

土木学会 エネルギー委員会主催 報告・講演会

講演資料集

報告書「2011 年東京電力福島第一原子力発電所事故における土木技術等の適用事例の体系的整理 ―事故時の緊急時対応、汚染拡大防止対策等の技術蓄積―」の公開に係る報告と講演

【報告】

報告書「2011 年東京電力福島第一原子力発電所事故における土木技術等の適用事例の体系的整理 ―事故時の緊急時対応、汚染拡大防止対策等の技術蓄積―」の公開に係る報告
白土博司<LLW・汚染廃棄物対策研究小委員・分科会2(1F事故廃棄物対策検討)主査>
(東電設計(株) ジオフロント本部)

【講演】

- (1)「福島第一原子力発電所における廃炉・汚染水・処理水対策の現状」
小川智広 (東京電力 HD(株) 福島第一廃炉推進カンパニー 福島第一原子力発電所
計画・設計センター 副所長)
- (2)「福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略について」
 - 1)「福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略について」
 - 2)「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書(概要)」加藤和之 <LLW・汚染廃棄物研究小委委員>
(原子力損害賠償・廃炉等支援機構 執行役員)

日 時 令和 6 年 4 月 12 日(金) 13:30～17:30

開催形式 ハイブリッド方式

<会場> 土木学会講堂 / <オンライン(Zoom)>

エネルギー委員会

(担当: 低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策研究小委員会)

土木学会エネルギー委員会主催（担当：LLW・汚染廃棄物対策研究小委員会）

【2024年4月12日（金）、13:30～17:30、土木学会講堂（ハイブリッド方式）】

報告書「2011年東京電力福島第一原子力発電所事故における土木技術等の適用事例の体系的整理－事故時の緊急時対応、汚染拡大防止対策等の技術蓄積－」の公開に係る報告と講演

■ 開会挨拶

大西有三 <エネルギー委員会、LLW・汚染廃棄物対策研究小委員会委員長>（京都大学名誉教授）

■ 報告

報告書「2011年東京電力福島第一原子力発電所事故における土木技術等の適用事例の体系的整理－事故時の緊急時対応、汚染拡大防止対策等の技術蓄積－」の公開に係る報告

白土博司 <同上、LLW・汚染廃棄物対策研究小委員分科会2（1F事故廃棄物対策検討）主査>
（東電設計(株) ジオフロント本部）

<休憩：約10分>

■ 講演

(1)「福島第一原子力発電所における廃炉・汚染水・処理水対策の現状」

小川 智広（東京電力HD(株) 福島第一廃炉推進カンパニー 福島第一原子力発電所
計画・設計センター 副所長）

(2)「福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略について」

加藤 和之<LLW・汚染廃棄物研究小委委員>（原子力損害賠償・廃炉等支援機構 執行役員）

■ 閉会挨拶

谷 智之 <エネルギー委員会委員長>（東電設計(株) 執行役員 土木本部長）

土木学会エネルギー委員会主催（担当：LLW・汚染廃棄物対策研究小委員会）

【2024年4月12日（金）、13:30～17:30、土木学会講堂（ハイブリッド方式）】

報告書「2011年東京電力福島第一原子力発電所事故における土木技術等の適用事例の体系的整理－事故時の緊急時対応、汚染拡大防止対策等の技術蓄積－」の公開に係る報告と講演

趣 旨

2011年3月の東日本大震災の大地震に伴う大津波により東京電力福島第一原子力発電所（以下、「1F」）の1～4号機の未曾有の事故が発生してから、13年が経過しました。

土木学会では、特に初期段階からの原子力発電所事故の放射能汚染という非常に過酷な環境下の中で緊急時対応や汚染水対策等の安定化に向けた対策の実施等において主に土木分野の技術がどのように役割を果たしてきたか等の取組み状況の記録を後世に残すこととし、膨大な資料を調査・整理して体系的な報告書としてとりまとめました。

その報告書の発刊にあたり、内容の概要をご報告させていただくとともに、東京電力HDおよび原子力損害賠償・廃炉等支援機構よりお二人の専門家をお招きし、最近の1Fにおける最前線での取組みの状況や今後の1Fの廃炉に向けた最新の技術戦略等についてご講演いただくこととしました。

今後の長丁場の取り組みに向けての有益な情報共有と意見交換の場となれば幸いです。

重点研究課題報告書

2011年 東京電力福島第一原子力発電所事故 における土木技術等の適用事例の体系的整理

－事故時の緊急時対応、汚染拡大 防止対策等の技術蓄積－

成果概要報告

2024年4月12日

土木学会エネルギー委員会
低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策に関する研究小委員会
分科会2

2011年 東京電力福島第一原子力発電所事故
における土木技術等の適用事例の体系的整理
－事故時の緊急時対応、汚染拡大
防止対策等の技術蓄積－

2024年4月



社団法人 土木学会
エネルギー委員会
低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策
に関する研究小委員会 分科会2

研究の背景と目的

2011年3月11日に発生した東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所（以下、1F）の事故から13年が経過した。事故発生当初から、国・東京電力を中核として我が国が一丸となり、さらには国際的な支援・協力も得た取組みにより、**初期段階での緊急時対応から冷温停止・復旧活動へ、その後の汚染水処理対策、さらには環境負荷低減・廃棄物対策などの1Fの安定化**が達成されるとともに、**現在は廃止措置に向けての新たな取組みのステージ**へと進展している。

本研究は、1Fにおける原子力事故対策事例を確実に伝えていくことが、現世代の技術者の重要な使命であるとの認識のもと、

- 将来において仮に原子力事故が起こるというリスクを想定した場合にも適切な対応がとれるように、土木工学としても十分な備えを受け継いでいくこと**
- そのための基礎資料として、また次世代を担う若手土木技術者等への貴重な技術情報、教訓としてのメッセージに資すること**

を目的とし、これまで（2018年12月）の1Fにおける取組み全体を俯瞰して、

原子力発電所事故の**放射能汚染という大変過酷な環境下**において、**土木分野の技術や土木技術者がどのような役割を果たしてきたか等について、体系的な調査・取りまとめを行った。**

エネルギー委員会

低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策に関する研究小委員会 分科会2

低レベル放射性廃棄物・汚染廃棄物対策に関する研究小委員会

委員長 大西 有三 (京都大学名 名誉教授)

委員構成(分科会2)

主 査 白土 博司 (東電設計 株)
副主査 須山 泰宏 (鹿島建設 株)
幹 事 大田 哲也 (鹿島建設 株)

委員

杉本 映湖	(大日本ダイヤコンサルタント 株)	山本 武志	((一財)電力中央研究所)
土 宏之	(清水建設 株)	長峰 春夫	(大成建設 株)
納多 勝	(株大林組)	福田 和人	(前田建設工業 株)

分科会代表幹事

河西 基 (株アサノ大成基礎エンジニアリング／(一財)電力中央研究所 名誉研究アドバイザー)

前委員 (所属は就任時)

井尻 祐二	(大成建設 株)	金子 俊輔	(東電設計 株)	畠中 千野	(大成建設 株)
樋口 義弘	(清水建設 株)	菱谷 智幸	(大日本ダイヤコンサルタント 株)		

報告書の構成(P. 5)

汚染拡大防止対策は以下のように区分できる。

対策の区分

- I. 汚染水処理対策
- II. 環境負荷低減・廃棄物対策
- III. 放射能で汚染された固体廃棄物の保管・管理

時系列的な対策の区分

- ① 事故初期段階の復旧活動
- ② 3つの方針に基づく汚染水処理対策
- ③ 事故直後から継続実施している環境負荷低減・廃棄物対策ならびに固体廃棄物の保管・管理

上記の対策について、汚染水対策がほぼ完成して稼働した**2018年12月**までの**公開情報**の収集・整理、体系的な取りまとめ

主な公開情報

- ・東京電力
- ・原子力規制委員会 特定原子力施設監視・評価検討会
- ・経済産業省 廃炉汚染水対策ポータルサイト
- 等のホームページ
- ・コンクリート工学会
- ・電力土木
- ・土木施工
- 等の学協会誌

報告書の構成

1. 概説
2. 事故初期段階の土木分野の復旧活動
3. 汚染水処理対策、環境負荷低減・廃棄物対策
4. 固体廃棄物の合理的な安定保管・管理技術
5. 技術提案の公募

報告書の作成方針

報告書の作成に当たっては、参考とした公開資料の内容が
適切である 不適切である 間違っている
などの評価は避け、資料に基づいて
調査・設計検討、施工、対策工の効果、品質管理、安全対策
などに着目した情報を収集して体系的な取りまとめを行う。

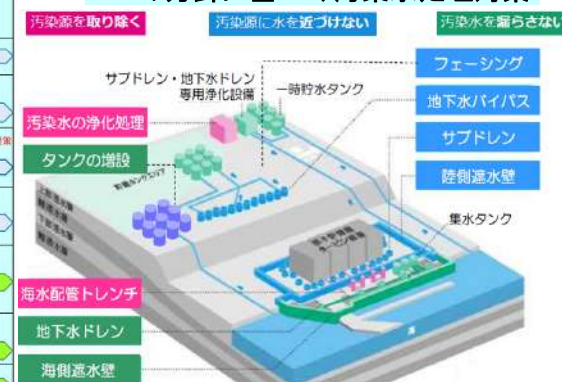
福島第一原子力発電所 汚染拡大防止対策の2018年度までの取組み (P. 7 表1-3)

汚染水処理対策・環境対策		2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
		上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期
事故初期段階の復旧活動 (汚染拡大防止対策)	がれきの撤去・一時保管								
	高濃度汚染水の流出防止対策								
	海域汚染拡大防止対策								
	飛散防止対策								
	津波対策								
3つの方針に基づく汚染水処理対策	予防的・重層的な汚染水処理対策 (汚染水処理対策委員会による検討)								
	汚染水処理対策の全体計画の策定								
	汚染水処理対策の効果の評価								
	方針1 取り除く								
	方針2 近づけない								
環境負荷低減・廃棄物対策	汚染水処理対策の全体計画の策定								
	汚染水処理対策の効果の評価								
	方針1 取り除く								
	方針2 近づけない								
	方針3 漏らさない								

事故初期段階の復旧活動の例



3つの方針に基づく汚染水処理対策



環境負荷低減・廃棄物対策の例 (無人化施工による高線量がれきの保管)



都雲 進 (2018) : 汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料(2018年7月12日) ¹⁾ を参考に作成

報告書の構成

黒字は本日（概要報告）
の紹介事項

目次

1.概説

- 1.1 報告書作成の目的
- 1.2 事故直後から現在(2018年10月)までに発生したトラブルや取り組み
- 1.3 報告書の構成

2.事故初期段階の土木分野の復旧活動

- 2.1 構内道路の健全性確認及びがれきの撤去
- 2.2 汚染水の流出防止対策及び海域汚染拡大防止対策
 - 2.2.1 汚染水の流出防止対策
 - (1)汚染水流出箇所の緊急対策
 - (2)汚染水の流出防止対策
 - 2.2.2 海域汚染拡大防止対策
 - (1)シルトフェンスの設置
 - (2)1～4号機取水路開渠南側透過防止工の補修
 - (3)ゼオライト土嚢の投入と循環型浄化装置の設置
 - (4)海底土の被覆
- 2.3 放射性物質の飛散防止対策
 - 2.3.1 飛散防止剤の散布
 - 2.3.2 散水
- 2.4 津波対策
 - 2.4.1 仮設防潮堤の設置
 - 2.4.2 その他の津波対策

3.汚染水処理対策、環境負荷低減・廃棄物対策

3.1 概説

3.2 汚染水処理対策

3.2.1 全体計画の策定

- (1)地質・水理地質構造
- (2)地下水流動場の評価
- (3)予防的・重層的な汚染水処理対策の検討方針

3.2.2 個別の汚染水処理対策

- (1)汚染源を取り除く対策(海水配管トレンチの汚染水除去及び充填)
- (2)汚染源に水を近づけないための対策
 - (a)地下水バイパス
 - (b)サブドレン
 - (c)陸側遮水壁
 - (d)フェーシング
- (3)汚染水を漏らさないための対策
 - (a)水ガラスによる地盤改良
 - (b)海側遮水壁及び地下水ドレン
 - (c)タンク

3.3 環境負荷低減・廃棄物対策

3.3.1 汚染の拡大防止対策

- (1)海底土の被覆
- (2)構内排水路

3.3.2 廃棄物関連対策

- (1)がれきの撤去(がれきの撤去に資する遠隔操作技術)
- (2)がれきの一時保管
- (3)固体廃棄物貯蔵施設の敷地造成

4. 固体廃棄物の合理的な安定保管・管理技術

4.1 対象廃棄物の分類

- (1) 福島第一原子力発電所事故で発生した廃棄物
- (2) 安定保管・管理の対象廃棄物

4.2 がれき等の保管・管理

4.2.1 目的

4.2.2 概要

- (1) がれき等の種類
- (2) がれき等の発生量と今後の発生予測

(3) 保管・管理の方法

4.2.3 特徴、工夫・効果

- (1) 廃棄物の保管方法に関する事項
- (2) がれき類の一時保管場所の津波に対する安全対策
- (3) 覆土式一時保管施設における工夫
- (4) 伐採木一時保管槽における工夫
- (5) 可燃性廃棄物の火災対策
- (6) モニタリング

4.2.4 課題等

4.3 水処理二次廃棄物の保管・管理

4.3.1 目的

4.3.2 概要

- (1) 水処理二次廃棄物の種類
- (2) 水処理二次廃棄物の発生量と今後の発生予測
- (3) 保管・管理の方法

4.3.3 特徴、工夫・効果

4.3.4 課題等

- (1) 水処理二次廃棄物一時保管のリスク低減
- (2) 保管施設への移行による放射線影響の低減
- (3) 処理・処分方策の検討
- (4) モニタリングの検討

5. 技術提案の公募

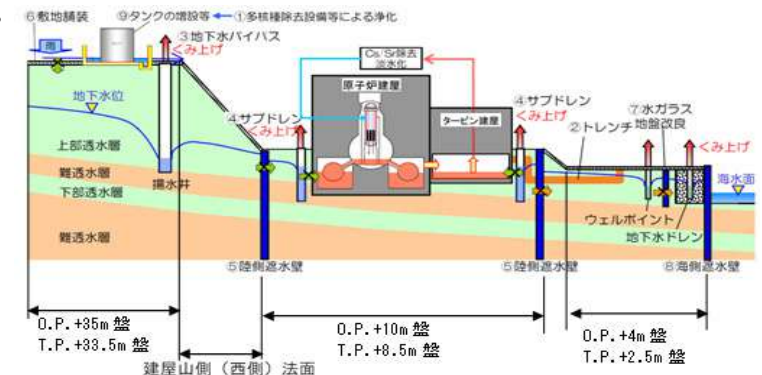
5.1 国際廃炉研究開発機構の公募

5.2 経済産業省 資源エネルギー庁の公募

報告書の留意点

福島第一原子力発電所の標高の表示については、小名浜港工事基準面で使用されているO.P.m表示が建設当初から用いられてきた。

一方、国土地理院の図面標高はT.P.（東京湾中等潮位）上の高さで表示しているため、2015年7月以降、公開情報の標高の表示はT.P.m表示で統一された。このため、公開資料を引用した図表や文章中の高さ表示は、O.P.mとT.P.mの2種類が混在した表示となっている。



また、図表については、参考文献（PDF など）から切り取り・貼り付けを行ったものが多いため、解像度の低いものがある。

報告書の作成に活用した公開資料（3. 2汚染水処理対策(c)陸側遮水壁 の例）

参考文献

- 1)木田博光, 浅村忠文(2016):凍土方式による陸側遮水壁の造成ー凍結管の掘削・建て込み, 凍結設備の設置工事ー, 土木施工, Vol.57, No.3, オフィース・スペース
- 2)経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 原子力発電所事故収束対応室(2013):平成 25 年度「汚染水処理対策事業」に係る補助事業者公募要領, 平成 25 年 9 月 11 日, https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11217428/www.enecho.meti.go.jp/appli/public_off_er/130911a/pdf/aplpof_130911a2.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 3)東京電力, 鹿島建設(2014):凍土方式遮水壁の設置工事における地下埋設物等への考慮について(1/4), 平成 26 年 6 月 6 日, 原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会(第 23 回), 資料 1, <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11451236/www.nsr.go.jp/data/000051100.pdf>, 2018 年 12 月 1 日掲載確認
- 4)東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議(2013):汚染水処理対策に関する課題と対応の方向(案), 東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議(第 3 回), 平成 25 年 4 月 19 日, 資料 2, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130419/130419_01d.pdf, 2018 年 9 月 26 日掲載確認
- 5)汚染水処理対策委員会事務局(2013):地下水流入抑制のための抜本策に係る検討の方向性(案), 汚染水処理対策委員会(第 2 回), 平成 25 年 5 月 16 日, 資料 1, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130516/130516_01c.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 6)鹿島建設(2013):凍土遮水壁による地下水流入抑制案, 汚染水処理対策委員会(第 1 回), 平成 25 年 4 月 26 日, 資料 3-3, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130426/130426_02k.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 7)大成建設(2013):総合的流入抑制対策の提案ー粘土系遮水壁による恒久的対策ー, 汚染水処理対策委員会(第 1 回), 平成 25 年 4 月 26 日, 資料 3-2, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130426/130426_02j.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 8)安藤・ハザマ(2013):グラベル連続壁による地下水流入抑制案【恒久対策としての遮水壁への転用可能案】, 汚染水処理対策委員会(第 2 回), 平成 25 年 5 月 16 日, 資料 3-2-4, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130516/130516_01q.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 9)清水建設(2013):東京電力株式会社福島第一原子力発電所 建屋内地下水流入抑制対策工に関する提案, 汚染水処理対策委員会(第 1 回), 平成 25 年 4 月 26 日, 資料 3-4, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130426/130426_02m.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

- 10)大西有三(2016):陸側遮水壁の疑問に答える, Vol.57, No.11, オフィース・スペース
- 11)汚染水処理対策委員会(2013):地下水の流入抑制のための対策, 汚染水処理対策委員会(第 3 回), 平成 25 年 5 月 30 日, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130531/130531_01c.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 12)資源エネルギー庁 原子力発電所事故収束対応室(2014):凍土方式遮水壁について, 平成 26 年 4 月 18 日, 原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会(第 20 回), 資料 1-1, <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11451236/www.nsr.go.jp/data/000051059.pdf>, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 13)経済産業省 資源エネルギー庁 原子力政策課(2013):平成 25 年度「発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業(地下水の流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関するフイージビリティ・スタディ事業)」に係る企画競争募集要領, 平成 25 年 7 月 5 日, https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11217428/www.enecho.meti.go.jp/appli/public_off_er/130705c/pdf/aplpof_130705c2.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 14)鹿島建設(2013):平成 25 年度「発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業(地下水の流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関するフイージビリティ・スタディ事業)」に関する企画提案書, 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 2 回), 2013 年 8 月 8 日, 資料 3, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130808/130808_03e.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 15)東京電力, 鹿島建設(2013):凍土遮水壁の検討事項に対する進捗状況(7/1 タスクフォースでの検討事項), 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 4 回), 平成 25 年 11 月 15 日, 資料 3, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131115/131115_02e.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 16)東京電力, 鹿島建設(2013):凍土遮水壁の基本設計, 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 6 回), 平成 25 年 12 月 20 日, 資料 1, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131220/131220_03c.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 17)東京電力, 鹿島建設(2013):凍土遮水壁の検討事項(1/2), 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 6 回), 2013 年 12 月 20 日, 資料 1-1, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131220/131220_03d.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 18)原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会 https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/tokutei_kanshi/index.html, 2018 年 12 月 20 日掲載確認
- 19)経済産業省 汚染水処理対策委員会, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku.html#osensuitaisaku_mit, 2018

報告書の内容をさらに理解していただくために、報告書の作成に活用した公開資料を各節の文末に示した。

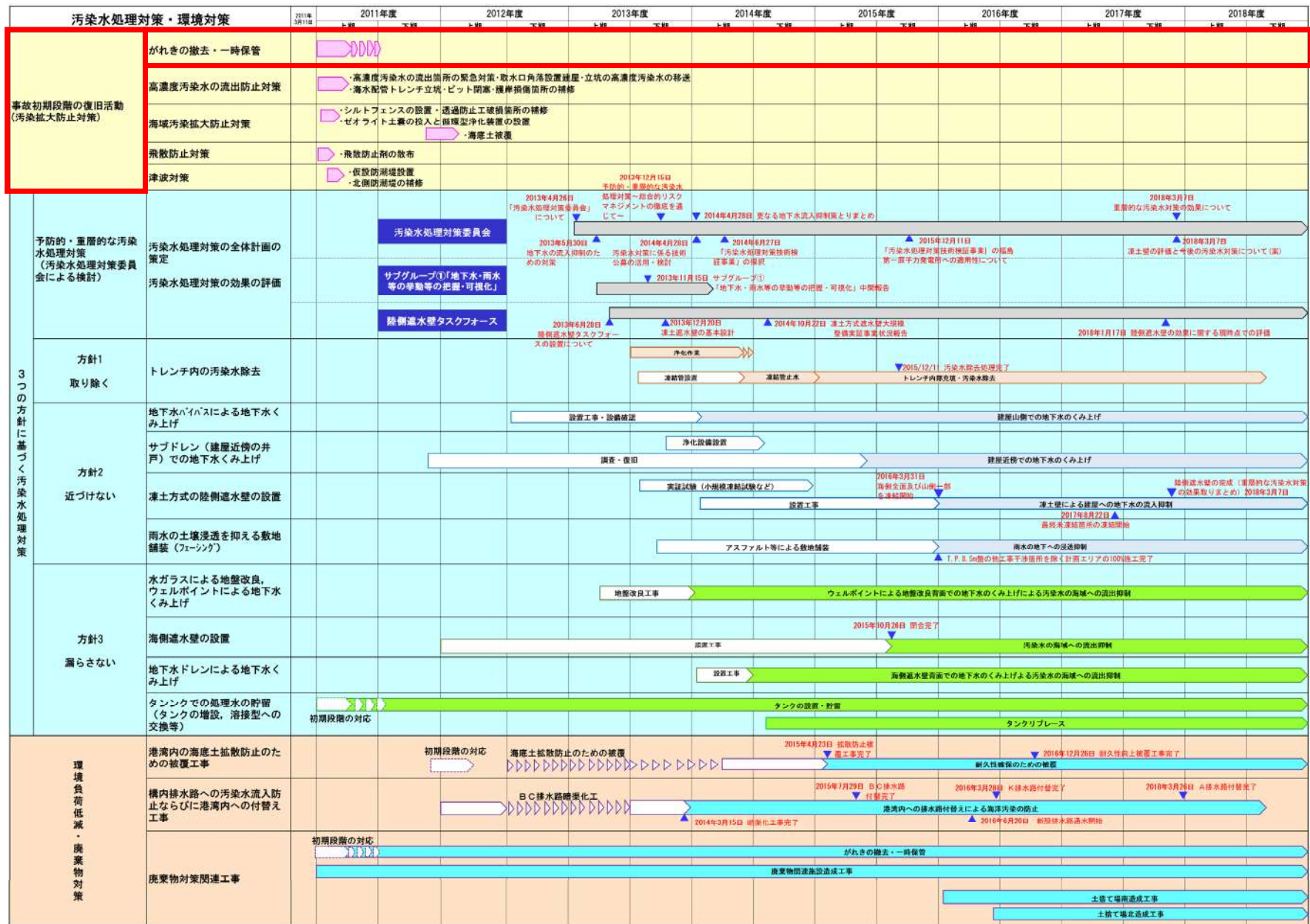
- 年 12 月 20 日掲載確認
- 20)経済産業省 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku.html#task_force, 2018 年 12 月 20 日掲載確認
- 21)鹿島建設(2014):凍土造成解析 検討の流れとフィティング解析結果について, 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 11 回), 2014 年 7 月 15 日, 資料 3, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140715/140715_01e.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 22)汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(2014):陸側遮水壁タスクフォースにおける検討状況について, 汚染水処理対策委員会(第 12 回), 平成 26 年 4 月 28 日, 資料 2-1, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140428/140428_01d.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 23)東京電力, 鹿島建設(2014):凍土方式遮水壁の設置工事における地下埋設物等への考慮について(1/4), 平成 26 年 6 月 6 日, 原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会(第 23 回), 資料 1, <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11451236/www.nsr.go.jp/data/000051100.pdf>, 2018 年 12 月 1 日掲載確認
- 24)東京電力, 鹿島建設(2014):凍土遮水壁 閉合手順の検討, 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 13 回), 2014 年 10 月 22 日, 資料 2, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/141022/141022_01d.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 25)原子力規制庁(2015):陸側遮水壁等の地下水流入抑制対策に関する論点整理, 原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会(第 38 回), 平成 27 年 12 月 18 日, 資料 1-1, <https://www.nra.go.jp/data/000133827.pdf>, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 26)東京電力, 鹿島建設(2015):陸側遮水壁閉合後の水位管理について, 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 14 回), 2015 年 3 月 3 日, 資料 4-1, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150303/150303_01f.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 27)東京電力, 鹿島建設(2015):陸側遮水壁閉合後の水位管理について 参考資料, 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 14 回), 2015 年 3 月 3 日, 資料 4-2, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150303/150303_01g.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 28)東京電力, 鹿島建設(2015):建屋への地下水流入抑制策についてー各対策の実施手順と水位管理ー, 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 15 回), 2015 年 5 月 20 日, 資料 2, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/rikugawa_tusk/pdf/150520_01f.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認
- 29)東京電力(2015):試験凍結に関する報告, 汚染水処理対策委員会 陸側遮水壁タスクフォース(第 17 回), 2015 年 11 月 17 日, 資料 3,

1.2 事故直後から現在までに発生したトラブルや取組み (P2~)

読者の理解促進を図るため、報告書の導入として東京電力のホームページで1Fの廃炉作業の進捗等を紹介している「**廃炉への軌跡**」を編集して、事故直後から2018年10月までに発生した様々なトラブルや進捗した取組み、さらに土木分野が関わった取組みを経時的に紹介した。

表 1-1 事故直後から2018年10月までに発生した様々なトラブルや進捗した取組み

2011年	3.11	3.11	3.11	3.12	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20	3.21	3.22	3.23	3.24	3.25	3.26	3.27	3.28	3.29	3.30	3.31	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11	4.12	4.13	4.14	4.15	4.16	4.17	4.18	4.19	4.20	4.21	4.22	4.23	4.24	4.25	4.26	4.27	4.28	4.29	4.30	4.31	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10	5.11	5.12	5.13	5.14	5.15	5.16	5.17	5.18	5.19	5.20	5.21	5.22	5.23	5.24	5.25	5.26	5.27	5.28	5.29	5.30	5.31	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.10	6.11	6.12	6.13	6.14	6.15	6.16	6.17	6.18	6.19	6.20	6.21	6.22	6.23	6.24	6.25	6.26	6.27	6.28	6.29	6.30	6.31	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10	7.11	7.12	7.13	7.14	7.15	7.16	7.17	7.18	7.19	7.20	7.21	7.22	7.23	7.24	7.25	7.26	7.27	7.28	7.29	7.30	7.31	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.10	8.11	8.12	8.13	8.14	8.15	8.16	8.17	8.18	8.19	8.20	8.21	8.22	8.23	8.24	8.25	8.26	8.27	8.28	8.29	8.30	8.31	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	9.10	9.11	9.12	9.13	9.14	9.15	9.16	9.17	9.18	9.19	9.20	9.21	9.22	9.23	9.24	9.25	9.26	9.27	9.28	9.29	9.30	9.31	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	10.10	10.11	10.12	10.13	10.14	10.15	10.16	10.17	10.18	10.19	10.20	10.21	10.22	10.23	10.24	10.25	10.26	10.27	10.28	10.29	10.30	10.31	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	11.10	11.11	11.12	11.13	11.14	11.15	11.16	11.17	11.18	11.19	11.20	11.21	11.22	11.23	11.24	11.25	11.26	11.27	11.28	11.29	11.30	11.31	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	12.10	12.11	12.12	12.13	12.14	12.15	12.16	12.17	12.18	12.19	12.20	12.21	12.22	12.23	12.24	12.25	12.26	12.27	12.28	12.29	12.30	12.31	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	13.10	13.11	13.12	13.13	13.14	13.15	13.16	13.17	13.18	13.19	13.20	13.21	13.22	13.23	13.24	13.25	13.26	13.27	13.28	13.29	13.30	13.31	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	14.7	14.8	14.9	14.10	14.11	14.12	14.13	14.14	14.15	14.16	14.17	14.18	14.19	14.20	14.21	14.22	14.23	14.24	14.25	14.26	14.27	14.28	14.29	14.30	14.31	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	15.10	15.11	15.12	15.13	15.14	15.15	15.16	15.17	15.18	15.19	15.20	15.21	15.22	15.23	15.24	15.25	15.26	15.27	15.28	15.29	15.30	15.31	16.1	16.2	16.3	16.4	16.5	16.6	16.7	16.8	16.9	16.10	16.11	16.12	16.13	16.14	16.15	16.16	16.17	16.18	16.19	16.20	16.21	16.22	16.23	16.24	16.25	16.26	16.27	16.28	16.29	16.30	16.31	17.1	17.2	17.3	17.4	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9	17.10	17.11	17.12	17.13	17.14	17.15	17.16	17.17	17.18	17.19	17.20	17.21	17.22	17.23	17.24	17.25	17.26	17.27	17.28	17.29	17.30	17.31	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5	18.6	18.7	18.8	18.9	18.10	18.11	18.12	18.13	18.14	18.15	18.16	18.17	18.18	18.19	18.20	18.21	18.22	18.23	18.24	18.25	18.26	18.27	18.28	18.29	18.30	18.31	19.1	19.2	19.3	19.4	19.5	19.6	19.7	19.8	19.9	19.10	19.11	19.12	19.13	19.14	19.15	19.16	19.17	19.18	19.19	19.20	19.21	19.22	19.23	19.24	19.25	19.26	19.27	19.28	19.29	19.30	19.31	20.1	20.2	20.3	20.4	20.5	20.6	20.7	20.8	20.9	20.10	20.11	20.12	20.13	20.14	20.15	20.16	20.17	20.18	20.19	20.20	20.21	20.22	20.23	20.24	20.25	20.26	20.27	20.28	20.29	20.30	20.31	21.1	21.2	21.3	21.4	21.5	21.6	21.7	21.8	21.9	21.10	21.11	21.12	21.13	21.14	21.15	21.16	21.17	21.18	21.19	21.20	21.21	21.22	21.23	21.24	21.25	21.26	21.27	21.28	21.29	21.30	21.31	22.1	22.2	22.3	22.4	22.5	22.6	22.7	22.8	22.9	22.10	22.11	22.12	22.13	22.14	22.15	22.16	22.17	22.18	22.19	22.20	22.21	22.22	22.23	22.24	22.25	22.26	22.27	22.28	22.29	22.30	22.31	23.1	23.2	23.3	23.4	23.5	23.6	23.7	23.8	23.9	23.10	23.11	23.12	23.13	23.14	23.15	23.16	23.17	23.18	23.19	23.20	23.21	23.22	23.23	23.24	23.25	23.26	23.27	23.28	23.29	23.30	23.31	24.1	24.2	24.3	24.4	24.5	24.6	24.7	24.8	24.9	24.10	24.11	24.12	24.13	24.14	24.15	24.16	24.17	24.18	24.19	24.20	24.21	24.22	24.23	24.24	24.25	24.26	24.27	24.28	24.29	24.30	24.31	25.1	25.2	25.3	25.4	25.5	25.6	25.7	25.8	25.9	25.10	25.11	25.12	25.13	25.14	25.15	25.16	25.17	25.18	25.19	25.20	25.21	25.22	25.23	25.24	25.25	25.26	25.27	25.28	25.29	25.30	25.31	26.1	26.2	26.3	26.4	26.5	26.6	26.7	26.8	26.9	26.10	26.11	26.12	26.13	26.14	26.15	26.16	26.17	26.18	26.19	26.20	26.21	26.22	26.23	26.24	26.25	26.26	26.27	26.28	26.29	26.30	26.31	27.1	27.2	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9	27.10	27.11	27.12	27.13	27.14	27.15	27.16	27.17	27.18	27.19	27.20	27.21	27.22	27.23	27.24	27.25	27.26	27.27	27.28	27.29	27.30	27.31	28.1	28.2	28.3	28.4	28.5	28.6	28.7	28.8	28.9	28.10	28.11	28.12	28.13	28.14	28.15	28.16	28.17	28.18	28.19	28.20	28.21	28.22	28.23	28.24	28.25	28.26	28.27	28.28	28.29	28.30	28.31	29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.7	29.8	29.9	29.10	29.11	29.12	29.13	29.14	29.15	29.16	29.17	29.18	29.19	29.20	29.21	29.22	29.23	29.24	29.25	29.26	29.27	29.28	29.29	29.30	29.31	30.1	30.2	30.3	30.4	30.5	30.6	30.7	30.8	30.9	30.10	30.11	30.12	30.13	30.14	30.15	30.16	30.17	30.18	30.19	30.20	30.21	30.22	30.23	30.24	30.25	30.26	30.27	30.28	30.29	30.30	30.31	31.1	31.2	31.3	31.4	31.5	31.6	31.7	31.8	31.9	31.10	31.11	31.12	31.13	31.14	31.15	31.16	31.17	31.18	31.19	31.20	31.21	31.22	31.23	31.24	31.25	31.26	31.27	31.28	31.29	31.30	31.31	32.1	32.2	32.3	32.4	32.5	32.6	32.7	32.8	32.9	32.10	32.11	32.12	32.13	32.14	32.15	32.16	32.17	32.18	32.19	32.20	32.21	32.22	32.23	32.24	32.25	32.26	32.27	32.28	32.29	32.30	32.31	33.1	33.2	33.3	33.4	33.5	33.6	33.7	33.8	33.9	33.10	33.11	33.12	33.13	33.14	33.15	33.16	33.17	33.18	33.19	33.20	33.21	33.22	33.23	33.24	33.25	33.26	33.27	33.28	33.29	33.30	33.31	34.1	34.2	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.8	34.9	34.10	34.11	34.12	34.13	34.14	34.15	34.16	34.17	34.18	34.19	34.20	34.21	34.22	34.23	34.24	34.25	34.26	34.27	34.28	34.29	34.30	34.31	35.1	35.2	35.3	35.4	35.5	35.6	35.7	35.8	35.9	35.10	35.11	35.12	35.13	35.14	35.15	35.16	35.17	35.18	35.19	35.20	35.21	35.22	35.23	35.24	35.25	35.26	35.27	35.28	35.29	35.30	35.31	36.1	36.2	36.3	36.4	36.5	36.6	36.7	36.8	36.9	36.10	36.11	36.12	36.13	36.14	36.15	36.16	36.17	36.18	36.19	36.20	36.21	36.22	36.23	36.24	36.25	36.26	36.27	36.28	36.29	36.30	36.31	37.1	37.2	37.3	37.4	37.5	37.6	37.7	37.8	37.9	37.10	37.11	37.12	37.13	37.14	37.15	37.16	37.17	37.18	37.19	37.20	37.21	37.22	37.23	37.24	37.25	37.26	37.27	37.28	37.29	37.30	37.31	38.1	38.2	38.3	38.4	38.5	38.6	38.7	38.8	38.9	38.10	38.11	38.12	38.13	38.14	38.15	38.16	38.17	38.18	38.19	38.20	38.21	38.22	38.23	38.24	38.25	38.26	38.27	38.28	38.29	38.30	38.31	39.1	39.2	39.3	39.4	39.5	39.6	39.7	39.8	39.9	39.10	39.11	39.12	39.13	39.14	39.15	39.16	39.17	39.18	39.19	39.20	39.21	39.22	39.23	39.24	39.25	39.26	39.27	39.28	39.29	39.30	39.31	40.1	40.2	40.3	40.4	40.5	40.6	40.7	40.8	40.9	40.10	40.11	40.12	40.13	40.14	40.15	40.16	40.17	40.18	40.19	40.20	40.21	40.22	40.23	40.24	40.25	40.26	40.27	40.28	40.29	40.30	40.31	41.1	41.2	41.3	41.4	41.5	41.6	41.7	41.8	41.9	41.10	41.11	41.12	41.13	41.14	41.15	41.16	41.17	41.18	41.19	41.20	41.21	41.22	41.23	41.24	41.25	41.26	41.27	41.28	41.29	41.30	41.31	42.1	42.2	42.3	42.4	42.5	42.6	42.7	42.8	42.9	42.10	42.11	42.12	42.13	42.14	42.15	42.16	42.17	42.18	42.19	42.20	42.21	42.22	42.23	42.24	42.25	42.26	42.27	42.28	42.29	42.30	42.31	43.1	43.2	43.3	43.4	43.5	43.6	43.7	43.8	43.9	43.10	43.11	43.12	43.13	43.14	43.15	43.16	43.17	43.18	43.19	43.20	43.21	43.22	43.23	43.24	43.25	43.26	43.27	43.28	43.29	43.30	43.31	44.1	44.2	44.3	44.4	4
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	---



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）¹³ 本参考系に作成

2.1 構内道路の健全性確認及びがれきの撤去 (P10～)

津波により流された重油タンク等が発電所建屋へのアクセスの障害となり、さらにその後の水素爆発により広範囲に飛び散ったがれきのため、**原子炉の冷却（冷却水の確保、冷却設備の設置、消防車やコンクリートポンプ車等による冷却）**を行うための**アクセス（動線）の確保に支障をきたしていた。**

地震の翌日からがれきの撤去を開始したが、広範囲に飛散した高濃度放射性物質に汚染されたがれき等により、**撤去作業に従事する作業員の被ばく線量が上昇した。**

このため、作業員の被ばく低減を目的として、有人の重機に加え**無人遠隔操作の重機による建屋周辺のがれの撤去**により、**安定した原子炉の冷却が可能となった。**



消防車による注水



コンクリートポンプ車による注水

図 2-3 建屋への注水の状況



構内道路健全性調査
(構内道路状況)



津波で流され道をふさいだ重油タンク
(直径 11.7m×高さ 9.2m)



重油タンクは津波により1号機タービン建屋
北側脇まで漂流

図 2-1 津波発生直後の状況



積み込み



操作車と作業状況

◆Sys1-2 : 1R/B北側周辺 (4/18～21)



施工前



施工後

◆Sys1-3 : 1R/B西側周辺 (4/22～26)

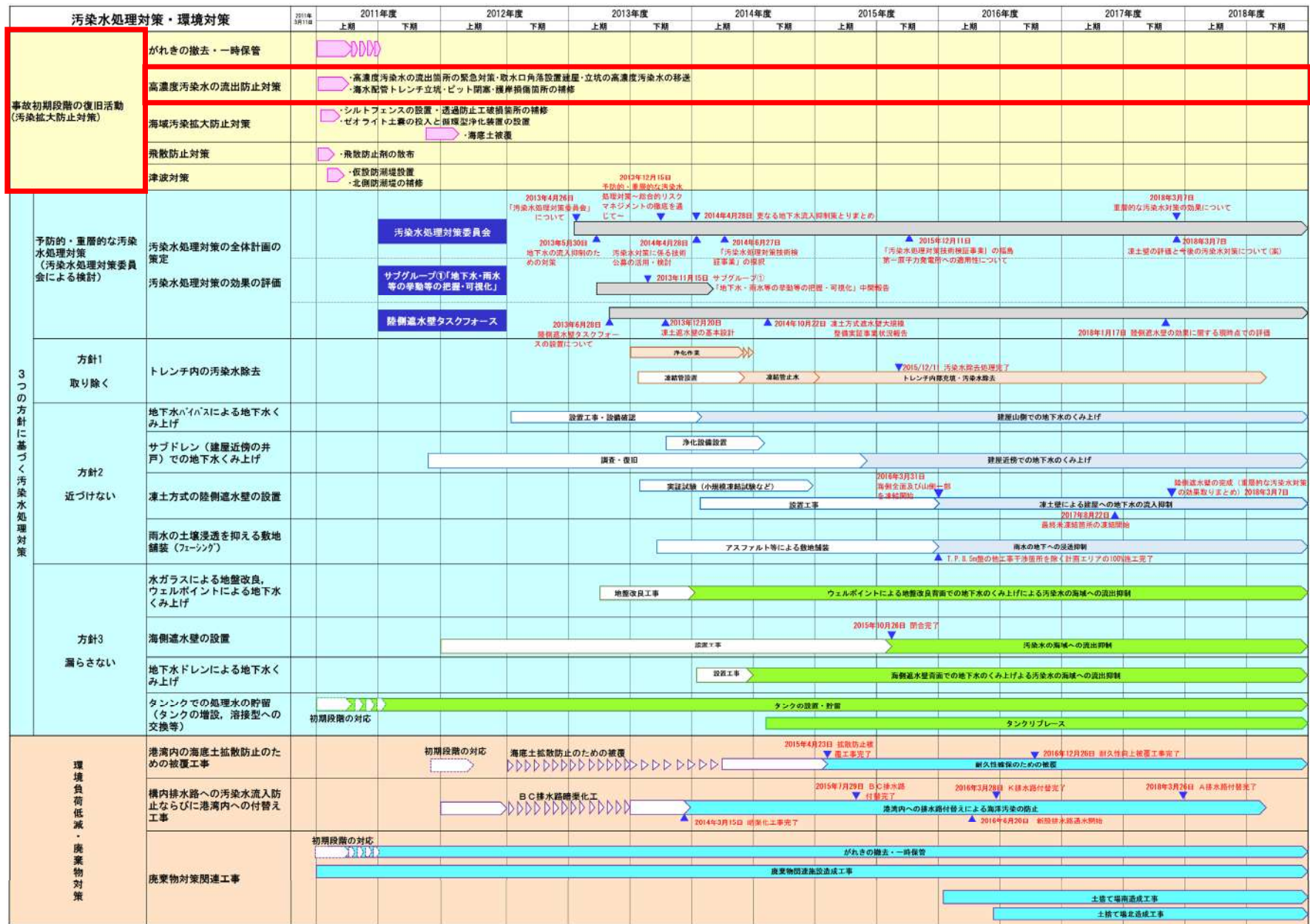


施工前



施工後

図 2-2 がれき撤去の状況



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）¹³ 本参考系に作成

2.2 汚染水の流出防止対策及び海域汚染拡大防止対策 (P12～)

事故直後から実施された主な汚染水の流出防止対策、海域汚染拡大防止対策

汚染水流出箇所の緊急対策



図 2-5 事故直後から実施された主な対策

東京電力作成資料

2.2.1(1)汚染水流出箇所の緊急対策 (P12~)

高濃度汚染水の流出状況

2号機取水口スクリーン室付近の電源ケーブルピット内に表面線量率が1,000mSv/hを超える高濃度汚染水が滞留していること、また、ピット脇のコンクリートの亀裂からスクリーンエリアに高濃度汚染水が流出していることが2013年4月2日に確認された。

3号機取水口スクリーン室付近の電源ケーブルピットへタービン建屋から高濃度汚染水が流入していること、さらにスクリーンエリアへ水が流出していることが2013年5月11日に確認された。



図 2-6 高濃度汚染水の流出状況

高濃度汚染水流出箇所の緊急対策



図 2-9 2号機取水口スクリーン室付近の流出防止対策

2号機取水口スクリーン室付近
ピットへのコンクリート注入、吸水性ポリマー等の投入を行ったが流出を止めることはできなかった。流出経路はピット及び電線ケーブル管ではなく、**電線ケーブル管下の碎石層**である可能性が高いと考えられたため、この碎石層に**水ガラス**を注入した結果、流出が停止したことが確認された。

電源ケーブル下の碎石層

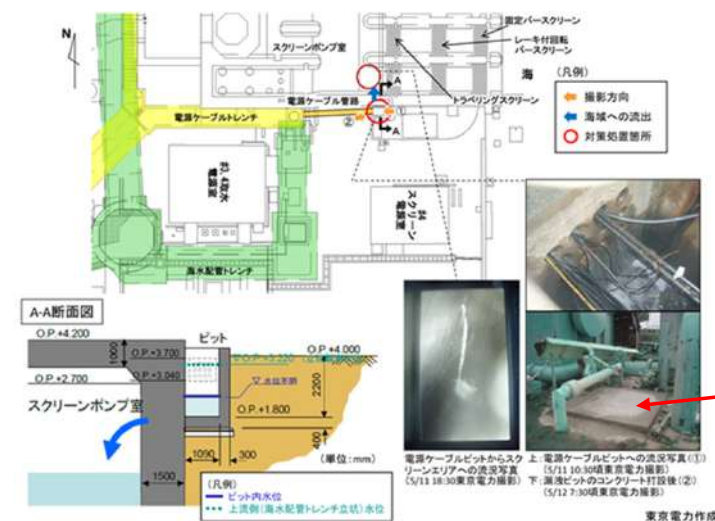


図 2-11 3号機取水口スクリーン室付近の流出防止対策

3号機取水口スクリーン室付近
ピットにつながる電線ケーブル管内のケーブルの撤去、ウエスによる閉塞、**ピット内へのコンクリート注入**を行った結果、流出が停止したことが確認された。

ピットの閉塞

2.2 汚染水の流出防止対策及び海域汚染拡大防止対策 (P12～)

事故直後から実施された主な汚染水の流出防止対策、海域汚染拡大防止対策



立坑・トレンチ・ピットの閉塞

スクリーンポンプ室前面等の閉塞

護岸損傷箇所の補修

東京電力作成資料

図 2-5 事故直後から実施された主な対策

2.2.1(2)汚染水の流出防止対策 (P17～)

高濃度汚染水流出箇所の緊急対策完了後、汚染水流出の再発防止対策立案のため**建屋周辺に存在する立坑・トレンチ・ピットの汚染状況と護岸の状況についての調査**が実施された。

調査結果に基づき、汚染水流出のリスクがある**立坑・トレンチ・ピットの閉塞、スクリーンポンプ室前面等の鋼製・コンクリート製仕切り板（角落とし）による閉塞、護岸損傷箇所の補修等**の対策が実施された。

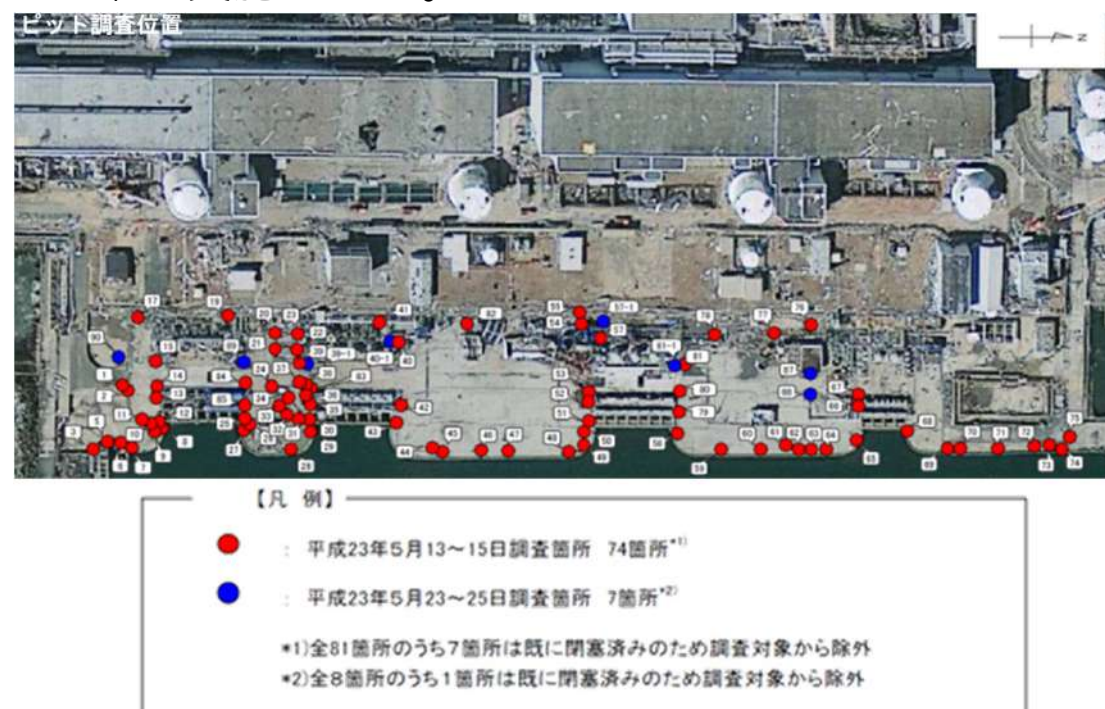


図 2-12 ピットの状況調査位置



2.2.1(2) 汚染水の流出防止対策 (P17～)

(b)立坑・トレンチ・ピットの閉塞

立坑やピット、海水配管トレンチに接続している電源ケーブルトレンチ等、あるいは流路は不明であるが流出経路となる可能性が否定できないピットの合計47箇所の閉塞が実施された。

①コンクリート打設

がれきの状況やコンクリートによる充填性が確保される箇所については、ピットに直接コンクリートを打設する閉塞が実施された。

②水ガラスセメント系薬液注入

流動性の高い水ガラスとセメントを同時注入する工法(LW工法)で閉塞が行われた。



立坑の閉塞状況 (2号機立て坑B)
図 2-14 立坑・トレンチ・ピットの閉塞状況

(c)スクリーンポンプ室前面等の閉塞

1～4号機の各スクリーンポンプ室前面には、**コンクリート製仕切り板（角落とし）**を設置するとともに、2号機については**鉄板の設置**を併用する取水口の閉塞が実施された。

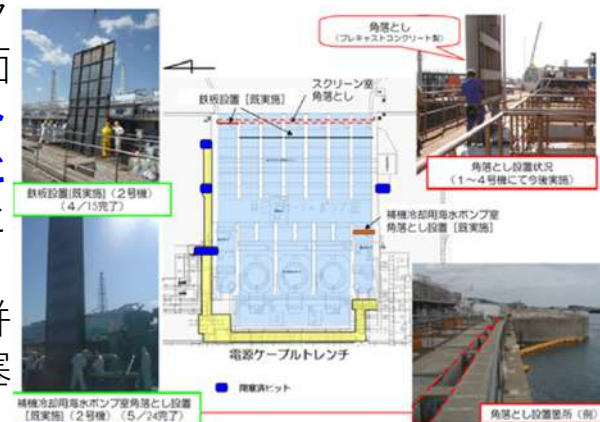


図 2-15 スクリーンポンプ室前面などの閉塞状況 (2号機取水口)

(d)護岸損傷箇所の補修

汚染水が護岸損傷箇所から直接海域へ流出するリスクに備え、護岸の保全を兼ねた**グラウト材の充填による止水対策**が実施された。

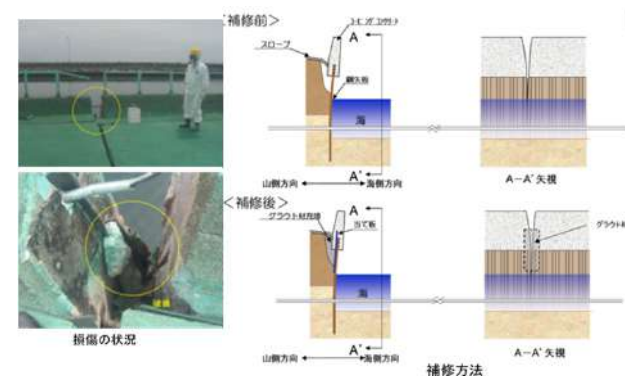
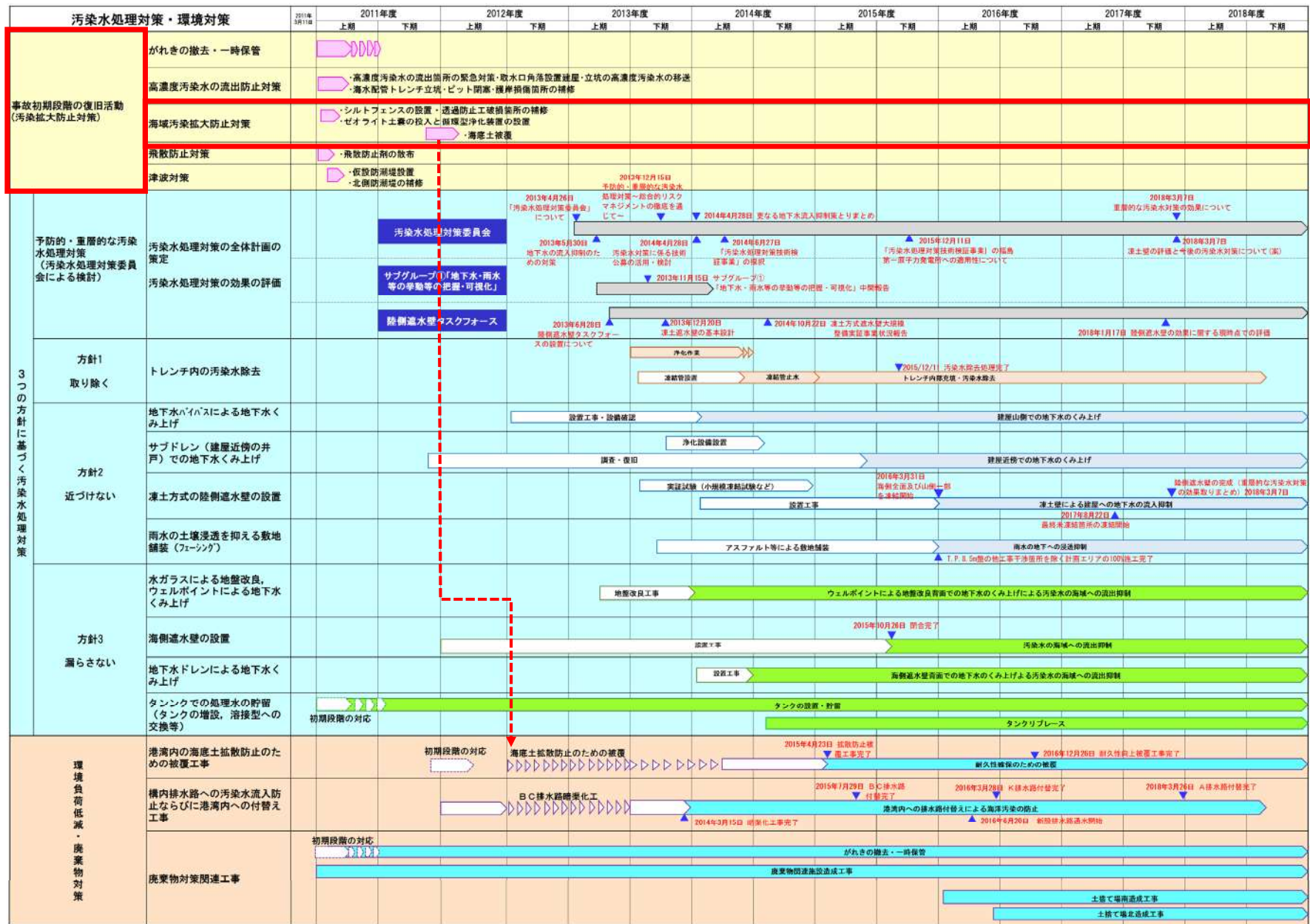


図 2-16 護岸損傷の状況、補修方法



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）¹³ 本参考系に作成

2.2汚染水の流出防止対策及び海域汚染拡大防止対策 (P12～)

事故直後から実施された主な汚染水の流出防止対策、海域汚染拡大防止対策



図 2-5 事故直後から実施された主な対策

東京電力作成資料

2.2.2 海域汚染拡大防止対策 (P22～)

(1)シルトフェンスの設置

1～4号機の取水口前面、ならびに1～4号機取水路開渠北側・南側にシルトフェンスを設置し、**フェンス内側でのシルト等の汚濁粒子の滞留効果を促進させる海域への汚染拡大防止対策**が実施された。



1～4号機取水路開渠北側



2号機取水口前面

図 2-19 シルトフェンス設置状況

(4)海底土の被覆

港湾内の海底土調査の結果、高濃度の放射性物質が確認され、高波浪、潮流や作業船舶の航行等により海底から浮泥が巻き上がり**港口を經由して港湾外への汚染の拡散が懸念された**。

このため、海底土を**固化土により被覆**することにより拡散防止が図られた。施工箇所は、第1期工事として港湾内の5・6号機前、1～4号機取水路開渠の約73,000m²で、未施工箇所については、第2期工事として2014年から工事が実施された（2016年12月完了）。

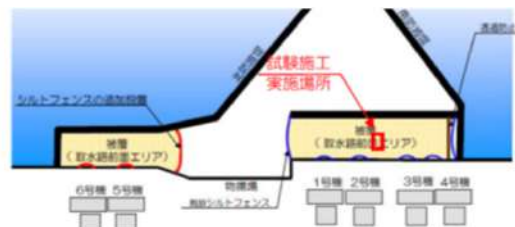


図 2-23 海底土の被覆施工箇所

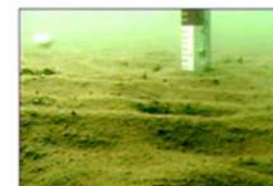
表2-1 被覆材の配合



	配合1m ² あたり				性能確認	
	ベントナイト重量 (kg)	真水重量 (kg)	海水重量 (kg)	セメント重量 (kg)	スラリー水重量 (kg)	被覆材フロー値 (cm)
被覆材A	78.9	434	433	88.6	88.6	1.106
被覆材B	120.4	541.6	173.4	187.7	187.7	1.21



① 1～4号機取水路前面エリアでの現地試験施工の様子
平成24年2月28日



② 被覆前の海底の様子
撮影：平成24年2月6日

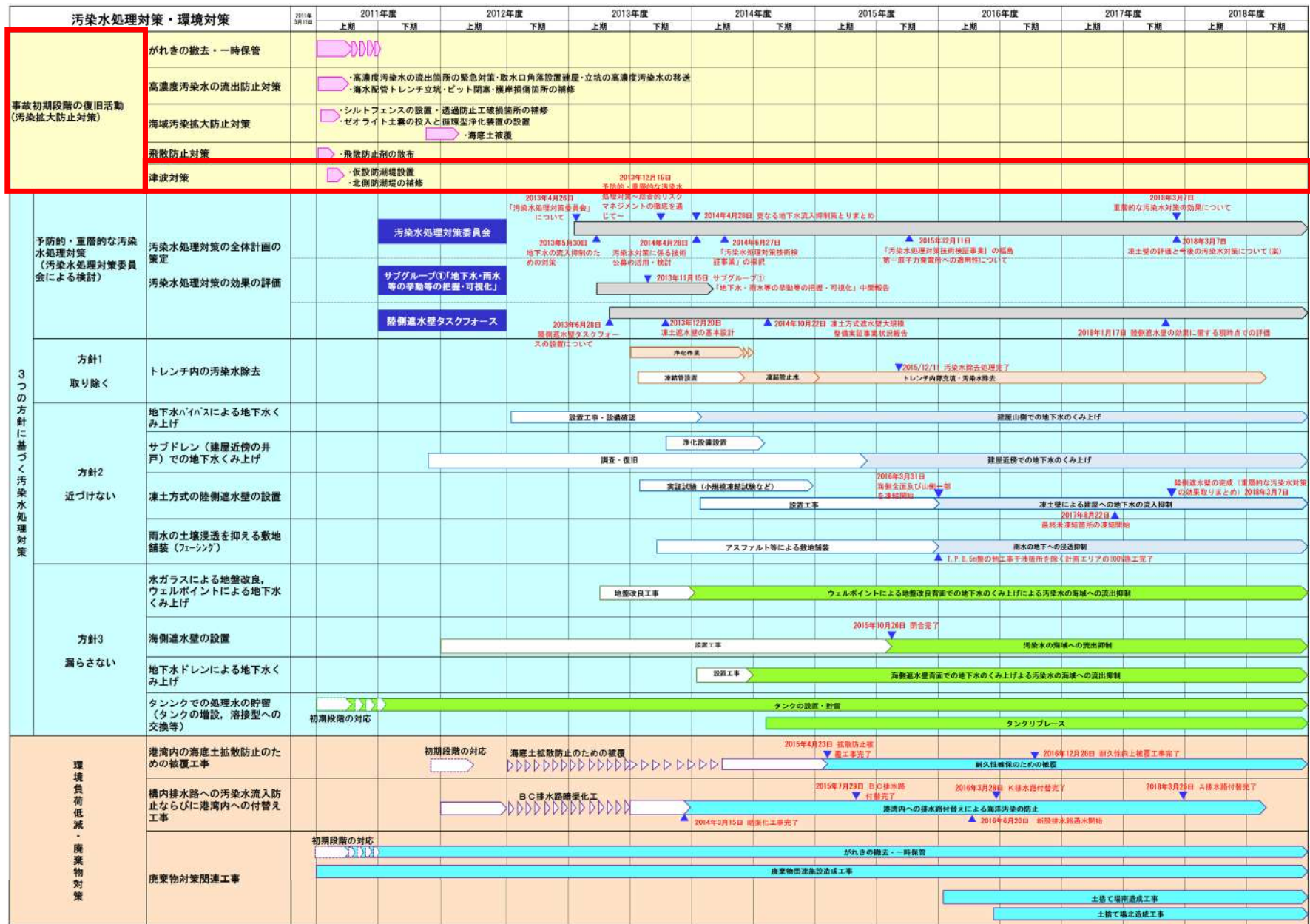


③ 1層目被覆後の海底の様子
撮影：平成24年2月29日



④ 2層目被覆後の海底の様子
撮影：平成24年3月10日

図 2-26 海底土の被覆施工及び海底の状況



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）¹³ 本参考系に作成

2.4.1 仮設防潮堤の設置 (P26～)

東北地方太平洋沖地震の影響による**アウターライズ地震**の発生が専門家によって指摘された。このため、過去に大規模な発生に関する記録はないものの、福島沖の**アウターライズ地震**に伴う津波を想定した対策（**仮設防潮堤**）が実施された。

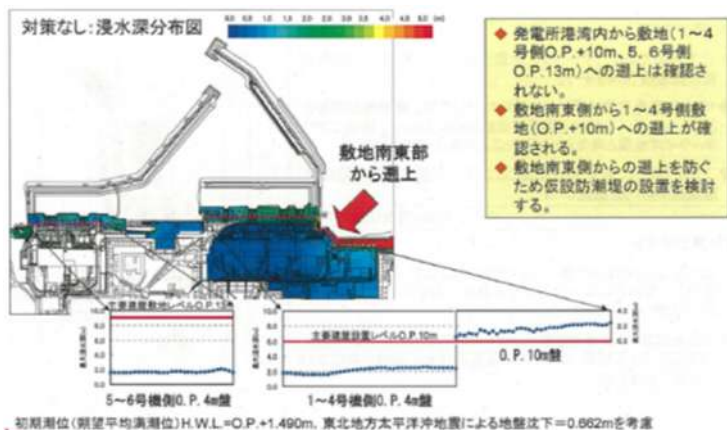


図 2-30 津波解析結果（対策なし）

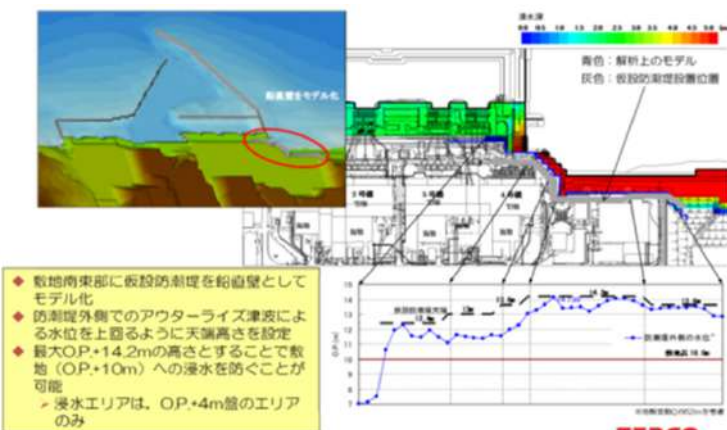


図 2-31 仮設堤防をモデル化した津波解析結果



- 仮設防崩堤は、アウターライズ津波に対して、越流せず、波力に対する安定性を保持するよう設計
- 15m級津波に対しては、越流するものの、フィルターユニットの内容物として、幹石（比重2.6以上）を使用していることから、水より比重が大きく、漂流することはないと評価
- 15m級津波の波力による移動は想定されるものの、周辺に安全上重要な施設等はないことから、影響はないものと評価



図 2-32 設計の考え方と仮設防潮堤の形状

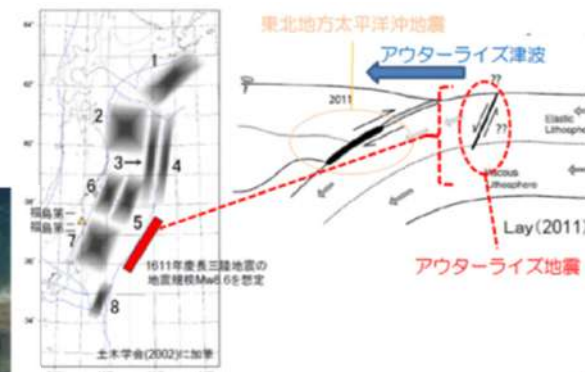
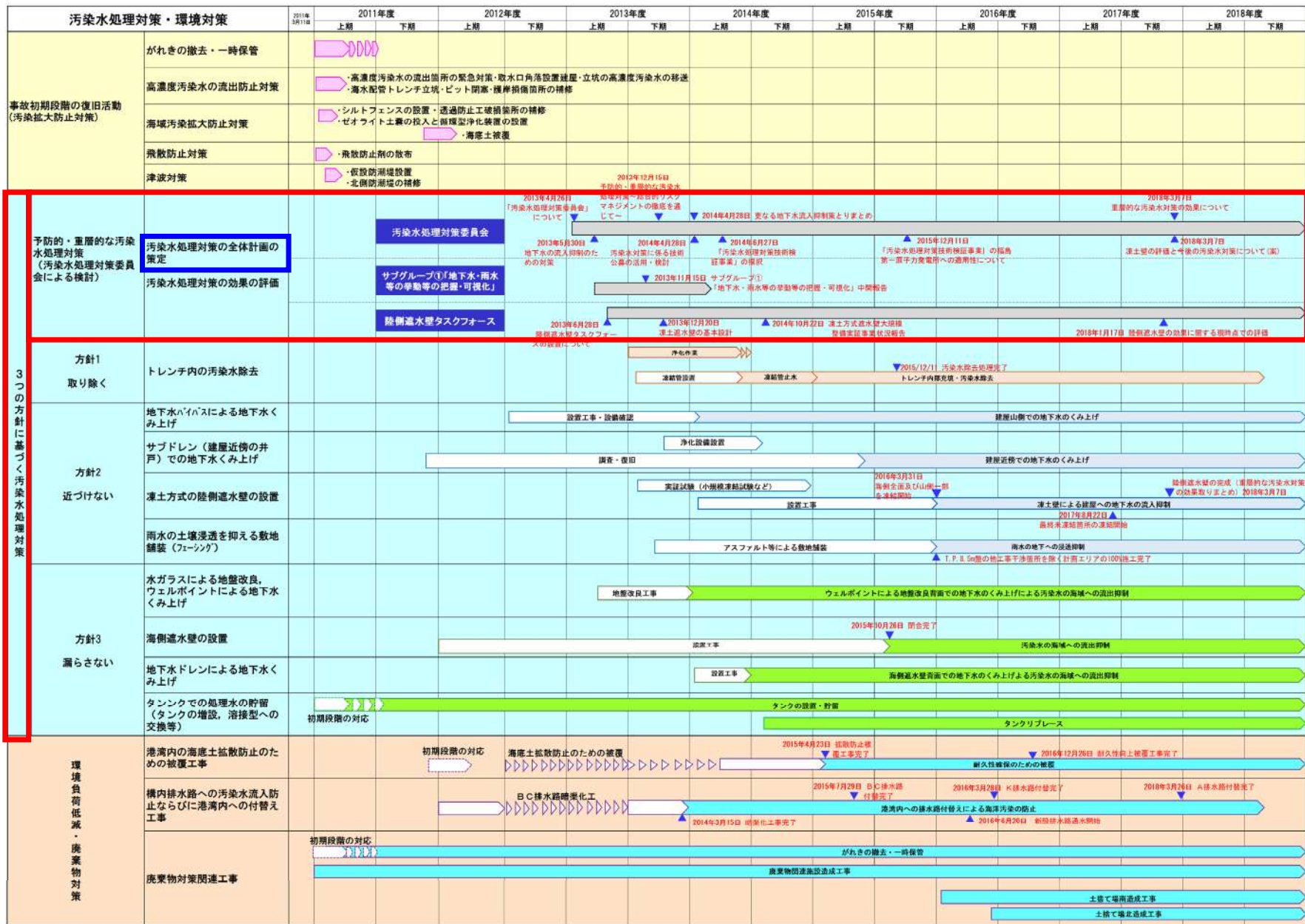


図 2-29 震源の位置



図2-33 仮設防潮堤の施工状況



都築 進(2018): 汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料(2018年7月12日)¹⁾ 本参考系に作成

3.2 汚染水処理対策 3.2.1 全体計画の策定 (P41～)

経済産業省の「汚染水処理対策委員会」の下に設置された小委員会、タスクフォース、サブグループと東京電力によって、汚染水処理対策についての精力的な議論が行われ、「**東京電力(株)福島第一原子力発電所における予防的・重層的な汚染水処理対策～総合的リスクマネジメントの徹底を通じて～(2013年12月)**」とした報告書が取りまとめられ政府に提出された。報告書では、汚染水処理対策の**3つの方針**（**汚染源を取り除く、汚染源に水を近づけない、汚染水を漏らさない**）が示された。

汚染水処理対策は、この3つの方針に基づいた「**汚染水処理対策の全体計画の策定**」や「**個別の対策工の設計・施工**」について、原子力規制委員会、汚染水処理対策委員会での議論を経ながら現場の施工を展開し、**2018年12月時点**でほぼ全ての対策工が完成して稼働している。

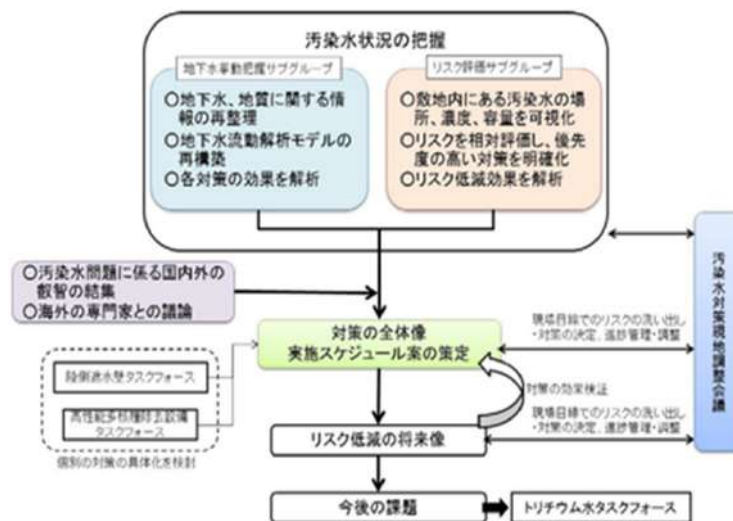


図1-1 汚染水処理対策委員会の構成と検討の流れ

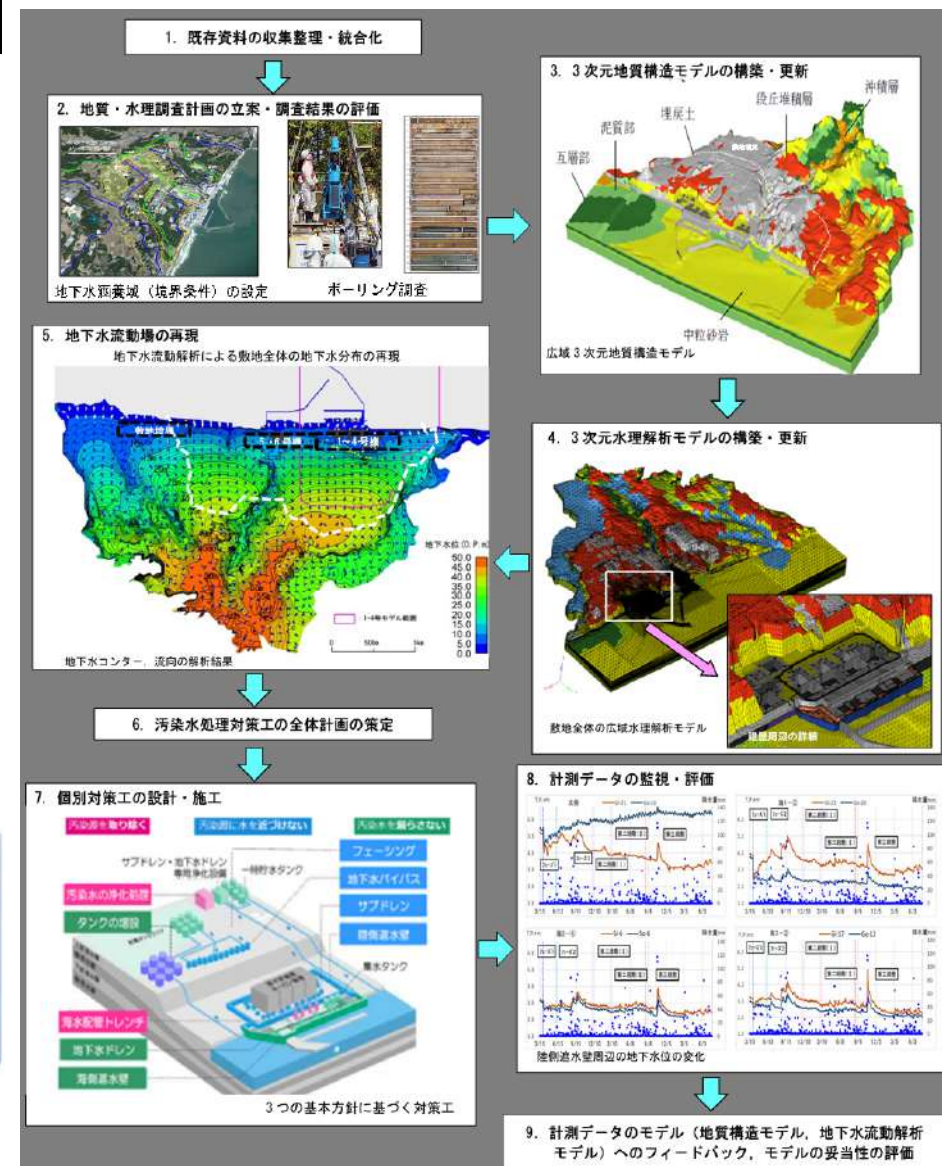
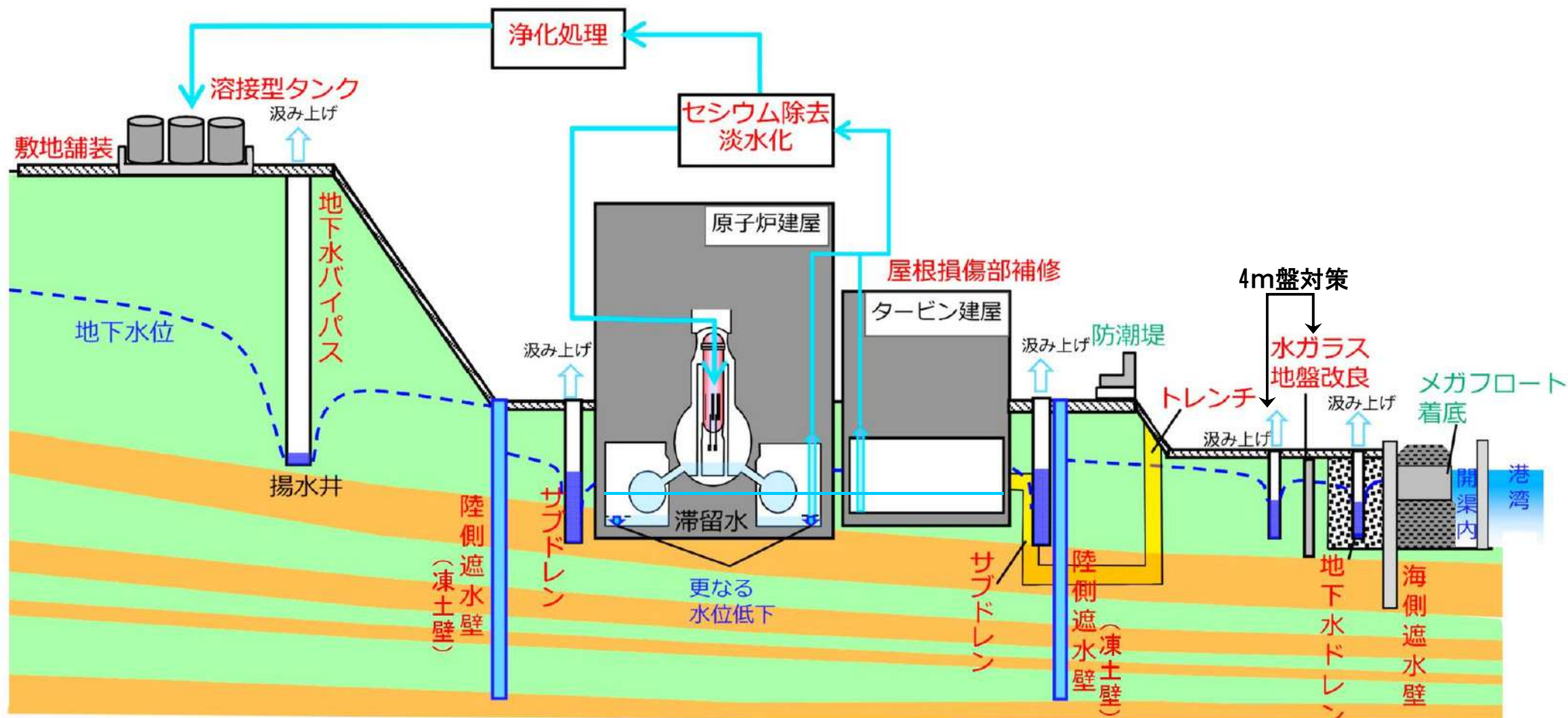


図3-10 汚染水処理対策の検討フロー

3.2 汚染水処理対策 3.2.1 全体計画の策定 (P41～)

主な汚染水処理対策



経済産業省「廃炉・汚染水・処理水対策チーム会合／事務局会議（第90回）」（2021年5月27日）

3.2.1 全体計画の策定 (1)地質・水理地質構造 (P42～)

地質構造

福島第一原子力発電所の敷地を含む周辺地域の地層構成は、地表付近の**段丘堆積物（埋戻し土を含む）**、**中粒砂岩層（Ⅰ層）**、**泥質部（Ⅱ層）**、**互層部（Ⅲ層）**が分布している。さらに下部の**泥質部（Ⅳ層）**の中には、2層の**砂岩層（細粒砂岩層、粗粒砂岩層）**が存在する。

これらの地層は、海側へ約2度で東側（海側）に傾斜し、海域へ連続して分布する。

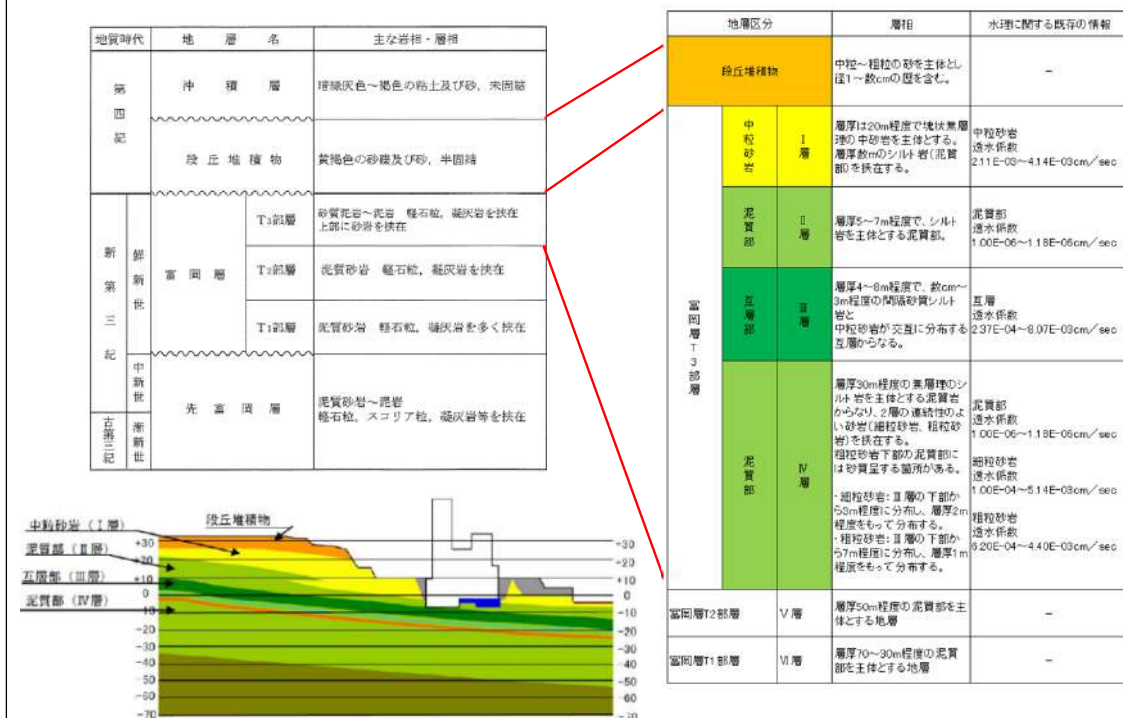


図3-14 福島第一原子力発電所の地質層序

広域3次元地質構造モデルの構築

下記の手順により地下水涵養域までを含めた広域3次元地質構造モデルが構築された。

- ①事故直後の調査ボーリングの実施
- ②既存のボーリングを含めた地質情報の収集整理・統合化による敷地内の地質構造モデルの再構築
- ③過去に実施された広域地表地質調査（敷地外）の地表露頭データと敷地内の地質構造の統合化による広域地質構造モデルの構築

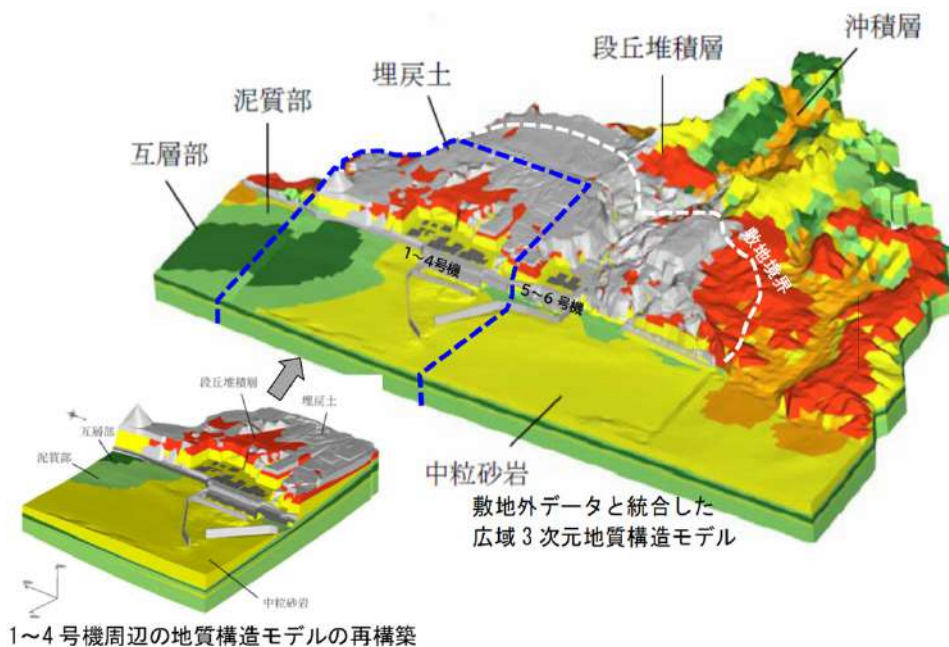


図3-17 広域3次元地質構造モデルの構築

3.2.1 全体計画の策定 (1)地質・水理地質構造 (P42～)

水理地質構造

- 中粒砂岩層(Ⅰ層)：泥質部(Ⅱ)を水理的基盤とする**不圧地下水**(自由地下水面)が分布する砂岩層
- 泥質部(Ⅱ層)：敷地内に欠落なく分布する難透水性の泥岩層
- 互層(Ⅲ層)：泥質部(Ⅱ)をキャップロックとする**被圧地下水**が分布する砂岩・泥岩の互層
- 泥質部(Ⅳ層)：30m以上の層厚をもつ難透水性の泥岩層で、敷地を含む**周辺地域の水理的基盤**となる地層
- 砂岩層（細粒砂岩、粗粒砂岩）：泥質部(Ⅳ層)に分布する**被圧地下水**をもつ連続性の良い細粒砂岩、粗粒砂岩

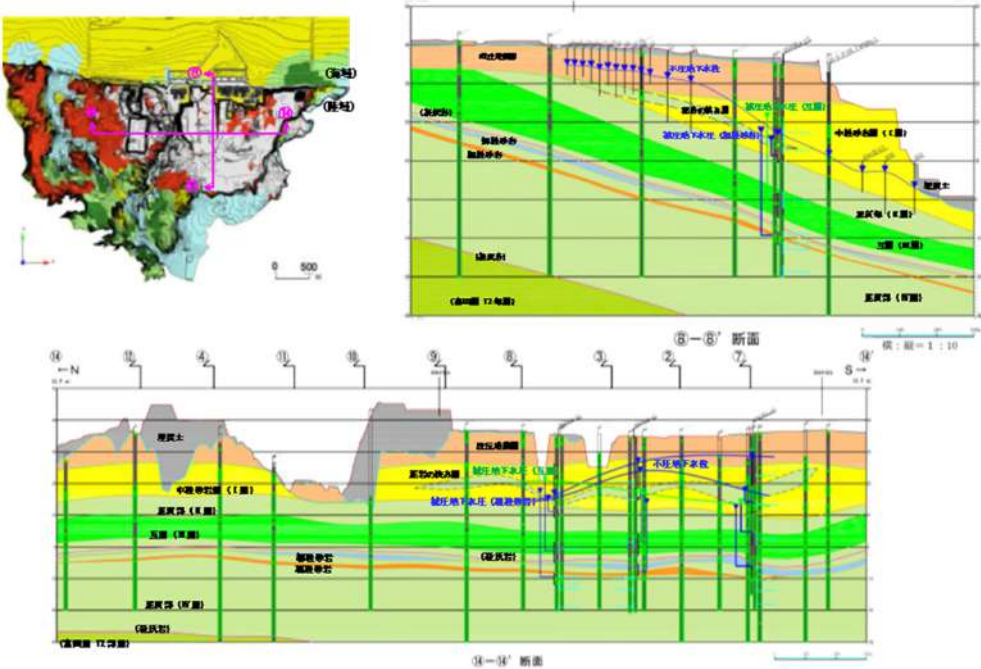


図3-19 地層構成と地下水の分布

中粒砂岩層(Ⅰ層)を流れる**不圧地下水**は、敷地内の雨水の浸透によるものが支配的であること。

互層部(Ⅲ層)を流れる**被圧地下水**は、敷地内の雨水の浸透によるものであるが、一部敷地外から流入する地下水が混在していること。

細粒砂岩層と粗粒砂岩層の深部を流れる**被圧地下水**は、敷地外から流入する地下水が支配的であること。

このうち、汚染水対策を考える上では、**汚染源となる高濃度汚染水が存在するトレンチや建屋がある中粒砂岩層(Ⅰ層)を流れる不圧地下水**が中心的な対象となり、一部において中粒砂岩層(Ⅰ層)の不圧地下水と連絡している**互層部(Ⅲ層)を流れる被圧地下水**にも注目する必要がある。

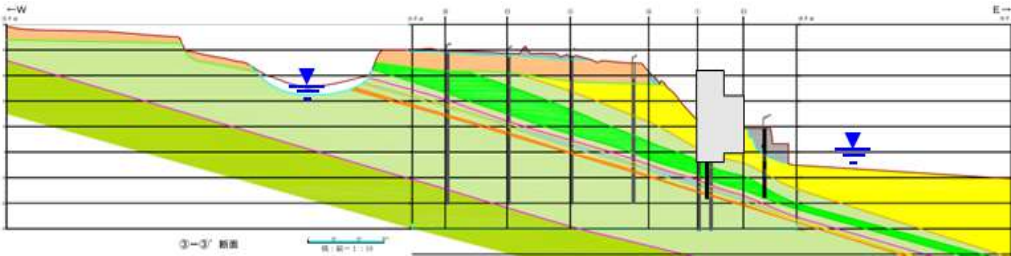


表3-1 各地層の透水性

地層区分	透水係数(cm/sec)		有効間隙率	備考	地層区分	透水係数(cm/sec)		有効間隙率	備考
地層名	水平	鉛直	(実流速度算時)		地層名	水平	鉛直	(実流速度算時)	
盛土	2.8E-03	2.8E-03	0.48		泥質部(Ⅳ層)	1.1E-06	1.1E-06	0.54	
段丘堆積物	3.0E-03	3.0E-03	0.41	中粒砂岩層同様	細粒砂岩	2.3E-03	2.3E-03	0.41	
沖積層	1.0E-03	1.0E-03	0.41	文献値	泥質部(Ⅲ層)	1.1E-06	1.1E-06	0.54	
中粒砂岩(Ⅰ層)	3.0E-03	3.0E-03	0.41		粗粒砂岩	2.0E-03	2.0E-03	0.41	
泥質部(Ⅱ層)	1.1E-06	1.1E-06	0.54		泥質部(Ⅱ層)	1.1E-06	1.1E-06	0.54	
互層(Ⅲ層)	1.0E-03	1.1E-06	0.41	異方性考慮					

3.2.1 全体計画の策定 (2) 地下水流動場の評価 (P51～)

広域3次元地質構造モデルに基づく地層分布、地下水流動や地下水の建屋への流入量、地下水の汲上げ効果等に影響及ぼすと考えられる構造物や地下水汲上げ設備、止水対策工等を可能な限り正確に反映した**3次元水理解析モデル**を構築した。

3次元水理解析モデルによる定常浸透流解析では、**地下水位の実測データがある程度良好に再現されていること**、さらに、**事故前・後の建屋周囲のサブドレンの地下水汲上げ量も比較的良い対応関係が見られた**。

また、**解析モデル、解析条件のチェック**を日本原子力研究開発機構（JAEA）に依頼し、その結果、解析モデル、解析条件は概ね妥当と判断された。

このため、**この解析モデルと解析条件を用いた地下水流動解析結果は、実施すべき対策やその効果等を検討する上で有効と判断し、以降の汚染水処理対策の諸検討に用いられた**。

なお、逐次取得される地質・水理情報や地下水流動に影響を及ぼす地中埋設物、さらに対策工の詳細な情報などを継続的に地質構造モデル、水理解析モデルに反映する**モデルの更新を適宜実施している**。

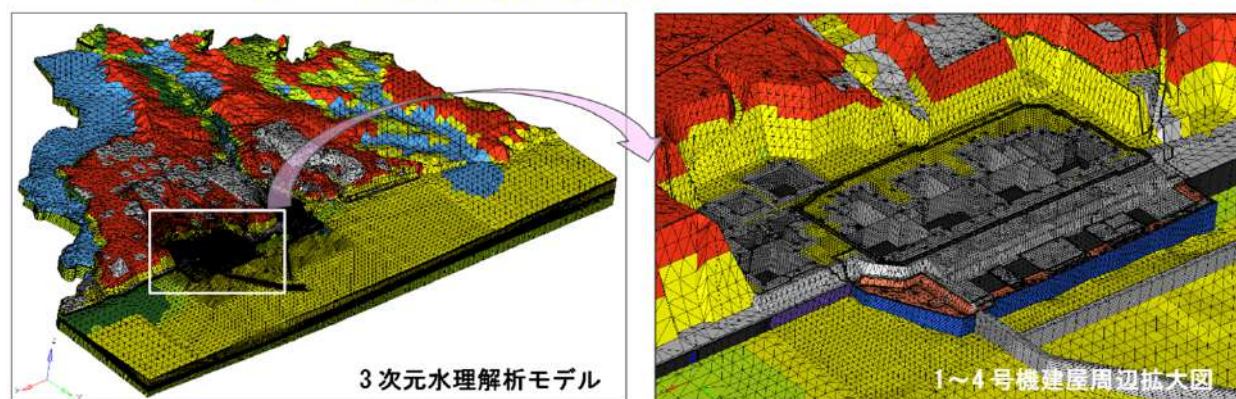


図3-22 解析モデルの鳥瞰図

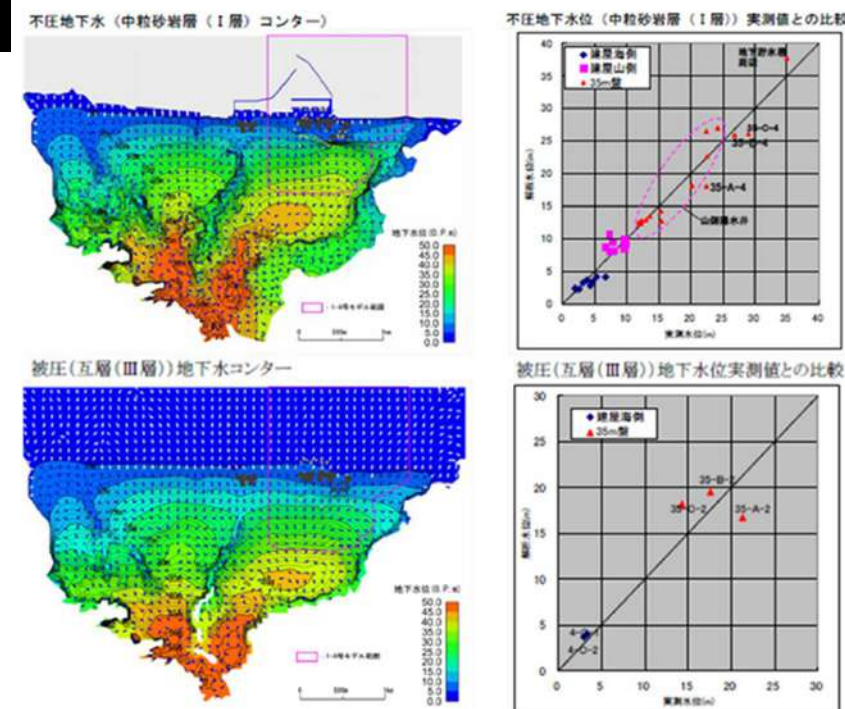


図3-23 地下水位の実測データと解析値の比較

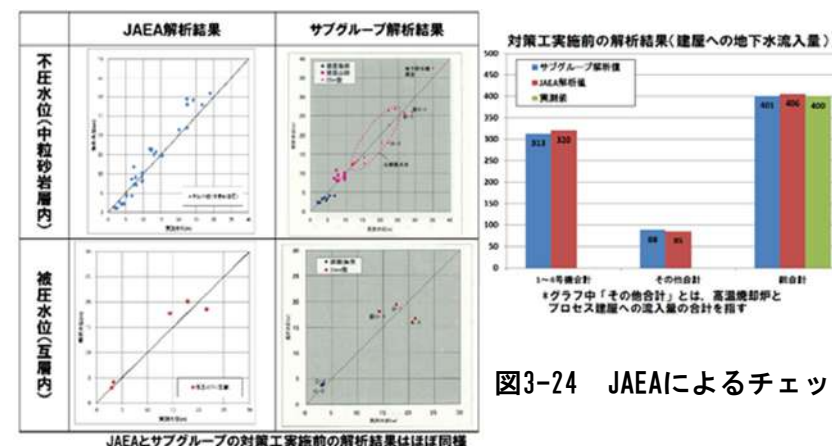


図3-24 JAEAによるチェック

3.2.1 全体計画の策定 (3) 予防的・重層的な汚染水処理対策の検討方針 (P55～)

汚染水処理対策は、汚染源を「**取り除く**」、汚染源に水を「**近づけない**」、汚染水を「**漏らさない**」の3つ対策に大別できる。

(a)汚染源を「取り除く」対策

建屋海側 **トレンチ内の高濃度汚染水の汲上げ・閉塞**

(b)汚染源に水を「近づけない」対策、汚染水を「漏らさない」対策（地下水流動に影響を及ぼすもの）

各対策を個別・組合せで実施した場合の効果を水理解析モデルを用いた浸透流解析（定常）により把握し、**地下水バイパス**、**海側遮水壁**、**地下水ドレン（護岸付近の揚水施設）**、**サブドレン**、**陸側遮水壁**が完全に機能すれば、地下水の建屋への流入量を相当程度軽減できること、また、**広域的なフェーシングによる表面遮水**の効果は大きいことが確認された。

(c)汚染水を「漏らさない」対策

フランジ型タンクの溶接型タンクへのリプレース、**溶接型タンクの増設**
タンクエリアの堰のかさ上げ、構内排水路の暗渠化、地表水の排水口ルートを変更、建屋の止水性向上

表3-3 解析ケース、解析結果

ケース	対策工						建屋への流入量 (トン/日)		くみ上げ量 (トン/日)		くみ上げ量内 (トン/日)	
	4m 壁 対策	地下 水 バイ パス	海側 遮水 壁	山側 SD	山側 SD	陸側 遮水 壁	合計	1-4 号機 建屋	くみ 上げ 量 (トン/日)	くみ 上げ 量 (トン/日)	地下 水 バイ パス	地下 水 ドレン (2号)
対照							400	310	290	400		
ケース1	●						410	320	220	460		50
ケース2	●	●					390 330 290	300 250 210	220 200 210	900 1210 1130	460 840 790	50 40 50
ケース3	●		●				400	320	0	750		350
ケース4	●			●			140	90	190	1000	820	40
ケース5	●				●		120	80	180	1070	920	30
ケース6	●					●	130	30	100	140		10
ケース7	●					● 約2.0km ²	130	110	90	130		
ケース8	●					● 約2.0km ²	160	130	100	160		
ケース9	●					● 約2.0km ²	300	240	170	330		30
ケース10	●					● 約2.0km ²	170	130	140	190		20
ケース11	●					● 敷地 敷内側	420	330	220	470		50
ケース12	●	●		●	●		70	0	0	1020	500	310
ケース13	●	●		●	●		130	30	0	270		140
ケース14	●	●		●	●		130	30	0	770	500	140
ケース15	●	●		●	●		60	20	0	1770	330	1230
ケース16	●	●		●	●		30	0	0	400	130	140
ケース17	●	●		●	●		30	0	0	320	140	130
ケース18	●	●		●	●		110	30	0	200		90
ケース19	●	●		●	●		100	30	0	340	150	90
ケース20	●	●		●	●		60	40	0	550	10	440
ケース21	●	●		●	●		60	40	0	590	20	490

表3-4 廃炉・汚染水問題の追加対策

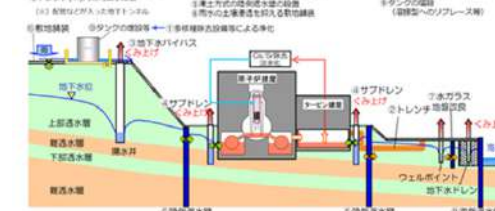
廃炉・汚染水問題に関する予防的・重層的な追加対策(案)

資料1-1

1. 汚染水問題に対する予防的・重層的な追加対策の実施

①汚染源を「取り除く」	②汚染源に水を「近づけない」	③汚染水を「漏らさない」
これまでの主な対策: - トレンチ内の汚染水のくみ上げ・閉塞 - 多核種除去設備(ALPS)による汚染水浄化 - 国費によるより高性能な多核種除去設備 主な追加対策: - 多核種除去設備の増設 - タンク漏えい水対策 (土壌中のストロンチウム捕集) - 港湾内の海水の浄化	これまでの主な対策: - 地下水バイパス - 建屋近傍の井戸(サブドレン)での汲上げ - 国費による運土方式の陸側遮水壁 - 建屋海側の舗装 主な追加対策: 「広域的な舗装(表面遮水)」又は「追加的な遮水とその内側の舗装」 (土地表面の除染等の最長距離も考慮) - タンク天板への雨どいの設置	これまでの主な対策: - 水ガラスによる地盤改良 - 海側遮水壁 - タンクの増設(ボルト締め型タンクから溶接型タンクへのリプレース) 主な追加対策: - 溶接型タンクの設置加速 - 大規模津波対策(建屋防水扉等) - 建屋からの汚染水の漏えいの防止 - 汚染水移送ループの縮小

- ▶ 特に、**汚染水貯水タンクの増設**については、溶接型タンクの設置加速を進めるとともに、地震による液体表面の揺れ等に備えて十分なタンク容量を確保するため、関係事業者の協力を促す等、官民を挙げて可能な限り加速化が必要がある。
- ▶ 追加対策についても、港湾内の海水の浄化技術や土壌中の放射性物質除去技術など**技術的難易度が高いもの**は、平成25年度補正予算を活用し、技術的検証等の取り組みを進めていく。
- ▶ なおリスクが残存する**トリチウム水**について、あらゆる選択肢について、総合的な評価を早急に実施し、対策を検討する。



3.2.1 全体計画の策定 (3) 予防的・重層的な汚染水処理対策の検討方針 (P55～)

汚染水処理対策委員会は、**対策案の施工の可能性・難易度(施工性)**、**効果発現までの時間**に着目した検討を実施している。さらに、サブドレン・陸側遮水壁が機能しない場合も想定し、**重層的な対策**の検討を行っている。

検討に当たっては、現場の条件を考慮する必要があることから、現場での施工に関する知見と経験を有する委員（日本建設業連合会）を加え、**他工事との関係や地形条件等を考慮した施工の可能性・難易度(施工性)**に着目した評価、

ならびに対策工の組合せや範囲・形状などを地下水流動解析により**効果発現までの時間について評価**している。

検討の結果、建屋への地下水流入量抑制の観点からは、**サブドレン、陸側遮水壁に代替できる対策はないと評価され、効果発現までの時間を考慮すると、陸側遮水壁の構築(及びサブドレンの復旧)を最優先で実施すべきことが再確認された。**

また、**サブドレン・陸側遮水壁が機能しないこと**想定した場合、**重層的な対策として「広域的なフェーシング+地下水バイパス」**がより優位であると結論している。

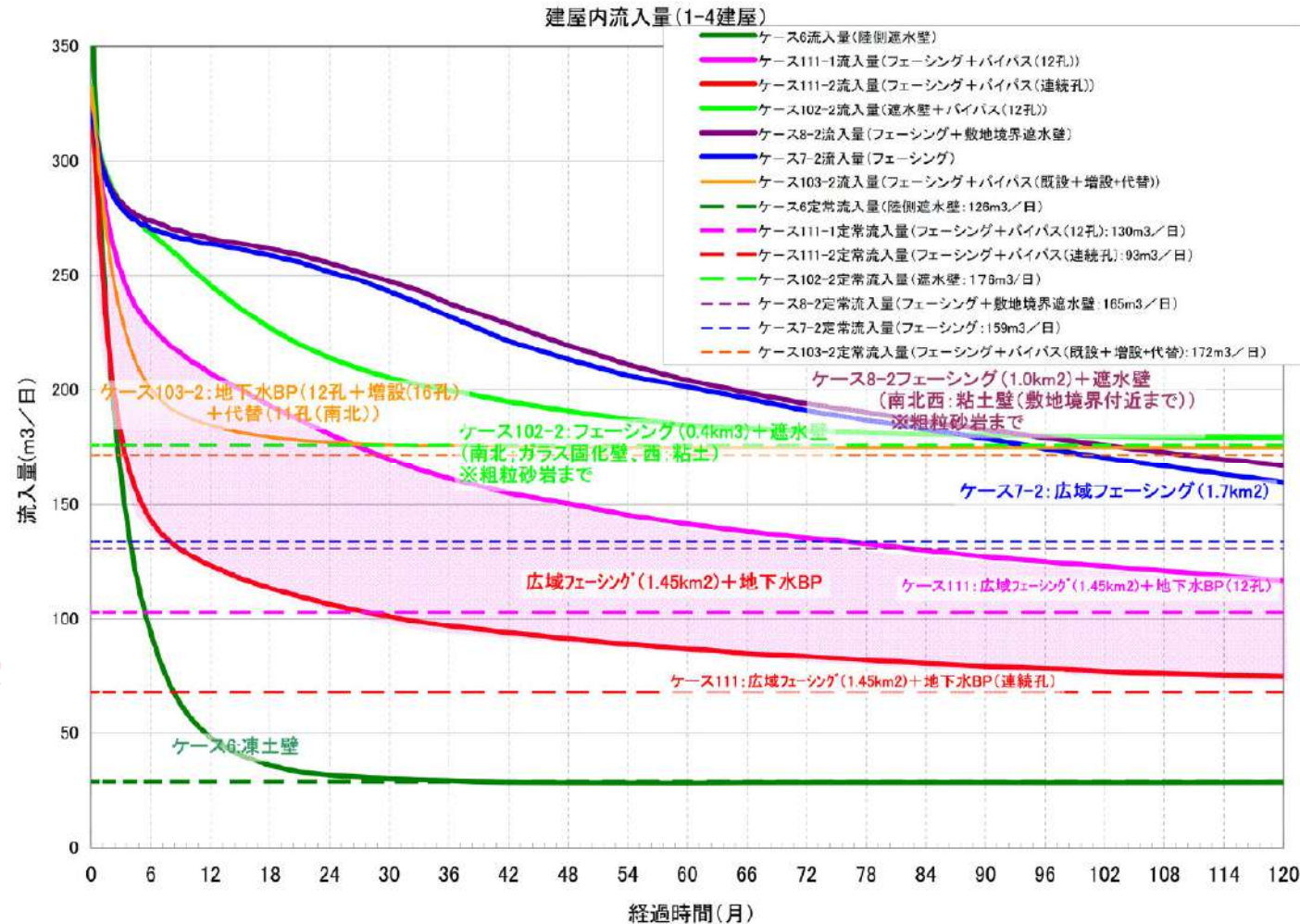
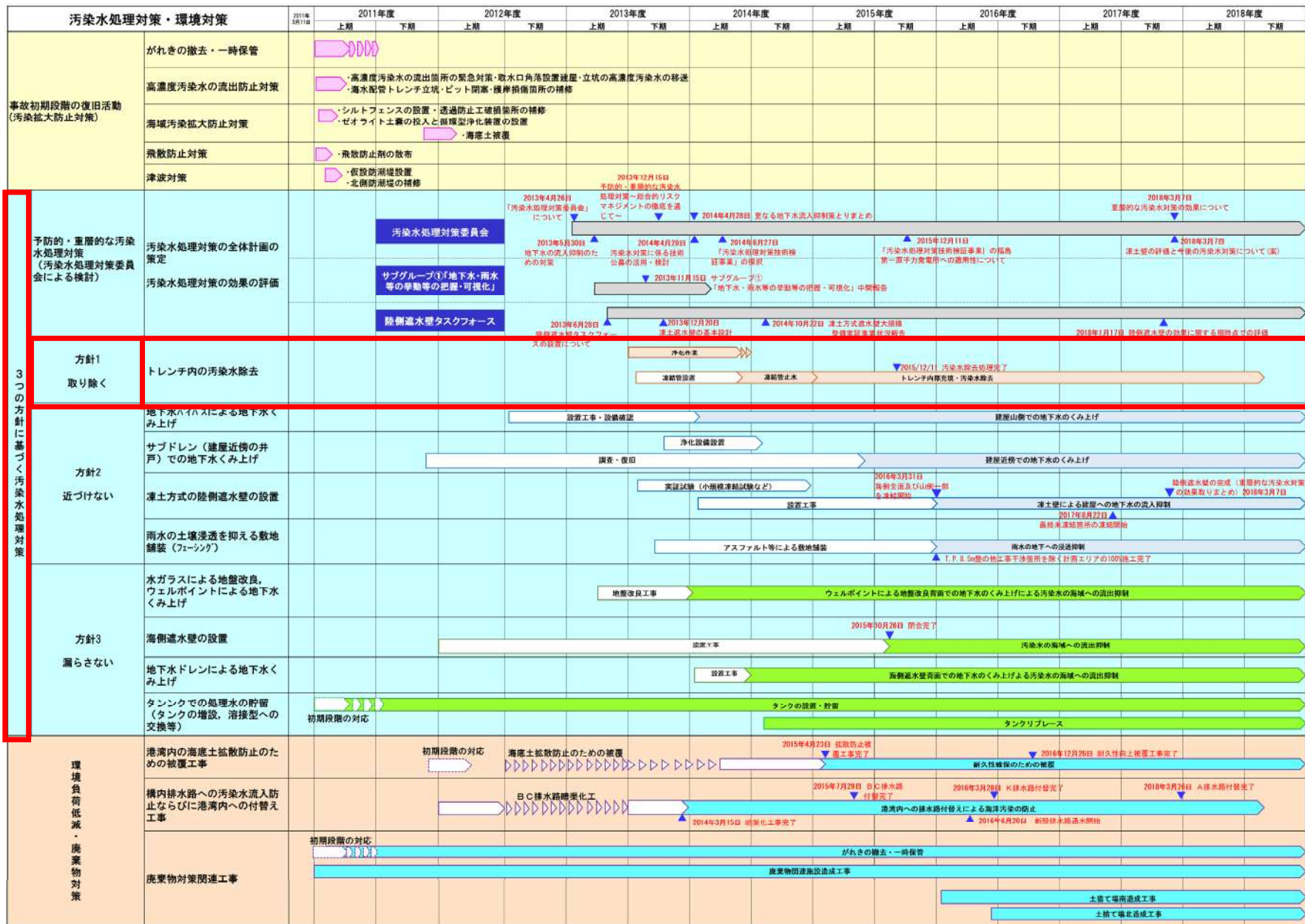


図3-29 解析結果(定常解析, 非定常解析)



都瀬 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）¹³ 本参考系に作成

3.2.2 個別の汚染水処理対策

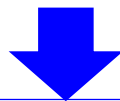
(1) 汚染源を取り除く対策 (P64～)

(a) 海水配管トレンチの汚染水除去及び充填

事故直後にトレンチを経由した高濃度汚染水が港湾内へ流出したことにより、トレンチ内はタービン建屋と連通して高濃度汚染水が滞留していることが判明した。この高濃度汚染水流出箇所については、事故初期段階の緊急対策により流出を防止しているが、その後の調査により、1号機を除く海水排水管トレンチには、**高濃度汚染水が滞留して漏えいのリスクを抱えたまま**の状態であることが確認された。

このため、**タービン建屋とトレンチの接続部に大型のパッカーと凍結管により止水壁を設置**し、汚染水の流れを抑制して建屋からの海水配管トレンチへの汚染水の供給を遮断した後、海水配管トレンチ内の汚染水の移送（汲上げ）を行い、トレンチ・立坑をコンクリートにより閉塞（充填）する対策が計画された。

温度データや流速などの測定からは、配管・ケーブルトレイ周辺部などに水流が発生して凍結の支障となり、**凍結による完全な止水壁の構築には至っておらず**、汚染水除去及び充填ができないことが確認された。



このため、**充填材料（コンクリートなど）の開発や施工方法の工夫**を行うことで、海水配水管トレンチの閉塞を行うこととなった。

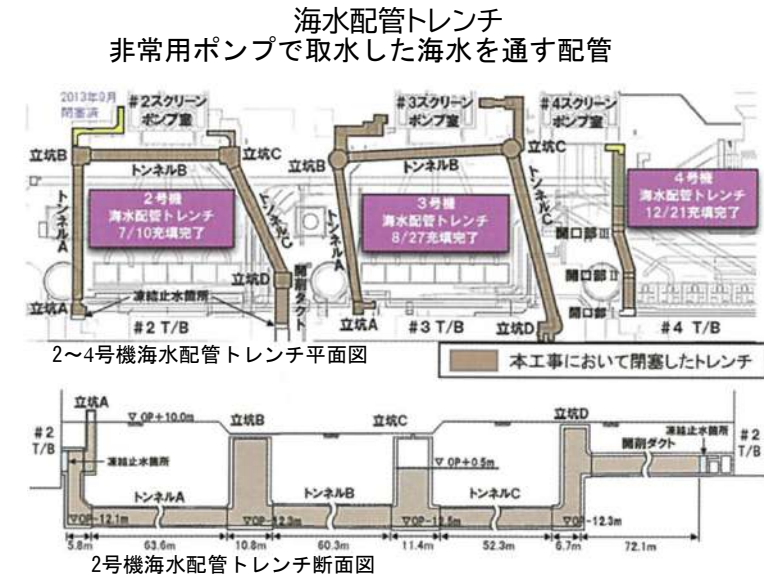


図3-30 海水配管トレンチの概要

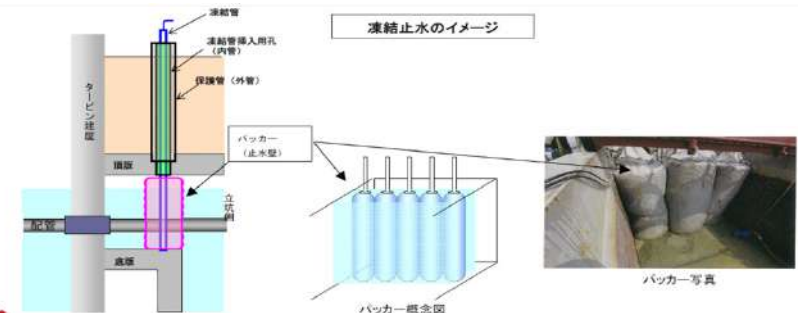


図3-32 タービン建屋とトレンチの接続部の凍結（イメージ）

3.2.2 個別の汚染水処理対策

(1) 汚染源を取り除く対策 (P64～)

(a) 海水配管トレンチの汚染水除去及び充填

水中で長距離流動可能なセメント系充填材の開発を行い、充填箇所の特徴に応じて以下の材料を用いたトレンチ内部の閉塞、トレンチ内部の汚染水の移送（除去）が行われた。

①②長距離水中流動特殊充填材

トンネル部を対象に、長距離を流動させても材料分離や品質低下が発生しない材料

③低収縮性を有する水中不分離性コンクリート

立坑部の止水（間隙通過性と自己充填性）機能を有する材料

③中硬化型高流動エポキシ樹脂

立坑部の充填材をキャッピングする機能（水中を6m以上流動し自己充填性にも優れる）を有する材料

③高流動コンクリート

立坑最上部の「ふた」の役割（ひび割れ抑制）を有する材料

④水中重量ペースト

トンネル部や立坑部の隙間やひび割れを埋める機能（密度が大きく粒径が小さい、化学的に不活性）を有する材料。

建屋直近の高線量環境下での作業となるため、充填作業エリアでは、作業箇所底部への砕石・鉄板の敷設、側部はコンクリート擁壁・遮へいシート（鉛毛マット）を設置する等、**万全の被ばく低減対策**が実施された。

- ①立坑からの閉塞材料投入により、トンネルの閉塞開始。
- ②トンネルを閉塞後に、③立坑の閉塞を実施
- ④立坑B下部の砕石層を閉塞し、閉塞完了

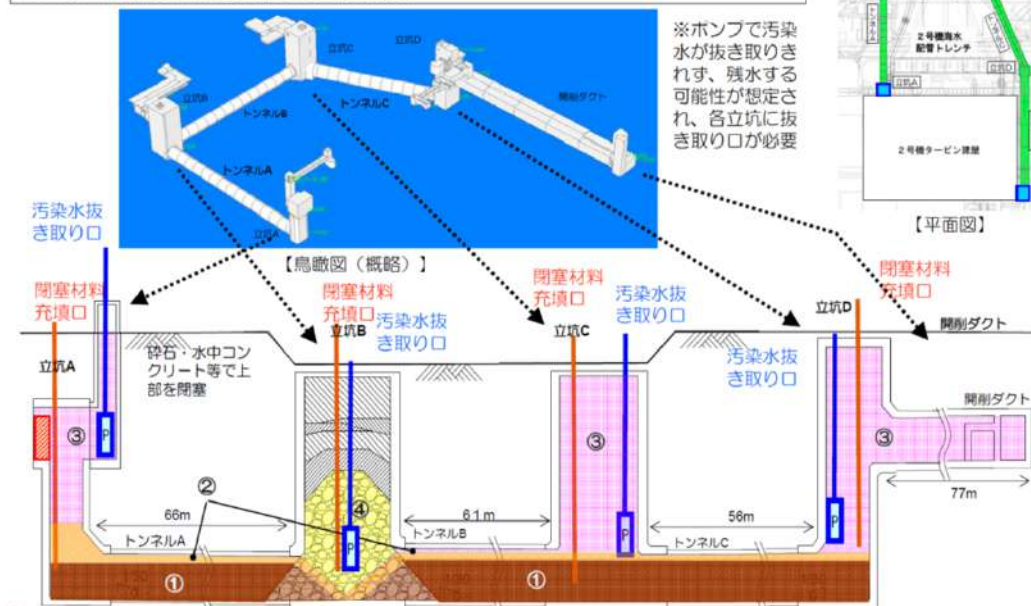
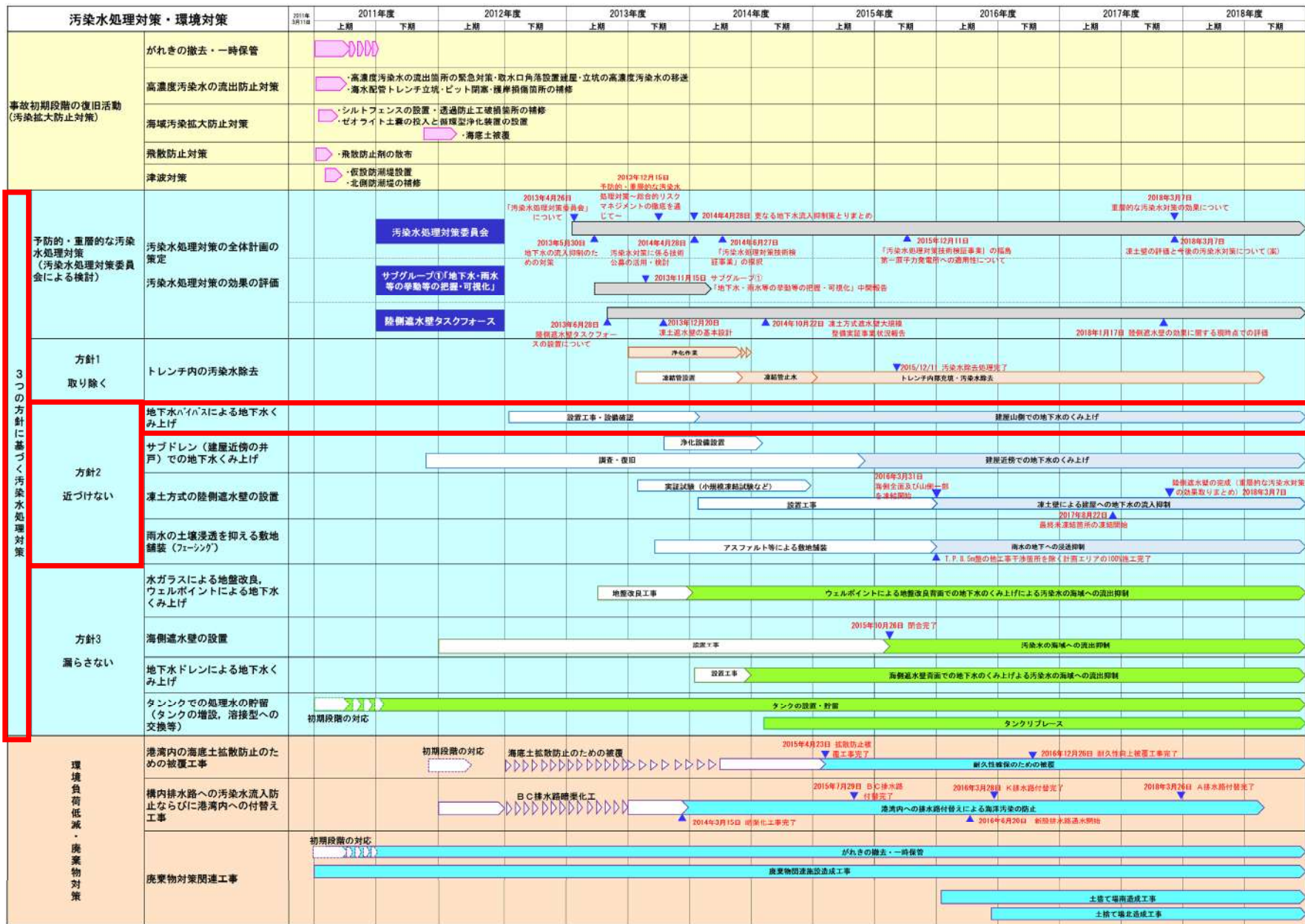


図3-34 海水配管トレンチ充填の概要図(2号機海水配管トレンチの例)



図3-39 被ばく低減対策



都 道（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）¹³ 本参考系に作成

3.2.2 個別の汚染水処理対策

(2) 汚染源に水を近づけないための対策

(a) 地下水バイパス (P73～)

地下水は山側（西）から海側（東）に向かって流下する。地下水バイパスは、**汚染リスクが低い建屋山側で地下水を汲上げる**ことにより、建屋への地下水流入を抑制し、**汚染されていない汲上げ水を海洋放出**するもので、主な検討項目は以下とおりである。

① 地下水バイパスの効果

地下水流動解析による揚水井の本数、設置位置、施工深度、汲上げ量と効果等の検討により、**12孔の揚水井、3系統のタンク系列の設備**を設定

② 建屋山側の水質の確認と揚水井設置工事の成立性

- ・ **建屋山側の地下水の汚染**がないことの確認
- ・ 発電所建屋近傍の高線量環境下での施工となるため、**十分な被ばく低減対策を考慮した施工方法の工夫**による工事の成立性の確認。

③ 地下水バイパスの運用（揚水井の運用とタンクの運用）

- ・ 揚水井の運用は、建屋周辺の地下水位、水質等のモニタリングを行いながら、建屋内滞留水のアウトリークが発生しない段階的な水位低下の設定（**揚水井の運用**）。
- ・ **貯留→分析→排水のサイクル**での運用が可能な設備の設置と**タンク運用**の設定。

地下水バイパス稼働（2014年4月9日）から約半年後では、**合計90m³/日程度の建屋流入量の抑制効果**があるものと評価された。

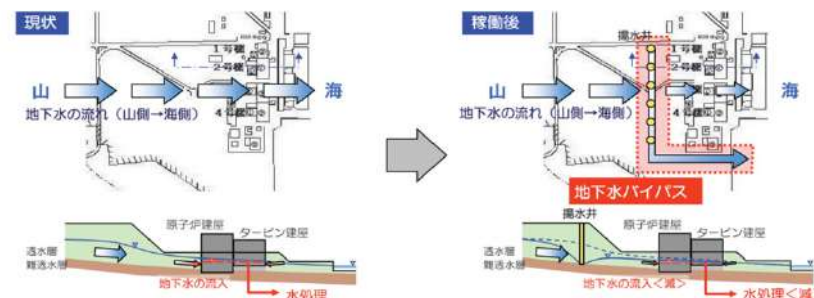


図3-40 地下水バイパスのコンセプト



図3-43 地下水バイパス設備全体平面図

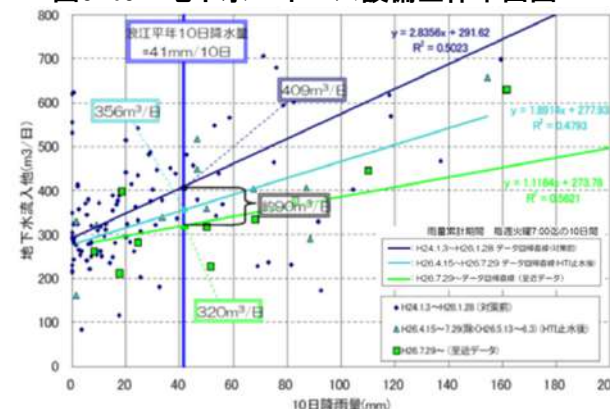
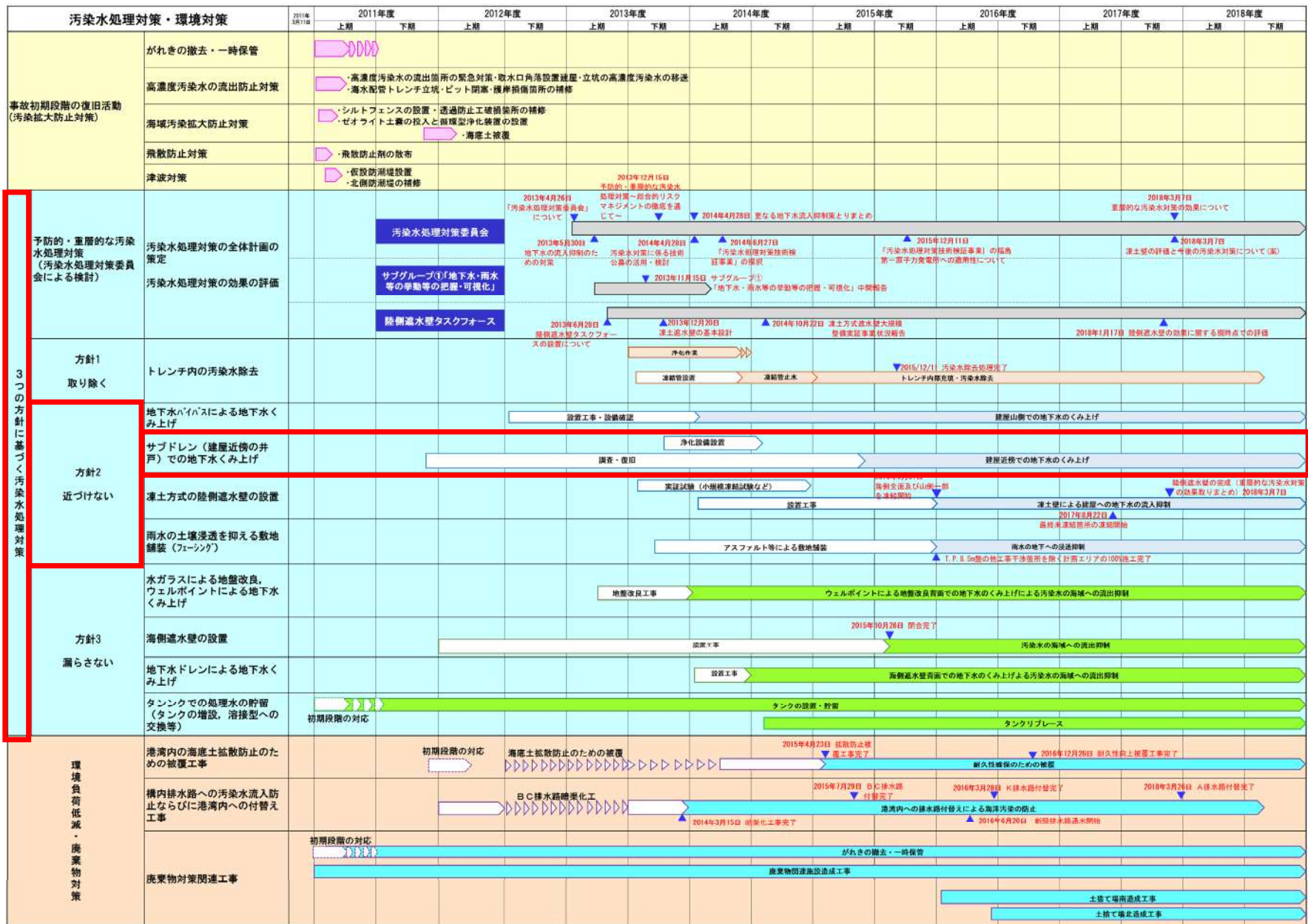


図3-47 地下水バイパスの建屋流入量への抑制効果



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）¹³ 本参考系に作成

3. 2. 2個別の汚染水処理対策

(2) 汚染源に水を近づけないための対策 (b) サブドレン (P79～)

主要建屋周辺の地下水を汲上げるサブドレン（93基：1～4号機建屋周りには57基）は、津波や水素爆発による**ポンプ等の損傷、がれきの混入、高濃度汚染水の滞留などのため運転を停止し**、建屋周囲の地下水位が上昇し、**建屋への地下水流入の増加要因**となっていた。

このため、**サブドレンにより地下水位をコントロール**しながら**建屋への地下水流入量の低減を図ることが急務であった**。サブドレンについては、陸側遮水壁等の対策工を考慮した地下水流動解析により、**地下水位の低下量、汲上げ量などの予測、サブドレンの復旧や新設、浄化設備の容量**などの検討を踏まえ、以下の**方針での再稼働**が行われた。

- ①既設ピットのうち復旧可能なピットについては、ピット内の浮遊物質やがれきの除去、**ポンプの再設置を行い速やかに再稼働させる**（27基）。
- ②復旧が難しいピットについては、**ピットを新設して稼働させる**（15基）。
- ③汲上げ水の移送・処理設備は、汲上げ水に含まれる**放射性核種（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去し、水質を確認した後に排水できる設備**とする。

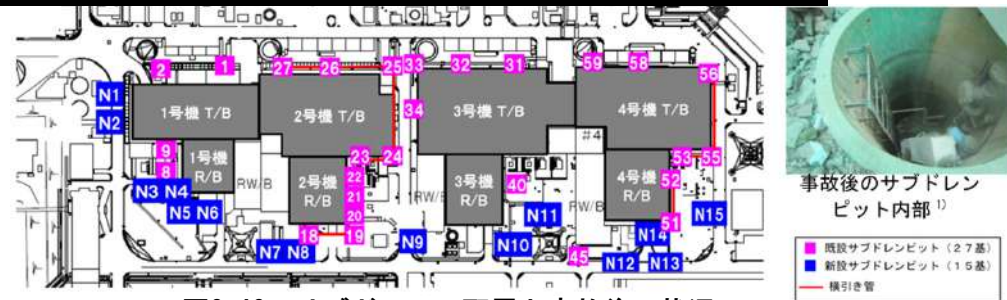


図3-48 サブドレンの配置と事故後の状況

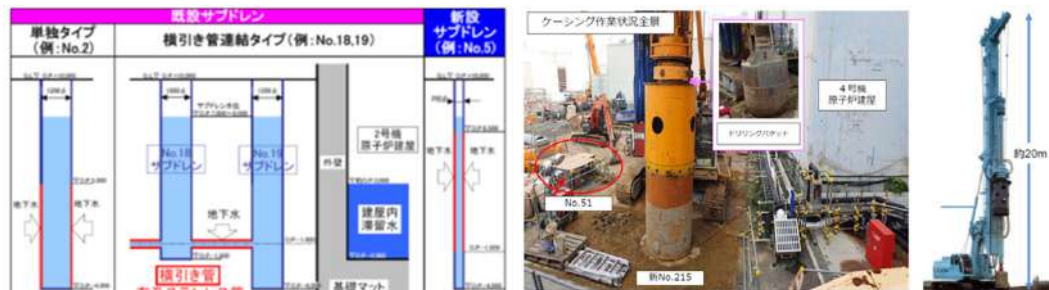


図3-49 サブドレンの構造（既設及び新設） 図3-50 新設サブドレンの施工状況

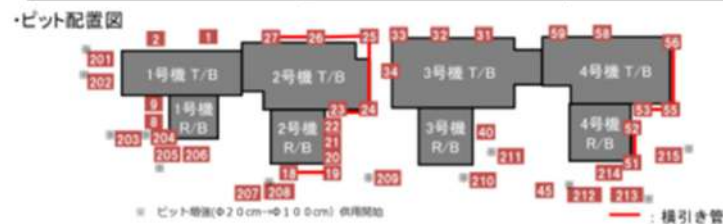
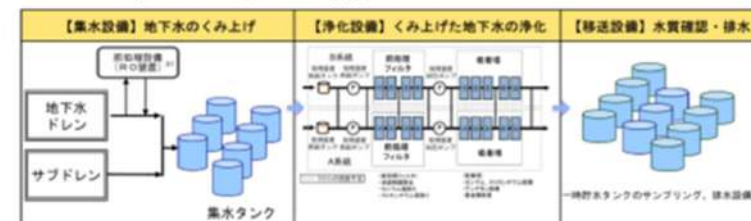
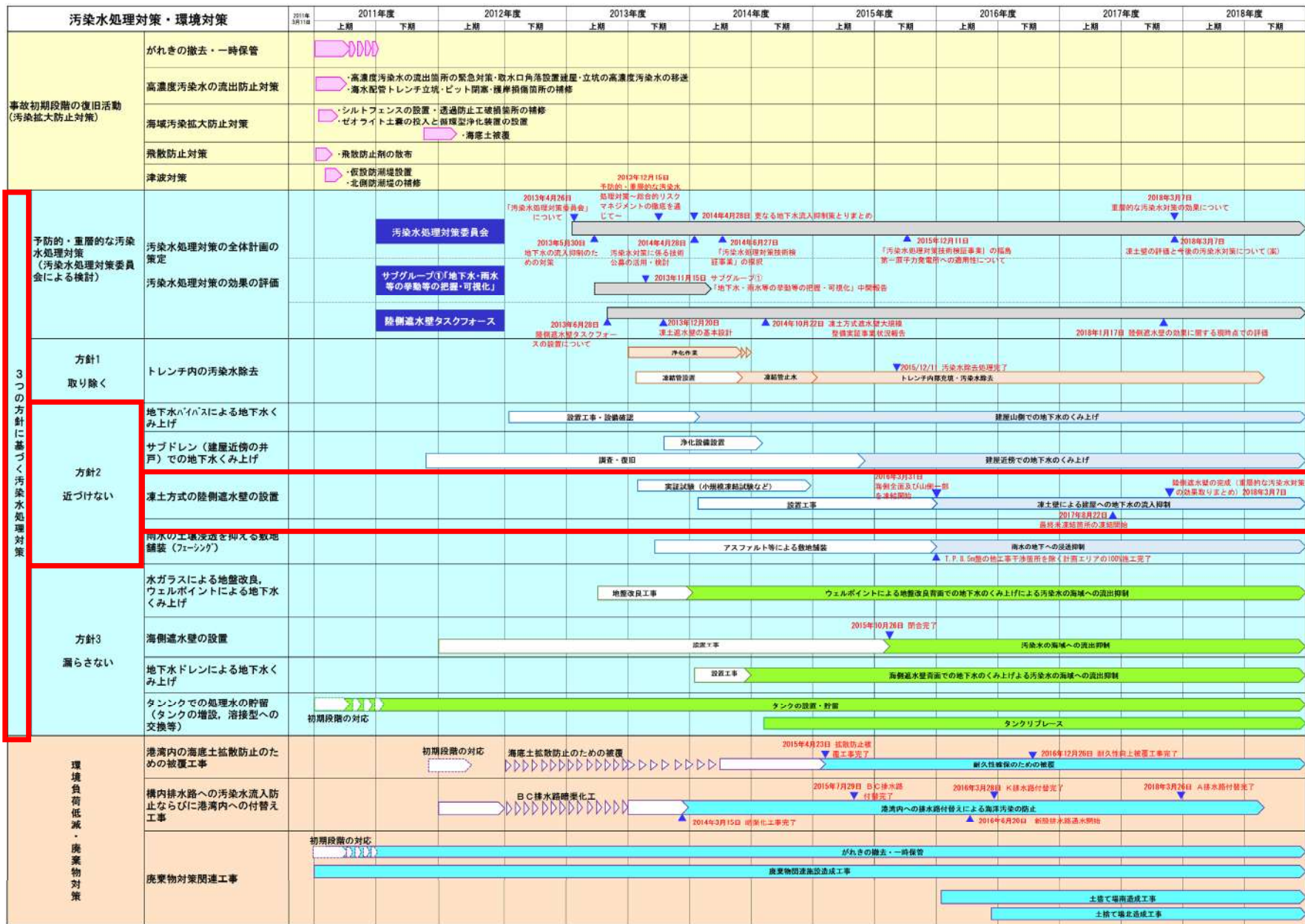


図3-51 サブドレンの設備構成



都 道（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）^{1）} 本参考系に作成

3. 2. 2個別の汚染水処理対策

(2) 汚染源に水を近づけないための対策 (C) 陸側遮水壁 (P84～)

凍土方式による陸側遮水壁の概要

凍土方式による陸側遮水壁は、建屋周りを凍土による遮水壁で取り囲み、また、海側遮水壁と接続させることにより、山側から海側へ流れる地下水を迂回させて建屋に近づけないことで汚染水を低減させる。

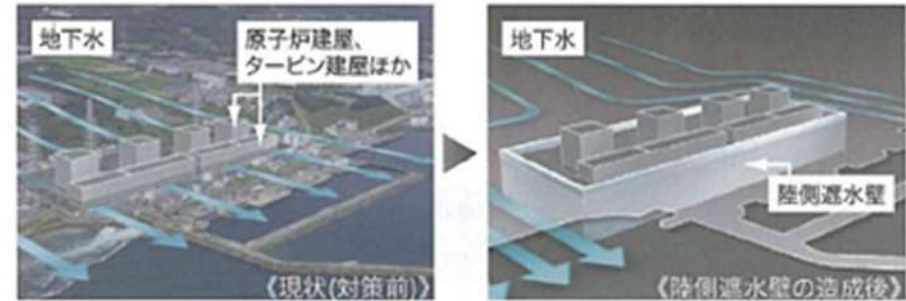


図3-56 陸側遮水壁の造成と地下水流れのイメージ

表3-8 陸側遮水壁の主要設備

陸側遮水壁の規模		全長：約1,500m 深度：約30m
凍結管	1,568本	凍結管間隔：1.0m, 1.2m
測温管	359本	列数：1列（陸側遮水壁の外側に、現地の状況により一部内側に設置） 測温管間隔：約5m 凍結管ラインからの離れ距離：0.85m
冷凍機	30台	ブライン温度：-30° C 凍結能力：約70冷凍t（0° Cも水を24時間で氷にできる能力）
水観測井戸	82孔	陸側遮水壁沿いの内外側に配置し、水位差により遮水効果を確認するための観測井戸
注水井戸	33孔	陸側遮水壁沿いの内側に配置し、建屋周辺の地下水位が建屋内水位より低くなる可能性がある場合、注水を行い建屋周辺の地下水位を保持するための補助設備

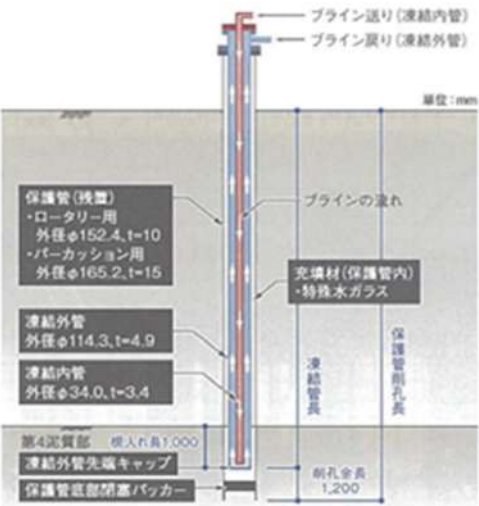


図3-58 凍結管の構造断面

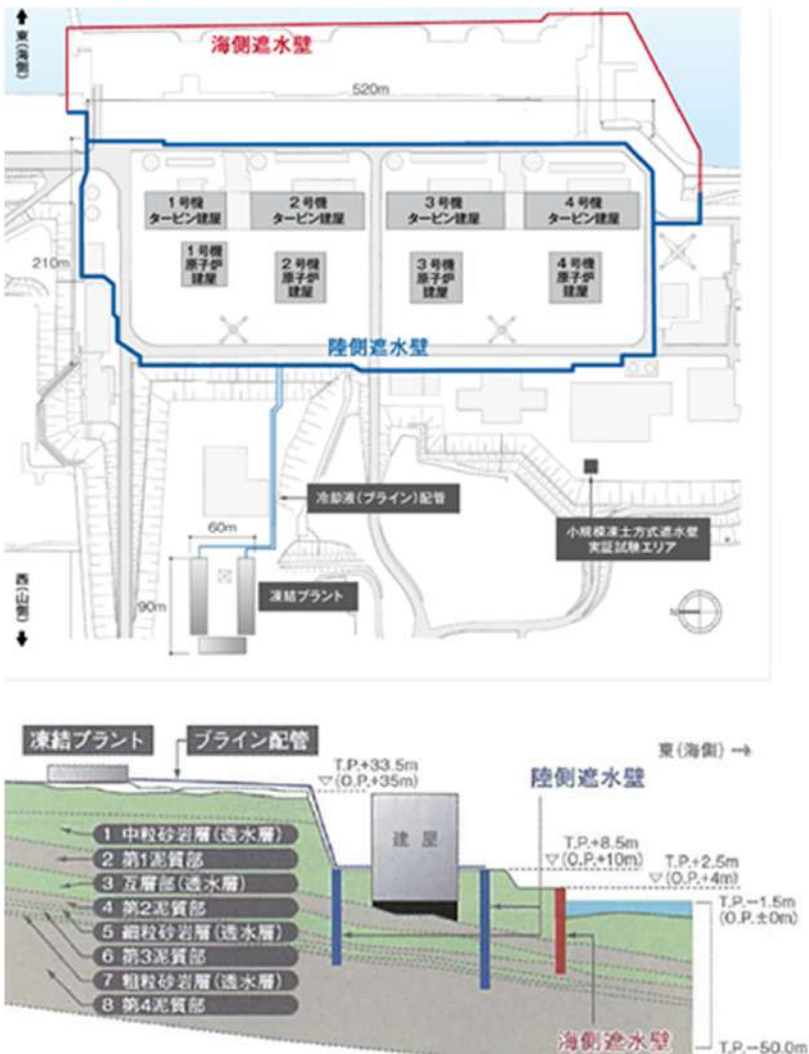


図3-59 陸側遮水壁の設備配置図

(c) 陸側遮水壁 凍土方式による陸側遮水壁採用の経緯 (P86～)

汚染水処理対策委員会は、廃炉対策推進会議（第3回、平成25年4月19日）の議長（経済産業大臣）の指示により、建屋への**地下水流入抑制の具体的な方策についての公募**を行い、**陸側遮水壁に求められる要件(①～⑤)**に基づいた評価を行った。

①遮水能力が高く、地下水の流入抑制効果が高いこと

- ・地下水流入量の抑制効果が高いことが望ましく、透水性は小さいほどよい。
- ・地震などによって遮水壁に亀裂等が発生した場合でも、遮水機能の低下が起りにくいこと。

②施工期間の短さ、施工可能性の高さ、遮水壁で囲い込む範囲を狭くできること

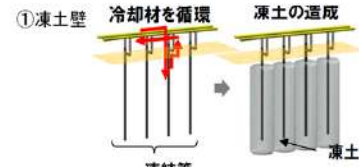
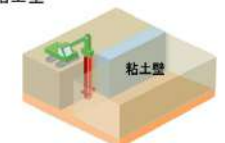
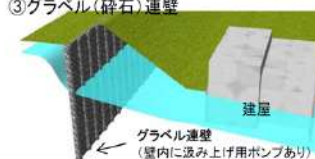
- ・高線量下での作業のため、工期の短さや施工可能性が高いこと。
- ・地下埋設物の存在があっても施工可能であること。
- ・周辺へ汚染水を流出させない施工方式が好ましい。
- ・取扱う地下水の総量が少なく、地下水水管理を容易とするため囲い込む範囲が狭いことが好ましい。
- ・発生する残土が少ないことが好ましい。

③既設の埋設構造物に大きな影響をあたえないこと

④完成後の地下水位管理が比較的容易であること

⑤完成後の補修等の管理が比較的容易であること

表 3-10 陸側遮水壁の工法の比較

①凍土壁		②粘土壁	③グラベル(砕石)連壁
			
透水係数 (遮水効果)	0m/s	10 ⁻⁸ ~10 ⁻⁹ m/s	グラベル連壁は水を通す設計であり、透水係数での比較は適さない
施工性	・重機が小型、建屋近傍設置に有利 ・重機が小型であるため、重機に遮へい措置をすることで、作業員被ばく対策が可能 ・他作業との作業エリア調整が容易 ・汚染掘削土をほとんど排出しない 	・重機が大型、建屋近傍設置には不利 ・重機が大型であるため重機に遮へい措置をすることが困難、作業員被ばく対策も済みにくい ・他作業とのエリア調整が困難 ・汚染掘削土等が発生する 	・重機が大型、建屋近傍設置には不利 ・重機が大型であるため重機に遮へい措置をすることが困難、作業員被ばく対策も済みにくい ・他作業とのエリア調整が困難 ・汚染掘削土等が発生する 
工法概要	一定間隔で凍結管を設置し、氷点下数十度の冷却材を循環させ、凍土壁を造成	地盤を切削し、粘土を充填することで粘土壁を構築	地盤を切削し、グラベル(砕石)を充填。壁内にポンプを設置し、上流からの地下水を汲み上げることで、地下水位を管理。
工期	約18~24ヶ月 全長約1400m (図中の水色部分)	約24~30ヶ月	約24ヶ月 全長約2000m (図中の赤色+緑色部分)

評価結果

応募のあった対策工のうち、凍土壁は既設構造物を取り壊さず、また、地下水を凍結させることで遮水性の高い壁の構築が可能で、**他の方法に比べ要件に対する優位性がある**と判断され、第3回 汚染水処理対策委員会（平成25年5月30日）において「**遮水効果、施工性等に優れた凍土方式**」による陸側遮水壁が採用された。

(c) 陸側遮水壁 陸側遮水壁の設計検討 (P90～)

主な設計検討事項は表 3-12 のとおり。また、原子力規制委員会 特定原子力施設監視・評価検討会、汚染水処理対策委員会、陸側遮水壁タスクフォース等で個別の技術課題や設計検討、工事の進捗管理、凍土壁の効果などが検討された。

陸側遮水壁を支える技術としては、実証試験の評価、凍土の成立性評価、凍土壁ライン・深度や凍結プラント等の基本仕様、リチャージウェル（注水井）の成立性や設備設計、削孔や凍結順序などの造成手順、運用方法（水位管理）の設定などを行う上で用いた解析技術（地下水流動解析、凍結解析（熱・水連成解析））等の他、以下の4つの実証試験により技術的な課題の解決を図った。



図3-61 4つの実証試験

表3-12 陸側遮水壁の主な設計検討事項

検討項目		検討事項	内 容	設計等への反映
大項目	小項目			
地下水流入抑制対策	1. 遮水壁の範囲、位置（ライン）、凍結管のピッチ等の基本設計	①凍土の効果、被ばくを考慮した施工範囲等	-解析（地下水流動解析、熱・水連成解析）による施工範囲等の検討 -地盤内埋設物の検討	
		②凍土壁に支障のある埋設物の調査・評価	-施工・竣工図等に基づいた凍土壁ルート下の埋設物の位置・深度・形状・規模の確認 -設計・施工への影響評価 -補助工法や埋設物内の汚染水漏洩に対する対策検討	-凍土壁ライン、凍結プラント等の基本仕様、基本配置 -凍土壁設置の造成手順 -凍土壁設置後の地下水位管理の基本方針
		③リチャージシステムの効果の評価	-解析（地下水流動解析）によるリチャージ効果の検討 -実証試験（現地小規模凍結試験）で確認	
		④遮水壁内地下水量処理量の検討	-解析（地下水流動解析）により凍結順序（山側先行施工と山麓側同時施工）などによる凍結周辺地下水位の低下検討	
		⑤遮水効果・滞留水のアウトリークの可能性についての評価	-凍土効果を実証試験（現地小規模凍結試験）で確認 -解析（地下水流動解析）によるアウトリークの可能性ならびに最適な施工順序の検討	
		⑥各建屋への流入量の把握・評価	-解析（地下水流動解析）による検討	
	2. 遮水壁の深度	①下部遮水層の地下水の影響評価	-解析（地下水流動解析、熱・水連成解析）によるリスクと凍土壁の造成・維持に関するモニタリング基本方針	-凍土壁の深度 -施工方法
		②難透水層（泥岩層）の遮水性確保の検討	-凍土壁の遮水性を実証試験（現地小規模凍結試験）で確認	
	3. 既設埋設物干渉箇所での凍土の成立性	①互層の地下水への汚染の低減防止検討	-施工方法の検討	
		②凍土壁施工に関する基礎データの取得	-実証試験（現地小規模凍結試験）で取得	
		③凍土壁に支障のある埋設物の調査・評価	-施工・竣工図等に基づいた凍土壁ルート下の埋設物の位置・深度・形状・規模の確認 -設計・施工への影響評価 -補助工法、埋設物内の汚染水漏洩対策の検討	-凍土壁ライン・凍結プラント基本配置 -凍土壁設置後の地下水位管理の基本方針
		④埋設物による影響の評価	-解析（地下水流動解析、熱・水連成解析）による凍結範囲の検討 -実証試験（モックアップ試験）での検討 -補助工法や埋設物内の汚染水漏洩対策の検討	-凍土壁の造成・維持に関するモニタリング基本方針
建屋滞留水の漏洩防止	4. 地下水流速の速い箇所での凍土の成立性	①補助工法適用（薬液注入工法等）も含めた施工方法の検証	-解析（地下水流動解析、熱・水連成解析）による検討 -実証試験（モックアップ試験）での検討 -地下水流速の速い箇所が極力発生しない施工順序の検討	-凍土壁の造成・維持に関するモニタリング基本方針 -凍土壁設置後の地下水位管理の基本方針
		②フェーシング（降雨浸入防止対策）の成立性	①フェーシングの支障物の把握 -現地確認による支障物の把握 ②フェーシングの効果の評価 -解析（地下水流動解析）による検討 ③干渉する工事の抽出・影響の評価、緩和策 -干渉する工事の抽出・影響の評価、緩和策の検討	-フェーシング計画 -凍土壁設置後の地下水位管理の基本方針
		③干渉する工事の抽出・影響の評価、緩和策		
		④凍土遮水壁形成の確認	①凍土遮水壁形成の確認方法の検討 -データ管理システムの検討 -実証試験（現地小規模凍結試験）等で検討	-凍土壁の造成・維持に関するモニタリング基本方針 -凍土壁設置後の地下水位管理の基本方針 -データ管理システム
	7. 建屋周辺地下水位の低下に併せた建屋内水位の低下	①遮水壁設置時の地下水位低下速度の評価	-解析（地下水流動解析）による検討	
		②建屋内滞留水に併せた滞留水の移送・タンク増設の検討	-解析（地下水流動解析）による建屋流入量の検討 -移送設備、タンク増設の検討	-凍土壁設置後の地下水位管理の基本方針 -凍土壁の造成・維持に関するモニタリング基本方針 -移送設備、タンク増設計画
		③凍結順序の速いによる地下水位低下の評価	-解析（地下水流動解析）による検討	
		④リチャージによる地下水位コントロールの予測	-解析（地下水流動解析）による検討	
	8. 建屋周辺地下水位の低下による建屋内滞留水の漏えいの防止	①リチャージシステムの設計	-データ管理システムの検討	-凍土壁設置後の地下水位管理の基本方針 -データ管理システム
		②現場試験による成立性の検証	-実証試験（現地小規模凍結試験）で確認	
		③ロードマップへの影響の緩和	①干渉する工事の抽出・影響の評価緩和の検討 -施工工事との綿密な工程調整や地上構造物の調査の徹底 -補助工法を含めた施工方法の検討	-凍土壁ライン・凍結プラント基本配置 -施工計画
		④凍土周辺の既設構造物に対する影響の緩和（凍結など）	-解析（地盤沈下、周囲の支持基礎等への影響など）による検討 -実証試験で確認	-凍土壁ライン・凍結プラント基本配置 -凍土壁の造成・維持に関するモニタリング基本方針 -データ管理システム -凍土周辺の既設構造物に対する影響の緩和の方策
他プロジェクトおよび既設備との干渉の緩和	9. ロードマップへの影響の緩和	①干渉する工事の抽出・影響の評価緩和の検討	-施工工事との綿密な工程調整や地上構造物の調査の徹底 -補助工法を含めた施工方法の検討	-凍土壁ライン・凍結プラント基本配置 -施工計画
		②凍結影響による周囲構造物への影響検討	-解析（地盤沈下、周囲の支持基礎等への影響など）による検討 -実証試験で確認	-凍土壁ライン・凍結プラント基本配置 -凍土壁の造成・維持に関するモニタリング基本方針 -データ管理システム -凍土周辺の既設構造物に対する影響の緩和の方策
		③凍結後の地盤の不安定性の検討	-実証試験（現地小規模凍結試験）で確認	
		④凍結後の地盤の不安定性の検討		
	10. 凍土周辺の既設構造物に対する影響の緩和（凍結など）	①作業員、資機材（冷凍機など）の確保	-施工工程に基づいた作業員、資機材の確保	-作業工程 -施工計画
		②施工品質の確保	-データ管理システム	-凍土壁ライン・凍結プラント等の基本仕様、基本配置
		③被ばくを考慮した施工範囲の検討	-放射防護設備	
		④津波等を考慮した冷却プラント等のヤード確保	-津波襲来時を考慮したプラント配置	
施工性	11. 施工計画の成立性	①作業員、資機材（冷凍機など）の確保	-施工工程に基づいた作業員、資機材の確保	-作業工程 -施工計画
		②施工品質の確保	-データ管理システム	-凍土壁ライン・凍結プラント等の基本仕様、基本配置
		③被ばくを考慮した施工範囲の検討	-放射防護設備	
		④津波等を考慮した冷却プラント等のヤード確保	-津波襲来時を考慮したプラント配置	
	12. 長期運用における保守管理	①長期運用のための電機設備監視システムの検討	-設備、機器等の仕様検討 -点検、補修計画の検討 -データ管理システムの検討	-凍土壁ライン・凍結プラント等の基本仕様、基本配置 -長期運用における保守管理
		②長期運用、災害対応に適した電機設備の検討	-凍結プラント等の基本配置 -災害時対応策の検討	
	保守管理	①長期運用のための電機設備監視システムの検討	-設備、機器等の仕様検討 -点検、補修計画の検討 -データ管理システムの検討	-凍土壁ライン・凍結プラント等の基本仕様、基本配置 -長期運用における保守管理
		②長期運用、災害対応に適した電機設備の検討	-凍結プラント等の基本配置 -災害時対応策の検討	

青字：解析による検討

赤字：実証試験による確認・検討

表 3-13 原子力規制委員会、汚染水処理対策委員会、陸側遮水壁タスクフォースでの審議事項 (P. 92)

[illegible][illegible]

表 3-13 原子力規制委員会、汚染水処理対策委員会
陸側遮水壁タスクフォースでの審議事項
(2018年12月20日現在)

(c) 陸側遮水壁 陸側遮水壁の施工 (P94～)

① 施工手順

② 埋設物への対応

凍土ラインには**約170箇所**の**大小の埋設物横断箇所**が分布する。埋設物の大きさ・形状、深度、隣接埋設管との位置・間隔、溜まり水の状況などにより施工方法を変更して凍土壁の造成を行っている。

③ 被ばく低減対策

作業時間は施工箇所の空間線量率に応じて1日あたり3～4時間とし、除染（がれきの撤去、汚染土壌の除去）や遮へい物（砕石、敷き鉄板、コンクリート・鉄板・鉛フェンス）の設置などの被ばく低減対策、さらに、ブライン配管周りの断熱材や保護鋼板などは、プレキャスト材を多用する工夫により作業時間の短縮が図られた。



図3-62 陸側遮水壁の施工手順
表3-14 埋設物への対応方法

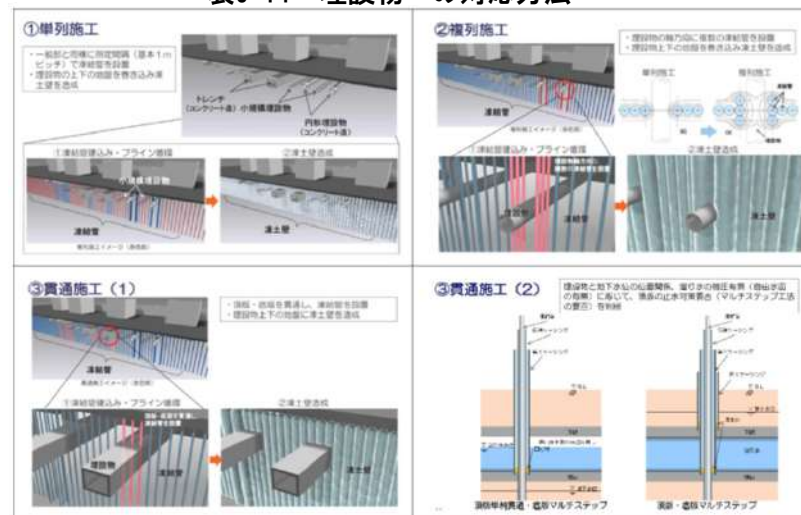


図3-64 被ばく低減対策の効果



図3-65 被ばく低減対策

(c) 陸側遮水壁 凍結開始後の水位管理 (P100～)

陸側遮水壁内側の水位管理は、**建屋滞留水の周辺地盤への漏えいを発生させないことを絶対条件**として、陸側遮水壁内側の**地下水位のコントロール**は、**サブドレン**（地下水の汲上げ、42孔）と**リチャージウェル**（注入井、33孔）で行われる。

地下水位の監視は、陸側遮水壁の内外で不圧地下水で69孔、被圧地下水で53孔の観測孔が配置された。

水位管理は、建屋水位に対する建屋周辺の地下水位の変化、建屋流入量やサブドレンの汲上げ量の変化などの**シミュレーション結果に基づいたシナリオ**を設定して、具体的な水位管理方法を定めている。

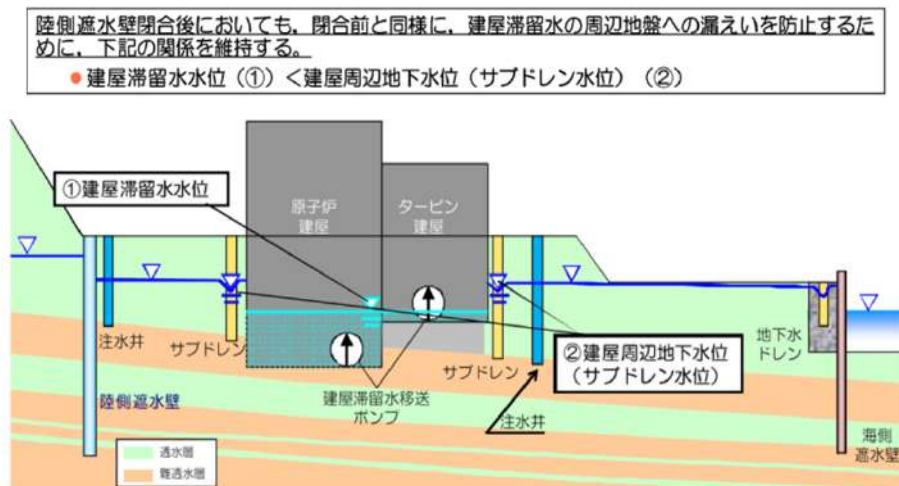


図3-67 水位管理の基本方針

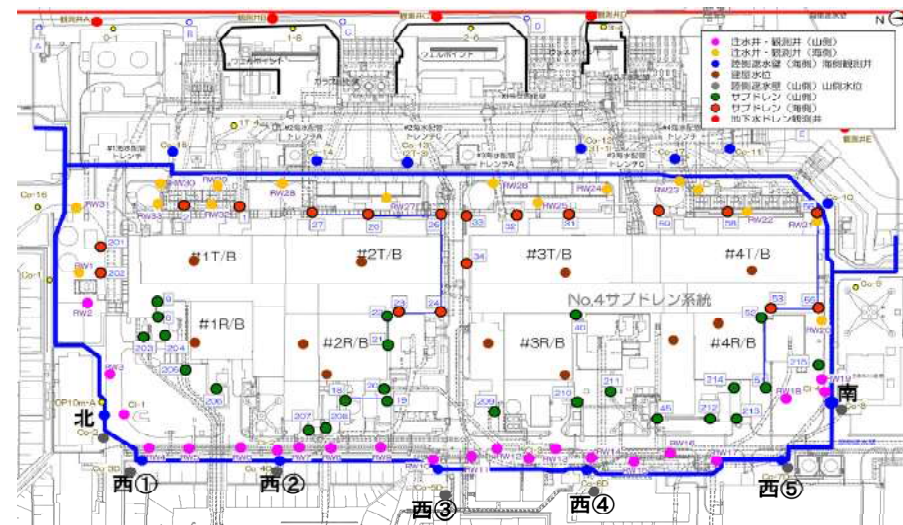


図3-68 サブドレン、リチャージウェル(注入井)、地下水位観測孔配置図

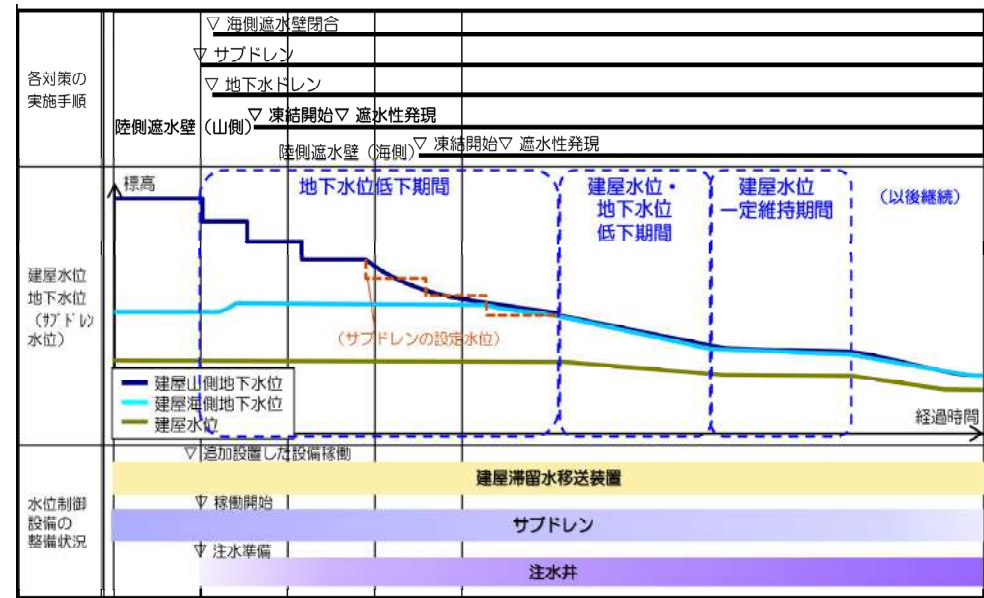


図 3-69 水位管理の基本シナリオ

(c)陸側遮水壁 陸側遮水壁の効果 (P102~)

実測値及び実測値の分析により陸側遮水壁の評価が行われた。

表 3-17 実測値に基づく評価項目

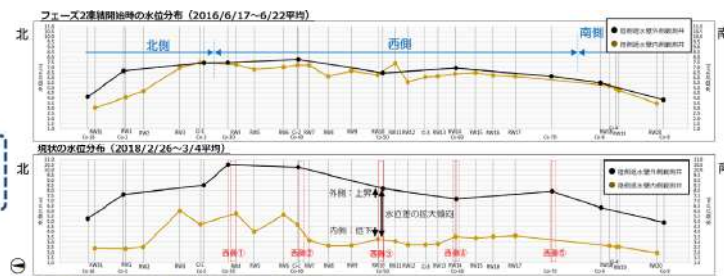
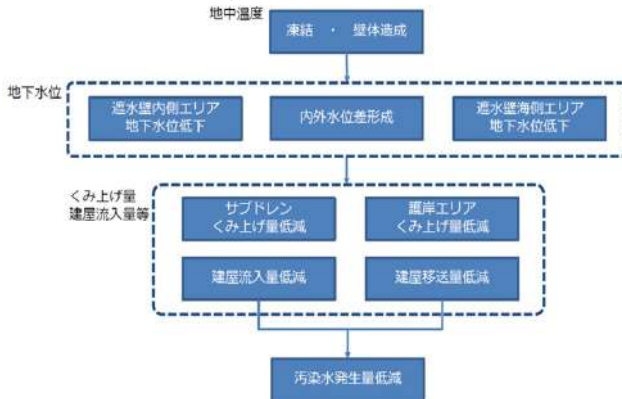
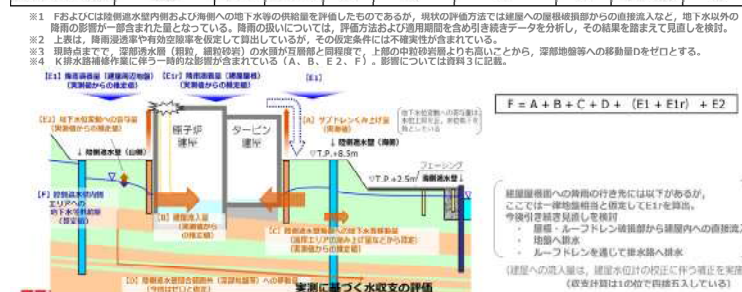


図 3-72 陸側遮水壁内外の地下水位分布の推移



図 3-73 陸側遮水壁内外の地下水位分布(2018年3月)

実績値(m³/日)	陸側遮水壁内側エリアへの地下水等供給量 (実測からの推定値) F	<参考> サブドレンくみ上げ量 (実測) A	<参考> サブドレンくみ上げ量 (実測) B	建屋流入量 (実測) C	陸側遮水壁外側への地下水等移動量 (実測からの推定値) D	陸側遮水壁外側への移動量 (実測) E	陸側遮水壁外側への移動量 (実測) F	地下水位変動への寄与量 (実測からの推定値) E2
2015.12.1~2016.2.29	830	T.P.+3.7m 1.8mm/日	440	190	350	0	~(60+40)	-50
2017.12.1~2018.1.31	370	T.P.+2.1m 0.6mm/日	390	70	70	0	~(20+10)	-130
2018.1.1~2018.1.31	340	T.P.+1.5m 1.3mm/日	330	80	50	0	~(40+30)	-50
2018.2.1~2018.2.28	450 ^{※4}	T.P.+1.9m 0.6mm/日	320 ^{※4}	120 ^{※4}	50	0	0	-40 ^{※4}
2017.12.1~2018.2.28	390	T.P.+1.5m 0.6mm/日	350	90	60	0	~(20+20)	-70



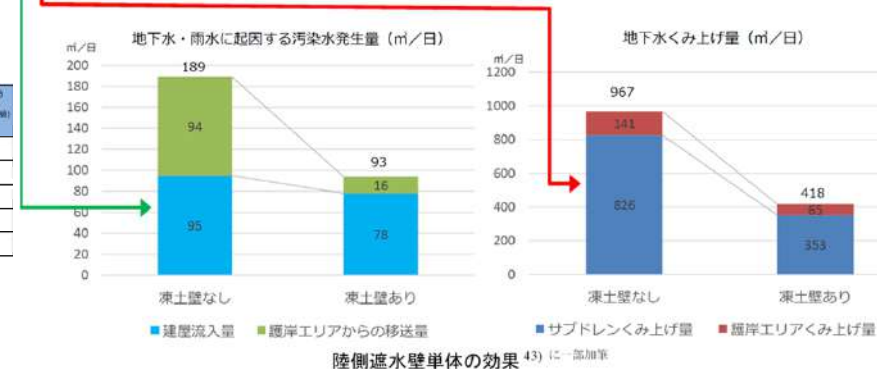
- ・陸側遮水壁内側への地下水等の供給量(F)は、約830m³/日から約390m³/日に低減
- ・陸側遮水壁外側への地下水等の移動量(C)は、約350m³/日から約60m³/日に低減

図 3-79 水収支による陸側遮水壁内側への地下水供給量の評価

陸側遮水壁が無い場合の地下水位コンター図				凡例
設定条件	解析結果 [※]	実測値 (2017.12.1~2018.2.8平均値)		
地下水位: T.P.+1.6m ウェル: T.P.+1.6m 建屋: T.P.+0.7m サブドレン: T.P.+1.9m 陸側遮水壁外側水位: 2016.2.16~3.31の平均値 降水量: 4mm/日 (年平均降量) ● 浮動ピット ● 非浮動ピット ● 地下水位 ● ウェル ● 中央壁 ● 海水配管トレンチ ● 掘削管				T.P.m 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 -1
建屋への雨水・地下水流入量 T.P.+2.5m盤 くみ上げ量 サブドレンくみ上げ量	95m³/日 141m³/日 826m³/日	78m³/日(再掲) 65m³/日(再掲) 353m³/日(再掲)	17m³/日 76m³/日 473m³/日	効果

※ 解析コンターについては、各井戸の位置に解析結果を反映して作成

3次元浸透流解析結果 44)に一部加算



陸側遮水壁単体の効果 43)に一部加算

陸側遮水壁とサブドレン等は同時に実施していることから、陸側遮水壁単体の効果は、3次元浸透流解析により陸側遮水壁がない場合のシミュレーションを行い、実測値との差分を陸側遮水壁単体の効果として評価した。解析結果からは、建屋への雨水・地下水流入量、サブドレン、T.P.+2.5m盤の汲上げ量は、合計が566m³/日低減したものと評価。

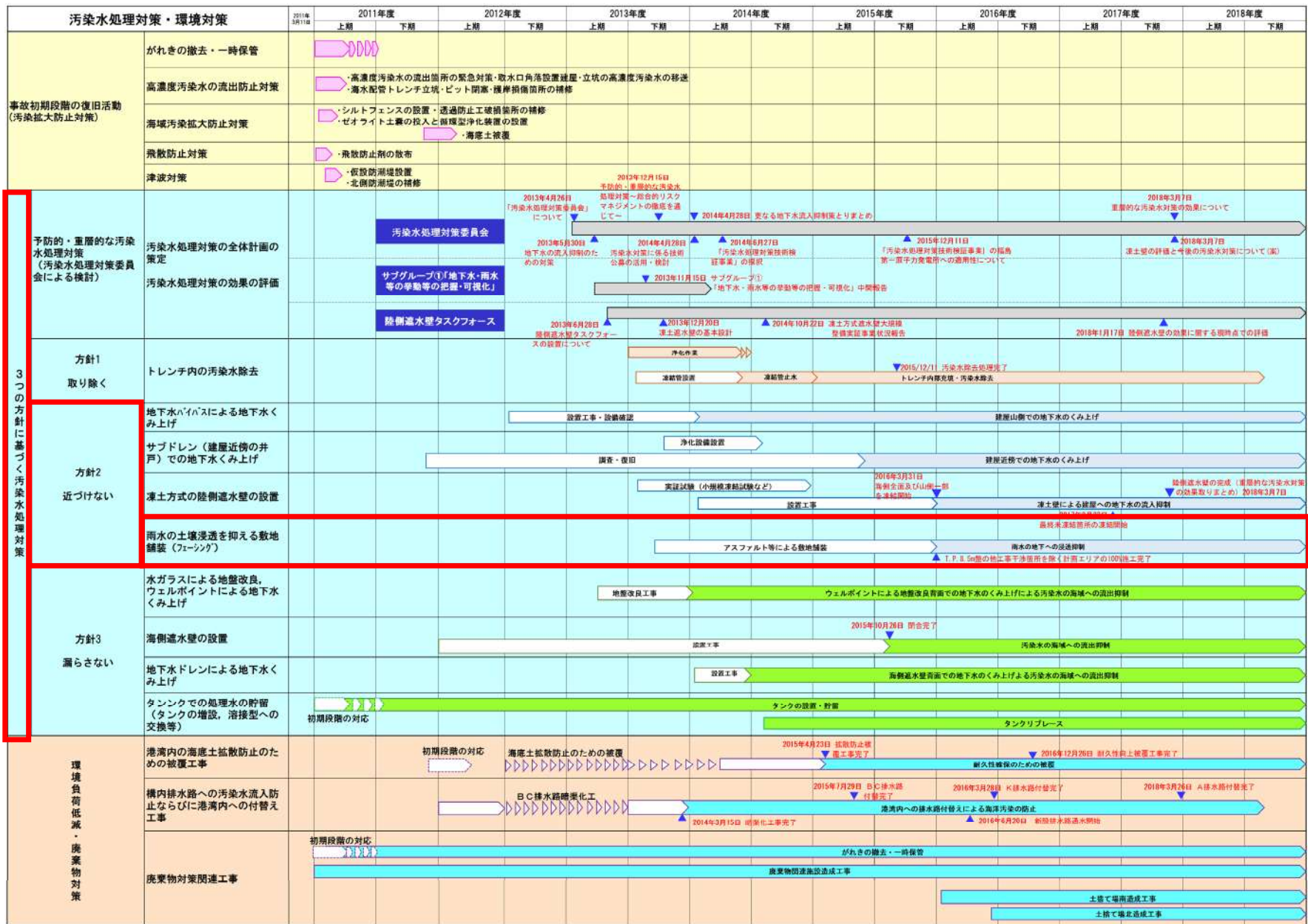
図 3-80 陸側遮水壁単体の効果の推定

図 3-71 凍結状況(掘削調査、2018年3月)



対策実施前: 約400m³/日
陸側遮水壁閉鎖前: 約190m³/日
凍結開始後: 約90m³/日

図 3-77 建屋への雨水・地下水流入量



都 道 (2018) : 汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料(2018年7月12日) ¹⁾ 本参考系に作成

3.2.2 個別の汚染水処理対策

(2) 汚染源に水を近づけないための対策 (d) フェーシング (P102～)

○雨水の地下浸透を抑制し**建屋への地下水流入量を低減する効果**

○敷地内の**空間線量率の低減効果**



図 3-81 フェーシングの効果



図 3-82 フェーシング施工エリア

耐久性、遮水性、遮へい性、施工性の観点から短繊維混入モルタルの吹付工法を採用した。吹付厚さは、**吹付後の表面線量率を $5\mu\text{Sv/h}$ 以下**とするため、**吹付厚さを10cm**とした（市町村による除染実施ガイドライン、2011年8月26日）。

水素爆発による高線量のがれきが多量に残置された1～4号機建屋西（山）側に位置する法面などに対して、以下のような工夫がなされた。

①表土除去工の遠隔自動化

急斜面用バックハウ(RCM：Rock Climbing Machine)の採用

②がれき撤去工の効率化

高線量のがれきのうち金属がれきに対して、電磁式大型磁石を用いたリフティングマグネットをクレーンに吊り下げ、がれき回収作業を行った。



図 3-90 がれき撤去装置と施工状況(②)

③モルタル吹付工の機械化

重機の設置スペースが確保できるエリアでは、吹付ロボット（Robo-Shot：人力の5倍程度の作業能力）による施工が行われた。



図 3-89 RCMによる施工状況(①)

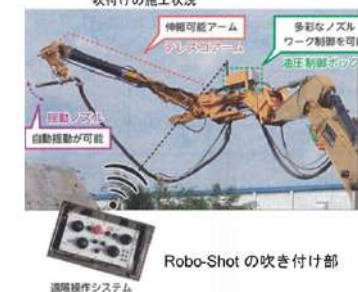
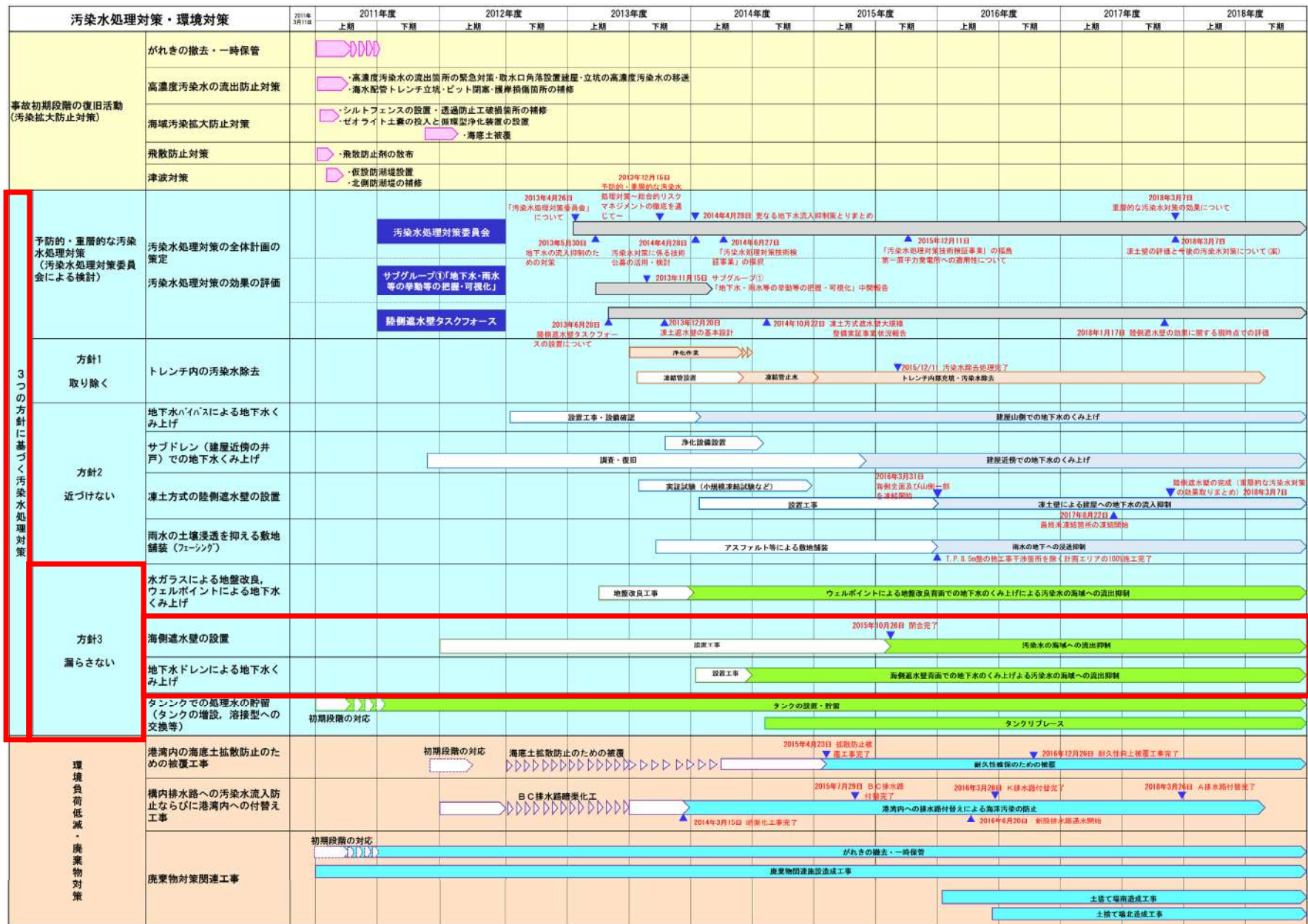


図 3-92 Robo-Shotによる施工(③)



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）^{1）}本参考系作成

3.2.2 個別の汚染水処理対策

(3)汚染水を漏らさないための対策 (b)海側遮水壁及び地下水ドレン (P128～)

海側遮水壁及び地下水ドレンは、汚染水の流出経路となる透水層に鋼管矢板の連続壁からなる遮水壁を設置して、海域への汚染水の流出を防止するとともに、海側遮水壁により堰上がる地下水を地下水ドレンで汲上げる設備である。

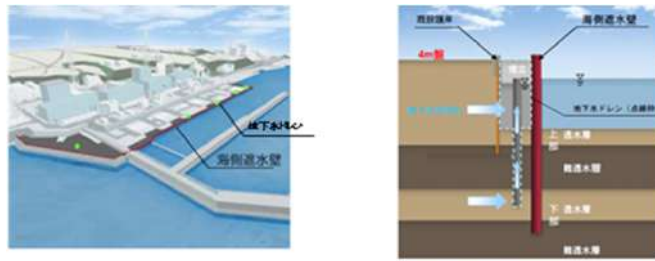


図 3-100 海側遮水壁のイメージ

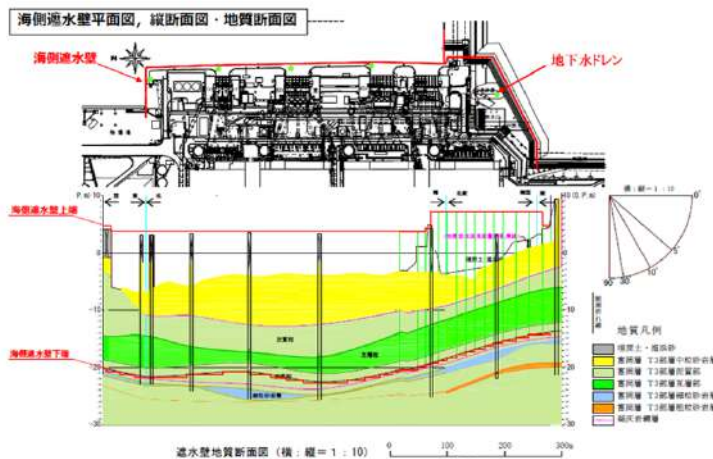


図 3-102 海側遮水壁の平面形状と地質断面図

①仕様

自立式鋼管矢板

- ・鋼管径: 1,000mm、1,200mm
- ・長さ: 約21～26m (地中部は約14～17m)

継手

- ・漏水防止ゴム付P-T型
- ・透水係数 $1.0E-08\text{m/s}$ 以下
- ・変形追従性能保有

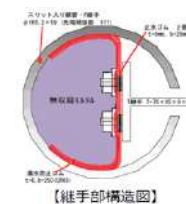


図 3-104 漏水防止ゴム付P-T型継ぎ手

②施工

先行掘削により互層 (Ⅲ層) までの地盤をほぐした後、バイブロハンマーの打撃により鋼管を設置。下端部は難透水層の泥質部に打撃により数m程度の根入を行う。

継手処理は、カメラによる健全性の確認後、無収縮モルタルの注入する。

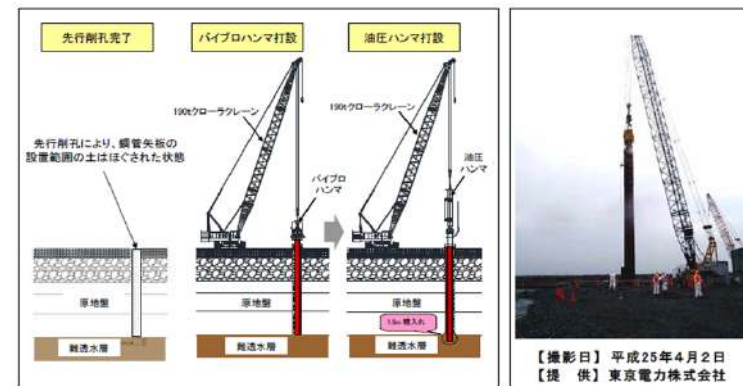


図 3-105 鋼管杭の打設施工手順

(b) 海側遮水壁及び地下水ドレン

遮水壁の閉合手順と効果 (P128~)

海側遮水壁が完成した場合、建屋周辺の地下水の堰上がりによる**建屋流入量の増加**、また、地表面まで地下水位が上昇した場合は、**汚染水の越流による海洋汚染の拡大**も考えられた。このため、**海側遮水壁の一部区間を開放状態**として施工を行い、建屋周辺の地下水位をコントロールするサブドレンと汚染水の移送・浄化設備の本格稼働に合わせて海側遮水壁の閉合を行う手順とした。

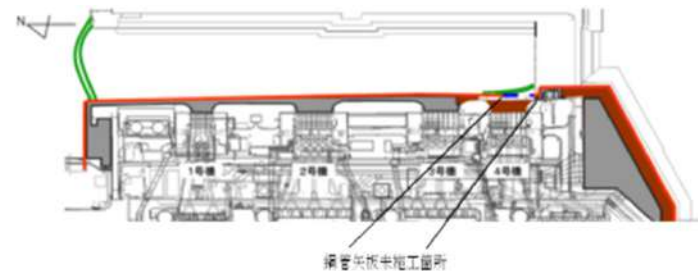


図 3-107 海側遮水壁の未施工区間

【鋼管矢板打設状況】
 <鋼管矢板打設前>

【鋼管矢板打設完了後】

【閉合作業実績】
 9月10日 鋼管矢板一次打設開始
 9月19日 鋼管矢板一次打設完了
 9月22日 鋼管矢板二次打設開始・完了

【鋼管矢板打設作業概要】

<一次打設>

<二次打設>

今般作業で打設する鋼管矢板(9本)

図 3-108 未施工区間の閉合手順と施工状況

海側遮水壁の閉合は2015年9月19日から開始され、10月26日に継手処理が完了した。閉合作業に伴い、港湾内の**放射性物質濃度は大幅に低下**した。

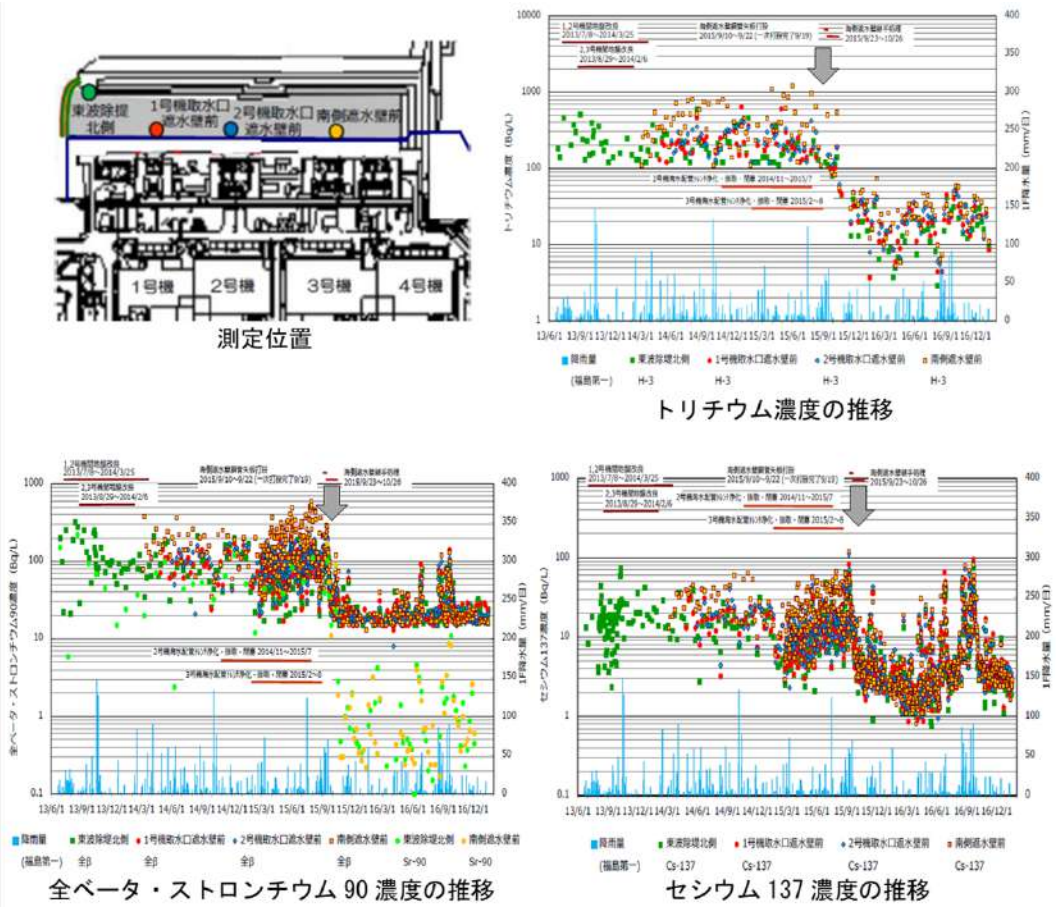
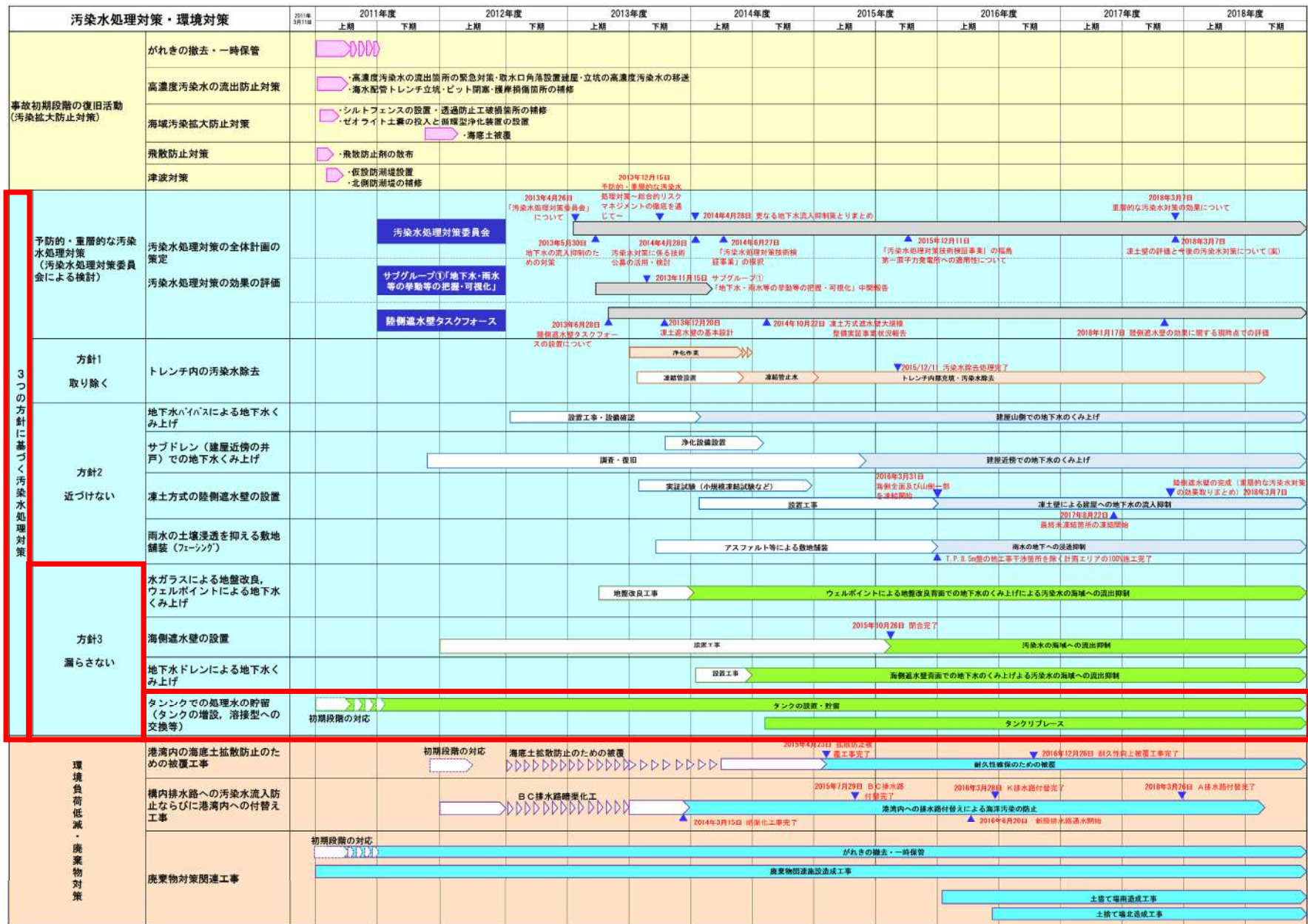


図 3-109 港湾内海水中の放射性物質濃度の推移



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）^{1）}本参考系作成

3.2.2 個別の汚染水処理対策

(3)汚染水を漏らさないための対策 (c)タンク (P135～)

タンクの設置は、事故直後から大量の処理水を迅速に保管するため種々のタンクが集められた他、効率的に組立てができる**フランジ型タンクの設置**で対応していた。

初期段階では、フランジ型タンクの構造や配管に起因する漏えい、移送の運用に起因する漏えいなどが発生していたため、日常点検の強化、万一、タンクから漏えいした場合でも**タンクヤードから地盤へ汚染水が流出しない対策**（浸透防止工、コンクリート堰、外周堰の設置）等、様々な対策が整備された。



図 3-112 フランジ型タンク(左ー組立中、右ー完成)

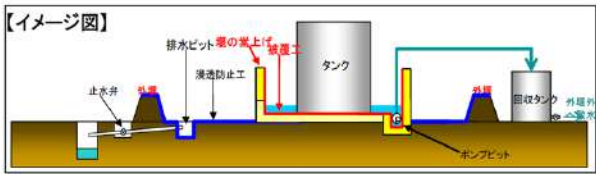


図 3-113 タンクヤード整備の概要

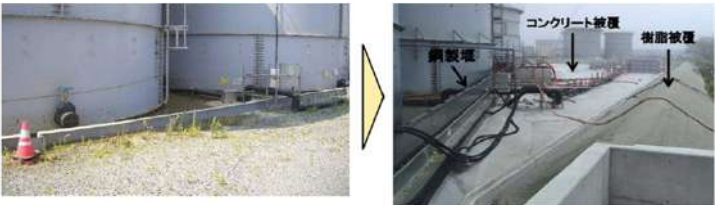


図 3-114 タンクヤード整備の概要

フランジ型タンクは**長期的には漏えいのリスクが高く**、このリスクを低減するための抜本的な対策として、**フランジ型タンクの撤去、溶接型タンクへの切替え（リプレース）**が実施された。



図 3-115 溶接型タンク(貯水容量1,200m³/基)

リプレースに際しては、今後増加する汚染水に備えるため、貯留容量の増加対策が図られた。

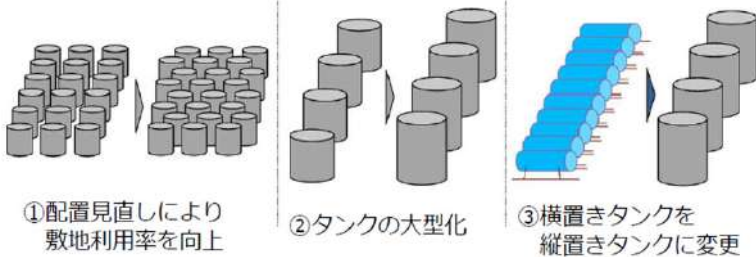


図 3-116 貯留容量の増加対策

(c) タンク フランジタンクの解体 (P137～)

汚染水を抜き取った後のタンクの**表面線量率は40～50mSv/hと高く**、また、タンク基礎コンクリートは過去の漏えいにより表面が汚染されていた。解体工事では、タンクからのダストの飛散抑制や作業員の被ばく低減対策、防護装備における熱中症リスクなどの多くの課題に対応する必要があった。

タンク解体の手順

①タンク内面塗装（抑制剤塗布）

タンク内面に付着している放射性物質の飛散防止のため、タンク内面の洗浄と塗装を実施した。

②タンクの解体

雨水浸入防止とダストの飛散抑制のため、空気膜を用いた超軽量構造のバルーン天板、クレーンによる一括架設、容易な着脱による設置方式を確立した。

③コンクリート基礎切削除染

コンクリート基礎切削は、飛散防止用仮設テント内で実施し、ポータブル型切削機による除染が行われた。表面切削は切削ごとに表面線量率を測定し、10μSv/h未満になるまで切削を繰り返す作業が行われた。

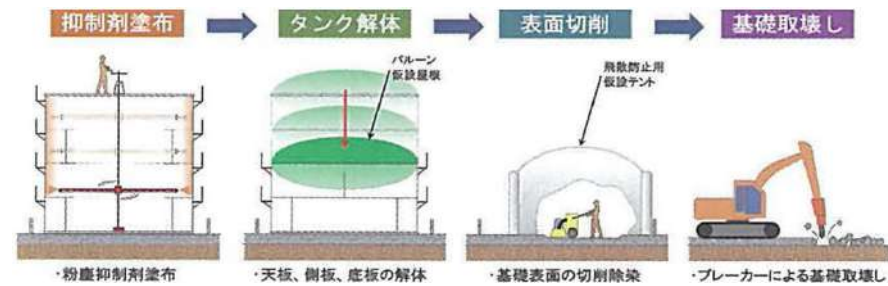


図 3-117 フランジ型タンクの解体フロー



図 3-120 フランジ型タンク解体作業状況

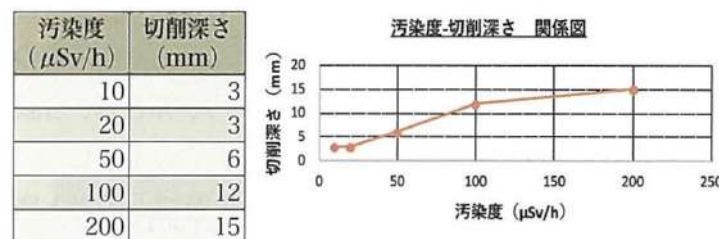


図 3-122 汚染度一切削深さ関係(j実績)



図 3-121 コンクリート基礎切削除染の状況

(c) タンク 溶接型タンクの設置 (P139～)

溶接型タンクの設置

溶接型タンクは、**現地でタンクの組立・溶接を行う方式**と、メーカーの工場や福島第二原子力発電所で組立・溶接を行った**完成形のタンクを海上で運搬**する2つの方式の併用による施工が行われた。

タンクの組立・溶接



4枚継側板 1枚もの側板
図 3-123 工場での部材作成(側板の作成)



図 3-124 仮組の状況(底板設置～側板建込み)



図 3-125 側板の溶接状況(左:溶接足場、右:溶接状況)

完成形タンクを搬入する方式



海上輸送の状況⁶⁾



荷揚げの状況⁶⁾



陸上輸送の状況¹⁾

福島第一原子力発電所までの約13kmは海上輸送を行い、設置箇所までの約2kmの陸上輸送は多軸式特殊台車で行った。

図 3-127 海上輸送、及び陸上輸送の状況



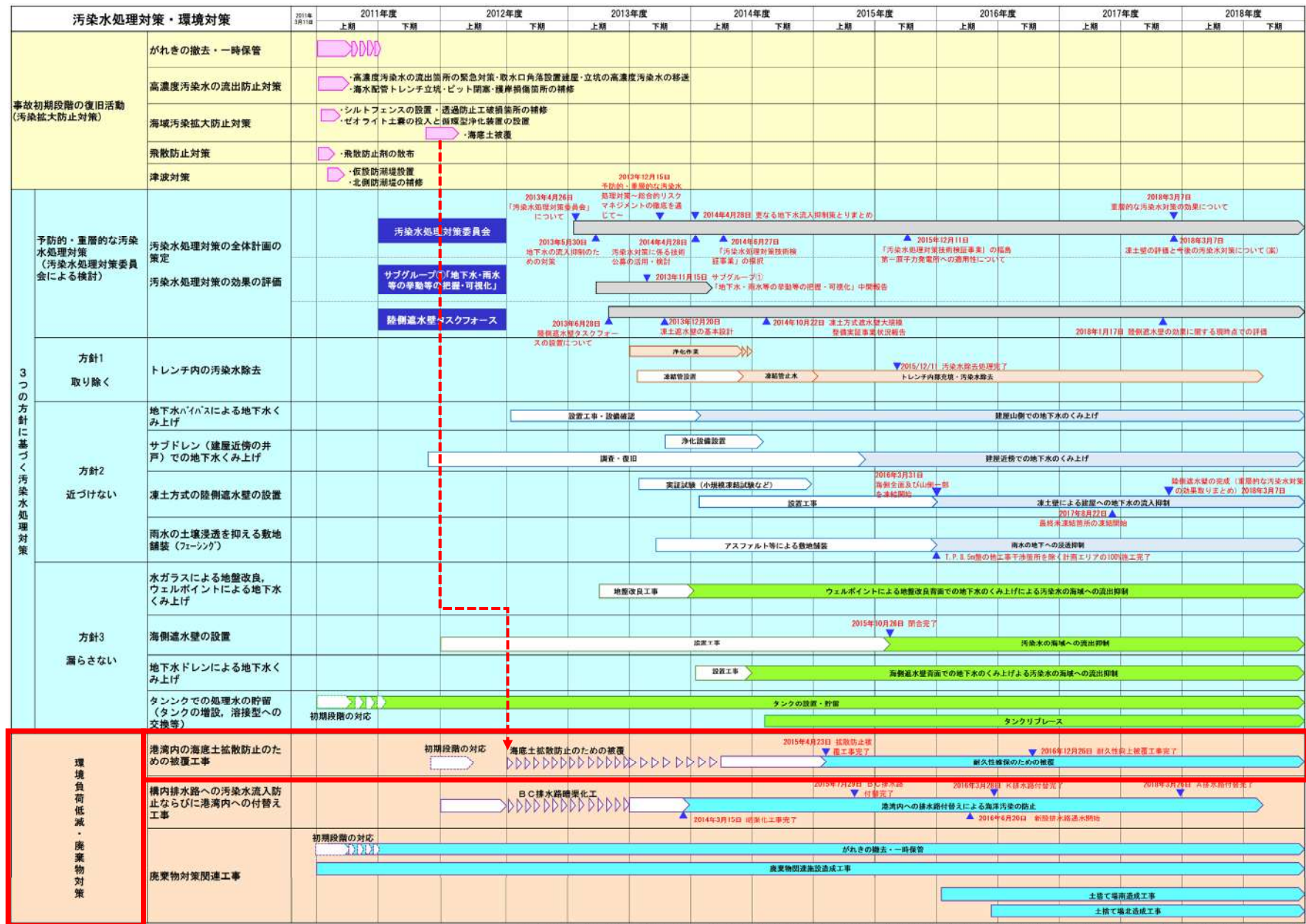
タンクの組立・溶接・水張り試験は福島第1原子力発電所以外での作業となるため、**作業時間の制約や保護具が不要となり、作業効率が格段に向上した。**

図 3-126 福島第二原子力発電所での組立て・溶接の状況



水張り試験は実施済みのため、設置後、底板の溶接線について磁粉探傷検査(MT)を行い、欠陥がないことを確認して供用を開始した。これにより、**供用開始までの時間が大幅に短縮された。**

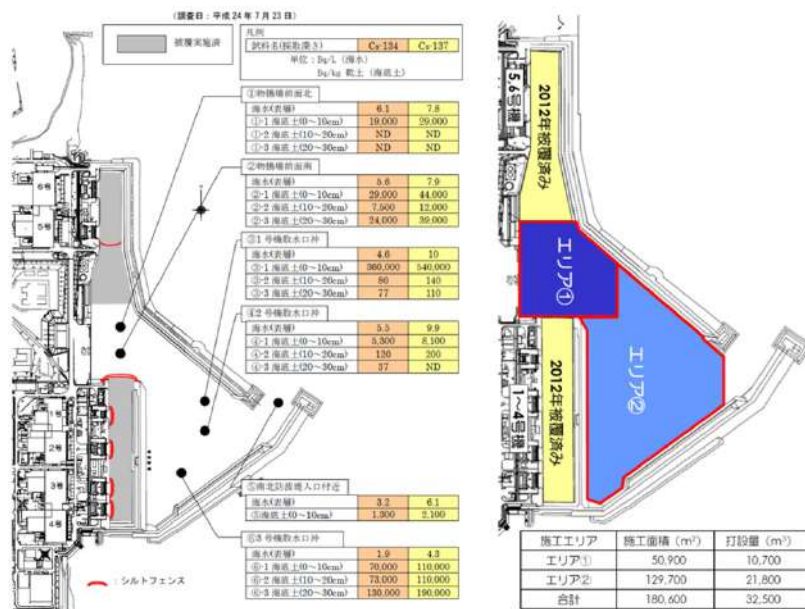
図 3-128 タンクの設置状況



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）^{1）}本参考系作成

3.3.1 汚染の拡大防止対策 (1) 海底土の被覆 (P145～)

第1期工事の被覆箇所以外の港湾内の汚染は依然高い状況であった。このため、約18万m²の未施工エリアについて第2期工事として海底土被覆を実施した。対象エリアのうちエリア①は、海底に浮泥が存在するため第1期工事と同様に浮泥の拡散を防止する2層（被覆材A、B）の被覆構造とした。浮泥の分布しないエリア②については、被覆材Bの1層の被覆構成とした。



港湾内海底土核種分析結果¹⁾ 海底土被覆施工範囲²⁾
図 3-131 海底土の汚染状況と海底土被覆施工範囲

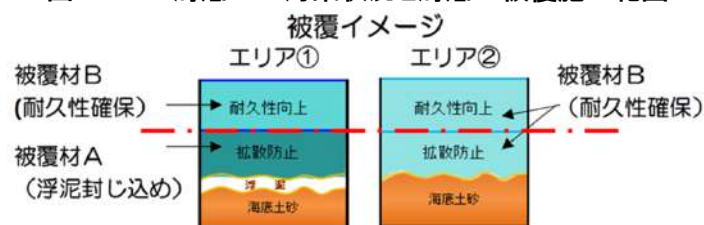


図 3-132 被覆土の構成

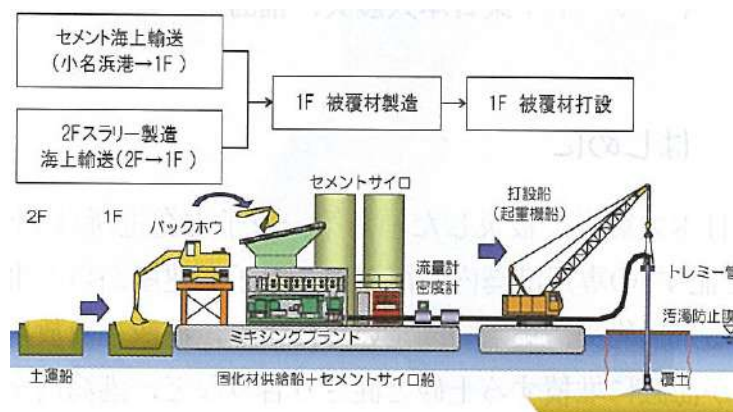


図 3-133 海底被覆土の施工システム



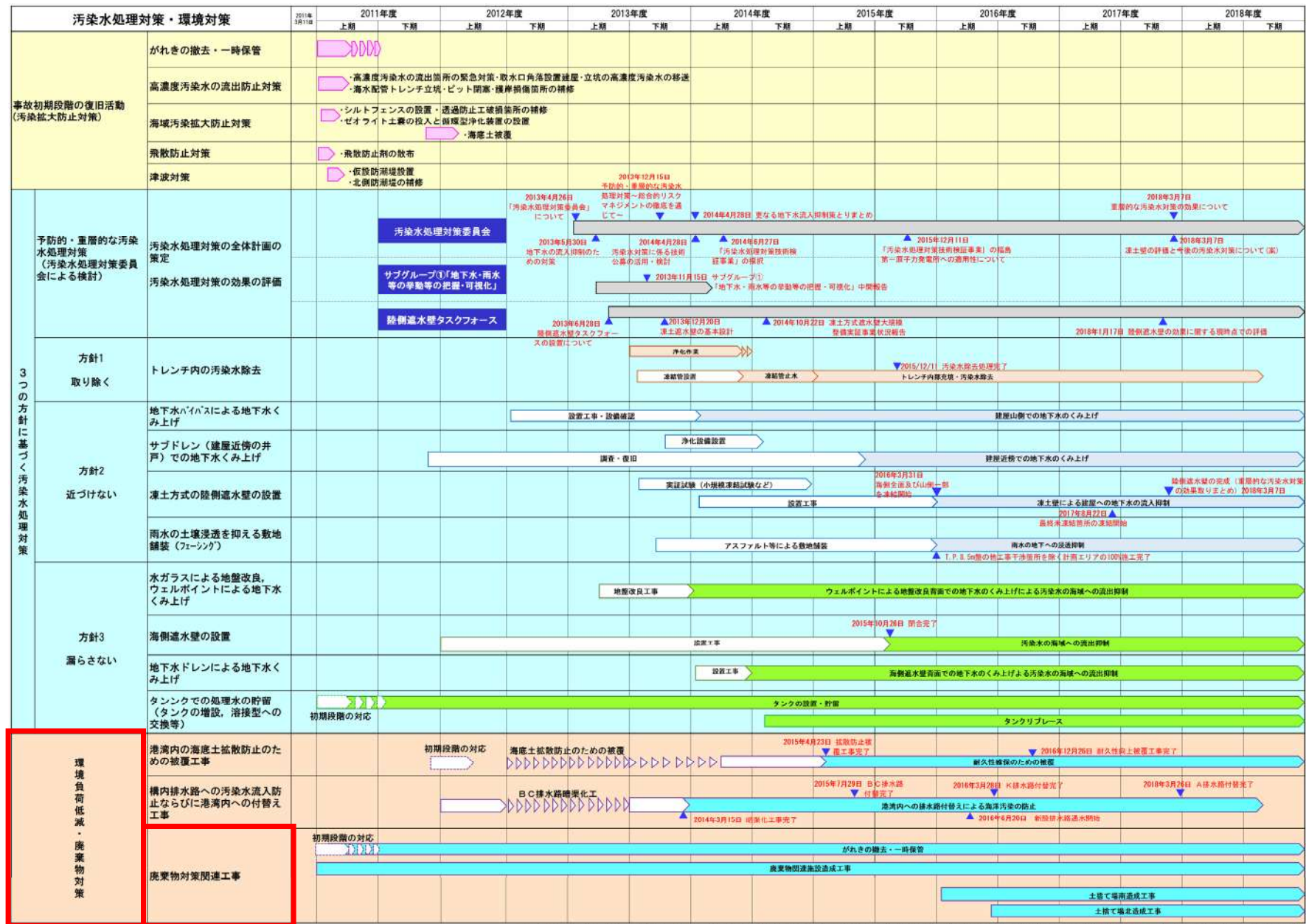
図 3-137 施工状況(第2期工事)

施工方法の工夫 (トレーミー管筒先構造)



筒先からの落下衝撃による**海底土の巻き上がり抑制**のため、落下する被覆材の鉛直力を水平方向に分散させると同時に被覆材の材料分離をおさえつつ、**被覆材を海底土上に広く均等に行き渡らせる筒先治具(スプレッター)**を開発

図 3-136 筒先治具(スプレッター)の工夫



都築 進（2018）：汚染水対策・環境対策における土木技術の貢献。福島第一における廃炉・汚染水対策の現状報告と意見交換会講演資料（2018年7月12日）¹⁾ 本参考系作成

3.3.2 廃棄物関連対策

(1)がれきの撤去（がれきの撤去に資する遠隔操作技術）（P161～）

(a)構内道路

遠隔操作は2種類のシステムから構成され、遠隔操作室でオペレータが重機を操作する（「**2.1構内道路の健全性確認及びがれきの撤去**」）。

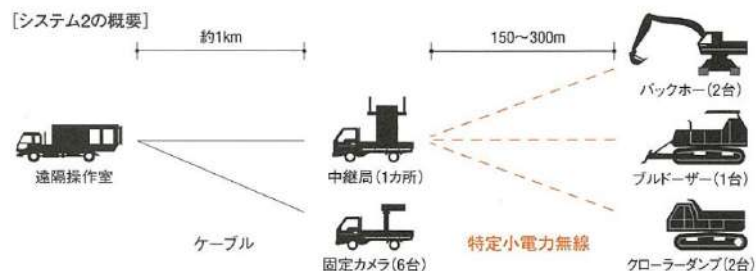


図 3-156 システム概念図



バックホーでがれきを選び、クローラードンプに積んだコンテナに載せる様子。右写真右下が移動式遠隔操作室である。

図 3-157 無人化施工の状況

(b) 3号機建屋

重機10台を遠隔により操作するシステムを構築した。

操作室は、建屋から500mほど離れた免振重要棟に設置され、現場に4つの通信基地局を設け、その間を光ケーブルで接続する。

基地局を介して重機に操作信号を送信するシステムでがれきを撤去する。

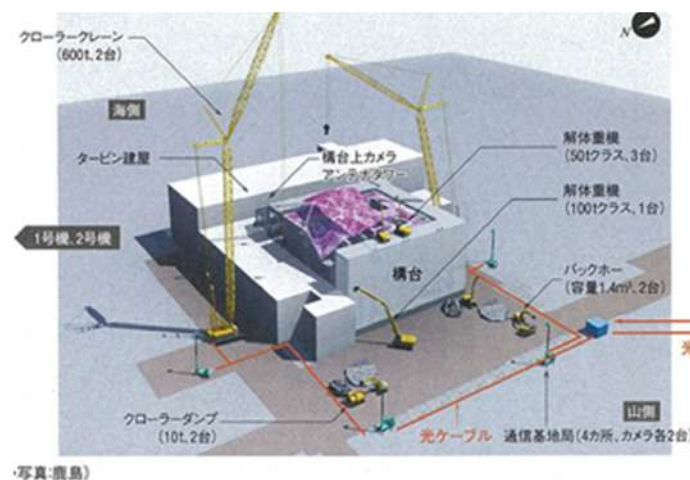


図 3-158 がれき撤去と付属建屋解体イメージ



橋台の上に重機を上げてタービン建屋の排気ダクトを解体した。



3号機原子炉建屋の南側などに落下したがれきの撤去の様子

図 3-159 がれき撤去の施工状況



現場から500m離れた遠隔操作室。写真はクローラークレーンを操作する様子

3.3.2 廃棄物関連対策

(1)がれきの撤去（がれきの撤去に資する遠隔操作技術）（P161～）

(c)3号機（搬送の自動化）

クローラードンプ自動走行システム

機械が自分で周囲の状況を判断して走行・停止し、障害物を検知して、衝突を回避する自動搬送システム。

3号機原子炉建屋から搬出された高線量がれきを固体廃棄物貯蔵庫まで搬送する。



図 3-162 クローラードンプ自動走行システム

フォークリフト自動走行システム

貯蔵庫前では、コンテナをフォークリフトに遠隔操作で積み替え、所定の位置へコンテナを定置する。



図 3-163 フォーク リフト自動走行システム

(d)オペレーションフロア

様々なアタッチメントを活用してオペレーションフロア上のがれきを遠隔操作により撤去した後、有人作業ができるように厚板鉄板等の敷設、遠隔操作式除染装置による吸引で小がれきや粉塵の除去による線量低減を図った。



図 3-165 解体アタッチメント・解体重機

除染方法	①集積	②吸引	③吸引	④機械式はつり	⑤高圧水はつり	⑥泡除染
外観						
除染機能	バケットでは回収できない小規模な集積	小型瓦礫および粉塵の吸引	②の代替機	躯体健全箇所の表面はつり	躯体健全箇所の表面はつり	酸性泡剤にキレート剤を含ませた除染剤を散布して錆部を溶解し、セシウムを除去
除染能力	集積最大重量 300kg 自走式(20m/h)	吸引瓦礫最大径 100mm 自走式(10m/h)	吸引瓦礫最大径 100mm 定置式	はつり最大厚 1.6mm 自走式(3m/h)	はつり最大厚 5.0mm 定置式	

図 3-166 除染機器

4. 固体廃棄物の合理的な安定保管・管理技術 4.1 対象廃棄物の分類 (P180～)

事故により新たに保管・管理が必要となった下記の①と②の放射性廃棄物を対象に「**福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画(2016年)**」が策定された。

①がれき等 (がれき、伐採木、使用済み保護衣など)

②水処理二次廃棄物 (吸着塔類、廃スラッジ (除染装置スラッジ)、濃縮廃液スラリーなど)

なお、固体廃棄物の保管管理計画は、廃棄物の発生量実績・発生量予測値の更新、保管設備の整備状況などに基づいて保管・管理計画は適宜改定されている。

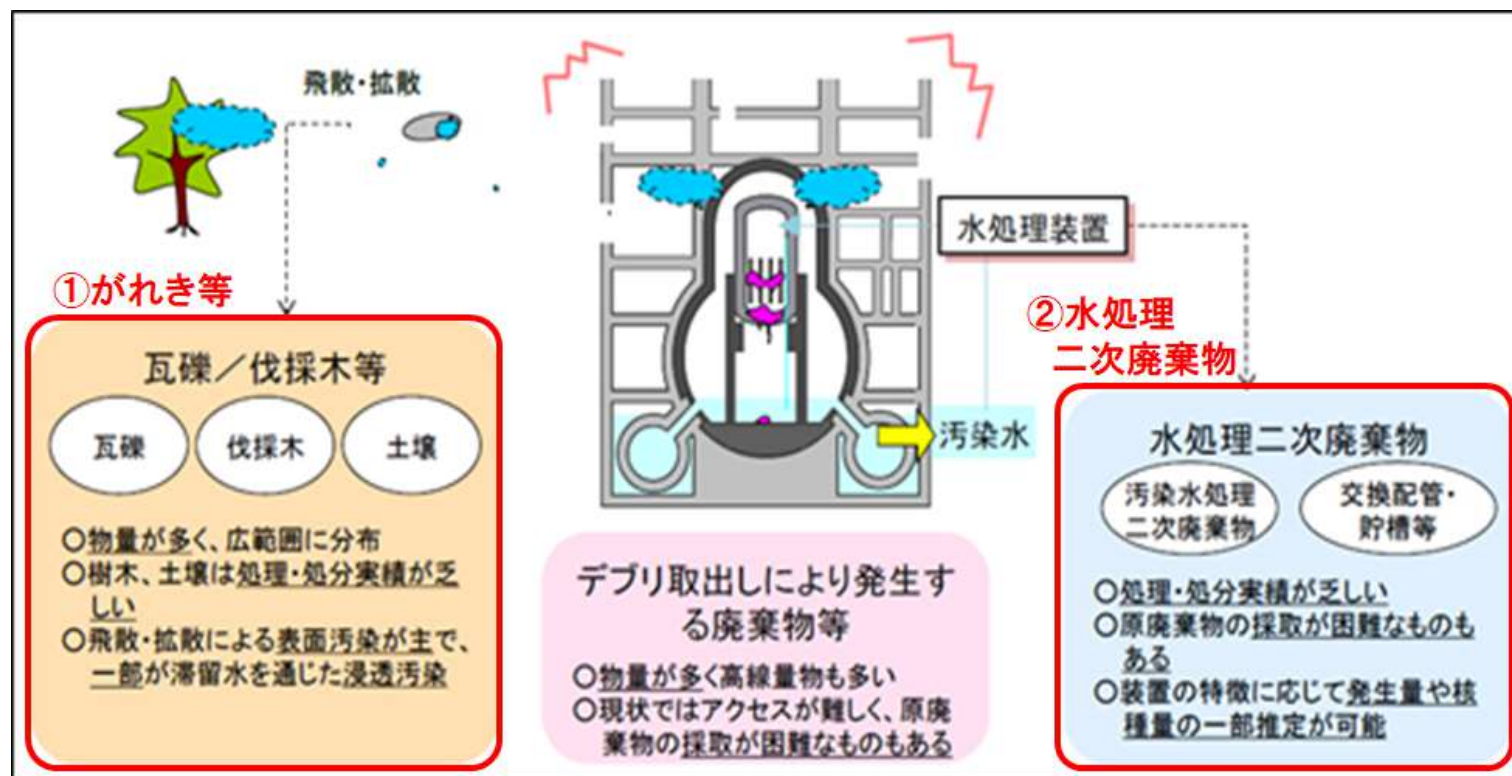


図 4-1 福島第一原子力発電所事故で発生した廃棄物

4. 2がれき等の保管・管理

4.2.2 概要(1/2)

(3)保管・管理方法 (P185~)

廃棄物は**その特性を考慮して、特性に応じた分類保管**が行われている。

- ・ **瓦礫類**は、遮へいや飛散防止の観点より、**線量区分毎にエリアと保管形態を分けて**保管する。
- ・ **伐採木**は、**火災の発生リスクや線量の観点**から幹・根と枝・葉に分けて保管する。
- ・ **表面線量率が極めて低い金属・コンクリートや解体タンク片等**は、廃棄物量削減のため、廃棄物とする前に**再利用**を検討する。

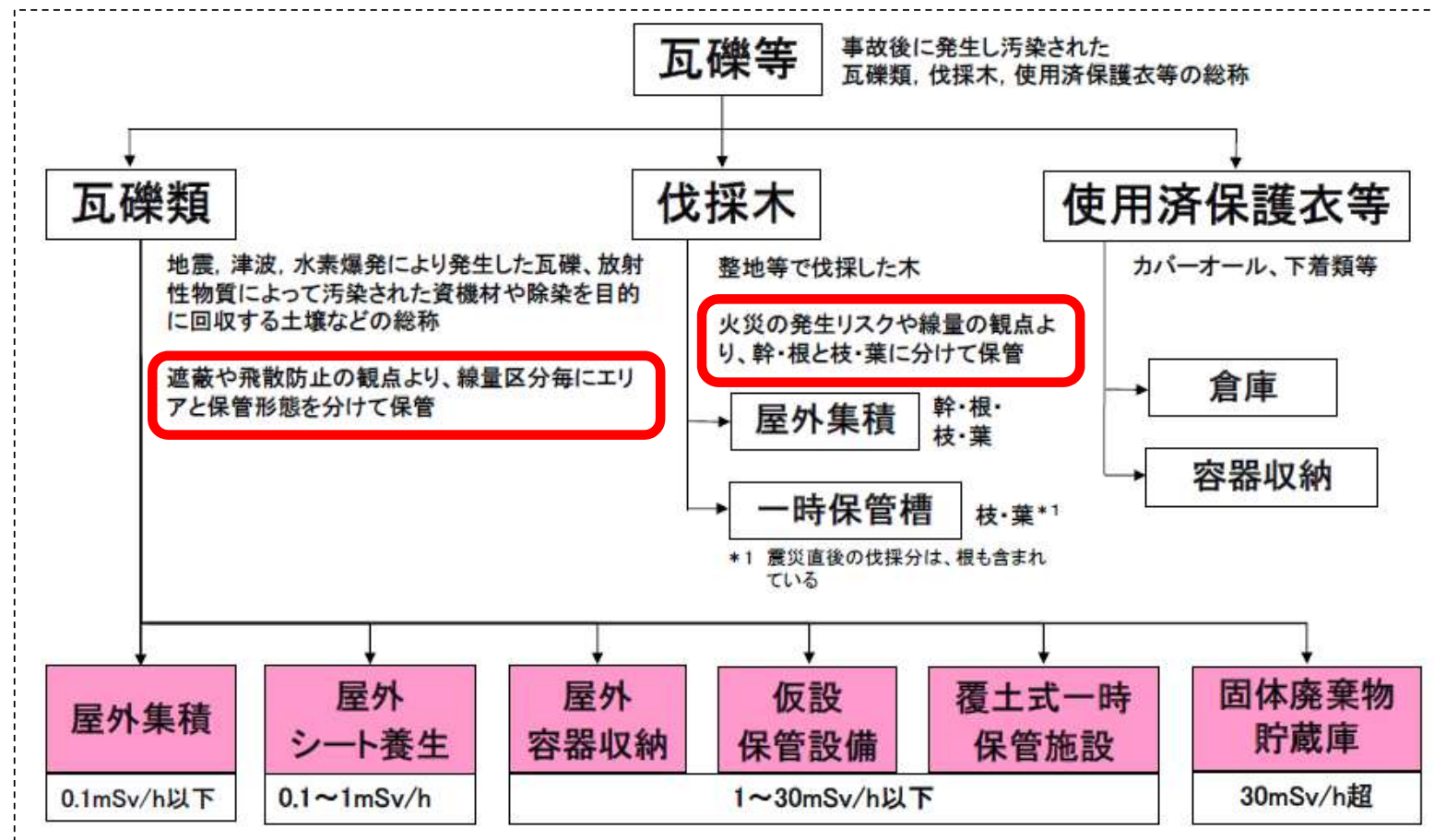


図 4-5 がれき等の種類と保管施設

4.2 がれき等の保管・管理

4.2.2 概要(2/2)

(3)保管・管理方法 (P185～)

- 対象廃棄物の保管・管理は、**福島第一原子力発電所の敷地内**で行われている。
- ・廃棄物は**遮へい・飛散抑制機能を備えた施設（保管施設）**に收容する。**直ちに保管施設に収納できない場合は、一時保管施設に收容**する。
 - ・今後計画されている工事からの発生量を含めた**瓦礫量を予測**し、一時保管エリアの**充足性を確認**する。不足する場合は、計画的に一時保管エリアを追設し、保管容量を確保する。



図 4-2 がれき類・伐採木・使用保護衣等の管理状況(その 2)

表 4-2 がれき類・伐採木・使用保護衣等の管理状況
(その 1) (2018年9月30日時点)

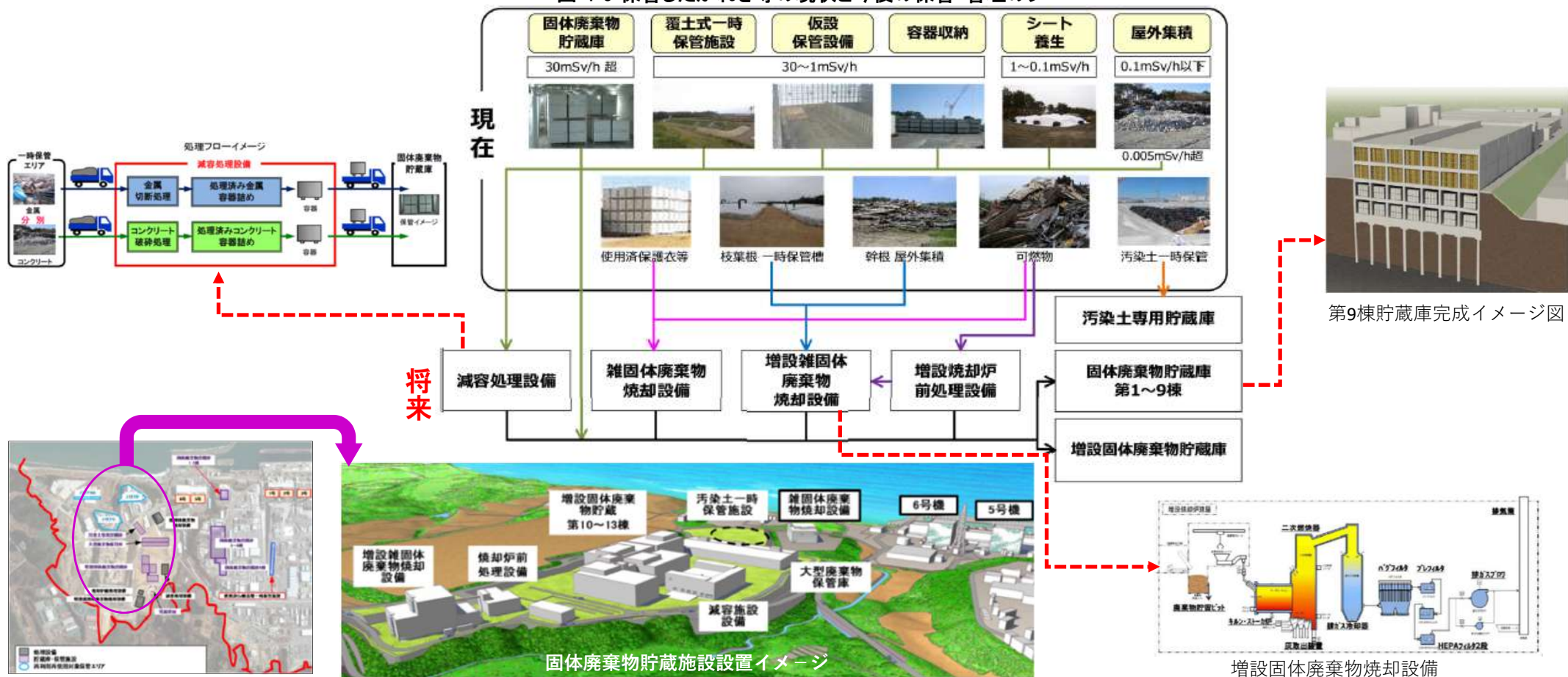
分類		保管場所	保管方法	保管量 ^{※3} ／保管容量 (割合)
瓦礫類	屋外集積 (0.1mSv/h以下)	B	屋外集積	182400／250700 (73%)
		C	屋外集積	
		F 2	屋外集積	
		J	屋外集積	
		N	屋外集積	
		O	屋外集積	
		P 1	屋外集積	
		U	屋外集積	
		V	屋外集積	
	AA	屋外集積		
	シート養生 (0.1～1mSv/h)	D	シート養生	38200／71000 (54%)
		E 1	シート養生	
		P 2	シート養生	
		W	シート養生	
		X	シート養生	
	覆土式一時保管施設、 仮設保管設備、容器 (1～30mSv/h)	L	覆土式一時保管施設	19100／31700 (60%)
		A	仮設保管設備	
		E 2	容器 ^{※4}	
		F 1	容器	
Q		容器		
固体廃棄物貯蔵庫	固体廃棄物 貯蔵庫	容器 ^{※4}	10500／45600 (23%)	
合計 (ガレキ)				
伐採木	屋外集積 (幹・根・枝・葉)	G	屋外集積	96600／134000 (72%)
		H	屋外集積	
		M	屋外集積	
		V	屋外集積	
	一時保管槽 (枝・葉)	G	伐採木一時保管槽	37300／41600 (90%)
		T	伐採木一時保管槽	
合計 (伐採木)				
保護衣	屋外集積		容器	56300／71200 (79%)
合計 (使用済保護衣等)				

4.2 がれき等の保管・管理 4.2.3 特徴、工夫・効果 (P193～)

がれき等の保管・管理における特徴、工夫・効果としては、以下の事項があげられる。

- ・ 将来の**廃棄物処理処分**のため、**発生場所・表面線量率等を記録**の上で**分類して**、分類ごとに**保管**する。
- ・ がれき等の保管エリアは**津波評価**に基づき、津波により**浸水しない**エリアを選定する。

図 4-6 保管したがいれき等の現状と今後の保管・管理のフロー



4.3 水処理二次廃棄物の保管・管理

4.3.2 概要（P197～）

水処理二次廃棄物は、遮へい・飛散抑制機能を備えた建屋内への保管に移行し、一時保管エリアを解消していく方針とし、建屋内への保管への移行に際しては、経年劣化も考慮のうえ処理方策等を今後検討していく。



図 4-15 水処理二次廃棄物の保管・管理フロー

	名称	対象物
水処理二次廃棄物	吸着塔類	現在の建屋内滞留水等の汚染水処理に伴って発生する廃棄物、吸着材のほか、スラリー、モバイル式処理装置のフィルタ類などが含まれる
	廃スラッジ(除染装置スラッジ)	除染装置(AREVA)の運転に伴って発生した凝集沈殿物
	濃縮廃液スラリー	炉心注水用の淡水を生成する際に発生した濃縮塩水を蒸発濃縮装置でさらに濃縮減容した廃液中の固形分

5.技術提案の公募

5.1 国際廃炉研究開発機構の公募（P206～）

汚染水対策については国内外の叢智を結集するため、6分野について広く対応策を募集した。これを受けて国内外から769件の提案があった。

技術提案については、専門家によるレビュー会議において、6分野ごとに

- ①福島第一原子力発電所と同様の環境下において実用化の実績があるもの。
- ②他分野において実用化の実績があるもの。
- ③原理は確立されており、研究レベルで一定の成果を上げているもの。
- ④アイデア提案として示されているもの。

の視点で整理・分類がなされ、数年以内に現場で一定の効果が発揮されるものの観点から評価が行われ、汚染水処理対策委員会（第9回）に「**新たに活用すべき主な技術**」として報告された。

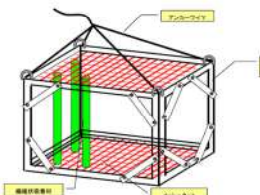
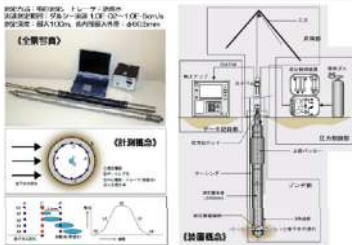
表5-1 国内外からの技術提案

「特に技術提案・助言をお願いしたい事項」として募集した分野	件数
1：汚染水貯留 （貯留タンク、微小漏えい検出技術 等）	206
2：汚染水処理 （トリチウム分離技術、トリチウムの長期安定的貯蔵方法 等）	182
3：港湾内の海水の浄化 （海水中の放射性Cs、Sr 除去技術 等）	151
4：建屋内の汚染水管理 （建屋内止水技術、地盤改良施工技術 等）	107
5：地下水流入抑制の敷地管理 （遮水壁施工技術、フェーシング技術 等）	174
6：地下水等の挙動把握 （地質・地下水データ計測システム、水質分析技術 等）	115
その他（1～6に該当しないもの）又は、記載がないもの	34

表5-4 公募を踏まえ新たに活用すべき主な技術

①現地での適用性を確認した上で早急に活用すべき技術
○二重鋼殻タンク等の信頼性の高い大型タンク等
○鉛を用いない軽量な遮蔽シート
○汚濁防止膜（シルトフェンス等）
○止水技術（建屋内止水、建屋周辺止水）
○地質・地下水調査、観測網を整備
②施工性や費用対効果等を踏まえ実施手法を選定した上で、活用すべき技術
○遮水対策技術（フェーシング、遮水等）
③効果が期待されるが、活用するに当たって確認・検証が必要な技術
○微小漏えい検出技術（染料を含む）
○水を使わないタンク除染技術
○トリチウム水の貯蔵・分離技術
○港湾内の海水の浄化技術
○土壌中のストロンチウムの捕集技術
○無人ボーリング技術
※各技術の確認・検証内容に応じ、確認・検証を支援する体制を整備
④汚染水処理対策委員会等での検討を踏まえて進めて行くもの
○トリチウム水の取扱いについての総合評価
○タンカー、地下貯蔵等に係る諸問題への対応の可能性の検討

表5-5 現場で採用した技術提案(例)

信頼性の高い大型タンク	鉛を用いない遮へいシート
No.558 - 工場にて一貫してタンクを完成させ現地搬入することにより現場作業を極小化 - 据付エリアの敷地形状、貯蔵量ニーズに合わせた各種容量タンクを供給可能 	No.83 柔軟性に富みかつ加工容易であるDfシートを用いて測定器のプロープの放射窓以外の部分の外面を被覆することにより、周囲からのγ線並びにβ線を遮へいでき、水たまりのβ線表面汚染密度を測定する方法 
吸着材を用いた海水浄化	Sr 汚染地下水を対象とした透過性浄化壁
No.408 ①Cs吸着繊維を港湾内に浸漬、または繊維に海水を通し、海水からCsを吸着除去 ②Sr吸着繊維を港湾内に浸漬、または繊維に海水を通し、海水からSrを吸着除去  【繊維状吸着材浄化装置の概念図】	No.229 アパタイトによる土壌中Sr捕集を実施予定（22社提案の中から、現地適用性の高いものを比較評価し採用）  （回転装置設置）  【カラム試験】
水みち検層 (No.571)	単孔法流速流向測定技術 (No.572)
No.571 裸孔状態のボーリング孔において、孔底までダウンホールプロープを挿入した後、揚水ポンプで揚水しつつプロープを段階的（または連続的）に引き揚げ、プロープ内に設置された電磁流量計により区間ごとの流量変化を計測（水みち検層）	No.572 測定場の間隙変化による乱流の影響を受けない電位差式測定法（単孔法流速流向測定技術）で、水みち検層技術と単孔法流速流向測定技術を組み合わせた調査  【測定技術概念図】

(No.は受付番号)

5.技術提案の公募 5.2 経済産業省 資源エネルギー庁の公募 (P211~)

経済産業省 資源エネルギー庁は、平成25年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金」に係る補助事業として、以下の4つの汚染水処理対策技術検証事業に係る補助事業者の公募を行った。

- ① 海水浄化技術検証事業
- ② 土壌中放射性物質捕集技術検証事業
- ③ 汚染水貯蔵タンク除染技術検証事業
- ④ 無人ボーリング技術検証事業

審査の結果、11件の提案が採択され検証事業が実施された。

得られた成果

開発・検証技術1 遠隔制御・監視、データ取得技術

開発・検証技術2 ロッドハンドリング技術

開発・検証技術3 位置決め機構

開発・検証技術4 地質概要の把握(掘削くずの捕集)

開発・検証技術5 ユニット化

これらの技術の開発・検証を行い、本事業の目標であるシステムの成立性・実用性の確認および1Fへの適用に向けた課題の抽出を行った

1Fへの適用性・今後の課題

《1Fへの適用性》

- 設備のユニット化および自走機能により、運搬、移動、設置等の機動性に優れている
- 通常の無線を用いない(有線もしくは衛星通信)ため混雑による不具合が発生しない。
- 地質条件によるエア・ミスト掘削を採用することで二次廃棄物の発生を抑制できる

《今後の課題》

- 開発機械特有の課題
 - 本システムを用いた掘削作業には事前の訓練が必要
 - 衛星回線の通信速度の改善
 - システムの需給バランスとアフターケア体制の構築
- 一般的な課題
 - 地質条件・深度等による泥水掘削への切替の必要性
 - 使用済み機械の処置、処分

図5-1 成果報告の例(無人ボーリング技術検証事業最終成果)

表5-6 汚染水処理対策技術検証事業

海水浄化技術検証事業	
海水中における、主として放射性セシウムや、放射性ストロンチウム等の浄化技術について、その除去性能を検証するための実証試験	①海水中の汚濁物質を除去する前処理装置と海水用に調整された独自の捕集材システムとを組み合わせた浄化システムの除去性能を検証
	②放射性核種の捕集について実績のある吸着材を採用し、これを導入した水中稼働式浄化システムの除去性能を検証
	③自然素材を活用して、セシウムだけでなくストロンチウムに対しても高い吸着性能を持つ捕集材料の開発を実施し、この除去性能、放射線耐性、二次廃棄物量を検証
	④可燃性の吸着シートを新たに開発し、これを導入した水中可動式浄化システムについて、その除去性能と二次廃棄物量を検証
	⑤セシウムとストロンチウムの化学特性の相違を考慮して、繊維状吸着材を新たに開発し、海水からのセシウムとストロンチウムの除去性能と二次廃棄物量を検証
土壌中放射性物質捕集技術検証事業	
一定以上の塩化物イオン濃度下(200 ppm以上)における、土壌中の放射性物質(主として放射性ストロンチウム)捕集技術の捕集性能を検証	⑥土壌中の放射性ストロンチウムに対する浸透式反応性バリア技術の捕集性能を検証
	⑦高いストロンチウム捕集性能を有する吸着剤(海水での捕集率99%以上)を用いて、地下水中のストロンチウムを効率よく捕集・回収する仕組みを有する透過壁の構造およびその施工手順を確立を実施
汚染水貯蔵タンク除去技術検証事業	
解体作業における作業員の被ばくを低減する観点から、複雑な構造を有するボルト締め型タンク内部に貯留する汚染水を排水するの除染性能を検証	⑧複雑な形状のタンクの除染に超高压液体窒素技術を適用した際の除染性能と廃棄物回収性能を検証
	⑨「ドライアイスブラスト」、「機械切削」、「ショットブラスト」の3つの除染技術を最適に組み合わせた遠隔除染装置の除染性能を検証
	⑩タンク底部の残留汚染水を浄化用水として再利用することで、汚染水を増やすことなく、タンク内部を除染するシステムの性能を検証
無人ボーリング技術検証事業	
ボーリング作業時における作業員の被ばくを低減させる観点から、高線量下での無人ボーリング性能を検証	⑪ボーリング作業工程のうち・初期掘削・コアリング掘削・拡張掘削を対象とした、衛星通信ネットワークを用いた遠隔操作ボーリングシステムの検証

まとめ (おわりに) (P215～)

事故発生当初からの**緊急時対応と復旧活動**、**汚染水処理**や**環境負荷・廃棄物対策**などの様々な取り組みのほとんどにおいて土木技術は関わってきており、多くの土木技術者がそれぞれの場面で**創意・工夫と苦労**を重ねて貢献した。広範に実施された各種の対策技術がどのようなものであったかということを、本報告書では公開資料に基づいて時系列的な流れも考慮して体系的な整理を行った。

福島第一原子力発電所の事故対策で用いられた土木技術は、**今までにない革新的な技術の適用例は少なく従来技術の展開で実施された**。しかし、**高線量下**、さらに**時間的な制約などの厳しい条件**の下で実施された**調査・設計検討、施工における様々な工夫、確実な品質管理、放射線防護対策や熱中症対策を含めた安全対策**など、従来の土木工事とは大きく異なった活動が行われた。

その結果、中期ロードマップで示され汚染水発生量の低減目標（2020年内に汚染水発生量を**150m³/日程度**に抑制）を達成し、現在は新たな目標（2025年内に汚染水発生量を**100m³/日程度**に抑制）を目指すとともに、1-4号機建屋周辺のフェーシング範囲の拡大及び局所的な建屋止水などを計画的に進め、2028年度までに約50～70 m³/日に低減される見通しが示されている（第21回 汚染水処理対策委員会、2022年12月21日）。



ボーリング調査



地盤改良⁴⁾



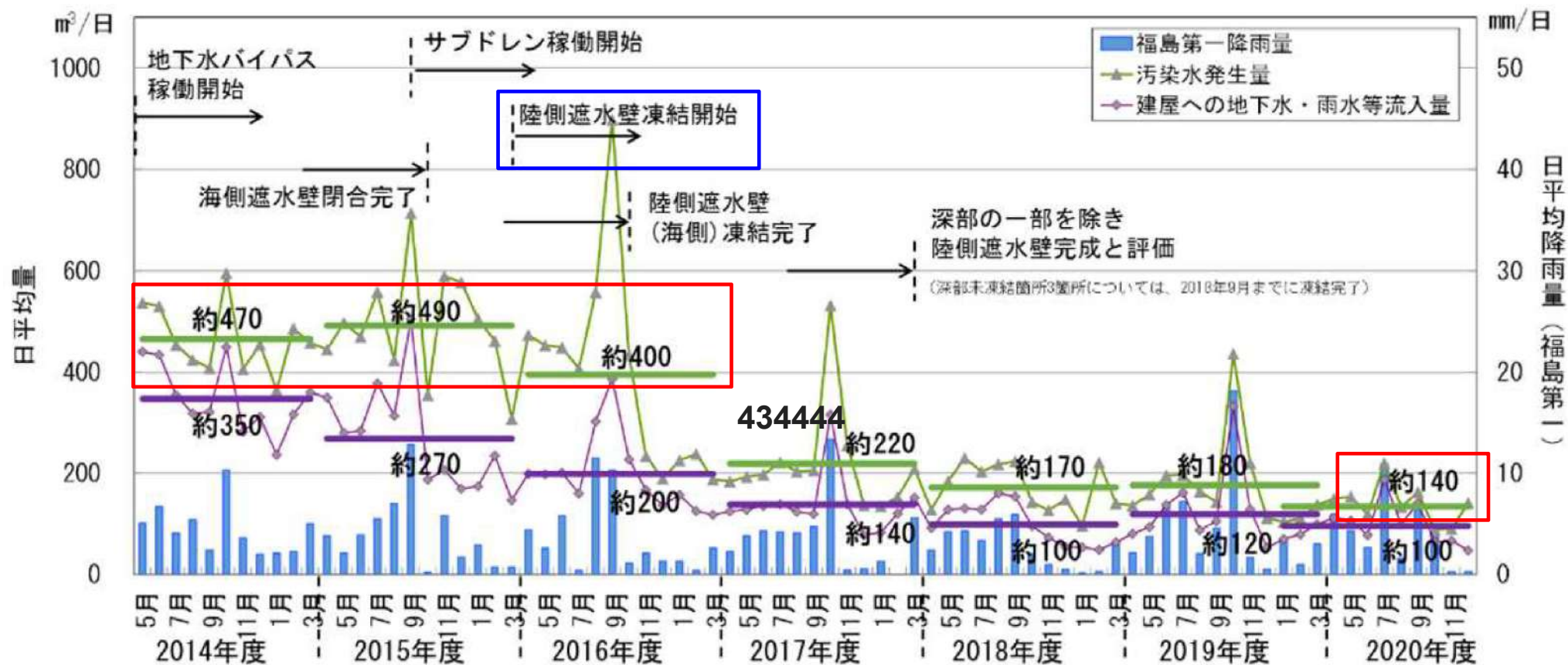
陸側遮水壁⁷⁾



法面吹き付け⁶⁾



溶接タンクの陸上輸送の状況¹⁾

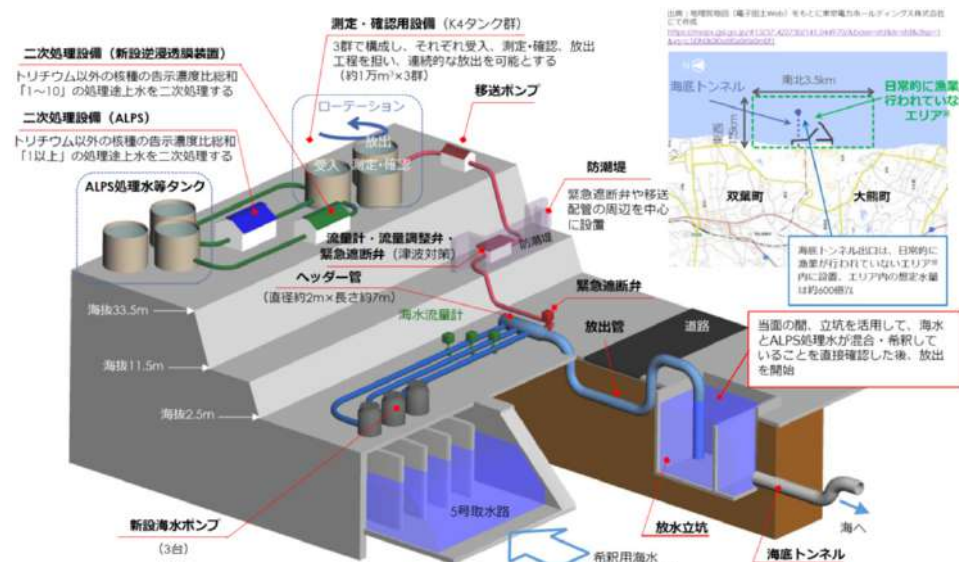


廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(2021)：廃炉・汚染水対策の概要，2021年1月28日 に加筆

2020年末には中期ロードマップの汚染水発生量の低減目標(150m³/日程度に抑制)を達成

廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議

(2021年4月13日)は、**トリチウム以外の放射性物質を規制基準値以下に浄化した処理水**の海洋放出がより確実な処分方法で実施可能であるとした基本方針を示した。この基本方針に基づいて、トリチウムを国の環境放出基準（ $60,000\text{Bq}/\ell$ ）、さらに世界保健機関（WHO）の飲料水水質ガイドライン（ $10,000\text{Bq}/\ell$ ）よりも**大幅に低い濃度（ $1,500\text{Bq}/\ell$ ）まで希釈した処理水を海洋放出する設備**が完成し、**2023年8月24日**に処理水の放出を開始した。



処理水の海洋放出設備

2023年10月18日に公表された「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2023」では、固体廃棄物の物量予測を定期的に見直ししながら、発生抑制と減容化、モニタリングを始めとした保管管理計画の策定・更新を行い、**適切な対処方策の提示に向けた廃棄物ストリームの構築**を進められている。この中では、**3つの主要な課題（廃棄物の性状把握、適切な保管・管理、処理・処分）**が示され、その課題についての技術戦略と今後の計画（工程表）が整理され、固体廃棄物の特徴に応じた検討が行われている。

また、固体廃棄物の発生量を可能な限り低減する取組を行い、さらにそれらのリスク低減策を長期にわたって図っていく上では、地球環境面での大きな問題となっている**カーボン・オフセット**にも十分に配慮することが望まれる。

原子力事故という過酷な状況下において、国や東電、あるいは原子力防災等の専門家の方々とともに、**多くの土木技術者もまた、縁の下の力持ち的な役割を果たしてきたこと**を技術者や一般の方々に改めて知っていただくとともに、**将来への貴重な資料、あるいは教訓として若い世代の技術者の皆さんに広く知っていただければ幸いである。**



ご清聴ありがとうございました



本資料の一部または全部を
発表者の許可なく複写・転
載することは固くお断りい
たします

福島第一原子力発電所における 廃炉・汚染水・処理水対策の現状

東京電力ホールディングス株式会社
福島第一廃炉推進カンパニー 福島第一原子力発電所
計画・設計センター

小川 智広

TEPCO

1. 福島第一の現況・燃料取り出し作業

- ① プラントの状況
- ② 汚染水の貯蔵・処理状況
- ③ 使用済燃料プールからの燃料取り出し作業
- ④ デブリ燃料取り出し作業

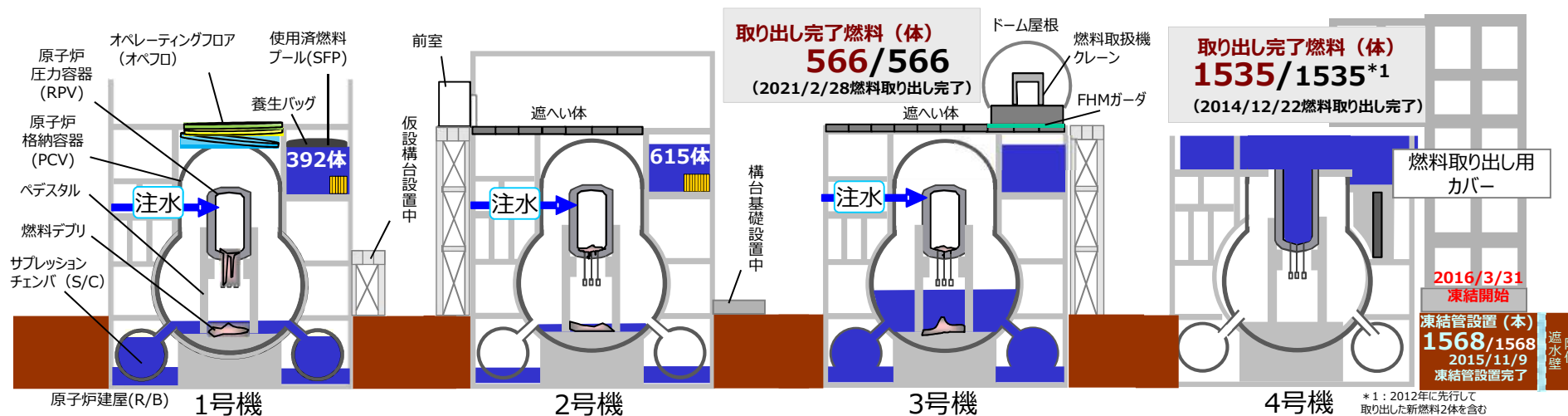
2. 汚染水・処理水対策

- ① 汚染水発生量の低減状況・今後の低減目標と施策
- ② ALPS処理水海洋放出施設の設置状況
- ③ 海洋生物の飼育試験

3. 自然災害対策

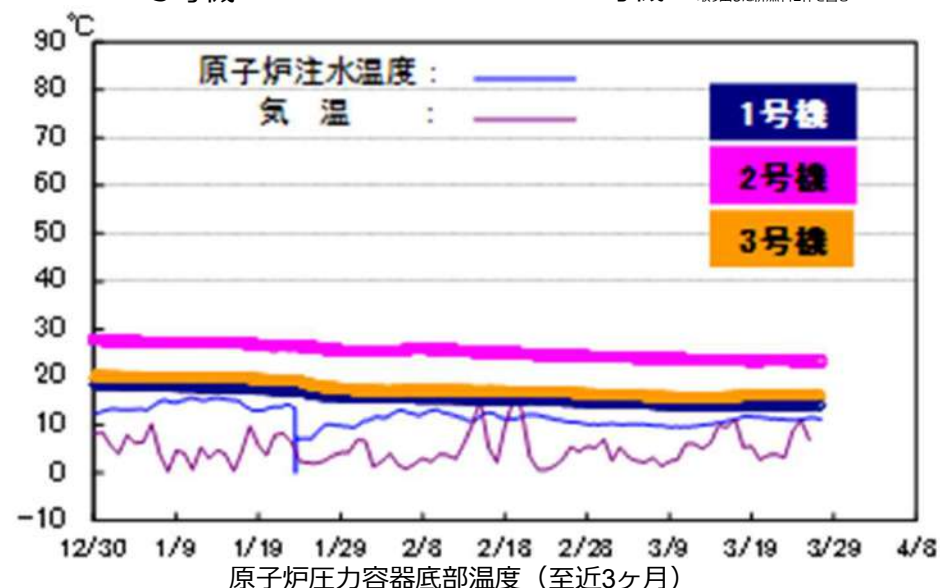
- ① 津波対策
- ② 豪雨対策

- 原子炉圧力容器底部温度，格納容器気相部温度は，号機や温度計の位置によって異なるものの，至近1ヶ月において約15～30℃で推移



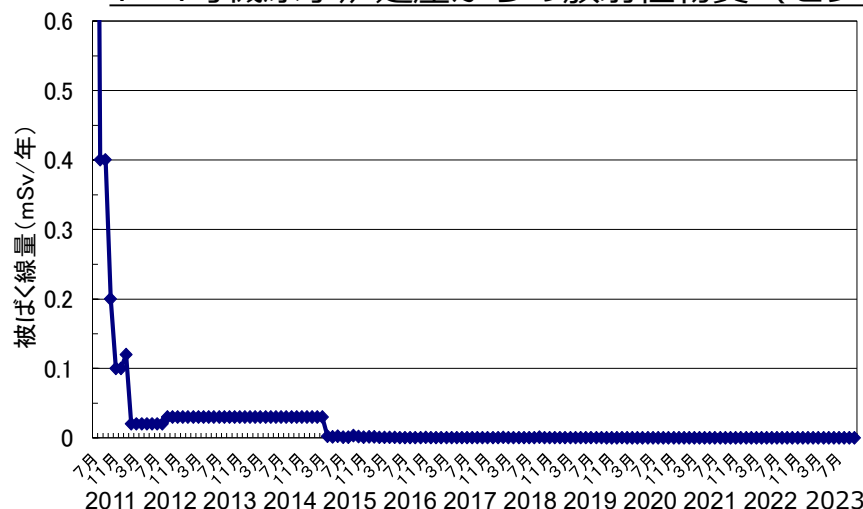
2024年3月27日11:00時点の値

	圧力容器 底部温度	格納容器 気相部温度	燃料プール 温度
1号機	約14℃	約13℃	約20.5℃
2号機	約24℃	約24℃	約19.6℃
3号機	約15℃	約16℃	—



- 2024年2月において、1～4号機原子炉建屋から放出された放射性物質による敷地境界上の被ばく線量は0.00006mSv/年未満と評価。
- 格納容器内圧力や、臨界監視のための格納容器放射性物質濃度等のパラメータについても有意な変動はなく、冷却状態の異常や臨界等の兆候は確認されていない
- 以上より、総合的に冷温停止状態を維持しており原子炉が安定状態にあることが確認されている

1～4号機原子炉建屋からの放射性物質（セシウム）による敷地境界における年間被ばく線量評価



（参考）

※周辺監視区域外の空気中の濃度限度：

[Cs-134]： 2×10^{-5} ベクレル/cm³、

[Cs-137]： 3×10^{-5} ベクレル/cm³

※モニタリングポスト（MP1～MP8）のデータ

敷地境界周辺の空間線量率を測定しているモニタリングポスト(MP)のデータ（10分値）は0.279μSv/h～0.984μSv/h（2024/2/28～2024/3/26）

MP2～MP8空間線量率の変動をより正確に測定することを目的に、環境改善（周辺の樹木伐採、表土の除去、遮へい設置）を実施済み。

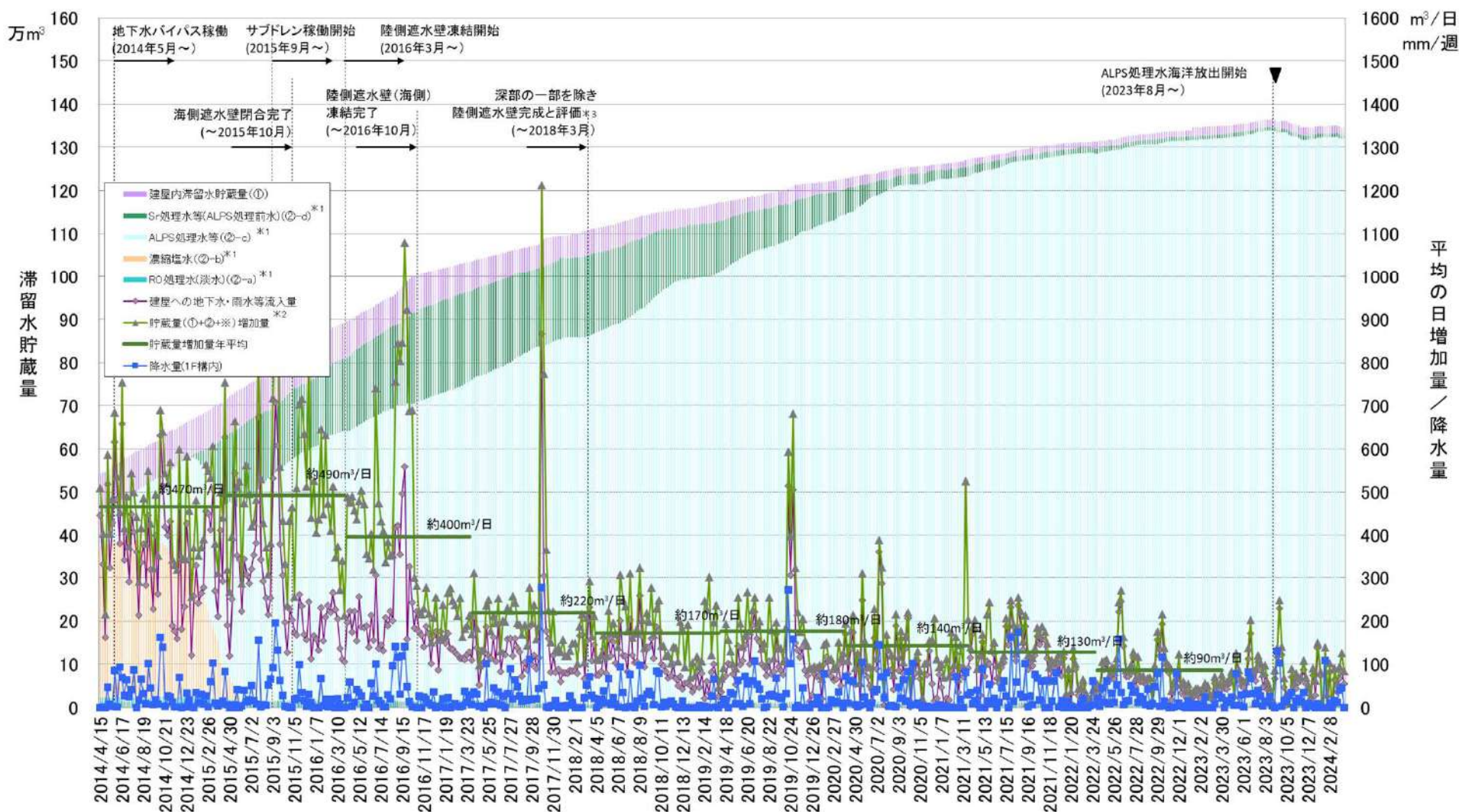
（注1）線量評価については、施設運営計画と月例報告とで異なる計算式及び係数を使用していたことから、2012年9月に評価方法の統一を図っている。

4号機については、使用済燃料プールからの燃料取り出し作業を踏まえ、2013年11月より評価対象に追加している。

2015年度より連続ダストモニタの値を考慮した評価手法に変更し、公表を翌月としている。

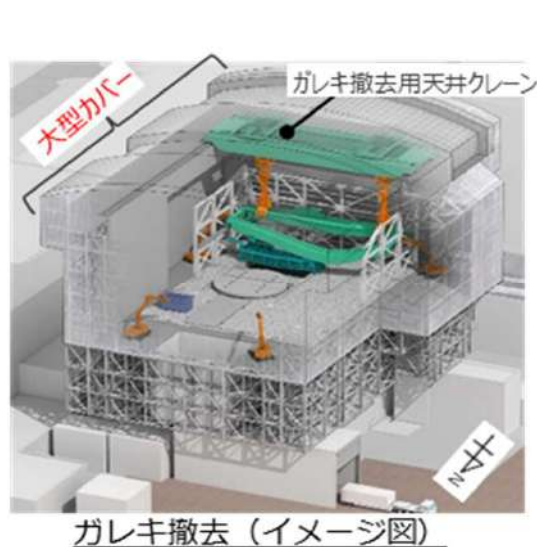
（注2）線量評価は1～4号機の放出量評価値と5,6号機の放出量評価値より算出。なお、2019年9月まで5,6号機の線量評価は運転時の想定放出量に基づく評価値としていたが、10月より5,6号機の測定実績に基づき算出する手法に見直し。

- 2023年度汚染水発生量：平均約100m³/日以下（2024.2.28時点）
 2023年度降水量：1,079mm（平年より300mm程度少ない）

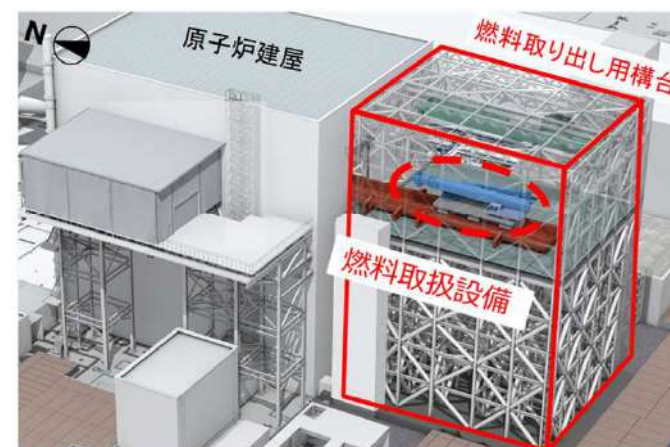
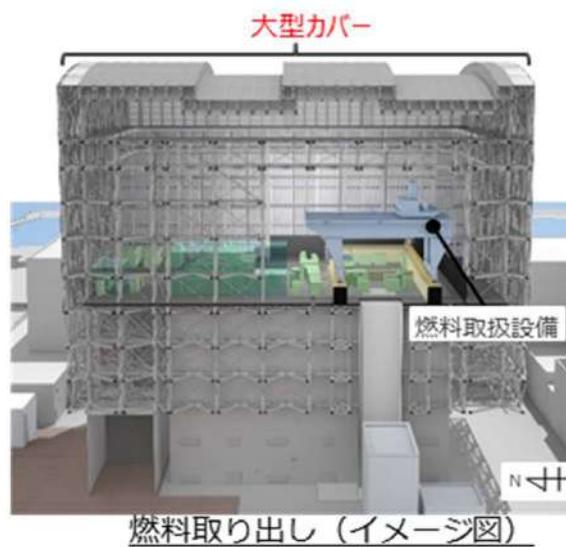


- 1号機：南側の崩落屋根落下の状況やウェルプラグの汚染状況などの調査結果を踏まえ、より安全・安心に作業を進める観点から『ガレキ撤去より先に原子炉建屋を覆う大型カバーを設置し、カバー内でガレキ撤去を行う工法』を選択
2021年8月に大型カバー設置準備工事に着手し、2025年度頃の大型カバー設置完了、2027～2028年度の燃料取り出し開始に向け作業を進める
- 2号機：2018年11月～2019年2月のオペフロ内調査の結果を踏まえ、建屋南側に小規模開口を設置し、ブーム型クレーンを用いる工法を選択

現在は燃料取り出し用構台および前室の設置、原子炉建屋オペフロ遮蔽工事を進めている 引き続き、2024～2026年度の燃料取り出し開始に向け作業を進める



1号機燃料取り出し概要図（鳥瞰図）

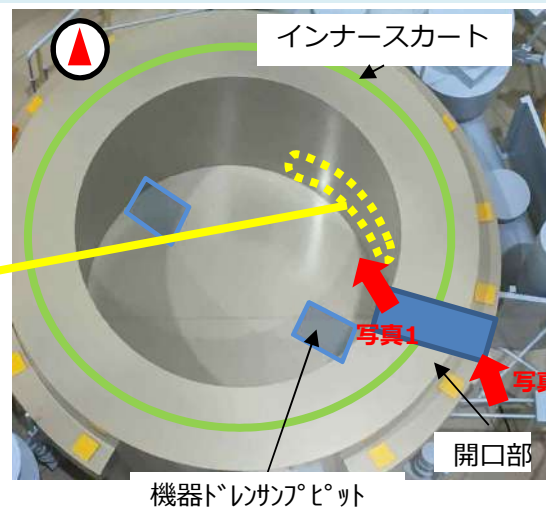


2号機燃料取り出し概要図（鳥瞰図）

- 2015年4月、アクセス口（内径φ100mm）から調査装置を格納容器内に進入させ、格納容器1階内部の映像、空間線量等の情報を取得
- 2017年3月、ペDESTAL外地下階へのデブリの広がり进行调查するため、自走式調査装置を用いた調査を実施し、PCV底部の状況を初めて撮影、画像と線量情報を取得
- 2022年12月に水中ロボット（ROV-D）による堆積物デブリ検知調査を実施
- 2023年1月～2月にかけて、次の水中ロボット（ROV-E）によって堆積物サンプリング調査を実施
- 2023年3月には、次の水中ロボット（ROV-B）によって堆積物の3Dマッピング作成のための調査、更に次の水中ロボット（ROV-A2）によってペDESTAL内の調査を実施し、ペDESTAL内側下部のコンクリートが一部消失した配筋が確認
- 2024年3月には、小型ドローンによってPCV内の（ペDESTAL内・外）気中部の調査を実施



ペDESTAL内面の状況（写真1）

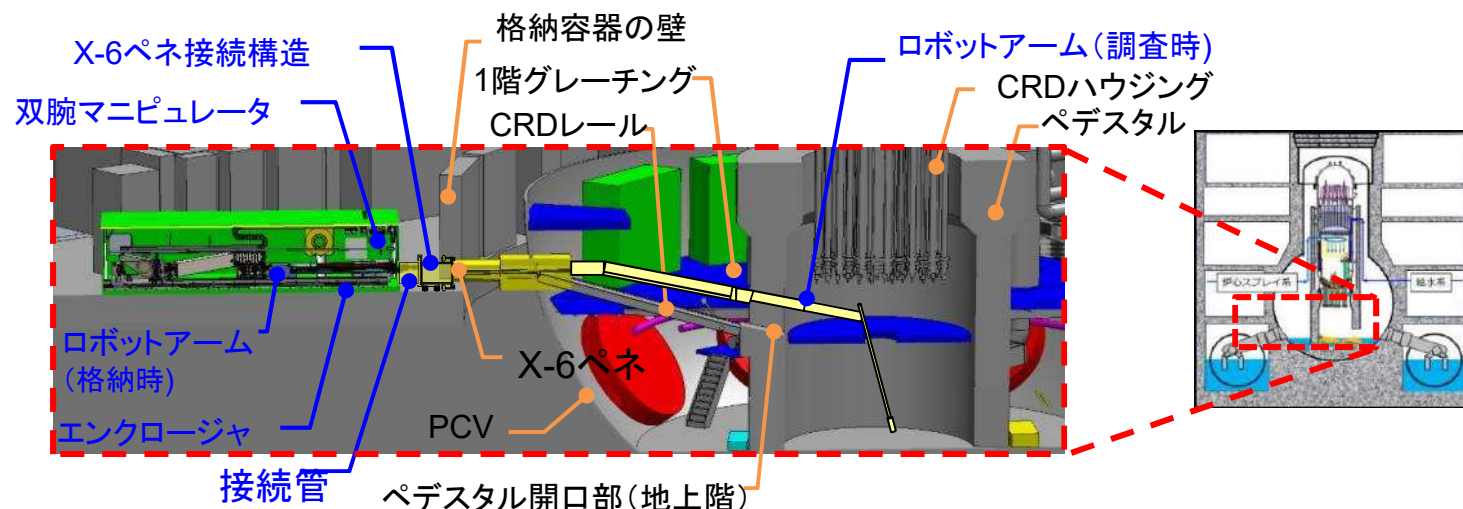


ROV-A2によるPCV内部調査の状況



ペDESTAL外部より（写真2）

- 2017年1月、格納容器貫通部からカメラを挿入し、ペデスタル内のグレーチングの脱落や変形、ペデスタル内に多くの堆積物があることを確認
- 2018年1月、ペデスタル内プラットフォーム下の調査を実施し、燃料デブリを含むと思われる堆積物がペデスタル底部に堆積している状況を確認、堆積物が周囲より高く堆積している箇所が複数あり、燃料デブリの落下経路が複数存在すると推定
- 2019年2月、ペデスタル底部及びプラットフォーム上の堆積物への接触調査を実施し、小石状の堆積物を把持して動かせること、把持できない硬い岩状の堆積物が存在する可能性があることを確認
- 2022年2月より、ロボットアームを用いたPCV内部調査およびデブリの試験的取り出しに向け、檜葉町のモックアップ施設で試験を開始し、現在も継続中
- 原子炉格納容器貫通部（X-6ペネ）内の堆積物の除去に向けて、CRDレールガイドのAWJによる切断・除去、ケーブルの押し込み等の作業を実施中



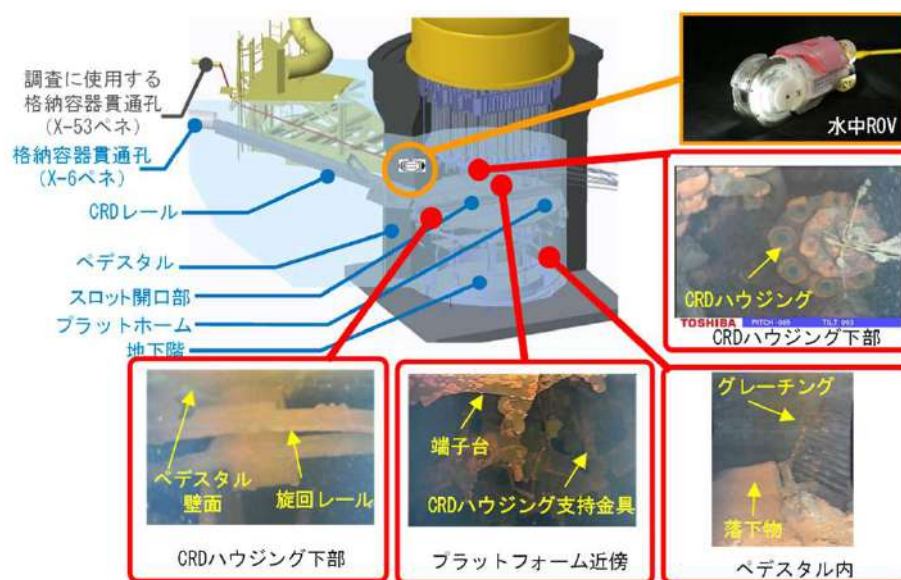
2号機 内部調査・試験的取り出しの計画概要

過去のPCV内部調査時に
使用した開口部



X-6ペネハッチ
開放時の状況

- 2014年10月、PCV内部調査用に予定しているPCV貫通部（X-53ペネ）を遠隔超音波探傷装置を用いて調査し、水没していないことを確認
- 2015年10月、X-53ペネから格納容器内部へ調査装置を入れ、映像、線量、温度の情報を取得、内部の滞留水を採取
格納容器内の構造物・壁面に損傷は確認されず、水位は推定値と一致しており、内部の線量は他の号機に比べて低いことを確認
- 2017年7月、水中ROV（水中遊泳式遠隔調査装置）を用いてペDESTAL内の調査を実施、画像データから複数の構造物の損傷や炉内構造物と推定される構造物を確認
調査で得られた映像による3次元復元により、旋回式のプラットホームがレール上から外れ一部が堆積物に埋まっている状況等、構造物の相対的な位置を視覚的に把握



3号機 PCV内部調査の状況

1. 福島第一の現況・燃料取り出し作業

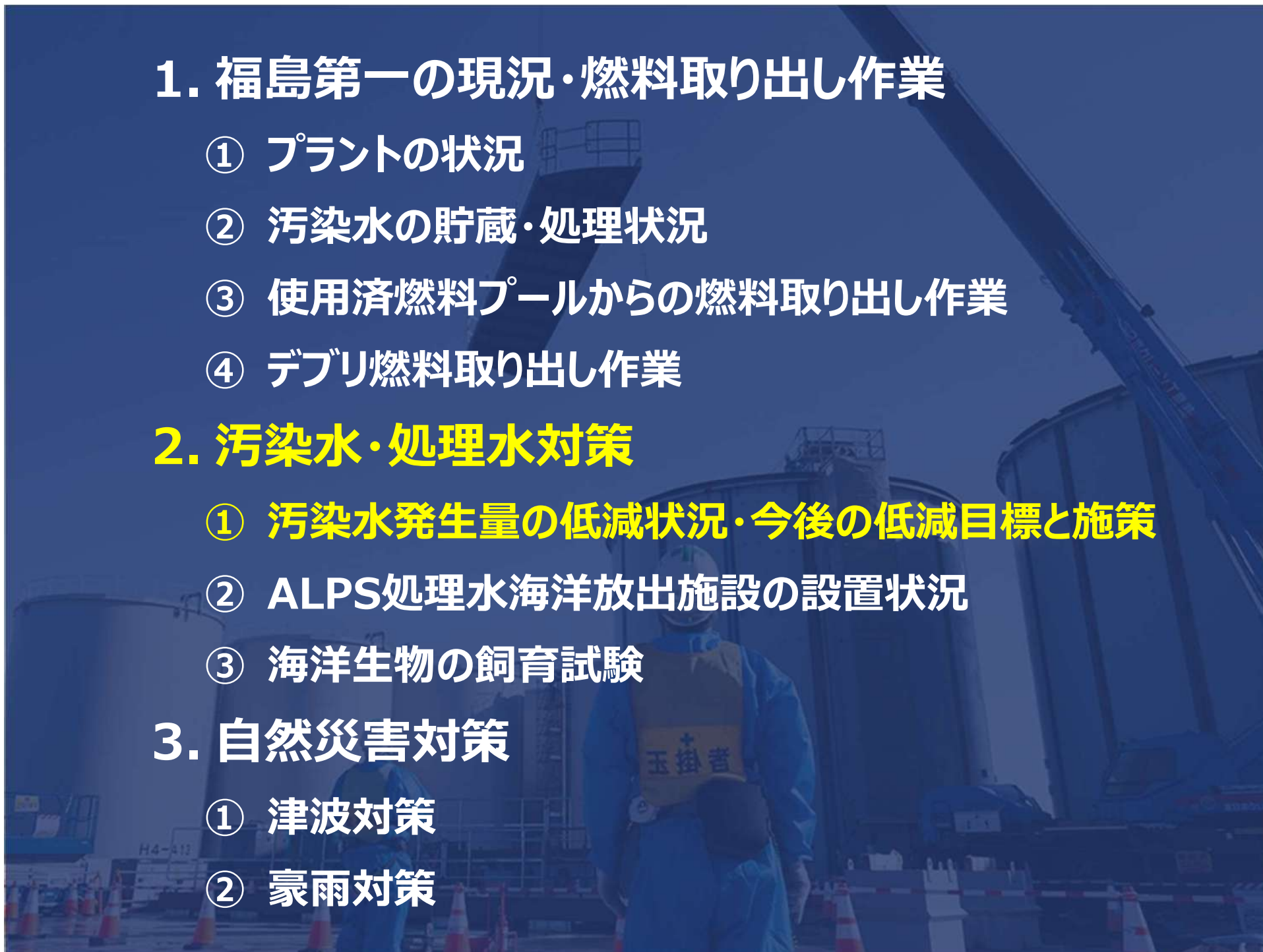
- ① プラントの状況
- ② 汚染水の貯蔵・処理状況
- ③ 使用済燃料プールからの燃料取り出し作業
- ④ デブリ燃料取り出し作業

2. 汚染水・処理水対策

- ① 汚染水発生量の低減状況・今後の低減目標と施策
- ② ALPS処理水海洋放出施設の設置状況
- ③ 海洋生物の飼育試験

3. 自然災害対策

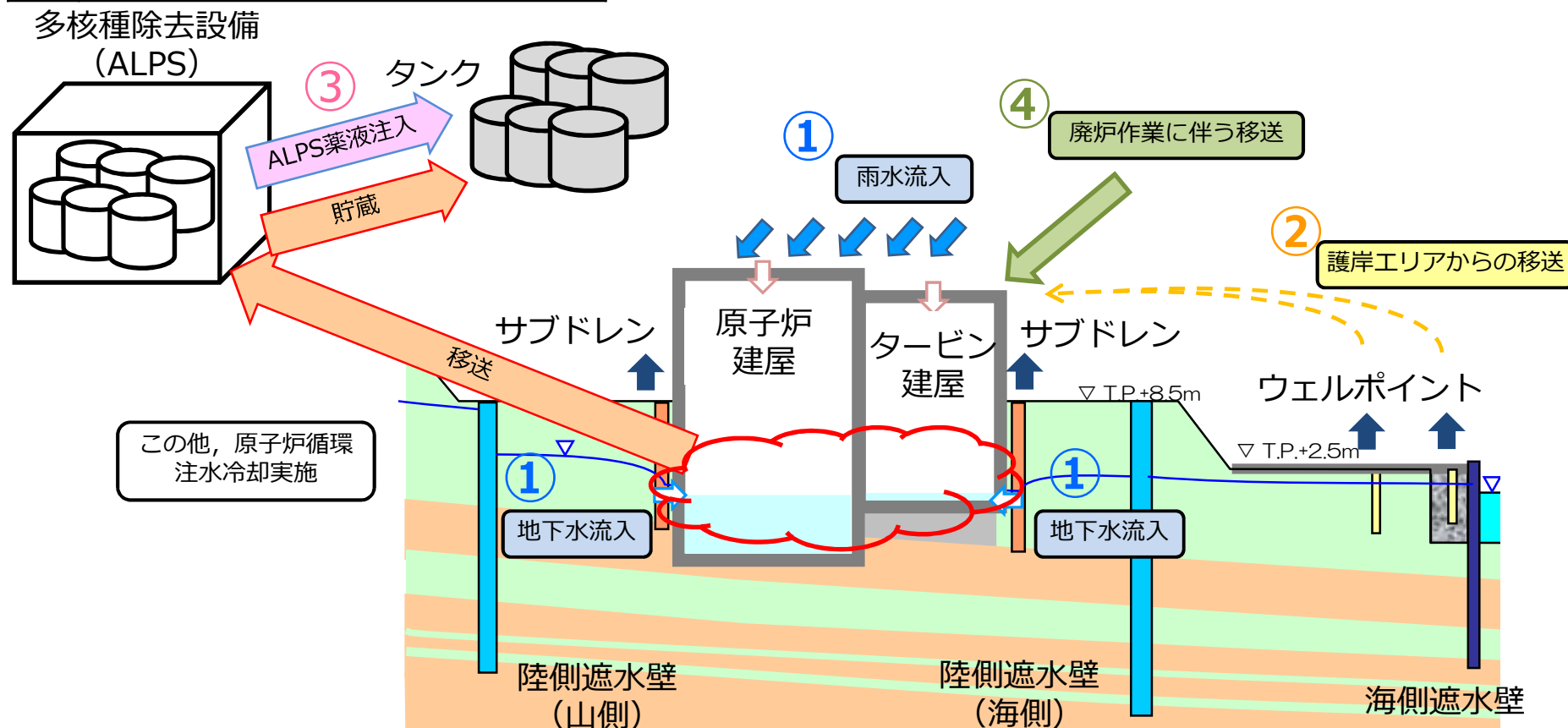
- ① 津波対策
- ② 豪雨対策



汚染水の発生要因

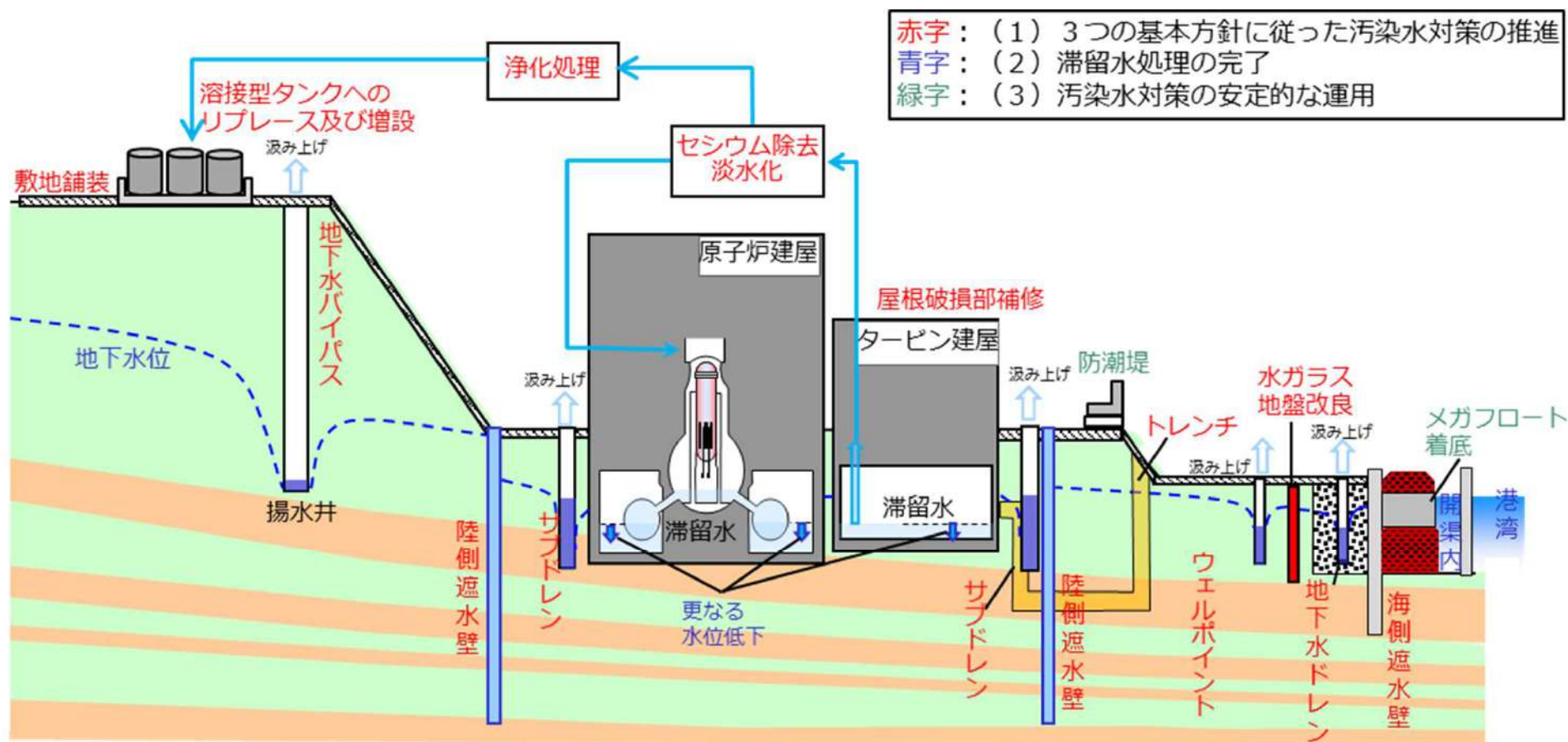
①	地下水・雨水の建屋流入
②	護岸エリアからの移送
③	ALPS薬液注入
④	廃炉作業に伴う移送

中長期ロードマップ

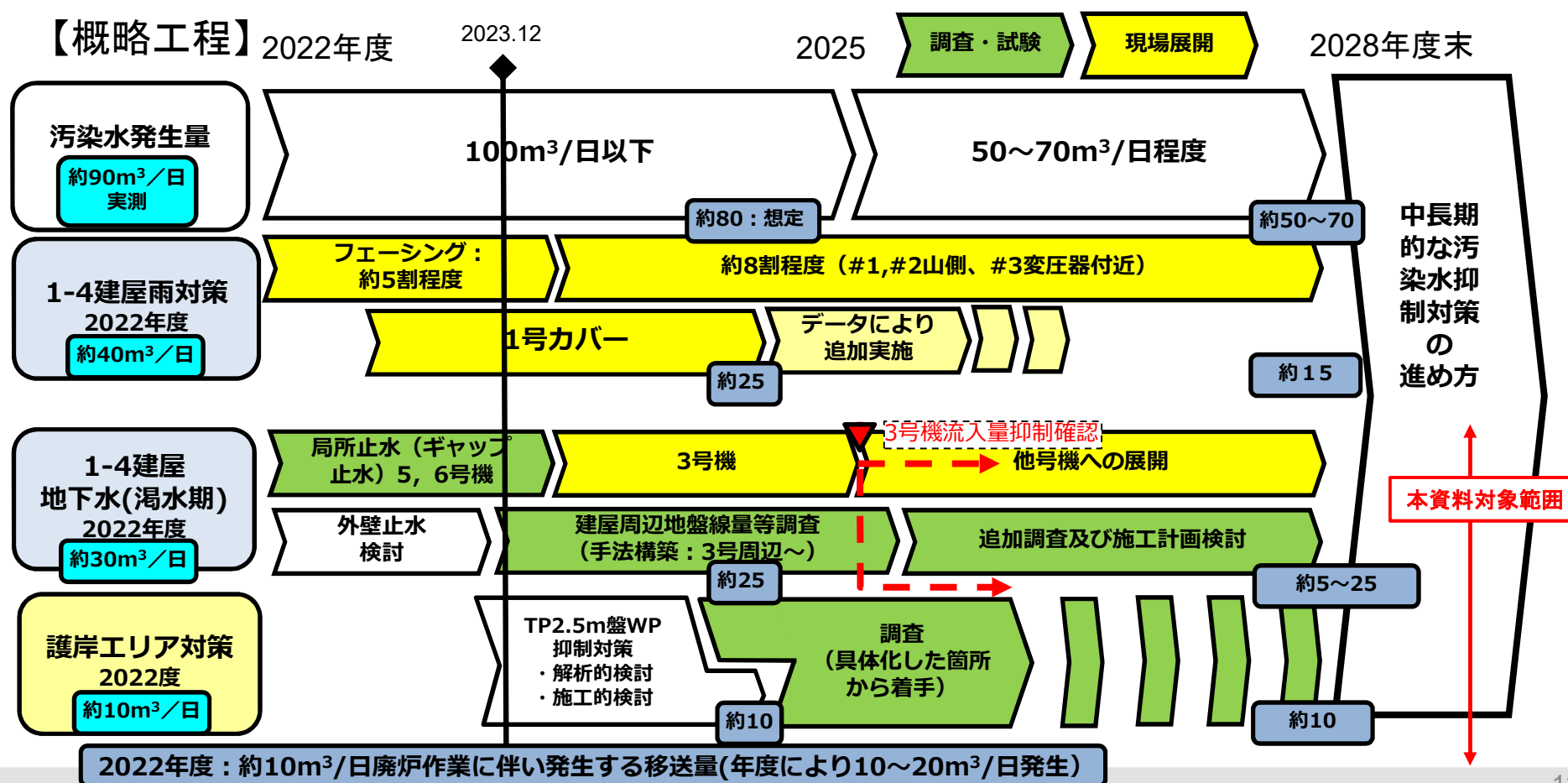
汚染水発生量を 150m³/日程度に抑制（2020年内）100m³/日以内に抑制（2025年内）

建屋周辺における水の出入りの概念図

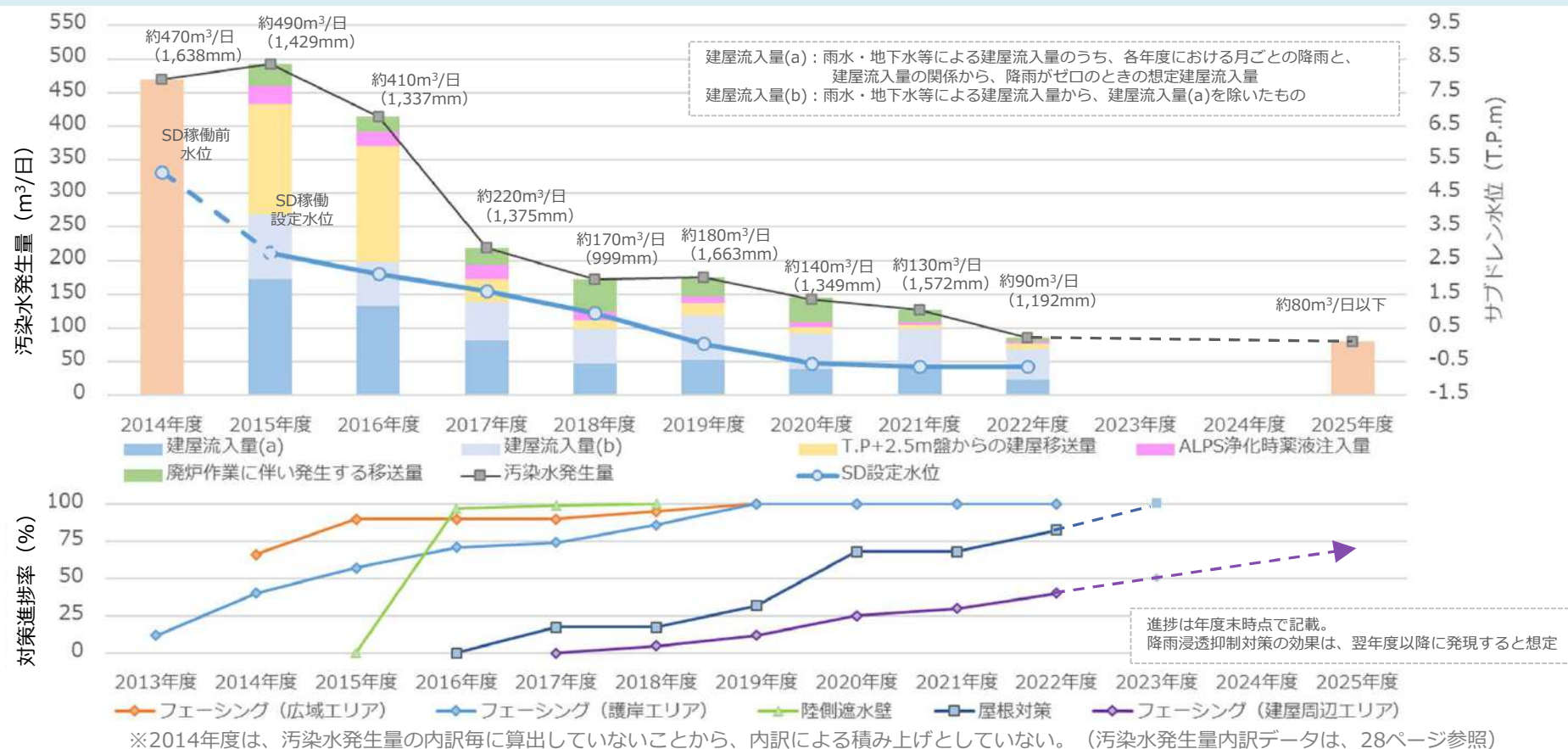
- 【3つの基本方針】に従った汚染水対策の推進に関する取組
 - ①汚染源を【取り除く】 ②汚染源に水を【近づけない】 ③汚染水を【漏らさない】
- 滞留水処理の完了に向けた取組
- 汚染水対策の安定的な運用に向けた取組



- 汚染水抑制対策については、雨水対策、地下水対策、護岸エリア対策で進めている。
- 雨対策は、既往対策としてフェーシング及び1号カバー工事を継続して進める
- 地下水対策は建屋外壁局所止水としてギャップ端部止水を5,6号機で試験中であり、2024年度以降、3号機において着手する計画である。
- 地下水対策の外壁止水に関しては、デブリ取り出し工法への影響も考慮して設置個所、工法を検討するが、施工計画検討に必要となる、建屋周辺地盤線量調査に関して、2023年度末から着手予定である。
- 2.5m盤対策は、まずは、WP抑制対策の検討を2023年度末から着手する。



➤ 重層的な汚染水抑制対策の進捗に伴い、汚染水発生量は降雨の影響があるものの、年々と低減傾向である。



主な重層的な汚染水抑制対策

2014.5 ◆地下水バイパス稼働	2015.9 ◆サブドレン稼働	2017.8 ◆陸側遮水壁 (最終閉合)	2020.3 ◆#3Rw屋根対策完了	2023年度 ◇凍土内フェーシング 50%完了目標	2025年内 ◇汚染水発生量 100m³/日以下
	2015.10 ◆海側遮水壁閉合	2017年度 ◆2.5m盤フェーシング目地対策	2020年度 ◆#3T/B屋根対策完了 ◆#3R/B屋根北東部	2023年度ごろ ◇#1R/Bカバー設置 (#1Rw/B雨水対策含む)	
2015年度 ◆広域フェーシング概成	2015.11 ◆地下水ドレン稼働	2018.2 ◆#3R/Bカバー設置			
	2016.3 ◆陸側遮水壁凍結 (フェーズ1)	2016年度 ◆陸側遮水壁 海側凍結完了	2018.3 ◆SD系統処理能力 増強完了(1,000⇒2,000m³/日)		

◆実施済の対策
◇計画中の対策

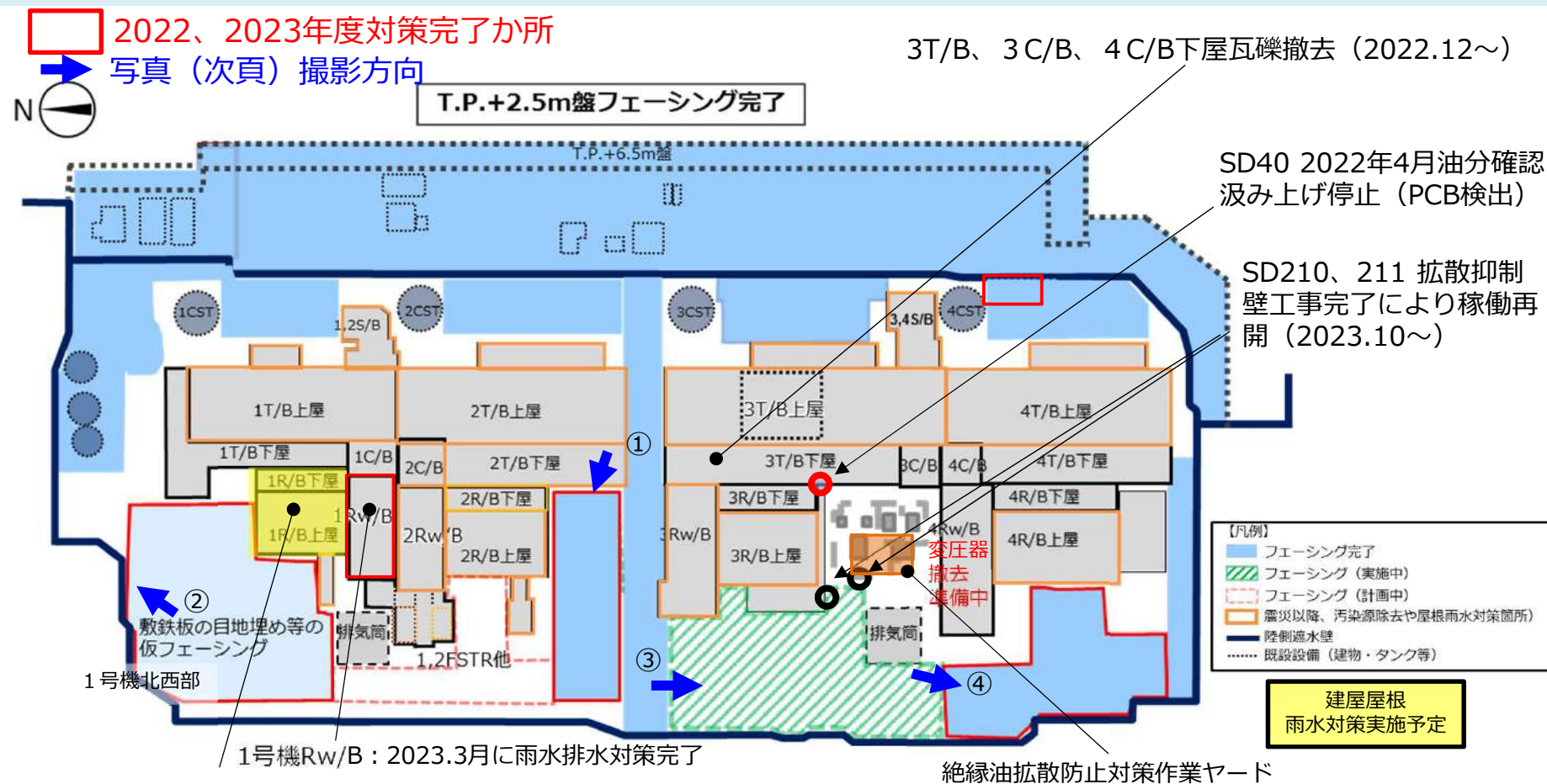
- 建屋種周辺フェーシングは、現在、3号機R/B西側を実施中。2023年度中に全体の50%程度のフェーシングが完了予定。以降は廃炉工事と調整のうえ実施を検討していく。
- 建屋接続部トレンチ等の止水は、2023年度中に3号取水電源ケーブルダクトの止水を実施し完了予定。
- 建屋屋根破損部補修は、1号機R/Bカバーを2023年度頃に設置完了予定。
- サブドレン水位低下は、建屋水位低下後に実施時期を検討していく予定。

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度以降
1－4号機 建屋周辺フェーシング	4号機R/B西側 2号機R/B南側 3号機R/B西側	50%程度完了	廃炉工事と調整のうえ実施を検討	
建屋接続部トレンチ止水	3号機取水電源ケーブルトレンチ止水	12月完了見込み 建屋周辺地下水位以深の建屋接続部については完了		
建屋屋根破損部補修	1, 2号機Rw/B 1号機R/B カバー	※SGTS配管撤去工事との調整のうえ実施 3号機T/B下屋ガレキ撤去		
3号機周辺 PCB絶縁油拡散抑制 対策	ガレキ撤去	拡散抑制対策（鋼矢板、薬液注入）	9月完了：サブドレン210、211稼働再開 （10月短時間、11月より連続稼働）	

1～4号機建屋周辺フェーシングの進捗状況（1/2）

- 1-4号機建屋周辺のフェーシングについては、3号機R/B西側は2023年度に完了する予定である。（2022年度末：1-4号建屋周辺約40%※）
- SD40においてPCBが検出された対策である油分拡散防止対策工事が完了し、サブドレン210、211は稼働を再開している。

※1号機北西部仮フェーシング含まず。含むと約55%



1号機R/B：2023年度頃カバー設置予定

1-4号機建屋周辺陸側遮水壁内側フェーシング進捗：約40%（2023年3月末：1号北西部除く）

1～4号機建屋周辺フェーシングの進捗状況（2/2）

- 2号機原子炉建屋の南側：使用済燃料取り出し構台設置に合わせて実施し、2023年6月完了
- 3号機原子炉建屋の西側：2023年12月から開始し、2024年1月完了予定

■ 2号機R/B南側エリア (2023. 10.31)



2号機燃料取り出し構台設置に合わせて
フェーシング実施(2023.6月完了)

■ 1号機原子炉建屋北側 (2023.2.21)



1号機北側から北東側を臨む。
(敷鉄板の間詰めシール施工状況)

■ 3号機原子炉建屋山側 (2023.11.01)



2号機側から3号機側を臨む。
(2024.1月完了予定)

■ 4号機原子炉建屋山側 (2023.1.31)



3号機側から4号機側を臨む。
(2023.1月末完了)

- 2022年度は、降水量が1,192mm（平年降雨約1,470mm）と少ないこともあり、汚染水発生量は約90m³/日と既往最小となった。
- 2023年度は、降水量も少ないが平年相当降水量でも100m³/日以下を達成できる見込みである。（4月～11月：2022⇒2023、降雨：1,072⇒922mm、発生量110⇒90m³/日）

汚染水発生の要因 (項目)		2015年度 実績(m ³)※3	2021年度 実績(m ³)	2022年度 実績(m ³)	2023年度 実績(m ³) ※4	100m ³ /日達成に向けた 主な汚染水発生量低減方策
①	建屋流入量 (雨水・地下水等の流入)	約98,000 (約270m ³ /日)	約36,000 (約100m ³ /日)	約25,000 (約70m ³ /日)	約16,000 (約70m ³ /日)	・サブドレンの水位低下 ・陸側遮水壁の構築 ・屋根破損部補修 ・建屋周辺フェーシング ・トレンチ閉塞 ・ルーフトレンの健全性確保
②	T.P.+2.5m盤 からの 建屋移送量	約60,000 (約160m ³ /日)	約3,000 (約10m ³ /日)	約3,000 (約10m ³ /日)	約1,000 (約10m ³ /日)	・陸側遮水壁の構築 ・2.5m盤のフェーシング ・8.5m盤海側（陸側遮水壁外）カ パー・フェーシング ・サブドレン水位低下
③	ALPS浄化時 薬液注入量※1	約10,000 (約25m ³ /日)	約2,000 (約10m ³ /日未満)	約1,000 (約10m ³ /日未満)	約1,000 (約10m ³ /日未満)	・ALPS処理系統内の移送水の循環 利用
④	廃炉作業に伴い 発生する移送量※2	約13,000 (約35m ³ /日)	約7,000 (約20m ³ /日)	約3,000 (約10m ³ /日)	約2,000 (約10m ³ /日)	・計画的なたまり水の除去
汚染水発生量		181,000 (約490m ³ /日)	約48,000 (約130m ³ /日)	約32,000 (約90m ³ /日)	約20,000 (約90m ³ /日)	<目標値> 36,000 (約100m ³ /日)
参考	降水量 (mm)	1,429 (3.9mm/日)	1,572 (4.3mm/日)	1,192mm (3.3mm/日)	922mm (-)	平均的な降雨1,473mm (4.0mm/日)

※1 多核種除去設備の前処理設備に注入している薬液

※2 オペレーティングフロアへの散水や、凍土外建屋への流入およびトレンチ溜まり水の移送を含む

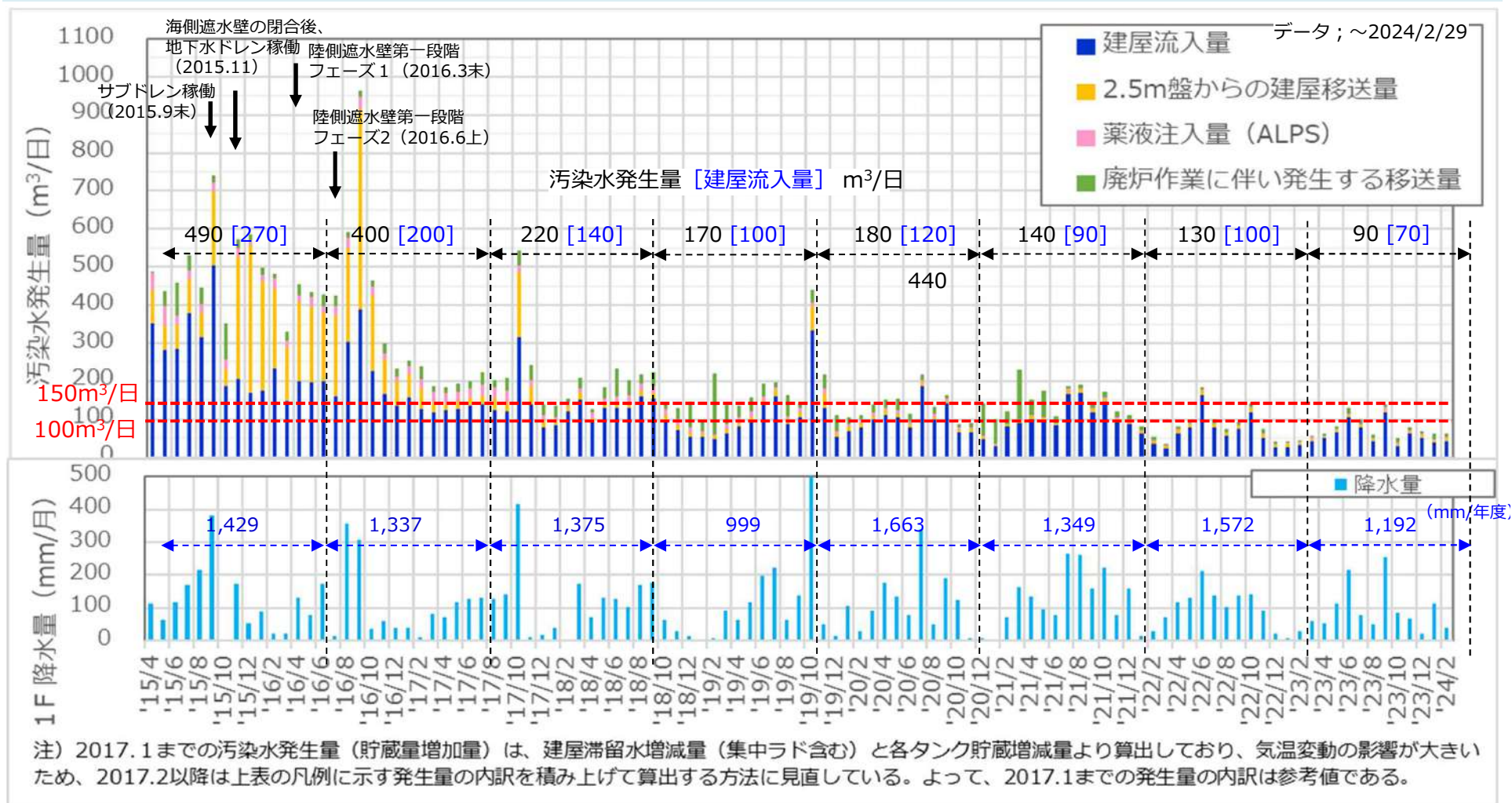
※3 2017.1までの汚染水発生量（貯蔵量増加量）は、建屋滞留水増減量（集中ラド含む）と各タンク貯蔵増減量より算出しており、気温変動の影響が大きいと、2017.2以降は上表の凡例に示す発生量の内訳を積み上げて算出する方法に見直している。よって、2017.1以前のデータを含む2016年度実績の数値は参考値である。

※4 4月～11月15日（約230日間）のデータ

黒字；対策済み 赤字；継続実施中
(降雨以外の数字は百の位で四捨五入)

汚染水発生量の推移（月別データトレンド）

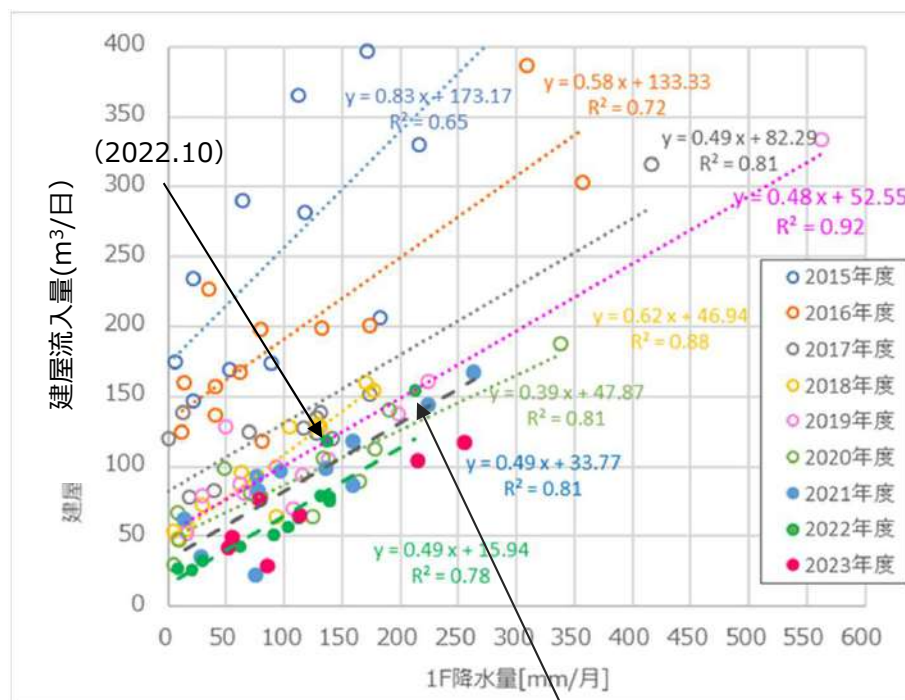
- 2023年度は、6月（降水量：216mm）及び9月（降水量：256mm）の降雨の影響により、建屋流入量は約100m³/日以上と一時的に増加している。2024年1月には、103mm/日の纏まった降雨があったものの、上記以外は建屋流入量は低位で推移しており、汚染水発生量についても100m³/日以下で推移している。



- 2022年6月に関しては、2号機燃料取り出し構台の基礎を構築中で、6月初旬の降水時に雨水が一時的に溜まった影響と想定している。
- 2022年10月に関しては、9月末から10月初旬に約200mmの降雨があったため流入量が抑制しきれなかった事等と想定している。
- 2023年度については、2022年度の上記6月、10月を除いた状況と同等で推移している。

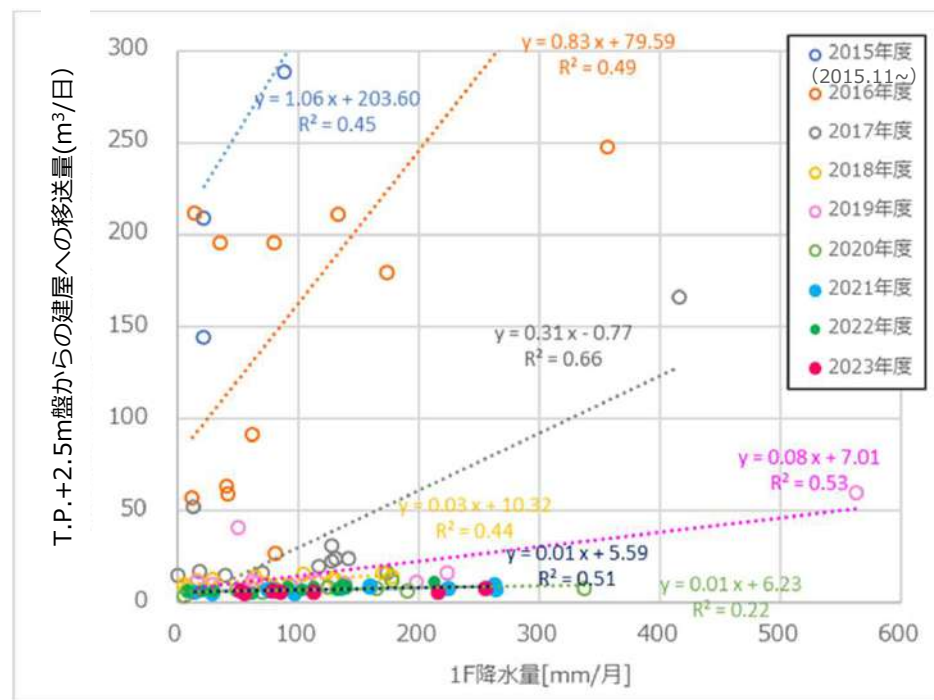
建屋流入量

データ：2023.10.31



T.P.+2.5m盤からの建屋への移送量

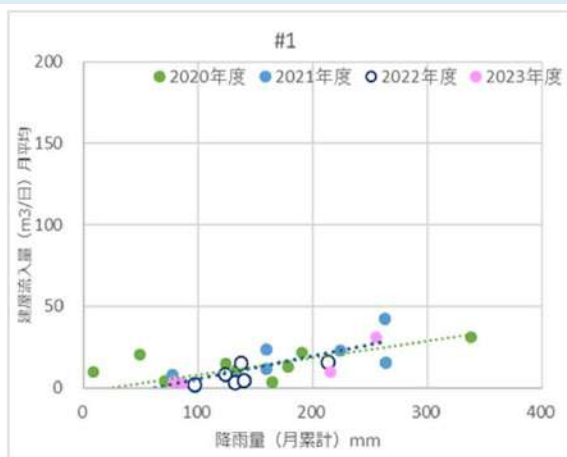
データ：2023.10.31



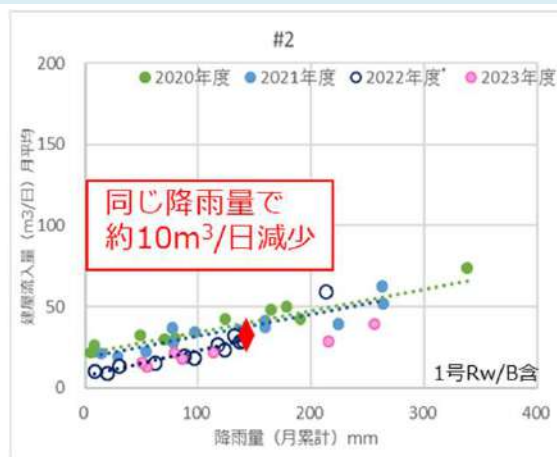
2022年6月：2号機工事の影響で大きく算出されたと想定：雨水排水箇所変更で7月以降は確認されず
工事完了後（12月）以降は表面フェーシングにより排水路へ排水される予定

※2020年8月データは、本設ポンプによる移送に伴う建屋流入量のバラツキを考慮して、回帰分析において除外している

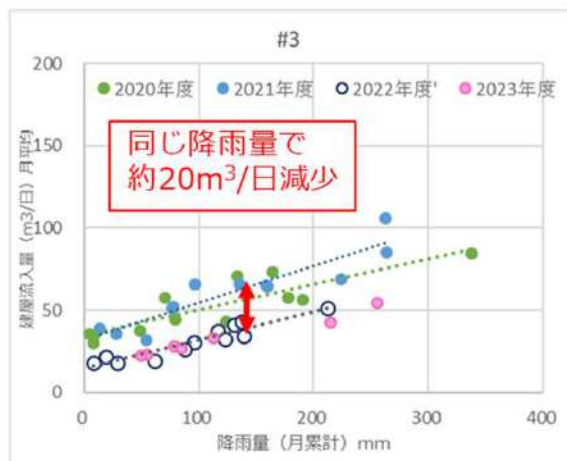
- 2号機：同程度の降雨で約10m³/日減少，使用済燃料取り出し構台の基礎地盤改良や構台構築に付随するフェーシングの効果と想定
- 3号機：同程度の降雨量で約20m³/日減少，周辺のフェーシングを含む雨水排水対策の継続や，陸側遮水壁横断構造物（主変機連絡ダクト開閉所側）の一部閉塞工事等の効果と想定



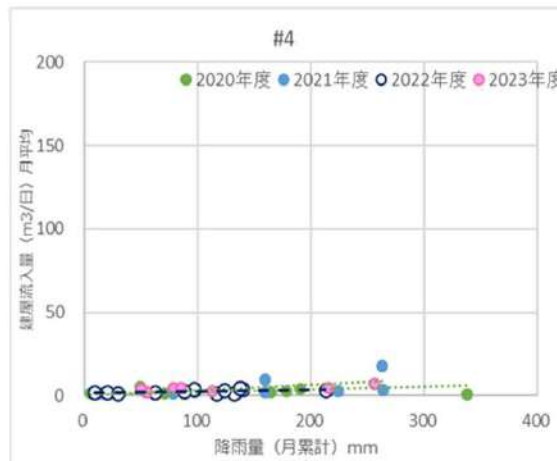
2021年度：9m³/日、2022年度：2m³/日



2021年度：36m³/日、2022年度：24m³/日



2021年度：61m³/日、2022年度：31m³/日



2021年度：4m³/日、2022年度：3m³/日

（建屋流入量の発生推定要因）

- ✓ 地下水：切片の値
- ✓ その他（雨水等）：勾配×降水量

□ 1-4号機建屋流入量(m³/日)

2020年度：約 90[1,349]

2021年度：約100[1,572]

2022年度：約 70[1,192]

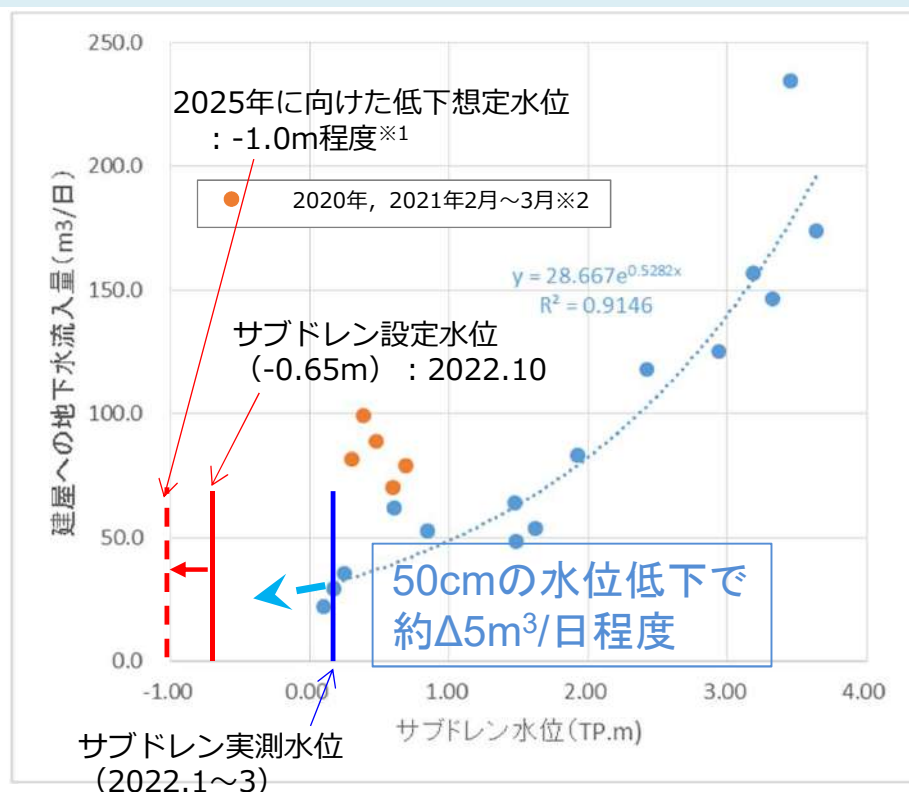
[降水量]参考に表記

● 各号機毎の建屋流入量は、公表値（週報値）とは試算に用いた計器が異なるため各建屋の合計値と週報値は合致しない状況である。

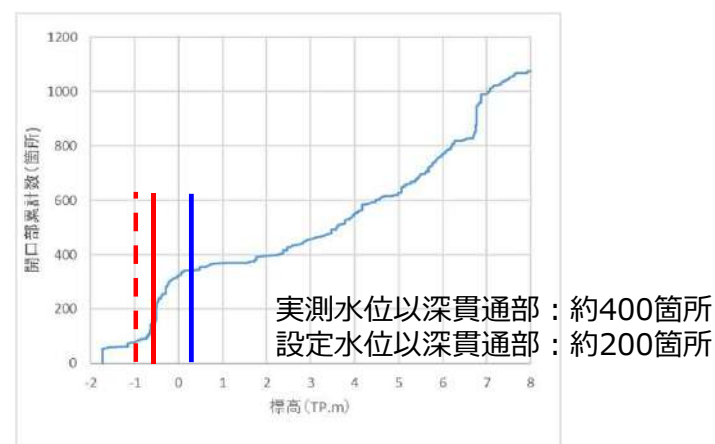
同じ降雨量での比較は、
2021年度と2022年度

データ：2023.10月迄

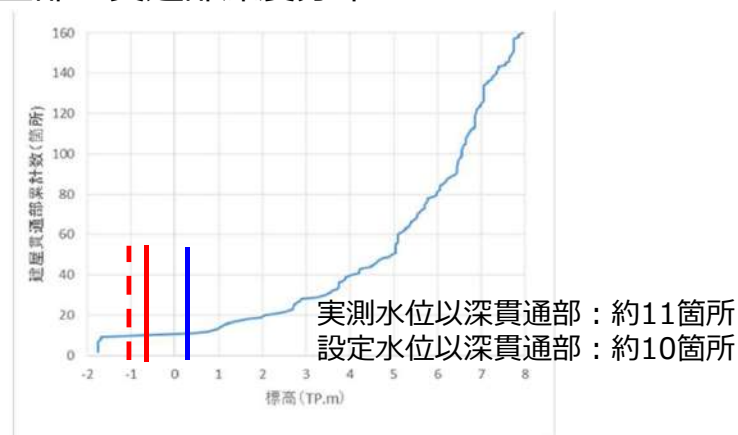
- サブドレン水位の低下に伴う建屋流入量の減少は建屋間ギャップ（建屋間の隙間）を含む建屋壁面の貫通部の減少によるものと評価
- 建屋流入量はサブドレン水位低下に応じて指数的に減少しており、今後予定している約40～50cmの水位低下に伴い、約5m³/日程度の建屋流入量抑制を想定



建屋間ギャップ部の貫通部深度分布



外壁部の貫通部深度分布



※¹：1号機R/B床面標高（TP-2.2mからの水位差確保の設定水位）

※²：2016年～2022年における1～3月の実績
（2018年2月，3月は，K排水路の逆流の影響があるため除外，
2020年1～3月，2021年2～3月は降雨が多かったため除外）

- 建屋水位の低下及びタービン建屋、廃棄物処理建屋の床面露出完了により建屋毎の分析が可能となったことから、2022年1～12月の建屋毎の流入量を分析・評価
- 2025年度までの対策を踏まえ今後の効果を想定した結果、**2025年度の建屋流入量は約50m³/日、その他の移送量（約30m³/日）を含めても100m³/日以下は達成可能**

		1号機			2号機			3号機			4号機		
約70 (2022.1-12月)*1		6			24			36			2		
	建屋	R/B	T/B	Rw/B	Rw/B	R/B	T/B	R/B	T/B	Rw/B	R/B	T/B	Rw/B
①小計 (2022.1-12月)*1	68	3	3	2号	5	17	2	8	25	3	0	2	0
②降雨時：屋根、開口部	15	2	1		2	2	1	2	3	1			
③降雨直後：フェーシング等	24		2		2	7	1	2	7	2		1	
④降雨無：（最低月平均）	29				1	8		4	15			1	

【凡例】

1未満
1～5
5～10
11～20
21～

*1 12/31迄のデータ（上記数値は各建屋の移送流量で算出：誤差含む）

*2 降雨5mm/日以上の日データ：屋根が主たる要因と想定した設定量（今後データの蓄積により修正する可能性もある）

建屋屋根
雨水対策実施予定1号機北西部
敷鉄板への目地等
仮フェーシング実施

- 深部（T.P.+2m以下）建屋外壁貫通部（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）（14箇所）

2024年度計画
（主に排水設備整備）

【凡例】

- フェーシング完了
- フェーシング（実施中）
- フェーシング（計画中）
- 陸側排水壁
- 既設設備（建物・タンク等）

【対応方策】

1号カバー関連：5⇒Δ5m³/日※3SD水位低下：29⇒Δ5m³/日※3フェーシング：24⇒Δ5m³/日※3PCB拡散抑制壁：12⇒Δ5m³/日※3現在2025年度までに計画
している抑制対策でΔ20m³/日と想定建屋流入量：約70m³/日⇒約50m³/日（2025年度）※4

+

建屋流入量以外：約30m³/日

||

汚染水発生量の想定

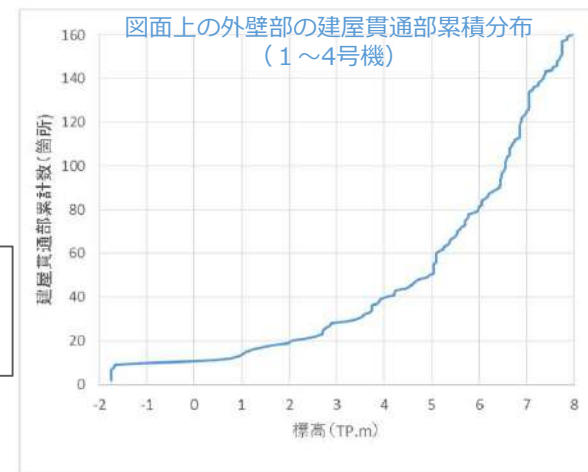
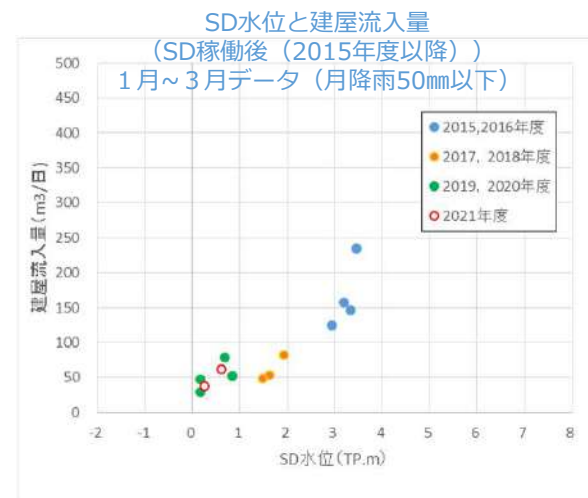
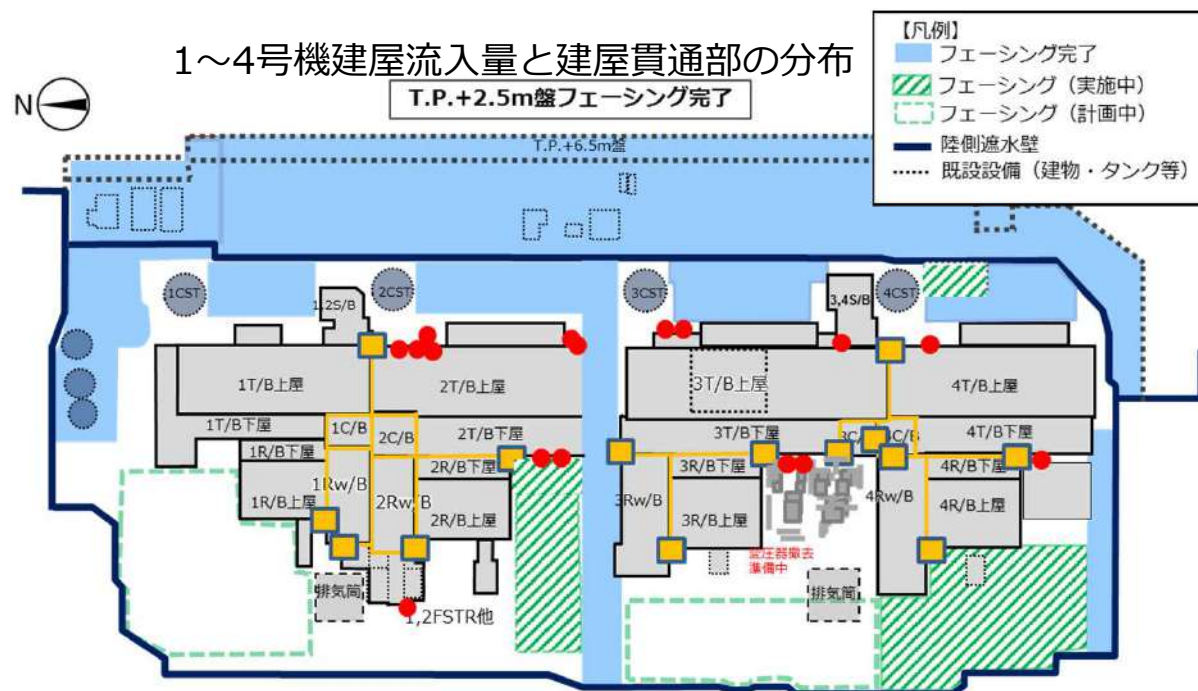
⇒約80m³/日（2025年度）※4※3 抑制効果は5m³/日単位で想定。カバー関連は対象の殆ど。SD水位低下はp49参照
フェーシングは1-4号建屋周辺残り7割の内2割
完了予定であり割合比減少と想定

②もフェーシングで減少する可能性有

PCB拡散抑制壁はNo40停止時の増加量より算定

※4 2022年と降雨量が同等として評価。
期間の降雨量により変動する。

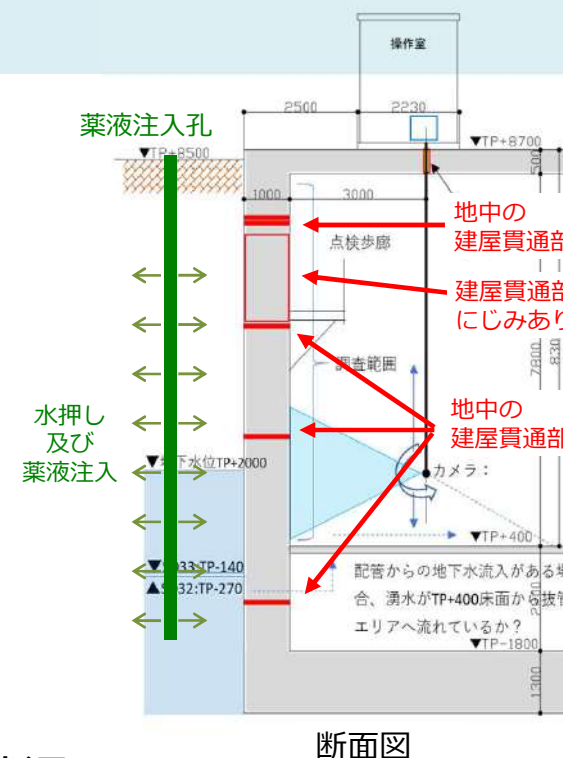
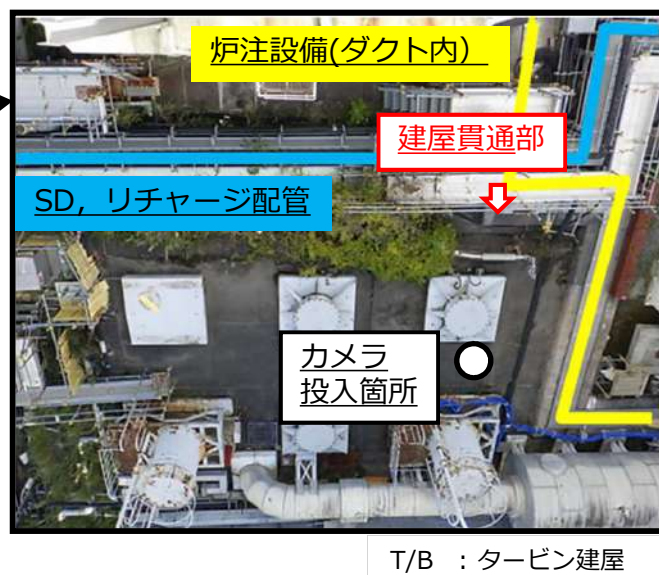
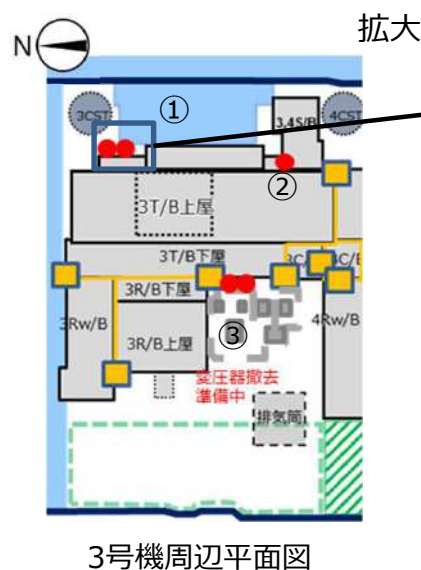
- 更なる流入抑制として、残存する配管等の建屋貫通部、建屋間のギャップ（すきま）端部への止水を検討



少雨期（2022.2）の建屋流入量



- 3号機への流入量が約40m³/日（2022年4～11月）と最も多いため、深部（T.P.+2m以深）にの建屋外壁貫通部を対象に以下の調査を実施中
- ① 3号機タービン建屋北東部（ディーゼル発電機室建屋外壁貫通部）
地下階の外部から水押し試験を実施し、配管等貫通部近傍の建屋内部で湧水、にじみ等の大きな変化がないことを確認、大きな流入は確認されなかったものの今後止水を実施
 - ② 3号機取水電源ケーブルダクト
カメラ調査により内部にたまり水を確認したためモルタル等で充填（目標：2022年度中）
 - ③ 3号機タービン建屋西側
今後建屋内の調査を検討し、2023年度以降対策実施予定



3号機タービン建屋北東部海側の状況

- 1-1,1-2 ■ 2022年度に数m規模の構外試験で確認した、削孔方法、削孔精度で実規模の数十mにおいても想定より期間を要したが※施工可能である事を確認。（削孔速度調整、計測結果を踏まえた削孔ビットの選定は必要）
- 2-1,2-2 ■ 同様に止水部の設置手法も施工可能である事も確認。
- 1-1、1-2で確認された削孔手法（削孔ビットは一部長寿命化に改良し、削孔期間の短縮を指向）、止水部設置手法で施工を実施（11月～1月）し、建屋流入量の低減状況を確認する予定。

※：当初想定40m削孔に2週間程度と想定していたが1ヶ月半程度要した一部の区間でコンクリートが堅く、ビットの損傷が早く、ビットの交換などが頻発した。

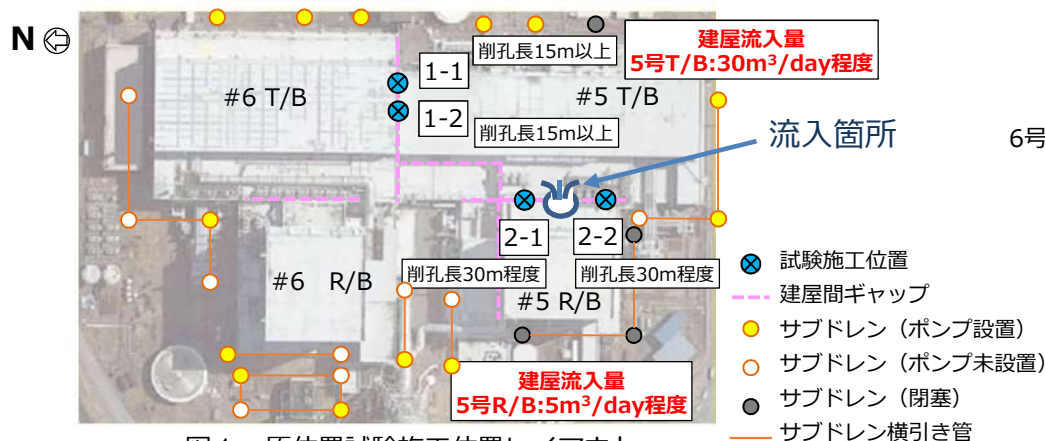


図1 原位置試験施工位置レイアウト



図2 5号機T/B,6号機T/B間 試験施工位置
(5号機T/B屋上から6号機T/Bを撮影)

【工程】

2023年度	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	確認事項
5号機T/B, 6号機T/B間					
準備工					長さ15m程度（地上階の開口部）において下記確認 ・削孔精度を保つ施工法 ・削孔壁面状態確認（コンクリート目粗し） ・発泡ポリエチレンと建屋の隙間 ・隙間幅を踏まえた止水材打設施工法
試験施工 (1-2, 1-1)	1-2	1-1			
5号機R/B, 5号機T/B間					
準備工					長さ30m程度（建屋流入箇所を対象）において 上記項目に加えて下記確認 ・建屋流入のある部分での止水材打設施工法 ・止水性確認
試験施工 (2-1, 2-2)		2-1	2-2		

注：天候、試験結果により工程は見直す可能性がある

- [illegible]

【工程】

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved

- 2025年以降の更なる汚染水発生量の抑制施策として、1～4号機建屋流入では局所止水を進めていく予定
- その他移送量の抑制では、2020年度に発生した物揚場排水路のモニタ上昇時の水やフオールアウト由来のトレンチ等のたまり水を、1～4号タンク堰内雨水処理設備処理対象水に適用していく事を目指す

汚染水発生の要因 (項目)		2022年度 実績(m ³)	今後の施策 <u>追加施策</u>	H-3濃度
①	建屋流入量 (雨水・地下水等の流入)	約25,000 (約70m ³ /日)	・ 建屋周辺フェーシング ・ サブドレン水位低下 ・ <u>1-4号機建屋局所的な建屋止水</u>	10 ⁵ 程度 (RO入口水より想定)
②	T.P.+2.5m盤からの 建屋移送量	約3,000 (約10m ³ /日)	・ サブドレン水位低下	10 ^{3~4} 程度 (WP濃度)
③	ALPS浄化時薬液注入量※2	約1,000 (約10m ³ /日未満)	・ 確実な保全	ND (淡水)
④-1	廃炉作業に伴い 発生する移送量※3	約3,000 (約10m ³ /日)	・ 設備の確実な運用管理 ・ たまり水の処理計画の策定 ・ <u>1-4号タンク堰内雨水処理設備 処理対象水の拡大</u>	ND~10 ² 程度 (淡水及びたまり水 から想定)
④-2	緊急的に移送した発生量	0		
汚染水発生量		約32,000 (約90m ³ /日)		
参考	降水量 (mm)	1,192mm	平均的な降雨 (1,473mm/年)	

- 2025年度まで計画されている対策の効果が想定通り得られたとして、それ以降のフェーシング（今後計画具体化）と局所的な建屋止水を実施することにより、汚染水発生量は約50～70m³/日となる見通し

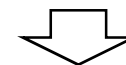
【対応方策】：建屋流入量：約50m³/日
（2025年度想定：p.20より）

2/3号機屋根，開口部：約10

フェーシング：約15⇒Δ10※1
（5割⇒8割から算定）

局所止水：約25※1
⇒Δ0～Δ20

ギャップの流入量が不明であるため、現時点ではバンドで評価



建屋流入量：約50m³/日
（2025年度）
⇒約20～40m³/日
（2028年度）

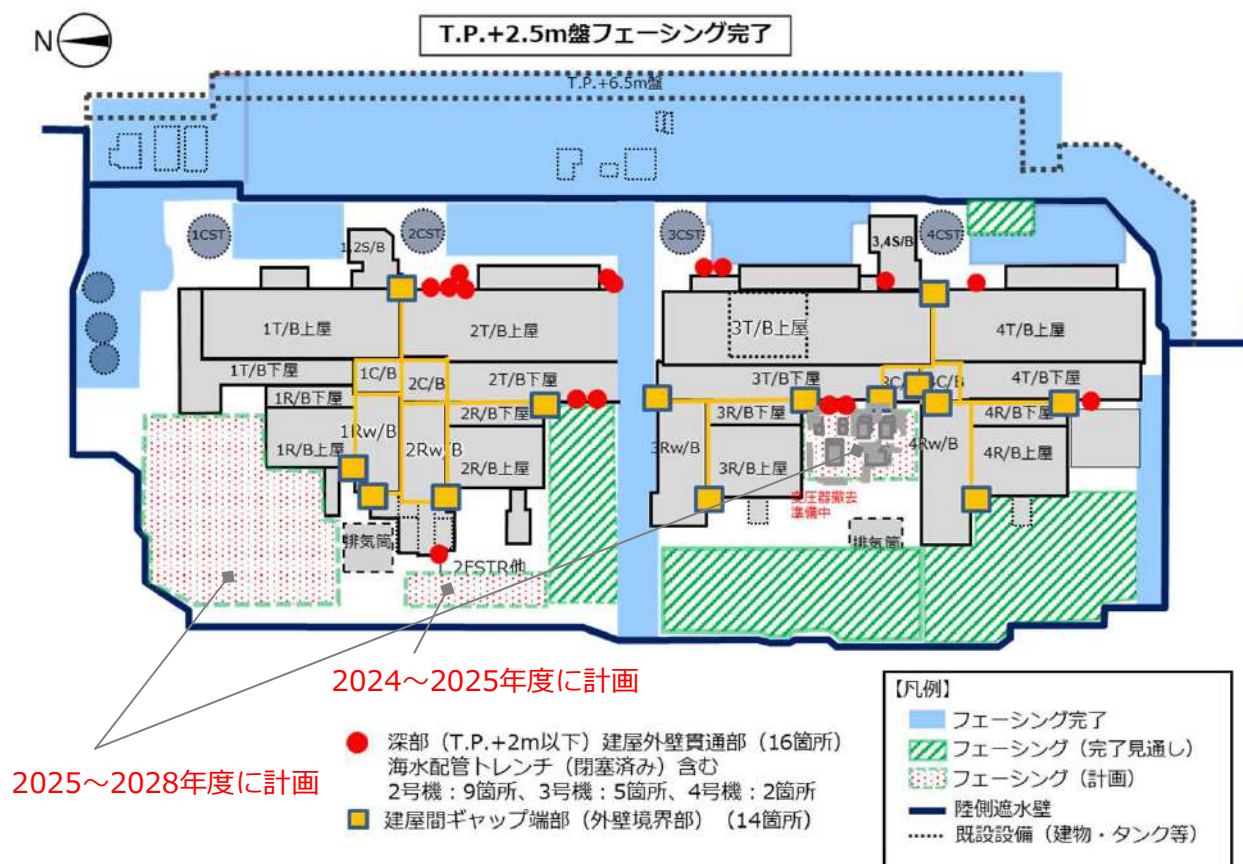
+

建屋流入量以外：約30m³/日

II

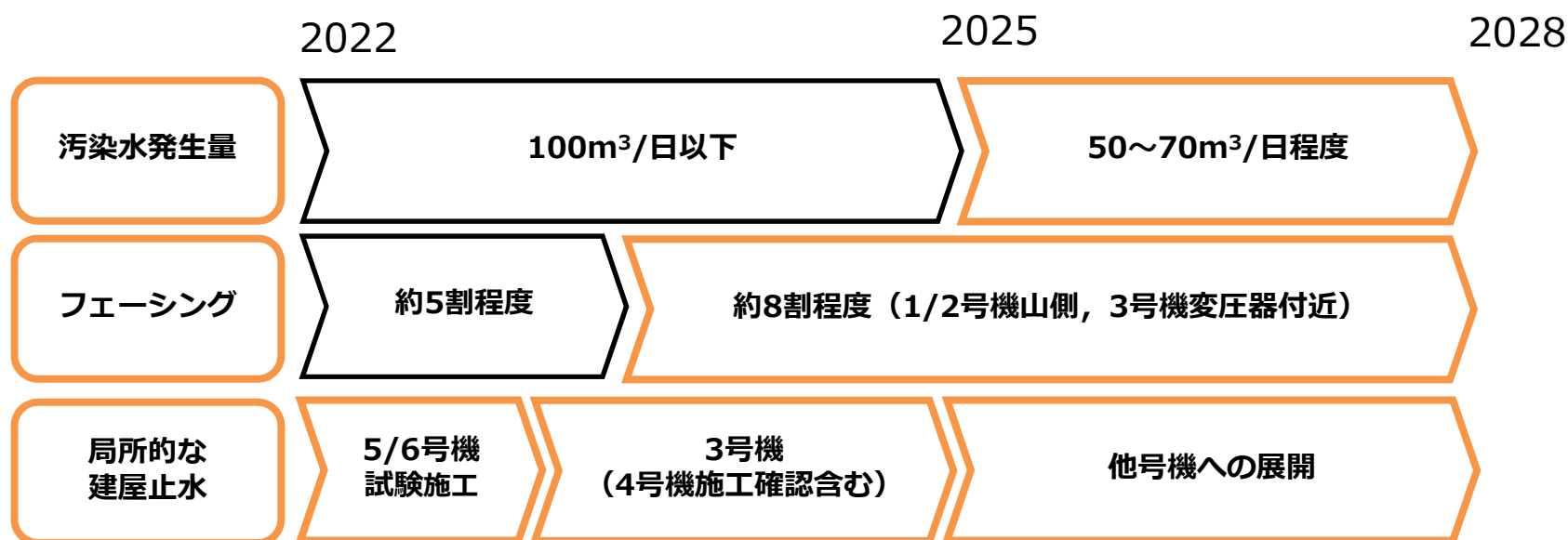
汚染水発生量の見通し
⇒約50～70m³/日（2028年度）

※1 p.20からフェーシング対象水は19-5で14となるが5m³/日単位で15として評価
50-10-15=25で局所止水対象水を想定



- 1～4号機建屋周りのフェーシングは、他の廃炉工事と調整を行い、2028年度に約8割程度の進捗を目指す
- 局所的な建屋止水としてギャップ端部の止水等を検討し、2025年度末以降、3号機における効果を評価の上、他号機への展開を図る（2028年度の実施を目指す）
- これらの効果が発揮されれば、2028年度に汚染水発生量を50～70m³/日まで抑制できる見通し

【概略工程】



- 今後の汚染水対策として、①地下水対策、②TP2.5m盤対策、③雨対策として進めていく。
- ①～③の対策を踏まえて、汚染水を抑制しつつながら、サブドレン、凍土壁に依らない、極力パッシブな対策を目指していく。

①地下水対策 (渇水期) 建屋流入抑制

- ✓ 解析的に評価の上、建屋止水を実施
- ✓ 建屋止水(局所止水)計画中
- ✓ ～2025年度：3号機、～2028年度：他号機
- ✓ 2022年度実績：約30m³/日

②TP2.5m盤対策

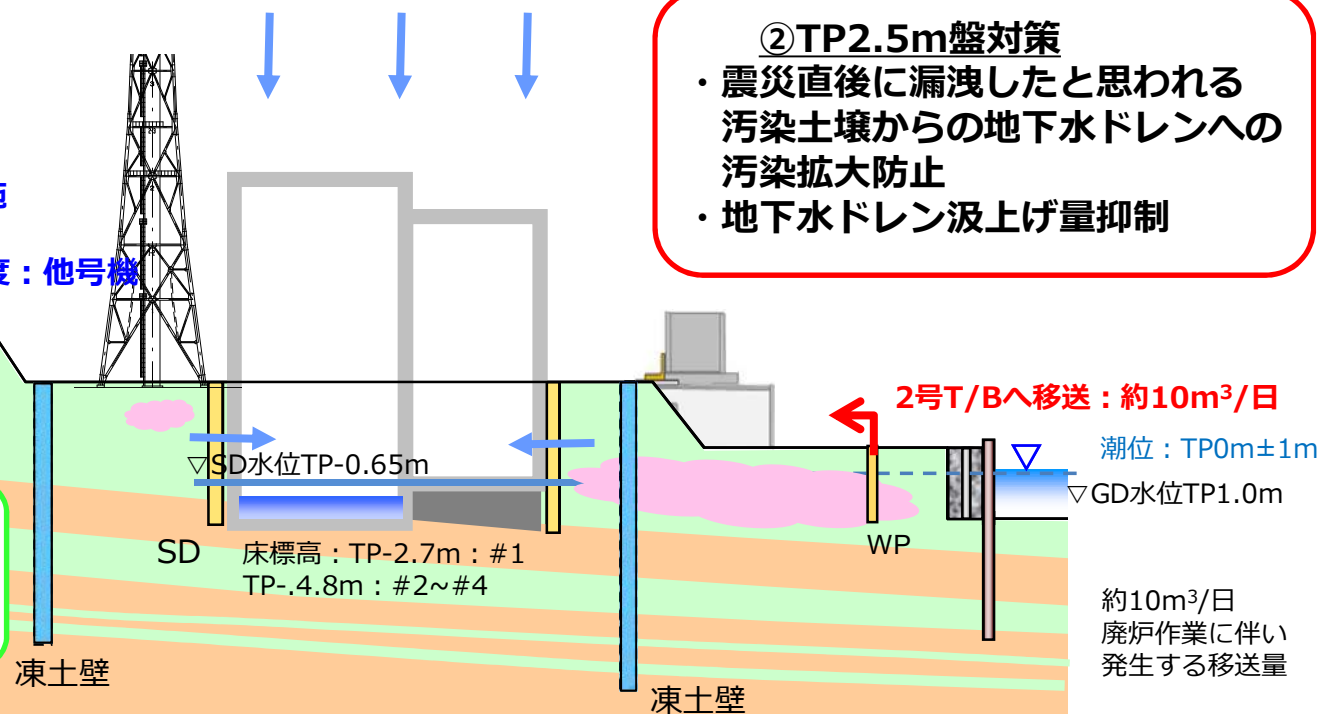
- ・ 震災直後に漏洩したと思われる汚染土壌からの地下水ドレンへの汚染拡大防止
- ・ 地下水ドレン汲上げ量抑制

③雨対策

- ・ 降雨の建屋直接流入が無い
- ・ 降雨による地下水変動抑制

- ✓ 屋根対策実施中(2023年度～2024年度頃：1号機加へ)
- ✓ 1-4号機周辺フェーシング実施中(2023年度：50%⇒2028年度80%)
- ✓ 2022年度実績：約40m³/日

①～③の対策をSD(サブドレン)、凍土壁に
依らない極力パッシブ(管理リソースの軽減)な対策を目指す*。



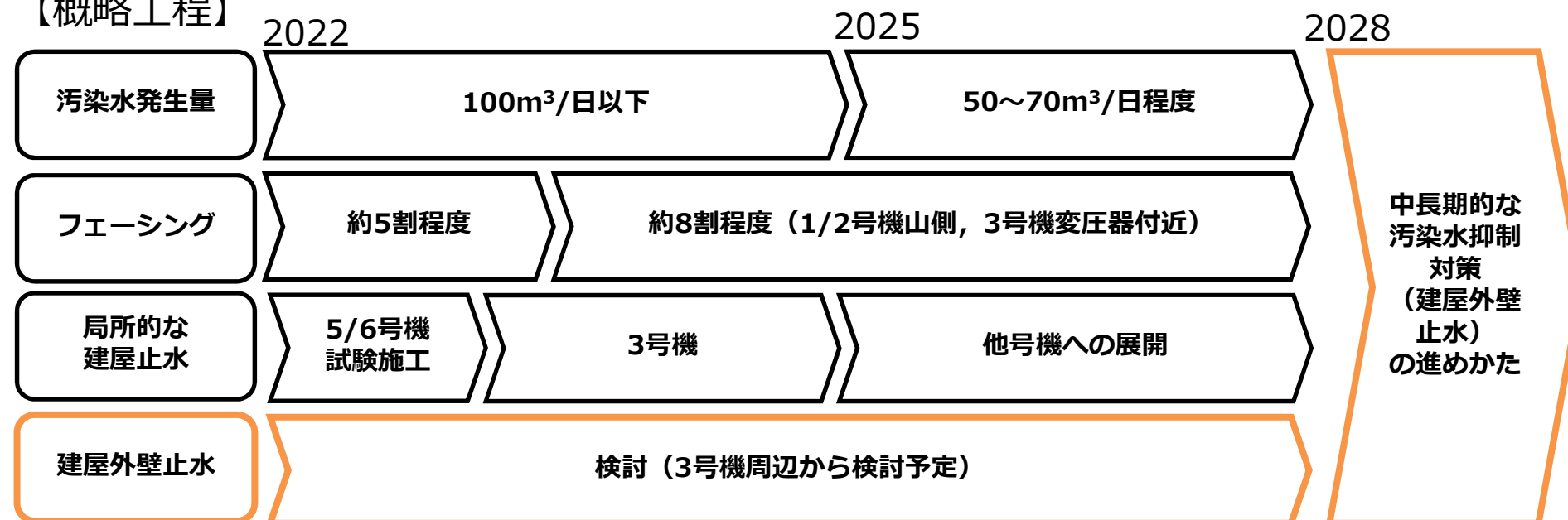
汚染土壌(想定)
震災直後、建屋から
海水配管トレンチを介して
地盤中に漏洩した汚染

SD: サブドレン
GD: 地下水ドレン
WP: ウェルポイント
(WP: 汚染拡大防止目的に汲み上げ中)

*進め方に関しては、今後、汚染水処理対策委員会などで議論していく予定

- 1～4号機建屋への雨水・地下水流入の抑制については、建屋滞留水水位及び地下水位を低位に保ち、屋根などの開口部を補修してきており、地下水位を低位に保つためにサブドレン、陸側遮水壁、およびフェーシングを実施中
- 地下水位管理だけでなく、建屋外壁の止水性を向上させ、更なる建屋への流入量抑制を目指す対策の一つとして、局所的な建屋止水を行っていく予定
- 中長期的な汚染水抑制対策については、局所的な建屋止水と並行して、建屋外壁の止水性を更に向上させる方策の検討を行い、それらの工法の組合せを含めて2028年度までに準備
- 局所的な建屋止水の効果及び建屋外壁止水の検討結果や、燃料デブリ取り出し等の廃炉作業の状況も踏まえ、2028年度までに中長期的な汚染水抑制対策（建屋外壁止水）の進め方を具体化していく

【概略工程】



- 建屋への雨水・地下水の流入は、サブドレン、陸側遮水壁及び建屋の屋根補修、建屋周辺のフェーシング等に加えて局所的な建屋止水により、段階的に抑制していく計画
- 1～4号機建屋周辺の高線量箇所に関しては、SGTS配管撤去、3号機変圧器周辺及びT/B下屋の高線量瓦礫撤去等の対策も開始し、環境改善が進んでいく状況
合わせて建屋の滞留水水位の低下により、床面露出範囲の拡大から建屋周辺の深部の掘削工事が可能な範囲も拡大していくことが想定
- 1～4号機建屋周辺の建屋外壁の止水に関しては、高線量環境、大量の廃棄物発生、廃炉作業によるヤード利用や原子炉建屋内に一部滞留水がある状態での施工等、多くの課題があるものの、課題の対象範囲は限定的になっていくことが想定
また、建屋毎の流入量のデータの蓄積に伴い、建屋流入の残存箇所の特定も期待
- 以上を踏まえ中長期的に安定して建屋流入・流出を抑制可能な建屋外壁の止水工法を検討開始
- 検討に当たっては耐久性を30年以上とし、鉄・SUS等の鋼構造の止水壁、地盤をセメントなどで置換する置換工法、地盤の止水性を向上させる注入工法について、施工の前提条件を仮定し、工事期間、使用ヤード、被ばく量、発生廃棄物量について評価を行う
前提条件の不確実性についても、確実性を向上させる調査手法について検討する予定
- 3号機において開始している燃料デブリ取り出し工法の検討においては、建屋止水に及ぼす影響についても検討していく必要がある
- 2028年度を目標に必要な調査・検討を実施し、建屋外壁止水の進め方の具体化を図っていく



鋼構造止水壁（SUS鋼板等）



地盤改良（セメント改良土等）



地盤注入（薬液等）

1. 福島第一の現況・燃料取り出し作業

- ① プラントの状況
- ② 汚染水の貯蔵・処理状況
- ③ 使用済燃料プールからの燃料取り出し作業
- ④ デブリ燃料取り出し作業

2. 汚染水・処理水対策

- ① 汚染水発生量の低減状況・今後の低減目標と施策
- ② ALPS処理水海洋放出施設の設置状況
- ③ 海洋生物の飼育試験

3. 自然災害対策

- ① 津波対策
- ② 豪雨対策

出典：地理院地図（電子国土Web）をもとに東京電力ホールディングス株式会社に作成

<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>



※：共同漁業権非設定区域

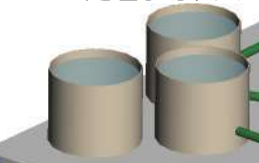
二次処理設備（新設逆浸透膜装置）

トリチウム以外の核種の告示濃度比総和「1～10」の処理途上水を二次処理する

二次処理設備（ALPS）

トリチウム以外の核種の告示濃度比総和「1以上」の処理途上水を二次処理する

ALPS処理水等タンク



海拔33.5m

海拔11.5m

海拔2.5m

測定・確認用設備

3群で構成し、それぞれ受入、測定・確認、放出工程を担い、測定・確認工程では、循環・攪拌により均質化した水を取って分析を行う（約1万m³×3群）

ローテーション

放出

受入 測定・確認

ALPS処理水
移送ポンプ

移送設備

防潮堤

緊急遮断弁や移送配管の周辺を中心に設置

流量計・流量調整弁・
緊急遮断弁（津波対策）

海水配管ヘッド
（直径約2m×長さ約7m）

緊急遮断弁

海水流量計

海水配管

道路

海水移送ポンプ（3台）

放水立坑（下流水槽）

希釈設備

5号機取水路

放水立坑（上流水槽）

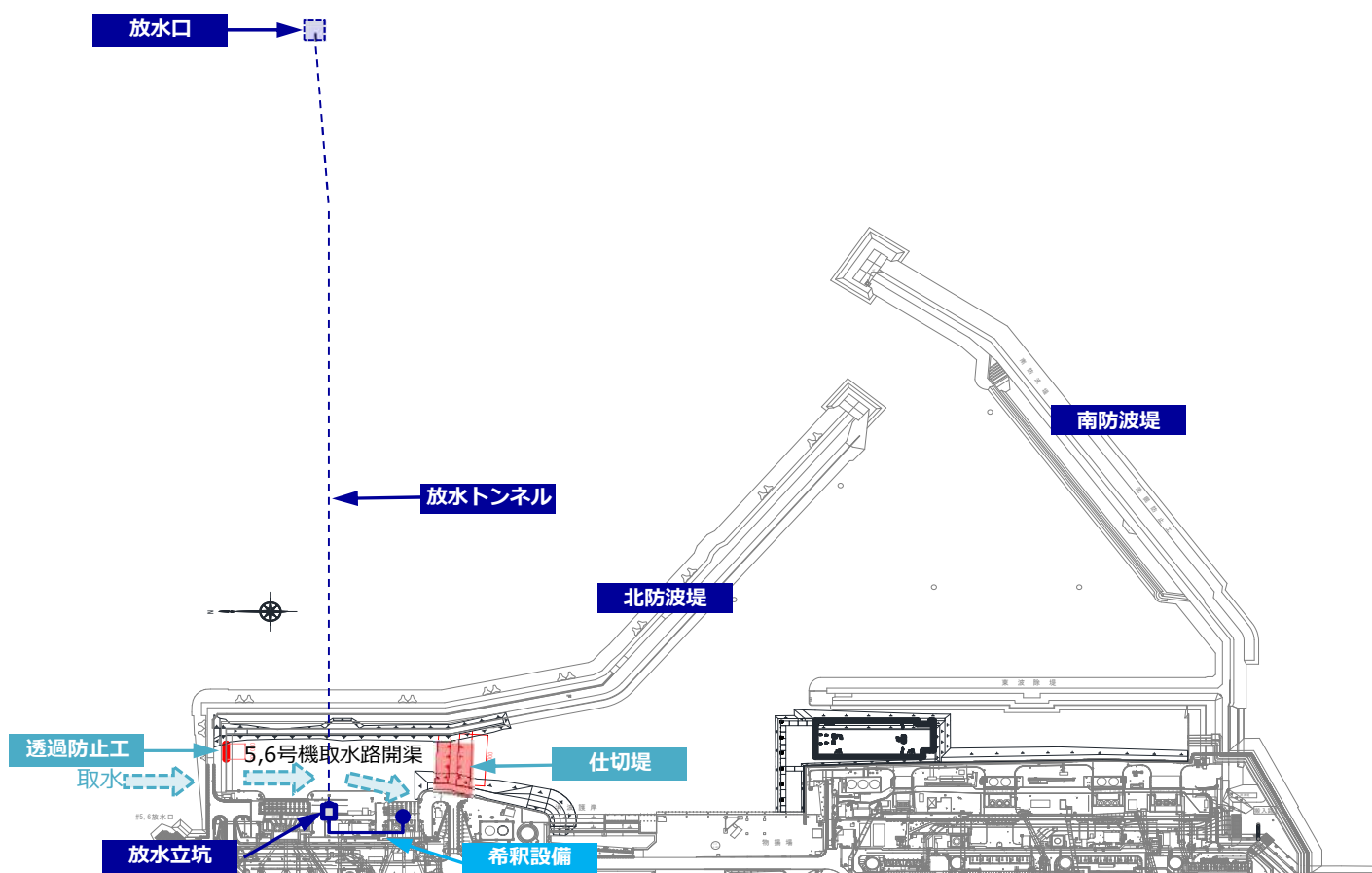
放水設備

放水トンネル（約1km）

放水トンネルの損失に見合う水頭差（下流水槽の水面高さと海面の高さの差）を利用して自然流下させる

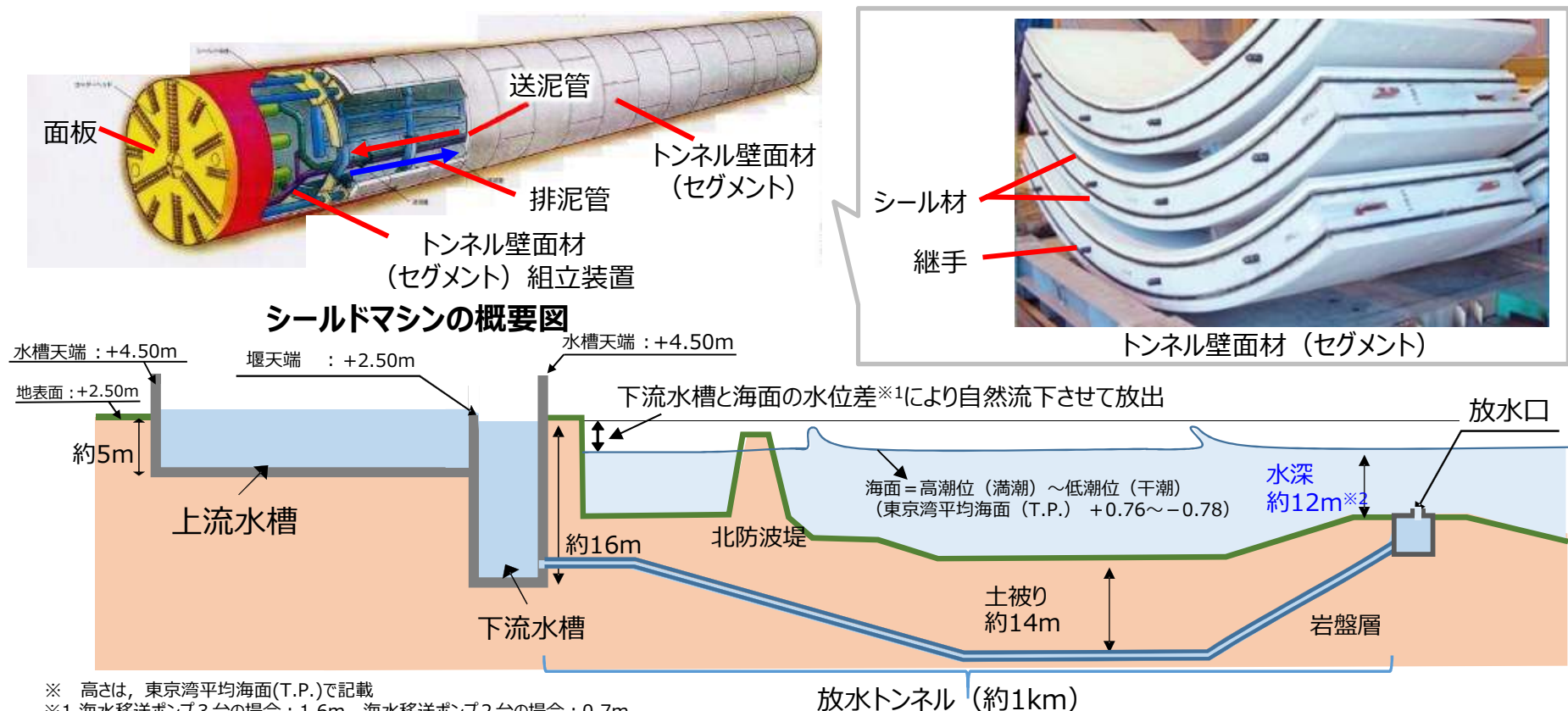
海へ

- 北防波堤の一部を改造して港湾外の海水を希釈用として取水し、仕切堤で港湾内と分離することにより、港湾内の海水と希釈用の海水とを直接混合させない
- 放水立坑と海面との水頭差により約1km沖合の放水口まで移送・放水することにより、海水が再循環しにくい（希釈用海水として再取水されにくい）



- トンネルは岩盤層を通過させるため漏洩リスクが小さく耐震性※に優れる
- トンネル部の水理損失に見合う水頭差（下流水槽の水面高さと海面との差）を利用して自然流下させる設計（貝類の付着も考慮）
- シールド工法（泥水式）を採用し、鉄筋コンクリート製のトンネル壁面材（セグメント）に2重のシール材を取り付けることで止水性を保持

※ 原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえて設計

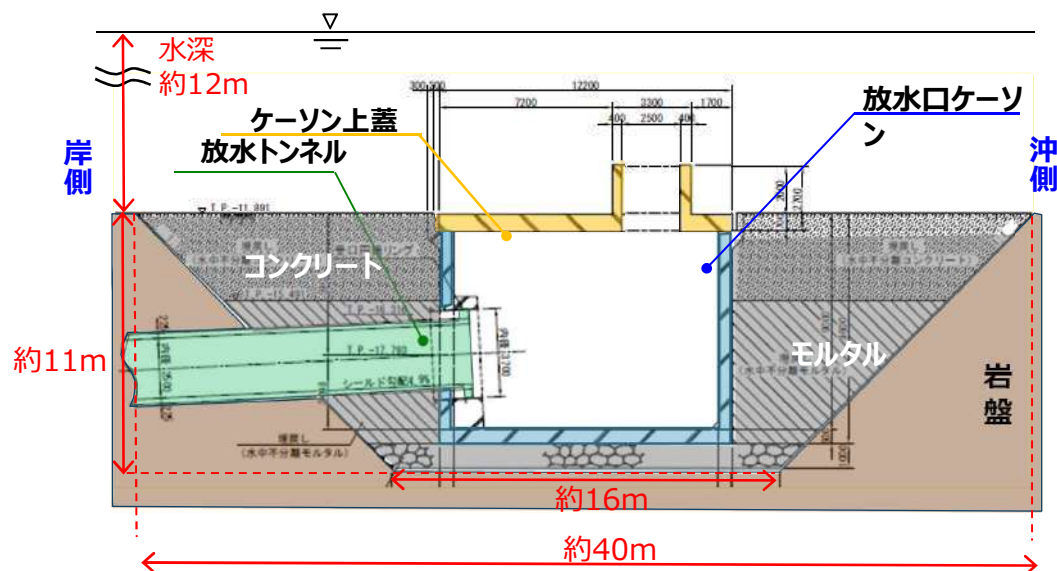


※ 高さは、東京湾平均海面(T.P.)で記載

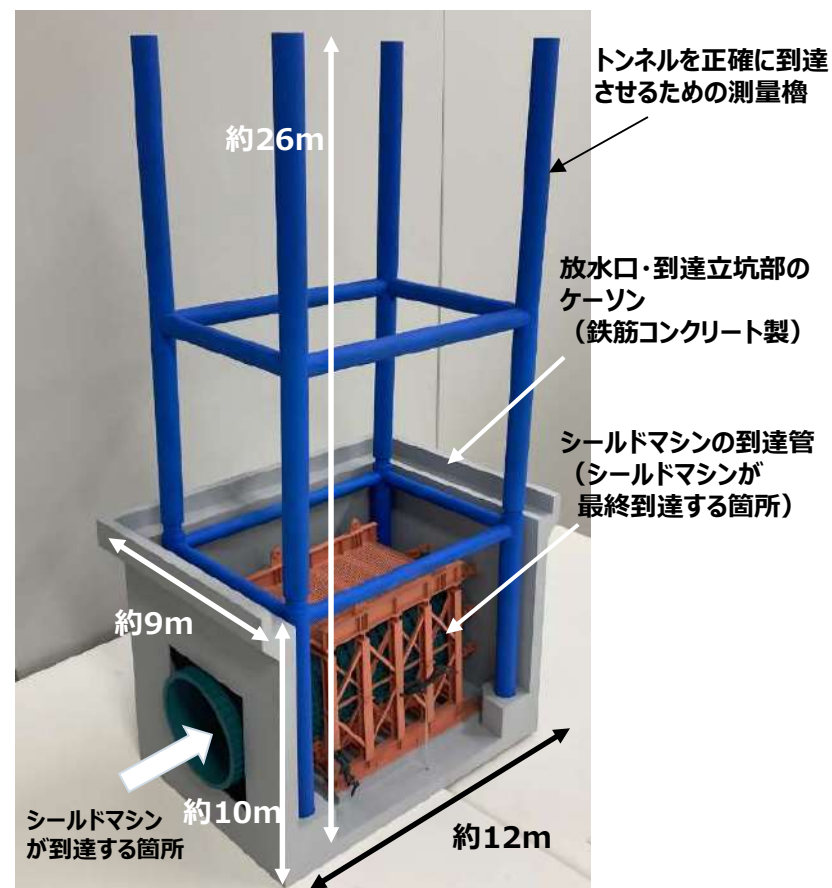
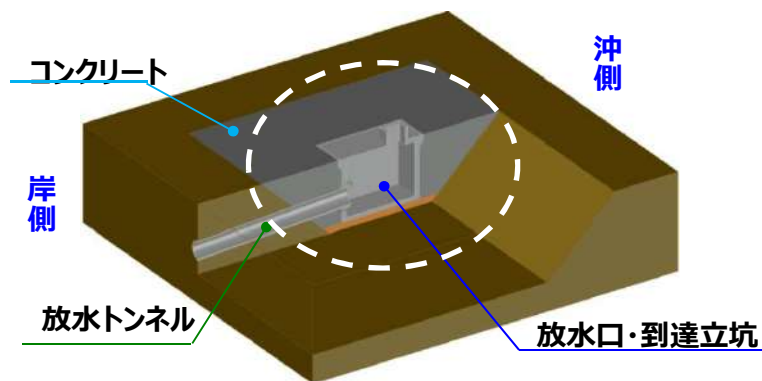
※1 海水移送ポンプ3台の場合：1.6m，海水移送ポンプ2台の場合：0.7m

※2 東京湾平均海面 (T.P.) における標準時の潮位を基準とした場合

- ▶ 沿岸から約1kmの海域に、海底トンネルの出口に接続する放水口（鉄筋コンクリート製ケーソン）を設置
- ▶ トンネル掘進中の位置情報を管理するための「測量櫓」と、シールドマシンが到達する「シールド到達管」をケーソン内部に事前に設置



放水口断面イメージ図



放水口ケーソン製作イメージ図

- 取水のための港湾内工事として、比較的放射性物質濃度の高い1～4号機側の港湾から仕切るため、5/6号機取水路開渠に仕切堤（捨石傾斜堤+シート※）を構築
- 輻輳する工事をより安全に施工する観点で、工事用一時仮設物としての重機足場（捨石堤）の設置、取水路開渠内の堆砂撤去を並行して実施
仕切堤設置後には北防波堤の透過防止工を一部撤去

※ 軟質塩化性ビニル製マット 厚さ=5mm



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.

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved

- 2022年4月25日 発電所沖合約1kmの海域にて灯浮標・シンカーブロックを設置
- 2022年6月27日 海底掘削完了
- 2022年7月22日 捨石投入・均し完了
実施計画変更認可
- 2022年8月 2日 安全協定に基づく事前了解取得
- 2022年8月 4日 本工事着工（測定・確認用設備，移送設備，希釈設備，放出設備）



灯浮標設置



重錘による捨石均し



海底掘削

- 2022年8月4日、シールドマシンにより岩盤層の掘進を開始
- 12月7日にトンネル掘進を一旦停止し、12月18日から下流水槽の構築を開始
セグメントは、構外ヤードで表面汚染密度を測定し、カバーで覆い保管



シールドトンネル立坑入口



トンネル内部安全設備の整備状況

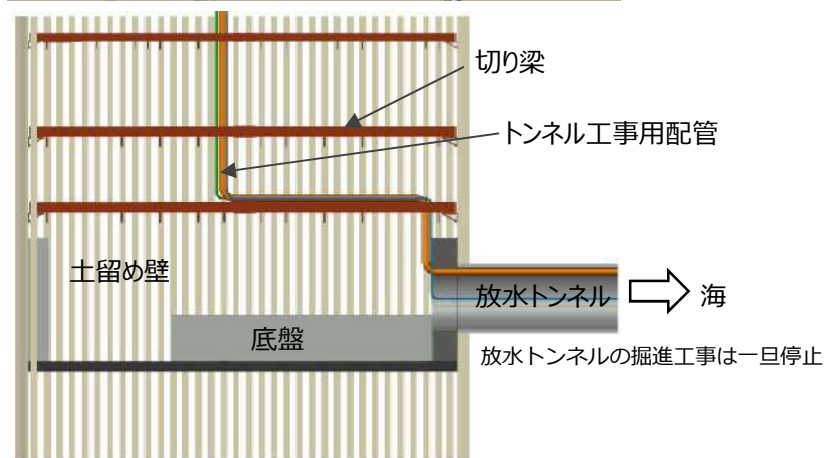


セグメント搬入状況



- 放水トンネル工事の掘進停止期間を利用し，下流水槽の構築を実施
- 下流水槽の構築完了次第，放水トンネルの設置工事を再開

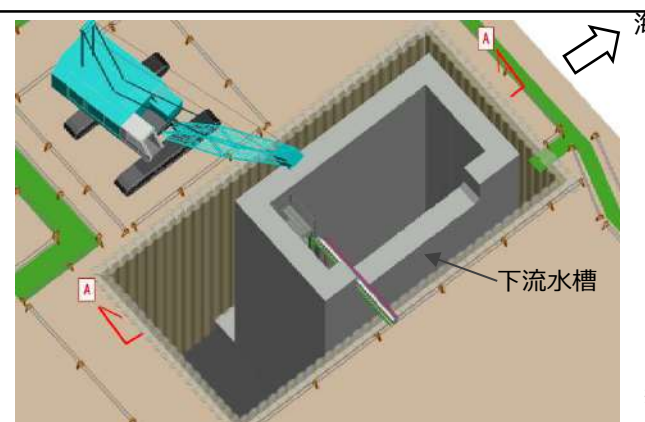
施工初期



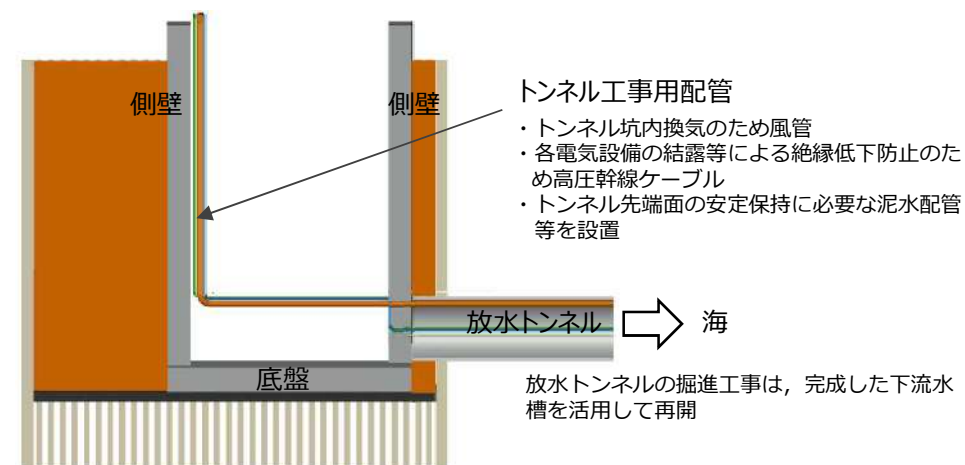
A - A 断面

※現場施工時に一部変更することがある

完成時



※図示していないが，下流水槽の周囲は埋戻す



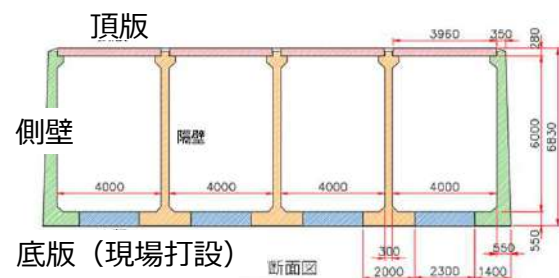
A - A 断面

※現場施工時に一部変更することがある

- 2022年10月7日，放水立坑（上流水槽）において，地震対策の一環としての地盤改良を開始
- 12月14日，上流水槽の構築（均しコンクリート打設）を開始，2023年1月からプレキャストブロックの設置を開始
プレキャストブロックは福島県内の工場にて製造



上流水槽の工事状況（左：地盤改良，右：掘削・均しコンクリート）



上流水槽断面図



上流水槽頂版

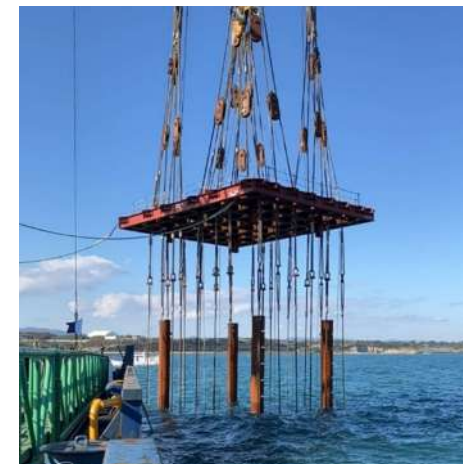
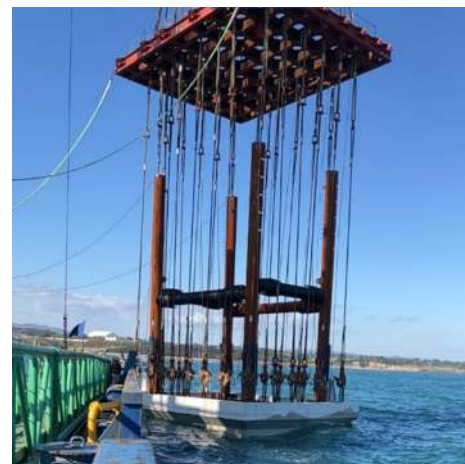


上流水槽側壁



上流水槽隔壁

- 2022年11月18日，放水口ケーソン据付（8月4日の工事着手後，初めての据付可能な海象）
- 12月8日，ケーソン周辺の埋戻実施（6,800m³）



放水口ケーソン据付状況



放水口ケーソン コンクリートプラント船



コンクリートプラント船

打設配管

放水口ケーソン

ケーソン周辺埋戻状況

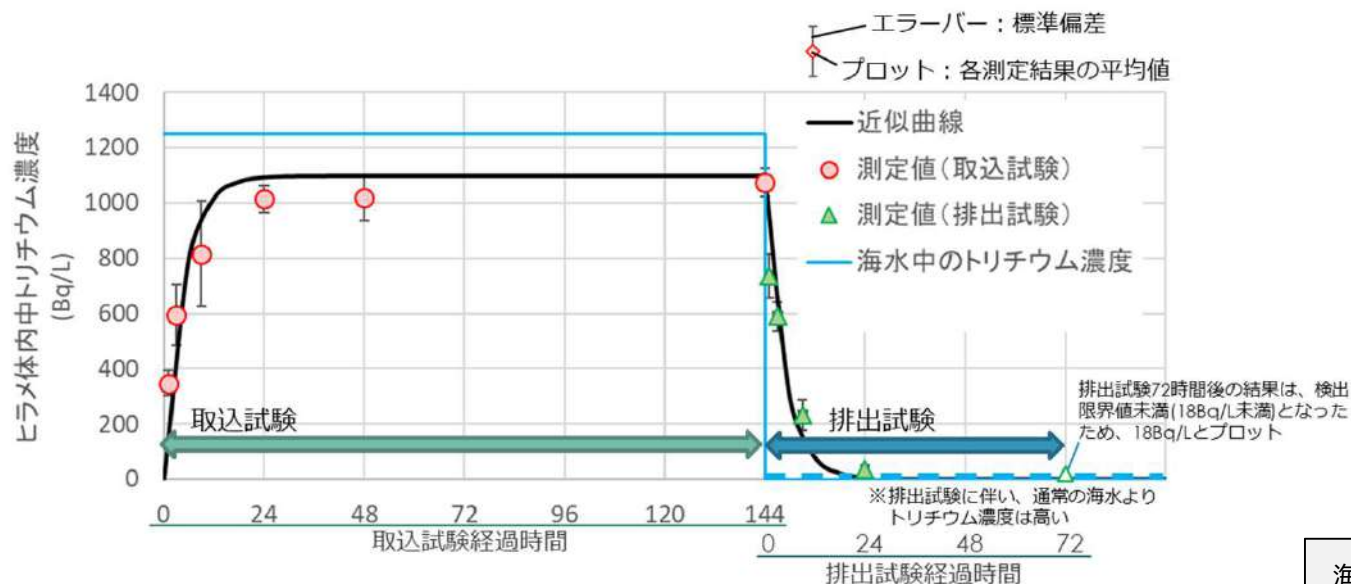
- 2022年8月4日，仕切堤の構築他に向けて重機走行路整備等の準備工事を開始
- 5/6号海側エリアにおいて，取水路開渠内の堆砂の撤去（浚渫）および重機足場の造成を並行して実施
- 仕切堤設置後に北防波堤透過防止工の一部撤去を実施



5/6号機海側エリアの工事状況

- 2023年6月26日：ALPS処理水希釈放出設備及び関連設備の設置完了
- 6月28日～30日：原子力規制庁による使用前検査を受検
- 7月7日：終了証を受領
- 8月22日：関係閣僚等会議で政府のALPS処理水の海洋放出開始に係る決定を受け、東京電力は、実施計画に基づき、同日よりALPS処理水の放出開始に向けた準備開始
- 8月24日：ALPS処理水が規制基準を満たすことを確認した上で、1回目の海洋放出を開始
- 9月11日：海水中のトリチウムについて東京電力が毎日実施する迅速な分析の結果等から、計画どおりに放出が基準を満たして安全に行われていることを確認しながら、9月11日に2023年度第1回の海洋放出は完了しました。（放出量7,788m³・トリチウム総量1.1兆ベクレル）
- 10月5日～10月23日まで、第2回目のALPS処理水の海洋放出を実施（放出量は7,810m³・トリチウム総量約1.1兆ベクレル。）
- 11月2日～11月20日まで、第3回目のALPS処理水の海洋放出を実施（放出量7,753m³・トリチウム総量約1.0兆ベクレル）
- 2024年2月28日～3月17日まで、第4回目のALPS処理水の海洋放出を実施（放出量7,794m³・トリチウム総量約1.3兆ベクレル）
- これまでのALPS処理水の海洋放出総量は31,147m³

- 社会の皆様の不安解消や安心につながるようALPS処理水を添加した海水と通常の海水で海洋生物を飼育し、それらを比較するため、ヒラメ及びアワビの飼育試験を実施中
日々の飼育状況を公開中
- ヒラメ・アワビの飼育試験では、ALPS処理水を添加した海水（トリチウム濃度：1,500Bq/L未満）で飼育した場合に過去の知見同様、体内中のトリチウム濃度が生育環境以上にならないこと、その後、通常の海水へ移した後に体内中のトリチウム濃度が下がることを確認
- ヒラメおよびアワビについて、「通常海水」および「海水で希釈したALPS処理水」双方の系列において、大量へい死、異常等は確認されていない。(3月21日時点)



※ 測定結果をグラフ化する際、検出限界値未満及び不純物の混入が疑われるデータを除いている

(参考) 近似曲線について：
過去の知見より、生物体内中のトリチウム濃度の変化を表す近似曲線は下記の計算式で表せると仮定した

$$dC_A(t) = A\{-C_A(t) + C_B(t)\}$$

A : 定数 t : 時間

$C_A(t)$: 海洋生物体内トリチウム濃度

$C_B(t)$: 海水中のトリチウム濃度

ヒラメ（トリチウム濃度1,500Bq/L未満）のトリチウム濃度の測定結果

海洋生物飼育試験ライブカメラ

<https://www.youtube.com/channel/UCLEn8NHHX2WrMvn6ZYfAjJA>



1. 福島第一の現況・燃料取り出し作業

- ① プラントの状況
- ② 汚染水の貯蔵・処理状況
- ③ 使用済燃料プールからの燃料取り出し作業
- ④ デブリ燃料取り出し作業

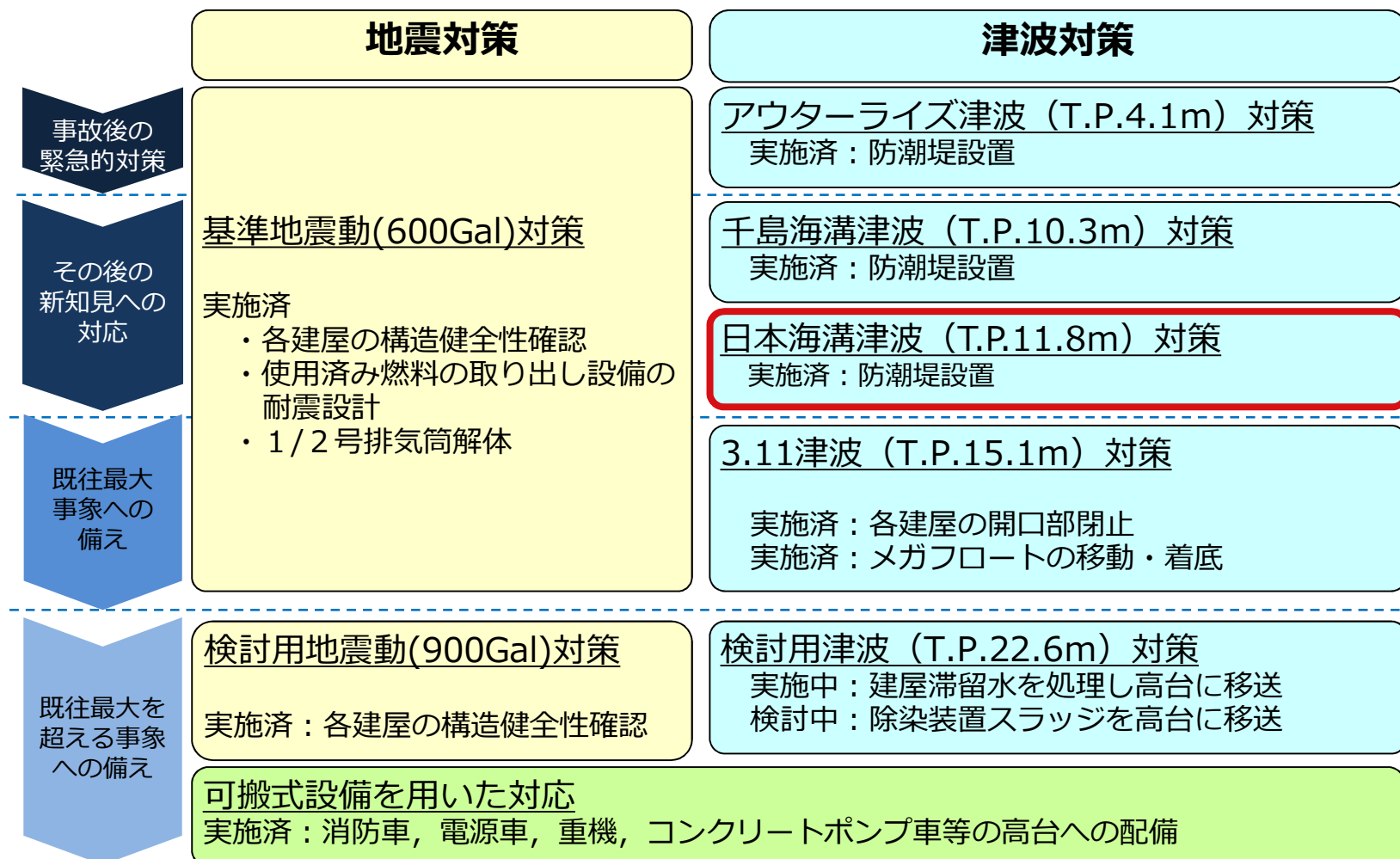
2. 汚染水・処理水対策

- ① 汚染水発生量の低減状況・今後の低減目標と施策
- ② ALPS処理水海洋放出施設の設置状況
- ③ 海洋生物の飼育試験

3. 自然災害対策

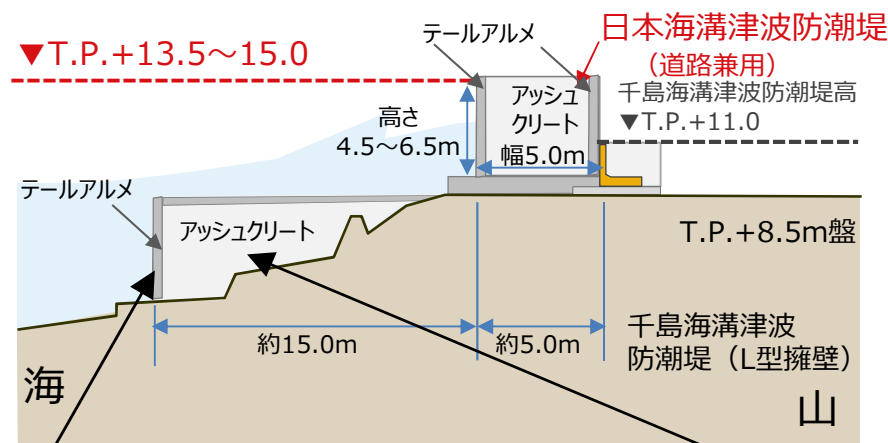
- ① 津波対策
- ② 豪雨対策

➤ 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



※ 基準地震動：東北地方太平洋沖地震前までの知見や耐震設計審査指針を踏まえ評価した、施設の耐震設計において基準とする地震動（東北地方太平洋沖地震による敷地での揺れの大きさと同程度の地震動）
 ※ 検討用地震動：東北地方太平洋沖地震後の知見や新規制基準を踏まえ、発電所において最も厳しい条件となるように評価した地震動
 ※ 検討用津波：東北地方太平洋沖地震後の知見や新規制基準を踏まえ、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」公表内容を反映した津波

- 2021年6月に工事着工，同年9月14日からテールアルメ※¹の基礎工設置を開始
アッシュクリート※²等の打設により防潮堤を構築，2024年3月15日完成



<特徴>

- ・2011年東日本大震災において大きな損傷なく健全性を保持するなど，地震や津波等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返し，所定の高さの防潮堤まで構築
- ・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を活用し，環境負荷低減にも配慮

※1:垂直盛土を構築するためのコンクリート壁面

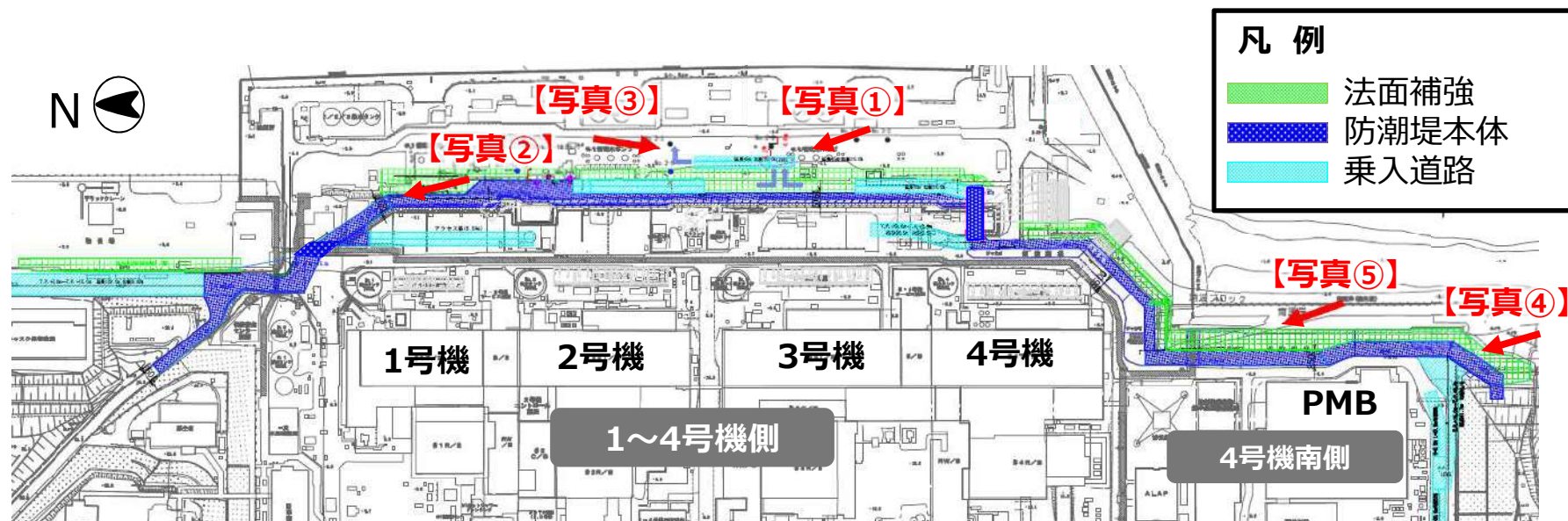
※2:石炭灰（JERA広野火力発電所）とセメントを混合させた人工地盤材料

テールアルメ設置状況



アッシュクリート打設状況





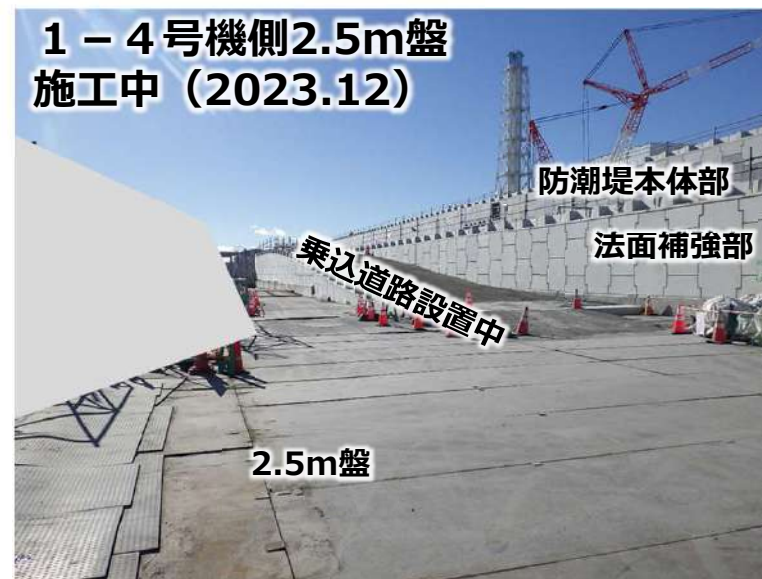
【写真①】防潮堤本体施工中（2022.9）



【写真②】北側防潮堤本体構築中（2022.8）



- 1～4号機側法面補強：完了（材料打設量：約18,500m³）
- 1～4号機側本体：完了（材料打設量：約21,200m³）
フラップゲート設置
- 2.5m盤乗入道路および8.5m盤乗入道路3,5,6号は完成 2023年1月上旬仮運用開始
- 8.5m盤乗入道路1,2,4号は2024年度上期完成予定
- 4号機南側法面補強：完了（材料打設量：3,600m³）
- 4号機南側本体：完了（材料打設量：8,800m³）



- 3月15日、日本海溝津波対策防潮堤(本体部)の設置工事が完了

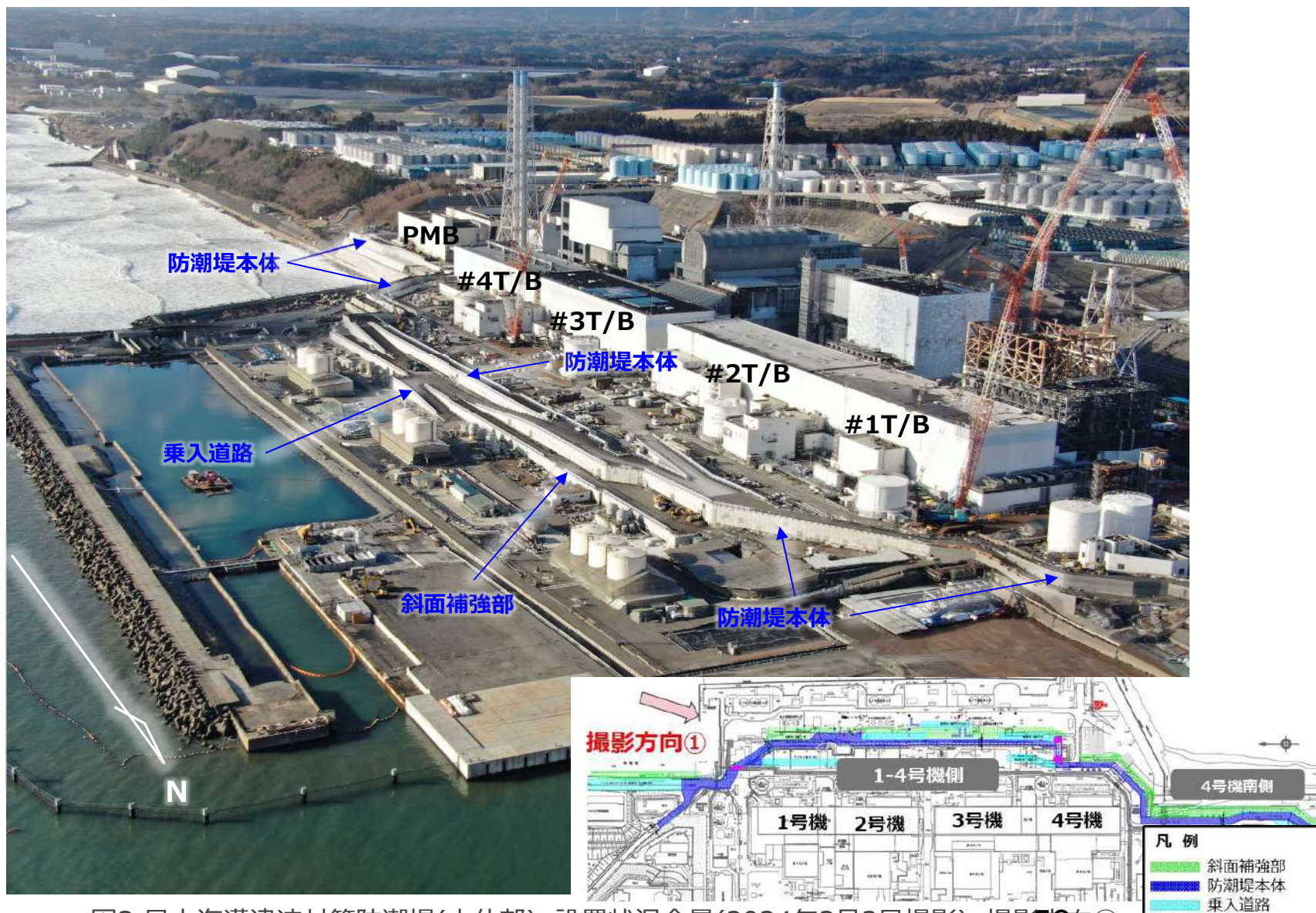


図3.日本海溝津波対策防潮堤(本体部) 設置状況全景(2024年3月2日撮影) 撮影方向①

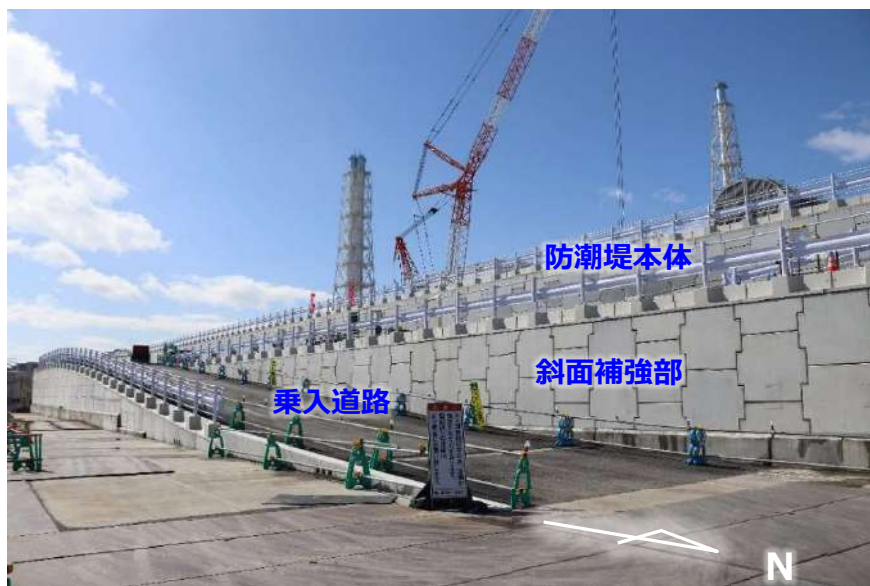


図 1-4号機側(2/3号機-海側)
撮影方向②(2024年3月7日撮影)



図 4号機南側(プロセス主建屋-海側)
撮影方向③(2024年3月7日撮影)

日本海溝津波対策防潮堤(本体部)工事 完了後の近影

2.5m盤サブドレン他集水設備の33.5m盤への機能移転

- 2021年7月から開始したろ過水タンク西側のエリア整備等の準備工事
- 集水設備移送用中継タンクを1号機T/B北側の重油タンクを解体し、その跡地に設置
- 重油タンクについては、2021年度に内部調査を行い、内部にたまり水、残油は確認されなかったことから、原位置で切断・解体（2022年12月から実施）



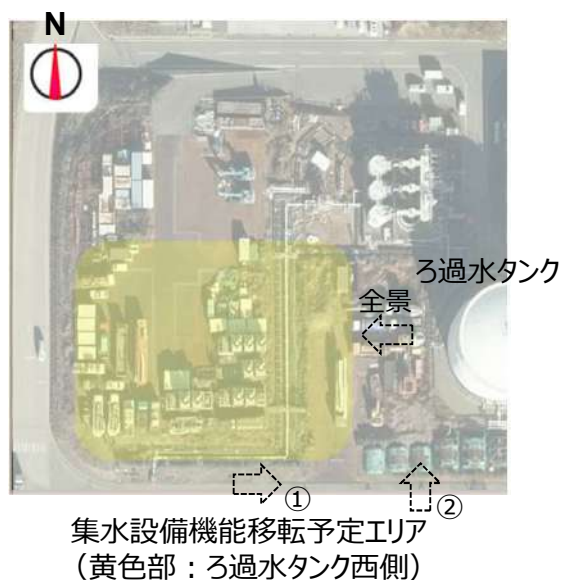
	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
エリア整備・地盤改良					
集水設備設置					
集水設備（既設）津波対策					
【参考】日本海溝津波防潮堤	▼設置公表 (2020.9)	▼工事着工			

※ 撤去、漂流物対策等の津波対策の詳細は今後検討

※ 工事工程に関しては、今後の詳細検討及び日本海溝津波防潮堤工事等との工事調整により変動する可能性あり

2.5m盤サブドレン他集水設備の機能移転（進捗状況）

- 2021年7月から集水設備を移転するエリアの整備に着手
整備工事は、設備設置対象範囲の埋設ケーブルなどを慎重に確認、移設等を実施し、干渉する原水・ろ過水配管等の移設、切替が完了
- 地盤改良工事は、地盤改良深さを確認するための地質調査ボーリングと、地盤改良エリアで支障となる埋設物、配管、ケーブルの撤去等が完了し、2022年10月から実施中



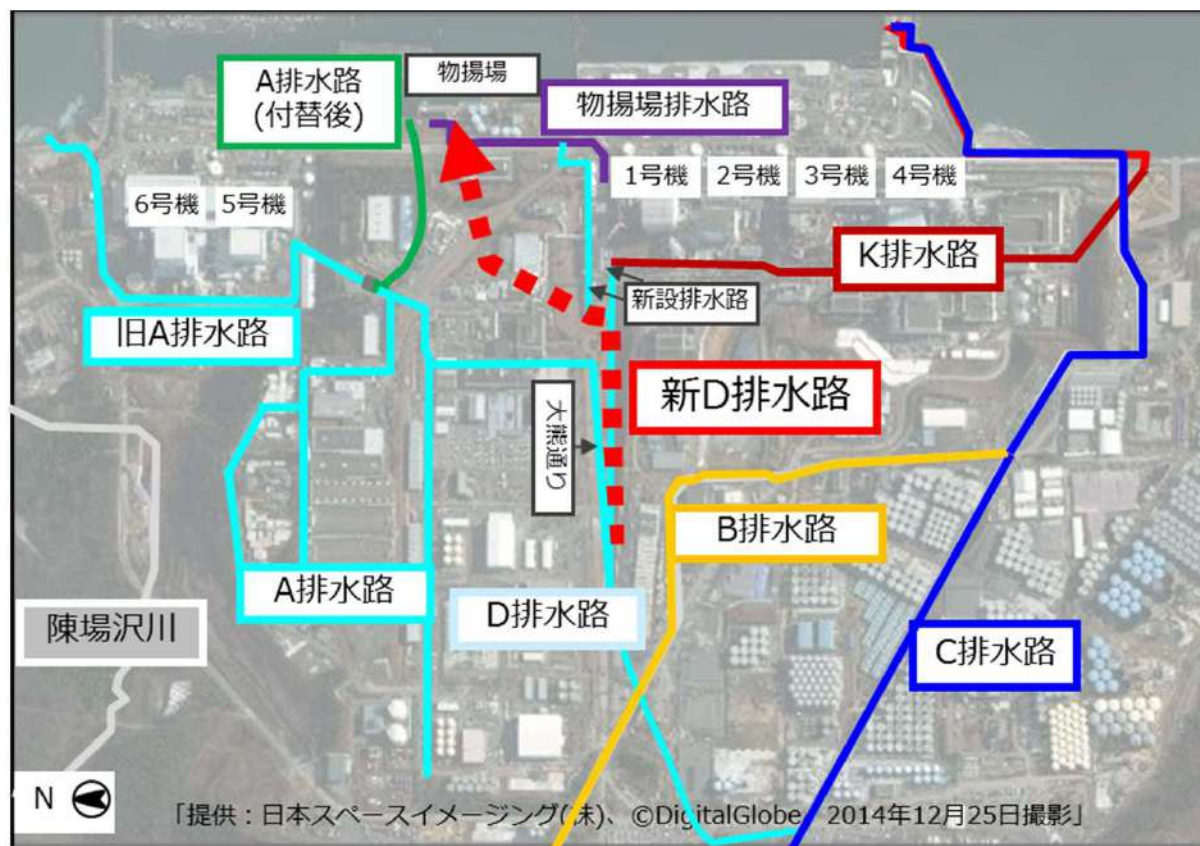
①【配管移設】南側横断部（施工前：左，切替後：右）



②【配管移設】東側（施工前：左，切替後：右）

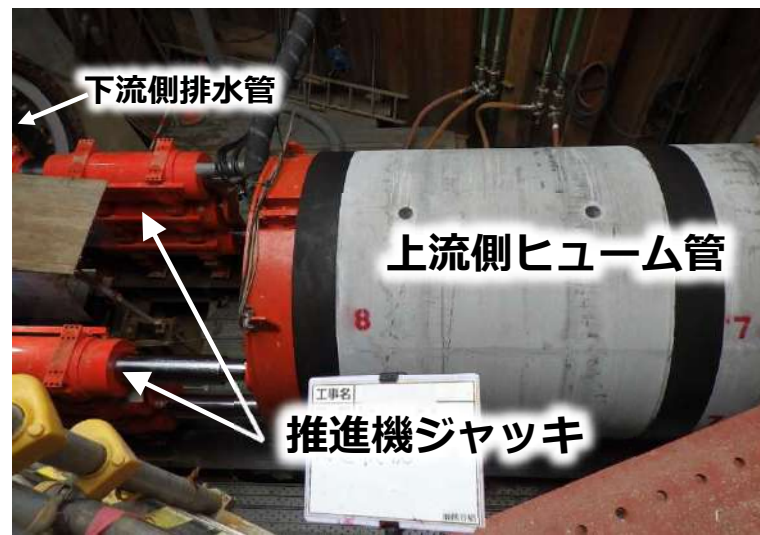


- 近年国内で頻発している大規模な降雨に備え、豪雨時における敷地内の施設への影響を把握する為、解析的検討（内水浸水解析、斜面安定解析）を2018年度下期から実施
- 内水浸水解析結果を踏まえ、1～4号機建屋周辺の豪雨リスクを解消するためD排水路を新設
- D排水路新設工事概要
水路トンネル（直径2.2m、延長約800m）を整備し、物揚場前面海域に排水
2021年9月6日 掘進作業開始、2022年1月28日 下流側立坑に到達
2022年4月1日 上流側の掘削開始、4月21日 上流側立坑に到達（全通）、8月30日通水





上流側推進管内部



両発進立坑（上流側掘進状況）



小口径_接続枿B



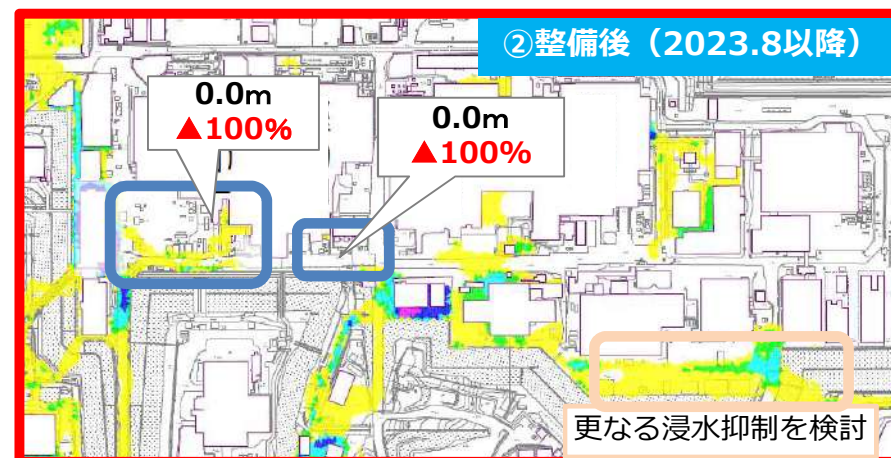
小口径_本管接続

- 1000年確率の417mm/24時間の内水浸水解析結果から、1～4号機建屋周辺において数十cm程度の浸水箇所を確認
1～4号機建屋開口部周辺においては1号機で15cm、2号機で24cmの浸水深
- D排水路の最終形状（雨水枡2箇所接続）で解析した結果、1～4号機建屋の周辺エリアでは概ね浸水範囲は解消
- 1/2号機開閉所周辺エリアの一部の排水をD排水路へ流下させる暫定運用※を開始することにより1～4号機建屋周辺の浸水リスクが現状より更に低減
- 1/2号機開閉所周辺エリアの排水設備は排水流量を増やすための対策（30mm/h程度⇒120mm/h程度）を実施

※暫定運用（～2023.8頃）：30mm/h程度の排水能力でD排水路に接続

最新の内水浸水解析結果【D排水路・1/2号機開閉所周辺整備後】

 D排水路整備を行う事で概ね解消される浸水領域



1/2号機開閉所周辺整備後は豪雨の緊急的な対応として実施していた、大熊通り下端への大型土留設置の対応を終了する



◆ 福島第一（廃炉の現場）

- ・ 世界の英知の結集
- ・ 原子力にとらわれない技術
- ・ 貴重なフィールド

◆ 福島第一の廃炉を皆で一緒に

ご視聴いただきありがとうございました

TEPCO

報告書「2011 年東京電力福島第一原子力発電所事故における土木技術等の適用事例の体系的整理—事故時の緊急時対応、汚染水拡大防止等の技術蓄積—」の公開に係る報告と講演

福島第一原子力発電所の廃炉のための 技術戦略について

2024年4月12日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構
執行役員 加藤 和之

- ◆ 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2023について
- ◆ 燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書（概要）

東京電力ホールディングス(株) 福島第一原子力発電所の 廃炉のための技術戦略プラン2023 について

2023年10月18日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構

1. はじめに

2. 福島第一原子力発電所の廃炉 のリスク低減及び安全確保の 考え方

3. 福島第一原子力発電所の廃炉 に向けた技術戦略

- 3.1 燃料デブリ取り出し
- 3.2 廃棄物対策
- 3.3 汚染水・処理水対策
- 3.4 使用済燃料プールからの燃料取り出し

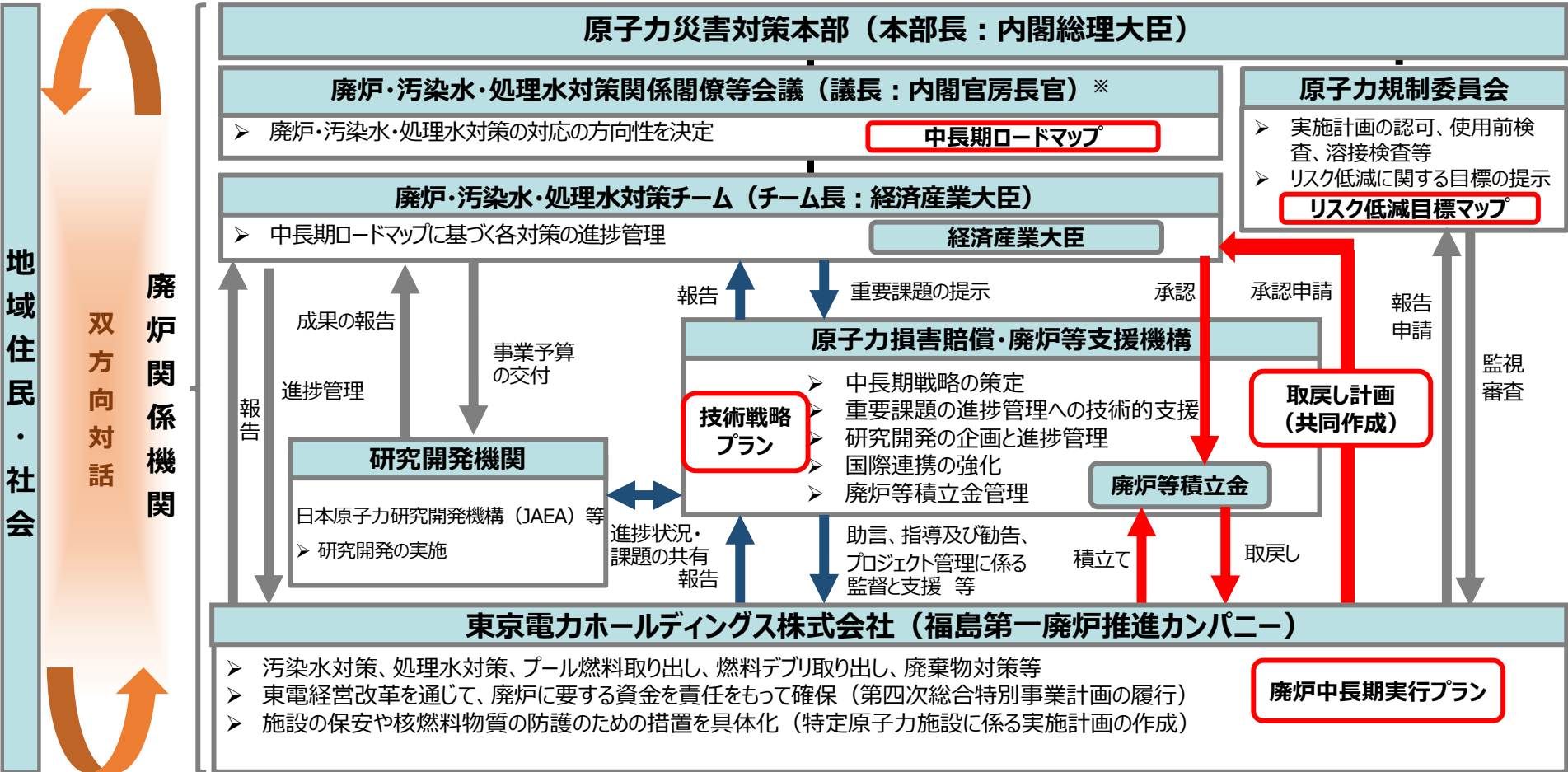
4. 廃炉の推進に向けた分析戦略

5. 福島第一原子力発電所の廃炉 に向けた研究開発への取組

6. 技術戦略を支える取組

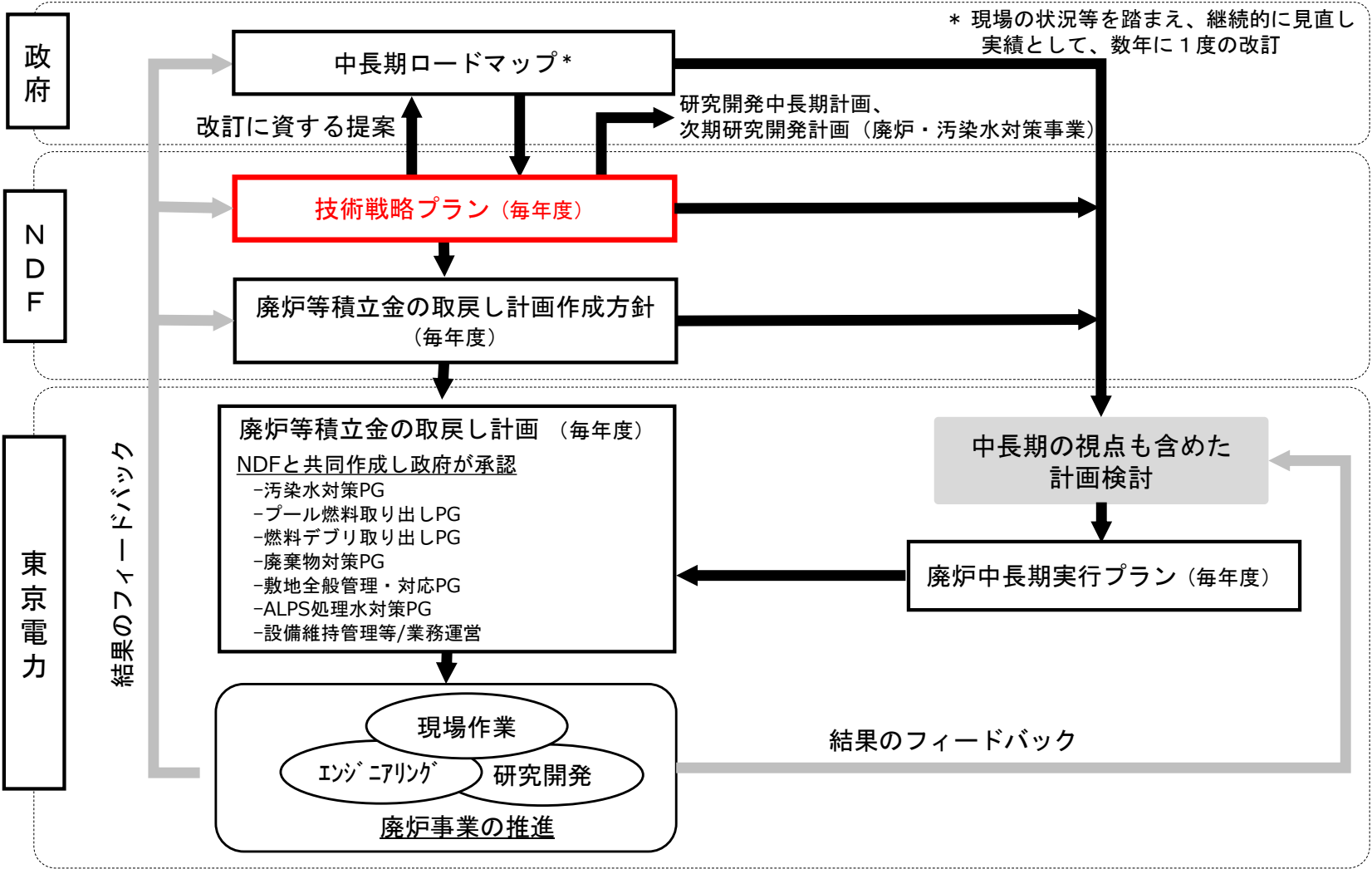
- 6.1 廃炉を進めるための能力、組織、人材等
- 6.2 国際連携の強化
- 6.3 地域共生

福島第一原子力発電所の廃炉に係る関係機関等の役割分担



※ 令和3年4月13日 ALPS処理水の処分方針決定に伴い、「ALPS処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係閣僚等会議」を設置

技術戦略プランの位置付け

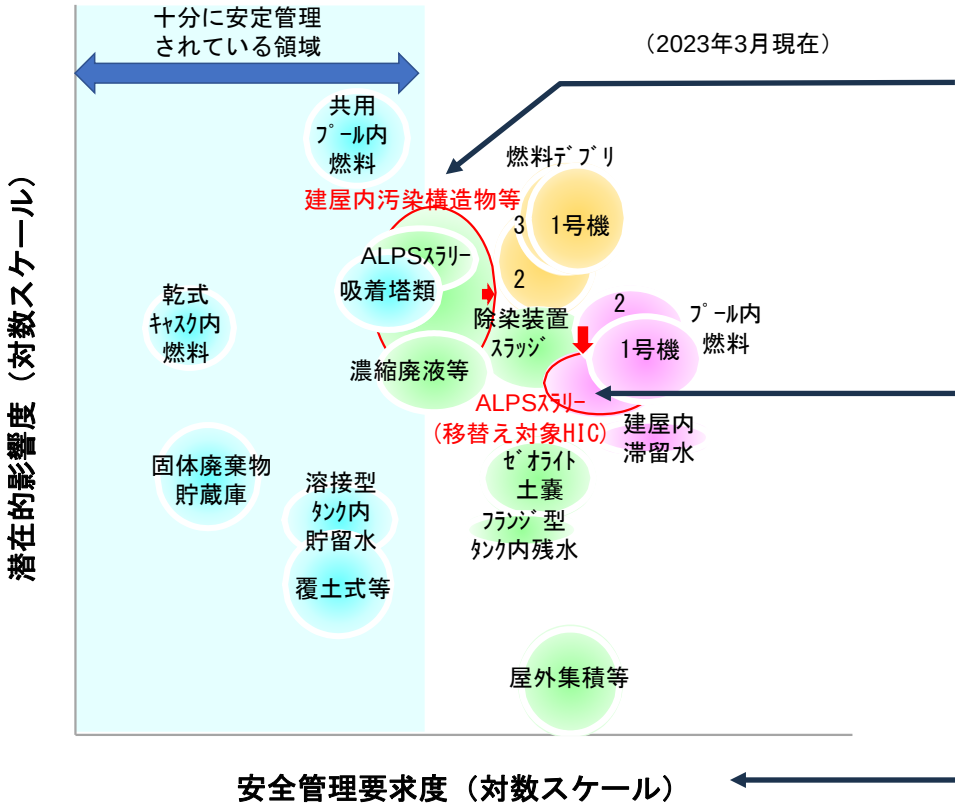


リスク低減の考え方

目標

「十分に安定管理がなされている領域」（水色領域）に持ち込むこと

技術戦略プラン2022からの主な変化



主な変化 ① 建屋内汚染構造物等

「安全管理要求度」が上昇

事故時にPCVに接続された系統内へ流入した水素の滞留状況を反映

主な変化 ② ALPSスラリー (移替え対象HIC)

「潜在的影響度」が減少

移替え作業の進捗によりALPSスラリーへ移行した分の潜在的影響度が減少し、下方に移動

横軸ラベルの名称変更

「管理重要度」 → 「安全管理要求度」

施設の健全性が不十分な場合など、より高いレベルの安全管理が要求されることを表すため

図 福島第一原子力発電所の主要なリスク源が有するリスクレベル

廃炉作業を進める上での安全確保の考え方

課題

安全確保に当たっては、福島第一の特殊性を十分に踏まえること



事故炉である福島第一の廃炉は、安全上の特殊性に対応するため
安全視点、オペレータ視点を反映することが必要

福島第一原子力発電所の持つ特殊性

非定型 & 非密封

多量の放射性物質が通常にない
様々な形態（非定型）で非密封
状態で存在

障壁が不完全

放射性物質を閉じ込める
障壁が不完全

大きな不確かさ

放射性物質や閉じ込め障
壁の状況等に大きな不確
かさがある

計測が困難

放射線レベルが高い等の制約から
現場へのアクセスや現場情報を得
るための計装装置の設置が困難

時間軸の意識が必要

閉じ込め障壁等の更なる劣化が
懸念される

燃料デブリ取り出しに係る主な目標と進捗

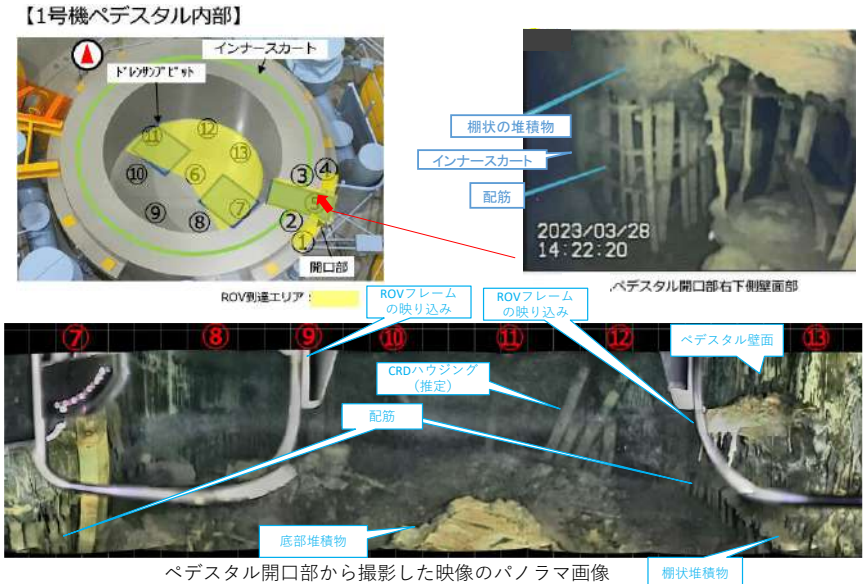
主な目標

- 2号機の試験的取り出しは、2023年度後半目途に着手
- 取り出し規模の更なる拡大について、2号機の燃料デブリ取り出し、内部調査、研究開発等を見極めつつ、収納・移送・保管方法を含め、方法の検討を進める

進 捗

1号機内部調査

- ・ ペDESTAL開口部や内壁面のほぼ全周にわたり下部のコンクリート消失を確認
- ・ ペDESTALの支持機能が喪失しても外部へ著しい放射線被ばくのリスクを与えることはないと評価
- ・ 他方で、万一に備え、閉じ込め機能の強化や機動的対応を検討



(出典：2023年4月27日 廃炉汚染水対策チーム会合事務局会議資料)

図 PCV内部調査の調査結果

2号機 試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）の課題と技術戦略

意義

燃料デブリの取り出しは、福島第一原子力発電所で初の試み

- ・ PCV外側への閉じ込め障壁拡張は、今後の取り出し作業の基本的な現場構成の形
- ・ この経験や取り出したサンプルから得られた情報は、今後の廃炉の取組の中で活用

課題と技術戦略

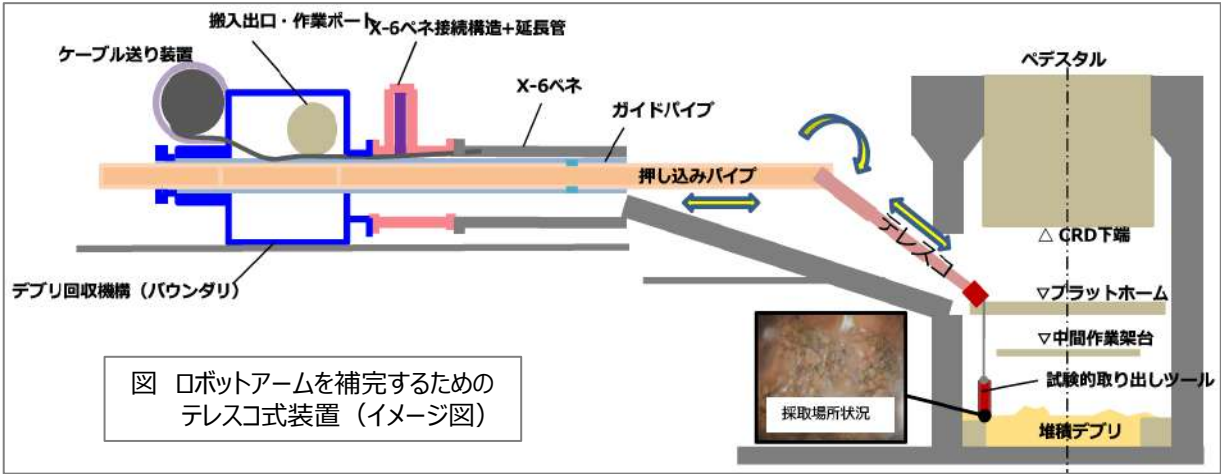
PCVの内部状況が不確かな中で、一連の作業を段階的に進めていくことが課題

要求性能を満たすことを確実に確認

- ✓ モックアップ試験での様々な状態での機能検証

綿密な計画の立案

- ✓ 作業時の不具合等の経験も踏まえ、安全かつ慎重に進める



試験的取り出しの作業ステップ	
01. 事前準備（済）	
02. 隔離部屋設置（済）	
03. X-6ベネハッチ開放← 実施中	
04. X-6ベネ内堆積物除去	
05. ロボットアーム設置	
06. ロボットアーム進入	
07. 内部調査・燃料デブリ採取	
08. 燃料デブリ回収装置から輸送用容器へ収納・線量計測	
09. グローブボックス受入・計量	
10. 容器の取出し・輸送容器へ収納・搬出	
11. 構外輸送及び構外分析	

3号機 取り出し規模の更なる拡大（1）

意義

取り出し規模の更なる拡大は
廃炉事業の重要なプロセスであり、
廃炉事業の成否を左右

工法の選定は、極めて重要な
決定事項

- ・ 選定に先立って、東京電力のみでなく、国、NDFが連携して、総合的に検討・評価※
することが必要

※2023年2月に設置した「燃料デブリ取り出し工法
評価小委員会」で検討・評価を開始

課題

燃料デブリ取り出しを困難にしている
要因を十分認識し、ふさわしい工法
を検討すること

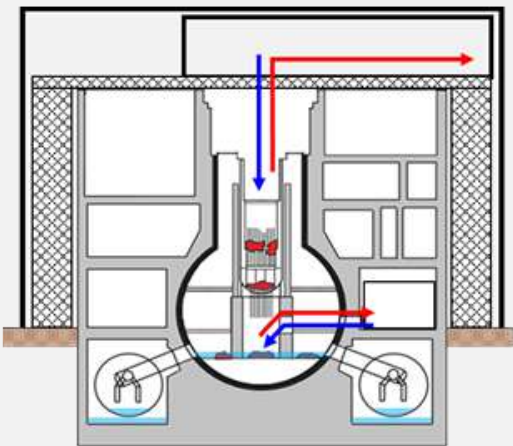
燃料デブリ取り出しを困難にしている要因

- ① PCV・RPV内が極めて高線量
- ② 原子炉建屋内が高線量
- ③ 現場情報の不足
- ④ 閉じ込め障壁構築
- ⑤ 臨界管理
- ⑥ 廃棄物管理

3号機 取り出し規模の更なる拡大（2）

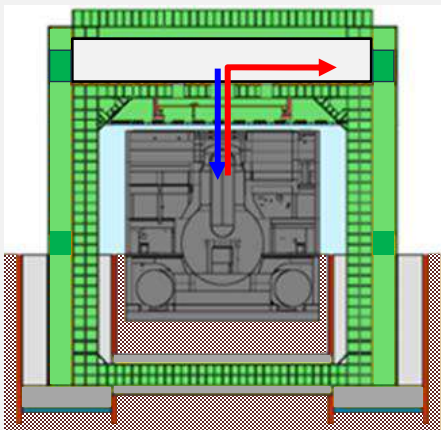
- 装置類のアクセス方向
- 燃料デブリ、廃棄物等の搬出方向
- 充填材

気中工法（RPV注水）



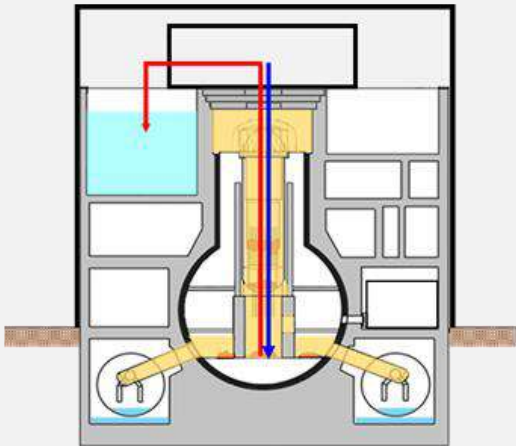
燃料デブリが気中に露出
もしくは低水位で浸漬した
状態で、RPV内部へ水を
かけ流しながら取り出す工法

冠水工法（船殻工法）



船殻構造体と呼ばれる
新規構造物で原子炉
建屋全体を囲い、原子
炉建屋を冠水させ燃料
デブリを取り出す工法

気中工法オプション （RPV充填固化）



ペDESTAL底部、RPV、原子
炉ウェル等を充填材で固め、
充填材と共に燃料デブリを掘
削して取り出す工法

廃棄物対策に係る主な目標

主な目標

- 2021年度に示した処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通しを踏まえ、廃棄物ストリーム※の構築に向けて、固体廃棄物全体の管理として適切な対処方策の検討を進める
- 保管・管理及び処理・処分の検討を進める上で必要な分析計画の策定・更新を実施し、それに基づく分析を着実に進める

※ 廃棄物の種類ごとに、その発生・保管から処理・処分までの一連の取扱いを示したもの

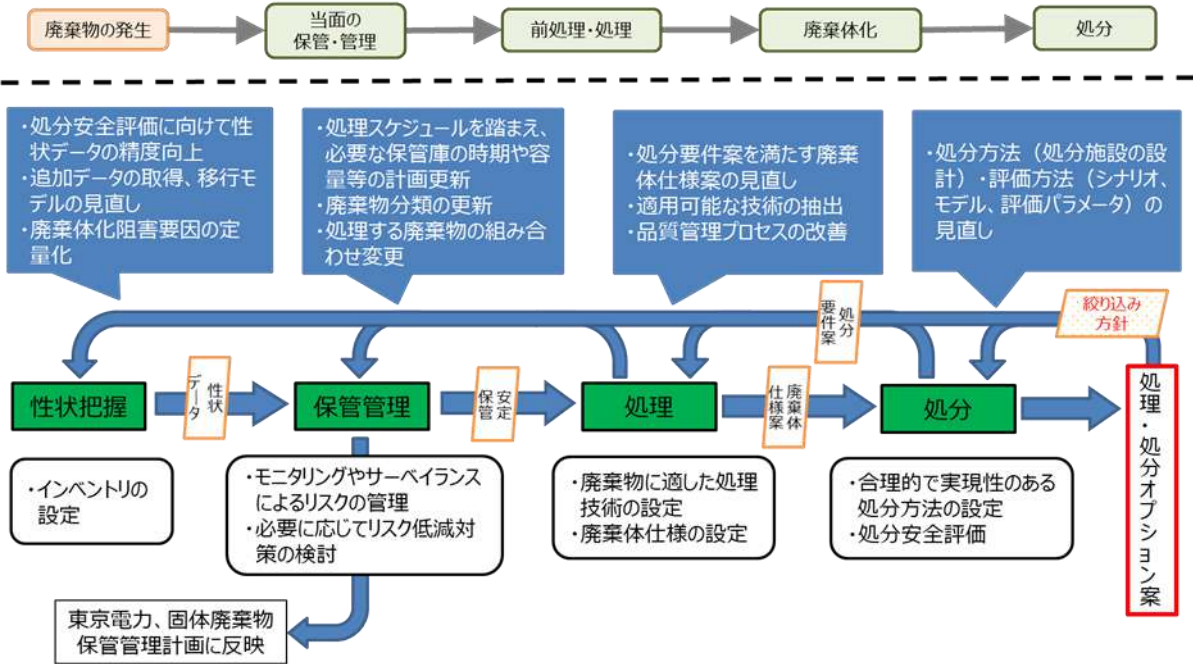


図 固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法

廃棄物対策に係る主な課題と技術戦略

課題と技術戦略

性状把握

多様な固体廃棄物について、その優先度、分析の目的と定量目標等を定める中長期的な分析戦略を策定し、それに基づく分析・評価が必要



統計論的方法等を利用した分析計画法による中長期分析計画の策定フローを確立するため、その試行実績を蓄積し、妥当性を確認

保管・管理

今後の廃炉作業の進展に応じた固体廃棄物の保管・管理を安全かつ合理的に進める必要



固体廃棄物の発生量の増大に備え、表面線量率による区分から、放射能濃度による管理に移行し、合理的な廃棄物区分や構内再利用等を検討

処理・処分

中長期ロードマップの第3期における廃棄体の仕様や製造方法の確定のため、固体廃棄物の具体的管理について全体として適切な対処方策の検討を進める必要



処理技術に関する未対応の課題及び処分オプション案の検討により、処理・処分方策の選択肢を創出

明らかになりつつある性状データ等を用いて選択肢の比較・評価を行い、固体廃棄物の特徴に適した廃棄物ストリームの構築等を検討

汚染水・処理水対策に係る主な目標と技術戦略

主な目標

- 汚染水発生量を2025年内に100m³/日以下、2028年度末頃に約50～70m³/日程度に抑制
- 敷地等のリソースを確保し、廃炉作業全体を着実に推進するため、ALPS処理水を安全かつ確実に放出

課題と技術戦略 汚染水対策

汚染水発生量を100m³/日以下にできる見込みであり、更に低減することが課題

現在進められているデブリ取り出し工法選定と併せ、中長期を見据えた対策の検討が必要

▶ 従来から進めているサブドレン水位の低下、フェーシング工事に加え、局所的な建屋止水を進める

▶ 燃料デブリ取り出し工法ごとに浄化システムや建屋の止水対策が異なるため、取り出し作業との干渉性を考慮した上で、工法に応じた汚染水対策を整備

ALPS処理水の海洋放出に関する取組

課題と技術戦略 処理水対策

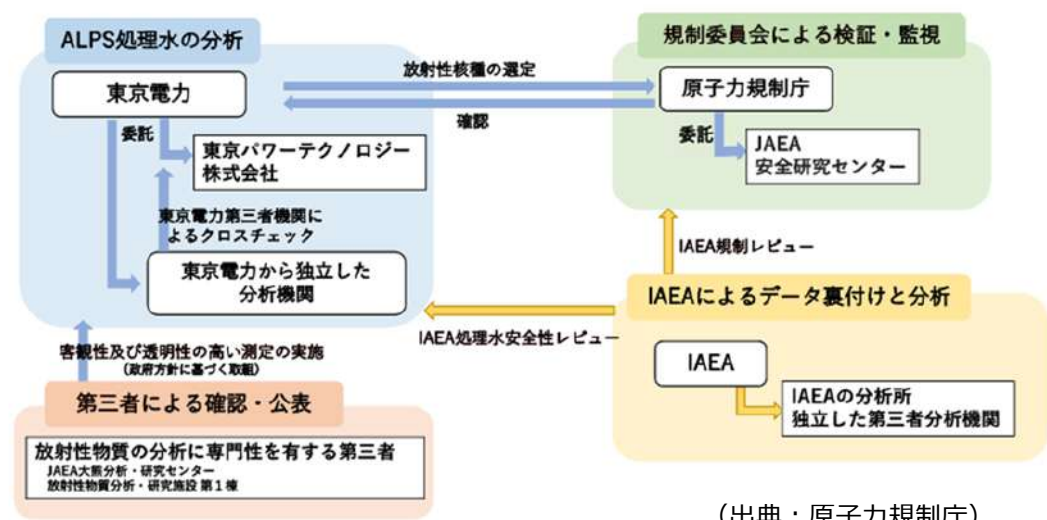
計画どおり確実に設備を運用するとともに、関係機関の分析・モニタリング結果を含め、その状況を迅速かつ透明性高く発信することが不可欠

希釈前のALPS処理水について、トリチウム以外の放射性核種濃度が規制基準値※を確実に下回ることを確認の上、希釈して放出
✓ 東京電力及び放射性物質の分析に専門性を有する第三者機関において実施
※ 告示濃度限度比総和 1 未満

海域モニタリングは、東京電力、環境省、原子力規制委員会、福島県など複数機関で実施

分析、モニタリング結果及び海洋放出関連設備の運転状況は処理水ポータルサイト等を通じて公開

海洋放出開始後もIAEAによるレビューが継続



(出典：原子力規制庁)

図 ALPS処理水の分析体制

プール内燃料取り出しに係る主な目標と技術戦略

主な目標

2031年内に1～6号機の全てで使用済燃料プールからの燃料取り出しの完了を目指す

- ・ 1号機取り出し開始は2027～2028年度
- ・ 2号機取り出し開始は2024～2026年度

課題と技術戦略

1号機

不安定な状態で存在する天井クレーンを撤去するため、十分な調査が必要

調査が可能となった段階で速やかに調査し、安全評価、ガレキ撤去計画に反映

2号機

国内原子力施設では経験のないブーム型クレーン式の燃料取扱設備を遠隔操作で確実に運用することが課題

事前に操作・機能性を十分に習熟

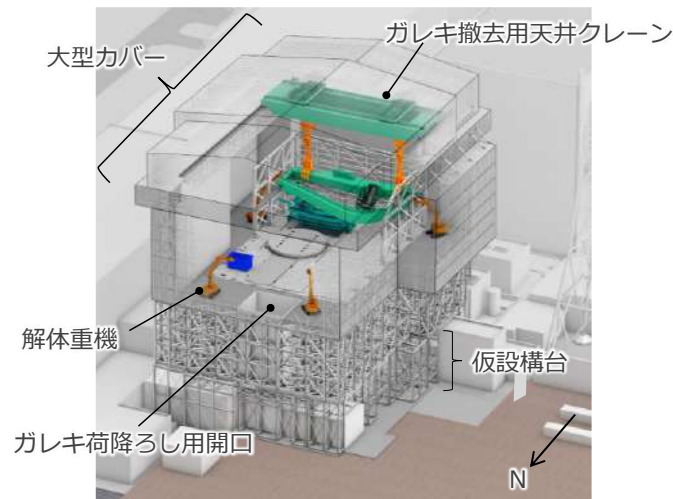


図 1号機 ガレキ撤去時
(イメージ図)

廃炉に係る分析の意義

意義

福島第一の廃炉においては、分析対象物、目的、線量率が多岐に及ぶ分析が不可欠

- 燃料デブリの不確かさの幅の低減により、過度な裕度が不要となれば、廃炉の迅速性、合理性の向上が可能
- 固体廃棄物は、処理・処分方策の検討に当たり、性状データを取得するための分析が不可欠

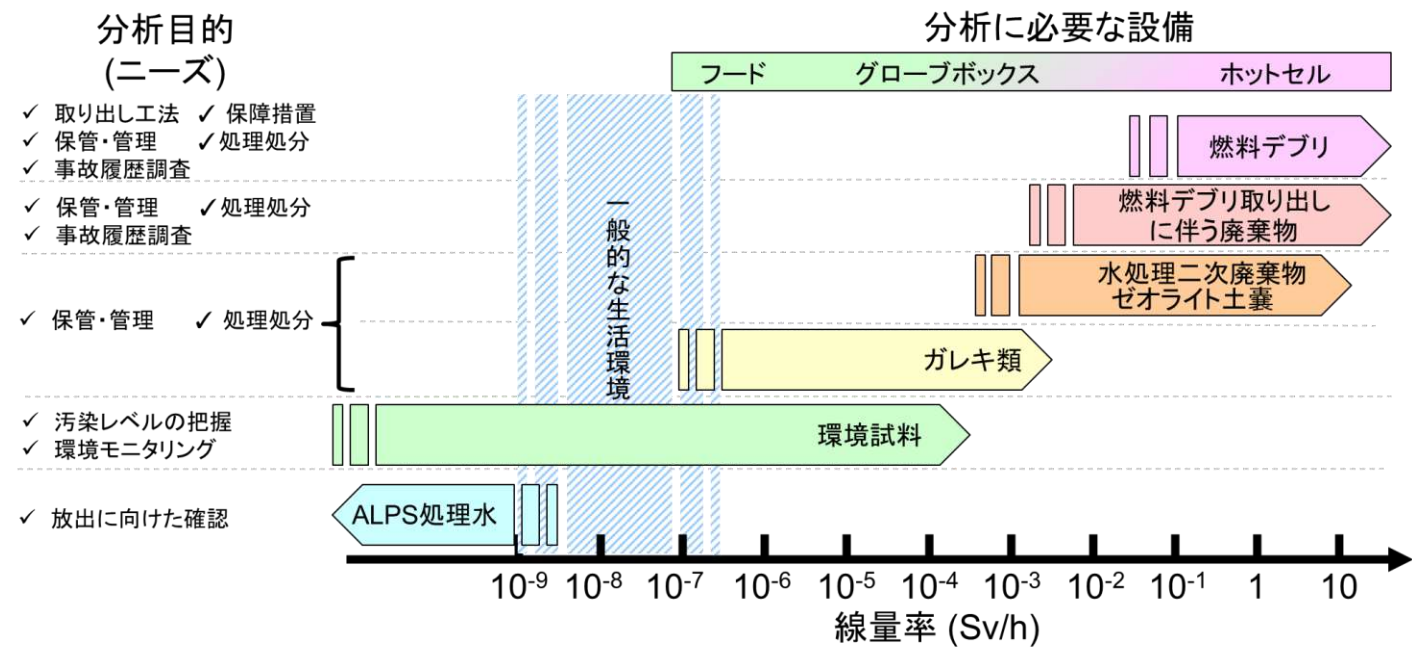


図 分析対象物の分析目的、分析に必要な設備及び線量率の関係

廃炉に係る分析に係る課題と戦略

課題と戦略

分析の手法・体制の強化

廃炉作業が停滞しないよう、将来的な分析需要の拡大も考慮した上で、計画的な分析の実施が課題



分析優先度の高い廃棄物を抽出し、各廃棄物の特徴を踏まえた性状把握方針及び分析計画を検討

分析計画を統合・調整し、分析能力の年度展開を策定し、要員計画にも反映

あらかじめ分析結果の活用方法を見越した分析計画を立案する高度な能力（一個人では困難）が必要



分析計画の確認や課題解決に関する助言を行うために、「分析調整会議」及び「分析サポートチーム」を組織

サンプルサイズ・量の増加に向けた分析技術の多様化

サンプル分析は多項目の分析を行えるが、1回が長時間で分析量も少ないことが課題



サンプル分析に比べ、短時間かつ多量に計測可能な非破壊計測の適用方法の検討が重要

5. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発への取組

意義

廃炉の着実な推進には、困難かつ多数の技術課題を解決する研究開発が不可欠

現状の動き

- ・ 炉内調査の進展により廃炉ニーズが明確化されるとともに、東京電力によるエンジニアリングが本格的に開始
- ・ 廃炉・汚染水・処理水対策事業の実施体制が、IRID中心から東京電力のニーズをベースにし、研究機関、メーカー等による体制に移行

戦略

廃炉・汚染水・処理水対策事業に2つの取組（RFI、事業レビュー）を導入

- ✓ 研究開発の企画提案や研究成果の現場適用性確保に係る機能を一層強化

情報提供依頼（RFI）

取り組むべき研究開発内容を広く募集し、新たな開発シーズを発掘

事業レビュー

補助事業者の計画、試験、設計、製作等の活動に対して、現場適用性の観点から指導・助言

廃炉を進めるための能力、組織、人材等

意義

福島第一廃炉のようなプロジェクト型の業務における目標達成のためには、**目的、手段、必要資源、スケジュールとリスクを明確化し、プロジェクト実行の管理が不可欠**

戦略

オーナーが有すべき能力

- ✓ 現場の特殊性や実情に立脚した、安全とオペレータ視点を基盤とする技術力
- ✓ プロジェクトを進める意義や目標をより明確化する、プロジェクト上流側における検討能力 等

組織に関する取組

- ✓ 福島第一・福島第二の本社機能の統合・再編を検討

人材の確保と育成に関する取組

- ✓ 積極的な採用活動に加え、現有人材の多能化/生産性向上のための人材育成の推進等
- ✓ 中長期的にいつ頃どのような人材が必要となるかを見定め、広く社内外から人材を確保
- ✓ 計画的かつ体系的に廃炉を担うリーダーの育成

国際連携の強化

意義

- 先行する海外事例に学び、**世界最高水準の技術や人材を活用**
- **福島第一廃炉の経験を国際社会に共有することは、我が国の責任**
- 福島第一廃炉の取組について、**国際的な理解や関心を得ること**

戦略

世界の英知の結集と還元

- ✓ 汎用技術を廃炉に応用するための、幅広い国々からの情報収集

廃炉に関する国際社会の理解・関心や協力関係の維持

- ✓ 科学的で正確な理解を広げていくための、各国の専門家に向けた対話・交流
- ✓ 関心や理解のベースとなる知識や情報量に違いがあることから、相手に応じた分かりやすく丁寧な情報発信



第7回福島第一廃炉国際フォーラムの様子
(2023年8月)

地域共生

意義

「復興と廃炉の両立」を目指す上で、**地元の廃炉関連産業の活性化は、東京電力が福島第一廃炉を通じて復興に貢献するための重要な柱**

現状の動き

- 廃炉関係産業交流会の開催等による2023年7月末の**廃炉関連マッチング件数は706件**
- **浜通りの廃炉産業集積に向けた共同事業体の設立**
 - ✓ 東双みらいテクノロジー株式会社（株式会社IHIとの共同）
 - ✓ 東双みらい製造株式会社（日立造船株式会社との共同）

戦略

地元企業が継続した一定規模の発注を見通せるための取組

- ✓ 2022年度から「中長期発注見通し」に地元企業参画の候補となる、より具体的な作業を明示

関係機関とともに、地域との連携・協働の強化

- ✓ 福島県をはじめとする自治体、福島イノベーション・コースト構想推進機構、福島相双復興推進機構をはじめとする地元関係機関との連携・協働の一層の強化

燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書（概要）

令和6年3月7日
原子力損害賠償・廃炉等支援機構
燃料デブリ取り出し工法評価小委員会

目次

1. 検討の背景
2. 燃料デブリ取り出しの難しさ
3. 燃料デブリを取り出す方法
 - 3.1 気中工法
 - 3.2 冠水工法
 - 3.3 気中工法オプション（充填固化工法）
4. 工法選定への提言
5. 今後の進め方

1. 検討の背景

- 福島第一原発の燃料デブリは、炉内状況の調査やプラントパラメータの解釈から安定状態にあると解されるものの、この状態が長期にわたって継続される保証はなく、設備の経年劣化等を通じて少しずつリスクが高まっていくことが懸念される。このため、なるべく早く燃料デブリを回収して、中長期的に安全性を確保することが望ましい
- 2030年代の大規模取り出し作業開始に向けて、設計検討の方向性を絞り込んだ上で、従来以上に具体的な設計検討を進め、技術的課題を抽出して精緻な検討を進めることで、より確実な工法とする作業を重ねていくことが必要
- 燃料デブリの取り出しは、前例のない技術的挑戦であるとともに社会的・政策的課題でもあることから、不確かさが大きいなかで設計検討の方向性を絞り込むに当たっては、国・東京電力・NDFが協力して検討を進めるとともに、内外の技術的知見を集めた専門的かつ集中的な検討が必要
- このため、NDFの廃炉等技術委員会の下に「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」（以下「小委員会」という。）を設置し、安全性を大前提に総合的な検討・評価を実施
- 小委員会で検討・評価した主な内容は以下の通り
 - ✓ 各工法の課題の整理とその対応策
 - ✓ 各工法の評価（技術成立性等）
 - ✓ 工法選定への提言
 - ✓ 今後の進め方

1. 検討の背景

＜燃料デブリ取り出し工法評価小委員会 委員名簿＞（敬称略・50音順）

委員長	更田 豊志	前・原子力規制委員会 委員長
	糸井 達哉	東京大学大学院工学系研究科 准教授
	魚住 弘人	原子力エネルギー協議会 理事長
	岡本 孝司	東京大学大学院工学系研究科 教授
	桐島 陽	東北大学多元物質科学研究所 教授
	斉藤 拓巳	東京大学大学院工学系研究科 教授
	三浦 信之	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 理事
	宮池 克人	前・中日本高速道路株式会社 代表取締役社長
	山本 章夫	名古屋大学大学院工学研究科 教授
	ハンス・ワナー	前・スイス連邦原子力安全検査局 長官

1. 検討の背景

<開催実績（1/2）>

回次	開催日	議題
1	令和5年 3月29日	・ 燃料デブリ取り出し工法検討の進め方について 等
2	4月18日	・ 安全確保の方針（気中工法）について ・ 気中工法（RPV注水）の概要と課題について 等
3	5月17日	・ 福島第一原子力発電所の地下水構造と汚染水対策について ・ 冠水工法の概要と課題について 等
4	6月6日	・ 燃料デブリ取り出しの必要性について ・ 気中工法オプションの概要と課題について 等
5	7月19日	・ 各取り出し工法の課題の整理等について 等
6	9月22日	・ 安全確保の在り方〔閉じ込め・遮へい（耐震関係）〕について ・ 課題と対応策 耐震（閉じ込め・遮へい）について 等

1. 検討の背景

<開催実績（2/2）>

回次	開催日	議題
7	10月11日	・安全確保の在り方（臨界管理） ・課題と対応策 臨界関係 等
8	11月16日	・課題と対応策 高線量・現場情報の不足 等
9	12月15日	・廃棄物管理について ・工法の評価について 等
10	令和6年 1月17日	・安全確保の在り方について 等
11	2月21日	・各工法の技術成立性と事業継続性について ・燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書（素案）について 等
12	2月29日	・燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書（案）について 等

2. 燃料デブリ取り出しの難しさ

①

格納容器の中は非常に高線量であり人が入れない

④

放射能の拡散を抑えつつ、格納容器を開口しなければならない

②

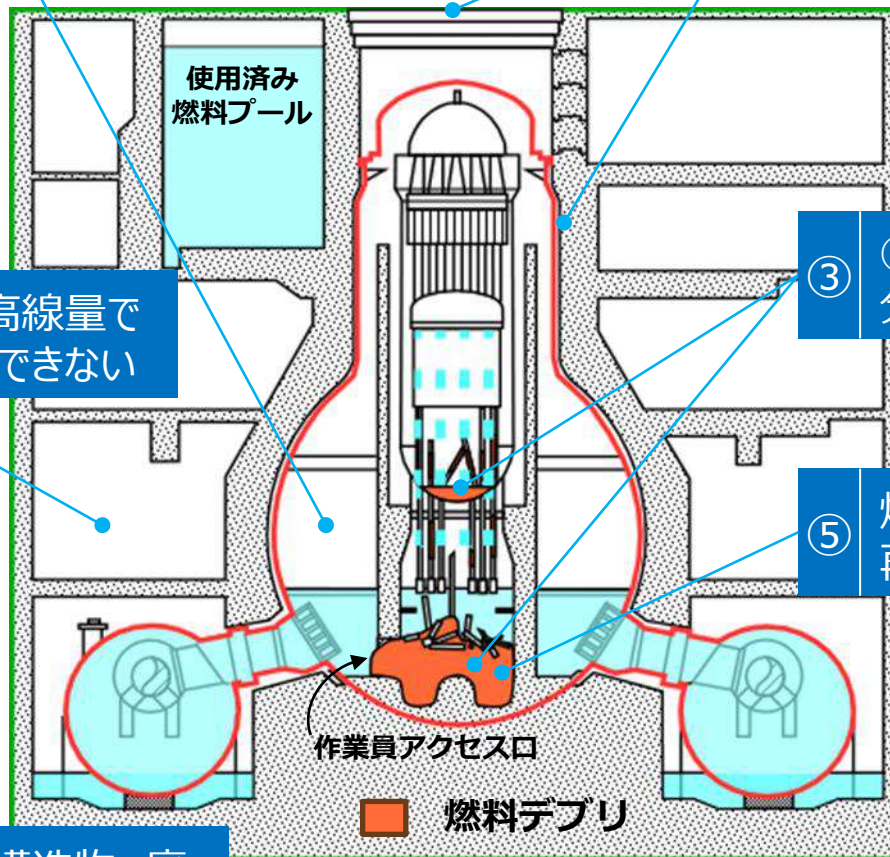
原子炉建屋の中は高線量であり長時間の作業ができない

③

①、②により現場の状況が十分わかっていない

⑤

燃料デブリの状態変化による再臨界への対処



作業員アクセス口

燃料デブリ

格納容器（鋼製）

原子炉建屋

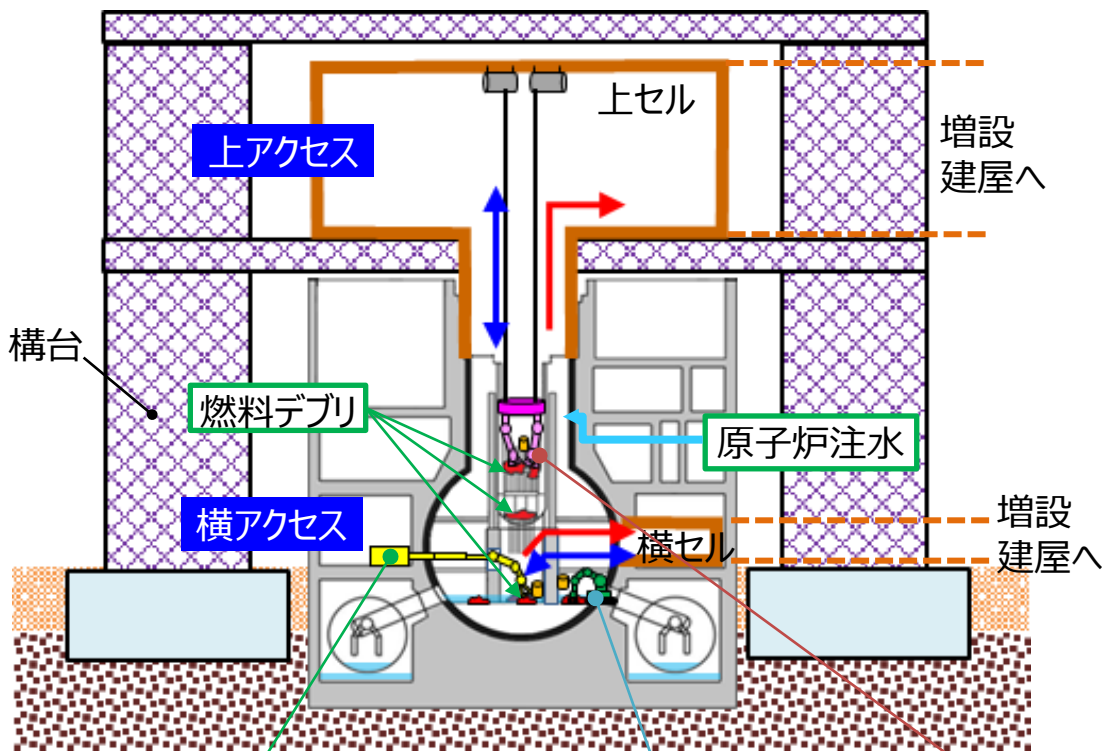
⑥

膨大な汚染された構造物、廃棄物の移動・保管計画策定

3号機 燃料デブリ分布の推定

3. 燃料デブリを取り出す方法

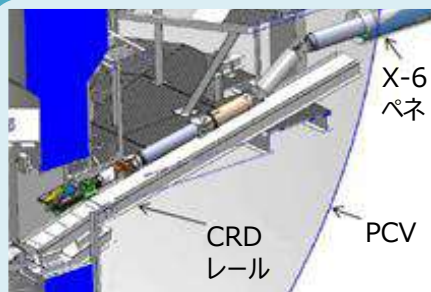
3.1 気中工法



【概要】

燃料デブリが気中に露出した状態、もしくは低水位で浸漬した状態で取り出す工法

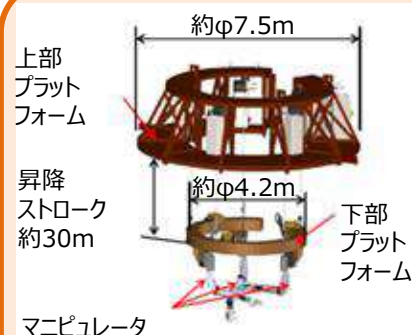
遠隔操作装置の例



ロングアームの例



ROVの例



プラットフォーム型アクセス装置の例



3. 燃料デブリを取り出す方法

3.1 気中工法

長所

- ◆ 現在気中で維持されている状況を大きく変化させずに取り組むため、状態変更に伴う懸案等が少ない
- ◆ 冠水工法よりも早期に燃料デブリ取り出し作業を開始できる
- ◆ 上アクセスでは複数の取り出し工法の中からの選択、また上アクセスと横アクセスの組み合わせ等、内部の状況に応じた燃料デブリ加工・回収方法を選定できる

課題

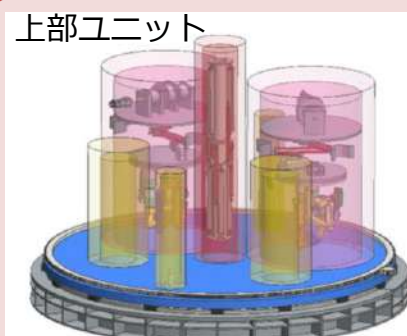
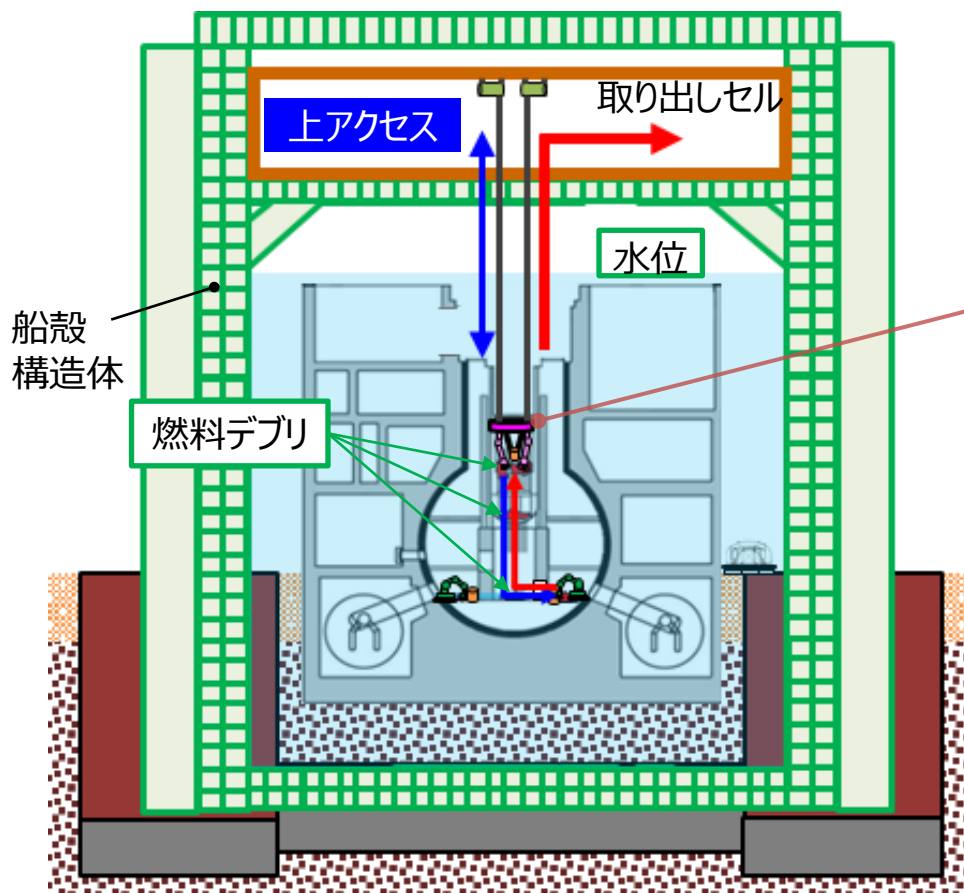
- ◆ 現場が高線量であるため、他工法と比較して多種多様の遠隔操作装置が必要であり、開発・設計・検証に長い期間を要する
- ◆ 遠隔操作装置のレスキューに相当な時間がかかる
- ◆ 高線量の燃料デブリと廃棄物を上から取り出すため、オペフロに高重量のセル、取り出し機器の設置が必要となり、これらを支持する構台の規模が大きくなる

3. 燃料デブリを取り出す方法

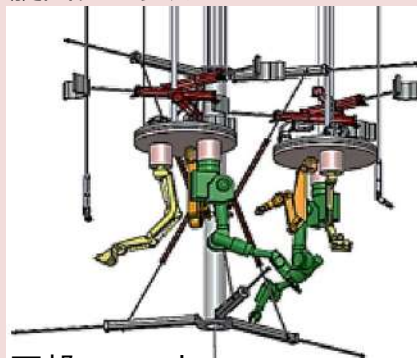
3.2 冠水工法

【概要】

閉じ込め障壁として船殻構造体と呼ばれる新規構造物で原子炉建屋全体を囲い、原子炉建屋を冠水させ燃料デブリを取り出す工法



旋回テーブル



下部ユニット

プラットフォーム式
アクセス装置の一例

3. 燃料デブリを取り出す方法

3.2 冠水工法

10

長所

- ◆ 水遮蔽により線量を低減させ、併せて、ダスト飛散抑制の効果も期待できる
- ◆ 強固な閉じ込め障壁（船殻構造体）により外部と完全に隔離できる
- ◆ 機器故障時のレスキューはオペフロから人手による操作が可能である

課題

- ◆ 建屋の下部地盤での船殻構造体構築における現場施工性（施工中における地震時の地盤安定性含む）の検証が必要である
- ◆ 大量の保有水に対する臨界管理・水質管理・漏えい対策の確立が必要である
- ◆ 船殻構造体の設備規模が膨大である
- ◆ 準備工事期間が最も長く、燃料デブリ取り出し作業の開始時期が最も遅い

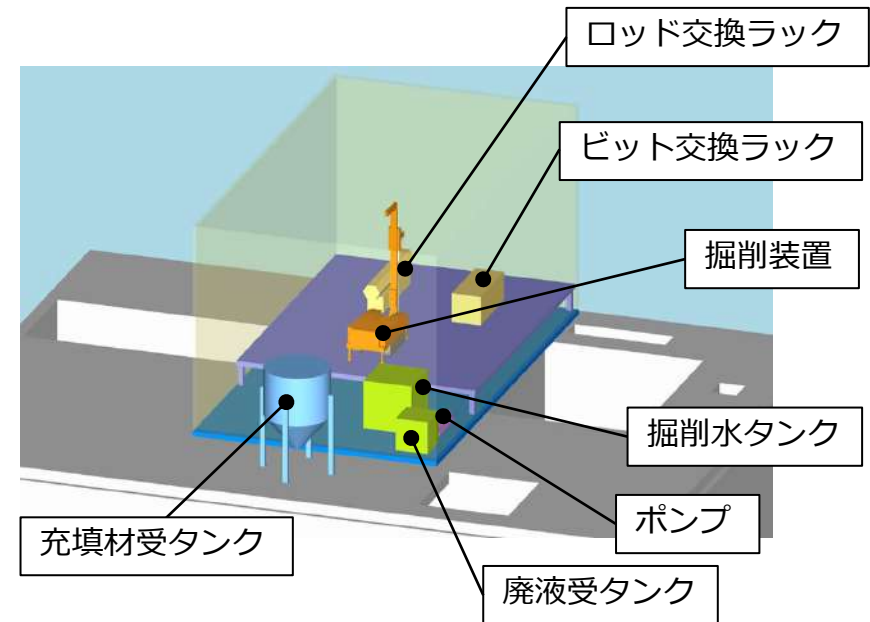
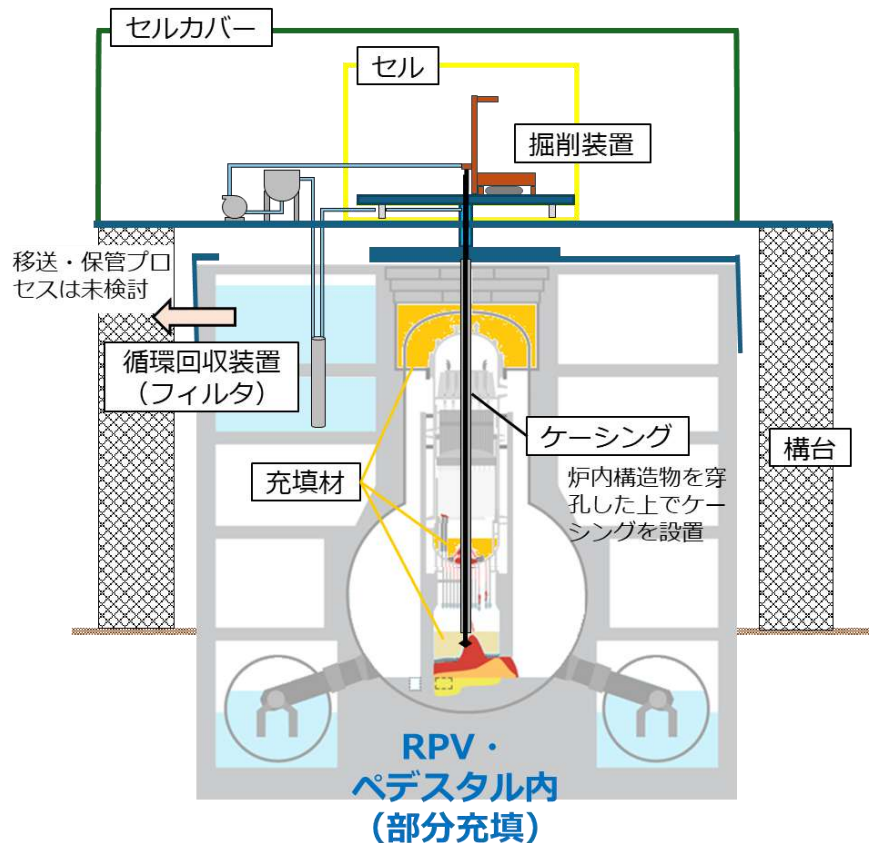
10

3. 燃料デブリを取り出す方法

3.3 気中工法オプション（充填固化工法）

【概要】

充填材により燃料デブリを安定化させつつ現場線量を低減し、オペフロに設ける比較的小さな開口部から、掘削等により、燃料デブリや炉内構造物等を取り出す工法



3. 燃料デブリを取り出す方法

3.3 気中工法オプション（充填固化工法）

長所

- ◆ 充填材で固めることにより一旦安定化させ、固化体にすることで取り出しの際の扱いが統一化・単純化できる
- ◆ 充填材による遮蔽効果、小さな開口から燃料デブリへアクセスすることなどから線量低減が期待される
- ◆ 機器故障時のレスキューにおいても人手による操作が期待できる
- ◆ 掘削装置は、遠隔操作となるが、構造はシンプルであり、掘削対象物に応じて先端ビット等を交換可能
- ◆ 設備規模が小さく、最も早期に取り出し作業を開始できる可能性がある

課題

- ◆ 充填材の選定（流動性・硬化時間調整性・固化後の機械的物性・熱伝導性・化学的安定性・放射線による劣化性等）、充填方法、充填状態の確認方法の確立が必要
- ◆ 掘削対象物に応じた先端ビット等の選定、検証が必要
- ◆ 充填範囲に応じて、廃棄物発生量が増大する
- ◆ スラッジ状で回収する場合には、その取扱いに注意が必要

4. 工法選定への提言

- 3工法ともに課題があり、**各工法の長所を活かしたシナリオを検討することが望ましい。**

工法	工法選定の観点での各工法の評価、方向性
気中工法	・ 現場環境を大きく変化させずに取り出すため、状態変化に伴う懸念は少ないものの、工事シーケンスの成立性、遠隔操作性や全体の稼働率等のパフォーマンス上の懸念が大きいため、現場の現実的な制約や条件を加味した設計検討を行うことが必要。 ・ 気中工法オプションを本工法に合流させることによって、本工法の課題のいくつかを解決できる可能性があるため、今後の設計検討では気中工法オプションとの相補的な関係の構築を模索することが適切。
冠水工法	・ 船殻構造体の現場施工性に不確かさがあること、大量の水を扱う困難さ等の問題があり、本格的に着手すべき工法として現時点で選択することは困難。 ・ 高線量物質を水中で扱うことのメリットは大きく、気中工法では困難な箇所の取り出しが容易になる可能性や作業効率を考慮すると、将来、気中工法から水遮蔽の機能を活用できる工法に移行する可能性も否定できない。 ・ 水遮蔽の機能を活用できる工法について、原子炉建屋下部を含む近傍の地盤を調査するなど、併行して検討を進めるべき。
気中工法オプション	・ 技術的検討が不十分な面が否めず、現時点で単独での成立性を判断するには時期尚早。 ・ 充填材の選定、充填材の注入方法・回収方法等について見通しが得られれば、気中工法の発展が期待されるため、気中工法オプションの機能を適用して、気中工法と合わせたシナリオを想定する。

4. 工法選定への提言

- いずれの工法であっても、**原子炉内部の状況の十分な理解がその設計や安全確保の前提**となる。
- 今後、**内部調査**の加速が重要であるが、**工法の選定やその設計検討と同時併行で行うことが不可欠**。



- **気中工法と気中工法オプションの組み合わせによる設計検討・研究開発を開始する**
 - これと併行して、**小規模な上アクセス等による内部調査を進める**
 - **水遮蔽の機能を活用した工法についても、併行して検討を行う**

5. 今後の進め方

(1) 東京電力における大規模取り出し工法の具体的な設計検討の進め方

- ✓ 東京電力は**本報告書の提言に基づき、具体的な設計検討に着手**する。
- ✓ 設計検討と併行して、**内部調査や研究開発など本報告書が示した課題に取り組むことが重要。**

(2) 安全確保の具体化の進め方

- ✓ **安全確保の考え方、判断の基準とその根拠を早期に明確にし、これらに対する規制側からの見解や示唆を踏まえて、基本設計や詳細設計に反映する。**

(3) 小委員会によるフォローアップ

- ✓ **本小委員会は当面存続し、東京電力の設計検討・研究開発をフォローアップ**したい。

(4) 関係地域の自治体や住民との対話

- ✓ 本報告書の内容、東京電力の設計検討の実施状況等については、**関係地域の自治体や住民との対話を行うことで十分に共有する。**