

東京電力(株)福島第一原発における 予防的・重層的な汚染水処理対策 (概要)

平成25年12月10日

内閣府

廃炉・汚染水対策チーム事務局

1. 汚染水処理対策委員会における検討事項

(1) 原子力災害対策本部(9月3日)「汚染水問題に関する基本方針」

- 「汚染水処理対策委員会などにおける専門的知見を活用して、潜在的なリスクを洗い出し、不断に具体的な予防対応や緊急対策のあり方について検討する。」

(2) 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議(9月10日)「廃炉・汚染水問題への対応方針と具体的なアクション」

- 「技術的困難性が伴う潜在的リスクについて、国内外の叢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。)」
- 「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の洗い出し、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。」

2. これまでの検討過程

(1) 汚染水処理対策委員会での検討

- 9月3日以降、6回(※)にわたり集中的に討議。(※)9月13日、9月27日、10月25日、11月15日、12月3日、12月10日
- 11月11日には、委員による現地調査を実施。
- 汚染水対策現地調整会議における現場目線での対策検討と連携。

(2) 国内の専門家の知見を結集した検討

- 国土交通省 国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所、(独)産業技術総合研究所、(独)日本原子力研究開発機構等の専門家からなる2つのサブグループ(地下水挙動把握／リスク評価)を設置。地下水・地質構造の整理や地下水広域解析モデルの構築、現況や対策実施後の潜在的リスク評価を実施。
- 10月11日から11月27日まで、2つのサブグループそれぞれ8回にわたる討議を実施。

1. ポイント

目標:『潜在的なリスクの洗い出しに基づき、予防的・重層的な対策をとりまとめ、リスクを最小化すること』

- (1)「地下水挙動把握」サブグループにおいて、地下水流動解析モデルを広域化し、妥当性を確認。新しい解析モデルを用いて対策の効果を評価。地下水流入抑制等の効果が大きい対策を抽出。
- (2)「リスク評価」サブグループにおいて、漏えいの発生確率と発生した場合の影響をもとに、リスク(現状／対策実施後)を評価。各対策間の優先順位、各対策によるリスク低減効果を提示。
- (3)国内外の叡智を結集するため、国際廃炉研究開発機構(IRID)を通じた技術情報の公募を実施し、780件の提案を得た。

2. 今回のとりまとめにおける主な追加対策

- (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】

(追加対策)更なる地下水抑制策(「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」)

(既存対策)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】

(追加対策)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、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等

(既存対策)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多核種除去設備の導入、溶接型タンクへのリプレイス加速 等

- ③海側エリア対策【取り除く】【漏らさない】

(追加対策)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汚染水の貯蔵容量確保対策【漏らさない】

- ・トリチウム水の扱いに係る総合評価(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について検討

※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】

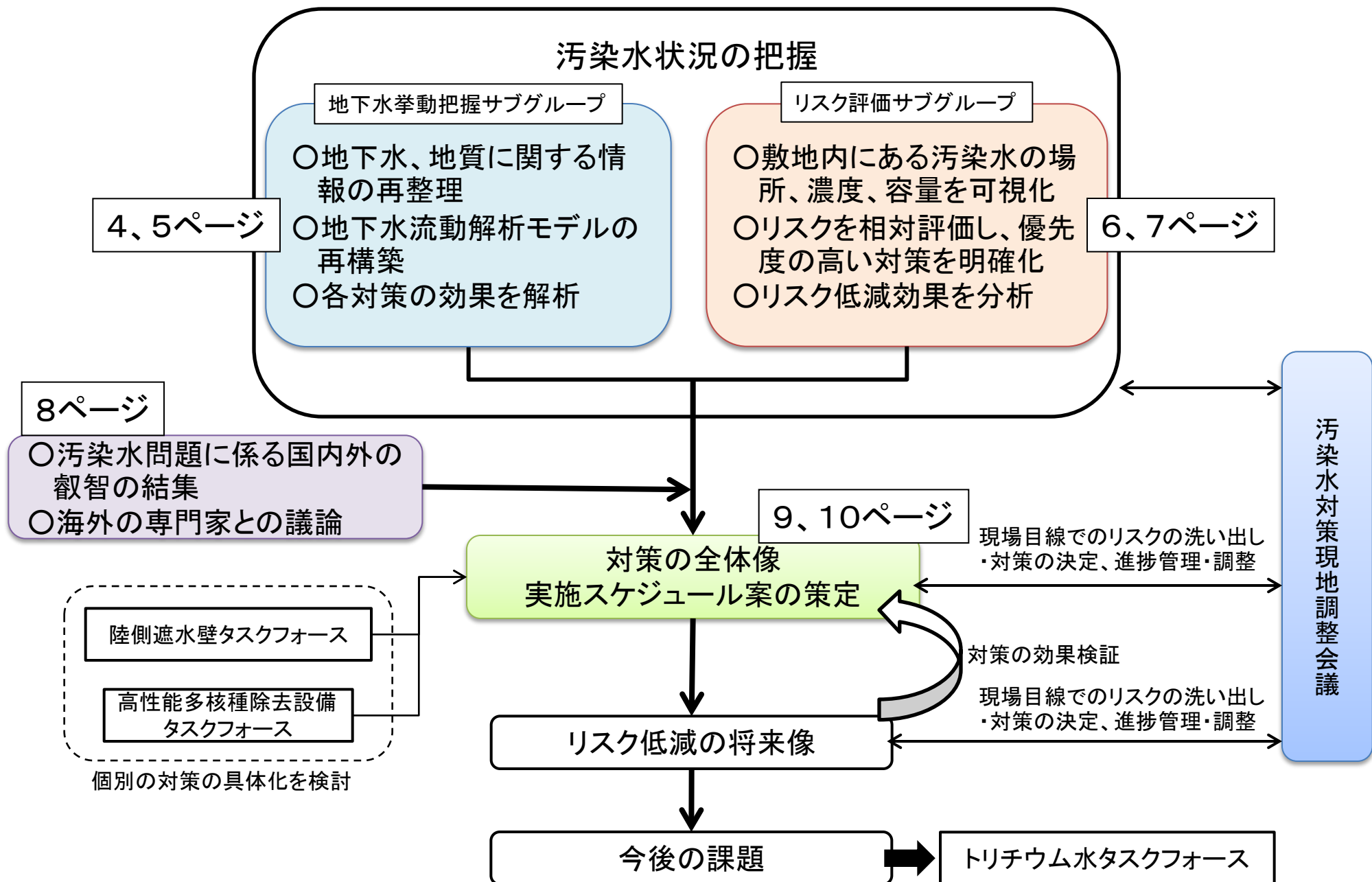
(追加対策)建屋防水性向上対策の実施、防潮堤等の追加対策の検討

- ②建屋等からの汚染水漏えい対策【漏らさない】

(追加対策)建屋の止水(建屋外壁貫通部、建屋間ギャップ、建屋周辺)、汚染水移送ループの縮小 等

3. 今後の課題

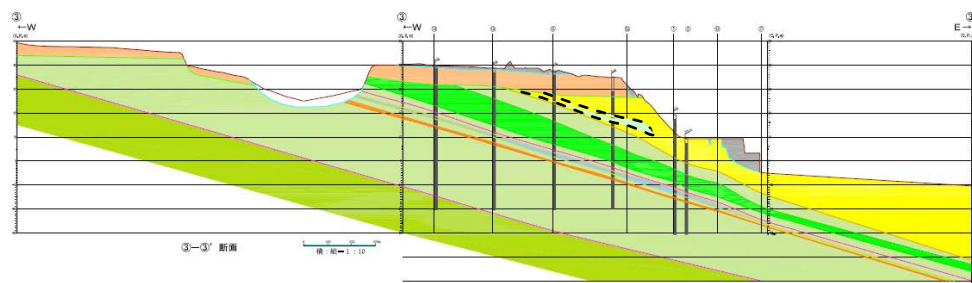
- (1)大量のトリチウム水の取扱い、(2)国内外への適切な情報発信、(3)必要に応じた計画の見直し



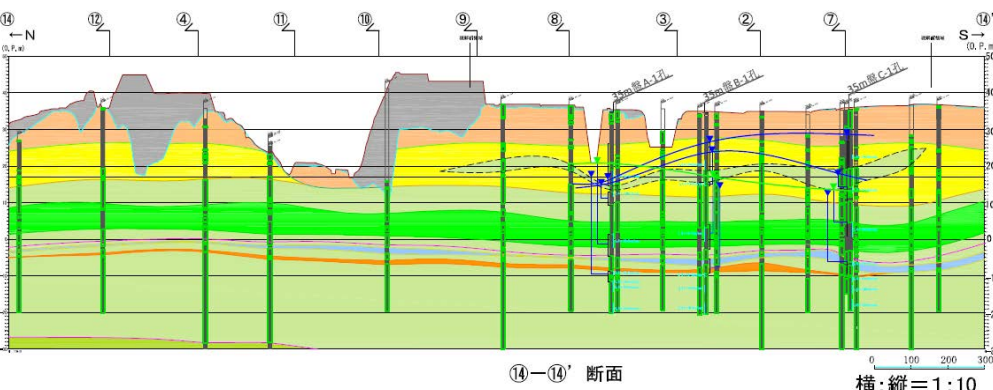
「地下水・雨水等の挙動把握・可視化」サブグループにおける検討の概要①

- ◆東京電力がこれまでに実施したボーリング結果、地下水位の測定結果、地下水位の経時変化と降雨の連動性に関するデータ等を確認し、敷地内の地下水・地質構造を再整理。
- ◆中粒砂岩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り、互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と推察。

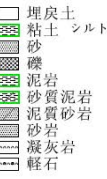
福島第一原発4号機南側の地層断面図(東西断面)



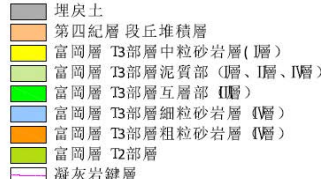
福島第一原発35m盤の地層断面図(南北断面)



柱状図凡例



地質凡例



中粒砂岩中の挟み泥岩層



孔内水位・地下水位線

中粒砂岩(層)

互層(層)



横:縦=1:10

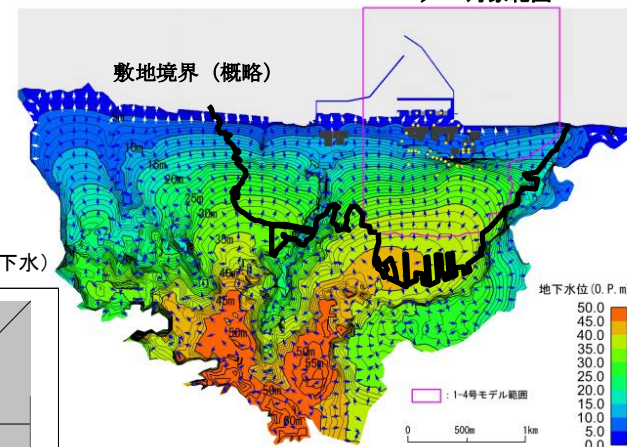
- ◆既存の汚染水対策(建屋周辺の対策が大半)を決定する際に用いたシミュレーションモデルの妥当性を確認。
- ◆予防的・重層的対策を検討するため、福島第一原発の敷地周辺を含む、地下水流動の全体像を把握すべく、シミュレーションモデルの対象エリアを敷地境界外に拡大。
- ◆解析の結果と実測データを比較し、新しいシミュレーションモデルの再現性を確認。

【主な解析条件】

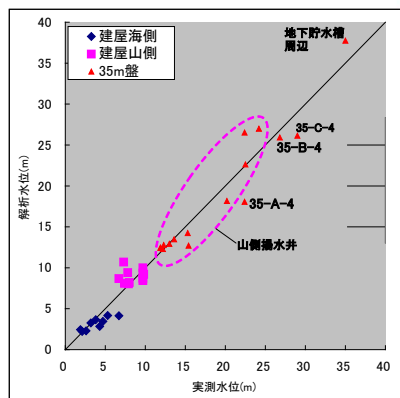
- ①降雨量 : 年平均降水量 1545mm
- ②降雨浸透率: 55%
(蒸発散量を年間700mmとした)
- ③構造物等の透水係数: 計23種類の地層や構造物に対して透水係数を設定
- ④境界条件: 解析領域の海側/山側における条件をそれぞれ静水圧と設定。
(境界における地下水の出入りを事前に解析。)

地下水コンター、流向図の解析結果

既存解析モデルの対象範囲



解析水位と実測水位との比較(不圧地下水)



「地下水・雨水等の挙動把握・可視化」サブグループにおける検討の概要②

◆新しい地下水シミュレーションモデルを基に、各対策を個別又は組み合わせて実施した場合の建屋への地下水流入抑制効果等について解析。対策の組み合わせによる効果について、50ケースを超える解析を実施。

◆地下水流入抑制に係る、対策の組み合わせによる効果の解析結果を比較することで、あきらかとなった主な事項は以下のとおり。

ケースの代表例とその解析結果

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) (注2)	くみ上げ量内訳(トン/日)(注2)		
	4m盤対策	地下水バイパス	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			地下水バイパス	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
ケース3	●		●						400	320	0	750			350
ケース4	●			●					140	90	190	1000		820	40
ケース5	●				●				120	80	180	1070		920	30
ケース6	●					●			130	30	100	140			10
ケース7	●						●約2.0km ²		130	110	90	130			
ケース7-2	●						●約1.7km ²		160	130	100	160			
ケース8	●						●※約1.0km ²		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 ²		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 ²		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)

(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、地下水バイパス・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。

◆「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。
 ◆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。
 ◆地下水バイパス、サブドレンは、運用条件等により効果が異なる。
 ◆地下水バイパス上段は建屋流入抑制最小のケース、中段は互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。

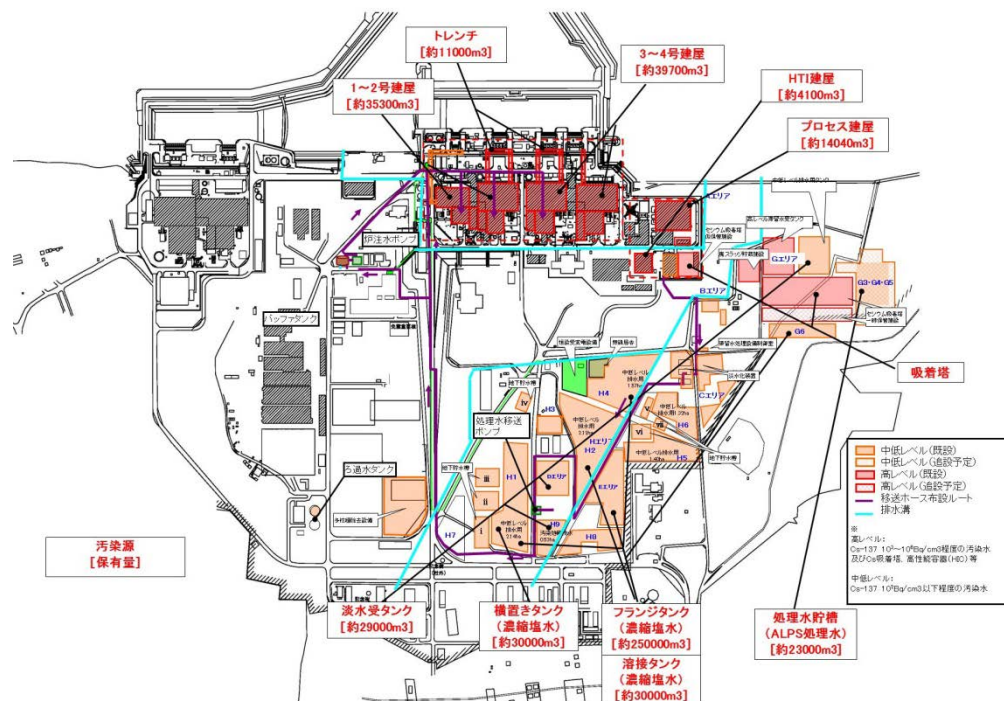
【今回の解析の結果から分かったこと】

- ①山／海側サブドレンの実施や、陸側遮水壁の設置は、建屋への地下水流入抑制効果が大い
 《ケース4、5、6より》
- ②広域にフェーシングを実施するケースでは、建屋への地下水流入抑制効果は大いだが、施工エリアを絞ると、その効果も限定的となる。
 《ケース7、8より》
- ③敷地境界付近に山側遮水壁を設置しても、建屋への地下水流入抑制効果は得られない。
 《ケース9より》
- ④既に実施中あるいは実施が決まっている対策を実施することで、建屋への地下水流入抑制効果は一定程度得られる。
 《ケース10より》
- ⑤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の実施により、既に実施中あるいは実施が決まっている対策の効果が增加する。ただし、フェーシングの遮水の効果が得られるまでには時間を要する。
 《ケース14、14-2より》
- ⑥仮に陸側遮水壁の機能が十分発揮されない場合でも、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で代替が可能。
 《ケース17、17-2より》

※フェーシングについては、今後精査が必要ながら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た。

「リスク評価」サブグループにおける検討の概要①

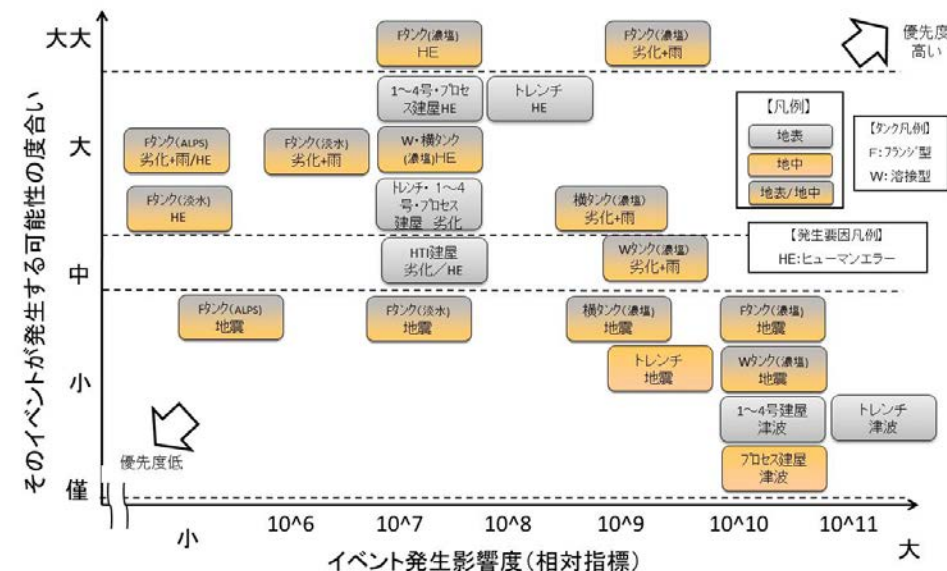
◆敷地内の汚染水について、①場所、②濃度、③容量を整理し可視化。



<平成25年10月15日時点>

◆汚染水漏えいの発生確率、汚染水濃度、漏えい量、漏えいの発生要因等を基に、想定されるリスクを相対評価し、現状のリスクをマッピング。

現状のリスクマップ化



※ 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。

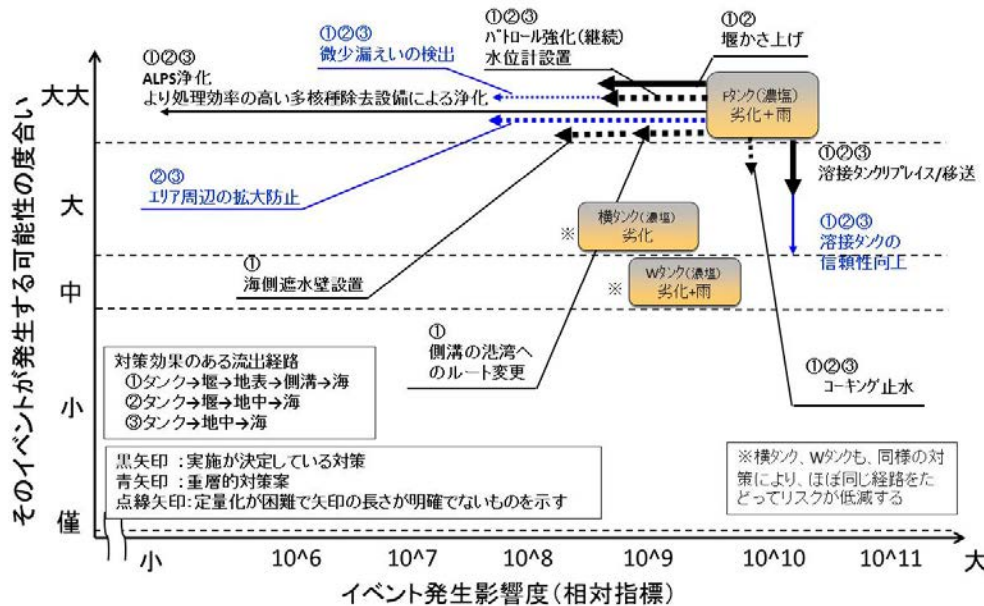
※「HE」は「ヒューマンエラー」の意味。

「リスク評価」サブグループにおける検討の概要②

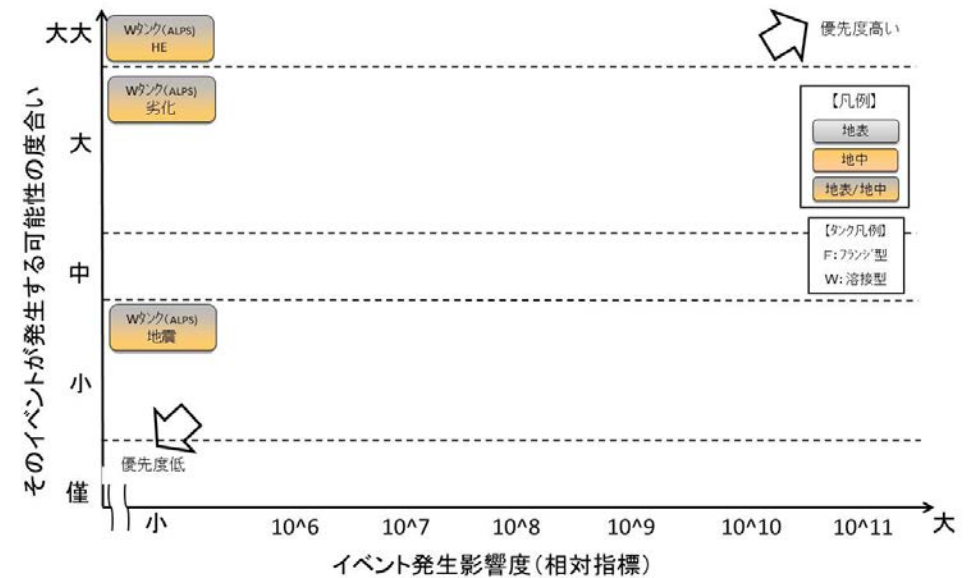
- ◆個々のリスクについて、リスク低減に寄与する対策とその効果を解析。
- ◆ボルト締め型タンクや鋼製横置きタンクから、信頼性の高い溶接型タンクへのリプレースを進めると、漏えい発生の可能性が低減。
- ◆多核種除去設備により浄化を進めると、漏えい時の発生影響度が低減。

- ◆建屋海側トレンチ内の高濃度汚染水のくみ上げ、多核種除去設備による汚染水の浄化、溶接型タンクへのリプレースなど、優先順位の高い対策から順次実施した際の将来にわたる施策のリスク低減効果を明確化。
- ◆多核種除去設備で除去できないトリチウム水の取扱いが課題。

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】



リスク低減効果の検証（H32年度末）



汚染水問題に係る国内外の叢智の結集

■ 技術提案募集について

- ◇国際廃炉研究開発機構(IRID)を中心に、専門家からなる国内外の叢智結集のためのチームを立ち上げ、技術提案を受付。(募集期間:9月25日~10月23日)
- ◇応募された案を、予防的かつ重層的な汚染水対策の全体像に反映すべく、「汚染水処理対策委員会」を中心に精査。

■ 応募状況

◇提案件数は、計780件。詳細は以下のとおり。

募集分野	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。

◇国内外からの技術提案により、汚染水対策技術の全体像を俯瞰することが可能となり、これら提案のすべてが貴重なデータ。

◇技術の成熟度、対応の緊急性、現場への適応性等を勘案し、以下の技術を特に抽出。

- 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 等

- 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、活用するにあたって確認・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 等

- ④汚染水処理対策委員会などでの検討を踏まえて進めていくもの
 - 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検討

予防的・重層的な汚染水対策の全体像



汚染水対策の三つの基本方針

1. 汚染源を取り除く
2. 汚染源に水を近づけない
3. 汚染水を漏らさない

緊急対策

1. トレンチ内の高濃度汚染水除去
【取り除く】
2. 水ガラスによる汚染エリアの地盤改良、アスファルト等による地表の舗装、地下水のくみ上げ
【近づけない】【漏らさない】
3. 山側から地下水をくみ上げ(地下水バイパス)【近づけない】

抜本対策

1. サブドレンによる地下水くみ上げ【近づけない】
2. 海側遮水壁の設置【漏らさない】
3. 凍土方式による陸側遮水壁の設置【近づけない】
4. より処理効率の高い汚染水浄化設備を整備【取り除く】

予防的・重層の対策

(★は確認・検証を行うもの)

1. 更なる地下水流入抑制対策【近づけない】
2. タンク堰のかさ上げ・二重化【漏らさない】
3. 溶接型タンクの設置加速と信頼性向上【漏らさない】
4. 排水路の暗渠化、排水路の港湾内へのルート変更【漏らさない】
5. タンクからの微小漏えいの検出★【漏らさない】
6. 土壌中のストロンチウム捕集★【漏らさない】
7. 汚染水移送ループの縮小【漏らさない】
8. 建屋の止水（建屋外壁貫通部、建屋間ギャップ、建屋周辺）【漏らさない】等
9. 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）
【漏らさない】
10. 港湾内の海水の浄化★、港湾内の海底土の被覆【取り除く】
11. 放射性物質が除去できる汚濁防止膜等の活用【取り除く】

が9月3日の基本方針決定以降に講じた／講じることを決定した主な対策

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		左記の対策に加えて必要となる重層的な対策	
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	○建屋海側トレンチ内の高濃度汚染水をくみ上げ・閉塞、浄化。【取り除く】		○1号機取水口北側エリアの地盤改良。【漏らさない】 ○簡易な設備（汚濁防止膜等）による港湾内の海水の浄化。【取り除く】 ○沈殿・吸着・分離等による港湾内の海水の浄化。【漏らさない】※ ○港湾内の海底土の被覆。【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。【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。【近づけない】 ○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】 ○水位計の設置。【漏らさない】 ○鋼製横置きタンクのリプレイス。【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多核種除去設備による汚染水浄化の加速。【取り除く】 ○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。【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多核種除去設備による廃棄物の減容化。【漏らさない】	○高性能容器（HIC）からの廃棄物の漏えい防止対策及び高濃度廃棄物の減容化・安定的保管。【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】	○トリチウム水の適切な処理については、トリチウム水タスクフォースで、総合的な検討を実施。 ※汚染水の貯蔵容量の確保のため、平成26年度のできるだけ早い時期までにタンク容量不足リスクを見極め		
○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】					
○汚染水貯蔵タンクの増設。【漏らさない】					

リスク				上記の対策に加えて必要となる予防的対策		・※は技術の確認・検証を行った上で取り組むべき対策。 ・下線は技術公募の結果も踏まえ実施する対策
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	建屋からの汚染水が漏えいするリスク	建屋からの汚染水の漏えい	○HTI建屋、プロセス建屋に滞留している汚染水の量の低減。【漏らさない】 ○汚染水移送ループの縮小（建屋内循環）。【漏らさない】 ○建屋内の高濃度汚染水の浄化。【取り除く】 ○建屋の止水（建屋外壁貫通部、建屋間ギャップ、建屋周辺）。【漏らさない】※ ○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）。【漏らさない】		（注1）ここに記載したリスクに加えて、現時点では情報不足等により正確に把握できないリスクがあり得ることについても対応。 →今後、観測網を整備して観測の充実を図る過程で、有効と考えられる技術を、その調査目的に応じて適切に活用。
			アウターライズを超える津波による建屋内汚染水の海洋流出	○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）。【漏らさない】		
		移送配管部からの漏えい		○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【漏らさない】		
		セシウム除去装置からの漏えい		○建屋の止水等によるセシウム除去装置からの汚染水の漏えい防止対策。【漏らさない】		
		セシウム除去後の高濃度廃棄物			○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。【漏らさない】	
	大規模自然災害等によるタンク等の破損			○大量の汚染水漏えい時に海洋流出を防止するシステムの構築。【漏らさない】		

汚染水問題に関する3つの対策 主な実施スケジュール①(予防的・重層的対策を含む)

平成25年8月

平成26年4月

平成27年4月

平成28年4月

10月 建屋海側のトレンチ内の高濃度汚染水をくみ上げ・閉塞、浄化

多核種除去設備(ALPS)の不具合を修正し、ALPSを増設し、平成27年4月までに全てのタンク内の水の多核種除去処理を完了する。

平成26年度中

より処理効率の高い高濃度汚染水の浄化処理設備の実現

浄化処理設備の運用

9月～

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

汚染源を「取り除く」

平成26年度上期

予防的

システム設計・配管工事

建屋内の高濃度汚染水の浄化

重層的

上記に加え、以下を含む対策を実施。

- ・簡易な設備(汚濁防止膜等)による港湾内の海水の浄化
- ・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)
- ・沈殿・吸着・分離等による港湾内の海水の浄化

稼働時期調整中

建屋山側で地下水をくみ上げ(地下水バイパス)

平成26年9月頃

建屋近傍の井戸で地下水をくみ上げ(サブドレン)

汚染源に水を「近づけない」

平成26年度中

建屋の周りを囲む凍土方式の陸側遮水壁の構築

凍土方式の陸側遮水壁の運用開始

～平成26年3月

重層的

タンク天板への雨樋の設置

重層的

上記に加え、以下を含む対策を実施。

- ・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」)

汚染水問題に関する3つの対策 主な実施スケジュール②(予防的・重層的対策を含む)

