

今後の福島第一原子力発電所の汚染水処理対策の課題と対応

2022年6月15日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

目次

- (1) 今後の建屋流入量抑制対策に向けて
- (2) 建屋滞留水処理
- (3) 自然災害対策
 - ①豪雨リスクへの対応
 - ②津波対策
- (4) 陸側遮水壁の中長期運用に向けた対応
- (5) 今後の汚染水対策の課題と対応（まとめ）

(1) 今後の建屋流入量抑制対策に向けて

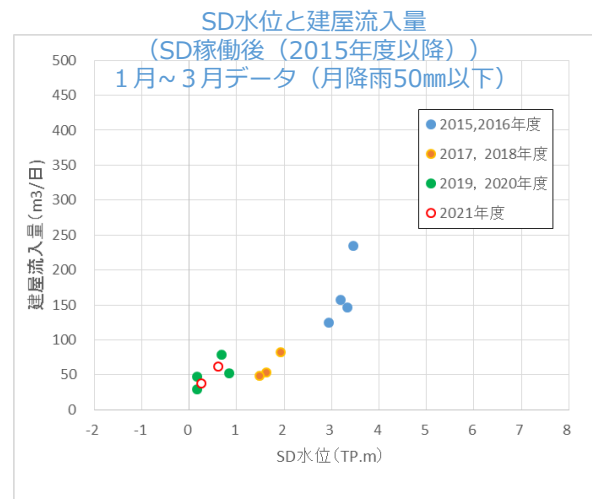
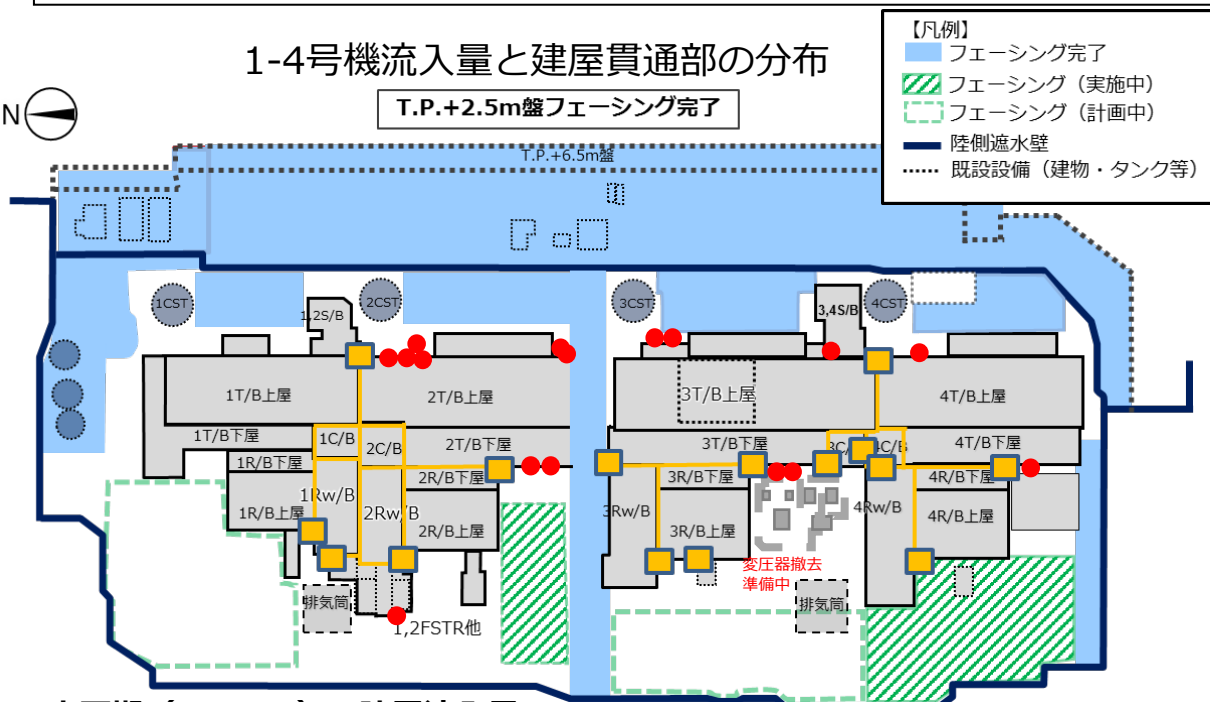
- 建屋全体の地下水流入量に対する抜本的な止水対策を直ちに実施する事は、困難とも考えられるなか、中長期的な課題として、建屋流入量の更なる低減のため、今後の廃炉作業と調整を図り、現状の施策との比較等をしていく事により、最も適切な対策について、幅広く総合的に検討していきたい。

<現状の施策>

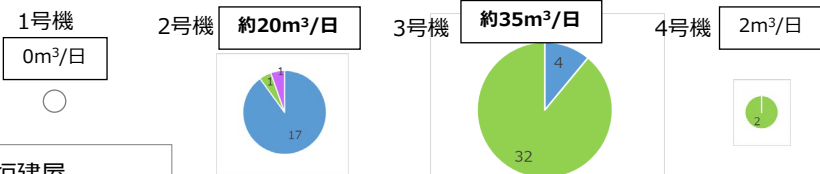
- 2022年時点において、建屋周辺及び屋根の高線量ガレキの撤去が進む等、施工環境の改善も図られてきていることから、施工可能な箇所において、局所的な止水対策に取り組む事とする。
- そこで、地下水流入量が多い2号機と3号機には、地下水位より深い箇所の外壁部に配管等の建屋貫通部（配管、ダクト・トレンチ、建屋間ギャップ等）が残存している事から、最も建屋流入量が多いと評価している。
- まずは、3号機を対象に、建屋貫通部等の調査・止水の施工試験を行い、地下水流入対策の設計に資する施工方法（例：雰囲気線量に応じた対策とボーリング施工位置の選定等）を確認していく。
- 今後の試験結果により施工方法等は確定させていく予定であるが、建屋外壁貫通部止水及びギャップ端部止水においても、線量低減や干渉物の撤去が必要となる。まずは、海側において着手し、山側については線量低減等から干渉物撤去後の止水工事を検討していく予定。

今後の建屋流入量抑制対策の検討

- 建屋への流入量は、サブドレン稼働以降、降雨が少ない時期においては、サブドレン水位を低下させてきた事によって低減傾向が確認されている。これは、1-4号機建屋外壁の建屋貫通部（配管、ダクト・トレンチ等）の数が、水位の低下とともに減少していることが要因と評価している。
- 降雨時の一時的な建屋流入量の増加は、1-4号機周辺のフェーシングにより雨水流入対策を進めていく計画である。更なる流入抑制は、残存する配管等の建屋貫通部、建屋間のギャップ（すきま）端部への止水対策を検討する。

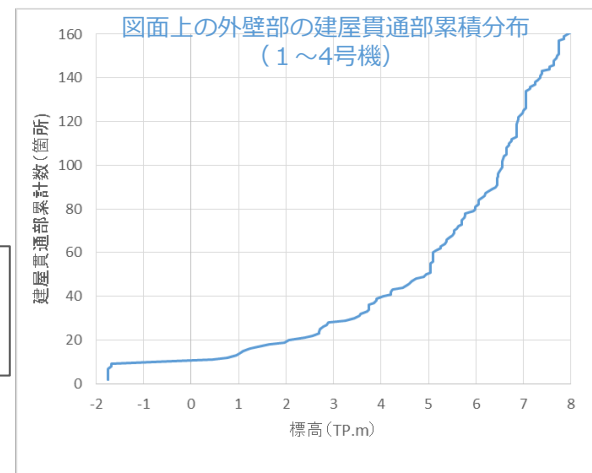


少雨期（2022.2）の建屋流入量



R/B : 原子炉建屋
T/B : タービン建屋
Rw/B : 廃棄物処理建屋
C/B : コントロール建屋

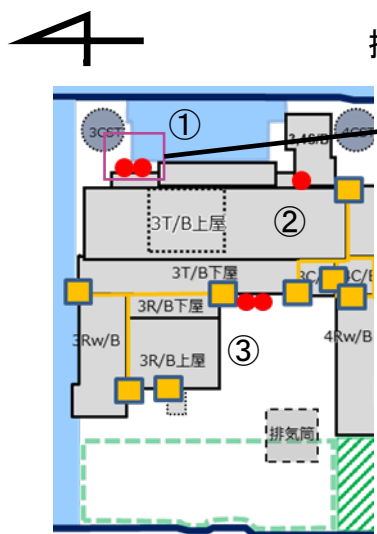
- 深部（TP.2m以下）建屋貫通部（16箇所）
海水配管トレンチ（閉塞済み）含む
2号機：9箇所、3号機：5箇所、4号機：2箇所
- 建屋間ギャップ端部（外壁境界部）（15箇所）



3号機の外壁建屋貫通部の止水について

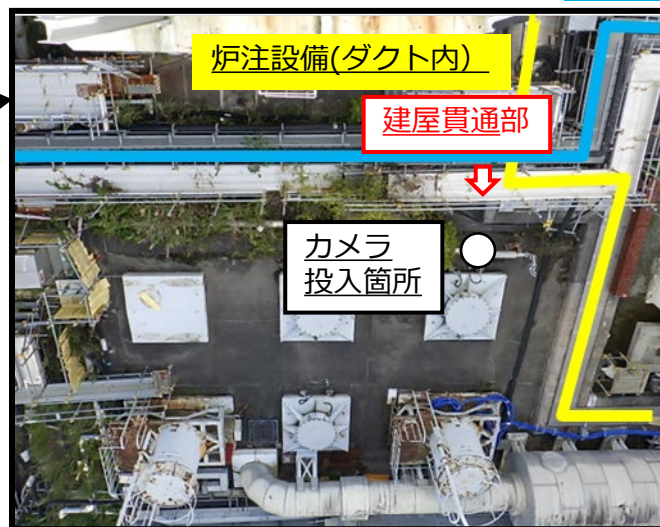
- 3号機への流入量が約60m³/日と最も多いため、3号機の深部（T.P.+2m以深）における建屋貫通部を対象に止水方法を検討する。
- 3号機の深部に残存する建屋貫通部は海側の北東部(①)と南東部(②)、南西部(③)に確認されている。その中で周辺で作業を行っていない、北東部(①)と南東部(②)についてカメラ調査等を実施する（5月より着手）。北東部(①)に関しては、建屋内部の配管等の貫通部近傍の雨水・地下水の流れた跡等を確認する。南東部(②)は3号取水電源ケーブルトレンチであり、内部確認を実施し、たまり水が確認されれば抜き取り後、モルタル等で充填する予定（調査は2022年度中に実施）。
- 3号機の北東部(①)に関しては、地上部にSD等関連する設備の移送配管が配置されており、現時点では掘削作業が困難であるため、限定的な範囲で実施可能な薬液注入等の実施を検討する。
- 上記結果を踏まえ、外壁部は個別にヤード使用状況を踏まえて、止水方法について、ダクト等は充填、地盤側は地盤改良及び直接的な閉止（コンクリート等）含めて検討していく予定。

3号T/B北東部海側状況



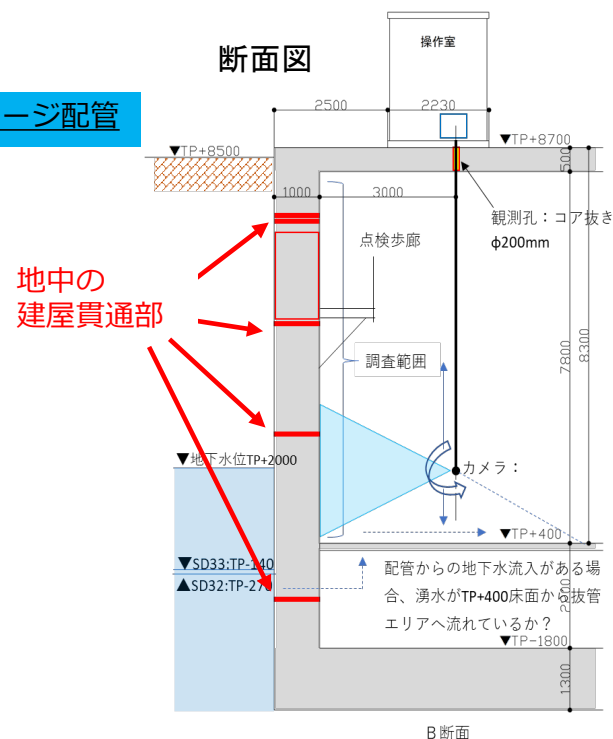
3号機周辺平面図(再掲)

拡大



T/B : タービン建屋

SD、リチャージ配管

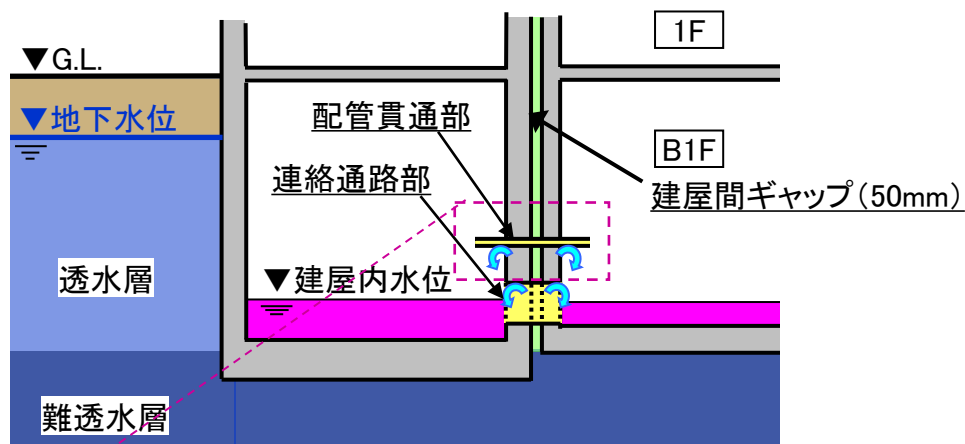


B断面

建屋間ギャップ貫通配管について

- 各建屋間ギャップ部には貫通配管があり、ラバーブーツ等の損傷による地下水の流入が、他の建屋で確認されている。

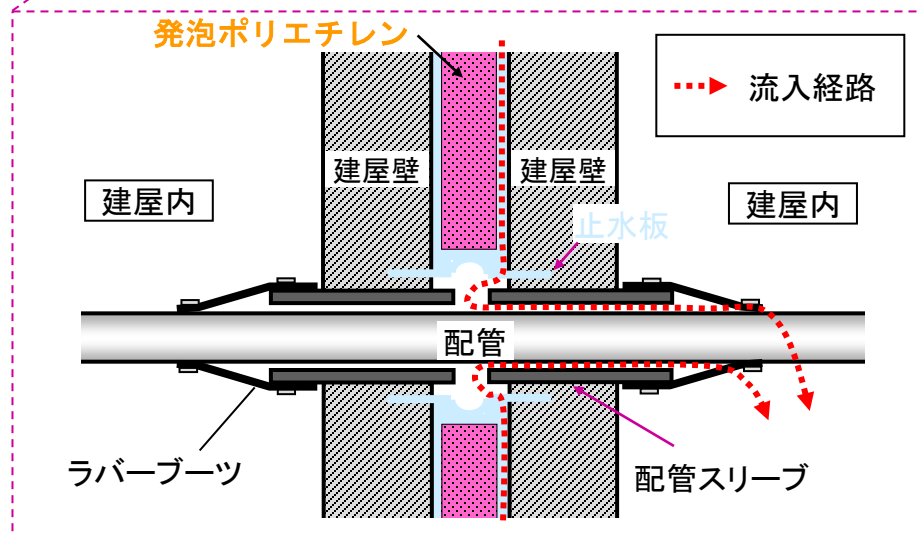
※震災前はサブドレンにより地下水位は低位で運用



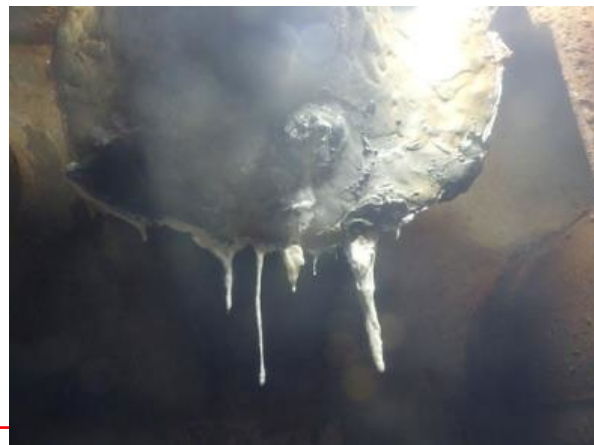
建屋間ギャップ貫通配管部地下水流入状況
(2021.7焼却建屋と工作建屋の貫通配管部)



建屋間ギャップからの流入イメージ



止水により地下水流入停止



- 各建屋との建屋間には50～100mmのギャップ（隙間）が存在し、発泡ポリエチレンが設置されている。建屋間ギャップ部には、多数の貫通配管が存在しているため、外壁部から地下水が浸入している可能性が考えられることから、端部に止水部を設置する。
- 建屋間ギャップは、概ね底部に止水板が設置されており、外壁端部の範囲をボーリングで削孔し、削孔箇所にモルタル等で止水部を構築する工法を検討する予定である。
- 削孔に関しては、建屋壁（コンクリート：硬質）と発泡ポリエチレン（軟質）が混在した箇所を鉛直方向に精度よく施工可能かどうか、構外にて施工試験を行う。（5月より着手）
- 止水施工試験においては、4m程度の供試体にて削孔後、止水部を構築し、止水試験を行い、現地への適用性を確認の上、現地での施工試験を検討していく。



2025年以降の汚染水発生量抑制施策について

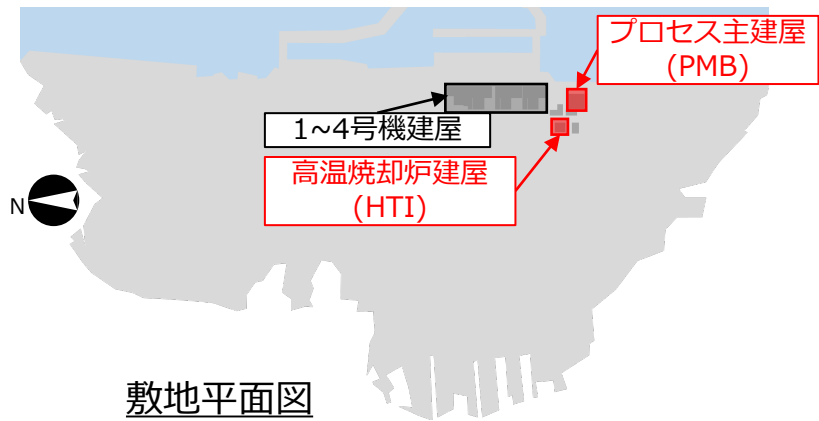
- 中長期ロードマップの目標である2025年以内に、汚染水発生量100m³/日以下のその先に向け、陸側遮水壁を含む現在の重層的な対策を継続するほか、追加的に講ずる更なる汚染水発生量抑制手法については建屋内外の水位差管理が必要な状況において、対策可能となる局所的な止水を行っていく予定である。
- 局所止水以外の手法についても下記比較を行った。各手法の、メリット・デメリットを勘案し引き続き、廃炉事業の進捗、最新の計測結果及び局所止水の進捗等を踏まえて検討していく。

	局所止水 (建屋貫通部、建屋間 ギャップ)	外壁全面止水 (1-4号機全範囲)	広域的な遮水壁 (タンクのある高台におけ る遮水壁(粘土壁等))
追加的な効果	○ (図面に載っていない 貫通部の存在)	◎ (網羅的に流入箇所を止水)	× (遮水壁内の地下水バイ パス、SDの増強必要)
廃棄物	○ (貫通構造物周辺以外 は発生土を埋め戻し)	× (外壁全線掘削の為 止水部の土砂が多量に発生)	× (延長により遮水壁部の 土砂が多量に発生)
施工ヤード	○～△ (線量低減実施済 エリア有)	× (高線量構造物及び瓦礫撤去。 廃炉工事と調整)	△ (設置範囲により道路利 用及びタンクヤード工事 と調整)

(2) 建屋滞留水処理

プロセス主建屋・高温焼却炉建屋における滞留水処理の進め方

- プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋については、地下階に高線量のゼオライト土嚢等(最大4,400mSv/h)が確認されている。
- プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水については、今後、床サンプへの滞留水移送装置を設置し、処理を進めるが、ゼオライト土嚢等の対策、1-4号機建屋滞留水を一時貯留するタンクの設置、α核種除去設備の設置後に床面露出状態を維持させる。

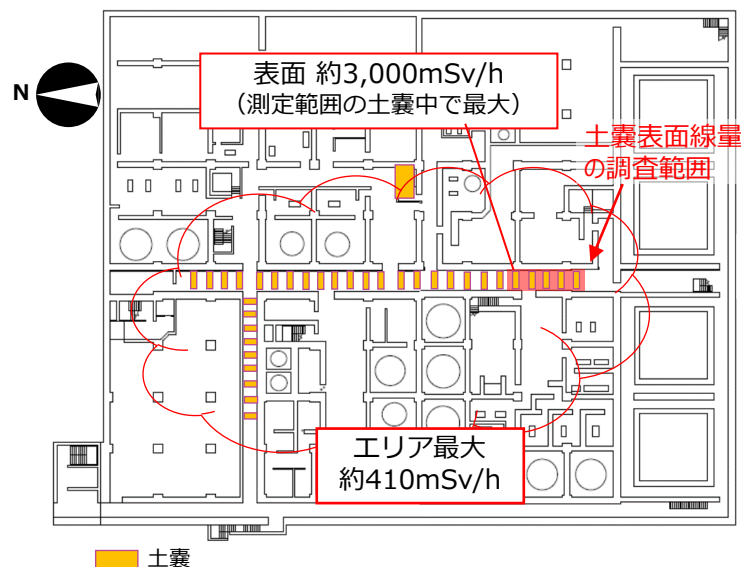


懸念事項	対応策（案）	現在の対応状況
ゼオライト露出による線量上昇	● ゼオライト等の処理 ➢ 水中で回収	● 現場調査、線量評価実施 ● 処理設備の設計実施中
α核種の拡大（汚染水処理装置の安定運転への影響）	● 一時貯留タンクの設置 ➢ スラッジ類沈砂等によるα核種除去 ➢ 1~4号機各建屋滞留水の濃度均質化 ● α核種除去設備設置	● 建屋滞留水一時貯留タンクの設計を実施中 ● α核種除去設備の除去方向を確立し、設備の設計を実施中

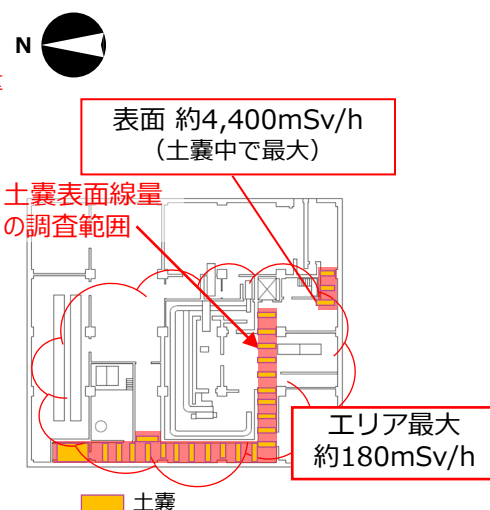
		2022年度	2023年度	2024年度以降	2031年
ゼオライト土嚢等の対策	処理	2023年度内処理開始▼		2024年内処理完了	
α核種対策 (汚染水処理装置の安定 運転)	建屋滞留水一時貯留 タンク設置				
	α核種除去設備設置				
建屋滞留水 (PMB、HTI) 処理					床面露出に向けた水位低下

プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋最下階のゼオライト土囊等の現状

- プロセス主建屋（PMB）、高温焼却炉建屋（HTI）の地下2階（最下階）において、建屋滞留水中の放射性物質を吸着するために設置したゼオライト土囊・活性炭土囊（以下、ゼオライト土囊等）が高線量化しており、今後のPMB・HTI滞留水の処理完了（床面露出）後に、雰囲気線量を上昇させ、開口部近傍での作業等に支障をきたす恐れがあることから、回収方法について検討を進めている。
 - これまでの調査により判明した最下階の状況は以下の通り。
 - PMB、HTIの最下階の敷設状況をROVで目視確認済（下図参照）。
 - 土囊袋は概ね原形を保っているが、劣化傾向があり、一部の袋に破損がみられる状況。
 - 確認された土囊表面の線量はPMBで最大約3,000mSv/h、HTIで最大約4,400mSv/h。
 - 空間線量は、水深1.5m程度の水面で、PMBは最大約410mSv/h、HTIは最大約180mSv/h。
 - ゼオライト土囊は主に廊下に敷設され、セシウムを主として吸着しているため表面線量が非常に高い状況。活性炭土囊は主に階段に敷設されており、多核種を吸着。
- ➡ 水の遮へい効果が期待できる滞留水処理完了前の水中回収を軸として、検討を進めている。



PMBにおける土囊と環境線量



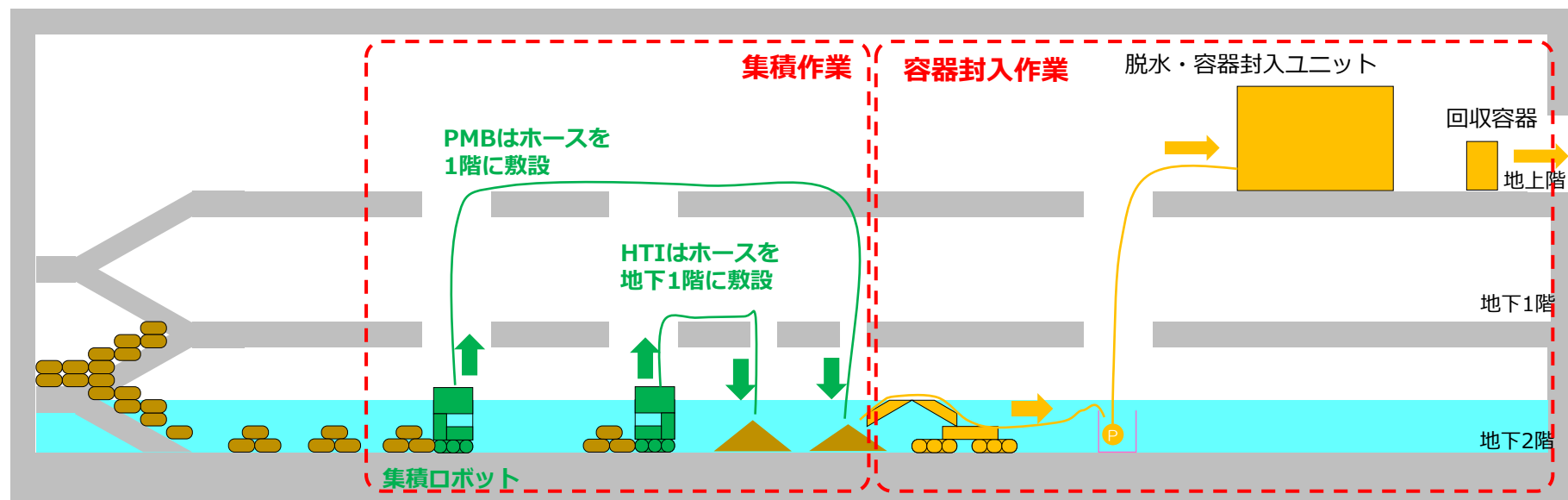
HTIにおける土囊と環境線量

ゼオライト土囊等の推定敷設量

建屋	種類	推定敷設量
PMB	ゼオライト	約 16 t
	活性炭	約 8 t
HTI	ゼオライト	約 10 t
	活性炭	約 7.5 t

プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋最下階のゼオライト土囊等の回収方法

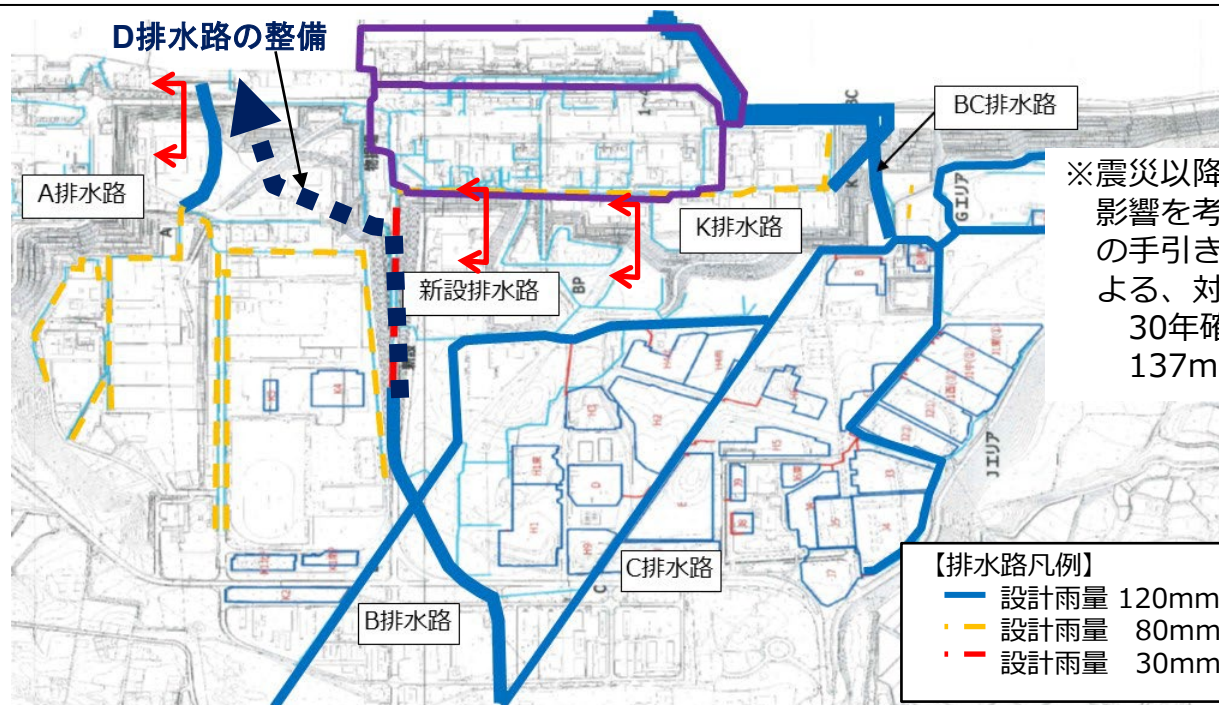
- PMB・HTIの最下階のゼオライト土囊等は回収作業を“集積作業”と“容器封入作業”に分け、作業の効率化を図ることを計画
 - 集積作業：集積ロボット（ROV+ポンプ）を地下階に投入し、ゼオライトを集積場所に移送。
 - 容器封入作業：集積されたゼオライトを地上階に移送し、建屋内で脱塩、脱水を行ったうえ、金属製の保管容器に封入し、33.5m盤の一時保管施設まで運搬。
- 集積作業は2023年度上期着手を計画しており、回収完了（容器封入作業完了）は2024年内を計画。



ゼオライト土囊等処理のイメージ

(3) 自然災害対策 ①豪雨リスクへの対応

- 豪雨に伴う検討は、1Fの降雨観測記録から、1000年確率降雨（417mm/24時間、115mm/hr）で行った。
- 内水浸水解析の結果から、1-4号建屋の開口部において、現状の排水路の状況では一部浸水する結果となったが、D排水路を整備する事で概ね解消されることが確認された。現在、D排水路工事を2021年2月に着手し、1-4号機建屋周辺の浸水リスク解消に向け工事実施中である。
- 斜面評価については、重要施設背後の3箇所の斜面において安定評価を実施し、大規模な斜面崩壊は発生しないことを解析的に確認した。



	2018年度下期	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
浸水対策	内水氾濫解析 仮設対策（土嚢）		D排水路検討	▽工事着手	浸水リスク解消▽
斜面对策	斜面安定解析				

D排水路工事について

【工事概要】

- 豪雨リスクに最も効果のあるD排水路を延伸整備し、2022年台風シーズン前迄に豪雨リスクの解消を図る事を旨とする。
- 下図、赤破線の総延長約800m（推進トンネルΦ2,200）であり、物揚場前面海域の港湾内に排水される。
- 内水浸水解析結果から1号機北東部への雨水流入範囲に接続升を追設している。

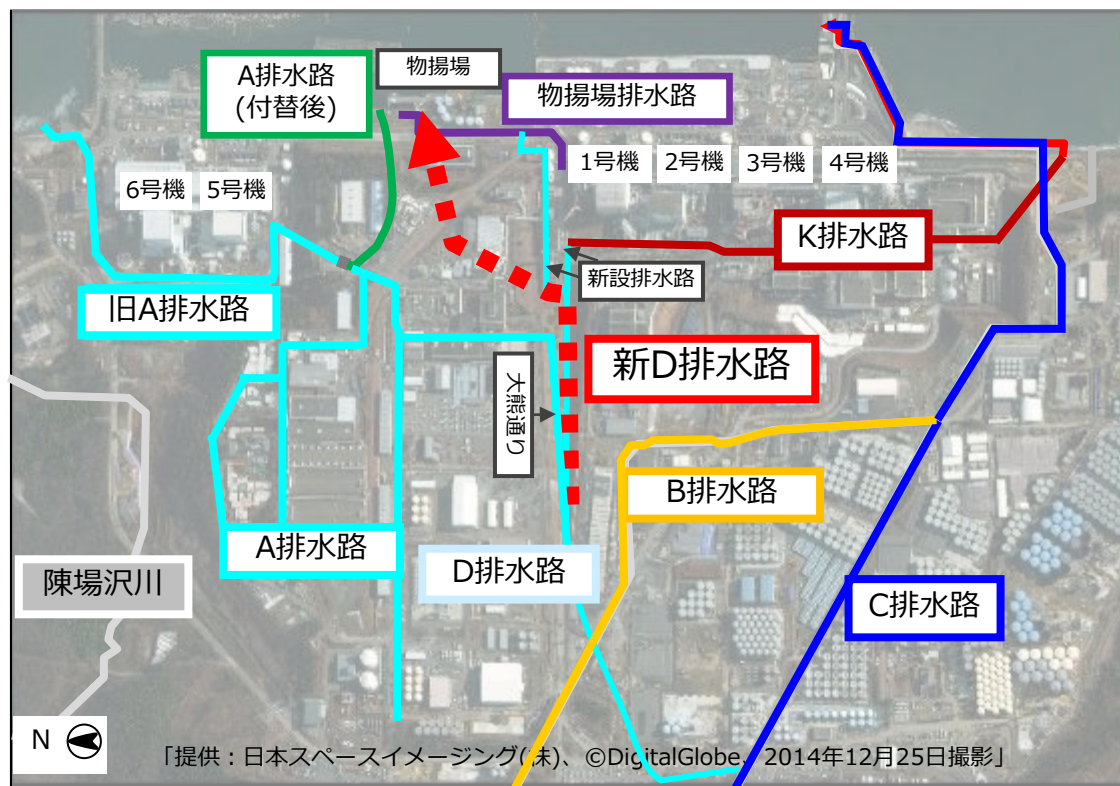
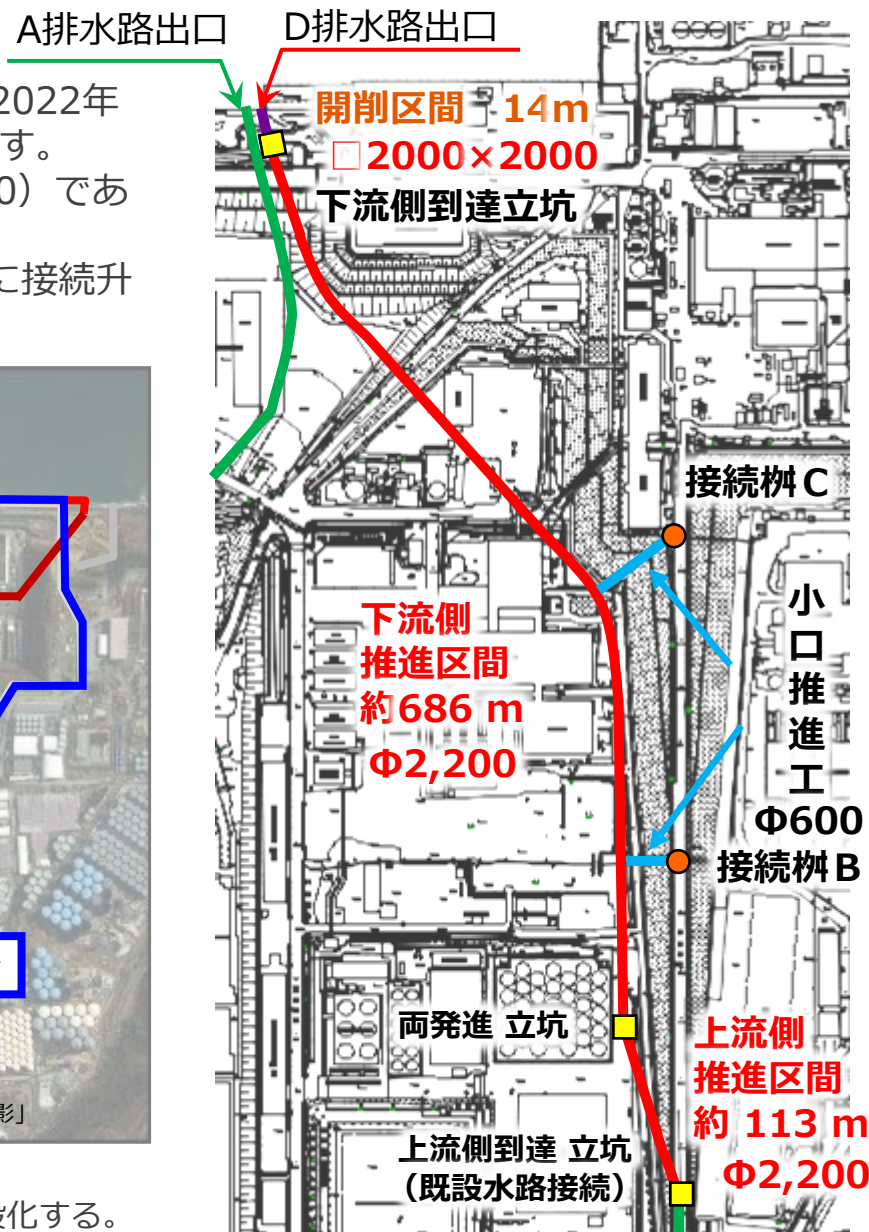


図1 構内排水概要図

※図中の「新設排水路」は仮設扱いであり、「新D排水路」で本設化する。



(3) 自然災害対策 ②津波対策

- 安全上重要な対策および評価を、実現可能性等を考慮しつつ段階的に実施中である。

※津波対策の数字は旧検潮所付近での最高水位で記載見直し

津波対策

事故後の
緊急的対策

アウターライズ津波 (T.P.4.1m) 対策

実施済：防潮堤設置

その後の
新知見への
対応

千島海溝津波 (T.P.10.3m) 対策

「2017年12月：地震調査推進本部公表」

実施済：防潮堤設置

日本海溝津波 (T.P.11.8m) 対策

「2020年4月：内閣府公表」

実施中：防潮堤設置

既往最大
事象への
備え

3.11津波 (T.P.15.1m) 対策

実施済：各建屋の開口部閉止 2022.1
メガフロートの移動・着底 2020.8

既往最大を
超える事象
への備え

検討用津波 (T.P.22.6m) 対策

実施中：建屋滞留水进行处理し高台に移送
検討中：除染装置スラッジを高台に移送

可搬式設備を用いた対応

実施済：消防車、電源車、重機、コンクリートポンプ車等の高台への配備

※ 検討用津波：東北地方太平洋沖地震後の知見や新規基準を踏まえ、発電所において最も厳しい条件となるように評価した津波

※ アウターライズ津波：プレート間地震後に発生することが多いと言われているアウターライズ（海溝の外側の隆起帯）部での正断層地震による津波

※ 千島海溝津波：千島海溝沿いの地震に伴う津波

※ 日本海溝津波：内閣府「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」公表内容（2020.4）を反映した津波

津波対策（日本海溝津波防潮堤の設置）

【実施概要・目的】

- 切迫した日本海溝津波への備えに対応することが必要であり、かつ津波による浸水を抑制し建屋流入に伴う滞留水の増加防止及び廃炉重要関連設備の被害軽減することで、今後の廃炉作業が遅延するリスクの緩和に関して、スピード感を持って対応するため、以下の設備対策を講じる。
 - 千島海溝津波防潮堤の補強工事を先行実施
 - その後「日本海溝津波防潮堤」を新規設置
 - 防潮堤より海側にあるサブドレン集水設備は高台に移設

※旧検潮所付近の最高水位

津波規模

アウターライズ津波

T.P.4.1m

千島海溝津波

T.P.10.3m

日本海溝津波 New

T.P.11.8m

対応方針

切迫した津波への備え

- ・浸水を抑制し、津波の建屋流入に伴う滞留水の増加防止
- ・重要設備の津波被害を軽減することにより、1F全体の廃炉作業が遅延するリスク（プロジェクトリスク）を緩和
- ・早期に実現可能な対策を優先

具体的実施事項

- ・アウターライズ津波防潮堤
- ・千島海溝津波防潮堤
- ↓
- ・千島海溝津波防潮堤補強
- ・『日本海溝津波防潮堤』を新設し全体を包絡

日本海溝津波
防潮堤

千島海溝津波
防潮堤 補強

浸水抑制

廃炉設備
被害軽減

滞留水
増加なし

T.P.+8.5m盤

越流しない

滞留水

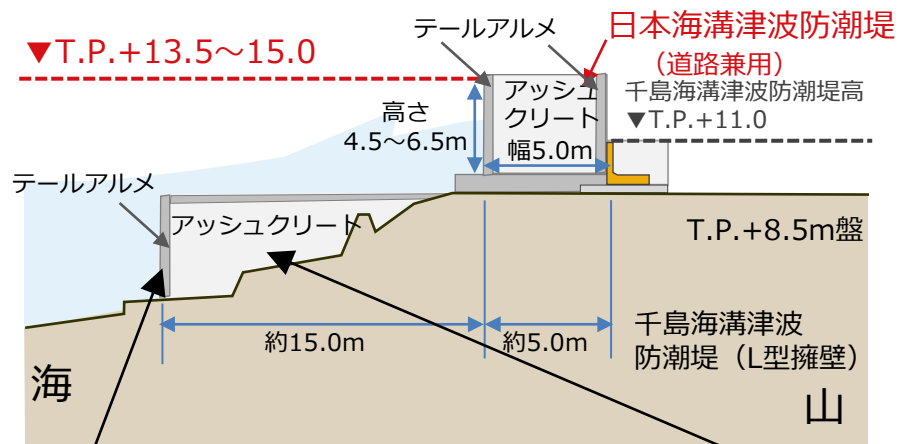
海

山

※1-4号機断面イメージ

日本海溝津波防潮堤設置工事の作業状況

- 2021年6月21日 防潮堤設置工事 着工
- 2021年9月14日 テールアルメ※1の基礎工設置開始



<特徴>

※1:垂直盛土を構築するためのコンクリート壁面材

- ・2011年東日本大震災において、東北地方でも大きな損傷もなく健全性を保持した、地震や津波などの自然災害にも強い「テールアルメ」を、防潮堤のコンクリート壁面材として採用
- ・テールアルメを垂直に設置し、アッシュクリートで盛土していく施工サイクルを繰り返し、所定の高さの防潮堤まで構築していく
- ・盛土材には、メガフロート工事でも使用したアッシュクリート※2を活用し、環境負荷低減にも配慮

※2:アッシュクリート：石炭灰（JERA広野火力発電所）とセメントを混合させた人工地盤材料

テールアルメ設置状況

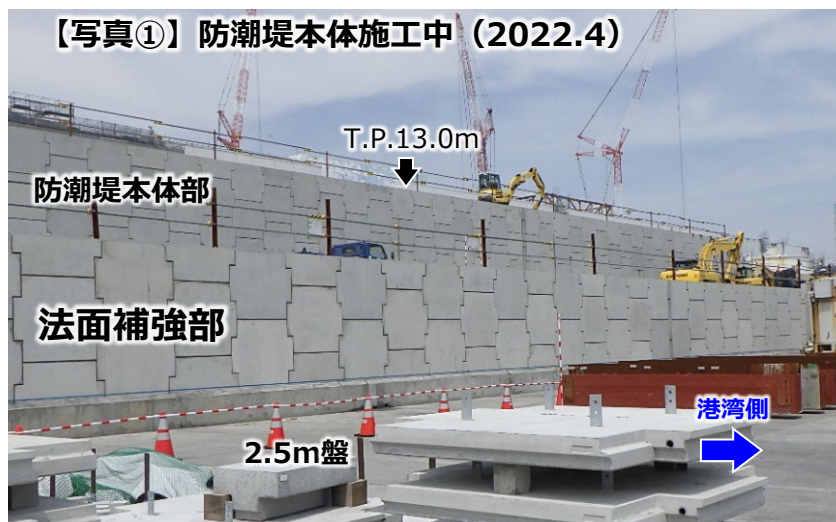
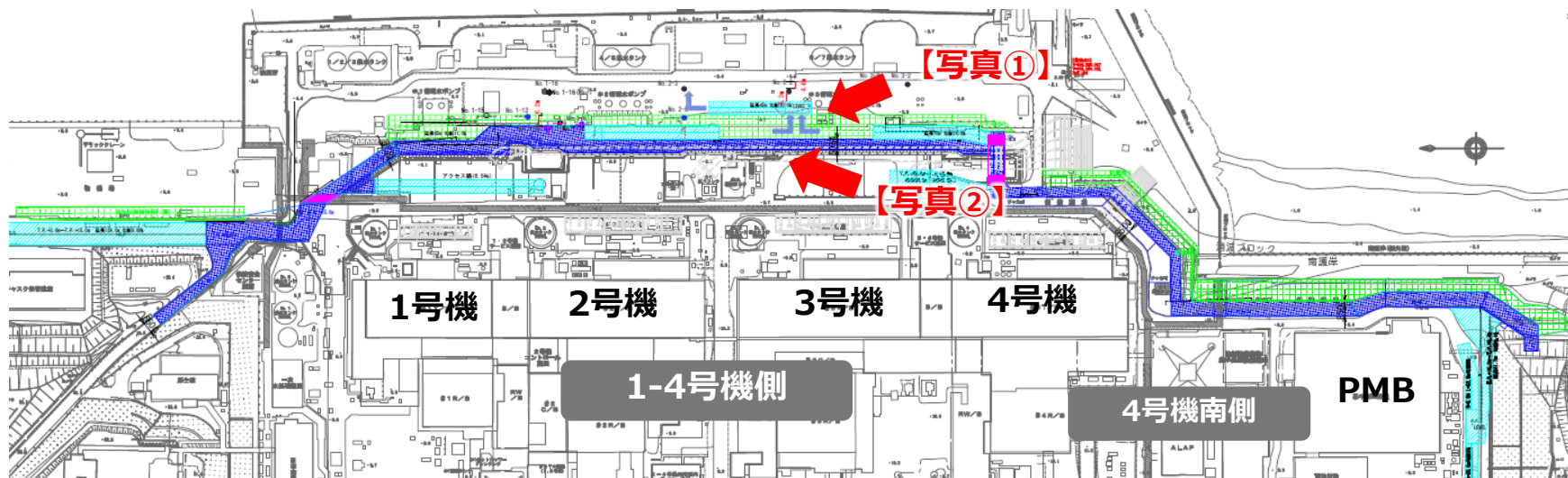


アッシュクリート打設状況



日本海溝津波防潮堤設置工事の進捗状況

■ 2022年2月15日 防潮堤本体部分 工事着手



津波対策（各建屋の開口部の閉止完了）

■ **実施内容**：1～4号機本館建屋の3.11津波対策は、引き波による建屋滞留水の流出防止を図ると共に、津波流入を可能な限り防止し建屋滞留水の増加を抑制する観点から、1～4号機本館建屋開口部に「閉止」又は「流入抑制」対策を実施。

■ **進捗実績**： **2022年1月26日、127箇所/127箇所完了。**

- 区分①② ⇒ 2018年度末（完了）
- 区分③ 2・3R/B（外部床） ⇒ 2019年度末（完了）
- 区分④ 1～3R/B（扉） ⇒ 2020年11月（完了）
- 区分⑤ 1～4Rw/B他 ⇒ 2022年1月26日（完了）

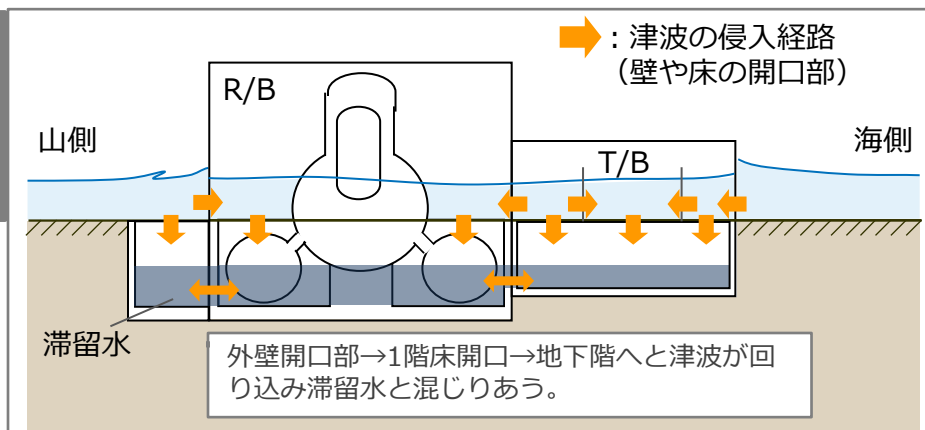
： 滞留水の残る建屋

： 滞留水の残らない建屋

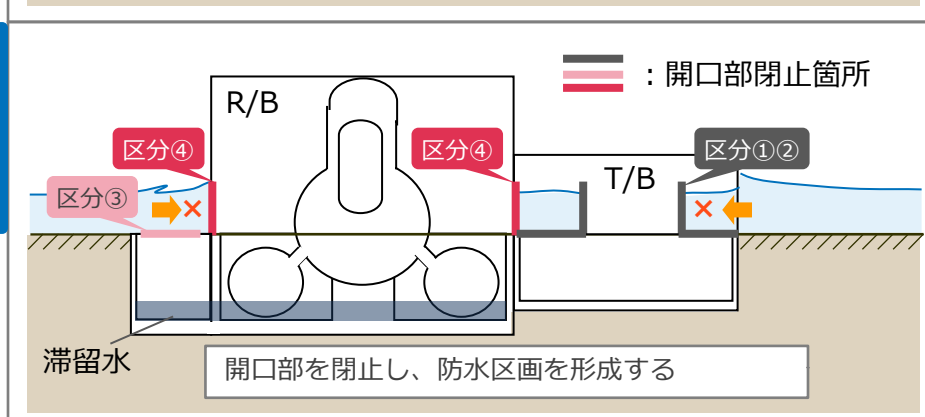
R/B：原子炉建屋
T/B：タービン建屋
Rw/B：廃棄物処理建屋
C/B：コントロール建屋
PMB：プロセス主建屋
HTI：高温焼却炉建屋

(年度)

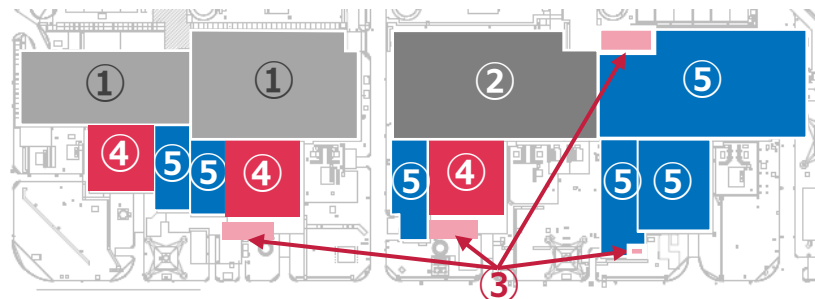
対策前



対策後

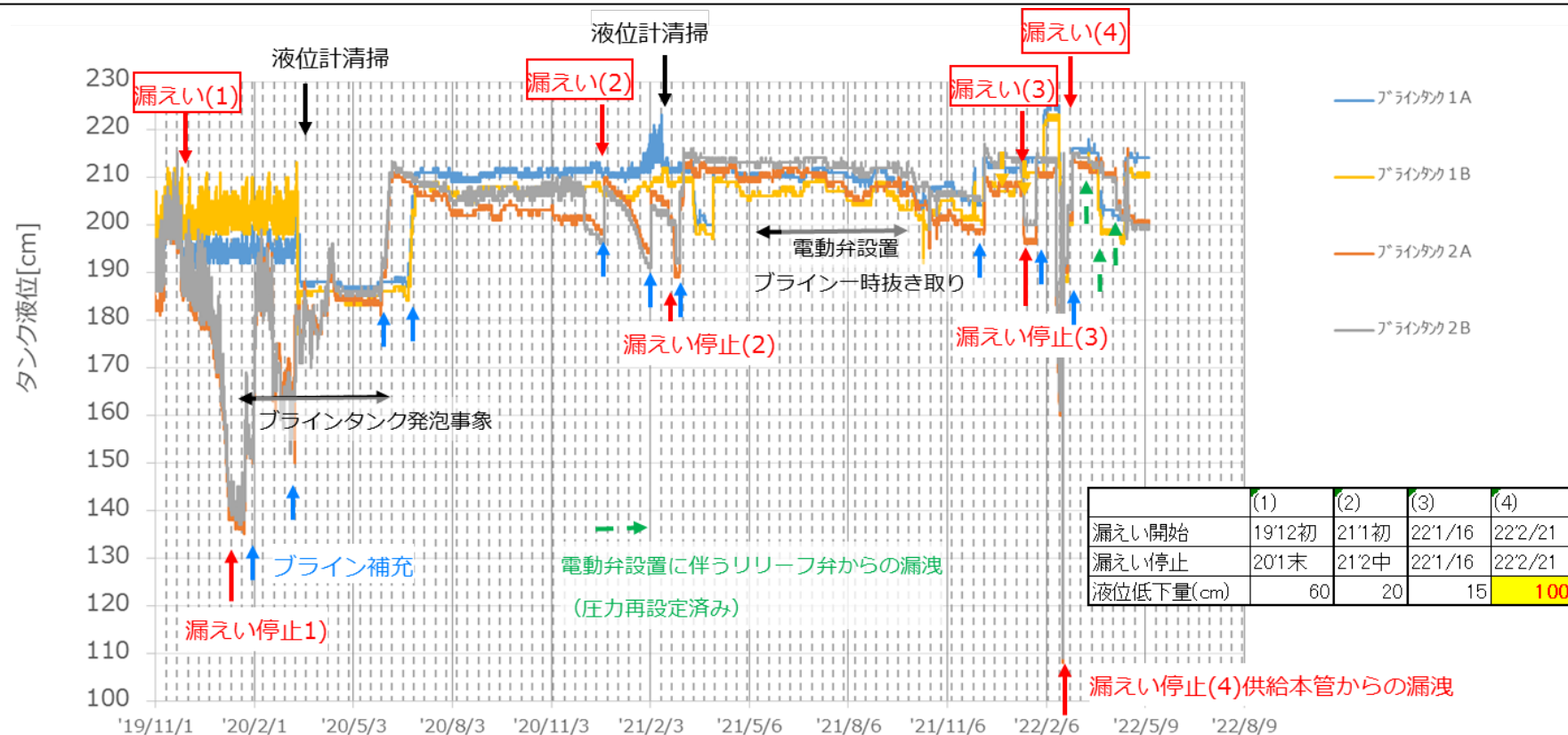


区分	建屋	完了/ 計画数	2018	2019	2020	2021
①	1・2T/B, HTI, PMB, 共用プール	40/40				
②	3T/B	27/27				
③	2・3R/B (外部床等)	20/20				
④	1～3R/B (扉)	16/16				
⑤	1～4Rw/B 4R/B, 4T/B	24/24				2022年1月完了



(4) 陸側遮水壁の中長期運用に向けた対応

- 陸側遮水壁設備は事後保全を基本としていたが、2019年の凍結管からのブライン漏洩事象に鑑み、今後の中長期運用を見据えて、可能な項目から予防保全に取り組み、監視強化や早期復旧対策に努めていく事としていた。(漏えい(1)、(2))
- 2022年1月及び2月に凍結管及び供給本管からのブライン漏えいが発生した。(漏えい(3)、(4))
- タンクの液位監視強化により、早期発見・早期復旧は出来ているものの、従前の事後保全だけでなく、状態監視強化および監視結果を踏まえた予防保全に関して、ブライン供給本管へ適用することが必要であると考えている。(冷凍機、電気品などは予防保全に取り組み始めている)
- なお、これまでのブライン漏洩事象においても、凍土壁の内外水位差に変化はなく、遮水機能は維持されている。



※液位計点検時等のデータは削除している。

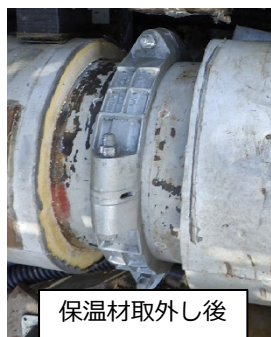
ブライン供給配管（本管）の漏えい事象について

- 2022年2月15日に発生したブライン供給本管からの漏えい事象について、漏えい箇所がカップリングジョイント部であり、変形が確認された為、漏えいに至る要因について検討。

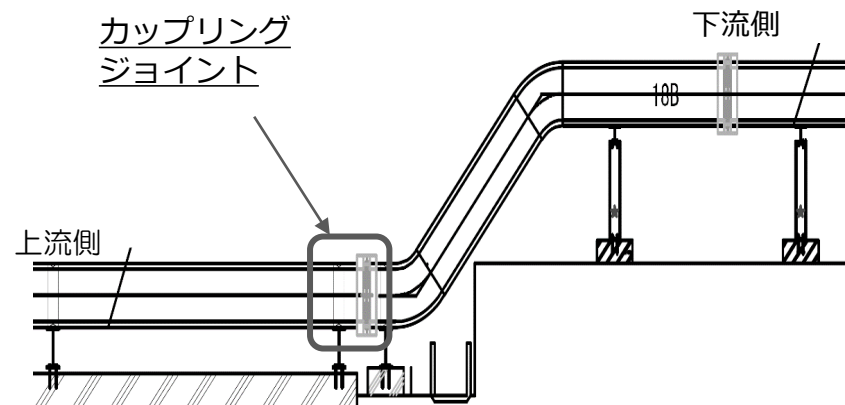


提供：日本スペースイメージング（株）2021.4.8
撮影Product(C)[2021]
DigitalGlobe、Inc.、 a Maxar company.

漏えい発生箇所



カップリングジョイント（外観）



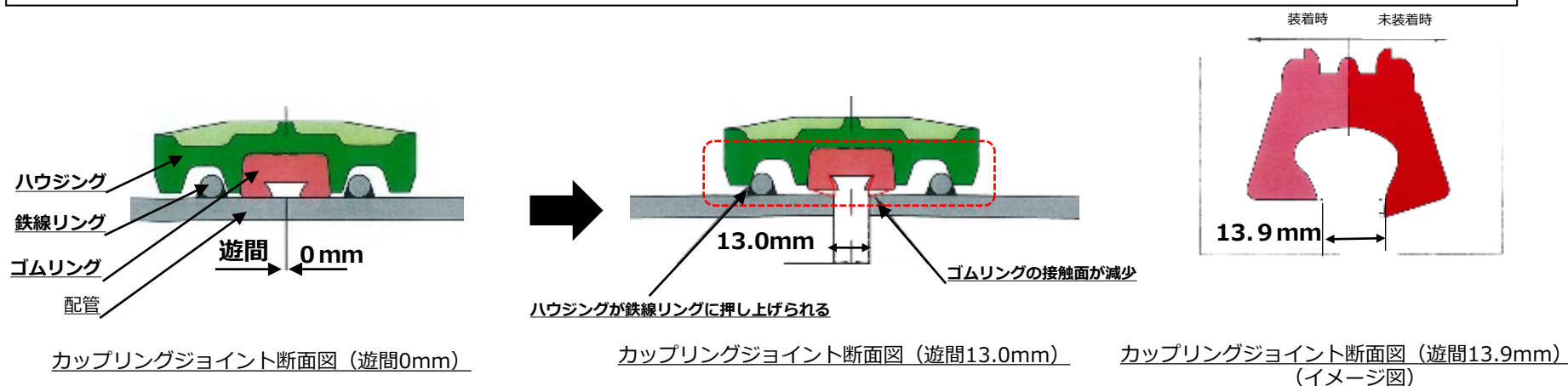
漏えい発生箇所（断面）

[カップリングジョイントとは]

ブライン供給配管に使用している継手であり、熱・振動等による配管の変形を吸収する役割を持つ。

漏えい箇所の構造と漏えい再現試験について

- 漏えい箇所であるカップリングジョイント部について流体をシールしているゴムリングを含め、ハウジング等の部材には経年劣化等による明確な損傷は認められなかった。
- 今回の漏えいは、カップリングジョイント部付近の配管の変位が、しきい値を超えたと想定。
- カップリングジョイントはこれまで事後保全を基本としており、漏えいに至るしきい値が明確でなかったため、構外にて漏えい再現試験を実施。



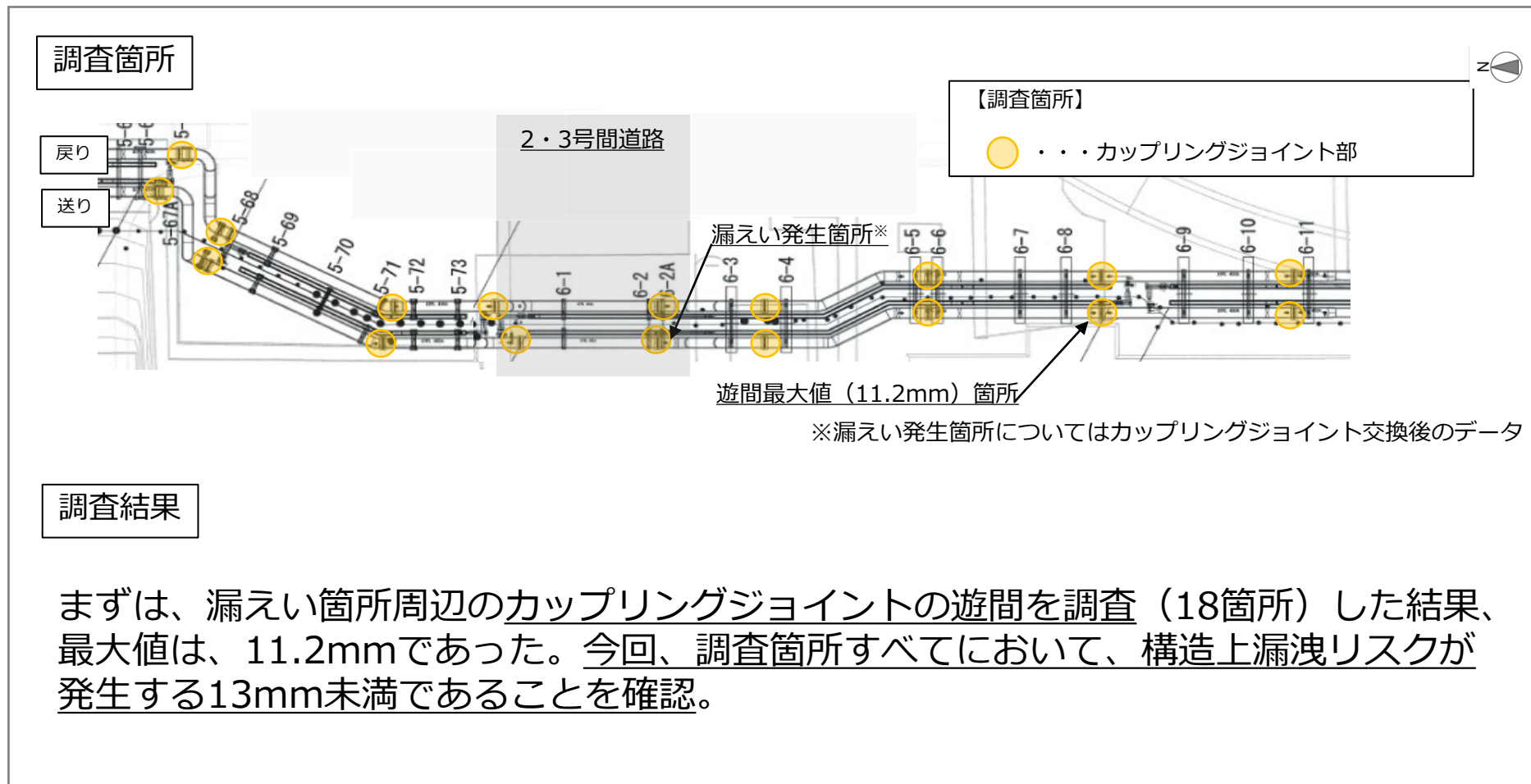
遊間（管と管の隙間）が13.9mmで、漏えいを確認。
遊間が13.0mmの段階で、ハウジングが鉄線リングに押し上げられ、
ゴムリングのつぶし代が浮き、シール面の減少により漏えいリスクが発生する。

※ 3回試験を実施し、漏えいを確認した値の最小値

※ 配管サイズが450Aの場合

漏えい箇所周辺カップリングジョイント部の遊間計測について

- 今回の漏えい箇所であるカップリングジョイントを目視確認した結果、有意な変形は確認できなかったが本事象は本管からの漏えいであり、ブラインの漏えい量も多かったことから、影響の拡大を想定し、カップリングジョイントの漏えい確認試験結果との比較を行った。



■ 状態監視保全について

- 漏えい箇所以外のエリアにて、カップリングジョイント部の遊間計測を実施し、計測データを踏まえ、エリア毎の状態監視保全の詳細（監視方法・頻度）について検討を行う。
- 今回漏えいしたカップリングジョイント部については、定期的な計測にて重点的に遊間の監視を行う。
- 漏えいに至るカップリングジョイント部の遊間を特定したことから、遊間に着目し、上記遊間計測と並行して、変位の進展を連続的に監視する方法（歪み等計測可能なパラメータに基づくもの）を考察・モックアップを行い、状態監視保全で得られたデータを踏まえ、予防保全の確立を目指している。

(5) 今後の汚染水対策の課題と対応（まとめ）

- 汚染水発生量の更なる低減については、降雨対策（建屋屋根補修、及び1-4号機建屋周辺のフェーシング、地下水位の低下）に継続して取り組んでいく事で、2025年内に汚染水発生量100m³/日以下に抑制する事を目指す。また、3号機を対象に、建屋貫通部と建屋間ギャップ端部の止水を今後行っていく
- プロセス主建屋・高温焼却炉建屋の建屋滞留水については、ゼオライト土嚢等の対策、α核種除去設備の設置等のα核種対策後に床面露出状態を維持させる。
- 大規模自然災害リスクに備え、最新の知見を踏まえた豪雨・津波対策に関して新設D排水路・日本海溝防潮堤を整備することで、大規模自然災害リスクの低減に努める。
- 汚染水対策の効果を発揮し続けることが、汚染水抑制に重要であり、陸側遮水壁の維持管理においても、従来の事後保全の考え方から、状態監視保全、予防保全に取り組み、監視強化、早期復旧対策に努める。