

トリチウム水タスクフォース「これまでの議論の整理」(案)

1. はじめに

- 汚染水処理対策委員会において、平成 25 年 12 月 10 日、「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～」をとりまとめ。
- その中で、「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」という各種の対策を講じたとしても、最終的に、多核種除去設備等で処理した水(以下「トリチウム水」という。)によるリスクが残存することが明確化。
- そのため、トリチウム水の取扱いについて、様々な選択肢について総合的に評価することを目的に、汚染水処理対策委員会の下にタスクフォースを設置することとし、平成 25 年 12 月 25 日より検討を開始。
- トリチウム水の取扱いについては、IAEA(国際原子力機関)調査団からも、「あらゆる選択肢を検証するべき」との助言。
- 原子力災害対策本部が平成 25 年 12 月 20 日に決定した「東京電力(株)福島第一原子力発電所における廃炉・汚染水問題に対する追加対策」においても、「追加対策を講じた後になお大量貯蔵に伴うリスクが残存するトリチウム水の取扱いについては、あらゆる選択肢について、総合的な評価を早急に実施し、対策を検討する。」と位置づけ。

2. タスクフォースの目的・前提

- タスクフォースは、東京電力(株)福島第一原子力発電所における汚染水問題のうち、特にトリチウム水の取扱いを決定するための基礎資料として、分離、貯蔵、放出等の様々な選択肢を抽出するとともに、それらの選択肢それぞれについて、リスク、環境影響、費用対効果等の評価すべき項目を整理し、総合的な評価を行うことを目的とする。(タスクフォース規約より)
- なお、本タスクフォースは、トリチウムについて専門的に検討し、複数の選択肢について総合評価を行うものであり、関係者間の意見調整や選択肢の一本化を行うものではない。
- トリチウム以外の核種は、多核種除去設備等により、別途除去されることを前提に、トリチウム水については廃炉までの期間に処理することを想定。

3. 基礎情報の整理

(1) トリチウムの物性 (参考資料1)

- トリチウムは、陽子、電子の他に中性子を2つ持つ水素の同位体であり、自然界にも存在し、天然水中には1 Bq/L程度、人体中には数十 Bq/人。
- トリチウムの半減期は12.3年。
体内に入ったトリチウムは、新陳代謝により、水の場合は10日、有機物の場合は40日で、半分が体外に排出(生物学的半減期)。
- トリチウムのβ線のエネルギーは小さく(最大18.6keV)、紙一枚で遮蔽可能。

(2) 福島第一原発におけるトリチウムの存在状態 (参考資料2)

- 汚染水の総貯蔵量は約46万 m³であり、このうち、多核種除去施設による処理水は約7.3万 m³(平成26年4月22日時点)。
タンク内の水は、平成26年度末までに多核種除去処理を完了予定であり、タンク総容量は、平成26年度末までに80万 m³に達する見通し。
- タンク貯留水中のトリチウム濃度は、地下水流入に伴う希釈により徐々に低減しているため、貯蔵時期によって異なり、0.5~4.2百万 Bq/L程度(2011.9~2013.10)。また、タンク貯留水に含まれているトリチウムの累積量は約2.3 g(※)(約 8.3×10^{14} Bq;平成26年3月25日時点)。
(※)トリチウムが「T」(トリチウム原子)形態で存在した場合に相当する量

(3) トリチウムの環境動態、影響 (参考資料3~6)

- トリチウムは低エネルギーβ線放出核種であるため、ヒトへの影響を考慮する場合は体内摂取、すなわち内部被ばくを考慮。
- 有機物中のトリチウムには、FWT(自由水中トリチウム)とOBT(有機結合型トリチウム)があり、OBTは生体に吸収されやすく、生物学的半減期が長いこと線量評価上重要。
- 水圏環境において、生物中FWT濃度と水中トリチウム濃度は速やかに平衡に達し(ほぼ等しく)、水から生物への生体濃縮は起こらないので、水棲生物中のOBT濃度は、水中トリチウム濃度を超えない。
- 福島第一原発の汚染水中のトリチウム(2013.12.24)は、環境中のトリチウムの存在量(2010)の10万分の1、宇宙線等による年生成量の100分の1のオーダー。
- 海洋生物に対する線量評価は、「標準生物」(例えば、ヒラメ、マス、カニといった形が違う海洋生物)を対象に行い、一般的には、換算係数を用い

て、放射性濃度 (Bq/kg-生) (※)から計算する。

(※)環境試料を乾燥させない状態で計測した濃度を表す単位

- 例えば、底魚において、トリチウムが対象生物体内に均一に分布、海水濃度が放出基準値の 60000Bq/L、濃縮係数 1 と仮定すると、被ばく線量率は 0.0048mGy/day (参考 ; 「水圏環境において、生物集団の最大被ばくを受ける個体が 10mGy/day あるいはそれ以下に慢性的な線量率に制限すれば集団を適切に防護できると考えられる (IAEA 評価基準)」)
- 放射線の人体影響には、確率的影響 (突然変異) と確定的影響 (細胞死あるいは細胞変性) があり、確率的影響については、低線量では自然発生率に近づく。
- 内部被ばくの線量は、放射性物質の摂取後、大人は 50 年間、小児は 70 歳まで受ける線量 (預託線量) として評価。
- 1960 年代のヨーロッパでは、トリチウムを含む夜光剤を使用する工場で研究者あるいは作業員に被ばく事故が発生しており、2 例の死亡報告。
- 摂取した HTO は、血液中で 97%が HTO、3%が OBT となり、HTO については 10 日で、OBT については 40 日で、尿や排便により半減。
- 放射線影響は線量率に依存 (被ばく線量が同じでも、時間当たりの被ばく量 (線量率) が小さければ、放射線の影響は小さい)。

(4) トリチウムの環境中の拡散 (参考資料 7)

- 大気中に放出されたトリチウムは、大気中での乱流拡散、地中への乾性又は湿性沈着、地中での移流や拡散、地表からの蒸発等の挙動。
- 海洋中の拡散については、気象・海象データ、海面高度データ等を用いた海洋大循環モデルにより海洋変動を再現し、それに放出情報を加えた海洋拡散モデルにより海洋中の濃度を計算。
放出方法や放出位置によるが、放出地点から離れるに従い濃度低減 (10km 下流では 1 桁低減、100km 下流では 3 桁低減との試算あり)。
- 大気・陸域・海洋モデルのリンクにより、陸面過程、海面過程、再放出過程等を再現。

4. 選択肢や評価項目を検討する上で必要となる知見の整理

(1) トリチウム分離技術 (参考資料 8)

- 蒸留法 (水蒸留、水素蒸留)、同位体交換法、電気分解法、その他の方法が開発されているが、それぞれ一長一短あり。

- トリチウム分離のプラントとしては、海外ではカナダや韓国、国内でもふげんの実績。ただし、福島第一のトリチウム水は、これまでの実績と比べ、濃度が数桁小さく、量が数桁大きい。
- 分離に当たっては、プラントの処理能力、除去の目標、濃縮されたトリチウム・薄まったトリチウムの扱い、期間、コスト等を検討することが必要。

(2) 放射性廃棄物の地中埋設処分（参考資料9）

- 放射性廃棄物の処分方法として、低レベル放射性廃棄物を対象とした浅地中処分（トレンチ型埋設処分、ピット型埋設処分）、高レベル放射性物質等を対象とした「地層処分」等の手法。
- 放射性濃度の極めて低い廃棄物を対象としてコンクリートピット等の人工バリアを設置しないトレンチ処分施設や、低レベル放射性廃棄物を容器に固形化して廃棄体とするコンクリートピット処分施設等の実施事例あり。
- 浅地中処分施設の安全評価は、管理期間中（約50年）においては、事業所境界上の最大となる地点で一般公衆が受ける線量を評価し、線量目標値以下であることを確認（線量基準：1mSv/y、線量目標値：50 μ Sv/y）。管理終了後（ピット：約300年、トレンチ：約50年）は、線量めやす値以下であることを確認（基本シナリオ：10 μ Sv/y、変動シナリオ：300 μ Sv/y）。
- トレンチ処分施設やコンクリートピット施設からの流出・移行については、土壌の移流・拡散をモデル化して評価（ドラム缶等に詰めて処分する場合でも、その効果を見込まない安全側の評価）。

(3) 社会的視点からの評価項目や留意点（参考資料10）

- 個別課題ごとの選択肢は、地元住民はじめ国民の目線に十分配慮された切り口であることが大切。
- 地元住民はじめ国民にとって、トリチウムはセシウムと比べて知識（なじみ）が薄く、新たな問題として映る。
- 「事故後2年以上経過してトリチウムの問題が取りざたされることは、不信感を増大することになり、これ以上福島県民に犠牲を押し付けたくない」との意見もあり、これらに留意が必要。

(4) トリチウムに係る規制基準（参考資料11）

- 食品中の基準値については、基準値が設定された時期の状況では、「食品中において考慮しなければならないほどの線量となるとは考えられない（厚生労働省HP）」ことから、基準値には含まれていない。
- 「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所

に対して求める措置を講ずべき事項について（平成 24 年 11 月 7 日原子力規制委員会決定）」において、施設内に保管されている発災以降発生した瓦礫や汚染水等による敷地境界における実効線量（評価値）について、1mSv／年未満とすることを要求。

- 一方、汚染水の地下貯水槽からタンクへの移送、汚染水貯蔵量の増大等に伴い、敷地境界における実効線量が約 8mSv／年（平成 25 年 12 月実施計画変更認可申請）となっていることから、原子力規制委員会は、「東京電力福島第一原子力発電所敷地境界における実効線量の制限の達成に向けた規制要求について（平成 26 年 2 月 26 日原子力規制委員会）」を決定し、実効線量の制限を達成する時期の明確化等（平成 27 年 3 月末には 2mSv／年未満、平成 28 年 3 月末には 1mSv／年未満）を指示。
- 上記の敷地境界における実効線量の評価については、外部放射線に被ばくするおそれがあり、かつ、空气中又は水中の放射性物質を吸入摂取又は経口摂取するおそれがある場合には、「外部被ばくによる 1 年間の実効線量の 1mSv に対する割合」、「空气中の放射性物質の濃度限度に対する割合」及び「水中の放射性物質の濃度限度に対する割合」の和が 1 となることが要求される。
- なお、空气中、水中の放射性物質の濃度限度については、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示（平成 25 年原子力規制委員会告示第 3 号）」に規定されているが、これらの濃度限度は、空气中又は水中の放射性物質の種類が明らかであり、かつ、一種である場合の濃度限度を示したもの。
（ex. 放射性物質がトリチウムのみの場合の濃度限度は、空气中の濃度については 0.005Bq/cm³、水中の濃度については 60Bq/cm³。）

（5）海外での取組事例（参考資料 1 2～1 6）

- 事故後の取組事例（アメリカ・スリーマイル原発事故）
 - ・ 国家環境保護法（NEPA）が環境に影響を与える国の行為に関する評価を規定しており、①カテゴリーの除外、②環境アセス、③環境影響評価の 3 段階で評価。環境影響評価においては、環境資源への影響として、大気の質、水資源、生物資源、人の健康と安全などが評価項目になっている。
 - ・ 24 の選択肢から、15 の選択肢が却下され、規制当局（NRC）が 9 つの選択肢は影響が非常に小さいと評価。
 - ・ 9 つの選択から事業主体が、ステークホルダーへの説明等を経て選定。
 - ・ 蒸発を選択後、処分までに 10 年を要した（スリーマイル島では、水量やその増加が少なく、長期間かける余裕があったもの）。

○その他の取組事例

1) フランスにおける取組事例① (トリチウム白書など)

- ・独立した規制当局 (A S N) が、規制、許認可等を実施。
- ・ラ・アークにおけるトリチウム放出量 (フランス最大) は、液体で年間 12,000TBq、気体で 70TBq。
- ・フランスでは、環境中に放出された放射性物質の総放出量は近 20 年減少傾向だが、トリチウムは処理できないため放出量が減少していない。
- ・トリチウムは健康影響が小さいとの国際的な認識があったが、国内で懸念する意見があったため、A S N が 2010 年にトリチウム白書を作成。
- ・白書の作成過程を通じトリチウムの除去について世界の技術を探索したが、許容できるコストで解決できる技術はなく導入不可能であるとの結論に至り、ステークホルダーとも共通認識。
- ・白書作成後も、事業者はトリチウムの処理方法について最先端の可能性を説明するレポートを定期的に作成・報告し、これを規制当局が審査。

2) フランスにおける取組事例② (IRSN の取組)

- ・規制当局の支援機関である IRSN では、人や生物へのより現実的な線量評価を行うため環境中トリチウム挙動の研究を実施。
- ・海洋や陸上でのエコシステムは不確実性があり、IRSN ではその検証のため特定のプログラムを実施する予定。

3) イギリスにおける取組事例① (カラム核融合エネルギーセンター)

- ・全 30 オプションを検討し、事前評価で 10 オプションに絞り込み。
- ・適用性・実現可能性、経済性、環境影響、健康と安全、規制・対外関係に関する各数項目 (合計 16 のクライテリア) について評価。
- ・規制当局のアドバイスに従い、組織内のチームにて評価。

4) イギリスにおける取組事例② (ステークホルダーの対話)

- ・セラフィールドの再処理工場からのトリチウムの海洋放出の際のステークホルダー間の対話について紹介。
- ・ステークホルダー間で時間をかけて議論をしたこと、近隣諸国も含めた多くの漁業関係者がいたこと、規制当局が議論に参加をして有益であったこと等の説明あり。

5. 様々な選択肢と評価項目

(1) 選択肢 (別図)

- 諸外国の例を参考にしつつ、論理的に考えられる選択肢を整理してきた。

最終形を考慮して、「地層中に注入廃棄」、「海洋放出」、「水蒸気として大気放出」、「水素に還元し水素ガスとして大気放出」、「固化又はゲル化し地下に埋設廃棄」といった選択肢が考えられる。「貯蔵」も検討するが、あくまで一時的な措置であることに留意。

- 希釈、同位体分離については、最終形の前処理として整理。また、同位体分離の場合には、減損側と濃縮側の両方の選択肢が必要。

(2) 評価項目

- 環境・水産物・人体への影響・リスク、処理期間、対策実施に係るコスト、技術的可能性（技術成熟度、技術的適用性、国内外実績）、法規制上の困難さ、その他考えられる課題等が評価項目として妥当。

6. 今後の検討事項と課題

- 今後、これまでに抽出した選択肢ごとに、評価項目について更に詳細に検討していくことが必要。
- そのためには、具体的に以下の事項を検討していくことが必要。

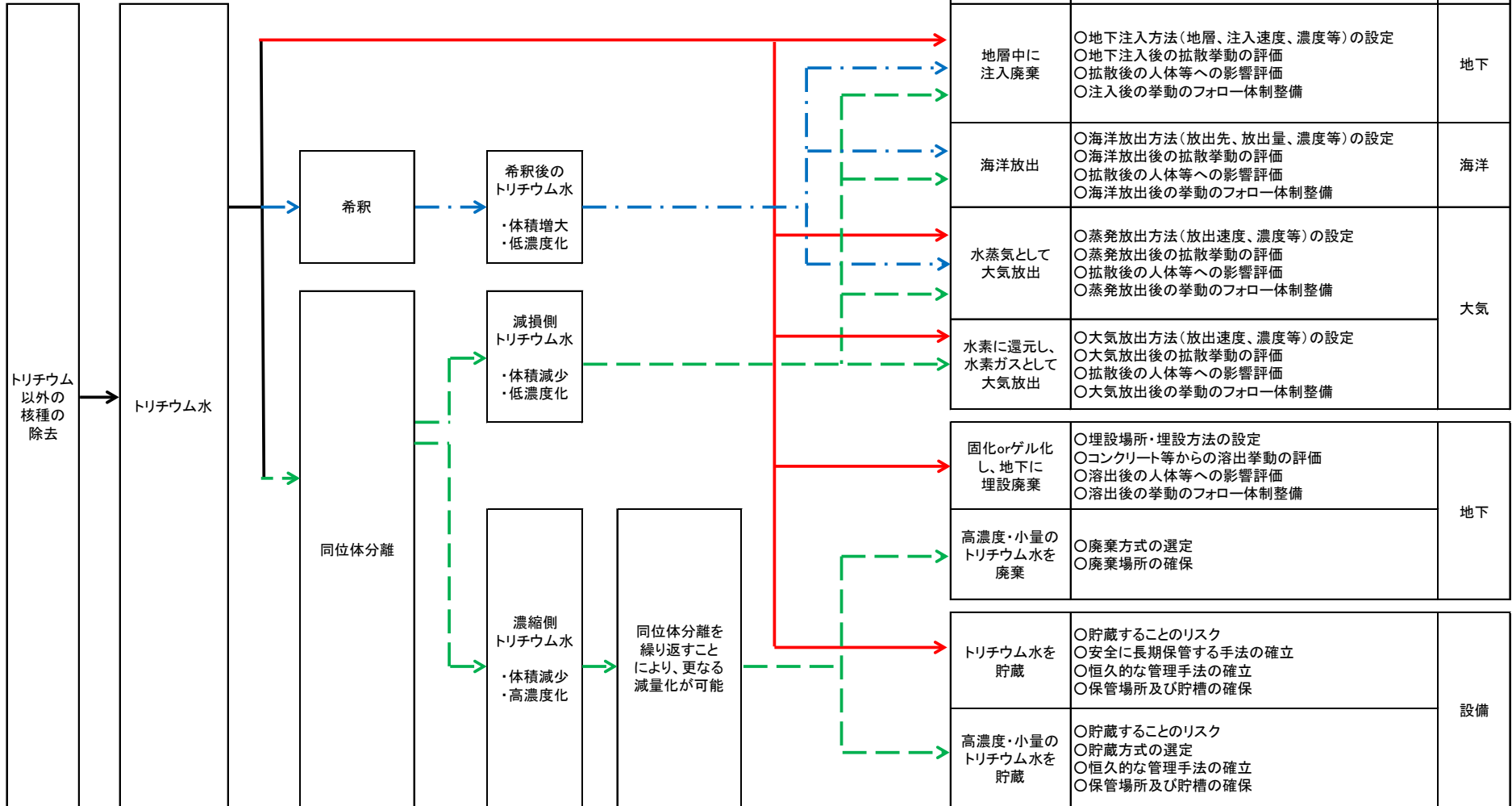
例)

- ・技術的可能性；
分離技術等について、必要に応じ、技術的可能性を検証するための実証実験
- ・環境・水産物・人体への影響・リスク、コスト・工期；
選択肢ごとに簡易なコンセプト（場所、施設など）を設定した上で、影響・リスクや、施設整備に要するコスト・工期を試算
- ・その他考えられる課題；
ステークホルダーからの理解など、考えられる課題の抽出・整理
など

最終形を考慮した選択肢と主な課題等(案)

<前処理>

<選択肢>



選択肢の略称と成立性

前処理	処分方法	略称	記号	成立性	成立性について特に留意すべき事項	
なし	地層中に注入廃棄	地層注入	A1		適用する基準がなく、取扱いを要検討	
	海洋放出	海洋放出	A2	×	濃度限度(60Bq/cm ³)を考慮すると、実現困難	
	水蒸気として大気放出	水蒸気放出	A3			
	水素に還元し、水素ガスとして大気放出	水素放出	A4			
	固化orゲル化し、地下に埋設廃棄	地下埋設	A5			
	トリチウム水を貯蔵	貯蔵	A6		最終形にはならず、あくまで一時的な措置	
希釈	地層中に注入廃棄	希釈後、地層注入	B1		適用する基準がなく、取扱いを要検討	
	海洋放出	希釈後、海洋放出	B2		効率的な希釈方法等についても要検討	
	水蒸気として大気放出	希釈後、水蒸気放出	B3			
	水素に還元し、水素ガスとして大気放出	希釈後、水素放出	B4	×	希釈により取扱い水量が増大するため、処理が困難化	
	固化orゲル化し、地下に埋設廃棄	希釈後、地下埋設	B5	×	希釈により取扱い水量が増大するため、処理・管理が困難化	
	トリチウム水を貯蔵	希釈後、貯蔵	B6	×	希釈により取扱い水量が増大するため、処理・管理が困難化	
同位体分離	減損	地層中に注入廃棄	分離後、地層注入	C1		適用する基準がなく、取扱いを要検討
		海洋放出	分離後、海洋放出	C2		
		水蒸気として大気放出	分離後、水蒸気放出	C3		
		水素に還元し、水素ガスとして大気放出	分離後、水素放出	C4		
		固化orゲル化し、地下に埋設廃棄	分離後、地下埋設	C5	×	分離後も長期管理が必要となり、分離のメリットなし
		トリチウム水を貯蔵	分離後、貯蔵	C6	×	分離後も長期管理が必要となり、分離のメリットなし
	濃縮	高濃度・少量のトリチウム水を廃棄	濃縮廃棄	C'a		廃棄方法を要検討
		高濃度・少量のトリチウム水を貯蔵	濃縮貯蔵	C'b		最終形にはならず、あくまで一時的な措置(最終的な処理・活用方法についても要検討)