

# トリチウム水タスクフォースについて

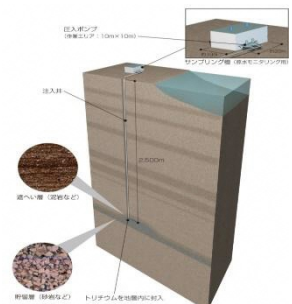
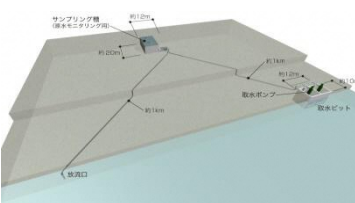
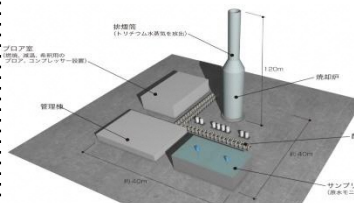
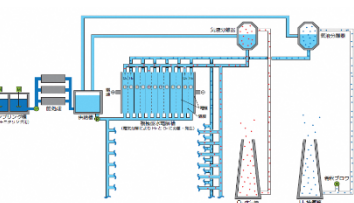
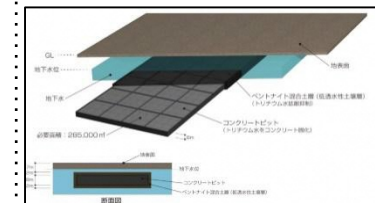
令和元年8月9日

多核種除去設備等処理水の取扱いに  
関する小委員会 事務局

# トリチウム水タスクフォースにおける処分方法の技術的評価について

- ◇ 多核種除去設備（ALPS）等で浄化処理した水の取扱いの決定に向けて、汚染水処理対策委員会「トリチウム水タスクフォース（平成25年12月～平成28年6月）」において技術的な評価を実施。
- ◇ トリチウム水タスクフォースでは、**5つの処分方法(地層注入、海洋放出、水蒸気放出、水素放出、地下埋設)**について評価を実施。
- ◇ 評価は、①基本要件（技術成立性、規制成立性）と②制約となりうる条件（期間、コスト、規模、2次廃棄物、作業員被ばく等）について、検討された。

表 トリチウム水タスクフォースの基本要件の評価結果について

| 処分方法   | ① 地層注入の例   | ② 海洋放出の例   | ③ 水蒸気放出の例  | ④ 水素放出の例  | ⑤ 地下埋設の例  |
|--------|--|--|--|---|---|
| イメージ図  |                                |       |  |            |  |
| 技術的成立性 | <ul style="list-style-type: none"> <li>適切な地層を見つけ出すことができない場合には処分開始できない。</li> <li>適切なモニタリング手法が確立されていない。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>原子力施設におけるトリチウムを含む放射性液体廃棄物の海洋放出の事例あり。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ボイラーで蒸発させる方式はTMI-2の事例あり。</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>実処理水を対象とした場合、前処理やスケール拡大等について、技術開発が必要な可能性あり。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートピット処分、遮断型処分場の実績あり。</li> </ul>          |
| 規制成立性  | <ul style="list-style-type: none"> <li>処分濃度によっては、新たな規制・基準の策定が必要</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>現状で規制・基準あり</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>現状で規制・基準あり</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>現状で規制・基準あり</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>新たな基準の策定が必要な可能性あり。</li> </ul>                |

# トリチウム水タスクフォースの概要（比較のための条件）

◇ 各処分方法を比較するための統一条件として、以下の条件を設定した。（実際の処分条件を意図するものではない）

## 【比較評価のための条件設定】

- 処分量：80万 $m^3$   
比較実施時におけるタンク総貯蔵量を設定。
- 処分速度：400 $m^3$  / 日  
比較実施時における汚染水増加量 $\leq$ 処分速度となるよう設定。
- 処分時のトリチウム濃度：告示濃度以下  
被ばく影響を統一するため、各選択肢に適用される告示濃度上限で処分するものとした。
  - ・トリチウムのみで告示濃度とすると規制に適合しないが、比較のための条件として設定とする。
  - ・告示濃度は水蒸気の状態（空气中）で5Bq/L、水素ガスの状態（空气中）で70,000Bq/L、水中の濃度で60,000Bq/Lである。
- 原水のトリチウム濃度：420万Bq/Lまたは50万Bq/L  
貯留水中のトリチウム濃度は、2011年9月～2013年10月におけるトリチウム濃度の上限値、下限値を採用。
  - ・タンク貯留水中のトリチウム濃度は徐々に低減しているため、貯蔵時期によって異なる。

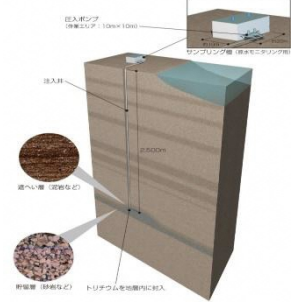
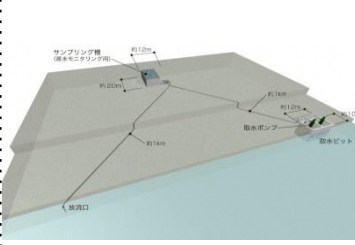
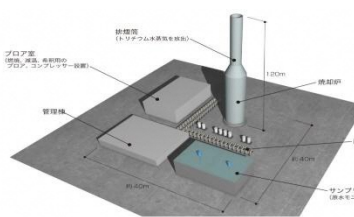
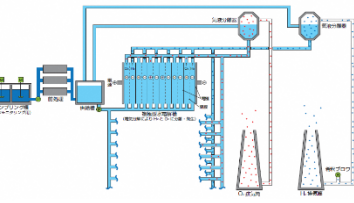
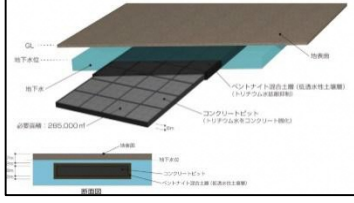
## 【評価ケース】

- ① 原水濃度420万Bq/L、原水量80万 $m^3$ の場合
- ② 原水濃度50万Bq/L、原水量80万 $m^3$ の場合
- ③ 原水濃度420万Bq/L、原水量40万 $m^3$ の場合
- ④ 原水濃度50万Bq/L、原水量40万 $m^3$ の場合
- ⑤ ③ + ④の場合

# トリチウム水タスクフォースにおける処分方法の技術的評価について

◇ 制約となりうる条件（期間、コスト、規模、2次廃棄物、作業員被ばく等）

表 トリチウム水タスクフォースの基本要件の制約条件の評価について（ケース⑤の場合）

| 処分方法   | ① 地層注入の例   | ② 海洋放出の例   | ③ 水蒸気放出の例   | ④ 水素放出の例   | ⑤ 地下埋設の例   |
|--------|--|--|---|--|--|
| イメージ図  |  <p>※希釈なし</p> |  <p>※希釈あり</p> |  <p>※希釈なし</p> |  <p>※希釈なし</p> |  <p>※地下水位より深い位置</p> |
| 期間     | 104 + 20nヶ月<br>912ヶ月（監視）   | 91ヶ月   | 120ヶ月   | 106ヶ月  | 98ヶ月<br>912ヶ月（監視）  |
| コスト    | 180 + 6.5 n 億円 + 監視  | 34億円   | 349億円   | 1,000億円  | 2,431億円  |
| 規模     | 380m <sup>3</sup>  | 400m <sup>3</sup>  | 2000m <sup>3</sup>  | 2,000m <sup>3</sup>  | 285,000m <sup>3</sup>  |
| 2次廃棄物  | 特になし   | 特になし   | 処理水の成分によっては、焼却灰が発生する可能性あり。  | 2次廃棄物として残渣が発生する可能性あり。  | 特になし   |
| 作業員被ばく | 特段の留意事項なし  | 特段の留意事項なし  | 排気塔高さを十分にとるため、特段の留意事項はない。   | 排気塔高さを十分にとるため、特段の留意事項はない。  | 埋設時にカバー等の設置による作業員の被ばく抑制が必要。  |
| その他    | 適切な土地が見つからない場合、調査機関・費用が増加。   | 取水ピットと放流口の間を岸壁等で間仕切る場合には費用が増加。   | 降水条件によっては放出の停止の可能性があり、多少期間が伸びる可能性あり。  | 降水条件によっては放出の停止の可能性があり、多少期間が伸びる可能性あり。   | 多くのコンクリート、ベントナイトが必要。残土が発生する。   |

# トリチウム水タスクフォースの概要（地層注入）

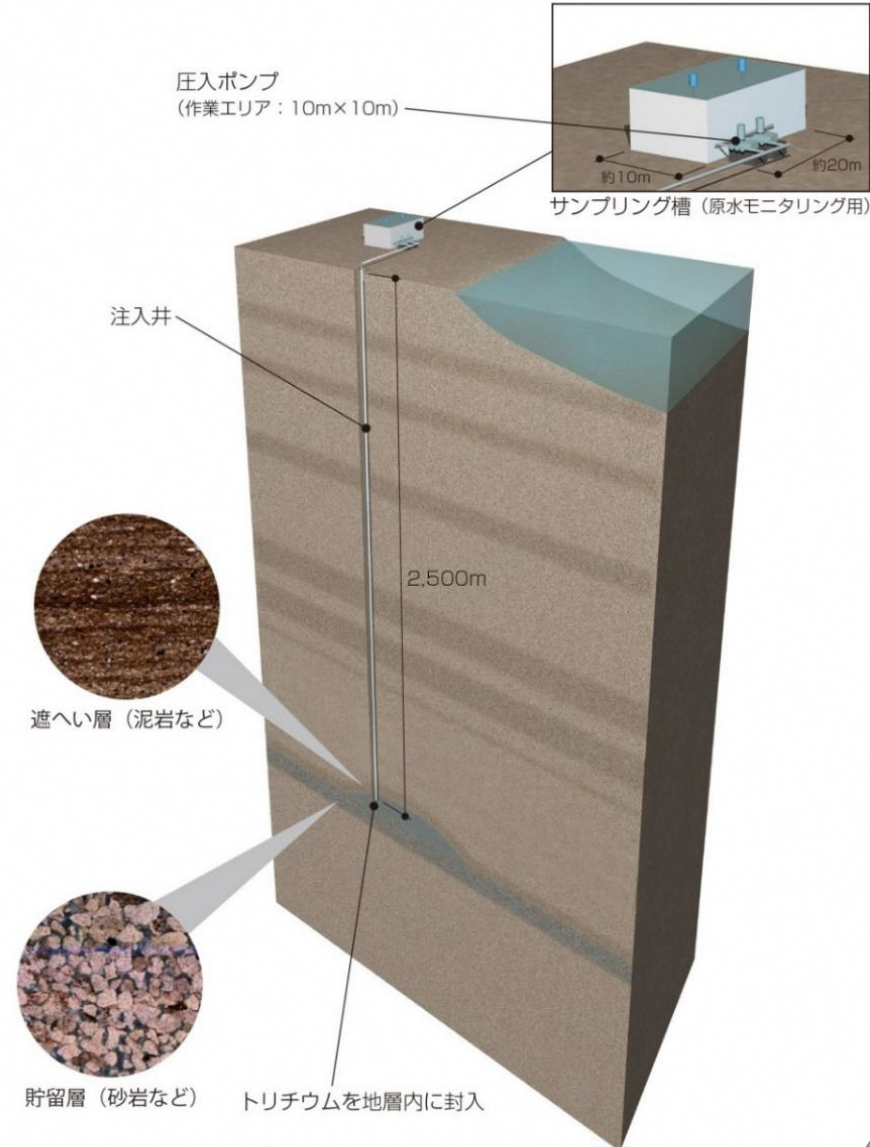
◇ トリチウム水を前処理なし、または希釈し、安全性を確保した上でパイプラインを通じて深い地層中（深度2,500m）に注入する。

|                            |                |
|----------------------------|----------------|
| 前処理                        | <b>なし</b>      |
| 技術的課題                      | 適切な地層が必要       |
| 規制的課題                      | 新たな規制・基準の策定が必要 |
| 処分・解体期間 [月]                | 71~104 (※1)    |
| 監視期間 [月]                   | 456~912        |
| 処分費用 [億円]                  | 177~180(※2, 3) |
| 規模（陸部面積）[m <sup>2</sup> ]  | 380            |
| 規模（海洋部面積）[m <sup>2</sup> ] | なし             |
| 2次廃棄物、作業員被ばく等              | 特段の留意事項なし      |

- ※1 地層調査1回により20[月]増加。
- ※2 地層調査1回により6.5[億円]増加。
- ※3 深地層の長期モニタリング方法は現時点で存在しないと考えられ、モニタリングコストは含んでいない。

|                            |                |
|----------------------------|----------------|
| 前処理                        | <b>希釈</b>      |
| 技術的課題                      | 適切な地層が必要       |
| 規制的課題                      | なし             |
| 処分・解体期間 [月]                | 92~168 (※4)    |
| 監視期間 [月]                   | 処分期間中          |
| 処分費用 [億円]                  | 501~3,976 (※5) |
| 規模（陸部面積）[m <sup>2</sup> ]  | 730~2,080      |
| 規模（海洋部面積）[m <sup>2</sup> ] | 12~120         |
| 2次廃棄物、作業員被ばく等              | 特段の留意事項なし      |

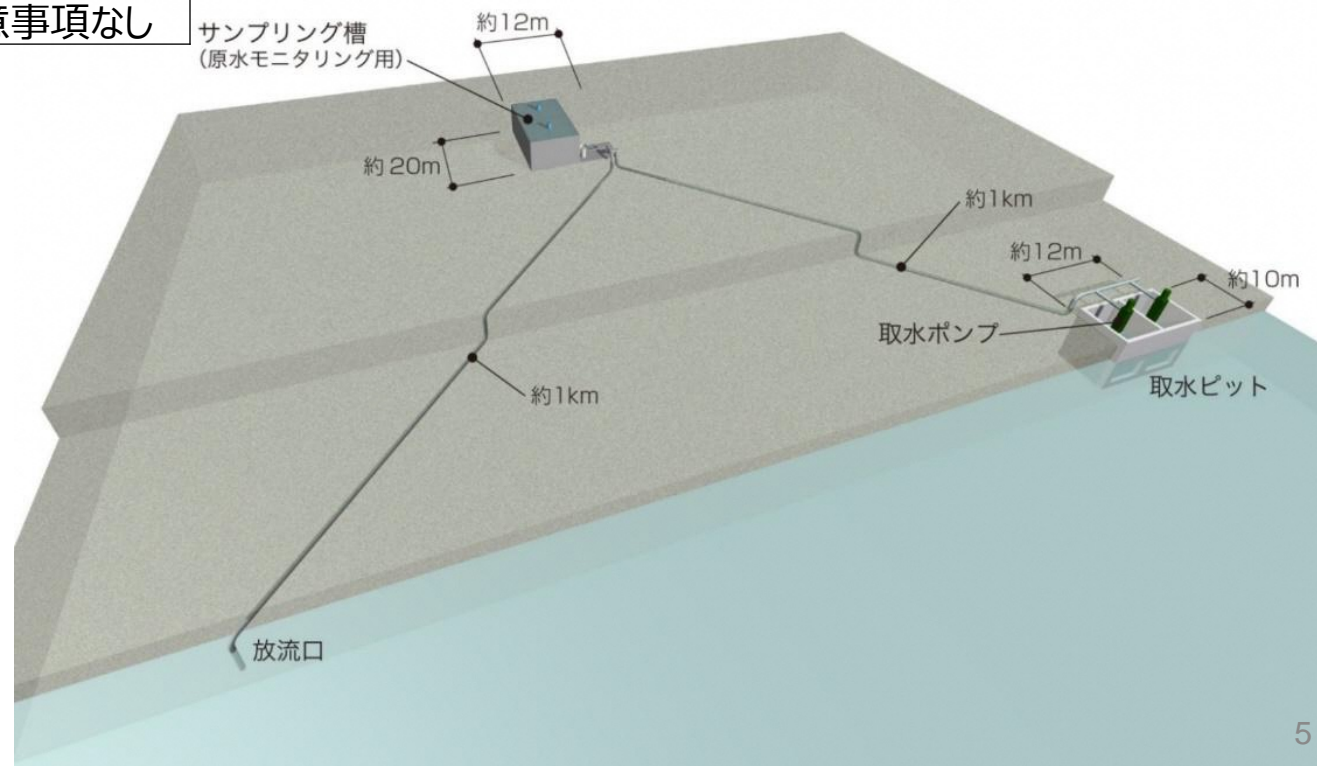
- ※4 地層調査1回により25~40[月]増加。
- ※5 地層調査1回により13~110[億円]増加。



# トリチウム水タスクフォースの概要（海洋放出）

- ◇ トリチウム水を希釈し、安全性を確保した上で海洋に放出する。  
（希釈倍率により希釈する水の確保の方法が変わる可能性がある）

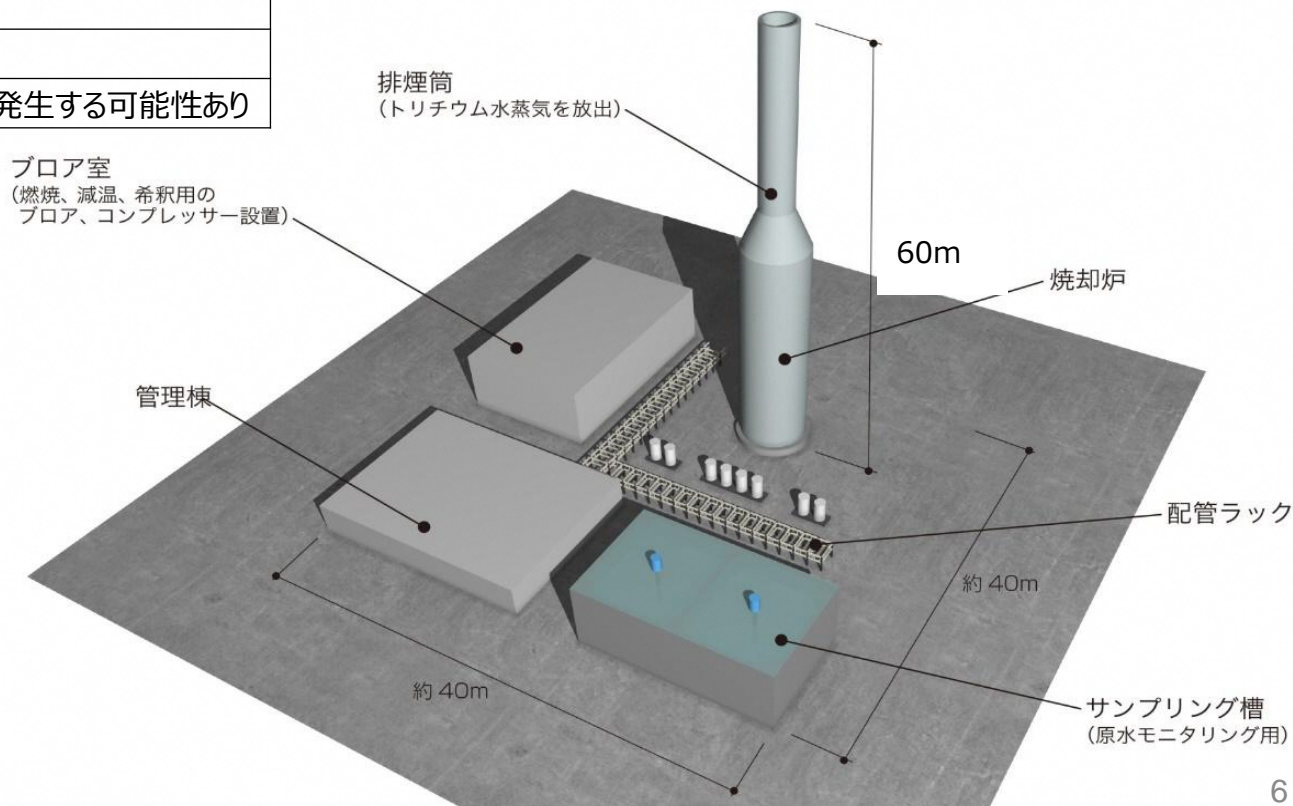
| 前処理                         | 希釈        |
|-----------------------------|-----------|
| 技術的課題                       | なし（事例あり）  |
| 規制的課題                       | なし        |
| 処分・解体期間 [月]                 | 55~91     |
| 監視期間 [月]                    | 処分期間中     |
| 処分費用 [億円]                   | 17~34     |
| 規模（陸部面積） [m <sup>2</sup> ]  | 280       |
| 規模（海洋部面積） [m <sup>2</sup> ] | 12~120    |
| 2次廃棄物、作業員被ばく等               | 特段の留意事項なし |



# トリチウム水タスクフォースの概要（水蒸気放出）

◇ トリチウム水を前処理無しで蒸発処理し、トリチウムを含む水蒸気を蒸発装置に送り込み、安全性を確保した上で排気筒から高温水蒸気として大気に放出する。

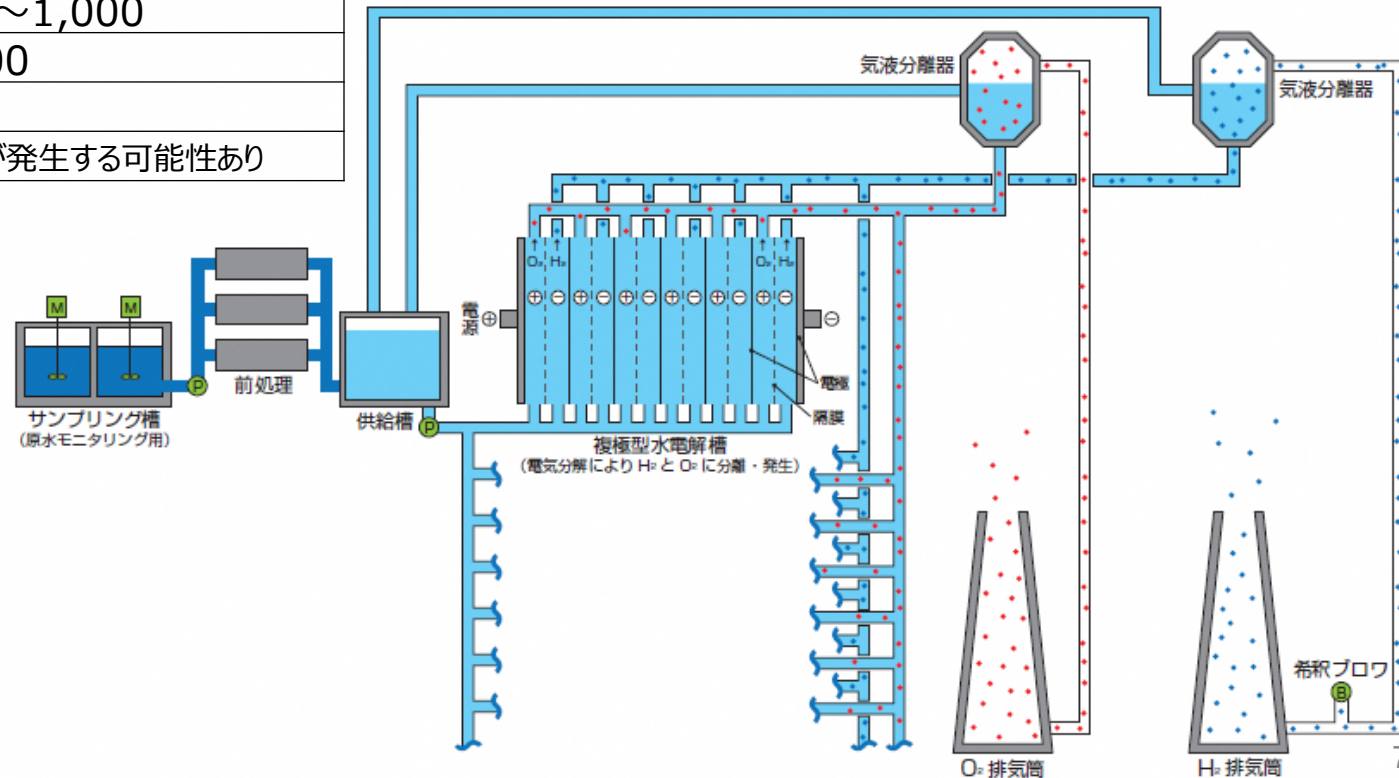
|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| 前処理                         | なし            |
| 技術的課題                       | なし（事例あり）      |
| 規制的課題                       | なし            |
| 処分・解体期間 [月]                 | 80～120        |
| 監視期間 [月]                    | 処分期間中         |
| 処分費用 [億円]                   | 227～349       |
| 規模（陸部面積） [m <sup>2</sup> ]  | 2,000         |
| 規模（海洋部面積） [m <sup>2</sup> ] | なし            |
| 2次廃棄物、作業員被ばく等               | 焼却灰が発生する可能性あり |



# トリチウム水タスクフォースの概要（水素放出）

◇ トリチウム水を前処理無しで電気分解によって水素に還元し、安全性を確保した上で大気に放出する。

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 前処理                        | なし  |
| 技術的課題                      | 実処理水を対象とした場合、前処理やスケール拡大等についてR&Dが必要な可能性あり。 |
| 規制的課題                      | なし  |
| 処分・解体期間 [月]                | 73~106                                    |
| 監視期間 [月]                   | 処分期間中                                     |
| 処分費用 [億円]                  | 600~1,000                                 |
| 規模（陸部面積）[m <sup>2</sup> ]  | 2,000                                     |
| 規模（海洋部面積）[m <sup>2</sup> ] | なし  |
| 2次廃棄物、作業員被ばく等              | 残渣が発生する可能性あり                              |

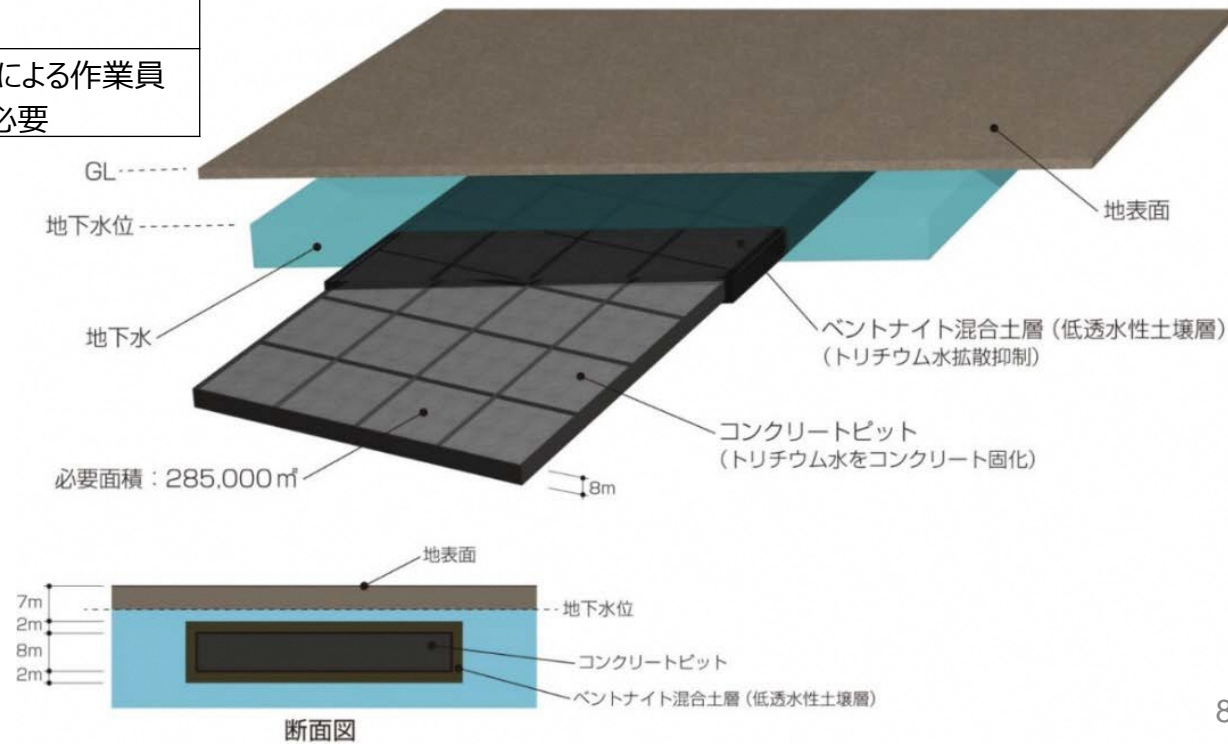




# トリチウム水タスクフォースの概要（地下埋設）

◇ トリチウム水を前処理なしでセメント系等の固形化材と混練し、コンクリートピット等の区画内に安全性を確保した上で埋設する。

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| 前処理                         | なし                     |
| 技術的課題                       | なし（事例あり）               |
| 規制的課題                       | 新たな基準の策定が必要な可能性        |
| 処分期間 [月]                    | 62～98                  |
| 監視期間 [月]                    | 456～912                |
| 処分費用 [億円]                   | 1,219～2,533            |
| 規模（陸部面積） [m <sup>2</sup> ]  | 144,000～285,000        |
| 規模（海洋部面積） [m <sup>2</sup> ] | なし                     |
| 2次廃棄物、作業員被ばく等               | カバー等の設置による作業員の被ばく抑制が必要 |



- ◇ ALPS処理水の取扱いについては、**風評に大きな影響を与え**ることから、今後の検討に当たっては、風評などの**社会的な観点も含めて総合的に検討を進めるよう、示唆**。
- ◇ そのため、汚染水処理対策委員会の下に「**多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会**」を設置し、**技術的な観点に加えて社会的な観点も含めた総合的な検討を実施**。
- ◇ **なお、トリチウムの分離技術については、実証事業の結果、ただちに実用化できる段階にある技術は確認されなかった。**

## トリチウム水タスクフォース 報告書（抜粋）

### 4. （6）各評価ケースの評価結果(抄)

・前処理として分離を行う場合については、平成27年度に実施した「トリチウム分離技術検証試験事業（別紙3）」の結果を評価に用いることとしていたが、「ただちに実用化できる段階にある技術は確認されなかった。

### 5. おわりに（抄）

トリチウム水の取扱いについては、風評に大きな影響を与え

# トリチウム水タスクフォースにおけるトリチウム分離技術の評価について

- 工業的に利用されてきた技術は①水蒸留法、②水素蒸留法、③同位体交換法、④電解法、あるいはこれらの組み合わせ。
- このほか、実用規模での処理には不向きであるが、熱拡散法、ガスクロマトグラフ法、レーザー法等がある。
- 分離実証事業では工業的に利用されてきた技術の実プラント規模での分離性能・コスト等の評価を行ったほか、研究室段階の技術(晶析法、電解法を利用した技術計4件)について、実機適応や分離性能等について評価。
- いずれの技術も実プラント規模に向けては様々な課題があり、直ちに実用化できる段階にある技術は確認されなかった。

## <参考> 主な分離技術の原理について

- ① **水蒸留法** …水(H<sub>2</sub>O)とトリチウム水(HTO)の沸点の差を利用して分離。
- ② **水素蒸留法** …水素(H<sub>2</sub>)とトリチウム(HT、T<sub>2</sub>)の沸点の差を利用して分離。
- ③ **同位体交換法** …触媒反応下で、水と気体の水蒸気(H<sub>2</sub>O、HTO)、水素(H)とトリチウム(T)が交換される性質を利用して分離。CECE法は同位体交換法の一つ。
- ④ **電解法** …水(H<sub>2</sub>O)、トリチウム水(HTO)の電気分解速度の差を利用して分離。

# <参考> 実用化されているトリチウム分離技術について

## ● トリチウム分離に係る主なプラント実績

カナダ：重水炉(ダーリントン)におけるトリチウム分離、韓国：重水炉(ウォルソン)におけるトリチウム分離

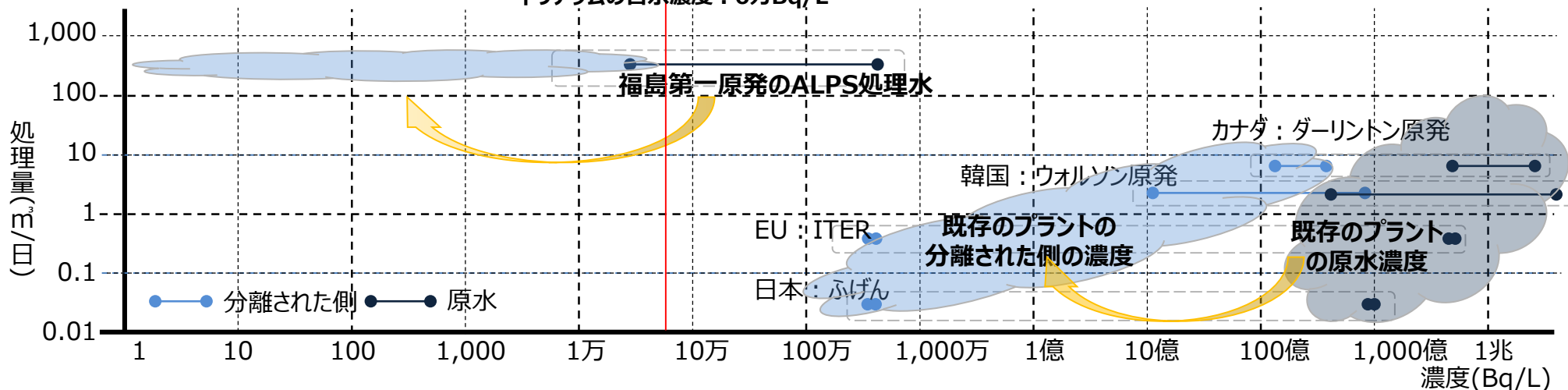
日本：ふげん重水精製装置※、EU：ITERトリチウム水処理装置(設計段階) ※重水精製過程において、トリチウムも分離される。

## ● いずれの技術についても、福島第一原発に貯蔵されている処理水と量・濃度※の点で桁が数オーダー異なる。 ※貯蔵量：約112万m<sup>3</sup>、濃度：100万Bq/L、必要となる処理量500m<sup>3</sup>/日程度

| プラント実績                                    | 分離技術        | 運転開始      | 入口濃度         | 分離係数     | 処理量                    |
|---|-------------|-----------|--------------|----------|------------------------|
| Darlington Tritium Removal Facility (カナダ) | 同位体交換+水素蒸留  | 1988年     | 0.4~1.3兆Bq/L | 10~100程度 | 8.6m <sup>3</sup> /日   |
| Wolsong Tritiumu Removal Fcility (韓国)     | 同位体交換+水素蒸留  | 2007年     | 0.04~2兆Bq/L  | 35程度     | 2.1m <sup>3</sup> /日   |
| ふげん重水精製装置(Ⅱ) (日本)                         | 同位体交換       | 1987年     | 0.1兆Bq/L     | 2万5千     | 0.03m <sup>3</sup> /日  |
| ITERトリチウム水処理装置(設計段階)(EU)                  | 同位体交換※+水素蒸留 | 2027年(予定) | 0.4兆Bq/L※    | 10万※     | 0.48m <sup>3</sup> /日※ |

※ 同位体交換部分についてのデータ

トリチウムの告示濃度：6万Bq/L



## <参考> トリチウム分離実証事業について

- 2014年10月～2016年3月にかけて、トリチウム分離技術の検証試験を実施。
- 分離技術を有する事業者を公募し、採択された事業者が実施した試験結果について、専門家である評価委員が分離性能・コスト等の観点から評価。
- **検証試験の結果を踏まえ、「直ちに実用化できる段階にある技術が確認されなかった」と評価。**

### <参考> 採択事業者及び分離技術一覧について

| 採択事業者名       | 分離技術                   |   |
|--------------|------------------------|---|
| Kurion (米)   | 水-水素同位体交換法             | A |
| RosRAO (露)   | 水蒸留法と水-水素同位体交換法との組み合わせ |   |
| 株式会社ササクラ     | 触媒機能を有した低温真空蒸留法        |   |
| 創イノベーション株式会社 | 二段階ガスハイドレート法           | B |
| 株式会社東芝       | 多段式晶析法                 |   |
| 株式会社ネクスタイド   | 多連電解槽式電解法              |   |
| 国立大学法人北海道大学  | 燃料電池を用いた電解再結合法         |   |

○いずれも、トリチウム（三重水素）と水素の持つ物理的性質差(融点等)を用いて分離する方法。

○上記Aの技術については、すでに確立している技術について任意の規模の設備を構築し、実プラントにおける分離性能やコスト等を評価することを、Bについては実用開発初期段階の技術で、実験室レベルにおける試験を中心としたものであり、実プラントにおける分離性能やコスト等を評価することを目的とした。

○結果、いずれの技術についても、実プラントに向けては様々な課題があり、ただちに実用化できる段階にある技術は確認されなかった。 12