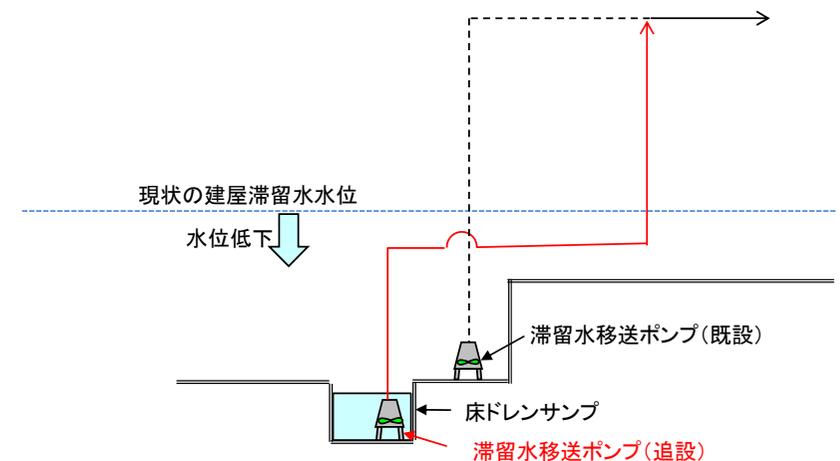
▲ 2016.3.16（1号機タービン建屋切り離し達成）※

※中長期ロードマップにおけるマイルストーン（主要な目標工程）

■ 1号機 断面概略図

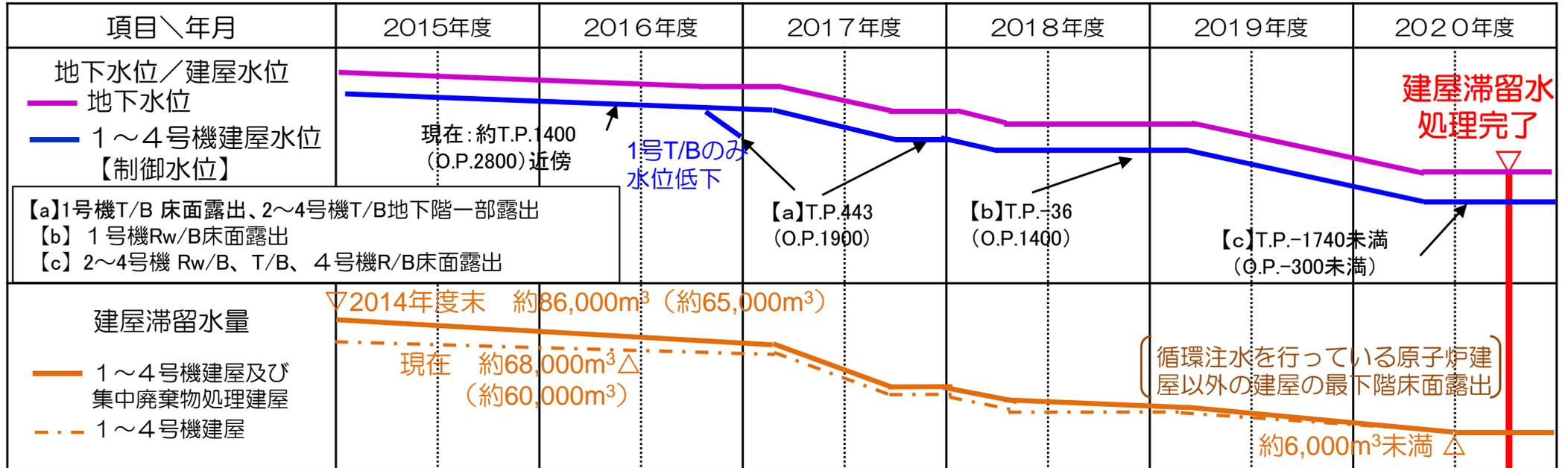


■ 最下階床面露出に必要な移送設備の設置概要

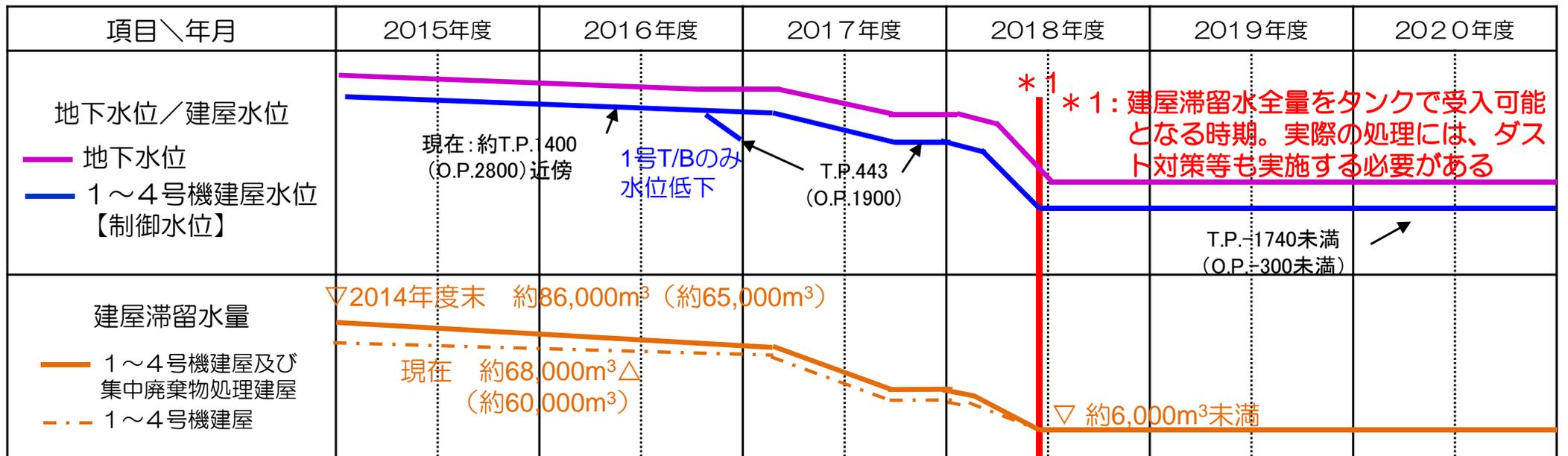


建屋滞留水水位と滞留水量の低下

■ サブドレン他強化の効果

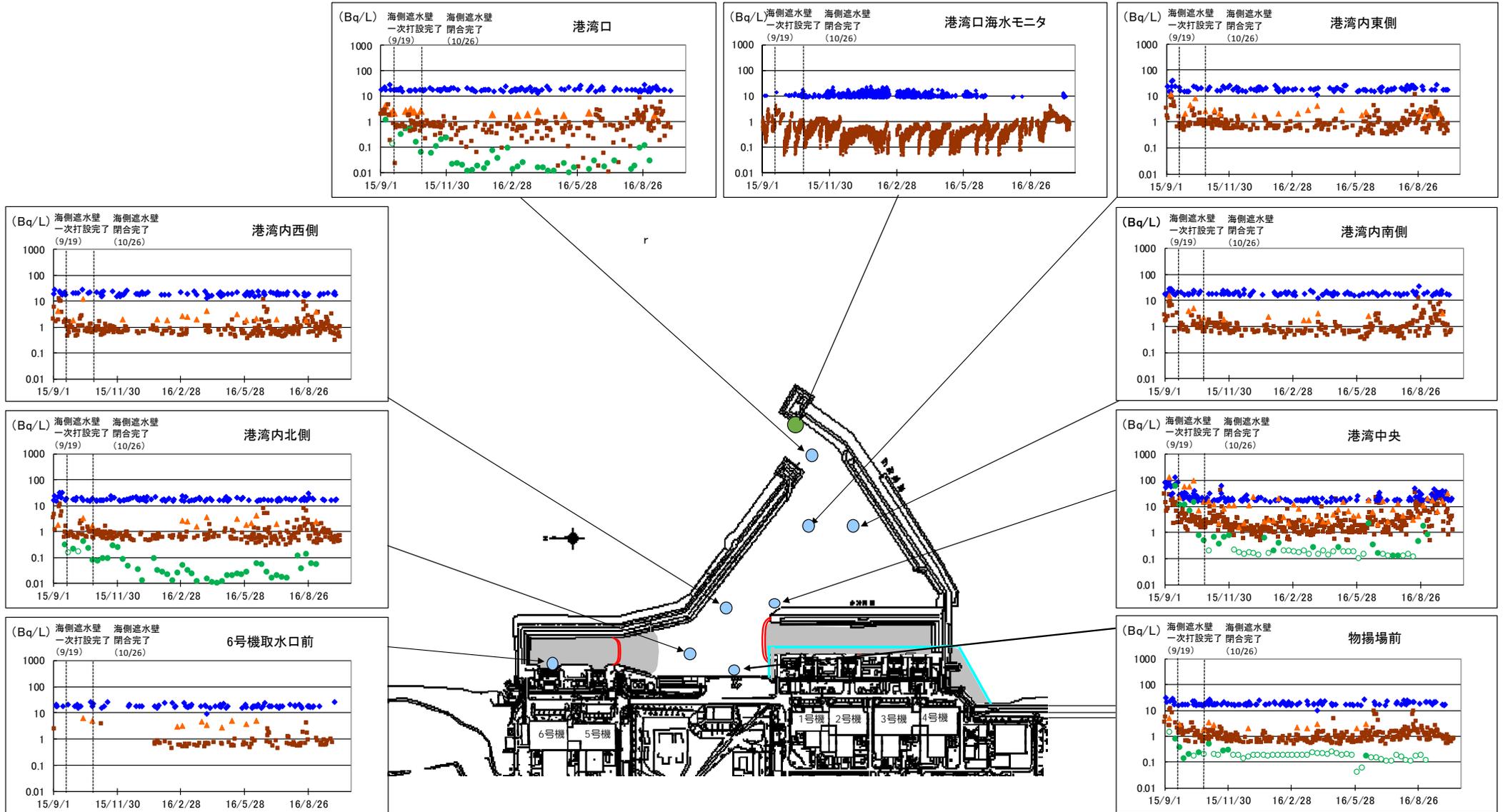


■ 陸側遮水壁及びサブドレン他強化の効果



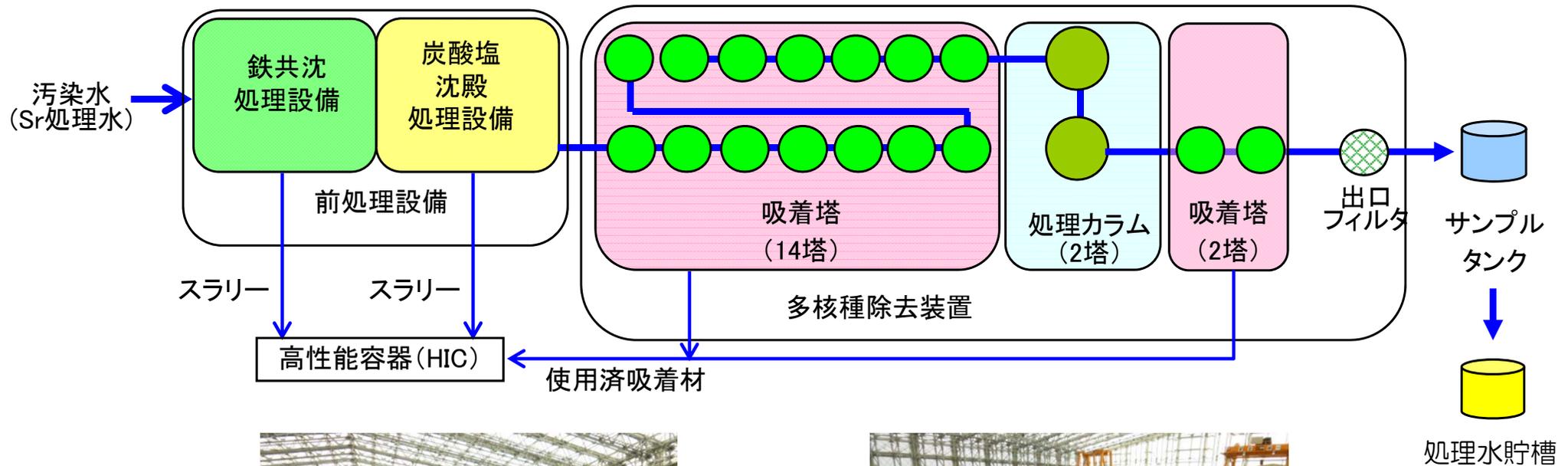
港湾内の海水濃度

■ 海側遮水壁閉合後、海水中の放射性物質濃度が低下し、その後は低い濃度が継続。



既設多核種除去設備

- 汚染水中の放射性物質（トリチウム除く）を除去。
- これまでの運転経験等に基づき、吸着塔構成変更及び吸着塔の16塔から18塔への増塔を実施。



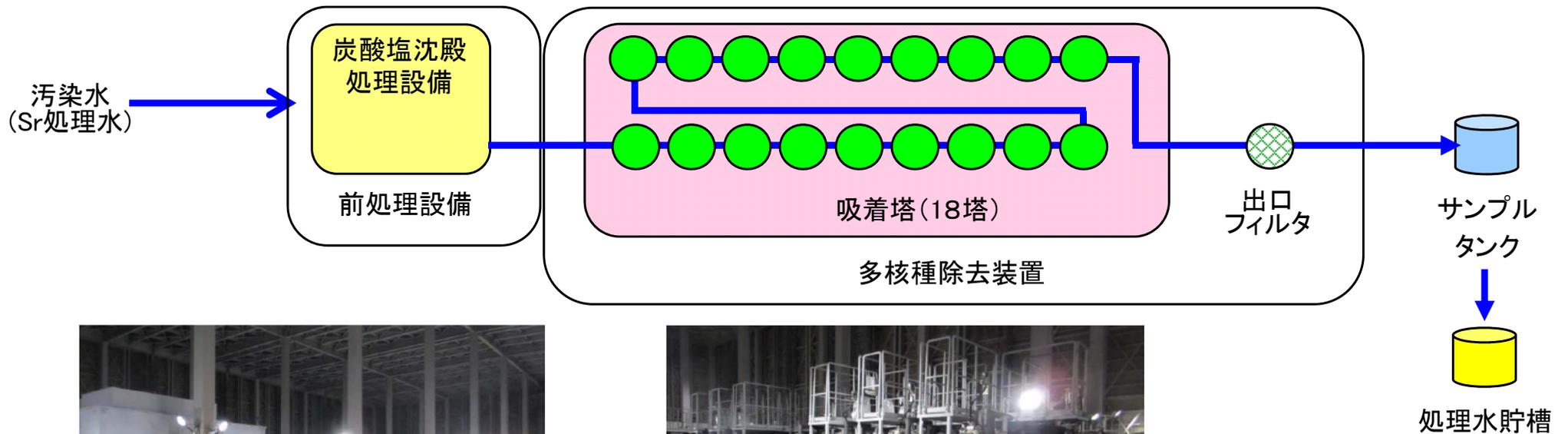
HICエリア



建屋内全景

増設多核種除去設備

- 既設多核種除去設備の知見およびラボ試験等の結果を反映し、既設多核種除去設備から主に下記2点について変更。
 - ✓ 前処理設備のうち鉄共沈処理を削除
 - ✓ 多核種除去装置の吸着塔の塔数を16塔（処理カラム2塔含む）から18塔に増塔



増設多核種除去設備 HIC取扱エリア

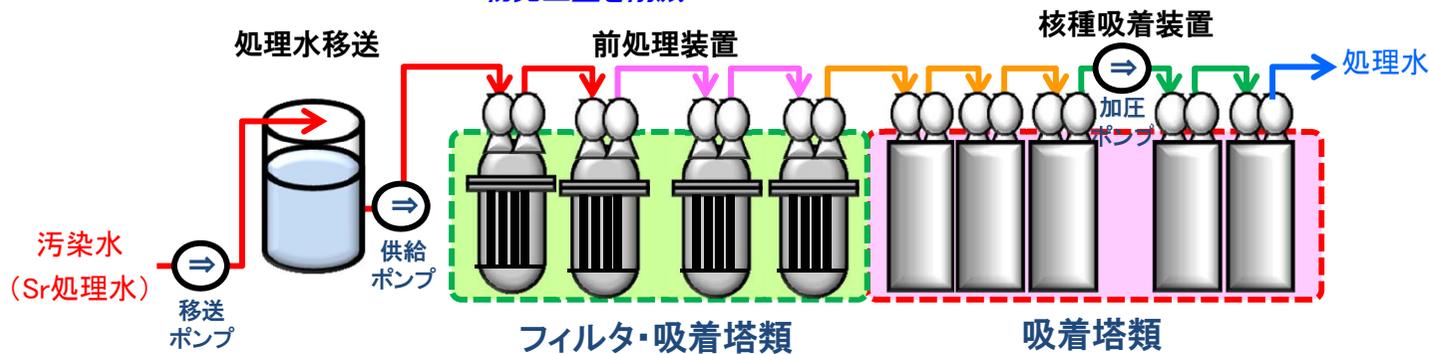
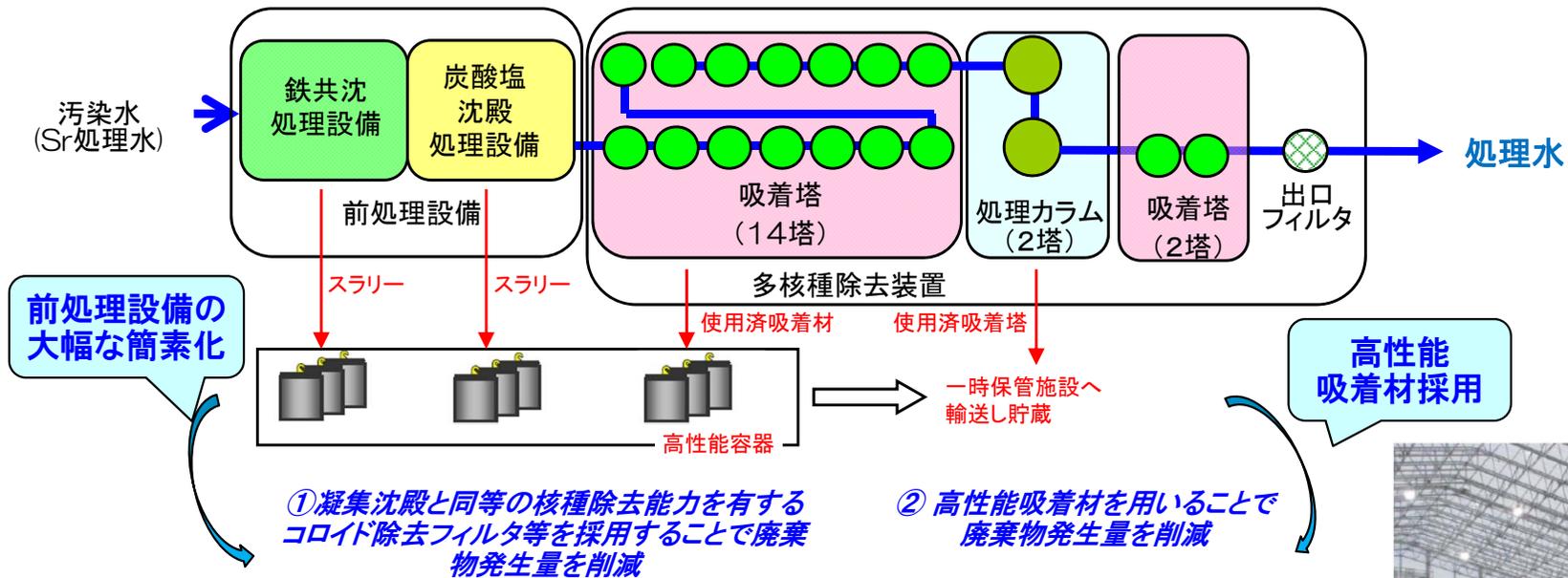


増設多核種除去設備 吸着塔

高性能多核種除去設備

- 高性能多核種除去設備は、前処理設備（鉄共沈・炭酸塩沈殿処理）を簡素化するとともに、前処理に相当する除去性能を有するフィルタ・吸着材を採用し、放射性物質を除去。

【既設多核種除去設備】



【高性能多核種除去設備】



高性能多核種除去設備 吸着塔