(3) 汚染水を漏らさない対策

(a) 水ガラスによる地盤改良

2013 年 6 月に 1 号機，2 号機取水口間の護岸付近の地下水観測孔から，法定限度を超える高い濃度の放射性物質の検出が確認され，その後も濃度の高い状態が継続していた（図 3-93）。汚染された地下水の海洋流出防止対策として，鋼管矢板による海側遮水壁の施工が 2012 年より開始されていたが，この時点では完成まで 1 年近くを要した。このため，緊急止水対策が必要となり，資機材調達及び施工の迅速性等が考慮され，水ガラス系注入材を用いた薬液注入工法により護岸付近に止水壁を構築する方法が採用された。

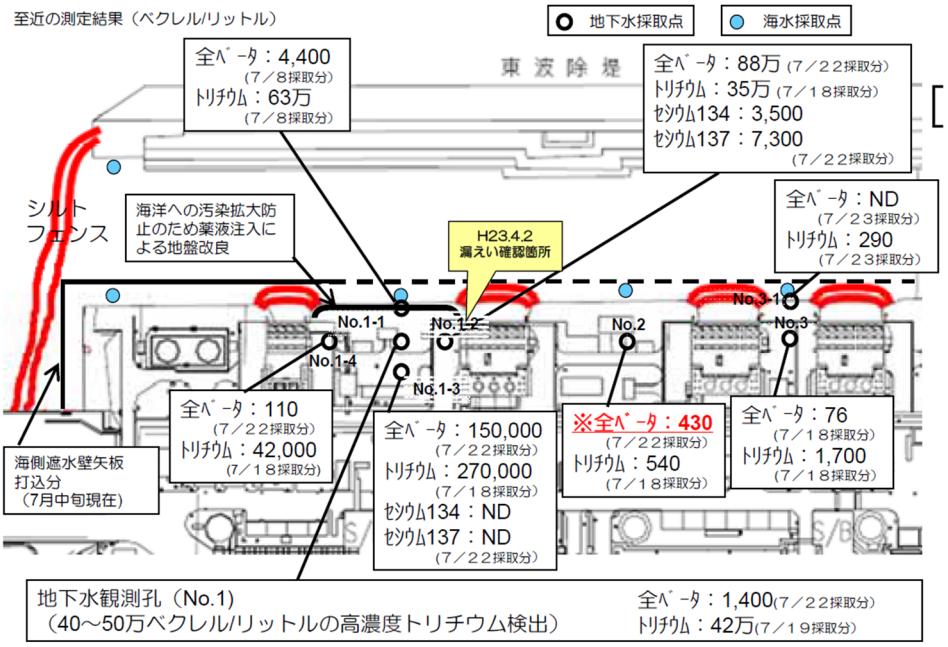


図 3-93　地下水モニタリング結果（2013 年 7 月 24 日現在） 1)より引用

薬液注入による地盤改良を行う対象地盤は，地表から埋戻し土，中粒砂岩（Ⅰ層），泥質部（Ⅱ層）である。泥質部（Ⅱ層）は，護岸エリアでは地表から約 15m の深度でほぼ水平に分布する比較的透水性が低い難透水層である（図 3-94）。

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（Ⅰ層）と埋戻し土は，比較的透水性が高く，地下水位は地盤改良施工前の時点では地表から 1.5～2.0m に分布している。また，護岸部であるため，地下水は塩水を含む水質となっている可能性が考えられた。

このような透水性の高い地盤で，かつ塩水環境下でも効果を発揮して 1.0E-07m／s 程度以下の透水性を有する止水壁を構築するため，注入材として水ガラス系注入材（シリカゾルグラウト）が採用された。

改良深度は，泥質部（Ⅱ層）の上限面より 50cm 程度深い GL-15.5m までとした（図 3-94）。また，水ガラス系注入材は，地表部付近の不飽和領域では良好な改良体が形成されない可能性があるため，注入による地盤改良は GL-1.8m の地下水位面以下とし，地表～GL-1.8m の間は，注入完了後に掘削してモルタルで置換える地盤改良が行われた（図 3-94）。

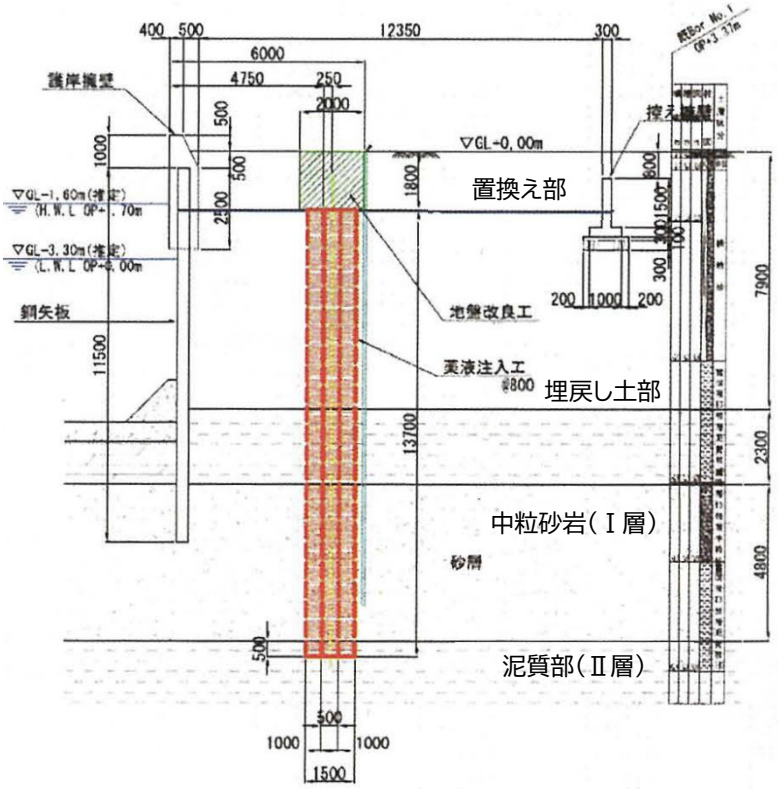


図 3-94　薬液注入工断面図 2)より引用・一部改変

地盤改良の施工範囲は，1～4 号機取水口間の護岸に対して 5m 程度の離隔で平行する区間と，各取水口側部の泥質部に岩着しているポンプ室構造物までの区間を連結させ，各々のエリアを囲い込むように改良ゾーンを構築した（図 3-95）。注入孔の配置は，良好な止水効果が得られる改良体が形成されるように，注入ラインに沿って 2 列で孔間隔は 80cm ピッチとした（図 3-95）。

また，各エリアでは地中に滞留する汚染された地下水を汲上げるとともに，地盤改良完了後の護岸付近の地下水位をコントロールするためのウェルポイントの設置が行われた（図 3-95）。

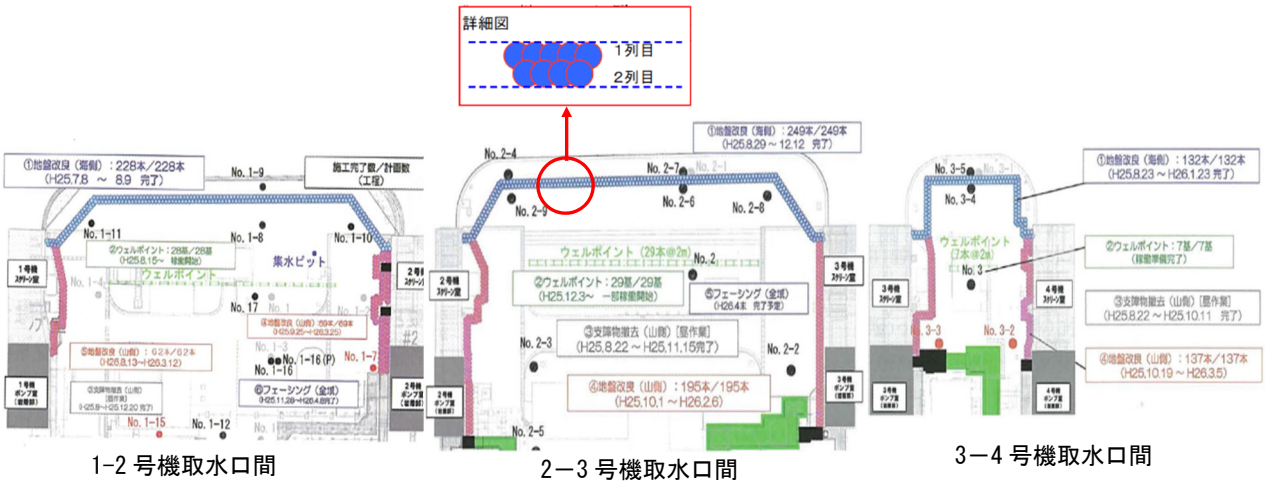


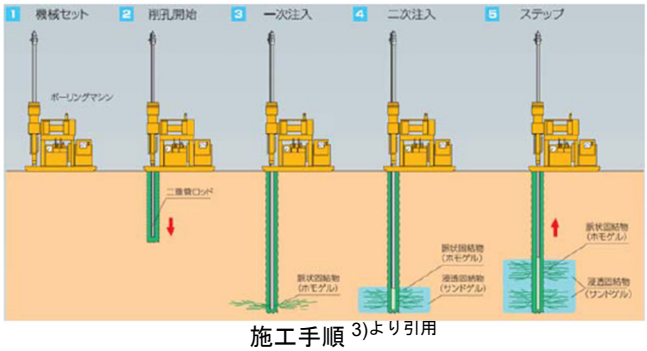
図 3-95　薬液注入工平面図 2),3)より引用・一部改変

地盤改良は，二重管ロッドを用いて所定の深さまで削孔した後，その管を利用して瞬結性の薬液を注入し，注入管周囲をシールした後（一次注入），二次注入として浸透性の高い薬液を注入して土粒子間への浸透を図り，均質な地盤を形成する二重管ストレーナー工法（複相式）で施工された（表 3-20，図 3-96）。

施工は 2013 年 5 月から開始され，同年 7 月頃から地下水観測孔水位の上昇が確認される改良効果が認められ[2, 3]，2014 年 3 月に施工を完了した（全削孔数量：1,072 孔）。

表 3-20　注入材性状及び注入要領 2)より引用

	一次注入材	二次注入材
使用薬液	瞬結性ゲル	浸透性ゲル
注入方式	2ショット方式	1ショット方式
ゲルタイム	5秒程度	60分程度(※)
吐出量	18L/分程度	12L/分程度
ステップ方式	上昇式(最深ステップ位置よりステップアップ)	
ステップ長	25cm	
注入圧力	深度1.0mあたり0.03～0.1MPa	
注入管	φ40.5mm 二重管ロッド	
注入管理	各ステップ定量管理(自記記録計による)	



施工手順 3)より引用

施工状況（1-2 号機取水口間） 2)より引用

図 3-96　施工手順と施工状況

建屋海側の施工エリアは，空間線量率が 0.08～1.90mSv／h と高い作業環境であったため，図 3-97 に示す被ばく対策が行われ，作業エリアの空間線量率を 0.04～0.32mSv／h まで低減させた後に作業を実施した。

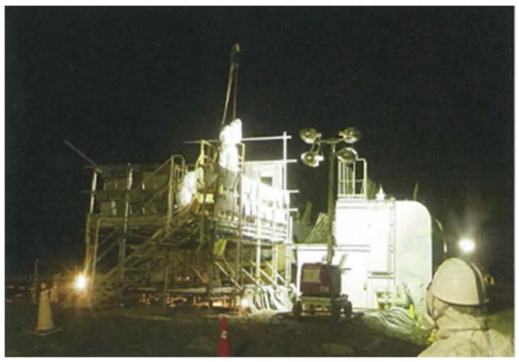
また，2 号機取水口両側部の電源ケーブルダクト近傍などの高濃度汚染水が滞留している箇所では，高濃度汚染水の地表への流出や汚染水が周囲に拡散することが懸念された。このため，削孔位置にH形鋼による枠組みを作製し，これを埋設して削孔水拡散防止ピットを構築するとともに，地表より1.5m の高さの作業架台，ならびに架台の側面には鉛板を設置する被ばく低減対策がとられた（図 3-98）。

施工基盤への砕石敷均し（50cm 程度）

L 形擁壁（H=2.25m）、鉛板遮へい壁による作業場所退避場所の遮へい

図 3-97　遮へいによる線量低減対策 2)より引用

H 形鋼による枠組み



作業盤ならびに作業架台（鉛板による遮へい）

図 3-98　高線量作業箇所での被ばく線量低減対策 2)より引用

参考文献

1)東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議／事務局会議(2013)：東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ進捗状況（概要版），2013 年 6 月 27 日，東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議／事務局会議（第 5 回），
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130627/130627_02e.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

2)寺本　哲(2016)：高線量下での汚染地下水の緊急止水工事－護岸エリアでの地盤改良による汚染地下水海域流出防止対策－，土木施工，Vol.57，No.3，オフィス・スペース

3)東京電力（2013）：海側地下水及び海水中放射性物質濃度上昇問題の現状と対策，平成 25 年 8 月 12 日，原子力規制委員会，特定原子力施設監視・評価検討会，汚染水対策検討ワーキンググループ（第 2 回），資料 1，
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130812_03-j.pdf, 2018 年 12 月 1 日掲載確認

(b) 海側遮水壁及び地下水ドレン

発電所港湾内には、事故直後から約 400m³／日程度の汚染水が流出しているものと想定されていた（図 3-99）。東京電力は，海洋汚染拡大防止対策として汚染水の流出経路となる透水層（中粒砂岩（Ⅰ層：上部透水層），互層（Ⅲ層：下部透水層））に鋼管矢板の連続壁からなる海側遮水壁を設置し，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対策の検討を事故直後から行っていた（図 3-100）。

海側遮水壁を構築することで，建屋周りの地下水の海域への流出が抑制されることが流跡線解析により確認されたため（図 3-101），2012 年 3 月に公有面埋立免許等の必要な手続きを完了させ設置工事を開始した。

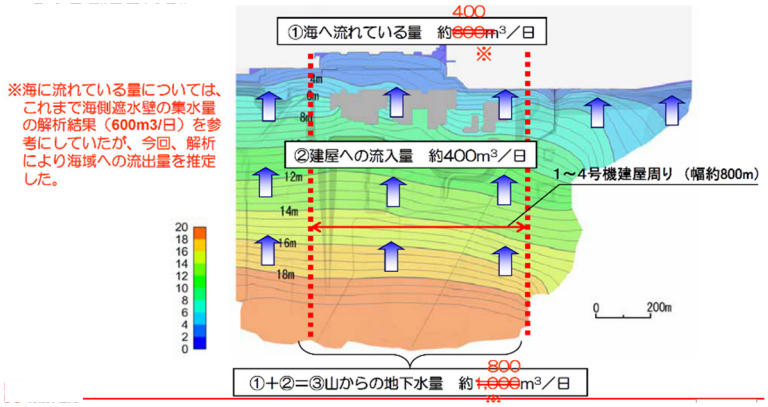


図 3-99　港湾内に流出する汚染水のイメージ 1)より引用

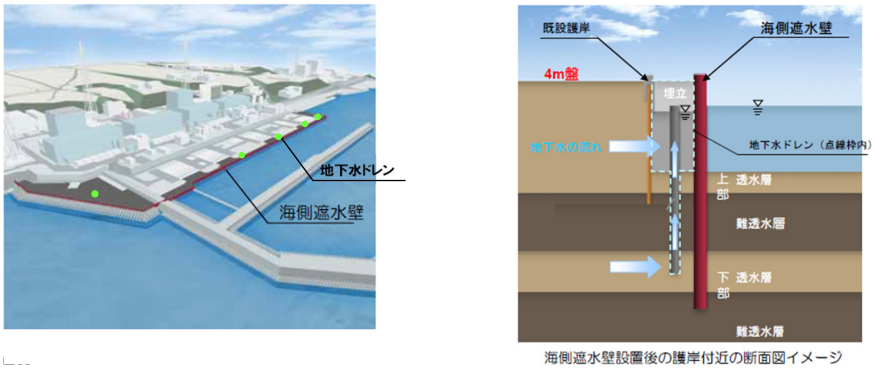


図 3-100　海側遮水壁のイメージ 2)より引用

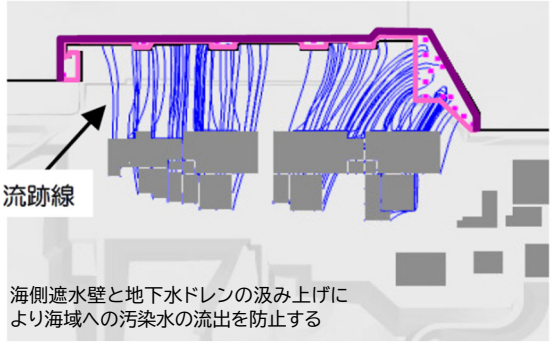


図 3-101　流跡線解析による海側遮水壁の効果予測 3)より引用・一部改変

海側遮水壁は，1～4 号機建屋前の既設護岸沿いに約 600m の延長で設置された（図 3-102）。海側遮水壁沿いの地質は図 3-102 に示すとおりで，遮水壁は互層（Ⅲ層：下部透水層））の下の泥質部（Ⅳ層）に数 m 程度の根入れがされている。また，海側遮水壁と既設護岸との間の埋立箇所には，5 箇所の地下水ドレン（汲上げ井戸）を設置し，海側遮水壁により堰上がる地下水を汲上げる設計とした（図 3-102）。

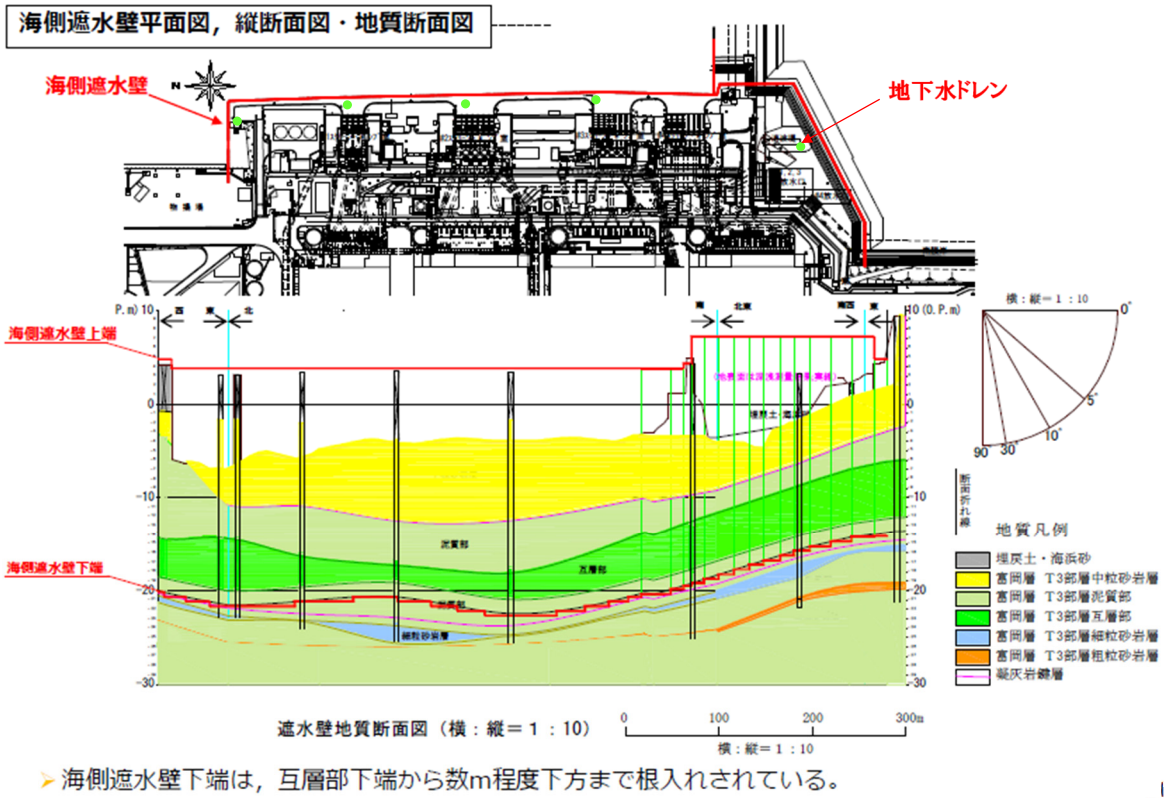


図 3-102　海側遮水壁の平面形状と地質断面図 [4)より引用]

海側遮水壁の主な仕様は以下のとおりである [4)]。

①構造

ア）自立式鋼管矢板（図 3-103）

・鋼管径：1,000mm，1,200mm

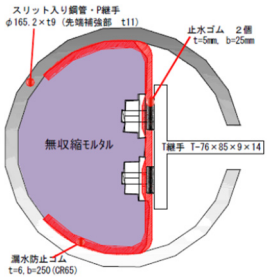
・長さ：約 21～26m（地中部は約 14～17m）

図 3-103　鋼管矢板 [5)より引用]

イ）継手（図 3-104）

・漏水防止ゴム付 P－T 型（透水係数 1.0E-08m／s 以下，変形追従性能保有）

・無収縮モルタル充填



【継手部構造図】

【継手部写真（モルタル充填後）】

図 3-104　漏水防止ゴム付 P－T 型継ぎ手 4)より引用

②耐久性

ア）鋼管矢板

・設計耐用年数を 30 年とし，部位ごとに腐食環境に応じた防食を実施

（海側気中部（飛沫帯）：防錆塗装， 海側水中部：電気防食， 陸側：防食なし）

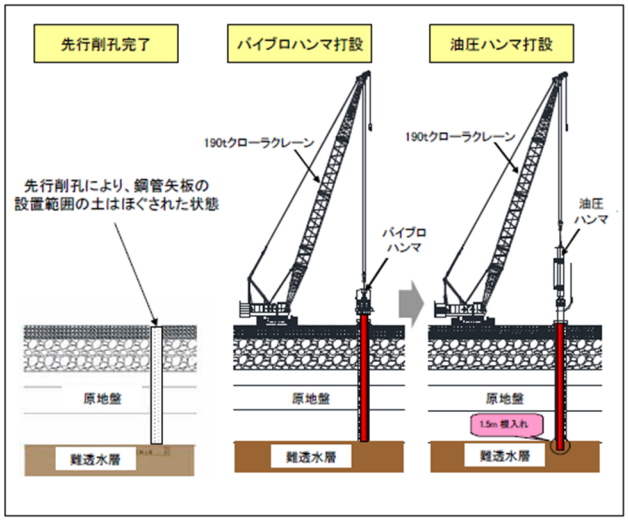
・設計計算（応力・ひずみ）は 30 年後の腐食状態を考慮して実施

イ）漏水防止ゴム

・紫外線作用のない環境では，常温で 100 年以上の耐久性を保持

施工は，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する。難透水層の泥質部（Ⅳ層）では，油圧ハンマーによる打撃により数 m 程度の根入れが行われた（図 3-105）。

継手処理は，継手内の洗浄を行いカメラによる継手の健全性を確認した後，2 回に分けて無収縮モルタルを注入する方法がとられた（図 3-106）。



【撮影日】平成25年4月2日
【提　供】東京電力株式会社

図 3-105　鋼管杭の打設施工手順 6)より引用

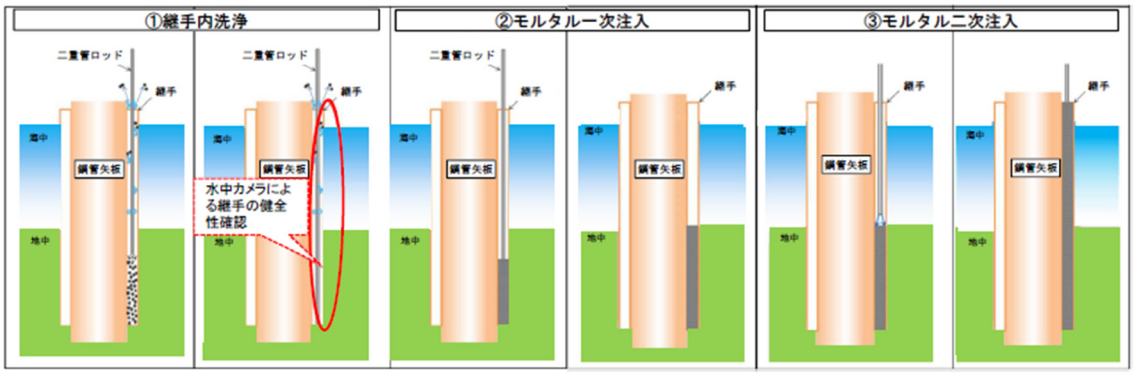


図 3-106　継手処理の手順 7)より引用

海側遮水壁が完成した場合，建屋周辺の地下水が堰上がり建屋流入量の増加が予想された。また，地表面まで上昇した場合は，汚染水が越流して海洋汚染が拡大する可能性も考えられた。このため，図 3-107 に示す海側遮水壁の一部区間を未施工（開放状態）の状態とし，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，未施工区間の閉合を行う手順とした。未施工区間の閉合手順と施工状況を図 3-108 に示す。

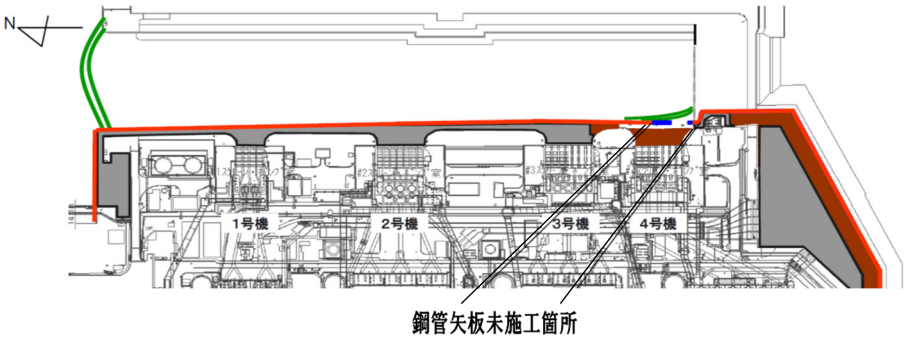


図 3-107　海側遮水壁の未施工区間 5)より引用・一部改変

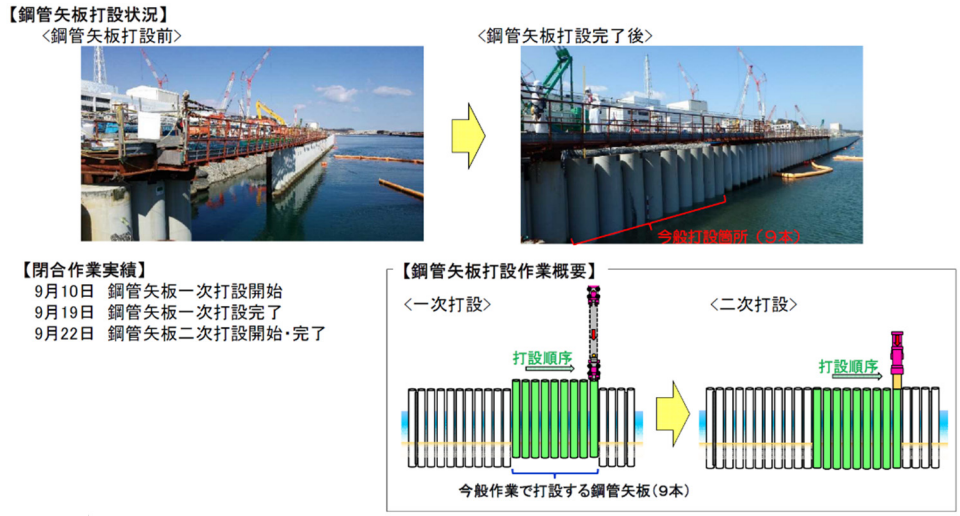
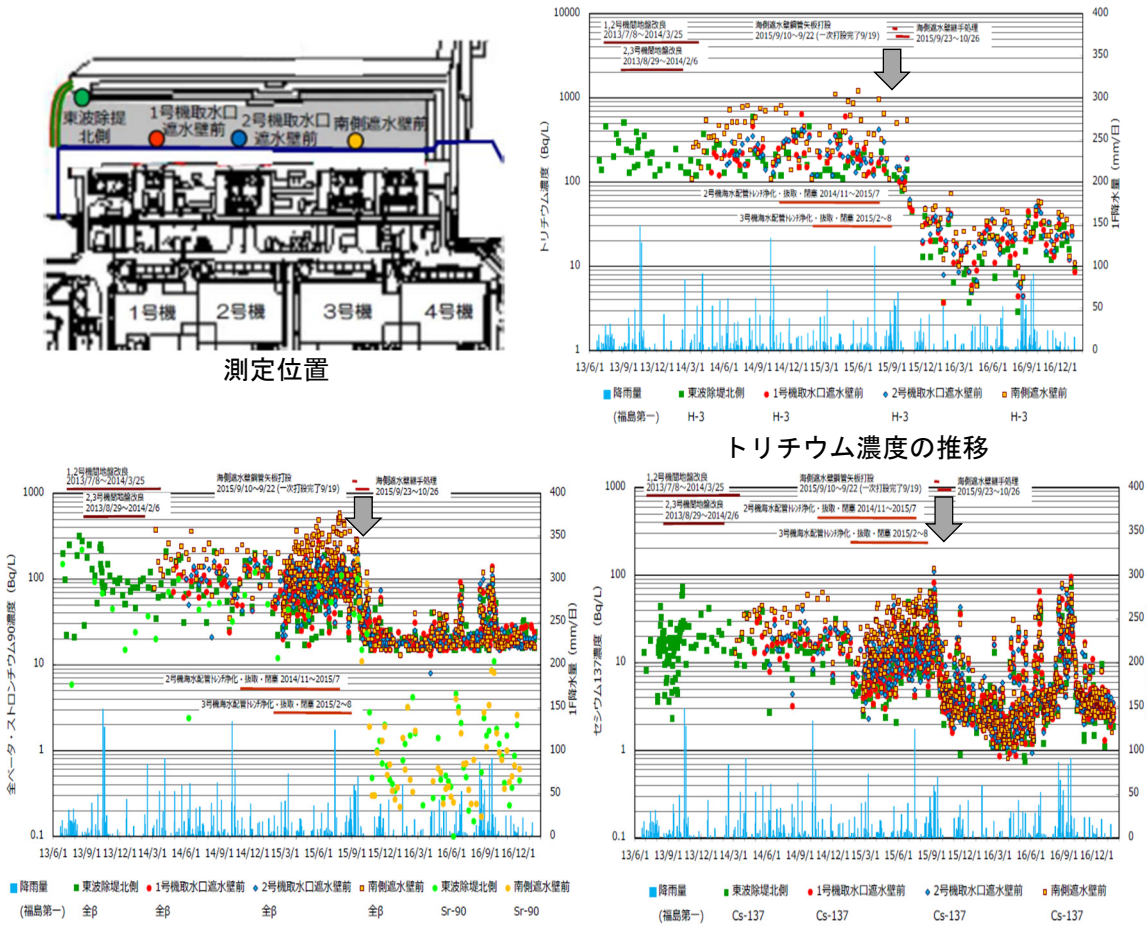


図 3-108　未施工区間の閉合手順と施工状況 7)より引用

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。閉合作業の完了に伴い，港湾内の放射性物質濃度は大幅に低下した（図 3-109）。



測定位置

トリチウム濃度の推移

全ベータ・ストロンチウム 90 濃度の推移

セシウム 137 濃度の推移

図 3-109　港湾内海水中の放射性物質濃度の推移 8)より引用・一部改変

閉合後の海側遮水壁については，以下の計測が行われ健全性の確認が行われた [4]。

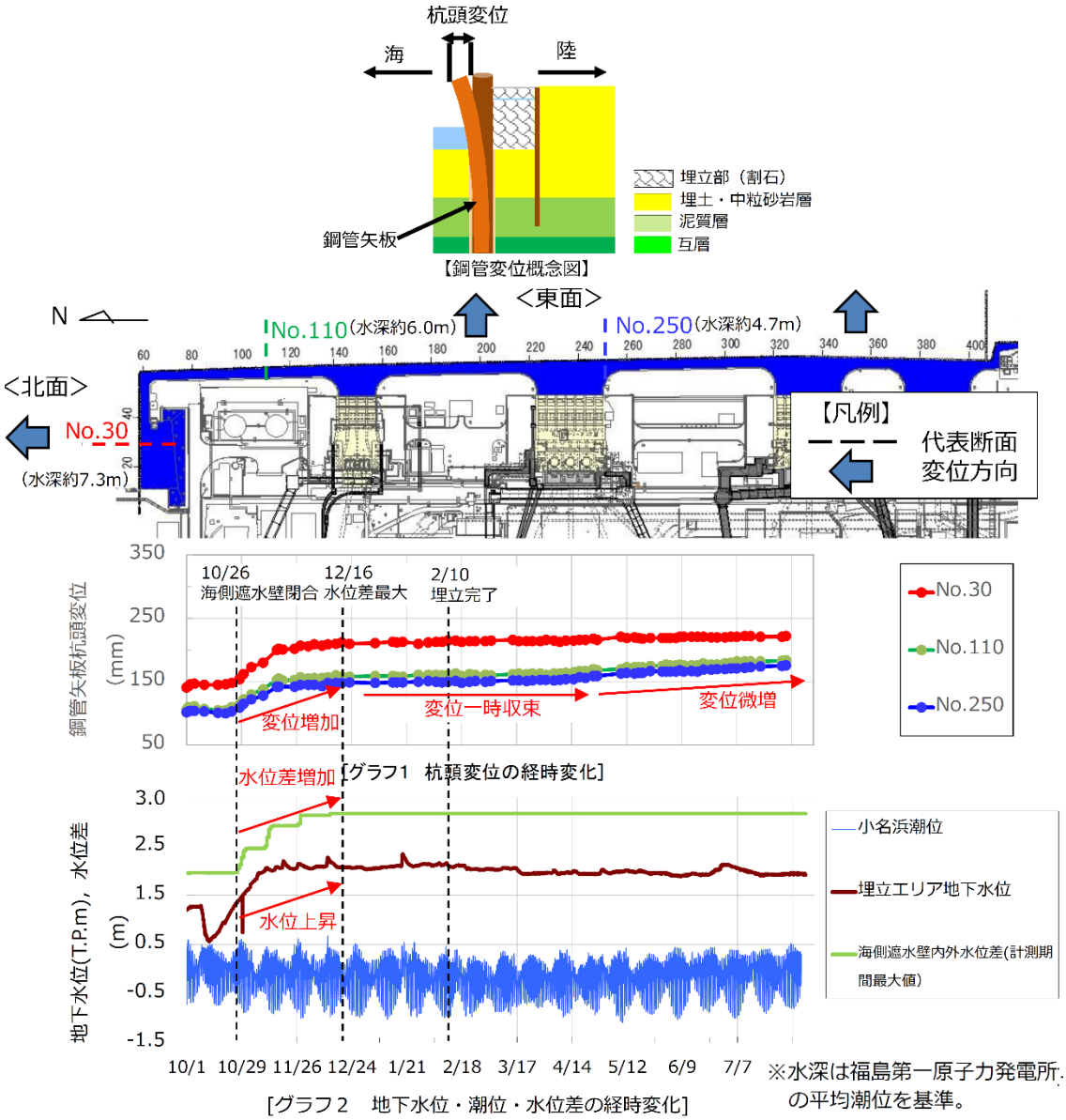
・杭頭変位のモニタリング
・継手状況等の目視点検
・電気防食の効果確認のための電位測定
・港湾海水の放射性物質濃度のモニタリング

杭頭の変位は，埋立に伴う土圧の増加及び海側遮水壁閉合以降の地下水位上昇などにより図 3-110 に示す増加が認められ，2 方向への引張力が作用するコーナー部での変位量が大きくなっていた。

このため，鋼管間の相対変位を抑制し継手負荷を軽減することを目的に，コーナー部では鋼材を鋼管に溶接して結合を行い，コーナー部以外のエリアについても予防的な保全対策として，鋼材を杭頭部にアンカーボルトで固定する対策が取られた（図 3-111）。

なお，解析により常時及び地震時の鋼管矢板の発生応力は，設計降伏応力を下回っていることを確認している。また，地震時でも海側遮水壁の遮水性能は所要性能（透水係数 1.0E-

08m／s 以下）が確保されていることを確認しており，海側遮水壁の健全性は確保されているものと評価している[4]。



[グラフ1　杭頭変位の経時変化]

[グラフ2　地下水位・潮位・水位差の経時変化]

図 3-110　杭頭変位の測定結果 [4]より引用

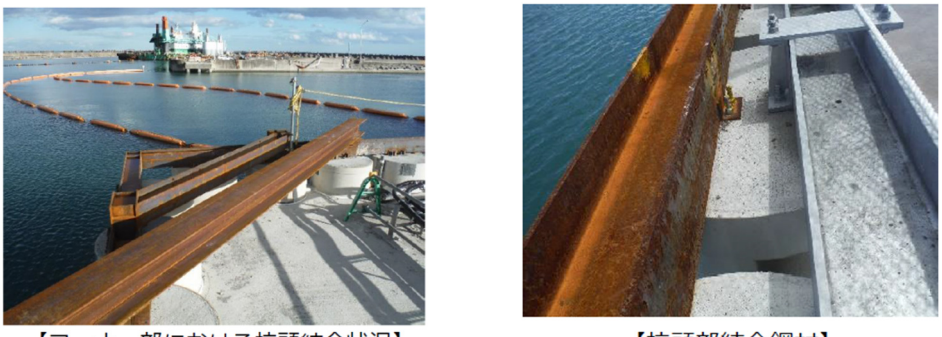

【コーナー部における杭頭結合状況】　【杭頭部結合鋼材】

図 3-111　杭頭変位抑制対策 [4]より引用

参考文献

1)東京電力(2015):福島第一原子力発電所周辺の地質・地下水および解析, 汚染水処理対策委員会(第 5 回), 平成 25 年 8 月 23 日, 資料 3,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130823/130823_01g.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

2)東京電力(2015):福島第一原子力発電所周辺の地質・地下水および解析, 参考資料, 汚染水処理対策委員会(第 5 回), 平成 25 年 8 月 23 日,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130823/130823_01h.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

3)東京電力(2011):陸側遮水壁の検討結果について(別添 2), 報道配付資料, 2011 年 10 月 26 日,
https://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/111026d.pdf, 2018 年 12 月 1 日掲載確認

4)東京電力(2016):海側遮水壁の現状と港湾のモニタリング状況について, 平成 24 年 8 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 45 回), 資料 3,
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11451236/www.nsr.go.jp/data/000161041.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

5)東京電力(2015):福島第一原子力発電所 海側遮水壁打設工事再開の様子, 報道配付資料, 2015 年 9 月 10 日,
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2015/images/handouts_150910_04-j.pdf, 2018 年 12 月 1 日掲載確認

6)東京電力(2013):海側遮水壁設置工事の概要について, 報道配付資料, 2013 年 4 月 2 日,
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130402_02-j.pdf, 2018 年 12 月 1 日掲載確認

7)東京電力(2015):サブドレン他水処理施設の本格運転及び海側遮水壁閉止の状況について, 平成 23 年 10 月 14 日, 原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会(第 37 回), 資料 2,
https://www.nra.go.jp/data/000126143.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

8)東京電力(2017):護岸付近の地下水のモニタリング状況, 2017 年 1 月 27 日, 原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会(第 50 回), 資料 3,
https://www.nra.go.jp/data/000176599.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

(c) タンク

海水配管トレンチ等に滞留している汚染水，ならびに浄化設備による処理後に発生する処理水等を貯留するためのタンクの設置は，事故直後から大量の滞留水を迅速に保管するために種々のタンクが集められ，応急的な対応が行われた（2.2.1(2)(e)参照）。

その後，汚染水処理設備設置の進捗，新規のタンク製作体制の確立に伴い，O.P.+35m 盤にタンク群の設置エリアを順次造成しながら，効率的に組立てができるフランジボルト接合型の鋼製円形縦型タンク（以下，「フランジ型タンク」）を設置して，急増する汚染水の発生に対応していた（図 3-112）。

図 3-112　フランジ型タンク（左ー組立中，右ー完成）[1)より引用]

フランジ型タンクは，鋼製パネル（厚さ 12mm）の周囲に溶接されているフランジを止水パッキンを挟んで高力ボルトで接合するもので，シールド工事等の泥水保管用タンクとして用いられている仮設タンクをベースにしている。このため，接合部のパッキン性能の向上などの様々な工夫を行い漏えいリスクの低減を図り，汚染水の貯留が行われていた。

汚染水貯留の初期段階では，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。このため，日常点検の強化や定期的なフランジボルトの増し締め，パッキンの劣化評価などを行うとともに，タンクからの溢水を防止するためのタンク内水位監視装置の設置，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を流出させない様々な対策（浸透防止工，被覆工，コンクリート堰，外周堰の設置等）が整備されてきた（図 3-113，図 3-114）。

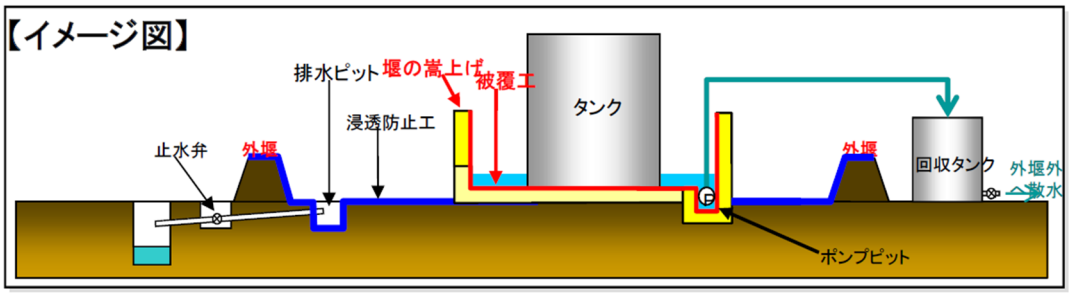
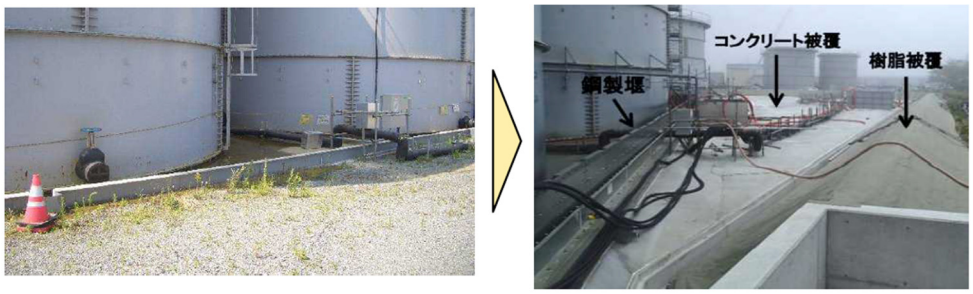
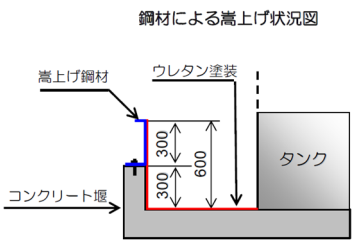


図 3-113　タンクヤード整備の概要 [2)より引用]



タンク堰嵩上げ・被覆・二重化 2)より引用



被覆工，コンクリート堰の設置 3)より引用

タンク堰カバー・雨樋 2)より引用

図 3-114　タンクヤード整備の状況

しかし，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，溶接接合型の鋼製円形縦型タンク（以下，「溶接型タンク」）への切替え（リプレース）が必要となった（図 3-115）。また，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，図 3-116 に示す貯留容量の増加対策が図られた。

図 3-115　溶接型タンク（貯水容量 1,200m³／基） 2)より引用

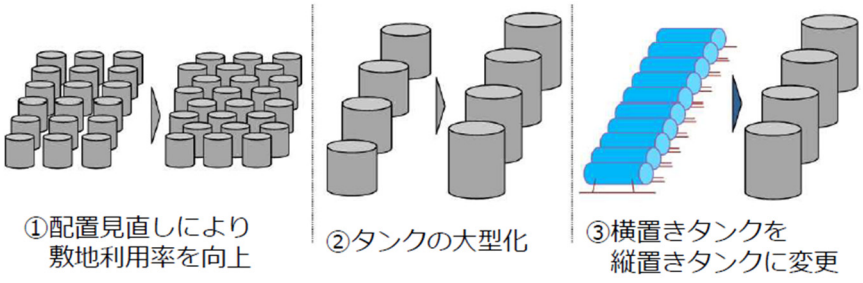


図 3-116　貯留容量の増加対策 2)より引用

フランジ型タンクの解体，溶接型タンクへのリプレース，溶接型タンクの増設（敷地の造成，タンク基礎の構築，タンクの組立て・設置）等の溶接型タンクへの切り替えは，日々増え続ける汚染水の確実な貯留が可能となるタンク供給を確保するため，急速施工を図る必要があった。

(i) フランジ型タンクの解体

汚染水を貯留していたタンクの内面は，汚染水を抜き取った後も表面線量率が 40～50mSv／h と高く，また，タンク基礎コンクリートは，過去の漏えい等により表面が汚染されている箇所があった。このため，解体工事において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 。

タンク解体作業では，放射性物質が空気中に飛散するダスト値をタンク周辺で 5×10^{-5}Bq／cm^3 未満に抑えるため，解体前にタンク内面を散水による洗浄，タンク内面への塗装を実施した後に解体を行う手順で行われた（図 3-117）。

また，基礎コンクリート表面は基礎取壊し前に切削除染が行われ，コンクリートの屋外保管基準値以下（表面線量率 10μSv／h 未満）となる切削除染が行われた。

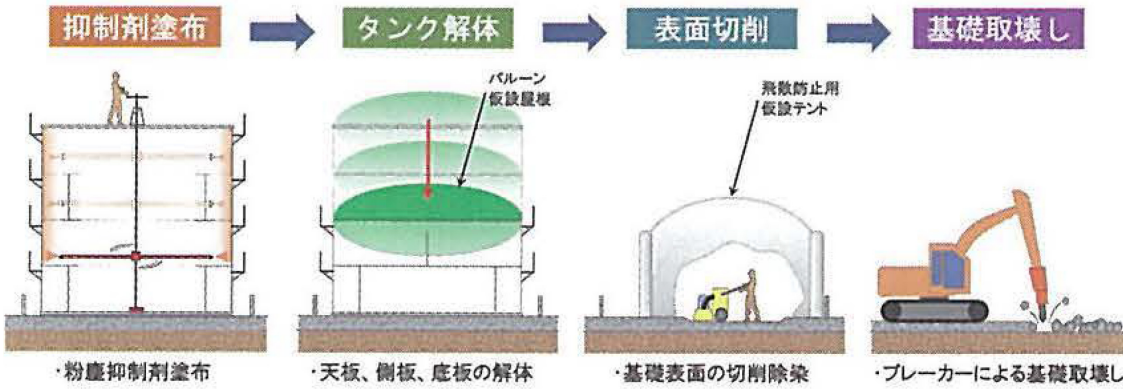


図 3-117　フランジ型タンクの解体フロー[4)より引用]

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を物理的に抑え込むため，軽量化した吹付け機の開発を行い，飛散抑制剤吹付けによるタンク内面の塗装を遠隔操作で実施した（図 3-118，図 3-119）。

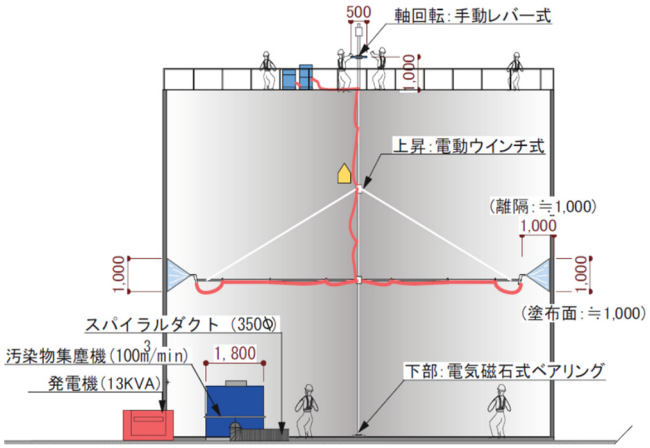
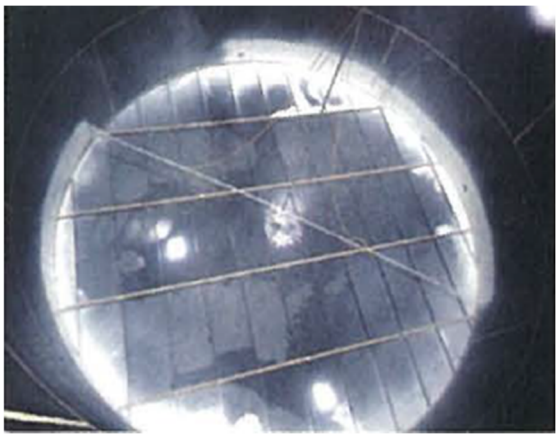


図 3-118　タンク内面塗装（抑制剤塗布）の概要 [4)より引用]

タンク内面塗装（抑制剤塗布）鳥瞰図 5)より引用



遠隔操作による抑制剤の塗布状況 4)より引用

図 3-119　タンク内面塗装（抑制剤塗布）の概要

②タンクの解体

解体中は局所排風機によるダストの回収を行うとともに，作業終了時は雨水浸入防止とダストの飛散抑制を目的とした仮設屋根の設置が行われた（図 3-120）。また，解体作業中でもダスト値が上昇する緊急時においては，速やかな仮設天板の設置が求められるため，新たに開発した空気膜を用いた超軽量構造（300kg／基）のバルーン天板により，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。また，その効果により仮設屋根の設置・撤去のサイクルを大幅に短縮することが可能となった。

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。表面切削は一度の切削で約 3mm の除染が可能であるが，場所により汚染深さが異なるため，切削ごとに表面線量率を測定して管理値 10μSv／h 未満になるまで切削を繰り返す作業が行われた（図 3-121）。

汚染度（切削前の表面線量率）と切削深さの関係の実績値を図 3-122 に示す。

解体作業状況　　仮設屋根の設置によるダスト飛散抑制対策

図 3-120　フランジ型タンク解体作業状況 5)より引用

コンクリート基礎切削除染の状況

汚染度測定状況

図 3-121　コンクリート基礎切削除染の状況 4)より引用

汚染度 (μSv/h)	切削深さ (mm)
10	3
20	3
50	6
100	12
200	15

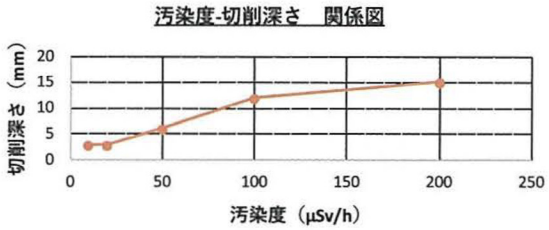


図 3-122　汚染度－切削深さ関係 4)より引用

(ii) 溶接型タンクの設置

溶接型タンクは現地溶接でタンクを組立てる方式，ならびに完成形のタンクを作成して海上で運搬する 2 つの方式の併用による施工が行われた。

タンク設置の手順は，セメントを用いた混合処理による地盤改良（深さ約 2～6m）と基礎コンクリートの構築（基礎工）後，タンク本体及び配管を含むタンク設置工，堰の設置工（内堰，外堰），堰内の防水工の順で実施された。

施工では急速施工を行うため，以下の点に着目した工夫が行われた 1)。

・基礎工から設置工までの一連の作業工程を一元管理して調整することにより，急速施工を安定的に進捗させる。

・構内環境（放射能保護具着用での作業等）による作業効率・作業時間の制約の観点から，現場溶接を極力減じる。

・部材供給の機動性・確実性の観点から一般道路通行による陸上輸送を可能にする。

・シンプルな構造とし，組立作業の効率化・システム化を図る。

・供給能力の確保の観点から工場での製作期間を極力短くする。

・現地での組立作業の効率化のため，工場で精度の高い部材を製作する。

この考えに基づいた 2 つの施工方式の特徴を以下に示す。

1) 現地溶接でタンクを組立てる方式

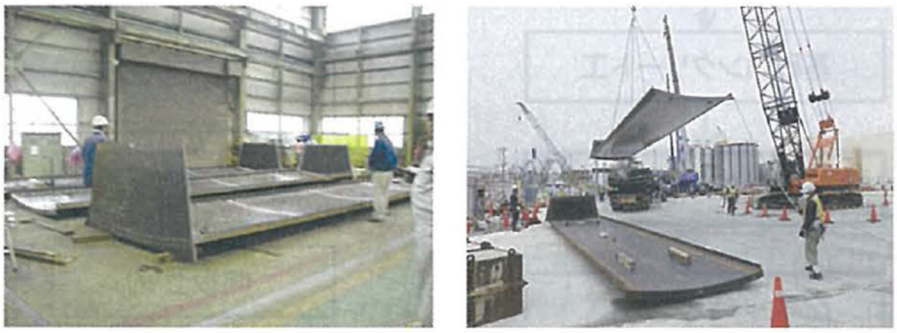
貯水容量が 1,000m^3 のタンクを例として，組立方法等の情報を取りまとめた。

①タンクの概要

貯水容量：1,000m^3，　直径：12m，　高さ：10.8m，　板厚：12mm，　鋼材重量：約 64t

②工場での部材作成

側板（長さ 10.8m，幅 2.4m）については，当初は 4 枚継，または 2 枚継としていたが，大型の曲げ加工機の導入により側板を 1 枚もので製作した。これにより，側板部の溶接作業及び溶接検査の工程が大幅に縮減され部材製作工程が短縮された（図 3-123）。



4 枚継側板　　1 枚もの側板

図 3-123　側板の作成 1)より引用

③現地での仮組

現地での組立には，発電所構内で最も汎用されている 50t 級クレーン（ラフテレーンクレーン）を用いることで，不測の事態が発生した場合でも短時間で代替重機が準備できる体制とした（図 3-124）。

図 3-124　仮組の状況（底板設置～側板建込み） 1)より引用

④自動溶接の併用

16 枚の側板を建込み・仮組をした後，移動式の風防足場を設け側板の溶接を行った。溶接は炭酸ガスシールド溶接で自動溶接を併用した（図 3-125）。

図 3-125　側板の溶接状況（左：溶接足場，右：溶接状況）[1)より引用]

2) 完成形タンクを搬入する方式

完成形タンクは，メーカーの工場で製作されたもの（工場完成型タンク）と福島第二原子力発電所で組立・溶接を行い製作するタンクの 2 種類がある。

ここでは、公開情報が豊富な福島第二原子力発電所で組立・溶接を行った完成型タンクのうち、貯水容量が 1,200m^3 のタンクを例として搬入方法等の情報を取りまとめた。

①タンクの概要

貯水容量：1,200m^3　直径：12m　高さ：12m　板厚：12mm　鋼材重量：約 72t

②福島第二原子力発電所での組立て・溶接

現地溶接でタンクを組立てる方式と同じ手順で組立て・溶接を行い，完成形のタンクの制作と水張り試験が行われた。福島第二原子力発電所での作業となるため，作業時間の制約や放射能保護具が不要となり作業効率が格段に向上した（図 3-126）。

図 3-126　福島第二原子力発電所での組立て・溶接の状況 [1)より引用]

③福島第一原子力発電所への海上輸送及び設置箇所への陸上輸送

福島第一原子力発電所構内の物揚場までの約 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。また，陸上輸送は他工事への影響を緩和するため夜間に実施した（図 3-127）。

海上輸送の状況 6)より引用

荷揚げの状況 6)より引用

陸上輸送の状況 1)より引用

図 3-127　海上輸送，及び陸上輸送の状況

④設置

設置箇所ではオールテレーンクレーン（550t 級）を使用し，専用治具により所定の位置に設置した（図 3-128）。水張り試験は福島第二原子力発電所で実施済みのため，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 1)より引用

2018 年 11 月 29 日現在では，敷地の南側のタンク群において（図 3-129），フランジ型タンク内の処理水の水抜き・解体，溶接タンクのリプレース・増設が実施されている。

滞留水の総貯蔵量は，2018 年 11 月 22 日時点で約 $110\times10^4 m^3$（建屋内の滞留水貯蔵量を除く，図 3-130）である。また，今後の増加量の予測に基づいて，2020 年 12 月を目途に約 $55\times10^4 m^3$ の増設・リプレース工事が実施されている 9)。

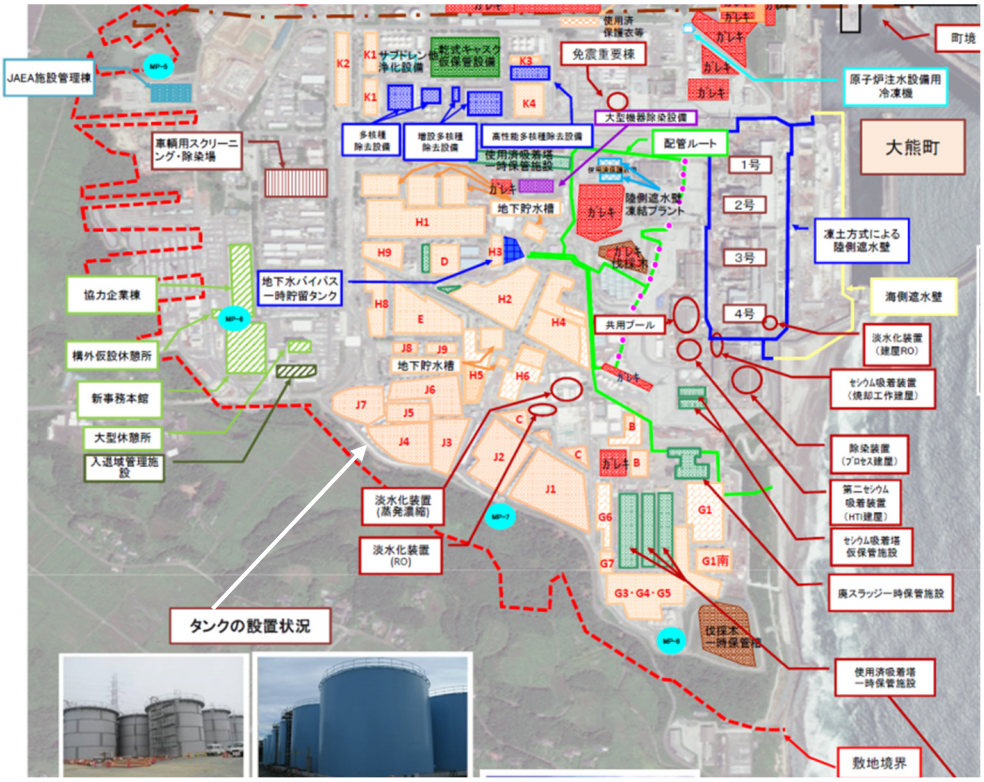


図 3-129　タンク群の設置箇所（2018 年 11 月 29 日）[7]より引用・一部改変

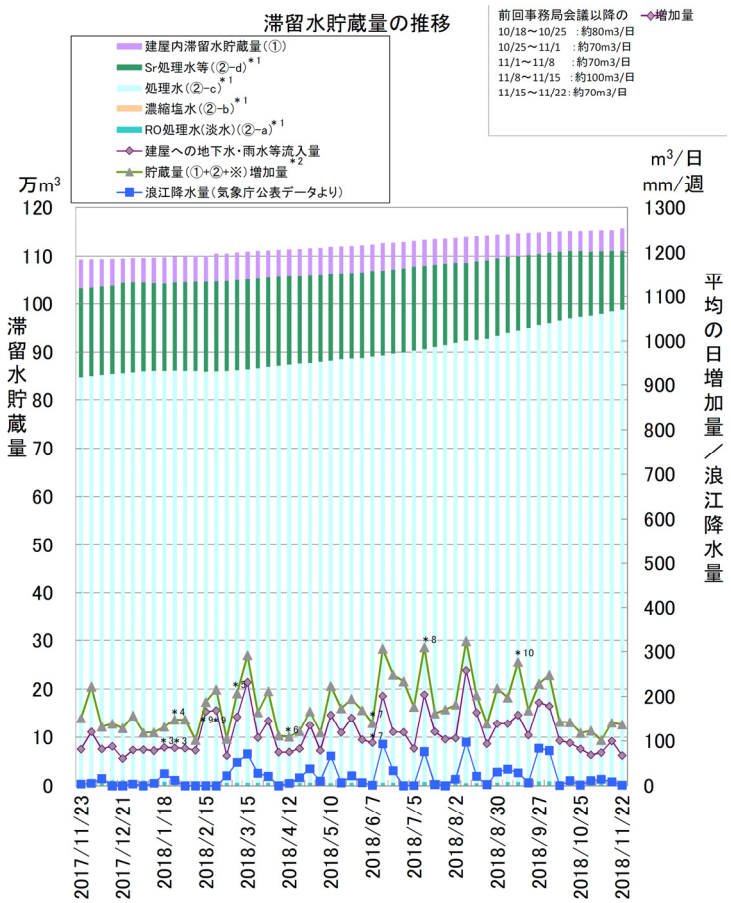


図 3-130　滞留水貯蔵量の推移 [8]より引用

参考文献

1)砂守　信一, 亀井　隆夫（2016）:滞留水貯留タンクの急速施工－現地溶接型タンクの設置－, 土木施工, Vol.57, No.3, オフィス・スペース

2)東京電力(2017):福島第一原子力発電所における汚染水対策の進捗状況～ ロードマップ改訂(2015 年 6 月)以降の進捗状況～, 汚染水処理対策委員会（第 19 回）, 2017 年 7 月 7 日, 資料 1,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committtee/osensuisyori/2017/pdf/0707_01.pdf、2018 年 12 月 10 日掲載確認

3)東京電力（2014）:タンクエリア堰内たまり水の漏えいに対する対策の進捗状況, 平成 26 年 3 月 31 日, 原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会（第 19 回）, 資料 6-2,
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11451236/www.nsr.go.jp/data/000051051.pdf, 018 年 12 月 12 月 10 日掲載確認

4)竹内　良平（2017）:フランジ型タンクの解体工事－H2 エリアの解体実績及び取り組み－, 土木施工, Vol.58, No.3, オフィス・スペース

5)東京電力(2015):フランジタンク解体・切断作業の概要について, 福島県原子力発電所の廃炉に関する安全監視協議会(平成 27 年度第 3 回）, 2015 年 6 月 23 日,
https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/120583.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

6)東京電力（2014）:福島第一原子力発電所完成型溶接タンクの搬入について,
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140611_07-j.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

7)廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(2018）:東京電力ホールディングス（株） 福島第一原子力発電所構内配置図, 資料 2　中長期ロードマップ進捗状況, 添付資料 2, 2018 年 11 月 29 日,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2018/12/2-3.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

8)廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(2018）:廃炉・汚染水対策の概要, 資料 2, 中長期ロードマップ進捗状況, 2018 年 11 月 29 日,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2018/12/2-1.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

9)廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議（2018):タンク建設進捗状況, 資料 3, 個別分野ごとの検討・実施状況, 2018 年 11 月 29 日,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2018/12/3-1-7.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

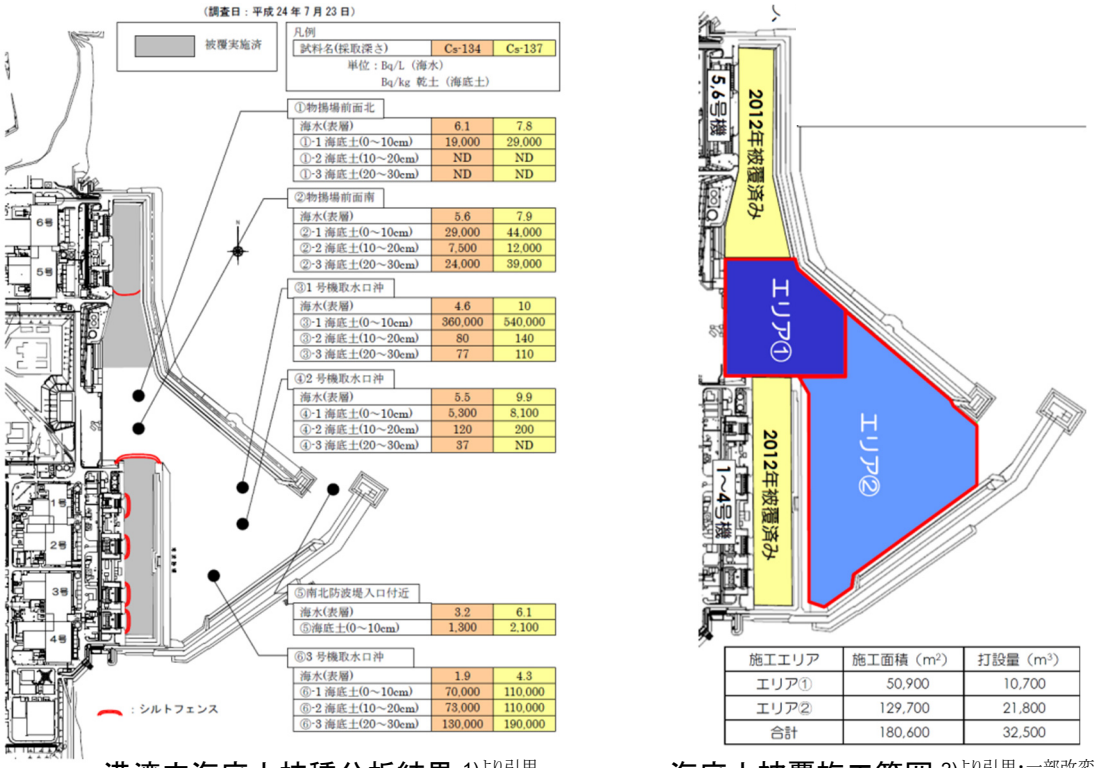
3.3 環境負荷低減・廃棄物対策

3.3.1 汚染の拡大防止対策

(1) 海底土の被覆

原子炉建屋からの爆発飛散物や汚染水により拡散した放射性物質が，海底に堆積する土砂と混ざり合って港湾内全域は汚染されていた。このため，事故初期段階の復旧活動として，2012 年に 1～4 号機及び 5～6 号機の取水路開渠を対象に海底土の被覆を第 1 期工事（図 3-131 の「2012 年度被覆済み」の範囲）として実施した（2.2.2(4)参照）。

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た（図 3-131）。このため，約 180,000m^2 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。



港湾内海底土核種分析結果 1)より引用　　海底土被覆施工範囲 2)より引用・一部改変

図 3-131　海底土の汚染状況と海底土被覆施工範囲

第 2 期工事の対象エリアのうち，エリア①（図 3-131）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。浮泥が存在しないエリア②（図 3-131）については，被覆材 B の 1 層の被覆構成とした（図 3-132）。

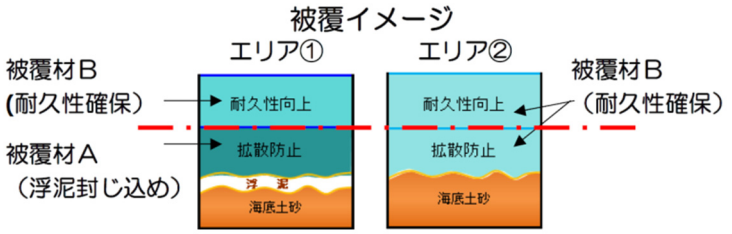


図 3-132　被覆土の構成 2)より引用・一部改変

被覆材の配合を表 3-21，表 3-22 に示す（表中には第 1 期工事の配合も示している）。

浮泥の巻き上がり防止を主目的とする被覆材 A は，軽量性を確保するため，第 1 期工事と同様にベントナイトの膨潤を利用する高含水比の被覆材とした。ただし，第 1 期工事と比べ波浪条件が厳しいことから，波浪による材料分離の抑制が期待できる粘性をもち，かつ混練性を向上させる必要があった。また，ミキシングプラントへのベントナイトスラリーは土運搬船から投入されるため，ベントナイトスラリーの粘性を上げる必要があった（図 3-133）。このため，ベントナイトの膨潤度は海水よりも真水の方が高く粘性の上昇が期待されること，また，事故直後の第 1 期工事に比べ真水の確保が容易となったことから，配合試験に基づき第 1 期工事より真水を増加する配合とした（表 3-21）。

表 3-21　被覆材 A の配合 [3)より引用]

工事	配合（1m³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)	湿潤密度 (g/cm³)	被覆材 フロー値 (cm)
第1期工事	78.9	434.0	433.0	88.6	88.6	1.106	23
第2期工事	78.9	591.8	93.4	88.6	265.8	1.114	21

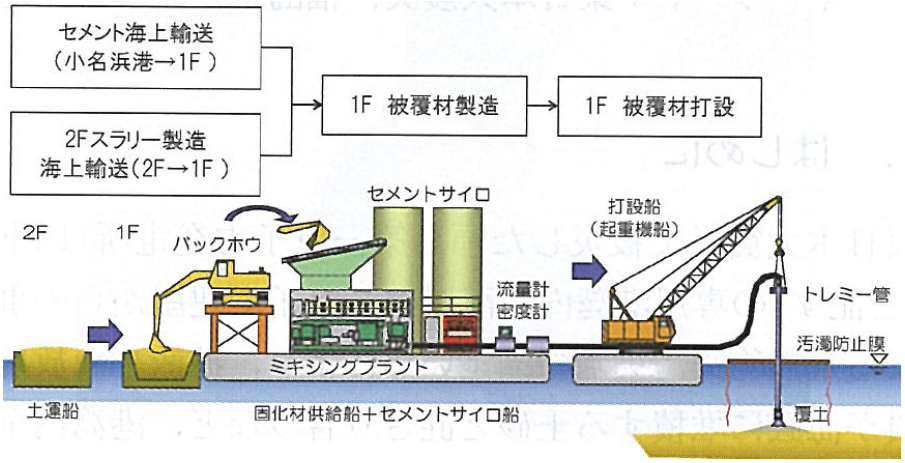


図 3-133　海底土の被覆施工システム [3)より引用]

港口部を含む波浪条件の厳しいエリアが対象となる被覆材 B は，第 1 期工事に比べさらに高い充填性，耐久性が要求される。また，大量急速施工のため，打設直後の耐波浪性を向上させる初期強度の増加が必要である。

第 1 期工事の配合実績から，ベントナイトやセメントを増加することで強度増加は見込めたが，材料供給や品質確保の問題があったため，天然材料に由来する特殊添加材を開発して流動性を確保しつつ，強度発現が速く材料分離を防止できる被覆材配合を選定した（表 3-22，図 3-134）。

表 3-22　被覆材 B の配合 3)より引用

工事	配合(1m³あたり)							性能確認	
	ベントナイト 重量 (kg)	砂 重量 (kg)	添加材 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)	湿潤密度 (g/cm³)	被覆材 フロー値 (cm)
第1期工事	120.4	−	−	541.6	173.4	187.7	187.7	1.210	20
第2期工事	−	1100.0	1.5	−	442.1	120.0	120.0	1.725	19

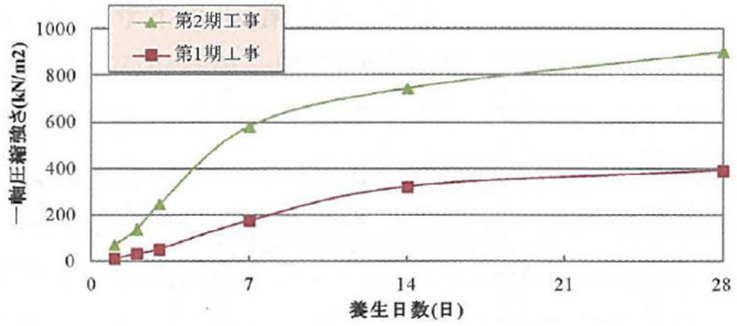


図 3-134　第 1 期，第 2 期工事の被覆材 B の強度発現
（養生日数と一軸圧縮強さ） 3)より引用

被覆材を打設するトレミー管筒先からの落下衝撃による海底土の巻き上がりの発生が想定された。このため，第 2 期工事の施工では，筒先から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 A，B それぞれの性状に合わせて被覆材を海底土上に広く均等に行き渡らせる筒先冶具（スプレッダー）を新規に開発し，被覆材の打設を行った（図 3-135，図 3-136）。

被覆材の打設に際しては，以下の事項が考慮された。

・被覆材 A 及び B による 1 層目の打設は，被覆材を薄層で広範囲に早く港湾内全体を被覆できる施工方法が必要。

・被覆材 B は波浪及び経年劣化に対する耐久性を確保するため，被覆層厚 10cm 以上を確保することが必要。

上記の事項を満足するため，現場で様々な打設方法の試行を行い表 3-23 に示す打設方法を確立した。

施工状況を図 3-137，図 3-138 に示す。被覆層厚サンプリング結果からは，所定の層厚の被覆土の完成が確認された（表 3-23）。

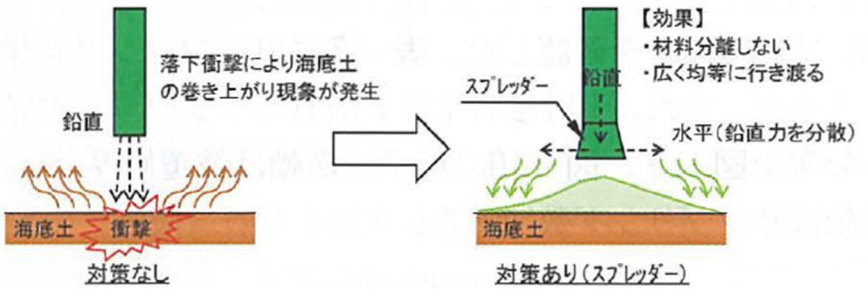


図 3-135　トレミー管筒先構造の工夫 3)より引用

被覆材Ａに使用したスプレッダー

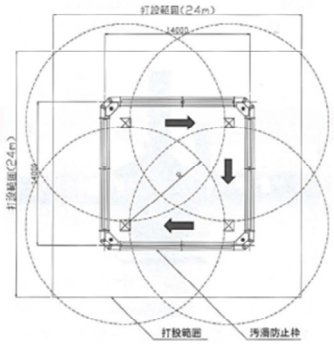
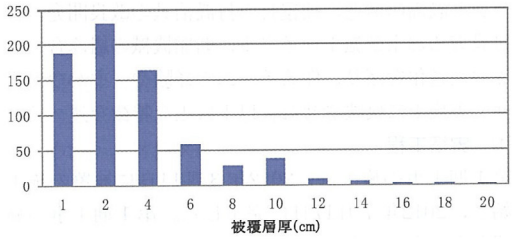
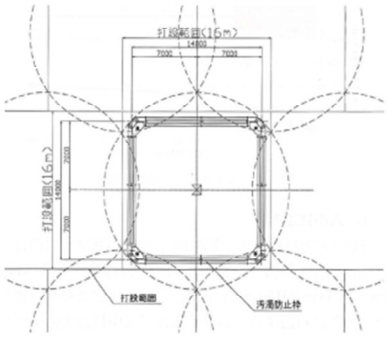
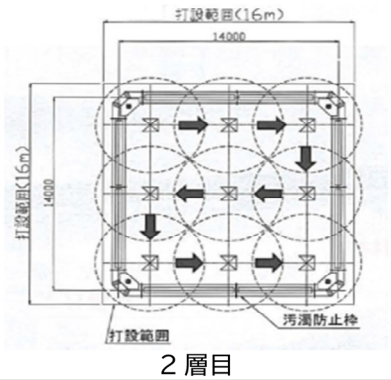
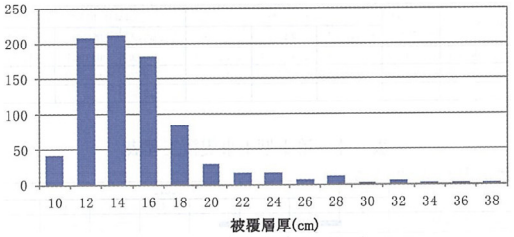
被覆材Ｂに使用したスプレッダー

図 3-136　筒先治具（スプレッダー）の工夫 3)より引用

図 3-137　施工状況（第２期工事）4)より引用

図 3-138　施工状況（第２期工事）4)より引用

表 3-23　被覆材の打設方法と被覆層厚サンプリング結果 3)を基に作成

被覆材	打設方法	被覆層厚サンプリング結果
被覆材 A	1 ブロックを 24m×24m とし，1 ブロック当たり 4 箇所で打設 	 1 層目のサンプリング結果 （被覆層厚－サンプリング数）
被覆材 B	1 ブロックを 16m×16m とし，1 層目は1ブロック当たり1箇所，2 層目は1ブロック当たり 9 箇所で打設  1 層目  2 層目	 2 層目のサンプリング結果 （被覆層厚－サンプリング数）

参考文献

1)東京電力(2014):福島第一原子力発電所港湾内海底土核種分析結果,
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_120830_01-j.pdf, 2018 年 12 月 1 日掲載確認

2)東京電力(2015):福島第一原子力発電所港湾内海底土被覆工事の実施状況,
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2015/images/handouts_150423_02-j.pdf, 2018 年 12 月 1 日掲載確認

3)亀井 達也, 古川園 健朗, 橋本 敦(2017):福島第一原子力発電所港湾内海底土被覆工事の概要, 電力土木, No.389

4)東京電力(2014):福島第一原子力発電所港湾内海底土被覆工事＜被覆工事開始について＞, 平成 26 年 7 月 18 日,
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140718_03-j.pdf, 2018 年 12 月 1 日掲載確認

(2) 構内排水路

発電所敷地内の表流水を排水する主要な構内排水路は，図 3-139 に示す 5 系統（A～C 排水路，K 排水路，物揚場排水路）が設置され，物揚場排水路を除き排水口は港湾外に設置されている。

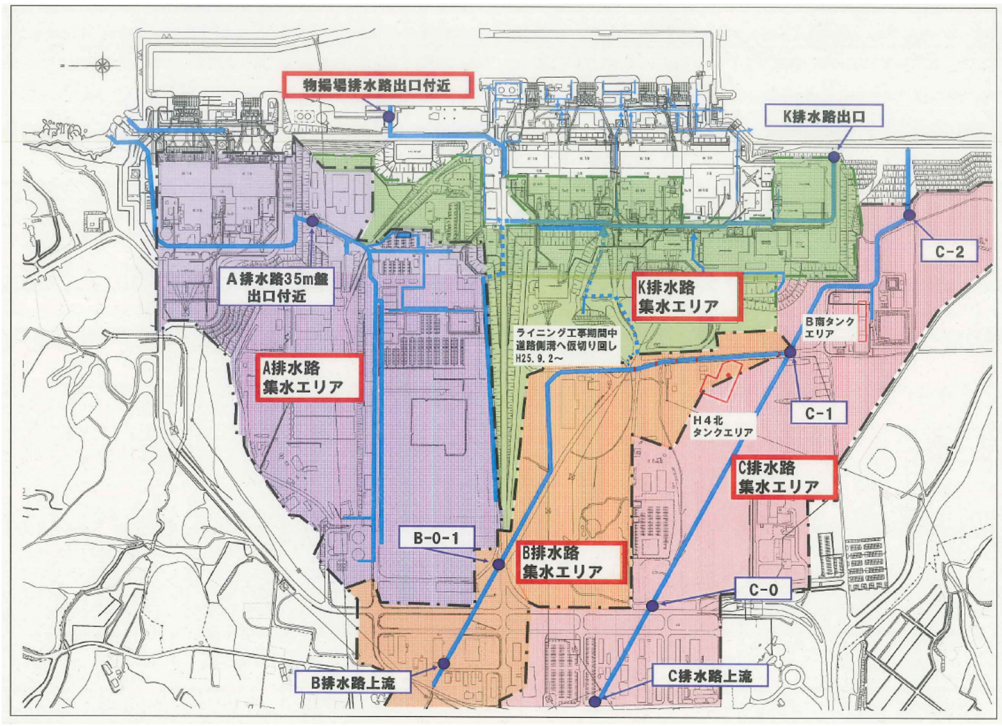


図 3-139　構内排水路図 [1)より引用]

事故発生以降，排水口の水質分析結果では告示濃度を上回る放射性物質は検出されていないが，排水路には高線量エリアを経由する表流水が流入するとともに，排水路内の底部には汚泥等が堆積していた。このため，敷地のフェーシングによる放射性物質の流出抑制，排水路内，道路・側溝等の清掃による汚染源の除去対策が行われた（図 3-140，図 3-141）。

排水路別清掃方法

排水路 （暗渠）	① 吸引作業車により堆積土砂を吸引し排出する。また、土砂吸引時には水を十分切って堆積土砂のみを吸引する。
	② 吸引できない堆積物（瓦礫など）については、MHまで人力で運搬しクレーンにて搬出する。
排水路（開渠） 枝排水路（側溝）	① バックホウ及び人力にて堆積している土砂を掘り起こし必要に応じて土嚢にて搬出する。
	② 排水路規模によりバックホウ・人力を使い分けて搬出を行う。

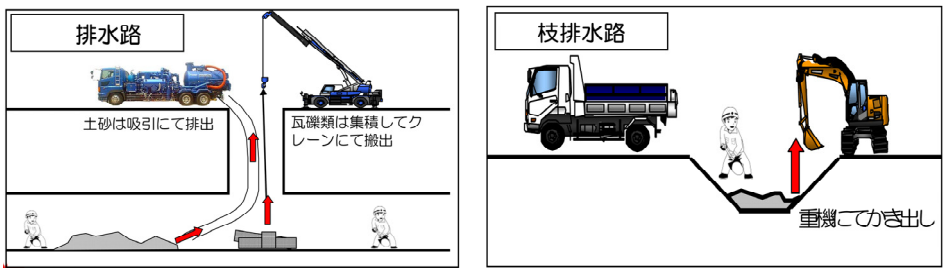


図 3-140　汚染源の除去対策の例 [2)より引用]

図 3-141　汚染源の除去対策（清掃）の実施状況 2)より引用

B･C 排水路はタンクエリアを縦断しているため，タンクから漏れた汚染水が排水路を経由して直接港湾外の海域に流出するトラブルが発生していた。

発電所建屋近傍を暗渠で通過する K 排水路は，建屋や建屋周辺の汚染水が流入する可能性があり，また，A 排水路は，上流側（O.P.+35m 盤）に設置されている多核種除去設備等から汚染水が流入する可能性があるため，排水路は汚染水が港湾外の海域へ流出するリスク要因となっていた。

このため，港湾外に位置する排水口（A 排水路，B･C 排水路，K 排水路）を港湾内に付替える工事が実施された（図 3-142）。

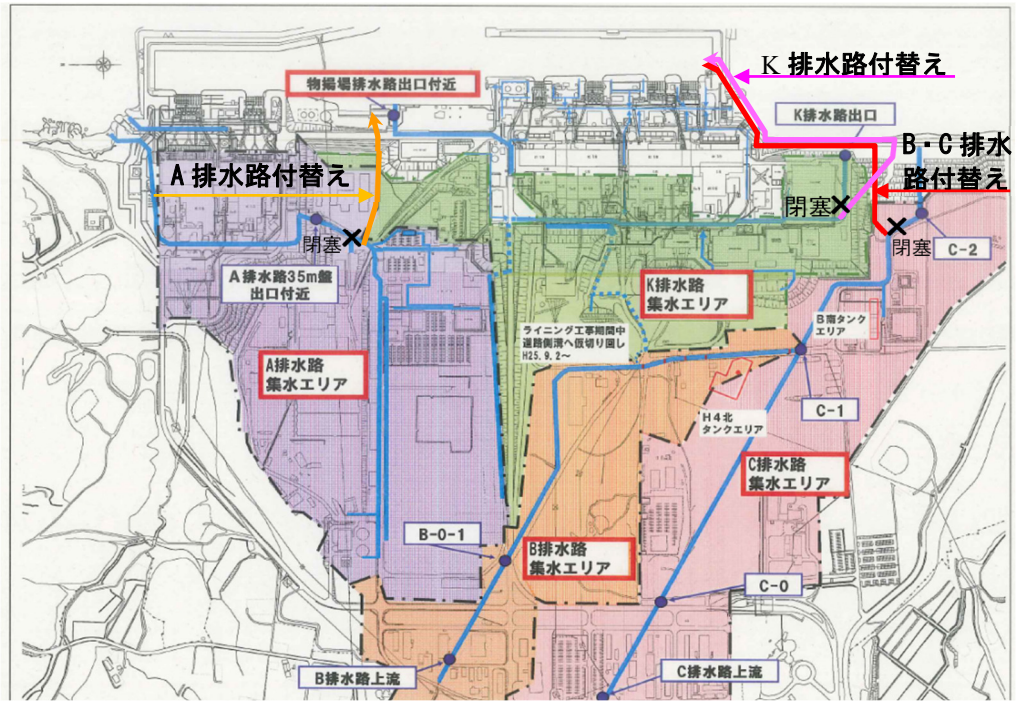


図 3-142　排水路・排水口の付替えルート 1)より引用・一部改変

各排水路付替えの概要は以下のとおりである。

①A 排水路

O.P.+35m 盤の流末部に立坑を設け，推進工法によるトンネルにより排水口を港湾内に付替える（図 3-143）。

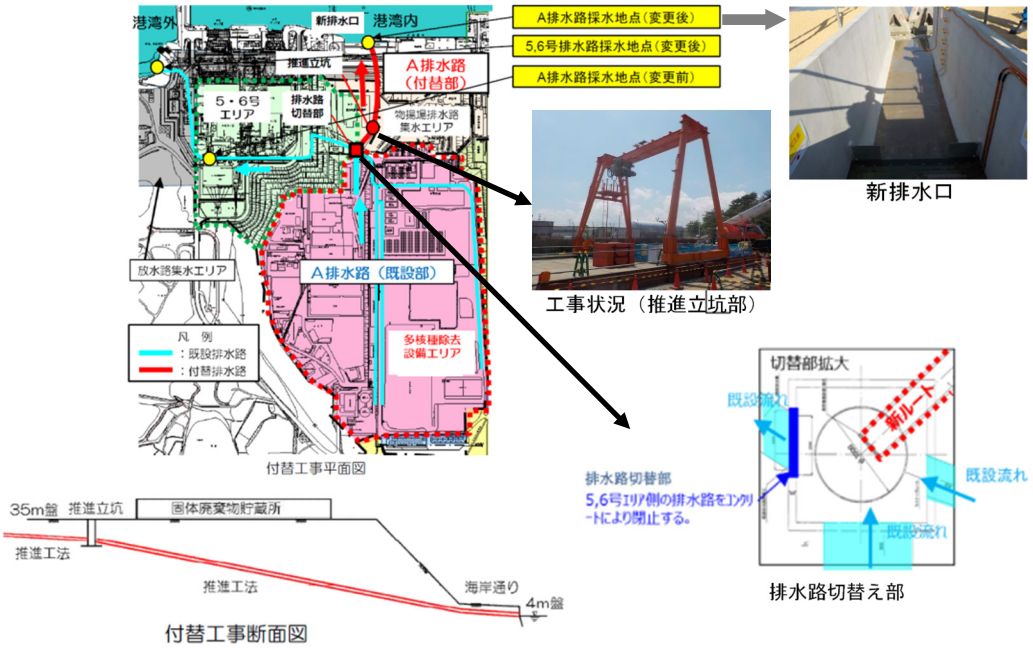


図 3-143　A 排水路の対策 3),4)より引用・一部改変

②B･C 排水路

タンクの漏えいによる汚染水の海域への流出リスクの高い B･C 排水路については，排水口の付替え，開渠部の暗渠化が行われた（図 3-144，図 3-145）。

また，排水路に電動ゲートを設置して排水路モニタリングを開始し，万一，タンクからの漏水が排水路に流入して放射能濃度が上昇した場合には，早期に検知して排水路内の水が港湾内に流出しない対策（排水路ゲート弁設置等）が実施された（図 3-146）。

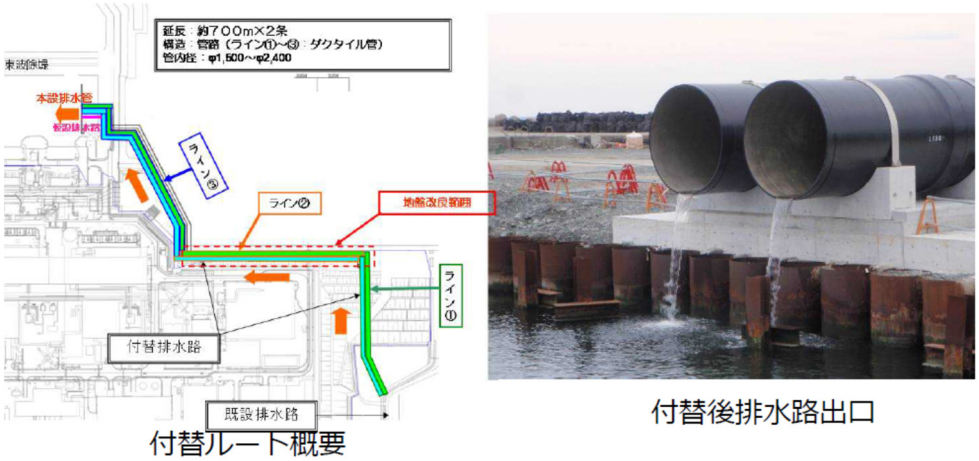


図 3-144　B・C 排水路の対策（排水口の付替え） 5)より引用

図 3-145　B・C 排水路の対策（H4 タンクエリア前の B 排水路暗渠化の例）6)より引用

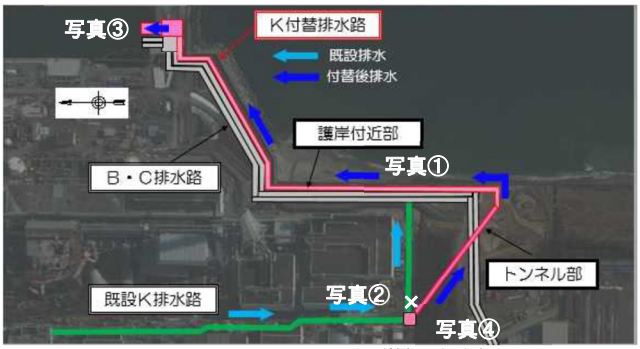
図 3-146　B・C 排水路の対策（排水路ゲート弁設置・電動化）5)より引用

③K 排水路

O.P.+10m 盤に立坑を設け，推進工法によるトンネルの設置と排水路を迂回させて港湾内に排水口を付替える工事が実施された（図 3-147）。

K 排水路については，除染や清掃等の進捗により 2014 年 12 月以降から排水口での濃度の低減傾向は認められたものの，その他の排水路（A，C，物揚場）に比べ濃度の高い状態が継続していた（図 3-148）。

K 排水路には，建屋の屋上や建屋周辺の道路等からの降雨が流入する枝排水路が接続されており，汚染された表流水や屋上の降雨等が直接 K 排水路に流入する構造となっている（図 3-149～図 3-151）。このため，K 排水路や枝排水路には浄化材（ゼオライト土嚢）を設置するとともに（図 3-152），施工が可能な屋根部についてはウレタン防水等の対策が実施された。



K排水路付替えルート図 5)より引用・一部改変

写真④トンネル部（推進）の状況 7)より引用

写真①付替え排水路 8)より引用

写真②止水壁 8)より引用

写真③排水路 8)より引用

図 3-147　K 排水路の対策

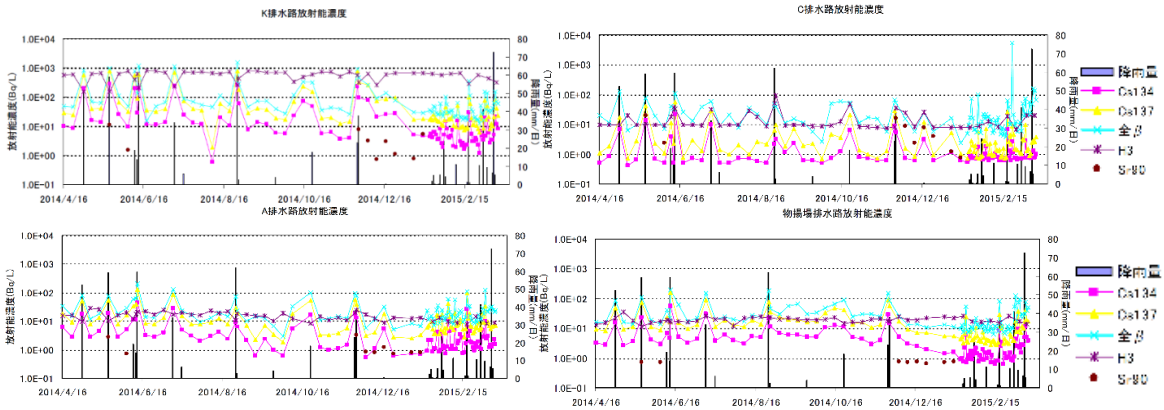


図 3-148　排水口の放射能濃度 9)より引用

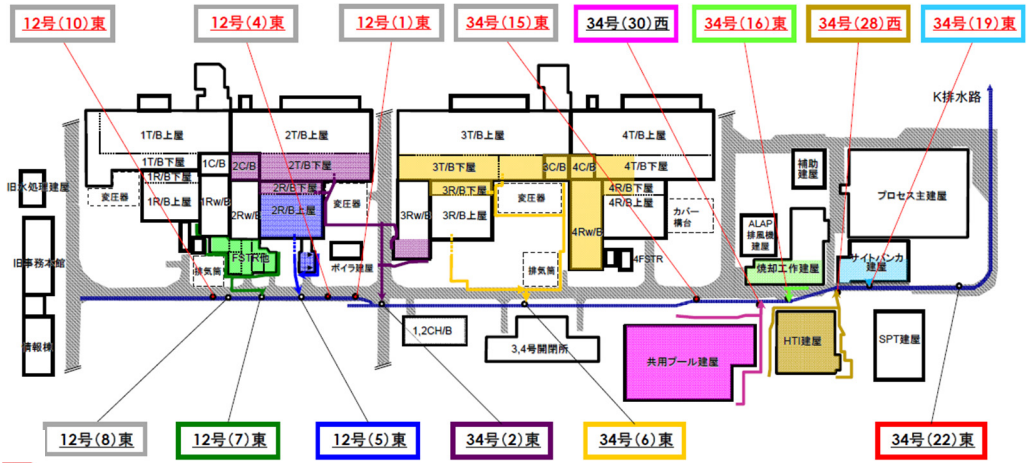
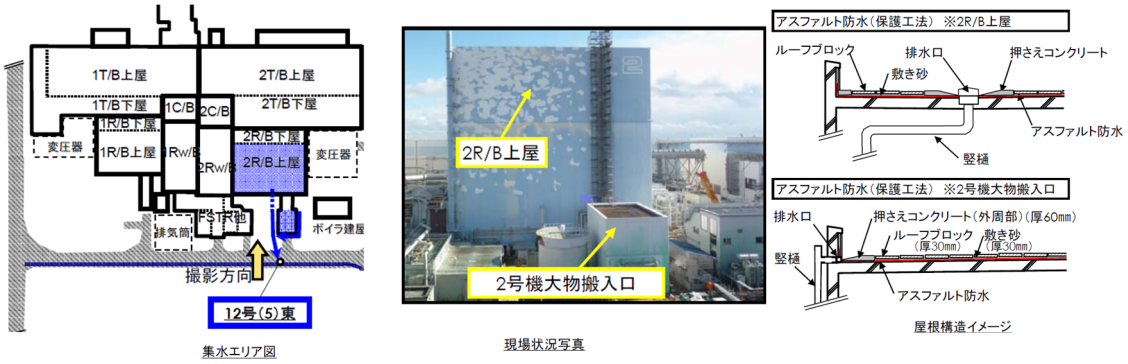


図 3-149　K 排水路周辺建屋からの主な枝排水路 10)より引用

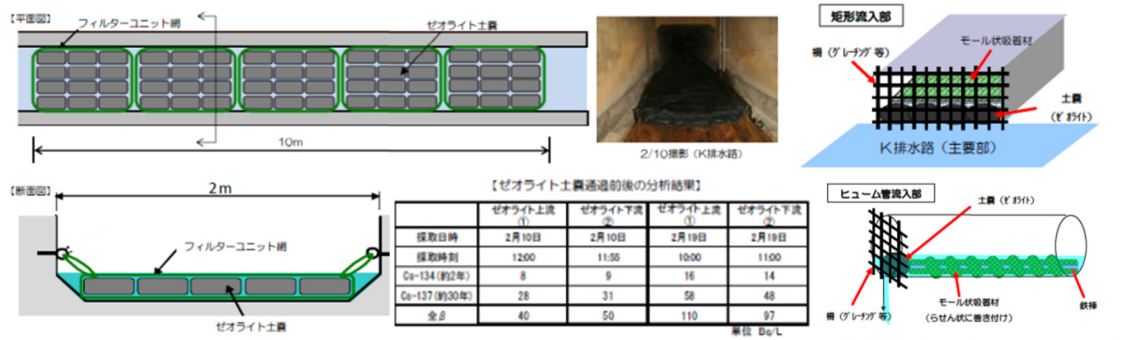


集水エリア図　　現場状況写真　　屋根構造イメージ

図 3-150　屋根からの降雨の流入の例 10)より引用

集水エリア図　　現場状況写真　　道路断面イメージ

図 3-151　道路部からの表流水の流入の例 10)より引用



K 排水路の浄化材設置　　枝排水路の浄化材設置方法

矩形部の浄化材設置例　　円筒部の浄化材設置例

図 3-152　K 排水路と枝排水路の浄化材設置状況 9)より引用

広域フェーシングの完成により降雨による敷地内の表流水は増加し，K 排水路及び B･C 排水路への流入量が増加する。このため，K 排水路の流域となっている地下水バイパスエリア，B･C 排水路の流域となっている西側エリアの表流水を新設排水路（北側ルート，南側ルート）に導水する流域変更が検討されている（図 3-153，図 3-154，図 3-155）。

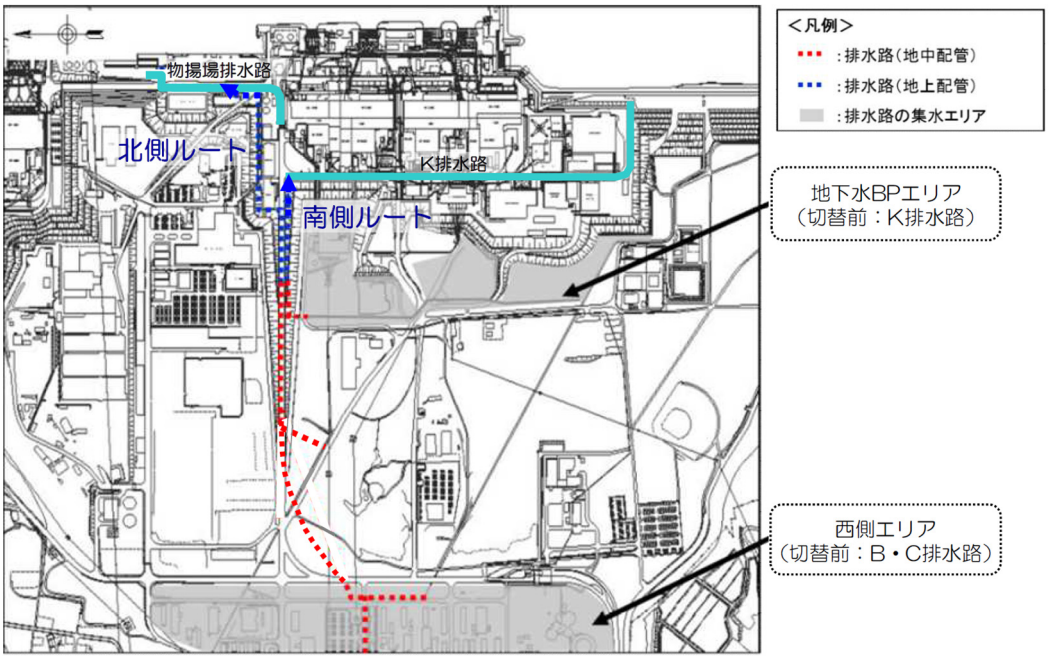


図 3-153　新設水路の計画案 8)より引用

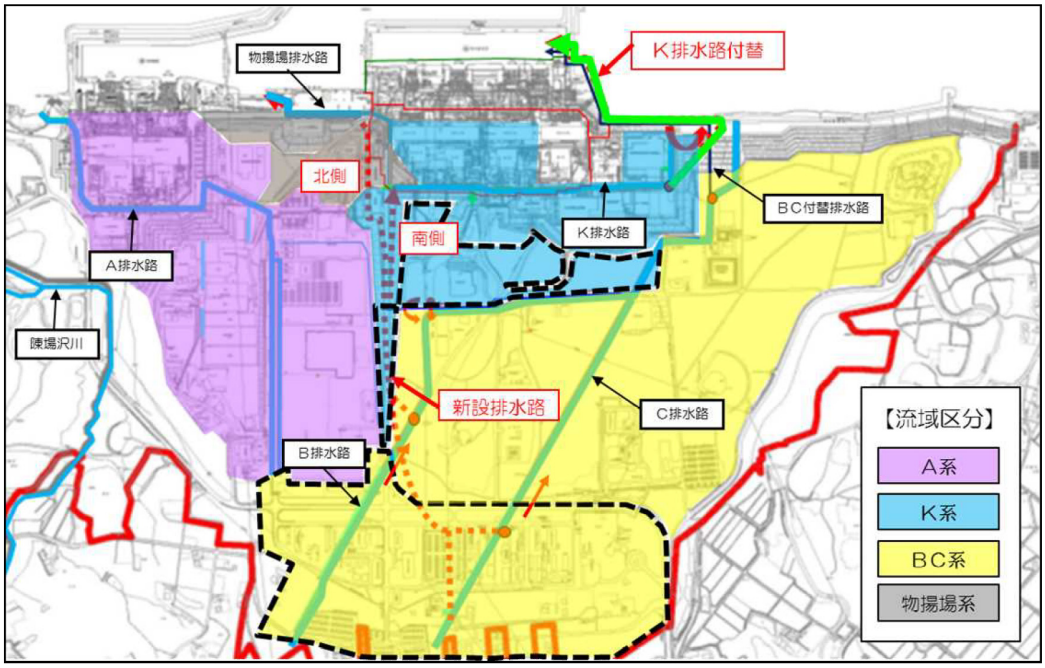


図 3-154　新設排水路設置前の流域変更案 8)より引用

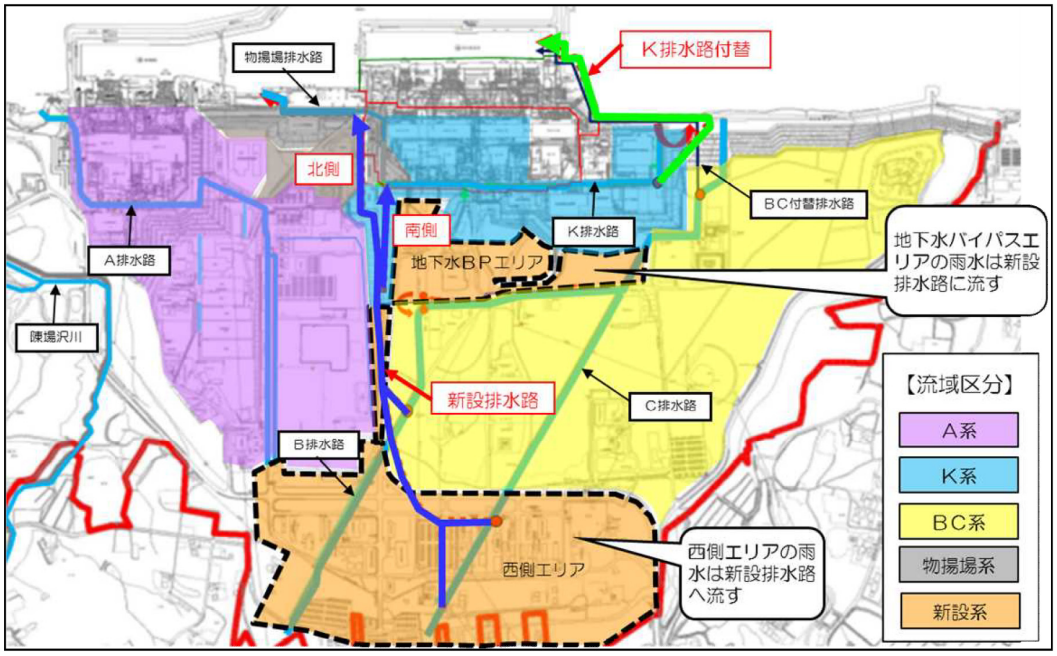


図 3-155　新設排水路設置後の流域変更案 8)より引用

参考文献

1)東京電力(2014)：排水路に関する調査と対策状況について，原子力規制委員会，特定原子力施設監視・評価検討会，汚染水対策検討ワーキンググループ（第 10 回），資料 4，平成 26 年 1 月 24 日，
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140124_02-j.pdf，2018 年 12 月 1 日掲載確認

2)東京電力（2015）：K 排水路の排水濃度低減対策状況について，原子力規制委員会，特定原子力施設監視・評価検討会（第 32 回），資料 2 ，2015 年 3 月 4 日，
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11451236/www.nsr.go.jp/data/000099113.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

3)東京電力（2017）：構内排水路の対策の進捗状況について，廃炉・汚染水対策現地調整会議（第 40 回），平成 29 年 7 月 27 日，
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2017/07/3-06-05.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

4)東京電力（2018）：福島第一原子力発電所 A 排水路付替工事の完了，２０１８年３月２６日，
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2018/images1/handouts_180326_03-j.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

5)東京電力(2017)：福島第一原子力発電所における汚染水対策の進捗状況～ ロードマップ改訂(2015 年 6 月)以降の進捗状況～，汚染水処理対策委員会（第 19 回），2017 年 7 月 7 日，資料 1 ，
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committtee/osensuisyori/2017/pdf/0707_01.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

6)東京電力（2015）：福島第一原子力発電所の現場改善状況，2015 年 1 月 7 日，
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150107/150107_01l.pdf ，2018 年 12 月 15 日掲載確認

7)東京電力（2015）：構内排水路の対策の進捗状況について（K 排水路対応状況），福島原子力発電所の廃炉に関する安全監視協議会（平成 27 年度第 8 回），福島県，2015 年 11 月 15 日，
https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/138844.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

8)東京電力（2016）：構内排水路の対策の進捗状況について（K 排水路対応状況），廃炉・汚染水対策現地調整会議（第 31 回）， 2016 年 3 月 31 日，
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2016/pdf/0331_3_6c.pdf、2018 年 12 月 10 日掲載確認

9)東京電力（2015）：K 排水路に関する調査と今後の対策について，原子力規制委員会，特定原子力施設監視・評価検討会（第 33 回），資料 2-1，2015 年 3 月 25 日，
https://www.nra.go.jp/data/000103416.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

10)東京電力（2015）：排水路の排水濃度低減対策状況について，原子力規制委員会，特定原子力施設監視・評価検討会（第 34 回），資料-4，2015 年 4 月 22 日，
https://www.nra.go.jp/data/000104668.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

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）

(a) 構内道路

(i) 目的

1 号機から 4 号機までの原子炉建屋周囲の道路において，無人化施工により津波や爆発で散乱したがれきの撤去を早急に進める。

(ii) 概要

事故から約 3 週間後の 2011 年 4 月 5 日には，発電所構内の旧事務本館付近で遠隔操作システムの試運転を実施し，翌日から本格的に作業を開始して 11 月初旬までに作業を完了した。

遠隔操作は 2 種類のシステムから構成され，「システム 1」は自走式の遠隔操作室からバックホウ 2 台とクローラーダンプ 1 台を無線で操作し，「システム 2」は遠隔操作室と中継局をケーブルで結び，中継局から無線でバックホウ 2 台とブルドーザー1 台，クローラーダンプ 2 台を操作する（図 3-156，図 3-157）。

1 日の作業は午前と午後の 2 班体制で実施し，防護服を着たオペレーターが遠隔操作室で 3 時間ずつ作業を行う。

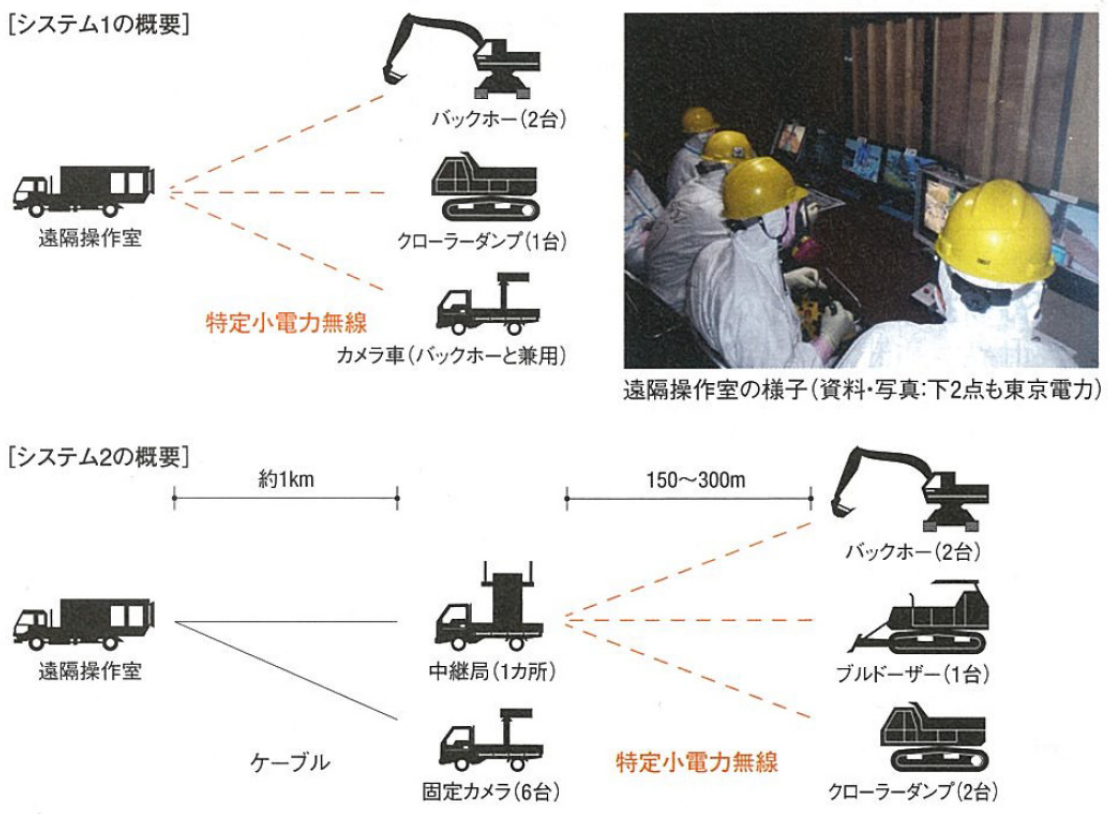


図 3-156　システム概念図 [1)より引用]

バックホウでがれきを運び，クローラ―ダ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）

図 3-157　無人化施工の状況 1)より引用・一部改変

(iii) 特徴

長時間の高放射線環境下では，重機を制御する半導体が壊れるため，万一，作動しなくなると重機自体が障害物となる懸念があった。しかし，半導体などの耐放射線性や防護対策を解決するための基準などは見当たらなかった。そこで，半導体の耐放射線性に関する情報などから（例えば，対災害ロボティクス・タスクフォース 2)），γ線の累積線量 が 100Sv（100,000mSv）程度で劣化することを目安とした。現場の線量を 20mSv／h と見積もり作業時間を 4 時間とすると，1 日の重機の被ばく量は 80mSv となるため，短期間なら重機を防護しなくても問題ないと判断された。なお，遠隔操作室の周囲には，オペレーターの保護（放射線からの遮へい）のため鉛毛マットを貼付した。

(iv) 課題等

・発電所構内では数十台の重機が無線で動いているため，混信を起こさないように周波数を割り当てる調整作業が課題であった。現状は，各施工会社が独自にシステムを組んで対応したが，複数の重機を使用する大規模災害に備え，重機を後から追加しても現場を止めずに現場を拡大できるように接続仕様の標準化を進める必要がある。

・オペレーターの確保に苦労したことから，経験者が未経験者を指導しながら遠隔操作を習得させ人員を確保していく必要がある。

(b) 3 号機建屋

(i) 目的

重機の遠隔操作の無人化施工により，3 号機原子炉建屋のがれき撤去や原子炉建屋の付属建物の解体を行う。

(ii) 概要

2011 年 4 月に工事の大まかな方向性を定め，5～7 月の約 3 ヶ月間で準備が進められた。

無人化施工のポイントは，施工計画に見合う重機 10 台の遠隔操作を可能にする通信システムの構築であった。構築したシステムは，建屋から 500m ほど離れた免振重要棟に遠隔操作室と現場に 4 つの通信基地局を設置して，その間を光ケーブルで接続するこ

とで，通信基地局を介して重機に操作信号を無線か有線で送信するシステムである。

無線での遠隔操作は 429MHz 帯特定小電力無線を使用し，4 つの通信基地局のうち 2 つに取り付けた発信機から信号を送信した。重機が構台の上で稼働する際には，構台の上に取り付けた別の発信機で送信する（図 3-158）。さらに，固定カメラからの映像データの受信も行った。

2011 年 9 月中旬には，3 号機原子炉建屋のがれき撤去や原子炉建屋の付属建物の解体が，圧砕用アタッチメントを取り付けた 100t クラスの解体重機，ならびに 600t クローラークレーンをはじめとする合計 10 台の遠隔操作により開始された。このうち 600t クローラークレーン 2 台は，バケットなどを取り付けてがれき撤去に用いた他，建屋上部で解体重機が作業する際に必要となる構台の設置に用いられた。解体重機は 100t クラスが 1 台，50t クラスが 3 台設置され，小割りにしたがれきは，2 台のバックホウ（バケット容量 1.4m^3）でクローラーダンプ 2 台に積み込み保管場所へ運搬した（図 3-159）。

2013 年 10 月に無人化施工による 3 号機原子炉建屋上部の撤去が終了し，同年 12 月から使用済燃料プール内に飛散したがれきの撤去を開始した（図 3-160）。2014 年 4 月からは，プールに落下した燃料取り出し機（数 10 体の燃料棒をプール内で輸送容器（キャスク）に移動させるための設備）の撤去を 600t クレーン 2 台により開始した。

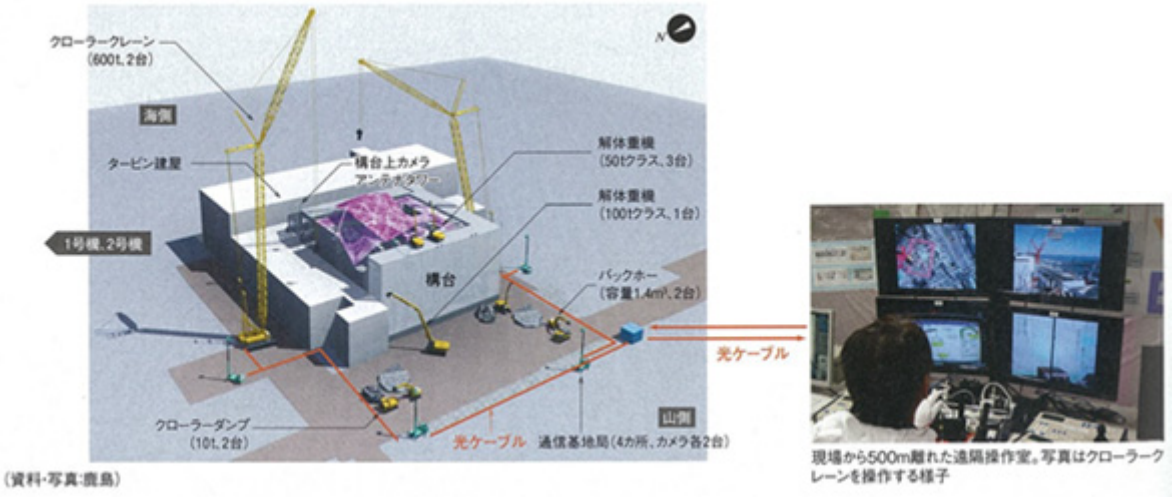


図 3-158　がれき撤去と付属建屋解体イメージ [1)より引用]

橋台の上に重機を上げてター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を撤去する様子

図 3-159　施工状況 1)より引用

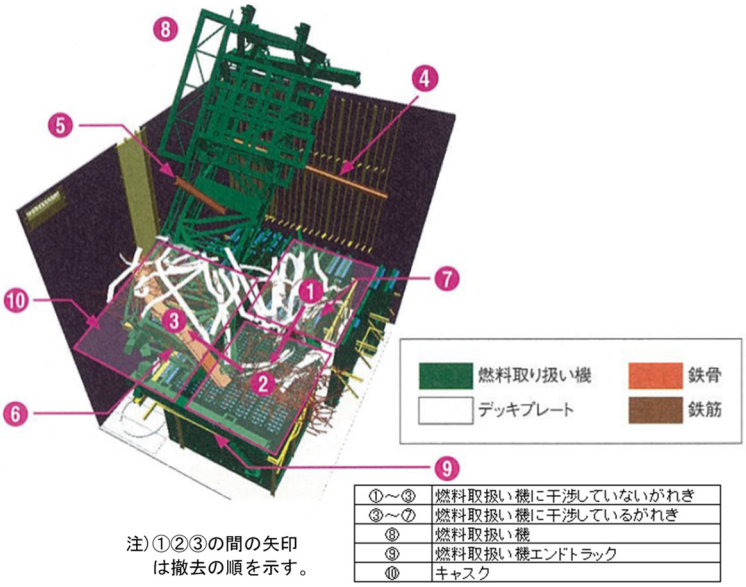


図 3-160　使用済燃料プール内のがれきの位置 3)より引用

(iii) 特徴

・3 号機は爆発の規模が他号機に比べて大きく周囲の放射線量も高かったため，有人では，日当たり 30 分～1 時間程度の作業しかできない環境であった。無人化施工の採用により，現場から離れた 5 μ Sv／h 程度の低線量（防護服は不要）の操作室内での作業となり長時間の作業が可能となった。

・遠隔操作室と施工現場でやり取りする「操作」と「映像」の 2 系列のデータのうち，特に重要な「映像」は，操作席からの眺めだけでなく対象物までの距離や重機の傾き，周辺の状況などを把握するために複数の視点を設け，16 台の固定カメラと重機 1 台につき 3 台のカメラを搭載し，現場の状況をくまなく確認できるようにした。

・映像を遅延なく送らなければ重機の操作に支障を来す懸念があった。そこで，操作信号よりも通信量が圧倒的に多い映像データを重機の位置に関係なく安定して送るため，出力や通信容量が大きい 5GHz 帯無線 LAN と，複数のアクセスポイントが無線で通信し合いながらネットワークを構成するメッシュ型無線 LAN をそれぞれ採用した。システムの信頼性を確認するために都内の現場で実証試験を実施し，2011 年 8 月から構内で準備を開始して翌月から本格的な撤去作業を開始した。

・重機への放射線による影響は，照射試験による影響調査で必要な箇所を鉛で防護するなどの対策を施した。さらに，建屋周囲の構台上は放射線量が高く有人で給油するのが難しいことから，給油を無人化する装置を開発した。

・過去の災害復旧では，バックホウによる単純な掘削作業などの土工事が多いのに対し，本工事では，がれきの撤去や建屋の解体など「挟む」，「切る」といった複雑な操作が求められた。このため，現場のより詳細な状況を操作室に伝えるため，映像以外の重機内外の音をマイクで拾い，視覚以外の情報を操作室で聞き取れるようにした。

(iv) 課題等

一般的に重機の確保にはクレーンで発注から約 1 年，解体用重機は約半年かかる。本工事で必要な合計 10 台のうち，9 台は建機メーカー2 社が専用に製作して 3 ヶ月で確保ができたが，大規模災害で多数の重機が同時に必要になる場合があることから，重機の確保についての対策が今後必要となる。

(c) 3 号機（搬送の自動化）

(i) 目的

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自動で搬送し，遠隔操作により定置する。

(ii) 概要

3 号機のがれき撤去に伴い，2014 年 1 月末時点で表面線量率が 30mSv／h 未満のがれき合計 13,000m^3，30mSv／h 以上の高線量がれき合計 875m^3 を搬出した [3)]。

がれきの搬送は作業員の被ばく線量の低減と作業効率の向上のため，約 30 分の搬送時間を要する 3 号機から約 1km 離れた固体廃棄物貯蔵庫までを（図 3-161），クローラーダンプ（全長 6m，幅 3.5m，重量 11t；図 3-162）による自動搬送で実施した。なお，搬送経路の道路幅は最小 5m，カーブが 4 ヶ所，傾斜 15%の斜路がある。

貯蔵庫前では，コンテナを定格荷重 8.5t のフォークリフト（幅 2.4m：図 3-163）に遠隔操作で積み替える。フォークリフトは，コンテナを落とさないように後ろ向きにスロープを下って貯蔵庫の地下に潜り，施設内で切り返して幅 5.8m の通路を正面を向いて走行し，所定の位置へ到着させコンテナを定置して入口まで戻る。搬送時間は約 45 分，距離は往復で約 800m である。

一連の作業のうち積み込みや積み替え，積み下ろしは遠隔操作で行われたが，それ以外の道路上と貯蔵庫内の搬送は「自動化」されている。2 台のダンプと 1 台のフォークリフトで，1 日（夜間）に最大 8 箱のコンテナが搬送された。

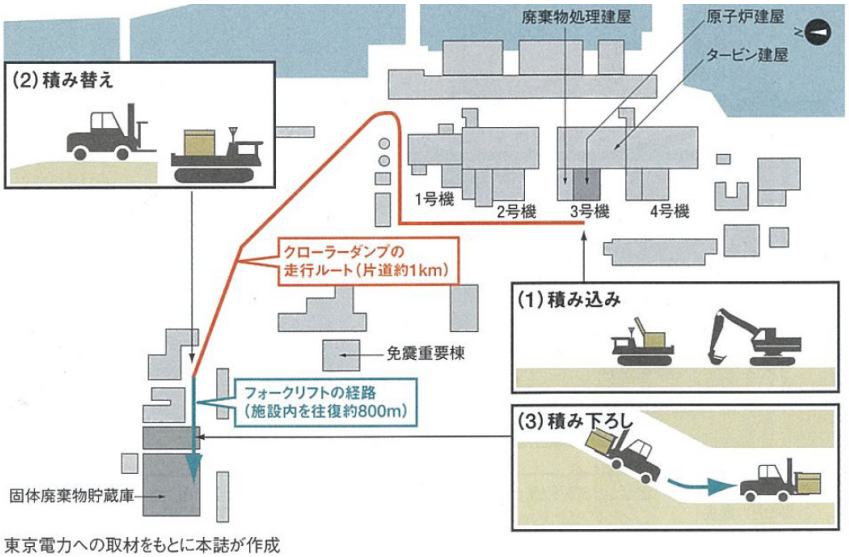


図 3-161　3 号機で撤去した高線量がれきの搬送ルート [3)より引用]

図 3-162　クローラーダンプ自動走行システム 3)より引用

図 3-163　フォークリフト自動走行システム 3)より引用

(iii) 特徴

・自動化の特徴は機械が自分で周囲の状況を判断し走行・停止すること，障害物を検知して衝突を回避すること等である。

・屋外を走るダンプは GPS や制御用コンピュータなどを搭載し，走行開始を指示すると，事前に設定しておいた経路を自分の位置情報と照らし合わせながら進む。進路の凹凸や傾斜などの影響で設定したルートを一定以上外れると，旋回して方向を修正し自ら元の経路に戻ることが可能である。

・以前は約 30m 先を走る先導車から目視で遠隔操作していたが，高線量がれきの搬送は夜間に限定されていたため，暗くてダンプが見えにくく操作に支障があったが，被ばくする恐れがあるので近づけなかった。自動化により操作の必要がなくなり，約 100m 先の先導車からカメラで監視するだけとなったため，被ばく線量を 1／10 程度に低減することができた。

・フォークリフトは地下を走るため GPS が使えず，また，工場等で使う電磁誘導方式の搬送車も信号線を埋設する工事が必要なため，貯蔵庫内で使用することはできない。このため，位置・姿勢計測技術を適用して，車体の前後左右に合計 4 台のレーザースキャナーを取り付け，周囲の壁面の形状を計測しながら，事前にインプットした貯蔵庫内の配置図と形状を照合して，位置や姿勢を把握して走行するシステムが採用された。

・無人化では貯蔵庫内をカメラの映像だけを頼りに遠隔操作しなければならず，ミスによる事故や作業の遅れ等のリスクがあったが，自動化によって安全で効率の良い走行が可能となった（図 3-164）。

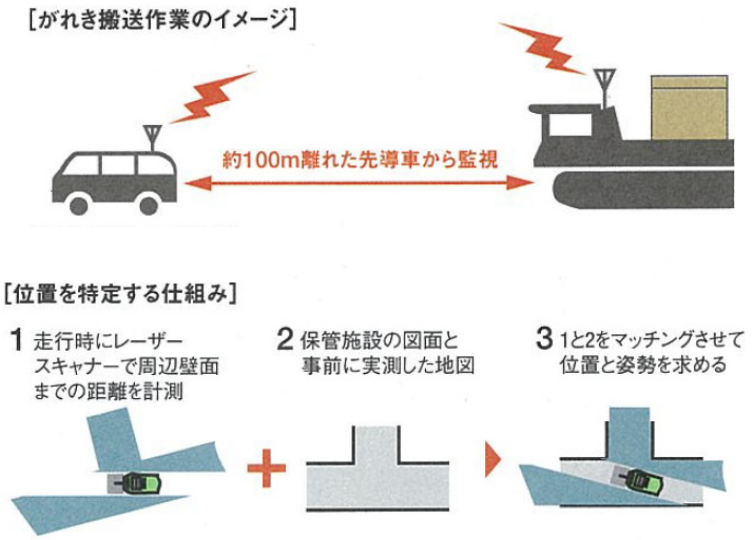


図 3-164　自動走行のイメージ [3)より引用]

(d) オペレーションフロア

(i) 目的

遠隔操作によりオペレーションフロア（以下,「オペフロ」）上のがれきを撤去した後，有人作業ができるようにオペフロ上に厚板鉄板等を敷設して放射線量の低減を図る。

(ii) 概要

がれき撤去工事は，オペフロ上の屋根トラス，RC 躯体，天井クレーンなどの大型がれきに対して，600 トンクローラクレーンに性状に応じた解体アタッチメントを取り付けて遠隔操作で行われた（図 3-165）。

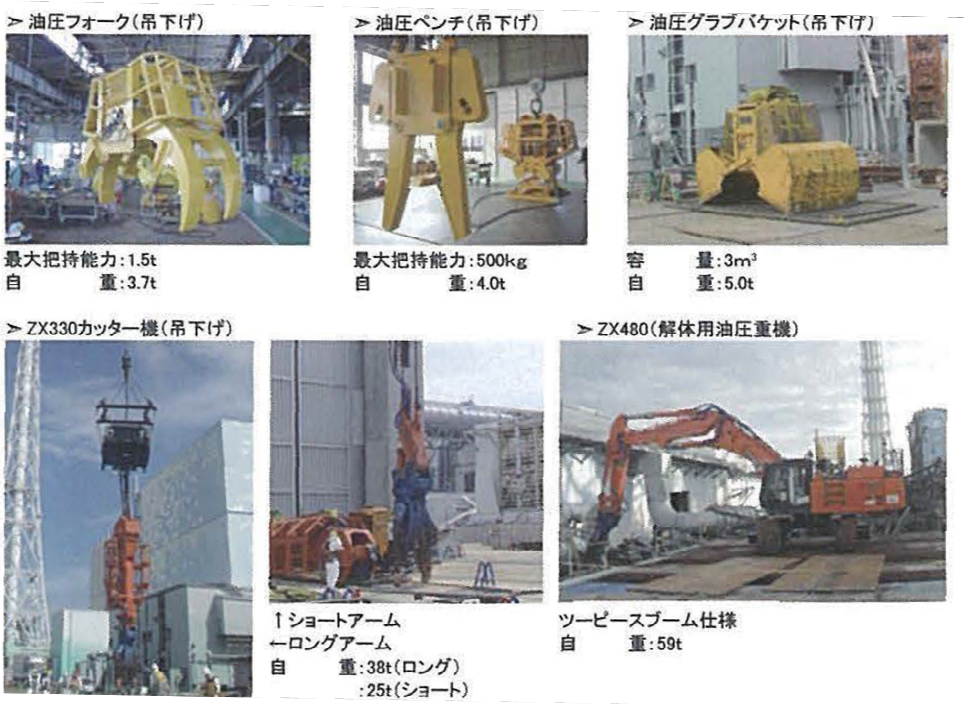


図 3-165　解体アタッチメント・解体重機 [4)より引用]

がれき撤去後，オペフロ床の損傷状況に応じて遠隔操作式除染装置を使い分け，オペフロ床を斫って削り取り，がれきを集めて集積・撤去し，さらに小さいがれきは吸引などにより取り除き放射線量の低減を図った（図 3-166）。なお，3 号機のオペフロでは，使用済み燃料貯蔵プール（SFP）周囲のがれき撤去にあたって，がれきの飛来・落下を防ぐために鋼製養生を設置した。

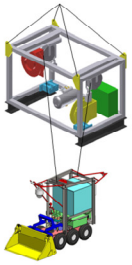
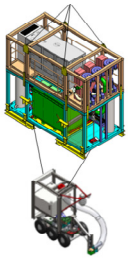
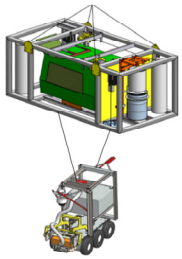
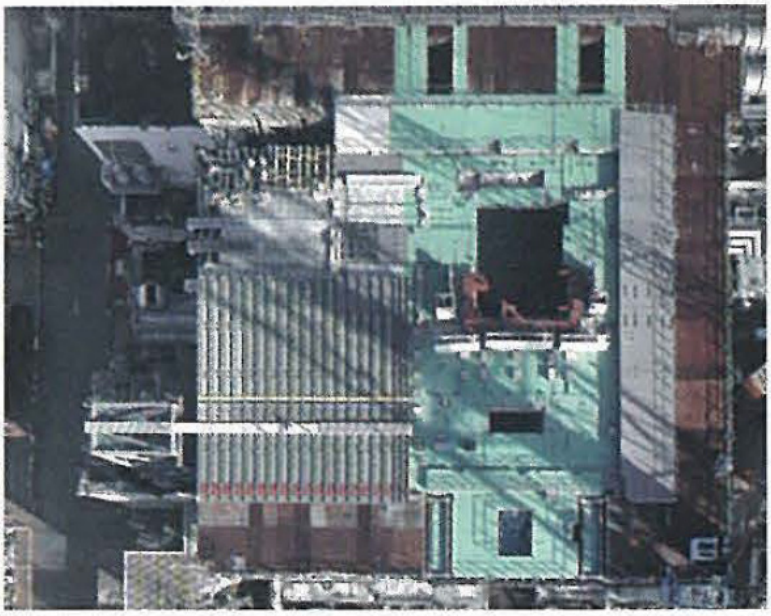
除染方法	①集積	②吸引	③吸引	④機械式はつり	⑤高圧水はつり	⑥泡除染
外観						
除染機能	バケットでは回収できない小型瓦礫の集積	小型瓦礫および粉塵の吸引	②の代替機	躯体健全箇所の表層はつり	躯体不健全箇所の表層はつり	酸性泡剤にキレート剤を含ませた除染剤を散布して錆部を溶解し、セシウムを除去
除染能力	集積最大重量 300kg 自走式(20㎥/h)	吸引瓦礫最大径 100mm 自走式(10㎥/h)	吸引瓦礫最大径100mm 定置式	はつり最大厚1.6mm 自走式(3㎡/h)	はつり最大厚5.0mm 定置式	

図 3-166　除染機器 5)より引用

遮へい工事に関しては，がれき撤去による除染完了後に有人作業が行える環境を整えるため，遠隔操作によりオペフロ上を厚板鉄板等で覆った（図 3-167，図 3-168）。

敷設にあたっては，オペフロ躯体の損傷状況に応じた許容耐力，オペフロ上の線量環境，有人作業の有無でオペフロを工区分けし，各工区の要求遮へい性能を満たすように遮へい体の種類や遮へい板厚を設計して施工を行った（図 3-168）。



(遮へい体の種類は図 3-168 を参照)

図 3-167　遮へい体の設置状況（2016 年 12 月 12 日）[4]より引用・一部改変

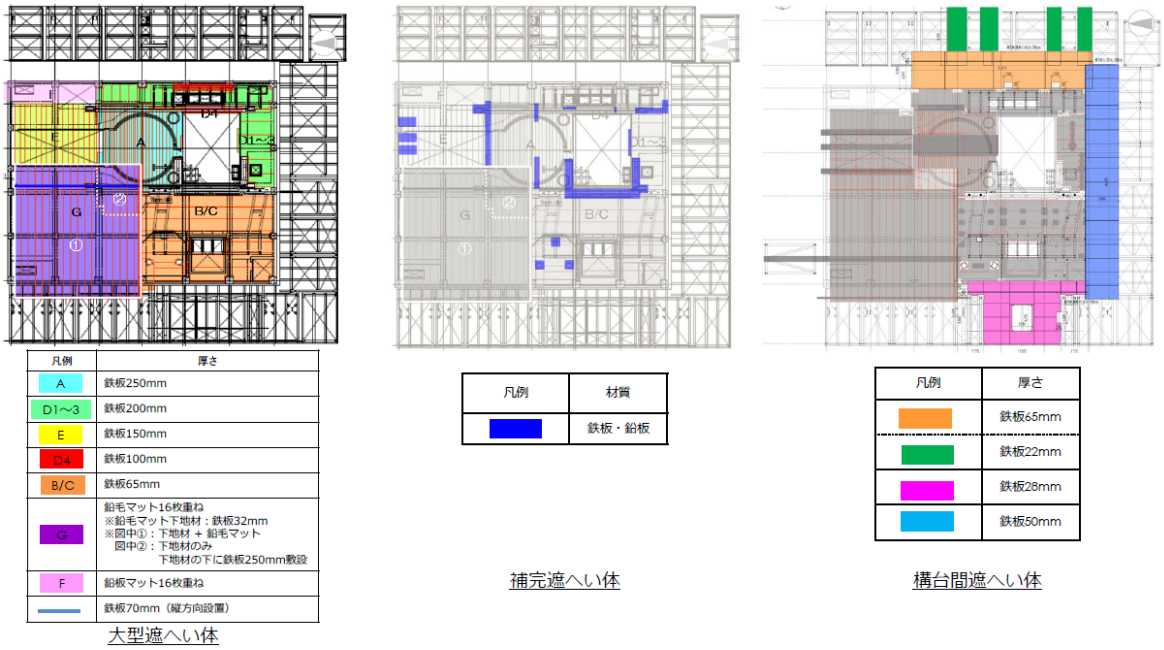


図 3-168　遮へい体の種類と厚さ [5]より引用

(iii) 特徴

オペフロ上であることから，クレーンに取り付けたアタッチメントによりがれきの解体・撤去が実施された。また，放射線量の低減のための斫りと吸引，厚板鉄板の敷設などは遠隔操作で実施した。

(iv) 課題等

作業が完了するまでに 30 か月以上の期間を要した。時間を要した最大の要因は，放射線が“見えない，触れない，匂いもない”という人間が感じることができない物質であるため，場所ごとの線量測定に時間を要し（図 3-169），γカメラによる測定も時間がかかった（図 3-170）。測定時間短縮のため，リアルタイムで線量を測定できる技術の開発が今後必要である。

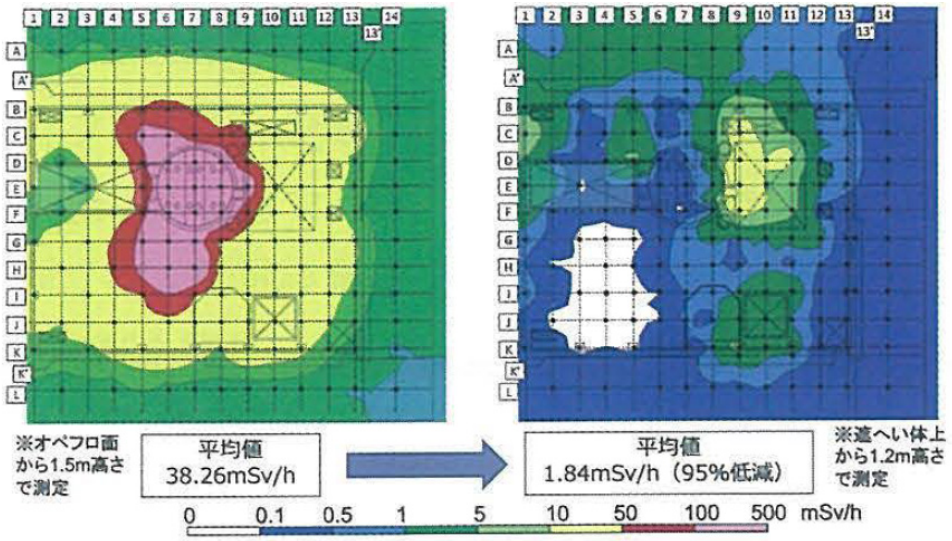


図 3-169　線量測定結果 4)より引用

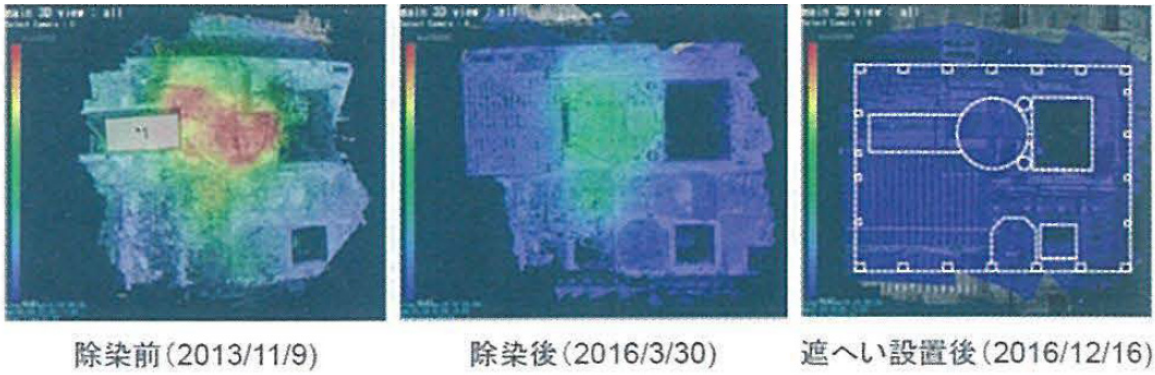


図 3-170　γカメラ撮影状況 4)より引用

参考文献

1)日経コンストラクション(2012)：無人化施工，再起動，雲仙発の“虎の子”技術がさらなる進化へ， 2012 年 6 月 25 日号

2)対災害ロボティクス・タスクフォース，リモートコントロール化プロジェクトチーム(2014)：「汎用重機やロボットにおける耐放射線評価と管理方法の基本的な考え方 第 1 版」，2014 年 4 月 27 日，https://roboticstaskforce.files.wordpress.com/2011/05/20110427-rcpt-radiation.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

3)日経コンストラクション(2014)：土木が挑む「原発事故」がれき撤去や汚染水対策を支える建設技術，2014 年 3 月 24 日号

4)菊池 淳, 加藤 和宏(2017)：3 号機原子炉建屋上部瓦礫撤去・除染遮へい工事施工実績及びカバー工事施工試験 －福島第一原子力発電所 3 号機原子炉建屋燃料取り出し用カバー工事－, 土木施工, Vol.58, No.3, オフィス・スペース

5)東京電力(2016)：福島第一原子力発電所 3 号機原子力建屋使用済み燃料プールからの燃料取り出しに向けたオペレーティングフロアの線量低減について, 原子力規制委員会, 特定原子力施設監視・評価検討会(第 48 回), 資料 1, 2016 年 11 月 18 日, https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11451236/www.nsr.go.jp/data/000170568.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

(2) がれきの一時保管

事故直後からの復旧工事等に伴い回収した金属，土砂，伐採木などのがれき類は，表面線量率や材質（金属，土砂，伐採木，コンクリート等）によって可能な限り分別して一時保管が行われた（表 3-24）。保管エリア，保管形態及び保管量（2018 年 10 月 31 日現在）は図 3-171 に示すとおりで，事故直後から回収したがれき類は，敷地北側を中心に野外集積が行われていたため，敷地境界の空間線量は高い状態が継続していた。このため，敷地境界の空間線量を 1mSv／y 以下にする様々な工夫が行われてきた。

固体廃棄物の保管・管理については，「4. 固体廃棄物の合理的な安定保管・管理技術」で情報の取りまとめを行っているが，本節では，保管形態のうち「覆土式一時保管」及び「伐採木の一時保管」に関する情報の取りまとめを行った。

表 3-24　がれき類の保管の考え方と一時保管方法 [1]より引用

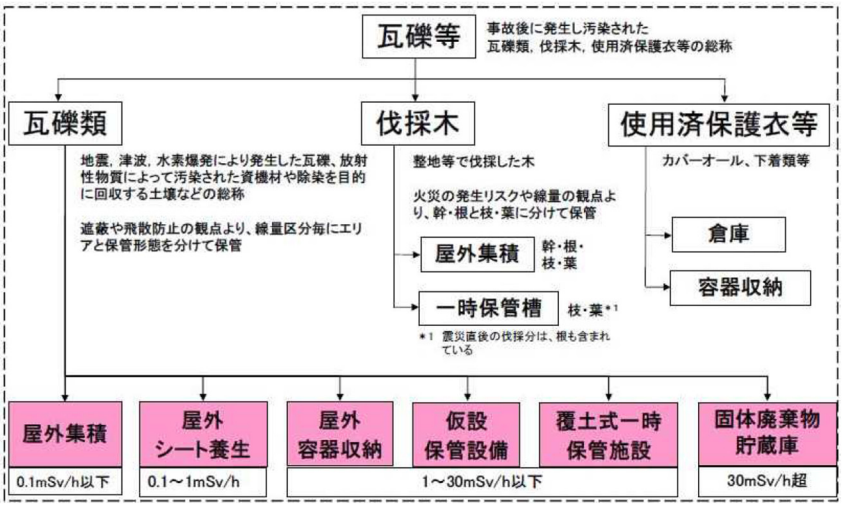


図 3-171　がれき一時保管の概要 [2]より引用

(a) 覆土式一時保管

覆土式一時保管は，保管エリアAの仮設保管設備（がれき類保管テント，図 3-171）に保管されていた線量率の高いがれき類（1mSv／h～30mSv／h）を対象として，覆土による遮へい効果により敷地境界線量の低減を図るもので，約 4,000m^3／槽の施設が 4 槽設置された。

仮設保管設備から覆土式一時保管施設へのがれきの移送によりテント保管が解消され，敷地北側境界線量は約 6.0mSv／y から約 0.1mSv／y に低減した [1)]。

覆土式一時保管施設は幅約 18m，長さ約 40m の規模（図 3-172）で，止水・遮へい構造の詳細を図 3-173 に示す。

沈下防止のためにトレンチ式に掘り込んだ底部を地盤改良し，底部からの汚染水の浸出を防止するためのベントナイトシート，高密度ポリエチレン製遮水シート，その上にがれき類から遮水シートを保護する改良保護土を設置した。

上部は雨水の流入を防止する遮水シートとシートを保護する緩衝材や保護材（保護シート，保護土），遮へいのための 1m 以上の厚さの遮へい材（覆土），さらに，最上部には台風などの大雨に対する雨水等の流入，遮へい材（覆土）の洗掘防止を目的とした養生シートから構成されている。

降雨に対する対策は，底面に勾配を設けて集水するとともに，集水箇所に観測孔を設けることで溜まり水の有無の確認と回収が行えるようにしている。また，万一，雨水が浸入した場合にも，観測孔から溜まり水を回収して水位を地表面より低く保つことで，地表への流出が発生しない構造とした。

図 3-172　覆土式一時保管施設の完成状況 [3)より引用]

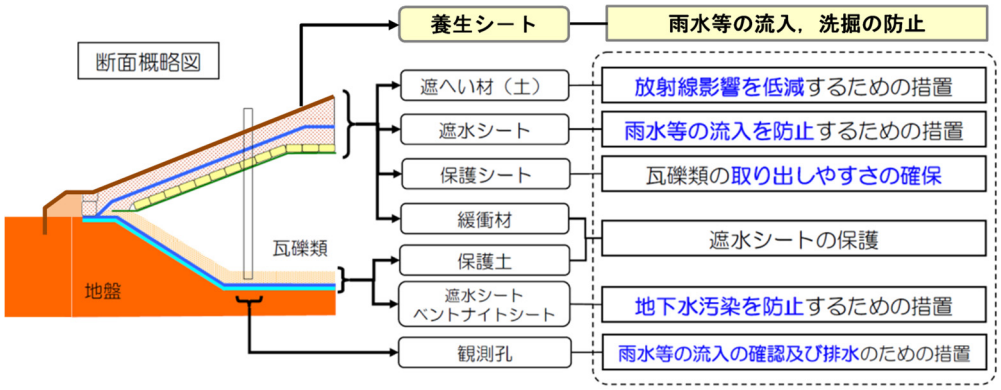


図 3-173　止水，遮へい構造の詳細 3)より引用・一部改変

施工手順を図 3-174 に示す。作業員の被ばくを抑制し，かつ効率良く収容するため，あらかじめテント式の保管施設内で無人化施工機械による減容化（高線量がれきの減容化システム）が行われた。また，保管施設への収容は，「無人化施工機械による高線量がれき収容システム」を構築し，収容がれきの集積は重量物を底部に定置し，小さな金属類・コンクリートがれきは大きな金属類の空隙に充填させ，金属類の鋭利な面を底面・法面に向けて置かない等の工夫が行われた（図 3-175）。

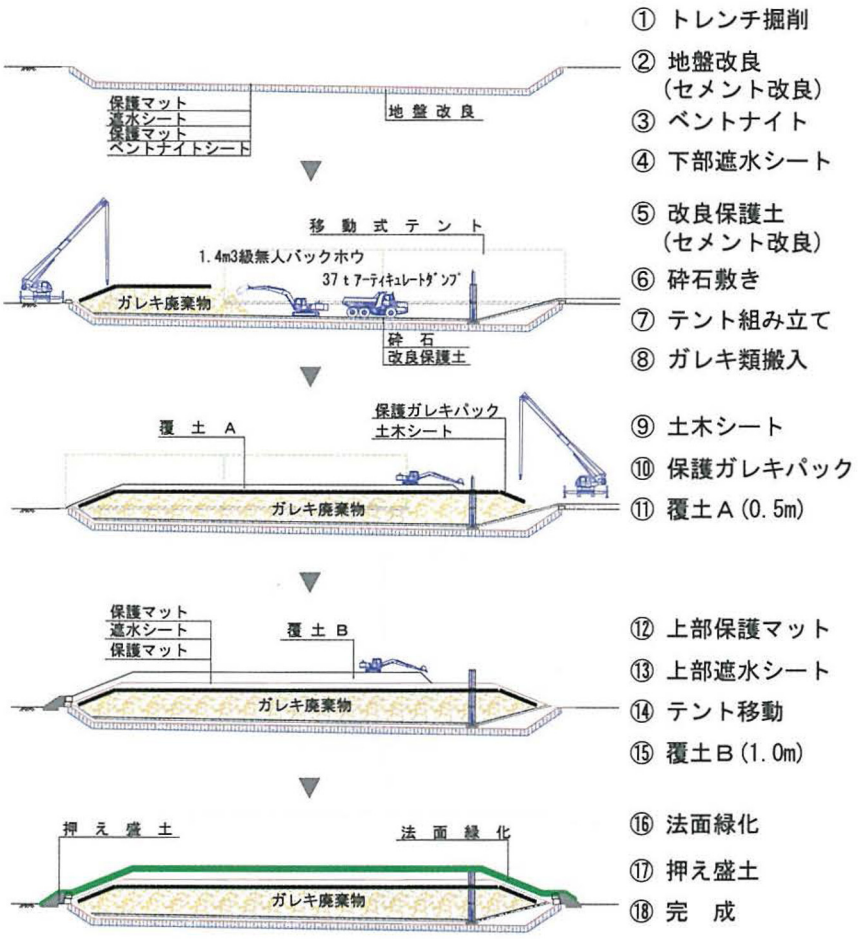


図 3-174　覆土式一時保管の施工手順 4)より引用

無人化機械操作状況

高線量ガレキ収容状況

図 3-175　無人化施工機械による施工 4)より引用

(b) 伐採木の一時保管

除染や造成工事等で発生した伐採木の一時保管は，屋外集積と一時保管槽で行われた。

伐採木（幹，根）を積み上げて保管する屋外集積の状況を図 3-176 に示す。野外集積では，積み上げ高さの制限，温度計や消防水槽の設置，散水による自然発火の防止対策が施された。

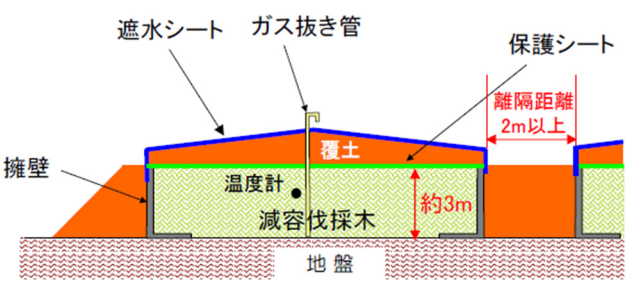
防火水槽の設置

温度計等の設置

図 3-176　伐採木の野外集積状況 5)より引用

一時保管槽は，チップ化により減容化した伐採木（枝葉等）を対象とした施設で，擁壁等により保管庫を設置して，保護シート，遮水シートで覆う構造で覆土により遮へい機能を確保している（図 3-177）。

一時保管槽についても自然発火の防止のため，ガス抜き管を設置するとともに，保管槽内部の温度・ガスの監視や防火水槽の設置等の対策が行われた（図 3-178）。



一時保管槽の構造 6)より引用

一時保管槽の設置状況 5)より引用

図 3-177　伐採木の一時保管槽

図 3-178　伐採木の一時保管槽の状況 5)より引用

参考文献

1)東京電力（2018）: 東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画，2018 年 6 月版，2018 年 6 月 28 日，
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2018/07/3-4-4.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

2)東京電力(2018)：がれき類・伐採木・使用済保護衣等の管理状況（2018.10.31 時点），資料 3-4　個別分野毎の検討・実施状況，2018 年 11 月 29 日，廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議、（第 67 回），
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2019/06/190627-3-4-2.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

3)東京電力（2013）：福島第一原子力発電所覆土式一時保管施設の増設について，平成 25 年 12 月 11 日，
http://www.tepco.co.jp/news/2013/images/131211c.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

4)斎藤　紳逸，錦　辰太郎，長嶋　淳一郎（2017）: 廃棄物施設の無人化施工と敷地造成工事－高線量ガレキによる被ばく低減とドローンによる土工事の合理化施工－，土木施工，Vol.58，No.3，オフィス・スペース

5)福島県(2018)：福島第一原子力発電所現地確認報告書，平成 30 年 8 月 27 日，
http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/288757.pdf，　2018 年 12 月 10 日掲載確認

6)東京電力（2012）:『福島第一原子力発電所第 1～4 号機に対する「中期的安全確保の考え方」に基づく施設運営計画に係る報告書』の変更内容について，伐採木一時保管槽の設置，平成 24 年 10 月 19 日，
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_121019_03-j.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

(3) 固体廃棄物貯蔵施設の敷地造成

東京電力は，2029 年度下期までのがれき等の発生量を約 770,000m^3（2018 年 3 月までの保管実績：約 430,000m^3，2030 年 3 月までの発生予測：約 340,000m^3）と予測して，可能な限り焼却・減容処理した後，固体廃棄物貯蔵施設等へ保管し（図 3-179），2028 年度までには，がれき等の屋外一時保管を解消することとしている [1]。

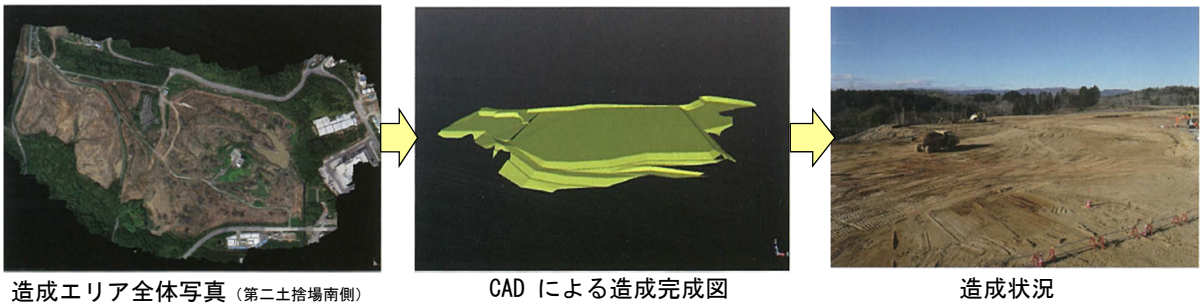
固体廃棄物貯蔵施設は敷地北側（第二土捨場南側）に設置する計画で，敷地面積は約 20,000m^2，切盛土量は約 350,000m^3 の大規模な敷地造成を行う [3]。

敷地造成の計画や設計（土工事数量の把握等）は，縦・横断測量により従来は実施されてきたが，造成エリアは広大で，かつエリア内には伐採木を仮置きしているため，従来方法では時間を要し，これに伴う作業員の被ばく量も増加するといった課題があった。このため，ドローンによる空中測量を活用した設計・施工が採用された（図 3-180）。

固体廃棄物貯蔵施設計画地点（第二土捨場南側）[1]より引用・一部改変

固体廃棄物貯蔵施設設置イメージ [2]より引用・一部改変

図 3-179　固体廃棄物貯蔵施設の計画



造成エリア全体写真（第二土捨場南側）　CAD による造成完成図　造成状況

図 3-180　ドローンによる空中測量，設計，施工 [3]より引用・一部改変

参考文献

1)東京電力(2018):東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画 2018 年 6 月版, 2018 年 6 月 28 日, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2018/07/3-4-4.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

2)東京電力(2016):福島第一原子力発電所廃棄物関連設備及び施設の新・増設について, 第 46 回(平成 28 年度第 5 回)廃炉安全監視協議会及び平成 28 年度第 1 回福島県原子力発電所安全確保技術検討会, 添付 2, 平成 28 年 9 月 1 日, https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/181922.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

3)斎藤　紳逸, 錦　辰太郎, 長嶋　淳一郎 (2017) : 廃棄物施設の無人化施工と敷地造成工事－高線量ガレキによる被ばく低減とドローンによる土工事の合理化施工－, 土木施工, Vol.58, No.3, オフィス・スペース

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

福島第一原子力発電所事故で発生した固体廃棄物は，IRID（技術研究組合 国際廃炉研究開発機構）により図 4-1 のように整理された[1)]。

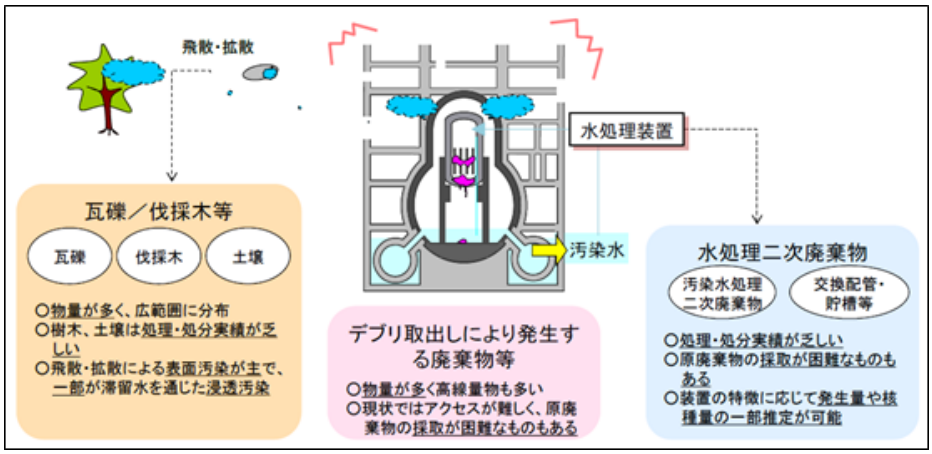


図 4-1　福島第一原子力発電所事故で発生した廃棄物 [1)より引用]

(2) 安定保管・管理の対象廃棄物

国は 2015 年の中長期ロードマップにおいて，「当面 10 年程度に発生する固体廃棄物の物量予測を行い，固体廃棄物の発生抑制と減容を図った上で，一時保管エリアにおける保管や遮へい・飛散抑制機能を備えた施設の計画的な導入，継続的なモニタリングによる適正な保管を前提とした保管管理計画を 2015 年度内に策定する」よう定めた[2)]。

これを受けて東京電力は「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 3 月 31 日）」[3)] を策定した。保管管理計画は「年に 1 回発生量予測の見直しを行い，適宜保管管理計画を更新する」との考えに基づき，2018 年末までに 2017 年 6 月[4)]，2018 年 6 月に改定版[5)] が作成された。

保管管理計画[3)] では，固体廃棄物を①～③に分類した。

①がれき等（がれき類，伐採木，使用済保護衣等）

②水処理二次廃棄物（吸着塔類，廃スラッジ，濃縮廃液）

③放射性固体廃棄物（事故以前から発電所に保管廃棄されていたもの）

ここで③については「ドラム缶に収納した固体廃棄物や給水加熱器等大型廃棄物は固体廃棄物貯蔵庫において保管しており，また使用済制御棒等はサイトバンカ等において保管している。いずれも事故前に設置した施設の中で保管しており，引き続き適切に管理していく」との方針を示し，事故により新たに保管・管理が必要となった廃棄物（①，②）とは区別して保管管理することとされた。

また，将来発生する次の廃棄物は，保管管理計画[4)] の発生量予測の対象外とされた。

・燃料デブリ（臨界等を考慮した管理が必要となるため）。
・燃料デブリ取り出し時に発生する燃料デブリと区別可能な「がれき等」（燃料デブリ取り出し方針を踏まえて検討するため）。
・その他，将来「がれき等」が発生することが予想される工事で，保管管理計画作成時点で発生量予測に未計上の工事に伴う廃棄物（計画が具体化した段階で反映）。

4.2 がれき等の保管・管理

4.2.1 目的

福島第一原子力発電所の安定化と廃炉工程の推進に伴い集積された「がれき等」を将来の処理・処分まで安定的に保管管理するため，「がれき等」は放射性物質の拡散（飛散，漏洩）と被ばく線量の抑制（隔離，遮へい）が可能な保管施設に収容する。また，直ちに保管施設に収容できない場合は，まず一時保管施設に収容し，より一層のリスク低減を目指して保管施設に集約して一時保管を解消していく。

4.2.2 概要

(1) がれき等の種類

保管管理計画[3)]では，固体廃棄物のうち「がれき等」を「がれき類」，「伐採木」，「使用済保護衣等」に分類した（表 4-1）。

表 4-1　がれき等の種類[3)]を基に作成

名称		対象物	備考
がれき等	がれき類	地震，津波，水素爆発により発生したがれき 放射性物質によって汚染された資機材 除染を目的に回収する土壌　等	一時保管において，表面線量率ごとに区分する
	伐採木	整地等で伐採した木	
	使用済保護衣等	カバーオール，下着類　等	

(2) がれき等の発生量と今後の発生予測

(a) がれき類・伐採木・使用保護衣等の管理状況と保管量の推移

廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議が毎月開催され，その場で東京電力から最新の管理状況とこれまでの推移が報告された。

2018 年 9 月 30 日時点での管理状況と保管量の推移[6)]を表 4-2，図 4-2，図 4-3 に示す。

表 4-2　がれき類・伐採木・使用保護衣等の管理状況（その 1）[6)より引用]

瓦礫類・伐採木・使用済保護衣等の管理状況（2018.9.30 時点）

	分類	保管場所	保管方法	エリア境界空間線量率（mSv/h）	保管量		前回報告比※1（2018.9.27）		変動※2理由	エリア占有率	保管量※3／保管容量（割合）	トピックス
瓦礫類	屋外集積（0.1mSv/h以下）	B	屋外集積	0.01未満	3,000	m³	微増	m³	—	92％	182400／250700（73%）	・フランジタンク解体片 2018年9月末時点でコンテナ819基保管。 エリアP1コンテナ数：622基　（2015年6月15日～） エリアAAコンテナ数：197基　（2018年3月15日～）
		C	屋外集積	0.01未満	62,700	m³	+400	m³	①	99％		
		F2	屋外集積	0.01未満	6,400	m³	0	m³	—	85％		
		J	屋外集積	0.01	4,300	m³	0	m³	—	53％		
		N	屋外集積	0.01未満	4,500	m³	0	m³	—	45％		
		O	屋外集積	0.01未満	43,500	m³	0	m³	—	85％		
		P1	屋外集積	0.01未満	48,300	m³	-600	m³	①②	75％		
		U	屋外集積	0.01未満	700	m³	0	m³	—	100％		
		V	屋外集積	0.01	2,400	m³	+400	m³	①③④	41％		
		AA	屋外集積	0.01未満	6,500	m³	+2,100	m³	①⑤	18％		
	シート養生（0.1～1mSv/h）	D	シート養生	0.01未満	2,600	m³	0	m³	—	58％	38200／71000（54%）	・エリアWでの車両解体（プレス等）完了。（2018年1月）
		E1	シート養生	0.02	14,000	m³	0	m³	—	88％		
		P2	シート養生	0.01	5,500	m³	微増	m³	—	62％		
		W	シート養生	0.03	8,100	m³	微増	m³	—	28％		
		X	シート養生	0.01	7,900	m³	0	m³	—	65％		
	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	0.01未満	16,000	m³	0	m³	—	100％	19100／31700（60%）	・主な瓦礫類は、1～3号機工事等で発生した瓦礫類。 ・覆土式4槽の受入開始に伴い、保管容量（4,000m3）増加。（2018年5月）
		A	仮設保管設備	0.14	1,000	m³	0	m³	—	14％		
		E2	容器※4	0.02	300	m³	0	m³	—	19％		
		F1	容器	0.01未満	600	m³	0	m³	—	99％		
		Q	容器	0.04	1,100	m³	-200	m³	⑥	19％		
	固体廃棄物貯蔵庫	固体廃棄物貯蔵庫	容器※4	0.01	10,500	m³	+500	m³	①⑦	23%	10500／45600（23%）	・主な瓦礫類は、1～3号機工事等で発生した瓦礫類。 ・固体廃棄物貯蔵庫9棟の運用開始に伴い、保管容量（33,600m3）増加。（2018年2月）
合計（ガレキ）					249,900	m³	+2,600	m³	—	63％		
伐採木	屋外集積（幹・根・枝・葉）	G	屋外集積	0.01未満	25,200	m³	0	m³	—	63％	96600／134000（72%）	
		H	屋外集積	0.01未満	31,700	m³	0	m³	—	74％		
		M	屋外集積	0.01未満	39,600	m³	0	m³	—	88％		
		V	屋外集積	0.01	100	m³	0	m³	—	2％		
	一時保管槽（枝・葉）	G	伐採木一時保管槽	0.01未満	26,200	m³	0	m³	—	88％	37300／41600（90%）	
		T	伐採木一時保管槽	0.01未満	11,100	m³	0	m³	—	94％		
合計（伐採木）					133,900	m³	0	m³	—	76％		
保護衣	屋外集積		容器	0.04	56,300	m³	-400	m³	⑧	79％	56300／71200（79%）	・使用済保護衣等焼却量　4562t（2018年9月末実績） ・焼却灰（プラスト材含む）のドラム缶数　1005本（2018年9月末実績）
合計（使用済保護衣等）					56,300	m³	-400	m³	—	79％		

※1　100m³未満を端数処理しており、微増・微減とは100m³未満の増減を示す。
※2　主な変動理由：①タンク関連工事　②一時保管エリアAAへ瓦礫の移動　③構内一般廃棄物保管　④1-4号機建屋関連工事　⑤一時保管エリアP1から瓦礫の移動
⑥瓦礫を固体庫に移動　⑦一時保管エリアQからの移動　⑧焼却運転

※3　端数処理で100m³未満を四捨五入しているため、合計値が合わないことがある。
※4　水処理二次廃棄物（小型フィルタ等）を含む。

図 4-2　がれき類・伐採木・使用保護衣等の管理状況（その 2）[6)より引用]

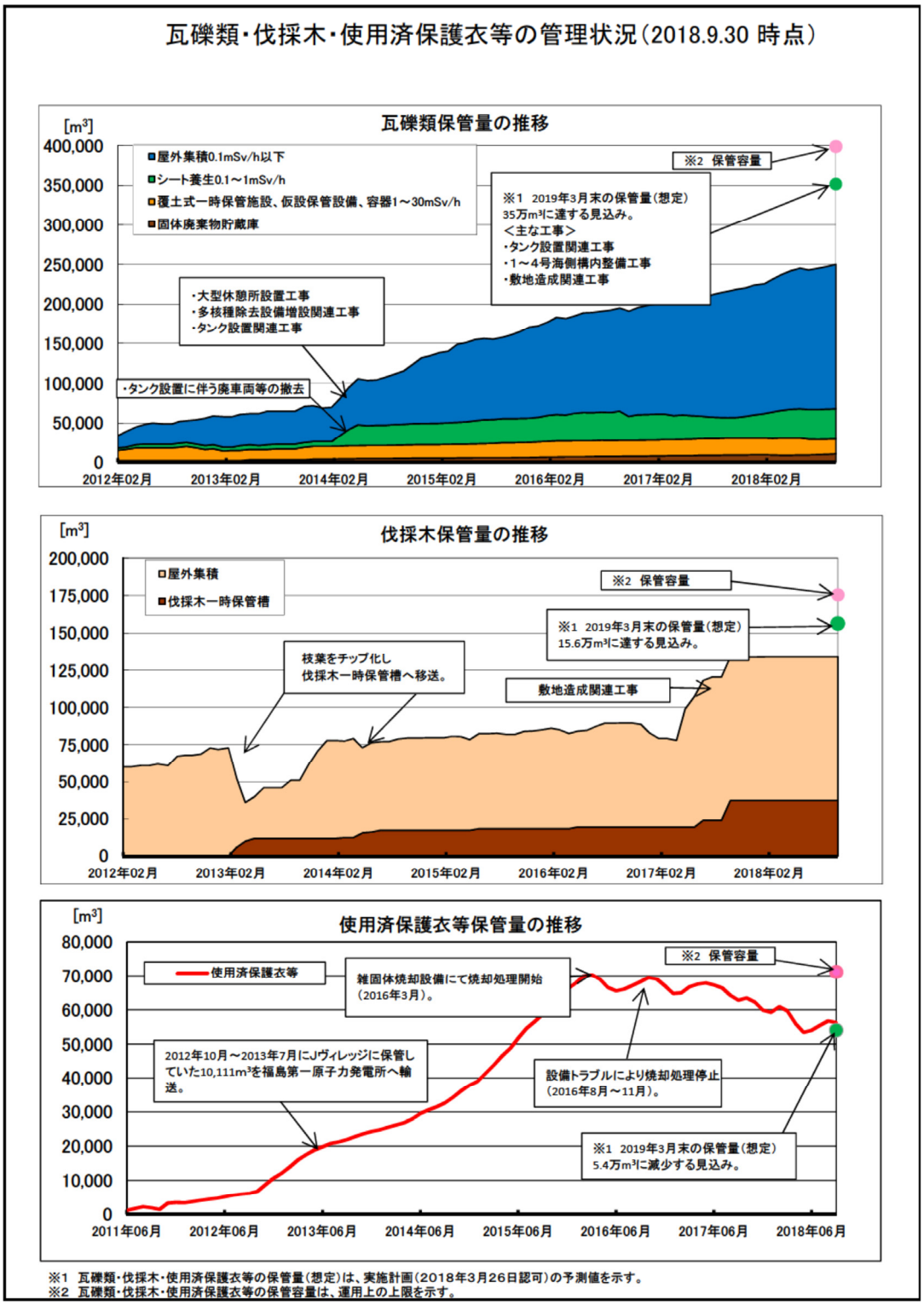


図 4-3　がれき類・伐採木・使用保護衣等の管理状況（その 3）[6)より引用]

(b) 将来の発生予測

がれき等の将来の発生量予測が保管管理計画に示された（図 4-4）。なお，がれき等の発生予測には，表 4-3 に示す工事で発生が予測されるものも含まれている。

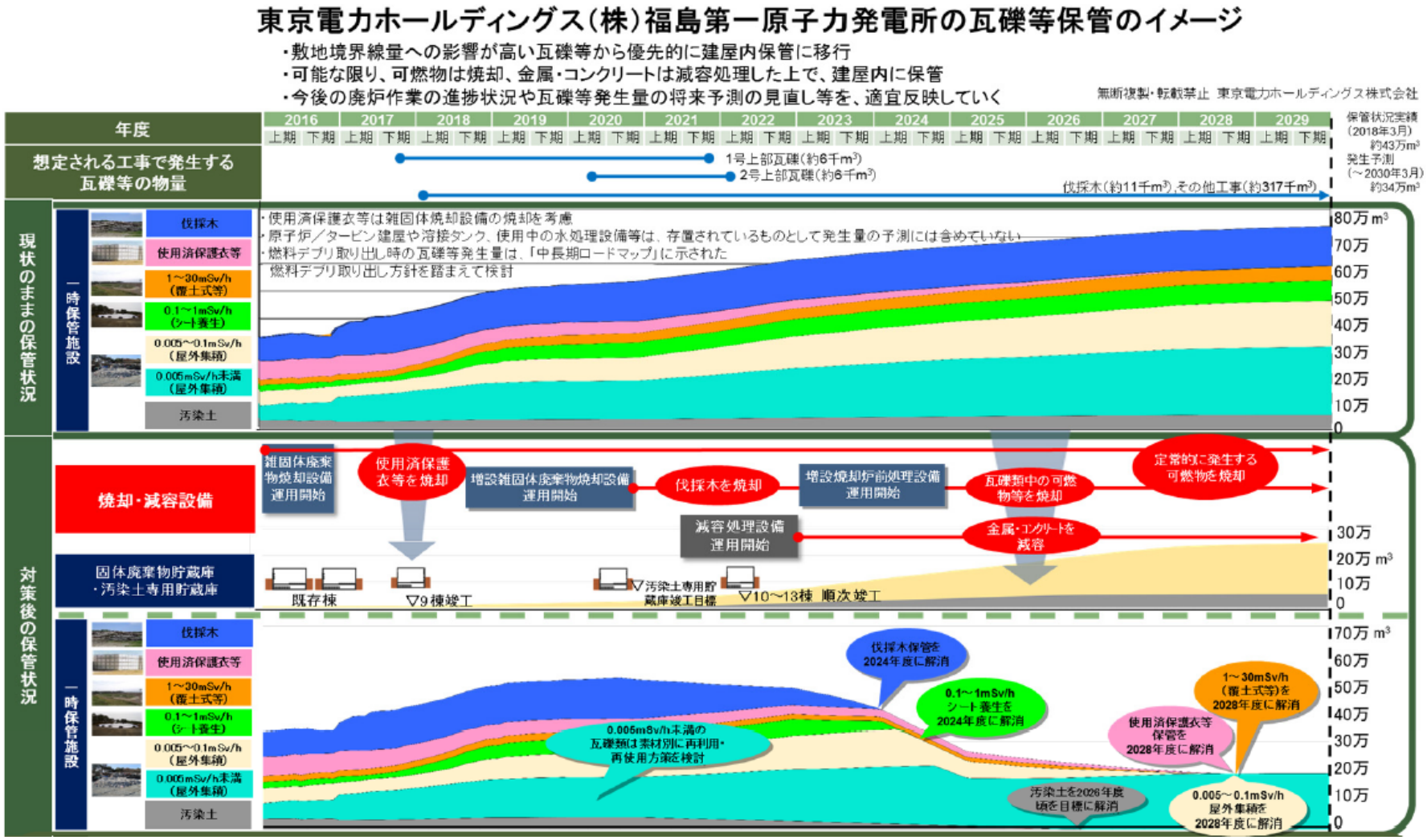


図 4-4　がれき類等の発生量予測 5)より引用・一部改変

表 4-3　がれき等の発生予測に含まれる工事 4)より引用

定例工事・環境改善工事	施設・設備の解体・撤去
水処理設備保守工事	フランジタンク解体
・ポンプ取替、電気計装品交換処理、弁点検	1/2 号機瓦礫撤去
日常管理業務	1,3,4 号機燃料取り出し用カバー解体
・放射線測定	1/2 号機排気筒・3/4 号機排気筒・ALAP*排気筒解体
・構内排水路清掃	蒸発濃縮装置解体
・施設点検修理	1/2 号機超高圧開閉所解体
環境改善工事	旧事務本館等解体
・1～4 号海側瓦礫撤去	企業棟解体
・建屋屋上の汚染瓦礫撤去	地下貯水槽
	高性能容器（HIC）
	燃料デブリ取り出し準備工事

*) ALAP：As Low As Practical

上記の工事及び解体・撤去する施設・設備は、中長期の「瓦礫等」の発生量を試算するために想定したものであり、変わり得る

2018 年 6 月時点では将来の発生量予測に未計上であるが，将来更なる「がれき等」が発生することが予想される工事として以下の工事があげられた。これらについては，計画が具体化され，当面 10 年程度に撤去される可能性となった段階で，順次将来の発生量予測へ反映することとされた 4)。

・原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋，コントロール建屋，廃棄物集中処理建屋，共用プール，高温焼却炉建屋等の撤去（デブリ取り出し以降となり，当面 10 年以降と考えられるため）。
・多核種除去設備（ALPS）等使用中の水処理設備の撤去（現在使用されており，撤去は当面 10 年以降となると考えられるため）。
・溶接タンクの撤去（撤去時期が見通せないため）。
・新事務本館や重要免震棟等は，今後も使用する建屋と考えられるため。
・燃料デブリ取り出し時に発生する燃料デブリと区別可能な「がれき等」（「中長期ロードマップ」に示された燃料デブリ取り出し方針を踏まえて検討するため）。

(3) 保管・管理の方法

(a) 保管・管理のフロー

がれき等の種類に応じた保管施設を図 4-5 に，保管したがれき等の現状と今後の保管・管理のフローを図 4-6 に示す。

がれき類，伐採木はともに量が多いため，保管管理計画 4) において表面線量率が 30mSv／h 超の「がれき類」は固体廃棄物貯蔵庫に収容するが，その他（30mSv／h 以下の「がれき類」，「伐採木」及び「使用済保護衣等」）については，固体廃棄物貯蔵庫外の一時保管エリアで保管することとされた。

なお一時保管エリアで保管しているものについては，より一層のリスク低減をめざして，可能な限り減容した上で建屋内保管へ集約し，固体廃棄物貯蔵庫外の一時保管エリアを解消していく方針も併せて示された。

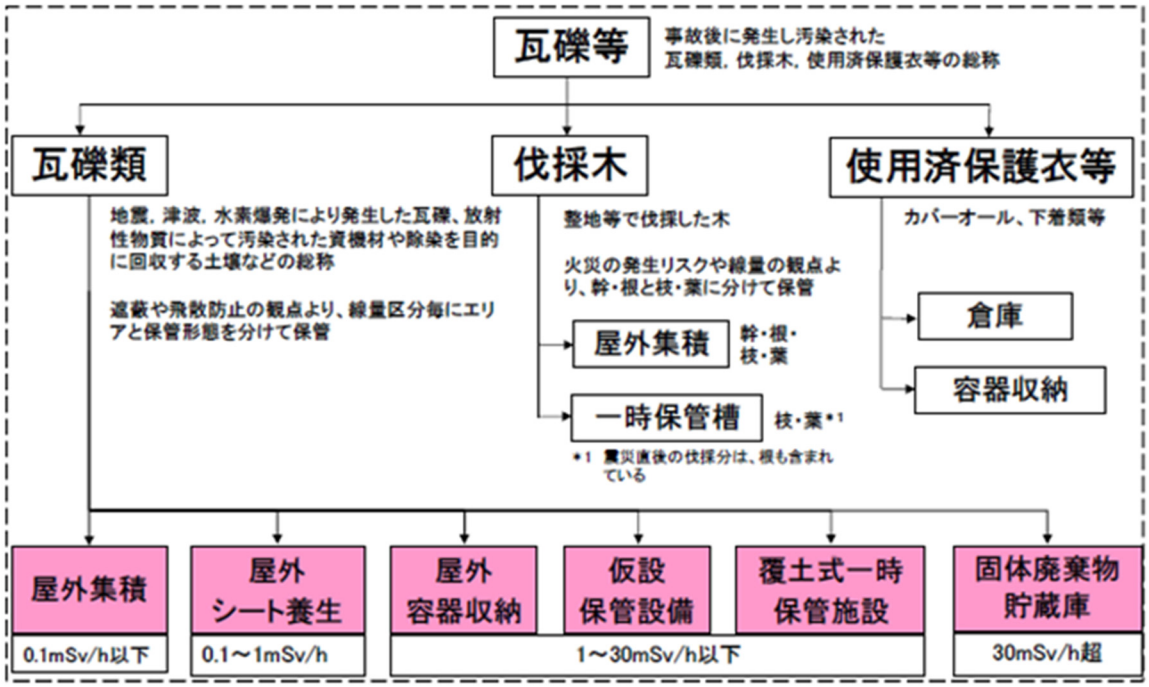


図 4-5　がれき等の種類と保管施設 4)より引用

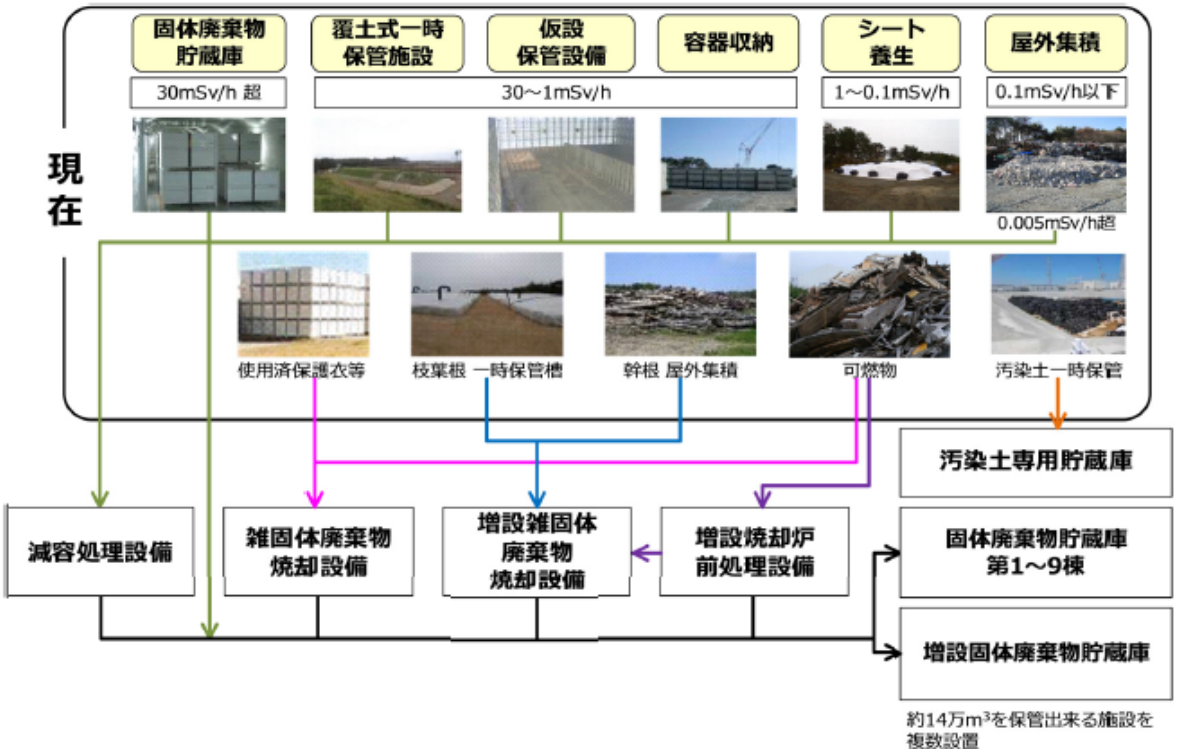


図 4-6　保管したがれき等の現状と今後の保管・管理のフロー4)より引用

(b) 一時保管

がれき等の一時保管施設とその適用を以下に示す。

(i) 一時保管施設

一時保管施設の概要を表 4-4～表 4-6，図 4-7 に示す。なお，表 4-4～表 4-6 は，2015 年 12 月に東京電力が原子力規制委員会に報告した資料[6)]を取りまとめたものである。

表 4-4　がれき・伐採木等の一時保管の概要（その１）[7)を基に作成]

一時保管の形態	概要	施設イメージ
屋外集積	【保管物:表面線量率 0.1mSvh 以下のがれき類】 ○廃棄物量低減を目的に，以下の再利用を実施中 ・表面線量率の低いコンクリートガラ※を破砕 ・破砕したコンクリートガラは，表面線量率がバックグラウンド線量率相当（5μSv/h 程度）であることを確認後，発電所構内にて一時保管エリアの路盤材等に再利用中（約 1,900 ㎥） ※タンク撤去工事等に伴い発生したコンクリートガラ（主に基礎部）や工事で未使用の残コンクリートなど ○今後，可能な限り可燃物は焼却，金属・コンクリートは減容処理し，固体廃棄物貯蔵庫に保管	
屋外シート養生	【保管物：表面線量率 1mSv/h 以下のがれき類】 ○放射性物質の飛散抑制対策としてシート養生にて一時保管 ○更なる放射性物質飛散リスク低減のため，容器への収納を進めている。 ○雨水によるがれき類に付着した放射性物質の拡散リスクの有無を確認するため，代表する一時保管エリア内での雨水の放射性物質濃度の分析を実施 ○今後，可能な限り可燃物は焼却，金属・コンクリートは減容処理し，固体廃棄物貯蔵庫に保管	

表 4-5　がれき・伐採木等の一時保管の概要（その 2）[7)を基に作成]

<table>
<tr>
<td>屋外容器収納</td>
<td>【保管物：表面線量率 10mSv/h 以下のがれき類，汚染水処理設備等で発生するフィルタ類】
○放射性物質の飛散抑制対策として金属製容器に収納して一時保管
○エリア E2 では，主に汚染水処理設備等で発生するフィルタ類を一時保管</td>
<td>瓦礫類一時保管エリアQ

瓦礫類一時保管エリアE2

高性能多核種除去設備で発生した前処理フィルタが収納された容器</td>
</tr>
<tr>
<td>仮設保管設備・覆土式一時保管施設</td>
<td>【保管物：表面線量率が 30mSv/h 以下かつ，１～４号機建屋内または建屋周辺で発生した建屋がれき，汚染水処理設備等で発生するフィルタ類】
○表面線量率が 30mSv/h 以下かつ，1～4 号機建屋内または建屋周辺で発生した建屋がれき（コンクリートガラ，金属ガラ等の不燃物）は，覆土式一時保管施設（エリアＬ）に一時保管
・覆土，シートを取り除くことでがれき類の取り出しが可能
・遮へい用覆土により，がれき類による放射線影響を低減し放射性物質の飛散を抑制
・遮水シートを底面，法面，上部に施すことにより雨水等の浸入と地下水汚染を防止
○覆土式一時保管施設収納前は，仮設保管設備（エリア A1・A2）で集積
○仮設保管設備内の放射性物質が外部へ拡散することを防止するため，屋根シートの点検を実施中，また床面にコンクリート敷設を計画</td>
<td>瓦礫類一時保管エリアA2
（仮設保管設備）

内部写真

瓦礫類一時保管エリアL
（覆土式一時保管施設 外観（第2槽））

施工中の第3槽
 </td>
</tr>
</table>

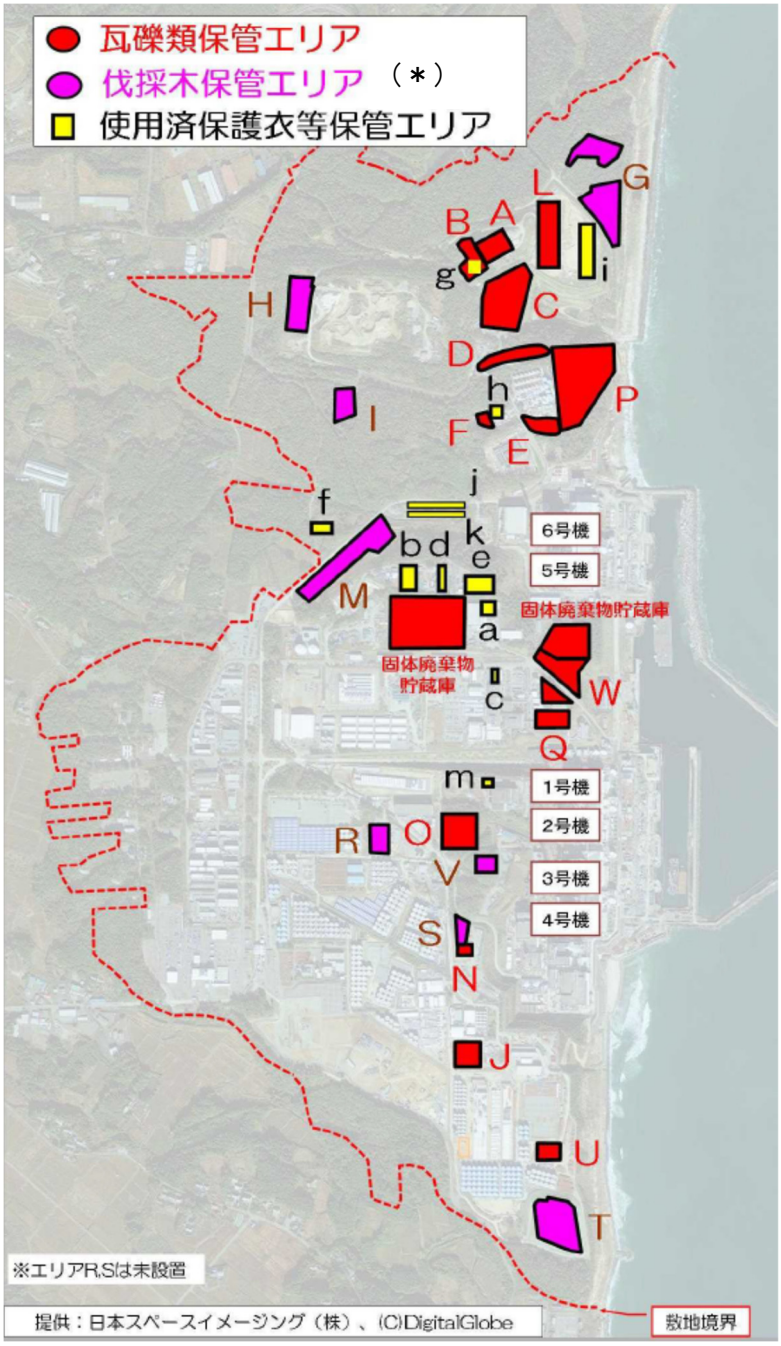
表 4-6　がれき・伐採木等の一時保管の概要（その 3）[7)を基に作成]

<table>
<tr>
<td>固体廃棄物貯蔵庫</td>
<td>【保管物：表面線量率 30mSv/h を超えるがれき類, 水処理で発生する線量率の低い樹脂・フィルタ類】
容器ごとに，内容物の材質（金属ガラ，コンクリート･アスファルトガラ, 土砂，可燃・難燃物）の把握</td>
<td>
ドラム缶
（焼却灰も本容器を使用）

角型容器
（高線量瓦礫類）

第 9 棟完成イメージ図</td>
</tr>
<tr>
<td>伐採木一時保管槽</td>
<td>【保管物：減容した伐採木（枝葉根）】
○設置目的
・火災発生リスクへの対処
・新たに放出される放射性物質及び事故後に発生した放射性廃棄物からの放射線による敷地境界実効線量 1 mSv/年未満達成のための線量低減対策
○覆土による遮へい機能を有する一時保管槽で，擁壁等を設置し，減容した伐採木（枝葉根）を収納して保護シート，覆土，遮水シートで覆う構造
○発火の未然防止のため, 以下のように配慮
・保管槽内部の温度・ガス傾向監視
・酸素を遮断する構造
○遮へいのため保管槽上部を覆土構造</td>
<td>

</td>
</tr>
</table>



（＊）瓦礫類保管エリア：A～F、J、L、N～Q、U、W
伐採木保管エリア：G～I、M、R～T、V

図 4-7　一時保管施設の位置 6)より引用・一部改変

(ii) 施設の運用

保管管理計画（2018 年 6 月 28 日）[5] において，固体廃棄物貯蔵庫外の一時保管エリアにおける管理方針が以下のように示された。

・関係者以外がむやみに立ち入らないよう柵やロープ等により区画する。
・空間線量率を週 1 回測定し，測定結果は作業員への注意喚起のため一時保管エリアに表示する。

・空気中の放射性物質濃度を 6 ヶ月に 1 回測定する。ただし，屋外集積及び屋外シート養生のがれき類，屋外集積の伐採木及び使用済保護衣等は 3 ヶ月に 1 回測定する。
・人が常時立入る場所は必要に応じ遮へいする。
・週 1 回，一時保管エリアを巡視するとともに，一時保管エリアへの保管物の出入りに応じて定期的に保管量を確認する。
・今後計画されている工事から発生するがれき量を予測し，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て保管容量を確保する。
・「がれき等」を一時保管エリアに受け入れる際には，当該「がれき等」に関する情報を記録することにより，工事件名／発生場所／表面線量率等を確認できるようにする。

また，保管管理計画（2016 年 3 月 31 日）[3] において，「表面線量率が極めて低い*4金属・コンクリートやフランジタンクの解体タンク片等」及び「汚染土」について以下の方針が示された。

・表面線量率が極めて低い金属・コンクリートやフランジタンクの解体タンク片等については，固体廃棄物貯蔵庫外の一時保管を当面継続し，処理方法や再利用・再使用を検討して一時保管エリアを解消していく。
・汚染土については，作業開始時に汚染除去のための掘削深さが把握できる。このため，発生量に応じて臨機応変に対応できる一時保管施設を設置し保管する。保管はコンテナ方式を前提として，風雨の影響を受けにくい状態で保管して汚染土の飛散及び流出を防止する。

(c) 保管のための施設

保管管理計画（2018 年 6 月 28 日）[5] における 2018 年 6 月時点の状況を以下に示す。

・作業員や公衆の被ばく低減及び安定化作業の安全確保のため，固体廃棄物を適切に管理することを目的とした保管施設を設置する。
・固体廃棄物を保管するために，既存の固体廃棄物貯蔵庫（1～9 棟），サイトバンカ，共用プール，使用済セシウム吸着塔一時保管施設，廃スラッジ貯蔵施設，濃縮廃液貯槽に加えて，合計約 140,000 ㎥ を保管できる複数の増設固体廃棄物貯蔵庫，大型廃棄物保管庫，汚染土を保管できる汚染土専用貯蔵庫を設置する。
・当面 10 年程度の発生量予測を踏まえ，今後，遮へい・飛散抑制機能を備えた施設を導入し，継続的なモニタリングにより適正に保管する。

(i) 運用を開始した施設

1) 固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟（2018 年 2 月運用開始）

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟は，作業員や公衆の被ばくの低減及び安定化作業の安全確保のために，放射性固体廃棄物や事故後に発生したがれき等を適切に管理することを目的として設置された。運用開始後は，巡視等のモニタリングを行っていくこととされた。

*4表面線量率が 0.005mSv/h 未満であるがれき類。0.005mSv/h は，年間 2000 時間作業した時の被ばく線量が線量限度 5 年 100mSv となる 1 時間値（0.01mSv/h）の半分で，敷地内除染の目標線量値と同値。

(ii) 2018 年度時点で計画中の施設

1) 増設固体廃棄物貯蔵庫

固体廃棄物貯蔵庫は，屋外に集積したがれき類，伐採木，使用済保護衣等を減容処理設備にて減容したもの，または，雑固体廃棄物焼却設備や増設雑固体廃棄物焼却設備にて焼却したもの等を受け入れる施設で，既存の固体廃棄物貯蔵庫及び固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟の保管容量を踏まえ，順次，固体廃棄物貯蔵庫を増設する。

増設する固体廃棄物貯蔵庫の貯蔵容量は，当面 10 年程度の発生量予測を行い，可能な限り減容処理することを前提にその物量に見合った容量で計画する。現段階では，合計約 140,000 ㎥の固体廃棄物を保管できる容量とする。なお，棟数や貯蔵容量については，今後の廃炉作業の進捗状況やがれき等の発生量予測の見直し等を適宜反映する。

また，固体廃棄物貯蔵庫第 1～9 棟と同様，固体廃棄物からの放射線に対し，作業者等を被ばくから保護するとともに，遮へい機能を有する構造として敷地周辺の線量を低減させる。運用開始後は，巡視等によりモニタリングを行う。

2) 汚染土専用貯蔵庫（2020 年度設置予定）

汚染土については，屋内保管となる汚染土専用貯蔵庫に保管する。なお 1mSv／h を超える汚染土は固体廃棄物貯蔵庫へ保管する。

(d) 安定保管・管理における対象物の処理施設

保管管理計画（2018 年 6 月 28 日）[5] では，作業員と公衆の被ばく低減及び安定化作業の安全確保のため，固体廃棄物の安定保管・管理の段階における処理として，破砕・切断・焼却等を行う減容設備を設置する計画である。2018 年 6 月時点の減容設備の状況を以下に示す。

(i) 運用を開始した施設及び建設中の施設

1) 雑固体廃棄物焼却設備及び増設雑固体廃棄物焼却設備

雑固体廃棄物焼却設備（処理容量 0.3t／h×2 系列，2016 年 3 月運用開始）及び増設雑固体廃棄物焼却設備（処理容量 95t／h，建設中）は，使用済保護衣等，伐採木及びがれき類中の可燃物（木材・梱包材・紙等）を焼却処理するための施設で，前者は主に使用済保護衣等を，後者は主に伐採木，がれき類中の可燃物及び廃油を担当することとされた。

焼却処理により発生する焼却灰は，固体廃棄物貯蔵庫などの遮へい機能を有する施設等に保管することとされた。

(ii) 2018 年度時点で計画中の施設

1) 焼却炉前処理設備

焼却対象物を事前に破砕することを目的とし，建屋内に破砕設備，換気空調設備，モニタリング設備等を設置する計画とされた。

2) 減容処理設備

減容処理設備は，固体廃棄物のうち不燃物である金属がれき，コンクリートがれき等

を減容処理することを目的として計画された。建屋内に金属がれき切断設備，コンクリートがれき破砕設備，換気空調設備，モニタリング設備等を設置し，汚染区域の換気はフィルターを通して放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後，排気する計画とされた。

減容処理後の金属がれき及びコンクリートがれき等は，容器に収容した後に固体廃棄物貯蔵庫などの遮へい機能を有する施設等に保管する計画とされた。

減容処理設備における処理フローイメージを図 4-8 に示す。

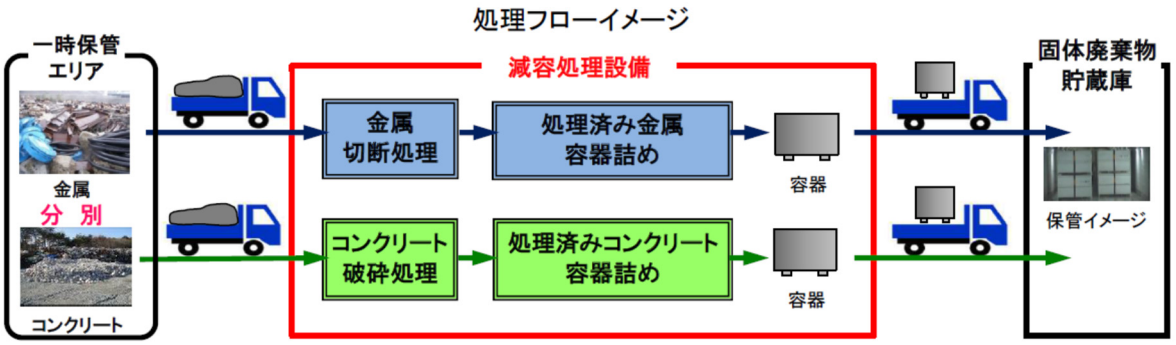


図 4-8　減容処理設備における処理フローイメージ 8)より引用

4.2.3 特徴，工夫・効果

がれき等の一時保管施設，保管施設及び安定保管・管理における対象物の処理において，土木的な特徴・工夫とその効果を以下に示す。

(1) 廃棄物の保管方法に関する事項

廃棄物の保管においては，以下の方針で対応が進められた 5)。

(a) 廃棄物の分類

将来，廃棄物を合理的に処理処分するためには，廃棄物の性状（材質，汚染状況等）の把握と分別が必要となる。このため，がれき等の保管（または一時保管）を受け入れるにあたり，工事件名・発生場所・表面線量率等の記録を残すとともに，がれき類・伐採木・使用済保護衣等を分別のうえ，がれき類については放射線量率によっても区分して保管する。

これらにより，保管時の発熱やガス発生等の様々な懸念事象への備え，さらに遮へいや飛散防止による放射線影響の抑止が合理的に行えるようになった。

(b) 減容・安定化における廃棄物データの取得

保管エリア不足に備えるため，雑固体廃棄物焼却設備や減容処理設備において減容処理を行うが，その処理を行う際には，以後の処理・処分の際に利用できるようにバッチ毎に放射性物質濃度データを取得する。

(c) 再利用の検討

表面線量率が極めて低い金属・コンクリートやフランジタンクの解体タンク片等については，再利用・再使用について検討を行い，廃棄物として処分する量を減らす計画とする。

(2) がれき類の一時保管場所の津波に対する安全対策

東京電力は 2013 年 8 月に認可された実施計画[9]において，切迫性が高いとされる津波に対する評価結果[9]（「2.4 津波対策」を参照）を反映した対策を提示した。がれき類の一時保管については，一部のエリア（エリア E2，図 4-7 のエリア E の一部で O.P.+12m）を除き，津波の最大到達高さ O.P.+14m 程度を上回る場所に設置した。なお，エリア E2 については，津波が遡上しないことを解析により確認している[10]。

(3) 覆土式一時保管施設における工夫

覆土式一時保管施設（図 4-9）においては，以下の工夫が行われた[6), 9)]。

- 底面に勾配を設けて集水するとともに，集水箇所に観測孔を設けることで，溜まり水の有無の確認と回収が行えるようにした。
- 万一，雨水が浸入した場合でも，観測孔から回収して水位を地表面より低く保つことで，地表への流出が発生しない構造とした。
- 底部からの漏洩が発生しにくいように，底部には放射線への耐性をも含めて耐久性を確認した遮水シートとベントナイトシートを重ね，さらに遮へいと遮水シートを保護するための覆土を設けた。

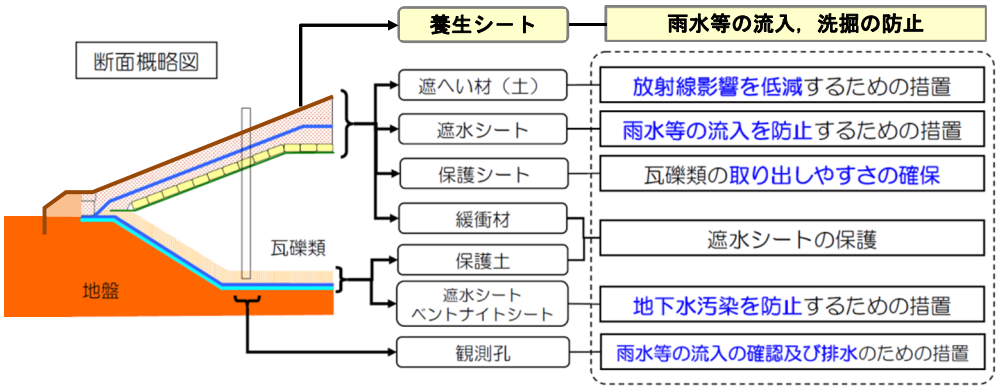
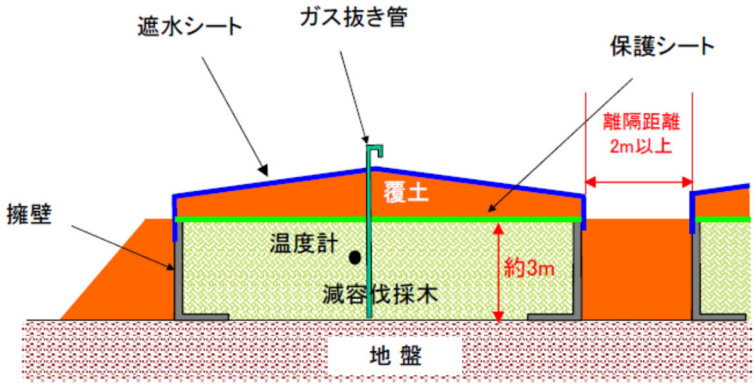


図 4-9　覆土式一時保管施設（がれき類）[11)より引用・一部改変]

(4) 伐採木一時保管槽における工夫

伐採木一時保管槽は覆土により遮へい機能を有するものとし，擁壁等の設置後，減容した伐採木（枝葉根等）を収納して保護シート，覆土及び遮水シートで覆う構造とした（図 4-10）。また，発火の未然防止のため，以下の配慮が行われた。

- 保管槽内部の温度・ガス傾向監視
- 酸素を遮断する構造の採用



伐採木一時保管槽概略図

※現地の地形状況に応じて可能な限り効率的に配置する計画としているため、保管槽の形状は概略図通りとならない場合がある。

図 4-10　伐採木一時保管槽 7)より引用

(5) 可燃性廃棄物の火災対策

人為的な火災や伐採木屋外集積エリアでの枝葉根が自然発火することによる火災に備え，火災発生防止，早期検知・延焼防止及び消火活動訓練等の対策が行われた 12), 13)。

このうち，土木的な対策は以下のとおりである。

・防災帯の設置（原子力安全基盤機構（2012）12) を参考に防火帯幅を決定，図 4-11）

・防火水槽・防火水タンクの設置

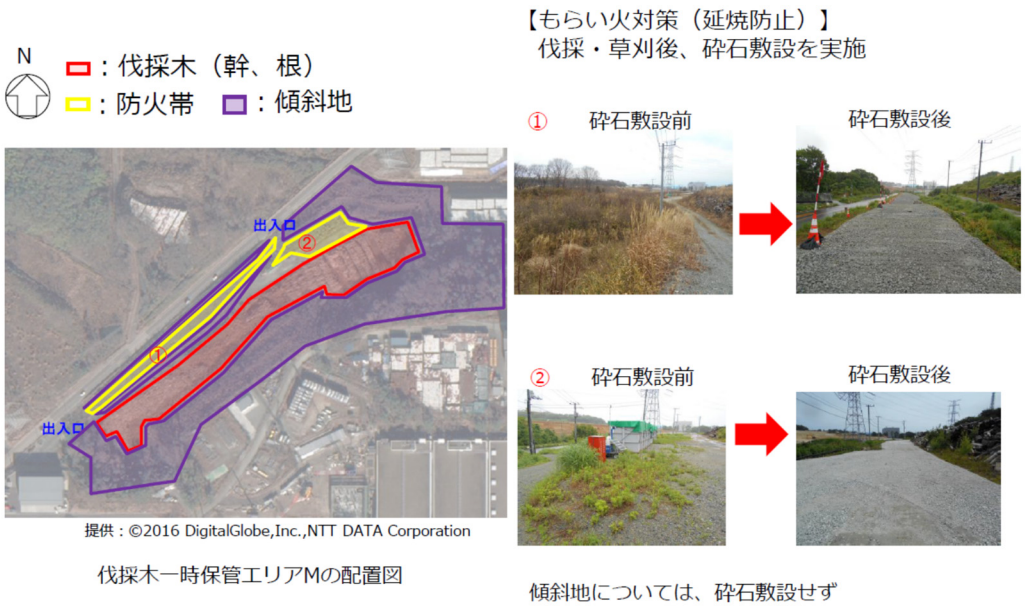


図 4-11　防火帯の例 13)より引用

(6) モニタリング

覆土式一時保管施設は，前項（(3) 覆土式一時保管施設における工夫) で示したように汚染物質の漏洩を防止する構造とされているが，モニタリングにより漏洩の有無を確認する計画とされた（図 4-12)。

モニタリングは，溜まり水を確認することにより覆土の損傷を検知し，万一，損傷（遮へい材の崩落，シートの破れ等）した場合は，損傷の程度に応じて遮へいの追加，施設の修復やがれき類の取り出しを行う計画とされた[11)]。

凡例	凡例の説明	測定頻度
■	空間線量率測定ポイント	受入中及び覆土完了後は週1回
△	空気中放射性物質濃度測定ポイント	受入中は3ヶ月1回、覆土完了後は6ヶ月1回
●	地下水放射性物質濃度測定ポイント	受入中及び覆土完了後は月1回
◇	空間線量率測定結果表示箇所	

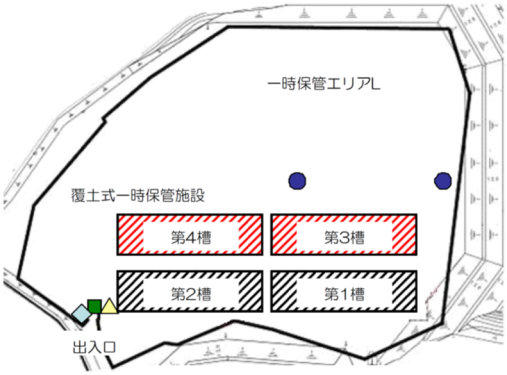


図 4-12　モニタリングによる施設健全性の確認例 11)より引用

4.2.4 課題等

2018 年時点での状況を踏まえた課題等を以下に示す。

①最終的な処理･処分の検討

最終的な処理・処分については今後の検討が必要である。

②保管管理計画対象外の廃棄物の対策の検討

将来発生する以下の廃棄物は，現時点では保管管理計画の対象外とされているため，今後の検討が必要である。

・燃料デブリ（臨界等を考慮した管理が必要となるため)。
・燃料デブリ取り出し時に発生する，燃料デブリと区別可能な「がれき等」(燃料デブリ取り出し方針を踏まえて検討するため)。
・将来「がれき等」が発生することが予想される工事で，現時点で発生量予測に未計上の工事（計画が具体化した段階で反映するため)。

③再利用･再使用の検討

廃棄物量の削減を目指して，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について再利用・再使用方法の検討が必要である。なお，保管管理計画[4)]においては，「検討の進捗に応じて保管管理計画に反映する」との方針が示された。

4.3 水処理二次廃棄物の保管・管理

4.3.1 目的

「水処理二次廃棄物」を将来の処理・処分までの期間に亘り安定的に保管管理するため，保管設備の経年劣化や放射性物質の飛散・漏えい，可燃性ガスの発生等のリスクに十分配慮した管理を行う。

4.3.2 概要

(1) 水処理二次廃棄物の種類

保管管理計画[4),5)]では，「水処理二次廃棄物」を「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」に分類した（表 4-7)。

表 4-7　水処理二次廃棄物の種類[4),5)]を基に作成

名称		対象物	備考
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	モバイル式処理装置のもの以外のフィルタ類は保管容器に収納後，固体廃棄物貯蔵庫，仮設保管設備，がれき類一時保管エリアに保管する
	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	同装置の処理運転予定はなく，廃棄物の発生予定はない
	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	

(2) 水処理二次廃棄物の発生量と今後の発生予測

(a) 水処理二次廃棄物の管理状況とそれまでの保管量の推移

第 59 回 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議（2018 年 10 月 25 日）において，東京電力は，当時の管理状況と当時までの推移を報告している[6)]。

2018 年 10 月 4 日時点での管理状況と保管量の推移を表 4-8，図 4-13 に示す。

表 4-8　水処理二次廃棄物の管理状況（その 1）[6)]より引用

水処理二次廃棄物の管理状況(2018.10.4時点)

分類	保管場所	種類		保管量		前回報告比 (2018.9.27)		保管量／保管容量 (割合)	トピックス
水処理二次廃棄物	使用済吸着塔保管施設	セシウム吸着装置使用済ベッセル		771	本	+4	本	4137／6372 (65%)	・吸着塔一時保管施設の増容量が認可（2015年12月14日） ・使用前検査完了（2017年5月26日）に伴う保管容量増（第四施設架台129塔分）
		第二セシウム吸着装置使用済ベッセル		206	本	0	本		
		多核種除去設備等保管容器	既設	1,514	基	+13	基		
			増設	1,359	基	+29	基		
		高性能多核種除去設備使用済ベッセル	高性能	74	本	0	本		
		多核種除去設備処理カラム	既設	11	塔	0	塔		
		モバイル式処理装置等使用済ベッセル及びフィルタ類		202	本	+1	本		
	廃スラッジ貯蔵施設	廃スラッジ		597	m^3	0	m^3	597／700 (85%)	・除染装置の運転計画は無く、新たに廃棄物が増える見込みは無い。 ・準備が整い次第、除染装置の廃止について実施計画の変更申請を行う。
	濃縮廃液タンク	濃縮廃液		9,387	m^3	-23	m^3	9387／10700 (88%)	・タンク水位の変動は、計器精度±1％の誤差範囲内。（現場パトロール異常なし） ・水位計0%以上の保管量：9287 [m] タンク底部～水位計の保管量(DS)：約100[m]

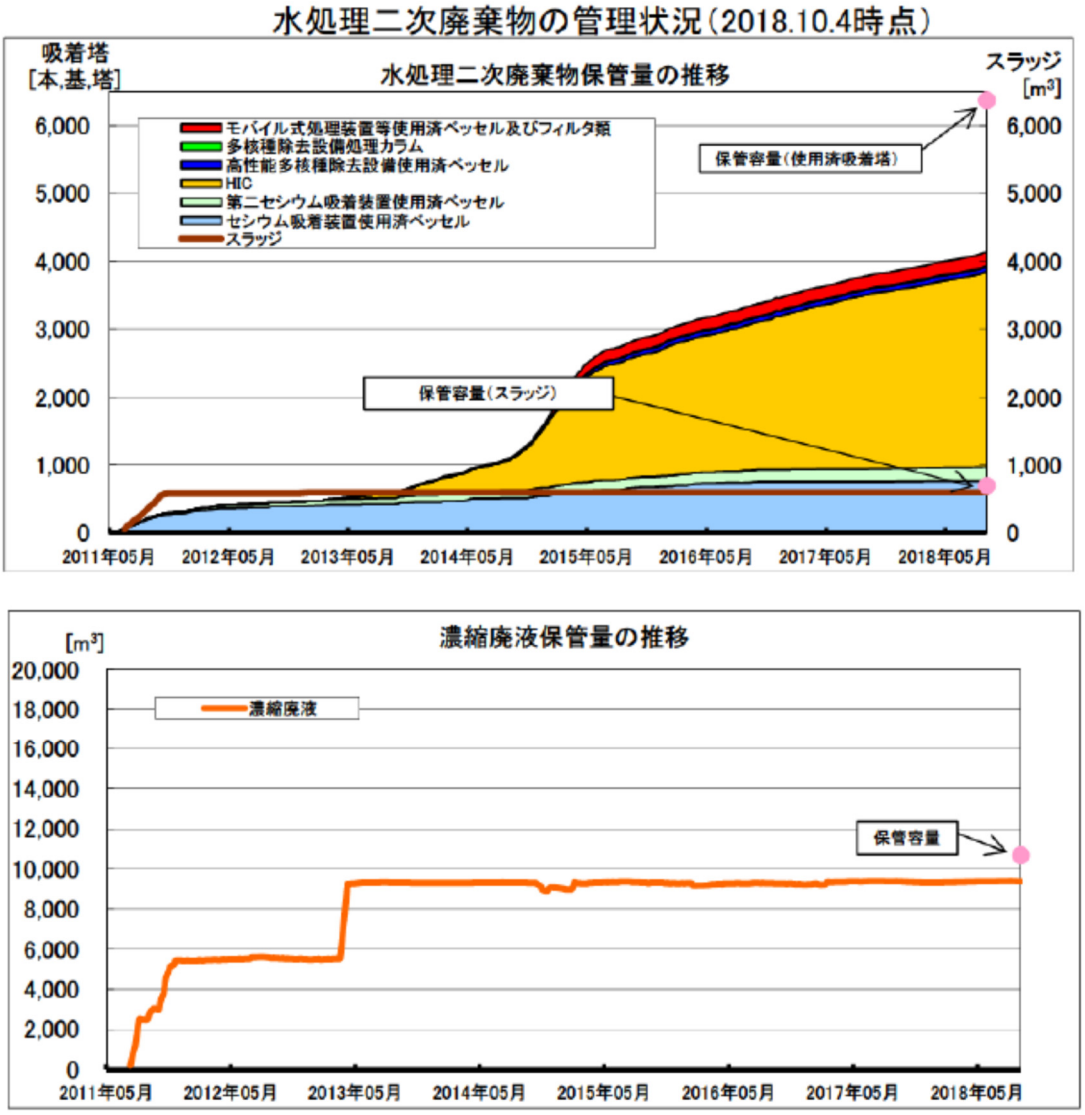


図 4-13　水処理二次廃棄物の管理状況（その 2）[6]より引用

(b) 将来の発生量予測

東京電力は「福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画（2018 年 6 月 28 日）[5]」で，今後処理が必要となる汚染水量の想定から必要な水処理設備の稼働を予測し，将来発生する吸着塔類の発生量を想定している（図 4-14）。なお，廃スラッジ（除染装置スラッジ）と濃縮廃液スラリーについては，今後の発生量が予測できないため予測の対象外とし，将来安定化処理技術開発の進捗に伴って安定化処理後の物量や保管形態の見通しを得た段階で，保管形態に応じて発生量予測へ反映としている。

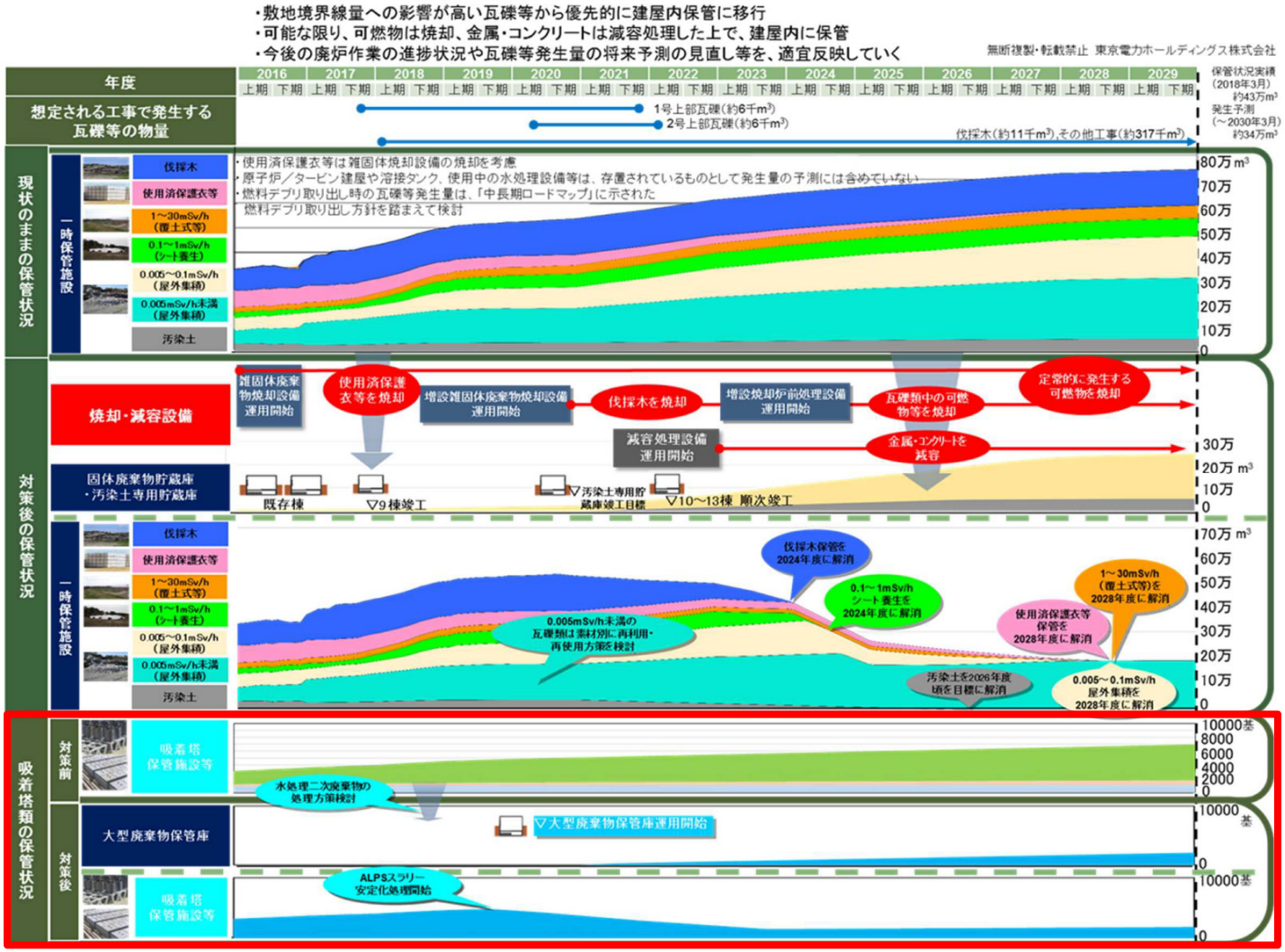


図 4-14　水処理二次廃棄物等の発生量予測 5)より引用・一部改変

(3) 保管・管理の方法

(a) 保管・管理のフロー

保管管理計画（2018 年 6 月 28 日）[5] では，がれき類と同様に水処理二次廃棄物についても，遮へい・飛散抑制機能を備えた施設における「保管」とそれに至るまでの「一時保管」に分けて考え，以下の方針が示された（図 4-15）。

- 水処理二次廃棄物は，「吸着塔類」が使用済吸着塔一時保管施設内のラック，またはボックスカルバートで一時保管を行う。
- 「廃スラッジ（除染装置スラッジ）」は，震災前から設置されていたプロセス主建屋の地下にある廃スラッジ貯蔵施設，「濃縮廃液スラリー」はタンクでそれぞれの一時保管を行う。
- いずれの水処理二次廃棄物も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するが，建屋内への保管に移行する段階で処理方策等を今後検討していく。

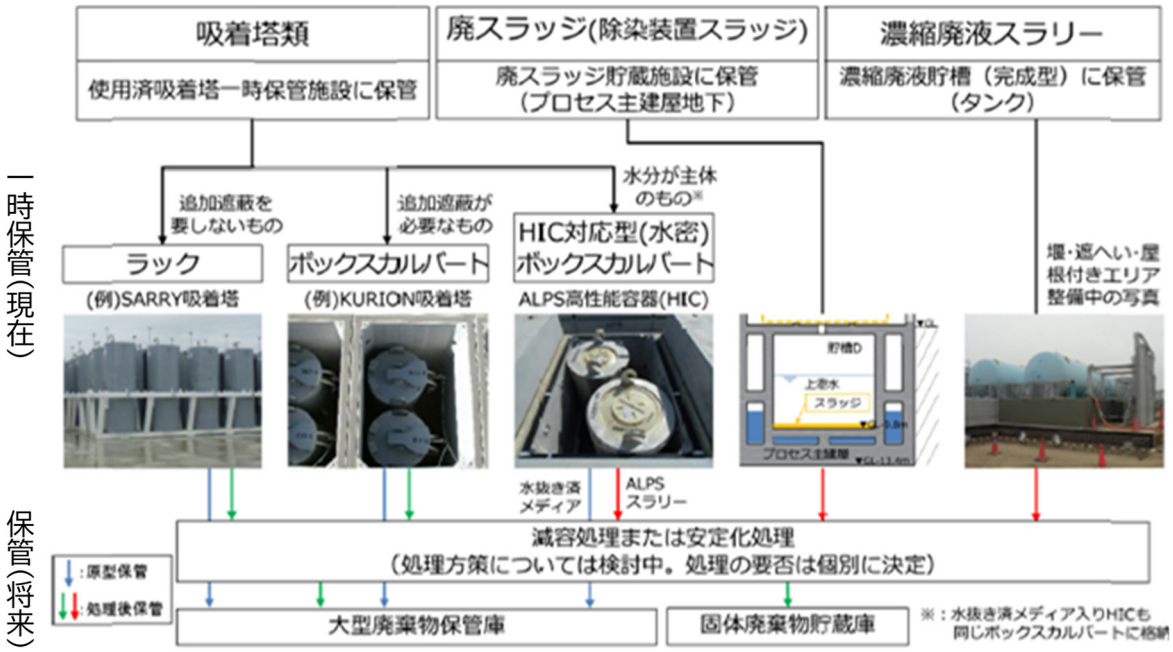


図 4-15　水処理二次廃棄物の保管・管理フロー[5]より引用・一部改変

(b) 一時保管

水処理二次廃棄物の一時保管は，以下のように行うこととされた[3),5)]。

①吸着塔類

吸着塔類は屋外のラック，またはボックスカルバートにて保管する。

- 保管量と保管可能容量を週 1 回確認し，必要に応じて保管施設を増設する。
- 一時保管エリアの巡視を実施し，異常の有無を確認する。
- 一時保管エリア内のサーベイやスミア測定により漏えいの発生・拡大の無いこと

を確認する。

②廃スラッジ(除染装置スラッジ)

廃スラッジ（除染装置スラッジ）は，プロセス主建屋の地下の貯蔵施設に保管し，液位の測定により漏えいの有無を遠隔にて有人監視する。

③濃縮廃液スラリー

濃縮廃液スラリーは，屋外のタンクに保管する。

・液位の測定により漏えいの有無を遠隔にて有人監視する。
・タンクからの漏えいを早期検知するため，タンク設置エリアに設置したカメラで監視するとともに，巡視点検にて漏えいの有無を確認する。

(c) 保管

水処理二次廃棄物は，遮へい・漏洩防止対策などで放射線影響の低減を図り，建屋内への保管を進める計画とされた[4)]。

①吸着塔類

・吸着塔類は，大型保管庫等の建屋内への保管に移行する。
・セシウム吸着装置(KURION)，第二セシウム吸着装置(SARRY)，多核種除去設備（ALPS）等より発生する放射性廃棄物については，2019 年度に設置予定の大型保管庫に収納する計画を進める。

②廃スラッジ(除染装置スラッジ)

廃スラッジ（除染装置スラッジ）は，津波による漏洩リスク低減のため，2020 年度から現在の保管場所であるプロセス主建屋内の貯槽から抜き出して容器に充填し，高台の既存廃スラッジ一時保管施設に移送することとして，今後設備の具体化を進める。

③濃縮廃液スラリー

濃縮廃液スラリーについては，堰・遮へい・屋根付きエリア（濃縮廃液貯槽）でのタンク保管を進める。

4.3.3 特徴，工夫・効果

水処理二次廃棄物（吸着塔類）の一時保管，保管のための施設及び安定保管管理における対象物の処理において，土木的な特徴・工夫を以下に示す[5), 14)]。

・追加遮へいが必要な吸着塔は，ボックスカルバートに保管する。
・水分が主体の廃棄物を収納した場合、漏洩の可能性のある HIC 容器[*5]は水密ボックスカルバートに保管する。
・から漏えいが発生した場合でも外部へ流出させないように，ボックスカルバートの側板と底板を一体で製作し，底部内面に防水塗装を施す（図 4-16，図 4-17)。

[*5]HIC 容器:トリチウム以外の放射性物質を除去する多核種除去設備（ALPS）で浄化処理する際に発生する泥状の廃棄物を収納するポリエチレン製の保管容器[15)]

■ HICを取扱うための橋型クレーン、遮へい機能を有する蓋付きコンクリート製ボックスカルバート等により構成

■ HIC貯蔵体数は3456基（ 16列×4行×18ブロック×3段積）

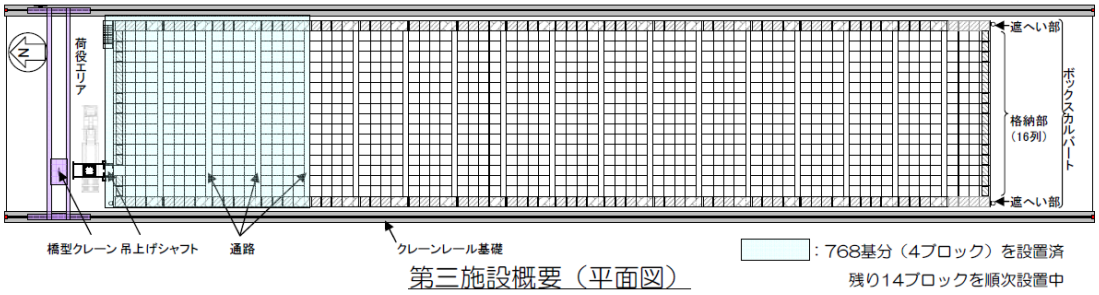


図 4-16　水処理二次廃棄物一時保管施設の概要 14)より引用

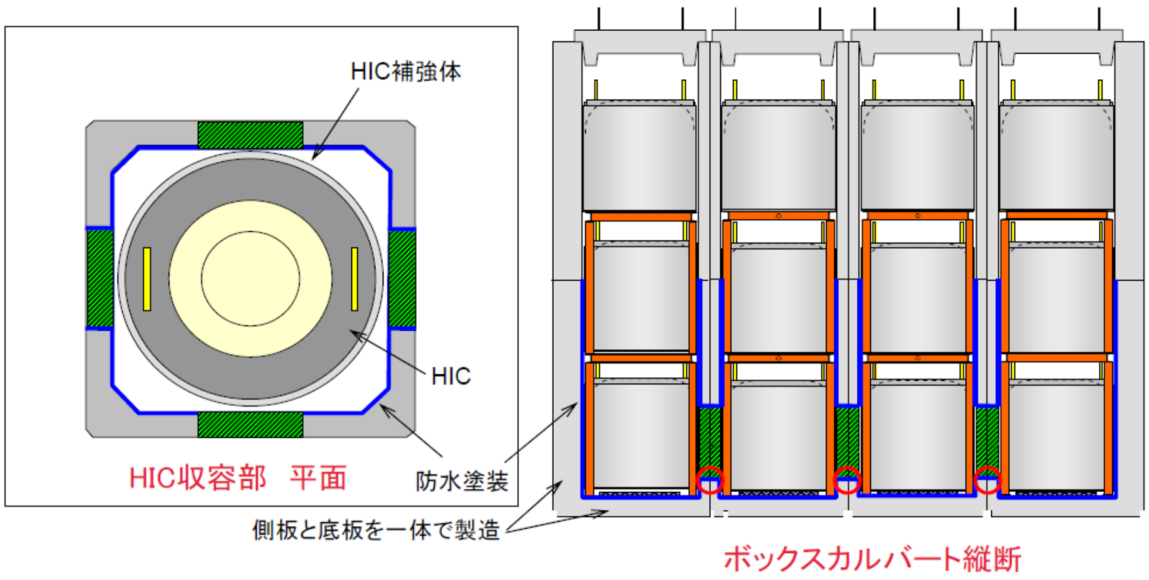


図 4-17　水処理二次廃棄物一時保管施設の漏えい防止策 14)より引用

4.3.4 課題等

2018 年時点での状況を踏まえた課題等を以下に示す。

(1) 水処理二次廃棄物一時保管のリスク低減

今後の安定保管に向けて，以下の対策が計画されている。

①多核種除去設備の沈殿生成物（スラリー）

水分が主体であるスラリーは，漏えいし難い容器で一時保管するなどの対策を講じているが，漏えい等のリスクがある。リスク低減のため，2020 年度から安定化処理（脱水）設備の具体化を進める必要がある。

②廃スラッジ(除染装置スラッジ)

廃スラッジ（除染装置スラッジ）については，抜き出し装置と容器の設計・製作などの設備の具体化を進め，2020 年度から現在の保管場所である建屋内の貯槽から抜き出して，容器に充填して高台へ移送する。

(2) 保管施設への移行による放射線影響の低減

一時保管施設での保管から適切な遮へいを施した保管施設での保管に移行して放射線影響の低減を図る。

今後，定期的に発生量実績を評価した上で保管容量の充足性を確認しつつ，減容設備・保管施設を増設して，固体廃棄物貯蔵庫外の一時保管エリアの解消を図る。

(3) 処理・処分方策の検討

水処理二次廃棄物の安定保管のために，保管中の経年劣化も考慮して，保管容器の変更や廃棄物の処理によって水分を除去するなどの処理方策を検討する。

また，水処理二次廃棄物の放射性廃棄物としての処理・処分については，以下の項目を計画する。

・今後の処理・処分方法の検討に資するため，廃棄物の汚染由来を考慮して代表的な採取・分析を行い，インベントリを評価する。
・今後の処理方策等の検討結果を踏まえ，保管の際の記録方法等をまとめる。

(4) モニタリングの検討

今後の処理方策の検討も踏まえ，保管施設のモニタリング方法や設備構成等の検討が必要である。

参考文献

1)国際廃炉研究開発機構(2017):平成 26 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」最終報告　平成 29 年 8 月, https://irid.or.jp/_pdf/20160000_02.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

2)廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議(2015):東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ（案），平成 27 年 6 月 12 日, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/hairo_osensui/dai2/siryou3.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

3)東京電力（2016）:東京電力ホールディングス（株）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 3 月 31 日, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2016/pdf/0331_3_4d.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

4)東京電力（2017）:東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画　2017 年 6 月版，2017 年 6 月 29 日, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2017/06/3-04-05.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

5)東京電力（2018）:東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画　2018 年 6 月版，2018 年 6 月 28 日, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2018/07/3-4-4.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

6)東京電力（2018）:放射性廃棄物の処理・処分，廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議（第 59 回）資料 3−4，平成 30 年 10 月 25 日, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2018/11/181025-3-4-2.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

7)東京電力(2015):瓦礫等及び水処理二次廃棄物の保管・管理状況, 原子力規制委員会, 特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会（第 1 回）資料 3-1，2015 年 12 月 4 日, https://www.nra.go.jp/data/000132079.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

8)東京電力（2016）:福島第一原子力発電所廃棄物関連設備及び施設の新・増設について，第 46 回（平成 28 年度第 5 回）廃炉安全監視協議会及び平成 28 年度第 1 回福島県原子力発電所安全確保技術検討会，添付 2，平成 28 年 9 月 1 日, https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/181922.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

9)東京電力（2013）:福島第一原子力発電所，特定原子力施設に係る実施計画，2013 年 8 月 14 日, https://www.tepco.co.jp/cc/press/betu13_j/images/130812j0201.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

10)東京電力（2012）:福島第一・福島第二原子力発電所におけるアウターライズ津波対策，平成 24 年 4 月 27 日，原子力安全・保安院，地震・津波に関する意見聴取会（津

波関係），
https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000023498/000143469.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認
11)東京電力（2013）：福島第一原子力発電所覆土式一時保管施設の増設について，平成 25 年 12 月 11 日，
http://www.tepco.co.jp/news/2013/images/131211c.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認
12)原子力安全基盤機構（2012）： 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価，JNES-RC-2012-2，2012 年 6 月
13)東京電力（2018）：可燃性廃棄物の追加火災対策の進捗状況について，原子力規制委員会，特定原子力施設放射性廃棄物規制検討会（第 7 回）資料 3，2018 年 7 月 23，
https://www.nra.go.jp/data/000240023.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認
14)東京電力（2014）: 使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）の設置について，原子力規制員会，特定原子力施設監視・評価委員会（第 21 回） 参考 5，平成 26 年 5 月 2 日，
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11451236/www.nsr.go.jp/data/000051083.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認
15)経済産業省 資源エネルギー庁(2020）：汚染水処理で発生する廃棄物「スラリー」とは？なぜ発生する？どのように保管されている？，2020 年 6 月 19 日，
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/osensuitaisaku_slurry.html，2023 年 4 月 19 日掲載確認

5. 技術提案の公募

汚染水処理対策については，技術研究組合 国際廃炉研究開発機構及び経済産業省 資源エネルギー庁で技術提案の公募が行われた。

5.1 国際廃炉研究開発機構の公募

2013 年 9 月 10 日に開催された第 1 回「廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議 [1)]」において，汚染水問題への具体的な対応を図るため国内外の叡智を結集するチームを立ち上げ，広く対応策を募集し，寄せられた対応策について「汚染水処理対策委員会」を中心に精査していくことが決定された。

これを受けて，国際廃炉研究開発機構（以下，「IRID」）を中心として 2013 年 9 月 25 日から表 5-1 に示す 6 分野についての技術提案の募集が行われ，国内外から 769 件の提案があった。

土木学会ではこの技術提案の募集に対応すべく，地盤工学，構造工学等の関係する専門分野を代表する技術者・研究者を集めた「福島第一原子力発電所 汚染水への対応に関する検討委員会」及びその下に技術的検討を行うタスクフォースを設置して，今後の廃炉に至るまでの中長期的視点に立った対策，また，現行計画よりさらに広域を対象とした対応策等の検討を行い表 5-2 に示す 19 項目の提案を行った。

表 5-1　国内外からの技術提案 [2)]より引用

「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

（注１）　分野毎の件数はご提案者からの情報をもとに算出したもの。
（注２）　１件のご提案で複数の分野に関連するとされたものがあるため、表中の件数の合計は、ご提案件数より多いものとなっています。

表 5-2　土木学会の技術提案 [2]を基に作成

受付番号	提案件名	技術分野						
		①汚染水貯蔵	②汚染水処理	②汚染水処理海水の浄化	④建屋内の汚染水管理	⑤地下水流入抑制の敷地管理	⑥地下水等の挙動把握	⑦その他
663	貯水タンクの遮水性基礎工	●						
664	タンク止水性能確保のためのダブルバリア一化対策	●						
665	汚染水配水管路の簡易地中埋設	●						
666	撤退した既設地下貯水槽の改良工	●						
667	地下貯水槽とタンクを組み合わせた運用5	●						
668	防波堤で囲まれた港湾部を利用した汚染水の貯留方法	●						
669	タンクの耐震安全性の確認	●						
670	土砂NATM工法による地下遮水壁・フェーシング等の多重防護設備の構築				●			
671	シールド，TBM技術を活用した高い空間放射線量環境での作業改善方法				●			
672	凍結工法・粘土系遮水工・地下水くみ上げ工を組み合わせた重層工				●	●		
673	撤去が容易な遮水壁による時間差多重防御の提案					●		
674	多数地下掘削工による広域遮水層の施工					●		
675	ポリウレタン・高分子吸収材・吸水性粘土材料の段丘堆積物への巻出し混合による広域雨水浸透抑止技術					●		
676	原子力施設の地下を遮水壁で大きく取り囲む閉鎖領域の形成					●		
677	地下水動態把握のための総合調査モニタリング						●	
678	グリッド型観測孔配置と多層揚水試験による地下水流動層特性の調査						●	
679	港湾内外の核種の高精度モニタリングによる漏洩源および漏洩量の把握							●
680	福島第一原発サイト汚染状況可視化エキスパートシステム							●
681	海側遮水壁の二重化							●

技術提案については，IRID に設置された国内外の 8 名の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 [3]がなされ，また，数年以内に福島第一原子力発電所で適用され，一定の効果が得られるかの判断に資する観点から，専門家レビュー会議のコメント，さらに現場での適用性等を評価するため，東京電力からのコメントも付記する形で「分野別の主な技術提案の総括」として取りまとめ（表 5-3），2013 年 11 月 15 日に開催された汚染水処理対策委員会（第 9 回）に報告された。

表 5-3　分野毎の整理・分類と専門家会議のレビュー，東京電力のコメント（例）[2)より引用]

特にご提案をお願いしたい技術		ご提案			ご提案いただいた技術の傾向	専門家レビュー会議によるコメント	東京電力(株)によるコメント
項目	小項目	分類	番号	関連するキーワード			
（1）溶接型タンクに求める要求事項	部品納入＆現地施工期間が現状と比較して短期間であること	工場製作	558, 586, 620	工場製作一括設置大型タンク	溶接型タンクに求める要求事項として、 ・部品納入＆現地施工期間が現状と比較して短期間であること ・タンク内面から点検＆補修せずに10年以上漏えいを防止できること ・効率的に貯留できる構造であること ・少なくとも0.36G以上の地震に対して漏えい防止機能を維持できること ・タンク内で発生する制動X線を抑制できる遮へい機能を有すること が挙げられている。 これらをすべて満たすものとして、二重鋼殻の大型鋼製タンクの工場製作および現地一括設置が提案されている。 また、個々の要求事項に対しての提案も多数寄せられており、これらの組み合わせによる課題解決についても検討の余地がある。 納期工期の短縮については、工場製作＋現地一括設置し、かつ設計から据付までのサプライチェーンを確保することで納工期短縮を実現する鋼製タンクの提案があった。 タンク内面から点検＆補修せずに10年以上漏えいを防止できることについては、鋼製タンクの内面をエポキシ、ポリエチレンまたはゴム等の樹脂でライニングする提案が多数あった。また、コンクリート二次製品にチタン等のライナーを施して耐久性を得る方法も提案された。電気防食による腐食対策も提案されている。さらに、タンクの維持管理方法に関する提案、タンクに接続する配管からの漏えいを防止する方法も提案された。 効率的に貯留できる構造であることに関する提案ついては、現地で部材を組み立てる案、工場で製作する案に分けられる。現地組立では最大30,000tの配水池、工場製作では2,000tの鋼製タンクが提案されている。 耐震性については、地震時の破壊を避けるためタンクの剛な連結を外すべきとの意見が示された。タンク縦横の継ぎ手部に変形追随機能を持たせる方法が提案されている。また、タンクを免震化・制震化する方法も提案されている。 制動X線遮へいについては、躯体や遮へい材の設置によりX線の遮へいを期待する案が多数示された。また、高分子材料により制動X線そのものを抑制することも示されている。	・十分に検討された実現性が高い提案が多い。 ・二重鋼殻大型タンクは挙げられたすべての技術スペックを直ちに満たせる提案と考えられる。 ・漏えい防止のための樹脂ライニングは樹脂の耐放射線性を確認する必要がある。高分子材料によるベータ線の制動輻射低減に関してはフィージビリティスタディーを実施し、設計に取り入れることも検討することが望ましい。 ・タンクの大型化は貯留効率を高める一方で、事故時のリスクを高めることに留意が必要であるが、現状の2倍程度の容量(2000t)であれば許容範囲と考えられる。大型タンクの設計・製作自体には大きな課題はないと考えられる。 ・耐震性に関しては、タンクの連結部の柔軟性確保が指摘されている。今後の地震などの災害リスクを考えると、いずれかの方法を選定して早期に着手する課題と考える。 ・石油貯蔵の分野では、タンクの1割はローテーションで空にしてメンテナンスに供するといったことが行われている。今回対象とする汚染水タンクでは汚染水を入れ替えることを頻繁に行うべきではないが、このような他分野のノウハウも技術の一つとして取り上げられるべきと考える。海外の原子力施設でも実施しており、精油施設や化学プラントにも関連するノウハウがあるはずである。	【納工期短縮】 タンクのリプレイスを加速化するため、納工期の短縮できる技術を要望している。 納工期の短縮を実現するためには、工場における製造期間に加え、輸送方法（陸送または海上輸送）、現地施工期間（据付検査、溶接検査等を含む）、効率的貯留（大型化）、構造（耐震性、信頼性等）を含めて、総合的に検討する必要がある。 【内部点検補修なしの10年漏洩防止】 汚染水を貯留するタンクについては、長期間（可能であれば10年以上）漏えい防止性能を維持できること、汚染水からの放射線により性能が劣化しないこと、タンク内面にアクセスしなくても性能維持できること、このような条件を満たしている技術を希望している。 なお、検討に際しては、設置期間、大型化、検査対応、耐震性等も含めて考慮する必要がある。 【効率的貯留（1,000tタンク以上）】 限られた敷地面積に効率的に貯留するため、タンク大型化の技術を要望している。 なお、設置時期として現在の貯蔵容量（約40万トン）を2015年度末を目途に80万トンまで増設する計画であり、目標時期までに検査も含め設置できるか、および構造（耐震性、漏えい防止対策等）も含めての検討が必要となる。 【耐震0.36G】 タンクの検討にあたっては、タンクが耐震性能を確保（0.36G以上）していることを前提に、タンク設置期間（検査対応含む）、効率的貯蔵（大型化）、漏えい防止などを含めた総合的な検討が必要となる。 【制動X線遮蔽】 タンクに貯蔵した汚染水により発生する制動X線について、敷地周辺までの影響を低減するために敷地からの離隔、内容物の低放射能化を進める予定。 なお、制動X線を低減すべくタンクの構造や材料等を変更する検討に際しては、設置期間（検査対応含む）、貯蔵効率（大型化）、構造（耐震性、漏えい防止等）も含めて総合的な判断が必要となる。
	タンク内面からの点検＆補修せずに10年以上漏えいを防止できること	ライニング	36	チタンシート			
			86, 100, 286, 771	エポキシ			
			94	低密度ポリエチレンライナー			
			136	様式2なし			
			152	塑性保護コーティング			
			176, 216	繊維強化プラスチック(FRP)			
			206	タンク内部へのシートまたは吹き付けによる漏えい防止			
			219	耐放射線コーティング、高性能繊維			
			280	ゴム袋によるライニング			
			397	耐放コーティング、遮へい材重ね吹き			
			433	貯留状態でボルトタンクの内部を防水施工			
			664	タンク内に袋状構造物を配備する			
		腐食防止	373	電気防食による長寿命化			
		二重鋼殻タンク	102	二重構造のタンクの間隙に遮水遮へい材設置			
			219, 558, 620	二重鋼殻			
		鋼製タンクの維持管理	400	遠隔検査、鋼材肉厚			
		タンクの補強	174	炭素繊維シート巻きつけ			
		接続管からの漏えい防止	603, 665	バックアップ、配管			
			687, 688	補修補強技術、配管接続部			
	有限の敷地内に効率的に貯留できる構造であること（標準：円筒鋼製1000トンタンク）	タンクの大型化	58	ステンレス鋼(SUS)製配水池1万～3万t製品			
			147, 551	大口径鋼管のタンク化			
			328	現地組み立て9,000tタンク			
			334	1,000tタンク(SUSおよびグラスファイバー)			
			443	石油タンク			
			558	工場製作1,000tタンク			
			586	工場製作1,500tタンク			
			587	現地組み立て5,000tタンク			
			620	工場製作2,000tタンク			
	相当程度（少なくとも0.36G）以上の地震に対し漏えい防止機能を維持できること	タンク部材の耐震化	58, 72	機能性継ぎ手			
			152	塑性保護コーティング			
			620	二重鋼殻タンク			
		タンク本体の免震・制震	174	タンクの免震化			
			361	スロッシング制御装置			
			692	粘弾性ダンパー			
		その他	28	タンク配管の剛連結解除			
			669	耐震設計			
	可能であれば、タンク内で発生する制動X線を抑制できる遮へい機能を有すること	制動X線の遮へい	36	チタンシート			
			219	二重鋼殻間に鉛を挿入			
			549	様式2なし			
			586	遮へい設計			
			620	二重鋼殻			
		制動X線の発生抑制	274	プラスチックタンク、エポキシ樹脂			
		その他	698	性能評価システム			

この報告を受け，汚染水処理対策委員会は，表 5-4 に示す適用可能な技術提案の抽出を行い，公募を踏まえて新たに活用すべき主な技術を「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～，（平成 25 年 12 月 10 日）[4]」で公表している。

表 5-4　公募を踏まえて新たに活用すべき主な技術 [4]より引用

今般の技術公募を踏まえ新たに活用すべき主な技術　等

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

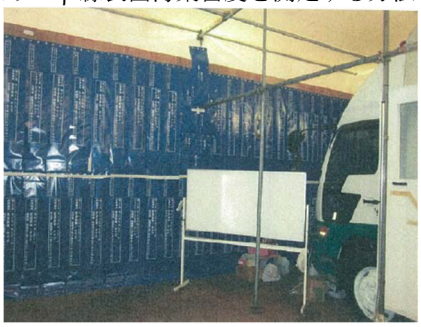
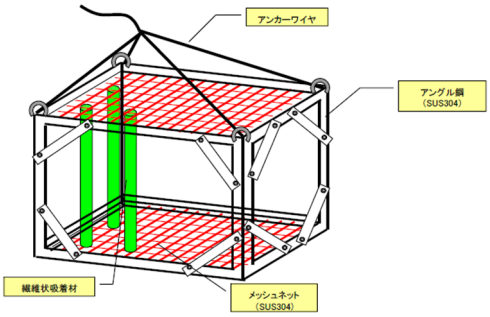
②施工性や費用対効果等を踏まえ実施手法を選定した上で、活用すべき技術
- ○遮水対策技術（フェーシング、遮水等）

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

東京電力は，この汚染水処理対策委員会の報告に基づいて現場の適用性等を検討した結果，表 5-5 に示す 6 つの提案を採用し，また，現状では現場適用性の観点から採用に至らなかった提案についても，引き続き現場状況に応じて採用の可能性を検討するとした [5]。

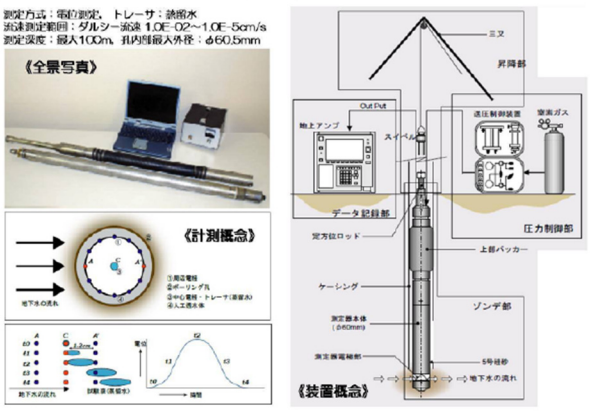
表 5-5　現場で採用する技術提案 5)を基に作成

<table>
<tr><th>信頼性の高い大型タンク</th><th>鉛を用いない遮へいシート</th></tr>
<tr><td>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のタンクが供給可能
 </td><td>No.83
柔軟性に富みかつ加工が容易である Df シートを用いて測定器のプローブの入射窓以外の部分の外面を被覆することで，周囲からのγ線，なびに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
  </td></tr>
<tr><th>吸着材を用いた海水浄化</th><th>Sr 汚染地下水を対象とした透過性浄化壁</th></tr>
<tr><td>No.408
①Cs 吸着繊維を港湾内に浸漬，または繊維に海水を通水し海水から 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水し海水から Sr を吸着除去
 

【繊維状吸着材浄化装置の概念図】</td><td>No.229
アパタイトによる土壌中の Sr 補集を実施予定（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）

【カラム試験】

（回転振とう装置）</td></tr>
<tr><th colspan="2">水みち検層（No.571）
単孔法流速流向測定技術（No.572）</th></tr>
<tr><td colspan="2">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ブを挿入した後，揚水ポンプで揚水しつつプローブを段階的（または連続的）に引き揚げ，プローブ内に設置された電磁流量計により区間毎の流量変化を計測（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）
水みち検層技術と単孔法流速流向測定技術を組合せた調査を予定
 

【測定技術概念図】</td></tr>
</table>

（No.は受付番号）

5.2 経済産業省 資源エネルギー庁の公募

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，2014 年 3 月 24 日に以下の 4 つの汚染水処理対策技術検証事業に係る補助事業の公募を行った[6)]。

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

公募の結果，表 5-6 に示す 11 件の提案が採択され，検証事業の結果は成果報告[8)]として公表された（図 5-1）。

表 5-6　汚染水処理対策技術検証事業[7)]を基に作成

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ン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（海水中での捕集率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証
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の除染性能を検証	⑧複雑な形状のタンクの除染に超高圧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 ・拡掘を対象とした、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

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）8)より引用

検証事業の開始以降，汚染水処理対策については予防的・重層的な対策が進められ，タンク内汚染水の処理，海側トレンチからの汚染水の除去，海側遮水壁の閉合など一定の成果を得ている。このような現場環境の変化を踏まえ，東京電力は，検証事業の成果の現場への適用性について検討を行い，その結果を汚染水処理対策委員会（第 17 回）に報告している（表 5-7）。

表 5-7　検証事業成果の現場への適用性 9)を基に作成

海水浄化技術検証事業	予防的・重層的な対策により港湾内の海水中放射性物質濃度が検証事業の前提とした濃度より低下しており、現時点で事業成果を現場適用しても更なる海水浄化の効果が十分に期待できないものの、万一何らかの原因により港湾内の海水中放射性物質濃度が上昇した際など適用により効果が得られる場合の活用を検討する。
土壌中放射性物質捕集技術検証事業	敷地内の土壌中放射性物質を除去する必要性は引き続き有しているため、現場での適用性に向け検討を進める。
汚染水貯蔵タンク除去技術検証事業	施工期間や施工エリア確保など現場適用のために解決すべき技術課題があり、今後、技術課題の解決及び活用を検討する。
無人ボーリング技術検証事業	当面、屋外でのボーリング作業は予定していないため、今後は高線量箇所でのボーリングなどの無人作業が必要となる際には、適用可能な技術として活用を検討する。

参考文献

1)茂木敏充(2013)：廃炉・汚染水問題への対応方針と具体的なアクション，廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議（第 1 回），資料 3，平成 25 年 9 月 10 日，https://www.kantei.go.jp/jp/singi/hairo_osensui/dai1/siryou3.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

2)国際廃炉研究開発機構 汚染水技術調査チーム(2013)：汚染水問題への対応について技術提案募集結果について，2013 年 11 月 15 日，http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2013/siryo42/siryo1-5.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

3)汚染水処理対策委員会事務局（2013）：技術公募の整理・分類等の方針について（案），汚染水処理対策委員会(第 8 回），平成 25 年 10 月 25 日，https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131115/131115_01f.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

4)経済産業省 汚染水処理対策委員会（2013）：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～，平成 25 年 12 月 10 日，https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131210/131210_01d.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

5)東京電力（2012）：福島第一原子力発電所における汚染水対策に係る技術公募の活用・検討状況，資料 6-2，汚染水処理対策委員会(第 12 回），2014 年 4 月 28 日，https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140428/140428_01l.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

6)廃炉・汚染水対策事業事務局(2014)：平成 25 年度補正予算「汚染水処理対策技術検証事業」に係る補助事業者の公募のご案内，https://dccc-program.jp/project/project-6_2-1，2018 年 12 月 19 日現在，2018 年 12 月 10 日掲載確認

7)資源エネルギー庁（2014）：平成 25 年度補正予算「汚染水処理対策技術検証事業」に係る補助事業者の採択結果，平成 26 年 6 月 27 日，https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140725/140725_01k.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

8)汚染水処理対策委員会事務局(2015)：平成 25 年度補正予算「汚染水処理対策技術検証事業」に係る補助事業者の成果報告，汚染水処理対策委員会(第 17 回），2015 年 12 月 11 日，https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committtee/osensuisyori/2015/pdf/1211_01n.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

9)東京電力（2015）：平成 25 年度補正予算「汚染水処理対策技術検証事業」に係る補助事業成果の福島第一原子力発電所への適用性について，汚染水処理対策委員会(第 17 回），2015 年 12 月 11 日，

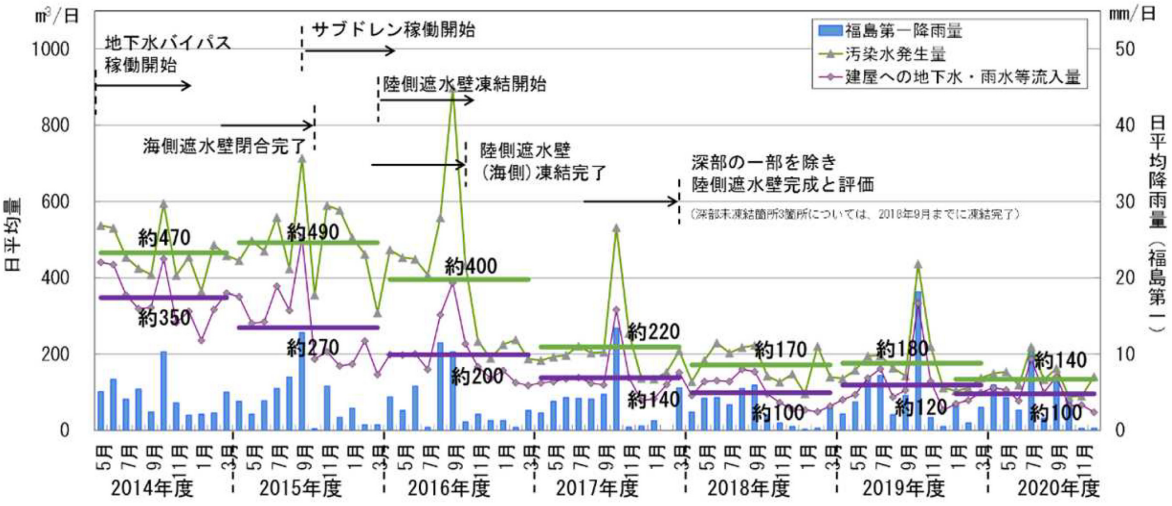
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committtee/osensuisyori/2015/pdf/1211_01k.pdf，2018 年 12 月 10 日掲載確認

おわりに

2011 年 3 月 11 日に発生したマグニチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震とそれに伴う大津波，そしてそれにより引き起こされた東京電力福島第一原子力発電所（以下，「1F」）1～4 号機の事故，さらには各所で発生した大規模地震災害は東日本大震災と総称されている。

その中で，1F における甚大な原子力事故対策は，事故初期段階の緊急時対応・復旧活動，その後の 3 つの方針に基づく汚染水処理対策や環境負荷低減・廃棄物対策と固体廃棄物の保管・管理の継続的な取り組みが進められ，さらに 1F の安定化が実現した後の廃止措置に向けた新たな取り組みの段階へと進んでいる。

1F 構内では現在も対策工が継続して実施されており，敷地境界の空間線量は 8 箇所のモリタリングポストで，1 箇所（モリタリングポスト MP4：図 3-7 参照）を除き 1.0 μSv／h 以下（2023 年 1 月 10 日現在）にまで低下している [1]。また，汚染水の発生量は下図のように 140m^3／日程度 [2] まで抑制して，中長期ロードマップ [3] で示された『2020 年内に汚染水発生量を 150m^3／日程度に抑制』の目標を達成している。現在は新たな目標として『2025 年内に汚染水発生量を 100m^3／日程度』に抑制することを目指すとともに [4]，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 m^3／日に低減される見通しが示されている [5,6]。



汚染水発生量の推移 [2]より引用

さらに，廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議（2021 年 4 月 13 日）[7]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「多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針」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（60,000Bq／ℓ），さらに世界保健機関（WHO）の飲料水水質ガイドライン（10,000Bq／ℓ）よりも大幅に低い濃度（1,500Bq／ℓ）まで希釈した処理水の海洋放出を 2023 年 8 月 24 日より開始して

いる[8]。

また，原子力損害賠償・廃炉等支援機構は，「東京電力(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 2015 ，～2015 年中長期ロードマップの改定に向けて～，2015 年 4 月 30 日[9]」を公表し，毎年見直しを行っている。

2023 年 10 月 18 日に公表された「東京電力ホールディングス㈱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[10]」では，当面 10 年間程度に発生する固体廃棄物の物量予測を定期的に見直しながら，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，適切な保管・管理を遂行するとしている。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）の整理が行われ，固体廃棄物の特徴に応じた検討が進められている。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うため，減容，再使用・リサイクルなどを一層進めることが極めて重要という方針が示されているが，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，昨今の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。

これらの状況を踏まえて，本調査研究は特に土木分野の取り組みに焦点を当て，2018 年 12 月までに公表された膨大な情報・資料について（一部 2023 年までの資料も含む），調査と体系的な整理・取りまとめを行ったものである。

放射能による汚染という大変厳しい環境下において，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深く関わってきており，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について，本調査研究では，対象廃棄物・技術分野ごとの時系列的な流れも考慮した体系的な整理を行った。

原子力事故という過酷な状況下においても，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，少しでも多くの技術者や一般の方々に改めて知っていただくとともに，将来への貴重な基礎資料，あるいは教訓として，また，若い世代の技術者の皆さんに広く有用な資料として活用していただければ幸いである。

以　上

参考文献

1)福島第一原子力発電所におけるモニタリングポスト計測結果,
https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1-rt/html-j/f1-mp-20230110-j.html ， 2023 年 1 月 10 日掲載確認

2)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,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2021/01/2-1.pdf，2022 年 4 月 15 日掲載確認

3)廃炉･汚染水対策関係閣僚等会議(2017)：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止措置等に向けた中長期ロードマップ（案），平成 29 年 9 月 26 日，
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/hairo_osensui/dai3/siryou2.pdf, 2018 年 12 月 10 日掲載確認

4)廃炉･汚染水対策関係閣僚等会議(2019)：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止措置等に向けた中長期ロードマップ（案），令和元年 12 月 27 日，
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/hairo_osensui/dai4/siryou2.pdf, 2022 年 4 月 15 日掲載確認

5)東京電力（2022）：汚染水対策の現況と今後について, 汚染水処理対策委員会(第 21 回)，資料 2, 2022 年 12 月 21 日,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committtee/osensuisyori/2022/26_04.pdf ，2022 年 12 月 25 日掲載確認

6)汚染水処理対策委員会（2022）：汚染水発生量の更なる低減に向けた取り組みの具体化（案），汚染水処理対策委員会(第 21 回)，資料 3，令和 4 年 12 月 21 日,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committtee/osensuisyori/2022/26_05.pdf ， 2022 年 12 月 25 日掲載確認

7)廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議（2021）：東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針，令和 3 年 4 月 13 日,
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osensui/alps_policy.pdf，2023 年 3 月 15 日掲載確認

8)東京電力(2022)：福島第一原子力発電所 ALPS 処理水の海洋放出開始について，2023 年 8 月 24 日,
https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2023/2h/rf_20230824_2.pdf，2023 年 8 月 26 日掲載確認

9)原子力損害賠償・廃炉等支援機構（2015）：東京電力㈱福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2015，～2015 年中長期ロードマップの改訂に向けて～，平成 27 年 4 月 30 日,
https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20150617_Technology_strategy_plan.pdf，2023 年 4 月 13 日掲載確認

10)原子力損害賠償・廃炉等支援機構（2022）：東京電力㈱福島第一原子力発電所の廃

炉のための技術戦略プラン 2023，2023 年 10 月 18 日，
https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/202310181_SP2023FT.pdf，2023 年 10 月 25 日掲載確認