

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  
汚染水処理対策委員会

## <概要>

- 汚染水処理対策委員会は、「東京電力(株)福島第一原子力発電所における汚染水問題に関する基本方針（平成25年9月3日、原子力災害対策本部）」や、「廃炉・汚染水問題への対応方針と具体的アクションプラン（平成25年9月10日、廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議）」に沿って、リスクの徹底的な洗い出しを行い、予防的・重層的な汚染水処理対策をとりまとめた。
- 海洋への意図しない汚染水流出と有意な環境影響が生じないよう、リスク全体の総合的なマネジメントを徹底して、個々の設備やその運用、一部の対策において支障が生じても、「全体として機能するシステム」を構築し、国内外から信頼され、安全・安心が確保されるようにすることが重要である。
- 検討に当たっては、地下水や雨水の挙動に関する技術的な検討や、汚染水が漏えいするリスクに関する分析・評価について充実を図るため、委員会の下に「地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化サブグループ」と「リスク評価サブグループ」の2つのサブグループを設け、それらの分野の専門家の参加を得て、重点的に検討した。
- また、現場目線での検討を行うため、委員会として現地調査を行うとともに、汚染水対策現地調整会議とも連携を図った。
- さらに、既存の一般的な知見だけでは対応が困難なものも含まれるため、①汚染水貯留、②汚染水処理、③港湾内の海水の浄化、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の計6分野について、国内外の叡智を結集するために技術提案を求めた。

○これらの検討の結果として、汚染水を「取り除く」対策、汚染源に水を「近づけない」対策、汚染水を「漏らさない」対策のそれぞれについて、予防的・重層的な対策として、追加して実施すべき対策や技術を抽出し、優先度等を考慮して対策の全体像を示した。

(対策の具体例)

重層的対策：「広域的なフェーシング（表面遮水）」又は「追加的な遮水とその内側のフェーシング」、  
タンク堰のかさ上げ・二重化、  
排水路の暗渠化・港湾内へのルート変更、  
土壌中のストロンチウム捕集、  
溶接型タンクの設置加速と二重鋼殻タンク等の信頼性の高い大型タンク、  
タンクからの微小漏えいの検出、  
沈殿・吸着・分離等による港湾内の海水の浄化、  
放射性物質が除去できる汚濁防止膜等の活用、  
港湾内の海底土の被覆 等

予防的対策：大規模津波対策（建屋防水性向上対策の実施、防潮堤等の追加対策の検討）  
建屋の止水（建屋外壁貫通部、建屋間ギャップ、建屋周辺）  
汚染水の移送ループの縮小 等

○これらの対策を実施すると、現在のリスクがどのように低減していくかという将来像を示した。

○今後、ここにとりまとめた対策を、タスクフォースにおける検討も含め、着実に実施していくとともに、国内外への適切な情報発信、必要に応じた計画の見直しが求められる。また、ここに示した対策だけでは解決に至らない大量のトリチウム水の取扱いが課題であり、これについては、委員会の下にタスクフォースを設置して、総合評価のための検討を進めることとした。

## 目次

<概要>	1
1. 予防的・重層的な汚染水処理対策の基本的な考え方	5
2. 汚染水処理対策の検討の流れ	8
3. 汚染水に係るリスク評価	13
(1) 汚染水の存在状況の把握（所在場所、保有水量、放射性物質濃度、保管形態など）	13
(2) 汚染水漏えい事象の発生要因、発生確率、汚染水が海へ流出するシナリオ	14
(3) 現状における汚染水漏えいリスクの分析	15
4. 地下水・雨水等の挙動の把握	16
(1) 地下水・雨水等に係る実測データの整理	16
(2) 水理水文現象・地質構造の整理	17
(3) 地下水流動解析モデルの構築（再現性の確認）	23
5. 国内外からの叢智の結集	28
(1) 技術提案の募集と応募状況	28
(2) 技術提案の整理・分類	28
(3) 適用可能な技術提案の抽出	29
①汚染水貯留	29
②汚染水処理	31
③港湾内の海水の浄化	31
④建屋内の汚染水管理	32
⑤地下水流入抑制の敷地管理	32
⑥地下水等の挙動把握	33
6. 地下水流動解析やリスク評価を踏まえた対策の全体像	35
(1) 汚染水処理対策の全体像の検討方針	35
(2) 汚染水を「取り除く」対策	35
(3) 汚染源に水を「近づけない」対策、及び汚染水を「漏らさない」対策（地下水流動に影響を及ぼすもの）	36
(4) 汚染水を「漏らさない」対策（地下水流動に影響を及ぼさないもの）	40
(5) 汚染水を「漏らさない」対策（タンク容量の確保）	40
(6) 予防的・重層的な対策の全体像（実施スケジュール）	44
(7) 既存施策の着実な実施（タスクフォース等）	49
(8) その他	50
7. 予防的・重層的対策による将来像（リスク低減）	53
8. 今後の課題	60
(1) 大量のトリチウム水の取扱い	60

(2) 国内外への適切な情報発信.....	60
(3) 必要に応じた計画の見直し.....	60
汚染水処理対策委員会名簿.....	62
開催実績 .....	63
陸側遮水壁タスクフォース委員名簿.....	64
高性能多核種除去設備タスクフォース委員名簿.....	64
「地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化」サブグループ検討体制.....	65
「リスク評価」サブグループ検討体制.....	65
巻末資料	

注) 本編及び巻末資料に掲載されている図表等は、今般のとりまとめに当たって、検討に用いた現時点でのものであり、精査や精度向上が必要なもの、時点により変動するものなどが含まれることに注意を要する。

## 1. 予防的・重層的な汚染水処理対策の基本的な考え方

汚染水処理対策委員会（以下「委員会」という。）は、平成25年4月26日に第1回委員会を開催して以降、東京電力(株)福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」という。）1～4号機において事故後に行われてきた汚染水処理対策を点検するとともに、汚染水問題を根本的に解決することを目的に、その方策について検討を進めてきた。また、平成25年5月30日に開催した第3回委員会においては、「地下水の流入抑制の対策」をとりまとめた。その対策の中にあるトレンチ内の放射性物質濃度の低減、海側遮水壁等、対策は1つ1つ着実に進んでいる。

一方、汚染された地下水の港湾内への流出や、汚染水貯水タンクからの汚染水（約300トン）の漏えいが判明するなど、これまでの東京電力の対応では不十分な点も明らかになってきた。

そうした状況を踏まえ、平成25年9月3日の原子力災害対策本部において、「東京電力(株)福島第一原子力発電所における汚染水問題に関する基本方針」がとりまとめられ、「今後は、東京電力任せにするのではなく、国が前面に出て、必要な対策を実施していく。その際、従来のような逐次的な事後対応ではなく、想定されるリスクを広く洗い出し、予防的かつ重層的に、抜本的な対策を講じる。」等の基本的考え方が示された。また、原子力災害対策本部の下に設置された「廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議」の第1回会議（9月10日）において、「廃炉・汚染水問題への対応方針と具体的アクションプラン」の中で、当面の委員会での取り組みとして、以下の項目が決定・確認された。

【「廃炉・汚染水問題への対応方針と具体的アクションプラン」で決定・確認された「汚染水問題に関する具体的な対応の方向性」(抄)】(平成25年9月10日)

1) 国内外の叡智を活用するための取組

- 技術的困難性が伴う潜在的リスクについて、国内外の叡智を結集するためのチームを立ち上げ、広く対応策を募集。(寄せられた対応策は、汚染水処理対策委員会を中心に精査。)【今月中から集中的に実施し、今後、2ヶ月で当面のとりまとめ。その後も必要に応じ実施】

2) 予防的かつ重層的な取組

- 「汚染水処理対策委員会」において、現場の検討も踏まえ、更なる潜在的リスクを洗い出し、対策を随時追加。【今月中から集中的に実施し、年内でとりまとめ。その後も必要に応じ実施】
- (東電任せにせず)「汚染水処理対策委員会」が必要な現地調査を実施。【必要に応じ実施】

委員会では、以下の基本的考え方に基づいて、リスクの洗い出し、予防的かつ重層的な汚染水処理対策の検討を行った。

【汚染水処理対策の基本的な考え方】

事故発生以来、汚染水の漏えい事象が発生するたび、それに対応して追加的な対策が検討され、適宜実施されてきた。その結果、相応のリスク低減は図られてきているが、未だ汚染水の漏えい事象が発生していることも事実である。

発生した漏えい事象については、その都度、情報が公表されたものの、原因分析や漏えいによる影響評価や、発生事象に対して講ずる対策が十分に説明できるようになる前に公表することが多かったため、実際に発生した事態の深刻度以上に、国内外における懸念が高まることもあった。また、逐次的・事後的な対応となり、漏えい事象等のトラブルが起こる度に対応を迫られる事態が続いていた。

そうした状況にかんがみ、リスクの徹底的な洗い出しを行い、既存の対策が十分に機能しなかった場合を想定した重層的な対策、あるいは未だ顕在化していないものの予め想定して事前に対処しておくべき予防的な対策の充実を図る必要がある。

こうした対策を実践するための基盤として、海洋への意図しない汚染水流出と有意な環境影響が生じないように、リスク全体の総合的なマネジメントを徹底して、様々な対策の組合せとその実施時期の最適化を図り、個々の設備やその運用、一部の対策において支障が生じても、「全体として機能するシステム」を構築し、国内外から信頼され、安全・安心が確保されるようにすることが重要である。

そのため、

- 1) 汚染水の量、放射性物質濃度、存在場所を継続的に把握し、汚染水の基礎情報として体系的に整理・蓄積すること
- 2) 地形・地質・水文などの基礎情報を精査し、それに基づき地下水や雨水の挙動を把握し、発生した事象や対策実施による効果の検証に際し、水の挙動に関わる原理や特性に即して技術的な検討を行うこと
- 3) 汚染水が漏えいするシナリオを幅広く想定して潜在的なリスクを洗い出し、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」という視点から、必要な対策を抽出すること
- 4) 廃炉対策との関係も踏まえつつ、個々の対策の効果とその特徴、副作用、対策相互の影響、対策が万一機能しなくなるリスクを考慮して、リスクの最小化、重層性付与、フェールセーフの視点から、対策の優先順位を明確化するとともに組合せの最適化を図り、対策を総合的に進めること
- 5) 短期から長期までの様々なスケールの時間軸上で、対策実施・効果発揮のシナリオを吟味・設定し、リスクと対策進捗の時間管理を適切に行うこと
- 6) 対策に着手後もモニタリングを継続し、基礎情報と技術的な検討に基づき総合的なリスク評価を実施し、必要に応じて計画の見直し、対策実施の改善を行うこと

の6つの考え方を基に対策をとりまとめることとした。今後とも、この考え方に基づき対策の進捗管理を徹底していくことが重要である。

## 2. 汚染水処理対策の検討の流れ

1. に示した基本的な考え方に則り、委員会として、まずは、これまでに発生したことを整理して、想定されるリスクの洗い出しを行った。〈図2-1〉

東京電力が実施してきた対策に加え、国費を投入し、凍土方式による陸側遮水壁の設置や、より処理効率の高い多核種除去設備の導入が既に決定され、設計が進められているところであるが、ここでは、これらの決定済みの対策に加え、洗い出されたリスクに応じ、予防的・重層的な汚染水処理対策として必要となる対策の抽出を行った。

また、各対策の具体的内容、優先順位付け、実施スケジュール等を含めて対策の全体像を示すため、汚染源の存在状況を体系的に整理した上で、汚染源毎のリスクの程度、既存の施策の進捗・効果等の評価を行った。具体的には3. 及び4. で詳述するように、地下水・雨水等の挙動の把握・可視化による施策の効果の検証、各施策を行うことによるリスクの低減効果等を把握するリスク評価について重点的に検討を行った。また、その検討過程では、委員会としての現地調査も実施した。

ここに示した対策の中には、既存の一般的な知見だけでは対応が困難なものも含まれるため、例えば、トリチウムの分離技術や海水中の放射性物質の除去技術などについては、5. で詳述するように、国内外の叢智を結集するために技術提案を求めた。

想定されるリスクの洗い出しと必要な予防的・重層的対策について

リスク・問題点		9月3日までに実施又は実施を決定した対策	
既に対策を講じていることとしているリスク問題点	汚染された地下水が海洋に流出するリスク	海側のトレンチ内の汚染水	○海側のトレンチ内の高濃度汚染水をくみ上げ。【取り除く】
		タービン建屋海側の汚染土壌	○建屋海側の汚染エリア護岸に水ガラスによる壁を設置。汚染エリアから汚染水をくみ上げ。【漏らさない】 ○建屋海側の汚染エリアの地表をアスファルト等により舗装。【漏らさない】 ○港湾内に海側遮水壁を設置。【漏らさない】
		タンクに貯蔵されている汚染水	○タンク及びその配管に係るパトロールを強化。【漏らさない】 ○水位計や漏れい検出器等の設置。【漏らさない】 ○鋼製横置きタンクのボルト締め接合部等強化、溶接型タンクへの移送。【漏らさない】 ○ボルト締め型タンクから溶接型タンクへのリプレイス加速。【漏らさない】 ○多核種除去設備(ALPS)による汚染水の浄化。【取り除く】 ○より処理効率の高い浄化処理設備による汚染水の浄化。【取り除く】 ○タンク周辺の汚染された土を回収。【取り除く】
	廃棄物が漏えいして地下水が汚染され海洋に流出するリスク(ALPS処理後などの高濃度廃棄物を貯蔵している高性能容器(HIC)等からの漏えい)	○より処理効率の高い浄化処理設備による廃棄物の減容化。【漏らさない】	
	汚染水の量が増加して、貯蔵タンクの不足等により汚染水が貯蔵できなくなるリスク	○建屋山側で地下水をくみ上げ(地下水バイパス)。【近づけない】 ○建屋近傍の井戸で地下水をくみ上げ(サブドレン)。【近づけない】 ○建屋の周りを囲む凍土方式の陸側遮水壁を設置。【近づけない】 ○増加する汚染水を確実に貯留することができるよう、必要なタンクを確実に増設。【漏らさない】	

↓

予 防 的 対 策

重層的対策

重層的対策			
リスク・問題点	上記の対策に加えて必要となり得る予防的・重層的な対応策		
既に対策を講じていることとしているリスク問題点	汚染された地下水が海洋に流出するリスク	海側のトレンチ内の汚染水	○1号機取水口北側エリアの地盤改良。【漏らさない】 ○港湾内の汚染物質への対策。【漏らさない】【取り除く】 →《技術公募:海水中の放射性物質の除去技術》
		タービン建屋海側の汚染土壌	○堰のかさ上げ、二重化、横置きタンクの堰や基礎部のコンクリート化。【漏らさない】 ○側溝を暗渠化し汚染水の流入を防止。【漏らさない】 ○溶接型タンクの更なる設置加速と信頼性向上。【漏らさない】 →《技術公募:長期間信頼性の高い溶接型タンク》
		タンクに貯蔵されている汚染水	○タンクからの漏れい水により汚染された地下水の海洋流出防止(薬剤の注入等による汚染拡 大の防止)。【漏らさない】 ○ALPS増設による汚染水浄化の加速。【取り除く】 ○タンクからの微小漏れいの検出(微小漏れいを検出しやすくするための周辺地表の除染等)。【漏らさない】 →《技術公募:微小漏れい検出技術》
廃棄物が漏えいして地下水が汚染され海洋に流出するリスク(ALPS処理後などの高濃度廃棄物を貯蔵している高性能容器(HIC)等からの漏えい)	○高性能容器(HIC)からの廃棄物の漏えい対策(一時保管設備を覆う建屋を設置する等)。【漏らさない】 ○高濃度廃棄物の更なる減容化及び安定的保管方策の策定。【漏らさない】		
汚染水の量が増加して、貯蔵タンクの不足等により汚染水が貯蔵できなくなるリスク	○地下水の更なる流入抑制策。【近づけない】 →《技術公募:追加的な遮水壁の施工技術、フェイシング技術》  ○汚染水の貯蔵容量の確保(例:タンクの大型化、洋上タンカー等)【漏らさない】 →《技術公募:大量の汚染水を長期安定的に貯蔵できる手法》 ○トリチウム水の適切な処理(例:トリチウムの分離、大深度スペースの活用、環境に問題のない形での海洋放出等) →《技術公募:トリチウム分離技術等》		

赤字は、現地調整会議(9月9日)、総理の福島第一原子力発電所訪問(9月19日)の際に実施が決定された施策

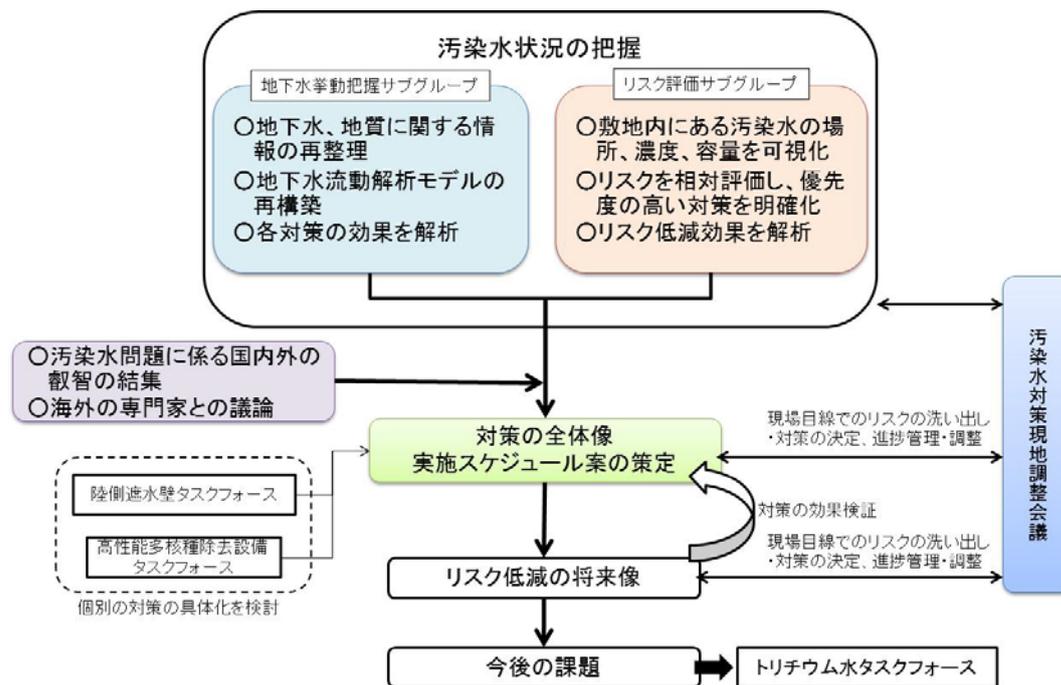
予 防 的 対 策			
リスク		今後必要となり得る対応 (現時点で想定される対策は以下のとおり。優先順位、スケジュール等については今後精査が必要。)	
今後対応の必要があるリスク	循環冷却系からの汚染水漏えい	建屋からの汚染水の漏えい	<ul style="list-style-type: none"> <li>○各号機の汚染水を直接汚染水処理施設に移送する等の小ループ化。【漏らさない】</li> <li>○建屋内の汚染水の濃度低減の加速化。【取り除く】</li> <li>○汚染水が地下水に流出しないための対策 (建屋外壁貫通部、建屋間ギャップの止水、建屋周辺のグラウティング等)。【漏らさない】 →《技術公募:建屋内止水技術》</li> <li>○原子炉建屋深部への排水ポンプの設置等による地下水位と汚染水位のコントロール。【漏らさない】</li> </ul>
		アウターライズ津波による建屋内汚染水の海洋流出	<ul style="list-style-type: none"> <li>○防潮堤の設置。【漏らさない】</li> <li>○汚染水の増加に備えたタンク容量の確保。【漏らさない】</li> </ul>
		移送配管部からの漏えい	○耐放射線性に優れた配管への取替え、配管の多重化等。【漏らさない】
		セシウム除去装置からの漏えい	○セシウム除去装置からの汚染水の漏えい防止対策(漏えい受けの設置)【漏らさない】
		セシウム除去後の高濃度廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> <li>○建屋の設置。【漏らさない】</li> <li>○減容化及び安定的保管方策の策定。【漏らさない】</li> </ul>
大規模自然災害等によるタンク等の破損	○大量の汚染水を速やかに建屋等に移送する等、外部への排出を防止するシステムの構築。【漏らさない】		

＜図 2 - 1 : リスクの洗い出しと予防的・重層的対策＞  
(平成 25 年 9 月 27 日 汚染水処理対策委員会 (第 7 回) 資料)

これらの成果として、今般、総合的なリスクマネジメントの徹底を前提として、現時点で提示しうる予防的かつ重層的な汚染水処理対策をとりまとめた。

委員会でのリスクの洗い出しや対策の検討に当たっては、地下水や雨水の挙動に関する技術的な検討や、汚染水が漏えいするリスクに関する分析・評価について充実を図る必要があったため、委員会の下に「地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化サブグループ」と「リスク評価サブグループ」の 2 つのサブグループを設け、それらの分野の専門家の参加を得て、検討体制を強化した。

また、現地における政府、東京電力等の関係者の連携と調整を強化するために設置された汚染水対策現地調整会議での現場の視点に基づく議論や検討とも連携を図った。検討の全体フローを＜図 2 - 2＞に示す。



＜図 2 - 2 : 検討全体フロー＞

(参考) 現地調整会議における検討状況

9月3日にとりまとめられた「東京電力(株)福島第一原子力発電所における汚染水問題に関する基本方針」において、現地における政府、東京電力等の関係者の連携と調整を強化するため、「汚染水対策現地調整会議」を設置し、現地の関係者の情報共有体制の強化及び関係者間の調整を図ることも決定されている。また、「廃炉・汚染水問題への対応方針と具体的アクションプラン（9月10日 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議決定）」においても、「汚染水対策現地調整会議」にて、現場関係者からのあらゆる声を吸い上げ、対策の見直し・修正、潜在的リスクの洗い出しを行うことが、決定・確認されており、これに基づき種々の取り組みを進められてきた。

「汚染水対策現地調整会議」の開催実績と主な決定事項は以下のとおり。

9月9日 第1回 汚染水対策現地調整会議

- 想定されるリスクについて体系的に整理を行い、逐次、汚染水対策現地調整会議で報告する。
- タンクからの汚染水漏えいの際に、海への流出リスクを低減するため、Bラインの側溝の暗渠化（工程とスケジュールの明確化）
- タンク周辺の堰のかさ上げ（かさ上げの高さの考え方の整理、行程とスケジュールの明確化）
- 水処理循環ラインにおいて水を貯める3箇所のタンク周辺の漏えい対策強化（堰の設置と基礎部のコンクリート化）の検討。リスクの評価を踏まえ、優先順位を決めて迅速に実施。

10月9日 第2回 汚染水対策現地調整会議

- タンク周辺の堰のかさ上げとともに、タンク堰の二重化（土堰堤の強化、土堰堤のコンクリート打ち）（平成25年度内工事完了）
- 排水路の港湾内へのルート変更について検討。
- HTI（雑固体廃棄物減容焼却）建屋、プロセス建屋、原子炉建屋、タービン建屋の地下滞留汚染水の浄化と汚染水量の低減のための新たな循環ラインの設置（平成26年度半ば運用開始）
- 溶接型タンクの設置ペース（現在15基/月）を来年度までに2倍以上にする。今後のタンクの増設ペースを踏まえ、汚染水を貯蔵する容量を確保しつつ、既設のボルト締め型タンク、横置き鋼製タンクをリプレイスするため、汚染水の量の前提条件や、どのタンクからリプレイスするか等を詳細に検討した上で、早期にタンクリプレイス計画を策定する。

11月11日 第3回 汚染水対策現地調整会議

- 溶接型鋼製円筒タンクへの水位計の設置、リプレイスされたタンクの廃棄物の処理方針の検討、汚染水漏えい防止の観点からの雷対策の再評価。
- 堰のかさ上げ、二重化と併せて雨水を一時的に貯めるタンクを大型化し、短時間で水をくみ上げ計測する方策を検討。
- 既に着手している項目（タンク水位計、タンク雨樋の設置等）についての進捗状況を確認
- 現場管理体制の強化策の実施状況の管理・監督の実施。

### 3. 汚染水に係るリスク評価

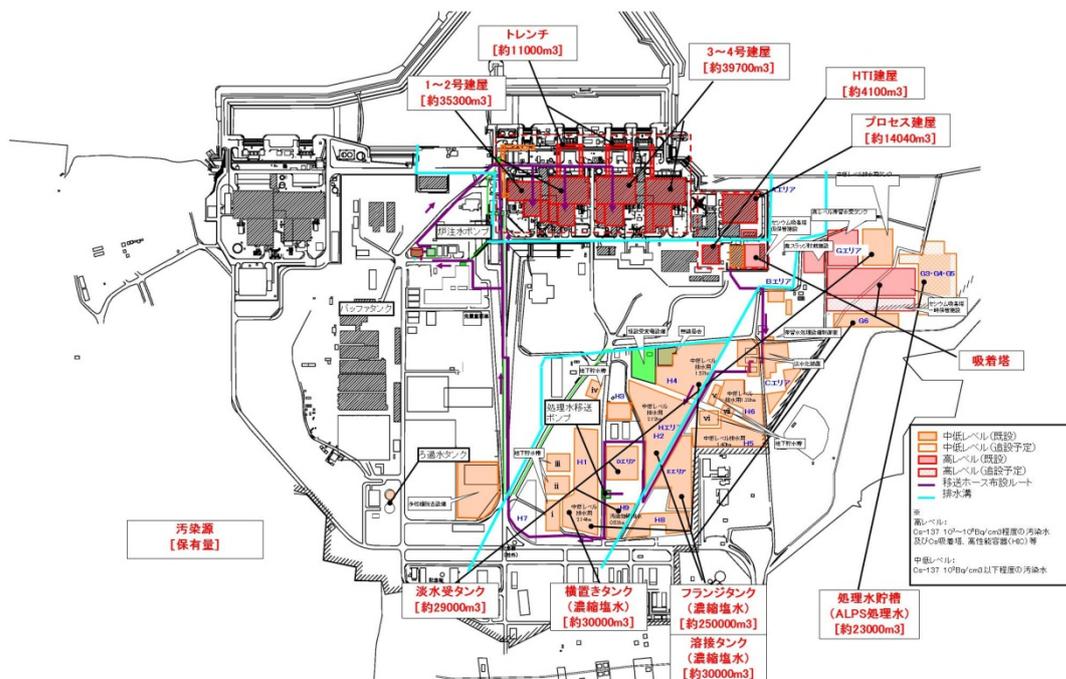
(1) 汚染水の存在状況の把握（所在場所、保有水量、放射性物質濃度、保管形態など）

福島第一原発の敷地内には、量や濃度、存在形態の異なる多種多様の汚染水が存在している。例えば、タンクに貯蔵している汚染水を見ても、セシウムのみ除去した高濃度汚染水、多核種除去設備（ALPS）により処理した後のトリチウムを含む水等がある。また、タンクの種類も様々であり、漏えいを起こしたフランジ型（ボトル締め型）のタンクの他に、溶接型タンクもある。

これらの汚染水の存在状況を正確に把握することが、現状のリスクを評価し、対策を検討し、さらには対策実施後のリスクを評価する上での前提となる。

そのため、まずは、福島第一原発の敷地内のどこに、どの程度の量や濃度の汚染水が、どのような状況で存在するかを整理した。

汚染水の所在場所毎の保有水量、放射性物質濃度の程度を、〈図3-1〉に示す。



〈図3-1：汚染水の把握 平成25年10月15日時点〉

また、これらの基礎情報をリスク評価に結びつけるために、汚染水源毎

の保有水量、放射性物質濃度を基に、核種毎の汚染水インベントリ（B q）を整理し、（２）で記載するように、汚染水漏えい発生イベントや汚染水の海への流出シナリオを想定し、漏えいの発生頻度と漏えいが発生した場合の影響度から、相対的な評価を行えるようにした。汚染水の存在状況は、対策を検討・実施していく上で最も基礎的な情報であるため、対策の効果の確認や進捗管理を含むリスクマネジメントに活用できるよう、今後とも、状況把握、体系的な整理・蓄積を継続していくことが必要である。

なお、原発事故以降、敷地内の地下の一部には汚染水が存在するとともに、現時点で港湾外や港湾口における放射性物質濃度は低いレベルにとどまっているものの、敷地近傍の海域の一部には汚染物質が存在している。そのため、地下水や海域の水質についても継続的にモニタリングが行われているところであり、これらの把握された状況についても、今後、上記を参考として、さらに分かりやすい形で整理・蓄積していく必要がある。

汚染水のリスクは、貯蔵している汚染水が漏えいするリスクと、汚染水の増大に伴い貯蔵容量が逼迫するリスクに大別されるが、以下（２）、（３）は前者についての検討内容であり、後者については６．に記載する。

## （２）汚染水漏えい事象の発生要因、発生確率、汚染水が海へ流出するシナリオ

汚染水は、その存在状況によって、漏えいの発生要因や発生頻度が異なるものと考えられる。

漏えいの発生要因としては、関連する設備等の経年劣化や損傷などの設備に起因するものや、ヒューマンエラーのような人的要因によるもの、地震や津波、豪雨災害等、自然災害によるものなどが想定される。

これらの要因による漏えい事象の発生頻度は、施設や管理体制の強化により低減を図っていく必要はあるものの、それらの取り組みに期待するだけでリスクを回避できるものではない。設備の経年劣化やヒューマンエラーなどは、予防的かつ重層的な対策を十分に実施してもなお、万が一の事態の発生を見越して、年数回は発生することを見込んでおく必要がある。また、自然災害についても、集中豪雨は数十年に数回、大規模な地震や津波は数百年に数回など、施設計画で想定しているオーダーでの発生リスクがあるものとして評価した

また、汚染水の漏えい事象が発生した場合、その事象によって漏えい量が異なるとともに、汚染水の存在場所や存在状況によって海への流出経路

は異なるため、想定される流出シナリオ毎に土壌への吸着などを考慮した海への放射性物質の流出量、すなわち海への影響度は異なる。

これらの発生要因、発生頻度、海へ流出するシナリオ毎に整理した結果を、〈巻末資料 1〉に示す。

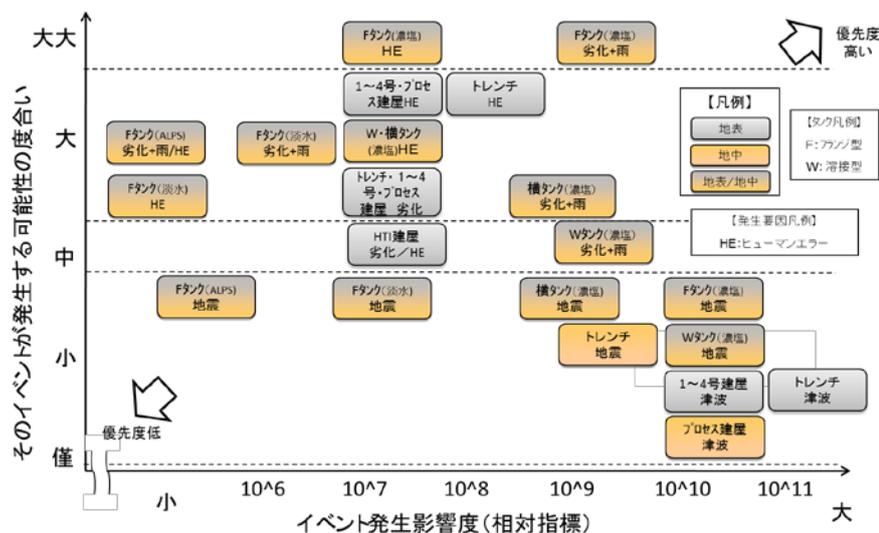
### (3) 現状における汚染水漏えいリスクの分析

様々な場所に存在する汚染水源毎のリスクを評価する上で、万一漏えい事象が発生してしまった場合の影響度とともに、その事象の発生頻度が重要な要素となる（影響度としては、核種毎の①漏えい量、②核種濃度、③線量係数の積の総和、を相対指標として用いた）。

たとえ発生頻度の低い大規模な地震や津波のような事象であっても、仮に漏えいが発生した場合にその影響度が甚大であれば、大きなリスクとして考慮しておく必要がある。また、たとえ漏えいした場合の影響度が小さい低濃度汚染水の漏えいのような事象であっても、発生頻度が高ければ、大きなリスクとして考慮しておく必要がある。

こうしたことから、リスクの程度を分かりやすく表現するために、縦軸に発生頻度、横軸に発生した場合の影響度を相対的に評価して、汚染水漏えい事象に関する「リスクマップ」を作成した。

現状におけるリスクマップを、〈図 3-2〉に示す。



〈図 3-2 : 現状のリスクマップ〉

このグラフ上の右上に位置する事象（イベント）ほど、リスクが大きく、左下に位置するほどリスクが小さいことを表している。

## 4. 地下水・雨水等の挙動の把握

### (1) 地下水・雨水等に係る実測データの整理

福島第一原発の敷地周辺の地形・地質等に関する情報については、建設時に必要な調査が実施されており、得られた情報についての整理もなされている。特に、原子炉建屋等の重要施設周辺では詳細なボーリング調査、地下水観測等も行われている。しかし、これらのデータの一部は原発事故等に伴い確認が困難な状態なものもある。また、震災後の調査については、高線量下における作業環境の問題から、場所によっては必ずしも十分なデータ収集が行われていない。

地下水や雨水の挙動を把握し、対策の効果等を予測・評価する上で、十分な実測データが得られていることが重要であり、今後ともデータの収集が必要であるものの、日々流入する地下水により汚染水が増大している現状にかんがみ、一刻も早い対策を講ずることが喫緊の課題である。そのため、様々な制約条件の下での限られた範囲ではあるものの、地下水の流れや水循環などの水理水文現象・地質構造を把握する上で必要なデータの収集・整理を行った。

既存データを整理した結果を、〈巻末資料2〉に示す。

これらのデータを最大限活用し、地下水の流入、雨水の浸透や表面流出、さらには汚染水浄化のためのくみ上げをはじめとした人為的な作用の影響など、水の流動に関する情報（データ）を基に、メカニズム全体を把握した上で総合的に検討する観点から、前述のように、委員会の下に、地下水流動や地質に関する専門家からなる、「地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化サブグループ」を設置し、以下の共通認識の下で、集中的に検討・討議した。

- ・既存の情報（データ）を最大限活用するため、徹底的な情報収集を行うとともに、収集した資料を科学的・技術的観点から十分に精査した上で整理し、有効に活用できる技術資料として整理すること
- ・高線量など調査が困難な現場条件ではあるものの、検討上必要となる情報が得られるよう可能な限り調査に努めること
- ・必ずしも十分な情報が得られていない中、各時点で得られた情報を基に可能な範囲で科学的・技術的な整理・検討を行ったことを認識し、今後とも情報の充実と蓄積が必要であること
- ・今後の情報の充実や解析・検討の進展により、今回整理した内容につ

いても、必要に応じ見直しを行う必要があること

## (2) 水理水文現象・地質構造の整理

福島第一原発の敷地は、元々はO. P. (小名浜港工事基準面を0メートルとする標高。以下同じ。) + 35m程度の台地が海岸に接する海岸段丘であったが、発電所建設に当たりO. P. + 10m程度の平地が造成されている。その地層は、地表面付近の段丘堆積物(埋戻し土を含む。)より下層が、富岡層と呼ばれる新第三紀に堆積した地層であり、上から中粒砂岩層(I層)、泥質部(II層)、互層部(III層)等が分布している。このうち泥質部(II層)とその下部の互層部(III層)が原子力発電所建屋の支持地盤となっている。互層部(III層)よりさらに下部の泥質部(IV層)の中にも透水性の高い砂岩層(細粒砂岩層、粗粒砂岩層)が存在するが、それらの砂岩層は建屋の建設による擾乱を受けていない。

ボーリングデータや露出している地層の観察から、これらの地層は、海側への傾斜角約2度で東側に傾き、ほぼ平行して海域へ連続していることが推定される。また、中粒砂岩層(I層)を流れる地下水は主として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)を流れる地下水は主として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を含むより深部を流れる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が推察される。

このうち、汚染水問題を考える上では、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を流れる不圧地下水(地表に最も近い不透水層の上を流れる地下水)が中心的な対象であるが、建設工事により、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(不透水層の間にある透水層を流れ、その最上面において大気圧より大きい圧力がかかっている地下水)にも注目する必要がある。

中粒砂岩層(I層)については観測用井戸で採取した地下水から放射性物質が検出されている。互層部(III層)の水質も現在確認を進めているが、直近に建屋海側で採取した互層部(III層)の地下水からは放射性物質がほとんど検出されていない(平成25年12月9日現在)ことを踏まえると、引き続き調査が必要であるものの、互層部(III層)の地下水は、その汚染度合いは低いと考えられる。また、互層部(III層)より下の細粒砂岩層と粗粒砂岩層を流れる地下水が汚染されている可能性は低いと考えられる。

この判断の確実性を高めるためには、互層部（Ⅲ層）を流れる地下水についても継続的に放射性物質の濃度の観測を行う必要がある。

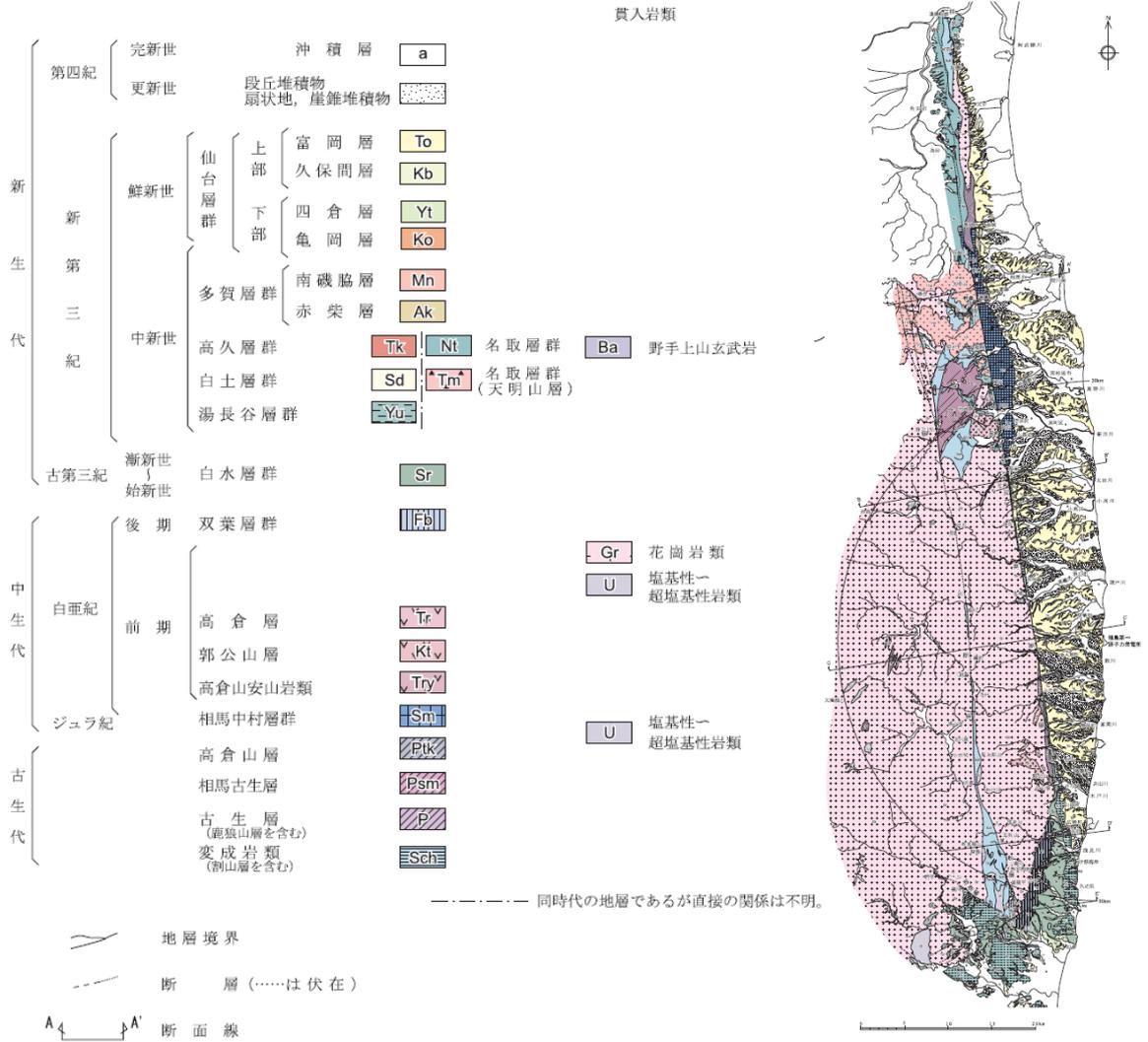
さらに地下深部には双葉断層付近で涵養された、あるいは阿武隈山系等から流入する地下水が流れる帯水層が存在するが、中粒砂岩層（Ⅰ層）や互層（Ⅲ層）を流れる地下水への影響はほとんどないと推測される。

現時点では、互層部（Ⅲ層）は、汚染度合いは低いと考えられるものの、一部基礎工事において互層部下面までの掘削・埋め戻しを実施していることから、安全サイドで考えると海側遮水壁については、互層部（Ⅲ層）まで遮水することが適切と考えられる。

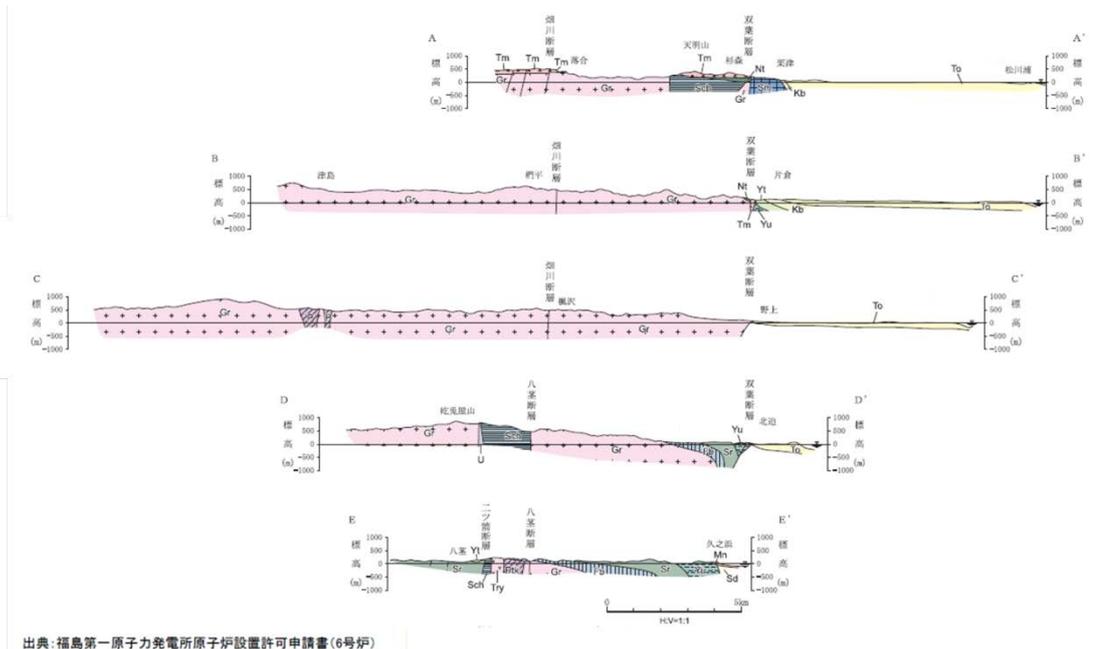
これらの既存データ、新たな観測結果、現地調査結果等も踏まえ、中粒砂岩層（Ⅰ層）の中への泥質のはさみ層を含め、可能な限り水理水文現象・地質構造の整理を行った。地質構造図等を整理した結果を、〈図 4-1～4-6〉に示す。

ただ、全体として観測数が十分とは言えないため、地下水位や水頭、放射性物質の濃度等の観測を継続するとともに、把握すべき内容に応じた精度を確保するなど観測の充実を図る必要がある。なお、今後さらに地下水流動解析の精度を向上させるためには、中粒砂岩層（Ⅰ層）の中の泥質のはさみ層と地下水分布との関係の詳細等を明らかにする必要がある。

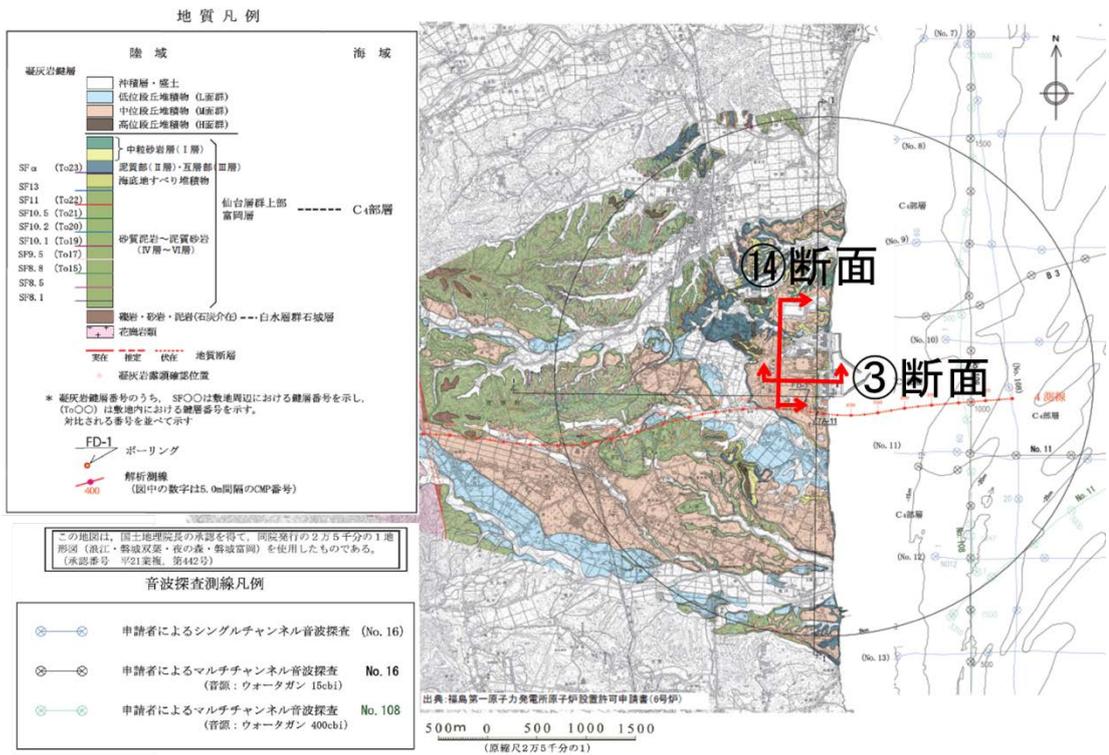
### 凡 例



<図4-1: 敷地周辺陸域の地質図>

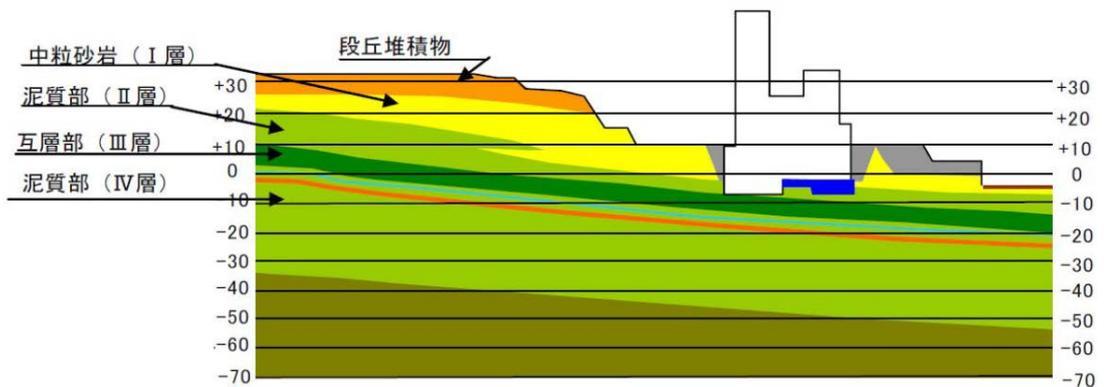


<図4-2：敷地周辺陸域の地質断面図>

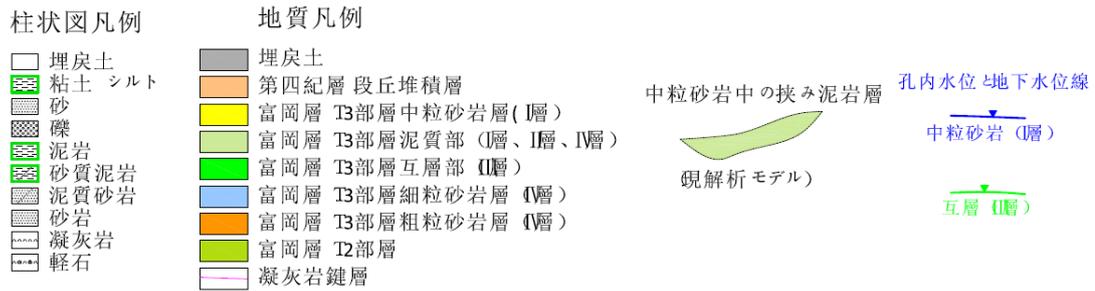
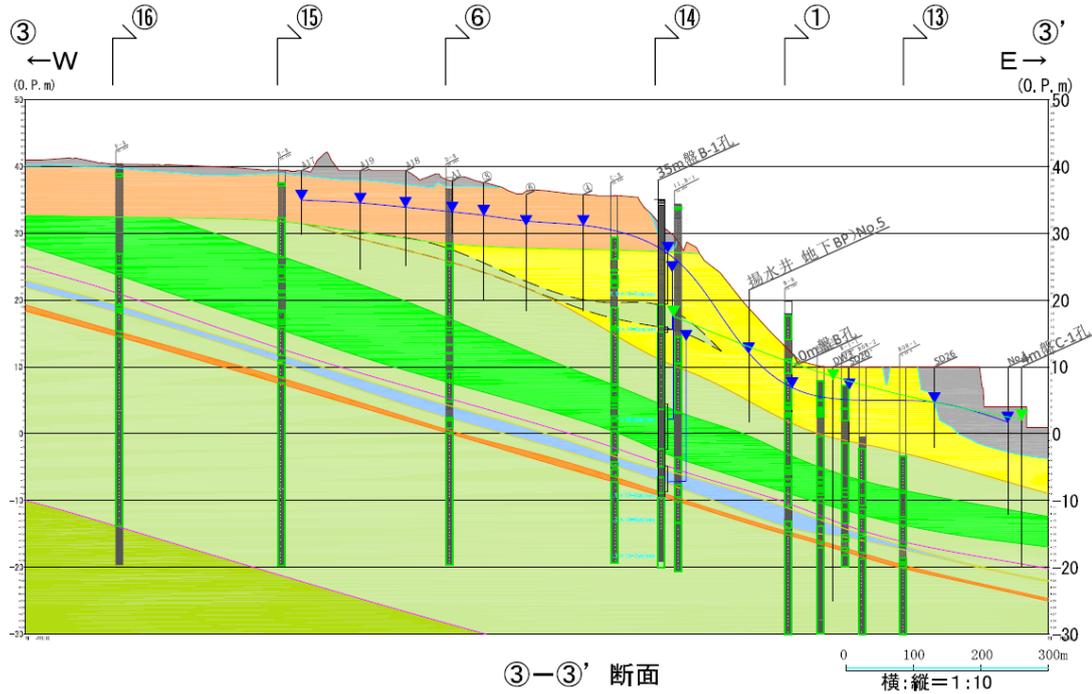


<図4-3：敷地周辺地質平面図>

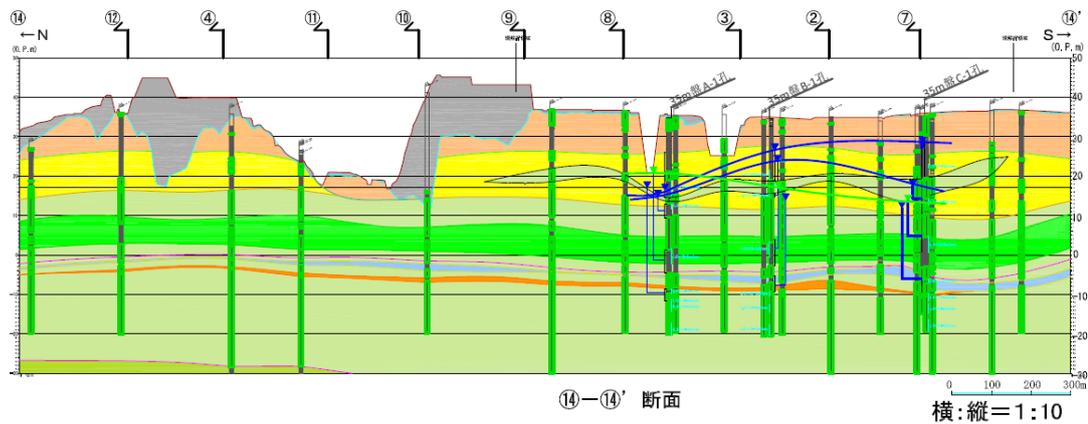
地質時代	地層名	主な岩相・層相	地層区分	層相	水理に関する既存の情報
第四紀	沖積層	暗緑灰色～褐色の粘土及び砂、未固結	沖積層	中粒～粗粒の砂を主体とし径1～数cm程度の隙を含む	—
	段丘堆積物	黄褐色の砂礫及び砂、半固結		層相I層	層厚は20m程度で塊状無層理の中粒砂岩を主体とする。層厚数mのシルト岩(泥質部)を挟在する
新第三紀	富岡層	T <sub>3</sub> 部層	富岡層	砂質泥岩～泥岩 軽石粒、凝灰岩を挟在 上部に砂岩を挟在	(泥質部) 透水係数 (1.00E-06～1.18E-06)
		T <sub>2</sub> 部層		泥質砂岩 軽石粒、凝灰岩を挟在	
		T <sub>1</sub> 部層		泥質砂岩 軽石粒、凝灰岩を多く挟在	
中新世	先富岡層	泥質砂岩～泥岩 軽石粒、スコリア粒、凝灰岩等を挟在	先富岡層	層厚4～8m程度で、数cm～3m程度の間隔で砂質シルト岩と中粒砂岩が交互に分布するの互層からなる	互層部 透水係数 2.37E-04～8.07E-03
漸新世				層厚30m程度の無層理のシルト岩を主体とする泥質岩からなり、2層の連続性のよい砂層(細粒砂岩、粗粒砂岩)を挟在する。粗粒砂岩層下部の泥質部は砂質を呈する箇所がある	泥質部 透水係数 1.00E-06～1.18E-06 細粒砂岩 透水係数 1.00E-04～5.14E-03 粗粒砂岩 透水係数 6.20E-04～4.40E-03
古第三紀			高岡層T <sub>2</sub> 部層	層厚50m程度の泥質岩を主体とする層	—
			高岡層T <sub>1</sub> 部層	層厚70m～30m程度の泥質岩を主体とする層	—



<図4-4：福島第一原発周辺の地質層序>



<図 4-5 : 地質断面図 (③断面) (平成 25 年 12 月時点) >



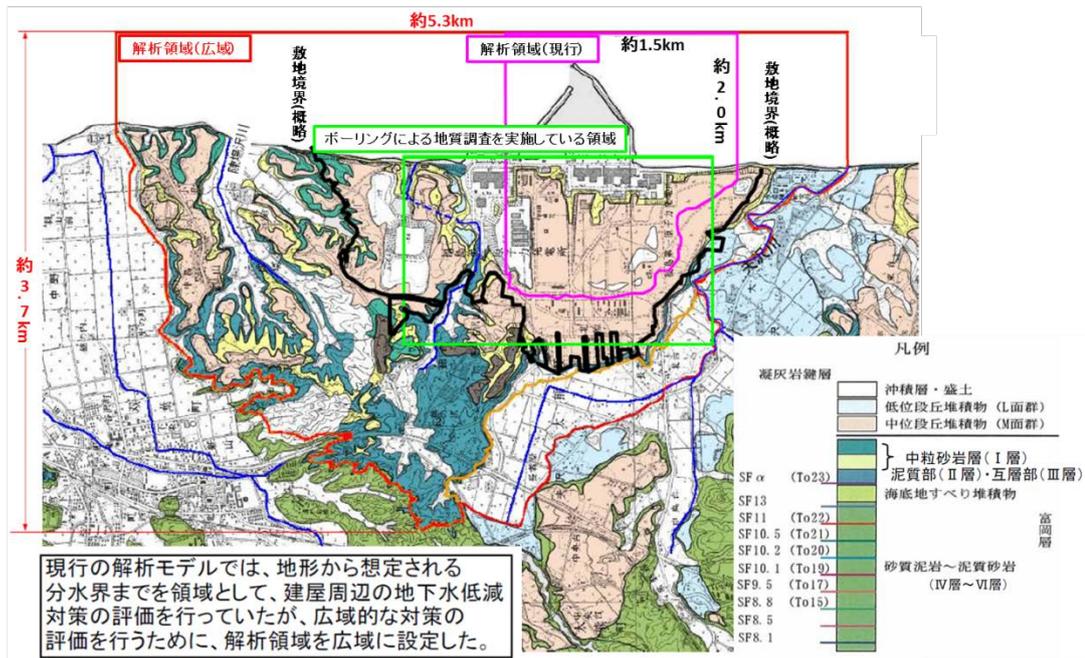
<図 4-6 : 地質断面図 (⑭断面) (平成 25 年 12 月時点) >

### (3) 地下水流動解析モデルの構築（再現性の確認）

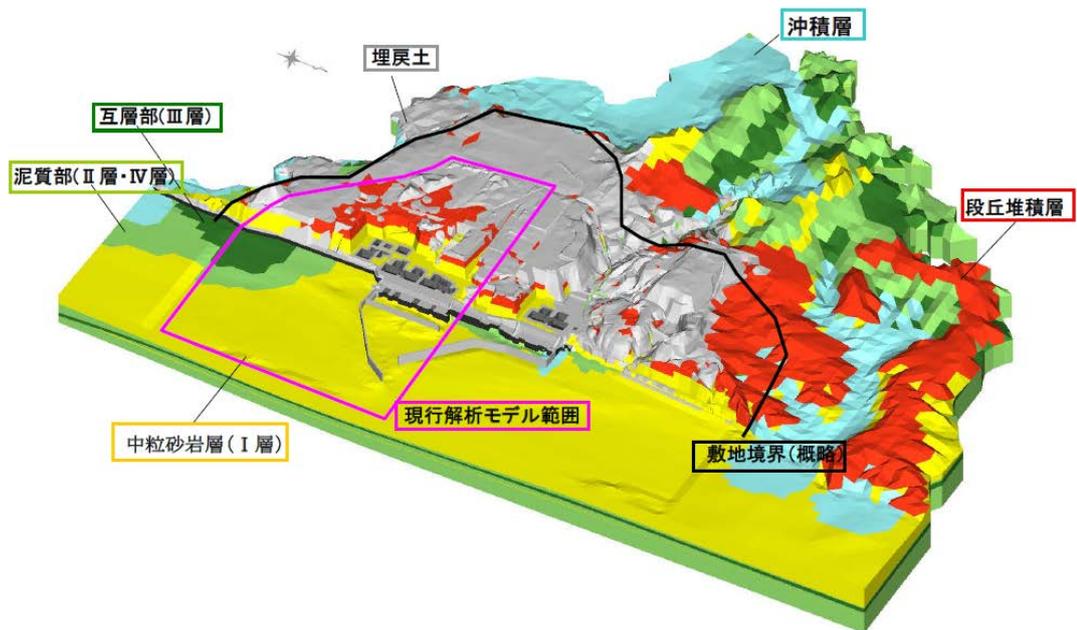
これまでも東京電力において地下水流動解析が行われており、その結果を基に幾つかの対策を計画・実施してきている。これまでの検討は、建屋周辺の地下水の流れを如何に抑制するかに着目し、敷地境界より内側の狭い解析領域における地下水流動解析を進めてきた。これまでの狭い解析領域での検討についても、その範囲における妥当性は認められたが、今回整理された水理水文現象・地質構造を踏まえるとともに、敷地境界付近における対策を含めた、より広範囲において予防的・重層的な対策を検討するに当たり、大幅に解析領域を拡張することとした。なお、データの得られている範囲や対策を講ずる内容に応じ、解析時間も考慮して解析メッシュには濃淡を設け、建屋周辺等は細かく、建屋周辺等から遠ざかるに従い粗い解析メッシュとしている。

拡張された解析領域は、陸側領域においては地下水流動解析の主対象である富岡層 T3 部層の分布（主に北側領域）と沖積河川（水の出入りが可能な静水圧境界条件となる）の分布（主に南側領域）を基に設定し、海側領域においては陸側領域の南北端を海岸線と直交方向に沖合約 2.0km まで延伸した領域とした。なお、海側領域の東側の境界条件については、水の出入りが可能な（＝静水圧境界）条件と、水の出入りが無い（＝不透水境界）条件のそれぞれの解析結果を比較することにより、解析領域を海側に更に拡張する必要があるかどうかを検討した。両解析結果を比較したところ、ほとんど差異がみられないことから、海側へこれ以上解析領域を広げる必要がないことを確認した上で、以後の検討は静水圧境界条件で行っている。解析領域、境界条件、解析条件を、〈図 4-7～4-9〉、〈表 4-10〉に示す。

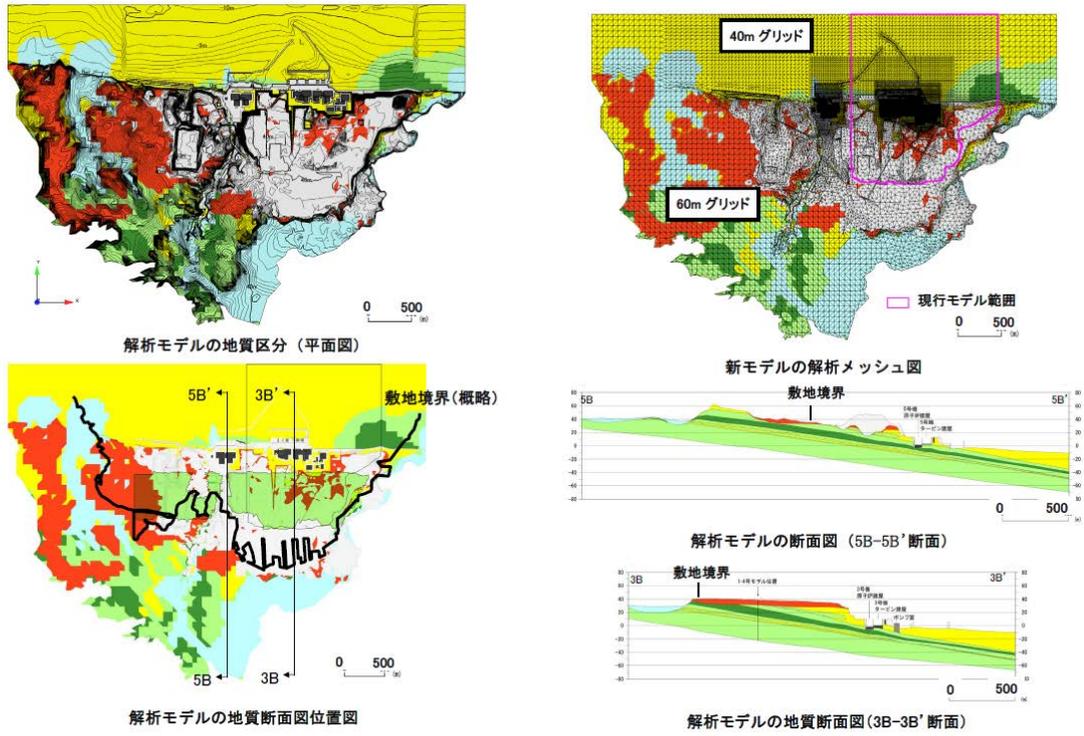
なお、効果発現に要する時間など、対策の詳細な評価を行うためには非定常解析が必要となるが、検討の緊急性にかんがみ計算時間を考慮し、対策の組合せを数多く解析して比較衡量することを優先し、主として定常解析を行ったものであり、今後、非定常解析により追加検討を行い、検討の熟度をさらに向上させることが望まれる。



<図4-7：解析領域>



<図4-8：解析モデルの俯瞰図>



<図4-9：メッシュ、断面図>

＜表 4－10：解析条件、境界条件＞

①降雨量：年平均降水量 1545mm(4.2mm/日)

②降雨浸透率 55% (蒸発散量を年間700mmとした)

③地山ならびに構造物の透水係数

地層区分	震災前		震災後		間隙率 (実流速換算時)	備考
	透水係数(cm/sec)		透水係数(cm/sec)			
地層名	水平	鉛直	水平	鉛直		
盛土	2.8E-03	2.8E-03	2.8E-03	2.8E-03	0.46	
段丘堆積物	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-03	0.41	中粒砂岩層同様
沖積層	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	0.41	文献値
中粒砂岩	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-03	0.41	
中粒砂岩(南側、上部)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	0.41	
泥岩	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54	35m盤の3B-3B'測線以南範囲
中粒砂岩(南側、下部)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	0.41	
泥岩	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54	
互層	1.0E-03	1.1E-06	1.0E-03	1.1E-06	0.41	異方性考慮
泥岩	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54	
細粒砂岩	2.3E-03	2.3E-03	2.3E-03	2.3E-03	0.41	
泥岩	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54	
粗粒砂岩	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	0.41	
泥岩	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54	
建屋基礎およびMMR	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	0.30	コンクリート相当
建屋側壁	1.0E-06	1.0E-06	5.0E-06	5.0E-06	0.30	感度解析から設定 <sup>※1</sup>
既設矢板	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-04	1.0E-04	0.30	感度解析から設定、施工幅0.8m <sup>※2</sup>
ポンプ室およびピット	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	0.30	コンクリート相当
4m盤グラウチング	—	—	3.0E-05	3.0E-05	0.30	中粒砂岩層の1/100相当、施工幅2m
碎石	—	—	1.0E-01	1.0E-01	0.41	埋立部
海側遮水壁	—	—	1.0E-06	1.0E-06	0.30	施工幅1m
陸側遮水壁	—	—	0.0E+00	0.0E+00	—	施工幅2m

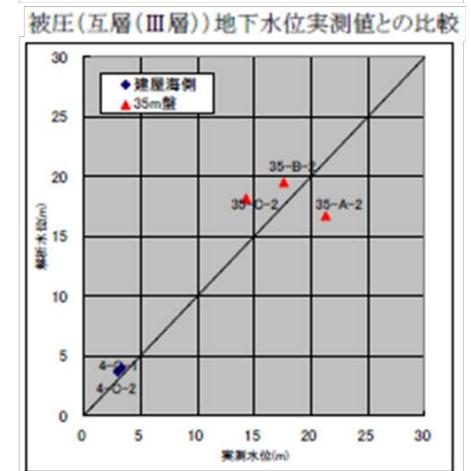
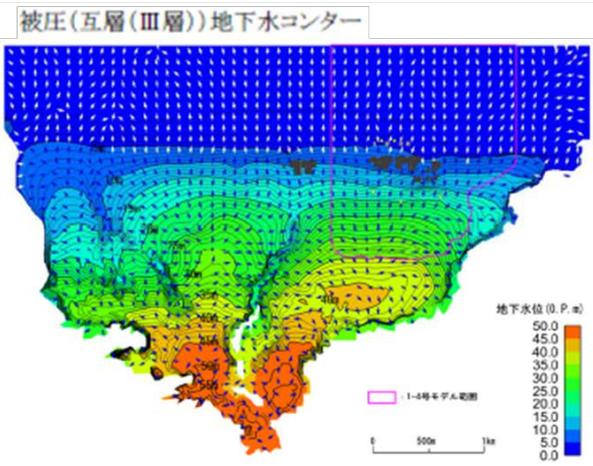
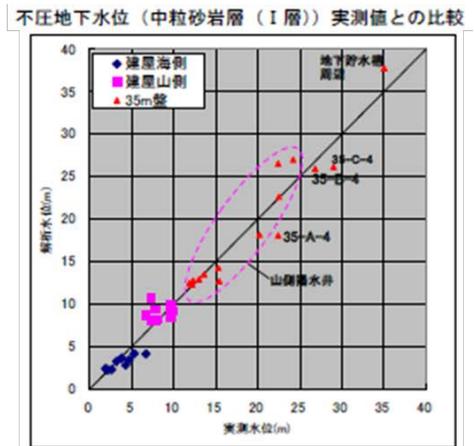
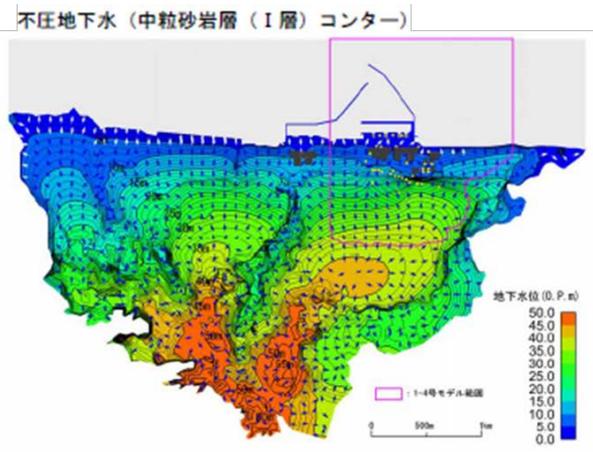
※1：建屋への流入量が400m<sup>3</sup>/日を再現できる透水係数  
 ※2：地下水位(C-3, C-4, C-5)が再現できる透水係数

④境界条件 海域：平均潮位の静水圧  
陸域：地表からの静水圧

沖積層の透水係数については実測データがないため、日本の地盤を対象とした地下水データベース(梅田浩司, 柳澤孝一, 米田茂夫(1995):日本の地盤を対象とした透水係数データベースの作成, 地下水学会誌, 第37巻, 第1号, 1995)の第四紀更新世(平均値:1.2E-03 cm/sec)と第四紀完新世(平均値:5.6E-04cm/sec)の透水係数の平均値(8.1E-4cm/sec)から1E-3(cm/sec)と設定した。

これらの解析条件の下で、敷地内の複数地点で震災後に測定されている地下水位の実測データの年間を通じての代表的な値と解析結果を比較したところ、不圧地下水(中粒砂岩層)、被圧地下水(互層部)とも、定常解析において対策実施前の状況がある程度良好に再現されていること、建屋周囲のサブドレンからの地下水くみ上げ量についても実測値と解析値に比較的良い対応関係が見られたことから、この解析条件を用いた地下水流動解析に基づき、実施すべき対策やその効果等を検討することとした。陸域・海域とも限られた地下水・地質データに基づく分析であり、今後も、新たに得られた知見に基づき精度向上を図っていくことが望まれるが、この解析条件を用いた地下水流動解析結果はある程度の誤差を含むものの、実施すべき対策やその効果等を概括的に検討する上で有用と判断した。

対策実施前の地下水流動解析結果及び実測データとの比較を、＜図 4－11＞に示す。



<図4-11：実測データとの比較>

## 5. 国内外からの叡智の結集

### (1) 技術提案の募集と応募状況

徹底的なリスクの洗い出しを行い、それを踏まえた予防的・重層的対策を検討するに当たり、技術的に困難性が伴う課題が少なからず存在したため、国内外からの叡智を結集すべく、広く技術提案を求めた。

技術提案を求めたのは、①汚染水貯留、②汚染水処理、③港湾内の海水の浄化、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・放射性核種等の挙動把握の6分野であり、その分野別の応募状況を、〈表5-1〉に示す。

〈表5-1：応募状況〉

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	提案件数
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）	34

（注1）募集分野は提案者の申請によるもの。

（注2）1つの提案で複数の分野に関連するとされたものがある。

技術公募は、「技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（以下「IRID」という。）」を通じ、平成25年9月25日から10月23日までの概ね1ヶ月間行い、その約1ヶ月間に、国内外から6分野の合計で780件の応募があり、このうち約3割が国外からの応募であった。

### (2) 技術提案の整理・分類

技術提案の結果は、IRIDにおいて、整理・分類を行った。複数の分野に該当するとの提案については、特に関係が深いと思われる代表的な1つの分野について、様式への記載内容を基に、①福島第一原発と同様の環境下において実用化の実績があると示されているもの、②他分野において実用

化の実績があると示されているもの、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と示されているもの、④アイデア提案と示されているものなどに分類がなされた。各分野の専門家からの意見聴取も行っている。

また、IRIDによる整理・分類に加え、現場での適用性等を考慮するため、分野毎に東京電力からのコメントも求めた。

これらをまとめた結果を〈巻末資料3〉に示す。

### (3) 適用可能な技術提案の抽出

技術提案の提出様式や、IRIDにおける整理・分類の結果を基に、汚染水処理対策委員会として検討を行った。

780件の提案の中には、直ちに実施可能な技術から、今後の研究開発を経て将来的に活用が可能となり得る技術まで、様々な技術提案があった。汚染水処理対策に係る多くの提案を頂いたことにより汚染水処理対策に係る技術の全体像を俯瞰することができ、これ自体が貴重なデータである。国、東京電力は今後の対策を講じていく上でこれらを参考にすべきものであり、御提案を頂いたすべての方々に感謝したい。

委員会としては、技術の成熟度、対応の緊急性、現場への適用性等を総合的に勘案して、予防的かつ重層的な汚染水処理対策を講ずるという視点から、直ちに活用すべき技術や、ある程度の検証等を行えば活用できる技術などに着目して、以下の考え方をとりまとめた。

#### ①汚染水貯留

- 1) 汚染水貯留は、汚染水処理、建屋内止水、地下水流入抑制等、汚染水の増大を抑制するための他の対策を講じたとしても必要不可欠な課題である。また、これまでもタンクからの漏えい事象が発生していることにかんがみ、貯留施設の信頼性の向上は優先度の高い対策である。数多く寄せられた技術提案には、二重鋼殻タンク等の信頼性の高い大型タンクなど、短期間の工期、漏えい防止、大型化、耐震性などの要求機能を兼ね備えた提案があり、これらについては、輸送手段や据付・検査など現地での適用性を確認した上で、可能なものについて直ちに採用すべきである。
- 2) また、汚染水の長期安定的貯蔵のため、洋上タンカー、地下貯

蔵などの提案も数多くあった。当面は、タンクの増設・大型化を進めるが、万一、将来的に貯留容量が不足する場合に備えた予防的対策として、法的、社会的、技術的課題への対応の可能性や、汚染水の処理と貯蔵のリスクを総合的に検討する必要がある。

- 3) 微小漏えい検出技術は、漏えいの早期発見に資するため、優先度の高い対策である。ただし、数多く寄せられた技術提案には開発途上の提案や、現地での適用性を確認する必要がある提案が多いため、鉛を用いない軽量の遮蔽シート、プローブの改良、各種染料などについて、速やかに検証等を実施した上で、早急に導入を検討すべきである。
- 4) ボルト締めタンクの撤去は、信頼性の高いタンクへのリプレイスを進めることと並行して実施する必要があるため、優先度の高い対策である。ただし、除染により汚染水を増大させないことが重要であることから、数多く寄せられた技術提案のうち、超高压液体窒素除染技術、ファイバーレーザなど水を使わない手法を中心に、検証等を実施した上で、早急に導入を検討すべきである。

#### 大量の汚染水を長期安定的に貯蔵する手法について考慮すべき事項（例）

汚染水貯留についての技術提案の中には、タンカーやメガフロートでの洋上管理に関するものや、地下貯蔵に関するものが多く寄せられた。各手法を検討するに当たっては、以下のような法的、社会的、技術的課題を考慮する必要がある。

##### ○洋上タンカー

- ・船舶安全法に基づく定期検査（5年毎の精密検査）、中間検査（大型船の場合は毎年の簡易検査）が必要。
- ・点検時にはタンカーを空にして、人が中に入って点検することとなっているので、点検毎にタンカーの内部を除染する必要あり。
- ・汚染水を貯蔵するタンカーの船員の確保と、放射線を防護するための設備の設置が必要。

##### ○メガフロート

- ・船舶安全法に基づく定期検査（5年毎の精密検査）、中間検査（大型の場合は毎年の簡易検査）が必要。
- ・点検時にはメガフロートを空にして、人が中に入って点検することとなっ

ているので、点検毎にメガフロートの内部を除染する必要あり。

- ・津波によりメガフロートが座礁して破損して汚染水を漏えいさせないための対策が必要。

#### ○地下貯蔵

- ・漏えいを防止する措置、漏えいを検知する手法の検討が必要。

### ②汚染水処理

- 1) 汚染水処理として、多核種除去設備の増設（高性能設備を含む）による加速化を進めることとしているが、トリチウムは多核種除去設備で分離することができず、これまでトリチウムを分離する有力な手法は見出せなかった。今回、トリチウムの分離について数多くの技術提案が寄せられているが、導入に当たっては効率性等を確認する必要があるため、トリチウム水の貯蔵技術と合わせ、既往の知見を収集整理するとともに、CECE法、凍結濃縮法、ハイドレートなどの提案された手法について処理能力や費用対効果等について評価すべきである。
- 2) 一方、トリチウム水を貯蔵し続けるリスクを、環境放出など他の選択をする場合のリスクと比較衡量するなど、総合的な評価を行うべきとする技術提案が数多く寄せられており、今後のトリチウムの取扱方法を検討するための総合的な評価のための取組を行うべきである。

### ③港湾内の海水の浄化

- 1) 現時点で、港湾外や港湾口における放射性物質濃度は低いレベルにとどまっているものの、1～4号機取水路前の一部のエリアでは一定濃度以下に濃度が低減しない状況にあるため、汚濁防止膜など導入が容易なものについては、精度の高い効果検証を待つことなく、簡易な検証をした上で、直ちに実施すべきである。
- 2) 一方、沈殿、吸着、分離などの手法による技術提案が数多く寄せられたが、放射性物質のみを除去できると明記された提案はなく、現地での適用性を確認できていない技術も多いため、研究室レベルでの成果が確認されている技術を選定し、検証等を実施した上で、導入を検討すべきである。

#### ④建屋内の汚染水管理

- 1) 建屋内及び建屋周辺止水は、汚染源に水を「近づけない」、汚染水を「漏らさない」という視点から、優先度の高い対策である。数多く寄せられた技術提案には、有機系・無機系材料や充填材、注入材など、国内外で実績を積み重ねた提案が多くあったため、現地での適用性を検討した上で、順次実施すべきである。
- 2) ただし、実施に当たっては、福島第一原発の現場条件を考慮して適切な手法を選定する必要があるため、あらかじめ試験等によって検討すべきである。また、様々な制約がある環境下において、適切な材料選定を行うことは困難も予想されるため、必要に応じ、試験設備を現地に導入することも検討すべきである。
- 3) また、被ばく線量を低減するための施工方法として、地下空間利用や無人化施工などの提案があった。これらの施工方法については、必ずしも高線量下での施工実績がないため、地下の状況が十分把握できていない箇所や複雑な構造の箇所を避けて試験的な施工を行い、適用性を確認しながら、施工範囲を拡大していくなどの対応が必要と考えられる。

#### ⑤地下水流入抑制の敷地管理

- 1) 地下水流入抑制策については、凍土壁に加えた重層的な対策として、あるいは凍土壁の代替案として、新たな遮水壁を設置すべきとする提案が数多くあった。遮水壁を設置する位置は必ずしも示されていないものの、凍土壁外側や敷地外周などの提案が多く、施工方法としては、コンクリート系、鋼製あるいは粘土系の連続壁のほか、グラウト注入の提案があった。
- 2) また、敷地内への流入抑制を目的として、敷地外周等に井戸、トレンチ、トンネル等を設置すべきとする提案があった。さらに、雨水浸透抑制策として、敷地のフェーシングを実施すべきとする提案があった。
- 3) これらの対策については、地下水流入抑制策として実施又は計画されている対策が十分に機能しない場合を考慮した重層的な対策の視点から有用となる可能性が高いため、地下水・雨水等の挙動の解析を行い、個々の対策を実施した場合や、複数の対

策を組合せて実施した場合の効果と課題を整理した上で、検討の対象とすべきである。

- 4) 数多く寄せられた技術提案には、工法や材料などについて国内外で実績を積み重ねた提案が多くあったため、適切な手法を選定・活用を検討すべきである。このうち、フェーシングの手法としては、コンクリートやアスファルトなどの実績のある工法があるが、複雑な地形等の制約を考慮して、吹付等のライニング材などの提案があった。これらの施工方法については、必ずしも高線量下での施工実績がないため、検証等を行った上で現地での適用を検討すべきと考えられる。
- 5) 土壌中の放射性ストロンチウム捕集技術については、有機系、無機系の材料や微生物の活用など、各種の提案があり、また、透過壁など港湾付近での活用も期待できる技術提案もあったため、廃棄物対策の視点も含め、検証等を行った上で現地での適用を検討すべきと考えられる。

#### ⑥地下水等の挙動把握

- 1) 地下水等の挙動把握のための技術として、データ収集、水質の分析、観測孔設置技術、地下水流動・核種移行解析などに関し、数多くの提案があった。
- 2) 地下水等の挙動把握は、汚染水処理対策委員会としても重視しており、サブグループを設置して検討を行ってきた。しかし、高線量などの制約された現場条件の下で得られた限られた情報の範囲内での検討であったため、今後、観測網を整備して観測の充実をはかり、時間的、空間的に、更なるデータ収集、解析を行い、精度の向上に努めることを推奨する。
- 3) 今後の精度向上に向けて、提案された技術の中には有望な技術が数多く含まれており、有効と考えられる技術をリストとして整理したので、調査目的に応じて適切に活用することを期待する。技術リストは<巻末資料4>に示す。

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
- 鉛を用いない軽量の遮蔽シート
- 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

## 6. 地下水流動解析やリスク評価を踏まえた対策の全体像

### (1) 汚染水処理対策の全体像の検討方針

汚染水処理対策は、基本的に、汚染源を「取り除く」対策、汚染源に水を「近づけない」、汚染水を「漏らさない」対策の3つに大別でき、それぞれ複数の対策がある。

時間的、人的、予算的な制約や、作業スペース等の現場における制約を考慮すると、考え得る全ての対策を同時に着手・完了することは困難であり、各対策の優先順位を踏まえ、対策の組合せや実施時期を最適化する必要がある。

しかし、汚染源を「取り除く」対策、汚染源に水を「近づけない」対策、汚染水を「漏らさない」対策では、それぞれ対策のねらいが異なるとともに、施設整備などのハード対策、パトロールの強化などのソフト対策など対策の手法も異なることから、全ての対策を同一の指標・考え方で整理することは困難である。

そのため、対策の分類毎に、優先順位、対策の組合せ、実施時期などの考え方を整理し、検討を進めた。

### (2) 汚染水を「取り除く」対策

汚染源を「取り除く」対策は、汚染水処理の抜本的対策として重要なものであり、汚染源の「除去」と「浄化」に分類できるため、それぞれについて、除去や浄化によるリスク低減の程度として相対指標を考慮して優先度を検討した。

除去対策としては、建屋海側トレンチ内の高濃度汚染水のくみ上げ・閉塞の優先度が高く、次いで、漏えいが発生したタンク周辺の汚染された土壌回収・汚染水のくみ上げの優先度が高い。特に前者は、図3-2に示した現状のリスクマップからも分かるとおり、高いリスク要因となっており、直ちに実施すべきである。

浄化対策としては、多核種除去設備による汚染水の浄化と設備増設による汚染水浄化の加速、より処理効率の高い多核種除去設備の導入、建屋海側トレンチ内の高濃度汚染水の浄化の優先度が高く、直ちに実施すべきである。これらに加え、建屋内の高濃度汚染水の浄化を行うとともに、タンクからの漏えい水により汚染された地下水の海洋流出防止（薬剤の注入、

土壌中のストロンチウム捕集) や、沈殿・吸着・分離等による港湾内の海水の浄化については、検証を行った上で対応すべきである。なお、検証と並行して、簡易な設備(汚濁防止膜等)による港湾内の海水の浄化、港湾内の海底土の被覆など放射性物質が拡散しないための対策を実施すべきである。

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

汚染源に水を「近づけない」対策については、汚染水を「漏らさない」対策のうち地下水流動に影響を及ぼすものと併せ、4. で示したモデルを用い、各対策を個別に実施した場合の効果や、建屋への流入量や海への流出量の抑制量から、個別・組合せの効果を把握し、優先度を検討する上での一つの指標とした。

複数の対策の組合せの効果を検討するに当たっては、予防的・重層的対策との視点から、検討対象とした対策の一部が十分に機能しないリスクなど、幾つかのシナリオを想定した上で、組合せの条件を設定している。

実施した50ケースを超える解析のうち、主な解析ケース及び解析結果を、<表6-1>に示す。

なお、<表6-1>において、海側遮水壁は、地下水ドレン(護岸付近の揚水施設。以下同じ。)の運用を前提とした効果を記載している。また、地下水バイパスやサブドレンは、運用条件等により効果が異なることに留意する必要がある。また、その他の解析ケースについては、<巻末資料5>に示す。

この検討の結果から、すでに実施を決定している対策(O. P. +4m盤における対策、地下水バイパス、海側遮水壁、サブドレン、陸側遮水壁)が完全に機能すれば、汚染源である建屋への流入量を相当程度軽減できることが確認された。

**<表6-1：解析ケース、解析結果（定常計算）>**  
**（解析条件等は巻末資料5参照）**

ケース	対策工								建屋流入量 (トン/日)		海 域 へ の 流 出 量 (トン/日) (注1)	く み 上 げ 量 (トン/日)	く み 上 げ 量 内 訳 (トン/日)(注2)		
	4m 盤 対策	地下 水 パイ パス	海側 遮水 壁	山側 SD	山/ 海側 SD	陸側 遮水 壁	フェーシング	山側 遮水壁	合計	1-4 号機 建屋			地下 水 パイ パス	サブ ドレ ン	地下 水 ドレ ン (注3)
対策 無し									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 <sup>2</sup>	130	110	90	130			
ケース7- 2	●						●	約1.7km <sup>2</sup>	160	130	100	160			
ケース8	●						●	※ 約1.0km <sup>2</sup>	300	240	170	330			30
ケース8- 2	●						●	※	170	130	140	190			20
ケース9	●							●敷地 境界内側	420	330	220	470			50
ケース10	●	●	●		●	●			70	0	0	1020	500	310	140
ケース11	●		●			●			130	30	0	270			140
ケース12	●	●	●			●			130	30	0	770	500		140
ケース13	●	●	●		●				60	20	0	1770	330	1230	150
ケース14	●	●	●		●	●	●	※	30	0	0	400	130	140	90
ケース 14-2	●	●	●		●	●	●	約1.7km <sup>2</sup>	30	0	0	320	140	130	20
ケース15	●		●			●	●	※	110	30	0	200			90
ケース16	●	●	●			●	●	※	100	30	0	340	150		90
ケース17	●	●	●		●		●	※	60	40	0	550	10	440	40
ケース 17-2	●	●	●		●		●	約1.7km <sup>2</sup>	60	40	0	590	20	490	20

※：1-4号機の東西(35m盤、10m盤)のフェーシング  
 ※※：フェーシングエリア周辺に遮水対策を実施するケース  
 (遮水壁長約3km)

〔対策無し〕の場合、1-4号機建屋以外のプロセス建屋等も含めた建屋領域における海域への流出量は約400トン/日。建屋流入量400トン/日と合わせ、地下水供給は約800トン/日。

(注1)「海域への流出量」は、1-4号機建屋領域における流出量。  
 (注2)「くみ上げ量」は、建屋流入量に、地下水パイパス・サブドレン(SD)等からのくみ上げ量を加えた量。  
 (注3)「地下水ドレン」とは、「護岸付近の揚水設備」の意味。  
 (注4)海側遮水壁は、地下水ドレン運用を前提とした効果を記載。  
 (注5)地下水パイパス、サブドレンは、運用条件等により効果が異なる。  
 (注6)地下水パイパス上段は建屋流入抑制最小のケース、中段は五層まで揚水したケース、下段は中粒砂岩層に追加の井戸を設置した最大のケース。

これらの決定済みの対策のうち、すでに実施中のO. P. + 4 m盤における対策や海側遮水壁は、海への流出量を低減する効果が大きく、汚染水を漏らさない対策として必要不可欠なものである。

また、陸側遮水壁やサブドレンは、建屋への流入量を低減する効果が大きいと、汚染源に水を近づけない対策として、重要な位置付けであることが確認された《ケース4、5、6より》。このことは、裏を返せば、陸側遮水壁やサブドレンが十分に機能しない場合や、将来的に運用を停止した場合には、地下水流入抑制対策が十分に機能しない可能性を示唆している。

予防的・重層的な対策を講ずるためには、陸側遮水壁やサブドレンが機能しない場合も想定した対策を検討する必要がある。その場合の追加対策を検討したところ、敷地境界付近における遮水（遮水壁、バイパス等）はほとんど効果が期待できないことが確認された《ケース9より》。一方、敷地内における遮水について、「広域的なフェーシングによる表面遮水」の効果は大きい、「一部領域のフェーシングによる表面遮水」の効果は施工範囲によっては限定的であることが確認された《ケース7、7-2、8より》。また、「追加的な遮水とその内側のフェーシング」を行えば、広域的なフェーシングと同様の効果が得られることが確認された《ケース7-2、8-2より》。

ただし、フェーシングについては、今後精査が必要なが非定常の地下水流動解析結果から、効果発現までに長期間を要する傾向が確認されており、早期効果発現の観点からは、陸側遮水壁等の建屋近傍における対策が優位であると言える。

また、フェーシングを行えば、降雨の地下浸透を抑制する効果がある反面、

- 1) 表流水の流量や流出速度の増大
- 2) 建屋内外の水位コントロールのため注水が必要になる可能性が高まること

などが考えられるため、必要な措置を講ずる必要がある。

このうち、1) 表流水を適切に処理するためには、①豪雨の発生や流出形態の変化等も念頭に流出量を設定すること、②設定流出量を上回る流量が生ずることも念頭に流出量に余裕を加味した排水網、排水路断面を計画すること、③計画を上回る流量が発生した場合の排水路からの溢水ルートの設定等を適切に行うこと、などにより雨水と汚染水を混在させないように留意するとともに、排水路網の水質をモニタリングする必要がある。

また、2) 建屋内外の水位コントロールへの支障が生じないように、施設計画や地下水観測を適切に行う必要がある。

追加的な遮水とその内側のフェーシングを行う場合にも、建屋内外の水位コントロールのための注水が必要になる可能性が高まるとともに、地下埋設物や他の工事等との干渉も考慮し、必要な措置を講ずる必要がある。

なお、以上に示したのは、限られた情報を基に構築したモデルを基に、主として定常解析を行った結果としての現時点での評価であり、今後さらに検討を充実させることが期待される。

上記のような、定常地下水流動解析から導かれる最終到達効果量だけを指標とするのではなく、効果発現までに要する時間、対策実行の難易度(容易さ)、建屋内外の水位コントロール、対策実施に伴う新たな水の発生の有無やその汚染の可能性、他の対策への影響、対策間の相互関係など、多様な指標を基に、総合的に評価する必要がある。

例えば、前述したとおり、広域的なフェーシングは、効果量が大きいものの効果発現までに長時間を要する。そのため、広域的なフェーシングのみでは、当面の効果が見込めないが、先行する他の施策を補完する役割としては期待できる。

また、建屋周辺で実施する凍土式の陸側遮水壁やサブドレンは、効果量が大きく、効果発現も早い。しかし、技術的・社会的に対策実行の難易度が高く、単独の対策に期待すると実現できないリスクが大きくなるため、相互に補完する組合せとして並行実施を図ることで、そのリスクを低下させることができる。

これらの整理から、既存の陸側遮水壁、地下水バイパス、サブドレンなどの組合せによる既存対策を加速化させることに加え、重層的な対策として、時間は要する可能性が高いものの効果が期待できる「広域的なフェーシング」又は「追加的な遮水とその内側のフェーシング」を追加的に実施することが効果的と考えられる。

以上に示したポイントを押さえつつ、さらに他の指標についても吟味し、総合的な評価を踏まえて、重層的な対策を講じていくべきである。

なお、以上の既存対策及び追加的な対策を実施して、建屋内への地下水流入を抑制するとともに、建屋の止水(建屋外壁貫通部、建屋間ギャップ、建屋周辺)を実施することで、廃炉対策の推進を図る必要がある。

#### (4) 汚染水を「漏らさない」対策（地下水流動に影響を及ぼさないもの）

汚染水を「漏らさない」対策のうち局所的な対策等で、敷地全体の地下水流動には影響を及ぼさないものについては、個々の対策の効果（リスク低減の程度）等を評価して優先度を検討した。

ボルト締め型タンクや鋼製横置きタンクから溶接型タンクへのリプレイス、堰のかさ上げ・二重化、排水路の暗渠化・港湾内へのルート変更、ボルト締め型タンクの底面の漏水対策、津波対策（建屋防水性向上対策の実施）、地下水位低下に備えた建屋内水位のコントロール（原子炉建屋深部への排水ポンプの設置等）の優先度が高く、直ちに実施すべきである。次いで、HTI 建屋・プロセス建屋に滞留している汚染水の量の低減、汚染水移送ループの縮小、より安全な配管ルートへの変更・耐放射線性に優れた配管への取替え等を、順次、実施していくべきである。

また、津波対策（防潮堤の設置等の追加対策）、大量の汚染水漏えい発生時に海洋流出を防止するシステムの構築については、調査・検討を行った上で、実施を検討すべきである。

#### (5) 汚染水を「漏らさない」対策（タンク容量の確保）

汚染水の量が増加して、貯蔵タンクの不足等により汚染水が貯蔵できなくなる事態を回避するため、汚染水貯蔵タンクの増設や設置の加速化等は直ちに実施すべきである。

本年10月に東京電力が公表した滞留水貯留タンク増設計画によると、現状（本年10月29日）の水処理設備で処理した水の貯蔵量は約37万立米であり、タンクの貯蔵容量は約41万立米となっている。平成25年12月以降、敷地南側のJ1、J2、J3エリアに順次増設し、平成25年度は月15基（15,000立米）程度のタンク増設を進め、平成26年度以降はタンク増設ペースを上げることにより、平成27年度末までに総容量を約80万立米まで増加させる予定である。

同計画では、以下の4ケースについて、タンク容量と汚染水の貯蔵量のバランスの評価を行っている。

	地下水バイパス	サブドレン	雨水	地下水ドレン
①	実施	くみ上げ	排水	排水
②	実施	くみ上げ	排水	貯水
③	未実施	未実施	排水	貯水
④	実施	くみ上げ	貯水	貯水

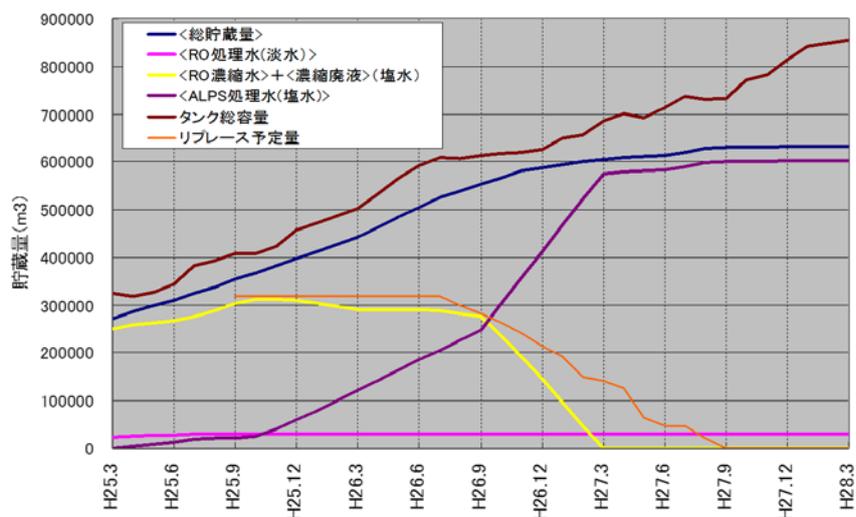
図6-2に示すとおり、ケース①の場合（地下水バイパス、サブドレン、地下水ドレンなどの施設が機能する場合）にはタンク容量に余裕があるが、図6-3に示すとおり、ケース②の場合（地下水ドレンからの水を排出できない場合）にはタンク容量に余裕がなくなり、図6-4に示すとおり、ケース③の場合（地下水バイパス、サブドレンとも機能しない場合）にはタンク容量が不足し、平成27年4月頃には貯蔵容量が逼迫する状況も想定される。

図6-5のケース④の場合、ケース②に加えて雨水も排出できないことから、タンク容量の余裕が更に不足することを示している。

このように、現時点においては、上記4ケース以外のシナリオも含め厳しい条件を想定すると、汚染水貯蔵容量が逼迫するリスクを排除できず、汚染水の増大を最小化することが求められる。そのため、効果が大きく、効果発現が早い地下水流入抑制効果として、陸側遮水壁、サブドレン、地下水バイパスなどの既存対策を加速化することが重要といえる。

ただし、タンク容量と汚染水の貯蔵必要量とのバランスは、施設の運用計画だけでなく、トリチウムの処理・貯蔵とも密接に関係するため、トリチウムの処理技術についての検証や、トリチウム水のリスクについて総合的に評価する取り組みが重要である。現在のタンク増設計画と貯蔵必要量の関係を考慮すると、平成26年度中はタンク容量の逼迫は起きないと想定されるが、地震時のスロッシングのリスクを考慮してタンクの水位に余裕を確保する場合には、タンク容量の逼迫が早まることから、平成26年度のできるだけ早い時期に、タンク容量が不足するリスクを見極め、必要に応じ追加対策を講じられるようにする必要がある。

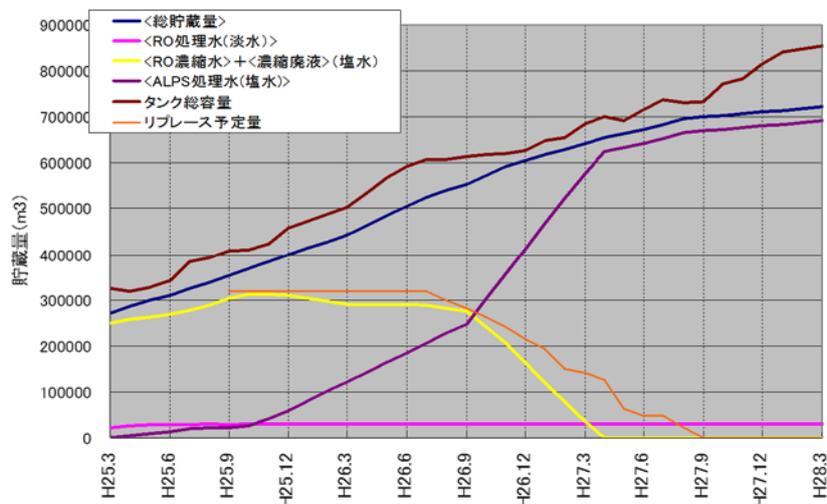
ケース1(地下水バイパス実施、サブドレン汲み上げ、雨水排水、地下水ドレン排水)



※「福島第一原子力発電所1～4号機における滞留水貯留タンク増設計画について（平成25年10月時点）」  
（平成25年10月31日／東京電力株式会社）より抜粋

<図6-2：タンク増設計画（ケース1）>

ケース2(地下水バイパス実施、サブドレン汲み上げ、雨水排水、地下水ドレン貯水)



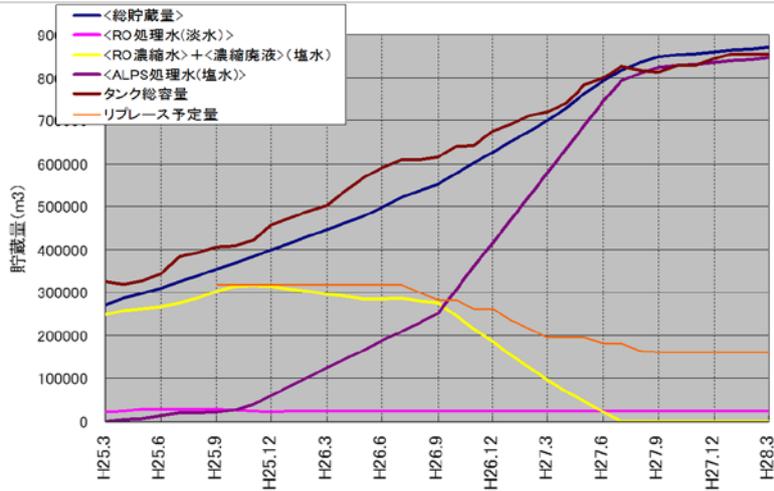
※「福島第一原子力発電所1～4号機における滞留水貯留タンク増設計画について（平成25年10月時点）」  
（平成25年10月31日／東京電力株式会社）より抜粋

<図6-3：タンク増設計画（ケース2）>

※評価条件

地下水バイパスの稼働	平成25年11月～
サブドレンの稼働	平成26年10月～
より処理効率の高い多核種除去設備の稼働	平成26年10月～
増設多核種除去設備の稼働	平成26年10月～
陸側遮水壁による地下水流入抑制効果 (運用を開始して、本格的に効果を発揮する時期として設定)	平成27年9月～

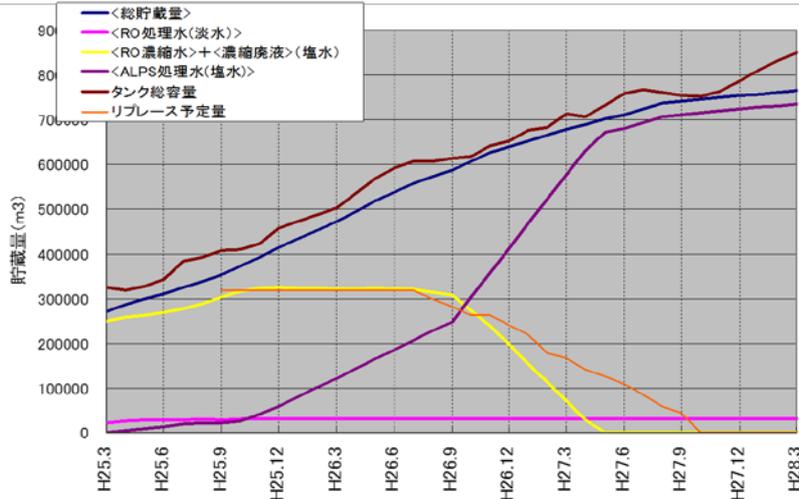
ケース3 (地下水バイパス実施せず、サブドレン実施せず、雨水排水、地下水ドレン貯水)



※「福島第一原子力発電所1～4号機における滞留水貯留タンク増設計画について（平成25年10月時点）」  
（平成25年10月31日／東京電力株式会社）より抜粋

＜図6-4：タンク増設計画（ケース3）＞

ケース4 (地下水バイパス実施、サブドレン汲み上げ、雨水貯水、地下水ドレン貯水)



※「福島第一原子力発電所1～4号機における滞留水貯留タンク増設計画について（平成25年10月時点）」  
（平成25年10月31日／東京電力株式会社）より抜粋

＜図6-5：タンク増設計画（ケース4）＞

※評価条件

地下水バイパスの稼働	平成25年11月～
サブドレンの稼働	平成26年10月～
より処理効率の高い多核種除去設備の稼働	平成26年10月～
増設多核種除去設備の稼働	平成26年10月～
陸側遮水壁による地下水流入抑制効果 (運用を開始して、本格的に効果を発揮する時期として設定)	平成27年9月～

なお、パトロールの強化などのソフト対策は、現場の管理体制に応じて検討すべき課題であり、委員会として、東京電力において適切な管理方針や運用マニュアル等を策定し、周知徹底することを強く求めるものである。

(6) 予防的・重層的な対策の全体像（実施スケジュール）

各対策の概要を〈巻末資料6〉に示すとともに、全対策の一覧を〈表6-6〉に示す。この中で、技術公募を踏まえて直ちに活用できる技術、技術を活用するに当たって、確認・検証が必要なものについても明記した。

〈表6-6：全対策の一覧〉

No.	対策項目	対策	取組の現状と予定
1	汚染源を取り除く	既存対策 建屋海側トレンチ内の高濃度汚染水のくみ上げ・閉塞	本年10月、汚染水くみ上げ・閉塞に係る準備工事着手。12月に凍結止水関連工事開始。平成26年4月に水抜き開始。同年7月に閉塞作業を開始し、平成27年3月に閉塞完了。
2		既存対策 建屋海側トレンチ内の高濃度汚染水の浄化	本年11月に汚染水の浄化を開始。トレンチ内の濃度を確認しながら運転期間を決定。
3		既存対策 漏えいが発生したタンク周辺の汚染土壌回収・汚染水くみ上げ	本年9月、汚染土壌回収開始。11月に汚染水くみ上げを開始。
4		既存対策 多核種除去設備(ALPS)による汚染水の浄化	ALPSによる汚染水の浄化を実施中。
5		既存対策 より処理効率の高い多核種除去設備による汚染水浄化の加速・廃棄物の減容化	実証事業を実施し、平成26年度中に運用を開始する予定。
6		重層的対策 多核種除去設備の増設による汚染水浄化の加速	導入に係る準備を実施中。平成26年度半ばに運用開始予定。
7		重層的対策 タンクからの漏えい水により汚染された地下水の海洋流出防止(薬剤の注入、土壌中のストロンチウム捕集、等)	土壌中のストロンチウム等の技術の確認・検証を行い、効果が確認されれば実施。
8		重層的対策 沈殿・吸着・分離等による港湾内の海水の浄化	浄化に係る技術の検証を行い、効果が確認されれば実施。
9		重層的対策 簡易な設備(汚濁防止膜等)による港湾内の海水の浄化	放射性物質を吸着できる汚濁防止膜等による浄化を早急に実施。
10		重層的対策 港湾内の海底土の被覆	海底土の被覆に係る具体的な実施方法等を検討し、可能な限り早期に着手。
11		予防的対策 建屋内の高濃度汚染水の浄化	セシウム除去後の汚染水をタービン建屋、プロセス建屋等へ戻すラインを設置して、水処理能力余裕分で建屋内の汚染水の浄化を図る。平成25年度に構成ライン設計、平成26年度上期に配管の敷設工事を完了する予定。

No.	対策項目	対策	取組の現状と予定
12	汚染源に水を近づけない	既存対策 建屋の周りを囲む凍土方式の陸側遮水壁を設置	陸側遮水壁の実証事業に着手し本年度内に終了予定。平成26年度中に運用開始。
13		既存対策 建屋近傍の井戸で地下水をくみ上げ(サブドレン)	サブドレンピットの復旧工事を実施中。平成26年9月にサブドレンの浄化設備の工事が完了する予定。
14		既存対策 建屋山側で地下水をくみ上げ(地下水バイパス)	地下水バイパスの設置工事は本年3月完了。可能な限り早期に運用。
15		既存対策 建屋海側の汚染エリアの地表をアスファルト等により舗装	平成26年3月、舗装工事完了予定。
16		重層的対策 タンク天板への雨樋の設置	本年12月、高線量汚染エリアのタンクへの設置完了予定。来年3月にその他エリアのタンクに設置完了予定。
17	重層的対策 更なる地下水流入抑制策(「広域的なフェーシング(表面遮水)」又は「追加的な遮水とその内側のフェーシング」)	陸側遮水壁やサブドレンなどに追加した重層的な対策として、できるだけ早期に実施方法等を決定。対策の実施に当たっては、地表面の除染を行うなど線量低減による作業環境改善も考慮した対応や、除染に伴い発生する廃棄物の適正な処分方法等も検討	

No.	対策項目	対策	取組の現状と予定
18	既存 対策	港湾内に海側遮水壁を設置	平成26年9月に工事完了予定。
19	既存 対策	建屋海側の汚染エリア護岸に水ガラス等による地盤改良の実施・汚染エリアから汚染水をくみ上げ	1～2号機間の海側水ガラスは設置済みで、くみ上げも運用中。2～3号機間、3～4号機間の海側水ガラスは平成25年12月末までに完了予定。側面(スクリーンポンプ室沿い)は平成26年3月に完了予定。 その他の箇所は汚染源を確認中。
20	重層的 対策	1号機取水口北側エリアの地盤改良	本年12月までに地下水観測孔(5本)を設置する予定。原因に応じ地盤改良の範囲等を決定。
21	既存 対策	汚染水貯蔵タンクの増設	平成27年度末までに貯蔵タンク容量を80万トンまで確保する予定。
22	既存 対策	鋼製横置きタンクのリプレイス	リプレイスの優先順位を踏まえ、可能な限り早期に着手。
23	既存 対策	ボルト締め型タンクから溶接型タンクへのリプレイス加速	準備が出来次第早急に実施予定。
24	既存 対策	タンク及び配管に係るパトロールを強化	パトロール強化を実施中。
25	既存 対策	水位計の設置	本年11月までに鋼製円筒タンク(フランジ型)への水位計を設置完了、 平成26年2月までに鋼製円筒タンク(溶接型)へ設置完了予定。
26	重層的 対策	タンクからの微小漏えいの検出	微小漏えい検出の技術について確認・検証した後、効果が確認されれば実施。
27	重層的 対策	溶接型タンクの設置加速と二重鋼殻タンク等の信頼性の高い大型タンク等の採用	前倒しを検討し、可能な限り早期に着手
28	重層的 対策	タンクリプレイスに伴う使用済みタンクの除染	除染技術について検証した後、効果確認されれば実施。
29	重層的 対策	タンク堰のかさ上げ・二重化	平成26年3月に設置工事が完了する予定。
30	重層的 対策	ボルト締めタンクの底面の漏水対策	可能な限り早期に漏水対策に着手。
31	重層的 対策	排水路の暗渠化	排水路Cラインについては暗渠化済み。排水路Bラインについて本年12月に暗渠化を完了予定。

No.	対策項目	対策	取組の現状と予定
32	漏 ら さ な い	重層的 対策 排水路の港湾内へのルート変更	平成26年3月にルート変更工事を完了予定。
33		予防的 対策 大量の汚染水漏えい発生時に海洋流出を防止するシステムの構築	具体的な実施方法を検討した後、順次実施。
34		予防的 対策 大規模津波対策(建屋防水性向上対策の実施、防潮堤等の追加対策の検討)	平成26年度下期に建屋防水性対策完了予定。防潮堤等の追加対策について検討を実施。
35		予防的 対策 地下水位低下に備えた建屋内水位コントロール(原子炉建屋深部への排水ポンプ設置等)	陸側遮水壁の設置時期に合わせて建屋深部へポンプ設置。
36		予防的 対策 HTI 建屋、プロセス建屋に滞留している汚染水の量の低減	平成25年度に 構成ライン設計、平成26年度上期に配管の敷設工事を完了する予定。その後、タンクの貯蔵量の裕度を鑑みて、建屋対流水のくみ上げを行う。
37		予防的 対策 汚染水移送ループの縮小(建屋内循環)	各号機の汚染水を直接汚染水処理施設に移送してループを縮小する建屋内循環を、平成26年度末までに工事を完了する予定。
38		予防的 対策 建屋の止水(建屋外壁貫通部、建屋間ギャップ、建屋周辺)	平成26年3月、1号機・HTI 建屋の貫通部の止水が完了予定。建屋止水方法について漏えい箇所を確認し、適用技術を選定し実施。 プロセス建屋及びHTI建屋がドライアップした後に、セシウム除去装置から漏えいが発生した場合、系外に漏えいが拡大しないよう対策を実施。
39		予防的 対策 より安全な配管ルートへの変更・耐放射線性に優れた配管への取替え	平成26年1月により安全な配管ルートへの変更工事を完了する予定。耐圧ホースからポリエチレン管への取替を順次実施。
40		重層的 対策 高性能容器(HIC)からの廃棄物の漏えい防止対策及び減容化・安定的保管	HIC 貯蔵施設は、HIC 搬入の場合、堰を閉運用することで運用中。漏えい対策の実施方法を検討後、順次実施。減容化・安定的保管は、長期的課題として調査・検討し、方策を策定。
41	予防的 対策 セシウム吸着塔からの廃棄物の漏えい防止対策及び減容化・安定的保管	漏えい対策の実施方法を検討後、順次実施。減容化・安定的保管は、長期的課題として調査・検討し、方策を策定。	

予防的・重層的な対策の全体像として追加した主要な対策は以下のとおりである。

① 既存施策に支障が生じても、リスクに対応できる、より重層的な対策

1) 地下水流入抑制策【近づけない】

- ・追加施策；更なる地下水流入抑制策（「広域的なフェーシング（表面遮水）」又は「追加的な遮水とその内側のフェーシング」）

※対策の実施に当たっては、地表面の除染を行うなど線量低減による作業環境改善も考慮した対応や、除染に伴い発生する廃棄物の適正な処分方法等も検討

- ・既存施策；陸側遮水壁、サブドレンからの地下水のくみ上げ、地下水バイパスによるくみ上げ 等

2) タンク等に貯蔵している汚染水対策【取り除く】【漏らさない】

- ・追加施策；タンク堰のかさ上げ・二重化  
排水路の暗渠化、排水路の港湾内へのルート変更  
土壤中のストロンチウム捕集  
溶接型タンクの設置加速と二重鋼殻タンク等の信頼性の高い大型タンク等の採用  
タンクからの微小漏えいの検出 等

- ・既存施策；多核種除去設備による汚染水の浄化  
より処理効率の高い浄化処理設備の導入  
溶接型タンクへのリプレイス加速  
パトロール強化、水位計の設置 等

3) 海側エリア対策【取り除く】【漏らさない】

- ・追加施策；沈殿・吸着・分離等による港湾内の海水の浄化  
放射性物質が除去できる汚濁防止膜等の活用  
港湾内の海底土の被覆 等

- ・既存施策；トレンチ内の高濃度汚染水のくみ上げ・閉塞  
水ガラス等による地盤改良、海側遮水壁の設置等

4) 汚染水が貯蔵できなくなるリスクに備えて、総合的に評価、検討すべき事項【漏らさない】

- ・トリチウム水の取扱いに係る総合的な評価  
（トリチウム水タスクフォースにおいて検討）
- ・タンカー、地下貯蔵等に係る諸課題への対応の可能性等に

### 係る検討

※平成26年度のできるだけ早い時期までにタンク容量が不足するリスクを見極め、必要に応じ追加対策を講じられるようにする。

#### ② 既存施策では対応していなかったリスクに対応できる、予防的な対策

##### 1) 大規模津波対策【漏らさない】

- ・追加施策；建屋防水性向上対策の実施  
防潮堤等の追加対策の検討

##### 2) 建屋等からの汚染水漏えい対策

- ・追加施策；建屋の止水（建屋外壁貫通部、建屋間ギャップ、建屋周辺）  
汚染水の移送ループの縮小 等

#### (7) 既存施策の着実な実施（タスクフォース等）

これまでに決定している対策についても、着実に実施していくことが必要である。特に、汚染水が増加し続け、貯蔵容量の逼迫や漏えい事象発生のような事態を回避する上で、建屋への地下水流入抑制策や、多核種除去設備による汚染水の浄化とその加速は極めて重要な対策である。そのため政府は、技術的難易度が高く、国が前面に出て取り組む必要がある凍土方式の陸側遮水壁の構築と高性能な多核種除去設備の実現に向けて予算措置を講じてきている。

凍土方式の陸側遮水壁については、土木の専門家に加え、凍結工法の専門家を委員とするタスクフォースを委員会の下に設置している。地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化サブグループとも連携を図りつつ、設計・施工計画等の評価、進捗管理等を行うものである。

凍土方式の陸側遮水壁の整備実証を進めるに当たっては、①凍土壁の成立性の検証、②埋設物が存在する箇所における施工技術、③地下水流速が早い場合の施工技術、④地下水位のコントロール技術の成立性の検証を目的としたフィージビリティ・スタディを行い、その結果を基に詳細な諸元を決定するとともに、整備実証が着実に効果を発揮するように定期的に状況を確認することとしている。

また、高性能な多核種除去設備についても、水処理の専門家やプラントの専門家を委員とするタスクフォースを委員会の下に設置している。多核種の除去に伴い発生する廃棄物量の低減や、新たなフィルタ・吸着材処理

の開発による除去性能の向上を図るとともに、耐食性を確認し、整備実証を着実に実施すべきである。

#### (8) その他

建屋の止水（建屋外壁貫通部、建屋間ギャップ、建屋周辺）、フェーシング、追加的な遮水等の実施に当たっては、現場条件に適した材料を選定する必要があるため、現地試験が実施できる体制を整備すべきである。

なお、それぞれの対策の実施に当たっては、事業者からの実施計画の申請に基づき、規制当局が審査を行うこととなる。原子力規制庁は対策の策定にかかわる委員としてではなく、規制当局として技術的助言を行う立場で委員会に参画している。原子力規制庁から委員会の過程で示された技術的助言及び原子力規制委員会で議論されている規制要求のポイントは、それぞれ参考1、参考2のとおりである。

(参考1) 第28回原子力規制委員会配布資料

東京電力福島第一原子力発電所における汚染水対策に関する  
規制要求のポイント

平成25年10月23日

1. 汚染水対策は、タービン建屋等\*の内部に滞留する高濃度の汚染水が地下水位の変動によって周辺の地中に漏出しないよう設計・計画されていること。

\*タービン建屋、原子炉建屋、廃棄物処理建屋など汚染水が一体的に流れ込んでいる建屋及びその接続部分

2. 海水配管トレンチ等の海側に位置するトレンチについては、滞留している高濃度の汚染水を除去した上で、汚染の拡大経路とならないよう措置を講じること。

3. 汚染水タンク等の貯蔵施設は、汚染水の状態を踏まえた耐漏えい性能を備えていること。また、耐用期間内に更新する計画とすること。  
貯蔵している汚染水から放射性物質の除去を進め、漏えい時の影響を小さくすること。

4. 各設備に滞留・貯蔵している汚染水の量及び放射性核種別の濃度を把握するとともに、敷地内の土壌及び地下水中の放射性物質濃度を監視すること。

5. 港湾外の海水及び海生生物に、放射性物質による有意な汚染が及ばないための措置を講じること。

6. 多核種除去設備（ALPS）から発生する高濃度放射性廃棄物を収めた容器（HIC）は、十分な遮蔽や漏えい拡大防止策を備えた貯蔵施設に保管すること。

注) 損傷した炉心の冷却状態、格納容器の雰囲気温度等の確認については、より合理的な方法を検討すべき。

以上

(参考2) 第10回汚染水処理対策委員会配布資料

平成25年12月3日  
原子力規制庁

これまでの議論に対する現時点での主な見解は以下のとおりである。

1. 汚染水対策は、タービン建屋等の内部に滞留する高濃度の汚染水が地下水位の変動によって周辺の地中に漏れしないよう設計・計画されていることが必要である。
2. 今回の報告書中にも記述されている横置型タンクについては、タンク間の接合部の破損等により汚染水が漏れいする可能性が高いことから、早急に具体的な対策を立案し、実施することが必要である。
3. 個々の対策の実施者及び原子炉等規制法上の位置づけ、並びに、万一汚染水の漏れいが発生した場合の責任の所在について明らかにしていく必要がある。
4. 液体放射性廃棄物の放出を行う場合には、告示等で定める規制基準に適合する必要がある。
5. 汚染水を貯留するタンクや配管類、水処理装置等について、引き続き凍結を起因とする漏れいに留意する必要がある。
6. 今回の報告書中に記載されるリスクマップ中のリスクについては、全てを網羅したものではなく、また、同報告書にある「イベントが発生する可能性の度合い」について、どのように定量的な評価を行ったのかを明らかにする必要がある。
7. 施工計画等で具体化する対策は、特定原子力施設として指定された東京電力福島第一原子力発電所の実施計画に反映されて申請がなされることとなるが、原子力規制委員会として対策に係る安全性等についての的確に評価・確認していくこととする。評価・確認にあたっての規制要求のポイントについては、今回の報告書中にも参考として掲載されているところであるが、今後、原子力規制委員会として詳細化の作業を進め、評価・確認の際の基準として用いることとしている。

## 7. 予防的・重層的対策による将来像（リスク低減）

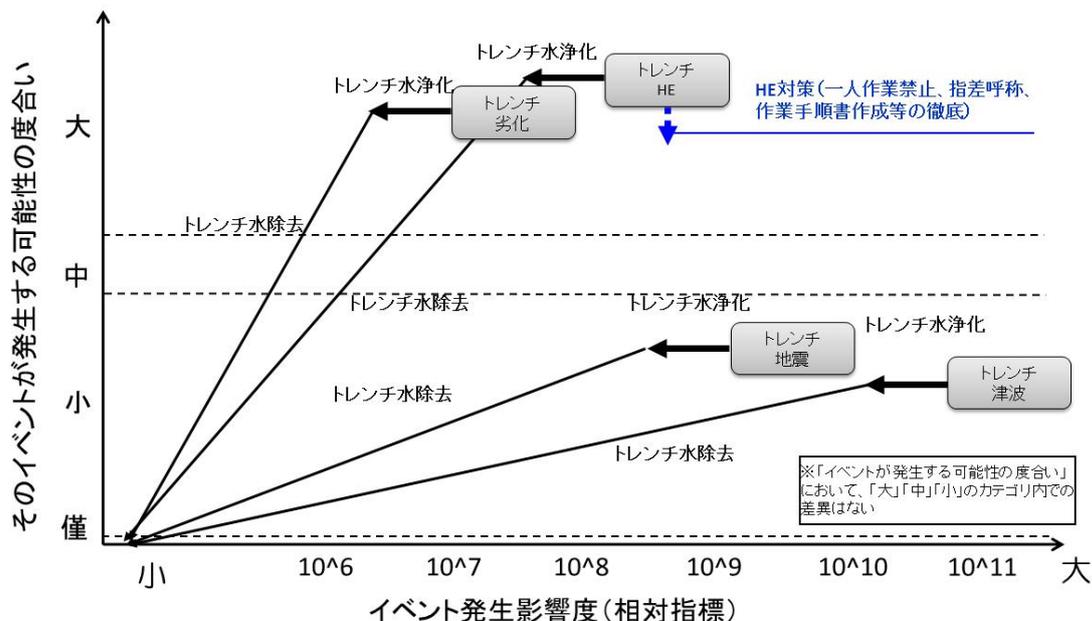
貯蔵している汚染水が漏えいするリスクと、汚染水の増大に伴い貯蔵容量が逼迫するリスクに大別されるリスクのうち、ここでは、前者を主な対象として、対策の実施によるリスク低減の見通しを提示する。

現状における汚染水漏えいリスクを、〈図3-2〉に示したところであるが、前項に示した全体工程を基に、いつまでに、どの程度のリスク低減を図ることができるかを整理した。

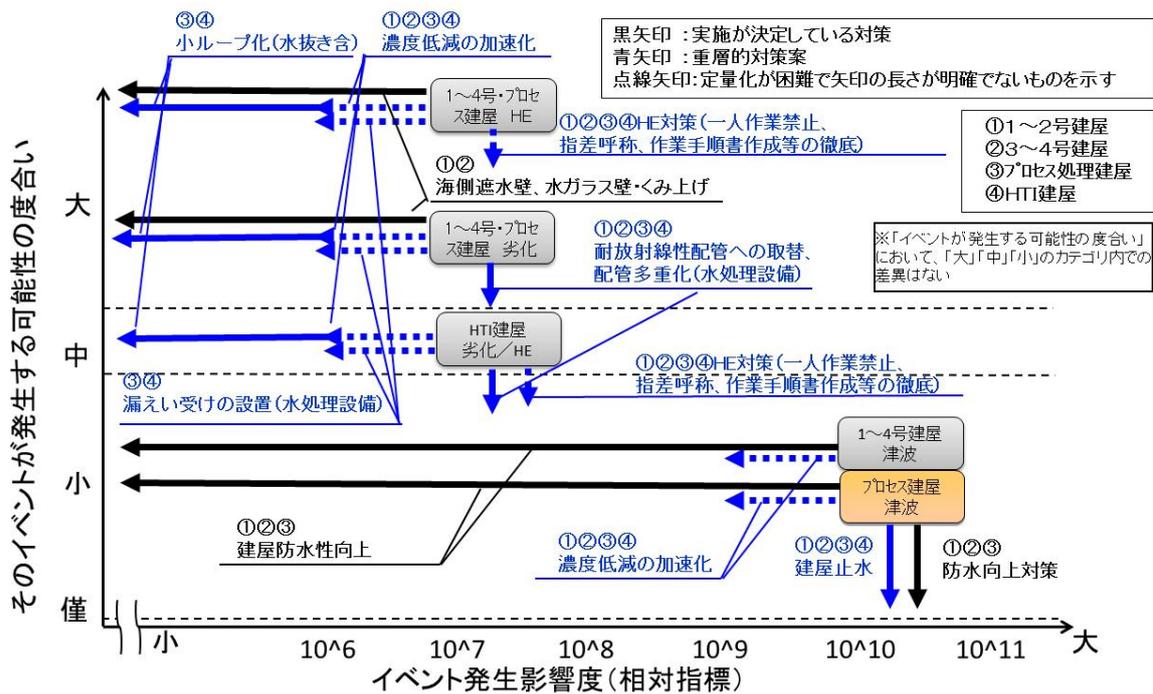
まず、各対策により、漏えい事象の発生頻度や漏えい事象が発生した場合の影響度をどの程度軽減できるかについて、主な例を、〈図7-1～7-6〉に示す。

**【凡例】**

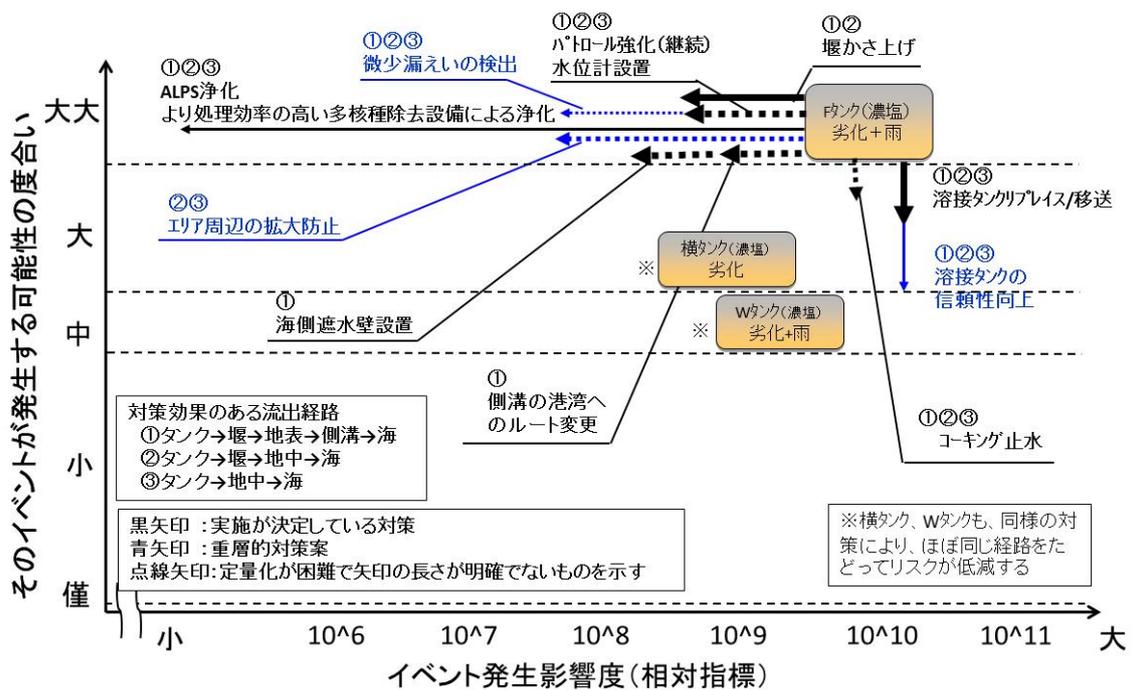
- ※  の上段は、汚染水の所在、下段は汚染水の漏えい発生の原因を記載。
- ※ リスクマップにおいて「イベント発生影響度（横軸）」は、対策効果の定量化が困難なため、一部参考程度の取扱い。
- ※ 「イベントが発生する可能性の度合い（縦軸）」において、各カテゴリー（大、中、小）に分類されるリスク間に、発生確率の差異はない。
- ※ 「HE」は「ヒューマンエラー」の意味。



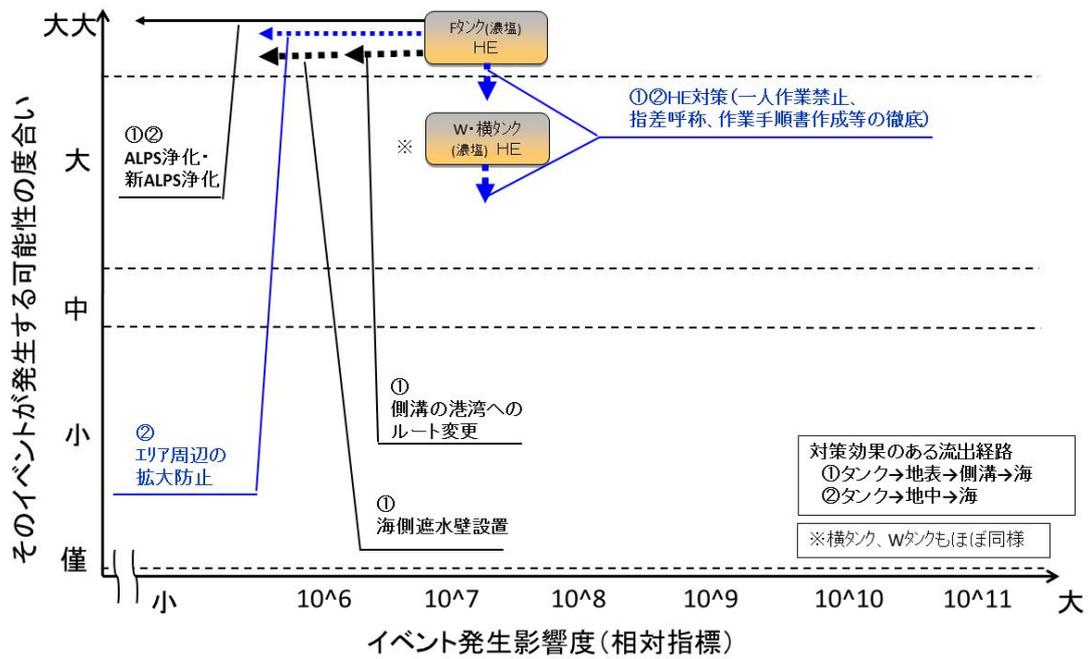
〈図7-1：汚染水イベント発生リスクマップ【トレンチ】〉



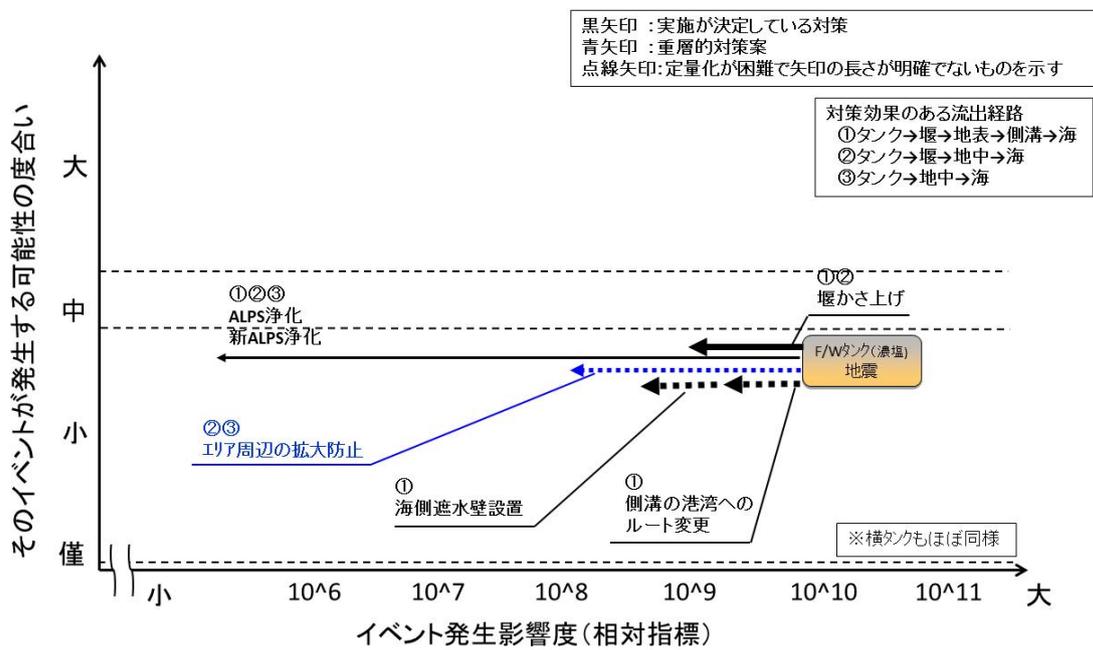
<図7-2：汚染水イベント発生リスクマップ【各建屋】>



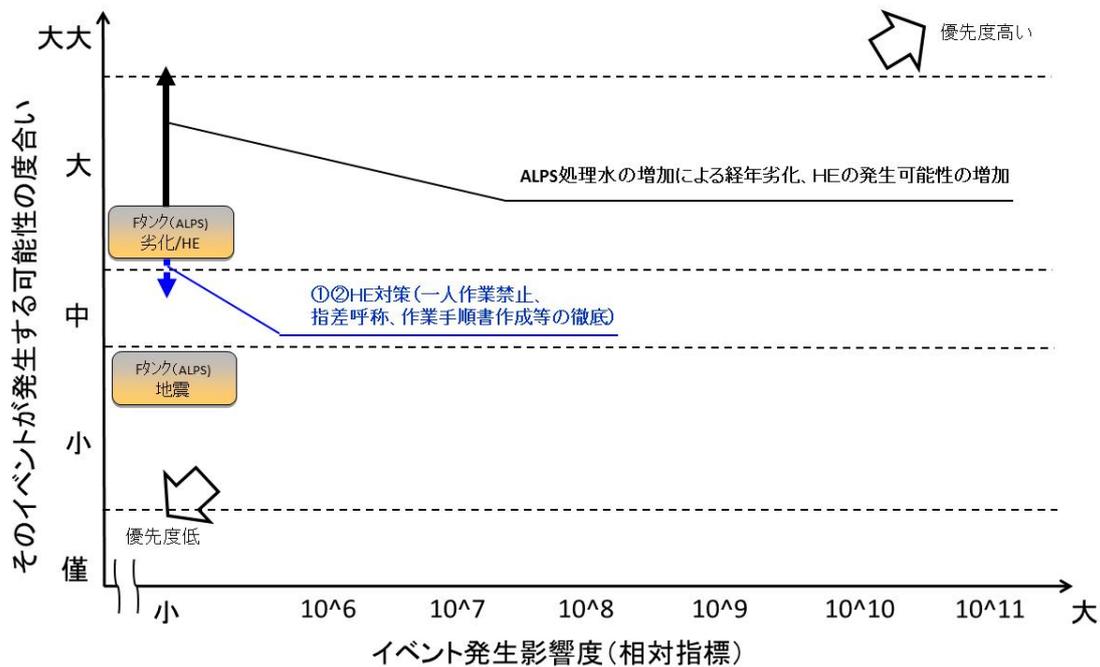
<図7-3：汚染水イベント発生リスクマップ【フランジタンク/経年劣化】>



<図7-4：汚染水イベント発生リスクマップ【フランジタンク／HE】>



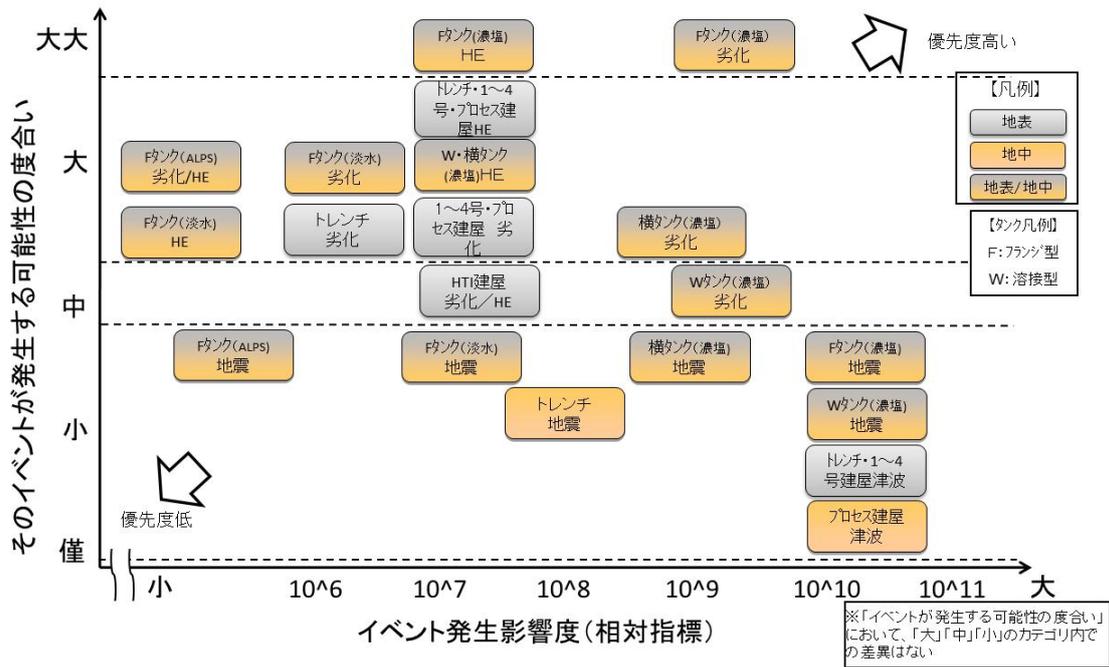
<図7-5：汚染水イベント発生リスクマップ【フランジタンク・溶接タンク／地震】>



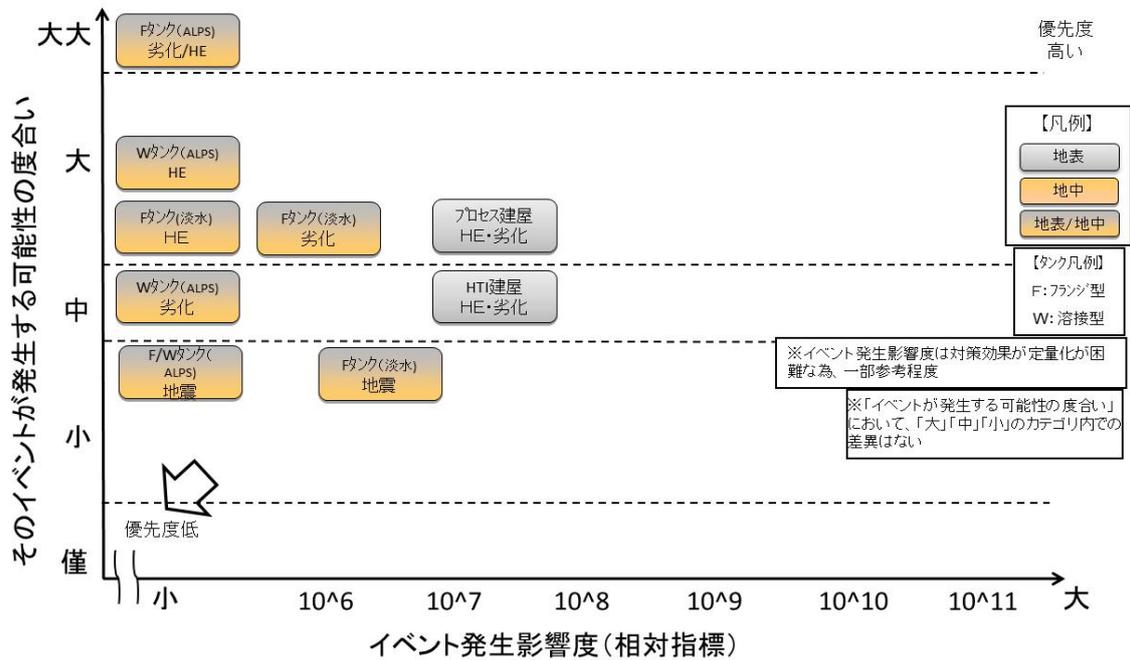
<図7-6：汚染水イベント発生リスクマップ【ALPS処理水】>

この図では、例えば、建屋海側トレンチ内の高濃度汚染水の浄化など、汚染源を除去・浄化する対策を実施すれば、漏えい事象が発生した場合の影響度を軽減でき、また、溶接型タンクへのリプレイスなど、施設の信頼性を向上させる対策を実施すれば、漏えい事象の発生頻度を軽減できることを示している。

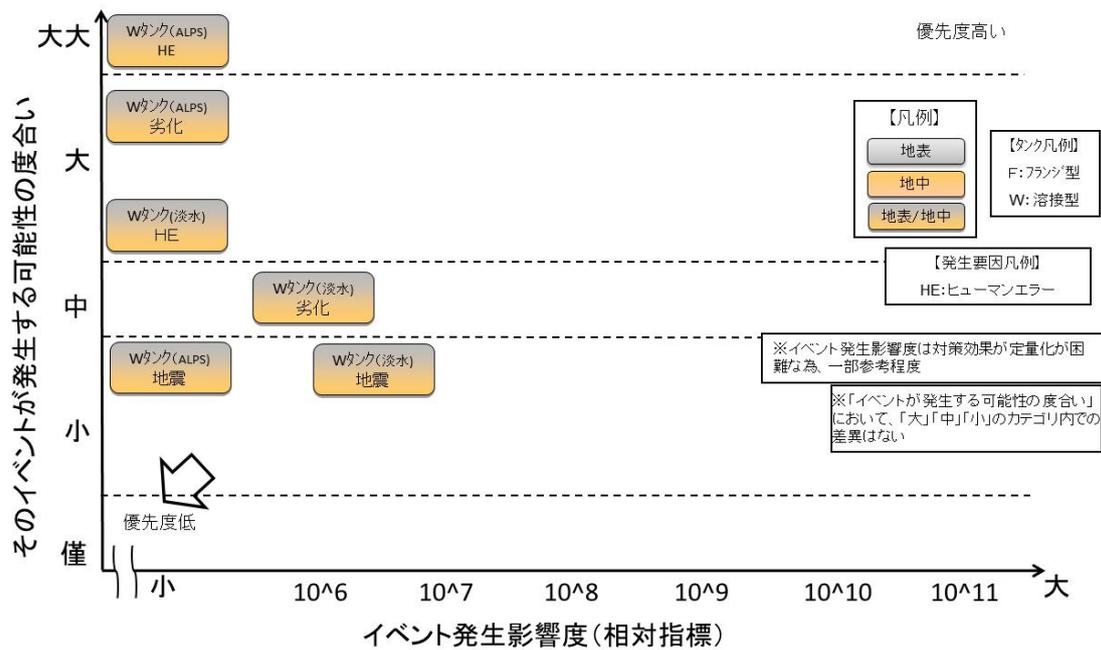
これらの各対策の効果をとりまとめ、平成25年度末、平成26年度末、平成30年度末、平成32年度末におけるリスクマップを作成した結果を、<図7-7～7-10>に示す。



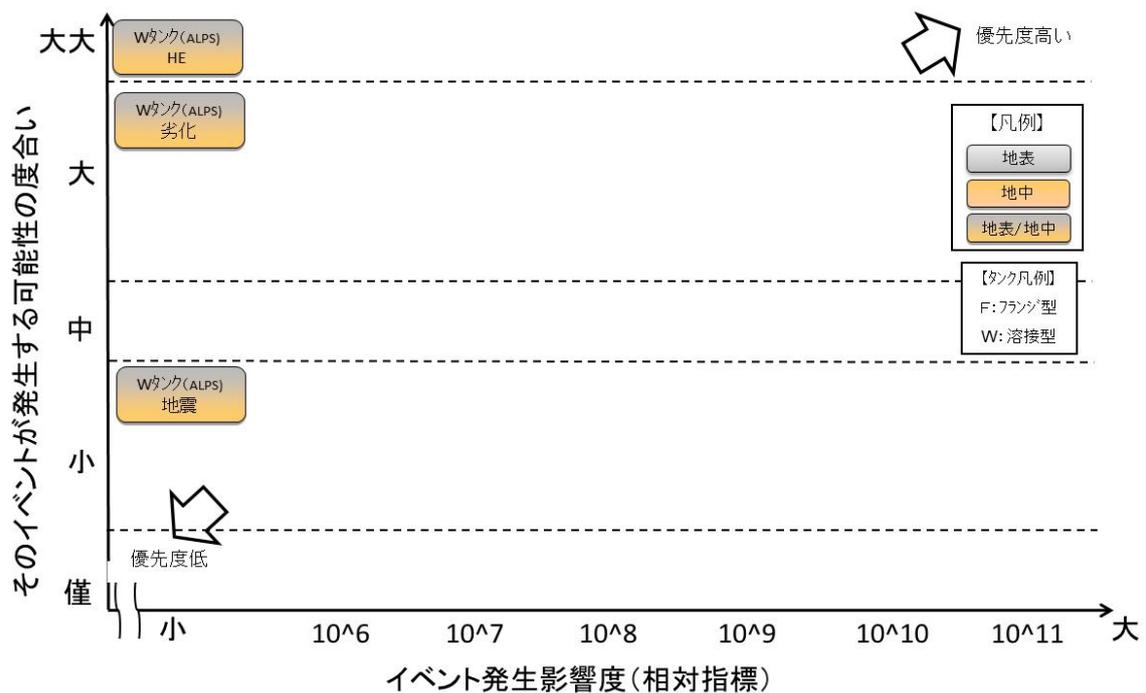
< 図 7-7 : リスク低減効果の検証 (平成 25 年度末想定) >



< 図 7-8 : リスク低減効果の検証 (平成 26 年度末想定) >



<図7-9：リスク低減効果の検証（平成30年度末想定）>



<図7-10：リスク低減効果の検証（平成32年度末想定）>

これらのリスクマップにより、今後の対策実施によって、いつまでに、どの程度のリスク低減が図られるかを明確にすることができた。

ここで改めて明確になったことは、今般のリスクの洗い出しを踏まえた必要な対応策を講じたとしても、最終的に、多核種除去設備で処理した水（以下「トリチウム水」という。）によるリスクだけが残ることである。タンクに貯蔵する処理水が増大し、管理すべきタンクの数が増大すれば、漏えい事象の発生頻度もまた増大し得ることとなり、大量に貯蔵するトリチウム水の取扱いが課題といえる。

## 8. 今後の課題

### (1) 大量のトリチウム水の取扱い

前項までに、対策の全体像と、対策の実施による将来像（リスク低減効果）を示した。その結果、対策が順調に進めば、概ね平成32年度末には、かなりのリスク低減が図られるものの、施設の運用や降雨の状況次第ではタンク容量に不足が生じる可能性があることに加え、トリチウム水の大量貯蔵に伴うリスクが残存することが明確になった。

トリチウム分離技術については、国内外からの技術提案でも、即効性があると認められる技術が見受けられなかったため、今後、技術提案のあった対策について評価等を行っていく必要がある。

また、本年11月末に来日したIAEA（国際原子力機関）調査団から、「あらゆる選択肢を検証するべき」との助言があったことも踏まえ、分離技術のみならず、大量のトリチウムの長期間貯蔵や放出等のリスク、環境影響、費用対効果なども含め総合評価を行うべく、今後、委員会の下にタスクフォースを設置し、これまでの科学的知見等をリスク評価の視点も加味して整理・分析するとともに、様々な選択肢を提示した上で、社会的な合意形成に向けた取り組みを行うべきである。

### (2) 国内外への適切な情報発信

福島第一原発の事故による被災地の一日も早い復旧・復興は、最重要課題である。

汚染水問題について、今般、国内外からの叡智を結集すべく行った技術公募において多くの技術提案が寄せられたことから、国内外の関心の高さも窺える。

こうした中、計画を着実に実施するだけでなく、対策の実施状況やそれによるリスクの低減効果なども含め、今後とも、科学的な根拠に基づいた適切な情報発信に努めることが重要である。

### (3) 必要に応じた計画の見直し

本対策のとりまとめに当たっては、地下水や地質関係の限られたデータを基に検討を行ったものであり、今後、更なるデータの収集・分析が必要

である。

また、I A E A 調査団から、今般とりまとめた対策について、「明確に定義された総括的な一連の対策」との評価を得る一方、「努力を継続することが奨励される」との助言があったことも踏まえ、ここにとりまとめた対策を着実に実施するとともに、対策の進捗管理や現場で発生する事象のモニタリングを適切かつ継続的に実施し、状況変化等に対応して、必要に応じて対策の追加・見直しを行っていくことも必要である。

今般、汚染水処理対策の全体像を示したが、得られる情報に限界があること、想定していない事象が発生する可能性があること、技術開発要素を伴うものがあることなど、対策の進捗に不確実性を含むことを常に考慮するとともに、各時点における最適な対策を実施していくため、リスクを最小化するための総合的マネジメントの継続・徹底を基本として進めていくことが重要である。

平成25年12月10日現在

## 汚染水処理対策委員会名簿

委員長:	大西 有三	関西大学 特任教授、京都大学 名誉教授
委員:	出光 一哉	九州大学大学院 教授
	西垣 誠	岡山大学大学院 教授
	米田 稔	京都大学大学院 教授
	山本 一良	名古屋大学 理事・副総長
	大迫 政浩	(独)国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター長
	藤田 光一	国土交通省国土技術政策総合研究所 研究総務官
	丸井 敦尚	(独)産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 総括研究主幹
	山本 徳洋	(独)日本原子力研究開発機構(JAEA) 再処理技術開発センター 副センター長
	小林 正彦	(株)東芝 原子力事業部 技監
	石渡 雅幸	日立GEニュークリア・エナジー(株)シニアプロジェクトマネージャ
	鎌田 博文	(一社)日本建設業連合会 電力対策特別委員会 委員
	相澤 善吾	東京電力(株) 代表執行役副社長
	松本 純	東京電力(株) 原子力・立地本部福島第一対策担当部長
	糟谷 敏秀	原子力災害対策本部 廃炉・汚染水対策チーム事務局長補佐
	中西 宏典	原子力災害対策本部 廃炉・汚染水対策チーム事務局長補佐
	吉田 延雄	原子力災害対策本部 廃炉・汚染水対策チーム事務局長補佐
規制当局:	山本 哲也	原子力規制庁 審議官
オブザーバー:	増子 宏	文部科学省研究開発局 原子力課長
	渥美 雅裕	国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課長
	廣木 雅史	環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 企画課長
	高坂 潔	福島県 原子力専門員
	鈴木 一弘	技術研究組合国際廃炉研究開発機構 専務理事

## 開催実績

### 【汚染水処理対策委員会】

汚染水処理対策委員会（第1回）	平成25年 4月26日
汚染水処理対策委員会（第2回）	平成25年 5月16日
汚染水処理対策委員会（第3回）	平成25年 5月30日
汚染水処理対策委員会（第4回）	平成25年 8月 8日
汚染水処理対策委員会（第5回）	平成25年 8月23日
汚染水処理対策委員会（第6回）	平成25年 9月13日
汚染水処理対策委員会（第7回）	平成25年 9月27日
汚染水処理対策委員会（第8回）	平成25年10月25日
汚染水処理対策委員会現地調査	平成25年11月11日
汚染水処理対策委員会（第9回）	平成25年11月15日
汚染水処理対策委員会（第10回）	平成25年12月 3日
汚染水処理対策委員会（第11回）	平成25年12月10日

### 【陸側遮水壁タスクフォース】

陸側遮水壁タスクフォース（第1回）	平成25年 7月 1日
陸側遮水壁タスクフォース（第2回）	平成25年 8月 8日
陸側遮水壁タスクフォース（第3回）	平成25年 8月20日
陸側遮水壁タスクフォース（第4回）	平成25年11月15日
陸側遮水壁タスクフォース（第5回）	平成25年11月27日
陸側遮水壁タスクフォース（第6回）	平成25年12月 3日

### 【高性能多核種除去設備タスクフォース】

高性能多核種除去設備タスクフォース（第1回）	平成25年11月29日
------------------------	-------------

### 【地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化／リスク評価サブグループ】

サブグループ（第1回）	平成25年10月11日
サブグループ（第2回）	平成25年10月16日
サブグループ（第3回）	平成25年10月23日
サブグループ（第4回）	平成25年10月30日
サブグループ（第5回）	平成25年11月 6日
サブグループ（第6回）	平成25年11月13日
サブグループ（第7回）	平成25年11月20日
サブグループ（第8回）	平成25年11月27日

平成25年11月27日現在

### 陸側遮水壁タスクフォース委員名簿

主 査：大西 有三 関西大学 特任教授、京都大学 名誉教授  
西垣 誠 岡山大学大学院環境生命科学研究科 教授  
伊藤 譲 摂南大学理工学部都市環境工学科 教授  
石川 達也 北海道大学大学院工学研究院環境フィールド工学部門  
防災地盤工学分野地盤環境解析学研究室 教授  
藤田 光一 国土交通省国土技術政策総合研究所 研究総務官  
丸井 敦尚 (独) 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門  
総括研究主幹 兼 地下水研究グループ長  
鎌田 博文 (一社) 日本建設業連合会電力対策特別委員会 委員  
赤川 敏 低温圏工学研究所 代表  
事務局：新川 達也 資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室長

平成25年11月29日現在

### 高性能多核種除去設備タスクフォース委員名簿

主 査：田中 知 東京大学大学院工学系研究科 教授  
山本 徳洋 (独) 日本原子力研究開発機構  
再処理技術開発センター 副センター長  
塚田 毅志 (一財) 電力中央研究所原子力技術研究所 次世代領域リーダー  
田尾 博明 (独) 産業技術総合研究所環境管理技術研究部門 部門長  
山本 正弘 (独) 日本原子力研究開発機構  
原子力基礎工学研究部門 副部門長  
長谷川正巳 (財) 塩事業センター 海水総合研究所 所長  
沼田 守 日揮(株)第3プロジェクト本部 副本部長  
事務局：新川 達也 資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室長

## 「地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化」サブグループ検討体制

### 【検討体制】

汚染水処理対策委員会事務局、東京電力に以下のメンバーを加え、検討を実施。汚染水処理対策委員会委員は、アドバイザーとして任意参加。

#### 【(独) 産業技術総合研究所】

塚本 齊 地質情報研究部門 長期変動研究グループ 研究グループ長  
井川 怜欧 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ 研究員

#### 【(独) 日本原子力研究開発機構】

三枝 博光 地層処分研究開発部門 研究副主幹  
澤田 淳 地層処分研究開発部門 研究副主幹

#### 【(独) 土木研究所】

脇坂 安彦 地質監

#### 【国土技術政策総合研究所】

小橋 秀俊 建設マネジメント研究官  
川崎 将生 河川研究部水循環研究室長  
森 啓年 河川研究部河川研究室主任研究官

## 「リスク評価」サブグループ検討体制

### 【検討体制】

汚染水処理対策委員会事務局、東京電力に以下のメンバーを加え、検討を実施。汚染水処理対策委員会委員は、アドバイザーとして任意参加。

#### 【(独) 産業技術総合研究所】

伊藤 一誠 地質情報研究部門地下環境機能研究グループ研究グループ長

#### 【(独) 日本原子力研究開発機構】

若杉 圭一郎 地層処分研究開発部門 研究副主幹  
渡辺 将久 福島技術本部 復旧技術部 技術副主幹

分野別の主な技術提案の総括 [技術分野1: 汚染水貯留]

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 ・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については、現地で部材を組み立てる案、工場で作成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
		腐食防止	二重鋼殻タンク	373				電気防食による長寿命化
				102				二重構造のタンクの間隙に遮水遮へい材設置
	鋼製タンクの維持管理	タンクの補強	219, 558, 620	二重鋼殻				
			400	遠隔検査、鋼材肉厚				
	接続管からの漏えい防止	タンクの大型化	174	炭素繊維シート巻きつけ				
			603, 665	バックアップ、配管				
	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	687, 688	補修補強技術、配管接続部				
			58	ステンレス鋼(SUS)製配水池1万~3万t製品				
			147, 551	大口徑鋼管のタンク化				
			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					
		174	タンクの免震化					
	タンク本体の免震・制震	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					
	制動X線の発生抑制	620	二重鋼殻					
		274	プラスチックタンク、エポキシ樹脂					
	698	性能評価システム						

※国際廃炉研究開発機構(IRID)からの報告に、汚染水処理対策委員会事務局が東京電力(株)によるコメントを追記。

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					
(2)その他タンクに求める要求事項	大量の汚染水を長期的に貯蔵することができる手法(タンク以外も含む)	洋上貯留 Storage on the ocean	13, 197, 273, 335, 395, 432, 457, 517	タンカー、メガフロート等	汚染水の大量長期安定保管に関しては、外洋での汚染水の洋上貯留についての提案が多数あった。タンカーやメガフロートを用いたものが多く、中には石油の洋上備蓄の実績から、タンカー、コンテナ船、中継港での積み替え等様々な検討と提案もなされている。	・汚染水の洋上貯留は、漏えい時のリスクについて考慮する必要がある。国際的に見ても過去に実績がなく、技術面での信頼性と地元関係者の同意の点で難しいと考えられる。この場合堤防に囲まれた湾内での浮き貯留は漏えいの観点から比較的可能性があるが、津波対策を考慮することが必要となる。洋上貯留の場合には、海水中の塩素による鋼材の腐食が課題となる。	【大量長期安定保管】 ○洋上・湾内貯留 汚染水の洋上貯留を検討する際には、福島第一の港湾使用状況(廃炉作業のための資材運搬船舶が通過)を踏まえると港湾内に大規模設備を貯留することが困難であり、港湾外へ係留する等の処置が必要と考える。港湾外係留の際には、貯留設備の漏えい防止・検知機能、万が一の漏えい時の対策、荒天時の安全性、長期的な耐久性、撤去解体方法や法的な課題等がある。 ○その他 汚染水を保管する設備の検討にあたっては、設置期間、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。  【地盤沈下への対応】 タンクの設置にあたっては、設置場所(コンクリート基礎)の地盤沈下対策として、設置時に地質調査を実施し、タンク設置に必要な地盤強度を確保するため、セメント改良等による地盤改良を実施し、変形等が生じないように施工している。 地盤改良として、セメント以外の方法を検討する際には、長期使用可能であるか、設置期間などを含めた検討が必要である。		
			39	石油備蓄に基づく洋上備蓄の考察					
			493	洋上貯留のコスト工期、地上タンクとの比較					
			503	鋼製ボックス					
			555	メガフロートによる港湾内貯留					
		湾内貯留	421	フレキシブルタンク	防潮堤に囲まれた湾内に貯留する方法として、浮体を浮かべて貯留する方法、湾内に遮水材を設置して直接貯留する方法も提案された。	地下タンクとしては、大型の地下タンクを短期間で構築する方法や、タンカーを利用した地下タンクの提案も示された。			
			550	ダブル堤					
			668	防潮堤内の遮水、直接貯留					
			697	汚染水タンク、処理設備、処理水タンク、浮体					
		地下タンクと地下貯留	192	埋設配管の利用	トレンチ形状の地下貯水槽も多数提案され、多くがベントナイトバリアと遮水シートを組み合わせたものであった。	大型地上タンクとしては、プレストレスト・コンクリートや石油タンクなど既往の経験に基づく提案がなされた。また、コンクリートタンクへの新材料の提案があった。			
			367	地下深層部の利用					
			557	石油タンカーを流用した埋め込みタンク					
			574	50万t地下タンクの高速施工					
		トレンチ形状の地下貯水槽全般	103, 382, 478, 554, 647, 666, 667, 702	構造と材料の改良、総論的アドバイス、活用方法	小型タンクを多数用いる方法、集積する方法なども提案された。	また地盤沈下対応として、地盤改良により沈下を防止する方法、変形可能な継ぎ手をタンクの継ぎ目部に配置することにより、地盤沈下に対応するアイデアなどが提案された。			
			溶接以外の地上タンク(コンクリートタンクなど)	36, 71, 146, 360, 565, 691, 699				コンクリートタンク	土木学会および地盤工学会からは地下貯水槽の改良や貯水タンク基礎工の改良など、溶接型タンクに求める要求事項も含め、多数の有益なご提案をいただいた。
				217				大口径超長尺ホースへの貯留	
				454				アラミド繊維、補強	
				619				現地組み立て	
		小型タンクの活用	663	漏えいバックアップ	・大量の汚染水は蒸散により減容することも考えられる。その場合、トリチウムなどの放射性核種の放出と核種および塩類の濃縮に注意を払う必要がある。  ・今回の技術提案には海洋貯留、大型地上タンク、大型地下タンク、地下貯槽などいずれも既往の大型プロジェクトで一定の実績のある方法での提案がなされた。今後、これらの活用の可能性を検討していくにあたっては、サイトの条件や優先度、時間的制約等様々なリスクを考慮の上、課題への対応を図ることが可能かどうか検討する必要がある。その際、予期せぬ汚染水の増大に備えてのオプションを考えておくことも重要である。				
			54, 106	プラスチックタンク					
223	小型タンクの立体積み重ね設置								
257, 371, 719	フレキシブルバッグ								
502, 651	飲料缶技術								
地盤沈下にも対応できる手法	58	機能性継ぎ手	・地盤沈下に関しては、正確な地盤情報に基づく設計が重要と考えられる。						
	578	グラウトによる地盤改良工法							

※国際廃炉研究開発機構(IRID)からの報告に、汚染水処理対策委員会事務局が東京電力(株)によるコメントを追記。

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				
(3)微小漏えいを検出できる技術	パトロール時のβ線測定能力向上	高γ線雰囲気下でのβ検知	83	フレキシブルな遮へい材料	<p>取り扱いやすいフレキシブルな遮へい材料によりγ線遮へいを行った上でβ線を検知する方法が提案された。</p> <p>プローブの改良によるβ線検知方法は多数提案されたが、いずれも開発段階とされている。その中で、薄層プラスチックシンチレータを用いる方法も研究段階であるが、提案によっては実現に近いともされている。また、既往のプローブの利用方法を工夫することでベータ線の測定を可能にする研究の提案もあった。</p> <p>測定機器の軽量化に関しては、遮へい材の工夫とプローブの改良の提案があった。プローブの改良はいずれも研究段階とされている。</p> <p>汚染水の漏えい視認のため、既存の染料を応用する提案があった。食品、医療で用いられている染料の提案が多数あり、これらは人体には影響ないが、除染への影響や脱色方法、環境への影響は今後検討すべき課題とされている。β線照射により有機色素が分解する特性を検知に利用する方法も研究されている。</p> <p>水位計測による漏えい検知も多数提案された。差圧式センシングは燃料貯蔵用タンクおよび米軍に採用されている検出方法である。タンクの継ぎ手部の圧力変化で漏えいを検知する方法、タンク表面を分光機で監視する方法なども提案された。地上タンクの底板にアクセスできる構造を採用し、漏水または底板そのものを目視観察する方法も提案された。</p>	<p>・計測場所は線量や気象などの環境が厳しく、精緻な作業は困難である。一般に、モニタリングのエラーの95%はサンプリングに起因することを考慮すると、現場作業を簡素化することは重要である。また、漏えい検知をβ線検出により行う場合、タンク近傍での作業になる。一方で、染料により漏えい検知する場合は、ある程度離れて作業することができるため、被ばく低減の観点からメリットがある。</p> <p>・海外ではハンディのベータ線モニタを開発済みである。また、プラスチックシンチレータの実現性は高いと考えられる。今後福島サイトへの適用性を検討するため、実証の状況についてメーカー等に確認するべきである。</p> <p>・β核種の漏えい検知には、パッキン部分をスミアし、液シンバイアルに入れて液体シンチレーションカウンターにて測定する方法も考えられる。ベータ線モニター、プラスチックシンチレータとも合わせて、実作業での効率も含めて検討を行うべきである。β線の定量計測でなく検知であれば、現状のサーベイメータにγ線とβ線の物質透過力の差を応用するアタッチメントを加えることで適用可能と考えられる。</p> <p>・有機染料はβ線で分解するため、放射線量の把握とその環境下で使用可能な染料の選定が重要である。一方で、これを利用した検知は可能性がある。汚染水に添加物を入れる方法は水処理への影響も考慮しなければならない。</p> <p>・貯留水そのものの漏えい検知方法として、差圧モニタリング式の漏えい検知方法は、石油、軍事、原子力サイトの適用されている着目すべき技術である。環境が安定している地下タンクでは有力な技術であるが、地上タンクでの適用は測定条件の確認が必要である。</p> <p>・二重鋼殻タンクについては、鋼殻の間でモニタリングすることが可能と考えられる。</p>	<p>【測定機器の軽量化】 パトロール時のβ線測定能力向上のため、約50μSv/hのγ線雰囲気線量下でβ線表面汚染密度を計測でき、携帯しやすいよう軽量である技術を要望している。 当面は既存技術を適用する計画であるが、パトロール要員の負荷軽減(軽量化)や性能の高い機器が開発されれば、引き続き適用することを検討する。</p> <p>【染料(除染影響、環境影響、脱色)】 漏えい水の視認性向上のための染料については、検出性が向上することを前提に、染料の添加による水処理時の廃棄物増加、放射性核種の除去処理への影響、炉注機器や環境への影響、脱色方法等のデメリット有無についても検証が必要である。</p> <p>【その他】 検討に際しては、現場への設置性などを含めて考慮する必要がある。</p>	
			304	非破壊遠隔測定				
			320, 622, 725	プラスチックシンチレータ箔				
			376, 485	プローブの改良				
			472	ガスフロー式サーベイメータ				
			559	濃縮前処理、イオン吸着剤				
			621	β表面線量計、細い窓を活用した遮へい				
			623	オンラインモニタリング、Sr90				
		測定機器の軽量化	83	フレキシブルな遮へい材料				
			472	ガスフロー式サーベイメータ				
			485	プローブの改善				
		タンクからの漏えい水の視認性向上	染料	15, 552				染料の利用
				69				汎用染料の活用
	191			食用染料利用、タンクの部分的白色塗装				
	225, 354			蛍光色素				
	379			様式2なし				
	720			リグニン				
	照射による変色		532	照射量による色相変化				
			570	漏えい検知塗料、ゲル				
	水の漏えい検知	水位センサ	111	遠隔監視システム				
			176	レベル計、回転表示灯				
			331	差圧式センシング				
			498	高精度液面計				
			58	機能性継ぎ手				
		漏えい検知	121	ゼリー化、可視化				
			638, 645	レーザー分光機、遠隔同定				
		漏えい監視	214	排水溝を備えた基礎構造				
215			監視可能なタンク底板とタンク移設方法					

※国際廃炉研究開発機構(IRID)からの報告に、汚染水処理対策委員会事務局が東京電力(株)によるコメントを追記。

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			
(4)ボルト締め型タンクの撤去作業の円滑化	撤去時の除染高速化・作業時の被ばく低減	除染技術	132	超高压液体窒素除染技術	<p>さまざまな除染技術と遠隔技術が提案された。</p> <p>液体窒素、鋼球や水を高压で吹き付ける方法、レーザーで表面を気化させる方法、タンクを電極としてタンク内で電気分解を行う方法などによる遠隔除染が提案されている。除染後のスラッジを可動長尺ノズルで遠隔回収する方法も提案された。溶断の遠隔技術、油田や原子力での実績のある遠隔解体技術も提案されている。そのほか、剥離塗料による除染の合理化も提案されている。</p> <p>除染廃棄物の取り扱いに関しては、除染排水の処理方法、廃棄物の固化剤の提案や、鋼材等を溶融して減容または廃棄物容器等として再利用する方法が提案された。</p> <p>そのほか、除染や解体の手順に関するノウハウ、CAD上でのシミュレーションによる手順検討などが提案されている。</p>	<p>・除染方法を選定する際には、汚染の状況、許容される除染期間など現地のニーズを十分に考慮する必要がある。また、二次廃棄物の処置も考慮すべきである。不必要に高性能な方法を採用する必要はなく、水だけの除染のみで効果が得られた実績もあることを踏まえて検討すべきである。</p> <p>・液体窒素吹付、ファイバーレーザー法など比較的先進的な方法については除染作業に要する時間や面的除染への有効性についても十分な検討が必要である。</p> <p>・抽出された技術は、海外で採用されているか適用を検討中のものが含まれている。</p> <p>・その他、提案されているもの以外にもドライアイスプラスト、アイスプラストなどの除染技術がある。</p> <p>・遠隔技術は原子力を含め多くの産業ですでに適用されている。</p> <p>・サイト内でのタンク材料の再利用は良い視点であり、サイト内での溶融炉設置の可能性も含めて検討に値するものである。</p>	<p>【撤去時の除染高速化】</p> <p>タンクのリプレースを順次進めるにあたり、敷地を有効利用する観点から、撤去作業は可能な限り速やかに実施したく、除染を迅速に実施できる技術を要望している。</p> <p>除染技術の検討にあたっては、除染による二次廃棄物や液体廃棄物が極力発生しないこと、あるいは廃棄物発生量が低く処理処分方法に課題がないことが重要である。なお、作業員の被ばく低減のため遠隔対応が容易であることが望ましい。また、敷地内の広範囲なエリアで作業することから、電源の確保等についても考慮する必要がある。</p> <p>【作業時間短縮、遠隔解体作業】</p> <p>タンクのリプレースを順次進めるにあたり、敷地を有効利用する観点から、撤去作業は可能な限り速やかに実施したく、除染を迅速に実施できる技術を要望している。</p> <p>除染技術の検討にあたっては、除染による二次廃棄物や液体廃棄物が極力発生しないこと、あるいは廃棄物発生量が低く処理処分方法に課題がないことが重要である。なお、作業員の被ばく低減のため遠隔対応が容易であることが望ましい。また、敷地内の広範囲なエリアで作業することから、電源の確保等についても考慮する必要がある。</p> <p>【二次廃棄物保管】</p> <p>除染による廃棄物について、処理処分方法に課題がないことが望ましい。</p> <p>なお、タンク設置エリア近傍に広範な作業場所が確保できない可能性があり、作業エリア及び電源の確保等についても考慮する必要がある。</p>
			224, 588	スチールプラスト遠隔除染			
			305	ファイバーレーザーによる除染、遠隔処理			
			553	レーザー除染技術、溶断、自動化技術			
			613	電気化学分解、超音波洗浄			
			630	サンドプラスト除染			
			696	水、高压水、遠隔除染			
		遠隔回収技術	333	リモートマニピュレータによる除去物の回収			
			431	スラッジ、回収方法			
		遠隔解体作業	553	レーザー除染技術、溶断、自動化技術			
	164		ロボット技術、レーザー技術				
	167		解体円滑化				
	その他	419	剥離性樹脂によるタンク内面除染				
		729	剥離塗料による汚染固定と除染合理化				
	除染廃棄物の取り扱い	除染廃液の処理	756	電気化学的処理プロセス、塩化物の除去、錯体の酸化			
		廃棄物の固化	420	汚染廃棄物の固化剤			
		廃棄物のリサイクル	556	放射性廃棄物への作り替え			
			644	鋼材の除染とリサイクル			
	その他	除染作業の合理化	188	除染手順			
			233, 336	除染、撤去、解体技術全般			
306			除染最適化検討ツール、CADシミュレーション				
445			除染技術全般(除染、減容化、再利用)				

※国際廃炉研究開発機構(IRID)からの報告に、汚染水処理対策委員会事務局が東京電力(株)によるコメントを追記。

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			
(5)タンク本体以外のご提案	貯留水のゲル化、固化、吸着	ゲル化	64	ゲル化剤	その他、特に技術提案をお願いしたい事項以外の提案として、貯留水をゲル化または固化して漏水を防ぐ方法、漏水後に吸水または吸着する材料が提案されている。  雨水と汚水の混入を防ぐため、タンクに屋根をかける提案も示されている。  ボルト型タンクを、除染後に内部をライニング、フランジ部を溶接または樹脂で補修する等により、再利用する方法も多数提案された。  コンクリート製の地下貯留設備と遮水壁を兼用する構造の提案があった。  タンク漏えい時に吸着材をタンク周りに配置する方法、タンク内で水処理する方法、貯留水の処理方法と処分方法等についても提案があった。  なお、海外の多くの組織が汚染水問題に関する実績と経験を提示している。	・貯留水のゲル化・固化については、その後の処理に課題が多いと考えられる。再度液体に戻せる技術があれば可能性はあるかもしれないが、困難と考えられる。  ・非セメント・非ポリマー系の固化材は1960年代から建設に用いられている材料であり、物質の吸着性に優れる。固化後の状態はコンクリートに似ているものであり、他の1F工事への検討にも値する。  ・ボルト締めタンクをライニングして再利用する提案は、廃棄物低減、コスト削減、制動X線遮へいの観点からメリットがあると思われるが、耐震に関しては追加対策が必要である。また、貯留効率改善、作業者の被ばく低減と補修の品質管理の観点でも更なる検討が必要と考えられる。	【貯留水のゲル化、漏洩時硬化剤】 検討に際しては、滞留水を固化した後の処理を含めて考慮する必要がある。  【タンクの雨除け】 タンク堰内への雨水流入を低減するため、タンク周囲に雨除けの設置を検討しているところ。多数のタンクがあることから、設置作業の簡便さ、雨除けできる範囲などを考慮することが必要。  【小型タンク】 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が、狭隘な土地の活用時など、今後必要性が生じた際の検討項目と考える。  【地下タンク兼遮水壁】 検討に際しては、設置期間、管理方法などを含めて考慮する必要がある。  【コンクリートタンク】 検討に際しては、設置期間、管理方法などを含めて考慮する必要がある。  【汚染水問題に関する経験等】 検討に際しては、設置期間、管理方法などを含めて考慮する必要がある。
			121	ゼリー化による漏えい防止			
		固化	37	固化剤、安定剤			
			42	空気硬化性混和剤			
			161	無機系固化剤			
			468	非セメント非ポリマー固化材			
			471	石膏、タンク全体			
			16	バイオセーフティー、ナノ複合材料吸着剤			
		吸着、吸水	130	ゼオライト、タンク隙間充填、放射性核種の回収			
			171	高吸水性高分子			
	365		感温性高吸水性樹脂				
	タンクの雨除け	25, 127, 196, 207	屋根と樋				
		124	屋内式タンク				
	ボルト型タンクの補修	202	ゴム充填				
		513, 689, 690, 693	接合部				
		630	二重底構造、ゴムライニング(鉛入り)、オーバフロー接続				
	地下タンク兼遮水壁	722	タンク浮上工法				
		96	遮水壁内部に汚染水を貯留				
	タンク内および漏えい時の貯留水の処理(添加剤、吸着剤の活用、凍結、蒸散など)	456	コンクリート二次製品、土留め、貯留、遮水構造				
		43	凍結、濃縮、減容				
		50	様式2なし				
		55	凝集沈殿				
		73	農薬、分解				
		115	ゼオライト、地下壁、Sr吸着				
		122	貯水頁岩				
		162	オゾン水、分離				
		178	様式2なし				
		247	ストロンチウム、セシウム、吸着処理				
		277	浄化				
		285	放射能除去機能				
		504	緊急対策、漏えい				
		525	汚染水処理				
		534, 631	水処理設備				
715	バックアップ						
汚染水問題に関する海外の経験の共有	142, 382, 445, 462, 539, 766	海外の原子力関連機関、電力関連研究所等					

※国際廃炉研究開発機構(IRID)からの報告に、汚染水処理対策委員会事務局が東京電力(株)によるコメントを追記。

分野別の主な技術提案の総括 [技術分野2: 汚染水処理]

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	キーワード			
(1)トリチウム分離技術に求める要求	原子力分野で研究されている分離技術	1)水蒸留法	66, 261, 422, 486, 609, 685	地熱利用、減圧蒸留	<p>トリチウムの分離技術に関しては、これまで原子力分野で研究されている分離技術の延長線上にあるものに加え、新たな発想に基づく分離技術の提案が寄せられた。</p> <p>最も多くの提案が寄せられた方式は、CECE法を応用したものであった。その中には、技術的にトリチウムの分離が可能であり、福島第一への適用に関する研究を具体的に提案しているものがあつたが、規模・コストの面で解決すべき課題があるとしているものもある。</p> <p>今回の提案では、既存技術(水蒸留法、電解法、CECE法)の課題の一部を解決するアプローチとして、減圧蒸留や燃料電池・セラミック電極の利用や、分離に使用する触媒の改良といった改善提案が寄せられた。</p> <p>また、危険な物質を扱うことから実用化が見送られているGS法については、硫化水素に代わり塩酸を用いる提案が寄せられた。</p>	<p>・トリチウムの分離技術については、国際的な経験では、EUのOSPAR委員会や欧米諸国で総合的な評価を行った中で、技術的な観点からはトリチウムを分離できる技術は存在するが、産業規模で実用可能な技術は無いと結論付けられており、結果として環境への管理された放出が最善の選択とされている。</p> <p>・今回寄せられた数多くの技術提案について、これまでの知見・経験から最も有望とされている方式であるCECE法の分離性能を大幅に向上させる革新的な提案は無いと見られる。</p> <p>・これらの技術について、福島第一への適用に向けた検討をおこなう際には、開発に要すると見込まれる時間、規模、コストを精査するとともに、分離のリスクを勘案することが必要である。</p> <p>・今回の技術提案でも、数多くの提案が寄せられたが、短期間で福島第一原発に適用できると示されたものは無かつた。</p> <p>・一方で、研究段階にある様々な技術の動向について、今後も情報収集を行っていくことが重要である。</p>	<p>【原子力分野で研究されている分離技術】</p> <p>トリチウム分離技術については、ALPS処理水(塩分を含んだトリチウム水)に含まれるトリチウム(1~5×10<sup>6</sup>Bq/l)を告示濃度(6×10<sup>4</sup>Bq/l)以下へ分離できることを前提に、処理量(建屋地下に流れ込む地下水量400m<sup>3</sup>/日以上)や装置設置面積の効率(Bq/日/m<sup>2</sup>)等に加え、設置期間、費用を含めて総合的に検討する必要がある。</p> <p>【その他の分離技術】</p> <p>トリチウム分離技術については、ALPS処理水(塩分を含んだトリチウム水)に含まれるトリチウム(1~5×10<sup>6</sup>Bq/l)を告示濃度(6×10<sup>4</sup>Bq/l)以下へ分離できることを前提に、処理量(建屋地下に流れ込む地下水量400m<sup>3</sup>/日以上)や装置設置面積の効率(Bq/日/m<sup>2</sup>)等に加え、設置期間、費用を含めて総合的に検討する必要がある。</p>
		2)電解法	30, 135, 137, 392	燃料電池、セラミック電極、3室ダブルイン型			
		3)化学交換電解セル複合法(CECE法)	251, 292, 298, 301, 326, 412, 446, 646, 738				
		4)水-硫化水素交換法(GS法)	194	塩酸			
		5)ガスクロマトグラフ法	46, 200				
		6)二温度式水素-水交換法(BHW法)	292, 298, 301				
		7)レーザー	303				
		8)水-水素液相交換法(LPCE法)	263				
	その他の分離技術	1)凍結濃縮	48, 204, 262, 355	界面前進凍結濃縮	<p>これらに加え、新たな概念による分離技術として、軽水とトリチウム水の凝固点の違いを利用した提案や、クラスレート・ハイドレートを利用した方式の研究などについて提案があつた。</p> <p>いずれの手法についても、解決すべき課題が残されており、福島第一への適用を含め実用に供するためには、更なる研究・開発を行う必要があるとされるものであつた。</p>		
		2)ナノ技術	85, 101, 287	ナノ鉄、カーボンナノチューブ			
		3)ハイドレート	616	クラスレート・ハイドレート			
		4)吸着材	17, 45, 57, 294, 511, 716, 727, 772	リチウム、活性炭、ゼオライト			
		5)比重	34, 198, 322, 458, 482	遠心分離、静置、不織布膜			
		6)その他	3, 65, 270, 366	核磁気共鳴(MRI)、電解凝集、プラズマなど			

※国際廃炉研究開発機構(IRID)からの報告に、汚染水処理対策委員会事務局が東京電力(株)によるコメントを追記。

分野別の主な技術提案の総括 [技術分野2: 汚染水処理]

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	キーワード			
(2) その他 処理に求める 要求事項	貯蔵・貯留	1)吸着	57, 629		トリチウムを含む水の貯蔵・貯留に関しては、固化する提案が多く、氷として貯蔵するものや、石膏での固化やゲル化することにより、漏洩リスクを低減する提案が寄せられた。  また、環境放出・関連技術の提案が多く寄せられた。 海洋への希釈放出は国際的に認められており多くの実績があるという意見のほか、具体的な方策として既設プラント(1F5・6、2F)を利用して希釈する案や、地下水バイパスで汲み上げた地下水や雨水で希釈する案などが寄せられた。 大気放出に関しても、既存の廃棄物処理系を利用するほか、地熱や自然蒸発を利用した提案などが寄せられた。 地下に関しては、トリチウムが十分減衰するまで生活環境と隔離できる点をメリットとして挙げられていたが、地下構造の詳細な把握が必要不可欠との課題も挙げられていた。  その他、分解・消滅に関する提案が寄せられた。	・分離濃縮後のトリチウム水を長期安定的に貯蔵・貯留するためには、高濃縮されたトリチウム水における放射線による影響やトリチウムの崩壊で生成するヘリウムガスの取り扱いを考慮する必要があるが、これらを考慮した提案はなかった。  ・また、高濃縮されたトリチウム水が万一漏洩した場合の影響は、濃縮前に比べて更なる大きくなるため、貯蔵・貯留に関しては分離濃縮の是非を含めて慎重に判断しなければならない。  ・トリチウム水の環境放出(主に海洋への希釈放出)は、規制値未満で実施することを前提に、国内外の原子力施設で実施されている。これは、最も技術的な実現性が高く環境へのリスクも小さい方法である。福島第一原発への適用を検討することとなる場合には、風評被害の防止を最大限に考慮するとともに、利害関係者への十分な説明が必要である。	【貯蔵・貯留】 貯蔵・貯留については、長期安定的に貯蔵できる技術を要望している。 検討に際しては、廃棄物量や長期貯蔵管理の観点も含めて考慮する必要がある。  【環境放出・関連技術】 放出については、さまざまな選択肢の中の一つとして、専門家の方々も交えた汚染水処理対策委員会でご議論いただきたい。  【分解・消滅】 分解・消滅についても、トリチウム分離技術と同様、ALPS処理水(塩分を含んだトリチウム水)に含まれるトリチウム(1~5×10 <sup>6</sup> Bq/l)を告示濃度(6×10 <sup>4</sup> Bq/l)以下へ分離できることを前提に、処理量(建屋地下に流れ込む地下水量400m <sup>3</sup> /日以上)や装置設置面積の効率(Bq/日/m <sup>2</sup> )等に加え、設置期間、費用を含めて総合的に検討する必要がある。 なお、検討に際しては実用化までの期間を含めて考慮する必要がある。
		2)固化	35, 44, 56, 129, 160, 183, 365, 491, 518, 730	凍結、石膏、樹脂、エトリンガイト、ベントナイト、ゲル化、ジオポリマー			
		3)ハイドレート	589				
	環境放出・関連技術	1)海洋	114, 148, 149, 338, 389, 392, 401, 524, 541	既存設備利用、井戸水、海水			
		2)大気	66, 252, 338, 453, 460, 477, 510, 541, 738	地熱、自然蒸発、蒸発器			
		3)地下	153, 338, 367, 427				
	分解・消滅	1)核変換	9, 59, 149, 168, 211, 271, 316, 396, 449	ナノ銀、電磁波、常温核融合、酸水素ガス、ブラウンガス			
		2)化学反応	70, 190, 218, 780	硫酸、光触媒、マイクロバブル			
		3)生物処理	40, 98, 583	生物濃縮、微生物			
	その他		47, 218, 573, 660, 754	モニタリング等			
(3) 総合的な 評価	提言等		338, 369, 401, 526, 643, 748, 762, 769	技術・システム、トリチウムの挙動及び環境影響、リスク等の総合評価に関する提言等	トリチウム水に関しては、総合的な評価を行うべきであるという意見および支援の提案が国内外の多くの組織から寄せられた。 日本原子力学会から、同位体分離方法の有効性と問題点・リスク、環境放出を選択する場合に留意しなければならない事項について声明が出されている。 検討すべき事項として、現状のままトリチウム水を貯め続けるリスク、分離濃縮する際の安全性に関するリスク、高濃度に濃縮されたトリチウム水のリスク、また、環境放出を選択する場合の環境への影響や風評被害などについて総合的に評価すべきとの指摘があった。	・今回の技術提案では、トリチウム水の取扱いに関する総合的な評価を行うべきとする意見や支援の提案が多数寄せられた。  ・現在も濃度限度を超えるトリチウム水を大量に保管するリスクを抱えていることから、国際的な知見と経験を共有しながら、利害関係者の参加を得た上で、トリチウム水の取り扱いに関する総合的な評価を直ちに開始すべきである。  ・その際、トリチウム水の分離および長期保管技術について、適用性に関する評価(安全性を含む)を行うとともに、現状のまま保管するリスク(自然災害を含む)と、環境放出を行う場合の具体的な手法とリスク(風評被害を含む)を検討する必要がある。	【総合的な評価】 ご指摘のような種々のリスクを踏まえた総合的な評価を行うという観点から、汚染水処理対策委員会でご議論いただきたい。
	ツール・サービスの提案		321, 337, 383, 452, 732, 758	環境影響評価ツール、評価モデル等の提案			

※国際廃炉研究開発機構(IRID)からの報告に、汚染水処理対策委員会事務局が東京電力(株)によるコメントを追記。