

トリチウム水の取扱いに係る各選択肢 （評価ケース） についての評価結果（案）

汚染水処理対策委員会事務局
平成28年4月19日

本資料の位置づけ

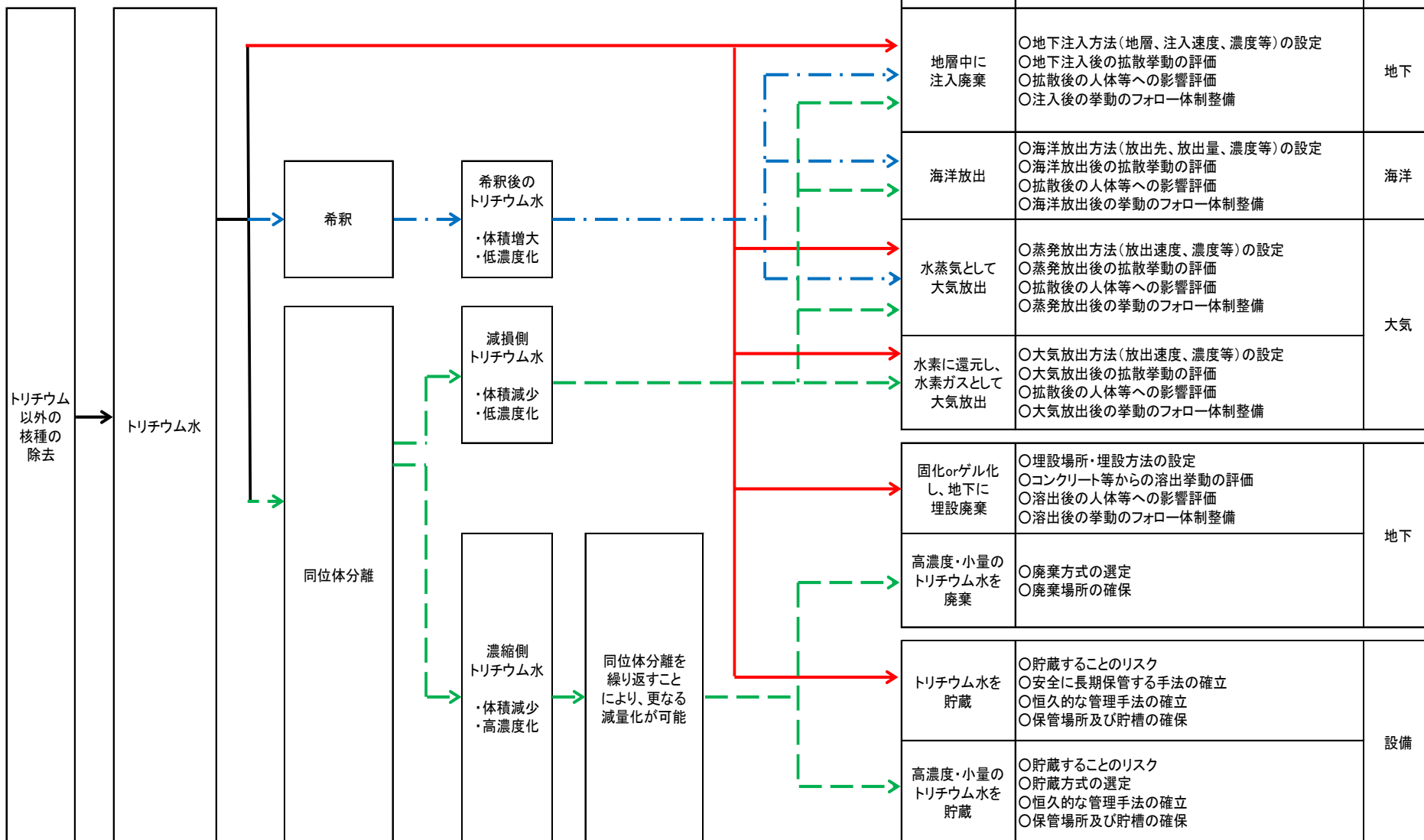
- トリチウム水タスクフォース第8回会合において、成立しうる最終的な処分の在り方として、地層注入、海洋放出、水蒸気放出、水素放出、地下埋設の5つの選択肢（前処理（希釈・同位体分離）を含めると11の選択肢）の洗い出しを行った。（参考1、参考2）
- トリチウム水タスクフォース第13回会合（前回会合）において、地層注入、海洋放出、水蒸気放出、水素放出、地下埋設の各選択肢を同様の条件下で比較検討するための条件設定※を行い、これに基づく概念設計の検討を実施した。
（※これらの条件は、比較検討のため便宜的に設定。実際の処分条件を意図するものではない）
- 今回、事務局において、各選択肢の評価ケースについて、当該概念設計に基づき、処分に必要な期間、コスト、施設規模、処分に伴う二次廃棄物の発生量、処分に伴う作業員被ばく等の評価結果を整理した。

(参考1)最終形を考慮した選択肢と主な課題等

再掲(第8回資料)

<前処理>

<選択肢>



(参考2) 選択肢の略称と成立性

再掲(第8回資料)

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		適用される既存の基準無し(安全性の確認が困難で成立性が低いとの意見あり)
		海洋放出	海洋放出	A2	×	濃度限度(60Bq/cm3)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		適用される既存の基準無し(安全性の確認が困難で成立性が低いとの意見あり)
		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		適用される既存の基準無し(安全性の確認が困難で成立性が低いとの意見あり)
		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	×	分離後に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	×	分離後に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)

トリチウム水の取扱いに係る各選択肢(評価ケース)についての評価

<目次>

1. 評価項目
2. 比較評価のための条件設定
3. 選択肢ごとの具体的なケース(評価ケース)の設定
4. 各評価ケースの概念設計
5. 各評価ケースの評価結果

※頂いたご意見等を踏まえ、
第13回タスクフォース
資料を一部修正。

1. 評価項目

□ 各選択肢を横並び比較するために、以下のとおり評価項目を設定した。

評価項目案		解説
基本要件		成立するか否かの判断材料となる項目
	技術的成立性	技術的な実現可能性、技術的成熟度、実績の有無
	規制成立性	既存の規制との関係
制約となり得る条件		制約条件となる可能性のある項目
	期間	処分に必要な期間(調査、設計・建設、処分、解体、監視、等)
	コスト	処分に必要なコスト(調査、設計・建設、処分、解体、監視、等)
	規模	処分に必要な面積(陸域・水域)
	二次廃棄物	二次廃棄物発生の有無、種類と量
	作業員被ばく	処分を行うことにより過度な作業員被ばくが発生することが無いか
	付帯条件	その他、制約となり得る条件

2. 比較評価のための条件設定

□ 各選択肢を横並び比較するための統一条件として、以下の3つを設定した。

※これらの条件は、比較検討のために便宜的に設定。処分量、処分速度、処分濃度は実施時期や具体的な手法の検討により変動しうるものであり、下記条件は処分条件を意図するものではない。

1. 処分量 : 80万m³

➤ 現状の1～4号機タンク総水量(約74万m³:平成27年11月19日時点)を元に設定。

2. 処分速度 : 400m³/日

➤ 別途実施した汚染水処理対策技術検証事業(トリチウム分離技術検証試験事業)にて、前提としている処理速度。

※「汚染水増加量(当時の評価値) ≤ 処分速度」となるよう設定

3. トリチウム濃度 : 告示濃度以下

➤ 被ばく影響を統一させるために、各選択肢に適用される告示濃度上限で処分するものとする。(告示濃度に達しない場合はあえて濃縮等はせず、そのまま処分することとする)。

➤ 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、ここでは、あくまで横並び比較のための条件として設定している。

【その他留意事項】

- 分離については、別途実施した汚染水処理対策技術検証事業(トリチウム分離技術検証試験事業)において、分離係数100以上(減損側の放射エネルギーが元々のトリチウム水の100分の1以下となること)を基本条件としていたため、本評価においては分離係数100を前提とした。
- 各選択肢に共通して、作業員被ばく低減及び建設・処分・解体の各工程における労働安全の確保に留意する。
- 処分場所の特定は行わない。サイト外で処分する場合は輸送が必要となるが、この輸送については全選択肢共通であるため、比較評価の対象外とする。
- 告示濃度については、「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」を参照。

3. 選択肢ごとの具体的なケース(評価ケース)の設定

- 評価を実施するケースは、洗い出しを行った以下の11の各選択肢を基本とする。
 - 地層注入(前処理なし／希釈後／分離後)
 - 海洋放出(希釈後／分離後)
 - 水蒸気放出(前処理なし／希釈後／分離後)
 - 水素放出(前処理なし／分離後)
 - 地下埋設(前処理なし)

- 水蒸気放出の「希釈後」のケースは、以下の理由により「前処理なし」に比べて利点が無いと考えられるため、今回の評価の対象外とした。
 - ✓ 周辺監視区域の外における空気中のトリチウム濃度(Bq/L)は、蒸発処理されるトリチウム水の濃度(Bq/L)には依存せず、放出率(Bq/s)に依存する。
 - ✓ 後述する様に、一日当たりの処分量を固定した場合、「希釈後」も「前処理なし」も放出率(Bq/s)は同じとなるため、希釈することに特段の意味がないこととなる。

- 地下埋設については、
 - ①地下水位より深い位置への埋設(以後、「深地」と表記する。)
 - ②地下水位より浅い位置への埋設(以後、「浅地」と表記する。)の2つに評価ケースを細分化した。

3. 選択肢ごとの具体的なケース(評価ケース)の設定

- 水素放出はトリチウム水を電解等によって水素にすることを念頭に置くが、「(分離後)水素放出」の場合、分離技術の種類(CECE法等)によっては減損側が既に水素の状態のものがあり、その場合、減損側をそのまま水素放出することが可能であることに留意が必要。同様に、「(分離後)水蒸気放出」についても、分離技術の種類によっては減損側が既に水蒸気の状態のものがある可能性があり、その場合、減損側をそのまま水蒸気放出することが可能であることに留意が必要。
- 以上の11の評価ケースについて、原水濃度と原水量を以下の5ケースにそれぞれ細分化し、計55の評価ケースについて評価を行うこととした。
 - ① 原水濃度420万Bq/L、原水量80万m3の場合
 - ② 原水濃度50万Bq/L、原水量80万m3の場合
 - ③ 原水濃度420万Bq/L、原水量40万m3の場合
 - ④ 原水濃度50万Bq/L、原水量40万m3の場合
 - ⑤ ③+④の場合

※原水濃度420万Bq/L、50万Bq/Lは、平成26年4月28日第12回汚染水処理対策委員会資料2-3「トリチウム水タスクフォース「これまでの議論の整理」」に示されたトリチウム水濃度の上限値と下限値を採用。

- 以上を踏まえた評価ケースの一覧を次頁以降に示す。

3. 選択肢ごとの具体的なケース(評価ケース)の設定

第8回会合における選択肢の整理

記号	処分方法	前処理
A1	地層注入	なし
B1		希釈
C1		分離
B2	海洋放出	希釈
C2		分離
A3	水蒸気放出	なし
B3		希釈
C3		分離
A4	水素放出	なし
C4		分離
A5	地下埋設	なし



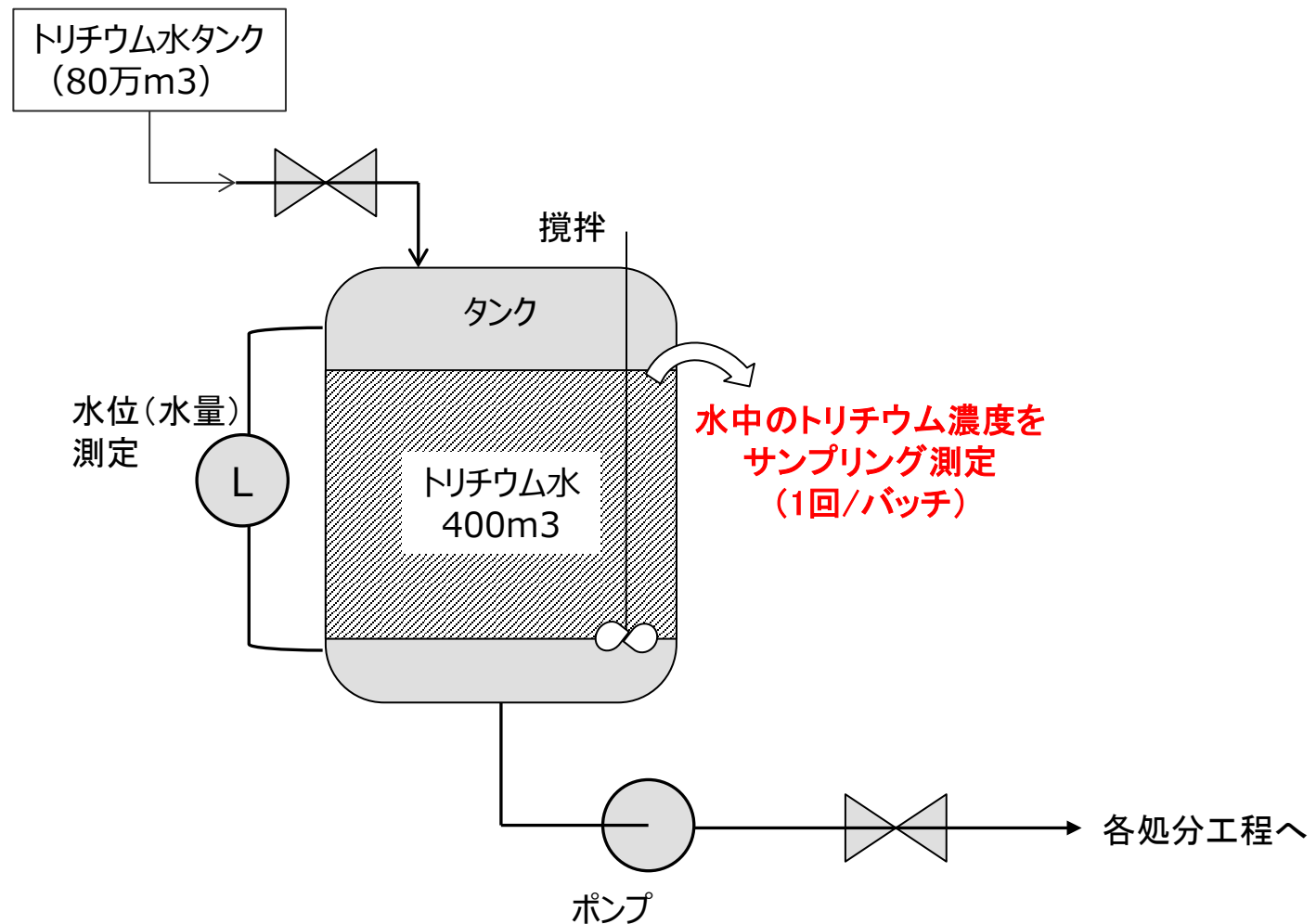
本検討での評価ケース

記号	処分方法	前処理
A1 ①～⑤	地層注入	なし
B1 ①～⑤		希釈
C1 ①～⑤		分離
B2 ①～⑤	海洋放出	希釈
C2 ①～⑤		分離
A3 ①～⑤	水蒸気放出	なし
C3 ①～⑤		分離
A4 ①～⑤	水素放出	なし
C4 ①～⑤		分離
A5a ①～⑤	地下埋設(深地)	なし
A5b ①～⑤	地下埋設(浅地)	なし

※①～⑤については前項を参照。

4. 各評価ケースの概念設計(各選択肢共通)

□ 原トリチウム水の濃度測定方法は、各選択肢共通で下図のとおり設定。



4. 各評価ケースの概念設計(地層注入)

□ 地層注入共通(A1、B1、C1)

- 工法・注入深さ: CCS(二酸化炭素貯留)の実証事例を参照して設定
※他の事例として、ハンフォード(米国)における浅地中注入事例が存在するが、地下水位が浅い我が国においては、浅地中への注入は不適切と考えられるため、CCSの事例を参照。
- 注入運転時のトリチウム水の原水の減少ペース: 400m³/日

□ A1 : (前処理なし)地層注入

- 濃度: 対応する告示濃度が存在しないため、便宜上、制約を設けず注入
- 処分量: 前処理なしのため、80万m³
- トリチウム水を、貯水タンクからサンプリング槽に移送し、槽単位で濃度を測定後、圧入ポンプにより大深度地下(深度2,500m)の貯留層に送り、地層内に封入。

□ B1 : (希釈後)地層注入

- 濃度: 放水口の放射性物質の告示濃度である6万Bq/Lを参考値とし、6万Bq/Lまで希釈した後、注入
- 処分量: 上記の濃度を担保するための希釈率に応じて処分量は増加
- トリチウム水を、貯水タンクからサンプリング槽に移送し、槽単位で濃度を測定後、所定濃度まで海水で希釈し(原水濃度420万Bq/Lの場合: 70倍希釈、50万Bq/Lの場合: 約8.3倍希釈)、圧入ポンプにより大深度地下(深度2,500m)の貯留層に送り、地層内に封入する。

□ C1 : (分離後)地層注入

- 濃度: 分離係数100で分離した減損側の濃度で注入する
- 処分量: 分離後濃縮側の物量は無視できる(減損側の物量是不変)と仮定し、80万m³とする
- 処分対象トリチウム水の状態: 分離後減損側の状態は液体とする
- トリチウム水を、分離処理水タンク(減損側)からサンプリング槽に移送し、槽単位で濃度を測定後、圧入ポンプにより大深度地下(深度2,500m)の貯留層に送り、地層内に封入する。

※これらの条件は比較検討のため便宜的に設定したものであり、実際の処分条件を意図するものではない

4. 各評価ケースの概念設計(地層注入)

□ モニタリング方法

規則：
排水口又は排水監視設備において排水中の放射性物質の濃度が原子力規制委員会の定める濃度限度を超えないようにすること

□ A1 : (前処理なし)地層注入

原水濃度測定(共通)

→ 地層注入

□ B1 : (希釈後)地層注入

原水濃度測定(共通)

流量計

希釈水

流量計

→ 地層注入

原水濃度に応じ、濃度限度以下となる様に希釈する

□ C1 : (分離後)地層注入

分離減損側の水

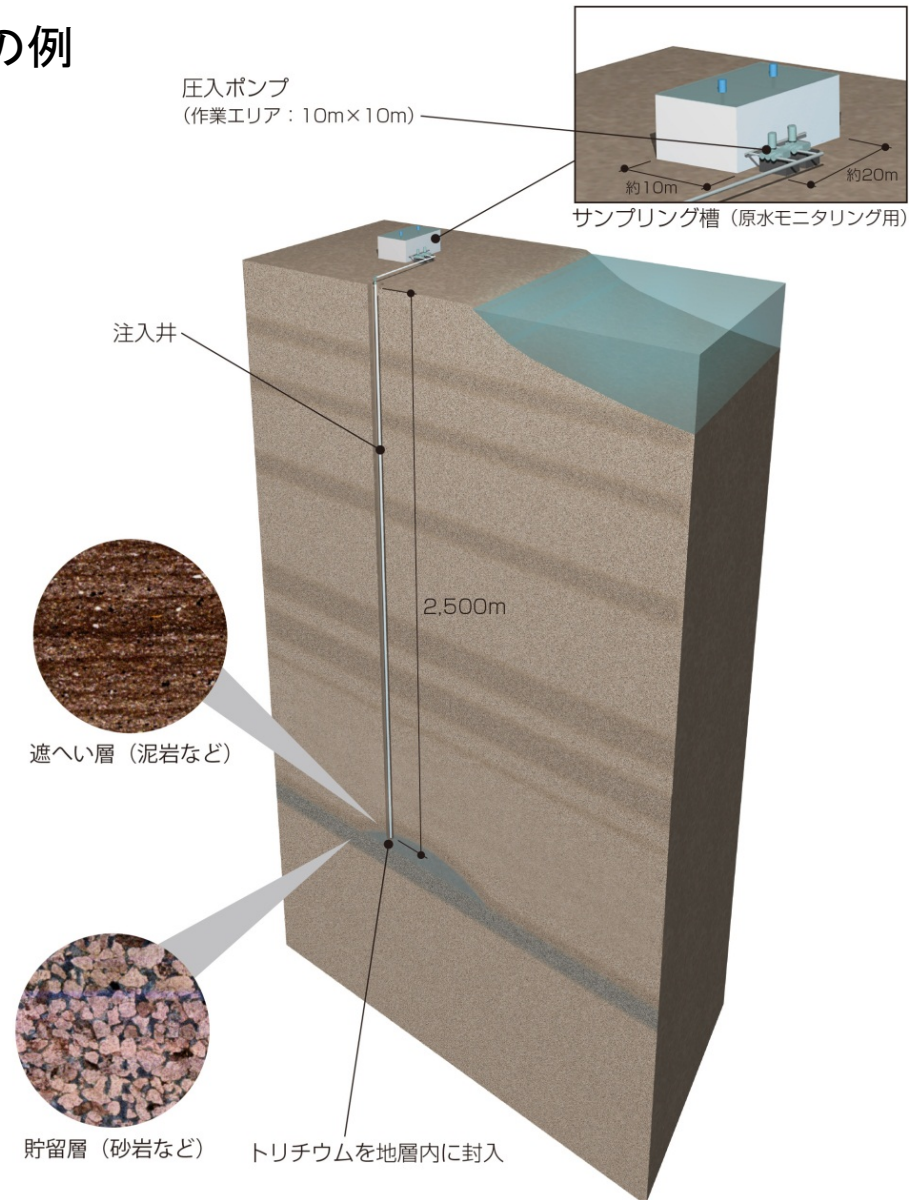
原水濃度測定(共通)

→ 地層注入

濃度限度以下であることを確認

4. 各評価ケースの概念設計(地層注入)

□ イメージ図: (前処理なし) 地層注入の例



4. 各評価ケースの概念設計(海洋放出)

□ 海洋放出共通(B2、C2)

- 定格放出運転時のトリチウム水の原水の減少ペース: 400m³/日

□ B2 : (希釈後)海洋放出

- 濃度:放水口の放射性物質の告示濃度である6万Bq/Lまで希釈した後、放出する
- 処分量:上記の濃度を担保するための希釈率に応じて処分量は増加する
- トリチウム水を、貯水タンクからサンプリング槽に移送し、濃度を測定する。その後、取水ポンプを用い海水と混合希釈し(原水濃度420万Bq/Lの場合:70倍希釈、50万Bq/Lの場合:約8.3倍希釈)、ポンプで海中に放流する。

□ C2 : (分離後)海洋放出

- 濃度:分離係数100で分離した減損側の濃度は6万Bq/Lを下回るため、そのまま放出する
- 処分量:分離後濃縮側の物量は無視できる(減損側の物量は不変)と仮定し、80万m³とする
- 処分対象状態:分離後減損側の状態は液体とする
- トリチウム水を、分離処理水タンク(減損側)からサンプリング槽に移送し、槽単位で濃度を測定後、ポンプで海中に放流する。

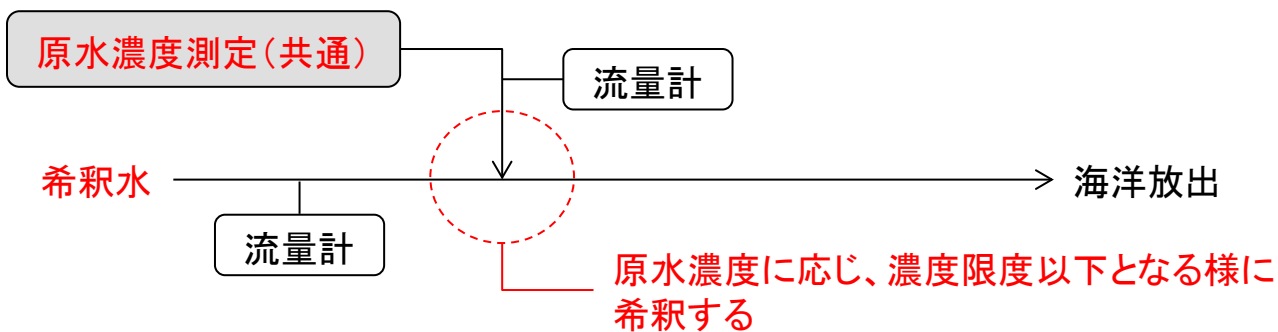
4. 各評価ケースの概念設計(海洋放出)

□ モニタリング方法

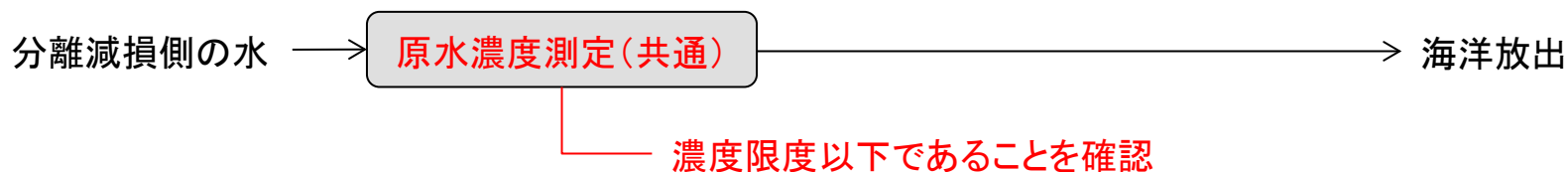
規則:

排水口又は排水監視設備において排水中の放射性物質の濃度が原子力規制委員会の定める濃度限度を超えないようにすること

□ B2 : (希釈後)海洋放出

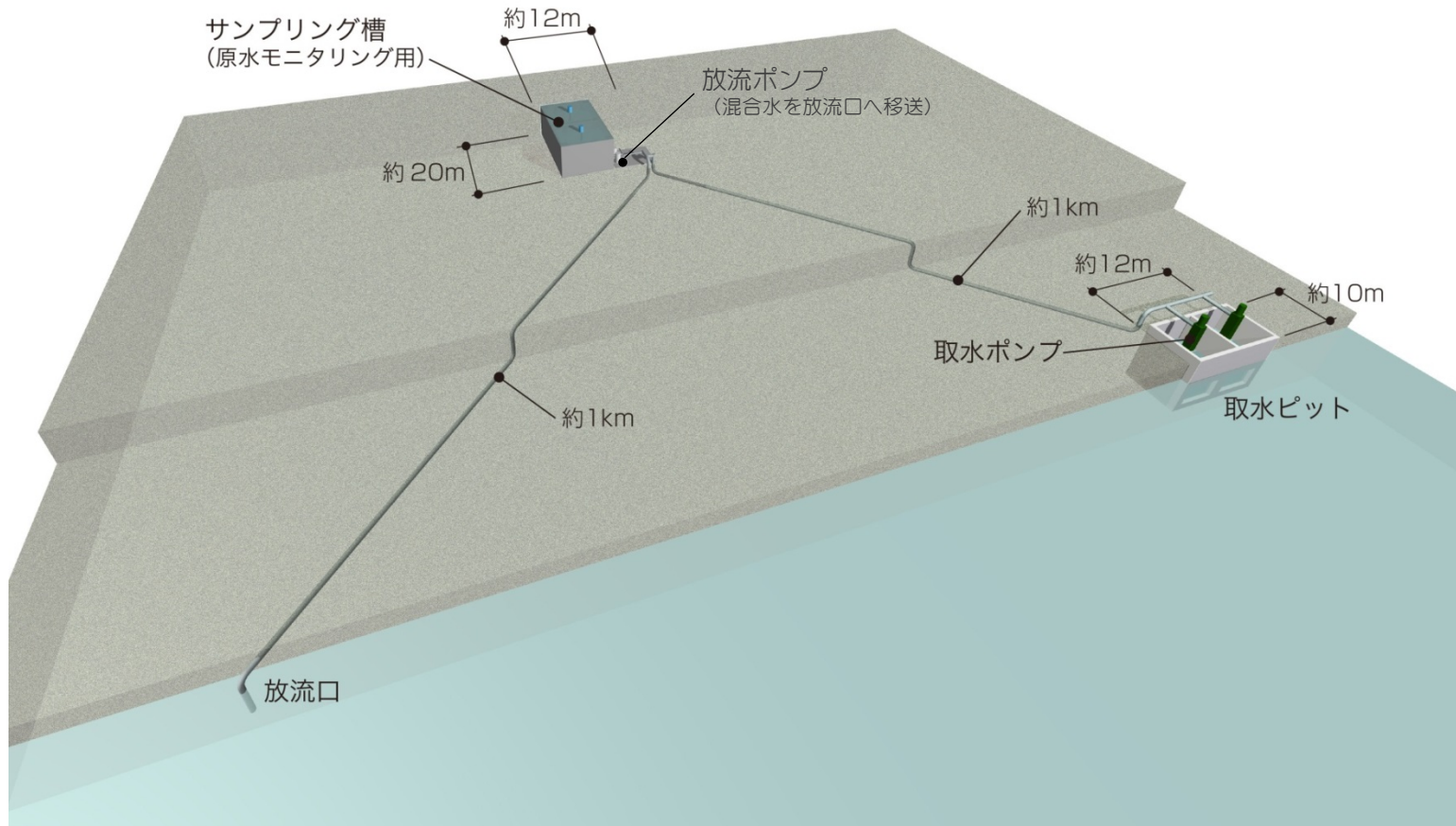


□ C2 : (分離後)海洋放出



4. 各評価ケースの概念設計(海洋放出)

□ イメージ図:(希釈後)海洋放出の例



※放流水が直接取水されることの無い様、工夫する必要がある。

- ここでは、取水ピットと放流口の位置・距離を十分にする方策を採用している。
- その他の方策としては、取水ピットと放流口の間を岸壁等で間仕切る方法や、放流口を沖合に設定する方法等が考えられる。

4. 各評価ケースの概念設計(水蒸気放出)

□ 水蒸気放出共通(A3、C3)

- 放出運転時のトリチウム水の原水の減少ペース: 400m³/日
- 濃度: 周辺監視区域の外で、空気中の放射性物質の告示濃度である5Bq/L以下であること
- 排気筒出口以後で、結露しないこと(液体とならないこと)

□ A3 : (前処理なし)水蒸気放出

- 排気筒高さ: 周辺監視区域の外で空気中のトリチウム濃度が5Bq/L以下となるための排気筒高さ、直接燃焼装置を用いる際の一般的な排気筒高さを比較し、より高い排気筒高さ(地上60m)を採用
- 処分量: 前処理なしのため、80万m³
- トリチウム水を、貯水タンクからサンプリング槽に移送し、槽単位で濃度を測定する。サンプリング槽のトリチウム水を、900～1000℃で直接気化させ、排ガスを空気希釈(設備、機器劣化防止のため)し、地上60mの高さで大気へ放出する。

□ C3 : (分離後)水蒸気放出

- 排気筒高さ: 前処理なしの場合と同様
- 処分量: 分離後濃縮側の物量は無視できる(減損側の物量は不変)と仮定し、80万m³とする
- 処分対象状態: 分離後減損側の状態は液体とする
- トリチウム水を、分離処理水タンク(減損側)からサンプリング槽に移送し、槽単位で濃度を測定する。サンプリング槽のトリチウム水を、900～1000℃で直接気化させ、排ガスを空気希釈(設備、機器劣化防止のため)し、地上60mの高さで大気へ放出する。

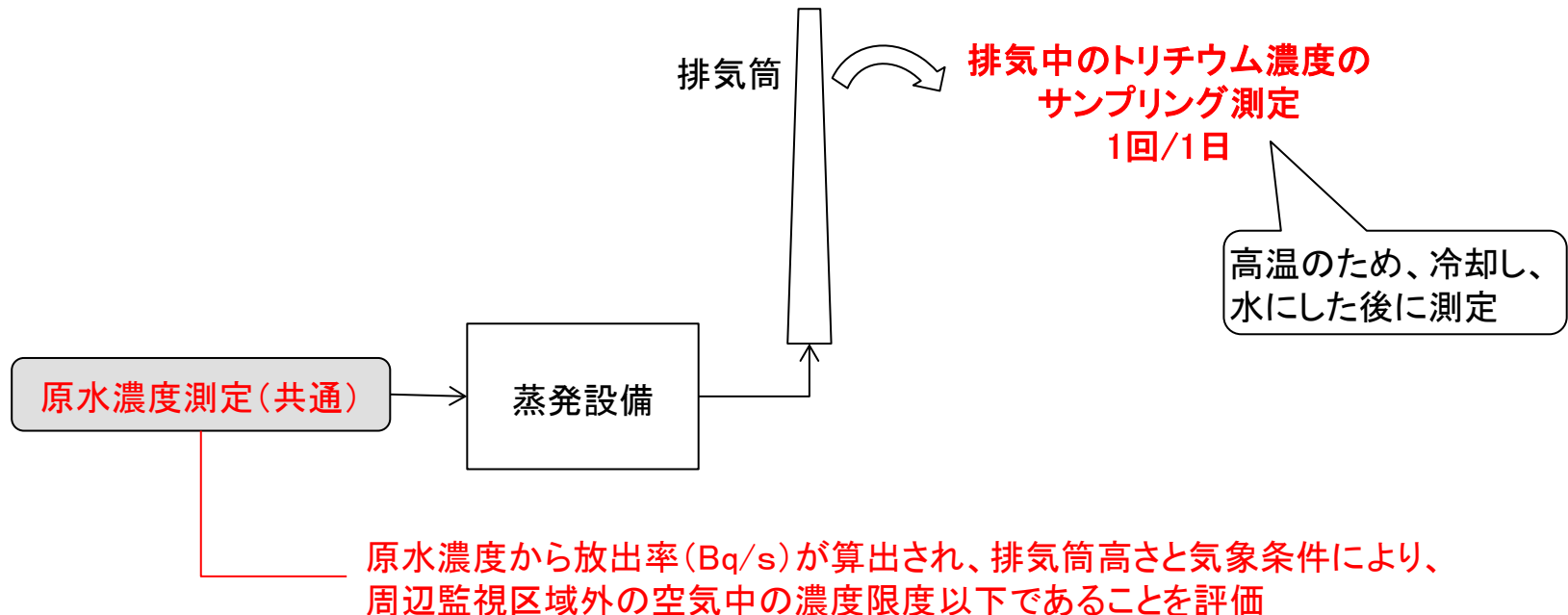
4. 各評価ケースの概念設計(水蒸気放出)

□ モニタリング方法

- A3 : (前処理なし)水蒸気放出
- C3 : (分離後)水蒸気放出

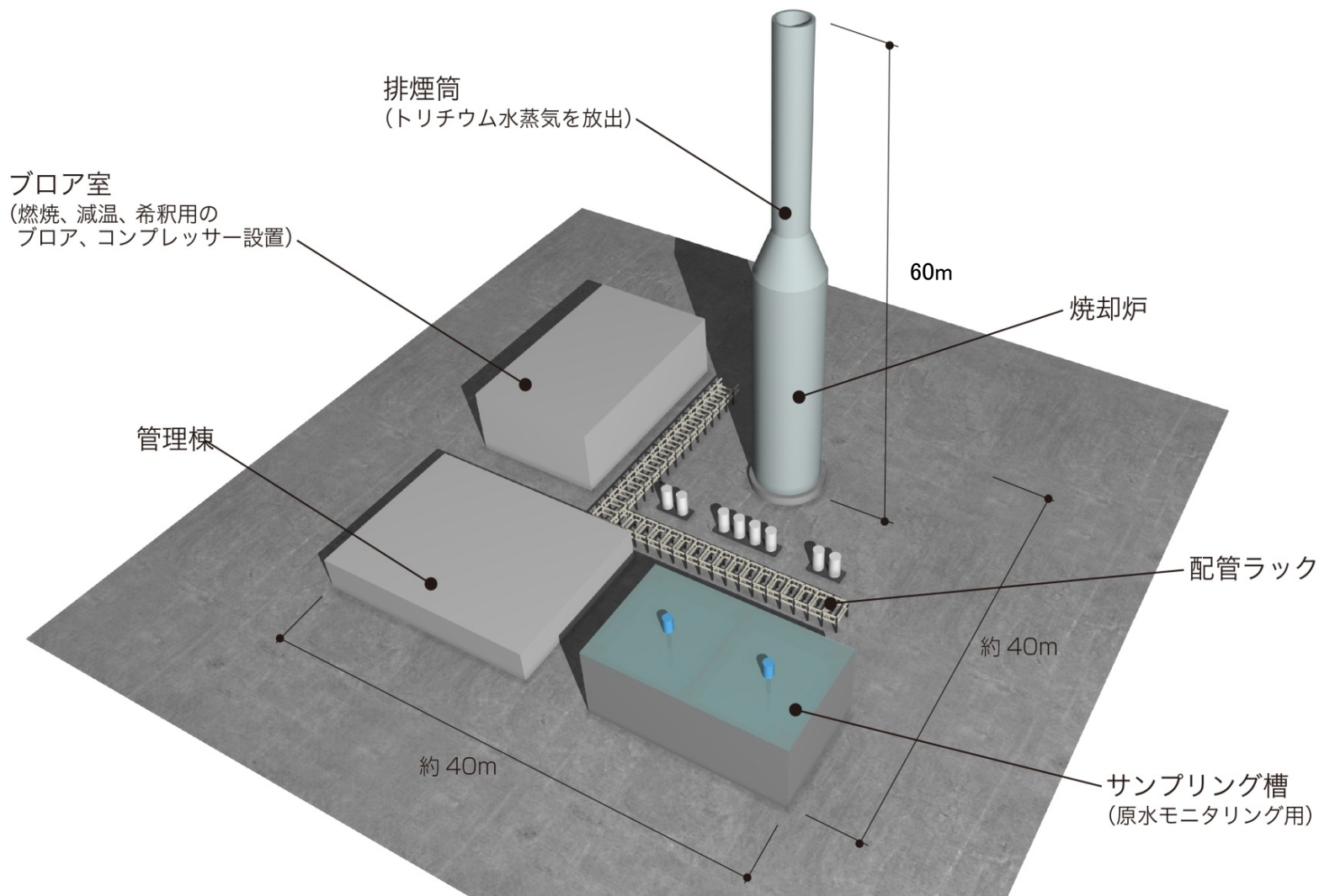
規則:

排気口又は排気監視設備において排気中の放射性物質の濃度を監視することにより、周辺監視区域の外の空気中の放射性物質の濃度が原子力規制委員会の定める濃度限度を超えないようにすること



4. 各評価ケースの概念設計(水蒸気放出)

□ イメージ図: (前処理なし)水蒸気放出の例



4. 各評価ケースの概念設計(水素放出)

□ 水素放出共通(A4、C4)

- 放出運転時のトリチウム水の原水の減少ペース: 400m³/日
- 濃度: 周辺監視区域の外で空気中の放射性物質の告示濃度である7万Bq/L以下であること
- 排気筒出口で、水素可燃濃度を下回ること

□ A4 : (前処理なし)水素放出

- 排気筒高さ: 周辺監視区域の外で空気中のトリチウム濃度が7万 Bq/L以下となるための排気筒高さと、工学的安全性を担保するための排気筒高さを比較し、より高い排気筒高さ(地上20m)を採用
- 処分量: 前処理なしのため、80万m³
- トリチウム水を、貯水タンクからサンプリング槽に移送し、槽単位で濃度を測定する。サンプリング槽のトリチウム水を、電解槽で水素と酸素に電気分解し、発生した水素ガス(トリチウムガスを含む)を地上20mの高さで大気に出す。

□ C4 : (分離後)水素放出

- 排気筒高さ: 前処理なしの場合と同様
- 処分量: 分離後濃縮側の物量は無視できる(減損側の物量は不変)と仮定し、80万m³とする
- 処分対象トリチウム水の状態: 分離後減損側の状態は液体とする
- トリチウム水を、分離処理水タンク(減損側)からサンプリング槽に移送し、槽単位で濃度を測定する。サンプリング槽のトリチウム水を、電解槽で水素と酸素に電気分解し、発生した水素ガス(トリチウムガスを含む)を地上20mの高さで大気に出す。

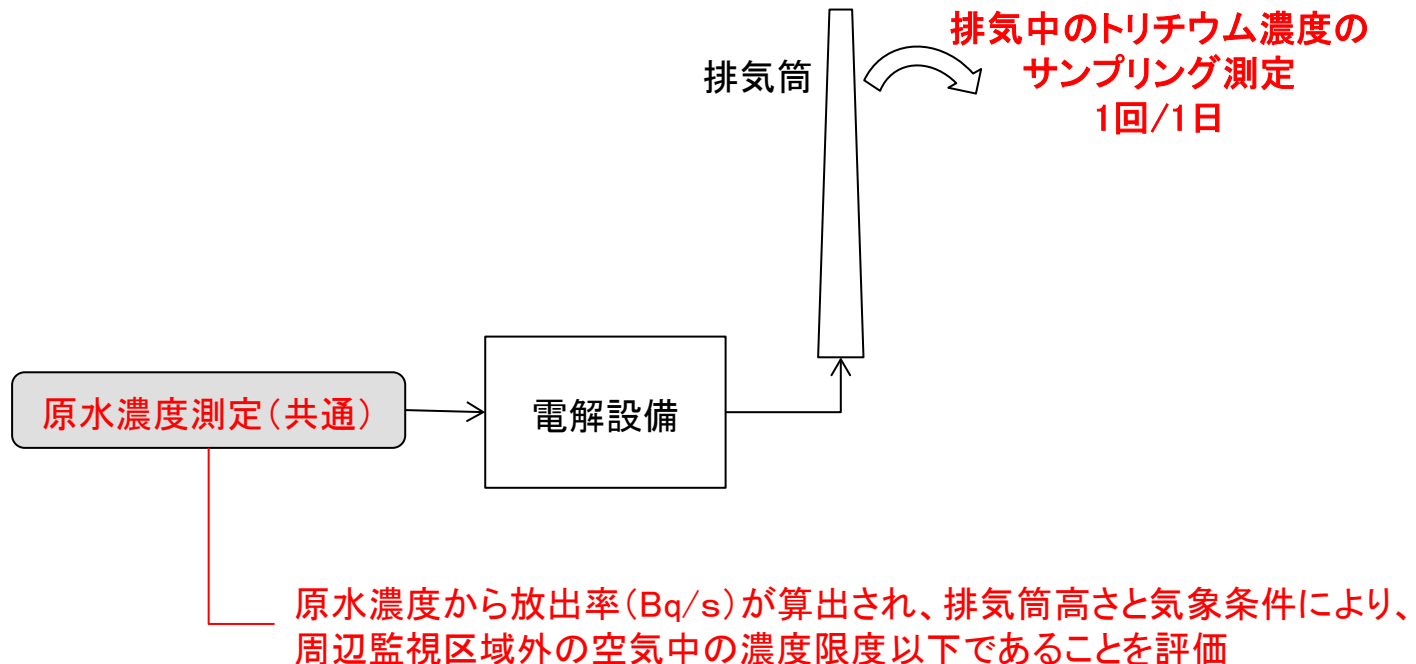
4. 各評価ケースの概念設計(水素放出)

□ モニタリング方法

- A4 : (前処理なし)水素放出
- C4 : (分離後)水素放出

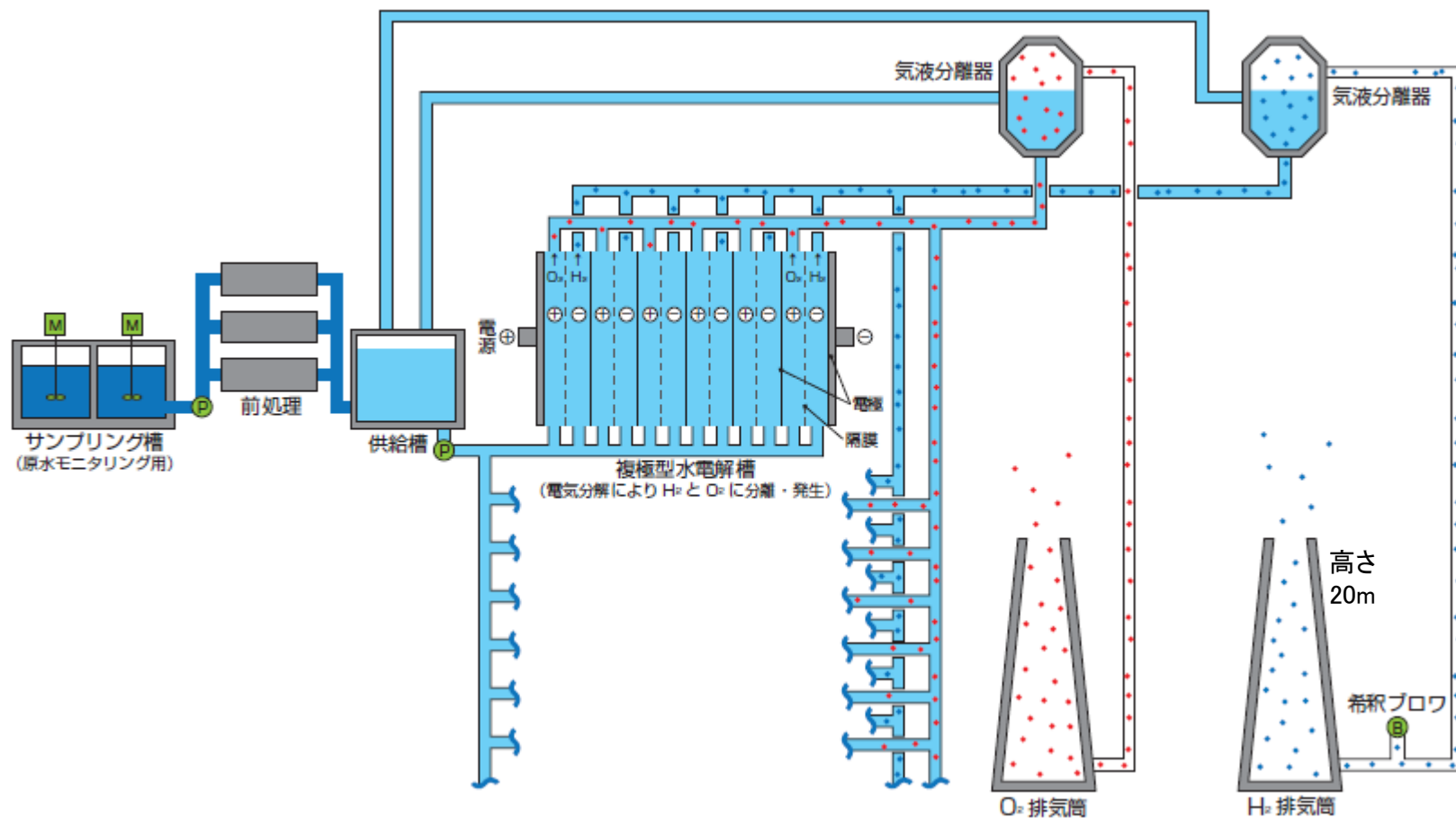
規則:

排気口又は排気監視設備において排気中の放射性物質の濃度を監視することにより、周辺監視区域の外の空気中の放射性物質の濃度が原子力規制委員会の定める濃度限度を超えないようにすること



4. 各評価ケースの概念設計(水素放出)

□ イメージ図: (前処理なし) 水素放出の例



4. 各評価ケースの概念設計(地下埋設)

□ A5 : (前処理なし)地下埋設

- 埋設時のトリチウム水の原水の減少ペース: $400\text{m}^3/\text{日}$
- 工法: コンクリートピット処分をベースとし、ピットの区画内にトリチウム水とセメント系固化材を混練して直接流し込み、施設と一体的に固化する(※1)
- ベントナイト層厚さ: 人工バリア(ベントナイト層)からの浸出水のトリチウム濃度が、水中の放射性物質の告示濃度である 6万Bq/L となるようなベントナイト層厚さを算定
 - 例: 約 2m (原水 420万Bq/L の場合)、約 1m (原水 50万Bq/L の場合)
- 処分量: 前処理なしのため、 80万m^3
- 地下を掘削し、コンクリートピットを施工する。コンクリートピット周囲には、地下水の流入抑制、トリチウム水の浸出抑制のためベントナイト混合土(原水濃度 420万Bq/L の場合: 厚 2m 、 50万Bq/L の場合: 厚 1m)を敷設する。
- 完成したコンクリートピット内に、トリチウム水とセメント系固化材を混練したものを流し込み、コンクリート躯体と一体化させる。
- 流し込み時には、トリチウム水の蒸発による散逸を抑制するため、上部にカバーを設置する。
- 固化後、コンクリート躯体頂版を打設し、ベントナイト混合土(原水濃度 420万Bq/L の場合: 厚 2m 、 50万Bq/L の場合: 厚 1m)を敷設、さらに覆土を行う。

(※1 第10回トリチウム水タスクフォース資料1「トリチウム水の浅地中処分に係る検討」より)

4. 各評価ケースの概念設計(地下埋設)

□ モニタリング方法

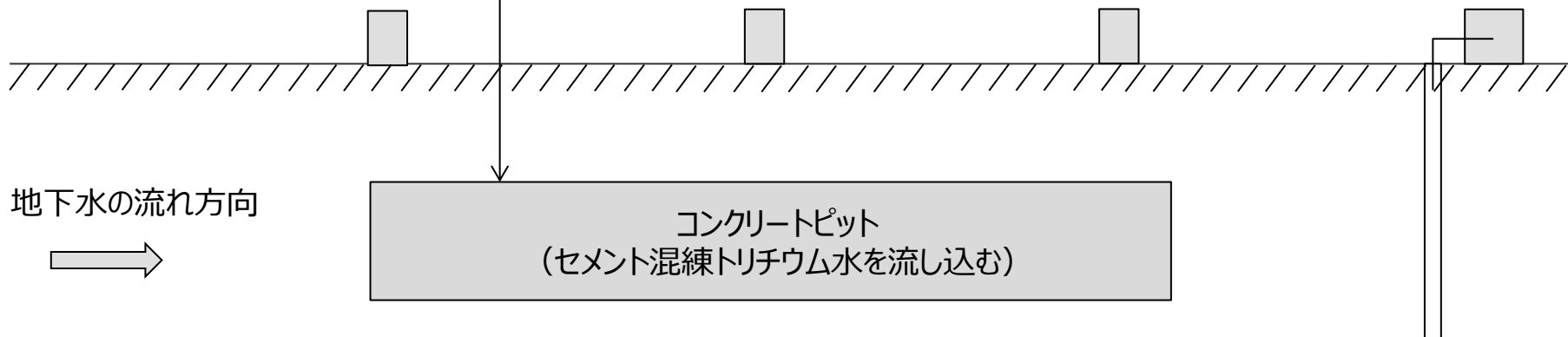
「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」に準拠

□ A5 : (前処理なし)地下埋設

原水濃度測定(共通)

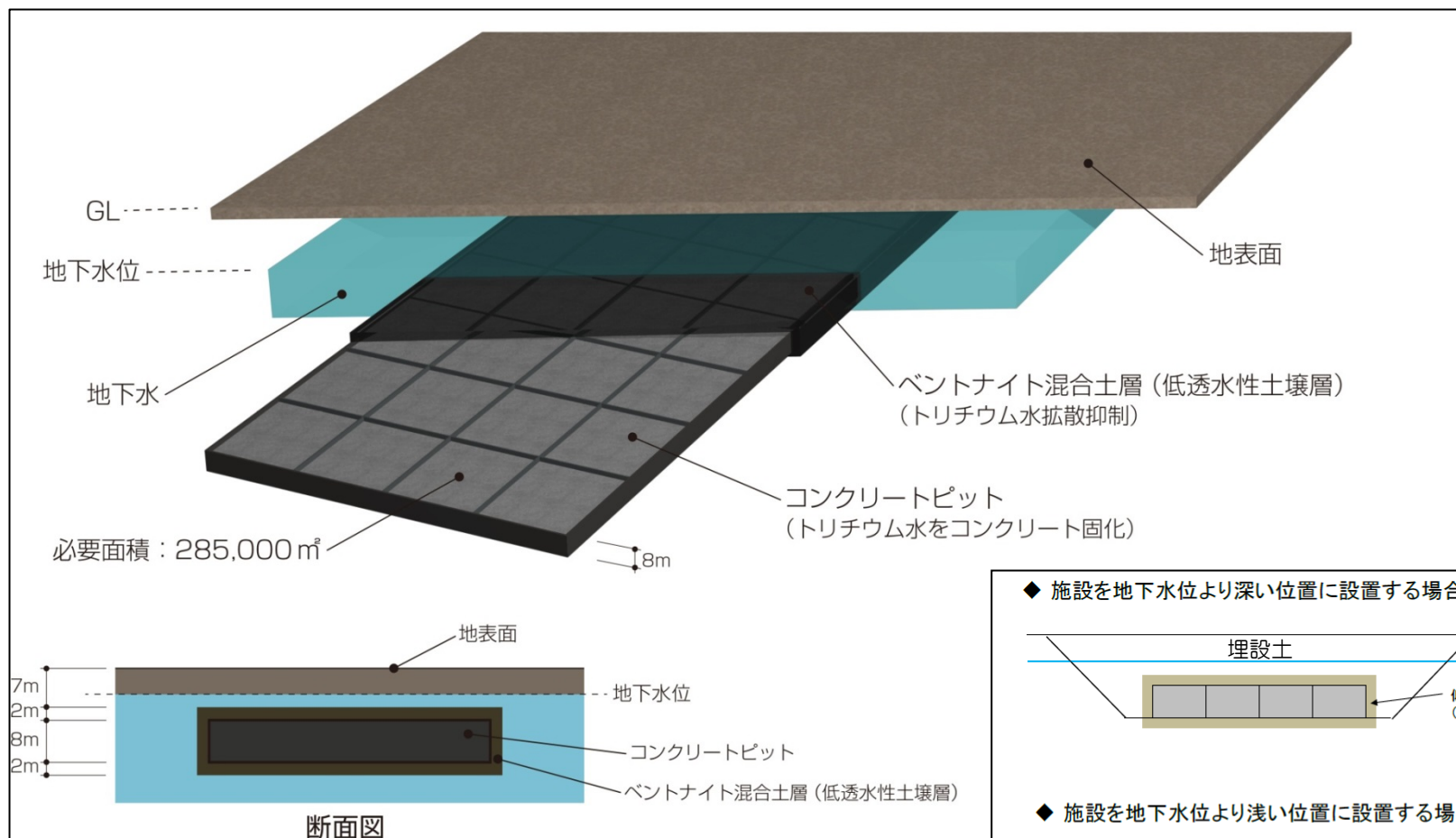
空气中トリチウム濃度の
サンプリング測定
埋設中:連続監視

地下水中のトリチウム濃度の
サンプリング測定
埋設中:1回/月
埋設後:1回/月

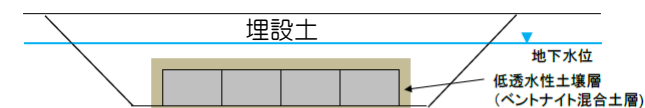


4. 各評価ケースの概念設計(地下埋設)

□ イメージ図: 地下水位よりも深い位置に埋設する場合の例



◆ 施設を地下水位より深い位置に設置する場合



◆ 施設を地下水位より浅い位置に設置する場合



右図: 第10回トリチウム水タスクフォース資料1「トリチウム水の浅地中処分に係る検討」より

5. 各評価ケースの評価結果(留意事項)

- 28頁以降に、前段で検討した概念設計に基づく評価結果を示す。
- 本評価結果については、各種の仮定を設定した上で概算によって試算したものであり、実際の処分に要するコスト等を保障するものではない。
- 前処理として分離を行う評価ケース(C1、C3、C4)については、前処理なしの評価ケース(A1、A3、A4)に、分離に要する期間、コスト等を組み合わせることとする。また、分離後海洋放出(C2)については、希釈後海洋放出(B2)の希釈工程部分を分離工程に置き換えることとする。

5. 各評価ケースの評価結果(留意事項)

□ その他の留意事項は以下のとおり。

- 処分を実施する場所については、特定せずに評価を行っている。
- 期間評価結果について、以下は含まれていない。
 - ・敷地外処分の場合の輸送
 - ・環境影響評価等のシミュレーション
 - ・資材や要員の確保に係る不確実性
- コスト評価結果について、以下は含まれていない。
 - ・敷地外処分の場合の輸送
 - ・環境影響評価等のシミュレーション
 - ・資材や要員の確保に係る不確実性
 - ・原発敷地内であるが故の要因(高線量下における作業に伴う追加的な人件費、原子炉施設としての耐震安全性を備えるための追加的な建設費等)
 - ・土地の取得費用
 - ・固定資産税
 - ・解体廃棄物、二次廃棄物、残土の処分費用

5. 各評価ケースの評価結果(A1:(前処理なし)地層注入【基本要件】)

□ 技術的成立性:(A1共通)

- CCS(二酸化炭素貯留)技術は確立されており、深地層にトリチウム水を送り込むこと自体は可能であると考えられる。
- ただし、適切な地層を見つけ出すことができない場合には、処分を開始することはできない。
- また、深地層において、適切に長期モニタリングできる方法は、現在のところ確立されていない。

□ 規制成立性:(A1共通)

- 地層注入を、「液体状の放射性廃棄物の廃棄」と整理できる場合、原子力規制委員会の定める濃度限度を超えるため、適合しない。
- 別途、地層注入に係る新たな規制及び基準の策定が必要。

5. 各評価ケースの評価結果(A1:(前処理なし)地層注入【期間】)

□ 処分開始までの期間: 約「 $36+20n$ 」か月 (A1共通)

- 地層探査、ボーリング調査等で1箇所あたり約20か月を要する。適切な地層でない場合、複数個所の調査が必要であるため、約 $20+20n$ か月と表現。(n:調査個所数)
- 注入井(1井戸)・注入設備の設計・建設に約16か月を要する。(設計:約6か月、リグ準備・調整:約4か月、掘削:約6か月)
- これらは前提条件である処分速度 $400\text{m}^3/\text{日}$ によって決定されるためケース①～⑤で不変。

□ 処分終了までの期間:(ケース別)

- 注入処分に要する期間は、処分量に依存する。ケース①、②、⑤は約66か月を要し、ケース③、④は約33か月を要する。(処分量÷処分速度)。
- よって、処分終了までの期間は以下の通りとなる。(n:調査個所数)
 - ケース①、②、⑤: 約「 $102+20n$ 」か月、ケース③、④: 約「 $69+20n$ 」か月

□ 解体期間: 約2か月 (A1共通)

- 設備の解体、注入井のセメンチングに約2か月を要する。
- 設備、注入井の数・規模は前提条件である処分速度 $400\text{m}^3/\text{日}$ によって決定されるため、ケース①～⑤で不変。

□ 監視期間:(ケース別)

- 原水濃度がトリチウムの半減期に応じて告示濃度 6万Bq/L になるまでの間、監視を行うものとするため、原水濃度に依存する。
 - ケース①、③、⑤: 約912か月、ケース②、④: 約456か月
- 但し、これは原水のトリチウム濃度を測定してからの期間であり、処分後の監視期間を意味するものではないことに留意

5. 各評価ケースの評価結果(A1:(前処理なし)地層注入【コスト】)

- 調査コスト: **約「 $6.5+6.5n$ 」億円** (A1共通)
 - 主にボーリング調査に必要な費用。
 - 適切な地層でない場合、複数個所の調査が必要であるため「 $+6.5n$ 」を付記している。(n: 調査個所数)
 - これらは、設備、注入井の数・規模の影響を受け、それらは前提条件である処分速度 $400\text{m}^3/\text{日}$ によって決定されるため、ケース①～⑤で不変。
- 設計・建設コスト: **約162億円** (A1共通)
 - 主に現地工事費(約150億円)であり、その他として、設計(約0.8億円)、機器費(約11億円)
 - これらは、設備、注入井の数・規模の影響を受け、それらは前提条件である処分速度 $400\text{m}^3/\text{日}$ によって決定されるため、ケース①～⑤で不変。
- 処分コスト: (ケース別)
 - 処分コストの内訳は、ユーティリティ(電気代)、人件費である。
 - これらは処分量に依存し、以下の通りとなる。
 - ケース①、②、⑤: **約5億円**、ケース③、④: **約3億円**
- 解体コスト: **約6億円** (A1共通)
 - 設備の解体、注入井をセメンチングで閉鎖するための費用。
- 監視コスト: **「m億円」** (A1共通)
 - 適切な長期モニタリングできる方法は、現在のところ確立されていないため、新たな開発が必要。コストは不明であるため「m億円」と表現。
- コスト合計: (ケース別)(n: 調査個所数)(m: 監視コスト)
 - ケース①、②、⑤: **約「 $180+6.5n + m$ 」億円**、ケース③、④: **約「 $177+6.5n + m$ 」億円**

5. 各評価ケースの評価結果(A1:(前処理なし)地層注入【その他】)

- 規模(面積): 陸部に約380m² (A1共通)
- 二次廃棄物: (A1共通)
 - 特になし
- 作業員被ばく: (A1共通)
 - 特段の留意事項は無い
- 付帯条件: (A1共通)
 - 適切な地層がなかなか見つからない場合には、調査期間・費用が増加する。

5. 各評価ケースの評価結果(B1:(希釈後)地層注入【基本要件】)

□ 技術的成立性:(B1共通)

- CCS(二酸化炭素貯留)技術は確立されており、深地層にトリチウム水を送り込むこと自体は可能であると考えられる。
- ただし、適切な地層を見つけ出すことができない場合には、処分を開始することはできない。

□ 規制成立性:(B1共通)

- 地層注入を、「液体状の放射性廃棄物の廃棄」と整理できる場合、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。

5. 各評価ケースの評価結果(B1:(希釈後)地層注入【期間】)

□ 処分開始までの期間:(ケース別)

- 地層探査、ボーリング調査等を行うが、その期間は設置する注入井の数※に影響を受け、注入井の数は一日当たりの処分量(希釈倍率)の影響を受ける。
(※ケース①、③、⑤:48井戸・8か所同時削孔、ケース②、④:6井戸・2か所同時削孔)
- また、適切な地層でない場合、複数個所の調査が必要であるため、「+On」を付記している。(n:調査個所数)
 - ケース①、③、⑤: 約「 $40+40n$ 」か月、ケース②、④: 約「 $25+25n$ 」か月
- 設計、建設期間も注入井の本数に影響を受け、以下の通りとなる。
 - ケース①、③、⑤: 約50か月、ケース②、④: 約28か月
- 以上より、処分開始までの期間は以下の通りとなる。(n:調査個所数)
 - ケース①、③、⑤: 約「 $90+40n$ 」か月、ケース②、④: 約「 $53+25n$ 」か月

□ 処分終了までの期間:(ケース別)

- 注入処分に要する期間は、処分量に依存する。ケース①、②、⑤は約66か月を要し、ケース③、④は約33か月を要する。(処分量÷処分速度)。
- よって、処分終了までの期間は以下の通りとなる。(n:調査個所数)
 - ケース①、⑤: 約「 $156+40n$ 」か月、ケース②: 約「 $119+25n$ 」か月
ケース③: 約「 $123+40n$ 」か月、ケース④: 約「 $86+25n$ 」か月

□ 解体期間:(ケース別)

- 設備の解体、注入井のセメンチングを行う。
- 要する期間は、設備規模、注入井の本数に依存するため以下の通りとなる。
 - ケース①、③、⑤: 約12か月、ケース②、④: 約6か月

□ 監視期間:(B1共通)

- 処分水濃度が告示濃度以下であるため、モニタリングは処分期間中のみ。

5. 各評価ケースの評価結果(B1:(希釈後)地層注入【コスト】)

□ 調査コスト：(ケース別)

- 主にボーリング調査に必要な費用。設備、注入井の数・規模の影響を受ける。また、適切な地層でない場合、複数個所の調査が必要であるため、「+On」を付記している。(n:調査個所数)

➢ ケース①、③、⑤： 約「 $110+110n$ 」億円、ケース②、④： 約「 $13+13n$ 」億円

□ 設計・建設コスト：(ケース別)

- 主に現地工事費であり、設備、注入井の数・規模の影響を受ける。

➢ ケース①、③、⑤： 設計(約9.8億円)+機器費(約250億円)+現地工事費(約3100億円)
= 約3360億円、ケース②、④： 設計(約2億円)+機器費(約42億円)+現地工事費(約390億円) = 約434億円

□ 処分コスト：(ケース別)

- 処分コストの内訳は、ユーティリティ(電気代)、人件費である。

- これらは処分量と希釈倍率に依存し、以下の通りとなる。

➢ ケース①： 約215億円、ケース②： 約34億円、ケース③： 約107億円
ケース④： 約17億円、ケース⑤： 約123億円

□ 解体コスト：(ケース別)

- 設備の解体、注入井をセメンチングで閉鎖するための費用であり、設備、注入井の数・規模の影響を受ける。

➢ ケース①、③、⑤： 約290億円、ケース②、④： 約36億円

□ 監視コスト：(ケース別)

- 原水濃度測定に係る費用であり、原水量に依存する。

➢ ケース①、②、⑤： 約1.02億円、ケース③、④： 約0.91億円

□ コスト合計：(ケース別)(n:調査個所数)

● ケース①： 約「 $3976+110n$ 」億円、ケース②： 約「 $518+13n$ 」億円、

● ケース③： 約「 $3868+110n$ 」億円、ケース④： 約「 $501+13n$ 」億円、ケース⑤： 約「 $3884+110n$ 」億円

5. 各評価ケースの評価結果(B1:(希釈後)地層注入【その他】)

□ 規模(面積): (ケース別)

- 必要な面積は、希釈倍率に依存する。

- ケース①、③、⑤: 陸部に約2080m²、海岸部に約120m² (計 約2200m²)
- ケース②、④: 陸部に約730m²、海岸部に約12m² (計 約742m²)

□ 二次廃棄物: (B1共通)

- 特になし

□ 作業員被ばく: (B1共通)

- 特段の留意事項は無い

□ 付帯条件: (B1共通)

- 適切な地層がなかなか見つからない場合には、調査期間・費用が増加する。

5. 各評価ケースの評価結果(B2:(希釈後)海洋放出【基本要件】)

□ 技術的成立性:(B2共通)

- 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事例は存在し、技術的に成立すると言える。

□ 規制成立性:(B2共通)

- 「液体状の放射性廃棄物の廃棄」に該当し、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。

5. 各評価ケースの評価結果(B2:(希釈後)海洋放出【期間】)

□ 処分開始までの期間: (ケース別)

- 機器・設備・配管・取水口等の設置のための地盤・地勢調査に約3か月を要する。
- 大型送水ポンプの調達と数kmの配管敷設工事が必要であり、これらは希釈倍率に依存する。
 - ケース①、③、⑤: 約19か月
 - ケース②、④: 約16か月
- 以上より、処分開始までの期間は以下の通りとなる。
 - ケース①、③、⑤: **約22か月**
 - ケース②、④: **約19か月**

□ 処分終了までの期間: (ケース別)

- 放出処分に要する期間は、処分量に依存する。ケース①、②、⑤は約66か月を要し、ケース③、④は約33か月を要する。(処分量÷処分速度)。
- よって、処分終了までの期間は以下の通りとなる。
 - ケース①、⑤: **約88か月**
 - ケース②: **約85か月**
 - ケース③: **約55か月**
 - ケース④: **約52か月**

□ 解体期間: **約3か月** (B2共通)

- 設備の解体、埋設配管の埋め殺しに約3か月を要する。

□ 監視期間: (B2共通)

- 処分水濃度が告示濃度以下であるため、モニタリングは処分期間中のみ。

5. 各評価ケースの評価結果(B2:(希釈後)海洋放出【コスト】)

- 調査コスト: **約0.4億円** (B2共通)
 - 機器・設備・配管・取水口等の設置のための地盤・地勢調査に要する費用。
- 設計・建設コスト: (ケース別)
 - 主に現地工事費であり、希釈倍率の影響を受ける。
 - ケース①、③、⑤: 設計(約0.88億円) + 機器費(約7.9億円) + 現地工事費(約14億円) = **約23億円**
 - ケース②、④: 設計(約0.6億円) + 機器費(約2.3億円) + 現地工事費(約7.9億円) = **約11億円**
- 処分コスト: (ケース別)
 - 処分コストの内訳は、ユーティリティ(電気代)、人件費である。
 - これらは処分量と希釈倍率に依存し、以下の通りとなる。
 - ケース①、⑤: **約5億円**、ケース②、③: **約3億円**、ケース④: **約1億円**
- 解体コスト: (ケース別)
 - 設備の解体、埋設配管の埋め殺しの費用で、希釈倍率に依存する。
 - ケース①、③、⑤: **約4.7億円**、ケース②、④: **約3.4億円**
- 監視コスト: (ケース別)
 - 原水濃度測定に係る費用であり、原水量に依存する。
 - ケース①、②、⑤: **約1.02億円**、ケース③、④: **約0.91億円**
- コスト合計: (ケース別)
 - ケース①: **約34億円**、ケース②: **約18億円**、ケース③: **約31億円**
 - ケース④: **約17億円**、ケース⑤: **約34億円**

5. 各評価ケースの評価結果(B2:(希釈後)海洋放出【その他】)

□ 規模(面積): (ケース別)

- 必要な面積は、希釈倍率に依存する。
 - ケース①、③、⑤: 陸部に約280m²、海岸部に約120m² (計 約400m²)
 - ケース②、④: 陸部に約280m²、海岸部に約12m² (計 約292m²)

□ 二次廃棄物: (B2共通)

- 特になし

□ 作業員被ばく: (B2共通)

- 特段の留意事項は無い

□ 付帯条件: (B2共通)

- 特になし

5. 各評価ケースの評価結果(A3: (前処理なし)水蒸気放出【基本要件】)

□ 技術的成立性: (A3共通)

- 水を燃焼炉で蒸発させた実績が存在する。(ボイラーで蒸発させる方式はTMI-2の事例が存在する)。

□ 規制成立性: (A3共通)

- 水蒸気放出を、「気体状の放射性廃棄物の廃棄」と整理できる場合、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。

5. 各評価ケースの評価結果(A3: (前処理なし)水蒸気放出【期間】)

□ 処分開始までの期間: **約35か月** (A3共通)

- 機器・設備・配管等を設置するための地盤・地勢調査を行う期間、1年間の気象条件を取得するための期間として約12か月を要する。
- 但し、既に1年間の気象条件を取得できている場合には、この期間は約12か月よりも短縮することが可能となる。
- 設備の設計及び建設には約23か月を要する。これは、燃烧炉の調達、現地据付期間が大半を占める。
- これらは、前提条件である処分速度400m³/日によって決定されるため、ケース①～⑤で不変。

□ 処分終了までの期間: (ケース別)

- 放出処分に要する期間は、処分量に依存する。ケース①、②、⑤は約80か月を要し、ケース③、④は約40か月を要する。(処分量÷処分速度)(燃烧炉の年間稼働日数を300日と仮定)。
- よって、処分終了までの期間は以下の通りとなる。
 - ケース①、②、⑤: **約115か月**
 - ケース③、④: **約75か月**
- なお、降水条件によっては放出を停止しなければならない可能性があり、期間が延びる可能性がある。

□ 解体期間: **約5か月** (A3共通)

- 燃烧炉の解体に約5か月を要する。

□ 監視期間: (A3共通)

- 法令告示濃度を満足する形での大気放出であるため、モニタリングは処分期間中のみ。

5. 各評価ケースの評価結果(A3: (前処理なし)水蒸気放出【コスト】)

- 調査コスト: **約0.4億円** (A3共通)
 - 機器・設備・配管等を設置するための地盤・地勢調査を行う費用、1年間の気象条件を取得するための費用。
- 設計・建設コスト: **約80億円** (A3共通)
 - 主に現地工事費(約58億円)であり、その他として、設計(約2.3億円)、機器費(約20億円)
- 処分コスト: (ケース別)
 - 処分コストの内訳は、ユーティリティ(重油)、人件費である。
 - これらは処分量に依存し、以下の通りとなる。
 - ケース①、②、⑤: **約243億円**
 - ケース③、④: **約121億円**
- 解体コスト: **約24億円** (A3共通)
 - 主に燃烧炉の解体のための費用。
- 監視コスト: (ケース別)
 - 原水濃度測定に係る費用、排気筒での濃度測定に係る費用であり、原水量に依存する。
 - ケース①、②、⑤: **約1.56億円**
 - ケース③、④: **約1.38億円**
- コスト合計: (ケース別)
 - ケース①、②、⑤: **約349億円**
 - ケース③、④: **約227億円**

5. 各評価ケースの評価結果(A3: (前処理なし)水蒸気放出【その他】)

- 規模(面積): (A3共通)
 - 陸部に約2000m²
- 二次廃棄物: (A3共通)
 - トリチウム水の成分によっては、焼却灰が発生する可能性がある。
- 作業員被ばく: (A3共通)
 - 排気筒高さを十分にとるため、特段の留意事項は無い。
- 付帯条件: (A3共通)
 - 特になし

5. 各評価ケースの評価結果(A4: (前処理なし)水素放出【基本要件】)

□ 技術的成立性: (A4共通)

- 水を電気分解し、水素に還元することは技術的に可能である。
- 一方、実トリチウム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が必要な可能性がある。

□ 規制成立性: (A4共通)

- 水素放出を、「気体状の放射性廃棄物の廃棄」と整理できる場合、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。

5. 各評価ケースの評価結果(A4: (前処理なし) 水素放出【期間】)

□ 処分開始までの期間: 約35か月 (A4共通)

- 機器・設備・配管等を設置するための地盤・地勢調査を行う期間、1年間の気象条件を取得するための期間として約12か月を要する。
- 但し、既に1年間の気象条件を取得できている場合には、この期間は約12か月よりも短縮することが可能となる。
- 設備の設計及び建設には約23か月を要する。これは、電解装置の調達、現地据付期間が大半を占める。
- これらは、前提条件である処分速度400m³/日によって決定されるため、ケース①～⑤で不変。

□ 処分終了までの期間: (ケース別)

- 放出処分に要する期間は、処分量に依存する。ケース①、②、⑤は約66か月を要し、ケース③、④は約33か月を要する。(処分量÷処分速度)。
- よって、処分終了までの期間は以下の通りとなる。
 - ケース①、②、⑤: 約101か月
 - ケース③、④: 約68か月
- なお、降水条件によっては放出を停止しなければならない可能性があり、期間が延びる可能性がある。

□ 解体期間: 約5か月 (A4共通)

- 電解設備の解体に約5か月を要する。

□ 監視期間: (A4共通)

- 告示濃度を満足するように大気放出するため、モニタリングは処分期間中のみ。

5. 各評価ケースの評価結果(A4: (前処理なし) 水素放出【コスト】)

- 調査コスト: **約0.4億円** (A4共通)
 - 機器・設備・配管等を設置するための地盤・地勢調査を行う費用、1年間の気象条件を取得するための費用。
- 設計・建設コスト: **約130億円** (A4共通)
 - 文献ベースにおける概算
- 処分コスト: (ケース別)
 - 処分コストの内訳は、ユーティリティ(電気代)、人件費である。
 - これらは処分量に依存し、以下の通りとなる。
 - ケース①、②、⑤: **約831億円**
 - ケース③、④: **約431億円**
- 解体コスト: **約37億円** (A4共通)
 - 主に電解設備の解体のための費用。
- 監視コスト: (ケース別)
 - 原水濃度測定に係る費用、排気筒での濃度測定に係る費用であり、原水量に依存する。
 - ケース①、②、⑤: **約1.36億円**
 - ケース③、④: **約1.23億円**
- コスト合計: (ケース別)
 - ケース①、②、⑤: **約1000億円**
 - ケース③、④: **約600億円**

5. 各評価ケースの評価結果(A4: (前処理なし)水素放出【その他】)

- 規模(面積): (A4共通)
 - 陸部に約2000m²
- 二次廃棄物: (A4共通)
 - 電気分解の前処理工程において、二次廃棄物として残渣が発生する可能性がある。
- 作業員被ばく: (A4共通)
 - 排気筒高さを十分にとるため、特段の留意事項は無い。
- 付帯条件: (A4共通)
 - 特になし

5. 各評価ケースの評価結果(A5a:(前処理なし)地下埋設(深地)【基本要件】)

□ 技術的成立性:(A5共通)

- コンクリートピット処分場、遮断型処分場の実績がある。

□ 規制成立性:(A5共通)

- 容器に封入または固型化されていないため、「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」における「廃棄体」とは整理できない。
- トリチウム水をセメント混練し固化されたものを、同規則における「コンクリート等廃棄物」と整理できる場合、トリチウム水をコンクリート固化したものをピット処分した事例は無いため、別途、新たな基準の策定が必要となる可能性がある。

5. 各評価ケースの評価結果(A5a:(前処理なし)地下埋設(深地)【期間】)

□ 処分開始までの期間: **約26か月** (A5共通)

- コンクリートピットを設置するための地盤・地勢調査を行う期間、1年間の地下環境条件情報を取得するための期間として約12か月を要する。
- ただし、既に1年間の地下環境条件情報を取得できている場合には、この期間は約12か月よりも短縮することが可能となる。
- 設備の設計には8か月を要する。設備の建設については、全てのコンクリートピットを建設してから流し込みを開始するのではなく、部分的にコンクリートピットを建設し、そこへの流し込みを行いつつ、並行してコンクリートピットを順次建設していく工程を想定しており、1区画目のピットを建設するためには6か月を要する。(処分開始までに14か月を要する。)
- これらは、前提条件である処分速度400m³/日によって決定されるため、ケース①～⑤で不変。

□ 処分終了までの期間:(ケース別)

- 埋設処分に要する期間は、処分量に依存する。ケース①、②、⑤は約66か月を要し、ケース③、④は約33か月を要する。(処分量÷処分速度)。
- さらに、埋設完了時には、頂板設置、覆土、等を行う期間が必要である。(同じく、6か月、3か月)
- よって、処分終了までの期間は以下の通りとなる。
 - ケース①、②、⑤: **約98か月**、ケース③、④: **約62か月**

□ 監視期間:(ケース別)

- 原水濃度がトリチウムの半減期に応じて告示濃度6万Bq/Lになるまでの間、監視を行うものとする、原水濃度に依存する。
 - ケース①、③、⑤: **約912か月**、ケース②、④: **約456か月**
- ただし、これは原水のトリチウム濃度を測定してからの期間であり、処分後の監視期間を意味するものではないことに留意

5. 各評価ケースの評価結果(A5a:(前処理なし)地下埋設(深地)【コスト】)

□ 調査コスト: 約1億円 (A5共通)

- コンクリートピットを設置するための地盤・地勢調査を行う費用、1年間の地下環境条件情報を取得するための費用。

□ 設計・建設コスト: (ケース別)(処分コストを含む)

- 主に現地工事費であり、原水濃度、処分量の影響を受ける。

- ケース①: 約2529億円
- ケース②: 約2226億円
- ケース③: 約1317億円
- ケース④: 約1216億円
- ケース⑤: 約2427億円

□ 監視コスト: (ケース別)

- 原水濃度測定に係る費用、埋設中・埋設後の空气中濃度測定・地下水中濃度測定に係る費用であり、原水量、原水濃度(監視期間)に依存する。

- ケース①、⑤: 約2.2億円
- ケース②: 約1.84億円
- ケース③: 約2.09億円
- ケース④: 約1.73億円

□ コスト合計: (ケース別)

- ケース①: 約2533億円
- ケース②: 約2229億円
- ケース③: 約1320億円
- ケース④: 約1219億円
- ケース⑤: 約2431億円

5. 各評価ケースの評価結果(A5a:(前処理なし)地下埋設(深地)【その他】)

- 規模(面積): (ケース別)
 - ケース①、②、⑤: 陸部に約285000m²
 - ✓ 福島第一原子力発電所敷地面積の約8%に相当
 - ケース③、④: 陸部に約144000m²
- 二次廃棄物: (A5共通)
 - 特になし。
- 作業員被ばく: (A5共通)
 - 埋設時の作業員の吸入被ばく対策として、セメント中のトリチウム水の蒸発を抑制するカバーの設置等
- 付帯条件: (ケース別)
 - コンクリート及びセメント系固化材の必要量:
 - ケース①、②、⑤: コンクリート約42万m³＋セメント系固化材約160万トン
 - ✓ 上記は日本の1年間セメント消費量の約5%に相当
 - ケース③、④: コンクリート約23万m³＋セメント系固化材約80万トン
 - ベントナイトの必要量:
 - ケース①: 約123万m³
 - ✓ 上記は世界の1年間の産出量の約8%、日本の産出量の約3年分に相当
 - ケース②: 約61万m³、ケース③: 約63万m³、ケース④: 約31万m³、ケース⑤: 約92万m³
 - 残土の発生量:
 - ケース①: 約348万m³
 - ✓ 東京ドーム約3杯分、福島中間貯蔵施設の約5分の1の量に相当。
 - ✓ 残土を高さ5mに盛ると仮定すると、残土置き場として約70万m²(福島第一原子力発電所敷地面積の約20%に相当)の面積が必要。
 - ケース②: 約286万m³、ケース③: 約178万m³、ケース④: 約146万m³、ケース⑤: 約318万m³

5. 各評価ケースの評価結果(A5b:(前処理なし)地下埋設(浅地)【基本要件】)

□ 技術的成立性:(A5共通)

- コンクリートピット処分場、遮断型処分場の実績がある。

□ 規制成立性:(A5共通)

- 容器に封入または固型化されていないため、「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」における「廃棄体」とは整理できない。
- トリチウム水をセメント混練し固化されたものを、同規則における「コンクリート等廃棄物」と整理できる場合、トリチウム水をコンクリート固化したものをピット処分した事例は無いため、別途、新たな基準の策定が必要となる可能性がある。

5. 各評価ケースの評価結果(A5b:(前処理なし)地下埋設(浅地)【期間】)

□ 処分開始までの期間: **約26か月** (A5共通)

- コンクリートピットを設置するための地盤・地勢調査を行う期間、1年間の地下環境条件情報を取得するための期間として約12か月を要する。
- 但し、既に1年間の地下環境条件情報を取得できている場合には、この期間は約12か月よりも短縮することが可能となる。
- 設備の設計には8か月を要する。設備の建設については、全てのコンクリートピットを建設してから流し込みを開始するのではなく、部分的にコンクリートピットを建設し、そこへの流し込みを 行いつつ、並行してコンクリートピットを順次建設していく工程を想定しており、1区画目のピットを建設するためには6か月を要する。(処分開始までに14か月を要する。)
- これらは、前提条件である処分速度400m³/日によって決定されるため、ケース①～⑤で不変。

□ 処分終了までの期間:(ケース別)

- 埋設処分に要する期間は、処分量に依存する。ケース①、②、⑤は約64か月を要し、ケース③、④は約33か月を要する。(処分量÷処分速度)。
- また、埋設完了時には、頂板設置、覆土、等を行う期間が必要である。(同じく、6か月、3か月)
- よって、処分終了までの期間は以下の通りとなる。
 - ケース①、②、⑤: **約98か月**、ケース③、④: **約62か月**

□ 監視期間:(ケース別)

- 原水濃度がトリチウムの半減期に応じて告示濃度6万Bq/Lになるまでの間、監視を行うものとする、原水濃度に依存する。
 - ケース①、③、⑤: **約912か月**、ケース②、④: **約456か月**
- ただし、これは原水のトリチウム濃度を測定してからの期間であり、処分後の監視期間を意味するものではないことに留意

5. 各評価ケースの評価結果(A5b:(前処理なし)地下埋設(浅地)【コスト】)

□ 調査コスト: 約1億円 (A5共通)

- コンクリートピットを設置するための地盤・地勢調査を行う費用、1年間の地下環境条件情報を取得するための費用。

□ 設計・建設コスト: (ケース別)(処分コストを含む)

- 主に現地工事費であり、原水濃度、処分量の影響を受ける。

- ケース①: 約1620億円

- ケース②: 約1519億円

- ケース③: 約802億円

- ケース④: 約742億円

- ケース⑤: 約1519億円

□ 監視コスト: (ケース別)

- 原水濃度測定に係る費用、埋設中・埋設後の空气中濃度測定・地下水中濃度測定に係る費用であり、原水量、原水濃度(監視期間)に依存する。

- ケース①、⑤: 約2.2億円

- ケース②: 約1.84億円

- ケース③: 約2.09億円

- ケース④: 約1.73億円

□ コスト合計: (ケース別)

- ケース①: 約1624億円

- ケース②: 約1522億円

- ケース③: 約805億円

- ケース④: 約745億円

- ケース⑤: 約1523億円

5. 各評価ケースの評価結果(A5b:(前処理なし)地下埋設(浅地)【その他】)

□ 規模(面積): (ケース別)

- ケース①、②、⑤: 陸部に約285000m²
- ケース③、④: 陸部に約144000m²

□ 二次廃棄物: (A5共通)

- 特になし。

□ 作業員被ばく: (A5共通)

- 埋設時にセメント中のトリチウム水が蒸発し、作業環境がトリチウム雰囲気となり、吸入被ばくの恐れがあるため、カバーの設置等で、蒸発を抑制する。

□ 付帯条件: (ケース別)

- **コンクリート及びセメント系固化材の必要量:**

- ケース①、②、⑤: コンクリート約42万m³＋セメント系固化材約160万トン
- ケース③、④: コンクリート約24万m³＋セメント系固化材約80万トン

- **ベントナイトの必要量:**

- ケース①: 約69万m³
- ケース②: 約35万m³
- ケース③: 約36万m³
- ケース④: 約18万m³
- ケース⑤: 約52万m³

- **残土の発生量:**

- なし

(参考3)水蒸気放出、水素放出：排気筒高さの算出

- ❑ 水蒸気放出、水素放出の場合、敷地境界外の濃度は、それぞれ5Bq/L、7万Bq/Lを下回る必要がある。
- ❑ ある地点の放射能濃度は「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」で定められている方法において算出する。
- ❑ 式からわかる様に、ある地点の放射能濃度(Bq/L)は、排気筒出口の放射能濃度(Bq/L)には依存せず、放出量(Bq/s)に依存する。(他に、排気筒高さや、気象条件に依存する)。

$$\chi = \sum_{S=A}^F \left[\frac{Q}{\pi \cdot \sigma_{yS} \cdot \sigma_{zS} \cdot U_{S1}} \cdot \exp\left(-\frac{H_1^2}{2\sigma_{zS}^2}\right) \cdot F_{S1} + \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_{yS} \cdot \sigma_{zS} \cdot U_{S2}} \exp\left(-\frac{H_2^2}{2\sigma_{zS}^2}\right) \cdot F_{S2} + \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_{yS} \cdot \sigma_{zS} \cdot U_{S3}} \exp\left(-\frac{H_3^2}{2\sigma_{zS}^2}\right) \cdot F_{S3} \right] \quad \cdots (2)$$

式中記号の意味

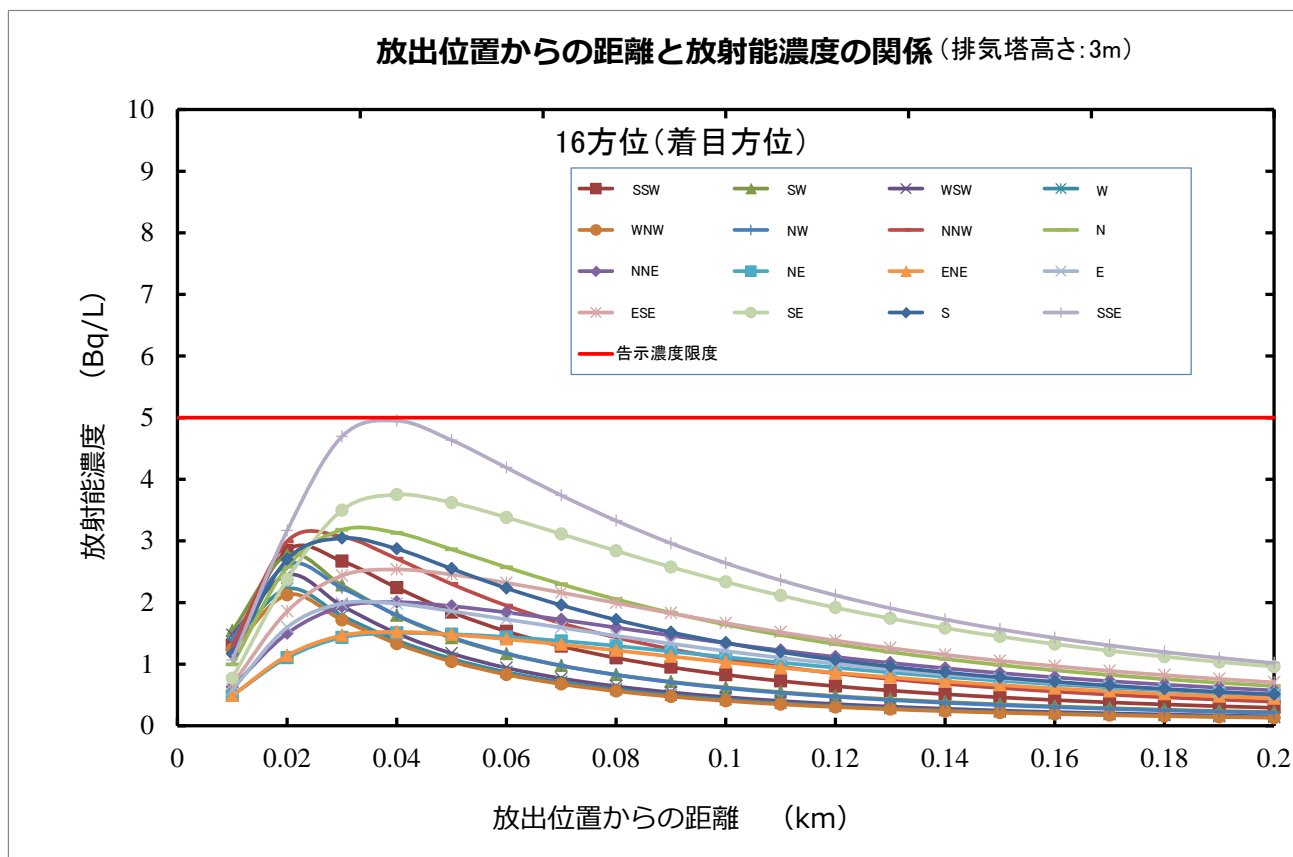
$\chi(x, y, 0)$: 点(x, y, 0)における放射性物質の濃度 (Bq/m³)
 Q : 放出率 (Bq/s)
 σ_{yS}, σ_{zS} : 大気安定度Sの時の σ_y, σ_z (m)
 σ_y : 濃度分布のy方向の拡がりパラメータ (m)
 σ_z : 濃度分布のz方向の拡がりパラメータ (m)
 U_{S1} : 大気安定度Sの時の着目方位の風速 (m/s)
 U_{S2}, U_{S3} : 大気安定度Sの時の隣接方位の風速 (m/s)
 H_1 : 着目方位に対する放出源の有効高さ (m)
 H_2, H_3 : 隣接方位に対する放出源の有効高さ (m)
 F_1 : 大気安定度Sの時の着目方位の濃度の平均化の係数 (m)
 F_2, F_3 : 大気安定度Sの時の隣接方位の濃度の平均化の係数 (m)

$$\chi_{cont, S} = Q_{cont} \cdot \bar{\chi}_S \cdot \frac{1}{N_t} \cdot S_d \quad \cdots (8)$$

$\chi_{cont, S}$: 大気安定度Sの時の連続の年間平均濃度 (Bq/m³)
 Q_{cont} : 連続の線量が1年間に一様に連続して放出されるとしたときの放出率 (Bq/s)
 $\bar{\chi}_S$: 単位放出率 (1Bq/s)、単位風速 (1m/s) の時の地表空气中濃度の1方位内平均値 (Bq/m³)
 N_t : 総観測回数 (8,760 回)
 S_d : 風向別大気安定度別風速逆数の総和 (s/m)

(参考3) 水蒸気放出、水素放出：排気筒高さの算出

- 東京電力から提供されたパラメータを用いて、敷地境界外において、告示濃度を超えない様にするための排気筒高さを算出した結果例を以下に示す。
- 420万Bq/Lのトリチウム水を1日400m³処理するとして、放出率Qは約 1.95×10^7 Bq/sと設定。
 - 最大放射能濃度が水蒸気の告示濃度である5Bq/Lとなる様な排気筒高さを探索した結果、排気筒高さ3mの際に、放出位置から約40m地点で最大放射能濃度が5Bq/Lとなると評価された。
 - 排気筒高さ3m地点においても、東京電力殿申請書にある標高132m地点の気象条件が当てはまると仮定して、放出位置からの距離に応じた放射能濃度の算定結果を以下に示す。



(参考4) 地下埋設: ベントナイト層厚さの算出

- 地下埋設において、人工バリアの最も外側であるベントナイト層からの浸出水のトリチウム濃度が6万Bq/L以下となる様な、ベントナイト層の厚さを算出する。
- ベントナイト層浸出水の放射能濃度を評価するためには、コンクリート層の透水係数、拡散係数、ベントナイト層の透水係数、拡散係数、地下水の動水勾配を設定する必要がある、それらの数値の設定とその妥当性について、以下に示す。
 - ✓ コンクリート層の透水係数: 1.0×10^{-6} m/s
 - 「TRU廃棄物処理処分検討書-第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」(※1)における、セメントモルタルの透水係数のデータを参照
 - セメントモルタルにひび割れが無い場合: 5×10^{-11} 、ひび割れがある場合: 4×10^{-6}
 - ✓ コンクリート層の拡散係数: 3×10^{-10} m²/s
 - 「TRU廃棄物処理処分検討書-第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」における、セメントモルタルの拡散係数のデータを参照
 - ✓ ベントナイト層の透水係数: 1.0×10^{-9} m/s
 - 「TRU廃棄物処理処分検討書-第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」における、各種ベントナイトの透水係数のデータを参照して保守的に設定
 - ✓ ベントナイト層の拡散係数: 3.0×10^{-10} m²/s
 - 「日本原子力学会標準 浅地中ピット処分の安全評価手法」(※2)を参照
 - ✓ 地下水の動水勾配: 0.5%
 - 一般的な地下水の動水勾配として示された環境省資料を参照(※3)

※1 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構「TRU廃棄物処理処分検討書-第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」

※2 日本原子力学会「浅地中ピット処分の安全評価手法」

※3 環境省「土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン(改訂2版)-特定有害物質を含む地下水が到達し得る「一定の範囲」の考え方」

(参考4) 地下埋設: ベントナイト層厚さの算出)

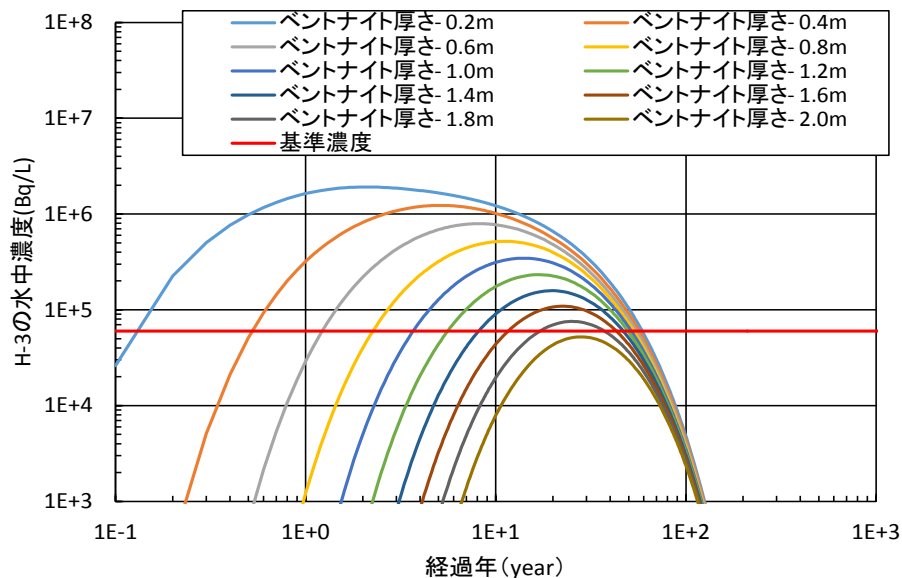


図 1 トリチウムの中濃度の時間変化
(固化体前の濃度が420万Bq/Lのケース)

ベントナイト層厚さ2mと算定

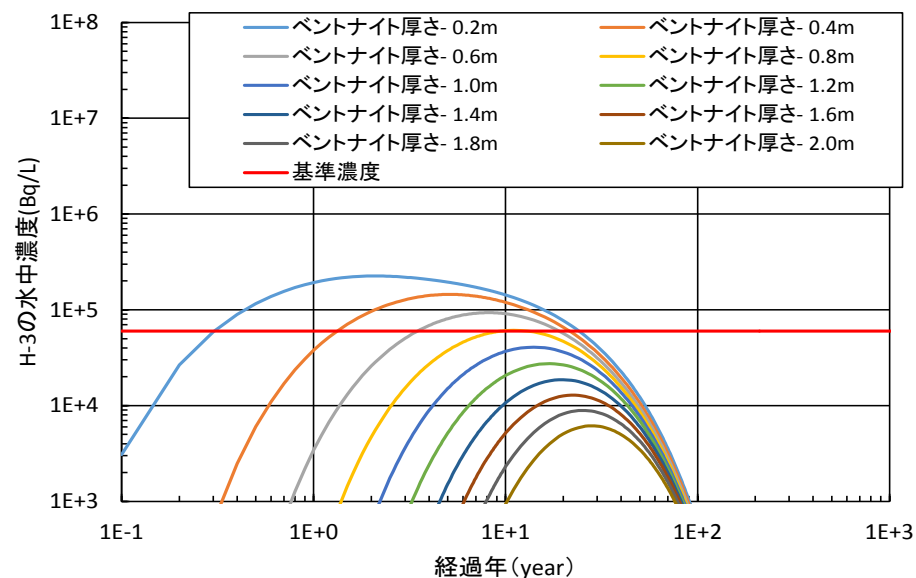


図 2 トリチウムの中濃度の時間変化
(固化体前の濃度が50万Bq/Lのケース)

ベントナイト層厚さ1mと算定

(参考5)その他の前提条件

【地層注入】

□ 前処理なし

- ① 貯水タンク(80万 m^3)はプラント直近(100m)にあるものとする。
- ② プラント設置位置の標高 O.P.+10.0m
- ③ 電力は要求する電圧で十分量供給されるものとする。(変電設備等は範囲外)
- ④ 地層注入したトリチウム水が、長期間に安定して滞留することができる地層が、掘削可能な範囲に存在するものとする。
- ⑤ 地層注入に適した地層深さは、CCS(二酸化炭素貯留)の実証事例を参考に、深度2,500mとする。
- ⑥ 作業環境(放射能汚染等)による制約はないものとする。

□ 希釈

- ① 海水のトリチウム濃度は、希釈に際しては無視できるほど低いものとする。
- ② 以下、地層注入(前処理なし)の①～⑥と同様

【海洋放出】

□ 希釈

- ① 貯水タンク(80万 m^3)はプラント直近(100m)にあるものとする。
- ② プラント設置位置の標高 O.P.+10.0m
- ③ 海面近傍標高:O.P.+4.0m(潮位:O.P.+0.2m～+2.0m)
- ④ 電力は要求する電圧で十分量供給されるものとする。(変電設備等は範囲外)
- ⑤ プラントから海岸(取水口、放流配管口)までの距離は1,000mとする。
- ⑥ 埋設配管にはアクセスポイントを設けない。
- ⑦ 作業環境(放射能汚染等)による制約はないものとする。
- ⑧ 海水のトリチウム濃度は、希釈に際しては無視できるほど低いものとする。

(参考5)その他の前提条件

【水蒸気放出】

□ 前処理なし

- ① 貯水タンク(80万 m^3)はプラント直近(100m)にあるものとする。
- ② プラント設置位置の標高 O.P.+10.0m
- ③ 燃焼設備および付帯設備は屋外設置とする。
- ④ 電力は要求する電圧で十分量供給されるものとする。(変電設備等は範囲外)
- ⑤ 建設、運転に関しては、既存仮設焼却炉と同等の作業条件とする。
- ⑥ 作業環境(放射能汚染等)による制約はないものとする。
- ⑦ 降水条件によっては放出を停止しなければならない可能性があるが計算には考慮していない。

【水素放出】

□ 前処理なし

- ① 貯水タンク(80万 m^3)はプラント直近(100m)にあるものとする。
- ② プラント設置位置の標高 O.P.+10.0m
- ③ 電力は要求する電圧で十分量供給されるものとする。(変電設備等は範囲外)
- ④ 前処理施設、発生残渣処理の検討は研究開発事項とする。
- ⑤ 作業環境(放射能汚染等)による制約はないものとする。
- ⑥ 降水条件によっては放出を停止しなければならない可能性があるが計算には考慮していない。

【地下埋設】

□ 前処理なし

- ① 「トリチウム水の浅地中処分に係る検討」(※)に基づく設計、施工とする。
- ② コンクリートピット躯体は底版・壁を施工し、対象原水をコンクリート硬化した後に頂版を施工する。
- ③ 工事場所の既存構造物および地中埋設物の撤去までは考慮しない。
- ④ 残土の処分は考慮しない。
- ⑤ 仮に汚染土が発生した場合でも、その除染は考慮しない。
- ⑥ 作業環境(放射能汚染等)による制約はないものとする。